

東京都立産業技術大学院大学  
紀 要

Bulletin of  
Advanced Institute of Industrial Technology

第 17 号

2024 年 2 月

東京都立産業技術大学院大学

# 目次 CONTENTS

## 論文 Regular Papers

---

### Ensemble3D: Interactive 3d scene creation system with multiple roles and devices

Takuya Arakawa Mai Terai Takeshi Kiuchi Tomohiro Ikeda Satoe Kojima Hiroaki Tobita ..... 1

### 暗号資産と地域振興の可能性

Cryptocurrency and Regional Development

板倉 宏昭 Hiroaki Itakura ..... 6

### 展覧会の開催プロセスと作品製作プロセス：「『ひみつ道具』展」を例として

Development planning and implementation methods of exhibition and products: A case study for the exhibition of "secret gadgets"

吉田 多津雄 宮坂 尚吾 見藤 素子 河上 芳朗 太田 敬太 伊藤 潤  
Tatsuo Yoshida Shogo Miyasaka Motoko Mito Yoshiro Kawakami Keita Ota Jun Ito ..... 11

### トラック製品のアーキテクチャ的特性と中国大型トラック市場構造の関連性

Relevance of the architectural characteristics of truck products and the structure of the china heavy truck market

王 中奇 Zhongqi Wang ..... 21

### システム開発企業における社内教育の調査

Survey of in-house education in IT system vendors

木下 修司 奥野 康二  
Shuji Kinoshita Koji Okuno ..... 26

### ハイブリッドワークで生じる情報格差と相互理解の課題に対する解決策の提案と検証

Proposal and verification of solutions to the information gap and mutual understanding issues that arise in hybrid work

牛房 奈菜子 大塚 理子 小山田 広樹 岸本 典生 進藤 自由平 松尾 雄太郎 河西 大介 越水 重臣  
Nanako Ushifusa Riko Otsuka Hiroki Oyamada Norio Kishimoto  
Jubei Shindo Yutaro Matsuo Daisuke Kasai Shigeomi Koshimizu ..... 31

### 伝統舞台芸術の振りの分析とサービスロボット向けプラットフォーム構想

Analysis of traditional performing arts choreography and a platform concept for service robot choreography

成田 雅彦 林 久志  
Masahiko Narita Hisashi Hayashi ..... 42

多系的文明進化と近代文明の方向性

A multidimensional model of the world history of civilizational evolutions

前田 充浩 Mitsuhiko Maeda ..... 48

紀要の Word と L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X テンプレートを CC BY 4.0 ライセンスで公開する

Publishing Word and L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X bulletin templates under a CC BY 4.0 license

松井 実 Minoru Matsui ..... 65

東京証券取引所における市場区分の見直しにおける影響について

Regarding the impact of the review of market classification at the Tokyo Stock Exchange

丸山 博之 Hiroyuki Maruyama ..... 70

アジャイル型開発のプロジェクトマネジメント推進に必要な能力

The competencies required for project management execution in agile development

木村 良一 三好 きよみ 木野 泰伸

Ryoichi Kimura Kiyomi Miyoshi Yasunobu Kino ..... 74

スクラム型開発疑似体験ワークショップの実践事例と開発プロセス

Case study of scrum development simulation workshop and development process

谷川 麻理 馬 獅 所 儀一 三好 きよみ

Mari Tanikawa Chong Ma Yoshikazu Tokoro Kiyomi Miyoshi ..... 82

Preparation of case study on the beginnings of public bathhouses

Yusuke Miyoshi Shogo Kamei ..... 89

A classification and improvement method of metaheuristic algorithms based on complex networks

Yifei Yang Chaofeng Zhang Wenbin Wang Haichuan Yang Yuichi Nagata ..... 94

質問回答サイトに投稿された質問回答文の因子得点の推定に N-gram を適用した分析手法

Analysis method of applying N-gram for estimating factor scores of statements posted at Q&A site

横山 友也 Yuya Yokoyama ..... 100

## 総説 Review Papers

---

### プログラミング言語 Rust による Linux デバイスドライバの開発

Development of a Linux device driver by the Rust programming language

追川 修一 Shuichi Oikawa ..... 107

### A comprehensive survey of digital watermarking techniques

Xuping Huang ..... 112

### 日本の創造性教育（価値創造型人材の育成）の具体的展開：当事者のヒアリング調査とパネルディスカッションからの考察

Specific developments for the education of creativity in Japan (development of value-creating human resource): Insights from interviews and panel discussions with parties involved.

高嶋 晋治 菅原 重昭

Shinji Takashima Shigeaki Sugawara ..... 117

### PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス:2023 年度の事例

Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2023

中鉢 欣秀 大野 寛人 鈴木 真希 中山 建太 平田 聖 Fabianmarcelo Fernandez 水野 響 宮原 大

Yoshihide Chubachi Hiroto Ono Maki Suzuki Kento Nakayama Hijiri Hirata

Fabianmarcelo Fernandez Hibiki Mizuno Dai Miyahara ..... 125

### 建築産業におけるイノベーション

Innovation in the construction industry

吉田 敏 Satoshi Yoshida ..... 129

## 研究速報 Short Notes

---

### FDM 式 3D プリンタを活用したロストワックス鑄金による大型作品の造形

Large-scale artwork modeling by lost wax casting using FDM 3D printer

五十嵐 俊治 Toshiharu Igarashi ..... 135

### 楽器中心設計に基づく人間形サクソフォン演奏ロボットの開発研究

Development of an anthropomorphic saxophonist robot based on instrument-centered design

内山 純 橋本 智行 近藤 嘉男 林家宇 高西 淳夫

Jun Uchiyama Toshiyuki Hashimoto Yoshio Kondo Jia-Yeu LIN Atsuo Takanishi ..... 138

### 人はなぜ情報セキュリティ事故を起こすのか

Why do people cause information security incidents?

奥原 雅之 Masayuki Okuhara ..... 146

**群集事故防止のための人流制御システム**

Pedestrian flow control system for preventing crowd crush

小野 麻衣花 井上 剛 西野 和昭 黎 俊宇 柴田 淳司 林 久志

Maika Ono Go Inoue Kazuaki Nishino Junyu Li Atsushi Shibata Hisashi Hayashi ..... 153

**デジタルデバイス用配色トレーニングアプリケーションを活用した色彩感情に関する研究**

Research on color emotion using color scheme training applications for digital devices

河西 大介 大野 綾 折戸 隆樹 越水 重臣

Daisuke Kasai Aya Ono Takaki Orito Shigeomi Koshimizu ..... 160

**学修を継続するための仕組みの試み**

An architecture for achieving continuous learning

小山 裕司 松本 省二

Hiroshi Koyama Shoji Matsumoto ..... 165

**Reception tendency of Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) LIS "disaster crisis report" signal**

Keiko Shimazu ..... 169

**オンラインによる認知症予防**

Online dementia prevention

田部井 賢一 Ken-ichi Tabei ..... 175

**PBL評価指標の確立に向けたアンケート調査の実施：第一報**

Questionnaire survey for the establishment of PBL assessment scale : 1st report

細田 貴明 岡崎 浩二 松尾 徳朗

Takaaki Hosoda Koji Okazaki Tokuro Matsuo ..... 179

**社会人教育用エンrollmentマネジメントの提案及びその設計**

Proposal and design of enrollment management for working adult education

牧野 千里 橋本 洋志

Chisato Makino Hiroshi Hashimoto ..... 186

**脚立作業時の安全性向上の提案**

Proposal for improving the safety of stepladder work

蓑輪 快人 村越 英樹

Yoshihito Minowa Hideki Murakoshi ..... 192

# Ensemble3D: Interactive 3d scene creation system with multiple roles and devices

Takuya Arakawa<sup>1\*</sup> Mai Terai<sup>1</sup> Takeshi Kiuchi<sup>1</sup> Tomohiro Ikeda<sup>1</sup> Satoe Kojima<sup>1</sup> Hiroaki Tobita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Takuya Arakawa, takuya.arakawa@unity3d.com

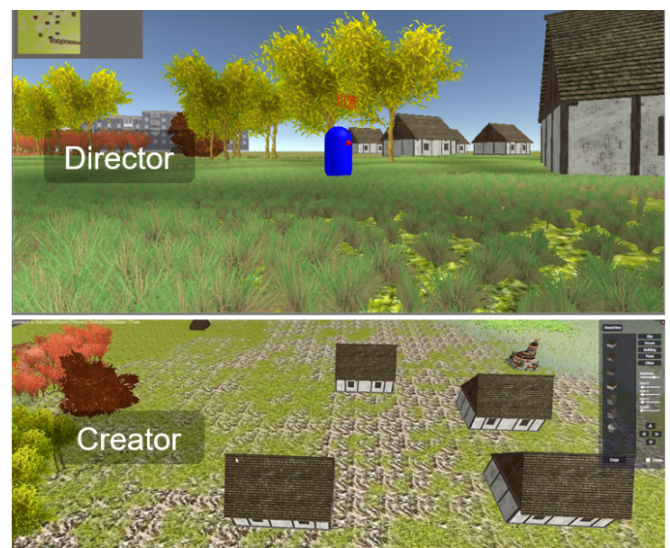
**Abstract** We present ensemble3D, a shared virtual world to create 3D content such as video games and CG movies. Generally, 3D content is created by multiple professionals who have different specialties. For instance, creators design 3D objects and scenes, while directors check the designs to develop the quality. However, each task is achieved by different individual workspaces, so much time is spent combining the results and completing the content. Therefore, we designed a shared virtual world that allows creators and directors to share a 3D scene at the same time. In the joint workspace, the director's comments and requests are smoothly responded to by creators. Moreover, our system supports multiple devices, such as HMD, tablets, and PC. In this paper, we describe our ensemble3D, focusing on the concept, design, and implementation.

**Keywords** 3d cg; interactive cg; shared virtual world; multiple roles

## 1 Introduction

With the development of 3D computer graphics (CG) techniques, we can experience rich 3D CG in countless video games and movies. For example, software technology provides a wide variety of expressions, and high-speed hardware technology supports effective rendering of the expressions. In hardware technology, the graphics processing unit (GPU) has been getting cheaper, so we can see 3D CG operated smoothly without any delay. Additionally, a wide variety of devices that can use 3D CG have appeared; even some mobile devices support GPU. Head-mounted display (HMD) allows users to reach deep into the 3D world and interact intuitively with virtual worlds. The wearer can change his/her view direction just by changing his/her head angle. However, much time is spent creating video games and movies with 3D CG, because content creation requires many different roles and tasks.

The process of 3D CG content creation has remained virtually the same since 3D CG became used for game and movie content. 3D content creation is divided into several parts and roles. First, a storyboard is created to share the director's images of the content with rough drawings. Next, 3D designers create scenes, characters, and effects to complete the designed 3D world. In this case, designers use modeling applications personally, and programmers add motion and behavior to 3D static objects. Then, directors check the quality of the content and comment on it or request changes to fit their image. Directors must take responsibility for whether the content is accepted by consumers or not. These two processes—shifting between the director's comments and the creator's responses—continue until the director is satisfied with the quality of the content. These processes between the creators and the directors are the most time-consuming step. Thus, it is essential to provide an effective method for the director to check 3D content and for the creator to respond smoothly to the director's reactions.



**Fig. 1** Ensemble3D: Both directors (top) and creators (bottom) can work on the same scene simultaneously.

To establish smooth communication between director and creator, a remarkable user interface must be designed, because the director and the creator need different functions. The director's role is to browse and check the designed 3D scene, so a browsing function is essential. In contrast, the creator's role is to create and edit the 3D scene, so some graphical user interfaces (GUIs) supporting creation activities (e.g., setting and modifying objects) are needed. Thus, the system should be carefully designed to provide sufficient workspace to support each task.

Therefore, we have developed Ensemble3D, which allows directors and creators to share the 3D world simultaneously (Fig. 1). We provide a shared virtual world in which director and creator can communicate smoothly. In our shared virtual world, the directors can wear an HMD or use a mobile device/PC to check 3D content, and the creators can edit 3D content depending on the director's comments. Moreover, the shared world supports multiple directors and creators in the same 3D scene, so a creator can respond a director's request quickly. The system[1] can hold a maximum of twenty participants. In this paper, we describe our Ensemble3D focusing on design, implementation, and demonstration.

## 2 Ensemble3D

Our Ensemble3D is a shared virtual 3D scene that simultaneously allows creators to design and create 3D content and allows directors to check and browse the content. In our current prototype, we focus on a 3D scene creation, because 3D scenes are a base element in the creation of video games and movies.

### 2.1 Ensemble3D design

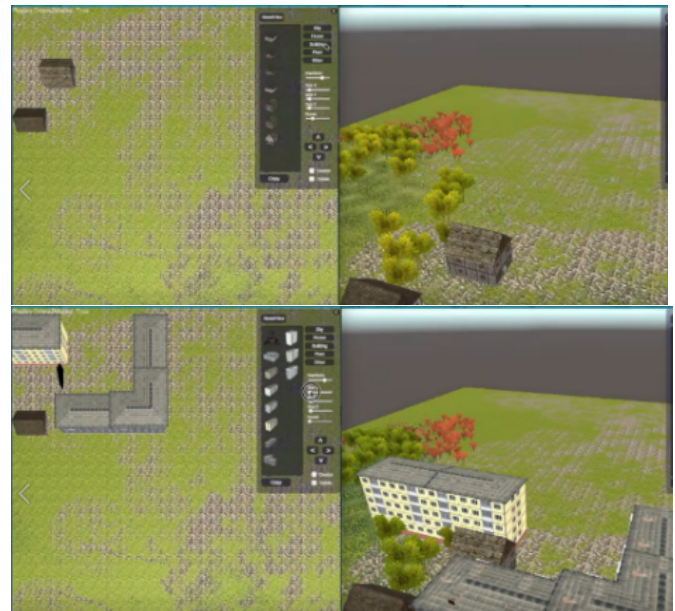
Our approach has two features that enable seamless and effective communication and collaboration between directors and creators.

One feature is that our system supports multiple directors and creators in the shared virtual world. Storyboard[2] effectively provided a shared workspace that allows a creator to sketch animation content and a director to check the drawing in a 3D scene. However, the system only supported a single creator and director. In contrast, we designed a unique workspace as a virtual 3D scene that allows multiple directors and creators to work on different tasks. Generally, many creation tasks and processes go into content creation, so multiple creators create content more effectively than a single creator. Although many systems share 2D documentation and drawing workspaces across multiple users, 3D shared workspaces are not as mature.

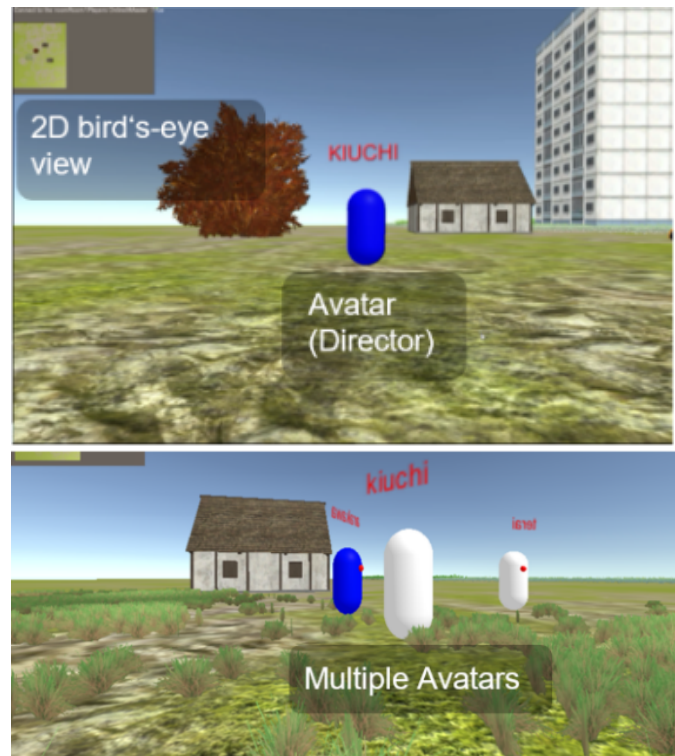
The other feature is that our system supports unique communication in both the virtual and the real world. To enhance collaboration and communication, we provide two communication models. One model is a collaboration among creators and directors through a virtual 3D scene in which 3D scenes and objects are shared. In this collaboration, multiple creators design and create 3D objects and scenes, and multiple directors check them interactively. The other model is oral communication among creators and directors in the real world, through a meeting space in the real world. In this case, directors give comments to each creator directly, and the directors can see both the results and processes of 3D scene creation. The 3D scene is directly changed by the creators' activities. Additionally, creators can check directors' behaviors. Fig. 2 shows an example of how a director and three creators communicate with each other. The director comments on a 3D scene, and creators modify the scene depending on the comments.

### 2.2 Creator

The system provides the creator's GUIs, which contain predefined 3D objects to support the creator's activities. The creator's workspace is divided into two areas, a shared 3D scene and GUI areas, which supports the creator's activities, including creating and editing objects (Fig. 3). In this example, a director (represented by a white avatar) joins and browses the scene. An orange cube appears above an object when a director sees it. Thus, here the creator understands that the director is focusing on the house.



**Fig. 2** Creation by two creators. When one creator sets a new building, it appears in the other creator's workspace.



**Fig. 3** Director's UI: Each director browses the 3D scene and is represented by a simple avatar (top). If multiple directors attend the same 3D scene, multiple avatars appear (bottom).

In the shared 3D scene area, creators can select a viewpoint from both 2D and 3D views. From the 2D viewpoint, they can see the entire scene in a bird's-eye view and can set 3D objects roughly. From the 3D viewpoint, they can see the 3D scene in detail and can adjust the position, scale, and direction of 3D objects.

In addition, a creator can see other creators and directors who join the 3D scene. Fig. 3 shows a simple example of two creators sharing

the same virtual world. When one creator sets a new building, it appears in the other creator's workspace. As in this example, two creators can share a task, and each participant can recognize what the other participant is doing just by seeing the 3D scene.

The system provides some GUIs that contain predefined datasets and edit functions. Several types of object data (such as 3D models and 2D images) are included in the GUI area, so creators can select an object from the datasets and put it into the 3D world. After setting the object, they can edit it by manipulating transform sliders in the GUI area, such as by changing position, size, and rotation. By continuously using these manipulations, creators create 3D scenes. Although our current prototype does not provide modeling functions, creators can import external 3D models and 2D images and use them as a part of the datasets to create a 3D scene.



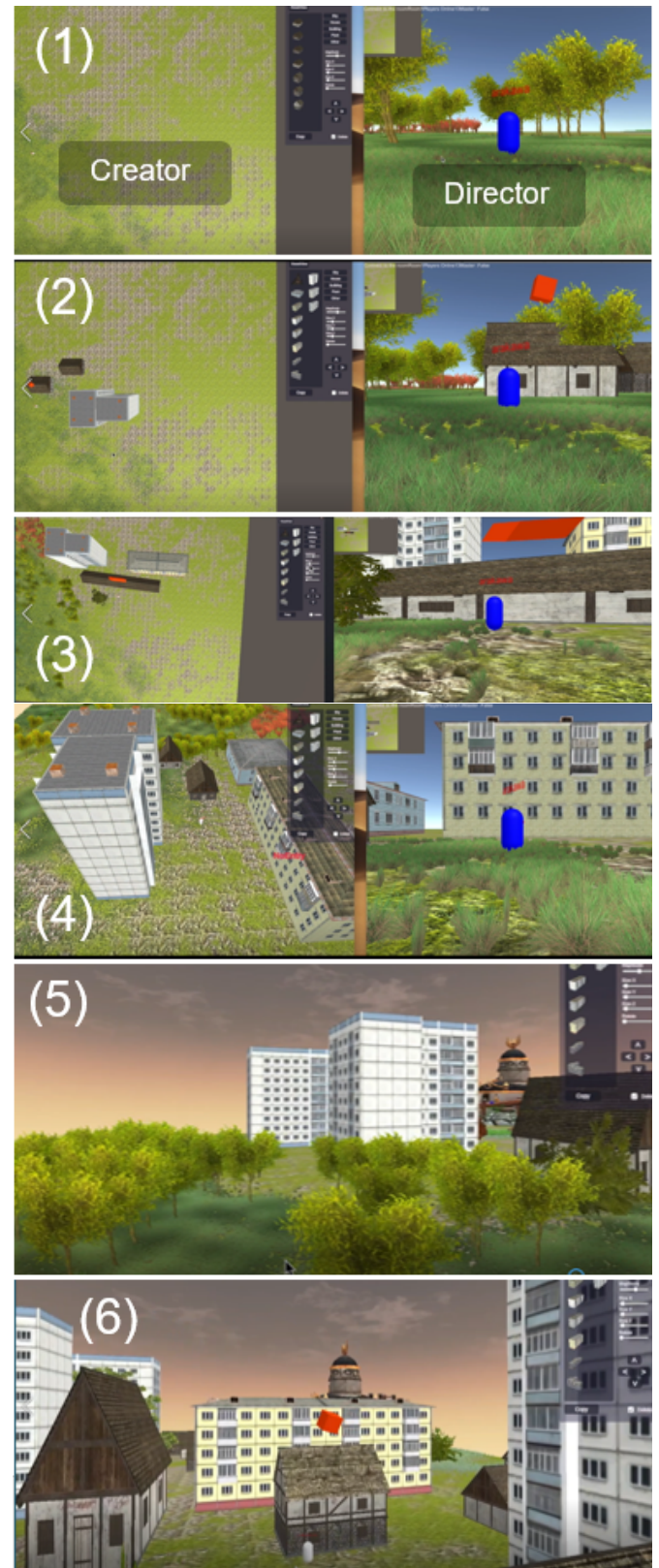
**Fig. 4** Multiple devices and participants: directors can choose HMD or mobile devices to browse a shared virtual world (top left). Multiple participants share the same 3D scene (top right). When a director wears an HMD, his/her avatar does not appear (bottom).

### 2.3 Director

The system supports the possibility for multiple devices (e.g., HMD and mobile devices) to browse a 3D scene. The director's workspace is divided into two: a 2D bird's-eye view and a 3D scene browsing area. Through the bird's-eye view, a director can see the entire scene and where other directors are. In the browsing area, the director can move around the 3D scene and change his/her view angle in order to see each object in detail.

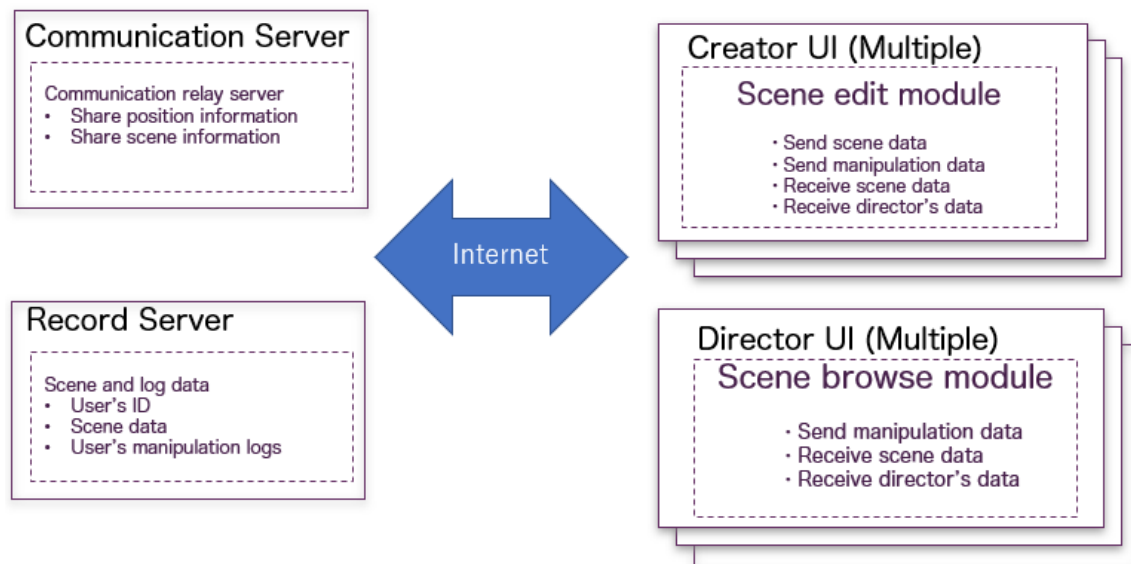
A director appears as an avatar when s/he joins a shared virtual scene. Each avatar is represented by a simple shape and the user's name. If multiple directors attend the same 3D scene, multiple avatars appear at the same time. One's own avatar appears as a blue shape, while others appear as white shapes. Through the avatar's position and

angle, creators can know where each director is and what he/she is looking at.



**Fig. 5** Ensemble creation: A creator and director communicate with each other and created content interactively.





**Fig. 6** Ensemble creation: A creator and director communicated with each other and created content interactively.

Our system allows users to browse the virtual world with both PC and HMD (Fig. 4 (top)). With a PC, a director can manipulate arrow keys to move forward, backward, left, and right. With an HMD, a director can browse the virtual world with a joystick and look around just by changing his/her head direction. When a director wears an HMD, his/her avatar does not appear (Fig. 4 (bottom)). In this Fig., an orange cube appears above an object when a director sees it.

#### 2.4 Example of 3D Scene Creation

Here, we demonstrate how a 3D scene is created with our system. Unlike conventional systems[3, 4], the director can check both the results and the processes of the 3D scene creation. Fig. 5 shows how the creator and director create a 3D scene. In Fig. 5 (1), a creator (Fig. 5 (1-left)) and a director (Fig. 5 (1-right)) attend a shared virtual world and use different UIs. The director is represented by a blue avatar. If the creator sets objects in his/her workspace, the objects immediately appear in the director's view, because they share the same 3D scene (Fig. 5 (2, 3)). In Fig. 5 (4), the director requests that a building size be changed, so the creator changes the size interactively. Finally, the 3D scene is created (Fig. 5 (5, 6)). With an HMD, the director can browse a 3D scene naturally, so he/she can change his/her view in the scene just by changing his/her face direction.

### 3 Implementation

Fig. 6 shows the overview of our implementation, which contains two user interfaces and two servers. As our system allows multiple directors and creators to join the same 3D scene simultaneously, every manipulation by a participant is done through the cloud server.

In the user interface parts, we implement two user interfaces for directors and creators by using Unity[5] to achieve our design. The creator interface provides template 3D objects (e.g., houses, trees,

buildings) for creators to design a simple 3D scene. Unity also supports multiple devices (e.g., PC, smartphone, tablet, and HMD), so our system can be installed on multiple devices without special settings. For creators, the server stores their manipulations like creating, transforming, and deleting objects. For directors, the server stores their path, or how they moved around a 3D scene.

As for the servers, we use two cloud servers to achieve a shared virtual world and support multiple users successfully. One server records scene data and participants' behavior logs. In terms of scene data, the server stores 3D models, materials, transformations (e.g., position, size, and rotation), and environmental information (e.g., lighting and camera). In terms of participants' behaviors, the server stores both directors' and creators' manipulations. The second server handles communication information to reflect each participant's manipulations in the shared virtual world. As found in simple tests, our system can treat twenty creator and director participants in the same 3D scene.

### 4 Discussion

Although we have not finished practical user tests, we discuss our system based on the comments and reactions we have received through our demonstrations.

Our system allows multiple directors and creators to attend the same 3D scene and create 3D content effectively. Our design concept was well accepted by observers. In our system, a director who wears an HMD can experience a creator's manipulations immediately, as the director's comments are quickly implemented by creators who share the same 3D scene. Furthermore, our system can support a wide variety of collaborations. Generally, the number of creators and directors varies depending on the content. The quality of a PC game is higher than the quality of a smartphone game. Our system can flexibly control the number of participants, so we think that our system could be

useful for a range of games, from simple smartphone games to complex PC games.

In our current prototype, creators can only use template 3D object data. Although our system can load and use 3D data created by other modeling software, interactions in our system are limited. Materials and effects in particular are not supported. Although our target user is non-professionals, simple interactions are needed. We are planning to develop our system to create a more complex scene and co-create content with simple interactions[6-8]. Also, navigation techniques are important to move a target and focus area quickly. We will combine our system with other interaction techniques[9] to achieve more natural navigation.

Some visitors commented on online communications. We were primarily concerned with content creation in a local environment, where directors and creators are in the same room. Although we provide online communication options by integrating with Skype and Facebook, directors and creators have to use different workspaces. Due to this gap, users have to see both workspaces. To achieve more natural communication between the virtual and the real world, we will develop our system to support both in the same workspace.

## 5 Conclusion

We described Ensemble3D, which is a shared virtual 3D system to enhance creation and communication. In our system, multiple creators and directors could share the same 3D scene. In the joint workspace, the director's comments and requests were smoothly responded to by creators. We discussed the design and implementation and then showed how to use our system.

After developing our system further to provide more effective interactions, we will evaluate our system through practical user tests.

## References

1. Arakawa T, Terai M, Kiuchi T, Iikeda T, Kojima S, Tobita H. Ensemble3D: Interactive 3D Scene Creation System with Multiple Roles and Devices, International Conference on Human-Computer Interaction; 3-11; 2022.
2. Henrikson R, Araujo BD, Chevalier F, Singh K, Balakrishnan R. Multi-Device Storyboards for Cinematic Narratives in VR. Storyboard. The Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '16); 787-796; 2016.
3. Tobita H, Rekimoto J. Flat3D: A Shared Virtual 3D World for creative activities and communication. Transactions of Information Processing Society of Japan (IPSJ); Vol.44, No.2, 245-255; 2003.
4. Xia H, Herscher S, Perlin K, Wigdor D. Spacetime: Enabling Fluid Individual and Collaborative Editing in Virtual Reality. In Proceedings of the Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '18); 853-866; 2018.
5. Unity. <https://unity3d.com>
6. Zeleznik RC, Herndon KP, Hughes JF. SKETCH: an interface for sketching 3D scenes. In Proceedings of the annual conference on computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '96); 163-170; 1996.
7. Tobita H. 2015. Comic-Crowd: interactive comic creation that supports multiple storylines, visualizations, and platforms, In Proceedings of International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '15); 163-172; 2015.
8. Tobita H. Comic computing: creation and communication with comicComicComputing, In Proceedings of ACM international

- conference on Design of communication (SigDoc '11); 91-98; 2011.
9. Tobita H. Double-Volante: Double Cursor Interactions to Move Obstacles for Browsing and Navigation, In Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII '19); 61-65; 2019.



**Open Access** This article is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

# 暗号資産と地域振興の可能性

Cryptocurrency and Regional Development

板倉 宏昭\*

Hiroaki Itakura\*

東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Hiroaki Itakura, itakura-hiroaki@aait.ac.jp

**Abstract** Along with the development of blockchain, there is an urgent need to respond to social issues. I would like to explore the social impact from the perspective that blockchain will change from centralized to Decentralized Autonomous Organization (DAO). The "Yamakoshi Residents' Meeting" has established a DAO in the former Yamakoshi Village, which suffered significant damage during the Niigata Chuetsu Earthquake and is now part of the Yamakoshi District in Nagaoka City, utilizing NFTs to enable people living outside the region to participate in community development. Specifically, they raise funds by selling art inspired by Nishikigoi as "Digital Residency Certificates" to individuals outside the community through NFTs. Furthermore, those who purchase these certificates can engage with local residents in virtual spaces on the internet and collaborate on generating ideas for problem-solving.

**Keywords** Cryptocurrency; Blockchain; DAO(Decentralized Autonomous Organization); NFT( Non-Fungible Token); Yamakoshi Village

## 1 はじめに

暗号資産によって小規模組織や地方のチャンスが生まれるのかを山古志地域の事例を通して探りたい。

ブロックチェーンはインターネットに匹敵するくらい影響が大きい革命である[1,2]。ビットコインなどで投機が先行したが、金融以外の利活用が期待されている。ブロックチェーンはデジタルデータの分散台帳技術であり、暗号資産はその技術を基盤にしたデジタル通貨である。経済産業省は、日本のブロックチェーンの潜在的市場規模が67兆円に達すると試算した[3]。

本稿は、暗号資産を通じて、分散型インターネット Web3.0 の環境で中央集権から分散型自律組織 (DAO: Decentralized Autonomous Organization) あるいは、分散型自律企業 (DAC: Decentralized Autonomous Corporation) への変化が進むという展望の下で、地域振興に対する影響を探りたい (注1) [4-6]。

## 2 暗号資産の特徴

ブロックチェーン (Blockchain) は、デジタルデータを分散型の台帳に記録する技術であり、情報の透明性とセキュリティを向上させるのに役立つ。一方、暗号資産 (Cryptocurrency) は、ブロックチェーン技術を基盤にして、デジタルでの価値の取引を可能にするデジタル通貨の一形態である。ブロックチェーンは暗号資産の基盤として使用される。ブロックチェーンは技術の基盤であり、暗号資産はその一つの応用例といえる。

ブロックチェーンは、これまでになかった技術であるため、定義や標準化を行うことは困難を伴っている。例えば、日本ブロックチェーン協会は、ブロックチェーンを、「ビザンチン障害を含む不特定多数のノードを用い、時間の経過とともにその時点の合意が覆る確率が0へ収束するプロトコル、またはその実装をブロックチェーンと呼ぶ。」と定義している[7]。

ブロックチェーンは、取引がブロックにまとめられて、ハッシュ関数を通じて不可逆処理 (ハッシュ化) される。元のデータを変更するとハッシュ化されたデータも変わるため、改ざんが難しい。

野口[1]は、ブロックチェーンを「電子的な情報を記録する仕組み」であり、取引履歴を分散して共有することで不正な改竄

を防ぐことができるというピア・トゥ・ピア (P2P: Peer to Peer) ネットワークを利用していると定義している。

ブロックチェーンの国際標準化は、国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) の307番目の専門委員会である「ブロックチェーンと電子分散台帳技術に係る専門委員会」(ISO/TC 307: Blockchain and electronic distributed ledger technologies/ Technical Committee 307) によっても進められている。

なお、分散型台帳技術 (DLT: Distributed Ledger Technology) という用語が使われることがある。ビザンチン障害に対する耐性を有するものをブロックチェーンと呼び、耐性を有しないがブロックチェーンの要素技術を用いた技術を DLT と呼ぶことがある。

## 3 分散型自律組織のインパクト

ブロックチェーンの方向性として2つ考えられる。ひとつは、大組織体が、プライベート・ブロックチェーンあるいは、コンソーシアム・ブロックチェーンを用いて、効率性を高める大組織を中心とした分散型組織が発展する可能性である。この場合には、大組織体に依存する社会構造が続く。

もうひとつは、パブリック・ブロックチェーンを通じて、大組織体を頼らずに、何が正しいかを示すことを可能とすることにより、社会が大きく変わる。そうなれば、組織体を頼らずに、個人あるいは地域の力を発揮できる社会が実現する。DAO と呼ばれる分散型自律組織、あるいは小企業や個人企業の分散型自律企業、DAC のチャンスが増える。

経済活動の効率が上がるだけでなく、組織体のあり方が変わり、人々の働き方が変わる。そして、人々が直接に取引する社会が実現する。雇用者から事業者への移動が起こり、ビジネスパーソンが増える。

個人の資産を事業化しやすくなることから不動産、自動車をはじめとして多くの物品とアート・専門知識・ノウハウなどシェアリングエコノミーが発達する。生産者と消費者の境界が曖昧になり、プロシューマーというあり方が一般的になる[8]。

なお、個人の能力や創作物をビジネス化する機会が増えることから個人の専門性を証明する必要性が高くなる。

地方にとっても地域産品の直接販売が効率的にできるようになる。個人の専門的サービスや地域産業の匠の技といった専門的知識の提供が安いコストで個人が提供しやすくなる。

これまででもインターネットで直接取引はできた。クレジットカードの情報を登録すれば、アマゾン等で買い物ができし、大手銀行のオンライン取引で送金もできる。

しかし、信頼できる大企業だからこそ、人々は、クレジットカードの情報を入力したり、銀行を通じて送金する。インターネット上の零細企業や個人であったら、クレジットカードの情報を入力や送金をためらう人が少なくない。これまでのWeb2.0下では信頼できる相手でしか直接取引することができなかったのである。

以上のように、インターネットによる直接取引は、大手グローバル企業の信頼がますます重要になったといえる。アマゾンという大組織体だからこそネットビジネスができるのであって、地域の個人や小組織体の参入は限定的で、インターネットを活かすことは十分ではなかった。

また、Eコマースは、さまざまなポイントや決済方法によって大手にロックインされやすい。このように、情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）やインターネットの本来のオープンな特性とは逆に、小組織体より信頼を獲得しやすいガファ（GAF: Google, Amazon, Facebook, Apple）などグローバル大組織体への集中が生まれた。

また、IT投資は、規模にかかわらず必要な固定費があったが、ブロックチェーンは、こうした規模の経済性を切り崩すものである。

一方、DAO ゆえの課題もある。ビットコインの分裂騒動のように、意思決定をどうするのか、もしもシステム全体に問題が起こったら誰が責任をとるのかという法的問題もある。DAOというと政府や中央集権組織と異なる方向感があるが、両者が情報交換を行い、政府がブロックチェーンを前提とした政策をとることで人々は安心して利用できるようになるだろう。

## 4 山古志の NFT 「電子住民票」

### 概要

山古志村は新潟県の中越地方にあった山村で、2005年4月1日に長岡市に編入合併された。現在は長岡市山古志地域として、名を残している。2004年10月23日の新潟県中越地震で甚大な被害を受け、全村避難となった。

丘陵地の斜面に広がる森林と棚田など、「日本の原風景が残る村」である。村の祭礼で行われていた牛の頭突きは南総里見八犬伝で「牛相撲」として紹介されており、国の重要無形民俗文化財に指定されている。錦鯉の養殖は海外でも名高い。錦鯉の養殖は、山古志村と隣の小千谷市で、用水路でタンパク源として飼育していた鯉の変異種を掛け合わせて鮮やかな個体を作ったのがはじまりとされる[9]。「泳ぐ宝石」、「泳ぐ芸術品」として知られ、近年「KOI」として欧米だけでなく、アジアの富裕層にも知られるようになった。新潟県の錦鯉品評会には1000人以上の外国人バイヤーが集まり、1匹数千万円の値がつくこともある。図1のように山古志地区にも多くの外国人が訪れ、

何度も通うファンも存在する。現在は錦鯉の8割は海外向けに販売されており、その6割を新潟産が占める。錦鯉の輸出は2021年に59億円、2025年の目標は97億円となっている[10]。

錦鯉の新潟県中越地震で養殖施設は甚大な被害を受け、養殖池の水が抜け、地滑りで水路が埋まり、停電で酸素供給ポンプが止まったため、多くの錦鯉が死んだが、復興に向けて歩みだした業者たちに海外の愛好家から多くの励ましの声や温かい支援が届いた。日本では池のある家は減少しており、需要が頭打ちであることもあり、行政とともに錦鯉の海外へのブランディングを意識し、復興後の活路として輸出強化を進めている。



図1 錦鯉のバイヤー

### 山古志 NFT の誕生

上述の通り、国内外に錦鯉により名の知られる山古志ではあるが、震災以降、約2,200人いた地域住民は約800人になり、高齢化率が55%を超えるなど、地域は存続の危機に瀕していた[11]。2005年の市町村合併により人口27万人の長岡市の一部となったが、人口、予算規模が小さい側にとって、行政機能の予算執行における優先順位は低くなる。長岡市に依存するだけでは「山古志」は消滅してしまう、という危機意識が高まった。旧山古志村のくくりで、山古志のアイデンティティを持ちながら地域を作っていく目的で任意団体という形で山古志住民会議が設立された。代表の竹内春華は山古志の復興のためにツーリズム事業、移住、サテライトオフィスの誘致、インバウンドや情報発信といった「ありとあらゆることにチャレンジした」が成果を得ることができないまま、地域住民のチャレンジをサポートする「地域復興支援制度」が2021年度末に終了することになり、人件費を捻出できない、という事態に陥った。「最後にどうしてもやりたかったプロジェクト」が、テクノロジーを使って、山古志の人口創出を図ろうというもので、仮想現実（VR: Virtual Reality）やメタバースのプラットフォームを持つ企業や関係者を回ったが、億単位の資金が必要だと言われ、頓挫しそうになった。たどりついたのが全国各地で新たなコミュニティづくりを仕掛けているNext Commons Labの林篤史であった[12]。

元エンジニアの林篤史は東日本大震災をきっかけに東京から、高知県の旧土佐山村という人口1,000人の村に移住し、さまざまな活動に取り組んだものの、「やってもやっても今の社

会は何も変わらない」という虚無感を持っていた。そこで「今の社会の延長線上にある課題を解決するのではなく、社会を新しく作ってしまえばいい」という考えに至り、2015年に、「ポスト資本主義社会の具現化」というビジョンを掲げて、Next Commons Lab という組織を立ち上げた。竹内から相談を受けた林はエストニアの「電子国民プログラム」をモデルに NFT 技術を使ったデジタルアートを山古志地域の電子住民票として発行するという、今までにない仕組みを考え出した。定住人口にとらわれずにグローバルな「デジタル関係人口」を生み出し、非代替性トークン (NFT: Non-Fungible Token) の販売益をベースに独自の財源とガバナンスを構築することで、持続可能な「山古志」を誕生させることが狙いである。

NFT は、データ管理にブロックチェーン技術を活用することで取引履歴を改ざんすることができない仕組みを可能としている。そして、スマートコントラクトを活用することで、デジタルデータに「唯一性を保証する証明書」を付帯できるようになった。さらに NFT は、その証明書の所有者を明らかにし、その所有者は自由に NFT を売買可能である。結果的に、デジタルアート作品が市場で簡単に売買が可能になり、何十億円で取引されるデジタルアートもある[13]。

山古志には、仮想通貨のイーサリアム (ETH: Ethereum) が用いられている。イーサリアムとは、暗号資産プラットフォームである。イーサリアムは、ビットコインに次いで時価総額が大きい仮想通貨である。イーサリアム・プロジェクトはオープンソースで進められている。イーサリアムの特徴である「スマートコントラクト」は、さまざまな契約をブロックチェーン上で契約・締結できる仕組みで、今までは各種機関が認証していた多くの人手を必要とする手続きを自動化することが可能になる。また、契約・締結の結果を暗号資産に取り込むことで改ざんが困難になることから、汎用性が高いプラットフォームであると言われている。

山古志という過疎地域の住民が前代未聞の「いわば流行りのテクノロジー」など受け入れるのか？と半信半疑のままにアイデアを説明したところ、意外にも住民会議メンバーが賛同した。住民会議のメンバーはこのプロジェクトを成功させようと奔走し、長岡市から補助金を獲得した。また、国の交付金も出ることとなった。林の紹介で、NFT やブロックチェーンの最先端で活躍する株式会社 TART の高瀬俊明も加わり、急ピッチでプロジェクトを進め、山古志を象徴する錦鯉をモチーフとした、Nishikigoi NFT の発売に至ったのである[14]。

「ヨソモノ」による地域振興は、地域住民との軋轢を生み、成果を出すまで時間がかかったり、頓挫してしまうことも少なくない。それに対し山古志 NFT は一年足らずで実現に至った。

林は住民の心に根づくアイデンティティの強さが成功要因ではないかと分析する。山古志村は震災で破壊され、合併により自治体としての形を失い、人口流出や高齢化と過疎化で限界集落となっている。しかし山古志の人間というアイデンティティは失いたくない。山古志住民は地域のために震災以降「もうやれるだけのことはとにかくやりまくってきた[15]。」という経緯がある。日本全国の自治体が過疎高齢化という問題を抱えているものの、潤沢な地方交付税や補助金が交付されているため

当面の不自由を感じておらず、ヨソモノの干渉を煩わしく考えるケースが多い。山古志の場合、自分たちが生まれ育った「山古志」が消えようとしているのを目の当たりにしているからこそ、新しいチャレンジを受け入れたのだと思われる。「NFT というブロックチェーンの技術を使えば、山古志の住民であるということを世界に証明できる。それが住民の人たちの思いと合致したのだと思います[16]。」危機感こそが外部力 (ヨソモノ) と内部力 (ジモティ) の新結合による地域イノベーションを産み出す、のである。

### 暗号資産と地域振興の可能性

NFT から始まった山古志のプロジェクトは、「山古志 DAO」へ発展しつつある。DAO とは Decentralized Autonomous Organization (分散型自律組織) の頭文字を取った言葉で、ブロックチェーン技術を活用した次世代のインターネット「Web3」を実現する仕組みの1つである。特定の所有者や管理者が存在せず、参加者同士の投票で意思決定し、事業やプロジェクトを推進する。DAO では、組織の意思決定はメンバーによる投票で行う。投票内容の結果は、ブロックチェーン上のルールであるプログラムに従い、自動的に実行し表示可能である。ブロックチェーンの多くは、オープンソースとしてプログラムのソースコードが公開されており、ブロックチェーン上のルールであるプログラムは、誰もが見える状態である。このような仕組みのため、誰かが途中で投票に対する改ざんや不正を行うことは不可能であり、さらに投票結果はブロックチェーンに記録され続ける。ルールや結果を誰もがいつでも参照できるので、透明性が高いことは DAO の特徴で、従来の組織と違い、特定の所有者や管理者が存在せずとも、民主的な組織運営を可能にする[17]。

Nishikigoi NFT 購入者にとっての山古志村の電子住民票は、長岡市が発行する公式なものではないが、デジタル村民の資格が与えられ、NFT ホルダーであるデジタル住民専用のコミュニティチャットで意見交換をすることにより、山古志地域に必要なプロジェクトや課題解決に NFT 販売の収益を使って関与することができる。チャットは Discord を使用している。例えば、第1弾セールスの売り上げの約30% (約3ETH) を活動予算とし、「山古志デジタル村民総選挙」と称し、山古志地区を存続させるためのアイデアプランを募集した。デジタル村民の投票によってどのプランを実行に移すのかを意思決定し山古志地域を存続させるためのプロジェクトプランをデジタル村民より募集し、公開ディスカッションを経て投票することにより、デジタル村民同士が協働して地域づくりを目指すことを示した。第2弾セールスまでに1点0.03ETHで1,470点販売された。山古志地区の人口は約800人なので、デジタル村民人口がリアル村民の人口を超えた。現在第3弾セールス中で7,530点を発売しており、最終的に10,000点を発売する予定である。2023年10月24日現在0.001ETHが276円であるので、単純計算では8,280万円の財源が確保でき、地域住民800人+10,000人のデジタル住民による独自の自治圏を作り、ともに山古志の村づくりに関わることになる。NFT 市場である OpenSea など取引される一般的な NFT は、ほとんどの場合は投機性が前提である

が、Nishikigoi NFT 購入者の 40%程度が初めて NFT を購入する層で、投機目的というより、地域振興に関わりたい、という人々だと思われる。

山古志住民会議代表、竹内は「これまで取り組んできたことをガラッと変えるというニュアンスではなくて、山古志ってそもそも DAO 的な存在だったな。」と言う。竹内自身も新潟県内の別の市町村出身の「ヨソモノ」であり、色々な人がそれぞれの立場を越えて議論する、というテーブルとして、山古志住民会議は 15 年間やってきた。地域振興は極端な言い方をすると「地域に関わるならば骨をうずめる気でやれ」といった意見も多い中、Nishikigoi NFT は「地方に関わりたいけれど、どうやっていいかわからなかった」という層にオンライン上でも地方と繋がることのできる門戸を開き、そういった人が多いということを実証した[16]。このような取り組みが評価され、「NFT を含む山古志住民会議の取り組み」が 2022 年グッドデザイン・ベスト 100 (注 2)、令和 5 年度過疎地域持続的発展優良事例表彰において山古志住民会議/ネオ山古志村 (山古志 DAO) が総務大臣賞を受賞した[17] (注 3)。



図 2 NFT 市場 OpenSea

### 山古志 DAO の課題

しかしデジタル住民だけで「総選挙」を行い、地域振興を進めてもいいのか？という懸念は存在する。地域住民とともに DAO を推進するため、「山古志住民に対する NFT の無償配布を問う投票」を実施 (結果は、賛成 100%、反対 0%)。住民も選挙に参加できることとなった。この投票結果は、リアル村民とデジタル村民の融合を後押しするものとなった。それでも山古志の高齢化率 56%であり、NFT や Discord など理解することは難しい。住民会議がリアル山古志住民に NFT の仕組みや使

い方を地道に教えたり、NFT を保有するリアル山古志住民が少しずつ増えている。それでも NFT 所有率は 1.67%であり、山古志のリアルとデジタル村民コミュニティの融合については今後の課題であろう。また、山古志はいわゆる「ファーストペンギン」であったために成功したともいえるが、他の自治体が追随すると結局パイの取り合いになり、共倒れになる可能性もある。林は 2023 年 3 月、株式会社クリプトヴィレッジを設立し、山古志で生まれた DAO の仕組みを世界に向けて広げる試みを始めた。Local DAO が大きな流れになることにより、ファーストペンギンに終わってしまうことなく、暗号資産が地域振興の可能性を広げていくことになるだろう。

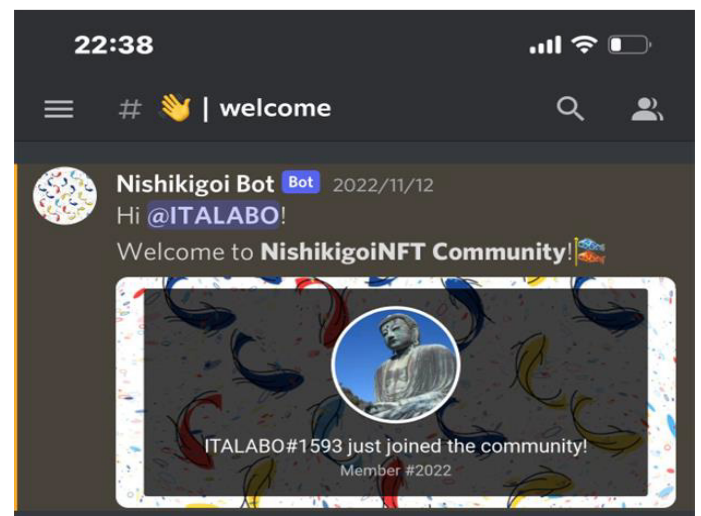


図 3 Nishikigoi NFT Community (Discord)

## 5 おわりに

Gartner[18]のテクノロジーのハイブ・サイクルによると、2019年にブロックチェーンに対する期待はピークを越え、概念実証(POC: Proof Of Concept)の結果が公表され、課題も指摘されるにつれて、一部で慎重な姿勢も見られる。

現時点では成功した企業は少ないが、5年後以降の先行者優位性(first mover advantage)を目指した投資が期待される段階にある。ブロックチェーン技術を用いた100億ドル規模の革新的なビジネスが生み出され、2026年までに、ブロックチェーンによるビジネス価値増加が3600億ドルを超え、2030年までに3兆1000億ドルを超える、という予想である[19]。

ブロックチェーンによって中央集権は切り崩される。単に情報を仲介していた大組織体は代替されていく。ブロックチェーンによって真正性が保証されるから、大都市の大組織体を信頼する必要性が下がる。大企業への依存度は低下する可能性が少なくない。

小企業や個人が、価値を安価に送ることができるようになることから、すべての人がビジネスパーソンになることが求められる。こうしたことから個人の能力を証明することが求められるようになるだろう。

地域の顔のみえる関係を地域を超えて提供する仕組みに拡張可能とするのがブロックチェーンである。ブロックチェーンは、従来の常識を一変させる未来のビジネスチャンスの宝庫[1]であり、地域の姿を劇的に変えようとしている。地域にしか提供できない物語(SSS: Site Specific Storytelling)を通じてその価値を提供するかが一層問われることになる。

## 注

1. 本稿は、[4-6]をもとに加筆・修正したものである。
2. グッドデザイン賞は通商産業省(現経済産業省)によるグッドデザイン商品選定制度(通称、Gマーク制度)に基づく顕彰として1957年に始まった。1980年代までは電気釜やテレビなどのハードウェアが多かったが、1990年代以降は使用者との対話があるインタラクショナルデザイン、使用時に差別のないユニバーサルデザイン、地球環境を考慮したエコロジーデザインが評価されてきた。
3. ローカルの価値を最大限に広げるのがデジタルであると考え、NFTを「デジタルアート×電子住民票」として活用し、NFTを接点とした共同体を形成し世界中から知恵や資源、独自資金を集め、地域を存続させる挑戦をしている[17]。

## 参考文献

1. 野口悠紀雄. ブロックチェーン革命: 分散自律型社会の出現, 日本経済新聞, 2017
2. 野口悠紀雄. 仮想通貨革命: ビットコインは始まりにすぎない, ダイヤモンド社, 2014
3. 日本経済新聞. ブロックチェーン, 市場規模 67 兆円, 日本経済新聞, 2016 年 8 月 15 日
4. 板倉宏昭. 分散型自律組織の未来社会: ブロックチェーンの挑戦, 実践経営, No.57, 147-152, 2020

5. 板倉宏昭. ブロックチェーンの可能性, 新訂経営学講義, 勁草書房, 258-268, 2017
6. 板倉宏昭. ブロックチェーンと ELSI, 横幹コンファレンス, 2022
7. 一般社団法人 日本ブロックチェーン協会. ブロックチェーンの定義, 2016 年 10 月 3 日. Available: <https://jba-web.jp/news/642>
8. 経済産業省. 平成 27 年度我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備, ブロックチェーン技術を利用したサービスに関する国内外動向調査報告書, 2015
9. ニッポンドットコム編集部. 新潟発祥の泳ぐ宝石・錦鯉 海外輸出が好調, 1 尾数千円になることも, 2021 年 1 月 16 日. Available: <https://www.nippon.com/ja/guide-to-japan/gu900176/>
10. 長岡市地方創生推進部広報・魅力発信課. 泳ぐ宝石・山古志の錦鯉: 世界の富豪を魅了する理由に迫る, 2016 年 11 月 11 日. Available: <https://na-nagaoka.jp/archives/3038>
11. 国土交通省湯沢砂防事務所. 山古志の自然とくらし: 新潟県中越地震に学ぶ副読本, 2015. Available: [https://www.hrr.mlit.go.jp/yuzawa/saboumuseum/sfm/documents/fuku\\_dokuhon.pdf](https://www.hrr.mlit.go.jp/yuzawa/saboumuseum/sfm/documents/fuku_dokuhon.pdf)
12. 山古志住民会議. デジタル村民のススめ / 限界集落と NFT と DAO, 2022 年 3 月 9 日. Available: <https://note.com/yamakoshi1023/n/n6560e0bf425f>
13. 山古志住民会議. 世界初. 人口 800 人の限界集落が「NFT」を発行する理由, 2021 年 12 月 14 日. Available: <https://note.com/yamakoshi1023/n/n1ae0039aa8a4>
14. Business Insider Japan. 新潟県・旧山古志村「集落存亡」をかけた挑戦: NFT で財源確保, デジタル村民総選挙, 2022 年 3 月 15 日. Available: <https://www.businessinsider.jp/post-251703>
15. SELECK. NFT ホルダーの「デジタル村民」に予算執行権も. 人口 800 人の限界集落・山古志の挑戦, 2022 年 5 月 18 日. Available: <https://seleck.cc/1520>
16. PR TIMES. 限界集落「山古志」で生まれた Local DAO を世界各地に広げるため Nishikigoi NFT の第 3 弾セールを開始, 2023 年 8 月 9 日. Available: <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000001.000127001.html>
17. 総務省. 令和 5 年度過疎地域持続的発展優良事例表彰における総務大臣賞及び全国過疎地域連盟会長賞の決定. Available: [https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01gyosei10\\_02000095.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01gyosei10_02000095.html)
18. Gartner. Gartner Identifies Five Emerging Technology Trends That Will Blur the Lines Between Human and Machine”, Newsroom, Conn, August 20, 2018
19. Gartner. ブロックチェーンベースの変革, Gartner のトレンド洞察レポート, 2018 年 3 月 27 日

# 展覧会の開催プロセスと作品製作プロセス：「『ひみつ道具』展」を例として

Development planning and implementation methods of exhibition and products: A case study for the exhibition of “secret gadgets”

吉田 多津雄<sup>1</sup> 宮坂 尚吾<sup>1</sup> 見藤 素子<sup>2</sup> 河上 芳朗<sup>1</sup> 太田 敬太<sup>1</sup> 伊藤 潤<sup>1\*</sup>  
Tatsuo Yoshida<sup>1</sup> Shogo Miyasaka<sup>1</sup> Motoko Mito<sup>2</sup> Yoshiro Kawakami<sup>1</sup> Keita Ota<sup>1</sup> Jun Ito<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学産業デザイン研究所 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>佐賀大学美術館 The Saga University Art Museum

\*Corresponding author: Jun Ito, itojun@aiit.ac.jp

**Abstract** As part of the PBL project, we planned and held our own exhibition to display the results obtained through PBL activities. By holding this exhibition, we gained a lot of knowledge that will help us hold future exhibitions for followers.

**Keywords** exhibition planning; project-based learning; reskilling

## 1 はじめに

本学ではPBL (Project Based Learning) の成果発表会を東京国際フォーラムで13回、例年2月11日に開催してきた[1]が、コロナ禍により中止となり[2]、オンライン発表会へと移行した。だが少なくとも創造技術コースの tangible なモノを扱う PBL (Project Based Learning) では、実物の展示が行われることが望ましい。

我々「伊藤 PT」は本学の創造技術コースの養成目標である「ものづくりアーキテクト」としてデザインを考える上で重要な要素が詰まっている[3]「ひみつ道具」をPBLテーマに設定した。「ひみつ道具」とは、藤子・F・不二雄（藤本弘、\*1933-†1996）の『ドラえもん』（1970～）および『大長編ドラえもん』（1980～）等の作品に登場する未来（22世紀）の道具（gadget）を指す総称である。また、「新しいひみつ道具」を創造し、社会実装のフィージビリティスタディ（feasibility study）として、展覧会の企画・準備・開催・PR等を行うことをプロジェクト目標とした。企画の実現の可否そのものや、集客や取材の多さなどの反響はフィージビリティの1指標として評価し得るし、また本学の2022年度組織目標の重点目標「3. 本学の教育研究成果を広く発信するなど本学のブランディング活動を推進する」に合致するからである。

## 2 展示調査

コロナ禍以降のPBL活動成果の学外での一般公開は初めての試みであり、試行錯誤の状況で実施をする必要があった。本稿では、展示の調査から企画、展示開催までの一連の展示プロセスを述べ、未経験者が初めて展覧会を企画・開催するにあたり、どのような方法がよいのか、展覧会開催準備、開催期間中の運営、開催後におけるフィードバックをナレッジとして述べる。展覧会の計画案の策定は、展覧会に公開展示する「ひみつ道具」の制作と同時進行で、作品を手掛ける初期段階から同時進行で行った。まず、一連の展示プロセスを述べる。

### 他学の卒業制作展、美術館の視察・調査・分析

事前調査として、他大学・大学院のデザイン関連の卒業制作、修了制作展の視察、展示方法の拝観調査を行った（表1）。メンバー各自が展覧会を独自に調査した。特にメンバー全員で東京都立大学の卒業・修了作品展（東京都美術館）を視察した。こ

こで卒業に求められる作品品質ならび、展示の工夫を学んだ。黒がメインカラーの会場であった為、机の上にも黒生地の手拭で統一感を出す。作品のキャプションの位置、大きさ、フォント、レイアウト。ライティング、パンフレットの作成など、今まで単に美術館を見学する機会はあったものの、自分自身が展示するととなると、見る視点が全く変わることがメンバー共通の気づきであった。

今回のテーマである「ひみつ道具」に関わる作品が展示されている藤子・F・不二雄ミュージアム（川崎市）も全メンバーで調査を実施した。学生とその家族が主な来場者となる卒業制作展と異なり、子供から大人までが楽しめる展示はどのような工夫がなされているのかが最大の関心事であった。大人に対しては昔懐かしい漫画の原画を展示することで子供時代の思い出を提供し、子供に対しては、実物大のひみつ道具など手に触らせることで漫画の世界に自分を溶け込ませる、オリジナル映画を放映することで新しい興味を抱かせるなど、すべての年代に合わせるのではなく、年代に合わせた物をそれぞれ提供するという工夫に気づきを得た。このことが筆者らの展示にも大きな影響を与え、どの年代向けの作品なのかというターゲットングの意識を植えた。

さらに各メンバーで他の大学の卒業展示、美術館巡りをして、その結果を他のメンバーにフィードバックし、展示方法や展示物の配置などノウハウの共有化を図った。

表1 2022年7月までに拝観した展覧会(ギャラリーでの展示を含む)

訪問日	名称	場所
1月	9日企画展・常設展	埼玉県立近代美術館
	9日企画展・常設展	東京都現代美術館
	15日武蔵野美術大学卒業・修了制作展	武蔵野美術大学小平キャンパス
	16日多摩美術大学卒業制作展	多摩美術大学八王子キャンパス
	22日日本大学芸術学部卒業・修了制作展	日本大学芸術学部江古田キャンパス
	22日多摩美術大学芸術学部統合デザイン科卒業・修了制作展	多摩美術大学上野毛キャンパス
	23日東京造形大学卒業・修了制作展	東京造形大学
	29日東京藝術大学卒業・修了作品展	東京藝術大学上野校舎
	30日企画展	松濤美術館
	31日東京藝術大学卒業・修了作品展	東京藝術大学上野校舎
2月	5日京都芸術大学卒業・修了制作展	京都芸術大学
	6日嵯峨美術大学・嵯峨美術短期大学卒業・修了制作展	京都市京セラ美術館
	11日企画展	北方民族博物館
13日企画展		中原梯二郎記念旭川市彫刻美術館



19日横浜美術大学卒業制作展	東京都美術館
20日企画展	メゾンエルメス
26日五美大展	国立新美術館
27日企画展	国立映画アーカイブ
27日企画展	POLA MUSEUM ANNEX
27日FACE展	SOMPO MUSEUM
3月 2日慶應義塾大学環境情報学部石川初研究室展	TIERS GALLERY
覧会	
5日多摩美術大学情報デザイン学部卒業制作展	東京都デザインセンター
5日山手線全30駅模型（昭和女子大学環境デザイン学部 田村圭介研究室）	東京駅
5日企画展	日本橋高島屋ギャラリー
5日ミラノサローネ展	日本橋高島屋
6日東京都立大学卒業・修了作品展	東京都美術館
12日tagboat Art Fair	東京都立産業貿易センター浜松町館
12日オルタナティブ！ 小池一子展 アートとデザインのやわらかな運動	アーツ千代田 3331
13日多摩美術大学卒業制作展	多摩美術大学八王子キャンパス
13日女子美術大学卒業制作展	女子美アートミュージアム
19日VOCA展	上野の森美術館
19日企画展	BISCUIT GALLERY
26日常設展	東京国立博物館
26日「100ドル」展	上野松坂屋アートスペース
26日Chim↑Pom展	森美術館
4月 2日企画展	葛屋書店（銀座）
2日ダミアン・ハースト展	国立新美術館
2日松江泰治展	東京都写真美術館
8日ミロ展	Bunkamuraミュージアム
9日常設展	九州国立博物館
16日佐々木加奈子展	六本木ヒルズアートギャラリー
17日常設展	東京国立近代美術館
23日企画展・常設展	藤子・F・不二雄ミュージアム
27日企画展	SPIRAL
29日瀬戸内国際芸術祭	大島
30日瀬戸内国際芸術祭	小豆島
5月 1日瀬戸内国際芸術祭	沙見島
1日常設展	丸亀市立猪熊弦一郎美術館
5日企画展	豊田市美術館
5日常設展	豊田市市民芸館
7日企画展	アーティゾン美術館
7日企画展	葛屋書店（銀座）
8日企画展	豊島区立熊谷守一美術館
14日常設展	航空科学博物館
14日常設展	空と大地の歴史館
15日2121年 Futures In-Sight	DESIGN SIGHT 21_21
21日吉岡隆正展	東京都現代美術館
22日千住博展	日本橋三越
28日技研公開2022	NHK技研センター
29日企画展	エスパスルイヴィトン
6月 4日企画展	日本橋高島屋
4日自然と人のダイアログ展	国立西洋美術館
17日ゲアハルトリヒター展	東京国立近代美術館
18日都美セレクショングループ展2022	東京都美術館
18日もののこしかた展	東京都美術館
18日宇宙雑貨の展覧会	デザインフェスタ原宿room8-410
18日企画展	SCAI THE BATHHOUSE
19日企画展	本郷アートサイト（仮）
19日企画展	葛屋書店（銀座）
19日企画展	渋谷区公園通りギャラリー
19日安藤瑠美TOKYO NUDE - mountain range-	H.P.FRANCE WINDOW GALLERY

25日常設展	京都鉄道博物館
26日モディリアーニ展	中之島美術館
26日常設展	中之島美術館
26日常設展	国立国際美術館
7月 2日JAGDA new designer awards exhibition	クリエイティブギャラリーG8
9日企画展	KOTARO NUKAGA GALLERY
17日企画展	長谷川町子記念館・美術館
18日未来のロボット展	日本科学未来館
30日朝倉拱展	練馬区立美術館
30日常設展	クロネコヤマトミュージアム
31日企画展	森美術館

## 会場の選定

会場については、展示会の調査等を踏まえて、ギャラリー東京ユマニテ（中央区京橋）、TIERS GALLERY by arakawagrip（渋谷区神宮前）、O 美術館（品川区大崎）、品川区民ギャラリー（品川区大井）の4つの候補より、選定することとした。「ひみつ道具」というテーマから子供から大人まで気軽に来場して楽しんでもらえること、本学の認知度を高めブランディング活動に寄与することができる場所ということで、本学最寄り駅の隣駅である大井町駅と地下直近の商業施設内にある品川区民ギャラリーを選定した。それ以外の施設の場合、ターゲットが大人に偏りそれにより制作する作品の幅も狭まると考えたからである。この様に、会場の選定も観てもらいたい人のターゲットおよび作成する作品にも大きな影響を与えることが一つの気付きとなった。

## 展示レイアウトの検討

実際に図1に示す展示会場を予約後、現地調査すると想像以上に広いことに気付いた。逆にこの展示スペースを満たすには、どれくらいの量の展示をする必要があるのか、それをメンバー個人当たりどれくらいのスペースを担当しなければいけないのか、一連のストーリーを描いて展示しないと見る人に伝わらないのではという課題が浮き彫りになった。



図1 展示会場（品川区民ギャラリー）

そこで、現地調査測量をもとに、図2に示す通り2D-CADで会場平面図を作成した。その結果、メンバー一人あたりが担う展示は、180cmの長机2～3個程度のスペースを賄う必要があり、作品を手掛ける前段階から、作品展示における必要な大きさ、数が必要なことを把握し最終的な展示をイメージした制作に取りかかった。

また事前調査で展示は壁の位置にどれくらいの大きさの説明を掲げるのが展示の見やすさを引き出すことがわかった為、

作成した会場の平面図をもとに図3に示すスケール模型を作成し、立体的に視覚化したうえで、展示のレイアウトの検討を行った。

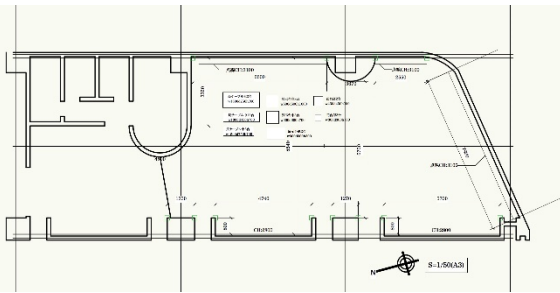


図2 2D-CADで作成した会場平面図

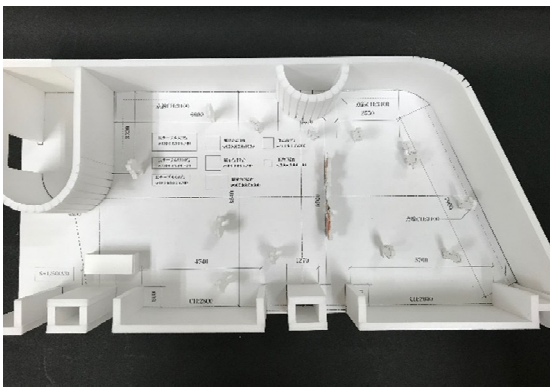


図3 展示場のスケール模型 S=1/50

振り返ってみると、早い段階での会場の把握が展示品の密度、分かりやすい会場構成、見やすい動線の実現にとって重要であったといえる。

展示場のスケール感の共通理解が PBL メンバー間で共有化ができたので、さらに図4に示す通り展示のゾーニングと展示テーマの検討を行っていった。

最終成果物の制作前に、各メンバーによって制作されたプロトタイプから、ゾーニングと展示テーマは、デザイン思考のプロセス[4]に沿って図5のように再整理を行った。

展覧会 展覧会場のゾーニングと展示テーマ

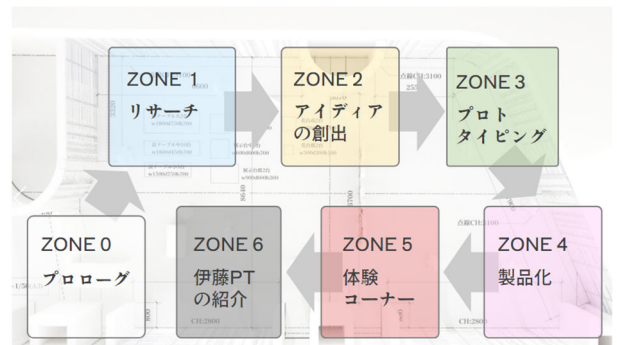


図5 最終的な展覧会場のゾーニング

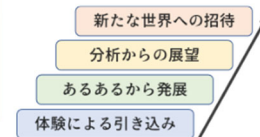
デザインの思考過程を一般の来場者に紹介をすると共に、「ひみつ道具」の成果物群を改めて整理したところ、企画のコンセプトがはっきりするということが分かり、展示計画を繰り返し構成して最終化を図った。また、最終的な展示計画は図6の立体レイアウト模型を作製して検討した。壁面の展示物への意識が明確になるため、立体模型での展示の検討は効果的であった。

展示方法の検討

ゾーニングと展示テーマ

- ZONE 0** ドラえもんワールドに引き込む一見して楽しそうな予感をさせる展示物で興味を引く  
例：大きな張りぼて
- ZONE 1** 実際に作ってみたい21世紀で実現しているひみつ道具を展示して実際に使う  
例：なにがある？
- ZONE 2** 面白道具の提案  
実用性はないが、ドラえもんにありそうな道具を作る  
例：ムード盛り上げ楽器
- ZONE 3** 細かな点を提案する  
UIの提案  
例：タケコプターの操縦  
スモールライトの操作性改善

- ZONE 4** ひみつ道具の研究  
現時点で紹介されているひみつ道具を分析する  
例：DBをつかったソムリエ
- ZONE 5** 22世紀の世界  
どんな世界になっているのかを空想する  
例：大きなパネル？
- ZONE 6** 新たな体験の提案  
これまでにない空想のひみつ道具で、これがあればどんな体験が可能か提案する



展覧会 展覧会場のゾーニングと展示テーマ

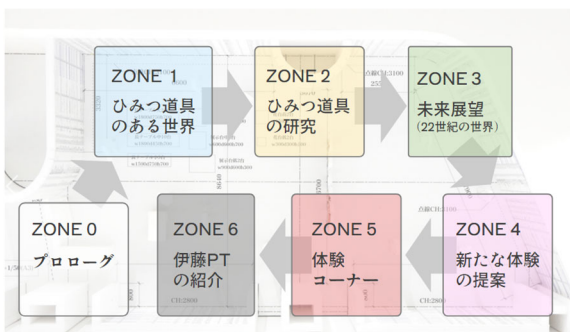


図4 ゾーニングと展示テーマの原案

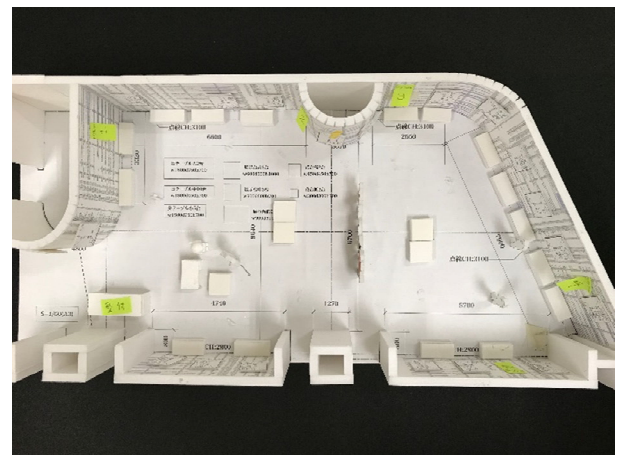


図6 展示計画の立体レイアウト模型 S=1/50

専門家(学芸員)とのディスカッション

実際展覧会を計画、準備に着手していくにあたり、展覧会の運営方法、展示方法などの知識不足が判明した。そのため、2022年8月2日～11月30日に企画展『展示ができるまで』をおこなっていた佐賀大学美術館の学芸員である見藤と、オンライン

での展示計画や展示準備、展覧会運営に関するディスカッションを行った。特に照明計画や展示のキャプション、大見出しなど本学メンバーだけでは気付かなかった知見も合わせて深めることが出来た(表2)。事前に疑問点をまとめた上で、ディスカッションすることが効果的である。

また、展覧会開催中は、新型コロナウイルスの流行期間中であつたため、図7に示す様な感染予防対策の工夫も行い、コロナ対策の透明ビニールカーテンを設置し、アンケートの依頼と回収を行うなど、的確な展覧会運営を実行することが可能となつた。

表2 展覧会の開催にあたっての検討事項

研究内容として子供むけではないものもある
専門的な内容で難しい、という場合、その展示を子供に向けても説明を行いたいという場合は子供向けの「やさしい日本語」で分かりやすく書いた掲示を添えるなどの工夫があるとよい。
パネルが増えると制作の手間がかかったり、会場レイアウトにそぐわない場合も生じる
多くの美術館や博物館では子供向けの解説リーフレットを作成して配布している。展示物をより掘り下げて鑑賞してもらうために、パネルに記載できなかった情報を補足で載せたり、クイズや書き込みを交えたワークシートのような形式で作成するなど、施設や展示によって工夫は様々である。 また、「やさしい日本語」の解説を添えることは、子供だけでなく日本語を母語としない方々に向けても平等に情報を届けるための手段となる。 特に、文字だけでなく図版や写真を多用し、直感的にわかる掲示物を作成することで、より一層子供へ寄り添える。
展覧会のターゲット層をどのように決めるべきか
展覧会を作成するにあたり、来場者がどれだけ前提・知識を共有しているかを想定するかは重要なポイント。 公的機関で行われる展覧会は多くの場合、その構成は「はじめて見る人」「その分野についてそこまで知識を持たない人」「興味はあるけれどそこまで専門知識を持たない人」を前提として作る。 たとえば、学内で「ひみつ道具」展を行う場合、来場される方は多くは大学関係者であり、どのような研究をされているかなどの背景を推測・理解することは容易、専門用語の意味についてもある程度見当をつけることも可能だが、学外で行う場合、まったく未知の情報に触れる方が大多数となる。 今回の展示の場合は道具そのものよりも道具を取り巻く環境(意味)に焦点が絞られる展示=ものを介して発見の契機とする展示となるので、そこにどうやって興味関心を誘導するかが一番難しい。 ターゲット層は「一番に誰に伝えたいか」「この研究を通じて誰と情報共有したいのか」による。 18歳以上の成人を前提とした展示をする場合、高校生くらいの年齢の知識で理解できる解説の書き方がちょうどいい。 また、展示の内容について万人受けするものというのは難しいが、たとえターゲット層が成人向けであっても、子供連れでも一緒に楽しむ仕掛けを施すことは十分可能。

子供の入場者も想定されるが、どのような配慮をするべきか

安全面：展示物の落下を防いだり、触れていいものとそうでないものを分けたりする必要がある。また、立て看板などぶつかりそうなものについては導線を確保する。

お子連れの場合、ベビーカーを使用しての入場も考えられますので、展示室内の通路は広めに設定すると良いです。万が一に備えておむつ替えのスペースの案内ができるように準備しておくことも望ましい。

展示の仕方：解説パネルや絵画については日本人の平均身長(155cm)を想定した目線の高さ(140~145cm)にパネルの中心を据える展示方法が基本となっているが、子供が多く来場する展示に於いてはそれよりも低い高さに掲示物を設定する場合がある。今回、親子連れの来場を多く想定する場合、解説パネルの高さを低めに設定するとよいかもかもしれない。

また、展示台によっては背丈の低い子供からは見づらい場合があるので、高さを抑えた展示台を使用したり、なければ作成するという方法も考えられる。

特に、体験コーナーやワークシートを記入する場所では、なるべく低めの机を用意する。また、記入可能な場所で使用する机や椅子は汚れても大丈夫なものを用意するか養生しておく、利用する側も安心して使用することができる。

その他：多くの子供連れのお客様が気にされるのは、子供が展示室で大きな声を出したり、おしゃべりをする事。展示は静かに見なければならぬという共通認識のようなものはどうしてもあるので、お子連れの入場を想定するならば展示室内でのおしゃべりが可能か否か(可能である場合、区民ギャラリーが制定しているコロナ対策のガイドラインにマッチしない場合があるので、おしゃべりの程度について掲示)をあらかじめ入り口で提示しておくこと親切。今回、区民ギャラリーではコロナ対策のために休憩用の椅子の使用を控えるよう指示されているが、本来であれば鑑賞中に休憩できる椅子があると、親子連れの方や高齢者の方にとって観覧がしやすい展示となる。

同じくコロナ対策のため難しいかもしれないが、スタッフによる口頭での解説やWSの開催、子供の対応(常駐)があるととても良い。



図7 受付の様子(写真左側)

**展示テーマの明確化**

展覧会開催の約1ヶ月前に会場の下見を行い、実際に制作物がどのように見えるのかといった確認、掲示物の大きさなど

の確認を行った。会場での展示構成については、会場の模型を作成して、確認をしていたが、実際に展示物を並べてみると、見え方に差があることが判明した。図8に示すゾーンを示す大型のタペストリー（図8では「リサーチ」の文字）を追加することで、展示テーマのゾーニングを明確化する工夫を実施した。



図8 開催した展示風景

### 広報活動の企画、実施

今回の来場者は学内以外にも一般顧客をターゲットとしていた為、展示会の広報・告知活動を企画、実施を行った。各大学の卒業制作展の調査から、大学のホームページでの案内のほか、各種 SNS での発信を活用していることが判明したため、本展示会でも、大学のホームページの情報発信と合わせて、各種 SNS を広報のツールとして活用することにした。具体的には、展示会の3ヶ月前から note に各メンバーが毎週記事を書き、Twitter 上で更新をアナウンスした。

また合わせて、品川区民への広報を強化するため、ケーブルテレビやコミュニティ FM による発信を行った。催期間中の様子は、図9に示す通りケーブルテレビ品川の番組[5]の取材が入り、展示会の様子が放映された。またラジオ番組[6]でもパーソナリティとの対話形式で展示会の告知を行った。



図9 開場前のケーブルテレビ品川の取材風景

### 展示会場で用いる什器について

展示には什器の調達、設置レイアウトが非常に重要となる。予算も限られている為、会場となる品川区民ギャラリーにある什器を中心に展示空間を作成した。ただし、展示台に必要なテーブルクロス、テーブルクロスクリップ、掲示物を掲示するためのタペストリバーは、展示会場に無かった為、個別に調達して展示に使用した。展示会では図10のように青いテーブルクロスを貼って展示物を陳列した。壁が白である為、コントラス

トが出ることで作品の強調を引き出し、「ひみつ道具」展と関連するロボット本体の色を想起させ、展示会に一貫性を与えた。

壁面のポスターはフリーカットクロスに印刷し、アルミのポスターハンガーで天井から吊るした。ロール状の用紙に対して横向きに印刷することで、用紙両端のフチ（印刷不可エリア）をポスターハンガーに巻き込む部分に充てることで、実質的な全面フチなし印刷とした。また各ポスターの縦の長さも自動的に用紙幅で揃うため、展示の統一感を増した。



図10 テーブルに青いクロスのを貼り作品を強調

## 3 展示品製作プロセス「ひみつ道具創造カード」の例

ここでは、展示した作品の製作過程の1例として、創造的教育用教材「ひみつ道具創造カード」の事例を紹介する。

### 創造的教育ツールの開発と検証

今後、あらゆる発明や道具が社会に定着させ、イノベーションを起こすためには、創造的教育を提供することが重要である。デザイン分野では前述したデザイン思考が有名であるが、教育分野、特に想像力が期待される年少期から小学生に対しては、そのまま適用するには難しく、適用するには様々な工夫が必要で大幅な普及には至っていないのが現状である[7]そこで筆者らは、子供から大人まで一緒に楽しみながら創造的教育が実践可能な「ひみつ道具創造カード」を開発し、検証を行なった。

### 「ひみつ道具」のリサーチ

我々メンバー自身が「ひみつ道具」を見て新発想しろと言われてもヒントとなる手がかりが無く、苦労した経験をもつ。まず50年以上に渡り生み出され続けた今までの「ひみつ道具」は、いったい現在どれくらいあるのか、どの様な道具なのかを把握することから始めた。『ドラえもん』全45巻（正確には0巻[8]も出ているので全46巻である）、『ドラえもん最新ひみつ道具大事典』[9]の通読調査を行ったが、筆者らの理解は深まったものの、得られた知見、閃きやアイデアを共有する仕組みが必要と考えられた。

### ひみつ道具データベースの整備

知見の共有化の1つの手段として、ひみつ道具データベースの構築を実施した。ソースとして採用した1つが、前述した『ドラえもん最新ひみつ大辞典』[9]である。当書のひみつ道具の索

引を OCR で読み込んでテキスト化した。もう 1 つはテレビ朝日のドラえもん公式ページのみみつ道具カタログ[10]である。当サイトに対して Web クローリング技術でスクリプトを開発しテキスト化し、解説文や画像の取り込みを行った。2つのソースから抽出し、重複を排除し Google スプレッドシートで DB 化し Google ドライブで一元管理および共有化を実現した。それを図 11 に示す。

ひみつ道具名	種別	頻度(分)	発案者	必要数	必要コメント	実用性	実用コメント	LP
1 ぬいぐるみパズル	T12	67 謎	てんとう虫コミック	12	1976/10/25	無	謎いけど	無
2 あいこグローブ	T43	326 実用	てんとう虫コミック	43	1980/01/25	無		e-portfolio, 任天堂 喜書に登場
3 会いたいヒト回転寿司	TV	218	いたずら	23	1980/01/25	無		スイッチ
4 会いたいヒト回転寿司	T23	218	いたずら	23	1980/01/25	無		スイッチ
5 あい棒	TV	366	実用	41	1980/08/25	無		コミュニケーションツールとして活用
6 未来型スマートフォン	T58	413	もつと最近	8	2005/04/05	無		通信
7 未来型スマートフォン	TV	366	実用	41	1980/08/25	無		ドラえもんが使用
8 未来型スマートフォン	T41	366	実用	41	1980/08/25	無		
9 未来型スマートフォン	TV	218	いたずら	8	1976/10/25	無		
10 アクションカメラ	T23	218	いたずら	23	1980/01/25	無		
11 アクションカメラ	T19	28	謎	19	1980/07/25	無		
12 未来型スマートフォン	TV	218	いたずら	5	1976/10/25	無		
13 未来型スマートフォン	T13	218	いたずら	13	1977/04/25	無		
14 未来型スマートフォン	T43	14	最近	43	1980/01/25	無		
15 アクタイ	TV	218	いたずら	5	2000/03/25	無		
16 アクタイ	TV	218	いたずら	5	2000/03/25	無		
17 未来型スマートフォン	T2	218	いたずら	2	1980/10/28	無		
18 未来型スマートフォン	小学4年生	1985/06/10						

図 11 ひみつ道具 DB のデータ (一部)

その結果、作成時 2022 年 8 月時点で 2,082 個のひみつ道具があることがわかった。そこでコーディング・レスのアプリ Google Appsheets を使ってスマホアプリを作成し、キーワードや道具の一部名称等、検索機能を実装した。図 12 が作成したアプリの UI (ユーザーインターフェース) である。



図 12 ひみつ道具アプリ

ひみつ道具データベースのテキストマイニングの試み

ひみつ道具をデータしたことで、2,000 以上あるひみつ道具の名称にはどのような言葉が頻繁に使われているのか？どのような言葉を使うとひみつ道具らしくなるのか？どのような特徴があるのか？また全体を俯瞰するとどのような特徴があるのか、といった点について、テキストマイニング技術を使って解析を試みた。具体的には前述サイト[10]の「ひみつ道具」の説明文を名詞、動詞、形容詞、副詞に分解して、頻出語とその相関関係を調査した。ひみつ道具の本質的な特徴を分析した結果、ひみつ道具とは「人、自分、道具、ロボットなどに対して、何かができる、何かしてくれる、(あるいは)何かができる道具である」という分析結果を得た。言われてみればその通りであるが、様々な経験や知識を持っている複数の人々が集団知として、この様に端的に中立な特徴を短時間で言葉に表現するのはなか

なか難しく、図 13 に示す様に機械的な分析技術の重要性を導き出した一例であることを見出した。

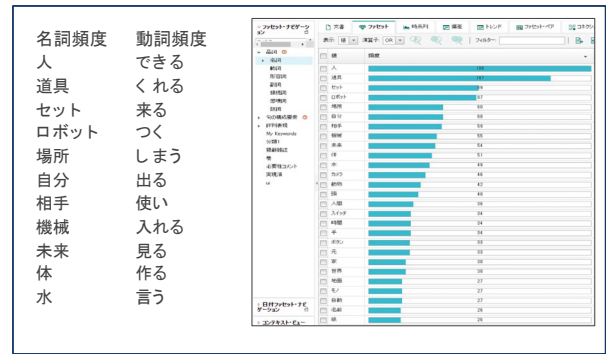


図 13 テキスト分析によるひみつ道具の名称頻出頻度

また、ひみつ道具らしい名称を探る為、使用頻度の高い言葉を抽出した。その結果、道具名の多くは 2 つ以上の言葉が組み合わせられてしかも繰り返し使われていることがわかった。しかも 2 つの組み合わせは、上の句 (前半) と下の句 (後半) で使われている言葉が違うことがわかった。またビデオ、カメラ、小型などその時代で流行した言葉がひみつ道具に反映されていることもわかった。抽出したひみつ道具の言葉の組み合わせることで、新しいひみつ道具を発想する余地は十分あるという仮説を立てた。

ひみつ道具創造カードの開発

ひみつ道具名をテキスト分析により言葉の前後を分離し、さらに図 13 に示す様に頻度順に並び替え、上の句 (前半) と下の句 (後半) それぞれ頻出上位 52 語ずつをカード化し、ゲーム感覚で新しいひみつ道具を生み出す強制発想法カードとした (図 14)。なお、フリーワード (自由な語を使って良い) 2 枚をジョーカーとして加え、このカードをトランプとしても機能するようにした。



図 14 ひみつ道具創造カード

使用法は、上の句 (前半) のカード (赤) と、下の句 (後半) のカード (青) とを 1 枚ずつ取り、その組み合わせを新しいひみつ道具の名称とし、10 分以内でその絵を描く。実際のワークショップでの実施結果の一例を図 15 に示す。上の句 (前

半)で「自動」という言葉を、下の句(後半)で「銃」という言葉を引いた体験者は、これに「選択」の語を自発的に加え(この辺りのルールは厳格にしすぎないのが良いと考える)、図15に示す「自動選択銃」と言う新しい道具を発想した。これはレストランに行ってメニューからなかなか注文を決められない、という時に、持ち主の気分に合わせてメニューを自動的に選び優柔不断な人を助けてくれるという道具である。絵を描く時間に制限を設けることも重要な点である。事前検証の結果、10分程度が集中できる適度な時間であると看取された。

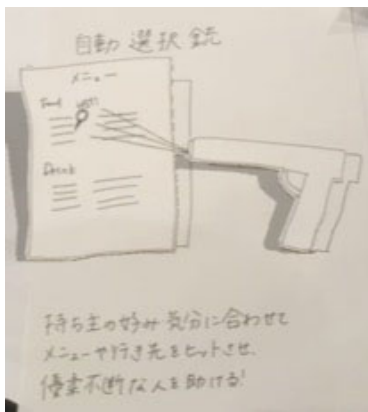


図15 「自動選択銃」

かの生き物(化け物のこともある)が出てくるとし、ストーリーを付与した。

立体マンガは、管見の限り、他にはないユニークな試みだと自負している。

#### 4 ひみつ道具創造カードの有用性検証

2023年1月に品川区民ギャラリーで一般向けに開催した「ひみつ道具展」でワークショップの開催を実施した。3日間で大人から子供まで179名の来場者があったが、そのうちの約1/3がワークショップに参加し、新しいひみつ道具を生み出し有用性の検証が得られた。ただし、ワークショップに参加し急にひみつ道具を描くように言われても中々手が動かないと考え、発想を促し参加しやすくする3つ工夫を取り入れた。

##### ひみつ道具名称頻出語表の作成

図16に示す様に、ひみつ道具カードの元となった「ひみつ道具」の名称に用いられている語の使用頻度を一覧として掲示した。みつ道具の名称自体に関心を持ってもらうと共に、この頻出語からひみつ道具創造カードを作成したという経緯を伝える工夫を施した。

##### 立体マンガ化

発想した新しいひみつ道具の特徴、短所を伝えつつ、オチも付けてマンガ化し、さらにそれを3Dプリントした立体マンガを展示した新しいひみつ道具を考えてみるおもしろさを感じてもらおう動機付けを行なった。

その一例が図17である。筆者のメンバー内で検証実験した際、上の句(前半)と下の句(後半)で偶然にも両方「タマゴ」のカードを引いたことがあった(図14)。そこから「たまごタマゴ」という、割っても割っても中から卵が出てくるというひみつ道具を発想した。この「たまごタマゴ」は最終的には何ら

図16 ひみつ道具名称頻出語表



図17 3Dプリンタで作製した立体マンガ

##### 新しいひみつ道具をAR化してサンプルを放映

発想を促す試みとして、新しいひみつ道具をその場で撮影してプロジェクターで会場の壁面に放映した。その際ARアプリ[11]を利用し、動画化して衆目を集める工夫をした。自分や子

子供が紙に描いたひみつ道具が踊り出す、という驚きと喜びが好評を博した。図18は実際のワークショップで創造された作品である。

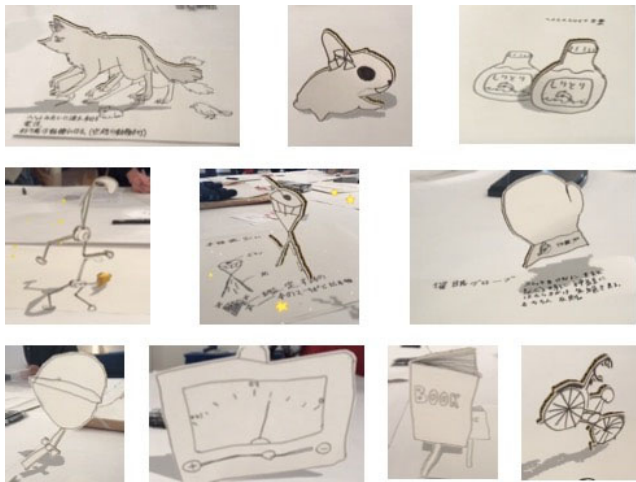


図18 「ひみつ道具創造」ワークショップ作品例

来場者アンケートでもひみつ道具創造発想カードのワークショップが子供から大人まで好評であったことから有用性が証明されたと捉えている。

### 「ひみつ道具創作カード」の有用性の結論

筆者らが開発した「ひみつ道具創作カード」は幼稚園から大人まで幅広い年齢にわたり、かつ自ら楽しみながら、短時間で新しい発想を引き出し、創造性を養う知育道具となりうるという有用性が証明された。またドラえもんは日本だけではなく、世界各国で人気があるため、「ひみつ道具創作カード」は国内のみならず海外においても創造性教育に貢献できるものと考えており、今後の国内外への展開、定着に期待する。

## 5 展覧会実施

この様な作品作製プロセスを経て展覧会を開催した。

会場入り口には、原寸大のドアと原寸大のロボットのダートイモックアップモデルを配置して入場する興味を引く工夫を施した(図19)。



図19 会場入り口風景

また、会場内の中央部に、「ひみつ道具」の創造過程で得られた、3Dプリンターで制作した立体3Dパズルのワークショッ

プ並びに5章で述べた「ひみつ道具創造カード」での新しい秘密道具の創造ワークショップを開催期間中4回開催を計画した。開催期間中は、この計画された4回のほか、来場者の要望にあわせて、不定期にワークショップを行った。この2つのワークショップは、開催された回はすべて満席となり、10代未満から60代までの幅広い年代の方が参加した。



図20 展示会当日の展示会場の様子

### 展覧会実施結果

開催期間中、展覧会は盛況であったが(図20)、反応を評価するため、来場者にアンケート調査への協力をお願いした。今回行ったアンケート内容は以下の通りである(図21)。来場者の179名の内、回収したアンケートは、109枚であった。

「ひみつ道具」展 アンケート

本日はご来場いただき、誠にありがとうございます。今後の研究活動に活かすため、アンケートにぜひご協力をお願いします。(該当する項目に○をつけて、お答えください)

●ご年齢  
 10代以下  20代  30代  40代  50代  60代  70代以上

●ご職業  
 会社員  自営業  教員  パート・アルバイト  
 大学(院)生・専門学校生  小中学生・高校生  その他( )

●本日はどなたと一緒にご来場されましたか  
 ひとりで  友人・同僚と  夫婦・パートナーと  
 子供や孫と  その他の家族と  その他( )

●お住まいのある地域は  
 品川区  品川区以外の東京23区  東京都(23区外)  
 埼玉県・千葉県・神奈川県  その他の地域( )

●この展覧会ほどでお知りになりましたか  
 Web(ページ名: )  SNS(Twitter・Note・その他( ))  
 区民ギャラリーの掲示板・案内をみて  たまたま通りかかって  
 友人・知人の紹介で  AIT関係者  その他( )

●東京都立産業技術大学院大学(AIT)についてご存知でしたか  
 知っていた  知らなかった  AITの学生・修了生である  AIT関係者である

●「ひみつ道具」展をご覧になっていかがでしたか  
 大変よかったです  よかったです  まあまあ  あまりよくなかったです

●気に入った作品があれば教えてください

●そのほかお気づきのことがございましたら、ご自由に記入ください

ご調査ありがとうございます。

図21 アンケート用紙

### 調査結果について

来場者の年齢層であるが77%が大人であり中学生以下が23%の41人であった(図22)。中学生以下の子供が23%も占めたのは、立地に加え、展示入り口での興味を惹かせる工夫が奏功したものと考えられる。

次に来場のきっかけであるが、事前の宣伝もあり友人、知人の紹介が42%であるものの、たまたま通りがかりが22%、SNSが7%、ギャラリーの案内5%、Webが2%と合計37%は一般

の方の来客となった（図 23）。狙い通りの結果となった。

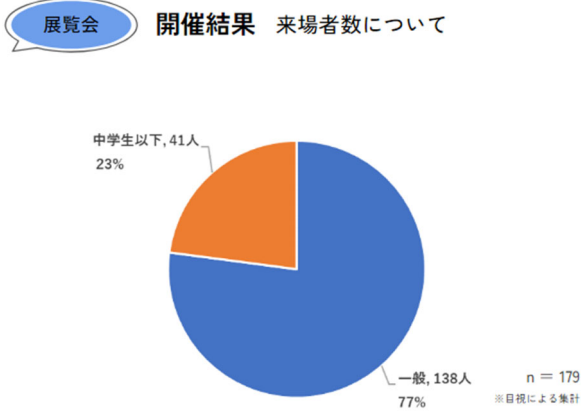


図 22 来場者の年齢層

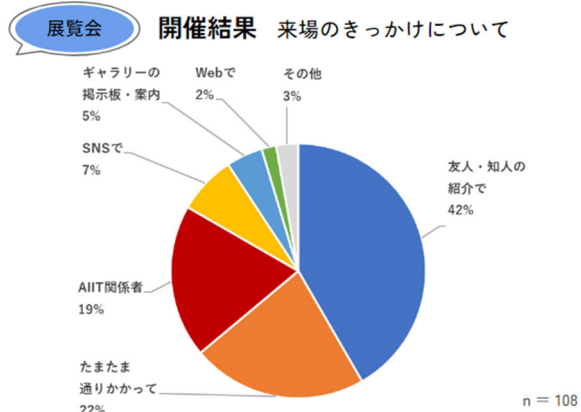


図 23 来場のきっかけ

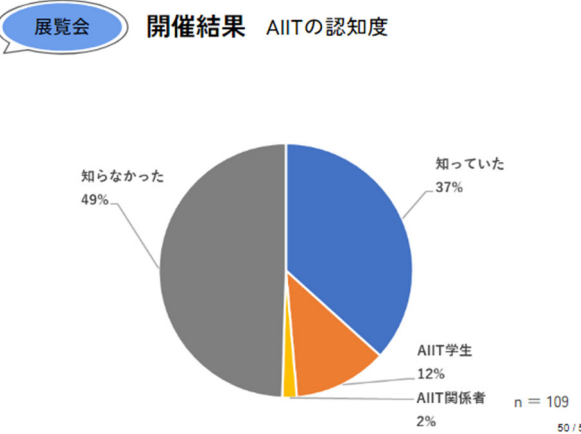


図 24 AIIT の認知度

また、同じ品川区にある本学の認知度もアンケートを実施したところ、37%が知っているとの回答を得た（図 24）。今回は一般の来場者が 8 割いることがわかり、この認知度を基に今回の様な一般解放した展示会を開催するなど更なるアピールをすることが本学の発展につながるという結論を得た。

展覧会全体の評価としては、「大変良かった」「良かった」の項目が 97 人であった（図 25）。一般の来場者が 37%いたことを考えると、一般の来場者にとっても、展覧会の満足度が高い内容になっていたと考えられる。表 3 は、来場のきっかけ別に回答を分析したものである。AIIT 関係者の一部の評価がやや辛めだが、ほとんどの来場者にとって満足のいく展示になっていたと言える。

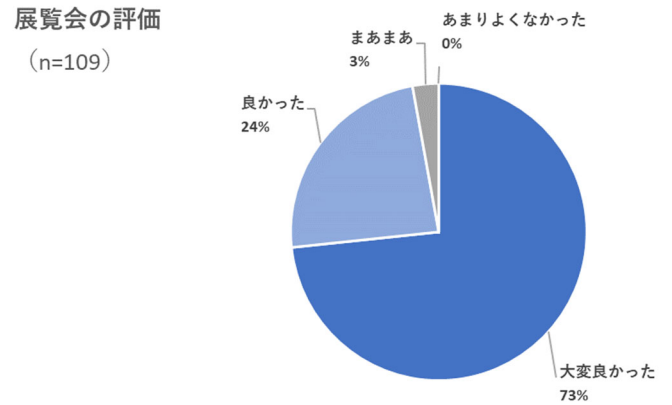


図 25 展覧会の評価

表 3 来場のきっかけ別にみる展覧会の評価

	大変よかった	よかった	まあまあ	あまりよくなかった	総計
web		2			2
SNS		8			8
ギャラリー案内	3	1	1		5
たまたま	13	10			23
友人紹介	35	9			44
AIIT関係者	13	4	2		19
その他	2	1			3
無回答	1				1
<b>総計</b>	<b>77</b>	<b>25</b>	<b>3</b>		<b>105</b>

気になった作品	回答数
DB	13
教室	7
家	4
川崎市	4
ドラえもんロボット	2
ジオラマ	1
カード	8
たまご	4
考える人	2
からくり	11
とと	9
雨	8
マント	5
棒	4
説明	7
紀要	3
目録	9
mogmo	3
スピーカー	2
その他	9
ワークショップ	4

図 26 気になった作品

複数選択式の「気になった作品」では、図 26 のように今回



の展覧会で設定したゾーニングのすべてから、万遍なく挙げられた。来場者にとって、デザインについて何かを考えていただけるきっかけを与えられた展覧会になったものと考えられる。

## 6 まとめ

今回の展覧会は、PT 独自の展覧会を一から企画、準備、実施したものである。今回の展覧会開催により、次回以降の展覧会開催における知見が多く得られたのは、大きな成果であった。この報告が、展覧会を企画・開催および作品作製のヒントになれば幸いである。

## 7 謝辞

本 PT の副担当教員として内山純氏、大久保友幸氏（現在は日本工業大学へ転籍）に通年でご指導を賜った。また、外部レビュアーとして本学名誉の教授國澤好衛氏、海老澤伸樹氏、東京大学の二瓶一裕氏にご助言を賜った。また本学の高嶋晋治氏にも展示内容についてご意見を頂いた。改めて御礼申し上げる。

共同出展者である PT メンバーの吉岡慎一氏、水野二郎氏、槇岡浩二氏に記して感謝申し上げます。

## 参考文献

1. 東京都立産業技術大学院大学 (2020.01.09) 2020 AIIT PBL プロジェクト成果発表会の開催日時及び開催会場のお知らせ. [cited 25 Nov 2023]. Available: <https://aiit.ac.jp/NEWS/notice/20200109.html>
2. 川田誠一 (2021.01.12) 学長からのメッセージ ～令和2年度 AIITPBL 成果発表会の実施方法に関して～. [cited 25 Nov 2023]. Available: <https://aiit.ac.jp/documents/jp/NEWS/important/message20210112.pdf>
3. 吉田多津雄, 吉岡慎一, 宮坂尚吾, 水野二郎, 槇岡浩二, 河上芳朗, 太田敬太, 伊藤潤 (2023) 「ひみつ道具」の社会実装における課題の検討—「タケコプター」を題材として. 東京都立産業技術大学院大学紀要, 16, 117-125
4. 城川俊一 (2018) デザイン思考によるイノベーション. 経済論集, 43(2), 1-16. [cited 25 Nov 2023]. Available: [https://toyo.repo.nii.ac.jp/record/9810/files/keizaironshu43-2\\_1-16.pdf](https://toyo.repo.nii.ac.jp/record/9810/files/keizaironshu43-2_1-16.pdf)
5. シナガワラジオ (2023.1.20) FM しながわ
6. しながわ EYE (2023.02.04) ケーブルテレビ品川
7. 松山史恵 (2015.01.13) “デザイン思考”を当たり前前の習い事に！モノコトシンキング西山恵太さんに聞く「子供の創造力の伸ばし方」. greenz. [cited 25 Nov 2023]. Available: [https://greenz.jp/2015/01/13/design\\_thinking/](https://greenz.jp/2015/01/13/design_thinking/)
8. 藤子・F・不二雄 (2019) ドラえもん. 小学館. てんとう虫コミックス, 0
9. 藤子・F・不二雄 (監) (2008) ドラえもん最新ひみつ道具大事典. 小学館
10. テレビ朝日 (n.d.) ひみつ道具カタログ. [cited 25 Nov 2023]. Available: <https://www.tv-asahi.co.jp/doraemon/tool/>
11. Whatever (2020) らくがき AR. [cited 25 Nov 2023]. Available: <https://whatever.co/ja/work/rakugakiar>



Open Access This article is licensed under CC BY-NC-ND 4.0.  
To view a copy of this license, visit  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

# トラック製品のアーキテクチャ的特性と中国大型トラック市場構造の関連性

Relevance of the architectural characteristics of truck products and the structure of the china heavy truck market

王 中奇<sup>1\*</sup>

Zhongqi Wang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Zhongqi Wang, outyuuki@yahoo.co.jp

**Abstract** Since the beginning of the 21st century, China's truck market has been rapidly expanding, especially for the heavy truck, which now account for 70% of the global market. However, the composition of the Chinese heavy truck market is quite different from that of the passenger car market, creating a situation where national brands dominate. Through an architectural analysis of truck product characteristics, this study clarifies the reasons for the formation of the Chinese heavy truck market and discovers the dualistic structure of the Chinese truck market, a market structure in which price and performance coexist.

**Keywords** heavy truck; china commercial vehicle market; product architecture

## 1 はじめに

21世紀、特に高い成長率を見せてきたのが中国である。その中でも不動産ブームで建設業界は活況を呈し、付随して建機・商用車市場も大きく成長した。その中、特に大型トラック市場は巨大で、2009年から2020年まで11年連続80万台以上を生産し、世界大型トラック市場の70%強を占めている。さらに、パンデミック中でも成長を維持した。2020年、コロナの影響はあるにもかかわらず、1~9月まで中国の大型市場は既に137万台の生産実績を達成した。2019年の中国大型トラックの生産台数は117万台だったので、三四半期まで、前年の生産台数を超えたことになる。ただ、市場構造からみると中国乗用車市場とは違い、所謂外国の車種が大半の市場シェアを占めたのではなく、民族メーカーが95%以上を占めるという独占状態である。

本研究はこのような中国民族メーカーによる大型トラック市場の独占状態が如何に形成されたかについての考察である。ただ、この考察は経営戦略論や経営史からのアプローチではなく、大型トラック製品特性のアーキテクチャ論からのアプローチである。

## 2 アーキテクチャ論とトラック製品

### アーキテクチャ論の定義

アーキテクチャ論は一般的な産業分析手法と違い、製品の設計情報に着目した経営学の論理である。工学の角度から製品の設計や構造特徴を分析し、製品そのものの設計面における特性を確定する。これを出発点とすれば、この製品における企業の競争力から国別産業競争力まで分析が可能であると考えられる。

したがって、製品の設計情報に着眼点を置いたため、アーキテクチャ論を基礎とした産業分類は、伝統的な産業分類と全く異なっているといえる。製品のアーキテクチャで分けた産業分類は産業分析において新しい手段を提供し、これに基づく研究は1990年代から現在まで数多く存在する。例えば、アーキテクチャ論をベースとした情報価値論とはなどが[1]と[2]に挙げられる。経営戦略論には[3]が挙げられる。

これらの研究における共通のベースは製品の設計構想、いわゆる製品のアーキテクチャの定義である。[2]によると、一般的に製品のアーキテクチャとは「どのように製品を構成部品(モジュール)に分割し、そこに製品機能を配分し、それによって必要となる部品間のインターフェース(情報エネルギーを出し入れする結合部分)を如何に設計・調整するかという点に関する基本的な設計構想のこと」である。

製品のアーキテクチャは、図1で表示したように、大きく分けて、インテグラル型、即ち部品間の製品設計を調整し、製品の全体的な機能或いはこの製品にしか出せない機能(例えば、乗用車の乗り心地)を実現するために製品ごとに最適な設計をしなければならないタイプと、モジュラー型、いわば部品のインターフェースを標準化して、既存部品を寄せ集めれば多様な製品ができるタイプの2つがある。例えば、図1の中ではインテグラル型である製品1と製品2は専用の部品で作られ、部品の共通化は図っていない。それと対照的に、モジュラー型である製品2と製品3は共通の部品 $y_1$ を使っている。要するに、インテグラルアーキテクチャ製品の特有性能を出すためには、汎用部品ではなく、改めて専用の部品を開発する必要がある。

さらにいうと、モジュラー型の中にインターフェースを業界の広い範囲で標準化し、企業という範囲を超えて寄せ集め可能なタイプであるオープン・モジュラー型と一社内部で基本設計が完結しているタイプであるクローズ型が存在し、クローズ型の中でも社内共通部品を寄せ集めるようなタイプも存在する。

### アーキテクチャ論とトラック製品

以上のような定義から、製品設計の特徴においてクローズ・インテグラル型、クローズ・モジュラー型、オープン・モジュラー型という三タイプの異なるアーキテクチャに纏めることができる。

簡単に言えばクローズ・インテグラル型製品は、専用の特注設計部品が多いタイプである(例えば、乗用車、オートバイ)。クローズ・モジュラー型製品は社内共通の部品が多いタイプである(典型的な例は標準型の工作機械)。オープン・モジュラー型というタイプのアーキテクチャ製品は、企業のレベルを超えた汎用部品が多いタイプである(自転車・パソコンなど)。

先行研究[2]と[4]では、アーキテクチャ論の基本設計における基礎思想からトラックという製品を分析する際、クローズ・

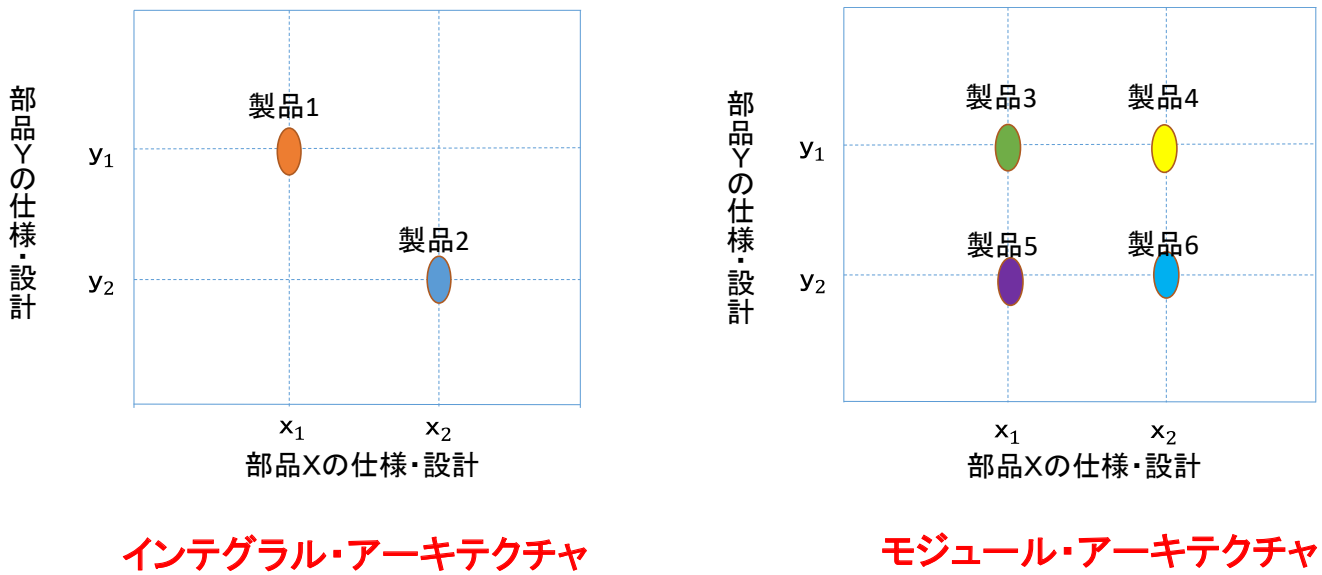


図1 製品アーキテクチャの分類

モジュラー型かオープン・モジュラー型かという点について議論があった。しかし、いずれにしてもモジュラー型という特徴は揺るぎのないような判断である。例えば、[2]では、「自動車は典型的なインテグラル型アーキテクチャ製品であるが、トラックと乗用車の間には設計思想（モノコック・ボディーかフレーム構造か）、部品点数・組み付け点数、個々の部品への要求精度など、その統合度には意外に大きな差がある。」と指摘した。

さらに、[3]では「トラック設計は、ボディ・フレーム分離型の設計で、キャビン、フレーム、エンジン、アクスルなどが比較的機能完結的、つまり比較的クローズ・モジュラー寄りである。」とし、「自動車の場合、大雑把に言えば、セダン系のモノコック・ボディー車はインテグラル型アーキテクチャ寄り、トラック系のボディ・オン・フレーム車はモジュラー型アーキテクチャ寄りである。後者はフレームで強度を保証することによって、ボディーの構造を単純化することを可能にしており、このボディーを着せ替え人形のように変えることによって、多様な製品展開を行い、また顧客の目先を変えるマーケティングが活きている。」と指摘した。

先行研究における共通の論点を議論する前に、一つ重要な概念を語るべきであると考え。多くの研究でトラックという製品を語る際、架装メーカーとトラックメーカーを混同して議論するケースが多く存在する。例えば、[7]では、中国建機メーカーである三一重工のブランド戦略を論じる際に、建機の牽引のトラック部分に三一重工も設計に加えたと言ったが、実際にはトラック部分の開発は完全にトラックメーカーの単独開発である。しかし、トラックメーカーの守備範囲はあくまでも牽引する部分の設計・開発・生産（ごく僅かなメーカーはダンプトラック・ミキサー車・クレーン車までの開発にも携わっている）までだった。トラック製品における多様性の実現には、架装メーカーのはたした役割が大きい。一般的に見られる平ボディ

ー・バン・ダンプ・クレーン・特殊運送車・トレーラーなど所謂架装部分は、基本的にいすゞ車体・タダノ・三一重工・音翼のような架装メーカーや専用メーカーが開発および生産している。

先行研究をまとめて見ると、トラック（商用車）製品は乗用車のように部品と機能が一對一という明瞭な対応をしていない複雑かつ有機的に繋がる設計ではなく、各部品間の連動的な設計が少ないため、部品間の相互依存性が低いとされている。

しかし、このような分析には一つ大きな欠点が現れる。それはトラックの商用特性の度外視である。

トラックはトン数から小・中・大と分けられる。したがってこの3種類のトラックはすべてモジュラー型なのか。次の節で詳しく分析する。

### 現代トラックの車両規格による分類と使用特徴

トラック製品は、専用の架装車を除けば外観では乗用車のように個性がなく、サイズが違っても基本設計が類似であるように見える。しかし、トラック製品は車両の規格から分類され、各クラスの商品間の使用特徴は大きく異なってくる。

したがって、使用特徴の区別に応じ、設計や構造は大きく変わる。

これからの分析では車両規格からトラックを分類し、各クラスのトラック製品の設計特徴や相違点を説明する。

表1から確認できるように、トラックの分類は各国の法律やルールによって違うが、基本的に車両総重量から小型・中型・大型に分類できる。そのうち、日本の中型トラックは、EU、アメリカ、中国の小型の分類に入る。日本の大型トラックは本論文の研究対象である中大型トラックに含まれる。

一見トン（トン）数だけの差異に見えるが、実際小型トラックと中型トラック及び大型トラックはものを運ぶ時、物流の形

表1 トラックの分類

アメリカ	I級	II級	III級	IV級	V級	VI級	VIII級	VIII級
	小型		中型				大型	
GCW	3 t < GCW	5 t < GCW	7 t < GCW	8 t < GCW	10 t < GCW	13.5 t < GCW	16.5 t < GCW	GCW ≥ 16.5 t
欧州	N1		N2			N3		
	小型		中型			大型		
GCW	6 t < GCW		6 t ≤ GCW < 12 t			12 t ≤ GCW < 40 t		
日本	小型		中型			大型		
GCW	3 t < GCW		3 t ≤ GCW < 8 t			8 t ≤ GCW < 25 t		
中国	軽型		小型		中型		重型	
GCW	1.8 t < GCW		1.8 t ≤ GCW < 6 t		6 t ≤ GCW < 14 t		14 t ≤ GCW < 55 t	

態が大きく違うのである。使用特徴から見ると、①積載量、②運送距離の二点の区別がある。

① 積載量

小型トラックの積載量は3トンまでである。しかし、中大型になると、制限が厳しい日本でも5トンから8トン以上になる。つまり、単純計算でも2倍以上になる。このような積載量の区別から、トラックに関する一つの重要な課題が生じる。基本的に貨物を積載した時と空荷で走行する時の運動性能の差異が生じる。積載量が多くなればなるほど、運動性能の差が大きくなり、駆動輪への影響も無視できなくなり、乗り心地や走行安定性も大きく変化する。小型の方はあまり影響が出ないが、中大型になると、性能の変化は一段激しくなる。その運動性能の差を如何に減少するのかがトラックメーカーの大きな課題である。

もう一つ積載量と関わるのは Quality utilization coefficient である。Quality utilization coefficient は GCW / 車両重量で示される。GCW は車両総重量の意味である。いわゆる、自動車などにおいて最大定員が乗車し、最大積載量の荷物を積んだ状態の自動車全体の総重量のことである。頭文字を取って GCW (Gross Combination Weight) ともいう。

この指数はトラックの部品、設計、車体構造の適正度合い及び使用材料と大きく関連する。トラックの設計水準や製造水準などはこの指数からあらわれる。一般的にこの指数が大きくなればなるほど、製品の製造と設計が難しくなる。

小型トラックの Quality utilization coefficient は基本的に 1 : 1 である。しかし、中大型になると、一般的に 2 : 1 以上になり、大型になると、3 : 1 が普通である。具体的に言うと、ヨーロッパ連盟と中国のトラックの分類は 3 級に分けられ、トン数の区分もほぼ同じである。中国の大型トラックの GCW は最大 55 トンまでで、ヨーロッパ連盟は 40 トンまでとなる。そのため、平均 9 トンから 12 トンの車両重量になると、中国は約 5 : 1、ヨーロッパ連盟は約 4.5 : 1 になる。アメリカのトラック

は 8 級分類式であるが、中型トラックの GCW は 14 トンまで、大型の GCW は最大 36 トンまでであるため、大型の指数は約 3 : 1 になる。

② 運送距離

小型トラックと中大型トラックのもう一つの大きな使用区別は運送距離（一回の平均運送距離とトータル使用距離）である。小型トラックの運送は短距離中心であるのに対して、中大型は長距離運送がメインとなる。一般的に中大型トラックの寿命内でのキロ数は 100 万 km 前後になり、中国やインドのような発展途上国になると、200 万 km のような数値もおかしくないとされている。それに対して、小型トラックは平均的に 40 万 km とされている。このような運送距離の区別から、中大型トラックは小型トラックより頑丈に設計するのが前提条件であり、さらに乗り心地を良くして、如何に運転手の疲労を軽減させ、楽に操作できるかということが求められる。従って、快適性、安全性など多機能を実現することが大型トラックにとっては、重要な課題となる。しかし、小型トラックには、そこまで重視されていない要素である。

したがって、中大型トラックのような特有の使用用途を満足するためには各モジュラー（部品）のみで実現するのは不可能である。多くの機能を実現し、ユーザーのニーズを満足させるためには、車体全体の各部品間のすり合わせ（安全性能、事故防止）、或いは局面の各部品間のすり合わせ（燃費、多道路状況、性能変化の調整）を通して達成している。一部（動力性、燃費）の性能を満足するために製品設計面において乗用車以上にコア部品間のすり合わせが要求される。

中大型トラックの設計特徴から、優れた性能を持つ製品を作るために、技術開発力或いは強いグローバル競争力を持つトラックメーカーは中大型トラックのコア部品を大体内製する。特に、エンジン、トランスミッション、アクスル、電子制御システムにおいて、自社或いは関連会社の中で開発・製造を一貫して行うとした。同じ会社の製品、フルモデルチェンジの時、新

製品のための特殊設計は60%以上になる。さらに、同じ時期、同じ会社で開発された同トン位の製品だが、車両用途によってコア部品も独立に開発されたケースも多く存在している。例えば、ベンツのActrosとAxorシリーズの大型トラックはほぼ同じ年で開発されたが、Axorの方は消防車の牽引車としての用途もあるため、都市部での使用が多くなるという前提で開発された。それによって噪音への配慮や地面への圧力などのことも設計の要素として考えられ、同じ時期で開発された車種なのに、動力システムに適したエンジンやトランスミッション、サスペンションシステムに関わる部品もすべて別々に開発された。

上記の分析から中大型トラックは、長距離運送とより多い積載量という二つの使用特徴から、小型トラックと製品設計、いわば製品アーキテクチャ的に大きな区別があり、製品設計理念から「インテグラルアーキテクチャ」であることが明らかにされた。

アーキテクチャ論からトラックという製品の分析を明らかにし、次章で冒頭部分の問題への解析を行う。

### 3 中国大型トラック市場の二重構造

第二章で論述したように、大型トラックはインテグラルアーキテクチャ製品であるため、メーカーに高い統合的な製品設計能力（部品間の最適設計能力）が要求される。しかし、前述したように少なくとも中国の国内市場においては乗用車市場のように外国メーカーがシェアの大半を占めることに対して、外国の中大型トラックメーカー（いすゞ、日野、VOLVO、ベンツなど）は中国の僅かな市場しか獲得できていなかった。インテグラルアーキテクチャ製品において外国メーカーの技術優位性はなぜ中国の大型トラック市場では反映できなかったのか。[5]と[6]の解釈はトラックというモジュラー設計の製品性質から立地論の角度で中国企業の得意な製品ジャンルに帰納したが、それは大きな誤解である。実際、この現象は中国市場における二重構造という特有の市場構造と大きな関連性がある。この章ではこの市場特徴の内容と形成要因を説明する。

実際に、中国中大型トラック市場における二重構造の形成要因は主に二つある。

- ① 商用車の製品性質
- ② 中国中大型トラックにおける多層化顧客構成。

それでは、この二つの形成要因から中国中大型トラック市場の二重構造の特徴と形成過程を説明する。

中大型トラックはインテグラルアーキテクチャ製品であるが、商用車の範囲に入る。商用車の購入は乗用車のような個人嗜好に多く作用されることよりも、B-B製品であるため経済性も配慮しなければならないが故に、価格も一つの重要な購入判断基準となる。特に中国では一時期価格要素が性能要素よりはるかに重視されていた。

現在、中国の中大型トラックの新車ユーザーの80%は個人物流経営者で、残り20%は政府、公的用车になる。中国のメーカーはこちらの購入者を散戸と呼び、またこれら散戸の大半は農民出身者である。散戸にとって、価格は非常に重要な判断基

準になる。

散戸の形成は1990年代に遡ることができる。当時沿海地域の工業化により、多くの農民の耕地は工業用地として強制的に徴収された。政府の補助金を持つ多くの農民は商品経済の潮に飲み込まれ、自営業者になった。「走運送」は当時の農民において最も多い選択であった。[8]によれば、「最初の中大型トラックの個人ユーザーは多くが農民だった。彼らは原始的蓄積がなく、トラック一台を買って早く金持ちになることが夢であった。さらに、運送業界の参入障壁は低く、営業証も要らない。B型運転免許があれば入れる。」と指摘した。

しかし、当時の大型トラックの市場価格は最低でも20万人民币前後であった。この価格は普通の農民の平均年収の200倍になる。さらに、購入後の資金回収が非常に難しく、中大型トラックはよい選択とは言えなかった。当時中国のインフラ整備は進んでいなかったため、物流は基本的に短距離運送にしたが、重量オーバーは普通であり、小型では非常にかなわなかった。一汽と二汽のような小型と中型トラックの製品（GVW9トンクラス）をメインとしていたメーカーは、この市場ニーズから中重トラックという製品を市場に出した。

これらの製品は名目からみると中重トラックといえるが、内実は世界標準の中重型とは程遠い製品であった。これらの製品の価格は5万人民币から10万人民币の間で、荷台のホイールは日産ディーゼルの技術をコピーし、重量オーバーに耐える荷台の設計をした。しかし、動力システムは5トン車のままで、キャビンも当時の市場ニーズに合わせて内装、振動機能を省略した製品であった。そのため、性能面では問題があり、故障が頻発した。有名なエピソードであるが、あるメーカーのダンプカーは急な勾配の坂が登坂できないため、坂を避ける道を選ぶしかなかったという。

ところが、こちらの商品の最大の特徴は極端な低価格であり、農民たちにとって8万人民币があれば買えたため、すぐ運送業に入ることができた。当時の中国運送業は世界と比べるとまだ短距離運送をメインとしていた時代で、インフラ整備が進んでいた大都市や中小都市では製品性能が悪くても、それなりに走れば特に問題はなかった。1995年から2000年の間、これらの商品は中大型トラック市場において90%のシェアを占めた。すなわち、1990年代から2000年代初頭における中大型トラック市場は完全な価格重視のローエンド市場であった。

この時期において、外国メーカーは中国に一度参入（北方ベンツ、陝西VOLVOなど）したにもかかわらず、市場シェアを獲得することなく、一部の部品メーカーしか中国に残らなかった。重汽のような大型トラック製品をメインとしたメーカーも倒産にまで追い込まれた。中国商用車市場の基本構造（現地メーカーの独占）もこの時期に形成された。しかし、「20世紀に入ると、国家のインフラ整備における大規模な投資により高速道路のキロ数は大幅に伸び、全社会の道路貨物運送量は大幅に上昇した。不動産産業の著しい成長とともに、最大積載量15トン以上の大型トラック、ダンプカー、25トンのトラクターなどの車種は爆発的に売れた。トラック市場における大型化構造は形成され、重汽のような大型トラックメーカーは長いトンネルを通り、やっと全面発展時期に入った。」といわれる。

この時期において、中国の中大型トラック市場の最大の変化は、低価格単一構造から価格と性能二重構造に変わったことである。一代目の沿海地域出身の運送業者はある程度の資金蓄積ができ、事業拡大する時に性能、燃費ともに優れる大型トラックを選ぶのが一般的であった。それに対して、運送業に入ったばかりの内陸地域、東北地域の個人経営者は以前と同じく価格を重視した低価格車種を選ぶ。このような市場構造から、一汽・二汽・北京福田のような価格を武器としたメーカーでも、性能、燃費重視とした中国重汽・四川汽車でも一定の市場シェアが確保できた。

## 4 まとめ

2005年から中国の中大型トラック市場は世界全体市場の約7割強を占めた。外国メーカーは再度中国に参入しようとする動きがあったが、乗用車市場と異なり、商用車市場は完全なる国内メーカーの独占市場であった。各メーカーはある程度の製品イメージをユーザーの頭の中に刻みこんでおり、また地方政府の産業保護政策もあり、外国メーカーの再参入も順調に行われなかったのは事実である。現在において調達先としての外国部品メーカーは健闘しているが、製品メーカーとして外国大型トラックはいずれも苦戦している。このような現地メーカーの主導的且つ二重構造（価格と性能）の市場特徴を持っている中大型トラックの市場構造は、他の国では見られない状況である。この市場構造の形成は中国特有の経済発展の歴史や特有のユーザーと顕密に繋がっている。従って、この市場構造の下では、例えば、中大型トラックがインテグラルアーキテクチャ製品であっても、低価格を武器とした「奪胎換骨」製品は依然として膨大な市場ニーズがある。（[9]では中国のオートバイ産業の分析から賄い部品の使用などを通じ、本来のインテグラルアーキテクチャ製品であるオートバイ製品をモジュール製品に変換させたことを奪胎換骨と名付けした。）

しかし、このような製品の活躍は現時点の中国市場のみで成功するので、国際的な競争力はほとんどないのが実情である。グローバル市場における中大型トラック競争力は依然として、優れた性能を持つ商品であることが間違いないであろう。さらにいうと、中国市場は今後変化する可能性は十分ある。2017年から新たな交通法が頒布されることによって、トレーラーや架装車の全長が制限され、トラクターと大型トラックの排ガス排出量も厳格となるため、中大型トラックの設計に大きな影響を及ぼすと考えられる。今後の中国大型トラック市場でも、先進国のように性能重視に変わると予想できる。したがって、すり合わせ能力をはじめとした製品開発能力を持っていない中国地元メーカー（第一汽車、第二汽車）にとって正念場を迎えるのではないかと筆者は考えている。

さらに、2022年から中国の商用車市場では外資の単独出資が法律で認められたことによって、技術漏洩のリスクを回避できる外資メーカーも本気で中国大型トラック市場に進出できるようになり、中国大型トラック市場の競争は一層激しくなった。そのような状況下において、市場構造が大きく変わる可能性は十分ありうる。これから中国の大型トラック市場を継続し

て注目する必要がある。

## 5 謝辞

本論文は、令和5年度の東京都立産業技術大学院大学の傾斜的研究費（若手）と所属研究グループの基盤研究（B）18H00898で実施された2023年夏の中国企業調査のデータに基づいてまとめたものである。

夏の大規模な企業調査を遂行するにあたり、中国長春市、延吉市の市政府の要員たちに自動車企業の紹介のみならず、中国自動車産業の発展歴史の伝授、特に第一汽車の見学を許可いただき、調査に協力をいただいた。ご協力いただいた関係各位に篤く御礼を申し上げます。

## 参考文献

1. K. Clark. and. Fujimoto, Product Development Performance, Harvard Business School Press; 1991.
2. 伊藤薫,中国産業のアーキテクチャ特性と我が国空洞化論の関係,藤本隆宏・新宅純二郎編著,中国製造業のアーキテクチャ分析,東洋経済社; 2005,pp.2-26.
3. 武石彰・青島矢一・藤本隆宏,ビジネス・アーキテクチャ,有義閣; 2002.
4. 藤本隆宏,能力構築競争,中公新書; 2003.
5. 藤本隆宏 RIIETI Discussion Paper Series 02-J-008,製品アーキテクチャの概念・測定・戦略に関するノート,2002.
6. 藤本隆宏・新宅純二郎編著,中国製造業のアーキテクチャ分析,東洋経済新報社;2005.
7. 陳晋,中国トップメーカー三一重工の成長戦略,産業学会年報 No29,pp.91-102.
8. 柯昌達,中国中重型卡車技術発展 30 年回顧,市場週刊 第 1 期;2009,pp32-46.
9. 葛東昇・藤本隆宏,擬似オープン・アーキテクチャと技術的ロックイン:中国オートバイ産業の事例から,藤本隆宏・新宅純二郎編著,中国製造業のアーキテクチャ分析,東洋経済社;2005,pp.48-76.

