DESIGN シンポジウム 2021

7/14-16

日時： 2021 年 7 月 14 日 (水) ～ 16 日 (金)

会場： オンライン開催 (Zoom)

ＨＰ： https://d-sym.jp

共催： 精密工学会（幹事学会），日本機械学会，日本設計工学会，日本建築学会，
人工知能学会，日本デザイン学会，東京大学生産技術研究所
・同所価値創造デザイン推進基盤，東京大学人工物工学研究センター

協賛： 横断型基幹科学技術研究団体連合，International Association of Societies of Design Research,
意匠学会，基礎デザイン学会，芸術工学会，道具学会

運営委員会

選出学会等	役割	名前	所属
精密工学会	代表委員・委員長	梅田靖	東京大学
	運営委員	青山英樹	慶應義塾大学
	運営委員	妻屋彰	岡山県立大学
	運営委員	福重真一	早稲田大学
	運営委員・幹事	長井超慧	東京都立大学
	若手委員	木見田康治	東京大学
	若手委員	木下裕介	東京大学
日本建築学会	代表委員	和田浩一	職業能力開発総合大学校
	運営委員	関博紀	東京都市大学
	運営委員	五十嵐雄哉	清水建設株式会社
	若手委員	山口純	横浜国立大学
	若手委員	酒谷粋将	関東学院大学
日本設計工学会	代表委員	村上存	東京大学
	運営委員	宮下朋之	早稲田大学
	運営委員	山﨑慎太郎	大阪大学
	運営委員	柳澤秀吉	東京大学
	若手委員	大泉和也	東京電機大学
	若手委員	堀田智哉	関東学院大学
日本機械学会	代表委員	青山和浩	東京大学
	運営委員	関研一	千葉工業大学
	運営委員	井上全人	明治大学
	若手委員	野中朋美	立命館大学
	若手委員	山田周歩	東京大学
人工知能学会	代表委員	武田英明	国立情報学研究所
	運営委員	中小路久美代	公立はこだて未来大学
	運営委員	松下光範	関西大学
	若手委員	関口海良	株式会社 Optimized Energy
日本デザイン学会	代表委員	松岡由幸	慶應義塾大学 / 早稲田大学
	運営委員	小林昭世	武蔵野美術大学
	運営委員	加藤健郎	慶應義塾大学
	運営委員	小野健太	千葉大学
	若手委員	永盛祐介	東京都市大学
	若手委員	佐藤浩一郎	千葉大学
東京大学生産技術研究所 価値創造デザイン推進基盤	代表委員	新野俊樹	東京大学
	運営委員	本間裕大	東京大学
	若手委員	村松充	東京大学
東京大学人工物工学研究センター	代表委員	梅田靖	東京大学
	運営委員	青山和浩	東京大学

全体スケジュール

7/15(木)　1 日目

9:00-10:45	第 1 セッション
10:45-11:00	休憩
11:00-12:45	第 2 セッション
12:45-13:45	昼休み
13:45-14:45	基調講演
14:45-15:00	休憩
15:00-16:25	第 3 セッション
16:25-16:40	休憩
16:40-18:05	第 4 セッション

7/16(金)　2 日目

9:00-10:25	第 1 セッション
10:25-10:40	休憩
10:40-12:25	第 2 セッション
12:25-13:45	昼休み
13:45-15:30	第 3 セッション
15:30-15:45	休憩
15:45-17:15	パネルディスカッション

特別企画

7/15(木) 13:45-14:45　基調講演

Treasure Hunting: 科学者とデザイナーによる未来共創

山中 俊治
東京大学　生産技術研究所　価値創造デザイン推進基盤　教授

7/16(金) 15:45-17:15　パネルディスカッション

Design 研究教育の新しい動き

パネリスト：

山口純 (横浜国立大学，日本建築学会)
木下裕介 (東京大学，精密工学会・日本機械学会)
中小路久美代 (はこだて未来大学，人工知能学会)
大野嘉子 (情報処理推進機構　デジタルアーキテクチャ・デザインセンター (DADC))
本間裕大 (東京大学・文部科学省 , 東大価値創造デザイン推進基盤)

7/15(木) A 室

講演時間 20 分（発表 15 分，質疑応答 5 分）各セッションの最後に 5 分間の全体討論を行う

9:00-10:45　セッション 1A：Design 方法論①

1A-1	杢目調テクスチャにおける動的視覚評価構造 〇椎谷 友貴 , 木下 将太朗 , 加藤 健郎 , 松岡 慧 , 松岡 由幸	8
1A-2	自由エネルギーを用いた操作主体感の数理モデリング 〇谷山 建作 , 柳澤 秀吉	10
1A-3	統合学術試論 ー持続可能システムデザイン学を例としてー 〇小林 英樹	14
1A-4	モビリティ車両の市民参加型デザイン 〇山口 純	18
1A-5	「ありきたり」を脱したサービスアイデア発想法 ―サーチライティング― 〇若林 稔 , 緒方 啓史 , 池田 早穂	26

11:00-12:45　セッション 2A：Design 方法論②

2A-1	便利の副作用に着目したシステム設計支援に関する一検討 〇松下 光範 , 住友 梨花	34
2A-2	倫理的設計の支援は草の根 AI ネットワーク化するとどう変わるか？ 〇関口 海良 , 堀 浩一	41
2A-3	統合的な個人化設計に向けた概念整理 〇金子 和樹 , 木下 裕介 , 梅田 靖	49
2A-4	シナリオ設計支援方法論の構築に向けたシナリオ事例の分析と類型化 〇日下 俊輝 , 木下 裕介 , 水野 有智 , 梅田 靖	56
2A-5	マスキン単調性を応用した新しいメカニズム評価手法の提案 〇中野 智基 , 西野 成昭	61

15:00-16:25　セッション 3A：Design 方法論③

3A-1	1 個ずつことなる製品の多量生産をめざした design と製造の試み 〇金田 泰	64
3A-2	Agent based simulation を用いた六面体メッシュ自動生成 〇菅野 朋典	69
3A-3	戦略意思決定デザイン 〇福田 収一	71

16:40-18:05　セッション 4A：その他

4A-1	伊丹潤の言説における朝鮮の美の思想に関する研究 ―柳宗悦の「悲哀の美」の思想に対する伊丹潤の見解に着目して― 〇後藤 沙羅 , 末包 伸吾 , 増岡 亮	74
4A-2	外観検査における人間中心型の作業と自動化のデザイン 〇中嶋 良介 , 蔵方 英紀 , 三上 彩寧	81
4A-3	オンラインを活用した持続可能性のあるものづくり、設計教育への取り組み Fusion360 のクラウド活用による継続教育を両立する指導と手法 中村 翼 , 〇渡邊 朋代	87
4A-4	展示空間のグラマビリティー -Instagram で共有された展覧会体験の研究 - 〇井上 僚 , 柳井 良文 , 本江 正茂	89

7/15(木) B 室

講演時間 20 分（発表 15 分，質疑応答 5 分）各セッションの最後に 5 分間の全体討論を行う

9:00-10:45　セッション 1B：Design 方法①

1B-1	杖を使った立ち上がり動作の観察とヒアリング 〇李 芊芊 , 北 徹朗 , 小林 昭世 , 中原 俊三郎	94
1B-2	中小製造業のデジタル化のためのソシオテクニカルデザイン：アクションリサーチを通じたデザインの記述 〇根本 裕太郎 , 綾部 豊樹 , 中川 善継 , 田中 光一 , 名取 秀幸	101
1B-3	何を着るのか、どう決めるのか？ 設計行為としての動的なコーディネートに関する研究 〇伊藤 雄飛 , 柳井 良文 , 本江 正茂	109
1B-4	実証データに基づくシェアリングシステム設計法の提案 〇三宅 岳 , 松田 源一郎 , 田島 章男 , 石田 涼 , 木下 裕介 , 梅田 靖	114
1B-5	潜在的嗜好の抽出による製品デザイン 〇古賀 凌彗 , 青山 英樹	116

11:00-12:45　セッション 2B：Design 知識①

2B-1	皮革テクスチャにおけるプラスチック感と高級感 〇木下 将太朗 , 田仲 純也 , 松岡 慧 , 加藤 健郎 , 松岡 由幸	119
2B-2	極限環境における基地建設に関する研究 ～南極におけるこれまでとこれから～ 〇遠山 諒 , 金多 隆 , 西野 佐弥香	121
2B-3	3D プリント（付加製造技術）によるジョイントを用いたセルフビルド建築の開発プロセス 〇山口 大翔 , 今井 公太郎 , 伊東 優 , 国枝 歓 , 福島 佳浩	126
2B-4	デザイン思考による豪雨警戒防災システムのデザイン開発 住宅地、学校などの豪雨災害（社会課題）の複雑な要因をデザイン思考で分析、システム～情報発信まで総合的にデザイン 〇森 豊史 , アルバレス・ハイメ	131
2B-5	住商混在地域におけるリノベーション建物の立地特性とその集積実態に関する研究 ―神戸トアウエストを事例として― 〇楠橋 請ノ助 , 栗山 尚子	136

15:00-16:25　セッション 3B：Design 方法②

3B-1	対立概念の解決によるデザイン発想創出の試み 〇村上 存 , 飛島 寛人	140
3B-2	定性・定量データを用いた，社会課題解決に向けた生活者課題起点ソリューションの社会的インパクト算出 交通系社会課題を事例とした手法検証 〇物井 愛子	142
3B-3	機能性、多目的性、不確定性、満足性そして詳細設計への連結性 その設計手法としてのポイントベース設計とセットベース設計 〇石川 晴雄	147
3B-4	ユーザの利用経験を起点とするサービスアイデア生成過程の実験分析 〇妻屋 彰 , 井戸 光	152

7/16(金) A 室

講演時間 20 分（発表 15 分，質疑応答 5 分）各セッションの最後に 5 分間の全体討論を行う

9:00-10:25　セッション 5A：Design 知識・その他

5A-1	書写における視点特徴の分析に関する研究 〇山田 香織 , 富山 明昂 , 久保田 陽子	155
5A-2	Reducing Unconscious Gender Bias through Workshop with Co-Speculative Design 〇三好 葉月	158
5A-3	デザイン思考を用いた理工系学生による話し合いの構成要素と成果物の創造性との関係性 〇川瀬 真弓 , 森部 絢嗣 , 松本 和己 , 李 ナレ , 真貝 里絵 , 鎌部 浩 , 寺田 和憲 , 深井 英和	164
5A-4	付加製造バイオリンの設計と製作 〇横山 幸雄 , 紋川 亮 , 木暮 尊志 , 大久保 智	170

10:40-12:25　セッション 6A：Design 実践①

6A-1	建築物を設置した公園の空間構成と利用者のアクティビティに関する研究 ー官民連携で運営されている関西の都市公園に着目してー 〇黒田 英伸 , 栗山 尚子	172
6A-2	製造業のサービス化のためのデザイン 〇緒方 啓史 , 木見田 康治	176
6A-3	高減速比・高寿命が可能なスライダ減速機の開発 〇林 秀行 , 大嶋 和彦	181
6A-4	ラーニング・コモンズとカフェの導入を契機とした 大学図書館における「居場所」づくり ー山口大学工学部図書館 2020 年度改修工事を事例としてー 〇岡松 道雄 , 木下 遼香 , 宋 俊煥 , 白石レイ	185
6A-5	ランドスケープ利用実態から考察する外部空間でのアクティビティとデザイン 〇毛利 洋子 , 岡松 道雄	193

13:45-15:30　セッション 7A：Design 実践②

7A-1	郊外住宅団地の再生に関する実践活動の効果と課題に関する研究 ー神戸すまいまちづくり公社との連携活動を事例としてー 〇栗山 尚子	200
7A-2	触る切り絵：レーザー加工された紙による触覚提示と盲ろうの非言語コミュニケーションを支援するツールの開発 〇三國 孝 , 山中 俊治	206
7A-3	モーションキャプチャ用センサとシステムの研究開発 宮地 優悟 , 〇大岩 令奈季 , 園田 計二 , 福井 幸男	214
7A-4	価値・機能・構造モデルを用いた経年優化 ® の記述手法及びシミュレーションモデルの構築 ～分譲マンション : サンシティ ® を事例として～ 〇佐藤 日向子 , 駒野 湧一 , 山田 周歩 , 北崎 朋希 , 太田 幸一 , 須田 英男 , 青山 和浩	216
7A-5	ソーラービークルのバイオミメティクス設計 〇松田 直大 , 濱根 洋人	224

7/16(金) B 室

講演時間 20 分（発表 15 分，質疑応答 5 分）各セッションの最後に 5 分間の全体討論を行う

9:00-10:25　セッション 5B：Design 理論・Design 知識

5B-1	製品の機能・性能の探求を促す内発的動機付けの数理モデリング 〇張 晋赫 , 柳澤 秀吉	230
5B-2	閉曲線形状における「美的好み」の推定方法 〇伊藤 武将 , 岡野 晃大 , 加藤 健郎	235
5B-3	構造物を題材とした設計変数空間と評価指標空間での分類の対応付けによる概念設計に関する研究 〇津本 燎 , 野間口 大 , 山崎 慎太郎 , 矢地 謙太郎 , 藤田 喜久雄	238
5B-4	都心市街地におけるコワーキングスペースの空間構成に関する研究 －神戸市の事例に着目して－ 〇鈴木 滉一 , 栗山 尚子	246

10:40-12:25　セッション 6B：Design 知識②

6B-1	ピーター・ズントーの建築創作およびその現代的意義に関する考察　発表なし 〇末包 伸吾 , 後藤 沙羅 , 増岡 亮	252
6B-2	ピエール・コーニッグの独立住宅作品における主空間と架構表現 〇増岡 亮 , 末包 伸吾	255
6B-3	食のデザイン：ファミリーレストランチェーン 3 社のメニュー分析と飲食業関係者へのインタビューを通じた食材と調理法に関する研究 野上 洸玄 , 鳴海 史弘 , 古越 崚 , 〇関 博紀	260
6B-4	歌詞の隙間：邦楽 100 曲を対象とした歌詞分析と歌手へのインタビューを通じた歌詞の役割に関する研究 佐藤 佳苗 , 〇永利 里沙子 , 矢野 咲良々 , 関 博紀	263
6B-5	鬼ごっこの奥行き：PvP 型鬼ごっこゲーム 37 作品の分析からみたゲームの魅力 刈谷 佑斗 , 小森 花歩 , 古澤 秋人 , 〇関 博紀	266

13:45-15:30 セッション 7B：Design 方法③

7B-1	新奇性を操作変数とした感性語の推薦システム 〇長谷川 雄大 , 柳澤 秀吉	268
7B-2	三次元形状における美的好みの定量化の試行 〇松山 和真 , 岡本 昌也 , 加藤 健郎	270
7B-3	潜在価値を含む少数ニーズの抽出とそれらを反映した感性設計手法 〇櫻木 麻美子 , 山口 凜平 , 石川 智也 , 井上 全人	273
7B-4	GAN によるデザインコンセプトに基づくテクスチャの多様解候補導出システムの開発 〇下村 将基 , 大場 元人 , 小門 直人 , 加藤 健郎 , 松岡 由幸	281
7B-5	FDM 方式 3D プリンタのための傾斜機能フィラメント作製とその成形 〇佐藤 浩一郎 , 都 淳朗 , 武藤 稜介 , 寺内 文雄	285

杢目調テクスチャにおける動的視覚評価構造

Dynamic Visual Evaluation Structure in Wood Grain Interior Material Texture

○椎谷　友貴（慶應義塾大学大学院理工学研究科）*1　　木下　将太朗（慶應義塾大学大学院理工学研究科）*2
加藤　健郎（慶應義塾大学）*3　　松岡　慧（湘南工科大学）*4　　松岡　由幸（慶應義塾大学）*5

*1 Tomoki SHIIYA, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama, 223-8522, 418@keio.jp
*2 Shotaro KISHITA, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama, 223-8522, walnut-tree@keio.jp
*3 Takeo KATO, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama, 223-8522, kato@mech.keio.ac.jp
*4 Kei MATSHUOKA, Shonan Institute of Technology, 1-1-25 Nishikaigan Tsujido Fujisawa, 251-8511, matsuoka@md.shonan-it.ac.jp
*5 Yoshiyuki MATSUOKA, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama, 223-8522, matsuoka@mech.keio.ac.jp

キーワード:内装材テクスチャ, 杢目, 動的視覚評価, 高級感

1. 緒　　言

近年，市場において様々な製品が豊富に出回っている．また，科学技術の向上により各製品の機能的格差が減少したため，商品の購買において機能価値よりも感性価値が重要視される傾向が強くなってきている [1]．それゆえ，感性価値への要求水準が高まっており，それに応えるため，テクスチャの視覚的な高級感についての研究が盛んに行われている．自動車用内装材テクスチャの先行研究 [2]では，「高級感」には「奥行き感」が特に寄与すること，杢目調テクスチャが「高級感」において高評価を得ることがわかった．また，表面にクリア層と呼ばれる美観付与の塗装を施すことで，「奥行き感」が向上することが示唆された．ただし，これらは静的，つまり定点からの評価結果により判明したものであり，時間や環境の変化に伴う見え方の変化が評価に与える影響への検討や考察は不十分である．そこで我々は，視点・光源の移動を想定し，テクスチャに対するそれらいずれかの角度が経時的に変化する映像を用いた官能評価実験を行った．その結果を用いて，サンプルの特徴に着目した分析を行い，テクスチャ作製の指針構築に向けた動的視覚評価構造の解明を本研究の目的とする．

2. 視点移動実験

本章では，視点移動実験について説明する．

2.1. 実験方法

静的実験で用いた自動車用内装材 8 サンプル（表 1）を配置し，暗室で光源の角度を固定した状態で，カメラの角度を時間変化させて撮影した．その映像を表 2 の条件の下，被験者は視覚評価を行った．実際の実験画面を図 1 に示す．

Table 1　Samples

Sample	Surface	Material	Clear Layer	Sample	Surface	Material	Clear Layer
A		Wood Grain Pattern Film-Coated Plastic	○	E		Wood With A Wood Grain	×
B		Wood Grain Pattern Film-Coated Plastic	×	F		Wood Grain Pattern Film-Coated Plastic	○
C		Wood Grain Pattern Film-Coated Plastic	○	G		Wood Grain Pattern Film-Coated Plastic	○
D		Wood Grain Pattern Film-Coated Plastic	○	H		Wood With A Wood Grain	○

Table 2　Experimental Conditions

Evaluation Method	Visual Evaluation By SD Method (5-Grade)
Comprehensive Evaluation Item	“High-Grade”
Evaluation Item	“Deep”
Subjects	14 Students
Evaluation Target	Visual Change, Color, Pattern, Surface Texture



Fig.1　Experiment Screen

2.2. 結果

評価結果を表 3 と表 4 に示す．「高級感」について，E を除く 7 サンプルで，平均である 3 以上の評価を得たことから，動的においても杢目調テクスチャは高く評価されることがわかる．また，下位 2 つが木材のサンプルであることや下位 3 つのうち 2 つがクリア層を有さないサンプルであることから，材質や表面加工の評価への影響もうかがえる．

Table 3　Evaluation Value of “High-Grade”

Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
Score	3.6	3.2	3.8	3.4	2.0	3.9	4.0	3.1
Ranking	4	6	3	5	8	2	1	7

Table 4　Evaluation Value of “Deep”

Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
Score	4.5	2.5	3.1	2.9	1.8	2.7	2.4	4.1
Ranking	1	6	3	4	8	5	7	2

「奥行き感」について，A と H が著しく高評価を得た．これらは幾何学模様を有していることが特徴といえる．また，こちらでも下位 3 つのうち 2 つがクリア層を有さないサンプルである．

これらをふまえ，クラスタ分析を行った結果，E，A と H，それらを除く赤みを呈した 5 サンプルの 3 クラスタに分類された．また，クリア層の有無について t 検定を行った結果，「高級感」「奥行き感」ともに有意確率 0.01 と算出され，有意差が認められた．

3. 光源移動実験

本章では，光源移動実験について説明する．

3.1. 実験方法

視点移動実験と同様のサンプルや条件で行った．なお，撮影はカメラの角度を固定した状態で，光源の角度を時間変化させることにより行った．

3.2. 結果

評価結果を表 5 と表 6 に示す．「高級感」について，こちらでも下位 2 つが木材のサンプルであり，また下位 3 つのうち 2 つがクリア層を有さないサンプルである．「奥行き感」についても，上位 2 つが幾何学模様を有しており，下位 3 つのうち 2 つがクリア層を有さないサンプルである．

また，クラスタ分析や t 検定の結果も、視点移動実験と概ね同様となった．

よって，2 つの実験からクリア層の有用性が示された．

Table 5　Evaluation Value of “High-Grade”

Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
Score	3.5	3.1	3.6	3.3	1.6	3.4	3.6	2.9
Ranking	3	6	1	5	8	4	1	7

Table 6　Evaluation Value of “Deep”

Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
Score	4.7	2.4	2.5	2.5	1.6	2.7	2.1	2.8
Ranking	1	6	5	4	8	3	7	2

4. 考察

本章では，視点移動実験と光源移動実験の違いや、静的実験と動的実験の違いに対する考察について述べる．

4.1. 視点移動実験と光源移動実験の比較

視点移動実験と光源移動実験の結果を図2と図3に示す．比較すると，およそ同様の評価傾向であることがうかがえる．なお，H の「奥行き感」が視点移動で著しく向上しているのは，サンプルの厚みを知覚した被験者が，それを奥行きと解釈したためと考える．よって，視点移動実験と光源移動実験の評価傾向は概ね一致することが示唆された．

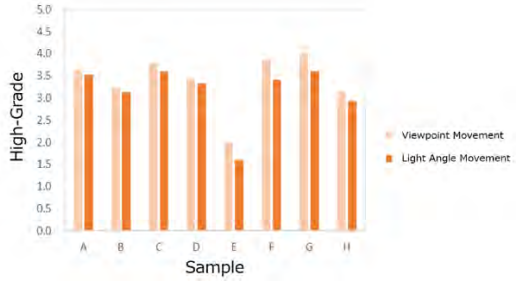


Fig. 2　Comparison of Evaluation for “High-Grade”

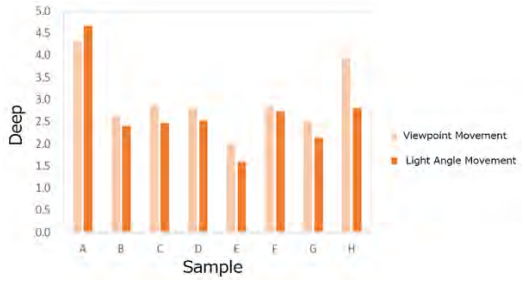


Fig. 3　Comparison of Evaluation for “Deep”

4.2. 静的実験と動的実験の違い

前節をふまえ，静的実験と視点移動実験との比較結果のみを述べる．図 4 と図 5 より，「高級感」「奥行き感」ともに，動的ではクリア層の有無による差が顕著になることがわかる．また，「高級感」では木材のサンプルが，「奥行き感」では模様を有さないサンプルが動的で低評価を得ている．動的における「奥行き感」は，模様による陰影がサンプルを立体的に見せることで評価が上昇すると考えられる．

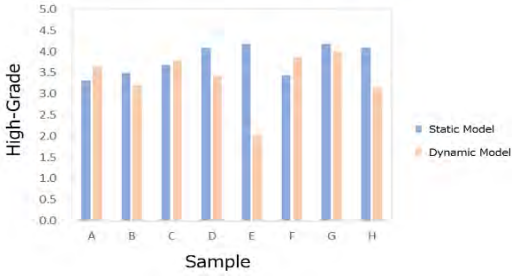


Fig. 4　Comparison of Evaluation for “High-Grade”

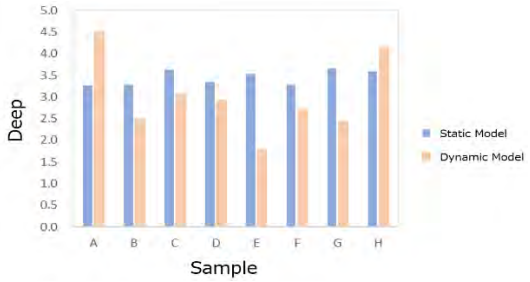


Fig. 5　Comparison of Evaluation for “Deep”

5. 結　　言

本研究により，動的評価構造に対する知見として，視点移動と光源移動の評価傾向は概ね一致することや,「高級感」「奥行き感」ともに，クリア層を有することで高評価を得ることが示唆された．また,「高級感」では，木材のサンプルが低評価を得ること,「奥行き感」では，幾何学模様を有するサンプルが特に高評価を得る一方，模様を有さないサンプルは低評価を得ることも示唆された．

これらの知見は，テクスチャのデザイン指針構築の一助になることが期待される．

文　　献

(1) 桝井捷平，長沢伸也，長谷高和，プラスチック加飾技術の最新動向，シーエムシー出版，1990.

(2) Kei Matsuoka, et al.: Factorial structure of evaluations of automotive interior material texture, Journal of the Science of Design , 2019.

自由エネルギーを用いた操作主体感の数理モデリング

Mathematical modelling of sense of agency using free energy

○谷山建作（東京大学）*1　　柳澤秀吉（東京大学）*2

*1 Kensaku Taniyama, The university of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-8656, taniyama2032@mail.design.t.u-tokyo.ac.jp
*2 Hideyoshi Yanagisawa, The university of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-8656, hide@mech.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード：sense of agency, information theory, interface design

1. 緒　　言

主体感とは，観測された物体や身体の運動が自己によって引き起こされていると認識する感覚である(1)．本研究では，機械の操作における主体感を操作主体感と定義する．つまり，操作主体感とは，機械の挙動が自己の操作によって引き起こされていると認識する感覚である．例えば，自動車を意のままに操縦している状態は，操作主体感が高い状態である．操作主体感は，操作の楽しさや結果の責任感に影響を与えることが知られている(2)(3)．また，操作主体感が高いほど，機械を意のままに操作している感覚を得るため，操作自体が楽しいと感じられる．一方，操作主体感が失われると，自身が操作している感覚が失われるため，操作の結果に対する責任感が失われる．このことから，操作主体感は人間と機械のインタフェースにおいて重要な設計対象である．しかし，現状，操作主体感の設計指針となるモデルは見当たらない．そこで，本研究では，操作主体感の設計指針を確立させることを目的とする．そのために，操作主体感の数理モデルを提案する．数理モデルを開発することにより，一般的な工学応用可能になると考える．

2. 操作主体感の数理モデリング

2.1. コンパレータモデル

主体感を説明するモデルとしてコンパレータモデルがある(4)．例えば，対象に手を伸ばす到達課題において，人間は到達状態を実現するために，運動野より運動指令を出力する．運動指令に従い手を伸ばす一方，運動指令の遠心性コピーをもとに順モデルを用いて手を伸ばした結果を予測する．そして，予測された手の状態と感覚フィードバックを用いて推定された実際の手の状態を比較する．コンパレータモデルによると，比較の結果，予測された状態と実際の状態の誤差が小さいほど主体感は高い．

一方，主体感の因子として，コンパレータモデルによって説明される予測と実際の誤差以外に意図やタスクパフォーマンスの結果などの認知レベルの要因も存在することが知られている(5)．

元来，コンパレータモデルは身体の運動において予測された身体の状態と身体に対する感覚フィードバック（e.g. 自己受容感覚，触覚，身体に対する視覚）を用いて推定された実際の状態の誤差が主体感に影響を与えることを説明するモデルである．ここで，機械を操作する場合，身体に対する感覚フィードバックだけでなく，機械の挙動に対する感覚フィードバック（e.g. 視覚，聴覚，触覚）も存在する．そして，予測された機械の挙動と機械の挙動に対する感覚フィードバックを用いて推定された実際の状態の誤差が生じる．身体における予測と実際の誤差が影響する主体感と身体外における予測と実際の誤差が影響する主体感はそれぞれ，body agency，external agency として明確に区別されている(6)．Body agency と external agency は，前述のコンパレータメカニズムによって説明される予測と実際の誤差を因子として持つ．一般的に身体における順モデルは十分に形成されているため，正確な予測が可能である．身体における誤差は小さいことが前提であるため，body agency は誤差に敏感である．すなわち，body agency において身体における予測と実際の誤差は支配的な因子である．一方，機械の挙動における順モデルは状況によっては十分形成されていない．この場合，予測が正確でないことが前提であり，external agency は誤差に寛容である．つまり，機械に対する順モデルが十分形成されていない場合の external agency においては，予測と実際の誤差よりも認知レベルの因子が支配的である．

本研究では，インタフェース設計に応用可能な知見を得るために，external agency に寄与する機械の挙動を対象とする．コンパレータメカニズムにおける誤差が external agency に与える影響を調べるために，機械に対する順モデルが十分形成されると考えられる簡易な実験装置を用いる．また，認知レベルの因子の影響を排除するために，タスクの達成が意味を持たない実験装置を扱う．

2.2. 数理モデリング

予測と実際の誤差が大きいということは，起こりにくいことが起こったことを意味すると考える．例えば，ボタンを押すと音がフィードバックされる実験において，ボタン押しから感覚フィードバックまでの時間である応答遅れ時間を操作し，操作主体感を評価する方法がある[7]．応答遅れ時間が 0ms である条件を学習させた後応答遅れ時間が 0ms から 250ms までの条件で操作主体感を評価するグループは，応答遅れ時間が長くなるほど操作主体感は低下する．一方，応答遅れ時間が 250ms である条件を学習させた後応答遅れ時間が 0ms から 250ms までの条件で操作主体感を評価するグループは，応答遅れ時間が短くなるほど操作主体感は低下する．応答遅れ時間が 0ms の条件を学習したグループにとって応答遅れ時間が 250ms の条件は起こりにくい事象である．一方，応答遅れ時間が 250ms の条件を学習したグループにとって応答遅れ時間が 0ms の条件は起こりにくい事象である．そこで，操作主体感の尺度として，ある事象が起きた際それがどれほど起こりにくいかを表現する情報理論における情報量を用いることを提案する．操作主体感の尺度を式(1)のように表現する．

$$SoA \propto -I(s) = -(-\log p(s)) \tag{1}$$

sは感覚フィードバックであり，$I(s) = -\log p(s)$は感覚フィードバックを受け取った際に獲得する情報量である．情報量が小さいほど操作主体感は高いことを表す．

ここで，感覚フィードバックを用いてある外界の状態を推定する問題を考える．人間の認識のモデルとしてベイズモデルがある[8]．ベイズモデルによると，人間は感覚フィードバックをもとに状態を推定する際，事前の予測する状態と感覚フィードバックより得られる尤もらしい状態の重み付け和を認識する．ベイズモデルを式(2)に示す．

$$p(x|s) = \frac{p(s|x)p(x)}{p(s)}, p(s) = \int p(s|x)p(x)dx \tag{2}$$

xは状態変数であり，感覚フィードバックを用いて推定する対象である．$p(s|x)$は尤度関数であり，感覚フィードバックに対応する状態の尤もらしさを表す，状態を変数とする関数である．$p(x)$は事前分布であり，感覚フィードバックを受け取る前に予測する状態変数が従う分布である．$p(x|s)$は事後分布であり，感覚フィードバックを受け取った後に認識する状態変数が従う分布である．式(2)のように，尤度関数と事前分布の積が事後分布に比例する．

ベイズモデルを用いると，感覚フィードバックを受け取った際に獲得する情報量$-\log p(s)$は式(3)のように表される．

$$-\log p(s) = E_{p(x|S)}(-\log p(x,s)) - H\big(p(x|s)\big) \tag{3}$$

第一項は内部エネルギー，第二項はエントロピーの形式で表されることから，この情報量は熱力学のアナロジーより自由エネルギーと呼ばれる[9]．式(1)より，操作主体感の尺度は負の自由エネルギーによって表される．

2.3. モデル予測

ここで，2.2.で提案した操作主体感の数理モデルより，モデル予測を導出する．式(4)のように，尤度関数と事前分布を正規分布で近似する．

$$p(s|x) = N\big(\mu_l, \sigma_l^2\big), \quad p(x) = N\big(\mu_p, \sigma_p^2\big) \tag{4}$$

μ_lは感覚フィードバックに対応する尤もらしい状態変数の期待値，σ_l^2は感覚フィードバックの観測における分散，μ_pは予測する状態変数の期待値，σ_p^2は予測する状態変数の分散である．ここで，$|\mu_l - \mu_p|$を予測誤差，σ_l^2を尤度の分散，σ_p^2を不確実性と呼ぶ．操作主体感の提案尺度は式(5)のように表現される．

$$-(-\log p(s)) = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sigma_l^2 + \sigma_p^2}|\mu_l - \mu_p|^2 + \log 2\pi\big(\sigma_l^2 + \sigma_p^2\big)\right) \tag{5}$$

式(5)をもとに予測誤差，尤度の分散，不確実性を変化させた時の操作主体感の変化を予測する．

予測誤差と尤度の分散が操作主体感に与える影響についてのモデル予測を図 1 に示す．予測誤差が小さい条件において，尤度の分散が小さいほど操作主体感は高く，予測誤差が大きい条件において，尤度の分散が大きいほど操作主体感は高い．

次に，予測誤差と不確実性が操作主体感に与える影響についてのモデル予測を図 2 に示す．予測誤差が小さい条件において，不確実性が小さいほど操作主体感は高く，予測誤差が大きい条件において，不確実性が大きいほど操作主体感は高い．予測誤差と不確実性が操作主体感に与える影響についてのモデル予測は番場，柳澤[10]が行なった研究の結果と一致する．

本研究では，未検証である，予測誤差と尤度の分散が操作主体感に与える影響についてのモデル予測を実験検証する．すなわち，予測誤差が小さい条件において，尤度の分散が小さいほど操作主体感は高く，予測誤差が大きい条件において，尤度の分散が大きいほど操作主体感は高いことを実験検証する．

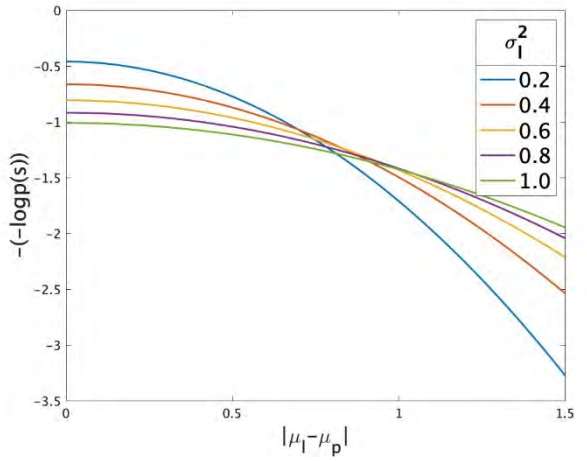


Fig.1 Sense of agency scale as a function of prediction error for different likelihood variance

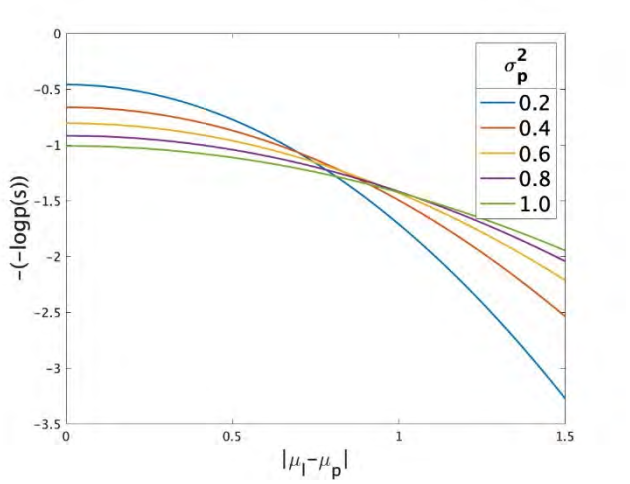


Fig.2　Sense of agency scale as a function of prediction error for different uncertainty

2.4.　モデルパラメータの操作方法

2.4.1.　予測誤差の操作方法（応答遅れ時間）

操作主体感の実験として，ボタン押しから感覚フィードバックまでの時間である応答遅れ時間を操作し，操作主体感を評価する実験がある[7]．この実験において，状態変数xは応答遅れ時間である．予測する状態変数の期待値μ_pは，ある応答遅れ時間を学習させることにより操作可能である．感覚フィードバックに対応する尤もらしい状態変数の期待値μ_lは，評価段階における感覚フィードバックの応答遅れ時間により操作可能である．本実験では，ボタンを押すと感覚がフィードバックされる装置を用いて，応答遅れ時間 0ms の条件を学習させた後，応答遅れ時間 0ms から 500ms の条件において評価させることにより，予測誤差を操作する．

2.4.2.　尤度の分散の操作方法（感覚モダリティ数）

複数モダリティの感覚統合のモデルとして，cue integration model がある[11]. Cue integration model によると，異なるモダリティの感覚が同じ特徴を参照する時，人間は複数モダリティの感覚を統合することにより，感覚による推定の分散を減少させ感覚の信頼度を高める．以上より，感覚フィードバックのモダリティ数を用いて尤度の分散を操作する．

2.4.3.　実験仮説

モデル予測は，予測誤差が小さい条件において，尤度の分散が小さいほど操作主体感は高く，予測誤差が大きい条件において，尤度の分散が大きいほど操作主体感は高いことである．そして，予測誤差を応答遅れ時間を用いて操作し，尤度の分散を，感覚モダリティ数を用いて操作することを考えた．実験仮説は，応答遅れ時間 0ms の条件を学習させた時，応答遅れ時間が小さい条件において，感覚モダリティ数が多いほど操作主体感は高く，応答遅れ時間が大きい条件において，感覚モダリティ数が少ないほど操作主体感は高いことである．

3.　モデル予測の検証実験

3.1.　実験目的

実験目的は，モデル予測である，予測誤差が小さい条件において，尤度の分散が小さいほど操作主体感は高く，予測誤差が大きい条件において，尤度の分散が大きいほど操作主体感は高いことの検証である．

3.2.　実験方法

感覚モダリティ数を用いて尤度の分散を操作し，応答遅れ時間を用いて予測誤差を操作する．操作主体感は，質問紙を用いて主観評価した．質問紙は，「自分のボタン操作によってフィードバックが来たと思いますか.」という質問に対して 0%から 100%で回答するものである．実験装置として，ボタンを押すと応答遅れ時間後に音や振動がフィードバックされるものを用いる．応答遅れ時間は 0，50，100，150，200，250，300，400，500ms の 9 条件，感覚モダリティは音（S），振動（V），音と振動（SV）の 3 条件，合計 27 条件とした．実験は，S ブロック，V ブロック，SV ブロックにより構成される．そして，それぞれのブロックは，学習段階，評価段階により構成される．学習段階で，応答遅れ時間 0ms の条件において 2 分間自由にボタンを押し感覚フィードバックを受け取る．評価段階で，応答遅れ時間 9 条件それぞれにおいて 2 回試行，質問紙回答を 5 セット行う．つまり，1 条件あたり 5 回の操作主体感の評価，合計 27 条件において 135 回の操作主体感の評価を行う．被験者は 18 名であった．感覚モダリティの条件（ブロック）の順番はカウンターバランスが取られ，評価段階における応答遅れ時間の条件の順番はランダム化された．

3.3.　実験結果

応答遅れ時間と感覚モダリティのそれぞれの条件における操作主体感の評価を図 3 に示す．横軸は評価段階における応答遅れ時間，縦軸は操作主体感の主観評価，凡例は感覚モダリティの条件である．条件ごとに操作主体感の評価の平均を計算した．表 1 に感覚モダリティと応答遅れ時間を要因とする二元配置分散分析の結果を示す．応答遅れ時間が大きくなるほど操作主体感の評価は低下している（応答遅れ時間の効果 P<0.001）．次に，応答遅れ時間 0ms の条件において，感覚モダリティが S や V より SV の条件の時の方が操作主体感の評価は高く，応答遅れ時間 500ms の条件において，感覚モダリティが SV より S や V の条件の時の方が操作主体感の評価は高い（感覚モダリティと応答遅れ時間の交互作用 P<0.01）．

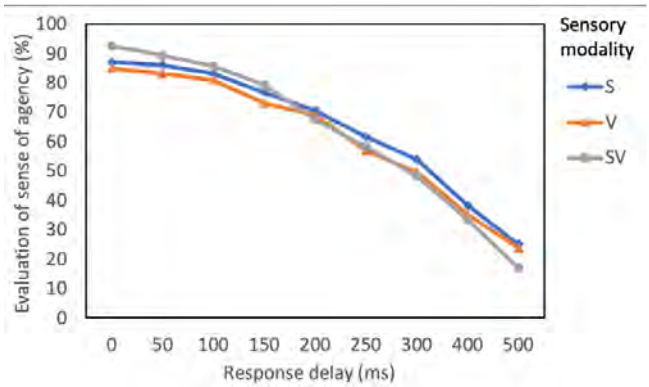


Fig.3　Evaluation of sense of agency for different response delay and sensory modality (S, V and SV indicate sound, vibration and sound-vibration respectively)

Table.1　Effect of sensory modality and response delay and interaction between sensory modality and response delay on evaluation of sense of agency

Factor	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
Sensory modality	3306.7490	2	1653.3745	4.6374	0.0098
Response delay	1187298.6008	8	148412.3251	416.2674	P < 0.001
Sensory modality * Response delay	11508.8066	16	719.3004	2.0175	0.0095
Error	856744.4444	2403	356.5312		
Total	2058858.6008	2429			

4. 考察

応答遅れ時間が大きくなるほど操作主体感の評価は低下した．この結果は，先行研究の結果と一致する(7)(10)．この結果より，学習段階における 2 分間の応答遅れ時間 0ms の条件の学習が十分であったと考える．つまり，予測する応答遅れ時間の期待値μ_pと不確実性σ_p^2は十分固定することができた．そして，評価段階における応答遅れ時間の期待値μ_lを操作することにより，予測誤差$|\mu_l - \mu_p|$を操作することができた．

次に，応答遅れ時間 0ms の条件において，感覚モダリティ数が多い方が操作主体感の評価が高く，応答遅れ時間 500ms の条件において，感覚モダリティ数が少ない方が操作主体感の評価が高いことが分かった．この結果は，提案した数理モデルから導出されるモデル予測（図 1）と一致する．すなわち，この結果は，提案した操作主体感の数理モデルを支持する．

また，感覚モダリティが S と V の条件と応答遅れ時間の条件の交互作用は確認されなかった（図 3）．この結果から，音と振動は，応答遅れ時間の推定において感覚の信頼度（尤度の分散）は同程度であると考えられる．

5. 結　　言

本研究では，情報論的自由エネルギーを用いた操作主体感の数理モデルを提案した．そして，数理モデルより，予測誤差と尤度の分散が操作主体感に与える影響についてのモデル予測を導出した．予測誤差を応答遅れ時間を用いて操作し，尤度の分散を感覚モダリティ数を用いて操作し，操作主体感を主観評価することにより，モデル予測を検証した．実験結果はモデル予測と一致した．すなわち，応答遅れ時間が小さい条件において，感覚モダリティ数が多いほど操作主体感は高く，応答遅れ時間が大きい条件において，感覚モダリティ数が少ないほど操作主体感は高いことが分かった．

本研究の設計応用として，操作主体感を高めるためには，応答遅れ時間が小さい機械においては感覚モダリティ数を多くする，応答遅れ時間が大きい機械においては感覚モダリティ数を少なくするという設計指針が得られる．

本研究では，予測誤差の操作方法として応答遅れ時間，尤度の分散の操作方法として cue integration model をもとに感覚モダリティ数を用いた．今後の課題は，予測誤差の操作方法として空間的な誤差や質的な誤差を用いること，尤度の分散の操作方法として cue integration model に依らない感覚フィードバックに対するノイズなどを用いることによる，提案した数理モデルの一般性の検証である．また，本研究は，ボタン操作という離散操作を対象としたものであったが，ハンドル操作などの連続操作も対象とした数理モデルへの発展が必要である．

文　　献

(1) Haggard, P.: Sense of agency in the human brain, Nature Reviews Neuroscience, Vol. 18, No. 4, 196, 2017.

(2) Karsh, N. and Eitam, B.: I control therefore I do: judgements of agency influence action selection, Cognition, Vol. 138, 122-131, 2015.

(3) Moretto, G., Walsh, E. and Haggard, P.: Experience of agency and sense of responsibility, Consciousness and Cognition, Vol. 20, No. 4, 1847-1854, 2011.

(4) Frith, C. D., Blakemore, S. J. and Wolpert, D. M.: Abnormalities in the awareness and control of action, Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, Vol. 355, No. 1404, 1771-1788, 2000.

(5) Synofzik, M., Vosgerau, G. and Newen, A.: Beyond the comparator model: a multifactorial two-step account of agency. Consciousness and Cognition, Vol. 17, No. 1, 219-239, 2008.

(6) Wen, W.: Does delay in feedback diminish sense of agency? A review. Consciousness and Cognition, Vol. 73, 102759, 2018.

(7) Haering, C. and Kiesel, A.: Was it me when it happened too early? Experience of delayed effects shapes sense of agency, Cognition, Vol. 136, 38-42, 2015.

(8) Yanagisawa, H., Kawamata, O. and Ueda, K.: Modeling emotions associated with novelty at variable uncertainty levels: a bayesian approach, Frontiers in Computational Neuroscience, Vol. 13, 2, 2019.

(9) Friston, K.: The free-energy principle: A unified brain theory? Nature Reviews Neuroscience, Vol. 11, No. 2, 127-138, 2010.

(10) 番場雅典，柳澤秀吉：情報利得を用いた操作主体感の数理モデリング（応答遅れ時間を用いた検証），日本機械学会論文集，Vol. 87, No. 893, 20-00035, 2021.

(11) Moore, J. W. and Fletcher, P. C.: Sense of agency in health and disease: a review of cue integration approaches, Consciousness and Cognition, Vol. 21, No. 1, 59-68, 2012.

統合学術試論

－持続可能システムデザイン学を例として－

Discussion on Integrated Discipline

In the Case of Sustainable System Design

○小林英樹（大阪大学）*1

*1 Hideki Kobayashi, Osaka University,
2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, kobayashi@mech.eng.osaka-u.ac.jp

キーワード:統合，持続可能性，システムデザイン，人工物工学

1. はじめに

現代社会は様々な問題を抱えており，その持続可能性が問題視されている．気候変動，貧困や格差などの地球的課題に対して，国連の持続可能な開発目標（SDGs : Sustainable Development Goals）が設定され，世界各国が目標達成に向けて取り組んでいる．持続可能性問題のように複雑で見通しの悪い問題に対しては，関連学術を目的に応じ適切に統合して解決に用いることが要請されている．持続可能性問題を包括的に理解しようとするサステナビリティ学（Sustainability science）の出現はその要請に対する解答の一つであろう [1]．本稿では持続可能システムデザイン学 [2] を題材として，複雑問題の解決を目的とした学術統合の在り方を論じる．かつて吉川は領域の存在を否定した人工物工学を提唱したが [3]，持続可能システムデザイン学の試みは人工物工学における実験的研究とみなすことができる．

以下，2 章で学術統合に関するこれまでの議論を概観した後，持続可能システムデザイン学の関連学術の状況を整理する．3 章で，持続可能システムデザイン学の基本思想，枠組，アプローチを示す．4 章で，持続可能システムデザイン学が定めた視野における学術統合の課題を考察し，学術統合を導く人材の育成に関して議論する．5 章で本稿における議論をまとめる．

2. 関連研究

2.1. 学術の統合に関する議論

人工物工学は領域を否定した点において学術の統合を正面に捉えた試みである [3]．人工物工学の初期にはアブダクションを中心教義として人工物に関する知識適用過程の研究を試みたが，その一般的な性格ゆえに人工物工学それ自体が具体的な統合学術となることはなかった．一方，吉川は「領域化が完成した複数の領域を，各領域で得られた知識を充分に生かしながら統合する実証的な研究」を人工物工学における実験的研究と呼び，環境学とでも呼ぶべき学術分野が成立する予感を示している [3]．

現在，複雑化する地球的課題の理解と解決を行うために，統合的な研究の必要性が急速に増している．図 1 に研究の統合度合いと参加者の種類による研究アプローチ分類を示す [4]．ここでは，複数領域の研究者が集まって問題に取り組むが互いの専門には踏み込まないマルチディスシプリナリ・アプローチは非統合型アプローチに分類される．市民など非研究者を加えた体制による（おそらく研究ではない）参加型アプローチも同類とみなされている．一方，統合型アプローチとして学際的アプローチとトランスディスシプリナリ・アプローチが示されている．後者の起源は 1970 年頃に遡るが [5]，持続可能性の分野で注目されている．ここで本稿の主題に立ち戻るならば，トランスディスシプリナリ・アプローチによる研究成果を鑑みつつも，基本的にはアカデミアが学際的アプローチによって学術統合を担う構図が示唆される．

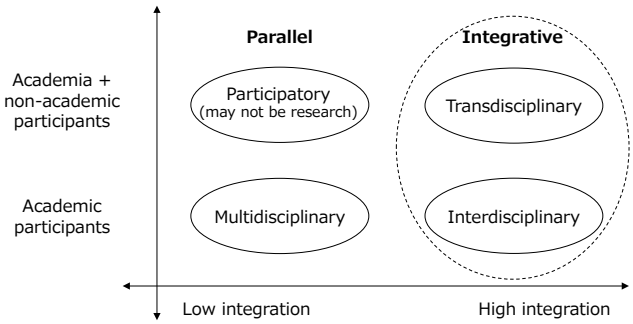


Fig.1 Degrees of integration and stakeholder involvement in integrative and non-integrative approaches [4]

2.2. 関連学術の状況

持続可能システムデザイン学の基盤学術である環境学，設計工学，ライフサイクル工学の背景と状況を整理する [6]．これらの学術は必ずしも独立ではないことから，著者の主観を交えた概観を示すことにする．

環境学の母体は化学を基礎とする環境科学である．環境科学は 1960 年代に顕在化した環境汚染に対する科学的アプローチをその起源とする．工業製品の大量生産の進展に伴い，有害廃棄物などによる環境汚染の問題の数は増して

いった．1990 年代に入るとサービスデザイン，ソーシャルデザイン，参加型デザインなどと共にエコデザイン（環境配慮設計）という領域が形成され，当初は製品のリサイクルや廃棄処理に焦点があてられた．その後，環境科学の領域分野としてライフサイクルアセスメントの研究と ISO 国際規格化が進み，エコデザインの基礎の一部となった．

ちょうど同じ頃，ライフサイクル工学が提唱された．「製品ライフサイクルを通じた利益を増大しつつ環境負荷を低減すること」を目指して，ライフサイクルプランニングやライフサイクルシミュレーションのような領域特有テーマの開拓と共に，メンテナンス工学など関連領域との統合が試みられた．エコデザインへの関心がやや低下したと感じられるのに対して，ライフサイクル工学への関心はむしろ増しているように感じる．その理由は環境と経済という両側面を統合した目標を掲げていることにあると思われる．

2000 年代に入ると，自然と人間社会の相互作用を理解しようとするサステナビリティ学が文理混成チームによって提唱され [1]，サステナブルデザインも本格的に立ち上がっていった．実はその頃，環境科学も人文科学の視点を取り入れて，まさに環境学への展開が模索されたが，人間社会と地球環境の両者を統合的に捉えようとする点において，サステナビリティ学と環境学の方向性は本質的に同じと言える．

工業製品の大量生産時代から SDGs 設定に至る持続可能性に関する世界観には図 2 に示すような変遷がある．図 2a) は経済第一主義の世界観を表し，企業活動において環境問題や社会問題を今ほど真剣に考えていなかった．図 2b)は 1990 年代に出てきたトリプルボトムラインという世界観である．環境問題や社会問題を経済問題と対等に扱う姿勢が当時斬新であったが，経済とのトレードオフが生じて環境問題の根本的な解決は難しいことが明らかになってきた．そこで登場したのが図 2c)に示す SDGs の世界観，すなわちネスト構造である．この図は地球の有限性を明示しており，人類の生存基盤である地球環境の制約下でしか社会経済活動はできないことを表している．

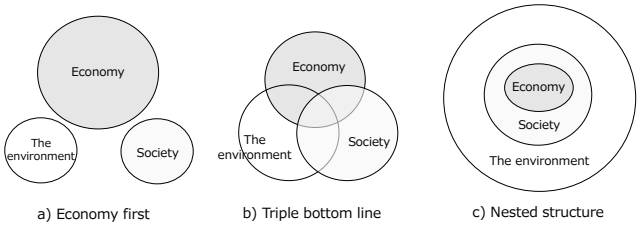


Fig. 2 Paradigm shift on sustainability [6]

持続可能性問題の取り扱いにくさは，世界観の変化に伴うリフレーミングの影響だけでなく，指標レベルの複雑性，すなわちネクサスにも起因している．例えば，松井らは SDGs の 17 目標，169 ターゲット，244 指標間の複雑な依存関係，トレードオフ関係を分析している [7]．ネクサスの問題は SDGs を単に目標の集積と見なすのではなく，ネットワークシステム問題として理解すべきことを示唆している．実際には，このような複雑な関係性はプロセスレベルでも存在しており，例えば著者らは超システム（SoS: System of Systems）の概念に基づくライフサイクルプロセスモデリングの方法を提案している [8]．

3. 持続可能システムデザイン学の構想

持続可能システムデザイン学の基本思想と枠組を示す．まず，前提とする持続可能性全般に関する方向性は以下の通りである．

環境的な持続可能性のために

- エネルギー：再生可能エネルギー使用の最大化と化石燃料燃焼の最小化．
- 資源：非再生可能資源採掘の適量化と資源循環の最大化．
- 生態系：自然保護区の拡大と維持

社会的な持続可能性のために

- 人間社会：すべての人々の基本的なニーズを満たす

持続可能システムデザイン学は上記の方向性を頼りとした「持続可能性の目標設定」と「目標に向かうプロセス」に関する統合学術基盤となることを目指す．持続可能性の目標は，依拠する立場によって異なるものの，様々に検討されている．過去にミレニアム開発目標（MDGs: Millennium Development Goals）から SDGs へと地球的目標が更新されたように，今後も目標の更新とそれに伴う問題のリフレーミングは繰り返されるであろう．

一方，地球的目標が更新された際にうまくそれを人工物システムに反映する必要があるが，その方法論は確立していない．持続可能システムデザイン学では，目標に追従するプロセスを重視する．このプロセスは主体（国，地方自治体，産業，企業）が置かれている状況によっても異なる．環境制約内でニーズ充足を達成するイメージを図 3 に示す．

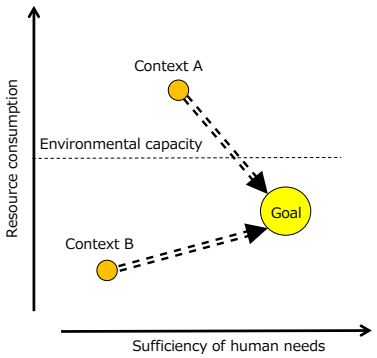


Fig. 3 Goal of the sustainability and processes toward the goal [2]

図 4 に持続可能システムデザイン学の枠組を示す．これは，持続可能な人工物システムという視座から視点を定め，それらを包含する視野を設定し，その中ですべきことを示している．図は，1) 人工物のライフサイクル，2) 人工物を創り出する産業，3) 人工物の消費，を問題認識・理解，デザイン，マネジメントの観点から個別，および，全体をシステム化する研究の枠組を表している．なお，ここで述べた人工物という語は製品あるいはプロダクトと置き換えてもよい．本枠組から展開される方法論の具体は必ずしも唯一ではないが，これまでの経験と実績から有望な方法論を展開している．

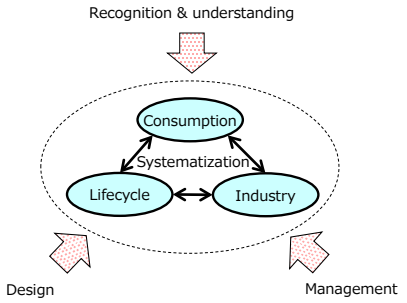


Fig. 4 Research framework of sustainable system design

次に，持続可能システムデザイン学における研究の特徴について触れる．第一は，それがシステムズ・アプローチ（Systems approach）に基づくことである．このアプローチは，さらにシステマティック・アプローチ（Systematic approach）とシステミック・アプローチ（Systemic approach）に分けることができる．前者は対象システムを構成する要素を把握した後，システム全体を再構成して理解するアプローチである．システム思考（System thinking）はシステマティック・アプローチの基礎となる考え方である．ライフサイクル工学でコアな思考法であるライフサイクル思考（Life cycle thinking）も，製品の使用段階だけを考えるのでなく，考察対象を時間軸に沿って拡張したという意味で，システム思考の一種である．後者のシステミック・アプローチは，対象を要素還元的に分解して再構成することが困難な場合に適用される．狭義のシステムは何らかの目的を有しているが，現実世界には必ずしも目的が明確でないまま拡大していく，例えば社会技術システムのような複雑システムが存在する．こうしたシステムは超システム（SoS: System of Systems）の様相を呈し，従来の系統的なアプローチとは別の全体的なアプローチも必要とされる．両者は対象，場面，状況に応じて使い分けることが求められる．

第二の特徴は，研究が学際的アプローチによることであるが，詳細は次節で述べる．図 5 に関連する学術分野を示す．柱として設計工学，ライフサイクル工学，環境学があり，それらの中で特に関連のある学術領域を示してある．上記分野はそれぞれが学際的であるという重層構造も特徴的である．生産工学，システムズエンジニアリング，社会学，経済学，人類学，その他の知見も必要に応じて用いられて，全体を構成するイメージである．

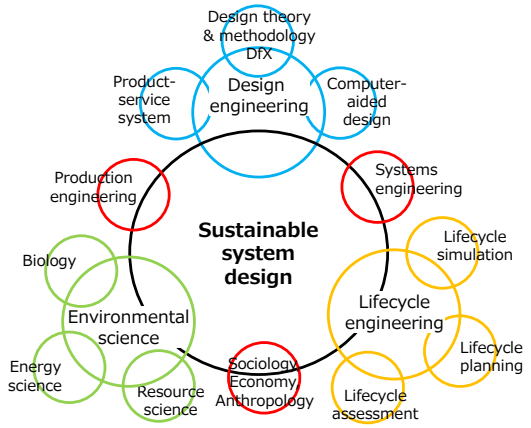


Fig. 5 Base disciplines for sustainable system design

4. 議　論

4.1. 学術統合の課題

学際的研究においては，参加研究者の専門領域によって異なる研究枠組を考慮する必要がある．例えば，環境研究は生態系のように状態が変化する自然環境システムを対象としており，そのモデル化，分析，マネジメントに DPSIR（Drivers, Pressures, State, Impact, Responses）枠組が広く適用されている [9]．一般に環境問題の解決には人間社会のそれと比べて長い時間を要する．例えば，大気中の二酸化炭素は分解されずに数千年間も残留するため早期の対策が求められている．これに対して設計研究の枠組は，人間の思考プロセスを含む対象の記述と分析，それらに基づく設計支援から構成される [10]．現実世界の現象を忠実に記述し，それを人間がどのように認識するかという情報モデル，そして効率化，高度化を実現するための計算機モデルへと展開する．そして，それらを分析的なモデルへと展開した後，それらを用いて実現したい現実を創り上げていく．藤田は現代において design 概念は社会と知識生産を統合するように拡張されるべきとした上で，上記設計研究の枠組の重要性を改めて指摘している [11]．ここで設計研究のサイクルは DPSIR のそれよりもかなり短い．学際的研究チームにおいて，こうした感覚の擦り合わせは様々な局面で重要と考える．

学術の統合を導く動機、あるいは駆動力にも注意を要する．Max-Neef はトランスディスシプリナリ研究の構造を 4 層で表現した [12]．第 2 層のプランニング，デザイン，政治，法律は，第 3 層の建築，エンジニアリング，農業，林業，産業，商業を通じて第 4 層の数学，物理，化学，地理学，土壌学，生態学，生理学，社会学，遺伝学，経済学の（有形/無形に依らず）対象に働きかけるのであるが，第 2 層の方向を導く第 1 層には価値観，倫理，哲学が位置付けられている．また，単に異なる人々が集まっても統合的なシンセシスを達成することはできず，それを達成するには高等教育が必要であると指摘している．同様に，Carew と Wickson もトランスディスシプリナリ研究が成果を生み出すプロセスは，研究者の責任感，プラグマティズム，価値観と信念によって導かれるとした [13]．著者は，これまでに挙げた様々な言葉，すなわち立場，方向性，責任感，価値観，信念，倫理性，哲学などで表される学術統合を導くものを「美意識」と呼ぶことにする．美意識は科学的な分析対象ではなく，むしろ個人の経験を通じて初めて獲得される類のものである．吉川も観察事実から基本法則を推論するアブダクションが「美的感覚」とでも呼ぶ非科学的根拠によって導かれていることに触れているのだが [3]，人工物工学ではそれも研究対象に含めたように見える．

ここで，比較すべき概念として「ビジョン」がある．ビジョンの語源はラテン語の *videre* であり，本来は見ること，気付くこと，集中することを意味する．これまでも様々な持続可能社会のビジョンが提案されてきた．地球的課題の解決に力を結集するためにビジョンは有効と思われるが，その反面，ビジョンの数だけ問題がリフレームされる可能性がある．このことは学術分野や組織単体としてはあまり問題にならないが，社会全体としては大きな問題となる．例えば，エネルギーや交通などのハードインフラを異なる

社会ビジョンで共有することは難しいからである．このため，実際には社会全体でビジョンの合意に達しないか，ビジョンの妥協が求められる．一方，美意識はビジョンよりも抽象的な概念であり，妥協される必要はない．本稿では学術統合を導く美意識の重要性を指摘するにとどめ，詳しい議論は別の機会に譲りたい．

4.2. 人材育成と高等教育

持続可能性問題に対して統合型アプローチを展開していくには，手法やツールだけでなく，それを担う人材の育成も大変重要である．実際，アカデミアに対する期待は，統合学術そのものの有用性だけでなく，むしろ大学を拠点とした学術統合に関する高等教育やそうした能力を有した人材育成にあると思われる．かつての日本企業は異業種交流を含む独自の高度な社内教育プログラムを用意していたが，もはや多くの企業においてそうした余裕はないからである．

一方，アカデミアで統合型アプローチの教育を担う研究者のキャリア形成については問題も指摘されている．統合型アプローチの必要性はある程度理解されているものの，それに適した人材がアカデミアで昇進していくことが困難という指摘である．大きな理由の一つは社会状況が変化しているにも関わらず，昇進評価は論文数と助成金獲得金額等だけで為されていることにある．例えば持続可能性の研究分野では，旧来の評価指標に加えて公表できない重要な内部報告，アカデミックアライアンス実績も考慮すべきとされる [(14)].

産業界ではこうしたキャリア形成の問題はまだ目立っていないように見受けられる．産業界が直面している現実の複雑問題は，もはや単独あるいは幾つかの領域学術で対応できる範囲を超えており，したがって，統合的能力を有する人材は厚遇されている，もしくは少なくとも不利ではないからである．このことは産業組織が継続的な利益創出を目的とした流動的組織であることに関係がある．一方で特定の優秀人材に強く依存する構造は，今後人材流出や後継者問題がこれまで以上に深刻化するリスクを増長すると予想される．したがって，アカデミアが中心となり大学外で生産された知識も含めて学術の統合を推し進め，生産された統合知の形式化と維持伝達を担うことが要請され，ここで大学における学術統合を担う人材の育成と高等教育の問題に再び立ち返ることになる．著者は統合学術である持続可能システムデザイン学の講義科目を，受講生が工学的基礎を身に付けていることを条件として大阪大学大学院の全研究科に開放している．こうした試みの意義と課題についても別の機会に議論したい．

5. おわりに

本稿では，持続可能システムデザイン学における学術統合の試みは人工物工学における実験的研究とみなすことができること，そしてその基本思想，枠組，アプローチを示した．また，持続可能システムデザイン学が定めた視野における学術統合の課題を考察し，形態的な美とは別次元の美意識，および人材育成に関する問題を提起した．

統合的アプローチに基づく研究は持続可能性問題のみならず様々な複雑問題で実践的に試行錯誤されているが，学術統合を陽に意識した試みは多くはない．本稿で示した論点を含め，合目的的な統合学術をどのように形成するのかについて関心が高まることを期待する．

文　献

(1) Kates, R., et al.: Sustainability Science, Science, 292 (2001), 641-642.

(2) 小林英樹：持続可能社会に相応しい人工物システムのデザインとマネジメント,精密工学会誌,85-6 (2019), 512-513.

(3) 吉川弘之：人工物工学の提唱, ILLUMU, 4-1 (1992), 41-56.

(4) Tress G., et al: Clarifying Integrative Research Concepts in Landscape Ecology, Landscape Ecology, 20 (2005) 479-493.

(5) Jantsch, E.: Inter- and Transdisciplinary University: A Systems Approach to Education and Innovation, Policy Science, 1 (1970), 403-428.

(6) 小林英樹：次世代エコデザインの論点,設計工学, 56-4 (2021), 180-186.

(7) 松井孝典,他：ネクサス・アプローチに基づいた SDGs の目標・ターゲット・指標間の構造解析,土木学会論文集 G（環境）, 75-6 (2019), II-39-47.

(8) Kobayashi, H., et al.: A Simulation Methodology for a System of Product Life Cycle Systems, Advanced Engineering Informatics, 36 (2018), 101-111.

(9) Smeets, E. and Weterings, R.: Environmental Indicators: Typology and Overview, Technical Report 25 (1999), European Environment Agency.

(10) Duffy, A. and Andreasen, M.: Enhancing the Evolution of Design Science, Proceedings of the 10th ICED, (1995), 29-35.

(11) 藤田喜久雄：知識生産のモードと design による統合についての試論, Design シンポジウム講演論文集, (2019), 55-59.

(12) Max-Neef, M.: Foundations of Transdisciplinarity, Ecological Economics, 53 (2005), 5-16.

(13) Carew A. and Wickson, F.: The TD Wheel: A Heuristic to Shape, Support and Evaluate Transdisciplinary Research, Futures, 42 (2010), 1146-1155.

(14) Hernandez-Aguilera, J., et al.: Supporting Interdisciplinary Careers for Sustainability, Nature Sustainability, 4 (2021), 374-375.

モビリティ車両の市民参加型デザイン

Citizen Participatory Design of Mobility Vehicles

○山口純[*1]（横浜国立大学）

[*1] Jun YAMAGUCHI, Yokohama National University, 79-1 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama, Kanagawa, Japan, 240-8501, hylozoicdesign@gmail.com

キーワード:Participatory Design, Mobility, Second-Order Cybernetics

1. 研究の目的

本論の目的は、市民参加によってモビリティ車両をデザインする実践を通して、参加型デザインのプロセスを捉える理論的枠組みを検討することである。都市デザインにおいては､倫理的な公正さや､社会的持続可能性の観点から、市民参加と少数者の包摂によるボトムアップのプロセスが必須のものとみなされるようになっている。モビリティ車両のデザインも都市デザインの一部としてとらえることができるが、現状では市民参加が進んではおらず、企業の中で閉じて行われることが多い。車両デザインに市民が参加することの意義は、単に利用者の既存のニーズへのデザインの一致だけではなく､対話を通した将来のニーズの構想、そして地域のソーシャルキャピタルの醸成といった多岐にわたる。そこで、車両デザインにおける市民参加を可能とするハードとソフト両面のデザインが求められている。つまり参加型デザインに適した車両のあり方、および市民参加の仕組みである。

参加型デザインのプロセスは、自律性を持った人間や組織が関わるのであるから、インプットにたいして因果的にアウトプットを返すシステムとして捉えることはできない。自律性をもったシステムに関する理論としてセカンドオーダー・サイバネティクスやオートポイエーシスの理論があり、著者はこれらを用いたデザインプロセスのモデルを検討してきた[(1)]。本論ではモビリティ車両の参加型デザインの事例をセカンドオーダー・サイバネティクスやオートポイエーシスの理論を用いて分析する。

横浜市金沢区の郊外住宅地において、当地域を開発した交通事業者が実施した小量乗合輸送サービスの実証実験では、ゴルフ場で用いられるような電動カートの公道走行用仕様のものが乗り合い車両として使用された。

筆者は 2020 年度に建築デザインが専門の大学院生らとともに、市民や交通事業者関係者が参加するワークショップを通してこの車両のデザインを行った。デザインされた車両は輸送サービスの実証実験に用いられた。本稿では、１）この参加型デザインのプロセスについて報告するとともに、２）これまでの課題や今後予想される課題に対処するための視点を得ることを目指してこの参加型デザインのプロセスを分析する。研究プロジェクトの中で著者らは車両デザインを担当しており、乗り合い輸送サービス自体については、議論は本論の中心的な対象としない。

2. 研究のコンテクスト

モビリティ車両の市民参加型デザインは、単一の課題に対する解決を提供するものではない。複数のコンテクストのなかで複眼的に捉えるべきものである。そのなかでも特に本論では､１)参加型デザインのコンテクストを重視し、参加のプロセスについての検討を中心的に行う。他のコンテクストとして２）モビリティデザイン（特にそれを構成する要素としての車両のデザイン)、３）郊外住宅地（の持続可能性、あるいは再生)、４）新型コロナウイルス感染症などがある。

2.1. 参加型デザイン

デザインの問題の定式化は常に価値観に依存しており、人々の価値観は多様であるため､設計の実践は常に政治的、倫理的なものである[(2)]。したがって公共性のある対象のデザインにおいては一部の専門家やエリートの判断に任せるのではなく、ひろく多様な価値観をもった市民の参加を得ることが必須である。

ボトムアップの都市デザインのアプローチとしては、公共建築のデザインにおける市民参加、市民主体のまちづくりなど、様々なアプローチが国内外でなされている。しかしながら都市の重要な要素であるモビリティを構成する車両そのものについては、参加型デザインの事例はまれである。

そこで、モビリティにおける参加型デザインのための方法論が求められる。モビリティサービスを含めて、産業的に物事をデザインし生み出すプロセス一般に関して、これまでサービスを提供する業者と、サービスを享受する利用者という区分が強固であった。この区分をベースとして業者と利用者の役割や規範が明示的ないし暗黙的に規定されてきた。参加型デザインはこのサービスの提供者と利用者

の区分に基づく仕事や消費に付加されるというより、この区分を更新するものであると考えている。つまり、業者は単にサービスを提供する側ではないし、市民は単にサービスを享受する側ではない。それにともなって仕事や消費の規範もまた再構成されるだろう。たとえば地域住民によって運行されるモビリティサービスにおいて、今日業者によって運行されるものと同等の時間の正確さは求められないかもしれないが、その代わり融通が効くものが求められるかもしれない。あるいは、運行において業者が全てお膳立てするのではなく、何かしら利用者が手伝うことが求められるかもしれない。地域住民によってデザインされる車両については、今日専門家によってデザインされるものと同等の精密さは求められないかもしれないが、その代わりに利用に沿って変化する柔軟性が求められるかもしれない。したがって本質的なところで問われているのは、物事をデザインし生み出すプロセスじたいのリデザインであり、そうしたプロセスに関わる組織やコミュニケーションのリデザインである。

2.2. モビリティ車両

本論の扱う車両を用いる小量乗合輸送サービスは都市郊外住宅地における居住者の外出支援を目的としており、自家用車に依存しすぎない生活の維持、鉄道沿線としての総合的価値の向上をゴールとしている。これまで実証実験を行う交通事業者の関連会社が運転を担当しているが、将来的には地域住民が運行に参加することも検討している。この実証実験は 2018 年度から行っているが、2020 年度にはじめて市民参加型の車両デザインを行った。

都市の持続可能性にとってモビリティは決定的な役割を担っている。環境への影響だけでなく、経済的機会や社会的交流の機会の創出、公平性の実現といった観点からも、自家用車中心から歩行者と自転車を中心に置いた都市のあり方への転換がもとめられている。そのなかで、特に郊外住宅地においては、これまでカバーできていなかった移動ニーズに対応するために、バスとタクシーの中間にある、小型小量乗り合い輸送サービスが注目される。

対象の小量乗合輸送サービスにおいては複数の種類の車両が利用されているが、このうち本研究はで 7 人乗り電動カートを使用し、これをベースとした市民参加型デザインを行う。将来の乗り合い車両のためのプロトタイピングとして位置づけられる。電動カート車両は通常の自動車車両に比べて架装が容易であるという利点がある。

小量乗合輸送サービスのための車両デザインに求められる要件には、乗合車両としての認知のしやすさ、乗り降りのしやすさ、運転のしやすさといった基本的なものの他、地域ごとのニーズがあると考えられる。そのほかに、市民参加型デザインのために求められる要件があるだろう。地域ごとに地域住民の参加を通して固有のニーズに沿ってカスタマイズされた固有のデザインの車両が生み出される将来を想定している。そこで住民参加でデザインしカスタマイズしやすい車両のデザインの原理が問われる。

2.3. 郊外住宅地

対象の小量乗合輸送サービスの本質的な目的とは、郊外住宅地の持続可能性を担保することである。したがって、本研究にあたっては、郊外住宅地のリデザインという観点も持ち合わせる必要がある。

郊外住宅地は都市圏の人口増によって要請された居住地の形態である。人口減少の時代においては、郊外住宅地の大規模な選択と集中が進むことは避けらない。角野によれば、人口減に伴う都市の縮小は、「新しいまちなか性」をもったノードへと集約される形で進む。新しいまちなか性とは「多様で選択性のある都市機能への近接性と相互補完的なコミュニティ」とされる [(3)]。すなわち職住遊の近接と、居住者の自主管理や相互扶助である。

本論の対象となる住宅地の場合も、その持続可能性のためには、地域のソーシャルキャピタルを高めながら、ローカルビジネスを創出し、職住遊の近接を実現することが必要であるように思われる。交通にかかわる現在の課題だけではなく、この街のビジョンのなかで、将来的なモビリティや車両のあり方、使われ方、ニーズを構想していくことが求められる。

2.4. 新型コロナウイルス感染症

新型コロナウイルス感染症の流行によって短期的には車両デザインや参加プロセスにおける感染症対策が求められる。この危機を長期的な視点から見れば、移動のあり方を再構想するきっかけになるだろう。これは専門家が一方的に答えを出すことのできる問題ではなく、市民との対話のなかで探っていくべき問いである。

3. 参加型デザインのプロセス

2020 年 10 月からと 2021 年 1 月からの二回の輸送サービスの実証実験に合わせて、2020 年の 9 月と 11 月に参加型デザインワークショップを開催し、実証実験終了後の 2021 年 3 月には振り返りワークショップを開催した。プロセスを第一期と第二期に分ける。

第一期
2021 年 9 月：第 1 回ワークショップ
2021 年 9 月～10 月：第一期の架装のデザインの具体化と制作
2021 年 10 月～12 月：輸送サービス実証実験
第二期
2021 年 11 月：第 2 回ワークショップ
2021 年 12 月～2021 年 1 月：第二期の架装のデザインの具体化と制作
2021 年 1 月～3 月：輸送サービス実証実験
2021 年 3 月：第 3 回ワークショップ

交通事業者が所有する車両の保管場所横の建物を借り受けて「オープンラボ」として整備し、架装の作業場所、ワークショップ会場として利用した。この場所は実証実験時の運転手の休憩場所ともなるため、運転手からのフィードバックを得るために利用した。また SNS によってデザインのプロセスを公開することで住民とのコミュニケーションを促した。

3.1. 第 1 回ワークショップ

・概要

目的：実証実験までの時間的制約から、大きな加工は難しかったため、既存エンクロージャーへのカラーリングを中心としたデザインを行う。そこで、街の景観に映えるカラーリングとすることをテーマとした。

日時：2021 年 9 月

方法：ZOOM と MIRO（オンラインホワイトボード）

参加者：14 人（市民 4 人＋交通事業者社員 3 人＋大学院生 6 人＋研究員 1 人（筆者））

・事前準備

事前に SNS やチラシをとおして、街の景観の写真を公募したが一件の投稿しか集まらなかった。参加する学生たちで写真を撮るほか、交通事業者社員から提供してもらい、ワークショップで利用した。

ワークショップにおける話し合いのたたき台とするために、カラーリング案を事前に複数作成し、SNS で事前にも共有した（図１）。



Fig.1 Design Proposals

・ワークショップで出た意見

街の景観の魅力
- 緑が多い
- 坂が多いく見晴らしが良い
- 海が見える
- 物語がうまれそう
- この街ということでイメージされるものが住民によって、住んでいる場所によって異なる

カラーリングデザインの目的
- 乗合輸送サービスの存在の認知
- 乗れるものだということの認知
- 乗り方、路線（どこを走るのか）などの情報提供
- コミュニケーションを促す（運転手、利用者、交通事業者、横浜国立大学の間の）
- 心的な乗りやすさ（開放性、わかりやすさ、安心感）
- 景観をカラーリングに取り込むことで場所への愛着に訴える

デザインの観点
- 取り扱い説明書　乗り方、路線図を示す
- カバーを下げた状態、上げた状態
- インテリア（エンクロージャー内部、フロア）やホイールのカラーリング
- 障害者が利用しやすいこと
- 車両の左右で異なっていて良い
- 時速２０キロという遅さが可能にするデザイン
- ロゴを入れる
- コロナ対策

このワークショップでは、地域の景観に合うカラーリングデザインを考える目論見だったが、そもそもなんのためのデザインなのかといった議論となった。

そこでデザインの目的を再考した。街の景観に映えるということ以外に、次を考慮することにした。

・デザインの目的
- この小量乗合輸送サービスを知ってもらうこと
- 乗れるということ、乗り方、路線を知ってもらうこと
- 乗ってみたくなること
- 市民の参加を促すこと
- コミュニケーションを促すこと

3.2.　第１回実証実験のためのデザインの具体化

第一回ワークショップの結果を踏まえて、2020 年 10 月からの実証実験で使用するための車両のデザインを具体化した。

・デザインのテーマ
- 街と海の景観に合わせて 2 台を異なる色にする
- 乗り方、路線などの情報提供を塗装で表示
- 入ることをいざなう「暖簾」
- チラシ等を入れられる「ポケット」の設置

ただしポケットに関しては、交通事業者から安全性上の懸念が上がり、協議の上、設置を見送った。暖簾にかんしても、乗り降りの支障になりうるという指摘があり、設置はするが、もし問題生じれば撤去することとした。



Fig.2 Designed Vehicle in Usage

3.3.　第２回ワークショップ

・概要

目的：前回の実証実験での利用を踏まえてエンクロージャーを一からデザインする

方法：オンライン（ZOOM と MIRO（オンラインホワイトボード））と対面

参加者：21 人

オンライン 9 人（市民 4 人＋大学院生 5 人）

対面 12 人（市民 5 人＋交通事業者社員 3 人＋大学院生 3 人＋研究員 1 人（筆者））

・事前準備

筆者らは研究プロジェクトの中で運行システムではなく車両デザインを担当する立場にあったが、一回目のワークショップにおいては、参加者からの意見は運行システムに関してのものが多く、車両デザインに関しての話に向かいにくいところもあった。またアイデアを出し合うときに、今回行うことなのか、将来的に行いたいことなのか、といったことが混同しやすいということがあった。

そこでトピックを時間軸と領域で分けた表を作成し、これをベースに議論することにした。これまでのアイデアやデザインの検討の過程、大学や交通事業者のビジョンなどは事前に書き込んでおいた。

・ワークショップで出た意見
- 乗り降りしやすくする→開け閉めしやすくする
- たのしい感じで高齢者だけでなく子供にも魅力的なものに
- 停車時の利用→本棚、暖簾、屋台的なもの
- 防災・防犯→停車時に電気を使える（お湯など）
- 住民主体→修理しやすい簡単なつくり
- コミュニケーションを促す→掲示板
- 沿線で支えるモビリティ→商店、ケア施設で停車し利用、ルート上にベンチ
- 輸送サービスのどの路線なのか分かりやすくする
- 左右でデザインが異なってもよい

・結果のまとめ

現行車両の課題

- エンクロージャー架装時に乗り降りのためにファスナーの上げ下げで腰を下げる必要があり、高齢者にとっては乗り降りがしにくい
- 暖房がなく通気性が良いため寒い
- デザインのビジョン
- 高齢者だけではなく子供にとって魅力的
- 沿線で支えるモビリティ
- 停車時に屋台的に使える

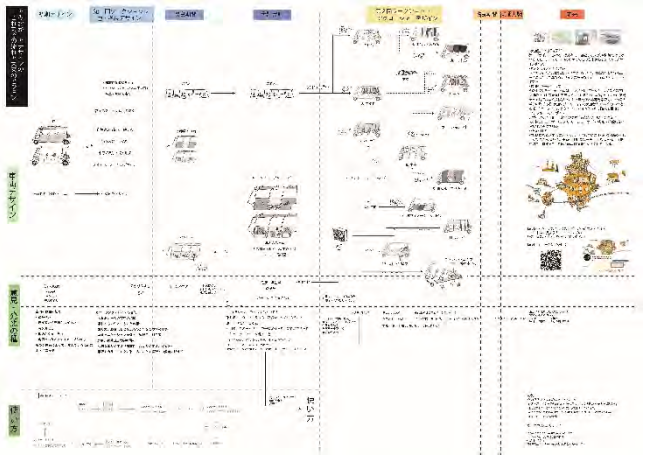


Fig.3 Chart Used at the Workshop

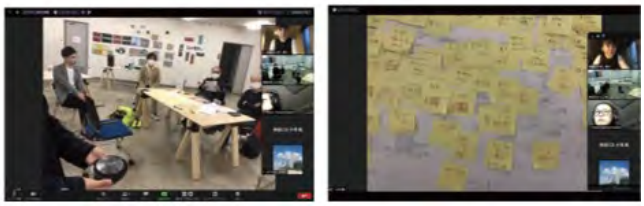


Fig.4 Workshop　(Screen Capture of Zoom)

3.4. 第２回実証実験のためのデザインの具体化

ワークショップの結果を踏まえて、下記をテーマにデザインを具体化した。

・デザインのテーマ

街とつながり移動する建築としての乗り合い車両
- 住宅の建具を参照したデザインで街とつながる
- 車両の左右で異なるデザインとする
- 乗り降りする左側をスライドドアとすることで、より開閉が容易に
- 乗り降りに使われない右側をカーテンとすることで停車時に前面開放し屋台的に使うことができる

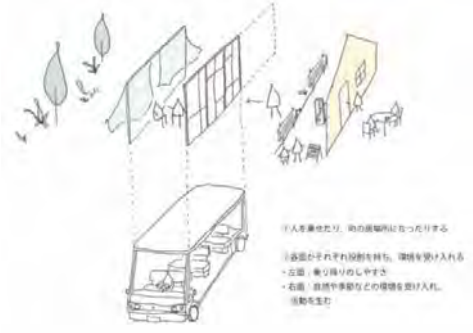


Fig.5 Design Concept

模型やモックアップによる検討を経て設計を行い、車両加工の専門業者の協力を得て制作を行った。実証実験までの時間が短かったこともあり、当初は２台ともの架装を予定していたが１台のみとなった。また架装を行った１台についても片側のカーテンが完成しなかったため片側は第一期のエンクロージャーを用いた。

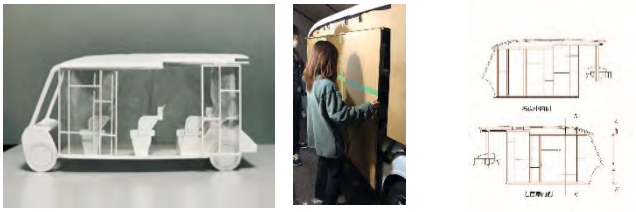


Fig.6 Development of the Design

こうして制作された架装の車両が 2021 年１月からの実証実験で使用された。



Fig.7 Designed Vehicle in Usage

3.5. 第３回ワークショップ

・概要

目的：2020 年度の活動の振り返りと来年度の構想

方法：オンライン（緊急事態宣言下につき対面では行わなかった）

ZOOM と MIRO（オンラインホワイトボード）を使用

参加者：14 人（市民４人＋交通事業者社員３人＋大学院生６人＋研究員１人（筆者））

・ワークショップで出た意見

ふりかえり
- 楽しそうなので参加した
- 視界の広さ、明るさは高齢者によい
- 市民参加でデザインされたことが市民に知られているのか？

来年度について
- 町内会ではなく駅前で新しい参加者を探す
- 参加者の主体性はチームによってうまれる
- 参加者が貢献できる隙をつくる
- 住民はコロナでイベントに「飢えている」
- 屋内イベントが難しい状況において、屋外でイベントをするための道具としての車両
- 「動く美術館」

4. プロセスについてのふりかえり

4.1. 参加型デザイン

第一期と第二期にそれぞれ、第一回と第二回のワークショップを開催しデザインを行い、さらに二回目の実証実験の後に第三回目のワークショップを行って一年を振り返った。またＳＮＳを利用したプロセスの公開を行った。市民との対話をとおしてデザインを行い、実際にデザインされた車両を運行し、それについてのフィードバックを得るというループを回すことができた。とはいうものの、市民参加はほぼワークショップに限定されていた。デザインにかかわるどのようなメディアに誰が参加していたのかを振り返ると概ね下の表のようになる。

Tab.1 Communication and Actors Participated

	市民	交通事業者	研究員	大学院生	車両加工業者
ワークショップ	○	○	○	○	
SNS	○	○	○	○	
メール	○*	○	○		○
Slack		○**	○	○	
Line				○	
Zoom 打合せ		○	○	○	○
デザイン作業			○	○	○**

＊イベントの案内のみ
＊＊第二期から

またワークショップにおいても、やはり主催者側と参加者側の区別、あるいは、サービスを提供する側と享受する側の区別がある。つまり、参加者の提出するニーズを主催者が聞き取るということが中心になりがちであった。この二分を乗り越えて専門家と市民が共にモビリティを作り出すということを実現したい。そのためのコミュニケーションやチームづくりが問われている。

今回の設計プロセスにおいて、しばしば、予想外の問題やすれ違いが生じた。第一期では、交通事業者と大学の間でデザインに関してすれ違いが生じることがあったため（ポケットと暖簾）、第二期においてはより緊密にコミュニケーションをとることとした。１～２週間に一度程度のオンラインミーティングを設けた。また交通事業者と研究院と大学院生が参加する Slack を作りもした。それでも、前述のように、交通事業者の期待に沿えずに予定通りに制作が進まず、大学側が注意を受けることもあった。車両加工の専門業者との協働においても、業者の制作のために必要な図面や情報がわからずスムーズに進まないところがあった。

標準化された業務内容での協働や、あるいは互いを熟知した専門家間の協働においては、知識や規範がある程度共有されているため、阿吽の呼吸でスムーズにデザインが進むことも多いだろう。また、会社組織など、階層型の意思決定がなされる場合は、一つの規範にそってプロセスを進めようとすることができるだろう。しかし参加型デザインにかかわる市民や学生などの多様な主体は、専門的な知識や規範を共有していない。また参加型デザインのプロセスを民主的に進めようとするなら、階層型というよりフラットな意思決定をすることが好ましいだろう。参加型デザインのこうした特徴は、設計プロセスにおける不確定性を増大する。

特に今後、市民の参加の程度が増大するとさらに不確定性は上がると考えられる。プロセスの不確定性を上げないためには、市民参加を「形式的に意見を聞く」程度にとどめるしかないだろうが、そのような形だけの参加型デザインは、参加が持つ可能性を奪っている。参加型デザインに不確定性はつきものだと言える。この不確定性はともすれば安全性上のリスクや関係者の精神面での不安につながりうるが、他方で創造性や学びのきっかけにもなりうる。前者を抑制しつつ後者を促進する方法が問われる。

4.2. モビリティ車両

第２回実証実験の期間中には、雨天時にドア上部から雨漏りがする問題や、ミラーが見づらいと言った問題が運転手から指摘され修理を行った。またスライドドアにすることで乗り降りのしやすさは上がったが、ドアレールに頭をぶつける危険性があるという理由で後から取り付けた緩衝材がドアに干渉し開け閉めが重くなるといった問題が生じた。

今回制作した感想として、通常の大量生産の車両が、いかにコストパフォーマンスが良いのかを実感した。大量生産によって、膨大な資金と労力を投入して開発した車両を安価に供給することを可能にしている。地域ごとの一品生産では必然的に、高価になるか、低性能になるか、その両方になる。

カスタマイズ性と性能を両立するのはモジュール化を検討すべきかもしれない。どこまで共通の大量生産品として、どこを地域ごとに変化させるのかの線引きの問題も重要になるだろう。他方で低性能を魅力に変える可能性も探究すべきだろう。とくにデザインへの住民参加のためには、安全性に配慮したうえである程度の不完全さがあったほうが、参加のハードルが下がると考えられる。つまり完全に隙のないデザインより、「関わり代」とでも呼ぶべきものをあえて残すデザインが好ましいだろう。

4.3. 郊外住宅地

このモビリティは、郊外住宅地におけるまちづくりというコンテクストに位置づけられる。2020 年度のワークショップにおいては、他のまちづくりの活動を行う住民の参加者を得ることもできた。そうした参加者同士のつながりを生み出すことで、地域のソーシャルキャピタルの創出に貢献できたと考えている。まちづくり活動と十分に連携することが、今後の課題となる。

4.4. 新型コロナウイルス感染症

感染症の流行の影響を大きく受けるなかでプロセスは進んだ。感染症対策として車内に透明カーテンを設置した。また、第 1 回と第 3 回のワークショップはオンラインのみで、第 2 回はオンラインと対面の併用で行った。ワークショップでの話題も、コロナ関係のものは多かった。特に第 3 回ワークショップではコロナ渦だからこそ求められる車両の使い方が話題に上った。

5. 参加型デザインの理論

本章では参加型デザインのプロセスを捉えるための理論的枠組みを考える。とくに 4.1 節で示した課題に取り組むための足掛かりを得ることを目指している。設計プロセスには人間や社会が関わるため、確定的な法則性に沿って進むものではない。技術中心主義的な設計方法論の研究においては、人間や社会がもたらす不確定性を排除することによって機械論的な設計プロセスのモデルを構築しようとした。すなわち、主観性、価値や倫理といったものを扱わずにすませるか、あるいは機械論的なモデルに還元する方法が探られた。しかし参加型デザインにおいてはむしろ、人間や社会がもたらす不確定性、主観性、価値や倫理の多様性を扱う必要があると考える。不確定性をはらんだ設計プロセスを、その不確定性を排除することなくハーネシングする手法が問われている。そのための理論的基盤として、セカンドオーダー・サイバネティクスと、その一種であるオートポイエーシスの理論が有用である。

5.1 ファーストオーダー・サイバネティクスとセカンドオーダー・サイバネティクス

サイバネティクス(cybernetics)とはシステム論の一種であるが、その語源は「梶をとる人」であり、たとえば航海において船乗りが波や風の中で舵を調整し目的地に到達するように、直接コントロールできないものの中でコントロールできるものを調整し目的を達成する技術の理論化である[(4)]。

サイバネティクスの研究者アシュビー（William R. Ashby）は「必要多様性の法則」(the law of requisite variety)を提案している。サイバネティクスの文脈における多様性（variety）とは、システムがとりうる状態の量である。必要多様性の法則とは、「ある量の攪乱がなんらかの本質的な変数に達することがレギュレーターによって阻止されるためには、そのレギュレーターは少なくともそれと同じ量の選択が可能でなければならない。」[(5)]と言い表される。船がコントロールされるためには、波や風といった環境の攪乱の多様性に見合う、梶や帆がとりうる状態の多様性がなくてはならない。

サイバネティクスの見方を、ファーストオーダー(first-order)とセカンドオーダー(second-order)に分けることができる[(6)]。ファーストオーダーのサイバネティクスは、外部の客観的な視点から対象を観察しコントロールすることを目指す。そこでシステムを、インプットにたいしてアウトプットを法則的に返すものとして見る。この法則性を理解しデザインすればシステムをコントロールできると考える。これに対して、セカンドオーダー・サイバネティクスはサイバネティクスのサイバネティクスであり、「観察を観察する」という「二次的観察」が主題になる。観察はつねになんらかの視点からの観察であり、あらゆる観察は盲点をもっている。そしてこの盲点は他の視点への転換によってのみ気付かれうる。二次的観察は、観察の観察を通して、自らの観察が偶有的なものであるという認識をもたらす。

ファーストオーダー・サイバネティクスにおけるコントロールとはシステムの変数を一定の範囲にとどめるという平衡である。他方で、セカンドオーダー・サイバネティクスや後述するオートポイエーシスの理論においては、「平衡からはほど遠い」現象の創発あるいは自己組織化が主題となる[(7)]。それは、当初は予期していなかった仕方で環境に適応することも含むのである。後者は既存の秩序の観点からは「コントロールできていない」こととして観察されるだろう。サイバネティクス研究者のグランヴィルは必要多様性について論じる中で「コントロールをあきらめること」のポジティブな面に注意を向けている[(8)]。それは、より豊かな多様性に面することによる、自らの更新の可能性である。しかしこれは、環境からの攪乱の多様性が全く縮減されないという「カオス」を推奨することではない。　ボイストとマケルビー[(7)]は、「カオス」と「ルーチン」（環境からの攪乱の多様性を縮減しすぎる）の中間の「複雑」の体制（そこでは法則性と予測不可能性の混在が経験される）において創発的な秩序の更新がなされると見る。

5.2　オートポイエーシス

セカンドオーダー・サイバネティクスの一つのアプローチとしてオートポイエーシスの理論がある。生物学者のマトゥラーナ(Humberto Maturana)とヴァレラ(Francisco Varela)が提唱し、社会学者のルーマン(Niklas Luhmann)が拡張したのがオートポイエーシス(autopoiesis)の概念である。オートポイエーシスとは自己創出を意味する。システムは作動を通してシステム自身を生み出す。マトゥラーナとヴァレラは生物をオートポイエティックなシステムとして考えた。ルーマンは、生物システム(biological system)だけでなく、心的システム(psychic system)、社会システム(social system)（あるいはコミュニケーション・システム）を、オートポイエティックなシステムとして考えている[(9)]。

オートポイエティックなシステムが自身で自身を生み出すというのは、自身で環境から自らを区別する自律性を持つということである。オートポイエティックなシステムが行うのは作動を通して自らを生み出すだけである。そこで、「作動上の閉鎖性」、すなわち「オートポイエティックなシステムにはインプットもアウトプットもない」ことが主張される。たとえばファーストオーダー・サイバネティクスにおいては、外部からデータや行動プログラムがインプットされ、それをもとにしたアウトプットとして作動がなされる。そこには、こうインプットすればこうアウトプットがあるという因果性がある。オートポイエティックなシステムは、このように外部からのインプットに対応する一定のアウトプットは存在しない。

インプットやアウトプットが無いとしたらオートポイエティックなシステムは環境とどう関わるのか。システムと環境は相互に「撹乱（perturbation）」し合う。これはシステムと環境との「構造的カップリング(structural coupling)」と呼ばれる。複数のオートポイエティックなシステムの相互作用も構造的カップリングとみなされる。構造的カップリングはただ、システムが相互に撹乱されるようにする。社会システム、心的システム、生物システムは自律的で、その間に因果法則的なインプットとアウトプットは存在しないが、構造的カップリングにより共鳴し合っている。

5.3　設計のサイバネティクス

設計についてのファーストオーダー・サイバネティクスの捉え方は、設計者が外から設計対象というシステムをコントロールすると考える。セカンドオーダー・サイバネティクスの捉え方では、設計者は、設計対象を外から観察するのではなく、自らと設計対象を含むネットワークを再帰的に観察すると考える。そうした観察には常に盲点があり、外部からの普遍的で包括的なものではありえない。ネットワークに含まれる他のアクターもまた別の仕方でネットワークを再帰的に観察している。

5.4　設計のオートポイエーシス

先述の三つのオートポイエーシスの相互攪乱というモデルのなかで、設計はどのように位置づけられるだろうか。設計とは社会システムであるといえるだろう。それは設計にかかわる発話や描画といったコミュニケーションの継起である。社会システムとしての設計は、他の社会システムや、設計に関わる人間（心的システムと生物システム）、（モノとしての）模型やスケッチや場所などのそれ以外の環境と相互に攪乱しあっている。設計者やその他のステークホルダーの精神は、この社会システムをコントロールすることはできないし社会システムが環境をコントロールするこ

ともできない。このことは精神が主体として設計を行っているのだという常識的な観点からすれば、奇妙に聞こえるかもしれない。オートポイエーシスの理論をもとに考えれば、社会システムとしての設計プロセスはそれじたいが自律性をもって進展する。人間（精神や身体）は、設計の主体ではなく環境であり、設計を攪乱するという仕方で影響を与えるのみである。

5.5　参加型計画のオートポイエーシス

アンジェリク・チェッティパラム(Angelique Chettiparamb)はルーマンのオートポイエーシス理論を参加型空間計画の分析に用いている[10]。ルーマンは社会システムを、社会(society)、組織(organization)、相互作用(interaction)に分類する。チェッティパラムは空間計画における市民参加の事例を相互作用として捉える。ルーマンの理論における相互作用とは、参加者の物理的な現前（居合わせること）の知覚に基づくフェイストゥフェイスのコミュニケーションのシステムである。それは新しいアイデアを実験する場となる。社会は相互作用において生まれたアイデアのうち自身にとって利用できるものを採用する。相互作用が社会に影響をあたえるためには、相互作用における志向（orientation）の形成が重要である。志向は、時間的（temporal）、社会的(social)、事実的（factual）次元における制約によって生み出される。

時間的次元とは相互作用の過去や将来についての予期にかかわる。チェッティパラムが扱うある市民参加の事例では、一回的な試みであったため、参加者は何を予期すべきかがわかっていなかったが、このことが楽観性を生んでいた。しかし別の事例ではルーチン化しており、参加者は何を予期すべきか知っていて、また話し合いで決まったことが次には帳消しにされるということが多く、そうしたことが諦めを生んでいたという。

社会的次元は、参加者の社会的役割にかかわる。相互作用のなかで参加者の社会的役割が明示されていれば、それぞれはその役割の一貫性を維持することが期待される。事例では参加者の社会的役割についての情報が相互作用のなかで得られなかったために、志向の形成が妨げられていたという。

事実的次元は、相互作用のために選択されたテーマにかかわる。テーマが偶有的にほかの可能性のなかから選択されるときに志向が形成される。他の可能性のスコープがないシングルイシューミーティングは、必要多様性を欠くという。

6. 事例の検討

6.1　オートポイエーシスとしての参加型デザイン

表１で示したような複数の手段をとおした車両デザインについてのコミュニケーションの総体が、オートポイエティックな社会システムとしてみなされる。それを構成するのは、発話や筆記や描画、模型や架装を作ったり見せたりすること、といったコミュニケーション的な出来事である。

6.2　事例の課題

４章で論じた参加型デザインの課題として、下記がある。

・市民と専門家（事業者、大学）が、サービスを受ける側と提供する側という固定的な立場を超えて協働するためのコミュニケーションやチームのあり方。

・異なる規範を持つ多様なアクターが参加することによる不確定性の増大を、安全性上の問題や参加者の精神的な不安ではなく、創造性や学びにつなげる仕方。

それぞれに関して何が言えるだろうか。

6.3　立場を超える

今回のデザインプロセスは対面とオンラインにおけるワークショップやそのほかのミーティングや作業を含んでいる。社会、組織、相互作用の三つがどのように混ざっていると考えるべきか難しい。ワークショップを「相互作用」としてとらえ、そこで生み出されることが期待されるデザインの方向性を「志向」としてとらえることができるだろうか。チェッティパラムは相互作用における社会的次元に関して、参加者の社会的な役割が明示されていることで志向の形成が促されると考える。しかし筆者は、参加型デザインにおいて期待されているのは、コンテクストにおいて述べたように、既存の社会的役割を再編することであると考えている。この創造性の観点からは、サービスを提供する側と享受する側といった立場を一時的にであれ離れてコミュニケーションをとることも必要ではないかと思われる。

この点でオープンダイアローグ(open dialogue)が参考になる。フィンランドで統合失調症にたいする治療法として開発されたものでありセカンドオーダー・サイバネティクスの理論の影響を受けている。患者の治療計画について、専門家だけではなく、患者やその家族も同席したミーティングで決める。先行きが不確実であいまいな状態のなかで何度もミーティングを重ねる（不確実性への耐性）。またこのミーティングは、専門家や患者によるモノローグではなく、ダイアローグでなくてはならない（対話主義）。この対話は哲学者ミハイル・バフチン（Mihail Bakhtin）の言葉で「ポリフォニー」と呼ばれる、「自立しており融合していない複数の声や意識」の重なり合いをもたらす[11]。ダイアローグ的な社会システムは、「語り得なかったものに声を与える」ことによって、不確実性の中で更新が生じる機会を涵養する。そのために「リフレクティング」つまり「会話についての会話」という手法が導入される[12]。これは「心的システムとコミュニケーション・システムが互いを観察しあう（観察を観察する）」という二次観察を促すことで、語り得なかったものに気付くきっかけを作るのである。オープンダイアローグにおいては専門家が専門家の鎧を脱ぐことの重要性が主張される。専門家が患者の悩みを聞くのではなく、「専門家側にとっての悩み・問題点」を患者に打ち明けるといったことをする。対話が起こることが目的とされ、症状の改善は二義的なものだと見なされる[13]。

参加型デザインの場合でも、専門家（事業者や大学）がプロセスをコントロールしようとするのではなく、プロセスじたいの自律的な展開を支援するというスタンスが求められるだろう。そのなかで、「語り得なかったものに声を与える」ことがデザインの創造性をもたらす。社会的な役割のなかで期待されることを言い合うだけでは創造性はもたらされないだろう。とはいうものの、モビリティのデザインにおいては安全性上のリスクも多く、立場に帰せられる責任を無視はできない。裁量権と責任の再編が課題になるだろう。

今回の参加のプロセスはワークショップの参加者からアイデアや意見を取り入れることが主になっており、設計に

おける意思決定（具体的な設計の決定、スケジュールの設定、研究計画 etc.）は主に、事業者と大学側のミーティングで行われていた。今後は、ワークショップを主催者側がお膳立てをする形から、参加者とより対等にかかわりあう形へと向けていくとともに、意思決定を行うミーティングへの市民参加を検討したい。しかし、ただミーティングに市民が参加すればよいのではなく、そこでのコミュニケーションのあり方も検討する必要がある。参加型デザインのプロセスにおいても、対話が起こることを重視すべきであろう。もちろん、統合失調症の治癒とはことなり、設計においては、対話を行えば設計が二義的になされるということはない。とはいうものの、治療において症状の改善にフォーカスを当てると症状が改善しないように、デザインにおいても問題解決にフォーカスを当てることによって、問題解決ができなくなるということがあるのではないか。問題解決を急がない対話のなかで、これまで語り得なかったものに声が与えらえることが、状況を再定義し問題を再設定することにつながるだろう。

相互作用の社会的次元の観点については先ほど述べたが、他の二つの次元も考える。相互作用の時間的次元に関していうと、今回の車両の参加型デザインの試みは、全ての参加者にとって新しい試みであり、予期できないところが多かったと考えられる。他方で、その成果をもとに制作される車両が実証実験に使用されるという計画は共有されていた。このことが諦めよりは楽観性をもたらしていただろう。

相互作用の事実的次元に関わる、ワークショップのテーマ設定については、第１回ワークショップにおいて参加者との話し合いのなかで、「景観に映える」カラーリングから「デザインの目的」へとテーマが再定義されたことが興味深い。事後的に見ればこのことがテーマ設定の偶有性を顕在化させるものであり、目論見通りのテーマ設定で話を進めるより、かえって好ましかっただろう。ワークショップの参加者は車両デザインだけではなく、輸送システム（運行の仕方など）について多くの意見をもっていた。ところが、筆者らは研究プロジェクトの中で車両デザインを担当しており、他の研究者が輸送システムの開発に関わっているために、主に車両デザインについて議論したいという都合があった。今後は輸送システムを担当する研究者もワークショップやミーティングに参加することで、より広いスコープのなかでデザインを進めると良いと考えている。

6.4　不確定性

ロシェは、必要多様性の観点から、市民主体の分散的で集合的な学習こそが、環境の変化に適応した都市の変化を可能にすると考える(14)。必要多様性の観点からは、参加型設計プロセスは、その環境となる都市の多様性に見合う多様性を持つ必要がある。このことがデザインにおける市民参加を要求する。参加型設計プロセスの多様性はどうしても不確定性を意味する。それは安全性等の問題や精神的な不安をもたらしうるが、他方で創造性をももたらしうる。不確定性のもたらす不安とは環境からの攪乱の多様性にたいして、心的システムの必要多様性が満たされないことによっていると言えるだろう。設計プロセス（社会システムであり、心的システムにとっては環境である）の多様性を上げすぎないようにするという点ではボイソットのいう「カオス」と「ルーチン」の中間の「複雑」の体制が求められるといえようか。また不安は、社会的な役割に基づく責任によるところが多いだろう。他者による予期についての予期を固定化したうえで他者からの予期に沿えないことを不安に思うのである。不安にたいするもう一つの対処は心的システムの多様性を上げることである。そのためにリフレクションによる、コミュニケーション・システムと心的システムの相互の観察が有効だろう。たとえば設計プロセスにおいて設計対象（この場合はモビリティ）と直接には関係がない参加者の気持ちについてのコミュニケーションを取り入れることが考えられる。役割に基づく言葉ではなく、心的システムを反映した言葉によるコミュニケーションが対話なのだろう。もちろん、気持ちについて話しているだけでは設計はなされないので、これと設計のもつ問題解決としての側面をどう結び付けるかが問われている。

7.　おわりに

モビリティ車両の市民参加型デザインの実践と研究を行っている。事例を紹介し、その課題を示唆した。すなわち社会的な立場を超えて対話を可能にすること、そしてプロセスの不確定性を創造性に結び付けることである。これらをセカンドオーダー・サイバネティクスやオートポイエーシスの理論を用いて検討した。今回の事例は始まったばかりの試みであり、十分な検討は今後の課題になる。

謝　　辞

本論が扱ったモビリティの参加型デザインに関わった皆様に感謝します。

文　　献

(1) 山口純：対話を通した探究としての設計，Design シンポジウム 2019，2019
(2) Protzen, Jean-Pierre, and Harris, David J.: *The Universe of Design: Horst Rittel's Theories of Design and Planning*, Routledge, 2010.
(3) 角野幸博：まちなか居住推進による居住地再編の可能性，住総研研究論文集 38(0), 49-52, 2012
(4) ウィナー，ノーバート：サイバネティクス：動物と機械における制御と通信，岩波文庫，2012
(5) Ashby, W. R.: *Design for a Brain*, Second Edition Revised, John Wiley and Sons, 1960
(6) Glanville, R. A.: “Second order cybernetics”, in Francisco Parra-Luna (ed.) Systems Science and Cybernetics, in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, 2003
(7) Glanville, R. A.: “(Cybernetic) Musing: Control, Variety and Addiction,” Cybernetics & Human Knowing, 11(4), pp. 85-92, 2004
(8) Boisot, M. and McKelvey, B.: “Complexity and Organization–Environment Relations: Revisiting Ashby’ s Law of Requisite Variety,” in P. Allen, S. Mcguire and B. McKelvey, *The Sage Handbook of Complexity and Management*, pp. 279-298, SAGE, 2006
(9) ベッカー，ディルク（編）：システム理論入門　ニクラス・ルーマン講義録［1］，新泉社, 2007
(10) Angelique Chettiparamb: Autopoietic interaction systems: microdynamics of participation and its limits, International Planning Studies, 25:4, 427-440, 2020
(11) セイックラ，ヤーコ＋アーンキル，トム：オープンダイアローグ，日本評論社，2016
(12) 矢原隆行: リフレクティング　会話についての会話という方法，ナカニシヤ出版, 2016.
(13) セイックラ，ヤーコ＋アーンキル，トム：開かれた対話と未来 今この瞬間に他者を思いやる，医学書院，2019
(14) Rochet, C. ; Smart Cities: Reality or Fiction, Wiley, 2009

「ありきたり」を脱したサービスアイデア発想法

—サーチライティング—

How to come up with an idea that goes beyond the ordinary solution in service design

- Searchlighting -

○若林稔（株式会社東芝）*1　緒方啓史（株式会社東芝）*2　池田早穂（UT 東芝株式会社）*3

*1 WAKABAYASHI Minoru, Toshiba Corporation, 1-1 Shibaura 1-Chome Minato-ku Tokyo, 105-8001, minoru3.wakabayashi@toshiba.co.jp
*2 OGATA Keiji, Toshiba Corporation, 1-1 Shibaura 1-Chome Minato-ku Tokyo, 105-8001, keiji6.ogata@toshiba.co.jp
*3 IKEDA Saho, UT Toshiba Co., Ltd., Kowakawasaki higashiguchi building F4 1-53 Nisshincho Kawasaki-ku Kawasaki-shi Kanagawa-ken, 210-0024, saho1.ikeda@toshiba.co.jp

キーワード:アイデア発想法, リフレーミング, サービスデザイン

1. はじめに

サービスを対象としたデザインは,「厄介な問題（Wicked Problem）」(1)に直面することが多い．この「厄介な問題」に取り組むには，ユーザや企業といった異なる立場や，複雑に相互作用する要因を考慮する必要があるため，立場や専門性の異なる人々が協力し，多視点から問題解決を図ることが求められる．そのひとつの手段として，最近は共創ワークショップ（以降，WS）の機会が増えた．そこでは，現場や業界を知る技術者や営業担当者などが多様な知識や観点を持ち寄り問題解決のアイデア（サービスアイデア）を見出すことが期待される．しかし，現実には WS 参加者が時間をかけて多くのアイデアを発想したにもかかわらず,「ありきたり」なアイデアに終始してしまうことも多い．そのようなアイデアでは「厄介な問題」を解決することが困難である．

そこで，本研究は,「ありきたり」を脱するサービスアイデアの発想法を開発する．特に，WS での利用を想定し，アイデア発想の熟達者でなくても，決められた手順に従って発想できる方法を目指した．

2. 既存の発想法と目標の位置づけ

「ありきたり」を脱するという要求に対し，アイデアを生み出す前提を変える「リフレーミング」が必要であるとする指摘は多い(2)(3)．しかし，リフレーミングの必要性が指摘される一方で，それを発想法として形式知化している例はそれほど多くない．

濱口は既存のアイデアにある固定観念（バイアス）を構造化し，それを壊すことでイノベーティブなアイデアを創出する「バイアスブレーキング」を提唱した(4)．今泉らも同様に，既存アイデアを二軸図や親和図などで構造化し，そこからアイデアをずらす構造シフト発想法を提唱している(5)．また，コトラーは，デボノの水平思考(6)をマーケティングに適用し，イノベーティブな製品・サービスを発想するラテラル・マーケティングという方法を提唱している(7)．これらは，いずれも新たなアイデアを生みだすために，既存の製品・サービスに注目する点が共通している．

一方，デザイン思考では，解決策のアイデアを考える前に，問題の定義を明文化する手続きを踏む必要があるとし，そのうえで，「ありきたり」を脱するためには問題のリフレームが必要だとしている．そして，この問題の定義を手続き化したツールとしてPOV madlib（point of view）を用意している(8)．これは，「[USER] needs to [USER’S NEED] because [SURPRISING INSIGHT]」という穴埋め文である．さらにこれを改良し，「［状況］にある［ユーザ］は，［行動］をしている or する必要がある．なぜなら［タテマエ］だからだ．とはいえ，本当は［インサイト］である」という形式のタテマエメソッドも提案されている(9)．また，哲学シンキング(10)は，これまで気づかなかった問題を発見するために，既存の問題に対する疑問の収集・整理・構造化を繰り返すプロセスを形式知化している．これらは，新たなアイデアを生み出すために，具体的なアイデアではなく，その前提となる問題に注目する点が共通している．

これらのプロセス，ツールは有用であるが，いずれも万能ではなく，それぞれに特性がある．

バイアスブレーキング，構造シフト発想法，ラテラル・マーケティングは，既存のアイデアを構造化することで,「その構造から外れるように」新たなアイデアを考えることを支援する発想法といえる．しかし，構造化するのは,「どのように(how)解決するか)」というアイデアであり,「何が（what）なぜ（why）解決すべき問題なのか」に直接アプローチするわけではな

いため，与えられた問題の範囲に収まる解決策のリフレームを目指した発想法と考えられる．これに対し WS では，問題のリフレームが必要なケースが多い．また，ラテラル・マーケティングのように，すでに具現化された既存の製品やサービスの市場・製品・マーケティングミックスといった情報から出発する発想法は，WS で得られた新たな気づきからサービスアイデアを生み出そうとする活動にはやや応用しにくい．

一方，デザイン思考の POV は，問題のリフレームを目指し，積極的に問題に注目した情報整理を支援する．しかし，穴埋め文において最も肝心な「SURPRISING INSIGHT（驚くべきインサイト）」を得るための思考までは支援しない．その点，タテマエメソッドは「ありきたり」をタテマエとして表現したうえで，それに対立する／矛盾する POV を表現するよう促す点で，オリジナル POV より思考の指針が示されている．哲学シンキングは，与えられた問題に対する多くの疑問を出し合い，分類整理することで，新たな問題のとらえ方を模索するための汎用的な方法である．しかし，どのように問題を捉えなおすかの指針は与えられないし，また，新たに設定した問題に基づいてアイデアを導くプロセスまでは支援しない．

上記をまとめると，具体的なアイデアに着目した既存の発想法は，「ありきたり」を構造化してそこから脱するという思考を支援しやすい反面，比較的狭い範囲のリフレームになりがちである．一方，問題に着目する発想法は，リフレーム範囲が広がる反面，既存のフレームからどうやって外れるのか，その具体的な思考プロセスまではあまり支援できていない傾向が見て取れる（図 1）．

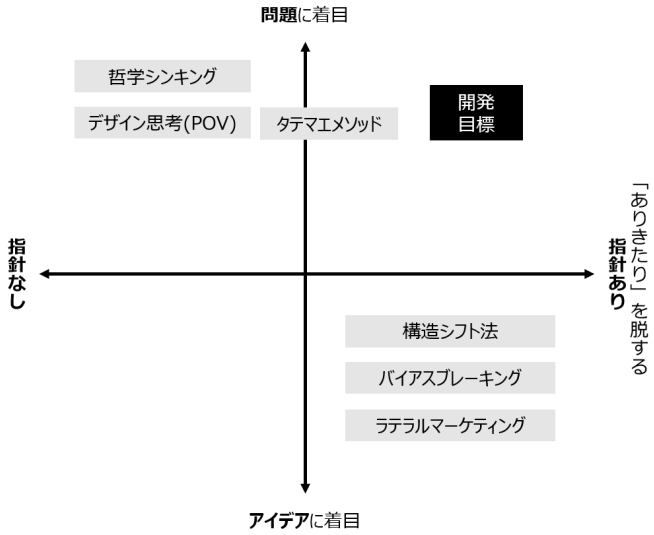


図 1　既存の発想法の位置づけ，および開発目標

WS でありきたりなアイデアしか発想できない様子を観察すると，無意識のうちにある前提にとらわれていることが原因であることが多く，その解消を支持する方法が望まれる．そこで，本研究では，先述した既存の発想法の位置づけを参考に，アイデアそのものではなく，問題を含むアイデアの前提に着目し，かつ具体的な思考プロセスも支援できる発想法の開発を目指した．

3. 開発した発想法「サーチライティング」の概要

「サーチライティング」は，アイデアの「問い」に着目することで，無意識にとらわれていた思考の枠を明らかにし，「そんな見方があったか！」と思えるような新しい「問い」を見つけ出す発想法である．

アイデアとは，「どうすれば～できるか？」という「問い」への回答といえる．これを“「問い」というサーチライトが，考えうるアイデアの範囲を照らしている“というメタファで表現した（図 2）．無意識のうちにある前提にとらわれていると同じ「問い」に対するアイデアばかりになり，結果的として「ありきたり」になりやすい．これを先のメタファで表現すると，固定されたサーチライトが同じ場所を照らし続けている状態と言える．この状態から抜け出るためには，まず既出のアイデアがどのような「問い」に答えているのかを明らかにすることで，自らが無意識にとらわれている前提に気づく必要があると考えられる．その上で，その「問い」をずらし（リフレームし），まだ照らされていない暗闇を照らすことができれば，「ありきたり」を脱したアイデアを得ることができると考えられる．

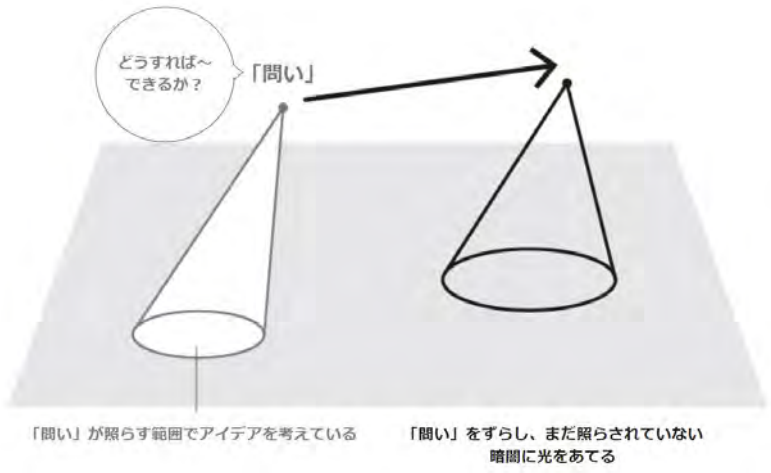


図 2　「サーチライティング」による発想のイメージ

「サーチライティング」は以下の 4 つの手順で実施する（図 3）．基本的に WS における 5 人程度のグループワークでの利用を想定しているが，一人での発想にも利用可能である．それぞれの手順の詳細は次章で述べる．

① アイデアを考える（既存のアイデアを集める）
② アイデアの「問い」を明らかにする
③ 「問い」をずらして，よりよい「問い」を探す
④ 「問い」を選んでアイデアを考える

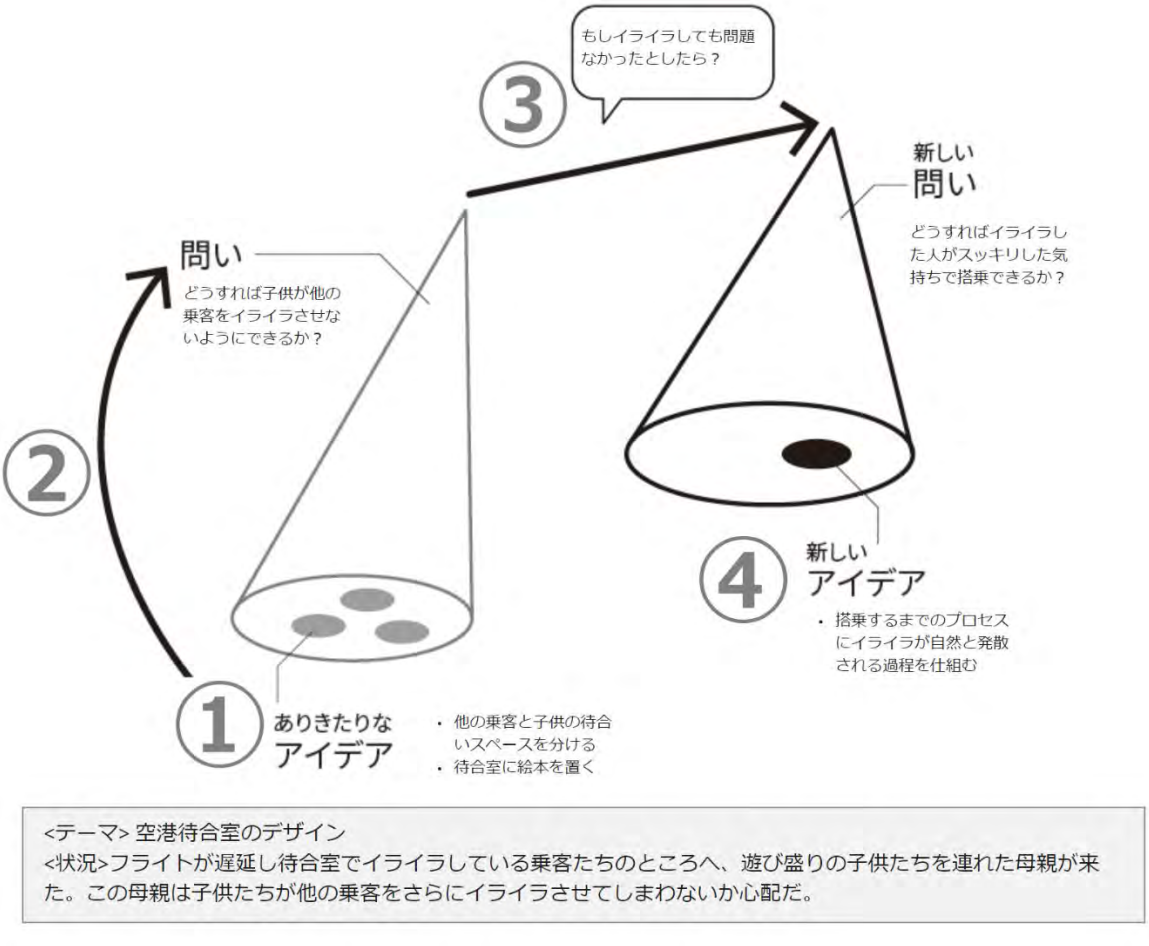


図 3　サーチライティングの概念図

4. 「サーチライティング」のプロセスおよびツール

4.1. ①アイデアを考える（既存のアイデアを集める）

手順①では，向き合っているテーマや課題について具体的なアイデアを集める．ブレイン・ストーミング，ブレインライティングなど，自分たちで好きな発想法を使ってアイデアを発想してもよいし，自分たちでは発想せず，そのテーマや課題について既に世の中にあるアイデアを集めてきてもかまわない．

先述のように，サーチライティングは「問い」に注目する発想法ではあるが，手順の最初はアイデアに着目する．アイデア創造の認知モデル「ジェネブロアモデル」[11]によると，問題のフレームという概念的な情報の「探索」を単独で扱うのではなく，アイデアの「生成」と関連づけて相互に検討する方がより容易に思考できると考えられる．実際，ＷＳファシリテータは，熟練するほど具体的なアイデアとその前提となる問題の検討を分割せず，同時に行えるようにＷＳを設計する傾向があった[12]．こうした点を踏まえ，「サーチライティング」では，デザイン思考や哲学シンキングのように概念的な問題だけを考えるのではなく，具体的アイデアの「生成」から始め，概念的なフレームの「探索」を相互に検討するプロセスとした．

4.2. ②アイデアの「問い」を明らかにする

手順②では，①で集めたアイデアから「問い」を導く．その際，アイデアから何の手掛かりもないまま「問い」を導くのは難しく，得てして「どうすれば～を満足させられるか（不満がなくなるか）」，「どうすれば～な問題を改善できるか」といった，多くのケースに当てはまるような漠然としすぎた表現になりやすい．これでは，サーチライトが照らす範囲が広すぎ，思考の枠が明確にならない．そこで，次の穴埋め文を手がかりに問いを導出するプロセスを開発した．

「アイデアを実行すると，（～が～になる）ので，その結果（～という望ましい状態）になる」

まず，そのアイデアによって「何がどう良くなるのか」を考えることで，具体的アイデアから離れ，どこに着目したアイデアなのかが分かる．また，「その結果としての望ましい状態」を表すことで，アイデアが何を問題にしているのかが明らかになる．これを「どうすれば～」のかたちで言い換えることでアイデアの「問い」を導出する（図 4）．このように因果関係を盛り込んだ文章をつくることで，漠然としすぎず，かつ具体的すぎない「問い」を導きやすくなる．

この過程を経ることで，既存のアイデアが実はどれも同じ「問い」に答えていた，といった状態が明らかになる．サーチライトが照らす範囲が明らかになれば，目標となるまだ照らされていない暗闇も見えてくる（図 5）．

アイデアの前提を遡り明らかにしていくこのプロセスを，「アイデアのリバース・エンジニアリング」と呼んでいる．

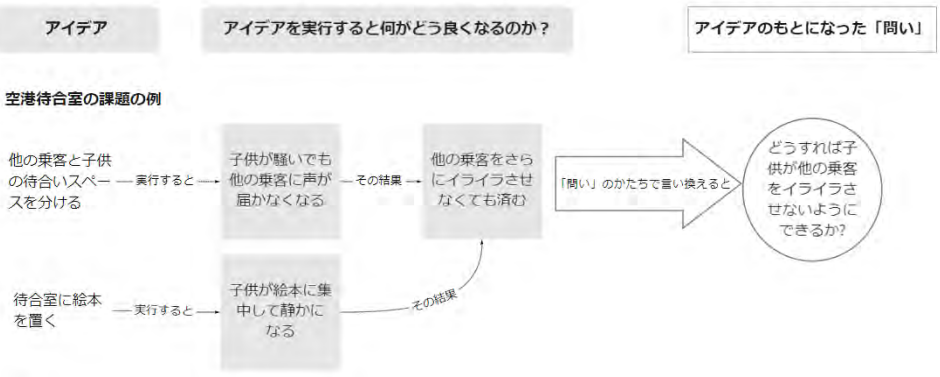


図 4　アイデアのリバース・エンジニアリング

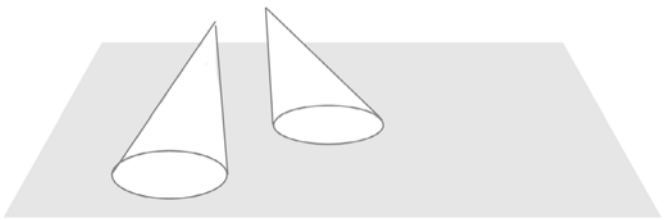


図 5　現状の「問い」が照らす場所と目指す暗闇のイメージ

4.3. ③「問い」をずらして，よりよい「問い」を探す

4.3.1　「問い」を問い直す　手順③では，②で明らかにした「問い」をずらし，新しい「問い」をつくる．その際，4 つの問いかけの型（プロンプト）を起点にして「問い」を問い直していく（図 6）．以下に，プロンプトについて解説する．



図 6　問いかけの型（プロンプト）

- 「前提を探す」
  その「問い」は何を問題だと考えているのか，どんな常識や慣習，価値観を基にしているのかといった「問い」の前提を探すことを促す．「隠れている前提を見つけ出す」というマインドで取り組むために「どんな前提が隠れている？」という表現とした．次のような形式を意識すると前提を探しやすい．「～が問題だ」「～を実現したい」「～とは～するものだ」「～するのは～だからだ」「～しなければならない」「～すべきだ」「～するのがよい」

- 「前提を疑う」
  探し出した前提を疑い，変えることを促す．「ほんとうに？」は，シンプルだが批判的な思考を促す起点となり，「いつでもそう？」「そもそもなぜ？」といった問いかけへと自然と思考が繋がっていきやすい．「もし～だとしたら？」は，「もしその前提が間違いだとしたら？」のように，現状とは乖離した仮定を置いたときのギャップで思考を揺さぶるものだ．「もし～なのに～だとしたら？」や「もしそれが逆だったとしたら？」のような問いかけも考えられる．

- 「意味を考える」
  従来の意味を考え，新しい意味で捉え直すことを促す．哲学シンキングと同じように，ここでは辞書的な定義ではなく，個人の経験などの一次情報を中心に意味を捉え直す．その際，次のような「問いかけ」も活用すると意味を捉え直しやすくなる．「どんなときに？（事例から考える）」「～ではないとは？（反対を考える）」「～とは何が違う?(対比して考える)」「なんのために？（目的から考える）」「いつから?(歴史から考える)」

- 「立場や範囲を変える」
  サービス提供者側から利用者の立場へなど，立場を変えることを促す．また，利用中だけでなくその前後へと時間軸を広げる，ステークホルダーの範囲を変えるなど，見る・考える範囲を変えることを促す．その際，4C／4P といった既存のフレームワークや，ステークホルダーマップを活用すると，特定の立場や範囲に偏らない見方ができる．

「問い」を問い直す際は，まず「前提を探す」プロンプトを使い「問い」の前提を明らかにする．次に「前提を疑う」，「意味を考える」，「立場や範囲を変える」の３つを使い，「問い」やその前提を問い直すし、新しい「問い」をつくる．「問い」をつくったらアイデアも一緒に考えることで，その「問い」が「ありきたり」を脱したアイデアに繋がりそうかが判断しやすくなるし，問い直した過程が的確に「問い」として表現できているかも確かめることができる．そのため，ここではアイデアを沢山出す必要はなく，この「問い」だとこんな方向性のアイデアが出そうだということがわかれば十分である．

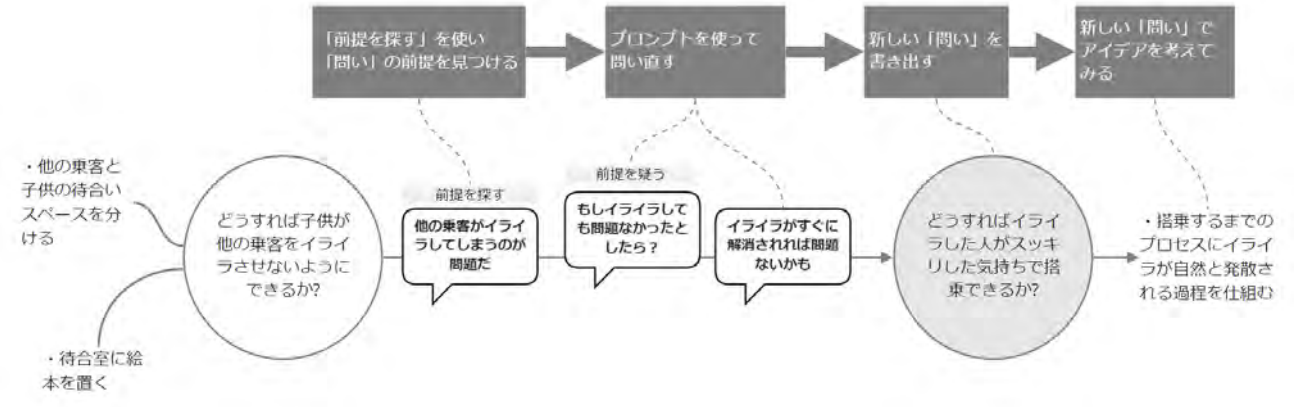
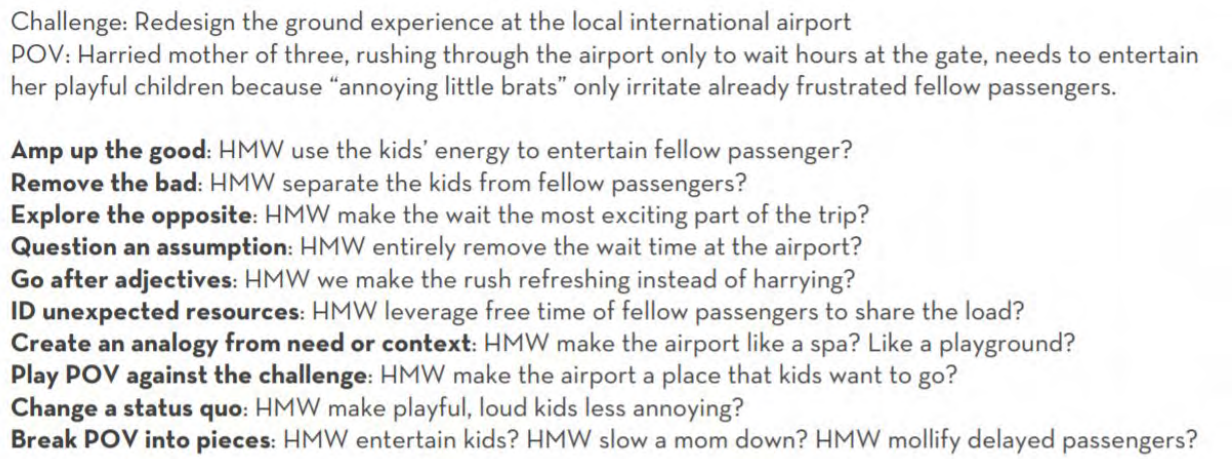


図 7　「問い」を問い直すプロセス

ここまでプロンプトを活用して「問い」を問い直す手順について述べてきたが，「問い」をずらす既存の方法として，デザイン思考の「How Might We…?」クエスチョン（以降，HMW）の１０の方向性が知られている（図８）[13]．


Challenge: Redesign the ground experience at the local international airport
POV: Harried mother of three, rushing through the airport only to wait hours at the gate, needs to entertain her playful children because “annoying little brats” only irritate already frustrated fellow passengers.

Amp up the good: HMW use the kids’ energy to entertain fellow passenger?
Remove the bad: HMW separate the kids from fellow passengers?
Explore the opposite: HMW make the wait the most exciting part of the trip?
Question an assumption: HMW entirely remove the wait time at the airport?
Go after adjectives: HMW we make the rush refreshing instead of harrying?
ID unexpected resources: HMW leverage free time of fellow passengers to share the load?
Create an analogy from need or context: HMW make the airport like a spa? Like a playground?
Play POV against the challenge: HMW make the airport a place that kids want to go?
Change a status quo: HMW make playful, loud kids less annoying?
Break POV into pieces: HMW entertain kids? HMW slow a mom down? HMW mollify delayed passengers?

図８　“How Might We” Question

しかし，これまでのWSの経験上，この方向性に沿って「問い」をずらせる人は稀である．その要因として，方向性が１０個もあり、理解するのが難しいことが考えられる．例えば「課題に対して着眼点をひねる(Play POV against the challenge)」のように，タイトルだけでは何を意図しているか分からず，例を読まないと理解できないものが多いうえ，その例を今取り組んでいる「問い」に当てはめるとどうなるのかを考える必要があるため，WS参加者への負担が大きいと思われる．

一方，熟練のＷＳファシリテータは，こういったリストを提示するわけではなく，WS参加者のアイデアから視点の偏りなどを推察し，問いかけて視点を変えるよう促している[12]．さらに，近年，固定化された認識に揺さぶりをかける方法として，問いや問いかけが着目され，様々な文献においてコツや技法が語られている[14]~[16]．

以上のことを踏まえ，「問い」をずらすには，熟練のWSファシリテータが行っているような「促し」としての問いかけが効果的であると考えた．「サーチライティング」では，これまでとは全く違った見方を探すことが目的であり，WSファシリテータがWS参加者の思考を促す際に活用しやすいことを目指していることから，現状の見方を揺さぶる効果が高いと考えられる問いかけを選出・集約することで，先に述べた４つのプロンプトを定義した．

4.3.2　思考プロセスを可視化しつつ繰り返し問い直す　図７に示したように，手順③では「問い」を問い直す際の思考の流れを可視化しながら，よりよい「問い」が見つかるまで繰り返し問い直す．その際，最初の「問い」，プロンプト，新しい「問い」が区別できるよう表現し、それぞれを明文化していく．プロンプトによって「どう問いかけたか」だけでなく，「それに対してどう考えた」から新しい「問い」になったのかという点も記録する．

「ありきたり」から脱するためには，試行の繰り返しが必要であるといわれており[16][17]，そのための効果的な支援として，多くの研究が思考プロセスの可視化を挙げている[19]．また，実務においても，デザイン部門内のアイデア発想に長けたデザイナーたちから，良いアイデアを得るためには，「アイデアの分岐を意識する」ことが重要とのパターンランゲージが抽出されている．「問い」についても同様に，「問い」の分岐を意識することが重要であり，そのためには問い直す過程を可視化することが効果的と考えられる．そしてこれは，WS において複数人で発想する際の思考プロセスの共有という意味でも有用である（図９）．

サーチライトを動かしながらアイデアを探す様子をダンジョン（地下迷宮）の探索になぞらえ，このプロセスを可視化したものを「ダンジョニングマップ」と命名した．

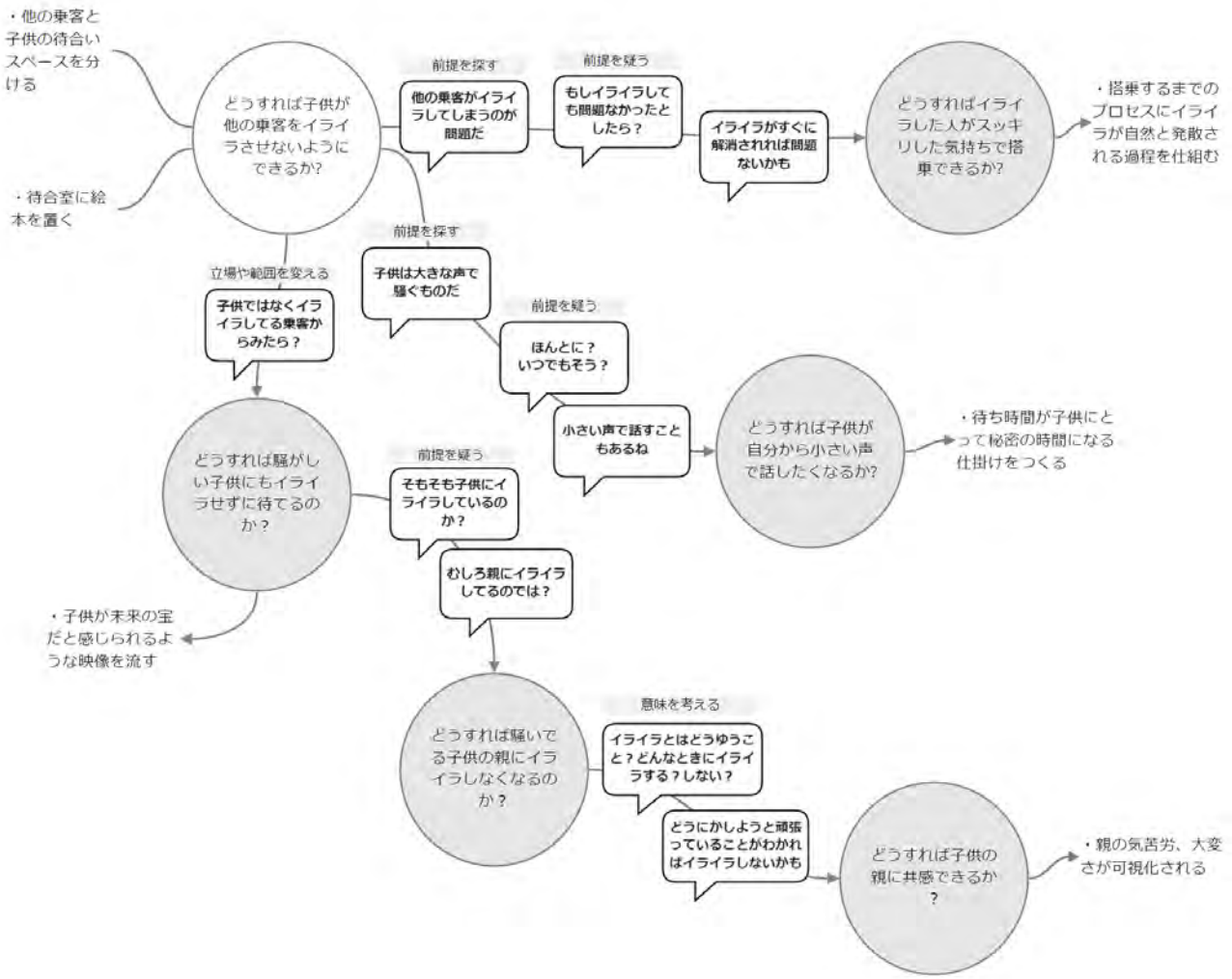


図 9　ダンジョニングマップ

4.4. ④「問い」を選んでアイデアを考える

手順④では，②，③の結果から「ありきたり」を脱するアイデアに繋がりそうな「問い」を選び，ブレイン・ストーミング，ブレインライティングなど，好きな発想法をつかってアイデアを量産する．「問い」を選ぶ際は，単に目新しいとか変わっているものを選ぶのではなく，「こんなふうには考えたことがなかった！そんな見方もあったか！」と思わず膝を打つようなものを選ぶようにする．

アイデアを沢山考える過程で「問いかけ」が生まれることも多い．アイデアを考える段階だからと，「問い」が変わることを避けようとせず，その「問いかけ」を起点にまた新しい「問い」をつくりながらアイデアを考えることが大切である．デザイン思考など多くのデザインプロセスで言われているように，「サーチライティング」においても，ステップ・バイ・ステップで進めるだけでなく，必要に応じて前のステップに戻りながらよりよい「問い」を探すという流れを念頭に置き，アイデア発想に取り組むことが肝要である．

5. おわりに

「ありきたり」を脱したサービスアイデアの発想法として開発した「サーチライティング」について，概要とプロセス，ツールについて述べた．開発した発想法は，東芝のデザイン部門内でオンラインワークショップを繰り返し，洗練させている．今後，効果検証の実験を予定している．

文　献

(1) Rittel, H.W.J., Webber, M.M. Dilemmas in a general theory of planning. Policy Sci 4, 155–169, 1973.
(2) 栗木契，水越康介 ，吉田満梨：マーケティング・リフレーミング -- 視点が変わると価値が生まれる，有斐閣, 2012.
(3) 松波晴人，平田智彦：ザ・ファースト・ペンギンス 新しい価値を生む方法論，講談社, 2018.
(4) 濱口秀司：SHIFT：イノベーションの作法，ダイヤモンド社, 2019.
(5) 今泉友之,白坂成功,保井俊之，前野隆：親和図と 2 軸図を用いた構造シフト発想法の主観的評価，日本創造学会論文誌,

17，pp. 92-111, 2014.
(6) Bono, E. D.: The Use of Lateral Thinking, New York: Basic Books, 1967.
(7) フィリップ・コトラーフェルナンド・トリアス・デ・ベス. (2004). コトラーのマーケティング思考法. (恩藏 直人修二大川，訳) 東洋経済新報社，2004
(8) d.school Stanford: Design Thinking Bootleg, 2010, https://dschool.stanford.edu/resources/design-thinking-bootleg.
(9) 角征典：タテマエメソッド，東京工業大学エンジニアリングデザインプロジェクト，2017, https://medium.com/titech-eng-and-design.
(10) 吉田幸司：「課題発見」の究極ツール 哲学シンキング 「1 つの問い」が「100 の成果」に直結する，マガジンハウス，2020
(11) Finke, R., Ward, T. B. & Smith, S. M.: Creative cognition: Theory, research, and applications, Cambridge, MA: The MIT Press, 1992.
(12) 若林稔，緒方啓史：サービスデザインにおける非デザイナのためのアイデア発想の方法，2020 年度日本人間工学会関西支部大会，オンライン, 2020.
(13) d.school Stanford: “How Might We” Questions, http://crowdresearch.stanford.edu/w/img_auth.php/f/ff/How_might_we.pdf
(14) 安斎勇樹，塩瀬隆之: 問いのデザイン: 創造的対話のファシリテーション，学芸出版社, 2020.
(15) ウォーレン・バーガー: Q 思考――シンプルな問いで本質をつかむ思考法(鈴木立哉,訳)，ダイヤモンド社, 2016.
(16) ハル・グレガーセン: 問いこそが答えだ! 正しく問う力が仕事と人生の視界を開く(黒輪篤嗣,訳)，光文社, 2020.
(17) 野口尚孝：発想支援方法開発のためのデザイン思考過程モデルの研究:デザイン発想支援の枠組に関する考察(その 3)，デザイン学研究，43(1)，pp. 19-24, 1996.
(18) 鈴木宏昭，開一夫：洞察問題解決への制約論的アプローチ,心理学評論，46(2)，pp. 211-232, 2003.
(19) 秋田直繁，森田昌嗣 ，椎塚久雄：デザイナーの推論過程のフレームワークとその可視化に関する基礎的考察－メタ認知補助としての推論マッピング法の提案－，日本感性工学会論文誌，16(4), pp. 389-402, 2017.

便利の副作用に着目したシステム設計支援に関する一検討

A Study on System Design Support Focusing on the Side Effects of Convenience

○松下 光範（関西大学）*1　　住友 梨花（関西大学）*2

*1 Mitsunori Matsushita, Kansai University, 2-1-1 Ryozenji, Tkatsuki, Osaka, 569-1095 JAPAN , t080164@kansai-u.ac.jp
*2 Rika Sumitomo, Kansai University, 2-1-1 Ryozenji, Tkatsuki, Osaka, 569-1095 JAPAN , k179706@kansai-u.ac.jp

キーワード:不便益, 便利の副作用, 設計支援システム

1. 緒　　言

システム設計の現場では，「より便利なモノ」が「生活を豊かにするモノ」として無批判に追求されている．しかし，便利さをもたらす効率性や機能性に対する過剰で近視眼的な追求の結果，想定外の問題が発生しているのも事実である(2)．システム設計の場面などでは，人間の活動を含めた関係の伝播を広く見渡さず局所的な最適を実現することは，新たな問題の発生に繋がる懸念がある．

例えば，PC やスマートフォンの予測変換を使うようになってから，漢字を手書きすることに困難を覚えた経験のある人は多いのではないだろうか．これは「漢字健忘」と呼ばれ，漢字を母国語とする国で近年問題となっている(8)．便利な道具を用いて効率的に作業を遂行すること自体は否定しないが，人は必ずしも PC やスマートフォンを使用できる状態にあるわけではなく，生活の中で人間の能力として求められる場面は発生する．このような利便性の副作用ともいえる認知的廃用性萎縮(14)が様々な箇所で生じている．これらの事例からもわかるように，即時に実感できる利便性や効率性だけでなく，その利便性がもたらす効果や影響までをも含めた設計が求められる．

本研究はこのような問題を解決する一つの試みであり，新たなモノを設計する際に企図した利便性だけでなく，そのモノによって生じ得る副作用に着目し，より大局的な観点からシステムを設計する方法論の確立を目指す．効率化や高機能化による便利の実現によって生じる望ましくない副次的効果を「便利の副作用」と定義し，システム設計段階からその影響を洗い出し設計に反映させることを狙う．

2. 関連研究

目先の便利さのみを追求しないシステム設計論を考えるうえで親和性の高いテーマとして不便益が挙げられる．不便益とは，不便がもたらす効用を再認識して，それをシステムデザインに活用する試みである(4),(12)．川上(11)は，様々な物事の関係ネットワークの一部を切り出し，部分的に不便を解消する行為が異なる問題（便利害）の発生を誘発することを指摘した（Fig. 1）．例えば，製造ラインの自動化が作業者の意欲を低下させたり，部分的な自動化がヒューマンエラーを誘発したりするなどの事例がそれに該当する．これらの問題解決には，さらなる便利を追求して乗り越えるといった方策を採用するのが一般的であるが，これは対



Fig. 1　不便益の位置付け（文献(4)より図引用）

症療法にならざるを得ず別の問題を発生させる要因にもなる．不便益はこうした課題に対する新たな視座として提案されたものであり，便利を追求することによって見過ごされてしまったが実は重要な事象（手間がかかることによって得られるポジティブな結果や能力の向上といった客観的な益だけでなく，嬉しさや楽しさなどユーザ本人が感じる主観的な益も含む）を掘り起こし，便益のある手間を積極的に評価するシステム設計論の構築を目指している．

川上らは，このような不便益を活用した設計の支援を企図してアイデア発想の支援手法を提案している(10),(13)．この手法では，不便益を得る方法を抽出・抽象化するために，TRIZ(1)に倣って既存事例(12)を解析して不便益の基本原理を導出し，各事例が解決した問題を「便利になったこと」と「それで損なわれた益」のトレードオフという形で捉え，これらふたつから不便益原理を辿ることのできる不便益マトリクスを作成している(13)．この手法を発想支援システムとして実装し，そのシステムを用いて評価実験を行った結果，システムの操作に手間をかける人のアイデアの質を高め不便益の理解を促進することを確認している．

また，不便のメリットを具現化するための発散的思考を支援するツールとして不便益カードが提案されている(2),(3)．これは上述した不便益の基本原理を，どのように不便にしたら良いのかの指針である「不便にする方法」12 種とその不便から得られるかもしれない益である「不便益」8 種に整理し，それらをキーワードとピクトグラムを使ってカード形式で示したものである．各々のカードをアイデア創発

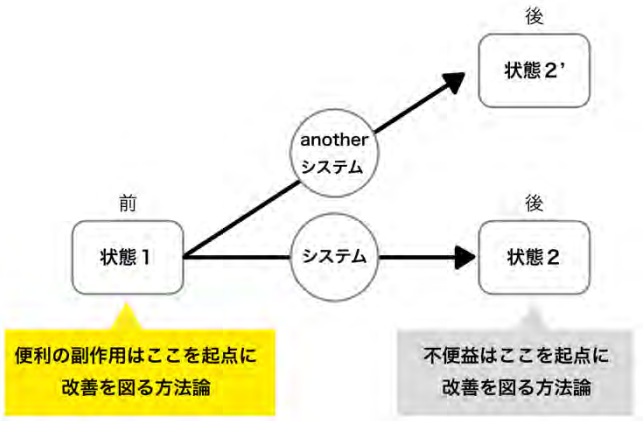


Fig. 2　システム設計における起点の違い

の場面で利用することで，アイデア数が増えることが示されている．

不便益システム設計論では，既に便利になったものに対して，後から不便や妨害的要素[7]を導入するといったアプローチ方法が採られている．これは，便利になる前を Fig.2 中の状態 1 とすると，便利になった後である状態 2 に対して積極的な「不便の導入」を考えるアプローチといえる．

これに対し本研究では，便利になった後の状態 2 に対して，積極的に「不便」の導入を行うよりも，便利になる前の状態 1 から複数の目的関数の下で再考するほうがより合理的に解を生み出せるという立場を採る．すなわち，便利になる前の状態 1 の段階で便利による影響を洗い出してそれを考慮した設計を行うことにより，負の影響を低減した状態 2'を生み出すことを目的とするものであり，一連の不便益システム設計論とは設計プロセスの起点を異にするものである．

3. 便利に伴う状態の変化

あるモノを「便利にする」というのは，それを使って達成しようとする目的に照らし，現状で抱えている「不便」に着目してその不便を解消するという行為である．例えば，ほうきは床を掃除するという目的で使用する際に「掃除に時間がかかる」あるいは「広い面積を掃き進めるのは大変である」といった不便があり，掃除機はその不便を解消するアイテムである．ここで，不便は意図する目的を「どのようにしても達成できない」状態ではなく，意図した目的を達成するために「手間がかかる」状態と捉えることができる．そのため，「便利にする」ということは，その手間を解消するための変化を加えることであり，そのモノ自体の性質や機能が変化すると共に，それを使う人間の行動にも変化が発生する（=手間が少なくなる）ことを意味する．

ほうきの例であれば，ほうきで床を掃き進める手間を解消するために，吸引システム（モーターでファンを高速に回転させ，空気を吸引する仕組み）を導入した掃除機に変化させることで，ほうきとちりとりを使って床のゴミを集める行動に含まれる行為がなくなり，新たに掃除機を使って床を掃除する行動の中で行う行為が生まれる．

このように，「便利にする」ことはそれまで行っていた行動の中から「なくなる行為」があることを含意する．また，便利が達成されることによって新たに「生まれる行為」が

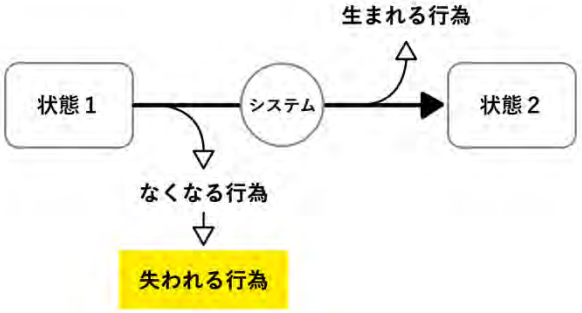


Fig. 3　便利によって生まれる行為と失われる行為

ある場合も想定される．ここで，便利によって失われる行為は必ず存在するが，新たな行為は常に生じるとは限らないことに注意されたい．これらを整理すると Fig.3 のように表すことが可能である．

新たな便利を生み出す際には，達成する目的（=企図する便利）に主眼が置かれて設計され，それに伴う行為の喪失がもたらす影響については十分に考慮されない場合が多い．これは確証バイアス[5]のために，設計者が行為の喪失によってもたらされる問題をより低く見積もり，企図する便利の効果をより高く見積もってしまうことが理由であると考える．こうしたバイアスを排除し，便利の実現によって副次的に生成される便利害を低減させるには，新たな便利を設計する段階で実は必要な手間（=失われる行為）を見つけ出し，大局的・包括的な観点から問題を捉えて設計を行う必要がある．

4. 見出しの書き方

あるモノが「便利になる」ことに伴い，それを使う人間の行動にも変化が発生する．この行動の変化について分析するため，本研究ではまず，便利化された事例 52 例（Fig.4 参照）を選択し，これらによって生じたユーザ行動の変化を，Fig.5 に示すフォーマットを用いて書き出した．このフォーマットを用いることで (1) 便利に感じるモノとその前の状態，(2) そのモノを使って達成しようとする目的，(3) 導入された技術やシステム，(4) しなくなった行為・なくなったこと，(5) するようになった行為・ふえたこと，(6) 変化による影響，の 6 つについて収集・整理した．なお本稿では，便利になったと感じるモノの事例を変化の「後」，それより前に使われていたモノの事例を変化の「前」と記述する．

各々の事例における具体的な行動の変化の書き出しを行った結果，以下の 2 点の気づきが得られた．ひとつめは変化の影響の一般化について，もうひとつはそのモノの性質によって可能になっている行為についてである．本と電子書籍を具体例として以下に説明する．

4.1. 変化の影響の一般化

本から電子書籍への変化の本質は，本という物質的な存在がなくなり，本のコンテンツを搭載したアプリケーションに変化したことである．その変化による影響の例として，「たくさん持ち歩けるようになった」「使用による劣化が起こらなくなった」「検索できるようになった」が挙げられ，これは Fig. 4 に示す事例の中の「観光本→WEB サイト」「辞書→翻訳機」「紙の地図→地図アプリ」「時刻表・路線図→

本→電子書籍，鍋→自動調理器，観光本→観光の WEB サイト，リアル店舗→オンライン店舗，辞書→翻訳機，白黒テレビ→カラーテレビ，フィルムカメラ→デジタルカメラ，湯煎→電子レンジ，各社航空会社サイト→チケット比較まとめサイト，電話・パソコン→スマートフォン，紙の地図→地図アプリ，鉛筆→シャープペンシル，特急→新幹線，自転車→バイク，扇風機→クーラー，洗濯板→洗濯機，時刻表・路線図→乗り換え案内，階段→エレベーター，階段→エスカレーター，土鍋→炊飯器，食器の手洗い→食洗機，タクシー会社に電話→タクシー配車アプリ，リアルな体験→VR ゴーグル，DVD→サブスクリプション動画サービス，現金→クレジットカード，メガネ→コンタクト，リアルなフリーマーケット→フリマアプリ，活版印刷→プリンター，紙のアンケート→WEB の自動集計アンケート，計算機→パソコン，コールセンター→チャットボット，手紙→メール，生麺→カップ麺，プロペラ機→ジェット機，タイプライター→ワープロ，やかん→瞬間湯沸かし器，一般道→高速道路，ラジオ→テレビ，スーパー→コンビニ，物々交換→お金，有線ケーブル接続→無線接続，通学授業→オンライン授業，ガラパゴス携帯→スマートフォン，アナログレコード→CD，現金→QR コード決済，急須→ティーパック，MT→AT，所有車→カーシェアリング，馬車→車，ダウンロード音楽→サブスクリプション音楽アプリ，ヘリコプターからの撮影→ドローン撮影，出前→フードデリバリーアプリ，掃除機→自動床掃除機，腕時計→スマートウォッチ，切符→IC カード

Fig. 4　既に便利になったモノの 52 事例

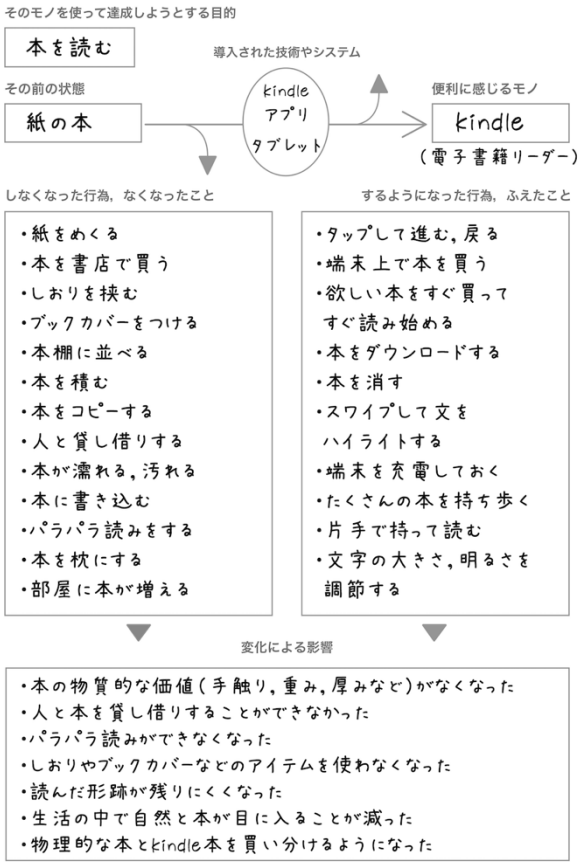


Fig. 5　行動の変化を書き出したフォーマット（例：本→電子書籍）

乗り換え案内」などにも共通して発生している．そこで，物理的な存在のあるモノが抱えているコンテンツをアプリケーションとして扱えるようにする変化を，本稿では「モノのアプリケーション化」と呼ぶことにすると，上述したような，その変化に共通して発生することの多い影響を一般化することが可能である．この他にも，デジタル化や小型化など様々な切り口での変化の種類分けが考えられる．既に便利になったモノの事例を収集し，その変化を抽象化して共通して発生している影響を整理することで，新たな便利を考える際にそれらを転用し，影響の一端を予測することが可能になる．

4.2.　モノの性質によって可能な行為

本から電子書籍の変化において書き出した「しなくなった行為」には，「本にペンで書き込む・付箋を貼る」「ブックカバーをつける」「本棚に並べる」「本を枕にする」「パラパラ読みする」などが含まれていた．これらは，本の使用に付随する行為であり，本が元来持っている物質的な性質によるものである．つまり，本の素材が紙であり，紙の重なりから形成される厚みや重み，手で扱いやすい形状であるといった，本自体が持つ性質によって可能になっている．Norman はこのようなモノの構造や形態そのものが示す行為の手がかりをシグニファイア（signifier）と呼び，これが行為を誘引（afford）するとした[6]．

分析した事例から，あるモノを「便利にする」ことは，それを使うための一連の行動だけでなく，そのモノの性質に付随し，人間が実行可能であると知覚する行為の両方を変化させる様子が確認された．例えば，「本棚に並べる」や「本にペンで書き込む・付箋を貼る」という行為は，「本」のシグニファイアにより人間が実行可能であると考える行為であり，対象とした「本」のみならず，そこから敷衍してそのモノの使用に関連して使われるモノ（本の例であれば，ペンや付箋，しおり，ブックカバー，本棚など）との関係性にも変化が生じ得ることが分かる．

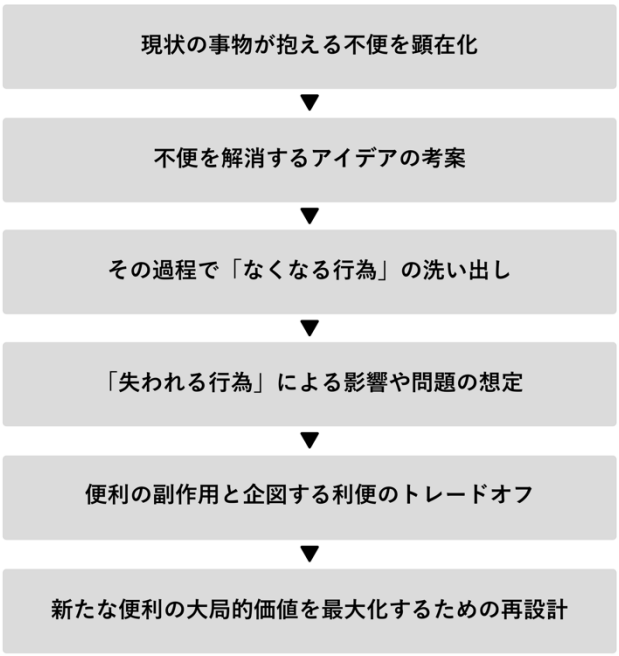


Fig. 6　新たな便利を考える際のプロセス

5.　便利の副作用に着目したシステム設計プロセス

システム設計段階から，実は必要な手間である「失われる行為」を見つけ出し，それを加味したうえでの設計を可能にするために，新たな便利を考える際の流れを Fig.6 のように整理した．

まず，便利にすることは現状の事物の不便を解消する行為であるので，不便であると感じる箇所や場面をリストアップさせる．次に，それらの不便の中から特に解消したいものを選び，それを実現するアイデアを考案してもらう．ただし，この時点では企図する便利を最大化するためのアイデアを考えている可能性が高い可能性がある．

本研究では，便利を考案・導入することでなくなる行為

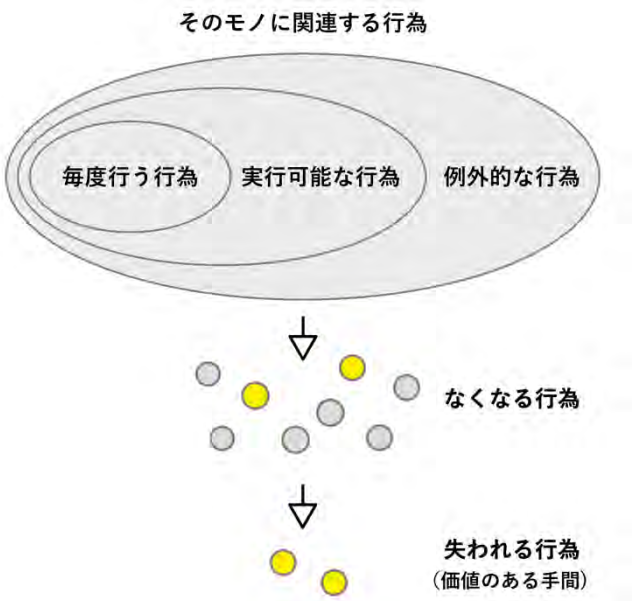


Fig. 7　そのモノに関連する行為の洗い出しと喪失する行為の選別

のうち，残す価値があると考えられる行為を「失われる行為」とみなした．便利にする過程で「なくなる行為」を可能な限り洗い出し，利便性や効率性以外の観点で影響や問題を考えたときに，実は必要な行為が埋もれていないかをユーザ自身に再考させ，存在する場合はそれを「失われる行為」とする．以上を踏まえて，便利の副作用と企図する便利の落とし所を見出し，アイデアを再設計するといった流れである．

提案システムではこの流れを質問文に変換して提示し，それに沿って回答しながら設計を進める方式をとる．その中でも特に，本研究では「なくなる行為」の洗い出しと「失われる行為」の選別の部分に力点を置いて支援する．

5.1. モノに関連する行為の発散

不便を解消するアイデアを考案した際に，便利にすることによって「どのような価値のある手間が失われるか」といったような質問文を用いて，失われる行為を直接的に問わない理由は 2 点ある．

1 つめは，3 章で述べた，設計者が問題をより低く見積もり，企図する便利の効果をより高く見積もってしまう可能性があるバイアスを避けるためである．便利にすることによって「なくなる行為」を，まずは単なる事実として書き出させることで，客観的な目線で捉えられるようにすることを狙っている．

2 つめは，失われる行為を見落とす可能性があるためである．4.2 節で述べたように，あるモノを便利にすると，それを使うための一連の行動だけでなく，そのモノの性質に付随している行為までもが変化する．つまり，普段は意識しないが潜在的に実行可能である行為が見落とされる可能性が大いにある．このように，失われる行為を直接的に抜けもれなく挙げることは難しいため，まずはそのモノに関してそれまで行っていた行為を洗い出し，その中の「なくなる行為」の中から，価値のある手間と考えられる「失われる行為」を選択する方式を採る（Fig. 7 参照）．

そのモノに関連する全ての行為を洗い出すため，(1) そのモノを使用する時の一連の行為，(2) そのモノで実行可能な行為，(3) そのモノが利用されるシーンという 3 項目を用いて発散を促す工夫を行う．本を具体例として順を追って説明する．

1. まず，そのモノに関連する行為の中には必ず，そのモノを使用する時の一連の行為がある．通常の使い方を想定した毎度行う行為とも捉えることが可能であり，本を例とすると以下のようなものが挙げられる．

   座る，本を持つ，本を開く，本をめくる，本を閉じる，本をしまう

   そのモノを使用する一連の行為の前後に無意識に行っている行動も含めて書き出せるような質問文に変換する．
2. 次に，そのモノ使用する際に毎度行うわけではないが，そのモノの使用のために行う行為や，そのモノを使って実行可能な行為がある．本を例とすると以下のようなものが挙げられる．

   本を選ぶ，本を買う，本を破る，本を積む，本を並べる，本をカバンにしまう，本を枕にする，本を借りる，本で虫を叩く，本で支える，本に書き込む，本にしおりを挟む，本に付箋を貼る，本にブックカバーをつける

   そのモノと同時に使用するモノ（本の場合はしおりや付箋など）に関連する行為や，4.2 節で述べたアフォーダンスと呼ばれるモノの性質によって可能である行為が含まれる．これらのモノによって実行可能な行為は，「＊＊することができる」と言い換えることができると考え，そのモノの後に自然に続けることができる動詞を書き出す形式を採用した．そのモノの後に自然に続けることができる動詞を書き出す補助として，動詞に繋がる助詞「を，で，に，が」を設定した質問文に変換する．
3. モノを使用する際には，通常の使用における行為以外にも，遊び心で行う行為やついやってしまう行為，人との関係性の中で起こりうる行為，ミスやアクシデントによる行為などの例外的な行為があると考えた．本を例とすると以下のようなものが挙げられる．

   読みたい本を買ったが積読になっている，本を刊行順で本棚にきれいに並べる，本を重しにして押し花を作る，読んで感動した本を友達に貸す，図書の本を返し忘れる，本が増えすぎて本棚に入らない，濡れてしまった本を乾かす

   上記のような例外的な行為を洗い出すには，自由な発想を促す必要がある．そこで，そのモノが存在する光景を自由に想像した時，その光景には人の行動が伴うと考え，シーンを用いて遊び心や人との関係性を含めた例外的な行為を書き出す質問文に変換する．

(1)〜(3) を踏まえて，そのモノに関連する行為の洗い出しを以下の質問文に変換した．

- 『本』を使って『本を読む』ときの一連の行為の流れを書いてみてください
- 『本』を，で，に，が，のそれぞれに続く動詞をでき

るだけ多く書いてみてください
- 『本』にまつわる色々なシーンを想像して自由に書いてみてください

5.1. 失われる行為の選別

上述したプロセスで「なくなる行為」を洗い出した後，その中から必要な手間が含まれる可能性のある行為を選別する．その判断に用いる基準には，単純にできなくなると不便に感じる行為と手間をかけることによる益を用いる．

あるモノが便利になるとき，基本的には達成しようとする目的に沿って最適化され，そのモノを使って行うことができる行為は限定される．例えば，箸とフォーク，下駄と靴の比較が挙げられる[9]．箸はつまむものに応じて自在に動かして使えるが，フォークは突き刺すだけの使い方になる．下駄は足の大きさを問わず誰でも履けるが，靴はそうはいかない．このように，あるモノを便利にすると，使う人やその使い方を厳密に規定することになる．それによって，できなくなって逆に不便に感じる行為が生じることがある．

手間をかけることによる益については，先行研究である不便益で導出された不便による益を参考にする．不便益には，手間をかけることによる嬉しさ・楽しみ・達成感といった主観的な益と，能動的工夫や対象系理解，スキル低下防止といった客観的な益がある．そこで，失われる行為の選別を以下のような質問文に変換した．

- 失われる行為の中で，嬉しさ・楽しみ・達成感・ワクワクを感じるもの，もしくは工夫・上達の余地があるものはありますか？
- 失われる行為の中で，できなくなるとかえって不便に感じる，もしくはブラックボックス化につながるものはありますか？
- しなくなると人間の身体が弱ったり，能力が低下しそうなものはありますか？

便利にすることに伴い，新たに「生まれる行為」によっても問題が発生する場合があり，その影響を想定することは重要である．しかし，今回は失われる行為の導出に注力するため，本稿では新たに生まれる行為を書き出すに留める．

6. ユーザ観察

デザイン指針を基に，新たな便利を設計する際に「失われる行為」を意識させる Web システムを構築した．

Fig.6 の各ステップを質問項目に変換し，その回答を入力しながら設計を進める対話形式のシステムを実装した（Fig.8 参照）．このシステムは 9 ページのページ遷移で構成されている．はじめの 2 ページは現状の不便からアイデアを考えるためのページで，残りのページは，失われる行為を意識したうえでアイデアを再設計するためのページである．

このシステムを用いてアイデア創出した際のユーザのアイデア設計のプロセスと，失われる行為を意識させるプロセスの前後におけるアイデア内容の差異を観察するため，大学生 7 名を対象にユーザ観察実験を対面状況にて実施した．参加者には「傘をより便利にする，今までにない画期的な傘」を考案するというタスクを課した．提案システムを操作したユーザが感じたことやシステムの改善点を調べるため，実験後すべての参加者を対象に半構造化インタビューを行った．



Fig. 8　提案システムの画面（ページ 6）

6.1. 実験手続き

失われる行為を意識させるプロセスの有無によるアイデア内容の比較をするため，提案システムを，「しなくなる行為」の書き出しを始めるページの前後で 2 分割し，下記のステップごとに実施した．

ステップ 1 では，テーマに沿ったアイデアを自由に考え，回答はシステムに入力してもらった．回答は現状の不便からアイデアを考えるための 2 ページで行ってもらった．質問項目を以下に記す．

1. 便利にしたいモノはなんですか？（回答を A とする．本実験では A には「傘」が入る）
2. それは何をするために使うモノですか？（回答を B とする）
3. どんなところが不便に感じますか？
4. どんな不便をどのように便利にしますか？
5. 新しく考えたモノに，仮の名前をつけてみてください（回答を C とする）
6. 新しく考えたモノがどんなものか，できるだけ詳しく説明してください

ステップ 1 終了後に，考案したアイデアがどのようなものであるかを口頭で説明してもらった．

ステップ 2 では，ステップ 1 に続くシステムに沿って回答させた．システムは，失われる行為を意識したうえでアイデアを再設計するための 6 ページから構成される．システム内では，しなくなる行為の書き出し，失われる行為を意識させるプロセスを経た後に，そのアイデアの再設計を促した．質問項目は以下に記す．

1. 『傘』を使って『B（＊＊する）』ときの一連の行為の流れを書いてみてください
2. 「傘を」「傘で」「傘に」「傘が」のそれぞれに続く動詞をできるだけ多く書いてみてください．
3. 『傘』にまつわる 色々なシーンを想像して自由に書いてみてください．
4. 『傘』が『C（新たに考えたモノ）』に変化することでしなくなる行為・なくなるシーンはどれですか？
5. 新たにするようになる行為があれば書いてください
6. 左（注：Fig.8 のように画面の左側になくなる行為の一覧が表示される）の失われる行為の中で，嬉しさ・楽しみ・達成感・ワクワクを感じるもの，もしくは工夫・

上達の余地があるものはありますか？
7. できなくなるとかえって不便に感じる，もしくはブラックボックス化につながるものはありますか？
8. しなくなると人間の身体が弱ったり，能力が低下しそうなものはありますか？
9. これらの行為を失わないようにする工夫を考えながら『傘』を便利にするアイデアをもう一度考えてみてください．行為を失わないために，どのような工夫をしますか？
10. 新しく考えたモノがどんなものか，できるだけ詳しく説明してください

ステップ 2 終了後にも，ステップ 1 と同様に，再設計したアイデアがどのようなものであるかを口頭で説明してもらった．

実験時間はステップ 1 で 20 分，ステップ 2 で 30 分を目安とし，終了は実験参加者の判断に委ねた．実験中は，紙やペン・付箋などのツールの使用，必要な場合には Web 検索を許可した．

両方の実験ステップが終了した後，システムの改善点に関する半構造化インタビューを行った．例としてひとりの参加者の回答を示す．

6.2. 例：参加者 A の回答

A は,『傘』を『雨から自身や身につけているものを守る』ために使うモノと捉えており，不便に感じている 6 点の中で,『車に乗ってドアを閉めるときに傘が閉じにくいためにいつも濡れてしまう・風で傘が裏返ってしまうことがある・傘を閉じた後雫が飛び散らないよう巻いて固定しないといけない』という 3 点を解消する『便利な傘』を考案した．そのアイデアは,『傘についているボタンを押せば従来の向きと反対側に傘を閉じるようにすることで，濡れることなくドアを閉めることができ，傘が風で裏返しになってしまった時もボタン一つで元に戻すことができ，傘の中に付けられた回転モーターを利用すれば自動的に傘を巻くことができる』といったものであった．これはいわゆる，逆に開く傘に類似するアイデアである．

『傘』を使って『雨から自身や身につけているものを守る』ときの一連の行為の流れは，

> 天気予報を見る，実際の外の天気を確認する，傘を探す，傘を取る，外に出る，傘を広げる，傘を持って歩く

が書き出されており，傘の使い方以外に，傘を使う条件である天気に関連する行為が書き出されていることが分かる．

傘に続く動詞を書く項目では，

> 傘をさす，傘を買う，傘を選ぶ，傘をもらう，傘を借りる，傘を貸す，傘を乾かす，傘を閉じる，傘をなくす，傘を盗られる，傘を見る，傘を壊す，傘を振り回す，傘を忘れる，傘を持ってくる，傘を売る，傘で雨から守る，傘で突く，傘で殴る，傘で水浸しにする，傘が飛ばされる，傘が裏返る，傘が壊れる，傘が売り切れる，傘が荷物になる，傘が折れる

が書き出されており，傘の入手・メンテナンスの行為，傘を介して人との間で行われる行為や，傘がどうなる，のような傘の性質上起こりうるアクシデントやネガティブな事項を表す受動態の表現が含まれていた．

『傘』にまつわる色々なシーンを想像して自由に書き出す項目では，

> コンビニなどの傘たてでよく傘の盗難や取り間違いが起こる（大半はビニール傘），傘に一部穴が空いていて濡れてしまうことがある，乾かし忘れると少し臭い，子供がよく振り回してごっこ遊びをしている，天気を気にしたくない人は折り畳み傘を常備している

が書き出されており，傘の見た目や素材によってたびたび発生するネガティブな事項や本来の使い方以外の使われ方，傘の別の形態である折り畳み傘についての行為が書き出されていることが分かる．

『傘』が『便利な傘』に変化することで，しなくなる行為・なくなるシーンを選ぶ項目では，傘を閉じる手間がなくなり，ボタンを押すという行為が新たにするようになる行為として書き出されていた．

しなくなると人間の身体が弱ったり,能力が低下しそうなことを書く項目では,『世の中の傘が自分で閉じない製品だけになってしまうと，ボタンが壊れたときに閉じ方がわからない人が出てくる』が書き出されており，これは傘を開閉する機構がボタンに置き換わることによる仕組みの不透明化への懸念だと解釈される．また，設定した質問項目外の回答ではあるが，新たにするようになる行為による影響として『間違えてボタンを押してしまったときに傘が閉じてしまって濡れてしまう』が書き出されており，これは人間の操作ミスを想定した事項である．

以上を踏まえたうえで，ステップ 2 で再設計したアイデアの工夫点は,『前回考えた便利な傘のボタンを誤作動がないような位置に設置する』であり,『傘の持つ所付近にボタンを設置しないと閉じたり開けたりする際の動作の邪魔になってしまうので，ここ以外の場所に設置するのは実用的でない．よって傘の持つ部分にボタンを設置するが，間違えて押してしまわないよう，スライド式のカバーで覆うことにする』といったアイデアに再設計されていた．失われる行為を意識させるプロセスで導き出されたのは傘を閉じる手間だけであったが，新たにするようになる行為への気づきによってヒューマンエラーを見据えたアイデアに再設計されたことが伺える．

6.3. 実験結果

「なくなる行為」を選択するための洗い出しのステップでは，様々な行為やシーンが書き出されていた．特に，そのモノが利用されるシーンの書き出しでは，そのモノの本来の使い方以外の使われ方や人との関係性の中で発生する行為といった，個人の通常使用の想定だけでは拾うことが難しい例外的な行為も含めて洗い出されており,「なくなる行為」を導き出す手法として効果的であることが示唆された．しかし,「なくなる行為」が明らかになった後に「失われる行為」を選び出すステップでは，回答がないケースが多く見られたり，他の行為で補うことが可能な行為が「失われる行為」として誤って回答されていたりするケースが確認され，どの行為が価値のある手間であるのかを判断する過程に困難があることが明らかになった．また，行為の

喪失による影響を踏まえてアイデアを再設計する段階では，機能の付け足しによる対処療法がなされる懸念もある．新たに考案したアイデアが，現状のモノの構造を一部変化させたり機能を追加したりするようなミニマムな変化であった場合は，「なくなる行為」及び「失われる行為」が少なくなることが観察された．そのようなアイデアに関しては，機能追加によって新たに「生まれる行為」による影響をより多く考えるべきであり，今後は「生まれる行為」にもアプローチしていく必要がある．

7. 結　　言

本稿では，新たな便利を企図する際に大局的な観点からシステムを設計するための支援を行うため，失われる行為を意識させるシステムを提案した．

今後は，人間にとって必要な手間を判断し，企図する便利とのトレードオフを解決する仕組みを導入したシステムの開発を目指す．

文　　献

(1) Chai, K.-H., Zhang, J. and Tan, K.-C.: A TRIZ-Based Method for New Service Design, *Journal of Service Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 48-66 (2005). DOI: 10.1177/1094670505276683

(2) Hasebe, Y., Kawakami, H., Hiraoka, T. and Naito, K.: A Card-Type Tool to Support Divergent Thinking for Embodying Benefit of Inconvenience, *Intelligent Interaction, Reasoning and Applications*, Vol. 13, No. 2, pp. 93-102 (2015). DOI: 10.3233/WEB-150312

(3) Hasebe, Y., Kawakami, H., Hiraoka, T. and Nozaki, K.: Guidelines of System Design for Embodying Benefits of Inconvenience, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 8, Issue 1, pp. 2-6 (2015). DOI: 10.9746/jcmsi.8.2

(4) H 広報担当: 不便益システム研究所ヒューマンインタフェース学会出張所 第1回「不便益ってなんですか?」, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 213-215 (2006).