# システム開発企業における社内教育の調査

Survey of in-house education in IT system vendors

木下 修司<sup>1\*</sup> 奥野 康二<sup>2</sup>

Shuji Kinoshita<sup>1\*</sup> Koji Okuno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>個人事業主 Freelancer

\*Corresponding author: Shuji Kinoshita, kinoshita-shuji@aait.ac.jp

**Abstract** This paper summarizes the results of a questionnaire survey on internal training conducted by the authors in February 2023 for IT system vendors in Japan. The survey results have been statistically processed to exclude information that could identify specific companies. It is clear that many companies are aware of the challenges they face in both new employee training and subsequent employee training.

**Keywords** in-house education; IT education

## 1 はじめに

本論文は、2023年2月に著者らが日本国内のITシステム開発企業向けに実施した、社内教育に関するアンケート調査の結果をまとめたものである。アンケート結果は統計的に処理し、特定の企業が識別できる情報を除いたものになっている。新人教育、その後の社員教育いずれについても課題を認識している企業が多いことが明らかになった。

## 2 調査の概要

### 調査に利用した情報

アンケートの対象とする企業は、日本全国から「業務系のシステム開発を自社にて実施している企業」であり、「従業員数が100人~300人ほどを中心」とすることとした。企業が公開している情報を取り纏めて第三者へ有料で提供している名簿提供会社があることから、この中から今回の調査に最適な名簿提供会社を選定することとした。複数社を選び、所持している企業数の多さ、データ種の多さ、そして今回対象とする企業の検索が可能であること、及びその対価からBaseconnect社が提供するWebサービス「Musubu」[1]を採用した。

### 調査対象企業及びその選定方法

どの程度の数の企業が該当するかのデータを持ち合わせていないことから、まず従業員100人~200人規模の会社から始めた。Musubuではシステム開発企業が1,300社ほどであったが、ここには商社等も含まれているためそれらを除外する必要があり、1社ごとに個別調査が必要である。一括で目的とする

企業の情報を得ることはできない。更に従業員200人~300人を調査し、ここまでで850社ほどを選んだ。

概数が見えてきたことから更に対象企業を増やすこととし、全体で従業員50人~500人規模へ広げることとした。ここで、企業の選別基準を明文化して一貫性を保つようにした。基準は以下のとおりである。

- スクラッチからITシステムを構築する従業員数が50人以上500人未満の企業。
- 顧客の要求に応じてシステムを構築する。
- 対応する業界が狭くとも可とする。
- パッケージの組合せのみで対応する企業は除外する。但し、自社開発パッケージであれば可とする。
- 標準のシステムがあり、それをカスタマイズ可としていても除外する。
- グループ内に閉じている企業は大企業の一部と同一なので除外する。
- 先進的なIT企業であっても上記を満たしていない場合は除外する。
- 自らSI企業と謳っていても上記を満たしていない場合は除外する。

合計は、Musubu上での「システム開発業界」「システム受託開発業界」の企業検索数4,654社（2023年2月25日現在4,349社）から、上記の基準に該当する企業は1,322社であった。約3割となる。これらの企業のうち、メールアドレスを公開している企業は半数にも満たず、アンケートの手段は郵便となった。選定の過程は表1のとおり。

表1 調査対象の企業の抽出方法と、抽出結果のまとめ

従業員数	取得方法と時期	対象件数	取得数	割合	精査方法と時期	SI該当数	割合
50-100	概要情報のみで判断 2022年6-7月	2,038	873	0.43	詳細情報と会社サイトで判断 2022年7-8月	583	0.29
100-200	概要情報と会社サイトで判断 2022年1-2月	1,750	630	0.36	詳細情報と会社サイトで判断 2022年8-9月	466	0.27
200-300	概要情報と一部会社サイトで判断 2022年2月	502	222	0.44	詳細情報と会社サイトで判断 2022年8月	165	0.33
300-500	概要情報のみで判断 2022年7月	364	127	0.35	詳細情報と会社サイトで判断 2022年8月	108	0.30
合計		4,654	1,852	0.40		1,322	0.28

### 3 調査結果

アンケートは郵便（ダイレクトメール）で上記の約1,300社に対して送付し、回答は記載のURLもしくはQRコードからGoogle Formにより求めた。回答に対しては500円相当のAmazonギフトをインセンティブとして設けた。2023年2月初頭にダイレクトメールを印刷・送付し、2月末までを回答期間とした。途中、回答数を増やすために、Musubuにてメールアドレスを開示している企業には追加でメールによる告知を実施した。結果、34社から回答を受領した。

1,300社に送付して34社回答なので、回答率は2.6%程度であった。これは、同種のアンケート（一般財団法人関西情報センターが実施した[2]やIPAによる[3]）の回答率が10%以上であることに比べるとかなり低かった。この原因は、本学（東京都立産業技術大学院大学）の知名度、公的な機関が実施するアンケートか否か、などによると思われる。

本章の以下の部分は、回答結果の概要を回答企業向けの返信としてまとめたものである。（企業向けアンケートをそのまま抜粋するため、質問文は敬体となっている）

#### 3.1 新入社員に対する技術研修について

##### 内製比率

御社の業務における、システム開発の製造工程（おおむね、詳細設計～実装～テスト部分を指します）の内製比率はどの程度でしょうか。以下（1は0%～5は100%）より最も近いものをお選びください。

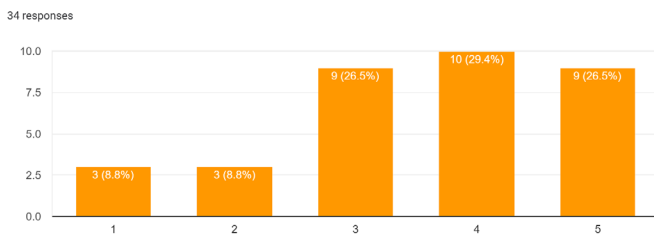


図 1

【結果概要】内製比率が高い（5が100%）企業から多くのアンケート結果を受領した。

##### 新人研修の実施

御社では、新入社員に対する技術研修を実施しているでしょうか。

34 responses

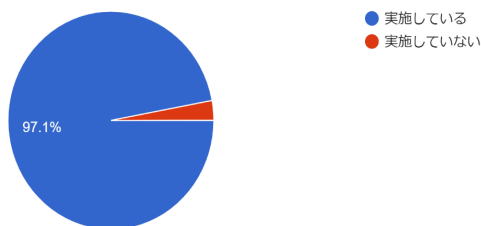


図 2

【結果概要】1社（準備中）を除いて実施しているとの回答で

あった。

##### 入社前に必要とする知識等

新入社員に対して、入社前に必要な知識・技量として要求しているものがあれば、以下より選択ください。（複数選択可）

- 入社試験において、プログラミングの技量を問う設問がある
- 入社試験において、システム開発の知識を問う設問がある
- 内定後、IPA(情報処理推進機構)の情報処理技術者試験の特定資格の取得を推奨もしくは必須としている
- 内定後、IPA以外の機関の資格取得を推奨もしくは必須としている
- 内定後、動画サービス等での学習を提供している
- その他

28 responses

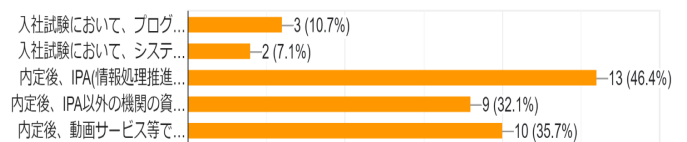


図 3

【結果概要】IPAの資格取得を推奨・必須としている企業が比較的多数であった。

##### 情報系学生の比率

御社で技術研修を受講する新入社員のうち、入社前に情報科学・システム開発等の分野を大学・専門学校等で専攻した方の割合はどの程度でしょうか。最も近いものを以下（1は0%～5は100%）より選択ください。

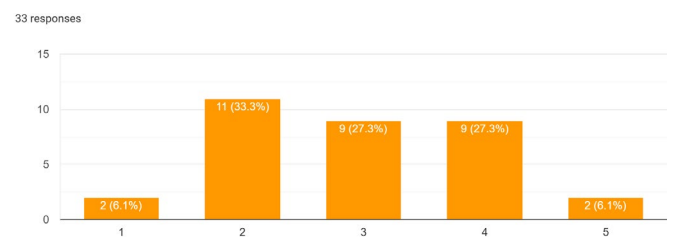


図 4

【結果概要】半数前後の学生が情報系の専攻である企業が多数であった。

##### 技術研修の時期

技術研修の実施時期はいつでしょうか。（複数選択可）

33 responses

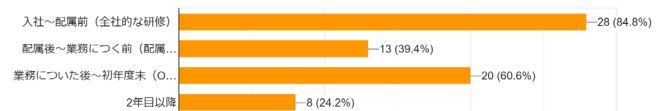


図 5

【結果概要】配属前の全社研修+OJTの割合が多数であった。上記にないその他の意見では、「随時」「専門の教育機関にて受



講」といったものもあった。

### 技術研修の期間

新入社員に対する技術研修の期間はどれほどでしょうか。  
33 responses

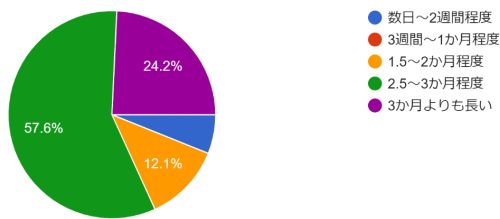


図 6

【結果概要】3か月程度の企業が多数であった。それ以上、という企業も一定数ありました。これは、OJT 期間等を考慮したものと思われる。

### 技術研修の形態

新入社員に対する技術研修の形態について、御社で実施しているものを選択してください。(複数選択可)

- 指定されたテキストによる自習+問題演習
- 社員による講義
- 外部機関の講師による講義
- オンラインの動画サービスなどの視聴
- チームによる疑似的なプロジェクト形式の開発実習
- 業務分野の技術知識の講義
- 配属後のOJT研修
- その他

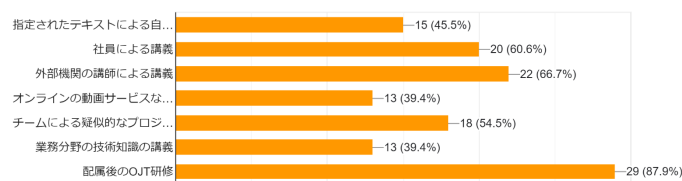


図 7

【結果概要】OJT研修を行っている企業が多数であった。それ以外は回答が分かれた。

### プログラミング言語

新入社員に対する技術研修において、教育を実施しているプログラミング言語は何でしょうか。(複数選択可)

33 responses

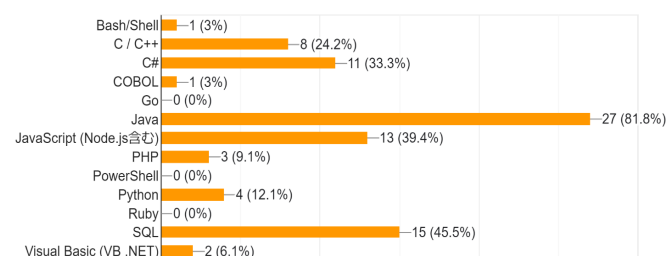


図 8

【結果概要】Java/SQL/JavaScript/C#の順であった。概ねサーバ

側言語として Java/C#の選択肢が多いことが見てとれた。

### システム開発の知識教育

新入社員に対する技術研修において実施している、特定の言語に限定されないシステム開発の知識・技法の教育についてお尋ねします。システム開発における技術キーワードを以下に挙げました。これらの各キーワードに対して、「御社として必要としているか」「必要な場合、どの程度新人に教育を実施しているか」の2つの観点から、回答を選択ください。

- ネットワーク
- データベース
- 情報セキュリティ
- 組込みシステム開発
- インフラ設計 (クラウドサービスの利用・運用含む)
- 画面設計 (UI/UX デザイン)
- Git 等を用いたソースコードの版管理
- 各種テスト手法

また、回答は以下からの択一であった。

- 不要
- 将来的に必要なだが、今は不要
- 今必要だが、教育できていない
- 今必要で、教育を一部実施している
- 今必要で、教育を重点的に実施している
- わからない

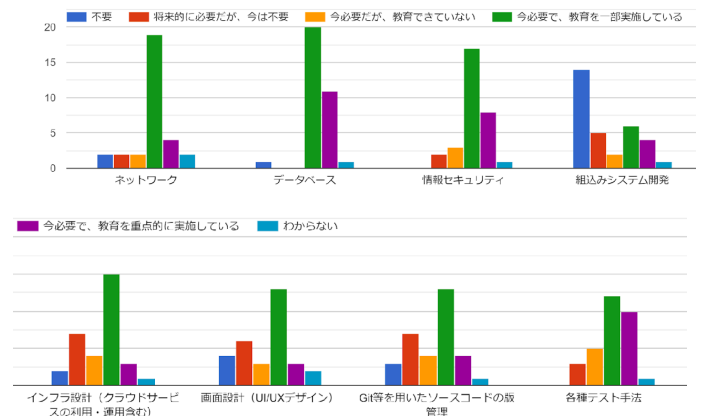


図 9

【結果概要】ネットワーク、データベースをはじめ全般的に多くの分野で「教育を一部実施している」との回答があった。「今必要だが、教育できていない」については、「各種テスト手法」にもっとも多くの回答があった(5社)。

### 技術研修の量と質

新入社員に対する技術研修について、その量は十分であると感じていますか。1~5の5段階で回答ください。

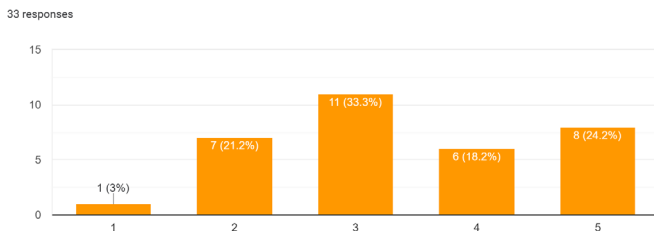


図 10

新入社員に対する技術研修について、その質は十分であると感じていますか。1～5の5段階で回答ください。

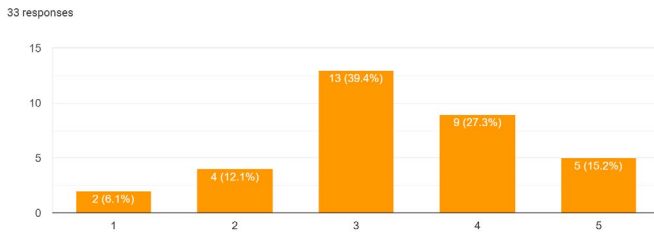


図 11

【結果概要】質に比べて、量がやや不足していると回答した企業が多かった。

### 3.2 社員全体に対する技術研修について

#### 資格の奨励

資格取得の奨励制度についてお尋ねします。IPA（情報処理推進機構）の情報処理技術者試験や、その他の機関の資格取得を奨励する制度について、御社で実施しているものがありますか。（複数選択可）

- 学習のためのテキスト代を補助している
- 資格取得者に一時金を支給している
- 資格取得者の月額給与に手当として加算している
- 社内で資格取得のための講座・勉強会を開催している
- 入社時や、昇進時に特定の資格取得を要件としている

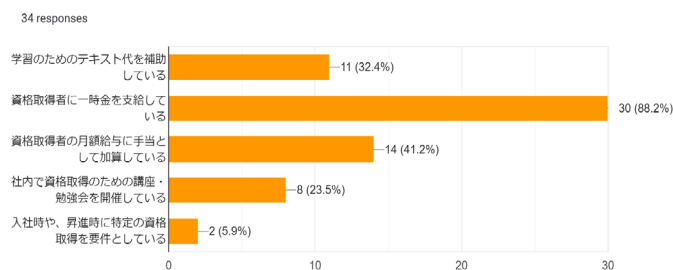


図 12

【結果概要】資格取得者への一時金支給を行っている企業が多数であった。

#### 技術研修の形態

社員全体に対する技術研修の形態について、御社で実施しているものを選択してください。（複数選択可）

- 指定されたテキストによる自習+問題演習

- 社員による講義
- 外部機関の講師による講義
- オンラインの動画サービスなどの視聴
- チームによる疑似的なプロジェクト形式の開発実習
- 業務分野の技術知識の講義
- その他

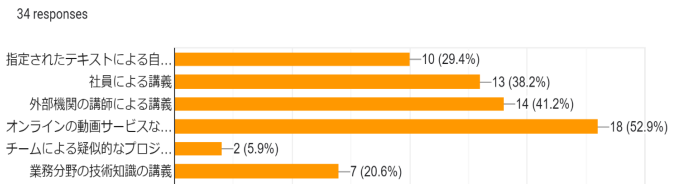


図 13

【結果概要】オンライン動画サービスの視聴を実施している企業が最も多い結果となった。その他の回答にて「実施していない」という企業も一定数あった。

#### 技術研修の量と質

社員全体に対する技術研修について、その量は十分であると感じていますか。1～5の5段階で回答ください。

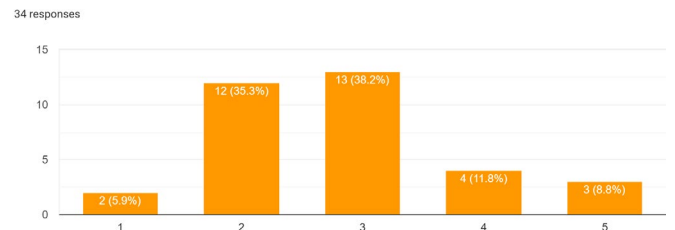


図 14

社員全体に対する技術研修について、その質は十分であると感じていますか。1～5の5段階で回答ください。

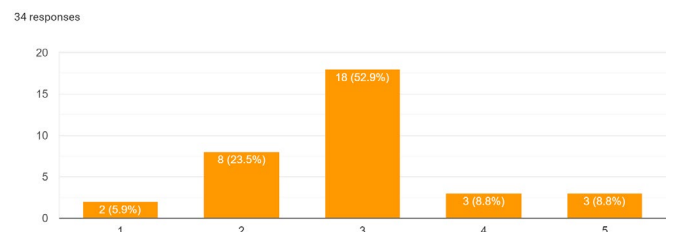


図 15

【結果概要】新人研修と比べて、その量が不足していると回答した企業が多数であった。

#### 新しい技術分野

新しい技術分野についての御社での必要性や、その教育状況についてお尋ねします。システム開発における近年のトレンドである技術キーワードを以下に挙げました。これらの各キーワードに対して、「御社として必要としているか」「必要な場合、どの程度教育を実施しているか」の2つの観点から、回答を選択ください。

- アジャイル開発型のマネジメント（スクラム等）
- テスト等の自動化（CI/CD、DevOps等）

- コンテナ仮想化技術 (Docker 等)
- UML/SysML 等によるモデル駆動開発
- UI/UX デザイン
- ゼロトラスト等の新しいセキュリティ技術
- AI の活用 (機械学習等)
- データサイエンス (データ解析・分析)
- クラウドサービス (AWS 等) の活用
- RPA による自動化

(回答の択一は 3.1 節 システム開発の知識教育に同じ)

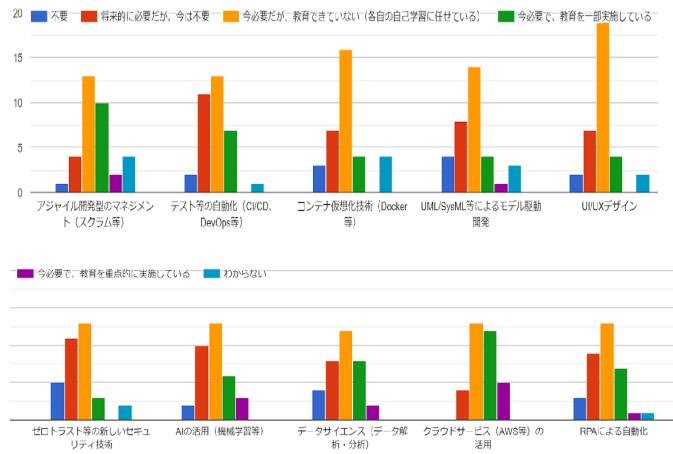


図 16

【結果概要】 「今必要だが、教育できていない」という回答が新人研修の項目に比べて多数であった。特に「UI/UX デザイン」(19)、コンテナ仮想化技術 (16) といった項目が回答多数であった。

一方、一部企業では「アジャイル開発」「テスト自動化」「クラウドサービスの活用」といった分野の教育に取り組んでいることも明らかになった。

### 3.3 社内の技術研修全般に関する課題・要望等

社内の技術研修全般に関して、課題とお考えのことは何でしょうか。(複数選択可)

- 新技術への対応ができていない。
- 社内に講師を担当する適任者がいない。
- 社内講師あるいは担当者の研修の時間の確保ができない。
- 研修は経済的に無理がある。
- 特に課題はない
- その他

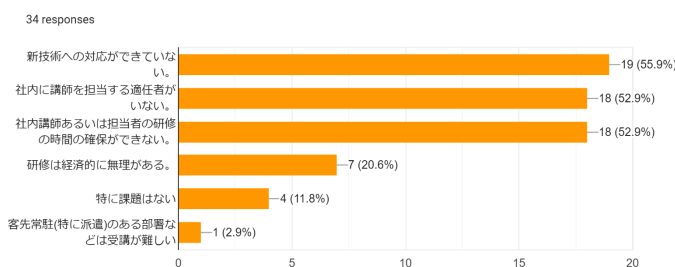


図 17

【結果概要】過半数の企業で「新技術への対応ができていない」という回答であった。また、講師等選定の難しさも明らかになった。

## 4 まとめ

本調査は、得られた回答数が必ずしも十分ではなく、定量的な評価が難しいものとなった一方で、回答した企業には個別の課題があることも明らかになった。実際、アンケート後に回答企業に個別に連絡したことで、ある企業 1 社からは、社内の課題についてヒアリングすることもできた。このような個別企業の課題を定性的に調査することに加えて、公的な機関と連携して類似のアンケートを実施することで、回答率を上昇させ、定量的な評価を実施することも検討している。

## 参考文献

1. Baseconnect 株式会社, Musubu (ムスブ) - 法人営業の新規開拓を支援するクラウド型企業情報データベース. Available: <https://musubu.in/>
2. 布施匡章. IT 人材育成に関する考察. 近畿大学 商経学叢. 2013;169: 511-522. Available: <https://kindai.repo.nii.ac.jp/records/12223>
3. 独立行政法人 情報処理推進機構 (IPA). デジタル時代のスキル変革等に関する調査 (2021 年度). Available: <https://www.ipa.go.jp/jinzai/chousa/skill-henkaku2021.html>

# ハイブリッドワークで生じる情報格差と相互理解の課題に対する解決策の提案と検証

Proposal and verification of solutions to the information gap and mutual understanding issues that arise in hybrid work

牛房 奈菜子<sup>1</sup> 大塚 理子<sup>1</sup> 小山田 広樹<sup>1</sup> 岸本 典生<sup>1</sup> 進藤 自由平<sup>1</sup> 松尾 雄太郎<sup>1</sup> 河西 大介<sup>1</sup> 越水 重臣<sup>1\*</sup>  
Nanako Ushifusa<sup>1</sup> Riko Otsuka<sup>1</sup> Hiroki Oyamada<sup>1</sup> Norio Kishimoto<sup>1</sup> Jubei Shindo<sup>1</sup> Yutaro Matsuo<sup>1</sup> Daisuke Kasai<sup>1</sup> Shigeomi Koshimizu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Shigeomi Koshimizu, koshi@aiit.ac.jp

**Abstract** After the corona disaster, “hybrid work”, in which office workers and remote workers coexist in the same workplace, has become mainstream. In-depth interviews revealed two new problems: “information gap due to deterioration of communication between office and remote” and “colleagues’ information cannot be accumulated because they cannot see their faces”. In response to these problems, we devised a countermeasure based on three elements: a 360-degree camera, a hologram device, synthesis of skill information and the person, and demonstrated its effectiveness through user tests. Based on the above results, we propose a new future workplace.

**Keywords** hybrid work; hologram device; skill information; transactive memory system

## 1 はじめに

2020年1月に新型コロナウイルス感染症2019（新型コロナウイルス感染症）は日本国内で初めて検知され、2023年5月に5類感染症へと法的位置づけ[1]が変わるまでの間に、「新しい生活様式」[2]の定着をはじめ、多くの社会変化が生じた。

変化の一つとしてリモートワークの普及[3]が挙げられ、2019年には雇用型就業者の14.8%に留まったテレワーカーの割合が2021年には27.0%まで上昇し、とりわけ首都圏では42.1%に達した。一方で、2022年には全国で26.1%、首都圏では39.6%と足踏みしており[4]、リモートワークを未実施の就業者の約4割は接客・現地作業・医療介護等の仕事内容がなじまないことを理由としている。また、普及のためには「幹部・従業員の意識改革」「テレワーク環境の整備」[5]が挙げられることから、現在はリモートワーク普及の過渡期であり、将来的には就業者の約7割が潜在的にリモートワークを行える社会が到来すると予測する。ちなみに、本稿ではリモートワークとテレワークは同一のものとし、テレワークとは、ICT（情報通信技術）を利用し、時間や場所を有効に活用できる柔軟な働き方のことを指している。

そこで本研究では、この普及はリニアな変化[6]ではなくとも漸進し、また7割が常にリモートワークをするのではなく、オフィスワークを中心にリモートワークを取り入れる形、つまりハイブリッドワークに収斂していくシナリオを想定して検討を行った[7]。

具体的には、ハイブリッドワークが主流となることで新たに発生した課題をデプスインタビューによって明らかにし、課題解決策を考案するとともに、その効果検証を可能とする現時点で到達可能なMVP（Minimum Viable Product）を製作し、ユーザーテストを実施した。

## 2 ユーザーについてのリサーチ

### 2.1 リサーチ概要

#### リサーチ方法

初めに現状を把握するためにユーザーについての調査を実施した。調査方法には、定性リサーチの1手法であるデプスイ

ンタビューを用いた。

定性リサーチを行った理由は、本研究では人が対象であり、コロナ禍でリモートワークを行うことを余儀なくされ、その後少しずつハイブリッドワークに転じつつある状況に置かれている現場の人に対する深い理解が必要だったからである。そのため、手法も深い対話でインタビュー対象者の深層心理にまで迫るデプスインタビューを選択し、現場の人がどのような状況に置かれていて、その中で何を感じ、何に困っているのかなどを探った。

#### リサーチ対象

インタビュー対象者は、一般社員とマネージャーである。職位による視点の違いを考慮し、この両者を対象とした。一般社員とマネージャー双方の視点を知ることによって、より説得力のある提案ができると考えた。

実施にあたっては、本学における研究安全倫理委員会の承認を得た。

### 2.2 一般社員に対するデプスインタビュー インタビュー設計

一般社員対象のデプスインタビューは2つのテーマを定めた。1つ目のテーマでは現在の仕事について焦点を当て、仕事内容・働き方、コロナ禍での働き方の変化、リモートワーカーとオフィスワーカーが混在することについてどう感じているか、コロナ禍でのコミュニケーションについて感じる事、今後どうなってほしいかなどについて伺った。2つ目のテーマでは、転職・就職に焦点を当て、コロナ禍での転職・就職はどうだったか、入社後のコミュニケーションについて感じていること、当時を振り返ってみてどう感じるか、今後の働き方などについて伺った。

#### インタビュー実施

2つのテーマについて、1つ目のテーマは12名に、2つ目のテーマは6名にそれぞれデプスインタビューを実施した。インタビューは、メインインタビュアーとサブインタビュアーの2名体制で実施した。メインインタビュアーが主でインタビューを行い、サブインタビュアーはメインインタビュアーが聞き損

ねた部分を深掘りし、違う角度からの質問をするなどの役割を担った。インタビュー結果は、インタビュー後に全て文字に書き起こし、内容を詳細に記したインタビューメモを作成した。また、インタビュー直後に実施者2名でインタビューの振り返りとまとめを実施した。

## インタビュー分析

次にインタビュー結果の分析を実施した。分析方法について、以下に記載する。

初めに作成したインタビューメモからキーワードを抽出し、それらをポストイットに書き出し、ホワイトボード上に展開した。ここで展開されたキーワードは、全てインタビュアーが実際に語った Fact である。次に展開したキーワードを意味で分類し、その後、グループ同士の関係性を考えながら、考察を深め、Findings と Insight を抽出した。

## インタビュー分析結果

インタビューの結果、リモートワークのメリット・デメリット、オフィスワークのメリット、リモートワーカーとオフィスワーカーが混在することによって起きていること、顔を合わせることの良さといった5つの観点でまとめることができた。そして分析結果から、次に述べる2体のペルソナを作成した。

## ペルソナ

作成した2体のペルソナを次に記載する。

(1) ペルソナ1体目：八木沢美穂さん

属性は以下の通りである。

名前：八木沢美穂

年齢：29歳

性別：女性

勤務地：東京都

業界：製造業

職種：開発

社会人歴：5年目

働き方：週1出社、週4リモート

会社の規模：単体4000人、連結18000人

八木沢さんを表す象徴的な1文は以下の通りである。

“出社とリモートでは、どちらかが置いてきぼりになる”

“顔の印象に色んな情報を紐付けできないので、関係が構築できていかない感じがする”

ペルソナの説明を以下に記載する。

① リモートワークは快適

2年前に否応なしに全員がリモートワークになり、最初は社内システムに繋がらないなどの問題も多く、思うように仕事が進まないこともあったが、今はリモートワークで問題なく仕事は回っている。やろうと思えばできるのだと思った。

リモートワークの良いところは、自分の時間が増えること。通勤に往復で2時間かかるので、その時間を自己啓発や本当に自分がやりたいことに使えるのはすごく嬉しい。体力温存にも

なる。睡眠時間が増えたので、昼間の仕事の効率も上がった。また、話しかけられるといったことがないので、集中して黙々と取り組みたい仕事にはリモートが向いている。

② 一方、やりづらさも感じている

仕事は回っている。でも、リモートワークだと、メンバーの存在が急激に薄れていったように感じている。出社していれば、挨拶ひとつで、今日のメンバーの状況を推し量ることができた。悩んでいるときは、ちょっと席を立てて近くの先輩にアドバイスをもらったし、メンバー同士の会話に加わって、新たな視点を得たりしていた。オンラインツールで会話はできるが、そこにはワンアクション挟まるし、相手がどのような状況なのかが分からないため、気軽に話しかけることはできない。チャットの文章を考えたり、相手の都合を推し量ったりしていると、その時間が無駄のように思えてきて、「もういい、自分で何とかしよう」となることも多い。5年目になったが、先輩方に比べると経験も浅く、思うようにいかないことも多い。一日中必死で考えて出したアウトプットでも、そこに向けた熱量って、リモートでは絶対に伝わらないので、「えっ、この程度？」と思われていないかなど色々不安になる。メンバーの温度感が感じられないからか、何となく1人で奮闘しているように感じている。

③ オフィス/リモートワーカーの混在は難しい

同じプロジェクトで他のメンバーが出社していると、その人たちだけで話が進んでしまうことが往々にして起きる。オンラインで打合せには参加するが、出社メンバーで話が盛り上がっているのは明らかだし、小さなその場でのやり取りなどは聞き取れない。同じプロジェクトメンバーであるにも関わらず、打合せの前後で出社メンバーだけで話して、勝手に物事が決まってしまうことには悔しさを感じる。どうしたって、どちらかが置いてきぼりになってしまう。自分がファシリテーターのときは、とにかく自分と同じ状態ではない人のことを、どこまで考えられるかを意識している。その場にはいない違う立場の人のことを配慮しながら、会議を進めなければならないので負担は増えた。

④ 顔の印象ってすごく大きい

顔が見えないと、信頼や関係が積み重ならない感じがする。会ったことがある人は、顔を思い浮かべることができて、そこに色々な情報を紐付けすることができる。「この人はこういう人だ」ということが、顔を基に色々な情報を紐付けて構築されていくという感じ。「顔は覚えているが名前は出てこない」っていうくらいだから、それだけ顔の印象は大きくて、情報を持っているということ。オンライン会議で相手がカメラオフだと、アイコンに向けて話すことになり、そもそも相手が初対面なのか何回目なのかすらわからない。情報が積みあがっていかない感じが嫌だ。

(2) ペルソナ2体目：山岡誠さん

属性は以下の通りである。

名前：山岡誠

年齢：38歳

性別：男性

勤務地：東京都

業界：製造業  
 職種：デザイナー  
 社会人歴：14年目  
 働き方：フル入社（リモートワークの制度あり）  
 会社の規模：単体3000人、連結13000人

山岡さんを表す象徴的な1文は以下の通りである。  
 “リモートワークの人は年休をとっているのと変わらない状況”

ペルソナの説明を以下に記載する。

#### ① 毎日入社しているが、それは疑問だ

2020年の緊急事態宣言中は数か月間リモートワークを行ったが、現在は毎日入社している。完全に元に戻ったという感じ。とはいえ、私の仕事はリモートでもできることが多い。もちろんデザイナーなので、物を直接見て触ってという作業は必須だが、それ以外の業務は基本的にオンラインで完結できる。上司が「直接話さないと仕事は進まない」という考え方なので、うちの部署はフル入社だが、それは疑問だ。オンライン化が進む中で、旧来の考え方に固執するのは良くないと思う。隣の部署は入社とリモートの割合が半々くらいなので、羨ましさと不公平感を感じている。私の世代は入社が当たり前の世代なのでまだ良いものの、これから入ってくる若い人たちはその働き方に違和感を覚えて辞めてしまうということもあり得ると感じている。

#### ② 入社することで得られるものがある

リモートワークを経て改めて感じる出社の良さは、何が起きているのかがリアルタイムで分かる、メンバーの状況が分かるという2点だ。どの案件が火を噴いているのか、負荷がかかっているメンバーは誰かといった情報は、デスクで仕事をしていれば自然と入ってくる。メンバーの様子も把握しやすい。最近も、3時間以上、根詰めている後輩がいて、息抜きを兼ねて、軽いディスカッションをやってみた。ちょっとしたひと言で視界が開けることってあると思う。悩んで一日中答えが出ていなかったかもしれないと思うと、声をかけてよかった。後輩の方から相談を受けることもしばしばだ。私分からないことについては、詳しいメンバーに繋ぐようにしている。偶発的な会話から新しいアイデアが生まれることもあるし、メンバーとの気軽な会話は、実は新たな視点を獲得する重要な機会だと捉えている。そういった機会を増やすには、メンバー同士がお互いの状況を共有していることが、とても大切だ。背景が分かっていると話が早いですが、共有できていないと「えっ、そこから？」ということになり、本質の議論がなかなかできない。また、言わずもなだが、人の目があり、且つ周りが頑張っているので自ずと自分のモチベーションも上がる。人間なので、人の目がないと、どうしてもサボってしまうことは否めない。

#### ③ リモートワークの人の存在感は薄い

部署のメンバー30人中、リモートワークをしているのは2、3人だ。メンバーの大半がオフィスにいるため、リモートワーカーに対しては、意識が行きづらい。年休を取っているのと変わらない状況。その人に確認したいことがあっても、いないか

ら分からないし、今度会ったときでいいかという感じ。入社しているメンバーで話は進んでいく。

マネージャー候補として上からの期待を感じているので、その期待には応えたい。自分がいないところで色々決まってしまうのではないかと考えると、リモートワークはできない。部署の状況は常にキャッチアップしていきたいし、自分がいないがために後輩が相談できなかったとなることは避けたい。

### 2.3 マネージャーに対するデブスインタビュー インタビュー設計

マネージャー対象のデブスインタビューのテーマは、リモートワークにおけるコミュニケーションについて感じていることと定めた。

仕事内容・働き方、コロナ禍での働き方の変化、部下との関係性について、コロナ禍でのコミュニケーションについて感じることなどについて伺った。

#### インタビュー実施

デブスインタビューでは、本プロジェクトメンバーでマネージャー職の者、および、本プロジェクトメンバーが所属する企業の上司といたった3名をインタビュー対象とした。また、インタビューは、2.2章インタビュー実施で述べた方法で実施した。

#### インタビュー分析

次にインタビュー結果の分析を実施した。分析方法については、2.2節インタビュー分析で述べたものと同じである。

#### インタビュー分析結果

インタビューの分析結果のまとめは以下の通りである。

- ・マネージャーは、部下の状況の把握ができないことに悩んでいる。オフィスで見ているだけで得られていた情報が得られなくなったためである。
- ・マネージャーは、部下同士の関係性の構築が難しくなったと感じており、何とかしたいと考えている。
- ・マネージャーは、実際にオペレーションのやり方を変えるなど手を打っている。

分析結果を経ての気づきは以下の通りである。

- ・マネージャーが見ているレイヤーは1つ高い。マネージャーは、自分と部下の関係、さらに部下同士の関係も見ている。
- ・部下同士の関係性の構築に、マネージャーが一役買わなければならなくなってきている。
- ・マネージャーは、現状を打開するために実際に動いているが、依然として不安を抱えている。

## 3 ハイブリッドワークの課題

前章の調査結果から、リモートワーカーとオフィスワーカーが混在したハイブリッドワークの結果、以下の2点がハイブリッドワークにおける課題として浮かび上がってきた。そこで、以降に2つの課題の詳細を述べる。

- 課題1：リモートワーカーとオフィスワーカーの情報格差  
 課題2：従業員の相互理解

### リモートワーカーとオフィスワーカーの情報格差

オフィスワーカーとリモートワーカーの間に断絶があり、両者の間に情報格差が生まれている。情報格差を埋めるために余計な工数が発生したり、古い情報を基に仕事をしてしまい、仕事の質が落ちるなどの問題が起きている。

オフィスワークのメリットは、出勤しているだけで周りの状況が分かること、メンバーに触発されながら働くことができることなどがあげられる。一方、リモートワークでは相手の状況が分からなくなり、気軽に話しかけることに抵抗を感じる人もいる。また、相談すればすぐに解決することを自力で何とかしようとするため、時間と業務品質のロスが発生している。

さらに、相手の状況が分からないので、自身に対するフィードバックを理解することが難しくなった。目の前の仕事にかけた時間や熱量が相手に伝わらず適切な評価が受けられないのではないかという不安が生じている。

### 従業員の相互理解

同僚がどんな人なのか理解が進みづらいという課題があることが調査により明らかになった。同僚との関わりが希薄になったために、同僚の誰が何を知っているのかが分からない。また同僚についての情報が蓄積されにくくなり、結果として適切な業務のアサインができない、困ったときに誰に聞けばいいのかが分からないという問題が起きている。

さらに前節で述べたように情報格差が生じることで、従業員間でのコミュニケーションやオフィスにおける共通した経験の蓄積機会が減少し、同僚との相互理解が進みにくくなるという課題が生じる。相互理解が醸成されないことで、情報格差が更に生じやすい環境になることも考えられる。

上記の相互理解は、トランザクティブ・メモリー・システム（以下、TMS）[8]と捉えることができる。TMSとは、「チームメンバーの誰が何を知っているかを知っていることに関する記憶を扱った概念」であり、適切な人物から知識を得られたり、各々のメンバーに適したタスクを分担できたりすることによって、効率的にチーム内の知識を活用できる。TMSの形成は組織の業績に相関関係があるとされる[9]。

先行研究[10]では、TMSの阻害要因の一つとして「プレッシャーのある風土」が挙げられ、具体的な質問項目は「私の部署では、一日で非常に多くの仕事をこなすことが期待されている」、「私の部署では、非常にハードに働くことが求められる」の2点である。いずれも周囲への配慮や注意を低下させる因子であることから、ハイブリッドワークの環境により同僚への注意を向ける機会やコミュニケーションの頻度の減少[11]を通して、TMSの阻害要因に繋がるのが予想される。

## 4 課題解決策の提案

前章で定義した課題に対する解決手法として、3点のシステムをオフィスに導入することを提案する。この手法のイメージ

を図1に示す。

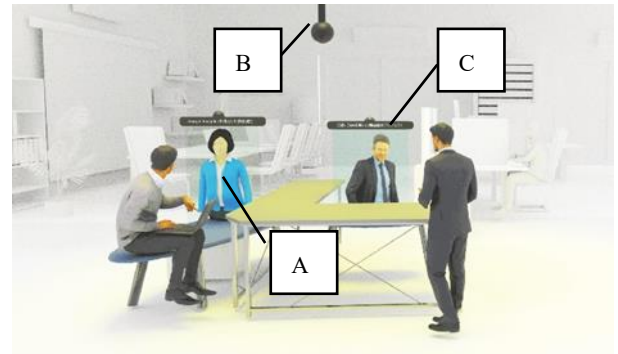


図1 課題解決手法のイメージ

### A オフィスにおけるリモートワーカーのホログラム表示

オフィスにホログラム装置を導入し、常にリモートワーカーを表示する。これにより、リモートワーカーはオフィスに出勤しているときと同様の存在感を出すことができるようになり、オフィスワーカーとリモートワーカーのコミュニケーションを促進する。

### B リモートワーカーの360°カメラでのオフィス情報取得

360°カメラを使ってリモートワーカーがオフィスの様子を観察できるようにする。これにより、オフィスで発生したイベントや会話にリモートワーカーが自発的に参加できるようにして、リモートワーカーがオフィスの状況から置いていかれることを防ぐ。

### C ホログラム装置へのスキル表示

ホログラム装置の上部にリモートワーカーのスキルを表示する。これにより、打ち合わせや会話の最中にリモートワーカーが何に詳しいのか、何をやってきたのか等の情報をインプットできるようにする。ハイブリッドワークにより発生していた同僚に対する理解不足・知識不足を防いで、TMSの形成を促す。

## 5 課題解決策の有効性検証

### 5.1 ユーザーテスト用 MVP

#### ホログラム装置

##### (1) ホログラム原理

3Dホログラム技術としては様々な手法が存在する。実際に3D映像を表示する方法としては、霧状の水蒸気をスクリーンとして投影する手法や、円柱等の立体型の半透明ディスプレイに映像を投影する方法がある。よりリアルにオフィスにリモートワーカーを表示するためにはこのような手法が有効と考えられる。ただ、ホログラム装置自体やリアルタイムに3D映像を取得する設備にもコストが多くなってしまうため、今回の検証では採用しなかった。

2D映像を疑似的に3D映像のように錯覚させる方法として、LEDライトのついたファンを高速回転させて映像を投影する手法やペッパーズゴーストという手法が存在する。これらはカメラ1台で撮影した映像を簡単に加工することでそのまま使

用することができる。その中でも、ペッパーズゴーストは装置に可動部がなく設計と組み立てが簡便なため、本検証で採用することとした。

図2にペッパーズゴーストの原理の図を示す。仕組みとしては、プロジェクターのような投影装置から半透明鏡に向けて映像を照射する。すると、反射した投影映像と透過した背景を両方視認することができるようになり、背景も見える状態で任意の映像も浮かびあがっているように見えるため、まるで中空に投影映像があるような錯覚に陥ることができる。この仕組みを使って、リモートワーカーがオフィスにいるかのように錯覚させ、オフィスでの存在感を出していく。

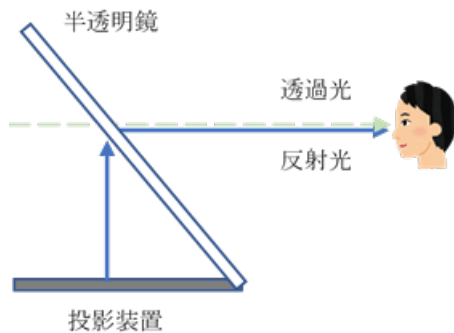


図2 ペッパーズゴーストの原理

(2) 装置設計の方針

図3は設計したホログラム装置である。家にいるリモートワーカーを表示するため、「家」をイメージしたデザインを採用した。

各 부품の詳細を以下に記す。

① 360° カメラ

煙突をイメージして装置の最も上部に差し込む構造とした。これによりリモートワーカーが360° オフィスを見渡すことが可能である。使用するカメラの詳細は後述する。

② マイクスピーカー

屋根部分上部に乗せる構造とした。一般的に会議で使用するマイクスピーカーを使用し、これによりリモートワーカーとオフィスワーカーが互いに音声を聞くことができるようになる。マイクスピーカーとして、Jabra Speak 710を使用する。

③ 屋根部分

ハーフミラー部⑦に外光が入ると投影した映像がぼやけてしまい、意図した表示を実現することができないと考え、⑦部が影になるように屋根部は大きめに設計した。ただ、実際に投影してみると実感できるほどの差は発生しなかった。

④ 投影装置 (iPad)

iPadを投影装置として用いた。下に配置している⑦のハーフミラーに向けて2D映像を投影する。この映像は左右反転させ、人物以外の箇所は光を発生させないように加工することで、きれいに人物が中空にいるように見せることができる。

⑤ 土台上部

映像を再生する④のiPadの画面が直接見えないようにするために、④投影装置と⑦ハーフミラーの間に一定の距離を設け

た。約30°の下から見上げて問題ないように設計したが、用途や装置配置スペースによって、この高さは調整可能とすることが考えられる。

⑥ 土台足部分

透明なアクリル板で作成した。これにより、本部品に邪魔されることなく左右により広い視野角を確保することができた。

⑦ ハーフミラー

アクリル板にマジックミラーフィルムを貼り付けて製作した。マジックミラーは反射率30%、透過率33%のものを使用した。これにより透過光と反射光の両方を視認することができる。つまり、投影映像と背景を良いバランスで見ることができるようになり、人物が中空にいるような投影が可能になった。



図3 設計したホログラム装置

(3) 試作ホログラム装置

試作したホログラム装置を図4に示す。屋根部分と土台部分については3Dプリンターで、土台足部分とハーフミラー部のアクリル板は市販の板を切断して試作をした。

また、アクリル板をハーフミラー化するにあたっては、マジックミラーフィルムのサンプルを多数用意し、現品を使って最終的にアクリル板に貼り付ける最適な反射率と透過率の選択を行った。



図4 試作したホログラム装置

スキル表示

ハイブリッドワークにおける「同僚がどんな人なのか理解が



「進みづらい」という課題を解決する方法として、ホログラム装置の上部にその人のスキル情報を表示させること（図5）を考えた。

これは、ホログラム装置に表示された顔とスキル情報を同時に表示させることで、顔とスキル情報が紐づき同僚の理解が深まることを狙っている。



図5 ホログラム装置の全体像

ユーザーテスト用の MVP を作成するにあたり、まずはスキル情報の中身を検討した。多様な属性を持つ本プロジェクトメンバーが、課題の当事者として「知りたい同僚の情報」を例示し整理した結果、同僚の「所属」、「その所属で関わってきたプロジェクト」、「現在の専門領域」、「性格的な強み」の4つに分類した。そこで、この4つの情報が同僚を知るために必要な「スキル情報」とであると設定した。

なお、「性格的な強み」については、既に言語化された34の資質[12]を用いて表現することにした。

### (1) プログラム（バックエンド）

ユーザーテスト用の MVP を作成するにあたり、今回はメンバーが保有するプログラミングスキルのうち Web 開発で用いられる JavaScript と HTML を用いてスキル情報の記録と表示を行う仕組みとした。

スキル情報の記録では JavaScript の LocalStorage を用いてブラウザにスキル表示を記録する仕組みを作成した。

具体的には、スキル情報を入力フォーム（図6）から入力するとブラウザに入力内容が保存され、表示させる場合はブラウザから情報が取得できる仕組みである。ただし、LocalStorage を用いるとブラウザに入力内容が残りがちになってしまうため、セキュリティの点から、任意のスキル情報を LocalStorage から削除できる記述も追加した。



図6 入力フォーム

### (2) プログラム（フロントエンド）

次に LocalStorage で保存したスキル情報が右から左に画面内で流れるよう、JavaScript を使って動きを演出した。ここでニコニコ動画風のコメント表示機能を実現するために Web サイト[13]を参考にした。文頭から文末までが顔の情報と合わせて目に入りやすく、スキル情報全体が視認できるようなテキストテロップで表示した。

### (3) ソフトウェア（OBS）

スキル情報と顔と同時に写すために OBS（Open Broadcaster Software）というソフトウェアを使っている。OBS はレコーディングとライブストリーミングに特化したフリー・オープンソースソフトウェアである。主にライブ配信やセミナー等のようなリアルタイムで情報を発信する用途で使用される。

OBS で出力する際には、話している人物やスキル表示が視認できるよう、黒背景にデータを出力している。黒背景にするために Background Removal という OBS のプラグインを使用し、人物の背景部分のみを消している（図7）。



図7 スキル情報の表示

### (4) デザイン

色やフォントについても説明する。図8に使用した色の一覧を示す。入力フォームを作成する際には、メインカラーを #6F9FC0、サブカラーを #CECECE、テキストカラーを #010514 とした。



図8 使用した色の一覧

メインカラーに関しては、TMS の形成促進を掲げるサービスや BtoB サービスの配色を元に設定した。

フォントは、ヒラギノ角ゴシック体 ProN を使用している。装飾性がなく、視認性が高いため、当該フォントを使用した。また、「ProN」が付くことで漢字の旧字体である「JIS2004 字形」にも対応しているため、スキル情報をより正確に相手に伝えられると想定し、ヒラギノ角ゴシック ProN を選定した。

### 360° カメラ

オフィスの様子を映すカメラとして、株式会社リコーの360°カメラ“THETA”シリーズ（図9）を使用した。



図9 株式会社 RICOH “THETA” [14]

この360°カメラは、WiFi経由でPCクライアント“OBS Studio”を介してYouTubeにリアルタイム配信を行える構成とした。YouTubeはプラットフォームとして360°カメラに適応しており、配信時の設定で2種類の映像の表示が可能である。1つ目は見たい角度を視聴者が自由に選択でき、2つ目は360°をひと目で見るができる。

#### 5.2 ユーザーテスト

##### ユーザーテストの概要

作成したMVPの有用性を検証するためにユーザーテストを実施した。実施にあたっては、本学における研究安全倫理委員会の承認を得た。

参加者は、実施時に本学の創造技術コースの2年生に在籍していた12名である。今回の検証では年齢や専門知識による違いは影響しないと判断したため、参加者について年齢・職業などのバランスは考慮していない。

ユーザーテストの進め方を次に記述する。ユーザーテスト1回につき、2名の参加者を対象とした。全部で3つのワークを実施した。進行は本PTのメンバーが口頭で説明し、同時にモニターに進行スライドを表示して、視覚的にも情報を補うことができるようにした。

##### リモートワーカーのオフィス把握の検証

###### (1) 目的

リモートワーカーがどれだけ360°カメラでオフィスの様子を把握できるか検証する。

###### (2) 検証方法

仮定のオフィスを想定して事前に撮影した360°カメラと全指向性マイクによる動画を参加者に視聴してもらい、オフィスで起きた4つのアクションのうちどれくらい参加者が認識できたかを調べた。このアクションは以下の4つである。

- ① オフィスで議論が始まった
- ② 偉い人が来た
- ③ 緊急のWeb会議が招集される
- ④ ひとりで悩んでいる人がいる

我々の検証では仮想オフィスをひと目で全体を俯瞰して見

るために360°カメラでの歪曲した映像を使用した（図10）。



図10 360°カメラ画像

###### (3) 結果

4つのアクションについてその約80%が認識された。認識率が80%であることから、タイムリーにオフィスの様子を把握することが十分に可能といえる。

###### (4) 考察

実際の職場にあてはめて考えた時にリモート側からオフィスの様子を見ることに対する有効性に関しては、2/3の参加者が疑問を感じていた。しかし、疑問を感じている人たちに業務内容を聞くと単独で業務が完結し、コミュニケーションが必ずしも重要ではない働き方をしていることがわかった。裏を返すと、本機能は1人で仕事が完結しない、チームで業務を行う働き方や、頻繁なコミュニケーションが求められる職場でより有効と考えられる。

一方、オフィスの様子をリモートワーカーが見ていることについて「監視」の感覚を持つ人が約30%いた。そのうち高い抵抗感を示した人たちは、「常にみられていること」「録画されているかもしれない」「不特定多数に見られているかもしれない」ということが抵抗感につながっていることがわかった。

実際の運用にあたっては、「必要に応じてオフにできる」「録画はしないでリアルタイム放映のみ」「一定の範囲の人」で閲覧できるようにルール化することで抵抗感を緩和できると考えられ、あらかじめ目的や運営内容を周知徹底させておくことでメンバーの納得が得られると考えられる。

##### オフィスとリモートの分断解消の効果検証

###### (1) 目的

ハイブリッドワーク環境においては、オフィスで生じている議論や会話にリモートワーカーが入っていくことができず、後から間接的に情報を入手する機会が多くなる。これに対して、ホログラム装置によりオフィスでのリモートワーカーの存在感を増すことや、360°カメラやマイクによりリモートワーカーがオフィスの様子を見るのが可能になることで、リモートワーカーは直接的にオフィスでの議論に参加し、一次情報を得ることができるようになる。

今回提案する課題解決策によりリモートワーカーが間接的に得ていた情報を直接的に得ることができるようになる。この効果を検証により明らかにする。

(2) 検証方法

記事を読み上げて(図 11,13)、問題文(図 12,14)を解いてもらうことでその内容の理解度を測定する。

この試験は2人一組(以降はA氏、B氏と表記)となって二度の試験を実施する。A氏がオフィスワーカーで、B氏がリモートワーカーの役割を担っている。



図 11 記事 1

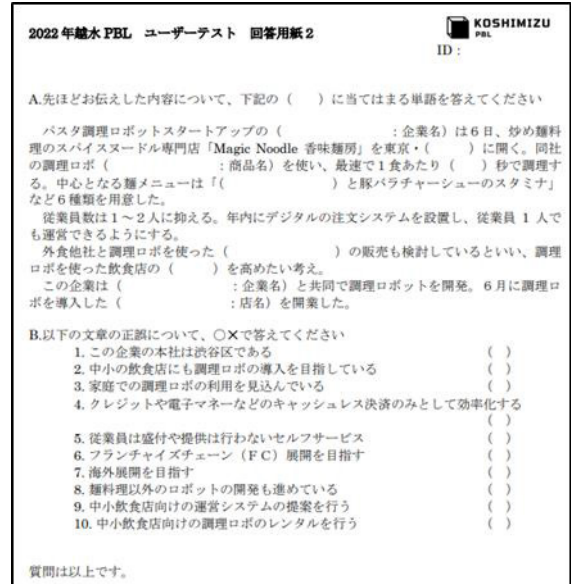


図 14 問題文 2

一度目の試験は、従来の間接コミュニケーションを模擬している。記事をA氏に対して直接口頭で読み上げた後、A氏から把握した内容をB氏に口頭で伝えてもらった。その後A氏とB氏に問題文に回答してもらった。

二度目の試験では、リモートワーカーも直接情報を得られることを模擬している。A氏とB氏両方ともに記事を直接読み上げて、問題文に回答してもらった。

(3) 情報伝達量向上率の算出方法

(2)のテスト結果である点数は参加者の情報量と理解力から、以下の計算式で算出できると考えられる。

$$P = I \times U$$

P: 点数

I: 得られる情報量

U: 理解力

上式を用いて、間接コミュニケーションではなく直接コミュニケーションにより取得できる情報量の向上率を点数から求めると以下の式となる。これにより、A氏とB氏の理解力の差や二つの問題の難易度差を排除することができるため、次に述べる(4)ではこの式を用いて情報伝達量向上率を導出し分析検討を行う。

$$R = \frac{I_D}{I_V} = \frac{I_D \times U_B}{I_D \times U_A} \div \frac{I_V \times U_B}{I_D \times U_A} = \frac{P_{B2}}{P_{A2}} \div \frac{P_{B1}}{P_{A1}}$$

R : 情報伝達量向上率

I<sub>D</sub> : 直接コミュニケーションで得られる情報量

I<sub>V</sub> : 間接コミュニケーションで得られる情報量

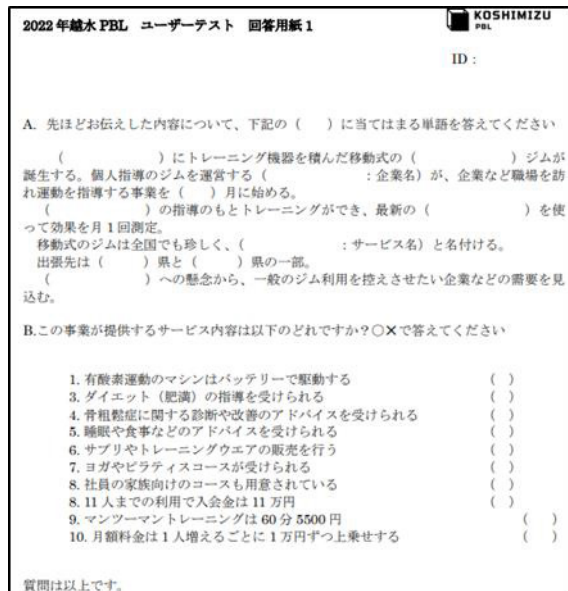


図 12 問題文 1

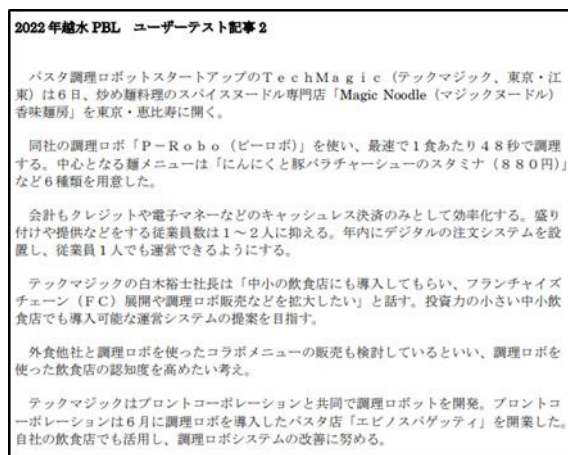


図 13 記事 2

- $U_A$  : A 氏の理解力
- $U_B$  : B 氏の理解力
- $P_{A1}$  : A 氏の一問目の試験点数
- $P_{A2}$  : A 氏の二問目の試験点数
- $P_{B1}$  : B 氏の一問目の試験点数
- $P_{B2}$  : B 氏の二問目の試験点数

(4) 結果・考察

テスト結果の点数を整理し、テスト後のインタビューも踏まえて分析・考察した結果をまとめる。

① 各ペアにおける情報伝達量向上率

6組のペアのテスト結果と情報伝達量向上率を表1にまとめた。まず、情報伝達量向上率であるRの値に注目すると、直接のコミュニケーションにより情報伝達量が平均して31%向上していることがわかる。また、各ペアの情報伝達量向上率では最大でペア3が63%向上している一方で、ペア2は最小で14%の向上率に留まっている。全てのペアにおいて直接コミュニケーションが十分有効であることは確認できたが、実際にはその向上率にはばらつきがあることが明らかとなった。

そこで、向上率のばらつきについて特徴的な二つのグループに分けて考察していく。

② ペア3

ペア3は最も直接コミュニケーションによる情報量Rが向上した。記事1におけるA氏とB氏の点数比である $P_{B1}/P_{A1}$ が全ペアで最も低くなっていることから、A氏からB氏に情報伝達する際に情報の欠落が生じたことが分かる。インタビューでもA氏が「記事1では上手く情報を伝えることができなかった」ことや、B氏が「記事1と記事2を比較して多くの情報を得ることができた」との感想を得ている。

つまり、情報の受け渡しが上手くない人が間に入るようなケースでは、特に直接コミュニケーションを誘発するシステムが有効であることが明らかとなった。

③ ペア1,2

ペア1,2は直接コミュニケーションによる情報伝達量向上率Rは低い値となった。記事1におけるA氏とB氏の点数比である $P_{B1}/P_{A1}$ は最も高い値となっており、ペア3とは逆に口頭での間接コミュニケーションにおける情報欠落が少ないことが分かる。インタビューではB氏が「記事1ではA氏が分かりやすく記事の内容をまとめてくれて助かった」との感想を得た。

つまり、元となっている記事よりも情報を整理して的確に伝えることができる人が間に入ると間接コミュニケーションでも情報は十分伝えることができることが分かる。しかしながら、これは人の能力に依存しているともとらえることができ、能力に関わらず情報を平準にいきわたらせるためには直接コミュニケーションは有効と考えられる。

④ 問題傾向ごとの情報伝達量向上率

作成した問題は大きく以下のように分かれる。

- ・穴埋め問題（一般名詞，固有名詞）
- ・○×問題

これらの問題ごとの情報伝達量向上率を表2にまとめた。

穴埋め問題と○×問題を比較すると直接コミュニケーションによる情報伝達量向上率Rは大きく異なっている。

○×問題では向上率は4%に留まっており、大きな変化はない。これは前節で示したように、間に入った人が情報を整理して伝えた結果、直接記事を見るよりも理解度が向上したケースがあることが要因として挙げられる。

一方、穴埋め問題では情報伝達量向上率は非常に高い。特に、固有名詞を問う問題では255%情報量が向上した。これは間接コミュニケーションでは名詞を正確に伝えることは困難であることを示している。その中でも聞きなじみのない固有名詞の伝達はできていない。

以上より、概要だけある程度伝われば良い場合には間接コミュニケーションでも大きな影響はないが、正確に名詞まで伝えたい場合には直接コミュニケーションを行う利点が大いと考えられる。

表1 各ペアにおける情報伝達量向上率

	ペア						平均
	1	2	3	4	5	6	
$P_{A1}$ [点]	55	80	70	95	90	60	75
$P_{A2}$ [点]	53	84	63	74	79	68	70
$P_{B1}$ [点]	50	70	50	75	65	50	60
$P_{B2}$ [点]	58	84	74	68	74	84	74
$\frac{P_{B1}}{P_{A1}}$ [%]	91	88	71	79	72	83	80
$\frac{P_{B2}}{P_{A2}}$ [%]	110	100	117	93	93	123	105
R [%]	121	114	163	118	129	148	131

表2 問題傾向ごとの情報伝達量向上率

	穴埋め 一般名詞	穴埋め 固有名詞	○×	全体
$P_{A1}$ [点]	79	50	78	75
$P_{A2}$ [点]	42	61	85	70
$P_{B1}$ [点]	64	17	67	60
$P_{B2}$ [点]	67	72	75	74
$\frac{P_{B1}}{P_{A1}}$ [%]	82	33	85	80
$\frac{P_{B2}}{P_{A2}}$ [%]	160	118	88	105
R [%]	196	355	104	131

スキル把握量の検証

2つ目の課題である従業員の相互理解の問題、「同僚がどんな人なのか理解が進みづらい」という課題の克服にスキル表示の機能が有効ではないかと考え、その効果を確認するために、ペ

PPERZゴーストによる簡易的なホログラム装置を製作した。ホログラム装置に映し出す人の顔の上部にスキル情報をテキストテロップで流せるようにした。ホログラム装置の上部にスキルを表示させ、会話の相手が認知することができるかについて検証した。

#### (1) 目的

スキル表示を行うことによる効果を検証する。

#### (2) 検証方法

ホログラム装置を通じて実施した7分間のインタビュー中に、インタビュアーの顔とその上部に4つのスキル情報をテキストテロップにより表示させ、参加者12名が4つのスキルのうち、いくつ認知できるかを検証した。

#### (3) 結果と考察

結果は、7分間の会話中に平均1.75個のスキルを認知した。スキルを流し続けておくことで、メンバーが何を知っているのかを知ることに繋がることわかった。このスキル情報の定着は長期的に醸成されるため、わずか7分で1.75個認知できたのは十分な水準と考えられる。

また、スキル表示を見ていないと感じた人が90%に達した。スキル表示ではなく、インタビュアーの顔やその他の場所をみていたという人がほとんどだった。このことから、このスキル表示の方法はコミュニケーションを邪魔しない。すなわち、コミュニケーションを妨げることなく無意識にスキル情報を認知し、その定着を進めることができると考えられる。

### 5.3 本章のまとめ

課題解決策の有効性検証を通じて、提案した課題解決策の有効性を確認することができた。

具体的には、リモートワーカーのオフィス把握の検証によりリモートワーカーがオフィスのリアルタイムの情報を十分得ることができると示された。そして、リアルタイムにコミュニケーションを行うことの効果をオフィスとリモートの分断解消の効果検証により示すことができた。その効果はチームでコミュニケーションを行いながら業務を行う場合に有用と考えられる。

また、スキル把握量の検証により打ち合わせや雑談の最中にスキルを表示することが有用であることが示された。会話の邪魔をすることもなくスキル情報を十分把握することができる。

## 6 提案の将来展望

本章では、本研究で提案したことが、将来どのように発展可能となるのか、その展望について検討する。

### 移動可能なホログラム装置

MVPでは、リモートワーカーは1人につき1つのホログラム装置を割り当てられている。将来、複数のホログラム装置間の移動が可能になる、あるいはロボットやドローンにホログラム装置を搭載することでオフィス内の移動が可能になると、リモートワーカーは疑似的にオフィス内を移動することができる。その結果、リモートワーカーはよりオフィスにいるかの

ように存在することができる。オフィス内の出来事を自分の視聴覚を使って把握することができ、また同僚とその場にいるのと同様にコミュニケーションを取ることが可能となる。就業時間だけでなく、休憩時間や終業後に雑談などの気軽な会話も促進されると考える。

### 実体に近いホログラム表示

ホログラムをより本物に近い解像度で表示することが可能になれば、表情や動作をより正確に相手に伝えることが可能になる。目つきや眉毛の動き、身振り手振りなどが認識できるようになり、より相手が目の前にいるのと同様のコミュニケーションが実現できる。また、MVPは上半身のみが表示だが、これを全身にすることによって、ボディランゲージでコミュニケーションをすることも可能になるだろう。

表情の繊細な変化を捉えることができれば、例えば困っていることがメンバーに伝わり、ハイブリッドワーク環境であっても従来の職場で起きていた自然な助け合いが起るかもしれない。

### 会話の相手に応じたスキル表示の変更

表示するスキルの内容を、会話する相手に応じて自由に変えることが可能になれば、関係性の構築や会話以外の情報の補足により役立つ。例えば、他の部署の初対面の人に対しては、プロフィールや職歴といった最初に知りたいパーソナル情報を表示する、一方である程度お互いのことを知っている関係性であれば、新たに習得したスキルや、最近学んでいるスキルなどを表示する。また、日々の会話の内容を記録し分析することで、会話の内容に応じたスキルを表示することや、スキル情報を基にした人材の活用というのも将来的には可能になると考える。

さらに、仕事で関わるメンバーに対して、内的役割を表示することができれば、より組織の力を上げることができると考える。内的役割とは、関係性における目に見えない、感情的な側面を担う潜在的な役割のことである。本人は無自覚なことが多いが、その人が自然と取っている役割である。内的役割は暗黙知であることが多いが、これまでの全員が出社している環境では、メンバーが何となくお互いの内的役割を分かっている、上手くその場が回っていた。リモートワークによって、内的役割を掴むことが難しくなったが、内的役割を何らかの方法で表示することができれば、従来の全員が何となく自分の役割を理解して動いているという状態が、ハイブリッドワーク環境であっても実現できると考える。

## 7 おわりに

コロナ禍を背景として急速に拡大してきたハイブリッドワークをテーマとして発生した課題をリサーチし、その中で「リモートワーカーとオフィスワーカーの情報格差」と「従業員の相互理解」という二つのテーマに対して取り組んだ。そして、「360°カメラ」「ホログラム装置」「スキル表示」の三つの手法による解決策の提案を行い、その有効性をMVP (Minimum Viable Product) を用いたユーザーテストにより確認した。

コロナ禍は取東に向かいつつあるが、リモートワークには多くの利点があることからコロナ禍前のような全員出社の状況には戻らないと考えられる。その中で今回のハイブリッドワークに対する提案と検証は今後も有用であると思われる。

## 謝辞

本論文は、令和4年度に実施された東京都立産業技術大学院大学におけるPBL型授業の成果をまとめたものである。本プロジェクトを進めるにあたって、デブスインタビューとユーザーテストにご参加いただきました皆様に心より感謝いたします。

## 参考文献

1. 厚生労働省. 新型コロナウイルス感染症の感染症法上の位置づけの変更に伴う医療提供体制及び公費支援の見直し等について(令和5年3月10日). [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000164708\\_00001.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000164708_00001.html) (visited on 2023) (ウェブ参照)
2. 厚生労働省. 「新しい生活様式」の実践例. [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431\\_newlifestyle.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_newlifestyle.html) (visited on 2023) (ウェブ参照)
3. 国土交通省. 令和3年度テレワーク人口実態調査. [https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi03\\_hh\\_000085.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi03_hh_000085.html) (visited on 2023) (ウェブ参照)
4. 国土交通省. 令和4年度テレワーク人口実態調査. [https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi03\\_hh\\_000099.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi03_hh_000099.html) (visited on 2023) (ウェブ参照)
5. 総務省. テレワークの意義・効果. [https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsin/telework/18028\\_01.html](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsin/telework/18028_01.html) (visited on 2023) (ウェブ参照)
6. 日本経済新聞 電子版 2022/5/20. ホンダ 国内全部署で原則出社変革期で対面重視. <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC20D8L0Q2A520C200000/> (visited on 2023) (ウェブ参照)
7. Choudhury, Prithwiraj, Tarun Khanna, Christos A. Makridis, and Kyle Schirmann, et al. Is Hybrid Work the Best of Both Worlds? Evidence from a Field Experiment. Harvard Business School Working Paper. No. 22-063. March 2022.
8. Lewis, K. Measuring transactive memory systems in the field: Scale development and validation. *Journal of Applied Psychology*. 2003; 88(4): 587-604.
9. Zhang, Z. X., Hempel, P. S., Han, Y. L., & Tjosvold, D. et al. Transactive memory system links work team characteristics and performance. *Journal of Applied Psychology*. 2007; 92(6), 1722.
10. 大沼沙樹. 組織風土とチームの多様性がトランザクティブ・メモリー・システムに及ぼす影響, 日本経営学会誌. 2019; 第43号: 66-79.
11. Lewis, K. Knowledge and performance in knowledge-worker teams: A longitudinal study of transactive memory systems. *Management Science*. 2004; 50(11): 1519-1533.
12. トム・ラス. さあ, 才能(じぶん)に目覚めよう 新版 ストレングス・ファインダー2.0. 日本経済新聞出版. 2017
13. <https://qiita.com/youtoy/items/051dc658025a3b21c7f0/> (visited on 2023) (ウェブ参照)
14. 株式会社 RICOH. <https://theta360.com/ja/> (visited on 2023) (ウェブ参照)

# 伝統舞台芸術の振りの分析とサービスロボット向けプラットフォーム構想

Analysis of traditional performing arts choreography and a platform concept for service robot choreography

成田 雅彦<sup>1\*</sup> 林 久志<sup>1</sup>  
Masahiko Narita<sup>1\*</sup> Hisashi Hayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Masahiko Narita, narita-masahiko@aait.ac.jp

**Abstract** We are conducting research with the goal of utilizing the accumulation and knowledge of traditional performing arts for communication between service robots and humans. We have already modeled, developed, and evaluated OSONO, a robot based on Joruri puppets, and proposed a method for systematizing the choreography of Ningyo Joruri based on "associative model" that derives the choreography from the acting script of the performance. On the other hand, Noh has influenced the performing arts since its inception, and also incorporating many performing arts. Therefore, we are interested in analyzing the choreography of traditional performing arts, including Noh, and its application to service robots. This paper proposes an extension of "associative model" to analyze also Noh choreography commonly, and, a research story on Noh for the service robots, specially, we introduce an early plan of a choreography platform that utilizes traditional performing arts for communication between service robots and people.

**Keywords** choreography; service robot; joruri puppets; noh dance; traditional japanese performing art

## 1 はじめに

サービスロボットと人とのコミュニケーションに、伝統的な舞台芸術の蓄積や知見の活用を目標として、体系化や表現の実現手法、そのしぐさをサービスロボット分野へ適応させるインテグレーション手法を研究している。2018年より、構造的にロボットに近く、人に近い動きをすると評価が高い人形浄瑠璃をテーマとし、浄瑠璃人形を参考にしたロボット OSONO (図1)を開発し[1]、演目の詞章から振りを導き出す「連想モデル」による振りの体系化手法を提案し[2,3]、実際の演技をもとにサービスロボットが用いることの多い、歓迎、指示、断る、謝罪などの仕草を生成できることを検証してきた。また、大規模展示会での展示において高い注目度を示してきた[4,5]。一方、能楽は多くの芸能を取り入れ、以降の舞台芸術に大いに影響を与え、武家の保護を得られたことで多くの資料が保存され、近年も多くの研究が蓄積している。能楽とその周辺を研究対象とすることで、より多様な仕草の収集や、そのための方法論の発展が期待できる[6-8]。現代の能楽は、凜とした緊迫感のある身体全体での表現、洗練された所作など評価が高い。一方、演技速度が遅く、単調でわかりにくいと言われることもある。したがって、



図 1 能衣装をまとったロボット OSONO

多様な伝統舞台芸術を対象にするにあたっては、能を含めた共通に適用できる振りの分析手法とサービスロボット向けプラットフォームが必要になる。本稿は、(1) こうした仕草の活用のための研究ストーリー案を提示し、(2) 「連想モデル」による振付の体系化を拡張した分析手法を提案、検証する。(3) 多様な表現の獲得の戦略、(4) 実システムでの活用のためのソフトウェアプラットフォームの構想を示す。

## 2 振りの分析と振りのプラットフォームの特色

本稿で提案する振りの分析方法は、日本の伝統的な舞台芸術が、詞章を分割した句に対応して振りがつけられているという認識に基づき、後述する「連想モデル」の手法により振りを形式論で扱う点の特徴である。これにより、体系化が容易で、感情の表現によるものに比べ精密で柔軟な表現が可能である。ロボットによる振りの研究では、Russell の感情円環モデル[9]を基としたものなど、感情表出のアプローチが多い。しかしながら、このアプローチは、会話におけるメッセージの伝達性よりも感情の表現性を優先しているためメッセージの細かい表現に対応できない。

さらに、本提案は、分析において、なぜその振りが用いられたかの理由を明らかにすることに力点が置かれている点の特徴である。結果、振りの生成においては、多くの場面に柔軟に対応できる特徴がある。

また、伝統芸術のデータベース化の観点では、従来は、伝統芸術の保存再現に重点が置かれ、文献情報や演技動画、切り出した型の動画を保存にとどまっている。本稿のデータベースは、ロボットの利用が前提である点が大きく異なる。

## 3 研究ストーリー

### 仕草の活用のための目標

サービスロボットの設計者がロボットの振りを設定する場合を考える。例えば、ロボットが訪問者に入力を促す場面を扱うとすれば、入力促進が伝えたい事柄や意図となり、「このキーボードで入力してください」とのメッセージをロボットに発

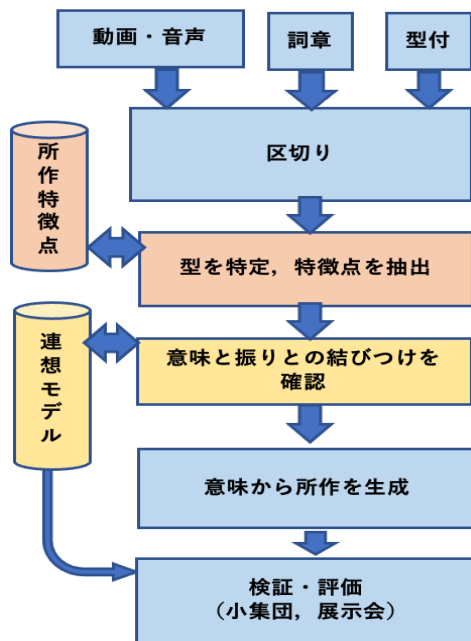


図2 仕草の活用の流れ

声させることになる。これに対する振りは、「これ」を指しても良いし、「キーボード」を表わしても良い、あるいは、キーボードを「押す」振りをしても良い。どのように演出するかは設計者のセンスに依存するが、意味に対する振りの選択ガイドラインがあれば設計者のセンスによらず一定レベルの演出が期待できる。その後、どのようにロボットの手・腕のアクチュエータを動かすか細かく指定する必要があるが、質の良い動きを実現し、手間を省くために何らかの動作のライブラリがあって、そこから選択するようになってほしい。すなわち、意味に対する振りの選択のガイドラインと、振りに対する動作指示ライブラリが必要である。一連のメッセージを伝える場合、同じ振りをつけると単調になるので多様性が必要になる。これらの獲得が仕草活用のための目標となる。

**研究の流れ**

これを実現する仕草を活用した研究の流れ(図2)は、分析、合成、評価からなる。分析では、はじめに、詞章、演技動画、動画、型付文書から、対象の小段を取り出し、振りや所作単元を認識・確認する。この時、所作の特徴点である振りのライブラリのデータが得られる。多くの演目を分析することで、データベースの充実を図る。

合成では、蓄積した振りのライブラリのデータや所作と詞章との関係性や各種分析結果を用いて、一連の演技を再合成しロボットに実装する。サービスロボットは一般の人を対象にするので、演技速度は一般人が違和感を感じない速度とする。ロボットには、かしら、手、腕、腰、膝と、全体の回転として24の自由度を持つ人形浄瑠璃を参考にしたロボット OSONO[1]を想定しているが、展示会での検証、能や他の伝統芸能の表現に必要な機能などを追加する。分析、合成は、理論的な探求や小規模な検証であれば手動や簡易なツールを駆使することで実現できる。しかしながら、数多くの演目を分析したり、蓄積したデータを用いて合成を試みたり、実システムでの活用検証には、分析・合成の部分ソフトウェアプラットフォームとして実現する必要がある。詳細は、振りのプラットフォームにて述べる。

この生成した振りを一般人あるいは専門家などの小集団や展示会でのアンケート調査や行動評価を通して評価し[5]、振りの質、能の振りの多様性が再現されているかを評価する。さらにここで得られた手法をもとに、今様、雅楽、神楽など他の芸能への適用を検討する。

**4 分析のための方法論**

**型と所作**

サービスロボットの設計者がロボットの振りを設定する過程は、演目の詞章に振りをつける過程に類似している。したがって、演目・演技を分析することで、意味に対する振りの選択のガイドラインや振り動作ライブラリのコンテンツを収集できると考えられる。能楽や人形浄瑠璃では、メッセージは台本に相当し詞章と呼ばれる。人形浄瑠璃の場合は数十種と言われる型を持つが、詞章(床本)には型や振りに関する記載はなく、評論家や研究者の記録や保存団体の作成した演技台本や、記録動画を用いて分析する必要がある。ロボットでの活用の視点で体系的に振りを取り扱うには筆者の提案した連想モデルによる体系化手法が有効である[2,3]。一方、能楽では、振りは所作単元と呼ばれ、基本的な所作として、サシ、サユウ、ヒラキ、カマエ、ウチコミなどがあり、細かく分類すると300種程度存在する[10,11]。また、演目の詞章に沿って所作単元を記したものが型附として公開されているものも多い。しかし、ロボットでの活用に適した能楽・人形浄瑠璃に統一的に適用できる体系や分析方法が必要である。

能の所作単元の基本的なものに、シカケ(仕掛け)、カマエ



図3 典型的な舞のパターン: アゲオウギ→サユウ→ウチコミ→ヒラキ→カマエと所作単元が続く



(構え), ミライレ (身を入れ, 左半身になる), サシ (指し), ウチコミ (打込み), ツキサシ (突き指し), アゲオウギ (上扇), サユウ (左右), ヒラキ (開き) などがある。アゲオウギ (上扇) は扇を上げる所作で, 図3写真1に対応する。シカケは図3写真3に対応し, 右腕を体の前に出す。サシはシカケに似ているが, まず構えから両腕を斜め下に開き, 右腕を体の前に出し左腕を下ろす (図3写真3)。サユウはまず左腕を正面に出し (図3写真2), 次に右腕を正面に出し左腕を下ろす (図3写真3)。ウチコミは右手を上げ (図3写真4), 手を体の前に下ろす (写真5)。ヒラキは両手を開く (図3写真6)。カマエはホームポジションである (図3写真7)。羽根扇は扇を左右に大きく振る。サユウ, ヒラキなど一般的に所作単元は位置の移動を伴うが, 左へ回ル, マスグ歩ムのように単独で回転や直線移動を表す所作単元もある。見ル, シオリ (泣く), ユウケン (感情を高める) のように, それ自体が明確な意味を持つ所作もある。

表1 「お園のくどき」の分析例 ([2]より一部引用)

番号	区間の詞章と連想キーワード (太字)	連想を導く解釈・理由	振り (#は型を示す)
1	今頃は半七様, どこに どうしてござらうぞ.	探す, 悩む	#クリズ 見回す, のび
2	今更返らぬことながら,	(移動)	(移動)
3	私といふ者ないならば,	私	#うちみ
		否定	いえいえ
4	眞御様もお通に免じ,	指す, 依頼	上手に, お辞儀
5	子までなしたる	ぼんやり	流し
6	三勝殿を	指す	下手を指す
7	とくにも呼び入れ さしやんしたら,	呼び入れ	#まねき
8	半七様の身持ちも直り	恥ずかしい	右袖を口もとへ, 体を前に傾げる
9	御勤当もあるまいに,	依頼	お辞儀

## 区切り

人形浄瑠璃の詞章は7調, 5調に語られており, その30秒程度のまとまり (区間/句という) を単位に振りが割りつけられている[2]。この前提は, 人形浄瑠璃だけでなく, 七調のまとまりを考えれば, 能楽など他にも当てはまる。実際, 能の演技台本は, ほぼ7音節と5音節, 時には8音節で構成されている。そのため, これらの音数によって句に分けられる。そのうちのいくつかが集まって, 意味のあるまとまり (ここでは文と呼ぶ) を形成する。能の主要な部分の振り付けは, 書籍として出版されている。例えば, 代表的な能の型付け本[12,13]を取り上げる。この片付け本はそれぞれ10本程度の演目の上演頻度の高い演目部分が収録されているが, 上段に詞章が文や句に区

切られ掲載され, それに対応する所作や動きが下段に記録されている。これは, 文や句を単位にして振りが割りつけられ, 能の演技が「連想モデル」による分析の前提を満たしていることを意味している。実際の演目の分析では, 詞章を句に区切り, 次に句に対応する所作を特定する。演技動画を用いる場合はこの区切りと振りの特定に多くの時間を費やすことになる。

## 「連想モデル」による振付の分析

振りのプラットフォームのベースとなる「連想モデル」による振りの体系化について概要を簡単に述べる[2]。

「連想モデル」による振付の体系化は, 既に述べたように, 人形浄瑠璃の振付が, 演目の詞章を元になされているという前提に立っている。振りは, たとえば, クリズやウシロブリなど著名な振り (型) の場合もあるし, 単純な動きや, それらの組み合わせの場合もある。この振りは, 対象の区間の詞章全体というよりその中の特定のキーワード (連想キーワードという) を解釈したものになっており, その解釈や理由は類型化されている。ここでは, キーワードと振りを導き出す解釈や理由, 振りの組みを連想モデルと呼ぶ。これを用いることで, 振りを体系化する。振りには汎用的な意味を持つもの, 例えば, 泣く, お辞儀をする, 手を振る, などの振りがある。また, 場所を移動するなど舞台演出としては必須だが, 意思, 感情などを格段伴わない基本動作がある。また, 指す, 見るなど方向を伴うものがある。さらに, 立つ, 正座する, 中腰になるなど体の上下も振りの大きな要素であるが, 強調表現と捉えることができる。振りを導き出す解釈や理由には, 直接・間接的な行為, 物や人 (自分も) を示すもの, 意志や感情を示すものがある。例として表1に, 著名な「お園のくどき」(相模人形芝居中座) の実演記録や演技台本を参考に手で分析したものを示す。表1の1列目は区間の番号, 2列目は詞章全体を分割した結果と, 振りを連想させるキーワード (太字), 3列目は振りを導き出す解釈や理由, 4列目は型 (#つきの名前) と簡単な動きを示す。

## 「詞章の振付と舞の振付」による「連想モデル」の拡張

本節では, 「詞章の振付 (所作)」と「舞の振付 (所作)」という振りの区分の概念を用いた, 「連想モデル」の拡張手法を提案する。表2は, 能楽 観世流「羽衣」[12,14]のクセ (曲, 演目中, 盛り上がる部分) の半分の詞章を文や句に区切り (第2列), それに対応する所作と舞台上の大きな位置移動を表した (第5列) のものである。「羽衣」は, 天女の羽衣伝説を題材にした演目で, 現在でも根強い人気がある。前節で説明したように, 「連想モデル」法では, 対応する句や文から振付が選択される理由が必要である。実際, 表2番号4のサス (右手で前方を指す, 図3の写真3) は, 愛鷹山と富士山の高峰を指す振りであるので, 明らかに, 対象を指すが理由になる。一方, 表2番号5の「かすかになりて」という文に対応する「扇を掲げる」という振付は, 番号5の文から導かれる理由がない。番号6-7も同様である。すなわち, これは「連想モデル」を能のケースに適用する際に起こる一般的な問題である。

演技台本から導き出せる振りとは, 直接導き出せない振りがあることを認識すると, この問題を解決できる。では, 直接派生

表 2 能「羽衣」の部分の拡張した連想モデルによる分析

番号	区間の詞章と連想キーワード (太字)	振りの区分	連想を導く解釈・理由	振り/所作 *は大きな位置変更
1	さるほどに	-	(準備) 前半との区切り	扇下げ
	時移って			*大きく回る
2	天の <b>羽衣</b>	詞章依存	羽衣をたなびかせる	羽根扇 (2回)
	浦風に <b>たなびき</b> たなびく			*直線移動
3	三保の松原	-	(準備)	扇を持ち替え
	浮島が雲の			ヒラキ
4	<b>愛鷹山や富士の高嶺</b>	詞章依存	対象を指す	*直線移動
				サシ
				*方向を変えて直線移動
5	かすかになりて	舞の振付	舞の振付	扇を上げ
				*そのまま回転
6	天つ御空の霞にまぎれて	舞の振付	舞の振付	サユウ
7	失せにけり	舞の振付	舞の振付	ウチコミ
				トメ (停止)

第3列の "-"は、詞章や舞とは無関係なことを示す

できない振りはどこから来るのか。それは、能が舞踊を含むという起源に由来すると考えられる。そして、舞の要素が振付に豊かさや多様性を与えていることも事実だろう。具体的には、演技台本から導き出せる振りを「詞章の振付 (所作)」, 直接派生でない振りを「舞の振付 (所作)」とし、「連想モデル」法を、「詞章の振付と舞の振付」という概念を導入して拡張する。すなわち、この分類を表2の3列目に追加し、表2番号5では、3列目に「舞の振付」と書き加える。振付の発生理由としても「舞の振付」と追加する。結果、「羽衣」の拡張連想モデル分析表として表2を完成させることができる。

シカケやサスのように、状況によって「詞章の振付」と「舞の振付」に分類される所作もあることに留意されたい。

### 人形浄瑠璃との連続性

提案した拡張手法は、人形浄瑠璃にも共通に適用可能である。文献[4]では、舞踊的要素を多く含む「景事」というカテゴリーに属する、義経千本桜道行の「静の口説」には能の所作と類似した振付が含まれることを指摘した。この振付は、我々の拡張を用いれば「舞の所作」に分類できる。このように、拡張「連想モデル」法は、人形浄瑠璃と能を共通にカバーできることが

わかる。この「静の口説」では、後述する演技台本固有のパターン比率は84%と算出される。また、表1のお園の口説きのような「世話物」や「時代物」の場合は、「舞の振付」がないので、演技台本固有のパターン比率は100%となる。

## 5 能楽の振りの多様性

能の振りは、単調でわかりにくいと言われるが、ロボットへの実装にあたっては、多様性の確保は重要になる。本章では能の洗練された所作と多様性を生み出す仕組みとして「はこび」と「所作パターン」があることを見出し、これらが、前章で述べた「詞章の振付」と「舞の振付」とともに能の多様性に貢献していることを検証する。

### はこび

能は能舞台で演じられる。人形浄瑠璃の舞台が左から右への二次元であるのに対し、能舞台は、正面からだけでなく、正面に向かって左側からも見ることができる。そのため、能の位置の動きは左右だけでなく奥行きを含む二次元の動きであり、「はこび」と呼ばれ重要視されている。例えば、ヒラキは一般的に3歩下がる。また、サユウ (左右) では、左へ2歩以上進み、右へ3歩以上進むというように、移動量によってパリエーションがある。サユウは長い移動量を伴うこともある。また、スミトリ (角取り) と呼ばれる左手前の隅に行く動きの長い所作は、多くの演目に現れる。さらに、動きの方向の変更や、直線や回転といった動き方にも多様性がある。このように、はこびは振付に多様性をもたらす重要な要素であると考えられる。このため、本分析では所作として大きな位置移動を明記することとする。

### 所作パターン

ヒラキやカマエで終わる一連の振付単位を振付パターンと定義する。また、演技台本から意味的に独立した振付パターンを舞の (振付) パターンと定義する。図3は、能の優雅さを表現する、典型的な舞のパターン[10]である。これは、アゲオウギ、サユウ、ウチコミ、ヒラキ、カマエの一連の所作单元からなっている。これは、能の多くの演目に登場し、また、1つの演目で2回以上登場することもある。ただし、例えば、最後のヒラキは、同じような意味を持つトメに置き換えられているなど、実際には振付単位が省略されたり、変更されたりすることがある。この所作パターンは、能の振付の優雅さや多様性を生み出す要素であると考えられる。

### 能の多様性の検証

本節では、演目毎の「詞章の振付と舞の振付」、運び、所作パターンの特徴を比較することにより、演目の違いを区別することができることを示し、これらの特徴が能の多様性に貢献していることを検証する。具体的には、前節の羽衣に、著名な演目、井筒[13,15]、二人静[13,16]、熊野 (ゆや) [12,17]を加え、4章で述べた拡張連想モデル分析を行い、主要所作单元、所作パターン数、所作の演技時間、所作パターン中の詞章パターンの割合

表 3 能の 4 演目の特徴分析

演目	井筒	羽衣	熊野	二人静
分析対象	キリ	クセ	クセ	クセ
主要所作單元 (出現頻度順)	サシ, 左袖ヲ返す, 開き	開き, サシ	開き, サシ, 打ち込み	シカケ, 左右, 打ち込み
演技時間 (秒)	215	180	76	311
所作パターン数	7	10	7	16
所作の演技時間 (秒)	23.3	16.7	8.8	11.9
典型的舞の パターン数	1	1	2	2
演目固有の パターン割合	43%	60%	14%	31%
演目固有の所作	衣を掛ける, 井戸を覗き 込む, 泣く	羽衣の舞	遠景を 見回す	遠景を見回す, 月を見る, 自分の境遇
大きな移動を含む パターンの割合	71.40%	30%	71%	56%

である演目固有のパターンの含有割合, 大きな移動を含むパターンの割合などを求め比較する. 結果を表 3 に示す.

井筒は, 有原業平の妻の亡霊が縁の古井戸を覗き込み有平を懐かしむシーン, 羽衣は, 天女伝説の天女の舞のシーン, 二人静は静御前が義経とともに吉野山を彷徨するシーン, 熊野は平宗盛の愛妾熊野が花見の宴で舞うシーンである.

表 3 から, 井筒は, 所作が遅く, 演目固有の所作パターンが多い. また, 舞台の移動も多い. 結果, ストーリーが視覚的に表現されている. また, 大きい動きで, 舞踏的所作の定型が含まれ能らしい所作であることも読み取れる. 羽衣は, 所作がやや遅く, 演目固有パターンの割合も多いので, この演目の特徴である天女の優雅な舞が読み取れる. 二人静の演目固有の所作は「見る」などに絞られており, 移動も多くないが, 所作パターンを多く含んでおり能らしい動きといえる. 熊野も演目固有の所作が少なく, 移動は多く, 能らしい所作パターンが多い. 結果, 如何にも能の舞らしい動きになっている. このように, 4 つの演目を演目固有のパターンと舞のパターンの比や, はこびに

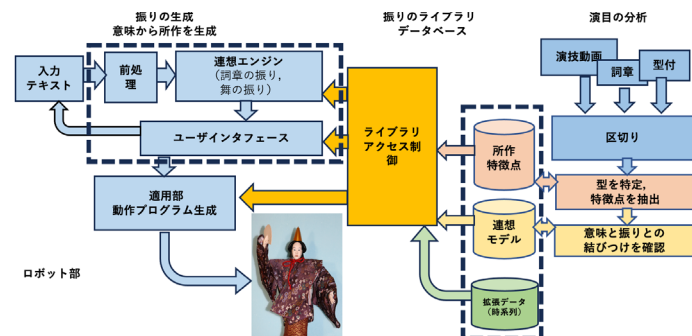


図 4 振りのプラットフォームの構造

起因する大きな移動を割合などの特徴で区別できることがわかる. したがって, これらは, 振りの多様性を生み出す重要な仕組みと考えられる. 例えば, 複数の遷移モデルを用いて所作パターンの出現頻度を求め所作の生成ルールとし, ロボットの動きを生成し実装すれば, 能の演目の動きを彷彿とさせる可能性が高い. また特徴項目を変化させることで動きの表情を変えることもできると思われる.

## 6 振りのプラットフォーム

### 振りのプラットフォームの概要

振りのプラットフォームは, 4 章の方法論に基づきソフトウェアにより実装する. 具体的には, 図 4 に示すように, 演目の分析, 振りや連想モデルを整理・蓄積し, これらを用いて, 与えられたテキストをもとに振りを生成し, ロボットやエージェントなどで一連の振りを動作させるものである. このアーキテクチャの中心部分は, 振りの生成における連想エンジンと振りのライブラリ・連想モデルデータベースである. 入力したテキストは句に分解され, 連想モデルデータベースと照合され振りの候補を提示する. この照合のためのデータ構造とそのためのデータそのものをどう設計するかが極めて重要である. またデータベースにとって未知の句が入力された場合の対応も検討すべき項目になる.

図 4 のユーザインタフェースは, 振りの候補を提示し, 実際に合成の用いる振りを候補から選択する仕組みである. このためには, システムにより各種のアドバイスを提示できるよう, アドバイス提示の評価方式を用意し必要データを拡張データとし格納しておく. 能楽を含め広い伝統芸能に共通に活用できるように, この拡張データには, 連想モデルで規定される以外の振りの情報を格納することができる.

### 振りのプラットフォームの設計

本節では, 図 4 に沿って, 振りのプラットフォームの個々のコンポーネントの機能を明確にする.

- 演目の分析では, 演技動画と詞章を対象とし, 詞章を演技動画の音声情報をもとに演技動画に対応させる. この際, 詞章を句・文に分割し, 演技動画にタグをつける. その後, 句に対する振りの名前の特定, 振りの特徴量の抽出を行い, 重複しないよう配慮し, 振りのライブラリデータベースに格納する. また, 句に対して振りが選ばれた理由を推定し, 連想キーワードを特定, 連想モデルデータベースを作成する. これら一連の作業は人が行うのでシステムはそれを容易にするサポートが主な役割である. このために, 音声認識, 姿勢推定などの AI 手法を活用する.
- 振りのライブラリ・データベースでは, 振りの名前をキーにしてライブラリを通して蓄積した振りの特徴量にアクセスする. 同時に, 連想エンジンによる照合のために, 振りの分類, 過去採用された理由などの情報を付加しておく.

- 拡張データは、各種芸能のカテゴリ固有の特徴に起因する情報（例えば、能などに見られる「運び」や所作パターンの概念、あるいは、個々の振りの効果情報など）を組み込めるよう工夫が必要である。これらは動作の生成の際、アドバイスの作成に利用される。
- 振りの生成では、入力されたテキストをもとに振りを生成する。はじめに、テキストを前処理として適切な長さの句に分解し、連想エンジンを適用できるような形態素解析、意味抽出を行う。
- 連想エンジンは、与えられた句と連想モデルデータベースを照合し振りの候補を提示する。この照合には意味的に近いものを選ぶなどの工夫が必要である。振りを対応させる理由は、例えば、以下を想定している：指す（ここにあるもの、ここにいる人、方向（舞台にいない人・もの、遠くにあるもの）、行為そのもの、行為の対象）、見る（ここにあるもの・人、遠くにあるもの）、移動する（移動量も示す）、意志：同意、否定、感情（なく、怒る、喜ぶ）、また相手の身分による区別も付加情報としてありうる。ユーザインタフェースにて実際に採用する振りを決定し、ライブラリより対応する振りの特徴量を取り出し、接続し一連の動きを生成する。
- 適用部では、実際に使用するロボットに応じた動作プログラムを生成する。

## 7 まとめ

本稿では、能楽の仕草活用のための枠組み、能楽の振りの分析、多様性の探求とその方法論について研究のストーリーを述べ、振りのプラットフォームの構想を説明した。その中で、拡張連想モデルによる振りの分析や能の多様性を生み出す仕組みを考察し、振りのプラットフォームの機能を明確にした。今後、実際のシステムを開発することで、より多くの演目を分析し多様な仕草を収集していく。さらにロボットを用いた評価を行う。こうした実績を踏まえて、能楽への展開も計画している。また神楽などへも展開したい。

## 8 謝辞

本研究は法政大学能楽研究所「能楽の国際・学際的研究拠点」2023年度公募型共同研究によるものです。

## 参考文献

1. Masahiko Narita, Sachiko Nakagawa. Development of OSONO, a service robot with reference to “Joruri puppet”, and its Choreography, IJSKM International Journal of Service and Knowledge Management, Vol. 4 No. 2, pp. 54-70, 2020/12
2. 成田雅彦, 中川幸子. サービスロボットの視点から連想モデルを用いた人形浄瑠璃の振りの体系化, 日本ロボット学会誌 Vol. 40 No. 3, pp. 263-266, 2022.
3. Masahiko Narita. Synthesis of Choreography for Service robots by poses extracted from a Ningyo Joruri’s Acting script using the Associative model, IJSKM International Journal of Service and Knowledge Management (掲載予定)
4. 成田雅彦. 大規模展示会における浄瑠璃人形を参考にしたサービスロボットの集客効果と2D-LiDARを用いた測定, ロボット学会誌 41巻10号 (掲載予定)
5. Masahiko Narita, Toru Izui, Sachiko Nakagawa, Ya-sufumi Takama,

- Nobuto Matsuhira. Evaluations of the Service Robot OSONO Referring to Joruri Puppets and a Remote Evaluation System with Operation and Directing Elements, International Journal of Service and Knowledge Management International Institute of Applied Informatics 2023, Vol. 7, No. 1, IJSKM, 2023
6. 成田雅彦. サービスロボット向け伝統芸能の振りの体系化検討 - 連想モデルによる体系化手法の拡張の試み -, 東京都立産業技術大学院大学紀要 No. 16 (2022), pp. 161-166
7. Masahiko Narita. An extension on the choreography systematization using “Associate Model” for Service Robots with Referencing Traditional Japanese Performing arts, Proceeding of 2022 13th International Congress on Advanced Applied Informatics Winter, pp. 144-147, 2022
8. 成田雅彦, 中川幸子, 高間康史. 能楽を中心とする伝統芸能の振りをサービスロボットへ活用する研究ストーリー, 日本ロボット学会学術講演会, 2023.
9. James A Russell. A Circumplex Model of Affect, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.39, No.6, pp 1161-1178,1980
10. 横道万里雄編. 岩波講座 能の構造と技法・狂言 IV, 岩波書店,1993
11. 横道万里雄編. 岩波講座 能・狂言 別巻 能楽図説,岩波書店,1992
12. 観世左近. 観世流仕舞入門型附, 檜書店, 1998
13. 観世左近. 観世流仕舞稽古型附三, 檜書店, 1993
14. 能<羽衣> 楽譜付 (その1), 京都市立芸術大学日本伝統音楽研究センター, <https://www.youtube.com/watch?v=5CvuPK7xhp4>, online
15. 鑑賞みちるべ. 能<井筒>, Izutsu Teatro Noh, <https://www.youtube.com/watch?v=GZ6PB59EKuY>, online
16. 岡崎に能楽を広める会. 秋のお月見<薪能>, <https://www.youtube.com/watch?v=FJFMmk3jyGY>, online
17. かなチャンTV. カガヤク ミライ ガミエル カナガワ 2021 古典芸能のミライ「平家物語の世界 語りの伝承 巻二十四 能『熊野(ゆや)』」 <https://www.youtube.com/watch?v=9qziJfvK-gc>, online

# 多系的文明進化と近代文明の方向性

A multidimensional model of the world history of civilizational evolutions

前田 充浩<sup>1\*</sup>

Mitsuhiro Maeda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Mitsuhiro Maeda, maeda-mitsuhiro@aait.ac.jp

**Abstract** The purpose of this paper is to seek for strategies of overcoming systemic risks of the modern civilization, by examining a long range dynamism of the world history of civilizational evolution. This paper tries to establish a new multidimensional model of the world history of civilizational evolutions by following four preceding studies. The first is the Endogenous Modernization model based on 'augmented household' analysis developed by KOMABA school in 1970s and 1980s which explained that 'augmented household' is a nucleus entity of modernization. The second is the Future-oriented and Past-oriented Model by Shumpei Kumon. This model describes the world history as an alteration between two different types of civilizations. The third is the Independent-brain and Collaborative-brain Model by Tsutomu Oohashi. The uniqueness of this model is adopting methods of cerebrophysiology in an analysis of civilizations. The fourth is the Brain Functional Analysis of Civilizations (BFAC) by the author. This analysis shows three different types of civilizations according to mainly activated parts in the brain. This paper seeks to figure out a new world system theory by arranging the agglomeration of the above preceding studies in the framework of the Central-Peripheral Model of the world system by Wallerstein, and finally shows a new dual-layer dynamic model of central civilizations and peripheral civilizations. In this model, an initiative of civilizational evolutions will be brought by an encounter between central and peripheral civilizations and transformation of central civilizations consequently brought by an encounter.

**Keywords** civilizational evolution; endogenous modernization; 'augmented household'; Brain Functional Analysis of Civilizations (BFAC); peripheral civilizations

## 1 本研究の目的と概要

近年、地球社会は数多くの深刻な問題に直面しており、それらの中には、個別の政策のパッチワークでは対処することができない重大なものも少なくない。それらの重大な問題の多くは、その淵源が近代文明の構造そのものにあり、それらへの本格的な対処のためには、近代文明の構造そのものに対する検討が必要である。

本研究では、そのような近代文明の構造そのものに起因する重大な問題を近代文明のシステム・リスク、と呼ぶ。今日具体的に人々に意識されているシステム・リスクとしては、例えば、地球環境問題、富の著しい偏在、世界システムにおける先進国と発展途上国（グローバル・サウス）との対立等がある。

本研究は、それらシステム・リスクへの対応のためには近代文明の構造そのものに対する本格的な検討が必要であるとの認識に立ち、近代文明の構造を、人類の文明進化史観の超長期的な枠組みにおいて捉えようとするものである。

凡そいかなる文明も、時間の経過とともに、その基本的な構造を変化させていく。その変化は、時間の経過によって生じる地球上の物理的、社会的な様々な変化に適応し、当該文明の存続を実現するものであることから、文明の進化（civilizational evolution）と呼ぶことができる。近代文明も、時間の経過とともに、その基本的な構造を変化させ、進化していくこととなる。近代文明の進化は、近代文明そのものが史上空前の大きな特徴のある文明であるため、他の文明には見られない特別な内容を含むものであることは想像に難くない。一方で、近代文明も文明である以上、ある程度は人類史上の他の文明が辿ったものと同様のダイナミズムを辿ることとなることもまた想像に難くない。

本研究が、問題意識は近代文明が抱えるシステム・リスクへの対処方法であるにも関わらず、独自の文明進化史観の構築に取り組むのは、この理由による。

近代文明が現在直面している多くのシステム・リスクに対処していくためには、自らの文明としての構造を変化させ、文明を進化させることが必要になる。本研究の目的は、近代文明の進化の方向性を明らかにし、そのための戦略を構築することである。そのような検討を進めるための方法論として、本研究は、独自の文明進化史観の構築に取り組む。問題意識は、近代文明が抱えるシステム・リスクに対処するためにどのような方向性に進化を遂げれば良いか、ということである以上、視野を近代文明のみに限定して検討を続けることは適切であるとは考えられない。近代文明を、人類数万年間の文明進化過程の俎上に置き、近代文明という特定の文明に拘泥することなく凡そ様々な文明が進化、崩壊、退場等を繰り返す地球全体の文明の興亡のダイナミズムを俯瞰しつつ、超長期的な視座の検討を加えるものである。

世界では、既に数多くの文明進化史観に関する先行研究が発表されてきている。一方、それらの多くにおいては、近代文明の今後の進化の方向性は中心的な研究課題としては設定されているとは言えない。このため本研究では、それら多くの先行研究の成果を十分に踏まえつつも、モデルとしては、独自の新しい文明進化史観の構築に取り組む。

本稿では、第1に、本研究が拠って立つ系譜の文明進化史観研究の先行研究の成果を概観する。

なお、文明史は数多くの研究者の強い関心を牽いてきている研究分野である一方、その方法論については統一されたものがあるとは言い難い状況にある。このため先行研究の成果を踏まえて新しい文明進化史観の構築に臨もうとすれば、必ず明確に何れかの文明進化史観研究の系譜に自覚的に立つことが必要となる。

本研究が拠って立つ文明進化史観研究の系譜は明確である。本研究は、村上泰亮、公文俊平等いわゆる「駒場学派」によって1970年代末に開始された多系的文明進化史観の系譜に立つ。この時期の研究成果は村上泰亮・公文俊平・佐藤誠三郎、

文明としてのイエ社会（注1）にまとめられているため、本研究ではそれを、「イエ社会」多系的文明進化史観と呼ぶ。

2000年に公文俊平により情報社会学（Infosociomics）という新しい社会科学が開始されると、「駒場学派」の多系的文明進化史観は、その基本的な考え方を踏襲する2つの新たな文明進化史観のモデルを生むこととなった。第1のモデルは、分析対象を近代文明の範囲（16世紀半ば以降）に限定した、情報社会学近代化モデルである。第2のモデルは、公文俊平によって、過去志向型文明と未来指向型文明の2類型の概念によってまとめられたモデルである。なおこの第2のモデルは、情報社会学研究としては研究が進められず、本格的な研究は、2020年代に情報社会学の分派としての応用情報社会学（Applied Infosociomics）が開始されて以降のことであり、本研究ではこれを技術パラダイム文明進化史観、と呼ぶ。

一方1980年代以降、「駒場学派」とは直接の人間関係を欠いた場で、大橋力とその研究グループによって、独自の多系的文明進化史観の構築が進められた。その研究成果が、2019年から2022年にかけて、岩波書店の月刊誌科学の連載（注2）として取りまとめられた。ここで示された思想を文明進化史観の観点で整理したものを、本研究では、地球文明進化史観、と呼ぶ。

地球文明進化史観は、文明の研究に脳科学を全面的に導入するという極めてユニークな方法論を採るものである一方、主張する文明進化史観は典型的な多系的文明進化史観の形状のものであり、「駒場学派」の多系的文明進化史観と親和性の高いものであると見ることができる。このことから、2022年には、脳科学の成果の活用等地球文明進化史観において用いられたユニークな方法論を全面的に活用し、かつ正統派の(?)「駒場学派」における多系的文明進化史観の枠組みを踏襲する文明進化史観として脳機能文明分析（Brain Functional Analysis of Civilizations: BFAC）が開始され、2022年9月にその教科書が、日本語と英語で世界同時出版された（注3）。ここでは、脳機能の観点から文明を3類型で捉える視座が示されている。これを本研究では、脳機能文明分析文明進化史観と呼ぶ。

以上のように、本研究は、「イエ社会」多系的文明進化史観、情報社会学近代化モデル、技術パラダイム文明進化史観、地球多系的文明進化史観の4つの文明進化史観を先行研究として踏襲し、その上で、近代文明が、文明の進化によって自らが抱えるシステミック・リスクに対処するための内生的な進化のダイナミズムを説明するモデルを、脳機能文明分析に所要の修正を加えることによって構築することに取り組むものである。

本研究で提示する、このような新たな文明進化史観を、グローバル内生的文明進化史観と呼ぶ。

以下、4つの先行研究及び脳機能文明分析の概要を述べ、次いでグローバル内生的文明進化史観の考え方を示す。

## 2 背景としての先行研究

### 2.1 「イエ社会」多系的文明進化史観

「イエ社会」多系的文明進化史観とは、1970年代末以降、東京大学教養学部（所在地が駒場）を拠点として精力的に研究が

進められた、数万年間を射程とする多系的文明進化モデル研究である「駒場学派」の文明進化史観である。代表的な研究成果が1979年に発表された「文明としてのイエ社会」であるため、本研究では「イエ社会」多系的文明進化史観と呼ぶ。

「イエ社会」で示されている基本的な多系的文明進化史観の考え方は、[図1]の通りである。

文明の多系的発展図式

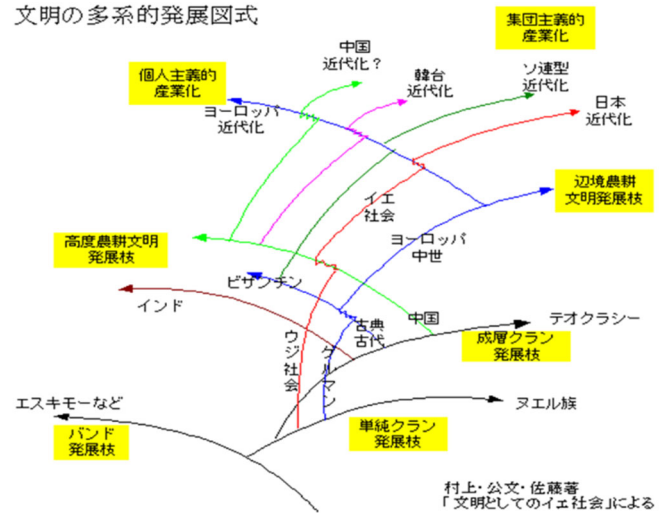


図1 『文明としてのイエ社会』の多系的文明進化史観（出典：『文明としてのイエ社会』  
<http://ww3.ctt.ne.jp/~seijiham/ishikime/hist/flow/ieshak.html>）

「イエ社会」多系的文明進化史観そのものについては、拙稿（注4）において述べたところであるので、ここでは、系譜として最終的にグローバル内生的文明進化史観に繋がる特徴のみを指摘しておくこととする。

「イエ社会」多系的文明進化史観の最大の意義は、当時は（今でも？）世界で趨勢を占めていた単系的（Linear）な文明進化史観に対して、多系的（Multi-direction）なモデルを提示したことである。単系的文明進化史観に立つ限りにおいては、近代化において、先発国である西ヨーロッパに後れを取ったアジア／アフリカ地域は、今後、西ヨーロッパの辿った途を周回遅れて辿るしかないことになる。一方、多系的モデルに依ると、今後のアジア／アフリカ地域には、近代文明とは別の新たな文明を生み出し、世界をリードする可能性が示されることとなる。

このことは、[図1]で示されているように、産業化の経路に如実に現れている。

村上泰亮は、近代化と産業化をほぼ同一の概念として扱っている。一方、同じ「駒場学派」であっても公文俊平は、近代化は、国家化、産業化、及び情報化の3つの動きの重畳であるとして、村上泰亮の捉え方に異を唱えている（注5）。村上泰亮による近代化の定義は、「近代化とは産業社会の形成過程をさす。すなわち、産業化それ自体の進展、およびそれを支えるに足る価値観と、それを支えるに不可欠な社会システムの成立も当然近代化に含まれる。」（注6）というものである。

「イエ社会」多系的文明進化史観によると、産業化のシナリオは、単系的文明進化史観で考えられるようにヨーロッパが大成功を示したような個人主義的産業化だけではなく、別の経路

の産業化の可能性もあることになる。[図1]では、当時世界が注目した日本的経営方式を核とする日本の産業化(近代化)を、集団主義的産業化として、ヨーロッパの個人主義的産業化とは別の経路であるとしている。ソ連の産業化、韓台、即ちアジアNIEsの産業化及び、出版時の1979年は鄧小平による改革開放路線が発表された翌年であったことから「？」が付されているものの中国の産業化も、日本同様に、集団主義的産業化の経路を辿るのではないかとする見方が示されている。

発表後約半世紀となる今日においては、それら諸国のその後の発展の経緯を踏まえると、このような見方については議論があり得ることは否定できない。一方この文明進化史観は、産業化はそのままヨーロッパ化(Europeanization)を意味するのではないことを示し、産業化の概念をヨーロッパ化から解放(unbundle)したことが重要な意義を持ち、これが多系的文明進化史観の重要な政策的インプリケーションである。

単系的文明進化史観に立つ限り、近代文明を生んだ主体はヨーロッパ人であることから、近代化または産業化を希求するならば、近代文明で先行するヨーロッパ人の辿った途をそのまま踏襲するしか可能性はないことになる。これに対して文明の進化に多系性の考え方を導入することにより、人々はそのような桎梏から解放され、独自の方法で、独自の経路を辿る近代化という文明の進化の方向性を模索するための思想上の裏付けを得ることができる。

問題は、文明の内生的進化、である。文明の進化は、最初は必ず誰かが内生的に従来の文明とは大きく構造を異にする文明を構築することによって実現する。[図1]で示されている文明の進化の経路は、全てがそのような内生的進化によって開始されている。

近代文明について村上泰亮自身は、「高度文明の洗礼が不十分で、氏族や部族の単位が強く、血縁原則が依然として働いているアフリカやアジアの諸地域では、国民国家はおろか、かりそめの政治的統一を作り出すことすら容易ではない。したがって、おそらくは先発諸国からの脅威を契機として、産業化を目標とした強権的な政治的統一が先行し、それが辛うじて持続して産業化がある程度進んだのちに、国民国家化が起り、そして漸く正統性の大衆化(民主化)が起るといふ形も十分ありうるだろう。」(注7)として、一般的にアジア/アフリカ地域における内生的な近代化の進展については懐疑的な見解を示した。

『イエ社会』の内容は、内生的な近代化の推進は、手段的能動主義を集団規制原則とする集団が内生的に成立することによってのみ可能であり、それは世界の中でヨーロッパと日本においてのみ実現したことを説明するものである。曰く、「前近代社会を一般にみれば、個人も集団も、農業の要求するリズムの下で自足的停滞であり、能動主義的でないのが普通である。しかしわれわれの知るかぎり2つの例外があったように思われる。1つはヨーロッパであって、そこでは思想的発展の結果として「能動主義的個人」が広汎に生み出された。そしてもう1つの例外が日本であり、そこでは歴史的事情の結果として「能動主義的集団」が一般化していたことを、以下で説明したいと思う。このいずれでもない一般的な場合、産業化は過去からの断絶の上に新たに作り上げられなければならない。一部のエリ

ートによる強権的な産業化がしばしば行われる理由はそこにあると思われる。」(注8)。

[図1]で示すと、近代文明は、辺境農耕文明という文明の進化枝から分岐して独自の経路の進化を辿ることとなった文明である。近代文明が分岐したことで辺境農耕文明は直ちに崩壊するのではなく、相当の時間、両者は別の経路でそれぞれの文明の進化を遂げていった。これが多系的、の意味するところである。

重要な点は、近代文明という新しい経路の文明は、従来の辺境農耕文明の中で内生的に発生したことである。辺境農耕文明が崩壊し、その代替品として構成されたのではない。それは、手段的能動主義的集団という新しい近代文明の核主体となる組織が内生的に構築されることによってのみ可能であり、地球上でただ2例だけそれが実現した。1つが西ヨーロッパの封建制であり、もう1つが日本の「イエ」であった、というのが『イエ社会』の主張である。

日本は、当初において近代化のイニシアティブをとったヨーロッパではないものの、東国型の開発領土がミヤコ(中央)との邂逅によって「イエ」という手段的能動主義を集団規制原則とする新しい核主体を生み出し、それが近代化の推進をもたらしたと考えるということである。

このように、「イエ社会」多系的文明進化史観では「イエ」という概念が鍵となる。「イエ」について『イエ社会』では、「われわれは、「イエ」という言葉を、生活を共同にする経営体のある種の独特の類型を広くさすために用いる。したがって、「イエ」は家族 family ではなく、それを原型とするものでもない。(略) 家族は完結した生活共同体であるとはかぎらないのである。その意味で、イエと家族とは、厳格に区別する必要がある。(略) 個々の武士の家や明治民法の家は、イエ集団の特殊な派生体の例にすぎない。」(注9)と説明される。この説明を踏まえて応用情報社会学では「イエ」を augmented household と英訳する。

それでは、以上のような「イエ社会」多系的文明進化史観は、21世紀の今日において妥当性を有すると言えるのだろうか。

「イエ社会」が執筆された1970年代末においては、世界の中でヨーロッパ以外では日本だけが内生的に産業化を推進することができており、他のアジア/アフリカ諸国は、アジアNIEs(韓国、台湾、香港、シンガポール)のように、日本のやり方を踏襲することにより外生的産業化のみを進めることができる、とする主張は、相応に説得力を持ったと思われる。一方今日では、事実上地球上の全ての地域が近代文明に覆われ、近代文明の外で生きる人々の数はほぼゼロになりつつある。

筆者はこの状況を、第3新近代という概念で捉えている(注10)。近代文明の出自の地であるヨーロッパ人だけが近代化できると考えられた局面を第1近代、アジア/アフリカ等ヨーロッパ人以外の社会システムにも近代化の可能性は開かれてはいるものの、それを実現できるのは、ヨーロッパ人の教えを正しく守った「優等生」だけであり、それ以外のアジア/アフリカ等の社会システムは引き続き近代化を推進することはできないと考えられた局面を第2近代と呼ぶのに対して、歴史的背景、文化、宗教、人種等に一切関わらず、凡そ地球上の社会シ

システム、及びそれによって構成される国民国家 (economy) であれば、全てが猛然と近代化を推進することとなる局面が第3新近代である。

20世紀中は、東アジアの順調な経済発展に比べてサブ・サハラのアフリカ地域の停滞が鮮明であったため、サブ・サハラに重点的な援助を振り向けることを政策的インプリケーションとした MDGs (ミレニアム開発目標: Millennium Development Goals) が2000年に国際連合総会で採択されたように、近代化が地球上全域で順調に展開しているとは言い難い状況にあった。

一方、MDGsの目標(貧困人口(1日1ドル25セント未満で生活する者)を2015年には1990年(世界人口の47%(19億2,600万人))の半分以下とすること)が超過達成されたことが国際連合により発表(注11)され、後継の目標であるSDGs (Sustainable Development Goals) が採択された2015年辺りになると、サブ・サハラ地域においても順調な経済発展が展開されるようになり、今日では失敗国家等一部の特別な理由のある地域を除いては、近代文明に基づく近代化が地球上全ての地域において順調に推移していることを確認することができる。

今日では、世界全体が猛然と近代化を推進しているのである。このような状況下、近代文明の出自のヨーロッパはともかく、アジア/アフリカ地域では日本の近代化だけが内生的近代化であり、他の全ての地域の近代化はヨーロッパまたは日本の「猿真似」の外生的近代化であるに過ぎない、という結論が果たして説得力を有するかどうかについては十分な検討が必要となっている。

この問題に取り組んだのが前述拙稿『第3新近代』であり、結論は、以下のようなものである。

「イエ社会」多系的文明進化史観によれば、内生的近代化は、近代文明を担う、手段的能動主義を集団規制原則とする中核的な組織(核集団)が内生的に生み出されることによって実現する。西ヨーロッパの封建制を支えた集団が、日本では「イエ」がそれに相当する、ということまでが村上泰亮本人が『イエ社会』で1979年に述べたところである。一方筆者は、以下のように、日本以外のアジア/アフリカ諸国においても近代文明を担う手段的能動主義を集団規制原則とする核集団が内生的に生み出される可能性があり、従って日本以外のアジア/アフリカ地域の多くにおいても内生的近代化を推進することができると思う。

日本の「イエ」が、日本独自の歴史的経緯、文化的特性等によって構築された日本独自のものであることは間違いない。一方、日本以外のアジア/アフリカ地域の多くの社会においても、それぞれ独特の集団が独自に構築されてきていることもまた間違いない。

「イエ」とそれら集団との違いは、集団規制原則が手段的能動主義であるかどうかである。『イエ社会』の記述によれば、「イエ」は集団規制原則が手段的能動主義であり、それゆえに近代文明を担う核集団となり得たのに対して、アジア/アフリカのそれら集団は集団規制原則が手段的能動主義ではないため、近代文明を担う核集団とはなり得なかったとされる。

筆者は、後に述べる情報社会学近代化モデルの立場からこの

結論に疑問を呈し、アジア/アフリカのそれら集団は十分に手段的能動主義を集団規制原則とし、それゆえに近代文明を担う核集団となり、結果としてそれら集団を擁するアジア/アフリカ社会は内生的近代化を推進することができると思う。

導入する情報社会学近代化モデルの最大の示唆は、近代化過程の再帰性の考え方である。近代化過程の再帰性とは、ギデンズ(Giddens, Anthony)の「再帰的近代(reflexive modernity)」の考え方を情報社会学及び応用情報社会学で解釈し直したものであり、近代化は、同一の地域を対象に、何度も繰り返し、古い世代の近代化を上書きする形で展開する、ということである。一度も近代化の洗礼を受けていない地域をグリーン・フィールド、一度近代化が進化した地域をブラウン・フィールド、と呼ぶ。現下の地球上でグリーン・フィールドは事実上存在しない。ブラウン・フィールドにおいて、何度も何度も、過去に行われた近代化を上書きする形で新しい形態の近代化が進展しているのである。

この考え方を援用し、筆者は以下のように考える。

近代化は再帰的に進展するため、近代化(近代文明)には段階があることになる。後述するように情報社会学近代化モデルではこの考え方に立脚して、近代文明の中に、概ね1世紀間を単位とする局面を設定している。即ち、手段的能動主義を集団規制原則とする集団が核集団となって推進する近代化は、必ず何れかの局面の近代化であることになる。このため、局面が変わって(情報社会学近代化モデルでは、局面の変更のことを、局面遷移、と呼ぶ。)も引き続き新しい局面の近代化の推進に有効である種類の核集団もある一方、特定の局面の近代化の推進においてのみ有効である種類の核集団もあることになる。更に、世界全体の近代化がある特定の局面に到達するまでは有効性を示すことがなかったものの、ある局面に到達して初めてその有効性を示すことになる核集団もあり得ることになる。

以上のような考え方に立つと、以下の2つの仮説を考えることができるというのが『第3新近代』の内容である。

第1の仮説は、「イエ社会」が後半の大部を割いて礼賛している「イエ」は、確かに手段的能動主義を集団規制原則として近代化を推進する核集団としての機能を果たしたものの、それは、情報社会学近代化モデルで言う20世紀パラダイムの局面の近代化のみに限定された現象であり、世界全体の近代化が21世紀パラダイムの局面へと局面遷移するようになると、最早その有効性を失い、結果として日本社会は新しい局面の近代化を「内生的には」有効に推進できないようになってきているのではないかと、思うのである。

第2の仮説は、アジア/アフリカ社会が内生的に育てて来た独自の組織の中には、世界の全体の近代化の趨勢が20世紀パラダイムであった時期においてはそれらが近代化を推進する核集団としての機能を発揮する機会は限定的であったものの、近代文明が局面遷移を続け、趨勢が21世紀パラダイムへ、更には22世紀パラダイムへと遷移した場合には、それらは十分に近代化推進の核集団としての機能を果たすようになるのではないかと、思うのである。

「イエ社会」で示されている内容は、厳密に言うと、第1に、16世紀半ばに西ヨーロッパで近代文明は成立し、その成立に



は世界的な辺境農耕文明の中で西ヨーロッパにおいて生まれた封建制の諸制度が手段的能動主義を集団規制原則とする近代化の核集団として機能したことが重要であった、ということ及び第2に、19世紀半ばに日本が後発国として「追い付き」型の近代化を開始して以降、19世紀半ばから20世紀初頭の期間に国民国家建設を、また20世紀後半に産業化を大成功させることができた大きな要因は、日本において独自に育まれてきた「イエ」という集団が手段的能動主義を集団規制原則とする近代化の核集団として極めて有効に機能したことである、ということだけに過ぎない。このため、日本の「イエ」については、それが国民国家建設及び20世紀後半の産業化以外の近代化の要請に対して有効に機能する証左は示されていない。また、アジア／アフリカ社会で独自に育まれてきている集団が、凡そ近代化の全ての局面において手段的能動主義を集団規制原則とする近代化の核集団として機能することを否定する材料も示されていない。

これらのことから筆者は、今後近代化の局面遷移が21世紀パラダイムへと進んで行き、日本が大成功を示した20世紀パラダイム局面の近代化とは異なる要請が強調されるようになるに依りて、多くのアジア／アフリカ社会が、それぞれ独自に育んできた集団が手段的能動主義を集団規制原則とする近代化の核集団として機能するようになる可能性があるとして、近代文明史上、内生的近代化は、『イエ社会』が示したように、近代文明の出自の西ヨーロッパ及び日本だけに特有のものではなく、多くのアジア／アフリカ社会が実現していくものとして、そのモデルを「Global Endogenous Modernization」モデルとして提示した（注12）。

## 2.2 情報社会学近代化モデルの20世紀パラダイム／21世紀パラダイム

情報社会学近代化モデル（the Modernization Model of Infoscionomics）は、「駒場学派」の主要メンバーの一人で『イエ社会』の著者の一人でもある公文俊平が構築したものであり、2000年に公文俊平が開始し、2005年に日本国内の学会（情報社会学会（Society of Infoscionomics））が設立された情報社会学（Infoscionomics）の研究の中核をなすモデルである。

情報社会学近代化モデルについては、応用情報社会学会のweb（注13）の説明を要約すると、以下のようになる。

情報社会学近代化モデルとは、16世紀半ば以降の近代文明の動きを、国家化（政治の動き）、産業化（経済の動き）及び情報化（ソーシャルの動き）の3つの動きの重畳で捉えるとともに、それぞれの動きが時間の経過とともに変化していくことにより、社会全体の態様が大きく変化していくことを捉えたモデルである。変化は、出現局面、突破局面及び成熟局面のプロセスを辿る。

国家化は、概ね16世紀半ばに開始された。16世紀半ばから18世紀半ばの期間においては、主権国家という形態（国家化Ⅰ）、18世紀半ばから20世紀半ばの期間においては、国民国家という形態（国家化Ⅱ）が趨勢を占め、20世紀半ばからは、統合国家という形態（国家化Ⅲ）が重要性を高めている。国家化に関する今日の状況は、国家化Ⅱ（国民国家化）の成熟局面と

国家化Ⅲ（統合国家化）の出現局面との重畳であり、数の上でも実効性の上でも国民国家が引き続き趨勢を占めてはいるものの、世界システムにおいては、国民国家だけではなく、統合国家という新しいポリティの動きも無視できない重要性を持つようになりつつある。

産業化は、概ね18世紀半ばに開始され、18世紀半ばから20世紀半ばにかけての期間は、労働産業化という形態（産業化Ⅰ）が趨勢であり、20世紀半ばからは、知能産業化という形態（産業化Ⅱ）が重要性を高めている。産業化に関する今日の状況は、産業化Ⅰ（労働産業化）の成熟局面と産業化Ⅱ（知能産業化）の出現局面との重畳であり、数の上でも実効性の上でも労働産業化が引き続き趨勢を占めてはいるものの、世界全体の経済の動きを見渡すならば、労働産業化だけではなく、知能産業化という新しい産業の動きも無視できない重要性を持つようになりつつある。

情報化については、20世紀半ば以降、社会全体のデジタル化を中核的な内容とする情報化Ⅰが進展している。モデル上は、22世紀半ばからは情報化Ⅱが開始されることになると考えられるものの、今日においては確たることは言えない。

21世紀の今日は、成熟局面にある国民国家化と出現局面にある統合国家化の組み合わせ、成熟局面にある労働経済化と出現局面にある知能経済化の組み合わせ、及び出現局面から突破局面に向かいつつある情報化の3つの動きの重畳として捉えられる、とするものである。

情報社会学近代化モデルについては、筆者は2021年12月に公文俊平との共著で教科書を世界同時出版したところであり、（注14）これ以上立ち入ることは差し控え、本研究に関係する、先述の仮説を検証するために必要な部分についてのみ検討していくこととする。本研究で問題になるのは、情報社会学近代化モデルの示す近代化の20世紀パラダイムと21世紀パラダイムの対比である。

情報社会学近代化モデルの20世紀パラダイムとは、19世紀半ばから20世紀半ばを対象とする近代化の局面であり、政治の動きは国民国家建設が中心であり、経済の動きは第1産業化（労働中心産業化：automation）の中の第1次産業革命及び第2次産業革命が中心であり、情報化（ソーシャル化）の動きは未だ始動していなかった局面である。

情報社会学近代化モデルの大きな特徴となるのが、第2産業化（auto'no'mation）の考え方である。第1次産業革命も第2次産業革命も第3次産業革命も、それらはいずれも人間が企画、設計、指揮等のイニシアティブを採る形態の第1産業化（automation）の局面として捉えられるものである一方、20世紀半ばからは、AIがそれらのイニシアティブを採る、全く新しい形態の産業化である第2産業化（auto'no'mation）が開始されているとする主張である。

〔図2〕は、情報社会学近代化モデルの経済の動きのうち、第1産業化内の3つの産業革命をまとめたものである。

	1750	1850	1950	2050	2150
Industrial Revolution I	Steam/steel	Steam/steel Textile/light industries	Steam/steel Textile/light industries Railway/infrastructure	Textile/light industries Railway/infrastructure	Railway/infrastructure
Industrial Revolution II			Heavy/chemical/electric	Heavy/chemical/electric Assembly	Heavy/chemical/electric Assembly Service/finance
Industrial Revolution III				Digitization/networking	Digitization/networking DX

図 2 情報社会学近代化モデルにおける第 1 産業化の局面遷移 (出典：公文俊平を筆者が図表化)

第 1 次産業革命は、蒸気機関・鉄鋼産業を中心とする第 1 局面 (出現局面)、繊維産業・軽工業を中心とする第 2 局面 (突破局面) 及び鉄道・インフラ産業を中心とする第 3 局面 (成熟局面) から成る。第 2 次産業革命は、電気・重化学工業を中心とする第 1 局面 (出現局面)、アセンブリー系製造業を中心とする第 2 局面 (突破局面) 及びサービス・金融産業を中心とする第 3 局面 (成熟局面) から成る。20 世紀パラダイムとは、経済の動きに関しては、このうち第 1 次産業革命の 3 局面全部と第 2 次産業革命の中の第 1 局面 (電気・重化学工業) 及び第 2 局面 (アセンブリー系製造業) のみを指す。

これに対して 21 世紀パラダイムとは、20 世紀半ばから 21 世紀半ばを対象とする近代化の局面であり、政治の動きについては、成熟局面にある国民国家建設と出現局面から突破局面へと向かう統合国家建設の 2 つの動きの重畳を見て取ることができる。

経済の動きについては、第 2 次産業革命の第 1 局面 (電気・重化学工業) 及び第 2 局面 (アセンブリー系製造業) に加えて、第 3 局面 (サービス・金融産業) が中心となる。これに加えて、第 3 次産業革命の第 1 局面 (出現局面) が本格化し、また第 3 次産業革命の第 2 局面 (突破局面) も出現することとなる。

第 3 次産業革命の内容については現在応用情報社会学において検討が加えられているところであり定説は確定しないものの、今日のところでは、第 1 局面は、デジタル化/ネットワーク化、第 2 局面は DX (デジタル・トランスフォーメーション) とされているので本研究もそれに従う。

経済の動きでは、これらに加えて 21 世紀パラダイムでは、第 2 産業化 (auto'no'mation) が開始されるとされている。第 2 産業化とは、知識中心産業化 (intelligence-centric industrialization) のことであり、先述の通り、第 3 次産業革命までの第 1 産業化 (labor-centric industrialization : automation) に対比する概念である。内容は、21 世紀初頭以降世界で熱心に議論されているシンギュラリティ、第 2 機械時代等の議論を踏まえて構築された、人間ではなく、AI (汎用 AI) が企画、設計、指揮等生産に関わるあらゆる現場でイニシアティブを採る形態の産業化である。

情報社会学近代化モデルの整理では、第 1 次産業革命は蒸気機関・鉄鋼産業を中心とする第 1 局面、繊維産業・軽工業を中心とする第 2 局面及び鉄道・インフラ産業を中心とする第 3 局面から成り、第 2 次産業革命は、電気・重化学工業を中心とする第 1 局面、アセンブリー系製造業を中心とする第 2 局面及びサービス・金融産業を中心とする第 3 局面から成るとしており、その限りにおいては、ドイツ政府の Industrie4.0 論等、他のモデ

ルと親和性のあるモデルとなっている。第 3 次産業革命は、第 1 局面をデジタル化/ネットワーク化、第 2 局面を DX、第 3 局面は現時点では不明としているものの、これらについても他で展開されている産業化の議論と根本的に相容れないものとはなっていない。

一方で情報社会学近代化モデルが提示する、AI が産業に関する企画、設計、管理等全てのプロセスのイニシアティブを採る、全く新しい形態の産業化である第 2 産業化 (auto'no'mation) の考え方は、他の研究では十分に展開されていない、ユニークなものとなっている。

第 2 産業化の考え方の是非についてはここでは議論を避けるものの、本研究との関係では、近代化の 20 世紀パラダイムには含まれていなかった第 2 産業化の出現局面が 21 世紀パラダイムでは含まれる、ということが重要な意味を持つ。

以上のような 20 世紀パラダイムと 21 世紀パラダイムの対比を図示したものが [図 3] である。

	1750	1850	1950	1950	2050	2150
nationalization	I : Sovereign	States	Building	II : Nation	States	Building
					III : Integrated	States
Industrialization	I : labor	-centric	(automation)	II : Intelligence	-centric	(autonomation)
					I : Informatization	

図 3 情報社会学近代化モデルにおける 20 世紀パラダイムと 21 世紀パラダイム (出典：公文俊平を筆者が図表化)

20 世紀パラダイムとは、政治の動きに関する課題は、中心は国民国家建設、一部統合国家建設である。経済の動きに関する課題は、中心は第 1 次産業革命 (蒸気機関・鉄鋼産業を中心とする第 1 局面、繊維産業・軽工業を中心とする第 2 局面及び鉄道・インフラ産業を中心とする第 3 局面) 及び第 2 次産業革命中の電気・重化学工業を中心とする第 1 局面、アセンブリー系製造業を中心とする第 2 局面の推進であり、一部サービス・金融産業を中心とする第 3 局面への対応が必要となる。情報社会学近代化モデルにおいて近代文明を支えるとされる社会の動きの 3 本柱のうちの 1 つである情報化 (ソーシャル化) の動きは本格化していない。

これに対して 21 世紀パラダイムとは、政治の動きに関する課題としては、国民国家建設のみならず統合国家建設も重要な課題となる。顕著な差が出るのが経済の動きに関する課題である。第 2 次産業革命中の電気・重化学工業を中心とする第 1 局面、アセンブリー系製造業を中心とする第 2 局面の推進は引き続き重要な課題として残るものの、それらに加えてサービス・金融産業を中心とする第 3 局面への対応、更には第 3 次産業革命 (第 1 局面がデジタル化/ネットワーク化、第 2 局面が DX。) が重要となる。加えて先述の第 2 産業化 (auto'no'mation) への対応も必要となる。

更に 21 世紀パラダイムでは、政治の動き、経済の動きに加

えて情報化（ソーシャル化）の動きに対応することも必要となる。

以上のような情報社会学近代化モデルの局面遷移の考え方を踏まえると、21世紀の今日では「イエ」の役割については、以下のように整理することが可能である。

内戦終了後の明治政府が直面した課題は、国民国家建設、即ち国民国家建設に必要な数多くの近代的な組織を構築し、適切に運営して行くことである。『イエ社会』が述べているように、明治政府は、数多くの近代的な組織の構築及び運営を、徳川期には弱体化されてはいたものの日本人がその運営方法を色濃く共有していた「イエ」の恩恵を存分に受けながら推進していった。「イエ社会」曰く、「産業化のための社会的条件をここで説明のために再整理して列挙すれば、（1）政治的統一、（2）配分システム（たとえば市場システム）の高度化、（3）生産と消費の分化（労働力の流動化）、（4）教育の制度化、（5）中間的組織と官僚制の存在、であった。これらの条件は産業化を可能にするものではあるが、それら自体が直ちに産業化を創始する力をもつものではなく、その意味でまさしく先行条件にすぎない。そのような社会的先行条件に関するかぎり、徳川期日本社会はむしろヨーロッパ以上に恵まれた状態にあったということである。」（注15）。

また、大東亜戦争敗戦後の日本が直面した経済成長と言う課題に対しては、「イエ」を基盤にして造り上げた日本型企业という組織を最大限に活用することによって対応した。この方法は、1970年代には日本的経営方式、として世界にその有効性が喧伝された。『イエ社会』曰く、「学歴と年功とを基準とする階層性、終身雇用制、新卒者の採用、企業内教育、企業内福祉制度等を特徴とするこの「日本的経営」は、経営体の系譜性や強固な統合力・分裂増殖力を保持しつつも、メンバー間の結びつきの機構としての血縁性を大幅に払しょくし、イエ原則を機能的に純化したものであり、徳川期の（準）大イエ型経営体を産業化に適合的な方向に組織革新したものとみなすことができる。それは、従業員に強い帰属感を与え、彼らの忠誠心と自発性を調達することに成功した。とくに稟議制的意思決定方式の採用は、20の積極性を開発するとともに、企業内の情報流通を促進し、イエ型企業を活性化する上で、大きな意味を持っていた。イエ型企業は変化する環境への適応能力を豊かに備えた社会的発明であった。（注16）。

「変化する環境への適応能力を豊かに備えた社会的発明」と礼賛されたイエ型企業及びそれによって構成される日本的経営は、しかしながら20世紀末以降は大きくその効果を低下させたことには十分な理由がある。産業化の成功の程度を測定する指標としては、一人当たりGDPを示すことが適切であり、それは1990年代初頭に日本は世界第3位を占めていた一方、2020年代には20台の下位を推移している（注17）。

その要因は、上記情報社会学近代化モデルの20世紀パラダイムと21世紀パラダイムの対比の考え方から鮮明にされる。

19世紀末以降、日本が世界を主導した産業は、ほぼ20世紀パラダイムの主導産業に相当する。繰り返すと、20世紀パラダイムの主導産業とは、第1次産業革命（蒸気機関・鉄鋼産業を中心とする第1局面、繊維産業・軽工業を中心とする第2局面

及び鉄道・インフラ産業を中心とする第3局面）及び第2次産業革命中の電気・重化学工業を中心とする第1局面、アSEMBリー系製造業を中心とする第2局面である。一方、21世紀パラダイムの主導産業は、第2次産業革命の第3局面であるサービス・金融産業及び第3次産業革命の第1局面であるデジタル化／ネットワーク化及び第2局面であるDXである。今日の状況を見ると、サービス・金融産業、デジタル化／ネットワーク化及びDXについて、日本が、かつて重化学工業、アSEMBリー系製造業で見せたような世界に冠たる成果を挙げており、かつその成功は「イエ」に起因する日本的経営方式である、と主張することには相当の無理があると断じざるを得ない。

即ち、Global Endogenous Modernization に関する筆者の仮説の1には、情報社会学近代化モデル上、それを裏付ける相当の理由があると見ることは不可能ではない。

続いて仮説の2は、今後の世界の近代化の局面遷移の動向に依ることとなり、現時点で早急に結論を急ぐことは適切ではない。この仮説の検証については、現在、筆者が副会長を務める世界応用情報学会（Global Society of Applied Infoscconomics : Glo-SAI）をプラットフォームとして、世界各地の研究機関等と共同研究を推進中である。

### 2.3 技術パラダイム文明進化史観

本研究が依拠する先行研究の第3が、技術パラダイム文明進化史観である。これは、「駒場学派」の一員であり、情報社会学の創始者である公文俊平が、「駒場学派」の経緯を踏まえつつ独自に構築したものである。

その構造は、以下のようになっている。文明の進化の動因を技術の進歩に置くところは村上泰亮に倣うものの、新たな文明を生み出すことになる技術パラダイムの類型に、通常の技術パラダイムに関する概念である物的技術（情報処理機構としての人間の内面には関与せず、人間の外部である世界の状態を変更するために用いられる技術の体系）に加えて、もう1つの技術パラダイムとして、心的技術（人間の内面、即ち人間の情報処理機構のあり方そのものを変更するために用いられる技術の体系）を挙げることである。これにより、文明の進化の方向性としては、物的技術を発達させる文明（未来志向型文明）の方向と、心的技術を発達させる文明（過去志向型文明）の2つの方向があることとなり、公文俊平は、それぞれ交互に世界で趨勢を占めるようになるとする。

このような考え方に立脚し、公文俊平は、以下のような「文明進化の3公理」を示す。第1公理は、「未来指向型の文化をもつ文明は物的技術の突破に成功する」ことである。第2公理は、「過去指向型の文化をもつ文明は心的技術の突破に成功する」ことである。第3公理は、「文明の交代は、発展の限界に達した既存文明の周辺に生ずる「文化革命」が契機となる（文明の限界は新文化で乗り越える）」ことである。

地球上にこれまで成立した文明は、以下のように整理される。

物的技術突破型の文明は、第1に始代文明であり、第2に古代文明であり、第3が現下の近代文明である。心的技術突破型の文明は、第1に呪術文明であり、第2が近代文明に先行した宗教文明である。

今後については、現行の近代文明が物的技術突破型であることから、直後には心的技術突破型の文明が趨勢になることが予想され、それを智識文明と呼んでいる。その智識文明もやがては崩壊し、その後には新しい物的技術突破型の文明が趨勢になることが予想され、それを超人文明、と呼んでいる。

以上を整理すると、人類の文明史は以下のように整理される。

(年前)	20万年	5万年	1万年	3千年	1千年	将来①	将来②
未来志向型	始代文明		古代文明		近代文明		超人文明?
過去志向型		呪術文明		宗教文明		智識文明?	

図4 技術パラダイム文明進化史観 (出典：公文俊平を筆者が図表化)

この文明進化史観の本研究に対する最大のインプリケーションは、心的技術、という概念の提示である。この概念の提示により、宗教文明をも近代文明と同じ枠組みで文明として捉えて行くことが可能になるのみならず、地球上に存在する数多くの社会システムにおける社会制度をも文明として捉える途が開け、本格的な多系的文明進化史観を構築することが可能になる。

近代文明に棲む私達は、技術及びその体系であるテクノロジーとは、人間側の情報処理機構には手を付けず、人間の有する効用関数も一切変更することなく、その効用関数に基づき効用を最大化するために人間の外側の世界(環境)に働き掛けるものであると考えている。そのような指向性を持つ技術は確かに技術である。しかしながら、人類の生み出した技術は、そのような指向性を持つものが全てではない。人間の外側の世界に働き掛けるのではなく、人間の内側、即ち情報処理機構に働き掛けて、人間の効用関数そのものを変更しようとするための操作的な手続きのシステムもまた技術として捉えるべきである。近代的な技術に拘泥することなく、広く技術を定義するとすれば、「対象の状態を変更しようとして行われる操作的な手続きの体系」であることになり、この場合の対象には、人間の外側の世界(環境)の場合もあれば、人間の内側の情報処理機構の場合もあるためである。

人間が技術によって働き掛ける対象として、人間の外側の世界(環境)及び人間の内側の情報処理機構の2つを捉えることにより、凡そ技術に関しては全ての文明の類型を網羅することができると考えられる。

公文俊平の心的技術の概念の背景には、1980年代初頭に日本の政府関係機関の強い関与によって構築された、応学(adaptceering)の考え方がある。

1980年代初頭の日本の政府関係者の間では、世界有数の経済大国になった自負の上に、自然科学のみならず社会科学の面でも世界に貢献しようとする機運があった。それらの人々は、1985年に開催されることとなっていた筑波科学技術博覧会(筑波博)をそのための機会としようと考え、筑波博のテーマを「人

間・居住・環境」に設定し、当時の日本の最高の識者を集めて人間分科会、居住分科会及び環境分科会を開催し、それぞれにおいて、日本発の新たな社会科学の提示が目指された。

応学は、公文俊平も委員として参加した居住分科会において、公文俊平によって提示されたものである。その内容は、工学(engineering)の対概念であり、工学が人間の効用関数は所与のものとした上で、その効用を増大するために人間の外部環境を操作するための手続きの体系であるのに対して、外部環境の状態を所与のものとした上で、その外部環境の中で高い効用を享受できるように人間の内部に働き掛け、効用関数そのものを変更していくために用いられる手続きの体系であるとされる。

居住分科会では、この応学概念を用いて、近代文明の進化の方向性として、「工学から応学へ」というスローガンが掲げられることとなった(注18)。「工学から応学へ」というスローガンの趣旨を、当時の筆者は以下のように理解した。

近代文明はこれまでヨーロッパ中心で運営されてきたものの、結果として1980年代初頭の時点においては多くのシステムック・リスクに直面することとなっている。その根本的な原因は、ヨーロッパ人が技術パラダイムとしては工学しか知らなかったため、即ち人間の欲望たる効用関数を手付かずで放置した上で、その効用関数に基づく効用を増大するために無尽蔵に自然環境を工学的に弄りまわしたためである。その結果、最早地球環境は人間の無尽蔵な工学的な改変を受容できる状態にはなくなってしまった。このため今後求められるのは、自然環境は無尽蔵に改変できるとする考え方を捨て、自然環境の状態を所与のものとして、これまでは聖域とされてきた人間の効用関数そのものを変更することである。そのためには応学を確立し、活用していくことが必要となる。一方応学については、日本を始めとする東洋の哲学においては長年に亘って多くの叡智が開発されてきており、それらを検討していくことが応学の確立にとって重要となる。即ち、今日近代文明に求められているのは、近代文明の運営を、工学しか知らないヨーロッパ人だけに委ねるのではなく、応学に繋がる多くの知見を擁するアジア人もまた近代文明の運営において重要な役割を果たすようになることである。筑波博を契機に、日本人は、そのような近代文明の運営のグローバル化のイニシアティブを採っていかねばならない、というものである。

応学概念の是非については本研究では検討することは控えるものの、本研究の問題意識からは、応学の考え方が発展し、それが心的技術として文明の進化における1つの進化肢として取り上げられることとなり、それに基づいて技術パラダイム文明進化史観が構築されたことが重要な意味を持つ。

#### 2.4 地球文明進化史観

上記「駒場学派」による文明進化史観研究と同じ時期に、情報環境学を創始した脳科学者である大橋力とその研究者グループは、脳科学、音響生理学等を土台にして全く独自の文明進化史観の構築に取り組んだ。大橋力は、研究拠点を筑波大学に置いており、またその学問的背景が社会科学ではなく脳科学、音響生理学等であったために東京大学教養学部の社会科学者から成る「駒場学派」には含まれない。但し大橋力は上記筑波

博の分科会においては、居住分科会と環境分科会に委員として参加しており、環境分科会においては、村上陽一郎等と協働で情報環境学の考え方を提示しており、「駒場学派」の研究者とも人的交流は篤かった。

大橋力は1970年代より独自の近代文明論を展開してきており、その最新の成果が2019年から2022年にかけて岩波書店の月刊誌科学の連載(注19)として取りまとめられた。ここで示された内容のうち、文明進化史観として捉えられる部分を本研究では、地球文明進化史観、と呼ぶ。これは、本研究が依拠する第4の先行研究である。

大橋力が著書及び「科学—地球」の連載において述べている内容は多岐に亘るため、本研究では、文明進化史観に関する部分のみを採り上げる。

地球文明進化史観の最大の特徴は、文明の類型を、その文明の成員が文明の運営において活用する脳機能によって分類する、という方法論である。この方法論は、若干の修正を加えつつ基本的には脳機能文明分析に継承されている。

翻って考えてみれば、文明を類型化する方法論は、それぞれの多系的文明進化史観の特徴の根幹をなすものである。

「イエ社会」多系的文明進化史観は、文明の運営を担う集団である核主体の集団規制原則であり、これはある種の「思想」と見ることができる。曰く、「各発展枝そのものに明瞭に対応させることができるのは、各発展枝固有の社会観であり、ものの見方であり、その意味での広義の「思想」であることを指摘したい。(略)ある発展枝にはそれ固有の思想が対応し、とくにそれ固有の集団規制原則が対応する。重要なのは、各発展枝についてそのような対応を明らかにすることであろう。」(注20)。近代文明とは、それが手段的能動主義(instrumental activism)である文明であるとされる。

技術パラダイム文明進化史観では、技術パラダイムである。技術パラダイムには、物的技術と心的技術があり、このことから文明は物的技術を進化させる未来指向型文明と心的技術を進化させる過去志向型文明の2つの類型に分類される。言うまでもなく、技術とは、対象を操作する場合の手続きのことであり、それを組み立てる「思想」としての側面が濃厚である。

これらに対して地球文明進化史観では、文明の類型を決定する要因として、脳機能のあり方を挙げているのである。

地球文明進化史観では、文明の類型を決定する脳機能のあり方について、3つの概念モデルを示している。「プリセット脳—ライトワンス脳—ランダムアクセス脳」モデル、「単個体独立脳—群個体協調脳」モデル及び「全体脳—離散脳」モデルである。これらのうち、文明の類型を決定するのが後者の2つのモデルである。

それぞれ2つの脳機能の類型があるので、 $2 \times 2$ で合計4つの文明の類型が示されるかという両者は独立変数ではないためそうではなく、人類史上登場した文明は、全体脳駆動と群個体協調脳の組み合わせで運営される文明と、離散脳主導と単個体独立脳の組み合わせで運営される文明の2類型があるとされる。前者の例は、縄文社会、ピグミー社会、バリ島社会、インカ文明等であるとされる。後者の例は、シュメール文明、弥生文明、近代文明等であるとされる。

細部に異同はあるものの、このように文明の類型を2つに分類すること、及びその一方を離散脳主導及び単個体独立脳と呼ぶ概念で捉え、もう一方を全体脳駆動及び群個体協調脳と呼ぶ概念で捉えることは、技術パラダイム文明進化史観と大きな親和性を持つと言える。離散脳主導と単個体独立脳の組み合わせは、物的技術の概念そのものと一致するものではないとしても、内容上は、心的技術に比べれば遥かに物的技術と親和性の高いものであると考えられる。また、全体脳駆動と群個体協調脳の組み合わせは、心的技術の概念そのものと一致するものではないとしても、内容上は心的技術と親和性の高いものであると考えられる。

結果として、脳機能のあり方の視点から人類の文明を2つの類型に分類することについては、技術パラダイム文明進化史観と地球文明進化史観は同様の結論を導き出していることが可能である。

なお、大橋力は、近代文明が直面しているシステム・リスクは離散脳主導と単個体独立脳の組み合わせという脳機能のあり方に起因する問題であるため、近代文明の基本的な枠組みを継続する中ではそれらの本質的な解決は不可能であるとして、人類が全体脳駆動と群個体協調脳の組み合わせによる新しい文明へと移行すべきだと主張している(注21)。これに対して本研究は、「進化」という方法論によって、近代文明が近代文明の基本的な構造を維持したままでシステム・リスクを克服していく方法論を検討するものである。

### 3 脳機能文明分析とグローバル内生的文明進化史観

#### 3.1 脳機能文明分析

以上の先行研究を前提にして、本研究は、近代文明を含む文明の内生的進化を説明する文明進化史観の構築に取り組む。基本的な戦略は、脳機能文明分析に所要の改正を加えた上で、「イエ社会」文明進化史観で示された、中心と周辺の邂逅のダイナミズムに基づく世界システムの構造を導入するものである。

脳機能文明分析は、大橋力等により示された脳科学の研究成果を筆者が独自に解釈することによって筆者が独自に構築した文明進化史観である。脳科学の研究成果については、大橋力の著作、特に「音と文明」(注22)に依拠している一方、脳機能文明分析で示される脳科学の研究成果は、筆者が相当乱暴に整理したものとなっており、大橋力の記述そのままではない。

脳機能文明分析は、「駒場学派」の系譜を牽く多系的文明史観の1つであり、文明の類型を設定し、それらが相互に相当程度の独立性を持って進化を遂げていくと見る。この場合の文明の類型の設定において、脳機能文明分析は、その名の通り、脳機能のあり方を問題にする。脳機能のあり方によって文明の類型を整理するという方法論を採用することについては、大橋力の地球文明史観と同様である。この意味において、脳機能文明分析は、「駒場学派」の多系的文明史観と、脳科学の研究成果を文明史観に導入する地球文明史観とのハイブリッドの立場にあることになる。但し、文明の類型を決定する脳機能のあり方が、地球文明史観と脳機能文明分析では大きく異なる。

脳機能文明分析の構造は、以下のようなものである。

まずは、文明を独自の方法で定義する。脳機能文明分析では、文明とは、社会システムにおいてガバナンス機能を果たす社会制度の体系、と定義される。ガバナンスについては、リチャード・O・ウィルソンの社会生物学の考え方に依り、「文明の中で生活する成員に対して、利他行動を奨励し、利己行動を抑制させること」をガバナンス、と呼ぶ。この意味におけるガバナンスの機能が当該社会システムにおいて発揮されるように構築され運営されている多くの社会制度の束が文明である、とする定義である。

脳機能文明分析がこのようなガバナンス機能に基づいた文明の定義を行うのは、地球上に登場する様々な種類の文明を、可能な限り中立的に扱おうとするためである。多系的文明進化史観は、定義上複数の種類の文明を扱うことになる。このため、文明の定義については、特定の文明を過度に高く評価したり貶めたりすることのない中立的なものが必要となる。多系的文明進化史観の論者はそれぞれにこの問題に大きな注意を払ってきており、その結果、技術パラダイム文明進化史観における過去志向型文明のように、過去において、近代文明だけが文明であり、近代文明を運営するヨーロッパ人だけが文明人であり、それ以外の地域には文明は存在せず、そこに棲む人々は野蛮、未開であるとされた帝国主義時代には凡そ文明としては認められなかった多くの制度が、近代文明等と同格の文明として扱われるようになってきている。

一般的な文明論において用いられている文明の定義は、物理的建造物または法律体系等の明文化された制度に過度に重きを置くものとなっている。しかしながら、文明の中には、近代文明を代表とする未来志向型文明のように、壮大な物理的建造物または法律体系を構築するものもあれば、敢えて意図的にそれらを構築しないものもあり、両者ともに文明としては等価である。このため、求められる文明の定義は、文明史観において文明として捉える全ての社会制度において、必ず、かつ同等の重要性をもって存在している変数を扱うものでなければならない。

このことから、脳機能文明分析では、エドワード・O・ウィルソンの社会生物学の考え方を牽いてガバナンス機能の観点から文明を定義する。社会システムの成員に利他行動を促し利己行動を抑制するという意味でのガバナンス機能は、当該社会システムの存続、発展にとって不可欠、かつ最高度の重要性を有する要請であるため、そのための社会制度は、地球上に登場した全ての社会システムにおいて極めて重要なものとして存在する。このような定義を行なうことで、多種多様な種類の文明を中立的に扱うという要請を充足することができるものと考えられる。

脳機能文明分析では、このようなガバナンス機能を果たす社会制度、即ち文明には、活用する脳機能の違いによって以下の3つの類型があるとする。

第1類型脳機能は、脳の意識的、論理的情報処理機構を活用し、利己行動を抑制し利他行動に向かわなければならないことを「理屈（論理）で説得する」というものである。このように、毎回成員に利己行動を抑制し利他行動に向かわなければなら

ないことを「理屈（論理）で説得する」ことによってガバナンス機能を果たしている文明のことを、第1類型脳機能文明、と呼ぶ。

この類型の文明においては、社会システムの置かれた状況、社会システムの内容の変化等に応じて常に新たな理屈（論理）を構築し、それによって成員の説得に成功しなければガバナンスに失敗することとなり、文明の存続が危ぶまれることとなる。一方で、新たな理屈（論理）を構築すること自体は、人間の活動の中では大きく困難なものというわけではない。

特定の脳機能を脳器官の特定の部位と結び付けることは大変に危険であることは既に多くの脳科学者からの指摘を受けているところであるものの、平易な理解のために敢えて乱暴な説明をすると、この脳機能は、論理を扱うものであることから、大脳新皮質の意識層脳機能と強い関係があると考えられる。また地球文明史観の概念を用いるならば、ランダムアクセス脳、と呼ばれる概念に近い。

近代文明は、基本的にこの類型の文明である。

第2類型脳機能は、多くの伝統的コミュニティと呼ばれる社会システムにおいて用いられているガバナンスの方法であり、地球文明史観で言うライトワンス脳機能に近いものである。即ち、「利他行動に向かい利己行動を抑制する」価値体系を、脳の中に埋め込むのである。埋め込む先は、大脳新皮質の無意識層であると考えられる。

価値体系としては、伝統的コミュニティが長い年月をかけて育んだ神話、宗教上の教義等様々なものがある。このような価値体系が一度埋め込まれれば（ライトワンスされれば）、爾後その人間は第1脳機能のように、一々理屈によって説得されなくとも、その価値体系の示す内容によって、生涯「自動的に」利他行動へ向かい利己行動を抑制するのである。

一度埋め込めば爾後は放っておいても自動的にガバナンス機能が発揮されるということであり、一見、この類型の文明のガバナンスは楽、なように見えるものの、問題は、そのような価値体系の埋め込みの方法にある。これは、第1類型脳機能を使って説得に説得を繰り返しても達成されない。第2類型脳機能と呼ぶ、脳の状態の特別な活性化が必要なのである。近年、新興宗教の洗脳が大きな社会問題となっているところ、洗脳とは、まさしくここで言う価値体系の埋め込みなのである。一度洗脳され、特殊な価値体系が埋め込まれてしまうと、その人はその後、洗脳が解けるまで、「自動的に」当該新興宗教の教義が指示する内容の行動を採り続けるのである。

脳機能文明分析では、文化人類学、民俗学等の多くの研究成果を踏まえ、伝統的コミュニティにおける祝祭芸能（いわゆる、マツリ）がその価値体系の埋め込みに重要な効果を発揮しているのではないかと考える。

伝統的コミュニティにおける祝祭芸能は、帝国主義時代の白人至上主義下における文明の考え方では、近代文明と同等の文明として扱われることはなく、野蛮、未開等として文明人であるヨーロッパ人によって撲滅されるべきものとして扱われた。一方脳機能文明分析は、それが音楽、舞踊等文化として優れているという議論を超えて、文明のガバナンス上極めて重要なものであるという視座を示す。

脳機能の観点で見ると、祝祭芸能においては、大脳新皮質だけではなく、大脳辺縁系及び脳幹を含む全ての脳の器官（全体脳）が活性化させられ、そのように全体脳が活性化している状態ではじめて価値体系の埋め込みが成立すると考えられる。価値体系が埋め込まれる部位を強いて挙げるならば大脳新皮質の無意識層ということになると考えられるものの、物理的に大脳新皮質の無意識層だけをターゲットして活性化することは不可能であり、そのためには全体脳の活性化が必要であると考えられる。

伝統的コミュニティで制度化されている価値体系を埋め込むための祝祭芸能等、全体脳を活性化するための社会制度上の手続きのことを、脳機能文明分析では「文化子強化措置」（Cultural Elements Enforcement Measures）と呼ぶ。文化子とは、リチャード・ドーキンスの提唱した meme（ミーム）という概念の応用情報社会学における和訳である。

近代文明の外の多くの伝統的コミュニティにおいては、数多くの、またその内容が驚天動地の祝祭芸能が連綿と受け継がれてきた。それらの祝祭芸能は、近代文明とは大きく異なるものながら、立派にガバナンス機能を果たす制度であり、文明であることになる。世界中の多くの伝統的コミュニティと呼ばれる社会システムがこの類型の文明に相当し、また今西錦司の言う「棲み分け社会」もこれに該当する。

以上の2類型を掲げることは、技術パラダイム文明進化史観及び地球文明史観と親和性の高いものであると言える。

第1類型脳機能文明は、技術パラダイム文明進化史観における未来志向型（物的技術）文明及び地球文明史観における離散脳-単個体独立脳文明に相当すると見て大きな齟齬はない。また第2類型脳機能文明は、技術パラダイム文明進化史観における過去志向型（心的技術）文明及び地球文明史観における全体脳-群個体協調脳文明と近い内容を語っていると見ることができる。

一方で脳機能文明分析の大きな特徴は、以下の第3類型脳機能文明を挙げ、文明の類型に3層構造を持ち込むことである。

第3類型脳機能とは、いわゆるトランス脳機能である。

トランス脳機能について見ていくためには、人間の脳の構造について簡単に整理することが必要となる。脳機能文明分析では、先に触れたように、大橋力の著述を乱暴に整理することによって、脳の構造を、大脳新皮質、大脳辺縁系及び脳幹の3層構造で捉えている。これを図示すると、[図5]のようになる。

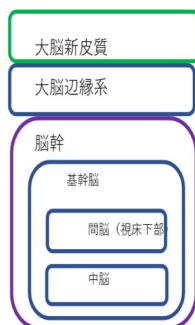


図5 脳機能文明分析における脳の構造モデル（出典：大橋力『音と文明』を筆者が図式化）

脳の構造については3層で捉え、また脳機能については3類型を挙げるものの、両者は1対1の対応関係にはない。即ち、第1類型脳機能は大脳新皮質に関する脳機能、第2類型脳機能は大脳辺縁系に関する脳機能、第3類型脳機能は脳幹に関する脳機能、というわけではない。第1類型脳機能は、大脳新皮質の意識層だけに関する脳機能であり、大脳新皮質の意識層脳機能と呼ぶことができる。第2類型脳機能は、特定の価値体系を大脳新皮質の無意識層に埋め込むものではあるものの、先述のように、そのためには全体脳を活性化する「文化子強化措置」を採ることが必要になる。このことから第2類型脳機能は、大脳新皮質の無意識層脳機能、ではなく、全体脳脳機能、と呼ぶ。

これらに加えて、人間の脳には、トランス脳機能と呼ばれる特別な脳機能が存在することが脳科学の研究者によって示されてきている。大橋力及びその研究者グループは、トランス脳機能についても優れた研究成果を多く挙げてきている。

大橋力の研究者グループの一員である河合徳枝は、バリ島の祝祭芸能で発生するトランス現象について、こう記述する。「奉納劇チャロナランは儀式の中で、演劇のかたちをとって開始されるものの、不特定多数の演技者および観客が途中から次々に忘我陶酔の意識変容状態に入り、しばしば失神するほど強烈なトランスを集団的に発生しつつ混沌の裡に終わるという形式をもつ。その態様の特徴は、生理状態の不連続な転換、および一人が引き金となったのち連鎖反応的に引き起こされる集団的発生、当事者の意識の狭窄、被暗示性の亢進、興奮状態、自動的動作、痛覚減弱、恍惚型・苦悶型の表情、筋硬直、けいれんなどである。なお、トランスからの回帰もプロトコルが確立しており、聖水散布、体性感覚刺激、筋硬直をゆるめるための高濃度アルコール飲料の経口投与などにより、数分以内に常態に戻る。トランス体験者は共通して、事後健忘を呈しつつも、多幸福感、爽快感、疲労感などを訴える。」（注23）。

このようなトランス現象は、神秘現象、特別な偶然等ではなく、人間の脳にビルト・インされている報酬系回路の活性化によって発生していることが知られている。即ち、トランス現象も、人間の脳に生得的に供えられた脳機能の1つと見ることができる。

大橋力は、『音と文明』においては、トランスに関する脳回路の機構を感性という名で呼び、以下のように説明する。感性の定義は、「ポジティブな情動を必須の属性とし、高次脳の活動に対して制御効果を発揮する脳内で最上位の行動（思考を含む）制御機構」であり、感性脳の定義は「脳幹ならびに脳幹を起点に高次脳を含む脳内諸領域に展開するモノアミン作動性神経投射系の統合によって構成されるシステム」である（注24）。そのような感性は、以下のようなメカニズムによって起動される。「感性を担う脳内器官としては、「脳幹」と、そこから高次脳に展開する内側前脳束を含む「モノアミン作動性神経投射系」のセットを想定している。この感性の回路によって前頭前野に代表される連合機能性の高次脳が制御可能であることは注目に値しよう。中でも、上部脳幹（中脳）から前脳前野を主な標的として投射されるモノアミン（ドーパミン）作動性のA10神経系は、その強力な正の報酬を発生させる作用によって、前脳前野に所在する諸器官、ここにもっとも中心的なオペレーティ

ング・システム機能に強力な制御効果を発揮するに違いない。」(注25)。

更に、その具体的な方法論についても、以下のように述べられている。「それは、文化人類学と脳科学とを結んだ実証的研究から観て、環境からの情報とりわけ祝祭性情報のシステム的な入力によって実現する可能性が期待できる。数知れない西欧の文化人たちにたった一度の遭遇体験から魂の甦りを導いている密教やバリ・ヒンドゥー教の祝祭性の儀式などは、そのよい実例となるだろう。さらに、参照すべき知識情報として、熱帯雨林に棲む純正な狩猟採集民たちの人類本来の遺伝子に導かれたライフスタイルは究極的な啓示となるだろう。」(注26)。

上記大橋力の定義では、モノアミン作動性神経投射系というのが鍵になっている。これは数十年前に日本で大流行した、脳内麻薬のことである。人間の脳の中には、β-エンドルフィン、ドーパミン等の圧倒的な快感体験をもたらす神経伝達物質を自ら生産する機構が備わっている。それは、人間が努力によって獲得するものではなく、生まれながらに備わっているものであり、近代文明人の私達の脳にもその機構は存在している。大橋力を基に、その機構を示したものが [図6] である。

脳幹の一部で生成された、いわゆる「脳内麻薬」がA-10回路に代表される報酬系回路を通じて、大量に、意識を司る大脳新皮質の前頭前野に放出されるのである。これにより、河合徳枝が記述したような、途轍もない圧倒的な快感の体験がもたらされる。

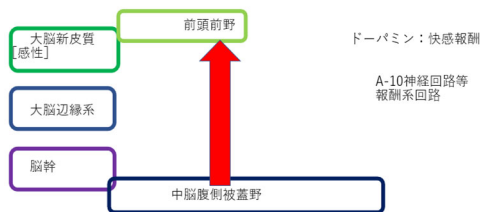


図6 トランス脳機能 (出典：大橋力『音と文明』を筆者が図式化)

トランス体験は、現下の近代文明のように、多くの文明においては強固に封殺されており、一般の人々がそれを体験することは極めて稀になっている。しかしながら、トランス脳機能は上記のように人間の脳内に設定されているものであり、所要の手続きを取ることにより、この回路は活性化され、人々は高い確率でトランス体験をすることができる。現実には、大橋力とその共同研究者が1980年代以降詳細に研究したように、インドネシアのバリ島では、村人全員が定期的にトランス体験をする社会制度が運営されている。

一方、大橋力とその研究者グループは、世界各地、取り分けバリ島の祝祭芸能において意図的かつ制度的に発生するトランス現象について世界に冠たる研究成果を挙げてきたにもかかわらず、これを文明の1つの類型として捉えることはなく、バリ島は、先述の全体脳-群個体協調脳文明の類型に属するものとしている。これは地球文明史観における文明の捉え方を反

映したものであると考えられる。

脳機能文明分析では文明の捉え方が異なるため、トランス現象についても別の扱いをすることとなる。脳機能文明分析は、ガバナンス機能の仕組みによって文明を類型化する。社会システムにおいて、成員が事実上全員、定期的にトランス体験をするために構築された制度は、ガバナンス機能を果たす特別な社会制度、即ち文明として捉えるべきであると考えられる。

トランス体験によるガバナンス機能は、理屈で説得する第1類型脳機能、祝祭芸能等の「文化子強化措置」によって特定の価値体系を埋め込む第2類型脳機能とは大きく異なる方法で達成される。定期的にも人々が集団でトランス体験をすることにより、個人の情報処理機構を集団的な情報処理機構の中に融解させ、ある種の「集合知性」を構築するという方法によってガバナンス機能が果たされているのではないかと、というのが脳機能文明分析の仮説である。

言うまでもなく、バリ島の伝統的コミュニティに棲む人々と雖も年中トランス体験をしているわけではなく、暦に応じて年に数回である。一方、年に数回であっても個人の情報処理機構を「集合知性」の中に融解させる経験をした人々は、頑強な個人の効用関数の維持に固執するのではなく、集団全体の効用関数を、比喩ではなく、実際に自分の効用関数として認識するようになるのではないかと考えられる。理屈で説得されたわけでもなく、また特定の価値体系が埋め込まれたためでもなく、集団全体の効用がそのまま自分の効用として認識されるようになるのである。ここにおいては利他、も、利己、もなく、自分の効用として考えることがそのまま集団全体の効用を意味するようになるのである。この「集合知性」型のガバナンス機能を支える、定期的にも人々が集団でトランス体験をするために運用される社会制度が第3類型脳機能文明である。

### 3.2 文明の定義

以上のような脳機能文明分析に、「イエ社会」多系的文明進化史観で示されている世界システムのグローバル化の枠組みを導入することにより新たなグローバル内生的文明進化史観を構築することが本研究の目的である。

この目的のために脳機能文明分析に加える第1の修正が、文明の定義である。

先述の通り、「駒場学派」の系譜を牽く多系的文明進化史観においては数多くの種類の文明を扱うことになるため、文明の定義については高度の中立性が要求される。このため脳機能文明分析では、エドワード・O・ウィルソンの社会生物学の考え方を牽き、文明を、「社会システムにおいて、成員の利他行動を促し利己行動を抑制するというガバナンス機能を果たす諸制度のシステム」と定義したものである。

しかしながら、この定義の中立性については更なる検討の余地がある。利他、利己、とは、特有の効用関数を有する個人が成立していることを前提としている。その個人の効用関数の存在を前提にして、他人の効用を下げることを厭わずに自らの効用の増大を志向することが利己であり、自らの効用を減少させてでも他人の効用を増大させようとするのが利他である。しかしながら、このように自らの効用関数が確立しており、かつ



それと他人の効用関数を対比させることは、近代文明を始めとする一部の文明においては当たり前のことである一方、それに馴染まない文明も多く存在する。

新しい文明進化史観を構築するに当たっては、より一段中立性を向上させた文明の定義が必要になる。どのような内容の文明の中で生きるとしても、凡そ人間が社会生活を送る上では絶対に避けることができない行為を基礎に文明を定義すべきである。

そこで本研究では、五感を通じて人間の外部から人間の脳という情報処理機構に入力された情報を概念化する、という行為を採り上げることとする。この行為のメカニズムについては、井筒俊彦が『意識と本質』（注27）において、西洋哲学と対比した場合の東洋哲学の独自性を包括的に、かつ極めて精緻に整理しているところであるため、この概念化の行為のことを、井筒俊彦に倣って、分節化と呼ぶこととする。分節化は、人間が社会的な生活を送る上では絶対に避けられない行為であるため、そのための方法論のあり方によって文明を定義することにより、中立性の高い定義を構築することができるのではないかと考えられる。

分節化の過程とは、『意識と本質』によると、以下のようなものである。

人間の外界から五感を通じて入力された情報そのものは、電磁波(光)、弾性波(音)そのものであり、それらは分節化され、概念が付与されない限りは、単に「ただ何か得体の知れない、ぶよぶよした、みだらな裸の塊り」である。そのような「本来的には全然分節のない「黒々として薄気味悪い塊り」でしかない「存在」にいろいろな符牒を付けて事物を作り出し、それらを個々別々のものとして指示することがコトバの持つ意味作用である。

それでは、分節化され、概念を付され、コトバとして表現されている内容が、何からの本質を表しているのか、そもそも本質なるものはあるのか、あるとすればどのようなものなのか、コトバと本質との関係は何か、ということが『意識と本質』の中心テーマであるものの、ここではそれには立ち入らない。文明史観の観点から重要なことは、社会システム内での生活において人間は、「ただ何か得体の知れない、ぶよぶよした、みだらな裸の塊り」に直接対峙することは基本的になく、分節化され、コトバの付与された概念に囲まれて生きているということである。

更に、それら無数の概念は、それぞれが単独、別々の方法で分節化されるのではなく、ある体系的な智のシステムに基づいて行われる。そのような、社会システム全体を覆う無数の分節化の進め方(ある種の、情報処理アルゴリズム)を規定する体系的な智のシステムとは、例えば近代文明における近代科学、宗教文明におけるそれぞれの宗教上の教理システム等であり、一般化して社会思想(Social Philosophy)と呼ぶことができる。

このような考え方にに基づき、本研究では、文明を、「社会システムにおいて、当該社会システム内に生きる人々が、当該社会システム内で共有されている、分節化の進め方を決定する体系的な智のシステムである社会思想を維持運営するための物的及び制度的インフラストラクチャー」と定義する。物的インフ

ラストラクチャーとは、当該社会思想に基づく生活を効率的に送るために必要な物的構築物等(都市環境等)である。制度的インフラストラクチャーとは、当該社会思想に基づく生活を効率的に送るために必要な規範・(広義の)法制度等である。

これらの物的インフラストラクチャー及び制度的インフラストラクチャーが機能を続けることにより、当該社会システムでは、当該社会思想に基づく分節化が継続されることとなる。この意味では、文明とは、同一の社会思想を共有し維持運営する、という意味における「智の共同体(epistemic community)」であることになる。

### 3.3 社会思想の改編としての文明の進化

以上を踏まえて地球上でそれぞれの文明が進化を遂げているダイナミズムを内生的に説明するモデルを構築することが本研究の目的である。これまでに見てきたことを整理すると、基本的な方向性は以下のようなものとなる。

『イエ社会』で述べられていることを踏まえた先述の新たな文明の定義によると、文明とは、ある種の社会思想、ものの考え方の体系のことである。ものの考え方の体系とは、技術パラダイム文明進化史観で挙げる技術パラダイム(物的技術、心的技術)を包含するものである。それぞれのパラダイムの技術は、それ特有のものの考え方の体系の中で構築される。また、特有のものの考え方は、それに応じた特有の脳機能がある程度反映したものとなる。地球文明史観が挙げる離散脳・単个体独立脳はそれに応じたものの考え方を、また全体脳・群个体協調脳はそれに応じたものの考え方を導き、それぞれ特有の社会思想を構成する。

一方、長期間、特定の社会思想に基づいて社会システム上の様々な活動が続いていると、やがては深刻な問題に直面するようになること自体は、原理的に避けることができない。文明にはシステムック・リスクが生まれるのである。

この場合、システムック・リスクを生んだことを理由に当該文明を放棄するのではなく、それを進化させることによってシステムック・リスクを克服するという戦略が、文明の進化、である。

以上の枠組みを前提にすると、文明の進化の内容は、新しい技術開発でもなければ、新しい社会制度の導入でもなく、社会思想の見直し、改編、であることになる。システムック・リスクに対するための新しい技術を開発すること、社会制度を導入することそのものは、本研究の枠組みに照らすと、文明の進化を意味しない。それらは、本稿の冒頭に擲諭した、システムック・リスクに対する「パッチワーク的な対応」に過ぎない。これに対して、ものの考え方自体を、従来のものから改編された(進化した)ものへと変更することが文明の進化である。

それでは、社会思想の改編はどのようにして行われるのか。一般的には、ある文明が継続されている中においては、当該社会システムそのもの、それに基づく分節化のあり方、さらにはそれを支える物理的及び制度的インフラストラクチャーは社会制度としての「慣性(inertia)」を有し、またそれぞれに既得権益も生んでおり、それを内生的に改編することは容易ではない。人類史において見られた代表的な社会思想には宗教上の

教義があり、その改編は、主として戦争で敗北し、戦争の勝者に宗教上の教義を強要されるという外生的なダイナミズムで行われてきたことを確認することができる。

「イエ社会」多系的文明進化史観と技術パラダイム文明進化史観は、内生的な社会思想の改編の機会を示している。それは、周辺との邂逅、である。その意味するところは、以下のようなことであると整理される。

ものの考え方、社会思想とは、その中に生きる人々にとっては、特に自分がそのような社会思想に則ってものを考えているということを自覚することがないものである。その妥当性を疑うこともなければ、それ以外の社会思想に則ってものを考えることなど想像も付かないものである。このため、文明のシステム・リスクに直面しても、社会思想は変更することなく、従前と同様のものの考え方を継続し、幾ばくかの新規の技術開発、新制度の導入等の弥縫策で切り抜けようとするのである。戦争における敗北のような余程の大きなショックがなければ、社会思想を見直し、ものの考え方を変更しようとすることはない。

そのような大きなショックが周辺との邂逅によって、内生的にももたらされる、ということである。

公文俊平が技術パラダイム文明進化史観において述べている文明進化の3公理を繰り返すと、第1公理は、「未来指向型の文化をもつ文明は物的技術の突破に成功する。」、第2公理は、「過去指向型の文化をもつ文明は心的技術の突破に成功する。」、第3公理は、「文明の交代は、発展の限界に達した既存文明の周辺に生ずる「文化革命」が契機となる（文明の限界は新文化で乗り越える）」である。

この第3公理が、内生的な社会思想の改編のダイナミズムを示すものである。物的インフラストラクチャーの劣化による生活環境の悪化等、制度的インフラストラクチャーの劣化による社会システムのガバナンスの喪失等ではなく、「気付き」が内生的な社会思想の改編をもたらす、ということである。文明が周辺との邂逅により、「こんな素晴らしい社会思想（分節化の方法論）もあったのか！」と気付くことにより、自ら進んで現在人々が共有している社会思想を改編（文明の進化）、または放棄（文明の交替）するのである。

翻って見れば、本研究では文明の進化を社会思想の改編として捉えているところ、社会思想の改編とは、戦争で敗北して戦争の勝者によって何らかの強要を受ける等の外生的事由は重要な機会とはなるであろうものの、最終的には、必ず人々の自発的な行為によって行われることとなる。戦争の敗北は必ずしも社会思想の改編に繋がらず、むしろそれが社会思想の強化に繋がることも少なくないことは、人類史において、ユダヤ人ディアスポラ、長崎隠れキリシタン等多くの例が示している。

社会思想の改編は、当該社会思想に基づく分節化の中で生活している人々が、自発的に改編しようと決断することによって実施されるものである。この改編のプロセスの嚆矢は、人々が自らの奉じる社会思想の存在とその内容を自覚し、かつその改編の必要性を認識するという「気付き」である。この「気付き」は、例外的な偶然で発生するのではなく、人類が文明を運営している以上、必ず発生するということが世界システムの構

造上説明するような世界システムの構造を構築することが本研究の目的である。

そのような世界システムの構造のアイディアは、「イエ社会」多系的文明進化史観及び技術パラダイム文明進化史観が示している。それが上記「文明進化の3公理」の第3にあるように、周辺との邂逅による「気付き」である。

### 3.4 世界システム論による邂逅の内生化

最後に残された課題は、このような「気付き」をもたらす邂逅を内生的に説明するモデルを構築することである。即ち、全ての文明は、必ず周辺と邂逅することになる、という説明である。

「駒場学派」の系譜を牽く本研究では、この課題に対して、ウォーラーステイン（Wallerstein, Immanuel）の世界システム論の伝統に則り、様々な文明が登場し、ある文明は進化を遂げる一方、ある文明は衰退、崩壊し、退場していく場としての世界システムの構造を、中心（core）＝周辺（periphery）構造で捉えることにより対応する。

ウォーラーステインの世界システム論では、世界システム内に中心と周辺の2つの地域を設定する。中心が周辺を次々に包摂（inclusion）していく過程がグローバリゼーションと呼ばれる。念頭に置かれているのは間違いなく近代文明であり、近代文明を生んだ西ヨーロッパという限られた地域は、爾後、中心として、次々と世界の他の地域を近代化の動きに包摂していった。包摂する側である中心は、近代の世界システムにおいては、常に包摂される側である周辺を搾取し続ける、というのがこの世界システム論の政治的インプリケーションである。

この中心＝周辺の世界システムの構造は、情報社会学近代化モデルにおいても踏襲されている。包摂の動きは、第1には政治的な植民地化として現れたところ、これは当時の近代化の大局面が、政治の動き（国家化）が中心であった時代であったためである。20世紀後半には、大半の植民地は政治的な独立を達成した。しかしながら、中心の多国籍企業によって、引き続き周辺たる独立直後の発展途上国は、引き続き経済的に搾取されている関係にある、として、1970年代には、世界経済（グローバル資本主義）の構造を、そのような搾取を生まないようなものに変更しなければならないとするNIEO（新国際経済秩序：New International Economic Order）の必要性が国際連合を始めとする多くの場面で主張された。情報社会学近代化モデルによれば、このような先進国の多国籍企業による搾取は、近代化の大局面が経済の動き（産業化）に局面遷移したために目につくようになったものであるということになる。

ウォーラーステイン及び情報社会学近代化モデルの世界システム論の内容についてはこれ以上立ち入らないこととするものの、本研究との関係で重要な点は、本研究は、このような中心＝周辺の考え方を文明の類型に援用し、世界システムには、中心文明と周辺文明の2つの類型の文明が常時存在する、または中心文明と周辺文明の2つの類型の文明によって構成される状態が世界システムである、と見ることである。

ウォーラーステイン及び情報社会学近代化モデルの世界システム論は近代文明を念頭に置いて構築されたものであるの

で、世界システムにおいて存在する文明は、中心が生み出し運営する近代文明の存在だけが強調される。これが周辺を次々に包摂し、地球上全体を近代文明で覆おうとしているのである。

一方本研究では、先述の地球文明史観及び脳機能文明分析の考え方を踏まえると、世界システムの中に、中心文明と周辺文明の2つのタイプの文明の存在を設定し、それら両者によって構成される世界システムの構造を提案する。ウォーラスティン及び情報社会学近代化モデルでは、中心の側は文明の担い手として捉えられている一方、周辺の側は、中心が構築した文明に包摂されるという立場だけが強調され、中心が運営する文明とは異なる文明の担い手としては捉えられていない。

これに対して本研究では、周辺を、中心とは別のタイプの文明の担い手として設定する。周辺は、中心とは別のタイプの文明の担い手として、世界システムにおいては同格の存在として扱われることとなる。世界システムにおいては、常時、中心文明と周辺文明の2つのタイプの文明が存在していることとなる。

中心文明と周辺文明の最大の差は、グローバリゼーションにある。

生物学者である今西錦司は、社会的生物のライフスタイルについて、棲み分けと非棲み分け、という概念を提示した。棲み分けとは、自分の生活圏を一定の範囲（縄張り）に限定し、その外部に進出することは強く抑制される生物のライフスタイルのことであり、非棲み分けとは、自分の生活圏を一定の範囲に限定することなく、常に拡張しようとする生物のライフスタイルのことである。

大橋力は、1980年代初頭にこの概念を社会のあり方に適用し、棲み分け社会、非棲み分け社会のモデルを構築し、先述の筑波博居住分科会において発表した。

棲み分け社会とは、当該社会システムが覆う地理的範囲を一定の範囲に留めようとする志向を有する社会のことである。そのためには、当然ながら人口の抑制が重要な課題となる。棲み分けを実現するためには、「縄張り」として設定した地理的範囲が養える範囲の個体数を維持しなくてはならないためである。

非棲み分け社会とは、当該社会システムが覆う地理的範囲を次々に拡大していき、進出しようとする志向を有する社会のことである。この拡大は、当然ながら、進出しようとする地域の先住民との間で、殺戮を伴う深刻な対立を生むことになる。

本研究の提案は、この棲み分け社会、非棲み分け社会のモデルに基づいた文明の類型を考えることができる、ということである。自らの文明の適用範囲を最初から一定の範囲だけに限定し、その外部の社会システムとはできるだけ接触しないようにして、間違っても外部の社会システムに自らの文明を採用するように働きかけたりはしない（棲み分け）という意味で、グローバリゼーションしない文明と、グローバリゼーションを積極的に全面的に推進して他の地域を次々に包摂しようとする文明である。

通常の世界システム論で想定されている文明は、グローバリゼーションする文明だけであり、その担い手が中心であるとされることから、非棲み分け社会型のグローバリゼーションする文明をここでは中心文明、と呼ぶこととする。

世界システムの中に、中心によって運営される中心文明があり、それが時間の経過とともに次々に周辺を包摂していく、というダイナミズムは、従来の世界システム論の主張を繰り返すだけのものであり、そこには新規性はない。世界システム内における文明のダイナミズムは、中心文明という唯一の文明によって中心が周辺を包摂していくだけの一方方向性のものであり、また世界システムの構造も、中心と周辺の2層構造となる。周辺には独自の文明は存在せず、周辺の社会システムは文明を進化させる揺り籠とはならない。

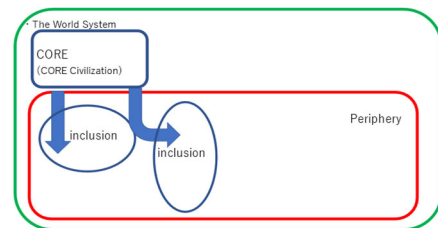


図7 2層構造システムにおける中心文明のグローバリゼーション（出典：筆者作成）

見てきたように、多系的文明進化史観の中には、2つの異なるタイプの文明を挙げ、その一方をグローバリゼーションする文明、もう一方をグローバリゼーションしない文明、として整理しているものがある。例えば、地球文明史観では離散脳・単個体独立脳機能文明と全体脳・群個体協調脳機能文明の2つのタイプの文明を挙げている。前者（離散脳・単個体独立脳機能文明）の典型は、弥生、シュメール、近代文明、とされており、それらが共通に有する大きな特徴はグローバリゼーションする文明であることであり、ここで言う中心文明の概念と親和性が高いと見ることができる。

地球文明史観の大きな業績は、繰り返している通り、伝統的な文明史観では文明として捉えられることが稀であった縄文、ピグミー、バリ島の社会システムを、戦略的にグローバリゼーションしないことが重視されていた文明であるとして、全体脳・群個体協調脳機能文明としてモデル化に取り組んだことである。このタイプの文明は、近代文明を典型とする中心文明の絶え間ない包摂の攻撃に晒されつつも、叡智を尽くしてその存続を成功させている文明であり、ここで言う周辺文明の概念と親和性が高いと見ることができる。

技術パラダイム多系的文明史観もまた2つのタイプの文明、即ち未来志向型（物的技術型）文明と過去志向型（心的技術型）文明を挙げる。一方これらは両方ともグローバリゼーションすることを大きな特徴とするものであり、ともにここで言う中心文明であると見ることができる。近代文明の直前に世界で趨勢となったのは過去志向型（心的技術型）文明である宗教文明であった。ここで言う宗教とはイスラム教とキリスト教が典型であり、信者数の増大が至上命題であり、そのために、布教地を絶え間なく拡大しようとする志向を持っていた。イスラム教文明が採用された地は「イスラムの家（ダール・アル・イスラーム）」と呼ばれるところ、それはユーラシア大陸の西の端、アフ

リカ北部一帯からインドネシアまで及んでいた。

これに対して本研究のモデルでは、世界システムの中に、グローバル化することを必須の性向としている中心文明の系譜とは別に、グローバル化しないことを必須の性向とする周辺文明の系譜を設定することである。中心文明の系譜では、次々に登場する中心文明が発展し、システム・リスクに直面して混乱し、やがて崩壊していく。その後には、新たな中心文明が登場し、世界の趨勢を占めるようになる。このような中心文明の系譜とは別に、周辺文明が、それぞれ発展し、システム・リスクに直面して混乱し、やがて崩壊していき、その後新たな周辺文明が生成する、という系譜を置き、中心文明の系譜と周辺文明の系譜の2層構造の世界システムを考えるものである。

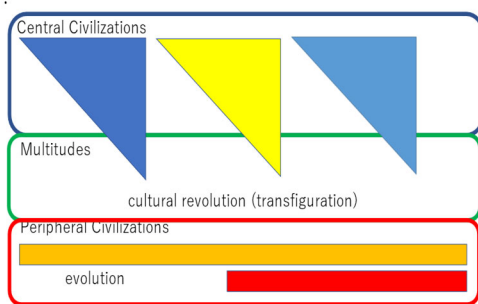


図8 2層構造の世界システム (出典：著者作成)

中心文明とは、グローバル化すること(非棲み分け(今西錦司))を基本的な性質とする文明である。脳機能文明分析の枠組みに照らすと、第1類型脳機能文明(大脳新皮質の意識層脳機能文明)に相当する。

周辺文明とは、グローバル化しない(棲み分け(今西錦司))文明である。脳機能文明分析の枠組みに照らすと、第2類型脳機能文明(全体脳機能文明及び第3類型脳機能文明(トランス脳機能文明))に相当する。

応用情報社会学多系的文明進化モデルでは、未来志向型文明と過去志向型文明の2つのタイプの文明が示されているものの、両者ともにグローバル化を基本的な性質としており、両者ともに中心文明であることになる。

繰り返している通り、20世紀中までの時期においては、グローバル化し、圧倒的な暴力及び経済力によって次々に周辺を包摂する中心文明だけが文明として捉えられる傾向があったものの、その後の研究の進展により、今日では中心文明とは大きく様相を異にする周辺文明をも正規の文明として捉える視座が大きく確立している。特に本研究は、社会思想の考え方によって文明を定義しているため、中心文明と周辺文明とを、類型は異なるものの、一層同格の文明として捉え易いものとなっている。

以上述べてきた、井筒俊彦のモデル、情報社会学多系的文明進化モデル、脳機能文明分析の文明の類型化と中心文明及び周辺文明の概念との関係は、以下のように整理される。

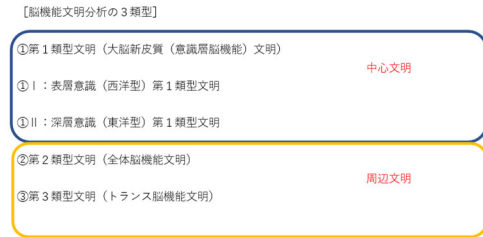


図9 文明の類型と中心文明・周辺文明 (出典：著者作成)

公文俊平が文明進化の3公理の第3として述べた「中心文明の内部の周辺に「文化革命」が発生する」というダイナミズムは、ここでは中心文明とは別に存在している周辺文明との邂逅により、中心文明に重要な変化が発生することを意味し、それを「文化革命」と見る。

中心文明は性(さが)としてグローバル化するので、能動的に周辺文明と邂逅する。これを、能動的邂逅、と呼ぶ。

一方周辺文明は性(さが)としてグローバル化しないので、能動的に中心文明と邂逅する可能性は低く、グローバル化してきた中心文明と受動的に邂逅する確率が高い。これを、受動的邂逅、と呼ぶ。ただし受動的邂逅であっても、周辺文明のその後の進化・交替の契機となる、即ちグローバル化しない周辺文明が中心文明との邂逅によって、新たにグローバル化文明(ある種の中心文明)に変容することもある。

中心文明(未来志向型文明及び過去志向型文明)は「第1類型脳機能文明」(大脳新皮質の意識層脳機能文明)であり、周辺文明は「第2類型脳機能文明」(全体脳機能文明)または「第3類型脳機能文明」(トランス脳機能文明)であるため、中心文明が周辺文明と邂逅すると、初めて全体脳機能またはトランス脳機能に出会い、驚き、現在共有している社会思想(文明)に対する重要な疑義を持つことになり、その結果、現在共有している文明に重要な変更を加える(文明の進化)か、そもそも現行の文明を放棄して文明を交替することとなる。

周辺文明と邂逅することによって生じる中心文明のこのような社会思想の変更等のことを、「全体脳機能補正」、と呼ぶ。従来は全体脳機能の存在すら知らなかった中心文明の人々が、初めて全体脳機能を包含した視座で自らの社会思想を俯瞰し、補正すべき内容を補正する、ということである。

この場合、中心文明が未来志向型文明である場合には、「全体脳機能補正」は文明の根幹に関する疑義を招くため、未来志向型文明から過去志向型文明への文明の交替の契機となる可能性が生じる。

一方、中心文明が過去志向型文明である場合には、「全体脳機能補正」は、現在の文明の形骸化を意識させ、全体脳機能の活性化効果の高い亜種、分派等を生むことがあり得る。それら亜種、分派等を取り込みに成功すれば現在の過去志向型文明の延命となり、失敗してガバナンスの崩壊等となれば過去志向型文明から未来志向型文明への交替の契機となる可能性が生じる。

以上のように枠組みを整理することにより、地球上における文明の進化を内生的に説明するモデルの構築という当初の目的については当座の回答を得ることができたと考える。繰り返し要約すると以下のようなモデルであり、筆者はそれを、グローバル内生的文明進化史観、と呼ぶこととしたい。

ここまで述べてきたことの要約になるものの、グローバル内生的文明進化史観の骨子は以下のようなものである。

第1に、文明を、社会思想として捉える。この場合の社会思想とは、人間が外部から入力された情報を（井筒俊彦の言う）「分節化」する際の基本的なものの考え方のシステムのことである。

第2に、文明の進化を文明多様性の観点により捉える。文明には、脳機能文明分析において第1類型脳機能文明、第2類型脳機能文明及び第3類型脳機能文明の3類型に整理するように、様々な類型が存在する。文明は、自らとは別の類型の文明との邂逅により、自らはそれ以前には何の疑いの目も向けなかった、自らの文明が立脚する社会思想に関する根源的な疑義、反省が生まれ、それによって社会思想そのものを刷新する。その社会思想の刷新こそが文明の進化と捉えられる。公文俊平は、文明の進化を生む要因を、（文明の周辺で発生する）文化革命である、としているところ、文化革命とは、まさしく社会思想の刷新を意味する。

第3に、この点が本文で引用した幾多の先行研究に比べて新規性を持つところながら、他の類型の文明との邂逅（公文俊平の言う文化革命）は必ず発生することを、中心文明と周辺文明の2つの類型の文明が常に存在している世界システムを想定することにより説明する。世界の中には、中心文明の系譜と周辺文明の系譜が存在し、両者は独立に発展、進化を遂げている。このうち中心文明は、（今西錦司の言う）「非棲み分け社会」型の文明であることからグローバリゼーションをその本質的な性（さが）としているため、地球の各地を包摂して行くため、遅かれ早かれ、その過程で「棲み分け社会」型の文明である周辺文明と必ず邂逅することとなる。この邂逅においては、中心文明は一般的に脳機能文明分析で言う第1類型脳機能文明である一方、周辺文明においては多分に第2類型脳機能文明及び第3類型脳機能文明の内容が存在しているため、中心文明においては、本モデルで「全体脳補正」と呼ぶ、自らの社会思想に関する根源的な反省（文化革命）が生まれ、文明の進化が誘導される。また中心文明との邂逅による周辺文明側の影響については、従来一般的には暴力または圧倒的な経済力の格差により周辺文明が破壊される面が強調されてきたきらいがあるものの、筆者は周辺文明にとっても中心文明との邂逅は重要な進化の契機であると考えている。

今後は、このモデルを基に、実際の史実を当て嵌めた歴史的研究に取り組んでいくこととしたい。

## 注

- 注1：中央公論社、1979年。以下、本稿では「イエ社会」。  
 注2：利他の惑星地球「文明編」。  
 注3：前田充浩、文明多様性と近代文明の進化－脳機能文明分析に向けて、ERISE出版、2022年。Mitsuhiro MAEDA “The Civilizational

Diversity and the Evolution of the Modern Civilization – Towards the Brain Functional Analysis of Civilizations”, ERISE Press, 2022.

- 注4：前田充浩、グローバル内生的近代化試論－SDGs “No One Left Behind”の文明論的根拠、東京都立産業技術大学院大学紀要第16号に掲載、東京都立産業技術大学院大学、2023年1月。  
 注5：公文俊平、文明の進化と情報化の「あとがき」、NTT出版、2001年。  
 注6：イエ社会、p129。  
 注7：イエ社会、p164-165。  
 注8：イエ社会、p153-154。  
 注9：イエ社会、p212。  
 注10：初出は前田充浩、第3新近代論－金融オーナーシップ型発展戦略の文明史的背景、東京都立産業技術大学院大学紀要第12号に掲載、東京都立産業技術大学院大学、2019年1月。以下「第3新近代」。  
 注11：2015年7月6日。2015年の世界の貧困人口は世界人口の14%（8億3,600万人）であった。  
 注12：前田充浩「2023」。  
 注13：<https://erise.info/>  
 注14：日本語版は、公文俊平＋前田充浩、応用情報社会学-発展途上国における情報社会構築の指南書、ERISE出版、2021年。英語版は、Shumpei KUMON＋Mitsuhiro MAEDA, Applied Infosociomics – A Manifesto of Informatized Society Building in Developing Economies, ERISE Press, 2021。  
 注15：イエ社会、p417。  
 注16：イエ社会、p458。  
 注17：World Economic Outlook (IMF)。  
 注18：当時学部の学生であった筆者は、各分科会の運営に関する学生ボランティアに参加しており、多くの研究会に出席する機会を得た。本稿の各分科会に関する記述は、筆者の当時のメモによる。  
 注19：利他の惑星地球「文明編」。以下、科学－地球。  
 注20：イエ社会、p96。  
 注21：利他の惑星－地球第28回、岩波書店月刊科学、Vol.92, No.3. 2022年3月。  
 注22：大橋力「2002」。  
 注23：音楽・情報・脳、p197。  
 注24：音と文明、p112。  
 注25：音と文明、p407。  
 注26：音と文明、p407。  
 注27：井筒俊彦、意識と本質－精神的東洋を求めて、岩波書店、1983年。

## 参考文献

1. 村上泰亮・公文俊平・佐藤誠三郎、文明としてのイエ社会、中央公論社、1979年。
2. 大橋力、利他の惑星地球「文明編」、岩波書店月刊科学に連載、2019～2021年。
3. 前田充浩、文明多様性と近代文明の進化－脳機能文明分析に向けて、ERISE出版、2022年。
4. Mitsuhiro MAEDA “The Civilizational Diversity and the Evolution of the Modern Civilization – Towards the Brain Functional Analysis of Civilizations”, ERISE Press, 2022.
5. 前田充浩、グローバル内生的近代化試論－SDGs “No One Left Behind”の文明論的根拠、東京都立産業技術大学院大学紀要第16号、東京都立産業技術大学院大学、2023年1月。
6. 公文俊平、文明の進化と情報化、NTT出版、2001年。
7. 前田充浩、第3新近代論－金融オーナーシップ型発展戦略の文明史的背景、東京都立産業技術大学院大学紀要第12号、東京都立産業技術大学院大学、2019年1月。
8. 公文俊平、前田充浩、応用情報社会学-発展途上国における情報社会構築の指南書、ERISE出版、2021年。
9. Shumpei KUMON, Mitsuhiro MAEDA, Applied Infosociomics – A Manifesto of Informatized Society Building in Developing Economies, ERISE Press, 2021.
10. 仁科エミ、河合徳枝、音楽・情報・脳、放送大学大学院教材、一般財団法人放送大学教育振興会、2013年。
11. Edward O. Wilson. Social Conquest of Earth, Liveright Publishing Corporation, 2012年。
12. 井筒俊彦、意識と本質－精神的東洋を求めて、岩波書店、1983年。

# 紀要の Word と L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X テンプレートを CC BY 4.0 ライセンスで公開する

Publishing Word and L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X bulletin templates under a CC BY 4.0 license

松井 実<sup>1\*</sup>

Minoru Matsui<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Minoru Matsui, xerrocxy@gmail.com

**Abstract** The advent of online open-access papers has drastically reshaped research communication. Since the first publication of The Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology in 2007, its design has remained the same, leaving much to be improved. Here we show its redesign process and what it offers to future authors and readers. The new L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X and Microsoft Word bulletin template design offers more efficient writing, formatting, and publishing experience. The bulletin is now fully electronic, and the authors may choose and apply a preferred Creative Commons license. The templates are publicly available and may be modified and redistributed under a Creative Commons BY 4.0 license.

**Keywords** bulletin; paper template; L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

## 1 はじめに

紀要は大学などが定期的、多くは年に一度刊行する学術雑誌である。査読プロセスを経ない紀要論文は、研究業績として認められないことがしばしばある。かといってプレプリントとしても認められないことが多い（たとえば日本認知科学会<sup>ひょうせつ</sup>は紀要論文と類似性の高い論文を再投稿することを自己剽窃であると規定している [1]）。そのため紀要論文は業績としてカウントされず再投稿することもできない limbo におかれることになる。紀要論文の執筆が業務として課される場合、教員は紀要論文を効率よく執筆し、編集し、出版できたほうがよい。東京都立産業技術大学院大学研究紀要（以下「本学紀要」）は、東京都立産業技術大学院大学（以下「本学」）の 2006 年の開学の翌年に第 1 号が発行された [2] が、その後の専攻の増加や一専攻化を経て、2022 年度まで 16 年間にわたって本学紀要の基本的な体裁は変更されてこなかった [3]。16 年間の執筆・出版環境の変化をうけ、本学紀要には改善を要する点が目立つようになってきた。今回、我々は紀要編集委員（委員長：追川）として本学紀要の効率的な出版を目指してテンプレートと出版プロセスを変更したので報告する。

我々は今回の刷新で、大きく分けて以下の 3 点を達成もしくは推進した。1) 効率化、高品質化; 2) 電子化、ライセンスの明確化、オープンアクセス化の推進; 3) テンプレートの再配布、である。以下で、それぞれについて説明する。

## 2 効率化、高品質化

本章では、2023 年の第 17 号から採用される新テンプレートの、旧テンプレートからの改良点を列挙し、それらがどのように効率化・高品質化に寄与すると期待できるかを説明する。

### L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版テンプレート形式の拡充

旧紀要テンプレートでは Word 版だけが用意されていた（図 1-A）。新紀要テンプレートでは L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版テンプレートを新たに作成し配布した（図 1-C と E。Word 版を含めた全バージョン [5]、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 日本語版の Overleaf プロジェクト [6]、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 英語版の Overleaf プロジェクト [7]）。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X による執筆は情報系の教員には馴染みが深く、数式などを含んだ複雑な内容を美しく組版できるため、Word 版に加えて L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版を要望する声があったため

ある。しかし L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版に一本化してしまうと L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X に馴染みのない情報系以外の分野の研究者には不便であるため、Word 版も引き続き用意した（図 1-B）。組版の業者を介さずにほぼ同等のルック&フィールを得られる Word テンプレートと L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X テンプレートを整備することは簡単ではない。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版と Word 版間では、タイプフェイスなどで細部の差異（次節参照）は許容しつつも、ほとんど同一の体裁となるように工夫した（図 1-D）。ただし、今後の紀要編集委員会が 2 つの執筆用テンプレートを維持・更新していくのは手間がかかるため、安易な導入は注意が必要である。

学術論文を執筆するにあたって、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X は様々な面で Word よりも優れた機能を備えているが、実は Word のほうが L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X より時間あたりの執筆量が多く、またエラーに突き当たる頻度も少ないと報告されている [8]。とはいえ、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X ユーザーは、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X のユーザビリティ・執筆効率の悪さにもかかわらず極めて満足度が高いことも同時に報告されている（“A striking result of our study is that LaTeX users are highly satisfied with their system despite reduced usability and productivity[8]”）。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X に慣れた教員にとっては、また数式などを多用する内容を執筆する場合には、Word で執筆するより総合的にはよりよい体験を提供することもありうると考え、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版テンプレートを用意することにした。参考までに、本稿は L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版を用いて Overleaf 上で執筆した [9]。

### 論文執筆によりよいタイプフェイスの採用

旧紀要テンプレートでは、Word 付属の MS P 明朝と Century をタイプフェイスとして指定していた。Century にはイタリック体やボールド体がデフォルトで用意されておらず、論文のタイプフェイスにはむかない。Word ではイタリック体やボールド体が用意されていないタイプフェイスを機械的に斜体（オブリーク体、「偽イタリック体 fake italics」ともいう）にしてイタリック体の代用としたり、エッジを無理やり太らせてボールド体の代用とする機能が用意されているが、可能な限り利用を避けるべきである。旧テンプレートでは特に、参考文献の引用形式において論文名をイタリック/斜体とするべきという指定があったため、Century の斜体が頻繁に使われる状態にあった。そのため、イタリック体とボールド体が共に用意されているタイプフェイス、たとえば Times New Roman（表 1 参照）のほうが論文執筆にむく。新紀要の Word 版テンプレートでは游明朝と Times New Roman を採用し、モノスペースには Consolas を採用した。Windows 版もしく



表 1 新旧テンプレートで採用したタイプフェイスの一覧。テンプレートファイルで定義しているスタイルを黒字で、定義はしていないが執筆内容によっては登場しうるスタイルを青字、避けるべきスタイルを赤字で表示した。通常の使用では登場しないであろうスタイルは灰色で表示した。TimesNR は Times New Roman、TGPagella は  $\text{\TeX}$  Gyre Pagella、TGHeros は  $\text{\TeX}$  Gyre Heros である。

Ver	ソフト	主な用途	和欧	種類	ローマン体	イタリック体	ボールド体
旧	Word	本文	和	MS P 明朝	設計 Agf123	設計 Agf123	設計 Agf123
		見出し	欧	Century	Design123	Design123	Design123
	Word	本文	和	游明朝	設計 Agf123	設計 Agf123	設計 Agf123
		見出し	欧	TimesNR	Design123	Design123	Design123
新	Word	本文	和	游明朝	設計 Agf123	設計 Agf123	設計 Agf123
		見出し	欧	Arial	Design123	Design123	Design123
	TeX	コード	和	Consolas	Design123	Design123	Design123
		本文	和	原ノ味明朝	設計 Agf123	[NA]	設計 Agf123
	TeX	見出し	和	TGPagella	Design123	Design123	Design123
		コード	欧	TGHeros	Design123	Design123	Design123
			和	Fira Code	Design123	[NA]	Design123

ト」機能や、 $\text{\LaTeX}$  の同等の機能を使えば和・欧タイプフェイス混合時の文字サイズを微調整できる。しかし Word ではそういった調整ができないため、欧文も和文もある程度美しく表示できる和文タイプフェイスを採用することが望ましい。そのため、和文として旧テンプレートで採用されていた MS P 明朝（美しいタイプフェイスであると見做されることは少ない）ではなく游明朝を利用することにした。また、MSP 明朝にはボールド体が用意されていないが、游明朝には用意されている点も優れている。ただし、游明朝に用意されているボールド体はセミボールド体であるため、游明朝のテキストを単にボールド化すると機械的に太字にされるので注意が必要である。サンセリフ体は游明朝との調和から游ゴシックと欧文に Arial を採用し、コードには Consolas、数式には Cambria Math を採用した。

$\text{\LaTeX}$  版では源ノ明朝をもととした原ノ味明朝と、Palatino に似た  $\text{\TeX}$  Gyre Pagella を基本的なタイプフェイスとして採用した。サンセリフ体には源ノ角ゴシックをもととした原ノ味角ゴシックと Helvetica に似た  $\text{\TeX}$  Gyre Heros を採用し、コードには Fira Mono、数式には New PX Math を採用した（表 1 参照）。また  $\text{\LaTeX}$  版では欧文タイプフェイスと和文タイプフェイスでわずかな文字サイズの差をもうけた。

$\text{\LaTeX}$  版・Word 版間のタイプフェイスの厳密な整合性は追求しなかった。 $\text{\LaTeX}$  版では、本稿執筆当時の Overleaf の最新版  $\text{\TeX}$  Live である  $\text{\TeX}$  Live 2022 で容易に利用できるタイプフェイスを利用し、Word 版では Word に付属するデフォルトタイプフェイスのみを利用した。ただし、著者の責任において源ノ明朝や源ノ角ゴシック、Fira Mono のようなオープンソースのタイプフェイスや、Palatino/Palatino Linotype や Helvetica などの OS 搭載のタイプフェイスを利用することによって体裁を  $\text{\LaTeX}$  版に近づけてもよいこととした。

### テンプレート・執筆要領の拡充、高品質化

旧紀要テンプレートの執筆ガイドラインの記述は非常に簡素で、最低限のスタイルの指定以外は執筆者の裁量に任されていた。新紀要テンプレートではより多彩な記述が可能になった（図 1-F）。たとえば Word 版・ $\text{\LaTeX}$  版どちらにおいてもコードブロックやインラインコードなどを容易に利用できるように事前にスタイルを定義し、表の罫線の引き方から図内の文字サイズ、軸の太さ、

図をプロットする際の詳細なサイズ設定や文字色までを推奨設定として提示した。また、Word を使った論文執筆においてときに非常に煩雑になる図表周辺のテキストの回り込みの設定や、キャプションと図表の固定方法、相互参照の使い方、数式の挿入方法などについても Tips として記述した。詳細については実際のテンプレートファイルを参照してほしい [5]。

### 参考文献の引用形式の改善

旧紀要テンプレートでは独自の、やや使いづらい引用形式を採用していた。独自の引用形式に従うには手作業でフォーマットするほかに、執筆効率を落とし、またフォーマットミスを誘発するものとなっていた。新紀要テンプレートでは独自の形式を放棄し、出来合いの、極めてよく使われている引用形式であるヴァンクーヴァー方式のヴァリエーション（PLOS 形式）を採用した。Citation Style Language（以下 CSL）にも登録されているため [10]、PaperPile や Zotero, Mendeley のような外部の文献管理ソフトウェアなどを使うと非常に効率よく参考文献を管理したりフォーマットできるようになる。 $\text{\LaTeX}$  版においては最近公開された citation-style-language パッケージ [11] を利用することを想定している。 $\text{\TeX}$  Live 2022 での利用はいくつか問題があるので注意が必要（ $\text{\LaTeX}$  版の執筆要領 [5] に詳述）だが、 $\text{\TeX}$  Live 2023 では解決している。Word 版では外部文献管理ソフトウェアを利用してフォーマットすることを推奨した。 $\text{\LaTeX}$  で執筆する際も、.bib ファイルを citation-style-language パッケージを介して利用することで引用形式のフォーマットングの大部分を自動化でき、効率よく執筆できる。

以下の 6 条件に合致する引用形式を選定した。

**条件 1: 本学紀要の従来形式と似ていること。** 連続性を尊重し、本文中では (Matsui, 2022) や (1) ではなく [1] として引用するものを選定した。たとえば APA 形式やオリジナルのヴァンクーヴァー方式はこの条件に合致しないため除外した。

**条件 2: 日本語の文献名が斜体にならないこと。** 和文タイプフェイスにはイタリック体が存在しないため、日本語の文献を頻繁に引用することが想定される本学紀要においては文献名が斜体となる引用形式は不適切である。たとえば IEEE 形式はこの条件に合致しない。本学紀要の従来形式は IEEE 形式に近いので、同様に合致しない。

**条件 3: CSL に登録されていること。** CSL は多くの文献管理ソフトで近年標準化しつつある引用形式の言語である。膨大な引用形式がライブラリに登録されており、様々なメジャーな文献管理ソフトを用いて参考文献の書式を自動でフォーマットできるようになる。

**条件 4: CSL 上で十分に実装されていること。** たとえば SIST-02 形式 [12] は日本語文献の引用を想定しており、日本語による解説が豊富 [13,14] なため魅力的だが、CSL 上の実装 [15] が不十分で、マニュアル上の指示 [14] と矛盾する結果となることがあるため除外した。

**条件 5: URL や DOI が表示されること。** 本学紀要に投稿される原稿ではウェブが頻繁に引用される傾向があり、また論文をウェブ上で検索しやすくするためにも URL/DOI を表示するような形式を選定した。



条件 6: メジャーなジャーナルで採用されていること。CSL ライブラリ上で継続的にメンテされることが期待でき、引用方法の詳細なマニュアルが存在しており、最終的にはそのマニュアルを参照するように指示できる形式を選定した。

### 3 電子化、ライセンスの明確化、オープンアクセス化の推進

#### 電子化

第 16 号までの旧紀要では、本学ウェブサイトにも全論文を束ねて目次を付して数百ページの PDF を公開しており、併せてその紙媒体冊子版を印刷して配布していた。紙媒体版の発行に伴う手間とコストに見合うだけのメリットがないと判断し、第 17 号以降の新紀要からは紙媒体版を廃止して完全に電子化した。同時に、全論文を束ねた PDF の配布は利便性も検索性も低く、特段メリットがないと判断して廃止した。その代わりに 1 論文を 1PDF として切り出し、それぞれにリンクし本学ウェブサイト上で公開することにした。

#### ライセンスの明確化

旧紀要においては、論文の著作権は本学に帰属するが著者は許諾なしに論文を利用することができるとされていた。新紀要では著作権を著者に帰属するものとした上で、Creative Commons ライセンスを付与できるようにした。本学紀要を Google Forms 経由で投稿する際に、すべての Creative Commons ライセンス（表示；表示-継承；表示-改変禁止；表示-非営利；表示-非営利-継承；表示-非営利-改変禁止）の選択肢に加え、「Creative Commons ライセンスを付与しない」も選択できるようにした。

#### オープンアクセス化の推進

大学が定期的に発行する研究紀要は原則として「査読なし、著者の金銭的負担なし、著者が著作権を保持、読者は無料で閲覧可」という性質を持つ。本学紀要も例外ではない。オープンアクセス論文の分類 [16] 定義に則ると紀要は「プレプリント」に分類される（が、前述のように紀要を学術誌に再投稿できない場合がしばしばあるため、プレプリントであるとは言いがたい）。本学紀要は第 1 号から本稿執筆時最新の第 16 号まですべて無料で本学ウェブサイト上に公開されている [17] ため、すでにオープンアクセス化していると言えなくもないが、いくつかの問題があった。

まず、論文の題名や著者、キーワードや概要、論文 PDF へのリンクといったメタデータが本学ウェブサイトにも本稿執筆時の CiNii [18] にも完全な形では登録されていないため検索性が悪く、Google Scholar などから論文 PDF にアクセスするには各執筆者が手動で ResearchGate などに登録するほかない。

また、本学紀要には ISSN は登録されていても DOI が割り振られていないために、他論文で本学紀要論文を引用しても、もし URL ではなく DOI しか記述しない引用形式であれば、その論文から論文の本文へ直接アクセスする方法がない。

さらに、ある号に掲載されたすべての紀要論文がひとつの PDF として公開されるため、収録された論文を直接探さずらく、また執筆者にしても読者にしても、論文を文献管理する際に当該論文のページを数百ページの PDF から切り出す必要が生じる（この点

については上述の電子化の一環で解決した）。

ウェブ検索で論文 PDF がヒットしない論文は極めて探しにくく読まれにくく、この世に存在しないと言っても過言ではない。これらの問題を解決するのが J-STAGE への新規登録である。オープンアクセス誌として J-STAGE に登録することは同時に本文 PDF へのリンクと DOI の付与も意味するため非常に意義が大きい。第 17 号にむけて事務局のご協力のもと J-STAGE への登録を検討したが、諸事情により 2023 年度中の実現はできなかった。

#### 今後のさらなる改善にむけての提言

2023 年度は J-STAGE への登録が実現できなかったため 2024 年度以降に持ち越しとなった。紀要論文は無査読とはいえ、I web; therefore I am という言葉がある [19] ように、ウェブを介して誰かに読まれてこそ書いた意味が生じる。現時点ではウェブ上で検索しても本文 PDF には容易にアクセスできないため、せっかく書いても出版されていないも同然の状態にある。今後の刊行物だけでなく既刊の紀要論文も含め、オープンアクセス誌化を推進し達成すべきと考える。また、ギフトオーサiershipの防止の観点から、各執筆者の貢献について記述するセクション (authors' contributions) を必須 [20] とし、「全執筆者が本稿を読み、最終版の原稿の内容を承認した」という記述で終えるべきと考える。同様に、オープンサイエンスを目指し、解析などに用いたデータの利用可能性について記述するセクションも必須 [21] とすべきと考える。

### 4 テンプレートの再配布

我々は今回本学の最新紀要テンプレートの全バリエーションを本学内外の誰もが自由に改変・再利用できるように、Creative Commons 4.0 BY ライセンス（表示 4.0 国際ライセンス）で一般に公開した [5]。そのため、ライセンスの要件さえ満たせばこのテンプレートじたいをオープンに再配布することができる。

学術論文のテンプレートを一から作り込んだり、使いにくいテンプレートと悪戦苦闘するのは、研究・教育を本務とするはずの教員にとっては非効率というほかない。一方で、自分たちが使うものなのだから自分たちが効率的に執筆できるように工夫して作るのが自然であるように思う。本学同様に研究紀要を定期的に発行している研究機関が、発行方法の見直しを検討したり学術論文を効率的に発行したりする一助となれば幸いである。

### 参考文献

1. 日本認知科学会. 自己剽窃および二重投稿に対する見解と方針. 日本認知科学会. 2020. Available: <https://www.jcss.gr.jp/journal/plagiarism.html>
2. 産業技術大学院大学紀要. 東京: 産業技術大学院大学; 2007. Available: [https://aiit.ac.jp/documents/jp/research\\_collab/research/bulletin/2007\\_bulletin.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/research_collab/research/bulletin/2007_bulletin.pdf)
3. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 東京: 東京都立産業技術大学院; 2023. Available: [https://aiit.ac.jp/documents/jp/research\\_collab/research/bulletin/2023\\_bulletin.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/research_collab/research/bulletin/2023_bulletin.pdf)
4. 松井. ポケモンカードゲームの非ランダムな設計過程. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2023;16: 91-102. Available: [https://aiit.ac.jp/documents/jp/research\\_collab/research/bulletin/2023\\_bulletin.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/research_collab/research/bulletin/2023_bulletin.pdf)
5. Matsui M. AIIT Bulletin template v17. OSF; 2023. doi:10.17605/OSF.IO/JR9TD

6. Matsui M. AIIT Bulletin LaTeX template v17. 2023. Available: <https://ja.overleaf.com/read/nphzcgzvdqbf>
7. Matsui M. AIIT Bulletin LaTeX template v17 (en). 2023. Available: <https://www.overleaf.com/read/wdmbfzjxxnvk#3ba8fe>
8. Knauff M, Nejasnic J. An efficiency comparison of document preparation systems used in academic research and development. PLoS One. 2014;9:e115069. doi:10.1371/journal.pone.0115069
9. Matsui M. 2023 年度紀要原稿: 紀要の word と LaTeX テンプレート を CC BY 4.0 ライセンスで公開する. Overleaf. 2023. Available: <https://www.overleaf.com/read/qmqjzxyyhrnc#8c0479>
10. Citation Style Language. PLOS citation style language. Github; 2019. Available: <https://github.com/citation-style-language/styles/blob/master/plos.csl>
11. Lee Z. Citeproc-lua: A Lua implementation of the Citation Style Language (CSL). Github; 2023. Available: <https://github.com/zepinglee/citeproc-lua>
12. SIST (科学技術振興機構). 国立国会図書館 WARP. 2022. Available: <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12003258/jipsti.jst.go.jp/sist/index.html>
13. 科学技術振興機構知識基盤情報部 SIST 事務局. 参考文献の役割と書き方: 科学技術情報流通技術基準 (SIST) の活用. 科学技術振興機構; 2011 Mar. Available: [https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12003258/jipsti.jst.go.jp/sist/pdf/SIST\\_booklet2011.pdf](https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12003258/jipsti.jst.go.jp/sist/pdf/SIST_booklet2011.pdf)
14. 独立行政法人科学技術振興機構. 科学技術情報流通技術基準: 参考文献の書き方 SIST 02-2007. 2007 Mar. Available: <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12003258/jipsti.jst.go.jp/sist/pdf/SIST02-2007.pdf>
15. Citation Style Language. Citation style language SIST 02. Github; 2021. Available: <https://github.com/citation-style-language/styles/blob/master/sist02.csl>
16. Farquharson JI, Wadsworth FB. Introducing Volcanica: The first diamond open-access journal for volcanology. Volcanica. 2018;1: i- ix. doi:10.30909/vol.01.01.i-ix
17. 研究紀要. 東京都立産業技術大学院大学. Available: [https://aiit.ac.jp/research\\_collab/research/bulletin/](https://aiit.ac.jp/research_collab/research/bulletin/)
18. CiNii Research. ポケモンカードゲームの非ランダムな設計過程 | CiNii research. Internet archive. 2023. Available: <https://web.archive.org/web/20231029161958/https://cir.nii.ac.jp/crid/1520296818739573888>
19. Xie Y. I web, therefore I am. 2012. Available: <https://slides.yihui.org/2012-stats-web.html>
20. Springer. Editorial policies: Authorship. SpringerOpen. Available: <https://www.springeropen.com/get-published/editorial-policies>
21. Springer. Perspective, opinion and commentary: Availability of data and materials. SpringerOpen. Available: <https://joems.springeropen.com/submission-guidelines/preparing-your-manuscript/perspective-opinion-and-commentary>



**Open Access** This article is licensed under CC BY 4.0.  
To view a copy of this license, visit  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# 東京証券取引所における市場区分の見直しにおける影響について

Regarding the impact of the review of market classification at the Tokyo Stock Exchange

丸山 博之<sup>1,2\*</sup>

Hiroyuki Maruyama<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>拓殖大学 Takushoku University

\*Corresponding author: Hiroyuki Maruyama, maruyama-h@aiit.ac.jp

**Abstract** Stock exchanges that buy and sell stocks exist in various countries around the world. These stock exchanges undertake various initiatives to enable investors to buy and sell stocks in their own markets. The Tokyo Stock Exchange, the largest stock exchange in Japan, especially Tokyo, is also undertaking similar initiatives. In this study, we investigated the impact of efforts to review market segmentation. In particular, we compared stocks that moved from the Tokyo Stock Exchange First Section to the Prime Market and stocks that moved from the Tokyo Stock Exchange First Section to the Standard Market. For the analysis, we used the difference-in-differences method to analyze the impact on trading volume and return. As a result, although there was no significant change in the return, it was confirmed that the trading volume decreased by moving to the Standard Market. This suggests that a review of market classification may have made standards more stringent in the prime market, and investors may have shifted their buying and selling there. This study is an analysis of the Tokyo Stock Exchange, the largest stock exchange in Tokyo, and deals with important factors in the industrial aspect. Therefore, it is thought that it will make a major social contribution.

**Keywords** Tokyo Stock Exchange; return; trading volume; market segmentation

## 1 はじめに

日本における東京証券取引所をはじめ、アメリカのニューヨーク証券取引所、NASDAQ など株式の取引を行う証券取引所は多数存在する。図1は世界の主要な証券取引所の国内時価総額である。

これによって、たとえば、プライム市場であれば、「多くの機関投資家の投資対象になりうる規模の時価総額（流動性）を持ち、より高いガバナンス水準を備え、投資者との建設的な対話を中心に据えて持続的な成長と中長期的な企業価値の向上にコミットする企業向けの市場」（日本取引所グループ、2023）となり、各市場のコンセプトが、明確になった[2]。

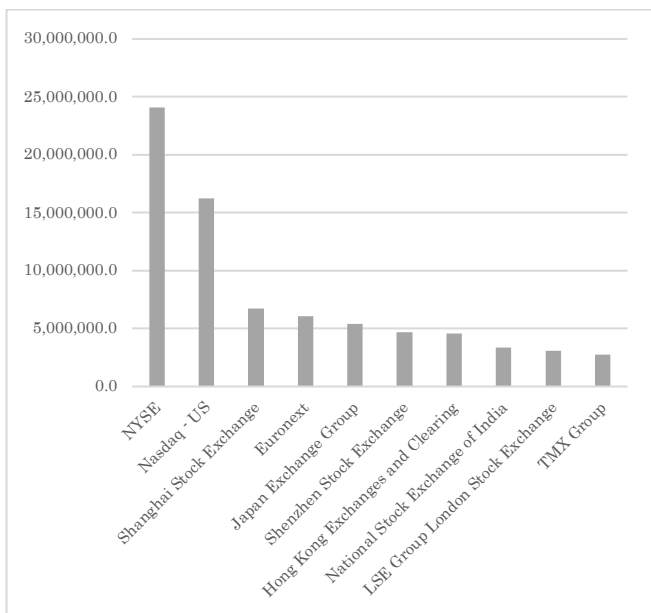


図1 主要な証券取引所の国内時価総額 (USドル)。the World Federation of Exchanges, 2023より作成[1]。

これらの証券取引所は自らの市場に投資家を引きつけるために、さまざまな取り組みを行っている。

東京証券取引所では、それらの取り組みの1つとして、企業の上場先の区分の変更を行った。この市場区分の見直しは、2022年4月4日に行われ、今までの東証一部、東証二部、JASDAQ、マザーズといった区分から、プライム市場、スタンダード市場、グロース市場といった区分に変更された。図2は現在の東京証券取引所の市場区分である。

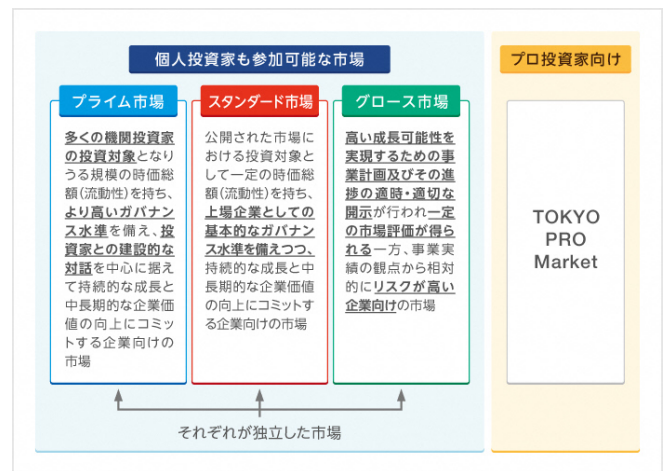


図2 東京証券取引所の市場区分 [3]

しかしながら、このような変更によって、どのような影響が上場している企業にあるのかについて、学術的には、検証は行われていない。

そこで、本研究においては、市場区分の見直しが、売買高や利益率にどのような影響をもたらしたのか実証的に検証を行う。特に、プライム市場とスタンダード市場においては、東京証券取引所も対策を行っているが「市場第一部の上場会社がスタンダードを選択した場合、パッシブ機関投資家の離脱で株価が急落する」(林、2021)という誤解点が指摘されている[4]。そのため、スタンダード市場に移行した企業の影響についての検証を行う。

本研究は、日本や東京を代表する証券取引所である東京証券取引所を対象とした研究になっており、株式の売買を行い上場

企業と投資家の間を取り仕切る産業面での必要な役割を担っている企業に対する研究であり、社会的な貢献が可能である。また、学術的には、市場区分の見直しについては、2022年に行われたばかりであり、未だ十分な研究がなされておらず、これらの変更の効果検証においての貢献が可能である。

## 2 データ

市場区分の見直しは2022年4月4日に変更が行われている。そのため、本研究においては、サンプル期間を市場区分の見直しを行った日を基準として、前後1ヶ月に設定した。また、銘柄については、水産・農業の銘柄のうち、東証一部からプライム市場、東証一部からスタンダード市場に上場市場が変わった銘柄を対象とした。

これらの条件を満たすデータについて、JPX データクラウドより取得を行った。このデータは日次データとなっており、ティックデータには及ばないものの、分析のための十分な内容を備えている。

## 3 分析方法

本研究においては、差分の差分法を利用して、検証を行う。差分の差分法では、パネルデータを対象にした検証手法であり、図3のように、時間による前後比較と介入・非介入を組み合わせた効果検証を行う手法である。

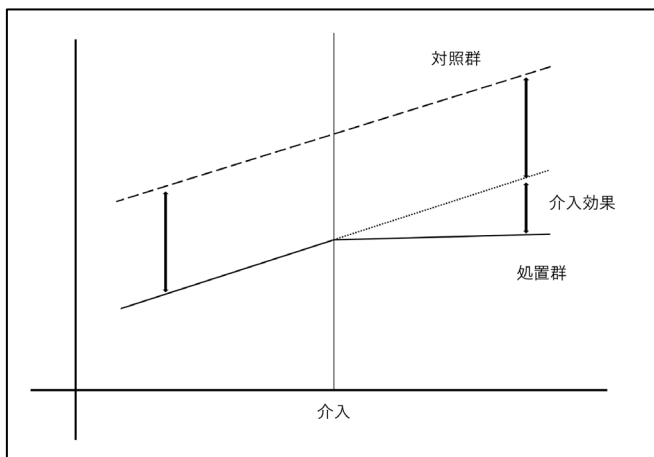


図3 差分の差分法のイメージ

本研究においては、売買高と利益率に関して、以下の回帰式の推定を行うことで検証を行う。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 T_i + \beta_3 D_i T_i + e_i \quad (1)$$

ここで、 $y_i$ はサンプル $i$ の対数売買高、あるいは対数利益率を表す。 $D_i$ はダミー変数であり、東証一部からプライム市場に移った銘柄の場合0、東証一部からスタンダード市場に移った場合0をとる。 $T_i$ はダミー変数であり、2022年4月4日以前であれば0、それ以降であれば1をとる。 $e_i$ は誤差、 $\beta_j$ は回帰係数

となっている。

これらの係数のうち、 $\beta_3$ が（プライム市場と比べた際の）スタンダード市場に移った影響である。

## 4 分析結果

売買高についての散布図は図4であり、推定結果は表1のようになった。図4については、横軸が日付、縦軸が対数売買高を表している。また、表1については、式(1)における各係数の推定結果を表している。その際に、 $y_i$ として、対数売買高を指定している。

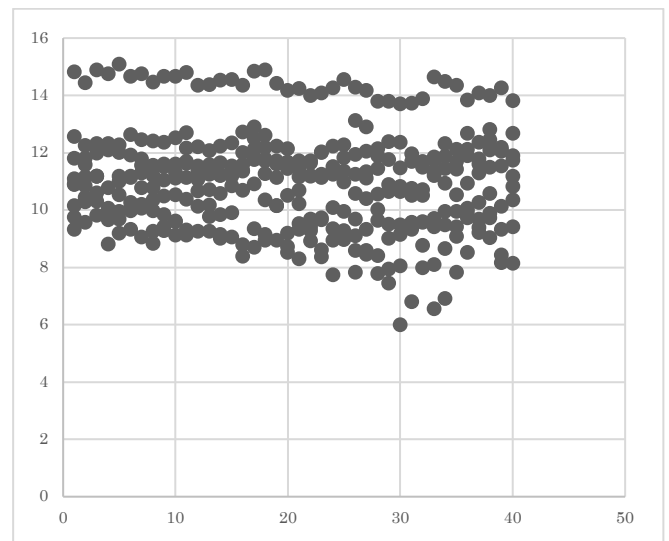


図4 期間中の売買高の散布図

表1 売買高に関する推定結果。ここで、\*\*\*は $p < 0.001$ 、\*は $p < 0.05$ 、. は $p < 0.1$ を表す。

係数	推定値	SE	t 値	p 値	
$\beta_1$	12.026	0.112	107.822	<2e-16	***
$\beta_2$	-0.333	0.158	-2.109	0.036	*
$\beta_3$	-2.304	0.193	-11.929	<2e-16	***
$\beta_3$	-0.520	0.273	-1.902	0.058	.