(5) Klayman, J.: Varieties of Confirmation Bias, *Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 32, pp. 385-418 (1995). DOI: 10.1016/S0079-7421(08)60315-1

(6) Norman, D. A.: The way I see IT signifiers, not affordances, *Interactions*, Vol. 15, Issue 6, pp. 18-19 (2008). DOI: 10.1145/1409040.1409044

(7) 西本一志, 横山裕基: 妨害による支援～あるいは「向上のための改悪」～, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-HCI-159, No. 10, pp. 1-8 (2014).

(8) 西本一志, 横山裕基: 漢字形状記憶の損失を防ぐ漢字入力方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 4, pp. 1207-1216 (2016).

(9) 福岡賢正: たのしい不便, 南方新社 (2000).

(10) 内藤浩介, 川上浩司, 平岡敏洋: 発明的問題解決理論 TRIZ に基づく不便の効用を活かす設計支援手法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 6, pp. 595-601 (2013).

(11) 川上浩司: 不便の効用に着目したシステムデザインに向けて, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 11, No. 1, pp. 125-134 (2009).

(12) 川上浩司: 不便から生まれるデザイン―工学に活かす常識を超えた発想―, 化学同人 (2011).

(13) 川上浩司, 内藤浩介, 平岡敏洋, 戌亥来未: 発明的問題解決理論 TRIZ を援用した不便益発想支援システム, 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 10, pp. 911-917 (2013).

(14) 三輪和久: オートメーションと付き合うために知っておくべきこと: 認知的廃用性萎縮の課題, 電子情報通信学会誌, Vol. 97, No. 9, pp. 782-787 (2014).

倫理的設計の支援は草の根 AI ネットワーク化するとどう変わるか？

What will change if a grassroots AI network for ethical design is realized?

○関口　海良[*1]　　堀　浩一（東京大学大学院）[*2]

[*1] Kaira Sekiguchi, kaira [at] dfrome.com
[*2] Koichi Hori, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, hori [at] computer.org

キーワード:倫理的設計, 設計理論, 創造活動支援, 草の根 AI ネットワーク

1. 緒　　言

近年，人工物が社会全体に与える影響まで考慮した設計がますます重要と認識されている．代表的な例は持続可能な社会や，人間中心の社会の実現に関するものである．以下，人工物に関するこれら社会的な価値や，設計者やステークホルダの在り方まで含めて扱う設計のことを「倫理的設計」と呼ぶことにする．

また，倫理的設計を支援するための設計支援ツールや創造活動支援ツールといったツールの開発も進められている．筆者らも主に倫理的設計における概念設計を対象とした支援ツールを提供し[(1)~(2)]，さらに，倫理を考慮することでより創造的な設計につながる事を示した[(3)]．

しかし，ひとつのツールによる支援では網羅性や中立性に限界がある．一般に，関連データを網羅する知識ベースを作成することは困難である．他にも，計算ロジック内で用いられる定数の設定に設計者の立場の偏りが入る可能性がある．さらに，どのデータを収集するかの判断も偏る可能性がある．

そして，これらの論点は倫理的設計を扱う際に特に問題となる．倫理的設計では扱う影響の範囲が社会全体までと広く，関連する価値に関しても多様な立場があり得るからである．

そこで，本研究では倫理的設計の支援に際して独立して提供されている支援ツールをネットワーク化することを提案する．このネットワーク（以下，「草の根 AI ネットワーク[(4)]」）において網羅性と中立性を相互に補完させることで，倫理的設計に関するより質の高い支援の実現を目指す．

この目的のため，本論文では倫理的設計を支援するための草の根 AI ネットワークを対象としたフィージビリティスタディを扱う．このスタディにより，草の根 AI ネットワーク化することで倫理的設計に関するどのような支援が可能になるかや，どこに課題が生じるかを具体例に基づき議論することが可能となる．

以下，まずは筆者らが提案する倫理的設計理論の概要を振り返る．そして，倫理的設計理論を用いて，倫理的設計を支援するパターンを整理する．その後，草の根 AI ネットワーク化に関して本論文で扱う範囲を設定した上で，フィージビリティスタディの設定について記載する．その後，フィージビリティスタディの結果について報告し，議論を行い，結論と今後の課題を導く．

2. 倫理的設計理論の定義

まず倫理的設計理論[(1, 3)]の概要を示す．倫理的設計理論は倫理まで含んだ設計における視点と，この中で設計アイデアを記述するための方法からなる．本研究では前者を「倫理レベルからの設計」と呼び，後者を「言説による設計」と呼ぶ．倫理的設計理論は本研究において整理のための枠組みとしての役割を担う．また，支援ツールに対しては表現空間の仕様や，データのフォーマットを提供する．

2.1. 倫理レベルからの設計

まず，倫理レベルを人工物の階層表現の最上位に位置付ける（図 1 の中央上部）．ここで「倫理レベル」とは，人工物が社会全体に与える影響を扱うレベルとする．例えば，持続可能性や社会における自由や平等に関する議論をここで扱う．

人工物の階層表現においては，人工物と人とのインタラクション[(5)]に対応するレベルまで既に扱われてきたと整理することができる．本研究ではこのインタラクションを扱うレベルの上に倫理レベルを位置付けている．

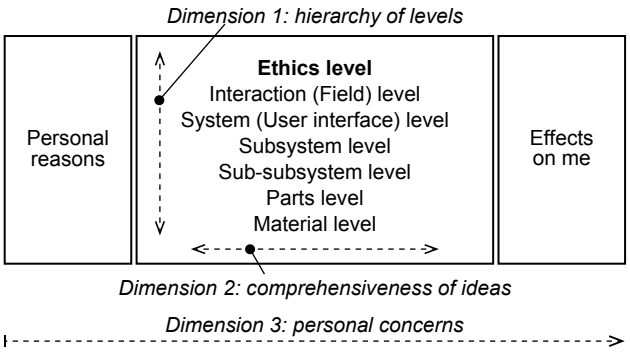


Fig.1　Extended Version of the Hierarchical Representation of artifacts (See also works[(1, 3)])

次に，設計者やその他ステークホルダの個人的な表現を扱う表現空間をさらに二つ位置付ける．ひとつは設計における個人的理由を扱うものである（図 1 の左側の面）．例えば，設計者が有する課題意識や欲求をここで表現する．

もうひとつは個人としての影響を表現するものである（図 1 の右側の面）．例えば，自身のキャリア形成にどうつ

ながるかや，自身のビジネスにどのようなインパクトがあるかなどを表現することができる．

他にも例えば，研究テーマを扱う際には個人的理由として背景を，人工物の階層表現では取り組む中身を，個人としての影響では今後の課題を表現することができる．

2.2. 言説による設計

次に，言説による設計を定義する．これは設計アイデアを記述するための方法である．ここでは設計アイデアを下記の三つの文法に従って記述するものとする．

1. Since A is a personal reason, I/we generate a design that will change B to C in the hierarchical representation of artifacts;
2. If B is changed to C at the parameter level, then D will change to E at the target level in the hierarchical representation of artifacts;
3. If D is changed to E in the hierarchical representation of artifacts, then F will change to G as effects on me/us.

本研究では，これらひとつひとつの記述がひとつの設計アイデアに対応するものとして扱う．

図 2 はこれら三つの文法を可視化したものである．

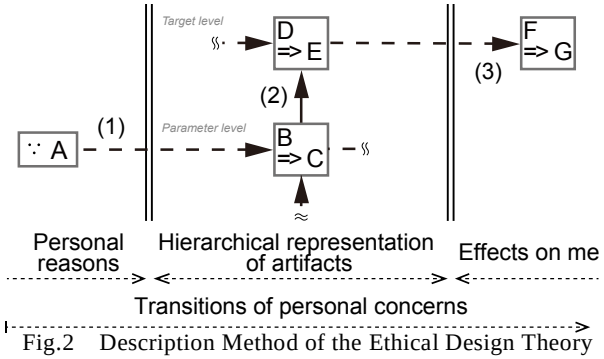


Fig.2 Description Method of the Ethical Design Theory (See also works[1, 3])

図 2 において，個々の設計アイデアを示すボックスのことを「アイテム」と呼ぶこととにする．また，ひと連なりのアイテムからなるパスが示す内容を「シナリオ」と呼ぶことにする．設計アイデアの全体としては，これら複数のアイテムが数珠つなぎの形で繋がったツリーのような形（以下，「ツリー」）を形成することになる．

重要な点は，これら視点や方法を用いることで工学的なアイデアから倫理的なアイデアまでを連続的に扱えるようになることである．例えば，現場の工学者が自身の活動の延長上にシームレスに倫理的論点を扱えるようになる．

3. 倫理的設計の支援のパターンの整理

倫理的設計理論を用いることで倫理的設計を支援するアプローチをパターン分けして整理することができる．

3.1. 本論文で扱う範囲の設定

倫理的設計の支援のアプローチは図 3 の 15 個のパターンに整理できる．図 3 では「a を b に変える」という設計アイデアに注目した状況を示している．そして，このアイデアの上下左右に設計アイデアを展開することを考える．

図中の黒矢印は設計アイデアの網羅性に関する支援があり得ることを示している．各黒矢印にはふたつの数字を対応させている．奇数は網羅性の向上の支援，偶数は選択の支援を示すものとする．これら二つの操作を描き分けることは，図が煩雑になる事を避けるため割愛した．

繰り返しになるが，まずはより網羅的な考慮を促す支援が考えられる（=1,3,5,7）．例えば，多様なシナリオの推薦を行うことができる．このことはまた，蓄積するデータの選択の判断に起因する偏りを軽減する効果もあるものと考えられる．

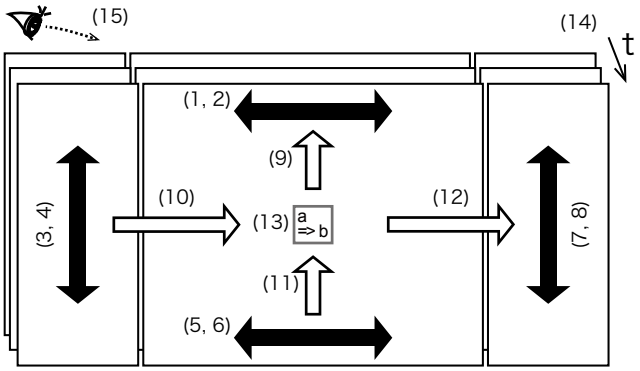


Fig.3 Patterns to Support Ethical Design

次に，複数ある設計アイデアの中からの選択に関する支援も考えられる（=2,4,6,8）．例えば，多くの社会で禁忌とされていることに関してはアラートを出すことなどが考えられる．この支援を多角的に行うことができれば，設計アイデアの選択に関する偏りを軽減する効果が期待できる．

さらに，白矢印は論理的整合性の確認の支援があり得ることを示している（=9〜12）．例えば，シナリオのパスの中に論理的飛躍があれば設計アイデアの内挿を促す支援などが考えられる．

加えて，「a を b に変える」というアイデアそのものに関する理解を深める支援も可能である（=13）．例えば，辞書の提供がこれに当たる．他にも，設計アイデアの時間変化を扱う支援も可能である（=14）．例えば，バージョン管理がこれに該当する．また，倫理的設計理論自体の見直しをメタな視点から行う支援も可能である（=15）．

4. フィージビリティスタディの設定

倫理的設計の支援を草の根 AI ネットワーク化する際も，期待される効果は上述の 15 個のパターンに整理できると考えられる．

4.1. 本論文で扱う範囲の設定

上述の 15 個の支援の内，本論文ではふたつのパターンを扱うことにする．そして，それぞれに対応したフィージビリティスタディのケースを下記のように設定する．

- 図 3 の 1：注目する設計アイデアが外部環境に与える影響をより網羅的に考えるための支援．以下，対応するフィージビリティスタディのケースを「影響調査ケース」と呼ぶことにする．
- 図 3 の 5：倫理的設計を実現する手段についてより網羅的に考えるための支援．以下，対応するフィージビリティスタディのケースを「手段調査ケース」と

呼ぶことにする．

その他の支援のパターンを扱うことは今後の課題とする．

4.2. 二つの支援ツールの利用

今回のフィージビリティスタディでは二つの支援ツールを利用する．これらを用いてに草の根 AI ネットワークを模擬する．ひとつは Dfrome（Website for design from the ethics level）[(2)]である．もうひとつは KNC（Knowledge Nebula Crystallizer）[(6)]である．以下，各ツールの概要である．

4.2.1. Dfrome　Dfrome は倫理的設計理論に基づき倫理的設計を支援する有機的で動的なツールである．ここで有機的とはアイデア間の相互関係を考慮することを意味する．動的とはユーザが有する文脈を考慮することを意味する．

Dfrome の構成要素は主に四つである．すなわち，(a) 倫理的設計理論が定めるツリーの形式に基づいて設計アイデアを編集するためのエディタ，(b) 編集した設計アイデアを保存するクラウド環境（知識ベース），(c) 知識ベースに対して自然言語処理等を用いて計算を行う探求用エンジンと，(d) 知識ベースに保存されたデータを簡易的な操作で閲覧可能とするブラウザである．知識ベースには倫理に関するものから機械学習など具体的な技術に関するものまで蓄積されている．フィージビリティスタディで用いる時点の知識ベースには 133 個のツリーが閲覧可能な状態で蓄積されている．

Dfrome はさらに発展的な二つの機能を備えている．ひとつは半自動生成である．これはユーザが入力したテキストを倫理的設計理論で定めるツリーの形式に変換するものである．変換されたツリーはユーザに更なる編集や考察を促すたたき台となる．この際，アイテム内の一部の記述が空白であるなどした場合でもなるべく結果のツリーを返すような計算処理としている．

もうひとつはシナリオパスの推薦である．シナリオパスの推薦はエディタとブラウザによって提供されている．今回のフィージビリティスタディではエディタ版を利用する．支援の内容としては，ユーザが人工物の階層表現内のひとつのアイテムを入力として与えるといくつかのシナリオを提示するというものである．その際，ユーザは二つのオプションを選択することになっている．ひとつは階層内の上方向に向かうシナリオを得るか，下側に連なるシナリオを見るかである．もうひとつは，入力のアイテムに連なる他のシナリオと類似のものの推薦を受けるか，「考えていそうで考えていなかった」シナリオの推薦を受けるかである．

4.2.2. KNC　KNC は知識ベースに筆者内の一人（=堀）が研究メモを約 15 年に渡り蓄積している．そして，文脈に応じてストーリーを動的に構成する．提供するサービスの例としては，(A) 自己紹介の概念空間の提示（マニュアルで作成），(B) 起承転結のストーリーの提示（自動生成）と，(C) ユーザの行動履歴に基づいた現在の興味の推定位置と興味の移動予測の提示がある．KNC には複数のバージョンが存在しているが，フィージビリティスタディの実施時点で利用可能なバージョンを利用することにする．

4.3. ネットワーク化を模擬した処理

今回のフィージビリティスタディでは主として Dfrome のシナリオパスの推薦（エディタ版）を用いる．ネットワーク化の処理の概要を示したのが図 4 である．

まず，入力に用いるアイテムのテキストを Dfrome の操作者（=関口）から KNC の操作者（=堀）へ送る．KNC 側ではこれを入力として KNC の知識ベース内で距離が近いテキストを計算する．そして，上位のテキストを Dfrome の操作者へ返す．

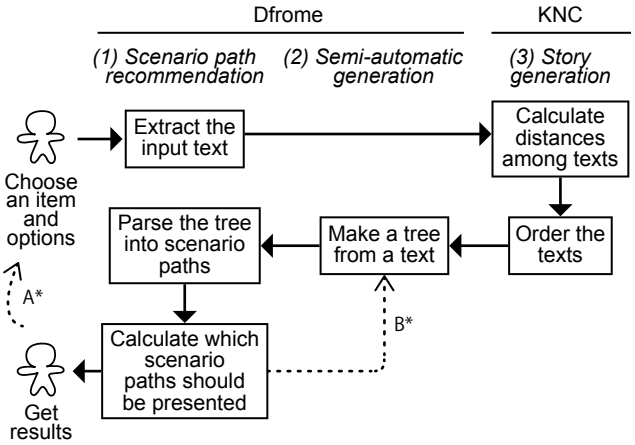
Dfrome 側では，取得したテキストが日本語の場合には英訳したり，タイトルや日時情報を除くなどの前処理を行う．その後，Dfrome の半自動生成を用いてツリーへと変換し保存する．

次に，このツリーをパス単位に「ばらばら」に分解して保存する．これらパスがシナリオパスの推薦の候補となる．これら処理もシナリオパスの推薦機能の関数を利用する．

最後に，シナリオパスの推薦を実施する．

評価に際しては，フォルトの状態よりも，KNC と連携した方がより幅広いシナリオの推薦が可能となるかを確認することとする．

上述のように，今回はネットワーク化の処理の内，一部をマニュアルで行なうこととする．全てを実装して提供することは今後の課題である．



* Dotted arrow show that the corresponding process is cyclic
** Note that some parts of this networking process is manually operated at present

Fig.4　Overview of the Networking Process in the Feasibility Studies

4.4. ケースの設定

本論文で扱う二つのケース（第 4.1 節参照）に共通する設定と，個別の設定について記載する．

4.4.1. 共通の設定　今回のフィージビリティスタディでは先行研究[(3)]において被験者 J が作成したツリーを入力として用いる．ツリーのテーマは被験者 J が務める企業のミッション[(7)]である．図 5 が被験者 J により編集された最終的なツリーである．この内，アイテム（a）から（e）へとつながるパスは，被検者 J がシナリオパスの推薦を用いて考察を行った箇所のひとつである．本スタディでは主にこの部分を扱う．

図 5 の内，被験者 J がシナリオパスの推薦に入力として用いたのは（a）である．アイテム（b）から（e）は被検者 J によってマージされたパスである．それぞれの記述内容は，(a)「farmer => Increase sales with sustainably-grown, value-added fish」，(b)「** People => have more freedom on procurement of goods everywhere」，(c)「Society => hold more freedom to choose and change his residence」，(d)「We =>

notice that there are reversal effects」，（e）「We => think about designs that only cause good effects」である．

4.4.1. 影響調査ケースの設定　本ケースでは被験者 J がシナリオパスの推薦を行なった状況を模擬する．具体的には，被験者 J がマージしたパスを切り離してシナリオパスの推薦の実施前の状態を再現する．次に，被検者 J が用いたのと同じ(a)のアイテムを入力として用いる．そして，階層の上方向へと向かうシナリオの推薦を受ける．ここで，入力として用いるテキスト中にある「=>」の記述ついては Dfrome 内の処理でも除外しているので，KNC での処理でも除外する（手段調査ケースでも同様）．

被験者 J はシナリオパスの推薦に関して，どのアイテムを入力に用いても「ドローン」に関する結果が出てくるという趣旨のコメントをしていた．そこで，網羅性の向上の確認のために，ドローン以外に関するシナリオがどれだけ幅広く出てくるかを確認する．

4.4.1. 手段調査ケースの設定　次に，被検者 J がマージした倫理的なアイデアに関するアイテム(c)を入力として，下方向に連なるシナリオの推薦を受ける．　本ケースでは，KNC から返されたテキストにて参考文献が紹介されている場合には，インターネットからアブストラクト（ないしサマリー）の情報を取得して文献名と置き換える処理をマニュアルで施す．これにより，より情報量の多いツリーの作成を目指す．

他にも，図 5 においてより技術的な設計アイデアである（f）から（l）の記述も KNC への入力候補とする．それぞれの記述内容は，（f）「Our products => be built as feeding system made by integrating many technologies and data」，（g）「developing with IoT => allows it to remotely control many devices at the same time」，（h）「developing with AI => detect fish size automatically and optimize feeding patterns」，（i）「developing with cloud service like AWS => trace logs feeding activities and user activities」，(j)「utilizing satellite data => indicates environmental conditions」，（k）「AI system => improve detection rate of defective products」，（l）「AI system => detect defective products based on image data etc…」である．

5. フィージビリティスタディの結果

フィージビリティスタディで行なった二つのケースについて結果を記載する．

5.1. 影響調査ケースの結果[1]

表 1 は，影響調査ケースにおいて KNC から Dfrome に返されたテキストである．ここでは上位 5 件を示している．この内，二番目のテキストを続く処理に用いることとした．テキストに相応の長さがあり，シナリオパスの推薦の元データを作成するのに適すると考えられるためであった．

図 6 が表 1 の二番目のテキストを元に Dfrome の半自動生成を用いて作成したツリーである．アイテム内の記載については空欄となっているものも多く存在するなど不十分な点もあるが，それでもツリーの形式での表現が得られていることが確認できる．記載内容の詳細についての説明は省略するが，PDF 形式で閲覧している場合は拡大して中身を参照可能としている．

Table.1　Return from KNC to Dfrome (Effect Study Case)

No.	Summary
1	Overall purpose is important. Does GAN deal with purpose?
2	**EU, ETHICS GUIDELINES FOR TRUSTWORTHY AI**
3	In your /etc/apache2/httpd.conf file you'll need to change: …
4	User-subjective approach
5	KNC18: Can I use the Embeddings of knowledge graphs?

次に，表 2 が図 6 のツリーをシナリオパスの推薦の元データとした際に，得られたキーワードのまとめである．新たな複数のキーワードが確認できることから，KNC との連携により，より幅広いシナリオの推薦を実現していることが確認できる．

Table.2　Overview of Keywords Recommended by Dfrome and KNC (Effect Study Case)

No.	Scenarios refer to
Default	Drone (relay communication, search and rescue, border surveillance, freedom, etc.), A/IS, privacy, etc.
2	Training, education, trustworthy, transparency, assessment, etc.

図 7 は影響調査ケースにおけるシナリオパスの推薦の例である．ここでは，入力に用いた（a）のアイテムから「All stakeholders => be aware of and trained in Trustworthy AI, so that」へとつながるシナリオが得られている．これにより，「Trustworthy AI」という新たなアイデアを得られていることが確認できる．

5.1. 手段調査ケースの結果

表 3 は，手段調査ケースにおいて KNC から Dfrome に対して返されたテキストである．ここでも上位 5 件を示している．この内，一番目のものは筆者らの論文に関するものであったため不採用とした．一方，二番目のもので「面白い」結果が得られたためこれを採用することとした．

Table.3　Return from KNC to Dfrome (Means Study Case)

No.	Summary
1	AI support tool for Ethical AI Design by Sekiguchi and Hori
2	**Locally noisy autonomous agents improve global human coordination in network experiments, Nature 545, 370-374, May 2017.**
3	Knowledge management
4	Importance of purpose
5	User-subjective approach

[1] 本ケースは国際会議の口頭発表（PHTR2020）および人工知能学会全国大会（JSAI2021）で報告したものである．本論文では改めて紹介した上で新たな考察を加える．

図 8 が表 3 の二番目のテキストを Dfrome がツリー化したものである．ツリーの形式での表現が得られていることが確認できる．

表 4 が図 8 のツリーを元データとしてシナリオパスの推薦を行った際に得られたキーワードのまとめである．本ケースではデフォルトの状態でも幅広いシナリオが推薦されていることが確認できる．そして，KNC との連携により新たなシナリオの推薦を実現できていることも確認できる．

Table.4　Overview of Keywords Recommended by Dfrome and KNC (Means Study Case)

No.	Scenarios refer to
Default	Translation, education, human value compatiblity, participation procedures, workshops, standards, algorithms, human judgment and control, governance framework, citizens, risk, misuse, etc.
2	Subjects in networks with bots, behavioral randomness

図 9 は手段調査ケースにおけるシナリオパスの具体的なイメージである．入力に用いた（c）のアイテムから「Behavioral randomness => work not only by making the task of humans to whom the bots were connected easier, but also by affecting the game play of the humans among themselves and hence creating further cascades of benefit in global coordination in these heterogeneous systems」というアイテムにつながるシナリオが得られている．

一方，KNC への入力候補としてより技術的な記述についても図 5 の（f）から（l）として用意していたが，傾向としては「ひっかかるキーワードが少ないようで，あまり面白いのが出ない」という結果となった．

6. 議　　論

フィージビリティスタディの結果を受けて議論を行う．まず期待通りの結果が得られた点について記載する．その後，期待通りの結果が得られなかった点について論じる．

6.1. 期待通りの結果が得られた点

重要な点として，今回のフィージビリティスタディによって網羅性の向上を示す結果が得られたことを挙げることができる．このことは，Dfrome と KNC の連携により，Dfrome だけでは提示できないシナリオパスを推薦できたことで確認された．これは影響調査ケースと手段調査ケースのいずれにおいても確認された．

また，支援の 15 パターンへの整理は倫理的設計理論に基づくものであった．今回は 2 パターンのみを扱ったが，その他のパターンについても同様に扱えるものと考えられる．これは倫理的設計理論の有用性を示すものである．

6.2. 期待通りの結果が得られなかった点

期待通りの結果が得られなかった点については大きく下記三点を挙げることができる．

（ア）倫理レベルまで至るシナリオが出てこなかった点（影響調査ケースにて）

（イ）レベル間にギャップのあるシナリオが出てきた点（手段調査ケースにて）

（ウ）入力のテキストと KNC の知識ベースに共通するキーワードが見つからない際に，「面白い」結果が得られなかった点（手段調査ケースにて）

ひとつ目に関しては，元データが「Trustworthy AI」という AI の性能に関するものだったことが影響している．たしかに，これは AI 倫理に関して重要な論点である．しかし，これは AI という個別の人工物に関するものであり，社会全体に対応する考察は別のレベルで行うものと考えることができる．AI に関する倫理を扱っていても倫理レベルを扱っているとは限らないことは気づきにつながる可能性がある．しかし，倫理レベルまでつながるシナリオを期待している今回のような場合には不十分な結果であった．

この問題への対応として，倫理レベルまで至るデータの不足を補うことが考えられる．例えば，今回のようにテキストをひとつずつ処理するのではなく，複数のテキストをまとめて処理する．実現方法としては，テキスト毎に生成したツリーを複数作成してそれぞれからシナリオパスを作成し，シナリオパスの推薦に用いもの法が考えられる．あるいは，複数のテキストからひとつのツリーを作成して用いる方法も考えられる．

二つ目に関するしては，技術的アイデアから倫理的アイデアまでシームレスにつなぐ点が損なわれており問題である．これにより，技術者が自身の活動と倫理的なアイデアの関連を見出すことが困難となる可能性がある．

図 8 を見ると，生成されたアイテムは相応の数がある．しかし，人工物の階層表現内での連関を示す実線の矢印が離れた箇所で二本しか引かれていない．したがって，候補となるシナリオパスも数もこの二つだけとなる．さらに，これらはそれぞれ二つのアイテムだけからなるパスであり，数珠つなぎの形で論理を展開する形にはなっていない．

このようなアイテム間の連関が弱いツリーが生成された要因としては，アイテムの生成がうまくいっていない可能性と，矢印の生成がうまくいっていない可能性の両方が考えられる．これに関しては，Dfrome の半自動生成を用いていることが影響していると考えられる．今回は Dfrome の知識ベースのみを参考にして半自動生成を行なっているため，結局は，Dfrome で繋がりを類推できるシナリオパスしか推薦できていなかったものと考えられる．

例えば，KNC はストーリーの生成機能も備えている．このような他のツールの機能を利用してシナリオパスの生成を行うことも有効であると考えられる．

加えて，この二つ目の問題に関しても上述の元データの不足の問題も影響していると考えられる．これにより，生成されたアイテムが不足していたものと考えられる．

三つ目に関しては，ユーザや知識ベース毎にキーワードが異なる問題への対応が必要である．例えば，今回のケースでは被験者 J が作成したツリーと，KNC の知識ベースの間に，Dfrome の知識ベースにあった設計アイデアを仲介させたことでキーワードのつながりが生まれた．そして，KNC において関連するテキストを計算することができた．このように，知識ベース単位で複数つなぐことでキーワードのギャップの問題を解決することも可能であると考えられる．

他にも，キーワードを個別に扱うのではなく共起語などの周辺情報を付加するなどの技術的な対応を考えることもできる．

7. 結論と今後の課題

本研究では，倫理的設計に向けたより質の高い支援を実現するために個別の支援ツールを提供するだけでなく，これらを草の根 AI ネットワーク化することを提案した．そして，フィージビリティスタディによりその実現可能性を具体例に基づき確認した．

今後の課題としては，草の根 AI ネットワークの残りの機能を実装し，サービスとして提供することを挙げることができる．この際，今回確認された「期待通りの結果が得られなかった点」に関する改善点を反映する必要がある．さらに，今回扱わなかった残りの 13 パターンについてもフィージビリティスタディをはじめとした検討を進める予定である．

文　献

(1) Sekiguchi, K. and Hori, K.: Organic and Dynamic Tool for Use with Knowledge Base of AI Ethics for Promoting Engineers' Practice of Ethical AI Design, AI & SOCIETY, Published online, 2018.; Vol. 35, No. 1, 51–71, 2020. DOI：10.1007/s00146-018-0867-z

(2) Dfrome：Website for Design From the Ethics Level：www.dfrome.com

(3) Sekiguchi, K. and Hori, K.: Designing Ethical Artifacts Has Resulted in Creative Design: Empirical Studies on the Effect of an Ethical Design Sup- port Tool, AI & SOCIETY, Published online, 2020.; Vol.36, No.1, 101–148, 2021. DOI：10.1007/s00146-020-01043-6

(4) 堀浩一: 人工知能として認識されない人工知能の埋め込まれる社会に向けて，情報通信政策研究, Vol.2, No.1, 11-19, 2018. DOI：10.24798/jicp.2.1_11

(5) 中小路久美代：研究会千夜一夜：インタフェースからインタラクションへ –ヒューマンインタフェース研究会–，情報処理 Vol.48, No.2, 202–203, 2007.

(6) KNC：Knowledge Nebula Crystallizer：http://www.ailab.t.u-tokyo.ac.jp/horiKNC/knc/indexjp (Will gradually be migrated to https://www.koichihori.tech: Also there exists the latest stand alone version.)

(7) UMITRON K. K.：Mission：https://umitron.com/en/mission.html. (参照日 2019 年 4 月 8 日～12 日)

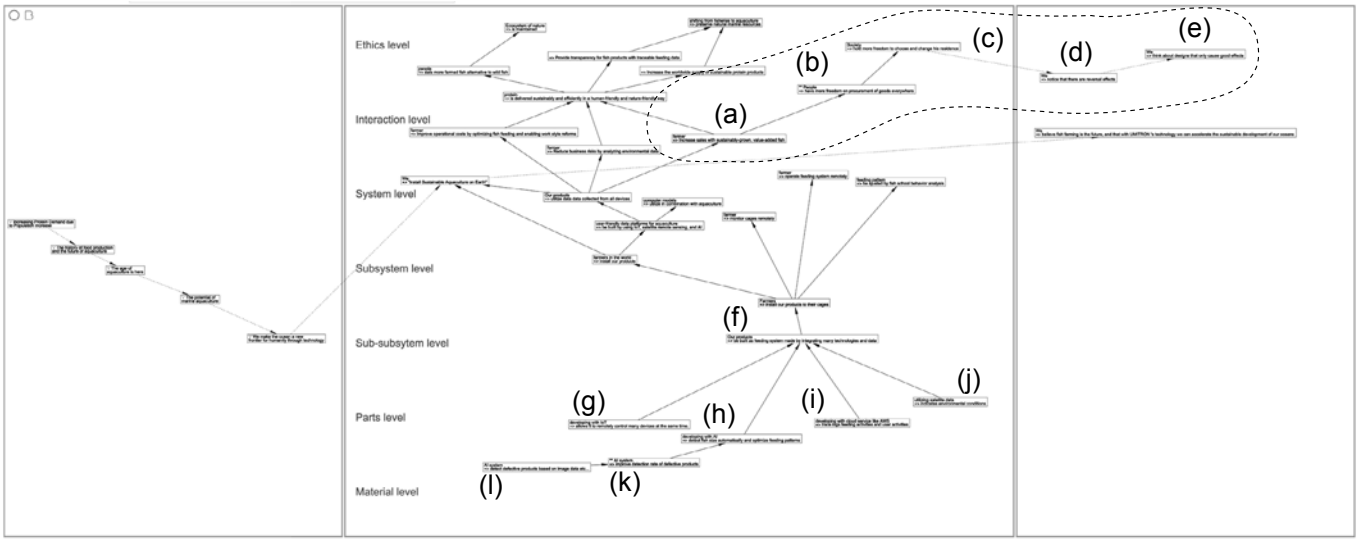


Fig.5　Overview of Subject J's Tree (See also out Previous Work[3] and Original Input Material[7])

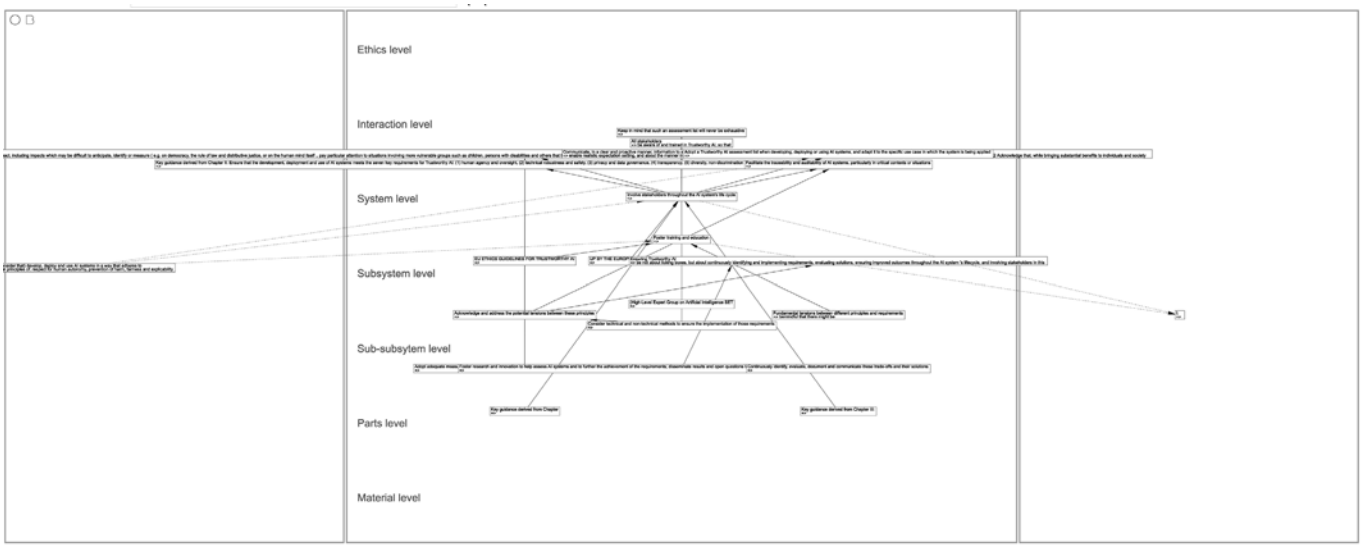


Fig.6　A Tree Generated by Dfrome (Effect Study Case)

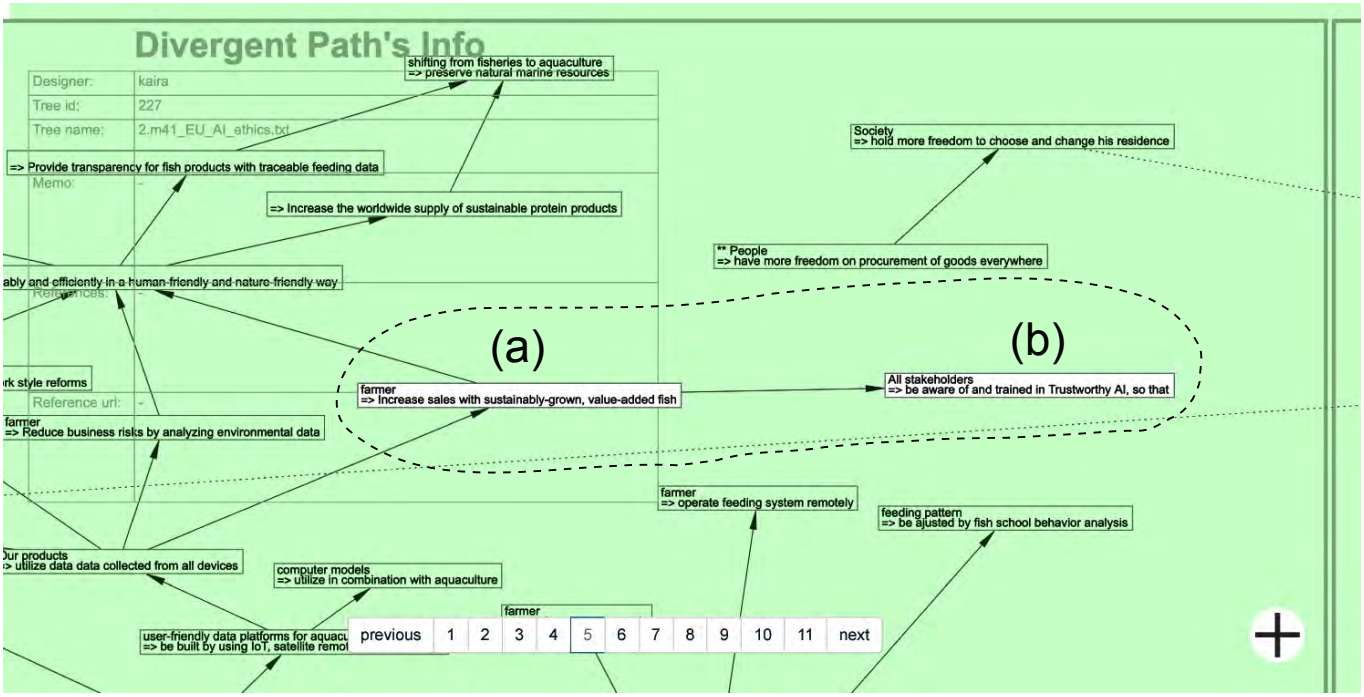


Fig.7　An Image of Scenario Path Recommendation (Effect Study Case)

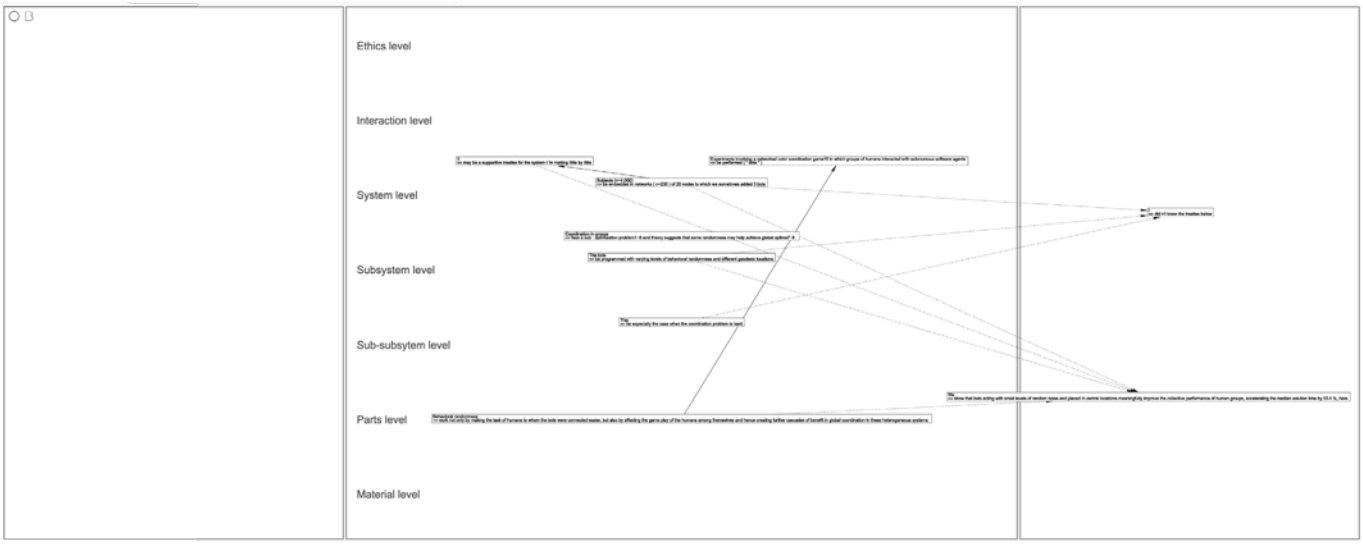


Fig.8　A Tree Generated by Dfrome (Means Study Case)

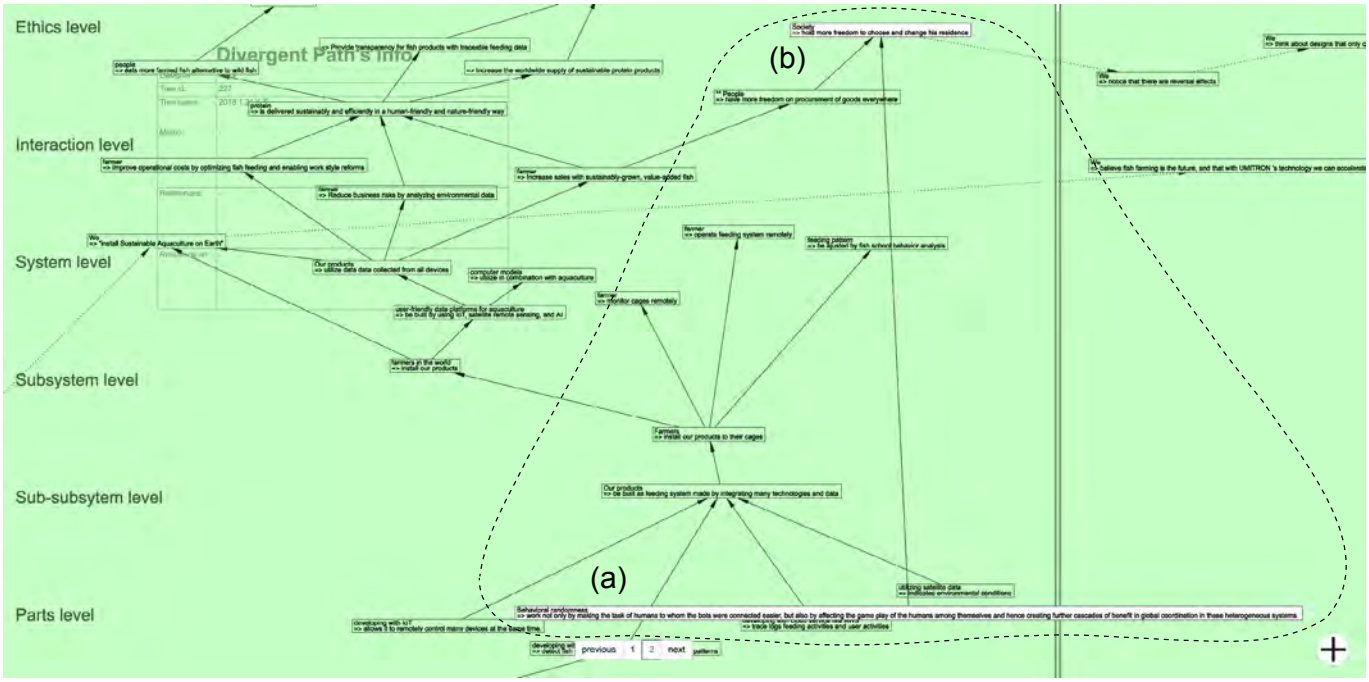


Fig.9　An Image of Scenario Path Recommendation (Means Study Case)

統合的な個人化設計に向けた概念整理

Conceptualization Towards Integrated Design of Personalization Service

○金子和樹（東京大学）*1　木下裕介（東京大学）*2　梅田靖（東京大学）*3

*1 Kazuki Kaneko, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-8656, kaneko@susdesign.t.u-tokyo.ac.jp
*2 Yusuke Kishita, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-8656, kishita@pe.t.u-tokyo.ac.jp
*2 Yasushi Umeda, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-8656, umeda@race.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:個人化, 設計方法論, 製品サービスシステム

1. 序　論

個人化(Personalization)とは,「特定の人物の性質に合った製品を実現すること」である(1). ここでの“製品”という言葉が表す対象は，有形の製品だけでなく無形の情報やサービスを含む．特に生産者や企業が顧客に対して定型的に行う個人化のことを“個人化サービス”と呼ぶ．顧客の依頼に応じて職人が一つひとつ作るような原始的なものづくり産業もまた個人化サービスの一種と言える．

現在でも様々な企業が個人化サービスを提供されている．最近では,機械学習などの情報処理技術,センシング技術，コミュニケーション技術，小ロットでも効率的に生産する生産技術など新しい技術を活用した新しい個人化サービスが登場している．例えばコードミーは，多様な香水の生産システムと，香りに対する好みの診断を通じて，一人ひとりのユーザに合った香水を提供している(2). 他方, ZOZO はユーザが自分で肌の色を測定できるようにするツールを開発・提供している(3)．これは，肌質に合った色や成分であることが当たり前とされる化粧品に対して，来店せずに素早く手に入れられるという新しい付加価値を与えることを意図した取り組みである．

上記のような実践とは別に，次世代の製造業に関する議論においても，個人化が重要な概念として注目されている(4)．今後の製造業において求められているのは，注文に応じるだけでなくユーザに合った製品を提案すること(5)，より幅広い製品を安価に個人化できるようにすること(6)，プライバシーの侵害やフィルターバブルのような個人化の副作用を低減すること(7)，さらに個人化のような大量生産とは異なる考え方によって持続可能な消費と生産を実現すること(8)，などである．

具体的な個人化サービスの開発や実践が日々進んでいるのに比べて，個人化サービスに対する理論的研究は進んでいない. そもそも個人化という言葉には共通の定義がなく，人によって異なる意味で使われている(9)．個人化がもたらすとされる価値や副作用についても，その発生原理が十分に説明されていない. そして個人化の実現方法についても，成功事例が断片的に語られるのみであり，本質的な課題が明らかにされていない．

本研究の目的は,個人化サービスを実現するための設計，すなわち個人化設計の方法論を構築することである(1)．個人化設計では，設計者が企業ごとの条件に応じて具体的な個人化サービスを考えて表現する．このとき個人化サービスを設計する設計者が参照可能な知識やノウハウをまとめたものが個人化設計方法論である．個人化設計方法論が明らかになれば，多くの企業がそれぞれのやり方で個人化を行うようになり，人々は個人化された製品を手軽に手に入れられるようになると考えられる．

以前に我々は個人化手続きに焦点を当て，エンジニアリングデザインの考え方に基づいて個人化手続きを設計する方法論を提案した(10)．しかしながら，依然として個人化設計方法論は多くの部分が未完成のまま残されている．例えば，設計対象である個人化サービスの全体像が明らかでない．また，設計プロセス全体の中で個人化手続き設計をどのように行うのかが定められていない．

本論文の目的は，個人化設計の全体像を捉え直し，個人化設計方法論の枠組みを明らかにすることである．その手段として，本研究ではまず個人化サービスの認識論を再構築する．具体的には，ミクロとマクロの 2 つの視点から個人化サービスを眺め，そこに登場する本質的な概念を整理する．次に，認識論に基づいて個人化設計において行うべき課題を挙げる．

本論文の構成は下記の通りである．第 2 章では，個人化に関する理論的研究の現状について述べる．第 3 章では，個人化サービスの認識論について述べる．第 4 章では，認識論に基づく個人化設計の課題を示す．第 5 章では論文全体についての考察を行い，第 6 章で結論を述べる．

2. 個人化に関する研究の現状

2.1. 個人化研究の類型

本研究では，個人化という活動について理解するための理論を記述的理論，個人化の方法について説明する理論を方法論と呼ぶ．個人化の記述的理論や方法論に関する研究は数多くみられる．それらの研究は異なる考え方や文脈に基づいて行われているため，研究の目的や個人化の定義を確認することが必要になっている．本論文では個人化に関する近年の研究を 4 つのキーワードに沿って説明する．

2.2. 個人化と多様性

1 つ目のキーワードは「多様性」である．一部の研究で

は，多様な製品を提供することを個人化の重要な特徴として捉えている．このような研究は，多品種少量生産（マス・カスタマイゼーション）の文脈で行われていることが多い[6]．産業革命の時代には，製品や生産工程の画一化によって大量生産を実現していた．そこから徐々に品種を増やしていくことで，現在では部分的に異なる複数の製品を効率的に生産されている．このような生産システムの進化の果てに，1 品種当たりの生産量が 1 つになる時代が来ると考えられている[4]．

このような考え方においては，製品多様性を高めることが個人化の実現に向けた本質的アプローチとなる．代表的なアプローチが，モジュールの組み合わせによって多様な製品を効率的に実現するコンフィギュレーション設計である[11]．製品がもつべき機能や市場の要求を受けてプラットフォームやモジュール群を設計する技術は，個人化に関して盛んに行われている研究分野の一つである．

また，工場で多様な製品を生産するためには，生産工程を頻繁に変更する必要がある．このような工程を実現するために，工場や工作機械をネットワーク状に繋げる技術や[12]，生産工程を自動設計する技術が開発されている[13]．

このような考え方に対する批判としては，ユーザ視点の欠如が挙げられる[14]．そもそも個人化された製品の多様性はユーザの多様性に起因するものであり，多様性が高ければ高い方が良いというものではない．また，多様な製品群があったとしても，あるユーザにとって要求を満たす製品が含まれていなければ，そのユーザに対する個人化は実現できない．さらに，製品多様性の増加によって，個々のユーザに合った製品を見つける手間も増えてしまう．

2.3. 個人化とユーザ満足度

2 つ目のキーワードは「ユーザ満足度」である．個人化を，ユーザ満足度を高める手段として捉えている研究は多い．特にマーケティングの分野では，ユーザの愛着を製品だけでなく企業に対して作り出すのが重要とされている[15]．ユーザの企業に対する愛着は顧客忠誠と呼ばれ，顧客忠誠をつくりだす活動を顧客関係管理や One to One マーケティングと呼ばれる．

ユーザ満足度は各ユーザの主観的な判断によって決まる．主観的判断のメカニズムは当人にとっても定かではない上に，ユーザごとに異なる可能性もある．このようなユーザ満足度の定量化には，データに基に生成されるモデルを使うことが多い．代表的な手法は機械学習や協調フィルタリングである[16]．

このような考え方に対しては，個人化をによって情報をコントロールされることが逆に満足度を下げるという指摘もある[17]．また，製品の特性の中には，価格や応答速度など，誰にとっても安ければ安いほど（速ければ速いほど）満足度が高くなるような特性もある．これらの特性を改善して満足度を高めることが個人化とは考えづらい．

2.4. 個人化と参加・インタラクション

3 つ目のキーワードは「参加・インタラクション」である．ユーザの主体的な参加こそが個人化にとって重要だとする考え方がある[18]．

参加には，単にユーザを情報収集の作業員として扱うというだけでなく，ユーザにものづくりの体験を与えるという効果がある．ユーザ参加に基づく個人化の典型例として，ユーザが自分の欲しい製品を自分でつくるという活動が広まりつつある．このような活動のための工房は Fab Lab と呼ばれ，Fab Lab を利用するユーザのことはプロシューマと呼ばれている[19]．デジタル技術の発展と普及は，ユーザがものづくりを行う際の障壁を格段に下げた．例えば，Virtual Reality 技術は，製品に関する知識が乏しいユーザでも製品完成像を認識できるようにした[20]．3D プリンターは，生産についての知識・技術をもたないユーザでも任意の形状を持つ製品を生産できるようにした[21]．

このような考え方に対しては，個人化にユーザ参加は必要ではないという批判がある．企業側が一方的にユーザの情報を集め個人化された製品をつくるようなやり方にも，手間がかからないという利点はあり，それを求めるユーザも一定数いると考えられる[22]．

2.5. 個人化と個人に関する情報

4 つ目のキーワードは「個人に関する情報」である．母集団のサンプリングに基づく統計データではなく，実際のユーザから得た情報を個々の製品に反映させることができるのは，個人化の大きな特徴だと考えられている[23]．

このような考え方における個人化は，特徴の異なるユーザ群と製品群から相性の良い製品とユーザの組を見つける活動と見なされる．このような考え方に基づく場合は，個々のユーザから個人に関する情報を集めることが必要になる．Internet of Things やウェアラブルセンサーなど，近年のセンシング技術の発展がこのような個別的な情報収集・分析を可能にしつつある[24]．

個々のユーザから情報を集めても，使用されるのが統計処理されたデータでは従来のものづくりと変わらない．しかし，個々のユーザから得られたデータのみを使ってそのユーザに合った製品を提案するのは困難である．また，こうしたデータ活用アルゴリズムの利用には倫理的問題も指摘されている[25]．

2.6. 本研究の位置づけ

個人化に関する研究は数多く行われている．しかしながら，その多くは個人化の実現方法に関する研究であり，個人化の本質について議論する研究は少ない．また，個人化サービスに対する固有の分析枠組みは知られておらず，研究者の関心に応じて異なる視点で分析されている．結果として，学問分野や製品種類によって個人化サービスに対する認識は大きく異なってしまっている．

本研究の特徴は下記の通りである．本研究が提示する個人化の認識論は個人化の本質的な概念を追求するものである．本研究では複数の視点を組み合わせることで，個人化サービスの全体像の理解を目指している．一般的な個人化サービスの設計方法論につながるよう，個人化の構成要素の体系的な整理を行っている．

3. 個人化サービスの認識論

3.1. 本研究のアプローチ

本研究の目的は個人化サービスの設計に対する方法論を構築することである．より具体的には，個人化サービスの設計に関する知識やノウハウを整理して，体系的な理論としてまとめることが本研究の目的である．

一般設計学によると，設計とは要求を実現する人工物に関する情報を段階的に詳細化しながら決定していく過程で

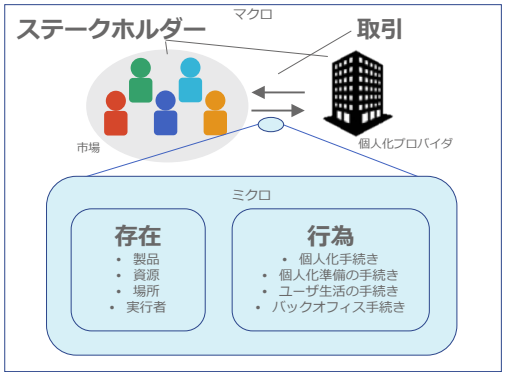


Fig. 1. 認識論の全体像

ある[26]．この過程で，人間の脳内では人工物に関する情報が抽象具体問わず現れては消えていく．これらの情報の一部を特定の関心に従って抽出して正しく表現したものがモデルであり，設計者はモデルを操作することで客観的に設計を進めることができる．このような考え方に基づくと，個人化設計方法論は，(1)設計対象である個人化サービスのモデルと，(2)モデルを操作して設計を進める方法を明らかにする必要がある．

本論文で行うのは，人間の脳内にあるモデルとして表現される前の個人化サービスに関する情報を分析することである．個人化サービスの概念構造を包括的にとらえるために，本研究ではミクロとマクロの 2 つの視点から個人化サービスを捉える．ミクロの視点では個々のユーザやそれらに対する行為を捉える．マクロの視点ではユーザ全体を市場として一元的に扱い，市場と企業のやり取り的を捉える．

本研究ではミクロの視点を存在と行為という抽象的な 2 つの視点に分ける．存在的視点ではミクロな個人化サービスに登場するものや情報に関する概念を明らかにする．行為的視点ではミクロな個人化サービスに見られる振る舞いや時間変化に関する概念を明らかにする．このように事物に対する理論を存在論と行為論に分けるのは，哲学においてよく行われているやり方である．

本研究ではマクロな視点をビジネス的視点として扱う．その理由は，本研究が個人化サービスを企業活動と見なしている以上それを考える人間の脳内にはビジネスに関する概念が必ず登場すると考えたためと，一定のサービスを多数の顧客に対して提供して全体の効率化によって利益を生むというのが基本的なビジネスだからである．本研究はビジネスを，ステークホルダー間でのマクロな価値の取引と定義する．ビジネス的視点では，個人化サービスにどのようなステークホルダーが登場し，マクロな視点でどのような価値のやり取りが行われるかを明らかにする．

図 1 に本研究における個人化サービスの認識論の全体像を示す．ミクロな個人化サービスに登場する本質的存在として，本研究では製品，資源，場所，実行者の 4 つを定義する．ミクロな個人化サービスの本質的行為として，個人化手続き，個人化の準備手続き，ユーザ生活の手続き，バックオフィス手続きの 4 つを定義する．マクロな個人化サービスのステークホルダーとして，市場，個人化プロバイダ，サードパーティの 3 つを定義する．マクロな個人化サービスにおける価値の取引として，個人化製品の取引，個人化プラットフォームの取引，個人化 BtoB 取引の 3 つを

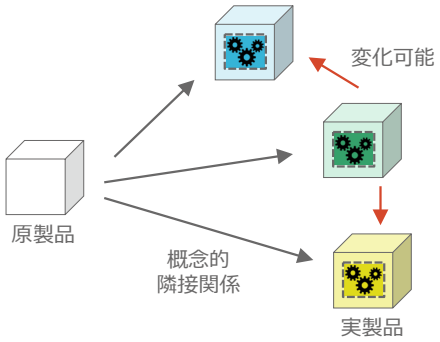


Fig. 2. 個人化サービスの製品概念群

定義する．以降は各概念についてより詳しく述べる．

3.2. 個人化サービスにおける存在概念

3.2.1. 製品概念　通常，製品とは企業活動を通じてユーザが受け取ったり使用したりする対象のことを指す．個人化サービスについて特徴的なことは，多数の製品概念が登場するということである．例えば，「コーヒーの個人化」と言ったときには，ユーザ A に合ったコーヒーとユーザ B に合ったコーヒーといった異なる製品が存在しうるということが暗黙的に想定されている．このように複数の製品概念を統合的にとらえる必要があるのが，個人化の理解を難しくしている要因の一つだと考えられる．

個人化サービスに登場する製品概念には 2 つの種類があると考えられる．1 つ目は現実に存在する具体的な製品と対応する実製品である．実際にユーザが飲むことができる物理的なコーヒーに関する概念がこれに当てはまる．ある個人化サービスにおいて特定のユーザと対応する個人に合った製品は，そのサービスが実現可能な実製品のうちの一つだと考えられる．

もう 1 つは，抽象的な製品と対応する概念である原製品 (Original Product)である．「コーヒーの個人化」の場合には，ユーザや企業が抱いているコーヒーについての抽象的な知識が原製品にあたる．例えば，コーヒーが飲料であることや，カップに入っているといった知識である．原製品の概念を導入する意図は，個人化サービスが実現可能な製品は限定されているということを示すことである．つまり，コーヒーの個人化といったときに紅茶やケーキといった全く別の製品を生産するとは考えないということである．このような概念があるからこそ，コーヒーの個人化と言ったときにユーザと企業の間で話が成り立つほか，コーヒーの個人化サービスに対する需要も生まれる．

人の認識においては，抽象的概念である原製品と具体的な実製品は同様に扱われる．これを表現したのが図 2 である．原製品と実製品をつなぐ矢印は，概念的な隣接関係を表している．個人に合った製品の探索は，原製品という抽象的な概念を起点として，条件を満たす具体的な実製品の概念を探索するという作業として表現することができる．一方で，実製品同士をつなぐ矢印は，現実において変化可能であることを表している．例えば，ブラックコーヒーに砂糖やミルクを加えることでコーヒーに変化するような変化を表している．

3.2.2. 資源概念　個人化の行為で使用する道具，設備，材料，エネルギー，知識・情報などは，まとめて資源として捉えることができる．個人化サービスにおける資源にお

いて重要なことは，個人に関する資源と一般的資源の 2 種類が存在するということである．

個人に関する資源とは，一人ひとりのユーザと紐づけられた資源である．例えば，ユーザに関する情報や，ユーザの所有物などがあてはまる．特にユーザに関する情報には，身長や体重といった身体的情報，好みや性格のような心理的情報，名前や職業といった社会的情報，ユーザの生活する部屋や所有物といった周辺環境に関する情報などが挙げられる．個人に関する資源は，基本的にその資源が紐づけられた人物に対して行う個人化だけに登場するべきものである．

一方で，一般的資源とは特定のユーザに限定されず幅広く使用される資源のことである．例えばコーヒー豆を挽くのに使うミルや情報を記録するデータベース，コーヒーの提供を行う店舗，コーヒーの材料などが一般的資源に当てはまる．他にも，人気のあるコーヒーの種類といったような参考情報も一般的資源に当てはまる．

3.2.3. 場所概念　個人化の行為を行う場所は場所概念として整理できる．例えば店舗や Web サイトといった場所があてはまる．

3.2.4. 実行者概念　個人化に関する行為を実行する人物は実行者概念として整理できる．基本的には個人化サービスを提供する企業に所属する従業員が実行者となることが多い．一方で，個人化サービスではユーザ自身が実行者となって手続きの一部を行うことも多い．例えばコーヒーの個人化において砂糖の追加はユーザ側で行うといったことである．また，ユーザの家族などが当てはまる場合もある．

3.3. 個人化サービスにおける行為概念

3.3.1. 個人化手続き　個人化手続きとは，ユーザが与えられてから個人化製品を提供するまでの一連の作業である．個人化手続きでは，ユーザと企業側のアクターとのインタラクションを経て，個人化製品が出力される．以前に本研究では個人化手続きのモデルとして個人化サイクルを提案した(図 3)[28]．このモデルでは個人化を，反復を通じて個人に合った製品を実現するプロセスと見なす．具体的には，個人化サイクルは読み取り・情報変換・実体化・フィードバックの 4 つの循環する作業で構成される．

3.3.2. バックオフィス手続き　バックオフィス手続きとは，個人化プロバイダに属する従業員がユーザから離れたバックオフィスで行う一連の作業である．バックオフィス手続きの目的は，個人化手続きの効率や効果を高めることである．より良い個人化手続きが行えるよう，企業は実行環境を整えたり得られた知識を分析したりする．このようなバックオフィス作業があることによって，複数のユーザに対する個人化手続きのシナジーを生み出すことができる．

3.3.3. ユーザ生活手続き　ユーザ生活手続きとは，ユーザの日常生活から個人化サービスに関係する活動を抽出したものである．一部の個人化サービスでは，サービスを通じてユーザの日常生活に関する細かい情報を必要とする場合がある．例えば，コーヒーを飲む時点での体調や気分に応じてコーヒーの種類を変えるような場合である．また，ユーザの生活を通じて個人化されていくような製品も考えられる．例えばコーヒーを自宅に持ち帰り，料理と合わせて楽しむといった場合である．こういった個人化サービスを設計する際には，ユーザの生活手続きを明らかにして論理的整合性を明らかにする必要がある．

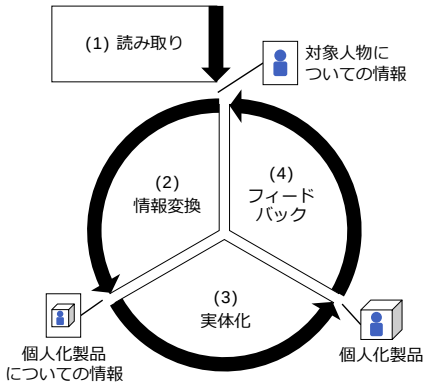


Fig. 3. 個人化サイクル[28]

3.3.4. 個人化準備の手続き　個人化準備の手続きは，個人化サービスの実施に先立って行われる個人化手続きの実行環境の整備を行うプロセスである．例えば店舗や工房などの個人化手続きで使用される場所を用意したり，個人化手続きで使用する資源や設備を用意したりする．個人化準備の手続きは個人化サービスの効率や効果を間接的に高める目的を持つ．

3.4. 個人化サービスにおけるステークホルダー概念

本研究におけるステークホルダーとは価値の取引を行う主体を指す．ただし，ステークホルダーは人間の集団を一元的に捉えたものであり，行為概念に登場する実行者とは別の概念であることに注意しておく．

3.4.1. 市場概念　市場は同じ個人化サービスを利用するユーザの集合体を指す概念である．市場に含まれるユーザは，個人化サービスに対する需要を持つ点では共通点を持つが，それ以外の点で共通性を持つとは限らない．

3.4.2. 個人化プロバイダ概念　個人化プロバイダは個人化サービスの中心となる主体を指す概念であり，基本的には企業が当てはまる．市場を構成する一人ひとりのユーザに対して，それぞれの性質に応じて異なる個人化製品を提供するというのが個人化プロバイダの役割である．

3.4.3. サードパーティ概念　サードパーティは個人化プロバイダとは別の企業を指す概念である．個人化プロバイダとサードパーティでは提供するものが異なる．個人化プロバイダが個人化サービス全体を提供するのに対して，サードパーティが提供するのは部分的な個人化サービスである．コーヒーの個人化の例で言えば，コーヒーの材料や人気のある味についての情報などである．資源を提供するだけでなく，手続きの一部を代行するような場合もある．本研究ではこのような部分的な個人化サービスのことを，個人化プラットフォームと呼ぶ．個人化プラットフォームは，ユーザと個人化プロバイダの間で個人化サービスが行われるときに使用される．個人化プラットフォームは単体では価値を持たず，それを使った個人化サービスが実現して初めて価値を持つと考えられる．

3.5. 個人化サービスにおける取引概念

取引とはステークホルダー間での双方向的な価値の流れを指す概念である．取引は流れる価値の大きさを表す取引

Table 1. 個人化サービスにおける概念の関係性

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
				x		x		x	x		x			A.製品
				x	x	x	x							B.資源
				x	x	x	x							C.場所
				x	x	x	x							D.人間
					x	x	x				x	x		E.個人化手続き
							x						x	F.個人化準備手続き
												x		G.ユーザ生活手続き
													x	H.バックオフィス手続き
								x	x	x	x			I.市場
									x	x			x	J.個人化プロバイダ
											x	x	x	K.サードパーティ
												x	x	L.個人化製品の取引
													x	M.個人化プラットフォームの取引
														N.個人化BtoB取引

量という属性を持つ．3 つのステークホルダーの組み合わせにより 3 種類の取引が定義できる．

3.5.1. 個人化製品の取引概念　個人化製品の取引とは，市場と個人化プロバイダの間の取引である．個人化プロバイダから市場に向けて個人化製品が流れ，その対価として金銭が逆方向に流れる．この取引は，個人化プロバイダと複数のユーザとの間の取引の集合体であることに注意が必要である．つまり，市場と個人化プロバイダの取引とは別に個々のユーザと個人化プロバイダの取引が定義できる．全体での取引量は個々のユーザに対する取引量とユーザ数の掛け算で表される．

3.5.2. 個人化プラットフォームの取引概念　個人化プラットフォームの取引とは，市場とサードパーティの間の取引である．サードパーティから市場に向けて個人化プラットフォームが流れ，その対価としての金銭が逆方向に流れる．個人化プラットフォームの取引も，個人化製品の取引と同様に，サードパーティと個々のユーザとの取引の集合体と見なせる．

3.5.3. 個人化 BtoB 取引概念　個人化 BtoB 取引とは，個人化プロバイダとサードパーティの間の取引である．サードパーティから個人化プロバイダに向けて個人化プラットフォームが流れ，その対価としての金銭が逆方向に流れる．

3.6. 個人化サービスの構造分析

ここまでで定義した個人化サービスに関する概念の関係性を表 1 のように整理した．表中の x 印は概念間に参照関係があることを表している．例えば製品は，個人化手続きに関する議論の中でも，個人化製品の取引に関する議論の中でも同じものが登場する．また，ミクロな視点のユーザとマクロな視点の市場には包含関係がある．

この表で主張したいことは，個人化サービスの概念同士が複雑に関係しあっているということである．特に，同じ支店の概念だけでなく別視点で登場する概念とも関係を持っている．このような関係性の複雑さが個人化サービスの理解を一層困難にしていると考えられる．

4. 個人化設計方法論の課題

前章では個人化サービスに関する認識論を整理した．この章では，認識論に基づいて個人化設計方法論の課題について考える．

与えられた条件を満たす個人化サービスに関する詳細な情報を導出するのが個人化設計の仕事である．本研究では，個人化設計の設計対象である個人化サービスを(a)製品，(b)手続き，(c)ビジネスモデルの 3 つに分けて扱う．このとき，個人化サービスの資源・場所・実行者は手続きに属するものとして扱う．設計対象を一旦このように整理することで，一度に扱う関係性の数を制限し，設計者の概念的混乱を避けることが狙いである．

個人化に関する製品設計における課題は，実現したい個人化サービスにおける製品概念集合の表現だと考える．この製品概念集合は概念的な隣接関係を含む．このように定義された製品概念集合は，個人化手続きにおける特定のユーザに合った製品概念の導出や，効率的な製品実現方法の設計において利用することができる．

個人化サービスの製品概念群に含まれる実製品はすべて実現可能である必要がある．これは，すべての個人化製品を実現方法と対応付ける必要があることを意味している．既存研究における代表激な個人化の実現方法であるモジュラー設計やパラメトリック設計は，多種多様な製品を効率的に実現可能にする工夫として位置付けることができる．多数の製品概念について相互の関係や全体の効率的な実現方法を考えるというのが，個人化設計における製品設計のより具体的な課題だと言える．

個人化に関する手続きの設計とは，個人化サービスに含まれる作業と作業間の順序を定めることである．個人化サービスを提供する際には，実行者は用意された手続きに沿って作業を行うものとする．認識論において示した通り，設計対象となる手続きには個人化手続き，個人化準備の手続き，ユーザ生活の手続き，バックオフィス手続きの 4 種類がある．

個人化手続き設計における主要な課題は，個人化を実現可能にする様々な技術の統合である．ユーザに関する情報を素早く測定するセンシング技術や，ユーザに合った製品の情報を導出する AI 技術，多種多様な形状を持つ製品を実現する 3D プリンティング技術，製品の仮想的な完成像をユーザに提示してフィードバックを得る技術など，個人化を実現可能にする技術は既に数多く提案されている．個人化手続き設計では，それらをまとめて価値のある 1 つながりの手続きを作り上げる必要がある．

個人化に関するビジネスモデルの設計とは，認識論で示したステークホルダーや取引の概念に基づいて，ビジネスとして成立する取引関係を考えて表現することである．

個人化設計で扱うビジネスモデル概念は，一般的なビジネスモデル設計と大きくは変わらない．このため，ビジネスモデルキャンバスなどの既存手法を個人化サービスに関するビジネスモデル設計にそのまま適用することができる．

ビジネスモデル設計に関してより困難な課題は，製品設計で作成した製品概念群や手続き設計で作成した手続きの規模を拡大したときに，全体的な価値を明らかにすることだと考える．実現可能な製品概念群や手続きを設計することができたとしても，マクロな視点において市場規模が小さかったりコストが高くすぎたりするなら，個人化サービスは実現しない．ミクロな視点の設計結果とマクロな視点の設計をどのように整合させるかについては既存研究が少ない．個人化サービスに関するビジネスモデル設計の手法を開発することは，個人化サービスの普及に向けた主要な課題だと考えられる．

5. 考察

本論文では個人化サービスの設計方法論構築に向けて，個人化サービスの認識論を整理した．また，認識論に基づいて個人化設計方法論の課題を挙げた．

本研究が提示した認識論は，複数の視点で個人化サービスを分析することで得た様々な概念を相互に関連付けている点に特徴がある．このようなアプローチによって，これまでの研究では明らかでなかった個人化サービスの全体像やメカニズムを説明できるようになる可能性がある．また，本研究の認識論は既存事例に依存しない体系的な概念整理を行っており，新しい個人化サービスのパターンの発見につながる可能性がある．

一方で，認識論には依然として明らかでない部分が多く残されている．例えば，製品概念における原製品と実製品の関係性が明らかでない．マクロな視点における取引概念の内容と，ミクロな視点における存在概念の関係が明らかでない．そして全体的な概念同士の参照関係が具体的に明らかでない．これらを明らかにするために，今後は具体的な事例の分析も踏まえながら概念整理を進めていく必要があると考えている．

個人化設計方法論に関しても，課題がすべて明らかになったとは言えない．方法論をさらに発展させるためには，認識論に基づく操作可能なモデルを構築し，個人化設計に必要な作業を明らかにしていく必要があると考えている．

本研究は個人化サービスについて純粋理論的なアプローチで研究を行っている．このため，個人化の魅力や問題点を具体的な情報を伴ってはっきりと示すことができていない．個人化をより一層普及させるためには，実践を伴う形で次世代の製造業における個人化のビジョンを提示する必要があると考えている．

6. 結　　論

本論文の目的は個人化サービスの設計方法論の構築に向けて，個人化サービスの全体像や個人化設計方法論の課題を再確認することである．この目的に向けて，個人化サービスに関する概念をミクロとマクロの２つの視点から抽出して整理した．この認識論にもとづいて個人化設計方法論の課題を挙げた．

本研究の今後の展望は下記の通りである．認識論を発展させつつ，認識論に基づく操作可能なモデルの開発を行う．開発したモデルに基づく設計方法論を構築し，個人化設計に関する知識やノウハウを形式的な形で明らかにする．個人化設計の実践や個人化サービスの実現を通じて，次世代の個人化サービスのビジョンや方法論の有効性を具体的に示す．

文　　献

(1) Kaneko, K., Kishita, Y., and Umeda, Y.: In Pursuit of Personalization Design, Procedia CIRP, Vol. 61, 93–97, 2017.
(2) https://www.codemeee.com/
(3) https://zozo.jp/zozoglass/
(4) Koren, Y.: The Global Manufacturing Revolution, Wiley, 2010.
(5) Accenture: Making It Personal - Pulse Check 2018, 2018.
(6) Piller, F. T., and Tseng, M. M.: Handbook of Research in Mass Customization and Personalization, World Scientific, 2010.
(7) Pariser, E.: The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You, Penguin Press, 2011.
(8) Ceschin, F., and Gaziulusoy, I.: Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. Design Studies, Vol. 47, 118–163, 2016.
(9) Fan, H., and Poole, M. S.: What Is Personalization? Perspectives on the Design and Implementation of Personalization in Information Systems, Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce, Vol. 16, No.3, 179–202, 2006.
(10) Kaneko, K., Kishita, Y., and Umeda, Y.: Proposal for the design of personalization procedure, International Journal of Automation Technology, Vol.12, No.6, 833–841, 2018.
(11) Zheng, P., Xu, X., Yu, S., and Liu, C.: Personalized product configuration framework in an adaptable open architecture product platform, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 43, 422–435, 2017.
(12) Torn, I. A. R., & Vaneker, T. H. J.: Mass personalization with industry 4.0 by SMEs: A concept for collaborative networks, Procedia Manufacturing, Vol. 28, 135–141, 2019.
(13) Wang, Y., Ma, H. S., Yang, J. H., and Wang, K. S.: Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production, Advances in Manufacturing, Vol. 5, No.4, 311–320, 2017.
(14) Pu, P., Chen, L., and Hu, R.: Evaluating recommender systems from the user's perspective: Survey of the state of the art, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol. 22, 4–5, 317–355, 2012.
(15) Kwon, K., and Kim, C.: How to design personalization in a context of customer retention: Who personalizes what and to what extent? Electronic Commerce Research and Applications, Vol. 11, No.2, 101–116, 2012.
(16) Lü, L., Medo, M., Yeung, C. H., Zhang, Y.-C., Zhang, Z.-K., and Zhou, T.: Recommender Systems. Physics Reports, Vol. 519, No.1, 1–49, 2012.
(17) Kim, D.: Design for User Autonomy in the System-Driven Personalization of Social Media., 19th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing Companion - CSCW '16 Companion, 155–158, 2016.
(18) Tan, C., Hu, S. J., Chung, H., Barton, K., Piya, C., Ramani, K., and Banu, M.: Product personalization enabled by assembly architecture and cyber physical systems, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.66, 33–36, 2017.
(19) 田中浩也： FabLife ―デジタルファブリケーションから生まれる「つくりかたの未来」， オライリージャパン，2012.
(20) Huang, S. H., Yang, Y. I., and Chu, C. H.: Human-centric design personalization of 3D glasses frame in markerless augmented reality, Advanced Engineering Informatics,

Vol.26, No.1, 35–45, 2012.
(21) Lee Ventola, C.: Medical applications for 3D printing: Current and projected uses, Pharmacy and Therapeutics, Vol.39, No.10, 704–711, 2014.
(22) Sundar, S. S., and Marathe, S. S.: Personalization versus customization: The importance of agency, privacy, and power usage, Human Communication Research, Vol.36, No.3, 298–322, 2010.
(23)
(24) Accenture: The Art of Knowing Me, 2017.
(25) Tricoli, A., Nasiri, N., and De, S.: Wearable and Miniaturized Sensor Technologies for Personalized and Preventive Medicine, Advanced Functional Materials, Vol.27, No.15, 1–19, 2017.
(26) オニールキャシー: あなたを支配し、社会を破壊する、AI・ビッグデータの罠, インターシフト, 2018.
(27) 吉川弘之, 冨山哲男: 設計学-ものづくりの理論, 放送大学教育振興会, 2001.
(28) Kaneko, K., Kishita, Y., and Umeda, Y.: Conducting Personalization Design Workshops — Designing Personalization Procedures, 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, 2021.

シナリオ設計支援方法論の構築に向けたシナリオ事例の分析と類型化

Analysis and typology of scenario practice toward developing scenario design methodology

○日下 俊輝（東京大学）*1，木下 裕介（東京大学）*1，
水野 有智（エネルギー総合工学研究所）*2，梅田 靖（東京大学）*1

*1 Toshiki KUSAKA, Yusuke KISHITA, and Yasushi UMEDA, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

*2 Yuji MIZUNO, The Institute for Applied Energy, 1-14-2 Nishi-Shimbashi, Minato-ku, Tokyo 105-0003, Japan

キーワード：シナリオ設計，設計方法論，類型化，文献調査

1. 緒　　言

将来の不確実性を含むさまざまな問題の解決手法として，シナリオは工学，公共政策，サステナビリティ学など幅広い学問分野で利用されている．近年では，持続可能社会の具体像を描くことを目的として，さまざまなシナリオが国内外の研究機関や企業等により作成されている(1)．ここで，シナリオは「複数の起こりうる将来を文章形式で記述したもの」と定義される．シナリオが数多く作成される中で，様々なシナリオ作成手法が提案されてきている(2)(3)．例えば，Royal Dutch Shell 社が戦略立案のためのシナリオ作成に用いたとされる 2×2 マトリックスが挙げられる(3)．

しかしながら，シナリオの実践は数多くみられるが，シナリオを作成するための手法はいまだ体系化されていない．実践の現場では，シナリオ・コンサルタントなどの専門家や実務家らの判断により，個々の問題に応じたシナリオが作成されている(4)(5)．そのため，与えられた問題に対するシナリオを作成・分析する手順を構築することは一般的に容易ではない．我々の研究室では，この課題に対してシナリオ設計方法論の開発を目指しており，これまでにシナリオ設計フレームワークを提案した(5)．しかしながら，シナリオ設計方法論の構築には依然として課題がある．特に，シナリオ設計フレームワークの妥当性が十分に検証されていないこと，具体的なシナリオ設計手順の作成方法が整理されていないことが挙げられる．

そこで本論文では，シナリオ設計支援方法論の構築に向けて，シナリオに関するさまざまな既存事例の調査に基づいてシナリオの作成方法・手順を分析することを目的とする．具体的には，既存事例の調査に基づきシナリオ設計手法の類型化を行い，各類型の傾向を分析する．事例調査を通して得られた結果を基に，著者らが考案したシナリオ設計フレームワークの妥当性を検証し，シナリオ設計手順の作成支援に対する要件を提示する．

2. シナリオ設計フレームワーク

著者らは，シナリオの作成に関する一連の行為をシナリオ設計と定義し，さまざまなシナリオの手法や実践を定型的に理解するための一般化されたシナリオ設計フレームワークを開発した(5)．図 1 に示すように，シナリオ設計は Preparation，Scenario creation，Analyzing scenarios，Evaluation，Scenario documentation の 5 つのステップから構成され，シナリオ設計プロセスでは必然的にステップ間で手戻りが発生する．各ステップの詳細は以下の通りである．

I. Preparation
Preparation には，Problem definition，Process design，Data collection がある．Problem definition では，シナリオの作成や分析の目的，背景や対象とするテーマを設定する．Process design では，Problem definition で定めたシナリオ作成の目的やシナリオの要件を満たすような手法を選択し，プロセスを決定する．Data collection では，文献調査や専門家へのヒアリングなどを通してシナリオを作成，分析する上で必要とされる情報を収集する．

II. Scenario creation
ステップIで設計したプロセスに沿ってシナリオを作成する．一般的な流れとしては，シナリオの構成(サブシナリオの数)を決定し，各サブシナリオのストーリーライン，つまりサブシナリオの大枠を構築する．そして，ストーリーラインの詳細化，肉付けを行いシナリオの作成をする．ストーリーラインの詳細化を行う際に，シミュレーションによる定量化を行う場合もある．

III. Analyzing scenarios
ステップIIで作成したシナリオ，あるいは既存のシナリオを分析する．感度分析や what-if 分析が具体例として挙げられる．

IV. Evaluation
作成したシナリオの評価をする．既存研究では，評価指標として，一貫性，妥当性，創造性などが挙げられている．

V. Scenario documentation
作成したシナリオを論文や報告書の形式で文書化する．

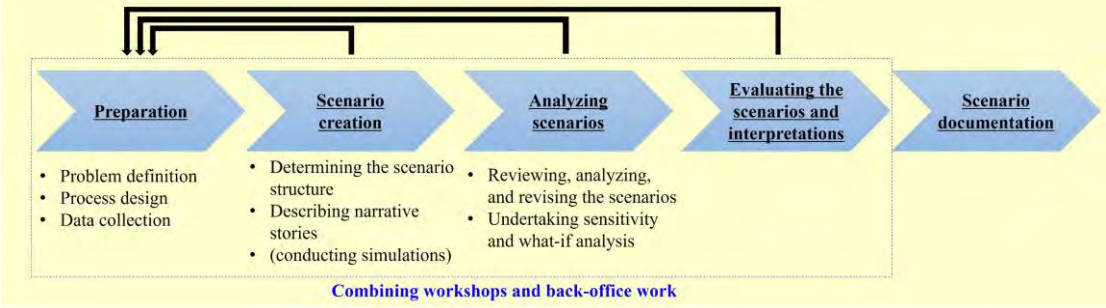


Fig. 1　Scenario design framework developed by the authors based on Kishita et al. (2020) [5]

Table 1　Refinement criteria

Stage	Criteria
1st refinement	*Abstract-Title-Keyword* : “scenario” and “futures” *Published year* : 2000~2021 *Journals* : Journal of Cleaner Production(JCP), Futures, Technological Forecasting and Social Change(TFSC)
2nd refinement	The top 200 papers in terms of citations in the 1st stage results
Final refinement	(i) The paper must fit the definition of a scenario in this study (ii) The paper must explicitly describe a method used to create or analyze scenarios

しかしながら，このフレームワークは著者らによる実践に基づいて作成されているため，その妥当性は十分に検証されていない．また，フレームワークを用いて，具体的な事例に対してシナリオ設計を支援するための方法はいまだ明らかになっていない．特に，図 1 の preparation において，各事例に対して適切なシナリオ設計手順を作成する（process design）ことは極めて重要なタスクであるが，その方法は暗黙的であり形式化されていないという課題がある．そこで本論文では，過去の事例の文献調査を行い，シナリオ設計操作や手順を分析する．これにより，フレームワークの妥当性検証を試みる．さらに，シナリオ設計手順の作成が抱える課題の解決に向けて，シナリオ設計手順の作成を支援するための条件を抽出する．

3.　シナリオ設計に関する文献調査

3.1 Systematic review

本研究では，網羅的に調査対象とする文献を選定するために，Systematic review の手法を適用した．手順は以下の通り，Scopus を用いて，3 段階に分け絞り込みを行った．各段階における絞り込み条件は表 1 の通りである．

(1)　まず表 1 に示したキーワード，出版年，論文誌の条件により検索を行う．その結果，1,079 件に絞り込まれる．
(2)　1,079 件の内，被引用数上位 200 件に絞り込んだ．
(3)　表 1 に示す条件に当てはまる論文を選定する．その結果，79 件の事例が調査対象となった．

79 件の事例を図 1 のフレームワークに基づいて分析を行い，既存事例のシナリオ作成プロセスや手法について詳細に整理した．表 2 に分析例の一部を示す．

3.2 フレームワークの妥当性

表 2 に示すように，シナリオ設計フレームワークに当てはまらない操作が行われた事例は見当たらなかった．このことから，フレームワークは十分に妥当であると考えられる．また，シナリオの評価を行う事例が見当たらないという結果を得た．すなわち，過去の事例ではシナリオの評価が行われていない，あるいは評価を行っているが論文に記載していないことが考えられる．

3.3 シナリオ設計方法の類型化

未来研究の分野では，さまざまな類型が提案されており，類型は未来研究のための方法を伝え，理解し，開発するための重要なツールになると考えられている[6]．本研究では，79 件の事例を以下の 2 つの設計方法による分類軸で分類した[6]．

i.　フォアキャスティング(FC) vs バックキャスティング(BC)
ii.　参加型 vs 非参加型

FC とは，現在を起点として起こりうるさまざまな将来を探索する方法であり，一方で，BC は最初に目標とする将来像を設定し，そのあとにそれら将来像を到達するために必要な道筋を時間軸と逆方向に描く方法である．また，参加型はステークホルダー，外部の専門家や一般市民らを招いてシナリオを設計する方法であり，非参加型はシナリオ設計者らのみでシナリオを設計する方法である．

全 79 件の事例を 4 つのタイプに分類すると，FC-参加型が 23 件(29 %)，FC-非参加型が 50 件(63 %)，BC-参加型が 5 件(6 %)，そして BC-非参加型が 1 件(1 %)という事例数(割合)になった．BC は近年注目されている方法だが，その事例はわずかに 6 件と少ないことが分かる．また，BC を用

Table 2　Examples of literature review results (not exhaustive)

Title		Visions for a sustainable Europe	Sustainable lifestyles 2050: stakeholder visions, emerging practices and future research
Reference		J. Rotmas et al. (2000)[7]	O. Mont et al. (2014)[8]
Preparation	Problem definition	*Background* : The need to create a sustainable society *Purpose* : Building sustainable visions for Europe *Time horizon* : 50 years (2000~2050) *Target area* : Europe	*Background* : In order to realize a sustainable society, not only technological innovations but also social innovations are required. *Purpose* : Develop visions for sustainable lifestyles in 2050 and identify European research policy priorities *Time horizon* : 40 years (2011, 2012~2050) *Target area* : Europe
	Process design	・ FC-participatory ・ Quantitative ・ Workshop, Interview Using Integrated Assessment (IA) as guiding research paradigm, the scenario was developed. Creating scenarios for whole of Europe and three regions of Europe, where were the Green Heart in the Netherlands, the North West region of the UK, and Venice, then integrate them and create a vision	・ BC-participatory ・ Qualitative ・ WS, Delphi survey *Process* : I. Taking stock of existing knowledge on sustainable lifestyles II. Defining sustainable lifestyles in 2050 III. Backcasting (5 phases) i. Defining critical uncertainties for the creation of the scenario quadrants : analysis of findings in SPREAD background research and Delphi survey ii. Defining four scenario landscapes iii. Exploring the pathway to sustainable living in a backcasting workshop iv. Adding details to the scenarios and pathways : research and Delphi survey v. Finalizing the scenario narratives and visualizations
	Data collection	・ Literature review ・ Database	・ Literature review ・ Present survey
Scenario creation		*Number of sub-scenarios* : 3 ・ Storylines and draft scenarios(two of three scenarios were described) In the paper, it is mentioned that some computer simulation models will be used.	*Number of sub-scenarios* : 4 ・ 2×2 matrix
Analyzing scenarios		Not mentioned	Not mentioned
Evaluation		Not mentioned	Not mentioned
Scenario documentation		Paper	Paper
Notes			The paper presents the results of a European project SPREAD Sustainable Lifestyles 2050

Table 3　Key findings

	Key findings
All types	・ Defining the purpose of creating and analyzing scenarios ・ Setting time horizon ・ The method and process adopted to create scenarios were decided based on the objectives of creating scenarios and their requisites. ・ Developing narrative storylines
BC	・ At first, defining a vision, goal, or desired future was conducted. ・ Backcast analysis that identifies and analyzes what events would happen and how events would affect to achieve the future vision was conducted
Participatory	・ Identify and select participants ・ Decide how to participant

いた 6 件の内，5 件はステークホルダーや専門家を巻き込む参加型であり，BC の場合，参加型が用いられる傾向が強いことが分かる．一方で，FC を用いた 73 件の事例の内，50 件が非参加型であるという傾向がみられた．

また，各タイプの特徴，傾向を以下に示す

(i)　FC-参加型(23 件)
- シナリオのテーマは CO2 排出量などの環境負荷の分析や天然資源の需要予測が多い．
- シナリオを作成する目的が将来を構想し議論を促すことや戦略・政策を立案することである．
- 対象期間は 20，30，50 年で設定されていることが多い．

(ii)　FC-非参加型(50 件)
- シナリオのテーマは CO2 排出量などの環境負荷に関する分析や天然資源の需要の予測が挙げられる．
- 他のテーマとしては，EV(電気自動車)や CCS(二酸化炭素回収貯留)のような製品あるいは技術の開発や需要の予測が挙げられる．
- 多くの事例でシミュレーションが実行されている．

(iii)　BC-参加型(5 件)
- 将来像を構築している．
- シナリオを通して(革新的な)解決策や戦略を立てることが目的として設定されている．
- 対象期間は 30~50 年と中長期的な期間が設定されている．

(iv)　BC-非参加型(1 件)

事例数が 1 件のみであるため傾向や特徴は特定できない．

注目すべき特徴は，参加型の事例の場合，シナリオを設計する目的がシナリオを通じて，さらなる議論の発展を促すことや，今後の戦略・対策を立案することが設定されており，シナリオの対象期間が 30~50 年と，参加者らが将来を構想しやすい期間に設定されている．

4. シナリオ設計手順の作成支援のための条件

79 件の事例調査を通して，シナリオを設計するにあたり，全類型で共通することおよび各類型で共通することがあった．すなわち表 3 に示すように，シナリオを設計する際，シナリオを設計する目的と設計するシナリオの中身の目標(要件)を定め，それらを達成するようなシナリオ設計方法や手順が選択，構築されている．例えば，シナリオを設計する目的に「望ましい将来を達成するために必要となるイベントを見出す」，シナリオの要件に「さまざまなステークホルダーの意見や考えを取り込んだシナリオにする」が定められれば，BC 参加型の手法が適用され，ステークホルダーとのワークショップ(WS)を取り入れた設計手順が構築される．

また，参加型を用いる場合，シナリオの設計に参加する参加者の特定，人数，参加する度合いや範囲を設定することが共通項としてある．BC を用いる場合の共通項としては，望ましい将来像やゴールを定めること，それらが達成されるために必要となるイベント，パラダイムシフト等を分析することが挙げられる．

以上のことから，シナリオ設計手順を作成する上で，シナリオを設計する目的とシナリオの要件を定めること，それらに応じて設計方法を選択することが大きな影響力を持っていると考えられる．

5. 結　　言

シナリオへの関心が高まり，シナリオを設計する事例が増えるとともに，シナリオの設計方法が数多く提案され，研究が行われてきた．しかしながら，シナリオの設計方法は依然として十分に体系化されていない課題がある．そこで本論文では，シナリオの設計支援方法論を構築することを目的として，既存事例の設計方法や手順を調査した．

79 件の事例調査の結果に基づいて，設計方法の類型化とフレームワークの妥当性検証を行った．さらに，シナリオ設計手順を構築するための要件を抽出した．

今後の課題として，シナリオ設計手順の作成を支援するためのチェックリストを作成する予定である．また，本論文における事例調査は被引用数上位で引いているため，近年出版された論文が漏れている可能性が否定できない．そのため，BC が用いられた事例数が少ない結果となったと考えられる．そのため，各類型の特徴，傾向は追加調査を実施し，改善していく必要がある．

文　献

(1) Kishita, Y. et al., “Research Needs and Challenges Faced in Supporting Scenario Design in Sustainability Science: A Literature Review”, *Sustainability Science*, Vol. 11, No. 2 (2016), pp. 331-347.

(2) Bishop, P. et al., “The current state of scenario development: An overview of techniques”, *Foresight*, Vol. 9, No. 1 (2007), pp. 5-25.

(3) Amer, M. et al., “A review of scenario planning”, *Futures*, Vol. 46 (2013), pp. 23-40.

(4) Bradfield, R. et al., “The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning”, *Futures*, Vol. 37, No. 8 (2005), pp. 795-812.

(5) Kishita, Y. et al., “Scenario structuring methodology for computer-aided scenario deign: An application to envisioning sustainable futures”, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 160 (2020), 120207.

(6) Börjeson, L. et al., “Scenario types and techniques: Towards a user’s guide”, *Futures*, Vol. 38, No. 7 (2006), pp. 723-739

(7) Rotmans, J. et al., “Visions for a sustainable Europe”, *Futures*, Vol. 32 (2000), pp. 809-831.

(8) Mont, O. et al., “Sustainable lifestyles 2050: stakeholder visions, emerging practices and future research”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 63 (2014), pp. 24-32.

マスキン単調性を応用した新しいメカニズム評価手法の提案

The proposal of a new mechanism evaluation method applying Maskin monotonicity

○中野 智基（東京大学工学系研究科）*1　　西野成昭（東京大学工学系研究科）*2

*1 Tomoki Nakano, The University of Tokyo, School of Engineering, tomoki3510@g.ecc.u-tokyo.ac.jp
*2 Nariaki Nishino, The University of Tokyo, School of Engineering, nishino@tmi.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:メカニズムデザイン, モンテカルロシミュレーション, マスキン単調性, マッチング, メカニズム評価

1. 研究背景

メカニズムデザイン分野において実社会のメカニズムが直接研究されている有名な例として，学校選択問題が挙げられる(3)．これは，生徒の学校に対する選好を基にどのように割り当てる学校を決定するのかという問題であり，メカニズム評価の必要性を示す例でもある(4)．この問題を発端として，Ergin(2006)はボストン方式をナッシュ遂行した均衡解よりも学生最適アルゴリズムを通じた帰結の方が誰にとっても望ましいことを解析的に示し, Pathak(2013)は他にも多数存在したマッチングメカニズムを耐戦略性について網羅的に比較した(5),(6).

このようにメカニズム比較は従来の研究でも数多く行われてきているが, そこにはいくつかの問題点が存在する．そうした点を解消したメカニズム評価手法を提案するのが, 本研究の主題である．

1.1. メカニズムデザイン理論

何か望ましい性質を必ず満たす対応を社会的選択対応 F と呼び，メカニズムデザイン理論では社会的選択対応とメカニズムを分離する．I は個人の集合を表しており，i ∈ I が特定の個人を表すものとする．前者は真の選好の組である $\precsim \in \mathrm{D}_I$ から社会的選択対応 F によって帰結 x ∈ X を導き, 後者は戦略操作 $\mathrm{S}:\mathrm{D}_I \to M_I$ を経たメッセージ m ∈ M_I から，ゲーム $\mathrm{g}: M_I \to X$ によって帰結 x ∈ X を導く．これらの帰結が一致，つまり $F(\precsim) = g\big(S(\precsim, M, g)\big)$ が全ての選好 $\precsim \in D_I$ において成立するとき, 解概念 S のもとで社会的選択対応 F が遂行されるのである(1).

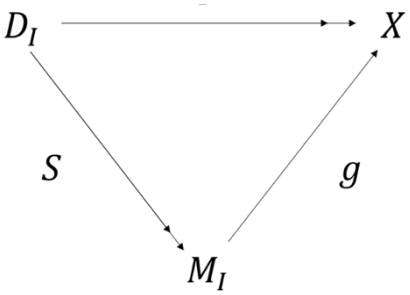


Fig.1　社会的選択対応とメカニズムの関係性

メカニズムデザイン理論の射程は，望ましい性質を満たすメカニズムを設計することである. Maskin(1999)は, マスキン単調性を満たすことが，社会的選択対応 F がナッシュ遂行可能なメカニズムを生成できるための必要条件であると示した(2).

マスキン単調変換の集合を $MT(\precsim, x)$とおく．これは選好 $\precsim$ において帰結 x の位置が相対的に下がらないような選好の変換である．マスキン単調性とは，端的に説明すると，ある帰結 x が選好 $\precsim$ を基準に評価すると望ましい性質を満たしている時，マスキン単調変換である $\precsim' \in MT(\precsim, x)$ を基準に評価しても帰結 x が望ましい性質を満たす状態のことである．

1.2. 本研究の目的

本研究では，メカニズムデザイン分野における基本概念であるマスキン単調性を応用した値を評価指標として，モンテカルロ法を用いたシミュレーションでメカニズムを評価する手法を提案する．マスキン単調性を応用することでメカニズムのナッシュ遂行可能性を見積もることができ，モンテカルロ法を用いて独自に選好を自動生成することで客観的にメカニズムを評価することが可能となる．

従来の研究は，実際にメカニズムを使用して得られたデータを使用するか，もしくは解析的に何か性質を導くことでメカニズムを評価しており，応用可能性という点で問題を抱えている．それを解決するための方法を本研究では提案する．

2. メカニズム評価手法の提案

本研究では，正直戦略とナッシュ均衡という 2 つの戦略操作についてメカニズム評価を行う．前者は戦略操作を仮定しないことと同値であり，真の選好が申告された場合に対するメカニズムの評価である．後者は戦略操作の結果としてナッシュ均衡がプレイされたときのメカニズムの評価である．

2.1. マスキン単調性の拡張

全ての $\precsim' \in MT\big(\precsim, f(\precsim)\big)$ に対し，$MT^{(2)}(\precsim) \equiv \{\precsim'' \mid \precsim'' \in MT(\precsim, f(\precsim))\}$ とする．一般の整数 $n \geq 1$に対しても同様に，$MT^{(n)}(\precsim) \equiv \big\{\precsim^{(n)} \big| \precsim^{(n)} \in MT(\precsim, f(\precsim^{(n-1)}))\big\}$とし，$n \geq 0$ のときは $MT^{(0)}(\precsim) \equiv \precsim$ であるものとする．

以下の(1)，(2)を共に満たす 0 以上の整数 n が存在する時，選好 $\lesssim$ はメカニズム (M,g) と社会的選択対応 F においてマスキン単調変換を連鎖可能であると定義する．

$$\exists \lesssim^{(n)} \in MT^{(n)}(\lesssim), g\left(\lesssim^{(n)}\right) \in F(\lesssim) \quad (1)$$

$$\forall \lesssim^{(n+1)} \in MT^{(n+1)}(\lesssim), g\left(\lesssim^{(n)}\right) \in F\left(\lesssim^{(n+1)}\right) \quad (2)$$

このとき，以下の定理が成り立つ．

定理．全ての $\lesssim \in D_I$ がメカニズム (M,g) と安定対応 F においてマスキン単調変換を連鎖可能であるとき，メカニズム (M,g) は安定対応 F をナッシュ遂行可能である．

また，選好空間におけるマスキン単調変換が連鎖可能である選好群の割合を考える．選好空間 D_I に対し，マスキン単調変換が可能である選好群を D_S とし，選好空間 D_I が連鎖可能である割合を以下の(3)で定義する．

$$\exists \lesssim^{(n)} \in MT^{(n)}(\lesssim), g\left(\lesssim^{(n)}\right) \in F(\lesssim) \quad (3)$$

(1)，(2)から導かれる定理を利用して、メカニズムのナッシュ遂行可能性を評価する．従来のマスキン単調性は社会的選択対応 F について定義されており，そのままではメカニズム評価に使用できないために，マスキン単調変換の連鎖可能性を新たに定義した．

また，(3)の連鎖可能割合を評価指標とすることで，定量評価を可能とした．

3. 制約なしのシミュレーション

男女 n 人ずつのマッチング問題を考える．男性と女性はそれぞれ異性に対して n 人全員分の強選好を持ち，同程度の選好は持ち得ないものとする．

正直戦略についてシミュレーションを行なった結果，学生最適では常に安定性が成り立った．一方でボストン方式と TTC では人数が増えるにつれて安定性を満たす確率が単調減少し，8[人]では前者が 15.883[%]，後者が 17.589[%]という結果になった．

ナッシュ遂行確率をシミュレーションした結果は，以下の表 1 の通りである．

Table.1　安定性のナッシュ遂行確率（男性側）

	ボストン	学生最適	TTC
3[人]	100[%]	100[%]	91.5[%]
4[人]	100[%]	100[%]	75.2[%]
5[人]	99.9[%]	100[%]	57.0[%]
6[人]	99.9[%]	100[%]	41.5[%]
7[人]	98.8[%]	100[%]	29.5[%]
8[人]	93.9[%]	100[%]	19.1[%]

表 1 においても，学生最適では常に安定性が成り立っている．これは安定性を必ず遂行するという性質と，片側対戦略性という性質を併せ持っているためである[3]．また，正直戦略時とは異なり，ボストン方式における値が 100[%]に近い値を取っている．これはボストン方式において男性がナッシュ均衡をプレイした時，導かれる帰結は必ず安定性を満たすという Ergin(2006)の帰結に類似する[6]．これらの結果からも，本研究で定めた評価指標は先行文献から逸脱していないことがわかる．

4. 上位 N 番目までを用いたシミュレーション

制約として，男性側は上位 N 番目までの選好のみを，女性側は自身の全ての選好を申告できるという問題設定を考える．現実におけるマッチング問題では，参加者全てに対して自分の希望順序を全て表明するのは非現実的であり，上位から数個だけの希望を聞かれるケースは多い．

また，女性側に制約を課していない理由の背景には，前述した学校選択問題がある．学校選択問題の文脈では，生徒側が申告できる選好の数には効率性などの観点から制約がかかることも多いが，一方で学校側の生徒に対する選好には制限がかかりにくい．学校側は偏差値等の何かしらの明確な基準で生徒を順位づけしており，任意の生徒間で順位を必ず付けることが可能だからである．

正直戦略について $N=2$ という値に設定してシミュレーションを行なった結果，男性最適においても安定性は必ずしも満たされなかった．他の 2 つよりは良い値が得られたが人数が増えるにつれて単調減少し，8[人]では 28.741[%]という低い確率となった．これは上位 N 番目までしか選好を申告できない場合，男性最適においても戦略操作性が生まれることを示している．

N の値を変えて男性側のナッシュ遂行確率をシミュレーションした結果は以下の表２，３の通りである．

Table.2　安定性のナッシュ遂行確率（N=1）

	ボストン	学生最適	TTC
3[人]	100[%]	100[%]	89.6[%]
4[人]	100[%]	100[%]	79.3[%]
5[人]	100[%]	100[%]	65.2[%]
6[人]	99.2[%]	99.2[%]	57.8[%]
7[人]	97.6[%]	97.6[%]	48.5[%]
8[人]	91.5[%]	91.5[%]	40.4[%]

Table.3　安定性のナッシュ遂行確率（N=2）

	ボストン	学生最適	TTC
3[人]	100[%]	100[%]	90.8[%]
4[人]	100[%]	100[%]	74.8[%]
5[人]	99.9[%]	100[%]	58.0[%]
6[人]	99.5[%]	100[%]	46.1[%]
7[人]	97.5[%]	100[%]	32.0[%]
8[人]	93.7[%]	99.9[%]	22.0[%]

表 2 において，ボストン方式と学生最適の結果が一致している．これは同じ表内においては乱数のシードを統一しており，$N=1$ であればこの 2 つのメカニズムは全く同じ

挙動を示すからである．

また表２，３を見比べると，N の数が増えているにも関わらず，ボストンと TTC では安定性のナッシュ遂行確率が減少しているところがある．これは申告できる選好の数が増えたことで，逆に戦略操作の幅が広がってしまったためであると考えられる．一方，片側対戦略性を満たす学生最適においては,N の値が増えるほど 100[%]に近づいていく．

こうした結果は，メカニズムと男女の人数によって，適切な N の値が異なることを示唆している．

5. 結論と今後の展望

本研究で提案したメカニズム評価手法においても，先行文献と一致したような結果が得られた．モンテカルロ法を用いることで，解析的な証明や既存のメカニズムを使用して得られた結果を必要とせずに，メカニズム評価を行うことができた．

一方で,今回はマッチング問題と安定性を題材としたが，より広範なメカニズムを評価するためには別の問題，別の指標にも対応可能である必要がある．

また，今回は行わなかったが，モンテカルロシミュレーションを行うことで，実際に望ましい性質を満たさない選好の特徴を調べることができる．もしそれが現実的にはあり得ない選好なのであれば，そのメカニズムは実質的には望ましいということが議論できるかもしれない．

今後も様々な応用可能性を考えていきたい．

文　献

(1) 坂井豊貴，藤中裕二，若山琢磨: メカニズムデザイン ～ 資源配分制度の設計とインセンティブ ～，ミネルヴァ書房, 2008.
(2) Eric Maskin: Nash equilibrium and welfare optimality, Review of Economic Studies, Vol. 66, pp. 23–38, January 1999.
(3) Atila Abdulkadiroglu and Tayfun Sonmez: School choice: A mechanism design approach, American Economic Review, Vol. 93, No. 3, pp. 729–747, June 2003.
(4) Atila Abdulkadiroglu, Parag Pathak, Alvin E. Roth, and Tayfun Sonmez: Changing the boston school choice mechanism, NBER Working Paper, No. 11965, January 2006.
(5) Parag A. Pathak and Tayfun Sonmez: School admissions reform in chicago and england: Comparing mechanisms by their vulnerability to manipulation, American Economic Review, Vol. 103, No. 1, pp. 80–106, February 2013.
(6) Haluk Ergin and Tayfun Sonmez: Games of school choice under the boston mechanism, Journal of Public Economics, Vol. 90, pp. 215–237, January 2006.

1 個ずつことなる製品の連続生産をめざしたdesignと製造の試み

Trial for designing and continuously manufacturing products that are different one-by-one

金田　泰
Dasyn.com, yasusi@kanadas.com

キーワード: ジェネラティブ・デザイン，螺旋 3D 印刷法，シングルトン連続生産

要旨: 消費者の嗜好は多様化し，商品の種類が増加して 1 種類ごとの生産量は減少している．3D プリンタの出現によって原理的には 1 個ずつことなる製品をつくることも可能になっているが，design にコストがかかるために実現されていない．報告者はジェネラティブ・デザインの手法を使用して 1 個ずつことなる製品を連続生産する**シングルトン連続生産**のための方法を開発している．開発中の方法では従来の設計ツールを使用するかわりにジェネラティブ・デザインのためのプログラムと Web インタフェースを開発・使用し，設計パラメタを乱数などを使用して自動生成することによって 1 個ずつことなる製品を生産する．現在，この方法によって形や模様を design した LED 電球やランプシェードの製造・販売をこころみている．まだこの方法を部分的に適用しているだけだが，今後この方法とそれを使用した製造をさらに発展させるとともに，それをうまくマーケティングや販売につなげていきたい．

1. 緒言

1970 年代以降，消費者の価値観や嗜好は多様化し，商品の種類が増加して種類ごとの生産量は減少してきた．その後，日本ではバブル崩壊などによって逆の傾向もあらわれた[(2)]が，基本的な潮流は変わらないとかんがえられる．

従来の生産法においては多品種少量生産はコストを増大させた．大量生産に向いたライン生産においてはもちろんだが，多品種少量生産をめざしたセル生産においても製造する品種のきりかえにはオーバヘッドがかかる．そのため，とくに 1 個ずつことなる製品をつくろうとすれば製造コストは大幅に増大する．

これに対して生産に付加製造 (additive manufacturing, AM) を使用すれば，品種のきりかえによるオーバヘッドをなくすことができる．すなわち，3D プリンタによって原理的には 1 個ずつことなる製品を連続生産することも可能になっている．3D プリンタにおいては設計データ (G コード) をいれかえるだけでことなる製品をつくることができるため，1 個ずつことなる製品の連続生産が可能である．このような連続生産を**シングルトン連続生産** (singleton continuous production, SCP) とよぶ．

このように AM によって原理的には SCP が可能になるが，設計データを 3D プリンタに連続的に供給できないので実際には SCP を実現できない．設計者が 1 個の製品を design するには通常すくなくとも数週間以上の時間がかかるから，design ツールとしてコンピュータを使用するとはいえ製品の design は基本的には人間がおこなうので，設計データを連続的に供給することはできない．そのため，いくら製造コストがふえなくても design コストが大幅にふえるから，連続生産でなくても 1 個ずつことなる製品をつくることはほとんど不可能だった．

この問題を解決するには design をコンピュータによっておこなう，つまり適切なジェネラティブ・デザインをおこなえばよい．つまり，人間が直接 design するかわりに**メタデザイン**をコンピュータにあたえて design させればひとつのメタデザインからコンピュータが複数の design をうみだせるので，design がネックになって 1 個ずつことなる製品の連続生産ができないという問題は解決される．

報告者は螺旋 3D 印刷法という独自の技術によってランプシェードなどを製造・販売しているが，そのための design 法としてジェネラティブな方法を使用している．すなわち，従来の設計ツールを使用するかわりにジェネラティブ・デザインのためのプログラムとメタデザインのための Web インタフェースを開発・使用している．そこで，この design 法に適した SCP のためのメタデザイン法を開発した．この方法では設計パラメタを乱数などを使用してひとつのメタデザインから任意個の G コードが自動生成できるようにして，1 個ずつことなる製品を連続生産する．現在，この方法を LED 電球やランプシェード (3D デザインランプ®) の製造に部分的に適用している．

2. 螺旋 3D 印刷法

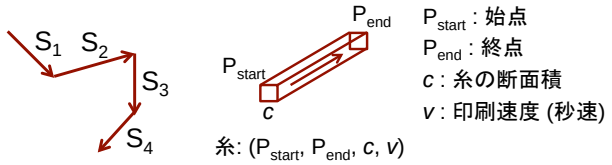
報告者は印刷ヘッドを上下させながらフィラメントを巻いていくことができる螺旋 3D 印刷法という方法を独自開発し，それをつかった透明なランプシェードなどを製造・販売しているが，まずこの印刷法の原理と特徴についてかんたんに説明する．

2.1. 螺旋 3D 印刷法の原理

従来の 3D 印刷においては，まず 3D CAD を使用してモデルを設計し，そのモデルをスライサとよばれるソフトウェアで水平にスライスして多数の薄い層を生成し，層ごとに造形する．スライサは加工の手続きを G コードという言語によって記述し，記述された設計データが 3D プリンタにおくられる．G コードは層という概念に制約されていないから，3D プリンタのヘッドは従来の 3D 印刷におけるのより実はもっと自由にうごかせる．

螺旋 3D 印刷ではまずモデルを設計し，その結果にもとづいて 3D プリンタを使用して製造することは従来と変わらない．3D プリンタとしては安価な熱溶解積層型 (Fused Filament Fabrication, FFF) のものを使用する．しかし，従来の CAD では設計時にはフィラメントの向きや密度 (厚さ・断面積) を考慮しなかったのに対して，螺旋 3D 印刷

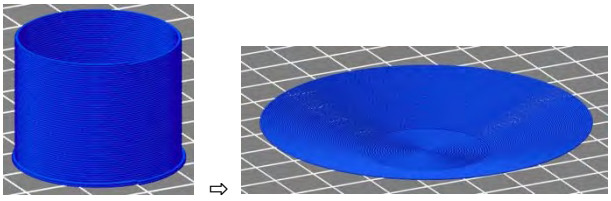
においてはそれらもあわせて設計する．現在はほぼフィラメントに対応する「糸」を螺旋に巻いたものをモデルとしている[4, 3] (図 1)．そのため設計に従来の CAD やスライサを使用することはできず，かわりに専用の方法やプログラムを使用する．



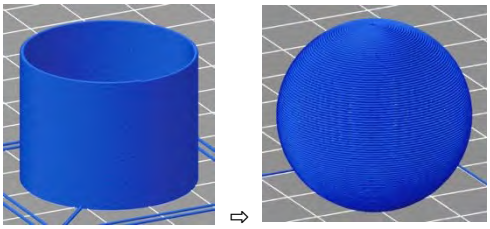
(a) 表現: 糸の列　　(b) 糸

図 1　螺旋 3D 印刷におけるモデルの表現

形状をつくるには**モデルの変形**という方法を使用する．すなわち，複雑な形状をいきなり糸の列として design するのは容易でなく，印刷可能でない (印刷中にくずれる) 形状が生じやすい．そのため，印刷可能であることがわかっている基本モデルを選択し，それを変形して形状を生成する．その例を**図 2** にしめす．ここでは変形の結果として球を生成しているが，球も基本的な形状であるからランプシェードなどを design する際に基本モデルとして使用している．



(a) カップ形状から皿形状への変形



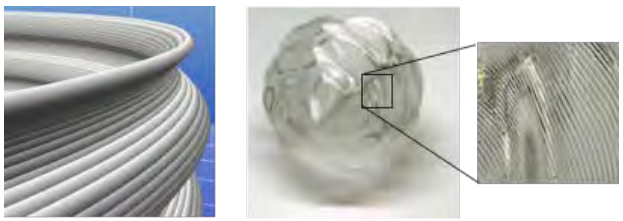
(b) 垂直螺旋から球への変形

図 2　変形の例 (Repetier Host による表示)

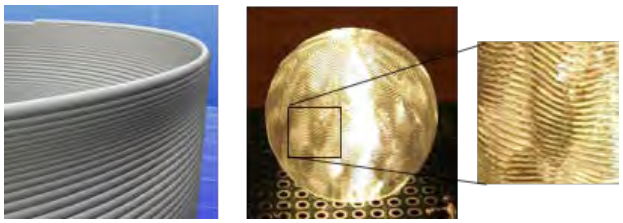
こまかい形状やフィラメントの疎密などによるテクスチャをつけるためには，**図 3** に示すように (a) モデルをこまかく変形させる，(b) フィラメントを上下にうねらせる，(c) フィラメントの断面積を変えるという 3 種類の方法を使用する．

2.2. 螺旋 3D 印刷法の特徴

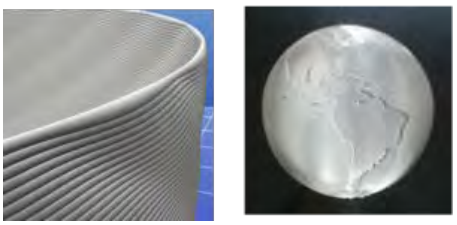
螺旋 3D 印刷法にはつぎのような 2 つの特徴がある．第 1 の特徴は，従来の 3D 印刷法ではつくれなかった軽量で薄いわりに強度があるプラスティックが比較的短時間かつ低コストで製造できることである．従来の方法では層ごとに印刷するので，薄くすると層のつぎめなどのために強度が低下する．しかし，螺旋 3D 印刷法では螺旋状に印刷するので層がなく層のつぎめもないので，薄くても比較的強度が高い．



(a) こまかい変形 (deformation) による模様の生成



(b) うねり (ヘッド上下動，vibrato) による模様の生成



(c) 断面積変化 (modulation) による模様の生成

図 3　3 種類のテスクチャ・模様生成法

第 2 の特徴は，フィラメントを 1 回螺旋状に巻くだけで多様な形状がつくれて，その表面に微細なテクスチャや模様が形成できることである．球のような形状に関してはサポートなしに曲線的な下面や閉じた上面がつくれるので，ピンポン玉のような中空の球がつくれる．サポートが不要なので後処理もほぼ不要である．前述の 3 種類の方法を使用すれば表面にテクスチャや模様がえがけるので，たとえば透明なフィラメントを使用すれば，図 3 に示したように場所によって光の反射屈折が変化する複雑で微妙な模様をえがくことができる．

3.ジェネラティブ・デザイン適用と design ツール

螺旋 3D 印刷法はジェネラティブ・デザインの適用を前提として開発した．そこで，ここではまずジェネラティブ・デザインについてのべ，つぎにそれにもとづく螺旋 3D 印刷の design ツールについて説明する．

3.1 ジェネラティブ・デザイン

現在では，コンピュータを design の中核で使用する新しいデザイン法として**ジェネラティブ・デザイン**[1]，あるいは**アルゴリズミック・デザイン**とよばれる手法が浸透してきている．3D 印刷においては，オブジェクトを造形するとき通常はその表面の形を CAD ソフトウェアとマウスなどを使用して設計する．この方法ではその形を設計者自身がきめる．これに対して，造形するオブジェクトの形をプログラムや数式によってきめるやりかたがジェネラティブ・デザインである．これはコンピュータを design の中核で使用する，比較的新しい design 方法である．このデザイン法を採用する目的は様々だが，機械設計においては最適化 (たとえばトポロジー最適化) が目的であることが

多い．ジェネラティブ・デザインによって人手で描画することが困難な複雑で微妙な様々なパターンが生成できる．

「ジェネラティブ (generative)」ということばはデザインや設計よりもグラフィクスや音楽などのアートとむすびつけられてきたとかんがえられる．ジェネラティブ・デザインもジェネラティブ・アート[7, 8]もプログラムや数式を使用して生成されるが，とくにグラフィクスにおいてはProcessing というプログラミング言語と強くむすびついている．ジェネラティブ・アートとは，コンピュータ・プログラムや数式のような「遺伝子」から生成されるアートのことである．ジェネラティブ・デザインもそういう「遺伝子」によるデザイン (設計) のことを意味する．

フラクタルやカオスがそれをうみだす数式そのものからは想像できない形を生成するように，プログラムが生成するデザインはそれを実行することによって創発して (「遺伝子」が発現して)，はじめて姿をあらわす．Processing による平面アート[7]のように形状がプログラムによって自由に決定されるときはもちろんだが，建築のようにおよその形が事前にきめられているときでも，その細部はプログラムを実行してはじめて決定される．

3.2 螺旋 3D 印刷のための design 法とツール

螺旋 3D 印刷においては「糸」によるモデルを design するが，そのためにジェネラティブ・デザインを使用している．すなわち，Python 言語によるライブラリ (API)[5] を使用してまず円筒や球などのモデルをオブジェクトとして生成し，それをメソッドによって変形して望みのかたちをつくる[3]．

このライブラリを使用するにはプログラムを記述する必要がある．しかし，design のたびにプログラムを記述するのは手間がかかりすぎるしスキルが必要である．そのため日々の design においては，また一般のユーザに提供するには，より容易なデザイン・インタフェースが必要である．そこで，変形による形状生成やテクスチャ生成のための関数を三角関数・矩形波などの波だけに限定した「波合成モデル」を設計するための Web インタフェースを開発した (図 4)．

このインタフェースでは 3 種類の波をそれぞれ必要数だけ記述し，それらを基本モデル上にかさねることで形や模様をつくる．図 4 においては基本形状は球だが，円筒など，他の形状を基本にすることもできる．基本形状のサイズとフィラメントの基本ピッチはこの Web ページの上部で指定する．3 種類の波は図 3 に示した 3 種類の模様生成法 (断面積変化，変形，うねり) に対応する．波はページ中央部で 1 波 1 行で指定するが，何波でも指定でき，線形合成 (かさねあわせ) される．波には縦波 (縦方向に進行する波)，横波 (横方向に進行する波)，それらのくみあわせであるななめ方向の波がある．図 5 は縦波・横波をひとつの波に統合したななめ方向の波と，縦波・横波を合成してえられる複合波を対比している．この図は変形による波の例だが，他の種類の波でも同様である．図 4 における各行は波の形状 (図ではすべて sin) と振幅，縦波・横波それぞれの周波数，位相を指定する．平均の断面積とヘッド移動速度はページの下部で指定し，最後に最下部のボタンを押せば G コードが生成される．

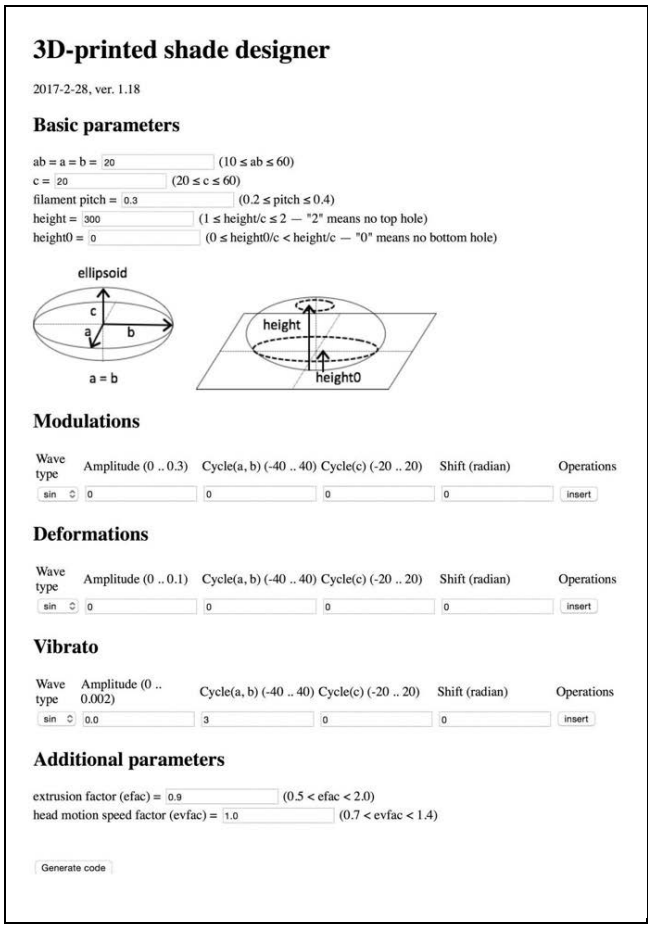


図 4　波合成モデルにもとづくデザイン・インタフェース (https://3d-dl.com/about/)

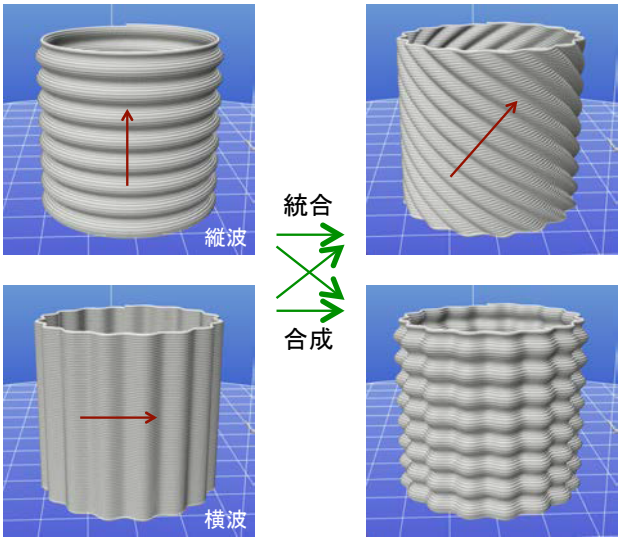


図 5　縦波・横波からの統合波と合成波の生成

4. SCP と螺旋 3D 印刷への適用

螺旋 3D 印刷によって 1 個ずつことなる製品の design を連続的に生成するための方法を考案した．ここでは一般的な方法を説明し，それを螺旋 3D 印刷に適用したより具体的な方法を示す．

4.1 シングルトン連続生産とそのための方法

緒言でのべたように，design を連続的に生成するにはコンピュータによって design すれば，つまりジェネラティブ・デザインをおこなえばよい．すなわち，人間が直接 design するかわりに**メタデザイン**をコンピュータにあたえて design させる．ひとつのメタデザインからコンピュータが複数の design を生成できるようにすることは可能であり，そうすれば design がネックになって 1 個ずつことなる製品の連続生産ができないという問題は解決される．

このように 1 品種 1 製品である製品を連続生産することを**シングルトン連続生産** (singleton continuous production, SCP) とよぶ．シングルトンということばを使用するのは，オブジェクト指向ソフトウェアにおいてひとつのクラスから 1 個だけインスタンスが生成されるときにこのことばを使用することからきている．

ひとつのメタデザインからコンピュータが複数の design をうみだすための方法を検討する．メタデザインはひとつの設計空間をさだめて，それに属する design を順序づける．Design するコンピュータにあたえるプログラムがメタデザインだとかんがえることができる．そのプログラムを 1 回実行すると複数の design が逐次的に出力されるようにするか，またはそれを実行するごとに 1 個の design が出力されるようにする．後者においては乱数などをつかって 1 回ごとにことなるパラメタを入力すれば，出力される設計データも 1 回ごとにことなるものになる．前者においては生産を休止するときにプログラムの実行を凍結する必要がある点がすこし，やっかいである．したがって，後者のほうがあつかいやすいとかんがえられる．

4.2 SCP の螺旋 3D 印刷への適用

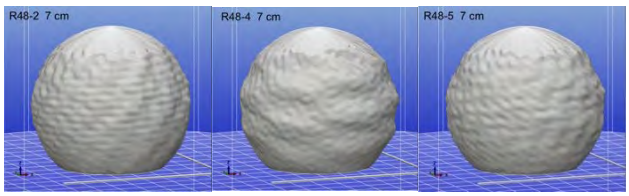
これまで 3D デザインランプの design に使用してきた波合成によるジェネラティブ・デザインの方法をもとにして，螺旋 3D 印刷による SCP を実現する．前記のようにひとつのプログラムから実行のたびにことなる設計データをえるためのもっとも容易な方法は乱数を使用することであるから，乱数によって形状や模様をきめることにした．すなわち，波合成によって 1 個ずつ形や模様がちがう製品をつくるために，つぎのような 2 種類のシェード (カバー) のメタデザイン (Python プログラム) を開発した．

1. 基本は球形だが，それをすこしランダムに変形させたもの (**図 6** 参照).
2. 球形だがヴィブラートによってフィラメントにランダムな粗密をつけたもの (**図 7** 参照).

いずれも数 10 個の乱数を使用して 1 個ずつちがう形や模様を生成している．図にはそれぞれ 3 種のモデルと 2 種の製造物を示している．これらのメタデザインにおいては事前にきめた設計空間から乱数によってランダムに design を選択しているということができる．

5. 螺旋 3D 印刷における SCP の課題と解決策の案

ここでは螺旋 3D 印刷による SCP の課題とその解決策の案についてのべる．

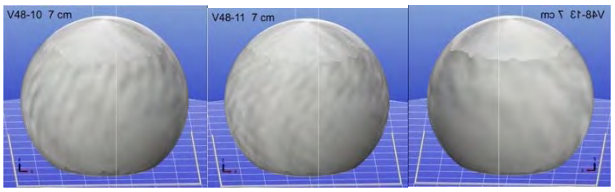


(a) ランダム変形シェードのモデル例 (Repetier Host)



(b) ランダム変形シェードを使用した電球の例

図 6　球にランダムな変形をくわえて生成したシェード



(a) ランダム・ヴィブラート・シェードのモデル例 (Repetier Host)



(b) ランダム・ヴィブラート・シェードを使用した電球の例

図 7　球にランダムなヴィブラートをくわえて生成したシェード

5.1 課題

現在，前章でのべたメタデザインにもとづく 2 種類の LED 電球やそれを使用したペンダントライトを製造・販売している．しかし，前章の方法は非常にプリミティブであり，消費者をひきつけられる製品を生みだすにはいたっていない．マーケティングや販売とむすびつけるうえでいろいろな課題がある．それらの課題を列挙する．

A. **顧客の嗜好の反映**: 現在の方法においては顧客の嗜好に依存しない設計空間から単純に乱数で形や模様をきめているので，顧客の嗜好を反映していない．嗜好を反映させる方法が必要である．嗜好にあわないであろうモデルを製造前に人手で捨てることは可能である．しかし，捨てられるものが多いと選別にコストがかかるうえ，連続生産ができなくなる．

B. **製品そのものか画像の生成**: 販売するためには製造物そのものかその画像を顧客に見てもらう必要がある．つぎのような方法があるが，いずれにも課題がある．

B1. 従来の製造・販売方法においては製品をあらかじめ製造して陳列するか，写真撮影して Web などに掲載す

る．しかし，これを SCP に適用すると，顧客の嗜好にあわずに売れ残った製造物は廃棄するしかない．

B2. 製品をあらかじめ完成させるかわりにシェードだけを製造し，光源をつけたモックアップを写真撮影する方法がかんがえられる．シェードを 3D 印刷するだけならコストは低い．また，不要になったシェードを再利用して別のシェードが生成できる可能性もある．しかしモックアップのコストは低くても写真撮影や web への掲載は自動化できない部分があるためコストは高い．

B3. G コードから製造前に画像を生成して web などに掲載できれば，製造前に販売できる．そして注文されたものだけ製造すればよい．写真にちかいグラフィクスが生成できればこの方法が実現できる．しかし，現在のところは製造しなければ満足な画像が生成できない．それは，3D デザインランプの販売においてはフィラメントを積層した複雑な形によって屈折・反射した光を見せるべきだとかんがえられるからである．

C. **多品種の陳列の方法**: 写真にせよグラフィクスにせよ，その陳列場所を確保する必要がある．実際に陳列する場合には棚やテーブル，web の場合はページを確保する．また，顧客の目にふれやすく選択しやすい場所や方法で陳列する必要がある．Web 上では通常は 1 品種を 1 ページに掲載するが，SCP においては製造物 1 個ごとにページをわけるのは非現実的である．

D. **差別化**: 製造物 1 個ごとに明確な差をつける，つまり差別化をはかる必要がある．乱数で形や模様をきめる場合，統計的に差がない乱数をつかった製造物は乱数をかえてもほとんど同じにみえる場合がある．しかし，1 個ごとの差がわからなければ SCP を使用する意味がないとかんがえられる．

5.2 解決策の案

前節の課題について項目ごとに解決策の案を示す．ただし，いずれもまだためしていないので詳細は省略する．

A. **顧客の嗜好の反映**に関する 2 案を示す．第 1 の案はより高い確率で顧客の嗜好に合うと予想される形・模様が生成される方法を開発することである．たとえば図 6 や図 7 のようなモデルを生成するメタデザインよりはたとえば**図 8** に例示するような設計空間を制約したメタデザインのほうが顧客に受容されるのではないかとかんがえられる．ただし，すくなくとも図 8 に関してはメタデザインが設計空間を必要以上にせばめているともかんがえられる．第 2 の案は敵対的生成ネットワーク (GAN) で代表されるような AI 技術を使用して顧客の嗜好に合う形・模様を生成する方法を開発することである．



図 8　設計空間を制約したメタデザインによって生成されたモデルの例

B. **製品そのものまたは画像の生成**に関してはつぎのような案がある．G コードを視覚化するプログラムにおいては通常はフィラメントの断面やその形までシミュレートしていない (ただし，この論文で視覚化に使用している Repetier Host では断面積が考慮されているので，断面積のちがいによる模様はある程度見てとれる[9])．しかし，それをシミュレートすればより写真にちかい画像が生成できる．そのモデルにもとづいてレイトレーシングなどの方法で光をシミュレートすることがかんがえられる．

C. **多品種の陳列の方法**に関しては，類似の製造物は 1 ページにまとめるなどして階層的に陳列することがかんがえられる．

D. **差別化**については，製造物の統計的な性質を 1 個ずつ乱数によって変化させることがかんがえられる．

6. 結言

報告者はジェネラティブ・デザインの手法を使用して 1 個ずつことなる製品を連続生産するシングルトン連続生産のための方法を開発し，この方法によって形や模様を design した LED 電球やランプシェード (3D デザインランプ®) の製造・販売をこころみている．しかし，現在はこの方法を部分的に適用しているだけであり，またそれによって生産した製品はかぎられている．今後は前章でのべた課題を解決してこの方法とそれを使用した製造をさらに発展させるとともに，それをうまくマーケティングや販売につなげていきたい．

文献

(1) Bohnacker, H., Gross, B., Laub, J., and Lazzeroni, C.: Generative Design, Princeton Architectural Press, 2012, 日本語版: ビー・エヌ・エヌ新社, 2016.
(2) 池尾 恭一: 消費の個別化とマーケティング戦略, *AD STUDIES*, Vol. 12, pp. 10–15, 2005.
(3) Kanada, Y.: Method for Procedural 3D Printing Using a Python Library, *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 6, pp. 908–916, 2016.
(4) Kanada, Y.: 3D Printing of Generative Art using the Assembly and Deformation of Direction-specified Parts, *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 22, No. 4, 2016.
(5) 金田 泰: 3D プリンタもプログラミングで ― draw3dp (ちょっと変わったプログラミング教室 03), 情報処理, Vol. 58, No. 6, pp. 17–23, 2017-6.
(6) 金田 泰, 螺旋 3D 印刷法とその照明器具への応用, プラスチックス, 2019 年 3 月号, pp. 45-50.
(7) Pearson, M.: Generative Art: A Practical Guide Using Processing, Manning Publishing Co., 2011. 日本語版: マット・ピアソン: ジェネラティブ・アート ― Processing による実践ガイド, ビー・エヌ・エヌ新社, 2014.
(8) Soddu, C., et al. ed., Generative Art International Conferences, https://www.generativeart.com/
(9) 金田 泰, Repetier Host でみえるフィラメントの断面積変化, https://www.kanadas.com/weblog/2021/06/repetier_host1.html

Agent based simulationを用いた六面体メッシュ自動生成

Agent-based simulation aided hexahedral mesh generation

菅野　朋典 *†

* Topological Arts 株式会社　† 東京大学大学院工学系研究科

キーワード：CAD, CAM, CAE, 六面体メッシュ, Agent AI

1　はじめに

3 D スキャニング技術の発達により，実測データを基にした工学シミュレーションに対する需要が高まってきている．精密なシミュレーションを行う際においては，六面体メッシュを計算に用いることが多い．にもかかわらず，構造計算用六面体メッシュの生成に関しては未だに人力に頼るところが大きく，自動生成の手段が確立されているとは言えない状況にある．

本研究では，任意形状に対する高品質な六面体メッシュ自動生成を可能とするための新しい手法として，エージェントベースシミュレーションを利用したメッシュ生成方を提案する．

1.1　先行研究

これまで様々な自動六面体メッシュ生成技術が提案されているものの，品質の良い六面体メッシュを生成する決定的な手法は提案されていない．主な自動六面体メッシュ生成技術には，以下のものが挙げられる．

- Spatial partitioning [4]
- Plastering method [5]
- Mapping-based method [6]
- Tetra-to-Hexa mesh [7]

Spatial partitioning は，モデルの内部に直交格子を作成し，六面体メッシュに変換した後，モデル表面と内部の六面体メッシュを接続する手法である．Plastering method は，六面体要素ひとつひとつをモデル内部の端から順番に敷き詰めていく手法である．Mapping-based method は，一度モデル表面を別の空間に写像し，その空間で表面の四辺形分割を行った後，元のモデル表面に写像し直す手法である．Tetra-to-Hexa mesh は，予め生成された四面体メッシュに対して，1 つの四面体メッシュを 3 つの六面体メッシュに変換する事によって，形状の美しさは保証しないものの確実に六面体のみでメッシュを生成する手法である．

これらの手法の他にも数多くの手法が提案されているが，いずれの手法も得意不得意なモデル形状が存在するため，任意の形状に対して品質のよい六面体メッシュを自動生成することはできず，生成したとしても，メッシュに大きな歪みが生じることが指摘されている．このため，現在ではモデルに依存して使用するメッシュ生成アルゴリズムを変更することがしばしば行われている．

本研究では，種々のアルゴリズムを場合分けして使用する代わりに，六面体 (四角形) としてのエージェント AI に対していくつかの単純な性質を実装し，同様の成果の獲得を目指す．

1.2　特色

本手法では与えられたモデルを容器に，四角形／六面体要素を結晶に見立てて空間充填のエージェントベース結晶成長シミュレーションを行う．

六面体を配置／充填してゆくという意味では Plastering に似ているが，配置の順序はエージェントの嗜好によって定まる上，充填の過程でエージェント同士の相互作用によるスムージングを行う点で決定的に異なる．また，エージェント自体に空間認識能力をもたせることにより，表面付近では法線方向にならい，内部では近傍エージェントとの結合を行う等の特殊な挙動をシンプルに実装することが可能となる．

2　提案手法

本手法ではモデル形状の表面情報と輪郭線情報を利用し，以下の手順でメッシュを生成する．

2.1　輪郭線の分割

モデルの輪郭線情報を何らかな手段で抽出した後に，これを生成されるメッシュの標準的なエッジ長に分割する．この際に，輪郭線によって囲まれた各領域が，必ずのべ偶数個のエッジによって囲われる様に，分割数を調整する必要がある．領域を囲うエッジ数が奇数である場合，その領域を四角形で分割し切ることができない．

2.2　表面の四角形分割

前のステップで生成されたエッジ (初期エッジ) を元に四角形を生成する．この際，四角形生成に利用できるエッジの組を足場とし，これを列挙する．なるべく多くの初期エッジを含む足場から順に採用し，生成の際に不足するノードやエッジは，後述のエージェント (四角形) の幸福度を最大にする様に配置する．

2.3　六面体充填

前のステップで生成された四角形（初期／表面フェイス）を元に六面体を生成する．四角形分割の際と同様

に，六面体生成に利用可能なフェイスの組を足場とし，なるべく多くの表面フェイスを含む足場から採用する．六面体生成の際に不足するフェイスやエッジ，ノードについても同様に，後述のエージェント (六面体) の幸福度を最大化する様に配置する．

2.4 エージェントについて

今研究ではエージェントの空間認識を用いた特殊な実装を用いているが，紙面の都合上，最も一般的なモデルを用いて以下に概要を示す．

各エージェントは，内角 $\vec{\theta}$ と各エッジの長さ $\vec{l}$ に応じて幸福度 $u_i(\vec{\theta}, \vec{l})$ を持ち，全体の幸福度 $U(\{\vec{\theta}\}, \{\vec{l}\})$ を最大化する様に吸着・変形する．

変形の際の各ノードの運動 $(\Delta\vec{x_j})$ は以下の様に記述できる．

$$U(\{\vec{\theta}\}, \{\vec{l}\}) = \sum_i u_i(\vec{\theta}, \vec{l})$$

$$U(\{\vec{x}\}) = U(\{\vec{\theta}\}, \{\vec{l}\})$$

$$\Delta\vec{x_j} \propto \frac{\partial}{\partial\vec{x_j}} U(\{\vec{x}\}) * \Delta t$$

ただし

$$0 < \Delta t << 1$$

この移動操作を各スムージングのタイミングで繰り返し行う．繰り返し終了の条件は $\frac{|\Delta\vec{x_i}|}{\Delta t}$ がすべての i に対して所定の閾値を下回ることである．

3 実験結果

今回は橋脚を模した簡易形状に対して六面体充填試験を行った．表面情報や特徴線情報についての抽出は予め用意した独自形式の形状ファイルを用いて入力した．

出力結果を以下に示す．想定のとおりに隅から充填されており，内部の充填が最後になっていることがわかる．上部の五角柱部分の分割品質も期待通りになっている．

4 まとめと展望

今回の研究では，六面体をエージェントとして扱い，その幸福度を定義し，これを六面体の配置及びスムージングに用いることにより，六面体メッシュの生成を自動で行うことが可能であることが示せた．

今回は特徴線情報の抽出を自動化していなかったが，曲面形状を含む複雑なモデルや球体等の形状に対し，特徴線を自動で抽出する事ができれば，適応可能なモデル形状が増えるため，今後の課題としたい．

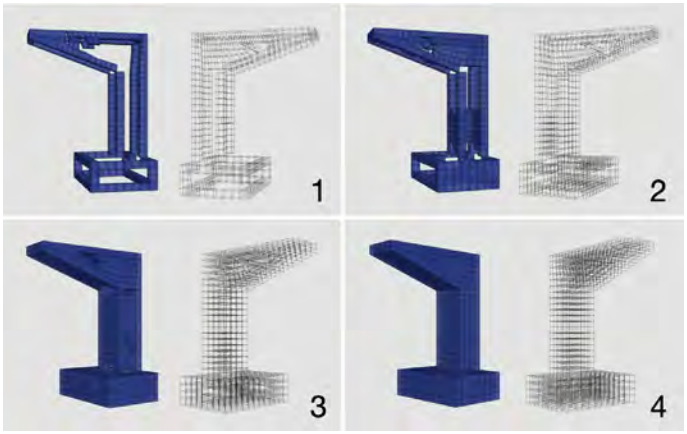


図 1 ：橋脚への六面体充填

References

[1] D. Sinclair. ”S-hull: a fast sweep-hull routine for delaunay triangulation”, 2016.

[2] Ramsay Dyer, Hao Zhang and Torsten Möller: ”Delaunay Mesh Construction”, Eurographics Symposium on Geometry Processing, 2007.

[3] Stefan Gumhold, Xinlong Wang and Rob Macleod: ”Feature Extraction From Point Clouds”, Proceedings of the 10th International Meshing Roundtable, Sandia National Laboratories, pp.293-305, October 7-10 2001.

[4] L. Yufei, L. Yang, X. Weiwei, W. Wenping and G. Baining, All-hex meshing using singularity-restricted field, ACM TOG, No. 6, p. 177 (2012).

[5] M. J. Ray, T. J. Timothy and T. M. Philip, The” Hex-Tet” Hex-Dominant Meshing Algorithm as Implemented in CUBIT, IMR, pp. 151–158 (1998).

[6] M. Loïc, Advances in octree-based all-hexahedral mesh generation: handling sharp features, Proceedings of the 18th International Meshing Roundtable, pp. 65–84 (2009).

[7] B. D. Ted and M. J. Ray, Seams and wedges in plastering: a 3-D hexahedral mesh generation algorithm, Engineering with computers, No. 2, pp. 83–93 (1993).

[8] L. Xin, G. Ziaohu, W. Hongyu, H. Ying, G. Xianfeng and Q. Hong, Harmonic volumetric mapping for solid modeling applications, Proceedings of the 2007 ACM symposium on Solid and physical modeling, pp. 109–120 (2007).

戦略意思決定デザイン

Design for Strategic Decision Making

福田収一（慶應義塾大学

Shuichi Fukuda, Keio University, SDM Research Institute, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, 223-8526, Japan,
shufukuda@gmail.com

キーワード:戦略意思決定、非ユークリッド空間、マハラノビスの距離、パターン、パフォーマンス・インディケータ

1. はじめに

Design の語源は「企画する」、「計画する」である。しかし、日本ではデザインには企画、開発が含まれていない例が多い。もっとも、インダストリアルデザインは企画、開発と言えるかもしれない。しかし、本稿が基本的に対象としているのはエンジニアリング分野のデザインである。エンジニアリングデザインにおいては、これまでいわゆる設計と呼ばれる詳細設計、あるいはその前段階の設計であっても、基本的には製品設計であり、企画、開発は含まれてこなかった。実際、企業においても、企画、開発部門と設計部門は別である。設計部門は人も多く、活発に活動しているが、企画、開発部門は人も少なく、あまり目立たない。

ただし、最近は新しい市場を開拓する必要があるから、自社で手掛けていない市場への進出を狙って M&A を仕掛ける例が増えている。しかし、大多数の日本企業は、他分野で成功している企業を単に買収するだけであり、自社の資源（企業活動、人員、資金など）との関連性を考えず、その企業が成功しているから買収するという例が大部分である。そのため、失敗も多い。また、失敗とは言えなくても、それを自社の発展に結びつけた例はきわめて少ない。

2. 激変する環境

社会環境が激変しているが、一番変化したのは変化である。これまでは変化が緩やかであったので、微分でき、将来を予測することができた。しかし、最近は変化が頻繁に、広範囲で生じるだけでなく、変化が鋭いので、微分できない。したがって、将来を予測することができない。また、生活圏も小さく、閉じて境界が明確であったので、数式的処理が容易であった。これまでは、将来が予測でき、しかも、数式的処理も容易であったので、Product、Control が基本となってきた。すなわち、Product の機能をいかに向上させ、その機能を保持するかが焦点であった。

しかし、環境、状況が激変するようになり、Product の使用状況も予測できなくなったために、いかに激変する状況に対応するか、すなわち Process が重要となってきた。言い換えれば、これまでのエンジニアリングは、戦術であり、問題解決が主体であり、いかに効率的な戦術を開発するかが重要であった。しかし、環境が激変するようになり、いかにその変化に対応するかの Process が重要となり、戦略的な意思決定が重要となってきた。すんなち、目標探索、問題設定が重要となってきた。

Control, Product が中心の世界は基数の世界と言うことができる。すなわち、One, Two, Three である。基数の世界であれば、どのような環境、状況でも数値は変わることはない。One は誰がどのように見ても One である。そして Data は数値を意味していた。しかし、県境、状況が激変する今日では戦略的意思決定が重要となり、それは序数の世界である。すなわち、First, Second, Third である。そして Data も情報を意味するようになり、幅広い情報を基礎にしてどのような意思決定が適切か順序づけをすることになる。別の言い方をすると、これまでのエンジニアリングは、「この道一筋一本道」であったが、これからは、幅広く回りを見渡し、新しいアイディアがないかと探索することがより重要となる

もう一つ重要な環境の変化は、材料のソフト化が急速に進んでいることである。これでの Product はまさに Hardware という言葉が表すように、ハードで変形しなかった。したがって、遠くかつまらでも、眼で見るだけで、それをどのように扱えばよいか即理解できた。しかし、今は材料工学が急速に進展し、材料のソフト化が進んでいる。そのため、実際にその Product に触れてみないとどのように対応すべきかが分からない。上から摘めばよいと思い、摘まんだところ**変形が激しく、舌から支えて対応する必要があることが、実際に触れてみて初めて分かる。**

これが産業用ロボットとなると問題はもっと深刻化する。産業用ロボットは、以前は人間が個々に Teaching をしていたが、多種化が進み対応できなくなり、計算機処理で対応するようになった。しかし、Product がハードであれば、その対応は、計算機が得意とする障害物回避のプログラムで対応できる。しかし、Product がソフト化すると、ロボットはまず実際に Product に触れ、その取扱いを判断し、対応しなければならない。すなわち、人間と同じ手順で意思決定をし、その動作を決定する必要がある。皮肉を言えば、材料がハードであった時代には計算機（ロボット）も力学という知識処理をしていればよかったが、材料がソフト化すると、計算機（ロボット）は人間的な判断、動作が必要になる。計算機は数値処理をする Hardware であり、ロボットが人間化する Software となった。もっとも、実は計算機の世界でもソフト化が急速に進みつつある。これまでの数値処理を中心とした計算機処理から、最近は量子コンピュータが急速に重要化してきた。量子コンピュータは、数値ではなく、操作方法（Operation）を問題にする。そして数値が多少ばらついていても問題にしない。これはまさに人間の処理である。

3. 人間と計算機、ロボット：その違い

前章で、計算機、ロボットが次第に人間の動作と同じ処理をする必要が急激に増大し、その対応が進んでいること

を述べた。しかし、いまだに人間と計算機、ロボットの間には大きな相違がある。本章では、それについて考える。

３．１．新しい発想

人間に特有で、計算機、ロボットにない能力の一つは新しい発想を生むことである。もっとも、原理はわかっていても、その利用を考えていない場合（それが以下の２件であるが)、計算機はデータベースとして、そのような対応方法があることは検出できるが、それをどのように利用するかについての新しい発想を提供することはきわめてむずかしい。　ここでの新しい発想とは、原理は既知であるが、それをどのように利用するかという知恵を指している。すんわち、知識処理は計算機は可能であるが、知恵の創出はむずかしい。

３．１．１．空気から水を作る

空気から水が作れることは既知であった。しかし、ほとんどの人がこれをある意味でジョークのように捉えていた。技術屋も同様であった。､水は水源から送水管で運ぶというこれまでの活動に深い思い入れがあり、それを全く新しい視点から検討しようとはしなかった。

実は講演者は長い間非破壊検査に関係したが、非破壊検査では傷が発見され、その傷の種類が分かると驚くほどのレベルでその対応策が分かる。しかし、欠陥があるのか、また欠陥を発見できても、その欠陥の種類がどのような欠陥であるのか判定できるのは人間である。さまざまな技術が開発されているが、最後の診断は人間が行っている。これはまさに医療の世界と一緒である。医者が高給を得ている理由は、診断をしているからである。診断が確定した後の治療が､現在の非破壊検査である｡診断とは認知であり、人間が意思決定をするうえでの状況認識である。診断をデザインと言う人は少ないが、実は、診断は重要なデザイン活動である。それはデザインのラテン語の原義､「計画を立てる」という意味からも明らかである。診断とは状況を見て、どのような治療をすればよいかの計画を立てることだからである。

「空気から水を作る」という知識はあったのであるが、それを実用化すればどのような利点があり、他の方法（既存の方法も含めて）でどのような優位性があるか考えることがデザインである。すなわち、治療も、またビジネスも他の方法と比較してどのような優位性があることを検討するという点はいずれも同じであり、戦略的な意思決定であり、デザインに他ならない。

詳細は省略するが､再生エネルギーを使い「空気から水」を作れば２セントでできることの報告がある[(1)]。まさに、水が空気のようにただで利用できる。そしてその施設の管理に要する費用もきわめて少ない。さらに驚くべきことにMIT, CMU は空気から水をつくる水筒を作った[(2)]。この水筒をもってあるけば地球上のどこでも、砂漠でも水に困ることはない。技術屋は現技術にこだわっていてはダメで、いかに既知の知識を有効活用するかという、現有資源の最大活用を目指すべきである。これがアメリカの大統領 Theodore Roosevelt が主張する開拓での基本“Do what you can, with what you have, where you are”である。技術屋は日々開拓をすることがこれからの使命であり、いまや改善の時代ではない。

３．１．２．垂直農業

最近タワーマンションの売買価格が不動産業界で話題となっている。これまでは駅に近いというような点が共通の指標であったが、COVID-19 によりテレワークが進み、顧客の要求が急速に多様化し、さらに多くのタワーマンションの経年劣化も目立ってきたからである｡こうした状況の中、高層建築を利用して農業をしようという垂直農業が出現し、急速に注目を集めている。これは「空気から水」という既存知識の活用し、実用化を目指した活動ではなく、実用の視点から逆に技術開発が進んでいる例である。垂直農業は急速に普及しつつあるが、これが普及すれば、物流も大きく変化するであろうし、またタワーマンションの売買も、建物だけの価格でなく、こうした利益を生むビジネスも加味されて査定されるので､不動産の売買が大きく変動する。すなわち、不動産ではなく、動産として売買が進むようになり、また物流も大きく変化する。老齢化が進む現状では物流の改革の必要性が増大してきており、２０５０年には物流は少子高齢化、エネルギー問題などのためもはや現状の物流は消滅すると指摘されている。高齢者の都市への移動はますます進むと予想され､そこで食料を調達できれば、高齢者にとって非常にうれしいだけなく、物流業界も、はるかに低いコストでサービスを提供できる。

３．２．意図を察する

人間とロボットの相違は、現状ではロボットは人間の意図を察して動くことはできない。それでは、Ashton が、IoT で主張する、人間と機械が同じチームでプレイする Things Team[(3)]を構成するためにはどうすればよいか？それを以下で議論する。

４，Key Performance Indicator

現在のコンピュータは基数(Cardinal)基盤である。すなわち、数値、One, Two, Three を処理する。One はどこから見ても One であるから、状況には依存しない。しかし、量子コンピュータは数値データに固執せず、操作方法（Operation）を見出すことを第一と考えている。これはコンピュータが人間に一歩近づいたと言える。すなわち、量子コンピュータはどの Operation がよいか判断し、First, Second, Third と順位をつける。すなわち､序数(Ordinal)基盤である。

この順位は状況に応じて変化する。そこで重要となってくるのは、この順位付けがいろいろな場合に対しても、できるだけ統一してより広い範囲で適用可能とすることである。これは序数の世界に統一的な Performance Indicator を持ち込むことに相当する。ビジネスの世界で言われる KPI（Key Performance Indicator）である。

５．ユークリッド空間、非ユークリッド空間

４章の内容を、別の表現で表せば、これまでの基数基盤の方法はユークリッド空間アプローチであり、序数基盤の方法は非ユークリッド空間アプローチである。ユークリッド空間アプローチはデータセットが正規直交性、間隔尺度（単位のある距離)という制約を満足することを要求する。しかし、現実の世界は激変しているので、様々なデータがデータセットに含まれ､この制約を満足しなくなっている。すなわち、これからは非ユークリッド空間アプローチを採用せざるを得ない。

それではどのようにすれば非ユークリッド空間アプローチであるが、KPI としてパフォーマンスを統一的に処理できるであろうか？

６．序数尺度（順序尺度）

そのためには様々な状況に対応できる序数尺度を決める必要がある。さて、そうした尺度としてもっとも手近にあるのがマハラノビスの距離(MD)である。Mahalanobis が提唱した順序尺度であるが[4]、彼は実験計画法が専門であり、実験計画法のデータを向上させるために、外れ値を除去することを目的として提案した。

しかし、データセット間の関係を無視すれば、MD はあるデータセットから、ある点がどの程度離れているかを表しているので、非ユークリッド空間の順序尺度として利用できる。

７．共通プラットフォーム

順序尺度は MD が利用できるが、それでは様々な状況において共通に利用できるプラットフォームについてはどうすべきか？私達は、言語を使い始める以前はお互いの動き（変化）を見てコミュニケーションを行っていた。それは動きを見ることにより相手の意図を察知できるからである。生物は英語で Creature と呼ばれるが、何を Create するのかと言えば動きである。生物は動きを創造して生存している。すなわち、動きをみれば、その人の意図を察することができる。

イメージは非言語情報を伝える。そしてイメージはピクセルのパターンとして表現できる。すなわち、パターンを共通プラットフォームとして活用することができる。

福田らは顔表情からの感情抽出の研究を２０００年ごろに行っていた。さまざまなイメージ処理方法を適用し検討したが、時間が非常にかかり、しかも満足のゆく結果が得られなかった。そうした研究の途中で、福田がマンガの登場人物の感情は即理解できることに気付いた。しかも当時は白黒の２値画像であった。早速マンガを基本にしたモデルを作成し適用したところ、実に簡単に、短時間に望む結果を得ることができた[5]。

８．Mahalanobis Distance-Pattern (MDP) Approach

以上の研究成果を基本に福田が提案するのが MDP である[6]。すなわち、順序尺度として MD を使い、共通プラットフォームとしてパターンを活用する。動きであるので、動的データを処理する必要がある。そこで RNN（Recurrent Neural Network）を用い、さらに Reservoir Computing を導入することにより、出力部の調整が可能となり、さらに Reservoir Computing はマイクロテクノロジーの利用を可能とするので、人間と機械を一体化した、IoT が目指す人間と機械が同じチームで活躍する Things Team を構築することができる。

文　献

(1) Feldman, R.: 日本 MIT 会講演会、2020.

(2) https://news.mit.edu/2017/MOF-device-harvests-fresh-water-from-air-0414

(3) Ashton, K.: That “Internet of Things” Thing, RFID Journal, 22, June, 2oo9.

(4) Mahalanobis, P. C.: On the Generalized Distance in Statistics, Proceedings of the National Institute of Science of India, Vol.2, No.1, pp.49-55, 1936.

(5) Kostov, V., Fukuda, S., Johansson, M.: Method for Simple Extraction of Paralinguistic Features in Human Face, Image & Visual Computing, The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Vol.30, No.2, pp.111-125, 2001.