同様に、利益率についての散布図は図5であり、推定結果は表2のようになった。図5については、横軸が日付、縦軸が対数利益率を表している。また、表2については、式(1)における各係数の推定結果を表している。その際に、 $y_i$ として、対数利益率を指定している。

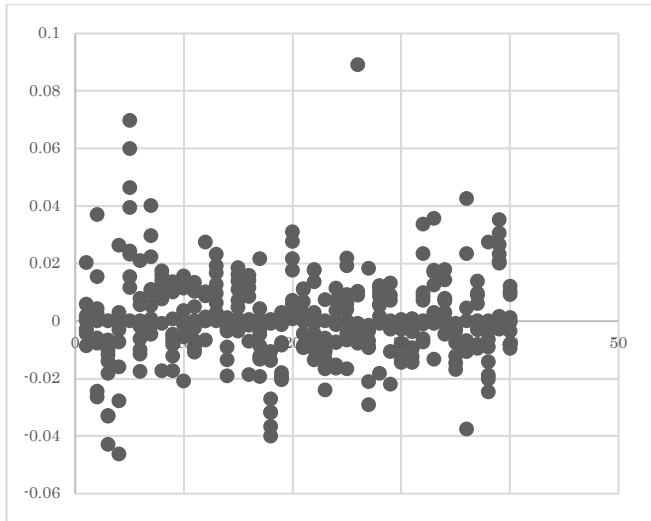


図 5 期間中の利益率の散布図

表 2 利益率に関する推定結果

係数	推定値	SE	t 値	p 値
$\beta_1$	0.001	0.001	0.649	0.517
$\beta_2$	0.000	0.002	-0.109	0.913
$\beta_3$	0.001	0.002	0.275	0.783
$\beta_3$	0.000	0.004	-0.137	0.891

## 5 考察

本研究では、差分の差分法を用いて、東京証券取引所における市場区分の見直しの影響について検証を行った。その際に、利益率と売買高という2つの指標に対する影響の分析を行った。

まず、売買高については、表1のような推定結果となった。このうち、プライム市場と比べたスタンダード市場への影響を表す $\beta_3$ の係数の推定値は-0.520とマイナスであり、有意であった ( $p < 0.1$ )。このことは、スタンダード市場に移ることで、売買高が減少した可能性を示唆している。

同様に、利益率については、表2のような推定結果となった。プライム市場と比べたスタンダード市場への影響を表す $\beta_3$ の係数の推定値は0.000であった。このことは、スタンダード市場に移ったとしても、利益率には影響がなかったことを示唆している。

図6、図7はプライム市場とスタンダード市場それぞれの上場基準である。これによると、たとえば、プライム市場の株主数の上場維持基準は800人以上であるのに対し、スタンダード市場の株主数の上場維持基準では400人以上となっている。このように、プライム市場の方がより厳しい基準であり、プライム市場の方がより投資家を引き寄せ、活発な売買が行われている可能性がある。

項目	考え方・狙い	概要(注1)		
		項目	新規上場基準	上場維持基準
流動性	多様な機関投資家が安心して投資対象とすることができる潤沢な流動性の基礎を備えた銘柄を選定する。	株主数	800人以上	800人以上
		流通株式数	20,000単位以上	20,000単位以上
		流通株式時価総額	100億円以上	100億円以上
		売買代金	時価総額250億円以上	平均売買代金0.2億円以上
ガバナンス	上場会社と機関投資家との間の建設的な対話の実効性を担保する基盤のある銘柄を選定する。 ※ガバナンス・コード(一段高い水準の内容を含む)全原則の適用	投資家との建設的な対話の促進の観点から、いわゆる安定株主が株主総会における特別決議可決のために必要な水準(3分の2)を占めることのない公開性を求める。		
		項目	新規上場基準	上場維持基準
経営成績 財政状態	安定的かつ優れた収益基盤・財政状態を有する銘柄を選定する。	流通株式比率	35%以上	35%以上
		項目	新規上場基準	上場維持基準
		収益基盤	最近2年間の利益合計が25億円以上	—
財政状態	純資産50億円以上	純資産額が正であること	純資産額が正であること	

(注1) 市場コンセプトを反映したこれらの基準のほか、株式の譲渡制限、証券代行機関の選定などの共通の基準を設ける

図 6 プライム市場の上場基準[2]

項目	考え方・狙い	概要(注1)		
		項目	新規上場基準	上場維持基準
流動性	一般投資者が円滑に売買を行うことができる適切な流動性の基礎を備えた銘柄を選定する。	株主数	400人以上	400人以上
		流通株式数	2,000単位以上	2,000単位以上
		流通株式時価総額	10億円以上	10億円以上
		売買高	—	月平均10単位以上
ガバナンス	持続的な成長と中長期的な企業価値向上の実現のための基本的なガバナンス水準にある銘柄を選定する。 ※ガバナンス・コード全原則の適用	上場会社として最低限の公開性を求める(海外主要取引所と同程度の基準を採用)		
		項目	新規上場基準	上場維持基準
経営成績 財政状態	安定的な収益基盤・財政状態を有する銘柄を選定する。	流通株式比率	25%以上	25%以上
		項目	新規上場基準	上場維持基準
		収益基盤	最近1年間の利益が1億円以上	—
財政状態	純資産額が正であること	純資産額が正であること	純資産額が正であること	

(注1) 市場コンセプトを反映したこれらの基準のほか、株式の譲渡制限、証券代行機関の選定などの共通の基準を設ける

図 7 スタンダード市場の上場基準[2]

しかしながら、利益率については、どちらの市場においても差がなく、このことは、どちらの市場においても市場の効率性が機能している可能性がある。

## 6 おわりに

本研究においては、東京証券取引所という日本を代表する証券取引所における取り組みの検証を行った。具体的には、東証一部からプライム市場に移った銘柄と比較した際に、東証一部からスタンダード市場に移った銘柄において、売買高と利益率にどのような影響があったか検証を行った。

分析手法としては、差分の差分法を利用した。結果としては、利益率に関しての変化はなかったが、売買高については、減少した可能性があることが示唆された。これは、市場の変更による影響があった可能性がある。しかしながら、本研究において

は、サンプル数が少なく今後より詳細な検証が必要である。

今後の研究としては、売買高や利益率以外の指標への影響についての研究や TOPIX の見直しなど他の市場制度の変更の影響の分析など、近年東京証券取引所が行っている取り組みに関する影響の調査を行いたい。

## 参考文献

1. The WFE Statistics Team. Annual Statistics Guide. 11 May 2023 [cited 29 October 2023]. In: The World Federation of Exchange [Internet]. Available from: <https://www.world-exchanges.org/our-work/articles/2022-annual-statistics-guide>
2. 日本取引所グループ. 市場区分見直しの概要. 2023 [cited 29 October 2023]. In: 市場構成 [Internet]. Available from: <https://www.jpx.co.jp/equities/market-restructure/market-segments/index.html>
3. 日本取引所グループ. 市場構成. 2022 [cited 29 October 2023]. In: 新規上場基本情報 [Internet]. Available from: <https://www.jpx.co.jp/equities/listing-on-tse/new/basic/index.html>
4. 林謙太郎. 「市場区分の見直し」を巡る 3 つの「誤解」. 月間資本市場. 2021; 433: 4-11.

# アジャイル型開発のプロジェクトマネジメント推進に必要な能力

The competencies required for project management execution in agile development

木村 良一<sup>1</sup> 三好 きよみ<sup>1\*</sup> 木野 泰伸<sup>2</sup>  
Ryoichi Kimura<sup>1</sup> Kiyomi Miyoshi<sup>1\*</sup> Yasunobu Kino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>筑波大学 Tsukuba University

\*Corresponding author: Kiyomi Miyoshi, kiyomi@aait.ac.jp

**Abstract** Agile development, which provides value to customers in a short period of time, is useful in an era of change. The purpose of this research is to clarify the ability required to promote project management in agile development in order to popularize agile development. Therefore, we conducted an interview survey with practitioners of agile development and analyzed it with the help of the qualitative integration method. Furthermore, we identified the characteristics of agile development by associating the analysis results with the body of knowledge shown in the 6th and 7th editions of the PMBOK Guide, and considered the ability to realize those characteristics. From the analysis results of the interview survey, we extracted the following about the ability required to promote project management of agile development: (1) Ability to focus on continuous growth of the team and actively participate in the project, (2) Ability to actively challenge uncertainty.

**Keywords** agile development; project management; competencies; qualitative research

## 1 はじめに

昨今の企業経営スピードへの対応として、ITシステム開発の変革が望まれている。経済産業省は、2020年に発表した「DXレポート2(中間とりまとめ)」[1]において、「価値創造型のビジネスにおいては、ユーザ企業は絶えず変化する顧客のニーズに対応するために自社のITシステムを迅速に更新し続ける必要があり、そのためには、アジャイル型に開発を変革しなければ変化の速さに対応できない」とし、変化の時代におけるITシステムのアジャイル型開発への変更の必要性を示唆している。

独立行政法人情報処理推進機構(以下、IPA)が2022年に公開した「ソフトウェア開発分析データ集2022」[2]によれば、日本におけるITシステムの開発プロジェクトは、ほとんどのプロジェクトがソフトウェア開発ライフサイクルモデルとしてウォーターフォール型開発を採用している。

2023年にIPAが発行した「DX白書2023」[3]では、日米の企業におけるITシステムの開発手法・技術の活用状況が報告されている。アジャイル型開発を全社/事業部で活用している割合は、米国の53.9%に対し、日本は22.9%に留まっており、米国と比較してあまり活用されていない実態が明らかとなった。

また、Project Management Institute(以下、PMI)日本支部のアジャイル研究会が実施した「2023年度『アジャイルプロジェクトの実態』に関するアンケート」[4]によると、アジャイル導入済みの組織は46%に留まっている。このアンケート結果では、アジャイル手法を企業に適用するにあたっての最大の課題が人材・スキルであり、続いて、社内及び顧客の理解と協力、品質の担保、契約形態、チームビルディング等が課題として挙げられている。

以上のことから、日本においては、ITシステムのアジャイル型開発の導入が必要であるにもかかわらず、活用状況が低い。その理由の一つとして、人材育成やスキル習得における課題があがっている。

ウォーターフォール型開発では、最初に、具現化するシステムすべての要件を明確にした後、設計、実装、テストといった工程を順番に進めていく。このウォーターフォール型開発に対応したプロジェクトマネジメントの主眼はQCDの遵守にある。

すなわち、定められた作業範囲が、顧客の期待する品質を満たし(Quality)、予め定められた費用内で(Cost)、あらかじめ定められた期間内に(Delivery)、終えられるようにすることが目的である。

アジャイル型開発は、顧客が求める価値(要求)に素早く対応することを主眼とした開発手法である。顧客の求める要件に対して優先順位を設定し、短い期間でシステムを開発・リリースし、フィードバックを受け、改善する、というサイクルを繰り返す。アジャイル型開発の考え方は2001年にアジャイルソフトウェア手法の各分野の有志により「アジャイルソフトウェア開発宣言」[5]としてまとめられた。アジャイル型開発は、顧客の経営スピードの速さに対応することのできる開発手法である。なお、本論文では、このようなソフトウェア開発ライフサイクルモデルを含む開発をウォーターフォール型開発に対してアジャイル型開発と呼ぶこととする。

## 2 関連研究

### プロジェクトマネジメント推進の知識体系

以下にITシステムのプロジェクトマネジメントの推進に必要な能力を抽出するにあたっての参照となる知識体系を概観する。

PMIが発行しているPMBOK(Project Management Body Of Knowledge)ガイドは、1987年にホワイトペーパーとして発行されて以降、ウォーターフォール型開発のプロジェクトマネジメントにおけるデファクトスタンダードとなっている。2017年に発行されたPMBOKガイド第6版[6]では、プロジェクトをマネジメントするための専門分野または領域を、プロジェクト統合マネジメントなど10の知識エリアと5つのプロジェクトマネジメント・プロセス群に体系化している。PMBOKガイド第6版は、ウォーターフォール型開発のプロジェクトマネジメントを想定しており、全部で49のプロセスが定義されている。5つのプロジェクトマネジメント・プロセス群は、立上げプロセス群、計画プロセス群、実行プロセス群、監視・コントロール群、終結プロジェクト群である。49のプロセスは、立上げプロセス群に2つ、計画プロセス群に24、実行プロセス群に10、監視・コントロール群に12、終結プロジェクト群に1つ属して

いる。中でも計画プロセス群に属するプロセスの数が 24 と最も多く、全体の 6 割を占めている。

2021 年に発行された PMBOK ガイド第 7 版[7]は、これまでのウォーターフォール型開発に対応した PMBOK ガイドと異なり、技術の進化に伴って出てきた予測型、ハイブリッド型、適応型などの様々な開発アプローチにも対応するために、これまでのプロセスベースから、原理・原則ベースの標準に変更された[8]。プロジェクトの成果の効果的な提供に不可欠な関連する活動のグループである、ステークホルダー・パフォーマンス領域など 8 つのプロジェクト・パフォーマンス領域が定義されている。

### アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの研究

以下にアジャイル型開発における、主としてプロジェクトマネジメントにかかわる研究について概観する。

前出の「アジャイルソフトウェア開発宣言」[5]では、よりよい開発方法として「①プロセスやツールよりも個人と対話を、②包括的なドキュメントよりも動くソフトウェアを、③契約交渉よりも顧客との協力を、④計画に従うことよりも変化への対応を、価値とする」とある。

日本ではアジャイル型開発のフレームワークとしてスクラム開発が最も多く採用されている。公式ガイドである「スクラムガイド」[9]によれば、スクラムチームは自己管理型であり、誰が何を、いつ、どのように行うかをスクラムチーム内で決定する。また、チーム全体がスプリントごとに価値のある有用なインクリメント（成果物）を作成する責任を持つ、とし、プロジェクトマネジメントはチーム全体で推進される。

今仁、中野[10]は、日本の約 120 のプロジェクト事例を調査した。その結果、アジャイル型開発の技術面、及びプロジェクトマネジメント面のスキルアップの必要性について示唆し、顧客の参画やチームによるコントロールといった、開発マネジメントスキルを持った人材の育成を通じた、アジャイル型開発の効果の最大化が課題としている。

居駒、梯[11]は、アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメント、特に品質マネジメントに着目し、アジャイル型開発が、高品質なソフトウェア開発の観点でも意味のある開発方法であることを示し「高品質を実現するためにも意識的に品質を計画し、品質を作り込んでいく必要がある」とした。すなわち、確認すべき品質特性についてバックログ項目と同様に扱い、どの反復でどの品質特性を確認するかをあらかじめ計画、実行するというプロセスを経ることにより、従来のソフトウェア開発と同様に品質を作り込むことができる。

海外においては、Salameh[12]が、PMBOK 第 5 版で定義された 5 つのプロジェクトマネジメント・プロセス群及び 10 の知識領域とアジャイル型開発を比較し「アジャイル型開発はプロセスや計画よりもコミュニケーションを重視し、生産性と品質の向上に寄与する」としている。

### 本研究の目的

日本においては、アジャイル型開発の活用状況が低い理由の一つとして、人材育成やスキル習得における課題があがってい

る。

本研究の目的は、アジャイル型開発の人材育成やスキル習得のために、アジャイル型開発におけるチーム全体でのプロジェクトマネジメントの推進に必要な能力を明らかにすることである。

## 3 研究方法

本研究では、アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの推進の実態を明らかにするために、IT 技術者を対象としてインタビュー調査を行う。逐語録を分析して、アジャイル型開発の要素を抽出する。抽出結果をウォーターフォール型開発のプロジェクトマネジメントのデファクトスタンダードである PMBOK ガイド第 6 版の知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群、及び予測型、ハイブリッド型、適応型などの様々な開発アプローチにも対応した PMBOK ガイド第 7 版のプロジェクト・パフォーマンス領域に対応付けを行うことで、アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの推進の特徴を抽出する。

対応付けの結果からアジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの推進に必要な能力を考察する。本研究で対象とするプロジェクトマネジメント推進の能力については、対象者がそれと気づいていない場合もあり、アンケート調査では抽出が難しいことが推測される。そのため、調査対象者と対話を重ねながら成功体験、失敗体験に焦点を当てて文脈に沿った丁寧な解釈による分析を行う。このようなアプローチには、発話データを丁寧に解釈して理論の生成やモデルの構築を行う質的研究が適しているため、本研究では質的研究を採用し、その方法論に則って分析を進める。

情報システムにおける質的研究については「情報システムの有効性評価 質的評価のガイドライン」[13]にまとめられている。同ガイドラインによれば「情報システムは個別一回性の事象であり、その認識の下において、量的データの取得にこだわるよりも質的データを扱うことがふさわしい場合がある」とし「情報システムの平均的な利用者よりも、組織の特殊性や課題のコンテキストを的確にとらえた、センシティブな当事者の発話をすくい上げ、その認識を図式化することのほうが、関心を共有する類似研究にとって有用なこともある」としている。

本研究では、質的方法を用いて研究するにあたり、同ガイドラインの考え方を参照しつつ実施する。

### データの収集

調査対象者の一覧を表 1 に示す。インタビューでは、ウォーターフォール型開発とアジャイル型開発でのプロジェクトマネジメントの推進方法の違いを調査するため、アジャイル型開発とウォーターフォール型開発の両方の経験がある技術者 9 名を機縁法にて選定した。

調査は、2021 年の 4 月から 9 月にかけて、半構造化面接によるインタビューを実施した。インタビューはビデオ会議を使用して実施した。インタビュー時間は、1 人当たり約 60 分から 90 分であった。事業者に面接依頼書にてインタビューの目的、



概要等を説明し、調査対象者の承諾を得た。また、調査対象者の了承を得て、記録用として音声録音した。

調査の主な質問項目は以下の通りである。これらの項目を基に、調査対象者に自由に話してもらった。①アジャイル型開発プロセスの経験年数、②アジャイル型開発のプロジェクトの成功、失敗体験、③アジャイル型開発とウォーターフォール型開発におけるプロジェクトマネジメントの違い、④アジャイル型開発におけるプロジェクトマネージャーに必要な能力とは何か。

以上のとおり、対象者に対してアジャイル型開発における成功体験、失敗体験からアジャイル型開発の特徴に言及するものや、対象者がウォーターフォール型開発の経験者でもあることから、アジャイル型開発とウォーターフォール型開発のプロジェクトマネジメントの違いについて聞き取りを行った。インタビューでは事前の質問項目に沿いながらも、調査対象者に自由に語ってもらい、必要に応じて追加質問を行った。

本調査では、インタビューの冒頭で、収集情報を用途や守秘性の確保について説明し、ビデオ会議時の録音やデータの保管方法等について対象者の同意を得た。

表 1 調査対象者の一覧

ID	職種	年代	性別
1	プロジェクトマネージャー	40 歳代	男性
2	IT コンサルタント	50 歳代	男性
3	データサイエンティスト	40 歳代	女性
4	IT アーキテクト	50 歳代	男性
5	IT コンサルタント	20 歳代	男性
6	開発エンジニア	30 歳代	男性
7	開発エンジニア	50 歳代	男性
8	IT アーキテクト	30 歳代	男性
9	開発エンジニア	30 歳代	男性

## 分析方法

本研究は、質的統合法[14]を援用して分析を行った。質的統合法は、バラバラのデータから「整合性のある論理構造」を見出す作業であり、個々の調査対象者個々のインタビュー内容を統合して、アジャイル型開発の特徴を明らかにできると考え、この方法が妥当であると判断した。なお、本研究ではインタビュー内容からアジャイル型開発の特徴抽出を行うことが目的であるため、表札、及びシンボルマークの生成までを質的統合法の援用範囲とした。

質的統合法を援用して行った分析の手順は、次のとおりである。Step1：逐語録からデータの切片化を行い、80～150 字程度で意味のまとまりごとに 1 枚のラベルを作成する。Step2：全てのラベルを俯瞰し、方向性が似たラベル同士を集め、グループを作る。Step3：グループの各ラベルを改めて確認し、全体感を一文にまとめて表札とする。Step4：表札が象徴している内容をもとに、シンボルマークを作成する。シンボルマークとは、表札の内容のエッセンスを凝縮した表現であり、内容が分かるように、目次的な表現ではなく、「事柄：エッセンス」の二重構造で表現する。

以上の手順で生成された表札の内容と PMBOK ガイド第 6 版の知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群、及び

PMBOK ガイド第 7 版のプロジェクト・パフォーマンス領域のそれぞれの定義を比較し、最も関連性が高いと判断されるものに対応付けを行った。

分析の妥当性を高めるために、分析過程で質的研究に関する原著論文を持つ研究者、及び研究会において情報システムの専門家にアドバイスを受け、分析を洗練させた。

## 4 分析結果

本章では、インタビューの逐語録の分析によって生成された表札に、PMBOK ガイド第 6 版の知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群、及び PMBOK ガイド第 7 版のプロジェクト・パフォーマンス領域を対応付けした結果を述べる。

### 分析過程

調査対象者 9 名のインタビューの逐語録を、質的統合法を援用して分析した結果、125 のラベルを抽出し、23 の表札が生成された。表 2 に表札のシンボルマークの事柄とエッセンス、表札、及び PMBOK ガイド第 6 版の知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群、及び PMBOK ガイド第 7 版のプロジェクト・パフォーマンス領域への対応付けの一覧を示す。

以下に、表 2 の番号 18 のシンボルマーク「リスクへの対応：チームの成長のために積極的にリスクに取り組む」を例として、分析過程を述べる。

まず、逐語録から意味のまとまりごとに作成したラベル群の中から、方向性が似たラベルを抽出しグループ化した。リスク・マネジメントに関連するラベルとして、以下の 4 つのラベルをグループ化した。「必要なものって、色々試してみたらチャレンジできる人じゃないですかね。どれが正解かわからないので、とりあえずこうやってみよう、みたいなのができる人」「新しい技術とかそういうのをとにかく使ってみようと思うマインド」「特に正解はないので、トライアンドエラーから学んでいく、みたいな、そういう指向性が大事」「失敗から学んでいけるのがアジャイルだよっていう風に考えるのが、いいんじゃないかなっていう気がします」。

次に、グループ化した 4 つのラベルを確認し、全体感を一文にまとめて次の表札を作成した。「アジャイル型開発においてプロジェクトマネジメントを推進する場合、リスクを恐れず、ポジティブリスクを積極的に取得していくことが肝要」。

続いて、表札が象徴している内容をもとに、次のシンボルマーク（「事柄：エッセンス」）として表現した。「リスクへの対応：チームの成長のために積極的にリスクに取り組む」。

### PMBOK ガイド第 6 版における知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群への対応付け

生成された 23 の表札と PMBOK ガイド第 6 版の知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群を相互に対応付けした結果を以下に述べる。PMBOK ガイド第 6 版は、10 の知識エリアと 5 つのプロジェクトマネジメント・プロセス群で構成されている。10 の知識エリアは、統合マネジメント、スコープ・マネジメント、スケジュール・マネジメント、コスト・マネジ

メント、品質マネジメント、資源マネジメント、コミュニケーション・マネジメント、リスク・マネジメント、調達マネジメント、ステークホルダー・マネジメントで構成されている。5つのプロジェクトマネジメント・プロセス群は、立ち上げプロセス群、実行プロセス群、監視・コントロールプロセス群、終結プロセス群で構成されている。以降では、表札に対応したシンボルマークの事柄を [番号 事柄] で記載する。

立ち上げプロセス群には、ステークホルダー・マネジメントに [01 開発手法の説明] が対応付けされた。計画プロセス群には、統合マネジメントに [02 開発計画の立案]、スコープ・マネジメントに [03 開発範囲の決定][04 要求の詳細化] の2つ、コミュニケーション・マネジメントに [05 プロジェクトマネージャーの役割設定] が対応付けされた。実行プロセス群には、スコープ・マネジメントに [06 仕様の確定]、スケジュール・マネジメントに [07 リズムの遵守][08 ドキュメントよりも動くソフトウェア] の2つ、品質マネジメントに [09 アジャイル品質のマネジメント]、資源マネジメントに [10 チームマネジメントの改善][11 チームによるマネジメント][12 プロジェクト状況の透明化] [13 チームの育成] [14 ダイバーシティ] [15 全体の把握] [16 チーム内コミュニケーションの活性化] の7つ、コミュニケーション・マネジメントに [17 積極的な情報収集]、リスク・マネジメントに [18 リスクへの対応]、ステークホルダー・マネジメントに [19 ステークホルダー・エンゲージメントのマネジメント] がそれぞれ対応付けされた。監視・コントロールプロセス群には、スケジュール・マネジメントに [20 進捗遅れへの対応][21 足並みをそろえる] の2つ、品質マネジメントに [22 要求品質の確認] が対応付けされた。最後に、終結プロセス群にはステークホルダー・マネジメントに [23 継続的開発] が対応付けされた。

以上のように、10の知識エリアのうち、コスト・マネジメントと調達マネジメントには対応付けがなかった。それ以外の知識エリアについて、それぞれ1つから7つの表札が対応付けされた。最も多く対応付けされたのは、資源マネジメントであり、23の表札のうち約30%を占める7つの表札が対応付けされた。

以上のように、10の知識エリアのうち、コスト・マネジメントと調達マネジメントには対応付けがなかった。それ以外の知識エリアについて、それぞれ1つから7つの表札が対応付けされた。最も多く対応付けされたのは、資源マネジメントであり、23の表札のうち約30%を占める7つの表札が対応付けされた。

### **PMBOK ガイド第7版におけるプロジェクト・パフォーマンス領域への対応付け**

生成された23の表札を PMBOK ガイド第7版のプロジェクト・パフォーマンス領域へと相互に対応付けした結果を以下に述べる。PMBOK ガイド第7版では、ステークホルダー・パフォーマンス領域、チーム・パフォーマンス領域、開発アプローチとライフサイクル・パフォーマンス領域、計画・パフォーマンス領域、プロジェクト作業・パフォーマンス領域、デリバリー・パフォーマンス領域、測定・パフォーマンス領域、不確かさ・パフォーマンス領域の8つのプロジェクト・パフォーマンス領域が定義されている。以降では、表札に対応したシンボル

マークの事柄を [番号 事柄] で記載する。

ステークホルダー・パフォーマンス領域には、[01 開発手法の説明][05 プロジェクトマネージャーの役割設定][12 プロジェクト状況の透明化] [19 ステークホルダー・エンゲージメント] の4つが対応付けされた。チーム・パフォーマンス領域には、[11 チームによるマネジメント] [13 チームの育成] [16 チーム内コミュニケーションの活性化] [17 積極的な情報収集] [21 足並みをそろえる] の5つが対応付けされた。開発アプローチとライフサイクル・パフォーマンス領域には、[07 リズムの遵守] [23 継続的開発] の2つが対応付けされた。計画パフォーマンス領域には、[02 開発計画の立案] [03 開発範囲の決定] [04 要求の詳細化] の3つが対応付けされた。プロジェクト作業パフォーマンス領域には、[10 チームマネジメントの改善] [20 進捗遅れへの対応] の2つが対応付けされた。デリバリー・パフォーマンス領域には、[09 アジャイル品質のマネジメント] [22 要求品質の確認] の2つが対応付けされた。測定パフォーマンス領域には、対応付ける表札がなかった。不確かさパフォーマンス領域には、[06 仕様の確定] [08 ドキュメントよりも動くソフトウェア] [14 ダイバーシティ] [15 全体の把握] [18 リスクへの対応] の5つが対応付けされた。

以上のように、測定パフォーマンス領域を除く7つのプロジェクト・パフォーマンス領域に対応付けされた。対応付けされた表札の数が多かったのはチーム・パフォーマンス領域の6つと不確かさパフォーマンス領域の5つであった。

## **5 考察**

本研究の目的は、アジャイル型開発の普及のために、アジャイル型開発においてプロジェクトマネジメントの特徴を明らかにし、アジャイル型開発のプロジェクトマネジメントに必要な能力について明らかにすることであった。

本章では、インタビュー内容から生成された表札を PMBOK ガイド第6版の10の知識エリアと5つのプロジェクトマネジメント・プロセス群、及び PMBOK ガイド第7版の8つのプロジェクト・パフォーマンス領域に対応付けを行った結果により、アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの特徴を抽出し、必要な能力について考察する。

### **PMBOK ガイド第6版における知識エリアとプロジェクトマネジメント・プロセス群への対応付け**

ウォーターフォール型開発を想定した PMBOK ガイド第6版に対応付けを行った結果に関する考察を述べる。

第一に、チームについてのプロセスは、全部で49あるプロセスのうち、資源マネジメントにある「チームの育成」「チームのマネジメント」の2つのみである。一方、今回の分析では、生成された23の表札のうち、[10 チームマネジメントの改善] [11 チームによるマネジメント] [12 プロジェクト状況の透明化] [13 チームの育成] [14 ダイバーシティ] [15 全体の把握] [16 チーム内コミュニケーションの活性化] の7つが対応付けられた。

表2 インタビューから生成された表札及び PMBOK 第 6 版, 第 7 版の対応付け

番号	シンボルマーク		表札	PMBOK 6		PMBOK7
	事柄:	エッセンス		知識エリア	プロセス群	パフォーマンス領域
01	開発手法の説明:	ステークホルダーにアジャイル型開発の手法を説明し, 共有する	アジャイル型開発では, 開発を成功させるために, ステークホルダーに対して, プロジェクトの立上げ時に, アジャイル型開発の手法について説明し, 内容を理解してもらう。	ステークホルダー・マネジメント	立上げ	ステークホルダー
02	開発計画の立案:	インクリメント (成果物) の開発計画を定義する	アジャイル型開発においても, インクリメント (成果物) について, 何を利用して, 何を利用しないかを開発計画として定義し, ステークホルダー間で合意する必要がある。	統合マネジメント	計画	計画
03	開発範囲の決定:	要求の優先順位付けを行い, 開発範囲を見極める	アジャイル型開発では, バックログリファインメントやスプリントプランニングで要求の優先順位付けを行い, 今回の開発範囲を見極める。	スコープ・マネジメント	計画	計画
04	要求の詳細化:	段階的な開発のために要求を機能毎に分割する	インクリメント (成果物) は, 計画の段階で粒度を細かくした方が, 見積精度が上がり, 進捗具合も把握しやすく, ゴールが見えやすい, バックログにおいて細かな単位で見積もり, 段階的に開発していく。	スコープ・マネジメント	計画	計画
05	プロジェクトマネージャーの役割設定:	プロジェクトの外部と内部のインタフェースを担う	アジャイル型開発におけるプロジェクトマネージャーは, プロジェクトチームの外部 (組織) とプロジェクトチーム内部のインタフェースを担う。	コミュニケーション・マネジメント	計画	ステークホルダー
06	仕様の確定:	顧客要求をプロトタイプで確認し, 手戻りを防ぐ	曖昧な顧客要求を早く, 正確にステークホルダー間で共有するために, 仕様書ではなく, プロトタイプを作成し, 顧客に評価してもらうことにより, 手戻りを防ぐ。	スコープ・マネジメント	実行	不確かさ
07	リズムの遵守:	スプリントの開発サイクルに従う	アジャイル型開発でうまくいくマネジメントの要因として, 定期的なスプリント, 明確なスプリントゴール, 適切なフィードバックを一定のリズムで実施することが挙げられる。緊急作業を実施する場合は, 優先順位を見直してリズムを乱さないようにする。	スケジュール・マネジメント	実行	開発アプローチとライフサイクル
08	ドキュメントよりも動くソフトウェア:	実際に動くソフトウェアを重視する	アジャイル型開発は開発のスピードを重視するため, ドキュメントの作成に時間を割かず, まずは実際に動くソフトウェアを作成し, それを要求として採用するかどうかを判断する。とりあえずプロトタイプから始めることができるため, 圧倒的にスタート時のストレスが少ない。	スケジュール・マネジメント	実行	不確かさ
09	アジャイル品質のマネジメント:	定期的なデリバリーと早期 UAT (ユーザ受入テスト) による動作の検証	アジャイル型開発で大きなポイントとなるのは短期間でのデリバリーの実現と開発の早い時期での UAT (ユーザ受入テスト) の実施である。作っているものが, 本当にユーザにとっていいものなのかどうか, 有効なものなのかを, 途中で検証して開発していける。	品質マネジメント	実行	デリバリー
10	チームマネジメントの改善:	チームの成長に応じたマネジメントルールの採用	ウォーターフォール型開発には守るべきルールや基準があらかじめ存在しているが, アジャイル型開発の場合, 開発の状況や開発メンバーの成長などに合わせ, ルールを変更する。	資源マネジメント	実行	チーム
11	チームによるマネジメント:	メンバーによる自律的なプロジェクト推進	ウォーターフォール型開発では, 意思決定はプロジェクトマネージャーという役割が実施するなど, 明確な責任分担がなされるが, アジャイル型開発では役割 (ロール) の違いがない, 各メンバーが自律的にプロジェクトを推進する。	資源マネジメント	実行	チーム
12	プロジェクト状況の透明化:	情報の見える化によりステークホルダーを巻き込む	ウォーターフォール型開発では, 計画に基づき, ステークホルダーへの状況報告としての会議体を用意しているが, アジャイル型開発では, 開発状況をそのままステークホルダーと共有している。	資源マネジメント	実行	ステークホルダー
13	チームの育成:	メンバーのプロジェクトへの能動的な参加	アジャイル型開発におけるプロジェクトのメンバーは, 能動的にプロジェクトに参加するようになり, 指示待ちが少なくなる, 物事を前に動かそうと思うようになる, などの成長がみられる。	資源マネジメント	実行	チーム
14	ダイバーシティ:	異なる意見を受け入れる	アジャイル型開発では, 多種多様なメンバーの意見を尊重しつつプロジェクトを進めていく。	資源マネジメント	実行	不確かさ
15	全体の把握:	作業の抜け・漏れに気を付ける	アジャイル型開発では, 作業アイテムがメンバーの自主性に任されるため, 興味のないアイテムが置き去りにされるリスクがある。プロジェクトマネージャーは, 置き去りのアイテムが発生しないように全体を見ていかなくてはならない。	資源マネジメント	実行	不確かさ

表 2 インタビューから生成された表札及び PMBOK 第 6 版, 第 7 版の対応付け (続き)

番号	シンボルマーク		表札	PMBOK6		PMBOK7
	事柄:	エッセンス		知識エリア	プロセス群	パフォーマンス領域
16	チーム内コミュニケーションの活性化:	朝会や振り返りの活用による信頼感の醸成	アジャイル型開発をうまく進めるには、朝会やふりかえり、あるいはツールなどを通して、メンバー同士やプロジェクトマネージャーとメンバー間の信頼性を構築する。そのため、チームビルディングやファシリテーション能力が大事。	資源マネジメント	実行	チーム
17	積極的な情報収集:	コミュニケーションのできる環境を整える	アジャイル型開発のプロジェクトマネージャーは、ウォーターフォール型開発と異なり、メンバーの自律性に任せられており、各自の動きに委ねられているので、自動的に情報は集まらない。プロジェクトマネージャーには、メンバーに能動的に働きかけ、きちんと情報を取っていきこうという意識や環境を良好に保っておく努力が求められる。	コミュニケーション・マネジメント	実行	チーム
18	リスクへの対応:	チームの成長のために積極的にリスクに取り組む	アジャイル型開発においてプロジェクトマネジメントを推進する場合、リスクを恐れず、ポジティブリスクを積極的に取得していくことが肝要。	リスク・マネジメント	実行	不確かさ
19	ステークホルダー・エンゲージメントのマネジメント:	アジャイル型開発特有の考え方に對し、ステークホルダーの理解と協力を得る	アジャイル型開発では、プロジェクトの実行上、アジャイル型開発に特有の問題が発生した場合、顧客やプロダクトオーナーなどステークホルダーに對し、アジャイル型開発の特徴について改めて説明し、理解と協力を得る。	ステークホルダー・マネジメント	実行	ステークホルダー
20	進捗遅れへの対応:	チームの能力を把握し、次開発計画に反映する	アジャイル型開発において、進捗遅れは、スコープに流動性があるため、いわゆる「遅れ」ではない。その要因は、チームの見積もりが甘かったか、チーム自体に見積もりに見合うだけの開発能力がなかったか、のどちらかであり、今後の開発計画を考える材料とする。	スケジュール・マネジメント	監視・コントロール	プロジェクト作業
21	足並みをそろえる:	個人の進捗よりもチームの進捗を優先する	アジャイル型開発は、良くも悪くもチームでの開発であり、自分だけ仕事を進めても、ものができない、他者と足並みをそろえる必要がある。	スケジュール・マネジメント	監視・コントロール	チーム
22	要求品質の確認:	スケジュールよりも要求品質の実現を優先する	アジャイル型開発での進捗管理とは、リリース期日までに終わる/終わらない、を管理するのではなく、ユーザにとって本当に必要な機能が識別できているか、という観点で確認する。	品質マネジメント	監視・コントロール	デリバリー
23	継続的開発:	顧客要求に合わせた、価値のある製品やサービスを継続的に提供する	ウォーターフォール型開発では、一部だけ作り変えることがなかなかできないため、「旬」を過ぎると使われなくなる確率が高い。一方アジャイル型開発は都度ユーザの意見をタイムリーに取り入れ、必要な時期にリリースし続けることができる仕組みになっており、製品に持続性がある（「旬」が長い）。	ステークホルダー・マネジメント	終結	開発アプローチとライフサイクル

チームについてのプロセスは、ウォーターフォール型開発では、全部で 49 あるプロセスのうち 2 つのみが対応付けられているが、今回の分析結果では、全部で 23 ある表札のうち最も多い 7 つの表札が対応付けられた。アジャイル型開発において、チームをより重要視していることが分かる。これは「スクラムガイド」において、チームを「基本単位」としており「自己管理型であり、誰が何を、いつ、どのように行うかをスクラムチーム内で決定する」としていることとも整合する。

なお、PMBOK ガイド第 6 版における、資源マネジメントとは、プロジェクトを成功裏に完了させるために必要な物的及びチーム資源を特定し、獲得し、マネジメントする 6 つのプロセスからなる。物的資源に関する 4 つのプロセスは「資源マネジメントの計画」「アクティビティ資源の見積もり」「資源の獲得」「資源のコントロール」であり、チーム資源に関する 2 つのプロセス「チームの育成」「チームのマネジメント」からなる。

第二に、PMBOK ガイド第 6 版の 5 つのプロジェクトマネジメント・プロセス群には、それぞれ、立上げプロセス群が 2 つ、計画プロセス群が 24、実行プロセス群が 10、監視・コントロール群が 12、終結プロジェクト群が 1 つのプロセスが属してお

り、計画プロセス群に属するプロセスの数が 24 と全体の 6 割を占めている。これにより、ウォーターフォール型開発では、計画に重きをおいていることがわかる。一方、今回の分析結果では、5 つのプロジェクトマネジメント・プロセス群について、立ち上げプロセス群が 1 つ、計画プロセス群が 4 つ、実行プロセス群が 14、監視・コントロール群が 3 つ、終結プロジェクト群が 1 つ、表札に對付付けられた。最も多く對付付けられたのは実行プロセス群の 14 であり、全体の 6 割を占めている。これにより、アジャイル型開発は、実行に重きをおいていることがわかる。

また、PMBOK ガイド第 6 版の知識エリアにおいては、スコープ・マネジメント、スケジュール・マネジメントは計画プロセス群には存在するが、実行プロセス群には、プロセスが存在していない。ウォーターフォール型開発では、スコープの定義やスケジュールの作成は、計画プロセス群で実施するものだからである。しかし、今回の分析結果では、[06 仕様の確定][07 リズムの遵守][08 ドキュメントよりも動くソフトウェア]といった表札が実行プロセス群に對付付けられた。すなわち、アジャイル型開発は、ウォーターフォール型開発のように事前に

計画した通りに実行することに重きをおかず、実際に開発を進めながら、内外の状況変化に柔軟に対応してプロジェクトマネジメントを推進する、ということを表していると考えられる。

### PMBOK ガイド第 7 版におけるプロジェクト・パフォーマンス領域への対応付け

予測型、ハイブリッド型、適応型などの様々な開発アプローチにも対応した PMBOK ガイド第 7 版に対応付けした結果に関する考察を述べる。

第一に、今回の分析では、チーム・パフォーマンス領域に、[10 チームマネジメントの改善] [11 チームによるマネジメント] [13 チームの育成] [16 チーム内コミュニケーションの活性化] [17 積極的な情報収集] [21 足並みをそろえる] と、生成された全部で 23 の表札のうち、最も多い 6 つの表札が対応付けられた。

[10 チームマネジメントの改善] には、以下のような発話があった。“チームが成熟したりすると、ポイントとかが変わってきたりするので、やっぱりチームのルールとか状況って、どんどん変わっていく、というのが、僕の今の感覚ですね”。[11 チームによるマネジメント] には、以下のような発話があった。“プロジェクトマネージャーっていう考え方がないので、チーム全体でマネジメントしていこうっていう意識が強い”、“みんなで集まって見直しをしたりとか、方針転換をしたりというような形が多い”。[13 チームの育成] には、以下のような発話があった。“一人一人が、ちゃんといろんなことを考えて、物事を前に動かそうと思うようになる”。

これらの発話からも、アジャイル型開発では、各メンバーが自律的にプロジェクトを推進し、能動的にプロジェクトに参加する。これは、「スクラムガイド」において、チームを「基本単位」としており、「自己管理型であり、誰が何を、いつ、どのように行うかをスクラムチーム内で決定する」としていることとも整合する。また、顧客が求める価値（要求）に素早く対応し、短期間でリリースするため、プロジェクトの実行中であっても、開発の状況や開発メンバーの成長などに合わせ、ルールを変更していくことがわかる。これは、「スクラムガイド」において、「自分たちの効果を改善するために最も役立つ変更を特定する。」としていることと整合する。

第二に、今回の分析では、不確かさパフォーマンス領域に、[06 仕様の確定] [08 ドキュメントよりも動くソフトウェア] [14 ダイバーシティ] [15 全体の把握] [18 リスクへの対応] と、生成された全部で 23 の表札のうち、2 番目に多い 5 つの表札が対応付けられた。[06 仕様の確定] には、以下のような発話があった。“まずはプロトタイプを作り、それを見せて、OK がでたら中を作りこむ”。[08 ドキュメントよりも動くソフトウェア] には、以下のような発話があった。“仕様部分に時間を割かなくても、とりあえずプロトタイプ作りましょうって決められるのがいい”。[18 リスクへの対応] には、以下のような発話があった。“正解はないので、トライアンドエラーから学んでいく、みたいな、そういう指向性が大事だと思います”、“失敗から学んでいけるのがアジャイルである、という風に考えるのが、いいのではないか”。

この発話からも、アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの推進では、プロトタイピングを行って顧客要求を早期に確認したり、トライアンドエラーで開発を進めたりなど、不確かさに対して積極的にチャレンジしていることがわかる。これは、「アジャイルソフトウェア開発宣言」における「②包括的なドキュメントよりも動くソフトウェアを」と「④計画に従うことよりも変化への対応を」に整合する。

なお、不確かさパフォーマンス領域は、リスクと不確かさ（不明または予測不可能な状態）に関連する活動と機能に対応する領域であり、不確かさが示す脅威と好機については、プロジェクトチームが探求し、査定し、どのように対処するかを決定する。

### 総合考察

本項では、総合的に考察し、アジャイル型開発のプロジェクトマネジメント推進について必要な能力について述べる。

アジャイル型開発においては、ウォーターフォール型開発よりもチームをより重要視し、各メンバーが自律的にプロジェクトを推進し、プロジェクトに能動的に参加していることがわかった。また、ウォーターフォール型開発が、計画に重きを置いているのに対し、アジャイル開発は実行に重きをおいていることがわかった。さらに、アジャイル型開発は、内外の状況変化に柔軟に対応したり、不確かさに対して積極的にチャレンジしたりしていることがわかった。

第一に、アジャイル型開発において、チームをより重要視し、各メンバーが自律的にプロジェクトを推進し、プロジェクトに能動的に参加していることが確認できた。例えば、チーム全体でマネジメントしていこうという意識などがあげられる。また、顧客が求める価値（要求）に素早く対応し、短期間でリリースするため、プロジェクトの実行中であっても、開発の状況や開発メンバーの成長などに合わせ、ルールを変更していくことが確認できた。

よって、アジャイル型開発では、チームメンバー一人一人に、「チームの継続的な成長のために、プロジェクトに能動的に参加する能力」が必要であると考えられる。

第二に、アジャイル型開発では、不確かさに対して積極的にチャレンジすることのできる能力が、アジャイル型開発のチームに必要なことが確認できた。例えば、プロトタイピングを行って顧客要求を早期に確認したり、トライアンドエラーで開発を進めたりしている。アジャイル型開発では、「不確かさに対して積極的にチャレンジすることのできる能力」が必要であると考えられる。

## 6 おわりに

本研究の目的は、アジャイル型開発における、チーム全体でのプロジェクトマネジメントの推進に必要な能力を明らかにすることであった。

調査対象者 9 名へのインタビュー結果をもとに、質的統合法を援用し、アジャイル型開発の特徴を抽出した。その特徴を PMBOK ガイドの第 6 版、及び第 7 版に示されている知識体系

に対応付けることによりアジャイル型開発のプロジェクトマネジメント推進に必要な能力を明らかにした。その結果、アジャイル型開発のプロジェクトマネジメント推進に必要な能力として「(1) チームの継続的な成長により注目し、プロジェクトに能動的に参加する能力, (2) 不確かさに対して積極的にチャレンジすることのできる能力」が必要である, とした。

今後の展望として、今回の研究結果であるアジャイル型開発のプロジェクトマネジメント推進に必要な能力がどのようにして習得されるのか、その習得過程について明らかにし、アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメント推進に必要な能力の教育について検討していきたい。

## 付記

本論文の一部には、情報処理学会 情報システムと社会環境研究会にて報告した内容[15][16]が含まれている。

## 謝辞

インタビュー調査にご協力いただいた皆様に謹んで感謝の意を表す。

## 参考文献

1. 経済産業省. DX レポート 2 (中間とりまとめ). [Internet] 28 Dec 2020 [cited 26 Oct 2023]. Available: <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201228004/20201228004-2.pdf>
2. 独立行政法人情報処理推進機構. ソフトウェア開発分析データ集 2022. [Internet] 26 Sep 2022 [cited 26 Oct 2023]. Available: <https://www.ipa.go.jp/digital/chousa/metrics/metrics2022.html>
3. 独立行政法人情報処理推進機構. DX 白書 2023. [Internet] 16 Mar 2023 [cited 26 Oct 2023]. Available: <https://www.ipa.go.jp/publish/wp-dx/dx-2023.html>
4. 一般社団法人 PMI 日本支部. 2023 年度『アジャイルプロジェクトの実態』に関するアンケート. [Internet] 7 Sep 2023 [cited 26 Oct 2023]. Available: <https://www.pmi-japan.org/agilesg/2023/>
5. Kent Beck, James Grenning, Robert C. Martin, et al. . アジャイルソフトウェア開発宣言, [Internet] [cited 26 Oct 2023]. Available: <https://agilemanifesto.org/iso/ja/manifesto.html>
6. Project Management Institute. プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK ガイド) 第 6 版. Project Management Institute, Inc.; 2017.
7. 一般社団法人 PMI 日本支部. プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK ガイド) 第 7 版+プロジェクトマネジメント標準. 一般社団法人 PMI 日本支部; 2021
8. Project Management Institute, Inc. . PMBOK® Guide – Seventh Edition FAQs Updated 1 December 2021. [Internet] 1 Dec 2021 [cited 26 Oct 2023]. Available: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/pmbok-standards/pmbok-guide-public-faqs-1-july-2021.pdf>
9. Ken Schwaber, Jeff Sutherland .スクラムガイド. [Internet] [cited 26 Oct 2023]. Available : <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Japanese.pdf>
10. 今仁武臣, 中野冠. アジャイル型開発手法の適用領域とプロジェクトの成功度の関係. 日本情報経営学会誌. 2017; 37(1): 50-62.
11. 居駒幹夫, 梯雅人. アジャイル開発のプロジェクトマネジメントと品質マネジメント. 品質学会. 2021; 51(1): 34-37.
12. Salameh, Hanadi. What, When, Why, and How? A Comparison between Agile Project Management and Traditional Project Management Methods. International Journal of Business and Management Review. 2014; 2(5): 52-74.
13. 情報処理学会 情報システムと社会環境研究会 情報システム有効性評価研究分科会. 情報システムの有効性評価 質的評価のガイドライン (第 1 版). 2013.
14. 山浦晴男. 質的統合法入門 考え方と手順. 医学書院; 2012.
15. 木村良一, 三好きよみ. アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの推進 ～ウォーターフォール型開発との比較～. 情報処理学会研究報告. 2022; 2022-IS-159(9), 1-7.
16. 木村良一, 三好きよみ. アジャイル型開発におけるプロジェクトマネジメントの推進 ～プロジェクト・パフォーマンス領域との比較～. 情報処理学会研究報告. 2022; 2022-IS-160(4), 1-8.

# スクラム型開発疑似体験ワークショップの実践事例と開発プロセス

Case study of scrum development simulation workshop and development process

谷川 麻理<sup>1</sup> 馬 獅<sup>1</sup> 所 儀一<sup>1</sup> 三好 きよみ<sup>1\*</sup>  
Mari Tanikawa<sup>1</sup> Chong Ma<sup>1</sup> Yoshikazu Tokoro<sup>1</sup> Kiyomi Miyoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Kiyomi Miyoshi, kiyomi@aait.ac.jp

**Abstract** In recent years, more and more organizations are adopting agile development methods in the field of software development in order to respond to rapidly changing business environments. In transferring to agile, it is thought that organizations with inexperienced people need support to create a mechanism for understanding and introducing agile. Therefore, we have developed a Scrum development simulated experience workshop which was developed for the purpose of learning while experiencing Scrum development for those who are inexperienced in Agile. Besides, verbatim transcripts of workshop interviews were analyzed using the Qualitative Synthesis Method. This paper introduces the practical results of the workshop and its development process.

**Keywords** agile development; lean; simulated experience education; case study

## 1 はじめに

近年、企業・組織は変化への俊敏な対応が求められている。顧客や社会の課題の変化に合わせ、デジタル技術を活用して迅速に対応し続けることが必要である。IT システムにおいても、絶えず変化する顧客のニーズに対応するためアジャイル型に開発を変革しなければ変化の速さに対応できないといわれている[1]。アジャイル型開発は、顧客が求める価値に素早く対応することを主眼とした開発手法である。顧客の求める要件に対して優先順位を設定し、短い期間でシステムを開発、リリースし、フィードバックを受け、改善する、というサイクルを繰り返す。

しかし、「2022 年度『アジャイルプロジェクトの実態』に関するアンケート」[2]によると、日本国内のアジャイル手法の導入経験のある企業は 4 割弱に留まっており、2020 年度以降横這いである。また、「DX 白書 2023」[3]によると、アジャイル手法を活用している企業の割合は、米国の 54.0% に対し、日本は 22.9% に留まっている。アンケート結果では、人材スキル、社内および顧客の理解と協力、契約形態、品質の担保、チームビルディング等が、アジャイル手法を企業に導入するにあたっての課題として挙げられている。成田[4]は、「組織における知識の共有・蓄積への取り組み」に課題があるとし、アジャイルソフトウェア開発に関する研修が極めて重要であるにもかかわらず、研修の実施は少なく特に明確な人材育成をしていない状況があると報告している。なお、アジャイルに関連した研修は、様々な形態で提供されているが、その効果について言及しているものは少ない。日本における企業内での実践事例として、手芸用モールドを使って、アジャイルのマインドセットを習得する例が報告されている[5,6]。ワークショップ手法としては、Scrum Alliance 認定トレーナーの Alexey Krivitsky が提唱する「LEGO4SCRUM」[7]がある。参加者は、LEGO ブロックを使用したプロダクト制作を通じてスクラム型開発を疑似体験しながら、アジャイルのマインドセットとスクラム型開発のフレームワークを学習することができる。公式ウェブサイトにはファシリテーションガイド[7]が公開されており、これを基にした実践例が報告されている[8]。

本研究は、アジャイル未経験者が、スクラム型開発のフレー

ムワーク、アジャイルのマインドセットを効果的に学習することができるワークショップの開発が目的である。そこで、既存の「LEGO4SCRUM」を基にし、試行を重ねて、リーン思考の 7 つの原則[9]を取り入れた、スクラム型開発疑似体験ワークショップ「LEGO for LeanAgile」を開発した。また、開発のために、ワークショップのインタビューの逐語録を質的統合法[10]を用いて分析した。本稿では、本ワークショップの概要、実践結果、及び開発プロセスを報告する。

## 2 ワークショップの概要

本章では、まず、本ワークショップの特徴、及び学習目標と期待される効果について述べる。次に、ワークショップの構成について具体的に説明する。

### 特徴

- ✓ ブロックを使用し、手を動かして 3 次元の成果物を制作することで視覚的にプロダクトを表現できる。
- ✓ アジャイルとスクラム、リーンソフトウェア開発の 7 つの原則などを解説した「ガイドブック」により、ワークショップ後も個人で学習できる。
- ✓ 「リーン思考カード」と「ワークシート」によって、ムダや顧客価値についての意識を醸成できる。
- ✓ 不要な実装を設ける、顧客ニーズを頻繁に変える、プロダクトオーナー (PO) が不在になる、要件を曖昧にする等、実際の現場で起きるイベントを体験できる。
- ✓ PO がレビューを保留し、自分たちで考える時間を設けるといった、チームの自律性を高める工夫がある。
- ✓ ワークショップは、1 回 3 時間程度で実施可能である。

### 学習目標

- ✓ アジャイル未経験者が、アジャイル開発を疑似体験することで、スクラム型開発のフレームワーク、アジャイルのマインドセットを学習する。
- ✓ リーン思考をアジャイル開発に適用することで、ムダの削減や顧客価値の向上について学習する。

### 期待される効果

- ✓ スクラム型開発のフレームワーク、アジャイルのマインドセットを学習できる。

- ✓ 「リーン思考カード」と「ワークシート」によって、ムダを最小限に抑えつつ、顧客価値を最大化する方法を学習できる。
- ✓ ブロックを使って楽しく取り組むことで学習効果を向上できる。

**ワークショップの構成**

ワークショップは、図1のような構成とした。ワークショップは、スプリント前、スプリント中、スプリント後の大きく3つのフェーズで構成される。スプリント前には①②③、スプリント中には④⑤⑥、スプリント後には⑦⑧を行う。以下で図の①から⑧について説明する。なお、スプリントとは、スクラム型開発の基本となる考え方であり、チームが一定量の作業を完了させる際の、短く区切られた期間を指す。

役割として、プロダクトオーナー（PO）は主催者側におき、スクラムマスターとテスターは設置しないこととした。主催者側は、全体統括、司会、POとして3名が参加する。受講者側は、3~4名で1チームとする。

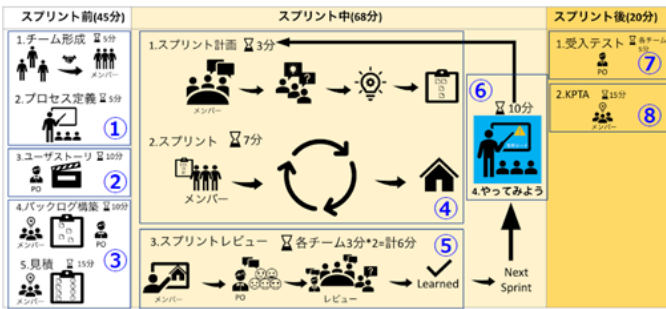


図1 ワークショップの構成

① チーム形成、プロセス定義

参加者は、チーム内で簡単な自己紹介を行う。主催者は、アジャイルとスクラム、リーンソフトウェア開発の7つの原則などを解説した「ガイドブック」(図2)を配布する。次に、「ガイドブック」を基に、アジャイル型開発手法、およびその代表的な手法の1つであるスクラムについて基本的な説明をする(図3)。続いて、ワークショップの全体の流れを説明する。なお、ここで使用する「ガイドブック」は本ワークショップのために書き下ろしたものである。



図2 「ガイドブック」の一部



図3 スクラムについて説明している様子

② ユーザーストーリー

アジャイル開発の疑似体験をしながら、制作するプロダクトは「街」である。主催者のPOは、求める「街」に必要な要素(建物や施設、海や陸といった自然など)を、優先度の高いものから、ユーザーストーリーの形で提示する。ユーザーストーリーは、ワークショップ実施前に主催者が準備する。ワークショップ経験済みの参加者がいる場合、全員にとって初めて制作する「街」になるよう工夫する。ユーザーストーリーの例を図4に示す。なお、今回は、制作するプロダクトを「街」としたが、ブロックで表現できるものであれば自由に設定してよい。職場や遊園地といったテーマでも、参加者は楽しく取り組むことができると思われる。

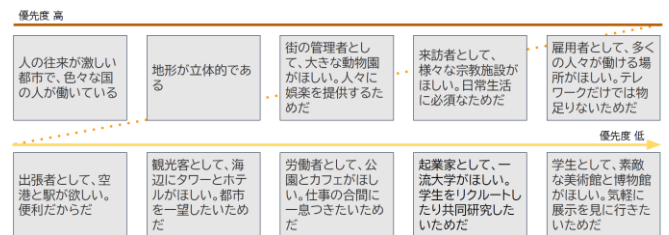


図4 ユーザーストーリー

③ バックログ構築、見積

参加者は、主催者のPOが提示したユーザーストーリーを読みながら、具体的にどのような要素を制作するかを話し合う。次に、全ての要素をバックログというリストに書き出す。このとき、どの要素をバックログに載せるのかは、チーム内で相談して決める。ユーザーストーリーからバックログへの書き出しの例を図5に示す。続いて、相対見積もりを行う。基準となる作業を設定し、バックログの各要素について、基準作業と比べてどの程度の工数が必要となりそうかを相談しながら決める。バックログの相対見積もりの例を図6に示す。

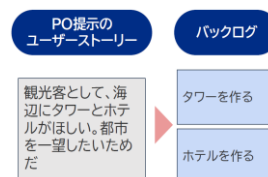


図5 ユーザーストーリーからバックログへの書き出しの例



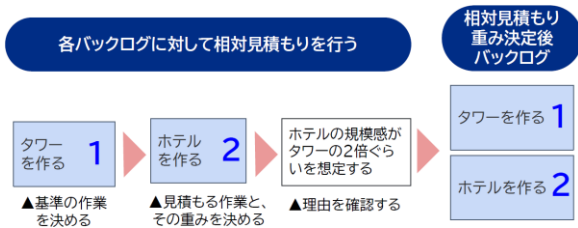


図 6 バックログの相対見積もりの例

④ スプリント計画・スプリント

スプリントは3回実施する。参加者は、スプリント前に今回のスプリントでバックログのどの要素を制作するか計画を立てる。主催者の全体統括の指示でスプリントが開始されたら、取組要素をスプリント計画の「バックログ」から「In Progress」に移し、計画に従って、チーム全員で制作に取り組む(図8)。スプリント計画の例を図7に示す。

ユーザーストーリー	バックログ(To Do)	In Progress	Done
人の作業が早い状態で、他の人が手伝っている 場所が広いためである 別の作業として、大きな箱を動かすのは、人々の作業を妨げるためと決まっています 建築として、様々な作業を同時に進め、作業の進捗を把握し、作業の完了を確認する(図8参照) 建築として、様々な作業を同時に進め、作業の進捗を把握し、作業の完了を確認する(図8参照) 建築として、様々な作業を同時に進め、作業の進捗を把握し、作業の完了を確認する(図8参照) 建築として、様々な作業を同時に進め、作業の進捗を把握し、作業の完了を確認する(図8参照)	#Sprint1 タワーを作る 1 ホテルを作る 2	#Sprint1 タワーを作る 1 ホテルを作る 2	#Sprint1
	#Sprint2 タワーを作る 1 ホテルを作る 2	#Sprint2	#Sprint2
	#Sprint3 タワーを作る 1 ホテルを作る 2	#Sprint3	#Sprint3

図 7 「スプリント計画」の例



図 8 タワー、ホテルなどを制作中の様子

⑤ スプリントレビュー

参加者は、スプリント後、制作した要素について PO に対して、プレゼンテーションを行う。

主催者の PO は、制作した要素をレビューし、(a)承認する、(b)追加要望を出す、(c)要素自体を不要なものとする、(d)回答を保留する、などの対応を取る。

⑥ やってみよう

主催者の PO は、参加者に対し6種類ある「リーン思考カード」(図9)の中から1つ提示する。以下にそれぞれのカードの提示のタイミングと参加者の実施内容について述べる。

<b>ムダの排除</b> 明らかなムダ+顧客視点のムダを排除する	<b>学習効果を高める</b> チーム・組織としての学習効果を高める	<b>決定をできるだけ遅らせる</b> バックログ作成時に、何が優先なのか検討する
<b>できるだけ早く提供する</b> 指示を待たずに自分がすべきことをコミットメントする	<b>チームに権限を与える</b> 信頼と責任の文化を浸透させる	<b>統一性を作り込む</b> 一貫したビジョンと思想を持つ

図 9 リーン思考カード

【ムダの排除】スプリント前、またはスプリント中に提示  
 参加者は、図10のワークシートを使って、ムダな作業について時間を半分にするプランを検討する。参加者は、次のスプリントの行動の見直しを実施することで、ムダの削減や顧客価値の向上を行う。

【学習効果を高める】スプリント中  
 参加者は、スプリントが終わる都度、POに質問し、POからフィードバックをもらう。POからのフィードバックをもとに、達成したい目標や解決したい課題を明確にする。

【決定をできるだけ遅らせる】スプリント前  
 参加者は、プロジェクト全体に影響が及ぶような重要な意思決定を可能な限り遅らせる。これにより、不確実性を減少させ、柔軟性を高めることができる。最終的に決定すべき場面では、しっかりと意思決定をしていく。

【できるだけ早く提供する】スプリント中  
 参加者は、スケジュールによって作業を押し進める(プッシュする)のではなく、顧客のニーズが作業を牽引する(プルする)ようにするために、指示を待たずに自分がすべきことにコミットする方法について検討する。

【チームに権限を与える】スプリント前  
 参加者は、スプリントを開始する前に、チームの目標を設定し、目標を達成するための対策を検討する。

【統一性を作り込む】スプリント中  
 参加者は、図11のワークシートを使って、プロダクトの一貫性について、自然、文化、利便性の観点で検討する。次に、議論した結果から得た対策案をPOに提案する。

No	最もムダな活動	評価★	1つ選択
1	POから仕様を引き出す		
2	作業配分を行う		
3	役割分担の明確化		
4			
5			

No	対策案 2つ
1	
2	

図 10 ワークシートの例「ムダの排除」

No	関心があること	1つ選択
1	自然災害に強い街づくりはできているか？	
2	人口に対する教育文化施設の割合は適切か？	
3	日常生活に必要な移動手段は十分に整備されているか？	
4		
5		

No	対策案 2つ
1	
2	

図 11 ワークシートの例「統一性を作り込む」

⑦受入テスト

参加者は、スプリント計画、スプリント、スプリントレビューを3回実施する。その後、「街」全体について主催者のPOにプレゼンテーションを行う。主催者のPOは、「街」がユーザーストーリーを満たしているかを判断する。主催者のPOが受け入れた場合、参加者は「街」を引き渡す。受け入れない場合、改善案を検討する。完成したプロダクト「街」の例を図12に示す。



図 12 完成したプロダクト「街」

⑧KPTA

参加者は、KPTAを用いてワークショップの振り返りを行う。KPTAとは、物事を整理する思考フレームワークである。「Keep（続けること）」「Problem（不満点）」「Try（試したいこと）」「Action（やること）」の4つの視点を持ち、次に取り組むべき具体的な行動に繋げることができる。KPTAの例を図13に示す。

Keep 良かった事 続けたい事
<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間の中でイメージを形にできた (石田)</li> <li>イメージをロゴでリアルに、形にしやすかった (中村)</li> <li>も</li> <li>回</li> <li>作</li> </ul>
Problem 課題だと感じる事、改善点
<ul style="list-style-type: none"> <li>最初に聞くべきことが整理できていなかった (石田)</li> <li>最初のイメージがつきにくかった (中村)</li> <li>時</li> <li>原</li> <li>作</li> </ul>
Try 今後やってみたい事 改善のための仮説、提案
<ul style="list-style-type: none"> <li>最初のイメージ作りを具体的にかつロゴで実現できる範囲内で想定する (石田)</li> <li>何をやるべきか、明確にし、共有する (丸山)</li> <li>形</li> <li>作</li> </ul>
Action 実際に行動する事 タスク
<ul style="list-style-type: none"> <li>最初の説明で、はじめてのひとにも何をしなければならぬかの具体的なイメージがつくようにしてほしい (平井)</li> <li>WSの目的と対象にもよるが、知識のない人にもわかるような説明が必要かもしれない (石田)</li> </ul>

図 13 KPTA の例

3 ワークショップの実践結果

本章では、ワークショップの実践結果について述べる。ワークショップの参加者は、異なる企業・組織に所属している8名であった。7名はアジャイル初心者であり、1名がアジャイル経験者であった。

ワークショップ参加者へのインタビュー結果

ワークショップ後、ワークショップにおいて、理解したこと、学んだこと等についてのインタビュー調査を実施した。インタビュー調査の発話の一部を表1に示す。

結果からは、スクラム型開発のフレームワークの学習と「リーン思考カード」によって、達成したい目標や解決したい課題を意識する事でムダを抑えつつ、効率的に作業を行うことができていたことが確認された。

表1 ワークショップ終了後のインタビュー調査の発話の一部

「リーン思考カード」は、やってる中ですごく考えさせられて、これがあることによって違った発想になった部分も確かにあった。
「リーン思考カード」で、整理をしたおかげで、POに円滑に質問できた。
スクラムマスターの重要性、設計の大切さ、役割分担の大事さに気づきました。あとはもちろんコミュニケーションですね。
チームに権限を与えるという「リーン思考カード」のタイミングでチーム目標を立てることができたので、それに乗っ取って、みんなが手を動かし続けるっていうのも共に、目標と解決策として入れてたので、そこをしっかりと認識しながらワークショップ全体を通してやることができた。
統一性を作り込むっていう「リーン思考カード」を常に念頭に置いて作業を進めることによってスムーズに進むことができた。
「リーン思考カード」があることにより、前回より良くなりました。なぜかって言うと、目的が明確だから、それにチームが進んでるっていう感じはあった。
このワークショップを初めてやる人から見れば、全て学習効果があると思う。
ワークショップはとても良い試みです。アジャイルを初めての人に理解していただけるということである。

インタビュー逐語録の分析結果

ワークショップ後のインタビューの逐語録を質的統合法[10]を用いて分析した。分析の結果、182の要素が抽出され、7つのグループに編成された。7つのグループから図14に示す見取り図を作成した。以下で見取り図のストーリーを述べる。

ストーリー：

ワークショップでは、参加者は「アジャイルについて理解できたことに加え」、リーン思考カードによって作業の質を向上させることができた。その結果、「役割分担が適切であり、積極的にコミュニケーションを取っていたため、作業がスムーズだった」と感じている。一方で、メンバーの経験値の差等によるコミュニケーション阻害もあってムダや作りすぎが発生したり、それに相まって「ムダや作りすぎを認識していなかった」りする状況が起きた。また「作業がスムーズ」と言いつつも、「前提知識や目的が明確でない、仕様の引き出しは難しい」という意見もあった。

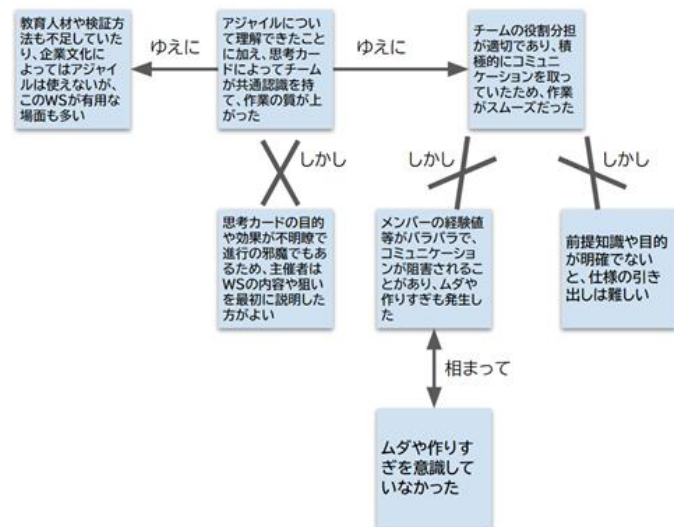


図 14 参加者のインタビューデータの質的統合法による分析結果 (見取り図)

結果からの考察

インタビュー結果から、「リーン思考カード」と「ワークシート」によって、作業をスムーズに進めることができた、目的が明確になったという発話が得られた。リーン思考カードは参加者による作業の質の向上をもたらした効果があることも確認された。また、参加者は、「企業文化によってはアジャイルは使えないが、このワークショップが有用な場面も多い」と感じていることが明らかとなった。

一方、メンバーの経験値の差等によるコミュニケーション阻害もあってムダや作りすぎが発生したり、それに相まってムダや作りすぎを認識していなかったりする状況が起きることが確認された。また、前提知識や目的が明確でない、仕様を引きだすことは難しいことが確認された。これらの点については、ワークショップ中に参加者自ら認識・改善できるような、より一層の工夫が必要である。

リーン思考カードは主催者側の説明に改善が必要だという指摘もあった。この点についても、「ワークショップの内容や狙い」および「思考カードの目的や効果」を参加者に理解してもらえるよう工夫する必要がある。

4 ワークショップの開発プロセス

本章では、ワークショップの開発プロセスについて述べる。ワークショップの開発にあたっては、ワークショップの実施、参加者へのアンケート調査とインタビュー調査、結果の分析と考察、ワークショップの改善というプロセスで行った。

まず、第1回試行ワークショップを実施した。第1回試行ワークショップ後、ワークショップ手順の改善を行った。次に、第2回試行ワークショップを実施した。最後に、リーン思考を導入した本番ワークショップを実施した。

以下では、2回実施した試行ワークショップについて、それぞれの実施結果と分析、及び考察について述べる。さらに、ワークショップの改善策として作成した、リーン思考カードとワークシート、及びガイドブックについて述べる。

第1回試行ワークショップ

第1回試行ワークショップは、「LEGO 4 SCRUM」の実施要領に沿って実施した。目的は、「LEGO 4 SCRUM」の学習効果の検証であった。参加者5名に対して、ワークショップ終了後、アンケート調査とインタビュー調査を実施した。

ここでは、インタビュー結果について述べる。インタビューでの質問項目は、顧客からの要望を具現化した方法、困難な状況になった場合の対処、改善点や良かった点、理解したこと、学んだこととした。

インタビューの逐語録を質的統合法[10]で分析した結果、133枚の元ラベルが作成された。3段階のグループ編成を経て、以下7枚のラベルに集約された。これらの7つのグループから図15に示す見取図を作成した。

見取図から、参加者は、本ワークショップを通して「アジャイルのプロセス学習やチームビルディング、問題意識を向上させることができた」と感じていることがわかる。得られた教訓としては、「短時間で集中」して作業をするアジャイル型開発では「チームメンバーの自律性や役割分担が重要である」こと、「現物を確認してもらいながら質問を重ね修正していく」ことによりPOのイメージを具現化できる、という点が挙げられる。

一方で、実際には「POからの要件ヒアリングが不十分となり、要求を満たしきれない」事態が発生している。にもかかわらず、参加者は「時間や空間を余らせてしまっても、それはムダではない」と述べており、「ムダ」を認識できていない。加えて、「途中で重大な要件変更が発生したら、全体を見直す必要がある」と認識していながらも、ワークショップ中にはそのような振る舞いが観察できなかった。最後に、この見取図には、リーン生産方式の7つの原則との対応が見られた。リーン思考では、①ムダを排除する、②学習効果を高める、③決定をできるだけ遅らせる、④できるだけ早く提供する、⑤チームに権限を与える、⑥統一性を作り込む、⑦全体をみる、という7つの原則が提示されている。

分析結果にあるような認識と行動のズレを参加者に自覚させ、自ら行動を変容してもらおう仕掛けをワークショップに組み込むことで、学習効果の向上が期待できる。その際には、ムダ

の削減や顧客価値の向上を重視するリーン思考がヒントになるであろうと考えた。また、参加者の作業完了が思いのほか速かったため、PO がレビューを保留したり、途中で要件変更をしたりするハプニングを組み込むこととした。

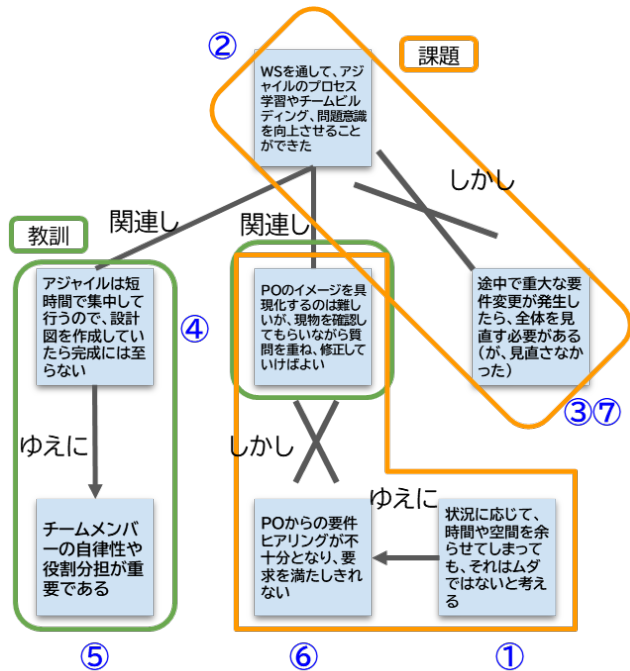


図 15 第 1 回試行ワークショップ参加者のインタビューデータの質的統合法による分析結果 (見取り図)

注) ①～⑦はリーン思考 7 つの原則との対応

## 第 2 回試行ワークショップ

第 2 回試行ワークショップでは、第 1 回試行ワークショップの結果から、「PO がレビューを保留する」、「PO が途中で要件変更を行う」の 2 点を新たに組み込んだ。参加者 8 名に対して、ワークショップ終了後、1 回目と同様のアンケート調査とインタビュー調査を実施した。

ここでは、インタビュー結果について述べる。インタビューでの質問項目は、第 1 回目と同様、顧客からの要望を具現化した方法、困難な状況になった場合の対処、改善点や良かった点、理解したこと、学んだことである。

インタビューの逐語録を質的統合法で分析した結果、149 枚の元ラベルが作成された。3 段階のグループ編成を経て、以下 7 枚のラベルに集約された。これらの 7 つのグループから図 16 に示す見取り図を作成した。

見取り図では、3 つの課題と 3 つの教訓の関係が見出された。1 つ目の課題「短時間で PO から全ての仕様を引き出すことは難しい」に対しては、「最初から全体像の明確化を意識した質問をすれば、手戻りすることなく、統一性のあるものを作れる」という教訓が得られた。2 つ目の課題「短時間だったのでチェック不足が発生し、作業漏れがあった」に対しては、「早い段階での役割分担明確化が重要であり、それによって作業の偏りを防止できる」、「メンバー間のコミュニケーションが一番大事と意識している」という教訓が得られた。加えて、3 つ目の課題「見積方法の理解が不十分で作業配分が悪く、プロダクトが完

成しなかった」があった。これら 3 つの課題については、しかし「不要な実装があってもムダではないと考える」としていた。この見取り図には、リーン思考の 7 つの原則との対応が見られた。特に、リーン思考の最も中核的な原則①ムダを排除するとの対応が確認された。

分析結果から、顧客への価値提供を重視する考え方であるリーン思考をワークショップに導入することにより、ムダの削減や顧客価値の向上ができるようになるであろうと考えた。これを達成するために、「リーン思考カード」と「ワークシート」を作成し、ワークショップに組み込むこととした。

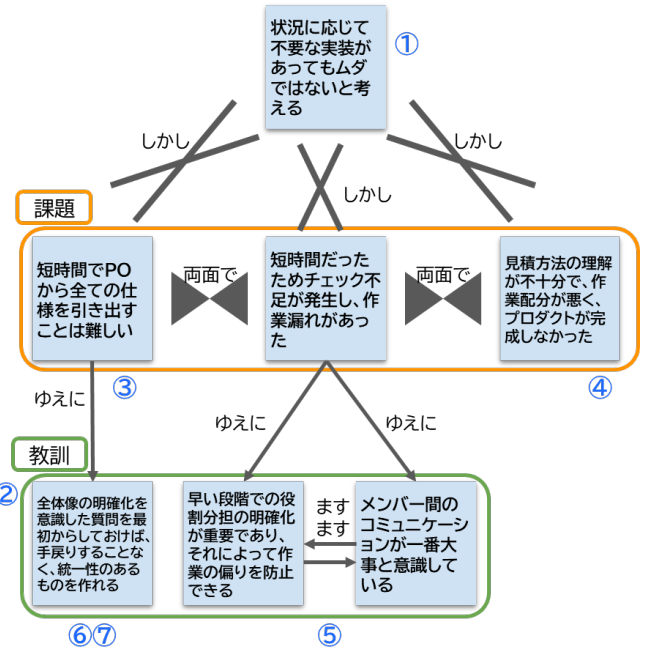


図 16 第 2 回試行ワークショップ参加者のインタビューデータの質的統合法による分析結果 (見取り図)

注) ①～⑦はリーン思考 7 つの原則との対応

## リーン思考カードとワークシートの開発

試行ワークショップ後のインタビュー調査の分析結果において、「不要な実装があってもムダではないと考える」という課題が確認された。この課題は、リーン思考の最も中核的な価値観の原則「ムダを排除する」に対応する。顧客への価値提供を重視する考え方であるリーン思考をワークショップに導入することにより、ムダの削減や顧客価値の向上ができるようになると考えられる。

これらの試行ワークショップの分析結果から、「リーン思考カード」(図 9)と「ワークシート」(図 10-11)を開発した。リーン思考カードは、リーン思考の 7 つの原則を参考にして、参加者への指示を記載した 6 枚で構成されている。ワークシートは、提示されたリーン思考カードの指示をチームで検討するためのものである。リーン思考カードは、スプリント毎に「やってみよう」と題して提示し、チームで議論するように組み込んだ。そうすることで、継続的に改善し、学んだことを効果的に次のスプリントに反映できると想定した。

## ガイドブックの作成

アジャイル未経験者を対象とするワークショップのため、アジャイルとスクラム、リーン思考の7つの原則などを解説した「ガイドブック」(図2)を作成した。ワークショップにおいて、体験の質を向上させるためには、スクラムの基礎知識が必要となる。ワークショップにおいて、「ガイドブックに沿って講義を行うことで、参加者はワークショップ中のイベントの意味や位置づけを理解して、作業を進めることができる。また、ワークショップ後も「ガイドブック」を使って個人で学習することが可能となる。

## 5 おわりに

本研究では、アジャイル未経験者が、スクラム型開発のフレームワーク、アジャイルのマインドセットを効果的に学習することができるワークショップとして、スクラム型開発疑似体験ワークショップ「LEGO for LeanAgile」を開発した。主な特徴は、ブロックの使用、アジャイルとスクラム、リーン思考などを解説した「ガイドブック」、ムダや顧客価値についての意識を醸成するための「リーン思考カード」、1回3時間程度で実施可能などである。ワークショップの実践結果からは、目標としたアジャイル型開発、及びリーン思考の学習に一定の効果があることが明らかになった。また、その後、ワークショップ参加者からは、「仕事でアジャイルを試してみたり、他社と会話する際にアジャイルの基礎知識があることで話がスムーズにいったりと役に立った」との声が寄せられている。一方で、いくつかの課題も確認された。今後は、調査結果をさらに分析し、その結果を基に、ワークショップの更なる改善を図る予定である。

## 謝辞

調査にご協力いただいた皆様に感謝いたします。本研究は東京都立産業技術大学院大学研究安全倫理委員会の承認を得て実施された。

## 付記

本研究で開発したスクラム型開発疑似体験ワークショップ「LEGO for LeanAgile」は、情報処理学会 第85回全国大会 情報システム教育コンテスト (ISECON) にて「優秀賞」を受賞した。

本論文の一部は、2023年3月情報処理学会 第164回情報システムと社会環境研究会にて発表された[11]。

## 参考文献

1. 経済産業省. DXレポート2(中間とりまとめ). 2020
2. PMI 日本支部 アジャイル研究会. 2022年度「アジャイルプロジェクトの実態」に関するアンケート. 2022.
3. 独立行政法人情報処理推進機構. DX白書 2023.2023.
4. 成田和弘. 2021年度アジャイルプロジェクトマネジメント実態調査報告: 作る方法というものを開発していくこと. プロジェクトマネジメント研究報告. 2022;2(1): 65-70.
5. 田中貴子, 齋藤忍. モールを用いたプログラミングによるアジャイルマインドの学習プログラム—体験を通じたアジャイル開発の実践的理解—. デジタルプラクティス 42. 2020; 11(2).
6. 田中貴子, 齋藤忍. アジャイルマインド学習プログラムの効果把握に向けた受講者の質的データ分析の実践報告. デジタルプラクティス. 48,2021; 2(4).
7. Krivitsky, A. . lego4scrum: A complete guide. A great way to teach the Scrum framework and Agile thinking. Independently published. 2019
8. Steghöfer, P. J., Burden, H., Alahyari, H. and Haneberg, D. . No silver brick: Opportunities and limitations of teaching Scrum with Lego workshops. Journal of Systems and Software. 2017;131:230-247.
9. ポッペンディーク, M., ポッペンディーク, T.. リーンソフトウェア開発 アジャイル開発を実践する22の方法 (平鍋健児, 高嶋優子. 佐野建樹 訳). 日経 BP社; 2004.
10. 山浦晴男. 質的統合法入門 考え方と手順. 医学書院. 2012.
11. 谷川麻理, 所儀一, 馬狹, 三好きよみ. スクラム型開発疑似体験ワークショップの実践事例と開発. 情報処理学会 研究報告 IPSJ SIG Technical Report. 2023; 164(1) :1-6.

# Preparation of case study on the beginnings of public bathhouses

Yusuke Miyoshi<sup>1\*</sup> Shogo Kamei<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup> The University of Fukuchiyama

\*Corresponding author: Yusuke Miyoshi, miyoshi-yusuke@aait.ac.jp

**Abstract** The purpose of this paper is to provide an overview of the history of sento, and to examine the viability of sento in Kyoto, the birthplace of the bath, from the perspective of business succession. Some public bathhouses have been forced out of business despite being beloved by local residents. Interviews revealed that although demand for sentou still exists after Corona, the presence or absence of a successor has a significant impact on the survival of sentou, whether or not they go out of business.

**Keywords** business succession; public bath

## 1 Introduction

The purpose of this paper is to first overview the history of the sento, and then discuss its viability from the perspective of business succession, focusing on sento in Kyoto, the birthplace of the bath. The origin of the bathhouse was the free public bath by temples for the purpose of purification of body and soul and for missionary purposes, such as treatment of illness, and it had a strong religious flavor. Later in Japan, steam bathing, in which the bath and washing area were separated, hot air bathing using earthen cans (Yase no Kamaburo), and hot spring bathing became widespread and could be seen in many places, but bathing was a luxury for the general public. As the phrase "to be treated to a bath" symbolizes, the word "bath" seems to have originated from the practice of wealthy commoners treating their neighbors to a bath.

The practice of public bathhouses, where people bathe for a fee as we know it today, dates back to the Heian period(794–1185), and descriptions of machiyu can be found in Konjaku Monogatari[2](Tales of Ancient and Modern Japan). In the Nichiren Goshuroku [6], there is a description of a bathhouse called "yusen", which indicates that machiyu had been established in Kyoto since the Kamakura period. This form of bathing service, in which common people paid a fee to bathe in the town, spread during the Edo period(1603–1867) as a combination of steam bathing and hot water bathing.

The bathhouse appeared in Tokyo in 1591, before the Edo period (1603–1868). At that time, bathtubs were for one person, with a sliding door that opened to allow entry and closed again, and a narrow space like a cupboard, filled with hot water up to about knee level and used for bathing only from the waist down (gyozui), with steam to steam the water (Illustrated book: The bustle of Oedo"[4]). For example, "Morisada Mankou [3]" states, Although the cupboard bath is rare in the three capitals (Edo, Kyoto, and Osaka), it is often found in public bathhouses in other countries. I once took a bath in Hyogo (Kobe). We have also seen them in Yakutou (medicinal baths) in Edo. The bathtub is very shallow, and the water is barely a foot deep. If you only kneel down, a sliding door is used to prevent the hot water from leaking out. The bathtub is very shallow, and the water is only a foot deep.



Fig.1 Public Bath (Machiyu for Edo period) source `Shokunindzushie shi`

In order to attract more people, improvements were made to the bathhouse, such as enlarging the washing area and venting the water, and by the Edo period (1603-1867), the prototype for today's sento (Figure1: Public Bath) was in place. In the Kansai region, on the other hand, the bathtub was a Goemon-Buro (Figure2), in which a cast-iron cauldron was installed at the bottom of the bathtub to heat the water, and a wooden floorboard served as a lid, which was pushed into the bottom with the user's weight when taking a bath. This type of bath was widely used until the Showa period (1926-1989) as home baths became popular. In "Tokaido Chu Hizakurige," there is a scene in which a man takes a "Goemon Bath," but does not know that he is supposed to sink a wooden plank into the bottom of the bathtub, which is too hot to handle, so he puts on geta from the bathroom and pulls out the bottom of the bathtub, forcing him to pay for it. The scene is called a "bath" in Kansai and a "yuya" in Edo (Tokyo).

In Edo, the cost of firewood for fuel was high, and in addition, it cost 200 ryo (about 26 million yen) to dig a well to secure water for each steam bath. Therefore, to save money, the general public would place a washbasin in their backyards and fill it with water in the morning, then bathe in the evening when the water was warmed by the heat of the sun.



Fig.2 Goemon-Buro

## 2 Current Japanese public bathhouses

According to "Rekisei Joso Kou [7]," bathhouses first appeared in Osaka in 1590. Also, according to "Sosoro Monogatari," the first public bathhouse was established in Edo the following year, in 1591. The Law Concerning Special Measures to Ensure Public Baths states that public bathhouses are "indispensable facilities in the daily lives of residents" and have played "an important role in promoting the health of residents. So what exactly does it mean to say that public bathhouses are indispensable facilities in the daily lives of residents?"

Taking Tokyo as an example, which is relatively easy to obtain data on, for example, according to "Deep Reading Ukiyo-buro" [1], there were 499 bathhouses in Tokyo in 1803, 523 in 1808, and 600 in 1814. At that time, only men's bathhouses in Edo had a second floor, where people enjoyed chatting, playing Go and chess, and selling tea and candy while resting after taking a bath. The number of public bathhouses in Tokyo was 602 as of December 2016. Incidentally, due to an incident involving a samurai fighting in a public bathhouse, samurai were forbidden to go to public bathhouses. According to records from 1693, the population of townspeople in Edo at that time was approximately 350,000 (excluding the population of samurai families and temples and shrines, which were not included in the population survey), while the estimated population of Tokyo in 2016 was 13.6 million, which is about four times larger. From these data, it can be inferred that public bathhouses were an integral part of daily life and functioned as a place for communication during the Edo period, as baths were not always available in the homes of townspeople and merchants.

On the other hand, the fact that Kansai was a "craftsman's town" with a thriving commerce and industry seems to have increased the

need for public bathhouses. Currently, there are 680 sento (public bathhouses) that are members of the Osaka Public Bathhouse Association, but about 50 go out of business each year. About 40 member bathhouses of the Tokyo Public Bathhouse Association also disappear each year. Live-in workers come from all over the country to work at the bathhouses, but there are no bathrooms in the houses. Did they use public bathhouses to clean off the dirt from their work? This is much like a laundromat. In some cases, condominiums have shared washing machines, and households that do not have drying equipment when it rains use laundromats.

Thus, the explanation is that public bathhouses would have been necessary in the days when there were no baths in dwellings, but since dwellings with baths have become the norm, public bathhouses are on the decline.

Table 1 Basic statistics for public bathhouses by region source 'SBCPHRB'

	year	Number of public bathhouses	Number of customers per day	Distance to nearest public bathhouse	Average price per customer
Hokkaido & Tohoku	2002	78	127.63	413.4615385	
Kanto & Koshuetsu	2002	195	127.03	353.1088063	
Tokai & Hokuriku	2002	80	121.81	389.7435897	
Kinki	2002	179	151.15	291.8079096	
Chugoku & Shikoku	2002	46	122.59	401.0895565	
Kyushu	2002	42	108.57	372.8199478	
Hokkaido & Tohoku	2007	67	111.09	800	
Kanto & Koshuetsu	2007	160	112.05	671.25	
Tokai & Hokuriku	2007	113	113.54	757.5221239	
Kinki	2007	142	130.45	492.9577465	
Chugoku & Shikoku	2007	69	87.14	728.9855072	
Kyushu	2007	67	94.26	741.0447761	
Hokkaido & Tohoku	2012	48	165.6458333	1052.083333	
Kanto & Koshuetsu	2012	74	151.2837838	993.9189189	
Tokai & Hokuriku	2012	21	127.8666667	1060.952381	
Kinki	2012	46	170.173913	727.173913	
Chugoku & Shikoku	2012	18	94.61111111	1188.888889	
Kyushu	2012	45	126.0666667	1136.666667	
Hokkaido & Tohoku	2017	70	208.9714286	1225	426
Kanto & Koshuetsu	2017	89	187.0674157	1053.370781	845.1
Tokai & Hokuriku	2017	36	149.3055556	1191.666667	526.8
Kinki	2017	73	180.8128333	956	549.3
Chugoku & Shikoku	2017	22	99.3	1281.818182	664.3
Kyushu	2017	49	129.2265306	1203.061224	434.1

However, Table 1, which shows the average daily number of customers by regional block from 2002 to 2017 (source: "Survey of the Business Conditions of Public Hygiene-Related Businesses [5]" by the Ministry of Health, Labor and Welfare), shows that the number of customers is growing in every district in Japan. How can we explain this phenomenon, in which the number of customers is growing despite the fact that the number of public bathhouses is on the decline? A decrease in the number of bathhouses does not mean a decrease in the number of customers per bathhouse, since there are no more competitors. In other words, since demand is not declining, deteriorating business performance is not a reason to close a store. However, if public bathhouses function as a place for the local community, even if the number of customers temporarily declines due to the Corona whirlpool, the familiar customers will return. Rather, it is more natural to assume that the lack of improvement in the working conditions of the public bathhouses is the reason why there are no successors. However, there is no case in the published data that investigates whether there are successors or not. Therefore, we will attempt to clarify the situation by interviewing sentou operators in the Kansai region, where sentou originated and have a long history.

Around 1970, wood was apparently used to boil water. Therefore, it was necessary to remove soot from the chimney. Figure 3 depicts a

ladder for craftsmen to climb to the top of the chimney to remove soot. It shows the hard labor of the time. I asked the keeper of the public bathhouse about the reason why they had to remove soot. It seems that if you don't remove soot, the fuel consumption is low. In the old days, public bathhouses used wood (waste wood) for fuel, and tall chimneys were indispensable to burn the wood efficiently. Burning wood causes soot to accumulate, which weakens the power of the fire. Soot removal is essential for public bathhouses because it reduces the power of the fire. The job of removing soot from Bathhouse chimney(Figure 3) was to brush in from the top of the chimney to the fire opening and remove the soot, which was apparently done several times a year by a professional sweeper. I wonder if the blower also had an effect by sucking new air (oxygen) into the combustion kettle for the amount of smoke that rose up.

Most modern bathhouse facilities are boiler water heating systems using kerosene or heavy oil, so there is no need for a tall chimney for smoke exhaust. However, the tall chimney of a bathhouse has symbolic significance, so some bathhouses have installed chimneys, although they are not necessary today.



Fig.3 Bathhouse chimney 50-60 years old in need of soot removal by Photographer:deceased Kazunori Miyoshi

### 3 Hearing on Kyoto's old public bathhouses

Kyoto people consider Kyoto to be the birthplace of the public bathhouse, and it has always been a city of artisans along with Osaka, with many weavers, Ohara women, and tofu artisans. And even today, sento (public bathhouses) have taken over the sento culture and functioned as places to refresh the body and soul and to communicate with local people. Recent research studies have shown that soaking in a large bathtub, which is not available in the home, has a beneficial effect on the immune system and beauty, due to the effects of heat,

buoyancy, and hydrostatic pressure, while soaking in a spacious bathtub, free from daily life, to wash off dust and dirt, is hygienic and pleasant.

Minoru Muranaka (Kyoto Heirayu Owner) says it is a good idea. Although it is said that people are moving away from public bathhouses today, with young people spending most of their time in the shower instead of soaking in the bathtub, the area around Heian no Yu, where Muranaka's family runs the business, has long been home to tatami mat and furniture craftsmen, and is located behind a Kyoto university dormitory (Yoshida Dormitory), so there is potential demand for such facilities. In this sense, the conditions of no baths and craftsmen living nearby are met. However, Kasuga-yu, which is the same distance from the university dormitory, went out of business several years ago. In this sense, we would like to clarify the difference between the two through interviews.



Fig. 4 Night view of Heian no Yu (at Sakyoku)

#### Interview #1

M.M. (Kyoto Heian Yu 湯)  
2023 0629 listener Y.M.

By using natural groundwater, the restaurant opens at 3:00 in the afternoon. They close at 24:00, but cleaning begins after the last customer leaves and they work until after 4:00 in the morning. He cannot support his family with just the bathhouse alone. He works part-time at Aeon from 9:00 a.m. to 5:00 p.m. as a dual job. He sleeps about four hours a night. Since he was a student, he spends his time from 6:00 pm to 9:00 pm. Other than that, I work. He goes to the gym, has dinner with friends and family (now his wife), and leaves the watchman to his father. My father is an old-fashioned person who is not very sociable. Because of this, I follow up with the customers when they leave. The public bathhouse has been renovated, and cleanliness is the first priority. He takes great care in replacing and disinfecting the hot water. So I don't want to have to close the store for a week because of an outbreak of legionella bacteria, which is the talk of the town.





Fig. 5 Beginning of business at Heian-no-Yu(p.m.3:00)

When the shop opens at 3:00, the clientele are all regulars. The combination of hot water (115 degrees), a sauna, and a kinky water bath of groundwater; to increase the clientele, we place old-fashioned bottles of coffee milk, fruit milk, ramune, and cider, which are popular among the regulars, and offer seasonal offerings such as a bath with sudachi (a Japanese citrus fruit) medicine, a bath with mikan peel, and, recently, natural mint.

Since there are many boarding houses without baths in the vicinity of the university, the restaurant is often used by students, but it also rents a parking lot for guests who come from far away. The parking lot is the former site of Marusan Shokudo, a restaurant that was popular with students but closed last year. I am the only son. I feel that I have no choice because I am the heir to the family business, but when I was young, I often quarreled with my parents about why I had to work so hard. But I intend to continue the store as long as customers need it. I want to preserve the traditions of Kyoto and support the local community.

**Interview #2**

S. T. (retired from Kyoto Kasuga Yu 湯)

2023 0731 listenerY.M.

A dry sauna and water bath at no extra charge are also provided in Kyoto's public baths. Although this is a student town, it was not very crowded and tended to be used by people in the neighborhood. There was a coin-operated parking lot nearby where several cars could be parked. The facilities are old, but they are cleaned frequently and neatly. It was open until 24:00. Even if 80 people a day visited the restaurant, the monthly sales would be about 1.2 million yen. If energy costs and other expenses are subtracted from that, there is almost no profit. However, in order to continue, they need to replace the aging boilers and machinery, which will cost at least 10 million yen. The cost of fuel oil is also high, and the 440 yen bath fee alone is not enough to make the bathhouse profitable.



Fig. 6 Kasuga no Yu (Sakyouku)at that time in the shopping arcade Current chimneys are found in Kasuga no Yu.

Although public bathhouses receive subsidies, taxes, and preferential water rates, they are unable to change their fees. As a result, even if they wanted to hire part-time workers, they cannot, and the elderly owners are forced to do all the heavy lifting, including cleaning. In general, public bathhouses become exhausted trying to do everything as a family. They are so occupied with running the business that services are put on the back burner, and they told that their children (daughter and son) don't want to take over because it's too harsh. Because there is no successor, along with physical limitations and aging facilities, the public bathhouse closed in November 2019. He then closed the store while he still had the funds to demolish the facility and changed his policy to real estate management with students.



Fig. 7 Kasuga no Yu in the days when it was open for business

These are the interviews we conducted with the current and recently closed bathhouses in Kyoto City, respectively. Some bathhouses become popular by renewing their facilities if they have a son who will succeed them, but it is clear from the interviews that it is quicker and more profitable to switch to another type of business (landlord) than to look for a successor to renovate or renew the facility in the first place. And unlike Tokyo, Kyoto Prefecture does not have stores that

set a separate 'sauna fee,' which may tend to make management more difficult than in Tokyo's public bathhouses. However, Kyoto is a highly populated urban area and every sento has a sauna, so it can be said that the city is benefiting from the sauna boom. If there are no saunas in public bathhouses in the area, it is to be expected that it would be even more difficult for them to survive as public bathhouses. We therefore turned our attention to the depopulated northern region of Kyoto Prefecture, Nakatan (northern Tamba region and southern Tango region), to make a comparison with the "hinodeyu" in the fishing town of Nishi-Maizuru.

**Interview #3**

I. T. (Hinodeyu in Nishi-Maizuru)

2023 0820 listenerY.M.

It originally started as a public bathhouse run by the town. It has been in operation as a public bathhouse since the 1890s, and was run by a different person (Mr. Yoshida) at the time. My grandfather on my mother's side purchased the property, and it has been in the family business for three generations since his grandfather's generation. In the old days, the area was crowded with fishermen, and there were more than two dozen public bathhouses in Maizuru, but now there are only two. This is the only remaining public bathhouse in the fishermen's town. It is located in an alley at the end of the moat where boats are moored. Because of the daily income, there were three liquor stores in this small area, making it a very lively place.

The water is pumped from a well and heated with heavy oil. The water is submerged in bincho charcoal. The operating age of the bath facilities is over 100 years. There is a parking lot nearby. After retiring as an elementary school teacher, he helped with the family business and took over the public bathhouse from his mother. Every day, from polishing the tiles to heating the baths, the work is grueling physical labor. The bathhouse is open from 4:30 to 8:30 p.m.



Fig. 9 Scenery of Hinodeyu that has continued since the Meiji Era

**4 Conclusion**

In the past, public bathhouses have been said to be losing their popularity due to the proliferation of apartments with bathtubs. However, the number of customers per bathhouse has not decreased as more and more establishments have closed down their bathhouses. Nonetheless, we interviewed three Kyoto sentou establishments to find out if there is another reason for their closure. The interviews revealed that the survival of sentou depends on whether or not the problem of succession can be solved. For those bathhouses that have no successors, we can conclude that it is difficult to take over the business without the cooperation of relatives who have been involved in cleaning the bathhouses since childhood and know how the bathhouses are run.

**Reference**

1. Aoki Michio, "Deep Reading Ukiyo Furo" Shogakukan, 2003
2. Ikegami Shunichi [Edited by](2002) (Translation) "Konjaku Monogatari-shu", Iwanami Bunko,2002
3. Kidagawa Morisada "Kindei Fuzoku Shishi 3 - Morisada kasaso" Iwanami Shoten,1996
4. Masao Takahashi "Illustrated book: The bustle of Eedo" published, Kawade Shobo Shinsha,1987
5. Ministry of Health, Labour and Welfare, "Survey on the Actual Conditions of Business Management Related to Public Health and Sanitation in Fiscal Year 2019 (visited on 2023)
6. Nichiren, Kanbei Murakami "Nichiren Gosho",[Late Edo Period]
7. Sando Kyozan,"Rekisei jyoso ko" edited by Momoki Iwase,1847



Fig. 8 Beginning of business at Hinode Yu (in Maizuru)



**Open Access** This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# A classification and improvement method of metaheuristic algorithms based on complex networks

Yifei Yang<sup>1</sup> Chaofeng Zhang<sup>2</sup> Wenbin Wang<sup>3</sup> Haichuan Yang<sup>4\*</sup> Yuichi Nagata<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>University of Toyama

<sup>2</sup>Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>3</sup>Tohoku University

<sup>4</sup>Tokushima University

\*Corresponding author: Haichuan Yang, yokaisen1994@gmail.com; Yuichi Nagata, nagata@is.tokushima-u.ac.jp

**Abstract** Optimization problems aim to find the best solution from a set of potential alternatives while maximizing or minimizing key metrics. Certain optimization problems exhibit impracticality in deriving exact solutions due to the intricate or colossal solution spaces. Metaheuristic approaches, inspired by natural phenomena, employ strategic, often stochastic, search processes to explore the vast solution spaces of optimization problems, frequently finding near-optimal solutions within a relatively reasonable computational timeframe. Nonetheless, the “No Free Lunch” theorem asserts that no single algorithm can excel across all optimization problems, thereby necessitating meticulous adaptation, tuning, or hybridization of individual algorithms for effective problem addressing. Traditional methods for algorithm classification and selection are progressively found lacking in navigating through the ever-expanding domain of optimization methodologies. Recently, methods grounded in complex network theory have begun to be explored as potential avenues to negotiate the challenges tied to categorizing and selecting optimization algorithms. By mapping the relationships and performance linkages between various algorithms and problem types, these approaches aspire to equip practitioners with profound insights that adeptly guide the selection, adaptation, and application of algorithms to specific optimization problems.

**Keywords** metaheuristics; complex network; algorithm selection

Table 1: Nomenclatures used in this paper.

Nomenclature	description
TSP	Traveling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
GAs	Genetic Algorithms
DE	Differential Evolution
SE	Spherical Evolution
ACO	Ant Colony Optimization
PSO	Particle swarm optimization
SA	Simulated Annealing
PIN	Population Interaction Network

## 1 Introduction

Optimization problems involve seeking the best solution from a range of possible choices. These problems find extensive applications in mathematics, engineering, computer science, and numerous other domains. The objective of addressing optimization problems is to maximize or minimize a target function under certain constraints. This function could relate to cost, profit, efficiency, or various other metrics. Such problems are ubiquitous in real-world applications like logistics, manufacturing, finance, and many other sectors. However, not all optimization problems are easy to solve. Some, due to their inherent complexity, make it challenging to obtain exact solutions, especially those with high degrees of intricacy or vast solution spaces. For these issues, finding an exact solution might demand exponential computational time, rendering them impractical to solve within a reasonable timeframe.

Metaheuristic approaches have emerged as effective strategies for addressing the daunting challenges posed by complex optimization problems. These approaches, which are inspired by various phenomena in nature, such as the evolution of species, the behavior of ant colonies, or the cooling process of solids, employ strategic, often stochastic, search processes to explore the vast solution spaces of optimization problems. By doing so, they can often find near-optimal solutions in a comparatively reasonable amount of computational time, particularly for problems where an exact solution is practically elusive due to its high computational cost.

However, the “No Free Lunch theorem” [1] poses a signifi-

cant theoretical impediment to the universal application of metaheuristics. It posits that no one algorithm is universally superior across all possible optimization problems. Thus, despite the general efficacy of metaheuristics, individual algorithms still need to be meticulously adapted, tuned, or hybridized to address specific problems effectively. The necessity for such tailored adjustments arises from the varied nature and structure of different optimization landscapes.

In the deluge of algorithms, many with their unique configurations and specialties, categorizing and determining the most apt for a given scenario has become an exceedingly intricate task. The traditional methods of classification and selection of algorithms are increasingly found to be insufficient in navigating through the burgeoning domain of optimization methodologies. Thus, choosing, adapting, and improving good algorithms for specific problems have become progressively difficult, leading the research on metaheuristics into an “alchemy” dilemma where devising effective algorithms often involves a substantial amount of experimentation, trial, and error.

In recent years, methods based on complex network theory have begun to be explored as potential pathways to navigate through the challenges associated with categorizing and selecting metaheuristic algorithms. Complex network-based methods seek to understand the manifold interconnections and dependencies among different algorithms, problem instances, and performance metrics, providing a more nuanced view of the metaheuristic algorithm landscape. Through mapping the relationships and performance linkages between various algorithms and problem types, such approaches aim to furnish practitioners with insights that can guide the selection, adaptation, and application of algorithms to specific optimization problems more adeptly. Table 1 shows the nomenclatures used in this paper.

## 2 Related Works

Some classic examples of problems hard to precisely solve include: Traveling Salesman Problem (TSP) [2]: Given a series of cities and distances between each pair, the goal is to identify the shortest possible route visiting each city once and returning to the starting point. Knapsack Problem [3]: With a set of items, each having a weight and value, the challenge is selecting

items to pack into a fixed-capacity bag so that the total value is maximized without exceeding the weight limit. Job Scheduling Problem [4]: Considering limited machines and a series of jobs, each with a processing time and a deadline, the objective is to determine the order of job execution to minimize total delay or maximize the number of jobs completed on time. Graph Coloring Problem [5]: Given a graph, the aim is to color each node using the fewest colors possible, ensuring that no two adjacent nodes share the same color. Integer Programming [6]: Similar to linear programming, but the decision variables are restricted to integer values. This adds complexity since standard linear programming techniques aren't applicable. Vehicle Routing Problem (VRP) [7]: Given customer locations and demands and one or more distribution centers with vehicles, the goal is to find optimal routes to service all customers, adhering to vehicle capacity limits and other potential constraints. All the aforementioned problems are classified as NP-hard [8].

Furthermore, there are practical issues that, although their difficulty might differ from traditional NP-hard or NP-complete problems, present significant computational challenges. An example is wind farm layout optimization [9], aiming to determine optimal positions for wind turbines to maximize power output and minimize system cost. The problem is intricate because relative turbine positions can influence turbulence effects on each, affecting performance. Depending on constraints (like land availability, roads, and other infrastructure), the problem's difficulty may vary. While the problem is complex, there isn't a consensus on whether it's formally classified as NP-hard. A similar example involves neuron parameter training [10]. Training neural networks is a non-convex optimization issue, meaning multiple local minima could exist. Seeking a global minimum is tremendously challenging, but many local minima can offer decent performance for practical tasks.

There are currently popular solutions addressing some of the above problems. For certain problems, polynomial-time exact algorithms might exist. For example, branch and bound algorithms can handle some small-scale problems [11]. Heuristic methods tailored to a specific problem can be more effective than generic metaheuristic algorithms. For some problems, specialized greedy algorithms [12] or local search algorithms [13] can be designed based on structural characteristics. For large-scale problems, decomposing them into smaller sub-problems is an option. Approaches like column generation [14], Lagrangian relaxation [15], and Benders decomposition [16] are examples. Notably, in recent years, deep learning methods, especially reinforcement learning [17], have been applied to some combinatorial optimization problems, yielding impressive results. Neural networks and reinforcement learning methods have been used to generate approximate solutions for problems like TSP and VRP [18,19]. Parallel and distributed computing methods also exist, employing multiple processors or computers to simultaneously tackle different parts of a problem or search space, accelerating the solving process. However, the methods mentioned are more suited for solving small-scale instances or those with specific structures. For NP-hard or NP-complete issues, and highly challenging complex problems, metaheuristic algorithms often prove the most effective solution.

### 3 Metaheuristic algorithms

Metaheuristic algorithms are advanced heuristic algorithms designed to tackle large-scale or intricate optimization problems [20]. A defining characteristic of these algorithms is that they are not solely designed for specific problems but provide a framework that can be employed across various problems. They often attempt to mimic processes found in biology, society, or other natural phenomena. Some well-known metaheuristic al-

gorithms include: Genetic Algorithms (GAs) [21] are inspired by the process of natural selection and genetics. This method uses "chromosomes" to encode potential solutions and produces new solutions via operations such as crossover, mutation, and selection. On the basis of GA, two algorithms, Differential Evolution (DE) [20] and Spherical Evolution (SE) [22], were proposed. The DE family of algorithms has proven notably successful [23], with its improved version regularly clinching top positions in the IEEE CEC competition [24]. The SE algorithm has extremely high potential in more complex and high-dimensional problems. Ant Colony Optimization (ACO) [25] is inspired by the process of ants searching for food. Ants communicate by releasing and following pheromone trails to identify the shortest paths. Particle Swarm Optimization (PSO) [26] mimics the social behavior of bird flocks or schools of fish. Each "particle" moves, updating its velocity and position based on its individual and the swarm's best-known positions. Simulated Annealing (SA) [27] is inspired by the cooling process of solids and crystal arrangements. Solutions undergo random alterations under a controlled temperature parameter, permitting acceptance of less optimal solutions early in the search to escape local optima. In addition, the Evolution Strategy with Covariance Matrix Adaptation [28] has been highly praised by researchers due to its complete mathematical foundation.

The broad attention and application of metaheuristic algorithms stem from their many advantages: They are generally universal and suitable for diverse problems without extensive customization. They often provide reasonable solutions, irrespective of specific problem structures or characteristics. Some can adjust their strategies or parameters during the search, adapting to the problem's nature [29]. For NP-hard problems or those where precise solutions are unattainable in a reasonable timeframe, metaheuristics can often find satisfactory approximations. They can be coupled with other algorithms, like local searches or greedy strategies, to yield improved solutions. Compared to basic local search methods, they tend to explore the solution space more extensively, offering a greater chance of identifying global or near-optimal solutions. Some, like GA or PSO, have parallel structures, facilitating parallel searches on multi-processors or clusters [30].

#### 3.1 Improvements in metaheuristics

Due to their impressive performance in addressing various real-world optimization and decision-making problems, enhancements and studies of these algorithms continue to captivate researchers and practitioners alike. Some key areas of focus in current metaheuristic research include:

- 1) Parameter tuning [32]: This method is vital for optimizing metaheuristic performance. Adaptive methods, hyper-parameter optimization, and Automated Machine Learning (AutoML) strategies have been employed to automatically identify optimal parameters. It should be emphasized that powerful metaheuristics generally require the use of various parameter adaptation techniques.
- 2) Hybrid methods [33,34]: Combining different metaheuristics or merging them with other optimization strategies like linear programming or local searches can enhance both search efficiency and solution quality. Such improved techniques have become increasingly difficult to publish in high-quality journals, but in fact, many new competitive metaheuristics are also based on a mixture of various mechanisms.
- 3) Memetic computing manner [35,36]: Memetic computing delves into intricate formations arising from the blend of basic entities and memes. As they evolve and interact,

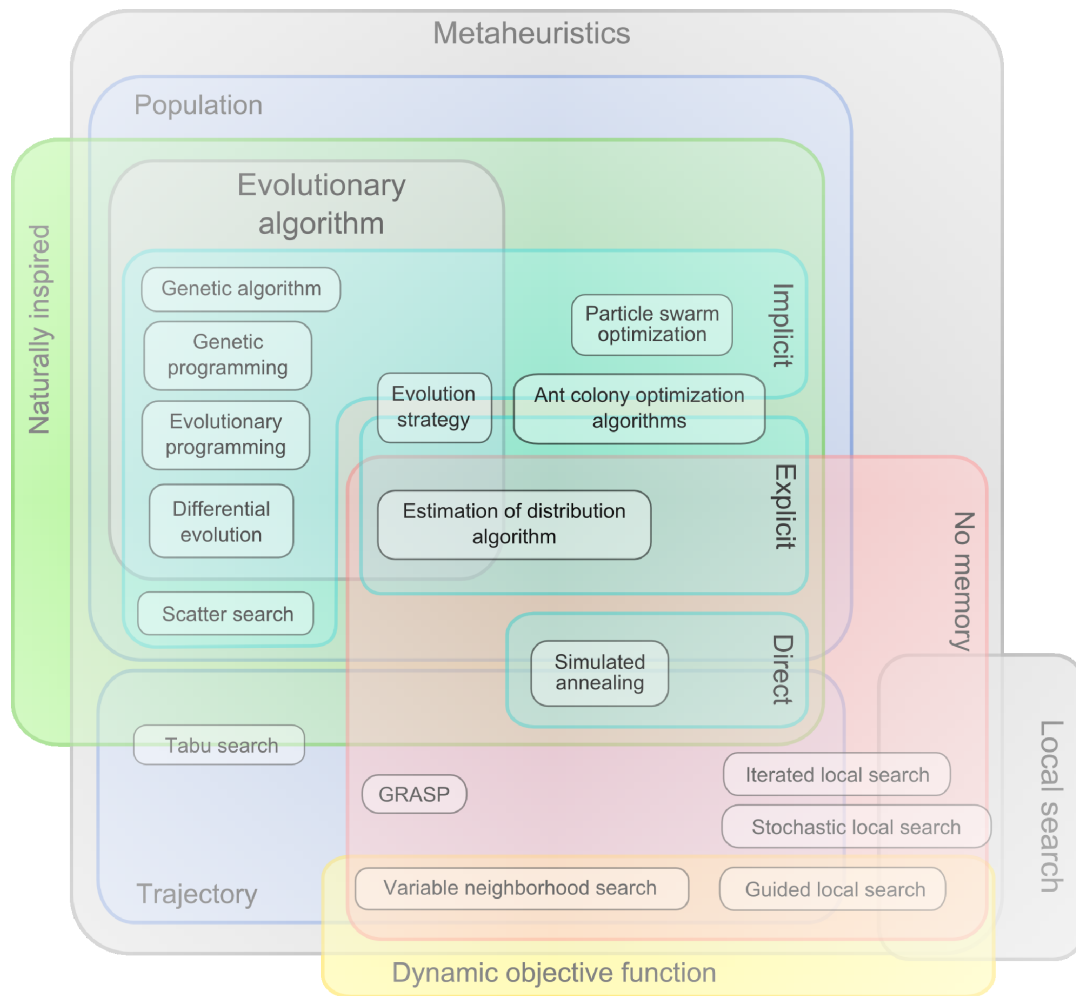


Figure 1: Some classification methods of metaheuristic algorithms [31].

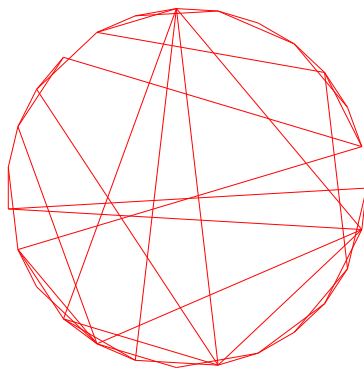
they form sophisticated systems proficient in addressing challenges. The foundational principle of this area lies in memetic algorithms, a category of optimization techniques marked by their evolutionary underpinnings and an assortment of localized search mechanisms.

- 4) Parallelization and distributed computation: Given the inherent parallelism in many metaheuristics (e.g., GAs, PSO), leveraging modern computational hardware for parallel and distributed computing is pivotal.
- 5) Multi-objective optimization [37]: Many real-life problems encompass multiple conflicting objectives. Multi-objective versions of several metaheuristics, like multi-objective GAs or multi-objective PSO, have been developed in response.
- 6) Theoretical analysis [38 – 41]: Even though metaheuristics are largely empirical, theoretical analysis remains a crucial area of study. This can aid in understanding algorithm behavior and direct improvements.
- 7) Application-driven research: New real-world applications and challenges often stimulate the development or refinement of existing metaheuristics. For instance, new problems in the domains of transportation, logistics, and energy system optimization have galvanized algorithmic research.
- 8) Integration with machine learning [42]: The convergence of machine learning and metaheuristics, especially the amalgamation of deep learning and reinforcement learning, has emerged as a hot research topic recently. Examples include

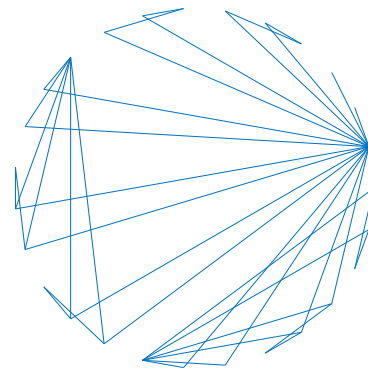
employing neural networks to guide search strategies or using reinforcement learning to tweak algorithm parameters.

### 3.2 Classification of metaheuristics

Moreover, with the emergence of more and more metaheuristic algorithms, selecting a suitable algorithm for practical problems has become increasingly complex. To determine which algorithm is best for a particular problem, benchmark testing of multiple algorithms might be necessary, which could require significant time and computational resources. Classifying metaheuristic algorithms based on their characteristics can help in systematically and specifically understanding and choosing the appropriate algorithm. Generally, metaheuristic algorithms are optimization algorithms inspired by natural phenomena, they can be grouped into several basic categories based on their operations and features: Population-based algorithms: These algorithms typically maintain a set of potential solutions and improve these solutions through iterative evolution. The “quality” or “fitness” of the solutions determines their probability of survival and reproduction in subsequent iterations. Examples include GAs, PSO, and DE. Simulation-based algorithms: These algorithms search the solution space by simulating a certain natural or physical process. An example is SA, which simulates the annealing process of solids. Memory or learning-based algorithms: These algorithms accumulate knowledge during the search process and use this knowledge to guide subsequent searches. An example is the ACO, where ants use pheromone trails when searching for food paths. Local search-based algorithms: These



(a) Poisson degree distribution.



(b) power-law degree distribution.

Figure 2: Two typical population interaction networks of metaheuristics.

algorithms start from an initial solution and then search for better solutions in their neighborhood. An example is Tabu Search [43]. Cooperation and competition-based algorithms: These algorithms often simulate interactions between individuals who can cooperate, compete, or do both to achieve some objective. Examples include artificial life and evolutionary strategies [44]. Additionally, some literature categorizes metaheuristics into algorithms based on evolution, algorithms based on swarm intelligence, algorithms based on human behavior, and algorithms based on physics and chemistry [45]. Some other classification methods of metaheuristic algorithms are shown in Fig. 1. Classifying metaheuristic algorithms by their inherent characteristics can aid in understanding the advantages and applicability of each algorithm, helping to choose the right algorithm for specific problems. For instance, for problems requiring global search capabilities, population-based algorithms might be more suitable, while for solutions that need fine-tuning, local search-based algorithms may be better.

#### 4 Challenges faced by metaheuristic research

The proliferation of improvements to metaheuristic algorithms and the continuous emergence of new metaheuristic algorithms have also ignited controversy. Particularly, many of the recently proposed metaheuristics draw inspiration from natural or social phenomena, such as fire propagation, animal migration, and human social behavior. While the names and concepts of these algorithms might seem appealing, the pivotal question is whether they truly provide novel and effective means to address real-world problems. Do these new algorithms truly outperform established, time-tested ones such as GAs, SA, and ACO? Only when a new algorithm consistently demonstrates superior performance across various benchmark problems and practical applications can it be deemed valuable. Does the new algorithm bring genuinely innovative ideas, or is it a slight variation of existing methods? To gain widespread acceptance, a new algorithm should make distinct contributions and demonstrate innovative elements. Moreover, although most metaheuristic algorithms are empirical in nature, providing some theoretical analysis and proof for the new algorithm can bolster its credibility. This can help explain why the algorithm is effective and under which conditions it might excel. Another important evaluation criterion for a new algorithm is its universality—does it apply across different problems or is it tailored for specific challenges? Generally, a versatile algorithm effective for a range of problems is more well-received. Lastly, is the new algorithm easily un-

derstood and implemented? An overly complex algorithm, even with marginal performance advantages, may not achieve broad adoption, especially if it's more intricate or harder to implement than existing algorithms.

These classifications of metaheuristics also have certain limitations. Many metaheuristic algorithms might possess characteristics from multiple categories. For instance, a population-based algorithm might also have some form of local search mechanism, making it challenging to classify it under a specific category. Moreover, classifying algorithms into a few fixed categories might restrict our understanding of their potential variations and adaptability. Especially as algorithms evolve, new strategies and techniques might be integrated into existing ones, making them surpass their original classifications. Therefore, categorizing algorithms might lead to an overly simplified perspective, potentially overlooking key details and mechanisms within certain algorithms. These classification methods might not always perfectly apply to all new algorithms or variations. It's worth noting that the aforementioned classification overly reliant on the heuristic source of algorithms (like natural phenomena) might not always be helpful. Some algorithms, even if inspired by the same phenomena, might differ significantly in their operations and performances. Lastly, even if we can classify algorithms based on their features, this doesn't always directly guide the selection of the best algorithm. In practical applications, the performance of algorithms might be affected by factors like problem characteristics, parameter settings, etc. Currently, there are studies focusing on this issue [46,47], attempting to categorize algorithms from an exploitation and exploration perspective. However, exploitation and exploration are broad concepts that warrant further in-depth research. In light of the shortcomings present in the aforementioned studies, some researchers have proposed a more radical viewpoint, attempting to find a unified model for all metaheuristic algorithms, and have indeed achieved some success [22]. However, this research more significantly advances the theoretical study of algorithms and does not assist researchers in filtering and utilizing algorithms.

#### 5 Complex network-based research methods

In recent years, complex systems have emerged as a focal point of research, and notably, due to their "groundbreaking contributions to our understanding of complex systems," the 2021 Nobel Prize in Physics was awarded to three scientists. This spotlight not only underscores the significance and potential breakthroughs in the realm of complex systems research but also pro-

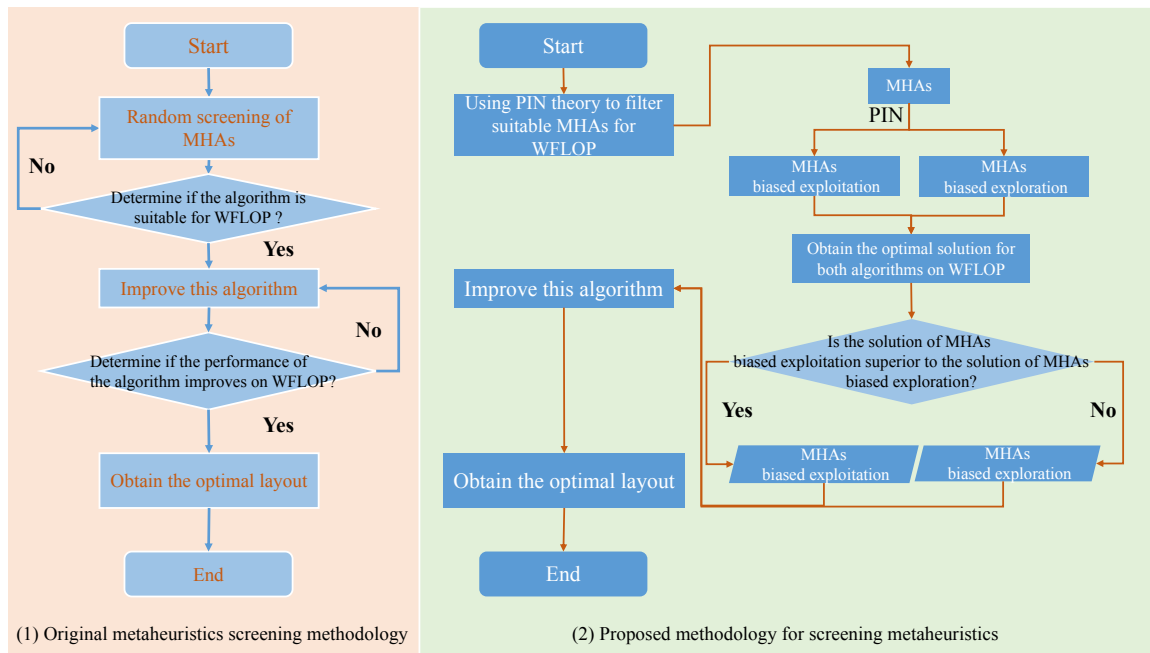


Figure 3: Flowchart of the proposed complex network-based research methods [48].

pels forward scientific inquiry and exploration into the intricate and multifaceted networks that govern various phenomena within these systems. Moreover, employing complex network theory to classify metaheuristic algorithms, and even to guide the enhancement of metaheuristic algorithms, emerges as an intriguing and challenging idea [49 – 51], linking foundational physics and algorithm development through innovative approaches to understanding and navigating complexity. Complex network theory investigates the structure and behavior among a multitude of interconnected elements, while metaheuristic algorithms involve the search and optimization of potential solutions in the solution space. In metaheuristic algorithms, each potential solution can be regarded as a node within the network. Edges, on the other hand, can represent some type of relationship between solutions, such as mutation, crossover, or neighborhood transitions. During the search process in metaheuristic algorithms, their populations can generate certain network structures within the solution space. For example, random searches might result in a random network structure, while neighborhood-based searches might produce networks with specific topological characteristics. Different metaheuristic algorithms might lead to networks with different statistical properties, which can aid in understanding the search behavior and efficiency of the algorithms.

Recently, our research has further revealed the correlation between the network structure of Population Interaction Network (PIN) within algorithms and the algorithm’s performance on specific problems. The core idea of this research approach is to utilize complex networks to categorize the search strategy (i.e., exploration and exploitation) of algorithms, thereby providing guidance for algorithm selection and improvement. In complex networks, there are two typical network structures: one is the network structure with a Poisson distribution, such as small-world networks, and the other is the network structure with a power-law distribution, like scale-free networks. In the network structure with a Poisson distribution, interactions between vertices and other vertices are more evenly distributed and random. Meanwhile, in the network structure with a power-law distribution, some vertices have more edges than others, as shown in Fig. 2. Metaheuristics with a Poisson distribution PIN tend to explore the solution space, while those with a power-law distri-

bution PIN are more inclined to exploit in potentially promising areas. When facing black-box problems, we can conjecture the attributes of the problem itself by running algorithms with different PIN structures, thereby providing possible directions for further selection and improvement of algorithms, with the specific process seen in Fig. 3. We analyzed the training of neuronal model parameters [52], optimization of wind farm layouts [48], and the IEEE CEC2017 benchmark function [53], obtaining the following insights:

- 1) Matching Algorithm Characteristics with Problem Characteristics: The research results show that, for wind farm layout optimization problems, algorithms that tend to have a Poisson distribution PIN generally perform better than those tending to have a power-law distribution PIN. The opposite is true for the IEEE CEC 2017 standard function set and dendritic neuron training problems. This indicates that certain attributes of algorithms may be more crucial when solving some optimization problems.
- 2) Complex Networks as a Tool for Categorizing Metaheuristic Algorithms: By constructing and analyzing population interaction networks, researchers can gain a deeper understanding of the internal working mechanisms of algorithms. This method provides a new perspective for understanding and improving algorithms.
- 3) Providing Theoretical Guidance for Algorithm Selection and Improvement: Traditional metaheuristic algorithm selection methods usually require a lot of experiments and computations. Utilizing complex network theory, researchers can predict its performance on specific problems based on the network characteristics of algorithms, thus providing more targeted guidance for algorithm selection and improvement.

## 6 Conclusion

The application of complex networks to the realm of optimization algorithm classification and selection not only represents a novel, systematic method for navigating the expansive solution spaces of intricate problems but also offers a platform for potentially unraveling the deeper intricacies of problem-algorithm

dynamics. The goal is to transcend beyond the current heuristic-based paradigm and forge a pathway towards a more structured, systematic, and theoretically grounded approach to algorithm selection and adaptation, thereby transforming the “alchemy” of metaheuristic research into a more exact science.

## 7 Acknowledgement

This work is partially supported by JSPS KAKENHI Grant Numbers JP22K17884, JP20H04174, JP22K11989, and the Tokushima University Tenure-Track Faculty Development Support System, Japan.

## References

- Wolpert DH, Macready WG. No free lunch theorems for optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1997;1: 67 – 82.
- Jünger M, Reinelt G, Rinaldi G. The traveling salesman problem. *Handbooks in operations research and management science*. 1995;7: 225 – 330.
- Chu PC, Beasley JE. A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem. *Journal of heuristics*. 1998;4: 63 – 86.
- Applegate D, Cook W. A computational study of the job-shop scheduling problem. *ORSA Journal on computing*. 1991;3: 149 – 156.
- Fleurent C, Ferland JA. Genetic and hybrid algorithms for graph coloring. *Annals of operations research*. 1996;63: 437 – 461.
- Pugh W. The omega test: a fast and practical integer programming algorithm for dependence analysis. *Proceedings of the 1991 acm/ieee conference on supercomputing*. 1991. pp. 4 – 13.
- Braekers K, Ramaekers K, Van Nieuwenhuysse I. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & industrial engineering*. 2016;99: 300 – 313.
- Woeginger GJ. Exact algorithms for np-hard problems: A survey. *Combinatorial optimization—eureka, you shrink! papers dedicated to jack edmonds 5th international workshop aussois, france, march 5 – 9, 2001 revised papers*. Springer; 2003. pp. 185 – 207.
- Chen Y, Li H, Jin K, Song Q. Wind farm layout optimization using genetic algorithm with different hub height wind turbines. *Energy Conversion and Management*. 2013;70: 56 – 65.
- Yeh W-C. New parameter-free simplified swarm optimization for artificial neural network training and its application in the prediction of time series. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2013;24: 661 – 665.
- Narendra, Fukunaga. A branch and bound algorithm for feature subset selection. *IEEE Transactions on Computers*. 1977;C-26: 917 – 922.
- Zhang Z, Schwartz S, Wagner L, Miller W. A greedy algorithm for aligning dna sequences. *Journal of Computational biology*. 2000;7: 203 – 214.
- Aarts EH, van Laarhoven PJ, Lenstra JK, Ulder NL. A computational study of local search algorithms for job shop scheduling. *ORSA Journal on Computing*. 1994;6: 118 – 125.
- Barnhart C, Johnson EL, Nemhauser GL, Savelsbergh MW, Vance PH. Branch-and-price: Column generation for solving huge integer programs. *Operations research*. 1998;46: 316 – 329.
- Fisher ML. The lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. *Management science*. 1981;27: 1 – 18.
- Rahmaniani R, Crainic TG, Gendreau M, Rei W. The benders decomposition algorithm: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 2017;259: 801 – 817.
- Mazayavkina N, Sviridov S, Ivanov S, Burnaev E. Reinforcement learning for combinatorial optimization: A survey. *Computers & Operations Research*. 2021;134: 105400.
- Liu F, Zeng G. Study of genetic algorithm with reinforcement learning to solve the tsp. *Expert Systems with Applications*. 2009;36: 6995 – 7001.
- Nazari M, Oroojlooy A, Snyder L, Takác M. Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *Advances in neural information processing systems*. 2018.
- Abdel-Basset M, Abdel-Fatah L, Sangaiah AK. Metaheuristic algorithms: A comprehensive review. *Computational intelligence for multimedia big data on the cloud with engineering applications*. 2018; 185 – 231.
- Holland JH. Genetic algorithms. *Scientific american*. 1992;267: 66 – 73.
- Tang D. Spherical evolution for solving continuous optimization problems. *Applied Soft Computing*. 2019;81: 105499.
- Das S, Suganthan PN. Differential evolution: A survey of the state-of-the-art. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2011;15: 4 – 31.
- Awad NH, Ali MZ, Suganthan PN, Reynolds RG. An ensemble sinusoidal parameter adaptation incorporated with l-shade for solving cec2014 benchmark problems. *2016 IEEE congress on evolutionary computation (cec)*. 2016. pp. 2958 – 2965.
- Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2006;1: 28 – 39.
- Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proceedings of icnn' 95 - international conference on neural networks*. 1995. pp. 1942 – 1948.
- Bertsimas D, Tsitsiklis J. Simulated annealing. *Statistical science*. 1993;8: 10 – 15.
- Hansen N, Müller SD, Koumoutsakos P. Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (cma-es). *Evolutionary Computation*. 2003;11: 1 – 18.
- Zhang C, Li H, Yang Y, Zhang B, Zhu H, Gao S. Improved differential evolutionary algorithm based on adaptive scaling factor. *International conference on industrial, engineering and other applications of applied intelligent systems*. Springer; 2023. pp. 171 – 176.
- Roberge V, Tarbouchi M, Labonte G. Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time uav path planning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2013;9: 132 – 141.
- Hugo V. Are most metaheuristic algorithms different metaphors for the same method? Available: <https://cs.stackexchange.com/q/74915>
- Huang C, Li Y, Yao X. A survey of automatic parameter tuning methods for metaheuristics. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2020;24: 201 – 216.
- Li H, Yang H, Zhang B, Zhang H, Gao S. Swarm exploration mechanism-based distributed water wave optimization. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 2023;16: 1 – 26.
- Dong S, Yang Y, Xu W, Zhu Q, Zhang Y, Li X. L-cjade: Differential evolution algorithm based on a linearly decreasing population structure. *2023 8th international conference on computer and communication systems (icccs)*. 2023. pp. 875 – 879.
- Nagata Y, Bräysy O. Edge assembly-based memetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Networks: An International Journal*. 2009;54: 205 – 215.
- Neri F, Cotta C. Memetic algorithms and memetic computing optimization: A literature review. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2012;2: 1 – 14.
- Deb K. Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction. *Multi-objective evolutionary optimisation for product design and manufacturing*. Springer; 2011. pp. 3 – 34.
- He J, Yao X. Drift analysis and average time complexity of evolutionary algorithms. *Artificial intelligence*. 2001;127: 57 – 85.
- Akimoto Y, Nagata Y, Ono I, Kobayashi S. Theoretical foundation for cma-es from information geometry perspective. *Algorithmica*. 2012;64: 698 – 716.
- Nagata Y. High-order entropy-based population diversity measures in the traveling salesman problem. *Evolutionary computation*. 2020;28: 595 – 619.
- Doerr B, Qu Z. Runtime analysis for the nsga-ii: Provable speed-ups from crossover. *Proceedings of the aaai conference on artificial intelligence*. 2023. pp. 12399 – 12407.
- Yu X, Lu Y. Reinforcement learning-based multi-objective differential evolution for wind farm layout optimization. *Energy*. 2023; 129300.
- Glover F. Tabu search—part i. *ORSA Journal on computing*. 1989;1: 190 – 206.
- Beyer H-G, Schwefel H-P. Evolution strategies – a comprehensive introduction. *Natural computing*. 2002;1: 3 – 52.
- Yang H, Gao S, Wang R-L, Todo Y. A ladder spherical evolution search algorithm. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 2021;104: 461 – 464.
- Yang H, Yu Y, Cheng J, Lei Z, Cai Z, Zhang Z, et al. An intelligent metaphor-free spatial information sampling algorithm for balancing exploitation and exploration. *Knowledge-Based Systems*. 2022;250: 109081.
- Črepinšek M, Liu S-H, Mernik M. Exploration and exploitation in evolutionary algorithms: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*. 2013;45: 1 – 33.
- Yang H, Gao S, Lei Z, Li J, Yu Y, Wang Y. An improved spherical evolution with enhanced exploration capabilities to address wind farm layout optimization problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023;123: 106198.
- Gao S, Wang Y, Wang J, Cheng J. Understanding differential evolution: A poisson law derived from population interaction network. *Journal of Computational Science*. 2017;21: 140 – 149.
- Lynn N, Ali MZ, Suganthan PN. Population topologies for particle swarm optimization and differential evolution. *Swarm and evolutionary computation*. 2018;39: 24 – 35.
- Wang Y, Gao S, Yu Y, Xu Z. The discovery of population interaction with a power law distribution in brain storm optimization. *Memetic Computing*. 2019;11: 65 – 87.
- Zhang Y, Yang Y, Li X, Yuan Z, Todo Y, Yang H. A dendritic neuron model optimized by meta-heuristics with a power-law-distributed population interaction network for financial time-series forecasting. *Mathematics*. 2023;11: 1251.
- Li X, Li J, Yang H, Wang Y, Gao S. Population interaction network in representative differential evolution algorithms: Power-law outperforms poisson distribution. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2022;603: 127764.



# 質問回答サイトに投稿された質問回答文の因子得点の推定に N-gram を適用した分析手法

Analysis method of applying N-gram for estimating factor scores of statements posted at Q&A site

横山 友也<sup>1\*</sup>

Yuya Yokoyama<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Yuya Yokoyama, yokoyama\_yuya@aait.ac.jp

**Abstract** For the purpose of eliminating mismatches between the questioners and respondents at Question and Answer (Q&A) sites, nine factors of impressions for Q&A statements have been experimentally obtained. Then through multiple regression analysis, factor scores have been estimated by using the feature values of statements e.g., syntactic information, etc. The factor scores estimated and obtained have been subsequently utilized for detecting respondents who are expected to appropriately answer a posted new question. This method, however, has greatly been dependent on the syntactic information extracted through morphological analysis. Moreover, this method has resulted in a number of explanatory variables and complicated multiple regression equation to estimate factor scores. On the other hand, N-gram is known as an alternative syntactic analysis of morphological analysis. Therefore, in this paper, N-gram has been employed for estimating factor scores instead of syntactic information extracted through morphological analysis. In the analysis, N has been set from 2 to 5 (2-gram, 3-gram, 4-gram and 5-gram). Similar as the previous analysis, through multiple regression analysis, factor scores of nine factors are set as respondent variable. Meanwhile, fifty-eight feature values including N-gram are used as explanatory variable. The analysis result has conveyed that N-gram has shown as good estimation accuracy as morphological analysis. It has been also shown that the application of N-gram could influence the estimation of factor scores from the viewpoint of standardized partial regression coefficient.

**Keywords** Q&A site; N-gram; multiple regression analysis; factor score; standardized partial regression coefficient

## 1 はじめに

インターネットの急速な普及に伴って様々なウェブサービスが提供されており、その中でも質問回答サイトの利用者が年々増加の一途を辿っている[1]。質問回答サイトとは、インターネット上でユーザ同士が互いに質問と回答を投稿しあうコミュニティの一形態であり、種々の悩み事・相談事を解決する場であると同時に、膨大な知識が蓄積されたデータベースとして活用されるようになってきている。ソーシャル・ネットワーキング・サービス (SNS) とともに利用者が急増しており、その適切な運営は社会的に重要である。あるユーザが質問を投稿すると、他のユーザがその質問に対して回答を投稿する。質問文に対して最も適切と判断した回答文を質問者が「ベストアンサー」(BA) に選定し、その回答を行った回答者に謝礼として手持ちのポイントを贈与する。BA とは、質問文に対する満足度が最も高いと質問者が主観的に判断した回答文である。

しかし、質問文が投稿されても、その質問文が必ずしも適切な回答者の目に留まり回答されるわけではない。また、質問回答サイトは社会の知恵袋となってきたが、必ずしも正しい回答が蓄積されているわけではなく、誤答も多く発見される。適切な回答が得られないことで損害を被る状況が多発しており、社会的に大きな問題となってきた。従って、質問文に対して適切に回答できる利用者を求めることは、適切な回答を質問者に返すとともに正しい知識を蓄積するという点で非常に重要である。

筆者は、これまでの研究で、Yahoo! 知恵袋に投稿された 4 大ジャンル (オークション、パソコン、恋愛相談・人間関係、政治・社会問題) の質問回答文 12 組計 60 個の文章に対して印象評価実験を行った[2]。その結果に対して因子分析を施したところ、文章内容を表す 9 因子が得られた。また、全ての質問回答文の因子得点を推定可能にすることを目的として、文章の特徴量から文章の因子得点の推定を重回帰分析により試みた[3]。分析の結果、全般的に良好な推定精度が得られた。さらに、新規

質問文に適切な回答を施すことが可能な回答者を探索する可能性を検証した。検証の結果、質問回答文間の距離と距離上位の出現回数は、質問文に適切に回答できるユーザの選択に役立てる可能性を示した[4]。この観察に基づき、出現回数と距離に基づくスコアと距離上位の出現回数に応じて、適切な回答者を決定する手法を提案した。提案手法を、スコアの平均値に基づく手法ならびに距離に基づく手法と、適合率と再現率で比較評価を行った[4, 5]。評価の結果、提案手法は、他手法よりも良好に回答者を推薦できることを示し、その精度は質問回答文のジャンルを考慮することでより向上することを示した[5]。

ここまで論じた手法は、形態素解析を講じて抽出した構文情報に重きを置いた手法である。一方で、構文解析のもう一種の手法である N-gram を講じた手法もあり、検討の余地がある。そこで、本稿では、N-gram を文章の特徴量として質問回答文の因子得点の推定と分析について詳述する[7-9]。ここでは、構文情報の代わりに N-gram を特徴量として使用し、重回帰分析を講じて因子得点の推定を行った。2-gram (N=2) から 5-gram (N=5) の場合まで分析を行った結果、どの場合でも良好な推定結果が得られており、形態素解析のみを用いた場合と比較すると同等程度の推定精度が得られている。また、説明変数の因子得点への影響力を標準偏回帰係数の観点から評価したところ、N-gram は一定の影響力があることを示している。

本稿の構成は次の通りである。第 2 節では、これまでの研究として、形態素解析に基づいた構文情報を用いた場合の因子得点の推定について説明する。第 3 節では、N-gram を特徴量として用いた場合の因子得点の推定について詳述する。最後に、第 4 節で本稿をまとめる。

## 2 形態素解析に基づく構文情報を使う場合の因子得点の推定

### 2.1 文章の因子の獲得

2005 年 9 月に Yahoo! 知恵袋[1]に投稿された 12 組 60 個の 4

大カテゴリー（Yahoo!オークション、パソコン、恋愛相談・人間関係、政治・社会問題）の質問回答文に対して、印象評価実験を実施した。実験結果に対して因子分析を施したところ、文章に関する因子が9個得られた[2]。因子とは、複数の印象語により説明された文章の性質を意味する。的確性、不快性、独創性、容易性、執拗性、曖昧性、感動性、努力性、熱烈性の9因子が得られた[2]。なお、因子の名称は、各因子に対応する印象語を包括的に表していると著者達が判断した名称を付与している。因子に対応する印象語を表1に示す。また、文章の特徴を表現するのに使用する因子得点も得られている[2]。

表 1 9 因子と対応する印象語[2]

因子	印象語				
第1因子 (的確性)	説得力がある	流暢な	重要な	美しい	好ましい
	真実味がある	巧みな	清々しい	妥当な	充実した
	素晴らしい	的確な	丁寧な		
第2因子 (不快性)	非常識な	憤慨した	不快な	残念な	不当な
	幻滅した	呆れる	怖い		
第3因子 (独創性)	独創的な	予想外な	特殊な	斬新な	不思議な
第4因子 (容易性)	易しい	明瞭な	難しい		
第5因子 (執拗性)	細かい	しつこい	長い		
第6因子 (曖昧性)	曖昧な	不十分な			
第7因子 (感動性)	心温まる	感動的な			
第8因子 (努力性)	涙ぐましい				
第9因子 (熱烈性)	熱い	力強い			

2.2 形態素解析に基づく文章の特徴量を用いた因子得点の推定

2.1 節で得られた因子得点は、実験で使用した質問回答文 60 件から得られたものだけである。そこで、任意の文章の因子得点の推定も可能とするために、文章の特徴量に対し重回帰分析を講じた。ここで、構文解析の一種である形態素解析を通して抽出した文章の特徴量を用いて分析を行った[3]。分析に使用した文章の特徴量 77 個 (g1~g77) を表 2 に示す。以下、各特徴量を簡潔に説明する。

- ・ 構文情報 (g1 - g36) : 文章の数や長さ、名詞や動詞等の品詞の数や割合、といった構文情報を抽出した。感嘆符や疑問符等の具体的な記号も特徴量として使用している[3]。なお、g18 の TTR は Type Token Ratio の略記で、「ある文章における語彙の豊かさを示す指標」であり、文章の総語数に対する語彙数の比率を表している[3]。
- ・ 単語心像性 (g37 - g38) : 単語から喚起されるイメージが、どの程度思い浮かべやすいかを示す主観的特性である[3]。
- ・ 文末表現 (g39 - g64) : 「ぞ」「だ」「よ」「ね」「か」「な」「し」「です」「ます」「たい」「ない」を使用している[3]。
- ・ 単語親密度 (g65 - g71) : 単語にどの程度なじみがあるかを表す指標である[3]。
- ・ 表記妥当性 (g72 - g77) : 単語表記の妥当性を表す指標である[3]。

印象評価実験で使用された 60 個の質問回答文に関して、表 2 に示した計 77 個の説明変数を基盤とした 281 個の二次項(説明変数同士の積)を説明変数とし、表 2 で示した 9 因子の因子得点を目的変数として、重回帰分析を施した[3]。重回帰式が結果として得られた。例えば、第 5 因子(執拗性)の因子得点  $y_5$  の推定式は式(1)により表される[3]。

$$y_5 = 0.182g_{18} + 0.000280g_{56} + 0.00467g_{24}g_{60} - 0.0467g_{23}g_{58} + 0.00985g_{4}g_{58} + 0.102g_{23}g_{29} + 0.339g_{33}g_{45} - 0.201g_{66} - 0.0149g_{51}g_{72} - 0.266g_{51}g_{54} - 0.672 \quad (1)$$

表 2 文章の特徴量[3]

(a) 構文情報

g	特徴量	g	特徴量
g1	助動詞 (語彙数)	g19	全角記号(%)
g2	接頭詞	g20	英数字(%)
g3	記号 (語彙数)	g21	全角英数字(%)
g4	文数	g22	名詞(%)
g5	文の長さ平均 (字数)	g23	形容詞(%)
g6	カタカナ (語数)	g24	副詞(%)
g7	全角記号 (語数)	g25	連体詞(%)
g8	全角英数字 (語数)	g26	接続詞(%)
g9	形容詞 (語数)	g27	感動詞(%)
g10	副詞 (語数)	g28	「!」の数
g11	連体詞 (語数)	g29	「?」の数
g12	接続詞 (語数)	g30	句点の数
g13	感動詞 (語数)	g31	読点の数
g14	ひらがな (%)	g32	中点の数
g15	漢字 (%)	g33	3点リーダの数
g16	カタカナ (%)	g34	鍵括弧の数
g17	記号 (%)	g35	括弧の数
g18	TTR	g36	「/」の数

(b) 単語心像性

g	特徴量	g	特徴量
g37	単語心像性4点台 (語数)	g38	単語心像性6.5以上7.0未満 (語数)

(c) 文末表現

g	特徴量	g	特徴量
g39	か (語数)	g52	ぞ (%)
g40	な (語数)	g53	だ (%)
g41	し (語数)	g54	よ (%)
g42	たい (語数)	g55	ね (%)
g43	ない (語数)	g56	か (%)
g44	だ (文末語数)	g57	です (%)
g45	か (文末語数)	g58	ます (%)
g46	な (文末語数)	g59	ない (%)
g47	し (文末語数)	g60	か (文末%)
g48	です (文末語数)	g61	ですか (語数)
g49	ます (文末語数)	g62	ないです (語数)
g50	たい (文末語数)	g63	ますか (語数)
g51	ない (文末語数)	g64	ました (語数)

(d) 単語親密度

g	特徴量	g	特徴量
g65	単語親密度該当単語率	g69	単語親密度5.5以上6.0未満 (語数)
g66	単語親密度6.5以上7.0未満 (語彙数)	g70	単語親密度6点台 (語数)
g67	単語親密度4点台 (語数)	g71	単語親密度6.0以上6.5未満 (語数)
g68	単語親密度5点台 (語数)		

(e) 表記妥当性

g	特徴量	g	特徴量
g72	表記妥当性該当単語率	g75	表記妥当性4点台 (語数)
g73	表記妥当性3点台 (語数)	g76	表記妥当性4.0以上4.5未満 (語数)
g74	表記妥当性3.5以上4.0未満 (語数)	g77	表記妥当性5点台 (語数)

$g_k (1 \leq k \leq 77)$  は説明変数を意味している。紙面が限られているため、全ての重回帰式の組をここには掲載しない。ここで、第 1 因子には的確性という名前を付けており、本論文に特に関連すると考えられるが、第 1 因子の因子得点は、主に、接続詞の語数、「ます」の割合、読点の数、高い単語親密度をもつ単語の語数によって推定され[2]、丁寧さや好ましさを含んだ因子と考えられる。これは、表 1 に示した第 1 因子を説明する印象語と合致する。的確性という名前を付けているが、これら

の印象も含むことに注意されたい。推定精度の良好性を示す重相関係数を表3に示す。9因子全ての値が0.9以上であるため、9因子とも推定精度が非常に良好であるといえる。

表3 重相関係数(構文情報)[3]

因子	重相関係数
第1因子(的確性)	0.989
第2因子(不快性)	1.000
第3因子(独創性)	0.999
第4因子(容易性)	1.000
第5因子(執拗性)	0.925
第6因子(曖昧性)	1.000
第7因子(感動性)	0.963
第8因子(努力性)	0.950
第9因子(感動性)	1.000

2.3 因子得点に基づく適切な回答者の選出手法と評価

2.2節で求めた重回帰分析をもとに、実験に使用していない任意の質問回答文について因子得点を算出して、新規質問文に適切に回答できることが予期される回答者を探索する可能性を検証した[4]。検証の結果、質問回答文間の距離と距離上位の出現回数は、質問文に適切に回答できるユーザの選択に役立てる可能性を示した[4]。この検証結果に基づいて、出現回数と距離に基づくスコアと距離上位の出現回数に応じて、適切な回答者を選出する手法を提案した[4,5]。質問回答文3組(1組の構成:質問文1件・質問文に非対応の回答文100件)を用いた評価実験を通じて、提案手法をスコアの平均値に基づく手法ならびに距離に基づく手法と、適合率と再現率で比較評価を行った。評価の結果、提案手法は他手法よりも良好に回答者を推薦可能であることを示し[4]、その推定精度は質問回答文のジャンルを考慮することで向上することを示した[5]。

3 N-gramを特徴量として用いた場合の因子得点の推定

3.1 目的

2節で述べた分析手法は、主に形態素解析を通じて抽出された文章の特徴量を使用した手法である。しかし、表2に示したように、使用した文章の特徴量77種のうち36種が形態素解析に基づいた構文情報であることから、この手法は形態素解析に重きを置いた手法となっている。また、因子得点を推定するための重回帰式も複雑なモデルとなっている。一方で、形態素解析と同様に構文解析として知られている方法としてN-gramがある。そこで、本稿では、形態素解析を主に特徴量を使用した場合と同様の分析手法で、N-gramを特徴量として用いた場合に因子得点の推定が可能であるかどうかを検証する[6-8]。

3.2 N-gram

N-gramとは、テキスト内におけるN個単位の文字や形態素、ないしは品詞の連鎖のことである[9,10]。Nは2以上の任意の整数が入るが、一般的にはN=2またはN=3が適用され、それ

ぞれバイグラム(bigram)、トリグラム(trigram)と称される。たとえば、テキスト内における「今日は」を例にすると、文字3-gramであれば「今日 は」のような3文字の連鎖、単語2-gramであれば「今日 は」のような2単語の連鎖、品詞2-gramであれば「名詞 助詞」のような2品詞の連鎖をそれぞれ表している。このように、N-gramは隣接する要素を機械的に抽出する手法であり、様々な分野に適用されている[9]。文字N-gramは、形態素解析を要することなく集計することが可能であり、形態素解析における分かち書きの誤り等の影響を受けずにテキストを分析することが可能である[10]。さらに、品詞N-gramは、文章を品詞の単位に抽象化するため、文章の内容の影響に左右されることなく文章の構造を捉えることができる利点がある[10]。したがって、本研究では、60件の質問回答文の品詞N-gramを文章の特徴量として使用する。

2.1節で使用した60件の質問回答文のうち、1つの質問文に品詞2-gramを適用した例を表4に示す。便宜として、表4(a)に例として示した質問文をQA04と表す。表4(b)は、QA04の品詞2-gramの例と出現数について、出現数の降順で示している。出現数が2以上の品詞2-gramに関しては、それぞれの一例のみを「例」の項に示している。

表4 品詞2-gramの例[6-8]

(a)文章の例(QA04)

QA04	パソコン初心者です。デジカメで撮った画像をプリントアウトしたところ画像が暗いのですが、明るくする方法をご存知の方回答をお願いします。
------	--

(b)2-gramの適用例ならびに出現数

2-gram	例	出現数
[名詞 - 助詞]	[ 画像 - を ]	6
[名詞 - 名詞]	[ パソコン - 初心者 ]	4
[助詞 - 名詞]	[ の - 方 ]	4
[動詞 - 助動詞]	[ する - ます ]	3
[助動詞 - 記号]	[ ます - 。 ]	2
[助動詞 - 名詞]	[ た - ところ ]	2
[名詞 - 助動詞]	[ 初心者 - です ]	2
[名詞 - 動詞]	[ お願い - する ]	2
[記号 - 形容詞]	[ 、 - 明るい ]	1
[記号 - 名詞]	[ 。 - デジカメ ]	1
[形容詞 - 動詞]	[ 明るい - する ]	1
[形容詞 - 名詞]	[ 暗い - の ]	1
[助詞 - 記号]	[ が - 、 ]	1
[助詞 - 形容詞]	[ が - 暗い ]	1
[助詞 - 動詞]	[ で - 撮る ]	1
[助動詞 - 助詞]	[ です - が ]	1
[動詞 - 名詞]	[ する - 方法 ]	1

3.3 N-gramの特徴量

本研究では、統計解析フリーソフトR[11]において、RMeCabのパッケージを用いて品詞N-gramの特徴量を抽出した。本稿では、2-gram(N=2)から5-gram(N=5)までの場合について分析を行った。品詞3-gramの場合を例にして、表5に示す特徴量の選択方法を説明する。まず、60件の質問回答文から、

表 5 質問回答文 60 件の N-gram の選択方法の概要

(a) ソート前

Q&A	[名詞-名詞-名詞]	[名詞-名詞-助動詞]	[名詞-動詞-名詞]	[記号-名詞-助動詞]
QA01	0	0	0	3
AA01-01	0	0	0	8
AA01-02	1	0	0	5
AA01-03	0	0	0	3
AA01-04	0	0	0	1
QA02	1	0	2	1
...	...	...	...	...
QA12-03	0	0	0	0
QA12-04	6	2	0	8
3-gram計	153	20	20	162

(b) ソート後

Q&A	2gr_g1 [記号-名詞-助動詞]	2gr_g2 [名詞-名詞-名詞]	...	2gr_g16 [名詞-動詞-名詞]	2gr_g17 [名詞-名詞-助動詞]
QA01	3	0	...	0	0
AA01-01	8	0	...	0	0
AA01-02	5	1	...	0	0
AA01-03	3	0	...	0	0
AA01-04	1	0	...	0	0
QA02	1	1	...	2	0
...	...	...	...	...	...
QA12-03	0	0	...	0	0
QA12-04	8	6	...	0	2
3-gram計	162	153	...	20	20

のべ 85 種類の品詞 3-gram が生成される (表 5-(a):ソート前の状態)。それぞれの品詞 3-gram の合計出現数を求めた上で、合計出現数の降順に品詞 3-gram を並べる (表 5-(b); ソート後の状態)。分析に用いる 3-gram の特徴量数は、試験的に 17 個と定めて分析を行った。同様に、2-gram, 4-gram, 5-gram の場合もそれぞれ特徴量を 17 個として分析を行った。N-gram の特徴量を表 6~表 9 にそれぞれ示す。表記について、N-gram の特徴量を Ngr\_g1, Ngr\_g2, ..., Ngr\_g17 と表している。したがって、2-gram を例とすると、2gr\_g1, 2gr\_g2, ..., 2gr\_g17 と表す。3-gram, 4-gram, 5-gram についても、2-gram と同様の表記に準じる。

表 6 2-gram の特徴量 [6]

2-gram	特徴量	2-gram	特徴量
2gr_g1	[名詞-助詞]	2gr_g10	[名詞-助動詞]
2gr_g2	[助詞-動詞]	2gr_g11	[助動詞-記号]
2gr_g3	[助詞-名詞]	2gr_g12	[動詞-名詞]
2gr_g4	[名詞-名詞]	2gr_g13	[名詞-動詞]
2gr_g5	[記号-名詞]	2gr_g14	[助動詞-名詞]
2gr_g6	[動詞-助動詞]	2gr_g15	[助動詞-助動詞]
2gr_g7	[助詞-記号]	2gr_g16	[記号-記号]
2gr_g8	[動詞-助詞]	2gr_g17	[助詞-助詞]
2gr_g9	[助動詞-助詞]		

表 7 3-gram の特徴量 [6]

3-gram	特徴量	3-gram	特徴量
3gr_g1	[記号-名詞-助詞]	3gr_g10	[助動詞-助動詞-記号]
3gr_g2	[名詞-名詞-名詞]	3gr_g11	[記号-記号-記号]
3gr_g3	[助詞-記号-名詞]	3gr_g12	[助詞-記号-副詞]
3gr_g4	[助詞-動詞-名詞]	3gr_g13	[名詞-動詞-助動詞]
3gr_g5	[記号-名詞-名詞]	3gr_g14	[助動詞-名詞-助動詞]
3gr_g6	[動詞-名詞-助詞]	3gr_g15	[記号-名詞-記号]
3gr_g7	[名詞-助動詞-助詞]	3gr_g16	[名詞-動詞-名詞]
3gr_g8	[動詞-助動詞-名詞]	3gr_g17	[名詞-名詞-助動詞]
3gr_g9	[名詞-助詞-形容詞]		

表 8 4-gram の特徴量 [7]

4-gram	特徴量	4-gram	特徴量
4gr_g1	[名詞-助詞-名詞-助詞]	4gr_g10	[助動詞-記号-名詞-助詞]
4gr_g2	[名詞-名詞-名詞-名詞]	4gr_g11	[助詞-記号-名詞-助詞]
4gr_g3	[名詞-助詞-動詞-助詞]	4gr_g12	[名詞-助詞-動詞-名詞]
4gr_g4	[記号-名詞-助詞-名詞]	4gr_g13	[名詞-名詞-助詞-名詞]
4gr_g5	[助詞-名詞-助詞-動詞]	4gr_g14	[助詞-動詞-名詞-助詞]
4gr_g6	[名詞-助詞-動詞-助動詞]	4gr_g15	[名詞-助詞-名詞-名詞]
4gr_g7	[助詞-動詞-助詞-動詞]	4gr_g16	[名詞-助詞-名詞-動詞]
4gr_g8	[助詞-名詞-助詞-名詞]	4gr_g17	[動詞-助詞-動詞-助動詞]
4gr_g9	[記号-名詞-助詞-動詞]		

表 9 5-gram の特徴量 [8]

5-gram	特徴量	5-gram	特徴量
5gr_g1	[名詞-助詞-名詞-助詞-動詞]	5gr_g10	[助動詞-助詞-記号-名詞-助詞]
5gr_g2	[名詞-助詞-動詞-助詞-動詞]	5gr_g11	[名詞-名詞-助詞-名詞-助詞]
5gr_g3	[名詞-助詞-名詞-助詞-名詞]	5gr_g12	[助詞-記号-名詞-助詞-動詞]
5gr_g4	[記号-名詞-助詞-名詞-助詞]	5gr_g13	[動詞-助動詞-記号-名詞-助詞]
5gr_g5	[助詞-名詞-助詞-動詞-助詞]	5gr_g14	[名詞-助詞-動詞-助動詞-助詞]
5gr_g6	[助詞-名詞-助詞-名詞-助詞]	5gr_g15	[名詞-助詞-名詞-名詞-助詞]
5gr_g7	[助動詞-記号-名詞-助詞-名詞]	5gr_g16	[助詞-記号-名詞-名詞-助詞]
5gr_g8	[名詞-助詞-動詞-名詞-助詞]	5gr_g17	[助詞-記号-名詞-助詞-名詞]
5gr_g9	[助詞-動詞-助詞-動詞-助動詞]		

3.4 分析手法

2.2 節で示した手法と同様に、N-gram を用いた文章の特徴量を用いて重回帰分析を施して因子得点の推定を試みる。2.2 節の場合と同様に、質問回答文 60 件の因子得点を目的変数に設定する。一方で、2.2 節での分析と異なる点として、形態素解析に基づいた構文情報 (36 種: g1 - g36) に代わって、N-gram に基づいた特徴量 (17 種: Ngr\_g1 - Ngr\_g17) を新規特徴量として説明変数に用いる [6-8]。一方で、2.2 節で使用した単語心像性 (g37 - g38)・文末表現 (g39 - g64)・単語親密度 (g65 - g71)・表記妥当性 (g72 - g77) の計 41 種については引き続き説明変数として使用する。したがって、計 58 種の特徴量を説明変数として設定する。使用する説明変数の一覧ならびに形態素解析 (構文情報) の場合と N-gram の場合との差異を図 1 に示す。

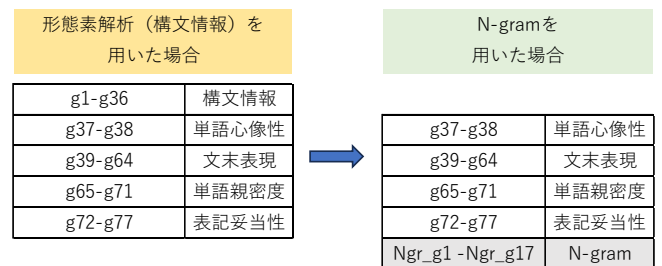


図 1 使用する文章の特徴量 (左: 形態素解析、右: N-gram)

3.5 分析結果

3.5.1 重相関係数

重回帰分析の結果として、2.2 節と同様に、推定精度の指標を表す重相関係数が得られた。N-gram の重相関係数を表 10 に示す。表 10 の結果から、どの N-gram においても重相関係数が 0.9 以上になっており、全般に良好な推定精度が得られている [6-8]。表 3 の形態素解析を用いた場合の結果と比較すると、形態素解析を用いた場合と同等程度の推定精度が得られている。

表 10 重相関係数 (N-gram) [8]

因子	2-gram	3-gram	4-gram	5-gram
第1因子 的確性	0.989	0.993	0.999	0.998
第2因子 不快性	0.999	0.987	0.985	0.991
第3因子 独創性	0.981	0.998	0.971	0.976
第4因子 容易性	0.990	0.995	0.993	0.994
第5因子 執拗性	0.993	0.976	0.994	0.999
第6因子 曖昧性	0.998	0.994	0.983	0.986
第7因子 感動性	0.999	0.996	0.945	0.992
第8因子 努力性	0.995	0.968	0.988	1.00
第9因子 熱烈性	0.995	0.998	0.973	0.954

3.5.2 標準偏回帰係数

説明変数 (文章の特微量) の目的変数 (因子得点) への影響力の大きさを調べるため、各因子について標準偏回帰係数 (Standardized Partial Regression Coefficient = SPRC) の絶対値 1.0 以上の変数を調べた。該当する変数のうち、上位 3 件で SPRC が大きな変数を正と負それぞれで上位最大 3 件を調べた。2-gram, 3-gram, 4-gram, 5-gram についてそれぞれの結果を表 11~表 14 に示す。但し、3-gram の第 5 因子 (表 12) と 4-gram の第 6 因子 (表 13) に関して、SPRC の絶対値が 1.0 以上の変数が存在しないため、絶対値 1.0 未満の範囲で正と負それぞれで最も絶対値が大きな変数を示す。「特微量」の項は、「説明変数」の項に対応する特微量の種類を表している。特微量の種類とは、N-gram (Ngr\_g1 -Ngr\_g17)、単語心像性 (Word Imageability = WI; g37-g38)、文末表現 (Closing sentence expression=Closing; g39-g64)、単語親密度 (Word Familiarity = WF; g65-g71)、表記妥当性 (Notation Validity = NV; g72-g77) のいずれかである。

表 11 SPRC の絶対値が 1.0 以上の変数 (2-gram) [6]

第1因子 (的確性)			第2因子 (不快性)			第3因子 (独創性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
2gr_g7	2-gram	1.27	2gr_g2	2-gram	5.65	g65	WF	3.68
2gr_g10	2-gram	1.24	g70	WF	3.28	g39	Closing	3.01
			2gr_g9	2-gram	2.05	2gr_g8	2-gram	2.83
			g39	Closing	-2.60	g72	NV	-2.18
			2gr_g10	2-gram	-2.86	g70	WF	-3.49
			2gr_g6	2-gram	-3.09	2gr_g2	2-gram	-6.90
第4因子 (容易性)			第5因子 (執拗性)			第6因子 (執拗性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
2gr_g3	2-gram	3.71	2gr_g3	2-gram	3.00	2gr_g1	2-gram	1.66
2gr_g2	2-gram	2.82	2gr_g6	2-gram	1.59	2gr_g9	2-gram	1.29
2gr_g13	2-gram	-1.17	g45	Closing	1.35	2gr_g2	2-gram	-1.89
2gr_g1	2-gram	-5.30	2gr_g9	2-gram	-1.23	2gr_g3	2-gram	-2.32
			2gr_g1	2-gram	-2.40			
第7因子 (感動性)			第8因子 (努力性)			第9因子 (熱烈性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
2gr_g1	2-gram	4.12	2gr_g6	2-gram	2.85	2gr_g10	2-gram	5.21
2gr_g10	2-gram	2.93	g45	Closing	2.25	2gr_g6	2-gram	4.54
2gr_g8	2-gram	2.19	2gr_g1	2-gram	2.20	2gr_g8	2-gram	3.54
2gr_g3	2-gram	-2.43	g65	WF	-1.41	2gr_g13	2-gram	-2.98
2gr_g9	2-gram	-3.17	2gr_g2	2-gram	-1.61	g70	WF	-5.90
2gr_g2	2-gram	-5.20	g37	WI	-1.71	2gr_g2	2-gram	-12.08

表 12 SPRC の絶対値が 1.0 以上の変数 (3-gram) [6]

第1因子 (的確性)			第2因子 (不快性)			第3因子 (独創性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
g70	WF	1.90	g76	NV	1.16	g64	Closing	2.83
g37	WI	1.47	g73	NV	-0.77	3gr_g6	3-gram	2.03
g43	Closing	1.14				g65	WF	1.95
g62	Closing	-1.06				g76	NV	-1.68
3gr_g6	3-gram	-1.54				g37	WI	-2.09
g64	Closing	-1.65				g70	WF	-2.36
第4因子 (容易性)			第5因子 (執拗性)			第6因子 (執拗性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
g65	WF	1.42	g45	Closing	0.97	g66	WF	1.04
g44	Closing	1.29	g60	Closing	-0.47	3gr_g4	3-gram	-1.22
g70	WF	-1.10				g43	Closing	-1.31
g76	NV	-1.34				g70	WF	-1.34
g72	NV	-1.72						
第7因子 (感動性)			第8因子 (努力性)			第9因子 (熱烈性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
3gr_g6	3-gram	1.56	3gr_g6	3-gram	2.08	g66	WF	2.04
3gr_g4	3-gram	-1.30	g68	WF	1.61	g65	WF	1.87
			g59	Closing	1.59	g73	NV	1.77
			3gr_g13	3-gram	-1.37	g76	NV	-2.04
			g43	Closing	-1.58	3gr_g4	3-gram	-2.11
			g37	WI	-1.61	g70	WF	-3.26

表 13 SPRC の絶対値が 1.0 以上の変数 (4-gram) [7]

第1因子 (的確性)			第2因子 (不快性)			第3因子 (独創性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
g37	WI	3.76	4gr_g6	4-gram	1.45	g76	NV	4.07
g68	WF	3.15	g56	Closing	1.33	4gr_g9	4-gram	2.58
4gr_g8	4-gram	2.15	4gr_g7	4-gram	1.32	4gr_g16	4-gram	2.35
4gr_g7	4-gram	-1.91	g39	Closing	-1.04	4gr_g8	4-gram	-2.88
4gr_g16	4-gram	-2.01				g68	WF	-4.00
g76	NV	-3.12				g37	WI	-4.51
第4因子 (容易性)			第5因子 (執拗性)			第6因子 (執拗性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
4gr_g9	4-gram	1.56	4gr_g8	4-gram	1.73	g62	Closing	0.52
g76	NV	1.22	4gr_g5	4-gram	1.50	4gr_g6	4-gram	0.50
4gr_g5	4-gram	1.19	g43	Closing	-1.17	4gr_g14	4-gram	0.49
g62	Closing	-1.04	4gr_g1	4-gram	-1.80	g44	Closing	-0.62
4gr_g1	4-gram	-1.08				4gr_g9	4-gram	-0.64
4gr_g6	4-gram	-1.39				g73	NV	-0.66
第7因子 (感動性)			第8因子 (努力性)			第9因子 (熱烈性)		
説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC	説明変数	特微量	SPRC
g76	NV	4.33	g76	NV	4.07	g65	WF	2.25
g48	Closing	2.32	g48	Closing	2.43	4gr_g1	4-gram	2.02
g72	NV	1.92	4gr_g16	4-gram	2.28	g44	Closing	1.25
g37	WI	-2.36	4gr_g8	4-gram	-2.76	4gr_g9	4-gram	-1.39
g44	Closing	-2.40	g68	WF	-2.80	4gr_g4	4-gram	-1.44
g73	NV	-2.43	g37	WI	-4.55	g76	NV	-2.05

表 14 SPRC の絶対値が 1.0 以上の変数 (5-gram) [8]

第1因子 (的確性)			第2因子 (不快性)			第3因子 (独創性)		
説明変数	特徴量	SPRC	説明変数	特徴量	SPRC	説明変数	特徴量	SPRC
g37	WI	1.08	g56	Closing	1.74	g65	WF	3.89
5gr_g6	5-gram	-1.10	g49	Closing	1.04	g73	NV	2.12
			g60	Closing	-1.10	5gr_g17	5-gram	1.67
			g39	Closing	-1.86	g59	Closing	-1.62
						g76	NV	-2.15
						g72	NV	-2.56
第4因子 (容易性)			第5因子 (執拗性)			第6因子 (執拗性)		
説明変数	特徴量	SPRC	説明変数	特徴量	SPRC	説明変数	特徴量	SPRC
g48	Closing	2.69	g75	NV	2.69	g37	WI	1.76
g76	NV	2.61	g76	NV	1.40	g73	NV	1.25
5gr_g5	5-gram	2.05	g61	Closing	1.29	g68	WF	1.22
g68	WF	-1.99	g70	WF	-1.80	g76	NV	-1.09
5gr_g9	5-gram	-2.24	g73	NV	-2.12	g75	NV	-1.44
g37	WI	-3.62	g68	WF	-2.20	g48	Closing	-1.61
第7因子 (感動性)			第8因子 (努力性)			第9因子 (熱烈性)		
説明変数	特徴量	SPRC	説明変数	特徴量	SPRC	説明変数	特徴量	SPRC
g76	NV	2.63	g72	NV	2.09	g68	WF	3.02
g48	Closing	2.13	g48	Closing	1.81	g73	NV	2.94
5gr_g12	5-gram	1.74	5gr_g6	5-gram	1.47	g70	WF	2.39
g37	WI	-2.06	g74	NV	-1.39	g61	Closing	-1.64
g73	NV	-2.32	g37	WI	-2.05	g75	NV	-2.38
g44	Closing	-2.36	g65	WF	-2.49	g76	NV	-2.48

表 11 から表 14 の結果より、正または負に SPRC の絶対値の上位 3 件以内に N-gram の変数が該当する変数は、2-gram は 9 因子全て、3-gram は 6 因子、4-gram は 8 因子、5-gram は 5 因子である。これらの結果より、N-gram の因子得点への影響力が大きいことがわかる[6-8]。これらの結果より、因子得点の推定にあたり N-gram を文章の特徴量として考慮することには一定の有効性があるといえる。

3.6 考察

構文情報と N-gram とで重相関係数を比較しやすくするため、表 3 (構文情報) と表 10 (N-gram) の結果をまとめたものを表 15 に示す。重相関係数の観点からいえば、どの特徴量の場合でも因子得点の推定には実用的であるといえる結果が得られている。しかし、最適な因子得点の推定を求めるとするならば、重相関係数が最良となった結果の場合を適用すれば良いともいえる。表 15 の結果より、構文情報が最良の結果となったの

表 15 重相関係数 (形態素解析・N-gram) [3, 8]

因子	構文情報	N-gram			
		2-gram	3-gram	4-gram	5-gram
第1因子 的確性	0.989	0.989	0.993	0.999	0.998
第2因子 不快性	1.00	0.999	0.987	0.985	0.991
第3因子 独創性	0.999	0.981	0.998	0.971	0.976
第4因子 容易性	1.00	0.990	0.995	0.993	0.994
第5因子 執拗性	0.925	0.993	0.976	0.994	0.999
第6因子 曖昧性	1.00	0.998	0.994	0.983	0.986
第7因子 感動性	0.963	0.999	0.996	0.945	0.992
第8因子 努力性	0.950	0.995	0.968	0.988	1.00
第9因子 熱烈性	1.00	0.995	0.998	0.973	0.954

は第 2 因子 (不快性)、第 3 因子 (独創性)、第 4 因子 (容易性)、第 6 因子 (曖昧性)、第 9 因子 (熱烈性) の 5 因子である。一方、2-gram が最良の結果となったのは第 7 因子 (感動性)、4-gram が最も良い数字となったのは第 1 因子 (的確性) である。さらに、5-gram が最良の結果となったのは第 5 因子 (執拗性) と第 8 因子 (努力性) の 2 因子である。

しかし、本研究ではこれまで文章の意味や内容を考慮していない。したがって、これらの要素を目的として、今後は意味解析を本手法に適用する必要がある。

4 まとめ

本稿では、これまでの研究で主に使用してきた構文情報に代わって、N-gram を文章の特徴量として、重回帰分析を実施して質問回答文の因子得点の推定を行った。ここでは、構文情報の代わりに N-gram を特徴量として使用し、重回帰分析を講じて因子得点の推定を行った。2-gram から 5-gram まで分析を行った結果、すべての場合において良好な推定結果が得られており、構文情報を用いた場合と比べると同程度の推定精度が得られている。さらに、説明変数 (文章の特徴量) が目的変数 (因子得点) にどの程度影響を及ぼすかを調べるために、標準偏回帰係数の絶対値が 1.0 以上の変数に着目したところ、2-gram から 5-gram のどの場合においても、N-gram が絶対値の上位 3 件以内に該当する因子がのべ 36 因子中 28 因子 (2-gram : 9 因子、3-gram : 6 因子、4-gram : 8 因子、5-gram : 5 因子) あることから、N-gram の考慮は因子得点に一定の影響力を及ぼしていることを示している。

今後の課題としては、文章の内容や意味を考慮する必要がある。また、過学習の可能性を回避するためにクロス・バリデーションを適用して分析する必要がある。さらに、2.3 節では、因子得点を用いて適切な回答者の選出手法について記述している[4-6]。ここで示した手法は形態素解析を通じて得られた構文情報に基づく手法であるので、N-gram に基づく手法で適切な回答者の選出手法が実施できるかどうかを検証する必要がある。まずは、2-gram を特徴量とした場合から検証を進めていく方針である。また、本手法を他言語または他分野のデータセットに汎用できるかどうかを検証することも今後の課題の一つである。

謝辞

本研究は、一部、科研費 (26008587, 20K19933) の助成を受けて行われたものである。また、国立情報学研究所から提供を受けた、Yahoo!知恵袋のデータを利用している。

参考文献

1. Yahoo! 知恵袋. [cited 7 Feb 2024]. Available: <http://chiebukuro.yahoo.co.jp/>.
2. 横山友也, 宝珍輝尚, 野宮浩揮, 佐藤哲司. 質問回答サイトの質問文と回答文の印象評価とベストアンサーの推定. 日本感性工学会論文誌. 2011;10;2: 221-230. Available: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske/10/2/10\\_2\\_221/\\_pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske/10/2/10_2_221/_pdf-char/ja)
3. Yokoyama Y., Houchin T., Nomiya H. Using Feature Values of Statements to Improve the Estimation Accuracy of Factor Scores of

- Impressions of Question and Answer Statements. *International Journal of Affective Engineering*. 2013;13;1: 19–26. Available: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijae/13/1/13\\_19/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijae/13/1/13_19/_pdf/-char/ja)
4. 横山友也, 宝珍輝尚, 野宮浩揮. 質問回答サイトにおける質問文への適切な回答者の選出法. *日本感性工学会論文誌*. 2016;15;1: 21–29. Available: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske/15/1/15\\_TJSKE-D-15-00033/\\_pdf/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske/15/1/15_TJSKE-D-15-00033/_pdf/-char/ja/)
  5. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Towards Detecting Appropriate Respondents to Questions Posted at Q&A Sites by Disregarding and Considering Categories of Answer Statements. *International Journal of Affective Engineering*. 2016;15;2: 167–175. Available: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijae/advpub/0/advpub\\_IJAE-D-15-00031/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijae/advpub/0/advpub_IJAE-D-15-00031/_pdf/-char/ja)
  6. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Application of 2-gram and 3-gram to Obtain Factor Scores of Statements Posted at Q&A Sites. *International Journal of Networked and Distributed Computing*. 2022;10;1-2: 11–20. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44227-022-00005-2>
  7. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Using 4-gram to Obtain Factor Scores of Japanese Statements Posted at Q&A Sites. *Proceedings of the 13th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2022-Winter)*. 2022: 25–31. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10123522>
  8. Yokoyama Y. Application of 5-gram to Obtain Factor Scores of Japanese Q&A Statements. *Proceedings of the 14th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2023)*. 2023: 69-75. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10371593>
  9. 石田基広. Rによるテキストマイニング入門 (第2版). 森北出版; 2017: 94.
  10. 小林雄一郎. Rによるやさしいテキストマイニング[活用事例編]. オーム社; 2018: 86-87.
  11. The R Project for Statistical Computing. [cited 7 Feb 2024]. Available: <https://www.r-project.org>.



**Open Access** This article is licensed under CC BY 4.0.  
To view a copy of this license, visit  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# プログラミング言語 Rust による Linux デバイスドライバの開発

Development of a Linux device driver by the Rust programming language

追川 修一<sup>1\*</sup>

Shuichi Oikawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Shuichi Oikawa, oikawa-shuichi@aait.ac.jp

**Abstract** Device drivers, which are components of the operating system kernel, manage and control hardware devices. There are a wide variety of devices from commodity devices, such as storage and network interfaces, to specialized devices, such as sensors and motors. A specific device driver is developed for each of devices. Therefore, there are a number of devices drivers in the operating system kernel. On the other hand, there is a clear trend that device drivers are the source of operating system failures because of the lower skill of device driver developers and insufficient test and verification. This paper explores the possibility of using the Rust programming language to program Linux device drivers in order to reduce their failures by taking advantages of the language safety features.

**Keywords** systems software; operating systems; programming languages; Linux; Rust

## 1 はじめに

オペレーティングシステム (OS: Operating System) カーネルは、直接ハードウェア上で動作し、アプリケーションの実行環境を提供するソフトウェアである。OS カーネルは複数の機能モジュールから構成され、その 1 つであるデバイスドライバは、CPU 以外の主に入出力を行うハードウェアデバイスを直接制御するソフトウェアモジュールである。ハードウェアデバイスをアプリケーションから用いるには、デバイスドライバが必要となる。

ハードウェアデバイスは、ストレージやネットワーク等の汎用的なデバイスから、センサやモータ等の専用に開発されることが多いデバイスまで、多種多様である。これら多種多様なハードウェアデバイスのそれぞれに対し、デバイスドライバは開発されるため、OS カーネルのソースコードに占める割合として多くなる。その一方で、OS 開発スキルの低い技術者による開発や不十分なテスト・検証により、デバイスドライバには欠陥が多い傾向にあることが知られている [1]。

特に、組込みシステムでは、1) 独自開発されたハードウェアデバイスを組み込むことが多く、専用に開発されたデバイスドライバを必要とする、2) 長期間の連続動作が求められる一方でオペレータの監視下には無い、という理由から、デバイスドライバには欠陥が多く発生する可能性がより高いにも関わらず、より高い信頼性が求められるという、相反した課題があり、高い信頼性を持つデバイスドライバの実装を可能にする開発方法が必要とされる。そこで本論文では、安全性の高いシステムプログラミング言語である Rust を用いて、Linux カーネルのデバイスドライバを開発する方法について述べる。Linux カーネルはバージョン 6.1 で Rust 言語のサポートをメインラインカーネルに取り込み、Rust によるデバイスドライバを含むカーネルモジュールの開発が進むと考えられる。しかしながら、Rust によるデバイスドライバの開発方法についての情報はまだ限定的であるため、先行的に開発を行い、知見を貯めることには大きな意義がある。そこで、本論文では具体的な例とともに、Rust による Linux カーネルのデバイスドライバの開発方法について述べる。

以下、2 章では Linux カーネルの Rust サポートの動向について述べる。3 章では開発環境についてまとめ、4 章では Rust 言語による Linux デバイスドライバの開発方法について述べる。5 章

で考察を行い、6 章で本論文をまとめる。

## 2 Linux カーネルの Rust サポートの動向

本章では、Linux カーネルの開発動向について、Rust サポートの状況を中心として述べる。

Linux カーネルの機能モジュールを Rust で開発できるようにするためのサポートは、Rust for Linux [2] で開発されてきた。Rust for Linux は、2021 年 3 月に Linux next に取り込まれ [3]、また同年 4 月には RFC も投稿された [4]。その後、活発に議論および開発が進み、2022 年 12 月に Linux カーネルはバージョン 6.1 で Rust サポートをメインラインに取り込むまでに至った。しかしながら、バージョン 6.1 では Rust でカーネルモジュールを作成できる程度であり、すぐに実用的なカーネルモジュールを開発できる段階ではなかった。

本論文執筆時点での最新バージョンは 6.5 である。バージョン 6.2 から 6.5 までの各バージョンで Rust サポートはアップデートされており、構造体やトレイト等の型の定義が順次追加されている。しかしながら、Rust でのデバイスドライバの開発までサポートしている Rust for Linux と比較すると未だ機能的には追いついていないのが現状である。

## 3 開発環境

本章では、Rust モジュールを含む Linux カーネルの開発環境についてまとめる。Rust コンパイラのインストールおよび Linux カーネルのビルドについては、すでに述べた [5]。ここでは、MacOS をホスト環境として Linux カーネルの開発環境を構築する方法について述べる。

Linux カーネルをビルドするためには、コンパイラ等の開発ツール群の実行環境として Linux が必要である。そこで、開発環境として Linux を用いるのが最も簡単な方法となる。しかしながら、開発以外の作業環境として Linux は最適とは言えない、また用いることができない場合も未だある。例えば、現在の作業環境としての PC は、CPU として Apple M1 Pro を搭載する MacBook Pro である。この PC で Linux は動作するようになってきているものの、まだ試験的である。



MacOS では Docker を用いて Linux を実行可能であるため、コンパイラ等の開発ツール群の実行環境として用いることができる。しかしながら、Docker 上の Linux を開発環境として用いるには、以下の 2 つの問題があった。まず、開発対象である Linux カーネルのソースコードの保存である。Docker では、イメージ内での変更は、明示的にイメージ全体を保存しなければ、そのイメージの実行が終了した時点で破棄される。またイメージは、レイヤ構造として保存されていくため、バイナリが生成される開発環境で使用すると大量の差分が作成され、蓄積されてしまうため、開発環境には不向きである。また、Docker 上の Linux 環境は基本的には CLI になる。Linux の GUI は X Window System 上に構築されているため、ホスト環境の MacOS で X Window サーバを実行することで、Linux の GUI を使用できないことはない。しかしながら、MacOS の GUI よりは見劣りしてしまうことが問題である。

上記の 2 つの問題は以下のように解決することができる。まず、Linux カーネルのソースコードの保存については、Docker で永続ボリュームを作成することで解決できる。永続ボリュームは、その名の通り永続的なストレージとして用いることができる Docker イメージからは独立したストレージ領域であり、Docker イメージの実行時にマウント先のディレクトリを指定して用いることができる。そのため、Docker イメージを再起動した後も、または再構築された別のイメージからも利用することができる。永続的にファイルを保存する別の方法としては、ホスト環境のファイルシステムを用いる方法もある。ホスト環境が Linux の場合は、この方法で問題は無い。しかしながらホスト環境が MacOS の場合は、Docker 上の Linux 環境とホスト環境の MacOS のファイルシステムが異なることから生じるセマンティクス上の問題があり、またアクセスのためのオーバーヘッドも大きいことから、この方法は機能しないことが判明した。また、ホスト環境の GUI を使用するエディタから Docker イメージ内のファイルを編集する問題は、エディタとして Visual Studio Code (VSCode) を Dev Containers 機能拡張と共に用いることで解決できる。この組み合わせにより、ホスト環境で実行している VSCode は、編集対象とする Docker イメージ内のファイルを、あたかもホスト環境にあるかのように扱うことができる。

以上のように、Docker の永続ボリューム、VSCode、Dev Containers 機能拡張を組み合わせることで、MacOS 上に Linux カーネルの開発環境を構築することができる。

## 4 Rust 言語による Linux デバイスドライバの開発

本章では、Rust 言語による Linux デバイスドライバの開発について述べる。まず、Rust による最も単純なデバイスドライバモジュールの定義方法について述べる。次に、このデバイスドライバモジュールに FIFO 機能、即ち書き込んだデータを書き込んだ順番で読み出すことのできる機能の実装について述べる。

### デバイスドライバモジュールの定義

Rust for Linux におけるデバイスドライバモジュールの定義について述べる。図 1 に、最も単純なデバイスドライバモジュールを定義した例を示す。このモジュールは、デバイスファイルとし

```
module! {
    type: RustFIFO,
    name: "rust_fifo",
    license: "GPL",
}

struct RustFIFO {
    _dev: Pin<Box<Registration<RustFIFO>>>,
}

#[vtable]
impl Operations for RustFIFO {
    fn open(_context: &(), _file: &File)
    -> Result {
        pr_info!("FIFO opened.\n");
        Ok(())
    }
}

Impl Module for RustFIFO {
    fn init(name: &'static CStr,
            _module: &'static ThisModule)
    -> Result<Self> {
        pr_info!("name: {} \n", name);

        Ok(RustFIFO{
            _dev: Registration::new_pinned(
                fmt!("{name}"), ()),
        })
    }
}
```

図 1 単純なデバイスドライバモジュールの定義

て /dev/rust\_fifo を作成し、そのデバイスファイルがオープンされるとその旨のメッセージを出力する。

モジュールを構成するソースコードについて、先頭から順を追って述べる。まず、module! マクロを用いて、カーネルモジュールを定義する。type: は、初期化関数を提供するトレイトを定義するための構造体を指定する。また、name: はモジュールの名前、license: はモジュールのライセンスを指定する。これら 3 つのフィールドは最小限必要である。その他必要に応じて、author:, description: なども指定することができる。次に、module! マクロの type: で指定した構造体である RustFIFO を定義している。構造体のメンバとして \_dev を定義している。\_dev は、登録したデバイスを保持するための変数であり、その型は以下のようになっている。

```
Pin<Box<Registration<RustFIFO>>>
```

Pin, Box は、どちらも Rust が標準として提供する型である。Pin は、ポインタの参照先が移動しないことを保証するために用いられる。Box は、ヒープにデータ領域を確保するために用いられる。従って、Pin<Box<T>> はヒープに確保された T が移動しないことを表す。Registration は、Rust for Linux の miscdev モジュールにより定義されている型であり、kernel::miscdev::Registration が絶対パスによる表現になる。Rust for Linux が定義する型の絶対パスの先頭には kernel:: が付くことは自明であるため、以下では省略する。miscdev::Registration は、型パラメータとして file::Operations トレイトを実装した型をとるため、Registration<T: file::Operations> と定義されている。ここで T にあたるのが、RustFIFO であるため、RustFIFO は file::Operations

トレイトを実装している必要がある。

RustFIFO での `file::Operations` トレイトの実装は、以下で定義される。

```
#[vtable]
impl Operations for RustFIFO {
    ...
}
```

`file::Operations` トレイトは、Linux カーネルにおける `file_operations` 構造体に対応するインタフェースを定義している。Operations トレイトでの `open` メソッドの宣言は以下のとおりである。

```
type Data: ForeignOwnable + Send + Sync = ();
type OpenData: Sync = ();
fn open(context: &Self::OpenData, file: &File)
-> Result<Self::Data>;
```

`open` メソッドの戻り値の型として `Data` が、第 1 引数として渡されるデータの型として `OpenData` が型エイリアスとして宣言されている。それぞれの型のデフォルトは、`()` と表記される任意の型を表すユニット型になる。また、それぞれの型エイリアス `Data`、`OpenData` には、型が実装している必要があるトレイトを指定する、トレイト境界が指定されている。型を+でつなげることで、どちらも必要としていることを表すことができる。即ち、`Data` は、`ForeignOwnable`、`Send`、`Sync` の 3 つトレイトを実装した何らかの型である必要がある。

RustFIFO の Operations トレイトでは、以下のように、呼び出されるとメッセージを出力するだけの `open` メソッドのみが実装されている。

```
fn open(_context: &(), _file: &File)
-> Result {
    pr_info!("FIFO opened.\n");
    Ok(())
}
```

RustFIFO の Operations トレイトでの `open` メソッドの第 1 引数はユニット型、第 2 引数はデバイスファイルへの参照型となっている。戻り値の `Ok(())` は、特に値を返さないユニット型の戻り値に、メソッドの戻り値の型 `Result` に対応させるために `Ok()` でラップした値となっている。

Operations トレイトの宣言においては、`open` 以外のメソッドについては、未実装であることを示すエラーを返すだけのデフォルトメソッドの実装が提供されている。`open` メソッドについては宣言のみで実装が提供されていない。そのため、Operations トレイトの各実装では `open` メソッドを必ず実装する必要がある。また、Operations トレイトには、属性として `#[vtable]` が付けられている。これは、各メソッドについて実装の有無を表す定数を生成する。その値から、トレイトの実装がデフォルトメソッドを上書きしているか確認することができ、`struct file_operations` とのインタフェースにおいて Rust で定義された Operations トレイトのメソッドを呼び出すかどうかの分岐で用いられている。

最後に、Linux カーネルモジュールに必要なインタフェースを提供する Module トレイトの実装は、以下で定義される。

```
impl Module for RustFIFO {
    ...
}
```

以下は、Module トレイトの `init` メソッドの実装である。

```
fn init(name: &'static CStr,
        _module: &'static ThisModule)
-> Result<Self> {
    ...
}
```

`init` メソッドの第 1 引数はモジュール名の文字列への参照、第 2 引数はモジュールの参照型となっている。`&'static` は参照の生存期間であり、この場合はモジュールと同じ生存期間となる。

以下は、`init` メソッドの戻り値である。`init` メソッドの戻り値の型 `Result<Self>` に対応して、`Self` 即ち `RustFIFO` 型のインスタンスを `Ok()` でラップした値を返している。

```
Ok(RustFIFO{
    _dev: Registration::new_pinned(
        fmt!("{name}"), ())?,
})
```

戻り値の `RustFIFO` の `_dev` メンバには、`Registration` 構造体を `new_pinned` メソッドによりインスタンス化した値が入る。`new_pinned` メソッドの第 1 引数はモジュール名、第 2 引数は `open` メソッドに渡される `OpenData` 型の値になる。この `OpenData` 型は、`RustFIFO` の Operations トレイトでの実装と一致する必要がある。それは、`Registration` 構造体はトレイト境界として Operations を指定した型パラメータ `T` を取り、`new_pinned` メソッドの第 2 引数の型として `T::OpenData` が指定されているからである。

## デバイスドライバモジュールへの FIFO 機能の実装

前節で示したデバイスドライバモジュールに FIFO 機能、即ち書き込んだデータを書き込んだ順番で読み出す機能を実装する。この機能を実装するために、データを保持するための構造体、および `RustFIFO` の Operations トレイトに `read`、`write` 各メソッドの実装を追加した FIFO デバイスドライバモジュールの定義を図 2 に示す。以下、モジュールを構成するソースコードで追加された箇所について、先頭から順を追って述べる。

まず、`FIFOdata` 構造体は FIFO 機能で必要となるデータを保持するために定義されている。`count` メンバには保持されるデータのバイト数が入り、`buffer` メンバには保持されるデータが入る。`buffer` メンバにより保持されるデータの長さは不定であるため、可変長のバイト列を格納できるようにベクタ型を用いて `Vec<u8>` 型として宣言されている。

次の FIFO 構造体は、`FIFOdata` 構造体を `Mutex` により保護するために定義されている。Operations トレイトで `open` メソッドの戻り値の型として型エイリアスとして宣言されている `Data` は、`ForeignOwnable`、`Send`、`Sync` の 3 つトレイトを実装した何らかの型である必要があることを、前節で述べた。その条件を満たすために、`Data` を FIFO 構造体から `Arc<FIFO>` とすることに加えて、`Mutex` により保護することが必要である。

```

module! {
    type: RustFIFO,
    name: "rust_fifo",
    license: "GPL",
}

struct FIFodata {
    count: usize,
    buffer: Vec<u8>,
}

struct FIFO {
    fifo: Mutex<FIFodata>,
}

struct RustFIFO {
    _dev: Pin<Box<Registration<RustFIFO>>>,
}

#[vtable]
impl Operations for RustFIFO {
    type Data = Arc<FIFO>;
    type OpenData = Arc<FIFO>;

    fn open(context: &Self::OpenData, _file: &File)
        -> Result<Self::Data> {
        Ok(context.clone())
    }

    fn read(context: ArcBorrow<'_, FIFO>, _file: &File,
            buf: &mut impl IoBufferWriter, _offset: u64)
        -> Result<usize> {
        let mut fifo = context.fifo.lock();
        if fifo.count == 0 {
            return Ok(0)
        }

        let data_len = buf.len().min(fifo.buffer.len());
        buf.write_slice(&fifo.buffer[..data_len]);
        fifo.buffer.drain(..data_len);

```

```

        fifo.count -= data_len;
        return Ok(data_len)
    }

    fn write(context: ArcBorrow<'_, FIFO>, _file: &File,
            buf: &mut impl IoBufferReader, _offset: u64)
        -> Result<usize> {
        let data = buf.read_all()?;
        let data_len = data.len();
        let mut fifo = context.fifo.lock();

        fifo.buffer.try_extend_from_slice(&data[..])?;
        fifo.count = fifo.buffer.len();
        Ok(data_len)
    }
}

impl Module for RustFIFO {
    fn init(name: &'static CStr,
            _module: &'static ThisModule)
        -> Result<Self> {
        let mut fifo = Pin::from(UniqueArc::try_new(FIFO {
            fifo: unsafe {
                Mutex::new(FIFodata {
                    count: 0,
                    buffer: Vec::new(),
                })
            },
        })?);

        let pinned = unsafe {
            fifo.as_mut().map_unchecked_mut(|s| &mut s.fifo)
        };
        kernel::mutex_init!(pinned, "FIFO::data");

        Ok(RustFIFO{
            _dev: Registration::new_pinned(
                fmt!("{name}"), fifo.into()),
        })
    }
}

```

図 2 FIFO デバイスドライバモジュールの定義

RustFIFO 構造体は図 1 と同じである。その詳細は前節で述べたとおりである。

Operations トレイトの実装では、open メソッドの戻り値の型エイリアスである Data、および第 1 引数として渡されるデータの型エイリアスである OpenData が、Arc<FIFO> と定義されている。そのため、open メソッドの第 1 引数が OpenData 型となっており、戻り値が Data 型となっている。open メソッドの第 1 引数は、Module トレイトの init メソッドにおいて Registration 構造体を new\_pinned メソッドによりインスタンス化する際の第 2 引数の値が渡される。つまり、Module トレイトの init メソッドにおいて生成、初期化された Arc<FIFO> 型のインスタンスが open メソッドに渡されることになる。

Operations トレイトには、read および write メソッドも実装されている。read および write メソッドの第 1 引数には open メソッドの戻り値が渡されるため、Data 型をもとにした型が構成されている。そのため、FIFO 構造体が渡されることになる。FIFO 構造体の実際のデータは Mutex により保護された FIFodata 構造体の中にある。そこで、Mutex をロックすることで、FIFodata 構造体にアクセスすることができる。以下では、FIFO 構造体の fifo メンバが保持する Mutex をロックし、FIFodata 構造体を取り出

している。

```
let mut fifo = context.fifo.lock();
```

取り出した FIFodata 構造体は変更可能であるため、変数は mut と宣言されている。

Operations トレイトの read メソッドの第 3 引数は、読み出すデータの書き込み先として IoBufferWriter 型のバッファが指定されている。read メソッドによる FIFO からの読み出しは、FIFodata 構造体の buffer メンバに保持されているデータの IoBufferWriter への書き込みになる。IoBufferWriter にデータ書き込む際のデータの長さは、IoBufferWriter のバッファの長さが最大となる。そのため、FIFodata 構造体の buffer メンバに保持されているデータの長さと比較し、どちらか短い方を書き込むデータの長さとしている。IoBufferWriter に書き込んだデータは FIFodata 構造体の buffer メンバからは削除する。そのため、drain メソッドに書き込むデータの長さを指定し、buffer メンバの先頭からデータを削除している。

Operations トレイトの write メソッドの第 3 引数は、書き込まれるデータの読み出し先として IoBufferReader 型のバッファが指定されている。write メソッドによる FIFO への書き込みから

は、読み出しとは逆に、IoBufferReader のバッファから読み出したデータの FIFOdata 構造体の buffer メンバへの書き込みになる。buffer メンバは可変長のバイト列を格納できる Vec<u8> 型であるため、IoBufferReader から読み出したデータを全て buffer メンバへの書き込むことができる。

Module トレイトの init メソッドでは、FIFO 構造体のインスタンスを作成している。FIFO 構造体は、Mutex により保護された FIFOdata 構造体の中に実際のデータを保持している。Mutex は Pin 型でくるむことでデータ領域が移動しないことを保証する必要がある。また、Mutex は初期化が必要である。そのため、Pin 型でくるまれた FIFO 構造体の中から Mutex を取り出したうえで、初期化のために mutex\_init! マクロを呼び出している。

## 5 考察

本章では、4章で述べた Rust 言語による Linux デバイスドライバの開発について考察する。

Mutex は初期化しないと実行時のエラーが発生した。Rust はメモリ安全性を提供すると言われている。メモリ安全性とは、プログラムの不正なメモリ操作による問題が起きないようにする安全性である。しかしながら、初期化されていない Mutex が存在しても、問題なくコンパイルができ、特に警告も出力されなかった。そして、実行時にエラーが発生してしまった。この Mutex は Rust for Linux で開発されたものである。このような問題が発生するのは、Rust for Linux がまだ開発途中であるためかもしれないが、Rust でもこのような問題が発生しうることがわかったことは、1つの有用な知見となった。

Registration 構造体をインスタンス化する際の第 2 引数が、Operations トレイトの open メソッドの第 1 引数として渡されることで、これらの引数の型が合致している必要がある。しかしながら、デバイスの登録を行う Module トレイトの init メソッドと Operations トレイトの open メソッドという、役割も異なるトレイトの間でこのような関係が生じることは、決して分かりやすいとは言えない。これらの関係は 4.1 節で述べたように、miscdev::Registration が、型パラメータとして file::Operations トレイトを実装した型を取るように、Registration<T: file::Operations> と定義されていることから生じている。このような型の関係性について、強い片づけを行う言語ではどのように取り扱っているのか調査する必要がある。

## 6 おわりに

本論文では、安全性の高いシステムプログラミング言語である Rust を用いて、Linux カーネルのデバイスドライバを開発する方法について述べた。Rust for Linux が提供する Rust サポートの機能を用い、FIFO 機能を実装したデバイスドライバの開発を行うことで、実際に動作するデバイスドライバの開発をおこなった。Rust によるデバイスドライバの開発方法についての情報はまだ限定的であるため、モジュールを構成するソースコードの各行を詳細に調べることで、Rust for Linux による Rust サポートについて多くの知見を得ることができた。今後は、デバイスドライバの本来的な役割であるハードウェアデバイスの制御を行うデバイスドラ

イバを Rust で開発し、さらに知見を深めていく予定である。

## 参考文献

1. Palix N, Thomas G, Saha S, Calvés C, Muller G, Lawall J. Faults in Linux 2.6. ACM Trans Comput Syst. 2014;32. doi:10.1145/2619090
2. Rust for Linux. Available: <https://github.com/Rust-for-Linux/>
3. Linux-next. Available: <https://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/next/linux-next.git/commit/?id=c7c4c9b88eebc28d3b48ba855cd6f9f7391a33b2>
4. Ojeda M. [RFC] Rust support. 2021. Available: <https://lkml.org/lkml/2021/4/14/1023>
5. 追川 修一. プログラミング言語 Rust によるカーネルモジュールの開発. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2022;15: 173-180.



Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# A comprehensive survey of digital watermarking techniques

Xuping Huang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Xuping Huang, huang-xuping@aait.ac.jp

**Abstract** Nowadays, protecting intellectual property and ensuring the authenticity of audio content is paramount. Audio digital watermarking has emerged as a crucial technology to address these concerns. This survey paper provides a comprehensive overview of audio digital watermarking techniques, serving as a valuable resource for researchers and industry professionals alike. Digital watermarking involves the hidden embedding of information, or watermarks, within audio content. These watermarks can convey data for purposes such as authentication, copyright protection, and tracking, all while maintaining the audio's perceptual quality. The success of audio watermarking depends on balancing robustness, imperceptibility, and capacity. This survey classifies audio digital watermarking techniques into three primary domains: spatial, frequency, and time-frequency. Spatial domain techniques, including LSB insertion, spread spectrum, and quantization, are known for their simplicity and versatility. Frequency domain methods, like discrete wavelet transforms (DWT) and discrete cosine transforms (DCT), leverage spectral characteristics, providing robustness and capacity. Time-frequency domain techniques, such as Short-Time Fourier Transform (STFT) and Wavelet Transforms, excel at accommodating audio signals with diverse characteristics, making them suitable for voice recognition and audio fingerprinting. Balancing robustness and security is a pivotal aspect of audio watermarking, with trade-offs often required to withstand signal processing and malicious attacks without compromising quality. This paper explores the factors influencing these attributes and discusses security enhancement methods. The evaluation of audio watermarking techniques relies on key metrics, including Signal-to-Noise Ratio (SNR), Bit Error Rate (BER), and perceptual evaluation, serving as benchmarks for assessing watermark quality. As digital audio continues to evolve, the insights provided will guide the development of more resilient, secure, and efficient audio digital watermarking techniques, meeting the increasing demand for content protection and authentication.

**Keywords** digital watermarking; spatial domain watermarking; content protection; discrete cosine transforms

## 1 Introduction

In an era where digital audio content has proliferated, the protection of intellectual property and the assurance of content integrity are of paramount concern. Audio digital watermarking has emerged as a vital tool to address these challenges. This comprehensive survey paper endeavors to provide a thorough exploration of the diverse techniques and methodologies in audio digital watermarking, aiming to serve as a valuable resource for researchers, practitioners, and stakeholders in the multimedia industry. The digital watermarking concept, foundational to this survey, revolves around the covert embedding of information, or a watermark, into audio content. This watermark may convey essential data for authentication, copyright protection, tracking, and more, without perceptibly altering the audio's quality. By enhancing the robustness, imperceptibility, and capacity of these watermarks, audio digital watermarking plays a pivotal role in safeguarding multimedia content and ensuring its legitimacy.

### 1.1 Significance of digital watermarking

Audio digital watermarking holds significant importance in the contemporary digital landscape for several key reasons:

**Copyright Protection:** In a world where audio content is easily replicated and distributed over the internet, audio digital watermarking plays a pivotal role in protecting the intellectual property rights of content creators. It enables copyright owners to embed hidden information within audio files, asserting ownership and authenticity, thus deterring unauthorized copying and distribution.

**Content Authentication:** Ensuring the authenticity and integrity of audio content is crucial, particularly in contexts like audio forensics, legal proceedings, and audio evidence verification. Watermarks provide a means to verify that the audio has not been tampered with, ensuring its credibility in these applications.

**Content Tracking:** In a rapidly evolving digital ecosystem, content tracking and monitoring are essential. Watermarks enable the tracking of audio content across different platforms and networks, facilitating content management, monitoring, and analytics. This is especially significant for music and broadcasting industries.

**Anti-Piracy Measures:** The entertainment industry, including music and film, grapples with piracy issues. Digital watermarks embedded in audio content can serve as a deterrent to illegal distribution, making it easier to identify the source of pirated material and take appropriate legal action.

**Data Hiding for Metadata:** Audio watermarking allows for the secure and invisible embedding of metadata within audio files. This metadata can include information about the author, licensing, usage rights, and other relevant details. It ensures that this information travels with the audio content, simplifying content management and licensing.

**Fighting Audio Forgery:** Audio digital watermarking can assist in identifying and preventing audio forgery or deepfake technology abuse. In fields like audio authentication, speech recognition, and voice biometrics, it is crucial for ensuring that the audio data is genuine and has not been manipulated.

**Content Ownership Verification:** Musicians, artists, and content creators can use watermarks to claim ownership of their works. It not only acts as a deterrent against unauthorized use but also simplifies royalty tracking and distribution in the music industry.

**Protection Against Distribution Manipulation:** Digital watermarks provide a means to protect against manipulations that may occur during audio distribution. This includes ensuring that audio content is not altered or mixed with undesirable material as it travels through various channels.

**Digital Rights Management (DRM):** Audio watermarking is often integrated into DRM systems, allowing content providers to control how audio content is accessed and used by consumers. It grants the flexibility to enforce usage policies and prevent unauthorized access or sharing.

**Steganography:** Audio digital watermarking can be employed as a form of steganography, where hidden messages or information are embedded within audio content. This has applications in covert communication and secure data transmission.

Generally speaking, audio digital watermarking is significant for protecting intellectual property, asserting content ownership, ensuring authenticity, and facilitating content management and monitoring in an ever-evolving digital landscape. It addresses the challenges posed by unauthorized copying, distribution, manipulation, and forgery of audio content while offering new opportunities for content creators and rights holders.

## 1.2 Fundamentals of digital watermarking

Digital watermarking is a technique used to embed hidden information or a digital signal, known as a watermark, into multimedia content such as images [1], audio, or video. The key principles of digital watermarking are based on ensuring the following attributes:

**Invisibility:** The primary principle of digital watermarking is that the embedded watermark should be imperceptible to human senses. In other words, the addition of the watermark should not degrade the quality of the host content to the extent that it can be noticed by viewers or listeners. This invisibility is critical to maintain the aesthetic and perceptual quality of the multimedia content.

**Robustness:** Digital watermarks should be able to withstand various signal processing operations, distortions, and attacks, both intentional and unintentional, without being destroyed or significantly altered. This is essential to ensure that the watermark can be reliably detected even after the host content has undergone transformations like compression, filtering, cropping, or other common operations.

**Security:** Security in digital watermarking involves protecting the watermark from unauthorized removal, alteration, or replacement. Security mechanisms may include encryption, authentication, and tamper detection, which ensure that only authorized parties can access and manipulate the watermark.

**Payload Capacity:** The amount of information that a watermark can carry is referred to as its payload capacity. The capacity of a watermark varies depending on the embedding technique and the specific characteristics of the host content. Balancing the need for high payload capacity with invisibility and robustness is a critical aspect of watermarking design.

**Perceptual Models:** Digital watermarking often employs perceptual models that take into account the limitations of human perception. These models help in determining where and how the watermark should be embedded to minimize the likelihood of being detected while maximizing robustness and capacity. Perceptual models consider the characteristics of the human visual or auditory system and guide the watermark embedding process accordingly.

**Key Management:** Many watermarking systems use cryptographic keys to control access and manipulation of the watermark. Key management is crucial for maintaining the security and integrity of the watermarking process.

**Authentication:** Authentication ensures that the watermark's presence and integrity can be verified by authorized parties. Authentication mechanisms help in confirming the authenticity of the watermark and its associated content.

**Application-Specific Considerations:** The principles of digital watermarking are often applied in a context-specific manner. For example, audio watermarking may emphasize imperceptibility and robustness while image watermarking may prioritize payload capacity.

**Digital watermarking** is based on the principles of imperceptibility, robustness, security, payload capacity, perceptual modeling, key management, authentication, and application-specific considerations. These principles are crucial for designing effective watermarking techniques that can protect multimedia content, assert ownership, and provide authentication and tracking capabilities while maintaining the integrity and quality of the host content.

## 2 Conventional works on algorithms and implementations

This paper categorizes audio digital watermarking techniques based on their key characteristics and approaches, shedding

light on their unique advantages and trade-offs. Three primary domains emerge: spatial, frequency, and time-frequency. The spatial domain techniques, such as LSB insertion, spread spectrum, and quantization, offer simplicity and ease of implementation, making them suitable for various applications. Frequency domain methods, which encompass discrete wavelet transforms (DWT) and discrete cosine transforms (DCT), leverage the signal's spectral properties, yielding robustness and capacity. Meanwhile, time-frequency domain techniques, like Short-Time Fourier Transform (STFT) and Wavelet Transforms, are adept at handling audio signals with varying characteristics, finding application in voice recognition and audio fingerprinting. Robustness and security are critical aspects of audio watermarking, as the content must endure various signal processing and malicious attacks while maintaining the original signal's quality. Achieving a balance between these attributes is a complex challenge, often necessitating trade-offs. We explore robustness-influencing elements and security-enhancing techniques, offering a detailed knowledge of the balance.

### 2.1 Spatial domain watermarking

Spatial domain watermarking methods involve directly manipulating the pixel values of the host image or audio signal to embed the watermark [2]. These methods are generally simple to implement but may be less robust to common image processing operations. Let's discuss some common spatial domain techniques, including LSB (Least Significant Bit) insertion, spread spectrum, and quantization, along with practical applications, advantages, and limitations.

#### 2.1.1 LSB (Least Significant Bit) Insertion

LSB insertion is one of the most basic and widely used methods. In this approach, the least significant bit of selected pixels in the host image is replaced with the corresponding bits of the watermark data. The watermark is embedded in the least perceptible part of the image. LSB insertion is often used for copyright protection of digital images. Watermarks can be used to embed copyright information or the owner's name within the image. The LSB insertion is straightforward simple to implement. Furthermore, LSB insertion can carry a relatively large amount of watermark data, which reserves a considerable capacity for data hiding. However, as the vulnerability, LSB insertion is sensitive to common image processing operations like compression and filtering. It is fragile to attacks, such as ZeroLSB, et.al. Even minor alterations can result in the loss of the watermark.

#### 2.1.2 Spread Spectrum

Spread spectrum watermarking involves spreading the watermark signal across the entire host signal using a pseudo-random sequence. This makes the watermark robust to various signal processing operations and attacks. This algorithm is commonly used for authentication and tamper detection in images and audio. The advantage is that the algorithm guarantees the security of the watermark by the algorithm. Furthermore, the spread spectrum technique is highly robust against common signal processing operations and attacks. The disadvantages are the complexity and the lower capacity. Implementing spread spectrum watermarking can be more complex than LSB insertion. The capacity for embedding data may be lower compared to simpler spatial domain techniques.

#### 2.1.3 Quantization

Quantization-based watermarking embeds the watermark information by modifying the quantization levels of the host sig-

nal. This technique is widely used in audio watermarking. Quantization-based methods are suitable for embedding watermarks in audio signals for purposes like copyright protection and authentication. The advantage of this algorithm is the strong robustness. Quantization-based methods can be robust against lossy compression and various signal processing operations. The disadvantages are limited capacity and perceptibly. Quantization-based methods may have limited capacity compared to other methods, such as spread spectrum. Quantization-based watermarking can affect audio quality according to the algorithm.

As the use-case, spatial domain watermarking methods like LSB insertion, spread spectrum, and quantization offer different trade-offs in terms of simplicity, robustness, and capacity. Their practical applications vary from copyright protection to authentication and tamper detection. Choosing the appropriate method depends on the specific requirements of the application, considering factors such as robustness against common processing operations and the desired capacity for watermark data.

## 2.2 Frequency Domain Techniques

Frequency domain techniques in audio watermarking involve transforming the audio signal from the time domain to the frequency domain, where the watermark is embedded or extracted. This approach offers advantages such as robustness against common signal processing operations and the ability to control the perceptual impact of the watermark. Two widely used methods in the frequency domain are the Discrete Wavelet Transform (DWT) and the Discrete Cosine Transform (DCT)[3].

### 2.2.1 Discrete Wavelet Transform (DWT)

DWT decomposes the audio signal into various frequency components through a series of wavelet transforms. Watermark data is then embedded in selected coefficients of these components, typically in the high-frequency or detail coefficients, where changes are less perceptible. This technology can be applied for voice recognition and audio fingerprinting. DWT-based watermarking is suitable for voice recognition systems, where embedding and extracting watermarks without compromising speech intelligibility is essential. As well, audio fingerprinting, used in content identification and retrieval, can benefit from DWT-based watermarking for robustness against noise and common signal processing.

The advantages of this algorithm are the robustness and the imperceptibility. DWT can offer robustness against common signal processing operations, including compression, filtering, and noise addition. By selecting appropriate coefficients for watermark embedding, the perceptual impact on the audio quality can be minimized. The disadvantages are complexity and limited capacity. Implementing DWT-based watermarking can be computationally intensive, particularly for real-time applications. The capacity for watermark data may be limited, depending on the selected coefficients for embedding.

### 2.2.2 Discrete Cosine Transform (DCT)

DCT is a frequency domain transformation that converts audio signals into a representation where most of the signal's energy is concentrated in a few high or low-frequency coefficients. Watermark data is embedded in these frequency coefficients to maintain robustness. DCT-based methods [4] are suitable for embedding watermarks in audio and music files for copyright protection and authentication, and tampering detection.

The advantages of this algorithm are the robustness and efficiency. DCT-based watermarking is robust against compression

[5] and common signal processing operations. DCT computations are less computationally intensive compared to some other frequency domain techniques. The disadvantages are perceptual impact and limited capacity. Embedding watermarks in limited frequency DCT coefficients may have a more noticeable impact on audio quality compared to DWT-based methods. The capacity for watermark data is constrained by the number of different frequency DCT coefficients available for embedding.

The contextual considerations on choosing algorithms based on DWT or DCT technologies should be robustness, perceptibly, and application specific needs. The choice between DWT and DCT depends on the specific application. DWT provides more control over perceptual quality but may have limited capacity, while DCT offers better robustness but can be more perceptible. The choice of frequency domain method should align with the requirements of the audio watermarking application. For voice recognition, robustness and intelligibility are critical, favoring DWT. In music copyright protection, DCT may be preferred for its efficiency and robustness.

## 2.3 Time-Frequency Domain Techniques

Time-frequency domain techniques in audio watermarking are particularly suited for signals with varying characteristics and offer a way to embed and extract watermarks that are robust to time-varying signal distortions and attacks. Two prominent methods in this domain are the Short-Time Fourier Transform (STFT) and the Wavelet Transform.

### 2.3.1 Short-Time Fourier Transform (STFT)

The STFT is a widely used time-frequency analysis method that breaks an audio signal into small overlapping segments, then computes the Fourier transform for each segment. It results in a time-frequency representation of the signal, where both time and frequency information is preserved. STFT-based watermarking is particularly suitable for audio signals with non-stationary characteristics, where the properties of the signal change over time. These characteristics include varying pitch, amplitude, and spectral content. By segmenting the audio into smaller, time-localized components, the STFT captures these changes, making it robust against signal variations. This technology can be applied to voice recognition and audio forensics. In voice recognition systems, audio signals are often non-stationary due to changes in pitch, speed, or environmental factors. STFT-based watermarking can ensure robustness against these variations. In forensic audio analysis, where tampering or manipulation is common, STFT-based watermarking can help verify the authenticity of audio evidence.

The advantages of STFT are robustness and flexibility. STFT is resilient to time-varying distortions and attacks because it preserves the time-frequency characteristics of the audio signal. By selecting specific time-frequency components for embedding, watermarking can be tailored to balance robustness and imperceptibility. While, the disadvantages are capacity limitation and complexity. STFT-based watermarking may have limited capacity for embedding data, particularly for longer audio signals. Implementing STFT-based watermarking can be computationally intensive, especially for real-time applications.

### 2.3.2 Wavelet Transform

The Wavelet Transform divides an audio signal into different frequency components by using wavelet functions, each representing a different scale. This transformation provides both time and frequency information, similar to the STFT but with a different basis. The Wavelet Transform is effective in handling audio signals with varying characteristics because it decomposes the sig-

nal into various scales or resolutions, each capturing different temporal and spectral information. This makes it well-suited for non-stationary signals, where characteristics change over time. This technology can be applied to audio fingerprinting and music analysis. The Wavelet Transform is used in audio fingerprinting to create robust fingerprints that can identify audio tracks, even when subjected to alterations or distortions. Music analysis often involves dealing with complex audio signals, where characteristics like tempo, timbre, and harmony change. The Wavelet Transform helps in feature extraction and analysis.

The advantages are multi-resolution analysis and robustness. The Wavelet Transform's ability to capture signal information at multiple resolutions makes it powerful in representing audio with varying characteristics. It is robust against common signal processing operations and attacks, which is crucial for audio fingerprinting and content identification. While, the disadvantages are perceptual impact and complexity. Depending on the choice of wavelet function and decomposition parameters, the Wavelet Transform may introduce perceptible artifacts in the audio. Like the STFT, the computational complexity of the Wavelet Transform can be a limitation, particularly for real-time applications.

Possible applications for time-frequency domain based watermarking can be considered as voice recognition and audio fingerprinting. In voice recognition systems, the ability to accurately identify a speaker's voice despite variations in speech patterns, accent, pitch, and speed is essential. Time-frequency domain watermarking techniques like STFT and the Wavelet Transform are well-suited for this application. By embedding a watermark within the time-frequency components that remain consistent across different speech variations, the recognition system can verify the speaker's identity while maintaining robustness against non-stationary signal characteristics. Audio fingerprinting is used for content identification and retrieval, particularly in music and audio streaming services. The time-frequency domain techniques excel in creating robust audio fingerprints that can withstand changes in tempo, pitch, and audio quality. By embedding watermarks in these fingerprints, audio content can be tracked and identified even after alterations, such as format conversions or noise additions, have occurred. The time-frequency representations help preserve the unique characteristics of the audio, making it easier to match and identify audio content. Time-frequency domain watermarking techniques like STFT and the Wavelet Transform are well-suited for audio signals with varying characteristics. They offer robustness against time-varying distortions and attacks while finding applications in voice recognition and audio fingerprinting, where the ability to maintain signal integrity and authenticity in the presence of changing characteristics is crucial. However, the computational complexity and potential perceptual impact should be considered when choosing between these methods for specific applications. The choice between these methods depends on the specific needs of the application, considering factors like robustness, perceptibility, and computational efficiency.

### 3 Evaluation Literature

Evaluation metrics play a crucial role in assessing the quality and performance of audio watermarking techniques. They help quantify the effectiveness of the watermarking process, offering insights into aspects such as robustness, imperceptibility, and fidelity. Several key metrics are used to evaluate audio watermarking techniques, including Signal-to-Noise Ratio (SNR), Bit Error Rate (BER), and perceptual evaluation.

#### 3.1 Signal-to-Noise Ratio (SNR)

SNR measures the ratio of the power of the original audio signal to the power of the noise introduced by the watermark. It is typ-

ically expressed in decibels (dB), which is an important metric in audio watermarking because it quantifies the impact of watermark embedding on the signal's quality. A high SNR indicates that the watermark has been embedded with minimal perceptual distortion, while a low SNR suggests that the watermark may be audible or affect audio quality negatively. In essence, a high SNR corresponds to better imperceptibility.

#### 3.2 Bit Error Rate (BER)

BER calculates the discrepancy between the original watermark bits and the extracted watermark bits. It is a ratio of the number of incorrectly extracted bits to the total number of bits. It is a fundamental metric for measuring the accuracy and robustness of watermark extraction. A low BER indicates that the watermarking process is robust and reliable, as it implies that a minimal number of bits were incorrectly detected or altered during extraction. Conversely, a high BER suggests that the watermark is less robust or prone to errors during extraction.

#### 3.3 Perceptual Evaluation

Perceptual evaluation focuses on assessing the impact of watermark embedding on the perceived quality of the audio signal. Common perceptual evaluation methods include Mean Opinion Score (MOS) and listening tests involving human listeners. Perceptual evaluation is critical in audio watermarking because it measures the perceptual quality of the watermarked audio. While SNR and BER provide objective measures, perceptual evaluation considers the human auditory system's sensitivity to audio changes. The goal is to ensure that the watermark does not introduce audible artifacts or degrade the listening experience. High-quality watermarking should maintain imperceptibility, preserving the audio's integrity.

#### 3.4 Considerations and Trade-Offs on Evaluation

Evaluating audio watermarking techniques involves a trade-off between robustness and imperceptibility. Techniques with high SNR and low BER may compromise robustness, while maximizing robustness may lead to lower imperceptibility. The choice of metric depends on the application's specific requirements. Furthermore, perceptual evaluation metrics often include real-world testing with human listeners. These tests provide valuable insights into the subjective impact of watermarking. However, they can be time-consuming and may vary depending on the listener's preference.

## 4 Applications of digital watermarking

This section provides practical examples of digital watermarking in details. The following application is introduced in this section for copyright protection—Online Photography Portfolio.

This is an scenario for the context of image copyright protection and ownership assertion. The achievement of the application is as follows: a professional photographer maintains an online portfolio where they showcase their high-quality images. To protect their intellectual property and assert copyright ownership, they use digital watermarking.

The implementation concerns the following phases and issues:

*Watermark Embedding:* The photographer selects their best images for the online portfolio and prepares high-resolution versions of these images. They then embed a digital watermark into each image using specialized software.

*Watermark Content:* The watermark includes information such as the photographer's name, copyright symbol, and the year of



creation. It may also include a web address to the photographer's website.

*Invisibility:* The photographer ensures that the watermark is added in such a way that it does not significantly detract from the viewing experience but is still clearly visible enough to identify the copyright owner.

*Robustness:* The watermark is designed to be robust to common manipulations that may occur during online distribution, such as resizing, cropping, and minor color adjustments.

One of the usages of this application is that When viewers or potential clients browse the portfolio, they see the watermarked images. The presence of the watermark clearly asserts the photographer's copyright ownership, making it evident that these images are protected by intellectual property laws.

By using digital watermarking technology, potential infringers are discouraged from unauthorized use or distribution of the images due to the visible watermark, as it clearly identifies the copyright owner. Ownership assertion is guaranteed since the watermark serves as a visual reminder to viewers that the images are the intellectual property of the photographer. This can help deter copyright violations and disputes. This also serves as the promotion in addition to protection, since the watermark can include the photographer's website URL, effectively promoting their brand and directing interested parties to their services. Digital watermarking technology also makes it possible to trace the abuse. In case an image is used without permission, the watermark makes it easy to trace the origin back to the photographer's portfolio. This simplifies the process of proving copyright ownership.

In this example, digital watermarking is applied to protect the intellectual property and assert copyright ownership of images in an online portfolio. It serves as a visual and traceable deterrent to unauthorized use while also promoting the photographer's brand.

However, there are several issues to consider in spite of convenience. In this case, balancing visibility and aesthetics is crucial. The watermark should be noticeable enough to assert copyright but not so obtrusive that it hinders the appreciation of the image. Furthermore, robustness is essential to ensure that the watermark remains intact even if viewers or unauthorized users manipulate the images. Moreover, the watermark should comply with copyright laws in the photographer's jurisdiction.

## 5 Challenges and Future Trends

### 5.1 Challenges and limitations

#### 1. Robustness and Imperceptibility Trade-off

Balancing robustness against common signal processing operations and attacks with imperceptibility remains a challenge. Achieving both can be difficult, and often, watermarking techniques may need to prioritize one at the expense of the other, depending on the application.

#### 2. High-Capacity Requirements

With the increasing demand for multimedia content protection and authentication, there is a need for high-capacity watermarking techniques that can carry substantial amounts of data. Current techniques may fall short in meeting these requirements.

#### 3. Real-Time Processing

Some applications, such as live audio streaming or voice recognition, require real-time processing of audio signals. Implementing watermarking in real-time without introducing latency or compromising quality is a complex challenge.

#### 4. Security and Privacy Concerns

Ensuring the security and privacy of watermarking techniques is crucial. Unauthorized access to watermarking systems, reverse

engineering, and the potential misuse of watermarked content are ongoing concerns.

#### 5. User Acceptance

In applications where audio quality is paramount, such as music and entertainment, user acceptance of watermarked content can be a challenge. Striking the right balance between imperceptibility and protection is essential.

## 5.2 Potential Directions for Future Research

As the development of AI and VR, the following topics might be the potential directions for future research.

#### 1. Deep Learning and AI-Based Techniques

The application of deep learning and artificial intelligence in audio watermarking is a promising area of research. These technologies can help optimize the trade-off between robustness and imperceptibility by learning from vast amounts of data.

#### 2. Blockchain for Copyright Management

Blockchain technology can be integrated into audio watermarking for secure and transparent copyright management. Blockchain's decentralized ledger can help establish a tamper-proof record of copyright ownership and usage rights.

#### 3. Enhanced Real-Time Processing

Developing efficient real-time audio watermarking techniques that minimize latency and computational overhead is a critical direction for research. This can benefit applications like live streaming and voice recognition.

#### 4. Content-Specific Watermarking

Tailoring watermarking techniques to specific content types or genres can improve both robustness and imperceptibility. For instance, watermarking for music, speech, or environmental audio can be optimized differently.

#### 5. Cross-Modal Watermarking

Exploring the integration of watermarking techniques across different modalities, such as audio and video, can provide enhanced content protection and authentication.

#### 6. Protecting Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR)

As AR and VR technologies advance, audio watermarking will be essential to ensure the security and authenticity of spatial audio content in immersive experiences.

Digital watermarking faces challenges related to robustness, capacity, real-time processing, security, and user acceptance. Future research should explore the use of AI, blockchain, and content-specific techniques to address these challenges. Emerging trends include applications in content recognition, voice assistant security, AR/VR audio protection, smart contracts for royalties, audio forensics, and personalized content delivery. Audio watermarking is expected to play a pivotal role in securing the future of digital audio content. As the digital audio landscape continues to evolve, the insights from this survey will guide the development of more robust, secure, and efficient audio digital watermarking techniques.

## References

1. M H, Lee J et al. SVD-based adaptive qim watermarking on stereo audio signals. *IEEE Trans Multimedia*. 2017;20: 45 – 54.
2. Wan W, Zhou K et al. JND-guided perceptually color image watermarking in spatial domain. *IEEE Access*. 2020;8: 164504 – 164520.
3. Byun et al S. Fast and robust watermarking method based on DCT specific location. *IEEE Access*. 2019;17: 100706 – 100718.
4. Ko et al H. Robust and blind image watermarking in DCT domain using inter-block coefficient correlation. *Inf Sci (N Y)*. 2020;517: 128 – 147.
5. Wang et al. Non-aligned double JPEG compression detection based on refined markov features in QDCT domain. *J Real Time Image Process*. 2020;17: 7 – 16.



**Open Access** This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# 日本の創造性教育（価値創造型人材の育成）の具体的展開：当事者のヒアリング調査とパネルディスカッションからの考察

Specific developments for the education of creativity in Japan (development of value-creating human resource): Insights from interviews and panel discussions with parties involved.

高嶋 晋治<sup>1\*</sup> 菅原 重昭<sup>2</sup>  
Shinji Takashima<sup>1\*</sup> Shigeaki Sugawara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup> 東京都立大学 Tokyo Metropolitan University

\*Corresponding author: Shinji Takashima, tsx1721@gmail.com

**Abstract** The future direction of Japanese industry and society is not at the same level as the actual situation, awareness, and feelings of educational institutions, children, and their guardians. Therefore, it is important to have a deep understanding of each to formulate specific measures. This research aims to organize issues through interviews with relevant parties and panel discussions, and to build a concrete approach to creativity education that will lead to the development of value-creating human resources.