(6) https://www.springerprofessional.de/en/move-ahead-with-mahalanobis-distance-pattern-approach/18251734

伊丹潤の言説における朝鮮の美の思想に関する研究

―柳宗悦の「悲哀の美」の思想に対する伊丹潤の見解に着目して―

A study on the theory of Korean beauty in articles by Jun Itami

-Focusing on Jun Itami's view of Muneyoshi Yanagi's theory of "beauty of sorrow"-

○後藤沙羅（神戸大学大学院）*1　末包伸吾（神戸大学大学院）*2　増岡　亮（大手前大学）*3

*1 Sara GOTO, Graduate School of Engineering, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501, saragoto@people.kobe-u.ac.jp

*2 Shingo SUEKANE, Graduate School of Engineering, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501, suekane@people.kobe-u.ac.jp

*3 Ryo MASUOKA, Dept. of Architecture and Arts, Otemae University, 6-42 Ochayasho-cho, Nishinomiya, 662-8552, masuoka@otemae.ac.jp

キーワード:伊丹潤, 柳宗悦, 朝鮮, 思想

1. 研究の背景

1.1. 伊丹潤の概要

伊丹潤（1937-2011）は東京に生まれ，静岡県清水市で育った在日韓国人二世の建築家である．筆者の調査によると，案段階の作品を含め 123 作品の住宅や宿泊施設，美術館などを設計し，2010 年に村野藤吾賞を受賞する．国，時代，建築と芸術という枠を超えた伊丹の思想の根底には，自らのアイデンティティ，朝鮮の工芸品の収集や建築の踏査，“もの派”を牽引した芸術家たちとの交流が存在する．

伊丹は，建築作品のみならず，文章を通しても自身の思想を積極的に社会に訴えた．日本では 5 冊の建築作品集[3]～[7]，李朝に関連して執筆した 9 冊の著書[8]～[16]，その他インテリア，住宅，建築家のドローイングに関する著書[17]～[19]を含め，計 17 冊の著書を遺した．2004 年には，それまでの言説をまとめた書籍[20]が韓国にて，さらには逝去後においても日・韓で関連書籍[21],[22]が出版されている．

1.2. 研究の背景

多くの建築家たちが自らの国を超え活躍し，また建築や芸術といった分野の枠組みを超えた活動がなされ，議論が展開される近年，2014 年の韓国の国立現代美術館での回顧展「伊丹潤：風の造形」の開催，2019 年の韓国でのドキュメンタリー映画「伊丹潤の海」の上映，2022 年に済州島に予定されている「伊丹潤ミュージアム」の開館など，伊丹潤への世界の注目度は，高まっているといえる．日本では，筆者による伊丹の言説を分析する研究[1][2]が存在する．

また，柳宗悦が論じた朝鮮の美の思想に関連する研究[23]～[28]では，柳の思想の背景や変遷，周辺人物の論との関連などの考察が進んでいる．その一方で，伊丹の論考においても李朝時代のものや精神に関連する言説が度々登場し，その中には，柳の「悲哀の美」の論に関連する思想を述べているものも多数見受けられる．しかしながら，柳の「悲哀の美」の思想への伊丹の見解に着目した，伊丹の朝鮮の美に関しての考察というものは，未だなされていない．

1.3. 研究の目的

本研究は，朝鮮のものや精神からの影響を受けながら，日本と韓国で多くの作品を残した伊丹潤の朝鮮の美の思想に関して，柳の「悲哀の美」の思想に対する伊丹の見解に着目して分析を行うことにより，伊丹の朝鮮の美に関する議論の展開に新たな視座をもたらすことを目的とする．

2. 研究の対象および方法

2.1. 分析対象論考

伊丹潤が執筆した現在入手可能な全論考のうち，柳宗悦の「悲哀の美」に関連する 13 の論考を対象とする（表１）．

伊丹は，1977 年および 1978 年の雑誌への寄稿文[29]～[31]，その後の著書『李朝の建築』[9]，『朝鮮の建築と文化』[10]，『李朝白磁壺』[14]，『李朝高麗抄選』[16]において，柳の論に対する自らの論を掲載している．そしてそれらは，一部修正が加えられながら別の書籍や作品集へ，また翻訳され韓国の書籍へも掲載される．例えば，論考番号 10 は論考番号 6 を，論考番号 9 は論考番号 5 を推敲したものである．

「白磁壺」（論考番号 12）は，『Jun Itami 建築と絵画』[5]に掲載され，その後翻訳され韓国にて『石と風の音』[20]に掲載，さらに再構成されたものが，『李朝白磁壺』[14]，『伊丹潤 1970-2008』[6]に掲載された．本稿では『李朝白磁壺』[14]への掲載時に追記された部分を扱う．また論考番号 4，8 は，直接柳に触れてはいないものの，朝鮮の民画における「線」について述べているため，分析対象の論考とする．

2.2. 言説の分析方法

伊丹が執筆した分析対象論考より，柳宗悦について言及している部分を，またそれら言説に関連する論考[35]～[45]より，該当箇所をそれぞれ抜粋したのちに，項目別に分類を行い，それらの相関関係を分析し，考察を行う．

Table. 1　Target Archicles of analysis

Article Number	Publication date	The title of article	The title of document	The publisher	Page
1	1977.4	White of Joseon Period Space of Joseon Period	Geijutsu Shincho	Shincho-sha	63-64
2	1977.5	Certain things left by Joseon Period	Taiyo	Heibon-sha	106-107
3	1978.12	About Joseon Period	The Kotto	Yomiuri Shimbun	-
4	1981.1	Certain things to return to the soil	Architecture of Joseon Period	Kyuryu-do	22-23
5	1981.1	To white	Architecture of Joseon Period	Kyuryu-do	23-26
6	1981.1	White（hwin-saek）	Architecture of Joseon Period	Kyuryu-do	26-29
7	1983.8	Folk Painting of Joseon Period	Korean Architecture and Culture	Kyuryu-do	205-210
8	1983.8	Now again, not to be lost	Korean Architecture and Culture	Kyuryu-do	213-215
9	1983.8	Re-evaluation of Muneyoshi Yanagi	Korean Architecture and Culture	Kyuryu-do	220-230
10	1983.8	White（hwin-saek）	Korean Architecture and Culture	Kyuryu-do	230-237
11	1983.8	Pottery of Joseon Period	Korean Architecture and Culture	Kyuryu-do	216-219
12	2007.5	White porcelain vase	White porcelain vase of Joseon Period	Hanegi-museum	4-5
13	2009.12	From a Korean bowl	Selections of Joseon Period and Goryeo Period	CREO	6-7

3. 柳宗悦の「悲哀の美」に対する一般的考察

3.1. 柳宗悦の概要

柳宗悦(1889-1961)は，民藝運動を先導したことで知られる思想家，美学者，宗教学者である．1922 年の著書『朝鮮とその芸術』における論考「朝鮮の芸術」[32]，「李朝陶磁器の特質」[33]において，朝鮮の自然，立地，歴史の視点から，その文化を「悲哀」の文化であると表現した．巨大な陸にあり力強い中国の文化や，海に守られ温和な気候で優しい生活を持つ島国の日本の文化とは異なり，朝鮮の文化には，ふたつの国に挟まれた半島特有の寂しさの感情があったとした．そしてその感情が李朝の人々の美意識を形成し，白衣や白磁に見られる「白」や，工芸品などに見られる流れるような「線」を生んだということを主張した．

3.2. 柳宗悦の「悲哀の美」の思想をめぐる議論

1960 年代後半より，韓国の研究者や在日韓国人の研究者を中心として，柳宗悦の論への批判を含む議論[35]~[43],[45]が展開され始める．伊丹潤においても，1977 年以降の論考を通して，それらの議論に一部参加し，柳の思想や柳の論を批判する人物に対しての評価や意見を述べた．

図 1 に，柳と伊丹を中心とした人物の相関図を示す．

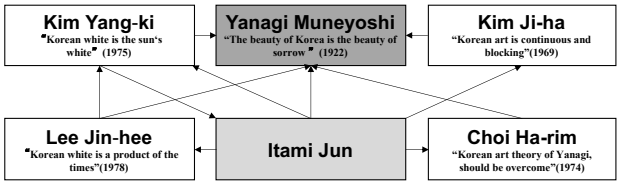


Fig.1　Correlation Diagram of People Centered on Yanagi and Itami

以下では，伊丹の言説に登場する，この議論に参加した人物の主要な論の内容を，時系列順に取り上げ，記載する．

1969 年，韓国人の詩人・思想家である金芝河（キム・ジハ，1941-）は，「現実同人第一宣言」[36]で，朝鮮の美は「悲哀」ではなく，“葛藤と連続の遮断”にあると述べた．

1974 年，柳批判の旗手とされる韓国の詩人，崔夏林（チェ・ハリム，1939-2010）は，論考「柳宗悦の韓国美術観について」[37]において，植民地史観を払拭し正しい朝鮮芸術論を構築するためにも，柳の感傷にすぎない朝鮮芸術論は克服しなければならないということを主張した．

1975 年，在日韓国人の演劇学者・評論家である金両基（キム・ヤンギ，1933-2018）は，論考「色と風と形と」[38]などの中で，朝鮮の「白」は“明るさの白”，“太陽の白”であるということを，同年の「柳宗悦と韓国」[39]では，“白は人と自然との調和のシンボル・カラー”であることを，朝鮮のシャーマニズムや自然環境と関連づけて述べた．

1978 年，在日韓国人の歴史研究者である李進熙（イ・ジンヒ，1929-2012）は，論考「柳の朝鮮美術観の変遷」[40]において，「悲哀の美」の論は 1930 年以降になると変化していることに触れ，「李朝の美と柳宗悦」[41]においては，朝鮮の美が“白樺派のヒューマニズムが思想の根底にある柳に，「ものの哀れ」で強くやきつくのはむしろ当然”であったとした．さらに，“韓国で白衣が一般人に普及されたのは木綿の栽培が普及された 16 世紀以降のことである”ことから，「白」は古代からのシンボル・カラーではなく，その時代の産物にすぎないということを主張した．

4. 伊丹潤の言説における柳宗悦の「悲哀の美」の思想に対する見解に関する考察

本章では，分析対象論考における伊丹潤の言説を中心に，柳の思想や，柳の思想に異論を呈した人物たちの思想，伊丹の思想の相関について，伊丹潤による柳宗悦への評価，「悲哀の白」をめぐる議論，「産物の白」の概念，「連続と遮断」の概念の 4 つの項目に分類して考察を行う．

4.1. 伊丹潤による柳宗悦への評価

伊丹潤は，さまざまな立場から柳宗悦について評価した．

1981 年，「白へ」（論考番号 5）においては，柳が“李朝の美の開拓者”であることを認め，その精神は“独自な直感と思惟に満ちている”と高く評価した．しかし，それゆえに朝鮮独自の“民衆の強じんな持続性への自信”と，“したたかに己れを貫いていく旧守性と諦観”を見落としたと述べた．さらに，柳が“美学者”である以前に“日本人”であるがゆえに，“民衆の生活”に本質的に触れることなく，民衆を内から見ることのないまま，その“外側の輪郭”のみを見たとした．さらにその視線は，“民衆の生活”を自分よりも低いところに見る視線であり，それは単なる“感傷”と“耽美”にしか向かないとし，柳が朝鮮の美の本質を「線」，それも長い歴史の中で育まれた「悲哀」の「線」であるとしたことは“安易であった”と結論付けた．

1983 年の「柳宗悦の再評価」（論考番号 9）においては，柳は“鑑賞することのみ終始”したため，それを作り出した民衆の“生活現場を熟知することもなく”，工芸の“形態的な面にだけ直感力と視線は注がれた”ため，朝鮮の“美

の本領とその国の民衆の魂の素地を逸した”と，より具体的に柳の盲点を推測した．さらに，柳の「悲哀の美」の論は絶対的な影響力を持ち，日本で一般化したことは認めた上で，柳が工芸品の“ごく一部だけをとりだして，その国の美の特質をある言葉で推しはかることは極めて無理がある”として，朝鮮の美の全体に対する視点が欠落していたことに着眼点を置いた．そして崔夏林に言及し，崔夏林が“詩人である前に，ひとりの韓国人”であるがゆえに，“詩人の独善的な直視力”を持ち，“植民地汚染族世代でない，時代が変わって育った新しい世代”の人物として，“柳宗悦の朝鮮芸術論の疑問と哀愁を帯びた心情的に流れゆく芸術論への批判”を行ったとした．“柳芸術論の文章はこうして批判と再評価の対象に置き換えられた”と，崔夏林により熱を帯びた柳批判の，歴史的位置付けを述べた．

同年の「白（ヒンセク(注1)）」（論考番号 10）においても伊丹は同様のことを述べるが，ここでは柳の民衆への視線は，“かれら（民衆）の思考距離に及ばず”，むしろ“遮られ，内なるものを透視しにくく見えにくかった”ため，“それらが悲哀の白に映ったにすぎない”と，柳を擁護する表現を選んだ．また柳の「線」の美の論について，われわれは“柳を絶対視はしていない”が，柳の“普遍的な視点への志向”に学んでおり，“柳の直感は，いくつかの弱点を含んではいるが，柳から学んで学びすぎることは決してない”と柳を評価し，その思想について，“文化への思想的態度として，研ぎすまされ，計測されている”とした．一方で，やはり柳の論は“ある一面を強調しすぎて”いるとし，朝鮮の芸術の本質を“悲哀に満ちた曲線”だと断定したところに柳の“安易さと弱点”が露出されたとした．

さらに伊丹は，同年の「李朝のやきもの」（論考番号 11）においては，柳が民衆の画を“民画”と名付け評価したこと，朝鮮のやきものの美を評価したことに触れる．柳が朝鮮の工芸の美しさに“直截的に耽美”し，そこに“無私の美”を見出したことによる，いままで顧みられなかった美的評価は，彼によって“新しい段階を迎えたといえる”とし，それが柳という一個人によってなされ世に知られたことは“あまりにも象徴的”であると，柳の功績を評価した．

2007 年には「白磁壺」（論考番号 12）において，柳の論考「陶磁器の美」(45)での“いかに陶工が愛を以ってそれらを産み造ったかを想わないわけにはゆかぬ”という表現を引用し，朝鮮の日用品としての白磁について，その職人に視線を向けるべきであるとした柳の思想を評価した．

そして 2009 年の「朝鮮の茶碗より」（論考番号 13）では，柳の論考「喜左衛門井戸を見る」(34)で，朝鮮の茶碗に対して柳が“坦々とした波瀾のないもの，企みのないもの，邪気のないもの，自然なもの，無心なもの”が“美しくなくて何であろうか”としたことに対し，伊丹は“韓国の人たちより真摯に朝鮮の焼きものに対して（その美を）見抜こうとした”柳だからこそ，“心の言葉としか言いようのない深い表現”として残したと，美学者として高く評価した．

このように，伊丹は柳の“普遍的な視点への思考”や“独自な直感と思惟”を認めた一方で，柳が日本人美学者として“形態的な面”のみを見る視点により，民衆の生活や，精神における“強じんな持続性への自信”，“旧守性と諦観”，“民衆の魂の素地”，すなわち朝鮮の民衆の内に秘められた部分を“透視”できず，「悲哀の美」論に至ったとして，ただ単に柳を批判するのではなく，その背景を分析した．一方，2000 年代以降は，柳が朝鮮の工芸における“無私の美”，すなわち無作為性を評価したことについては，当事者である朝鮮人とは異なる視点で，その美を見抜こうとした美学者としての柳の態度を高く評価した．

4.2. 「悲哀の白」をめぐる議論

次に，1977 年に始まった，柳宗悦の「悲哀の白」に関する思想をめぐる伊丹潤と金両基の議論について考察する．

伊丹が最初に柳について言及した論考，1977 年 4 月の「李朝の白　李朝の空間」（論考番号 1）で伊丹は，“李朝の雑器”と“李朝画”を前にして，“ごく最近，柳宗悦のいう韓国の美における「悲哀の認識は誤り」という新聞の小論文が目にとまってしまった”と語り始める．この後の論述内容と時期から，ここでの“新聞の小論文”とは，金両基が同年 1 月 26 日に朝日新聞に寄稿した，「柳宗悦と韓国の美」であると推測される．その中で金両基は，“白は悲哀の白ではなく，太陽の白”であることを強調する．さらに「白」を白昼の太陽を表す明るい意味の色とし，古代から朝鮮に存在したシャーマニズムの信仰と結び付け，太陽は“飛翔”を意味し，その色には明るく楽天的な民族の性格が反映されていると述べる．それに対して伊丹は，本論考（論考番号 1）で，“太陽の白も疑う気はない．しかし，悲哀の白も決して的を外してはいない”として，柳は日本人美学者として“鑑賞する”立場から「悲哀の白」の論に発展したことを推測し，“言葉を解さない柳の限界があったのだろう”と，柳を擁護した．それに対し，同年 5 月 13 日の朝日新聞に掲載の「韓国美の真理」で金両基は，柳は“韓国の美はすべて悲哀の美だといい，絵画，彫刻，さらに音楽までを含めた総体的な美の真理を説いた”とした．また，朝鮮の白衣の「白」に注目した柳の論に言及し，“（柳は）悲しい歴史を喪服の白を重層させることによって韓国の美はすべて悲哀の美だと断定した”と述べることで，先述の伊丹の論に対し，“（伊丹は）その「すべて」の部分を見過ごしている”と，伊丹を名指しして批判した．

これに対して 1981 年の「白へ」（論考番号 5）で伊丹は，“金両基の柳宗悦への批判の展開は目をみはるばかりの大掛りで，その主張と批判は魅惑的であった”とした上で，金両基の主張への反論と批判の立場に立つ李進熙の論を持ち出し，次節の「産物の白」の論を展開することとなる．

また，同書籍に掲載の「土に帰る確かなもの」（論考番号 4）では，朝鮮の集落の屋根の曲線を“礼ある造形”とし，そのように造られたのは“一つの民族に滲み込んだ強じんな持続性とふるさを守る自信”によるものであるとした．つまり，“シャーマニズムは韓民族だけが持っていたのではなく，古くから，日本も含めて，各地域にあった”ことを強調し，“それを失うことなく，持続させてきた”という点が朝鮮固有の文化であり，“単的にシャーマニズムが造形の理由にはならない”とした．ここで名は出していないが，金両基の，朝鮮の美の根源が“シャーマニズム”によるものであるということを否定しているものといえる．

1983 年になり，伊丹は「柳宗悦の再評価」（論考番号 9）において，前述の金両基の発言に対して，自分は“「すべて」の部分を見過ごしている訳ではなく，また，柳の見解をすべて擁護できる訳もない”とし，“絵画，彫刻，建築，さらに音楽まで含めて，総体的に美の本質と特性は一言で

いいつくせないほど生易しく，また単純でもない”ことを述べる．続けて，そこには“楽天的な身振り”，“愛（かな）しさ”，“悲哀”も含まれるとして，“その国の時代的背景と民族性はどの民芸品にもつきまとい，時代の光と影は，作品に一部，影を落とすのが，その時代の遺物といえる”と，国，民族と美についての自らの論を展開する．

さらに，同書籍に掲載の「白（ヒンセク）」（論考番号 10）にて伊丹は，朝鮮の「白」は“気候としての白”，“李朝人としての楽天性”，“李朝の風土”，“李朝人の現実的な民衆の心”であるとした．伊丹も，朝鮮の人々に“楽天性”を見ていたことがわかる．続けて，“天と地の前では，決して艶やかであってはならないという儒教の理念”が，“李朝人の生活哲学が基底に流れていた”と，儒教の教えに則った民衆の生活哲学が，「白」と関係するとした．

このように，伊丹は金両基の“太陽の白”と柳の「悲哀の白」のいずれについても，否定も肯定もしなかった．“太陽”，“シャーマニズム”と朝鮮の美を結びつける論に対しては，そうした精神を持続させてきたという点に着目するべきであるとすることで批判し，“シャーマニズム”ではなく“儒教”の精神と「白」の関連性に言及する．また金両基が，柳が韓国の美の“すべて”を「悲哀の美」としたと批判したことについても，伊丹は，そもそも美の本質は一言で表せられないほど複雑なもので，“楽天性”も「悲哀」もその一部であり，どの時代にも存在する“光”と“影”のうち，“影”の面を見た柳が，「悲哀」を“時代の遺物”とし，この論を生んだに過ぎないということを主張した．

4.3. 「産物の白」の概念

1977 年，金両基が論考「柳宗悦と韓国」[39]の中で“白は悲哀の白ではなく，太陽の白”であることを強調し，「白」は古代から韓国の風土が生んだ固有の色であり，“白を育くむ恵まれた風土”があり，“自然が白を育み，自然との調和を尊ぶ民がまたその白色を育んできた”とする．

1978 年，李進熙は金両基の論について，“「悲哀の美」を否定したい金両基の気持ちが理解できない訳ではない”としながらも，“白色を神様信仰（シャーマニズム）と結び付けるからといって，柳宗悦についての批判としては十分では無い”と述べ，その理由として，高麗時代には白磁ではなく青磁が主流であったことを挙げた．また金両基のいう“「白」を育てる恩恵を受けた自然環境と風土”の存在も否定した．さらに，金両基が朝鮮の白衣の「白」を古代からの民族のシンボル・カラーとしたことについて，“白衣が一般に普及するのは木綿の栽培が普及する 16 世紀以降であり，「白」は古代からのシンボルカラーでなく，李朝という時代の産物”であるとの見解を述べる．そして，ある色彩がある時代の美意識の主流となることはあれど，それはあくまで“時代の産物”にすぎず，“ある民族の固有の美意識に根ざしたものだとは決して言えない”とした．

1981 年，伊丹は「白（ヒンセク）」（論考番号 6）において，この「産物の白」の概念を取り上げ，李進熙が，歴史的事実に基づき，金両基が「悲哀の美」論の弱さだけをとりあげたことが“早計”であり“一面性”のみと持つとしたことに言及した．さらに，朝鮮の「白」は“西欧流の色彩としての白”ではなく，“身近な材質の白”，“自然的なるものを大事にしてきたがゆえんのかぎりなく普通の白”であったとした．そうして，「白」は“李朝だけがもつ強靭な持続性への自信とその保守性からきた”ことを述べた．続けて，李進熙の指摘と自らの“身近な素材（材質）としての白にすぎない”という文章が，“材質（素材）そのものからきているという事実への注目”として近いものであるとする．また，朝鮮の民衆の白衣は，柳のいう喪服としてだけでなく，“日常のふだん着としても婚礼など祝いの席にも大いに使用されている”とすることで，白衣が「悲哀」とは直結しないということを強調した．この論は，金両基の“喪服の布地は麻布でしかも漂白されていない白である．一般的に用いている木綿や絹の布地の白とはちがう”という論[39]，李進熙の“絹は古代からあり，麻布もあったが，どれも黄色が混ざってあって，朝鮮時代に追求されていた白色とは違いがあった”という論[43]とも重なる．また伊丹は，“日本の「青衣」と同じように，産物の衣として，ごく普通の素材として，当たり前に使用されてきた”と，日本における同様の例を用いて示した．

このように，伊丹は李進熙の「白」は“古代からのシンボル・カラー”ではなく“李朝という時代の産物”，すなわち，李朝時代に最も普及し身近に使われていた木綿という「産物の白」の概念に同意する．そして，それを受け継いできたことが“李朝だけがもつ強靭な持続性”であるとした．「白」の概念については，5.2.にて考察を深める．

4.4. 「連続と遮断」の概念

1969 年，金芝河が「現実同人第一宣言」[36]にて，柳宗悦の，朝鮮の美術の本質が「線」にあるという論に対し，李朝俗画において“連続性の遮断”とその“遮断による空間の力動化”が強くあらわれていることを論じた．さらに美術以外にも，“パンソリ(注 2)，仮面踊り，農楽器，古典民謡”などの広範な芸術において，“強力な遮断技法が無数に表れている”とした．そして，“悲哀よりは躍動を，内面化よりは抵抗と克服を鼓吹”していたことを述べる．また，“（柳は）時代的条件と社会構成，芸術史発展の段階とその複合的構造を理解することなしに，たんに線だと断定”したとして，“連続と遮断は常に同時にあり，ただそのどちらかの側が強くなったり弱くなる均衡の変化があるにすぎない”という論を述べ，柳の「悲哀の美」論を批判した．

1981 年，「白（ヒンセク）」（論考番号 6）において伊丹潤は，金芝河の“連続性の遮断”とその“遮断による空間の力動化”の論に対して，その視点を“遮断と呼吸と重なって李朝民画も透視した詩人の目であり，通常概念を超越した鋭い観察的な目”であると大きく賞賛する．伊丹の，金芝河が柳を批判した「連続と遮断」の概念への深い共感は，のちに，5.4 で考察する「節」の美の概念に帰着する．

5. 伊丹の朝鮮の美に対する思想に関する考察

本章では，「悲哀」，「白」，「線」の概念について，伊丹潤がどのような持論を展開したのか，そして伊丹独自の「節」にいかに辿り着いたのかを具体的に考察する．

5.1. 「悲哀」

これまで見てきたように伊丹は，柳宗悦の「悲哀の美」の論を一部で認めるが，柳の視線が民衆の内なる精神や生活，朝鮮の美の本質の全体像には及んでいなかったとした．そして，自らの表現を用いてその美を語ることを試みる．

1977 年の「李朝が残した確かなもの」（論考番号 2）では，朝鮮を“決して閉ざれた心でなく開かれた無垢の心の地”

と述べ，そこに存在する造形感覚は“中性的”であるとし，“青空”のようであるという比喩表現を用いて表した．

1978 年の「李朝について」(論考番号 3) では，朝鮮の美は「悲哀」だけでなく，“閉ざされた心でも開かれた心でもなく”，“一度身体で濾過”し，“押えに押えた中性的”で，“平面なのか立体なのか”判断できないような“半輪郭の物体”であるとした．さらにそれを，流れゆく“空”，“土”，“風”といった自然物に例えることで，その根源は明確に定義づけられるものではないことを強調した．

その後伊丹は，当時の人々の精神性について言及する．

1983 年，「李朝の民画」(論考番号 7) において伊丹は，朝鮮がつねに外部の侵略や内部の争いなどに苛まれてきた点について，“韓民族の歴史は悲哀の歴史だった”と認めた．そして，日本が“あらゆるものを流れ受けとめ，時間をかけながら，研ぎすまし，洗練させてゆく立地条件”であるのに対し，朝鮮は“外部の文化を受け流す立場にしかあり得なかった地”であったことを述べた．しかしそこには“寂しさ”だけでなく“憧れ”や“諦観”の要素があり，それは力強い“生命”，“エネルギー”を生み独自な美が創成されたと，「悲哀」だけではない精神性に着目した．

5.2. 「白」

4.3. で述べた通り，伊丹潤は「白」を「産物の白」として捉え，それを儒教の精神と結びつけることで，「白」が色ではなく素材そのものであるという論を展開していく．

1977 年，「李朝が残した確かなもの」(論考番号 2) において伊丹は，朝鮮は“麻の地”，“木綿の地”であり，「白」は“身近な素材としての白”にすぎず，朝鮮の “儒教”の精神として，“自然的なるもの”をこの上なく愛し，“質素さ”を制度化してきた“制度としての白”であることを強調した．朝鮮の人々を，麻を叩くことで “輝く「白」に磨き上げてしまう民族”であるとし，「白」を素材の色であることを強調とすることで，「悲哀の白」を否定した．

さらに 1978 年の「李朝について」(論考番号 3) ではその論を深め，麻の「白」は“色彩の色”でなく，“素材としての，材質としての色”であるということが重要で，“むしろ「色」でない”とした．朝鮮の人々が，あらゆる色から「白」を選択したのではなく，その地に元から存在し必然的に使用された素材自体であったことを強調した．

1981 年の「白へ」(論考番号 5) においては，韓国の歌によく歌われる木槿の花について，“白い紙のすき通るような白さをもつ”，“どしゃぶりの雨のあとに，遠い雲の白さをみせる”，“そんな木槿の白さは何であろうか”と，木槿の花の持つ「白」そのものが，自然の中に存在する美しい産物であるということを，詩的に表現した．

同年「白 (ヒンセク)」(論考番号 6) においては，儒教の“祈りに似た生活感情とモノクロームの世界”を普通に考え，“強じんな程までに持続させてきた”当時の人々は，“まざり合いを好まず自然的なるものを普通としてきた”と，儒教精神が「白」を持続させてきたことを論じた．

1983 年の「白 (ヒンセク)」(論考番号 10) においては，麻も最初は黄色いが，“洗えば洗う程に李朝の白になり”，“何かの調子で白が生きてきて，川のそばで叩けば叩く程白く”なることを説明し，“育くんでいくことは，そんなことの繰り返しで生まれる”，すなわち，「白」を作り出す習慣を守り継続してきた民衆の態度そのものに注目した．

2007 年の「白磁壺」(論考番号 12) では，李朝中期の 17 世紀から 18 世紀の白磁の「白」は，“眼をはねかえす硬質な白”ではなく，“光を吸いこんでいくような”，“濁りのない，乳白色の柔らかな肌”であるとした．それを眺めているときの自らの眼はそれに吸い込まれ，“知り得ない初々しい温もり”，“尽きぬ味わい”が器に滲むとして，見つめるほどにその“捉えどころのない姿に私の心は膨らみ，見飽きることなく，新たなる覚醒にひたる”と述べた．

このように伊丹は，李朝時代の身近な素材そのものとしての「白」を強調し，そこには儒教の精神が強く息づいており，麻の素材を，洗い，叩きを繰り返すということを持続してきた結果の「白」であるということを語った．また，自然の花や，白磁を様々な表現で称賛することを通じて，自らの「白」に対する思いを述べることで，その「白」が他の人に形容される以前の本質的な美の核心部分に迫った．

5.3. 「線」

1977 年，「李朝が残した確かなもの」(論考番号 2) において伊丹は，朝鮮の「線」は“工人の＜息＞の線”，“無垢な線”であると表現した．さらに，“厳しい中国の線と違う中性的ともいえるその造形感覚”は，“流れるような青空”のように“純朴”であり，そこに“地に座し，毎日の生活を噛みしめて生きて行く李朝人の素朴な姿”をみることができるとした．1978 年の「李朝について」(論考番号 3) では，その「線」を“無の線”とも表現する．

1981 年の「土に帰る確かなもの」(論考番号 4) では，朝鮮の集落の屋根の「線」の周囲の山や光との調和に触れ，それを“礼ある造形”，“どこか美しい産物”とする．

一方，同年の「白 (ヒンセク)」(論考番号 6) においては，柳宗悦が韓国の美術の本質は「線」だと断定したことに対し，“私は疑う気はない”とした上で，美術の本質についての自らの論に持ち込み，その出発は“点と線”にあるとした．この論に関しては次節にて考察を深める．

さらに伊丹は，1983 年の「白 (ヒンセク)」(論考番号 10) においても，美術の本質と出発は“点と線”にあるという論理を述べた上で，柳が見た「線」は“限りなく流れゆく線”，“美学者ゆえの心情的傾向の透視図”であったと，“美学者”として，「線」の“限りなく流れゆく”美しさのみを見つめた柳と自らの論との差異を考察した．

このように，伊丹は朝鮮の「線」を，それらの現れている工芸品を作った工人の“息”の現れで，作家性の排除された“無垢”な「線」，“無”の「線」とした．そして朝鮮の美は“中性的”なものであり，“空”のように“純粋”で，「悲哀」のように明確な形を持たないことを強調した．

5.4. 「節」

4.4. で述べたように，伊丹潤は 1969 年に金芝河が論じた朝鮮の「線」に現れる「連続と遮断」の概念を吸収した．

1981 年の「白 (ヒンセク)」(論考番号 6) において，伊丹は金芝河の論を引用したのちに，全ての“通念としての”点と「線」は，それをたどれば“崩壊”し，“かすかな変形”を帯び，“点の原初的形態”，“かすかな不連続の線”になるとした．そして反対に，その“原初的なある形態”が，“せめぎ合い，引張りあい”，“通念としての”点と「線」を構造するという論を展開する．伊丹は，形態を点と「線」という要素にまで分解して捉え直すことで，それらがまるで生命や意思や力を持ち集まることにより，全て

の形態が生み出されると考えた．そして，それらの「連続と遮断」といった力動性や集まり方に着目して，自らの論に落とし込むことで，朝鮮の「線」の美を定義付けようとしたのである．さらに，“今日，われわれは，連続性の遮断という言葉に出合った時に，ただちに，宇宙や，自然とかに，照応するとか，あるいは，それらに向けて，開かれた窓として感応し得るであろうか”，“自らの生の意味として，十分に感得し得るであろうか”，“遮断という言葉と過去の美の術との関連の中で，現実の状況を的確に問い直し，だれかが，問いをし，問いを立てなければならない，現在に来たといえる”と，“自然”，“宇宙”，“生の意味”，“美の術”といった言葉を用い，「連続と遮断」の概念について，自らを含むわれわれに対して，抽象的かつ広い視点から問いかけ，朝鮮の「線」が生んだこの概念を，現代において再び認識するべきであると主張した．

同年の「いま再び、失われんがために」（論考番号 8）では，李朝の民画に“おまえ”と呼びかけることで，民画の曲線の持つ価値を述べている．“おまえのその曲線は，沈黙と無限の音がある”として，“いのちの音律”で語り聞かせるのは，“魂の息ぶき”，または“限りない抵抗の音律”なのかと問う，李朝民画における「線」に対して，人間味や音律，リズムのようなものを感じていたのである．

1983 年の「白（ヒンセク）」（論考番号 10）で，金芝河のこの洞察力のある文章は“見事といわざるを得ない程に鋭い”と評価する．そしてそれは，柳宗悦の朝鮮の「線」の論に，“真っ向から反発し，批判したことになる”と述べ，柳宗悦への“反論とその再評価へ追い込んだ”と見るべきだろうと続ける．“いいたいことが雲のように湧き上がっていて，迫力に満ちている言葉が，パンソリー(注 2)にも似て読むわれわれに，その遮断をともなう呼吸を伝えるかのようだ”とした．また，“（金芝河の言葉は）民衆のいのちの底に立ちて射る気韻の矢のごとく地鳴りを伴うような的を得た「音律的表現」と言えなくもない”と述べた．伊丹は金芝河の視点に強く共感するとともに，金芝河の言葉自体から，“遮断を伴う呼吸”，“「音律的表現」”を感じ取ったのである．さらに，金芝河のいう「連続と遮断」の概念は，朝鮮の音楽文化を通して確かに見られる“遮断技法と呼吸”であり，“この民族の人たちの会話の外的身振りにしばしば見られるひとつの特徴”であるとも述べた．

この概念は，2000 年代に「節」という新たな概念を生む．

2009 年，「朝鮮の茶碗より」（論考番号 13）において伊丹は，人には“感情にへばりついた「節」のようなもの”があり，“人の感情の「節」と「節」とがぶつかり合う”ことによる“気張り”があるとして，“調和を拒絶する「節」”の存在を述べ，「節」は人間の“感情”と大きく関連することを述べた．そして，“なだらかに連続していく流れが突如断ち切られる．断ち切られた所からまた新たなる流れが始まり，遮断される”，“その遮断においても一定の律”はなく，“無限のずれが交配する間合”があるとし，“それを指し示して私は「節」という言葉で表現にしたい”と「節」を定義づけた．さらに，“朝鮮の音楽，朝鮮の建築，朝鮮の美術にはみな「節」がある”，“朝鮮にはまっすぐな木がない”とし，「節」が至るところに発見できる朝鮮の特性であることを示した．そして，朝鮮の木によりつくられる建築では，“曲がりくねった材木をそのまま，土壁に埋め込んでいく”として，朝鮮伝統木造建築の形態における「節」の形成理由は自然環境にあるとした．さらに，職人は“己がまるごと全体の中に組み込まれていることを無意識のうちに避けているような様子で，さりとて自己主張があるわけでもなく，仕事の中心に自分を置かず，ずらしつつ流れていく”と，職人の精神にも「節」との類似点を見出し，陶磁器のような朝鮮の工芸品に見られる「節」の形成理由についても，自らの理論を論じた．

このように伊丹は，金芝河の柳を批判する論を自らの言語に置き換え，独自の美学に持ち込んだ．「節」は，視覚や聴覚といった知覚の枠を超え，朝鮮の美術，音楽，建築といった朝鮮の芸術全般において感じられるものであり，その背景には，朝鮮独自の自然環境，それらを作り出す工人たちの精神性が存在したということを強調したのである．

6. まとめ

6.1. 伊丹潤の「悲哀の美」への見解

1960 年代後半以降，柳宗悦の「悲哀の美」に対して批判や議論が高まる中，伊丹潤は柳の論を批判するわけでも，柳を批判する人物の論に深く同意するわけでもなく，それぞれの論を，独自の視点から解釈，考察し，分析を行った．

伊丹は，柳の「白」や「線」に対する「悲哀」の論は，柳が歴史のある一面のみに着目し，日本人美学者として朝鮮の芸術に現れる形態的な部分を観賞したことによって生まれた論であるに過ぎないとした．伊丹は，朝鮮の美は，“儒教”の精神を引き継ぎ，“天と地の前では艶やかであってはならない”といった理念や，麻を洗い叩くことを繰り返して「白」を育くみ紡いできた民族の精神の“持続性，保守性”に着目し，評価するべきであると考えていた．民衆の内側の生活哲学を見つめ，「産物の白」や，工人が生む「線」の美しさを透視することができた伊丹の視点は，建築家としての視点を超えて，朝鮮の血を引く一人の人間としての視点であったといえる．当時，歴史研究者や詩人の間で繰り広げられた柳の「悲哀の美」に関する一連の議論は，自らのアイデンティティにこだわり美を追求する立場として，伊丹にとっては無視することのできなかった議論であった．

また伊丹は，「悲哀」のような一言では語ることのできない朝鮮の美的精神を，“半輪郭”，“不透明”，“中性的”といった抽象言語や，“空”，“土”，“風”などの自然物を用いて表現することにより，その精神の背景には，それを形成してきた，純粋で，揺れ動き，形の定まらない多様な要素や感情が存在していたということを主張する．伊丹は，それを「悲哀」と判断した柳，また柳を批判した人物たちに対して，彼らの持っている背景や，時代性に着目して考察を進めた．すなわち伊丹は，美の本質は，作る側だけではなく，捉える側が持つ背景や精神，時代にも依存すると考えていたのである．このことは，伊丹が複数の著書に，論考だけではなく，自らが踏査した朝鮮の伝統建築の写真や図面，自らが収集した白磁，民画，民藝品の写真を掲載していることにも現れており，自分の著書を手にした読者に，「悲哀」などの先入観を持つことなく，感じるままの美を捉えて欲しいという伊丹の思いを読み取ることができる．

6.2. 伊丹潤の思想における朝鮮の美

これまでに述べた通り，伊丹は柳の「白」や「線」に関する「悲哀の美」の論について，「悲哀」のみが美につながる

という論理については，至らない部分が多いと指摘したものの，朝鮮，特に李朝時代のものが持つ「白」や「線」のうちに，他には存在しない格別な美を感じ，言説としてわれわれに伝えた．伊丹は「白」，特に白磁に対しては，“あたかも光を吸いこんでいくような形容がしたいが，濁りのない，乳白色の柔らかな肌”と高く評価し，「線」については，そこから「節」の概念を導き，自らの美学へと発展させる．

1969 年，金芝河は朝鮮の「線」の美を，常に同時に起こる「連続と遮断」のうち，それらの強弱による“均衡の変化”にあると主張した．その論に共感していた伊丹は 2009 年に，連続の遮断や，その遮断から始まる連続を語り，遮断における“無限のずれが交配する間合”を「節」として定義することで，これを朝鮮の美とした．伊丹は，秩序にとらわれることなく流れゆく音律，リズムを指す「節」の奥に，人間の呼吸，温もりを透視したことが想像できる．これは，伊丹が一貫して現代建築に欠落しているものを“野生美”と“ぬくもり”とした[46]こととも共通している．

本研究では，伊丹は柳の論やそれを批判した人物たちの論から学び，発展させつつ，それを自らの建築思想へと昇華させたことが明らかとなった．このことは，伊丹の朝鮮の美に関する議論の展開に新たな視座をもたらすといえる．

注

(注 1) ヒンセクとは，韓国語で“白色”を指す．
(注 2) パンソリ（パンソリー）とは，朝鮮の伝統的民俗芸能で，口承文芸のひとつ．

参考文献

(1) 後藤沙羅，末包伸吾，増岡亮：伊丹潤の言説における李朝に関する建築思想，日本建築学会計画系論文集，84 巻 760 号，1485-1495，2019
(2) 後藤沙羅，末包伸吾，増岡亮：伊丹潤の言説における【韓】に関する建築思想，日本建築学会計画系論文集，85 巻，778 号，2795-2805，2020
(3) 伊丹潤：伊丹潤　1970-1987，求龍堂，1987
(4) 伊丹潤：伊丹潤　建築作品集，求龍堂，1993
(5) 伊丹潤：ITAMI　-Jun　Itami　建築と絵画，求龍堂，2002
(6) 伊丹潤：伊丹潤　建築と都市 1970-2008，主婦の友社，2008
(7) 伊丹潤：1971-2011　伊丹潤の軌跡，株式会社クレオ，2011
(8) 伊丹潤：李朝民画，講談社，1975
(9) 伊丹潤：李朝の建築，伊丹潤，求龍堂，1981
(10) 伊丹潤：朝鮮の建築と文化，求龍堂，1983
(11) 伊丹潤：韓国の空間，求龍堂，1985
(12) 伊丹潤，西山武彦：韓国の建築と芸術，韓国の建築と藝術刊行会，1988
(13) 伊丹潤：高麗李朝聖拙抄，ハネギ・ミュージアム出版部，1992
(14) 伊丹潤：李朝白磁壺，ハネギ・ミュージアム出版部，2007
(15) 伊丹潤：李朝白磁抄選，株式会社クレオ，2009
(16) 伊丹潤：李朝高麗抄選，株式会社クレオ，2009
(17) 伊丹潤：明日のインテリア，日本文芸社，1969
(18) 伊丹潤：小住宅建築のすべて，日東書院，1968
(19) 伊丹潤：21 人の手＜日本建築家ドローイング集＞，求龍堂，1983
(20) 伊丹潤：돌과 바람의 소리（石と風の音），학고재（學古齋出版），2004
(21) 伊丹潤：手の痕跡，TOTO 出版，2012
(22) 伊丹潤：손의 흔적（手の痕跡），미세움（ミセウム），2014
(23) 宮井敏：運動の先進部分における矛盾について―柳宗悦の場合―，同志社大学人文科学研究所キリスト教社会問題研究，39 号，1-15，1991
(24) 朴裕河：日本近代文学とナショナル・アイデンティティ　第 2 部　第 15 章　柳宗悦と近代韓国の自己構築について，早稲田大学　博士論文，215-232，2003
(25) 関周植：美意識の衝突―韓国と日本の美術工藝比較論に向けて，国際日本文化研究センター国際シンポジウム報告書，27 巻，141-156，2007
(26) 李尚珍：柳宗悦の朝鮮伝統芸術研究―浅川伯教・巧兄弟との繋がりを中心に―，山梨英和大学紀要，8 巻，51-64，2009
(27) 小倉紀蔵：朝鮮の美と時間意識，立命館法学，333・334 号，1850-1876，2010
(28) 李尚珍：在朝鮮日本人浅川伯教・巧兄弟と柳宗悦の朝鮮伝統文化理解の特質―初期の活動を中心に―，韓国日本文化学会日本文化学報，79 号，5-31，2018
(29) 伊丹潤：李朝の白　李朝の空間，芸術新潮，新潮社，63-64，1977.4
(30) 伊丹潤：李朝が残した確かなもの，太陽，平凡社，106-107，1977.5
(31) 伊丹潤：李朝について，The 骨董，読売新聞社，1978.12
(32) 柳宗悦：朝鮮の美術，朝鮮とその芸術，秋春社，102-139，1922
(33) 柳宗悦：李朝陶磁器の特質，朝鮮とその芸術，秋春社，217-238，1922
(34) 柳宗悦：喜左衛門井戸を見る，工藝第 5 号，聚樂社，1931
(35) 金達寿：朝鮮文化について，岩波講座　哲学 13　文化，岩波書店，290-302，1968
(36) 金芝河：現実同人第一宣言，金芝河　民衆の声，サイマル出版会，195-196，1974
(37) 崔夏林：柳宗悦の韓国美術観について，韓国とその芸術（李大源　訳），知識産業社，1974
(38) 金両基：色と風と形と，韓国の石仏，淡交社，215-232，1975
(39) 金両基：柳宗悦と韓国，海 95 号，中央公論社，222-237，1977
(40) 李進熙：柳の朝鮮美術観の変遷，季刊暮しの創造 4・冬号，創芸出版社，22-27，1977
(41) 李進熙：李朝の美と柳宗悦，日本文化と朝鮮，日本放送出版協会，192-218，1977
(42) 金両基：「民芸」から「民学」へ，季刊暮しの創造 4・冬号，創芸出版社，98-105，1977
(43) 李進熙：李朝の美と柳宗悦，季刊三千里 第 13 号，三千里社，1978
(44) 柳宗悦：陶磁器の美，柳宗悦全集　著作篇第 12 巻，筑摩書房，1982
(45) 金達寿・姜在彦・李進熙・姜徳相：教科書に書かれた朝鮮，講談社，1979
(46) 伊丹潤：都市の中の石積み，新建築，新建築社，240，1993.5

外観検査における人間中心型の作業と自動化のデザイン

Human-Centered Work and Automation Design in Appearance Inspection

○中嶋 良介（電気通信大学）*1　蔵方 英紀（電気通信大学）*2　三上 彩寧（電気通信大学）*3

*1 Ryosuke Nakajima, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585, nakajima@uec.ac.jp
*2 Hidenori Kurakata, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585, k1510055@uec.ac.jp
*3 Ayane Mikami, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585, m1610606@uec.ac.jp

キーワード:外観検査, 目視検査, 作業設計, 自動化, 機械学習

1. 研究背景

工業製品の生産現場において，人間による作業は IE（Industrial Engineering）手法である直接観察法や PTS（Predetermined Time Standard）法などを用いて，その作業に適正で必要な時間を標準時間として決定し，その時間をもとに生産計画や作業改善が行われている．ただし，工業製品の外観上に微小なキズや汚れなどの欠点がないことを保証するための外観検査に関しては，その他の組立や加工のように製品自体に直接的に付加価値が与えられるものではなく，かつ別の検査者や管理者が外部からその作業の妥当性を評価することが難しいという問題がある(1)．また，近年では製造業においても少子高齢化による人材不足が深刻で，過去 20 年間で労働人口が 11.6%減少し，製造業に関する事業者数も半減しており，さらに新型コロナウイルス感染症による影響で対面での OJT（On the job training）の機会が減少し，従来の人から人への技能伝承が困難な状況となっている(2)．

これらの問題に対して，古くから人間による外観検査に関する研究が進められている．例えば，検査精度や検査効率の向上のために検査者の目視方法を分析した研究(3)-(6)，身体負担の低減のために検査者の視覚的・身体的負担を分析した研究(7)-(9)などが多く行われている．ただし，これらの研究は，個別の外観検査工程の作業改善を目的とした分析的なアプローチによる検討に留まっている．すなわち，多くの工業製品や欠点の特徴に合わせて幅広く適用できるような作業設計の方法論が示されるには至っておらず，現在でも標準時間を設定する方法が確立されていない．そのため，実際の生産現場では，過度な検査精度の追求による過剰な検査（ムダな作業）となっている場合や，過度な検査効率の追求による人間の視覚機能の限界を超えた検査（ムリな作業）となっている場合がある(10)．また，適正な作業設計がなされていないので，検査者に対しては「集中してよく見なさい」といった非科学的な指導がなされている場面も見受けられる(11)．

そのため，一部の生産現場では外観検査の自動化の導入に向けた検討が行われている．比較的古くから注目されている手法として，画像処理技術や統計手法を用いた自動検査システム(12)-(14)，レーザーを用いた自動検査システム(15)が提案され，その有効性も報告されている．しかしながら，検査精度・検査効率が不十分といった問題や過検出（第一種過誤）と誤検出（第二種過誤）をバランスするための閾値の調整が難しいといった問題，さらには導入コストや運用コストに対して費用対効果が低いといった問題も指摘されており(16)-(18)，技術的・経済的な両面から必ずしも実用化が進んでいない状況もある．ただし，近年では，良品画像と不良品画像を教師データとする機械学習を用いた自動検査システムも提案されはじめ，一部の外観検査工程において技術的・経済的な問題を解決しうることが報告されており(19)-(21)，その動向が注目されている．

2. 研究目的

本研究では，工業製品の外観上の品質を保証するための外観検査を研究対象として，検査精度と検査効率を向上させるため，多種多様な工業製品や欠点の特徴に合わせて幅広く適用できる作業設計の方法論を確立することを目的とする．すなわち，作業改善のための分析的アプローチだけでなく，作業設計を目的とした設計的なアプローチによる検討を目指している点が他の関連研究(3)-(9)と本質的に異なる点である．さらに，それらの知見と画像データによる機械学習を用いた自動化を目的としている．

3. 研究の全体像と研究経過

上述した研究目的を達成するため，本研究では図 1 に示す通り，外観検査の構成要素の観点から検査対象（工業製品や欠点）と検査環境（照明と用具），検査者，自動検査システムの 4 つに整理し，それぞれに[1]検査対象の評価方法に関する検討，[2]検査環境の設計に関する検討，[3]検査者の検査方法の設計・訓練・管理に関する検討，[4]自動検査システムの開発に関する検討として課題を設定し，研究を実施している．なお，これらの研究課題を実施する上では，研究室における被験者実験とシステム開発のみならず，実際の外観検査工程における実態調査・検証も並行して実施している(22)-(24)．

各研究テーマの具体的な研究経過として，[1]検査対象の評価方法に関する検討に関しては，本研究で考案する作業設計の方法論をあらゆる工業製品や欠点に適用するため，様々な工業製品や欠点を欠点検出の観点から評価する指標

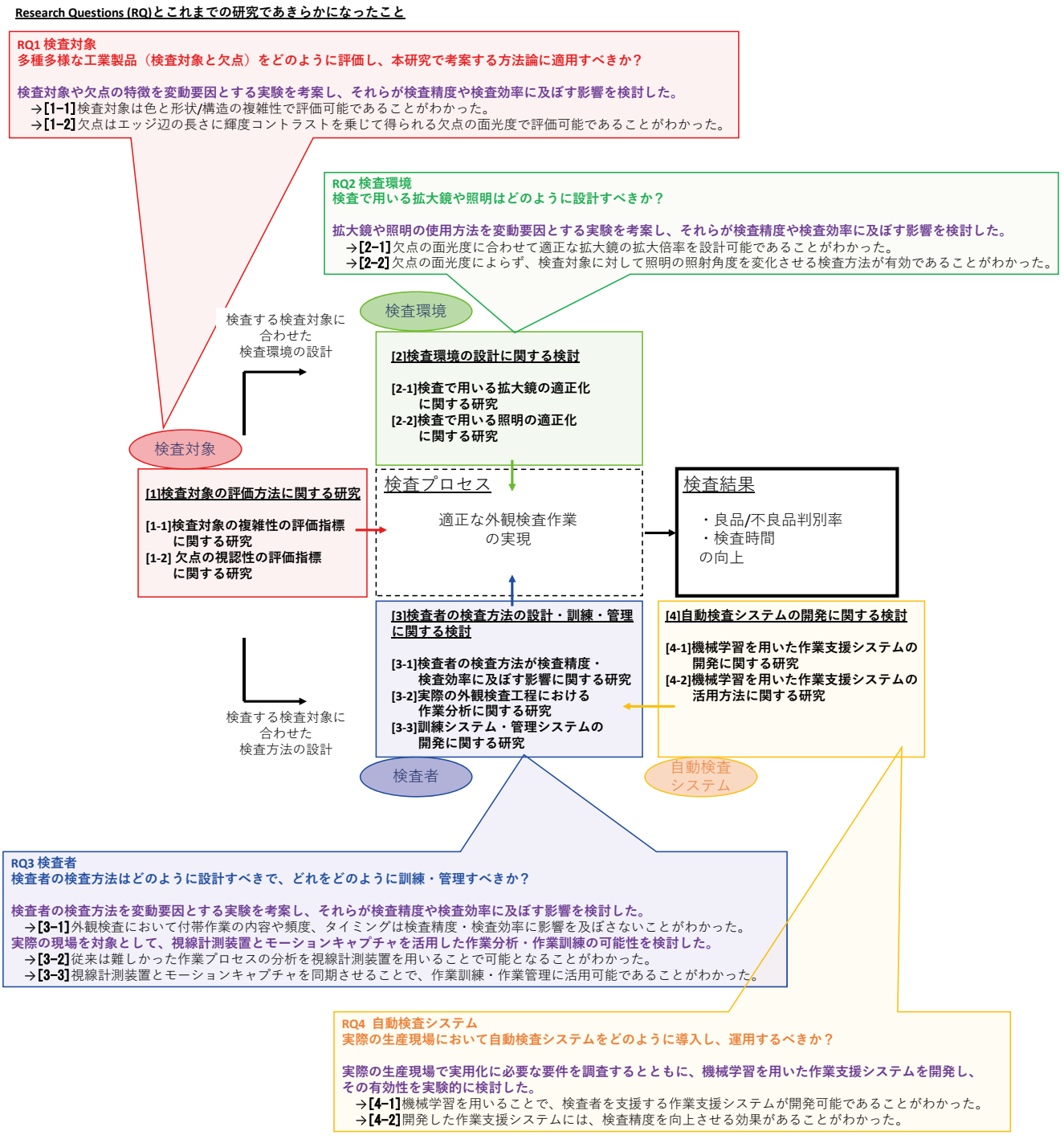


Fig.1 Overview of this research and Research Question

の検討を進めている．[2]検査環境の設計に関する検討に関しては，[1]検査対象で考案した評価指標をもとに，検査で用いる拡大鏡や照明を適正化するための検討を進めている．[3]検査者の検査方法の設計・訓練・管理に関する検討に関しては，[1]検査対象で考案した評価指標をもとに，検査者の検査方法を適正化するための検討，実際の生産現場での有効性の検証，および訓練システムや管理システムのプロトタイプの開発を進めている．[4]自動検査システムの開発に関する検討に関しては，実際の外観検査工程で実用化・導入に必要な要件を整理した上で，機械学習を活用した作業支援システムの開発とその活用方法の検討を進めている．

4. 研究課題：[1-1]検査対象の評価指標に関する研究

本章では，図 1 の[1]検査対象の評価方法に関する検討における[1-1]検査対象の評価指標に関する研究について述べる．

4.1. 検査対象の評価の研究背景

外観検査の対象となる工業製品には，自動車用のガラスやボディのような検査対象面が単純なものから，電子部品用のプリント基板のような複雑なものまで多種多様である．そして，検査対象面が複雑になるにつれて，外観検査自体

が難しくなることが予想される[25]．すなわち，検査対象面の複雑性に応じて適正な検査環境や検査方法を設計する必要があると考えられるが[26]，そのために必要な検査対象面を評価する指標が存在しておらず，多種多様な工業製品に適用可能な作業設計の方法論の確立が困難であった[27]．

4.2. 検査対象の複雑性が欠点検出に及ぼす影響に関する被験者実験

検査対象の複雑性に及ぼす要因を網羅的に整理した上で，それらを実験要因とする被験者実験を図 2 に示すように実施し，それらが検査精度に及ぼす影響を検討した．

4.3. 検査対象の複雑性の評価指標の考案

実験の結果，色の複雑性（撮影した工業製品の画素値の平均情報量を示す指標である情報エントロピーの値）と構造・形状の複雑性（撮影した工業製品の画素値の濃淡面の変化や形状の粗さ，テクスチャの複雑性を示すフラクタル次元の値）が検査精度に有意（5%水準）に影響を及ぼすことを確認した（図 3）．具体的には，これらの 2 つの評価指標で評価可能で，複雑性が高くなると，欠点検出率も段階的に低くなることを示した．

これらの実験結果より，多種多様な工業製品を欠点検出の観点から評価することが可能となり，作業設計の方法論の確立に向けて重要な知見が得られている．

5. 研究課題：[4-2]機械学習を用いた作業支援システムの有効性に関する研究

本章では，図 1 の[4]自動検査システムの開発に関する検討における[4-2]機械学習を用いた作業支援システムの有効性に関する研究について述べる．

5.1. 作業支援システムの研究背景

産学で検討が進められている自動検査システムの動向や問題点を調査[18]するとともに，外観検査工程で実際に実用化するために必要な要件を文献調査[28]-[29]，および実際の外観検査工程の実務担当者へのヒアリングを通じて整理した．その結果，(1)材質や形状，意匠などが多種多様な製品において多様な状態を呈すキズや汚れなどの欠点を探索すること（探索プロセス）と欠点の状態に合わせて良品・不良品の判別すること（判別プロセス）が難しく，さらに異常箇所の切除や洗浄などの手直しによって良品にできるものの判別が難しいという技術的な問題があることがわかった．また，(2)自動検査システムは導入コストや運用コストが膨大で，採算が合うかどうかが不確実なものに対して設備投資に踏み切れないという経済的な問題もあることがわかった．さらに，(3)自動検査システムを導入する際には，検査する製品や検出すべき欠点に合わせて良品と不良品を判別するための特徴点・特徴量を定義し，運用の中で必要に応じてそれらを再定義するといった試行錯誤が必要となるが，生産現場で従事されている方々は必ずしもシステム開発に精通していない場合が多く，これが自動化推進の弊害になっており，実運用上の問題があることもわかった．以上の(1)～(3)の問題点に対して，欠点の探索プロセスのみの自動化（判別プロセス以降は作業者が従事）を想定し，一般的な汎用カメラや PC のみを用いて，システム開発に関して特別な知識や技術を有さない方々でも良品と不良品の製品画像を準備することで扱えるシステムが開発できれば，多くの外観検査工程で自動化の検討が推進できる可能性があると考えた．



Fig.2 State of the subject experiment

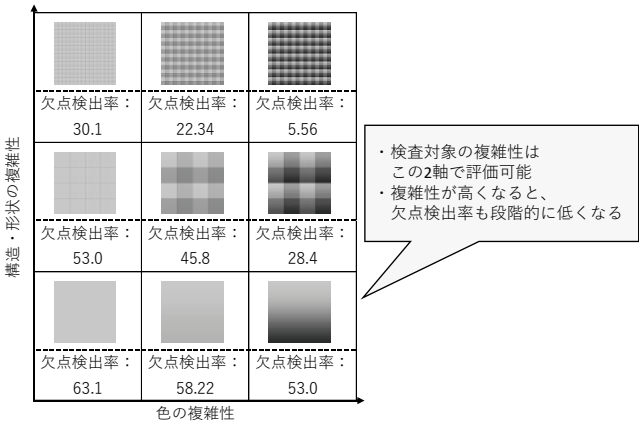


Fig.3 Relationship between color complexity, structure / shape complexity and inspection accuracy

5.2. 作業支援システムの開発と有効性の検証実験

工業製品をモデル化した 6 種類の欠点画像を対象とし，探索プロセスに対して，その作業を支援するシステムの開発を行った．具体的には，作業者が検査する前にカメラで製品の画像を撮影し，学習済みネットワークを経て良品か不良品かの判別を行うとともに，作業者へ判別結果とその根拠を Grad-CAM の技術[30]を用いて可視化する作業支援システムを開発した（図 4）．

また，良品画像 300 枚と不良品画像 300 枚を Deep Learning の技術を用いて学習し，学習済みネットワークを構築し，作業支援システムを用いないで全て人間が検査する場合と，作業支援システムを用いて Grad-CAM の画像のみを提示する場合，および Grad-CAM の画像と判定結果の両方を提示する場合の 3 つの条件を実験要因とする被験者実験を実施し，それらが検査精度や検査時間に及ぼす影響を検討した．

5.3. 作業支援システムの有効性の検証結果

実験の結果，検査精度は作業支援システムを用いない場合が 80.80%であったのに対して，作業支援システムを用いて Grad-CAM の画像のみを提示する場合が 97.33%，Grad-CAM の画像と判定結果の両方を提示する場合が 96.83%となり，作業支援システムには検査精度を 16%程度向上させる効果があることを示した（図 5）．また，検査時間はどの方法でも同程度であったため，作業支援システムを用いる

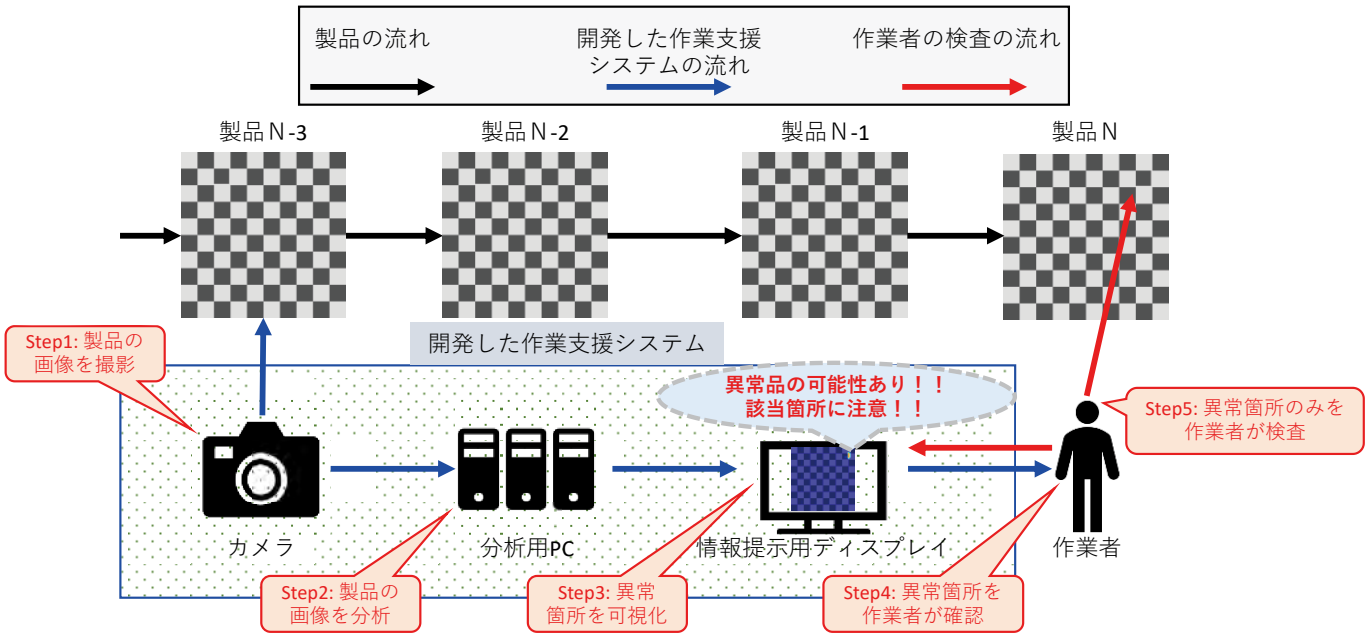


Fig.4 Overview of the developed work support system

場合も検査効率は低下しないことがわかった．

さらに，実際の製品に適用するためには，学習に大量の入力画像が必要となるという新たな課題も明らかになった．そこで現在は，実際の欠点には光の当て方によって視認性が変化するという特徴に着目し，比較的少量の質の高い入力画像のみを用いて学習済みネットワークを構築することで，開発した作業支援システムの適用可能範囲を拡大することを試みている．

6. 今後の研究計画

これまでに推進した研究より，外観検査の作業設計と自動化に向けた多くの知見と今後の課題が明らかになりつつある．今後は図 6 に示す通り，各研究テーマにさらなる課題を設定し，研究目的を達成するために引き続き研究を推進する予定である．

各研究テーマの具体的な研究計画として，[1]検査対象の評価方法に関する検討に関しては，これまでに考案した工業製品と欠点の評価指標をもとに，人間と[4]で開発した自動検査システムの検査精度・検査効率を比較することで，人間・機械の分業方法に関する研究を推進する．[2]検査環境の設計に関する検討に関しては，これまでに得られた研究データを統合し，総合的な作業設計の方法論の構築に関する研究を推進する．[3]検査者の検査方法の設計・訓練・管理に関する検討に関しては，これまでに得られた研究データを統合し，総合的な作業設計の方法論の構築に関する研究，および実際の外観検査工程での訓練システム・管理システムの実証研究を推進する．[4]自動検査システムの開発に関する検討に関しては，これまでモデル画像を用いて検討した自動検査システムの知見をもとに，実製品の画像を用いた実証研究や少ない入力画像で検査精度を向上させる方法に関する研究，可視光線だけでなく，紫外線や赤外線などの特性の異なるカメラで撮影した画像の有効性に関する研究を推進する．

以上のように，今後も各研究テーマについて研究を推進し，得られた結果などについては積極的に発表することを考えている。

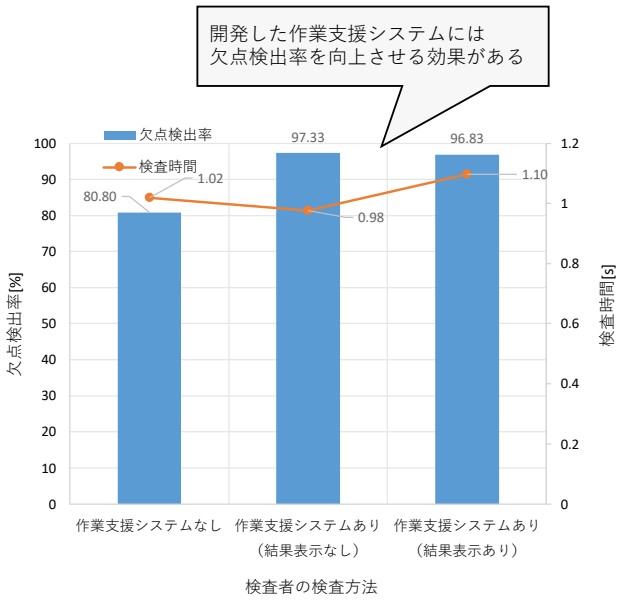


Fig.5 Verification result of the effectiveness of the work support system

謝　辞

本研究を実施するにあたり，実際の外観検査のフィールドを提供していただき，実態調査や実験にご協力いただいた製造業の皆様に感謝の意を表する。また，本研究の一部は JSPS 科研費若手研究（19K15237）と電気通信大学「研究の連携・統合化等による本学の機能強化に係る取組支援：機械学習とスマートデバイスを融合したサステナブル生産支援システムのイノベーションに関する研究」の助成を受けたものである。

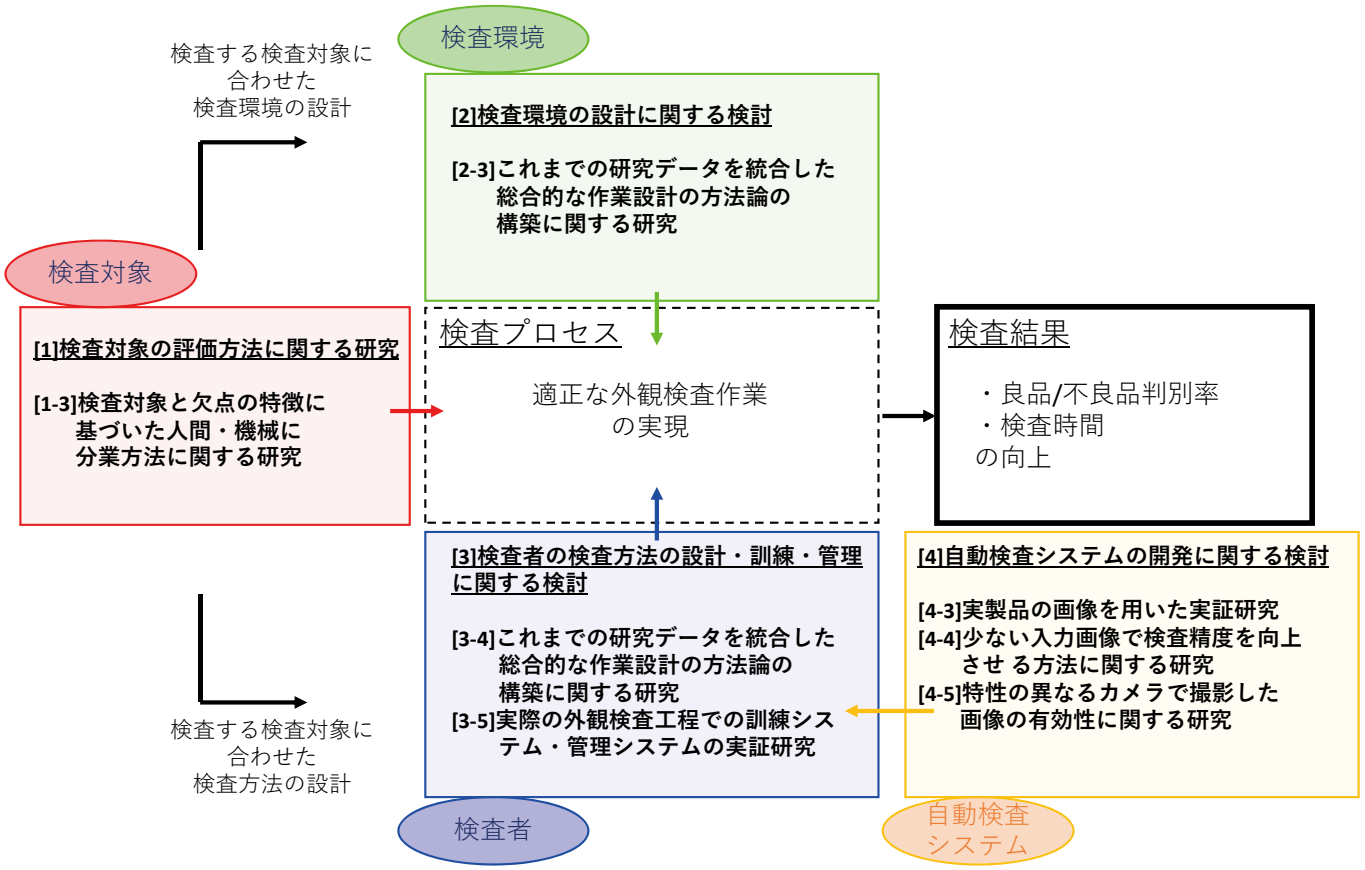


Fig.6 Overview of future research plans

文　献

(1) Druty, C. G., et al.: Improving Visual Inspection Using Binocular Rivalry, International Journal of Production Research, Vol. 39, No. 10, pp. 2143-2153, 1986

(2) 経済産業省: 2020 年度版ものづくり白書, 2020 https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/index.html (参照 2020-12-26)

(3) Megaw E. D., et al.: Eye Movements and Industrial Inspection, Applied Ergonomics, Vol. 10, No. 3, pp. 145-154, 1979

(4) Nickles G. M., et al.: A Comparison of Three Levels of Training Designed to Promote Systematic Search Behavior in Visual Inspection, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 32, pp. 331-339, 2003

(5) Chang J. J., et al.: The Development of a Training Expert System for TFT-LCD Defects Inspection, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, Vol. 16, No. 1, pp. 41-50, 2009

(6) Krzysztof K., et al.: Evaluating and Improving the Effectiveness of Visual Inspection of Products from the Automotive Industry, Advances in Manufacturing II, pp. 231-243, 2019

(7) 斎藤むら子: 目視検査作業と疲労, からだの科学, Vol. 148, pp.67-73, 1989

(8) Yeow P. H., et al.: Ergonomics Improvements of the Visual Inspection Process in a Printed Circuit Assembly Factory, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, Vol. 10, No. 4, pp. 369-385, 2004

(9) 肥田拓哉, 他: 目視検査作業における検査対象面と把持位置が上肢負担に与える影響, 日本経営工学会論文誌, Vol.65, No.4, pp. 260-267, 2015

(10) 菅原隆宏, 他: 不良項目別の有効視野範囲と目視角度に着目した新たな周辺視目視検査の作成手順の提案, 日本経営工学会論文誌, Vol. 62, No. 4, pp. 153-163, 2011

(11) 中嶋良介: 人間の視覚特性に基づいた外観検査作業の改善活動の考え方, IE レビュー, Vol. 60, No. 1, pp. 35-39, 2019

(12) 西村晃紀, 他: ヒストグラムベースの局所特徴量を用いた電子部品の外観検査手法の提案, 精密工学会誌, Vol. 84, No. 7, pp.664-670, 2018

(13) Mar N. S., et al.: Design and Development of Automatic Visual Inspection System for PCB Manufacturing, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 27, No. 5, pp. 949-962, 2011

(14) 吉川智洋, 他: タイヤ検査のための画像処理に関する研究, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.37, pp.69-72, 2013

(15) Okada S., et al.: Development and Commercialization of Laser Inspection System to Detect Surface Flaws of Machined Holes, Synthesiology English Edition Vol. 11, No. 3, pp. 133-145, 2019

(16) Taifeng L., et al.: Free-Form Surface Parts Quality

Inspection Optimization with a Novel Sampling Method, Applied Soft Computing, Vol. 62, pp. 550-570, 2018
(17) Johnson T. L., et al.: How and Why We Need to Capture Tacit Knowledge in Manufacturing: Case Studies of Visual Inspection, Applied Ergonomics, Vol. 74, pp. 1-9, 2019
(18) 梶原康博: 製造工程における自動化技術の現状と課題, 経営システム, Vol.30, No. 2, pp. 176-181, 2021
(19) Lisha C., et al.: SDDNet: A Fast and Accurate Network for Surface Defect Detection, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 70, pp. 1-13, 2021
(20) Hua Y., et al.: Multiscale Feature Clustering Based Fully Convolutional Auto Encoder for Fast Accurate Visual Inspection of Texture Surface Defects, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 16 No. 3, pp. 1450-1467, 2019
(21) 中島彩奈, 他: 機械学習にもとづくプラスティック製品の外観検査における欠陥と背景の画像合成に関する検討, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.22, No. 6, pp. 559-567, 2019
(22) 上村美晴, 他: 外観検査作業を対象とした IE 改善活動のための現状分析に関する実証研究, 日本経営工学会 2020 年春季大会, Paper ID　C11, 2 pages, 2020
(23) 上村美晴, 他: 画像処理技術と視線解析技術を用いた外観検査作業の IE 改善活動の推進に関する研究, 日本経営工学会 2020 年秋季大会, pp. 53-56, 2020
(24) 中嶋良介: 視線計測装置を用いた外観検査の作業分析に関する事例研究, 2021 年度精密工学会春季大会学術講演会, pp. 159-160, 2021
(25) Nakajima R., et al.: A Study on the Effect of Irradiation Angle of Light on Defect Detection in Visual Inspection, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, Vol. 22, No. 1, pp. 525-537, 2015
(26) Nakajima R., et al.: The Relationship Between Dirt Levels of Inspection Surface and Defect Detection in Visual Inspection Utilizing Peripheral Vision, Industrial Engineering & Management Systems, Vol. 17, No. 1, pp. 102-112, 2018
(27) 中嶋良介, 他: 目視検査における欠点の特徴と検出視野の関係に関する研究, 人間工学, Vol.51, No.5, pp.333-342, 2015.
(28) 本郷満: 中国地域製造業における検査工程の状況, 季刊中国総研, Vol. 20-2 No. 75, pp. 33-45, 2016
(29) Rongsheng L.: Review on Automated Optical (Visual) Inspection and Its Applications in Defect Detection, Acta Optica Sinica, Vol. 38, No. 8, Article No. 0815002, 2018
(30) Selvaraju R. R., et al.: Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient Based Localization, Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, pp.618-626, 2017

オンラインを活用した持続可能性のある ものづくり、設計教育への取り組み

Fusion 360 のクラウド活用による継続教育を両立する指導と手法

Approaches to sustainable “Design to Make” education via ICT

-The methods and disciplinary action to achieve the series of education with Fusion 360 and the cloud-

中村　翼（オートデスク株式会社）*1　　○渡邊　朋代（オートデスク株式会社）*2

*1 Tsubasa Nakamura, Autodesk, Ltd Japan., X24F, 1-8-10 Harumi, Chuo-ku,Tokyo, 104-6024,tsubasa.nakamura@autodesk.com
*2 Tomoyo Watanabe, Autodesk, Ltd Japan., same as above , tomoyo.watanabe@autodesk.com

キーワード:設計教育, 3D CAD, クラウド活用

1. 緒　　言

2020 年に発生した COVID 19 の影響により，多くの学校では休校,オンライン授業,ハイブリッド授業といった措置が図られ,従来の授業内容や学生プロジェクトの指導方法に柔軟な対応が求められた．コロナ禍におけるものづくりや設計教育の停滞が危ぶまれる中,対面指導の代替方法としてのオンライン,クラウドを活用し 3D CAD を用いた設計教育や学生プロジェクト指導に実際に取り組んだ授業や学生プロジェクトへの取り組みの考察を行う.

2. 実施内容について

本稿では、世界中でのものづくり教育現場での導入が進んでいる Fusion 360 を授業や研究プロジェクトでの使用事例を取り上げる．Autodesk® Fusion 360®（以下 Fusion 360）は,クラウドを基盤とした 3D CAD であり,図面やモデリングといった従来の設計製図で利用する機能に加え,CAM, CAE, Generative Design といった高度な機能を追加インストールなしで一つのツールとして提供している.これらの機能をクラウドの基盤上で利用することができるため学生だけでなく指導側もその進捗具合をブラウザやオンラインから確認することができる.また Fusion 360 は教育目的であれば,商用版の機能を無償で申請利用ができる.さらに, Fusion 360 は Windows と Mac OS に対応しているため学生の個人所有 PC を自宅から利用させる場合にも導入がしやすい.本稿では、授業活用例として日本大学,東京大学,学会での発表適用例として日本設計工学会，産学連携事例として,アーチェリーライザーの軽量化の試み,学生のものづくり事例として呉高専のロボコンパーツを紹介する.

2.1. 授業導入事例

2020 年度に展開された授業ではオンラインでの演習授業を余儀なくされた場合でも,対面に相当する相互方向性となる授業形式を模索し,設計やデザインに対する学生の興味喚起や授業内容への理解を深めることができたと考察される.下記にその例を示す.

2.1.1. 日本大学理工学部機械工学科「機械工学インセンティブ」,「CAD/CAM」

学部 1 年生での「機械工学インセンティブ」では,Fusion 360 を用いて部品のモデリングをオンラインにて実施し,約 160 名の履修を教員 3 名が主体となりオンラインで遂行された.入学した初年度に対面授業を果たす前からクラウドを用いてモデリングの授業を実施できた．学部3年生での「CAD/CAM」の授業は,2019 年に Fusion 360 に刷新し,2020 年度も同じ内容で設計図面を元に 3D モデリングを行う授業内容を全てオンライン授業で実施された.授業に出席した学生からはクラウド機能を使って教員にすぐにデータを共有できるはとても便利だと思ったというフィードバックを得ることができた.[1]

2.1.2. 東京大学工学部マテリアル工学科「学生実験」

新たに学習内容を刷新した実施を予定していたところ, コロナ禍に見舞われたことで同内容を一部オンラインの学びに最適化して実施することとなった. CAD/CAM/CAE のプロセスを学びながらハンガーの設計を通してものづくりの一連のプロセスを学習した． 本来であれば利用, 見学する学内設備の機械や工具は事前に担当教員と技術職員が動画を撮影し, オンラインツアーのように研究設備と関連づけることで, 理解が深まるように対応されていた. 学生グループ 7 名程度毎にクラウド上でチーム分けを行い, 設計を考えデータを保存しながら進行する形式にて実施し, 技術職員の方もクラウド上のチームのデータにより進行状況を把握し, Zoom のブレイクアウト機能も活用しながらオンラインでの相互議論形式の演習にて適切に運営された.

2.2. 学会関連イベント例

日本設計工学会研究調査部会　2020 年度　第 33 回オープンセミナー 「設計から製造までを支えるものづくりのグローバルならびに国内最新事例のご紹介」において, オートデスク・テクノロジーセンター（米国/カナダ）で研究している各種産業界(自動車、AI、ロボット、SDGs 等)の先進プ

ロジェクトを紹介した. また日本国内の先進的な学生実践事例をオンラインセミナーで紹介した. 世界共通に提供されている Fusion 360 の事例を日本国内と世界からの事例を相互共有することでものづくり先進事例として知的好奇心を刺激する機会を提供した. 時差はあるが移動コストがなくなることで, 米国, カナダ, 日本各地から共通の Fusion 360 を用いたものづくりの先進技術を学び, 意見交換を行う場を設けた. 特に国内の学生発表のその高い質のものづくりに注目度が集まり活発な議論が行われた.

2.3. 産学連携事例

日本大学理工学部精密機械工学科入江研究室と西川精機製作所との産学連携プロジェクトとして、国産アーチエリーハンドルの設計開発を行った.[5] 設計やデータ共有の情報連携はすべてクラウドで管理し, 設計開発と切削工程の確認と工程管理をすべてオンラインでおこなった。切削加工のみデジタル工作機にて行い,物理的な接触や集合をできるだけ減らしながら先進的な事例を実現することができた。本プロジェクトでは Fusion 360 の機能である Generative Design を用い軽量化,剛性向上を図り,製品性能を大幅に向上しながらも今までの技術者の手では成立が困難な斬新なデザイン性を両立させている.[6]

2.4. 学生ものづくりプロジェクト事例

呉工業高等専門学校 高専ロボコンの足回りユニット設計と製作では,高専ロボコン出場経験のある学生2人が学校内のデジタル加工機のスキルを習得しながら,Generative Design を用いて軽量化,剛性向上を図った新しいパーツの設計を行った経験と過程を紹介した.前年度の呉高専のロボコンパーツの中で改良するパーツを見極め,それぞれに組付け時間,剛性,軽量化を実現する部品を開発した.これら部品には Generative Design を活用した設計を行い,加工には Fusion 360 の CAM 機能を利用した. スキル習得のために,Generative Design の利用方法についての講習会やデータ連携はクラウドを活用しながらオンラインで行い,学生2人は登校制限期間の自宅待機期間を有効に設計に費やし研究成果につなげられることができた.[7]

3. 結　　言

これらの事例からオンラインでの設計教育や学生プロジェクトの指導においては Fusion 360 のクラウド上にデータを保存する機能やコメント機能・履歴保存機能を活用することで課題進捗管理に役立てられるほか, オンライン授業に切り替えた場合でも従来から行っている設計演習の授業として運営できることが示された. また 3D CAD の操作だけではなく, 知の共有や議論などもオンラインツールを活用することで継続的かつ相互的なものづくりの学びの機会を維持発展できることが示された.

4. 謝　　辞

日本大学理工学部機械工学科 上田政人氏, 星野倫彦氏, 山田高三氏, 東京大学工学部マテリアル工学科 醍醐市朗氏, 田中貴久氏, 永山直樹氏, 津村雄初氏, 宮本機器開発株式会社 宮本和哉氏, 日本設計工学会研究調査部会長（東京大学工学部） 村上存氏, 日本大学理工学部 入江寿弘氏, 春田隆佑氏, 西川智紀氏, 株式会社西川精機製作所 西川 喜久氏, 栗林善行氏, 早川洋平氏, 呉工業高等専門学校 上寺哲也氏, 野波涼太氏, 吉田玄徳氏, 元木大河氏, 秦幹太氏をはじめとして, 多くの方に深い知識やご経験を生かしたご協力をいただきましたことにこの場を借りて深く御礼申し上げます.

文　　献

(1) Fusion 360 Japan [Fusion 360 Japan]. (2021.03.09). Fusion 360 授業導入事例 05 - 日本大学理工学部機械工学科様のご紹介 https://www.youtube.com/watch?v=LrFjnznbfhA&t=64s

(2) 東京大学工学系研究科技術部技術発表会 「3D-プリンタなど DX モデリングに最適な Autodesk Fusion360 と e-Learning 教材について」

(3) 公益社団法人日本設計工学会, 2020, 第 33 回設計オープンセミナー https://www.jsde.or.jp/kenkyu/kikaku.html

(4) 第 26 回計算工学講演会, 2021,「ジェネレーティブデザインを用いたアーチェリーライザーの軽量化の試み」

(5) Autodesk University 2020 講演発表 https://www.autodesk.co.jp/campaigns/education/au2020

(6) Redshift 日本版, 町工場がジェネレーティブ デザインで生み出す次世代の下町アーチェリー https://redshift.autodesk.co.jp/generative-design-archery

(7) Fusion 360 Japan [Fusion 360 Japan]. (2021.03.09). Fusion 360 授業導入事例 04 - 呉工業高等専門学校様のご紹介 https://www.youtube.com/watch?v=yjK62TV4p6g

展示空間のグラマビリティー
-Instagram で共有された展覧会体験の研究 -
A Grammability of Exhibition Spaces
A Study on Visitors' Shared Experience on Instagram

○井上　僚（竹中工務店）[*1]　　柳井　良文（東北大学）[*2]　　本江　正茂（東北大学）[*3]

[*1] Ryo Inoue, Takenaka Corporation, 4-1-13 Honcho, Chuo Ward, Osaka City, Osaka Prefecture, 541-0053, inoue.ryou@takenaka.co.jp

[*2] Yoshibumi Yanai, Tohoku University, 6-6-06 Aramaki Aza Aoba, Aoba Ward, Sendai City, Miyagi Prefecture, 980-8579, yanai@tohoku.ac.jp

[*3] Masashige Motoe, Tohoku University, 6-6-06 Aramaki Aza Aoba, Aoba Ward, Sendai City, Miyagi Prefecture, 980-8579, motoe@tohoku.ac.jp

キーワード : インスタグラム , 構図 , 展示空間 , 体験の共有

1. 序論

1.1. 研究の背景

SNS 上の画像群は、近年のスマートフォン等の普及により増加した利用者たちの情報が大量に蓄積された物である。そういった情報はただ蓄積されていくばかりではなく、利用者同士が閲覧し合うことが可能であり、それによる宣伝効果を無視できなくなっている。また、SNS に投稿することを前提とした消費行動をとる利用者の数も多くなっている。とりわけ SNS の中でも Instagram においては、自身の活動の記録という側面よりも、他者に見せる自分の写し鏡のような使われ方が主流であるとされている [(1)]。

こういった中、動物園や水族館、博物館、美術館といった展示施設は、旭川動物園や加茂水族館、森美術館などの流行の影響を受けて、SNS 上に投稿される画像の被写体としてより一層注目されるようになってきている。これらのような展示施設において撮影の主対象となるものは展示品であるが、その切り取り方によっては展示品以外の建築要素であったり、人が写り込むこともある。これらのような構成要素は、撮影時もしくは投稿時に取捨選択が可能である。ここで行われる取捨選択にこそ、利用者の経験が色濃く反映されている可能性があり、Instagram というプラットフォーム下で、蓄積された画像群には利用者（芸術分野や建築分野の専門的知識を必ずしも持たない人々）なりの、他者に伝えたい空間体験が潜んでいるのではないだろうか。

Instagram 上の画像群が、企画展の運営者に重要視されている中で、画像群上で他の展示施設との差別化が図れるかどうかは、展示施設にとっては集客力を高めるために重要な要素となってくる。実際に 2019 年に開催された「塩田千春展」や 2017 ～ 2018 年に開催された「レアンドロ・エルリッヒ展」など、SNS 上で大きく話題となった企画展を多く開催している森美術館は、2015 年に洞田貫晋一朗が広告・プロモーション担当となり SNS の管理を始め、Twitter や Instagram、Facebook などでの活動が活発になることが、企画展ごとの来場者数に影響を与えていることが来館者の来館動機に関するアンケートから明らかになっている [(2)]。

しかし、Instagram を通じて来館動機を得るような人々が、展示空間内で何を捉え、投稿しているのかは解明されておらず、来館動機を与えている Instagram 上の画像群の実態もわかっていない。

実際に Instagram 上の企画展に関する画像を見てみると、作品ごとにその切り取り方は異なっていることが多い。図 1 に示すように、被写体となる芸術作品を中心とした画像であったり、それを取り巻く空間を意識した画像、その場にいる人と一緒の画像など、投稿者の様々な空間体験が表れており、利用者は気ままに撮影し投稿しているように見える。一見統一性がないかのように見えてしまうこれらの行為だが、“ インスタ映え ” という言葉があるように、Instagram 利用者が好んで用いる共通したものの見方がそこには隠れているのではないだろうか。

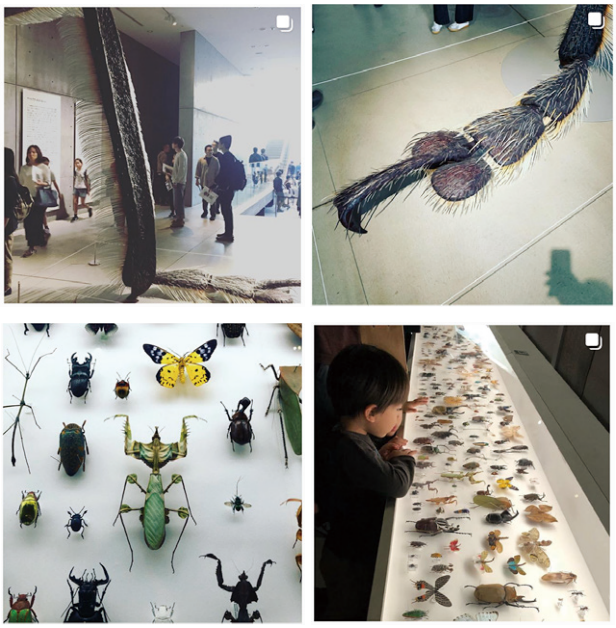


Fig.1 Example of images on Instagram

1.2. 研究の目的

本研究では Instagram 上の画像群に着目し、美術館企画展を訪れる芸術分野や建築分野の専門的な知識を持たない利用者が撮影した画像を分析することで、Instagram に投稿するという行為のもとで展示内容を問わず共通したものの見方を明らかにすることを目的とする。これにより、SNS 上の画像群の存在を意識し、利用者に独自の空間体験を届けようとしている企画展に対して、利用者のものの見方にどのような傾向があるのかを提示する。

1.3. 研究対象

SNS の中でも画像投稿が主となっている Instagram を研究対象とする。Instagram の投稿には、文章であったり、他のユーザーからのリアクションが反映される「いいね」やコメントといった情報が含まれているが、本研究ではあくまでユーザーの視覚的空間体験を分析することを目的としているため、画像部分にのみ注目する。また、複数枚の画像をまとめて投稿されたものについては、最も他者の目に入る 1 枚目の画像のみを対象とする。

対象とする企画展は、投稿数を担保するための会場の知名度があることと複数の企画展間の比較を可能とするため、会場構成が建築的に大きく変化することが少ないという条件に合致する 21_21 DESIGN SIGHT で行われたものとする。21_21 DESIGN SIGHT にて 2018、2019 年に図 2 の赤枠内
で開催された「虫展」、「ユーモアてん」、「民藝展」、「写真都市展」、「野生展」の計 5 つの企画展を対象とすることとした。

1.4. 本研究の位置づけ

既往研究では、平山による、建築写真と Instagram 上の画像を比較し、一般利用者の建築への評価について分析したものや[3]、黒田らによる、美術館において撮影された Instagram 上の様々な画像群を取り扱い分類したものなど[4]、建築全体の画像や美術館に関する画像群全体を対象とした分析が多く行われていた。

黒田らの研究では、被写体を「美術館建築」、「周辺建物」、「作品」、「テキスト」、「自然」といったカテゴリーに分けて、美術館ごとのイメージを分類しているが、具体的な展示空間への言及はされておらず、実際に展覧会場の設計・運営に反映するにはやや解像度が低いと言える。

そこで、本研究では対象とする美術館の数を一つに絞り、そこでの企画展の数を増やし、さらには抽出する構成要素を詳細化し写真の構図なども追うことで、より具体的に利用者がどのように空間を捉えているのかの一端を明らかにするものである。

2. 分析手法

2.1. 分析の流れ

まず各企画展ごとの画像群を、壁の枚数 - 床の有無 - 天井の有無 - 作品の数の組み合わせによって構図分けを行う。構図分けを行った後に、各画像群の中で各構図が占めていた割合を導き出し、その結果を可視化できるように 3D グラフを作成する。こうして作成した 3D グラフから企画展間で共通して高い割合で存在していた構図を明らかにする。

その後、共通していた構図ごとに壁の枚数、床、天井、作品の数以外の構成要素を抽出する。そうすることで、企画展間で共通していた構図が具体的になにを捉えていたのかを明らかにする。

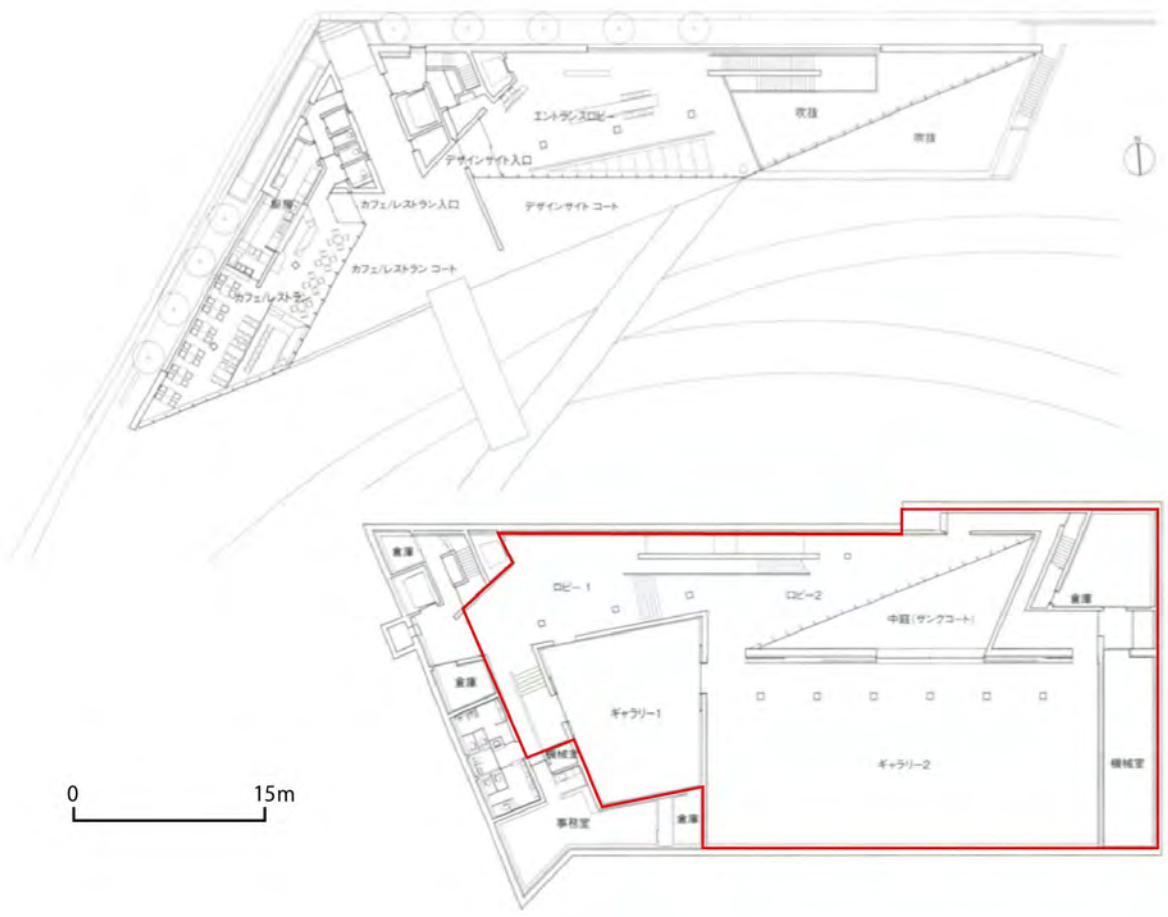


Fig.2 A plan of 21_21 DESIGN SIGHT
(新建築　2007 年 5 月号より)

こうして得られた企画展間で共通するものの見方から、展示内容に影響を受けない普遍的な展示空間の捉え方について考察を行う。

2.2. 構図 3D グラフ

構図 3D グラフでは、図 3 のように 3 × 4 × 4 の計 48 個の立方体を用意し、それぞれに当てはまる構図の画像数をクロス集計する。各企画展ごとに、48 種類の構図に当てはまる画像の数を調べ、その割合を透明度として立方体に色を塗っていく。その後、A,B,C 各面を平行投影した図 4,5,6 のような二次元のグラフを作成する。

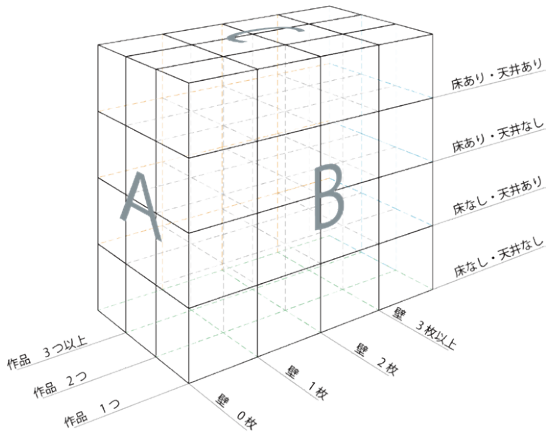


Fig.3 3D graph of composition

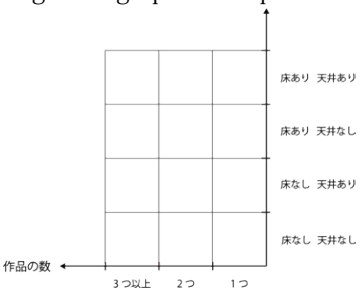


Fig.4 Side A

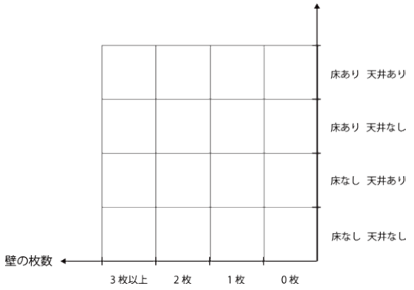


Fig.5 Side B

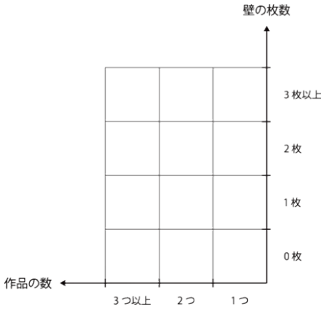


Fig.6 Side C

2.3. 抽出する建築的要素

【 壁 】…壁に関しては「0 枚」,「1 枚」,「2 枚」,「3 枚以上」の 4 種類に分類を行う。壁の枚数は、画像内に捉えられている空間の規模を示す指標として用いる。

【開口】…開口に関しては「あり」、「なし」の 2 種類に分類を行う。本研究では外部からの光を取り込むもののことを指しており、エレベーター等の扉は含んではいない。それは、外部の様子がうかがえる、もしくは光を取り込むことで空間の演出としている場合があり、利用者の空間体験に影響を与えうるからである。また、ロビー部分などのカーテンウォールは開口でもあり、壁でもあるという扱いにしている。

【 床 】…床に関しては、「あり」、「なし」の 2 種類に分類を行う。床の写り込みの有無は被写体と撮影者の距離や、引き目線であったか、寄り目線だったかなどの指標として用いる。

【天井】…天井に関しては、「あり」、「なし」の 2 種類に分類を行う。天井の写り込みの有無は床と近い性質を持っているが、意図的にカメラを上に向けなければ写り込むことは少ないと考えられる。

2.4. 抽出する展示的要素

【映像作品】…被写体に映像作品が含まれているかどうかを示す。21_21 DESIGN SIGHT の企画展では、ギャラリー 1 全体を用いた映像作品によるインスタレーションを行うことが多々あり、通常の作品と差別化を図るためにこの項目を設けた。

【 全 体 像 】…被写体となっている作品の全体像が画角におさまっているかを示す。複数の作品が写り込んでいる画像の場合、そのうち一つでも全体像が写り込んでいれば全体像が含まれていたとする。作品の細部を切り取ろうとすると全体像は写らないので、利用者の関心の度合いを示す指標として用いる。

【作品の数】…画像内に写り込んでいる作品の数を「1 つ」、「2 つ」、「3 つ以上」に分類する。隣接する作品が写り込んでいるかが示されることで、利用者が作品を単体として見ているか、作品群を見ているのかなどを全体像の写り込みの項目と合わせて、考察するための指標に用いる。

【支え】 …本研究において、支えとは、額縁や台座、ワイヤーなど、作品を展示するために必要な構造物を指し、「あり」、「なし」の 2 種類に分類を行う。画像内の主対象となることはあまり考えられない要素ではあるが、展示計画においてこれらはち密に計画されているもので、利用者がどの程度意識してこれらを捉えているのかを考察するための指標として用いる。

【キャプション】…キャプションに関しては、「あり」、「なし」の 2 種類に分類を行う。作品とともに写り込む場合と、キャプションが単体で写り込む場合が考えられ、具体的な展示内容への興味・関心度を示す指標として用いる。

【 人 】…人に関しては、「大人のみ」、「大人＋子供」、「なし」の 3 種類に分類を行う。作品を撮影する場合には、ノイズとなりうる要素だが、同伴者の存在であったり、自画像であったりするので空間体験の内容に深くかかわると考えられ、抽出することとした。

3. 構図の抽出

3.1. 共通した主な構図の特定

各企画展に関する画像群ごとの構図の分布を図 7 ～ 11 に、出現頻度の高かった上位 3 つの構図を図 12 ～ 16 に示す。各グラフを見てみると、色の濃い立方体は底面部分に多く表れている点が共通していた。

各企画展の全構図の中で出現頻度の高かった上位 3 つの構図の内、複数の企画展で共通したのは以下の 5 つの構図であった。

構図 A：壁 1 枚 - 床なし - 天井なし - 作品の数 3 つ以上
構図 B：壁 1 枚 - 床あり - 天井なし - 作品の数 3 つ以上
構図 C：壁 1 枚 - 床なし - 天井なし - 作品の数 1 つ
構図 D：壁 0 枚 - 床なし - 天井なし - 作品の数 3 つ以上
構図 E：壁 0 枚 - 床なし - 天井なし - 作品の数 1 つ

これらの構図だけで、作品が写り込んでいた画像群全体の枚数の 59.67% を占めていることがわかった。

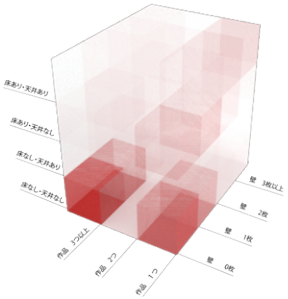


Fig.7 3D graph of composition , *Insects: Models for Design*

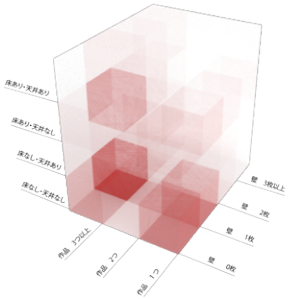


Fig.8 3D graph of composition , *SENSE OF HUMOR*

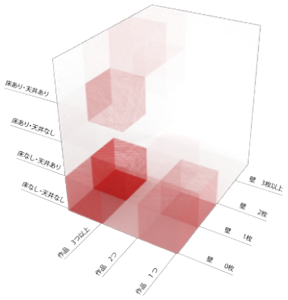


Fig.9 3D graph of composition , *Exhibition MINGEI - Another Kind of Art*

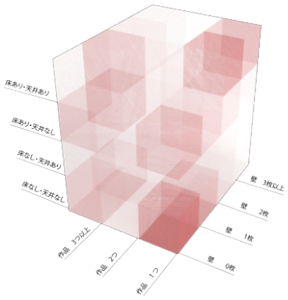


Fig.10 3D graph of composition , *NEW PLANET PHOTO CITY: William Klein and Photographers Living in the 22nd Century*

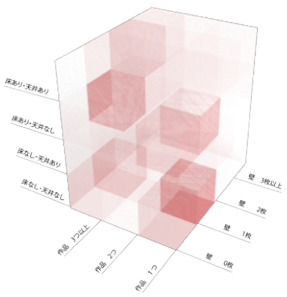


Fig.11 3D graph of composition , *Wild: Untamed Mind*

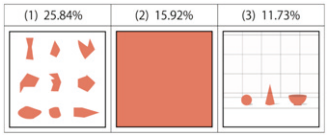


Fig.12 Top 3 compositions , *Insects: Models for Design*

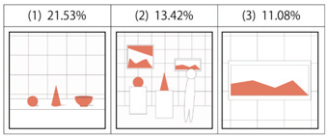


Fig.13 Top 3 compositions , *SENSE OF HUMOR*

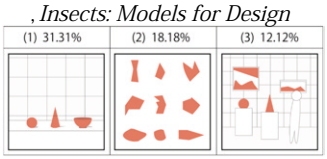


Fig.14 Top 3 compositions , *Exhibition MINGEI - Another Kind of Art*

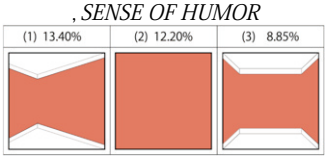


Fig.15 Top 3 compositions , *NEW PLANET PHOTO CITY: William Klein and Photographers Living in the 22nd Century*

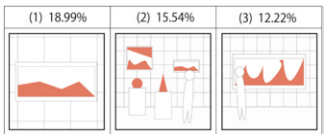


Fig.16 Top 3 compositions , *Wild: Untamed Mind*

3.2. 企画展全体を通しての構図の分布

共通した主な構図に関して、その分布について見てみると壁に関しては、「壁 0 枚」もしくは「壁 1 枚」に該当したものしか当てはまらなかった。壁の枚数が 2 枚や 3 枚以上写り込むような構図は、写真都市展を除いた 4 つの企画展に共通してその数は少なかった。床や天井の項目に関しても同じような状況で、どちらも「なし」に該当したものばかりで、構図 B のみが「床あり」の構図であった。これらの建築的要素は、基本的に写り込む数が多くなれば多くなるほど、利用者のとらえた空間の広さが広かったといえるものだが、結果としては写り込むことは少なく、利用者はあまり空間を捉えた画像を投稿していないことが分かった。

作品の数については、「1 つ」もしくは「3 つ以上」に該当するものが多く、「2 つ」に該当したものはほとんど見られなかった。「1 つ」や「3 つ以上」の場合は、捉えたい作品を、もしくは作品群を撮影の主対象とすればよいのに対し、「2 つ」は特定の作品 2 つを選ぶ必要性があり、作品間の関係性など撮影者の感覚が重要となる。そのため、「2 つ」の作品を主対象として捉えることの難しさが現れていたのだと考えられる。

4. 構成要素から見る主な構図の特性

各構図ごとに建築的要素と展示的要素を抽出した結果と、各企画展の画像群から抽出した結果の平均が表 1 である。

構図 A は、壁 1 枚以外に床や天井が写り込むことはなく、壁に沿った形で展示されていた作品を 3 つ以上捉えた構図で、捉えた空間に奥行きはあまりなかったと考えられる。キャプションの写り込む割合が低かったことや、作品の全体像が多く写り込んでいたことから作品一つ一つへの関心度が高かったわけではなく、複数の作品が自身の眼前にある 1 枚の壁の前で展示されている様を捉えていたと言える。

構図 B は、5 つの構図の中でも唯一床が写り込む構図で、開口の写り込む割合が高いことからも、最も広く展示空間

を捉えた構図であった。捉えた空間が広い分、キャプションや人が写り込む割合も高かったことが特徴で、会場の様子を最も把握できていたと言える。構図 A と比べると、作品の全体像の写り込む割合がやや低かったものの、平均と比べるとその割合は依然高く、作品一つ一つへの関心度が高かったとは言えないものであった。

構図 C は、構図 A と同様に壁 1 枚以外に床や天井が写り込むことはなく、1 つしか作品が写り込まない、いわゆる日の丸構図である。捉えた空間に奥行きがあまりないことも共通していると考えられる。構図 A と大きく異なる点としては、作品の全体像の写り込む割合とキャプションの写り込む割合が平均よりも低かった点で、作品の特定の部分を捉えることを意識した画像であったと言える。

構図 D は、構図 A、B、C とは大きく異なり、壁や床、天井が一切写り込まない構図である。作品の数は 3 つ以上で、作品の全体像の写り込む割合が最も高かったことや、キャプションの写り込む割合が低いことから、構図 A 同様、作品一つ一つへの関心があったというよりも、作品が並んでいる様に関心が向いていた構図だと言える。ただ一つ異なるのは、構図 A で写り込んでいた壁が写り込まない分、支えの写り込んだ割合がかなり高く、背景として支えが用いられていた点で、画角が狭い中で多くの作品を捉えていた。

構図 E は、構図 D と同様に壁や床、天井が写り込まず、作品の数が 1 つという構図である。この構図では、キャプションや人、支え、全体像の写り込みも少ないことから、画角内のかなりの割合を 1 つの作品が占めていたことが分かる。5 つの構図の中で最も 1 つの作品への関心度が高い構図であったと言える。

5. 考察

展示空間は、独自の全体性を持って計画されている空間であるのに対して、画像群の中で高い割合を占めていた 5 つの構図は局所的な空間しか捉えていないと考えられる。つまり Instagram 上に投稿されている画像群は、展示空間が持つ全体性をかなり狭く断片的に切り取ったものでしかないと考えられた。

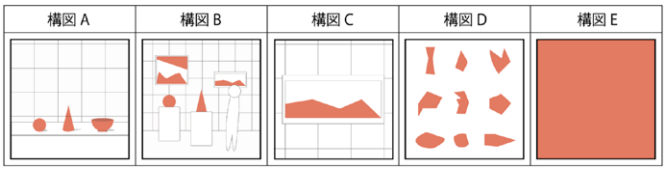


Fig.17 Diagrams of top5 compositions

実際には、Instagram には投稿の際にテキストを載せたり、複数の画像を投稿する機能があり、展示空間の全体性はそういった面で担保されている可能性は十分にありえる。しかし、投稿を見る側の人々が、投稿上の全ての画像やテキストを時間をかけて閲覧しているとは限らず、一瞬しか見ていない可能性も否定はできない。そうであった場合、SNS 上での宣伝効果を期待していた企画展の設計・運営者側としては、展示空間の全体性がほとんど共有されておらず、不本意な結果となっており、現状では Instagram 上の画像は展示作品の紹介という面でしかその効果を発揮できていないのではないか。

今後 SNS 上の画像群の宣伝効果を高めていくには、利用者により広く空間を捉えた画像を投稿させることで、投稿の閲覧者に作品を目で見て鑑賞するという行為以外にも、会場に足を運び実際に展示空間を体感したいと思わせるようにしていく必要がある。そのためには、従来の壁面に添う形で行われる展示だけでなく、床から天井までを幅広く、大胆に用いた展示であったり、利用者参加型の展示が重要になってくるのではないだろうか。　あくまで、SNS 上の画像群は利用者の空間体験の表面的な部分を示しているにすぎないのかも知れないが、今後更に SNS の影響力が高まっていく可能性を考えると、企画展の開催にあたって目で見るだけではなく、全身で展示空間を感じるような展示形式を採用するかしないかを決断しなくてはならない時が来るはずだ。

6. 結論

本研究では、同一の建築空間内で行われた複数の企画展における画像群にて、写り込んでいる要素を分析し共通した画像の構図を発見した。そして企画展に関する Instagram 上の画像は、その展示内容に関わらず、作品や作品群を中心とした極めて狭い空間を捉える傾向があることが明らかになった。これにより、現状では Instagram 上の投稿だけでは、会場全体を通して得られる空間体験を宣伝する効果は十分ではないことがわかった。

今後の展開としては、会場内のどのような位置で人々が作品の撮影を行い、投稿が行われているのかを実験的に行うことで、展示を通して伝えたいテーマを投稿に反映させていくための展示順序や什器等のデザインなどがどうあるべきか検討する余地がある。

謝辞

本研究にあたっては 21_21 DESIGN SIGHT の多大なご協力を得た。記して感謝の意を表す。

参考文献

(1) レフ・マノヴィッチ　著 , 久保田晃弘 , きりとりめでる 共訳・編著：インスタグラムと現代視覚文化論 レフ・マノヴィッチのカルチュラル・アナリティクスをめぐって , ビー・エヌ・エヌ新社 ,2018.6 .
(2) 洞田貫晋一朗：シェアする美術 森美術館のＳＮＳマーケティング戦略 , 翔泳社 ,2019.6 .
(3) 平山貴大 :Instagram における建築の写真表現―画像から抽出した建築の構成要素による分析―, 東京大学大学院 建築学専攻 2017 年度 修士論文梗概集 ,2017.3 .
(4) 黒田陽二郎 , 堀切梨奈子 , 佐藤慎也 : ソーシャルメディア上に現れる美術館のイメージに関する研究 :Instagram の投稿画像を通して , 日本建築学会計画系論文集 ,83(754),2271-2281,2018.12 .

Table.1 Result of extracting elements for each compositions

	映像作品		全体像		開口		支え		キャプション		人		
	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	大人のみ	大人＋子供	なし
画像群全体平均	9.01%	90.99%	34.55%	65.45%	13.49%	86.51%	42.20%	57.80%	7.42%	92.58%	10.66%	2.77%	86.57%
構図A	0.99%	99.01%	89.41%	10.59%	12.56%	87.44%	89.16%	10.84%	1.48%	98.52%	5.67%	7.64%	86.70%
構図B	1.46%	98.54%	71.53%	28.47%	21.17%	78.83%	60.95%	39.05%	11.68%	88.32%	14.23%	4.38%	81.39%
構図C	26.44%	73.56%	29.06%	70.94%	4.71%	95.29%	53.93%	46.07%	3.93%	96.07%	3.14%	1.83%	95.03%
構図D	0.00%	100.00%	92.90%	7.10%	0.00%	100.00%	97.08%	2.92%	1.04%	98.96%	1.04%	2.51%	96.45%
構図E	7.52%	92.48%	21.12%	78.88%	0.00%	100.00%	32.52%	67.48%	3.40%	96.60%	0.73%	0.00%	99.27%

杖を使った立ち上がり動作の観察とヒアリング

Observation and listening of standing movements using cane and poles

○李芊芊（武蔵野美術大学大学院）*1
北徹朗（武蔵野美術大学）*2　中原俊三郎（武蔵野美術大学）*2　小林昭世（武蔵野美術大学）*2

*1 Li Qianqian
Graduate School of Musashino Art University
1-736 Ogawa-cho, Kodaira-shi, Tokyo, 187-8505
risensen1111@gmail.com

*2 Kita Tetsuro
Musashino Art University
1-736 Ogawa-cho, Kodaira-shi, Tokyo, 187-8505
kita@musabi.ac.jp

*2 Nakahara Shunsaburo
Musashino Art University
1-736 Ogawa-cho, Kodaira-shi, Tokyo, 187-8505
shyun@musabi.ac.jp

*2 Kobayashi Akiyo
Musashino Art University
1-736 Ogawa-cho, Kodaira-shi, Tokyo, 187-8505
kobayasi@musabi.ac.jp

キーワード：杖，立ち上がり動作，ヒアリング，観察，高齢者

1. 緒　　言

動作観察・動作分析を行う際に、主に二種類の方法がある。一つは三次元動作解析装置や筋電計などの機器を用いて関節のモーメントや変位・速度・加速度などを求める客観的な方法・定量的分析方法である。もう一つは、日常生活や基本動作などにおける動きの特性や、動作を構成する個々の運動要素の観察的動作方法、定性的分析、例えばエスノグラフィー調査方法と呼ばれる方法である[(1)]。

本研究では、エスノグラフィー調査方法・定性的分析方法により、杖を使った立ち上がり動作の関係を明らかにする。高齢者の個別の身体状況、各症状によって、杖の使用条件は異なるが、本研究は 80 歳代の女性を例に杖と立ち上がり動作の分析を行った。生活における杖の有無や異なる形の杖の立ち上がり動作を観察し、ヒアリングを実施した。

「杖による立ち上がり動作の安定性」、「立ち上がる際の手を突く位置と動作」、「立ち上がる時の杖の長さの効果」、「体に対する杖のグリップの角度」、「力が入りやすい杖のハンドルの握り方」、「重心移動の特徴」など、意識的、無意識的な立ち上がり動作と、立ち上がり動作の習慣に関するパターンを抽出し、観察とヒアリングを行った。

これらの分析により、高齢者の立ち上がり動作について考察すると同時に、立ち上がり動作から見た杖の課題の抽出とその解決案発見の助けになると考える。

具体的には、以下の仮説をもとに、杖と立ち上がり動作の関係を観察した。

1. 立ち上がり動作では杖を使う（杖あり）の方が杖を使わない（杖なし）に比べ、立ち上がる際にふらつきが減少する。
2. 立ち上がり動作開始から臀部離床までに、長い杖に比べ短い杖は握りやすく、力が入りやすい。
3. 立ち上がる時に、T 字杖に比べ、ウォーキングポールは握る姿勢がより自然だと感じられる。
4. 杖を突く位置は、体の近くに比べ、より体の遠く（足部の前）に突くと立ち上がりやすい。
5. １本の杖に比べ、２本の杖は重心の左右動揺が少ない。
6. 杖を突く位置は、両足の間に比べ、脇に突く方が、動作開始と臀部離床の間の前方への重心移動がスムーズであり、立ち上がり（臀部離床し）やすい。
7. 杖先端の形状について、立ち上がる時の力の入りやすさは、４点支持杖＞３点支持杖＞１点杖の順である。

以上の仮説は、杖と立ち上がり動作（定量的分析方法）の研究（李ら：高齢者の立ち上がり動作における杖の使用条件に対する足圧荷重と重心動揺の特徴、デザイン学研究（掲載予定）、及びその後の研究をもとにしている。

2. 研究方法

実験日：2021 年 3 月
実験場所：被験者の自宅

本研究では A さん(女性)を被験者として遠隔で観察とインタビューを行った。A さんは T 字杖を使った経験があったが、現在杖を使わずに自立して生活できる。年齢は 85 歳、身長 160cm、体重 68kg である。２名の介助者（A さんの家族）に立ち上がり動作の観察とインタビューを支援してもらい、観察は２台のカメラにより、またインタビューはオンライン・テレビ電話を用いた。観察、およびインタビューのデータは MP4 ファイルで保存した。

実験にあたり、A さん及び家族の介助者に観察とインタビューについて説明を行い、承諾を得た。

観察方法はエスノグラフィー調査の標準的と考えられる方法 [2] により、日常生活の環境、被験者自宅の応接間で、ソファーにより、杖は長さを変えることができる T 字杖（２本）とウォーキングポール（２本）、および杖先端が３点支持、４点支持の形状の T 字杖を用いた。

オンライン観察は、A さんの日常生活・立ち上がり動作の特徴を観察した。例えば、テレビを見た後のソファーからの立ち上がり動作、食後の椅子からの立ち上がり動作、休憩後のベッドからの立ち上がり動作などである。観察しながら、ヒアリングを行った。

次に、事前に用意した T 字杖、ウォーキングポール、３点支持杖と４点支持杖を使って、立ち上がり動作を観察した。その時、各杖の長さは筆者からの指示に基づいて、介助者が各杖の長さを設定した。

オンライン観察とインタビューが終わった後、問題点と高齢者からの答えやコメントなどを整理し、録画した内容を複数回、繰り返し見た後で、新たな発見や質問項目を抽出し、再度のオンライン観察時にインタビューをし、確認した。

動作分析は、座位姿勢保持から、重心を前方に移動し、臀部離床、重心を上方に移動、立位姿勢保持までの５つの立ち上がり動作姿勢から観察を行い分析する。インタビューをしながら、各杖の立ち上がり動作を行った。被験者は立ち上がり動作に慣れの程度、疲労等を配慮し、各杖の立ち上がり動作は 5 分以上の間隔をあけて実施した。また、被験者の身体能力、疲労を配慮し、午前と午後に分け、日をまたいで、十分な時間と休憩時間を確保して実験を行った。

3. 研究結果

被験者 A さんは立ち上がる時に、両手を目の前のテーブルや椅子の肘掛や自分の腿や座面について体を支えることが多かった。片手で杖を使う場合、もう一方の手は自分の腿や座面などを支える。補助がないと、立ち上がれないこともある。立った後ふらつきがみられる。特に立った後すぐに方向転換する時に、躓きやすく、すり足で歩行する場合があった。

立ち上がり動作は、座位姿勢保持－重心を前方に移動－臀部離床－重心を上方に移動－立位姿勢保持の５つの動作パターンに分けて、以下の各動作の正面と側面の特徴を示す。



Fig.1　Standing up without assistance



Fig.2　Standing up with the long T-shaped cane



Fig.3　Standing up with two long T-shaped canes



Fig.4　Standing up with a short T-shaped cane



Fig.5　Standing up with two short T-shaped canes



Fig.6　Standing up with 3-points support long T-shaped cane



Fig.7　Standing up with 4-points support long T-shaped cane



Fig.8　Standing up with the long pole



Fig.9　Standing up with two long poles



Fig.10　Standing up with a short pole



Fig.11　Standing up with two short poles

ここで、長い T 字杖は立位での大転子までの垂直の高さとした。短い T 字杖はそれより 25 センチ短い。また、長いウォーキングポールは立位で肘が 90 度になる標準的な長さ、短いウォーキングポールは(座位で肘が 90 度になる)それより約 40 センチ短い。杖の長さは、短い T 字杖＜長い（標準長）T 字杖≒短いウォーキングポール＜長い（標準長）ウォーキングポールとなる。

杖なしでの立ち上がり動作（図１）

被験者が補助なしで、両手を両腿に当てて自力で（1 回で）立ち上がる動作であった。重心を前方に移動した時から重心を上方に移動するまでに、つま先が地面から離れ、全体の荷重は踵に集中する状態が見られた。また、図１では明らかではないが、立ち上がり動作から数歩の歩行開始時までにふらつきがみられた。

１本の長い T 字杖の立ち上がり動作（図２）

この動作は 2 回行った。第 1 回目の動作で、重心を前方に移動した時、杖を突く位置は足趾の隣であったが、臀部離床できず、立ち上がれなかった。第 2 回目の動作で、重心を前方に移動した時、杖を足趾の隣からもっと遠くの位置・前方に突いて、上半身を下に沈め、重心を更に前方に移動し、臀部離床でき、立ち上がり動作を完成した。

２本の短い T 字杖の立ち上がり動作（図５）

被験者から通常歩行中に使っている杖の長さが立ち上がる際に長いという意見をもらったので、被験者自身が適切な高さに調整した結果、短い杖と同じ長さになった。

１本の T 字杖､杖先端が３点支持の立ち上がり動作(図６）

３点支持杖を両足の間に突いた立ち上がり動作では、先端が１点の T 字杖に比べ３点支持の方が安定感や安心感があるという感想であった。杖を両足の間に突く時、通常ではグリップを握らない手は腿に置かず、杖のシャフトを握って立ち上がった。また、重心を前に移動するに連れて、杖のシャフトを前に傾斜した。

１本の T 字杖､杖先端が４点支持の立ち上がり動作(図７）

杖先端が４点支持の杖は一番安定したタイプだが、杖が重く、歩行には使いにくい様子であった。また、４点支持の杖は接地面が広くて安定している分、両足の間に突くと前方への重心移動の際、杖のシャフトや先端を前方に移動させる動作に制限があり､臀部離床時に困難さが増加した。

２本の長いウォーキングポールの立ち上がり動作（図９）

被験者はポールを使った経験がなく、またポールの長さが T 字杖より長くなるので、最初はポールの長さは長すぎるとの感想であった。しかし、長いポールを使用しても、立ち上がり動作を補助できるとの答えを得た。

１本の短いウォーキングポールの立ち上がり動作（図 10）

短いポールの方が重心を前方に移動しながら、ポール先端を前方に移動しやすいので、１本の短いポールは立ち上がりやすいという評価であった。

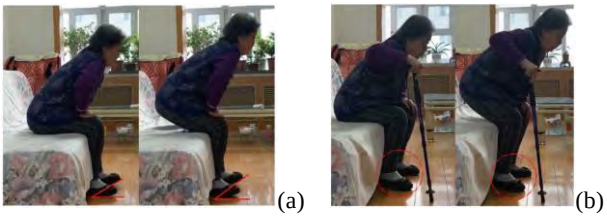
２本の短いウォーキングポールの立ち上がり動作（図 11）

被験者は杖を突く位置を探るように何回か試した後、足部前方の位置を決めて、重心を非常に前方に移動した後、立ち上がった。

4. 考察

① 立ち上がり動作を杖で補助すれば、足部全体に全身の荷重を分散できる。

図 12（a）のように自力、杖なしで立ち上がる際に、踵に全身の荷重がかかる傾向が見られた。この動作の場合、下肢と腰の筋力がかかることを観察した。三好ら[3]、高井ら[4]は、高齢者が椅子からの立ち上がり動作終了後、足圧の中心が若年者よりも踵側に偏位しやすい傾向があると証明したが、本研究では自力で立ち上がる際に、特に臀部離床時につま先は床から上がり、踵に全身の荷重をかけることが認められた。杖があれば重心を前方に移動し、離臀し、重心を上方に移動する動作において、(b)、つま先が上がる状態を減少し､つま先にも荷重をかけられると考えられる。



(a) (b)

Fig.12 Comparison of standing up with and without the cane

② 杖を使うと、立ち上がり動作から数歩の歩行開始時のふらつきをコントロールできる。

立ち上がる際に踵に全体重がかかるので、立った後、荷重を足部前方に移動し、体のバランスを保持するために回復時間が必要である。立った後すぐに歩行動作が始まり、体の重心動揺の回復時間が少なく、立ち上がり動作から数歩の歩行開始時のふらつきが生じた一つの理由だと思われる。

杖があれば､足部荷重の負担を分散できるだけではなく、歩行動作中に両足と杖による支持基底面が広くなり、立った後の立ち止まる時間が少なくても、杖なしに比べ、ふらつきがコントロールできると思われる。

③ 支持基底面が広がれば、立ち上がりやすくなる。

被験者は無意識に杖を膝関節の隣や足趾の隣に突いて立ち上がる。しかし、膝関節の隣や足趾の隣に突いて、立ち上がれない状況や離臀時に上肢に力がかかる状況もあった。離臀動作のために重心を前方に移動する際、被験者が杖を足部の前に突き、足部と杖を囲む支持基底面が広がれば、立ち上がり動作をスムーズにすることができると推測される。

④ 重心が前方に移動するほど立ち上がる際に離臀しやすい。

被験者が１回目で立ち上がれない動作姿勢と２回目で立ち上がれる動作姿勢を比較すると、２回目では、重心をさらに前方に移動して、立ち上がり動作を完了した。また、３点支持杖と４点支持杖を両足の真ん中に突いての立ち上がり動作の比較では、体の重心の前方移動に合わせて３点支持の T 字杖のシャフトでも前方に移動することが観察された。４点支持杖は杖先端を地面に固定され、重心を前に移動することが制限され、離臀することが難しく、立ち上がり動作時間がかかった。被験者が立ち上がる際に、体の重心が前方へ移動することが制限されれば、臀部離床することも困難になると思われる。

⑤ 杖を両足の真ん中に突くのに比べ、体の片側に突いた方が立ち上がりやすい。

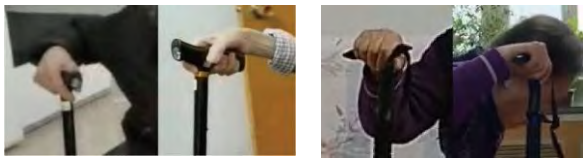
片側と両足の真ん中の比較では、片側の方が立ち上がる

時間が短く、動きも連続した。片側に杖を突くと立った後、すぐ歩行動作を開始できる。一方、両足の真ん中に突くと、杖を片側に移動した後、歩行動作を開始することになる。

⑥　２本の杖は立ち上がる際によい動作姿勢・バランスを保持できると考えられる。

１本の杖と２本の杖の立ち上がり動作姿勢（例えば、図2と図3、図4と図5の正面動作）を比べると、２本の杖の立ち上がり動作の方が、左右の重心移動が減少する。しかし、被験者へのヒアリングでは、一方の手は杖を握り、他方の手は膝や座面などに置いて支えると安心感があるという意見も得た。

⑦　立ち上がる際にT字杖のグリップは体と平行の向きが、力が入りやすく、使用しやすい。



（a）Be vertical to the body　（b）Be parallel to the body

Fig.13　Relationship between grip and body

T字杖（歩行補助用の長さ）で立ち上がる時に、図13（a）の体と垂直の向きになる杖のグリップは、上肢の力が入りにくく、腕の負担も増加すると感じられた。それに対して、図13（b）の体と平行の向きになる杖のグリップは、握るための力が入りやすく、使用しやすいと感じられた。

⑧　短いT字杖が立ち上がる時に離臀しやすい傾向がある。

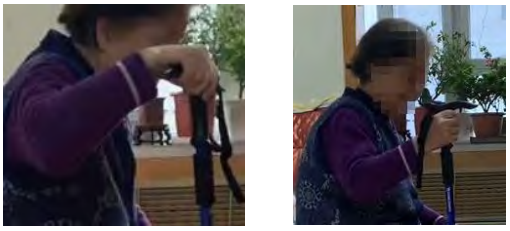
短いT字杖のグリップは手を下に押すように握られ、上肢の姿勢が自然になる上、下肢の負担を分散できると思われる。しかし、立った後、歩行動作に入る際に、短いT字杖は肘が伸びた姿勢となり、杖先端部が床から離れ、体のバランスを補助できなくなる可能性がある。被験者の動作姿勢は、立った後、短いT字杖先端を床面から離せず、すこし猫背になる傾向がある。長いT字杖より短いT字杖が立ち上がりやすいと考えられるが、猫背など悪い姿勢を予防するために、立ち上がり動作と歩行の両方の動作の補助から杖の長さを考慮する必要がある。また、猫背になることは気になるかどうかについて、被験者にヒアリングすると、「あまり気にしない」という答えを得た。理由は自分の姿勢が猫背になっていないと信じているためである。年を取って、猫背になることは仕方がないことだと思うが、猫背にならないように元気な生活を続けたいと被験者は考えている。

短いT字杖は身体能力が高い高齢者や歩行中に補助具の必要がない人にとって推奨できる。短い杖は、立った後、杖を地面から離し、携帯しながら歩くことができる。

⑨　２本のウォーキングポールは使わない時に邪魔になると感じられる。

被験者はウォーキングポールを使った経験がなく、最初はポールの長さを見ると長すぎるというコメントを得た。立ち上がる際に長いポールの補助性が認められたが、休憩する時などポールを使わない時に２本の長いポールは邪魔になると感じられた。

⑩　ウォーキングポールのようにグリップを縦に握ると、握りやすい。



（a）sideways　（b）vertically

Fig.14　Gripping posture of the handle

ウォーキングポールのグリップを握る時に、腕を曲げなくても力が入る。特に、同じ長さの長いT字杖・図14（a）と短いウォーキングポール・図14（b）を比べると、ウォーキングポールの握り方の方が立ち上がり動作のスピード、動作の連続性がよいと感じられた。しかし、縦にグリップを握ると、手が下に滑ることがあり、T 字杖に比べ安定感が弱まる可能性があると感じられた。

⑪　１本の杖において使わない方の手は膝関節に置いて支える。



(a)　（b）　（c）　（d）

Fig.15　Position of the hand

被験者は立ち上がる際に手を自分の腿に置いて支えると安心感があるので、図15（a）と図15（b）の杖なしおよび1 本の杖の立ち上がり動作において、杖を使わない手は膝関節に置いて支える。被験者はT字杖を使った経験があり、杖の有用性も認めているが、全身の力を全部杖に任せたくないと感じている。

図15（c）と図15（d）の３点支持杖と４点支持杖において、両足の間に杖を突くと、両手を同時に杖に置く事が多かった。その理由をヒアリングすると、無意識であるが、この使い方が力が入りやすいという感想を得た。また、先端が１点のT字杖に比べ、３点支持杖と４点支持杖は安定感が強く、より強い力を入れることができると感じられた。

⑫　立ち上がる際の視線の変化

立ち上がる際の被験者の視線は、重心を前方に移動する時、上半身（脊柱）と下半身の角度が小さくなるので、視線は前方下側を向く。重心を上方に移動する際には、視線が前方に移動する。

２本のT字杖では、高齢者が立位姿勢を保持する時にも視線は前方の下側になる。被験者は２本のT字杖を一緒に使った経験がなく、両手で杖を持って、歩行動作を開始する際に使い方や歩き方などを考える時間が必要である。したがって、視線は前方に戻らず、下側をみることになる。

３点支持杖と４点支持杖を両足の間に突くと、動作開始から終了まで、視線はずっと前方をみて頭の角度も変化がない。２本の短いウォーキングポールの立ち上がり動作姿勢においても、杖先端を足部の前に突いて、重心を十分に前に移動し、被験者の視線は前方を保持していた。３点支持杖と４点支持杖と２本の短いポールの共通点として、事前に位置を確認し、安定感、安心感を持って、動作を開始したと思われる。

⑬　ウォーキングポールの立ち上がり動作と歩行動作には異なる握り方がある。

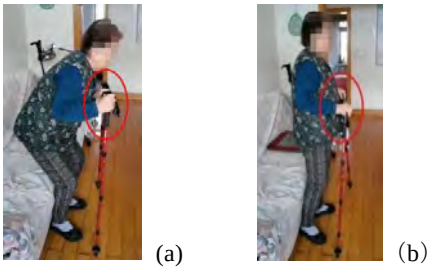

(a)　(b)

Fig.16　Walking pole usage posture

被験者は初めてウォーキングポールを使ったが、特に短いウォーキングポールを使って立ち上がった後、図 16 (a) から (b) のようにグリップの握り方を変えた。また、(b) のような握り方がよいかどうかヒアリングした結果、被験者は短い時間でこの握り方を体験した後、この握り方はそんなに悪くないとの答えを得た。

⑭　T 字杖のグリップの指の位置の違いによる、使い勝手の差はない。

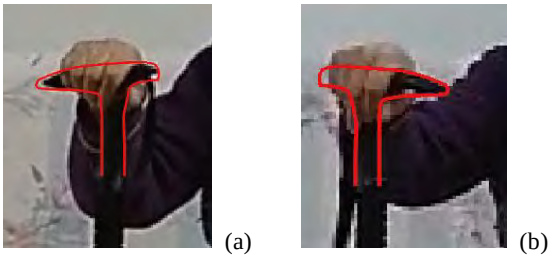

(a)　(b)

Fig.17　Grip direction of T-shaped cane

図 17 は T 字杖のグリップの前後が逆になっている握り方である。図 17 の(a) はグリップの短い端は親指側であり、(b)はグリップの短い端は小指側であった。ヒアリングして得られたコメントは、この二つの握り方の差は大きくなく、無意識で握ったので、使いやすさも大体同じであった。

⑮　杖を使えば、躓かないようになる。

被験者が自力で立ち上がった後、歩行中に時々すり足の歩行状態がみられた。杖があれば、立ち上がり動作から支持基底面が広くなり、安定感を高める同時に足部荷重を分散することが認められた。そして、歩行する時に、杖を前に出した後、足を前に出すことを観察したので、足部荷重の負担を分散する同時に、足を地面から離せ、すり足の歩行を改善できると思われる。

5. 結　　言

立ち上がり動作は、様々な条件に影響されている。例えば、高い座面より低い座面の方が、硬い座面より柔らかい座面の方が、座面に浅く座るより深く座る方が、立ち上がり動作は難しくなる。本研究は座面が低く、座る時に被験者の膝関節は約 90 度になる、柔らかいソファーにより、被験者の立ち上がり動作を観察した。立ち上がる際に、重心が十分に前方に移動できれば、臀部離床をしやすくなる。臀部離床後、杖があれば、両足だけでなく、両足と杖で囲む支持基底面を拡大して、体のバランスを保持しながら、重心動揺を減少し、重心をうまく上方に移動できると考えられる。

立ち上がり動作開始から臀部離床までに、長い杖より短い杖の方が握りやすく、力が入りやすいというコメントがあった。長い杖は歩行中に使う杖の長さなので、座る時には、長いと感じられ、グリップを握る際に腕の角度が不自然に感じられた。したがって、杖の長さが短くなると、上肢の姿勢が自然になり、立ち上がり動作がしやすいと感じられた。また、T 字杖とウォーキングポールの握り方を比べると、T 字杖は力を加えやすいと感じられ、ウォーキングポールは握りやすく、また姿勢が自然だと感じられた。立ち上がり動作に求められる異なる要求によって、杖の種類を選択する必要があると思われる。

杖を突く位置は、体や足部から少し離れたところが立ち上がりやすいと感じられた。また、立ち上がる時に、１本の杖に比べ２本の杖は、バランスがよい動作姿勢を保持できるが、携行に邪魔になるといったコメントを得た。

現在、市販されている立ち上がり動作のための１本の補助杖は、通常歩行中に使うグリップより、さらに低いグリップの位置を設定している。使い方は両足の間に突き、両手で同時にグリップを握りながら、立ち上がる。本研究の結果からみると、T 字杖や３点支持杖を両足の間に突くと、体の重心を前方へ移動するにつれて杖も動かすことができるが、４点支持杖など接地面が広い杖では、地面に固定性が高いので、前方に重心移動することが制限され、臀部離床までに姿勢を調整するために時間がかかり、立ち上がり動作の連続性にも影響が出た。杖を両足の間に突くことに比べ、杖を足の脇に突く方が、重心を前方にスムーズに移動でき、立ち上がり動作の連続性が高いと考えられる。

立ち上がる時に力が入りやすく、安定感が杖先端の形状は、一番目は４点支持杖、二番目は３点支持杖であった。しかし、４点支持杖は立ち上がる時に安定するが、立ち上がり動作における前方への重心移動や歩く時に杖の重さが気になる。

本研究では、被験者の自宅で立ち上がり動作を観察し、被験者が周りのことをよく知っているので、動く時に安心感を持っていたと思われる。しかし、被験者が外出する時には環境が変わり、未知なところもあるので、動作姿勢の新たな問題点などが発見できる可能性がある。被験者の外出活動における立ち上がり動作の観察は次の機会の課題としたい。

文　献

(1) 松本和久，森川重幸：東洋医学的治療を行うための動作分析について，日本東洋醫學研究會誌，3，13-20，2016

(2) 観察の条件としては、以下をもとにした。

1. 人、環境、道具、情報との「かかわりあい」の視点で分析できるように周囲のものも含めて記録すること。

2. 飲んでいる時だけでなく、その前後準備や後片付け、購入、廃棄などの活動を対象とすること。

3. 動画は、誰か一緒にいる人に撮影してもらう、スタンドや三脚などを使う、使っていない方の手を伸ばして手撮りする、セルフタイマーを活用するなど、なるべく自然な状態が撮影できるように工夫すること。

4. 動画は、環境、道具、一緒にいる人、などの状況、身体の動き、がわかるように考慮して撮影すること。また、必要に応じて事後に、道具などのアップの写真も撮影すること。

5. 活動そのものの動画が全部は撮影できない場合は、活動の後や、その痕跡の写真を撮る、活動の再現写真を撮る、など、できるだけ状況が分かるように工夫すること。

（蓮池公威，小林昭世のインターフェイスデザイン「飲む活動の記録（動画）」授業のプリント）

立ち上がり動作の観察においては、以下をポイントとした。

観察したシーンで行われた活動を、時系列順に抽出し、それぞれの活動をする際に、人がどういう行為を行ったか、身体（のどういう部分）をどのように使ったか、環境（のどういう部分）をどのように利用したか、どのような道具（のどういう部分）をどのように利用したか、どのような情報をどのように利用したか。

観察ポイント：

・人の「身体面」、「認知・思考面」、「感情面」での変化を追ってみる。

・姿勢、身体の変化、使っている身体の部位、作法、しぐさなど、を丁寧に見る。

・感覚器として、五感のどこのあたりが使われているか。利用している情報は何か、を分析。

・どのような判断をしているか。考えていること、感じていること（観察からでは分からない、言い切れないこともあるので、仮説も含む。あとでインタビューで確認する）。

・行為の前提となっている知識や情報は何か（あとでインタビューで確認する）。

（蓮池公威，小林昭世のインターフェイスデザイン授業のプリント、2020 年 5 月 4 日）

(3) 三好圭，他：立ち上がり動作後における重心動揺の動揺面積と周波数特性に関する加齢の影響，身体教育医学研究，6（1），11-19，2005

(4) 高井逸史，他：加齢による姿勢変化と姿勢制御(高齢者居住研究会特集)，日本生理人類学会誌，6（2）,11-16，2001

中小製造業のデジタル化のためのソシオテクニカルデザイン

アクションリサーチを通じたデザインの記述

Socio-Technical Design for Digitalization of Small and Medium-Sized Manufacturing Firms:

Describing a Design Process based on Action Research

○根本 裕太郎（東京都立産業技術研究センター）*1　綾部 豊樹（東京都立産業技術研究センター）*2
中川 善継（東京都立産業技術研究センター）*3　田中 光一（株式会社名取製作所）*4
名取 秀幸（株式会社名取製作所）*5

*1 Yutaro Nemoto, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute (TIRI), Aomi 2-4-10, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, nemoto.yutaro@iri-tokyo.jp
*2 Toyoki Ayabe, TIRI, Aomi 2-4-10, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, ayabe.toyoki@iri-tokyo.jp
*3 Yoshitsugu Nakagawa, TIRI, Aomi 2-4-10, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, nakagawa.yoshitsugu@iri-tokyo.jp
*4 Koichi Tanaka, Natori-mnf Inc., Atago 3-15-14, Ageo, Saitama, 362-0034, tanaka@natori-mnf.co.jp
*5 Hideyuki Natori, Natori-mnf Inc., Atago 3-15-14, Ageo, Saitama, 362-0034, natori-kuki@natori-mnf.co.jp

キーワード：IoT，デジタル化，ソシオテクニカルアプローチ，アクションリサーチ，デザインプロセス

1. はじめに

近年，産業界に最も大きな影響をもたらしているのは，デジタル化の潮流であろう(1)．その有力な技術要因の一つである Internet of Things（IoT）は，機械や人間，環境に関するデータをリアルタイムに収集し，それを解析することで有用な情報資源を得ること，あるいはそのための技術群のことを意味する．IoT により導出された情報資源を利用することによって，企業は自社が提供する製品やサービスをスマート化し顧客に新たな便益を提供することや，自社組織のプロセスを抜本的に改善することが期待でき，様々な分野で活用が進められている．

本研究は，IoT の用途として組織プロセスの変革に焦点を当てる．企業組織内に IoT を導入するにあたり，そのシステムをデザインする際には，センサ，通信，データ解析等の技術コンポーネントをどのように組み合わせるかといった議論がなされることが多い．一方，IoT を通じて実現されるデジタル化（Digitalization(1)）は，技術的な側面だけでなく，組織の制度やルーチンなどの社会的な側面の変化を伴う，ソシオテクニカルなプロセスである(2)．そのため望ましいアウトカムを引き出すためには，そこで利用される技術だけでなく，制度やルーチンを考慮に入れて最適化することが必要である．デザインは問題解決である(3)だけでなく，人の行動を変化させるものでもある(4)．その意味で，IoT のデザインの射程は，技術だけでなく，人が論点となる社会の側面も含むべきである．しかしながら，このような観点から IoT のデザインを議論する研究は数少なく，このことは IoT の導入や成果につながらない要因の一つであると推測される．

本研究の目的は，組織プロセスの変革のために IoT を活用する際に，どのようなデザインをすることが有効であるかを明らかにすることである．この目的に対して，本稿では，金属加工を主業とする中小製造業において実践した IoT の導入を，技術・社会の両側面のデザインプロセスと捉えて記述する．そして記述結果から得られた学びを，IoT デザインの方策としてまとめることで，理論的・実務的示唆を提供する．

2. 理論的背景

2.1. IoT のデザインと使用

IoT のデザインについて，それに特化した学術的な蓄積は少なく，一般的な設計・開発方法論に基づいて議論されることが多い．例えば，Tomiyama らはスマートな製品やサービスを開発するために，V モデルや QFD 等の工学的設計手法がどう役立つかを整理している(5)．デジタル化の潮流を踏まえた新たな方法論としては，原らによるデータ駆動のサービス構成法が挙げられる(6)．自社・顧客・協力企業の三者構造を前提に，各々の事業における PDSA サイクルの連鎖をモデル化し，データに基づく継続的な知識蓄積によるシナジーをデザインする．Watanabe らは，これらと同様に製品・サービスを対象にしながらも，それらの作り込みだけでなく現場の変革にまで踏み込んだ枠組みを提案している(7)．そこでは Data cycle（データの還流），Ex-system design（製品サービス自体の改善），In-system design（使用現場での知識生成や改善）の 3 サイクルにより，製品・サービスやそのアウトカムが進化していくプロセスが描かれている．

以上のような枠組みで対象となるのは，一般的なデザイン対象である製品やサービスである．これらは提供者の目

線から，顧客にとっての価値を考慮しながらデザインされる．一方，本研究の対象とする組織プロセスの変革を目的とした IoT 導入に焦点を当てたデザインの方法やプロセスは十分に議論されていない．製品やサービスをデザインする場合との大きな違いは，デザインの対象が広範に渡ることである．企業が IoT を導入する場合，システムを専用開発するか，既成サービスを使うかによってデザインの範囲は異なるし，部分的にそれらを組み合わせるような選択肢もある．さらに，システムの機能や構成だけでなく，それをどのように使うか，またそのために社内のプロセスや制度をどう作り変えるかも考えなければならない．それらは，提供者目線でデザインする場合ならば顧客の領域にあり，基本的にデザインの対象となることはない．しかし，自社組織に導入する場合，むしろそちらの比重が大きいと考えられる．そのため，本研究では，この目的に特化したデザインの方策を論じることは意義があると考える．

2.2. ソシオテクニカルアプローチ

社会と技術の両側面から対象を見るソシオテクニカルな観点は，様々な要因が複雑に絡み合ったマクロな社会問題を取り扱う政策学やイノベーション論[8]，あるいは組織における情報システム（IS）の役割や効果を論じる IS 研究や組織論[9]において蓄積がある．本研究の目的を鑑みて，ここでは後者に絞ってレビューを行う．

IS 研究におけるソシオテクニカルアプローチは，IS が企業組織の実践を一方的に決定するという決定論へのアンチテーゼとして提出された[9]．その特徴は，社会コンポーネント（組織，制度，ルーチン，コミュニケーション，スキル等）と，技術コンポーネント（IS やその他の物質的環境）の間に相互作用があることを前提とし，それらの調和的な最適化を目指すことにある[9]．これにより達成されるアウトカムもまた，パフォーマンスや経済性といった道具的なもの（技術）と，従業員満足度やワークライフの質といった人間的なもの（社会）に分類される[9]．

技術と社会の相互作用については，Orlikowski のモデル[10]が広く引用されている．Giddens の構造化理論[11]に基づき，人間と技術そして制度が次のように関係づけられる：(a) 技術は人間の行為によりデザインされ保守され調整される（人間→技術），(b) 技術は人間の行為の媒体としてそれを促進／制約する（技術→人間），(c) 人間の行為は制度的特性によって促進／制約される（制度→人間），(d) 人間と技術の相互行為による帰結として制度的特性が変化する（技術→制度）．このモデルにおいて，人と技術の相互作用には，デザインモード（技術を構成し固定化する段階）と使用モード（技術が固定的な構造として利用される段階）があるが，使用の過程で新たな使い方が生まれることがあるように，それらは現実的には絡み合っている．

上記モデルにおいて Orlikowski は，エージェンシー（目的を形成し遂行する能力）は人間に固有のものであることを前提としていた．しかし近年では，技術もまたエージェンシーをもつことができ，それゆえエージェンシーは人間と技術の間を流動するものであると見方を変えている[12]．このように人間を脱中心化するパラダイムはソシオマテリアリティ（社会物質性）[12]~[13]と呼ばれ，熱心な議論を呼んでいる．その提唱者の一人である Leonardi は，人間と技術が重層的にエージェンシーを発揮し，そのアウトプットとして技術やルーチンが変化していく構造を描いている[13]．さらに Hultin & Mähring は，こうした技術やルーチンの変化と制度的論理（社会的・歴史的に構築された実践のパターンであり，組織のもつ仮定や信念，価値等）との相互作用をモデル化した[14]．具体的には，ソシオマテリアルな実践により生まれた技術やルーチンの変化に意味づけがなされ，組織全体に定着し，最終的には制度的論理を変化させること，また制度的論理はエージェンシーに影響し，どのような関心が生まれるかを変化させることの二つを提案している．以上のようなソシオマテリアリティの議論は，技術と人の相互作用を，独立したもの同士が互いに影響し合うというソシオテクニカルな見方から，それぞれが絡み合って実践を創り出すという見方にシフトさせるものである．

2.3. 分析のための枠組み

以上のようにソシオテクニカル／ソシオマテリアルな観点のもと，IS 研究では，人と技術の複雑な相互作用やそのアウトプットを説明する理論・モデルが構築されてきた．本研究では，主に Hultin & Mähring のモデル[14]を参考に，次のような枠組みを構成し，デザインプロセスを分析するために用いる．

まず，デザインの対象を技術，使用，ルーチンの 3 つに区分する．ここではデザインを，技術・使用・ルーチンの変化を創り出す行為と捉える．技術のデザインは，IoT やその他の技術要素の機能を設計し実装することを指す．これにより技術が変化する．ルーチンのデザインは，生産作業の方法や手順を設計し習慣化することを指す（標準的なものだけでなく個人的なものも含む）．これによりルーチンが変化する．それらの間に位置するのが使用のデザインである．技術にもルーチンにも関連するが，IoT に関連する技術の使用方法を考案し習慣化することを指す．これにより技術の使用ルーチンが変化する．このようにデザインと変化は表裏であるが，デザインにおいて意図された変化が達成されるとは限らず，当初の意図とは異なる変化が生じることもある．

これら技術・使用・ルーチンのデザインは，組織を特徴づける制度的論理の影響のもとで，人や技術のエージェンシーによって駆動され実践される．またデザインの結果生まれた技術・使用・ルーチンの変化により，新たな制度的論理や次なる変化を追求するエージェンシーが立ち現れるため相互作用的な関係にある．

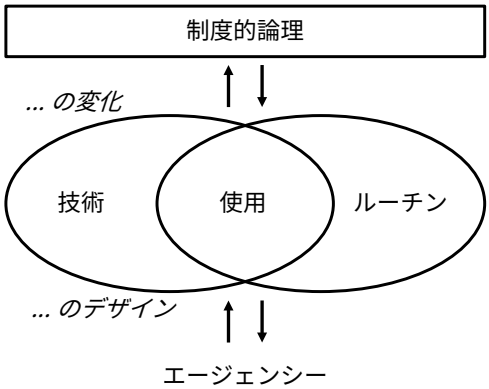


Fig.1　分析のためのフレームワーク

本研究では，このような枠組みを用いて，実際のデザインプロセスを分析し記述する．技術とルーチンの間に使用を括り出した点に特徴があるが，それには二つの理由がある．一つ目は，前述した通り，自社組織へのシステム導入においては，その使用方法のデザインが大きなウェイトを占めるためである．二つ目は，IoT の特性にある．IoT は組織のあり様をさまざまな粒度の情報という形で映す“鏡”として機能する．“鏡”をどのように使うか（使用のデザイン）だけでは，最終的な成果にはつながらない．“鏡”を使って組織プロセスをどのように変えるかという異なる実践（ルーチンのデザイン）が必要である．前者の段階では，技術はまだ固定化されていないが，後者の段階では，既に固定化された技術を使用するだけであるという違いもある．以上のことから，本研究では，技術とルーチンの間に使用を置き，そのデザインや変化を注視する．

3. 研究方法

3.1. アクションデザイン・リサーチ

本研究が焦点を当てる IoT 導入の目的は，組織プロセスの変革であった．組織の変化を研究するための方法論としてアクションリサーチが知られている[15]．アクションリサーチは，ある組織やコミュニティの問題状況を改善するために，研究者自身が一人の当事者として参画し介入（アクション）しながら，その経験を通して知識を創造する研究態度である．近年では，問題解決のためにシステムの構築・評価を行うデザインリサーチ[16]と合流し，アクションデザイン・リサーチ（ADR）と呼ばれる方法が提案されている[17]~[18]．ADR は，情報システムのデザイン（技術や使用など狭義のデザイン）と組織的なアクション（使用やルーチンなど広義のデザイン）を相補的に実践し，そこからの学びを抽出する．ADR の手順は，(1) 問題の定式化，(2) 構築・介入・評価，(3) 内省と学習，(4) 学びの形式化である[17]．本研究では，研究目的および分析枠組みとの合致から，この ADR を採用し，次のようなプロジェクトにおいて研究を実施した．

3.2. 対象プロジェクト

本稿で取り上げるのは，東京都立産業技術研究センター（都産技研）と株式会社名取製作所が共同で実施してきた IoT 導入のプロジェクトである．名取製作所は，埼玉県久喜市に工場を置く中小製造企業である．金属部品の 3 次元加工（穴あけ，ねじり，ひねり）の高度な技術を強みとし，ワイパーアーム等の自動車部品やスポーツ用義肢を生産している．生産品の大部分を占める自動車部品は，いわゆる多品種少量生産が求められる．高頻度で供給が望まれる品番から，年に数回だけ発注が入る品番まで様々であり，それらを短いリードタイムで納入するために柔軟な生産が求められる．

プロジェクトの実施期間は約 2 年半であり，2018 年 10 月～2019 年 9 月の第 1 期と，2020 年 2 月～2021 年 3 月の第 2 期，それらの間に振り返りと新たな問題設定を行う期間があった．同社からプロジェクトに参加したのは，経営者と生産技術・経営企画の担当者（以下，担当者と略記）である．また，都産技研の研究者はそれぞれの専門知識や実務経験を活かしながら，第 1 期は助言を中心に，第 2 期はデータ解析やシステム開発の一部を中心に支援者として参画した．また第 1 期には，システム開発を専門とする企業（本稿では A 社とする）も支援者として参画した．

第 1 期序盤は，名取製作所が提示した目的をもとに実施内容や計画を明確化することに時間が割かれた（「(1) 問題の定式化」に該当）．2 年半の活動を通じて，IoT システムやその使用方法のデザイン，また実際にそれを使用した作業手順や環境の改善を実施し，いくつかの顕著なアウトカムが得られた（「(2) 構築・介入・評価」）．計画した内容のすべてが予定通りの成果を得たわけではなく，本プロジェクトがデジタル化の「成功事例」と言えるかどうかを客観的に判断できないが，中小製造業における IoT 導入の一例として豊かな文脈を提供する点で価値がある．そして，その点こそが ADR の成果として重要である．

3.3. 研究データと分析方法

アクションリサーチの妥当性を高めるためには，複数のデータソースを多角的に分析することが有用である[15]．本研究では，2 年半の活動の過程で蓄積した文書（計画書や報告書，会議録，電子メール，電子ファイル）に加えて，当事者への個別の回顧的インタビュー（2021 年 5 月実施，聞き手：第 1 著者，話し手：第 2～5 著者，それぞれ 45 分程度）の書き起こしを，分析対象データとした．

分析対象データの整備に際して，まず，収集した文書を時系列に並べ定性的に分析し，プロジェクト中に行ったデザイン（アクションを含む）の年表を作成した．そして，年表を見ながら回顧的インタビューを実施し，各当事者の認識や文書に記録されていなかった出来事に関するデータを得た（「(3) 内省と学習」，インタビュー以外にも期ごとの報告書作成など，(3)に該当する機会があった）．

データ分析は，年表上に整理された 4 つのライン（デザインの連鎖）[19]に，Fig.1 にまとめた要素をそれぞれ対応付け，全体的な推移や個別のエピソードを定性的に振り返ることにより実施した．これにより得られた学びを，中小製造業における IoT デザインという観点から考察し直すことで，一般化しうる示唆を得た（「(4) 学びの一般化」）．

4. デザインプロセスの記述結果

4.1. デザインプロセスの推移

上述した年表を，2.3 節で構成した分析の枠組みをもとに再構成したものを Fig. 2 に示す．全体のデザインプロセスは，四つのラインからなる．データの収集を目的として実施されたのは，プレス機の生産データの収集，品質のばらつき要因を検討するためのオペレーションデータの収集，異なるデータソースとしてカメラの導入の三つである．加えて，もう一つの長大なラインに，収集したデータを活用するための見える化システムの開発と使用がある．以下では，本プロジェクトにおける IoT 導入の目的を述べたうえで，各ラインについてどのようなプロセスで，技術・使用・ルーチンのデザインが進んでいったかを記述する．

4.2. IoT 導入の目的

IoT の導入にあたり，名取製作所が提案した目的は以下

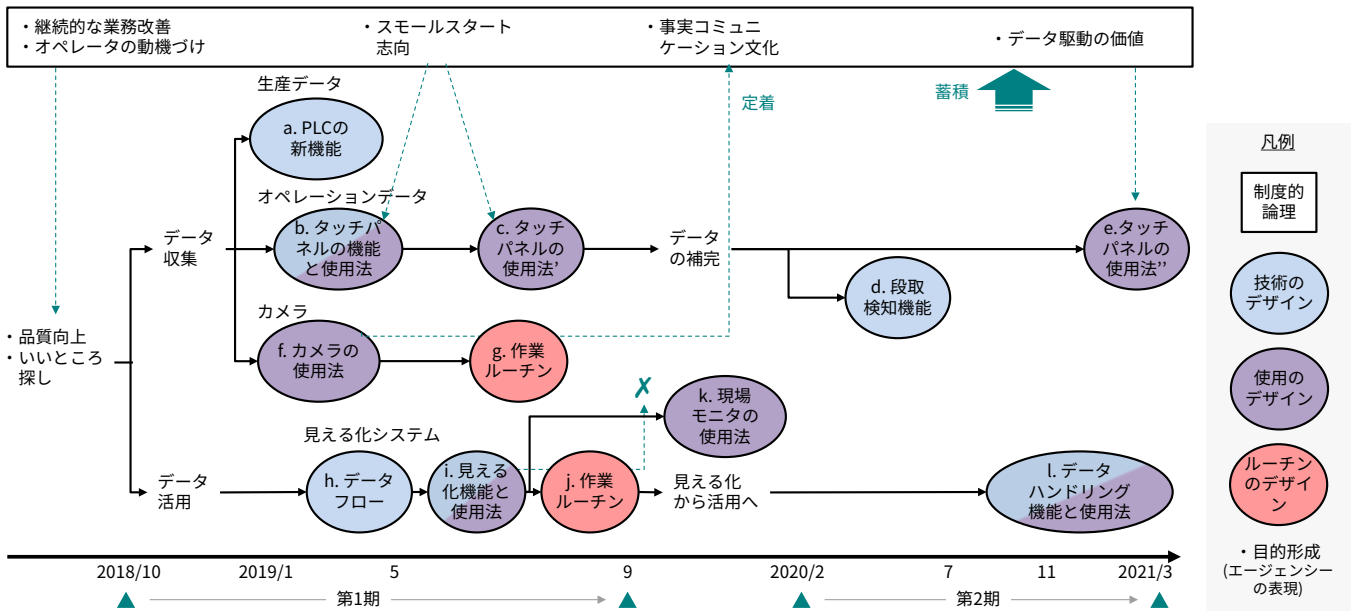


Fig.2 デザインプロセスの全体像

の二つであった．一つ目は品質の向上である．同社の生産ラインには一部ロボットが導入されているものの，大きな割合を占めるのは，プレス機を用いた人手での加工である．不良発生や生産性低下の原因究明において，生産のばらつき（人，機械，金型等）に起因するという仮説をもっていたが，それを正確に検証する手段がなかった．同社はそのような背景から IoT に関心をもった．二つ目は，従業員のモチベーションの向上である．こうしたデジタル化やプロセス改善の取り組みは，仕事ぶりの監視につながったり，マイナスの部分ばかりがクローズアップされたりと，従業員の意欲や信頼を損ねることも多い．そのため，同社は，各従業員の悪いところ（改善点）を探すだけでなく，いいところ探しを行い，適正に評価するために IoT を活用したいという意図を持っていた．

プロジェクト開始前は，デジタル技術の活用はほとんど進んでいなかったが，これらの目的に沿う下地があった．品質向上については，アナログの作業日報をもとにデータを作りトップダウンで改善活動を行ったり，ボトムアップで気づきを収集する改善提案を行ったりと，継続的な改善が組織の制度的論理として根付いていた．また，そうした改善活動は，単に生産性を上げるためだけでなく，従業員を適正に評価し動機づけするという目的でも行われていた．その意味で，本プロジェクトは，既に組織の論理として定着したものを，IoT により客観的かつ正確なやり方に変えていくものであったと言える．

4.3. ライン 1：生産データの収集

同社の生産現場には，30 台前後のプレス機がある．複数の異なる機種が混在しており，各プレス機を動かす PLC（Programable Logic Controller）も様々である．第 1 期の序盤には，有線 LAN が敷設され，複数の PLC から生産データを収集するために，タッチパネルのプログラミングが試みられた．しかし，他所で実績があったにも関わらず，その機能実装は難航した．そのタイミングで，あるメーカから，機種の異なる PLC と通信しデータを集約できる機能をもつ PLC が発売になった．それを導入し親 PLC とすることで，上記の問題が解決し，データを収集することが可能になった（Fig.2 a）．以後は安定的に稼働し，生産データの収集が新たな実践として定着した．日常的な実践においては，人が介在することなく PLC がエージェンシーをもち，データを収集しサーバに蓄積する．そのため，人による使用をデザインする必要はなく，技術のデザインのみで完結している．

4.4. ライン 2：オペレーションデータの収集

上記の生産データはプレス回数の推移を表すものである．それだけでは，目的の一つである品質のばらつき要因を検討することは不可能である．そのため，第 1 期の序盤には，誰がどの機械で何の作業（品番，段取／生産）をするのかをデータ化することを意図して，現場に一台のタッチパネルが導入された（Fig. 2 b）．画面に表示された情報を選択していくことで上記のデータを親 PLC 上に記録する機能が実装された．しかし，このタッチパネルは各プレス機から数 m の距離があることもあり，担当者が入力を依頼した当初は，十分にデータ入力がなされなかった．担当者は次のように振り返る．

> *“（データを）入れなくても生産はできるので。それと運用のこともはっきり決まってなかったので、5 月の時点では。[...] 僕もそのデータで足りているか分からなかったし、現場の人にもそういうあやふやな状態で「やってね」って強く言えなかった。”*

このように導入当初は，タッチパネルの使い方を簡単に定めて入力を依頼したものの，それがルーチン化されることなく，余力があるときに入力するものとして使用された．つまり，使用のデザインが意図した変化を生まなかった．

その後，第 1 期の終盤に差し掛かり，見える化システムが出来上がったタイミングで，今度は経営者から現場のオペレータにデータ入力を依頼することとなった．そこでは，段取作業に従事せず生産のみに専念するオペレータに入力

を依頼することとした．対象者を絞った理由は，まずは生産の様子だけでも見える化したい，また入力の手間が比較的少ないというものであった．対象となったオペレータはタッチパネルを使用するようになり，収集されるデータが充実するようになった（Fig.2 c）．

二つの使用のデザインに共通するのは，データがどのように使われるか，どの程度有用なのかが実感されていない段階では，組織のルーチンを大きく変化させることなく，スモールスタートすることが志向された点である．そのような制度的論理がはたらき，デザインに影響を与えたと見ることができる．その後，見える化を通じてデータの有効性が確証されてからも，タッチパネルに関しては上記のような限定的な運用が継続することとなる．

第 2 期には，オペレータの負担を増やすことなく，オペレーションデータを充実させる方法が模索された．タッチパネルの使用をリデザインするのではなく，技術単独での問題解決が目指されたのである．最終的に採用されたのは，プレス機に標準装備されている安全ガードに近接センサを付加し，その着脱をもとに段取開始・終了を自動検知・記録する方法であった．安全ガードの着脱は既にルーチン化していたため，オペレータの行動を変えることなくデータを充実させることができた（Fig.2 d）．

さらに第 2 期終了後には，現場のオペレータ全員にタッチパネルでのデータ入力をしてもらうよう，使い方を改めることになった（Fig.2 e）．主な理由は，4.5 節で後述するように，品質向上の目的が十全に達せられたことで，段取の改善という次の目的に進むことになったためである．加えて，さまざまな取り組みを経て，IoT によるデータ駆動の改善活動に確かな手応えを感じ，導入当初の「あやふやな状態」を抜けられたからでもある．

4.5. ライン 3：カメラの導入

製造現場の天井に有線 LAN を敷設した際，名取製作所内でカメラを導入することが検討された．カメラは監視のシンボルであり現場から抵抗にあうことが懸念される．どのように導入を進めたかを，経営者は次のように振り返る．

> *“（カメラについて、従業員への）伝え方もドライブレコーダに絞りました。[...] みんなで見られるようにとか、色々議論はあったんですが。ドライブレコーダして使うっていうやり方だけちゃんと守っておけば、ハードルが下がっていくんじゃないのと提案しました。結果大丈夫でした。”*

経営者はカメラの使い方として，ドライブレコーダのアナロジーを利用し，従業員に提示した（Fig.2 f）．映像を常時モニタリングするのではなく，不良品が発生したときや，作業標準からの逸脱を目にしたりしたときに，後追いで確認するために使用するということである．これにより，従業員の抵抗なく導入することができた．

ドライブレコーダ的なカメラの使用方法は，経営者だけでなく生産管理者なども遵守し，現場のコミュニケーションが変化していった．何か問題点を指摘する際に，主観的な認識や感情をもとにしていたのでは，話が噛み合わないことがある．しかし，映像という客観的な事実に基づいてコミュニケーションをすると，互いの認識が合致し，指摘されたことに納得できる．経営者は次のように振り返る．

> *“事実はみんな認めざるをえない。自分がどう見えているかと、自分がどうやったかは別なので。こうやって見えていたのか、っていうのはだいぶ効きましたよ。”*

カメラ映像を媒介とした指摘する側とされる側のコミュニケーションの変化は，指摘される側であったオペレータの作業ルーチンを変化させた（Fig.2 g）．それだけでなく，次第に同社の新たな文化（制度的論理）として定着していった．その結果として，2018 年以降，顧客への納入不良は段階的に低下し，顧客から表彰を受けるまでになった．その間ミスの発生を抑止するような環境の改善もいくつか加えたものの，生産作業の規範となる手順書は変更していない．経営者は，こうしたカメラ映像の使用をめぐる実践が，より正確な改善へとつながり品質向上に大きく寄与したものと認識している．

4.6. ライン 4：データの活用

4.3 節および 4.4 節で説明した生産データやオペレーションデータは，タイムスタンプをもとに統合され，最終的にはプロジェクト中に開発されたソフトウェア上で見える化される．このソフトウェアの開発は第 1 期では A 社が中心となり実施された．開発は以下のように進められた．

まず行われたのはデータフローのデザインであった（Fig.2 h）．PLC が提供できるデータ形式が明らかになった段階で，それぞれのデータをどのように加工し，どこに保管するかが決定された．次に，実際にデータの収集が可能になったタイミングで見える化の仕様が議論さるようになった．ここでは，A 社から名取製作所に，見える化することで検証したい仮説は何かという投げかけがなされた．それへの回答をもとに，どのようにデータを見ればよいかが議論され，グラフの仕様が固まっていった（Fig.2 i）．

メインの画面となるのが，プレス機の一日の稼働状況を一望できるガントチャートである．Fig. 3 に示すように，緑（稼働），黄（停止），赤（非常停止）の三色で各プレス機（縦軸）の稼働履歴を見える化する．第 1 期終盤に，実際に収集されたデータをガントチャートで見た経験を，経営者は次のように振り返る．

> *“ポイントは最初のガントチャートでしたね。こんなに（プレス機が）止まってるの？と。現場に行くと動いている、動いていないというのは何となく分かるんですけど、ああやって見ると……。まずは現状把握ですよね。”*
>
> *（それは仮説になかったのでは？という質問に対して）*
>
> *“想像以上でした。ということは、それだけ止まってるんだから、改善ももっとできるよねという問題意識になった。”*

ここで初めて，データやその見える化が組織的意義を帯びた存在として立ち現れ，経営者に実感されたと言える．



Fig. 3 開発されたガントチャート

いくつかの仮説をもとに，ガントチャート以外にも，生産高や効率を表すグラフが開発された．第 1 期最終盤にはそれらを使用して，現場での改善が施された（Fig.2 j）．例えば，機械別生産効率（平均）のグラフから，あるプレス機の生産効率が前週よりも低いことが判明した．原因を調べると担当したオペレータの能力ではなく，機械の部品が劣化していたことが明らかになった．それを補修することで効率が戻ることが確認できた．

しかしながら，この時点で，見える化システムは，プロジェクト関係者が主導する改善には活用されたものの，それらは散発的でありデータに基づく改善が現場を巻き込む組織的な活動になることはなかった．現場にもモニタを設置し，見える化システムを誰でも確認できるようしたが，現状把握に使用されるにとどまった（Fig.2 k）．第 1 期終了時点での成果について，経営者と担当者はそれぞれ次のように振り返っている．

“見えるようにはなったんですけど、見えるだけだと、どう使うのっていう。[...] 製造のことを（A 社に）我々もちゃんと伝えられなかったので。結果は見えるんですけど……。”

“（見える化システムが）できましたという報告を職場でもしたんですけども、その後、皆と話をしていくなかで、そのデータは本当に役に立つか、じゃあどんな風に使うか、といったときに、ちょっと足らないなと気づけたのが大きいと思いますね。”

第 1 期で開発された見える化システムでは，一日の稼働状況やある期間の平均値のような表面的な結果しか見えないために，なぜ，どのようにその結果に至ったのかを追跡的に原因分析することができなかった．システムの仕様を固める段階では，同社にとって IoT の意義がまだ朧気であり，何をどのように見たいのかが，うまく言語化できなかったことがその原因だと認識されている．支援者である A 社や研究者もまた，そのことを見抜いて仕様に反映させることができなかった．さらに，システム開発に用いていたプラットフォームには技術的な制約があり，望ましい見える化を追加実装することが難しいことが，第 1 期最終盤に明らかになった．この経験が，第 2 期の方向性を決めることになる．

第 2 期では，上記の問題意識から出発し，なぜその結果が起きたかを分析できるような仕組みを開発することが主なテーマとなった（Fig.2 l）．研究者らは，その仕組みを「データハンドリング」と呼び，それがプロジェクトの共通言語となった．データハンドリングのコンセプトは，現状を「見える化」するだけでなく，現場の人々が自ら必要な情報を組み上げていき，自分や他のオペレータのいい点や悪い点を「分かる化」できるように，データの取り回しや統合の仕方を工夫することであった．ここで重要なことは，システムの使用者として，プロジェクト関係者だけでなく，現場の生産管理者やオペレータが明確に想定されるようになったことである．この変化について，経営者と担当者はそれぞれ次のように振り返っている．

“ボトムアップの改善提案のところに、今までは主観的なものしかなかったんですけど、客観的に見れるデータから改善提案につなげられるといいのかなと思いました。”

“所詮、管理者側は作る人ではないので。品質もそうですけど、やっているオペレータが作業しているし、作っているから、自分の頑張り度合いを評価してもらいたいと思っているだろうなと。そう思いながらデータの整理に取り組んだっていうイメージです。”

データハンドリングの仕組みを開発するにあたっては，どのような使い方が便利で有益かについて，実際のデータの再加工や分析を行いながら議論が繰り返された．結果として，第 2 期終了時には，データハンドリングシステムのプロトタイプが構築されるに至った．実運用に向けてはまだ改良が必要であり，本稿執筆時点でも議論が継続されている．見える化から分かる化への進展について，経営者は次のように振り返っている．

“買ったソフトじゃここまでいかない。こういうもんだと。それを使うだけなので、そこから先にさらにどうしたいというのも起きないと思います。”

このことは，既成の製品やサービスに見える化を謳ったものが多く存在するが，見えた後にその先を掘り下げようとした場合に先に進む助けがないことを示している．IoT の導入が先の成果につながらない要因の一つを発見出来たことも成果と言えよう．

5. 考　　察

5.1 IoT デザインのマクロな方策

本章では，以上のようなデザインプロセスから得られた学びを整理し，一般化することを試みる．本節では，マクロな方策，すなわちデザインの大きな指針や進め方に関する学びについて考察する．

(1) 技術と使用のデザインを往復しエージェンシーをはたらかせろ！

中小企業の特徴として資源の制約があげられる[2]．それゆえ，IoT の“導入”は既存のツールを調達し使用してみる，すなわち使用のデザインに特化するという方策が採られることが多い．本プロジェクトの立場は，カメラ等の例外を除き，基本的には企業とその支援者とがシステムを共同開

発するというものであった．言い換えれば，導入企業にとっては使用のデザインだけでなく，技術のデザインにもチャネルが開いていた．前章最後の経営者の語りにあるように，当事者として技術のデザインを主導したことは，次に何をするかを考えて実行するというエージェンシーをはたらかせ続けるために不可欠であった．そうでなければ，外部の支援者やIoTシステムばかりがエージェンシーを担い，真の当事者が蚊帳の外になってしまう可能性もあった．そうなってしまうと，与えられたシステムを使うだけになり，望ましいアウトカムに辿り着けない可能性が高まる．

一方，上記の技術のデザインに関する示唆は，当然，使用のデザインが不要であることを意味しない．これまでに見てきたタッチパネルや見える化システムのデザインにおいて，どう使うか，どう使ってもらうかという使用のデザインに関する問いは，プロジェクトが成熟するにつれて中心化し，また技術のデザインによる問題解決の必要性に気づく契機にもなった．以上から得られる学びは次のような方策として表現できる．

- 技術のデザインへのチャネルをIoTの導入先である当事者にも開いておくこと
- 技術と使用のデザインを往復し，エージェンシーをはたらかせ続けること

(2) 制度的論理を延伸せよ！だが社会視点を忘れるな！

デジタル化を推進し組織プロセスの変革を成し遂げることは，組織の制度的論理[14]を変えていくことに他ならない．一方，本プロジェクトは，制度的論理の変化自体を目的とするのではなく，むしろ現在の制度的論理と一貫性をもった目的としてデザインプロセスが推進された．具体的には，IoT導入目的は組織に定着した改善文化の延長線上にあったし，データ収集の段階ではなるべく厳格なルールを作らずにスモールスタートすることが志向された．これらのアプローチは外部から入ってくる新しい技術が受容されるために有効であったと考えられる．こうして技術が受容された結果として，人と技術が協調したコミュニケーションの実践（例えば，カメラの使用をめぐる実践）が生まれ，最終的にはデジタル化の成熟と言ってもよい，新しい制度的論理が形成されるに至った．このように制度的論理の変化を直接の目的とせず，それまでの論理に沿った目的を設定するアプローチは，IoTを導入するうえで有効であった．

付言しておくべきは，上記のアプローチが機能したのは，既にデジタル化と相性のよい論理があったからではないか，という点である．確かに，本プロジェクトにおいて，継続的改善という技術視点の論理と，モチベーション向上という社会視点の論理がすでに根付いていたことは見逃せない．特筆すべきは後者である．冒頭に述べたように，IoTのような技術的なトピックを議論する際に，社会視点の論理が抜け落ちてしまうことは多い．本プロジェクトが従業員からの抵抗少なく進んだ要因の一つは，こうした社会視点の論理が根付いていたこと，さらに目的の一つとして掲げられていたことにあると考える．

加えて，このプロジェクトでは，その場でどのような論理がはたらいているかを知らない外部の支援者がデザインプロセスに参画した．組織の論理がIoTの導入目的として文章化されていたことで，支援者がその組織のあり方を（明確にではないにせよ）理解できたことは，支援者が誤った介入を行い，組織に全く馴染まないシステムがデザインされてしまうことを防いだとも考えられるだろう．

以上を一般化しつつ総括すると，デザインの方策としては次の3つが考えられる．

- 組織の制度的論理に一貫した目的のもとでデザインを試みること
- 従業員の満足やモチベーション等をどう考えるかといった社会視点の論理にも注目し，それをIoT導入の目的に組み入れること
- 外部の支援者がいる場合は，組織の制度的論理について共通理解を醸成すること

5.2 IoTデザインのミクロな方策

本節では，ミクロな方策，すなわちIoTに関する個別の技術や使用のデザインについての学びを考察する．

(3) 複眼的な使用のデザインにより多重の便益をイメージせよ！

データを活用可能にし，現場の作業ルーチンを変化させるという意味で，本プロジェクトにおいてカメラと見える化システムは類似した役割をもつ．一方で，現時点での定着度合いには差がついた．その要因として，使用のデザインの差が考えられる．カメラの導入の場合は，ドライブレコーダのアナロジーによりその使用をデザインし，それが受容され実践されたことで，コミュニケーションのスタイルとして定着するに至った．ここでは異なる立場の使用者（経営者，管理者，オペレータ）が，それぞれ自身にとっての便益をイメージできたことが大きいと考えられる．言い換えれば，使用のデザインが複眼的になされ，分かりやすくアウトプットされたと言える．一方で，見える化システムは，後になって，機能の不備やどう使うのかという問いが生じたように，使用のデザインは不十分であった．カメラと違って，そのシステムが一度使用できるようにならない限り，よりよい使用をイメージすることが難しかったためである．一度使用した後は，システムの使用者として現場のオペレータを考慮に入れるようになるなど，組織的な実践に必要な機能の開発に着手することができるようになった．以上から得られる学びは次のように表現できる．

- 使用のデザインでは，異なる立場の使用者にとっての便益を考慮すること
- 使用のデザインは，その使用者が自身にとっての便益がイメージしやすいようにアウトプットすること
- 上記が難しい場合は，早々に使用を経験できるプロトタイプをつくること

(4) ダブルループ的な問題解決を志向せよ！

IoTを構成するセンサ技術には多くの種類があり，AIによるデータ処理技術の普及も進んでいる．IoTシステムの特徴の一つは，新たなセンサやデータ処理を追加してシステムを拡張することが，安価かつ容易に実現できることである．本研究で記述したデザインプロセスにおいては，いくつかの躓きがあった．その解決にあたっては，現状の方法に固執しつつデザインのループを回すのではなく，前提から見直し，別のアプローチを選択することが有効であった．例えば，タッチパネルの使用を現場に定着させられず，

オペレーションデータ収集に問題が生じた際，その解決策として，使用のデザインの範囲で試行を続けるのではなく，安全ガードの着脱検知によるデータ補完という技術のデザインによる解決が選択された．このようにデザインの対象を切り替えることで，シングルループから抜け出し新たな方法を試行するダブルループ[20]的な問題解決は，IoT システムの拡張性と相まって有効に働いた．以上より，次のような方策が得られた．

- 使用のデザインにおいて行き詰まったら，IoT の拡張性を活かし，技術のデザインでの解決を模索すること

6. おわりに

本研究の目的は，組織プロセスの変革のために IoT を活用する際に，どのようなデザインが必要であるかを明らかにすることである．この目的に対して，本稿では，金属加工を生業とする中小製造業において IoT 導入のアクションデザイン・リサーチを実行した．その過程をソシオテクニカルなデザインプロセスと捉えて記述し，そこから得られた学びについて考察することで，中小企業における IoT デザインの方法について，大きく四つの示唆を得た．

本研究で採用したソシオテクニカル／ソシオマテリアルな観点は，プロジェクトで実施されたさまざまなデザイン行為やそれによる変化を解きほぐし，言語化するうえで有効であった．特に使用のデザインを中心とした示唆を得られたことは，本研究の分析枠組みによる成果であり，また多くの中小企業の IoT 導入に貢献できる成果だと考える．今後の課題は，得られた示唆を理論的に定位することであり，そのためにはさらなる文献調査が必要である．

また本研究の限界は，アクションデザイン・リサーチという研究方法に起因する．「一度きりの旅」[15]とも表現されるように，本研究を通じて得られた示唆は，対象プロジェクトの文脈に特殊化されたものである可能性を現段階では否定できない．それを乗り越えるためには，ここで得られた示唆を異なる文脈において実践し，その有用性やその範囲を検証することが考えられる．本稿の貢献の一つは，そのための材料を豊かな文脈のもと提供したという点にある．

謝　辞

本研究は，本稿の著者以外のプロジェクト関係者の協力によって成立している．この場を借りてあらためて謝意を示したい．また，本研究の一部は，JSPS 科研費 20K20128 の助成を受けて実施された．

文　献

(1) Verhoef, P. C. et al.: Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. Journal of Business Research, Vol. 122, 889–901, 2021.
(2) Eller, R., Alford, P., Kallmünzer, A. & Peters, M.: Antecedents, consequences, and challenges of small and medium-sized enterprise digitalization. Journal of Business Research, Vol. 112, 119–127, 2020.
(3) サイモン H. A.: システムの科学 [第 3 版]，（訳）稲葉元吉，吉原英樹，パーソナルメディア, 1999.
(4) 山内裕，平本毅，杉万俊夫: 組織・コミュニティデザイン，共立出版, 2017.
(5) Tomiyama, T., Lutters, E., Stark, R., & Abramovici, M.: Development capabilities for smart products. CIRP Annals, Vol. 68, No. 2, 727–750, 2019.
(6) 原辰徳 他: サービスの連鎖と継続提供に着目した共創を促進するサービスシステムの構成手法．日本機械学会論文集, Vol. 86, No. 891, 2020.
(7) Watanabe, K., Okuma, T. & Takenaka, T.: Evolutionary design framework for Smart PSS: Service engineering approach. Advanced Engineering Informatics, Vol. 45, 101–119, 2020.
(8) Geels, F. W.: From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research Policy, Vol. 33, No. 6–7, 897–920, 2004.
(9) Sarker, S., Chatterjee, S., Xiao, X. & Elbanna, A.: The sociotechnical axis of cohesion for the IS discipline: Its historical legacy and its continued relevance. MIS Quarterly, Vol. 43, No. 3, 695–719, 2019.
(10) Orlikowski, W. J.: The duality of technology: Rethinking the concept of technology in organizations. Organization Science, Vol. 3, No. 3, 398–427, 1992.
(11) Giddens A.: The constitution of society: Outline of the theory of structuration. Univ of California Press, 1984.
(12) Orlikowski, W. J.: Sociomaterial Practices: Exploring technology at work, Organization Studies, Vol. 28, No. 9, 1435–1448, 2007.
(13) Leonardi, P. M.: When flexible routines meet flexible technologies: Affordance, constraint, and the imbrication of human and material agencies. MIS Quarterly, Vol. 35, No. 1, 147–167, 2011.
(14) Hultin, L. & Mähring, M. Visualizing institutional logics in sociomaterial practices. Information in Organization. Vol. 24, No. 3, 129–155 (2014).
(15) Melrose, M. J.: Maximizing the rigor of action research: Why would you want to? How could you? Field Methods, Vol. 13, No. 2, 160–180 (2001).
(16) Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. & Chatterjee, S.: A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, Vol. 24, No. 3, 45–77, 2007.
(17) Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M. & Lindgren, R.: Action Design Research. MIS Quarterly, Vol. 35, No. 1, 37–56, 2011.
(18) 木嶋恭一: 社会デザイン・リサーチ―複雑な問題状況の設計・介入のためのシステムズ・アプローチ．計測と制御, Vol. 55, 18–21, 2016.
(19) Baygi, R. M., Introna, L. D. & Hultin, L.: Everything flows: Studying continuous socio-technological transformation in a fluild and dynamic digital world. MIS Quarterly, Vol. 45, No. 1, 423–452, 2021.
(20) Argyris, C.: Double loop learning in organizations. Harvard business review, Vol. 55, No. 5, 115–125, 1977.

何を着るのか，どう決めるのか？

設計行為としての動的なコーディネートに関する研究

How to coordinate, what to wear?

A study of dynamic coordination as a design process

○伊藤 雄飛（東北大学）*1　柳井 良文（東北大学）*2　本江 正茂（東北大学）*3

*1Yuhi ITO
Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University.
6-6-06, Aramaki Aza Aoba, Aoba Ward, Sendai City, Miyagi Prefecture, 980-8579, Japan. e-mail:yuhi.ito.t3@dc.tohoku.ac.jp
*2Yoshibumi YANAI
Assistant Professor, Dept. of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University.
6-6-06, Aramaki Aza Aoba, Aoba Ward, Sendai City, Miyagi Prefecture, 980-8579, Japan. e-mail:yanai@tohoku.ac.jp
*3Masashige MOTOE
Associate Professor, Dept. of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University.
6-6-06, Aramaki Aza Aoba, Aoba Ward, Sendai City, Miyagi Prefecture, 980-8579, Japan. e-mail:motoe@tohoku.ac.jp

コーディネート　アクター・ネットワーク　記号論　デザインリサーチ　設計方法論

1. 研究の背景と目的

1.1. 動的なコーディネートと記号的なコーディネート

人々は日常生活で，自身のワードローブから衣服を選択し，それらを組み合わせ，一つの服装を決定している．この一連の流れが服装の「コーディネート」である．この時，人々は，服装の一部である衣服の選択により，細部を調整し，その全体像である服装を設計しているといえる．しかし，それは個人の生活や環境などの諸条件に基づいた無意識の判断による設計行為である場合が多く，改めてその目的や問題意識を振り返る機会がないのではないだろうか．本研究では，服装のコーディネートを人々が日常生活で行う「設計行為」の一つであると捉え，モデル化して，各部の選択により変容していく過程の全体像を捉えたいと考える．

この過程では，衣服の所有者が行為の主体となってモノを操作しているように見えるが，実際には，所有者自身も様々な人やモノに影響されつつ，服装の決定に至っている．このような衣服の所有者を取り巻くネットワークの様々な働きかけにより，コーディネートは動的に移り変わる．この動的なありようを捉えるためには，それに関連するアクター同士の相互作用として記述するという方法がある[(1)]．

また，衣服の集合としての服装は，その各部分が様々な範例（衣服）から選択され，一つの連辞（服装）として実現するという記号的なコーディネートとしての側面を持つ[(2)]．このような記号的な視点を用いることで，対象群の共通する構造を記述することが可能である．しかし，この記号的な視点を用いた既往研究では，対象の時間的な変遷を重視せず，静的なオブジェクトとして捉えている場合が多い[(3)]．

1.2. モデルのフィードバック

特定の人やモノ単体を取り扱うモデル化・フィードバック手法として，ユーザー中心設計手法のエクスペリエンスマップなどがある．これらは，特にワークショップなどの参加型デザインの場において，ユーザの体験を時系列順に視覚化・共有することに適し，完成したモデルから設計へのフィードバックを得ることを目的としている．これらは，デザインすることに馴染みがなく，デザインする目的や問題意識を持ってこなかった人でも，「記述する」ことを通して，自身の手で人とモノを取り巻くネットワークを捉え直し，デザインする目的や問題意識を持つきっかけとなる手法であり，人々が日常で何気なく行っている「設計行為」である「コーディネート」を扱う上でも有効である．

1.3. 問題意識

衣服の集合としての服装（全体像）の変容を捉えるためには，動的なありように関連するアクターの相互作用とネットワークの時間的な変遷を「記述する」ことで，それを捉え直し，デザインする目的や問題意識を持つきっかけとなるモデルが必要であると考えられる．

1.4. 研究の対象・手法・目的

本研究では，動的かつ記号的な衣服のコーディネートを研究対象とする．そして，設計行為であるコーディネートを扱うデザイン手法として，次の３要件を満たすモデルを作成し，設計行為としてのコーディネートの特徴を明らか

にすることを目的とする.

モデルの３要件は次の通りである.

①コーディネートの動的なありように関連するアクターとそれらを取り巻くネットワークの時間的な変遷を記述すること.

②包括的から視点でコーディネートの動的なありように関連するアクター同士の相互作用を記述・可視化すること.

③デザインすることやアイデア創出に馴染みのない人でも，記述することによってフィードバックを得て，デザインする際の目的や問題意識を持つきっかけとなるモデルとすること.

2. モデル

2.1. モデルの作成

本研究では, 予備的な試行を通じて, 図１のようなウォーターフォール型のモデルを作成した．また，コーディネート内で，全体像（服装）の一部として衣服が選択される際に考慮される条件を全体像（服装）の「設計条件」と呼ぶ.

2.2. モデルの分析

モデルの分析にあたり，モデル内に登場する衣服と設計条件の発生ステップ全てに通し番号を振り，モデルをマトリクス化する（図２）．その後，モデル内の設計条件について，分析１，分析２を行う.

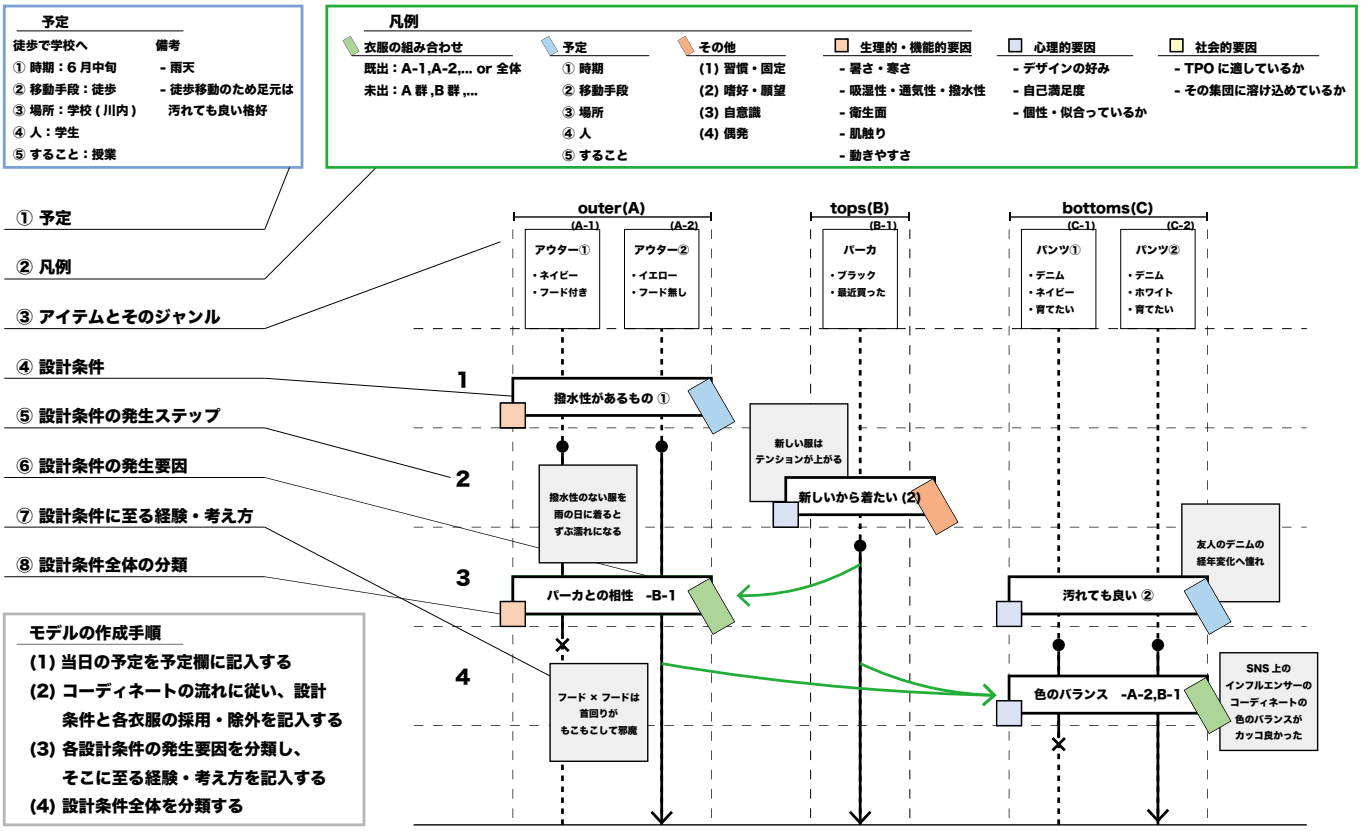


Figure.1 Overview of the model and its creation procedure

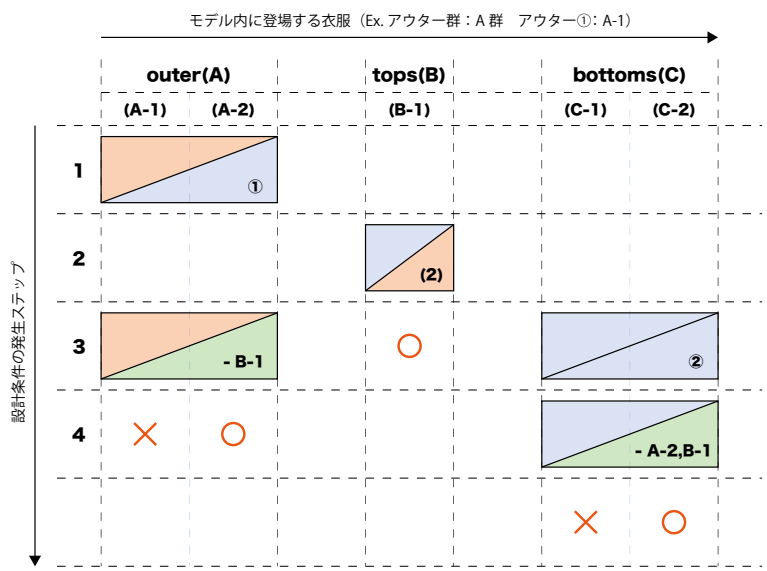


Figure.2 A matrixed model

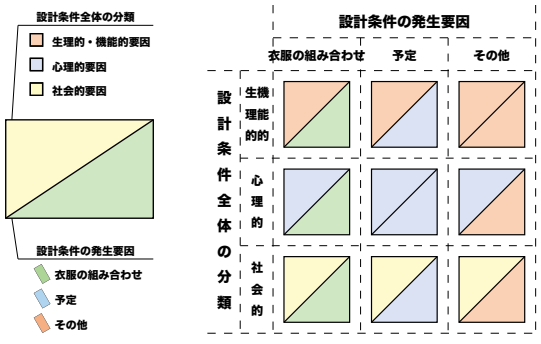


Figure.3 Combination in Analysis 1

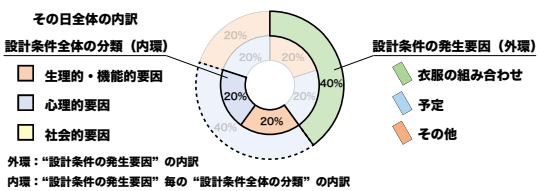


Figure.4 Overall breakdown for the day

分析１では，各設計条件を“設計条件の発生要因”と“設計条件全体の分類”の組み合わせから９パターンに分類し，各衣服，各設計条件の発生ステップ毎の内訳を分析する（図３，図４）．各衣服毎の設計条件出現のタイミング・順番，及び，出現する設計条件のタイプを可視化し，その日のコーディネートのプロセス内の時間的な変遷を辿ることを狙いとしている．また，数日分合成することで日を跨いだ時間的な変遷を辿ることも可能である．分析１は，モデル要件①に対応する．

分析２では，各衣服毎に細分化した“設計条件の発生要因”を分類する（表１）．“設計条件の発生要因”は，その日に着る衣服の候補の採用・除外に作用しているため，この分類によりアクター同士の相互作用を記述することを狙いとしている．分析２は，モデル要件②に対応する．

Table.1 Interactions in Analysis 2

モデル内に登場する衣服（Ex. アウター群：A 群　アウター①：A-1）

細分化した設計条件の発生要因

			衣服群								
			A（アウター）			B（トップス）		C（ボトムス）			計
			A-1	A-2	計	B-1	計	C-1	C-2	計	
衣服の組み合わせ	A	A-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		A-2	0	0	0	0	0	1	1	2	2
		計	0	0	0	0	0	1	1	2	2
	B	B-1	1	1	2	0	0	1	1	2	4
		計	1	1	2	0	0	1	1	2	4
	C	C-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		計	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計		1	1	2	0	0	2	2	4	6
予定	① 時期		1	1	2	0	0	0	0	0	2
	② 移動手段		0	0	0	0	0	1	1	2	2
	③ 場所		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	④ 人		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	⑤ すること		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計		1	1	2	0	0	1	1	2	4
その他	(1) 習慣・固定		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2) 嗜好・願望		0	0	0	1	1	0	0	0	1
	(3) 自意識		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(4) 偶発		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計		0	0	0	1	1	0	0	0	1
計			2	2	4	1	1	3	3	6	11

2.3. モデルの性能評価

モデルの性能評価として，実際に調査対象にモデル記述をさせ，その前後でモデルの３要件に関するアンケートやインタビューを実施し，質的に評価する．性能評価は，モデル要件③に対応する．

3. 調査

3.1. 調査概要

2020 年 11 月 ~2021 年 1 月にかけて，仙台市在住の男子大学生・大学院生計 10 人にインタビュー調査を行った．

調査対象の選定理由は次の通りである．

(1) 情報収集や拡散など，様々なチャネルで衣服と関わりを持ち，そこで多様な働きかけを受ける．

(2) 在住地を限定し，衣服を購入する環境を制限する．

(3) 性差をなくすため，調査対象の性別は固定．

また，インタビュー調査の事前にモデル記述用の情報として，ある日の服装を決定する様子を動画撮影させた（調査対象の都合により，静止画＋文章の場合もあり）．サンプル数は，一人当たり３日分× 10 人の計 30 パターンである．インタビュー調査の流れは図５の通りである．また，モデル記述時のガイドとして図６を提示した．

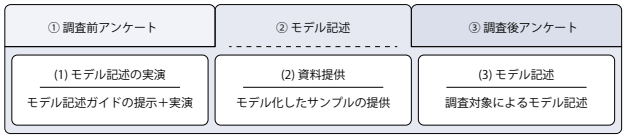


Figure.5 Flow of the interview survey

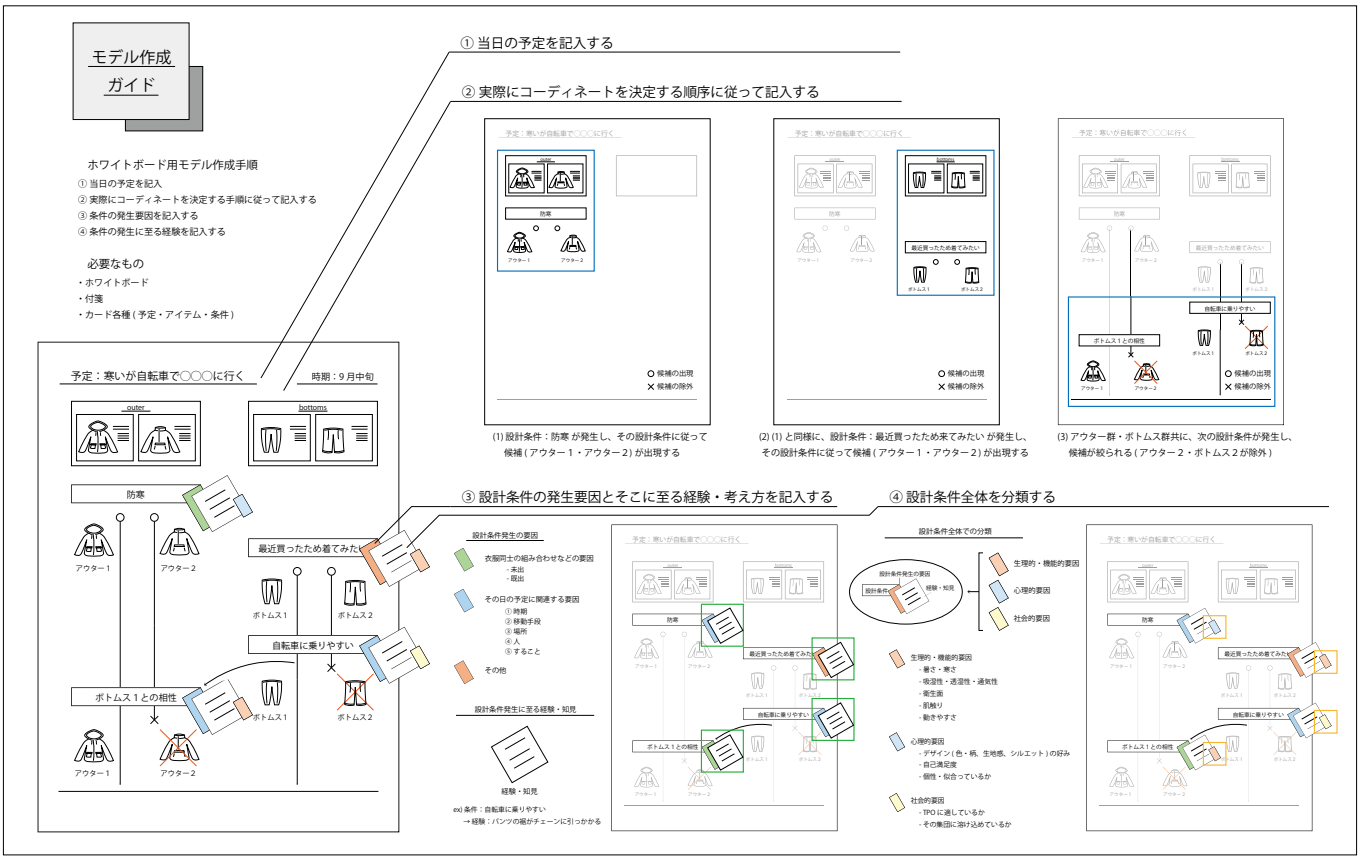


Figure.6 Modeling Guide

3.2. 調査結果

データ化にあたり，調査内のモデル記述における不足情報や記述ミス，各アイテムの通し番号，設計条件の発生ステップを加筆修正し，設計条件発生の要因を細分化した．本稿では，HW さんの例を取り上げる（図７）．

3.3. 分析

モデル内に登場する全ての衣服と設計条件の発生ステップからモデルをマトリクス化すると，１，２日目は，設計条件の配列が複雑で設計条件の発生ステップ数はそれぞれ 13, 15 と長かったが，３日目は，設計条件の配列が単純で，設計条件の発生ステップ数は３と短かった．

ここに分析１を適用すると，１，２日目は“設計条件の発生要因”が３種類とも見られるが，３日目は“衣服の組み合わせ”がなくなり，大部分が“予定”に割かれている（図８，Day1-3 外環部分）．“設計条件全体の分類”に関しても，１，２日目にはない“社会的要因”が見られる（図８，Day1-3 内環部分）．このことから，１，２日目に関しては，“衣服の組み合わせ”を意識しつつ，緻密に服装をコーディネートしていると考えられる．３日目に関しては，“予定 - ④人”や“予定 - ⑤すること”といった“予定”による影

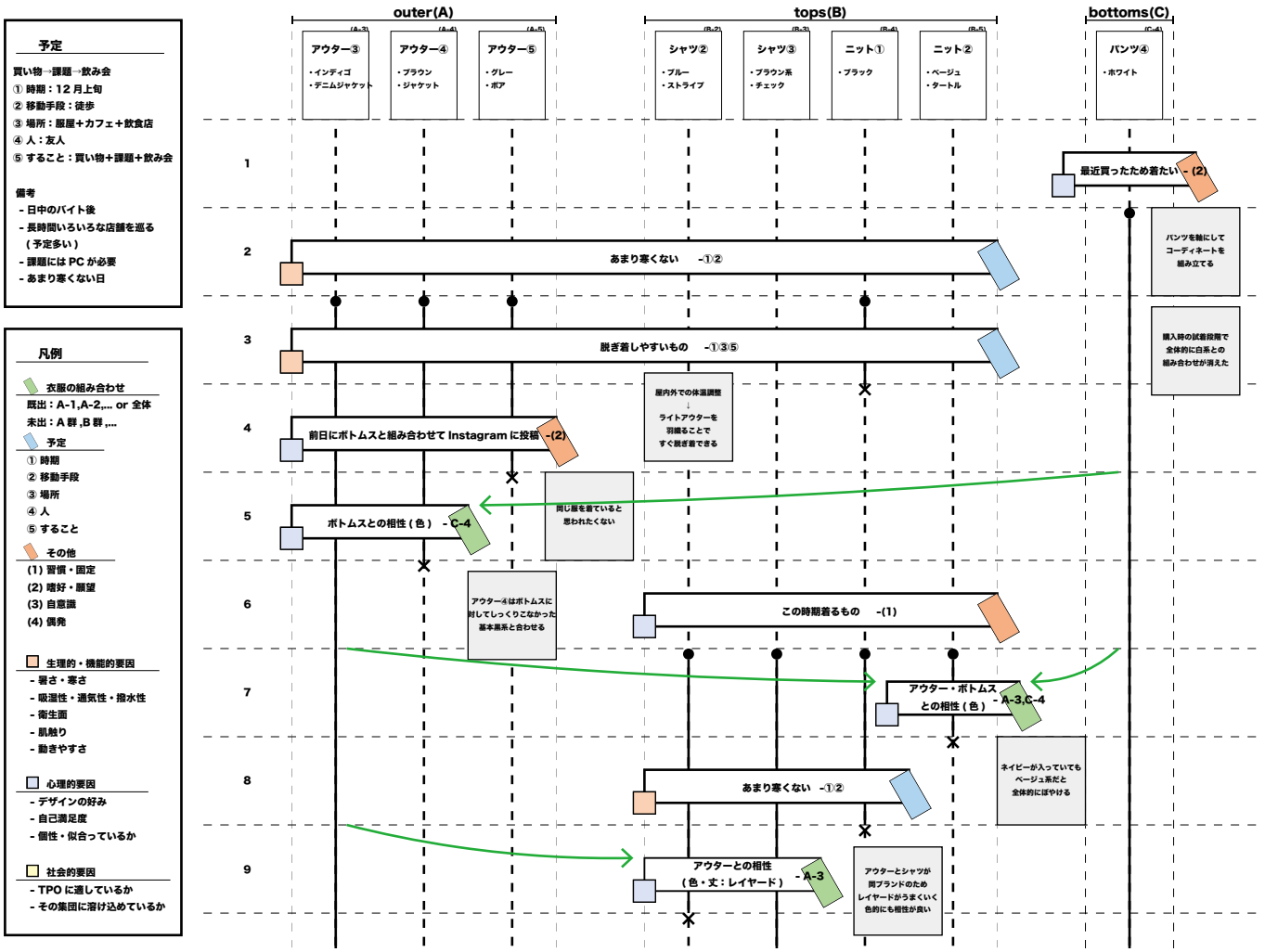


Figure.7 A created model (Excerpt, HW, Day2)

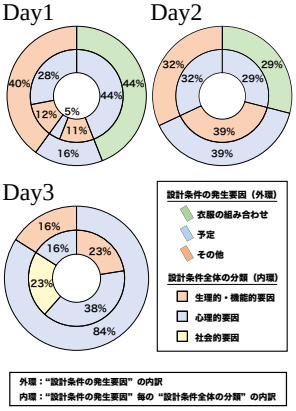


Figure.8 Results of Anaiysis 1 (HW)

Table.2 Results of Analysis 2 (Abbreviated Version, HW, Day2)

		衣服群							計
		A（アウター）	B（トップス）	C（ボトムス）	D（シューズ）	E（ソックス）	F（アクセサリー１）	G（アクセサリー２）	
衣服の組み合わせ	A（アウター）	0	3	0	0	4	0	0	7
	B（トップス）	0	0	0	0	2	8	0	10
	C（ボトムス）	2	1	0	1	2	0	0	6
	D（シューズ）	0	0	0	0	4	2	0	6
	E（ソックス）	0	0	0	0	0	0	0	0
	F（アクセサリー１）	0	0	0	0	0	0	0	0
	G（アクセサリー２）	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計	2	4	0	1	12	10	0	29
予定	① 時期	6	5	0	0	0	0	0	11
	② 移動手段	3	4	0	0	0	3	0	10
	③ 場所	3	1	0	0	0	6	0	10
	④ 人	0	0	0	0	0	0	0	0
	⑤ すること	3	1	0	0	0	6	0	10
	小計	15	11	0	0	0	15	0	41
その他	(1) 習慣・固定	0	4	0	0	0	0	5	9
	(2) 嗜好・願望	3	0	1	0	0	0	0	4
	(3) 自意識	0	0	0	0	0	0	0	0
	(4) 偶発	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計	3	4	1	0	0	0	5	13
計		20	19	1	1	12	25	5	83

響が大きく，１，２日目に比べ，“ 衣服の組み合わせ ” がほとんど考慮されず，各衣服群毎に衣服が効率的に決定されていると考えられる．HW さんの場合，ある日のコーディネートの傾向は，設計条件ステップの多寡や設計条件の配列の複雑さに現れており，同一人物でも日によってコーディネートを決定する要因が全く異なることがわかる．

さらに，分析２を適用すると，２日目の例では，C 群（ボトムス群）に “ その他 -（2）嗜好・願望 ” 以外の要因が作用しておらず，その一方で，A，B，D，E 群に “ 衣服の組み合わせ -C（ボトムス）” が作用していることがわかる（表２，点線枠内）．このことから，２日目は，彼自身の嗜好からボトムス（パンツ④）が決定され，それとの相性から，それ以外の衣服が決定されていると考えることができる．

3.4. 性能評価

表３のアンケート結果から，調査対象がモデル記述により，各々の服装の決定に作用する要因とそれらが作用する順序を意識することができたと考えられる．また，自身だけではなく，他人のコーディネートを参照することで，普段の自分が気にも留めないことが，他人のコーディネートの重要な要素であるという気付きが生まれる可能性があると考えられる．その一方で，モデル記述の難易度が全体的に高いことや，個人の趣味嗜好・性格を充分に記述することができなかったという改善点も見られた．以上より，本モデルはモデル要件①，②を満たしているが，モデル要件③の前提となる記述性に難があるといえる．

Table.3 Results of questionnaire (Excerpt)

		アクター同士の相互作用		ネットワークの時間的な変遷		
		Q1	Q2	Q4	Q5	Q6
記述前	平均	5.1	5.9	3.4	3.6	4.3
	標準偏差	1.51	0.83	2.15	1.50	2.33
記述後	平均	6.6	6.5	5.6	6.3	5.4
	標準偏差	0.49	0.50	1.43	1.00	1.74

		モデルの記述性				モデルの記述性	モデルのフィードバック性	
		Q8	Q9	Q10		Q11	Q12	Q13
記述後	平均	4.7	4	4.2	はい	30%	90%	80%
	標準偏差	1.62	1.67	1.89	いいえ	70%	10%	20%

		モデルの記述性	
		Q11-1	Q11-2
記述後	自由記述	各々のこだわりや性格による決定の仕方	各々のマイナーな決定方法についてデータを収集しデータマップ化する
		体型・体格	そもそもどのような理由で手持ちの衣服を揃えているのか（候補となる衣服の共通点）

（記述前）Q1. 普段，コーディネートを考える際に “ 衣服同士の組み合わせ・相性 ” をどの程度意識していますか？ Q2. 普段，コーディネートを考える際に “ その日の予定 ” をどの程度意識していますか？ Q4. 普段，コーディネートを考える際に “ 衣服を選ぶ順序 ” をどの程度意識していますか？ Q5. 普段，コーディネートを考える際に “ ある衣服が候補に挙がる，または候補から除外される過程 ” をどの程度意識していますか？ Q6. 普段，コーディネートを考える際に “ ある衣服が数日に渡り，複数のコーディネートに含まれている様子 ” をどの程度意識していますか？
（記述後）Q1. モデル記述によって，コーディネートの決定に “ 衣服同士の組み合わせ・相性 ” が影響していると意識しましたか？ Q2. モデル記述によって，コーディネートの決定に “ その日の予定 ” が影響していると意識しましたか？ Q4. モデル記述によって，コーディネートを決定する際の “ 衣服を選ぶ順序 ” を意識することができましたか？ Q5. モデル記述によって，コーディネートを決定する際の “ ある衣服が候補に挙がる，または候補から除外される過程 ” を意識することができましたか？ Q6. モデル記述によって，“ ある衣服が数日にわたり，複数のコーディネートに含まれている様子 ” を意識することができましたか？ Q8. モデル記述にあたり，その日のコーディネートやそれを決定する流れを思い出すことは難しかったですか？ Q9. モデル記述にあたり，実際にコーディネートを考える際の順序に沿って，その日の予定や条件，衣服の候補を記入・添付することは難しかったですか？ Q10. モデル記述にあたり，衣服を選択した理由（= 条件）やそこに至る経験について考えることは難しかったですか？ Q11. モデル記述にあたり，モデル内に記入することができなかった情報はありますか？ - 1. 記入することのできなかった情報を記入してください。 - 2. それを記入するためにはどのようにフォーマットを改善すると良いと思いますか？ Q12. モデル記述を経て，自分自身のコーディネートに関する新しい発見がありましたか？ Q13. 他人が記述したモデルを見ることで，コーディネートに関する新しい発見がありましたか？
（回答方法）Q1~Q2, Q4~Q6 は，記述前後ともに 1. 全く意識しなかった / できなかった ~7. とても意識した / できたの７段階評価．調査後 Q8~Q10 は，1. とても簡単だった ~7. とても難しかったの７段階評価．調査後 Q11~Q13 は，はい / いいえの２択．

3.5. 動的なコーディネートのパターン化

調査結果より，動的なコーディネートには，次のような設計条件の種類・配列のパターンが見出された．

設計条件の種類は次の２パターンである．

（1）肯定：ある衣服を候補として採用し，コーディネートの選択肢を広げる際の肯定的な設計条件．

（2）否定：ある衣服を候補から除外し，コーディネートの選択肢を絞り込む際の否定的な設計条件．

設計条件の配列は次の９パターンである．

（1）拡散 （2）絞り （3）保留 （4）レイヤード （5）衣服の再出現 （6）再掲（設計条件の再出現）（7）並列（同設計条件）（8）並列（異設計条件）（9）固定

図７では，設計条件の配列（2），（5），（6），（7）が顕著に現れている．この日はやや暖かく，アウターを羽織るかトップス一枚で外出するかという迷いが発生し，その際に A 群（アウター群），B 群（トップス群）に対し，“ あまり寒くない ”，“ 脱ぎ着しやすいもの ” という設計条件が作用している．ここに（7）並列（同設計条件）の配列が見られる．また，そこで候補として挙がったトップス（ニット①）は，アウター（アウター③）の決定後，そのインナーとして再び候補に挙がり，“ あまり寒くない ” という再び発生した設計条件により，今度は候補から除外されている．ここに（5）衣服の再出現（6）再掲（設計条件の再発生）の配列が見られる．そして，この日は主役としたボトムス（パンツ④）を中心に，それと相性の良い衣服を吟味していく様子が現れている．ここに（2）絞りの配列が見て取れる．

4. まとめと今後の展望

本研究におけるモデルは，調査対象本人が記述することで日常生活におけるコーディネートの動的なありように関連するアクターと，それらアクター同士の相互作用，及び，それらを取り巻くネットワークの時間的な変遷を捉え直す契機として機能しうることがわかった．さらに，設計条件の種類・配列のパターン化や，分析１・２により，それらをより深く捉え直すことが可能であると考えられる．一方で，デザインに馴染みのない人でも動的なコーディネートを「記述する」ことで捉え直し，目的や問題意識を持ち，それらをデザインするために活用しうるツールとするには，試行が不十分なため，対象を広げたユーザーテストの拡充が必要である．

文献

（1）著：B・ラトゥール　訳：伊藤嘉高，『社会的なものを組み直す　アクターネットワーク理論入門』，法政大学出版，2019.

（2）石田英敬，『記号論講義　日常生活批判のためのレッスン』，ちくま学芸文庫，2020.

（3）守山基樹 門内輝行：京都の街並み景観の記号化と記号のネットワークの記述　街並みの景観における関係性のデザインの分析　その 1，日本建築学会計画系論文集，第 75 巻，第 652 号，1507-1516，2010.6.

実証データに基づくシェアリングシステム設計法の提案

A proposal of sharing system design method based on empirical data

○三宅 岳（パナソニック株式会社）*1　　松田 源一郎（パナソニック株式会社）*2
田島 章男（パナソニック ET ソリューションズ株式会社）*3　　石田 涼（東京大学）*4
木下 裕介（東京大学）*5　　梅田 靖（東京大学）*6

*1 Gaku MIYAKE, Panasonic Corporation, 2-7 Matsubacho, Kadoma City, Osaka, Japan, 571-8502, miyake.gaku@jp.panasonic.com
*2 Genichiro MATSUDA, Panasonic Corporation, 2-7 Matsubacho, Kadoma City, Osaka, Japan, 571-8502, matsuda.genichiro@jp.panasonic.com
*3 Akio TAJIMA, Panasonic Environmental Technology Solutions Corporation , 2-1-61 Shiromi, Chuo-ku, Osaka, Japan, 540-0001, tajima.a@jp.panasonic.com
*4 Ryo ISHIDA, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo Japan, 113-0033, ishida@susdesign.t.u-tokyo.ac.jp
*5 Yusuke KISHITA, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo Japan, 113-0033, kishita@pe.t.u-tokyo.ac.jp
*6 Yasushi UMEDA, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo Japan, 113-0033, umeda@race.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:シェアリングシステム，バイクシェアリング，ライフサイクルシミュレーション

1. 緒　　言

持続可能な社会を実現するため，資源利用の制約に対処しつつ顧客のニーズを満たすことが必要であり，それを実現するコンセプトとして，製品とサービスを組み合わせて価値を提供する Product-Service Systems（PSS）が提唱されている(1)．近年，PSS の一つとして Sharing-System(SS)が着目されている．本稿における SS とは，製品を貸し出す事業のうち，数か月にわたるなど長期のリースではなく，数時間程度の短期の賃貸借のものを指す(2)．近年では，Car Sharing-System や Bike Sharing-System(BSS)が，持続可能な移動手段の一つとして，注目を集めている．
SS 事業を成立させるには，ユーザーの利便性と事業採算性を確保することが重要である．その為，SS 事業のプランニングをするには，ユーザーの需要を適切に見積もり，その需要に合わせて，製品の供給数や供給方法を設計することが必要である．なぜなら，ユーザーが製品を必要とする際に，利用可能な製品がないと利便低下や過剰設備による採算性悪化を招く恐れがある為である．
しかしながら，利便性と事業採算性を担保するには，大量のデータが必要となる為，事業実証の大規模化もしくは長期化となりやすい．そうすると，実証費用が嵩むことで投資回収が困難となり，事業成立の課題となる．

2. シェアリングシステム設計法

本研究では，上記の課題を解決する為に，小規模な実証を実施し，その使用実績に基づいた事業シミュレーションによって，SS 事業の評価を行う「実証データに基づくシェアリングシステム設計法」を提案する．本 SS 設計法のイメージを図 1 に示す．
まず，小規模の実証試験から使用実績を取得し，その使用実績から，需要と製品のモデリングを行う．構築したモデ

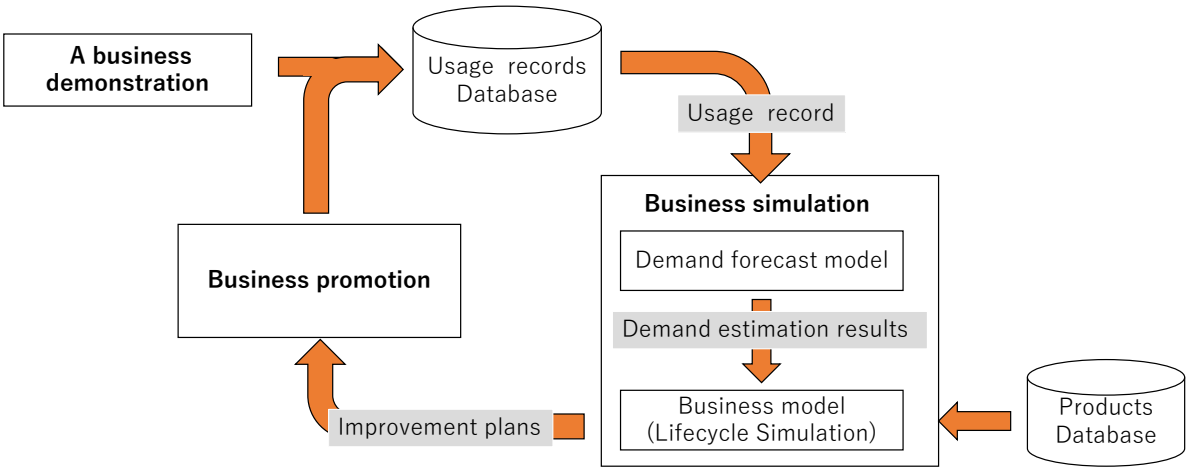


Fig.1　Sharing system design method (Image)

ルに基づいて，Life Cycle Simulation[3] (LCS)を実行し，予測される利用回数と発生コストをシミュレーションする．それにより，事業のコスト構造および期待収入が定量評価でき，事業性の判断を支援できる．
さらに，評価結果から，コスト削減や高収入化が期待できる施策を検討でき，その効果を再度 LCS で評価することにより，期待できる効果を定量的に評価できる．その施策に基づいた事業展開を実行することで，事業の早期立ち上げが可能となる．また，この取り組みのサイクルを実行することで、SS 事業の PDCA サイクルがまわり，継続的な改善を行うことができる．

3. ケーススタディ

ケースタディでは，本 SS 設計法の評価する為に，BSS の新規形態であるローカライズドバイクシェアリング(L-BSS)に適用した．この L-BSS では，共同利用施設のユーザーの利用を中心とし，共同利用施設と駅などの地域の拠点とを結ぶ BSS である．共同施設の自転車置き場を L-BSS に置き換えをできれば，駐車場面積の削減や放置自転車の問題を解決できる可能性がある．ただし，事業の成立が不明確である為，本事業の評価を行った．今回は，下記の(1)~(4)の取り組みについて示す．

(1)スモールスタートでの実証
必要な情報を取得できるように，IoT 搭載自転車を用いて， L-BSS の実証を行い，使用実績を蓄積した．

(2)需要と製品のモデリング
実証データに基づき需要と製品モデリングを行い，経時変化に対応した需要と製品のモデルを構築した．

(3)事業シミュレーション
構築したモデルに基づき，LCS を実行し，ライフサイクル全体での収入と支出をシミュレーションした．それにより，事業のコスト構造および期待収入を明確化できた．さらに，同じ地区でのユーザー数を増やした場合に，事業性がどのように変化するかの検討を行った．

(4)シミュレーション結果に基にした施策の立案・分析
事業改善が図れる施策を複数検討し，施策の組み合わせにより、どのていどの改善を望めるかをシミュレーションした．シミュレーション結果を図 2 に示す．施策によりコストだけでなく収入も変化しているため，収入に対するコストが占める割合（経費率）で評価をしている．この結果から，経費率を最大 63%に抑えることがわかる．

4. 結論

本稿では，実証データに基づく SS 設計法により，早期立ち上げに向けた事業プランニングの可能性を示した．具体的には，新規事業である L-BSS の事業性を評価するとともに，施策の期待できるコスト削減を定量的に示した．今後は、導出した施策の有効性検証し、改善サイクルが実行されるかを検証する必要がある．

文　献

(1) T S Baines, et al “State-of-the-art in product-service systems,” Proc. IMechE, Vol. 221, Part B: J. Engineering Manufacture, pp. 1543-1552, 2007.
(2) Xinwei et al “Bike-sharing systems’ impact on modal shift: A case study in Delft, the Netherlands”, Journal of Cleaner Production, Vol. 259, 2020.
(3) Yasushi Umeda, et al: “Study on life-cycle design for the post mass production paradigm,” AI EDAM, Vol. 14, No. 2, pp. 149-161, 2000.

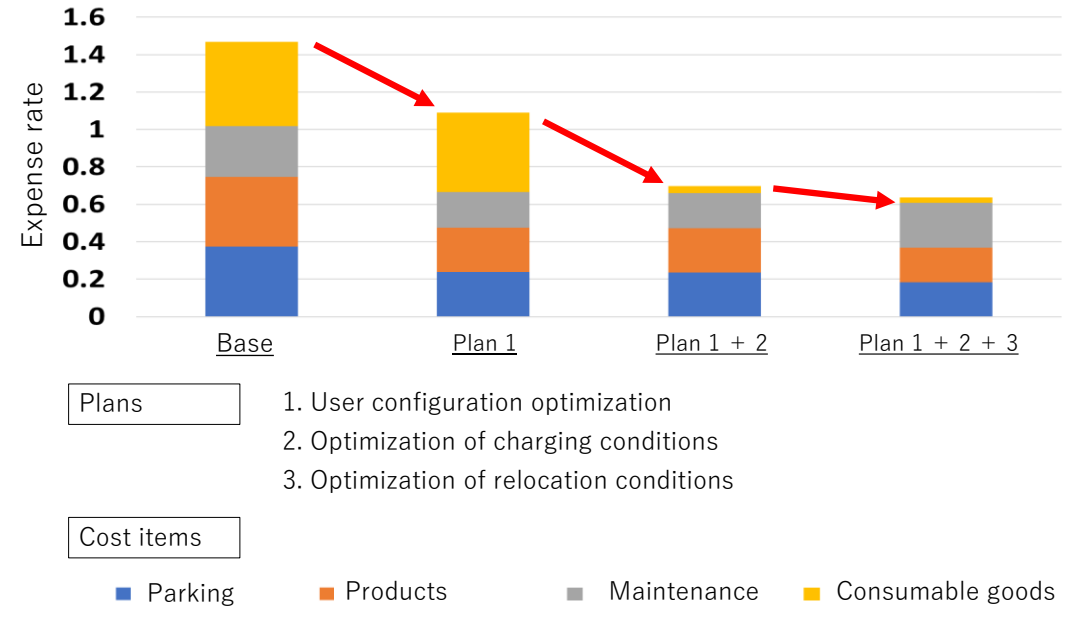


Fig.2　A evaluation of improvement plans

潜在的嗜好の抽出による製品デザイン

Product Design Based on Extraction of Latent Preferences

○古賀 凌彗（慶應義塾大学大学院理工学研究科）*1　　青山 英樹（慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科）*2

*1 Ryosui KOGA, Dept. of Science and Engineering, Keio University
Hiyoshi 3-14-1, Kouhoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan, koga@ddm.sd.keio.ac.jp
*2 Hideki AOYAMA, Dept. of Science and Engineering, Keio University
Hiyoshi 3-14-1, Kouhoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan, haoyama@sd.keio.ac.jp

キーワード:潜在的嗜好, 製品デザイン, 購買行動, カラートラッキング

1. 緒　　言

製品のデザインプロセスにおいて，顧客のニーズや嗜好を満足するデザインを創発することが重要であるが，それらを把握することが難しく，特に潜在的嗜好を抽出することが課題になっている．現在，顧客の潜在的嗜好の抽出方法として，脳波や視線といった生理反応から抽出する方法[(1)]が提案されている．しかし，これらの手法は特殊な機器が必要であり，実用的な潜在的嗜好抽出方法が確立していない[(2)]．

上記の課題に対して，本研究では，顧客の潜在的嗜好を自動的に抽出し，顧客が好むと思われる製品を提示するとともに, 全く新しいデザインを創発するシステムを構築し，提案手法の有用性を確認している．

2. 潜在的嗜好抽出と応用

2.1. 概要

本研究では，顧客の店舗内での製品に対する購買行動から潜在的嗜好を抽出する．購買行動として，製品を手に取った順番，手に保持した時間，手に取った回数の 3 つの行動を観測し，潜在的嗜好の抽出を行った．その潜在的嗜好を基に，顧客が好むと推測される類似製品を提示するとともに，新たなデザインを創発した．好みの度合いについて 3 段階の官能評価アンケートを実施し，提案する潜在的嗜好の抽出方法の有用性を確認した．

2.2. カラートラッキングシステムによる顧客の行動観測

顧客の購買行動を観測するカラートラッキングシステムを構築した．同システムでは，顧客の購買行動を映像データとして取得し，図 1 に示すように，製品に付与したカラータグを追跡する．図 2 に示すように，それぞれのカラータグの時間経過に伴う映像内の位置（画像内の座標値）を取得する．カラートラッキングシステムにより取得した座標データより，顧客が製品を手に取った順番・時間・回数を観測した．

2.3. 顧客の行動観察に基づく潜在的嗜好抽出

本研究では，カラートラッキングシステムを用いて観測した各製品に対して, 手に取った順番, 手に保持した時間, 手に取った回数に関して, それぞれ点数を付けた. 表 1 は, 3 つの行動の点数付与の基準を示している．

付与した合計点数が高い製品の画像と既存製品の画像の画像間類似度を測定し，類似度の高い既存製品を顧客が好むと予測される製品として抽出した．また，合計点数が高い製品画像と画像間類似度の測定より抽出した類似製品画像を Deep Learning である DCGAN に学習させ，顧客が好

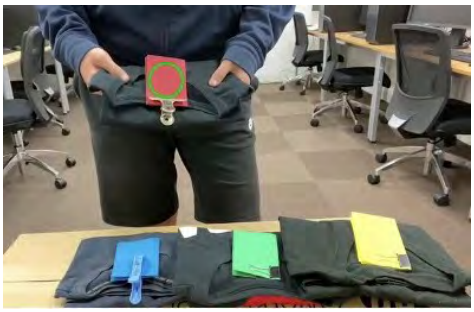


Fig.1 Color tracking system

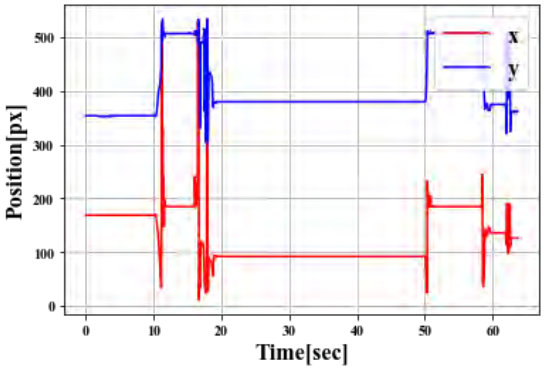


Fig.2 Behavior observation results

Table1 Score of observed behaviors

	1 point	2 points	3 points	4 points
Handling order	4th	3rd	2nd	1st
Holding time	More than 5s	More than 10s	More than 15s	More than 30s
Picking up number	Once	Twice	3 times	4 times

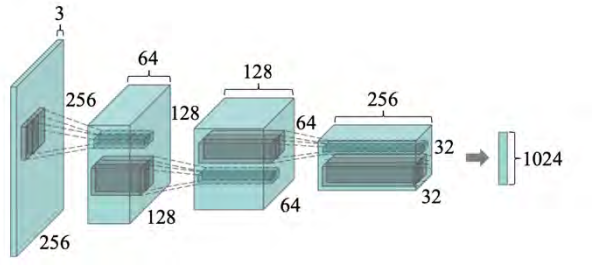


Fig.3 Convolution processing by encoder(3)

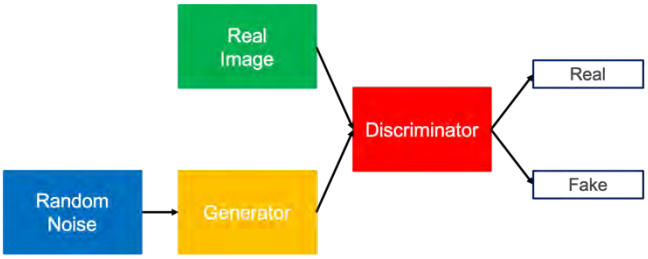


Fig.4 DCGAN network structure

むと予測される新デザインを創発した．

本手法の有用性を検証するために，抽出した類似製品および創発した新デザインを顧客に提示し，1（好みでない），2（どちらでもない），3（好み）の 3 段階の官能評価アンケートを実施し，潜在的嗜好の抽出の有用性を確認した．

3. 潜在的嗜好に基づく製品提示システム

顧客の購買行動観測より抽出した顧客の潜在的嗜好を基に，既存の製品データの中から，顧客が好むと予測される類似製品を提示した．類似製品の抽出は，画像間類似度の測定により行った．画像間類似度の測定には，畳み込みオートエンコーダ（Convolutional Auto Encoder : CAE）を用いた．図 3 に示すように，画像の畳み込み処理により画像サイズを 256×256 pixel から 32×32 pixel へ圧縮した．画像の情報量を圧縮することで，製品の全体的なデザインに着目している．

購買行動観測による合計点数が高い製品の画像と既存製品の画像との画像間の類似度を算出し，類似度が高いと測定された既存製品を顧客に提示した．画像間類似度の尺度として，式(1)で表されるコサイン類似度を用いた．

$$\cos\theta = \frac{x \cdot y}{\|x\|\|y\|} \quad (1)$$

4. 潜在的嗜好に基づく製品デザイン創発システム

顧客の購買行動観測により抽出した顧客の潜在的嗜好

Table2 Architecture of DCGAN Generator

Operation	Kernel	Stride	Number of channel	Activation function
Input: Noise	-	-	100	-
Transposed conv.1	5×5	2	256	LeakyReLU
Transposed conv.2	5×5	2	128	LeakyReLU
Transposed conv.3	5×5	2	64	LeakyReLU
Transposed conv.4	5×5	2	32	LeakyReLU
Transposed conv.5	5×5	2	3	tanh

Table3 Architecture of DCGAN Discriminator

Operation	Kernel	Stride	Number of channel	Activation function
Input: 256×256×3	-	-	-	-
Conv.1	5×5	2	32	LeakyReLU
Conv.2	5×5	2	64	LeakyReLU
Conv.3	5×5	2	128	LeakyReLU
Conv.4	5×5	2	256	LeakyReLU
Conv.5	5×5	2	512	LeakyReLU
Linear.	-	-	2	sigmoid

を基に，顧客が好むと予測されるデザインを創発した．デザインの創発には，Neural Network の生成モデルである DCGAN（Deep Convolutional GAN）を用いた．図 4 に DCGAN のネットワーク構造を示す．DCGAN は，乱数を入力し画像を生成する生成器（Generator）と，入力された画像が本物か偽物かを識別する識別器（Discriminator）の 2 つのネットワークから成り立つ．ここで，本物とは学習データセット内の画像であり，偽物とは生成器が生成した画像を意味する．識別器は，生成画像と本物画像を正確に分類できるように学習を行い，生成器は生成した画像が識別器により本物と識別されるように学習を行う．本研究で用いた DCGAN の生成器および識別器の詳細構造を表 2，表 3 に示す．学習パラメータは，最大学習回数 5000 回，ミニバッチサイズ 2，初期学習率 0.0002，確率的勾配降下法は Adam とした．

購買行動観測による合計点数が高い製品の画像と画像間類似度の測定より抽出した類似製品画像を教師データとして DCGAN の学習を行い，デザインを生成した．

5. 検証実験

5.1. 概要

本研究では，提案手法を半袖シャツに適用し，20 代の男性 4 名の被験者に対して検証実験を実施した．図 5 に示すように，2 台の机にカラータグを付与した半袖 T シャツを



(a) Table1



(b) Table2

Fig. 5 Experimental environment



Fig.6 Input product (upper left) and recommended products

Table4 Evaluation result

	subject1	subject2	subject3	subject4
product1	3	1	1	3
product2	1	3	2	2
product3	2	1	3	3
product4	2	3	3	3
product5	1	2	3	1

それぞれ 4 枚ずつ陳列し，被験者には「気に入ったものがあれば選択する」という指示を与え，各半袖 T シャツに付与されたカラータグの座標データをカラートラッキングシステムにより取得した．半袖 T シャツごとに，手に取った順番・時間・回数を観測し，それぞれに点数を付与した．その点数を基に，被験者が好むと予測される製品を抽出して提示するとともに，DCGAN によりデザインを創発した．抽出した製品と DCGAN により創発したデザインに，好みの度合いについて，3 段階の官能評価アンケートを行った．

5. 2. 潜在的嗜好に基づく製品提示システムの評価結果

最も合計点数の高かった半袖 T シャツに対して，用意した半袖シャツ製品の画像 144 枚の中から，式（1）で算出される類似度が高い製品を抽出し，被験者が好むと予測される製品として提示した．図 6 は，左上の入力画像（合計点数の高かった半袖 T シャツ）に対して，システムが提示した被験者が好むと予測される 5 枚の半袖シャツの一例を示している．提示した製品に対する評価を，1（好みでない），2（どちらでもない），3（好み）の 3 段階で得た．表 4 は，その結果を示している．全ての被験者より，提示した 5 つの製品の中で，最高評価の 3 を得られている製品があり，潜在的嗜好が抽出できていると考えられる．

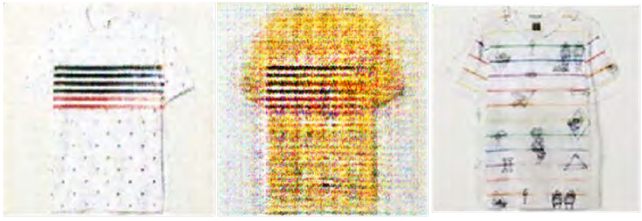


Fig.7 New design generated by DCGAN

Table5 Evaluation result

	subject1	subject2	subject3	subject4
product1	2	2	3	2
product2	1	1	1	3
product3	2	3	1	2

5. 3. 製品デザイン創発システムの評価結果

最も合計点数の高かった製品の画像と画像間類似度の測定より抽出した類似製品画像を DCGAN に学習させ，デザインを生成し，被験者に提示した．図 7 は，DCGAN により生成した被験者が好むと予測されるデザインの一例である．生成したデザインに対する評価を，1（好みでない），2（どちらでもない），3（好み）の 3 段階で得た．表 5 は，その結果を示している．最高評価の 3 が 1 つもない被験者が存在しており，システムおよび学習パラメータ，学習データの改善が必要である．

6. 結　　言

本研究では，顧客の潜在的嗜好を抽出する方法を提案した．顧客の潜在的嗜好に基づき顧客が好むと推測される製品を既存製品から抽出し，提示するシステムおよび顧客の潜在的嗜好に基づきデザインを創発するシステムを開発し，被験者実験により有用性と課題を確認した．

今後は，新デザイン創発システムの改良を行い，より顧客の潜在的嗜好を反映した新デザイン生成の実現に取り組む．

文　　献

(1) 水谷那奈美，他：ユーザの潜在的な興味をデザインに活かすための基礎研究 1-行動分析を用いた LOHAS 指向ユーザのデザインに対する興味推定，デザイン学研究，日本デザイン学会研究発表大会概要集，2007.

(2) 土方嘉徳：嗜好抽出と情報推薦技術，情報処理学会論文誌，Vol.47，No.4，1-10，2006.

(3) Radford, A., Metz, L. and Chintala, S.: Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks, ICLA2016-Conference Track Proceedings（2016）, 1-16.

皮革テクスチャにおけるプラスチック感と高級感

Plastic and High-grade about Leather Textures

○木下将太朗（慶應義塾大学大学院）*1　田仲純也（株式会社クボタ）*2　松岡慧（湘南工科大学）*3
加藤健郎（慶應義塾大学）*4　松岡由幸（慶應義塾大学）*5

*1 Shotaro Kishita, Keio Graduate School, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-city Kanagawa, 223-0061, walnut-tree@keip.jp
*2 Junya Tnaka, Kubota Corporation, 1-2-47 Tsukitsuhigashi Naniwa-ku Osaka-city Osaka, 556-8601, junjunchiina@keio.jp
*3 Kei Matsuoka, Shonan Institute of Technology,1-1-25 Tsujidounishikaigan Fujisawa-city Kanagawa, 251-8511, matsuoka@md.shonan-it.ac.jp
*4 Takeo Kato, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-city Kanagawa, 223-0061, kato@mech.keio.ac.jp
*5 Yoshiyuki Matsuoka, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-city Kanagawa, 223-0061, matsuoka@mech.keio.ac.jp

キーワード:プラスチック, 皮革, テクスチャ

1. 緒　　言

プラスチックは，加工成形のしやすさ，優れた力学的特性，腐らないことなどの天然材料にない特徴を持つことから，天然皮革に代わって，自動車の内装材として代表的な素材となった．しかし，プラスチックは，代替品としての認識の域を出ず，天然材料には劣るものとして捉えられているのが現状である．また，便利で廉価であるがゆえに，使い捨て社会を促進し，エネルギー問題や環境汚染問題を惹起している．これらの負の側面を理由に，プラスチックには，「安っぽい」「美しくない」といった悪い印象がつきまとっている．(1),(2)

以上の背景から，プラスチックが多用されている自動車の内装は「安っぽい」と評価されることが多い．一方で，高級感を有した内装の需要は高まってきている．そこで，自動車用内装材において，高級感を高めるための研究が盛んに行われている．

本研究では，プラスチックに対して抱く印象を「プラスチック感」と定義する．「プラスチック感」と「高級感」の関係を分析し，現在のプラスチックに対して抱く評価を考察する．また，プラスチックに関わる時間や頻度が性別や年代別によって違うことを考慮して，性別や年代で分類して分析を行い，その結果について考察する．さらに，新たな価値を有するプラスチックを提案する．

2. 方　　法

皮革テクスチャにおける評価構造を明らかにするため，視覚評価実験を実施した．実験方法は，次に示す評価方法・条件，評価サンプル，評価項目，被験者とした．

評価方法・条件：1 から 5 点までの 5 段階評価による SD 法を用いて実施した．被験者には，サンプルには触れず，観察角度を変えて見るよう促し，評価対象は表面性状，色であることを伝えた．光源には，演色性を考慮し，昼白色光を採用した．

実験サンプル：シボ面や色味の異なる，プラスチック製代替皮革 7 個（a～g），天然皮革 3 個（h～j）からなる，計 10 個の皮革テクスチャを採用した．サンプルの例を図 1 に示す．

評価項目：「プラスチック感」「高級感」とした．

被験者：20 代から 60 代までの男女 66 名とした．

3. 結果と考察

被験者全体，性別，年代別で分類して「プラスチック感」と「高級感」の評価値を用いて相関分析を行った．それぞれの相関係数を図 2 に示す．また，一例として，被験者全体の「プラスチック感」と「高級感」の散布図を図 3 に示す．



Fig.1　The Example of Texture

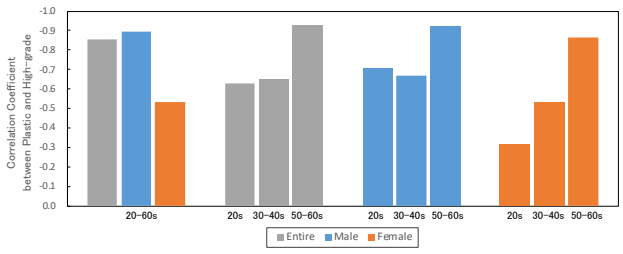


Fig.2　Correlation Coefficient between Plastic and High-grade

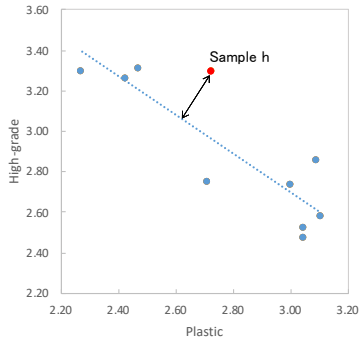


Fig.3　Scatter Diagram of Plastic and High-grade about All Subjects

3. 1.　被験者全体での傾向

まず，被験者全体について述べる．20 から 60 代の，性別を考慮しない，被験者全体において，相関分析を行った結果，「プラスチック感」と「高級感」の相関係数は-0.85 を示し，「プラスチック感」は「高級感」に負の影響を与えていることが確認できた．この結果から，一般的に「プラスチック感」は，廉価であるプラスチックの現状を受けて，「プラスチック感」を強く抱くほど，「高級感」がないと判断されるという傾向があるといえる．

3. 2.　性別での傾向

次に，性別について述べる．20 から 60 代の被験者を性別で分類し，相関分析を行った．その結果，「プラスチック感」と「高級感」の相関係数は，男性では-0.89，女性では，-0.53 を示した．男性においては，被験者全体での分析結果より，強い負の相関を示しており，「プラスチック感」と「高級感」は対立するという判断がなされる傾向が強いことが伺える．一方で，女性においての相関係数は，比較的弱く，必ずしも「プラスチック感」があるものには「高級感」を抱かないというわけではないことがわかる．これらの性別での分析によって，被験者全体での分析の傾向は，主に男性の結果に依存しているということが考えられる．

3. 3.　年代別での傾向

次に，年代別について述べる．被験者全体を 20 代，30 から 40 代，50 から 60 代の 3 つのカテゴリーに分類し，相関分析を行った．また，性別で分類した後，同様に 20 代，30 から 40 代，50 から 60 代の 3 つのカテゴリーに分類し，相関分析を行った．被験者全体の 20 代，30 から 40 代，50 から 60 代における「プラスチック感」と「高級感」の相関係数はそれぞれ，-0.63, -0.65, -0.93 であった．この結果から，年齢を重ねるごとに「プラスチック感」と「高級感」を相反するものと捉える傾向が強くなることがわかる．

そして，女性における 20 代，30 から 40 代，50 から 60 代の「プラスチック感」と「高級感」の相関係数はそれぞれ，-0.32，-0.53，-0.86 であった．つまり，被験者全体での傾向と同様に年齢を重ねるごとに「プラスチック感」と「高級感」を相反するものと捉える傾向が強くなるといえる．また，20 代女性では相関がほとんど見られないことから，20 代女性においては，必ずしも「プラスチック感」が「高級感」に負の影響を与えるわけではないということに留意したい．さらに，女性全体の相関係数が弱い要因にもなっていると考えられる．

そして，男性においては，20 代，30 から 40 代，50 から 60 代の「プラスチック感」と「高級感」の相関係数はそれぞれ，-0.71，-0.67，-0.93 であった．この結果から，20 代男性での相関が強くなっているものの，おおよそ，年齢を重ねるごとに「プラスチック感」と「高級感」を相反するものと捉えるようになると考えることができる．

以上の傾向の理由としては，歳を重ねるにつれ，普段触れる製品などを通じてプラスチックと天然皮革の識別ができるようになってくることや，時代と共にその働きが弱くなっていることが考えられる．後者については，近い将来，その働きが完全に消え，「プラスチック感」が新たな感性価値となる可能性を秘めているといえる．

4.　新たな価値を有するプラスチックの提案

3 章での分析結果から，一般に，「プラスチック感」は「高級感」に対して，負に働いているということが伺えた．しかし，20 代女性においてはそのような傾向が見受けられなかったように，将来，皮革テクスチャにおいて，「プラスチック感」の新たな価値が見出される可能性が示唆された．

そこで，「プラスチック感」と「高級感」をあわせ持つサンプルを選定し，そのサンプルをもとに新たな価値を有するプラスチックの提案を行う．そのサンプルを選定するため，「高級感」と「プラスチック感」の関係から最小二乗法により回帰直線を求めた（図 3）．ここでは，その回帰直線との距離が最も大きいサンプル h（天然皮革）に着目する．サンプル h は視覚評価実験の結果，「高級感」が 2 番目に高く，「プラスチック感」が 6 位のサンプルである．これは，「プラスチック感」があるにも関わらず，「高級感」を有しているサンプルであるといえる．サンプル h の特徴は，まず，わずかに赤みを有している．そして，テクスチャの面に対して小さい角度から観察すると暗くなっている．また，他のサンプルに比べ最も光沢度がある．これらの要因が「高級感」を高めていると考えられる．一方，「プラスチック感」については，比較的面の粗さが滑らかであることが関連していると考えられる．これらのパラメータを操作することで，「プラスチック感」と「高級感」を両立させる皮革テクスチャが実現されるだろう．

5.　結　　言

本研究では，皮革テクスチャを用いて視覚評価実験を行った．そして，「プラスチック感」と「高級感」の関係を性別や年代別に分析し，その結果について考察した．さらに，得られた結果をもとに「プラスチック感」と「高級感」を両立させるテクスチャの提案をした．本研究をきっかけに，新たな感性価値がプラスチック製品に付与されることが望まれる．

文　　献

(1)　亀坂瑠璃子，楠雄磨，加藤健郎，松岡由幸，プラスチック製品独自の価値分析，日本機械学会第 26 回設計工学・システム部門講演会講演論文集，2016

(2)　Kei，M.，et al.: Factorial Structure of Evaluations of Automotive Interior Material Texture, Journal of the Science of Design，Vol.3，No.1，53-60，2019.

極限環境における基地建設に関する研究
～南極におけるこれまでとこれから～

Research on Base Construction in Extreme Environments
～Past and Future in Antarctica～

○遠山諒（京都大学）*1　　金多隆（京都大学）*2　　西野佐弥香（京都大学）*3

*1 Ryo Tohyama, Kyoto University, 13-1-Oak Field 2 A 202, 615-8183, ryo.tohyamaforsotsuron@gmail.com
*2 Takashi Kanete, Kyoto University
*2 Sayaka Nishino, Kyoto University

キーワード:南極,基地,工業化工構法,ユニット

1. 緒言

海中や宇宙など過酷な環境において人類が生活を行うには、それぞれの環境に適した基地の建設が必須である。極限環境のひとつである南極では、各国が通年使用可能な基地を建設している。しかしながら、資材の現地調達ができず、外部で実施可能な作業が限られており、通常とは異なる環境下での建設になるため、どのようなデザインがより適切であるか、どのような建設方法であればそれが実現できるかなど、検討すべき課題は多い。そこで本講演では、南極において30年以上前から運用され、度々建て替えが行われてきた米国のAmundsen Scott station、ドイツのNeumayer station、英国のHalley stationを取り上げ、各基地の形態、設計における工夫、建設方法の変遷について主にインターネットで公開されている文献・資料を検討して詳細を明らかにし、今後の展望について考察を行う。

2. Amundsen-Scott station

2.1. Amundsen-Scott stationの基本情報

Amundsen-Scott stationは南極点付近にあるアメリカ合衆国の南極基地であり、厚さ約2800mの氷の上に乗っていて毎年少しずつ南極点に近づいている。

この基地では天文学や気象学などの研究が行われていて過去2回建て替えられており、それぞれをAmundsen-Scott I、Amundsen-Scott II、Amundsen-Scott IIIと表現する。

2.2. Amundsen-Scott stationの歴史

1956年から運用が開始され、当初は単なる木造の小屋のAmundsen-Scott I(図2.2.1)であったが一度目の建て替えでドーム型のAmundsen-Scott II(図2.2.2)になり、二度目の建て替えで現在の高床式の形状のAmundsen-Scott III(図2.2.3)になった。これらの設計は当初はアメリカ海軍の工兵部隊が行なっていたが現在は設計を民間企業に依頼したものが使用されている。

プレハブ工法で建てられ、全ての建築資材は南極海沿岸部から飛行機で輸送され現地で組み立てられた。施工は初めはアメリカ海軍が行なっていたが次第に民間会社が行うようになった。基地が建設されるのは基本的に南極が白夜となる夏(11月～3月)の間であり建設期間のみ臨時の宿泊施設を現地に設置して一時的に人員を増加させて基地を建設した。基地の管理も同様に当初はアメリカ海軍が行なっていたが次第に運営する権利が民間企業に譲渡され現在は完全に民間企業が運営している。また今までの基地は吹雪が建物に吹き付けることによる雪溜まりによって廃棄されている。

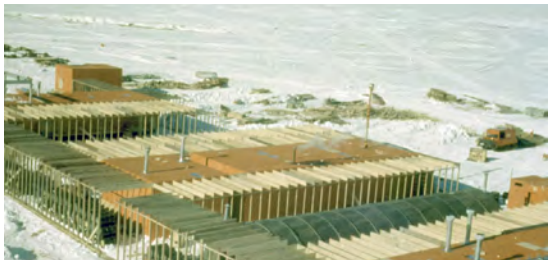


Fig.2.2.1 Amundsen-Scott I(1)



Fig.2.2.2 Amundsen-Scott II(1)

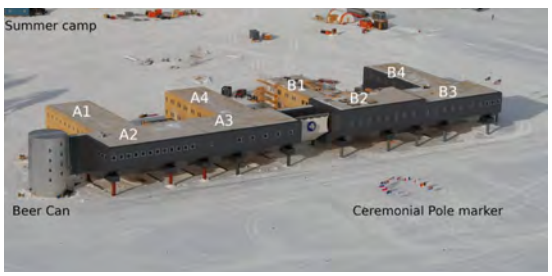


Fig.2.2.3 Amundsen-Scott III(1)

3. Neumayer station

3.1. Neumayer stationの基本情報

Neumayer stationは南極海沿岸にあるドイツの基地であり、厚さ約200mのエクストレ ム棚氷の上に乗っており毎年約200mずつ外洋に向かって棚氷とともに移動している。

この基地では大気科学や気象学などの研究が行われていて過去2回建て替えられており、それぞれをNeumayer I、Neumayer II、Neumayer IIIと表現する。

3.2. Neumayer stationの歴史

1980年から運用が開始された。二度の建て替えがされたのだが初めの基地であるNeumayer I(図3.2.1)と二代目の基地であるNeumayer II(図3.2.2)は地下に建設され、現在の基地であるNeumayer III(図3.2.3)は高床式で建設された。これらの設計は当初ドイツの極地研究機関が行なっていたが現在は民間企業により行われている。

この基地もアメリカの基地と同様にプレハブ工法で建設された。沿岸部付近に基地が位置しているので船と雪上車を用いて資材が搬入され現地で組み立てが行われた。基地が建設されるのはアメリカのものと同様に基本的に南極が白夜となる夏の間であり建設期間のみ臨時の宿泊施設を現地に設置して一時的に人員を増加させて基地を建設した。施工も当初はドイツの国の機関が行なっていたが次第にその役割が民間に移行され現在の基地は民間企業により建設された。またこれまでの基地は全て雪溜まりによって廃棄されている。

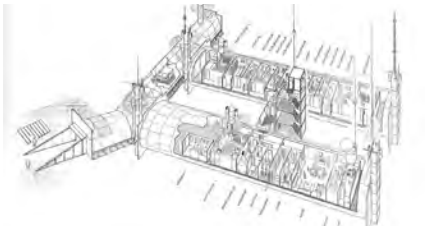


Fig.3.2.1 Neumayer I[2]



Fig.3.2.2 Neumayer II[3]



Fig.3.2.3 Neumayer III[4]

4. Halley station

4.1. Halley stationの基本情報

Halley stationは南極海沿岸にあるイギリスの基地であり、ウェッデル海に沿岸に建てら れた基地であり厚さ約130mのブラント棚氷の上に乗っており毎年約700mずつ西に向かって棚氷とともに移動している。

この基地では気候変動や海面上昇や宇宙観測などの研究が行われていて過去5回建て替えられており、それぞれをHalley I、Halley II、Halley III、Halley IV、Halley V、Halley VIと表現する。

4.2. Halley stationの歴史

1956年から運用が開始され5回も建て替えが行われた。Halley I(図4.2.1)とHalley IIは木造の小屋のようなものでありHalley III(図4.2.2)とHalley IVは基地の外壁を円管で覆った形でありHalley Vと現在使用されているHalley VI(図4.2.3)は高床式となっておりHalley VIは可動式である。これらの設計も当初は国の機関が行なっていたが次第に民間企業が請け負うようになり現在の基地はコンペを勝ち抜いた民間企業が行ったものである。

施工はプレハブ工法で行われているが現在使用されている六代目の基地のみプレハブ工法のモジュールを六つ組み合わせる方法で建設されている。また基地は五代目を除いて雪溜まりにより廃棄されている。



Fig.4.2.1 Halley I[5]



Fig.4.2.2 Halley III[6]



Fig.4.2.3 Halley VI[7]

5. 各国の基地の比較

5.1. 基地の種類による耐用年数の分析

以上のことからアメリカ、ドイツ、イギリスの基地を見比べると基地の建てられる場所が違うことがわかりそれは大雑把にいうと3種類(地下式、地上式、高床式)に分類できる。(図5.1.1)

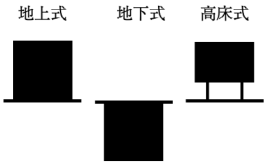


Fig.5.1.1 classification of bases

またそれぞれの外から見た時に雪から建物を守るためのカバーも異なっており、これらも3種類(四角、円筒、ドーム)に分類できる。(図5.1.2)なお四角いカバーは通常の家のように防雪壁が無く垂直の壁を厚くすることで内部を守り、ドームは半球型の防雪壁で内部を守るということである。

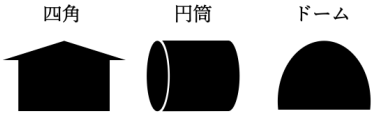


Fig.5.1.2 classification of bases

さらに基地そのものが水平方向に移動できるか(移動、定着)でも分類できる。(図5.1.3)

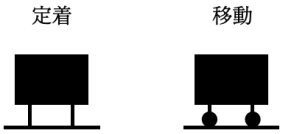
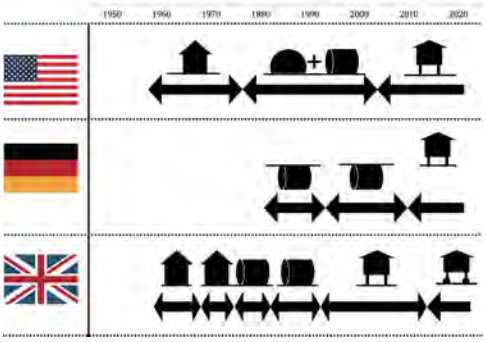


Fig.5.1.3 classification of bases

このようにそれぞれの基地はその場所、形状、可動性によって18種類に分類することができてそれらを各国で年代ごとにまとめると次の表のようになる。(表5.1.4)

Chart.5.1.4 classification of bases



この図より1955年~1975年頃までは防雪壁が無く通常の建物を寒冷地用に強化した基地を建設していたが、それ以降円筒型やドーム型の防雪壁を持つ基地や地下に建設された基地などの様々な工夫を行い、イギリスが高床式の基地を建設した後は防雪壁が無くなりそれぞれの基地が高床式に建設されたのがわかる。

またこれらを廃棄理由と使用年数(現在使用されている基地は予測耐用年数を記述している)によって分類したのが次の表である。(表5.1.5)

Chart.5.1.5 classification of bases

基地	基地の種類	使用年数	廃棄理由
Amundsen-Scott I		17	積雪による圧壊
Amundsen-Scott II		28	積雪による基礎変形
Amundsen-Scott III		(25~)	
Neumayer I		10	積雪による圧壊
Neumayer II		16	積雪による圧壊
Neumayer III		(25~30)	
Halley I		10	積雪による圧壊
Halley II		6	積雪による圧壊
Halley III		9	積雪による圧壊
Halley IV		8	積雪による圧壊
Halley V		20	棚氷の移動
Halley VI		(20~)	

この図の使用年数という部分に注目するとアメリカとドイツは基地を建て替えるごとに基地の使用年数は伸びており新基地の建設には成功している一方で、イギリスはI~IVまでは各基地で約10年ほどしか使用できておらず高床式を採用してようやく建て替えまでの時間を伸ばすことに成功したことがわかる。

また基地を地上に建設しようが地下に建設しようがすぐに雪溜まりによって基地は雪に埋もれてしまうのでそこまで耐久性に違いは無いように思われる。

廃棄理由に注目するとHalley Vを除いて全ての基地が積雪によって基地が廃棄されており積雪がいかに対処が難しく基地を破壊してしまうかがよくわかる。高床式の基地を建設することによって積雪による基地への影響はほとんどなくなるためこれからはかなり長い間基地を維持することができるようになるであろう。

またドイツの基地はイギリスの基地と同様に移動する棚氷の上に存在しておりいずれ外洋に放り出されてしまうので今後基地を建てる際は移動式のものに建て替えられるだろう。

Halley VIが建設されるまでは基地は雪面に建設され移動などはせず主な機能を持った部 分は1つの建物にまとめられていたが、Halley VIは高床式かつ牽引により移動ができる上に基地の機能を分割しモジュールごとに各々を独立した建物として機能させたことによって積雪の問題や基地が移動してしまう問題さらに火災の延焼という問題も解決することができた。

5.2. 基地の設計者と建設者の分析

アメリカ、ドイツ、イギリスの各基地を設計、建設したものについて比較をした。(表5.2.1)(表5.2.2)

Chart.5.2.1 Designer

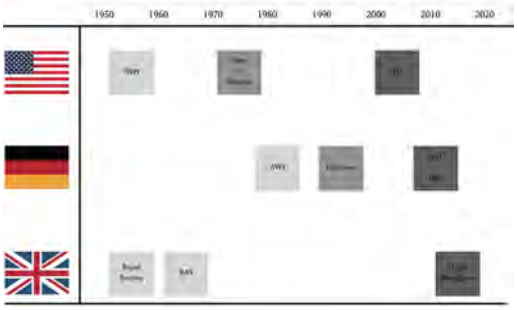
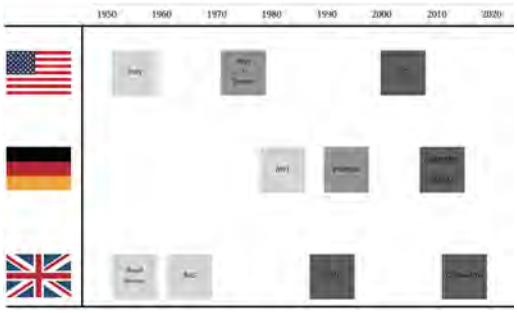


Chart.5.2.2 Builder



この表は薄い灰色の四角は国の機関が行ったことを示し濃い灰色の四角は民間の機関が行ったことを示しその中間の濃さの四角は国の機関と民間の機関が協力して行ったことを示している。

上の表よりどの国も最初の基地の設計・建設は国が行い段々と民間にその役割を引き継いだのが読み取れる。

イギリスの最新の基地の設計は設計案を一般募集しコンペで競い合い決定した。今回取り上げた基地でそのような方法で設計者を決定したのは唯一このHalley VIのみであり今までのものとは違いデザイン性に優れたものが出来上がった。

5.3. 各国の基地運営の分析

アメリカのAmundsen-Scott stationはIGYという国際的な地球観測期間が終了してから1973年までは一部アメリカ海軍が管理していたがその後NSF(アメリカ国立科学財団)が管理するようになり今日まで続いている。

ドイツのNeumayer stationは開業当初からAWIが管理しそれが今日まで続いている。

イギリスのHalley stationはIGYが終了してからはBAS(イギリス南極観測局、改名前はFIDS)が今日まで管理を続けている。

このNSF、AWI、BASというのはそれぞれアメリカ、ドイツ、イギリスの研究支援機関である。

NSFはアメリカ政府の議会の承認を得て予算を獲得しそれらを各研究者や研究機関に分配している。NSFに与えられる予算は毎年約8000億円ほどでありそのうち300億円ほどが南極に関する事業をまとめるUnited States Antarctic Program(USAP)に提供されその予算の一部を運営に当てている。基地建設などの際はNSFが直接工事を行う業者と契約して行っている。

AWI(アルフレッド・ウェゲナー研究所)はドイツの研究機関でありHelmholtz Association(HA)というドイツ最大の科学機関の一部に属している。このHelmholtz Associationに与えられる予算は約6000億円ほどでありこの2/3は政府が拠出している。このうちAWIに与えられる予算は100億円ほどでありそれらを基地の運営に当てている。

BASはイギリスの研究支援を行うNatural Environment Research Council(NERC)という機関から毎年約70億円の予算を獲得しその予算の一部を基地の運営に当てている。このNERCという機関は英国が科学の分野で世界有数の地位を確立することを目的としていてイギリスの行政機関であるDepartment for Business and Industrial Strategy(BEIS)から毎年約500億円が与えられている。

以上3つの南極での活動の支援機関のお金の流れについて次の図に表す。（図5.3.1）

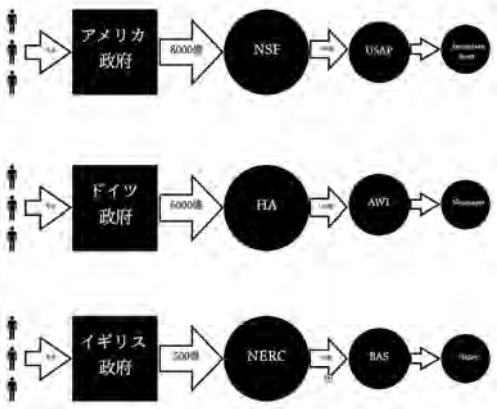


Fig.5.3.1 flow of money for Antarctic aid

上図から基地管理の予算はほとんど税金から拠出されているというのがわかる。

またやはり予算の規模はアメリカ、ドイツ、イギリスの順になっているのがわかる。現在利用されている基地の越冬者の数もアメリカが50人、ドイツが10人、イギリスが10人というように各国が南極支援する額が大きいほど越冬者の数も増やすことができてより良い研究を行うことができる。

6. 南極基地建設の展望

本章におけるこれまでの検討をふまえると、今後の基地は高床式かつ可動式で1つ1つが独立したモジュールが集合した基地ができるものと思われる。

高床式にすることでこれまで最大の問題であった積雪による老朽化を防ぐことができる。可動式にすると氷の移動による弊害にも対応することができる上に長期間の基地の重みにより地盤が沈んでしまうというAmundsen-Scott IIで発生した問題にも対応することができる。またモジュールが集合した基地にすることで新たな施設が必要になった際は既存の基地に新しいモジュールを追加するだけで導入できる上に徐々にモジュールの基地を建てて建設の時期をずらすことで建て替えのタイミングも被らないようにすることができ建設期間に急激に基地の人口を増やすことなく安定して基地の拡大が可能である。また延焼などの可能性を減らすことができる。

また基地の設計、建設は民間企業が担うことが主流になると思われる。5.2に記述してあるように初めは基地を運営している国の団体が設計、建設を行っていたが2000年付近から徐々に民間企業と契約し基地の設計や建設を委託するという方式を採用していてこのようにすることで幅広いデザインを取り入れるとともに民間企業が建設業務を行うことで普段のノウハウを用いて工事を効率よく進めることができるようになる。

現在南極で活動するのは主に科学者であり観測や実験を行っているが、近年南極の観光という新たなニーズが高まっていてそこに民間企業の参入する余地があるのではないかと思う。民間企業の運営する観光用南極基地というものも近い将来できるであろう。

7. 結言

本研究の目的は各国が南極においてどのような基地を建設しどのような工夫をして建設したかを調査し今後南極に人類の居住地を作る上での知見を得るため、どのような方法が有効であるのかを施工の観点だけでなく政治の観点からも検討することであった。そのため第2章でアメリカのAmundsen-Scott station、第3章でドイツのNeumayer station、第4章でイギリスのHalley stationについて調査し、第5章でそれらを横断的に分析し、得られた知見から第6章で南極でどのように人類が基地を作り進出していくのかを提案した。

第5章で得た知見及び提案の内容についてまとめる。

・南極の基地は雪の影響を少なくするために高床式の建物が建てられておりモジュールを集合させた基地が非常に画期的でありこれから多く取り入れられるであろう。また施設は国の機関が所有しているが設計や建設は民間企業に委託することが近年増えている。

本研究では資料集めに非常に苦労し実際イギリスの基地に関する情報などはイギリス本 国の図書館に所蔵されているため閲覧することができずいくつか調べきれていない部分がある。また基地の詳細な図面や材料に関しては国家機密となっており専門機関に問い合わせても情報が得られなかったのでその部分は今後の課題である。

文　献

(1) Antarctic Photo Library-Images of Antarctica: https://photolibrary.usap.gov/#1-1(参照日 2020年12月7日)

(2) Polarforschung 76 (1-2), 47 – 57, 2006 (erschienen 2007): https://epic.awi.de/id/eprint/28578/1/ Polarforsch2006_1-2_5.pdf(参照日 2021年1月7日)

(3) Polarforschung 76 (1-2), 59 – 85, 2006 (erschienen 2007): https://epic.awi.de/id/eprint/28579/1/ Polarforsch2006_1-2_6.pdf(参照日 2021年1月8日)

(4) AWI-Alfred-Wegener-Institute: https://www.awi.de/en/expedition/stations/neumayer-station-iii/construction-of-neumayer-station-iii.html(参照日 2021年1月5日)

(5) History of Halley (Station Z)-British Antarctic Survey: https://www.bas.ac.uk/about/about-bas/history/british-research-stations-and-refuges/halley-z/(参照日 2021年1月12日)

(6) History of Halley (Station Z)-British Antarctic Survey: https://www.bas.ac.uk/about/about-bas/history/british-research-stations-and-refuges/halley-z/(参照日 2021年1月12日)

(7) Hugh Broughton Architects: https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/(参照日 2021年1月19日)

(8) New York G. P. PUTNAM'S SONS: Paul Siple 90°SOUTH p194-195 1959

(9) Master Plan for the South Pole Redevelopment Project-Ferraro Choi: https://ferrarochoi.com/publications/master-plan-for-the-south-pole-redevelopment- project/(参照日 2020年12月19日)

(10) NM III Hydraulik-YouTube: https://www.awi.de/en/expedition/stations/neumayer-station-iii/construction-of- neumayer-station-iii.html(2021/1/10閲覧)

(11) Ruth Slavid: Ice Station Park Staion PARK BOOKS 2015

3D プリント（付加製造技術）によるジョイントを用いたセルフビルド建築の開発プロセス

Development Process of Self Built Architectural Prototype with Additive Manufactured Joints

○山口大翔（東京大学大学院工学系研究科）*1　今井公太郎（東京大学生産技術研究所）*2
伊東優（東京大学生産技術研究所）*3　国枝歓（東京大学生産技術研究所）*4　福島佳浩（東京大学大学院工学系研究科）*5

*1 Hiroto Yamaguchi, Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, 113-8656, h-yamaguchi@g.ecc.u-tokyo.ac.jp
*2 Kotaro Imai, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Cw-701 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, 153-8505, kotaro@iis.u-tokyo.ac.jp
*3 Yu Ito, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Cw-701 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, 153-8505, yuito@iis.u-tokyo.ac.jp
*4 Kan Kunieda, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Cw-701 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, 153-8505, kunieda@iis.u-tokyo.ac.jp
*5 Yoshihiro Fukushima, Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, 113-8656, fukushima@arch1.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:付加製造技術，3D プリント，プロトタイピング

1. 目的と位置づけ

1.1. 目的

本研究の目的は 3D プリント技術を建築のジョイントに活用することで，建築形状を自由にカスタマイズ可能な建築システムを構築することである．

1.2. 位置づけ

近年，実用化が急速に進んでいる 3D プリント技術（付加製造技術）は建築の分野で注目を集めている．第一に 3D プリンタの造形の自由度を生かして，建築に求められる多様な要求を個別に叶えることが期待されている．第二に 3D プリントは建設作業の自動化を推し進める．先進諸国では職人の高齢化による建設作業の人材不足が深刻であり，途上国や災害地では素早く住環境を構築できる手段が求められている．

3D プリント技術を用いた建築の研究や実践は欧米で数例見られ，以下の 3 つのタイプに分けられる．

■大型の 3D プリンタからセメント系の材料を射出して住宅全体を製造するもの(1)．
■現場では製作できない複雑な部材を 3D プリンタから製造して建築物に当てはめるもの(2)．
■月面など極限環境にて 3D プリンタから建設資材を製造し建設を行うもの(3)．

しかし，いずれも大型の 3D プリンタを現場で稼働させる必要があり，都市部の矮小敷地や重機が入らない災害地では運用に難点がある．

本研究では既往の事例のように 3D プリンタで建築物全体を造形することは考えていない．3D プリント技術によって特殊な形状を作る部分と部材の標準化を行う部分とを分割し，これらをハイブリッドに組み合わせることで，形状の自由度を高めながら建築費のコストダウンを図る．建築において情報が集中し，立体的で複雑になる部品はジョイントであり，高度な加工技術を要する．本研究の着眼点は，ジョイントに 3D プリント技術を適用することによって，どこまで建築の単純化を図ることが可能かという点である．そして，大掛かりな機械を必要とせず，素人でもセルフビルド可能な建築システムの完成を目指す．

本研究の最初のモックアップは 2018 年に完成した(4)．その後，SUTD の研究グループが 2019 年に 3D プリントされたスチール製ジョイントによる実験的パビリオンを世界で初めて建造している(5)．2021 年に本研究のプロトタイプの初号機が完成し，アルミニウムの 3D プリントジョイントを用いた世界で最初の建築になった(6)。

2. 幾何学システム

本研究では以下の条件に基づいて考案された新しい幾何学システムを建築の構造体に適用している(7)．

■3D プリントされたジョイントの形状を変更するだけで建築形態の変更や拡張が可能であること．
■ジョイントを除く大部分の部材を標準化すること．移築や増築の際にそれらの部材は転用可能で，環境性と経済性に優れたシステムであること．

本幾何学システムは構造体のモジュールを底面が正三角形の正四面枠体（TETRA），正方形の正四角錐枠体（PENTA），正五角形の正五角錐枠体（HEXA）の 3 つの正多角錐枠体[注1]に定めたものである（図 1）．このうち幾何学が拘束されない PENTA と HEXA のフレームを変形させて組み合わせることで，全ての辺長が同じでありながらも多様な形態を生み出すことができる．頂点のジョイント部に取り付けられるフレームの角度は一定ではないため，ジョイントは 3D プリンタで製造することを前提にしている（図 2）．

本幾何学システムは頂点をあらゆる角度に回転可能な接点と考えると 3 次元のリンケージである．リンケージは線

の繋ぎ方を定義した抽象的な概念であり，空間上に現れる具体的な形状は無数のバリエーションが想定される．形状決定には地面との接地条件，面積規模，部材間の干渉，空間の広がりや分布等の条件を付与することで要望に適した建築形状を検討することができる．

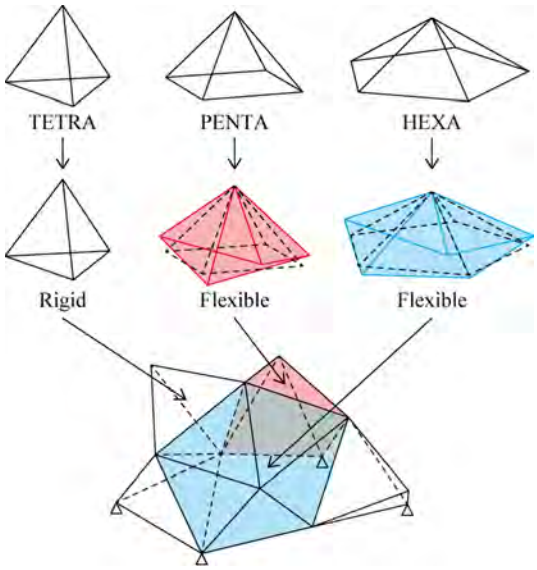


Fig 1. An example of a space frame with combination of regular polygonal pyramidal frames. By combining TETRA, which has a fixed geometry, with the flexible PENTA and HEXA, a variety of forms can be created.

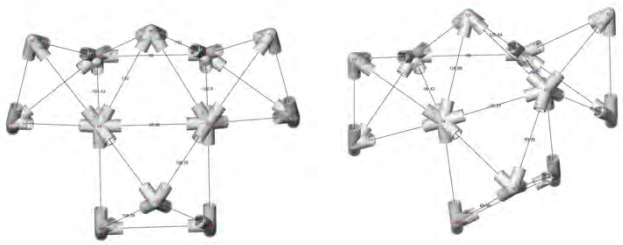


Fig 2. 3DCAD list of joints. Joints are modeled by the program following the deformation of line data.

3. ジョイントシステム・外壁システム

プロトタイプは主に 3D プリンタで製造される特殊な形状のジョイントと標準化された外壁システムで構成される．3D プリント技術を用いた建築の設計過程の中で特徴的な点は設計者が同時に製造者になることである．設計，製造，施工の各工程は横断的になり，プロトタイピングを繰り返すことで，その都度発見される問題を解決しながら試作品を発展させることができる．

本研究では「モックアップ」,「プロトタイプ フェーズ 0」,「プロトタイプ フェーズ 1」の 3 つの段階に分けて試作品を作成している．各段階で取り組む課題は変遷しており，モックアップでは建築形状の検討手法，プロトタイプフェーズ 0 ではジョイントシステム，プロトタイプフェーズ 1 では外壁システムの実効性を確かめることが主な目的である．各段階の実験結果を時系列に沿って報告する．

3.1. モックアップ：形状の検討手法

本モックアップは 2018 年に国立新美術館で開催された東京大学生産技術研究所 70 周年記念展示「もしかする未来 工学×デザイン」[4]に際して製作され，幾何学システムの有効性と建築形状の検討を確認することを目的にしている（図 3）．

建築形状は 3DCAD と連動するアルゴリズムを作成することで検討し，ジョイントの設計は形状に即して自動的に行われた（図 4）．モックアップは樹脂製の 3D プリントされたジョイントとアルミニウムパイプを組み合わせて作成され，住宅としての機能を想定した平面計画とした．



Fig 3. Mock-up (scale: 1/2) displayed at the National Art Center, Tokyo in 2018. It was created by combining 3D printed resin joints and aluminum pipes.

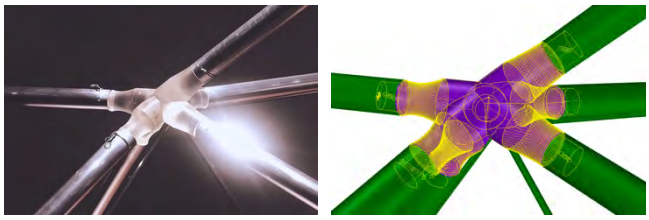


Fig 4. Detail photo of the joint and capture of the tool used to automatically design it.

3.2. プロトタイプ フェーズ 0：ジョイントシステム

プロトタイプフェーズ 0 は 2020 年 10 月にかけて製作された．フェーズ 0 は実寸大のプロトタイプを建造するにあたって，金属 3D プリンタを用いたジョイントシステムの完成を目的にしている（図 5）．

ジョイントの製造にはアルミ合金の金属粉末をレーザー焼結させて造形を行う 3D プリンタ[注2]を用いた（図 6）．使用した金属 3D プリンタは粉末焼結積層造形方式（DMLS）で，構造的には積層方向の異方性が存在する可能性が考えられた．そのため，積層面に対する出力角度をパラメタとして材料引張試験を行った．また，3D プリンタは現状では切削加工と比べると精度が劣るため，接合形式は嵌合接合とした．接合部の圧縮実験，引張実験，曲げ実験を行ったところ，スリップやひずみの偏分布の影響は小さく，十分な加工精度が得られていることが確認された（図 7）．ジョイントの形状は構造的条件以外に外装材の一部として止水性やガスケットの納まり等の施工性を考慮して設計された．



Fig 5. Prototype Phase 0 at Kashiwa Campus, the University of Tokyo.



Fig 6. The joint 3D printed with aluminum alloy powder. The surface is engraved with the joints number and the numbers of other joints to be connected through the pipe. The angles of the components attached to the joints are individually variable. (This photos show the joints used in Phase 1.)

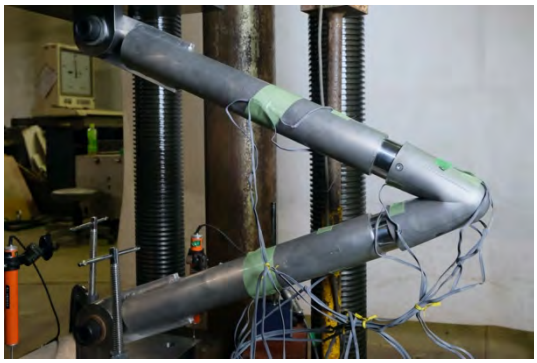


Fig 7. Bending experiments at the joint. Experiments were carried out on a specimen of a joint with a central angle of 60° under a bending moment.

3.3. プロトタイプ フェーズ 1：外壁システム

プロトタイプフェーズ 1 は 2021 年 5 月にかけて製作された．フェーズ 1 は東京大学柏キャンパスの屋外に一定期間設置されたもので，外壁システムの完成と施工性の確認を目的にしている（図 8）．

外壁パネルはフレームに対して真壁の位置に取り付けられ，パネルの周部にはパッキンをまわすことによって乾式で止水性を確保した．フレームの角錐面（側面）はすべて正三角形であるため，フレームやパネル等は標準化される．増減築や移築の際にはこれらの部材を転用しつつ，ジョイントの交換のみで全体の建築形状を変更することが可能である（図 9）．

また，アマチュア（主に研究室のメンバー）によるセルフビルドの施工性に配慮して，ジョイント，フレーム，外壁パネルはアルミニウムの軽量な構造で構成した．人がひとりでも持ち運びできるように頂点間長さ 3,300mm のフレームに対して，アルミパイプは中間をサブジョイントで継いで 2 分割した．外壁パネルは 1 面が 4 分割され，1 枚あたり 10〜15kg と軽量である（図 10）．パネルの種類はアルミパネル，不透明ポリカパネル，透明ポリカパネルの 3 種類があり，これらを組み合わせることで内部空間に変化を与えた（図 11）．



Fig 8. Prototype Phase 1 at Kashiwa Campus.

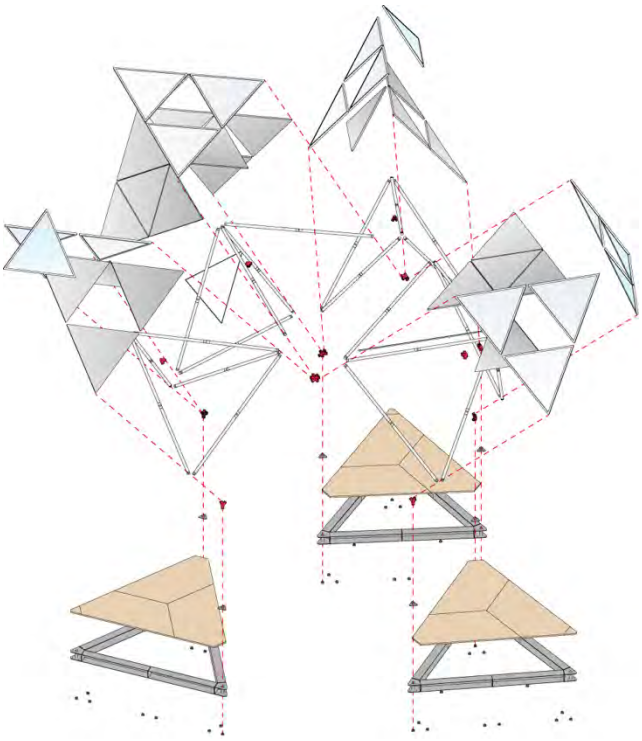


Fig 9. Composition of the prototype. Joints and pipes, exterior wall panels, and steel foundation are all assembled in the dry process.



Fig 10. A) Installation of the steel parts of the foundation take about 2 hours to complete. B) Join the aluminum pipes. The entire frame assembly takes about 4 hours to complete. C) Each exterior wall panel is lightweight (10~15kg). All exterior wall panel installations take about 6 hours to complete. D) Floor and bench panels installed on foundation. Disassembly can be done in one day.

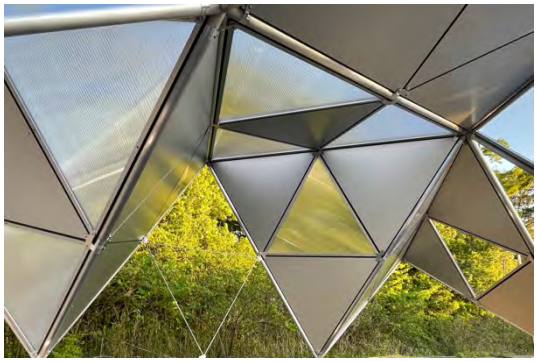


Fig 11. Exterior wall panels with three variations in material.

4. 期待される効果

本研究では幾何学，力学，構法，製造等のさまざまな側面における役物の機能が 3D プリントされるジョイントに集約されている．建築の複雑性を一部に集約させることは逆説的に他の部分を単純化させることを可能にする．こうした特徴から，本研究では従来の 3D プリント建築にみられる建設の自動化と高速化，人件費の削減，形状の高い自由度といった利点の他に，以下の効果が期待される．

■変化に追随可能な建築

本研究で提案するシステムは周辺敷地，所有者，テナントの状況に応じた土地や建築の仕様，規模に応じて建築形態を変更することが容易で，要件に変更が生じた場合でも大部分の部材は再利用できる．従って，竣工後に修正が効かない従来の建築と比してリスクマネジメントの考え方が刷新される．例えば，事業主を想定したユーザーに対しては試験的な事業への参入障壁を押し下げる．期間を限定した出店やこれまでハードルの高かった地方での新規事業展開の活性化が期待される．

また，建築形状の変形に際しては大部分の部材が互換性を持つことに加えて，これらは全て乾式で組み立てられるため，建築廃材が発生しない．これは，循環型社会や脱炭素社会における建築のひとつのモデルになる．

■一般のユーザーが参加可能な技術的に開かれた建築

現代の建築は構法や環境性能の高度化に伴って，各所に他種多様な役物が用いられるようになった．これらの役物が建築技術を細分化させ，一般人の建築行為の参加を困難にさせている．一方で，人々のライフスタイルが多様化する現代において，ボトムアップに発見される個々の要求の重要性は増している．建築の特別な知識を持たないユーザーも建築行為に参加することが可能になれば，こうした個々のニーズに応じた建築をユーザーの手で実現させることが可能であり，3D プリントはそれを技術的に可能にする．

5. まとめ

本稿では 3D プリント技術をジョイントに用いたセルフビルド建築の開発プロセスを報告した．実際のモデルを早期に製作し，検証を重ねるプロトタイピングの手法は従来の建築ではコスト面やスケジュール面で実行が難しかった．しかし，3D プリント技術の普及によって，このような設計手法が建築の分野にも今後広がることが期待できる．

次なるプロトタイプフェーズ 2 の進展としては空間の内部化（室内化）を行うことを考えている．具体的には図 12 のように正三角形の外壁パネルがはまらない立ち上がりの部分の構成や床面の検討が必要である．これらの課題には引き続き研究を重ねて取り組んでいく．



Fig 12. Study of an irregular exterior wall that is not covered by an equilateral triangle. This wooden counter is designed with the assumption that food and drink would be served at the stall.

謝辞

本研究の一部はゼンショーホールディングスとの共同研究ならびに JSPS 科研費基盤研究(B)19H02312 の助成を受けたものです．

文　献

(1) Apis Cor, we print buildings, 2016, https://www.apis-cor.com/, Accessed date: 4 June 2021.
(2) Institute for Advanced Architecture of Catalonia, 3D printed bridge, 14 December 2016, https://iaac.net/project/3d-printed-bridge/, Accessed date: 4 June 2021.
(3) Foster + Partners, Lunar Habitation, 2012,

https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation/, Accessed date: 4 June 2021.
(4) 東京大学生産技術研究所 70 周年記念展示「もしかする未来 工学×デザイン」, 国立新美術館, 2018 年 12 月 1 日 ～ 12 月 9 日 , https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/event/moshikasuru/, Accessed date: 4 June 2021.
(5) AIRLAB, Singapore University of Technology and Design, AirMesh, 19 December 2019, https://airlab.sutd.edu.sg/2019/12/19/airmesh/, Accessed date: 4 June 2021.
(6) 東京大学生産技術研究所今井研究室, ゼンショーホールディングス, PENTA-HARD, 新建築 2021 年 6 月号, pp.154-161, 2021.6
(7) 今井公太郎, 国枝歓, 伊東優, 山口大翔, 建築構造物, 構造物構築システム, 及び建築構造物の構築方法, 特開 2020-66951(P2020-66951A), 2020.4

注　釈

注 1 全ての辺長が等しい正多角錐は正四面体, 正四角錐, 正五角錐の 3 つに限られる. 底面が正六角形以上の場合は正多角錐の立体にならない.

注 2 3D プリントジョイント出力装置 EOS M290. 金属粉末 AlSi10Mg.

デザイン思考による豪雨警戒防災システムのデザイン開発

住宅地、学校などの豪雨災害（社会課題）の複雑な要因を
デザイン思考で分析、システム～情報発信まで総合的にデザイン

Design development of heavy rain warning and disaster prevention system by design thinking

Complex factors of heavy rain disasters (social issues) in residential areas, schools, etc.
Comprehensive design from analysis, system to information transmission by design thinking.

○森　豊史（東京都立産業技術研究センター）*1
アルバレス・ハイメ（拓殖大学工学部デザイン学科）*2

*1 Toyoshi MORI, , Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute,
2-4-10, Aomi, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, moritoyoshi@gmail.com
*2 Jaime Alvarez, Takushoku University, School of Engineering, Department of Design,
815-1 Tatemachi, Hachioji-shi, Tokyo, Zip 193-0985, a-jaime@id.takushoku-u.ac.jp

キーワード:デザイン思考, 防災, デザインケーススタディ

1. 緒　　言

近年，豪雨災害が多発しており，住宅地などの生活空間に被害が拡大している．本来は，治水事業がもっとも有効な対策であるが,膨大な時間と費用が必要である.しかし，災害は現在も増加しており，直近の災害に対応する方法や製品を早急に開発する必要に迫られている．すでに行政側も防災製品への開発助成金なども増加しており，多くの企業が参入を計画している．

しかし，防災製品に求められる仕様策定においては，行政側も企業側も，情報もノウハウも経験が不足しており，エンドユーザー（生活者，被災者）にとって必要なサービスや機能を特定することが困難な状況である．このような課題に対して，一部の行政では「デザイン思考」を導入，情報発信の最適化や避難の迅速化に向けた行動設計の検討などへの活用が始まっている．

東京都立産業技術研究センターデザイン担当の森は，多くの企業にデザイン経営・デザイン思考の実装を進めてきた．また，少人数・短時間で実行可能な，最小限のデザイン思考ワークショップ手法「ミニマムシンキング」をケーススタディ開発，企業での事業化実績が増えている．

昨今，防災製品の開発に参入を希望する企業も増加しており，その１社であるフィード工業からの要望に応えて，デザイン思考「ミニマムシンキング」ワークショップを導入，豪雨災害対策製品の構想設計～プロトタイプ開発を共同研究にて行なった事例をここに報告する．

2. 研究の概要

本開発では，早期の治水事業が期待できない住宅地や学校，公共施設などを対象として，都市水害の早期検出・増水予測から，クラウドによる情報解析，生活者への情報発信までをワンパッケージにてシステム設計．長期間の実正実験から改良を重ね製品版のデザインを開発した．

2.1. 基礎調査
近年の大規模な水害の気象記録や現地の地形特性について調査を行い，住宅地における時系列モデルを作成．

2.2. デザイン思考ワークショップ
都民を対象に，水害の時系列モデルを用いてデザイン思考ワークショップを実施．行動シナリオを作成．

2.3. 定量化：単語マイニングから設計条件を抽出
ワークショップ時に得られた発話データ，記述マッピング等から単語を抽出．行動シナリオから設計条件を抽出．

2.4. 設計条件から，豪雨警戒システムを構想設計
住宅地水害（内水氾濫）の増水モデル検討から，雨水排水路に適した計測センサー，災害情報発信モデルを設計．

2.5. MR モデルによるデザイン検証
都民の意見から，センサーと情報発信装置を一体化した５G スマートポールの 3D モデル作成．MR で現地検証．

2.6. プロトタイプによる実証実験
実際に稼働するプロトタイプを制作．拓殖大学キャンパスにて１年半の長期実証実験を実施．気象データを収集．

2.7. 製品化に向けたデザイン改良
実証実験でのトラブル発生→改良の経験をもとに，製品版プロダクトデザインとしてブラッシュアップ．

3. ①基礎調査

近年多発している豪雨災害について気象面，被災状況などの基礎調査を実施．広島の被災地は現地調査を行い，住宅地における被災の時系列モデルを作成した．

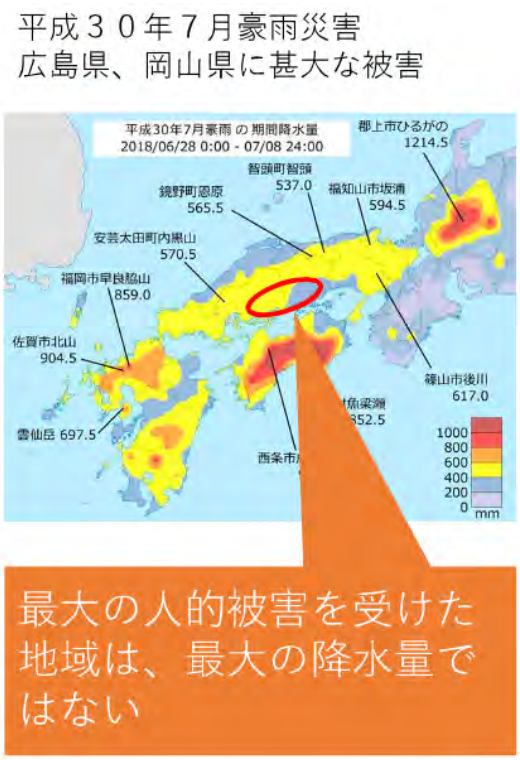


Fig.1　Precipitation analysis of heavy rains in western Japan.

	府県	総降雨量
1	高知県安芸郡馬路村魚梁瀬	1,852.5 mm
2	徳島県那賀町木頭	1,365.5 mm
3	岐阜県郡上市ひるがの	1,214.5 mm
4	長野県王滝村御嶽山	1,111.5 mm
	—	—
	広島県山県郡安芸太田町内黒山	570.5 mm
	岡山県苫田郡鏡野町恩原	565.5 mm

	都道府県	死者・行方不明者数
1	広島県	１１４人
2	岡山県	６４人
3	愛媛県	２７人

	都道府県	住宅被害（全半壊・浸水家屋）
1	広島県	およそ38,000棟以上
2	岡山県	およそ14,000棟以上

※気象庁　平成３０年７月１３日　報道発表より抜粋

Fig.2　Precipitation and number of victims.

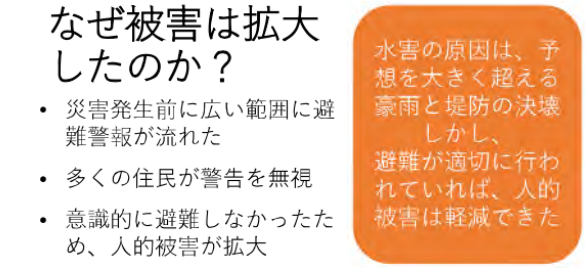


Fig.3　Analysis of the cause of damage expansion.



Fig.4　Example of normalcy bias.

4. ②デザイン思考ワークショップ

東京都にて開発した企業向けのコンパクトな時短デザイン思考プロセス「ミニマムシンキング」を用いて，都民の参加により防災の行動シナリオを作成．ミニマムシンキングでは，事前に時系列モデルを用意し，現実に起こった災害を追体験しながら，被災時の行動についてリアルに検討を行い，行動マッピング，行動シナリオを作成する．



Fig.5　Design thinking workshop.

5. ③定量化：単語マイニングから設計条件を抽出

都民を対象としたデザイン思考ワークショップを実施．その実施中の参加者の発話音声記録から単語の頻出度を定量化．出現頻度の高いキーワードとワークショップにて作成された行動マッピングの行動シナリオを整合した．

抽出された行動シナリオは，再度参加者にアンケートを行い，重要度を確認した．

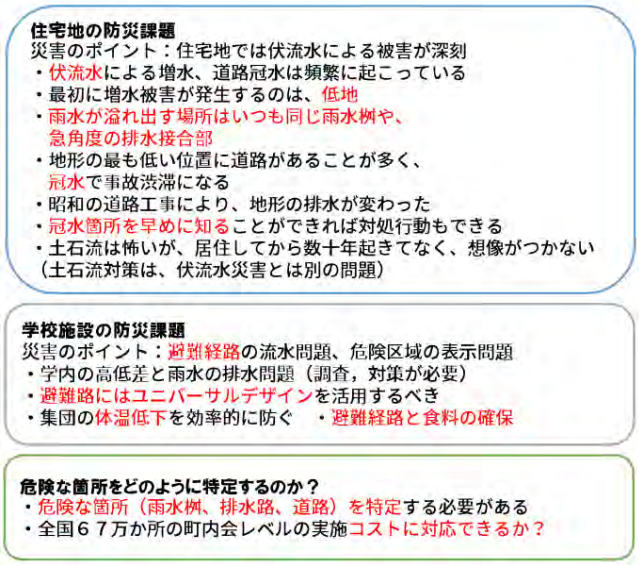


Fig.6　Extracted disaster prevention issues.

こうして整理された行動シナリオからは住宅地に潜在する「伏流水」問題が明らかになった．また，雨水のオーバーフロウに関する関心が高いことから，雨水排水路を警戒対象と定めた．

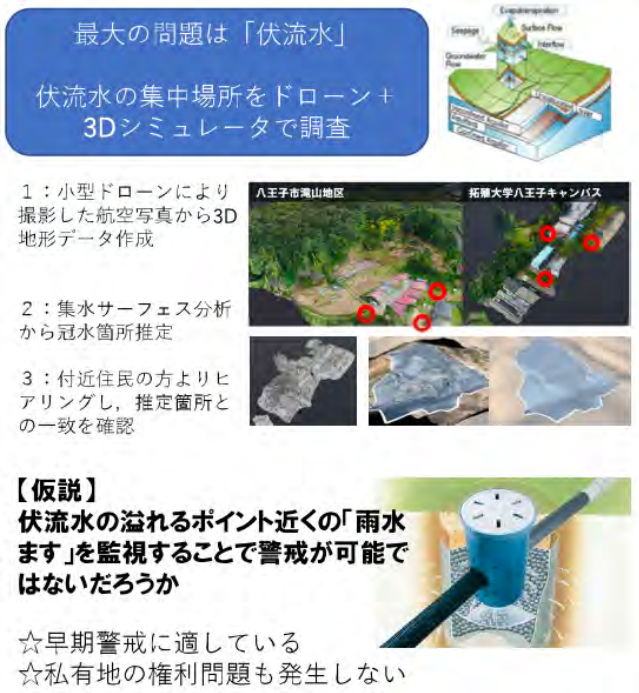


Fig.7　3D simulation and hypothesis design for underground water disasters.

6. ④設計条件から，豪雨警戒システムを構想設計

このフェーズでは，設計条件の具体化を行なった．また，得られた設計条件について，詳細な現地調査との照らし合わせ・住民評価を行うことでその精度を高めている．

公共のデザインとして，都民の要望も丁寧にヒアリングを行い，潜在要望を反映させた．

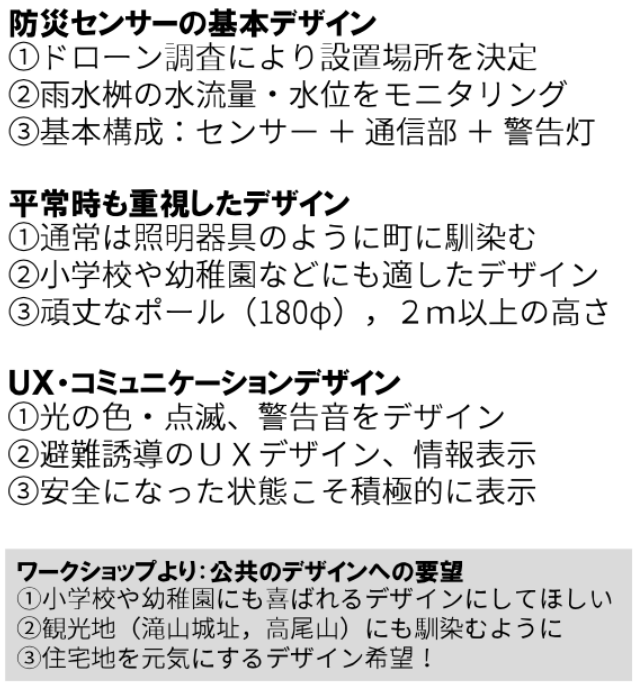


Fig.8　Conditions for concept design.

設計条件（言葉）をもとに構想設計（形状）に移行

- 都民要望に基づいた 5G スマートポール化
- 検出地点の情報を，現地で即時に表示可能
- 住宅地に無理なく設置可能な寸法と形状



Fig.9　Concept design.

7. ⑤MR モデルによるデザイン検証

3D-CAD モデルを MR（複合現実）装置により，原寸大で仮想検証．大型のモデルのため，実際に製作する前に，仮想モデルにて視認性，形状などを検証した．室内での検証のほか，住宅地での検証も実施し，アンケートにより最適な形状，グラフィックスを検討した．



Fig.10　Design simulation using mixed reality.



Fig.11　Design verification by virtual model.



Fig.12　Design verification by mockup.

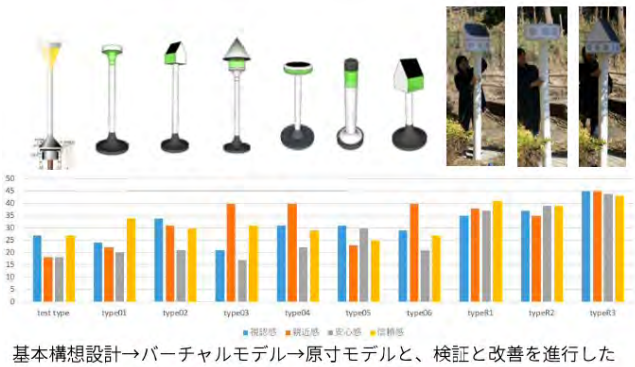


Fig.13　Design verification summary (excerpt version).

8. ⑥プロトタイプによる実証実験

実際に稼働するプロトタイプを作成．拓殖大学八王子キャンパス内に実際に存在する土砂災害警戒区域の雨水排水路にて，長期間の実証実験を実施した．

【期間】令和元年 5 月～現在

２年以上の期間，気象と水位変動のデータを収集．



Fig.14　Prototype configuration.

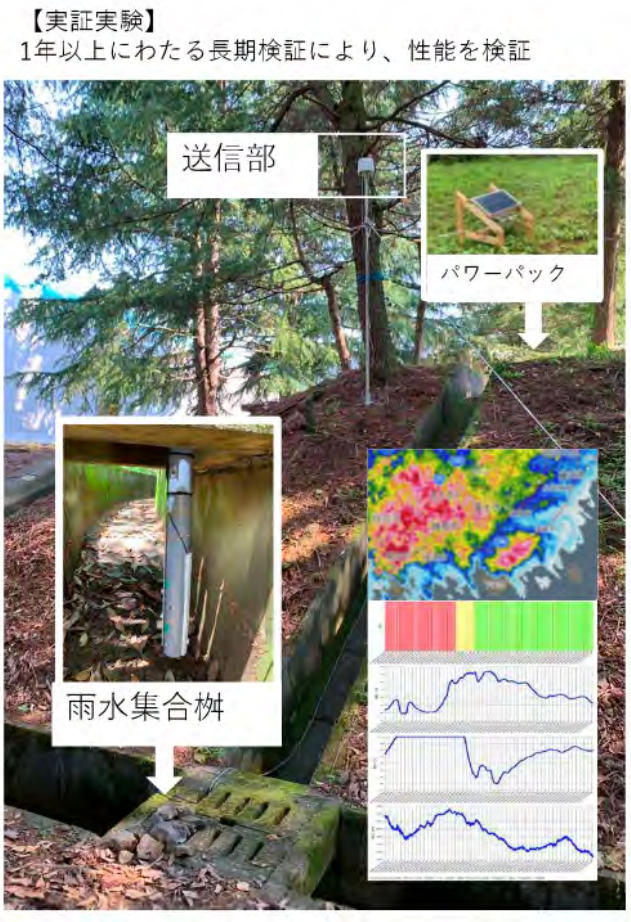


Fig.15　Prototype installation.

9. ⑦製品化に向けたデザイン改良

２年の長期間にわたる実証実験では，厳しい自然環境下での耐候性能，虫の侵入防止，積雪対策，ソーラーパネル＋バッテリーの保全など様々なトラブルが発生した．そのトラブルに対して，ひとつひとつ対策を重ねることで，プロダクトデザインの完成度を向上させている．



アンテナカバーAM試作

Fig.16　Design model: 5G antenna + CPU unit



センサーカバーCADモデル（※展示会用）

Fig.17　Design model: Water level detection sensor (cover)



ジョイントカバーAM試作

Fig.18　Design model: Water level detection sensor (joint)

10. まとめ

防災製品，特に公共性の高い気象情報・豪雨情報などをピンポイントに収集するセンサー装置を開発するにあたり，デザイン思考を活用し，都民の要望に応える，民主的なデザイン開発のケーススタディを行なった報告である．

仕様書等が何も無い状態からのスタートであり，現実の災害をもとに，多くの都民の参加によるデザイン思考ワークショップで，必要な仕様をまとめて行った．この過程では，開発のスタート時には予想もしていなかった課題の発見（伏流水問題，避難できない事情など）と潜在ニーズ（センサー設置場所でのリアルタイム情報発信，5G スマートポール化，安全になった状況の迅速な情報発信など）を発見することができた．

最終形状についても，都民から求められるカタチ，であるだけでなく，実証実験を通じて検証された機能の実装や，自然環境への対応など，複雑かつ膨大な量のフィードバックを反映したプロダクトデザインとすることができた．

現在，本研究は事業化フェーズに移行しており，国の機関によるリアル環境での実証実権，大企業による製品化に向けた動きなどが進展している．

以上

住商混在地域におけるリノベーション建物の立地特性とその集積実態に関する研究

—神戸トアウエストを事例として—

Study on the location characteristics and the accumulation of the renovated buildings in mixed residential and commercial areas

Case study on Tor-west district in Kobe

○楠橋請ノ助(神戸大学大学院) *1　　栗山尚子(神戸大学大学院) *2

*1 SHINNOSUKE Kusubashi, Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo, 657-8501, k.s.19950501@gmail.com

*2 KURTYAMA Naoko, Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo, 657-8501, kuri@kobe-u.ac.jp

キーワード:リノベーション，立地特性，集積実態，外観調査 ，路線価

1. 研究の背景・目的・方法

近年日本の都市空間では，建物の高層化や大型化，店舗の集合化道路幅員の拡大といった合理的な都市計画に基づいた都市開発が行われてきた．しかしこのような都市の更新では，既存のヒューマンスケールなまちの魅力を減少させることにもつながるという懸念がある．一方，今日では建物のリノベーションによる商業用途としての活用が増加している．経済活動であるこのようなリノベーションでは，相対的に地価が低い裏通りの建物などを活用することが多く，個人経営の店舗など，街に新たな個性をもたらす例も見られる．こうしたリノベーションによる更新は，既存の建物や環境を維持しながら個性豊かな住商混在地域を形成し，その集積は地域活性化の可能性を持っていると考える．

そこで建物リノベーションがもたらす街の魅力や価値向上の可能性を論じるため，本稿では，リノベーション建物の集積における立地特性とその集積実態に関する知見を得ることを目的とする．

研究方法は，神戸市の代表的な住商混在地域である中央区北長狭通３丁目，下山手通３丁目からなる通称トアウエストを研究対象(図１)として，目視による外観調査，ゼンリン住宅地図[1]を用いた建物用途別立地調査，路線価変遷[2]に関する調査等を通じて，その立地特性や街路空間特性の分析を行う．



Fig.1　Target site

また，リノベーションという言葉に関して，建築学用語辞典[3]によれば「既存建物の主に１，２ 階部分において，内装の改修行為を伴って元々の利用とは異なる店舗など，住民や来街者が利用するスペースをつくり出すこと」とあり，その意味合いが広いため，本稿においてその定義づけを行う．街路空間に対する影響を分析する上で，リノベーション＝用途転換の意にとどまらず，内外装の変化を広く捉えて評価していく必要がある．そこで今回は，リノベーション＝既存建物の商業的なファサード変化として定義する(図２)．そして建物ごとの1, 2階ファサードの変化をもとに，面する街路への影響を評価する．

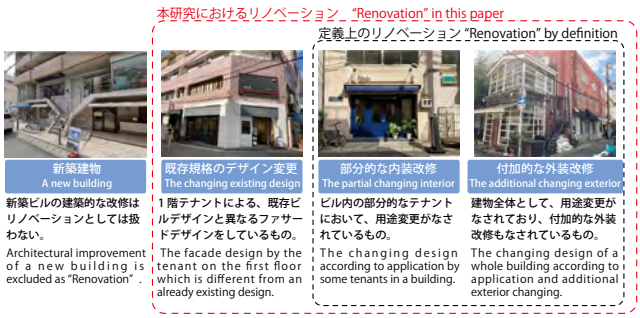


Fig.2　Definition of renovation in this paper

リノベーション建物とその集積に関する既往研究として，住商混在の木密地域における自発的リノベーションの実態を扱った神楽坂での熊谷ら[4]の研究では，建物の構法に関する実測調査や建物関係者へのヒアリング調査から，神楽坂にてリノベーションが発生する経緯を整理しており，その建築的特性・エリア特性が神楽坂におけるリノベーションを特徴づけ，かつその集積が神楽坂というエリアに多層的な魅力を付与しているということを明らかにしている．

また大阪中崎町・堀江地区での八木ら[5]の研究では，コンバージョン建物の分布がエリアの人影の分布と一致することを明らかにしており，コンバージョン建物の集積がエリア全体に賑わいをもたらし街の活性化に寄与しうることを示している．またトアウエストに関する既往研究として，難波ら[6]による研究では，大阪アメリカ村と神戸トアウエストにおけるファッションカルチャーの成り立ちを追い，その歴史性や学生アンケートなどの比較分析から，実際にトアウエストが若者の間で「神戸らしさ」や「おしゃれ」といった印象を併せ持つ独特なファッションストリートとして広く認識されていることを明らかにしている．また，森ら[7]による研究では，ファッション雑誌や特集記事などのメディアイメージがトアウエストのイメージ形成に寄与していることを明らかにしており，「商業的発展ではなく，個性やこだわり実現の場」といった共通認識が，トアウエストでのまちづくり意識として個人経営オーナー達の間で存在することを示唆している．

いずれの研究も，リノベーション建物の集積効果やトアウエストの文化形成をそれぞれに体系化したものとして研究の蓄積をなしているが，本稿はトアウエストにおける自発的リノベーションの集積実態とその立地特性という包括的な考察を行った研究として学術的な独自性がある．また本稿はリノベーションがもたらす価値評価の調査と分析の報告であり，リノベーション建物がもたらす街の魅力や価値向上の可能性を論じる上での知見をもたらすという点で研究意義がある．また本研究では特にリノベーションの展開の変遷や傾向を推定する方法として，『リノベーションまちづくり』手法に関する清水[8]の文献を参照した．

本論文は全5章から構成され，第1章は研究の背景・目的・方法等を整理し，第2章ではトアウエストにおけるまちの成り立ちを整理したうえで，まちの形成過程から地域特性の考察を記す．第3章では，建物用途に関するエリア分析を行い，建物用途の集積実態を示した．第4章では路線価とその変遷に関する分析を行い，リノベーションの集積傾向と地価との関係を考察した．第5章は，これらをとりまとめ結論を記し，今後の連携活動の展開を考察する．

2. トアウエストの成り立ちについて

トアウエストは個性的な店舗が集積した神戸の代表的な住商混在地域の一つである．その街路空間は居留地や北野といった神戸の有名な地域とは異なる，雑多な空間性を作り出している．そこでトアウエストがどのように現在の住商混在地域を形成してきたのかを把握するために，ここではトアウエストの成り立ちを整理し，その地域特性を考察する．

神戸は戦後間もなく，神戸三宮の高架下において広くヤミ市が発展した．その後，1946年の露店営業取締規則，1949年の中小企業等協同組合法の施行を経て，徐々に商店街としての体裁を整えはじめ，生地屋や靴屋を中心としたファッション関連の店舗街へと姿を変えていく．また，1950年から1951年にかけて，個人の建物の集積であった商店街を鉄骨に建て替えたことで，新規店舗の出店や若い世代の集客が増え，ファッション商店街としての明るさと賑わいを生み出してきた．こうして三宮・元町の高架下が，カジュアル・ファッションのエリアとなっていく一方で，80年代に入ると高架の山手側の地域が注目を集めるようになる．きっかけは1983年頃，現在のトアウエストの中心にあたる地点に，ポストカード専門店ワンウェイなど新たなショップがオープンし，店主たちによって“TOR WEST”という看板が街角に立てられたことにある[9]．するとファッション雑誌などでも徐々にトアウエストとしての知名度が広がり，また同年トアウエストのランドマーク的存在となっていく古着・雑貨店モダナークが誕生するなど，カジュアル・ファッションの街として更なる注目を集めるようになっていった．こうして，四方を主要道によって囲まれた三宮・元町間にごく狭いワンブロックが，神戸のホットスポットとして雑誌などに取り上げられはじめたのである．その後，90年代に入りストリート系のファッションブームの中で，三宮高架下やモトコー(元町高架下)は全国的に知られる存在となり，同時にその山側に接するトアウエストの呼称も定着し，広く知られるようになっていく．しかし，1995年の阪神・淡路大震災は，この地域を含め，神戸のファッション関連の製造・流通業に大きな打撃を与えた．当時のファッション誌の中には，神戸のファッション業を支援する記事なども見られた．

しかし，トアウエストは，神戸のファッションエリアの中でもとりわけすばやい回復を遂げていく．若手オーナーが多い町ゆえの業種にこだわらないフットワークの軽さを武器に，壊滅的な被害を受けた三宮の受け皿として，いち早く活気を取り戻したのである．また，若い経営者が出店しやすかったこともあり，今回の震災を機に，高架下の店が新規展開をはかる店も目立ったという．80年代には，数件のブティックとTOOTH TOOTHというカフェ1軒くらいしかなかった街外れのトアウエストであるが，数々の個性ある出店ラッシュを経て，その街区において独自の文化を形成してきた．こうしてトアウエストという呼称は，関西地区の情報誌だけでなく，全国的なファッション誌にもたびたび取り上げられ，セレクトショップや古着店が集積するファッションエリアとしての評価を確立していった．

このように，それまでにないタイプの店をつくり，新しい客を呼び込むという個人オーナーの思いの集積が，トアウエストというエリアに独自性をもたらしている．実際に現在も，この地域には自治会やまちづくり協同体といったものがなく，その街並みは各店舗のファサードデザインの集積によって形成されており，非常に多様性がある．三宮中心部のように適度な新陳代謝や自然淘汰というものがあまり見られず，自然発生的に住商混在地域を形成してきたトアウエストの歴史が，現在の街並みの特徴となって表出している．

3. 建物用途にみるエリア分析

戦前のトアウエストにあたるエリアは，華僑の人々が多く住む静かな街であった．現在もエリアに大規模な商業開発例は特になく，居住空間由来のヒューマンスケールな店舗リノベーションが進展することで，個性的な住商混在地域を形成している．トアウエストの用途地域[10]は商業地域（建ぺい率80%，容積率500%，600%）で，周辺も商業地域である．その中で，再開発ではなく，リノベーションによる店舗経営が集積することで商業地域的な特徴をもっていることに対し，ここではその建築的な特徴や用途分布等の現状分析から考察を試みた．

3. 1. 調査方法

本稿では，店舗リノベーション建物の集積実態を把握・分析するために，対象地区であるトアウエスト（神戸市中央区下山手通 3 丁目，北長狭通 3 丁目）における既存建物の外観目視悉皆調査を実施した．調査項目は，エリア内の既存建物 189 件の建築的特徴(構造，階数)と，リノベーション建物 70 件の各階利用用途，外観デザインなどを中心に目視で判別し，リストに整理した．現地調査は，2020 年 10 月 12 日 15:00~18:00，10 月 14 日 11:00~13:00，10 月 19 日 19:00~20：00 に実施した．

またゼンリン住宅地図を参照し建築用途の種別を判断し，リノベーション建物分布マップ（図 3 ）を作成し，用途別の店舗集積実態や集積の疎密による景観連続性の違い等を分析した．

3. 2. 建物の構造・階数・低層部の用途

調査から得られた集計の結果を以下に述べる．まず，建物 189 件の構造種別に関しては，81.0%が鉄筋コンクリート造，12.6%が鉄骨造，6.4%が木造であり，エリア内のほとんどが鉄筋コンクリート造の建物であるということが確認できた．次に建物階数では，4 階以上の建物が 61.9%，3 階が 27.1%，2 階建が 10.5%であり，1 階建は北側の生田新道に面したコンビニエンスストアを除いて存在しなかった．最後にリノベーション建物 1 階部分の用途について，カフェ・飲食が 35.1%，ショップ･雑貨店が 42.8%，美容室･サロンが 15.6%，オフィス・アトリエが 6.5%であり，カフェ・飲食とショップ･雑貨店が多くを占めていた．また，1 階だけではなく 2，3 階において店舗を構える事例も多く，それぞれ 36 件，11 件であった．

3. 3. 用途集積の実態

リノベーション建物の 1 階用途の集積実態は，図 3 の通りである．

東西南北の主要道路に面した部分において，リノベーション建物は少ない一方，トアウエスト内部のエリアではリノベーション建物が面的に分布していることがわかる．その用途としては上で述べたようにカフェ，ショップ，美容室といった店舗が多く，個人経営の商業店舗であることが多かった．また，エリアの特徴として，車道から路地まで様々な幅の街路空間があることが分かり，店舗の集積やファサードデザインによって，通りごとに街路景観や街路空間の印象が異なることが分かった（図 4）．

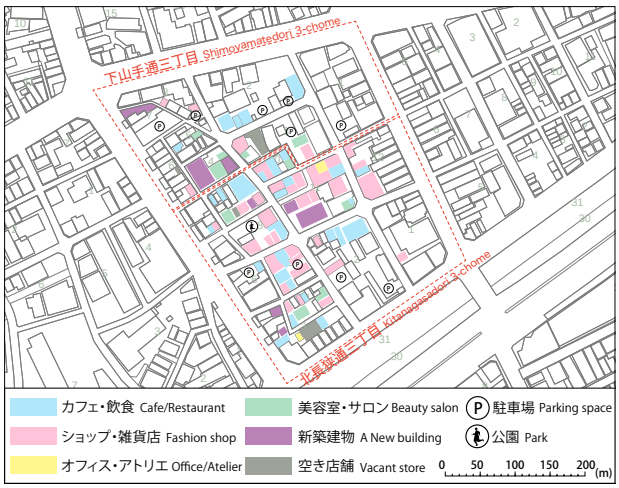


Fig.3　Distribution maps of the renovation buildings



Fig.4　Differences of the landscape between alley and road

4. 路線価変動にみるエリア分析

近年のリノベーションまちづくりにおいてはエリアの路線価の調査をもとに，利便性の高い人気のゾーンに接しながら地価が大幅に下がる箇所，すなわち家賃断層帯を中心にリノベーション事業を起こすことが有効な手法としてある．大手チェーンではない個人規模の店舗やスペースは街独自の価値を高める可能性があるが，一般的に地価が高い大通りでは大手チェーンが軒を連ね，相対的に地価の低い裏通りの戸建て住宅の一部をリノベーションして店舗などを開く傾向がある．

そこで，トアウエストで見られるリノベーションの現象を地価との関係で捉えるため，エリアの路線価を調査し，その分布を示した(図5,6)．2000年以降，5年ごと5つの路線価マップを作成し，図3のリノベーション建物分布マップと比較しながら当該地区における路線価の変遷を追い，出店の傾向を分析し，路線価に伴うリノベーションの集積傾向や対象地区における地価の上昇傾向等を分析した．

4. 1. 現在の路線価

2019年の路線価(図5)を見ると，特徴の一つは主要道路沿いと，トアウエスト内部のエリアとの地価の大きな差であり，明確な家賃断層帯を形成していることがわかる．またトアロード側(東側)の方が鯉川筋側(西側)よりも比較的路線価が高い傾向にあることが分かる．これはトアロード自体が歴史的に商業集積している通りであることや，や，地区内道路の幅よりトアロードの道路幅の方が広いことなど，トアロードが持つ歴史的な価値やトアウエスト内での地理的環境が不動産価値の高さに結びついていると推測される．

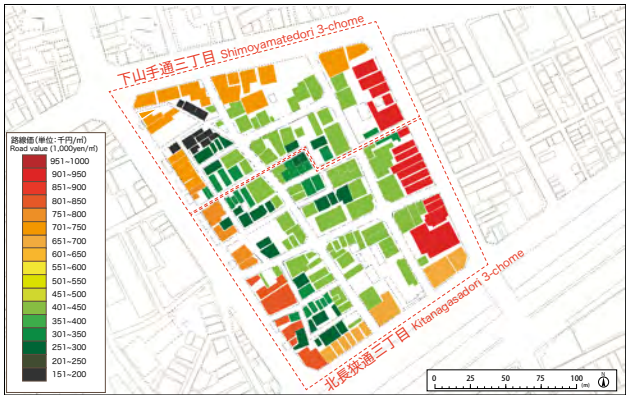


Fig.5　Road value maps (2019)

4. 2. 近年の路線価変遷

対象エリアにおいて近年の地価の変化とリノベーション建物の集積状況を捉えるため，2000年から2005年までの路

線価変遷を図6に示した．

2000年から2005年において地価の下落が見られるものの，以降2015年まで変動は小さく，2015年から2019年にかけて地価の上昇が見られる．また部分的にみると，図7に見られるように特殊な狭路地を形成している街路に関しては通年的に地価が低い傾向にあることが分かる．

また，リノベーション建物分布マップ(図3)との比較からその集積実態を考察すると，周辺主要道路沿いと比べて相対的に地価の低いトアウエスト内部エリアは，家賃断層帯の特徴を有しており，リノベーションが起こりやすいことを示している．神戸三宮の中心地かつ駅からも近いという高アクセス低家賃な場所性がリノベーションの波及に影響していると考える．また最近になって内部エリアにおいても地価の上昇が見られるという背景には，リノベーション建物が増えてきたことにより，内部エリアの価値が高まってきていることが関係していると考える．一方で全体的な地価の上昇が，今後の個人的なリノベーション集積の阻害要因にもなり得ると思われる．

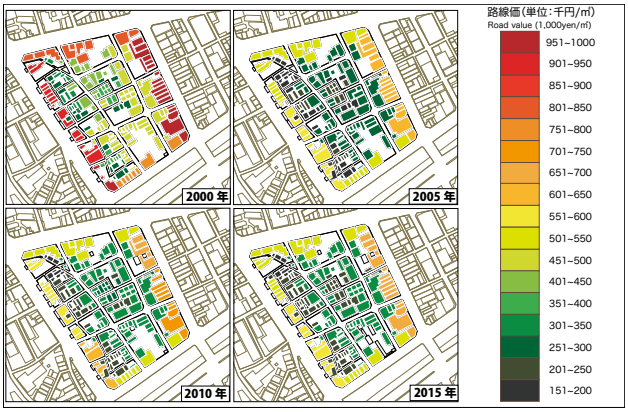


Fig.6　Transition of road value (2000-2015)



Fig.7　Narrow alleys of which road value is relatively low.

5. まとめ

以下，各調査より得られた結果と考察を述べる．

①80 年代から 90 年代にかけて「トアウエスト」という呼び名がエリアに発生・定着してきた背景には，偶然的にその地に出店した一軒ないし数軒の個人店舗が核となり，その周囲に客を集め，新たな出店の呼び水となるといった店舗集積による連鎖的なプロセスが存在した．その歴史性が現在にも，コミュニティのあり方や街並みとして継承されていると考えられる．

②主要道に囲まれた内部エリアで面的にリノベーションが集積しており，路線価の差が大きい＝家賃断層帯の低路線価エリアにリノベーションの集積と展開が見られる．いわゆる「高アクセス低家賃」といったトアウエストの場所性がリノベーションの波及に影響していると考えられる．

③エリアに集積するリノベーション店舗の用途としては，カフェ，ショップ，美容室といった店舗が多く，若いオーナーによる個人経営の商業店舗が多い．また鉄筋コンクリート造の複層建物がエリアに多いことから，階層によって様々な改修や用途の違いがあり，多様性に富んだ住商混在地域を形成していることが分かった．

④特殊な街路を形成しており，車道から狭路地まで様々な道がある．そのそれぞれの街路によって，リノベーションの集積にも若干の疎密があり，景観の連続性に寄与しているものと考えられる．

以上より，トアウエストはその立地特性から個性あるリノベーションの集積を形成しており，エリア全体に多様な魅力を付与していることが分かった．一方でトアウエストには地域のまちづくりに関する共同体が存在しないことなどから，今後の商業リノベーション集積誘致や治安の改善など，地域活性化に関する一定の指針といったものが見られない．もちろん，このことが現在のトアウエストというまちの魅力を生み出してきたことも事実であるが，今後もその多様性を保ちながら，トアウエスト全体として総合的に街の魅力を維持し，高めていくことが重要である．

本稿では，リノベーション建物の立地特性とその集積実態に関する知見を得ることを目的として，リノベーション建物がもたらす街の魅力や価値向上の可能性を考察してきた．

今後は，店舗ファサードがもたらす街路景観構成や空間体験に関する分析，また店舗オーナーや街路空間の体験者に対するヒアリング調査などから，街路空間の景観をつくる側と体験する側の意見や評価を収集することで，実際的な街路に対するリノベーション集積効果の考察へと展開することができると考える．

文　献

(1) ゼンリン：住宅地図―神戸市中央区―，株式会社ゼンリン，2000-2019
(2) 神戸市：神戸市固定資産路線価図中央区，神戸市，2000-2019
(3) 日本建築学会：建築学用語辞典　第２版，岩波書店，1999
(4) 熊谷亮平，稲坂晃義，濱定史，渡邊史郎：住商混在型木密地域におけるリノベーション構法とその集積効果，住総研研究論文集 43 巻，23-34，2017
(5) 八木章徳，阿部浩和：大都市中心部に見られる仮設的コンバージョンの傾向と市街地活性化の現状に関する研究，中崎町，堀江，空堀におけるケーススタディ，日本建築学会学術講演梗概集，E-1，319-320，2007
(6) 難波功士：ストリート・ファッションとファッション・ストリートの構築－大阪アメリカ村と神戸トアウエストを題材として－，関西学院大学社会学部紀要，No. 88，33-45，2000
(7) 森涼子：まちづくりとメディアイメージ，兵庫地理，No. 45，22-38，2000
(8) 清水義次：リノベーションまちづくり－不動産事業で町を再生する方法－，学芸出版，2014
(9) サントリー不易流行研究会編：変わる盛り場－「私」がつくり遊ぶ街－，学芸出版社，1999
(10)神戸市：神戸市情報マップ，用途地域 2019 年版 https://www.city.kobe.lg.jp/a35466/business/kaihatsu/plan/search.html （参照日 2021 年 5 月 24 日）

対立概念の解決によるデザイン発想創出の試み

Trial on Design Ideation by Solving Contradictory Concepts

○ 村上 存（東京大学）*1　　飛島 寛人（アクセンチュア）*2

*1 Tamotsu Murakami, Univ. of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan, murakami@mech.t.u-tokyo.ac.jp
*2 Hiroto Tobishima, Accenture, 1-8-1 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8672, snowboard170310@gmail.com

キーワード:直接的反意語，間接的反意語，概念辞書，発想インフォマティクス

1. はじめに

一見対立する概念を何らかの方法で両立させることは，革新的な発想の一つの形式であると考えられる．関連する概念として，「止揚」(1)がある．以下に例を示す．

・使用時は長く，携帯時は短い（携帯指し棒）
・強いが軽い構造（ハニカム構造，複合材料など）
・開放感があるがプライバシーは守られる建築
・絹より美しく鋼鉄より強い繊維（ナイロン）
・アクセスできるが改ざんは困難なデータ（ブロックチェーン技術）
・トヨタ自動車の“J-factor”(2)

本研究では，電子概念辞書の計算機処理により，概念体系における対立概念の対を網羅的，系統的に探索して人間に提示することで，革新的発想創出を行うことを試みる．

2. 対立概念の解決によるデザインの革新的発想

対立概念は反意語で表現できるが，「軽い」⇔「重い」のような直接的反意語(direct antonym)だけではなく，「軽い」⇔（「重い」≒「大きい」≒）「強い」のような間接的反意語（indirect antonym）も重要であると考えられる．本研究では，前述したような間接的な対立概念の提示により発想創出を促進する方法を考え，ソフトウェア実装，実験により有効性を検証する．

対立概念を用いることでアイデア生成における量と質が向上することはいくつかの研究(3)-(4)で報告されている．一方で，提示する対立概念は辞書の反意語を用いており，直接的な対立概念での確認に留まっている．対立概念を用いた発想支援法として，TRIZ の矛盾マトリクス(5)という考え方が確立されている．これは過去の特許からの経験則を整理したものであるのに対し，本研究では概念辞書を用いて系統的，網羅的に間接的反意語を導出する点が異なる．

3. 間接的反意語の提示による発想創出ソフトウェアの実装

間接的反意語を，「反意語と呼ばれる単語対のうち，片方もしくは双方の単語を元の単語の類義語と置き換えたもの」と定義する．例えば「強い」と「弱い」は反意語であるが，「弱い」の類義語として「静かだ」が存在する場合に，「強い」と「静かだ」は間接的反意語となる．本研究では類義語の置き換えは各方向最大 2 回まで行う（図 1）．

間接的反意語生成のため，EDR 電子化辞書(6)，日本語 WordNet(7)，分類語彙表(8)の 3 つの概念辞書を用いる．日本語 WordNet からは類義語のデータを，分類語彙表からは反意語のデータを，EDR 電子化辞書に導入する．

EDR 電子化辞書は単語のデータと概念識別子（concept identifier）のデータを別々に保持している．概念識別子とは語の意味を表す記号であり，各概念識別子にその概念を表す各単語が多対多で対応している．

日本語 WordNet については，EDR 電子化辞書の概念識別子と日本語 WordNet の同義語グループ(synonym set, synset)を対応づけることで類義語データを導入する．対応づけのためにまず同義語グループに所属する単語群を取得する．それと対応する EDR 電子化辞書の語を取得し，それらの語とリンクされた概念識別子を，同義語グループと対応づける．分類語彙表の反意語データについては，単語と品詞が分類語彙表と EDR 電子化辞書で一致するものを EDR 電子化辞書に導入した．

次に，発想創出実験に用いる間接的反意語の作成法について説明する．まず初めにアイデアを出す対象とする製品を決定し，その製品の特徴を記述する．次に EDR 電子化辞書に導入された反意語データを参照し，記述された特徴の反意語を取得する．製品の特徴とその反意語のどちらについても類義語を取得する．得られた類義語について，もう一度その類義語の類義語を取得する．得られた単語の関係は図 1 のようになる．例えば「強い」側と「弱い」側から一つずつ単語を選んで，それを間接的な類義語のペアとする．図 1 の Step 0 は直接的反意語であるので，本研究では用いなかった．

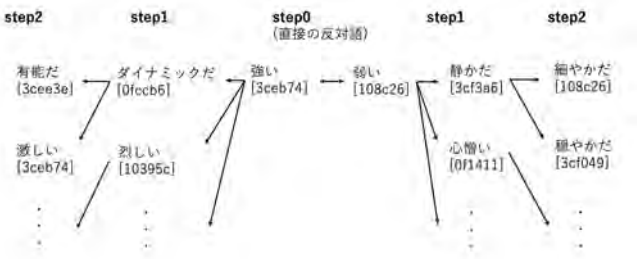


Fig. 1　Generation of indirect antonyms

4. 発想創出実験

前述の方法を用いて，既存製品の特徴を記述後，その言葉を起点として間接的反意語を作成した．製品として，工場，歯ブラシ，無指定の 3 パターンを用意し，反意語提示あり，提示なしの場合でアイデア生成を行ってもらった．

単語を提示する場合は 56 対の単語組を提示し，それぞれについてアイデアを発想してもらった．アイデアの記述のフォーマットとして，製品と与えられた二つの単語の要素の合計 3 つをアイデア内に含めてもらった．単語を提示しない場合は最低 15 分以上アイデアを発想してもらい，15 分経過後は任意のタイミングで終了とした．単語なしでのフォーマットは製品の要素を入れることのみとした．

3 種類の製品と単語の有無により実験の順番が 8 パターン想定されたため，順序効果がなくなるように 8 人の実験協力者でそれぞれ異なる順番で実験を行った．

得られた発想の新規度と有用度の評価は第三者により行った．有用度は有用か否かの 2 段階（0〜1 に正規化），新規度は，新規か，既存のものを少し変えた程度か，既に存在するか，の 3 段階（0〜1 に正規化）で評価してもらった．

5. 実験結果

5-1. 反意語対の提示の有無

図 2 より，得られた発想の新規度は，反意語提示の有無で差はなかった．対象別では，無指定が高く，工場，歯ブラシは同程度となった．図 3 より，有用度は反意語提示なしのほうが有意に高かった．対象別では，歯ブラシでは反意語提示がないほう有意に高かったが，工場では反意語提示の有無で差はなかった．



Fig. 2 Availability of antonyms and novelty of idea

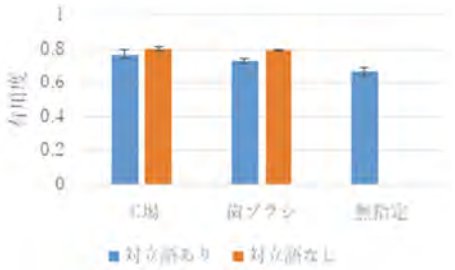


Fig. 3 Availability of antonyms and usefulness of idea

5-2. 考察

反意語提示ありとなしで異なる内容のアイデアが生まれたのは，反意語の刺激により発想が刺激され，通常の思考では至らない部分まで発想を広げられた可能性がある．反意語提示から生まれたアイデアの有用性が低かったのは，反意語の要素を強制することで，実験協力者に自然でない思考が要求されたためである可能性がある．

歯ブラシは日常使っているので，反意語で無理に発想させられるより自然に考えつくほうが現実の有用性に近いのに対し，工場は日常的に詳しくないので，自然と無理の差が小さかった可能性がある．

6. 結論と今後の課題

6-1. 結論

概念辞書を活用することで，間接的反意語を作成可能にした．これにより得られた反意語を使用することで，発想創出における間接的反意語の効果の有無を確認した．

6-2. 今後の課題

反意語の提示により，通常とは異なる思考を導ける可能性は示されたが，同時に不自然な思考が強制されたことがマイナスに作用した可能性がある．発想者の自然な思考の流れの延長線上で，反意語の提示により通常とは異なる方向に誘導するための方法論を検討することが，今後の課題である．

本研究は JSPS 科研費 JP19H02047 の助成により行われた．

文　献

(1) 辻井重男，才所敏明，山澤昌夫，佐藤直：三止揚・MELT-UP の視座からのデジタルフォレンジックに関する考察，コンピュータセキュリティシンポジウム 2017 論文集，218-221，2017.

(2) トヨタ自動車，J-factor (https://global.toyota/jp/mobility/toyota-brand/toyota-design/) (2021-05-04 access).

(3) Kao, C. Y.: How combining opposite, near-opposite, and irrelevant concepts influence creativity performance, Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, Vol. 13, No. 1, 24-35, 2019.

(4) Fantoni, G., Taviani, C., and Santoro, R.: Design by functional synonyms and antonyms: a structured creative technique based on functional analysis, Proc. Institution of Mechanical Engineers, Vol. 221, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 673-683, 2007.

(5) Mann, D.著，中川徹監訳：TRIZ 実践と効用 体系的技術革新，創造開発イニシアチブ，2004.

(6) 荻野孝野，仲尾由雄，長澤陽子，小笠原あゆみ：EDR 電子化辞書における概念体系，言語処理学会第 1 回年次大会，197–200，1995.

(7) Isahara, H., Bond, F., Uchimoto, K., Utiyama, M. and Kanzaki, K.: Development of the Japanese WordNet, Proc. 6th Language Resources and Evaluation Conference (LREC-2008), 2420-2423, 2008.

(8) 荻原亜彩美，森山奈々美，浅原正幸，加藤祥，山崎誠：分類語彙表に対する反対語情報付与，言語処理学会第 25 回年次大会発表論文集，1061-1064，2019.

定性・定量データを用いた，社会課題解決に向けた生活者課題起点ソリューションの社会的インパクト算出

交通系社会課題を事例とした手法検証

Study of social impacts evaluation methodology to create business solution to solve social issue

Case study of mobility social issues in City A

物井愛子（日立製作所）*1

*1 Aiko Monoi, Hitachi, Ltd. Research & Development Group Global Center for Social Innovation Tokyo, 1-280 Higashikoigakubo Kokubunji city Tokyo,185-8601, aiko.monoi.rx@hitachi.com

キーワード: SDGs，社会課題，エスノグラフィ調査，社会インパクト，定性と定量

1. 背　　景

国際連合開発計画が 2030 年にあるべき世界を達成するための持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals：SDGs）を制定したのを受け，環境面・社会面の課題解決への貢献への意志を表すインパクト投資(1)が世界的に 75 兆円(2)の市場規模にまで成長しており，国際的な社会的要請に応答する形での社会貢献は企業や行政の責務であると言える．一方で，企業が継続的な規模の営利事業を推進するためには，1)事業性と社会インパクトを両立させる難しさ，2)複雑に絡み合う社会課題の背景要因の特定の難しさ，3)多様なステークホルダ間の調整の必要性といった構造的な問題特性をはらんでいる．

事業性の成立に不可欠な社会インパクト評価への指摘として，グローバル・インパクト投資ネットワーク（GIIN）が発行する「Annual Impact Investor Survey 2019」(3)によると，現在は定性データを元に個々の投資家が独自の分析を行ってインパクト評価を行っており，汎用的な定量指標は不在であると述べられている．

今後，持続的な社会の実現に向けて企業・行政が主体となって社会課題へ参画するためには，社会課題の複雑性や多面性を捉え，事業性を考慮し，事業・施策による社会課題解決への貢献度を測るといった社会インパクトの定量的指標を算出する手法が求められている．

2. 先行研究手法の評価と限界

行政，非営利組織，企業等の社会課題を対象とした活動に対する社会インパクト指標とその算出手法を先行研究として２つの研究を比較し，評価する．

2.1. SDGs 目標を用いた既存市場規模合算による算出手法

デロイトトーマツコンサルティング合同会社「SDGs ビジネスの可能性とルール形成 調査報告書」(4)にて検討された手法では，SDGs ビジネスの可能性の検討を目的とし，SDGs に関連するビジネスの洗い出し，およびその市場規模の算出を行った．算出手法としては，SDGs の目標のキーワードから製品，サービス等を洗い出しそれらの既存の市場規模を合算することにより，当該 SDGs の各課題の市場規模として潜在的な金銭的価値という形で社会インパクトを算出している．

一方，本先行研究の限界としては SDGs 目標に含まれない社会課題の市場規模を算出できないという点が挙げられる．本算出方法は，既に規定された SDGs 目標を説明したキーワードに基づいた既存の市場規模を合算しており，ターゲット課題が先に設定された上でインパクトを算出するような場面においては利用しづらい．加えて，本手法では課題の実態を紐解いた上で構築的にインパクトを算出してはいない．また，元々SDGs は新興国の社会課題が目標の大半を占めるといった背景から，先進国特有の高齢者問題や引きこもり問題といった，SDGs に含まれない課題構造や背景要因が定式化されていない社会課題を対象としていない．

そのため社会インパクトを算出したい社会課題が SDGs に含まれない課題であり，課題を定義から検討する必要がある場合，本手法を用いたインパクトの算出が難しいと言える．

2.2. 財務指標を用いた社会資源の定量化による算出方法

慶應義塾大学 SFC 研究所 「SROI（Social Return on Investment：社会投資収益率）」実施ガイドライン(5)にて検討された手法は，公的企業，非営利組織，企業の活動による社会インパクトの評価指標とその運用の仕組みをガイドライン化したものである．算出手法としては，ステークホルダごとのインプット（資源），アウトプット（生産），アウトカム（成果）を定義し，それぞれを定量化し合算することで社会インパクトを評価している．企業財務の評価手法 ROI（投資収益率）を元に，社会的資源を定量化したことが本手法の独自性と言える．

一方，本先行研究の限界としては社会インパクトの算出が

インプット項目，およびその既存数値に依存しているという点が挙げられる．SROI の算出プロセスでは，予算，時間，スタッフ，技術などの既存値のインプットを元に想定施策を実施した場合のアウトプットを推測して算出する．そのため算出対象に既存値が存在しない場合，社会インパクトの算出が難しい．

社会課題はステークホルダやドメインが広域に跨ることや，既存数値が存在しないことから，単純な数値の合算や掛け算といった形で定量化することが難しく，現状社会課題に関する定性データを定量指標に読み替える方法は定式化されてない．したがって，社会課題を正確に把握し，社会課題を解決するソリューションに定量的な社会インパクトの評価を与える手法の開発が必要と考えた．

3. 本研究の射程・独自性

社会インパクト算出手法の策定に向けて，本研究では日立の顧客協創方法論「NEXPERIENCE」における定性的アプローチのエスノグラフィ調査[6]と，定量的アプローチの事業性評価手法を組み合わせることで，定性と定量データを再構成し，生活者起点の社会課題およびソリューションの社会インパクト算出手法を検討した．

エスノグラフィ調査では，因果が複雑に絡み合う社会課題を紐解き，社会インパクト指標に資する定性データが得られると考える．事業性評価手法では，既存の BtoB 事業向けの事業規模の見込み算出や収益モデル検討といった手法を応用し，事業によってもたらされる社会課題解決への貢献度といった定量的指標による価値評価が可能と考える．

以上をふまえ，本研究では，定性・定量データを再構成することで，社会課題および社会課題解決型ソリューションの影響範囲・規模を算出し，課題解決と事業性が両立するための継続性を評価する社会インパクト算出手法を開発する．

4. 定性・定量データの再構成的方法を用いた社会インパクト算出手法の開発

地域包括ケア関連の課題，交通弱者の課題の２件の社会課題を対象に，生活者調査から抽出した社会課題の社会インパクト算出手法の仮説の構築，および改善を行った．２件の机上試行を通じて，異なる題材の社会課題・地域への適用が可能かといった有効性検証を行い，以下「定性・定量データの再構成的方法を用いた社会インパクト算出手法」を策定した．

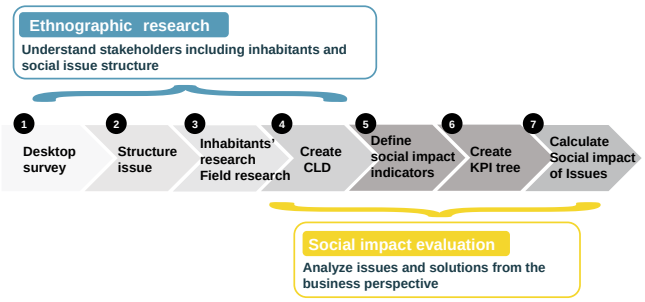


Fig.1　Social impact evaluations using qualitative and quantitative data

本手法は，生活者起点の社会課題とそれに対する事業性と課題解決を両立するソリューションに対する社会インパクトの定量化を実現する．これを可能としたのが，定性から定量データへの変換や，定性・定量データの組み換えを通じて導出した新たな指標・数値に意味付けを行う再構成的方法である．

具体的な手順としては，(1)デスクトップ調査，(2)課題の構造化，(3)生活者調査，(4)CLD 作成，(5)社会インパクト項目検討，(6)KPI ツリー作成，(7)社会インパクト算出，に沿って実施する．(1)〜(2)では，マクロデータから課題を体系的に理解し，後の生活者調査で対象とする課題の焦点化と仮説構築を行う．(2)の課題構造化で用いる情報フォーマットは，生活者観点からは深刻でも事業的観点からは重要度が小さいとみなされる課題が課題選定時に考慮されるよう課題深刻度が視覚的に把握できる図式を採用する．(3)〜(5)では，生活者調査を実施し，抽出された実態を CLD（Causal Loop Diagram：因果ループ図）に落とし込み，当社会課題における社会インパクト項目（＝KPI ツリーの重要ノード）を検討する．CLD では課題を取り巻くステークホルダを同 CLD 内に同居させることで，トレードオフやステークホルダ間の課題が重なる機会領域を特定する．(6)〜(7)では，大きいインパクトの影響を受けるステークホルダの KPI ツリー（Key Performance Indicator tree）を作成し，ツリー内のノードから課題影響先と収支が繋がる領域として社会インパクト指標を特定し，統計調査数値を用いて社会インパクト数値を算出する．以上の手順を踏むことによって，社会課題および課題を解決するソリューションに対する社会インパクト評価を実現する．

5. 開発した手法の検証

5.1. 検証の概要

手法の有効性検証が必要と考え，A 市の公共交通機関の慢性的な交通混雑の課題を題材に検証を行った．本手法を適用し，生活者ならびに交通事業関係者の課題・価値の把握と，課題を解決するソリューションの各ステークホルダへの影響として実数値を用いて社会インパクトの算出を行う必要があると考えた．

5.2. 実施手順

(1)デスクトップ調査の実施

A 市の地理的特性，交通課題の把握のためにインターネットや文献調査を用いた情報収集を行った．

(2)課題の背景要因・影響の構造化

既存の統計調査・行政白書から，課題に関するステークホルダごとの背景要因と課題による影響を定性的な課題深刻度を可視化するフォーマットを用いて構造化し，各項目間の相関関係を示した．

(3)フィールド調査及び生活者調査を通じた価値観・課題の把握

A 市に関する基本情報を取得し，現地フィールド調査にて訪れることで地理や交通に関する特徴を把握した．加えて，移動傾向の異なる生活者へのオンラインインタビューを実施し，動き回りに関する価値観・課題を分析した．

(4)課題 CLD の作成

調査結果を元に A 市の交通渋滞の課題を中心とした CLD を作成した．定量化可能なノードは参考数値を記載することで，次プロセスの KPI ツリーにて作成の対象とする範囲を検討した．

(5)対象課題の重要インパクト項目および定義決め

課題構造図・CLD にて図式化した各項目の相関，課題の深刻度から，経済的価値に加えて社会的価値を KPI ツリーの項目として取り込むために，本課題におけるインパクトを定義した．

(6)KPI ツリー作成

交通事業関係者の収支を中心とし， 交通事業関係者 IR 情報，行政白書，学術論文を元に作成した KPI ツリーへ(5)にて定義した対象課題の社会的インパクト指標を組み込んだ．

(7)課題解決によってもたらされる社会インパクトの試算

KPI ツリーを元に既存の統計調査報告書・行政白書から数値を引用し，社会課題解決によってもたらされる生活者，交通事業関係者，社会への定量的インパクトを算出した．課題解決に対する複数シナリオを設定し，施策効果を比較した．

5.3. 検証結果

手順(1)「デスクトップ調査」，(2)「課題の背景要因・影響の構造化」を通じて行政白書や学術論文より把握した各ステークホルダが抱える課題を要素化し，それぞれの主体ごとの課題構造図（図 2）として整理することで，A 市の交通事情の概観を把握した．各ステークホルダが抱える観点を多角的に捉えることで，生活者課題として「バスは時間の余裕がある時にしか利用できない」，地域課題として「自動車利用の多さが交通渋滞を引き起こしている」といった課題仮説を構築した．

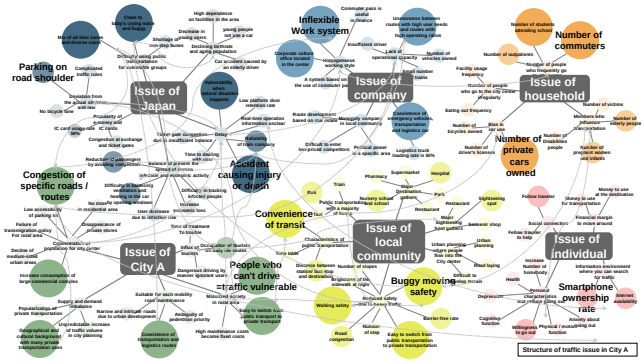


Fig.2 Structure of the traffic issue in the City A

手順(3)「フィールド調査及び生活者調査」では，基本情報を元に，A 市の現地フィールド調査にて実際に各所を訪れることで，通勤通学時の混雑路線，公共交通の空白地帯といった地理的特徴を確認し，生活者目線に立った価値観・課題として把握した．初期に構築した課題仮説を現地フィールドで得た知見を元にアップデートを行い，生活者調査に向けた生活者の背景情報の理解に役立てた．その後，移動傾向の異なる生活者に対しオンラインインタビューを実施し，移動に関する価値観の違い，交通手段や利用時の使い分けの柔軟性を軸に，生活者を複数のタイプに分類した．生活者を行動原理ごとに分類することで，たとえば混雑といった課題に対して各生活者タイプにどのようなソリューション効果があるのかを検討することができた．

調査結果を基に，手順(4)「課題 CLD の作成」では前手順で分類した生活者タイプ別に CLD（図 3）を作成し， A 市の交通渋滞の課題に関わるステークホルダを一同に描出することで，図表内で生活者・交通事業関係者の課題が重なる課題領域を特定することができた．CLD では，道路混雑や公共交通機関の遅延といった交通系課題を中心に置き，それらの課題と行政・交通事業関係者・生活者間において相関関係にある個々の指標を繋ぐ事で，課題の因果関係を把握した．例えば，生活者調査にて確認された「バスは時間に余裕がある場合だけ利用する」といったインサイトから，バス遅延率が低下することで乗客の企業信頼度が向上し，バス選択率の上昇によって運賃収入が増加するといった生活者と交通事業関係者の嬉しさが連続する機会領域を導出した．

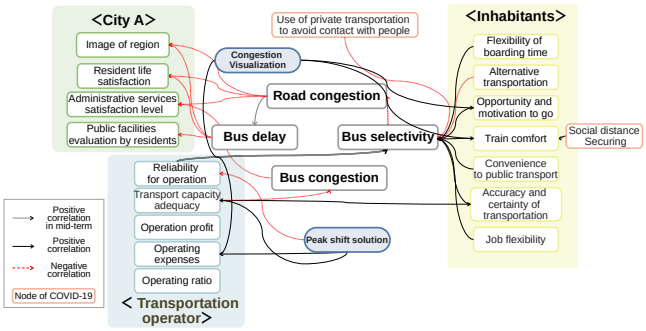


Fig.3 CLD of traffic jam and congestion issues in City A

手順(5)「対象課題の重要インパクト項目および定義決め」における議論を通じて，機会領域内における非経済的な価値に関わる重要な社会インパクト項目（例えば車内混雑率や企業信頼度等）を選定した．定性データを社会インパクトの定量化の足掛かりになる社会インパクト指標へと昇華することで，KPI ツリー作成時に社会インパクト指標と金銭的価値を紐づけて評価することを可能とした．

手順(6)「KPI ツリー作成」では，従来の KPI ツリー同様に交通事業関係者の収支構造を描き，CLD にて描出された生活者課題に関する社会インパクト指標を組み込む形で KPI ツリー（図 4）を作成した．経済的価値としての交通事業関係者の収支課題と，課題解決時の影響先としての社会インパクト指標を連続して可視化する（図 5）ことで当該課題における社会インパクトを特定することができた．



Fig.4 KPI tree of traffic jam and congestion issues in City(all)

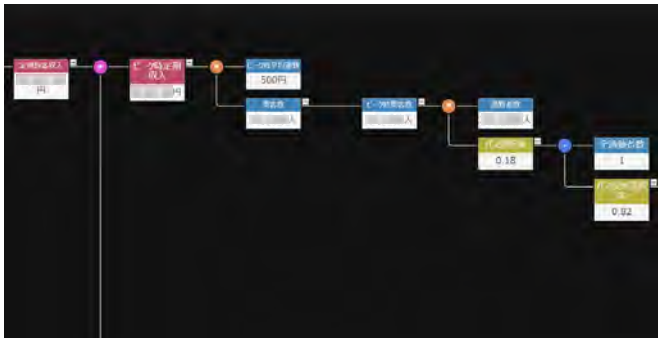


Fig.5 KPI tree of traffic jam and congestion issues in City (detail)

手順(7)「課題解決によってもたらされる社会インパクトの試算」にて，対象課題の緩和に向けて交通事業関係者が提供する施策を仮説的に検討し，各ソリューション・課題解決シナリオを設定し施策効果を比較することで，運賃収入向上を狙った施策を打つべきか，はたまた営業係数向上を狙った施策かといったソリューション化に向けた判断指標・数値を提示（図 6）した．例えば，「ピーク時の混雑料金を導入した場合，朝の通勤ラッシュ時の混雑度数十%低減し，結果的に一路線あたり数十万円運賃収入が増加する」といった社会インパクトを算出した．

Profit model Increasing passenger fare revenue, reduced peak congestion rate

Formula Impact =(Income of average fare difference in peak hours)-(Income of average fare difference in non-congested hours)-(Decrease in revenue due to inflow to other traffic)

Current data / Future data

Index	Current data	Number of increase / decrease	Future data	Reference to calculation
Passengers during rush hours on congested routes	2080 people	△580 people	1500 people	580 people (passengers) x 190 yen (fare) = 110,200 yen reduction 1500 people (passengers) x 210 yen (congestion fee) = 315,000 yen increase
Passengers entering private transportation / railway due to congestion charges		+100名		100 people (passengers) x 190 yen (fare) = 19,000 yen reduction
Fare on a congested route / person	¥190	+¥210	¥400	
Fare on a non-congested route / person	¥190	△¥90	¥100	360 people (passengers) x 90 yen (fare difference) = 32,400 yen reduction: Original passengers is 480 people (passengers) x 100 yen (fare) = 48,000 yen increase
Number of passengers / routes during non-crowded hours	360 people	+480 people	840 people	

Railway/bus company's issues
(1) Dealing with congestion rush
(2) Outflow to private traffic (3) Difficult to increase transportation capacity due to insufficient capital investment costs

Inhabitants' issue
(1)Increased risk of COVID-19 due to use of public transportation (2) Absence of way to avoid congestion using by bus and train

Problem solving scenario
- Implementing an hourly multi-stage fare system. By raising the fare during the morning rush hour and reducing the fare during non-crowded hours.Even if the number of users flows into other routes, the difference in decreasing income will be compensated by the increase in passenger fare revenue due to implementing a congestion fee.

Calculation social impact to solving issue
Implementing hourly multi-stage fare system, **congestion level reduced from 80% to 60%** and **increasing 200,000 yen per route** in non-crowded hours.