**Keywords** education of creativity; education for teenager in Japan; competitiveness in industries; capability of future development

## 1 はじめに

産業革命後の産業や技術の発展とともに、デザインの果たす役割も様々に変化してきた。それらは産業、社会、生活領域を中心にモノ主体の価値創造による貢献であった。しかし VUCA (Volatility, Uncertainly, Complexity, Ambiguity) の時代においては、環境、政治、経済、社会が大きな変革期を迎え、資源、災害、食糧などで国家基盤を揺るがす課題への備えが求められ、特に日本は人口減少、少子高齢化先進国として社会システムの最適化が求められる時代となっている。その様な未来への懸念を乗り越えるために価値創造はモノに限らずコトも含めた領域で重要になりつつあると考える。

日本製品はコモディティ化（同質化）が進み、機能や品質での商品の差別化が困難となり、世界的な産業競争力が頭打ちとなった。それに対し 2018 年に経済産業省が「デザイン経営宣言」を発出し、ブランドとイノベーションを通じて企業競争力の向上を提唱している。

またそれに連動して 2020 年文部科学省は学習指導要領の改訂により STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) 教育や PBL (Project Based Learning) 教育の導入などの教育改革を進め、学力偏重、受験制度など、日本の教育のあり方を再考し、「予測困難な社会に対応でき、新しい社会を創っていきけるような資質／能力の育成」を提唱している。

すなわち「価値創造型人材」の必要性が拡大傾向にあると言える。

しかし、図 1 のように Z 世代／ポストミレニウム世代（1995～2008 年生まれ）を対象にした「自分を創造的と思うか？」という調査では、欧米主要国は 4 割～5 割近くが「そう思う」と回答したのに対し、日本はわずか 8% であった。そして「創造力とは特別な限られた人の能力」と捉えられているという結果であった。

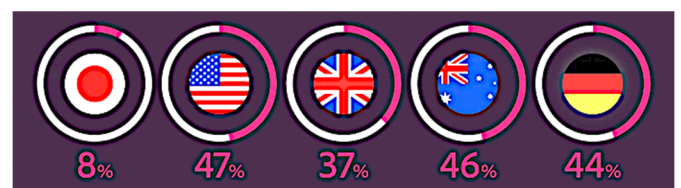


図 1 自分を「創造的」と思う生徒の割合[1]

また図 2 のように 2020 年の日本の高校生 1200 人を対象にした調査では約 63% が小学 4 年生～中学 3 年生の時期に「自分は創造力がないと思う」と回答している。

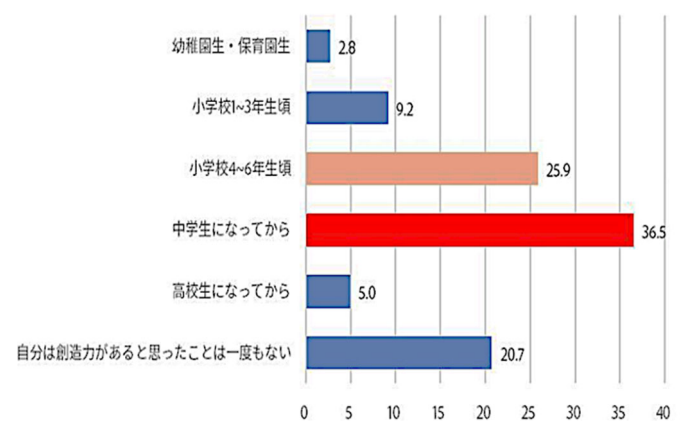


図 2 「創造力」を失った時期[2]

教員視点では図 3 のように 2018 年の学校現場における「創造的問題解決能力の育成」に関する調査では、教員の 93% が「必要である」と回答しているものの、実際の教育課程では図 4 のように「重要視されていない」の回答が 49% であった。

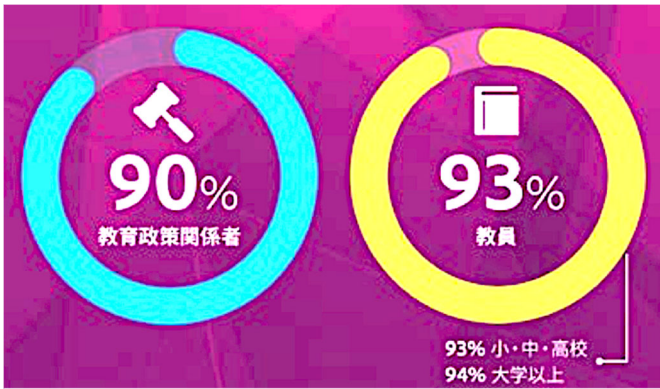


図3 「創造的問題解決」の学びが重要と考える教育関係者の割合[3]

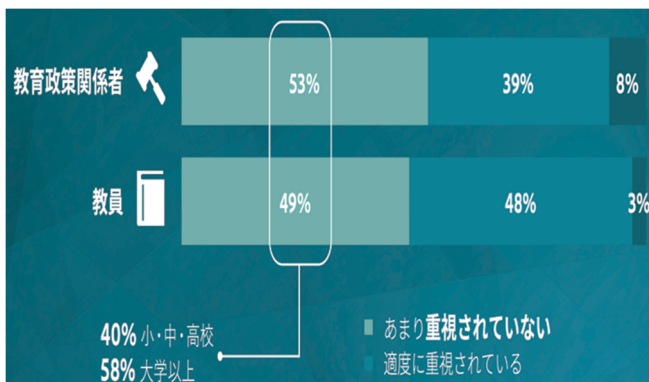


図4 「創造的問題解決能力」育成が現在は重視されていないと捉える教育関係者の割合[3]

これは教育現場の労働時間の問題以外にも「ツールがない」「教員研修の機会がない」など本質的な課題を浮き彫りにしている。

保護者視点では、IQ 偏重、受験重視が大半ではあるものの、図5のように「子どもの生活と学びに関する親子調査」で小学生から高校生を持つ親への調査を見ると、2019年までは「いい大学に入れる成績」を望む親が6割を超えていたが、2020年にかけて、どの学年においても低下傾向が見られるようになってきた。

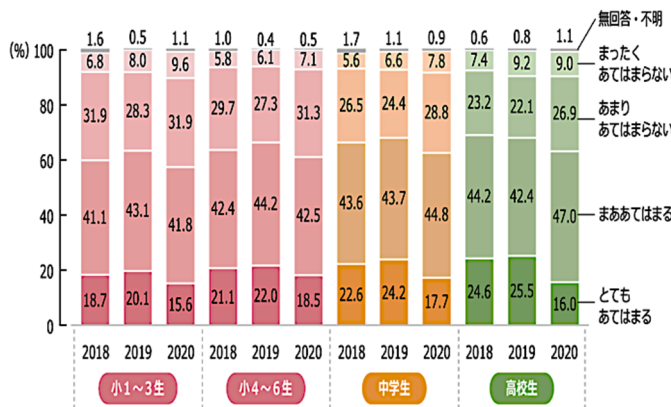


図5 「いい大学に入れる成績を望む」親の割合[4]

また、図6のように学歴を重要視する考え方も年々低下傾向が見られる。

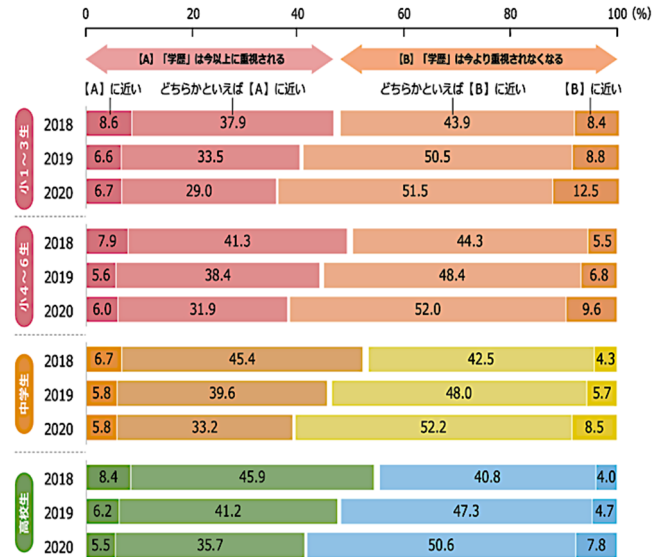


図6 「学歴を重要視する」親の割合[4]

このように、国、産業、社会が目指す方向と教育現場や子どもたちとその管理者である保護者の実状、意識、想いは同レベルではない。ゆえに具体的施策の立案には各々を深く理解することが重要である。そのために、関係当事者からのヒアリング調査とパネルディスカッションからの課題整理を行い、価値創造人材の育成につながる具体的な創造性教育のあり方の構築に繋げる。

## 2 ヒアリング調査

### 調査方法

下記属性の被験者への個別インタビューを90分/1人で実施。インタビューアは研究者以外の第三者的位置付けの専門業者に依頼。

### 対象者属性

創造性教育施策の受益者は図7のように「生徒/学生」「その保護者」「教員」と定め、調査対象者とした。生徒/学生については子どもの年齢により回答内容にばらつきが生じる可能性があるためと判断し、代替手段として、既に創造的な仕事や活動をされている方(調査側の基準で選定)の子ども時代を振り返り回答してもらうこととした。属性が重複する被験者は各々の属性の立場で回答した。

- 創造性教育 推進者/実践者 (学校内)  
中学美術教諭、工業高校教諭、中学教頭
- 創造性教育 推進者/実践者 (学校外)  
学童コーディネイター、アート教育者、ミュージアムエデュケーター
- 創造性教育 要望者 (保護者)  
中学生保護者、幼稚園~小学生保護者
- クリエイティブワーカー  
デザインコンサルティング会社ディレクター、

## 市議会議員／NPO 代表、都市開発プロデューサー

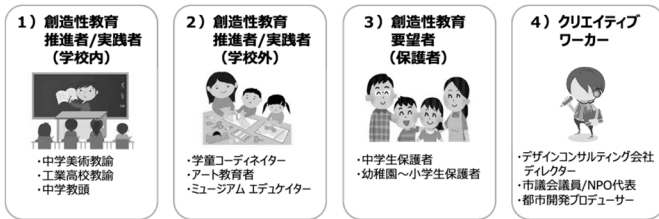


図7 ヒアリング調査対象者属性

## ヒアリング調査結果 要約（問題点/課題の抽出）

## (1) 地域社会や大人の問題点/課題

- ・創造性は「天性の才能がある限られた人材の能力」という固定観念が支配的で、学びや経験の蓄積で育つ能力という認識が弱い。
  - ・共稼ぎ時代の保護者の多忙さを背景に、家庭教育を含む領域（道徳観/人間性など）まで学校頼りの傾向。
  - ・大人の既成概念が子供の創造性の潜在能力を縛っている。  
→既成概念から子供を解放する立ち位置が課題。
- 以上から「周りの大人の影響が大きい」ことが浮かび上がった。

## (2) 思春期世代の問題点/課題

- ・自発性が弱く、人生観/職業観への関心や意欲も弱い傾向。
  - ・個性の発揮や自己主張をする行動に乏しい。
- 以上から「思春期世代の自覚の問題」が見えた。

## (3) 導き方の問題点/課題

- ・「教える」のではなく、主体性を尊重して「引き出す」導きが大切。
  - ・人はナマモノ、導く側の血の通う温もりある方法や交流が鍵。
  - ・自己理解と自己有用感を高める情緒力が育成の出発点。
  - ・教科横断型や地域社会連携型の教育スタイルの試みに効果を確認。
  - ・自由闊達に面白くてワクワクドキドキしながら五感で体験的に掘む機会が大切。
- 以上から「導き方が重要」であることを認識した。

## (4) 教育現場の問題点/課題

- ・知的教育（5教科 IQ 尊重）重視で情操教育（美術や道徳）が弱い傾向。
  - ・STEAM 教育効果を最大化する学びの設備環境や教材の整備が不足傾向。
  - ・教員業務の負荷が高いため、前例踏襲型授業が多くなるなど新時代に適合する創造性指導が不足傾向で、支援/補強体制も弱い。
  - ・創造性教育の個別優秀事例は存在するものの、波及効果としての広がりや弱く、優秀事例の横展開が十分でない。
- 以上から「教育現場でのアイデア/手法の共有の必要性」を認識した。

## ヒアリング調査 まとめ

ヒアリング調査から以下の3点の必要性が導き出された。

- (1) 周りの大人の影響が大きいこと、思春期世代の自覚の問題から両者への「正しく伝わる啓蒙活動」の必要性。
- (2) 導き方の重要性から自発性を重視し体験的に多様で楽しく学べる指導による成長支援の必要性。
- (3) 教育現場でのアイデアや手法などの好事例、有効な教材提供の必要性。

## 3 パネルディスカッション

## 登壇パネリスト（敬称略）

## (1) 田中 真二郎（秋田県大仙市立中仙中学校 教諭）

美術教育を起点に地域と密接に子どもたちを育てるプロジェクトを通じ、子供たちが授業の中で作ったものが、どうやって社会に出て人とつながっていくかの体験学習を推進中。

## (2) 更科 結希（北海道教育大学附属釧路義務教育学校 教諭）

中学校美術の授業、学校の行事デザイン、学校運営に従事。学校全体行事を「総合的な学習」として学年ミックス、志望者のチーム形成などの手法で推進中。

## (3) 平山 由佳（経済産業省/Japan +D 事務局）

3人の母として、仕事と育児の辛さと楽しさを両立しながら、自分が知らない価値観を理解、共感して政策策定するため、対話を重ね試行錯誤を続けるデザインアプローチを行政に導入する「ジャパン+D」プロジェクトを2021年度に立ち上げ推進中。

## (4) 及川 賢一（八王子市議会議員、NPO 法人 AKITEN 代表）

行政ができないことはNPOの仲間と一緒に街づくり事業をやり、民間ができないことは議会の場で制度変更を提案や予算付与などを行い、自分たちの住む街だから、自分たちでもっと暮らしやすいように変える仕掛け作りを推進中。

## (5) 末岡 真理子（恵比寿じもと食堂、あきる野100日荘代表）

2016年から地域コミュニティ食堂「えびす地元食堂」を主催。また渋谷区の地域学校総合コーディネーターとして公立の小学校、中学校の放課後クラブのプログラムを地域のリソースを使って設計し学校教育に入れ込む取り組み。2023年から東京都あきる野市の「100日荘」という、生きづらい子どもたちや地域住民が気軽に立ち寄れるサードプレイスの代表を務める。

## (6) 外山 雅暁（デジタル庁 戦略・組織グループ 企画官）

各省庁のメンバーと新しい政策の作り方を考える「ジャパン+D」のチーム活動を推進中。自身は美大でデザインを学び大学院卒業後にアーティスト活動を経て特許庁に入庁。2023年からデジタル庁でサービスデザインの観点で「人を中心に政策を考えていく」ことをデジタルをハブに推進中。

## (7) 浦田 薫（一般社団法人 日本デザインマネジメント協会 特別会員/パリ在住）

幼少期からフランス在住、義務教育は現地日本人小学校で国語教育を受けた。現在はフリーランスジャーナリストとして建築やデザインについて執筆活動中。

(8) 特別コメンテーター：山崎 正明（北翔大学 講師）

中学校の美術教師として、幼児教育や造形美術にも携わった。中学校の学習指導の改定の度に美術授業の時間数が減っていくのに声を上げ様々な活動を推進し先生同士のネットワークを広げた。「美術と自然と教育」というブログや書籍などを通じ主に中学の美術教育についての対外発信を推進中。

(9) 菅原 重昭（一般社団法人 日本デザインマネジメント協会 常任理事）

約 50 年間、トヨタ自動車のデザイン組織でモビリティ開発や人材育成に従事。現在は東京都立大学の教員、上記協会の創造性教育担当理事として活動を牽引中。

(10) 司会進行：高嶋 晋治（一般社団法人 日本デザインマネジメント協会 常任理事）

約 40 年間、トヨタ自動車と本田技術研究所のデザイン組織でモビリティ開発や日本、北米、欧州でのデザイン責任者としてマネジメント、企画、戦略に従事。現在は東京都立産業技術大学院大学や東京造形大学の教員、上記協会の創造性教育担当理事を担当。

## 議題設定

テーマ：「進めよう価値創造、育てよう創造人」

様々な領域で価値創造やその人材育成に取り組む人々から「現在の視点（日本、欧州）」「これからの視点」で各人の取り組み内容から創造性の必要性に関する気づき、重要なポイントを提示してもらい、参加者を含め議論し、創造性教育のあり方の示唆に繋げることを目的とした。

## 発言内容 要約

(1) 現在の視点

田中氏

- ・生徒会活動、委員会活動において学校を自分たちで変革する取り組みを実施。
- ・地域コミュニティで自分たちがやりたいことを失敗を繰り返し実現する取り組みを通じ子どもたちが社会で生きる面白さを教育。

更科氏

- ・文化祭、合唱コンクールを子どもたち主体で考え、ゼロから生み出す難しさに直面する取り組みも 3 年目を迎え、子どもたちがチャレンジして行く姿が見られるようになった。前例踏襲ではなく子どもたちが創造性を発揮できる時間の確保と教員の心持ちも重要。

平山氏

- ・「論理思考的な社会」や「型にはまらないと評価されない社

会」の中で生きている私たちは「創造性の重要性」「個々人の創造性」を普段押し殺していると日頃から感じる。

- ・ Japan +D の活動への自治体や企業からの問い合わせが多く、新しい時代に沿った日本のあり方に自分自身も関与したい、社会に貢献したいと思っている人の多さを体感している。

末岡氏

- ・学校の先生にしかできないことに集中してもらえよう、専門的教育をゲストティーチャーと学校教育の中で課外授業を実施。また子どもたち主体で考えてもらい、施設にも協力してもらい学校を地域に開いていく、地域と繋げていく新しい教育を設計した。

菅原氏

- ・企業のデザイン領域だけでなく経営、エンジニアリング、販売など、広範囲な領域で創造性が必要になり、デザイナーのようなクリエイティブ思考の役割が企業の中でも広がってきている。

(2) 現在の視点 欧州

フランスの義務教育の仕組みについて

- ・義務教育は 2019 年より 3 歳引き下げて「3 歳から 16 歳まで」「教育を受けないことを選択する自由はない」と法律で定められている。親ができるのであれば家庭で同等の教育は認められているが、大半が学校で教育を受けている。
- ・公立学校では中等教育（日本の高校 3 年生）までは無償で受けることができる。
- ・小学校では考えていることを簡単に分かりやすく相手に伝えるという「コミュニケーション能力」を身に付ける教育が目標で、国語の教育を重要視。
- ・中学校を卒業する時点の「ディプロマ」が中学生課程を終えたという終了証明。高校を終了時には国民省が管理する「バカロレア」（高等学校教育の終了認証）の国家試験がある。日本と違い入学受験ではなく卒業時に試験を受ける。

文化への関心を早期から高める事例紹介

事例 1：文化を推奨する仕組み「カルチャーパス」

- ・若者の文化芸術活動を資金的に支援するもの。15 歳から 18 歳以下の若者を対象。文化省とフランス預金供託公庫がその管理と発展を民間企業に委託。
- ・2022 年、正式に発足、国民教育相のほか農業食糧省、軍事省なども加わり、行政と文化関係者や教育環境や地方自治体が連携して、中学校 1 年生から高校 3 年生までを対象。
- ・携帯電話にアプリケーションをダウンロードして、その年齢に応じて金額を充当する。その金額で一人一人が自分の好みの展示会、映画、コンサート、観劇などの文化イベントに参加できるシステム。
- ・15 歳で 1 年間 15 ユーロ、18 歳で 300 ユーロ、を 24 ヶ月使えるもの。

事例 2：映画館の数と人口の比較

- ・日本の人口は 1 億 2000 万人強、フランスの人口は 6700 万人

強、日本全国にあるスクリーン数が2022年は3634軒、それに対しフランス全国で6114軒。映画大国であるが文化的位置づけとしても重要視されている証。人口1万人以下の街にも映画館があることが決して稀ではない。

証言者インタビュー結果（3名）

Aさん

- ・約40年間フランス国民教育省青年省の国語の教師としてパリ近郊の中学高校教師に従事。
- ・高校修了過程のバカロレア試験合格のために、高校1年生の国語授業で演技体験を執筆力の育成として取り入れた。
- ・筋書き構成や韻文などから国語力を身につけ、演じることで高等表現を磨く。その人物になりきり感情移入することで、多感な思春期教育にも貢献。
- ・作文で執筆力を鍛えた結果、作文力が向上しバカロレア試験に挑む準備ができた。
- ・死刑廃止をテーマに過去にいろんな知識人たちが死刑廃止運動演説を書いたテキストを解析や読解しながら、「自分の独創的な意見」を取り入れて演説のための作文を作る。
- ・成人する過程で一市民として社会的な問題に直面することや相手に伝える、伝え切るといって説得するための言葉の意味を理解。

Bさん

- ・建築家であり建築都市環境審議会のアドバイザー、ファシリテーター。建築学校で教鞭。2015年、子どもから大人までを対象に建築都市環境をめぐる文化の橋渡し企業「+ミユ・クレアシオン」を共同設立。
- ・将来的な使い手や担い手となる人たちと対話し設計をするアトリエを数々企画。
- ・建築がテーマだが建築の指導ではなく学ぶことの楽しさを教えている。また高学歴になれなければなるほど、頭でっかちになるので、小さい時から「難しい課題にもひとりひとりが分析、観察、アクションを起こすことで一市民としての意識を高めることは可能である」と伝えている。
- ・「知識だけではなくて方法論を身につけることがとても大切」。方法論を導き出すことは解決策にもつながり、それが創造性だと思う。

Cさん

- ・11歳の娘と8歳の息子の父親で夫婦共働き。
- ・情報が加速して飛び交い、報道も瞬時にされる中で、その内容をその都度、親の立場として子どもたちに明確に伝えていくことは非常に困難。
- ・フランス語は文法や活用、綴りが非常にややこしいが、文章の作り方、構成の仕方、綴りなど国語力は勉強して欲しい。
- ・「他人に対しての寛容性」を学んで欲しい。町には外国人と触れる機会がないので、子どもたちには外に向けての目を開いて欲しい。異なる社会や生活環境に触れる機会を子どもたちに設けたい。
- ・創造性の価値は「自分で考えて、できるようになること」が大切。親も辛抱しないといけないことも多々ある。

フランスの子ども教育 まとめ

- ・フランスの「自発性や個性を育む教育」の枠組みは、「観察～分析～方法論へと導き出すプロセスの修得」「早期から弁論／プレゼンテーションの実践によるコミュニケーション能力の鍛錬」「思春期の感性を大切に教育」である。
- ・「議論は広い考え方を養っていき、それが教育の中でポイント」になる。そしてそれらを取り巻く「国家的な文化活動への支援や枠組み」が積極的にされている。

(3) これからの視点

田中氏

- ・「プロセスこそ学び」「学ぶことの面白さ」を伝えたい。
- ・「繋げる力」「関わる力」「ワクワク感」がテーマ。

更科氏

- ・「ワクワク感」に共感。ワクワクは創造力を高めていくきっかけとして重要。
- ・「他の人と対話する能力」、情報に溢れた世界の中で生きるための「情報処理する能力」、「何事にも共感する力」は重要。自分には関係ないと思ってしまうと何もスタートしない。
- ・学校教育が教室の中に閉じこもらないで人に頼れるところは頼っていききたい。いろんな人にも関わってもらえる環境を作りたい。

平山氏

- ・子どもたちには、新しいものや自分の知らないことがあることを知るため「ウロウロする力」を身につけてもらいたい。
- ・「いじめ」も自分が所属するコミュニティや知っている世界が一つだけだと、そのコミュニティや知っている世界が一つなくなってしまうと自分の生きる道が全部無くなったと感じてしまう。子どもは、自分の生きる世界が一つだと、そこがダメになってしまうと自分で命を絶ってしまうことにも繋がってしまう。

及川氏

- ・フランスのカルチャーバスに興味ある。来年計画中のデジタル地域通貨とも相性が良さそう。(後日、市議会に提案)
- ・子どもたちは想像力で空想やプランを描いて欲しい。
- ・「マネジメント」は「管理」するではなく、「やりくりする力」「何とかしてやる力」である。何かやりたい時に、「何でできないのか、どうしたらできるのかを考える力」を持って欲しい。
- ・親が行政職員、子どもたちが議員の「親子議会」ワークショップ。より良い社会や生活にするために、現状を疑って何が必要なかを自分たちで考えてもらうワークショップを広げたい。

末岡氏

- ・「これから求められる人材のためにこういうカリキュラムをやる」のでは、今までと構造が同じ。
- ・子どもたちは大人の思惑に気づいている、メッセージも伝わる。それでは全くダメ。

- ・大人がこういう力を育んでくださいではなくて、1万人いたら1万通りの育みたい力がそれぞれある。逆に大人側の課題で変に軌道修正しない、邪魔しない、ことが必要。
- ・小さい試行錯誤をして「毎回なんとかする力」。
- ・子供と大人を分けなくて、カテゴライズしないで、「混ざり合う場」の中で子供たちが、「これ何とかしてみたいと思った時に、それを実践できるような場を常設していきたい」

## 高嶋

- ・私もこの活動を始める時に、「あなた、まさかデザイン思考を子どもに教えるつもりじゃないですよね?」と言われた。子供が感じたままに育っていく、それをどうやってサポートして行くかということが大事。

## 外山氏

- ・小中学生に大事なことも、大人にとって大事なことと同じだと感じた。
- ・創造性教育ができる先生がいないというのも、先生がそういうことを教えないといけないと思っているだけで、実際は誰でも創造性は持っていると思う。
- ・私もアーティストから官僚になったのは、別に自分の創造性を発揮する場所で発揮すればいいだけと思ったから。それができない制度や仕組みがあるなら、それは変える必要があると思う。
- ・「ジャパン+D」の活動もやっているうちに、共感して、気づきを得て、課題を発見して、その人たちのために何ができるかを考える大人が創造性を取り戻すためにやっている活動のような気がしている。
- ・大人や子供にかかわらず、そういうことをもう一度見つめ直し、何ができるかを考える必要があると思う。

## 高嶋

- ・私も創造性はみんなが持っているものだと思う。例えば、認知症は記憶がなくなってしまうのではなくて、記憶を引き出せなくなることと言われている。誰もが創造性を持っているが引き出せなくなっている。それを引き出せるきっかけを大人、子供関係なく考えるという事だと感じた。

## 質疑応答

## (1) 質問1 (パネラー)

- ・高3まで義務教育ですか?
- ・映画館が多いということだが、子供だけで行ったりするのにか?

## 回答1

- ・義務教育が3歳から16歳。フランスにも公立と私立があり学校の状況によって異なるが、基本的には中学校から高校に行くための受験はない。編入するなど他の学校に移る場合には、その規定に応じた受験が筆記試験ではなく面接で行われる。
- ・日本と同じように子どもたちだけの移動は社会的な不安もあるので親が引率する。水曜日が丸々一日か午後だけ学校

が休みになることもあるので、その時間に上映数を増やすなど、子どもに応じたプログラミングもされている。

- ・カルチャーパスが15歳からの理由は思春期になると親とは行きたくないという子どもも増え、子どもたちだけで行ける年齢を対象として15歳から成人するまでの18歳になっている。

## (2) 質問2 (会場参加者)

- ・文化庁の研修として全国の小中高の先生の希望者に小中高の美術系カリキュラムをどうするかという研修ワークショップをやったことがある。創造性を育む授業を考える先生たちを対象にしたサポートはあるのか?

## 回答2

- ・私も文化庁の研修に参加したことがある。各地域に研究団体があり、その中で実技研修会が実施されている。
- ・例えば、釧路地域では手作りのクレヨンを作っている方をお招きし、草木染めのやり方のレクチャーを受ける機会があった。釧路などは大学が多くないので専門的な先生にレクチャーを受ける機会が少ないため地域の方を利用するケースは多いと感じる。
- ・これは地域によって差がある。都心の場合には美術大学も多くあるが、地方だと、例えば、美術を教える時に国語の先生がお願いされ、「私は美術の成績は2なので、、、」と嫌がられることがあると聞いた。そういう地域の差を埋める活動は必要だと思う。
- ・山崎先生(特別コメンテーター)の著書で美術教師に向けたスキルやどう伝えるか、導き方をすべきかの事例を紹介されており、このような活動は各所で起こり出している。

## (3) 質問3 (会場参加者)

- ・創造性教育を育む時には、心理的安全な場が必要だと思う。美術の採点は難しい(減点法?)。共感をしてあげたいが、共感しつつも百点満点ではないことが起こり得る。子どもたちがそういうことを分かった上で表現する時に心理的安全な雰囲気は保っているのか? 学校教育の美術に評価が必要か?
- ・iPhoneが最初に出た時、私は価値がわからなかった。あまりにも創造性が高すぎて。子どもたちの表現も最初は価値がわからないと思う。私たちはそこをどう育んでいくかが難しいのでは?
- ・生徒一人ひとり自己表現、主体性のある自己表現なので、自分の価値観、好き嫌いではないのか? 教員は共感してあげたいが、評価できないような厳しい苦しい場合もあるのではないのか? その辺の現場でのジレンマはあるか?

## 回答3

- ・百点満点からの減点という考え方では授業は作っていない。
- ・ここまではまず全員が到達しようという「B基準」を学習指導要領を基に作ります。そこまで至らないのが「C判定」の子です。その子たちをどうやってBにもっていくかが教員の仕事です。そこをさらに上のAに発展できるような子たちに

仕掛けをして、みんなをAに昇華させる授業づくりをしている。これができないからあなたは減点で、最終的にあなたは5段階評価の3という授業ではない。

- ・心理的な安全は大切だと思う。中学生になって美術が嫌いになっていく、それは自分をさらけ出すことに抵抗を感じてくる年代だからでもある。
- ・私の目指している美術の授業は、本当に自分の素を出せるとそれに共感してくれるので興味を持って、その個々の違いが面白いと思えるところを土台にしている。
- ・徹底的に他との違いを子どもたちと一緒に考えていく。「何だ、これっ?」というものもできるが、その何だ、これ?を共に考えていくのが美術ではないかと思う。
- ・子供たちが「先生、ゴミできました」ということもある。自分はゴミと言っているが、他の人にとってみたら、ものすごい発見のこともある。自分なりの価値付けをしていくことによって創造性が高まっていくと考える。
- ・自分はこんな事してみよう、あんなことしてみようとして創造性が発揮されていき、周りがそれを認めてくれたら、どんどん安心する。もっとこんなことしてやろうとか、もっと自分の本当の内面をさらけ出してみようとなっていくと思う。

(4) 全体総評コメント：山崎 正明（北翔大学 講師）

- ・自動車技術会のカーデザインコンテストで、学校教員以外の人たちが「中高生のためにこんなことしているのか!」と驚いたことがある。
- ・中学校の学習指導の改定の度に美術授業の時間数が減り「もうこれ以上減ったら、だめ、何もできない」と、放置できなくなり、誰かが言うしかない、やるしかない、ということで、いろんな中学校の先生に声をかけ活動してきて、いろんな先生ともネットワークができた。今回のシンポジウムでも益々繋がりが広がった。
- ・中学校の美術の先生だけでなく、いろんな立場の人が、創造性についていろんな視点から、議論することはとても有意義である。

#### 4 ヒアリング調査、パネルディスカッションからの考察

ヒアリング調査から下記の大きな3つの必要性が導き出せた。

- (1) 「正しく伝わる啓蒙活動」= 振興機能の必要性。
- (2) 「自発性を重視/体験的で多様/楽しく学べる指導による成長支援」= 育成機能の必要性。
- (3) 「好事例、有効な教材の提供」= 研究機能の必要性。

パネルディスカッションからは下記の重要要素が導き出せた。

- (1) 「自分なりの感じ方/考え」(感性はみんな持っているのに引き出せなくなっている)
- (2) 過去の人間(=大人)の価値観/想像を超える→新しい発想/柔軟性につながる。
- (3) 子どもに「デザイン思考」を教えるのではない。(大人には有効)

これらから「創造性は教えるものではなく、引き出すもの。」ということと大人の世界で役立つスキルを教えるのではなく「子どもなりの考え方/表現」を育てるという基本スタンスが大事であるという考察ができた。

そして創造性教育の対象を小学高学年、中学生、高校生とし、基本ポイントは大人の固定観念を押し付けずに子どもの自己理解/自己有用感を高めること。と定めることができる。

#### 5 おわりに

今後の日本の創造性教育(価値創造人材の育成)の具体的展開の方針としては「価値創造の原動力となる創造性教育の土台づくり」と考える。

思春期世代/保護者/教育関係者が受益者となる「創造性教育アカデミア」として、図8のように

- (1) 自発力=自ら考え行動する力。
  - (2) 目的思考=人生観、職業観への意志、熱意、好奇心などの醸成。
  - (3) 自他の認識=自己肯定感/個性の自覚と他者の尊重/共鳴性の重視。
- といった情操教育(人間力形成)と、
- (4) センス=万物の美を嗅ぎ取る感受性。
  - (5) 創造的問題解決力=未来を築く課題/ヒント/兆しを抽出して、問題を解決する力。
  - (6) 創造技術=①発想力、②表現力、③展開力(昇華力)。
- といった専門教育(創造力形成)により創造性を育てるようになりたい。

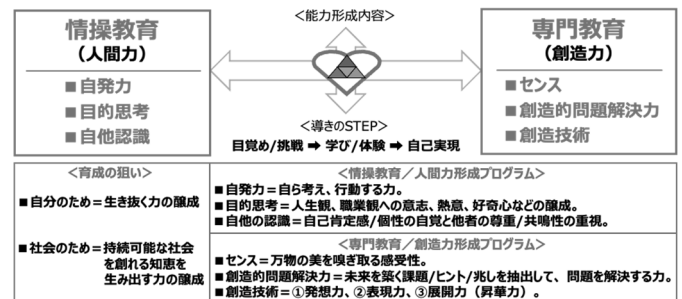


図8 「創造性教育アカデミア」の骨子

そのために図9のように下記の3本柱による「創造人材育成プラットフォーム」の構築を今後、インタビュー調査やシンポジウムを通じ協力いただいた方々を中心に様々な領域の人的ネットワークを活用し具体化する。

- (1) 振興=正しく伝わる啓蒙活動(シンポジウム開催やメディア活用など)
  - ・ 提言/Recommendations
  - ・ 提案/Suggestion
  - ・ 診断/Counseling
- (2) 育成=自発性を重視/体験的で多様/楽しく学べる指導による成長支援
  - ・ 助言/Mentor
  - ・ 指導/Coaching
  - ・ 認定/Authorization



## (3) 研究＝好事例、有効な教材の提供

- ・教材／Educational materials
- ・連携／Alliance

① 振興	<b>正しく伝える啓蒙活動</b> （シンポジウム開催、メディア活用など） ・提言/Recommendations ・提案/Suggestion ・診断/Counseling
② 育成	<b>自発性を重視/体験的で多様/楽しく学べる指導による成長支援</b> ・助言/Mentor ・指導/Coaching ・認定/Authorization
③ 研究	<b>好事例、有効な教材の提供</b> ・教材/Educational materials ・連携/Alliance

図9 「創造人材育成プラットフォーム」の柱

## 参考文献

1. アドビ システムズ 株式会社, 2017 Adobe Education Forum, 「Gen Z in the Classroom: Creating the Future (教室での Z 世代：未来を作る)」, 2017, (visited on 2021) (ウェブ参照)  
<https://www.adobe.com/jp/news-room/news/201706/20170629-japan-gen-z.html>
2. アドビ システムズ 株式会社, 「日本の高校生に関する意識調査」, 2020, (visited on 2021) (ウェブ参照)  
[https://www.adobe.com/jp/news-room/news/202011/20201125\\_adobe-research-for-highschool-students-and-creativity.html](https://www.adobe.com/jp/news-room/news/202011/20201125_adobe-research-for-highschool-students-and-creativity.html)
3. アドビ システムズ 株式会社, 「学校現場における『創造的問題解決能力』育成に関する調査」, 2018,  
<http://cps-japan.adobeeducate.com/japan-study>
4. ベネッセ教育総合研究所, 東京大学社会科学研究所, 共同研究「子どもの生活と学びに関する親子調査 2020」, 2020, (visited on 2021) (ウェブ参照)  
<https://berd.benesse.jp/shotouchutou/research/detail1.php?id=5579>

## PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス:2023 年度の事例

Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2023

中鉢 欣秀<sup>1\*</sup> 大野 寛人<sup>1</sup> 鈴木 真希<sup>1</sup> 中山 建太<sup>1</sup> 平田 聖<sup>1</sup> Fabianmarcelo Fernandez<sup>1</sup> 水野 響<sup>1</sup> 宮原 大<sup>1</sup>  
 Yoshihide Chubachi<sup>\*</sup> Hiroto Ono<sup>1</sup> Maki Suzuki<sup>1</sup> Kento Nakayama<sup>1</sup> Hijiri Hirata<sup>1</sup> Fabianmarcelo Fernandez<sup>1</sup> Hibiki Mizuno<sup>1</sup> Dai  
 Miyahara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Yoshihide Chubachi, yc@aait.ac.jp

**Abstract** Agile development is gaining recognition in the corporate world and is widely adopted for small-scale, quick-turnaround software development. However, in some cases, the actual agile development in companies is only a limited adoption of some of the methods, and the benefits of agile development are not being fully realized. There are also difficulties in introducing a full set of agile development methods, such as lack of experience among members and lack of understanding in the organization. It is highly valuable to provide a place for university education to conduct full-scale Agile development, to gain experience and knowledge, and to acquire Agile development competencies. In this paper, we describe the practices that the authors are implementing in their project-based learning in the first semester of 2023. The significance of learning agile development at universities is that it provides an environment where students can practice an ideal and desirable development methodology in a situation where various external factors such as those that occur in practice are minimized. We need to continue to devise ways to provide a better learning environment.

**Keywords** agile development; project-based learning; software engineer education

## 1 はじめに

企業におけるアジャイル開発の認知度は高まっており、小規模単納期型のソフトウェア開発に広く採用されてきている。しかしながら、実際に企業で行っているアジャイル開発では、手法の一部を限定的に取り入れているに過ぎず、アジャイル開発の恩恵を十分に受けられていないケースが見られる。フルセットのアジャイル開発を導入しようとしてもメンバーに経験が無い、組織の理解が得られていない等の困難さもある。

大学教育において、本格的なアジャイル開発を行い、経験や知識を得てアジャイル開発のコンピテンシーを獲得するための場を提供することの価値は高いと言える。

本論文では、2023 年度前期において筆者らが実践しているプロジェクト型学習で行っているプラクティスについて述べる。

筆者らはアジャイル開発に対応できる技術者の育成を大学における PBL 型教育で行う取り組みを実践している [1-8]。これらは 2012 年度に始まった enPiT[9] のビジネスアプリケーション分野 [10] で大学におけるスクラムの教育から得られた知見を発展させ、実施しているものである。

直近の事例として、2021 年度の実例を文献 [11,12] に、2022 年度の実例を文献 [13,14] で発表している。本論文はこれらに続く 2023 年度の実例であり、本年度前期 PBL 成果発表会にて学生が作成した発表資料と日本ソフトウェア科学会大会講演論文<sup>1)</sup>に基づいて構成したものである。

以下、2. ではプロジェクトのメンバー構成、3. ではプロダクトの決定から開発までの流れを示し、4. で考察し、5. でまとめを行う。

## 2 メンバー構成

本学は社会人学生の比率が高く、情報アーキテクチャコースにおいては情報技術分野に関連する仕事の経験者が多く在学する。

2023 年度は 7 名の学生がプロジェクトに参加している。技術者として経験を有するのはそのうち 4 名である。その内訳は表 1 に

表 1 経験のある技術

技術	人数
Web フロントエンド	1 名
Web バックエンド	3 名
インフラストラクチャ	1 名
未経験	2 名

表 2 スクラムの経験

技術	人数
経験あり	1 人
若干の経験あり	4 人
未経験	2 人

示す通り、Web のフロントエンドの技術、バックエンドの技術、及びインフラストラクチャーに関する技術である。ここでフロントエンドの技術者とは、HTML/CSS/JavaScript を用いて主としてユーザに提供するインターフェース部分に関連する技術を備える者である。次に、バックエンドの技術者とは、Web サーバーやデータベースを用いてサーバーサイドにある主としてロジック部分に関連する技術を有する。最後に、インフラストラクチャーの技術者とは、ネットワーク技術の知識を有することを示す。

本年度は、バックエンドの技術的経験を持つメンバーが比較的多かった。この内 3 名はテックリードとして他のメンバーを指導する役割を担うことのできる技術レベルを有する。

また、スクラムの経験については表 2 に示す。7 名中 5 名が一定の経験を有している。

技術面では 3 名のテックリードがいる一方、スクラムについては全体的に習熟度が低い状況である。特にフルセットのスクラムを経験したものはなかった。

ここで、フルセットのスクラムとはプロジェクトの開始から終結まで一貫としてスクラムによる開発手法を中核として用いることを前提としたシステム開発を行うことを言う。

本年度はこのようなメンバー構成で「スクラムマスターに求められるスキルを身につける」ことを目標に、プロジェクト活動を行っている。

1) 著作権は筆者らが有する

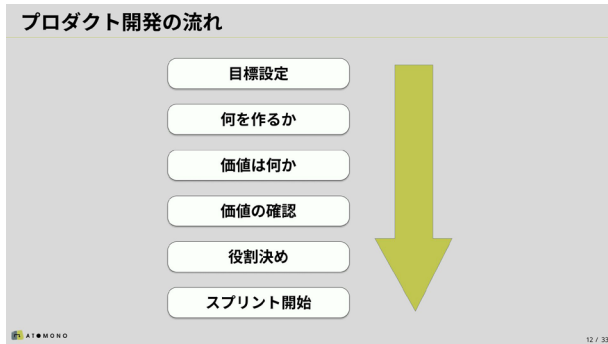


図1 プロダクト開発の流れ

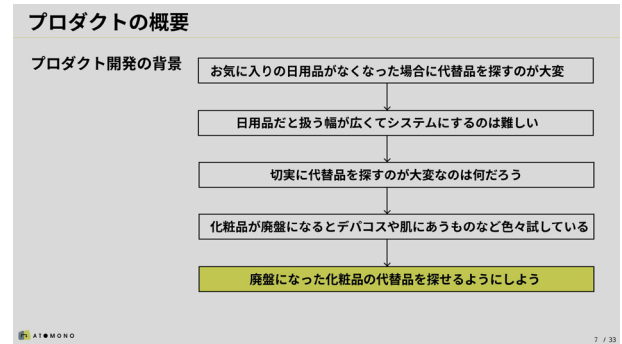


図2 プロダクトの概要

### 3 プロダクトの決定から開発まで

#### 3.1 開発の事前準備

スクラムはソフトウェア開発の手法であり、プロダクトそのものをデザインする方法については言及していない。そのため、プロダクトデザインの方法は開発チームの検討に委ねられる。また、この作業は開発スプリントに入る前に実施する。チームでは次の流れで開発するプロダクトを決定した（図1）。

1. 目標設定
2. 何を作るか
3. 価値は何か
4. 価値の確認
5. 役割決め
6. スプリント開始

以下、それぞれについて説明する。

#### 3.2 目標設定

PBL は学習のメソッドであり、成果はあくまでもチームメンバーがスキルやコンピテンシーの獲得することである。その過程において、実際にソフトウェアプロダクトを開発し、課題解決を行うことで実践的な学びを深めるのがソフトウェア開発型の PBL である。

今年度のチームでは目標として「個人開発スキルの向上」と「スクラムマスターの役割の習得」の2つを掲げた。個人開発スキルについては、向上度合いを可視化するため、各技術レイヤーごとに目標を設定した。

スクラムマスターの役割に関しては、求められるスキルとして次の5つが知られている<sup>2)</sup>。

##### ティーチング (Teaching)

知識や技術を教え与える

**ファシリテティング (Facilitating)** 活動（チーム活動や議論等）を促進する

**メンタリング (Mentoring)** 対話を通じて人生観などに対する気づきを促す

**コーチング (Coaching)** 問題解決や目標達成のための気づきを促す

**シチュエーションナリング (Situationaling)** 状況を把握して対応する

2) [https://www.odd-e.jp/article\\_009\\_1/](https://www.odd-e.jp/article_009_1/)

メンバーはこのうち「メンタリング」を除く4つを獲得することを目標に設定し、知識の習得レベルをパラメーター化することで可視化することにした。

以上のように、学習目標を明確に定め、習得状況を可視化して学習の達成度を明確にすることで、学習の励みになり、学習成果に結びつくことが期待できる。

#### 3.3 何を作るか

プロジェクトで開発するプロダクトを決定するために、アイデアソンを実施した。いくつかのアイデアが得られ、投票を行うことで何を作るかチーム内で合意を形成した。

2023年度前期は「お気に入りの化粧品が廃盤になったときに、代替品をすぐに探せるようにする」サービスをテーマとすることになった（図2）。お気に入りの日用品が販売されなくなった場合に代替品を探すのが大変だというメンバー共通の悩みがあったことから、ターゲットをより限定して日用品のカテゴリを「化粧品」とした。

PBL で開発するソフトウェアを決める際には、PBL の期間内に実装ができる程度の規模感や難易度が望ましい。加えて、チームメンバーが意欲を持って開発に取り組めるかが大きな鍵となる。アイデアソンとアイデアの投票という過程を経て、メンバーの合意のもとでテーマが選定された。

#### 3.4 価値は何か

プロダクトが提供する価値を明確にすることは、完成品が備えるべき機能やサービスを決定するために重要である。「誰が」「なんのために」利用するものなのかを明確に設定しておくことが求められる。

チームでは、ペルソナとして「28歳女性」「一人暮らしの儉約家」「趣味はショッピング」といった属性を定義し、サービスを利用するユーザとして想定した。また、MVP (Minimum Viable Product) として、「化粧品の情報を調べることができる」「化粧品が廃盤になっていることを知るができる」「代替品を探ることができる」等とした。

これらにより、プロダクトの提供する価値についての定義がなされ、開発すべきソフトウェアの姿が明確となった。

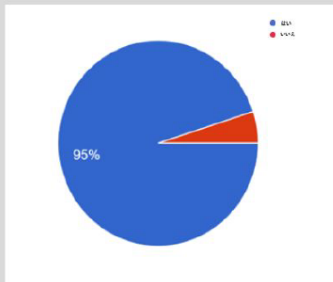
#### 3.5 価値の確認

チームで決定したプロダクトの価値が利用者に受け入れられるか確認するために、アンケートによる市場調査を行った。図3にその結果を示す。18歳以上の女性42人に調査したところ83.3%

・対象者： 18歳以上の女性42人(主に20代～30代)

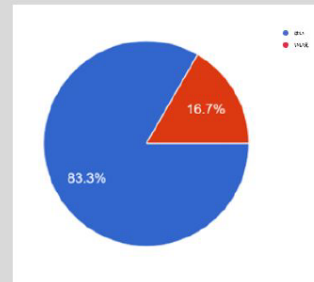
・調査結果（一部抜粋）

Q.使用していた化粧品が生産終了した場合、代替品を探した経験がありますか？



95%が代替品を探したことがあると回答

Q.化粧品が生産終了になった場合、代替品を提案するサービスがあれば利用してみたいですか？



83.3%がサービスを利用してみたいと回答

・代替品を提案するサービスを利用したいと思った理由（抜粋）

- ・調べる手間や時間が省けるため
- ・気に入って使っていた製品ならば、成分や使い心地が似たような代替品があればそれを使ってみたいと思ったから
- ・自分の肌に合うものをまた探すのが面倒だから

図3 市場調査の結果

がこのサービスを利用してみたいと回答した。

加えて、取り扱う商品のカテゴリが近い企業1社の協力を得て、製品の価値に関するインタビューを行い、意見交換をすることができた。

### 3.6 役割決め

開発するプロダクトの概要を決めるとともに、スクラムで開発を行うための役割分担を行った。本年度の開発ではプロダクトオーナーは固定することとした。一方、学習目標に設定した通り、メンバーはスクラムマスターの役割を経験して、必要な能力の獲得を目指しているため、スクラムマスターは毎月ローテーションすることとした。

### 3.7 スプリントの進め方

スプリントの進め方は昨年度の方式を踏襲することとした。スプリントの期間は一週間とし、教員との週次ミーティングを起点とし、一連のスクラムイベントを実施する。詳細については文献[14]で述べている。

チームではKPT方式で振り返りを行い、発生した課題と改善策について話し合った。課題としては次のものがあがり、それぞれについて対策を講じた。

- 会議が長時間になる 各アジェンダに対して時間配分を設定し、ファシリテーションにより時間を管理する
- スケジュールが遅延する プロダクトオーナー、スクラムマスターで定期的にスケジュールを見直す
- KPTのTRYの形骸化 前週のTRYを翌週に確認し、各スプリントのTRYを集約する
- メンバー間のスキル差 テックリードによるSlackでのQAやサポート

その他、チーム内のコミュニケーションを円滑にするための工夫などが課題としてあがり、メンバーが自分たちで考えて克服した。

## 4 考察

このプロジェクトでは立ち上げから終結までアジャイル型の開発プロセスを経験することが大きなテーマである。ITエンジニアは日常の業務で課せられた技術については深く習得する機会がある一方、担当する業務の範囲を超え、プロダクトの企画から実装、運用までの一通りの流れを経験する機会には恵まれないことが多い。

大学におけるPBL型教育において、これら一連の開発工程をすべて経験できることはエンジニアにとっては有益な機会であると捉えている。本年度のプロジェクトでは、アイデアソン、ペルソナの設定、MVPの定義、更には市場調査などの開発エンジニアが普段経験できない事柄を実施することができた。企業へのインタビューについては、社会人「学生」としての立場を有効に活用することで企業の協力が得やすかった側面もある。

近年、企業の実際のプロジェクトでもスクラムの導入は進んできているが、フルセットのスクラムを実施することが難しいことから、スクラムを中途半端に導入していること表す「なんちゃってスクラム」という言葉も耳にする。基本的に忠実に、できるだけフルセットのプロセスを経験することで、スクラムマスターとしての能力向上に寄与できる機会を提供できる。

## 5 関連研究

高等教育におけるPBLチームのプロジェクト及びチーム管理について分析した文献[15]によれば、チーム開発を円滑に進めるためにスクラムマスターとプロダクトオーナーの役割が重要である

ことを学生が認識したことを指摘している。本来、スクラムマスターは、スクラムについて深く理解し、チームが望ましいスクラムの状態を保っていることを判断できるだけの知識や能力を有していることを想定している。しかしながら、初学者はそのような知識を持ち合わせていないため、プロジェクトの経験を積みながら段階的に学習する過程が必要となる。本プロジェクトでは、プロジェクトメンバーが月毎に入れ替わりでスクラムマスターを経験する。このような仕組みは実務では導入しづらいものと考えられ、PBL型の教育だからこそ実現できるものである。

López[16]らは生涯学習における不確実性への対処、適応性、創造性、対話、敬意、思いやりなどの能力を伝達するための教育としてアジャイル開発の基本的な考え方の親和性が高いと述べ、持続可能な開発のための教育(ESD)の観点からの考察を行っている。アジャイル開発はソフトウェア開発手法ではあるものの、根本的にはチームによる協調作業を円滑にする方法論である。本学のような社会人学生が多い教育の場において、様々な背景を持つチームメンバーがコラボレーションするための土台として機能することは本論文で述べた事例においても確認できる。

ソフトウェア開発PBLにおいてスクラムを実施する際、タスクの種類や量が偏りがちになることからチケット駆動を導入し、プロジェクトを定量的に評価する方法が提案されている[17]。本論文で述べた事例ではこのようなチケット駆動を用いた定量的な評価は実施していない。しかしながら、チームが用いているプロジェクト管理ツール等の情報を利用してより定量的な分析に基づきチームの状況を判断するための材料を得ることは可能であるため、今後の研究課題としたい。

## 6 まとめ

本学の情報アーキテクチャコースにおける7つのPBLのうち、ソフトウェア開発をテーマとするプロジェクトの殆どがアジャイル開発やリーン開発を採用するようになった。また、従来はアジャイル開発を経験したことのない学生が大多数であったが、近年は何らかの形でアジャイル開発を経験しており、更に深く学びたいと希望する学生の方が多くなってきている。

その背景には、一部の先駆的な企業以外では、アジャイル開発を部分的にしか導入できていないという現実がある。あるいは、プロダクトのデザインから開発までの一連の流れを全て経験することができていないという状況もある。

このような中において、大学でアジャイル開発を学習する意義は、実務で発生するような様々な外的要因が極力少ない状態で、理想的な望ましい開発方法論を学生が実践できる環境を用意することにある。今後とも、より良い学習環境を提供するために引

き続き工夫をしていく必要がある。

## 参考文献

1. 中鉢. アジャイル技術者育成のための開発方法論教育. 教育システム情報学会(JSiSE2016)第41回全国大会. 2016. pp. 313-313.
2. 中鉢. AIITにおける実践的 Scrum 技術者教育の取り組み. 日本ソフトウェア科学会第33回大会(2016年度)講演論文集. 2016. pp. 1-6.
3. 中鉢, 小山. チームによるアクティブなソフトウェア開発演習のための協調作業スキルセット教育の試行. CIEC(コンピュータ利用教育学会)PCカンファレンス北海道2016. 2016. pp. 1-2.
4. 中鉢. コラボレイティブなチーム開発のためのクラウド型開発環境の習得. 日本e-Learning学会第19回(2016年度)学術講演会. 2016; 152-155.
5. 中鉢, 小山. アジャイル開発技術及び協調作業スキルセット学習のための体系的な教育プログラム. 産業技術大学院大学紀要. 2017; 37-41.
6. 中鉢. enPiT2におけるアジャイル開発技術者教育の取り組み. 産業技術大学院大学紀要. 2017; 73-78.
7. 中鉢, 小山. アジャイル人材育成プログラムの専門職大学院修士課程への導入. 教育システム情報学会第43回全国大会(JSiSE2018). 2018. pp. 425-426.
8. 中鉢. アジャイル開発人材を育成するソフトウェア開発PBLの遠隔実施. FIT2020第19回情報科学技術フォーラム講演論文集. 2020; 1-2.
9. 井上, 楠本, 後藤, 鶴林, 北川. ベタ語義: 実践的情報教育協働ネットワーク enPiT. 情報処理. 2014;55: 194-197.
10. 嵯峨, 渡辺, 木塚, 中鉢, 河辺. ビジネスアプリケーション分野. コンピュータソフトウェア. 2017;34: 1\_24-1\_28. doi:10.11309/jssst.34.1\_24
11. 中鉢, 間, 嵩下, 星野, 森, 保田. PBL型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス~2021年度の事例~. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2021;15: 139-142.
12. 中鉢, 間, 嵩下, 星野, 森, 保田. アジャイル開発人材育成のためのPBL型教育におけるプラクティス: 2021年度プロジェクトの事例. 日本ソフトウェア科学会第38回大会(2021年度)講演論文集. 2021.
13. 中鉢, 天野, 網干, 斎藤, 澤村. PBL型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス~2022年度の事例~. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2023;16: 23-26.
14. 中鉢, 天野, 網干, 斎藤, 澤村. アジャイル開発人材育成のためのPBL型教育におけるプラクティス: 2022年度プロジェクトの事例. 日本ソフトウェア科学会第39回大会(2022年度)講演論文集. 2022; 1-4.
15. Fernandes S, Carvalho JD, Oliveira ATF. Improving the performance of student teams in project-based learning with scrum. Educ Sci (Basel). 2021;11. doi:10.3390/educsci11080444
16. Alcarria AL, Vicente AO, Vilches FP. A systematic review of the use of Agile methodologies in education to foster sustainability competencies. Sustainability (Switzerland). 2019. doi:10.3390/su11102915
17. 井垣, 福安, 佐伯, 松本, 楠本. アジャイルソフトウェア開発教育のためのチケットシステムを用いたプロジェクト定量的評価手法の提案. 情報処理学会論文誌. 2015;56: 701-713. Available: <https://ci.nii.ac.jp/naid/110009877384/>



Open Access This article is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

# 建築産業におけるイノベーション

Innovation in the construction industry

吉田 敏<sup>1\*</sup>

Satoshi Yoshida<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Satoshi Yoshida, yoshida-satoshi@aiit.ac.jp

**Abstract** The concept of innovation has continued to be heard in various places in the country. With regard to the concept of innovation, there is a sense that in recent years it has been taken as 'technological innovation' in the scope of the Japanese language. This is considered to be a misinterpretation. The definition of innovation in this publication is "the phenomenon of creating new value that permeates society by discontinuously changing the practice trajectory of existing economic activities". The purpose of this paper is "to understand the nature of innovation in the context of architectural production and to organise ideas for the future development of architectural production". To date, surprisingly little discussion of innovation has taken place in the field of architectural studies. This would suggest that no one may understand one wing of the industry with regard to its development. Therefore, this study aims to provide a minimal organisation of innovations in building production (planning, design, construction, maintenance, demolition, etc.). In particular, as innovation research is difficult from the standpoint of architecture alone, this study establishes the foundations for the construction of a systematic theory of innovation in building production, while integrating knowledge from architecture, business administration and technology management.

**Keywords** innovation; construction industry; case study; technology management; construction process

## 1 はじめに

ここ10年以上、国内ではイノベーションという概念を様々なところで耳にする状況が継続されてきた。まず、本稿におけるイノベーションの定義は、「既存の経済活動の慣行軌道を非連続に変化させることによって、社会に浸透する新たな価値を創出する現象」とする。本稿の目的は、「建築生産を対象としたイノベーションの本質を理解し、これからの建築生産の発展のための考え方を整理すること」である。

これまで、驚くほど、建築領域でイノベーションの議論が殆ど行われてこなかった。これは、産業の発展に関する片翼を、誰も理解していない可能性を示唆していることになる。そのため、ここでは、建築生産（企画・設計・施工・維持管理・解体など）のなかでも生産活動の中心と考えられる設計と施工に重心を置きながら、イノベーションについて、最低限の整理を行うものである。特に、建築学の単独の視点からだけではイノベーション研究は困難である面を考慮し、建築学・経営学・技術経営学の知見を融合させつつ、建築生産におけるイノベーションの体系的理論構築のための礎の確立を目指すものである。

イノベーションという概念については、近年、日本語の範囲において「技術革新」として捉えられていた感がある。これは、以下のような理由で誤訳であると言わざるを得ないと考えられる。基本的に、この概念は、経済学者であった Schumpeter によってもたらされたものである[1]。Schumpeter は、直接「イノベーション」という言葉を流布させたわけではないものの、経済活動の慣行軌道の変更が経済を発展させるという考え方を明示している。これは、当時、活動の慣行軌道の変更を視野に入れていなかった他の経済学的思想に対して、明確に異を唱えたものであった。言い換えれば、経済的な活動の行動基盤を確信していられる軌道内であれば、これまでの経験と知識で社会や経済の発展に関しても十分対応できるが、世の中の進歩の動きにはそれだけでは説明できないものが多く含まれるということである。つまり、この考え方は、慣行軌道を非連続に変更しながら経済が進歩する現象を捉えたものとなっており、この現象が社会メカニズムの発展に大きな影響を与えていること

を指摘したものである。また、Schumpeter は、このような社会や経済を発展させる流れについての事例として、馬車から鉄道に変わった局面を紹介している。これは、このような発展に対して、馬車を運営する事業体がこれまでの経験や知識では全く乗り切ることができない点を説明し、今日でいうイノベーションの概念を明示しているのである。逆に、小規模農業から大規模農業への移行は、組織化や機械化が行われていくことになるものの、行動基盤を確信していられる範囲、軌道内でこれまでの経験と知識で局面ごとに対応していくことができたとされている。そのため、俯瞰的にみるとこのような2つの流れが両輪となり、社会や経済が発展することが理解されることになる。

また、慣行軌道の変更は、実際の経済活動の中では、以下のような5つの要素を含んでいると指摘されている[1]。

- ・新しい商品の開発
- ・新しい生産方式の導入
- ・新しい販路や市場の開拓
- ・新しい材料供給源の獲得
- ・新しい組織の形成

ここでわかるように、このイノベーションの概念は、技術革新と捉えられる範囲に限られることなく、市場の開拓や、材料や部品の供給減の獲得、そして組織の刷新などを含むものであると考えられる。また、近年では、マネジメントや戦略の非連続的な刷新なども対象とする考え方が指摘されている[2]。また、その対応方法に関する指摘もなされてきた[3]。

このようなイノベーションについて、ここ数年来、国内でも多くの議論が行われてきた。しかし、その範囲や考え方は、全ての対象で同様であったとは言えない。特に、産業領域や製品領域に分けて考えた場合、かなり偏った結果となっている。

本稿では、その中でも極端に議論や推進が少なかった領域の一つとして、建築産業を取り上げていく。国内を中心に考察していくが、建築産業は、世界中どの地域でも主要な産業分野であり、GDP においても小さくない割合を示す産業であるということが出来る。特に、国内において、建築産業でのイノベーションに関する議論は、行政、産業領域内、学術のいずれの範囲においても、極めて少なかったといえる。そのため、ここで

の試みは、一定の意味が生じるものと期している。

## 2 イノベーション理論と建築

### 2.1 イノベーション理論の展開の概要

ここでは、各領域や視点におけるイノベーション研究の概要を見ていく。

まず、つくり手の創造性が、イノベーションの生成に重要な影響を及ぼしていることに言及している研究が少なからずみられる。つくり手の創造性がイノベーションの重要な決定要因の一つであることは、異なる視点の複数の研究で指摘されてきた[4,5]。最小の技術的進歩や漸進的な革新でさえ、つくり手の創造性が重要であるという指摘もある[6]。つくり手の創造性がなければ、どのような組織でも市場や社会のニーズに対応する革新的なソリューションを開発することが困難であると考えられている[7-9]。創造性とイノベーションの間の関係性についての理解を深めるために、既往研究ではさまざまなレベルの分析が進められてきた[10-12]。また、創造性に影響を与える組織的および制度的要因をより詳しく調べた既往研究の知見も存在する[13]。一方、ミクロレベルと組織レベルからの洞察を組み合わせた創造性と革新のモデルの考察については、複数の既往研究が存在する[14-18]。

つくり手の視点以外にも、多くの視点が既往研究で展開されている。開発のアプローチが出現した時間的起源と文脈を議論し、製品等が創出される流れを追ったものや[19-21]、イノベーションや技術革新におけるユーザーの役割を議論したものなど[22-23]、様々な考察が存在している。このような局面は、対象となる製品やサービス分野によって異なる議論が生じ、注目する立場によってさまざまな議論を引き出すことになる。

ここでは、このような多くの議論を参照しながら、建築分野の生産という具体的な対象を前提にし、出来るだけシンプルな体系化をしながらまとめていきたい。それにより、これまで見たことの無い、建築産業のイノベーションの世界を初めて描き、必要な知見を率直に得ることが出来る内容としていく。

### 2.2 建築におけるイノベーションの認識

前述のように、建築生産分野では、イノベーションについての認識や理解が、全くと言ってよいほど進んでいない。建築以外の他産業では、このイノベーションの側面が認識され、発展してきている事例が多い。例えば、iPhoneなどのスマートフォンは、携帯電話の機能に留まらず、携帯電話のデザイン、SNSなどの新しいコミュニケーションの取り方、音楽や映像の楽しみ方、コンテンツや様々なものの買い方などを大きく変え、アプリケーションを加えていくことによる持ち主独自の世界を創り出すことが出来るようになり、爆発的なヒットとなった。また、IBMはスマーター・プラネットという考え方を掲げ、地球上の多くのものが結び付き始めていることを指摘し、無駄を排除した理想化のため合理的に関係づける考え方を示し、スマート・グリッドをはじめ多方面に膨大な影響を及ぼしている。これらは、広くイノベーションという概念で認識されており、建築産業の領域には見当たらない事例と言える。

しかし、建築産業では、そのような意識は殆ど無かったため、

考え方や着目すべきポイントが明確になっていないが、イノベーションにあたる内容が皆無であったとは考え難い。実際にイノベーションと見なすことが出来る行為や活動を実践しても、それらを整理することなく、意識もしてこなかったとすると、感覚的な経験が残っているだけとなり得る。これでは、せっかく創り出した新しい価値が広く浸透する可能性があっても、つくり手がその意味を理解せず、その後の的確な対応や判断が出来ない可能性がある。事実、建築産業では、新しい価値が創出されたと考えられる事例においても、業界慣行による表面的な利益率の悪さなどから、かなり軽視されている高い技術も散見される。そのため、せっかく創り出した貴重な空間や素材、考え方やつくり方などが、一過的なものになってしまう可能性が懸念されることになる。

別の角度から見ると、建築領域でも、いろいろなものが発展していくのには、少しずつ「改善」をくりかえし、徐々に良くなっていくことが考えられる。例えば、2次元CADは、ここ30年ほど同一軌道の中で発展してきたと考えられ、合理的な使用範囲が徐々に広がって作業効率が上がってきたと考えられそうである。また、材料の強度が徐々に向上していく場合など、小さな「改善」を積み上げて対応していることが多いと考えられる。

しかし、このような「改善」のパターンでは、対処できないケースも多く見受けられる。例えば、以下のような場合に、このようなケースが少なからず見られることになる。

- ・大幅な工期やコストの圧縮が必要な場合
- ・今までに事例が無い仕様が望まれた場合
- ・今までに無い素材の使い方をやりたいと思った場合
- ・海外の企業や組織と共同作業をしなければならない場合

このような場合、それまでのやり方や考え方に固執しているのでは対処が難しい場合が多く、それらを一新していく必要があることになる。

逆に言えば、このイノベーションという考え方は、これらの例を考えてみると建築生産業務では日常に試みられていることである。つまり、前述のように、建築生産では、この考え方は極めて当てはまりやすいものであり、すでに長きに渡って実行してきたと考えることが出来る面も存在する。

### 2.3 建築におけるイノベーションの可能性

では、建築領域で、どのようにイノベーションを起こすのであろうか。

建築の生産活動の慣行の軌道内では、自分たちの考え方や知識、経験などの行動の基盤に確信をしている。プロジェクトの推進に際し、課題解決や想定外の事態への対応のために、周囲との関係も持ちつ持たれつで相互調整を繰り返しながら進めていくことが、迅速性を保つことになり、合理的である。ところが、従来と全く違うものを創りだし、そしてそれを可能とするシステムを構築するには、これまでの作業や思考の流れに逆らって進めていく部分が必要となる。

この場合、これまでの経験や知識が、邪魔や障害となってしまいう傾向がある。特に、これまでの慣行を変更すると、設計や施工をする内容に関する推察や洞察に苦慮することになり、な

かなか完全に自信を持って対処方法をまとめていくことが困難になる。そして、これまでの慣行の諸要素が頭に過り、まとめた内容に関してネガティブな証拠となる様々な事項を並べることになる。

しかし、世の中が大きく変化しようとしているときに、設計や施工の一部の業務の内容だけが変わらないでいることは、極めて合理性を欠き、説明することが困難なこととなりえる。また、特別な条件やユーザー側からの新しい要望があった場合、つくり手側としては、それに応えるために新しい考え方を検討しなければならない局面も生じ得ることになる。

Drucker の指摘[3]を参照すると、イノベーションを成功させるには、下記のような変化から機会を見出すことが重要であるということである。

- a) 予期しないことが起こったとき
- b) 現実と理想が乖離する状況
- c) 業務を改善する必要性
- d) 産業特性や市場特性の変化
- e) 関係する対象人口構造の急激な変化
- f) 社会の見方や感じ方の変化
- g) 新しい知識や情報の出現

このように、多くの局面にチャンスはあると言える。そのため、どのようにそのチャンスを生かすかが重要となってくるとも考えられる。それには、一言でいえば、リスク志向では難しく、機会志向であることが極めて重要である[3]。機会を常にうかがい、イノベーションを特別のものと考えすぎず、日常的な業務の中に取り込んでいく必要があると言える。また、常に陳腐化した内容、創造性が無くなった内容については的確な理解をしていく必要がある。

### 3 建築のイノベーション事例

#### 3.1 建築生産におけるイノベーションの主要因子の検討

建築生産のイノベーションについては、そのプロセスの特性を考えながら整理を進めていきたい。前章で、つくり手の創造性の重要性と視点を置く立場による議論の可能性について、既往研究の示唆によりイノベーションを認識するための重要な因子であることを理解した。また、変化を伴う局面が機会となって、イノベーションを促進する可能性に触れた。ここでは、このような内容に加え、建築がプロジェクト型の事業モデルによって生産されていく特性があることを考えていく。

まず、つくり手の創造性を考えると、まさにイノベーションを支える重要な要素であり、これがトリガーとなって新しい価値が創出されることが想定されることになる。また、関与者としての立場によって、異なる可能性が生じ、様々なところに結果が生じることが考えられることになる。本稿では、これらを前提にし、つくられる対象の構成とつくるプロセスに着目することを検討する。また、建築生産のプロジェクトの持つ一過性と複雑性を前提にした場合、プロジェクトのマネジメントにも着目していく必要があると判断できる。これらより、次項では、3つの範疇に分けて、建築のイノベーションの事例をみていく。

#### 3.2 建築のイノベーションの事例

##### 1) つくる対象の構成の非連続な進化

###### 【事例：カーテンウォール】

ニューヨークの国連ビルは、第二次世界大戦直後に建てられたが、外装にそれまでの鋼製のものに代わり、アルミニウムを使用したプレハブを用いており、カーテンウォールの始まりを含蓄した建築物といえよう。そのころ、アルミニウムの加工技術が向上し、安価で精度の高い押し成型技術が可能となった。これは、鋼製の組立てに関する手間よりはるかに工程が簡素になり、精度に加え、工期や価格においても優位となった。特に、コルビジェによる基本設計に対し、実施設計段階で、技術を持つ各企業と協力し、サッシ、方立てなどを工場で加工することによって合理化し、現在のカーテンウォール手法の基礎が確立されたと考えられる。この手法は、ご存知のように、米国だけではなく、日本をはじめ世界中で広まり、社会に広く浸透していったと言える。

このような事例は、規模の大小と関係なく起こり得ることであり、素材や加工技術をはじめ、様々な周辺技術の進歩に支えられたものであり、それらの情報の入手と企業間の協力が重要となる。

###### 【他の事例】

このパターンのイノベーションとしては、パソコンから電気自動車まで生活を変化させるものの中で建築に関連する可能性があるものに対し、建築生産の取り組みにより、意匠から構造・設備の非連続な変化に当てはまる。例えば、設備面の事例としては、電気自動車に関連する建築の内容として、電気自動車のバッテリーを住宅地域全体の蓄電池として活用していく考え方などがあげられる。その他、住宅長寿命化、家歴書、ITを活用したセキュリティ等、様々な方向において可能性が考えられる。このパターンで重要なのが、他産業からの情報収集とその理解である。

##### 2) つくるプロセスの非連続な進化

###### 【事例：ユニットバス】

60年ほど前の東京オリンピック準備において、宿泊施設の絶対数が足りない状況となり、全般的に工事の進捗を早める必要性が生じた局面があった。そのような中、ホテル施設の工期を大幅に短縮する目的で、現場でしか作られたことの無かった水回りに関し、工場においてバスルームのパネル化制作を試みたことがユニットバスが生み出された理由となった。その後、国内の企業が高い技術や品質を発展させ、現在では極めて高い普及率が達成されている。

この事例は、建築産業側から他産業への誘導から始まったイノベーションであり、目的は建築に設置するまでの大幅な工期の短縮であった。そのため、いかに現場施工と比較して品質を落とさずに新しい生産システムを構築するかが目標であったため、現在の国内のメーカーの技術力は国際的にみても極めて高い品質を達成している。

この事例のように、建築産業から関係する製品、部品、素材に対して影響を与えることによって、社会の中に浸透していくような内容がなし得る。ただし、上記の例はオリンピックの準備で急いだという偶然性がきっかけとなっている。このきっかけ



けを、戦略的に考えていくことが家電品や IT などの他産業では多く見られ、大きな価値を創り出している。

#### 【他の事例】

このパターンのイノベーションとしては、プレコンなどのプレファブ化したものは基本的に当てはまる。また、それ以外でも海外でユニット化や大きさなどの標準化をしている素材や部品などを使用することによって、イノベーションをおこすことができる可能性を持つことになる。

別の視点では、生産作業そのものの物件に即した切り分け方や、海外との協働にも新しい合理性を創る機会があると考えられる。

### 3) つくるマネジメントの非連続な進化

#### 【事例：霞が関ビルプロジェクト】

霞が関ビルは、基本的に国内で最初の超高層ビルプロジェクトとして1960年代後半に進められたものである。これは、1959年の東京駅の超高層化計画に端を発し、高層化による有効な土地利用に適応する適正設計震度の研究などが進んだことに端を発したもので、構造体の高層化を中心に国内では未経験なことばかりであった。この時、多くの課題を次々に解いていくため、建設委員会という、施主、設計会社、施工者、関連企業、大学教授など100人近くの重役やエキスパートによる組織が100回以上召集された。この組織は、生産物（超高層ビル）に対する技術的知識・理解が十分でないため、合理的に要素分割することが困難な状況に対応していった（エレベータシャフトの風切り音対策、太陽が当たっている面の湾曲に対する構造体の墨出しの手法など）。各々の知見は、その後のプロジェクトに明確に影響しているものが多い。また、プロジェクト後は、生産システム（超高層ビルの建設）に対する理解がまとめられたことによって、各組織が独立した分業を実施できるようになり、現在の調達方式を築く基盤となった。

#### 【他の事例】

現在の事例としては、基本的に全ての建築プロジェクトに多かれ少なかれ含まれることと考えられる。各プロジェクトは、独自の条件や目的があり、これまでの事例の組み合わせで解けない課題が生じるの方が自然であると考えられる。例えば、東京スカイツリーも課題を持ちながら高さへの挑戦がなされた内容と言える。しかし、技術的なマネジメントの刷新もさることながら、重要な点は、つくり手の技術のみならず、社会がプロジェクトに対して注目したことであり、一つの社会現象を起こしたと言える点である。これは、プロジェクトそのものに社会が価値を感じるという現象を起こしたわけであるが、残念なのは建築産業の中で対応方法が浮かばなかったことである。効果的な対応があれば、より大きな建築側の発信による価値創造できた可能性があったと考えられる。そのため、建築側としては、外部から求められる情報を発信した点にとどまり、建築側から魅力的な側面を外部に浸透させる動きなどは見いだせない状況であった。このように、つくり手側の対応の仕方や考え方も、イノベーションの浸透や確立に大きな影響を及ぼすことを抑えておく必要がある。

上記のように、このようなプロジェクトの課題は、プロジェクトの大小には関係ない。敷地が持つ難しい課題への対応、施

主要望による難しい課題、特殊な用途や仕様による課題など様々なものがほとんどのプロジェクトに含まれる。ただ、そこでの対処方法や知見が社会の中で価値を持つ可能性を追うか追わないかは極めて大きな違いとなりえる。

### 3.3 イノベーション事例の背景と影響因子

#### 1) 周辺技術の革新

前章の事例を俯瞰すると、建築分野におけるイノベーションの可能性は、小さなものから大きなものまで様々な様相であり得る。ただし、「改善」として今までの考え方ややり方を踏襲すれば可能な範囲と、イノベーションとしてこれまでの考え方ややり方の一部を非連続に刷新する必要があることを、明確に分けて整理しながら理解していくことが重要である。また、イノベーションを起こすために、何をどのように変えていこうとするかという点と、どのような新しい価値を創出するのかという点とを、意識しながら整理することによって、明確に方向性が理解できるようになる。

例えば、これまでになかった仕上方法を計画する場合、新しい仕上げ材や下地そのものを考えたり（新製品の創出）、これまでに依頼したことのない領域の専門業者に依頼したり（新しい供給業者との提携）、新しい技術や工法を探したり（新しい生産方式の考案）することが考えられる。また、それらの内容に伴い、計画以後の新しい使用用途や使用範囲を考えたり（新しい市場や流通先の検討）、どのように他の物件にも展開できるか考えたり（新しいビジネスモデルの創出）することが重要になる可能性も生じることが考えられる。

このように、対処する内容を整理して考えることによって、無意識のうちに局所的な価値創造に終わらせるのではなく、広く影響を及ぼす価値を生む機会に結び付ける可能性を大きくすることになる。

#### 2) つくり手の評価と使い手の評価

イノベーションの定義にあるように、イノベーションを起こす場合、社会で認められる価値を創れるかどうかことが重要である。社会で認められる価値は、つくり手側が抱く価値の範囲と、使い手が感じる価値の範囲の二つの範疇が考えられる。しかし、これまでの事例の通り、つくり手側の抱く価値の範囲だけが目立っている傾向が認められる。

このような点から、重要であると考えられるのが、使い手側の視点で考えていくことである。特に見落としがちなのが、建築物の使い手側（施主、テナント、訪問者、管理者、近隣など）がどのような基準でどのように評価をするかということを考察してみる点である。つまり、つくり手は、品質や性能に関して、自分たちで決めた指標や基準に基づいて出来るだけ良いものを目指して作り込むことになるが、その内容は使い手には直接関係しないものや興味がないものが多いと考える。使い手は、自分が必要な内容、興味がある内容に対して注力し、また評価を加えていくことになり、その評価が高いものに対して価値を感じるようになる。しかし、その二つの視点による評価は全く異なる理由に基づいており、一致する評価レベルになるとは言えない。例えば、つくり手の評価が高い公園やオープンスペースが使われず、評価が低い児童公園が地縁的コミュニティを誘

発している事例などは、よく観察し、よく考察し、検討していく必要がある。

### 3) 建築を取り巻く技術と社会の変化

なぜ、近年、このイノベーションという考え方が脚光を浴びてきたかという、基盤技術と呼ばれるコンピュータ技術や通信技術が、飛躍的に発展してきたことが根本的な原因の一部であると考えられる。これは、多くの製品やシステムに強い影響を与え、一般的な社会での生活や価値観に大きな変化を及ぼし始めている。例えば、一人ひとりがスマホを持ち、パソコンを使い、インターネットが当たりまえになり、人々のコミュニケーションの取り方までも変化してきている。これらの人々の生活が変化しつつあることから、建築生産業務にどのような影響が及ぼされるのか、慎重に考えていかなければならない。

例えば、新エネルギー技術、IT、AI、そして通信技術などについて様々な変化が起こっている。そして、住宅レベルでの新エネルギーや地域レベルの蓄電池の活用や、住宅の各機能の自動化などの概念などが取り上げられ、このような複数の他の技術領域の進化に対応しながら、建築生産も進化していく必要性が考えられることになる。つまり、周辺技術の変化は、建築生産業務に徐々に影響を及ぼし始めていると考えられるということである。

一つの事例として、光ファイバー技術による通信のブロードバンド化を挙げて考えてみよう。実は、かなり前から我が国における光ファイバー網はかなり進んでおり、10年以上前からと言ってよいと思われるが、主要エリアについてはすでに幹線道路を中心に殆どで設置済みである。しかし、現状の問題点は、通信産業、通信技術の内容や情報が、建築産業や建築技術に伝わっていないことである。つまり、どのように施主や顧客に説明し、どのように設置していくか、ほとんど建築産業では誰も対応できないことが問題である。そのような中で、2010年11月に、NTT東日本およびNTT西日本は、2025年を目標に電話機用メタル線を廃止し、光ファイバー化を基本とした方針を発表した。これは、実質的には第二の地デジと考えるべき側面を持った内容であったはずである。このような技術の変化は、建築に求められる内容に対して極めて大きな変化をもたらす可能性を持っている。現在議論されているものだけでも、映像情報の配信、セキュリティシステムの刷新、学校や医療関係での活用、緊急時・災害時における活用、複数建築物の高度一元管理など様々な可能性が挙げられている。これらは、建築物の目的の一部に少なからず影響を及ぼすものであり、施主の要望も近々大きく変化していく可能性を表しているものである。

また、膨大な情報が高速に流れ、AIが活用されながら、コンピュータが無尽蔵に出てくる情報を速やかに処理していく世界に推移していくことにより、技術的に様々な可能性が生み出され、建築にも影響を及ぼし始めている。近年、設備機器を中心に建物ごとモニタリングして合理化を進める技術や、建物の設備更新などの履歴を一元的に管理する家歴書の考え方が登場してきた。

注目を集めている新しい技術を使った住環境の整備についての考え方として、スマートシティがある。これは、地域レベルで合理化した交通・物流・エネルギー循環などを、ITを活用

して結びつけ、地域全体で理想的なエネルギー活用をしていく考え方である。エネルギー面だけ考えても、これまでは、建物単位でエネルギーの使い方を考えていく方向性しかなかったため、建築分野にとっては当然一つの建築に閉じた考え方しかなく、すでに確立した手法がある。しかし、地域レベルでのエネルギー活用という新しい考え方により、異なる主要用途の複合化した建築についての考え方や、全体のシステムと個々の建築との関係性など、建築生産にとって新しい知識や情報が必要となってくる可能性が高い。一方、インターネットの普及を中心に、多くの情報技術が発展してきている。そして、このインターネットを利用した、様々なSNSなどの新しいコミュニケーションの手段が急激に普及し、社会全体に対し、広範囲に思いもよらない結果を起こしている。注視する必要のある事例として、通信技術における双方向性という概念が挙げられる。これは、すでに気付いている生産分野の関係者も多いと思われるが、これまで専門知識を持たなかった住宅の施主等も、SNSなどの使用経験から、様々な局面で情報発信が可能となってきた。この場合、発信者が無尽蔵のように現れることになり、この種の情報の持つ可能性は予期することが不可能と考えるべきであろう。これらのことから、スマートシティの概念では、エネルギーだけでなく、情報流、物流、そして人の流れまで、コントロールする対象として議論が進んでいる。

このように、建築生産を取り巻くさまざまな変化の中で、これまでの知識や経験だけを拠り所とし、同じプロセスと同じ組織だけで生産作業を行っていくことは、ある局面で無理が生じる可能性を含んでいると言えよう。つまり、これまでの慣行によって全てを執り行うのではなく、新しい慣行を創り、新しい価値を創り出すイノベーションを起こす必要性について理解しなければならない。

## 4 まとめ

本稿は、これまでほとんど進められてこなかった、建築領域のイノベーション議論を展開したものである。本稿の中で示したように、イノベーションは建築の領域でも多くの事例があり、これまでの領域の発展も、徐々なる進化と共に、イノベーションが片翼を担ってきたことが理解できたと考えられる。

国内におけるイノベーション研究は、欧米の内容を追う形で展開されてきたことが否定できない。そのために、欧米の事例に基づく理論が学術領域の中心となり、また、それらは欧米の社会メカニズムを基盤とする現象であったことは前提として理解しなければならない。ただし、日本の産業界が創り出した事業環境は、明らかに独自性がある。また、日本の組織体も、世界レベルで顧みると高い独自性があると考えられる[24,25]。特に国内の建築産業では、国際的にも高い技術的側面を内包しながら、高い品質を達成してきた面がある。これらは、どのような独自性があり、どのような理由で高い技術が達成できて来たかを理解し、さらなる的確な発展に結び付けていかなければならない。既往研究で、建築のつくり手側が持つ組織的能力についての理解は進められてきた[26]。しかし、非連続性を持つイノベーションについての学術的な議論が欠落していた面も

あると考えられる。

一方、特定の産業領域を中心にイノベーション研究が展開されてきた面があることは、否定しきれない。自動車産業や電子産業などが代表的なイノベーション研究の対象産業領域になるが、むしろ殆ど手がついていない社会的な活動領域は多いと考えられる。有形の製品を開発する領域でも、本稿のターゲットである建築産業や土木産業などは典型と考えられる。また、ものをつくるプロセスを考えても、デザインや意匠性などの検討など、感性に関する内容については、かなり研究が進んでいない面がある。しかし、このような内容は、学術的な議論が必要でないと言い切る理由が見当たらず、むしろ積極的な姿勢が求められるといえる。また、このような有形の製品だけでなく、サービスやシステム、情報、ソリューションなど、人が創っていく対象については、有形の製品と同様の議論が可能であるとされる。また、製品開発だけでなく、医学領域、法学領域、芸術学領域、音楽領域などでも議論は可能であり、今後積極的な学術としての姿勢が求められるのではないだろうか。

本稿は、国内における多くの対象に関するイノベーションの理解についての入り口に過ぎない。今後、様々な対象や領域について、広い視点から多くの議論を展開していくことが必要と考えられる。少しでも多くの研究者が、この点について積極的な活動をしていくことが望まれるのではないだろうか。

## 参考文献

- Shumpeter J.A., *Capitalism, Socialism & Democracy*, Harvard College, 1950.
- 丹羽清, *イノベーション実践論*, 東京大学出版会, 2010.
- Drucker P. F., *Innovation and entrepreneurship*, Harper Business, 2006.
- Amabile, T. M. The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of personality and social psychology*, 1983;45(2): 357-376.
- Baer, M., & Frese, M. Innovation is not enough: climates for initiative and psychological safety, process innovations, and firm performance. *Journal of Organizational Behavior*, 2003;24(1): 45-68.
- Calic, G., Mosakowski, E., Bontis, N., & Helie, S. Is maximising creativity good? The importance of elaboration and internal confidence in producing creative ideas. *Knowledge Management Research & Practice*, 2020;1-16.
- Anderson, N., Potočnik, K., & Zhou, J. Innovation and Creativity in Organizations A State-of-the-Science Review, Prospective Commentary, and Guiding Framework. *Journal of Management*, 2014;40(5): 1297-1333.
- Katila, R., Thatchenkery, S., Christensen, M. Q., & Zenios, S. Is There a Doctor in the House? Expert Product Users, Organizational Roles, and Innovation. *Academy of Management Journal*, 2017;60(6): 2415-2437.
- Verwaeren, B., & Nijstad, B. A. What I do or how I do it - the effect of accountability focus on individual exploration. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 2022;31(3): 421-439.
- Lee, Y.-N., Walsh, J. P., & Wang, J. Creativity in scientific teams: Unpacking novelty and impact. *Research Policy*, 2015;44(3): 684-697.
- Pollok, P., Amft, A., Diener, K., Lüttgens, D., & Piller, F. T. Knowledge diversity and team creativity: How hobbyists beat professional designers in creating novel board games. *Research Policy*, 2021;50(8): 1-15.
- Saroghi, H., Libaers, D., & Burkemper, A. Examining the relationship between creativity and innovation: A meta-analysis of organizational, cultural, and environmental factors. *Journal of Business Venturing*, 2015;30(5): 714-731.
- Heinze, T., Shapira, P., Rogers, J. D., & Senker, J. M. Organizational and institutional influences on creativity in scientific research. *Research Policy*, Special Issue: Emerging Challenges for Science, Technology and Innovation Policy Research: A Reflexive Overview, 2009;38(4): 610-623.
- Eom, B.-Y., & Lee, K. Determinants of industry-academy linkages and their impact on firm performance: The case of Korea as a latecomer in knowledge industrialization. *Research Policy*, Special Section on Government as Entrepreneur, 2010;39(5): 625-639.
- Gong, Y., Kim, T.-Y., Lee, D.-R., & Zhu, J. A Multilevel Model of Team

- Goal Orientation, Information Exchange, and Creativity. *Academy of Management Journal*, 2013;56(3): 827-851.
- Liu, D., Chen, X.-P., & Yao, X. From autonomy to creativity: a multilevel investigation of the mediating role of harmonious passion. *Journal of Applied Psychology*, 2011;96(2): 294-309.
- Motohashi, K. University-industry collaborations in Japan: The role of new technology-based firms in transforming the National Innovation System. *Research Policy*, 2005;34(5): 583-594.
- Revilla, E., & Rodríguez-Prado, B. Building ambidexterity through creativity mechanisms: Contextual drivers of innovation success. *Research Policy*, 2018;47(9): 1611-1625.
- L Soete, B Verspagen, B Ter Weel, *Systems of innovation*, Handbook of the Economics of Innovation 2010;2, 1159-1180.
- Benoit Godin, *National Innovation System: The System Approach in Historical Perspective*, Science, Technology, & Human Values, 2009;Volume 34, Issue 4.
- Lundvall, B.-Å. (ed.), 'Innovation system research: where it came from and where it might go', Globelics Working Paper, No. 2007-01, available at [www.globelics.org](http://www.globelics.org).
- Fagerberg, Jan & Morten Fosaas & Koson Sapprasert, *Innovation: Exploring the knowledge base*, Research Policy, Elsevier, 2011;vol. 41(7), pp. 1132-1153.
- Uriona-Maldonado M., Raimundo N. M. & Gregorio V., State of the art on the Systems of Innovation research: a bibliometrics study up to 2009, *Scientometrics* 2012;91(3).
- 藤本隆宏, *日本のモノづくり哲学*, 日経 BP マーケティング, 2004.
- 吉田敏編著, *技術経営 一MOTの体系と実践一*, 理工図書, 2012.
- 藤本隆宏, 野城智也, 安藤正雄, 吉田敏, *建築ものづくり論*, 有斐閣, 2015.



Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# FDM 式 3D プリンタを活用したロストワックス鑄金による大型作品の造形

Large-scale artwork modeling by lost wax casting using FDM 3D printer

五十嵐 俊治<sup>1\*</sup>  
Toshiharu Igarashi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Toshiharu Igarashi, igarashi-t@aait.ac.jp

**Abstract** This study explored the fusion of technology and art, focusing on the rich history and transition of Shinagawa, and produced a large-scale artwork using the lost-wax casting process with an FDM 3D printer. The process was capable of modeling complex shapes and proved to be more accurate and time-efficient compared to traditional manual methods. Environmental considerations were also taken into account, such as the use of recycled copper and the use of old wood for molding in refractory plaster. Importantly, this technology expands the possibilities for artwork, enabling the creation of more complex and large-scale works. In particular, it has been shown that it is possible to realize designs that are difficult to reproduce with conventional techniques, such as this work, which has a complex spiral structure and layered structure. In the future, it will be important for society to further develop this technology and link it to sustainable art production, including consideration for the environment.

**Keywords** cast metal; 3d printing; fused deposition modeling

## 1 はじめに

鑄造は、古代から現代に至るまで広く使用されている金属加工プロセスの一つである。このプロセスは、金属や他の材料を液体状態から固体状態へ変え、所望の形状を作成するために使用される。金属鑄造は金属製品を製造するための主要な技術の一つとして認識されており、現在でも建設、自動車、航空宇宙、医療機器などの業界で広く使用されている。その技術は時代の中でより効率的かつ精密なプロセスに発展してきており、Holtzer らの研究では、金属製品の生産手段として鑄造産業のシェアが絶えず拡大していることが示されている[1]。

2010 年の世界の鑄物業界の生産量は、ねずみ鉄の生産量が 4,400 万トンであるのに対し、非鉄金属の生産量は 1,500 万トン、鉄鋼の生産量は 1,000 万トンとされており、自動車、一般エンジニアリング、建設業界が主要な市場プレーヤーであることがわかる。さらなる開発における最優先事項は、モデリング、プロトタイピング、および生産とされており、ラピッドプロトタイピングやラピッドキャストリング (RC) などの分野の進歩は鑄造産業の競争力向上に繋がる。

## 2 関連研究

鑄造のプロセスでは、まず金属を溶かし、次に準備した型に流し込み、金属が凝固して冷却された後、型を割り、鑄造された部品を取り出す。部品表面に粗がある場合は、さらに機械での研磨が行われるが、インベストメント鑄造 (ロストワックス鑄造) では、ダイカストや砂型鑄造などの他の鑄造法と並んで、複雑な形状の金属製品を高い寸法精度と優れた表面仕上げで鑄造できることが知られている[2]。

鑄造によるアートの抱える課題の一つに、アーティストの意図した原型のデザインを再現することが難しいことが挙げられるが、あらかじめ収縮率を考慮して原型を作れば、複雑な形状のものを一体化して鑄造することができるため、加工の工程を減らすことができる利点がある。また、ロストワックス鑄造では、抜き勾配やアンダーカットを考慮する必要がない等の特徴を有する。

ロストワックス鑄造の工程は、まず蠟で原型を作り、原型の周りを型の素材となるシリカ、水ガラス、石膏等で重ねる。型が固まったら、内部に残っている原型の蠟を熱で融かして取り除き、型にできた空洞に溶融金属を流し込む。最後に型を取り除き、形を整える。

ロストワックスの優位性としては、設計の自由度が高く、砂型鑄造やダイカストでは成形できない複雑形状やアンダーカット形状の製品を製作できることが挙げられる。通常の切削加工では、コストに見合った加工時間に収まらないことや、プレス鍛造では、アンダーカット等の形状を再現する型作製が困難な場合がある。また、ロストワックスは、ダイカストと異なり、アルミ合金だけでなくステンレスや鉄、銅など、多様な材質を用いることができる。

このロストワックス鑄造の場合、最も難しいのはワックスパターンそのものの型の製作であるが、3D プリンティング技術の活用が、ワックス パターンの製造プロセスを置き換える可能性がある。3D プリンティングはいわゆるインクジェット技術であり、指定された位置でプリントヘッドからの液滴によって粉末層が結合される[3]。ラピッドプロトタイピング鑄造の効率性のために、3D プリンティングを活用した研究は広く行われている[4-7]。Gill らの研究では、アルミニウム部品が鑄造され、実験の結果、そのほとんどが軽合金の鑄造要件に適合する寸法精度を備えていたことが分かっている。3D プリンティングでは、従来の製造および成形方法よりも複雑な構造を作成することが可能であり[8]、寸法精度の向上により多くの部品を一つの部品に統合できることが示されている[9]。

## 3 手法

### 作品テーマ

本制作では、品川の歴史と統合された物語性をテーマに制作を行った。海進期 (10 万年ほど前) の日本列島は、海面が今より 10m ほど高いところにあり、品川地域は古東京湾とよばれ、浅い海が広がっていた。それが、縄文時代の遺跡である大森貝塚であり、大量の貝殻や動物の骨、土器、石器などが出土するなど、約 4,400 年前から生活が営まれていたことが分かる。また、江戸と京都を結ぶ東海道は歌川広重の浮世絵でも知られ、



[左：大森貝塚，中央：東海道五十三次，右：品川停車場]

品川は東海道の最初の宿場町として栄え、外国船の検疫も担っていた。明治維新後、品川は工業地域としての性格を強め、鉄道や工場が次々と建設され始める。特に、日本初の鉄道路線が開通した際、「品川停車場」は「横浜停車場」とともに日本で最初に開業した駅となった。20世紀後半から21世紀にかけては、モノからサービスへの転換が訪れると共に再開発が進められ、オフィスビルや高層マンションが立ち並ぶエリアとなった。全国に様々な地域があるが、品川ほど年代によって役割の変遷があった地域は珍しく、それこそが品川の特徴と考え、海から始まり、様々な変遷を見せてきたこれまでの品川とこれからの品川を表現する方向性とした。

**プロジェクト・ディレクション**

3D プリントを行った後の樹脂に FRP コーティングを施すなどの手法も考えられるが、耐久性の面から、銅の鑄金として制作することとした。形状としては、複数の螺旋が組み合わさってできる形であるが、突き抜けや重ね構造は、通常は鑄金では再現しにくいとされている。そのため、3D モデリング上で行うことで、複雑な造形を可能にした。

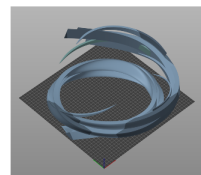
設置スペースはそれほど大きくないため、サイズ感としては成人の 1.5 倍程度を想定し 60cm で制作した。また、設置スペースは白を基調とした背景に、色温度の高いライティングが施されていたため、作品の調和を考えた時に、磨いた銅の発色と、それを際立たせる補色としての藍色を採用した。素材は、再生銅、タンニン鞣し牛革である。銅は、金属の中で最良の部類に入る。耐食性は、“実用性”と“不変性”を示唆しており、補色として挟む革は染色に適し、エイジングによって経年変化を楽しむ“可変性”を示唆している。

また、大型制作を行うにあたっては、小さな作品を制作するよりも資材のロスなどが大きくなるため、環境への配慮が不可欠である。そのため、流し込む銅は、再生銅を活用し、耐火石膏で使用する古材（アンツーカー）を再利用している。また、3D モデルの印刷後に粘土での成形やシリコンでの型取りを行わないということも、エコに繋がっている。

**制作**

まず、fusion 360[10]を用いて 3D モデルの作成を行った。その後、FDM 式 3D プリンタを活用して、蠟型をそのまま印刷した。印刷された蠟型に湯道と湯口の取り付けを行い、古材・アンツ

カー・石膏を混ぜた耐火石膏で型取りを行い、大型電気炉で焼成した。48時間の焼成後、土間に設置し銅の流し込みを行った。余熱が引いた後に、石膏型を割り、造形物を取り出し、研磨を行った。研磨に関しては、物理研磨だけでは機材や手が入りにくい部分があるため、塩酸と過酸化水素水を用いた化学研磨を実施した。



① 3Dモデルの作成



② ろう型の印刷



③ 湯口・湯道の取付



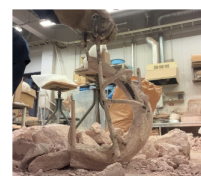
④ 耐火石膏で型取り



⑤ 大型電気炉で焼成



⑥ 鑄造



⑦ 型割り&再利用



⑧ 物理研磨



⑨ 化学研磨

**4 結果**

本研究では、FDM 式 3D プリンタを活用したロストワックス鑄金によって、人間の手では制作することの難しい複雑な形状の大型アート作品を造形することができることを実証した。

今回の実証を通して、FDM 式 3D プリンタを活用することで、人間が素手で大型の原型を作成し型を取り、蠟を流し込んでロストワックス原型を作成する工程を挟まずにそのまま蠟型を成形し、銅の複雑な形の大型鑄造ができることが確認された。また、造形された作品の評価としては AAC 立体アートコンペティションにおいて優秀賞に選出された。



## 5 議論

先行研究の中では、光造形式 3D プリンタでロストワックスレジンを活用した複雑な造形の小型ジュエリーなどの制作事例がある。しかし、光造形式 3D プリンタで出力する場合は、吊り下げ型になるため、小型の安定した形状でないと印刷時にモデルの脱落やラフトしか印刷されないといった印刷不良を起すことが知られている。特に大型造形を意図した場合に、印刷時間だけでなく、レジンの使用量も増加するため、印刷失敗による時間・金銭的成本が大きくなることはアーティストの目線では避けたいリスクである。一方で、FDM 式 3D プリンタではフィラメントを積層していく形でモデルが出力されることがメリットとして挙げられ、今回のモデル形状においても安定した出力を得ることができた点は有意な知見であると考えられる。

今回は、ロストワックス原型を 3D プリンタで出力した後に、湯の流れをシミュレーションしながら湯道・湯口の取り付けを手作業で実施している。しかし、ハンダごてなどを用いて固形の蠟を溶かしながら、湯道・湯口を取り付ける作業は時間を要するだけでなく、滴下した蠟による火傷の危険性もある。そのため、湯道・湯口の取り付けに関しても、3D モデリングの際に行うことで、さらなる工程の簡略化と安全性の向上が期待できると考えられる。

また、FDM 式 3D プリンタを活用した場合、積層痕が蠟型にも残ることが確認された。そのため、作品に積層痕を残す意図がない場合は、耐火石膏で型取り前に積層痕を消した状態で電気炉での焼成を行うことが推奨される。

一方で、人の手では制作しにくい複雑な形状ということは、鋳造した後の工程も難しいということである。特に鋳造した金属の研磨には、ディスクグラインダーやルーターといった研磨機材を用いることがあるが、これらが使用できない部分も今回の形状にはあった。アート作品に研磨機材を用いる場合は、場所によって研磨のムラが見られないよう全ての箇所同等程度の研磨を行うのが一般的である。人手による研磨以外にも今回用いた化学研磨、バレル研磨やウォーターブラストといった手法も考えられるため、研磨を行う手法についてはさらなる研究が必要になると考えられる。

## 6 結論

本研究では、品川の豊かな歴史と変遷をテーマに、技術とアートの融合を追求し、FDM 式 3D プリンタを用いたロストワックス鋳造法による大型アート作品の制作を行った。このプロセスは、複雑な形状の造形が可能であり、従来の手作業による方法と比較して、より精度が高く、時間効率が良いことを実証した。また、再生銅の使用や耐火石膏での型取りに古材を使用するなど、環境への配慮も行われた。

重要なのは、この技術がアート作品の可能性を広げ、より複雑で大規模な作品の制作を可能にする点である。特に、複雑な螺旋構造や重ね構造を有する本作品のような、従来の技術では再現が困難であったデザインも実現可能であることが示された。今後、この技術をさらに発展させ、環境への配慮を含めた持続可能なアート制作へとつなげていくことが、社会にとっても重要であると考えられる。

## 7 謝辞

本研究は、東京藝術大学鋳金研究室の協力を得て実施された。

## 参考文献

- Holtzer, M.; Daňko, R.; Żmankowska-Kumon, S. Foundry industry—current state and future development. *Metalurgija* 2012, 51, 337–340.
- Kalpakjian, S.; Schmid, S.R. *Manufacturing Engineering Technology*; Dorling Kindersley Pvt Ltd.; Pearson Educ.: London, UK, 2009.
- Zhang, H.; Zhu, T.; Cao, S.; Shu, X.; Sun, B.; Hu, Y. 3DP System Development Based on Lnkjet Printer and its Experimental Research. *Mach. Des. Manuf.* 2012, 7. Available online: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTotal-JSYZ201207046.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-JSYZ201207046.htm) (accessed on 12 October 2020).
- Gill, S.S.; Kaplas, M. Efficacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid casting of light alloys. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2011, 52, 53–64.
- Upadhyay, M.; Sivarupan, T.; El Mansori, M. 3D printing for rapid sand casting—A review. *J. Manuf. Process.* 2017, 29, 211–220.
- Marwah, O.M.F.; Sharif, S.; Zainol, M.A.; Ibrahim, M.; Mohamad, E.J. 3D printer patterns evaluation for direct investment casting. *Appl. Mech. Mater.* 2014, 465–466, 1400–1403.
- Seleznov, M.; Shulz, B.; Cornie, J.; Zhang, S.; Sachs, E.; Serdy, J.; Cima, M. Novel Near-Net-Shape Tool-Less Method for Manufacturing of Cast Metal Matrix Composites: Three-Dimensional Printing (3DP) of Ceramic Preforms Combined with Investment Casting Technology. *SAE Trans.* 2000, 109, 235–242.
- Thomas Birtchnell, John Urry, 3D, SF and the future, *Futures*, Volume 50, 2013, Pages 25-34, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.03.005>.
- Wood K, Ravi S (2015) Design considerations for three dimensional printed cores and molds, 119th Metal casting Congress: 24–29
- <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>

# 楽器中心設計に基づく人間形サクソフォン演奏ロボットの開発研究

Development of an anthropomorphic saxophonist robot based on instrument-centered design

内山 純<sup>1,2\*</sup> 橋本 智行<sup>1</sup> 近藤 嘉男<sup>1,2</sup> 林 家宇<sup>2</sup> 高西 淳夫<sup>2</sup>

Jun Uchiyama<sup>1,2\*</sup> Toshiyuki Hashimoto<sup>1</sup> Yoshio Kondo<sup>1,2</sup> Jia-Yeu LIN<sup>2</sup> Atsuo Takanishi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>早稲田大学 Waseda University

\*Corresponding author: jun-uchiyoama@aait.ac.jp

**Abstract** As robotics continues to evolve, a growing interest is in developing humanoid robots designed to integrate seamlessly into human activities. Central to this endeavor is crafting an anthropomorphic saxophonist robot, embodying both musical prowess and emotional resonance. While traditional designs focused on intricate mimicry of human organs, they presented inherent challenges regarding their structural complexity. A novel approach derived from design thinking, termed "Instrument-centered Design," was proposed to address these challenges. By considering the instrument at the core of the robot's design, this methodology eliminated preconceived notions and achieved significant miniaturization. Furthermore, by integrating soft materials into the robot's fingertips, sound quality has been enhanced, especially in the lower registers.

**Keywords** anthropomorphic saxophonist robot; instrument-centered design; soft material

## 1 はじめに

これまでロボット産業は主に製造分野の産業用ロボットとして発展してきたが、近年は非製造分野、特にサービス分野での進展が著しい[1]。なかでも人々の日常生活の支援を目的とするロボットは「パートナーロボット」[2]と呼ばれ、家事支援や介護支援、店舗での接客サービスにも普及している。さらに、最近では革新的な人間形パートナーロボットへの挑戦も始まっている。

一方、人間形ロボット[3]の研究は人間（生物）を究極の模範として、実証的なロボットの開発を通して人間の心身メカニズムの解明を目指しロボット設計方法論の確立を探求している。模範とする人間を演奏家としたロボットの研究では、「巧みで力強い楽器演奏パフォーマンス」だけでなく、感情を伴う「豊かなユーザーインタラクション」も必要となる。

早稲田大学、高西淳夫研究室では1990年から人間形楽器演奏ロボットの研究及び開発を進めている[4]。ロボットの規範は人間であり、ロボットの開発を通じて人の心と体のメカニズムを追求することが研究目的である。楽器演奏者は高度な演奏技術を持ち、演奏を通じて人々に共感を呼び起こす。よって、楽器演奏ロボットの開発研究はロボティクス研究の重要な分野の一つと言える。人間形フルート奏者ロボットの研究を開始し、2008年以降は、人型サクソフォン奏者ロボットの開発に焦点を当ててきた。多岐にわたる表現で多様なジャンルをこなすアルト・サクソフォンを使用楽器とすることは、挑戦的であると同時に最適な研究課題である。

## 2 概要

本研究は、観客を引きつけ音楽家と感情的なコミュニケーションができる人間形サクソフォン演奏ロボットの開発を目指している。直近の『WAS-5』(Waseda Anthropomorphic Saxophonist robot No.5)は第5世代目となり、人間の臓器を模倣し、その性能を向上させてきた。しかし、研究の進展に伴いロボットは複雑さを増し、大型化を余儀なくされ、人間とのインタラクションを難しくさせている。

そこで、著者らはこれらの課題を解決するために、構造の簡

素化と小型化を目指した新ハードウェアプラットフォーム開発に取り組んでいる。音楽を通して、人とのインタラクション研究に活用するという本来の開発目的に立ち返るためには、ブレイクスルーが必要と考え、開発にあたって課題解決の突破口を探るための試みとして、プロダクトデザインプロセスを取り入れた[5]。演奏の観察と体験から、音を奏でる楽器を中心に捉え、楽器と人間（ロボット）との接点を改めて見直し、サクソフォンを中心に据えて再構築を行った。

結果は同じであるはずだが、演奏するロボット（人間）側の視点ではなく楽器側の視点で（時には、さらに多面的な視点で）考察することにより、課題発見を促す狙いがあり、課題解決の糸口となることを狙っている。

このアプローチを「楽器中心設計」と呼び、『WAS-X』開発コンセプトとした。非連続的なアプローチにより開発を進めたことから『WAS-6』ではなく『WAS-X』(Waseda Anthropomorphic Saxophonist robot X)と名付けられた。

2019年は、楽器の保持の仕方に着目して、人間と同様なネックストラップを用いた保持を可能とするフレームを作成し[6]、続いて2022年には、安定した2オクターブの吹鳴を可能とした[7]。さらに、2023年は、軟素材のチップを指先に装着することによって、吹鳴の安定性を高め、低音域の音質を改善している[8]。

以降、3章では、楽器中心デザインについて述べ、現状の『WAS-5』の課題を確認し、プロダクトデザインプロセス[5]を活用した新ハードウェアプラットフォーム『WAS-X』の開発コンセプトを提示する。第4章では『WAS-X』開発プロセスを示す。第5章では評価結果を分析し、議論を行う。まとめとして、第6章では結論と今後の課題を示す。

## 3 課題抽出と解決手法

### プロダクトデザインプロセスを取り入れたロボット開発

前章で述べたように、第5世代となる『WAS-5』は31自由度を有し、ハードウェアプラットフォームとして研究を継続している。しかし、制御性向上のために構造が複雑化し大型化を余儀なくされ、ユーザーインタラクション研究への道を閉ざしている。加えて、吹鳴のための調整は煩雑となり、楽器の冗長

な拘束は音質の低下を招いている。

開発にあたって、課題解決の突破口を探るための試みとして、「デザイン思考」[9]のマインドセットを基礎においたプロダクトデザインプロセスを取り入れた。

「デザイン思考」は、スタンフォード大学の Hasso Plattner Institute of Design（通称 d. School）が提唱している「5つのデザイン思考プロセス」と、イギリスの公的機関であるデザイン・カウンシルの「ダブルダイヤモンド」が良く知られている。

d. School「5つのデザイン思考プロセス」[10]は以下の5つのプロセスを上げている。

- ・ Empathize
- ・ Define
- ・ Ideate
- ・ Prototype
- ・ Test

一方、デザイン・カウンシルの「ダブルダイヤモンド」は、以下の4つのDで始まるプロセスを、2回繰り返す課題解決方法である。

- ・ Discover
- ・ Define
- ・ Develop
- ・ Deliver

d. School の「5つのデザイン思考プロセス」も、デザイン・カウンシルの「ダブルダイヤモンド」も、本質的には同じプロセスを踏むフレームワークである。

両者とも、一般的な手順通りのプロセスを示しているが、プロセスの順番は厳密には定義されていない。d. School の創設者である IDEO のティムブラウンは、プロセスではなく、以下のマインドセットを身に着けることが重要としている。

- ・ It's Human-Centered.
- ・ It's Collaborative.
- ・ It's Optimistic.
- ・ It's Experimental

「デザイン思考」は、各分野で活用されているデザインプロセスや思考法を、ビジネス向けにアレンジしたもので、こちらの方が話題となっているが、d. School は、MIT の創造工学研究室を立ちあげたプロダクトデザイナーであり、エンジニアでもあるジョン・アーノルドにそのルーツがあるという。アーノルドはスタンフォードに招かれたが、急死により、その意思が同僚のロバート・マッキムと弟子のジェームス・アダムスに受け継がれた。d. School を立ち上げた IDEO のデイヴィッド・ケリーは、マッキムの弟子で、アダムスの授業を聞いていたとのことである[11]。

機械工学科を中心とした 'Creative Design' の教育が引き継がれ、今の「デザイン思考」につながっていることは興味深い[12]。

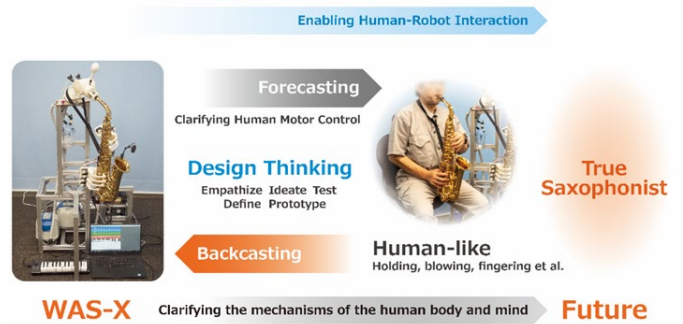


図1 “WAS-X” Design Concept [8]

楽器中心デザイン

デザイン思考では、ユーザ体験を観察・体験することでユーザに共感し、顕在化、潜在化した問題を解決する。この場合、機器やシステムは「ユーザ中心」で設計される。「ユーザ中心設計」は、最も価値のある人間がユーザであることから、基本的には「人間中心設計」と同じ考え方である。

一方、サクソフォン奏者は、自身の楽器をまるで大切なパートナーのように敬意を持って扱う。演奏者にとっては「共感」する対象は人間ではなく、楽器の「アルト・サクソフォン」であるとみることができる。少し違和感を覚えるかもしれないが、先入観を取り払うことが目的であり、本研究では「アルト・サクソフォン」を「ユーザ」に見立て、「楽器中心」のアプローチを行った（図2）。

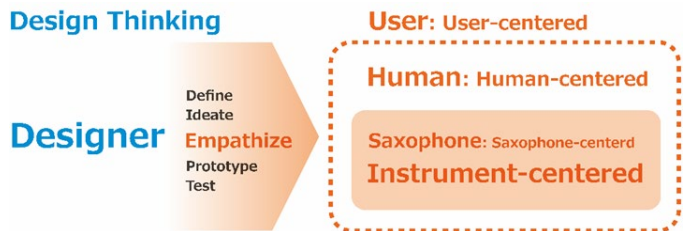


図2 Empathetic Targets in Design Thinking

著者らは、サクソフォンの演奏を観察し、体験しながら『WAS-X』の設計を進めた。サクソフォン演奏家は楽器を操作して音を出す。『WAS-X』が演奏家の代わりに操作する。サクソフォン側の視点で考えると、どのような操作が、どのようにされると発音するのか、ということ考察することは、設計を進める上で多くの示唆を与える（図3）。



図3 Instrument-centered design conceptual diagram



「楽器中心」を基本とした開発プロセスは、共感的な気づきを得ながら、複数案のプロトタイピングを繰り返す非連続的なプロセスで進められるため、定量的な方法論の評価は容易ではない。しかし、ロボットにとって安定した吹鳴自体が難しい状況であり、「サクソフォンが音を奏でる」ことを初期の目標としていることから、評価はかなり明快なものとなる。発音が安定して持続できるか否かを確認し、試行錯誤を迅速に繰り返すことができる。

『WAS-X』の開発プロセス全体は、3D プリンタ (Stratasys Objet260 Connex1)、レーザー加工機 (Trotec Speedy 300) などのラピッドプロトタイピングツールを活用した、3DCAD データの作成には、PTC Creo parametric を使用し、アルト・サクソフォンは YAMAHA YAS-475、マウスピースは AS4C、リードは Legere Alto sax studio cut 2 とした。

『WAS-5』の課題抽出

現在第5世代となる『WAS-5』は、人間の臓器を忠実に再現し、その機能を模倣し、人間の運動制御を工学的に研究するために開発され、管楽器における音の発生機構の解明に貢献してきた[13-15]。しかし、フォアキャストイングに重点を置いた設計のアプローチは、各部を個別に改良することに着目していたため、ロボットの全体の最適化は不十分であった。汎用の流量計や空気回路制御弁は、応答性能に悪影響を及ぼし、人間の口腔圧は 5 kPa 程度にもかかわらず[16]、動的に求められる口腔圧の調整は難しい。また、口唇機構は、より繊細な調整が要求されている。運指と指の初期設定も煩雑で、すべての音階の運指が実現できていない。

『WAS-5』は、実験的にユーザとの感情コミュニケーションに活用されているが[17, 18]、ロボットを正しく機能させ、制御するためには、機械的に冗長な拘束が避けられない (図 4 (b), (c))。大きさも人間の平均より 30%ほど大きく (図 4)、ユーザに威圧感や複雑な印象を与えている。加えて、楽器との位置合わせも熟練も必要である。

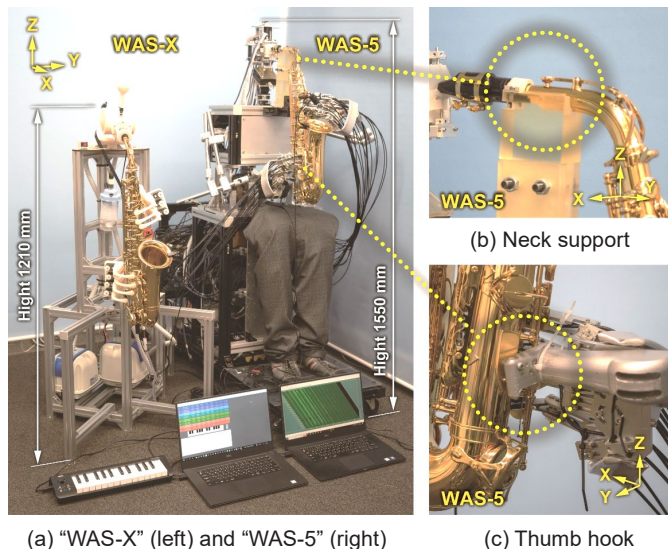


図 4 WAS (Waseda Anthropomorphic Saxophonist)

4 『WAS-X』開発

楽器保持メカニズム

『WAS-X』は、将来的にユーザとの対話に活用されることが想定されるため、ユーザが威圧感を感じないようなサイズにすることを目指している。「楽器中心」の視点でサクソフォン奏者の楽器の構え方を観察し、サクソフォンの演奏教本[19]を参考に開発を進めた。サクソフォンをネックストラップで首から下げ、マウスピースを上顎中切歯に当て、右手親指をサムフック、左手親指をサムレストに乗せ、他の指をキーに軽く添える。このことにより、煩雑な拘束から解放され、豊かな音色を奏でることが示唆される。

表 1 は、人間と『WAS』の楽器保持の違いをまとめたものである。『WAS-5』の構造は、サクソフォンは筐体 (地面) に固定され、ネックストラップやサムレストは活用されていない。これに対して、人間の演奏者は、ネックストラップでサクソフォンを首に掛け、楽器の重さを全身で支えることで腕の負担を軽減している。楽器の重心はネックストラップのリングよりやや低い位置にあり、プレイヤーの体から約 50 mm 離れている。ネックストラップは、プレイヤーが左右の親指で押すことで簡単にサクソフォンを回転させることができるため、楽器の調整を素早く行うことができるだけでなく、オクターブキーを押す際にも、楽器の重さが操作の助けになる。

表 1 Comparison of saxophone holding method

	Human	Robot	
		WAS-5	WAS-X
Reference point and flexibility	Flexible attached to the human body	Fixed to robot chassis	Flexible attached to sax reference
Neck strap	Neck strap	No use	Neck strap
Thumb hook	Right thumb	Robot chassis	Instrument chassis
Thumb rest	Left thumb	No use	Robot arm chassis
Mouthpiece	Upper anterior teeth and lips	Adjustable lips, no teeth	Upper anterior teeth and lips
Fingers	3 phalanges fingers	3 phalanges fingers	1 phalanges finger

開発に際して、人間の楽器保持を模倣するためにサクソフォンを持った人間の着座姿勢を 3D スキャンし、そのデータを『WAS-X』のリファレンスとして活用した。図 5 は、スキャンした状況を筆者が再現したものである。初期段階として、3D スキャンのデータを基にアルミ製の筐体を製作し、ネックストラップでサクソフォンを吊るし、楽器保持の検証を行った。正しい保持姿勢を確定した後、指を正しい位置に装着するためのアルミサッシのヒンジをサムフック付近に取り付けている。



(a) Oblique view (b) Front view

図 5 “WAS-X” sax holding compared to human seated posture

運指システム

演奏教本によると、演奏者は、サクソフォンを構える際に、サムフックを右手の基準とし、サムレストを左手の基準としている。構えの状態ではすべての指を軽くキーにのせる。『WAS-X』においては、各親指を基準として、基本の構えの状態では指を配置することにより、位置調整が不要となると考えた(図6)。

キーの稼動範囲も 5 mm から 10 mm と非常に狭く、基本キーの多くは、指先の丸みが軌道から外れないように窪みが施され、バネ機構によりキーが自動的に復帰する。これらにより、人間の MP 関節を模擬した 1 自由度のシンプルな機構で基本的な運指が可能となる。小型のサーボモータを使用し、短いワイヤー駆動とすることで、初期設定不要かつキーの軌道を柔軟に追従可能な指の実現を目指した(図7)。

指のフレームには、PP ライク樹脂 RGD 450 (Stratasys) を採用している。



(a) Finger holding position (b) Lips and oral cavity position

図 6 Human holding posture

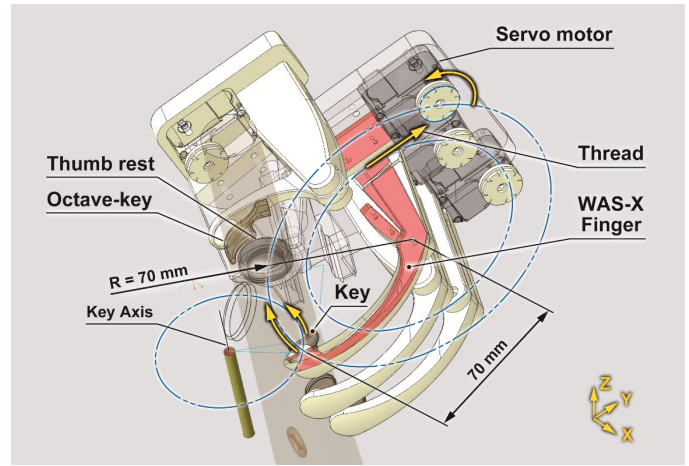


図 7 Section of the finger and the key mechanism

口唇・口腔システム

サクソフォンは、とても表現力が豊かな楽器で、舌、頬、口唇、口腔、喉、横隔膜などの関連器官を連携させて空気の流れをコントロールして吹鳴を実現する。正確な空気のコントロールは、サクソフォン演奏の最も重要な技術であり、演奏教本では、アンブシュアの重要性を指摘している。演奏者は複数の器官を複雑に連携させながら吹き、口輪筋の助けを借りて口の中の気密性を保ち、同時にマウスピースを上前歯にしっかり当てながらリードを中心に下唇を微妙に調整する。サクソフォンのビブラートは、主にこのようなやり方で行われる。

『WAS-5』の場合、マウスピースとリードを柔らかいシリコーンゴム素材で挟み、その開口部を金属製のアクチュエーターで制御している。しかし、この方式では、異なるマウスピースのデザインに合わせた開口部のキャリブレーションやダイナミックな調整が非常に難しく、しかも空気漏れが発生しやすい。演奏教本や人間の吹き方の観察・経験では、上顎の前歯を位置決め基準として活用している。これを手掛かりに試行錯誤を重ねた(図8)。

実証実験

『WAS-X』の構成試作機を検証するために、2つの実験を行った。最初に、ロボットがサクソフォンを演奏できるかどうか、どの程度まで演奏できるかを確認した。

同時に、人間が演奏した場合、『WAS-5』が演奏した場合、『WAS-X』が演奏した場合のサクソフォンの吹鳴を倍音成分の周波数成分を比較した。基準となる音は、すべてのキーが解放された状態に相当する E4 音を選択した。

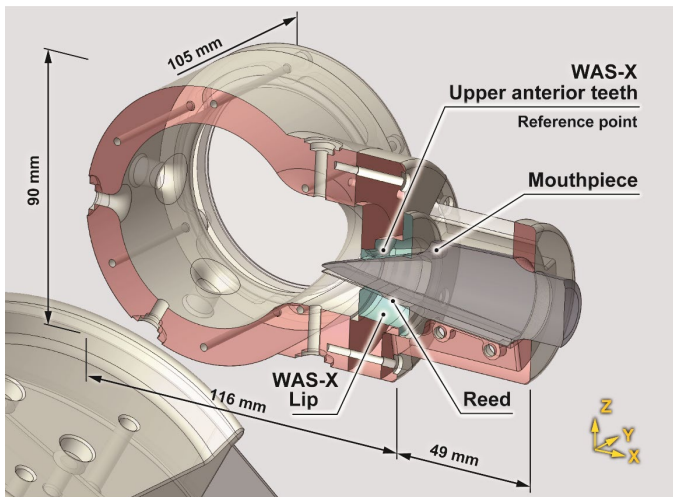


図 8 Section of the lip and the oral cavity mechanism

## 5 評価・分析と考察

今回開発した、人間がサクソフォンを持つ姿を模擬したロボット『WAS-X』は、構造を簡略化し、制御を大幅に小型化・簡略化したことにより、MIDI 入力にて E♭3 から E♭5 まで 2 オクターブ演奏できることを確認した。サクソフォンの持ち方が音質にどのように影響するかを検証するために、FFT 解析による視覚化を行い倍音成分の相対レベルを比較した。

### 保持メカニズム

人間が座った姿勢で楽器を持つ様子を観察し、ネックストラップで楽器を吊るす筐体を開発した(図 5)。しかし、親指フック付近を軸とした 1 自由度のヒンジ構造であるため、人間の保持姿勢を模擬するには十分ではない。今後は、2 自由度のボールジョイントや、より柔軟な構造を検討し、人間の保持機構をよりよく模擬することを目指す。さらに、制御装置やセンサー、ポンプなどの肺機能の実装を検討し、プロのサクソフォン奏者に近い動作を開発してインタラクションを実現する必要がある。

### 運指システム

キーは、左手親指で操作するオクターブキー(図 9 (a))と右手小指で操作する C キー(図 9 (b))を除いて共通(図 7)であり、キーは左手親指と右手小指で操作する。サーボモータは Futaba RS303MR コマンド式サーボを使用し、60mm 長のアラミド繊維糸を半径 5mm のプーリに通してキーに張力をかけている。機構から想定されるモータの動作角度は、指の剛性を考慮して 0° ~50° 程度となるようにしている。

柔軟性の高い素材 PP ライク樹脂 RGD 450 (Stratasys) を採用することにより軌道に柔軟に対応できた。右手はサムフック、左手はサムレストを基軸として、基本的な 7 キーとオクターブキーの 8 キーの運指を実現した。アクチュエーターをハンドに収納することで大幅な小型化を実現し、位置調整不要の運指を可能にした。

モータの作動角が 300° であるため、指の変形や糸を装着するなどの問題があっても、巻き上げによる調整が可能であることが確認できた。同時に開発したテストプログラムでは、MIDI 対応のキーボード入力による演奏を実現した。

しかし、繰り返しの使用による指部形状の変形も見られる。モータの巻き上げ量で対応可能だが、特性を維持するためには、糸の太さや材質、コンプライアンス特性などをさらに考慮する必要がある。

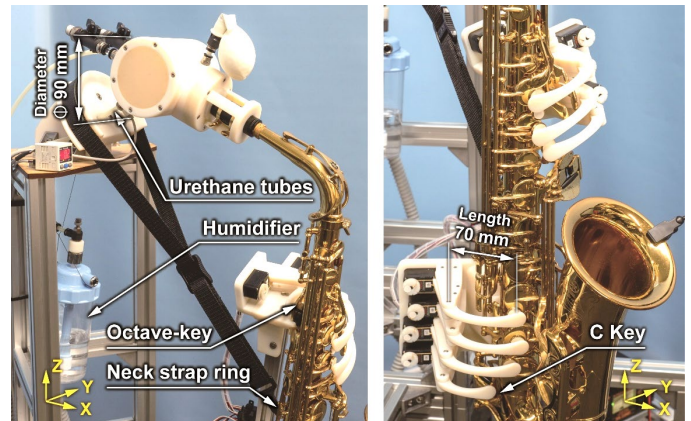


図 9 Waseda Anthropomorphic Saxophonist "WAS-X"

### 複合軟質材料を用いた指部

サクソフォンの特徴的な倍音が聴衆を魅了する[20]。そのため、サクソフォン奏者たちは不必要に楽器を拘束しないように細心の注意を払う[19]。『WAS-X』の音質は、ネックストラップで保持されているにもかかわらず、これまでのロボットとほぼ同じであった。そのため、吹鳴音質の大幅な向上が求められている。そこで本研究では、楽器とサクソフォン奏者の接点である指に着目し、さらに、音質の改善を図った。

現在の『WAS-X』は 1 指あたり 1 自由度だが、柔軟なプラスチック素材であるため、キーストロークに柔軟に適応することができる。一方、人間の指は、キーを柔軟に適応させるだけでなく、柔らかい生体材料で覆うことで、楽器の煩雑な拘束を緩和している。そこで、サクソフォンのキーとの接点である指先に、柔らかいシリコンゴム製を装着することを試みた。硬さの異なる軟質素材をハイブリッドに組み合わせることで、音質性能を向上させることができる(図 10)。指先には、頬に近い柔らかさのシリコンゴム (Ecoflex™ 00-30) を採用した。

ロボット工学におけるソフトマテリアルの研究は、ソフトマニピュレーションを行うロボット部品の開発と、ソフトアクチュエーターの開発の 2 つの観点から行われることがほとんどである[21]。この意味で、ハイブリッドなソフトマテリアルを機能的に活用する『WAS-X』の指の研究はユニークな応用研究といえる。

頬に近い硬さの柔らかいシリコンゴム製の指チップを装着することにより、調整幅が広く、低音域でも安定した吹鳴音を得ることができた(図 11)。

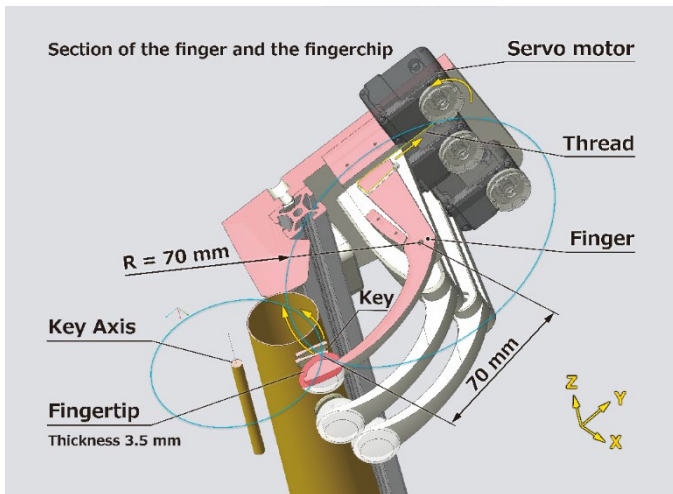


図 10 Finger mechanism using Soft hybrid materials

MIDI signal

Auto playback  
Keyboard  
GUI  
PC  
Windows 10

Angle  
Speed  
Torque  
Command

WAS-X finger

... Servo 01 ...	Finger 01	... Key 01
... 02 ...	02	... 02
... 03 ...	03	... 03
...	...	...
... 08 ...	08	... 08

Servo motor: TTL command type

Saxophone

図 12 Fingering control system

- ・MIDI キーボードと GUI キーボードによる演奏
- ・事前に準備した曲の自動演奏
- ・各サーボモータのオープン、クローズの目標値設定
- ・各サーボモータの状態のダイナミックな視覚化

キークローズ時における各指の適正なサーボトルク値を調査し、目標値を決定するための指針として活用した。今後、このアルゴリズムを初期キャリブレーションに活用していく予定である。



図 11 "WAS-X" with Soft silicone rubber fingertips

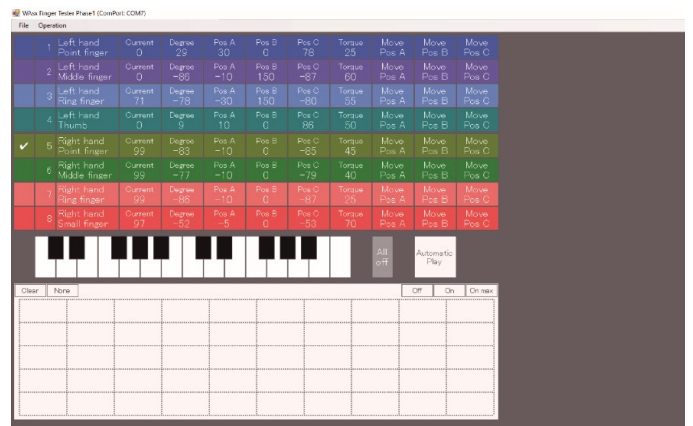


図 13 Fingerling control graphical user interface

運指制御システム

現在の『WAS-X』制御システムは、主に指の動きを確認するためのシンプルなものである (図 12)。楽器中心設計により、『WAS-X』のハードウェア調整性能は大幅に向上した。しかし、キーオープンの設定値調整とキークローズの設定値調整は、手動での調整となる。

次のステップとして、サーボモータのトルク値を知ることで、初期設定の簡略化を図った。各サーボ目標値は、Windows PC からのコマンド制御で行う。サーボ目標値は、キーがクローズするサーボトルク値に達した際のサーボ値を調査し、初期設定に反映する。

図 13 は運指制御システムの GUI を示す。

口唇・口腔システム

上顎前歯を基準とした口唇と口腔の装着により、安定した吹鳴を実現した (図 8)。吹鳴を維持するためには、口腔内圧を安定させることが必要である。しかし、一般的な流量計や制御弁などの制御装置を口腔の前に装着すると、装置の抵抗により吹鳴に悪影響を与える。そこで、排気を制御し、手動で圧力を調整することで、安定した吹鳴を実現した。

マウスピースとリードにフィットするようにシリコンゴムのリップを成形し、シリコンゴムの乾燥を防ぎ気密性を保つために加湿器を装着した。さらに、シリコンゴム製のゴム風船と頬のパーツが吹鳴を安定させることも確認した (図 9 (b))。今後は、今回実現できなかったリードギャップの調整機構を検討し、圧力を同時に制御することで音量とピッチの調整を検討する。

空気供給用の 2 本のウレタンチューブは、唇と口腔を柔軟に支えることに成功した (図 9 (b))。しかし、人間の頸部や気道を模擬するために、どのような機構が適しているかについては、

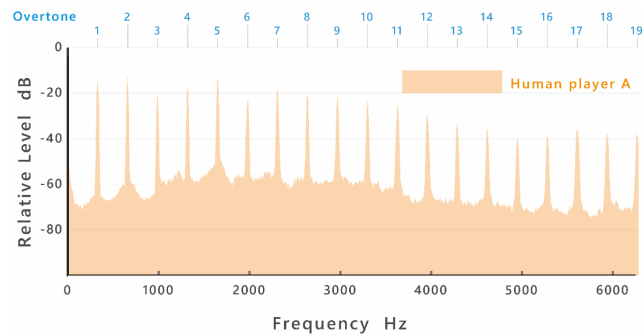
まだ議論の余地がある。なお、流量計や制御弁などの制御機器を装着することで、吹鳴を損なうことが懸念され、さらなる検討が必要である。

**周波数成分分析 (人間・WAS-5, WAS) 比較**

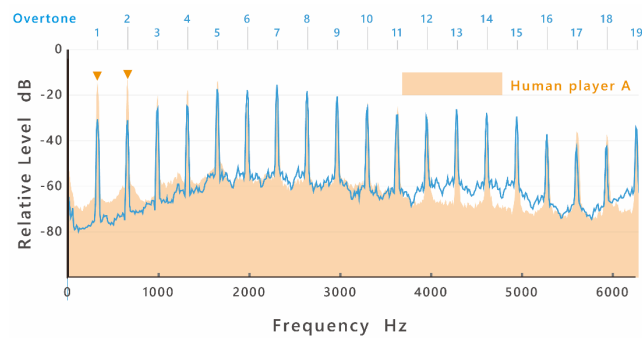
人間 (初学者) の開放音 E4 と『WAS-5』、『WAS-X』の倍音成分の周波数成分分析を図 14 に示す。FFT は 1.0 秒間隔のデータを使用し、ハミング窓でエッジ処理した。WAS-5, WAS-X では、音の低域部分が顕著に減少する結果となっている。

『WAS-X』と『WAS-5』の音質の違いについては、議論が難しい。比較できない理由は、セッティングの状態や口唇の状態によって、両ロボットの音質が顕著に変化するためである。安定した気流を得ることは、今後の開発で解決していく次の大きな課題である。

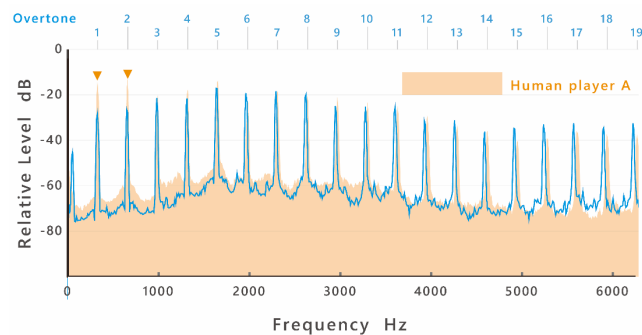
当然、両ロボットの音質は初心者と比較してもまだ十分でないことは明らかである。しかし、今回開発した新しいハードウェアプラットフォーム『WAS-X』は従来の『WAS-5』と同等以上の音質が得られた。



(a) Human (Beginner)



(b) WAS-5



(c) WAS-X

図 14 FFT frequency analysis.(E4)

**周波数成分分析 (指チップあり・指チップ無し)**

楽器の響きを損なわないために、プラスチック製の指にシリコンゴム製チップを実装した。結果として、新しい指の貢献により低音域の音質が向上した。指の影響が少ない開放音では貢献はなく、保持構造をより柔軟にする必要がある。勿論、指形状や材料の最適化による性能向上の余地もある。さらに、運指制御システムにより、初期設定を簡単に調整することができる。設定の自動化、口腔、口唇制御との連携も期待される。また、運指の他の側面では、閉じる順序、速度、強さが吹鳴の安定性に影響することが分かっている。今後、これらの影響を詳細に調べ、運指の演奏性能向上を図る。

軟質シリコンゴム製チップの有無による音質の比較として、運指の影響を最も受けにくい開放音 (E4) と、運指の影響を最も受ける完全閉鎖音 (E♭3) を、振幅スペクトルを用いて倍音成分を可視化し比較した。FFT は 1.0 秒間隔のデータを使用し、ハミング窓でエッジ処理した。吹鳴時の口腔内圧は 3 kPa 程度で通常演奏と同程度であった[16]。

すべてのキーを開けた E4 では、倍音成分の減衰に両者で大きな差は見られない。強いて言えば、シリコンゴムで覆われた指の影響を緩やかに受けている (図 15)。

基本キーを閉じた E♭3 は、低音域の倍音の減衰が顕著に緩やかで自然であることがわかる。実際に聴いてみると、豊かな倍音がはっきりと認められる。(図 16)。

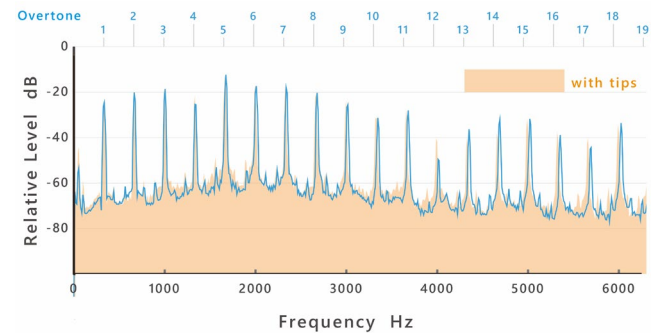


図 15 FFT frequency analysis (E4) without tips and with tips

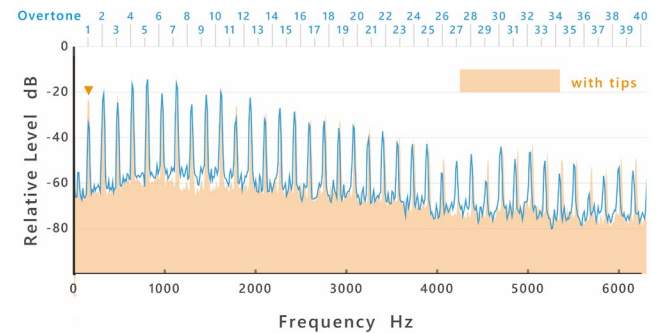


図 16 FFT frequency analysis (E♭3) without tips and with tips

## 6 結論と今後の課題

「デザイン思考」を取り入れることで、楽器を中心とした視点からの示唆を得ることができた。この「楽器中心設計」の方法論は、新ハードウェアプラットフォーム『WAS-X』の開発に大きく寄与し、大幅な小型化と簡素化を果たし、吹鳴の安定をもたらした。

長期的に取り組んでいるラピッドプロトタイピングとの相乗効果も認識できた。特に、研究の初期や停滞期においては効果的である。また、複数の軟素材を使用した指先の改良は、今後のソフトマテリアルの活用に対する洞察を与えている。

しかし、現段階の『WAS-X』は、まだプロのサクソフォン奏者のレベルには達していない。今後の研究の方向性として、人とのインタラクションの深化や、従来の手法の統合を通じて、研究の質をさらに高めることを目指している。

## 7 おわりに

本稿は、本学支援による研究テーマである「パートナーロボットの開発研究：コンセプト構築におけるラピッドプロトタイピングの有用性」の成果事例の報告でもある。

また、本研究は、本学だけでなく東京女子医科大学・早稲田大学連携先端生命医科学研究センター (TWIns)、パラメトリック・テクノロジー株式会社、ダッソー・システムズ株式会社、ヤマハ株式会社に支えていただいた。

早稲田大学未来ロボット研究機構、早稲田大学ヒューマノイド研究所、早稲田大学高西研究室の皆様に対して改めて感謝の意を表す。

## 参考文献

1. 一般社団法人 日本機械工業連合会. 2021 年度 ロボット産業・技術振興に関する 調査研究報告書. 2022.
2. 総務省. 平成 27 年版 情報通信白書. 2015. pp. 192-198.
3. 高西 淳夫. ヒューマン・コミュニケーションを志向したヒューマノイドロボット. 日本ロボット学会誌. 1997;15: 971-974. doi:10.7210/jrsj.15.971
4. Takanishi A. Dream to a humanoid robot. What is robot? Dream to a humanoid robot. J Inst Electr Eng Jap. 1998;118: 5-8. doi:10.1541/ieejjournal.118.5
5. 日本インダストリアルデザイン協会(JIDA). プロダクトデザイン: 商品開発のための必須知識 105. ビー・エヌ・エヌ; 2021.
6. 水上 和彦, 内山 純, 山田 晃久, 馬 翊翔, 韓 衍, 高西 淳夫, et al. ネットホルダーを使用した人間型サクソフォン演奏ロボットの開発: 現行指部の改良と再検証 (2G2-03). 2020 年 9 月.
7. Uchiyama J, Hashimoto T, Ohta H, Nishio Y, Lin J-Y, Cosentino S, et al. Development of an Anthropomorphic Saxophonist Robot Using a Human-like holding Method. 2023. pp. 1-6. doi:10.1109/SII55687.2023.10039316
8. Uchiyama J, Hashimoto T, Ohta H, Lin J-Y, Cosentino S, Takanishi A. A Humanoid Saxophone-Playing Robot Based on Instrument-Centered Design. Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS). Cham: Springer Nature; 2023. pp. 295-306. doi:10.1007/978-3-031-35634-6\_21
9. Brown T. Design thinking. Harv Bus Rev. 2008;86: 84-92, 141.
10. Platner H. An Introduction to Design Thinking PROCESS GUIDE. 30 Sep 2012 [cited Oct 2023]. Available: <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf>
11. 徐方啓. 創造性研究から見たデザイン思考のルーツ. デザイン学研究特集号. 2017;25: 110-115. doi:10.11247/jssds.25.1\_110
12. 見崎 大悟, Ge Xiao. 工学教育におけるデザイン思考の活用. 精密工学会誌. 2019;85.
13. Petersen K, Solis J, Ninomiya T, Yamamoto T, Takeuchi M, Takanishi A. Development of the anthropomorphic saxophonist robot WAS-1:

Mechanical design of the lip, tonguing, fingers and air pump mechanisms. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE; 2009. pp. 3043-3048. doi:10.1109/ROBOT.2009.5152313

14. Solis J, Petersen K, Yamamoto T, Takeuchi M, Ishikawa S, Takanishi A, et al. Implementation of an Overblowing Correction Controller and the proposal of a quantitative assessment of the sound's pitch for the anthropomorphic saxophonist robot WAS-2. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2010. pp. 1943-1948. doi:10.1109/IROS.2010.5649257
15. Lin J-Y, Kawai M, Nishio Y, Cosentino S, Takanishi A. Development of Performance System With Musical Dynamics Expression on Humanoid Saxophonist Robot. IEEE Robotics and Automation Letters. 2019;4: 1684-1690. doi:10.1109/LRA.2019.2897372
16. Fletcher NH, Rossing TD. The physics of musical instruments. 1991st ed. New York, NY: Springer; 2012.
17. Han Y, Nishio Y, Yi-Hsiang MA, Oshiyama C, Lin J-Y, Takanishi A, et al. A human-robot interface to improve facial expression recognition in subjects with Autism Spectrum Disorder. 2018 9th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST). 2018. pp. 179-184. doi:10.1109/ICAwST.2018.8517228
18. Yi-Hsiang MA, Han Y, Lin J-Y, Cosentino S, Nishio Y, Oshiyama C, et al. A Synchronization Feedback System to Improve Interaction Correlation in Subjects With Autism Spectrum Disorder. 2018 9th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST). 2018. pp. 285-290. doi:10.1109/ICAwST.2018.8517233
19. Teal L. The Art of Saxophone Playing. Alfred Music; 1963.
20. Cottrell S. The Saxophone. Yale University Press; 2013.
21. Elango N, Faudzi AAM. A review article: investigations on soft materials for soft robot manipulations. Int J Adv Manuf Technol. 2015;80: 1027-1037. doi:10.1007/s00170-015-7085-3

# 人はなぜ情報セキュリティ事故を起こすのか

Why do people cause information security incidents?