Fig.6 Social impact when a workable solution to traffic jam congestion issues was enacted

手順(3)から(7)を経て，生活者調査で得た定性データが社会インパクト指標として定量項目化され，そこに既存の統計調査から抽出した数値を挿入することで，社会インパクトを算出することができた．例えば，生活者調査から抽出した「時刻通りに移動したい時には電車を利用し，時間に余裕がある時はバスを使う」の実態を受け，移動の正確性とバス選択率の間に相関を見出したことで，定性と定量データを繋げられたといえる．

本手法のプロセスに基づき，生活者調査・フィールド調査を通じて分析した定性データを構造化し，統計などの定量データを組み合わせたことで，生活者課題および交通事業関係者の事業的関心に基づいた社会課題実態を把握することができた．さらにその社会課題とそれに対するソリューションの社会インパクトを評価することができた．

6. 手法の考察

6.1. 生活者の課題深刻度の高い課題と，事業機会の両立の必要性

本手法では定性データと定量データを組み合わせることで社会インパクトという新たな指標を導出するが，エスノグラフィ調査にて分析した定性データを CLD 作成時の定量情報化する過程において，定量的な事業利益の観点からは重要度が小さい項目でも，定性的な生活者の課題の観点からは重要度が高い事象が存在することが明らかになった．

例えば，心身の健康状態の悪化により外出回数が減少し生活水準が低下することは生活者の社会課題としては深刻だが，地域経済にとっては小売店・飲食店の売り上げを多少左右するものの事業収益への影響としては必ずしも大きくないといった事象もある．生活者の課題深刻度と事業収益が両立するためには，定性データから定量データへの変換時に両者の観点を考慮することで，最終的に生活者・事業者の価値を同時に叶える社会課題を解決するソリューションとその社会インパクトが導出されると考えられる．

6.2. KPI ツリー内の経済的指標への社会インパクト指標の接続

一般的な KPI ツリーは営利事業を対象とした使用が想定されており，このため経済的指標（今回の場合は交通事業関係者の収支）を中心として描出されている．一方で社会インパクトは，例えば「車内快適度」や「運行ダイヤへの信頼性における企業イメージ」など，必ずしも経済的価値とならない場合もある．非経済的な価値も含めた社会インパクトの算出には，経済的価値と社会インパクト指標を接続させる必要がある．そのため本手法では，まず非経済的価値に関わるインパクトを適切に評価するために，各社会課題特性に応じて社会インパクト指標を定義した．その上で CLD 作成を通じて抽出した社会インパクト指標を経済的指標に連続させ，KPI ツリーに組み込むことで，定量的な社会インパクトとして算出することができたと考えられる．

6.3. 異なる生活者の価値観をすみ分けて描写できるフォーマットの必要性

本生活者調査では異なる課題や価値観を抱える複数の生活者に対する調査を実施した．これらの調査結果を単独の CLD に集約し表現する方法を取ろうとした結果，各生活者の行動原理が異なるため，全ての因果関係を表そうとすると相関が多すぎて中心的な因果が分からなくなること

や，生活者によって矛盾する行動原理を持つことがあり，単一の CLD としての体裁を保てなくなるといったことが起こることが明らかになった．そこで最終的に行動原理別にタイプを分類し，タイプごとに CLD を作成することで，課題の因果関係を明確に描写できるようにした．このように，社会課題の様に生活者ごとに異なる課題・価値観が存在する場合，行動原理に基づいた CLD ごとに分けて作成する必要があると考えられる．

6.4. 社会インパクト性質ごとの種別

社会インパクトとはソリューション導入前後の金銭的・社会的価値の増減数に応じて，大きく，1)現状値からプラスに転じる利益の項目，2)本来は獲得出来るはずのプラスの社会損失の項目，3)今後現状値からマイナスになる可能性があるが策を講じることで現状維持あるいは向上が可能な項目（＝ポテンシャルインパクト）の３つに区分できると考えられる．

たとえば交通渋滞は社会課題として多面的な側面があり，各ステークホルダにとって直接的な課題となりえないことから，前述した 1)と 2)区分の社会インパクトとして表出しない項目があることが確認された．本研究で検討したような社会課題を対象とする社会インパクト評価においては，一般的に現時点の顕在的な利益・損失という形でしか推定されないことが多いインパクトを，潜在的なポテンシャルインパクトとして評価することが重要ではないかと考える．ポテンシャルインパクトを算出することは，社会課題のように，一般的な統計数値などにおいて表出化されない定性的な項目の検討が必要な対象に関するインパクトの評価に有効だと期待される．

7. 本手法を通じた社会インパクト算出による効果

一点目に，本研究にて導出された社会インパクト評価指標・数値によって，生活者・顧客課題の焦点化，生活者および事業者価値と社会価値が成立するソリューション検討や，定量的な社会課題・ソリューション効果を提示した．今後，社会インパクトの定量化の実現によって，社会インパクトと事業性が両立しているかの判断，実際に社会実装した際の事業・施策効果の測定など実用的な利用展開先が多く挙げられる．加えて本社会インパクト算出手法の確立により，社会課題の解決に企業・行政が参画しやすい土壌が醸成されることが期待される．

二点目に，生成された社会インパクト指標・数値が共通言語として働くことで，多様なステークホルダ間の円滑な合意形成，検討に寄与する．社会インパクト評価は，社会課題・ソリューションに指標を与えるものであるのと同時に，定性と定量を繋ぐ役割を担うことで性質の異なるデータの相互的な利活用が実現する．ステークホルダの多さといった社会課題特有の難しさに対し，社会インパクト指標ならびに数値が共通言語として働くことで，目指すべきゴールを具体的な指標を用いて共有しやすくなるといった社会課題解決に向けた協力関係の強化へ繋がると推察される．

8. 結　　言

本研究では，生活者調査結果の定性データと収支・統計数値の定量データを組み合わせることで，生活者起点の社会課題および課題解決と事業性を両立するソリューション創出を目的として，社会インパクトの定量化を行った．これを可能としたのが，定性データと定量データの組み合わせ，変換，組み換えを通じて導出した指標・数値に意味付けを行う再構成的方法である．今後，本社会インパクト算出手法の確立が，日本における SDGs をはじめとした社会課題解決型事業の推進にあたり，社会インパクトの定量化という側面において寄与すると考えられる．

文　　献

(1) 株式会社大和総研 金融調査部 SDGs コンサルティング室:社会的インパクト投資シリーズ② インパクト評価をどのように行うか 実施の流れと共通指標を活用した評価事例の紹介」https://www.dir.co.jp/report/research/capital-mkt/esg/20200206_021309.pdf(参照日 2021 年 6 月 2 日)

(2) 日本経済新聞：インパクト投資とは ESG の一種，社会課題への効果測定 https://www.nikkei.com/article/DGXKZO61474670U0A710C2EA2000 （参照日 2021 年 6 月 2 日）

(3) GIIN : 2019 Annual Impact Investor Survey https://thegiin.org/assets/GIIN_2019%20Annual%20Impact%20Investor%20Survey_webfile.pdf （参照日 2021 年 6 月 2 日）

(4) デロイトトーマツコンサルティング合同会社:SDGs ビジネスの可能性とルール形成 調査報告書，https://webdesk.jsa.or.jp/pdf/dev/md_3079.pdf （参照日 2021 年 6 月 2 日）

(5) 慶應義塾大学 SFC 研究所:科学技術への社会的期待の可視化・定量化手法の開発プロジェクト「SROI（Social Return on Investment＝社会投資収益率）分析手法」，https://tama.sfc.keio.ac.jp/sest/guideline-sroi.pdf （参照日 2021 年 6 月 2 日）

(6) 鹿志村香，熊谷健太，古谷純：エクスペリエンスデザインの理論と実践，日立評論，Vol.93 No.11，pp.12-20，2011.

機能性、多目的性、不確定性、満足性そして詳細設計への連結性

その設計手法としてのポイントベース設計とセットベース設計

Functionality, versality, uncertainty, satisfaction and connectivity to detailed design

Point-based design and set-based design as the method

○石川　晴雄（電気通信大学）

Haruo Ishikawa, the University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585, haishikawa@yahoo.co.jp

キーワード:機能設計，多目的性，不確定性，セットベース満足化設計，詳細設計

1. 緒　　言

設計の対象が製品（システム），モジュール，ユニット，部品のいずれであっても，それらの設計プロセスにはおおむね構想設計，初期設計（機能設計），詳細設計がある．一般にそれぞれの定義は必ずしも確定的ではないが，本報告の表題の各種特性の観点からそれぞれの特徴とそれに取り組む設計手法について，ポイントベース設計およびセットベース設計の観点から図 1 および以下にまとめる．

2. 設計プロセスとポイントベース設計

2.1. 構想設計

構想設計は企画に対する立案（アイデア出し）の段階であり，基本的には設計者の経験も含めた知識等からの創出に基づく．企画の内容としては，製品（機器等）の性能，価格および軽量性，あるいは機構と構造と制御などの異種性や背反性等も含めた**多目的性**について，必要があればベンチマーキングも経て，複数案（**機能性**）を創出することであろう．またこの段階では，目標とする要求性能の種類と種類ごとの目標値レベルは構想設計段階の設計企画として与えられていることが一般的である．

2.2. 初期設計

初期設計は構想設計のアイデアに対して製品等の骨格を決める機能設計であり，1D 設計のようなモデルの機能要素変数の組合せを用いて設計対象に付与する複数の要求性能の実現ための筋書き（広い意味でのメカニズム）を考える（設計する）段階（**機能性**）である（このような作業も構想設計であると考える場合もある）．複数の要求性能として，must 設計，better 設計，delight 設計という観点も有り得る．また前段階で与えられる性能の目標値レベルを実現するために，初期設計では各アイデアを構成する複数の要素機能の特性値をコスト等も含めて概略でも特定する必要がある．つまり**多目的性**および要素機能性の実現の判断（機能としての定性的・定量的な整合的**満足性**）（全体適正化ともいう）が必要となる．ここで重要なのは，特に今日的には初期設計段階での複数アイデアの妥当性の判断の即応性であると考える．アイデアの実現性が早期に判断できることは重要である．

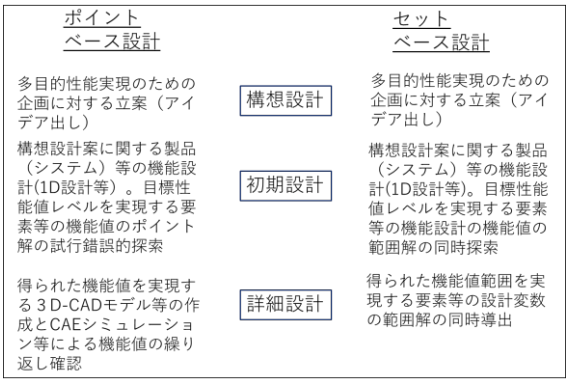


Fig.1　Point-based and set-based designs in design Process

初期設計段階における定量的機能設計は，従来は製品（システム）等に対応する一つの機能モデルに対する妥当性（出力として目標性能レベルの実現性）の評価と修正の繰り返し（**ポイントベース**設計）が主流である（モデルベース設計も含めて）．こうした試行錯誤自体も**不確定性**を示しているし，その結果によっては製品システム自体（あるいはモジュール等）としての性能目標の変更が実際上あり得ることも性能目標自体の**不確定性**を示すことになる．

2.3 詳細設計

詳細設計段階では初期機能設計段階の結果を実体化（3 次元化，構造化，配置可能化等）することになる．あるいは実体化の結果を初期設計に戻し，全体機能としての適正化を再検証し，場合によってはその結果の実体化の再確認を行う．以上のプロセスは目標性能の種類ごとに発生し，全性能を対象にした全体適正化は多目的最適化の手法でもカバーしきれないことも多い．このような意味での実体化はひとつの**不確定性**の表れである．この実体化は，通常 3 次元 CAD によるモデリングとレイアウトおよびそれに基づく CAE シミュレーションで実施されることが多い．これらの 3D-CAD によるモデリング，レイアウト評価および CAE シミュレーションは**ポイントベース**手法で実施され，試行錯誤の繰り返しを伴うのが一般的である．

3. 設計プロセスとセットベース設計

3.1. 構想設計

多目的性を有する機器等の設計案（機能の連鎖案：**機能性**）のアイデア出しはポイントベースまたはセットベースの設計手法の適用以前の内容であり，両者に違いはないと考える．

3.2. 初期設計

初期設計段階における定量的機能設計の段階ではポイントベース設計手法とセットベース設計手法の適用は根本的に異なる．ただし，いずれにあっても機器等の設計対象の目標性能とその定量的レベルが存在するということでは同じである．定量的機能設計を 1D 設計における機器等の機能モデルにおけるモジュールや機能要素の変数を複数目的性能（**多目的性**）レベルの実現のために定量化する場合は，目標性能の繰り返し評価を基本的に伴わないセットベース設計手法はその特徴を発揮する．目標性能の種類と達成レベルは構想設計段階で与えられているが，その達成レベルも**不確定性**の対象となり得ることもあり，範囲表現となる．その結果，それを実現する機構や制御の特性あるいはそれらを構成する各モジュールや要素の機能の定量的評価結果も範囲解になる．異種性も含む様々な特性や要素等の機能特性を同時実現する範囲解を求める手法がセットベース設計手法（例えば，選好度を基盤としたセットベース設計手法:PSD 手法[1),(2),(3)]）になる．

この段階でセットベース設計手法により求まるのは各要素等の機能の範囲解である．構想設計段階で構想した複数の案のうち目標性能範囲を満足する各要素等の機能の範囲解がない場合があれば，その構想案は採用できないことになる．

3.3. 詳細設計

初期設計段階で機器等の全体システムの複数の目標性能範囲を満足する要素機能の範囲解が求まる場合は，それを実現する各モジュールや機能要素の実体化が必要である．

一方，各モジュールや機能要素の設計手法としては何らかの方法が存在すると考えられる．規格化された手法，設計理論・手法が明確な場合，企業ごとの独自の設計手法等である．前段階で求まった各要素機能特性の範囲解は，これらの手法のモジュールや機能要素の特性としての出力の範囲解であると考えられる．またその出力に影響する設計変数も前述の設計手法において一般には規定されている．

したがって各機構諸元や制御特性およびモジュールや機能要素の実体化のためには，前段階で求まった各機能要素等の特性値の範囲解を，それらのモジュールや要素等の出力としての目標範囲として設定したセットベース設計手法を再度適用し，これを実現する機構諸元や制御特性変数および各要素等の設計変数の範囲解を求めることによって実体化が可能になる（**詳細設計への連結性**）．

以上のセットベース設計手法の 2 回目の適用の段階では，機器（システム）等の本来的特性に加えて，コスト，重量，環境負荷性等を設計目標として導入することも原理的には可能である．

以上の考え方で機器やシステムを構成する機構諸元や制御特性およびモジュールや要素の実体化のすべてが終了するかどうかは様々な状況によるが，モジュールや要素等の材質を含めた実体的設計は一応可能である．

ポイントベース設計を基調にした詳細設計では，複数の目標性能ごとに，3D-CAD 化，CAE シミュレーション，あるいは特定の評価手法の適用等の処理の積み重ねを経ることもあり，解の存在が判明するため全体の処理に工数や時間がかかると考えられる．他方，例えば PSD のようなセットベース設計を基調にした場合は，性能ごとにそれに影響する複数の設計変数との関係を実験計画法や CAE シミュレーションデータを用いた応答曲面式等で表現しておけば，複数の目標性能範囲を同時に実現し得る多設計変数範囲解を 1 回の処理でも求めることが可能となる．またその際，解範囲が無ければ無いことを示してくれることでも設計プロセス全体の処理時間の縮小化に繋がる．

4. セットベース設計(PSD)手法の適用例（乗り心地設計）

4.1. 乗り心地設計の例題

ここではトラックの振動乗り心地設計への PSD 手法の適用例[4),(5)]を紹介する．構想設計としてはトラックの運転手の乗り心地性能が設計対象であるが，乗り心地をトラックキャブ(運転席)の座席の振動状態（加速度や振動エネルギーなど）で表現する．それらの特性の状態やレベルの目標特性は，従来からの実車に基づく官能評価結果に基づくものとする．ここでいう目標特性の種類とレベルは初期設計，詳細設計を通じて，あるいは 1D 設計または 3D 設計（実体化・構造化）において変わらない設定目標である．

トラックの振動乗り心地設計では，サスペンション系の考慮すべき特性値として，乗員の乗り心地に関する官能性，荷台振動，操縦安定性などが関係する．これらの特性はピッチング，ローリング，ヨーイングなど車両の振動モードに依存し，さらに路面事情などのインフラや使われ方などの仕向地による条件によって異なるだけでなく，車両の仕様によっても異なる．言い換えると，サスペンション系の設計は，前述の複数の目的を持ち，キャブ（運転席）やシャシ（車体）のバネ定数，減衰力，サスペンションストロークといった多くの設計特性値で構成され，積載条件，路面条件など様々なシーンを考慮した最適な仕様を見出すこ

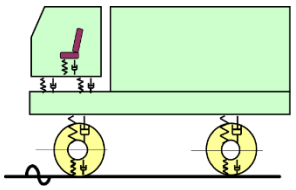


Fig.2 Vibration system of truck

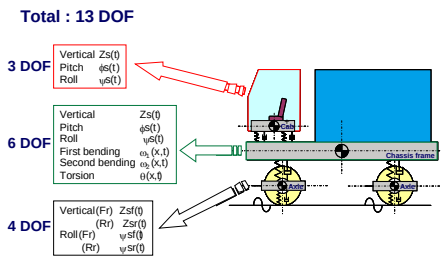


Fig.3 Physical simulation model

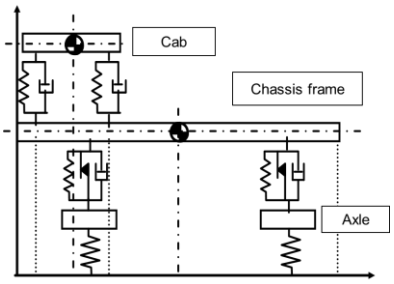


Fig.4　1D functional simulation model

Table 1 Required performances (18 performances)

	Load capacity	Road	Characteristics	Position
Performance aspects	Fully laden / Empty	Asphalt track	Acceleration Power spectral density [dB]	Cabin
				Front frame
				Rear frame
		Bottoming track	Acceleration [G]	Cab
				Front frame
				Rear frame
			Stroke [mm]	Cab to Frame
				Frame to Axle (Front)
				Frame to Axle (Rear)

とが必要で，設計上考慮すべき設計変数が多数であることを示している．初期設計段階としての車両振動のモデル化に当たって，今回は図 3 に示すような 13 自由度のモデルを設定した．この自由度の下で MATLAB & Simulink で 1D 設計のシミュレーションモデル（図 4）を構築し，要求性能である加速度，変位，振動エネルギのピーク値やその周波数特性(その一例(キャブ)を図 5 に示す)に注目し，実車との比較からモデルの同定を行った．1D モデルでの結果は実車の結果と概ね合致していて，図 4 に示す 13 自由度の 1D モデルは乗り心地に関わる実車の振動状態に対応していると判断できる．

実際に設定した要求性能を表 1（18 性能）に示す．設計変数は寄与率解析の結果から，表 2 にはキャブとシャシのサスペンションの設計変数として 12 個のバネ定数と減衰力を選定した結果を示している．表 2 においてショックアブソーバの粘性減衰力(damping force)は 伸び側を(G),圧縮側を(H)としている．

4.2. 選好度を基盤とするセットベース設計手法

多目的性能範囲を同時に満足する多設計変数の範囲解を求める手法として，選好度を基盤とするセットベース設計(PSD)手法が提案されている[1),(2)]. PSD 手法の概略を図 6 に示す．図 6 の各段階は以下になる．

① 複数要求性能の選定とそれに影響する設計変数の選定
② 各要求性能と設計変数に対する初期範囲と範囲内選好度の分布の付与
③ 各要求性能とそれらの設計変数の関係式（厳密式、数値近似式、実験式）の準備
④ PSD ソルバーへの①~③の入力
⑤ 選好度付き設計変数範囲から③の関係式を用いた性能範囲への伝搬（性能の可能性範囲分布の導出）
⑥ すべての要求性能範囲を同時に満たす設計変数範囲の絞り込み
⑦ 上記⑥の絞り込み範囲が存在すれば，その結果の出力

なお，範囲内の選好度分布の例を図 7 に示す．選好度 1 が

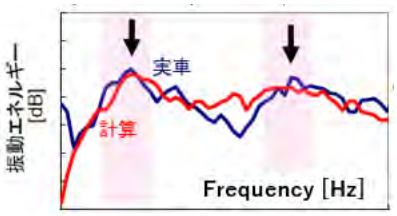


Fig.5 Vearification of Simulation Model

Table 2 Design variables (12variables)

	Position	Parameters		
Design parameters	Cab	Spring constant	Fr	
			Rr	
		Damping force	Fr	(G)
				(H)
			Rr	(G)
				(H)
	Chassis	Friction between spring leaves	Fr	
			Rr	
		Damping force	Fr	(G)
				(H)
			Rr	(G)
				(H)

G:elongation side, H:compression side

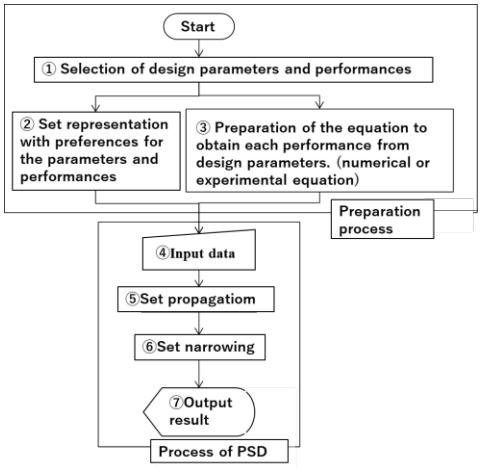


Fig.6 Preference set-based design method

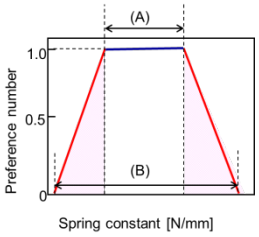


Fig.7 Definition of preference number

最良の範囲（A の範囲），選好度 0 が許容範囲（B の範囲）を示している．

以上の手法を用いて，図 2 のモデルに対して，表 1 の 18 性能範囲を同時に満足する表 2 の 12 設計変数範囲を求めた．

4.3. PSD 手法の適用結果（ステップ 1)

製品（システム）であるトラック全体の 1 D モデル（図 4）に対する要求性能や設計変数の初期範囲（表 1，表 2）を用いて PSD 手法を適用した適用結果を示す．

要求性能の範囲結果の例を図 8 に示す．いずれも左側の棒グラフが現行 (実車) であり，右側が今回の結果である．上図（(a)）がアスファルト道路で，最大積載の場合であり

加速パワースペクトラル密度が改善していることが分かる．下図（(b)）はボトミング道路で，無積載の場合であり，加速度が改善していることが分かる．

18 個の要求性能の範囲をすべて満たす設計変数の選好度付き範囲解に関する代表的な例（6 例）を示したのが図 9 である(中央の 100%は現行値を示す)．図 9 の下段ではピンク色は(G)サイドの結果，オレンジ色は（H）サイドの結果を示している．図の 9 下段の右図は(G)と(H)が重なっている．図 9 は設計変数範囲解の 6 例のみ示したが，他の 6 例も含めて加速度，変位，振動エネルギのピーク値やその周波数特性に関する 18 性能範囲を同時に満足する 12 設計変数の範囲解が求まった．

4.4. PSD 手法の適用結果（ステップ 2)

ステップ 1 では機器（システム）全体に対して多性能を同時に満足する複数設計変数の範囲解が PSD 手法で求めることが可能となった．しかし設計解は 1D 設計における機能変数の範囲解であり，その機能を実現する機能モジュールや要素の物理的実体（形状，寸法，材質等）が分からないと製品化設計に到達しない．

前章の 3.3 節で述べたように，その機能要素やモジュールは単独でも設計対象と考えることができる．そこで，ステップ 1 で得られた当該機能の設計変数範囲解を機能要素や機能モジュールの目標性能範囲解と設定し，モジュールや要素単独の設計に対して，新たに PSD 手法を適用する（ステップ 2）ことで，機能要素の実体化が可能となると考えるものとする（**詳細設計への連結性**）

どの要素やモジュールでも，その設計手法は存在する．図 4 のモデルでも様々なバネやダンパーが配置されているが，バネを例にすると，バネであってもコイルバネや重ね板バネもあり得る．それぞれの設計手法としては，トラックメーカーとしての社内手法や JIS 規格としての設計方法(JIS B 2704-1：2018, JIS B2710-2:2020)もある．

ここではキャブの座席のフロントバネを例題として選び，ステップ 2 としての PSD の適用を行い，そのバネの実体化を試みるものとする．

ステップ 1 で得られた設計変数範囲解の 1 例として，キャブのフロントバネについて検討する．図 9 の左上図からそのバネ定数は現行値の 81%から 88%の範囲であればよいことが分かる．現行値は 47.4（N/㎜）であるので，ステップ 1 での範囲解は，[38.39, 41.7]（N/㎜）であり，その境界値の選好度数は図 5 より，それぞれ 0.5 と 1.0 となる．

前述したように対象とする機能要素の実体化のためのなんらかの設計手法は機能要素ごとに存在する．キャブのフロントバネの場合，対象とするばねが JIS B 2704-1：2018 で規定される圧縮・引張のコイルバネであるとすると，そのバネ定数 k は

$$K = Gd^4/(8N_aD^3) \qquad (1)$$

で与えられる．ここで G (N/mm^2)：横弾性係数，d (mm)：材料の直径(mm)，Na：有効巻数，D (mm)：コイル平均径である．したがって k を性能とし，d, Na, D を設計変数として（G は材料定数とし，設計変数から外す），再度 PSD 手法を適用する．つまりキャブのフロントスプリングモデルとして与えられた k の範囲を実現する d, Na, D のそれぞれの範囲を求めることになる．

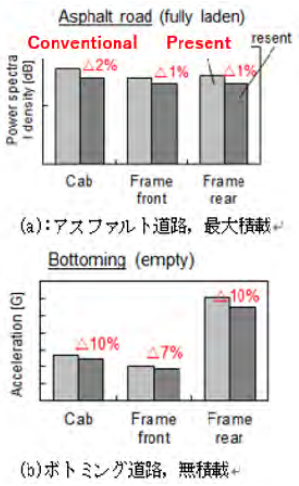


Fig.8 Performance Results obtained by conventional design method and PSD and PSD method

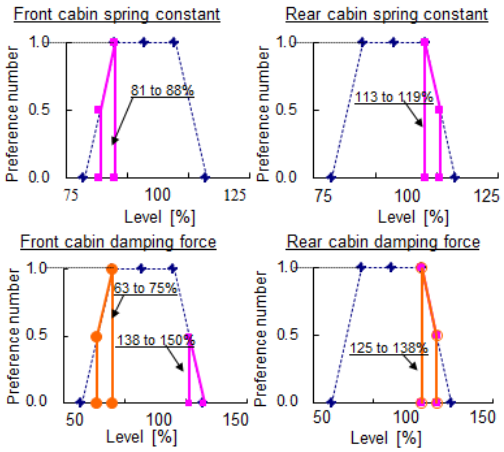


Fig.9 Interval Solutions with Preference for Design Parameters

Table 3 Initial interval of spring constant of front spring in cab and its narrowed interval by PSD method

Initial interval	Narrowed interval
[38.39, 41.7]	[39.65, 40.78]

Table 4 Initial intervals of dimension specifications of front spring in cab and its narrowed intervals by PSD method

Design variable	Initial interval	Narrowed interval
d	[7, 7.4]	[7.39, 7.4]
Na	[6, 8]	[6.0, 6.01]
D	[50, 100]	[50.0, 50.4]

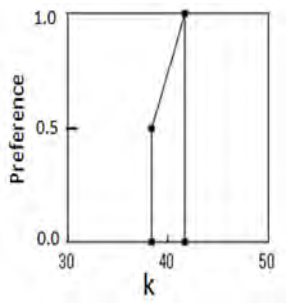


Fig.10 Initial interval with preference for spring constant (Front spring in cab)

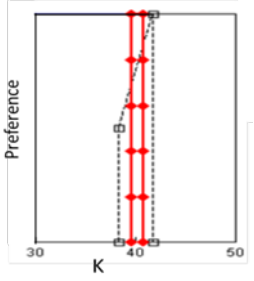


Fig. 11 Narrowed interval for the spring constant (Front spring in cab)

ステップ 2 としての PSD の適用について説明する．性能としてのバネ定数の初期範囲と選好度分布は表 3 および図 10 に示す．式(1)の設計変数 d,Na,D のそれぞれの初期設計範囲は表 4 に示す．選好度分布は範囲内で同等と考え，すべて 1 とした．性能と設計変数の関係式は式(1)として与えられている．

PSD 手法を適用した結果である性能 K について，図 11 の赤線の範囲および表 3 に示す．性能の範囲を実現する 3 設計変数の範囲解を表 4 に示す．

以上のステップ 2 の結果より，d, Na, D の結果範囲内の任意の数値の組合せにより，性能 K の値はその範囲解内に実現できるので，これらの情報をもとにバネの販売業者から購入するか，製作依頼することになる．すなわち 1D 設計の結果から実際の機能要素の実体化が PSD 手法により達成されたことになる．

5. まとめ

設計プロセスとしての構想設計，初期設計，詳細設計における機能性，多目的性，不確定性，満足性，そして初期設計から詳細設計への連結性について，一般的な設計の考え方や 1D 設計等の考え方を用い，ポイント設計手法およびセットベース設計手法の比較対照を行って，後者に優位性があることをおもに工数，処理時間の観点から整理・説明を行った．またこれらの諸特性を一貫した整合性をもって実現する手法として，著者らが提案している選好度を基盤とするセットベース設計手法（PSD）手法を 2 段階に適用する手法に関する考え方を提案・説明した．

提案した考え方の有効性を示すために，具体的設計課題としてトラックの乗り心地設計を用いた．その結果として提案手法の考え方が有効であることを示した．なお，例題に関して，PSD のステップ 1 での適用内容については㈱日野自動車との共同研究であることを記して謝意を表する．

文　献

(1) Nahm, Y.E. and Ishikawa, H. , Representing and aggregating engineering quantities with preference structure for set-based concurrent engineering, Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol.13, No.2(2005) , pp.123-133.
(2) 南，石川，初期設計段階におけるセットベース多目的最適化（第 1 報），自動車技術会論文集，36 巻 6 号（2005) , pp.157-162.
(3) 石川，多目的最適化設計　セットベース設計手法による多目的満足化，コロナ社(2010).
(4) 柿沼，榎本，石川，セットベース設計手法を用いた車両振動の最適化, 自動車技術会学術講演会予稿集, 2016 春季大会 pp.1916-1920.
(5) 石川，1DCAE+MBD シンポジウム 2019, (2019,12), No.19-334.

ユーザの利用経験を起点とするサービスアイデア生成過程の実験分析

Analysis of service idea generation processes based on user experience using design experiments

○妻屋　彰（岡山県立大学）*1　　井戸　光（神戸大学）*2

*1 Akira TSUMAYA, Okayama Prefectural University, 111 Kuboki, Soja-shi, Okayama, 719-1197, tsumaya@cse.oka-pu.ac.jp
*2 Hikaru IDO, Kobe University, 1-1, Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501

キーワード:アイデア生成実験,シーン記述,共創

1. 緒　　言

近年，多くの製品でコモディティ化が進んできている．この状態を脱却するために，ユーザ視点で製品やサービスの価値を捉えることが重要視されるようになりつつある．製品やサービスへのユーザの要求を捉える取り組みは従来から市場調査等で行われてきたが，20 世紀末頃から，人間中心設計の考え方に基づいて，ターゲットユーザの特徴と行動を仮想的な人物像とその人物が登場するシナリオを描くことで可視化するペルソナ・シナリオ法，ユーザを理解する共感を重要視する方法論である Design Thinking(1)，ユーザの経験や体験に注目する UX などが注目を浴びている．また，ワークショップを通した提供者とユーザの共創も盛んに試みられている．しかしながら，ユーザと提供者の価値共創においては，提供者の有している知識・情報とユーザのそれとの間に大きな違い,すなわち非対称性がみられ，これが価値共創の大きな阻害要因の一つとなっている(2)．

筆者らはユーザと提供者の共創による製品やサービスの設計を支援する方法の構築を目指して研究を行っている．その一環として，ユーザの利用経験（利用体験）を語ることをスタートに複数人によるサービスのコンセプトアイデアの生成を行い，生成過程について分析を行った．また，ユーザの利用経験を語る際にそれを図的に表現する方法を導入することにより，生成過程や生成されたアイデアにどのような違いが現れるか検討した．本稿では，それらの内容について報告する．

2. ユーザ経験の図的表現方法

前述のとおりユーザと提供者による共創においては情報の非対称性が価値共創の大きな阻害要因の一つであるとされている．そのため，情報共有が鍵となる．このことに関して，下村らは（ユーザと提供者が関わり合うサービスの提供シーンを表す）文脈を場の構成要素やそれらの間の関係に対するある主体による認知の結果として捉え，場の構成要素やその間の関係性に対する主体の認知とそれが導出される要因となった構成要素の属性を図的に表現したコンテキストモデルを提案している(3)．本研究では，このモデルを筆者らがこれまでに提案している生活シーン記述モデル(4)に導入することで，対象とするシーンの前後の時間も含めて，ユーザ（および提供者）の行動や判断などを可視化する図的表現により形式化する方法を提案する．提案モデルを図 1 に示す．

このモデルでは,前の行動の結果得られる現在の状態(状態変化）から次の行動の目標を定める目標設定フェーズと製品やサービスの利用シーンの遷移を行動（イベント）に至るまでの意思決定フェーズ，行動を起こす実行フェーズの 3 層にわけて表している．実行フェーズでは，シーンの遷移を引き起こす出来事がイベントとして記述される．目標設定フェーズでは，実行フェーズで記述されたイベントの結果生じる構成要素の状態変化が記述され，それに対して主体が感じたり解釈したりした内容およびその結果現れる次の行動目標が記述される．意思決定フェーズでは，行動目標に対して出てくる行動の候補とそれに対する認知が記述されるとともに選択された候補，それに基づく計画が記述される．

3. アイデア生成のガイダンス

予備実験を行った結果，図的表現方法の提示のみでは，うまく活用できないことが見て取れたため，この表現方法を用いてアイデア生成を行うためガイダンス資料を作成した．ポイントは 2 点である．1 つ目は，ユーザと提供者間の情報共有である．ユーザが利用経験を説明しながら記述を行う際，構成要素の特徴や認知などについて参加者間で違いがある場合，情報を共有するために解消する必要がある．このとき，両者がそれぞれどのように考えている話し

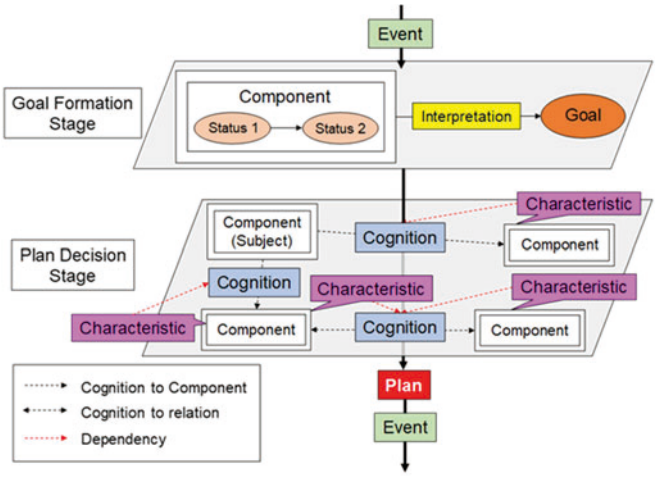


Fig.1　Description model of scenes

合い，モデル化しているユーザが考えていた製品の特徴やそれに対する認知が誤っている場合は，その原因とそれによって以後の決定や行動に変化が現れるかについて議論するよう，どちらが正しいか判断できない場合はその理由を記述し，ユーザと提供者の認識の違いを減ずる方法について検討するよう指示している．2 つ目は共有した情報に基づくアイデア提案に関してである．こちらについては，予備実験等の事前調査で得られた注目する要素およびアイデア生成の傾向に基づいて，ネガティブな状態変化からアイデアを提案する方法として 2 種類，ポジティブな状態変化からアイデアを提案する方法として 2 種類，棄却された行動候補からアイデアを提案する方法として 2 種類，新たな行動候補からアイデアを提案する方法として 3 種類，計 9 種類の方法について概要と手順を記載した．

4. ユーザ 2 名によるアイデア生成実験

既存のサービスを対象に，その利用経験があるユーザ 2 名に価値向上につながるアイデアを考えさせる課題を実施した. 被験者は工学研究科の学生 2 名一組の 2 グループで，課題に取り組ませる時間は 90 分とし，日を空けて 3 回実施した．課題を実施する方法として，1 回目（Task 1）は上述の表現方法やガイダンス資料を用いない自由議論，2 回目（Task 2）はシーンの図的表現方法のみ提示・使用，3 回目（Task 3）はシーンの図的表現方法およびガイダンス資料を提示・使用した．対象とする製品（施設）・サービスとして，大学生限定のカフェ，大学の付属図書館，大学の工作センターの 3 つをグループごとに順番を変えて提示した．本実験では，被験者が課題に取り組む様子はビデオカメラで撮影し，会話や行動を記録した．被験者らには最終的に最大 2 つまでのアイデアを出すよう指示し，まとめられたアイデアと，課題終了後に実施した課題に関するアンケートは紙に文章で記述させた．

提案されたアイデアについては，質と量について評価を行った．質に関しては 5 名の評価者によって，実用性と実現可能性の観点からそれぞれ-2 点から 2 点までの 5 段階評価（数値が大きいほど高評価）を行った．また，量に関しては，最終的に提出されたアイデアとなかったものも含めて課題実施中の会話や行動から出されていたアイデアと判断される発言・会話の数を調べた．

表 1 は提案されたアイデアに関する質の評価結果，表 2 は量の結果である．これらは図的表現方法によって形式化することの効果はあまりみられず，むしろアイデアの量的にはデメリットが生じているという結果となっている．その大きな理由として，課題に取り組ませる時間が結果的には短かったことが挙げられる．本実験では 90 分で実施するよう指示していたが，図的表現方法を用いた場合，利用シーンの説明だけで 60 分程度の時間を費やしており，アイデアを考えるための時間が十分に取れていなかったことがアイデアの量が少ない理由となっていると推測される．特に Task 2 については，アイデアを考える時間が短くなってしまった上に，アイデア生成のためのガイドもなかったため，アイデアを練るところまで至らず，低評価になったものと考えられる．一方，Task 3 については，アイデアを考える時間は Task 2 とほぼ同様であったが，ガイダンスの手順に従って検討することにより，数は少ないながらもアイデアについて詳細な検討ができた結果，高評価につながったと考えられる．本実験では，Task 2 と Task 3 ではユーザの利用経験の説明が終わってからアイデア生成に移るよう指示したが，自由議論による Task 1 ではユーザの利用経験を説明する途中からアイデアの議論に移るケースも見られたことから，両者を分けることによってアイデア生成の妨げになった可能性も否めない．

Table 1　(a) The result of evaluation (Group A)

	Practicality	Feasibility
Task 1 (Machine technology center)	1.3	1.3
Task 2 (Library in Kobe University)	2.0	-0.8
Task 3 (Café A)	1.2	1.2

(b) The result of evaluation (Group B)

	Practicality	Feasibility
Task 1 (Café A)	1.1	0.2
Task 2 (Machine technology center)	0.7	0
Task 3 (Library in Kobe University)	1.2	0.9

Table 2　Number of ideas

	Task 1	Task 2	Task 3
Group A	16	4	4
Group B	13	3	2

次に出されたアイデアのそれぞれについて，会話の分析を行った．ここでは，情報の共有の度合いおよび共同作業によるアイデア生成となっているかに注目し，一般に問題解決プロセスは，問題提起，提案，展開，評価，決定のサイクルを取ることも踏まえて，アイデア生成過程を以下の 2 つの観点から合計 6 つに分類する．

(1)「問題提起」の発話に含まれる構成要素の特徴やその認知などの数.
　i) 2 つ以上
　ii) 1 つ
　iii)明示的に問題提起されていない
(2) 当該アイデアに関する一連の会話での発話比率
　a) 両者とも発話全体の 1/3 以上発話している
　b) 発言の少ない被験者の発話は全体の 1/3 未満

上記分類に従って Task 1 で出された全アイデアについて分類した結果を表 3 に示す．ここで，括弧内の数字は最終案として選ばれたアイデアの数である．Task 1 では図的表現方法は使用していないため，厳密には観点(1)については評価できないが，本分析では課題終了後に会話記録を元に

Table 3 Classification of idea generation type

	i-a	i-b	ii-a	ii-b	iii-a	iii-b
Group A	3 (1)	4 (2)	4	0	1	4
Group B	5 (3)	1 (1)	5 (1)	1	1	0
Total	8 (4)	5 (3)	9 (1)	1	2	4

筆者らで書き起こし，被験者に確認を取ったものを用いて分類している．この結果から，明示的に問題提起がなされていないアイデアについてはほぼ議論にならず最終的な案としても残っていないことがわかる．また，問題提起時に複数の要素について言及している場合の方がより最終案につながっていることも読み取れる．複数の要素が問題提起に現れるということは，特徴だけでなく，その認知や特徴間の関係まで含めた問題提起がなされていることを意味しており，問題提起がより詳細，具体的な形で共有されていることによると考えられる．明示的に問題提起がなされている場合には，両者とも活発に発話しているケースが多いことから，問題が共有されていることも読み取れる．

Task 2，Task 3 についても同様の分析を行った．Task 2 では，7 件のアイデアのうち 5 件が観点(1)に関して i) 2 つ以上という結果が得られた．このことから，対象となるシーンを図的表現によって形式化することにより，シーンの構造が明確になり，その結果課題も明確になったものと考えられる．観点(2)に関しては半数近くが b) の発話比率に偏りがある（すなわち，アイデアの生成に関してあまり議論がなされていない）という結果であった．シーンの構造は形式化されているが，アイデアを生成する段階では必ずしも情報の共有ができていないことを示唆していると考えられる．一方，Task 3 については，6 件すべてのアイデアが観点(2)で a) の両者ともに活発に発話しているという結果となった．アイデア生成方法についてガイダンスがあることから，どのように考えているのかも含めて情報の共有がなされた結果であると考えられる．また，観点(1)についても 6 件中 5 件が i) 2 つ以上という結果となった．この理由は Task 2 と同様であると思われる．

5. ユーザと提供者によるアイデア生成実験

ユーザと提供者によるアイデア生成実験は，大学生が店長やスタッフとして店舗運営を行っている大学生限定カフェを対象として，提供者の立場である学生 2 名と利用経験のあるユーザである学生 2 名の 4 名 1 グループで実施した．本実験では先の実験の結果も踏まえて，シーンの説明に図的表現方法を用いるが，シーンの説明が全て終わる前であっても価値向上につながるアイデアを思いついたら随時発言・議論してもよいこととした．以下に実験の結果得られた知見について列挙する．

- アイデアが生まれた会話について問題解決プロセスの観点から分析した結果，先の実験の Task 2 や Task 3 と同様に明示的かつ詳細な問題提起がなされ，問題解決プロセスに沿った議論が進行していることがわかった．
- アイデアの提案に対して異なる立場から評価を行っている例は多くみられた．中には評価を行った上で問題の再定義を行っているケースもみられた．
- 図的表現も用いたシーンの説明に関しては，ユーザが記述する（特にネガティブな）認知に対して，その認知を変えるために提供者によって様々な特徴が書き加えられていく様子がみられた．また，どの特徴がユーザの意思決定の上で重要であるのか提供者側が確認する場面も見られた．
- 先の実験では見られなかった，ユーザが記述していない行動候補に注目した議論もあった．その際，提供者が望む行動をユーザにとってもらうためにはどのようにすればよいかなどの議論も見られた．
- 以上，総じてユーザの利用行動に関する情報共有については，図的表現も用いて説明することがかなり効果的であると言える．
- 一方，アイデアの生成に関しては，問題提起の際に図的表現が活用されているものの，その後のアイデア出しに関しては，積極的に活用する様子は見られず，ガイダンスについても，着目点を決める際での利用に留まっている．

6. 結　　言

ユーザと提供者の共創による製品やサービスの設計を支援する方法の構築を目指し，本研究では，ユーザの製品・サービスの利用シーンの図的表現による可視化方法の提案および，アイデア生成実験によるアイデア生成過程の分析と提案したシーン可視化方法の効果検証を行った．今回の実験では，アイデア生成にかける時間が短くアイデア数に関しては提案方法は良い結果を得ることはできなかったが，ガイダンスによって比較的高評価となるアイデアを生成できることを確認した．また，ユーザと提供者によるアイデア生成実験では，シーンの説明時に図的表現方法を用いることにより，ユーザと提供者との思いのずれが明確になり，その場でのユーザの認知を変えるような情報の追加や思いのずれを解消するアイデアの検討につながるなどの効果がみられた．

本研究の一部は科学研究費補助金（基盤研究(C)課題番号 19K04141）を受けて行われた．

文　　献

(1) dschool, Stanford d.school. http://dschool.stanford.edu/
(2) Smith, A.M.: The Value co-destruction process: a customer resource perspective, European Journal of Marketing, 47.11/22, (2013), pp. 1889-1909
(3) 出井優駿，湊省吾，下村芳樹：製品サービスシステム設計のためのコンテキスト抽出手法，日本機械学会第 27 回設計工学・システム部門講演会講演論文集，No. 17-32 ，2017.
(4) Saiki, Y. and Tsumaya, A.: Modeling of the Scene in Daily Life for Extraction of Design Requirements, Proc. International Conference on Design and Concurrent Engineering 2015 (iDECON2015), Paper No. 4, (2015).

書写における視点特徴の分析に関する研究

An Analysis on Eye Tracking Data in Practice of Japanese Penmanship

○山田香織（岩手大学）*1　　富山明昂（岩手大学）*2　　久保田陽子（岩手大学）*3

*1 Kaori Yamada, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550,yamadak@iwate-u.ca.jp
*2 Akihiro Tomiyama, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550
*3 Yoko Kubota, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550

キーワード：視点計測，書写，技能伝承，毛筆，作業分析

1. はじめに

「匠の技」は，日本の製造業や伝統工芸等のあらゆる分野において大きな強みになっている．一方で，その技術技能をいかに次の世代へ伝えていくかが課題である．生産労働人口の減少や熟練技術者の高齢化，グローバル化に伴う海外生産拠点の増加によって，将来を担う技術者が不足することが懸念されている．現在でも，熟練者が作業している姿を見せることで技術を習得させていることが多く，熟練の技術は習得するためにはかなりの年数を要している．このような「説明的に伝えることが難しい」技術の伝承は，暗黙知の伝達に関する問題と捉えることができる．特に，熟練者本人も認識していない暗黙知の部分を知ることができればより短時間での技能習得が可能になることが指摘されている(1)．本研究では，人間の知覚の大部分を占めている「視覚」に暗黙知の手がかりが現われるのではないかと考え，作業中の視点の特徴に注目する．

他方，小中学校の国語科教育では特に書写を専門に教えられる教員が不足している傾向にあり(2)，工業分野と同様の課題を抱えている．さらに，書字・書写は全体のバランスが大切な作業であり，視点特徴が現われ易いのではないかと考えた．そこで，本研究では書写を研究の対象とした．

2. 研究の目的・方法

本研究では，書写を対象とし，熟練者の視点特徴を明らかにすることを目的とする．そのために，まず熟練者と非熟練者の作業における違いを明らかにする．これにより，非熟練者を効率的に上達させるために熟練者のどのような特徴を伝えるべきか，また，どのように伝達すればよいかを検討可能にする．

熟練者と非熟練者の視点特徴を比較するため，書写タスクを与えて実験を行う．タスク中の両者の視点データを計測し，注視時間や移動の傾向を比較する．さらに，インタビューを行い，より詳細に視点特徴を捉えることを試みる．

3. 実験装置および方法

実験には図 1 に示す視点計測装置（アイトラッカー）ViewTracker (3) を用いた．メガネ型のデバイスに 3 つのカメラが取り付けられており，両眼の眼球運動と作業者の視野をそれぞれ記録することをできる．これらが統合され，視点データが 30fps の動画像として出力される．また，メガネのように装着できるため，作業者の動きを制限せず書写中の動作に影響を与えない．



Fig.1　Eye tracking device

実験は次のような手順で，一人ずつ行った．被験者にアイトラッカーを装着した状態で書写を行わせ，その際の視点データを記録した．

Step0）実験説明，視点計測装置の装着・準備

Step1）書写タスク

お手本を見ながら，毛筆を用いて半紙に書字をさせた．

Step2）インタビュー

被験者本人の書写タスク中の視点データの動画を見ながら，作業中に意識していたこと等を質問した．

書写タスクでは，「囲み」と「永」の書を 2 回ずつ書かせた．「囲」は「かまえ」の中に文字が入るバランスをとるのが難しい漢字(4)であり，「み」は筆遣いが漢字と異なり(5)滑らかな曲線が含まれる文字であることから選定した．「永」は，書写において重要な要素である「止め，はね，払い」が全て含まれていることから選定した．また，書字の際には「お手本のように書く」こと，「全体のバランスを考えて書く」ことを意識するように教示した．なお，半紙は自由に折り目を入れて良いこととし，時間制限は設けなかった．

4. 実験結果・考察

実験には，熟練者として「かな書道」を専門に学んでおり日常的に毛書をしている大学生 3 名，非熟練者として書道以外を専攻している大学生 7 名が参加した．図 2 に実験中の被験者（非熟練者）の様子を示す．なお，非熟練者として参加した被験者は書写経験に 7 年以上のブランクがあることを確認しており，毛書に慣れさせるために Step0）において数分間自らの名前を半紙に書かせた．

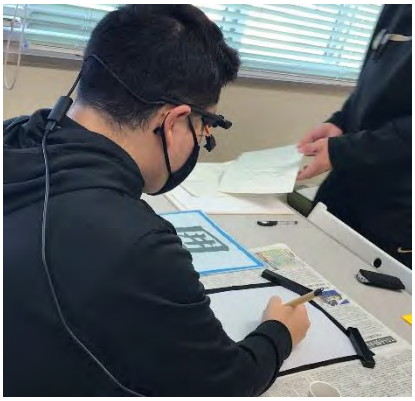


Fig.2　The behavior of a subject in the experiment

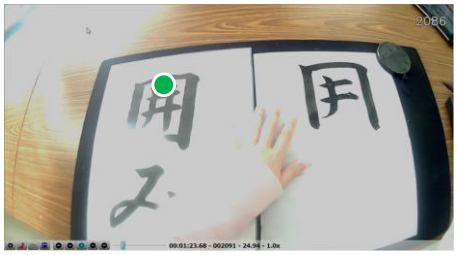


Fig.3　The eye-tracking data (screen shot)

図 3 に実験により記録された視点データの動画（キャプチャ画像，熟練者）を示す．左側にはお手本が置かれており，右側に被験者本人が書いている途中の作品がある．図中に示すように，動画内に緑色の丸印で被験者の注視点がリアルタイムで出力される．図 3 の例では，お手本の上部中央に作業中の注視点がある．

各文字を書くために要した時間（動画フレーム数）の平均を比較した．結果を図 4 に示す．それぞれの文字について熟練者-非熟練者間に t 検定を行い比較したところ,「囲」では $p = 0.0057$,「み」は $p = 0.044$,「永」では $p = 0.030$ であり,いずれも有意な差が見られた. 全ての文字において，熟練者の方が, 非熟練者よりも短い時間で完成させていた.

さらに，各文字について，書字の際にお手本を注視していた時間の割合を図 5 に示すように比較した．この結果について, t 検定を行ったところ, いずれの文字においても熟練者と非熟練者の間に有意な差は見られなかった.

以上の結果から，熟練者の方が非熟練者よりも短時間で文字を完成させていた一方で，お手本を見ていた時間の割合には違いが見られなかった．短時間で文字を完成させたことは，日頃からの毛筆と半紙を用いた書字経験の慣れによる影響が大きいと考えられる．しかしながら，お手本を

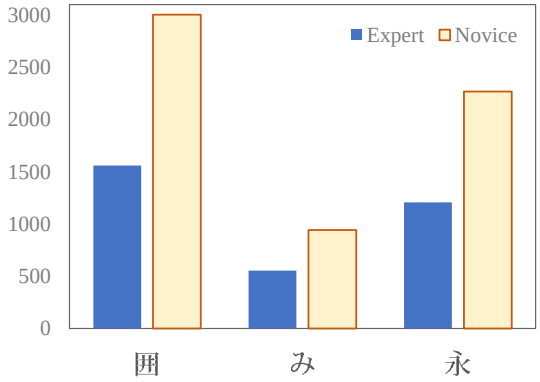


Fig.4　Time required for writing a character

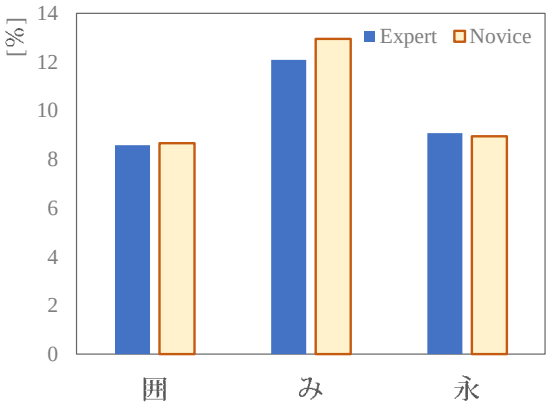


Fig.5　Time duration of gazing the example

注視していた時間の割合に差がなかったことから，同じ割合の時間でも，熟練者の方がより的確にお手本から特徴を読み取っていたことが考えられる．

そこで，さらにどのような点を意識的に注視して書字を行っていたかを分析する．まず，記録された視点データの動画像により，視点が移動する特徴を確認したところ，ほぼ全ての被験者が，基本的に書字中は自らの筆先を追って見ていたことが分かった．しかしながら「み」の 1 画目の終わり（ゆるやかに右に下がる）を書いている際に，筆先よりもやや上を注視していた被験者（熟練者 3/3 名，非熟練者 2/7 名）がいた．これについて，インタビューにより確認したところ，全ての熟練者が「2 画目の起筆（縦棒の始まり）の位置を予測して見ていた」と回答した．インタビュー内で，書写タスク中に「お手本の起筆や終筆の形や線の太さなど」を見ていたと発言した熟練者は3名中3名，非熟練者は 7 名中 3 名であった．さらに，3 名中 3 名の熟練者が「筆先だけでなく，全体のバランスを見ていた」と回答したが，そのように回答した非熟練者はいなかった．

これらのことから，熟練者の視点には「次の画の起筆の位置を予測している」,「筆先だけではなく全体を俯瞰して見るタイミングがある」特徴があり，書写タスク中に全体のバランスと細かな部分を併せて確認していることが分かった．

6. まとめ

熟練者と非熟練者の視点を比較し，定性的に分析することで熟練者の特徴を明らかにできる可能性が分かった．分

析の結果から，熟練者がどのような文字のときに，「次の画の位置」，「全体のバランスを俯瞰」して見ているのかを導出し，非熟練者に教示すればより効率的に技能を習得できるのではないかと考えられる．非熟練者の技術を向上させるために教示すべき内容の手がかりを得た．

一方で，今回の実験において書写タスクで書字させた文字はいずれも日常的に用いられる文字であり，馴染みのある読み慣れたものであった．文字として見慣れないものを模倣して書写する際にも，本実験と同様の視点特徴が表れるか確認する必要がある．また，視点分析により得られた熟練者の特徴を，非熟練者に教示する方法についても検討していく．

文　献

(1) 山本孝，森健一：認知科学手法による熟練技能伝承方策に関する研究，日本経営工学会論文誌，Vol.63, No.2, 161－169，2002.
(2) 久米公，他：書写スキルで国語力をアップする！新授業モデル　小学校編，明治図書出版，2011.
(3) 株式会社ディテクト：ViewTracker3：https://www.ditect.co.jp/products/gauging/ViewTracker3.html (参照日 2021 年 2 月 1 日)
(4) 宮澤正明，他：書写　四年，光村図書出版，10，2020.
(5) 宮澤正明，他：書写　三年，光村図書出版，34，2020.

Reducing Unconscious Gender Bias through Workshop with Co-Speculative Design

○三好葉月（慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科）*1

*1 Hazuki Miyoshi, The Keio University Graduate School of Media Design,

キーワード:無意識のジェンダーバイアス,スペキュラティブデザイン,ワークショップデザイン

1. はじめに

本研究は、無意識のジェンダーバイアスを減らすアプローチとして、スペキュラティブデザインを用いてワークショップを行った。ワークショップ内では、起こりうる未来を想像しながら与えられたペルソナを作成し、描かれたペルソナの特徴と背景を参加者同士で対話してもらい、そこから気づきを得る、ということが本研究の狙いである。

研究を始めるにあたり、「なぜ理系に女性が少ないのか」という素朴な疑問から、少しでも偏見を減らせる施策を生み出すことを目標に研究を進めた。

2. 先行研究

「なぜ理系に女性が少ないのか」という問いに対し、考えられる要因として、「無意識のジェンダーバイアス」があげられる。

2.1. 「女性は数学が苦手」 ーステレオタイプの影響について考えるー

森永康子 (2017)[1]は、割合を見てわかる通り、理系の女性の少なさを指摘した。その要因として、ステレオタイプが影響しており、たとえばある女子生徒が「女性は数学が苦手」というステレオタイプを持っている場合、数学のテストの点数が悪くても、その結果に対して「仕方ない」という感情を抱く傾向にあると考えた。

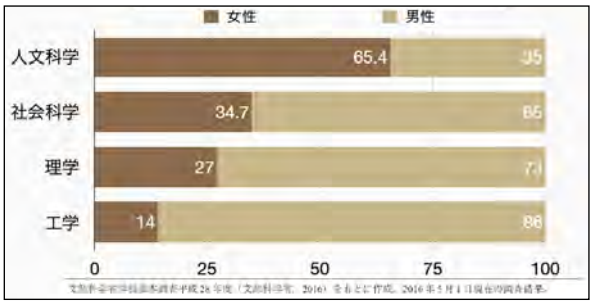


Fig.1 性別・専攻別の四年生大学の学部生の割合

2.2. Change behavior workshop

Carnes[2][3]は、「行動の変革」を原則とする対話形式(ロールプレイも含む) のワークショップを開発した。ジェンダーバイアスの克服を目的とした研究から得た行動戦略を反映し、「無意識のバイアスは心の習慣である」とし、固定概念の除外を試みた。具体的には、職歴が長い、もしくは上級専門職の女性と会って、その人たちの考えやヴィジョンを聞き、話し合いの場を持つ機会を与えた。ワークショップ後、Implicit Association Test (IAT)という潜在的態度を測定するテストを受けたところ(2.4.参照)、Conscious Biasは減ったものの、IATの結果を見るとUnconscious Gender Biasは減少はしていなかった。

2.3. Unconscious Gender Bias

アンコンシャス・バイアスとは，誰もが潜在的に持っている「無意識の偏見」のことであり，無自覚のうちに持つようになった物事への見方や考え方のことを指す。米国では，unconscious bias 以外に implicit bias という言葉も使われる (苅田, 2018)[5]。最近では会社の研修などでよく聞く言葉であるが、脳神経科学的視点で見ると、効率的でよりスピーディな判断をするために、認識を超え、脳が何かの指令やパターンを行うことであり、この場合のプロセスは自分では認識していないことから「無意識の偏見」という。また、このシステムによってステレオタイプを生み出す。

2.4. Implicit Association Test

Implicit Association Test (IAT)とは、潜在的（意識的に反応しない）態度を測定するプログラムであり、Greenwald & Banaji (1995)[6]に考案され、Greenwaldの指導学生であるDraine (1998)[7]に開発された。従来の測定法だと、質問に対して何項目か選択肢が与えられ、それに対して「当てはまる」から「全く当てはまらない」まで選ぶ判断時間があった。IATは、２種類の態度測定法を取り入れ、具体的には、ある事柄（人や考え方など）に対して「良いー悪い」や「ポジティブーネガティブ」など感情との結びつきを測定するように作成されている。

Greenwald & Farnham (2000)[8]は、IATを以下のように説明している。

52枚のトランプを組み分けるとしよう。52枚には、クローバー，ダイアモンド，ハート，スペードの４種類それぞれに13 種類の番号札がある．あなたはクローバーと スペードを左側に，ダイアモンドとハートを右側に分類 しなければならない．この組分けにかかるスピードは， 一緒に組分けされるカテゴリーのペアが，あなたにとっ てどれほど強く連合されているかに影響を受ける．もし 同じ組に分類さ

れる2 つのマークが，ある共通点により 連合が強ければ，その分類課題は簡単となるはずである． この例では，クローバーとスペード（共通特性：黒）を 左に，ハートとダイアモンド（共通特性：赤）を右に分 類することになるが，この課題を簡単にしているのは， 色という特性の連合となる．（p. 1022-1023）．

小林[9]による実際のIAT の一般的手続きは以下の通りである（詳細 な手続きについては，潮村・小林 (2004) [10] を参照）。実験参加者の課題は，Figure 2のような画面上に呈示される刺激（単語刺激が一般的であるが写真刺激等が用いら れることもある）のカテゴリー分類課題である。その際，図中Xの箇所に呈示される刺激（例えば、たんぽぽ，ごきぶり，たのしい，かなしい，などの単語）が，「花」「虫」「快語」「不快語」のどのカテゴリーにあてはまるかを瞬時に判断し、その単語が「花」あるいは「快語」であれば右のキーを，「虫」あるいは「不快語」であれば左のキ ーを押すことが求められる。練習試行後，実際に反応時間が測定されるセッションは２種類ある。1つは，Figure ２にあるように，「花」と「快語」が同じ反応キーを共有する場合で、もう1 つは，その逆パターン，つまり「花」と「不快語」が同じキーを共有するパターンとなる。連合が強い2つのカテゴリー（例：花と快語）が同じ反応キーを共有する場合は，連合が弱い2 つのカテゴリー（例：花と不快語）が同じ反応キーを共有する場合よりも反応が速くなる。この反応の差異は，2 種類のターゲット概念と特性（ポジティブ・ネガティブ性）の連合（implicit association）を潜在的に測定しているとされている。

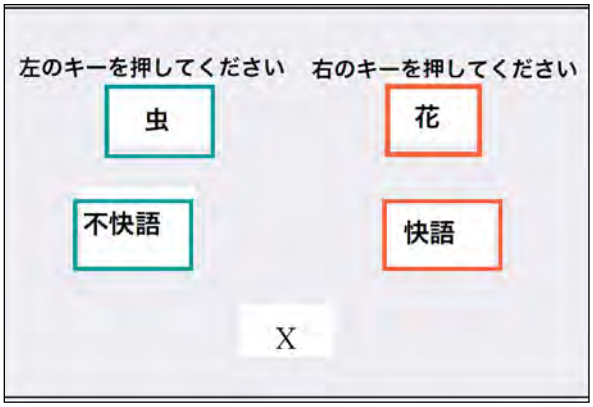


Fig.2 IAT課題・画面の模式図 (小林,岡本)[9]

本研究では、「ジェンダーと科学」の連合性を測るテストカテゴリーを選び、おおよそ１０分間に約５０問、パソコンのキーボードのEとIを使って左右にあるカテゴリーに単語を振り分ける。単語はランダムかつ瞬発的に表示されるため学習による影響は少なく、人文系と科学のカテゴリーに性別（女性、男性、おばあちゃん、お母さん、おじいちゃん、お父さんなど）を分配することで、特性の連合性を判断した。

2.5. 様々なデザイン理論とCo-Speculative Design

Lohmann (2018)[11]は持続可能な社会を実現するデザインとしてCo-Speculative Designを研究に取り入れ、大きな可能性を示した。サステナビリティだけでなく、ジェンダーステレオタイプのような社会的問題にアプローチする手法として非常に有用であるため、本研究でもその観点を参考にした。Co-Speculative Designの説明の前に、関連する様々なデザイン理論とその課題を説明する。

2.5.1. Critical Design (CD)

クリティカル・デザイン (CD) は、「クリティカル・シンキングを物質性に置き換えて変換する」ことである(Dunne, Raby, 2013)[12]。それは、現実の科学的、文化的、倫理的、社会的、技術的側面を組み合わせ、デザインの言語を通じてそれらを明確にすることにより、「ユーザーの聴衆を引き付け、議論を引き起こす」（Malpass、2017、p.41）[13]媒体である。その意図は、「現実の別のビジョンの提案、誇張、提示」によって、現在の世界観、価値観、技術および科学的進歩、社会的および経済的モデルについての反省をする機会を与えることである (Malpass, 2017, p. 61)[13]。

Speculative Designの第一人者であるAnthony DunneとRabyは、CDを考案し、「イノヴェーティブなことをことを考えるには、クリティカルな視点のインパクトは小さすぎる」とした上で、「CDは社会をより良い方向に変えようとする道徳的主体として説明されているものの、そのデザインが批判的であるかどうかは最終的に誰が判断するかがキーである」という。[12]

2.5.1. Transition Design (TD)

トランジション デザイン (TD) は、学際的な領域をつなぐ全体論的な理論である。デザインを通して、教育、科学、技術、未来学、哲学からの知識を社会に適用することを目的としている。Transitionという用語は、現在の環境は、急速な変化を伴う社会的・文化的時代で生きていることを示している。[11]一昔前に”当たり前”だと思っていた常識が、現在では全く通用しなくなっている事象は多々見受けられる。こうした環境と社会規範の変化を、学際的な視点から考えるというTDは、研究コンセプトに大いに反映されている。

2.5.3. Speculative DesignとCo-Speculative Design

上記２つの理論に比べると比較的新しいデザイン理論であるSpeculative Designであるが、それぞれの違いについて説明する。

Fig.3では、個別による投機的視点の範囲を表している。三角のコーンは、左が現在で右が未来という時系列に沿って伸びており、単一の視点から見た可能性と可能性のある未来の範囲を示している。未来の可能性、起こりうる未来、好ましい未来という順にコーンの範囲が広がっており、この視座は非常に個人的なものであることを懸念として指摘されてきた。より幅広い視点で、自分の内省が活発

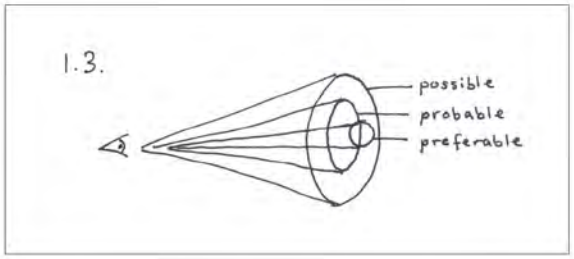


Fig.3 個々人の推測的視点 (11)

に行われる環境として、Co-Speculative Designがあげられる。

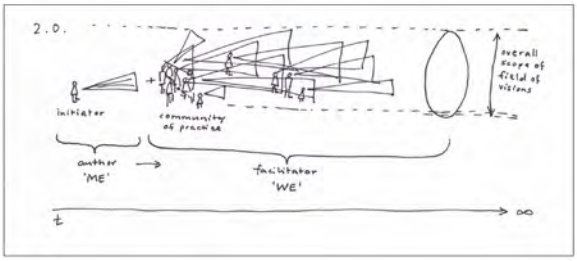


Fig.4 コミュニティ間で起こる視座の拡張 (11)

コミュニティ間で対話と繰り広げることによって、コーンのスコープは広がり、様々な視点で起こりうる未来を想定できることができる。これによって、自分の行動を内省し、それに反省に基づいて行動することが期待される。

3. コンセプトとメゾット

以上の先行研究を踏まえて、本研究の仮説としては、無意識のバイアスを前提としないワークショップは、バイアスの減少に貢献する、ということである。無意識のバイアスを減らすためのワークショップを作る上で、重要視した２点のポイントがある。

（1）Co-Speculative Designを用いたワークショップを開催

Speculative Designとしては、約2分半のFuture Scientist movie（脳神経科学者FUKOとデザインエンジニアのコラボレーションの物語）と「未来の評価システム」を考える部分であり、Co-Speculative Designとしては、参加者同士の議論や対話を通して、ワークショップのコンセプトにある問題提起以上の新たな問題が発見、ないし再定義される部分を指す。

（2）ワークショップのコンセプトとして、「無意識のジェンダーバイアス」から議論をするではなく、一般論から始める。

たとえば日本の入試に関して、同期よりも手段に重きが置かれている評価方法に対しての問題提起をし、個人のポテンシャルを発揮できるような適材適所で多様性のある評価とは何かを考えてもらう。そこで起こりうる未来（Movieに基づいて）を想像しながら新しい評価方法について考えいることが第一のゴールとする。

一方で、研究のテーマとなる無意識のバイアスに関しては最初から参加者には伝えず、日本の社会問題（たとえば入試）に対して、評価方法だけが悪いのではなく、潜んでいる別の要因があると仮定した。ワークショップの後半部分にペルソナ作成がワークとしてあるが、そこで徐々に無意識のジェンダーバイアスが露呈するような仕掛けを用意した。たとえば、作られたペルソナの性別をスワップすることで、当初の特性や属性がどのように変化し、影響するのかを考えてもらった。ワークショップ終了時に、１番の目的を参加者に伝え、無意識のジェンダーバイアスが差別化要因Xとして現れたことを振り返ってもらう。いかにこの問題が日常に潜んでいることを気づいてもらうことがゴールであり、ある種数学的帰納法のような手法をとった。心理学実験で用いられる「カバーストーリー」という、本来の目的を隠しながら実験を進めていく手法も参考にした。

4. ワークショップデザイン

実際に行ったワークショップの全体構成と事前準備（ロジ）は以下の通り。



Fig.5 ワークショップの全体構成

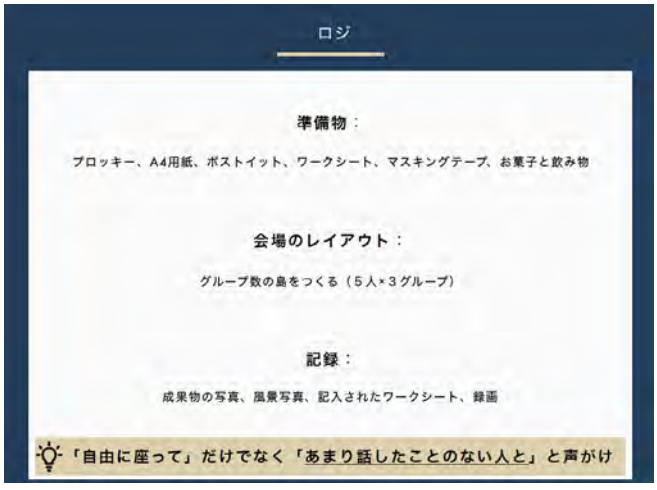


Fig.6 ワークショップ開催前の事前準備（ロジ）

ワークショップは全部で３回行い、それぞれのプログラムと課題を洗い出し、改善してプログラムをアップデートしていった。



Fig.7 第一回目のワークショッププログラム



Fig.8 第一回目のワークショッププログラムの課題点



Fig.9 第二回目のワークショッププログラム

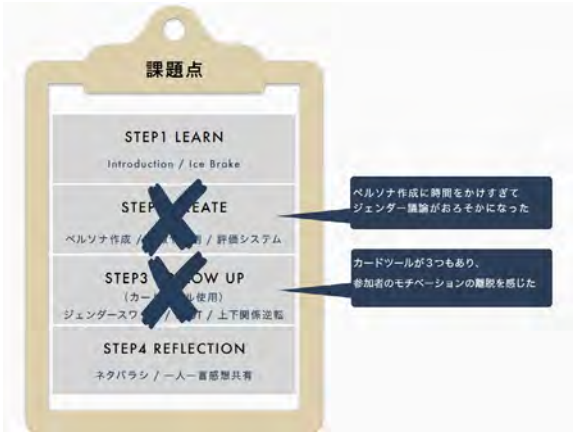


Fig.10 第二回目のワークショッププログラムの課題点



Fig.11 第二回目のワークショップの様子



Fig.12 第三回目のワークショッププログラム



Fig.13 第三回目のワークショップの様子



Fig.14 第三回目：ペルソナ作成



Fig.15 第三回目：ディスカッション

5.結論

IATの結果によると、このワークショップによって無意識のジェンダーバイアスは減る傾向にあった。興味深いことに、ワークショップに参加していない状態でIATを２度受けてもらうと、唯一増加する結果が得られた。



Fig.16 IATの結果

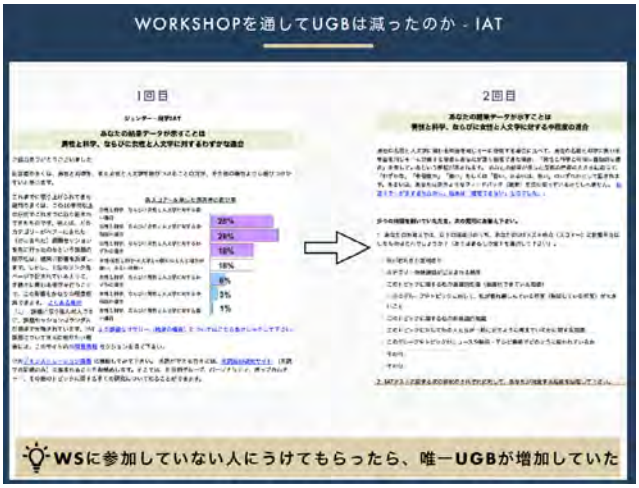


Fig.17 ワークショップ府参加者によるIATの増加傾向

Co-Speculative Designの有用性として検証方法とその結果をまとめた。対話を通してワークショップのテーマ以上の問題提起が出されたり、「自分のバイアスに気づいて不安になった」というような予期せぬフィードバックを得られた。今後は、いかに心理的安全性を担保した上で偏見に対するディスカッションができる場づくりをできるかという面と、長期的にステレオタイプが低減しているかどうかの検証も必要になるだろう。



Fig.18 Co-Speculative Designの有効性と評価方法

・「自分のUGBに気づいて、今後の行動に不安を覚えた」

・「男性へのエンパワメントはどうしたらいいの？」

・「SDGSにもあるように男女平等は進んでると思ってたけど、そもそも平等の定義ってなんだろうと考え始めた。」

・「当たり前だと思い込んでいたことに気づけた。」

・「ジェンダーの話が出てくると構えてしまった。WS内で心理的安全性がもっとあれば本音で話せた。」

・「なんだかんだで日本の男女差別はまだまだ進んでないと思う」

・「科学者は男性が多いイメージだったけど、女性が科学者でも違和感はない」

Fig.19 対話の発言記録：参加者による新たな問題提起

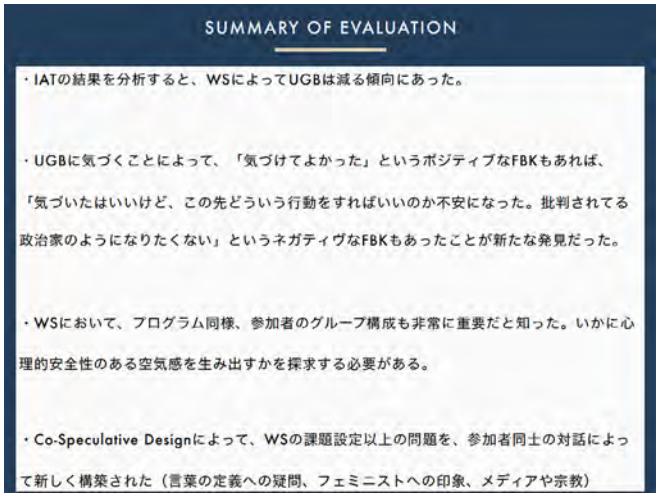


Fig.20 結論まとめ

文　献

(1) Yasuko MORINAGA, “Women can’t do math”: A review of the social psychological literature on the effects of negative stereotypes on both women and girls, Vol. 60, No. 1, 49–61, Japanese Psychological Review 2017.

(2) Carnes, M., Devine, P., Isaac, C., Baier Manwell, L., Ford, C., Byars-Winston, A., Fine, E., & Sheridan, J. (2012). Promoting Institutional Change through Bias Literacy. Journal of Diversity in Higher Education, 5, 63-77. https://doi.org/10.1037/a0028128

(3) Molly Carnes, MD, MS1 and C. Noel Bairey Merz, MD2, Women Are Less Likely than Men to Be Full Professors in Cardiology: Why Does This Happen and How Can We Fix It?, Circulation. 2017 Feb 7; 135(6): 518–520.

(4) Greenwald, A. G., McGhee, D. E., & Schwartz, J. L. K. (1998). Measuring individual differences in implicit cognition: The implicit association test. Journal of Personality and Social Psychology, 74(6), 1464–1480. https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.6.1464

(5) 苅田香苗, アンコンシャス・バイアスという見えない壁, 日本健康学会誌 Jpn J Health & Human Ecology 2018;84（3）:79-80

(6) Greenwald, A. G. & Banaji, M. R. (1995). Implicit social cognition: Attitudes, self-esteem, and stereotypes. Psychological Review, 102, 4-27.

(7) Draine, S. (1998). Inquisit [Computer software]. Seattle, WA: Millisecond Software. Available: http://. www.millisecond.com/

(8) Greenwald, A. G. & Farnham, S. D. (2000). Using the implicit association test to measure self-esteem and self-concept. Journal of Personality and Social Psychology, 79, 1022-1038.

(9) 小林知博, Implicit Association Test (IAT)の社会技術への応用, 社会技術研究論文集, Vol.2, 353-361, Oct. 2004.

(10) 潮村公弘・小林知博 2004 第４章「潜在的認知」 大島尚・北村英哉（編著）ニューセンチュリー社会心理学３「認知の社会心理学」, 54-73.

(11) Lohmann, Julia, 2018, Thesis, The Department of Seaweed: co-speculative design in a museum residency PhD thesis, Royal College of Art. https://researchonline.rca.ac.uk/id/eprint/3704

(12) Dunne, A. and Raby, F. (2013): Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming. Cambridge (MA): The MIT Press.

(13) Malpass, M. (2017): ***Critical Design in Context.*** London, New York: Bloomsbury.

デザイン思考を用いた理工系学生による話し合いの構成要素と成果物の創造性との関係性

Relationship between the Components of Discussion and Creativity of Outcomes by Science and Engineering Students Using Design Thinking.

○川瀬真弓（岐阜大学）*1　森部絢嗣（岐阜大学）*2　松本和己（株式会社日立製作所）*3
李ナレ（ヤフー株式会社）*4　真貝里絵（ヤフー株式会社）*5　寺田和憲（岐阜大学）*6　深井英和（岐阜大学）*7

*1 Mayumi KAWASE, Gifu University, 1-1 Yanagido Gifu, 501-1193, mkawase@gifu-u.ac.jp
*2 Junji MORIBE, Gifu University, 1-1 Yanagido Gifu, 501-1193, jmoribe@gifu-u.ac.jp
*3 Kazumi MATSUMOTO, Hitachi, Ltd., 6-27-18 Minami-Oi, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan (Hitachi Omori No.2 Annex), 140-8572
*4 Narae LEE, Yahoo Japan Corporation, Kioi Tower, 1-3, Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan, 102-8282
*5 Rie SHINGAI, Yahoo Japan Corporation, Kioi Tower, 1-3, Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan, 102-8282
*6 Kazunori TERADA, Gifu University, 1-1 Yanagido Gifu, 501-1193, terada@gifu-u.ac.jp
*7 Hidekazu FUKAI, Gifu University, 1-1 Yanagido Gifu, 501-1193, fukai@gifu-u.ac.jp

キーワード:デザイン思考，話し合いの内容分析，創造性（新規性，有用性）

1. 緒　　言

Society 5.0 のようにフィジカル空間とサイバー空間を統合して複雑な問題を解決するような新しい価値を創出するには，個々のデザイン力では解決できない新しい価値を創出するデザイン力が求められ(1)，目的に応じて必要な機能，素材を組み合わせる創造力が必要となる．Tim Brown（2009）は，複雑な問題を解決することにデザイン思考が適していることを示唆した(2)．デザイン思考は，デザインを専門分野としない人でも協調活動でデザイナーのような認知プロセスをたどることができる手法であり，発想を広げたり，創造的に問題解決を取り組んだりするためのプロセスが体系化されたものである(3)．実際にデザイン思考のプロセスは広がりがちな創造過程を人間中心がコンセプトとなるようなデザインプロセスをたどる仕組みが含まれている．

Norman（2013）は「誰のためのデザイン!?」において人間の認知プロセスを妨げない人工物の重要性を説いており(4)，ユーザが操作方法に迷ったり誤ったりすることを避けるために，予め人間中心の制約を操作部に取り入れる利点を指摘している(5)．人間の認知プロセスに配慮した設計は，人間中心設計（Human-Centered Design）として重要な役目を担っており，ユーザ視点で仮説検証を繰り返すアプローチのことを指す．より有効で使いやすく、満足度の高い製品やサービスを提供するための一連の活動プロセスとして定義されている(6)．

こうした情報技術を駆使して人間中心の社会を創造するとき，デザイン思考を用いてユーザのニーズを特定し，グローバルな視点で社会実装する切り口を見つける必要がある．これらに対応するために，筆者らが所属する岐阜大学大学院自然科学技術研究科では，次世代を担う高度理工系人材を育成することを使命と考え，デザイン思考の枠組みで創造性を育む教育プログラムに 2017 年度から取り組んでいる．このプログラムは，社会課題を解決するときの考え方に人間中心にデザインする考え方を取り入れた内容で構成している(7)．

本授業におけるデザイン思考を使った問題解決活動の手法には，スタンフォード大学 d.school の 5 つのステップを使用した(8)．5 つのステップは「共感」「問題の定義」「創造」「プロトタイプ」「テスト」から構成されており，これは思考のワークフローの役目を果たす．5 つのステップはデザイン活動時の思考のワークフローが提示されているものの，ワークフローの１つ１つでクリアにすべき事項は，グループの一人ひとりがデザイン方略を身に付けなければ特定することができない．本授業は通常の授業とは異なり，理論体系の理解だけでなく，その理論を活用して解き方も含めて習得することを目指している．そのため学習者はデザインの課題を見つけるために未習のデザインの手法を使ってユーザの状況を推論し，ユーザが人工物（モノ・サービス）を使うときの「本当の問題」や「ニーズ」を見つけるという認知的負荷の高い活動を実践する．デザインの課題に取り組むのが初めてという理工系学生がこうした抽象度の高い，認知的負荷のかかる課題に取り組むのは難しい．そのため，デザイン思考の手法の習得に加え，デザイン思考を学ぶときの新しい学習モデルも併せて習得する支援も必要になる．Nakashima（2009）はこうした新しい仕組みを創造しようとする行為もデザインと呼んでいる(9)．

つまり，本授業の学習者は，デザイン思考の 5 つのステップを，思考のワークフローとして実際に使いながら人間中心の問題解決活動に取り組む．同時に，自分たちはどのような課題を遂行しているか，そのために何を話し合い，

課題についてどのような意味を構築しかつ発展させて伝える必要があるのか自らを客観的にモニタリングする効果が期待できる（図 1）.

1.2. デザイン思考を用いた問題解決活動：グループにおける話し合いの重要性

協調活動（グループ活動）で問題解決活動に取り組む特徴として，三宅（2000）は，共同で取り組む利得が生じるには，解決過程が互いに見えやすいこと，試行錯誤が供用されやすいということ，そして両者は多様な考えがうまく吟味（説明）されるために必要であるとしている.

協調活動で問題解決活動に取り組むときは，複数の考えの共通点をまとめたり別の表現で言い換えたり，言葉に表現することの抽象化を活用していることが多い. 言語化は，複雑な具体的な状態を言葉という 1 つの形式で表現することで抽象化する働きがある．こうした具体的な状態を抽象化するときに新たな状態を「似ている」と判断し過去の経験を応用しやすくなる(10).

本授業のグループにおけるデザイン思考を用いた問題解決活動でも，話し合いにおいて参加者一人ひとりが考えを伝え，表明し，複数の考えの共通点をまとめたり別の表現で言い換えたり，言語化して抽象化する働きがある．そこで，デザイン思考を用いた問題解決活動に取り組むときの話し合いにおいて参加者一人ひとりがどのように発言し，どのような内容を考え，考えを発展させたのか，また，そのような話し合いの結果生まれる成果物の創造性(新規性，有用性)とはどのようなかかわりが見られるのか,加えて，デザイン思考のワークフローの使い方と学習モデルのデザインの使い方を明らかにすることには意義がある. しかし，グループにおいて，各学習者の協調活動過程は授業設計のシナリオに従って行われるとは限らず(11)，学習者が目的を達成できたかどうかを判断することは難しい．協調活動を含む学習環境設計は学習者の協調活動に効果があったかどうか，また学習者が協調活動によりどのような学習効果を得たかを評価するために，協調活動が生じた学習過程を分析する必要がある．さらに，その協調活動の設計が効果的ではなかった場合，原因について検討する必要がある.

本研究の目的は，デザイン思考を用いた問題解決活動をグループで実施するとき，グループ活動の話し合いで学習者間にはどのような発話のやり取りが起こったか，発話を分析して構造を明らかにし，グループの問題解決活動の結果としての成果物の創造性（新規性，有用性）とのかかわりを調べることである．また，話し合いの発話内容を分析して明らかになった発話内容（項目）が他の発話内容（項目）に影響しているかどうかの関係性についても確認し，やり取りがどのように影響するのか明らかにする.

2. 調査・方法

2.1. 調査の対象者

岐阜大学大学院自然科学技術研究科修士 1 年生の必修科目「デザイン思考序論」第 2 ターム受講者 198 名である．受講者の所属学科は，生命科学・化学専攻，生物生産環境化学専攻，環境社会基盤工学専攻，物質・ものづくり工学専攻，知能理工学専攻，エネルギー工学専攻である． 2.2. デザイン思考を用いた問題解決活動のデザイン 2020 年 4 月からコロナ対策によりオンラインを用いた遠隔授業を実施することになり，Microsoft Office 365 の Teams を使って動画教材の視聴とグループの話し合いを実施した.

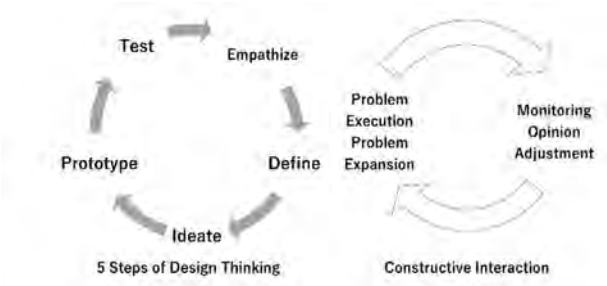


Fig.1 Design Thinking Workflow of 5 steps and Constructive Interaction

「デザイン思考序論」の学習目標は，理工系学生に，デザインの理論の習得ならびに実際に企業におけるデザイン思考を使った問題解決の事例を理解することである．その後，デザイン思考に関する知識を使って実際に問題解決活動を習得し，デザインの理論を説明する教材は，実際に企業に勤務するデザイナー3 名に委嘱している． 授業は隔週 2 コマ連続で実施し，4 回 8 コマで完結する．第 1 回目と第 2 回目にデザイナー3 名から動画教材による 講義を受け，受講後，学習者自身の経験に即して理解できるようリフレクション課題に取り組ませ，学んだ点を記述させた．第 3 回から グループで問題解決活動を進められるよう，専攻が偏らないよう学生 4 人を 1 グループに割り当てた．A クラス，B クラスそれぞれ 25 グループを担当した.

第 3 回目からはオンラインでグループの話し合いによる問題解決活動に取り組んだ．第 3 回目の授業において学習者は，デザイン思考の 5 つのステップのワークフローに沿って問題解決活動に取り組んだ．話し合いは顔を見ながら話せるビデオ会議で実施すると同時に，話し合った内容が後から振り返ることができるようグループのチャット欄にテキスト文で要約記録するよう伝えた．第 3 回の授業を終えたあとも，グループごとに課題遂行のための話し合いを実施し，進捗状況をモニタリングしながら，ユーザ中心に問題解決するデザイン活動の進め，成果物を指定日までに作成し，提出した． 通常であれば成果物は模造紙を用いたペーパープロトタイプと発表原稿であるが，2020 年度は PowerPoint を用いた 動画プロトタイプ（2 分間）を制作して発表会とした．第 4 回目は，クラスの全グループの成果物である 2 分間 動画プロトタイプを視聴し，他グループの動画プロトタイプを採点させ，自身のグループの動画を修正するよう指導した．その後，授業で習得した事柄を自分の経験と組み合わせて修正案を考え，修正ポイントを記述させることで，デザイン活動の向上を図った（表 1）.

2.3. デザイン思考の 5 つのステップの定着を目的とした問 題解決活動の実施と発話分析

A クラス, B クラスの全 50 グループの投稿欄に記録された発話内容をエクセルファイルに転記し 50 グループの発話内容を保存した. グループごとに発話内容を分析の結果，発話の内容にはあるパターンがみられることが分かった.

Table 1 Curriculum Content for Design Thinking Introduction

	Learning Theme	Learning Contents
1.	Design Theory 1 Learning by Movie	1) Introduction of basic design theory and design thinking by Mr. Lee Narae 2) Case study of product development using design thinking by Rie Shingai 3) Case study of regional development using design thinking by Kazumi Matsumoto
2.	Design Theory 2 Learning by Movie	Conversation by designer's answers to questions from learners
3.	Exercise Assignment Conduct an online group discussion	Assignment: "Identify the discomfort that arises when using an online application for video conferencing, and propose an idea to resolve the discomfort".
	Exercise Assignment Conduct an online group discussion	Discuss and propose a solution to the problem in groups. The presentation should be a movie of no more than 2 minutes. The content of the discussion should be recorded in the group's contribution column.
4.	Exercise	Watch and evaluate the video.
	Final Exercise	Submit a revised movie.

Table 2 Classification Lists and Contents of Discussion Extracted from Utterances Analysis

	Lists	Contents
1.	Information Gathering	Gathering information from outside and interacting with it.
2.	Problem Analysis	Analyzing the user's problem.
3.	Needs	Having a dialogue about the user's needs.
4.	Functions for Realization	Having a dialogue about the combination of functions in realizing the needs and providing a new service.
5.	Prototype	Having a dialogue by visualizing and checking the idea.
6.	Expectation	Expecting situations in which users are using the new service.
7.	Information Sharing	Sharing information to help others understand.
8.	Confirmation	Confirming what should be done next to solve the problem.
9.	Agreement	Understanding the other person's proposal and accepting the idea.

Table 3 Example of Content Analysis of Text Left in a Chat

Date	Time	Speaker	1 Information Gathering	2 Problem Analysis	3 Needs	4 Function for Realization	5 Prototype	6 Expectation	7 Information Sharing	8 Confirmation	9 Agreement
8-Jul	10:19	D							●		
8-Jul	10:20	D					●				
8-Jul	10:21	D				●					
8-Jul	10:23	D				●					
8-Jul	10:26	C		●							
8-Jul	10:27	A		●							
8-Jul	10:27	D		●							
8-Jul	10:27	D		●							
8-Jul	10:30	A		●							
8-Jul	10:32	D		●							
8-Jul	10:34	D		●							
8-Jul	10:36	A		●							
8-Jul	10:38	C		●							
8-Jul	10:40	A				●					
8-Jul	10:41	C				●					
8-Jul	10:42	D		●							
8-Jul	11:20	D				●					
8-Jul	11:49	C	●								
8-Jul	11:49	D							●		
8-Jul	11:57	D		●							
8-Jul	11:57	D		●							
8-Jul	11:58	C					●				
8-Jul	11:58	C					●				
8-Jul	11:58	C					●				
8-Jul	11:58	D					●				
8-Jul	11:58	D					●				
8-Jul	11:59	C						●			
8-Jul	12:00	C						●			
8-Jul	12:01	B						●			
8-Jul	12:01	C						●			
8-Jul	12:01	C						●			
8-Jul	12:03	B						●			
8-Jul	12:06	D						●			
8-Jul	12:07	D						●			
8-Jul	12:07	D						●			
8-Jul	12:08	D						●			
8-Jul	12:11	D						●			
8-Jul	12:13	D						●			
8-Jul	12:15	D						●			
8-Jul	12:17	D									●
8-Jul	12:30	D	●								
8-Jul	14:28	D			●						
8-Jul	17:09	C								●	
8-Jul	17:33	D								●	

Table 4 Example of categorizing the content of a chat text into 9 items

	Classification of speech content Examples
1. Information Gathering	既に提出している他の資料を確認してます
2. Problem Analysis	ラグが気になる 話がかぶって「あっ、」てなる 目線が合わせにくい ジェスチャーなども限定されてで伝わりづらい 常に見られているかもしれない緊張感
3. Needs	今日中にユーザーのニーズ文1,2，ニーズはペルソナ形成が必要
4. Function for Realization	アバターを使う　動きと表情を反映する機能 ゲーム形式の機能
5. Prototype	VRで仮想空間内で会議
6. Expectation	（ニーズに沿ったオンラインアプリができたら） リアルタイムに話し合える（通話） 交通費と移動時間を短縮できる 集まる場所が必要無い ファイルの共有が簡単
7. Information Sharing	課題の確認　オンラインの話し合いに参加したくなるようなサービスはどう？
8. Confirmation	収束させよう いかがでしょう
9. Agreement	とりあえずこれくらいですね

デザイン思考のワークフローに沿った内容，ならびに，ワークフローとその内容がうまく進んでいるかモニタリングする内容に分かれていることが分かった．前者の内容は，「情報収集」「問題分析」「ニーズ」「実装のための機能（あるいは「機能」とのみ表記）」「プロトタイプ」「期待」の人中心に問題分析する内容に，後者の内容は「情報共有」「確認」「共有」の課題遂行がうまくいっているかどうかをモニタリングする役目をはたしている内容を確認した．発話分析の要素は全部で 9 つとなった（表 2）．

2.4. チャットの発話内容の分析の手続きと総数

表 3 は，あるグループの発話内容を 9 つの項目に分析した例を示したものである．個々の発話内容を読み、9 つ項目に分類した．分類時の事例は表 4 のとおりである．グループ内のメンバーがチャットに書き出す発話内容を抽象

Table 5 Total number of utterances by 47 groups for 9 classification lists

	total number
1. Information Gathering	76
2. Problem Analysis	1583
3. Needs	795
4. Function for Realization	584
5. Prototype	180
6. Expectation	155
7. Information Sharing	470
8. Confirmation	354
9. Agreement	505

化して 9 項目の中の最も近い内容に当てはめた．チャット形式でやり取りをしているため，チャット欄に書き込む テキストは，比較的短い文章が多く見られた．

表 5 は分析対象となった 47 グループの発話内容を 9 つの項目に分類した発話数を示している．

2.5. 問題解決活動の結果としての成果物の評価

通常，グループで話し合って問題解決活動をした結果，ペーパープロトタイプを作成して発表していたが，今回は代わりに動画プロトタイプ（2 分間）を作成させた．本授業の講師を務めるデザイナー3 名と川瀬により，全 50 グループの動画を視聴し，提案される人工物の新規性ならびに有用性がどれくらい感じ取れるか 10 段階で評価した．ただし，全 50 グループの内，3 グループの投稿内容は発話内容の分析対象に該当しないくらい記述が少なかったため，分析対象から除外し，全 47 グループを分析対象とした．

2.6. 発話内容の 9 つの項目と成果物の評価（新規性，有用 性）の標準化

問題解決活動の発話内容の 9 つの項目による分析結果と成果物の新規性と，発話内容の 9 つの項目による分析結果と成果物の有用性との相関を確認する際，発話内容の 9 つの項目に対して 47 グループの数値を用いることとした．後に成果物の創造性（新規性，有用性）の 47 グループの評価結果とどれくらい相関があるか確認したいと考えたため，標準化を実施した．また，成果物の創造性（新規性，有用 性）に対する 4 名の評価結果にはばらつきがあるため標準化し，データの分布を整えた．標準化したデータは，エクセルファイルでデータ分析機能を用いて相関分析を実施した．

3. 結果・考察

3.1. 発話内容の 9 つの項目の分析結果と新規性・有用性の分析結果との相関分析の結果

問題解決活動の発話内容の 9 つの項目による分析結果と，成果物の「新規性」について相関分析を実施し，表 6 にまとめた．同様に，発話内容の 9 つの項目による分析結果と成果物の「有用性」について相関分析を実施し，結果を表 7 にまとめた．表 6 より，発話内容の 9 つの項目と成果物（新規性）との間に相関は見られなかった．また，表 7 より，発話内容の 9 つの項目のうち情報収集は，成果物の「有用性」(-0.2894) と弱い負の相関があり，プロトタイプと「有用性」（0.3022）には弱い正の相関があることがわかった．

Table 6 Correlation Analysis between 9 Items of Speech Content and “Novelty” Evaluation of Deliverables

	1.Information Gathering	2.Problem Analysis	3.Needs	4.Function for Realization	5.Prototype	6.Expectation	7.Information Sharing	8.Confirmation	9.Agreement	*Novelty*
1.Information Gathering	1									
2.Problem Analysis	0.0725	1								
3.Needs	-0.0474	0.0898	1							
4.Function for Realization	-0.0353	0.6076**	0.3918**	1						
5.Prototype	0.1100	0.4131**	0.2658	0.4140**	1					
6.Expectation	0.1907	0.4698**	0.1199	0.4352**	0.5535**	1				
7.Information Sharing	0.0375	0.1503	0.3830**	0.5430**	0.2781	0.4770**	1			
8.Confirmation	0.0802	0.4025**	0.1758	0.4782**	0.4455**	0.7809**	0.7753**	1		
9.Agreement	0.0392	0.4126**	0.0840	0.4031**	0.4005**	0.8796**	0.6260**	0.8966**	1	
Novelty	-0.0766	0.2676	-0.0595	0.0586	0.2149	0.1640	-0.0723	0.1348	0.1795	1

n=47 df=45, **=0.372<r p=0.01

Table 7 Correlation Analysis between 9 Items of Speech Content and “Usefulness” Evaluation of Deliverables

	1.Information Gathering	2.Problem Analysis	3.Needs	4.Function for Realization	5.Prototype	6.Expectation	7.Information Sharing	8.Confirmation	9.Agreement	*Usefulness*
1.Information Gathering	1									
2.Problem Analysis	0.0725	1								
3.Needs	-0.0474	0.0898	1							
4.Function for Realization	-0.0353	0.6076**	0.3918**	1						
5.Prototype	0.1100	0.4131**	0.2658	0.4140**	1					
6.Expectation	0.1907	0.4698**	0.1199	0.4352**	0.5535**	1				
7.Information Sharing	0.0375	0.1503	0.3830**	0.5430**	0.2781	0.4770**	1			
8.Confirmation	0.0802	0.4025**	0.1758	0.4782**	0.4455**	0.7809**	0.7753**	1		
9.Agreement	0.0392	0.4126**	0.0840	0.4031**	0.4005**	0.8796**	0.6260**	0.8966**	1	
Usefulness	-0.2894*	-0.1292	0.0808	0.1871	0.3022*	0.0721	0.0400	-0.0383	0.0399	1

n=47 df=45, **=0.372<r p=0.01, *=0.288<r P=0.05

情報収集と「有用性」に弱い負の相関が見られたことから，オリジナルデータを見直したところ，外れ値が含まれていたことからそれを除外し計算し直したところ，相関係数は0.014 となり 相関は見られないことが分かった．表 6，7 より，問題分析は，機能（0.6076）とやや高い正 の相関があり，プロトタイプ（0.4131），期待（0.4698），確 認（0.4025），同意（0.4126）と弱い正の相関があった．ニーズは，機能（0.3918）と情報共有（0.3830）と弱い正の相関がある．機能は，プロトタイプ（0.4140），期待（0.4350），情報共有（0.5430），確認（0.4782），同意（0.4031）と弱い正の相関があった．プロトタイプは，期待（0.5535），確認 （0.4455），同意（0.4005）と正の相関があった．期待は，情報共有（0.4770）と弱い正の相関があり，確認（0.7809），同意（0.879）と高い正の相関があった．情報共有は，確認 （0.7753），同意（0.6260）と高い正の相関があった．確認は，同意（0.8966）と高い正の相関があった．

3.2. 発話内容の 9 つの項目の分析結果と新規性・有用性の分析結果に基づく考察

表 7 より発話内容の 9 つの項目のうちプロトタイプと「有用性」との関係が見られたことから，プロトタイプについて，イメージするアイデアを具体化して見せ合ったり，グループの話し合いで発話が増えたりして，グループの学習者間でユーザにより意味のある人工物のイメージを持つに至ったと考えられる．すなわち，有用性に特化した人工物を考えるときは，話し合いにおいてプロトタイプに関する発話が活発に行われるよう促すことが重要となる可能性がある．

表 6，7 より，デザイン思考に関する「問題分析」「ニーズ」「機能」「プロトタイプ」「期待」は，「情報共有」，「確認」「同意」というモニタリングの役割と比較的相関があった．デザイン思考のワークフローを用いて話し合いに参加するとき，課題についてどのような意味を構築しかつ発展して伝える必要があるのかモニタリングしている可能性が見られた．このことから，デザイン思考のワークフローに関する「問題分析」や「機能」に関する認識を高め発話を増やすと，他の項目の機能，プロトタイプ，期待，情報共有，確認，同意に関する能力も併せて伸びる可能性があることが伺えた．

なお，本研究の発話分析は，発話プロトコル法 （プロトコル分析）とは異なるものである．発話プロトコル法は人間 が課題を解くときの思考過程を抽出し検討する方法[12][13]である．一方，本研究の発話分析は，デザイン思考を用いた問題解決活動におけるグループの話し合いの中で，どのような種類の発話が展開されたか構成要素を明らかにし，それらが構成要素間でどのような関係にあるか確認しようとするものであった．両者には人間が課題を解くときの思考過程を抽出しようとした点において共通の観点がみられるものの，発話プロトコル法はテキストデータから判断や意思決定を行う思考過程を得ようとする点に立脚していることと，本研究は課題に対する理解の進化とアナロジーによる推論，仮定による推論の過程を得ようとした点に立脚していることから明らかにしようとした内容が異なっていることを申し添えたい．

本研究より，グループでデザイン思考を用いて問題解決活動に取り組む際，学習者はユーザの周辺環境における問題に関する認識を高め，ユーザと人工物との関係性の問題がどこに潜んでいるか仮定しながら問題の所在を分析しようとする初期段階，次にユーザの認知プロセスに寄り添って望ましい状態を推測し，ニーズを特定するという仮説生成段階．生成された仮説がユーザの目的，ニーズを適えているかモニタリングする段階を経ている可能性がある．本研究より，発話内容の 9 つの項目と成果物の創造性（有用性）の評価との間に正の相関を持つ項目（プロトタイプ）が特定された．有用性が感じ取れる成果物と話し合いの内容のプロトタイプに関して，今後要因を探る必要がある．本研究で得られた知見を活かし，今後も授業設計に励み，教育の質の向上を目指して授業改善に取り組んでいきたい．

謝　辞

本論文を作成するにあたり、ご指導ならびに日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂戴いたしました鎌部浩教授，三井栄教授には，深く感謝申し上げます．

文　献

(1) 榮佑馬，加藤健郎，佐藤浩一郎，松岡由幸：デザイン思考に基づくデザイン手法の類型，日本デザイン学会，デザイン学研究，JSSD 第 62 回年次会議，2015. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssd/62/0/62_59/_pdf/-char/en（参照日 2021 年 6 月 5 日）

(2) Brown, T. with Katz, B.: Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation, Harper Business, 2009, p.4.

(3) Design Thinking: https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking（参照日　2021 年 6 月 5 日）

(4) Norman, Don. : The Psychology of Everyday Things (Revised and Expanded Edition). Basic Books, New York, 2013.

(5) 川瀬真弓，鎌部浩：理工学系学生に向けたデザイン思考教育と学習プロセスを省察させる効果　発散収束曲線を用いた理解度評価の検討，発表概要集，340-347，Design シンポジウム 2019.

(6) 人間中心設計（特定非営利活動法人人間中心設計機構）：https://www.hcdnet.org/hcd/column/materials_01/hcd-1177.html（参照日 2021 年 6 月 5 日）

(7) 岐阜大学大学院自然科学技術研究科 2020 年度必修「デザイン思考序論」シラバス，2020.

(8) Design Thinking 5 Steps of Stanford University d.school: https://medium.com/stanford-d-school/lets-stop-talkingabout-the-design-process-7446e52c13e8 （参照日 2021 年 6 月 15 日）

(9) Nakashima, H.: Evolution-theoretic Approach to Synthetic Study of Intelligence. What is Evolution? Kyoto, 2009.

(10) 藤井晴行，中島秀之：デザインという行為のデザイン，認知科学，17(3)，403-416，2010.

(11) 白水始：4 章 教室の中での学習 ―協調による理解深化―，高橋惠子ほか編集，児童心理学の進歩，86-111，2006.

(12) 稲葉晶子，大久保亮二，池田満，溝口理一郎：協調学習におけるインタラクション分析支援システム，情報

処理学会論文誌，Vol.44，No. 11，2617-2627，2003.
(13) 小澤康裕：発話プロトコル法による監査判断研究，立教経済学研究第 64 巻第 3 号，141-147，2011.

付加製造バイオリンの設計と製作

Design and Fabrication of Additive Manufactured Violin

○横山 幸雄（都産技研）[*1] 紋川 亮（都産技研）[*2] 木暮 尊志（都産技研）[*2] 大久保 智（都産技研）[*2]

[*1] Yukio Yokoyama, Jonan Branch, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute,
1-20-20 Minamikamata, Ota, Tokyo 144-0035, yokoyama.yukio@iri-tokyo.jp
[*2] Headquarters, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute,
2-4-10 Aomi, Koutou, Tokyo 135-0064

キーワード: 3D プリンター，弦楽器，リバースエンジニアリング，CAD, CAE

1. 緒　　言

近年, 3D プリンターの通称とともに一般的な認知度を拡大した付加製造技術(Additive Manufacturing Technology)は，直接的な製造手段への発展が期待されており，適用の多様化に関する研究開発が盛んに行われている．この動向の一環として，付加製造技術を活用した多種多様な楽器の製作が試みられ，一部では実用化が始まっている．筆者らは，このような現況を鑑みつつ，付加製造装置を製作手段とするバイオリンの設計に関する研究に取り組んできた[(1)−(3)]．

本報では，新たな価値創造方法の一例として，近年著しい発達を遂げた粉末床溶融結合（Powder Bed Fusion，PBF）方式の付加製造装置を用いて製作可能な付加製造バイオリンの設計・製作・評価の実施について紹介する．

2. 設計目標

付加製造バイオリンは，主要部分がプラスチック製となるため，既存の木工製バイオリンと較べて湿度変化による影響が少なく，素材の均一性が確保されるため，同一の品物を何度でも製作できる，などの優位性を有している．しかしながら，原材料となるプラスチックと木材とでは，楽器の素材としての物性に差があるため，付加製造装置を用いて製作することを前提とし，様々な性能項目のバランスを考慮した各部の再設計が必要であると考える．そこで本報では，以下の設計目標を掲げた．

(i) 必要部品を含む合計質量は，既存の木工製バイオリンと同等の 500g 以下であること．
(ii) 既存の木工製バイオリンの外観形状を尊重し，逸脱しないこと．
(iii) 弦張力に十分に耐える丈夫さを有すること．
(iv) 演奏可能であること．

3. プロセスの構築

図 1 に付加製造バイオリンの設計・製作・評価プロセスを示す．本報では設計目標(i)～(iv)を達成すべく，図 1 のプロセスを構築，これを実施した．このプロセスには 3D スキャニング，3D-CAD, CAE, CAT の使用が提案されている．

まず，図 1 中の(A)では，3D スキャナとして X 線 CT スキャナと光学式 3D デジタイザとを用いる．これらの装置は，既存の木工製バイオリンを無理に分解することなく，設計データの基となる STL データ群を採取可能である．つぎに(B)では，(A)で採取した STL データ群を基に，各部寸法の設計変更の利便性を考慮したリバースエンジニアリングを実施し，バイオリンの 3D- CAD モデルを作成する．(C)では，CAE による構造解析を用いて付加製造バイオリンの設計最適化を目指す．(D)では，3 機種の PBF 方式の付加製造装置を使用して楽器の部品群を生成する．生成した部品群には 2 次加工を施し，楽器の完成に向けて組み立て作業を実施する．最後に(E)では，製作過程における条件決定のための表面粗さ測定や，完成品の丈夫さに関わる変形検査などを行う．

表 1 に本報で使用した設備とコンピュータプログラムの一覧を示す．

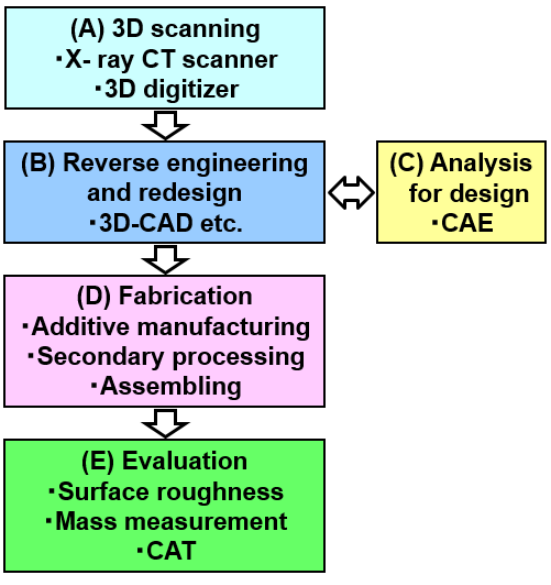


Fig.1 Process for design, fabrication and evaluation of the additive manufactured violins

Table 1　List of equipments and computer programs.

Usage	Classification	Product name (Trademark)	Manufacturer	Remarks
(A)	X-ray CT scanner	TOSCANER-30000μCM	Toshiba IT & Control Systems Corp.	3D scanning
	3D digitizer	COMET 5 11Ma	Carl Zeiss Optotechnik GmbH	3D scanning
(B)	3D-CAD programs	SolidWorks	Dassault Systèmes SolidWorks Corp.	3D design
		spScan	Armonicos Co., Ltd.	Reverse engineering
(C)	CAE programs	ANSYS	ANSYS, Inc.	Structural analysis
		WAON	Cybernet systems Co., Ltd.	Acoustic analysis
		TSV-PRE	TechnoStar Co., Ltd.	Preprocessing
		HiramekiWorks	Quint Corp.	Topology optimization
(D)	Additive Manufacturing systems	RaFaEl 550C	ASPECT Inc.	Material: Nylon 12
		RaFaEl 300F		Material: Nylon 11
		ProX 300	3D Systems Corp.	Material: 17- 4PH
(E)	White interferometer	Nexview	AMETEK, Inc.	Roughness measurement
	Inspection program	spGauge	Armonicos Co., Ltd.	Deformation inspecting

4. プロセスの実施

図 2 にバイオリンの 3D- CAD モデルを示す．このモデルは，リバースエンジニアリングを経て，各部の設計寸法を 3D-CAD 内で変更可能なものとして構築されている．

図 3 に CAE による構造解析の例を示す．(a)トポロジー最適化を利用した質量削減，(b)弦張力により楽器各部に発生する応力の分布，などに留意しつつ，設計の最適化を図った．その結果、設計目標を満たす設計形態のひとつを見出し，これに基づいて付加製造バイオリンを製作した．

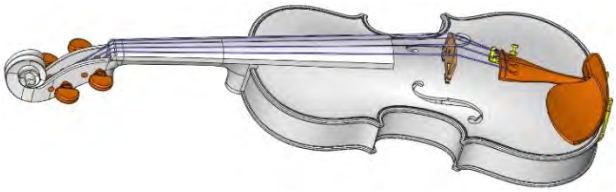
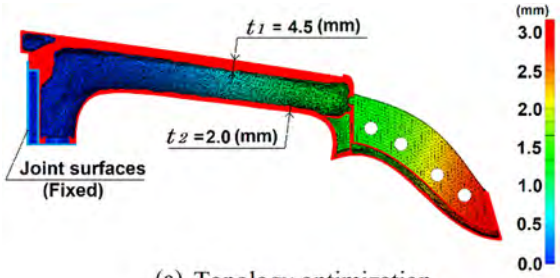
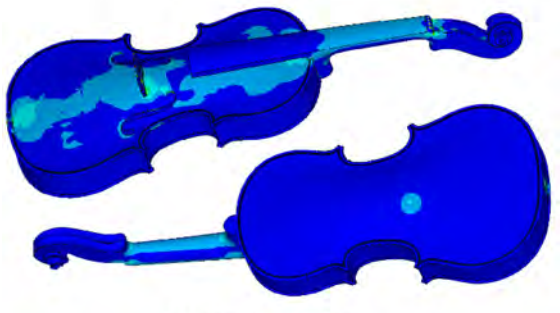


Fig.2　3D-CAD model of the violin



(a) Topology optimization



(b) Stress distribution

Fig.3　Examples of structural analysis with CAE



Fig.4　The additive manufactured violin

5. 結　　言

図 4 に完成した付加製造バイオリンを示す．このバイオリンは質量 475g，かつ演奏可能であり，全ての設計目標を達成している．なお，本研究の内容理解の一助となる動画を公開している(4)．本報と併せての参照を願う．

文　　献

(1) 横山幸雄，紋川亮，木暮尊志，大久保智：付加製造バイオリンの設計と製作（第 1 報 プロセスの構築と設計の実施），設計工学，J-STAGE 早期公開版，(2021) https://doi.org/10.14953/jjsde.2020.2896 (参照日 2021 年 6 月 10 日)

(2) 横山幸雄，紋川亮，木暮尊志，大久保智：付加製造バイオリンの設計と製作（第 2 報 製作と評価の実施），設計工学，J-STAGE 早期公開版，(2021) https://doi.org/10.14953/jjsde.2020.2897 (参照日 2021 年 6 月 10 日)

(3) 東京都立産業技術研究センター：弦楽器，弦楽器の製造方法及び弦楽器製造装置，日本国特許 第 5632597 号.

(4) 東京都立産業技術研究センター：都産技研 3D プリンターでバイオリン，その設計と製作- Design and fabrication of 3D printed violin -, YouTube 動画，(2018) https://youtu.be/eOO0zj1Pyxg (参照日 2021 年 6 月 10 日)

建築物を設置した公園の空間構成と利用者のアクティビティに関する研究
―官民連携で運営されている関西の都市公園に着目して―

Study on the spatial composition of the park with the buildings and the users' activities.

○黒田　英伸（神戸大学大学院）*1　　栗山　尚子（神戸大学大学院）*2

*1 KURODA Hidenobu, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501, JAPAN, h.kuroda.ks2016@gmail.com
*2 KURIYAMA Naoko, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501, JAPAN, kuri@kobe-u.ac.jp

キーワード: 都市公園, 設置管理許可制度, Park-PFI, 公共空間, パブリックスペース

1. 研究の背景・目的・構成

都市公園は, 高度経済成長期の整備により, 全国約 10 万のストックが存在し, 防災性の向上, 景観・健康・子育て等の質の向上, 賑わいや地域活性化等の複合的効果を発揮することが期待されている [1]. しかし, 施設老朽化等による更新期を迎え, 期待される効果が十分発揮できない実態がある [2]. また, 人口減少等にともなう自治体の財政難のため, 低コストでの都市公園のための再整備・維持管理を進め, 地域のニーズに合わせた活動の場とすることが求められている.　　対応策として, 2017 年都市公園法改正による, 「公募設置管理制度(以下, Park-PFI 制度)」が導入された. さらに広場等の公園整備を合わせて行う収益施設(カフェ, レストラン等) の設置管理事業者を公募により選定する仕組みや, 「設置管理者制度」(都市公園法), 「指定管理者制度」(地方自治法), 民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律に基づく「PFI 事業」を組み合わせたものがある [3]. 制度は整備されたが, その後の公園での収益施設の設置による人々の活動の変化や影響に関する研究は十分になされていない. そこで, 本論文では, 建築物を設置した都市公園において空間構成と運営実態に着目し, 多様な人々・活動を許容する空間, 取組を明らかにすることで, 今後都市公園が街の中心の公共空間として, 人々の暮らしを豊かにする機能を有するための知見を得ることを目的とする. 都市公園に関する研究について, 過去に様々な論点から行われている. 立地条件の特徴を明らかにし, 公園の利用傾向や多様性の要因を整理しているもの, 官民連携に関わる制度の導入時点, 運営・管理を行う際の課題などマネジメント視点での研究がある. 主に都市公園の制度の導入, 運営・管理というソフト面, ハード面では立地特性や建築物自体の形態についての研究が多く, 人々の多様な活動を生む仕組みについての研究はないと考えられる. そこで本論文では, 空間構成・運営実態を明らかにすることでハード, ソフト面を横断した視点から都市公園の多様性創出について考察する. 活動の詳細な把握から, より利用者の視点からの空間の把握が可能である.

本研究では, まず, 研究の背景と目的を示した上で, 事例の選定と空間構成要素, 建築物と公園空間[補注(1)]の関係性を考察し, 類型化について述べる. 次に, 現地調査から人々の行動や属性と空間との関係性に着目し, 多様な活動・人を許容する空間デザインの手法を考察した. 更に, 運営・管理者へのアンケート・ヒアリング調査により, 都市公園に多様性をもたらすための工夫や運営者の意識, 課題点を明らかにした. 最後に, 今後都市公園での活動の多様性を創出させるための重要点を述べ, 結論としている.

2. 研究対象事例の選定及び建物とオープンスペースの類型化

2.1. 対象事例の選定

調査対象事例として, ①「Park-PFI 推進支援ネットワーク」[4] より 6 公園,　②既往研究「全国の都市公園における公募を通じた収益施設の設置実態と立地条件の関係」[5] から 3 公園を収集する.　対象事例は「設置管理許可制度」「指定管理者制度」を活用した施設運営を行っている. 合計 8 都市公園 9 箇所の都市公園を調査対象事例として選定した.

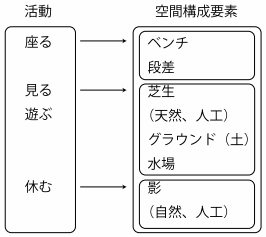


図 1 空間構成による得点化

2.2. 対象事例の物理的特性

多様な活動を許容する空間が賑わいを創出するという観点から, 活動を促す要素を用いて評価指標を設定する. を調査対象事例として選定した.　空間構成要素の, ①ベンチ, ②段差, 芝生（③天然, ④人工）, ⑤グラウンド（土）, ⑥水場, 影（⑦自然, ⑧人工）, ⑨遊具の 9 項目の有無で 1 点を加点する方法をとる. 9 点満点で, 要素が多いほど多様な活動を許容する設えが整っているととらえ, 高評価とする. 評価点数と面積の関係では, 100 万㎡以上の都市公園が 2 件見られ

るものの, その他 7 件においては 3 万〜10 万㎡程度と小規模であっても空間構成要素で 7 点が 1 件, 8 点が 3 件と多く取り込まれている事例が確認でき, 面積の大小は関係なく, 豊かな設えを施すことが可能であることがわかった. 建築物と公園の関係から, 建築物と公園空間が並列する「片側コア型」, 2 つの建築物群が公園空間を囲む「両側コア型」, 公園空間の中央に建築物がある「センターコア型」, 建築物が公園内に分散して配置する「分散型」の 4 種類を設定できた（図 2）. 他の形状と比べ広い面積を持つ「センターコア型」「分散型」は多様な設えをつくるのに適していることがわかった. 一方, その他の形状で面積に制限がある公園であっても, 天王寺公園エントランスエリア（両側コア型）におけるタープやテント, 梅小路公園における水族館や水場や樹木のエリアなどの人工物（建物）と自然の共存, 安満遺跡公園における人工芝と屋根のみの構造物の設置による大規模な滞留空間の獲得が確認することができた. 以上より, 影（自然, 人工）の発生や既存の自然要素（水場, ビオトープ, 芝生）の整備により, 活動の多様性を付与できることがわかった. 「片側コア型」「両側コア型」においては水族館に代表される大規模建築物の存在がみられ, 広場や樹木などの自然要素が限定されうる可能性がある一方で, 構造物の存在が公園空間と建築物を明確に分けて計画する際に十分に活用されれば, 大規模な滞留空間をつくることを可能にし, 人が憩える空間の創造へと繋がると考えられる.

表 1　類型化と得点の関係

	●分散型	■片側コア型	◇両側コア型	▲センターコア型
5点		・中之島公園	・天王寺公園	
6点	・草津川跡地公園 区間2			
7点				・安満遺跡公園
8点	・鶴見緑地 ・草津川跡地公園 区間5 ・大阪城公園	・梅小路公園		・千里南公園

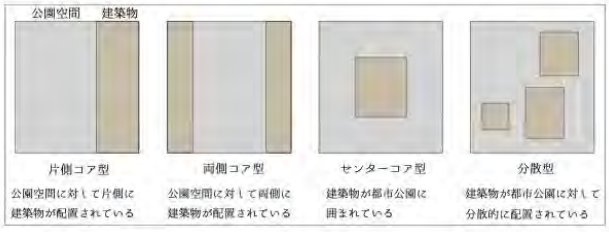


図 2　形状による類型化

3. 都市公園の空間構成

3.1 現地調査の概要

現地調査によって実際の活動と空間構成の関係を明らかにし, 多様な活動・人を許容する空間デザイン手法を考察する. 調査期間は, 2020 年 10 月 21 日〜2020 年 11 月 29 日, 対象事例は 8 公園 9 箇所 である. 平日・休日, 午前・午後の 1 時間の間に公園内でみられた, 人々の属性, 行動の種類を地図に記した（図 3）. かつてベッドタウンとして栄え高齢化が進む千里南公園（大阪市）は 50 代以上の利用が多い. 昼夜間人口比率で 90%以下の数値を示す鶴見緑地（大阪市）は平日の 50 代以上の利用が多い. 一方で周辺エリアにおいて, 50 代以上の人口の多い梅小路公園（京都市）では大規模遊具, 芝生広場の存在から 30 代以下の利用が多いなど, 利用傾向と街の特性に一定の関係性がみられると同時に, 利用者傾向には地域特性以外の要因も利用者属性に変化をもたらすことと考えられる.

表 2　現地調査項目

行動	座る/立つ/談話/携帯/飲食/喫煙/遊ぶ/その他
人数	1人/2人/3人以上
性別	男/女/不明（幼児など）
年齢	10歳未満/10代/20代/30代/40代/50代/60代/70代以上

3.2 空間構成と人の活動の関係性

現地調査より得られた, 各公園の中で特に人が滞留・活動していた場所をそれぞれ 2〜3 のエリアとして選出した（図 4）. 各エリアの活動と人の属性を調査し, 建築物設置による人々の活動に多様性を与える空間の特徴を考察した. 以上の調査より得られたエリアごとの特徴を比較・分析することで, 計画する上で重要な要素 4 点を建築物活用の有無の観点から明らかにした（表 3・図 3）. 建築物活用と関連の弱い 2 目的である「体を動かしたり憩いの時間をすごすことを目的」の広場空間と「歴史資産, 池, 樹木などの近景, 遠景を問わず景観を楽しむことを目的」の景観構成要素の 2 点では, 身体を動かす活動を行う上での広場空間の重要性と景観を構成する自然の要素が人々の活動に憩いなど滞留行為を促す上での選択肢を与えていることが再確認された. 建築物活用と関連の強い 2 目的である「駅前空間や駅近接のエリアや施設周辺において待合せや, 時間つぶしが目的」の駅前空間と「「面的」な影の下で長期的に憩いの時間を過ごすこと」の 2 点では影を生み出す構造物が人々に長期的な滞留行為や雨天時においても利活用の選択肢をもたらし, 世代を問わず滞留行為を生み出す点を満たす上で重要であることがわかった. 多様な活動・人を許容する空間デザイン手法として, 建築物の有無, 生み出される空間の活用手段・方法の違いから生み出される, 特徴を理解し, 組み合わせることが, 制度を活用した公園計画を進める上で手がかりになると考えられる.

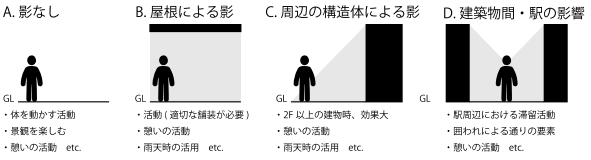


図 3　活動と断面形状の関連性

表 3　多様な活動を許容するデザインの要素

要素	活動（建築物の影響が少ない）		活動（建築物の影響が多い）	
	体を動かしたり憩いの時間をすごすこと	近景、遠景を問わず景観を楽しむこと	駅前や近接エリア周辺において時間をかせぐこと	「面的」な影で長期的な憩いの時間を過ごすこと
周辺施設	身体を動かし活動的な行為を誘発する「土・天然芝・人工芝」などの面的な設え	遠景要素においては、周囲にベンチ,段差,芝生などの滞留空間によって長期的に滞在が可能になる.	駅近接の入口では立つ,着座行為によって待ち合わせ目的での活動が確認され,着座要素を整備することで心地よく待つことができる設え	物販・飲食施設など目的が明確な場の近くでは、滞留行為が確認され、ベンチなどの活用により利用者に憩いの選択肢を与える設え
人の属性	活動的な行為は30代以下の利用が促進	遠景要素は50代以上の利用が促進	30代以下,50代以上を問わず,幅広い世代で利用が促進	50代以上の利用の割合が促進
空間	・影の要素の付与により滞留行為の利用が高まる. タープ,テント,ステージなどを用いる事例も.	・植栽,親水空間が確認され、直接的に景観要素に触れる体験を目的. ・池,歴史資産などにより,鑑賞・学びを目的	・駅からの人を受け止める,待ち合わせも可能な滞留行為を許容する整備. ・物販・児童施設のような目的が明確な場の周囲では、滞留空間の整備	・領域をもたらす面的な影 ・ベンチ・段差など着座行為の誘発 ・人工芝の併用
構成要素	・影を生むタープ,テント ・屋根付きステージ ・自由に過ごせる芝生,広場,人工芝 ・遊具	・学びを得る歴史資産 ・多様な経験を得る水場 ・触れる植栽,草木の整備 ・鑑賞を目的とした池	・待つ行為を許容するベンチ等着座空間 ・飲食に効果的な机と椅子 ・自由に過ごせる広場空間 ・入口から印象に残る建物配置,樹木設置等の景観操作	・大屋根,高架等'面的'な影 ・ベンチ・段差等,着座行為の誘発 ・清潔さと座りやすさのある人工芝の併用

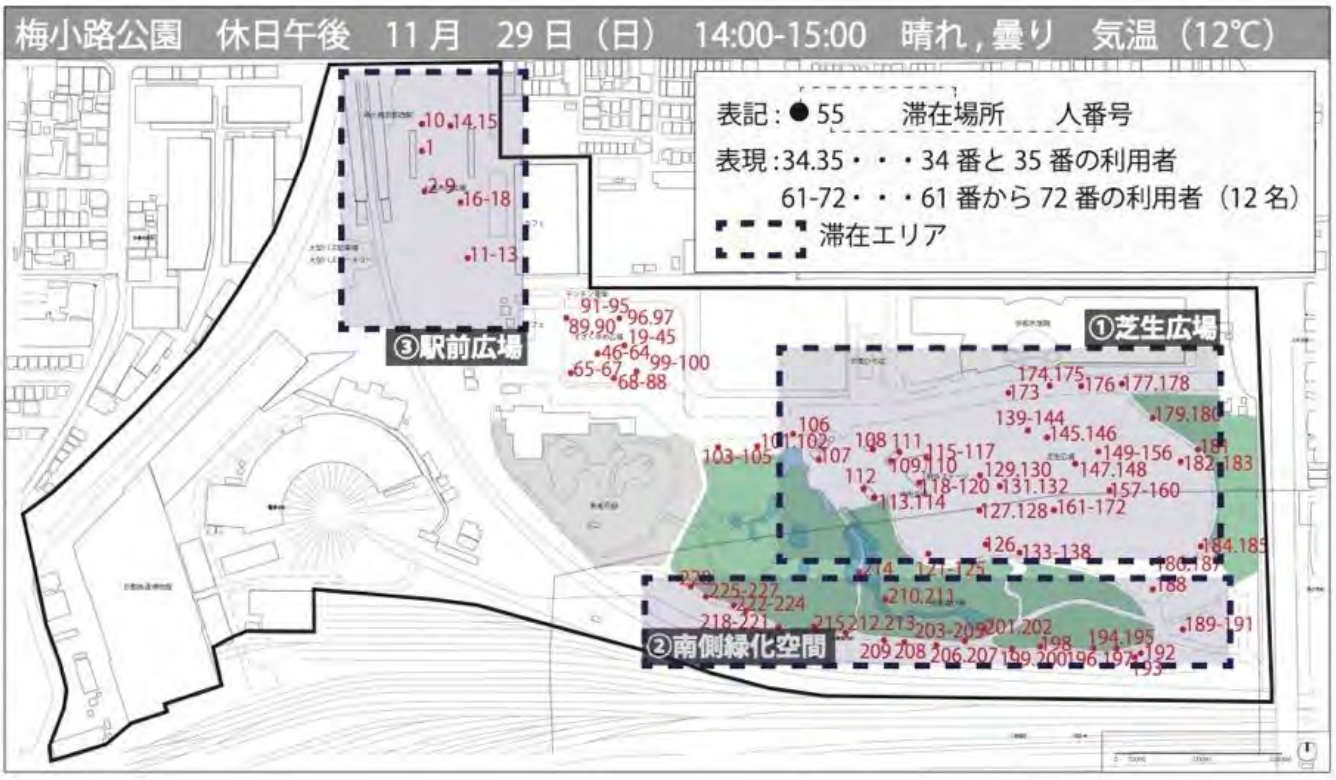


図 4 現地調査結果・滞在者分布図

4. 都市公園の運営実態の把握

4.1 アンケート・ヒアリング調査の概要

アンケート調査・ヒアリング調査により運営・管理や取組の内容，得られた課題を明らかにする．全部で 7 都市公園の行政に対しアンケート調査（表 4）を，現地調査・アンケート調査を共に行った事例の中で 5 年以上運営している 2 公園の民間事業者へのヒアリング調査を行った．ヒアリング対象者は，大阪城パークマネジメント株式会社様（大阪城公園，2020 年 12 月 1 日），近鉄不動産株式会社様（天王寺公園，2020 年 12 月 28 日）である．

表 4 アンケート調査日時・対象者

No	公園名	回収状況	制度部分回答主体	管理部分回答主体
1	大阪城公園	◇	大阪市 建設局 公園緑化部 調整課	大阪城パークセンター
2	天王寺公園	◇	大阪市 建設局 天王寺動物公園事務所	大阪市 建設局 天王寺動物公園事務所
3	中之島公園	◇	大阪市 建設局 公園緑化部 調整課	大阪市 建設局 公園緑化部 調整課
4	鶴見緑地	◇	大阪市 建設局 公園緑化部 調整課	鶴見緑地パークセンター
5	千里南公園	◇	吹田市 土木部 公園みどり室	吹田市 土木部 公園みどり室
6	安満遺跡公園	◇	高槻市 街にぎわい部 歴史にぎわい推進課	高槻市 街にぎわい部 歴史にぎわい推進課
7	亀小路公園	◇	京都市 建設局みどり政策推進室	京都市 建設局みどり政策推進室
8	草津川跡地公園	—	—	—

4.2 多様性創出のための取組と効果・課題

アンケート調査から，国土交通省の推進する 6 項目（良好な都市景観の形成，レクリエーションの空間の充実，都市の防災性の向上，生物多様性の確保，豊かな地域づくりに資する交流の空間の提供，都市環境の改善）に対し偏りのない回答が得られ，地域特性から，個々の目的・目標を設定していることが確認された．ヒアリング調査・アンケート調査結果からの考察を示す（表 5）．「1. 制度・ルール運用」では，ルールの認識齟齬，維持管理費用負担ルールの曖昧さが存在し，行政と民間事業者間において，より明確なルールや協議書の設定を行うことが円滑な運営において今後の課題である．「2. 敷地特性・地域特性の考慮」は計画の際に動線，回遊性，バリアフリー性への考慮（大阪城公園/大阪城公園駅前周辺）がわかった．特に，建築物の構造的工夫により開放性を高める工夫（天王寺公園エントランスエリア），景観形成の観点から他団体との協議により建築物の外壁色として，自然色を活用する工夫（大阪城公園/森ノ宮駅周辺）が見られ．視覚的，空間的観点からも計画がなされていることが明らかとなった．また，3 章における現地調査で人々の積極的な空間活用が確認されたエリアと一致することから，人々の活用を促す空間形成の観点からも上記の点について留意した計画を行うことは，効果的な取組と考えられる．ソフト・ハード面を横断して，周辺の商業施設とポイントラリーで提携し公園内の施設で商品の受け渡しをする取組もみられ，新たなコミュニティを生み出す可能性も見出せた．活動の多様性創出の取組と効果・課題からは多様性創出に関する現状を把握した．個々の公園特性，地域特性に適した空間創出，イベントによる多様性創出，周辺地域との連携が挙げられる．一方で，行政と民間事業者における制度・ルール面での連携では，既存公園の引き継ぎ，運営・管理，イベント開催など，各段階で課題として挙げられ，より明確なルール設定や知見の必要性が今後の課題点としてあげられる．

表 5 アンケート・ヒアリング結果からの考察

	大阪城公園	天王寺公園
制度・ルール運用	・事業開始時点から既存の公園の設備の老朽化が課題.水道や電気の施設が古い設備を引き継いでいるので,維持管理は費用がかかる.協定書では負担について都度協議などと取り決めされているのでそこの境界が曖昧であるところは課題。	・行政と定期的に会議を行い,互いに情報共有を密に行い,運営を行っている.ただ,民間活力の導入とはいえ,お互いの立場があり,行政としては、都市公園法や各種条例が判断の全て.民間としてのアイデアや考えがスムーズに実現するわけではなくより一層の規制緩和等が必要だと感じる.
敷地特性・地域特性の考慮	・森ノ宮エリアについて,風致地区内だが,色の規制や基準はない.複数存在する建物の外観を積極的に自然になじむ色にするように設置した建物の外観を統一,教育員会文化財保護課と協議し,なるべく自然に存在する色を活用しようとした. ・周辺商業施設とポイントラリーで提携,商品の受け取り場所を公園の実際のエリアとの連携を行っている.	・計画を進めるにあたってのポイントは,芝生と木造建築の一体的利用をどのように促進させるかという点でした.構造的な工夫により店舗の開放性を高めたり,テラスを設けたりして,視覚的にも空間的にもつながるデザインとしています.また,建物を分散配置しているのは,建物同士の隙間を有効活用するためであり,人の回遊性を高めることを意図したが、想定通りの効果が出ていると思っています.
イベント運用	・イベント設置に費用がかかる/雨が降ると無くなってしまうのは収益は見た目ほどは多くなく大きなリスク。 ・場所を占有して営業する場合、別途市に条例で定める占用料を支払わないといけない	・開催目的は、賑わいを創出し公園利用、店舗利用を促進すること。実施にあたっては、当社が何でも好きなイベントを実施できるわけではなく、できることとできないことがあるので、行政との協議が必要。 建物は各テナントに賃貸しており、利用することはない。
アンケートとの相互比較評価	・イベント開催はアンケート調査で6/7公園で積極的な開催が確認された一方,ヒアリング調査の民間事業者においては天候,収益,使用料等の面を勘案したリスク面で慎重さが窺える. ・公園概念に対し「設置事業者の「公園」という概念の相違をどのように埋めるか.ただの広場ではない.」(大阪市:天王寺公園)」という回答から,両者がより共通理解できるルール設定が求められている。	

5. 終わりに

本研究では,都市公園における活動の多様性を創出するための様々な方法について空間構成,人々の活動,運営・管理の面を考察した.これより,多様性を生み出す都市公園が今後生み出すと予測される効果の可能性として,(ⅰ)新たなコミュニティの創出/(ⅱ)街への賑わいの波及の 2 点が明らかとなった. (ⅰ)新たなコミュニティの創出では,同じ街の中で自らの居場所を作る,ライフスタイルの中で共通の施設を利用する,イベントのリピーター同士で親しくなるなど都市公園で何かを共有することで新しい関係性,コミュニティが生まれていく可能性があることが分かった.

滞在行為を多く生み出す設えをより生み出すことができれば,人々に対し新たな居場所の提供や,新たな出会いの場をもたらすと考えられる. (ⅱ)街への賑わいの波及では,街の中心である都市公園の多様性から生まれる賑わいを街の中に広げていくことができれば,街の活気に繋がり街全体がより魅力的になっていく.アンケート調査・ヒアリング調査では,都市公園の周辺施設を絡めたポイントラリーや,地域の歴史を学ぶことのできる施設を設置している事例も見られた.一方で,それらの土台となるソフト面における引き継ぎの明確化や事業領域に対する意識の整理を行うことがより求められていることも明らかとなった.

以上を踏まえ,ソフト・ハードの両面からより,公共空間の中にある都市公園として場所への愛着を地域の人々にもたらし,活動の多様性の創出に対する手段を考察する.

1. ハード面

空間構成要素の特徴把握…「1.既存公園の要素」,「2.建築物設置の要素」が産む利用者属性,活動への理解が,計画段階のコンセプト設定の充実化につながる.

2. ソフト面

ⅰ)明確な制度・ルール設定…行政・民間事業者間で共通して,都市公園に対する認識を設定することが重要である.既存の公園への制度活用では,制度開始初期に民間事業者への引き継ぎの際の既存整備(水道・電気等)の維持・管理の視点も重要である.

ⅱ)ハード・地域特性を考慮した空間活用…既存整備や地域特性の適切な把握が個性の創出,独自のコミュニティの形成,町への賑わいの波及に繋がる.

図 5 は、ジョン・モントゴメリーによるプレイス[補注](2)の構成要素[6]に対して、本研究の都市公園で得られた知見と課題を明らかにした図である。多くの人々の日常に存在する都市公園で,行政・民間事業者が適切な制度活用を通して,ハード面とソフト面の交差したアプローチをすること,そして継続的な街への波及に繋げることが出来れば都市公園が街の中心の空間として人々に思いを持って求められ,暮らしを豊かにしていく場所になると考えられる.

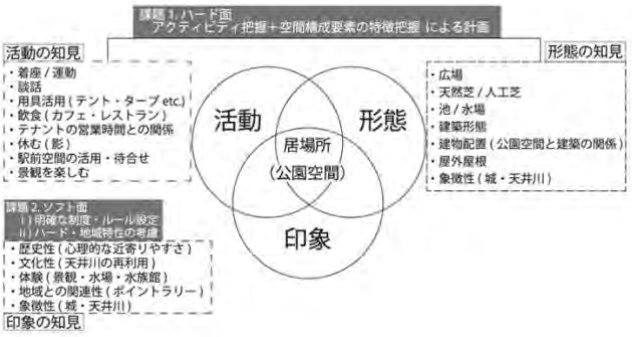


図 5 公園の快適な場作りへの要素と課題

参考文献・注釈

(1) 国土交通省公園緑地・景観課(2016),「都市公園のストック効果向上に向けた手引」,https://www.mlit.go.jp/common/001135262.pdf,最終閲覧 2021.2

(2) 国土交通省公園緑地・景観課(2017),「都市公園の質の向上に向けた Park-PFI ガイドライン」,http://www.mlit.go.jp/common/001197545.pdf,最終閲覧 2021.2

(3) 宋俊煥,山崎嵩拓,泉山塁威 ,「設置管理許可制度」を用いたパークマネジメントにおける設置管理事業者の関与実態に関する研究 ,公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集 Vol.53 No.3,pp.1290-1296,2018.10

(4) Park-PFI 推進支援ネットワーク, https://park-pfi.com/about,最終閲覧 2021.1

(5) 山崎 嵩拓,宋 俊煥,泉山 塁威,横張 真,全国の都市公園における公募を通じた収益施設の設置実態と立地条件の関係,公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集 54 巻 3 号,2019,pp136-143

(6) 園田聡,プレイスメイキング,学芸出版社

[補注](1)本研究の「公園空間」とは公園内において建築物が立つ以外のオープンスペースを指す.

[補注](2)「プレイス」=空間が人々の活動の舞台となり空間や街への思い入れや結びつきを強化する場所

[注] 本論文は 2021 年度日本建築学会近畿支部研究発表会での発表原稿に,加筆・修正を加えたものである.

製造業のサービス化のためのデザイン

Design for Servitization

○緒方啓史（株式会社東芝）*1　　木見田康治（東京大学）*2

*1 Keiji Ogata, Toshiba Corporation, 1-1, Shibaura 1-Chome, Minato-ku, Tokyo, Japan, 105-8001, keiji6.ogata@toshiba.co.jp
*2 Koji Kimita, Department of Technology Management for Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-8656, kimita@tmi.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:デザインプロセス, 製造業のサービス化, プロダクトサービスシステム

1. 緒　　言

かつて製品の造形・意匠が中心であったデザインは，ユーザ体験やサービスにその対象を拡張し，昨今ではブランド向上やイノベーションの創出といった企業価値に深く関わる活動をデザイン対象とする考え方が浸透してきた．

一方，製造業では，従来の製品の製造・販売事業から製品を介したサービス事業（Product-Service Systems: PSS）に経営の重心を移していくサービス化（Servitization）が注目を集めている．これにはビジネスモデルのみならず，経営リソース，組織，文化に至る変革を伴う[1]．

こうした潮流の中で，企業のデザイン部門は，サービスデザインやデザイン思考を土台に，新たな手法体系を構想しデザイン活動を進化させてきた[2]．こうしたデザインは，主に製品やサービスをユーザの視点から検討することで，新たな事業の創出や既存事業の改善に貢献してきた[3]．しかし現在にいたるまで，製造業のサービス化に必要となる全てのプロセスを網羅したとき，デザインがどのプロセスにどれだけ貢献できるのかは明らかにされていない．その結果，サービス化という課題を念頭においたとき，デザイン部門は適切に自部門のケイパビリティを訴求できず，事業部も何をどこまで依頼してよいかわからない．

そこで，本研究は，これまで培ってきたデザインのノウハウが，どれほどサービス化に貢献できるのか明らかにする．そのために，次章で紹介する「サービス化成熟度モデル」を用いて現状を評価する．

2. サービス化成熟度モデル

製造業のサービス化は，製造業の新たな成長戦略として期待される一方で，期待通りの結果が得られていない事例も数多く報告されている．この主な原因として，サービス化に必要な組織的な能力（ケイパビリティ）の欠如が挙げられる．サービス化には製品の製造・販売とは異なるケイパビリティが必要であり，それらを明らかにする研究が盛んに行われてきた．例えば，木見田は，文献調査にもとづき PSS に必要な 46 種のケイパビリティ（PSS ケイパビリティ）を整理している[4]．これらは，Strategic objectives and analysis，Strategy formulation，Strategy implementation，Strategy evaluation and control の 4 段階に整理され，さらに Strategy implementation は，Offerings，Customer，Network，Organization，Digital technology の 5 つの観点で整理されている．

Strategic objectives and analysis のケイパビリティの例を表 1 に示す．サービス化においてはまずサービスサプライヤなどのパートナとの協業や顧客との共創を実現するために，自社だけでなく顧客やパートナに対しても戦略の方向性を明確に示すビジョンを策定する必要がある（101）[5]．このビジョンをもとに，新たなビジネス機会を探索するためには，他社サービスのベンチマークが有効である（102）[6]．また，産業の成長率や，規制の緩和・強化，技術革新などは，サービス化に対する要求に大きく影響を与えることから[7]，これらの外部環境の分析も重要である（103）．サービスの設計や提供においては，サービス組織だけでなく経営層や製品組織からの協力が不可欠である．協力を得るためには，自社の売上や利益，顧客との関係に対するサービス事業の潜在的な影響度を示し，サービスビジネスに対する関心を高める必要がある（104）[8]．また，サービス事業により経済的・環境的な利益を得るには，一定の普及率や売上規模が必要となる[9]．そのため，多様な顧客要求を満たしつつ，経済的・環境的な利益を得るためには，自社サービスのポートフォリオを適切に管理することが重要である（105）[10]．

Table.1　PSS management capabilities
（Strategic objectives and analysis）

101	自社だけでなく顧客やパートナに対してもサービス戦略の方向性を明確に示すビジョンを策定する
102	新たなサービス事業機会を探索するために，競合他社のサービス事業をベンチマークする
103	外部環境（技術動向，規制緩和・強化など）の変化が，サービス事業に与える影響を分析する
104	経済性や顧客との関係性など，サービス事業が自社に与える潜在的な効果を見積もる
105	サービスの事業リスクを低減するために網羅的かつ一貫したサービスポートフォリオを構築する

サービス化成熟度モデルでは，以上のケイパビリティの向上を支援するために「能力レベル」が定義されている．能力レベルは個々のケイパビリティを評価する際に用いられ，表 2 に示すように関係するプロセスの形式知化の度合いにより評価される．

Table.2　Capability levels

能力レベル		説明
Level 0	Incomplete	プロセスが存在しない 不完全な状態で実行されている
Level 1	Performed in an ad hoc way	担当者に依存して属人的に実行されている
Level 2	Managed in isolated projects	プロジェクト，事業ごとに管理されている
Level 3	Defined as organizational standards	組織全体で標準的なプロセスが存在する

3. デザインプロセス

サービス化成熟度モデルに規定された 46 種の PSS ケイパビリティに対応するデザイン活動を明らかにするために，「特定の目的のための一連のまとまった活動」を「デザインプロセス」と呼ぶことにし，これをベストプラクティスの収集，ワークショップ設計者および熟練デザイナとのワークショップにより収集した．

3.1　ベストプラクティスからの収集

筆者所属のデザイン部門は，事業部にデザインの効果を訴求する目的で社内展示会を定期的に開催している．2018 年には，デザインの効果を多角的・網羅的に展示する方針に基づいて厳選した 23 成功事例が紹介された．

この展示会の準備に際し，それぞれの事例について担当デザイナ自らが資料を作成した．この資料には，依頼元事業部の困りごと，それを受けたデザイン課題の定義，実施内容，およびこの事例紹介を通じた事業部への訴求点が記録されている．この資料から，具体的な活動内容とその上位目的の組合せを収集し，デザインプロセスを抽出した．

3.2　熟練デザイナからの収集

デザイン部門の視点によるベストプラクティスとは対照的に，事業部の視点からもデザインプロセスを収集した．例えば，現場でのインタビューを実施するとき，デザイナにとっては，顧客ニーズの理解が目的だが，事業部にとっては，むしろ現場での活動を通じて顧客企業の新たな人脈を形成することが主目的だったといった目的意識のずれがよく起こるためである．

そこで，デザイン業務を 20 年以上にわたって経験し，事業部の視点から目的を把握することに長けた熟練デザイナ 3 名と共に，付箋を使った 2 時間のグループワークを 2 回実施し，デザイナの当初の意図に関わらず，依頼元の事業部に高く評価された成果と，その要因になったデザイン活動を収集し，デザインプロセスを抽出した．

3.3　ワークショップ設計者からの収集

近年，新規事業創出のために，ワークショップ（以降，WS と略する）と呼ばれる手法で対応することが顕著に増えた．WS を含むデザインプロセスには，サービス化に役立つものが多いと考えられる．

そこで，WS 設計を多く担当したデザイナ 8 名の協力の下，付箋を使った 1 時間のグループワークを 2 回実施し，これまでに経験した WS の具体的な内容とその目的を収集した．これらの事例を整理し，WS を含むデザインプロセスを抽出した．

前述の調査の結果，表 3 に示す 15 種のデザインプロセスを特定した．デザインプロセスは目的と手段の組み合わせで構成される．例えば，DP1 は，「相手企業の文脈を把握する」という目的を達成するために，インタビューや行動観察によって収集した情報をカスタマージャーニーマップで整理するといった汎用的な手段の組み合わせによるデザインプロセスである．ただし，手段については後述のように形式知化されているとは限らず，また煩雑であるため，表中にはプロセスの一部のみを例示する．

4　サービス化成熟度モデルの適用結果

4.1　PSS ケイパビリティへのデザインプロセスの対応づけ

サービス化成熟度モデルにおける 46 種のケイパビリティと先述のデザインプロセスを対応づけた．その結果，表 4 に示す 21 種の PSS ケイパビリティにデザインプロセスが紐づいた．例えば，PSS ケイパビリティ(205)「サービス事業に必要な社内のキーパーソンや関係部署の協力を得る」には，DP5「新たな人脈を獲得する」を対応付けた．実際に，デザイン部門は，各事業部からの依頼を受ける本社機能であることから，関連するノウハウを持つ人とそれを必要とする人を部署間の壁を越えて結びつけることで事業創出活動に貢献した事例は多い．

表 3　Design processes

DPX※	デザインプロセス	
	目的	手段（一部の例）
DP1	相手企業の文脈を把握する	カスタマージャーニーマップ [11][12] の作成
DP2	ユーザの体験価値を向上させる	ユーザビリティテストの実施
DP3	サービスプロセスを設計する	サービスブループリント [13][14] の作成
DP4	コミュニケーションをデザインする	情報アーキテクチャの設計
DP5	新たな人脈を獲得する	イベントの企画
DP6	相手企業との関係性を向上する	ワークショップによるチームビルディング
DP7	人財を育成する	デザイン思考体験ワークショップの実施
DP8	未来の社会を構想する	スキャニング [15]
DP9	業界のビジネス環境を把握する	CVCA(Customer Value Chain Analysis) [16] の作成
DP10	合意を形成する	共創ワークショップの実施
DP11	既存バイアスを外し差異化する	Point of View [17] の作成
DP12	提供価値を可視化する	バリュープロポジションキャンバス [18] の作成
DP13	ビジネス機会を探す	KA 法 [19] による価値マップの作成
DP14	製品・サービスのコンセプトをつくる	親和図の作成
DP15	意匠をまとめる	ガイドラインの作成

※　DPX は デザインプロセス番号を意味する

表 4　Evaluation of design processes based on Servitization Maturity Model

PSS ケイパビリティ		DPX※	デザインプロセス	能力レベル	不足スコープ
101	自社だけでなく，顧客やパートナに対してもサービス戦略の方向性を明確に示すビジョンを策定する	8	未来の社会を構想する	2	サービス戦略の方向性の明確化
102	新たなサービス事業機会を探索するために，競合他社のサービス事業をベンチマークする	1, 9	企業の文脈を把握する 業界の文脈を把握する	1	収益性や技術の評価
103	外部環境（技術動向，規制緩和・強化など）の変化が，サービス事業に与える影響を分析する	9	業界の文脈を把握する	1	サービス事業への影響分析
202	自社のサービス（製品ではなく）について，競合他社や他のサービス事業者に対する競争優位性を定義する	11	既存バイアスを外し差異化する	2	サービス事業の差異化
205	サービス事業に必要な社内のキーパーソンや関係部署の協力を得る	5	新たな人脈を獲得する	1	キーパーソンや関係部署の特定
3P1	高品質かつ高効率なサービスを実現するために，サービスのオペレーションを標準化する	3	サービスプロセスを設計する	2	標準化，デジタル化
3P3	製品とサービスの組み合わせによる相乗効果を生むために，製品仕様をサービスに合わせて変更する	2	ユーザの体験を向上させる	1	製品・サービスの統合による相乗効果の設計
3P4	顧客の要求を満たすために，顧客や顧客に詳しいステークホルダ（現場従業員など）と共にサービスを開発する	1, 3	企業の文脈を把握する，サービスプロセスを設計する	2	なし
3P5	サービスの販売・提供を担うステークホルダの協力を得るために，当該ステークホルダと共にサービスを開発する	3, 6	サービスプロセスを設計する，企業との関係性を向上する	2	販売・提供の協力を得る
3C1	サービスに必要な顧客に関する知識（顧客要求や製品使用方法など）を蓄積する	1	企業の文脈を把握する	2	知識の蓄積
3C2	顧客の組織においてサービスの購買を意思決定する適切な担当者にアクセスする	5	新たな人脈を獲得する	1	意思決定者の特定
3C3	顧客がサービスのメリットを理解するために，サービスの価値を可視化して伝える	12	提供価値を可視化する	2	デジタルビジネスの価値の可視化
3C4	サービスに必要な顧客の能力と意欲を高めるために，顧客に対して適切な情報と教育を提供する	7,4	人財を育成する コミュニケーションをデザインする	1	サービスに必要な能力，意欲を高める観点
3N1	サービスに必要なパートナに関する知識（事業目標やコンピテンシ，成長の方向性など）を蓄積する	1	企業の文脈を把握する	2	知識の蓄積
3N3	自社で不足しているコンピテンシやリソースを補う最適なパートナを特定する	3	サービスプロセスを設計する	1	コンピテンシやリソースの評価
3N4	パートナとの競合を回避するために，パートナに対して適切なインセンティブを設定する	1, 10	企業の文脈を把握する，合意を形成する	1	競合回避，インセンティブの設定
3N5	サービスの品質を一定以上の水準に保つために，パートナに対してトレーニングを実施する	7	人財を育成する	1	サービス品質を保つトレーニング
3N6	パートナと長期的な関係を構築するために，知識共有や相互学習を行う	1, 6	企業との関係性を向上する，企業の文脈を把握する	2	知識共有，相互学習
3D3	サービスオペレーションを効率的かつ効果的に行うために，製品・サービスのデータを活用する	2	ユーザの体験を向上させる	1	デジタルデータの活用
3D4	製品設計を改善するために，製品・サービスのデータを活用する	2	ユーザの体験を向上させる	1	デジタルデータの活用
404	サービス事業に適した KPI（顧客が求める製品の使用結果など）を設定する	2	ユーザの体験を向上させる	1	経済効率性など，体験以外の KPI の設定

※ DPX は デザインプロセス番号を意味する

4.2 不足スコープの特定

次いで,「不足スコープ」を付記した（表 4）. これは，サービス化の文脈で必要なケイパビリティの範囲と現状のデザインプロセスで達成できる範囲との差分を示す. 例えば，先の PSS ケイパビリティ(205)に対し, デザイン部門ができることは，既知の人脈情報の活用であり，PSS ケイパビリティが求める「キーパーソンや関係部署」を特定し協力を得るための特別な手段は有していない．よって「キーパーソンや関係部署の特定」が不足スコープとなる.

その結果，PSS ケイパビリティ(3P4)についてのみ，現状のデザインプロセスにより要求を全うすることができるものの, それ以外の全ての項目に不足スコープが付記された.

5 考察

サービス化成熟度モデルを適用することで，これまでデザイン部門が培ってきたデザインのノウハウが，どれほどサービス化に貢献できるのかが明らかになった.

ここではこの知見に基づいてデザイン部門が採りうるサービス化への取り組みについて, 実例に基づいて考察する.

5.1 サービス化能力向上の目標設定

サービス化に必要なプロセスに対してデザインの諸活動が関連づけられたことで，サービス化能力を向上させる戦略的な目標を立てられるようになった．以下に事例を述べる.

デザイン部門としてサービス化能力向上の目標を定めるために, まず「サービス化に向けて走る事業部に伴走する」という方針を立てた.「伴走」とは，事業部の活動を，外乱にならない形で，適時即応に支援することを意味する.

そこで，まず事業部の外乱にならないために，デザイン部門単独で試行錯誤しながら素早くサービス化能力を開発できる，という観点で PSS ケイパビリティの項目を絞り込んだ．次いで，事業創出のスピードに追随し適時即応するために，全く未知の能力を生み出すのではなく，既存能力を足掛かりに，できる限り早く実践できるデザインプロセスを開発することとした．具体的には，既に形式知化されている能力レベル 2 のデザインプロセスをサービス化能力の開発目標として絞り込んだ．その結果，PSS ケイパビリティ(101, 202, 3C1, 3C3)に紐づく 4 つのデザインプロセス(それぞれ DP8, DP11, DP1, DP12 ; 表 2 参照)が選抜された.

5.2 デザインプロセスの開発

サービス化成熟度を評価する過程で得た知見を利用して，具体的な開発計画の立案が可能である.

実際に，上記 4 つの目標に対し，以下のように具体的な開発計画を立てた． その際，PSS ケイパビリティとデザインプロセスを紐づけた際に明記した「不足スコープ」を補うことを方針とした.

① PSS ケイパビリティ(101)に紐づく DP8「未来の社会を構想する」は，従来は未来の社会の姿を描くプロセスが形式知化されていたが,「サービス戦略の方向性の明確化」が不足スコープであった．そこで，描いた未来の社会において，どのようなサービスエコシステムを目指すかといった検討を含めたビジョン創出のプロセスを開発する （三上, 2020）.

② PSS ケイパビリティ(202)に紐づく DP11「既存バイアスを外し差異化する」は，従来は， SCAMPER [20]といった汎用的なアイデア発想法に基づいた形式知であったが,「サービス事業の差異化」が不足スコープであった. これを“サービス事業のアイデア”を他社と差異化するためのプロセスとして形式知化しなおす （緒方, 2019）.

③ PSS ケイパビリティ(3C1)に紐づく DP1「相手企業の文脈を把握する」は，従来は，顧客企業をはじめとするステークホルダを参加者とした WS や現場調査のプロセスが形式知化されていたが,「知識の蓄積」が不足スコープであった．そこで，獲得した知識を別のサービス事業開発のために再利用するために記録・整理する方法を開発する．これには，本研究で明らかにしたデザインプロセスと PSS ケイパビリティの対応づけが土台となる.

④ PSS ケイパビリティ(3C3)に紐づく DP12「提供価値を可視化する」は，従来は，モックアップやイメージボードといった様々な可視化手法が形式知化されていたが,「デジタルビジネスの価値の可視化」が不足スコープであった. そこで，デジタルビジネスならでは価値を掘り下げ，わかりやすく可視化するためのプロセスを開発する.

6 結言

製造業のサービス化に必要なデザインの役割を，サービス化成熟度モデルが定義する 46 項目のケイパビリティと，独自に見出した 15 種類のデザインプロセスを対応づけて整理した．今後，サービス化に向けたデザイン実践の中で柔軟に改善していきたい.

7 参考文献

(1) Baines, T., & Lightfoot, H.: Made to Serve: How Manufacturers Can Compete Through Servitization and Product Service Systems. Wiley, 2013.

Brown, T.: Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation (1st ed.). New York, NY: HarperBusiness, 2009. 邦訳，ティムブラウン：デザイン思考が世界を変える: イノベーションを導く新しい考え方.早川書房，2009.

(2) Mikami, T.: Toshiba's Approach to Customer Value Design. Markets, Globalization & Development Review, 4(2), 2009. doi:10.23860/MGDR-2019-04-02-06

(3) 株式会社東芝：特集：東芝グループのカスタマーバリューデザイン. 東芝レビュー, 73(4), 1-41, 2018. https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2018/04/index_j.htm

(4) 木見田康治, 村松慶一：サービス化を促進する教育プログラムの開発に向けたケイパビリティの調査，サービス学会第 8 回国内大会，2020.

(5) Ceschin, F.: Critical factors for implementing and diffusing sustainable product-service systems: insights from innovation studies and companies' experiences. Journal of Cleaner Production, 45, 74–88, 2013. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.034

(6) Fischer, T., Gebauer, H., Gregory, M., Ren, G., & Fleisch, E.: Exploitation or exploration in service business development? Journal of Service Management, 21(5), 591–624,

2010. https://doi.org/10.1108/09564231011079066
(7) Turunen, T., & Finne, M: The organisational environment's impact on the servitization of manufacturers. European Management Journal, 32(4), 603–615, 2014. https://doi.org/10.1016/j.emj.2013.11.002
(8) Alghisi, A., & Saccani, N.: Internal and external alignment in the servitization journey - overcoming the challenges. Production Planning & Control, 26(14–15), 1219–1232, 2015. https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1033496
(9) Fang, E. (Er), Palmatier, R. W., & Steenkamp, J.-B. E. M.: Effect of Service Transition Strategies on Firm Value. Journal of Marketing, 72(5), 1–14, 2008. https://doi.org/10.1509/jmkg.72.5.001
(10) Kindstrom, D., & Kowalkowski, C.: Service innovation in product-centric firms: a multidimensional business model perspective. Journal of Business & Industrial Marketing, 29(2), 96–111, 2014. https://doi.org/10.1108/jbim-08-2013-0165
(11) Risdon, C.: Anatomy of an Experience Map. UIE.com, 2012, August.14. https://articles.uie.com/experience_map/
(12) 武山正直：サービスデザインと視覚化の技法．慶應義塾大学日吉紀要．社会科学, 23, 15-35，2012.
(13) Shostack, G. L.: How to Design a Service. European Journal of Marketing, 6(1), 49-63, 1982. doi:https://doi.org/10.1108/EUM0000000004799
(14) Shostack, G. L.: Designing Services That Deliver. Harvard Business Review, 62(Jan-Feb), 133-139, 1984.
(15) 鷲田祐一：未来を洞察する. NTT 出版，2007.
(16) 石井浩介，飯野謙次：価値作り設計.養賢堂，2008.
(17) Doorley, S., Holcomb, S., Klebahn, P., Segovia, K., & Utley, J.: Design Thinking Bootleg. Stanford d.school, 2018. https://dschool.stanford.edu/resources/design-thinking-bootleg
(18) Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., Smith, A., Papadakos, T.: Value Proposition Design: How to Create Products and Services Customers Want. Wiley, p.320, 2014. ISBN: 978-1-118-96805-5. 邦訳，アレックスオスターワルダー，イヴピニュール，グレッグバーナーダ，アランスミス：バリュー・プロポジション・デザイン 顧客が欲しがる製品やサービスを創る. (関美和，訳) . 翔泳社，2015.
(19) 浅田和実：図解でわかる商品開発マーケティング―小ヒット&ロングセラー商品を生み出すマーケティング・ノウハウ.日本能率協会マネジメントセンター，2006.
(20) Eberle, B.: Scamper: Creative Games and Activities for Imagination Development. Waco, TX: Prufrock Pr, 2008.
(21) 緒方啓史，若林稔：サービスデザインにおける「ありきたり」を脱する発想法ーサーチライティングー. 第 16 回日本感性工学会春季大会予稿集（オンライン）：日本人間工学会，2021.

高減速比・高寿命が可能なスライダ減速機の開発

Development of Slider Reduction gear

○学　林　秀行（大同大学）*1　大嶋　和彦（大同大学）*2

*1 Hideyuki HAYASHI, Daido University, 10-3 Takiharu-cho Minami-ku, Nagoya, Japan, 457-8530, legohakase@gmail.com
*2 Kazuhiko OSHIMA, Daido University, oshima@daido-it.ac.jp

キーワード：減速機, 波動歯車減速機, スライダ, 正弦波, 高減速比, 高寿命

1. 緒　　言

波動歯車減速機 [1]は，単段での高い減速比の実現と低バックラッシによる正確な位置決め制御に優れているため，作業用ロボットから医療機器まで様々な場面で重用されている．この減速機は図 1 に示すように，フレクススプライン，ウェーブジェネレータ，サーキュラスプラインのわずか 3 種類の部品を基本要素として構成されている．

出力部となるフレクススプラインは弾性変形が可能な薄肉カップ状の金属部品で，開口部外周に歯形が形成されている．（図では歯数 28）入力部となるウェーブジェネレータは楕円形状のカムでフレクススプラインに挿入される．ステイタとなるサーキュラスプラインは，いわゆる内歯車であり，施されている歯数がフレクススプラインより多くなるように設定されている．（図では歯数 30）

フレクススプラインは，ウェーブジェネレータが挿入されることにより楕円形状に変形させられる．このとき図中 A のように，中心から長軸方向に位置する歯がサーキュラスプラインの歯と噛み合い．同時に図中 B のように，短軸方向では歯が完全に離れた状態となる．

サーキュラスプラインを固定し，ウェーブジェネレータを 1 回転させると，フレクスプラインとサーキュラスプラインとの歯の噛み合い位置が順次移動する．このとき，フレクスプラインとサーキュラスプラインの歯数差分（図では 2 歯分），フレクスプラインはウェーブジェネレータと同じ方向に減速回転する．

以上のように，波動歯車減速機では減速動作をフレクススプラインの弾性変形によって実現しているため，薄肉の金属で形成されているフレクススプラインは，長期間の稼働での摩滅の進行が相対的に速く，減速機の寿命が短いという欠点がある．さらに，カップ形状のフレクススプラインは，弾性変形を効率よく行わせるために，径方向に対して厚さ方向の寸法を大きく取る必要があり，減速機の薄型化が困難である．

そこで著者らは，波動歯車減速機の減速原理を参考に，これと同等の「単段での高い減速比」に加えて，「高寿命・薄型化」が実現できるスライダ減速機 [2]を考案した．

2. スライダ減速機の概要

2.1 減速機の構造

提案するスライダ減速機の構成要素を図 2 に示す．減速機は，入力部，出力板およびステイタの 3 枚の円板状部品と複数のスライダと呼ぶ棒状部品の 4 種類の部品から構成される．波動歯車減速機のウェーブジェネレータが入力部に，フレクススプラインが複数のスライダおよびそれらを保持する出力板に，サーキュラスプラインがステイタにそれぞれ置き換わったものと考えてよい．

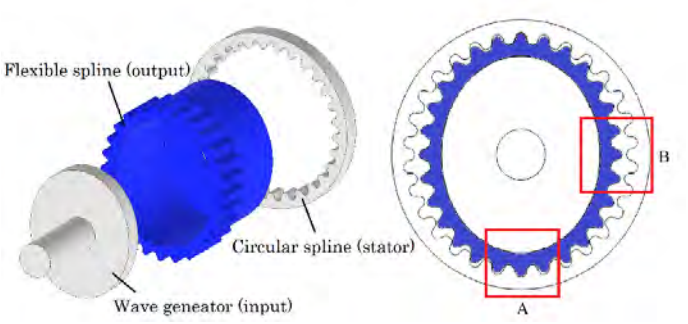


図 1 波動歯車減速機の概略

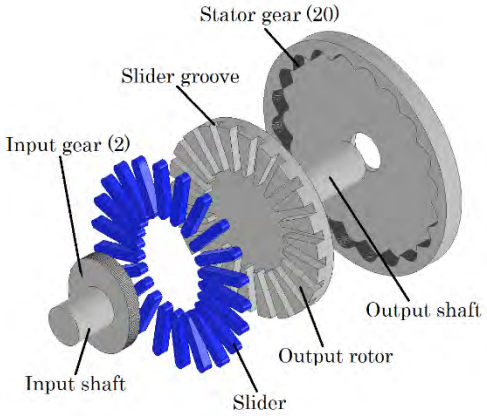


図 2 スライダ減速機の構成要素

入力部とステイタは図 3 に示すように振幅 a の正弦波形状の歯がそれぞれ異なる波数で形成されており，図では入力部の歯数を 2，ステイタの歯数を 20 としている．2 種類の歯車の歯形は，入力部の半径を r_1，ステイタの半径を r_2 としたピッチ円周上に沿って描かれた正弦波に対して，入力部では内方向に，ステイタでは外方向にそれぞれ後述する δ だけオフセットを施したものとしている．

出力板には，スライダを挿入して径方向に移動させるこ

とが可能なスライダ溝が円周方向に等間隔に施されている．このスライダ溝の数は入力部の歯数とステイタの歯数によって決まり，この場合は両者の和である 22 (=2+20) としている．したがって，この場合のスライダ溝の間隔は$\pi/11$となる．

スライダはスライダ溝の幅と等しい幅を持つ長円形の平棒形状部品であり，両先端部はスライダの幅の 1/2 を半径とする半円形となっている．この半径が入力部とステイタの歯形を決定する際のオフセット量 δ となる．したがって，スライダの全長は直線部の長さ l と両端のオフセット量 2δ との和 $(l+2\delta)$ になる．スライダはスライダ溝と同数(22)である．

図 4 に図 2 を組み上げた本減速機の外観を示す．減速機はステイタを基盤として各要素を入れ子状に配置することで構成される．スライダ溝に挿入したスライダの両先端部は，入力部とステイタの歯形の両方に接触するように位置決めされる．入力部には入力軸が，出力板には出力軸がそれぞれ接続されており，これらは同軸上に存在する．ステイタは外部から固定されることにより，入力部から出力板への減速回転を可能とする．

入力部を回転させると，スライダは 2 種類の歯形壁面に常に接触しながら，スライダ溝の中で径方向に歯形の周期に応じた往復運動を行いながら，出力板を入力部と同じ方向に減速回転させる．

2.2 減速の原理

図 5 は本減速機の減速の原理を説明するために，入力部とステイタのピッチ円周上に沿って描かれた 2 種類の正弦波形を，入力部の正弦波 1 周期分だけ直線状に引き伸ばして描いたもので，ステイタの正弦波 10 周期分に相当する．

図 5(a) はこれらを重ね描きしたものである．入力部の正弦波 1 周期分に 2 つの曲線は 20 個の交点を持つが，そのうち 12 個は入力部で $2\pi/11$，ステイタで $20\pi/11$ の位相差であり，図 2 に示した出力板に施された複数のスライダ溝の間隔である．また，10 個は入力部で $2\pi/9$，ステイタで $20\pi/9$ の位相差である．図 5(a) では前者の位相差を持つ 12 個の交点に注目している．

図 5(b) は，2 つの曲線をスライダの直線部の長さ l だけ，上下方向に離したもので，スライダと入力部およびステイタの両歯形との位置関係を表している．つまり，これらの 12 箇所において，スライダは入力部とステイタの間に干渉も乖離もすることなく整然と位置決めされる．

図 6 は，図 5(b) に示した 12 本のスライダのうち 2 本に着目して，それらの左右方向の位置を固定したまま，入力部の正弦波を $\pi/2$ だけ左方向に移動させたときの，スライダの上下方向の動きとそれに伴うステイタの正弦波の水平方向の動きを説明するものである．

スライダ①は入力部の正弦波形の移動によって上方向に押し出されるが，ステイタの正弦波形は上下方向の移動が拘束されているので，右方向に $\pi/2$ だけ移動する．このとき，ステイタの移動量は，入力部の移動量の 1/10 となるため，−10 倍の減速比が得られることになる．

一方，スライダ②は入力部の正弦波形の移動によって上方向 に押し出されることはなく，スライダ①の上方向の移動によって引き起こされたステイタの正弦波形の右方向

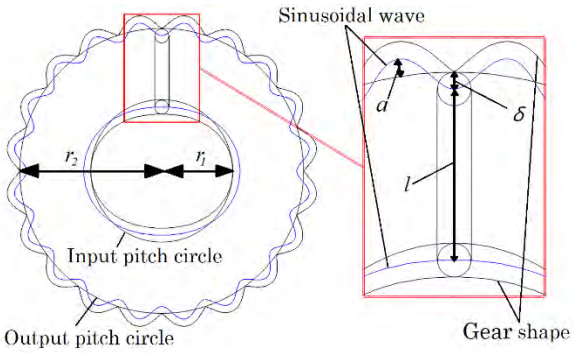


図 3 歯形とスライダの形状

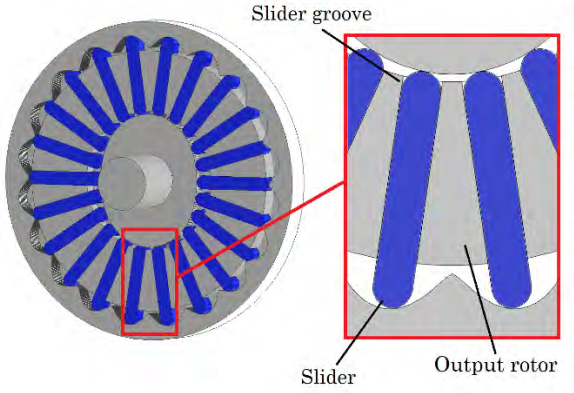


図 4 スライダ減速機の外観

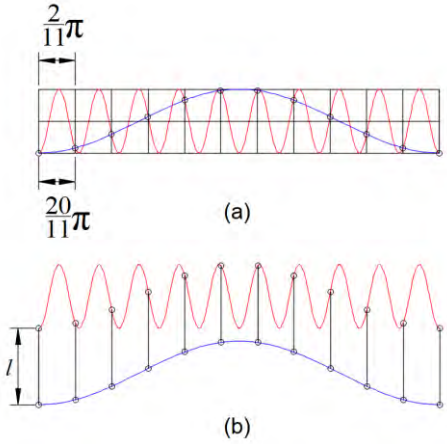


図 5 正弦波形とスライダの位置関係

の移動によって押し下げられ，その移動量が入力部の正弦波形の振幅の変化量に一致している．すなわちこの場合のスライダ②は動力の伝達には寄与していない．

すなわち，入力部の正弦波形が右上がりの斜面上にあるスライダが入力部の正弦波形の移動に伴って上方向に移動し，ステイタに動力を伝達するとともに，右下がり斜面上にあるスライダが下方向に移動する原動力となる．

このように，スライダの往復運動を介して，入力部の移動に対してステイタを逆方向に減速させながら移動させることが減速の原理である．

ところで，出力板に施されているスライダ溝の数は，本論文では入力部の歯数とステイタの歯数の和としているが，これらの差でも設定することが可能であり，その場合のスライダ溝の間隔は図 5 において入力部で $2\pi/9$，ステイタで $20\pi/9$ の位相差に対応する．そしてこの場合は，図 7 に

示すように，同じ減速のメカニズムに従いながらもステイタは入力部と同方向に減速移動する．つまり，同じ減速比でもスライダ溝の設計次第でステイタの移動方向を変更することができる．

ただし，差が和の約数となる場合には，スライダ溝の数を差で設定すると，ステイタの移動方向が一意に決まらないため減速動作ができない．

なお，ここまでの説明では，スライダを幅が 0 の直線で示したが，現実的に幅のある部品で上述の減速動作をさせようとすると，スライダの両端が入力部やステイタの歯形と干渉を起こして回転ができなくなる．実際の歯形がこれらのピッチ円に対してオフセットを設けているのは，このような干渉を防ぐためである．

2.3 減速の動作

図 8 は図 4 に示す減速機において，出力板を固定した状態で入力部を反時計方向に 1/2 回転（入力波形の 1 周期分）させたときのステイタの動きを，1 本のスライダに注目して示したものである．入力部の回転に伴って，スライダがその両端を入力部とステイタそれぞれの正弦波形状歯形の壁面に常に接触させながら，出力板に設けられたスライダ溝の中を半径方向に往復（図では上下動）し，その動きに応じてステイタが時計方向に減速回転する様子を表す．

入力部の回転角に応じて，スライダがステイタの歯形壁面を押し出す場合と，入力部の歯形壁面を押し出す場合の 2 とおりが存在する．入力部の回転角が 0°～90°では，入力部の歯形壁面がスライダを外方向（図の上方向）へ押し出す．この動きによってスライダがステイタの歯形壁面を時計方向へ押し出す．入力部の回転角が 90°～180°では，外方向に移動する他のスライダにより時計方向に回転するステイタによって，スライダは内方向（図の下方向）に押し出され，この動きが入力部の歯形壁面を反時計方向へ押し出す．すなわち，この状態ではスライダはステイタの回転に寄与しない．また，入力部の回転角が θ=0°，90°および 180°の場合のように，スライダが入力部とステイタの歯形の歯底または歯先に接触している状態では，スライダとステイタの間には上述のような相互作用は発生せず，この場合もスライダはステイタの回転に寄与しない．

入力部が 1 周期分回転すると，スライダは出力板に施されているスライダ溝の中を 1 往復するが，この往復運動によってステイタも 1 周期分回転する．このときのステイタ回転角は入力部の 1/10 周期分に相当するので 10 倍の減速比を得ることになる．

ただし，これはスライダを保持する出力板を固定した状態での話であり，このときの入力部とステイタは互いに反対方向に回転するが，提案する減速機は出力板ではなくステイタを固定するため，出力板は入力部の回転方向と同方向に減速回転を行うことになる．したがって，実際の減速比は上述の減速比に，固定されるステイタの正弦波形 1 周期分を加算することになる．すなわち，入力部の歯数を i，ステイタの歯数を s としたとき，減速比 z は次式で表される．

$$z = \frac{s}{i} + 1 \qquad (1)$$

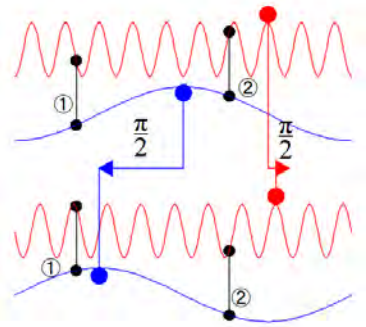


図 6 減速動作の説明

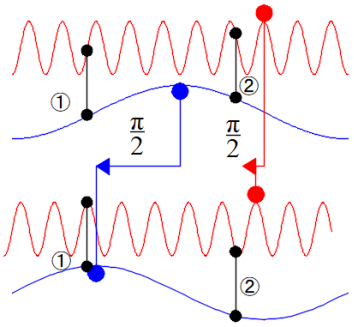


図 7 減速動作の説明Ⅱ

この式に図 2 で示した歯数の値を代入すると，減速比は z=11 となる．これは波動歯車減速機と同等の高減速比と言える．

図 9 はステイタを固定した場合の本来の減速機の動作の様子を示す．図 9(a)～(d) は，この順に入力部を白抜きの矢印に示すように反時計回りに回転させた際の時間的な変化を示している．なお，図 4 に示したスライダは 22 本と本数が多く見にくいため，図では 1 本おき（2π/11 の間隔）の 11 本を示し，①～⑪の番号を付けて識別する．

図 9(a) は，入力部をまだ回転させていない初期状態（回転状態Ⅰ）を示す．つまり，入力部および出力板の回転角は，この図の状態を 0°とする．

11 本のスライダのうち，スライダ②，③，⑦～⑨の 5 本は入力部の歯形壁面によって外側へ押し出され，ステイタの歯形壁面との相互作用で出力板を反時計方向に減速回転させる．一方，スライダ④～⑥，⑩，⑪の 5 本は，出力板の回転に応じてステイタの歯形壁面から内側に押し戻される．また，スライダ①は，入力部の回転角が θ=0°の位置にあるため，出力板の回転には寄与しない．

図 9(b) は，初期状態から入力部を反時計回りに 44°だけ回転させた状態（回転状態Ⅱ）を示す．入力部の歯形壁面から外側へ押し出されて動力伝達に寄与しているスライダは①，②，⑥～⑧，⑪の 6 本であり，ステイタの壁面から内側へ押し戻されているスライダ③～⑤，⑨，⑩の 5 本は出力板の回転に寄与しない．このとき，出力板は回転状態Ⅰに対して反時計回りに 4°回転している．

図 9(c) は，入力部の回転角が 88°，出力板の回転角が 8°となった回転状態Ⅲを示す．この状態では，スライダ①，⑤，⑥，⑩，⑪の 5 本が動力伝達に寄与している．

図 9(d) は，入力部の回転角が 132°，出力板の回転角が 12°となった回転状態Ⅳを示す．この状態では，スライダ

③～⑤，⑨～⑪の 6 本が動力伝達に寄与している．

以上のように，本減速機はどの回転角においても，5 ないし 6 本（実際には 10 ないし 11 本）のスライダが入力部の歯形壁面によって外側へ押し出され，ステイタの歯形壁面との相互作用で出力板を一定の速度で減速回転させることができる．

この減速のメカニズムは緒言で説明した波動歯車減速機と酷似している．フレクススプラインの弾性変形を利用した波動歯車減速機の減速動作が，スライダ減速機ではスライダのスライダ溝の中での往復運動に置き換わったと考えてよい．また，このような減速メカニズムでは減速機の構成要素同士の接触機会が多いため，入出力間でのバックラッシはほとんど発生せず，波動歯車減速機と同等の低バックラッシが期待できる．

3. 試　　作

図 10 は図 3 を基に実際に製作したスライダ減速機である．入力部の歯数およびピッチ円半径を 2，r_1＝40mm，ステイタのそれらを 20，r_2＝50mm とし，正弦波歯形を決定する振幅およびオフセット量はそれぞれ a=1mm，δ=1.5mm とした．スライダは全長 13mm，幅・厚さ共に 3mm とした．すべての要素部品は加工の容易なアルミニウム合金(A5052)を用い，NC フライス盤で加工した．

製作した減速機は，図 2 に示したように 4 層の単純構造であるため，各層の厚みを 2～4mm とすることにより，全体の厚みを 8mm に収めることができ，フレクススプラインを用いる波動歯車減速機に比べて，大幅な薄型化が実現できた．試作機は滑らかに動作することが確認できた．

4. 結　　言

提案する減速機は，減速原理が波動歯車減速機を模擬しているため，これと同等の単段での高い減速比が実現できる．加えて，弾性変形を必要とするフレクススプラインの代わりに，剛性のあるスライダおよびスライダ溝を有する出力板を用いているため，減速機の薄型化および高寿命化が期待できる．

さらに，波動歯車減速機では動力伝達がフレクススプラインとサーキュラスプラインの歯が噛み合う箇所でのみ行われるのに対して，本減速機ではスライダのすべてがステイタに常時接触しながら動力を伝達するため，トルク伝達特性の向上や低バックラッシが期待できる．

ところで，提案する減速機の設計パラメータとしては，入力部とステイタの歯数およびピッチ円半径 i，s，r_1，r_2，正弦波の振幅 a，オフセット量 δ，および出力板のスライダ溝の数が考えられる．

これらのうち i と s は減速比を決定し，r_1，r_2，a および δ はその減速比における正弦波形状の歯形を規定する．例えば a の値が大きければ，歯形の凹凸が急峻になるので，スライダとの接触状態が変化し，トルク伝達特性が変化することが予測される．

そこで今後は，これらのパラメータがトルク伝達特性に及ぼす影響を調査し，歯形の最適形状を検討したい．

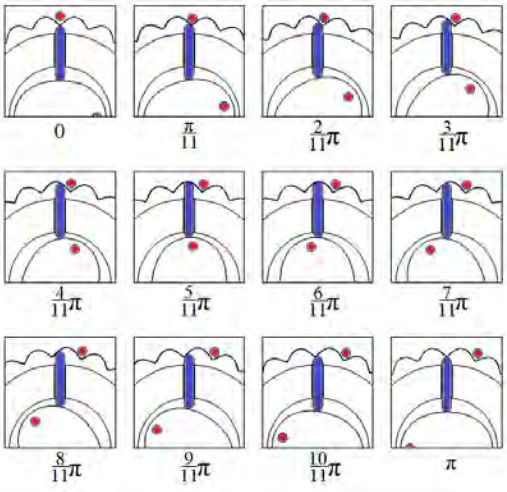


図 8 種々の入力角におけるスライダとステイタの動作

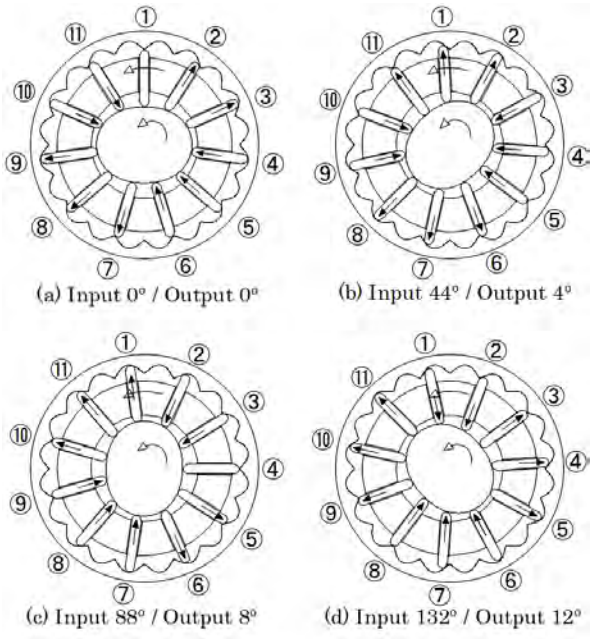


図 9 種々の入力角における減速機の動作の様子

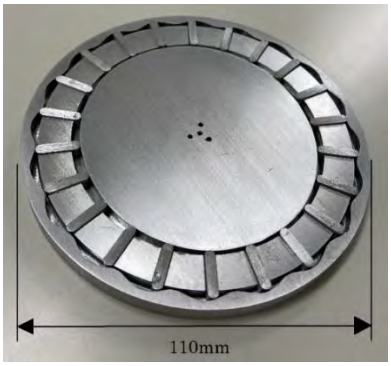


図 10 スライダ減速機の試作品

参　考　文　献

1) 渡辺富治，ほか 7 名，“遊星歯車・差動歯車装置の設計”，機械システム設計シリーズ 3，日刊工業新聞社，(1996).
2) 林秀行，大嶋和彦：特許出願公開番号 2021-028966（公開待ち）

ラーニング・コモンズとカフェの導入を契機とした大学図書館における「居場所」づくり

－山口大学工学部図書館 2020 年度改修工事を事例として－

Making “Place to Stay” in University Library by Installing Learning Commons and Café

- A case study on the Library at Faculty of Engineering, Yamaguchi University -

○岡松道雄（山口大学）*1　木下遼香（一条工務店）*2　宋俊煥（山口大学）*3　白石レイ（山口大学）*4

*1 Michio OKAMTSU, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611, okamatsu@yamaguchi-u.ac.jp
*2 Hruka KINOSHITA, Ichijo Co., Ltd.(Ichijo Komuten), 5-10-10 Kiba, Koto-ku, Tokyo, 135-0042, haruka-kinoshita@ichijo.co.jp
*3 Junwhan SONG, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611, song@yamaguchi-u.ac.jp
*4 Rei SHIRAISHI, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611, sh-rei@yamaguchi-u.ac.jp

キーワード: 空間デザイン, 学びと教育のデザイン, 空間可変, 建築のインターフェイス

1. はじめに

1-1 研究背景

グローバル化や少子化など日本の大学を取り巻く環境が変化している。文部科学省は新しい時代を切り拓くために必要な資質・能力の育成を目指し、より主体的・対話的で深い学び（アクティブ・ラーニング）の視点から、学習課程の改善を行っている [1]。一方、大学でも学生の自主的学習を支援することを目的に、図書館を中心としたラーニング・コモンズ（以下ＬＣ）が導入整備されてきた。しかし、ＬＣ概念導入の経緯や日本の大学組織との関連において、学習支援空間としてのＬＣのあり方は定着しておらず、未だ模索段階であると考えられる。

1-2 既往研究

大学図書館におけるＬＣの利用実態に関する既往研究は多く、伊藤ら [2] に代表される「運営の観点」、楠川ら [3] [4] による「利用者側の観点」、堀江ら [5] による「空間計画的な観点」等に分類できる。また学習場所という観点から、高島 [6] は、ドイツの大学図書館では、カフェテリアが学びの場の一部として積極的に設置されていることを報告し、オージェリ（Aujeri）[7] は、日本の大学はフォーマルな空間だけで構成されがちで、交流場所となるインフォーマルな空間は学外のカフェが担っていると指摘している。

飲食可否に関しては、2015 年に河本ら [8] によって公共図書館と大学図書館を対象とした実態調査が行われたが、対象を大学図書館とＬＣに着目した研究は見当たらない。

1-3 研究目的

この様な背景下で、2020 年度、山口大学（以下本学）では老朽化した工学部図書館の改修工事が実施された。大学図書館に学生の居場所を提供することで滞在時間を長くし、自主的な学習につなげることを意図しカフェを導入したが、改修実施決定から設計・着工までの期間が短く、検証を行う必要から、改修工事に並行して全国調査を行った。

調査では物理的リソース（ハード）に重点をおき、まず、①日本の大学図書館におけるＬＣの整備状況とＬＣの中での飲食可能空間の位置づけを明らかにする。次に、②飲食可能空間についてのソフト面である導入経緯や運営機関、③ハード面である整備特徴について、調査し分析することで、飲食可能空間の整備傾向を明らかにする。最後に、大学図書館の飲食可能空間が、自主的学習に対する有効な用途となり得るか考察することにより、本学工学部図書館の今後の運用や活用のための指針を得ることを目的とする。

1-4 調査方法

WEB 上で大学図書館の情報を収集すると共に、世界の大学ランキング（日本版）の国立大学図書館（70 館）、公立（41 館）、私立（179 館）の合計 290 館に対して、大学図書館におけるＬＣの整備実態やその構成要素の一つである飲食可能空間についてのアンケート調査（表 1）を行い、有効な回答が得ることができた 125 館を分析対象とする。

Table1 Outline of questionnaire survey

調査項目 Question Items	(1)LCの現状 Current status of L.C. 導入時期、導入のきっかけ、導入目的、設置形態、配置計画、面積 (2)LCの構成要素について Component of L.C. 導入時期、導入数 (3)大学図書館での飲食可能空間の運用ソフトの現状 Operational Structures of E/D space 導入時期、導入きっかけ、導入目的、運営方法、決定方法 重視した点、利用方法、利用者の反応、利点欠点 (4)飲食可能空間のハード面の現状 Spacial Configuration of E/D space 設置形態、配置関係、面積				
調査対象施設 Target Universities	国立大学70校、公立大学41校、私立大学179校				
調査機関 Investigation Period	2020年10月中旬～11月上旬				
調査方法 Investigation Method	各大学に電子メールを送信及びアンケートを郵送し、図書館職員の方に回答をもらい集計を行う				
送信数(館) Number of Targets for Survey	290	回答数(館) Numbers Responded	125	回答率(%) Response Rate	43.1

本論では大学図書館のＬＣと飲食可能空間を対象とし、飲食可能空間について、持ち込んで飲食する空間をラウンジ、提供されて飲食する空間をカフェとする。

2. 日本の大学図書館におけるＬＣ

2-1　ＬＣの整備状況

アンケート調査で得られた大学図書館のうち、大学図書館にＬＣを導入している大学図書館は 125 館中 92 館で導入率は 73.6％であった。大学種別の内訳は国立大学が 33 館中 31 館、公立大学が 28 館中 18 館、私立大学が 64 館中 43 館という結果となり、アンケート調査に回答した国立大学のち約 9 割、公立大学、私立大学では 6 割以上で導入されていることがわかった（表 2)。

Table2 Number of University library w/ LC installed

大学種別 University Classification	調査数(館) Number of Univ.	導入館(館) Number of Univ. w/ LC Installed	導入率(%) Installation Rate
国立大学 National University	33	31	93.9
公立大学 Municipal University	28	18	64.3
私立大学 Private University	64	43	67.2
全体 Total	125	92	73.6

2-2　ＬＣ面積と設置形態

大学図書館の延べ床面積に対するＬＣの面積の割合と、設置形態との関係を見ると、ＬＣは図書館の延べ床面積の0％～15％割合で設置されることが多いことが明らかとなった。また、設置形態との関係では面積割合が少ないほど改築・新築、模様替えであり、面積割合が大きいほど改修で設置されることがわかる（表 3)。

2-3　ＬＣ面積と配置型

図書館の延べ床面積に対するＬＣの面積の割合と配置関係を比較すると、図書館内のＬＣの配置は分散型、ワンフロア型、別棟型、一部分型に分類できた。分散型とワンフロア型が比較的多いことが分かった。延べ床面積の割合との関係は、延べ床面積の割合が低い程ＬＣをワンフロアに集めていることが分かった（表 4)。

2-4　ＬＣの構成要素別設置数

ＬＣの構成要素は 9 つに分けられた。その中で国立、公立、私立大学それぞれで約 9 割設置されていたのは、グループ学習空間であった。次いで共同学習空間のような会話しながら学習するスペースであった。次に、プレゼンテーションや PC 空間のような専用機器を整備するところが多い。それらに続いて、カフェ・ラウンジのような飲食可能空間の割合が大きいとうい結果となった（図 1)。

2-5　ＬＣの構成要素別導入時期比較

ＬＣ自体の導入時期は、2012 年から 2014 年にかけて最も多く導入されていた。各構成要素の導入時期を比較すると、共同学習、グループ学習、プレゼンテーション、人的サポート、AV（視聴覚空間）は 2012 年から 2014 年にかけて急増し、2014 年から 2016 年にかけては PC の空間が増えている。カフェ・ラウンジ空間は 2008 年には導入されており、2016 年から 2018 年にかけて特に増加していることがわかる（図 2)。

Table3 Relation b/w LC floor area ratio & Type of installation

L.C面積割合	改修	改築・新築	模様替え	その他	合計
0%～5％	4(14.8%)	8(29.6%)	9(33.3%)	6(22.2%)	27
5%～10%	4(28.6%)	3(21.4%)	2(14.3%)	5(35.7%)	14
10%～15%	3(23.1%)	5(38.5%)	1(7.7%)	4(30.8%)	13
15%～20%	2(66.7%)			1(33.3%)	3
20%～25%	4(80.0%)		1(20%)		5
25%～30%	2(33.3%)	2(33.3%)		2(33.3%)	6
30%～35%			1(50%)	1(50.0%)	2
35%～40%	1(100%)				1
40%～45%				1(100%)	1
50%～75%	1(100%)				1
合計	21	18	14	20	73

Table4 Relation b/w LC floor area ratio & Type of layout

LC面積割合	ワンフロア型	分散型	別棟型	一部分型	その他	合計
0%～5％	13(50%)	6(23.1%)	0	5(19.2%)	2(7.7%)	26
5%～10%	5(29.4%)	10(58.8%)	1(5.9%)	0	1(5.9%)	17
10%～15%	7(58.3%)	3(25.0%)	1(8.3%)	1(8.3%)	0	12
15%～20%	2(66.7%)	1(33.3%)	0	0	0	3
20%～25%	1(20.0%)	3(60.0%)	0	1(20.0%)	1(20.0%)	6
25%～30%	2(40.0%)	3(60.0%)	0	0	0	5
30%～35%	0	2(100%)	0	0	0	2
35%～40%	0	1(100%)	0	0	0	1
40%～45%	1(100%)	0	0	0	0	1
50%～75%	0	1(100%)	0	0	0	1
合計	31	30	2	7	4	74

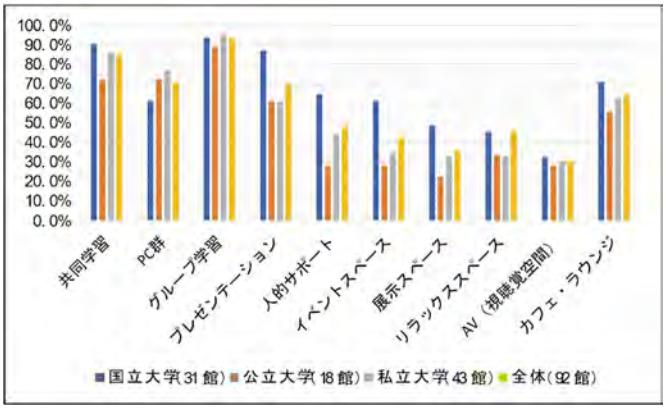


Fig.1　Installation rate of each LC elements

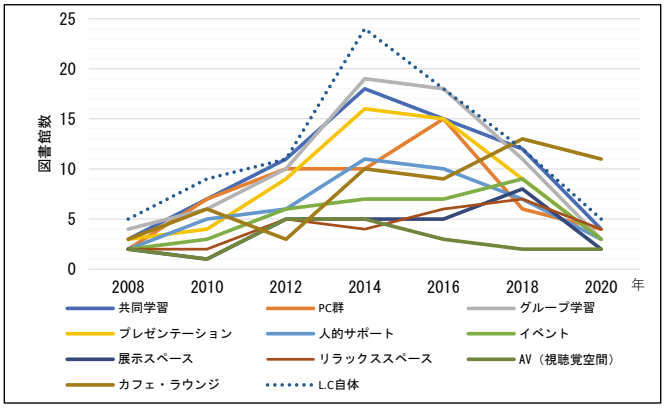


Fig.2　Installation year of each LC elements

3. 飲食可能空間のある大学図書館の実態

3-1 飲食可能空間の概要

アンケート結果より、飲食可能空間を設置している大学図書館は 125 館中 59 館（47.2%）で約半数が設置していることが分かった。うち訳は国立大学が 33 館中 22 館(66.7%)、公立大学が 28 館中 10 館（35.7%）、私立大学が 64 館中 27 館（42.2%）であった（表 5)。飲食可能空間のうち訳はラウンジのみが 45 館（76.2%）、ラウンジとカフェが 9 館（15.2%）、カフェのみが 5 館（8.4%）であった。飲食可能空間の導入変遷は、カフェ、ラウンジ共に増加傾向である。スペースの問題からカフェよりもラウンジを導入する図書館が多いことがわかった。

カフェについては国立大学でよく整備されていた。カフェの運営先は、大学生協、地域の企業、チェーン店に分類でき、最も多かったのはチェーン店であった（表 6)。大学図書館の中のカフェは予算やコンセプトを需要視し、コンセプトに関しては学生が利用しやすいように値段が比較的安く設定されていた

Table5 Number of University library w/ Eat & Drink space

大学種別 University Classification	A:整備(A/C) Number of Umiv. w/ E&D Installed	B:未整備(B/C) Number of Umiv. w/o E&D Installed	C:全体(館) Installation Rate
国立大学 National University	22(66.7%)	11(33.3%)	33
公立大学 Municipal University	10(35.7%)	18(64.3%)	28
私立大学 Private University	27(42.2%)	37(57.8%)	64
全体 Total	59(47.2%)	66(52.8%)	125

Table6 Difference of operators of each E&D space

大学種別 University Classification	地域の企業 Local Firms	チェーン店 Chain Stores	大学生協 Univ. COOP	その他 Others	全体 Total
国立大学 National University	3(33.3%)	4(44.4%)	1(11.1%)	1(11.1%)	9
公立大学 Municipal University	0	1(100%)	0	0	1
私立大学 Private University	1(25.0%)	1(25.0%)	1(25.0%)	1(25.0%)	4
全体 Total	4(28.6%)	6(42.9%)	1(7.1%)	2(14.3%)	14

3-2 導入経緯

導入のきっかけは、ラウンジとカフェでそれぞれ「活用できる場所があった」と「大学の方針」が最も多かった。次に多かったのが「学生の要望」という結果となった。このことから学生の需要があることがわかる。導入の目的は「長時間利用を可能にするため」と「利用者数の増加」が多かった。次に、「多様な学習形態に対応するため」となり、飲食可能空間も学習の場として考えられていることが分かった（図 3)。

3-3 飲食可能空間でのイベント活動

カフェが整備された大学図書間の 13 館中 6 館、ラウンジが整備された大学図書館 50 館中 25 館で図書館活動以外のイベントなどに利用されており、全体では 49.2%と約半数で利用されていることが明らかとなった（図 4)。具体的な利用方法は、対外的なイベントと学内のイベントの２つに分けることができた。学内のイベントは、授業やゼミ、留学生との交流会などが挙げられた。対外的なイベントは、

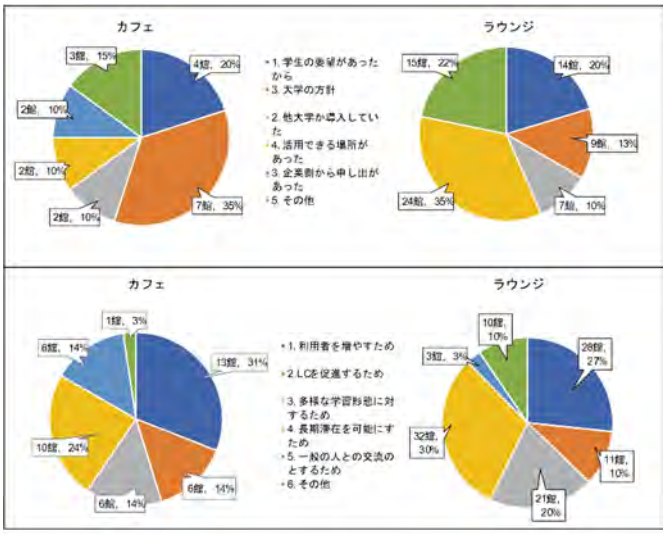


Fig.3 Reasons of Eat & Drink space insttalation

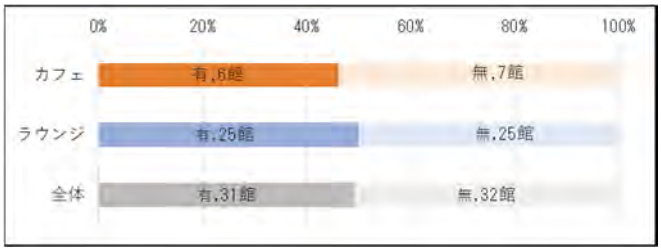


Fig.4 Number of E&D utilized for extraneous events

学生と企業の懇談会や就活、オープンキャンパス、学生とキャリアサポーターの交流会などが行われていた。

3-4 導入による利点・欠点

アンケート調査の自由記述によって得られた大学図書館員の観点からの飲食可能空間を整備した利点と欠点について、「KH Coder」を用いて、計量テキスト分析を行った。まず、コンピュータプログラムによって、形態素解析（意味のある言葉を最小単位に分けて、品詞を判別する解析）を行い、単語の頻出頻度や語と語の結びつきを統計的に分析する。そして、形態素解析で得られた抽出語を用いて、共起ネットワーク（サブグラフ検出）を作成した。これは、出現パターンの似た、つまり共起関係を線で表したネットワーク図のことである。円の大小は出現回数を反映し、線の太さは共起関係の強さを表している。分析結果では利点について、「利用者増加」「大学内の憩いの場」「長期滞在可

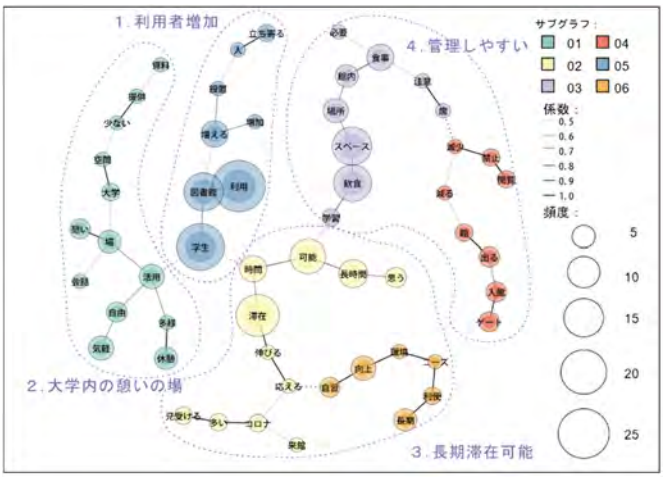


Fig.5 Co-occurrence network diagram of installation merits

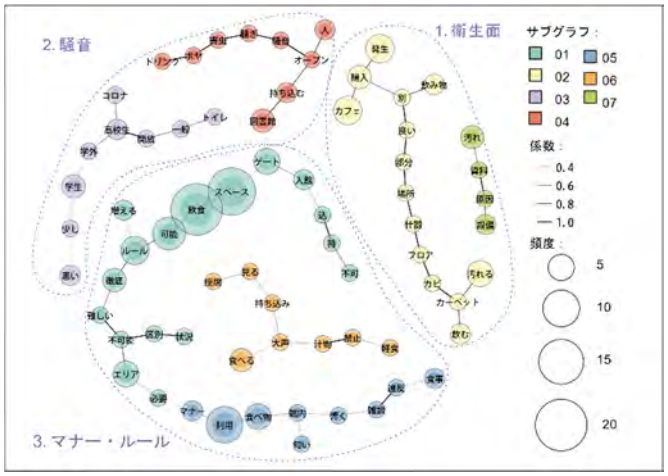


Fig.6 Co-occurrence network diagram of installation demerits

能」「管理しやすい」の 4 つのカテゴリーで構成されたサブグラフが見いだされた（図 5）。欠点については、「衛生面」「騒音」「マナー・ルール」の 3 つのカテゴリーで構成されたサブグラフが見いだされた（図 6）。

4. 飲食可能空間の建築から見た特徴に基づく分析

4-1 飲食可能空館の配置計画

大学図書館と飲食可能空間の配置の関係は、大きく図書館ゲートの外側と内側で分けられる。ゲートの外に整備する大学図書館は、33 館で飲食可能空間を持つ大学図書館のうち 55.93%であった。ゲートの内は、26 館で 44.07%となった。カフェは学外の人も利用しやすいようにゲート外に整備されることが多い。

ＬＣをさらに細かく見ると飲食可能空間の配置の関係は分離型、隣接型、一体型に分類できた（図 7）。図書館ゲート外の場合は分離型の配置が 26 館と最も多かった。図書館ゲート内の場合はＬＣと隣接している配置が多い。

4-2 飲食可能空間とＬＣの配置関係と利用方法

ＬＣと飲食可能空間の配置関係と学生の利用方法について比較する。ＬＣと飲食可能空間が離れている場合は、「食事」や「休憩」をする場合が多い。一方で、ゲート内でＬＣに隣接している場合やＬＣ全体が飲食可能の場合は、「一人で勉強」や「友達同士で勉強」の割合が高くなることが分かった（表 7）。

5. 大学図書館のＬＣと飲食可能空間導入まとめ

大学図書館におけるＬＣは日本の高等教育に能動的学習が推進され始めた 2012 年から 2014 年にかけて急増し、2014 年がピークとなっている。さらに、対象とした大学図書館の約 7 割以上に導入されていることから、全国に広まっていると推測できる。飲食可能空間は、調査対象とした大学図書館の約半数に整備され、ＬＣの構成要素のなかで 5 番目に多く整備されていることや他の構成要素に比べて比較的近年増加していることから、日本のＬＣの主要な構成要素となりつつあることが分かった。

飲食可能空間の導入経緯より、学生の需要があることと利用者の増加を期待していることが明らかとなった。カフェの運営機関はチェーン店が最も多かった。図書館員の観点から見た設置後の様子より、利用者が増加し、大学内で

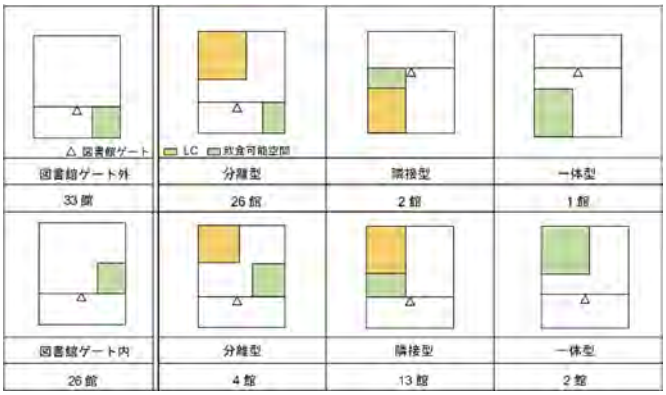


Fig.7 Layout classification of L.C. & E&D space

Table7 Relationship between layout & activities

利用行動	分離型 ゲート外		分離型 ゲート内		隣接型 ゲート外		隣接型 ゲート内		一体型 ゲート内		合計
1.食事	23	29.5%	3	30.0%	2	50.0%	10	23.8%	1	12.5%	39
2.一人で勉強	15	19.2%	2	20.0%	0	0.0%	11	26.2%	2	25.0%	30
3.友達同士で勉強	14	18.0%	2	20.0%	0	0.0%	11	26.2%	2	25.0%	29
4.休憩	23	29.5%	2	20.0%	2	50.0%	10	23.8%	2	25.0%	39
5.その他	3	3.9%	1	10.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	12.5%	5
合計	78	100.0%	10	100.0%	4	100.0%	42	100.0%	8	100.0%	142

の学生の憩いの場が提供でき、図書館利用の利便性、快適性を向上させることとなっている。また、閲覧室での飲食を注意しやすくなり、ルールを破る人が減ることが分かった。また、飲食可能空間は様々なイベントで利用されており、大学図書館がより多様化していると考えられる。

飲食可能空間の整備傾向については、匂いや汚れ防止の理由でゲートの外に整備されることが多かった。また、利用方法がＬＣとの配置関係によって異なることが分かった。「隣接」「一体化」している方が勉強をする学生の割合が多く、新しい学習空間の一つになることがわかる。学生にどのように利用してほしいかで配置の場所を考える必要があると考えられる。

飲食可能空間を整備することは、大学図書館に気軽に立ち寄る学生が増加し、能動的学習を促進させる可能性がある。さらに、リフレッシュの場を設けることで長時間滞在を促し、学習を持続させる効果がある。また、飲食可能空間では企業との交流や就職支援が行われることで、学生に対して将来に向けての様々な機会を与える場となり、自分自身の興味を発見する場となっていると考えられる。よって、大学図書館の飲食可能空間は、自主的学習に対する有効な用途として考えられ、4 章で示した「隣接」「一体型」に効果があることを踏まえて、ＬＣとの配置関係を考慮した設置・整備が重要であると考えられる。

6. 本学工学部図書館 2020 年度改修

6-1. 改修の背景

本学工学部の前身である宇部高等工業学校は、昭和 14（1939）年 7 月に、宇部市内の小学校を仮校舎として開校された。同小学校の一隅に設けられた図書室が工学部図書館の起源である。戦争が激化した昭和 19（1944）年、徳山市の旧海軍が永年収集した外国学術雑誌等を救出保護する目的で移管された。その保護のため個人により RC 造の書庫一棟が寄贈されたが、構造物としては現存していない。

Table8 Historical outline of the extension and/or alteration

建築年	工事種別	面積（㎡）	概要
昭和48（1973）年	新築	1,339	RC造2階建、視聴覚教室等
昭和59（1984）年	増築	982	RC造2階建、延床2321㎡
平成15（2003）年	増築	32	女子トイレ増築
令和02（2020）年	**改修（今回）**	**2,353**	**全面改修、耐震補強等**

構造物としては、昭和 48（1973）年に現図書館の原型となる館舎が新築、昭和 59（1984）年に増築され、ほぼ現在の規模となる。平成 15（2003）年に女子学生の増加に対応したトイレ廻りの増改築が行われた。この間、部分的に改修が行われたが大部分は築後 35 年以上が経過しており、老朽化が激しく所々で雨漏りもあったため、早急な改善が求められた。表 8 に本学工学部図書館の概要及び増築の経緯を示す。

6-2. 改修概要とＬＣ・カフェ導入の経緯

2019 年 6 月に学内で予算要求が起案され、同年 8 月に文科省への予算要求がなされた。12 月に採択通知があり、翌 2020 年 1 月 22 日から 3 月 24 日にかけて、環境型プロポーザル方式によって設計業者が選定された。この一連の過程では、改修の主なテーマとして、老朽化対策とエネルギー消費の効率化が重視された。一方で図書館としての空間構成について、十分に検討されたとは言い難い。

改修が決定されたことを受け、建築設計を専門とする筆者が 2020 年度から工学部図書館長に就任することとなった。3 月に前図書館長より引き継ぎを受けた際、本改修決定までの経緯や、数年間図書館関係者の間でＬＣやカフェの導入が非公式に議論されてきたことの説明を受けた。これを足掛かりとして、空間構成に関するコンセプトの検討に着手した。

並行して 2020 年 1 月 22 日から 3 月 10 日の期間、工学部内で簡易アンケートが実施され、各学科から要望が多かったＬＣとカフェの導入が決定された。ただし図書館は IC カードにより入館をコントロールしているため、ゲート手前にカフェの入口を設け、飲食可能空間としてはゲート外となるよう配置されることが導入の条件となった。表 9 は簡易アンケートの集計結果を学科ごとに集約し、要望に優先順位をつけて纏めたものである。多くの学科が飲食スペースを望んでいることがわかる。

Table9 Space demands of each department

学科 / 希望する空間	機械工学	社会建設	応用化学	電気電子	知能情報	感性デザイン	循環環境	工学基礎
個人学習スペース				○				○
会話可能スペース（LC）				○			○	
グループ学習室			○					
PCスペース	○						○	
飲食スペース	○	○	○		○	○	○	

6-3. ＬＣ・カフェの設計意図と空間構成

図書館にＬＣおよびカフェを導入するに当たり、大学内に「学生と教職員の居場所」を提供することを目的とした。居場所をより具体的にイメージするために、①教室でも自室でもない「サードプレイス」となること、②キャンパス内における図書館の立地位置を活かすことの２点を重視した。

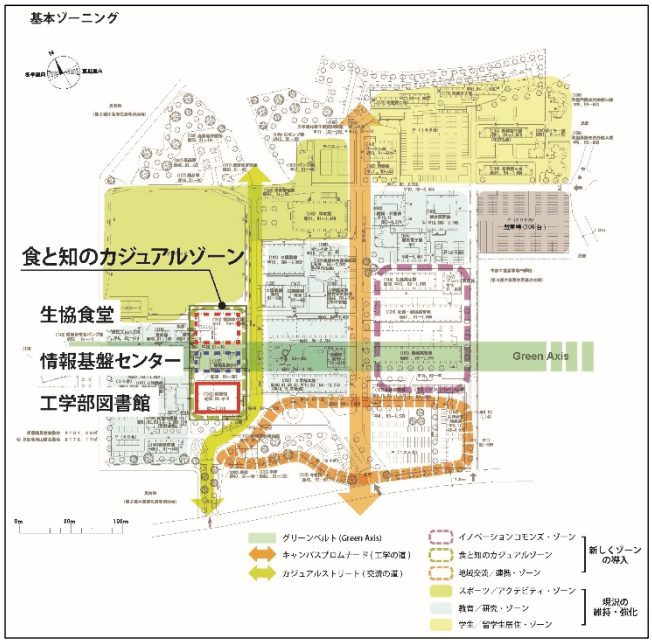


Fig.8 Location of the library w/ campus zoning of the faculty

た。図 8 に工学部キャンパスにおける図書館の位置を示す。また同図から、隣接する福利厚生棟（生協購買施設と食堂）と情報基盤センター棟との関連において、図書館周辺エリアを「食と知のカジュアルゾーン」として位置づけ、「立ち寄りたくなる図書館」の実現を目指した。カフェは生協の喫茶部の延長として運営される。

そのため、３棟の前面道路に当たる構内道路を「カジュアル・ストリート」と名付け、このストリート側にカフェを配置した。加えてカフェの間口全面に大きな庇を擁した屋外デッキテラスを設置することで、寄り付きやすいインターフェイスとなることを意図した（図 9）。

図 10 は、一人でもグループでも、あるいは目的があっても無くても、「食」を媒体として居場所を形成する「行為」を想定し、その受け皿となる空間配置を対応させるコンセプトを表すものである。赤の破線が本来の図書館機能に帰属するもので、今回はＬＣとガラス張りのミーティングルームが対応する。緑の破線部分をカフェ・テラスが担い、

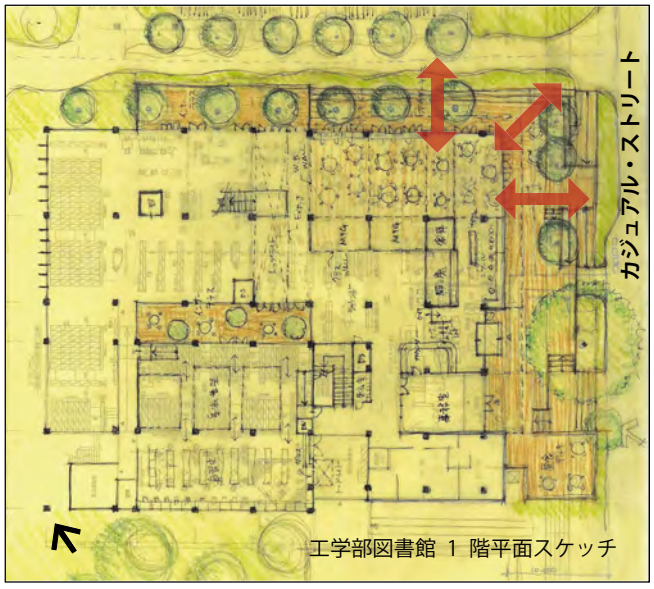


Fig.9 Grand level sketch of the library

カジュアル・ストリートと連続する。ＬＣは可動間仕切りにより必要に応じてカフェと一体的に活用できるようにした。ワークショップや講演会後の懇親会が、その場で行われることを想定している。ミーティング室は図書館側・カフェ側両方をガラス張りとし、視線を繋げつつ、両側から使用できる。施錠ラインを変えることで、カフェの一部としても、図書館の一部としても利用できる配置とした。図 11 にカジュアル・ストリート側から見た改修前後の図書館の東側立面図、図 12 に外観写真を示す。通りに対して閉じていた外壁を開口率約 56%とし、フルフラットでバリアフリー対応のテラスサッシを採用した。デッキテラスからカフェへ自由に出入りができ、テラス席での飲食や滞留行動を促すため、出幅 1500mm の大庇を設けている。

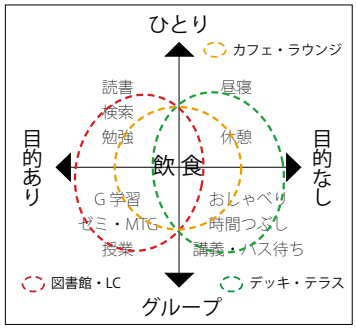


Fig.10 Plot of activities & space

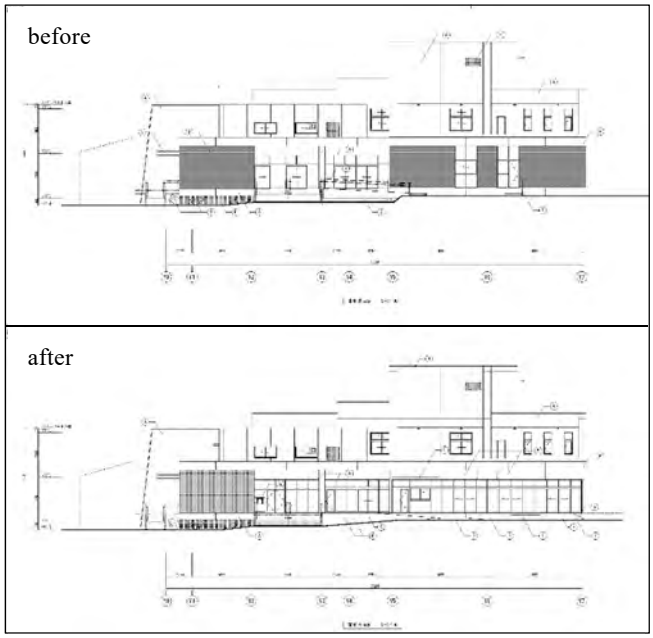


Fig.11 Before/after of east elevation



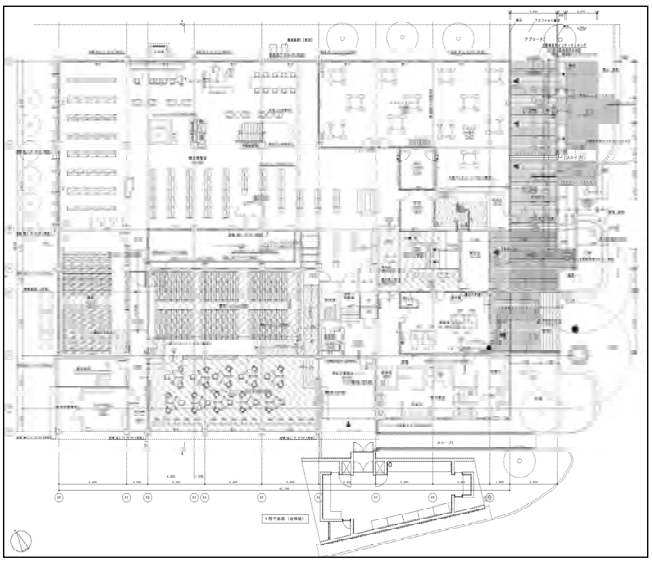
Fig.12 Before/after of east exterior

6-4. 改修工事の体制と学生の参加

本学施設環境部が文科省申請、予算獲得および予算管理とプロジェクトマネジメント（PM）を行った。空間構成については、建築系学科に所属する筆者らが企画計画及び設計監修・意匠部分の工事監理（家具什器計画含む）を担当した（以下、意匠チームとする）。設計受注者は 6-2 で示したプロポーザルにより選定された後、2020 年 4 月 1 日意匠チームによるコンセプト説明を受け、図 10 に示した平面スケッチを元に、実施設計を行った。この間、実施設計者と意匠チームとのコミュニケーションは、施設環境部を介して間接的に 1 回（4/17）質疑応答が行われた。

発注確定図（図 13）は同年 7 月 15 日に完了し、一月の入札期間を経て工事会社が決定し、9 月 1 日着工となった。意匠チームは、確定図を元に意匠上の決定事項を担うため、9 月 28 日から 2 週間に一度、現場定例会議に参加した。正式な定例会議は 12 月末まで合計 6 回行われ、この間発注工程に合わせ、必要に応じて臨時打合せを設け、サッシ形状・壁面位置・内装色決め・照明・電源配置・詳細納まり等について、家具配置と調整しながら承認作業を続けた。

家具選定は、建築工事と並行して意匠チームと図書館事務局との間で行われた。運営体制の検討とあわせ、蔵書数の将来予想から書架の決定、各部屋の使われ方を協議しながらゾーニングを設定し、各ゾーンの意図に対応する家具を選定した（図 14）。


Fig.13 Contract drawing of the 1st floor

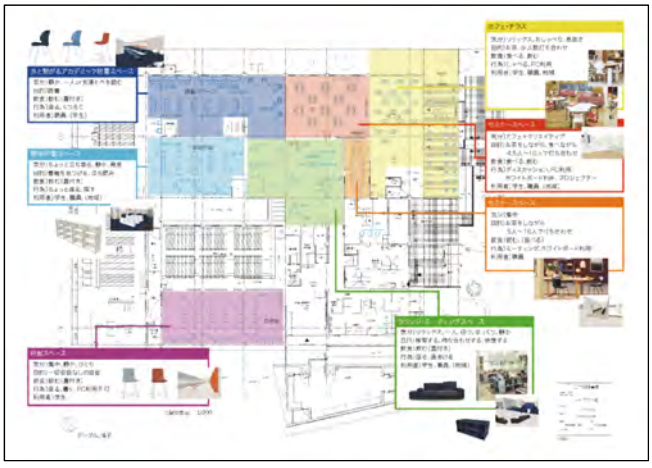

Fig.14 The 1st floor zoning & furniture selection



Fig.15 3D simulation drawings by a graduate student



Fig.16 Signage design by a graduate student

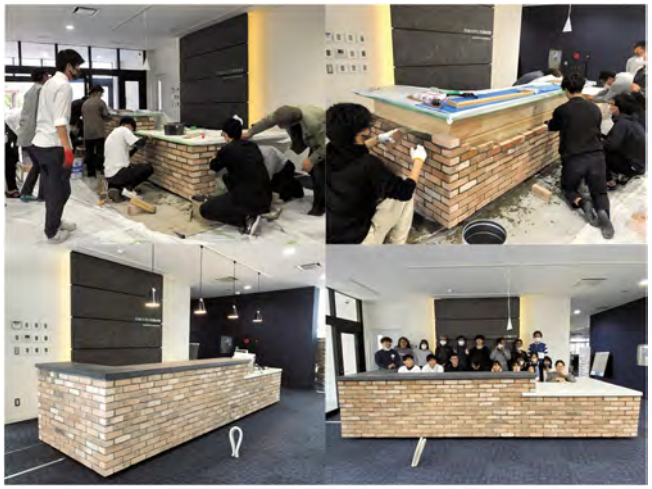


Fig.17 Recycled local brick workshop with students

Table10 Formation & roles of each participants

担当者 / 作業項目	大学				設計会社	施工会社	専門業者
	学術基盤部	教員意匠チーム	学生	施設環境部			
予算策定・執行	◎	○		◎			
運営方針決定	◎	○					
企画・計画	○	◎	○				
実施設計	○	○		◎	◎		
建築工事	○	○		◎		◎	
家具什器	◎	○	○				◎
セキュリティ	◎	○					◎
サインデザイン	○	◎	◎				◎

凡例　◎：主要な責任を負う役割　○：補佐的な役割

建築学生は、カフェ及びテラス部分の外観シミュレーション、家具配置の検討等に３Ｄアプリで参加した。また、館内サインについて、図書館事務局と意匠チームが作成した原案を基に、学生がフォントやレイアウト、採色の最終デザインを担当した。図 15 は学生による外観シミュレーション、図 16 は館案内板の決定原稿である。また、工学部が立地する山口県宇部市に特有の桃色煉瓦を保存再生する機会が得られたことから、地元の設計・建設会社（桃色煉瓦情報提供）および内装工事会社（本学卒業生）の協力を得、レンガ積みのワークショップを行った（図 17）。図書館の受付カウンター腰部分に採用し、炭鉱を中心とした宇部の産業史を伝えるアイテムとなった。同時に、建築学生が施工に関わることで、実務的教育効果を得るとともに図書館に対する愛着を育む契機となることを期待する。

表 10 に、本改修工事の設計施工体制と主な役割を示す。6-2 で述べたとおり、建築設計専門の教員が工学部図書館長（学術基盤部管轄）に就任することで、運営側の立場として、企画・計画上の要求を施設環境部（工事発注主体）へ伝え、実施設計図書への反映が可能となった。表 10 に示す「教員意匠チーム」は、本学における通常の工事発注体制においては非公式の存在であり、学生の参加についても今回の体制下において可能となった。この点については、本学の図書館関係者間で合意が形成され、各部局の意向と相互配慮により、非公式チームの活動を許容し尊重した側面がある。

6-5. 空間構成の検証

冒頭（１章）で述べたように、本改修案は主に簡易アンケートと筆者らによる経験知によって空間構成を決定したので、本節では、改修工事と並行して行った調査（1-4）による結果と照合し、本改修における空間構成の検証を行う。

6-5-1　ＬＣ整備状況と飲食可能空間の位置　工学部では図書館ではなく学務課の管轄下で 2013 年に福利厚生棟 3 階にアクティブ・ラーニングに活用できる「クリエイティブラウンジ」が整備された。また本学総合図書館においても 2013 年に「アカデミックフォレスト」と称するＬＣが整備されているので、大学としては全国の大学の整備時期に沿うといえる。工学部としては「図書館への導入」と限定した場合は今年度（2021 年）となり、全国の整備ピーク（2014 年）から 7 年遅れの導入となる。ただし飲食可能空間の整備傾向は 2016 年頃から増加傾向にあり、本学の場合はこの傾向に沿うものと言える（図 2、表 5）。

図書館面積に対するＬＣ面積は 9.66％を占め、改修における全国ＬＣの面積傾向（表 3）から、平均的な割合である。配置型（表 4）としては他に例がなく、独自の配置と言える。飲食可能空間の位置（図 7）としては、ゲート外にあり、全体の半分を占めるグループに該当するが、ＬＣの位置との組み合わせとしては他に例がなく、独自性があることに加え、可変対応を行っている点でも他に類を見ない。ＬＣの構成要素（図 1）は 9 種全て備えている。

6-5-2　飲食可能空間の導入経緯・運営機関　飲食空間の導入経緯（図 3）としては、大学（教員）・学生双方が要望したことに加え、目的も図 3 下段に示す 1～5 全てに該当する。運営機関（表 6）は公募により大学生協が選出された。本学工学部は独立キャンパスであり、立地や学生数など経営指標が影響するものと考えられる。

6-5-3　飲食可能空間の活用傾向　飲食可能空間を導入した図書館の約半数が、図書館活動以外のイベント等に活用している（図 4)。本学工学部でも、授業や学会、企業との連携とそのワークショップや懇親会に活用する予定である。カフェを運営する生協は、現在、既存ショップのロビーで就活イベントを行っているが、手狭で混雑するため、隣接して整備される図書館カフェでの開催を計画中である。

6-5-4　自主的学習としての飲食可能空間　本改修工事のコンセプトが「居場所」づくりであり、そのためにはまず利用者増と滞在時間の増が具体的な目標である。図 5 から導入のメリットとして、1〜3 が挙げられており、目標達成が望まれる。「管理しやすさ」という点において、工学部図書館では改修前から、蓋付きの飲み物は持ち込み可としており、それに反した利用者に対して完全な退館を求める必要がなく、館内の飲食可能空間への移動を要請し、学習自体は継続させる余地が生じる点も期待できる。

6-6. 開館後の運営体制

工学部図書館の今後の運用や活用のための指針を得ることを目的に、2 章 3 章で示した全国調査を行ったが、工学部としてはやや遅めのＬＣ飲食可能空間の整備となった。一方で、本学総合図書館での導入経験から設計指針を得られたこともあり、結果的に全国の傾向に沿う導入整備が可能となった。さらに上記調査結果から、今後の運営体制への参考事例や注意すべき点などが予想でき、有益な調査となった。現在これらの知見を基に、ＬＣに属する部屋の予約方法や工学部図書館運営規則改定中である。

図書館に設置するカフェについては、本学全体でも初めての試みであり、運営しながらの試行錯誤となる。特に 3-4 節図 6「導入に関する欠点」で得られた、「衛生面」「騒音」「マナー・ルール」については、今後の運営体制づくりで対応可能であり、開館前の準備に有用な情報として活用したい。

7. おわりに

我が国の高等教育機関において、自主的学習を支援する体制が整えられつつあり、その一つとしてＬＣ導入の試行錯誤が続いている。本稿が示した主要大学を対象とした調査と本学工学部における図書館改修の事例により、導入状況の一端を明らかにした。

その過程で、飲食可能空間の持つ役割は近年重視される傾向も明らかとなった。本改修工事では「食」を中心とした居場所づくりを目指し、カフェを境に外部空間と内部のＬＣ空間を緩やかに繋ぐことで、親和性の高い新たなインターフェイスを提示した。このことで気軽に立ち寄りやすく、長居ができ、それに伴って自主的学習を促すことを期待している。また本改修の普遍的・本質的な意図は、各校舎が独立し閉鎖的な状態でキャンパスに点在している現況に対して、建築を「開く」ことで居場所を提供し、交流機会を増やすことであった。本図書館改修を契機としてキャンパス全体の活性化、分野を超えた連携が生まれるイノベーション・コモンズ化への展開を期待する。

【謝辞】本調査にご協力頂いた対象大学図書館の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。また本改修のコンセプトを理解し終始協力的に設計・工事を進めて頂いた、本学および協力企業の関係者各位にも心より感謝申し上げます。尚本研究は科学研究費基礎研究(C)19K04753 助成の一部によって可能となりました。

【参考文献】

1）文部科学省,平成 29・30 年改訂学習指導要領の考え方 https://www.mext.go.jp/content/1421692_6.pdf（06/02,2021 閲覧）
2）伊藤宏毅、夏目欣昇，大学におけるラーニング・コモンズの利用と運営からみた類型化 ：東海圏 7 大学を事例として，日本建築学会計画系論文集, 2017, p129-130,
3）楠川 充敏、鈴木 賢一、中井 孝幸，大学図書館における入退館前後の活動場所からみた学生の座席選択行動,日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018, p503-504
4）楠川 充敏、鈴木 賢一、中井 孝幸,大学図書館における学年ごとの利用からみた使い分け行動に関する研究,日本建築学会東海支部研究報告集, 56, 2018, p421-424
5）堀江 壮、田上 健一,大学のラーニング・コモンズが有する空間的課題,2015,日本建築学会大会学術講演梗概集,2015,p277-278,
6）高島 豊，ドイツの大学図書館の見学と調査 :「学びの場」としての図書館の役割に着目して, 2014 年度私立大学図書館協会海外認定研修報告書 https://www.jaspul.org/ind/asset/docs/nintei_report2014_1.pdf (06/02,2021 閲覧）
7）John AUGERI，ラーニング・コモンズと大学士図書館，明治大学図書館情報学研究会紀要, 9, 2018, 2-41, http://hdl.handle.net/10291/19917
8）河本毬馨，辻慶太,図書館内の飲食可否に関する実態調査, Library and information science, 79, 2018, p85-107

ランドスケープ利用実態から考察する 外部空間でのアクティビティとデザイン

A Study on ”Activity and Design” in Exterior Space Based on a Usage Survey at a Park Landscape

○毛利洋子（活水女子大学）*1 ， 岡松道雄（山口大学大学院）*2

*1 Yoko MOHRI, Kwassui Women’s University, 1-50, Higashiyamate machi, Nagasaki- shi, 850-8515, mouri@kwassui.ac.jp
*2 Michio OKAMATSU, Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi University, 2-16-1Tokiwadai, Ube-shi, Yamaguchi,755-8611, okamatsu@yamaguchi-u.ac.jp

キーワード:Design 実践, 都市・ランドスケープデザイン, アーバンデザイン, アクティビティ, 空間デザイン

1. 緒　　言

長崎市は，すり鉢状の地形で平地が少なく，湾奥に中心市街地が形成された特徴を持つ港町である．その為，都市機能が過度に集中し，過去にはオープンスペース不足が問題視され，市民が憩える水辺の空間が渇望されていた [1]．本稿で対象とする長崎水辺の森公園は，1989 年に「長崎港内港再開発事業」の一環として着手され，良好な都市景観を形成するための仕組みとして「環長崎港地域アーバンデザインシステム」が構築され，高い専門性や広い見識を有するアーバンデザイン専門家と，長崎県や設計事務所等のデザイナーの相互触発的な意見交換を通じ，質の高い公園づくりが進められ 2004 年に開園した [1]．現在，竣工から 16 年が経過し，長崎水辺の森公園は，市民の憩いの場として多くの利用者に親しまれている．都市デザインの観点と，その立地から，歴史や観光面でのポテンシャルが高い特性を生かした質の高い空間が創出されている [1]．

近年，長崎県庁・警察署，長崎駅舎の移転が立て続き，その周辺施設の整備等が予定されている．内港の再開発が進み，アーバンデザインも充実し，施設に付随するオープンスペースも整備されつつある．そこで，本稿では，先行して整備された屋外のオープンスペースである，水辺の森公園の一部で，ランドスケープデザインが充実し，憩いの場として定着している「太陽の広場」に着目し，利用実態と，空間形状や場所の特性を把握する．

既往研究には，公園や緑地，街路等の外部空間を対象に利用実態として，目視調査で行動の種類や利用者人数を把握し，ヒアリング調査で場所を選択した理由や利用者の印象や評価を把握したもの [2]，管理・運営に着目したもの [3] が見受けられる．その目的は，現状の人々の利用 [4), 5)] や周囲の要素のとの連携等の課題 [6] に対して，空間構成に関する評価や改善に向けた基礎資料として位置づけたものが多い．また，滞留行動に対する人的要素の影響に着目した研究で，滞留者に近い領域で滞留が起きやすい結果を示した研究もある [7]．しかし，アクティビティと対象地の空間形状等のデザインや場所の特徴との関係に着目したものは少ない．本稿では，イベント時ではなく日常の利用実態を把握し，人々のアクティビティとデザインとの関係を考察することを目的とし，人々に活用されるデザインに繋がる知見を得たい．本稿をきっかけに，今後，近隣の他のオープンスペースとの比較や差別化，長崎独自の地形的特性を踏まえた考察へと繋げることを目指すものである．

2. 調査概要

2.1. 調査対象地の立地

調査対象とする水辺の森公園の一つのエリアである「太陽の広場」は，長崎港に隣接したプロムナードと，芝の緑地を中心として長崎港の海に開け，市街地へ続く陸地側を多種類の樹木で囲われた公園である（図 1）．道路を挟んだ陸地側には長崎県美術館が隣接する．周辺には，同じ湾岸沿い



Fig.1　Situation of survey target area.

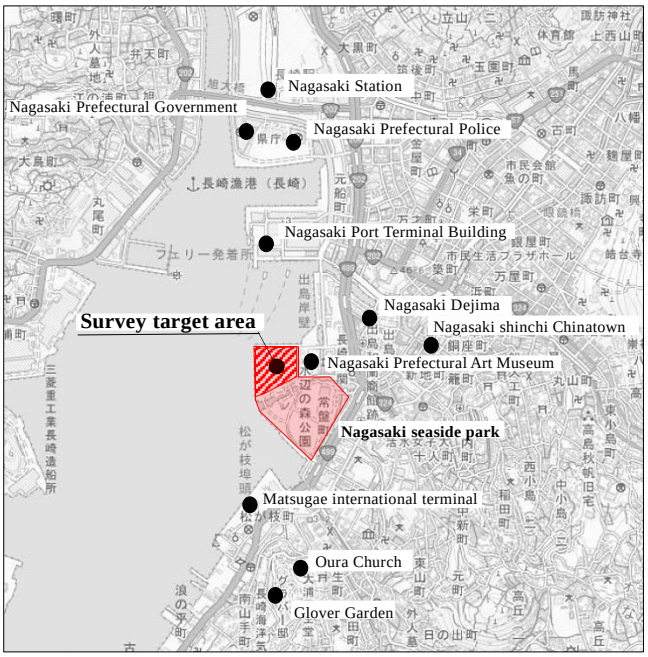


Fig.2　Location of survey target area.[8)]



Fig.3　Landscape and urban design of survey target area around.

に，クルーズ船が停泊する松ヶ枝国際ターミナル，五島などの離島へ繋ぐ長崎港ターミナルが近くにあり，これらの中間に位置し，湾内を行き来する船舶の往来や停泊が見える．公共施設である長崎県庁・警察署・長崎駅が立地し（図 2，3），長崎の観光地である，大浦天主堂やグラバー園，東山手・南山手の外国人居留地跡や，長崎新地中華街，出島へも徒歩圏内の立地である．

2. 2.　調査方法

対象地「太陽の広場」の利用実態を把握する為，平日，週末の土日で，外気温が程よく，晴天の日を 3 日選び，調査を行った．調査日は 2021 年 3 月 22 日（月），3 月 27 日（土），4 月 11 日（日）である．本稿における利用実態は，遠目から姿勢や動作で判断できる程度のアクティビティとし，その種類と該当する人数，位置を把握する．調査日の 9 時・12 時・15 時・18 時に 10 分以上 15 分未満の調査を行った．調査は 1 名で行った．この広場は，緩やかな高低差があり，陸地側が高く斜面で扇型に海へ下がり，かつ開き，中央が平坦な形状である．その為，見通しが効く範囲として，おおよそ図 4 に破線で示す範囲を対象として記録を行った．また，埠頭側で，かつ個人が特定できない距離から，人の分布が確認できる程度の写真記録を行った．さらに，ランドスケープの空間特性を把握する為，対象地である「大地の広場」を現地調査し，構成要素の写真記録や空間の特徴把握を行った．

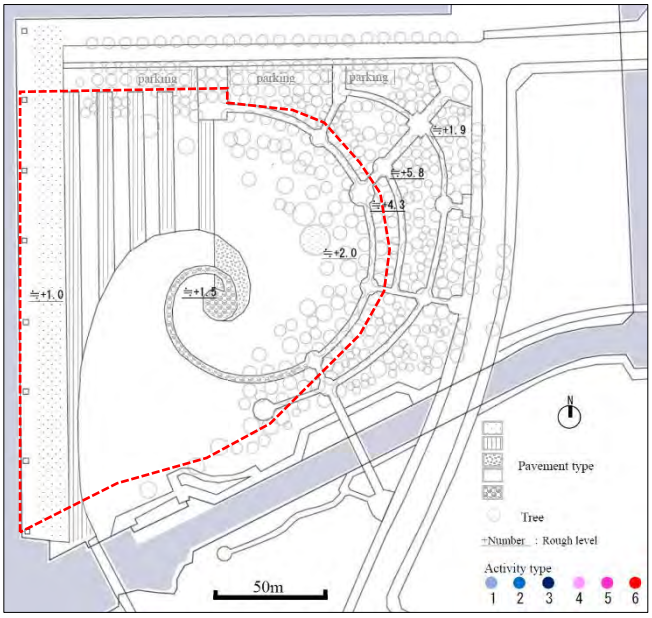


Fig.4　Survey area.[9)]

アクティビティの様子と人数，分布を目視で確認し配置図[9)]（図 4）へ記録した．分布は，構成物や形状から目視で判断した位置であり実測等測定した位置ではない．また，配置図の樹木の位置も「水辺の森公園」の配置図[1)]を参考とし，実測した位置ではない．配置図へ分布を記録する際は，2 名以上がグループでいる場合でも，配置図への記録は〇印 1 つとし，通し番号をつける事で人数は別途記録した．また，テントを張り滞在している場合も見られ，その場合は，複数人が観測されても詳細が把握できないため，人数を 1 人，位置の〇印も 1 つで記録した．以上の様に，定点観測カメラを設置した訳でもなく，大づかみな調査である．

事前と初回の調査より，アクティビティは姿勢や行動から 10 種に分類できた（表 1）．大きな動作を伴わない静かなアクティビティ（静）を「座る」行為とし，「椅子座位」と「平座位」に分け，寝転がる行為を「臥位」に分類した．動き回るアクティビティ（動）は，ある程度の範囲でその場に留まっているアクティビティ（留）と，通過し，その場から移動して居なくなる通過のアクティビティ（移）に分けた．さらに，動きまわるが留まるアクティビティ（留）には，キャッチボール等の「遊ぶ」行為と，体操・ストレッチ等の「運動」，パフォーマンスの「練習」等の 3 種に分類した．アクティビティ（移）も，「犬の散歩」，ジョギングや散歩等の単に移動する「通過」，写真撮影等の「立ち止まり」を含む通過，幼児を連れた「散歩」等の 4 種に分けた．

調査時は以上の 10 種類に分類して記録した．しかし，通

過するアクティビティ（移）は，同時多発に起こる為，対象エリアを利用する人が多い日時では，記録が行き届かず，正確に把握できたとは言い難い結果となった．その為，調査結果の分析からは除いた．観察できたアクティビティ（移）が対象範囲を通過してく様子では，海側のプロムナードを行き来する人が，よく観察できた．しかし，緑地や樹木エリアへの往来も含め，芝の斜面のエリアや平坦な中央付近等，園路やプロムナードに寄らない通過も確認できた．

Table. 1　Activity type

No	Color	Static ／Dynamic		Activity type and details
No.1		Static		Break : Chair sitting. (On the art object of the stone or bench.)
No.2				Break : Flat sitting. (On grass or seat.)
No.3				Break : Lying position. (On grass or seat.)
No.4		Dynamic	Stay	Activity : Play （Catch and soccer,Video shooting.)
No.5				Activity : Exercise （Yoga,Muscle training,Tai Chi.)
No.6				Activity : Practice （Juggling, Performance. ）
No.7			Pass	Pass : Stroll.
No.8				Pass : Short stop （For photography , get togethe.)
No.9				Pass : Dog walk.
No.10				Pass : Running, Walking,Return.

3. 調査結果・分析・考察

3.1. アクティビティの種類と延べ人数への着目

確認できたアクティビティに該当する人数を，各アクティビティ，各調査時刻で集計し，延べ人数とした．この結果を用いて，アクティビティ毎の傾向を分析する．

3.1.1. 曜日別集計よりアクティビティの種別で比較

調査結果を調査日である曜日毎に集計し，調査時刻，アクティビティの種類毎に集計した．

月曜日の調査結果を図 5 に示す．No.1 椅子座位，No.2 平座位，No.4 遊ぶでは，15 時にピークを迎え，増減する傾向が観測できた．平日でも No.2 平座位が最も多い．No.5 運動は，15 時以外で確認できた．No.1 椅子座位と No.4 遊ぶが同程度の人数で，これらより No.2 平座位が多く確認された．No.3 臥位と No.5 運動，No.6 練習がわずかに確認できた．

土曜日の調査結果を図 6 に示す．No.2 平座位で 15 時にピークを迎え，増減する傾向が顕著である．わずかに，No.4 遊ぶが同様の傾向であった．No.1 椅子座位は 12 時をピークに増減し 18 時に再度増加する．No.1 椅子座位と No.4 遊ぶが同程度の人数で，No.2 平座位がこれらの 3 倍を超える数が確認できた．No.3 臥位と No.5 運動がわずかに確認でき，No.6 練習は無かった．

日曜日の調査結果を図 7 に示す．No.2 平座位が 15 時にピークを迎え増減する傾向が顕著で，総数も多くなる．同様の傾向が，No.4 遊ぶ，No.1 椅子座位で確認できる．一方，No.5 運動する動作は，朝をピークに減少する傾向が著しい．No.3 臥位がわずかに確認できた．

総じて，No.2 平座位が，最も他の 2 倍以上に多く確認できた．次いで，No.4 遊ぶ，No.1 椅子座位が確認できた．

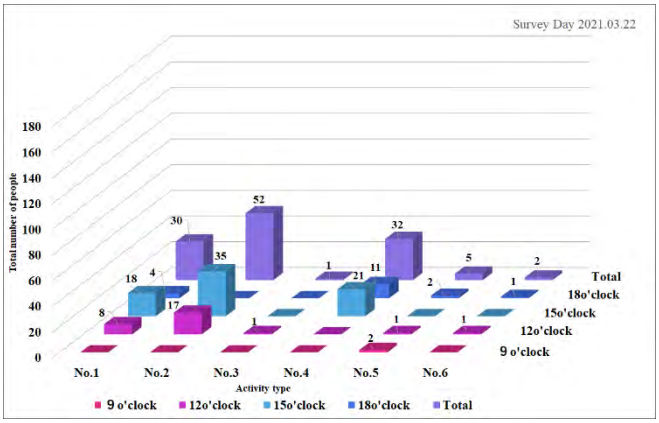


Fig.5　Survey result on Monday (2021.3.22)

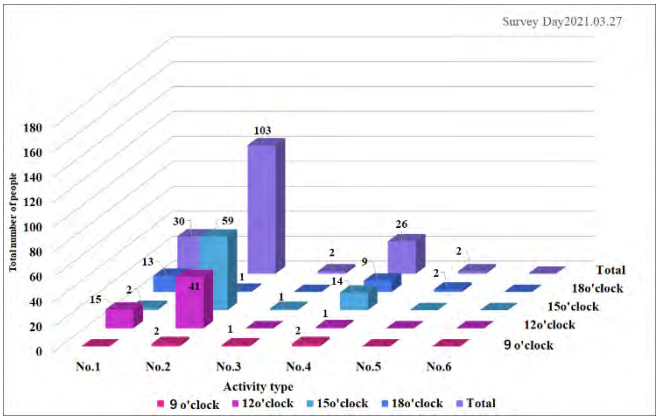


Fig.6　Survey result on Saturday (2021.3.27)

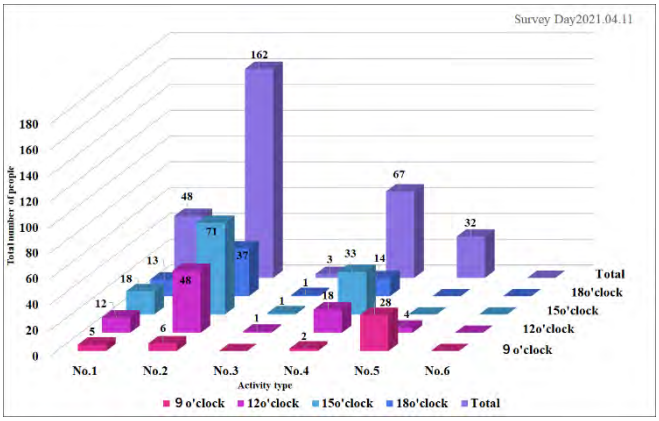


Fig.7　Survey result on Sunday(2021.4.11)

3.1.2. アクティビティ毎の時間帯変動を曜日で比較

調査結果を曜日ごとに比較し，傾向の違いを分析する．

1)「静」のアクティビティ

No.1 椅子座位，No.2 平座位，No.3 臥位を確認した人数の時間別・曜日別の集計を比較した結果を図 8 に示す．図 8 より，以下の傾向が見られた．空間構成要素や特徴を踏まえ考察する．

①No.1 椅子座位

日曜日，月曜日は，15 時をピークに増加減少していく傾向が同じで，ピークの量も差が無い．これは，ランドスケープを構成する一つとして磨かれた石材が点在しており，その上に腰掛けることや，ベンチに座る行為が該当する為，設置されている量に上限があることが要因として考えらえる．

土曜日は，傾向が異なり 12 時と 18 時で多くなり，15 時に減少する結果となった．

②No.2 平座位

曜日に関わらず，15 時にピークを迎える傾向が一致し，週末に多くなり，かつ日曜日が最も多い結果となった．また，日曜日はピーク後の減少も少なく緩やかな減少傾向となる．

③No.3 臥位

全く見られない動作ではないが，曜日に関わらず，数えるほどしか記録されない結果となった．

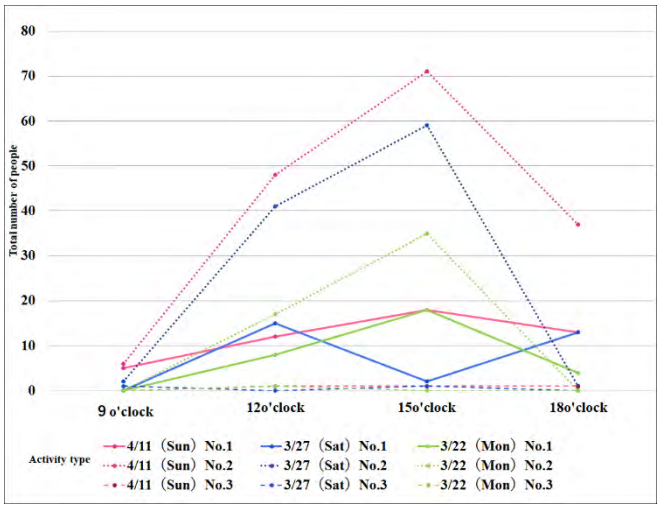


Fig.8　Comparison in a day of the week for activity type No.1-3

2)「動」のアクティビティ

留まるアクティビティに分類した No.4 遊ぶ，No.5 運動，No.6 練習が観察できた人数を，時間別・曜日別に比較した結果を図 9 に示す．図 9 より，以下の傾向が見られた．空間構成要素や特徴を踏まえ考察する．

④No.4 遊ぶ

曜日問わず 15 時をピークに，増加現象の傾向になる．平日と土曜日は，12 時迄は大きな増加はなく，その後 15 時をピークに増加する．一方，日曜日は，9 時から 15 時にかけて徐々に増加し，18 時に向けて減少していく．

⑤No.5 運動

健康促進を目的に行うアクティビティに該当するもので，土曜日・月曜日は一日通して少ない．しかし，日曜日は，朝 9 時がピークで多く，その後，12 時以降はほとんど確認されず減少する．これは，具体的にヨガ等が該当する．

⑥No.6 練習

パフォーマンスの練習等のアクティビティに該当するものだが，曜日を問わず少ない．

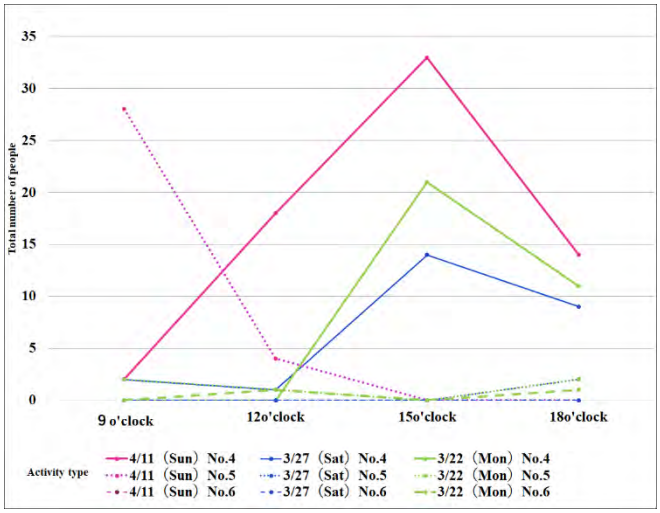


Fig.9 Comparison in a day of the week for activity type No.4-6

3.2.　アクティビティが観測された位置の分布

調査結果を各曜日の時間毎に並べ比較したものを図 10 に示す．各時間帯で得られた分布を各曜日（各調査日）で統合してものを図 11 に示す．

3.2.1　各曜日で各調査時刻の分布を比較した結果

月曜日は 15 時をピークにアクティビティ（静）は，樹木があり緩やかな勾配がある所に見られるものの，他の平坦な所や海岸のボラード付近で点在する様子が見られる．最も分布が多い 15 時でも，椅子座位と平座位が分布としては同等に確認できた．総数が少ない臥位が，平坦な中央部分に近い所で見られる．アクティビティ（動）は，ほとんど地面の状態（芝か石貼り）によらず，平坦な所に点在する．どの時刻，どのアクティビティの種別をみても，種別による傾向はあるが，偏りのない分布がわかる．比較的に人数が少ない状況での傾向と考えられる．

土曜日は 12 時にアクティビティ（静）が，樹木があり，緩やかな勾配がある所に増える様子が確認できる．その後，15 時には平坦な中央付近にも平座位のアクティビティが増える．また，数少ない臥位が，平たい所や，樹木があり，緩やかな斜面の所で観測された．アクティビティ（動）は，午前中に平坦な所で，かつ中央より外れた所で 1 か所ずつ生じた．午後は 15 時頃に，平坦な中央寄りの位置で観測でき，18 時には平坦な所で，かつ中央より外れた所で確認できる．

日曜日は，アクティビティ（動）が朝から確認でき，かつ平坦な所で，かつ中央より外れた所で確認できる．その後，平坦な中央付近にも見られるようになる．アクティビティ（静）が，12 時から 15 時に，樹木があり緩やかな勾配がある所に増える．15 時には，平坦な所にも平座位のアクティビティが見られ，緩やかな勾配の樹木があるところに分布が減っても 18 時迄見られる．

どの曜日も，15 時には，平座位が中央付近の平坦な所でも見られる．その為，樹木があり，緩やかな勾配がある所に座る余裕が無く，平坦な中央付近に増えるとは言い難い．

3.2.2　各調査時刻の分布を重ね曜日で比較した結果

月曜日，土曜日，日曜日と確認できたアクティビティの人数の総数は増加する．アクティビティ（静）が，樹木があり，緩やかな勾配がある所に多く見られる様子がわかる．総数が増えるほど樹木がない，平坦な所でも多くみられる様になるが，その後は，総数が少なくても確認できる．また，平坦で樹木がない中央寄りの所で，偏りなくアクティビティ（動）の分布が見られる．椅子座は，石やベンチがある所に限られるが，それ以外の平座位の分布やアクティビティ（動）は，地面の状態（芝，又は石貼）には関わらず，確認できる．

3.3.　アクティビティが観測された空間形状や場所の特性

配置図に，およそのレベル差を示した．図 13 の②付近が最も高く，斜面の上にあり，①③の方向に向けて下る．樹木がある範囲が緩やかな斜面であることが多く，樹木が無い範囲はほとんど平坦な形状である．加えて，⑤の中央付近から⑥の方向へ，さらに緩やかに下がる．⑤⑥は，ほとんど平坦な所である．図 12 に，各種アクティビティが確認できた場所について，図 13①～⑥に示す→の方向から，具体的な形状がわかる写真を示す．

椅子座位が見られる所は，図 15 の様な大小の磨かれた石が点在し，かつ，園路沿いや駐車場横のパーゴラにベンチが設置されている．その場所は，同時に，緩やかな斜面でかつ，樹木があり木陰になる所である．平座位が多くみられるところも，図 12 の①②③で確認できるような，緩やかな斜面でかつ，樹木があり木陰になる所に多く確認できる．時期や

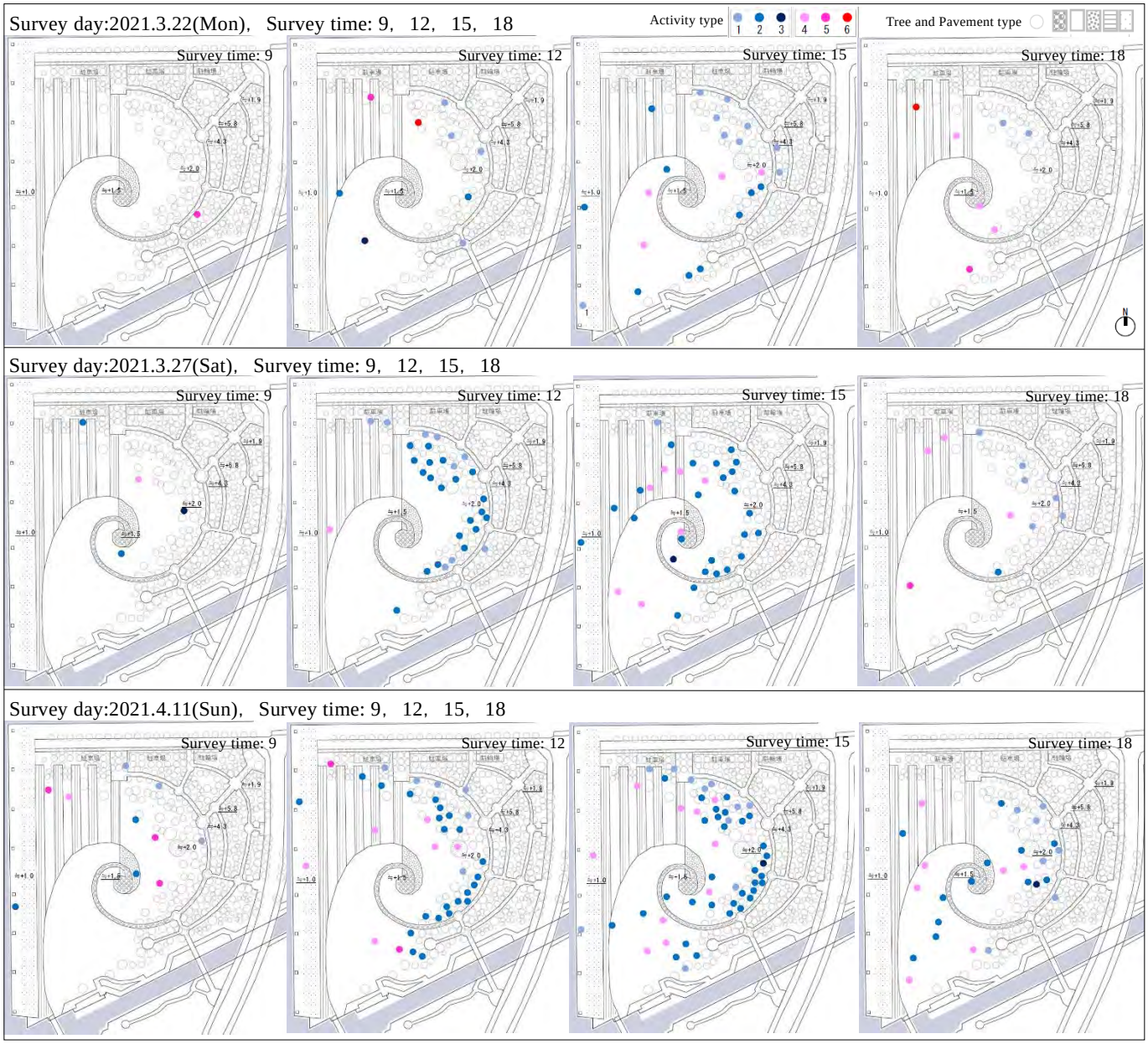


Fig.10 Survey result of planar position of activity every survey day and time.

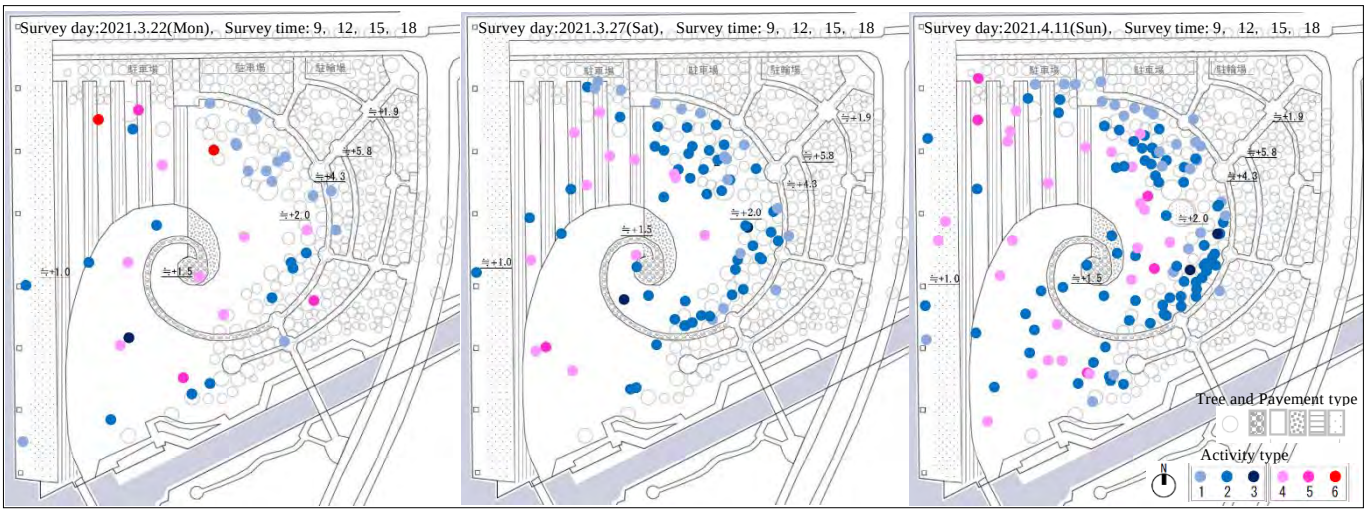


Fig.11 Total survey results every survey day.



Fig.12　Detailed situation of survey target area.

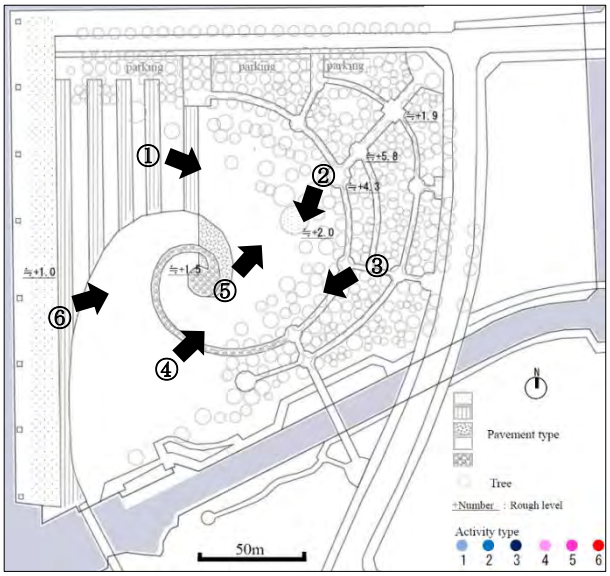


Fig.13 Photography position for Fig.12



Fig.14　View from eye level.



Fig.15　Detail.

場所によっては図 15 の様に，芝が薄くなっている所も見受けられるが，テントやシートを持参して平座位ですごしている様子も多く確認できた．一方で，図 12 の④⑤⑥の木陰の無い，より平坦な場所でも平座位は確認できた．アクティビティ（静）が確認できた場所で，目線から捉えた様子を図 1 の右と図 14 の写真に示す．中央付近でのアクティビティ（動）の奥に，海と対岸が見え，湾内でのフェリー等の船舶の往来も見える．さらに，奥には女神大橋が見える（図 14）．微高したランドスケープの最も高い位置（図 13②）から海側へ下る階段は，女神大橋を正面にした軸線上にある．

4. 結　　言

本稿では，長崎市の水辺の森公園のうち「太陽の広場」の海辺に向かって開けた範囲を対象とした．「太陽の広場」はそもそも，「入り組んだ地形に広がる長崎港の様々な視点から見られる『舞台』となる敷地に対し，グラバー園やオランダ坂，女神大橋からの 3 つの軸線と，そこから派生する二重螺旋軸をランドアートの骨格とした」[1)] 場づくりとデザインが行われている．本稿では，利用実態の把握し，デザインされた形状に，人のアクティビティの分布を重ねた記録を試みた．その結果を以下 1)〜4)に示す．

1）10 種のアクティビティによる利用実態が確認でき，それは「椅子座位」,「平座位」,「臥位」,「遊ぶ」,「運動」,「練習」,「通過する」,「立止る」,「犬の散歩」,「ランニング」等，であり，多様なアクティビティが同居していた．これらは，大きな動作を伴わない，座るや寝る「静」，遊ぶ等の大きな動作を伴うが留まる「留」，ジョギング等で通過する「移」の 3 種に大別できる．

2）10 種のアクティビティについて，各調査時刻に確認できた人数を合計した結果,「平座位」が最も多く，次に多い「遊ぶ」と 2 倍以上の差が生じていた．3 番目以降は，「椅子座位」,「運動」,「臥位」,「練習」の順に多い．よって，芝生等に座って過ごす人が多く，次に，遊ぶ人が多い広場であった．

3）利用実態を曜日で比較すると，利用者数の総数の傾向は同様で，15 時をピークに増加減少するアクティビティが多い結果となった．その他，土曜日の「椅子座位」が 12 時と 18 時で増加し 15 時で減少,「遊ぶ」が平日と土曜日は 12 時迄大きな増加はなく，その後 15 時をピークに増加し午後の利用が多く，日曜日の「運動」は他と大きく異なり，朝 9 時をピークに減少する動向が確認できた．その他，「臥位」や「練習」は曜日を問わず，わずかであった．

4）利用実態と，その分布からランドスケープデザインとの関係を考察した．最も多い「平座位」と 3 番目に多い「椅子座位」は，緩やかな芝生の斜面で樹木の木陰になる所に多い．そこからは 2 番目に多くみられる「遊ぶ」を眺めることができ，その先に，海や対岸を望む風景が広がった．広場の円形や緩やかな斜面からなる空間の形状から，自ずと斜面を背に座り，視線は開けた海や広場の中心方向へ向かう．一方で「座る」人々の存在は，広場の中央側からは，木陰や樹木に紛れあまり目につかない．「遊ぶ」は平坦な中央寄りで多く確認でき,「平座位」は平坦な所でも確認できた．「遊ぶ」「平座位」には，芝や石貼の地面の素材の違いによる影響は考えにくい．

以上より，本稿では滞在時間の調査は行っていないが，一定間隔の調査時刻に確認できたアクティビティは多様で，「平座位」や「椅子座位」の「座る」アクティビティ（静）が，「遊ぶ」等のアクティビティ（動）に比べ 2 倍以上の差をつけて多い広場であった．「座る」アクティビティの様子から，休憩，読書，飲食，話す等の個々の用途が見受けられた．その多くが，緩やかな芝生の斜面を背に，木陰に座りながら動きのあるアクティビティを眺め，その先に海や対岸の眺めが広がる場所であった．本稿は，実態から考察するに留まり，因果関係や要因を検証する結果には至らない．しかし，日常において，滞在し過ごす場所として選択されたことは考えられる．

今後は，本稿で扱えなかった「通過」への着目や，見られる舞台としてデザインされた広場であることからも，急峻な地形の特性を踏まえた考察が課題である．また，図 3 の様に，長崎港の同じ湾岸には，人が自由に活用できる建物の足元の公開空地や，プロムナード，公共施設に隣接する公園等の整備が進んでいる．ランドスケープだけではないが，他のオープンスペースに対しアクティビティとデザインの視点で着目することも今後の課題である．

文　　献

(1) 国土技術政策総合研究所研究資料, http://www.nilim.go.jp/lab/ddg/seika/ks/ks043315.pdf , 2021.03.30 閲覧

(2) 加藤良紀，吉村晶子：千葉港における港湾緑地の利用実態に関する研究〜千葉中央緑地と船橋港親水公園の調査から〜, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）, 2018.09 , pp633-634

(3) 森川敏，天野克也：川崎市富士見公園における利用実態とその評価及び管理運営の実態，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），2011.08 , pp275-276,

(4) 小西至一，林田大作：和歌山市中心部における公園利用実態とその在り方に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）， 2006.09 , pp157-158

(5) 木多彩子，安田孝：街区公園の周辺環境と利用実態に関する研究 - 大阪市旭区を事例として - , 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）, 2002.08 , pp669-670

(6) 大村卓也，松本直司，彦坂雄三 : 久屋大通公園と接続する地下空間における利用実態 - 大通公園の整備計画に関する研究　その 4 - , 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2013.08 , pp1127-1128

(7) 篠崎高志：都市の屋外公共空間における滞留行動に対する人的要素の影響に関する研究，ランドスケープ研究 65（5），2002，pp701-706

(8) 国土地理院地図 GSI Maps https://maps.gsi.go.jp/#15/32.744999/129.869556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0 , 2021.03.26 閲覧

(9) 国土地理院地図の下記サイトと参考文献 1）より作成 https://maps.gsi.go.jp/#17/32.740690/129.873049/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0 , 2021.03.31 閲覧

【謝辞】

本稿は，科学研究費基盤研究（C）19K04753 の助成の一部を用い行われたものである．

郊外住宅団地の再生に関する実践活動の効果と課題に関する研究

－神戸すまいまちづくり公社との連携活動を事例として－

Study on the effects and issues of practical activities related to the regeneration of suburban housing estates

Case study on the collaborative activities with Kobe Housing & Urban Development Corporation

○栗山尚子（神戸大学大学院）*1

*1 Naoko KURIYAMA, Kobe University,1-1 Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo, 657-8501, kuri@kobe-u.ac.jp

キーワード:団地再生，ニュータウン，実践活動，住宅供給公社，連携

1. はじめに

高度経済成長期の人口・世帯数の急増による住宅不足を受け，神戸市では 1960 年代から郊外に住宅団地を開発してきたが，初期の開発団地は時間の経過とともに，居住者の高齢化や施設の老朽化などにより，次第に活力を失いつつある．特に居住者の人口の世代別構成が大きく偏っている．開発当初の時期に子育て世代であった人々が多く転入し，その後の若年層の転入数が少ないため，団地住民の急速な高齢化を迎え，転入者が少ないことから空き家問題の懸念が高まりつつある．郊外住宅団地は，立地条件の利便性がやや低いが，敷地や住宅の広さにゆとりがあるため，良好な住環境を有している．現在・将来の若年層に選ばれる住宅地として，高経年住宅団地を再生するための実践的な活動が，全国的に展開されている(1)ものの，各活動が団地の再生にどのような効果を及ぼし，どのような課題を残したかの検証は途上の段階である．

そこで, 本論文では, 筆者の研究室が 2014 年度から 2020 年度までに取り組んできた, 神戸すまいまちづくり公社(以下公社と記す)との高経年団地の再生に関する連携活動を，活動主体・活動対象の範囲・経費注 1)を整理し，活動の効果と課題を考察することで，今後の学生が参加する郊外住宅団地の再生活動の効果をあげるための知見の取得を目的とする．研究の方法は，アクションリサーチと連携相手である公社へのヒアリング調査（2021 年 4 月 27 日午後 4 時-5:30 時にオンラインで実施）である．

郊外住宅団地の再生に関する研究は，全国の各団地をフィールドとして，多岐にわたる蓄積がある．NPO と住民との連携活動(2)や団地再生のためのリフォーム・高齢者支援コミュニティビジネス(3)，団地内でのコミュニティ・サロンの実験的運営(4)，外部空間利用の実態把握(5)，UR と民間企業のコラボレーション型住戸の入居前後の評価(6)等が挙げられる．関西圏で大学が団地再生に取り組んだ事例としては，関西大学が大阪の男山地域と南花台地域で団地再編プロジェクトを展開したもの(7)や, UR 西武庫団地での学生の自主リフォーム活動(8)，兵庫県明舞団地での学生居住によるコミュニティ活動支援(9)等が展開されている．本研究の特色は複数の団地の開発・管理を業務とする公社との連携活動によって，複数の団地で展開した再生に関する実践活動の種類ごとに，課題と効果を考察する点である．

本論文は全４章から構成され，第１章は研究の背景・目的・方法等を整理し，第２章では連携活動の活動主体・活動対象の広さ・経費を整理したうえで，各活動の効果と課題の考察を記す．第３章では，団地に関する課題と各課題の解決にむけた活動を考察し，公社との連携活動の取り組める範囲と今後を考察する．第４章は，これらをとりまとめた結論を記し，今後の連携活動の展開を考察する．

2. 公社・大学の連携による活動

2.1. 2014～2020 年度の活動

公社との連携活動は 2014 年から始まり，2015 年度に神戸大学大学院工学研究科と公社が「高経年住宅団地の再生支援に関する連携協定」を締結した．2015 年度からは本協定に基づく連携活動となり，神戸大学の地域連携事業(10-15)に採択され，事業実施の補助金を得て，活動を継続している（表 1）．これらの活動を，I.基礎調査，II.プラン提案，III.住戸リニューアル活動，外構空間利用，IV.情報発信・情報交換にわけ，主体，対象（広さ），経費，効果，課題について考察する．

2.2. 基礎調査

基礎調査は，活動に取り組むにあたっての基礎データを得るための現地調査，団地内の場所（団地全体，外構，センター部）の現地調査，住民から情報や意見を得るアンケート調査やヒアリング調査等である．

主体は，学生・研究室が調査者，住民は調査対象者，公社が調査の実施の支援者（サポーター）として機能している．公社は，団地の環境に関するデータの提供，住民へのアンケート・ヒアリング調査の際に，住民団体と大学をつなげる，調査依頼を共に行なうといった支援をしている．

Table 1 Collaborative activities on the regeneration in the suburban housing estates
(表 1　郊外住宅団地での連携活動)

Year　年度 Place　場所	I. Basic research I. 基礎調査	II. Plan suggestion II. プラン提案	III. Activity on housing reneal and exterior space use III. 住戸リニューアル活動、外構空間利用	IV. Information to send and exchange IV. 情報発信・情報交換
2014 Tsurukabuto 鶴甲		Suggestion for renovation plan of the dwelling unit. 住戸リノベプランの提案	DIY activitiy in dwelling unit. 住戸の DIY 活動	
2015 Tsurukabuto 鶴甲	Fieldwork on local resources/ Questionnaire survey on shared house for tstudents/Hearing survey for residents on liviing environment. 団地の地域資源・現地調査 / 団地での学生シェアハウスのニーズ調査 / 住民への団地の住環境に関するヒアリング調査		DIY activitiy in two adjacent dwelling units on the first floor in Tsurukabuto. 鶴甲団地 1 階 2 戸連続住戸の DIY 活動	Planning, editting and publishing the pamphlet on charming points in Tsurukabuto. 魅力発信冊子の企画・編集・発行
2016 Takuradai 高倉台	Fieldwork on local resources. 団地の地域資源・現地調査	Suggestion for use of exterior space. 団地外構のプラン提案		Map on the issues inTakakuradai is created and exhibited. 団地課題発見マップをパネル展示
2017 Takakuradai 高倉台	Fieldwork on exterior space/Questionnaire survey on abandoned houses. 団地の外構の現地調査 / 空き家発生可能性に関するアンケート調査		Cleanup activity and holding the baked sweet potato event for residents' participation to make use of the exterior space. 清掃活動＋焼き芋のイベント（外構の積極的活用）	Workshop on how to use the exterior space with residents' association. 地域団体との外構の使い方に関するワークショップ
2018 Myoudani 名谷	Questionnaire survey on the future use of housing/Hearing survey on changing to rental housing. 住宅の活用意向に関するアンケート調査 / 戸建て住宅の賃貸住宅活用に関するヒアリング調査			
2019 Arinodai 有野台	Fieldwork on local resources/Hearing survey for the operator of restaurants and food in the center. 団地の地域資源・現地調査 / センター部飲食店へのヒアリング調査	Suggestion for the wall design of the dwelling unit in Yukinogosyo Housing in Hyogo Ward. 兵庫区雪御所住宅の壁面デザインの提案	DIY activitiies in Yukinogosyo Housing in Hyogo-ward and Arinodai. 兵庫区雪御所住宅の住戸 DIY/ 有野台団地住戸 DIY	Making the map of the whole area and center in Arinodai . 団地全体の地図とセンター部の飲食店に関する地図の作成
2020 Arinodai and Tsurukabuto 有野台・鶴甲	Fieldwork on exterior space in Arinodai. 有野台団地の外構調査	Suggestion for use of exterior space in Arinodai and renovation plan of the dwelling unit in Tsurukabuto. 有野台団地の外構提案 / 鶴甲団地・住戸リノベプラン提案	DIY activitiy on the student' s plan inTsurukabuto. 鶴甲団地・プラン提案を実現．DIY 活動.	Completion on the Arinodai map. 有野台団地の地図の仕上げ

対象（広さ）は，住戸スケールから団地全体スケールまで，各調査対象によって多種多様となる．

経費は，調査の実施にあたり，調査者の交通費が最低限必要である．アンケート調査票の配布戸数が多い場合は，配布・回収に係る経費と人員が増す．ヒアリング調査の際は，調査対象者への謝金が必要となる．10-20 万円前後で，これまでの調査活動を実施できてきた．

基礎調査の効果としては，調査結果が，Ⅳ．情報発信・情報交換につながりやすいこと，住民に団地のことをより知ってもらえる基礎データになることが挙げられる．2015（平成 27）年度は，公社から調査委託費という形で大学に研究費を提供していただき，経済的な不安のない状態で調査を実施できた．基礎調査の結果が公社の新規事業につながる場合もあれば，事業に関する情報発信ツールとして機能し，さらに次の事業立案のための基礎データとしても機能する場合もある．いずれの場合も効果として挙げられる．

基礎調査の課題は，調査結果が活動の結果になるものの，学術研究成果としてのアウトプットが困難である点が挙げられる．基礎調査の活動が大学院生の修士論文の研究の一部になれば，活動成果が学術論文として発表できる[16-17]．修士論文のテーマと連携活動の内容が合致しない場合は，研究室の過負担になるかもしれないと公社が懸念する場合があるという意見を得た．また，調査・分析結果が，若年層世帯の流入や団地の活性化という団地再生に直接的な効果につながっているという手ごたえにつながりにくい点と，調査・分析結果の可視化も課題として挙げられる．

2.3. プラン提案

プラン提案の活動として，鶴甲団地での住戸リノベーションプランの提案，高倉台団地外構プランの提案，有野台団地の外構プランの提案を実施してきた．

主体は，学生が提案者，公社と住民がプランの評価者の役割を果たしている．

対象（広さ）は，住戸スケールと住棟周りのスケールである．

経費に関しては，本プログラムを教育・研究活動として位置づけ，学生の作業時間に対する謝金を発生させないならば，経費をかけずに提案できる．

効果は，建築学科学生のスキルが大いに活かせるため，教育・研究活動として位置づけられる点，個人提案の場合は多種多様なプランが出てくる点，提案が DIY の実施プランとして選出される場合がある点（図１）である．



Fig.1 Part of the advertisement on open house designed by Kobe University student.

（図１　神戸大学学生がリニューアルプランを設計した住戸のオープンハウスの広告（抜粋））

公社は，大学との連携活動での学生の提案は，広報効果が高いと認識しており，地域新聞に記事が掲載されたり，ケーブルテレビで放送されたりすることがある．提案内容の着眼点から，若い人の住まいへのニーズを公社は知ることができる．実施設計の段階に進めるには，建築施工の実務者による技術支援が必要になるが，施工が困難な案はこれまで出てきていないとのことである．

課題は，提案の実現に向けて工事の金額が高くなる案が出てくる点である．

2.4. 住戸リニューアル活動，外構空間利用

住戸リニューアル活動，外構空間利用として，団地内住戸の DIY 活動，鶴甲団地１階の連続した２戸の外部をつなげる木製デッキの DIY 活動，高倉台団地の落ち葉の清掃活動とその落ち葉を用いての焼き芋のイベントを実施してきた．電気工事，水回りの改修等はプロに任せ，学生が関わる DIY は，解体，壁のペイント，フローリング貼り，タイル貼り，家具の組み立て等である．

主体は，学生が作業者，プロの建築家・施工者は外部専門家として技術支援やサポートを行ない，公社がスポンサーであり調整役として機能している．

対象（広さ）は，住戸のリニューアル活動は住戸スケール，外構空間利用は住棟周りのスケールである．

経費は，住戸のリニューアルの施工費は，間取り変更をせずに内装リニューアルであれば約 150 万円，建具や間取りを変更する場合は 300-500 万円になる．設備改修をすればさらに約 100-300 万円多くかかる．

効果は，実際に若年世帯が DIY 住戸に転入したという実績があがったことである．住戸のリニューアルにより，住戸・団地の老朽化の解決につながる．建築学科学生にとっては，施工の経験を積むことができる点が効果して挙げられる．住戸リニューアル後はオープンハウスを実施し，多くの人に見てもらえる点も効果として挙げられる．公社側は大学連携による DIY による住戸リニューアルは広報効果が高いと考えている．同時期に十数戸のリニューアルはできないが，少しずつであっても住戸の高質化ができている．

課題は，他の連携活動と比較すると経費がかかる点である．が，公社としては住戸リニューアルと広報効果を合わせて 300 万円の経費は妥当だと考えられている．

2.5. 情報発信・情報交換

情報発信・情報交換の活動として，鶴甲団地の魅力発信冊子の企画・編集・発行，高倉台団地の課題発見マップのパネル展示と外構利用に関するワークショップの開催，有野台団地の紹介とセンター部の飲食店紹介マップの作成を実施してきた．

主体は，学生と公社が情報発信者であり，住民，団地内外の人々，Web や SNS 閲覧者が情報発信先の相手である．

対象（広さ）は，取り扱う情報の場所と発信先の場所のスケールは多様で，取り扱う情報は，住棟周り，センター（商業施設），団地全体，発信先は，それらに加えて，団地の外まで発信できる．

経費は，冊子を印刷する紙媒体の情報発信ツールでは 10 万円超，Web 掲載であればコンテンツ作成者と更新者の人件費がかかる．総じて数万～十数万円がかかる．

効果は，鶴甲団地の魅力発信冊子を，団地内住民へ全戸配布したことによって，団地の魅力を住民に再認識してもらえた点，住民とのワークショップでは住民の意見を直接聞くことができた点が挙げられる．

課題は，情報発信冊子を置いていただく場所の確保や，Web, SNS の場合はフォロワー等を多くするなど，紙でもオンラインでも閲覧者を増やす工夫が必要な点と情報更新の継続が難しい点が挙げられる．冊子の場合，発行後は情報更新ができない．Web の場合，情報を更新できるが，情報を頻繁に更新し，閲覧者数を増やす工夫をし続けることが難しい．物件探しの web ページに団地の魅力・暮らしマップを掲載しておきたいが，情報更新がされないマップでは，過去の情報を発信することになり，よくない状況になってしまう．Web 担当者が変わると情報更新が難しくなる．

3. 団地の課題と解決にむけた活動

郊外住宅団地の抱える一般的な課題を，居住世帯，コミュニティ，立地，交通，施設・センター機能，住宅・住棟周りという項目ごとに，開発時の状況，2020 年代に顕在化している課題，その課題の解決にむけた活動に関する考えを整理し，これまでの公社と大学との連携活動で取り組んだ活動を星印で示した（表 2）．団地の多様な課題に対して多角的な活動が必要であることがわかる．センター機能の活性化や用途混在の推進において，大学が関与・参画でき

Table 2　Issues and activities for solution in suburban housing estates
（表 2　郊外住宅団地の課題と解決のための活動）

	Situation when the development is completed (1970-1980) 開発時（1970-1980 年代）	Visible issues in 2020s 課題の顕在化 (2020 年代)	Activities for solution 課題解決に向けた対策・活動
Residents 居住世帯	Child-rearing households moved in all at once. 子育て世帯が一斉入居。	Very rapid aging of the residents. 開発時入居世帯の高齢化のため、高齢化率増のスピードが高い。	★PR activity on the attractiveness of suburban housing estates to promote the young families to live. Promotion of living with or near the parent household. ★若年層転入の促進のため団地居住の魅力を伝える。 親世帯との同居・近居の促進。
Community コミュニティ	Strong community was formed by moving in all at once at the same time. 同時期一斉入居のため強固なコミュニティ	Due to the strength of the community, new residents are not familiar with it. コミュニティの強さゆえに、新規居住者が馴染みにくい。	★PR activity on community infomation. ★コミュニティに関する情報を広く開示。
Location 立地	Quiet residential area away from the city. 都会から離れた閑静な住宅地	The distance from the city may be disadvantageous when choosing a residential area. Distance is not a disadvantage for people who mainly work from home or work without commuting. 都会からの遠さが住宅地選択時に不利になる場合がある。 通勤を伴わない職種や在宅勤務が主の人々にとっては遠さは不利にならない。	PR activity on the good living environments for the peole who can work from home or work without commuting. 通勤を伴わない職種、在宅勤務が主の世帯に、住環境のよさをアピール。
Traffic 交通	Well-planned residential area based on the main use of cars. 車中心の計画的な住宅地	Traffice service must be essential for the people who return the drivers' licence. 自動車免許返納後の交通アクセスの確保が課題。	Keeping the public bus traffic service and introducing of on-demand traffic. バス交通の維持やオンデマンド交通の導入。
Facility and Functions in the center area. 施設、 センター機能	There are the minimum facilities necessary for daily life, such as elementary schools, (junior high schools), and clinics. Daily items can be purchased in the center. 小学校、（中学校）、診療所等、生活に必要最低限な施設が揃っている。 日常の買回り品を購入可能。	Many Facilities are aging simultaneously. Insufficient facilities to meet diverse needs. Increasing needs for welfare facilities. Increase of online shopping. 施設の老朽化。 多様なニーズに応えられる施設が不十分。 福祉施設へのニーズの高まり。 ネットショッピングの台頭。	Facility renewal. Promotion of mixed use. Providing occasions such as challenge shops and community salons by public support. Attracting various services on limited days and hours. Active use of public space and exeterior space. Development of community business. 施設のリニューアル。 用途混在の推進。 公的支援によるチャレンジショップ、コミュニティサロン等の場の提供や曜日・時間限定での各種サービスの呼び込み。 積極的な公共空間・外部空間利用。 コミュニティビジネスの展開。
Housing and exterior space of housing. 住宅、住棟周り	Mainly detached houses with a large site. There are also apartments. Large exterior space around the multifamily buildings. 敷地規模の広い、戸建て住宅が中心。 集合住宅もあり。 住棟周りの外部空間が広い。	Houses are aging. Increase in abandoned houses and dwelling units in the cases of low housing market or multifamily buildings without elevators. Vacant and quiet exterior space around the multifamily buildings. 住宅の老朽化。 空き家の増加（戸建て住宅の流通が順調でない場合や EV 無し集合住宅。）。 住棟周りの閑散とした外部空間。	Matching abandoned houses in collaboration with public institutions and real estate agents to facilitate smoothly housing market. Supplying the large housing unit with reasonable rent by improving the quality of housing (renewal, DIY, etc.). Use of exterior space around the multifamily buildings. 公的機関と不動産業者との連携による空き家のマッチングで、住宅の流通を円滑にする。 ★住宅の高質化（リニューアル、DIY 等）により、お得な家賃で広い住戸を提供する。 ★住棟周りの外部空間利用。

★: Collaborative Activitiy between Kobe University and Kobe Housing & Urban Development Corporation.
★: 神戸大学と神戸すまいまちづくり公社で実施してきた連携活動。

る可能性があると考えている．また，大学と公社の連携活動が，若年層世帯の転入に直接つながっているかという検証は困難であるが，住宅の高質化を実施し，その住宅へ入居した若年層世帯の住宅選択の嗜好について，調査・分析を行い，データを蓄積していく必要があると考えている．

団地の多様な課題を解決し，高価値化を図っていくためには，大学と公社のみの連携では困難であり，空き家マッチング，コミュニティビジネス，センター機能の活性化に参画する主体を増やし，民間事業者，NPO 法人等団地に密着・精通した組織が必要だと考えられる．

4. まとめ

公社と大学の複数年にわたる連携活動の整理を通して，経費と活動の見えやすさに着目してグラフ化した（図２）．I. 基礎調査，II. プラン提案と IV.情報発信・情報交換に関しては 10 万円～数十万円以下で公開しやすい活動が展開でき，III. 住戸リニューアル活動は，他の活動と比べて多額な経費がかかるが，公社という団地内住宅を管理している連携相手がいるからこそ，実践できている活動で，住宅の高質化に直接寄与する活動として機能している．

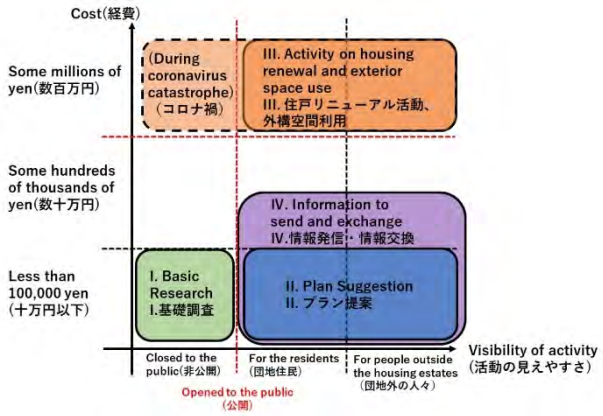


Fig.2　Relation between cost and visibility for the public of collaborative activities

（図 2　連携活動の経費と公開の関係）

2014 年度以降の実践活動を通しての効果と課題を，2 章での記載のほかに，ヒアリング調査で得られたことも追加してまとめる．効果は下記の通りである．

・連携相手と協定を結ぶことで活動の継続性を担保できる．

・各主体の役割については，公社－住民，大学－住民という２項の関係ではなく，大学－公社－住民という３者の関係を構築でき，活動に円滑に取り組める．大学側は，公社との調整により，住民の意見を円滑に聞くことができ，調査や活動を実施できる．公社側は，大学が介在することで，住民との意思疎通がしやすくなり，公社が中立の立場で住民と接することができる．平等・公平な主体間の関係を構築でき，団地再生に取り組みやすくなる．

・公社側は大学との連携活動ということによって，広報効果が高い点，団地内外の住民に注目してもらいやすい点を効果として感じている．

・2014（平成 26）年度ごろは団地のリフォームはあったがリノベーションは主流ではなかった．公社は団地再生の最低限の取組みのみしていると，住民に思われることが少なくなり，大学との連携によって信用度が高い活動として理解されるようになってきた．

・I. 基礎調査（アンケート，ヒアリング等）の結果を情報発信ツールとして役立てることが可能で，次の活動と公社の事業立案に向けての根拠データとなる．

・II. プラン提案，III. 住戸リニューアル活動に関しては，建築学科学生のスキルを活かせる活動であり，大学の講義等で教育しにくい，施工に関する教育の機会としても機能している．

・II. プラン提案では，空間の使い方が面白いと肯定的にとらえていただける傾向がある．学生という若者の提案には関心が高く，公社にとっては広報効果が高いと考えられている．

・III. 住戸リニューアル活動に関しては，経費がかなりかかるが，住戸の高質化により，家賃をあげて賃貸物件を提供できる．そして直接的な効果（若年世帯の転入）がみられる．DIY やオープンハウス後に，近隣住戸の改装事例が出てきている．

・IV. 情報発信・情報交換に関しては，基礎調査において調査，分析，まとめを行ない，その結果から魅力の設定を行ない，発信するという，総合力が必要な活動である．マップや冊子の作成は，ネットに掲載されていない情報を入れることで，団地の良さをアピールする媒体になっている．

一方課題は下記の通りである．

・I.基礎調査では，調査結果を地域へ還元すると概ね賛同を得られるものの，調査結果をふまえての課題解決の本格的な実践活動への展開が困難である．特に，集合住宅内での住み替え，戸建て住宅の賃貸化など，居住者に大きな決断と負担が発生するものは，なかなか実現しづらい．住み替えを促進するなら，公社等の組織が，住み替えに関する事業を設定し，地域にしっかり入って，コーディネートしなければ実現が難しいと考えられる．

・III. 住戸リニューアル活動に関しては，経費・人員の観点から，単年度の間に DIY のリニューアルを何十戸も同時進行させることはできない．

・IV. 情報発信・情報交換は，作成した冊子やマップ等を手に取ってもらうチャンスを増やす，ネットで検索しやすくできるようにするなど，広報上の課題が残る．情報更新の継続性の課題もある．マップや冊子の作成は，ネットに掲載されていない情報を入れることで，団地の良さをアピールできるが，情報更新に対応しにくい．インターネットを用いた情報発信は，更新頻度を高める，発信のコンテンツを作る等，頻繁な作業が必要になり，Web 更新・広報専門の担当者がいるほうがよい．

・各活動の効果を直接的に測ることが困難である．

今後の活動は，３章で述べたように，各団地で地域に密着して活動できる主体との連携を模索し，活動の範囲を拡大し，高経年住宅団地の活性化に寄与したいと考えている．

謝　辞

これまで連携活動を継続していただき，また本論文執筆にあたり課題等についてディスカッションをしていただいた，神戸すまいまちづくり公社に感謝の意を表する．

注

注 1)本論文での経費は，各活動にかかる経費を公社と話し合って概算額を提示した．神戸すまいまちづくり公社は，2014-2015（平成 26，27）年度に，国土交通省の住宅団地型既存住宅流通促進モデル事業に採択され，神戸大学がこの事業の一部に参画した．公社の事業内容に関する経費は，モデル事業の事業費や公社の事業費から支出されてきた．例えば，DIY に関する材料費，実務者の技術支援等の経費等が公社の事業費から支出されてきた．神戸大学では学内の競争的資金である地域連携事業に申請し，採択されると事業の補助費として毎年約 20 万円が支給されてきた．地域連携事業費では学生の作業に対する人件費を支出できないが、連携活動にかかる経費（交通費，団地再生に関する文献費等）を支出できる．

文　献

(1) 栗山尚子，水野優子：郊外住宅団地の分譲集合住宅の空き住戸流通促進事業の効果に関する研究、一般社団法人不動産流通経営協会平成 29 年度研究助成報告書，1-34，2019.

(2) 鈴木雅之：NPO と市民による団地を元気にする包括的な活動～ちば地域再生リサーチの活動を通して～，都市住宅学，79 号，127-128，2012.

(3) 鈴木雅之，陶守奈津子，服部岑生：NPO と住民の協働による団地再生のためのリフォーム・高齢者支援コミュニティビジネス，日本建築学会技術報告集 12 巻 23 号 385-388，2006.

(4) 今西一男：郊外住宅団地再生に資する公共空間としてのコミュニティ・サロンに関する研究－福島市蓬莱団地におけるコミュニティ・サロンの実験的運営を中心にー，都市住宅学，71 号，26-31，2010.

(5) 矢込祐太，菅野博貢：環境資源としての活用を目的とする公団住宅外部空間の定量的実態把握，ランドスケープ研究，74 巻 5 号，663-666，2011.

(6) 丁志映：UR 賃貸住宅における民間コラボレーション型住戸の入居前後の評価に関する研究－千葉県真砂団地における「MUJI×UR 団地リノベーションプロジェクト」を対象としてー，都市住宅学，99 号，102-107，2017.

(7) 関西大学戦略的研究基盤団地再編プロジェクト編：ストック活用型団地再編への展望【前編】関西大学団地再編プロジェクトの研究活動（平成 23 年～27 年度），関西大学出版部，全 144 頁，2016.

(8) 鈴木克彦：UR 西武庫団地での学生の自主リフォームによる高経年住宅団地再生の試みーUR 西武庫団地における住戸改修実験プロジェクトー，都市住宅学，61 号，63-66，2008.

(9) 久保園洋一：地域活性化を目的とした公営住宅の学生居住に関する一考察－兵庫県明舞団地の事例からー，日本建築学会計画系論文集，81 巻 722 号，983-990，2016.

(10) 三輪康一，栗山尚子：鶴甲団地再生・活用プロジェクト，平成 27 年度神戸大学地域連携活動報告書，40-41，2016.

(11) 三輪康一，栗山尚子：鶴甲団地・高倉団地再生・活用プロジェクト，平成 28 年度神戸大学地域連携活動報告書，42-43，2017.

(12) 三輪康一，栗山尚子：高倉台団地再生・活用プロジェクト，平成 29 年度神戸大学地域連携活動報告書，40-41，2018.

(13) 栗山尚子：名谷団地再生・活用プロジェクトー名谷団地空き家予備軍調査ー，平成 30 年度神戸大学地域連携活動報告書，12-13，2019.

(14) 栗山尚子：有野台団地再生・活用プロジェクト，令和元年度神戸大学地域連携活動報告書，12-13，2020.

(15) 栗山尚子，後藤沙羅：鶴甲団地・有野台団地　再生・活用プロジェクト，令和 2 年度神戸大学地域連携活動報告書，14-15，2021.

(16) 冨田泉，三輪康一，栗山尚子：住宅団地の活性化における大学生の取り組みと居住可能性に関する研究－神戸市鶴甲団地の事例に着目してー，日本建築学会近畿支部研究報告集・計画系，56 号，9-12，2016.

(17) 奥田浩平，三輪康一，栗山尚子：高経年住宅団地における居住者属性からみた空き家発生パターンに関する研究－神戸市高倉台団地の事例分析を通じてー，日本建築学会近畿支部研究報告集･計画系，58 号，409-412，2018.

触る切り絵:

レーザー加工された紙による触覚提示と盲ろうの非言語コミュニケーションを支援するツールの開発

Tactile Stencil : Haptic presentation with laser processed papers and development of tools to support def-blind communication

○三國 孝 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻) *1　　山中 俊治 (東京大学生産技術研究所) *2

*1 Kou Mikuni, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-0033, Japan, mickson@iis.u-tokyo.ac.jp

*2 Shunji Yamanaka, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba Meguro-ku, Tokyo 153-8505, Japan, design-lab@iis.u-tokyo.ac.jp

キーワード: プロダクトデザイン, デジタルファブリケーション, 盲ろう支援, 触覚提示

1. 背景

1. 1. 盲ろう

目が不自由な上に耳も不自由な人たちのことを「盲ろう者」と呼ぶ(1). 盲ろう者が点字などを通して手に入れられる文字による情報量は, 盲のみ, 聾のみの人たちが音や光を通して得る情報量に比べても桁違いに少ないと言われている(2). 特に, 顔や声の表情といった, 視覚や聴覚に不自由のない人たちが日常的に大きく依存している非言語的な情報が限定的になる.

盲ろう者の用いるコミュニケーション方法の代表的な例として, 手のひら書き文字, 触手話, 点字, 指点字, 指文字などの触覚を介した方法が挙げられる(1). 弱視ろう者のための筆談, 全盲難聴者のための補聴器など, 触覚以外の情報伝達手段も用いられるが, 少なくないコミュニケーション方法が触覚をベースにしている. 触覚ベースの, 話者どうし, または話者と通訳者が直接触れ合うコミュニケーションにおいて身体的な触れ合いや様々な工夫を通して非言語的な情報のやり取りが行われている.

1. 2. 触覚提示技術

盲ろうを支援する取り組みの多くが触覚を媒介する方法を用いている. 今まで数多の触覚提示方法が, 盲ろう支援に限らず, VRやテレイグジステンスの文脈などで提案されている(3)(4). また, 付加製造技術(AM)を活用し触感を提示する構造を生み出した事例も存在する. 谷川らは, 変形構造により触感を生み出す「構造触感」という概念を提案し, 多くのプロトタイプを制作した(5). 「構造触感」はAMで実現される複雑な構造によって手で触れた際の変形や弾性, 質量感を変化させる. これは, 同一の素材を用いて多様な触感を提示できるという点において, 広い意味での触覚提示の方法の1つである.

1. 3. 構造で振る舞いをコントロールする事例

前述の「構造触感」はAMで作られた複雑な形状によって触感を変化させる取り組みであるが, 除去加工を用いても同じように構造の工夫で振る舞いを変化させる取り組みも存在している. Oshimaらは板材にスリットの繰り返しパターンを切り込むことによって板材の弾性をコントロールする方法を提案している(6).

2. アイデアと仮説

2. 1. 「触る切り絵」アイデアの概要

本論文では触覚による情報提示の新しい方法として「触る切り絵」を提案する. これは紙に緻密なパターンカットを施し様々な触感を提示するものである. レーザー加工機で和紙をハニカム格子状に加工した際に, 加工した部分の手触りが加工していない部分の手触りに比べて柔らかく異なって感じられたという筆者の個人的な体験から, アイデアが着想された.

2. 2. 仮説1: 触感の提示の可能性

レーザー加工機を用いると自由度の高いパターンによる加工が可能である. 様々なカットパターンを使い分けると, 前述の「構造触感」のように多種多様な触感を紙に刻印することができると期待される. そこで, 本論文を通して以下の仮説を検証した.

仮説1: 「触る切り絵はカットパターンの特徴に応じた多種多様な触感を提示することができる. 」

2. 3. 仮説2: 触感による非言語情報の提示の可能性

触覚情報や肌に触れているものの質感は，触覚と関係なく意識を向けているものの印象に影響を与える(7)．また様々な擬態語や触覚と関係のない様子を表すための言語表現に，触覚に由来する言葉があてがわれ一般的に用いられている(7) (8)．これらの事実から触感と印象は強く相関していると言える．

仮説1に従って「触る切り絵」が様々な触感を提示するならば，それは触感に伴った何らかの印象を提示すると推測される．一般的に，印象には抽象的で言語化されない情報や知覚も含まれていることを考慮すると，「触る切り絵」を介して印象，または，非言語的な情報の伝達が行われるはずである．非言語コミュニケーション，特に背景で述べたように非言語的な情報の限られた状況を余儀なくされている盲ろう者のコミュニケーションを支援するツールへと，「触る切り絵」が応用される可能性を見込んで，本論文を通して以下のもう1つの仮説を検証した．

仮説2:「非言語的な触覚情報の交換を支援するツールが，触る切り絵を用いて実現される．」

2. 4. 点字やエンボスとの比較

点字などのエンボス加工は紙や物体の表面に凹凸を施すので，視覚に障害のある人でも指先でその様子を読み取ることができる．これらは形状や文字などの記号的，言語的な情報を提示する．一方，前述の2つの仮説の通り「触る切り絵」が触感や印象を提示するならば，盲ろう者が非言語的な情報を扱う際の補助となるアプリケーションが期待され，盲ろう者のコミュニケーションをより豊かにし，不便を緩和することが期待される．

3. 本論文の目的

3. 1. 試作検討

仮説を検証するために試作を行った．カットパターンとそれによって再現される触感の大まかな傾向を調べるために，代表的なタイリングを参照しカットパターンを設計した．

3. 2. インタビューと今後の開発の方向性の検討

仮説を検証するために，試作物に触れながらのインタビューを行った．被験者として，視覚障害の当事者に協力を依頼した．その後にディスカッションを行い，ニーズのあるアプリケーションの方向性など，今後の研究の方針について検討した．

4. 試作1

4. 1. 試作1の概要

レーザー加工機で出力するパスデータをRhinocerosとAdobe Illustratorを用いて作成し，素材にはケント紙を用いた．カットパターンで参照したタイリングは大きく分けて9種類，それぞれのタイリングに対して，各種パラメータを変えたバリエーションを2~6種類つくり，合計で30枚のサンプルを作成した．

紙のコミュニケーションツールの代表例である名刺をモチーフとして，三つ折りにして91 mm × 55 mmとなる寸法を採用した．Z字型の三つ折りで中面を両側から挟み保護し，中面にパターンカットを施した．加工部分の強度を補うために，中面の外縁に3mm幅の加工しない領域を設けた(図1)．図2~10は各サンプルに施したパターンで，グレーに塗りつぶした領域が切り抜いた部分である．これらの図はトリムした上で倍率は1倍としてある．

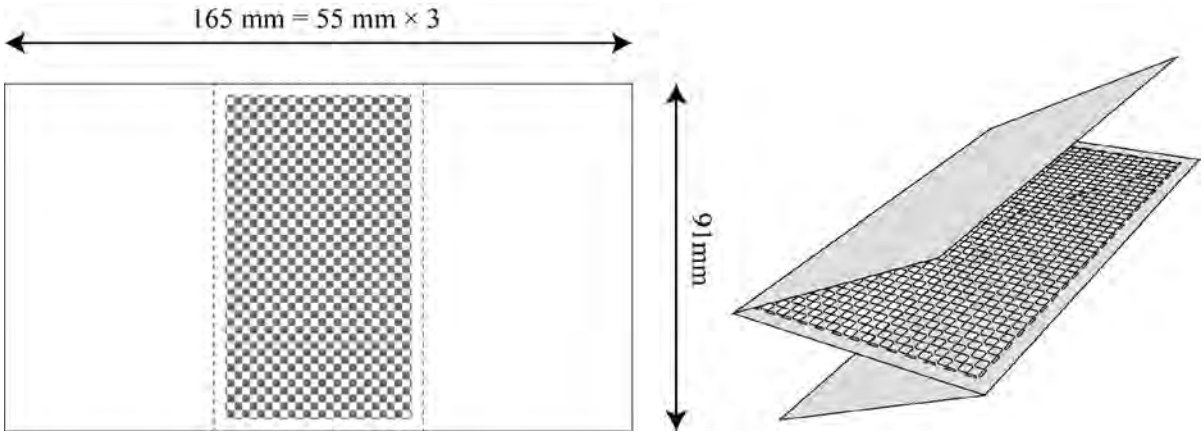


Fig. 1 Left : a drawing of a prototype of checkered pattern, Right : a CG that shows a folded prototype

模様①:単純格子模様(pincheck)

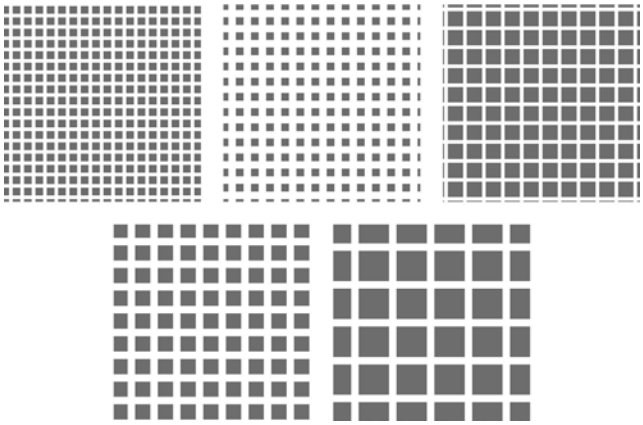


Fig.2 Cut paths referring to pincheck, labelling upper samples as pc-1, pc-2, pc-3 and lower ones as pc-4, pc-5 from left to right

これらの各パターンは各切り抜き部分(正方形)の一辺の長さを1mm, 2mm, または, 4mmに, また, 経と緯のブリッジの幅を0.5 mm, または, 1mmに設定した.

模様②:市松模様(checkered pattern)

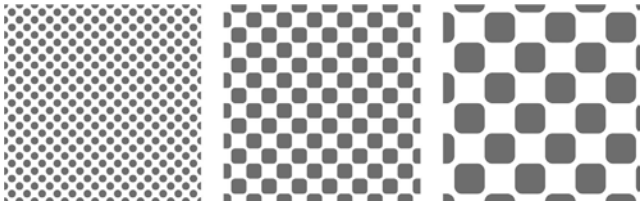


Fig.3 Cut paths referring to checkered pattern, labelling samples as c-1, c-2, c-3 from left to right

これらの各パターンは構成する正方形の一辺の長さを1mm, 2mm, または, 4mmに, また, 切り抜き部分の角を0.5mm, または, 1mmでフィレットするように設定した.

模様④:レンガ模様(brick pattern)

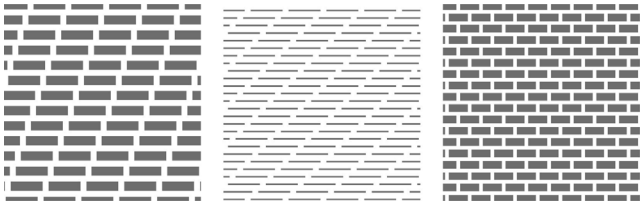


Fig.4 Cut paths referring to brick pattern, labelling samples as br-1, br-2, br-3 from left to right

これらの各パターンはブリッジ幅を0.5mm, または, 0.8mmに, 切り抜き部分の長方形の縦幅を1.2mm, 0.2mm, 1mmに, 横幅を4.2mm, または, 2.5mmに設定した.

模様③:ドロネーの三角形

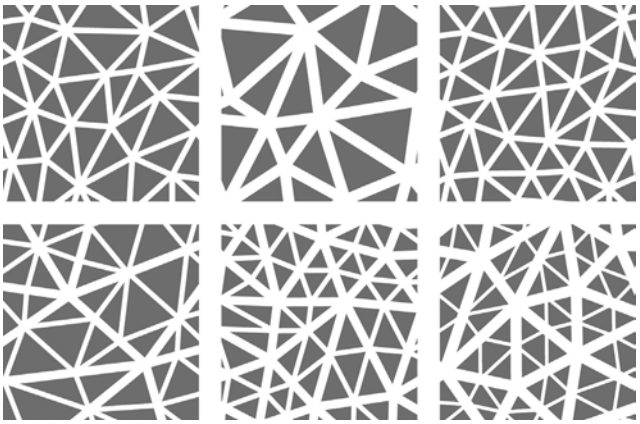


Fig.10 Cut paths referring to Delauney's triangle, labelling upper samples as dl-1, dl-2, dl-3 and lower ones as dl-4, dl-5,dl-6 from left to right

これらの各パターンはブリッジ幅を0.8mm, 1.2mm, または, 1.5mmに設定した. この内3つ(図10下段)は各エッジを二等分または三等分した点を含めた点群を核としたドロネー三角形をブリッジ幅0.5mm, または, 0.7mmで重ねた.

模様⑤:バスケットチェック(basket check)

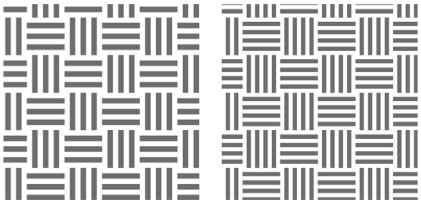


Fig.5 Cut paths referring to basket check, labelling samples as bs-1, bs-2 from left to right

これらの各パターンはベースとなる正方形の一辺を5mmに, スリットの切り抜き部分と切り残し部分の幅を等しく, 3つ, または4つのスリットが入るように設定した.

模様⑥:ハニカム模様

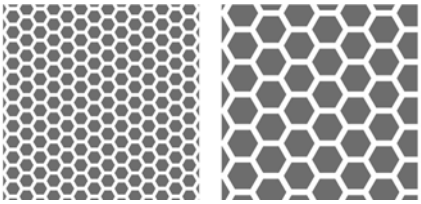


Fig.6 Cut paths referring to honeycomb pattern, labelling samples as hn-1, hn-2 from left to right

これらの各パターンは構成する六角形の一辺を, 1.2mm, 2.5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, 0.8mmに設定した.

模様⑦:トラス構造

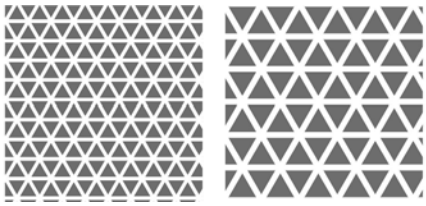


Fig.8 Cut paths referring to regular tiling of equilateral triangles, labelling samples as tr-1, tr-2 from left to right

これらの各パターンは構成する正三角形の一辺を3mm, または, 5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, または, 0.8mmに設定した.

模様⑧:七宝つなぎ



Fig.9 Cut paths referring to shippo pattern, labelling samples a s sp-1, sp-2, sp-3 from left to right

これらの各パターンは構成する円の直径を, 2.5mm, 4mm, 5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, 0.7mm, 1mmに設定した.

模様⑨:ハニカムをさらに三分割した模様

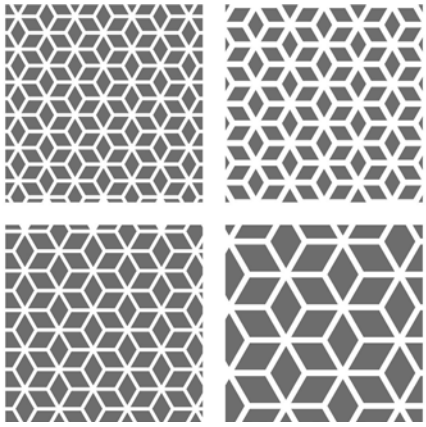


Fig.7 Cut paths referring to honeycomb divided into three rhombuses, labelling upper samples as dh-1, dh-2 and lower ones as dh-3, dh-4 from left to right

これらの各パターンは構成する菱形の一辺を, 2.5mm, 3mm, または, 5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, または, 0.8mmに設定した.

5. 事前検討

5. 1. 事前検討の目的

視覚障害を持つ被験者にインタビューを行う前に, 仮説をより具体化して詳細な検討を行うための準備として事前検討を行った. この事前検討では筆者自身の主観で評価が行われた.

5. 2. 手順

事前検討を以下の手順で行った. 30枚のサンプルをシャッフルし, 目隠しをした状態でランダムに3枚を取り出した. 目隠しをしたまま, 手で触った感覚を3枚それぞれに対し主観的に擬態語などを用いて表現し, その内容を記録した. 記録した内容をもとに触感に対して用いられた表現の傾向について考察した.

5. 3. 結果と考察

5. 3. 1. 粗さに関する表現　ドロネーの三角形のサンプルに対して粗さに関する表現が多く出現した. ドロネーの三角形は他の正則タイリング, または正則タイリングを基調とした繰り返しパターンと比較してランダム性が強い. このようなことから, 粗さの知覚とパターンのランダム性の強さに相関があると予想される.

5. 3. 2. 摩擦感に関する表現　市松模様のサンプルやbr-2に対し, 摩擦の少ない様子をあわらす言葉が多く出現した. このことから, 切り抜いた面積割合の低いものほど摩擦感が弱くなるという相関があると予想される.

5. 3. 3. 柔らかさ, 硬さに関する表現　七宝やハニカムパターンのサンプルに対して, 柔らかさを表す言葉が多く用いられた. これらのパターンは, 他のサンプルのパターンと比べて弾性が弱く変形しやすい構造を持つ. このことから弾性と柔らかさの知覚の間には相関があると予想される.

5. 4. 仮説1をより具体化した小仮説

前節の考察をもとに, 仮説1に関するより詳細で具体的な3つの小仮説を設けた.

仮説1-a:「触る切り絵のパターンのランダムさの強さと粗さの知覚の強さは相関する」

仮説1-b:「触る切り絵の切り抜いた面積割合の大きさと摩擦感の知覚の強さは相関する」

仮説1-c:「触る切り絵の弾性の強さと硬質感の知覚の強さは相関する」

6. 試作2

6. 1. 試作2の概要

インタビューで仮説1-b, 1-cについてより具体的な検証を行うために追加でサンプルを試作した. 図11~12のように単純格子を基調にした9種類のカットパターンを作成した. 1行目から3行目のサンプルにかけては線の蛇行を強くし, 弾性を弱くした. また, 1列目から3列目のサンプルにかけては四辺形の内部の切り残した領域の面積を大きくした. この試作2のサンプルは試作1のものと外寸法は同じであるが, 加工する領域の面積を小さくした(図13). これは加工時間を短縮するための変更で, 試作1のサンプルと直接の比較は行わないため, 検証に影響はない.

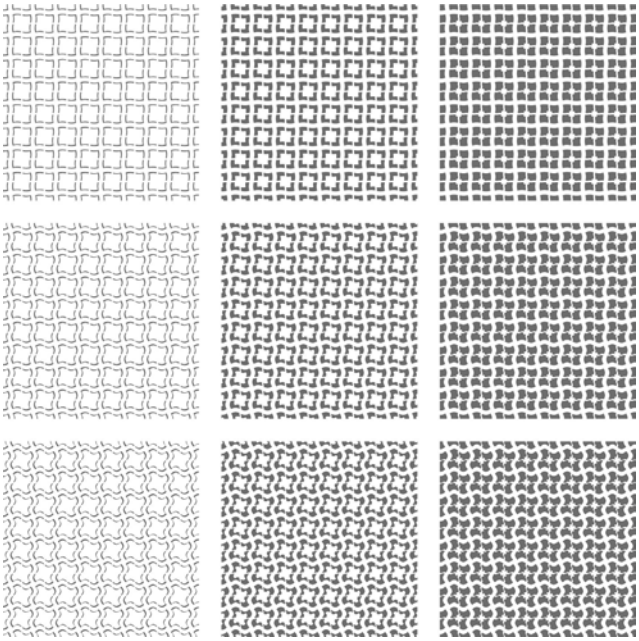


Fig.11 Cut paths for the 2nd prototype,
labelling upper samples as wg-1, 2, 3,
middle samples as wg-4, 5, 6 and
lower samples as wg-7, 8, 9 from left to right
(Scale: around 100%, trimmed)

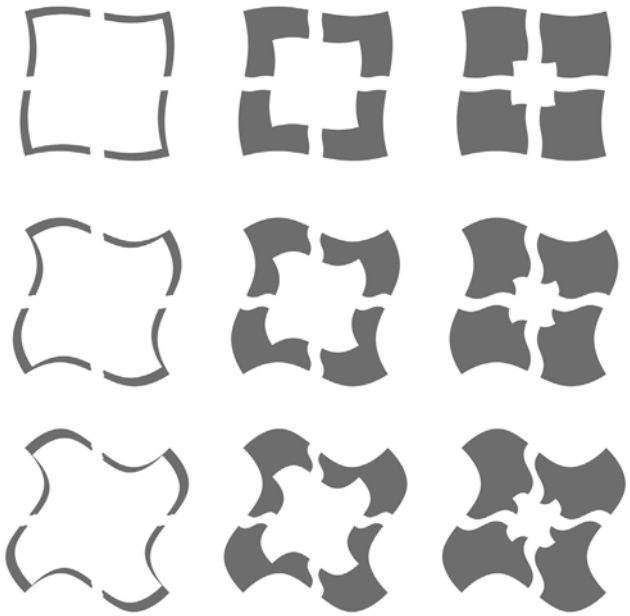


Fig.12 Each cut path unit for the 2nd prototype
repeated every 3 millimeters in cut paths
(Scale: around 800%)

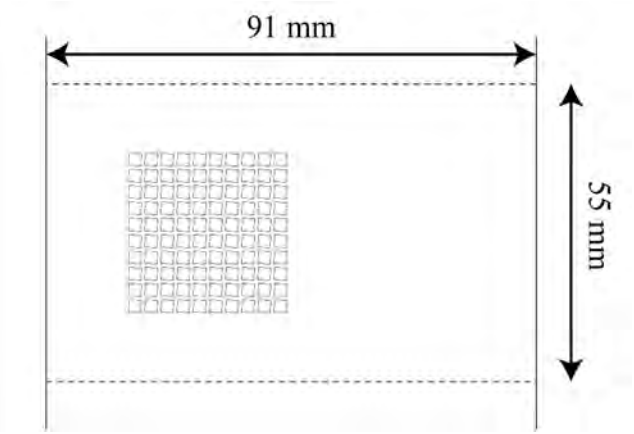


Fig.13 A drawing of the inner face of a sample
of the 2nd prototype

7. インタビュー実験

7. 1. インタビューの目的

事前検討の結果は, 製作者本人の主観による先入観の影響を受けている可能性がある. また, 目隠しなどの工夫を行ったとしても, 視覚情報の影響を排除しきれていない可能性があると考えられる. そこで, 日常的に点字などの触覚情報を用いている人物からのフィードバックを得ること, また,「触る切り絵」の応用開発を進めていくために必要な知見を得ることを目的として,

視覚障害の当事者（全盲）1名を対象にインタビューテストを行った．仮説1-a，b，cを検証するユーザーテスト形式のインタビューと，仮説2を検証する対話形式のインタビューを実施した．

7. 2. インタビューの手順

7. 2. 1. ユーザーテスト形式のインタビュー1　試作1のサンプルを用いて仮説1-a，b，cを検証するための試行をそれぞれ1回ずつ，合計3回，下の手順に沿って行った．

(1) 手渡された4枚のサンプルを近い触感のもの同士で組み合わせて2つのグループに分けるよう被験者に指示した．

(2) 分けられたグループにどのような違いがあったのか被験者へのヒアリングを行った．

但し，使用したすべてのサンプルには回答を効率的に行うために予め点字で番号を振った．

7. 2. 2. ユーザーテスト形式のインタビュー2　試作2のサンプルを用いて仮説1-b，cを検証するための試行をそれぞれ1回ずつ，合計2回，下の手順に沿って行った．

(1) 図11のうち，同じ行（列）のサンプルを2枚手渡し，被験者にその2つの触感の違いについてヒアリングを行った．

(2) 次に(1)とは違うが互いに同じ行（列）のサンプルを3枚手渡し，被験者はそれらを(1)で違いとして回答した特徴の順にサンプルを並べた．

このインタビューで使用したサンプルにも予め点字で番号を振った．

7. 2. 3. 対話形式のインタビュー　続いて自由対話形式のインタビューを実施した．手元に「触る切り絵」のサンプルを用意し，ユーザーテストの内容や「触る切り絵」の応用の可能性，視覚障害の当事者が期待することなどについて議論を行った．また，その様子をカメラで記録した．

7. 3. 結果（ユーザーテスト形式のインタビュー）

7. 3. 1. ユーザーテスト形式のインタビュー1の結果

(試行1) hn-2，dl-5の組と，dl-3，tr-3の組に分けられた．前者は穴が小さく，後者は穴が大きいという違いがあると回答を得た．

(試行2) br-2，c-1の組と，pc-1，br-3の組に分けられた．前者は「濾紙に似た手触り」「穴が小さい」「手触りがいい」という特徴があり，後者は「穴が大きい」「網戸に似た手触り」「摩擦が強い」「ざらつきが強い」という特徴があると回答を得た．

(試行3) sp-1，pc-3の組と，sp-3，pc-5の組に分けられた．前者は，目が細かく感じられ自分の指の温度よりも紙の質感を強く感じるのに対し，後者は，隙間が非常に大きく感じられ，紙を挟んだ自分の指の温度を強く感じるという違いがあると回答を得た．

7. 3. 2. ユーザーテスト形式のインタビュー2の結果

(試行4-1)「wg-8は穴が大きくざらつきを感じるのに対し，wg-7は穴が小さく，ざらつきよりも手触りの良さが先行したサラサラ感があり，すべすべ肌のようなさらっとした感じ」という回答を得た．

(試行4-2) wg-1，2，3を「サラサラ」から「ザラザラ」の順に並べると，wg-1，2，3の順に並ぶという回答を得た．

(試行5-1) wg-3，9を比較したが，wg-9に破れなどがありノイズが入ったため，中断した．

(試行5-2) wg-1,7を比較した．第一印象は何も違いを感じないという回答であったが，数秒触ったあとははっきりとwg-1が厚くしっかりした感じで，wg-7が薄く感じ，少しざらつくという回答を得た．

7. 4. 考察（ユーザーテスト形式のインタビュー）

7. 4. 1. カットパターンの目の大きさについて　試作1のサンプルを用いた試行1~3では，穴の大きさに関する回答が多かった．また，サンプル同士の違いについて考える間の被験者の呟きの中に，「線が真っ直ぐ」「線が斜め」といったカットパターンの構造や形状に関する具体的な発言が頻繁に聞かれた．このことから，普段から点字やエンボスなど細かな凹凸や形状を指先で感じとることに慣れている被験者にとって，試作1のサンプルの多くはカットパターンの目が大きく，形の情報を明確に認識してしまい，本来の狙いであった触感の知覚が起こりにくかったと考えられる．一方，br-2，3やsp-1，また，試作2のサンプルに対しては，触感に関する言葉が比較的頻繁に聞かれた．

7. 4. 2. 仮説1-aについて　インタビュー実験ではランダムさと粗さの知覚の相関を見出すことができなかった．これは前項で述べたようにカットパターンの目が大きく，触感の知覚が期待されていたように起こらなかったからであると考えられる．仮説1-aを検証するためには，十分に細かな目を持つカットパターンで追加の比較を行わなければならない．

7. 4. 3. 仮説1-bについて　試行2の結果は，切り抜いた面積割合の大きいもの（br-3，pc-1）と小さいもの（br-2，c-1）と組分けられた．前者の組に対しては，「網のような触感」「ざらつきが強い」「摩擦を感じる」，後者に対しては，「濾紙に近い触感」「ざ

らつきが弱い」「手触りが良い」と，粗さや摩擦感について明確に異なる傾向の回答があった．試行4-1，2の結果を踏まえても，切り抜いた面積の割合が大きなものほど摩擦を大きく感じるという仮説1-bが部分的に支持された．しかし，今回のインタビューで頻繁に聞かれた「ざらつき」は一般的に表面の粗さを表す擬態語である．岡本ら(9)の定義によると，触知覚を構成する5つの材質感次元のうち，「粗さ」と「摩擦感」は異なる次元である．今回の結果では，試行2，4に限って言えば，「粗さ」と「摩擦感」が相関している．「触る切り絵」の方法で，この2つの材質感を独立に変化させることができるのか，今後追加で検証する必要がある．

7. 4. 4. 仮説1-cについて　試行5の結果，弾性を弱くするためにブリッジの蛇行の振幅を大きくしたサンプルほど「薄さ」と「ざらつき」が強く感じられた．「薄い」と知覚されたサンプルも他のサンプルと同じ紙を使用しており実際の厚さは同じである．一般的に同じ材質ならば，薄い膜ほど弾性が弱くなる.今回被験者が，微妙な弾性の差を感じ取って，厚みの違いとして知覚していたという可能性がある．以上のことから仮説1-cは部分的に支持されるが，薄さと柔らかさの知覚について追加検討の必要がある．

7. 5. 対話形式のインタビューの内容

「どのサンプルが一番好みの手触りか」と問うた際，無加工の面が一番滑らかで好みという回答を得た．続けて，「滑らかな面の中に，1ヶ所だけ手触りが変化している部分があるとインパクトがある．手触りの良さよりも，注目したい部分の触感が変わっていることで見つけやすさという点で助かる」という旨のコメントが聞かれた．注目したい部分の具体例としてQRコードやバーコードが例として挙げられた．これらは視覚障害を持つ人にとってその印字された位置を知ることがとても難しいという．

他に「紙幣の種類の弁別の助けになるかもしれない」と，「触る切り絵」の活用の可能性の例を挙げていた．また，鉄道を利用する際に，同時に発行される特急券と乗車券，領収書が弁別できずに困ったという体験談が聞かれた．被験者は一度確認してからチケットの種類ごとに異なる折り目をつけることで弁別していると話していた．その上で，「公共交通機関の規格化されたチケットなど，エンボスを施すことが難しいものに対して，パターンカットによって弁別できる印がつけられていると助かるかもしれない」という旨のコメントがあった．また会社ごとに異なるパターンカットがアイコンやシンボルのようにして施されていたら，実用的にも意匠的にも好ましいのではないかというアイデアも聞かれた．

7. 6. 対話形式のインタビューの内容についての考察

今回のインタビューでは「触る切り絵」を従来のエンボスや点字と同じく記号的な情報提示の方法として期待する声が聞かれた．一方で，2章で述べたような，当初見込まれていた非言語情報の提示に関する期待の声は聞かれなかった．ユーザーテスト形式のインタビューの考察の節でも述べたように，今回の試作品では触感の提示に関する検証を十分に行うことができなかったため，仮説2を確かめることができなかった．それに対して，応用する際の制約条件が点字などのエンボス加工と異なるため，エンボスが現時点で施されていないようなプロダクトにも触覚情報を載せられる可能性が示された．

8. 結論

8. 1. 触覚提示方法としての確立に向けて

本論文では仮説1-a，b，cを立てた上で，紙のカットパターンの構造と触感の関係について議論してきた．カットパターンの調整を通して触感に変化を与えるという方法を定式化するためには，今後，触感の尺度を定義し，具体的かつ体系的に議論していく必要がある．今回は，試作と実験を通して，目の大きさ，切り抜く面積の割合，弾性を調整することで，触感を変化させられることがわかり，今後の開発の方向性が示された．

8. 2. アプリケーションに向けて

今回，インタビューを通して期待を得られたアプリケーションの方向性は，エンボスの施しにくいとされる製品への代替技術としての活用であった．これは，当初想定していた，触感を介する非言語情報の提示による盲ろう者のコミュニケーションのサポートとは異なる方向性であった．しかし，「触る切り絵」が盲ろう者を含めた視覚障害を持つ人たちの生活の不便さを軽減し生活をより豊かにする可能性が見出された．次の検討として，どのような場面でエンボスが使われているか，どのような場合にはエンボスが使えないのかといった事例の調査を行うことが考えられる．また，アプリケーションの具体的な模索を行うために，パターンカットを施したプロダクトの試作検討を行うことも重要である．

今後の開発で「触る切り絵」の方法が確立された場合に，触感を介した非言語情報の提示についても，新たな応用の方向性が提示されるかもしれない．また，今回の検証では1人のみからフィードバックを受けたが，より多くの人からフィードバックを集めることで，新しいアイデアが得られることが期待できる．

文献

(1) 社会福祉法人 全国盲ろう者協会 ホームページ:盲ろう者とは: http://www.jdba.or.jp/deafblind/top.html (参照日 2021年6月11日)

(2) 生井久美子:ゆびさきの宇宙 福島智・盲ろうを生きて, 岩波書店, pp. 12-14, 2009

(3) 張建堯, 小林優人, 梶本裕之, 松森孝平, 齋藤直輝: 異なる皮膚状態の触感再現に関する研究, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 4A-04, 2019

(4) 井上 康之, 中 郁己, 加藤 史洋, 舘 暲:触原色原理に基づいた触覚提示システム, TVRSJ Vol.25 No.1, pp. 86-94, 2020

(5) 山中俊治:デザインと加工技術の深い関わり, そして未来プロトタイピングが示唆するAM革新の可能性, プラスチック成形加工学会 創立30周年記念冊子, 2018

(6) Taisuke Ohshima, Tomohiro Tachi, Hiroya Tanaka, Yasushi Yamaguchi:Analysis and design of elastic materials formed using 2D repetitive slit pattern, Proceedings IASS, pp. 1-12, 2015

(7) David J. Linden, 岩坂彰 訳:触れることの科学 なぜ感じるのか どう感じるのか(Kindle版) 第1章, 河出文庫, 2019

(8) 渡邊 淳司, 情報を生み出す触覚の知性: 情報社会をいきるための感覚のリテラシー(Kindle版) 第4章, DOJIN選書, 2018

(9) 岡本正吾, 永野光, 山田陽滋:素材の触知覚を構成する5種の材質感次元, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 362-365, 2011

モーションキャプチャ用センサとシステムの研究開発

Research and Development of Sensor and System for Motion-capture

宮地 優悟 (HSU)[*1]，○大岩 令奈季 (HSU)[*2]，園田 計二 (HSU)[*3]，福井 幸男 (HSU)[*4]

*1 Yugo MIYACHI, Faculty of Future Industry, Happy Science University
4427-1 Hitotsumatsu Hei, Chosei-mura, Chosei-gun, Chiba 299-4325, JAPAN
yugo.miyachi@gmail.com
*2 Renato OOIWA, Student, Happy Science University
4427-1 Hitotsumatsu Hei, Chosei-mura, Chosei-gun, Chiba 299-4325, JAPAN
ooiwarenato.172767@gmail.com
*3 Keiji SONODA, HSU, keiji-sonoda@happy-science.university
*4 Yukio FUKUI, HSU, yf.fukui@jcom.home.ne.jp

Key Words : Motion-capture, Design, VR, Sensor, 3D-CAD/CAM, Mass production

1. 緒　言

3D-printer や 3D-CAD など，デジタルもの作り関連技術が身近になり，併せて，Raspberry Pi に代表されるマイコンボードや無線通信技術が進化し，複雑な動きや機能を創り出すことが比較的簡単に行えるようになってきた(1)．アイデアを具現化することが個人規模でも容易に行える時代が到来している．現在，コロナの影響もあり，VR（Virtual Reality，仮想現実）がゲームのみならず，様々な分野で注目を集めている(2)．ここでは，VR と関連して注目されているモーションキャプチャを独自に設計製作し，製品化に向け量産（少量生産）することに成功したので報告する．

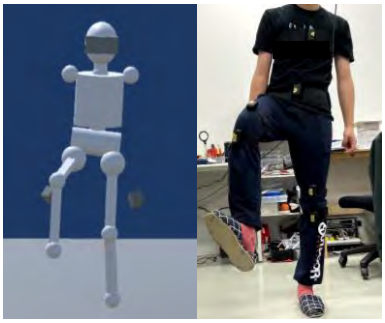
2. 開発したセンサとシステムの構成

モーションキャプチャの種類としては，光学式，慣性式，ビデオ式（画像式），磁気式，機械式などがあるが，一般に色々な周辺機材や装置を必要とし高価である場合が多い．本研究で開発したモーションキャプチャは慣性式を応用したもので，大掛かりな設備が必要なく，非常にコンパクトで体に装着しても違和感がなく，稼働までのセットアップも極めて簡単である．図 1 と図 2 に示すようにセンサ（基本構成は胸と腰と脚に計 6 個）をゴムバンドで固定して使用する．システムの全体構成としては図 3 に示すように制御用 PC，ヘッドセット，センサユニット（加速度等の情報を取得する 9 軸センサ，単 3 乾電池 1 個）である．

3. 基本設計

9 軸センサ IC 類は市販のものを使用し，回路設計および制御用プログラムは独自に作成を行った．主要な作成部品としてはセンサユニットとベルト固定治具である．

3.1. センサユニット　センサユニットは 9 軸センサと無線送信器の基板および電源用乾電池を出来るだけコンパクトに収める必要がある．先ず，3D-CAD でソリッドモデルを作り 3D-printer で試作し，基板を固定する位置精度や



(a) Screen display　(b) Human movement
Fig. 1　Motion capture under development



Fig. 2　Completed sensor unit (Prototype)

寸法精度および強度が十分に担保できるかなどを繰り返し，入念に確認した(図 4)．また，射出成形機の締付力が Max.20 ton と小型であり，樹脂の射出容量にも制限があり，機械性能としてはあまり余裕がないので，金型設計には十分な時間を掛け検討を重ねた．更に，非常に細かいスリットやはめ込み用ピンホールなどを有する金型を，実際に満足のいく機械加工ができるか試行錯誤しながら繰り返し検討を行った（図 5）．

3.2. 回路設計と制御用プログラム　回路も独自に設計し試作し確認した上で，コストパフォーマンスと所要時間などを総合的に判断して一部は外注することにした（図 6）．無線通信用のプログラムはマイコンチップに書き込み，モーションキャプチャから得られるモーションデータ（三次

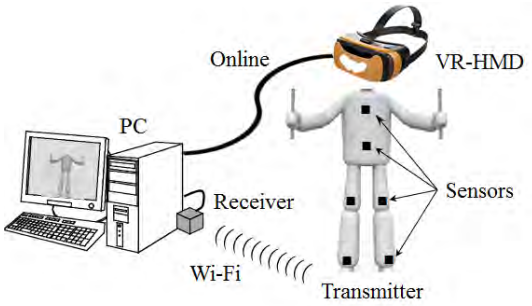
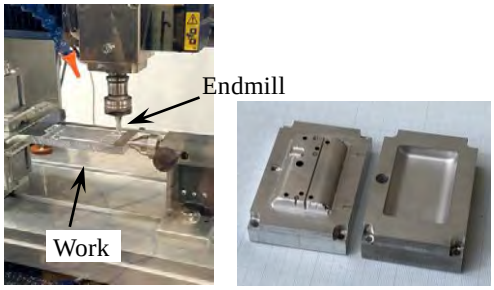


Fig.3 Overall image of this system configuration

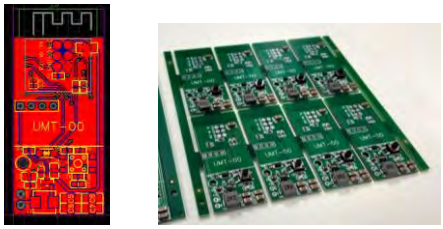


Fig. 4 Solid models of sensor case by 3D-CAD



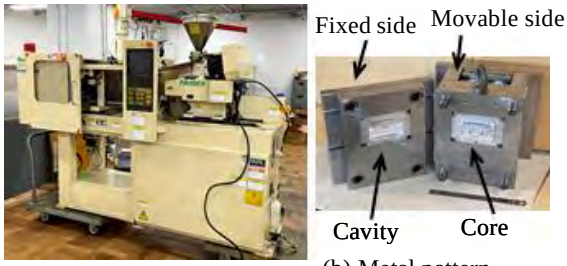
(a) Milling (CAM) (b) Metal patterns

Fig. 5 Mold making for injection molding



(a) CAD of electronic circuit (b) Completed printed circuit board

Fig. 6 Electronic circuit board for motion-capture



(a) Injection molding machine (b) Metal pattern for injection molding

Fig. 7 Injection molding machine introduced for mass production

元座標）の取得は PC にあるプログラムで行った．

4. 量産化のための生産設計および考察

本研究で考えている製品の生産個数は，いわゆるメーカと言われる大規模工場の生産個数に比較すれば少量生産にも及ばないが，大学等の教育機関でいざ数百個の数を生産するとなるとどの方法を選択すべきか難しい判断である．メーカに発注すれば採算に合わない．幸いなことに，本学には旋盤，フライス盤，直立ボール盤，CNC 工作機械など主要な工作機械や工具が設備されている．そこで思い切って，小型の射出成形機を導入し，金型も自作することを決断して製作を行うことにした(3),(4)．まだ，緒に就いたばかりではあるが，ほぼ実現する見通しを得たところである．

図 7 には新たに導入した 20 トンの射出成形機と金型（凸型と凹型，材質はアルミ合金）を示している．鋳造や射出成形のような型込製作法においては，出来上がった製品の質がすべてであり，金型が設計通りに完成していても，成形された製品の質が不良であれば失敗なのである．そこには経験と勘がものを言う世界がある．溶融した樹脂の流れを如何にスムースにするか，温度管理と金型設計が重要な鍵である．何度も失敗を繰り返し試行錯誤しながら改善を重ねた．CAD でデザインし 3D-printer で形にするのとは，まったく次元の違う難しさがあることが分かった．

5. 開発したモーションキャプチャの性能評価

現在，第一期で開発したモーションキャプチャをベータ版として 10 数名の方々に実際に使用してもらい，その性能を検証中であるが，かなりの高評価を頂いている．様々な点で，省エネにも工夫した甲斐あって，実際に 17 時間程度は連続して使用可能であることが明らかになった．改善点等も指摘されており，さらに改良を加えながら，本格的な製品化に向けて展開していきたいと考えている．

6. まとめ

VR やモーションキャプチャの持つ可能性は計り知れないものがある．これから様々な分野での応用が期待されている．本研究で開発したモーションキャプチャの性能としては，高額な製品に比べてまったく遜色なく，使い勝手としてはむしろ優れていることが分かった．今後，ゲームのみならず，アニメや映画のキャラクター制作，スポーツ，様々な体感研修等において有効活用されていくものと期待している．開発したモーションキャプチャが要望通りに貢献できることを心から願っている．最後に，本研究を応援して下さったすべての方々に心から感謝の意を表したい．

文　献

(1) 例えば，①三谷大暁，他：3DCAD/CAM Fusion360 操作ガイド／CAM・切削加工，ｶｯﾄｼｽﾃﾑ，2020．②金丸隆志：実例で学ぶ Raspberry Pi 電子工作，ﾌﾞﾙｰﾊﾞｯｸｽ，2015.
(2) 例えば，伊藤祐二：VR インパクト，ダイヤモンド社，2017.
(3) 福島有一：プラスチック射出成形金型設計，日刊工業新聞社，2015.
(4) 榊原　充：射出成形作業ここまでわかれば一人前，日刊工業新聞社，2020.