奥原 雅之<sup>1\*</sup>

Masayuki Okuhara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Masayuki Okuhara, okuhara-m@aait.ac.jp

**Abstract** Most information security incidents are caused by information technology users' actions that violate procedures and rules. This can be attributed to the risk-taking behavior of information technology users who "dare to act after recognizing the risks" in information technology usage situations. In risk-taking, decisions are made by comparing and contrasting both the utility or disutility of the action and the risk it entails. In order to clarify this mechanism, this paper surveys the extent to which general users evaluate information security-related risks sensibly, and finds that many information security-related risks are evaluated as risks that are almost equivalent to real-world risks.

**Keywords** security risk; information security governance; risk-taking; security risk analysis

## 1 はじめに

情報技術 (IT) が一般社会のインフラとなっている今日において、情報セキュリティ事故の発生もまた日常的に発生している。これらの事故の多くは、IT 利用者のエラー、すなわち失敗によって起きている。情報セキュリティ事故を減少させるためには、このような失敗がどのようにして起こるかを知らなければならない。

我が国の個人情報保護に関しては、一般財団法人日本情報経済社会推進協会 (JIPDEC) プライバシーマーク推進センターが、日本産業規格「JIS Q 15001 個人情報保護マネジメントシステム—要求事項」に準拠した「プライバシーマークにおける個人情報保護マネジメントシステム構築・運用指針」に基づいて、個人情報について適切な保護措置を講ずる体制を整備している事業者等を評価して、その旨を示すプライバシーマークを付与する、プライバシーマーク制度を 1998 年より運用している [1]。プライバシーマークを付与された事業者等は、個人情報の扱いに関する事故が発生した場合は、同センターへの報告が義務付けられている。同センターによれば、プライバシーマーク付与事業者からの個人情報の扱いに関する事故として、2022 年度は 1,460 社から 7,009 件の報告を受けている [2]。このうち、「要配慮個人情報」「財産的被害」「不正の目的」「1,000 人超」のいずれかに該当する「速報」の報告件数は 1,878 件である。

このような事故はなぜ発生するのか、同調査によれば、事故の事象分類ごとの件数は、1 位が「誤配達・誤交付」(43.0%)、2 位が「誤送信」(24.7%)、3 位が「紛失・滅失・既存」(11.2%) となっており、いずれも IT 利用者の人為的なミスやエラーに起因するものである。これは、不正アクセス (6.2%) やマルウェア・ウイルス (1.8%) による事故よりもはるかに多く、これらの上位 3 分類だけで全体の 78.9% を占める。その他、「誤表示」(5.8%) や「誤登録」(4.7%)、「誤廃棄」(1.6%) も含めると、実に全体の 90% 以上が何らかの人為的なミスやエラーに起因している。情報セキュリティ事故というと、我々は外部からの攻撃者によるサイバー攻撃やマルウェア感染によるものを連想しがちであるが、実はその大部分が、普段情報を扱う IT 利用者側の失敗に起因しているのである。

さらに、同調査ではこれらの事故の原因についても集計を行っている。一つの発生事象に対して複数の原因が報告される場

合があるため、原因別集計の合計は報告件数を上回る 9,663 件となっているが、ここで 1 位となっているのは「手順・ルール違反作業、操作」の 2,803 件であり、全体の 29% を占めている。以下、「作業・操作ミス」2,445 件、「確認不足」1,979 件と続いており、IT 利用者である担当者の人為的な原因によるものが上位 3 位までを占めている。

本稿では、IT 利用者がなぜ情報セキュリティの事故を起こすのかについて、失敗発生のメカニズムに着目して考察し、その判断基準となる要素として、IT 利用者が情報セキュリティに関するリスクをどの程度重要視しているかを明らかにする。

## 2 失敗が発生するメカニズム

芳賀繁は人間が失敗を犯し事故を起こすメカニズムについて言及している (芳賀, 2003) [3]。まず芳賀はヒューマンエラーを「人間の決定または行動のうち、本人の意図に反して人、動物、物、システム、環境の、機能、安全、効率、快適性、利益、意図、感情を傷つけたり壊したり妨げたもの」と定義している [4]。また、エラーの類型として、オMISSION・エラー (「やり忘れる」失敗) を「ボケ型」、COMMISSION・エラー (「やっってしまう」失敗) を「ドジ型」と呼んでいる [5]。情報セキュリティ事故の観点で見ると、原因の大部分に「誤」の字がついている。これは事故の原因となった人間が「やらなくてよいことを誤ってやっってしまう」ことを示唆している。事故の原因となる失敗は、ここでいう「ドジ型」が大きく関与していることを伺わせる。

また、芳賀は、ヒューマンエラーにつながる要因である不安全行動に言及している。芳賀は不安全行動を「本人または他人の安全を阻害する意図をもたず、本人または他人の安全を阻害する可能性のある行動が意図的に行われたもの」と定義している。また、不安全行動とヒューマンエラーとの関係を、「作業者が棚の上の段に置いてある重い部品をおろすときに、作業標準に定められた脚立を設置するのを面倒くさいと思い、背伸びして取ろうとしたところ、部品が落下し足の指を骨折したとする。脚立をつかわず上段のものをおろす行為は、それが成功しようとしまいと『不安全行動』である。しかし、落とすことは意図したものではない。こちらは『ヒューマンエラー』である。」と説明している (芳賀, 2003) [6]。前章で見た通り、情報セキュリティに関連する事故の原因の 1 位は「手順・ルール違反作

業、操作」であった。これは情報セキュリティにおける「不安全行動」とみるべきであろう。

心理学では、危険を認識したうえであえて行動することをリスクテイキングという。リスクテイキングのプロセスは、「リスクの知覚」「リスクの評価」「意思決定」の3つの段階からなる。このうちリスクの評価については、「主観的リスクの大きさは「事故・災害の確率×事故・災害が起きた場合に予想される損失の大きさ」の主観的見積もりである。一般的に男性はリスクを過少視し、女性は過大視する傾向があると言われている」と芳賀は述べている。

さらに、リスクテイキングの意思決定には、リスクの評価以外に、「危険をおかしてでも得られる目標の価値」（効用）と、「リスクを回避するための行動が手間がかかったり、コストがかかったり、できれば避けたいものであったりする」（不効用）が作用することも同時に芳賀は指摘している[7]。

情報セキュリティの場面でも、決められた規則やルールを守らないことの動機として、これらの効用と不効用が作用していることが想定できる。例えばメールを誤送信する場合、送信先を慎重に確認しないことは、確認することによるコストを避けるため（不効用）であろうし、ファイルを暗号化せずに送付することは、単純にファイルを相手方と共有するというメリットを優先した（効用）、あるいは安全な暗号化のプロセスを踏むためのコストを回避した（不効用）によるものと見ることができ、このようなアプローチにより、「なぜIT利用者は情報セキュリティルールを守らないのか」についてを理解することも可能かもしれない。

では、IT利用者は、これらの効用あるいは不効用と比較較量すべき情報セキュリティに関するリスクをどのように見ているのであろうか。本稿では、主な情報セキュリティに関連するリスクと、それ以外の実世界に関連するリスクについて、それぞれの程度の大きさを持っているかについてアンケート調査し、「世間が情報セキュリティリスクをどの程度深刻に考えているか」を明らかにする。

### 3 アプローチ

情報セキュリティに関するリスクを定量的に扱うための手法として、事故の発生頻度や情報資産の価値を対数スケールで扱うことがよく行われる。例えば発生頻度を「1年に1回」「10年に1回」「100年に1回」というように、10倍ごとのスケールで類別する方法である。いわゆるコートニーの方法[8]がこの手法を採用している。これは、正確な定量化が難しいセキュリティ事故の発生確率や事故による被害金額の算定について、その大きさを対数スケールで捉えることにより、一般的に使いやすい形でリスク分析を可能にするための工夫である。今回の調査でも、この考え方に従い、質問の選択肢は10倍ごとの対数スケールとなるように設計した。また、リスクの発生頻度は比較的簡単に表現できるが、リスクによる被害の大きさ（情報セキュリティの文脈では情報の資産価値に相当する）は、回答者がイメージすることは難しい。そこで、本調査では、「そのリスクを回避する手段がもしあればいくら払うか」という、リスク

回避のコストを問うことで、被害の大きさを代用することとした。

今回のアンケート調査では、回答者が会える可能性がある各種のリスク18種について、「どの程度そのリスクに遭う可能性があるか」（頻度）、「そのリスクを回避できる手段があるとなればどの程度まで出費できるか」（価値）の2点について尋ねる。質問したリスクは表1の通りである。ここでIDの1から7までは情報セキュリティ分野とは直接関係しない実生活のリスク、8から18は情報分野に関係するリスクを挙げている。

表1 調査対象のリスク

ID	ラベル	質問文
1	財布紛失	外出中に大事なもの（財布など）をなくす
2	交通事故	道を歩いていて交通事故に遭う
3	火災	自宅や普段いる場所（職場・学校など）で火災に遭う
4	大地震	自分が住んでいる土地で大地震が起こる
5	自然災害	自宅に被害が出るレベルの自然災害（台風など）に遭遇する
6	戦争	住んでいる国（日本）が武力紛争（戦争など）に巻き込まれる
7	実世界詐欺	実世界での詐欺（対面、電話などによるもの）に遭う
8	ネット詐欺	ネット上の詐欺（メール、SNSなどによるもの）に遭う
9	個人情報漏えい	自分が利用している製品・サービスの提供企業から自分の個人情報が漏えいする
10	個人情報盗難	自分の個人情報がネット上で盗まれる
11	個人情報被害	盗まれた自分の個人情報で金銭的被害が発生する
12	ウイルス感染	自分が使っている情報デバイス（PCやスマホ）がコンピュータウイルスに感染する
13	アカウント乗っ取り	自分のインターネットサービスのアカウントが他人に乗っ取られる
14	データ消失	自分が使っている情報デバイス（PCやスマホ）が壊れてデータが消失する
15	ランサムウェア	自宅や職場などのPCにランサムウェア（身代金を要求するウイルス）が侵入する
16	サイバー攻撃	自分のPCやネットワークが高度な技術を持つサイバー攻撃者に直接攻撃される
17	パスワード推測	自分のパスワードを他人に当てられる
18	メール誤送信	大事な情報を記載したメールを間違えて他人に送る



これら 18 個のリスクについて、「頻度」「価値」ごとに大きさを回答するように回答者に依頼する。「頻度」の質問項目は表 2、「価値」の質問項目は表 3 である。

表 2 頻度に関する質問。質問文：「以下の出来事について、あなた自身はどの程度の確率で遭遇すると思いますか、もっとも近いものを一つ選んでください。」

質問種別	選択肢
頻度	1: よく起こる (年に数回) 2: たまに起こる (3 年に 1 回ぐらい) 3: めったに起こらない (一生に 1 度か 2 度) 4: ほぼ確実に起こらない (多分自分の人生では出会わない) 5: 無回答 (答えたくない・質問の意味がわからないなど)

表 3 価値に関する質問。質問文：「前の質問の出来事を防ぐことができたり、その危険性を回避することができる商品 (製品・サービス) がもしあったとしたら、あなたはいくらぐらいなら購入を考えますか。」

質問種別	選択肢
価値	1: 千円ぐらい 2: 一万円ぐらい 3: 十万円ぐらい 4: 百万円ぐらい 5: 一千万円ぐらい 6: あてはまるものはない

この他、回答者の属性として職業と、性別、年齢 (20 歳から 70 歳まで 5 歳刻み) を質問項目として設定している。なお、今回利用したアンケート調査サービスの仕様上、回答者の住所 (都道府県単位) と、回答に使用したデバイス (PC かスマホか) も情報として取得しているが、本分析ではこれらの情報は使用していない。

調査はインターネット調査サービス「Questant」を利用し、回答者募集は同サービスのオプションである「Japan Cloud Panel」による回答者募集サービスを利用した。調査期間は 2023 年 8 月 19 日から 8 月 23 日、有効回答数は 447 名である。

## 4 調査結果

### 集計

本アンケート調査の回答者の属性は表 4 の通りである。

表 4 回答者の属性。

設問	選択肢	回答数	比率 (%)
年齢	~19	3	0.7
	20~24	6	1.3
	25~29	8	1.8
	30~34	31	6.9
	35~39	25	5.6

	40~44	45	10.1
	45~49	51	11.4
	50~54	42	9.4
	55~59	65	14.5
	60~64	56	12.6
	65~69	36	8.1
	70~	79	17.7
性別	男	281	62.9
	女	166	37.1
職業	公務員	8	1.8
	経営者・個人事業主 (自営業)	53	11.9
	会社員・職員 (正規雇用)	128	28.6
	会社員・職員 (非正規雇用)	57	12.8
	専業主婦 (主夫)	86	19.2
	学生	5	1.1
	その他	110	24.6

本アンケート調査の主要素は、18 個のリスクに対する「頻度」と「価値」である。回答から「無回答」に相当する回答を除外して単純平均を取った結果を見てみよう。ここで、回答の選択肢が対数スケールであったことに留意する必要がある。すなわち、この結果で数値に 1 の差があるということは、回答者は 10 倍に相当する頻度または価値の差があると認識しているということを意味する。

表 5 リスクの頻度に対する回答の平均値。

順位	ID	ラベル	mean
1	9	個人情報漏えい	2.902
2	10	個人情報盗難	3.038
3	14	データ消失	3.054
4	12	ウイルス感染	3.085
5	1	財布紛失	3.133
6	5	自然災害	3.157
7	4	大地震	3.197
8	8	ネット詐欺	3.237
9	13	アカウント乗っ取り	3.262
10	17	パスワード推測	3.313
11	18	メール誤送信	3.347
12	15	ランサムウェア	3.378
13	11	個人情報被害	3.380
14	16	サイバー攻撃	3.423
15	7	実世界詐欺	3.450
16	2	交通事故	3.452
17	3	火災	3.600
18	6	戦争	3.763

表 5 は、頻度に対する回答の平均値を、昇順にソートしたものである。頻度において一番数値が低かった (つまり自分の身の回りで起こる可能性が一番高いと評価された) のが「個人情報漏えい」、2 番目が「個人情報盗難」である。以降、「データ

消失」,「ウイルス感染」と続き,5位にはじめて情報セキュリティ以外のリスクである「財布紛失」が入る.一方,数値が最も高かった(つまり自分の身の回りで起こる可能性が一番低いと評価された)ものは「戦争」で,2番目が「火災」である.IDの9から18までが情報セキュリティに関するリスクであるが,平均値は3.0の周囲におおむね収束しており,「交通事故」や「実世界詐欺」とほぼ同じレンジにある.今回の調査の回答者は,情報セキュリティに関するリスクについては,ある程度「現実でありうるリスク」という評価をしていることがここからわかる.ちなみに,2022年の交通事故発生件数は全国で300,839件[9],同じく2022年の全国の総出火件数は36,375件である[10].また,2022年の詐欺の認知件数は33,353件であった[11].これらの事案は必ずしも一案件が一被害者となるわけではないので,一般人が認知する発生頻度と一致するものではないが,それでも火災や詐欺よりも1桁発生件数が多い交通事故に対して,今回の回答者が同程度のリスクと考えていること

は興味深い.

各回答の分布は,おおむね正規分布に近い,なだらかな分布を示した.ここでは,平均値が最も低かった「個人情報漏えい」と,最も高かった「戦争」についての回答のヒストグラムを参考として図1および図2に示す.なお,選択肢5の「無回答」は図から除外している.

表6は,価値に対する回答の平均値を,降順にソートしたものである.一番数値が高かった(つまり回避できるならば高いコストを払ってもよい)のは「戦争」であり,以下「メール誤送信」「大地震」「自然災害」と続く.「戦争」「大地震」「自然災害」などは,回答者自身の努力で回避できる余地がほとんどなく,またその被害が自分だけではなく社会全体に及ぶことなどから,高いコストを払っても回避できるならば回避したいという意思からの結果と推定できる.これらの中に「メール誤送信」が入っていることは興味深い.メールの誤送信は身近なリスクでありながら,効果的な回避手段がないことを反映しているのかも知れない.一番数値が低かった(つまり回避のために高いコストを払えないとした)のは順に「ウイルス感染」「個人情報被害」「データ消失」であった.これらは例えばウイルス対策ソフトなど,すでに確立した対策ソリューションが市場にあるため,それらと同等のコスト感覚が一般に定着していることが要因として考えることができる.

頻度:個人情報漏えい

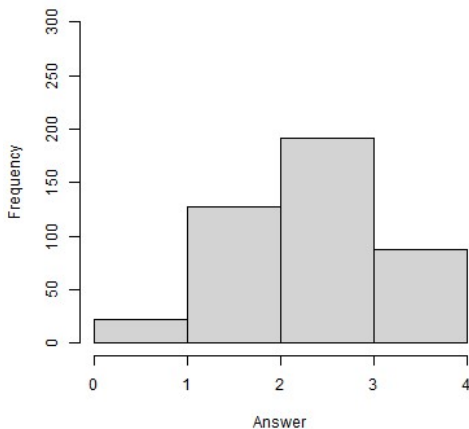


図1 個人情報漏えい (ID=9) のヒストグラム

頻度:戦争

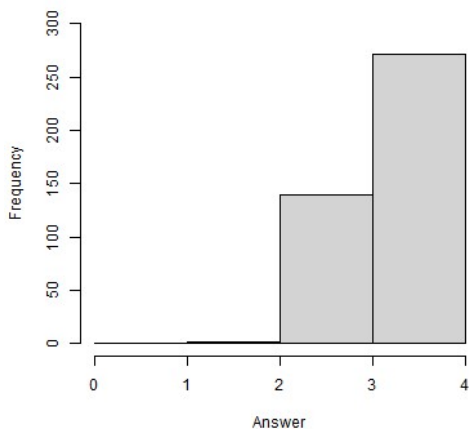


図2 戦争 (ID=6) のヒストグラム

表6 リスクの価値に対する回答の平均値

Rank	ID	label	mean
1	6	戦争	4.060
2	18	メール誤送信	3.557
3	4	大地震	3.539
4	5	自然災害	3.461
5	17	パスワード推測	3.391
6	1	財布紛失	3.365
7	3	火災	3.365
8	7	実世界詐欺	3.362
9	2	交通事故	3.351
10	16	サイバー攻撃	3.349
11	15	ランサムウェア	3.313
12	9	個人情報漏えい	3.302
13	8	ネット詐欺	3.273
14	10	個人情報盗難	3.262
15	13	アカウント乗っ取り	3.233
16	14	データ消失	3.168
17	11	個人情報被害	3.154
18	12	ウイルス感染	3.114

今回の調査では,「頻度」と「価値」の二つの指標を対数スケールに基づく選択肢で調査している.このため,二つの指標を算術的に加算することは,実際の評価値の積を求めることと同じ意味を持つ.そして,コートニーの方法がそうであったよう

に、一般に事象が発生する場合のリスクの大きさは頻度と価値の積で示されることが多い。これらの点を踏まえれば、「頻度」と「価値」の和は、回答者が考えているリスクの大きさを示す指標となることが期待できる。今回の調査では、頻度と価値のスケールが逆向き（頻度は数値が小さい方がリスクが高く、価値は数値が大きい方がリスクが高い）ので、便宜上頻度の符号を逆転し、「価値 - 頻度」の数値を計算することで、回答者が考えるリスクの大きさを評価する。この値(表中 score で示す)を降順にソートした結果を表 7 に示す。

表 7 頻度と価値に基づくリスクの大きさの評価。

Rank	ID	label	score
1	9	個人情報漏えい	0.400
2	4	大地震	0.342
3	5	自然災害	0.304
4	6	戦争	0.297
5	1	財布紛失	0.232
6	10	個人情報盗難	0.224
7	18	メール誤送信	0.210
8	14	データ消失	0.114
9	17	パスワード推測	0.078
10	8	ネット詐欺	0.036
11	12	ウイルス感染	0.029
12	13	アカウント乗っ取り	-0.029
13	15	ランサムウェア	-0.065
14	16	サイバー攻撃	-0.074
15	7	実世界詐欺	-0.088
16	2	交通事故	-0.101
17	11	個人情報被害	-0.226
18	3	火災	-0.235

この結果、「個人情報漏えい」が最も大きなリスク評価となった。その後、「大地震」「自然災害」「戦争」などの、実世界の特に人命に係わるリスクが続いている。全体的には情報セキュリティ関連のリスクは下位に集中していることが見て取れる。

分析

ここからは、回答者の属性によるグループごとに、回答の平均値に差があるかどうかを検証する。表 8 に、各回答に対する性別ごとの平均値と、その差に対する t 検定の結果を示す。なお、これ以降の検定においては、分析を簡便とするため、すべてデータ分布の正規性を前提としないノンパラメトリック検定を使用する。t 検定の算出には R 言語 (version 4.3.1) に組み込みの t.test 関数および pairwise.t.test 関数を使用した。

頻度に対する設問のうち、「データ消失」「ランサムウェア」の 2 問について、平均値の差が 1% 有意となった。また、「ウイルス感染」「サイバー攻撃」の 2 問については、平均値の差が 5% 有意となった。これらはすべて女性の方が、男性よりも高い平均値となっている。それ以外の設問でも一般に女性の方が男性よりも高い平均値となっており、男性の方が高かったも

のは「実世界詐欺」のみであった。前出の芳賀の著作では男性の方がリスクを過少視する傾向があると述べていたが、ここでは男性の方が一般的にリスクの発生頻度を高く評価していることになる。ただし、有意差が観測された設問はいずれも情報技術に関連するリスクであることから、男性と女性では情報技術に対する意識や理解の差が影響している可能性もある。

また価値に対する設問のうち、「財布紛失」「個人情報漏えい」「ウイルス感染」「メール誤送信」の 4 問について、平均値の差が 5% 有意となった。これらを含め、価値に関する設問ではすべての設問で女性の平均値が男性を上回っていた。「お金で解決できるならリスクを回避したい」という指向性は、男性よりも女性の方が高いのかも知れない。

次に、職業グループごとの各質問の平均値に有意な差があるかを調べてみる。職業グループは「その他」を含め 7 グループあるため、各グループ間の平均値の差についてボンフェローニ補正を用いた多重 t 検定を行った。この結果、ほとんどすべての組み合わせで平均値に有意な差はなかった。この中で、比較的 p 値が低かった (0.1 以下であった) 設問と職業グループの組み合わせを表 9 に列挙する。職業グループ 6 (学生) が他のグループと有意差を生じやすい傾向は見て取れるが、このグループはそもそも絶対数が少ない (全回答者の 1.1%) ので、そのことが結果に影響していると考えの方が自然であろう。これを踏まえれば、各種リスクの評価について、回答者の職業はほとんど影響を与えていないと評価してよいであろう。

表 9 各回答の平均値の差が大きかった職業グループの組み合わせと多重 t 検定の結果。p 値のうち、0.05 以下のものには「\*」、0.01 以下のものには「\*\*」を付している (以降の表も同様)。

ID	ラベル	職業グループ	p 値
P1	頻度：財布紛失	1, 6	0.0341*
		2, 6	0.0162*
		3, 6	0.0050**
		4, 6	0.0077**
		5, 6	0.0014*
P4	頻度：大地震	6, 7	0.0261*
		7, 7	0.093
P15	頻度：ランサムウェア	3, 5	0.081

最後に、年齢と各質問の平均値に有意な差があるかどうかを調べてみる。年齢は 5 歳間隔で細かく層別されているが、この粒度で有意な差があることは期待できないため、表 10 に示す 15 歳ごとの間隔で 4 個のグループに再編成して分析することとした。なお、世代名はマーケティングに関する世代を参考に便宜上付与したもので、公式なものではない。

これらの 4 グループに対して、職業グループの分析と同様に、各グループ間の平均値の差についてボンフェローニ補正を用いた多重 t 検定を行った。この結果、すべての組み合わせで平均値に有意な差はなかった。本調査においては、年齢によるリスクの大きさの評価の違いは観測されなかったと言ってよい。

表 8 リスクの頻度に対する回答の平均値の男女の比較と、平均値の差に対する Welch の t 検定の結果.

ID	ラベル	Means:男性	Means:女性	t	df	p 値
P1	頻度：財布紛失	3.10989	3.17284	-0.89485	328.56	0.37150
P2	頻度：交通事故	3.423488	3.5	-1.3067	356.02	0.19220
P3	頻度：火災	3.587189	3.620482	-0.57904	345.21	0.56290
P4	頻度：大地震	3.160142	3.259036	-1.5466	317.2	0.12300
P5	頻度：自然災害	3.124555	3.210843	-1.2439	333.75	0.21440
P6	頻度：戦争	3.75089	3.783133	-0.55121	325.41	0.58190
P7	頻度：実世界詐欺	3.451957	3.445783	0.083614	294.23	0.93340
P8	頻度：ネット詐欺	3.213523	3.277108	-0.71092	304.18	0.47770
P9	頻度：個人情報漏えい	2.839858	3.006024	-1.7776	305.16	0.07646
P10	頻度：個人情報盗難	2.992883	3.114458	-1.3595	310.59	0.17500
P11	頻度：個人情報被害	3.338078	3.451807	-1.4967	309.78	0.13550
P12	頻度：ウイルス感染	3.007117	3.216867	-2.5122	327.02	0.01248 *
P13	頻度：アカウント乗っ取り	3.220641	3.331325	-1.4141	313.27	0.15830
P14	頻度：データ消失	2.960854	3.210843	-2.9923	323.05	0.00298 **
P15	頻度：ランサムウェア	3.295374	3.518072	-2.7891	313.25	0.00561 **
P16	頻度：サイバー攻撃	3.359431	3.53012	-2.2803	358.37	0.02318 *
P17	頻度：パスワード推測	3.27758	3.373494	-1.1937	327.13	0.23350
P18	頻度：メール誤送信	3.291815	3.439759	-1.8561	320.54	0.06436
V1	価値：財布紛失	3.156584	3.716867	-2.4911	328.75	0.01323 *
V2	価値：交通事故	3.217082	3.578313	-1.7111	328.16	0.08801
V3	価値：火災	3.241993	3.572289	-1.5609	329.9	0.11950
V4	価値：大地震	3.455516	3.680723	-1.1006	330.05	0.27190
V5	価値：自然災害	3.380783	3.596386	-1.0458	333.89	0.29640
V6	価値：戦争	3.932384	4.277108	-1.7108	355.84	0.08800
V7	価値：実世界詐欺	3.227758	3.590361	-1.6322	331.13	0.10360
V8	価値：ネット詐欺	3.185053	3.421687	-1.0536	331.63	0.29280
V9	価値：個人情報漏えい	3.24911	3.391566	-0.62956	331.85	0.52940
V10	価値：個人情報盗難	3.177936	3.403614	-1.0017	332.55	0.31720
V11	価値：個人情報被害	2.967972	3.46988	-2.2793	328.12	0.02329 *
V12	価値：ウイルス感染	2.950178	3.391566	-2.0008	324.97	0.04625 *
V13	価値：アカウント乗っ取り	3.096085	3.463855	-1.6389	327.15	0.10220
V14	価値：データ消失	3.042705	3.379518	-1.5313	330.92	0.12660
V15	価値：ランサムウェア	3.174377	3.548193	-1.6738	333.07	0.09511
V16	価値：サイバー攻撃	3.199288	3.60241	-1.804	333.21	0.07213
V17	価値：パスワード推測	3.245552	3.638554	-1.7434	335.44	0.08218
V18	価値：メール誤送信	3.377224	3.861446	-2.0955	336.33	0.03687 *

参考までに、比較的平均値の差が大きかった(p 値が低かった) 年齢グループの組み合わせを表 11 に示す.

表 10 年齢グループの定義.

ID	年齢層	世代名	回答者数
1	~39	ゆとり世代	73
2	40~54	ロスジェネ世代	138
3	55~69	バブル世代	157
4	70~	ブーマー世代	79

表 11 各回答の平均値の差が大きかった年齢グループの組み合わせと多重 t 検定の結果.

ID	ラベル	年齢グループ	p 値
P2	頻度：交通事故	2, 3	0.03
V2	価値：交通事故	1, 3	0.33
V3	価値：火災	1, 2	0.50
V14	価値：データ消失	3, 4	0.45
V15	価値：ランサムウェア	1, 3	0.57
		3, 4	0.31

## 考察

本調査の主な目的は、情報関連のリスクは、他の実世界のリスクと比べてどの程度の大きさで評価されているかを知ることであった。表 7 に示されているように、大部分の情報関連リスクは、実世界リスクの間に挟まれた中位グループを形成することがわかった。特に、多くの人が一般的なリスクとして認識している「交通事故」や「火災」よりも、情報関連のリスクの方を大きなリスクとして捉えていることは特筆するべきであろう。

また、リスクの評価については、男女の間については一部有意な差が見られたものの、職業や年齢についてはほとんど有意差は見られなかった。男女間の差については、性別による性格的な要因があるかもしれないが、男女において普段の情報システムや情報デバイスの接し方に差があることが影響している可能性もある。

ここで、「なぜ IT 利用者は情報セキュリティルールを守らないのか」について考えてみよう。IT 利用者が決められた情報セキュリティの規則やルールを守らないことの動機として、その行動による効用と不効用が作用しているとすれば、そこには効用または不効用とリスクとの比較較量があったはずである。実際に事故が起こっているとすれば、効用・不効用を過大評価したか、あるいはリスクを過小評価したかのいずれかである。ところで情報セキュリティの規則を守らないことによる効用・不効用の大きさは、多くの場面で明確である。例えばファイルの暗号化のルールを守らないで、平文のまま送信するのは、単にその手間を節約するためであり、IT 利用者にとってその効用はほぼ明らかである。従って、比較較量の判断に誤りがあったとすれば、リスクを過小評価していることが主な原因であると考えられる。

本調査の結果、IT 利用者は情報セキュリティリスクを、「交通事故」や「火災」よりも大きなリスクと捉えていることが明らかになった。利用者は決して情報セキュリティ事故を「自分の身には絶対起こらないリスク」とは捉えていないか、あるいは「自分だけは交通事故に遭うことはない」と確信しているかのいずれかである。このどちらが正しいかは今回の調査ではわからないが、「情報セキュリティ関連のルールは、交通ルールと同程度には守られる（あるいは守られない）」と考えるのがおそらく合理的なのだろう。

## 5 おわりに

本稿では、主な情報セキュリティに関連するリスクと、それ以外の実世界に関連するリスクについて、それぞれどの程度の大きさを持っているかについてアンケート調査を実施し、「世間は情報セキュリティリスクを現実世界とほぼ同等に深刻に考えている」ということを明らかにした。ただし、本調査において「価値」の指標とした質問項目は、実際の被害の大きさそのものではないため、結果が正確にリスクの大きさを反映しているかは議論の余地がある。

また、今回の分析ではリスクの評価値が回答者の属性によってほとんど差が出なかった。この点については、よりよい属性

の定義によって、有意差が得られるような調査とするための改良の余地があると考えられる。

さらに、今回の結果に対して、なぜ回答者がそのような考えたかについては情報がまったくないため、今後の取り組みとして、IT 利用者がどのようなメカニズムでリスクの大きさを評価しているかについて調べることも必要であろう。

## 参考文献

1. 一般財団法人日本情報経済社会推進協会, プライバシーマーク制度. [cited 2023]. Available [https://privacymark.jp/system/about/outline\\_and\\_purpose.html](https://privacymark.jp/system/about/outline_and_purpose.html)
2. 同, 2022 年度 個人情報取扱いにおける事故報告集計結果. [cited 2023]. Available [https://privacymark.jp/system/reference/pdf/2022JikoHoukoku\\_230802.pdf](https://privacymark.jp/system/reference/pdf/2022JikoHoukoku_230802.pdf)
3. 芳賀繁, 失敗のメカニズム 忘れ物から巨大大事故まで, 角川ソフィア文庫, 2003
4. 同, p.43.
5. 同, p.86.
6. 同, p.148.
7. 同, p.150.
8. R. H. Courtney, JR., "Security risk assessment in electronic data processing systems", National Computer Conference pp. 97-104, 1977.
9. 公益財団法人交通事故総合分析センター, 交通事故発生状況. [cited 2023]. Available [https://www.itarda.or.jp/situation\\_accidents](https://www.itarda.or.jp/situation_accidents)
10. 総務省消防庁, 消防統計 (火災統計). [cited 2023]. Available <https://www.fdma.go.jp/pressrelease/statistics/>
11. 法務省, 犯罪白書. [cited 2023]. Available: [https://hakusyo1.moj.go.jp/jp/69/nfm/n69\\_2\\_1\\_1\\_1\\_1.html](https://hakusyo1.moj.go.jp/jp/69/nfm/n69_2_1_1_1_1.html)



Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# 群集事故防止のための人流制御システム

Pedestrian flow control system for preventing crowd crush

小野 麻衣花<sup>1\*</sup> 井上 剛<sup>1</sup> 西野 和昭<sup>1</sup> 黎 俊宇<sup>1</sup> 柴田 淳司<sup>1</sup> 林 久志<sup>1</sup>  
Maika Ono<sup>1\*</sup> Go Inoue<sup>1</sup> Kazuaki Nishino<sup>1</sup> Junyu Li<sup>1</sup> Atsushi Shibata<sup>1</sup> Hisashi Hayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Maika Ono, b2206mo@aait.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a solution to crowd disasters in various scenarios using Multi-Agent Simulations. Crowd accidents have become more common in recent years, despite their infrequent occurrence. These events can have a significant impact and the severity of such incidents was demonstrated by the Itaewon accident in Seoul on October 29, 2022. With urbanization increasing population concentration in cities, the likelihood of Crowd accidents remains a concern. This paper focuses on selecting 4 scenarios that could lead to such accidents (1. Identification of people flow impediments and evaluation of their control at crowd accident sites, 2. Measures to properly control the flow of people by using belt partitions or other devices at station gates, 3. Analysis of pedestrian guidance by smartphone zombie walking lane, and 4. Reduce congestion and improve efficiency at event exits by optimizing travel start times) and proposes preventive measures to address these scenarios.

**Keywords** crowd accident; crowd control; multi-agent simulation

## 1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学（以下、AIITとする）では、専門職大学院として、PBL（Project Based Learning）型教育を導入している[1]。本稿では、PBL型教育の一環として林PT（Project Team）で取り組んでいる「群集事故防止のための人流制御システム」について報告する。群集事故とは、制御されていない群集によって引き起こされた事故を指す。具体的には、ドミノ倒しや、群集雪崩、あるいは群集が殺到したことによる建造物の倒壊による事故等も含まれる。なお、本研究で対象とする群集事故は、群衆自身によって引き起こされる事故と定義し、火災や建物の倒壊といった二次災害は研究の対象としない。年間の群集事故件数は、過去120年間概して増加傾向にあり、ここ数十年間はさらに急増している[2]。図1は、1900年から2019年までの群集事故の件数である。

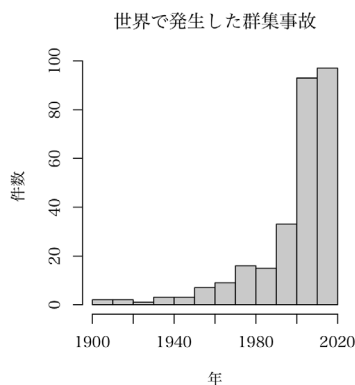


図1 1900年から2019年にかけての群集事故発生件数  
死者なし、負傷者10人未満の事故は除外。Felicianiら（2023）を基に作成

しかしながら、他の事故と比べると、群集事故の発生件数は少ない。災害疫学研究センターの災害データベース（EM-DAT）[3]では、2018年から2022年の5年間のデータについて、登録された災害の件数は2757件で、そのうち群集事故は12件である。

群集事故は発生件数が少ない一方で、発生した際の事故被害が大きい。被害の甚大さは2022年10月29日に韓国ソウルの梨泰院で起こった群集事故が記憶に新しい。この事故での死傷者数は、354

人となった[4]。このような背景より、群集事故を防ぐ方策について研究する意義は高まっているといえる。

群集事故の大きな原因として、人流制御が適切に為されていないことが考えられる。そこで、本研究では、群集事故の発生しやすい環境や人流制御を行うことができていない状況を研究の対象とした。群集事故の起こりやすい環境としては、屋内・屋外の大規模イベントや駅を研究対象とした。人流制御を行うことができていない状況としては、歩きスマホを研究対象とした。研究対象において解決すべき課題を小テーマとして設定し、各人がその課題を研究する。本研究の目的は、適切な人流制御によって、群集事故を未然に防止することである。提案手法については、今後マルチエージェントシミュレーション（MAS: Multi-Agent Simulation）を使用し、効果検証を行う予定である。

本稿の構成は次のようになっている。第2章から第5章で、各小テーマについて記述する。第2章では、群集事故現場における人流阻害要因の特定及び制御の評価について扱う。第3章では、駅の改札にベルトパーテーション等を用いて人流を適切に制御するための方策について扱う。第4章では、歩きスマホレーン設置による歩行者誘導の分析を扱う。第5章では、移動開始時間最適化によるイベント退場の混雑緩和と効率向上を扱う。第6章で、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

## 2 群集事故現場における人流阻害要因の特定及び制御の評価

### 背景と目的

群集事故の原因解明は、単独の事故研究に留まることが多い。単独の事故研究の例として、652人の負傷者を出した2010年のラブパレード（ドイツ）での事故や、2000人以上の負傷者を出した2015年のメッカ（サウジアラビア）でのハッジ（大巡礼）中の事故は、死傷者数が多いことも相まって、さまざまな事故研究が行われている[5]。群集事故の発生頻度はまれで、発生場所や事故の起こったメカニズムが異なることが単独の事故研究に留まる理由として考えられる。それゆえ、サンプルサイズの小ささ、データ収集の難しさから複数の群集事故を対象とした共通する発生箇所の特定や、統計分析はあまり行われてこなかった。しかし、複数の群集事故に共通する原因を明らかにすることができれば、イベン

トにおける警備計画を設計する段階で防止策を考慮することができると考えられる。実際、韓国・梨泰院における事故や、ラブパレード、明石歩道橋事故に共通して、事前の警備計画の不備が原因として挙げられている。そこで、本小テーマでは、複数の群集事故に共通する人流を阻害する要因を明らかにし、人流阻害要因を包摂する環境下において、群集事故を未然防止する方策を提案することを目的とする。

## 関連研究

群集事故の原因については、物理学的な側面からのアプローチが多く行われている。群集を粒状物体と仮定し、物理学的シミュレーションを行うことが容易であることが一因である。例えば、Helbingら[6]は、2006年1月12日にメッカで起こった群集事故の映像を解析して、乱流の発見に至った。こうした事故発生メカニズムの解析は、どのような状態を経て、事故発生に至るのかが明らかとした点で評価できる。しかし、複数の群集事故の未然防止について考慮するとき、発生メカニズムの解析は防止策について具体的な方策を提案しない。複数の事故原因の解析としては、Felcianiら[2]が報道資料からその原因を発見しようと試みている。複数の国の長期間にわたる報道資料を分析するには、情報の伝播の速さや正確性を考慮しなければならないが、情報共有の指標を用いて、年代間の情報共有の不平等を考慮した点で評価できる。しかし、Felcianiらで明らかになった経済的な要因や、都市部への人口流入といったメタ要因は、群集事故における人流制御という観点からの対策が難しい。

## 問題設定

本小テーマにおいては、地形や明るさ、安全柵など、実際にイベント開催時に制御できる項目を重視し、複数の事故に共通する原因分析と、事故防止手法の提案を行うことを目的とする。特に、被害が広範に及ぶことが多い屋外イベントにて起こった事故を分析対象とする。イベント開催時、群集事故防止のために人流制御・空間設計等が行われるが、一般に、制御手法は各イベント会場によって異なると考えられる。会場によって条件が異なるので、制御手法が会場ごとにとられていることは当然である。加えて、イベント会場における制御手法は、同じ会場でイベントを行う際の経験則を元に導出されていると推測される。それゆえ、新たにイベントを開催する場合や、事前に参加人数の検討がつかない場合は、適切な対策を講じることが難しいのではないだろうか。本小テーマにおいては、共通する群集事故原因を明らかにし、新たに対策を提案することによって、群集事故を未然防止できる状態を目的とする。

## 提案手法

本小テーマにおいては、改善策の効果検証までを大きく

1. 人流阻害要因の特定
2. MASモデルの作成
3. 手法の提案と効果検証

で実施する。1.人流阻害要因の特定では、過去100年間で発生した群集事故のデータを収集し、複数の群集事故現場において共通する原因を明らかにする。データについては、Felcianiら[2]で用い

られているデータや、第32回明石市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書[7]で報告された「国内で発生した主な群衆事故」といった資料を元に、自らが分析に用いたい地形や明るさといった指標を追加する。分析は統計的手法や関連研究のサーベイ等を組み合わせて行う。2.MASモデルの作成においては、1.人流阻害要因の特定で明らかとなった共通する事故原因をMASモデル内で再現する。3.手法の提案と効果検証では、2で作成したMASモデル内で群集事故を再現し、その発生確率を提案する提案手法の有無で比較することで、効果を検証する。

## 評価軸

評価軸は、西田らの研究[8]に倣い、効率性、安全性の2軸を考えている。効率性の評価軸としては、速度と流量、安全性の評価軸としては混雑度を採用する。なお、評価軸については、分析結果によって別の評価軸を採用する可能性もある。

## 期待される成果

複数の事故を分析することにより、単一の事故にとどまらない複数の事故に共通する原因が明らかになる。分析結果により、今後のイベント開催時に防止策を立案しやすくなると期待され、また、分析に基づき手法を提案することで、群集事故の未然防止の一助となることが期待される。

## 3 駅の改札にベルトパーテーション等を用いて人流を適切に制御するための方策

### 背景と目的

ラッシュアワー時、イベント時、災害時に想像を大きく超える人流が駅の構内に発生し、駅のホームに人があふれ、電車の運行もなされる中、線路に落ちて電車に轢かれるという危険な状態が起きる。この小テーマでは、人々の安全を確保するために、駅の改札にベルトパーテーション(図2)等を用いて人流を適切に制御する方策を提案することを目的とする。



図2 ベルトパーテーション  
出典: イラストAC

### 関連研究

障害物を置いて人流を制御する研究がなされている。障害物が置かれる位置と障害物の大きさが避難時間に与える影響に関して、障害物の位置が出口から遠い場合は、障害物が大きい方が避難時間が増加するが、障害物が出口から近い場合は、人々が密集して滞留することには変わらず、障害物の大小は避難時間に影響を与えない[9]という研究結果がある。障害物の形状については、柱、壁(パネル)によるもの[10]がある。しかしながら混雑がひどくなった場合では、柱、壁だけでは人々の集中による密集を緩和することはできない。その他に、S字型ガードレール(図3)を用いた先行研究[11]があり、S字型ガードレールは、ジッパー効果(歩行者が

合流する際にお互いぶつからないようにとのプレッシャーから歩くスピードを落とすこと)を和らげ人流をスムーズにするものであり、2層のS字型ガードレールは1層のものより効果があると結論づけている。S字型ガードレールとは、S字型に経路を敷設して秩序だった移動を人々に促すものである。この先行研究がなされた中国においては、一部の駅において実際にS字型ガードレールが用いられているが、S字型ガードレールを用いた人流制御の研究が不足している。



図3 S字型ガードレール

問題設定

S字型ガードレールは先行研究結果からも、混雑時の人流の制御に効果を発揮するものである。しかしながら、日本においては一部の空港での利用に留まり、駅における利用は殆ど見られない状況である。実際に駅に設置した場合、混雑がない日常使用の状況においては、S字型ガードレールがあることにより最短距離で改札まで行けなくなり、人々のストレスを増加させてしまうことが原因の一つであると考えられる。そこで、混雑がない時は人流を阻害せず、混雑時は混雑度に応じて人流を制御し人々の安全を確保するS字型ガードレールを用いたシステムを考えていくものとする。

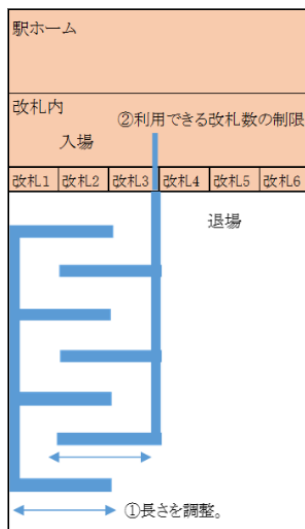


図4 駅改札に設置するイメージ

提案手法

今回、空港ターミナルにおいて見られるベルトパーテーションを用いて、S字の形に経路づけて利用するものとする。前述の問題を解決するために、S字型ガードレールの長さ(図4①)、階層数、自動改札機の利用可能数(図4②)を混雑度合いに応じて制御

することにより、駅が混雑している場合は勿論、駅が混雑していない場合においても乗客にストレスのない制御システムを、MASを用いて効果を検証し、今回、提案を行うものとする。S字型ガードレールの階層数の制御は、ベルトパーテーションのベルトの長さを調整することによる階層調整(図5)により行うものとする。また、自動改札機に通行制御を加えることにより、人流制御を深化させるものとする。シミュレーションにおける制御の内容としては、時間により変化する駅での乗降者数に応じて、動的に以下の設定で行うものとする。

1. S字型ガードレールのベルトの長さを3種類(長い、中間、なし)に調整し、S字型ガードレールの階層数を1から3の3段階
2. 各自動改札機での移動方向(入場/退場)
3. 各自動改札機の通行(可/不可)

尚、混雑している中、S字型ガードレールがない場合に、人々が重なりあうことで移動が滞留し時間をロスする状態をSocial Force Model(SFM)を用いて表現し、S字型ガードレールの優位性を表していくものとする。S字型ガードレール内は、秩序ある行動がなされるため、待ち行列を用いて表現するものとする。

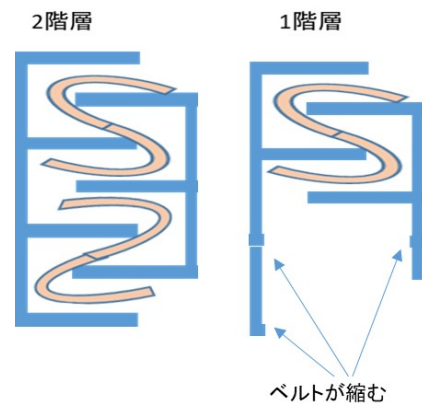


図5 階層調整

評価軸

安全性の確保の観点から、駅ホームへの人間の流入数が危険な数に至らないことが、最も重要な評価軸となる。その中で、駅改札内への人間の流入が完了するまでの時間数と人間の密集度合(密度)を総合的に評価するものとする。但し、駅改札内への流入完了までの時間数が増加しても、人々の密集度合が和らぐことにより、安全性が高まる場合は、そちらを評価するものとする。

期待される成果

駅において、S字型ガードレールを混雑に応じた使用が可能となり、現実的なS字型ガードレールの駅利用が実現する。混雑がない場合はS字型ガードレールがなく人々の通行を妨げることがなく、人々にストレスを与えず、混雑時にはS字型ガードレールが設置されることにより、秩序だった行動を人々に促し、人々の命を守るものとなる。



## 4 歩きスマホレーン設置による歩行者誘導の分析

### 背景と目的

近年、スマートフォンを注視しながら歩行するいわゆる「歩きスマホ」により、円滑な歩行が妨げられたり、歩行者間の衝突が発生したりしている。Web上で行われたアンケートによると、全国の15～79歳の男女のうち12.5人に1人は歩きスマホで何かとぶつかった経験があると回答している[12]。歩きスマホユーザーへの対策として、条例による規制や、スマートフォン本体による歩きスマホ検知機能の実装[13]、各種啓発活動などが挙げられるが、本小テーマでは歩行環境に介入を行うことで安全な通行の実現ができないかを検討するものとする。今回は、海外で試験的に行われた「歩きスマホレーン」[14]による歩行者誘導によって、歩行者衝突がどのように変化するか、また効果的な設置方法について検討する。

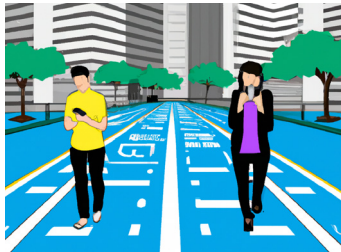


図6 歩きスマホレーンのイメージ (DALL-Eによる生成)

### 関連研究

歩きスマホなど、注意散漫な歩行者は「スマートフォンゾンビ」と呼ばれ、その行動特性については数多くの研究がなされている。ベルギーのコーレンマクトル広場の監視カメラを解析したところ、歩きスマホをしていたユーザーは歩行者全体の7.8%ほどであった[15]。また、歩行者に占める歩きスマホユーザーの割合が高まれば高まるほど、歩行者全体の通行速度を低下させているという研究結果も存在する[16]。

### 問題設定

環境上に歩行者レーンと歩きスマホレーンを設置し、東西方向から歩行するエージェントを歩行者として歩行者シミュレーションを実施する。歩行者の属性としては、歩きスマホユーザーと非歩きスマホユーザーを一定の割合で設定する。また、レーンを意識しないユーザーも想定される。歩きスマホレーンを意識するエージェントは自身が歩きスマホをしている場合にレーンに移動する行動をするのに対して、歩きスマホレーンを意識しないエージェントはそのような行動をとらない。

歩きスマホ/非歩きスマホと組み合わせて、エージェントは以下の4タイプを想定する。

1. 歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識するユーザー
2. 歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識しないユーザー
3. 非歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識するユーザー
4. 非歩きスマホ×歩きスマホレーンを意識しないユーザー

### 提案手法

歩道上に歩きスマホレーンを取る配置を、複数のパターンで検証する。

1. 歩きスマホレーンを道路中央に取るパターン
2. 歩きスマホレーンを道路両脇に取るパターン
3. 道路混雑状況に応じて、歩きスマホレーンを設置/解除するパターン

1のパターンでは歩きスマホを行う歩行者がレーン中央に集中するのに対し、2のパターンは歩きスマホをしないユーザーによって歩きスマホレーンが隔離されることから、結果が異なることが想定される（歩きスマホ同士の衝突が減るのではないかと予想する）。また、混雑時は歩きスマホを行うリスクが高まることが想定されるため、設定・解除を行うことができるパターンも想定する（混雑時のみスマホレーンを解除する）。

また比較対象として、歩きスマホレーンを設定しないパターンも検証する。

### 評価軸

安全性と道路効率を考慮し、下記2点を評価軸とする

1. 歩行者間の衝突発生率（衝突発生回数/全歩行者数）
2. 歩行者の平均移動速度

### 期待される成果

歩きスマホユーザーが一定のレーンに集まった結果、歩行速度の異なる歩行者が区別されることで全体の歩行速度が上がるのが想定される。安全性に関しても、歩きスマホユーザーを分けることで衝突回数が減る可能性もあるが、かえって危険が増大する可能性も考えられるため、シミュレーションを行い結果を前後比較する。また、歩きスマホレーンを設置したことにより歩きスマホを行う人口が増える可能性も考慮したうえでシミュレーションを実施する。これらの検証により、より安全かつ効率的な歩きスマホレーンの設置方法を特定する。

## 5 移動開始時間最適化によるイベント退場の混雑緩和と効率向上

### 背景と目的

スポーツ大会やコンサートなどを代表とする大規模イベントは、人々に娯楽を提供すると同時にイベント自体も高い経済価値があり、現代社会における重要な構成要素である。年々イベントの規模は大規模化しており、イベント終了後の安全かつ速やかな退場の誘導も重要なポイントになっている。しかしながら、イベント会場から退場する場合、多くの参加者を一斉移動させると合計移動時間が少なくなるが、安全上のリスクが上昇し、混雑も起きやすくなり、最悪の場合、群集事故も発生し得る。一方、参加者の退場開始時間を分けて退場させる場合、安全性が高まるが、全参加者の合計退場時間が増えることがある。つまり、安全性と効率性のトレードオフが発生している。本小テーマでは、安全性と効率性の両方を重視しながら、イベント参加者を会場から退場させる方策を提案することを目的とする。

## 関連研究

大規模イベントの社会的 중요性と必要性について、Druryらの研究[17]では、大規模イベントが多くの人に仕事を与えると言及した。Staintonの文書[18]では、コロナ禍でイギリスのイベント開催が大幅に減少し、その状況が続くと関係者にとって仕事の危機から社会的問題が発生しうること注目している。また、Sharmaらの研究[19]では、韓国で発生した大きな事故を代表とした、死傷者が出た群集事故が研究され、イベント参加時及び入退場時の秩序維持の重要性が言及された。これらの研究では、本小テーマにおける大規模イベント退場時の混雑緩和と効率向上の重要性と必要性が示されている。

Hoogendoornら[20]は、歩行者の行動レベルに関して、①「Strategic Level」（移動開始時間の選択）と②「Tactical Level」（移動経路の選択）、そして③「Operational Level」（障害物の回避）を定義している。本小テーマは、①「Strategic Level」と②「Tactical Level」について扱う。また、西田ら[8]が群集混雑を緩和する方法に関して、①「群集制御」と②「空間設計」を定義している。本小テーマは①「群集制御」について扱う。同じ群集制御を扱う研究として、Haghaniらは、移動時間を分けるより一斉移動したほうが早く退場が完了することを発見した[21]。東京ドームに対する研究[22]では、移動開始時間を分散させることによる混雑緩和への有効性が証明されている一方、全員退場完了までの時間について非効率とも指摘されている。これらの研究から、方法、会場に拘わらず、退場の安全性（混雑状況）と効率性（全員退場までの時間）のトレードオフが課題になっていることが分かる。また、Abdelghanyら[23]は、出口が複数存在する場合は、移動開始時間を分散させることが移動時間短縮に貢献すると報告しているが、経路選択に関しては扱っていない。

## 問題設定

西田らの研究[8]では、「Strategic Level」に関する研究は未だに少ない。また、そのレベルに関わる前述の関連研究のように、既存研究には「移動開始時間を分散させると、混雑緩和に効果があるが、退場時間に対しては非効率である一方、一斉退場させると効率性が高まるが、安全リスクも高まる」という、安全性と効率性のトレードオフが発生していることが分かっている。そこで、いかに安全性を保ちつつ、速やかにすべての参加者を全員退場させるかが、本小テーマで解きたい問題である。

## 提案手法

本小テーマでは、最適な経路選択が組み込まれたダイナミック伝播式退場方策を提案する。このような方策によって安全性と効率性のトレードオフの最適化を図るものとする。つまり安全性（場内混雑状況）と効率性（全員退場までの時間）両方が高いレベルに至ることを目標とする。そこで、図7のようなシミュレーション環境にて効果を検証することとする。また、当提案の前提条件は以下とする。

1. 会場は主会場（ホールのような空間）、通路と出口で構成される
2. 主会場から会場を出るには、第一出口（主会場にある扉）と

通路を経由する必要がある

3. 通路には分岐と合流がある
4. 主会場、各出口（第一出口を含む）、通路の分岐には監視カメラが設置され、リアルタイムの流量状況を把握できる
5. イベント参加者はすべて何かしらのスマートデバイス（スマートフォン、スマートウォッチなど）を保有し、管理者からの指示（移動開始指示、退場経路指示）をリアルタイムで受けられる

**ダイナミック伝播式退場**は、図7の主会場エリアに配置されているエージェントの移動開始時間を制御するメソッドである。一見Abdelghanyらが提案したブロック分け退場方式[23]と同じ、退場開始時間を分散しようとする方策であるが、ブロック単位より、個人単位で退場開始時間を案内することによって、さらに細かい粒度から退場開始時間を分散させ、一か所の出口に大人数が集中することを回避できる。また、退場経路も個人単位に案内することによって、より複雑な場面でもスムーズな退場プロセスを図る方策である。その詳細は以下となる。

1. 主会場の各扉（以降：第一出口）に対して、最大瞬時容量となる人数分だけ、各扉への距離順で参加者を選択し、移動開始案内を行い、退場プロセスを開始させる
2. 退場の詳細経路を途中経路の距離と混雑状況を考慮した方法（後述）で、第一出口に到達する時点で計算する
3. 一定の時間間隔 $t$ で、各第一出口と最も近い、かつ動き出していない一定人数の参加者 $N$ 名を、対象参加者のスマートデバイスを通して移動開始指示を出す
4. 複数の出口が同じ参加者を選択する場合、プログラム上先に処理される出口を優先する
5. 会場内に設置された監視カメラを通して、各退場経路の流量状況と将来の流量見込み（後述）を把握し、それに合わせて各第一出口にあたる $N$ の値を変動させる（ $N$ 値を変動させる具体的なアルゴリズムは今後決めることとする）

この方策によって、会場内すべての通路が最大流量にできるだけ近づきつつ、過密にならないようバランスをとれることを期待している。

**最適経路選択**は、主に図7の通路エリアのような、分岐と合流のある複雑な経路環境にて、出口までの距離だけでなく、途中の混雑状況（到達する時点の予想混雑状況）も考慮し、場合によって大回りもして全体的に最短時間で出口まで至れる経路選択する方法になる。なお、膨大な計算を避ける為に、通路全体でなく、各第一出口、通路の分岐と合流（いわゆるボトルネックになりそうな場所、以降「ボトルネック」）のみ混雑状況の計算を行う。その詳細は以下となる。

1. 主会場にあるすべての第一出口に対して、すべての最終出口までのすべての経路をボトルネックレベルで算出。例えば、第一出口0から最終出口1まで第一出口2、分岐3（左）という路線と、第一出口2、分岐4（右）、分岐6（左）で行ける場合、その第一出口に[0, 2, 3, 1], [0, 2, 4, 6, 1]を保存

2. 各経路の距離/混雑評価値を式(1)で算出

$$S = aD + b \sum_{i=1}^n C_i t \tag{1}$$

うち、Sは各経路に対する評価値。aは距離の換算因子、bは混雑状況の換算因子、aとbはデータ単位化の役割を担い、結果に対して距離と混雑状況をできるだけ同じ影響力を持たせる目的をしている。Dは該当経路が出口までの総距離。Cは各ボトルネックの混雑状況、tは該当参加者がそのボトルネックに到達する予測時点で、全参加者の平均スピードと各ボトルネックまでの距離で算出する。よってC<sub>t</sub>は参加者が該当ボトルネックを通過する時点の予想混雑状況で、現在移動中の全参加者の経路選択情報から、t時点で該当ボトルネックにいる参加者数から算出する（より具体的な計算方法はこれから追加していく予定である）

3. 評価値が一番望ましい（一番S値が小さい）経路を選択する。  
 なお、選択された経路が持つボトルネックに対して、経過予想時点を通し、予想混雑状況を更新させる。現状、計算量削減の為、経路計算は1回のみ（第一出口に到達する時点で行うこととし、各分かれ道の誘導（経路選択）は経路計算する時に固定とする

同時に、シミュレーションのリアル性向上の為に、エージェントの移動アルゴリズムをHelbingら[24]が提案したSFMを用いる想定で、エージェントの行動パターンを性別、年齢、性格（指示に従う確率）と運動能力などの属性でコントロールする想定である。

以上の方策を通して、リアルワールドと近い環境にて流量コントロールすることで退場の安全性問題を解決し、また、各ボトルネックの流量を最大流量にできるだけ近くすることによって、安全な状態を維持できる範囲内において一番効率よく参加者を退場させることを期待している。

また、結果比較の為、同じ会場にて、退場策を導入せず、参加者を自由退場させる場合と、Abdelghanyらが提案したブロック分け退場方式[23]を導入した場合もシミュレーションを行う予定である。

評価軸

本小テーマはNetLogoでシミュレーションを行う予定で、前述3つのシナリオをそれぞれシミュレーションを行って、結果を分析する予定である。評価軸として、安全性評価と効率性評価を予定している。

1. 安全性評価は、会場内すべてのボトルネックに対する最高人流密度曲線式(2)と平均人流密度曲線式(3)でとる

$$f_{max}(t) = C_{max} t \tag{2}$$

$$f_{avg}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n C_i t}{n} \tag{3}$$

ここで、C<sub>max</sub>tとはt時点における会場全体の最大混雑値（人/平方メートル）、C<sub>i</sub>tはt時点におけるボトルネックiでの混雑値である

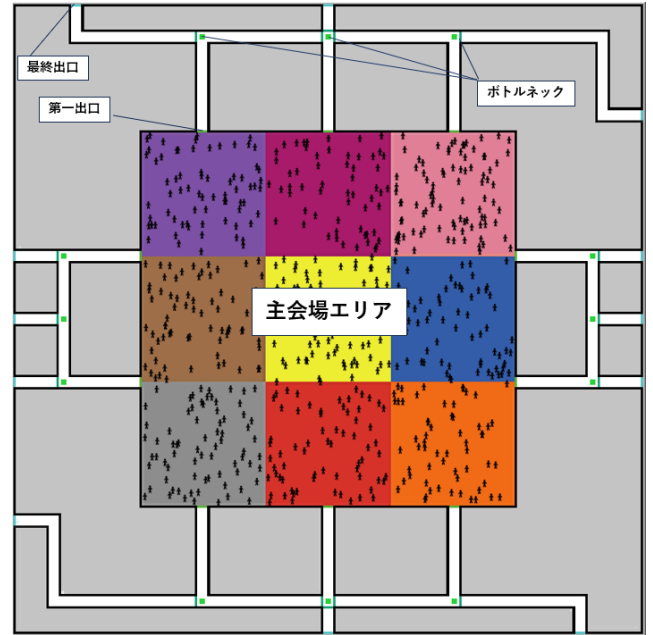


図7 シミュレーション環境のイメージ。検証実験の為、主会場エリア（色が付いている部分）はAbdelghanyらが設計した[23]会場と概ね同じ、通路エリア（グレーゾーンと白い通路部分）は提案策の効果検証する為の分岐と合流を含む通路である。また、主会場エリアに分布している黒い点の集団はエージェント（イベント参加者）である。主会場エリアと通路の接点は第一出口とし、通路と環境境界の接点は最終出口とする。

2. 効率性評価は、退場開始から会場内すべての参加者の退場までの時間T<sub>総</sub>と各参加者の平均退場時間  $\frac{T_{総}}{N_{参加者}}$  でとる

期待される成果

本小テーマの提案策を導入した場合、退場プロセスの安全性、効率性評価値ともAbdelghanyらが提案したブロック分け退場方式[23]を導入した場合より高くなることを期待している。もしその結果になる場合、この策をイベント主催者に提案し、条件のある会場/イベントに導入することも期待している。

6 まとめと今後の展望

本研究では、群集事故の被害の甚大さを憂慮し、群集事故を防ぐ方策を研究テーマとした。今後は、MASの実装を進めることにより、状況を再現し、各自の提案手法の有効性を検証していく予定である。

各テーマの今後の展望は次のようなものを期待している。

第2章では、群集事故現場における人流阻害要因及び制御の評価をテーマとした。今後は、複数の群集事故に共通する人流阻害要因に対して、具体的な改善策を提案し、MASで改善策の効果を検証する予定である。

第3章では、駅の改札にベルトパーテーション等を用いて人流を適切に制御するための方策をテーマとした。今後は、駅において、S字型ガードレール等を用いて人流を制御する適切なタイミングを把握するため、MASによる安全性、効率性についての検証を行う予定である。第4章では、歩きスマホホレーン設置による歩行者誘導の分析をテーマとした。今後は、歩きスマホホレーンを設置することによる円滑な歩行の達成を目的に、MASでレーンをどのように設置すると歩行者の衝突に効果的か検証していく。

第5章では、移動開始時間最適化によるイベント退場の混雑緩和

と効率向上をテーマとした。今後は、安全性と効率性のトレードオフを解消した上で、イベント参加者を会場から退場させることを目的に、複雑な会場環境での退場プロセスを再現し、提案手法が既存のプロセスより安全性、効率性で優れていることを検証していく。

## 謝辞

PBL副担当の伊藤潤准教授、そしてPBL認定登録外部評価者の阿部健太氏に、深謝する。

## 参考文献

1. 東京都立産業技術大学院大学. PBL (Project Based Learning) 型教育. Available: <https://aiit.ac.jp/education/pbl/>
2. Feliciani C, Corbetta A, Haghani M, Nishinari K. Trends in crowd accidents based on an analysis of press reports. *Safety Science*. 2023;164: 106174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106174>
3. The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). EM-DAT - The international disaster database. Available: <https://www.emdat.be/>
4. Ministry of Interior and Safety. 서울 이태원 사고 대처상황보고서(11.14. 23:00). Available: [https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=Hz+JQQesiPnJSOPzIVvUrfDo.node20?bbsId=BBSMSTR\\_000000000336&nttId=96570](https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=Hz+JQQesiPnJSOPzIVvUrfDo.node20?bbsId=BBSMSTR_000000000336&nttId=96570)
5. Helbing D, Mukerji P. Crowd disasters as systemic failures: analysis of the love parade disaster. *EPJ Data Science*. 2012;1. doi:10.1140/epjds7
6. Helbing D, Johansson A, Al-Abideen HZ. Dynamics of crowd disasters: An empirical study. *Physical Review E*. 2007;75. doi:10.1103/physreve.75.046109
7. 明石市総務局総合安全対策室. 国内で発生した主な群衆事故. Available: <https://www.city.akashi.lg.jp/anzen/anshin/matsurijiko/documents/siryout29.pdf>
8. 西田遼, 重中秀介, 加藤優作, 大西正輝. 群集シミュレーションによる歩行空間設計と制御に関する研究動向. *人工知能学会論文誌*. 2022;37: J-LB1\_1-16. doi:10.1527/tjsai.37-2\_J-LB1
9. Jia X, Murakami H, Feliciani C, Yanagisawa D, Nishinari K. Pedestrian lane formation and its influence on egress efficiency in the presence of an obstacle. *Safety Science*. 2021;144: 105455.
10. Zhao Y, Li M, Luc X, Tiana L, Yud Z, Huang K, et al. Optimal layout design of obstacles for panic evacuation using differential evolution. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2017;465: 175–194.
11. Chen H, Wang Y, Wang J, Li H, Jiang J, Ni L, et al. Effect of S-shaped guardrails on pedestrian crowd flows in bottleneck areas. *Safety Science*. 2023;159: 10620.
12. 歩きスマホと交通事故 | 全国300人調査で見る「ながらスマホ」衝突トラブルの傾向. Available: <https://agoora.co.jp/jiko/knowledge/walkingsmartphone-traffic-accident.html>
13. 歩きながらスマートフォンを操作すると警告画面を表示する「歩きスマホ注意アプリ」の提供開始について. Available: <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2014/07/17/besshi506.html>
14. 中国の重慶に登場した「歩きスマホ専用レーン」. Available: [https://www.icr.co.jp/newsletter/global\\_perspective/2014/Gpre2014074.html](https://www.icr.co.jp/newsletter/global_perspective/2014/Gpre2014074.html)
15. Gorsev Argin HT Burak Pak. Between post-flâneur and smartphone zombie: Smartphone users' altering visual attention and walking behavior in public space. *International Journal of Geo-Information* Volume 9 Issue 12. 2020 [cited]. Available: <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/12/700>
16. 玉田瑛子, 浅本紀子. MASを用いた歩きスマホの迷惑さの測定. 第149回IS研究発表会. 2019. Available: <http://is.ocha.ac.jp/~gradthesis/pdf/grad/2018/2018grad73.pdf>
17. Drury J, Rogers MB, Marteau TM, Yardley L, Reicher S, Stott C. Reopening live events and large venues after covid-19 “lockdown”: Behavioural risks and their mitigations. *Safety Science*. 2021;139: 105243. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105243>
18. Stainton R. Why reopening the events industry is critical to the uk's economic recovery. *elitebusiness*. Available: <https://elitebusinessmagazine.co.uk/analysis/item/why-reopening-the-events-industry-is-critical-to-the-uk-s-economic-recovery>
19. Sharma A, McCloskey B, Hui DS, Rambia A, Zumla A, Traore T, et al. Global mass gathering events and deaths due to crowd surge, stampedes, crush and physical injuries – lessons from the seoul halloween and other disasters. *Travel Medicine and Infectious Disease*. 2023;52: 102524. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2022.102524>
20. Hoogendoorn SP, Bovy PHL. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2004;38: 169–190. doi:[https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00007-9)
21. Haghani M, Sarvi M. Following the crowd or avoiding it? empirical investigation of imitative behaviour in emergency escape of human crowds. *Animal Behaviour*. 2017;124: 47–56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.11.024>
22. 丹羽了, 鷹見竣希, 重中秀介, 大西正輝, 保高徹生, 内藤航. データ同化を用いた大規模イベントにおける分散退場の効果分析. 第21回情報科学技術フォーラム. 2022;4: 65–72.
23. Abdelghany A, Abdelghany K, Mahmassani H, Alhalabi W. Modeling framework for optimal evacuation of large-scale crowded pedestrian facilities. *European Journal of Operational Research*. 2014;237: 1105–1118. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.054>
24. Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*. 1998;51: . doi:10.1103/PhysRevE.51.4282

# デジタルデバイス用配色トレーニングアプリケーションを活用した色彩感情に関する研究

Research on color emotion using color scheme training applications for digital devices

河西 大介<sup>1\*</sup> 大野 綾<sup>1</sup> 折戸 隆樹<sup>1</sup> 越水 重臣<sup>1</sup>  
Daisuke Kasai<sup>1\*</sup> Aya Ono<sup>1</sup> Takaki Orito<sup>1</sup> Shigeomi Koshimizu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Daisuke Kasai, kasai-daisuke@aait.ac.jp

**Abstract** In this study, we utilized a web-based color scheme training application to examine colors associated with nine adjectives among female university students from the Department of Life Sciences. The study was conducted with a total of 115 participants, 47 from 2021 and 68 from 2022, aged 18 to 20. The results showed consistent trends in color associations between 2021 and 2022. Furthermore, a combined analysis of the results from both years suggested four tendencies in color associations based on the adjectives. This research indicated the potential validity of the color scheme training application. Future research aims to expand the scope of participants by considering gender, age, nationality, and more. Additionally, to further enhance the reliability and validity of the color scheme training application, comparative studies using color chips are also considered a challenge.

**Keywords** color scheme training applications; color sentiment

## 1 はじめに

色彩感情に関する先行研究は数多く見られ[1-5]、その結果から色彩好悪はゆっくりと経年変化することや色彩が持つイメージと色彩象徴はあまり変化しないことなどが指摘されている。色彩感情の主な調査方法は40~75色程度の2cm×2cmほどのカラーチャート(色票)を使用することが多く見られる[6,7]。カラーチャート(色票)を使用することで、適切な照明環境で被験者は色を目視し調査を進めることが可能だが、手間がかかり一回に複数の被験者に対して実施することは難しい調査方法でもある。

一方で、昨今のパソコンやスマートフォンの急激な普及に伴い、広告媒体は従来の紙媒体やテレビだけでなく、インターネット領域に急速に展開している。この背景の中で、色彩教育及び色彩に関わる調査をパソコンなどのデジタルデバイスを取り入れた取り組みが進められている[8-10]。デジタルデバイスを活用することで、複数の被験者を対象とした調査の実施や調査結果の集計の効率化に加えWebを活用することでどこからでもアクセスできるメリットが考えられるがこれまで十分な研究はされていない状況である。

本調査ではデジタルデバイス用の配色トレーニングアプリケーション[11,12]を活用し9つの形容詞から連想される色について検討する。加えて、デジタルデバイス用の配色トレーニングアプリケーションの妥当性についても検討を行う。

## 2 研究方法

### 調査対象

本研究における調査は生活科学部の女子大学生を対象に2021年(11月~12月)に47名、2022年(11月~12月)に68名(18歳~20歳)の合計115名を対象に実施した。

### 調査方法

被験者には各自のデスクトップパソコンもしくはノートパソコンから配色トレーニングアプリケーションのWebページにアクセスしてもらい、9つの形容詞から連想する色について

回答を得た。9つの形容詞はカラーイメージスケール[13]を参考に「愛らしい」「楽しい」「豪華な」「素朴な」「味わい深い」「格調のある」「優雅な」「気品のある」「合理的な」とし、回答する色数は1色とした。

なお、学生に対して、本研究以外の目的に使用しないことを説明し、無記名式の回答をもって同意を得るものとした。

### 配色トレーニングアプリケーションについて

配色トレーニングアプリケーションに使用するカラーパレットは、PCCSカラーチャートより12色相と12トーンの有彩色144色に加えて無彩色12色のRGB値を参考にし[14]、カラーパレットに並べた際に色相とトーンの変化が均等になるように微調整した計156色とした(図1)。また、配色トレーニングアプリケーションのレイアウトは左側には色を選択するカラーパレットと下部に選択した色が確認できるスペースが表示され右側には設問が表示される(図2)。

なお、注意点としてWebページに表示した配色トレーニングアプリケーションの色の見え方はデスクトップパソコンもしくはノートパソコンのディスプレイなどの環境により変化

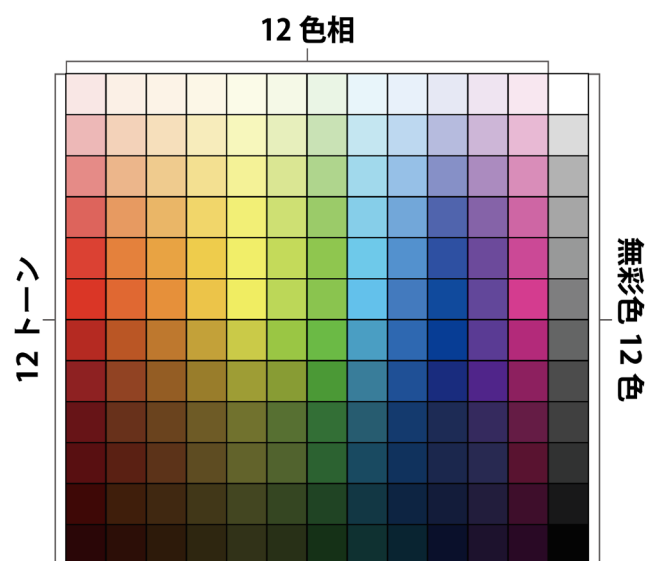


図1 配色トレーニングアプリケーションのカラーパレット画面

することを前提として使用する必要がある。

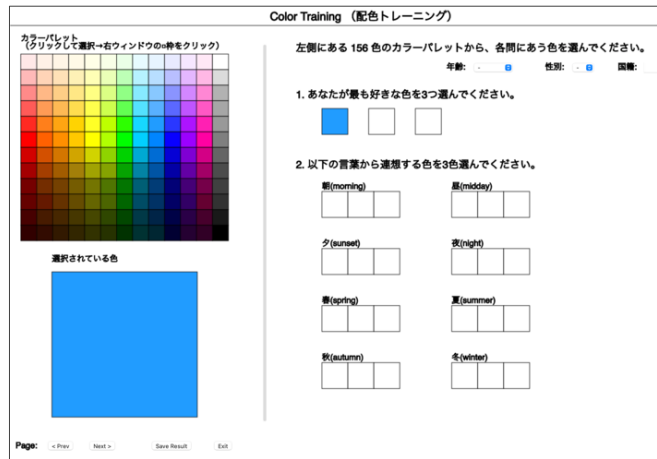


図 2 配色トレーニングアプリケーションのメイン画面例

倫理審査委員会

本調査は、産業技術大学院大学研究安全倫理委員会の審査と承認を得て実施した。

3 調査結果

年毎の比較のため、2021年と2022年の2年間にわたり、9つの形容詞についての分析結果を図3から図21に示す。

「愛らしい」

「愛らしい」から連想された色は2021年、2022年に最も多かったのが#FFB8E6(2021年:36.2%、2022年:29.4%)次に#FF88D5(2021年:19.1%、2022年:17.6%)、#FFE8F6(2021年:6.4%、2022年:10.3%)であった(図3・4)。

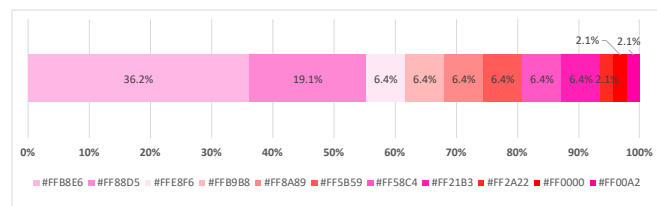


図 3 2021年「愛らしい」分析結果 (N=47)

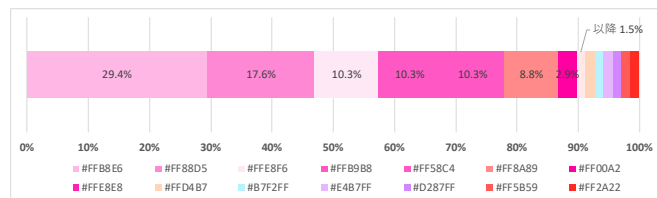


図 4 2022年「愛らしい」分析結果 (N=68)

「楽しい」

2021年において「楽しい」から連想された色は#FFFF4Cが17.0%と最も高く、#FFA511・#FFFF26・#FF6100・#FFFF00が共に10.6%であった(図5)。2022年において#FFFF26が14.7%、#FFFF00が11.8%、#FF7F1A・#FFA511が8.8%で

あった。両年の上位においては同一のものが多く確認された(図6)。

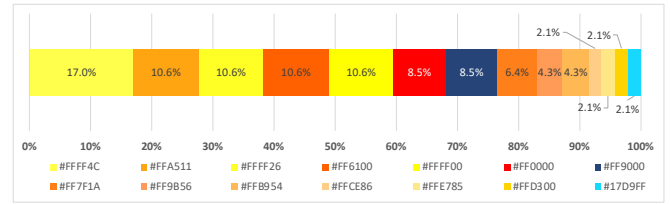


図 5 2021年「楽しい」分析結果 (N=47)

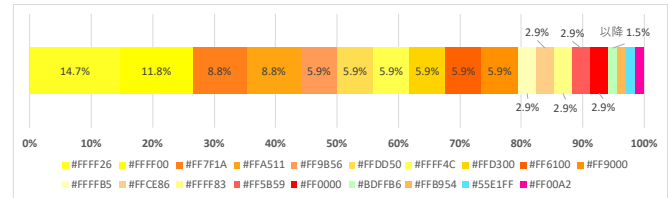


図 6 2022年「楽しい」分析結果 (N=68)

「豪華な」

「豪華な」から連想された色は、2021年において#FF0000が12.8%として最も多く、続いて#FFFF00・#D30085・#750000が8.5%であった(図7)。2022年において#FFFF00が8.8%、#FF0000が7.4%、#BF55FFが5.9%であった(図8)。両年の1位と2位は同順ではないが同じ色であることが確認された。

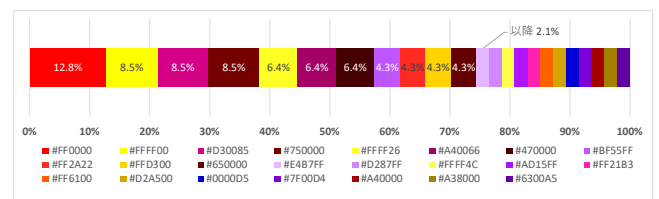


図 7 2021年「豪華な」分析結果 (N=47)

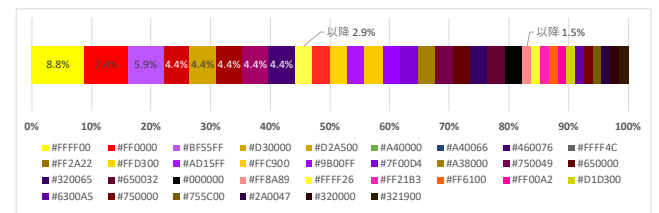


図 8 2022年「豪華な」分析結果 (N=68)

「素朴な」

「素朴な」から連想された色は2021年において#DBDBDBが12.8%、#FFF1B6・#999999・#463700が6.4%であった(図9)。2022年において#DBDBDB・#B2B2B2が7.4%、#E8F4FF・

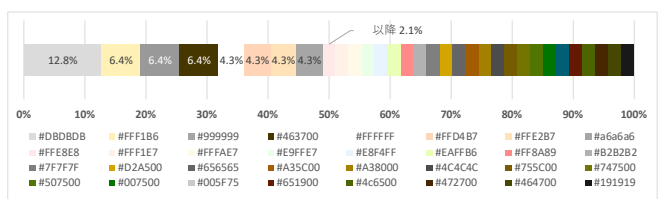


図 9 2021年「素朴な」分析結果 (N=47)

# FFFFFF・# FFE2B7・# FFFFB5・# A6A6A6・# 463700 が共に4.4%であった(図10)。両年を通じて# DBDBDB が最も高い割合であることが確認された。

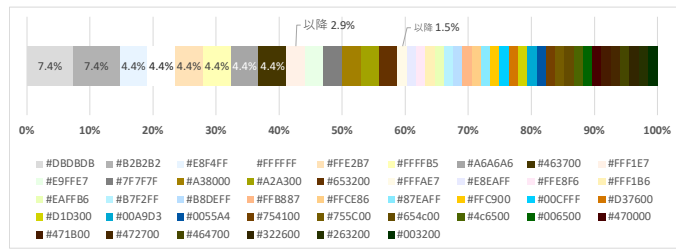


図10 2022年「素朴な」分析結果 (N=68)

「味わい深い」

「味わい深い」から連想された色は2021年において# FF2A22 が6.7%、# D35000・# D37600・# D1D300・# 750049・# 650000・# 304700・# 003200 が共に4.4%であった(図11)。2022年において上位は# A35C00・# 750000・# 320000・# 003200 が共に5.9%であった(図12)。両年通じて、多くの色が選ばれており、特定の色が特に高い割合で選ばれるということは少なくなってきていることが確認された。

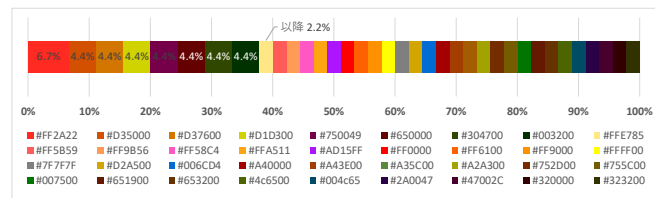


図11 2021年「味わい深い」分析結果 (N=45)

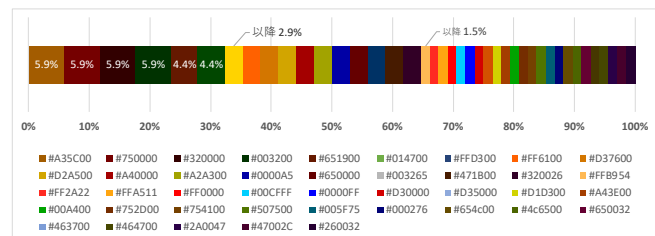


図12 2022年「味わい深い」分析結果 (N=68)

「格調のある」

「格調のある」から連想された色は2021年において# A40000 が8.9%、# FF2A22・# FFFF00・# D30000・# 000276 が共に6.7%であった(図13)。2022年において# A40000 が8.8%、# 6300A5 が7.4%、# 000032 が5.9%であった(図14)。両年において# A40000 が上位であることが確認された。

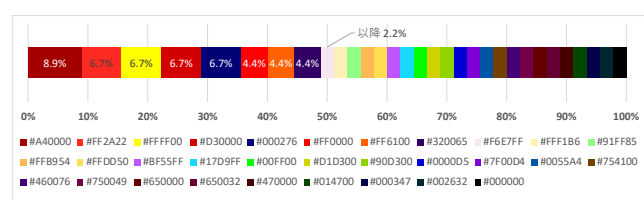


図13 2021年「格調のある」分析結果 (N=45)

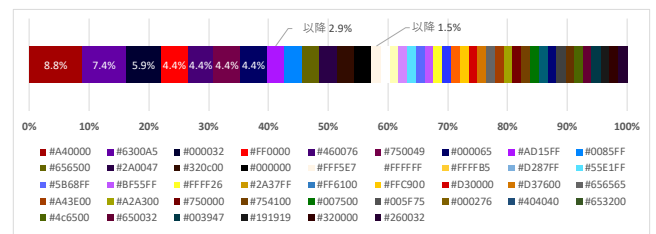


図14 2022年「格調のある」分析結果 (N=68)

「優雅な」

「優雅な」から連想された色は2021年において# A40066・# 750000 が6.7%であった(図15)。2022年において# D287FF・# 7F00D4 が8.8%、# 460076・# 320065 が5.9%であった(図16)。両年ともに選択される色数が多くなり、高い割合で選ばれる色が少なくなっていることが確認された。

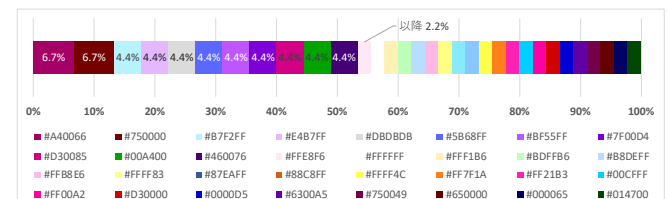


図15 2021年「優雅な」分析結果 (N=45)

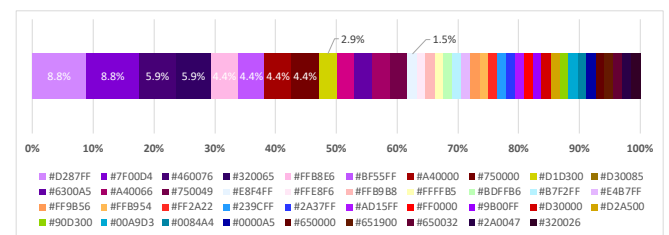


図16 2022年「優雅な」分析結果 (N=68)

「気品のある」

「気品のある」から連想された色は2021年において# BF55FF・# AD15FF・# 460076 が6.7%であった(図17)。2022年において# 320065 が7.4%と最も高く、# 6300A5・# 460076 が5.9%であった(図18)。両年ともに選択される色数が多くなり、高い割合で選ばれる色が少なくなり、選択される色相の幅が広いことが確認された。

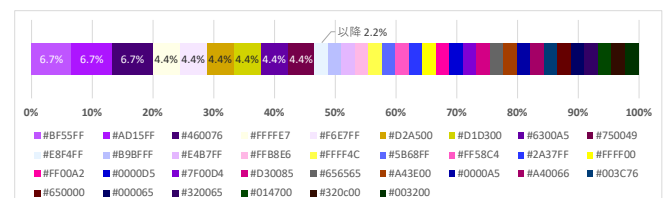


図17 2021年「気品のある」分析結果 (N=45)

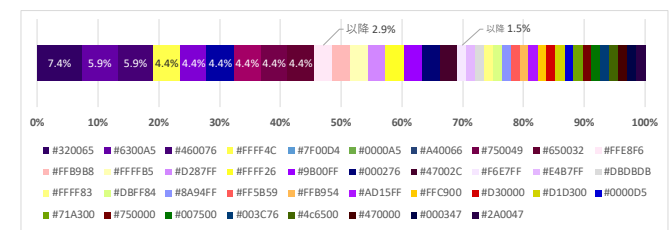


図18 2022年「気品のある」分析結果 (N=68)

「合理的な」

「合理的な」から連想される色は2021年において#000000が11.4%と最も多く、#0000D5が9.1%、#FF0000・#0085FFが6.8%であった(図19)。2022年においては#000000が7.4%、#2A37FF・#D30000・#656565が5.9%であった(図20)。

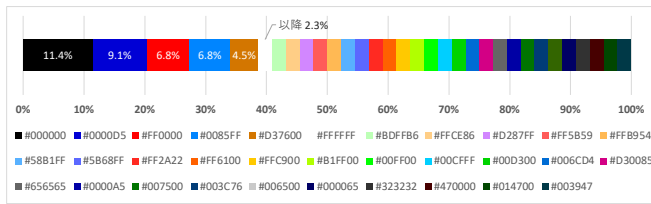


図 19 2021年「合理的な」分析結果 (N=44)

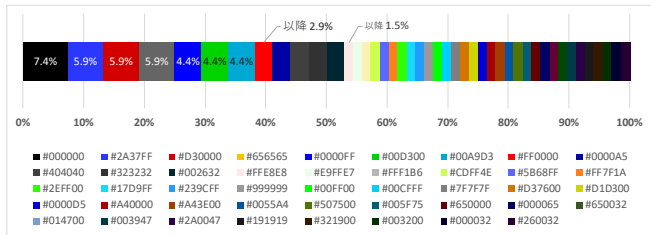


図 20 2022年「合理的な」分析結果 (N=68)

4 考察

本調査結果から、2021年と2022年において連想された色に同じ傾向が見られたため、これらの年をあわせ各形容詞の色相とトーンに関する分析結果を図21から図38に示す。

分析結果から、各形容詞から連想された色には4つの傾向があると考えられる。1つ目は「愛らしい」「楽しい」「豪華な」の形容詞に見られる特定の色相とトーンに集中が見られるもの(図21-26)、2つ目は「素朴な」「味わい深い」「優雅な」「気

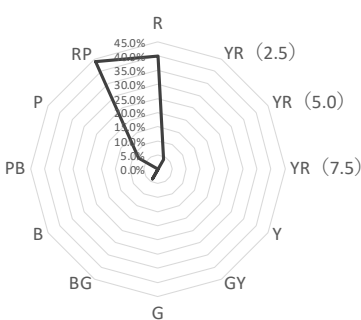


図 21 「愛らしい」色相分布 (N=115)

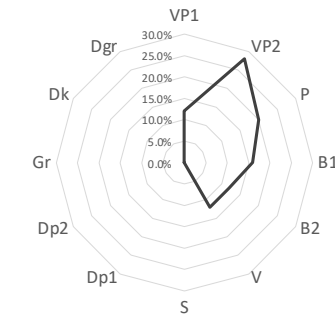


図 22 「愛らしい」トーン分布 (N=115)

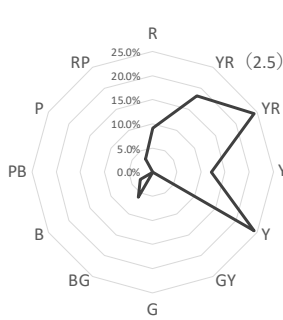


図 23 「楽しい」色相分布 (N=115)

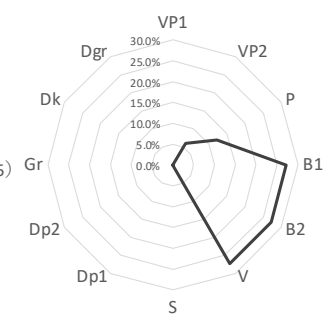


図 24 「楽しい」トーン分布 (N=115)

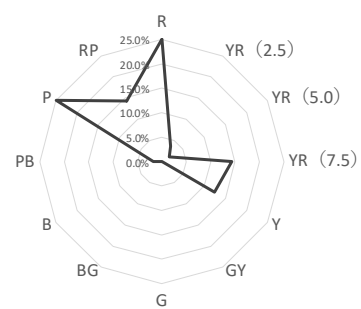


図 25 「豪華な」色相分布 (N=115)

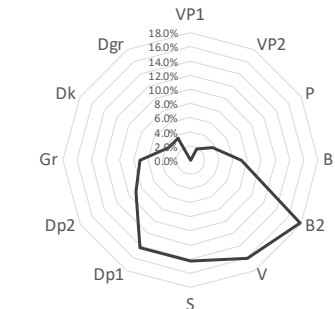


図 26 「豪華な」トーン分布 (N=115)

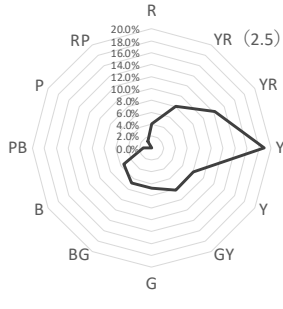


図 27 「素朴な」色相分布 (N=115)

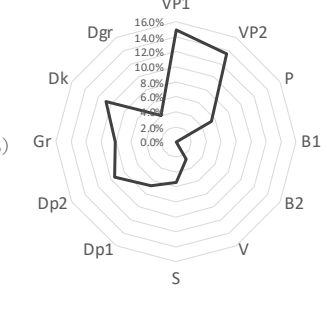


図 28 「素朴な」トーン分布 (N=115)

品のある」の形容詞に見られる色相は集中しているがトーンに幅が見られるもの(図27-30、図33-36)。3つ目は「合理的な」に見られるトーンは集中しているが色相に幅が見られるもの(図37・38)。最後に「格調のある」に見られる色相とトーンの両方に幅が見られるものである(図31・32)。これは各形容詞から連想されるものが明確であるならば色相とトーンに集中が見られ、連想が曖昧であれば色相とトーンの両方に幅が見られるのではないかと考えられる。なお、本研究では形容詞から連想する色の要素のみに焦点を当て、特定の調査対象者のみを対象としたため、今後は性別、年齢、国籍などの様々な視点からの調査が必要である。また、配色トレーニングアプリケーションの信頼性と妥当性を高めるために、カラーチップを用いた調査との比較を行うことも今後の課題としたい。

5 まとめ

本研究では、Web用配色トレーニングアプリケーションを活用し9つの形容詞から連想された色について生活科学部の女子大学生を対象に2021年に47名、2022年に68名(18歳~20歳)の合計115名を対象に実施した。その結果、2021年と2022年において連想された色に同じ傾向が見られることがわかった。さらに、2021年と2022年の調査結果をあわせて分析すると、各形容詞に基づく色の連想には4つの傾向があることが示唆された。また、この調査を通じて、デジタルデバイス用の配色トレーニングアプリケーションの妥当性が示唆された。



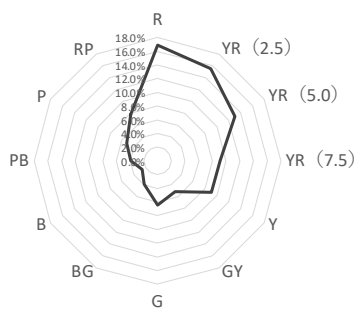


図 29 「味わい深い」色相分布 (N=113)

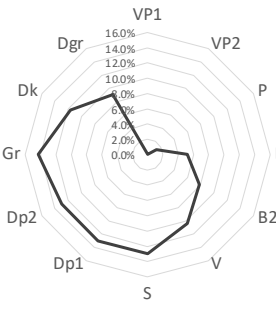


図 30 「味わい深い」トーン分布 (N=113)

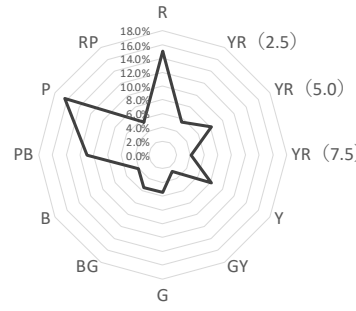


図 31 「格調ある」色相分布 (N=113)

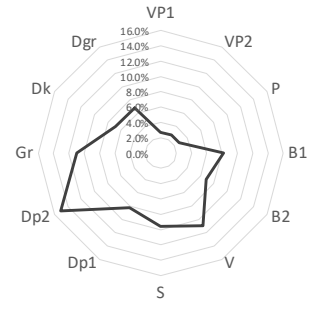


図 32 「格調ある」トーン分布 (N=113)

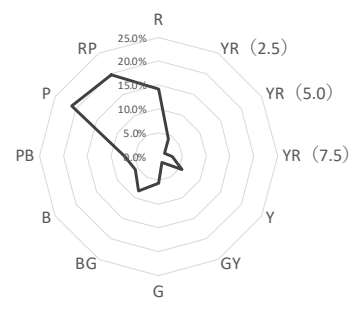


図 33 「優雅な」色相分布 (N=113)

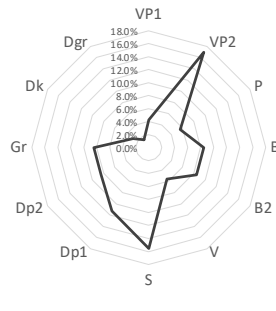


図 34 「優雅な」トーン分布 (N=113)

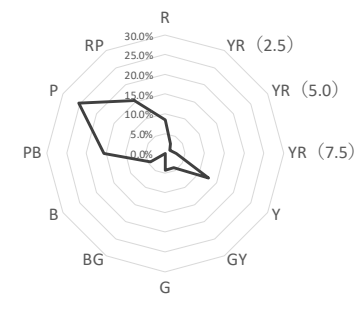


図 35 「気品のある」色相分布 (N=113)

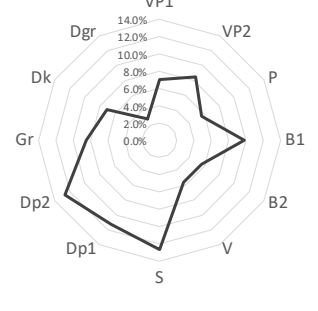


図 36 「気品のある」トーン分布 (N=113)

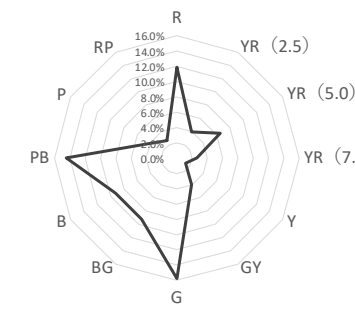


図 37 「合理的な」色相分布 (N=112)

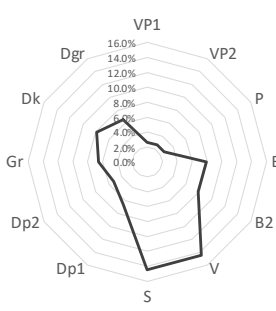


図 38 「合理的な」トーン分布 (N=112)

## 6 今後の課題

今後の研究では、被験者の性別、年齢、国籍などの範囲を拡大する調査に加えて、配色トレーニングアプリケーションの信頼性と妥当性をさらに高めるために、カラーチップを用いた比較調査も行うことが課題である。

## 参考文献

- 千々岩彰彦. 図解・世界の色彩感情辞典. 東京: 河出書房新社; 1999.
- 大山正. 色彩象徴に関する一研究. 色彩研究. 1964;11: 55-59.
- 大山正, 田中靖政, 芳賀純. 日米学生における色彩感情と色彩象徴. 心理学研究. 1963;34: 109-121.
- 伊藤久美子, 大山正. 色彩感情の経年的研究 (1) 色彩嫌悪と色彩象徴. 日本色彩学会誌. 2006;30: 112-113.
- 伊藤久美子. 色彩好悪と色彩象徴の経年比較. デザイン学研究. 2008;55(4): 31-38.
- 松田博子, 名取和幸, 破多野智美. 好きな色と自己イメージとの関係-色イメージと自己イメージとパーソナリティ特性-. 日本色彩学会誌. 2020;44(3): 161-164.
- 越水綾. カラーチャートの色配置の違いが嗜好色判定に与える影響-3シーズンの調査結果から-. 日本色彩学会誌. 2020;44(3): 253-256.
- 栗野由美. デジタル色彩学の検討とカリキュラム開発-メディア芸術・デザイン系学生を対象とした教育実践の検討-. 日本色彩学会誌. 2007;31: 42-45.

- 若田忠之, 齋藤美穂. PCCS 表色系の iPad ディスプレイ上における RGB 値の視感測色. 日本色彩学会誌. 2015;39(5): 101-104.
- 田原紫, 村松慶一, 松居辰則, 齋藤美穂. カラーカードとディスプレイにおける色彩感情に関する因子構造の比較. 日本色彩学会誌. 2013;37(3): 304-305.
- 折戸隆樹, 河西大介, 大野綾, 越水重臣. 色彩教育におけるデジタルデバイス用配色トレーニングアプリケーションの開発-アプリケーションの開発について-. 日本色彩学会第 53 回全国大会発表予稿集. 2022: 152-154.
- 河西大介, 折戸隆樹, 大野綾, 越水重臣. 色彩教育におけるデジタルデバイス用配色トレーニングアプリケーションの開発-アプリケーションの評価と分析-. 日本色彩学会第 53 回全国大会発表予稿集. 2022: 155-158.
- 小林. 日本カラーデザイン研究所(編). カラーシステム. 講談社; 1990.
- 財団法人日本色彩研究所編. デジタル色彩マニュアル. 株式会社クレオ; 2004.



Open Access This article is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

# 学修を継続するための仕組みの試み

An architecture for achieving continuous learning

小山 裕司<sup>1\*</sup> 松本 省二<sup>2</sup>

Hiroshi Koyama<sup>1\*</sup> Shoji Matsumoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>藤田医科大学 Fujita Health University

\*Corresponding author: Hiroshi Koyama, koyama@aiit.ac.jp

**Abstract** There are several challenges in higher education. Recently, video classrooms, flipped classrooms, and video social networking services such as YouTube have become popular drastically. It has improved learning opportunities for busy people. However, educational video materials are less effective in making students motivated to continue learning, providing entertainment for learning, and improving comprehension of learning content. To solve these problems, we designed an architecture that adds factors of gamification and positive reinforcer to CBT (Computer Based Testing) exams to enforce educational video materials. This paper reports on this architecture and its challenges.