価値・機能・構造モデルを用いた経年優化®の記述手法及びシミュレーションモデルの構築

～分譲マンション：サンシティ®を事例として～

A Method for Describing Aging Superiority® Using Value, Function, and Structure Models and Development of a Simulation Model

～A Case Study of Sun City®～

○佐藤日向子（東京大学）*1　駒野湧一（東京大学）*2　山田周歩（東京大学）*3　北崎朋希（三井不動産）*4
太田幸一（三井不動産）*5　須田英男（三井不動産）*6　青山和浩（東京大学）*7

*1 Hinako Sato, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, sato@m.sys.t.u-tokyo.ac.jp
*2 Yui Komano, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, komano@m.sys.t.u-tokyo.ac.jp
*3 Shuho Yamada, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, s_yamada@m.sys.t.u-tokyo.ac.jp
*4 Tomoki Kitazaki, Mitsui Fudosan Co., Ltd., 2-1 Nihonbashi Muromachi 3-Chome, Chuo-Ku, Tokyo, 103-0022, tom-kitazaki@mitsuifudosan.co.jp
*5 Koichi Ota, Mitsui Fudosan Co., Ltd., 2-1 Nihonbashi Muromachi 3-Chome, Chuo-Ku, Tokyo, 103-0022, tom-kitazaki@mitsuifudosan.co.jp
*6 Hideo Suda, Mitsui Fudosan Co., Ltd., 2-1 Nihonbashi Muromachi 3-Chome, Chuo-Ku, Tokyo, 103-0022, h-suda@mitsuifudosan.co.jp
*7 Kazuhiro Aoyama, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, aoyama@race.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:経年優化，分譲マンション，価値・機能・構造，システムダイナミクス
（注釈：「経年優化」は三井不動産株式会社の登録商標である.）

1. 緒　　言

大量消費社会から成熟社会への転換を迎え，フロー型からストック型のビジネスが主流を迎えつつあると同時に，持続可能な社会の実現に向けた動きの活発化する中，時間軸の概念を取り入れた人工物の設計・デザインの重要性が増してきている(1),(2)．分譲マンションにおいても，時間と共に如何に価値を高めていけるかを考えることは，居住者自身の要求を満たすという上では勿論，社会にとっても非常に意義深いことである．

そこで，本研究は「時間を経るにつれて価値を増す」という意味を表す「経年優化」という概念を取り上げ，分譲マンションにおける経年優化をシステムとして捉えモデル化を試みることで，プランナーによって暗黙的に理解されてきた概念を体系化することを目指す．

2. マンションの構成要素のモデル化

経年優化は，時間が経るにつれて価値が増加すること表す概念であるが，価値工学の研究(3)において価値は，ユーザが製品やサービスの機能を客観的，あるいは主観的に解釈することで決まるものと定義される．一方で，機能は製品やサービスを構成する要素（構造）によって発揮される．ゆえに，経年優化のシステムは，価値・機能・構造の繋がりでモデル化を行う．また，製品やサービスは時間経過に伴いその構造が劣化し，付随して発揮する機能が低下，さらに，市場にある製品サービスの機能が向上し，ユーザが所有する製品サービスが発揮する機能が陳腐化するため，価値の再向上のためのアップグレード(4)を行うことが，経年優化を実現する上で必要不可欠である．ゆえに，ユーザが要求する機能と所有する製品サービスが発揮（提供）する機能の 2 つの機能にドメインを分割することで，経年優化のシステムを検討する．以下に経年優化システムのモデルにおける価値・機能・構造の定義と，要求および提供ドメインの定義について述べる．

2.1. 各構成要素の定義

まずはマンション内の構成要素の価値・機能・構造モデルを土台として定義する．

(i) 価値

関与する利害関係者が最終的に手に入れたい，もしくは実現したい要求や欲求のことを指す．本研究では，分譲マンションにおいて最も主要なステークホルダーと考えられる「マンション居住者」に受益者を絞る．（例：コミュニティ価値）

(ii) 機能

上述の価値を実現するために，マンションに備えられた働きのことを指す．（例：共同性）

(iii) 構造

マンションに属す実体としての要素を指し，有形要素・無形要素の双方を指す．（例：エレベータ，マンション内クラブ活動）

2.2. 要求ドメインと提供ドメインの導入

2.1 節にて定義した構成要素は，相対的に意味づけられる関係性にあり，一意に定められるものではない．居住者が望んでいる価値を起点とし，それを実現するための機能をトップダウン的に定義した場合の機能を「要求機能」と定義する．また，価値と要求機能をまとめて「要求ドメイン」と定義する．一方で，マンションに備わった構造を通じて発揮される機能をボトムアップ的に定義することも可能であり，これを「提供機能」と呼ぶ．また，構造と提供機能をまとめて「提供ドメイン」とする．以降は，この2種類のドメインを区別してモデル化を進めていく．

この時，この2つの機能間に存在する差異を「ギャップ」と定義する．尚，本研究では時間 T=0 を購入時として捉え，この時点でのギャップは 0 と定義する．また，提供機能が要求機能を下回っている状態を「負のギャップが生じている状態」と定義する．構成要素のモデル図を図 1 に示す．

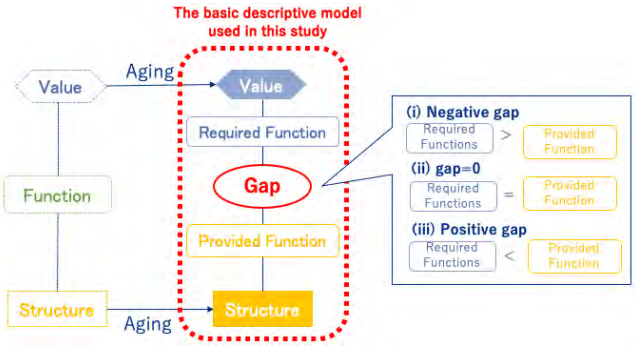


Fig.1 The basic descriptive model used in this study

2.3. リンクの重みと構成要素のパラメータ設定

構成要素の関係性の定量的な把握を可能とするため，各構成要素のパラメータ化を行う．それにあたり，たとえば，駐車場であれば収容台数のように，構造をある尺度で定量的に捉えた上で基準値を用いて無次元化する．また，構造−提供機能間・要求機能−価値間を結ぶリンクにも重要度に応じて数値を割り振ることにより，図 1 における各ノードを定量化する．具体的な定量化手法は図 2 に示す通りである．

2.4. 機能の品質分類と満足度の評価関数の導入

要求機能と提供機能の差分であるギャップと，受益者の感じる「満足度」は，単純な比例関係を示すとは限らない．そこで，狩野[5]の品質分類を活用し，機能の分類を行い，それぞれ「当たり前機能」「一元的機能」「魅力機能」として定義し，居住者の心理的側面に沿った評価を取り入れる．また，機能の充足度と受益者の満足度の関係性を定式化した関数である S-AV 関数[6]を導入し，満足度においても定量的に捉えることを試みる．

3. 経年優化のシミュレーション

ある一時点におけるマンションのモデル化を行ったところで，続いて時間経過に伴う構成要素の変化を考えていく．尚，本研究では議論の一般性を維持するため，マンションの外部環境が提供する価値については考慮せず，マンションと居住者間の相互作用のみに限定する．

3.1. 各構成要素の経年変化

構成要素の変化要因は，居住者（要求側）を起点とした経年変化と，マンションの構造（提供側）を起点とした経年変化に大別できる．要求側と提供側の双方のドメインで変化が生じることに伴い，ギャップも動的に変化していくことを意味する．この時，「経年優化」を実現するにあたっては，出来る限り負のギャップを解消することを目指していくことが必要であると考えられる．そこで，負のギャップに対し能動的に働き掛けるアクションとして「対応策」（例：修繕工事など）を導入する．また，対応策実行には必ず何らかのコストが伴うため，コストに対する制約条件として「リソース」を定義する．

3.2. 負のギャップに対する対応策

前述した負のギャップに対する対応策の具体的な実行判断をシステム内で表現するにあたり，2.4 節にて導入した機能の品質分類を用いて，(i) 当たり前機能・一元的機能に作用する対応策，(ii) 魅力機能に作用する対応策を区別しながらメカニズムを検討する．(i) については，ギャップを S-AV 関数を用いて満足度に読み替え，その満足度の累積値がある閾値(負)を下回った時点を対応策実行のタイミングと定めた．また，対応策の実行量は，ギャップを出

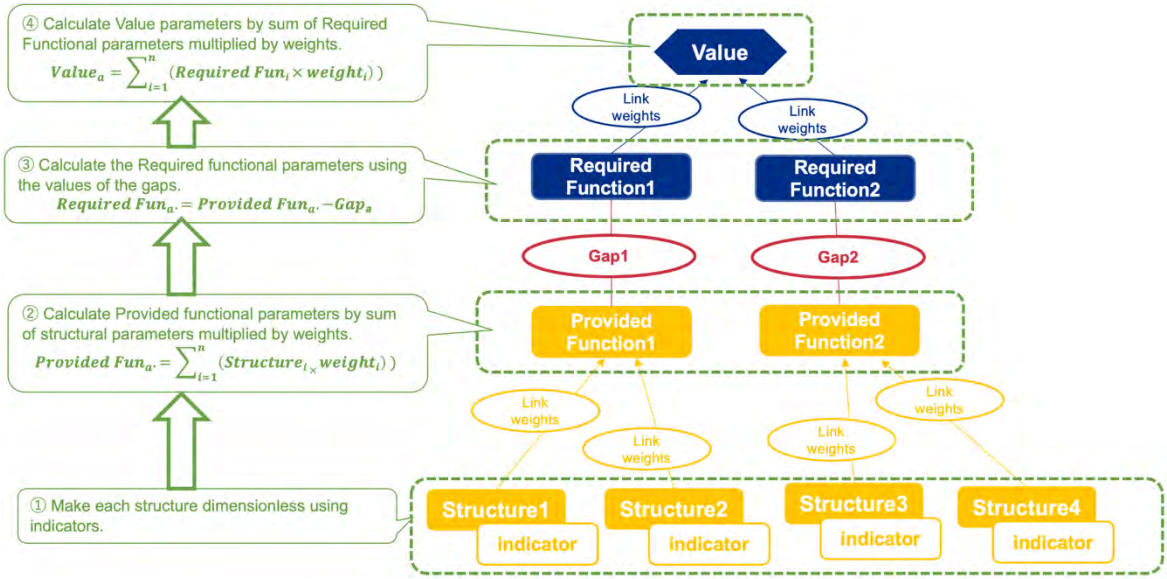


Fig.2 Quantification methods for each element

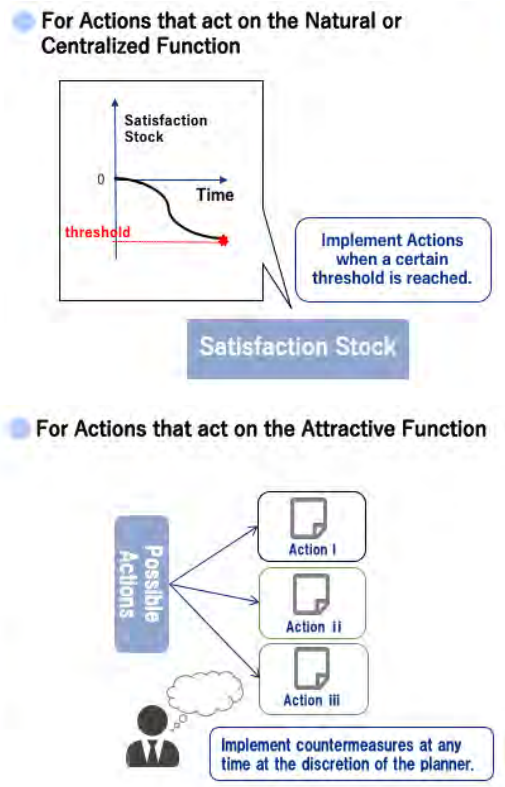


Fig.3 Decisions about the execution of Actions

来る限り効果的に解消できる量かつリソースの制約内で行える量とする．(ii) については，負のギャップが生じていても負の満足度は生じていないと考えられることから，タイミング・実行量ともにプランナーが任意に入力することを想定する．これを図に整理したものを図 3 に示す．

3. 3. 対応策実行後の波及効果

前述した手順に沿って対応策を行うことによる影響をシステム内で適切に表現する必要がある．対応策を実行することにより，構造にダイレクトに変化が及ぶと考え，構造パラメータが対応策の実施分だけ増加すると考える．これにより，該当する構造に紐付けられた提供機能のパラメータの値も増加し，要求機能と提供機能の間に存在するギャップも縮まると考えられる．一連の波及効果のシステム内での表現を表したものが図 4 である．

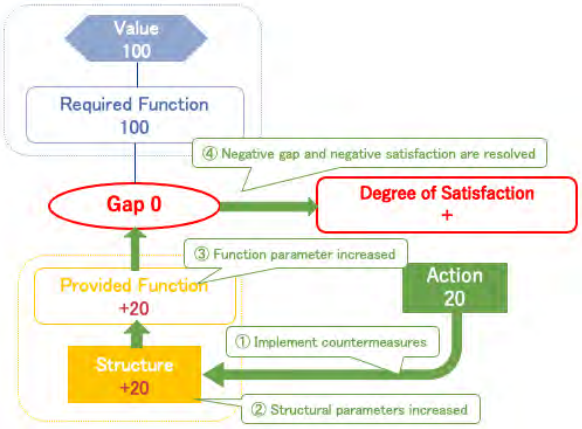


Fig.4 Representation of a series of effects in the system

4. 提案手法に関する検証

本章では，前章までに述べた提案手法をもとに，実際のマンションを事例に取り上げモデルを構築することを試みる．また，構築したモデルを土台としてシステムダイナミクスを用いたシミュレーションを行うことにより，手法の有効性に関する検証を行う．図 5 はシミュレーションの入力とする情報とアウトプットとして得られる情報の概略を示す．

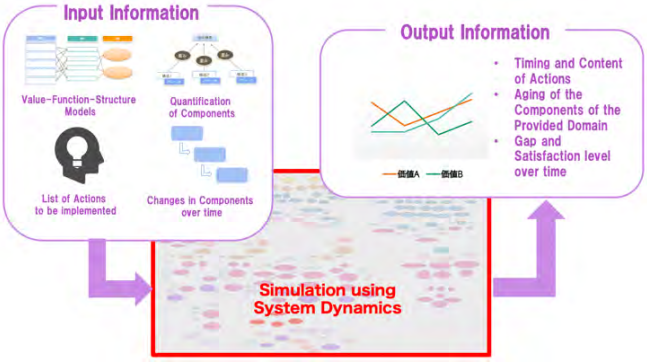


Fig.5 Input and output information for simulation

4. 1. 入力情報の整理

本節では，シミュレーションの入力となる情報を順に説明していく．尚，これらは全て実際にプランナーの助言のもとで定めた入力データである．

4. 1. 1 サンシティの概要

サンシティ[7]は，1977(昭和 52)年から 1980(昭和 55)年にかけて，三井不動産と旭化成グループによって開発分譲された日本有数の大規模団地である．東京都板橋区中台に立地しており，敷地面積約 12 万 5 千平方メートル(東京ドーム 3 個分)の広大な敷地の上に，全 14 棟，1872 戸を擁している．「都心にすまう」をコンセプトとして開発され，竣工・入居か 40 年経過した 2020 年においてなお約 4500 人の人々が暮らしており，「経年優化」を実現している物件の一つと言える．このサンシティを本研究の検証を行う対象として取り上げる．

サンシティは，分譲時から地域コミュニティ形成を意識し，ハード面・ソフト面双方において様々な取り組みがなされてきた．中でも，住民の手によって自主的に整備された豊かな植栽と，毎年実施されているお祭りをはじめとした地域イベントやマンション内での多様なクラブ活動は大きな特徴として挙げられる．2018 年に行われた住民アンケート調査でも，サンシティの環境面とコミュニティ面が高く評価され，長期居住の実現に繋がっていることが報告されている[8]．図 6 はサンシティの外観と植栽活動による変化を表す．



Fig.6 Comparison of the greenery in Sun City[7]

4.1.2 設定した価値・機能・構造モデルと対応策

入力とした価値・機能・構造モデル，及び対応策について，それぞれについて順を追っていく形で説明する．尚，各々において設定した具体的な項目名や対応関係は，図 7 に示す通りである．

(i) 価値

価値は「機能価値」「コミュニティ価値」「プライド価値」の 3 項目を設定した．尚，これらの価値はマズローの欲求階層説をベースとしながら設定している．機能価値は，5 段階の階層のうち，最も低次な欲求である生理的欲求と，そのすぐ上の階層に位置する安全欲求の充足を意味する．また，コミュニティ価値は，所属と愛の欲求である社会的欲求が充足されることを意味し，プライド価値は承認欲求の充足に該当する．

(ii) 機能

機能として，当たり前機能に該当する「安全性」「快適性」，一元的機能に該当する「利便性」，魅力機能に該当する「共同性」「役割性」「依存性」「自己承認」「他者承認」の全 8 項目を設定した．尚，機能価値に関わる機能(安全性，快適性，利便性)は，浅見[9]による住環境の 5 つの基本理念と指標をもとに検討している．加えて，コミュニティ価値に関わる機能(共同性，依存性，役割性)は，アメリカの社会学者であるマッキーヴァーのコミュニティ研究[10]を参考としている．

(iii) 構造

構造は，「専有部」「共用施設」「バリアフリー施設」「通信設備」「レクリエーション施設」「コミュニティ貢献系活動」「植栽」の 7 項目を設定した．また，それぞれの構造を評価する尺度としては，専有部・共用施設が「強度」，バリアフリー設備が「バリアフリー対応度」，通信設備が「スペック」，レクリエーション系活動・コミュニティ貢献系活動が「活動頻度」，植栽は「美観度」としている．尚，これらの構造は実際のサンシティの構造やこれまで実行されてきた取り組みをもとに，価値創出に特に関連していると思われる構造を取り上げている．

(iv) 対応策

対応策としては，「改修工事」「バリアフリー設備工事」「通信設備更新」「お祭り・イベント」「クラブ活動」「植栽管理活動」の 6 つを設定した．実行する対応策の決定手順については，3.1 節にて「当たり前機能・一元的機能に作用する対応策」と「魅力機能に作用する対応策」を区別しながら述べた．この時，「魅力機能に作用する対応策」については，実行のタイミング・実行量ともにプランナーの入力とすることを述べた．本検証にて魅力機能に作用する対応策として取り上げた 3 つの対応策（お祭り・イベント，クラブ活動，植栽管理活動）は，いずれもサンシティでは長年実施されてきたアクティビティに該当する．そこで，これら 3 つの対応策実行に要する合計コストとして毎年一定量のリソースを割くことと仮定し，そのリソースを毎年ランダムに各対応策に配分することで実行量を定める方式を取った．

4.1.3 リンクの重みと構成要素の初期パラメータ設定

続いて，モデルの定量的な把握を可能とするため，構成要素間のリンクの重みと，構成要素のパラメータ設定を行う．

(i) リンクの重みの設定

構造–提供機能間のリンクの重みをまとめた表が表 1，要求機能–価値間のリンクの重みをまとめた表が表 2 である．重みの値が大きければ大きいほど，上位要素の実現により大きく寄与していることを表している．尚，空欄は全

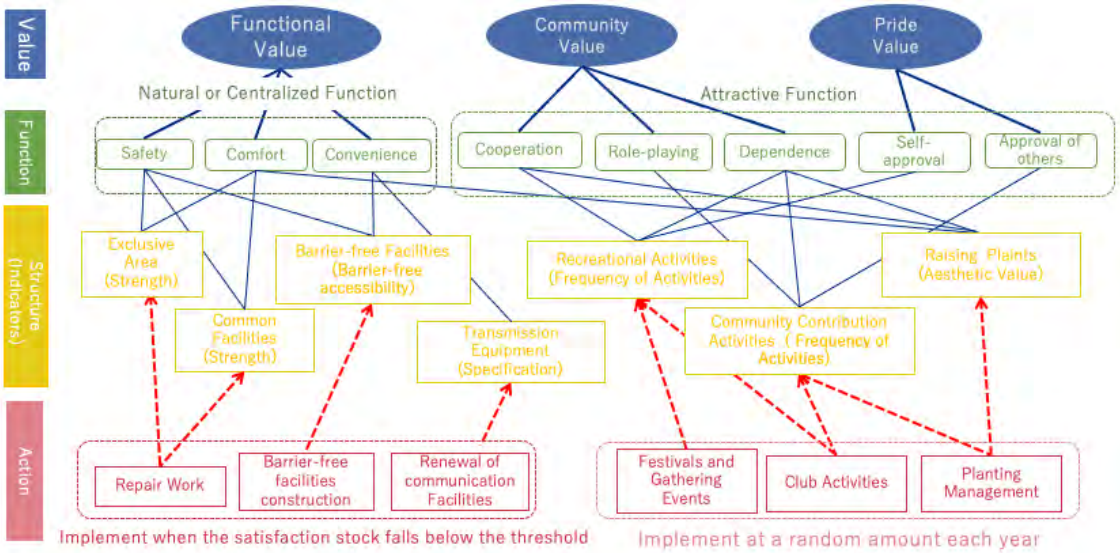


Fig.7 Summary of input information for the simulation

Table.1 Weight of the link between Structure and Provided Functions

Table 1 Weight of the link between Structure and Provided Functions

	safety	comfort	convenience	cooperation	role-playing	dependence	Self-approval	Others-approval
Exclusive Area	◎ 0.285	◎ 0.285	○ 0.166					
Common Facilities	◎ 0.285	◎ 0.285	○ 0.166	△ 0.100				
Barrier-free Facilities	◎ 0.285	○ 0.142	◎ 0.333					
Transmission Equipment			◎ 0.333					
Recreational Activities	△ 0.0714			◎ 0.400	△ 0.166	○ 0.333	◎ 0.500	△ 0.142
Community Contribution Activities	△ 0.0714			△ 0.100	◎ 0.666	○ 0.333	○ 0.250	◎ 0.571
Raising Plants		◎ 0.285		◎ 0.400	△ 0.266	○ 0.333	○ 0.250	○ 0.285

Table 2 Weight of the link between Value and Required Functions

	Functional Value	Community Value	Pride Value
Safety	0.33		
Comfort	0.33		
Convenience	0.33		
Cooperation		0.33	
Role-Playing		0.33	
Dependence		0.33	
Self-approval			0.5
Others-approval			0.5

て 0，すなわちリンクは存在していないとみなす．

(ii) 構成要素の初期パラメータ設定

構成要素は定量化するため，それぞれ構成要素を説明する尺度と一対一に紐づけられている．また無次元化のための代表値として，本検証では時間 T=0 を取り上げ，さらにその上で数値として扱い易くするため一律に 100 を乗じた．よって，どの構造も初期値は同じ 100 という値を取ることとなる．

4.1.4 構成要素の経年変化

構成要素の経年変化は，構成要素自身が持つパラメータを変化させることによってモデル内では表現する．以下に，要求側ドメイン，提供側ドメインの順に経年変化に関する情報を示す．

(i) 要求側ドメインの経年変化

本検証においては，要求側ドメインの経年変化は要求機能を変化させることによってモデル内で表現することとした．要求側ドメインの構成要素の経年変化を示したものが表 3 である．この要求ドメインの変化は，住民の中でもサンシティ竣工当初から居住しており，尚且つ当時特に大きな割合を占めていた 30～40 代の居住者を対象として想定し，その層がこれまで辿ってきたと考えられる要求の変化を数値的に表現している．要求機能の経年変化を示したものが表 3 である．

Table 3 Changes in the components of the required-side domain over time

	Aging trends
Required Safety	Certain
Required Comfort	Monotonic decrease (*1)
Required Convenience	Monotonic increase (*2)
Required Cooperation	Monotonic increase (*3)
Required Role-Playing	Monotonic increase, but start of increase delayed by several years from dependence (*3)
Required Dependence	Monotonic increase, but start of increase delayed by several years from communality (*3)
Required Self-approval	Certain
Required Others-approval	Certain

(*1) As the number of years lived in an apartment increases, the comfort level sought in an apartment tends to decrease, so it is set as a monotonous decrease.
(*2) The level of convenience is expected to increase with the progress of the times.
(*3) In general, it is thought that the desire for community increases as the number of years of residence increases, so the three functions related to community values, communality, dependence, and role, are set to gradually increase in demand. However, not all of these functions increase in the same order, and it is thought that there is a sequential relationship between communality, dependence, and role. In this study, we delayed dependence and role by a few years to reflect the order.

(ii) 提供側ドメインの経年変化

提供側ドメインの経年変化は，構造パラメータを変化させることによってモデル内で表現する．提供ドメインの構成要素の経年変化を示したものが表 4 である．

4.1.5. リソースと閾値の設定

リソースについては，モデル上ではストックとして表現した上で，毎年一定量の管理費がフローとして入ってくることと定義し，同時に毎年実行した対応策の分だけリソースを減らす操作を加えた．また上述したように，リソースのうち毎年一定量を魅力機能に作用する対応策実行に割くコストと設定した．シミュレーションにて設定したリソースと，安全性・快適性・利便性の満足度ストックに対する閾値をまとめたものが，表 5 である．

Table 4 Changes in the components of the provider-side domain over

	Initial value	Scale to capture structure	Change in structure over time (decrease percentage per year)
Exclusive area	100	strength	Structural deterioration (0.03)
Common Facilities	100	strength	Structural deterioration (0.03)
Barrier-free Facilities	100	Barrier-free accessibility	Structural degradation (0.03)
Transmission Equipment	100	Equipment Specifications	Structural deterioration (0.03)
Recreational Activities	100	Frequency of activity	frequency reduction (0.1)
Community Contribution Activities	100	Frequency of activity	frequency reduction (0.1)
Raising Plants	100	aesthetic value	Decrease in aesthetic value (0.1)

Table 5 Resource and threshold setting values

Initial value of the resource	200
Management Fee	50/year (constant)
Resources devoted to Countermeasures that affect the Attractiveness Function	50/year (constant)
threshold	5 （for Safety, Comfort, and Convenience）

4.1.6 その他モデル内で設定した主要な変数・関数

本システムは、多数の変数に対して，特定の数値や関数を割り振ることによってプログラムを組んでいる．モデル内で設定した変数及び関数の主要なものを表 6 に示す．

4.2. 有効性の検証

4.1 項にて設定した入力情報を元に，本項では実際にシステムダイナミクスモデルを提案手法に沿って構築し，シミュレーションを行った結果について述べる．尚，システムダイナミクスモデルは，モデリング及びシミュレーションソフトである InsightMaker[11]を使用した．

4.2.1 過去を再現したシミュレーション

本シミュレーションの目的は，サンシティを題材として取り上げ，全棟が竣工した 1980 年から現在までの 40 年間をモデル上で表現することを通じて，本研究にて考案したモデル表現や経年優化のメカニズムの有効性を検証することである．尚，本シミュレーションの目指すところは現実世界を 100%模倣するのではなく，結果を通じて有益な情報を得ることであるため，シミュレーション内で実行された対応策のタイミングや実行量については，シミュレーション内で得られる結果であり，これまで現実にサンシティで行われてきた対応策と完全に一致するものではないことを付記しておく．また，本検証はプランナーの立ち会いのもとで行った．

4.2.2 シミュレーションによって得られた結果

(i) 実行した対応策

まず，当たり前機能・一元的機能に作用する対応策は表 7 に示すタイミング並びに実行量で実行された．また，

Table 6 List of main variables and functions set in the model

Variable name	Set function	
Functions Provided	SUM ([structural parameters]*[link weights])	
functional gap	[Provided Functions] - [Required Functions].	

(degree of) satisfaction	natural function	If [function gap]<0 Then
		-1 + exp(0.05*[function Gap])
		Else
		0
		End If

	centralized function	If [function gap]<0 Then
		-1 + exp(0.05*[Function Gap])
		Else
		1 - exp(-0.05*[function gap])
		End If

	Attractive Features	If [function gap]<0 Then
		0
		Else
		1 - exp(-0.05*[function gap])
		End If

Resources	inflow	[Administrative fee per year]
	outflow	SUM([Amount of Actions implemented]*[Cost of implementation per unit])

Table 7 Information about Actions implemented during the simulation

Time	Action	Amount of Actions implemented
T=11	Renewal of communication facilities	70
T=17	Repair work	20
T=19	Renewal of communication facilities	10
T=25	Repair work	20
T=26	Renewal of communication facilities	5
T=32	Barrier-free facility construction	14.84
T=33	Renewal of communication facilities	17.19
T=38	Barrier-free facility construction	15.34

魅力機能に作用する対応策については，4.1.2 節で述べたように，毎年ランダムにリソースをあらかじめ割り振る形で実行量を決定している．

(ii) ギャップの経年変化

ギャップの変化の実行結果を表 8 に示す．尚，ギャップは「提供機能パラメータ−要求機能パラメータ」で定義しているため，値が小さいほど負のギャップが大きいことに該当し，逆に値が増加していくほど負のギャップが解消されていくことを意味する．グラフから，機能価値に関わる機能である安全性・快適性・利便性については，対応策を実行することにより負のギャップが改善されている様子を顕著に見ることができる．一方で，対応策実行直後も完全にギャップを 0 にすることができていないケースも多々見られるのは，構造パラメータをコンスタントに減少させていることにより提供機能も低下していることに加え，リソースの制約により十分な対応策を実行できない場合があるからであると解釈できる．

(iii) 価値の経年変化

図 9 にマンションが実現する価値の経年変化のグラフを示す．これらは，マンションの各提供機能パラメータに機能−価値間の重みを掛け合わせた線形和によって導出したものであり，その時点においてマンションが実現している価値として捉えることができる．

機能価値は対応策実行による改善が見られるものの，長期的スパンで見ると徐々に減少している．一方で，コミュニティ価値・プライド価値については増加していく傾向が見られる．すなわち機能価値はハード面の構造そのものに大きく関わっているため，対応策を実行することによって大幅な構造劣化を食い止めることはできるものの，完全な現状維持を目指すことは難しい．一方，コミュニティ価値・プライド価値を時間と共に高めていくことによって，機能価値の避けられない損失分を補完し，総合的な価値が保たれている状態であると言える．この状態は実態と比較

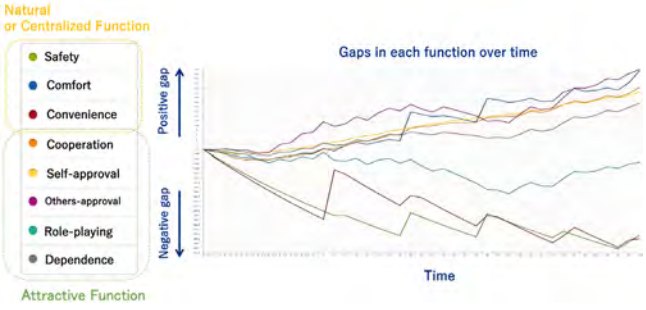


Fig.8 Change in Gaps over time

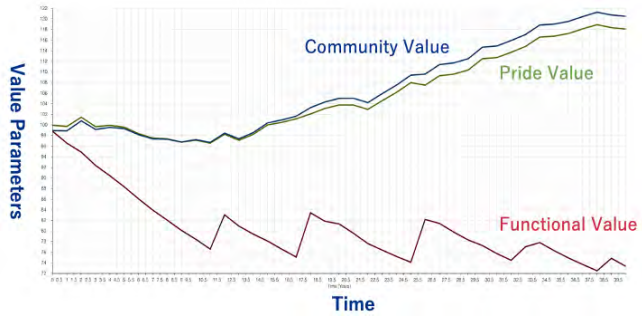


Fig.9 Change in Value parameters over time

して大きな矛盾がなく，プランナーが思い描く経年優化の実際の感覚にも概ね合致することが確認された．

4. 2. 3 本モデルを用いた将来予測

4.2.2 項のシミュレーションでは，過去 40 年間のサンシティを再現することを目的としていた．そこで，本モデルを通じたシミュレーションが，過去の再現のみならず，将来を予測の手助けとなり得るかどうかを，特定のシナリオを想定することで検証していく（尚，本節で新たに実施するシミュレーションを「将来予測モデル」，前節までのシミュレーションを「基本モデル」とする）．この時，その価値変化の動的挙動が妥当なものである否かを直接検証することは難しいものの，4.2.2 項までの検証の中で過去の再現性はある程度認められていることを踏まえ，将来予測シミュレーションを通じて何らかの有益な情報を得ることを目指す．

表 8 は予想される将来変化を 2 つの要因に分け整理した表である．また，要求利便性・要求依存性の経年変化も同表に示した．これらの入力情報のもとで，シミュレーションを実施し，サンシティが発揮する 3 つの価値の経年変化を表したグラフが図 10 の上グラフである．グラフにも示されているように，このままでは現在のコミュニティの担い手が減少し続けるため，コミュニティを維持することが困難となる．それに伴い，機能価値そのものは基本モデルと同じような逓減具合を見せているものの，コミュニティ

Table.8 Changes assumed in the scenarios used for the future projections and changes in input information

	Anticipated future changes
primary factor 1	Increase in time spent at home and around home in the after-corona period
primary factor 2	Increasing dependency and decline of local community due to aging population (Because community activities in Sun City are currently skewed towards the elderly population)
	Changes in input information
primary factor 1	Increased comfort requirements of residents (starting at 110 and increasing by 5% per year thereafter)
primary factor 2	Decrease in community activities, i.e., increase the rate of frequency decrease for recreational and community contribution activities (increased from 0.1 to 0.2) Increase in demand dependency...because the desire to depend on each other is expected to increase as the population ages (increase by 5% per year)

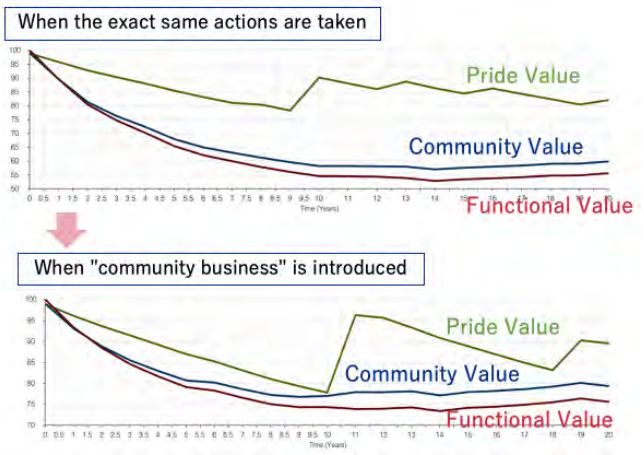


Fig.10 Comparison of changes in value over time in future projections

価値・プライド価値については，マンション内コミュニティに大きく左右されるために大幅に減少していく様子が読み取れる．

ここで，基本モデルにて取り上げていた対応策に加え，新たな対応策を一つ導入することで，将来予測モデルにおける価値の経年変化を改善することを試みる．ここでは，新たな対応策として「コミュニティビジネス」を取り上げた．これは，サンシティにおいて長年の課題とされているサンゼリゼ商店街を活性化させる目的でのビジネスを想定している．また，コミュニティビジネスは，お祭り・イベントやサークル・クラブ活動と同様に，毎年ランダムな実行量を定め実行する対応策として位置付けている．コミュニティビジネスを対応策として導入した場合の，3 つの価値の経年変化が図 10 の下グラフである．上のグラフと比較すると，コミュニティ価値・プライド価値が相対的に成長している様子が見られ，減少をある程度抑えることに繋がっている．

以上のように，本提案手法にて整理した構成要素の経年変化のメカニズムを適用することで，過去の再現のみならず，価値変化の将来予測の手助けとなるシミュレーションをも可能になると考えられる．また，得られる結果を様々に分析することで，将来に向けて取り組むべきアクションを検討したり，あるいは価値の維持を妨げているボトルネックを発見し，マンションの運営における課題を先回りして対応したりすることにも繋がり得ることが示唆されている．このことから，本提案手法は一定の有効性を有していると考えられる．

5. 結論と将来展望

以上に行ってきた議論から，本研究があげた成果を以下のものとする．

- 分譲マンションの構成要素を整理し，居住者が要求する機能と実際のマンションが提供する機能との差分を観察することが可能なモデルを作成した．
- 構築したモデルをもとに，差分を起点とした対応策実行により，時間が経過しても居住者に提供する価値が維持されるというメカニズムを体系化した．

・　提案手法に沿ってシステムダイナミクスモデルを構築し，結果を検証することで，その有効性を検証した．

一方で，本研究に残された課題としては，以下のような点が挙げられる．構成要素の定量化手法や対応策実行の波及効果の記述が簡易的であることや，システムとして捉えている範囲が限定的であることが挙げられる．これらの課題を解決することで研究を更に発展させ，有用性を更に高めた上で，実用社会に生かしていくことが期待される．

文　献

(1) 隅田孝：日本の成熟社会と消費に関する研究～消費のプロセスを消費する消費者行動～，四天王寺大学紀要，Vol.68, 2019.

(2) 佐藤浩一郎，松岡由幸：タイムアクシス・デザインの具現化に向けた価値成長デザインモデルの提案，横幹，Vol.6, No.1, 21-26, 2012.

(3) 延岡健太郎：意味的価値の創造：コモディティ化を回避するものづくり，国民経済雑誌，Vol.194, No.6, 1-14, 2006.

(4) Yamada, S., Miyajima, S., Yamada, T., Bracke, S. and Inoue, M.: Decision Support Method for Upgrade Cycle Planning and Product Architecture Design of an Upgradable Product, International Journal of Automation Technology, Vol. 14, No. 6, 919-929, 2020.

(5) 狩野紀昭，瀬楽信彦，高橋文夫，辻新一：魅力的品質と当たり前品質，品質，Vol.14, No.2, 147-156, 1984.

(6) 吉村陽平，新井民夫，下村芳樹，原辰徳：サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築（第 28 報）―プロスペクト理論に基づいた受給者視点のサービス評価―，2006 年度精密工学会秋季大会，91-92, 2006.

(7) サンシティ太陽と緑と笑顔の街：https://www.suncity.jp（参照日 2021 年 6 月 12 日）

(8) 定行まり子研究室：サンシティにおける居住者間コミュニティに関する研究ー長期居住を可能とする要素についてー報告書, 日本女子大学家政学部住居学科，2020.

(9) 浅見泰司：住環境 評価方法と理論，東京大学出版会，2001.

(10) R.M.マッキーヴァー，C.H.ページ著，若林敬子，武内清訳：コミュニティと地域社会感情(“Society” An Introductory Analysis.1949,8-11 頁,291-296 頁より訳出)，現代のエスプリ，No.68, 至文堂，1973.

(11) InsightMaker: https://insightmaker.com（参照日 2021 年 6 月 13 日）

ソーラービークルのバイオミメティクス設計

Biomimetics Design of Solar Vehicle

○松田　直大　　濱根　洋人（工学院大学）

Naoharu Matsuda, Hiroto Hamane,
Kogakuin University, 2665-1 Nakano-machi Hachioji-shi Tokyo 192-0015, JAPAN, hamane@cc.kogakuin.ac.jp

キーワード：Biomimetics，Nature morphing，ソーラービークル

1. 緒　　言

生物模倣（Biomimetics)や自然模倣（Nature morphing）は，自然界がデザインした意匠を人間がデザインする人工物に組み合わせる新しい取り組みと考えている．図 1,2 の 2017 年ソーラーカー世界大会[(1)~(4)]に出場した車両は，ロアーボデーと太陽電池を施工する“羽”が分離している構造を特長とし，車名を Wing（羽）と名付けた．羽の末端厚みはわずか 3mm で極薄の羽で，見えない空気の流れを 3D 形状にして，羽自身の空気抵抗を可能な限り最小化する斬新なアイデアである．極薄の羽がボデーから浮いている構造は異端と言われ，ロアーボデーが発生する空気の流れ（流線）をつないだ面で羽を形成した．自然界の美しい 3D 曲線に人工物である太陽電池を施工することで自然界と人工物の融合，そして性能の追求を求めた設計思想・意匠である．あわせて，自然模倣を実現するためには，工学的な設計（剛性/強度，振動）が必要で，工学的な検証からも，自然模倣によるデザインを具現化した．これらについて報告する．

2. 太陽電池を疑似的に消す

自然模倣をデザインに取り入れた経緯を述べる．ソーラーカーは太陽電池を動力源とし，約 1000W の太陽電池を搭載して，エネルギーマネジメント戦略[(5),(6)]により競われる．効率 25%のシリコン単結晶太陽電池の総面積は 4 平米となる．4 平米の設置面積を確保すれば，おのずと車両の意匠デザインは限定され，車自体のサイズも大きくなる．そこで，太陽電池を疑似的に無くす，消すことはできないのか？という斬新なアイデアに着手した．図 3 のように，太陽電池を消すことができれば，雨粒型のロアーボデーのみになり，理想的な空力性能をもつ車体のみとなる．これを実現するために，図 4 を考えた．

1) ロアーボデー単体で発生する空気の流れ（流線）を求める
2) ロアーボデーから離れた位置での空気の流れに沿って結んだ面をつくる．その面に太陽電池を施工する．
3) 極薄の面とすることで前方投影面積を限りなく小さくして面の空気抵抗を極限に減らす

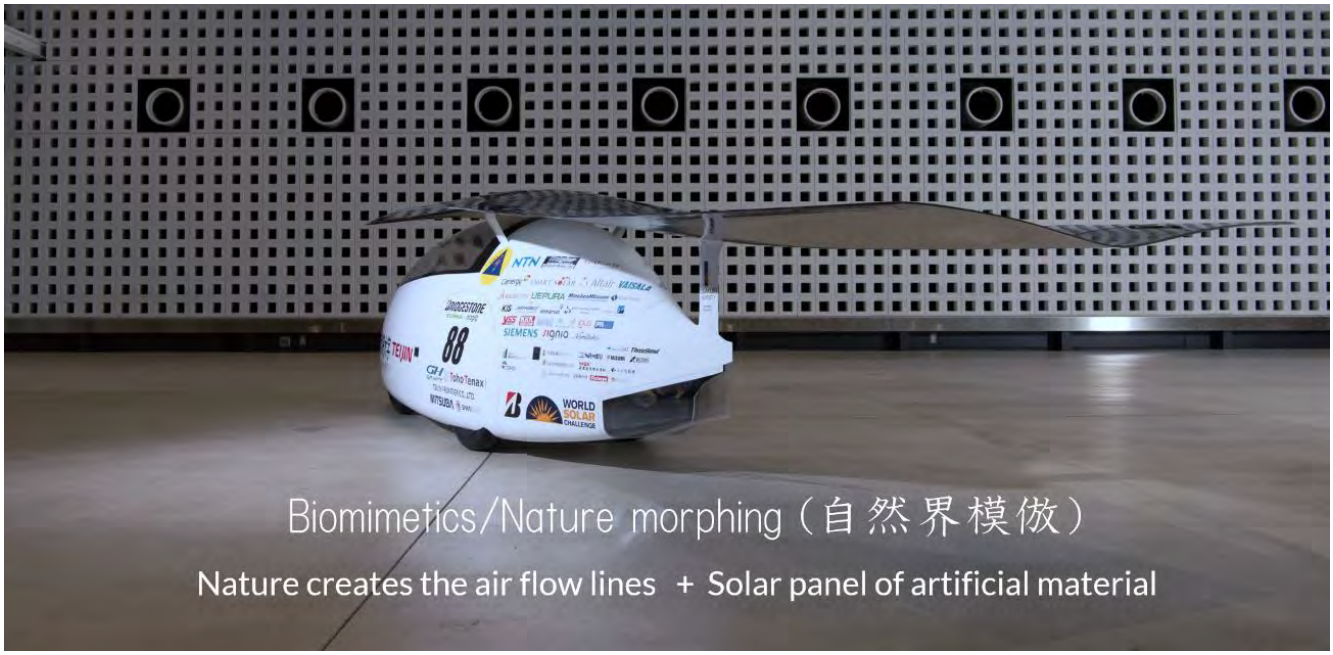


Fig.1　自然界模倣により設計された車両（背面）



Fig.2　自然界模倣により設計された車両（前方）

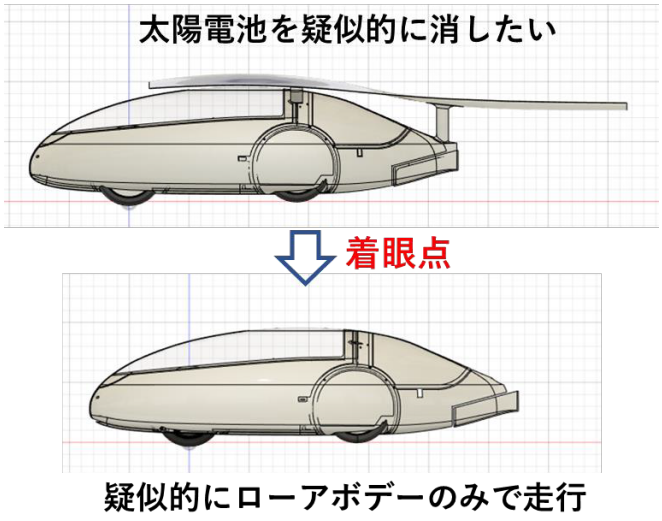


Fig.3　太陽電池を消すというアイデア

すなわち，ロアーボデーから浮かせた空気の流れに沿った極薄の 3D 曲面により，一定の巡航スピード時に，空力性能で図 5 の太陽電池面を消滅させようというアイデアである．実際は表面積に起因する粘性抵抗をゼロにすることはできないが，太陽電池面の空気抵抗を極力減らすことができる．

空気は見えない存在であり，意匠に空気を見えるデザインとした．見えない自然界の美しい 3D 形状をボデーの一部としてみることができる．図 6 の 2 D 平面とした場合の風洞試験では，2D 平面の末端を流線が乗り越えるときに渦が発生する．提案の 3 D 曲面では渦は発生せずに空気抵抗の削減ができ，走行消費を下げることができる．あわせて，自然界の形状に，人工物である太陽電池を設置するという，自然界との融合を取り入れることができた．

3.　自然模倣デザインの具現化

自然模倣を実現するためには，工学的な設計（剛性/強度，振動）が必要である．これらの具現化について述べる．

3. 1.　極薄の羽根

第 2 章のコンセプトは挙げられたものの，最高速度 130 ㎞/h にて複合材料や空気力学の専門家から，実現は難しい

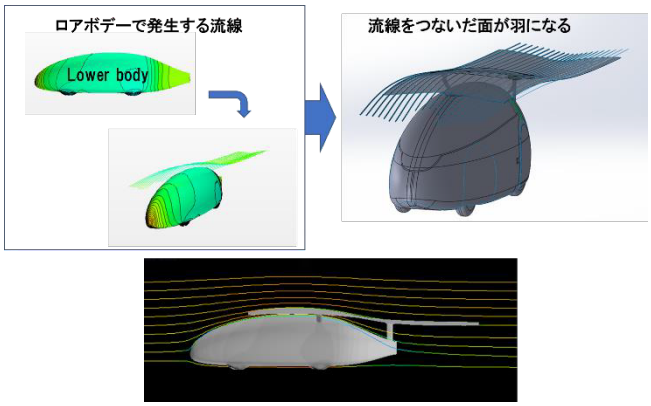


Fig.4　自然模倣によるデザイン

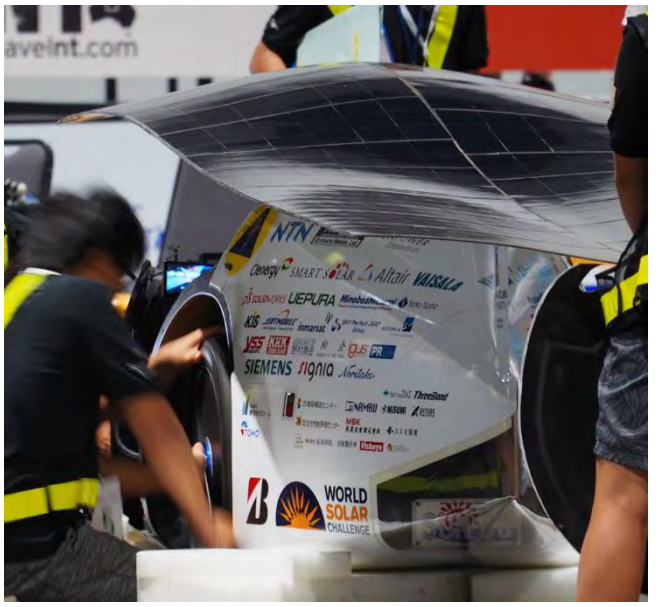


Fig.5　自然界の形状に太陽電池を設置

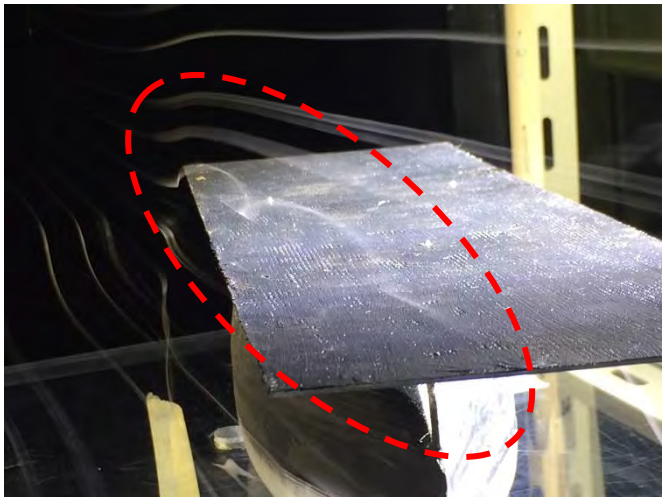
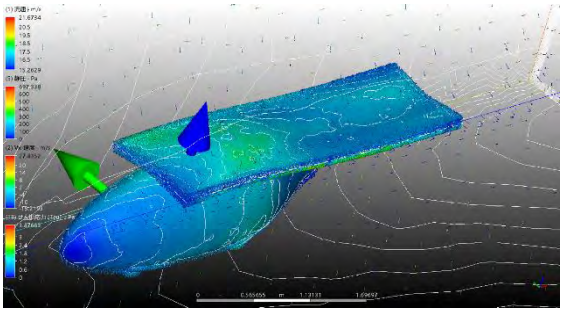


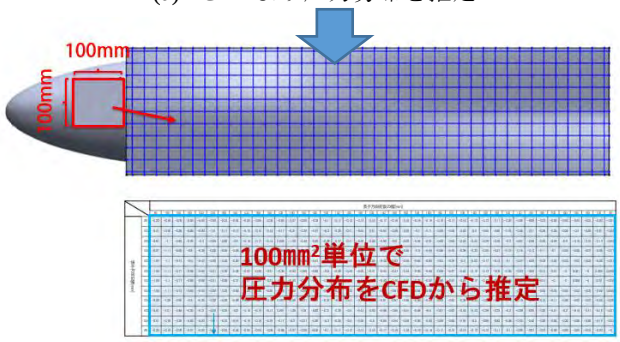
Fig.6　風洞試験（2D 平面の場合は渦が発生）

という意見を頂いた．

1)　末端 3 ㎜という極薄では剛性が確保できない
2)　フラッター現象（曲げと捩れによる弾性振動と空気力が連成して生じる自励振動の不安定現象）が生じて，すぐに極薄面は破壊する
3)　3 D 曲面に太陽電池を張れない



(a)　CFD より圧力分布を推定



(b)　100 ㎜ ² 単位に変換して剛性解析・積層計画に利用

Fig.7　CFD より走行中の圧力分布を推定

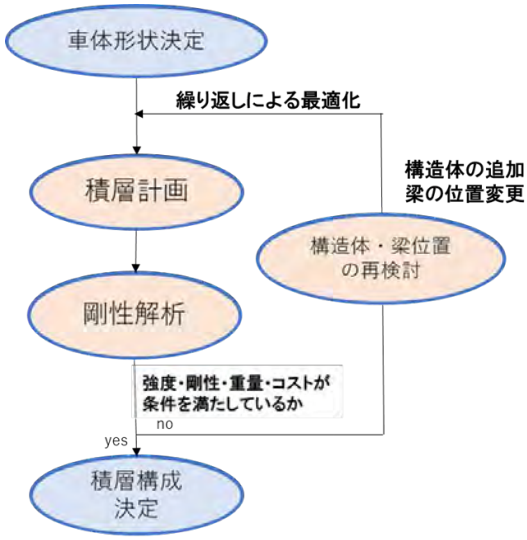


Fig.8　強度/剛性・重量・コストを条件に
UD 材の梁位置を決定

4)　極薄面に太陽電池の配線を仕込めない

そこで下記に示す設計によりこれらの問題を解決した．

3.1.1.　**構造設計**　　自然界模倣は空気の流れを採用したことから，極薄面の構造設計に Computational Fluid Dynamics（CFD）を利用する新しい試みを行った．一方向のみ繊維を揃えた炭素繊維 Uni-Direction (UD)[7]を梁として埋め込み，極薄面に対して強度/弾性の方向性を設計したい．そこで，図 7 の CFD で得られた最高速度 130km/h での圧力分布を 100mm² 単位に分解して，図 8 の工程で，UD 材の梁位置を強度/剛性・重量・コストを制約条件にして最適化した．極薄面の 3D 曲面は，上下分割して，NC フライスで内部のアルミハニカム自身を直接切削する方法を採用した．切削後に 2 つを接着した．剛性解析は梁に高弾性 UD を

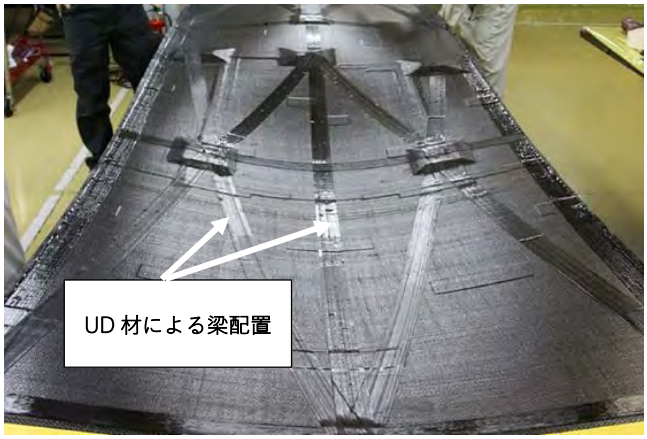


Fig.9　UD 材を梁として積層

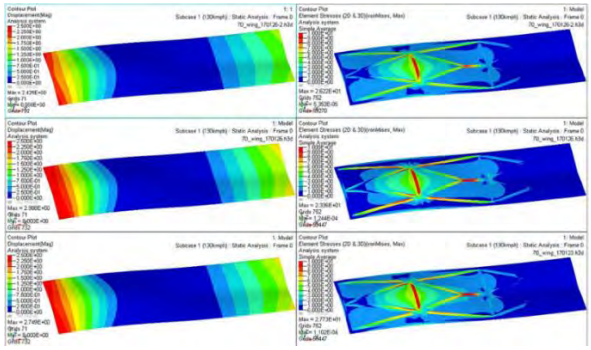


Fig.10　当初の UD 梁位置

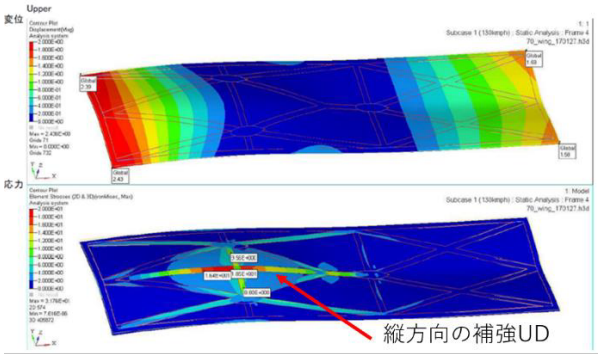


Fig.11　縦方向 UD 梁を設けた場合

1ply と 2ply したもの，梁位置の違いで数パターンのモデルを作成した．極薄面の変形量と応力集中の箇所を確認した．最大変形量は 3mm 以内，最大応力は 20~30MPa の範囲内という良好な結果が得られた．速度 130km/h で走行したときに，加わる力は羽を破壊するほどのものではない．しかし，高速域で極薄面の振動を抑えるための変形をどれだけ抑えられるかを再検討した．図 10 の解析結果では極薄面を支える左右ステーの間に応力が集中している．風を受けた羽が下方向に垂れようとすると，ステーを支点に変形する．補強は斜めと短手方向にしか配置しておらず、長手方向を支える補強がない．これらより，積層数を増やすよりも応力集中の箇所に補強の梁を入れて，エネルギー分散を狙った方が効果的に変形を抑えることができると考えた．車両中央の長手方向に補強を入れて再び解析した結果を図 11 に示す．中央に追加した高弾性 UD 材の補強が効果を発

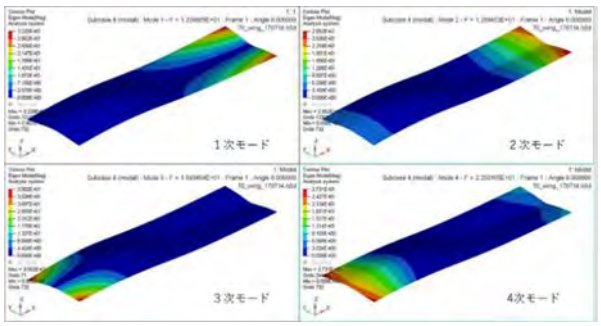


Fig.12　周波数応答

表 1:積層計画(最適化後)

種類	配置	ply	厚さ[mm]
CFRP_1K		1	0.07
UD_中弾性		5	1.25
UD_高弾性		1	0.29
CFRP_1K		1	0.07
UD_中弾性		5	0.25
CFRP_3K		1	0.22
UD_中弾性		5	0.25

揮して変形を支えていることが分かる．極薄面の重量は 14.6kg で補強の UD 材を 2ply したパターンよりも約 1kg を軽量化できた．軽量でありながら最も引張応力がかかっている部分で応力が約 1.9MPa、変位は最大で 2.43mm を達成した．

3.1.1.　**構造設計**　　自然界のフラッター現象は，曲げと捩れによる弾性振動と空気力が連成して生じる自励振動の不安定現象である．走行中の弾性振動は低速時には空気力で減衰されるが，高速域に空気力が羽の振動を助長して振幅が増大発散し､最終的に発散して破壊される懸念がある．周波数応答（固有値解析）を行い，フラッター現象の発生有無を調べた．1 次モード : 羽後端のねじり : 12.38Hz，2 次モード : 羽後端の縦曲げ : 12.89Hz，3 次モード : 羽前端のねじり : 18.83Hz，4 次モード : 羽前端の縦曲げ : 22.50Hz となった．1 次モードと 2 次モードは近いが車両のバウンドする周波数[8]よりも高く，問題ないと判断した.また、3 次モードと 4 次モードは同時には起こらないことがわかり逆位相による不安定な発散は生じないと考えた．実際に走行して，解析結果とほぼ同様な結果が得られた．

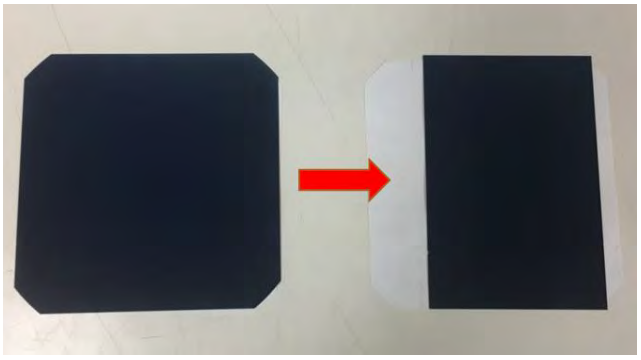


Fig.13　太陽電池のレーザーカット

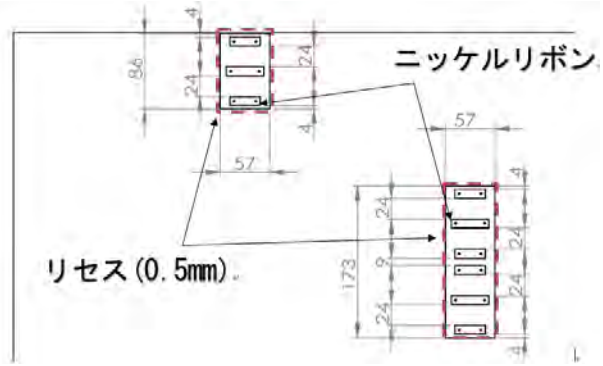


Fig.14　ニッケルリボンを半田してモジュール接続

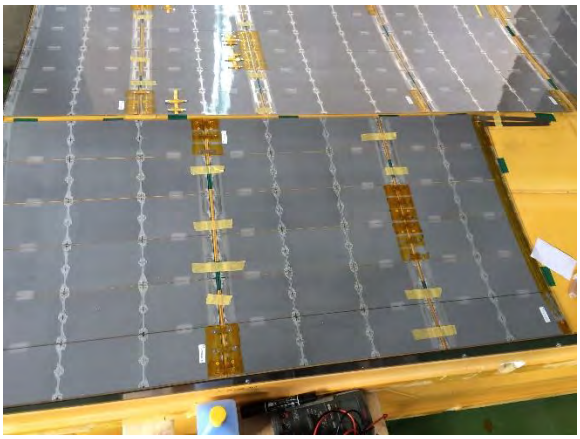


Fig.15　3D 形状のため型を使いニッケルリボン長さを調整

3.2.　**太陽電池の実装**

極薄面に太陽電池を施工することは，いくつかの困難があり工夫が必要となった．これらを述べる．

3.2.1.　**レーザーカット**　　太陽電池セルはシリコン製で 3D 曲面に湾曲できず割れてしまう．セルは EVA フィルム（接着材）で外側を PET 材で包まれるようモジュールを製作する．3D に湾曲できるように図 13 のセルを 86mm×125mm にレーザーカットした. いくつかのカット幅を検討して発電に影響がなく, 3D 曲面に湾曲できる寸法にした．

3.2.2.　**ニッケルリボン配線**　　極薄面は宙に浮いている状態であり，極薄のため太陽電池の配線にケーブルを使用できない. ケーブル径を仕込むスペースがないためである．そこで，図 14 のようにモジュールどうしを 0.5 ㎜厚のニッケルリボンで半田付けした．しかし，それぞれのニッケルリボンの長さを異なるようにしなくては，3D 曲面に合

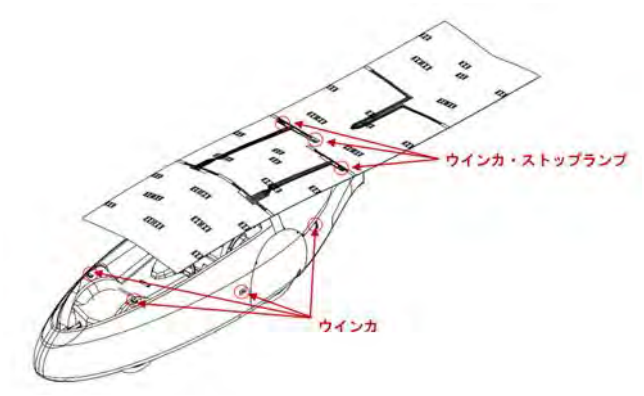


Fig.16　配線用リセス（極薄面に配線用くぼみ）



Fig.17　配線用リセス（絶縁用カプトンテープの箇所）

わせることができない．図 15 のようにボデー成形時に使用した型を使い，型上に太陽電池モジュールを 3D 配置したうえで，適切なニッケルリボンの長さを調整しつつ，半田づけを行った．

3.2.3. 配線用リセス　極薄面は末端が約 3mm である．0.5 ㎜厚のニッケルリボンは太陽パネルに凹凸を生じさせる．図 16 のようにニッケルリボンで配線する箇所にリセスを設けて，埋め込むようにした．リセス箇所には絶縁のため，カプトンテープを施工した．

3.2.4. ロアーボデーへの配線　極薄面の太陽電池モジュールからロアーボデーへ配線を落とす必要がある．極薄面は 3 つのステーにより支えられている．ステー内部を空洞化させて，太陽電池ハーネスをステー内部に通過させた．

3.2.5. 輻射反射シート　シリコン太陽電池は温度により発電力が劣化する．極薄面は宙に浮いているため，走行中は極薄面の裏から空冷される．さらなる冷却効率を高めるため，図 18 の極薄面の上に道路からの輻射熱を遮るためのシートを施工した．

4. 結　　言

自然模倣を利用したソーラービークルの設計について述べた．太陽電池を施工する面を自然界の空気流れを模倣した 3D 曲面にして，車両の性能向上と自然界との融合を図った．実際に車両を製作して，工学的に困難な点を解決した．近年，3D-CAD,CAM などの設計ツール，5 軸複合機など

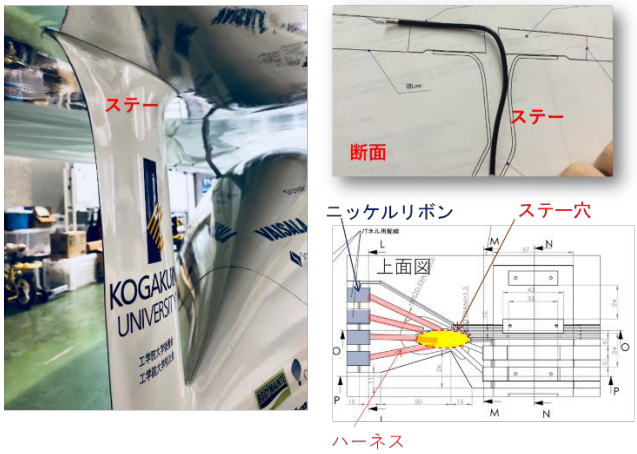


Fig.18　ステー内部を通過させた配線



Fig.18　道路からの輻射熱反射シート

の工作機の発展に伴い，従来よりも複雑な 3D 形状を表現できる．一方，今回の設計・製作は，極薄の面という非常に特殊な制約があり，機械系と電気系ともに多数の工夫が必要となった．生物模倣や自然模倣を実現するには多大な工夫が必要となるが，従来に考え付かない製造手法の開発につながると考えられる．本車両はオーストラリアで開催された世界大会で 7 位，国内大会で総合優勝を収めることができた．引き続き，生物模倣や自然模倣を取り入れた開発をしていきたい．

文　献

(1) Bridgestone World Solar Challenge オフィシャルサイト, https://www.worldsolarchallenge.org/ 10, June. 2021

(2) R.Kyle, Racing with the Sun: The 1990 World Solar Challenge. Society of Automotive Engineers. 1991.

(3) D. Roche, E.Antony, T. Schinckel, J. Storey, C. Humphris, M. Guelden, Speed of Light: The 1996 World Solar Challenge. Intl Specialized Book Services. 1998.

(4) J.Storey, A.Schinckel, C.Kyle, Solar Racing Cars World Solar Challenge. Australian Government Pub. Ser. 1994.

(5) E.Betancur, et.al, Heuristic Optimization for the Energy Management and Race Strategy of a Solar Car, Sustainability, 9(10), 1576, (2017).

(6) E.Yesil, et.al, Strategy Optimization of a Solar Car for a Long distance Race using Big Bang Big Crunch Optimization, 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp.521, (2010)

(7) S.Tamura.: Teijin's advanced carbon fiber technology used to build a car for the World Solar Challenge, Reinforced Plastics, 60, 3 (2016), 160.

(8) Y. Hayakawa, S. Aihara, T.Abe, H.Hamane, A. Nakamura., Design of Pneumatic Controlled Hybrid Suspension by Using Nonlinear Series Springs for Solar Powered Vehicle, The 5th International Conference on Design Engineering and Science (ICDES2020), 7pages, B44, 2020.

付　録

付録 表 1:車両諸元

車名	Wing
搭乗者数	1 名
サイズ	L4990×W1050×H1067mm
フレーム	ハニカムサンドイッチ構造
ホイール	CFRP 16inch ホイール
タイヤ	Bridgestone Ecopia with ologic 95/80R16
ブレーキ	4 輪 : 油圧ディスク サイド : 油圧ディスク
サスペンション	Fr:マルチリンク,プルロッド,ナッハラウフ Rr:マルチリンク,リジット式
操舵	4WS システム（油圧駆動）
太陽電池	Sunpower E60 をレーザーカット 効率 Up to 24.3%, 4 平米
バッテリ	Li-Po, 20kg
モータ	DC ブラシレス DD モータ, 可変界磁、アモルファスコア, 平角線, オートクルージング機能付き
MPPT	昇降圧型 MPPT

製品の機能・性能の探求を促す内発的動機付けの数理モデリング

Mathematical Modeling of Intrinsic Motivation Promoting Exploration for Function of Products

○張　晋赫（東京大学　大学院工学系研究科 機械工学専攻　設計工学研究室）*1
柳澤　秀吉（東京大学　大学院工学系研究科　機械工学専攻　設計工学研究室）*2

*1 Jinhyuk Chang, Design Engineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo Ku, Tokyo To, 113-8656, Japan, chang30682@mail.design.t.u-tokyo.ac.jp
*2 Hideyoshi Yanagisawa, Design Engineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo Ku, Tokyo To, 113-8656, Japan, hide@ mail.design.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード:Modeling, Motivation, Exploration, AI, Reversal theory

1. 緒　　言

我々は新しい製品を手にしたときに，どのような過程を経てその製品を長期的に使用するに至るのであろうか．Krippendorff は，製品が知覚され繰り返し使用されるまでには，知覚，探究，信頼の３つの段階が存在するとしている(1)．最初に製品を知覚する．知覚した後に，今度はその製品に何ができるのか，どのような製品なのか探究する．その探究の末に信頼に至った製品をユーザは使用する，と提唱した．

AIエージェントを搭載したクラウド接続型の製品においては，時間とともに機能，サービスが拡張される．この様な製品においては，時間と共にアップデートされる機能や性能に対して，使用者に継続的な探索を促すことが求められる．そこで，本研究では，継続的な探索を促進させる動機付けに着目した．

探索の動機付けは，未知の目的を探求するための動機付けである．古典的な動機付けの分類として，Ryan& Deciは，特定の目的のために行動する動機付けをExtrinsic motivation，ある目的のためではなく潜在的な満足を得るために行動する動機付けをIntrinsic motivationとした(2)．この，目的の有無による動機付けの分類について，Apterは２つの心理状態，すなわち，目的志向のTelic modeと行動志向のParatelic modeを想定し，状況によって２つの心理状態が切り替わる（反転する）反転理論（Reversal theory）を提唱した(3)． Paratelic modeでは，目的を探索するように行動する．本研究では，ユーザをParatelic modeへ導くことで，探索を促進できるのではないかと考えた．反転理論は定性的なモデルであり，製品設計に応用可能な数理モデルは見当たらない．また，製品使用におけるParatelic modeへの反転の条件も明らかになっていない．

そこで，本研究では，ユーザに探索的な行動の動機付けをもたらす製品設計の実現を目的とする．本研究の目的を実現するための第一歩として，反転理論の Paratelic mode を，そのメカニズムから数理的に説明するモデルを提案する．モデル予測から得られる知見を AI エージェント搭載型製品における対話インタフェースに適用し，有効性を検証する．

2. 最適覚醒水準と反転理論を統合した動機付けの数理モデル

2.1. 最適覚醒水準と反転理論の対応

Berlyne の覚醒ポテンシャル説では、横軸を新奇性や複雑さなどから得る覚醒の度合い（覚醒度，Arousal），縦軸を快感情の度合い（感情価, Valence）としたときに，逆 U 字のヴント曲線（Wundt 曲線）を成すとしている(4)．図 1 に示すように，覚醒度が低いところでは快でも不快でもない無感情，覚醒度が高すぎる部分は不快感を抱き，その間に感情価を最大にする最適覚醒水準（Optimal arousal level）が存在することが分かる．

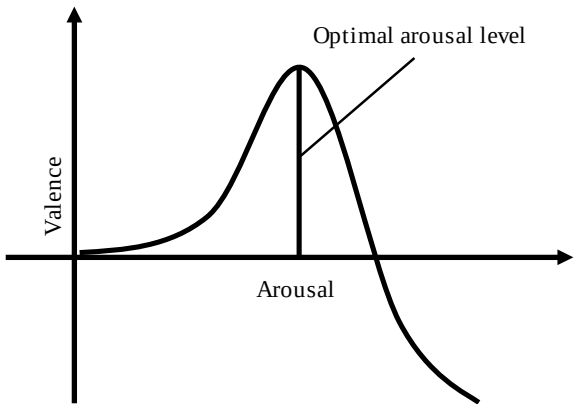


Fig.1　The optimal arousal level in arousal potential theory

Apter の反転理論において，Telic mode（目的志向）では覚醒度が低いと安心，覚醒度が高くなると興奮を感じる．Paratelic mode（行動志向）では覚醒度が低いと飽き，覚醒度が高くなると興奮を覚えるとしている(3)．
図 2 のように, Telic mode では覚醒度と感情価は反比例し，Paratelic mode では比例する．そして状況に応じて二つの曲

線を行き来し，二つの心理状態が反転する．

本研究では, Berlyne の逆 U 字曲線の短調に増加する部分が Apter の Paratelic mode，単調に減少する部分が Apter の Telic mode に対応すると考えた．しかし，一本の逆 U 字曲線の覚醒度が低い部分が Paratelic mode，高い部分が Telic mode であるとする考えは Apter の理論とは異なる．Apter は同じ覚醒度でも，覚醒度が低いところでは安心と飽き，覚醒度が高いところでは不安と興奮という，違う心理状態が存在するとしている．そこで，Berlyne の最適覚醒水準が状況によって図 2 の横軸方向にシフトすると考える．すると図 3 の緑枠で囲まれている部分で，同じ覚醒度でも Telic または Paratelic 両方の状態になりうることが示され，両理論を統一的に説明できることがわかる．本研究ではこの統一モデルを，数理的な解析に基づいて検証する．

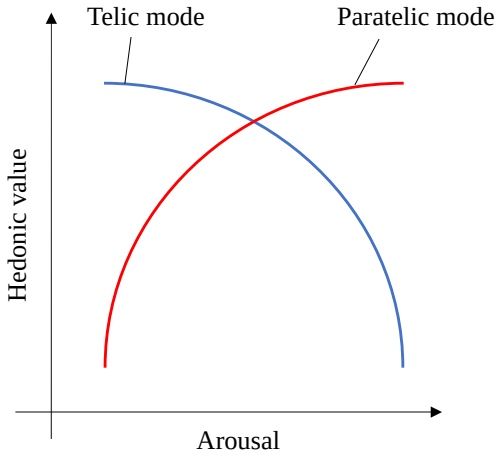


Fig.2　Telic mode and Paratelic mode in reversal theory

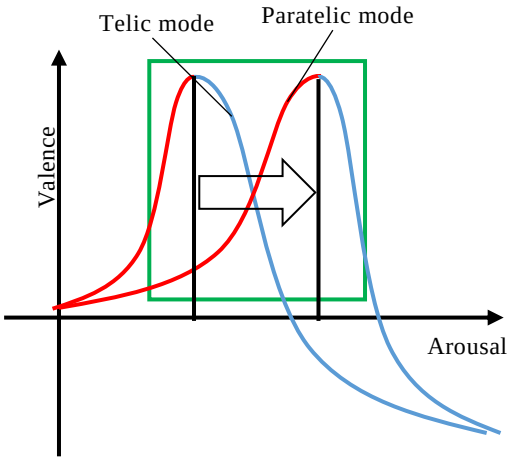


Fig.3　The proposed unified model of the optimal arousal level and reversal level

2. 2.　覚醒度に対応する情報利得モデル

Yanagisawa は，ベイズの定理にもとづく知覚モデルを提唱し，実験検証した[5]．さらに，Yanagisawa らは，感情の覚醒度（驚き）が，事象の経験後に獲得する情報量を意味する情報利得（KL 情報量; Kullback–Leibler divergence)[6]を用いて表せることを示した[7]．ベイズモデルの事前分布(Prior)と事後分布(Posterior)に正規分布を仮定すると，それらの間の情報利得 G は式(1)に示す関数で表せる．

$$G = KL(Posterior||Prior)$$
$$= \frac{1}{2}\left(\frac{s_p}{(s_p+s_l)^2}\delta^2 + \log\frac{s_p+s_l}{s_l} - \frac{s_p}{s_p+s_l}\right) \quad (1)$$

ここで，δは事前分布と尤度関数の期待値の差であり，事前の予測と実際の刺激とのずれを表し，これを予測誤差（Prediction-error）と呼ぶ．s_pは期待の不確かさ，予測の立ちにくさを表し，不確実性（Uncertainty）と呼ぶ．s_lはデータのばらつき，つまり感覚刺激に混入する外乱（Noise）である．(1)式より，情報利得はδ, s_p, s_lの三つの関数で表されることがわかる．本研究では，式(1)を覚醒度の数理モデルとして用いる．

3.　情報利得の数理モデル解析から得られる仮説

3. 1.　情報利得と予測誤差の関係の解析

Yanagisawa らは，情報利得と予測誤差の関係が不確実性大・小二つの状態によってどのように変化するかを明らかにした[7]．不確実性が大きい場合（s_p1）と不確実性が小さい場合（s_p2）の二つの状況を考える．外乱（s_l）は実験系によってばらつきが抑えられるとし, 一つの値に固定する．二つの不確実性の積が外乱より小さい場合（$s_p1 \times s_p2 < {s_l}^2$）は必ず不確実性が大きい方が同じ予測誤差に対して大きな情報利得を得る．また，逆に二つの不確実性の積が外乱より大きい場合（$s_p1 \times s_p2 > {s_l}^2$）は，予測誤差が大きくなると，途中で逆転が生じ．不確実性が小さい方が同じ予測誤差の値で大きな情報利得を得る条件が生じる．

3. 2.　解析結果から得られる仮説

外乱より不確実性が大きい場合を考える（$s_p1 \times s_p2 > {s_l}^2$）．この場合，3. 1. の解析から，図 4，5 に示した様に，不確実性による情報利得の大小関係は予測誤差の増大に伴って逆転する．覚醒度を情報利得で表すと，最適覚醒水準は最適な情報利得に対応する．今，図 3 に示した最適覚醒水準が低い状態（図 3 左の Wundt 曲線）と，最適覚醒水準が高い状態（図 3 右の Wundt 曲線）の二つの状態を考える．この二つの状態において，最適覚醒度（Valence がピークとなる情報利得）を，それぞれGl，Ghとする．図 4 に，最適な情報利得が低い場合の Telic と Paratelic mode の範囲を示す．Glと情報利得の交点から，Telic と Paratelic の境界となる予測誤差は，不確実性が小さい方が大きいことが分かる（$\delta_l1 < \delta_l2$）．一方，図 5 に示した様に，最適覚醒水準が高い，Ghの場合，不確実性が大きい方が Telic と Paratelic の境界となる予測誤差が大きいことが分かる（$\delta_h1 > \delta_h2$）．より大きな予測誤差に対して Paratelic mode を保つことは，Paratelic mode になりやすいことを意味する．

以上から，最適覚醒水準の大小によって以下の二つの仮説が成り立つ．

(a)　最適覚醒水準が低い場合(Gl)，不確実性が小さい方が Paratelic mode になりやすい．

(b)　最適覚醒水準が高い場合(Gh)，不確実性が大きい方が Paratelic mode になりやすい．

Li & Yanagisawa の先行研究[8] において，二つの AI スピーカを用いた実験により，不確実性が小さい AI スピーカの方がユーザの intrinsic motivation が促進されることが検

証された．1. で述べたように，intrinsic motivation とは，ある目的のためでは無く，潜在的な満足を得るための動機付けであるため，これは Paratelic mode に対応すると考える．したがって，この結果は仮説(a)を支持する．そこで，先行研究[8]の実験系より高い最適覚醒水準を実現できれば，仮説(a)から(b)の状態となり，仮説(b)が検証できると考えた．

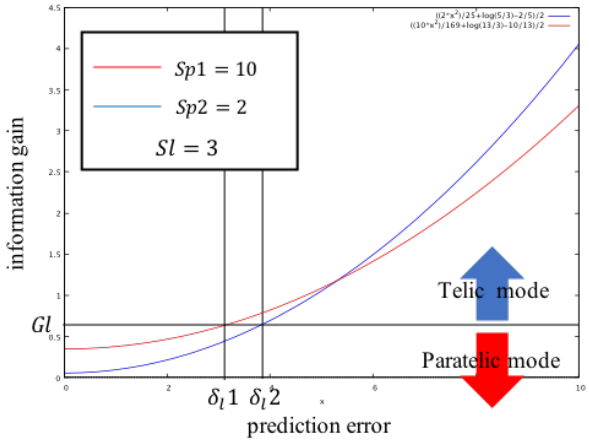


Fig.4　Relationships between prediction error and information gain in different uncertainties. Range of *telic* or *paratelic* mode when the optimal information gain is low.

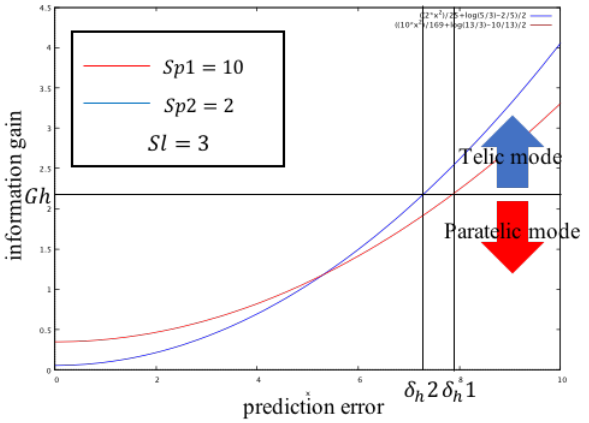


Fig.5　Relationships between prediction error and information gain in different uncertainties. Range of *telic* or *paratelic* mode when the optimal information gain is high.

4. 提案モデルの検証実験

4.1. 実験パラメータの操作

モデルの検証として，先行研究[8]と同様に，二つの AI スピーカを用いた実験を行った．用意した質問を実験参加者にしてもらう学習によりパラメータを操作する．仮説(b)は「不確実性小・大ともに最適覚醒水準が高い場合は，不確実性大の方が Paratelic mode になりやすい」である．つまり片方は不確実性小，他方は不確実性大，最適覚醒水準は両者とも高くなるよう操作する．この実験で検証するのは不確実性による差異のみである．

一方は不確実性が小さい，予測が立ちやすい AI スピーカとして，簡単な質問には必ず正解するが，難しい質問には必ず間違えるものを用意した．他方は，予測が立ちにくい AI スピーカとして，簡単な質問には時折間違えるが，難しい質問には正解することもあるものを用意した．つまり AI スピーカの回答能力の限界の分かり易さで不確実性を操作する．

高い最適覚醒水準を実現する方法を述べる．図 6 によると，最適覚醒水準が低い位置（Gl）にあるときよりも高い位置（Gh）にあるときの方が，同じ情報利得（覚醒度）を得たときの Paratelic mode の範囲が広い．よってユーザが Paratelic な心理状態で製品と関わっているときに最適覚醒水準は上昇するのではないかと考えた．先行研究[8]では学習のための質問として，サイコロを投げる，LED ランプの色を変える等，AI スピーカに対して特定のタスクを求めるような目的を持った質問のみを採用した．つまり，先行研究[8]の実験参加者は AI スピーカと Telic な心理状態でインタラクションを行なっていたと考えられる．そこで最適覚醒水準の操作のための学習として，不確実性小・大両方に，AI スピーカとゲームをしたり，AI スピーカの内面を問う質問をしたりと，実験参加者が Paratelic な関わり方ができるような質問を用意した．

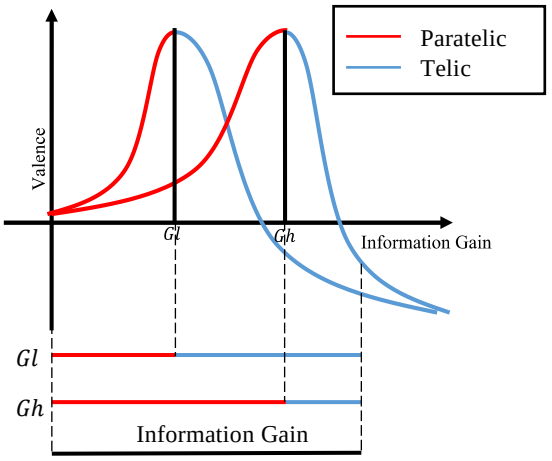


Fig.6　The difference in the range of *paratelic* mode between low and high optimal information gain.

4.2. 評価方法

実験の評価方法として，主観評価・客観評価二つの評価方法を用いた．

主観評価として，不確実性小・大どちらの AI スピーカにどの程度 Paratelic または Telic な動機付けを持ったか評価する 11 段階の質問紙を用いた．

客観評価として，実験参加者に二つの AI スピーカと 7 分間自由に喋ってもらった．不確実性小・大どちらの AI スピーカに何回 Paratelic または Telic な動機付けによる質問をしたか，音声データの解析によって評価した．

4.3. 実験結果

図 7 に主観評価による，不確実性小・大どちらの AI スピーカにどの程度 Paratelic または Telic な動機付けを持ったかの評価値の 20 名分の平均値を示す．不確実性大の方に最大 5 のうち 0.975 だけ Paratelic な動機付けを持ち，不確実性小の方に最小が-5 のうち-0.525 だけ Telic な動機付けを持ったことが得られた．不確実性大の方に，より Paratelic な動機付けを持つことは有意差が認められた（p 値

< 0.05)．これは仮説を支持する結果である．不確実性小の方に，より Telic な動機付けを持つことは有意差が認められなかった（p 値 > 0.1)．

次に図 8 に客観評価による，不確実性小・大それぞれの AI スピーカに向けられた Paratelic または Telic な動機付けによる質問の総数の平均値を示した．不確実性小に向けられた Paratelic な動機付けの質問数の平均値と，不確実性大に向けられた Paratelic な動機付けの質問数の平均値に有意差は認められなかった（p 値 > 0.1)．不確実性小に向けられた Telic な動機付けの質問数の平均値と，不確実性大に向けられた Telic な動機付けの質問数の平均値に有意差は認められなかった（p 値 > 0.1)．

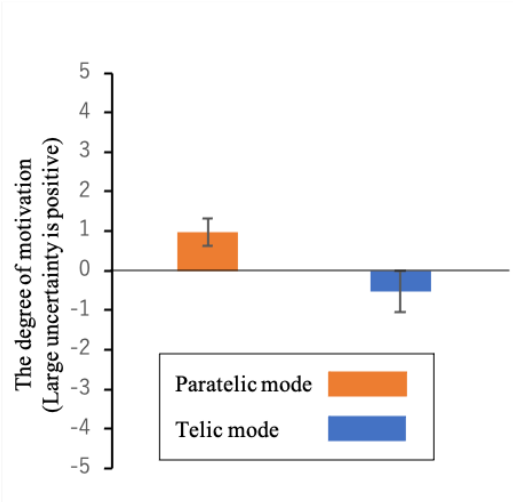


Fig.7　The difference in the range of *paratelic* mode between low and high optimal information gain.

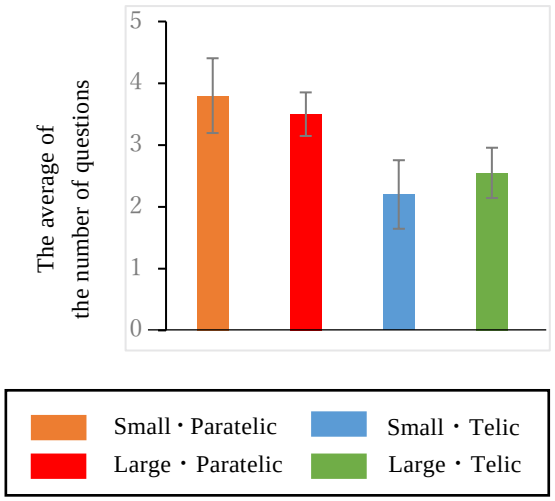


Fig.8　The difference in the average number of questions due to uncertainty in each motivation.

5. 考察

5.1. 実験系に対する考察

主観評価において，不確実性が大きい方に，より Paratelic な動機付けを持つことには統計的な有意差が認められた．一方，不確実性が小さい方に，より Telic な動機付けを持つことには統計的な有意差が認められなかった．これは最適な覚醒水準の操作のために，不確実性小・大両方の AI スピーカに Paratelic な心理状態で取り組んでもらうよう操作した事により，そもそも Telic な動機付けを持ちにくい実験系であったことが原因として挙げられる．

客観評価において，それぞれの動機付けにおける，不確実性の違いによる質問数の平均値の差に統計的な有意差は認められなかった．客観評価では同じ動機付けによる質問を両方の AI スピーカに対して行い，その回答の差異を比較することができる．よって，実験結果としての差が生じにくくなっていたと考えられる．

5.2. 総合考察

提案する図 3 のモデルの数理的解析によって，3.2. に示す二つの仮説が得られる．

仮説(a)の，最適覚醒水準が低いと想定される場合は，不確実性が小さい方が Paratelic mode になりやすい状況を考える．この状況に対応する結果は先行研究[8]により検証された．Apter は Paratelic mode が促進される条件としてプロテクティブ・フレームを唱えた[9]．これは，人は安全が保証されている状況であれば，より危険・興奮を求める心理状態，つまり Paratelic mode になるとする理論である．(a)の状況では，製品に対する予測の立ちやすさが製品の安全・信用のプロテクティブ・フレームとなり，Paratelic mode になりやすくすると考えられる．

次に仮説(b)の，最適覚醒水準が高い状態と想定される場合は，不確実性が大きい方が Paratelic mode になりやすい状況を考える．本実験の主観評価において，不確実性の大きい AI スピーカに，より Paratelic な動機付けを持つ事に有意差が認められた．この事は，モデルの予測を支持する．図 6 によると最適覚醒水準が高い状態は，同じ情報利得を得たときの Paratelic mode の範囲が広く，ユーザは既に製品と Partelic な心理状態で関わっていると考えられる．(b)の状況では，製品との関わり自体を信用し，プロテクティブ・フレームを有している．よって，製品の挙動の予測が立ちにくい方が，より好奇心を抱き，自ら製品を探索する動機付けが促進されると考えられる．

6. 結　　言

本研究では，ユーザに探索的な動機付けをもたらす製品設計の実現を目的とした．そこで，Apter の反転理論における Paratelic mode（目的を探索する心理状態）を，Berlyne の最適覚醒水準を用いて統一的に説明するモデルを提案した．Yanagisawa らの情報利得モデルを覚醒度の指標として用いることで，提案するモデルを数学的に定式化した．定式化した数理モデルの解析から，以下の二つの仮説を導出した．

(a)　最適覚醒水準が低い場合，不確実性が小さい方が Paratelic mode になりやすい．

(b)　最適覚醒水準が高い場合，不確実性が大きい方が Paratelic mode になりやすい．

先行研究[8]では，AI スピーカを用いた実験により，不確実性が小さいものに対して，より内発的動機付け（intrinsic motivation)，つまり Paratelic mode になりやすいという知見が得られている．これを本研究の仮説に当てはめると，(a)に対応する．そこで本研究では，(a)の状態から最適覚醒水

準を上昇させることで，(b)の不確実性が大きい方がParatelic modeになりやすい条件が生まれると考えた．実験では，二つのAIスピーカを用いた．不確実性は，回答能力の予測の立ちやすさで操作した．最適覚醒水準は実験参加者がParatelicな心理状態でAIスピーカとインタラクションを行うことで上昇すると考えた．主観評価では，11段階の質問紙によって二つのAIスピーカにどの程度ParatelicまたはTelicな動機付けを持ったか評価してもらった．客観評価では，二つのAIスピーカにどちらに何回ParatelicまたはTelicな動機付けによる質問をしたのか，音声データの解析により評価した．主観評価において，不確実性が大きいAIスピーカに，よりParatelicな動機付けを持つことに有意差が認められた．先行研究[8]の知見と，本研究の主観評価によって，モデルの予測による仮説が検証された．

文　献

(1) Krippendorff, K.: The semantic turn， A new foundation for design, crc Press, 2005.
(2) Ryan, R. M., & Deci, E. L.: Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions, Contemporary Educational Psychology, Vol. 25, No. 1, 54-67, 2000.
(3) Apter, M. J.: Reversal Theory and Personality: A Review, Journal of Research in Personality, Vol. 18, 1984.
(4) Berlyne, D. E.: Intrinsic and extrinsic motivations: Novelty, complexity, and hedonic value, Perception & Psychophysics, Vol. 8, 1970.
(5) Yanagisawa, H.: A computational model of perceptual expectation effect based on neural coding principles, Journal of Sensory Studies, Vol. 31, No. 5, 430-439, 2016.
(6) Kullback, S., & Leibler, R. A.: Information and Sufficiency, The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 22, No. 1, 79-86, 1951.
(7) Yanagisawa, H., Kawamata, O., & Ueda, K.: Modeling emotions associated with novelty at variable uncertainty levels, A Bayesian approach, Frontiers in Computational Neuroscience, Vol. 13, No. 2, 2019.
(8) Li, C., & Yanagisawa, H.: Intrinsic Motivation in Virtual Assistant Interaction, Proc. International Symposium on Affective Science and Engineering ISASE2019 (2019), 1-5.
(9) M. J.アプター，山岸俊男監訳，渋谷由紀訳：デンジャラス・エッジ 「危険」の心理学, 株式会社講談社, 1995.

閉曲線形状における「美的好み」の推定方法

Method to Estimate Aesthetic Preference in Closed Planar Curves

○伊藤　武將（慶應義塾大学大学院）*1　　岡野　晃大（慶應義塾大学大学院）*1　　加藤　健郎（慶應義塾大学）*2

*1 School of Integrated Design Engineering, Keio University
*2 Department of Mechanical Engineering, Keio University
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan
E-mail: kato@mech.keio.ac.jp

キーワード: 美的好み, 自由エネルギー原理, 閉曲線形状

1. 緒　　言

近年，AI 技術の発展に伴い，美学の中でも計算機を応用してヒトと同様の美的評価を行うことを目指す計算美学の分野が注目されている．同分野においては，「複雑さ」や「秩序」が「美的好み」や「快」などに影響を与える可能性が示唆されている(1)．Berlyne は，形状に対する感性評価において，形状の「複雑さ」や「新奇性」などの覚醒度を上昇させる要因を覚醒ポテンシャルと定義し，覚醒ポテンシャルと「快」の間に逆 U 字の関係が成り立つと主張しており(2)，多くの研究においてその適用可能性が示唆されている．

先行研究において，形状の「複雑さ」や「秩序」の指標は提案されているものの，これらの指標の組み合わせにより閉曲線形状における「美的好み」を精度よく推定することはできていない(3)．このため，「美的好み」の推定において「複雑さ」や「秩序」以外の要因系を考慮する必要性が示唆されている．

「美的好み」に関する他の要因として，ヒトが無意識的に定める対象物への予測の誤差や理解度である「新奇性」や「意味理解」が挙げられる(4)~(5)．例えば，Burns が提案した EVE' 理論においては，「美的好み」の要因として，「典型性にあたる期待（Expectation）E」，「期待からの逸脱（Violation）V」，および「逸脱のうち意味を説明可能な部分（Explanation）E'」を定義し，E と E'を用いて「美的好み X」を推定している．すなわち，「美的好み」の推定において，「複雑さ」などの対象物自体が持つ幾何学情報の評価に加えて，対象物提示前にヒトが無意識的に設定している認知予測とそれに対する対象物提示後の認知結果との差異や変化の評価も必要であることが示唆されている．後者において，無意識論的推論を情報理論・ベイズ推論により定式化した，自由エネルギー原理(6)~(7)という知覚認知の研究が注目されている．そこで，本研究では，ヒトの認知における理解度（「意味理解」）に注目し，EVE' 理論と自由エネルギー原理の両方を用い，閉曲線形状における「美的好み」の精度よい推定方法を比較・検討することを目的とする．

2. 自由エネルギー原理の応用可能性

自由エネルギー原理とは，Friston が提案した知覚と行動と学習の統一原理である．同原理において，ヒトは感覚入力 Y とこれまでの経験から得られた生成モデル $p(Z, Y)$に基づき，外界の視覚対象 Z を推定するとしている．例えば，ある感覚入力（$Y=y_1$）があった場合，理論上，ベイズの方式を用いて Z の確率分布 $p(Z|y_1)$（事後分布）を算出することができるものの，現実的に算出は困難なため，$p(Z|y_1)$に近似する確率分布として $q(Z)$を定義し，それらの分布の非類似度（Kullback-Leibler 情報量 D_{KL}）が 0 となるように変分推定を行う．$q(Z)$ と $p(Z|y_1)$の D_{KL} は次式のように表せる．

$$D_{\mathrm{KL}}[q(Z)||p(Z|y_1)] = \sum_Z q(Z) \ln \frac{q(Z)}{p(Z,y_1)} + \ln p(y_1) \qquad (1)$$

同原理では式 (1) における右辺第 1 項を自由エネルギーF と定義している．D_{KL} が 0 となることで Z の推定が完了し，$q(Z)$ と $p(Z|y_1)$が一致する．このとき知覚が完了し，式（1）は次式のように変形される．

$$F = D_{KL}[p(Z|y_1)||p(Z)] + (-\sum_Z p(Z|y_1) \ln p(y_1|Z)) \qquad (2)$$

なお，$p(Z)$，$p(y_1|Z)$は両方ともヒトがこれまでの経験から事前に得ているもので，それぞれ，$p(Z)$は Z の確率分布（事前分布），$p(y_1|Z)$は Z と Y を結びつける観測モデル（尤度関数）である．すなわち，式（2）の右辺第 1 項は感覚入力の前後における Z の確率分布の差を表し，「新奇性」にあたると考えられる．一方で，右辺第 2 項は尤度関数と事後分布から算出されるものであり，知覚の不確実性を表し，「複雑さ」にあたると考えられる(9)．ここでは，尤度関数と事後分布が一致すると仮定し，右辺第 2 項をエントロピーと捉える．不確実性が高いということはエントロピーが高いということであり，「複雑さ」の指標として曲率エントロピーが提案されていることを考慮し，本研究では右辺第 2 項に曲率エントロピーが対応すると考えた．

以上より，本研究では，式 (2) を用いて自由エネルギーを算出し，自由エネルギーと「美的好み」の関係を明らかにすることとした．

3. 「美的好み」の推定方法

まず，式 (2) の右辺第 2 項にあたる曲率エントロピーHについて以下に述べる．

曲率エントロピーは閉曲線形状における「複雑さ」の指標であり，閉曲線形状の曲率を標本化，量子化することにより，次式で算出される．

$$H = -\frac{1}{\log_2 V_c}\sum_{i=1}^{V_c}\sum_{j=1}^{V_c} p_i p_{ij} \log_2 p_{ij} \quad (3)$$

ここで，p_i と p_{ij} は，それぞれ曲率の生起確率および遷移確率であり，V_c は量子化された曲率の状態数を表す．このようにして算出した H を用いて F を算出する．

一方，右辺第 1 項は前章で述べたように事後分布と事前分布の確率分布の非類似度を表しているものの，事前分布を算出することは現実的には困難である．それは，式 (2) においてすべての可能性のある事象 Z を考慮する必要があり，計算量が膨大になってしまうことや，事象 Z が無限大であるということが生じてしまうためである．本研究では，事象 Z はどれほどか定かではないため，事前分布を全事象の確率の合計が 1 となるようにし，事象数を十分に大きい値とし，かつすべての事象において確率を等しくした．事後分布に関しては，実験により得られた確信度（確率）に基づき，事前分布と事象数を等しくすることにより定めた．

次に「意味理解」を包含した「美的好み」の推定方法について以下に述べる．

第 1 章で触れた EVE'理論の応用例の 1 つに抽象絵画の分析した事例がある．この事例では，V を黒い線で囲まれた四角形の数と面積を用いて算出した情報エントロピーH_i とし，それに-1 を乗じた値を E としている．E'に関しては V の中で意味を理解し説明できる部分の割合 p を定義し，V に乗じて次式のように X を推定している．

$$X = g(-H_i) + g(pH_i) \quad (4)$$

なお，g，g'は比例定数である．式（4）を参考にして，本研究では情報エントロピーH_i の代わりに曲率エントロピーH，p は官能評価実験において得られる評価値として用いて，「意味理解」に基づく「美的好み X」を次式のように算出する．

$$X = g(-H) + g(pH) \quad (5)$$

4. 官能評価実験

4. 1. 「美的好み」と「意味理解」に関する実験

4. 1. 1. 実験方法

実験に関する条件や手順を以下に示す．

1) 被験者：20 歳代の男女 40 名とした．
2) 提示試料：3 次 Bézier 曲線を用いて，接続点数を 4 点，8 点，12 点の 3 パターンとし，接続点，制御点をランダムに移動させて生成した閉曲線形状（シルエット）を 15 個ずつ，計 45 個とした（図 1）．
3) 提示方法：Web アンケート（Google フォーム）を使用し，変曲点数が 4 点，8 点，12 点の形状からそれぞれランダムに 5 個ずつ選出して同時に 15 個ずつ提示した．15 個の形状に対して官能評価をしてもらうことを 3 回繰り返し，45 個の全形状に対する官能評価値を得た．提示する 15 個の形状の組み合わせは被験者によって変わらないようにした．
4) 評価方法：「美的好み」，「複雑さ」を 5 段階，各形状からの連想（「意味理解」）を 3 段階のリッカート尺度をそれぞれ用いて官能評価値を得た．意味を連想できた場合，その意味の回答も求めた．

4. 1. 2. 実験結果および考察

結果および考察を以下に述べる．

「複雑さ」と H，「美的好み」と X との間に強い相関関係がそれぞれ確認された（「複雑さ」と H の対数近似における決定係数 $R^2 = 0.89$，「美的好み」と X の線形近似における決定係数 $R^2 = 0.59$（図 2））．なお，H のパラメータおよび X の比例定数は 3 分割交差検証[8]により定めた．また，黒塗りのプロットは「意味理解」の官能評価値が高めの形状，白抜きのプロットは「意味理解」の官能評価値が低めの形状を表す．このことから「意味理解」の官能評価値が高めの方が「美的好み」は高く評価される傾向にあるということがわかる．

4. 2. 「美的好み」と自由エネルギーに関する実験

4. 2. 1. 実験方法

実験に関する条件や手順を以下に示す．

1) 被験者：20 歳代の男女 8 名とした．
2) 提示試料：上の実験で用いた形状のうち，得られた実験結果を元に選別した 15 個とした．
3) 提示方法：Web アンケート（Google フォーム）を使用し一度に 15 個提示した．
4) 評価方法：「美的好み」を 5 段階のリッカート尺度を用いて官能評価値を得た．加えて，各形状からの連想（「意味

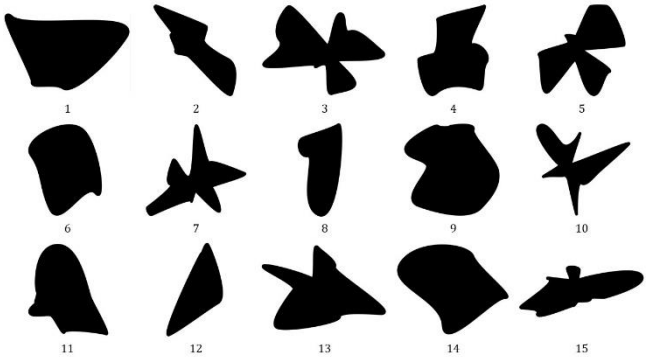


Fig.1 Sample shapes

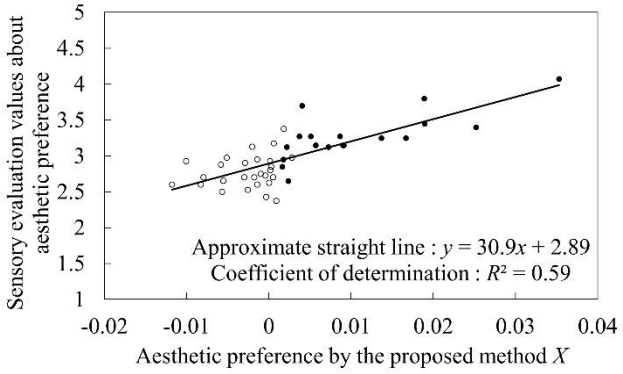


Fig.2 Relationship between X and aesthetic preference in sample shapes

理解」) を連想した意味とその確信度 (%) で回答を得た．なお，意味は連想できたものはすべて回答するように求めた．(回答例：木 60%，ブロッコリー20%，カリフラワー20%)

4. 2. 2. 実験結果および考察　結果および考察を以下に述べる．

まず，式 (2) の右辺第 1 項を算出するにあたり，予測する事象数は 1000000 とした．なお，回答を求める際に確信度を合計で 100%にしなければならないという条件は設けなかったため，F を算出するに当たっては，合計が 100%となるように工夫した．次に，式 (2) において F を算出して「美的好み」との関係を見た (図 3)．結果，線形近似における決定係数が $R^2 = 0.54$ と強い相関関係を確認した．このことから，F が大きいほど，「美的好み」は高く評価されるということがわかる．

4. 3. 両実験の比較

両実験結果における比較，考察を以下に述べる．なお，以下では「美的好み」と「意味理解」に関する実験 (4.1 節) を実験 1,「美的好み」と自由エネルギーに関する実験 (4.2 節) を実験 2 と表記する．

上述したように，「美的好み」の官能評価値と各推定方法による算出値との関係において，線形近似における決定係数は，X に関しては $R^2 = 0.59$，F に関しては $R^2 = 0.54$ となり，どちらも「美的好み」との相関関係が確認された．F の R^2 が小さくなった原因については，事象数による影響が考えられる．F を実際に算出しようとすれば，可能性のある事象 Z のすべてを考慮しなければならない．しかし，本研究では困難であるため，事象数は十分に大きい値として 1000000 を採用した．この値を大きく (小さく) すると決定係数が高く (低く) なるような傾向があるため，今後検討する必要がある．

そして，図 2，図 3 を比較すると，両図に共通して，近似直線から逸脱した形状が確認できた．これらの形状はどちらの実験においても同じ形状であり，「美的好み」が高めに評価された形状 (図 1 における 10 の形状) の意味は，ハチドリや妖精などであり，「美的好み」が低めに評価された形状 (図 1 における 8 の形状) の意味は，食虫植物やキノコなどであった．このことから，「美的好み」は連想した意味による影響も考慮する必要があると考えられる．

さらに，両図を比較すると，「美的好み」の官能評価値が大きく変化していた形状が確認された．これらの形状はどれも実験 1 よりも実験 2 の方が官能評価値は高くなっていた．この原因として実験条件による影響が考えられる．上述したように実験 1 では形状から意味を連想できたかどうかを 3 段階で評価してもらい，連想できた場合はその意味も回答してもらうという形式であるのに対し，実験 2 では連想した意味とその確信度 (%) を意味の個数は問わずに回答してもらうという形式とした．前者は 1 つの形状に対して 1 つの意味を連想していたが，後者は 1 つの形状に対して複数の意味を連想するため，連想した意味の中で好ましい意味があれば，「美的好み」は高めに評価されると考えられる．

5. 結　　言

本研究では，閉曲線形状において，「意味理解」を包含した「美的好み」の推定方法を提案した．そして，「意味理解」と「美的好み」の関係を明らかにした．加えて，知覚認知の研究である自由エネルギー原理を用いて，自由エネルギーと「美的好み」の関係を明らかにした．本研究ではランダムに作成した閉曲線形状を用いた官能評価実験を行ったが，今後は製品を閉曲線形状で再現して用いるなど，他の事例に適用して有効性の検証を行う予定である．

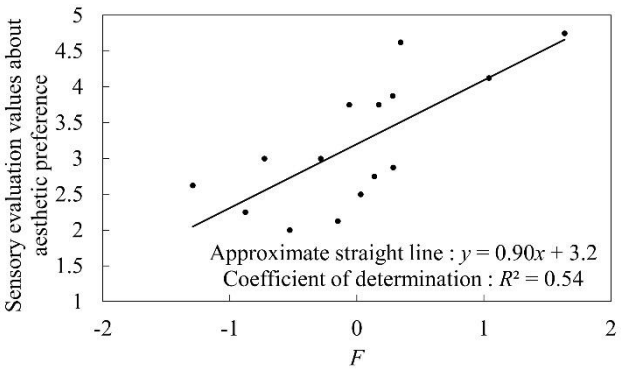


Fig.3　Relationship between F and aesthetic preference in sample shapes

文　　献

(1) Birkhoff, G. D.: Aesthetic Measure, Harvard University Press, 1933.
(2) Berlyne, D. E.: Aesthetic and Psychobiology, Appleton Century Crofts, 1971.
(3) Kato, T., Matsumoto, T.: Morphological Evaluation of Closed Planar Curves and Its Application to Aesthetic Evaluation, Graphical Models, Vol. 109, 2020.
(4) Burns, K.: Atoms of EVE': A Bayesian Basis for Esthetic Analysis of Style in Sketching, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Vol. 20, 185-199, 2006.
(5) Burns, K.: Entropy and Optimality in Abstract Art: An Empirical Test of Visual Aesthetics, Journal of Mathematics and the Arts, Vol. 9, 77-90, 2015.
(6) Friston, K. J.: A Theory of Cortical Responses, Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences, Vol. 360, No. 1456, 815-836, 2005.
(7) Friston, K. J.: The Free-energy Principle: A Unified Brain Theory?, Nature Reviews Neuroscience, Vol. 11, No.2, 127-138, 2010.
(8) Matheny, M. E.: Effects of SVM Parameter Optimization on Discrimination and Calibration for Postprocedural PCI mortality, Journal of Biomedical Informatics, Vol. 40, No. 6, 688-697, 2007.
(9) Yanagisawa, H.: Information-Theoretic Free Energy as Emotion Potential: Emotional Valence as a Function of Complexity and Novelty, Neurons and Cognition, ,2020

構造物を題材とした設計変数空間と評価指標空間での分類の対応付けによる概念設計に関する研究

A Study on Conceptual Design of Structures by Classification Mapping between Design Variable Space and Evaluation Criteria Space

○津本 燎（大阪大学）*1　野間口 大（大阪大学）*2　山﨑慎太郎（大阪大学）*3
矢地謙太郎（大阪大学）*4　藤田喜久雄（大阪大学）*5

*1 Ryo TSUMOTO, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, tsumoto@syd.mech.eng.osaka-u.ac.jp
*2 Yutaka NOMAGUCHI, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, noma@mech.eng.osaka-u.ac.jp
*3 Shintaro YAMASAKI, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, yamasaki@mech.eng.osaka-u.ac.jp
*4 Kentaro YAJI, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, yaji@mech.eng.osaka-u.ac.jp
*5 Kikuo FUJITA,Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, fujita@mech.eng.osaka-u.ac.jp

キーワード:概念設計, 知識獲得, 橋梁構造物, 構造最適化, 深層生成モデル

1. 緒　　言

概念設計では，抽象的な問題記述のもとで，要求に適合する設計解の基本となる原理とその構造を導き出すことが行われるとされている(1)．そのプロセスでは，与えられた要求に対して何がしかの演算を行なって代替案を導出することだけでは設計解に至ることはできず，各内容に対して推敲を重ねながら，原理の探索やその構造としての合成を定めていきつつ，漠然とした要求を具体的に定めていくことも行われている．とは言え，現状での一連の内容に対する全般的な理解は，概して言えば，経験的なものに留まっている．そのような状況に対して，例えば，一般設計学(2)は概念設計を説明する基礎理論として広く知られているが，概念設計での操作を類概念のもとでの集合演算として形式化しているに留まっていて，いくつかの指導的な知見をもたらすものの，具体の概念設計を進めていく上での有用な原理にまでは至っていない．一方で，計算機で網羅的に代替案を生成させ，それらを比較・検討することによる概念設計法も提案されはじめている．例えば，Shea ら(3)をはじめとする Generative Design の枠組みは，パラメータの多様な組合せのもとで多様な代替案を生成し，それらを視覚化して比較することにより，設計者の判断を導くものとなっている．しかし，判断の前提となる要求の具体化や代替案の絞り込みは暗黙的に行われており，概念設計プロセスの全貌を対象とするものには至っていない．

本研究では，上記のような概念設計の課題に対して，内容が比較的単純である一方で，解の多様性が期待でき，また，設計解の計算による探索や定量的な評価が可能である構造物の概念設計問題を対象とすることを前提とした上で，設計変数空間と評価指標空間での分類の対応付けによる概念設計の枠組みを提案し，一例として橋梁構造物の例題への適用を通じて，その妥当性や可能性を考察する．具体的には，別報(4)で提案している網羅的な最適化計算による多様な設計解の導出とそれらの設計変数空間での深層学習を用いた分類による新規な概念設計解の発見法に対して，各分類を規定している評価指標を，統計分析による支配因子の特定と設計者の判断による意味付けを通じて段階的に明らかにしていくことによって，要求の明確化と解候補の絞り込みを並行的に進めていくことによる概念設計の枠組みを提案する．あわせて，別報(4)でも例題とした橋梁構造物の概念設計での展開例を示して，同枠組みの基本的な有効性とより実践的な設計問題に展開していく上での課題を論じる．

2. 属性と機能についての分類の対応付けによる概念設計

2.1. 一般設計学に基づく設計概念の理解

設計工学や設計学の分野では，従来，概念設計を支援するための手法や方法論が研究されてきた．その中でも，一般設計学(2)は，設計において人間の内部で行われている概念操作に焦点を当て，設計行為の理論的理解を進めるとともに，概念操作を集合操作として数学的に形式化している点に特徴がある．一般設計学では，実体に対応する実体概念と，実体の特徴である抽象概念の 2 つの概念を導入し，後者を前者の集合として定義する．ここでの実体とは，自然物と人工物の両方を含んでいる．抽象概念については，実体の持つ機能的価値に対応する機能概念と，性能や形態など実体の性質に対応する属性概念を導入する．機能概念集合と属性概念集合は，同じ実体概念集合を台集合とする異なる部分集合系である．そのうえで，設計は，要求として記述された機能概念集合から，設計解の特徴を表す属性概念集合への変換であるとする．

理想的な知識，すなわち，この世界の実体のすべての元に関する知識と各元を抽象概念で厳密に表現する知識を想定すると，機能概念集合と属性概念集合はそれぞれ異なる位相空間となる．このもとでは，設計は要求を記述した瞬

間に終了する．すなわち，理想的知識とはすべての設計解とその抽象概念を記述した究極のカタログであり，そのもとでの設計とはそのカタログから設計解を選択することに他ならない．

一方で，現実にはそのような理想的知識を想定することはできず，不完全な知識のもとで，試行錯誤を通じて知識を獲得しながら概念操作を進めることになる．設計者は，自身の経験と学習を通じて，過去の設計解を含む様々な実体を，共通の特徴で分類し抽象化することで概念として記憶する．この分類が機能に対して行われた場合は機能空間上で，形態や色に関して行われた場合は属性空間上で，概念が構造化される．このように構造化された機能空間と属性空間は実体概念を介して対応しており，設計者はこの対応関係をもとに，要求を示す機能空間上の領域に対応する属性空間の点を定めることで設計を行なっていると解釈することができる．

なお，概念設計の結果を断定的かつ明確に表すことは容易ではないが，本研究では，上記のような理解のもと，設計解集合から分類によってこの対応関係を整理し，要求に応じて選択可能なように知識として取り出したものを概念設計の結果と位置付け，コンセプトと呼ぶことにする．

2.2. 計算機による概念設計支援の課題

近年，最適化技術やデータサイエンス技術の発展が目覚ましい．本研究では，それらを活用することにより前節で述べた設計概念空間を作り出し，そのもとでの設計の支援を考えていく．それに向けた課題は以下の 4 点に集約される．

(1) 概念空間の前提となる集合の元，すなわち，様々な実体概念を収集すること．
(2) (1) で収集した実体概念集合に対して，属性概念による分類を行うこと．
(3) (1) で収集した実体概念集合に対して，機能概念による分類を行うとともに，(2) の属性概念との対応付けを行うこと．
(4) (3) の対応付けに対して，コンセプトを選択するための知識を獲得すること．

2.3. 属性と機能についての分類の対応付けによる概念設計に向けたアプローチ

本研究では，緒言でも述べたように，構造物の概念設計問題を題材として取り上げて，前節で述べた課題の解決を試みる．具体的には次のように取り組む．

まず，前提として，あらゆる構造物の実体は設計可能，すなわち設計代替案であり，その属性を設計変数 $\boldsymbol{x}$ により表すことができるとする．構造物であれば，材料分布を設計変数とすることにより，自由度の高い表現が可能になる．一方，各代替案の機能は属性により発現することから，各評価指標を設計変数の関数 $f_i(\boldsymbol{x})$ として定めて評価できるものとする．つまり，属性空間を設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ として，機能空間を評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ として計算機上で表現し，概念設計の問題を設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ と評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ により規定できるとする．設計変数空間と評価指標空間での分類の対応関係を明らかにすることで概念設計に関する知識の獲得を試みる．

上記のもとで，前節の 4 つの課題に対応して，図 1 に示す概念設計の枠組みを構想する．まず，(1) に対応して，ある設計問題を想定した上で，トポロジー最適化[5]などにより多様な代替案を導出する(図 1 中[1])．次に，(2) に対応して，代替案の構造に注目して設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ において深層学習により[4]代替案をクラスターに分類し，各クラスターにおいて支配的な特徴を抽出することで属性概念にあたる情報を獲得する([2])．続いて，(3) に対応して，設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ での分類結果を教師データとする評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ でのロジスティック回帰[6]による線形分類を繰り返し行い，設計変数空間での分類結果を説明する評価指標空間での分類を系統的に抽出する．その際に，(4) に対応して，線形分類における各分類面の評価指標に対する係数から，コンセプトを選択するための意思決定木を作成する([3])．上記の[1]～[3]に対して，特定の設計要求が与えられた際には，獲得した意思決定木の上で，与えられた要求が該当する部分空間を絞り込みつつ，絞り込みが不十分な場合には，絞り込むための要求の明確化を促しながら，特定のコンセプトを選び出すことにより，概念設計を実施する([4])．

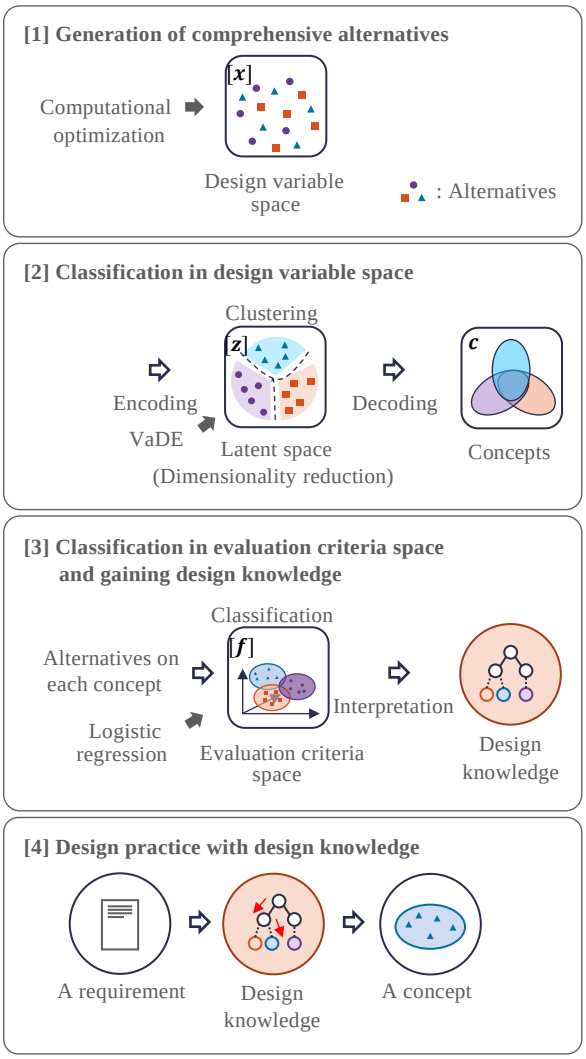


Fig.1 Outline of framework

3. 計算機による概念設計の枠組み

本章では，2.3 節で述べた提案する枠組みを行うための具体的な方法について説明する．

3.1. 多様な代替案の生成

多様な代替案の生成は，様々な設計条件のもとでトポロジー最適化によって最適解を求めることで行う．その際，想定する設計問題を数理的にモデル化することが求められる．

まず，設計領域と境界条件は，多様な代替案を得るために，想定する設計問題における本質を的確に表す簡潔な設定とする．これは，設定に副次的な事項が含まれて問題が複雑になると，解探索の範囲が狭まってしまい，引いては，多様な代替案の生成が難しくなるからである．

次に設計問題に対する数学的な定式化を導入する．任意に指定することができる設計条件ベクトル $\boldsymbol{p}$ のもとで，設計解の実行可能性に関わる複数の制約条件 $g_j(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p}) \leq 0\ [j=1,\dots,J]$ を満たし，各評価指標に対応する複数の目的関数 $f_i(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p})\ [i=1,\dots,I]$ を最小化するように，属性に対応する設計変数 $\boldsymbol{x}$ を求める問題として以下のように定式化される数理計画問題を導入する．

$$\left.\begin{array}{rl} \text{Find} & \boldsymbol{x} \\ \text{minimizes} & f_i(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p}) \\ \text{subject to} & g_j(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p}) \leq 0 \\ \text{for given} & \boldsymbol{p} \end{array}\right\} \tag{1}$$

なお，上記の数学的な形式に対して，多様な実体概念の元になる代替案を生成するためにトポロジー最適化を用いる場合には，設計変数 $\boldsymbol{x}$ として材料分布をとり，設計領域内の任意の形態を表す．目的関数 f_i については，複数のものの中から特定のものを目的関数として残して単一目的の最適化問題を形成する一方，残るf_iについては，目標値を設定した上でそれ以上を意図する制約条件を導入することにより，解の多様性を確保する．

かたや，そもそもの $f_i(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p})$ に関しては，元々の概念設計におけるすべての評価指標が数学的に記述できるわけではないし，また，数理的な処理の性質からも，トポロジー最適化の場合に限らず，最適化計算で明示的に取り扱うことができる $f_i(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p})$ は元々の評価指標の一部のものに限定される．加えて，$f_i(\boldsymbol{x},\boldsymbol{p})$ が多峰性を伴っている場合，全く異なる設計変数 $\boldsymbol{x}$ の値をとっていても，似たような目的関数 f_i の値をとることがある．つまり，目的関数をもとに代替案を分類したとしても，その結果を属性と対応付けることは難しい事態が潜んでいることになる．一連の事情を受けて，多様な代替案をコンセプトとして分類するには，初めに設計変数空間での分類を行い，その後，その分類結果を説明できるような評価指標 f_i を追加しながら，属性と機能の対応付けを行う必要があることになる．

3.2. 設計変数空間での分類

前節での考え方のもと，生成された代替案集合を設計変数空間で分類することにより，抽象概念の獲得を行う．設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ での分類には，データの事前のラベル付けを必要としないクラスタリング手法を用いることが適切であると考えられる．構造物を題材としてトポロジー最適化により代替案を生成する場合には設計変数の次元が大きくなっていることから，深層学習により代替案の特徴を抽出しながら，設計変数空間での分類を行うことを考える．本研究では，前報[4]と同様に，深層学習の 1 種である Variational Deep Embedding (VaDE) [7] を用いて設計変数空間での分類を行う．各代替案 n の設計変数 $\boldsymbol{x}^{(n)}$ をエンコーダーにより，低次元の潜在変数 $\boldsymbol{z}^{(n)}$ $(\dim \boldsymbol{z} \ll \dim \boldsymbol{x})$ に落とし込みつつ代替案の持つ属性に関する情報に基づいて構造化された潜在空間 $[\boldsymbol{z}]$ を構成する．ここで変数の右肩の (n) はn 番目の代替案の値であることを示す．この次元圧縮は，デコーダーにより潜在変数 $\boldsymbol{z}^{(n)}$ から設計変数 $\boldsymbol{x}^{(n)}$ を復元できることによって保障されている．また，この潜在空間に混合ガウス分布を仮定することにより，確率的にクラスタリングを行うことができる．すなわち，VaDE の枠組みは，次元圧縮とクラスタリングの両方を同時に学習することで，高次元の設計変数を分類し属性概念として意味のある結果を得ることを可能にするものである．また，生成モデルでもあり，クラスタリング結果をクラスター中心の復元結果によって解釈することができる．

3.3. 評価指標空間での分類の対応付け

次に，設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ での分類結果を踏まえて，評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ で分類を行うことにより，各コンセプトがもつ機能を統計的に明らかにする．

設計変数空間での分類が行われた後では，生成された n 番目の代替案はその特徴量として，設計変数 $\boldsymbol{x}^{(n)}$ ，評価指標値 $f_i(\boldsymbol{x}^{(n)})$，所属コンセプト $\boldsymbol{c}^{(n)}$ を持っている．また $\boldsymbol{c}$ は，設計変数空間での分類で k 個のコンセプトが導出された場合，k 次元の変数であり，代替案が $\hat{k}$ 番目のコンセプトに属するとき，$\hat{k}$ 成分のみが 1，その他が 0 となるような変数と定義する．

評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ での分類を行うにあたって，評価指標 f_i の再設定を行う．また，各評価指標の値域の偏りが分類の結果に影響を及ぼさないよう，各指標について平均が 0，分散が 1 と標準化したものを評価指標 $f_i\ [i=1,\dots,I']$と再定義して用いる．

設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ での分類結果を踏まえた評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ での分類には，各代替案の所属コンセプト $\boldsymbol{c}^{(n)}$ を教師データとし，統計的手法を適用することを考える．本研究では，一つの方策として，2 クラス線形分類器により分類面を特定することとする．例えば，代替案集合からあるコンセプト ($\hat{k}_1$ 番目，$\hat{k}_2$ 番目，…) に属する代替案の分類面を求める際には，各代替案のクラスラベル y を，次式により定義するものとする．

$$y^{(n)} = \begin{cases} 1 & \text{if } \boldsymbol{c}_{\hat{k}}^{(n)} = 1 \\ 0 & \text{if } \boldsymbol{c}_{\hat{k}}^{(n)} = 0 \end{cases} \quad \left(\hat{k} = \hat{k}_1, \hat{k}_2, \dots\right) \tag{2}$$

また，分類面 s は次式により表されるとして，その係数 w_i を決定することによって特定する．

$$s^{(n)} = w_0 + w_1 f_1^{(n)} + \cdots + w_{I'} f_{I'}^{(n)} \begin{cases} \geq 0 & \text{if } y^{(n)} = 1 \\ < 0 & \text{if } y^{(n)} = 0 \end{cases} \tag{3}$$

本研究では，評価指標空間上で代替案が線形分類可能と

は限らないことから，収束性を考慮してロジスティック回帰を用いる．またロジスティック回帰による分類器の特徴として，分類面の学習後は同種のデータが与えられた際の確率的な予測モデルとして活用できる．式(3)の分類面のもとで，要求として，評価指標 f_i^* が与えられた際には，クラスラベル $y^*=1$ となる確率を以下により求めることができる．

$$p(y^*=1 \mid f_i^*) = \frac{1}{1+\exp(-s^*)} \tag{4}$$

$$s^* = w_0 + w_1 f_1^* + \cdots + w_{I'} f_{I'}^* \tag{5}$$

2 つを超えるコンセプトが存在する際に 2 クラス分類器を用いる場合には，複数回の分類を行うことになる．このとき，分類の道筋は，学習の程度を表すコスト関数の最終値を参考に，最もよく分類できる組み合わせを選択し，分類の道筋と各分類面の式を記録する．また，選択すべきコンセプトの予測は，各分類面の予測モデルを組み合わせることにより行うことができる．

3.4. 分類の対応付けの解釈による知識獲得

分類結果に対する解釈は，分類の道筋と分類面の式に基づいて行う．ここで，線形分類面の解釈の方法の一例を示す．まず，各分類に対して影響の大きい評価指標 f_i を，分類面の係数の絶対値 $|w_i|$ により特定する．$|w_i|$ が他と比べて大きい場合，f_i の変動に対して s が大きく変動するので，その評価指標 f_i は分類への影響が大きいと考えられる．逆に $|w_i|$ が他と比べて小さい場合は分類への影響はほとんどないと考えられる．また，分類される代替案が持つ評価指標の傾向は，影響が大きい評価指標の係数 w_i により判断する．$w_i>0$ であれば，評価指標 f_i の値が増加したときに，s の値も増加する．つまり，式(3)により分類される代替案はほかの代替案に比べて，その評価指標の値が大きい傾向にあることがわかる．当然，$w_i<0$ ではその逆のことが言える．

以上のようにして分類面を解釈していけば，評価指標空間での分類の結果を意思決定木等に書き下すことができるようになる．そのような意思決定木の内容では，コンセプトが持つ属性と機能の対応関係が紐づけられており，コンセプトを系統的に選択していくための設計知識と位置付けることができる．

3.5. 獲得した知識に基づく概念設計

本節では設計変数空間 $[\boldsymbol{x}]$ と評価指標空間 $[\boldsymbol{f}]$ での分類を対応付けることで得られた設計知識を用いてコンセプトを選択する方法について考える．それに際しては，式(4)に示したロジスティック回帰による予測モデルを活用する．

まず，与えられた設計要求に対応する評価指標 f_i について満たすべき設定値を設定する．その値は生成された代替案の 10%値，中間値 (50%値)，90%値等を参考に決定する．次に設定した評価指標をもとに，ロジスティック回帰により得られた予測モデルによって，各コンセプトの選択可能性を確率として求める．ここで，概念設計での設計要求はコンセプトを特定するには曖昧で不十分なものに留まっていて，その過程を通じて段階的に要求を明確化していき，特定のコンセプトにたどり着くことが求められる．本研究では，そのようなコンセプトの絞り込みを以下のように進めることを考える．

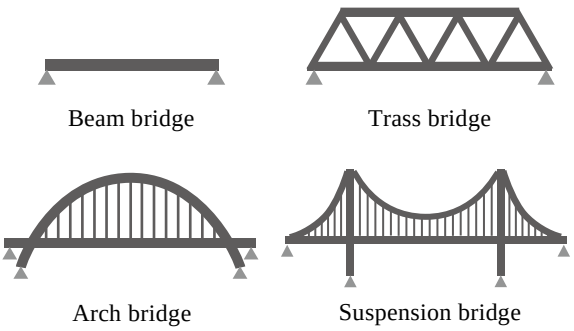


Fig.2　4 main forms of bridge structures

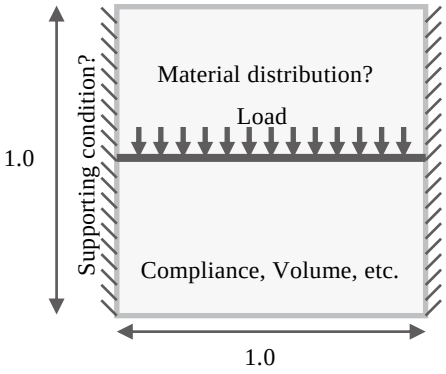


Fig.3　Design space of bridge structures

初めに獲得した設計知識から基本となる評価指標の値をいくつか定める．次に，ロジスティック回帰による予測モデルを用いて，選択しなかった評価指標についてはすべての設定パターンを考えながらコンセプトの選択確率を計算する．そして，求めた確率の平均を提示することで，のちにその評価指標を設定した時を見通したコンセプトの選択確率を示す．提示された確率と設計知識を照らし合わせて，選択確率が 1 に近い選択すべきコンセプトが判明した場合は手続きを終了する．判明しなかった場合でも，選択確率から何らかの有望なコンセプトは予測できる．この有望なコンセプトに対して，設計知識をもとにさらに要求を絞り込み，再び選択確率を求める．この手続きを繰り返すことで，体系的に，具体的に定まっていない要求を明確化しながらコンセプトを絞り込み，解を選択することができる．

4. 橋梁構造物を例題とする枠組みの検証

本章では，経験的に代表的な形態がよく知られている橋梁構造物の概念設計を例題として取り上げ，提案した枠組み (図 1) の可能性や妥当性を検証する．

4.1. 橋梁構造物の概念設計

橋梁構造物とは川や谷などを横切るための構造物であり，主に横切るための道路構造とそれを支える構造によって構成される．その概念設計では大まかな構造を表す橋梁形式を決定することが行われる．代表的な橋梁形式として，桁橋，トラス橋，アーチ橋，つり橋が存在し[8]，それぞれの形態は大きく異なる(図 2)．また，経験的に要求される支間長に対する適切な橋梁形式が整理されている[9]．これは形式により荷重を支える効率が異なるからである．しかし，支

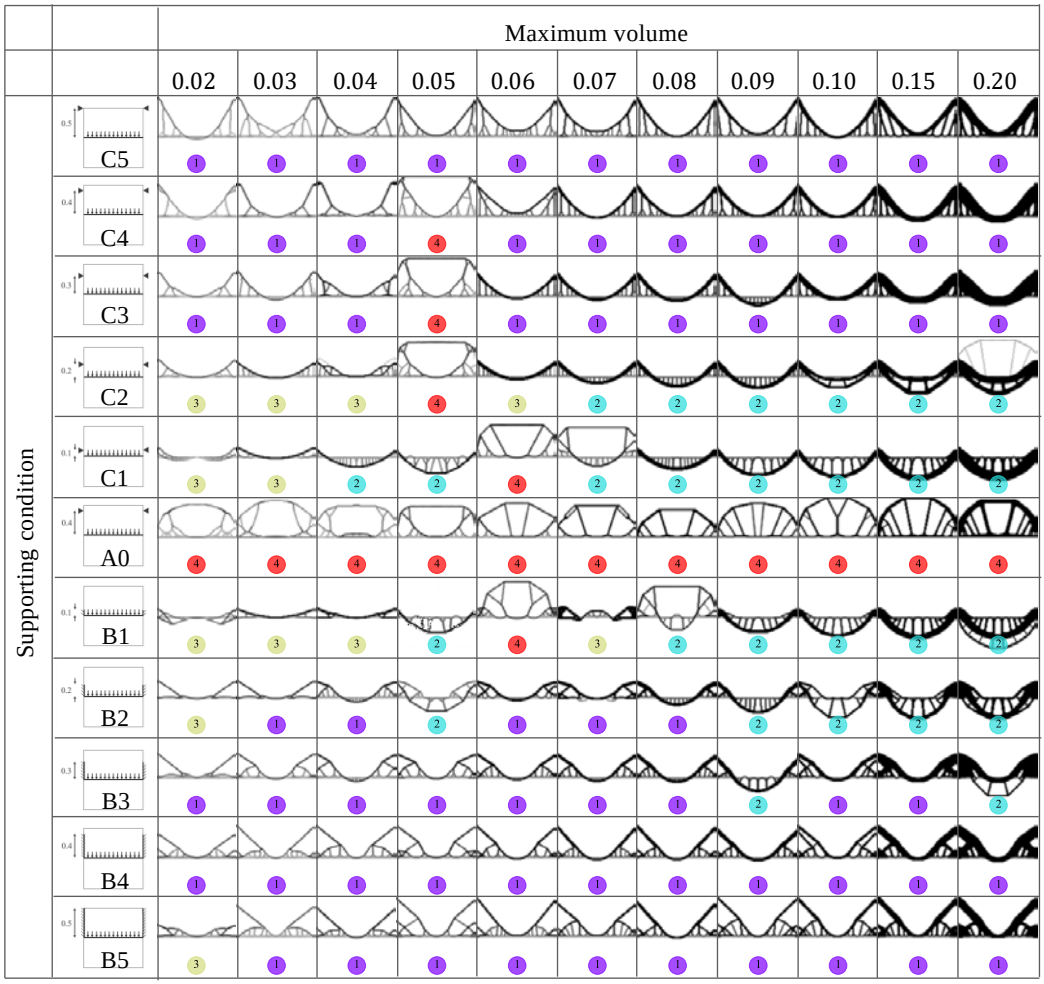


Fig.4　Generated alternatives

間長のみによって適切な橋梁形式が決まるわけではないため，橋梁構造物の概念設計では，機能性，安全性，施工性，経済性，美観性，耐久性，環境への影響など様々な観点から設計空間を広く探索した上で，適切な形式を選択する必要がある．

4. 2.　多様な代替案の生成と設計変数空間での分類の実施

代替案の生成と設計変数空間での分類は，前報[4]での方法により，それぞれ，トポロジー最適化と深層学習により以下のようにして行う．

まず，橋梁構造物の目的が，設計領域を横断するように設置される道路構造にかかる荷重を支えることであり，また橋梁形式が 2 つの橋脚間の構造とその 2 次元の断面図により決まると考え，橋梁構造物の設計問題を，図 3 のように，2 次元の矩形領域の上下中央の横断線に一様分布荷重があって，それを両側から支える高剛性の構造物を設計する問題として設定する．そのもと密度法に基づくトポロジー最適化により代替案を生成する．4.1 節で述べたように，橋梁形式は荷重を支える効率により分化しているという考えのもと，目的関数として剛性と経済性に関する指標を設定し，設計条件として様々な体積制約と支持条件を与え，剛性に関して最適化を行うことで多様な代替案を生成する．前報[4]で生成された 121 個の代替案を図 4 に示す．

設計変数空間での分類は，深層学習の一つである Variational Deep Embedding (VaDE) により行う．生成された

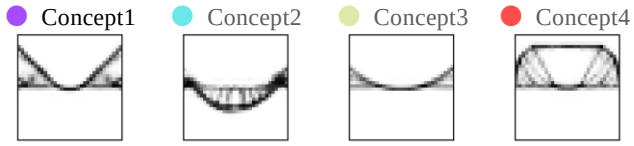


Fig.5　Four decoded concepts

代替案の材料分布を 32×32 ピクセルの画像として扱い，1024 次元の入力データとして VaDE に学習させた．VaDE の潜在空間の次元，クラスター数については実験的に選択した．最終的に，4 つのガウス分布からなる混合ガウス分布を仮定した 3 次元の潜在空間に代替案を落とし込み，代替案を 4 つのクラスターに分類した．前報[4]で得られた分類結果を図 4 中に色付きの丸印で示す．また，VaDE のデコーダーにより各クラスターの中心における画像を抽出した結果を図 5 に示す．図 5 に示す 4 つの形態は多様な代替案に潜んでいた代表的な属性のもとで規定されるコンセプトである．それらは，図 2 に示した橋梁形式と比較すると，コンセプト 1 が吊り橋に，コンセプト 2 がアーチ橋に，コンセプト 3 が桁橋に，コンセプト 4 がトラス橋に対応する．

4. 3.　評価指標空間での分類の対応付け

評価指標に関して，4.2.節の代替案の生成では，橋梁構造物の形態は荷重を支える効率により分化しているとの考えから，剛性，経済性に関する指標を用いた．しかし，橋梁

Table.1　Evaluation criteria for design of bridge structures

Evaluation criteria	Viewpoint		Small value	Large value
f_1	Stiffness		High stiffness	Low stiffness
f_2	Efficiency		Low material consumption	High material consumption
f_3	Material distribution		Below the design region	Above the design region
f_4	Ratio of tensile to compressive material	Mean	High percentage of tensile material	High percentage of compressive material
f_5		Variance	Small variance	Large variance
f_6	Supporting point		Low support point	High support point

構造物の概念設計では，4.1.節でも述べたように，様々な観点からの評価が重要である．そこで，剛性，経済性に関する指標に加えて，材料分布の重心，引張材と圧縮材の割合，支持点の高さに関する指標を考える．各指標を同時に考慮した際，与える影響に偏りが発生しないように，平均が 0，分散が 1 に標準化されたものを評価指標として用いることにする．以上により本研究で想定する評価指標は，剛性 f_1，経済性 f_2，分布の重心の高さ f_3，引張材と圧縮材の割合の平均 f_4，分散 f_5，支持点の高さ f_6 となり，各評価指標の値の大小の意味は表 1 のようになる．

上記のもと，まず，図 5 のように求めた 4 つのコンセプトに属する代替案を，ロジスティック回帰による 2 クラス分類器により分類する．コンセプト 1,2,3,4 に属する代替案の分類を試行してみたところ，次式の分類面による分類が最も有意なものとなった．

$$-10.4 + 0.92f_1 - 1.46f_2 + 9.75f_3 - 2.09f_4 + 2.45f_5 - 3.71f_6 = 0 \quad (6)$$

上式はコンセプト 4 に属する代替案とそれ以外を分類するものあることから，次にコンセプト 1,2,3 に属する代替案の分類を行なってみたところ．次式の分類面により 96.2%の代替案が正しく分類された．

$$-5.24 - 8.50f_1 + 1.81f_2 - 3.38f_3 + 2.06f_4 - 1.03f_5 - 2.72f_6 = 0 \quad (7)$$

上式はコンセプト 2 に属する代替案とそれ以外を分類するものであることから，さらにコンセプト 1,3 に属する代替案の分類を行なってみたところ，次式の分類面により 98.7%の代替案が正しく分類された．

$$-11.6 + 0.10f_1 - 7.84f_2 - 11.4f_3 + 1.50f_4 - 4.29f_5 + 0.61f_6 = 0 \quad (8)$$

上式はコンセプト 3 に属する代替案とそれ以外，すなわち，コンセプト 1 に属する代替案を分類するものであり，以上により 4 つのコンセプトに属する代替案を評価指標に基づいて系統的に分類できたことになる．

4. 5.　分類の対応付けの解釈による知識獲得

得られた分類面の式(6),(7),(8)の各評価指標に対する係数に注目し分類結果を解釈する．各分類面で係数の絶対値が大きい 2 つの評価指標が分類に対して支配的であると考え，またその係数の符号をもとに各分類の解釈を行った．1 回目の分類は式(6)より，設計領域の上方に分布するかつ支持点の低い構造としてコンセプト 4 とコンセプト 1,2,3 を分類していると解釈できる．2 回目の分類は式(7)より，設計領域の下方に分布するかつ剛性の高い構造としてコンセプト 2 とコンセプト 1,3 を分類していると解釈できる．3 回目の分類は式(8)より，設計領域の下方に分布するかつ使用材料の少ない構造としてコンセプト 3 とコンセプト 1 を分類していると解釈できる．以上の分類の手順と解釈結果は図 6 のような意思決定木としてまとめることができる．

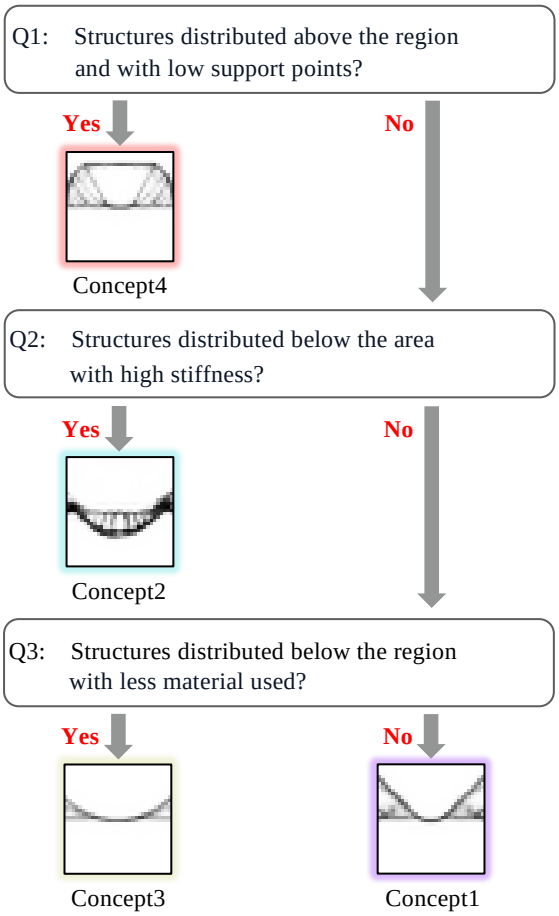
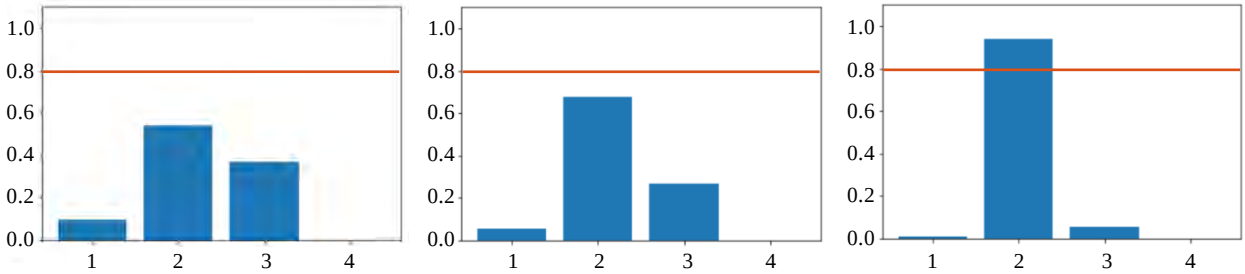


Fig.6　Decision tree for conceptual design of bridge structures

4. 6.　獲得した知識に基づく設計の実施

最後に，図 6 に示す意思決定木とロジスティック回帰に



(a) Add settings for material distribution (b) Add settings for stiffness (c) Add settings for supporting point

Fig.7 Probability of each concept when a requirement is set

よる予測モデルを用いた概念設計を試行してみる．

まず，試行にあたっては，以下の考え方を前提とすることにする．ロジスティック回帰による予測モデルは，特定の評価指標の値が与えられたときに，コンセプトの選択確率を予測する．本研究では，学習に用いた代替案の傾向を反映すべく，各評価指標の設定は，10%点，中間値(50%点)，90%点から行う．また，明示的な設計要求として設定していない評価指標に対しては，3 つの値をそれぞれ選択した場合の全てに対して確率を求め，その平均値を表示することで，後にその評価指標を設計要求として設定した時を見通した予測を行う．これにより，評価指標をすべて選択しなくても有望なコンセプトが予測できるようになり，要求を明確化しながら選択すべきコンセプトの絞り込みを行うことができるようになると考える．

上記の考え方のもと，簡単な例題として，山の中を走る高速道路の谷を渡る橋の概念設計を想定し，得られた意思決定木と予測モデルを用いて，選択すべきコンセプトを絞り込む．選択確率が 0.8 を超えるコンセプトが判明した時点で手続きを終了することとする．

まず，意思決定木より，分類に対応するすべての質問で材料分布の重心に関する質問が含まれていることから，初期要求として，材料分布の重心について考える．設計対象は谷を渡る橋であり，架橋位置が高くなるため見た目の安定感が重要となる．そこで，材料分布の重心は設計領域の下方に位置するのが好ましく，分布の重心に関する評価指標 f_3 として，10%点を設定する．予測モデルにより求められる選択確率は図 7 (a) のようになり，コンセプト 2 か 3 が有望であるという予測結果が得られ，コンセプト 1 と 4 は候補から外れる．次に，コンセプト 2 か 3 を選択するために，さらなる要求の具体化を行う．コンセプト 2 と 3 を分類する図 6 の Q2 に注目し，剛性に関する要求を設定する．高速道路であるのでより高度な安全性が求められるとして，剛性は高い方が望ましく，剛性に関する評価指標 f_1 として 10%点を設定する．選択確率は図 7 (b) のようになり，コンセプト 2 の方が有望であるという予測結果が得られる．さらなる要求の具体化を考え，支持点の高さについて検討する．山の中であるから支柱を建てるのが難しく，支持点の高さは低い方が良い．そこで，支持点の高さに関する評価指標 f_6 として 10%点を設定する．選択確率は図 7 (c) のようになり，コンセプト 2 を選択すべきであるという結果が得られる．

よって提案する枠組みによる概念設計により，山の中を走る高速道路の谷を渡る橋の概念設計では，材料分布の重心，剛性，支持点の高さの順に要求を具体化していき，コンセプト 2 を選択すべきであるという結果，すなわち，図 8 に例示するような概念設計案が得られた．

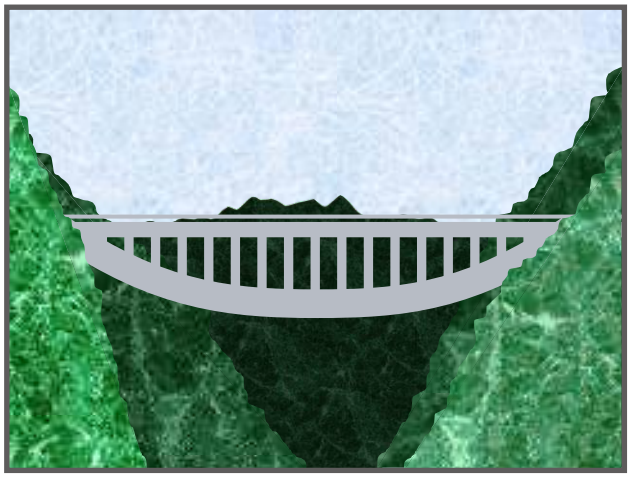


Fig.8 Results of a conceptual design example

5. 結　　言

本研究は，一般設計学を基礎となる理論に据えつつ，属性を表す設計変数空間と機能を表す評価指標空間での分類の対応付けによる計算機上での概念設計の枠組みを提案し，橋梁構造物の例題へ適用することで，その基本的な妥当性を示した．

枠組みによって得られた結果の可能性を検討するために，例題として，山の中を走る高速道路の谷を渡る橋の概念設計を想定し，得られた意思決定木と予測モデルを用いて，選択すべきコンセプトの絞り込みを行った．その結果，材料分布の重心，剛性，支持点の高さの順に要求を具体化していき，解候補を絞り込むことで特定のコンセプトを選択できることを例証し，提案する枠組みによって概念設計が可能であることが確認できた．

その一方で，提案した枠組みには，多様な代替案の生成における目的関数，支持条件などの問題設定，設計変数空間での分類の際の潜在空間の次元数，クラスター数，考慮する評価指標など，既知の情報をもとに設定せざるを得ない部分が含まれている．そのため，提案する枠組みをより一般的な設計問題，例えば代表的な形態が知られていない設計問題等に適用するためには，プロセスの後戻りによって枠組み内で設定を検証する方法，実験的に設定を検討する方法などを確立することにより，提案手法を発展させていくことが，今後の課題であると考えられる．

文　献

(1) Pahl, G. and Beitz, W., Wallace, K., Engineering Design, Design Council, 1984
(2) 吉川弘之，一般設計学序説，精密機械，Vol.45，No.8，906-912，1979
(3) Shea, K., Aish, R., Gourtovaia, M., Towards Integrated Performance-Driven Generative Design Tools，Automation in Construction, 14 (2 SPEC. ISS.), pp. 253-264., 2005
(4) Minowa, K., Fujita, K., Nomaguchi, Y., Yamasaki, S., Yaji, K., Variational Deep Embedding Mines Concepts from Comprehensive Optimal Designs, Proceedings of Ninth International Conference on Design Computing and Cognition (DCC'20), Paper No. 94, 2020
(5) Bendsøe, M. P., Sigmund, O., Topology Optimization: Theory, Methods and Applications, 2nd edition，Springer, 2003
(6) Bishop, C. M., Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2012
(7) Jiang, Z., Zheng, Y., Tan, H., Tang, B. and Zhou, H.，Variational Deep Embedding: An Unsupervised and Generative Approach to Clustering, Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'17)，1965-1972，2017
(8) 橘善雄，中井博，北田俊行，橋梁工学 第 5 版，共立出版，2000
(9) 赤木新介，設計工学 (上)，コロナ社，1991.

都心市街地におけるコワーキングスペースの空間構成に関する研究

ー神戸市の事例に着目してー

Study on the spatial composition of co-working space in the downtowns

-Case study on Kobe city-

○鈴木滉一（神戸大学大学院）*1　　栗山尚子（神戸大学大学院）*2

*1 SUZUKI Koichi, Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo, Japan, 657-8501, rad51wimps@gmail.com
*2 KURIYAMA Naoko, Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo, Japan, 657-8501, kuri@kobe-u.ac.jp

キーワード:コワーキングスペース,都心市街地,空間構成

1. 研究の背景・目的・構成

コロナ禍において人々は大きな行動制限を受け，テレワークによる勤務が急速に進んだ．ファーストプレイス（自宅）には住機能に加えて働く機能が求められ，セカンドプレイス（職場）に行く頻度が低下し，自宅近くのコワーキングスペース(以降 CWS と記す)（サードプレイス）の利用は増加し，オンラインや仮想空間（4th プレイス）の積極的な利用が進むなど，都市空間の居場所は大きく変化している．働き方の大きな変化によって，働きたい時に働ける環境づくりへのニーズが高まり，CWS の果たす役割，求められる空間の質，利用者のライフスタイル，ワークスペースで形成されるコミュニティの質がコロナ禍前から変化していると考えられる．そこで，本論文では神戸市の都心市街地における CWS に着目し，その空間の面積割合や席数及び家具配列の方法を分析し，CWS の空間タイプを考察し利用者のコミュニケーションの誘発について知見を得ることを目的とする．

CWS に関する研究として浜本ら[(1)]の全国の事例を対象に扱った研究や稲用ら[(2)]の都心部主要駅周辺における事例を取り扱った研究，三木ら[(3)]の関西圏の事例を取り扱った研究があり空間構成の方法について面積割合やゾーニング，席種の割合などを元にどのようなパターンがあるかを明らかにしているが，コミュニケーションの誘発の有利さという点で一つの都心市街地における近年開設された事例を対象としてこれらを総合して比較評価された研究はまだない．また，家具配置とコミュニケーションの関係に関する研究として黒田ら[(4)]の空間利用調査の研究や辻井ら[(5)]のテーブルの形状と話しやすさに関する研究，上村[(6)]らの机と椅子の配置から見たコミュニケーションの取りやすさに関する研究があり，これらの研究では家具スケールにおいてその配置や素材といった点から利用者の心理的な距離について明らかにしているが，得られた評価を一定地域の CWS で比較評価するものではない．都心市街地の新規事例を扱い，空間全体の構成と家具配置のような詳細の構成を同時に考えて比較評価する本研究には新規性があると考える．

研究の方法を述べる．神戸市の都心市街地三宮に立地しホームページ上で図面が入手可能な CWS の 8 事例を研究対象とする（表 1）．過去 10 年間に開設された新規性のある事例であること，ホームページ上で図面と内観が確認可能であり空間構成の分析が可能であることを条件とし，研究対象を選出した．図面を同条件で描き、スケールを明示したベースマップを作成したうえで，各コワーキングスペース内のコモンゾーン（以降 CZ と記す)、プライベートゾーン（以降 PZ と記す)、ミーティングゾーン（以降 MZ と記す）の構成、面積、席数、各ゾーンの関係（隔て方と開放性）について図面の分析を行なった（図 1）．

Table 1 Basic information on the cases
（表 1　事例の基本情報）

No.	名称 Name of space	開設年 Opening year	フロア数 Number of the floors
No.1	billage KOBE	2020	1
No.2	120 WORKPLACE KOBE	2015	3
No.3	起業プラザひょうご Kigyo plaza Hyogo	2020	1
No.4	WAY OUT	2018	1
No.5	fabbit 神戸三宮 fabbit Kobe Sannomiya	2019	1
No.6	BIZ comfort 神戸三宮 BIZ comfort Kobe Sannnomiya	2017	2
No.7	BIZ comfort 神戸旧居留地 BIZ comfort Kobe Kyu-Kyoryuchi	2018	2
No.8	コロコ coloco	2012	3

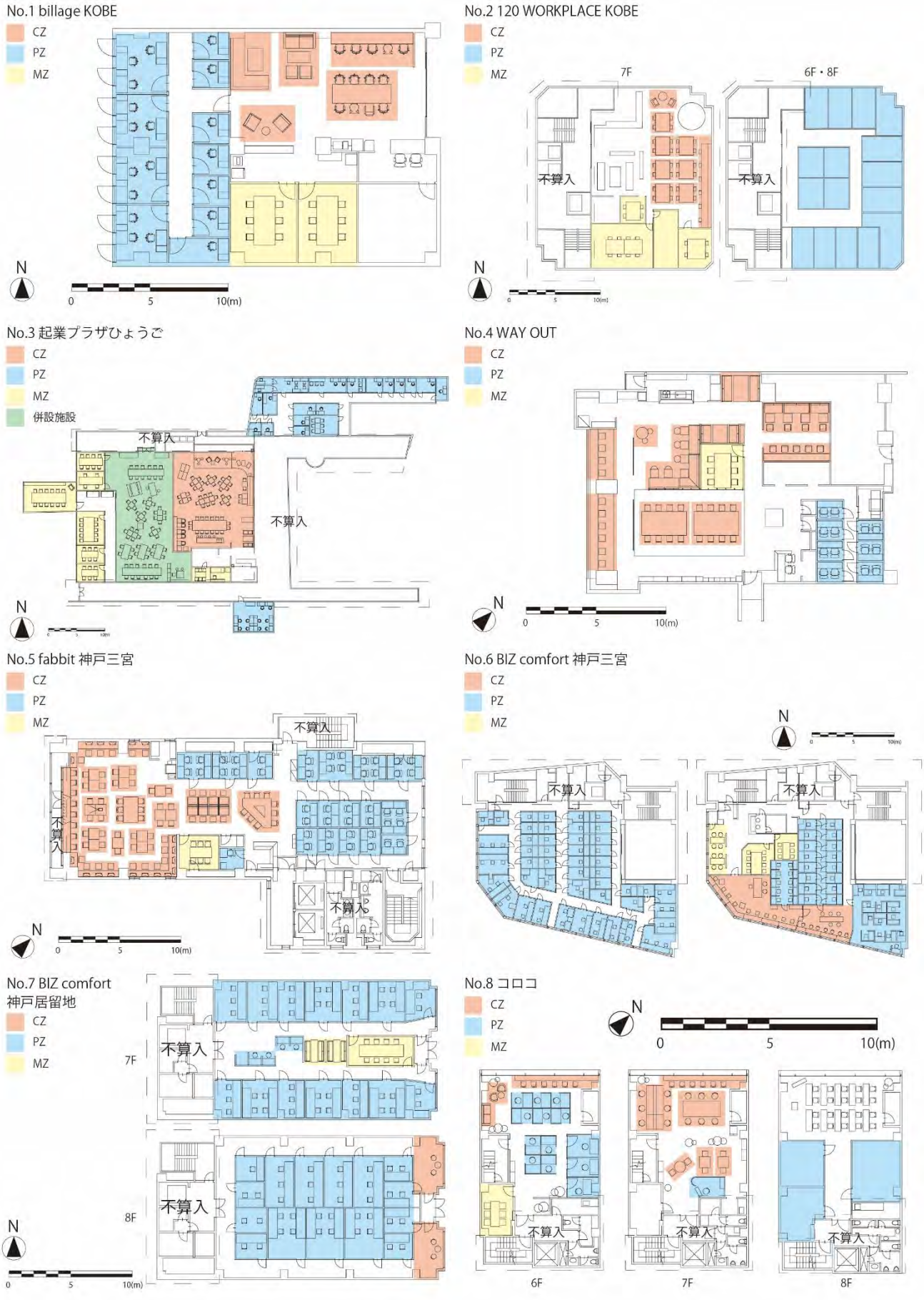


Fig.1 Analysis plan of each CWS（図 1　各 CWS の分析平面図）

研究の構成を述べる．はじめに研究の背景等を整理し，第２章で面積・席数に関する考察，第３章で各ゾーン間の隔て方と開放性に関する評価を行ない，コミュニケーションを誘発しやすいゾーンの関係を考察する．第４章では，CZ の家具配置の分析から，交流を生みやすい座席配置の考察を行なう．第５章では得られた結果を総合的に考察し，CWS の空間構成について，コミュニティ形成の促進に適切だと考えられる条件と事例を提示しまとめとする．

2. 面積と席数に関する考察

図１で，１人でも複数人でも作業ができる自由度の高いワークスペースを CZ として橙色で，壁面やパーテーション等で囲まれた個人向けのスペースを PZ として水色で，貸し会議室等の会議スペースを MZ として黄色で記し，ゾーンの分類を明示した．本章では，面積と席数の考察を行う．通路空間との区別がつけられなくなるため CZ に関しては席ごとに面積を測定した．

2．1． 面積と席数の基本情報

CZ, PZ, MZ の面積と席数を測定した結果が表２である．面積に関して，CZ の最大値が 248.0 ㎡（事例 3），最小値が 21.9 ㎡（事例 7），平均値が 82.1 ㎡となった．事例 3 と 7 を除いた事例に関してはおおよそ 50 ㎡～100 ㎡前後の数値に収まるため CWS の CZ の面積としてこの範囲の数値が一般的な面積値になり得ると考えられる．また，最大値と最小値を外れ値として排除した場合の平均値は 64.5 ㎡であった．

席数に関しては CWS 全体での平均値が 110 席，CZ では 42.4 席，PZ では 42.1 席，MZ では 16.9 席という結果になった [1]．

Table 2 Area and number of seats in CZ and whole spaces
（表２　CZ と CWS 全体における面積と席数）

事例 Case No.	CZ 面積 Area of CZ (㎡)	全体面積 Total area (㎡)	CZ 席数 Number of seats in CZ (席)	全体席数 Number of seats in all zones (席)
No.1	45.4	201.6	23	54
No.2	59.7	774.1	36	52
No.3	248.0	1096.0	79	172
No.4	74.3	230.0	63	83
No.5	91.9	329.8	75	128
No.6	61.5	568.2	25	153
No.7	21.9	400.6	4	115
No.8	54.1	366.9	34	54
平均値	82.1	495.9	42.4	101.4

2．2． 面積と席数の割合

面積割合で比較した場合の結果は図 2 のとおりである．全体面積に対する CZ の面積割合を比較すると，事例 4，5 はそれぞれ 32.3%と 27.9%となり上位であった．また，事例 3，1，8 も平均を越えており 3 事例とも数値に差が少ない結果となった．一方，事例 2，6，7 に関しては平均を下回る面積割合を示した．

PZ の面積割合に着目すると，CZ の面積割合で平均以下の数値を示した事例 2，6，7 が平均以上を示した．一方，CZ の面積割合で平均以上の数値を示した事例 1，3，4，5，8 は平均以下であった．

このことから CZ と PZ の順位，つまり全体の面積における二つのゾーンの面積割合の比重は対照的なものとして考察が可能ということがわかる．よって，CWS がこの評価方法により，集団における交流起点向け（CZ の割合が大きい）か個人の作業向け（PZ の割合が大きい）のどちらかに大別可能ということになる．また，MZ に関しては他の順位との相関は見られなかった．

また，同様の測定方法で CWS の全体面積でなく，主に CZ が配置されているメインフロアに限定して面積割合の比較を行った場合，事例 4,5,8 のみが平均値を超える結果となった．また，全体での面積割合の場合とは異なり，PZ の面積割合の結果は CZ の面積割合の結果と対照的なものとなることはなかった．以上より,全体の面積割合を分析した場合は対象の CWS が CZ または PZ のどちらに重きを置かれて運営されているかがハッキリと表れやすい分析であるといった特性をもつ.一方，メインフロアの面積割合の分析では複数事例間でより CZ の運営に注力している事例を抽出することに長けた分析手法になると考察する．

また，座席における CZ，PZ，MZ の割合の大小は各事例の面積割合における割合の構成と近しいため，面積割合と座席数割合には相関関係が考えられることがわかった．

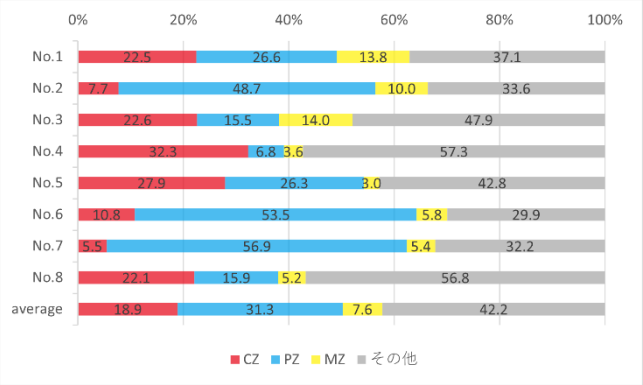


Fig. 2 Ratio of each zone's area
（図 2　各ゾーンの面積割合）

3. CZ と各ゾーンの関係の考察

交流が生まれやすい空間構成の特徴を，CZ を中心としてとらえるため，CZ と PZ の隔て方と CZ の他のゾーンへの開放性の評価を行なった．

3.1. CZ と PZ の隔て方

隔て方に関しては，PZ を利用している利用者と CZ を利用している利用者の接触に影響するものである．二つのゾーンの隔たりが小さいほど，利用時に異なる二つのゾーン利用者との交流起点となりやすいと考える．そこで，隔て方の分類として 4 種類を設け，隔て方が緩い順に，なし，壁，廊下，階と設定した．なしという項目は特に壁や建具等で CZ と PZ の領域を分けていない状態として設定した．CZ と PZ の隔て方について，PZ が複数に分散して同一の CWS 内に存在する場合には CZ に最も近接した PZ との関係性を考えることにした．

図 1 より，事例 4，5，8 がなし，事例 1，6 が壁，事例 3，7 が廊下，事例 2 が階によって CZ と最も近い PZ が隔てら

れていることが読み取れる．よって，事例 4，5，8 は CZ 利用者と PZ 利用者の双方の行動が目に入ったり，会話を行ったりするハードルが低くなりやすいため交流の起点として良好な条件であると考えられる．

Table 3 Method of separation between CZ and PZ and evaluation on the possibility of communication
（表 3　CZ と PZ の隔て方と交流の生みやすさに関する評価）

事例 Case No.	隔て方 Separation method b/w CZ and PZ	交流を生みやすい空間を持つ事例 Cases which have possibility of communication
No.1	壁 Wall	
No.2	階 Floor	
No.3	廊下 Corridor	
No.4	なし Nothing	○
No.5	なし Nothing	○
No.6	壁 Wall	
No.7	廊下 Corridor	
No.8	なし Nothing	○

3. 2. 開放性

他のゾーンから CZ へ入りやすい空間であれば，交流が生まれやすいと仮定し，CZ の開放性を評価する．CZ の空間が他のエリアに対してどの程度開放的であるか，CZ の領域を規定する要素にどのようなものが有るかを分析し，開放的な CZ の事例を，他のゾーンあるいは同じ CZ 内で交流の起点となる可能性が高い事例と判断する．CZ の領域が他のゾーンへ入りやすいか，逆に明確に区分されているかに注目し，図 1 の図面を読み取った．

事例 1，3，6，7 は CZ が壁や柱といった要素によって明確に境界が区分されているため，ゾーンの境界を跨いで他のゾーンへ移動しなければならない．一方，事例 2，4，5，8 は，壁や柱で CZ の境界が区分されていないため，CZ へ入る心理的なハードルが低くなると考えられる．

Table 4 Evaluation on the openness of CZ
(表 4　CZ の開放性の評価)

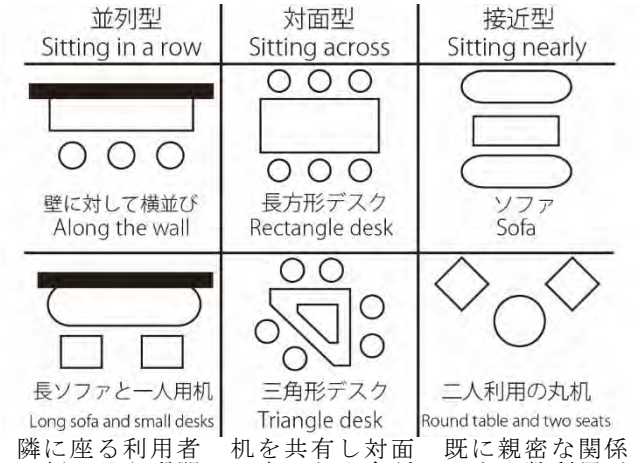
事例 Case No.	CZ の開放性評価 Openness Evaluation on CZ	理由 Reason of evaluation
No.1	×	壁や柱で明確にそれぞれのゾーンが分かれているため. Each zones are separated by walls and pillars.
No.2	○	受付ラウンジとつながっており,周囲を囲む壁もないため. CZ is connected to the lounge and not surrounded by any walls.
No.3	×	各ゾーンが廊下や壁で区切られているため. Each zones are separated by the corridor and walls.
No.4	○	CZ が CWS 内に点在し，それらが壁に囲まれていないため. Some CZs are scattered throughout the CWS and they are not surrounded by walls.
No.5	○	中央の廊下で CZ と PZ が接触しているため. CZ and PZ are connected by the center corridor.
No.6	×	CZ と PZ が壁によって隔てられているため. CZ and PZ are separated by the walls.
No.7	×	CZ が CWS の端にあり，壁で閉じているため. CZ is located on the end of CWS and closed by the walls.
No.8	○	CZ は壁や柱に囲まれておらず,他のゾーンからよく見えるため. CZ is not surrounded by the walls and pillars and has good view from other zones.

4. CZ における家具配置について

CZ における家具配置について，席種とその割合の 2 点を分析・考察する．使用時の他の利用者との距離感に注目し席種の分類を行い,その割合を事例を横断して分析する．

4. 1. 席種の分類

CZ における席種を配置の方法から並列型，対面型，接近型に分類した．定義の仕方として人が横並びに配置されるものを並列型，4 人以上での利用が可能な形態かつ利用者が向かいあって利用する形態のものを対面型，対話可能な位置に配置された 2〜4 人用のソファもしくは 3 人以下の対面利用可能な配置である接近型とした（図 3）．



隣に座る利用者の顔は見えず関わりは薄い.
Not seeing other users' faces makes disconnection to them.

机を共有し対面で座るため会話を誘発しやすい.
Sharing the desks and sitting across provoke conversation.

既に親密な関係の少人数利用が考えられる.
Usually used by some closed relationships.

Fig. 3 Diagram of each seat types
（図 3 各席種のダイアグラム）

各席種の空間特性と利用時のシーンを想定すると，並列型はお互い関係ない個人が作業を黙々と進めることが可能な配置であり，近くに座る他の利用者との関わりが最も薄いと考えられる．

対面型は，大きな机を初対面の他の利用者と机を共同で顔を向かい合わせて使うことになるため交流のきっかけとなる確率は高いと考えられる．

最後に接近型はソファや 3 人以下での近接での会話に向いた配置であるため，既に交流関係にある利用者同士の利用や単独での利用が多くなると考えられる．

分析で得られた席種を類型化すると大きく 3 つであるが，複数事例間で頻出の席配置から固有の特殊な配置まで幅広く見られた．

4. 2. 定量的な分析

CZ の席数（表 5）の平均値は全体で 42.4 席であり，並列 11.5 席，対面 22.5 席，接近 8.4 席という結果になった．席種間では対面型が存在する割合が多い結果となった．

Table 5 The number of seats according to each seat types
（表 5 各類型の席数のデータ）

事例 Case No.	並列型 Sitting in a row	対面型 Sitting across from ea	接近型 Sitting nearly	合計 Total seats
No.1	5	8	10	23
No.2	6	28	2	36
No.3	5	60	14	79
No.4	15	28	20	63
No.5	32	39	4	75
No.6	17	5	3	25
No.7	0	0	4	4
No.8	12	12	10	34
平均値	11.5	22.5	8.4	42.4

これらの数値をもとに CZ における各席種の割合比較を行う．なお，この分析で得られたデータは事例ごとにばらつきが大きいため中央値を用いての比較を行う [2)]．

図 4 に示すように，並列型で中央値を超えたのは事例 5，6，8 であった．対面型で中央値を超えた事例は 2，3，4，5 であった．接近型で中央値を超えた事例は 1，4，8 であった．

初対面の利用者との交流の起点に最もなりやすいと考えられる配置は対面型であるため，事例 2，3，4，5 が交流の起点になると捉え有利と考えられる．

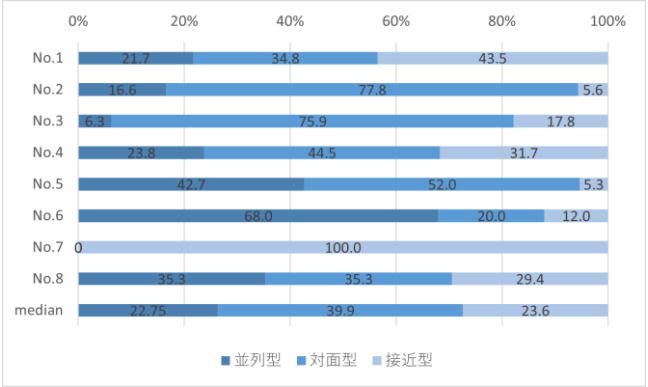


Fig. 4 Ratio of each seat types' composition
（図 4 各席種の割合）

5. まとめ

5. 1. 総合的な評価結果

本論文における分析結果と事例の対応を表 6 にまとめる．事例 4，5，8 が，交流が生まれやすい特性をもつ事例としての評価を同数得たため，コミュニティ形成という点において適切な CWS であるという結論に至った．次に事例 1，2，3 が同数で並び，事例 6，7 が低い評価となった．

延べ床面積に対して各領域の面積がどの程度振り分けられているか比較した結果，個人の作業に向いたCWS（事例 6，7）と初対面の利用者との交流拠点に向いたCWS（事例 2，3，4）に大別可能であり，その中間的なCWS（No．1，5，8）となった．

各領域のゾーニングから空間の隔て方やCZの開放性について評価可能であり，これらの評価は利用者の心理的な評価にもつながる可能性がある．

家具配置は並列型，対面型，接触型の3種類に大別可能でありどの事例にも含まれている．これらの型は利用時に心理的な距離感が異なると考えられる．

Table 6 Total evaluation of CWS which have possibility of communication
（表6 交流をうみやすい空間を持つCWSの評価結果）

事例 Case No.	面積 Area	隔て方 Separation between CZ and PZ	開放性 Openness on CZ	対面型の多さ Lots of seats sitting across in CZ	○の数 Number of circles
No.1	○				1
No.2			○	○	2
No.3	○			○	2
No.4	○	○	○	○	4
No.5	○	○	○	○	4
No.6					0
No.7					0
No.8	○	○	○		3

5. 2. 今後の展望

本研究では空間構成に着目し他の利用者との距離感のデザインを考察した．今後はヒアリング調査等を用いて今回の結果が利用実態に伴うものとなっているかを検証したい．また，他の評価基準が抜けている可能性や評価基準の重みづけに関しては本研究を元に実態調査を行うことでさらに詳細に有益な評価項目を得られると考える．その点に関しても明らかにしていきたい．

注

1) 席数の測定に際し事例 2 では，個人スペースの席数が図面上で空欄になっていたため，算定していない．また，事例 3 に関しては併設施設が存在したがその施設の席数は除外して算定した．

2) 事例 7 に関しては 2 席のみ接近型として配置されていた特殊な事例であったため，事例 7 は判定から除外している．

文　献

(1) 浜本雄也, 大河内学, 相川拓也, 小田隼, 国内の「シェアワークプレース」の設計手法に関する研究－空間の接続・分節に着目して－, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）, 69-70, 2019.
(2) 稲用隆一, 伊藤翼, 都心部主要駅周辺におけるシェアオフィスの運営コンセプトと家具配列, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）, 131-132, 2019.
(3)三木優子, 三輪康一, 栗山尚子, コワーキングスペースのコミュニティ形成に関する研究 利用者間および地域との関わりに着目して, 日本建築学会近畿支部研究報告集. 計画系, 第55号, 497-500, 2015.
(4) 黒田紀美子, 添田昌志, 大澤昭彦, 大野隆造, コワーキングスペースにおける利用者のコミュニケーションに関する研究(その1)コミュニケーションの実態と促進手法の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）, 773-774, 2015.
(5)辻井耕太郎, 松本裕司, 仲隆介, コワーキングスペースにおけるコミュニケーションの円滑さに関する考察-テーブルの形状が「話しかけやすさに」与える影響の分析-, 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）, 473-474, 2015.
(6)上村佳子, 柴田晃宏, コワーキングスペースにおける机と椅子の配置から見たコミュニケーションの取りやすさに関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第59号, 85-88, 2020.

ピーター・ズントーの建築創作およびその現代的意義に関する考察

The Architectural Creation and its Contemporary Significance of Peter Zumthor

○末包伸吾（神戸大学）*1　後藤沙羅（神戸大学）*2　増岡亮（大手前大学）*3

*1 Shingo SUEKANE, Kobe University, Rokkodai, Nada, Kobe, 657-8501, suekane@people.kobe-u.ac.jp
*2 Sara GOTO, Kobe University, Rokkodai, Nada, Kobe, 657-8501, saragoto@people.kobe-u.ac.jp
*3 Ryo Masuoka, Ohtemae University, 6-42 Otyayadokoro, Nishinomiya, 662-8552, masuoka28@gmail.com

キーワード: ピーター・ズントー, 建築創作, 現代建築

1. 緒　　言

本考察は，個別の課題ごとに実践活動を展開させ，場が有する素材的・文化的資源に対応してきた建築家ピーター・ズントー（Peter Zumthor, 1943－）の建築思想とそれに基づく建築作品の分析を行うことにより，彼が追求・実践する＜Sachverhalt（事物の振る舞い）＞の操作と＜Atmosphären（空気感）＞の創出，そして彼が最終目標とする＜Schöne Figur（美しい姿）＞の特質を明らかにすることで，現代における建築創作に資そうとするものである．

本考察は，研究の目的・背景・対象および方法を示す序章，ズントーの活動概要，思想形成の背景等の一般的考察を行う第1章，分析対象文献を明示し，言説の分析方法に関して述べ，ズントーの思想全体に関する概念構造を明らかにする第2章，その上で，ズントーの建築に関する問題意識と思考法を示す第3章，ズントーの建築に関する基底的な建築概念を示す第4章，ズントーの空間構成手法を類型的に明らかにする第5章，具体的な作品分析を実証的に行う第6章，考察全体を取りまとめ，彼の建築創作の現代的意義を示す結章の計8章からなる．

2. 人物の概要と思想分析方法

2.1 人物の概要

ピーター・ズントーは 1943 年にスイスのバーゼルに家具職人の息子として生まれた．1968 年から歴史的建造物保存局へ勤務し，1979 年に事務所を設立．2009 年にプリツカー賞を受賞した．

2.2 思想分析

言説の分析対象資料としては，建築思想について述べられた 2 冊の著作『Architektur Denken（建築を考える）』[3]，『Atmosphären』[4]を取り上げる．それらをデータ化，重要言説 569 言説を抽出し，概念化，キーワード表を作成することで，概念構造図を導出し，思想を分析する．概念構造としては，思想の背景となっている「問題意識」「設計の思考法」，思想の核となる基礎概念である「設計の礎」「最終目標」「設計に関わる基礎概念」，思想を踏まえた上での設計を行う際の手法である「空間構成手法」という計６つの構造を見出した。これらを構造図として図式化したものが下記図１である。

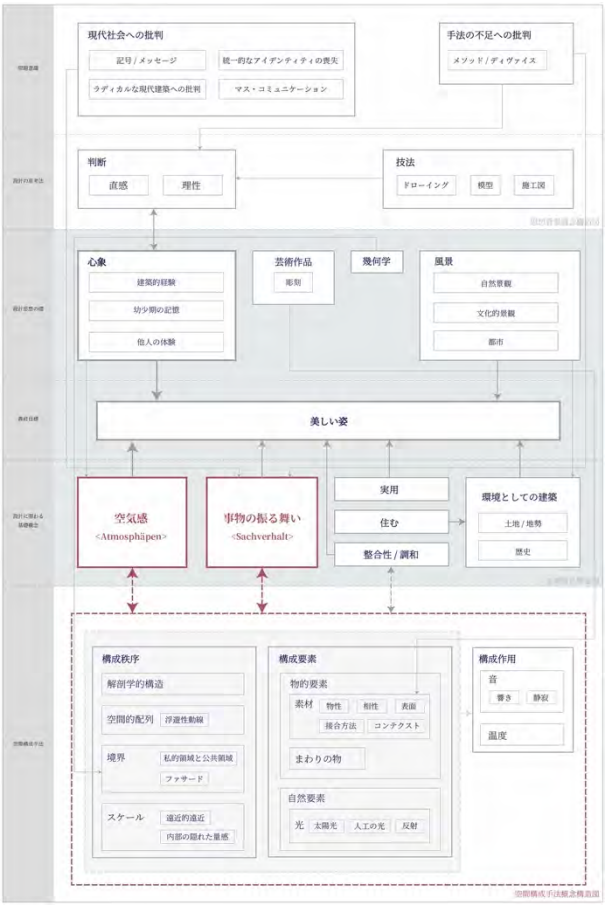


図１　概念構造図

3. 問題意識と思考法に関する考察

3.1 問題意識に関する考察

現在社会において，＜マス・コミュニケーション＞は画一的な＜記号/メッセージ＞を全世界の人々に与え続けて

おり，それに起因する＜統一的なアイデンティティの喪失＞を彼は危惧する．彼は建築を＜記号/メッセージ＞を訴えるためのものとする現代建築の流れに批判的な立場を取る．またクラスター化，構造の破綻といったメッセージのみに基づいている＜ラディカルな現代建築＞に対しても否定的である．さらに，対位法や和声学，色彩論，黄金分割などの＜メソッド/ディヴァイス＞のみを用いた設計では，＜美しい姿＞にたどり着けないとした．

3.2 設計の思考法に関する考察

彼は批判的な＜理性＞によって設計過程を吟味するが，作品制作の最終決定に用いるものは＜直感＞であり，これが彼自身を突き動かすものである．

また技法として，＜ドローイング＞は求めている基本的な雰囲気がつかめるところで視覚的描写をとどめる．＜模型＞では実際の素材を模型段階から使用することによって，自分の求める作品の全体性を見極める．さらに＜施工図＞の中には外からは見えない接合の技,眼に見えない幾何学,素材相互のこすれ，内部の諸力を見られるとして重要視する．

4. 基礎概念に関する考察

4.1 設計思想の礎に関する考察

＜心象＞は彼の建築におけるイメージの基層をなす．彼は主に３つの心象＜建築的経験＞，＜幼少期の記憶＞，＜他人の経験＞について言及した．また＜芸術作品＞から，素材の本質を顕視させること，部分が全体の理念に奉仕することという考え方において影響を受けた．さらに＜幾何学＞は空間における法則性を示すものであると述べた．＜風景＞に関しては，風景と建築が共鳴，調和，ないしは緊張関係を持つ適切な寸法を見出すことが大切であるとした．

4.2 設計に関わる基礎概念に関する考察

＜環境としての建築＞に関して，自身の情熱を掻き立てるものは，時の経過とともに＜土地／地勢＞と＜歴史＞と一体となっていく建物を設計することであるとした.また，＜整合性／調和＞は＜美しい姿＞の基準となるものであり，“場所・使用・形”が環をなすものであるとした．さらに，彼は＜実用＞できる物の美しさこそ，＜美しい姿＞の最高の形だと述べた．また，場所に対する人間の関わり，場所を介しての空間への関わりは，＜住む＞ことのなかにあるとした．

4.2.1 ＜Sachverhalt＞に関して

＜Sachverhalt＞は＜事物の振る舞い＞と訳される概念である．彼の思想は“観念は物のなかにのみ存在する”という見方に基づき，事物の本質に即す．さらに彼は事物に集中することによって，建築における＜美しさ＞の体験を生み出す“スパーク”が起こると述べる．これにより＜Sachverhalt＞が＜美しい姿＞の要因であることが明らかとなった．

4.2.2 ＜Atmosphären＞に関して

ズントーは，建築作品が芸術性を持ちうる条件として，多様な形態や内容が一体となって，心を動かすような＜Atmosphären＞を生むことができるときとした．そして，時間の経過によって生まれる＜人間の生の痕跡＞を吸収した建築は，独特の豊かさ，＜Atmosphären＞をおびることができるとした．＜Atmosphären＞は人の心を動かす＜美しい姿＞を設計するため取り掛かりとなるものである．

4.3 最終目標＜美しい姿＞に関する考察

＜美しい姿＞とは特別な＜形＞のことでなく，人間が受け取る感覚・感情の一つであると言及した．彼は＜形＞そのものでなく，＜形＞から飛び来る“スパーク”が，美の体験である特殊な興奮と感情の深度を作り出すとした．

5. 空間構成手法に関する考察

5.1 空間構成秩序に関して

彼の言説から４つの空間構成秩序を見いだすことができた．＜解剖学的構造＞は建築や構造における＜事物＞の物質としての存在，そして存在の仕方である．建築の内部には，建築を構成している＜事物＞の緊張関係が存在する．また＜空間的配列＞に関して特徴的なものが＜浮遊性動線＞である．＜浮遊性動線＞とは，人が自由にぶらつくことができる動線である．これは，各空間にそれぞれほかの空間への“移行部”を作ることによってできる．さらに＜境界＞に関しては，“内と外の緊張関係”が重要である．空間構成の方法として,「内部の空間が外と絶縁している閉じた立体」「無限の連続空間につながる部分を含んだ開かれた立体」の２つがあるという考え方は，彼の＜私的領域と公共領域＞の手法と密接に関係している．また，＜ファサード＞は内部に何かを隠しながら外部に語りかけるものであるとした．＜スケール＞に関しては，“尺度”として建築のみの寸法を考えるのではなく，人間の空間の感じ方に重きを置く．この考え方が＜身体的遠近＞である．さらに，彼は内部空間と外形と同じ形になることはないよう，壁に＜内部の隠れた量感＞が生まれるように設計する．

5.2 空間構成要素に関して

＜素材＞に関しては，＜物性＞，＜相性＞，＜表面＞，＜接合方法＞，＜コンテクスト＞の５つに対して考えを述べた.彼は初源的な＜素材＞の感覚的な性質に重きを置く．＜素材＞同士の響き合い，相互関係を重視し，自分の目で観察することでその相性を見極める．また＜素材＞を選ぶとき，＜表面＞を＜太陽光＞に当て，＜素材＞自体が持つ深い質量や濃淡の変化を見極める．＜接合方法＞に関しては，細部が建築作品全体の理念に奉仕するべきであると考えている．＜コンテクスト＞に関しては，＜素材＞は特定の建築の文脈の中で使用され，代替不可能の特別な意義を見出せた時のみ，本来の感覚的な特性や意味を顕示することができるとした．＜光＞に関しては特に＜太陽光＞に対して特別な想いを持っている．

5.3 空間構成作用に関して

＜音＞に関して，＜響き＞は空間の形態，＜素材＞の＜表面＞と＜固定方法＞と密接に関わっている．また，彼は設計の際，空間の大きさや比率，素材を＜静寂＞の中で組み立てていき，そこで響く音について想いを巡らせる．さらに，木材などを使用することで，建物が人にとって適切な＜温度＞となるようにする．空間構成作用は空間構成秩序と空間構成要素に影響を受けるものである．

6. 作品分析

6.1 作品分析方法

10 作品に対して作品シートによる分析，思想分析で得られた概念より設定した項目別分析を行い，思想と作品の相互関係と行われる操作を把握する．

6.2 作品分析シートによる分析

思想分析で得られた基礎概念，空間構成秩序と空間構成要素に従い，平面図，断面図，詳細断面図を挿入して作品の特徴を分析する．作品分析シートの一例を図２に示す．

6.3 項目別分析

作品分析シートによる分析，作品別項目分析を行った上で，項目別に 10 作品を総合して分析し，ズントーの建築作品における基礎概念と空間構成秩序，空間構成要素について考察する．

7. 主要な操作

7.1 作品分析方法

項目別分析にて項目ごとの視点を得た上で，空間構成秩序と空間構成要素を組み合わせ，さらに作品数を絞って分析を行う．10 作品からさらに 3 作品を選定，作品分析シートによって分析を行う．



図２　作品分析シート例［5］Therme Vals−1

7.2 作品分析シートによる分析

4 つの空間構成秩序に対して＜光＞，＜素材＞という空間構成要素を加え，＜オブジェクトの自律性の強調＞，＜浮遊性動線の誘因の配置＞，＜閉じた立体と開かれた立体の交錯＞，＜身体的遠近による親密性の喚起＞という 4 つの操作を見出し，アクソメ図，パース，写真を挿入して作品の特徴を分析した．分析図の一例を図３に示す．

7.3 項目別分析

＜オブジェクトの自律性の強調＞は，＜解剖学的構造＞によって建築全体の理念に沿って建築要素が独立させられ，そこに＜光＞が意識的に当てられることによって，＜素材＞自体が持つ本質の豊かさが露わになる操作である．＜浮遊性動線の誘因の配置＞では，＜浮遊性動線＞を誘発する空間構成の中の人々に対して＜光＞や＜素材＞によって移動を誘いかける誘因が配置されていた．これによって興味や発見が生まれ，人の心や感覚を揺り動かしている．＜閉じた立体と開かれた立体の交錯＞に関しては，「内部の空間が外と絶縁している閉じた立体」と「無限の連続空間につながる部分を含んだ開かれた立体」という２つの空間構成によって設計が行われていた．また「閉じた立体と開かれた立体の境界」には＜光＞や＜素材＞の変化が見られ，反対側の空間構成へ意識を向けさせていた．＜身体的遠近による親密性の喚起＞に関しては，人間の空間への感覚をイメージして寸法が決められ，さらに＜内部に隠れた量感＞を持たせ，＜光＞の明暗の差や，選び抜かれた＜素材＞を用いることによって，人間の身体感覚の幅を広げ，親密性を喚起する操作である．

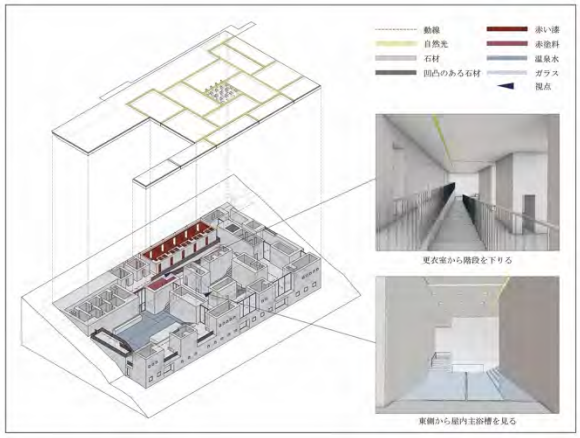


図３　分析図例［5］Therme Vals−浮遊性動線の誘因の配置

8. まとめ

ズントーは＜Sachverhalt＞を最大限に知覚化する手法を重ねることによって，人の心を動かす＜Atmosphären＞を創出する．これは，現実の物質が人間の感覚へと変容する瞬間であるとも言える．彼の独自の空間構成に対して，選び抜かれた＜素材＞や＜光＞といった要素を置くことによって，＜オブジェクトの自律性の強調＞，＜浮遊性動線の誘因の配置＞，＜閉じた立体と開かれた立体の交錯＞，＜身体的遠近による親密性の喚起＞といった操作が行われ，人間の知覚に働きかける．さらに時の経過を経て，人間の生や自然の痕跡をその身体に残す建築は，独特の＜Atmosphären＞を醸し出すのである．ズントーは，現代を生きる我々に，人間の知覚を揺さぶる空間のあり方を提示した．

＜Sachverhalt＞，事物の本質を導き出す空間構成と，それを照らす刻々と移り変わる太陽の光，時の経過を表す痕跡が＜Atmosphären＞を創出し，建築における＜美しさ＞の体験を生み出す“スパーク”が起こる．世界の事物に対する感覚に鈍感となっている我々に対して，ズントーは建築における繊細な知覚を授ける．

参考文献

1) 藤枝大樹：ピーター・ズンドーの中低層集合住宅デザインに関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.133-134，2016.8
2) 藤枝大樹：ピーター・ズンドーの建築設計手法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.193-194，2018.7
3) Peter Zumthor：Architektur Denken，Birkhäuser，1998
4) Peter Zumthor：Atmosphären ，Birkhäuser，2006

ピエール・コーニッグの独立住宅作品における主空間と架構表現

Main space and frame expression in major works of Pierre Koenig's detached house

○増岡亮（大手前大学）*1　　末包伸吾（神戸大学大学院）*2

*1　Ryo MASUOKA, Dept. of Architecture and Arts, Otemae University, 6-42 Ochayasho-cho, Nishinomiya, 662-8552, masuoka@otemae.ac.jp

*2　Shingo SUEKANE, Graduate School of Engineering, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501, suekane@people.kobe-u.ac.jp

キーワード:ケース・スタディ・ハウス，ピエール・コーニッグ，空間構成，架構形式

1. はじめに：研究の背景と目的

この論文は，ケース・スタディ・ハウス（以下，CSH）＃21(1958)，#22(1960)などにより，第 2 次世界大戦後のアメリカ西海岸の建築を先導した建築家ピエール・コーニッグ（Pierre Koenig，1925-2004）の建築の特質を明らかにする研究の一環である．

コーニッグは，フランス人とドイツ人の両親のもと 1925 年にサンフランシスコに生まれ，1939 年にロス・アンゼルスへ移住する．第 2 次世界大戦後に，パサデナ市立大学と南カリフォルニア大学で建築を学び，建築の社会性やローコスト住宅などの知見を深め，構造と機能の両面を最適化する方法などに関心を持つ．構造が住宅の骨格と機能を決定するものとして重要であることをコーニッグは常に意図し，空間を創出するための基本的手法と考えるようになる．また，在学時に，コーニッグ自身の自邸（図 1）を鉄骨造で計画し，この実作を通じて，彼は鉄骨造の工法と構法の知見と技術を学んだ．1952 年にコーニッグは南カリフォルニア大学を卒業し，当時鉄骨造住宅を手がけていたラファエル・ソリアーノ（Rafael Soriano，1904-1988）の建築事務所で働きながら，ロス・アンゼルスで設計活動を開始する．1957 年に，彼が計画したバーワッシュ邸（図 1）が竣工し，雑誌「アーツ・アンド・アーキテクチュア」の 1957 年 3 月号で“Low-Cost Production House”として掲載され，当時雑誌「アーツ・アンド・アーキテクチュア（A&A）」の編集長ジョン・エンテンザに CSH に参加するように誘われる． コーニッグは，1959 年に CSH#21（Baily House）を竣工，1960 年に CSH#22（Stahl House）を竣工し，いずれの作品も鉄骨造で自然と建築の融合に関する可能性を追求した作品である.特に，コーニッグは，鉄骨造による架構形式を重んじた作品を創出してきたことから，CSH プログラムの参加建築家の中で，クレイグ・エルウッド（Craig Ellwood, 1922−1992）やエドワード・キリングワース（Edward Killingsworth,1917-2004）と共に第 3 世代と呼ばれた．

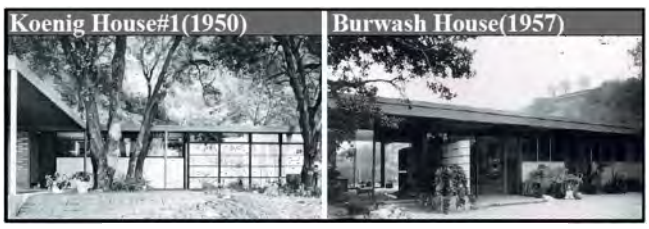


Fig.1 Koenig House /Burwash House

コーニッグは 1962 年に南カリフォルニア大学の建築学科で教鞭をとるようになり，学生の指導と育成，住環境の研究に重点をおき，自身の建築事務所の規模を縮小していった．また，研究に関しては，住宅の大量生産を行う鉄骨材の規格化に関する技術とともに，自然環境との融合，今後の新しいライフスタイルの提案に重点を置き，それらの方法に関する研究を行うようになる.このように，コーニッグは建築の構造と自然環境を重視し，生涯にわたり鉄骨造の架構形式を重視していた．こうした建築思想によって，彼は2004年に死去するまでに20件の住宅作品を計画した．

本研究では，コーニッグが主眼とした独立住宅作品における鉄骨造住宅の代表的な作品取り上げ，建築空間と架構形式の構成を分析することで，彼の空間構成の特徴を明らかにする．

2. 研究の方法

コーニッグの独立住宅作品は，アメリカ西海岸を中心とする 1 年を通じて温暖な気候の地域に建設され，鉄骨による架構を用いた無柱空間, 内外空間の連続性および可変性, 眺望，環境を重視した空間を創出している．また，アメリカ社会では，家族団欒を求める場所を重視することから，本研究ではリビング・ダイニング・キッチンなど家族が集まる場を主空間と定義し，この独立住宅作品における主空間に着目する．さらに，内外空間と架構およびその表現を分析することにより，架構形式を重視したコーニッグの建築の特徴の一端を示すことを目的とする．

本論文は，コーニッグの建築作品の特質を明らかにする研究の一環として，現地調査および分析資料の収集可能である彼の独立住宅作品の中から，鉄骨造の平屋建ての代表的な 4 作品を研究対象として抽出する．本研究では，筆者のこれまでのソリアノやエルウッドの空間構成に関する研究方法を用い，筆者が収集したコーニッグの図面・写真や作品集等により，平面図と断面図，立面図を作成して，分析の基礎資料とした（図 2）．主な分析項目は，「主空間の

構成」「架構形式の構成」「主空間と架構表現」の 3 点とした．これら 3 つの分析を整理したものが，表 1 である．

なお，コーニングの作品は CSH プログラムの全体の中で把握されることが多く，本研究が企図するような彼の建築活動を通じて,それらの特質を分析かつ把握するものは，未だ行われていないと考えられる．

3. 主空間の構成

ここでは，主空間とその他諸室との平面計画の特徴を抽出，それらを分節する要素を分析し，主空間と眺望の関係性を明らかにする．さらに，リビングとダイニングなど各諸室の構成を平面的かつ断面的に分析することによって，主空間の特徴を明らかにする．

【P01】は，駐車場（P）と居室部分からなる単純な矩形の構成である．玄関（E）とリビング（L），ダイニング（D）とキッチン（K）といった主空間と寝室などの私室空間は，浴室やトイレ，パティオなどのボリュームによって明確に分節されている．主空間に着目すると，EL と DK は，キッチンの設備機器や棚などによって分節し，視線を遮りながら気配などを感じることができる一体的な構成となっている．さらに，パティオから光や風を取り入れることで主空間を快適な場所を作り出している.また,眺望に関しては，L と私室空間が同じ方向に，大開口を用いた開放的な眺望を確保し，周囲の水盤が反射鏡となり，水盤から反射した光を室内へと導いているところが特徴的である．【P02】はロス・アンゼルスを一望できる高台に位置する．道路側からは駐車場と外壁しか見ることができないが，玄関から敷地内に入ると開放的な外部空間と室内空間を見渡すことができる．建物の形は L 字型の単純な矩形となり，私室の前を通過して主空間へと導かれる．主空間は，LDK が連続した構成となり，L と D は暖炉，D と K は棚や設備機器などで分節されているが，それぞれの分節要素と外壁面は廊下程度のスペースがあり視線はつながっている．また，L は高台の崖に，3m 程度突き出しており，約 270 度の開放的な眺望を確保している．【P03】は【P02】の影響を受けた作品である.道路側からは駐車場と外壁しか見ることができず，玄関を通ると開放的なプライベートな空間が広がる．建物の形状は T 字型となり，駐車場と私室空間，水廻りなどのコアが直線に並び，主空間が外部空間の方向にと延びる構成である．主空間は LDK が連続し，L と D は暖炉，D と K は棚や設備機器などで分節されているが，外壁と DK の間に廊下のようなスペースを設けることにより，視線のつながりがある．また，眺望は LDK の外壁面はすべて大開口とし，開放的な室内空間，周囲への眺望を確保する構成である．【P02】は来客側に私室空間があるので，眺望や外部空間を共有しているが，【P03】は来客側に私室がないため，主空間と私室空間の眺望および外部空間を明確に分離した構成となっている．【P04】は高台に位置し，周囲を見渡すことができる眺望がある．道路からは駐車場と外壁，塀しか見ることができず，プライバシーを確保した外部空間や眺望を持つ構成である．門扉から主空間と私室空間まではパティオのような半屋外空間を通過してから玄関へと至る.玄関では主空間である D と L を分節し，私室空間は D および L に隣接した配置で，水廻りなどのコアで明確に分節している．L にはプールや外部空間を眺めることができる大開口を有した開放的な構成となっており，眺望は L のみ可能である．

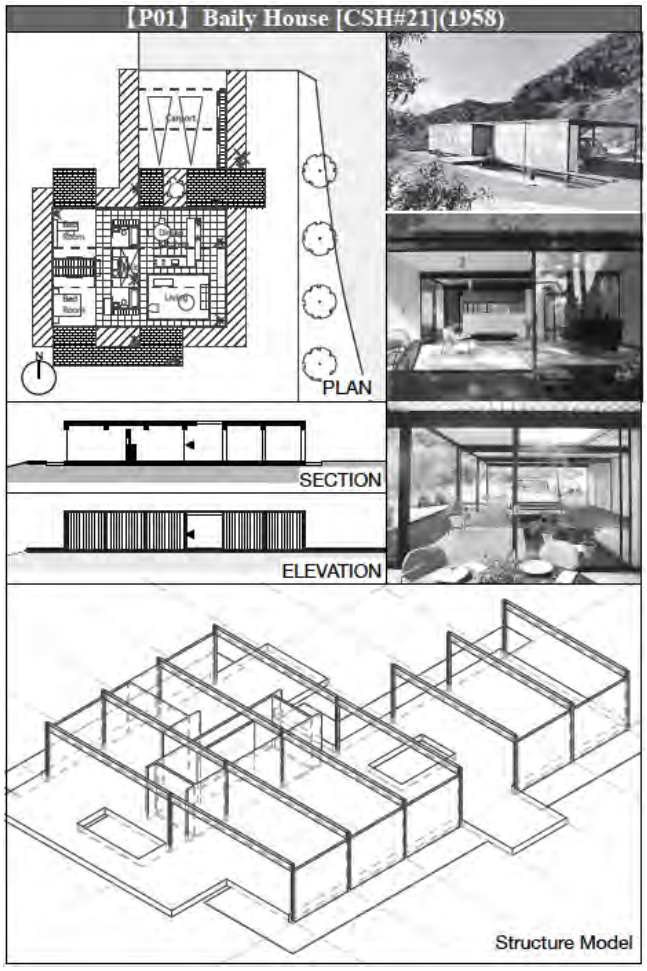


Fig.2 Basic material of the work to be analyzed

これらにより,【P01】【P02】【P03】は主空間における LDK は家具や暖炉で分節しながら，視線をつなげる一体的な空間が形成されている．特に,【P02】【P03】は LDK が同じ順番に配列され，外部に面する外壁がすべて開口部となる開放的な空間である．一方,【P04】は K を中心に LD を分節し，L のみが眺望と外部空間に面している構成である．

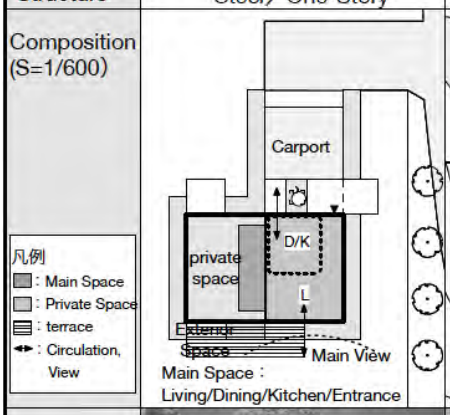
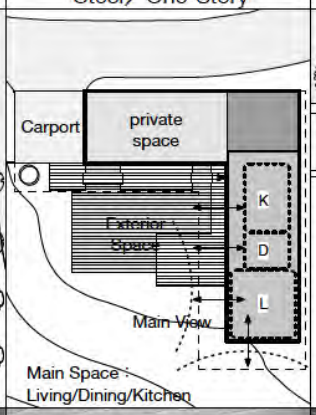
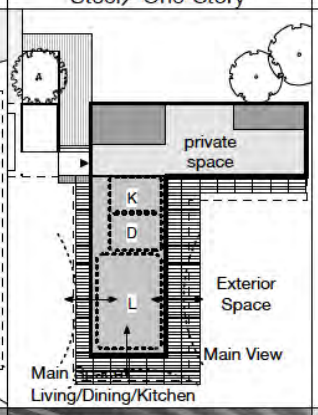
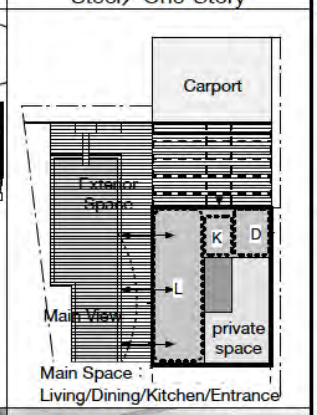
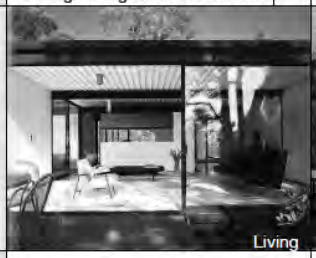
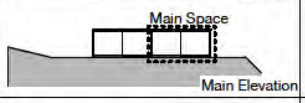
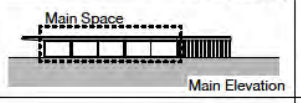
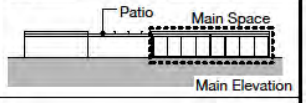
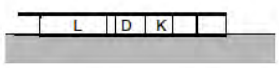
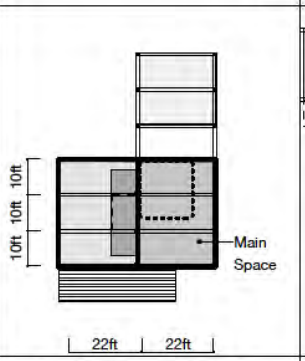
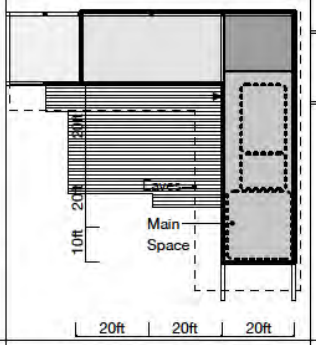
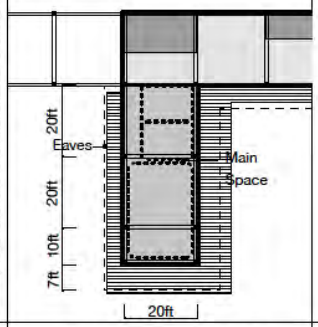
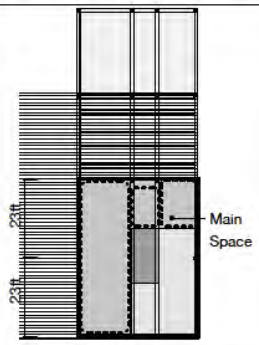
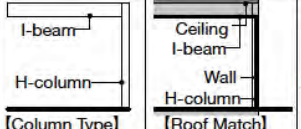
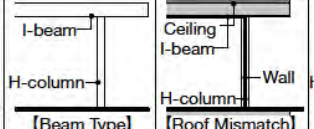
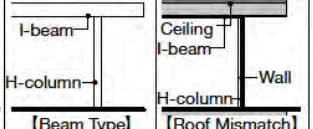
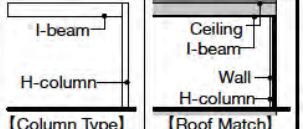
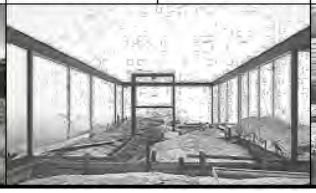
4. 架構形式

本章では，空間構成材と架構形式の特徴を把握する．構造に着目した柱梁の種別や大きさと形状およびモデュールの特徴を明らかにする．これらをもとに，架構と間仕切りの構成，内外部空間とモデュールとの関係性を平面的および断面的に分析し明らかにする．

コーニングは,エルウッドと共に鉄骨造住宅を得意とし，アメリカ西海岸特有の気候などの地域性を取り込んだ空間構成を数多く計画した．本論文の研究対象作品の 4 作品はすべて鉄骨造住宅の平屋建ての作品群で，同形式の作品は 1950 年代から 1960 年代前半まで多く計画された.一方で，1960 年代後半以降には 2 階建ての作品を多く計画し．これらは大学で教鞭をとりながら，その研究成果を作品群で実証を試みた作品群である．

研究対象の 4 作品における柱と梁の形状は，柱が 4 インチの H 型鋼，梁が 12 インチの I 型鋼を用い，全作品で共通であった．【P01】は 22ft と 10ft の柱・梁モデュールを用

Table.1 Analysis of main space and frame

	【P01】Baily House [CSH#21](1958)	【P02】Stahl House [CSH#22](1960)	【P03】Johnson House (1962)	【P04】Oberman House (1962)
Exterior Photo				
Structure	Steel／One-Story	Steel／One-Story	Steel／One-Story	Steel／One-Story
Composition (S=1/600)				
Interior Photo				
Elevation				
Section				
Module (S=1/600)				
Column/Beam	C：H-4-inch ， B：I-8-inch	C：H-4-inch ， B：I-8-inch	C：H-4-inch ， B：I-8-inch	C：H-4-inch ， B：I-8-inch
Structure System				
Structure Photo				

い，外壁および開口部に柱と梁が表現できるように立面構成が計画されている【P02】は 20ft と 10ft の柱・梁モデュールを用い，道路側の外壁を除いた全ての外壁面が開口部とする特徴があり，柱・梁のモデュールに一致するように開口部の割付が計画されている．また，短辺方向に梁を用いずに，水平力を屋根の鋼板で支持するところにコーニッグの加工の特徴があるといえる．これらにより，室内に梁型が現れずに波型の鋼板のみが表出するシンプルな構成としている．【P03】は【P02】と同じモデュールを用いているが，【P01】と同様に短辺方向にも梁を用いて架構形式を表現している．【P04】は外部空間やプールがある長手方向に 23ft を用い開放的な空間を形成している．この作品も【P03】のように短辺方向に梁をかけずに屋根の鋼板によって水平力を負担する構成である．コーニッグの柱と梁のモデュールは，【P03】を除いては，門型のフレームを構成し，屋根の鋼板による面的な要素によって水平力を負担する構成となっている．また，【P01】は，柱の H 形鋼のフランジを外部側に向け強軸の向きを考慮することにより，長手方向の柱と梁を大スパンとする構成とし，外部空間に面する側に，H 型が認識できるように配置している．一方で，【P02】【P03】【P04】は，梁の長手方向に対して柱のフランジではなく，ウェブで水平力を受けるような構成となる．また，【P02】【P04】では，直行方向に梁がなく屋根の鋼板による面的要素で水平力を伝達し，柱のフランジ側で力を負担するように柱を配置している．これらのことから，外部空間や主な眺望側に対して，柱の H 型が認識できる作品は【P01】のみで，ソリアノやエルウッドと同様の構成を用いている．

柱と梁の結合部分の分類として，【P01】【P04】は，柱を梁の上端まで伸ばす〈柱がち〉，屋根は庇などを設けず，梁と同等の位置で固定する〈屋根床一致〉による構成から，柱の垂直性を表現しているといえる．【P02】【P03】は柱を梁の下部までとする〈梁がち〉とし，梁の形状を強調した構成である．特に，主空間の長辺方向へ梁を持ち出す〈屋根突出し〉とすることで，空間に方向性を与え，外部空間や眺望をより強調しているといえる．

5. 主空間と架構表現

主空間と架構形式の特徴について，【P01】【P04】の 2 作品は，柱・梁の位置と外壁・屋根の位置が一致した単純な矩形となる建物形状をしている．外部および内部ともに，柱と梁を表出した架構形式である．主空間における空間のつながりや眺望に対して，梁の向きは直行した方向であり，架構による外部空間への方向性を与えていない．主空間を囲む外壁は，外部空間に対して直面する外壁面を全て大開口とし，その両側を鋼板の外壁材を用いることにより，架構による線的な要素ではなく壁と開口による面的な要素で方向性を与える構成である．また，開口部は架構のモデュールに対して方立てを均等に分割することで，空間に一定の秩序を与えている．

【P02】【P03】の 2 作品は，柱が梁の下端までとなり，屋根と梁材による空間の広がりを形成している．外部および内部ともに，柱と梁を表出している構成で，【P02】は外周部から直行する方向に梁のない空間を形成している．特に外部空間の一部である眺望方向に対しては，屋根の鋼板や梁を外部まで延長させることで，空間に外部への方向性を与えている．また，主空間を分節する暖炉や家具などの要素が外壁から分離させることで，室内における主空間のつながりを生み出している．さらに，主空間を囲む外壁は全ての面で床から梁までの大開口とし，架構のモデュールに対して方立てを均等に分割することで，明るく開放的な室内空間，外部空間との連続性を形成していることが特徴的である．

これらにより，4 作品の全てにおいて，内外部空間で架構形式を表現した構成であるが，【P01】【P04】は架構形式によって外部空間への方向性を与えないが，【P02】【P03】は梁や屋根の鋼板を内部から外部空間へ延長することで内外の連続性を創出している．

6. まとめ

本稿では，コーニッグの鉄骨造の住宅作品における主空間とその架構形式の関係を分析の上，その特質を明らかにしてきた．以下に本稿で明らかとなった点を概括する．

内部空間について，主空間と私室空間との分節は浴室やトイレなどのコアにより明確に分割されている．主空間の構成は，LDK を一つの空間の中にまとめて配置し，暖炉やキッチンなのなど設備機器，家具などを用いて，視線を遮るように LDK を分節している．特に，【P02】【P03】は，LDK の周囲に廊下のようなスペースを設けることで内部空間における視線と動線がつながり，かつ外部空間との連続性を意図した構成であることが明らかになった

架構形式は，外部空間に面する側に，20ft から 23ft の一定のモデュールを用い，全ての作品で柱と梁を仕上げ材で隠すことなく表出した構成とし，それらの間を均等な開口部で分割することにより一定の秩序を建物に与えている．

【P01】【P04】では，外壁面と床・屋根の面を一致させることで単純な矩形を形成し，柱を梁上端まで伸ばすことにより垂直性を表現した構成となっている．【P02】【P03】では柱を梁の下端で接合し，外壁面に対して屋根面と梁を突き出させることにより，水平性を強調した構成である．架構形式を外部まで延長させる構成は，同年代で活躍していたソリアノやエルウッドが多く用いていた手法であるが，コーニッグは架構形式を仕上げ材で隠すことなく全ての要素を表出させるところに特徴がある

このように，コーニッグは架構形式を主空間や外部空間に表出させることで，建築を規定する一定のモデュールを認識させるように構成している．また，架構形式を表出することによる空間に秩序を与えると同時に，開放的な一室空間を低価格で創出できることを常に検討しながら空間を計画したため，各要素を隠すことはなく架構形式を建築のデザイン要素，空間を規定する要素として表出させているとも考えられる．

今後は，コーニッグの鉄骨造の他の作品や 60 年代以降の環境の研究を反映した住宅作品における架構形式を分析すること，彼の建築思想と空間構成の研究を展開することで，鉄骨造住宅の特徴を相対的にかつ総体的に開示する必要がある．

文　献

(1) James Steele, David Jenkins：PIERRE KOENIG, Phaidon Press, 1998

(2) Neil Jacson：PIERRE KOENIG，Tachen，2007
(3) Esther McCoy : Case Study House 1945-1962, Hennessey & Ingalls, 1962
(4) Elizabeth A.T.Smith，Julius Shulman，Peter Goessel: CASE STUDY HOUSE THE COMPLETE CSH PROGRAM 1945-1966, TASCHEN, 2002
(5) Thomas S. Hines：Architecture of the Sun Los Angeles Modernism 1900-1970，Rizzoli，2010
(6) 岸和郎・植田実監修：ケース・スタディ・ハウス，住まいの図書館出版局, 1997
(7) Neil Jackson : PIERRE KOENIG, Getty Publications,2019
(8) Julius Shulman,Jurgen Nogai：JULIUS SHULMAN THE LAST DECADE Kehrer Verlag Heidelberg ,2011
(9) Ryo MASUOKA，Shingo SUEKANE:A study on continuity of indoor and outdoor space in 6 major works of Raphael Soriano’s detached houses，Proc. of the 12th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia，710-714，2018
(10) 増岡亮，末包伸吾: ラファエル・ソリアノの独立住宅作品にみる主空間と架構表現，Design シンポジウム 2019,289-292, 2019
(11) 増岡亮，末包伸吾：クレイグ・エルウッドの住宅作品における架構形式，日本建築学会計画系論文集，第 81 巻第 720 号，2016

食のデザイン

ファミリーレストランチェーン 3 社のメニュー分析と飲食業関係者へのインタビューを通じた食材と調理法に関する研究

Food and cooking design

A study on the relationships between food ingredients and cooking methods through an analysis of three family restaurant chains menus and an interview survey with a professional cooking chef.

野上 洸玄（東京都市大学）*1 鳴海 史弘（東京都市大学）*2 古越 崚（東京都市大学）*3 ○関 博紀（東京都市大学）*4

*1 Hiroharu Nogami, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*2 Fumihiro Narumi, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*3 Ryo Furukoshi, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*4 Hiroki Seki, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551, hseki@tcu.ac.jp

キーワード:食材, 調理法, ファミリーレストラン, メニュー分析, インタビュー調査

1. 問題と背景

食は私たちにとって欠かせない営みである．食とは，食物の摂取行動を指し，食品から栄養や熱量を摂ることで体の成長を助ける働きがあるとされる．ヒトは地上のあらゆる動植物を栄養源にできる適応力を持っており，日常的に摂取するものだけでも，穀類，豆，野菜，果実，肉，魚介，乳，卵，海藻，きのこなど，その種類は豊富である．このような食が成り立つ背景には，人類だけが行う加工・調理の存在がある．実際に，私たちは日々，食材を食べやすい形に切ったり，茹でて食べやすい硬さに変えたり，味付けをして食べやすい味に整えたり，さらには，食べたくなるような盛りつけを工夫するなど,様々な加工を行っている．食材を口に運ぶまでに行っているこれらの工夫は，いわば「食のデザイン」と言える．食のデザインとしての調理をさらに細かくみてみると，物理的な調理操作（洗う，切る，こす，ちぎる，混ぜる，おろすなど）や，加熱を伴う調理操作（焼く，炒める，揚げる，煮る，茹でる，蒸す，炊くなど）にまとめることができる．加熱を伴う調理法は，さらに，水を使って食材を加熱する方法である，煮る，茹でる，蒸す，炊くの湿熱調理 4 種と，水を使わずに食材を加熱する方法である，焼く，炒める，揚げるの乾熱調理 3 種に分けられる．日々の食卓に並ぶ一品は，これらの調理法が食材と組み合わされて成立し，さらに複数の一品が組み合わされて献立（商品）が成立していると考えられる．現代においては，これらの「食のデザイン」は各家庭だけでなく，それを専門的に扱う飲食業において日々追求されていると考えられる．以上を踏まえて，本研究では，現代における食のデザインの実際を，ファミリーレストランチェーン 3 社のメニュー分析と関係者へのインタビュー調査を通して確かめることを目的とする．

2. 対象と方法

2.1. 飲食店関係者へのインタビュー調査

2.1.1. 対象　都内で定食屋を経営する飲食店経営者とした．対象店舗の席数は 16, 提供している商品は 34 であり，調理から配膳までを店主が行なっていた．

2.2.2. 方法　食材と調理法，メニュー構成の関係を探る目的で 18 項目からなる質問を準備し，当日は適宜質問を追加した．実施後，文字に起こした．

2.2. メニュー分析

2.2.1. 対象　国内に展開するファミリーレストランチェーンから，A 社（イタリア料理），B 社（ハンバーグを中心とするアメリカ料理），C 社（和食）の 3 社を取り上げ，各社が 2020 年 9 月 16 日時点で提供している商品を対象とした．作業を円滑に行うため，分析にあたっては，各社の商品一覧（グランドメニュー）において写真付きで説明されている商品のみを対象とし，また分析の水準を保つためにデザートメニューは除外した．なお，本研究では，店舗で注文可能な単位を「商品」として，「商品」を構成するまとまった料理を「品」として，それぞれ位置づけた．例えば，分析対象の 1 つとなった「ミニ包み焼きハンバーグ膳」（B 社）はご飯と味噌汁，ハンバーグ，サラダ，小鉢がセットになったメニューであるが，これは 5 品から成り立つ 1 商品となる．以上にもとづき，対象となった商品は，A 社 69 商品（69 品），B 社 81 商品（85 品），C 社 91 商品（108 品）の計 241 商品（262 品）であった．

2.2.2. 方法　3 名の調査者が各社の公式ホームページからグランドメニューを入手し，各商品で用いられている食材と調理法を抽出した．抽出は，複数の調査者が互いに確認して行なった．確認の難しい商品や判別しづらい商品は，クックパッド株式会社が提供する料理レシピ web サイト

「クックパッド」[1] を参照した．以上の方法を，A 社の「ペペロンチーノ」を例にみてみると，この商品はパスタとオリーブオイル，ニンニク，唐辛子，パセリの 5 種の食材を使用して，「炒める」を 1 回，「茹でる」を 1 回行うことで成立していることになる（図 1）．これらを踏まえて，全体の特徴，一品，一商品の 3 つの水準から検討を行った．

3. 分析と結果

3.1. インタビュー結果

料理においては，食材が重要であること，また対象店舗では，丼もののように一品だけの商品よりは，複数の食材と調理法が組み合わされたセット商品の方が売れ行きが良好であるとのことであった．また，商品開発という点では，食材や調理法に加えて，提供時間や調理器具との兼ね合いが重要とのことであった．

3.2. メニュー分析の結果

3.2.1. 全体的な結果　食材と調理法それぞれの使用頻度，食材と調理法の組み合わせの順に示す（表 1，2，3）．

まず，食材についてである．食材は 3 社合計で 163 種類の食材が使われており，最も多く使われていた食材はねぎ（64 商品・27%），ついで鶏肉（63 商品・26%）であった（表 1）．各社ごとにみると，A 社では 67 種類の食材が使われており，オリーブオイル（30 商品・43%），玉ねぎ（29 商品・42%）の順であった（同）．B 社では 66 種類の食材が使われており，じゃがいも（29 商品・36%），玉ねぎ，鶏肉（ともに 28 商品・35%）の順であった（同）．C 社では 97 種類の食材が使われており，ねぎ（52 商品・57%），うどん（38 商品・42%）の順であった（同）．食材の特徴をみると，A 社では，オリーブオイルやニンニク，バターなどソースに関係する食材が，B 社では，じゃがいもや玉ねぎ，鶏肉などおかずを構成する食材が，C 社では，ねぎや海苔，三つ葉など薬味系の食材が使用されており，各社が提供する料理ジャンルを反映していた．一方，ねぎや鶏肉，米などは，各社に共通して使われており，食材には，ベースとなるものや個性的なものなど，調理上の役割があるようであった．

次に，調理法についてである．3 社全体では，茹でる（25%）が最も多く，ついで焼く（21%）の順であった（表 2）．各社ごとにみると，A 社では焼く（34%），茹でる（25%）の順であった（同）．B 社では焼く（25%），揚げる（23%）の順であった（同）．C 社では，茹でる（28%），揚げる（23%）の順であった（同）．各社で使われている調理法には，うどんと茹でるなど，食材との相性が関係しているようであった．また，特徴的な結果として，各社とも上位 3 種とそれ以下のものとで使用頻度に差があった．この点も各社（ジャンル）



Fig.1　An Example of a combination of ingredients and cooking methods (*"Peperoncino"* of restaurant A)

Table 1　Types of ingredients (Top 7 types).

3社合計			A社			B社			C社		
順位	食材名	頻度（商品）	順位	食材名	頻度（商品）	順位	食材名	頻度（商品）	順位	食材名	頻度（商品）
1	ねぎ	64	1	オリーブオイル	30	1	ジャガイモ	29	1	ねぎ	52
2	鶏肉	63	2	玉ねぎ	29	2	玉ねぎ	28	2	うどん	38
3	玉ねぎ	57	3	ニンニク	28		鶏肉	28	3	卵	32
4	米	55	4	チーズ	27	3	牛肉	27	4	海苔	29
5	チーズ	51	5	バター	23		ソース	27	5	エビ	28
5	卵	51	6	トマト	20		チーズ	27	6	三つ葉	27
7	じゃがいも	50	7	じゃがいも	17	7	米	23		大根	27

Table 2　Types of cooking methods (Top 7 types)

3社合計			A社			B社			C社		
順位	調理法	使用率（%）	順位	調理法	使用率（%）	順位	調理法	使用率（%）	順位	調理法	使用率（%）
1	茹でる	24.7	1	焼く	33.8	1	焼く	25.3	1	茹でる	28.0
2	焼く	20.8	2	茹でる	25.0	2	揚げる	22.5	2	揚げる	22.4
3	揚げる	16.7	3	炒める	20.9	3	茹でる	20.3	3	煮る	17.7
4	煮る	14.1	4	煮る	10.8	4	炊く	12.1	4	炊く	10.3
5	炊く	9.6	5	炊く	5.4		煮る	12.1	5	焼く	9.1
6	炒める	9.3	6	蒸す	3.4	6	炒める	6.0	6	蒸す	8.2
7	蒸す	4.8	7	揚げる	0.7	7	蒸す	1.6	7	炒める	4.3

Table 3　Types of ingredients and cooking methods combinations (Top 7 types)

3社合計				A社				B社				C社			
順位	食材名	調理法	使用商品	順位	食材名	調理法	使用商品	順位	食材名	調理法	使用商品	順位	食材名	調理法	使用商品
1	米	炊く	55	1	玉ねぎ	炒める	23	1	玉ねぎ	焼く	28	1	うどん	茹でる	38
2	玉ねぎ	焼く	40	2	チーズ	焼く	21	2	じゃがいも	揚げる	26	2	米	炊く	24
3	うどん	茹でる	38	3	バター	焼く	16	3	牛肉	焼く	26	3	エビ	揚げる	21
4	牛肉	焼く	35	4	じゃがいも	焼く	15	4	米	炊く	23	4	カボチャ	揚げる	16
5	鶏肉	焼く	34		オリーブオイル	炒める	15		鶏肉	焼く	23	5	鶏肉	蒸す	15
6	チーズ	焼く	33	6	ニンニク	炒める	13	6	ブロッコリー	茹でる	21		オクラ	揚げる	15
7	じゃがいも	揚げる	30		ニンニク	焼く	13	7	豚肉	焼く	20	7	卵	蒸す	14

との相性が関係しているようだった．

最後に食材と調理法の組み合わせについてである．3 社合計では，米-炊く（55 商品），玉ねぎ-焼く（40 商品）の順であった（表 3）．各社ごとにみると，A 社では玉ねぎ-炒める（23 商品），ついでチーズ-焼く（21 商品）であった（同）．B 社では玉ねぎ-焼く（28 商品），ついでじゃがいも-揚げる（26 商品）であった（同）．C 社ではうどん-茹でる（38 商品），ついで米-炊く（24 商品）であった（同）．A 社と B 社では，使用頻度の高い食材と調理法の組み合わせが多くみられた．C 社では使用頻度の高かった薬味系の食材に代わって，天ぷらや茶碗蒸しに用いられる組み合わせが確認された．また，各社に共通して確認された相性の良い組み合わせとして，米-炊くがあった．

3.2.2. 一品ごとの結果　使用されている食材の数，調理法の使用頻度，の順に示す（表 4，5）．

まず食材の数である．A 社では最大 13 種，最小 1 種，平均 5.76 種，B 社では最大 12 種，最小 1 種，平均 4.95 種，C 社では最大 13 種，最小 1 種，平均 4.99 種であった（表 4）．各社とも，一品あたりの食材の数は，最大（12 種程度），最小（1 種），平均（5 種）ともほぼ同数であった．実際の商品をみてみると，食材を多く使った料理は，肉と野菜を使った炒め物（13 種・A 社）であり，羊肉や舞茸などの食材が使われていた．一方，最小の食材数であったのは漬物（C 社）などであった．

次に調理法の使用頻度である（表 5）．A 社では最大 6 回，最小 0 回，平均 2.14 回，B 社では最大 5 回，最小 0 回，平均 2 回，C 社では最大 5 回，最小 0 回，平均 1.66 回であった．各社とも，一品あたりの調理法の使用頻度は，最大（6 回程度），最小（0 回），平均（2 回程度）ともほぼ同数であった．実際の商品をみてみると，調理法を多く使った料理はソーセージや肉の盛り合わせ（6 回・A 社）であり，焼くや茹でるなどの調理法が使われていた．一方，最小の使用頻度であったのはサラダ（A 社）などであった．

Table 4　The number of ingredients used in a plate.

店舗	最大値	最小値	平均値
A社	13	1	5.76
B社	12	1	4.95
C社	13	1	4.99

Table 5　The number of cooking methods used in a plate.

店舗	最大値	最小値	平均値
A社	6	0	2.14
B社	5	0	2.00
C社	5	0	1.66

Table 6　The number of ingredients used in a menu.

店舗	最大値	最小値	平均値
A社	13	1	5.76
B社	14	1	5.77
C社	29	1	8.83

Table 7　The number of cooking methods used in a menu.

店舗	最大値	最小値	平均値
A社	6	0	2.14
B社	5	1	2.24
C社	7	0	2.54

3.1.3. 商品ごとの結果　使用されている食材の数，調理法の使用頻度，の順に示す（表 6，7）．なお，A 社は複数の一品から構成されている商品が無いため，前節と同じデータを用いた．

まず食材の数である．B 社では最大 14 種，最小 1 種，平均 5.77 種，C 社では最大 29 種，最小 1 種，平均 8.83 種であった（表 6）．食材数が最大の商品は，29 種を使用した C 社のすき焼きを使った定食であり，最小の商品は，1 種の食材を使用した C 社の枝豆などであった．

次に調理法の使用頻度である．B 社では最大 5 回，最小 1 回，平均 2.24 回，C 社では最大 7 回，最小 0 回，平均 2.54 回であった（表 7）．調理法が最も多く使われていた商品は，C 社の握り寿司を使った定食（7 回）であり，最小の商品は，C 社のサラダ（0 回）などであった．また，B 社と C 社の定食メニューに注目すると，商品を構成する一品として，ハンバーグとエビフライなど食材と調理法がそれぞれ異なるものによって成立しているようであった．

4. 考察

本研究は，現代における「食のデザイン」を確かめる目的で，ファミリーレストランチェーン 3 社のメニュー分析と飲食業関係者へのインタビュー調査を行った．その結果，使用する食材や調理法，および両者の組み合わせという点では，各社で違いがみられたものの，一品を構成する際に用いられる食材の数と調理法の使用頻度は，ほぼ一定であることが確認された．この結果は，料理の個性は食材や調理法に依存している一方で，それらのまとまりである一品や商品などの水準では，料理のジャンルを超えた法則がある可能性を示唆しており，食のデザインや食文化を考える上で興味深い．また，インタビュー調査からは，料理においては食材が重要であること，また対象店舗では，丼もののように一品だけの商品よりは，複数の食材と調理法が組み合わされたセット商品の方が，売れ行きが良好であるとのことであった．一方，商品開発という点では，食材や調理法に加えて，提供時間や調理器具との兼ね合いが重要とのことであり，食のデザインには，提供時間などの他の要因が関係している可能性があると考えられる．また，今回の調査はファミリーレストランに限定しており，他の形態を対象とすることで，より詳細な結果を得られると考えられる．これら分析の精緻化が今回の課題である．

注釈

(1) クックパッド：https://cookpad.com（2020 年 12 月 31 日確認）

歌詞の隙間

邦楽 100 曲を対象とした歌詞分析と歌手へのインタビューを通じた歌詞の役割に関する研究

Designing empathetic lyrics

A study on song lyrics through a linguistic analysis and an interview survey with a song writer

佐藤佳苗（東京都市大学）*1 ○永利里沙子（東京都市大学）*2 矢野咲良々（東京都市大学）*3 関博紀（東京都市大学）*4

*1 Kanae Sato, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*2 Risako Nagatoshi, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*3 Sarara Yano, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*4 Hiroki Seki, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551, hseki@tcu.ac.jp

キーワード：歌，感情表現，登場人物，歌詞分析，インタビュー調査

1. 問題と背景

音楽は最も身近な芸術のひとつである．その起源は太古にまで遡るとされる．我が国においても古事記や日本書紀にその記録を確認できる．一方，歌は声を使って音を生み出す行為を意味し，リズムやメロディにのせて連続的に発声する音楽の一種である．歌の起源は，物語を語ることから派生したとする説や，メロディを口ずさむことから派生したとする説など諸説ある．いずれにおいても，人間の発声を伴うことから，歌は感情との関係が深いとされる．実際，パンク・ロックやヘヴィメタルなどのジャンルではシャウトと呼ばれる歌唱方法が定着しているが，これは歌い手である歌手の感情が露出している様子として捉えることができる．また，歌を構成する要素のひとつに歌詞があるが，歌詞を通じても，歌と感情との関係はみてとれる．例えば，シンガーソングライターという表現形態では，歌詞の作者が自ら歌うことで，歌い手の思いが聴衆により伝わると考えられている．つまり，歌詞は歌を構成する重要な要素であると同時に，その言語表現においては，歌い手の感情との関係が深いと考えられる．以上を踏まえて本研究では，音楽と感情との関係のひとつとして歌詞に注目し，その実際を確かめる目的で，歌手へのインタビュー調査と邦楽 100 曲の歌詞分析を行った．

2. 対象と方法

2.1 歌手へのインタビュー調査

2.1.1 対象　ストリーミングサービスを通じて楽曲を発表し，作詞を行っている M 氏に調査を依頼した．

2.1.2 方法　作詞の実際を，特に，歌詞と感情との関係に注目して確かめることを目的として，1）曲の制作方法について，2）歌詞について，3）登場人物について，4）言語表現について，の 4 項目計 33 の質問を作成した．調査にあたっては一部を事前にメールで送付し，当日は適宜質問を追加した．インタビュー内容は IC レコーダーに記録し，後日調査者が文字に起こした（36,076 字）．

2.2 歌詞分析

2.2.1 対象　2010 年以降 2019 年までに，代表的な音楽ランキングである Billboard JAPAN Year End の Hot100[(1)]にランキングされた邦楽 100 曲を対象とした（表 1）．歌詞の言語表現に焦点を当てるため，日本語で表現された曲を対象とし，それ以外の言語を含む曲や，海外の曲が原曲になっているものは除外した．また，分析作業を円滑に行うため，各曲の 1 番のみを対象とし，A メロ，B メロ，サビ，C メロに該当する箇所の歌詞を対象とした．

2.2.2 方法　**感情表現に注目した歌詞分析**　歌詞と感情表現との関係を確かめるため，歌詞に用いられている感情表現を調べた．その際，歌詞を形態素に分割し，それらと感情表現との関係を抽出した．感情表現との関係は，語を意味によって分類，整理した国立国語研究所による類義語集である『分類語彙表』[(2)]に記載された 5 種の品詞，すなわち名詞，動詞，形容詞，形容動詞，副詞に焦点をあてて抽出した．感情の種類については，「喜・怒・哀・怖・恥・好・厭・昂・安・驚」の 10 種類の感情が定義されている『感情表現辞典』[(3)]と照合のうえ 11 種（[感動・興奮]，[快・喜び]，[恐れ・怒り・悔しさ]，[安心・満足・焦燥]，[苦悩・悲哀]，[好悪・愛憎]，[欲望・期待・失望]，[感情・気分]，[自信・誇り・恥・反省]，[表情・態度]，[人生・禍福]）とした．分析では，これらの 11 種に該当する単語を［感情表現］，該当しない単語を［非感情表現］，『分類語彙表』に記載されていない単語を［該当なし］として扱った．**登場人物に注目した歌詞分析**　歌詞の中で歌手がどのように位置付けられているかを確かめるために，歌詞の登場人物[(4)]に注目し，その種類と人数，組み合わせを抽出した．種類は，歌詞における人物表現として 4 種（[私]，[あなた]，[特定の人物]，[不特定の人物]）を抽出した．人数は 4 種（[1 人]，[2 人]，[3 人以上]，[登場人物なし]）を抽出した[(5)]．組み合わせは，上記 4 種の登場人物の組み合わせ計 16 種を抽出した（表 2）．

以上の方法を，分析対象 No.15「明日へのマーチ」(作詞: 桑田佳祐）を例に示すと次のようになる．この曲は東日本大震災からの復興がテーマになった曲であるが，歌詞には，名詞 20 語，動詞 11 語，形容詞 4 語，形容動詞と副詞それぞれ 1 語の計 37 語が含まれている．このうち，[感情表現] に関わる語は，「希望」，「恋しい」，「願う」，「幸せ」，「辛い」の 5 語となり，これら以外の 31 語は［非感情表現］となる．感情の種類は，「希望」が［欲望・期待・失望］，「恋しい」が［好悪・愛憎］，「幸せ」が［人生・禍福］，「辛い」が［苦悩・悲哀］となる．また，登場人物として，「君」と「人」が登場するが，これらは，［あなた］(「君」)，［複数の不特定の人物］(「人」) の 2 種となる．人数は [3 人以上]，組み合わせは，［あなた・不特定の人物］となる．

3. 結果と分析

3.1 インタビュー調査の結果

「作詞で重視していることは何か」という質問に対しては，「音が第一．メロディとの繋がりや流れを意識し，それに合う言葉を当てはめる．音と歌詞のバランスを重視する」と述べていた．一方，「作詞をする上で最も気をつけていることは何か」という質問に対しては，「時間の流れがある歌詞であれば，時間の経過が矛盾なく聴き手に伝わるように書く」など矛盾の有無に配慮している様子がうかがえた．また「歌詞の主人公は誰のことなのか」という質問に対しては，「自分が主人公ということはほとんどなく，自分だけど自分じゃないような，漫画のキャラクターを動かしている感じ」と述べていた．「歌詞の役割は何だと思うか」という質問に対しては，「音だけでは伝わらない世界観を深める役割がある」とのことであり，「楽器は音をどう出すのかが重要，そこに歌詞が加わって意味が深まる」とのことであった．さらに「音がストーリーや脚本の役割を担っているとすれば，それを肉付けする演技のような役割」があるとのことであった．以上を総合すると，曲の制作過程では，音との関係が優先されているものの，歌詞には音だけでは伝わらない世界観を表現する力があり，「作品を深める」役割を担っていると考えられる．また，歌い手と歌詞の登場人物は，互いを重ねることはありながらも，自分のみを表現していることは少なく，自分と他人の混在した独特な対象が想定されている様子がうかがえた．つまり，歌詞は歌い手と聴き手のどちらか一方ではなく両者を重視し，自由に表現する部分と共感を誘発する部分が共存するような，解釈の幅の広いものであることが示唆された．

3.2 歌詞分析の結果

3.2.1 感情表現に関する結果　対象となった 100 曲には，計 5,699 語が含まれていたが，このうち［感情表現］は 372 語（6.52%），［非感情表現］は 5,064 語（88.85%）であった（表 3）[6]．感情の種類は，最多が［好悪・愛憎］(131 語・35.31%)，次いで［表情・態度］(74 語・19.95%)，［欲望・期待・失望］(47 語・12.63%) の順であった（表 4）．

3.2.2 登場人物に関する結果　登場人物で最も多く確認された種類は［私］(71 曲・71%)，次いで［あなた］(57 曲・57%)，［不特定の人物］(53 曲・53%)，［特定の人物］(42 曲・42%) の順であった（表 5）．人数は［3 人以上］が最も多く（70 曲・70%)，次いで［2 人］(19 曲・19%)，［1 人］(10 曲・10%)，［登場人物なし］(1 曲・1%) の順であった（表 6）．最後に，組み合わせをみると，最も多いものは［私・あなた・不特定の人物］(19 曲・19%)，次いで［私・あなた］(16 曲・16%) であり，［私］や［あなた］のみなど，登場人物が 1 種の曲は 14 曲（14%）であった．

3.2.3 歌詞分析のまとめ　歌詞分析の結果をまとめると，歌詞に含まれている［感情表現］は 7%前後にとどまっていること，一方で，その種類に注目すると，［好悪・愛憎］に偏りがあることが確認された（表 3，4）．また，登場人物は 7 割を超える曲で［私］を含んでいたが，［私］のみが登場する曲は 5 曲にとどまっており，多くの曲で［あなた］や［不特定の人物］など複数の人物が登場していることが確

Table 1　List of analysis works.

No.	曲名	作詞家名	歌手名	No.	曲名	作詞家名	歌手名	No.	曲名	作詞家名	歌手名
1	Troublemaker	H.Suzuki	嵐	35	にんじゃりばんばん	中田ヤスタカ	きゃりーぱみゅぱみゅ	69	クリスマスソング	清水依与吏	back number
2	VICTORY	ATSUSHI	EXILE	36	恋する季節	ナオトインティライミ	ナオトインティライミ	70	R.Y.U.S.E.I	STY	三代目 J SOUL BROTHERS
3	This is love	LOVE PSYCHEDELICO	SMAP	37	紅蓮の弓矢	Revo	Linked Horizon	71	恋	星野源	星野源
4	本当は怖い愛とロマンス	桑田佳祐	桑田佳祐	38	RPG	Fukase / Saori	SEKAI NO OWARI	72	不協和音	秋元康	欅坂46
5	Beginner	秋元康	AKB48	39	潮騒のメモリー	宮藤官九郎	天野春子(小泉今日子)	73	インフルエンサー	秋元康	乃木坂46
6	Wildflower	越智志帆	Superfly	40	ミュージック	山口一郎	サカナクション	74	前前前世	野田洋次郎	RADWIMPS
7	はつ恋	福山雅治	福山雅治	41	GUTS!	eltvo / s-Tnk	嵐	75	ピースサイン	米津玄師	米津玄師
8	LIFE ～目の前の向こうへ～	金丸佳史	関ジャニ∞	42	心のプラカード	秋元康	AKB48	76	TOKYO GIRL	中田ヤスタカ	Perfume
9	ありがとう	水野良樹	いきものがかり	43	Darling	Kana Nishino	西野カナ	77	RAIN	Fukase / Saori	SEKAI NO OWARI
10	Ring a Ding Dong	木村カエラ	木村カエラ	44	キングオブ男！	若旦那	関ジャニ∞	78	願いごとの持ち腐れ	秋元康	AKB48
11	Everyday、カチューシャ	秋元康	AKB48	45	スノーマジックファンタジー	Fukase	SEKAI NO OWARI	79	ハッピーエンド	清水依与吏	back number
12	マル・マル・モリ・モリ！	宮下浩司	薫と友樹、たまにムック。	46	シャレオツ	大竹劇作	SMAP	80	つなぐ	paddy	嵐
13	迷宮ラブソング	伊織	嵐	47	ずっとfeat.HAN-KUN&TEE	TEE / HAN-KUN	SPICY CHOCOLATE	81	ガラスを割れ	秋元康	欅坂46
14	家族になろうよ	福山雅治	福山雅治	48	春風	Rihwa	Rihwa	82	打ち上げ花火	米津玄師	DAOKO×米津玄師
15	明日へのマーチ	桑田佳祐	桑田佳祐	49	東京VICTORY	桑田佳祐	サザンオールスターズ	83	ドラえもん	星野源	星野源
16	Rising Sun	ATSUSHI	EXILE	50	にじいろ	絢香	絢香	84	シンクロニシティ	秋元康	乃木坂46
17	福笑い	高橋優	高橋優	51	Sakura	eltvo	嵐	85	さよならエレジー	石崎ひゅーい	菅田将暉
18	流星	小渕健太郎	コブクロ	52	Dragon Night	Fukase	SEKAI NO OWARI	86	Teacher Teacher	秋元康	AKB48
19	花束	清水依与吏	back number	53	僕たちは戦わない	秋元康	AKB48	87	瞬き	清水依与吏	back number
20	レーザービーム	中田ヤスタカ	Perfume	54	私以外私じゃないの	川谷絵音	ゲスの極み乙女	88	LOSER	米津玄師	米津玄師
21	真夏のSound good!	秋元康	AKB48	55	君がくれた夏	家入レオ	家入レオ	89	夏疾風	北川悠仁	嵐
22	ワイルドアットハート	Soluna	嵐	56	シュガーソングとビターステップ	田淵智也	UNISON SQUARE GARDEN	90	アイノカタチ	GReeeeN	MISIA
23	ハピネス	AI	AI	57	ひまわりの約束	秦基博	秦基博	91	マリーゴールド	あいみょん	あいみょん
24	やさしくなりたい	斉藤和義	斉藤和義	58	Hello,world!	藤原基央	BUMP OF CHICKEN	92	Lemon	米津玄師	米津玄師
25	ER	UNIST	エイトレンジャー	59	ヒロイン	清水依与吏	back number	93	パプリカ	米津玄師	Foorin
26	Love Story	TIGER	安室奈美恵	60	あなたに恋をしてみました	chay / いしわたり淳治	chay	94	まちがいさがし	米津玄師	菅田将暉
27	Shine	家入レオ	家入レオ	61	翼はいらない	秋元康	AKB48	95	宿命	藤原聡	Official髭男dism
28	祈り～涙の軌道	桜井和寿	Mr.Children	62	世界に一つだけの花	槇原敬之	SMAP	96	白日	Daiki Tsuneta	King Gnu
29	輝く月のように	越智志帆	Superfly	63	サイレントマジョリティー	秋元康	欅坂46	97	HAPPY BIRTHDAY	清水依与吏	back number
30	生きてる生きてく	福山雅治	福山雅治	64	トリセツ	Kana Nishino	西野カナ	98	黒い羊	秋元康	欅坂46
31	恋するフォーチュンクッキー	秋元康	AKB48	65	サヨナラの意味	秋元康	乃木坂46	99	sing out!	秋元康	乃木坂46
32	ピースとハイライト	桑田佳祐	サザンオールスターズ	66	海の声	篠原誠	浦島太郎(桐谷健太)	100	キュン	秋元康	日向坂46
33	Endless Game	100+	嵐	67	I seek	ASIL	嵐				
34	Joy!!	津野米咲	SMAP	68	未来	小渕健太郎	コブクロ				

認された（表 2，5）．以上の結果から，歌詞は，少なくとも言語表現の上では，歌い手のみを主体とした感情的なものというよりは，むしろ複数の登場人物が主体となった非感情的な表現であることが示唆される．

4. 考察

本研究は，歌と感情との関係のひとつである歌詞に注目し，その実際を確かめる目的で，歌手へのインタビュー調査と邦楽 100 曲の歌詞分析を行った．その結果，インタビュー調査では，作曲時には音が優先されるものの，歌詞には音だけでは伝わらない世界観を付与する役割があるということが確認された．また，歌詞は歌い手の表現したい世界観と聴き手の共感の双方を重視し，解釈の幅を広げていることが確認された．一方，歌詞分析では，特定の感情表現に偏りがあるものの，感情表現自体の出現頻度は低く，歌い手以外の登場人物が複数登場することがわかった．以上の結果に考察を加える．冒頭で述べたように，一般的に歌詞とは，歌い手の感情が発露したものだと考えられている．しかし本研究の結果は，歌詞が，複数の主体を含む非感情的な表現であることを示していた．この点を考える上で示唆的なのが歌い手と聴き手の関係である．作詞家である田口(7)は，作詞の際に注意すべき点として，主観的な表現を避け，客観的な描写にすることを指摘している．その理由として田口(7)が挙げるのが，歌詞を通じた聴き手の共感である．つまり，歌詞には，主観的な表現ではなく客観的な表現であることで聴き手の共感を促すという側面があり，本研究が確認した複数の主体と非感情的な側面は，その一端であった可能性がある．以上をまとめると，歌詞には，歌い手が伝えたい曲の世界観を表現しながらも，聴き手を迎え入れる「隙間」が作り出されていると考えられる．

最後に課題をまとめる．本研究の歌詞分析では，対象を歌詞のみに限定し，他の言語表現における感情表現の出現頻度を確認しながった．また，対象とした歌詞も一部に限定されており，インタビュー対象者も 1 名に限られていた．これらは，結果の信頼性を確保する上で改善が必要である．対象の豊富化と分析の精緻化が今後の課題である．

Table 2　Combinations of characters in song lyrics.

No.	組み合わせ	曲数
1	私・あなた・不特定の人物	19
2	私・あなた	16
3	私・あなた・特定の人物	8
4	私・あなた・特定の人物・不特定の人物	8
5	あなた・特定の人物	7
6	あなた・不特定の人物	6
7	私・特定の人物・不特定の人物	6
8	私	5
9	あなた	5
10	特定の人物・不特定の人物	5
11	私・不特定の人物	4
12	私・特定の人物	3
13	あなた・特定の人物・不特定の人物	3
14	特定の人物	2
15	不特定の人物	2
16	なし	1
	合計	100

Table 3　Word classes and types of emotion.

品詞	感情表現	非感情表現	該当なし	合計
名詞	163	2583	177	2923
動詞	112	1743	40	1895
形容詞	73	258	16	347
形容動詞	22	99	1	122
副詞	2	381	29	412
合計	372	5064	263	5699
割合(%)	6.52	88.85	4.61	100

注釈と文献

(1) Billboard JAPAN Year End Hot100: http://www.billboard-japan.com/charts/detai l?a=hot100_year&year=2019（2020 年 9 月 11 日確認）

(2) 国立国語研究所コーパス開発センター：分類語彙表：https://pj.ninjal.ac.jp/corpus_center/goihyo.html（2020 年 10 月 19 日確認）

(3) 中村明：感情表現辞典，東京堂出版，1993.

(4) 登場人物は，「僕」や「I」などの単数の一人称表現を［私］として，「君」や「you」などの単数の二人称表現を［あなた］として，「大人」や「ジョニー」などの登場人物との関係性が定まっている人物や固有名詞を［特定の人物］として，「誰か」や「一人」などの登場人物との関係性が定まっていない人物を［不特定の人物］として，それぞれ抽出した．

(5) 「僕」のみなど，曲中の登場人物が 1 人の場合は［1 人］，「僕」と「君」など，2 人の場合は［2 人］，「僕ら」と「君」など，3 人もしくは 3 人以上の場合は［3 人以上］，人物表現のない場合は［登場人物なし］とした．なお，［私］，［あなた］，［特定の人物］，［不特定の人物］は［1 人］として扱い，これらが複数の場合は［3 人以上］とした．

(6) ［該当なし］は 263 語（4.61%）であった．

(7) 田口俊：思いどおりに作詞ができる本，リットーミュージック，2012.

Table 4　Types of emotion in song lyrics.

No.	分類項目	単語数	割合(%)
1	好悪・愛憎	131	35.22
2	表情・態度	74	19.89
3	欲望・期待・失望	47	12.63
4	苦悩・悲哀	34	9.14
5	人生・禍福	18	4.84
6	安心・焦燥・満足	16	4.30
7	自信・誇り・恥・反省	14	3.76
8	恐れ・怒り・悔しさ	12	3.23
9	快・喜び	12	3.23
10	感動・興奮	8	2.15
11	感情・気分	5	1.34
	合計	372	100

Table 5　Types of characters in song lyrics.

登場人物の有無	私	あなた	特定の人物	不特定の人物
あり	71	57	42	53
なし	29	43	58	47
合計	100	100	100	100

Table 6　Number of characters in song lyrics.

人数	曲数
1人	10
2人	19
3人以上	70
登場人物なし	1
合計	100

鬼ごっこの奥行き

PvP 型鬼ごっこゲーム 37 作品の分析からみたゲームの魅力

Structures of tag games as an online game design framework

Based on an analysis of 37 player-versus-player online games

刈谷 佑斗（東京都市大学）*1 小森 花歩（東京都市大学）*2 古澤 秋人（東京都市大学）*3 ○関 博紀（東京都市大学）*4

*1 Yuto Kariya, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*2 Kaho Komori , Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*3 Akito Furusawa, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551
*4 Hiroki Seki, Tokyo City University, 3-3-1 Ushikubo-Nishi, Tsuzuki, Yokohama, 224-8551, hseki@tcu.ac.jp

キーワード：鬼ごっこ，鬼と子，PvP，PvP 型鬼ごっこゲーム，作品分析

1. 問題と背景

PvP 型鬼ごっこゲームは，オンラインゲームの 1 ジャンルである．その特徴は，鬼ごっこの基本的構造である「追う」と「逃げる」という設定に基づいて，プレイヤー同士が競う形式（Player versus player，以下 PvP）にある．この種のゲームの起源は，「Damned」（9heads Game Studios 制作，2014 年）にあるとされ，その 2 年後に発売された「Dead by Daylight」（Behaviour Interactive 制作，2016 年）を皮切りに，数多く開発されることとなった．同時に，作風も豊富になり，ゲームジャンルとしての地位を確立するようになった．PvP 型鬼ごっこゲームの基本的構造である「追う」と「逃げる」の関係は，一般的な鬼ごっこの構造，すなわち，追う役である鬼と，逃げる役である子が様々な工夫をしながら競うという構造にある（図 1 上）．この構造は，非常に単純であるものの，多くの派生を生んでいることが知られている．この構造が PvP 型鬼ごっこゲームにどのように含まれているかを「IdentityV」（NetEase Games 制作，2018 年）を例に示すと次のようになる（図 1 下）．この作品は，鬼ごっこの基本的構造に加えて，鬼の能力を高めたり，子の設定を豊かにする変更，すなわち，プレイヤーの数を増やしたり，プレイヤー同士のコミュニケーションを可能にするといった変更が加えられている．さらに，ゲーム全体の舞台設定においても，基本となる鬼ごっこに加えて，かくれんぼの要素が取り入れられたり，ホラーな世界観や，公園や街などの場面が追加されている．つまり，PvP 型鬼ごっこゲームは，鬼ごっこの基本的構造を基礎として，個々の要素にさらに設定が加わることで，ゲームとしての魅力が増していると考えられる．この点を，ゲーム開発者の立場から考えてみると，開発者は各設定をデザインするだけではなく，設定同士の関係を含めた全体的なバランスを検討していると考えられる．以上を踏まえて本研究では，PvP 型鬼ごっこゲームの魅力を確かめる目的で，ゲーム全体の舞台設定，鬼および子の設定に注目し，それらがどのように設定されているかを 37 作品の分析を通じて確かめた．

2. 対象と方法

2.1. 対象

2014 年以降 2020 年 11 月までに国内外でリリースされた，PvP 型鬼ごっこゲーム 37 作品とした（表 1）．

2.2 方法

各作品の公式情報を基準として，ゲーム内の設定を抽出した．抽出にあたっては，1）ゲーム全体の舞台設定，2）鬼に関する設定，3）子に関する設定の 3 項目を設定し，2 と 3 は同一の内容とした．鬼は子を追う立場として，子は鬼から逃げる立場として設定されているキャラクターとした．ゲームモードが複数ある場合は，一般的とされるものを抽出した．以上の分析は，2020 年 11 月時点の公式情報に基づいて行い，いずれの分析も複数の分析者が互いに確認を取りながら行った．

2.2.1. ゲーム全体の舞台設定　各作品のコンセプトを可視化する目的で，「鬼ごっこ×○○」(1)，「世界観」，「場面」，「制限時間」，「ステージ数」，「最大プレイ人数」，「個体差」(2)，「コミュニケーション」，「鬼と子の可変性」，「強制終了条件」の 10 項目を抽出した．

2.2.2 鬼および子に関する設定　ゲームの詳細な設定を確かめる目的で「最大プレイ人数」，「視点」(3)，「名称」，「クリア目標」，「キャラクター数」，「ダウンまでの攻撃回数」の 6 項目を分析項目として設定した．

3. 分析と結果

3.1 ゲーム全体の舞台設定に関する結果

結果を，設定ごとの種類と最も多く確認されたものの順に示す．「鬼ごっこ×○○」は 4 種・[かくれんぼ]，「世界観」は 4 種・[ホラー]，「場面」は 8 種・[明るい屋外]，「制限時間」は 11 種・[無し]，「ステージ数」は 12 種・[3]，「最大プレイ人数」は 8 種・[5 人]，「個体差」は 3 種・[鬼]，「コミュニケーション」は 4 種・[子−子]，「鬼と子の可変性」は 2 種・[無し]，「強制終了条件」は 2 種・[無し] であった．

3.2 鬼の設定に関する結果

結果を，設定ごとの種類と最も多く確認されたものの順に示す．「最大プレイ人数」は 5 種・[1 人]，「視点」は 3 種・[FPS]，「名称」は 27 種・[モンスター]，「クリア目標」は 5 種・[子を倒す]，「キャラクター数」は 14 種・[1 人]，「ダウンまでの攻撃回数」は 5 種・[倒されない]であった．

3.3 子の設定に関する結果

結果を，設定ごとの種類と最も多く確認されたものの順に示す．「最大プレイ人数」は 10 種・[4 人]，「名称」は 24 種・[サバイバー]，「視点」は 3 種・[TPS]，「クリア目標」は 29 種・[制限時間終了まで逃げる]，「キャラクター数」は 15 種・[1 人]，「ダウンまでの攻撃回数」は 4 種・[HP 制（HitPoints 制[(4)]）] であった．

3.4 分析のまとめ

以上の分析から，ゲーム全体の舞台設定と鬼および子の設定の組み合わせについて，4 種の傾向が見て取れた．1 点目は，ホラーな世界観で，怪物が人間を追う構図である．「世界観」が [ホラー] である 19 作品のうち，鬼の「名称」が怪物を示すもの（殺人鬼，モンスター，クリーチャー，サイコ，悪霊，サメ，感染者，ジェイソン，幽霊，ハンター）は 14 作品（93.3%）であり，また，子の「名称」が非力な人間を示すもの（サバイバー，生存者，逃亡者，囚人）は 9 作品（60.1%）であった．2 点目は，鬼が少ないことと，子が多いこととの関係である．鬼と子の「最大プレイ人数」において，鬼が子より少ない作品は 32 作品（86.5%）であった．3 点目は，子の「クリア目標」に基本的な構造である「追う」と「逃げる」以外の設定が追加されている場合，子にはコミュニケーション手段が付与されている点である．「クリア目標」において，鬼が［子を追う］のみである 24 作品のうち，子が［鬼から逃げる］以外の目標を含む作品は 16 作品（66.7%）であったが，そのうち，「コミュニケーション」が［子−子］であるものは 8 作品（50.0%）であった．4 点目は，鬼の強さと子の弱さとの関係である．「個体差」が［鬼］であるものが 33 作品（89.2%）であった．

4. 考察

本研究では，PvP 型鬼ごっこゲーム 37 作品を対象として，それらのゲームの舞台設定，および鬼と子それぞれの設定に注目し，分析を行なった．その結果，世界観については，ホラーが設定される傾向にあること，名称については，鬼が人間ではない怪物である場合に，子は非力な人間である傾向にあること，鬼と子の最大プレイ人数の関係については，鬼は子よりも少なく設定される傾向にあること，能力については，鬼は子よりも強く設定される傾向にあること，子のクリア目標は鬼と比較して複雑化する傾向にあることが確認された．以上の結果は，PvP 型鬼ごっこゲームが「少数の強力な怪物」と「多数の非力な人間」の競い合いという基本的な構図をベースとして，さらに，各設定が連動的に設定されることで成立している可能性を示唆する．つまり，PvP 型鬼ごっこゲームの魅力は，「追う」ことと「逃げる」ことそれぞれの面白さに加えて，両者の関係がもたらす「奥行き」が 1 つのゲームに内在することに起因している可能性がある．対象の豊富化と分析の精緻化が今後の課題である．



Fig.1 Basic Structures of tag games (above) and those applications to online games (bottom).

注釈

(1) 作品に含まれる鬼ごっこ以外の遊びとした．
(2) 鬼と子のうち，より優れている方とした．
(3) 一人称（FPS），三人称（TPS），俯瞰の 3 種とした．
(4) 攻撃の有効性を回数ではなく量的に示す方式．

Table 1 List of analysis works

NO.	作品名	開発元
1	Damned	9heads Game Studios
2	Depth	Digital Confectioners
3	agar.io	Matheus Valadares
4	Dead Realm	Section Studios
5	Murderer Online	1Games
6	Deadrite Hunt	Azur Interactive Games Limited
7	EVOLVE	Turtle Rock Studios
8	slither.io	Steve Howse
9	Dead by Daylight	Behaviour Interactive
10	Streamline	Proletariat Inc.
11	Friday the 13th: The Game	IllFonic
12	Witch it	Barrel Roll Games
13	White Noise2	Milkstone Studios
14	Deceit	Baseline
15	Identity V 第五人格	NetEase Games
16	Last Year: The Nightmare	Elastic Games
17	Deathgarden: BLOODHARVEST	Behaviour Interactive
18	Hide or Die	VecFour Digital
19	Soul at Stake	Chongming Studio
20	Among Us	InnerSloth
21	Project Winter	Other Ocean Interactive
22	オバケイドロ！	フリースタイル
23	Secret Neighbor	Hologryph
24	I will eat you	Butengo
25	脱獄ごっこ	UUUM
26	GOLD EXPRESS	DAWN STUDIO
27	Horrorfield	Skytec Games, Inc.
28	Pandemic Express	TinyBuild Games他
29	BIOHAZARD RESISTANCE	NeoBards Entertainment Limited他
30	ゴリラ・オンライン	Gang Gorilla Games
31	Predator: Hunting Grounds	IllFonic
32	こおり鬼 Online!	EOAG
33	Dark Deception: Monsters & Mortals	Glowstick Entertainment
34	Mahasona	RAM Studios
35	Cluck Night	Coconut Island Games
36	対戦！こおり鬼	TechnoBlood Inc.
37	MONSTRUM 2	Team Junkfish

新奇性を操作変数とした感性語の推薦システム

Novelty-based kansei word recommendation system

○長谷川雄大（東京大学）*1　　柳澤秀吉（東京大学）*2

*1 Takehiro Hasegawa, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-0033, Japan, hasegawa-takehiro@g.ecc.u-tokyo.ac.jp
*2 Hideyoshi Yanagisawa, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-0033, Japan, hide@mech.t.u-tokyo.ac.jp;

キーワード: 自然言語処理，語句推薦，感性設計，感性語

1. 緒　　言

モノの機能的な品質（機能品質）に対して，使いやすさや質感のような，人の感性に評価を依存する品質は，「感性品質」と呼ばれている(1)．感性品質はモノのデザインにおける重要な一面だが，モノの広告においても，感性品質を魅力的に表現して消費者に伝えることが求められる．たとえば化粧品広告には「つや」，「うるおい」といった名詞や「みずみずしい」といった形容詞などの感性語が効果的に用いられている．しかしながら，消費者に効果的に魅力を伝えられる訴求表現を考え出し，適切に利用することには困難が伴う．

ここで，感性設計において「新奇性（新しさ）」が人の快・不快感情に影響を与えること(2)が分かっており，より良い訴求表現の評価軸として新奇性を用いることが考えられる．新奇性は人の覚醒度（Arousal Potential）に影響を与え，この覚醒度が低すぎたり高すぎたりすると快感情を抱きにくい．覚醒度に対する快・不快感情の変化は，図 1 に示すようなヴントカーブによって説明されている．訴求表現においても，用いる語や表現の新奇性によって受け取り手の快感情が変化すると考えられ，適度に新奇な語を使用することが有効であると考えられる．つまり，難解すぎる表現は敬遠されるし，陳腐な表現では強い印象を与えられないということである．

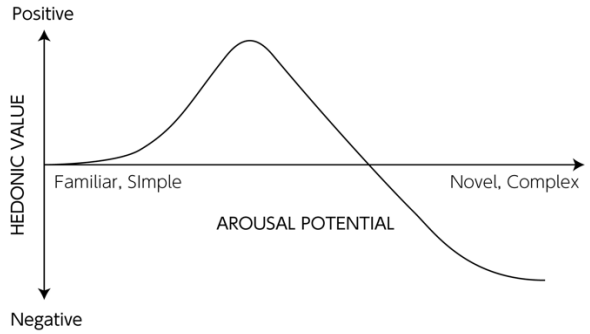


Figure 1 Hedonic value as a function of arousal potential

2. 目　　的

本研究では，感性品質を魅力的に伝えられる訴求表現の作成を支援するために，新奇性を変数とした感性語の推薦アルゴリズムの提案を行う．感性語の抽出には係り受けを用い，新奇性の操作にはコーパスにおける出現頻度を変数として語句推薦を行った．その結果を筆者らが評価し，新奇性に対する訴求表現への適合度をの変化を調べた．

3. 方　　法

構文解析には spaCy と GiNZA(4)を用いた．解析を元に，図 2 に示すような係り受けから感性語を抽出した．図 2 上は係り受けタグ advcl（副詞節修飾語）に相当し，「（感性語）だから（結果の感情）．」のような文から感性語を抽出した．図 2 下は係り受けタグ acl（名詞の節修飾語）に相当し，「（感性語）である（モノ）」のような文から感性語を抽出した．ただし，「だから」や「である」はあくまで一例であり，構文解析に基づいて類似の様々な係り受け関係に対応することに注意されたい．なお，今回は形容詞を抽出するものとし，品詞タグを ADJ（Adjective，形容詞）に指定した．コーパスとして，青空文庫より「レ・ミゼラブル(3)（日本語訳版）」を用いた．

新奇性を操作するために，感性語の出現回数に着目した．抽出した感性語を出現回数の順に並べ，新奇性のパラメータをα[%]として，上位からα[%]付近の語を提案するようにした．また，抽出された語について，それぞれ感性語であるか筆者らが評価し，新奇性を操作することができたかを検証した．



Figure 2 Conceptual diagram of the extracted clauses

4. 結　　果

新奇性パラメータ$\alpha = 1\%, 4\%, 16\%, 64\%$の 4 条件におけ

る，本手法による推薦語（各 20 語）を表 1（advcl）および表 2（acl）に示す．係り受けタグが advcl の語は 796 語，acl のものは 1061 語が抽出された． また，感性語であると評価したものを網掛けで示す．

Table 1 Recommended words by our method for the condition [advcl & ADJ]. (Shaded words are kansei words.)

$\alpha = 1\%$	$\alpha = 4\%$	$\alpha = 16\%$	$\alpha = 64\%$
ない	よい	弱い	華奢
深い	恐ろしい	不安	空虚
静か	まっすぐ	遅い	不誠実
ふう	漠然	熱心	妬ましい
明らか	ひそか	鋭い	的確
長い	遠い	冷たい	不用
大きい	白い	危険	豪胆
非常	いっぱい	確実	平凡
うまい	自由	異様	強情
低い	激しい	重い	長し
早い	黒い	盛ん	厳重
確か	幸福	丈夫	若々しい
高い	強い	光栄	望ましい
多い	少ない	極端	普遍的
にわか	どんな	普通	粗雑
あまり	小さい	悶然	分明
別	巧み	さよう	公然
	不思議	あらわ	平安
	きれい	強固	よし
	夢中	上手	たくさん

Table 2 Recommended words by our method for the condition [acl & ADJ]. (Shaded words are kansei words.)

$\alpha = 1\%$	$\alpha = 4\%$	$\alpha = 16\%$	$\alpha = 64\%$
ない	異常	重々しい	囂々
恐ろしい	みごと	まっ白	なつかしい
古い	痛ましい	有用	惨ましい
いい	青い	結構	深し
若い	きれい	暗澹	狭量
深い	確か	莫大	叙情的
長い	神秘	盛ん	静粛
りっぱ	変	優しい	よそよそしい
不思議	ひどい	よし	観念的
悪い	激しい	痛切	磊落
美しい	小さい	別	こわい
低い	荒々しい	孤独	手近
白い	寂しい	ありがたい	善い
偉大	狭い	微妙	無鉄砲
高い	正直	弱々しい	亡い
あわれ	強い	まっくら	不作法
新しい	陰惨	軽い	旨い
黒い	おもしろい	曖昧	大まか
暗い	有名	穏やか	半端
貧しい	まじめ	凄惨	みだら

5. 考　　察

感性語だけを抽出することはできなかったが，感性語を含んだ形で語を抽出することができた．感性語ではなくても品質に関する語が多く提案できており，語句推薦としては一定の有効性があると考えられる．

出現頻度を操作変数として新奇性を操作することも達成できた．例えば，$\alpha = 1\%$の結果の「長い」「大きい」のような語に対して，$\alpha = 64\%$の結果には「厳重」「粗雑」のような比較的新奇な語が含まれる．

快感情に基づく表現の有効性については，ありふれすぎている$\alpha = 1\%$の語や，難解な$\alpha = 64\%$の語に対して，$\alpha = 4\%$や$\alpha = 16\%$の語は「巧み」，「神秘」など訴求表現に用いやすい語が多く含まれており，このことは図 1 のヴントカーブに従っていると言えるだろう．

また，acl と advcl の結果の間には，特筆すべき違いはみられず，advcl の方が同程度の精度で感性語を抽出している．

6. 結　　言

本研究では，コーパスから感性語を抽出し，新奇性を操作変数として語句推薦をするシステムを提案した．今後，本手法を実際に訴求表現作成の担当者に使用してもらい，感性語推薦や新奇性操作の有効性を評価する．

今回は利用しやすい青空文庫のコーパスを用いており，文章の特性上やや古風な語や文語調の語が多く抽出された．実用上は製品の当該分野に関するコーパスを用いることで，より有効な語を推薦することができる可能性がある．例えば，製品に関連する SNS の投稿を用いることで，より現代的で訴求表現として利用しやすい語を推薦することができるようになるだろう．特に，流行の先端として用いられているような語にも対応することができると考えられる．分野や文脈を絞った最適化によって，感性語の提案システムはより有用な支援ツールとして機能するようになるだろう．

文　　献

(1) 柳澤秀吉，村上存，大富浩一，穂坂倫佳．(2008) ．感性の多様性を考慮した感性品質の定量化手法 製品音の設計における感性品質の定量化への適用．日本機械学会論文集 C 編，74(746) ，2607-2616.

(2) Berlyne, D. E. (1970). Novelty, complexity, and hedonic value. Perception & Psychophysics 8, 279–286.

(3) ユゴー・ヴィクトル，レ・ミゼラブル（豊島与志雄訳），青空文庫（底本・岩波書店）

(4) 松田寛．(2020) ．GiNZA - Universal Dependencies による実用的日本語解析．自然言語処理, 27(3) , 695-701.

三次元形状における美的好みの定量化の試行

Trial of aesthetic preference quantification of 3D shape

○松山 和真（慶應義塾大学大学院）*1，岡本 昌也（慶應義塾大学大学院）*1，加藤 健郎（慶應義塾大学）*2

*1 Graduate School of Science and Technology, Keio University,
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan
*2 Department of Mechanical Engineering, Keio University,
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan

キーワード:ジェネラティブデザイン，形状評価，美的好み，VAE

1. 緒言

近年，計算機の性能向上に伴い，ジェネラティブデザインと呼ばれるコンピュータを用いた自動設計技術が注目を集めている(1)(2)．井上，佐藤らが提案した多様解導出システムは，多様性とランダム性に基づき，力学特性を確保（高剛性かつ低重量）しつつ新奇性のある，**図 1** のような形状の生成を可能とした(3)(4)．しかし，生成形状に対する意匠性の評価は使用者自身が行う必要があり，設計の自動化におけるボトルネックとなっている．

形状生成に感性評価を取り入れた，三次元形状生成システムを提案することを最終的な目標とし，本研究では，感性評価を行うための美的好みの定量化を目指す．その方法として，Variational Autoencoder（以下，VAE）を用いて形状間の類似度を算出し，類似度と美的好みの評価の関係性を検証する．

2. 類似性指標の算出方法と好みとの関係性

2.1. 類似性指標の算出方法

本研究では，類似性指標を算出するために VAE を利用する．VAE は機械学習の一種であり，入力する形状の特徴を捉えて，次元の小さい潜在変数（以降，特徴ベクトルとする）に変換するエンコーダと、特徴ベクトルから形状を再構築するデコーダの二つのニューラルネットワークにより構成される(5)．VAE のエンコーダにより得られた形状の特徴ベクトルを用いることで，2 つの形状間の類似性を定量的に評価できる可能性がある．本研究では特徴ベクトル間のコサイン類似度を算出し，これを類似性指標とする．



Fig.1: Shapes and sketches obtained from a multi-solution derivation system

2.2. 類似性と美的好みの関係

本研究では，美的好みの評価方法として，Berlyne の Wundt 曲線を利用する．Berlyne は，形状に対する感性の評価方法を検討し，ヒトを覚醒させる刺激の度合いである覚醒ポテンシャルを横軸に，「快」の感情を縦軸にとると，両者の関係は逆 U 字型の曲線（Wundt 曲線）となることを示した(7).この関係は，縦軸を「美的好み」としても成り立つことが知られており，美的好みの高い形状の生成を実現できる可能性がある．

本研究では，この関係を利用した美的好みの評価方法を提案する．ここでは覚醒ポテンシャルを，典型的な形状（以降，基本形状とする）と評価する形状との類似性指標の減少と定める．なお，Wundt 曲線は典型的な状態からの美的好みの変化を表しているため，基本形状は典型性に関する官能評価に基づいて選定する必要がある．

3. 有効性検証実験

本実験では，提案する美的好みの評価方法の有効性を検証するために，①類似性指標と「類似性」の官能評価値との関係と，②類似性指標と「美的好み」の官能評価値との関係を検証した．以下に，実験のサンプルと方法，結果および考察について述べる．

3.1. 実験サンプル

本実験における評価対象は，力学特性と意匠性がともに重要である椅子とした．サンプルとして用いる椅子形状は，VAE の学習用として用意したデータセット(7)の 989 個の形状（以降，既存形状と呼ぶ）から選定した（図 2）．また，既存形状の中から，典型的な基本形状を選択するために，①クラスター分析により 989 形状を 12 個のグループに分類，②グループごとに代表となる形状を 1 つずつ抽出，③抽出した計 12 形状に対して典型性に関する官能評価実験を実施した．その結果，高い典型性の官能評価値を得た形状 1 個を基本形状として選択した（図 2, Basic Shape）．

3.2. 実験方法

1) 被験者：**「類似性」「好み」共に**，20~70 歳代の男女 110 名とした．

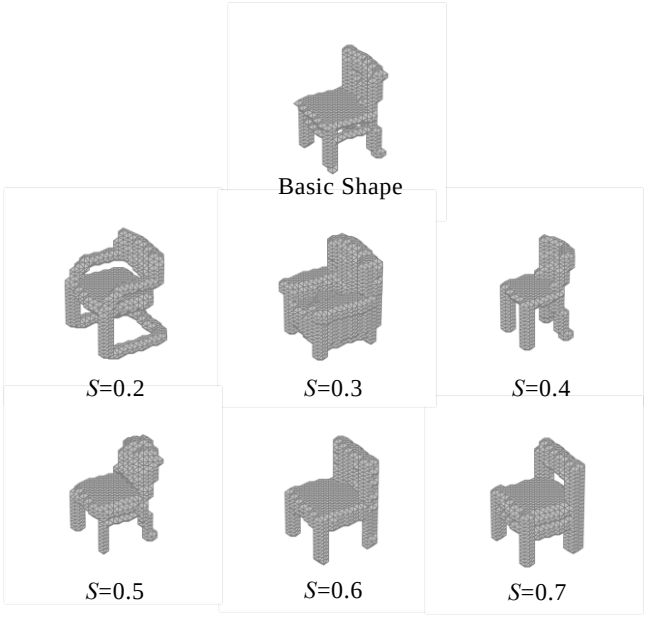


Fig2: Example of Sample shapes (*S*: Similarity Index)

2) サンプル：「類似性」は類似性指標 0.1 から 1.0 までの 24 個，「好み」は類似性指標 0.4 から 1.0 までの 31 個とした．

3) 評価方法：①基本形状との類似性と② 好みを それぞれ 5 段階のリッカート尺度で評価した．

3. 3. 実験結果および考察

本実験では，あらかじめ不適切な被験者（全ての形状の評価値が同じ，2 回出題された同じ形状に関する評価値が異なる）を除いた上で，官能評価値を算出した．類似性指標と類似性の官能評価値との関係は図 3 の通りとなり，両者の間には直線的な相関関係が確認された．また，類似性指標と美的好みの官能評価値との関係は図 4 の通りとなり，類似性指標 0.45 付近で美的好みが最大となる形状が確認されたものの，逆 U 字型の相関関係は確認されなかった．

本実験において，類似性指標と美的好みの官能評価値との間に相関がみられなかった理由として，以下のような点が考えられる．

- 一部が欠損し，左右非対称となった形状がサンプルに含まれており，評価に影響を与えたこと
- 基本形状とは異なる種類の形状（背もたれに大きな穴が開いている，ひじ掛けがある等）がサンプルに含まれており，評価に影響を与えたこと

そこで，①左右非対称になっている形状を除去，②基本形状と似た種類の形状のみに絞り込み，再度結果を確認した．なお，「基本形状と似た形状」とは，以下の条件を満たすものとする．

- 直線状の四本脚を有していること
- 四角い座面を有していること
- 四角く，大きな穴の開いていない背もたれを有していること
- ひじ掛けを有していないこと

この絞り込みの結果，類似性指標と美的好みの官能評価値との関係は図 5 の通りとなり，逆 U 字型の弱い相関関係が確認されたものの，類似性指標を用いて美的好みを精度よく定量化することはできなかった．その理由として，類似性指標の精度が十分でなかったこと，類似性以外で美的好みに影響を与えている形状特徴が存在することなどが考えられる．

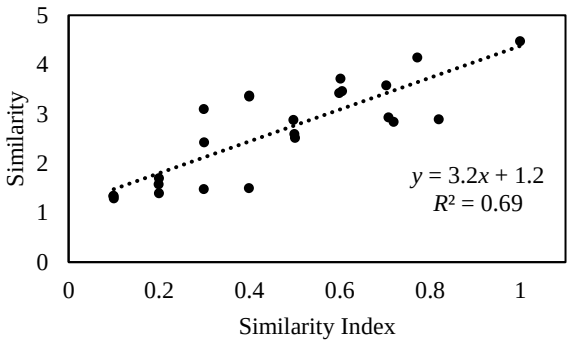


Fig.3: Relationship between Similarity and Similarity Index

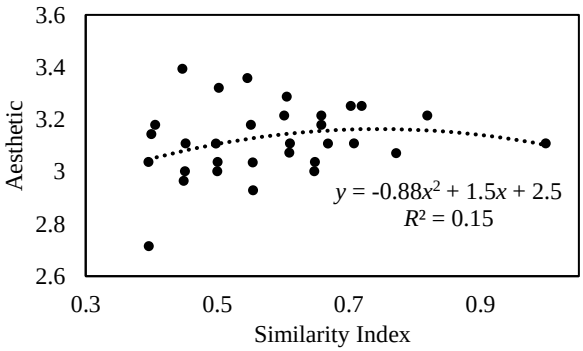


Fig.4: Relationship between Aesthetic and Similarity Index

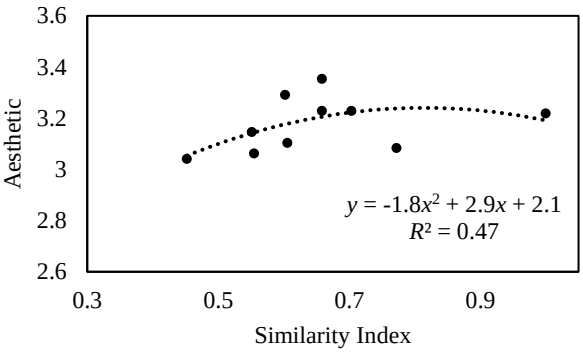


Fig.5: Relationship between Aesthetic and Similarity Index (filtered result)

4. 結言

本研究では，三次元形状に対する美的好みの定量化を目標とし，その評価指標として類似性指標を提案した．そして，有効性検証実験により類似性指標の有効性，および類似性指標と美的好みとの関係性を検証した．今後の課題としては， VAE を用いた他の評価指標の算出方法を検討すること，VAE の形状生成過程への適用可能性を検討することが挙げられる．

文献

(1) Singh, V, et al., Towards an integrated generative design framework, Design studies, Vol.33, No.2, (2012), pp.185-207
(2) Shea, K, et al., Towards integrated performance-driven generative design tools, Automation in Construction, Vol.14, No.2, (2005), pp253-264
(3) Inoue, M, et al., “Form generation system imitating the developmental process of organism for obtaining diverse design solutions”, Computer-Based Design, (2002), pp. 327-336.
(4) Sato, K, et al. “Design methodology based on emergence”, (2009). pp. 21-30
(5) Diederik P. Kingma, Max Welling, Auto-Encoding Variational Bayes, ICLR, (2014)
(6) Berlyne, D.E., Aesthetics and psychobiology, Appleton Century Crofts, (1971)
(7) Wu, Z. et al., “3D ShapeNets: A Deep Representation for Volumetric Shapes”, Proceedings of 28th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (2015).

潜在価値を含む少数ニーズの抽出とそれらを反映した感性設計手法

Selection of Minority Needs including Potential Value and its Kansei Design Method

○櫻木　麻美子（明治大学大学院）*1　山口　凜平（明治大学大学院）*2
石川　智也（明治大学大学院）*3　井上　全人（明治大学）*4

*1 Mamiko SAKURAGI, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita Tama-ku Kawasaki Kanagawa, 214-8571, mican0822@gmail.com
*2 Rimpei YAMAGUCHI, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita Tama-ku Kawasaki Kanagawa, 214-8571, thegoodsun2@yahoo.co.jp
*3 Tomoya ISHIKAWA, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita Tama-ku Kawasaki Kanagawa, 214-8571, ttaroundtheworld2@gmail.com
*4 Masato INOUE, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita Tama-ku Kawasaki Kanagawa, 214-8571, m_inoue@meiji.ac.jp

キーワード:感性設計, 少数ニーズ, 評価グリッド法, ユーザ指向

1. 緒　　言

近年，生産技術が急速に発達したことにより，市場には多種多様な製品が溢れている．これに伴い，顧客に選ばれる製品の提案のためにはこれまで以上に他の製品と差別化された革新的な製品の提案が必要である．加えて，近年の傾向として，製品に対する顧客の要求が急速に多様化している．従来のユーザは，高機能，高品質に価値を感じ対価を払うケースが多く，性能や機能を優先した製品設計が主流であったが，近年のユーザは，質感や快適性など，人間の感性に依存したニーズ（以下，感性ニーズ）への関心が高い(1)．そのため，感性ニーズを高水準で満足させる製品設計の必要性が高まっている．製品設計において，定量評価が可能な機能に関わる設計変数の選定に比べ，感性に関連する設計変数を選定することは難しい．そこで，感性ニーズを満たす製品設計を行うために，設計者が多様な感性情報を定量的に評価し，制御可能な設計属性（設計変数）として設計に取り入れることができる手法が必要とされている．先行研究では，より多くのユーザが発言するニーズを重要なニーズとして選択し，感性価値の評価を行っていた．しかし，発言数の多いニーズに注目するだけでなく，発言数の少ないニーズ（以下，少数ニーズ）には，新規性の高い潜在的な価値が含まれている可能性が高い．本研究では，評価グリッド法によるアンケートに基づき，潜在価値を含む少数ニーズを評価構造図から選択し，それらのニーズに関連する設計変数を抽出することで，設計解を導出する手法を提案する．この手法を人の使用感が製品評価に大きく関わると予想されるマウスパッドの設計に適用した．

2. 提案手法

本章では，図 1 に示すステップから構成される手法の概要を順に述べる．

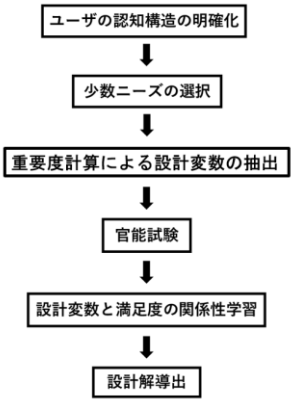


Fig.1 Flowchart of the Proposed Method

2.1. ユーザの認知構造の明確化

ユーザは製品に対して多様なニーズを有しており，そのニーズを把握するため，ユーザの認知構造を明らかにする．設計者がこれらのニーズを把握し，満足させるために重要な設計変数を知ることは，ニーズを満足させる設計解を効率よく導出するために非常に役に立つ．ユーザニーズと設計変数の関係性を導出する手法として，先行研究では，QFD や AHP などを利用した手法が提案されている．表 1 のように，QFD，AHP は，設計者があらかじめ着目するニーズを決定する方法であり，QFD では，設計変数の重要度を考慮する際に設計者が定性的に重み付けを行う．QFD，AHP はいずれも設計者のノウハウや主観に依存しているため，ニーズと設計変数の取得の過程で設計者の意図を含みやすい．加えて，設計者がすべてのニーズと，ニーズと設計変数の関係を把握することは難しい．したがって，設計者のノウハウと経験に基づく設計では，限定されたニーズを満たす製品設計に留まると考えられる．そこで，本研究ではユーザ指向の製品設計を行うために，人々がどのような観点から製品評価を行うのかを探索できるアンケート手法を用いる．しかし，単純なアンケート調査では，得られる情報の量や質がインタビュアーの個人的能力に大きく依存し，インタビュアーの主観が混入しやすい．加えて，調査結果が冗長でとりまとめが困難であることが原因

で，調査品質のばらつきがおこりやすいという問題点がある[2]．これらの問題点に対応すべく，本研究では，評価グリッド法アンケートによって，ユーザの製品に対する認知構造を明らかにする．評価グリッド法は，評価試料の一対比較により，好ましい製品の選択とその理由を被験者に繰り返し尋ね（ラダーアップ），続いて，好ましい製品の仕様を尋ねる（ラダーダウン）．決まった質問形式を採用したことで，回答者のニーズの言語化が容易になる．すなわち，評価試料の選好判断の直後にその理由を尋ねることで，直前に考えていた評価判断の根拠が自然と言語化されることが期待される．また，回答者には 100%の回答の自由を確保できる一方，調査自体は一定の手順に従って進められるため，一般的なアンケート調査のように，調査結果がインタビュアーの個人的能力に大きく依存されず，誰が行っても安定した結果を期待できると共に，インタビュアーの主観の混入も最小限に抑えられる．この形式を採用することで，選好評価に関わる項目だけを選択的に抽出することが可能となり，調査の効率化と結果の冗長性回避も実現できる[2]．評価グリッド法により得られるユーザの認知構造は，階層的評価構造図に形式化される．例えば，SNS の UI 設計を例にとると，上位に「直感的に操作できる」という抽象的価値判断であるニーズ，中位に「使いやすい」という官能的理解であるオリジナル評価，下位に「レイアウト」という客観的かつ具体的な理解である設計変数が階層的に重なった評価構造図が抽出できる．このように，評価構造図内の評価間の繋がりから，評価者のニーズと製品情報の関係およびそれらの項目間の因果関係を階層的に視覚的にわかりやすく抽出することを実現できる．評価構造図の下位概念が製品の設計変数を含むことで，ニーズと設計変数の関連性を定量評価することに応用できることも評価グリッド法を使う利点と考える．このようなユーザの認知構造を明確化できる評価グリッド法は，景観への心理的評価[3]や，オフィス空間の評価[4]，浴室の設計[5]などの建築分野などをはじめ，日用品などの製品設計[6]まで幅広く用いられている．

Table 1 Comparison with Previous Studies

	ニーズの発案	ニーズの重要度	設計変数の重要度
本提案手法	ユーザの回答	―	ユーザの回答
評価グリッド法	ユーザの回答	―	―
QFD	設計者	―	設計者の回答
AHP	設計者	ユーザの回答	―

2. 2. 少数ニーズの選択

2.1 節で明確にしたユーザの認知構造から，製品設計において注目すべきユーザニーズを選択する．評価グリッド法を用いた設計手法を SNS の UI 設計に適用した先行研究では，「ユーザの発言回数の多いニーズが，その製品設計において考慮すべきニーズである」という前提のもと，発言数の多い上位 3 つのニーズを選択している．しかし，ユーザに対するアンケートにおいて，発言の頻度の高い顕在的な回答だけでなく，頻度が低く想定外の視点を抽出することの必要性が明らかになっている[7]．加えて，多数のユーザにのみ共通するニーズの満足化のみでは，ある一定のニーズの満足化は可能ではあり妥当ではあるが，一方で特徴の薄い製品となる可能性が高いと考えられている[8]．本研究では，「発言回数の少ない評価視点も，製品評価へ影響する」という仮定のもと，従来では考慮されなかった発言回数が少ないニーズや，設計者が意外性を感じるニーズを製品開発に新規性を求める際の固有なニーズと捉え，選択する．

2. 3. 重要度計算による設計変数の抽出

2.2 節で選択した少数ニーズを効率的に満足させる設計変数を取得するため，少数ニーズと設計変数の関連性を定量的に評価できる重要度計算を実行する．従来の評価グリッド法は，ユーザニーズの把握のための手法に留まっており，ユーザニーズおよびそれらに関連する設計変数の抽出には用いられなかった．それに対し本研究では，従来の評価グリッド法を用いることに加えて，各評価の重要さを重要度として数値化することで，評価同士の関連性とどの程度重要な評価を経由しているかの 2 点を明らかにした．ここで重要度とは，評価構造図中の着目するニーズ（上位概念）に対して，設計変数（下位概念）の関連性の強さを示す尺度である．この尺度を設計者に与えることによって，設計者はユーザの製品評価に影響を及ぼす設計変数を定量的に判断することができる．重要度の計算は 2.2 節の評価グリッド法アンケートにより抽出した評価構造図に基づき行う．図 2 に評価構造図の例を示す．設計変数の重要度 Id は，式（1）によって計算される．以下の条件（a）から（d）に従うとき，重要度は高く算出される．n はルート数，i はある経路，m はルート i の評価項目数，X は各評価の評価回数，L は各評価のラダー数である．この重要度計算は，選定したニーズと全ての設計変数の組み合わせに対して実施する．また，選定したニーズが複数存在する場合は，ニーズ毎に重要度を算出し足し合わせる．このときの重要度が上位の評価項目が，選択したすべての少数ニーズを満足するために考慮すべき設計変数である．

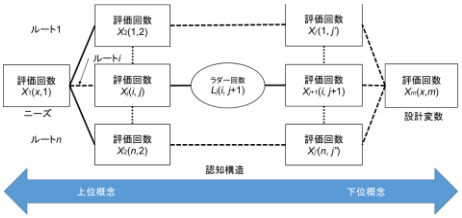


Fig.2 Evaluation Structure Diagram

$$Id = \sum_{i=1}^{n} \sqrt[m]{\frac{{L_1}^2}{X_1} \times \frac{{L_2}^2}{X_2} \times \cdots \times \frac{{L_{m-1}}^2}{X_{m-1}} \times X_m} \qquad (1)$$

(a) ニーズと設計変数との間の経路数が多い
(b) 各評価から隣接する評価語へのラダーリング率が高い
(c) 評価間のラダーリング数が多い
(d) 設計変数の評価回数が多い

2. 4. 官能試験

2.3 節で抽出された設計変数に対して表面積や形状など

の具体的な仕様を決定する．水準の決定には，評価グリッド法アンケートを行う際に記録した，設計変数の水準に関する被験者の発言を利用する．直交表を用いて水準の組み合わせを決定し，数を絞って評価試料を作成する．そして，それらの評価試料を用いて評定尺度法による官能試験を行う．評定尺度法は，官能評価の評定法の一種に分類され，あらかじめ質問者が設定した明確な評価段階（評定尺度）に従って，回答者に特定の対象や事象を判断させる方法であり，一般にアンケート調査などに利用されている．評定尺度法による調査を行うことで，言語化されたユーザニーズなどの定性的データを定量的に評価・解析することが可能になる．官能試験を行っている間，被験者には普段通りの製品使用を想定して，複数の試料を評価してもらう．アンケートには 5 段階の評定尺度を採用する（1 不満，2 やや不満，3 どちらともいえない，4 やや満足，5 満足）．5 段階に評定尺度を制限した理由として，官能試験の結果をもとに作成した設計解の再評価を行ってもらう際に，評定尺度の段階数が増えるほど被験者が採点基準を忘れてしまう傾向があるためである．実際に，1 週間間隔で行った同一調査対象者に対する 2 回目のテストの再現性は 5 段階，7 段階，9 段階の順に下がることが指摘されている[8]．評定尺度法によって評価された値をニーズ満足度と定義する．

2.5. 設計変数の仕様とニーズ満足度の関係性学習

機械学習を用いて，設計変数の仕様とニーズ満足度の関係を学習させる．両者の関係を数理モデル化することで，試験していない水準の組み合わせを持つ製品に関するニーズ満足度の推定を可能にする．本研究では，代表的な機械学習手法であるニューラルネットワークの多層パーセプトロン(Multi-Layered Perceptron，以下，MLP)を適用し，ニーズ満足度を推定した．未知のデータに対する予測を目的として，官能試験によって得られたデータから機械学習を用いてモデルを作成するが，本研究では，官能試験のために作成する試料の 80%を学習用，20%を評価用とし，予測精度の確認を行う．精度確認では，官能試験によって得られたニーズ満足度の総合得点と MLP の予測値の誤差率を算出する．離散値を持つ設計変数には，決められた各水準において，カテゴリ変数である One-hot エンコーディングを適用する．One-hot エンコーディングとは，カテゴリ変数に対して行う符号化の処理であり，テーブル形式のデータのカテゴリ変数の列について，取りうる値の分だけ列を増やして，各行の該当する値の列のみに 1 が，それ以外の列には 0 が入力されるように変換する[9]．例えば，離散値を持つ設計変数 A がある時，設計変数 A に対する水準 1 と水準 2 のうち，水準 1 を選択した設計仕様は(水準 1，水準 2)=(1,0)と One-hot エンコーディングにより変換できる．

2.6. 設計解導出

2.5 節で作成した MLP を用いて，設計変数の水準を変更した際の全ての組み合わせのニーズ満足度を予測し，最も満足度が高い設計仕様の組み合わせを少数ニーズ満足解として導出する．

3. 適用事例：マウスパッド設計

3.1. 事例決定理由

本研究では，提案手法をマウスパッドの設計に適用した．これは，人の使用感が製品評価に大きく関わると予想され，ユーザの感性評価を取り入れることが可能な本提案手法への適用に適していると考えたためである．加えて，近年，パソコンは必要不可欠なツールとなっており，それに伴い，約 85%の人がマウスパッドを必要と回答しており(図 3)，マウスパッドに多様なニーズをユーザが求めていることが確認された(図 4)[10]．また，感染症の拡大で在宅勤務をするユーザも増加したことから，「家の雰囲気にあったマウスパッド」や「長時間使っていても手が荒れないマウスパッド」など，今まで以上に多種多様なニーズがマウスパッドに求められている．本適用事例では，ユーザの感性情報から少数ニーズを満たすマウスパッドを設計することを目的として，提案手法を適用した．また，ある特定のニーズを満足させるために追加された構造や機能(リストレスト，ワイヤレスマウスの充電機能など)を持つマウスパッドは考慮しない．

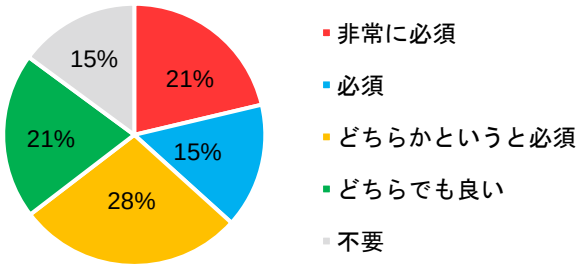


Fig.3 Percentage of Mouse Pad Demand

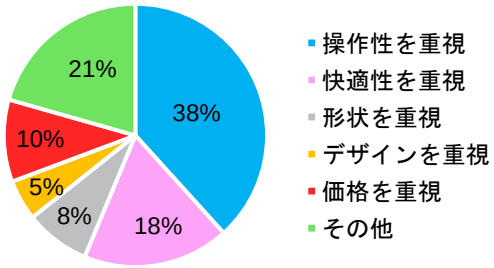


Fig.4 Various Needs of Mouse Pad

3.2. マウスパッドの設計への適用

ユーザのマウスパッドに関する認知構造を明確にするため，図 5 に示す 14 枚の既製品を用いて評価グリッド法アンケートを実施した．被験者は，マウスパッドを使用したことがある 20 代男性 8 名女性 8 名である．14 枚すべての組み合わせで一対比較を行うとすると，被検者 1 人あたり 91 回のアンケートが必要となり，被験者への負担が大きい．そのため本適用事例では，図 5 に示す 14 種類のマウスパッドの中から「使いたいマウスパッド」を 2 つ，「使いたくないマウスパッド」を 2 つの合計 4 つを自由に選択

してもらい，総当たり的に 6 回のアンケート調査を行う．このように評価試料全てを一対比較する時間や試験者とユーザに掛かる負担を削減することで，ユーザが使いたいと感じるために重要だと感じるニーズをより明確に把握できると考える．

一般的に評価グリッド法アンケートの下位概念を把握するラダーダウンについて，下位概念は設計変数となり得る評価が出るまで繰り返し導出する必要があるため，ユーザの意見が途切れるまで行われる．一方，上位概念を把握するラダーアップを繰り返し行うと，その製品とは無関係のニーズが導出されることがある．実際に被験者へのアンケートにおいて，「手が動かしやすい」というオリジナル評価からラダーアップを繰り返した際，「自分の時間ができる」という発言があった．しかし「自分の時間ができる」はマウスパッドのニーズとは無関係であるため，このような対象に直接関係がないニーズは記録しないこととした．このように，下位概念とは異なり，上位概念はどの程度の抽象的評価レベルまでラダーアップすれば製品設計に十分適用できるか明確ではない．そこで本研究は，1 回のみのラダーリングで評価構造図を作成することとした．この方法により，評価構造図の複雑化を抑制することも期待できる．この方法で明らかになった全被験者の評価構造図を図 6 に示す．さらに，この評価構造図より得られたニーズの一部を表 2 に示す．



Fig.5 Evaluation Samples (14 Mouse Pads)

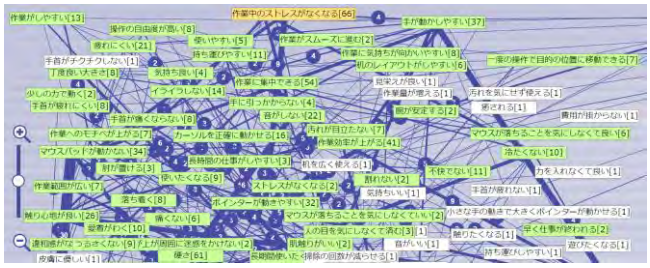


Fig.6 Evaluation Structure Diagram (All Subjects)

Table 2 Needs and the Number of Evaluations

抽出できたニーズ	発言数[回]
作業中のストレスがなくなる	68
作業に集中できる	54
作業効率が上がる	41
⋮	⋮
触り心地が良い	**26**
音がしない	**22**
⋮	⋮
かっこいい	**10**
⋮	⋮
寝られる	**3**
⋮	⋮

発言された全ニーズを大きく 3 つに分類した際，「機能性に関するニーズ」，「触覚，聴覚，視覚に関するニーズ」，「その他」に分類できた．これらのニーズの発言数の，全発言数に対する割合を図 7 に示す．発言数の多いニーズの他に，「触覚，聴覚，視覚に関するニーズ」に着目すると，全体の発言数の 22.5%に留まっており，これらのニーズは感性に関わるニーズであるため，これらを少数ニーズとして扱う．これらのニーズを触覚，聴覚，視覚に分類した各ニーズの発言数を表 3，表 4，表 5 に示す．各々の分類において，「触り心地がいい」，「音がしない」，「かっこいい」を少数ニーズとして選択した．加えて，従来の使用方法において想定されていない，新たな機能性に関するニーズが発言された．それらのニーズを表 6 に示す．発言数は非常に少ないが，これらのニーズに着目することで，当初の目的である新規性を求める製品設計が実現できると考えた．よって，新規性もあり，設計者にとって想定が難しいと考えられる「寝られる」というニーズを選択した．以上より，マウスパッドに関するアンケートによって明確になったユーザの認知構造から，「触り心地が良い」，「音がしない」，「かっこいい」，「寝られる」という少数ニーズが選択できた．

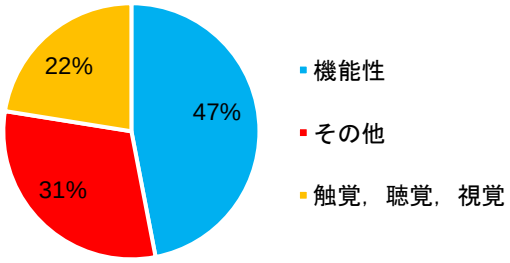


Fig.7 Ratio of the Number of Remarks of Needs Regarding the Five Senses to All Needs

Table 3 Tactile Needs and the Number of Remarks

触覚に関するニーズ	発言数
触り心地が良い	26
冷たくない	10
手首が痛くならない	8
⋮	⋮
皮膚に優しい素材	1
計	79

Table 4 Hearing Needs and the Number of Remarks

聴覚に関するニーズ	発言数
音がしない	22
うるさくない	9
構造上音が反射しづらい	4
⋮	⋮
音がいい	1
計	42

Table 5 Visual Needs and the Number of Remarks

視覚に関するニーズ	発言数
かっこいい	10
汚れが目立たない	7
違和感がない	6
⋮	⋮
清潔感がある	1
計	46

Table 6 New Functional Needs and the Number of Remarks

新機能に関するニーズ	発言数
寝られる	3
枕に代用できる	1
計	4

選択した 4 つの少数ニーズを満たすために考慮すべき設計変数を明らかにするために重要度計算を行う．被験者ごとに正規化された結果から算出された各設計変数の全体に対する割合を図 8 に示す．これより，「硬さ」「色」「表面の摩擦」「表面積」が全設計変数の重要度の割合の約 75%を占めていることが確認された．つまり，これらの設計変数は，「触り心地がいい」，「音がしない」，「かっこいい」「寝られる」の 4 つの少数ニーズを満足するために，特に重要視すべき設計変数であることが明確になった．

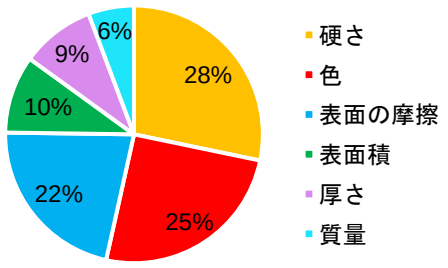


Fig.8 Percentage of Importance of Each Design Variable

続いて，選択した少数ニーズとの関連が強い設計変数を用いて評価試料を作成する．ただし，摩擦係数と硬度は相互に作用する可能性がある[11] ため，抽出した 4 つの設計変数の詳細仕様を決定する前に，「表面の摩擦」と「硬さ」の相関を確認する実験を行った．実験では，被験者が実際の官能試験で使用するマウスを表面素材上で角度をつけ，摩擦角を測定した．表 7 に確認実験の結果を示す．平均摩擦角に着目すると，「表面の摩擦」の水準が「大」のとき，「硬さ」の水準を「大」と「小」に変化させた場合との差は 0.3° に留まり，「表面の摩擦」の水準が「小」のときは，0.1° の差であった．つまり，素材の硬さが「硬い」ときと「柔らかい」ときの「硬さ」の水準差は，人間の感覚に影響を与えないと推測できる．したがって，「表面の摩擦」と「硬さ」は独立しているため，本適用事例では設計変数の相互作用を考慮する必要はないと考えられる．相互作用列を除く L8 直交表を参照して，設計変数の仕様の組み合わせを決定した．加えて，本研究では L8 直交表で用いなかった設計変数の水準の組み合わせの試料をさらに 2 つ作成する．これは，官能試験で得られた設計変数とニーズ満足度の関係を MLP で学習させる際，過学習を防ぐために，追加で作成した 2 つの試料を学習の検証用試料として用いることで，学習経過を損失関数により確認する．抽出した 4 つの設計変数の詳細な仕様(10 通り)を表 8 に示し，その組み合わせの評価試料を作成した．実際に作成した試料を図 9 ，その構造を図 10 に示す．この評価試料の水準は，既存の製品の仕様と，評価グリッド法アンケートにおける被験者の発言を参考にして決定した．表 9 は，水準の実測値を示す．作成した評価試料を用いて，被験者が普段行うマウス操作を行い，5 段階の評定尺度法を用いた官能試験を実施した．実際のアンケート用紙を図 11 に示す．この結果，被験者 16 人における 10 通りの評価試料に対するニーズ満足度が得られた．

Table 7 Result of Confirmation Experiment

水準		摩擦角 [°]
表面の摩擦	硬さ	
大	柔	13.3
大	硬	13.0
小	柔	11.6
小	硬	11.5

Table 8 Level of the Evaluation Samples

No.	硬さ	色	表面の摩擦	表面積
1	柔	茶	小	小
2	硬	黒	小	小
3	硬	茶	大	小
4	柔	黒	大	小
5	硬	茶	小	大
6	柔	黒	小	大
7	柔	茶	大	大
8	硬	黒	大	大
9	硬	茶	大	大
10	硬	茶	小	小

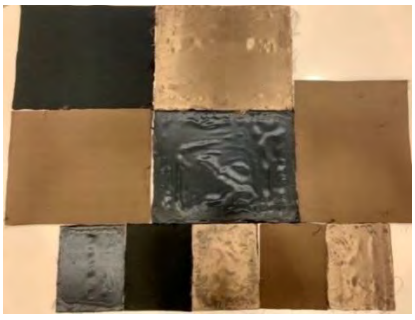


Fig.9 Prepared Evaluation Samples

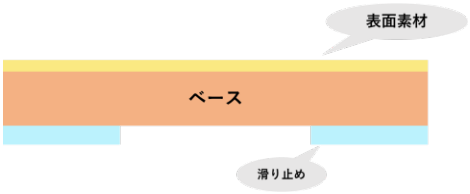


Fig.10 Structure of the Prepared Evaluation Samples

Table 9 Measured Value of Level

硬さ		表面の摩擦[°]		表面積[mm^2]	
硬	柔	大	小	大	小
97.33	50.67	13.82	12.25	320×256	180×144



Fig.11 Sensory Test Questionnaire Form

官能試験で得られたニーズ満足度と設計変数の関係を MLP に学習させる．その際，設計変数の水準を数値化して入力するために，提案手法に基づき「硬さ」，「色」，「表面の摩擦」，「表面積」に One-hot エンコーディングを施す．例として，表 8 の“試料 No.1”を表 10 に示し，この試料の「硬さ」，「色」，「表面の摩擦」，「表面積」の水準に One-hot エンコーディングを行い，数値化した入力値を表 11 に示す．この数値処理を全 10 パターンの評価試料の水準の組み合わせに適用し，設計変数と官能試験より得られたニーズ満足度の関係を MLP で学習させた．10 個の試料のうち No.1 から No.8 の 8 個を学習用，No.9 と No.10 の 2 個を検証用として，学習経過を確認し学習の精度を検証する．3 層の MLP は，入力層に設計変数の水準を数値化した 8 ユニット，中間層を 100 ユニットとし，出力層はニーズ満足度を示す 4 ユニットとした．また，学習のバッチサイズを 8 として，学習回数は 100 回とした．このときの学習経過を図 12 に示す．また，表 13 より，検証用試料のニーズ満足度の機械学習による予測値と官能試験により取得された得点の誤差率 は 6.37%と算出された．

Table 10 Design Variable Level (No.1)

No.	硬さ	色	表面の摩擦	表面積
1	柔	茶	小	小

Table 11 Design Variable Level with One-hot Encoding (No.1)

No.	硬さ		色		表面の摩擦		表面積	
	硬	柔	黒	茶	大	小	大	小
1	0	1	0	1	0	1	0	1

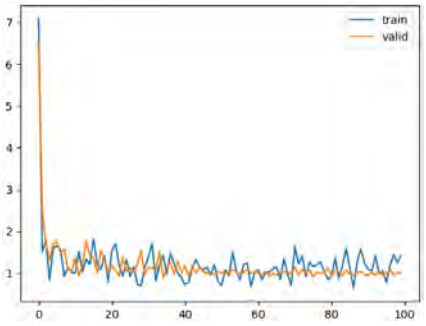


Fig.12 MLP Learning Progress

Table 13 Error Rate

	全被験者の総合得点の平均	予測値	誤差率
No.9	10.29	10.90	6.02%
No.10	11.21	11.21	6.73%
全体誤差率			**6.37%**

学習させた MLP に，抽出した 4 つの設計変数に各々2 水準を設けた全 16 通りの設計変数の水準を入力することでニーズ満足度を予測する．その結果を表 14 に示す．また，全 16 通りのニーズ満足度の得点分布を図 13 に示す．表 14 と図 13 より，全 16 通りの中で，ニーズ満足度の合計が最も高くなる設計変数の組み合わせは，「硬い，黒い，表面の摩擦が小さい，面積が大きい」であり，この組み合わせが少数ニーズを満足する解として導出できた．この設計解を再現した結果を図 14 に示す．最後に，導出した少数ニーズ満足解の妥当性を検証するため，図 14 の試料に対して再び被験者 16 名に評定尺度法アンケートを行った結果を表 15 に示す．

Table 14 MLP Prediction Results

試料 No.	硬さ	色	表面の摩擦	表面積	計
1	柔	黒	大	大	9.760
2	硬	黒	大	大	12.24
3	柔	茶	大	大	9.21
4	硬	茶	大	大	11.35
5	柔	黒	小	大	12.72
6	硬	黒	小	大	15.34
7	柔	茶	小	大	12.71
8	硬	茶	小	大	12.56
9	柔	黒	大	小	9.64
10	硬	黒	大	小	11.06
11	柔	茶	大	小	9.42
12	硬	茶	大	小	10.19
13	柔	黒	小	小	12.13
14	硬	黒	小	小	12.58
15	柔	茶	小	小	11.32
16	硬	茶	小	小	13.16

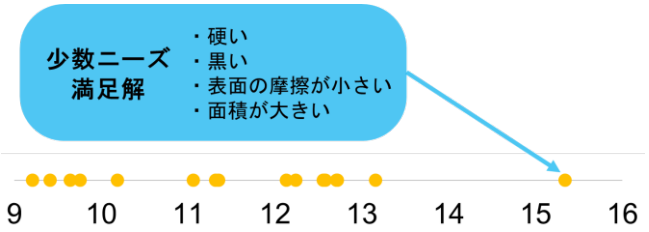


Fig.13 Distribution Map of Predicted Scores

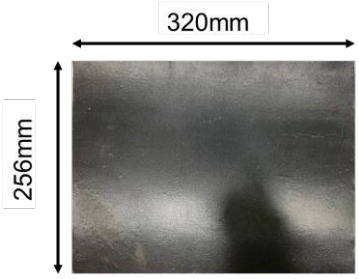


Fig.14 Minority Needs Satisfaction Solution

Table 15 Result of Design Solution Needs Satisfaction

	触り心地がいい	音がしない	かっこいい	寝られる	総合得点
被験者平均	4.357	3.286	3.857	2.071	13.57
NN 予測値	4.597	4.285	3.527	2.933	15.34
誤差率[%]	5.211	23.32	9.352	29.37	11.54

3.3. 考察

表 15 に示す結果より，測定された総合得点と予測された総合得点の誤差率は 11.54%と確認された．学習に必要なデータセット数はモデルの説明変数の 10 倍必要であるとされている[12]．この経験則に基づき，試料作成にあたって，設計変数の抽出数の 10 倍の試料数を作成すると学習精度はより向上すると推測される．少数ニーズ満足解の評価結果は，「触り心地がいい」，「かっこいい」，「音がしない」の 3 つのニーズ満足度の平均は 5 点満中 4.357, 3.857, 3.286 と比較的高い値であるが，残りの「寝られる」のニーズ満足度の平均は 2.071 と比較的低い値となっており，この導出した設計解は 4 つの全てのニーズを満足できなかった．この原因として 2 つのことが考えられる．1 点目は，本提案手法において，設計変数の水準を設ける際の基準が明確でない点が挙げられる．例えば，マウスパッドの色に関して，水準を「黒」と「茶」の 2 色に設定したが，ある被験者は「もう少し透明度の高い茶色ならば，『かっこいい』というニーズがさらに満たされる」と発言していた．つまり，水準外の値が満足度を最大化する場合を考慮するために，設計変数の水準を設ける際の基準を明確にする必要が考えられる．2 点目に，本研究で選択した少数ニーズのうちの 1 つ，「寝られる」というニーズに関して，意外性が強すぎたことが挙げられる．柳澤ら[7]による先行研究において，被験者間で共通して想定していない少数の評価視点に関して，「意外性を感じていない視点」が総合評価への影響度が高い視点であると明らかにしている．つまり，ある製品に対する評価において，ある評価視点を持たないユーザにとって，その評価視点に意外性を感じるニーズの評価を正しく行うことは難しいと考えられる．本研究で選択した「寝られる」というニーズは，従来の使用方法において想定されていない新たな機能性に関するニーズとして選定したが，それは同時に多数のユーザには想定されていないニーズと解釈でき，意外性を含んでいる可能性があると考えられる．その結果，被験者の多くは正確な評価ができず，「寝られる」というニーズに対するニーズ満足度は官能試験，MLP の予測値ともに小さくなったと推察できる．このことから，被験者にクラスタリングを施すことで，「寝られる」などの意外性のあるニーズを持つユーザ，持たないユーザのそれぞれのニーズを満たす設計解導出を目指す．加えて，本研究では，少数ニーズを定量的に選択したのではなく，人間の五感に関連するニーズと新機能に関連するニーズを設計者が意図的に選択し，ニーズ選択を行った．よって，定量的にニーズを選択できる「発言数」とは別の尺度を取り入れる方法を検討する．さらに，「発言の頻度の低い評価視点」は，狩野モデル[13]における「魅力的品質」と捉えられ，マイノリティーなニーズを満たすことで，製品の付加価値の追求に繋がると考える．よって今後はこれを踏まえ「発言回数の少ない評価視点」を考慮することの重要性を検討する．最後に，表 16 のように，全ニーズを満足させる設計解とそれぞれのニーズを最大に満足させる設計解とが異なり，製品仕様がトレードオフの関係になることがある．実際，多数のニーズを同時に満足する設計現場で，このような状況は想定される．その際，選択したニーズごとの製品評価に与える影響度合いなどの尺度を用いれば，トレードオフを回避した設計解の導出は可能である．しかし，機械学習を用いて設計解を導出する場合，ニーズの優先順位は考慮されないので，トレードオフが起こり得ることが本提案手法の課題であると推測される．

Table 16 Trade-off Design Solution

設計解	硬さ	色	表面の摩擦	表面積
全少数ニーズ	硬	黒	小	大
「かっこいい」	柔	黒	小	小

4. 結　　言

本研究では，ユーザの発言に基づく評価グリッド法を用いて，ニーズの把握を行い，さらに先行研究では考慮されなかった少数ニーズを反映させたユーザ指向の設計解を導出する感性設計手法を提案した．さらに，重要度計算によって，ニーズと設計変数の関連度合いを定量評価することで，本提案手法をマウスパッドの設計に適用した．その結果，発言数が少ないニーズの中でも間の五感に関連するニーズと新機能に関するニーズが選択でき，それらのニーズを満たす設計解を導出した．設計解の妥当性を確認した結果，一部の少数ニーズを満たすことが確認された．よって，本提案手法はニーズの選定及び設計変数の抽出に，設計者の意図を可能な限り排除した，ユーザ指向の感性設計が実現できる可能性を示唆した．

一方，本提案手法によって導出した少数ニーズ満足解は，全ての少数ニーズを満足できなかった．ユーザの満足度を

さらに向上させるため，「発言数」とは別に，ニーズを定量的に選定できる尺度や，水準外の値が満足度を最大化する場合を考慮可能な設計変数の水準の選択基準を探索したい．加えて，被験者にクラスタリングを施すことで，クラスタ毎の特徴的なニーズを把握し，「寝られる」などの意外性のあるニーズを持つユーザも満足するような設計解導出を目指す．さらに，従来研究では考慮されなかった「発言回数の少ない評価視点」は，新規性の高い潜在的な価値が含まれている可能性が高い．よって，製品に付加価値が加わり，商品の差別化が図られることが期待されるため，少数ニーズを考慮することの重要性を定量的に明らかする．

文　献

(1) 山岸和子：ユーザ嗜好の多様性に対するロバストな感性設計，設計工学会，Vol.55, No.4, 210-217, 2020.
(2) 讃井純一郎：評価グリッド法の理論と実際，日本音響学会講演論文集，2020.
(3) 土田義郎，川﨑寧史，下川雄一，“評価グリッド法を用いた俯瞰眺望景観に対する心理的評価の傾向分析”，日本建築学会環境系論文集第 74 巻第 642 号，Vol. 74, No. 642 , 907-913, 2009.
(4) 松土光男，橋本幸博，有馬雄祐，畠山雄豪，“オフィス空間における視覚的品質の評価に関する研究　その 2　職業訓練指導員を対象とした評価グリッド法による評価”，JOURNAL OF POLYTECHNIC SCIENCE, Vol. 35, No. 1, 18-24, 2019.
(5) 小代禎彦，“個人差を考慮した浴室の好みの評価”，日本感性工学会論文誌，Vol. 8, No. 1, 53-60, 2008.
(6) 神田範明，大藤正，長沢伸也，岡本眞一，丸山一彦，今野勤，“ヒットを生む商品企画七つ道具　すぐできる編”，日科技連出版社(2000)
(7) 柳澤秀吉，村上存，感性設計における顧客の潜在的な評価視点の抽出とその効果，日本機械学会論文集，Vol. 73, 220-227, 2007.
(8) 田中庸介，“マーケティング・リサーチにおける「尺度」と「等間隔性」について”，Rakuten Insight，https://insight.rakuten.co.jp/knowledge/researchcolumn/vol3.html, (参照日 2021 年 6 月 7 日)
(9) 寺田学，辻真吾 鈴木たかのり，“Python によるあたらしいデータ分析の教科書”，翔泳社(2018)
(10) ヒツジ先輩，マウスパッド使用有無に関する調査結果 (2017 年 6 月) https://btopc.jp/research/mouse-pad-research-result.html,（参照日 2021 年 6 月 7 日）
(11) 竹内栄一：硬い表面と耐摩耗性について，実務表面技術，Vol. 27, No.4, 171-182, 1980.
(12) Widrow. B , "ADALINE and MADALINE", Plenary Speech, Vol. I. Proc. IEEE 1st Inti. Conf. on Neural Networks, San Diego, CA. 143-158, 1987.
(13) 上江洲弘明：狩野モデル，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol.27, No.4, 128, 2015.

GAN によるデザインコンセプトに基づく テクスチャの多様解候補導出システムの開発

Development of The Various Texture Derivation System Based on Design Concept Using GAN

○下村将基（慶應大・院）*1　大場元人（慶應大・院）*2　小門直人（慶應大・院）*3
加藤健郎（慶應大）*4　松岡由幸（早稲田大 / 慶應大）*5

*1 Masaki Shimomura, Keio University Graduate School of Science and Technology, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-shi Kanagawa, 223-8522, sim.masaki@gmail.com
*2 Gento Oba, Keio University Graduate School of Science and Technology, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-shi Kanagawa, 223-8522, gentoba0827@gmail.com
*3 Naoto Kokado, Keio University Graduate School of Science and Technology, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-shi Kanagawa, 223-8522, kn7010tennis@gmail.com
*4 Takeo Kato, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-shi Kanagawa, 223-8522, kato@mech.keio.ac.jp
*5 Yoshiyuki Matsuoka, Waseda / Keio University, 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama-shi Kanagawa, 223-8522, matsuoka@mech.keio.ac.jp

キーワード: Design Methodology, AI, GAN, Texture

1. 緒　　言

デザインの実務では，キーワードを用いたデザインコンセプトに基づき，デザイン行為が行われることが多い．自動車内装のテクスチャデザインにおいても,「高級感」や「透明感」など様々なデザインコンセプトをもとに開発が行われている．製品開発を取り巻く環境として，コンピュータ性能やネットワーク技術の向上により，インダストリー4.0 や IIoT に代表されるように，産業界のデジタル化や知能化が進んでいる．特に，大量のデータを高速に取り扱うことに長けている AI が，マーケティングビジネスやコンシューマーエレクトロニクス，自動車などの製品開発業務に積極的に用いられ始めている.マーケティングビジネスでは，製品開発に関連する市場やユーザの動向を大量のデータから学習を行い，自動的にユーザの購買特徴や傾向を発見できている．コンシューマーエレクトロニクスや自動車の開発においては，多様にある設計パラメータの自動最適化や開発プロセスの高効率化において，効果を出している(1).

テクスチャ画像は，自動車の内装材，建材やインテリア家具，CG など多くの分野のプロダクトに活用されている．ユーザの価値観の多様化に伴い，テクスチャのデザインにおいても，多様なデザインの提案が求められている．一般的にテクスチャのデザインは，デザイナ自身が模様をデザインする方法と，実際の木などの自然物や，金属などの人工物を収集し，撮影を行ない，テクスチャ画像を作成する方法がある．しかし，デザイナが模様をデザインする方法に関しては，作成に時間を要すため，多様なテクスチャを短時間で作成することは困難である.そこで,本研究では，より短時間で多様なテクスチャを生み出すシステム開発のため，AI の活用を検討する．AI は蓄積された大規模データの学習から，文字や図の情報を対象とした，パターン認識や分類が得意とされている(2)．そのため，テクスチャ生成に AI を用いることで，多様な画像データを短時間に生成することが可能になると考えられる．また，自然物を対象としたテクスチャの場合，デザインや収集に関し，困難が伴う．特に木目模様は実際に切断してみないと模様の判断ができない上，樹種によって収集の困難性の問題もある(3)．こうした理由から，本研究では，テクスチャの中でも，特に木目調のテクスチャ画像を対象とする．

これら背景より，本研究では AI を用いたデザインコンセプトに基づくテクスチャの多用解導出システムの開発を研究目的とする．意匠デザインの実務では，デザインコンセプトに対する評価クライテリアを設定し，デザイン行為が行われることが多い．そこで，開発するシステムでは，画像特徴量の分析を行い，モデル化する．得られたモデルをもとに画像生成を行うことで，デザインコンセプトに基づく，多様なテクスチャデザインの案を導出可能にするシステム構築を目指す.

2. GAN を用いたデザイン手法

近年，GAN を用いて画像生成を行い，デザイン案を導出する手法の提案が行われている．GAN は，Goodfellow ら(4)によって最初に提案された手法であり，生成器と識別器による２つのニューラルネットワークを有した深層生成モデルの一種である．同手法は，新規の画像生成を目的とした手法の提案に活用されている．しかし，GAN には生成データが特定データへ集中してしまう Mode Collapse といった，学習の不安定性が存在する．この不安定性を回避する手法として，Deep Convolutional Generative Adversarial Networks

（以下， DCGAN と呼ぶ）がある．DCGAN は，Radford ら[5]によって発表された手法であり，GAN の不安定性を回避するため，計算処理の工夫がなされている．

Kato ら[6]は，衣服の画像データを DCGAN に学習させ，新たに衣服の画像データを生成し，その画像に基づきデザイナがパターンを作成し，実際に服を制作している．ここで，DCGAN はあくまでデザイナへの情報提示として活用されている．Schmitt ら[7]は，椅子の画像を GAN により大量生成し，良いと感じた椅子の画像をデザイナがスケッチを行い，これに基づきスケールモデルの製作を行なっている．しかし，この手法では，生成画像はランダムに作成されており，デザインコンセプトを反映した画像生成には至っていない．また，生成画像に対するユーザの評価は，画像の良し悪しに留まり，その評価を分析した結果を，画像生成へフィードバックしていない．

GAN によるデザインコンセプトを反映したデザイン案生成手法の提案も行われている．佐川[8]らは，転移学習手法である ADDA を用いて，ロゴマークの画像に「シンプル」や「美しい」などの感性語を付与したデータセットを作成し，マルチラベルに対応した手法である ACGAN を使用し，新たなロゴマーク画像を生成している．主観評価実験では，感性語を反映したロゴマークが生成できていることを示唆した結果を示している．しかし，同手法は，深層になるにつれ，物体情報のみを残すとする CNN を用いており，物体情報だけでは識別が困難な感性語推定タスクにおいて CNN は適切な手法でないとしている．

以上より，従来のデザイン案導出における GAN の活用では，次の課題が考えられる．

① 生成される画像へ，ユーザの評価分析結果をフィードバックできていないため，デザインコンセプトの反映が難しい．
② 画像の詳細な特徴量を抽出し，感性語やコンセプトとの関係を分析し活用することで，コンセプトを反映した画像生成の正確さを向上する必要性がある．

本研究では，デザインコンセプトに基づくテクスチャの多用解候補を導出するにあたり，前述した課題および，深層生成モデルを用いた際のデータセット更新方法に着目し，システムを開発する．

3. テクスチャの多様解候補導出システム

本研究では，画像特徴量の分析によるモデリングを行い，得られたモデルをもとに画像生成を行うことで，デザインコンセプトを反映したデザイン案の導出を行う．

まず，本システムで取り扱う画像特徴量として，画像における模様の分布を表す統計量であるテクスチャ特徴量，および色特徴量を用いる．テクスチャ特徴量は，角度２次モーメント（*ASM*），コントラスト（*CNT*），相関（*CRR*），エントロピー（*EPY*）の４つの特徴量，および色特徴量を，色相（*H*），彩度（*S*），明度（*V*），*RGB* の６つの特徴量を用いる．また，デザインコンセプトとして，松岡ら[9]による内装材テクスチャの視覚評価指針における，テクスチャ総合評価因子の高級感を用いる．

本システムでは，画像生成を行う前に，杢目調テクスチャの画像特徴量とコンセプト（高級感）の関係性を明らかにするため，高級感を評価因子として，木目調テクスチャの画像に対し，５段階の官能評価実験を行う．評価後，実験試料の画像特徴量を抽出し，高級感の官能評価値において得られた評価値と画像特徴量から，モデリングを行う．本システムのデータ処理を図１に示す．

本システムではまず，予め用意した画像データセットに対し，官能評価実験より，高級感評価を目的変数としたモデルを作成する（モデリング）．次に，モデリングより得られたモデルを満たす画像を抽出するフィルタリングを行い，新たな学習データセットを構築する．構築した学習データ

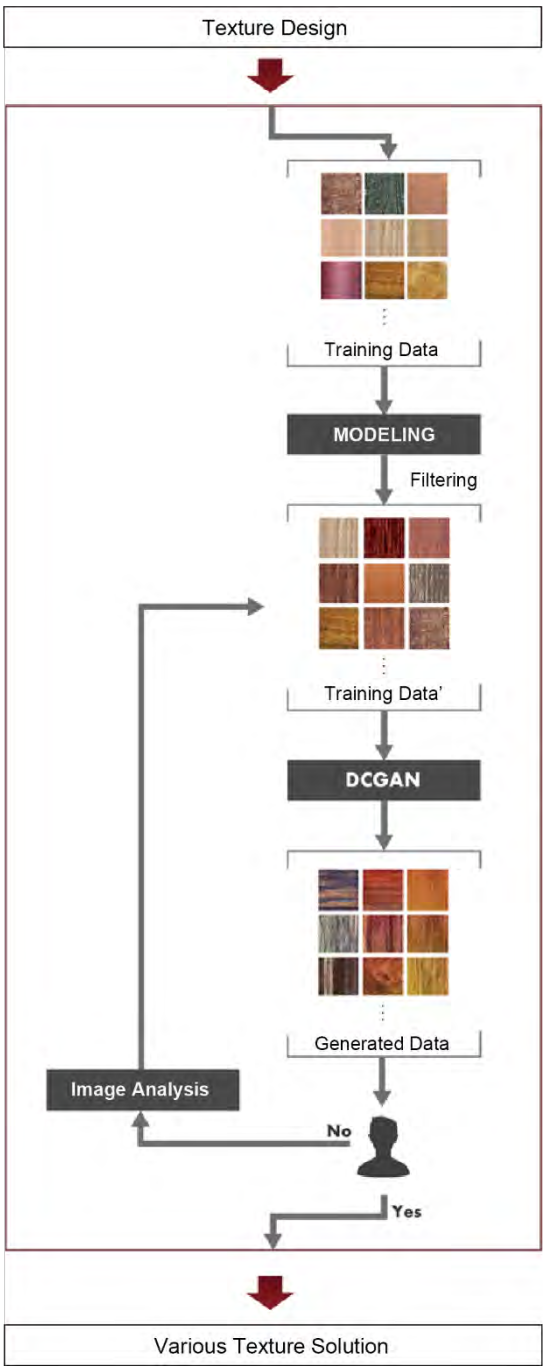


Fig.1 Overview of Various Texture Derivation System

Table.1　Summary of the Aggregate Results of Experiment

Pic No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Student (Average)	3.2	2.2	2.3	3.0	3.3	3.3	2.0	2.5	1.9	2.5	2.4	2.5	2.3	3.7	3.7	2.9	2.7	2.9	3.2	2.8
Student (SD)	1.1	1.1	0.8	1.5	0.7	0.9	1.3	1.5	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0	0.7	0.9
Designer (Average)	3.9	2.5	2.4	4.1	3.0	2.9	3.0	2.5	2.5	2.1	2.1	2.5	2.9	3.5	3.5	3.0	2.6	2.5	2.9	2.3
Designer (SD)	0.8	0.9	0.5	0.9	0.7	0.8	0.7	0.7	1.0	0.6	0.8	0.5	1.1	1.1	1.2	0.9	0.9	0.7	0.8	1.0

セットより，DCGAN を用いて新たに画像を生成することで，新たに生成されるテクスチャ画像における高級感評価の向上を狙う．本システムはプログラミング言語の Python を用いて実装した．

4. 実験

デザインコンセプトとした高級感評価において，高い評価値を示すテクスチャ画像の画像特徴量を抽出するため，高級感を評価因子とした５段階の官能評価実験を行う．得られた評価結果より DCGAN を用いデザインコンセプトを反映したテクスチャ画像を生成する．

4.1. 実験概要

実験は暗室内で行い，テクスチャ画像を表示しているモニタから受ける光以外の光源の影響は排除する．モニタの輝度は 200 nit とし，モニタから評価者視点までの距離は，約 100cm とした．評価対象の画像は，27 インチのカラーマネージメントモニタ（解像度 2560×1440 dpi）の中心に，640×640 mm の大きさで 1 枚ずつ表示した．

評価は高級感を評価因子とした，５段階 SD 法に基づく数値評価とした．評価尺度は絶対評価法であるリッカード尺度とした．画像の切り替えは被験者自身で行い，評価値の回答は口頭で行なった．

被験者は，学生およびデザイン実務者の２グループを対象とした．学生を対象とした条件を実験①とし，本塾理工学部学生 12 名を対象に実施した．また，デザイン実務者を対象とした条件を実験②とし，９名を対象に実施した．

また，実験試料では，テクスチャとして用いられる杢目調の柄 8 種類を選定した．そのうち，タモ，カリン，ハードメープル，ブラックウォールナットに関しては，木目の種類を，杢目，板目，柾目から抽出し，ケヤキ，ナラ，ローズウッド，チークに関しては，木目の種類を，板目，柾目から抽出した．これより，実験試料を 20 枚選定した[10]．実験試料の画像を図２に示す．ここで，杢目，板目，柾目とは，樹木の断面の模様を指す木理を大別した種類を言う．杢目は，希少性があり，装飾性に優れた木目である．樹種により模様が異なり，鳥眼杢など樹種によって異なる名称が付けられている．板目は，年輪が山形など曲線状になった木目であり，柾目は，年輪が平行な木目である．これらは，切断方法や年輪や放射組織といった木の特徴より異なった形で現れる．また，木目は，以上の杢目，板目，柾目など木の目の総称を指している．以上の試料を用いて，官能評価実験を行う．

4.2. 実験結果

実験より得られた評価値を集計し，学生を対象とした実験①およびデザイン実務者を対象とした実験②の平均値および標準偏差を表１に示す．集計結果より，評価値を従属変数，画像特徴量（*R*，*G*，*B*，*H*，*S*，*V*，*ASM*，*CNT*，*CRR*，*EPY*）を独立変数とする重回帰分析を行なった．独立変数間の相関が強い際に，回帰係数の推定が不安定になる多重共線性の問題を加味し，多重共線性についての検出の指標となる *VIF* を 10 以下の変数を選択した．また，重回帰分析を行い，ステップワイズ法により変数を設定した．

実験①の分析結果を表２，実験②の分析結果を表３に示す．実験①および実験②において，有意なモデルが得られた（実験①：F(2,17）=39.876，p< .001，Adj.R^2= .804，実験②：F(3,16）=10.765，p< .001，Adj.R^2= .607）．実験①では，*EPY*（エントロピー）が１%水準および *Hue*（色相）が 0.1%水準で有意な係数であり，実験②では，*Hue* が１%水準，*Red* が５%水準で優位な係数であった．重回帰分析の結果より，実験①および実験②から，高級感のモデルとして，式（１），式（２）を導出した．

実験①（学生）

$$[\text{高級感}] = -9.729 + 0.099 \times Hue + 0.541 \times EPY \quad (1)$$

実験②（デザイン実務者）

$$[\text{高級感}] = -14.071 + 0.139 \times Hue + 0.01 \times Red + 1.378 \times CRR \quad (2)$$

実験から得られた式（１），式（２）より，DCGAN を用いて，画像生成を行った結果の一部を図３，図４に示す．木目調画像データベース 30000 枚より，画像毎に *EPY* と *Hue* の値を抽出する．抽出した値を式（１），式（２）に代入し，導出された値が 4.5 以上の場合に，その画像が高級感を与えうる画像とした．本実験における DCGAN は，全ての生成において共通して，ミニバッチサイズを 64，学習回数は 1000Epoch，潜在変数 z を 100 とした．

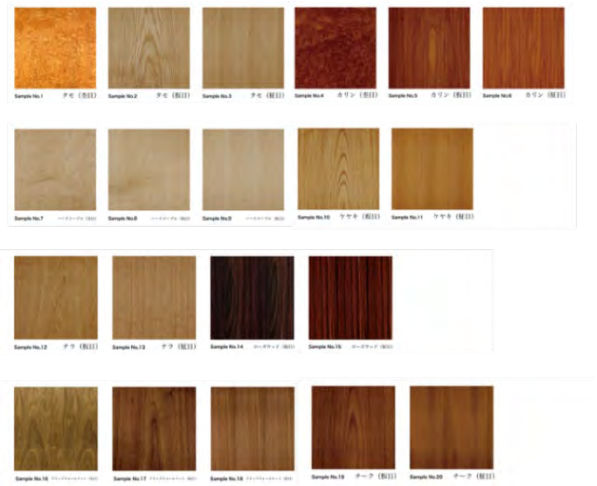


Fig.2　Experimental Texture Sample

Table.2　Multiple regression analysis results of exp.1

Variables	*B*	*t*
Constant	-9.729	-6.867***
Hue	0.099	8.343***
EPY	0.541	3.061**
R-square		0.824
Adjusted R-square		0.804***
$F(2,17)$		39.876***
N		20

*** $p < 0.001$,** $p < 0.01$,* $p < 0.05$

Table.3　Multiple regression analysis results of exp.2

Variables	*B*	*t*
Constant	-9.729	-6.867***
Hue	0.099	8.343***
EPY	0.541	3.061**
R-square		0.824
Adjusted R-square		0.804***
$F(2,17)$		39.876***
N		20

*** $p < 0.001$,** $p < 0.01$,* $p < 0.05$

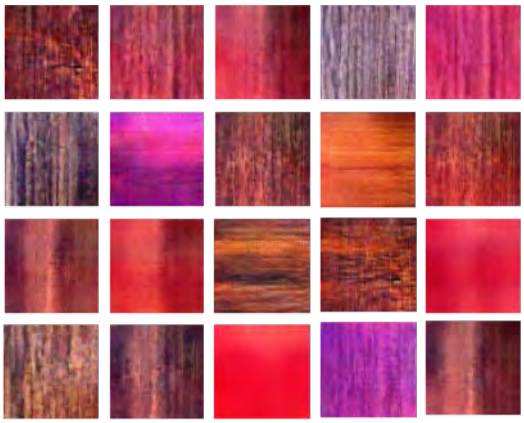


Fig.3　Results of Generated Texture with Equation 1 and DCGAN

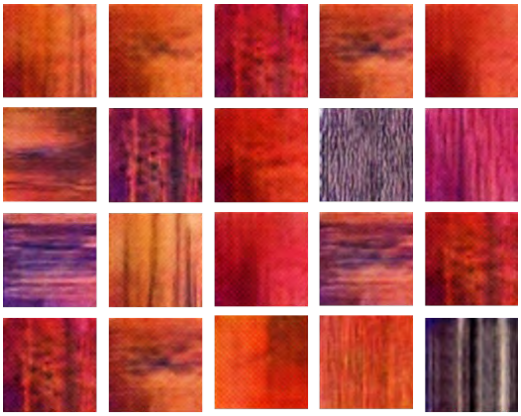


Fig.4　Results of Generated Texture with Equation 2 and DCGAN

5. 結　　言

本研究では, GAN を用いたデザインコンセプトに基づくテクスチャの多用解導出システムの開発を行った.

本システムでは，まず，画像特徴量の分析を行い，これをモデル化し画像生成を行うことで，デザインコンセプトに基づくテクスチャデザイン案の導出を可能にするシステムの開発を目指した．次に，高級感をデザインコンセプトの例とし，学生およびデザイン実務者を対象に官能評価実験を行い，デザインコンセプトを反映するための，評価モデルの導出を行った．最後に，評価モデルおよび DCGAN を用い，テクスチャの多様な解候補を導出した.

今後，本システムを用い，デザインコンセプトを反映した多様なテクスチャ案と本システムを用いずランダムに抽出したテクスチャ案を用いた比較を行い，システムの有用性をさらに検証していく必要がある．今回，重回帰分析を用い，高級感についてモデリングを行なったが，ここで使用するモデルは画像特徴量を用いたモデルであれば，他のテクスチャに対しても適用可能であり，応用範囲は広いと考える.

文　　献

(1) 大野治，日本型“AI(人工知能)”ビジネスモデル,日刊工業新聞社, 10-16, 2017

(2) Yoshiyuki Matsuoka，Design Science for Product Creation × Product Usage，Kindai-Kagaku-Sha，(2017).

(3) 坪井剛，木目サーフェスデザイン：印刷という本物(<特集>木のものたち)，デザイン学研究特集号，Vol.15-2, No.58(2007), pp.24-27.

(4) Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y.,Generative Adversarial Nets，arXiv:1406.2661v1(2014).

(5) Radford, A., Metz, L. and Chintala,S,.Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks，arXiv:1511.06434v2(2016).

(6) Kato, N., Osone, H., Sato, D., Muramatsu, N., and Ochiai, Y., Deep Wear: a Case Study of Collaborative Design between Human and Artfificial Intelligence, TEI`18: Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction(2018), pp.529-536.

(7) Schmitt, P. and Weiss, S., The Chair Project，available from <https://philippschmitt.com/work/chair>，（accesed on 11 January,2020）.

(8) 佐川友里香，萩原将文，感性語を考慮した敵対的生成ネットワークを用いたロゴマーク生成，日本感性工学会論文誌, Vol.18, No.3(2019), pp.215-222.

(9) 松岡慧，前泊秀徳，森幸雄，岸本侑子，デザイン指針としての内装材テクスチャの視覚評価因子，日本デザイン学会研究発表大会概要集,Vol.64，A5-06(2017), pp.174-175.

(10) 北三株式会社 HOXAN : 世界中の銘木(online), available from < https://www.hoxan.co.jp/species/>，（参照日 2019 年 12 月 20 日）.

FDM 方式 3D プリンタのための傾斜機能フィラメント作製とその成形

Functionally Graded Filament Creation for FDM 3D Printers and its Molding

○佐藤浩一郎（千葉大 dri）*1　都淳朗（千葉大院）*2　武藤稜介（千葉大院）*3　寺内文雄（千葉大 dri）*4

*1 Koichiro SATO, Design Research Institute, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522, ksato@chiba-u.jp
*2 Atsuro MIYAKO, Graduate school of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522
*3 Ryosuke MUTO, Graduate school of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522
*4 Fumio TERAUCHI, Design Research Institute, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522

キーワード：Functionally Graded material, Filament, FDM 3D Printer

1. 緒　　言

FDM 方式（Fused Deposition Modeling：熱溶解積層）3D プリンタは溶解した樹脂を積層して出力するという点で，従来の切削加工とは異なり，様々な形状を造形することができる．また，近年では低価格化が進み、ものづくり人口への普及が進んでいる．

目的の形状である造形物を出力した際，その造形物は使用するフィラメントの物性や色に依存した特性を有する。そのため，合目的な物性や色による造形のために，デュアルノズルを用いた複数種類の樹脂または色による造形も可能となってきている．複数種類の樹脂による出力形状の多様化が進む一方で，造形物の機械的特性や感性的特性を向上させるためには，異なる特性の材料を連続的に変化させる傾斜機能 [1), 2)]を付与することが有効と考えられる．このような研究として，吐出樹脂の硬軟を連続的に変化させる手法 [3)]が挙げられるが，実際の造形の際には細かなパラメータの調整が必要となるなど課題も多くある．

そこで本研究では，2 種類の異なる樹脂の配合割合を段階的に変えながら混練することで，テクスチャや力学特性が連続的に変化する（傾斜機能を有する）フィラメントの作製方法を開発し，その成形方法の基礎の確立を目的とする（図 1）．

2. フィラメントの作製方法

傾斜機能を有するフィラメントを開発するにあたって，硬さが異なり共にオレフィン系で親和性の高いポリプロピレンのペレット（Prime Polypro 社製 J105G）と，エラストマーのペレット（三井化学社製ミラストマー6030NS）を使用した．ペレットの混練およびフィラメントの作製には，二軸押出機（東洋精機製作所製ラボプラストミル）と直径 1.75mm の円形ダイスを取り付けたものを使用した．作製したフィラメントを使用する 3D プリンタに，デュアルヘッドノズル搭載でノズル温度を 300℃まであげられる Raise3D Pro2 を用いた．

傾斜機能を有するフィラメントを開発する上で課題となるのが，高い精度で一定の直径（1.75mm）を有するフィラメントを作製することである．そのためには，二軸押出機から押し出されるフィラメントを保持しつつ，十分な冷却をして一定の速度で巻き取る必要がある [4)]．そこで，図 2 に示すような，冷却用ファンと Noztek 社製フィラメントワインダーを備えた治具を作製した．これを用いることで，柔らかさの異なる性質を持たせつつ，高い精度で一定の直径を有するフィラメントを作製することができた（図 3）．

次に，2 種類の樹脂の配合割合について検討した．作製したフィラメントを使用したところ，ポリプロピレン単体

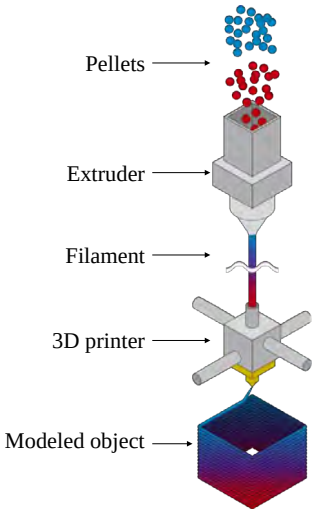


Fig.1　Filament fabrication process

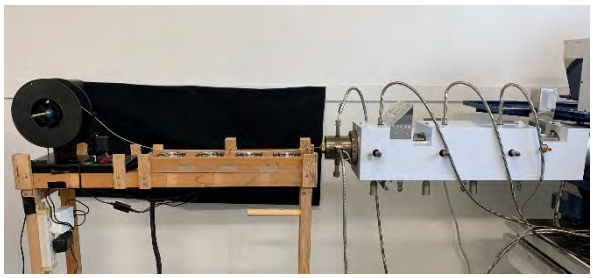


Fig.2　Filament cooling device and winding device



Fig.3　Filament produced by the proposed process

Table.1　Composite ratio and molding samples

Composite ratio	4：6	3：7	2：8	1：9
Polypropylene(PP) (g)	20	15	10	5
Elastomer(TPO) (g)	30	35	40	45
Modeled object				Failure

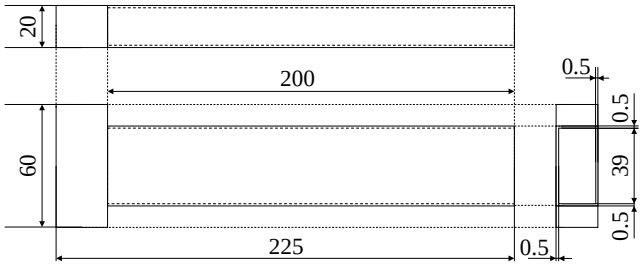


Fig.4　Sample for cantilever bending test

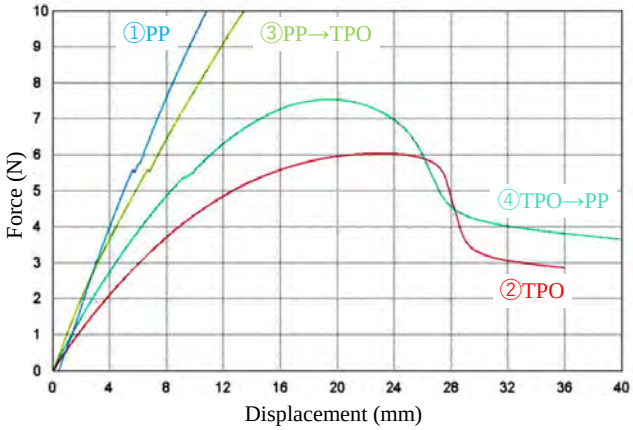
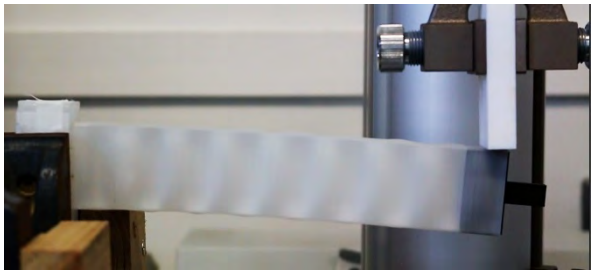


Fig.5　Relationship between displacement and force in cantilever bending test

のフィラメントと，ポリプロピレンとエラストマーを 1：1 で混練したフィラメントは吐出できたが，エラストマー単体のフィラメントを使用することはできなかった．しかし，ポリプロピレンをエラストマーに配合したとき，ポリプロピレン：エラストマー＝2：8 までの比率のフィラメントであれば，3D プリンタで使用できることがわかった（表 1）．このことから，ポリプロピレンとエラストマーの配合を段階的に変えながら混練することで，3D プリンタで吐出可能で力学特性が連続的に変化するフィラメントを作製できた。



(a) Deformation of sample ③



(b) Deformation of sample ④

Fig.6　Cantilever bending test using sample ③ and ④

3. 作製したフィラメントを用いたサンプルの成形

作製した力学特性が連続的に変化するフィラメントを用いて 3D プリンタで図 4 に示すようなサンプルを成形した．成形した立体物の力学特性の変化を確認するため，片持ち梁曲げ試験を実施した．試験には小型卓上試験機（島津製作所製 EZ-S）を用いて，試験力の上限を 10N に設定した．4 種類のサンプルで試験力あたりの変位を比較したところ，図 5 のような結果が得られた．①は全体がポリプロピレンのみの硬いサンプル，②は全体がポリプロピレン：エラストマー＝2：8 のみの軟らかいサンプル，③は固定端がポリプロピレンで自由端に近づくにつれてエラストマーに変化するサンプル（図 6(a)）、④は固定端がエラストマーで自由端に近づくにつれてポリプロピレンに変化するサンプルである（図 6(b)）。

4. 片持ち梁の曲げ試験結果

図 5 の①のサンプルは 10N で変位は 10.86mm，②は 6.04N で座屈しそのときの変位は 23.65mm であった．③は 10N で変位は 13.47mm，④は 7.53N で座屈しそのときの変位は 19.80mm であった。

全体が硬い①と自由端に近づくにつれて軟らかくなる③を比較すると，③のほうが①よりも同じ試験力あたりの変位が大きくなった．

全体が軟らかい②と自由端に近づくにつれて硬くなる④を比較した場合は，どちらも途中で座屈してしまったが，④のほうが同じ変位でもより強い力に耐えられることができている．

同じ配合パターンで硬軟が連続的に変化しているが向きが逆の③と④を比較したとき，使用する向きを変えることで造形物の力学特性が全く異なるものに変化していることがわかる．

これらのことから，フィラメントに傾斜機能を付与することで，得られる立体物の力学特性が変化することを確認した．

5. 結　　言

本報では，2 種類の異なる樹脂の配合割合を段階的に変えながら混練することで，テクスチャや力学特性が連続的に変化するフィラメントの作製方法を開発した．また，作製した治具を用いて，フィラメントの作製と成形を行えば力学特性が連続的に変化する造形物を成形することができることを確認した．

今後は，所望の傾斜機能を有する立体物の出力に応じたフィラメントの作製方法や傾斜度合の制御方法などを検討していく予定である．

文　　献

(1) 上村誠一，野田泰稔，篠原嘉一，渡辺 義見：傾斜機能材料の技術展開，シーエムシー出版，2008.
(2) 上村誠一，渡辺義見：図解 傾斜機能材料の基礎と応用，コロナ社，2014.
(3) 上野新葉，宮下芳明：熱溶解積層方式 3D プリンタにおけるエクストルーダ内での相溶性を利用した硬軟制御手法，日本ソフトウェア科学会・インタラクティブシステムとソフトウェア研究会，第 24 回 WISS2016，309-310，2016.
(4) 中島慎太郎：〜自作３D プリンタフィラメント技法の書〜Vernacular Cookbook，https://booth.pm/ja/items/1836361,2020

第7回価値創造デザインフォーラム

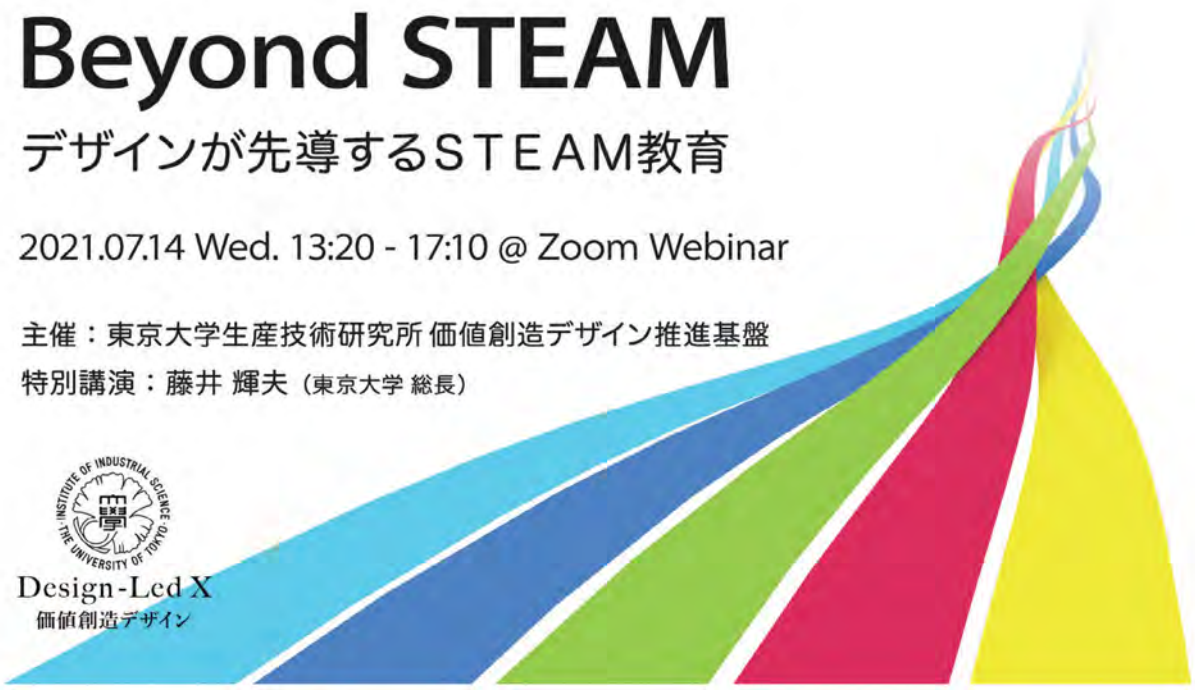
Beyond STEAM

デザインが先導するＳＴＥＡＭ教育

2021.07.14 Wed. 13:20 - 17:10 @ Zoom Webinar

主催：東京大学生産技術研究所 価値創造デザイン推進基盤

特別講演：藤井 輝夫（東京大学 総長）



Design-Led X
価値創造デザイン