**Keywords** computer based testing; educational video material; gamification; social networking; positive and negative reinforcer

## 1 はじめに

高等教育では、対象者に対応した学修の機会の提供、学修内容の理解度の改善及び確認、学修意欲の維持等の多数の課題が存在する。

最近では、新型コロナウイルス感染症等に起因するメディア授業の普及、反転授業、アクティブラーニング等の各種の授業手法の実践、YouTube等の動画SNS (Social Networking Service) の流行から動画教材の活用が増加している[1,2]。動画教材の活用は、時間的及び場所的制約がある社会人学生、医療従事者等に対する学修の機会の提供では特に有効である。動画教材の効果を次に挙げる[3-7]。

- 通学負担無し及び受講時刻自由であるため、学修の負担である時間的及び場所的制約が軽減され、学修の機会が増加する。
- 繰り返し視聴したり、再生速度を調整したり、一時停止したりすることができるため、各自の速度で学修を進め、理解度を高めることができる。
- 反転授業等、講義から演習に至る授業の流れを設計することができる。
- 字幕、カット、OP・ED、BGM、エフェクト等の編集によって教育効果を補強することができる。

本学 (産業技術大学院大学) は 2006 年の開学当初から社会人の仕事との両立に配慮した学修環境を整備し、社会人の学び直しのための環境の改善を行ってきた。原則、すべての授業は録画され、後日視聴することができた。授業を欠席した場合は、授業動画の視聴によって、授業内容を補うことはできたものの、欠席扱いであった。

2014 年度には、従来の《授業動画のオンライン視聴》の仕組みを流用し、新たに《録画視聴型の授業 (録画型授業)》を開始した。この新しい仕組みでは、授業を欠席した場合でも、録画された授業動画を視聴し、視聴確認テストに合格すれば、出席扱いに変更した。この仕組みは、社会人学生の通学負担を軽減することで学修機会を改善すると同時に、反転教育類似の録画視聴の繰り返し及び教材の改善によって学生の理解度を高める効果から高度専門職育成の教育の質を改善することが目的

であった。録画型授業は、通常の授業を録画したものが大半を占めたが、あらかじめ事前に録画した専用の動画及び教材を準備する科目もあった[1,2]。

授業動画を視聴したことを確認する手段である視聴確認テストには、本学標準の教育支援システム (LMS: Learning Management System) の manaba[8]の CBT (Computer Based Testing) 型試験 (小テスト機能) が使われることが多い。

図 1 に CBT 型試験による視聴確認テストの例を示す。

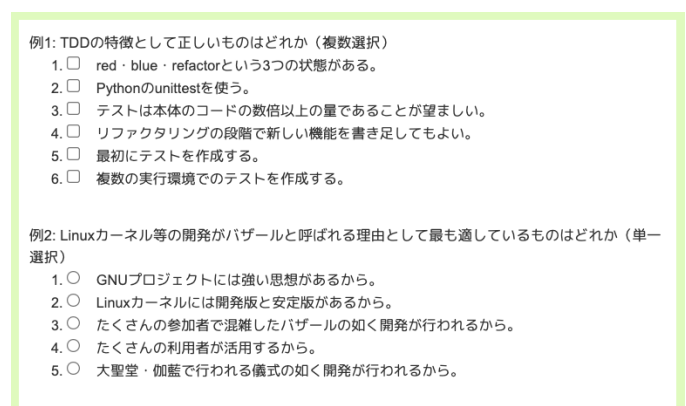


図 1 CBT 型試験による視聴確認テストの例

視聴確認テストは原則、次回あるいは次の週の授業までに視聴確認テストを課すことを推奨している。著者の視聴確認テストは概ね 5 問、うち 2 問が単一選択、3 問が複数選択、80 点以上を合格 (出席扱い) とした。manaba の小テストには自動採点機能があり、事前に設定した正解と配点で、学生の提出時に自動的に採点を行い、合否を示すことができる。

著者の視聴確認テストの設問上の配慮を以下に示す。

- 授業録画の視聴による理解のみで解ける。
- 平均 90 点を設問の目安に設定し、はじめに視聴すれば、満点が取れるが、油断すれば、合格できない。
- Wikipedia 等のインターネット検索で容易に回答を発見できる設問は避ける。
- 視聴確認テストであろうが、勉強の一部であるため、できるだけ理解すべき知識 (要点) が確認できることが望ましい。

- 勉強上、意味がない設問は避ける（スライドの何枚目の先頭文字等）。明らかに誤っている選択肢を避ける。

自動採点機能を有する CBT 型試験は視聴の確認のみに限れば効率的である。しかし、教員の授業設計に依存するが、大福帳と呼ばれる学生・教員間の連絡帳によって視聴確認を行う科目もある。大福帳は、学生が各授業後に授業の感想、質問等を提出するコミュニケーションカードである。これに対して教員が短い返事を返却することで、学生・教員間の信頼関係、学生の授業参加の意識の改善、授業内容の理解及び定着等の効果があることが指摘されているが、学生数次第では教員の負担を考慮する必要がある[9]。

今回は、動画教材を補い、次に示す効果を提供するため、CBT 型試験にゲーム及び行動分析学の要素を付与した仕組みを設計した。

- 没頭感、楽しさ、達成感から学修の目標達成の意欲、動機付け、継続性を高める。
- 継続の結果、学修内容の理解度の改善及び確認を行う。

本稿の第 2 章ではゲームの要素、第 3 章では行動分析学の要素を整理し、第 4 章では、CBT 型試験にこれらの要素を付与した仕組みの設計を示す。最後の第 5 章では、試作版から現状の課題及び今後の改善を列挙し、本稿をまとめる。

## 2 ゲームの要素

ゲームデザインの要素を活用し、ゲーム以外の領域でも没頭感、達成感を実現する取り組みは、ゲーミフィケーションと呼ばれ、2010 年頃から各種の領域で業務効率の改善、また問題解決に積極的に活用されてきた。

ゲームでは、目的達成に至るまでに幾多の失敗を経験する。しかし、ゲームには自分だったら達成できるという「徹底した楽観性」、一緒に時間を過ごした信頼感による「ソーシャル連携」、自ら苦勞を買って出る「至福の生産性体験」、困難に立ち向かう「叙事詩」等の要素があり、これらによって、目的達成に至るまでの失敗を楽しみ、時間を費やし、目的達成を自ら繰り返し試みる意欲、動機付けが生じることが知られている[10]。

ゲーミフィケーションに流用されるゲームデザインの要素は次のように整理できる。

1. 目的  
最終的に何を達成してほしいかというゲームの目的を決定する（例：システム設計の知識を修得する等）。これをどのように測定するかを意識する。ゲーム等のように仮想空間であれば、目的は自由に設定できるが、教育等の現実の領域では目的の設定の自由度は制限されることがある。
2. 規則、制約、アーキテクチャ  
目的達成に至る過程にゲームの規則、活動のサイクルを設計する。どういう行動をしてほしいかを意識する。

3. 報酬、ポイント、レベル  
行動、結果、勝敗等を記録し、これらを数値で表現したり、ポイント（Point）等を付与したり、目的、成果に至る進歩、進捗、蓄積を報酬あるいはレベルアップに関連付ける。
4. クエスト、ミッション  
冒険の旅に相当する課題（小さい目標）を設定する。段階的に難しい課題を設定する。達成時には階級、成績優秀、達成の証等として、バッジ（Badge）等を付与し、達成感を醸成する。バッジは、ポイントを固まりにしたものと解釈できる。
5. 競争、交流  
最近のゲームには当然のように SNS 要素が付与されている[11]。目的の達成には、参加者間の進捗の競争、集団の協働によるクエスト攻略等も効果的である[12]。

ポイント及びバッジは金銭的価値に相当するものとして付与することもありうるが、これらを適切に記録し、効果的にステータスとして表示したり、競争の状態を順位としてランキング表示（Leader Board）したりすることでも、ゲーミフィケーションの動機付け効果が増加する。ポイント、バッジ、ランキング表示はこれらの英語での頭文字からゲーミフィケーションの PBL と呼ばれる。自らのステータス、進捗等を確認することは達成感では重要であるが、ランキングによって競争意識を刺激したり、進捗を対外的に示したり、賞賛、誇り等の承認欲を満たしたりすることも重要である。

ゲーミフィケーションの事例としては、多頻度顧客の優遇制度、ウォーキングポイント等による健康増進制度が代表的である。教育、健康増進のシステムでは、学修成果、ダイエット効果等が実質的報酬として付与されることも重要である。

また、医療の領域では VR 等を活用して没入感を高めるゲーミフィケーションの取り組みが始まっている[13]。著者らの専門の脳卒中分野では、神経学的重症度を評価するスケールである NIHSS（National Institutes of Health Stroke Scale）の学修において、旧来の動画教材よりも eラーニング型の動画教材のほうが有効であり、ゲーミフィケーションも効果があることが報告されている[14-16]。

## 3 行動分析学の要素

我々の行動を統制する要素には、法律、市場、規範、アーキテクチャが挙げられる[17]。しかし、動物あるいは子供のようには、法律、市場、規範による統制が難しい場合であって、「アメとムチ」とも呼ばれる、行動分析学の好子及び嫌子の原理はある程度効果的であることから、動物あるいは子供の躰にこの原理が従来から使われてきた[18]。この原理による習慣あるいは動機付けが、ハマる仕組みとして機能することから、最近ではソーシャルゲーム等にもこの原理が流用されている。

- 好子の原理（アメ、褒美）  
行動の直後に発生すれば、未来の行動の生起頻度を上げ

る刺激。褒められる、評価される、餌をくれる、ポイントが貯まる等の嬉しい刺激（褒めて育てる戦略）。

- 嫌子の原理（ムチ、罰）  
行動の直後に発生すれば、未来の行動の生起頻度を下げる刺激。怒られる、否定される、ポイントが没収される等の悲しい刺激。

次に一般の例を示す。

- 挨拶すれば、挨拶を返してくれた（アメの出現）  
⇒ また挨拶する。
- 手伝いをしたら、褒められた（アメの出現）  
⇒ また手伝う。
- ある頭痛薬を飲んだら、頭痛が治った（ムチの消滅）  
⇒ 頭痛のときは頭痛薬を服用する。
- 食事をしたら、立腹を忘れた（ムチの消滅）  
⇒ 怒ったときは何か食べる。

これらの原理の流用によって、日常的に行動を習慣あるいは動機付ける。システム的设计では、(1) 何らかの行動が起こったら、すぐに常にアメが出現したり、ムチが消滅したりする仕組み（例：1日1回ログインすれば、ポイントが付く等）を準備する。

しかし、この仕組みが日常的であれば、概して次第に効果が弱まるため、(2) 行動の回数、継続、時間間隔等によって多めにアメが出現する仕組み（例：7日連続ログインすると、多めにポイントが付く等）で補う。同様に、(3) 大当たり（乱数）あるいは期間限定のアメによって補強する。これらの効果は維持され、習慣付けの効果を発揮する。

#### 4 仕組みの設計

次に、これらの要素をシステムに付与する設計を試みる。初期の試作版の設計では、次の仕組みを準備した。

- 開始時にポイントを付与する。
- 取り組み（解いた問題の数）にしたがってポイントを付与する。
- 日常の取り組みに対してポイントを付与する。
- 取り組みを継続したとき（1週間連続等）もポイント及びバッジを付与する。
- 特定の知識の修得等の小さな目標をクエスト（特定の目標）として設定する。
- クエストを達成したときはバッジを付与する（図2）。
- 一定のポイント数に到達したときもバッジを付与する（図2）。
- 一緒に協働クエストを達成したときは両者にポイントを付与する。
- ポイントのランキングを表示する（図3）
- 現在の状態（ポイント数等）を表示する。

これらの仕組みの構成概念図を図4に示す。



図2 バッジ（目標達成の証）の例

1		Carol	97
2		花子	73
3		Alice	61
4		Bob	53
5		太郎	2

図3 ランキング表示（競争）の例

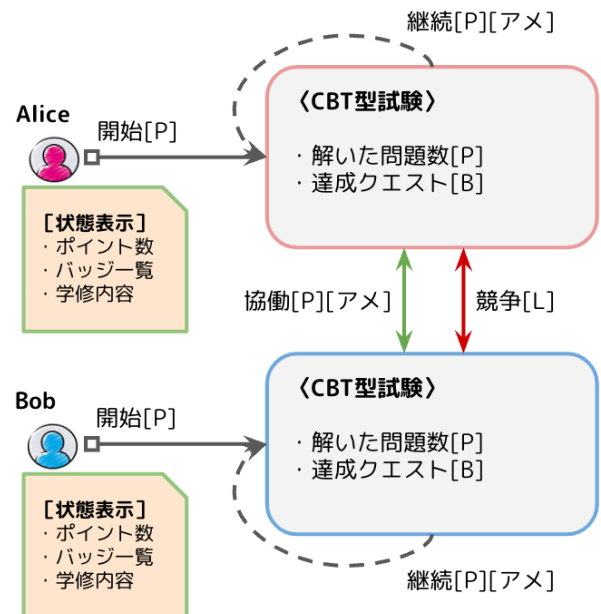


図4 学修の意欲を増強する仕組みの構成概念図

#### 5 まとめ

本稿では、最近活用されることが急増してきた動画教材を補うため、CBT型試験にゲーム及び行動分析学の要素を付与し、

学修の目標達成のための継続性を高め、学修内容の理解度を改善する仕組みの設計を行った。

今回の設計では、CBT 型試験に次に示す PBL の概念等を組み込み、学修意欲から継続性を高めることを試みた。

- ポイント
- クエスト
- バッジ
- 現在の状態表示
- ランキング表示（競争）
- ソーシャル連携（協働）

最後に、現状の課題及び今後の改善等を列挙する。

- ゲーム要素等の付与を巧みに設計する。  
単にゲーム要素等を付与するだけでは、飽きられてしまったり、また、相手が賢い場合、違和感、挫取感が生じ、習慣付け効果が一瞬にして消滅してしまったりすることもある。簡単に達成できる段階から、次に達成感がある目標を適切に設定する等の自然に楽しめるバランスが重要である。
- 個々のレベルを適切に設定する。  
難易度等のレベルを個々に適切に設定でき、目標を端的に示す。
- 学修の結果を適切に記録する。  
本来の本質である学修内容自体も履歴等を蓄積し、いままでに何を学び、どの程度スキルアップしたか、次に何を学ぶかを示す。

また、CBT 型試験自体の再設計も必要だと感じた。CBT 型試験では図 1 で例示した単一選択（ラジオボタン）及び複数選択（チェックボックス）が使われることが多い。本学標準の LMS の manaba の CBT 型試験では、これら以外にも単語、文章、一対一の対応付け、整列等のいくつかの設問機能を使うことができる。また誰に対しても同じ問題が出題される直線型（LOFT: Liner On the Fly Testing）のほかに、複数の問題からランダムに出題するドリル機能を選ぶこともできる。したがって、これらの機能を活用するという選択もありうる。しかし、文部科学省 CBT 型試験（MEXCBT）[19]、CBT 型試験を活用した語学教育の Duolingo[20]等では、動画・音声等のメディア問題等の新しい設問機能があり、これらを参考にした設計も有効だと思われる。Duolingo には、設問機能以外にも、ランキング等のゲーム要素の組み込み、誤った問題のみの再出題等、興味深い機能が多数ある。

## 参考文献

1. 小山裕司. 動画教材作成のためのスクリプト言語の試み. 産業技術大学院大学 紀要 第 16 号. 2023.
2. 小山裕司. 動画教材の自動生成スクリプトの試み. 博多:情報処理学会 第 167 回 コンピュータと教育研究会. 2022.
3. 小山裕司. 録画視聴型の授業の取り組み及び評価. 産業技術大学院大学 紀要 第 9 号. 2015.
4. Shoji Matsumoto, Hiroshi Koyama, et al. Reduced Workflow Times for

- Reperfusion Therapy for Acute Ischemic Stroke Using a Visual Task Management Application. *Stroke: Vascular and Interventional Neurology*. 2023;1. Available from: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/SVIN.122.000551>
5. Shoji Matsumoto, Hiroshi Koyama, et al. A Visual Task Management Application for Acute Ischemic Stroke Care. *Frontiers in Neurology*. 2019;10. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2019.01118/full>
6. 小山裕司, 松本省二, 吉良潤一. 急性期脳梗塞治療支援システムの取り組み. 情報処理学会 論文誌. 2015;5: 1390-1398. Available from: [https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository\\_uri&item\\_id=160373&file\\_id=1&file\\_no=1](https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_uri&item_id=160373&file_id=1&file_no=1)
7. 小山裕司, 松本省二. ICT を活用した急性期脳梗塞治療の評価及び教育の取り組み. 札幌:教育システム情報学会 第 43 回 全国大会. 2018.
8. manaba. 2007. Available from: <https://manaba.jp/>
9. 早川美徳. オンライン版「大福帳」を用いた授業改善. 大学 ICT 推進協議会 年次大会論文集. 2017. Available from: [https://axies.jp/\\_files/report/publications/papers/papers2017/WA1-5.pdf](https://axies.jp/_files/report/publications/papers/papers2017/WA1-5.pdf)
10. Jane McGonigal. Gaming can make a better world. TED Talks. 2010. Available from: [https://www.ted.com/talks/jane\\_mcgonigal\\_gaming\\_can\\_make\\_a\\_better\\_world](https://www.ted.com/talks/jane_mcgonigal_gaming_can_make_a_better_world)
11. CityVille. 2010. Closed
12. Richard Bartle. Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD Research*. 1996. Available from: <https://mud.co.uk/richard/hcds.htm>
13. Nicola S, Virag I, Stoicu-Tivadar L. VR Medical Gamification for Training and Education. *Stud Health Technol Inform*. 2017;236:97-103. PMID: 28508784.
14. Lyden P, Brott T, Tilley B, Welch KM, Mascha EJ, Levine S, Haley EC, Grotta J, Marler J. Improved reliability of the NIH Stroke Scale using video training. NINDS TPA Stroke Study Group. *Stroke*. 1994 Nov;25(11):2220-6. doi: 10.1161/01.str.25.11.2220. PMID: 7974549.
15. Koka A, Suppan L, Cottet P, Carrera E, Stuby L, Suppan M. Teaching the National Institutes of Health Stroke Scale to Paramedics (E-Learning vs Video): Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res*. 2020 Jun 9;22(6):e18358. doi: 10.2196/18358. PMID: 32299792; PMCID: PMC7312264.
16. Harring AKV, Røislien J, Larsen K, Guterud M, Bugge HF, Sandset EC, Kristensen DV, Hov MR. Gamification of the National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) for simulation training-a feasibility study. *Adv Simul (Lond)*. 2023 Feb 22;8(1):4. doi: 10.1186/s41077-023-00245-4. PMID: 36810284; PMCID: PMC9945669.
17. Lawrence Lessig. Code: Version 2.0. Basic Books. 2006.
18. 杉山尚子, et al. 行動分析学入門. 産業図書. 1998.
19. 文部科学省 CBT システム（MEXCBT）. 2021. Available from: [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/mext\\_00001.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/mext_00001.html)
20. Duolingo. 2012. Available from: <https://www.duolingo.com/>

# Reception tendency of Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) L1S "disaster crisis report" signal

Keiko Shimazu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Keiko Shimazu, shimazu-keiko@aait.ac.jp

**Abstract** We conducted an experiment to verify that if the positioning signals of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) were being received (outputted from the receiver), the "disaster crisis report" signal would also be received (outputted from the receiver). We observed whether there were any differences in the reception characteristics when using Spresense and MAX-M10S for receiving the "disaster crisis report" signal broadcasted in the L1S band of QZSS. For our experimental study, we prepared two units each of Spresense and MAX-M10S. We used the same accessories, such as antennas, for both devices, with the exception of the chips themselves. In our experimental study, the results showed that when using MAX-M10S, there were no disruptions in the output of positioning signals. However, there were disruptions in the output of the "disaster crisis report" signal. On the other hand, when using Spresense, not only were there disruptions in the output of the "disaster crisis report" signal, but there were also disruptions in the output of the positioning signals.

**Keywords** navigation satellite signal; missing communication; reception test

## 1 Introduction

We are planning to utilize the "disaster crisis report" signal broadcasted in the L1S band of QZSS to provide a service for guiding evacuations to the affected individuals during large-scale disasters where the regular communication infrastructure is disrupted. GNSS (Global Navigation Satellite System), represented by GPS (Global Positioning System) developed by the U.S. Department of Defense, is known for providing information services to determine the location of receivers. GNSS broadcasts not only positioning information but also time information, making it promising for utilization during the critical period following a disaster. In particular, the aim is to deliver evacuation instructions for the immediate aftermath of a severe disaster in areas where the regular communication infrastructure is likely to be disrupted. In order to deliver evacuation instructions to affected individuals during the critical period following a disaster, we collaborated with officials responsible for Galileo, the European GNSS, and jointly developed a dedicated message structure[1].

This initiative aims to utilize QZSS, the Japanese positioning satellite system, for the distribution of evacuation instructions. Galileo and QZSS have nearly identical communication bands for broadcasting towards their respective ground stations. Figure 1 illustrates this by diagrammatically representing the wireless transmission bands of Galileo in the upper section and QZSS in the lower section, depicting the communication between the satellites and the ground[2]. Let's focus on the highlighted portion, the second from the bottom on the left side, labeled as "L1 Downlink" in Figure 1. From the ground station on the lower right, Galileo utilizes the frequency band of 1559MHz to 1591MHz, represented as the E1 band, using the C-band to broadcast evacuation instructions during the critical period as an Early Warning Service (EWS). Similarly, in QZSS, the frequency band of 1560MHz to 1590MHz, indicated as the L1 band, is used to broadcast evacuation instructions as a Disaster and Crisis (DC) report. By jointly developing the messaging system for delivering evacuation instructions during the critical period, it has become possible to broadcast the same evacuation instructions from both the QZSS's DC Report (Disaster Crisis Report) and Galileo's EWS (Emergency Warning Service) positioning satellite systems. The mechanism for obtaining positioning information involves the receiver of each system receiving signals from multiple positioning satellite systems orbiting the Earth. The receiver then performs calculations such as triangulation and other algorithms to derive the output as the location information. On

the other hand, the signals for the evacuation instructions during the critical period that we aim to deliver through QZSS and Galileo are currently not distributed by other positioning satellite systems. Therefore, in this study, we specifically aimed to verify through experimentation that if the positioning signals are being received (outputted from the receiver), the DCReport signal of QZSS can also be reliably received (outputted from the receiver).

This paper takes the following structure. Section 2 presents a review of previous studies that provide the background leading up to the experiments described in this paper. Section 3 outlines the experimental specifications for the current study, while Section 4 presents the experimental results. Section 5 discusses the findings and presents future plans. Furthermore, throughout this paper, the term "DCReport signal" will be used to refer to the signal utilizing QZSS's DCReport.

## 2 RELATED WORKS

There is a report[3] on the reception of the DCReport signal. The DCReport signal used in this report is generated according to the message format developed jointly by Japan and Europe for delivering evacuation directives. [3] discovered that there are instances where the DCReport signal cannot be received despite the reception of positioning signals. Here, the term "reception of positioning signals" refers to the condition where the message begins with GQGSV, followed by satellite numbers, elevation and azimuth angles, and the C/No (Carrier-to-Noise) ratio being specified in the output. Currently, the ground stations of QZSS have implemented a broadcasting pathway for the DCReport signal, which is designated as MT43 and is used to broadcast disaster information provided by the Japan Meteorological Agency every 4 seconds. In the absence of specific disaster information, MT63 is broadcasted instead. Therefore, the DCReport signal is outputted from the receiver every 4 seconds, while the positioning signal is outputted every second. In reference to[3], they conducted an experiment where the DCReport signal, generated according to the previously mentioned message format developed jointly by Japan and Europe, was broadcasted for a certain period. The experiment took place from August 20th to 23rd, 2019, between 10:00 in the morning and 17:00 in the evening. Reception records were reported during repetitive round trips on the approximately 10 km coastal roads of Omori Route 1 and Shimohama Route in Noshiro City, Akita Prefecture, Japan (as shown in Figure 2), using both walking and driving modes. Despite being in an environment where the positioning signal was received and outputted by the receiver every second,

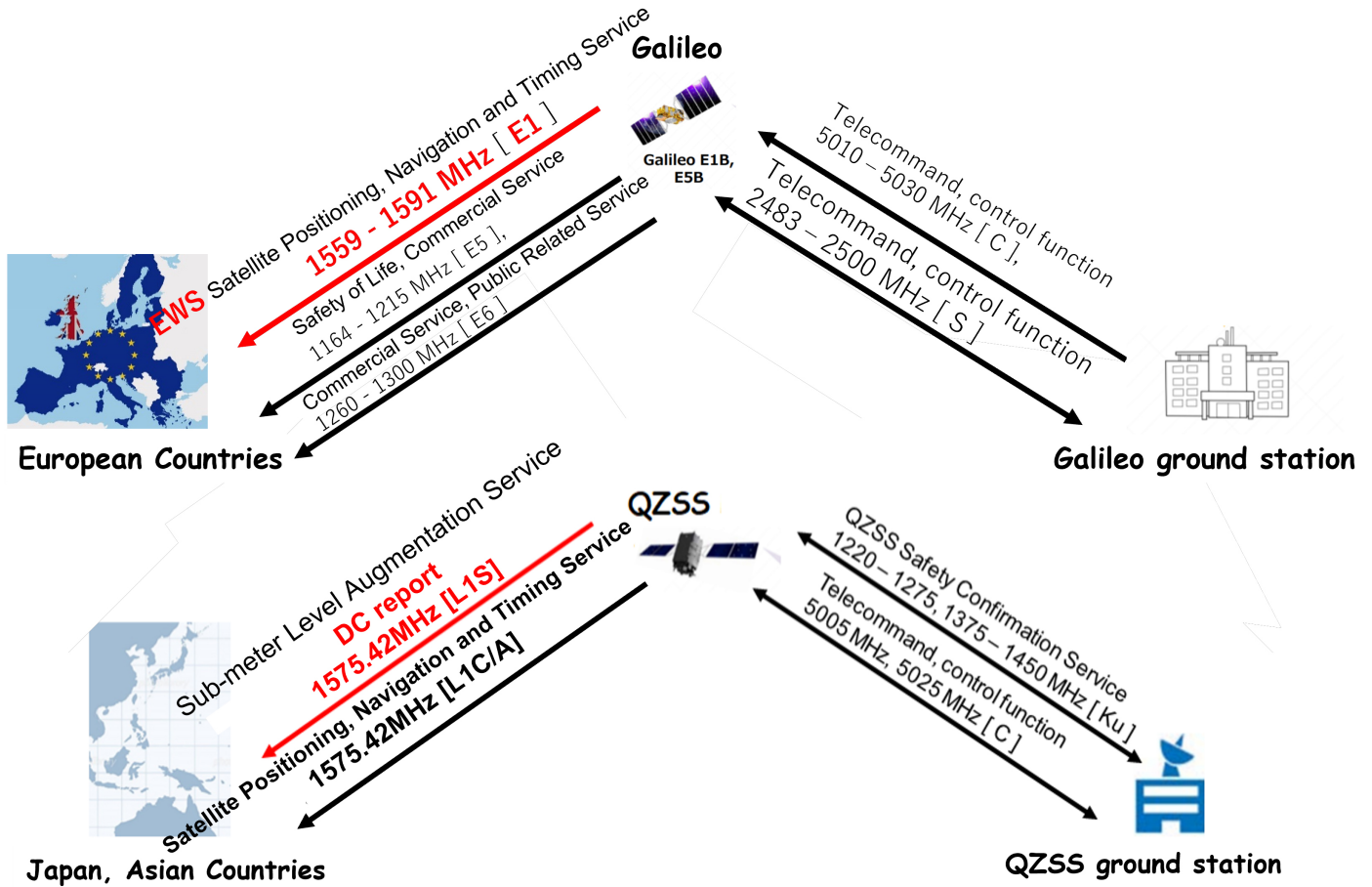


Figure 1: Radio transmitting band of Galileo and QZSS

without any obvious noise or obstructions, there were instances where the DCReport signal was not outputted, as illustrated in Figure 3. Based on these observations,[3] reported the occurrence of missing DCReport signal outputs.

On the other hand, Takahashi reported the findings of a study[4] regarding efficient power consumption methods for reliably receiving the DCReport signal. This study assumes that the DCReport signal can be received in a similar manner to the reception of positioning signals. In reality, as mentioned earlier, there are instances where signal loss occurs despite having sufficient power. Takahashi’s findings demonstrate their effectiveness only when the DCReport signal can be received on par with the positioning signals.

Based on the reports from the aforementioned related works, we conducted this experiment to observe whether the occurrence of DCReport signal loss could be attributed to the differences in the receiver chip products. Our aim was to identify the cause of signal loss in the DCReport signal.



Figure 2: Rinkai Road Omori No.1 and Rinkai Road Shimohama Line

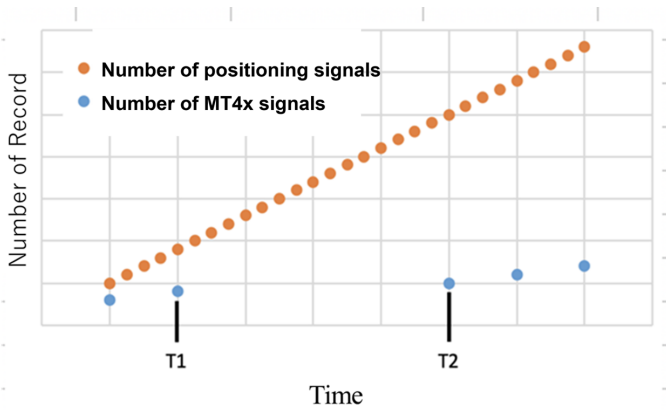


Figure 3: Missing MT4X

### 3 EXPERIMENTAL SPECIFICATIONS

We observed whether there were any differences in the reception conditions of the DCReport signal when adopting Spresense and MAX-M10S as the respective receiver chips. The other components, such as antennas, were kept identical for both receiver chip products, and two sets of receivers were placed in parallel at a designated experimental location.

#### Procedure

1. Equipment: Two sets of receivers, namely Spresense and MAX-M10S, were utilized for the experiment.
2. Signal Band: The experiment focused on the reception of the "disaster crisis report" (DCReport) signal transmitted in the L1S band of the QZSS.
3. Connection: The same external components, such as antennas, were used for both Spresense and MAX-M10S.
4. Procedure: The experiment involved observing and comparing the reception tendencies between Spresense and MAX-M10S when receiving the DCReport signal using the QZSS's L1S band.
5. Observation: The occurrence of signal loss or any notable differences in reception tendencies between the two receiver models was documented.
6. Data Collection: Relevant data, including signal strength, signal integrity, and any observed differences, were recorded for analysis.
7. Experiment Duration: The experiment was conducted over a specified time period to gather sufficient data for analysis and comparison.
8. Replication: The experiment was repeated to ensure the consistency and reliability of the results.
9. Data Analysis: The collected data was analyzed to determine if any significant differences in reception tendencies occurred between the Spresense and MAX-M10S receivers when receiving the DCReport signal in the QZSS's L1S band.

Tables are "float elements" which should be inserted after their first text reference and have specific styles for identification. Do not use images to present tables, or they will be inaccessible to readers using assistive technologies.

### Experimental Target Receiver Chips

The common features shared by both Spresense and MAX-M10S as receiver components for the DCReport signal are as follows:

1. Sufficiently compact size to serve as a receiver component for the DCReport signal.
2. Capable of receiving signals from multiple positioning satellite systems such as GPS, GLONASS, and Galileo.
3. Capable of receiving the DCReport signal broadcasted by QZSS.

Both products are introduced on the website of the Cabinet Office's Quasi-Zenith Satellite System project[5,6].

### Receiver Antennas

Both chips were connected to JC Antennas manufactured by ZHEJIANG JC Antenna Co., Ltd. This product integrates a patch antenna (dielectric antenna) and a low-noise amplifier (LNA) within the case. It is reported to have good signal reception not only for GPS but also for various GNSS signals, including QZSS[7].

Additionally, we considered using the same chip antenna as the one on the Spresense main board for the MAX-M10S. However, based on preliminary experiments, concerns arose regarding the quality of the chip antenna on the Spresense main board. Therefore, as mentioned earlier, we opted to use a different antenna connection method.

### Receiver Experiment Location

The reception experiments were conducted at a balcony railing facing south on the 4th floor of an apartment in Hino City, Tokyo, Japan, as depicted in Figure 4. Six antennas were deployed, with four of them connected to the indoor Spresense and MAX-M10S devices using 3-meter coaxial cables, with two devices for each. The remaining two devices were not used in this experiment. All four devices used in the experiment were connected to the same PC, and the output from each receiver was recorded and observed. The cross-sectional diagram of the reception experiment location is shown in Figure 5.



Figure 4: Antennas



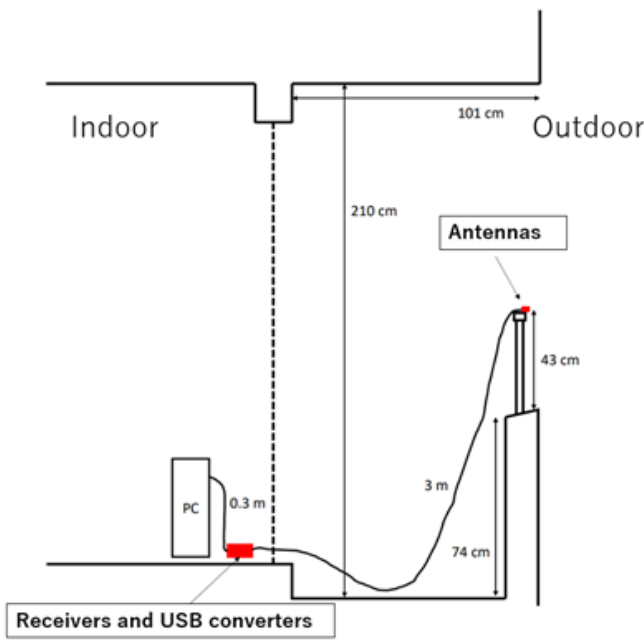


Figure 5: Test environment

**Experimental Duration and Frequency**

The experiments were conducted for a duration of 23 hours and 56 minutes, continuously receiving and outputting the DCReport signal alongside the positioning signals. We performed seven experiments; Table 1 shows each experiment starting.

Table 1: Experiment starts date and time

Experiment starts date and time	
1st observation	March 31st, 2023, at 00:00
2nd observation	April 1st, 2023, at 00:00
3rd observation	April 2nd, 2023, at 00:00
4th observation	April 3rd, 2023, at 00:00
5th observation	April 4th, 2023, at 00:00
6th observation	April 5th, 2023, at 00:00
7th observation	April 6th, 2023, at 00:00

**Expected Experimental Results**

The utilized reception chips in the experiment output positioning signals every second. The DCReport signal is broadcasted every 4 seconds. When a disaster information is issued, it is broadcasted as MT43, and in the absence of corresponding information, it is broadcasted as MT63. Therefore, both reception chips are expected to output the DCReport signal every 4 seconds after receiving it. Since the experimental duration for all seven experiments is 23 hours and 56 minutes, if the positioning and DCReport signals are output every 4 seconds without the presence of noise or obstacles, both signals should be outputted 21,540 times per experiment.

**4 EXPERIMENTAL RESULTS**

The MAX-M10S exhibited no missing output in the positioning signal (after reception), but it experienced missing output in the DCReport signal. On the other hand, the Spresense not only had missing output in the DCReport signal but also in the positioning signal (after reception). We organized the experimental results into four tables. Table 2 shows the number of outputs for

both the positioning signal and the DCReport signal when using Spresense-01. Similarly, Table 3 displays the output counts for the positioning signal and the DCReport signal when using Spresense-02. Table 4 presents the output counts for the positioning signal and the DCReport signal when using MAX-M10S-01, while Table 5 presents the output counts for the positioning signal and the DCReport signal when using MAX-M10S-02. All tables represent the results observed at 4-second intervals. Please note that the branch numbers following "Spresense" and "MAX-M10S" are used for individual identification of the devices, as explained in Section 3.

According to the referenced tables, the following results were obtained. When using Spresense (regardless of the chip used), both the positioning signal and the DCReport signal fall short of the expected output count of 21,540. Additionally, the number of DCReport signal outputs, which should be equivalent to the number of positioning signal outputs (since observations were made every 4 seconds), is consistently lower than the positioning signal outputs. On the other hand, when using MAX-M10S (regardless of the chip used), the positioning signal is outputted every 4 seconds. However, the output count of the DCReport signal varies and may not occur every 4 seconds. Nevertheless, the tendency for missing data is lower compared to Spresense.

**5 DISCUSSION AND FUTURE PLANS**

Based on the experimental results presented in the previous section, it has been observed that the number of outputs following the reception of the DCReport signal may vary between the Spresense and MAX-M10S receiver chips, indicating potential differences in signal reception accuracy. Furthermore, it became apparent that achieving the same level of reception accuracy for the DCReport signal as that of the positioning signal is challenging, regardless of the chosen receiver product.

Particularly when referring to the recorded signal outputs using Spresense-02, which exhibited higher occurrences of missing data, it appears that these missing data points coincide with the timing of switching the tracked satellites within the four satellites that make up the QZSS system. However, it is understood that this explanation does not account for all instances of missing data. For example, Figure 6 illustrates that missing data occurs around the transition from 58 to 56 in the third column of numbers, representing the tracked satellites. In contrast, Figure 7 shows instances of missing data despite no change in the tracked satellite, which remains at 57.

The previous study by Takahashi et al. utilized the ZED-F9P receiver chip, which outperforms the receiver chips used in this experiment[8]. Therefore, in the future, we plan to conduct further experiments using the same product to identify the causes of the missing data observed in the DCReport signal.

**ACKNOWLEDGMENTS**

We would like to express our gratitude for the support and cooperation provided by the Strategic Planning Office of the Quasi-Zenith Satellite System, under the Cabinet Office’s Space Policy Promotion Secretariat.

Table 2: Result of Spresense-01

	Expected number of outputs per 4 sec.	Number of positioning signal outputs	Number of DCReport outputs	Percentage to expected number of outputs per 4 sec.
1st observation	21540	21526	21435	99.58%
2nd observation	21540	21518	21479	99.82%
3rd observation	21540	21511	21375	99.37%
4th observation	21540	21508	21265	98.87%
5th observation	21540	21515	21450	99.70%
6th observation	21540	21512	21276	98.90%
7th observation	21540	21516	21348	99.22%

Table 3: Result of Spresense-02

	Expected number of outputs per 4 sec.	Number of positioning signal outputs	Number of DCReport outputs	Percentage to expected number of outputs per 4 sec.
1st observation	21540	21525	21163	98.36%
2nd observation	21540	21520	21278	98.88%
3rd observation	21540	21534	21236	98.62%
4th observation	21540	21538	21281	98.81%
5th observation	21540	21534	21400	99.38%
6th observation	21540	21539	21428	99.49%
7th observation	21540	21536	21300	98.90%

Table 4: Result of MAX-M10S-01

	Expected number of outputs per 4 sec.	Number of positioning signal outputs	Number of DCReport outputs	Percentage to expected number of outputs per 4 sec.
1st observation	21540	21540	21539	100.00%
2nd observation	21540	21540	21539	100.00%
3rd observation	21540	21540	21540	100.00%
4th observation	21540	21540	21540	100.00%
5th observation	21540	21540	21540	100.00%
6th observation	21540	21540	21539	100.00%
7th observation	21540	21540	21067	97.80%

Table 5: Result of MAX-M10S-02

	Expected number of outputs per 4 sec.	Number of positioning signal outputs	Number of DCReport outputs	Percentage to expected number of outputs per 4 sec.
1st observation	21540	21540	20521	95.27%
2nd observation	21540	21540	20440	94.89%
3rd observation	21540	21540	20466	95.01%
4th observation	21540	21540	21008	97.53%
5th observation	21540	21540	21429	99.49%
6th observation	21540	21540	21022	97.60%
7th observation	21540	21540	18913	87.80%

83656	1672795456	58	66	203
83660	1672795460			
83664	1672795464			
83668	1672795468	58	66	203
83672	1672795472			
83676	1672795476			
83680	1672795480			
83684	1672795484			
83688	1672795488	58	66	203
83692	1672795492			
83696	1672795496	58	66	203
83700	1672795500			
83704	1672795504			
83708	1672795508			
83712	1672795512			
83716	1672795516			
83720	1672795520			
83724	1672795524			
83728	1672795528			
83732	1672795532			
83736	1672795536			
83740	1672795540			
83744	1672795544			
83748	1672795548			
83752	1672795552			
83756	1672795556	56	56	164
83760	1672795560	56	56	164

## References

1. Union COSPPS. Emergency warning satellite service, COMMON ALERT MESSAGE FORMAT SPECIFICATION. 2023.
2. Keiko Shimazu et. al. System design of receiver module for emerging warning signal from navigation satellite system employing slave wireless stations of emergency broadcast system. 12th International Conference on Advanced Information Technologies and Applications (ISAITA 2023); 2023.
3. Keiko Shimazu et. al. Emergency warning services via GNSS signals. 2020 IEEE Aerospace Conference; 2020.
4. Takahashi K. An intermittent reception of disaster and crisis management report sent from quasi-zenith satellites Michibiki with null messages. Information and Communication Engineers (IEICE Transactions on Communications); 2020.
5. ユーブロックス「MAX-M10S」. Available: [https://qzss.go.jp/usage/products/ublox\\_210422.html](https://qzss.go.jp/usage/products/ublox_210422.html)
6. ソニー「SPRESENSE」. Available: [https://qzss.go.jp/usage/products/sony\\_190109.html](https://qzss.go.jp/usage/products/sony_190109.html)
7. Zhejiang JC antenna co. Available: <https://www.jinchanggps.com/>
8. ユーブロックス「ZED-F9P」. Available: [https://qzss.go.jp/usage/products/ublox\\_200709.html](https://qzss.go.jp/usage/products/ublox_200709.html)



**Open Access** This article is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Figure 6: Missing communication when switching satellite

1	1684	1.67E+09	57	81	205
1	1688	1.67E+09	57	81	205
1	1692	1.67E+09	57	81	205
1	1696	1.67E+09	57	81	205
1	1700	1.67E+09			
1	1704	1.67E+09			
1	1708	1.67E+09	57	81	205
1	1712	1.67E+09			
1	1716	1.67E+09			
1	1720	1.67E+09			
1	1724	1.67E+09			
1	1728	1.67E+09			
1	1732	1.67E+09	57	82	205
1	1736	1.67E+09			
1	1740	1.67E+09	57	82	205
1	1744	1.67E+09	57	82	205
1	1748	1.67E+09			
1	1752	1.67E+09			
1	1756	1.67E+09	57	82	205
1	1760	1.67E+09	57	82	205
1	1764	1.67E+09			
1	1768	1.67E+09	57	82	205
1	1772	1.67E+09	57	82	205
1	1776	1.67E+09			

Figure 7: Missing communication when not switching satellite

# オンラインによる認知症予防

Online dementia prevention

田部井 賢一<sup>1\*</sup>

Ken-ichi Tabei<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Ken-ichi Tabei, tabei-kenichi@aait.ac.jp

**Abstract** The online version of exercise with music (ExM) can be conducted at home, making it an effective alternative to face-to-face exercise programs in situations like the COVID-19 pandemic. However, a downside is that the lack of commitment to participation may occur, as individuals do not actually have to go to an exercise center, leading to a higher dropout rate. Individuals are likely to withdraw from the online ExM program due to the lack of interaction and camaraderie among participants. The effects of ExM are expected to persist over a long period, so the interaction and camaraderie among participants could enhance continuity and potentially reduce the dropout rate.

**Keywords** physical exercise with music; COVID-19; dementia; neuropsychological test; working memory

## 1 はじめに

認知症は現在、世界中で 5500 万人以上いるとされている[1]が、この有病率は 2030 年までに 7800 万人が認知症と診断される可能性があるほど増加している[1]。認知症治療には 2 つのカテゴリ、すなわち、薬物療法と非薬物療法が存在するが、現在、認知症を治癒するまたはその進行を阻止することができる薬物介入はない[2]。したがって、副作用が最小限で安全であると信じられている非薬物療法が積極的に実施されている。これらの治療には、認知介入、音楽療法、回想法、および身体運動が含まれる[3-5]。非薬物介入は個別に、または多面的アプローチの一部として提供することができる。多面的非薬物介入は 2 種類以上の非薬物介入を組み合わせる[6]し、通常は認知症治療の「ゴールドスタンダード」として推奨されている[5, 7, 8]。

我々の過去の研究では、身体運動と音楽療法を組み合わせた非薬物的介入である音楽体操 (Exercise with Music; ExM) の効果を検討した。神経心理学検査と脳画像検査の両方から、ExM は認知症の一次予防に効果的であることが示された[9-11]。これらの過去の研究の目的は、非薬物的 ExM 介入を使用して、地域に住む健康な高齢者の認知機能を維持および向上させることであった。身体運動のプログラムは ExM 群と運動のみの群で同一であった。しかし、ExM 群では運動ルーティン中に音楽が流れていたのに対し、運動のみの群は拍子を数える打楽器の音だけを聞いていた。両群ともに、1 週間に 1 時間、1 年間にわたって運動を行った。コントロールとして、特別な活動をしなかった脳テスト群も含まれていた。結果は、視空間認知が ExM 群で他の 2 群と比較して有意に改善されたことを示した[9]。さらに、脳のボリュームの変化に関する脳磁気共鳴画像 (MRI) 解析では、脳テスト群は 1 年間で進行する加齢関連の萎縮を示し、一方で ExM 群および運動のみ群の前頭葉のボリュームは維持または増加し、ExM 群でさらに大きな増加が見られた[11]。また、健康な高齢者に対する 5 年間の ExM 介入の効果も検討した[10]。結果は、長期的な ExM 介入が多面的な認知機能を強化し、特に精神運動速度の向上に有益であったことを示した。

2020 年に新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の拡散を抑制するために実施されたロックダウン措置は、認知症を持つ個人の健康診療サービスへのアクセスを大幅に制限する結果

となった[1]。これらの措置はまた、パンデミック期間中に実施された認知症の非薬物療法の数を一般的に減少させた。以前の研究では、低コストで拡張可能な在宅プログラムが COVID-19 のパンデミック期間中に以前は非活動的だった高齢者の身体健康を支援するのに効果的であることが示された[12]。これをさらに広げていくために、我々は ExM プログラムのオンラインバージョンを開発し、健康な高齢者の認知症の一次予防におけるその効果を検証した。我々は神経心理学的検査とオンライン認知テストを実施し、介入の効果を評価した。我々は、オンラインバージョンの ExM プログラムの効果が対面の ExM の効果と同様であると仮説を立てた。

## 2 オンライン介入の概要

我々はインターネットを利用して実験の参加者を募集した。実験の目的は、ExM のオンラインバージョンが認知機能に及ぼす影響を調査することであった。我々は、研究の目的を説明するためのメールを、日本の脳活性総合研究所の親会社である SAISON クレジットカードの会員であり、65 歳以上の約 100 万人の高齢者に直接送信した。東京都立産業技術大学院大学の研究倫理安全委員会は実験プロトコルを承認し、すべての参加者は参加前に書面による同意を提供した。この研究はヘルシンキ宣言のガイドラインに従って実施された。

対象となる基準は以下の通りであった。(a) 65 歳以上;(b) 身体的および精神的に健康;(c) 正常な視力、または眼鏡、コンタクトレンズなどで補正された視力;(d) 指示を明確に聞く能力;(e) 自立して生活;(f) Zoom アプリを使用できる個人用のコンピュータ、タブレット、またはスマートフォンへのアクセス;(g) 参加する場所で Wi-Fi にアクセス;(h) 電子メールアドレスを持っており、電子メールで連絡を受ける意思がある。次の除外基準のいずれかに該当する場合、参加者は除外された。

(a) 明らかな脳血管障害の既往;(b) 悪性腫瘍や感染症などの慢性疾患の存在;(c) 参加者が運動を行うことを妨げる重篤な心臓、呼吸器の問題;(d) 認知機能に悪影響を与える可能性のある薬の使用 (抗うつ薬または抗精神病薬);(e) 以前の認知症の診断;または (f) 出席率が 75% 未満。対照 (Cont) 群の対象および除外基準は、上記の要件と同一であった。対照群の参加者は、研究開始時とその 6 ヶ月後に神経心理学的および生理学的評価を受けることだけが求められた。

2021年2月9日から5月5日までに、228人の回答者がExM群への参加に興味を示し、136人がCont群への参加に興味を示した。ExM群では88人の参加者が脱落し（神経心理学的検査を完了しなかった）、Cont群では60人の参加者が脱落した（神経心理学的検査を完了しなかった）。第二の評価時には、ExM群から7人の参加者が脱落し、Cont群から37人が脱落した（神経心理学的検査を完了しなかった）。我々は、全体の出席率が75%以上の参加者を分析した。その結果、合計114人の参加者のデータが含まれた。

ExMプログラムは、先行研究と同様である[9-11]。介入期間は6ヶ月にわたり、参加者は合計20回の運動セッションに参加した。運動の強度はセッションごとに徐々に増加した。運動プログラムと音楽伴奏は、約20年前にヤマハ音楽財団が日本フィットネス協会とスポーツ医学の専門家との協力のもとで開発した。音楽伴奏は「シンセサイザーを多用したダンスポップ音楽」と分類されている。ExMプログラムは9つのステージから構成されており、専門のトレーナーによって実施された。対面プログラムの運動は直接オンラインで実施された。個人はExMのオンラインバージョンに参加した（60分、週に1回、合計20回）。ExMはZoomを介してリアルタイムで参加者に提供された。Zoomは、コンピュータ、スマートフォン、タブレットなどのデバイスを使用してオンラインでセミナーや会議を開催するために開発されたアプリケーションである。個人はコンピュータ、スマートフォン、またはタブレット上のZoomソフトウェアを起動してExMプログラムに参加した。カメラを使用して、インストラクターは運動の適切な指示を提供した。運動プログラム中は参加者のマイクがミュートにされ、音の妨害や他の問題を制限した。

神経心理学的評価は、先行研究と同様である[9-11]。ミニ・メンタル・ステート検査[13]およびレーヴン色彩マトリックス[14]が、それぞれ認知能力のスクリーニングおよび知能機能の定量化のために使用された。記憶は、リバーミード行動記憶テスト[15]の論理記憶(LM)-I-IIサブテストを使用して評価され、これには難易度と単語数の異なる4つの短い物語の即時および遅延再生が含まれる。事前および事後のテスト期間で異なる物語を使用し、物語の内容に対する馴染みを避けた。視空間認知は、[16]によって説明された方法を使用して評価された。5種類の図形が参加者に示され、それぞれを1つずつ描くように求められた。各図面は、0から3の尺度で評価され(0:悪い、1:まあまあ、2:良い、3:優れている)、最高得点は15であった。前頭葉機能は、単語の流暢さ(Word Fluency; WF)タスクとTrail-Making Test-A/Bタスク[17]の2つのタスクを使用して評価された。WFタスクにはカテゴリと文字のドメインがあった。カテゴリWFタスクでは、参加者に1分間で可能な限り多くの動物の名前を挙げるように求められた。文字WFタスクでは、参加者に4つの音素(か、さ、た、て)のそれぞれで始まるオブジェクトの名前を言うように求められ、4つの音素の平均得点を統計分析に使用した。上記の神経心理学的テストは、Zoomを使用して対面またはオンラインで実施することができる[18]。我々のグループは、微妙な認知機能の低下を評価するためのオンライン脳評価ツール(brain assessment tool; BA)を開発した

[19]。前の研究では、5,000人の参加者がオンラインBAを完了し、これには5つのサブテストが含まれていた: 数字記憶、単語記憶、精神回転、N-バック、および判断テスト。先行研究[18]の結果に基づいて、認知得点(cognitive scores; CS)は次の式を使用して計算された:  $CS = ([\text{生得点}] - [\text{生得点の平均}]) / ([\text{生得点の標準偏差}] \times 10 + 50)$ 。BAはインターネットで30分以内に完了することができる。これらの神経心理学的評価は、ExM群の参加者の間で6ヶ月の介入期間の前および後に実施された。Cont群の参加者は、6ヶ月の間隔をおいてこれらの評価を2回実施した。

我々は、グループ間の違いを探し、ExM群とCont群の間で神経心理学的評価結果の介入後の変化を評価した。性別に関するデータは、二項変数のカイ二乗検定を使用して評価された。年齢、教育歴、および認知機能テストスコアに関するデータは、Shapiro-Wilk検定を使用して分析された。結果に基づいて、連続変数のt検定と非パラメトリックデータのMann-Whitney U検定を実施した。統計解析は、IBM SPSS Statisticsソフトウェアバージョン27(IBM Corp., Armonk, NY, United States)を使用して実施された。

### 3 オンライン介入の結果

参加者は114人の健康な高齢者であり(ExM群75人、Cont群39人; 男性63人、女性51人; 平均年齢70.4歳である)。年齢と教育歴は2つのグループ間で有意に異ならなかった。以前の研究では、より長い教育歴が認知症の臨床的検出の容易さを増加させるか、または臨床症状の発症を遅らせる事前知識を提供することで認知症のリスクを減少させる可能性があることが示唆されているが[20]、我々は現在のデータで有意な違いは見られなかった。N-バックタスクにおいて、ExM群はCont群に比べて有意に大きな改善を示した( $p=0.008$ )。他のテスト測定に関して、グループ間で有意な違いは見られなかった。

### 4 まとめ

結果は、ExM群がBAN-バックタスクにおいて対照群よりも有意に高い改善を示したことを示している。結果は、ExMのオンラインバージョンがワーキングメモリを改善したことを示唆している。対照的に、WFタスクやTrail-Making Test-A/Bタスクによって測定された前頭葉機能には改善が見られなかった。以前は、1つの包括的な前頭葉症候群があると考えられていたが、現在では前頭葉によっていくつかの異なる認知および行動プロセスが媒介されていることが明らかである[21]。例えば、背外側前頭皮質はワーキングメモリ、目標指向の注意、タスクスイッチング、計画、問題解決、および新規性の探求を担当している[22]。腹側前頭皮質は抑制、応答選択、およびモニタリングを担当し、一方、中央前頭皮質は自己認識、動機付け、感情調節、および目標指向の行動の更新を担当している[22]。前頭皮質は、性格、抑制、および感情および社会的推論に関与している[22]。上記の証拠は、BAN-バックタスク、WFタスク、およびTrail-Making Test-A/Bタスクは異なる認知および行動プロセスを測定し、これがN-バックタスクで観察された改善に

反映されているが、Trail-Making Test-A/B および WF タスクでは反映されていないことを示している。先行研究[11]では、ExM が対面で行われ、視空間処理の有意に高い改善が見られた。視空間処理は、空間注意を担当する優位および劣位頭頂領域およびワーキングメモリに関与する背外側前頭皮質および前帯状回を一貫して活性化させていることが示されている[23, 24]。対面の ExM を使用した以前の研究[11]では、視空間処理に関する複数の脳領域の中で最も重要なものは、BA N-バックタスクが実行されなかったため識別できなかった。まとめると、この研究の結果と対面の ExM の以前の研究[11]の結果は、音楽を聴きながらの身体運動がワーキングメモリに良い効果をもたらすことを示唆している。

記憶に関して、以前の研究[11]は、ExM 群における Rivermead Behavioral Memory Test の LM-I および-II サブテストにおいて、介入後の有意な改善を示すグループ内比較を報告している。しかし、オンライン版の ExM を使用した際には、LM-II サブテストで有意な傾向のみを見つけた。これは、研究間の介入期間の違い（1 年対 6 ヶ月）や、対面とオンラインのインタラクションの違いに関連している可能性がある。これらの可能性を評価するためにさらなる研究が必要である。

オンライン版の ExM は、家で実施できるため、COVID-19 パンデミックのような状況で対面の運動プログラムに効果的な代替手段と見られているが、個人が実際に運動センターに行かなくても良いことで参加に対するコミットメントが欠如し、ドロップアウト率が高くなるという不利な点もある。個人は、参加者間の交流や仲間意識の機会が少ないため、オンライン ExM プログラムから退会する可能性が高い。ExM の効果は長期間にわたって持続することが期待されている[10]ため、参加者間の交流と仲間意識は継続感を高め、ドロップアウト率を減少させる可能性がある。

この研究にはいくつかの限界があった。まず、介入期間は 6 ヶ月であったことである。健康な高齢者を対象とした以前の研究では、1 年の介入期間を適用していた。従って、将来の研究ではオンライン ExM を使用した 1 年間の介入が必要である。次に、私たちは他の介入との比較を行っていなかった。以前の研究では、音楽なしの運動の効果を評価し、これらの参加者を比較グループとして含めていた。従って、将来、オンライン ExM プログラムは他の介入と比較して、前頭葉機能の変化の源泉を特定する必要がある。また、各グループの参加者がどの程度活動的なライフスタイルを持っているかを調査することが有用であろう。最後に、高齢者にとってオンライン介入へのアクセスは限られている。高齢者にとっては、コンピュータやタブレットを操作することが困難であり、神経心理学的テストおよび ExM に参加することが困難であることが多い。国の調査[25]では、日本の高齢者の中でデジタル技術の利用が増加していることが示されているが、将来の研究とプログラムは、高齢者の参加の容易さを促進するためにこの「デジタルデバインド」を緩和する方法を実装する必要がある。

本稿は[26]に改変を加えたものである。

## 参考文献

- Gauthier S, Rosa-Neto P, Morais JA, Webster C. World Alzheimer Report 2021: Journey through the diagnosis of dementia. 2021.
- Mecocci P, Boccardi V. The impact of aging in dementia: It is time to refocus attention on the main risk factor of dementia. *Ageing Res Rev.* 2021;65:101210. Epub 2020/11/14. doi: 10.1016/j.arr.2020.101210. PubMed PMID: 33186671.
- Yorozuya K, Kubo Y, Tomiyama N, Yamane S, Hanaoka H. A Systematic Review of Multimodal Non-Pharmacological Interventions for Cognitive Function in Older People with Dementia in Nursing Homes. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2019;48(1-2):1-16. Epub 2019/10/22. doi: 10.1159/000503445. PubMed PMID: 31634894; PubMed Central PMCID: PMCPCMC7212693.
- Ito E, Nouchi R, Dinet J, Cheng CH, Husebo BS. The Effect of Music-Based Intervention on General Cognitive and Executive Functions, and Episodic Memory in People with Mild Cognitive Impairment and Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Recent Randomized Controlled Trials. *Healthcare (Basel).* 2022;10(8). Epub 2022/08/27. doi: 10.3390/healthcare10081462. PubMed PMID: 36011119; PubMed Central PMCID: PMCPCMC9408548.
- Sharew NT. The Effect of Multimodal Non-pharmacological Interventions on Cognitive Function Improvement for People With Dementia: A Systematic Review. *Front Public Health.* 2022;10:894930. Epub 2022/07/30. doi: 10.3389/fpubh.2022.894930. PubMed PMID: 35903373; PubMed Central PMCID: PMCPCMC9314571.
- Han JW, Lee H, Hong JW, Kim K, Kim T, Byun HJ, et al. Multimodal Cognitive Enhancement Therapy for Patients with Mild Cognitive Impairment and Mild Dementia: A Multi-Center, Randomized, Controlled, Double-Blind, Crossover Trial. *J Alzheimers Dis.* 2017;55(2):787-96. Epub 2016/11/02. doi: 10.3233/JAD-160619. PubMed PMID: 27802233.
- Schneider N, Yvon C. A review of multidomain interventions to support healthy cognitive ageing. *J Nutr Health Aging.* 2013;17(3):252-7. Epub 2013/03/06. doi: 10.1007/s12603-012-0402-8. PubMed PMID: 23459978.
- Livingston G, Huntley J, Sommerlad A, Ames D, Ballard C, Banerjee S, et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *Lancet.* 2020;396(10248):413-46. Epub 2020/08/03. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6. PubMed PMID: 32738937; PubMed Central PMCID: PMCPCMC7392084.
- Satoh M, Ogawa J, Tokita T, Nakaguchi N, Nakao K, Kida H, et al. The effects of physical exercise with music on cognitive function of elderly people: Mihama-Kiho project. *PLoS One.* 2014;9(4):e95230. Epub 2014/04/29. doi: 10.1371/journal.pone.0095230. PubMed PMID: 24769624; PubMed Central PMCID: PMCPCMC4000225.
- Satoh M, Ogawa JI, Tokita T, Matsumoto Y, Nakao K, Tabei KI, et al. The Effects of a 5-Year Physical Exercise Intervention with Music in Community-Dwelling Normal Elderly People: The Mihama-Kiho Follow-Up Project. *J Alzheimers Dis.* 2020;78(4):1493-507. Epub 2020/11/14. doi: 10.3233/JAD-200480. PubMed PMID: 33185595.
- Tabei KI, Satoh M, Ogawa JI, Tokita T, Nakaguchi N, Nakao K, et al. Physical Exercise with Music Reduces Gray and White Matter Loss in the Frontal Cortex of Elderly People: The Mihama-Kiho Scan Project. *Front Aging Neurosci.* 2017;9:174. Epub 2017/06/24. doi: 10.3389/fnagi.2017.00174. PubMed PMID: 28638338; PubMed Central PMCID: PMCPCMC5461259.
- Beauchamp MR, Hulstijn RM, Ruissen GR, Liu Y, Rhodes RE, Wierts CM, et al. Online-Delivered Group and Personal Exercise Programs to

- Support Low Active Older Adults' Mental Health During the COVID-19 Pandemic: Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res.* 2021;23(7):e30709. Epub 2021/07/31. doi: 10.2196/30709. PubMed PMID: 34328433; PubMed Central PMCID: PMCPCMC8330630.
13. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res.* 1975;12(3):189-98. Epub 1975/11/01. doi: 10.1016/0022-3956(75)90026-6. PubMed PMID: 1202204.
  14. Raven JC, Court JH. *Coloured Progressive Matrices*: Psychological Corporation; 1993.
  15. Wilson BA, Baddeley AD, Cockburn J, Company TVT. *The Rivermead Behavioural Memory Test*: Thames Valley Test Company; 1985.
  16. Strub RL, Black FW. *The Mental Status Examination in Neurology*: F.A. Davis Company; 2000.
  17. Partington JE, Leiter RG. Partington's Pathways Test. *Psychological Service Center Journal.* 1949;1:11-20.
  18. Satoh M, Tabei KI, Abe M, Kamikawa C, Fujita S, Ota Y. The Correlation between a New Online Cognitive Test (the Brain Assessment) and Widely Used In-Person Neuropsychological Tests. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2021;50(5):473-81. Epub 2021/12/17. doi: 10.1159/000520521. PubMed PMID: 34915494.
  19. Satoh M, Tabei KI, Fujita S, Ota Y. Online Tool (Brain Assessment) for the Detection of Cognitive Function Changes during Aging. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2021;50(1):85-95. Epub 2021/06/15. doi: 10.1159/000516564. PubMed PMID: 34126622.
  20. Stern Y, Gurland B, Tatemichi TK, Tang MX, Wilder D, Mayeux R. Influence of education and occupation on the incidence of Alzheimer's disease. *JAMA.* 1994;271(13):1004-10. Epub 1994/04/06. PubMed PMID: 8139057.
  21. Henri-Bhargava A, Stuss DT, Freedman M. Clinical Assessment of Prefrontal Lobe Functions. *Continuum (Minneap Minn).* 2018;24(3, BEHAVIORAL NEUROLOGY AND PSYCHIATRY):704-26. Epub 2018/06/01. doi: 10.1212/CON.0000000000000609. PubMed PMID: 29851874.
  22. Jones DT, Graff-Radford J. Executive Dysfunction and the Prefrontal Cortex. *Continuum (Minneap Minn).* 2021;27(6):1586-601. Epub 2021/12/10. doi: 10.1212/CON.0000000000001009. PubMed PMID: 34881727.
  23. Cohen MS, Kosslyn SM, Breiter HC, DiGirolamo GJ, Thompson WL, Anderson AK, et al. Changes in cortical activity during mental rotation. A mapping study using functional MRI. *Brain.* 1996;119 ( Pt 1):89-100. Epub 1996/02/01. doi: 10.1093/brain/119.1.89. PubMed PMID: 8624697.
  24. Silk TJ, Rinehart N, Bradshaw JL, Tonge B, Egan G, O'Boyle MW, et al. Visuospatial processing and the function of prefrontal-parietal networks in autism spectrum disorders: a functional MRI study. *Am J Psychiatry.* 2006;163(8):1440-3. Epub 2006/08/01. doi: 10.1176/ajp.2006.163.8.1440. PubMed PMID: 16877661.
  25. Sōmushō J. *Information and Communications in Japan: White Paper 2006*: Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan; 2007.
  26. Tabei KI, Ogawa JI, Kamikawa C, Abe M, Ota Y, Satoh M. Online physical exercise program with music improves working memory. *Front Aging Neurosci.* 2023;15:1146060. Epub 2023/07/31. doi: 10.3389/fnagi.2023.1146060. PubMed PMID: 37520123; PubMed Central PMCID: PMCPCMC10373063.

# PBL 評価指標の確立に向けたアンケート調査の実施：第一報

Questionnaire survey for the establishment of PBL assessment scale : 1st report

細田 貴明<sup>1\*</sup> 岡崎 浩二<sup>1</sup> 松尾 徳朗<sup>1</sup>  
Takaaki Hosoda<sup>1\*</sup> Koji Okazaki<sup>1</sup> Tokuro Matsuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
\*Corresponding author: Takaaki Hosoda, t-hosoda@aait.ac.jp

**Abstract** This paper shows the results of a questionnaire survey conducted in 2023 for students enrolled in PBL courses at the Advanced Institute of Industrial Technology. The purpose of this survey was to develop a unified evaluation index for PBL activities as part of the Institutional Research (IR) activities of the Centre for Research and Education of Highly Skilled Professionals. As a result, it was found that they tend to avoid extremely difficult themes due to their anxiety of completing the course while the students value the originality and novelty of the PBL themes. Furthermore, they expect their PBL themes to be practical by discovering it by their own, rather than being given by someone else. Also, they prefer team-based work to individual work. The PBL faculty members are expected to build good relationships with the students and provide a guidance based on their expertise. While the students want to keep a relationship with the graduate school for the future, it is unclear what type of relationship they need. It would be a future work to be investigated. Finally, the results shows that their expectations for competencies to be acquired through PBL activities were high enough across the board and indicates the willingness of the students to acquire competencies through PBL activities.

**Keywords** continuous professional education; project-based learning; pbl assessment scale

## 1 はじめに

日本の高等教育機関のあり方について、これまで多くの議論がなされてきたが、2018年に「2040年に向けた高等教育のグランドデザイン(答申)」が取りまとめられ、その方針が定められている[1]。その答申においては、今後実現すべき方向性として以下の三つが提示されている[2]。

1. 学修者が「何を学び、身に付けることができるのか」を明確にし、学修の成果を学修者が実感できる教育を行うこと(以下省略)。
2. (前略)教育の質の維持向上という観点から規模の適正化を図った上で、社会人及び留学生の受入れ拡大が図られていくこと。
3. 地域における高等教育のグランドデザインが議論される場が常時あり(中略)、強みや特色を生かした連携や統合が行われていくこと。

東京都立産業技術大学院大学(以下、本学)におけるProject-Based Learning(以下PBL)活動は、三つの方向性に沿ったものであると言える。PBL活動は、実践的なスキルの習得において優れた方法であり、専門職分野での理論的な知識だけでなく、実務に必要なスキルや知識の獲得が可能である。また、PBLにおける実践的な問題に取り組む機会を通して、複雑な問題に対処可能な問題解決能力も獲得することができる。さらに、プロジェクトの推進にあたって必要となるチームやクライアントと連携する能力も身に付けることができる。このように、PBL活動を経験した本学修了生は、高度専門職人材として即戦力として活躍が期待されるものである。

一方で、PBL活動を円滑に進めることは容易ではない。本学における多くの教員の工夫と努力により成立してきたものである。その工夫と努力は、本学紀要や様々な研究発表や研究論文として報告されており、PBL活動を行う高等教育機関の教職員に対する一助となっている。しかし、PBL活動の範囲や内容、参加する学生の多様化が進んでおり、PBL活動に関する調査、研究は広範かつ継続的に行う必要がある。

今回、筆者らの取り組みは、本学に設置されている高度専門職人材教育研究センターにおけるIR(Institutional Research)活動の一環として、PBL活動に対する統一的な評価指標を構築することを目指したものである。既存研究においては、PBLを実施する教員視点の研究結果が中心であったが、PBL活動を行う学生視点の分析を行うことで、PBL活動の成果や弊害を明らかにすることを目指す研究を志向するものである。本稿においては、今年度のPBL活動を行う学生を対象に事前期待についてアンケート分析を実施した結果の報告を行う。

## 2 本学PBLに関する研究

本学におけるPBLに関する研究は、本学開講直後から積極的に行われてきた。本学で実施されたPBL関連の先行研究のうち、特に人材育成に関連する研究を中心にサーベイする。

中鉢は、情報システムのアーキテクト育成のための教育とPBLのあり方について取り組み、効果的に教材や教授法の開発について言及している[3]。秋口は、プログラマ育成の観点からPBLのあり方について検討し、単なるプログラミング技術のみではなくPBL活動を通じてソフトウェア開発を主導できる人材育成の観点で研究を行っている[4]。成田も同様に、単なるプログラミング技術だけではなく、ソフトウェア開発におけるビジネスモデルの企画・提案が可能な人材育成の重要性を指摘している[5]。

PBL研究のグローバル化についても研究が行われてきた。成田らは、ソフトウェア開発のオフショア開発や海外への製品投入が進む中で、グローバル環境で活躍できる人材育成の必要性に着目し、PBL教育のグローバル化の可能性について検証を行っている[6]。その後、中鉢らはベトナム国家大学とグローバルPBLを実際に行った結果について報告し[7]、成田が確認した実現性の再検証を行っている。その後も、ベトナム国家大学に加えブルネイ大学とのグローバルPBLの実行も土屋らによって行われ[8]、グローバルPBLの検証は現在も継続的に実施されている。

このようなPBLに関する研究が行われてきた中で、PBL教育の目標やその目標達成を評価するための指標の重要性が高



まってきた。戸沢は、産業界が求める人材に対する期待が変化してきていることに着目し、PBL教育における目標の重要性について言及している[9]。その後、大崎らにより産業界ニーズの調査分析が行われ、専門分野に関する知識の重要性、さらにはモチベーション向上などの学習支援と知識・技能の獲得を目指す学習機会を設けることが期待されていることがアンケート分析から明らかになった[10]。また、松尾らは、専門職人材育成モデルを構築し、そのモデルを実現するための教育プログラムの提案を行い、そこで必要となるコンピテンシーについて検討を行っている[11]。

以上、本学におけるPBLに関する研究を概観してきたが、PBLを受講する学生の視点からみた評価指標に関する研究は積極的に行われていない。陳らは、ものづくりPBLに関する研究において、PBL期間中に学生に対するアンケート分析を行い、学生の期待とその期待に対する実態のギャップやそこから発生する問題について検討が行われているが、対象が一部の学生に限定されている[12]。

### 3 分析

今回、筆者らは、PBL活動前の事前期待としてPBL活動に期待する点についてアンケート取得を実施し、後のPBL活動修了後にその期待に対する結果について評価を行うことを計画している。以下では、PBL活動前の事前期待についての分析結果を示す。

#### データ

分析の対象となった調査は、2023年度において本学PBL履修者を対象に実施した調査項目である。質問は、PBLテーマに対する期待、PBL活動に対する期待等、合計6つの大項目に75件の質問項目で構成されている。質問への回答は、リッカート尺度の5件法で回答を求めたものである。調査概要は表1の通り。

#### 方法

対象の質問項目に回答した被験者のアンケートデータをもとに5件法で取得した回答を1から5で得点化し、全体の平均値を算出した。さらに、学生が所属するコースである、事業設計工学コース、情報アーキテクチャコース、創造技術コースに分類して同様に平均値を算出した。

表1 アンケート調査の概要

調査名称	PBL演習履修にあたっての調査
調査目的	PBL履修生のPBL活動における期待に関する意識を明らかにするために実施
調査方法	本学教育支援システムのアンケート機能を利用
調査期間	2023年03月22日～2023年06月01日
調査対象	2023年度PBL履修対象者
調査対象者数	回収したサンプル数は84件（うち、事業18件、情報41件、創造25件）。

### 結果

平均値の算出結果は、表2のとおりになった（3コースのうち最高点を緑、最低点を赤で表記）。以下に特徴的な結果について記載する。

PBLテーマに関しては、独自性（平均点3.92）や新奇性（平均点3.79）への期待が、高い結果となった。問題の難易度については、解決が容易であることへの期待（平均点2.63）が、低い値となっているが、解決が難解であることへの期待（平均点3.37）も高くなかった。実務的テーマと学術的テーマとでは、平均点はそれぞれ4.18と3.36となり、実務的テーマの方が高い結果となった。テーマの選定については、誰かから提示されたテーマへの期待（平均点2.63）よりも自ら（プロジェクト）で探し出したテーマへの期待（平均点3.92）の方が高かった。また、テーマへの取り組み方を聞いた質問では、PTメンバ全員で取り組むテーマ（平均点3.92）の方が個人で取り組むテーマ（平均点3.38）よりも期待が高かった。

PBL活動に対しては、対面での演習活動への期待（平均点3.25）よりもオンラインでの演習活動への期待（平均点3.68）の方が高い結果となった。活動時間に関する期待は、短い活動時間への期待（平均点3.17）、長い活動時間への期待（平均点2.89）となった。PTメンバに関する質問では、同世代のPTメンバとの活動への期待（平均点3.23）よりも様々な世代のPTメンバとの活動への期待（平均点4.00）が高かった。さらに、PTメンバの特徴に関する質問では、同質性の高いPTメンバとの活動への期待（平均点4.07）の方が異質性（多様性）の高いPTメンバとの活動への期待（平均点2.83）よりも高かった。

PBL担当教員に対しては、担当教員の専門分野に関する指導への期待（平均点4.50）が非常に高く、教員との良好な関係を期待（平均点4.51）することも同様に高い期待であった。

PBL修了後の将来に対しては、大学院との継続的な関係性に対する期待（平均点3.96）が高いが、修了後のPBL活動の継続（平均点3.48）や起業・創業への期待（平均点3.37）、就職・転職への期待（平均点3.38）となった。

最後に、PBLで習得する能力に対する期待であるが、知識獲得力（平均点4.42）、問題解決能力（平均点4.38）、継続的研究と研究の能力に対する期待（平均点4.29）が特に高い結果となったが、習得する能力に対する期待は、軒並み高いものを示していた。PBL全般における総合的な期待度（平均点4.38）も非常に高い結果となった。

### 4 考察

ここでは、前節の分析結果をもとに、本学におけるPBL評価指標の確立に向けて、今回のアンケート結果になった背景について、陳ら（2010）の分析結果との比較を中心に考察する。

独自性や新奇性への期待が高い結果となったことは、本学の学生が現在の社会にない新しい価値に繋がる活動を行いたいという意識の表れであると考えられる。陳ら（2010）の調査においても、PBLの満足感に影響を与えている要因として、PBLテーマへの興味の有無を挙げている。PBLテーマが独自性や新奇性を十分に有していないと学生の興味が低減して

表2 アンケート調査の分析結果

質問項目	全体(n=84)		事業(n=18)		情報(n=41)		創造(n=25)	
	全体平均値	標準偏差	事業平均	標準偏差	情報平均	標準偏差	創造平均	標準偏差
	統計量	統計量	統計量	統計量	統計量	統計量	統計量	統計量
独自性	3.92	1.132	4.17	0.924	3.56	1.246	4.32	0.900
新奇性	3.79	1.173	4.00	0.970	3.37	1.240	4.32	0.945
社会課題	3.83	1.297	4.17	1.200	3.61	1.321	3.96	1.306
身近な問題	3.86	1.132	3.67	1.283	3.78	1.107	4.12	1.054
収益性	3.18	1.184	3.39	1.335	3.12	1.122	3.12	1.201
公共性	3.55	1.284	3.67	1.237	3.22	1.235	4.00	1.291
解決が容易	2.63	0.833	2.44	0.856	2.68	0.756	2.68	0.945
解決が難解	3.37	0.929	3.67	1.029	3.20	0.872	3.44	0.917
幅広い知識が求められる	3.88	0.827	3.94	0.873	3.78	0.852	4.00	0.764
深い専門的な知識が求められる	4.05	0.904	4.06	0.802	3.88	0.954	4.32	0.852
実務的	4.18	0.907	4.00	1.138	4.29	0.814	4.12	0.881
学術的	3.36	1.071	3.17	1.098	3.27	1.096	3.64	0.995
自身のキャリアや経験とリンク	4.00	1.087	3.89	1.079	4.05	1.048	4.00	1.190
自身の履修した授業とリンク	3.87	0.991	3.89	0.963	3.71	1.078	4.12	0.833
日本国内におけるテーマ	3.23	1.134	3.50	1.339	3.05	1.071	3.32	1.069
グローバルなテーマ	3.40	1.043	3.22	1.114	3.22	1.013	3.84	0.943
誰かから提示されたテーマ	2.63	0.967	2.61	1.037	2.78	0.881	2.40	1.041
自ら(プロジェクトで)探し出したテーマ	3.70	0.967	4.17	0.924	3.37	0.888	3.92	0.954
PTメンバー全員で取り組むテーマ	3.92	1.044	3.83	1.295	4.02	0.935	3.80	1.041
個人で取り組むテーマ	3.38	1.161	3.72	0.895	2.95	1.284	3.84	0.850
PT(Project Team)での協同活動	4.01	1.012	3.89	1.183	4.05	0.947	4.04	1.020
個人による単独活動	3.57	1.021	4.00	0.907	3.17	1.093	3.92	0.702
できるだけ短い活動時間	3.17	0.955	2.78	1.003	3.41	0.894	3.04	0.935
できるだけ長い活動時間	2.89	1.042	3.33	0.767	2.51	1.028	3.20	1.041
対面での演習	3.25	1.171	3.56	1.097	2.83	1.181	3.72	0.980
オンラインでの演習	3.68	1.043	3.50	0.924	3.95	0.999	3.36	1.114
夢工房の設備の利用	2.95	1.171	2.50	0.924	2.68	1.105	3.72	1.100
PBL演習室の利用	3.31	1.172	3.67	0.767	3.00	1.304	3.56	1.083
キャリアの浅いPTメンバーとの活動	3.04	0.987	2.89	0.900	3.05	0.973	3.12	1.092
キャリアの豊富なPTメンバーとの活動	3.89	0.944	3.83	1.150	3.95	0.947	3.84	0.800
同世代のPTメンバーとの活動	3.23	0.974	3.06	1.110	3.20	1.005	3.40	0.816
様々な世代のPTメンバーとの活動	4.00	0.944	4.11	1.079	3.85	0.910	4.16	0.898
異質性(多様性)の高いPTメンバーとの活動	4.07	0.875	4.17	1.098	3.95	0.805	4.20	0.816
同質性の高いPTメンバーとの活動	2.83	0.903	2.44	0.922	2.93	0.905	2.96	0.841
PTの先輩からの指導・アドバイス	3.63	1.073	3.56	1.097	3.49	1.165	3.92	0.862
PTの受け入れ体制	3.89	1.018	3.94	1.162	3.83	1.046	3.96	0.889
他PTの活動との連携	3.43	1.056	3.61	1.145	3.24	1.044	3.60	1.000
外部機関の活動との連携	3.83	1.096	4.17	1.098	3.46	1.185	4.20	0.707
観察、実験、調査などを通じて関係性を明らかにすることを旨とする実証的アプローチによる活動	3.85	0.925	3.83	0.707	3.76	1.019	4.00	0.913
ものごとの因果関係等の関係性を明らかにすることを旨とする理論的アプローチによる活動	3.71	0.886	3.72	0.752	3.56	1.026	3.96	0.676
活動内容の学会、展示会等での対外発表	3.68	1.110	3.83	0.924	3.56	1.246	3.76	1.012
担当教員の専門分野に関する指導	4.50	0.843	4.67	0.840	4.29	0.901	4.72	0.678
一般知識に関する指導	3.69	1.075	3.67	1.237	3.56	1.119	3.92	0.862
PBL活動に関するマネジメント	3.76	0.977	3.94	0.873	3.51	1.121	4.04	0.676
PBL活動でのファシリテーション	3.55	1.091	3.78	1.003	3.20	1.167	3.96	0.841
学生同士の活動への関与	3.62	1.052	4.11	0.900	3.32	1.059	3.76	1.012
教員との良好な関係	4.51	0.898	4.56	0.784	4.37	0.968	4.72	0.843
修了後のPBL活動の継続	3.48	1.092	3.61	1.195	3.20	1.100	3.84	0.898
他大学への進学	3.44	1.283	3.44	1.097	3.51	1.287	3.32	1.435
起業・創業	3.37	1.200	3.33	1.237	3.22	1.173	3.64	1.221
就職・転職	3.38	1.289	3.11	1.323	3.29	1.309	3.72	1.208
所属組織内での昇給・昇格	3.18	1.194	3.06	1.056	3.41	1.204	2.88	1.236
大学院との継続的な関係性	3.96	1.058	4.11	1.231	3.78	1.061	4.16	0.898
コミュニケーション能力	3.81	1.156	3.61	1.243	3.85	1.152	3.88	1.130
継続的学修と研究の能力	4.29	0.951	4.28	0.826	4.10	1.091	4.60	0.707
チーム活動能力	4.05	0.930	4.00	0.840	4.17	0.919	3.88	1.013
問題解決力	4.38	0.877	4.39	0.979	4.37	0.888	4.40	0.816
知識獲得力	4.42	0.839	4.17	0.924	4.46	0.840	4.52	0.770
開発や管理、リーダーシップに関するマネジメント能力	4.04	0.924	4.00	0.970	4.12	0.954	3.92	0.862
総合的企画力	4.04	1.069	4.22	1.003	3.85	1.152	4.20	0.957
革新的概念、アイデアの発想力	3.99	1.000	4.11	0.963	3.71	1.101	4.36	0.700
社会的視点及びマーケット的視点	4.04	1.103	4.28	1.018	3.83	1.160	4.20	1.041
ニーズ分析力	3.93	1.073	4.33	0.907	3.68	1.171	4.04	0.935
モデリングとシステム提案	4.17	0.903	4.17	0.857	4.00	1.000	4.44	0.712
マネジメント能力	3.93	0.902	4.06	0.873	3.93	0.985	3.84	0.800
ネゴシエーション力	3.79	1.031	3.83	0.924	3.71	1.146	3.88	0.927
ドキュメンテーション力	3.93	1.003	3.94	0.998	3.90	1.044	3.96	0.978
企画提案や要求定義ができる独創的な発想力	4.08	0.984	4.06	1.162	3.93	0.905	4.36	0.952
言語または非言語の可視化といった表現力(プレゼンテーション能力を含む)	4.08	1.055	3.94	1.211	4.12	1.005	4.12	1.054
機能デザインや感性デザイン、またそれらを統合する設計力	3.99	1.024	3.67	1.283	3.83	0.972	4.48	0.714
開発に必要な準備や実装、試験評価を行うことができる開発力	3.96	1.058	3.67	1.188	3.95	1.094	4.20	0.866
ユーザビリティやマーケットリサーチ、業務工程の分析力	3.94	0.998	3.89	1.231	3.83	0.892	4.16	0.987
学位の取得	4.45	0.884	4.06	1.056	4.49	0.925	4.68	0.557
自己の成長	4.61	0.850	4.44	1.042	4.54	0.951	4.84	0.374
PBL活動全般(PBL活動に対する総合的な期待度)	4.38	0.877	4.33	1.138	4.27	0.895	4.60	0.577

しまうと考えることができるであろう。独自性や新奇性の期待に応えるためには、PBL テーマ設定の重要性が高いことが伺える。

PBL テーマの根幹となる問題の難易度については、解決が容易であることへの期待が低い値となっているが、解決が難解であることへの期待も高くなく、どちらとも言えない傾向となった。大学課程内での活動であることから、学生は容易な問題ではなく挑戦的な問題に取り組みたいと思う反面で、修了を意識していることからあまり難しい問題への取り組みに躊躇する意識があることが伺える。陳らの調査では、本問と同様の質問が実施されていないが、これまで PBL 活動の指導を行ってきた筆者らの経験から、このアンケート結果は納得できるところがあり、適切な指導を行うことで、PBL 期間内に一定レベルの難易度のテーマに取り組みむことを目指す必要があると考えることができる。

実務的テーマと学術的テーマとでは、実務的テーマの方が、学術的テーマよりも期待が高い結果となった。テーマの選定については、誰かから提示されたテーマへの期待（平均点 2.63）よりも自ら（プロジェクト）で探し出したテーマへの期待（平均点 3.92）の方が高かった。前述のとおり、PBL テーマの設定の重要性がこの質問の回答結果からも伺える。提示された PBL テーマの場合には、学生が感じる独自性や新奇性が失われてしまう可能性があり、学生自ら主体的に PBL テーマの探索を行うことが重要であると考えられる。

また、テーマへの取り組み方の期待を聞いた質問では、PT メンバ全員で取り組むテーマ（平均点 3.92）の方が個人で取り組むテーマ（平均点 3.38）よりも期待が高かった。学生は、チームで取り組むことで、難解なテーマにチャレンジすることができるという意識をもっていると考えられる。しかし、陳らの調査では、実際にチーム活動が始まると、十分に機能しないチームが存在することも明らかにしている。学生の期待に反してこのような結果が起こる原因については、今後の調査によって明らかにする必要があると考える。

PBL 活動に対しては、対面での演習活動への期待（平均点 3.25）よりもオンラインでの演習活動への期待（平均点 3.68）の方が高い結果となった。本学における授業評価アンケートにおいても、オンライン講義に対する評価は、実地演習を行う科目を除いて全体的に高いことから、PBL 活動においてもオンラインでの演習を期待していることが伺える。

活動時間に関する期待は、短い活動時間への期待（平均点 3.17）、長い活動時間への期待（平均点 2.89）となった。活動時間への期待は、陳らの調査においても行われていないことから、今後の追加調査を行う必要があるが、今回の結果からは、学生全体でみるとどちらでもないという結果と考えることができる。しかし、コースごとに確認すると異なる様相を呈する。事業設計工学コースと創造技術コースの学生の平均は、どちらでもないに近い平均点を算出しているが、情報アーキテクチャコースの学生は、短い活動時間への期待（平均点 3.41）、長い活動時間への期待（平均点 2.57）と他コースよりも明らかに低い結果となった。情報アーキテクチャコースの学生の活動時間に対する意識がどこに由来するものであるかは継続調査を行い

たい。

PT メンバに関する質問では、同世代の PT メンバとの活動への期待（平均点 3.23）よりも様々な世代の PT メンバとの活動への期待（平均点 4.00）が高かった。さらに、PT メンバの特徴に関する質問では、同質性の高い PT メンバとの活動への期待（平均点 4.07）の方が異質性（多様性）の高い PT メンバとの活動への期待（平均点 2.83）よりも高かった。陳らの調査においても、PT の成功要因に人間関係やメンバの貢献度、社会人と新卒のバランスといったメンバの特徴や属性が影響することが検証されている。PT を成功させる要因として、様々な世代が参加し、様々なバックグラウンドをもつ多様性のあるメンバであることを学生が認識し、それに期待していると言って差し支えないだろう。

PBL 担当教員に対しては、担当教員の専門分野に関する指導への期待（平均点 4.50）が非常に高く、教員との良好な関係を期待（平均点 4.51）も同様に高い結果となった。陳らの行った調査でも PT がうまくいっていない理由の一つに教員による指導について言及されている。PBL において学生と良好な関係を築き、専門性を活かした指導を行うことの重要性が示唆される。

PBL 修了後の将来に対しては、大学院との継続的な関係性に対する期待（平均点 3.96）は高いが、修了後の PBL 活動の継続（平均点 3.48）や起業・創業への期待（平均点 3.37）、就職・転職への期待（平均点 3.38）は、どちらでもないに近い結果となった。この点についてこれまでに実施した調査がないことから、今後学生へのインタビュー調査等を行い、学生との関係継続に必要な施策の検討が求められる。

PBL で習得する能力に対する期待であるが、知識獲得力（平均点 4.42）、問題解決能力（平均点 4.38）、継続的研究と研究能力に対する期待（平均点 4.29）が特に高い結果となったが、習得する能力に対する期待は、軒並み高いものを示していた。PBL 活動を通して、コンピテンシーの修得を目指している意欲をよく表している。陳らの分析では、コンピテンシーの修得の過程で教員の関与が非常に重要であると指摘している。学生のコンピテンシー修得の事前期待と、今後取得予定の事後評価、それに加えて PBL 教員に関する事後評価の相関関係を分析し、評価を試みたい。

最後に、PBL 全般における総合的な期待度（平均点 4.38）の高さからも、PBL 活動を通して成長の機会を得ることを多くの学生が期待していることが伺える。この事前期待との乖離を可能な限り小さくしていくこと、またはそれを超えるような結果を出すことができるように、PBL 担当全教員が取り組んでいくことが求められていることを自覚しなければならない。

## 5 結論と今後の課題

本稿では、高度専門職人材教育研究センターにおける IR 活動の一環として、PBL 活動に対する統一的な評価指標を構築することを目指し、2023 年度において本学 PBL 履修者を対象に実施した調査項目の分析に取り組んだものである。

その結果として、学生は、PBL テーマに関しては、独自性や新奇性のあるテーマによる取り組みを重視している反面、PBL

テーマの難易度については修了を意識することから極端な難易度を忌諱する傾向があることがわかった。また、PBL テーマは、誰かに与えられるテーマではなく、自ら見出した実務的なテーマでの取り組みを期待していることも明らかになった。そのテーマへの取り組み方は、個人ではなくチーム全員で一丸になって取り組むことを望んでいる。

その他に、PBL 活動は、長時間でもなく短時間でもない手ごろな時間でオンラインによる演習活動を志向している傾向がある。しかし、この点については学生の所属するコースごとに差異があることは留意しなければならないことがわかった。PTメンバは、世代を跨った多様性のある構成で活動を行うことを期待している。

PBL 教員に対しては、学生と良好な関係を築き、専門性を活かした指導を期待しており、将来的に大学院との継続的な関係を期待しているものの、どのような関係性が期待されているかは明らかになっておらず、今後の研究課題としたい。

最後に、PBL で習得する能力に対する期待は、軒並み高いものを示していた。PBL 活動を通して、コンピテンシーの修得を目指している意欲をよく表している。

しかし、今回の調査は、2023 年の学生を対象としたのみで、サンプル数も限定的であり、学生の期待の全貌を明らかにするには十分ではない。また、事後評価の調査もこれから実施予定であり、まだ途中段階の分析であることから、最終的な分析結果をもとに今後の調査のあり方についても再考する必要がある。

このような調査分析は継続性が大切である。調査項目の見直しを定期的に行いながら、PBL 評価指標構築に努めたい。

## 付 記

本論文の一部は、International Congress on Advanced Applied Informatics IIAI AAI 2023-Winter Congress で発表のものである[13].

## 参 考 文 献

1. 文部科学省, 2040 年に向けた高等教育のグランドデザイン (答申)(中教審第 211 号). 平成 30 年, 2018. 11.
2. 文部科学省, 文部科学白書. 2020.
3. 中鉢欣秀, 情報システムのアーキテクト育成のための教育と PBL. 産業技術大学院大学紀要, 2007. 1: p. 1-8.
4. 秋口忠三, スーパープログラマ育成のための PBL. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2008(2): p. 79-84.
5. 成田雅彦, 企画型 PBL の実現と考察. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2008(2): p. 175-182.
6. 成田雅彦, 戸沢義夫, and 中鉢欣秀, 専門職大学院における PBL 教育のグローバル化の試み. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2009(3): p. 99-107.
7. 中鉢欣秀, 成田雅彦, and 戸沢義夫, ベトナム国家大学とのグローバル PBL から得た知見. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2010(4): p. 85-88.
8. 土屋陽介, 加藤由花, and 成田雅彦, ベトナム国家大学およびブルネイ大学とのグローバル PBL. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2013(7): p. 161-164.
9. 戸沢義夫, IT サービスビジネスを目指した PBL における教育目標. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2010(4): p. 89-95.
10. 大崎理乃, 大久保友幸, and 國澤好衛, 高度専門職人材育成を目指した PBL 活動検討のための産業界ニーズの調査分析. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2017(11): p. 23-28.
11. 松尾徳朗, et al., 高等教育における専門職人材育成モデル. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2018(12): p. 97-100.
12. 陳俊甫, 安藤昌也, and 村尾俊幸, ものづくり PBL の実践に関する研究. 産業技術大学院大学紀要 = Bulletin of Advanced Institute of Industrial Technology, 2009(3): p. 141-156.
13. Takaaki Hosoda, K.O., Tokuro Matsuo, Survey Analysis of Students' Attitudes in PBL Activities, in International Congress on Advanced Applied Informatics IIAI AAI 2023-Winter Congress. 2023.

付録

## PBL 演習履修にあたっての調査①

本学の PBL および関連の事項についてのアンケートを実施します。所要時間は 7～8 分程度です。本調査の目的は、本学のより優れた授業実施支援に寄与するもので、皆様のご回答がその発展に役立てられます。なお、調査データは集計前に匿名化され、特定の個人が識別できないようにして扱われます。各種報告資料等での活用や教育環境、教育方法の改善に役立てられます。学外の第三者による二次利用はございません。ご協力のほど、よろしくお願い申し上げます。

**■あなたが PBL 科目を受講しようとするにあたり、次の質問にお答え下さい。**

Q1. **PBL テーマ**について、次に関して期待度を教えてください。

(1. 期待しない, 2. あまり期待しない, 3. どちらとも言えない, 4. やや期待する, 5. 期待する)

1	独自性のあるテーマ	1	2	3	4	5
2	新奇性のあるテーマ	1	2	3	4	5
3	社会課題を取り上げたテーマ	1	2	3	4	5
4	身近で問題となっているテーマ	1	2	3	4	5
5	収益性に着目したテーマ	1	2	3	4	5
6	公共性の高いテーマ	1	2	3	4	5
7	解決が容易なテーマ	1	2	3	4	5
8	解決が難解なテーマ	1	2	3	4	5
9	幅広い知識を求められるテーマ	1	2	3	4	5
10	深い専門的な知識を求められるテーマ	1	2	3	4	5
11	実務的なテーマ	1	2	3	4	5
12	学術的なテーマ	1	2	3	4	5
13	自身のキャリアや経験とリンクしたテーマ	1	2	3	4	5
14	自身の履修した授業とリンクしたテーマ	1	2	3	4	5
15	日本国内におけるテーマ	1	2	3	4	5
16	グローバルなテーマ	1	2	3	4	5
17	誰かから提示されたテーマ	1	2	3	4	5
18	自ら（プロジェクトで）探し出したテーマ	1	2	3	4	5
19	PT メンバ全員で取り組むテーマ	1	2	3	4	5
20	個人（または少数のグループ）で取り組むテーマ問題	1	2	3	4	5

Q2. **PBL 活動**について、次に関して期待度を教えてください。

(1. 期待しない, 2. あまり期待しない, 3. どちらとも言えない, 4. やや期待する, 5. 期待する)

1	グループでの協同活動	1	2	3	4	5
2	個人による単独活動	1	2	3	4	5
3	できるだけ短い活動時間	1	2	3	4	5
4	できるだけ長い活動時間	1	2	3	4	5
5	対面での演習	1	2	3	4	5
6	オンラインでの演習	1	2	3	4	5
7	夢工房の設備の利用	1	2	3	4	5
8	PBL 演習室の利用	1	2	3	4	5
9	（実務・社会人経験の）キャリアの浅い PT メンバとの活動	1	2	3	4	5
10	（実務・社会人経験の）キャリアの豊富な PT メンバとの活動	1	2	3	4	5
11	同世代の PT メンバとの活動	1	2	3	4	5
12	様々な世代の PT メンバとの活動	1	2	3	4	5
13	異質性の高い PT メンバとの活動	1	2	3	4	5
14	同質性の高い PT メンバとの活動	1	2	3	4	5
15	PT の先輩からの指導・アドバイス	1	2	3	4	5
16	PT の受け入れ体制	1	2	3	4	5
17	他 PT の活動との連携	1	2	3	4	5
18	外部機関の活動との連携	1	2	3	4	5
19	実証研究的アプローチによる活動	1	2	3	4	5
20	理論研究的アプローチによる活動	1	2	3	4	5
21	活動内容の学会、展示会等での対外発表	1	2	3	4	5

Q3. PBL 担当教員について、次に関して期待度を教えてください。

(1. 期待しない, 2. あまり期待しない, 3. どちらとも言えない, 4. やや期待する, 5. 期待する)

1	担当教員の専門分野に関する指導	1	2	3	4	5
2	一般知識に関する指導	1	2	3	4	5
3	PBL 活動に関するマネジメント	1	2	3	4	5
4	PBL 活動でのファシリテーション	1	2	3	4	5
5	学生同士の活動への関与	1	2	3	4	5
6	教員との良好な関係	1	2	3	4	5

Q4. PBL 修了後の将来的なことについて、次に関して期待度を教えてください。

(1. 期待しない, 2. あまり期待しない, 3. どちらとも言えない, 4. やや期待する, 5. 期待する)

1	修了後の PBL 活動の継続	1	2	3	4	5
2	他大学への進学	1	2	3	4	5
3	起業・創業	1	2	3	4	5
4	就職・転職	1	2	3	4	5
5	所属組織内での昇給・昇格	1	2	3	4	5
6	大学院との継続的な関係性	1	2	3	4	5

Q5. PBL で習得したい能力について、次に関して期待度を教えてください。

(1. 期待しない, 2. あまり期待しない, 3. どちらとも言えない, 4. やや期待する, 5. 期待する)

1	コミュニケーション能力	1	2	3	4	5
2	継続的学修と研究能力	1	2	3	4	5
3	チーム活動能力	1	2	3	4	5
4	問題解決力	1	2	3	4	5
5	知識獲得力	1	2	3	4	5
6	開発や管理, リーダーシップに関するマネジメント能力	1	2	3	4	5
7	総合的企画力	1	2	3	4	5
8	革新的概念, アイデアの発想力	1	2	3	4	5
9	社会的視点及びマーケット的視点	1	2	3	4	5
10	ニーズ分析力	1	2	3	4	5
11	モデリングとシステム提案	1	2	3	4	5
12	マネジメント能力	1	2	3	4	5
13	ネゴシエーション力	1	2	3	4	5
14	ドキュメンテーション力	1	2	3	4	5
15	企画提案や要求定義ができる独創的な発想力	1	2	3	4	5
16	言語または非言語の可視化といった表現力 (プレゼンテーション能力を含む)	1	2	3	4	5
17	機能デザインや感性デザイン, またそれらを統合する設計力	1	2	3	4	5
18	開発に必要な準備や実装, 試験評価を行うことができる開発力	1	2	3	4	5
19	ユーザビリティやマーケットリサーチ, 業務工程の分析力	1	2	3	4	5

Q6. PBL 修了後の将来的なことについて、次に関して期待度を教えてください。

(1. 期待しない, 2. あまり期待しない, 3. どちらとも言えない, 4. やや期待する, 5. 期待する)

1	学位の取得	1	2	3	4	5
2	自己の成長	1	2	3	4	5
3	PBL 全体に対する総合的な期待度	1	2	3	4	5

# 社会人教育用エンrollmentメントマネジメントの提案及びその設計

Proposal and design of enrollment management for working adult education

牧野 千里<sup>1\*</sup> 橋本 洋志<sup>1</sup>

Chisato Makino<sup>1\*</sup> Hiroshi Hashimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology  
<sup>\*</sup>Corresponding author: Chisato Makino, makino.chisato.xg@alumni.tsukuba.ac.jp

**Abstract** The authors aim to study an enrollment management (EM) that makes it easier for working adults to carry out their recurrent learning, and to establish a design theory for it. The features of the EM currently being planned are, (1) investigating the attributes of working adults to classify them (profiling), (2) measuring the factors that become barriers to continuing their learnings, (3) while based on considering both the above profiling information and types of learning barriers, providing each working adult the optimal support. In this article, the authors explain the necessity of the EM and the hypotheses for the EM design.

**Keywords** enrollment management; working adult education

## 1 はじめに

エンrollmentメントマネジメント (EM) とは、学生、学校、ステークホルダの満足度向上を目標とした時に、学校入学前から卒業後までの学生の一連の学びの実態を把握し、学生に対して総合サポートを行うマネジメント手法を指す[1-5]。学生に関する情報として、成績情報 (入試、授業成績、卒業成績)、在籍中満足度、達成感、就職先情報、卒業後の振り返り、等を統合的に分析し、「情報技術活用」を基盤として、「リクルート」、「学生に関する情報を把握すること」、「学生の興味把握、それに応えるための能力を持つこと」、「資金援助」、「退学防止」という視点から EM が行われる[1-5]。このマネジメント手法は、国内では主に、社会経験を経ずに高等教育 (大学、短期大学、高等専門学校、等) を受ける学生に対して、特に大学生に対して、研究、検討、運用されている[2-5] (本稿のみ、以降、高等教育用 EM、と称する)。

一方、近年、社会人のリカレント教育、リスキリングの必要性が叫ばれている[6-7]。リカレント教育とは、学校教育からいったん離れて社会に出た後に、各々必要なタイミングで再び教育を受け、仕事と教育を繰り返していくことを指す[6]。また、リスキリングとは、新しい職業に就くために、あるいは、今の職業で必要とされるスキルの大幅な変化に適応するために、必要なスキルを獲得する/させることを示す[8]。これら社会人用教育は、社会人のまま大学/大学院等/専修学校等の正規課程に入学して教育を受ける場合[9]もあれば、同教育機関にて短期プログラムを履修する場合[9]もある。短期プログラムとしては、履修証明制度 (この制度のもとで行われる教育プログラムを履修証明プログラムと称する) [9-10]、科目当履修生、聴講生がある[9]。以上の様な社会人教育用プログラムが数多く揃えられているものの[6,9]、社会人教育用 EM の研究は見当たらないのが現状である。なお、前述の高等教育用 EM は社会経験を経っていない、おおよそ 18 歳~22 歳の学生を対象としたものであるため[2-5]、この手法を社会人教育にそのまま適用することは困難であると推測される。これは社会経験を経ずに高等教育を受ける学生と社会人学生の、ライフスタイル、地位 (責任)、経験、人的ネットワーク、学び直しの環境、学生自身が考える将来の姿の精度、等が大きく異なること等が理由になると推測される。以上の背景から、社会人教育用 EM を構築する必要がある

あるのではないかと考えた。本稿では、社会人教育用 EM の必要性、及びその手法設計のための仮説、今後の展開について述べることにする。

## 2 国内 EM 研究動向及び課題

表 1 に J. Maguire が提唱した 5 つの視点[1]で整理した、日本における高等教育用 EM 例 (主に大学) 及び東京都立産業技術大学院大学履修証明プログラムにおいて履修生から提案された改善提案とその個別対応策を整理したものを示す。

高等教育用 EM については、国内における数校の実績ではあるものの、課題、改善提案に対して体系的に対策 (サポート) が行われており、案件毎には成果が得られているとのことである[2-5]。但し、これらの対策が学生の総合的な履修満足度向上にどのように貢献したかは、学外環境 (例えば、学生数の減少傾向、学生の人気分野/学部の変遷、等) の変化を考慮した、より長期的な観察研究が必要であると考えられる。

一方、社会人教育 (履修証明プログラムの例に限定) における認識課題、改善提案とその対応では、速やかに対策が講じられている案件はあるものの、「履修証明プログラムの認知拡大」、「IR (Institutional research) と EM の連携」、「同じ志を持った人との交流・対話の活性化」、「プログラム修了後の起業サポート」、「IT リテラシーの底上げ」、「退学防止策」等は課題として残っており、改めて社会人履修者の情報、真のニーズを整理して、履修満足度向上に資する適切な対策を講じる必要がある。

表 2 に、東京都立産業技術大学院大学履修証明プログラムにおける 2018 年度から 2022 年度までの修了率推移を示した。当該プログラムを完遂 (修了) できない履修生が散見されることがわかる。履修証明プログラムは、大学/大学院の正規課程に入学することに比較して、時間、経済的な負担が大幅に軽減されているにも関わらず[9]、このような結果となった一因として、履修中の満足度の低下があると推定した。すなわち、履修過程において、何らかの学修障壁が生じ、履修満足度低下、学修離脱の結果、修了率が低下するものと考えた。このような時、EM 運用が適切と期待されるが、前述のように社会人教育用 EM に関する研究はほとんど見当たらない。筆者は、リカレント教育プログラム、リスキリングプログラムの高い成果を期待するためにも社会人教育用 EM 手法の早期構築、特に履修満足度改善に特化した手法の構築が望まれると考えた。

表1 日本における高等教育用 EM 例及び東京都立産業技術大学院大学履修証明プログラムにおいて、社会人履修生から提案された認識課題、改善提案とその対応 (J. Maguire が提唱した5つの視点[1]で整理)

項目	認識課題、履修生からの改善提案		対策例	文献	
リクルート	高等教育	高校生に対する大学の認知が必要。	高校訪問、オープンキャンパス等のイベントを開催。	3-4	
	社会人	講義科目シラバスがわかりにくい。	毎年見直しを実施している。但しニーズ調査は必要。	15	
		「シニア」はネガティブな印象がある。これを名称に含むプログラムの受講に抵抗があった。	名称変更 (2023年度)。「シニア」という文言を削除。	14-16	
学生に関する情報を把握すること	高等教育	本履修証明プログラムの認知拡大を希望する。	SNS を活用した広告を開始、推進 (2023年度)。	13,16	
		学生の体調把握、学内所在把握が必要な場合があった。	IC カード導入による校内在籍把握。	2	
	社会人	特別な配慮を要する学生に対するサポート。	出席率、成績などを俯瞰し、特別な配慮の必要な学生を可視化。特別支援チームを編成し、カウンセリング実施。	2	
5つの視点	高等教育	学生の学校生活満足度低下。	IR (Insitutional research) とEM (Enrollment management) の連携による学生サポート。	2	
		社会人	-	LMS (Learning Management System) にて学修進捗確認可能であり、個別対応を実施。IR連携は今後の課題。	11-13,15
		高等教育	就職に対する不安の解消が必要。	就職活動支援。	2
			学生の学校生活満足度低下の回避が必要。	IR 情報を活用して、在籍学生のタイプ別に満足度向上対策、休学/退学防止策立案。	2-5
	卒業生に対するサービスも必要。		ホームカミングデー開催、卒業生データベース整備、等。	4	
	社会人	特別な配慮を要する学生に対するサポート	出席率、成績等から、特別な配慮の必要な学生を可視化。特別支援チームを編成、カウンセリング実施。	2	
		PBL (Project Based Learning) において、講師からの指摘が多すぎ、新しいアイデアが出にくいと感じる。	講義運用にて適宜対応。	12,15	
			世間動向にあわせて科目変更を希望。	年度毎に見直し実施。	13,15
			単科科目受講希望。	東京都立産業技術大学院大学では、科目当履修生として単位を取得可能。	15,17
			具体的な事例を検討する科目があると良い。	事例研究科目を導入、運用 (2022年度)。	15,16
			履修生間の IT リテラシーに差があり (文書作成ソフト、LMS の操作等)、PBL などの遂行がかなり負担である。	LMS 操作方法については十分な解説が必要。	15
		社会人	修了後も希望により再受講できる制度を希望。	ニーズ調査、明確化必要。	15
			講義連絡、レポート提出期限等一覧でわかる仕組みが欲しい。	LMS 導入、運用済み。但しシステム操作方法については十分な説明が必要。	15
			業務との両立で、時間的に負荷が大。	オンライン、オンデマンド配信、対面講義の運用 (2020年度)。	12,15,16
			プログラム修了後の起業サポートを希望。	ニーズ調査必要。	15
講義受講方法の自由度改善を希望。			オンライン、オンデマンド配信、対面講義の運用 (2020年度)。	12,16	
履修者の知見、経験が異なるため、それを埋めるべく、ベーシックな科目があると望ましい。	検討継続課題。		14		
社会人	55歳以上を対象とするのではなく、若い世代も加えた方が望ましい。	運用にて対応。	15		
	・PBL 等、人との交流・対話、ふれあいが重要。 ・対面授業を再開・継続し、オンラインとのバランスを調整することを希望。 ・修了生との交流会希望。	ニーズ明確化のため調査必要。	13,15		
	各履修生の PBL 関与に大きな差がある。不公平感がある。	学生コミュニケーション改善が必要。ニーズ調査必要。	15		
	高等教育	学費確保	奨学金、補助金、学生ローン、等。	1	
	社会人	-	公的補助金の活用。	11-13,15	
退学防止	高等教育	特別な配慮を要する学生に対するサポート	ラーニングコミュニティによる学修支援による退学防止。	2	
	社会人	-	履修証明プログラムにおける、退学防止策については別途調査が必要 (社会人大学院生に対しては防止策あり)。	17	
情報技術	高等教育	情報管理手法の導入が必要。	IR との連携のための自動化プロセス構築。	4	
	社会人	履修生間の IT リテラシーに差がある。サポートが必要。	メール、オンライン課題提出、Web ミーティング配備済み (2020年度)。操作方法については十分な解説が必要。	15-16	
		オンライン講義希望。	メール、オンライン課題提出、Web ミーティング配備済み (2020年度)。	12,16	



表 2 東京都立産業技術大学院大学履修証明プログラムにおける修了率 [%] [11-15]

2018年度	78.8
2019年度	84.0
2020年度	66.7
2021年度	66.7
2022年度	50.0

### 3 社会人教育用 EM 構築のための仮説

表 1 に示した J. Maguire が提唱した 5 つの項目に着眼して EM の検討を進めるわけであるが、前述の様に、社会人の学修障壁を解消して履修満足度改善することに特化するため、「学生に関する情報を把握する」、「学生の興味を把握し、それにえられる能力を持つ」に焦点を当てて、社会人教育用 EM を検討することを考えた。

はじめに、筆者の社会人教育実施経験を通して[16]、社会人の学修障壁は図 1 赤枠、すなわち「心理的要因」、「ライフスタイルと教育コンテンツ提供方法のミスマッチ」にあると推定した。また、学修から離脱しても社会人地位には影響ないため、自己正当化バイアスは学修離脱を助長するとも考えた。

一方、筆者は行動心理学に着目し、瘦身サービスにて、プロファイリングにて特定された研究対象者に、適切なタイミングで制御資源（自己制御（痩せるため無理する）の際に消費される心的エネルギー）補充として生体情報の可視化情報を認知させることにより、瘦身過程の心身負担軽減効果、及び体重減少傾向効果が得られることを見出している[18-19]。また、研究対

象者を単一グループとして、単一の制御資源補充を行うことは有効ではなく、研究対象者個々人の特性に応じて適切な制御資源補充を行うことが重要であった。よって、「心理的要因」なる学修障壁の解消には社会人履修生個々人に適切な制御資源補充が有効であるとの仮説を立てた。

次に、「ライフスタイルと教育コンテンツ提供方法のミスマッチ」については、従来の科目合格判定の品質を変えることなく判定手法を再構築すること、更に、社会人履修者に大きな時間的負担をかける現場実習等に対して、Mixed Reality 技術を駆使した教育コンテンツの投入することにより、学修障壁は解消できるとの仮説を立てた。

2つの仮説をまとめると図 2 の様になる。①プロファイリング情報にてタイプ分類、②学修障壁項目データベース作成（及び社会人の状態を計測、学修障壁推定法確立）、③学修障壁解消のためのサポート方法、を組み合わせることにより、社会人履修者各個人に最適なタイミングで最適なサポートを提供する社会人教育用 EM（本稿では“提案 EM 法”と称する）を構築できると考えた。なお、研究としての目標は、上記①、②、③の組み合わせ論（設計論）を確立することにある。

### 4 研究の方法

“提案 EM 法”設計論確立の研究を推進するために、以下の検討が必要であると考えた。順を追って説明する。

#### プロファイリング

社会人属性（生活、労働時間、能力等）の量的・質的調査（アンケート、インタビュー等）を行い、これを分析することでタイプ分類（図 2：“A” おおらかタイプ、等）を行う。これをプロファイリング情報と呼ぶこととする。なお、調査項目については今後詳細な検討が必要である。

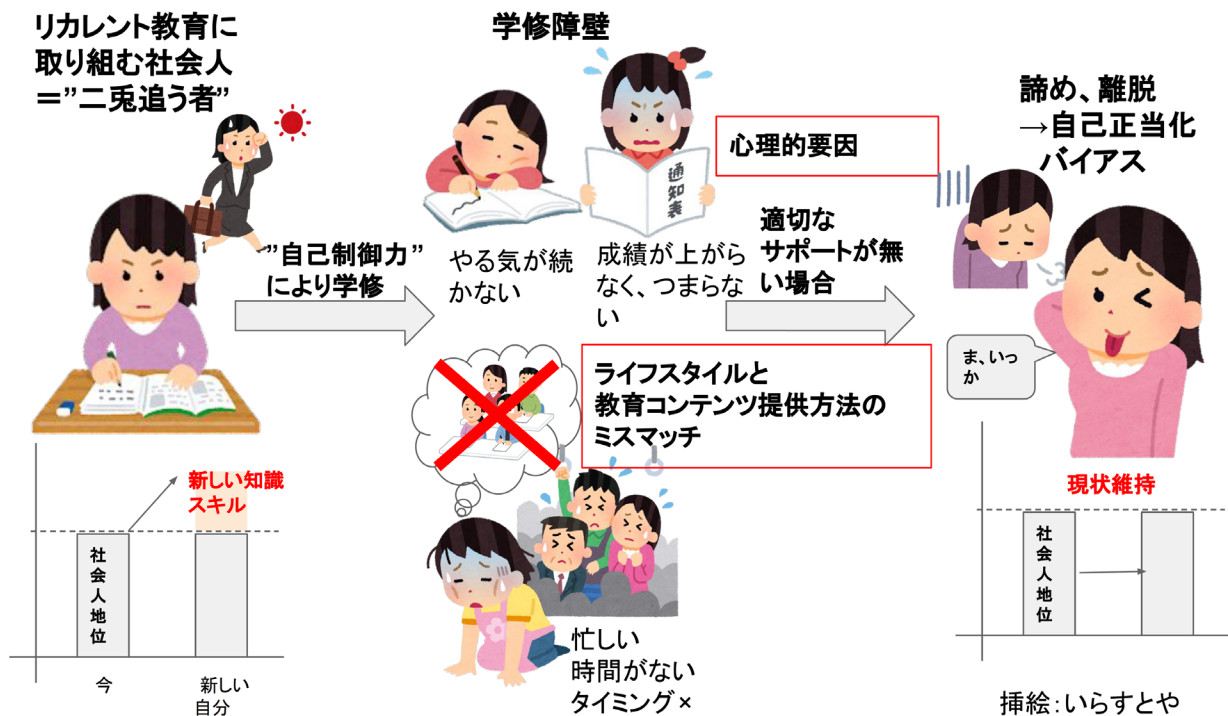


図 1 履修離脱してしまう社会人の例

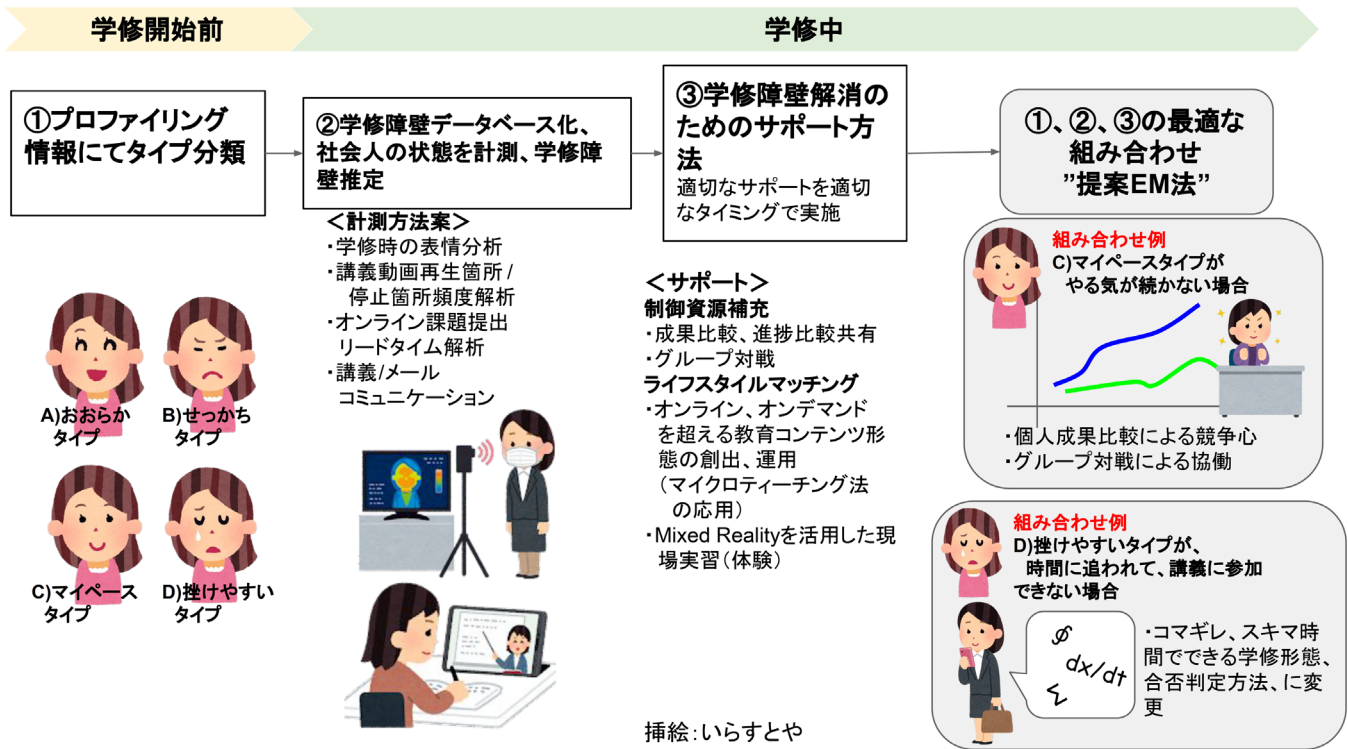


図2 提案EM法の概要（プロファイリング分類はイメージ）

表3 社会人履修者の状態、学修障壁計測の概要案

項目	具体的な内容
学修時の表情分析：心理状態推定	対面講義、オンライン講義において、悩んでいる表情をリアルタイムに抽出する。
オンデマンド講義の再生箇所/停止箇所頻度解析：理解度推定	本学動画配信システムデータより、高再生箇所/停止箇所を抽出し、高頻度の部分を理解しにくい部分と推定する。
オンライン課題提出リードタイム解析：性格推定、学修障壁推定	LMS（Learning Management System）の情報からリードタイムを抽出する。このリードタイムが長めの履修生は何かしらの障壁を抱えていると推定する。
簡便な量的・質的調査：情報補充	社会人履修者への負担がかからない程度の簡便な量的・質的調査にて、ライフスタイル、理解度に関する情報を入手する。
講義、メールにおけるコミュニケーション：情報補充	LMSを軸に、メール、対面であれば講義中のコミュニケーションにて、上記解析のための情報の補充も行う。

表4 学修障壁を解消するサポート方法のアイデア

学修障壁大項目	方針	手法	具体的な内容
心理的要因	制御資源の補充	成果比較、進捗比較共有	・レポート提出進捗などを、匿名化情報で履修生に共有。履修生間で競争心醸成。 ・グループ間で進捗を比較させ、競争心を醸成。
		グループ対戦	・グループ間で進捗を比較させ、グループ内の”競争心”、”協働”を醸成。
ライフスタイルと教育コンテンツ提供方法のミスマッチ	マイクロティーチング法を応用したライフスタイルマッチング	時間負担の更なる軽減化 コマギレ、スキマでできる学修	1コマ1.5時間1回合格判定のところを、マイクロティーチング法を参考に、「(オンデマンド5分講義+テスト)×10回とし、10回の部分合格判定。6割以上の部分合格判定があれば、1コマ講義を合格」とする。「1.5時間連続視聴、1発判定」なる心理的負担を軽減。
		Mixed Reality (MR) 等の映像を活用した現場実習 (体験)	主に製造現場実習に対して適用。MRコンテンツを活用する。マイクロティーチング法を参考に、「オンデマンド配信、製造現場の要所毎に理解度判定」とする。上記と同様、「1.5時間連続視聴、1発判定」なる心理的負担を軽減。

## 学修障壁項目データベース化

「心理的要因」と「ライフスタイルと教育コンテンツ提供方法のミスマッチ」を大項目として量的・質的調査を行い、社会人に起こりやすい学修障壁小項目(図1:“やる気が続かない”、“つまらない”、“忙しい”、“タイミングが合わない”、等)をデータベース化、プロファイリング情報との関連性を整理する。調査項目については今後詳細な検討が必要である。

## 社会人履修者の状態、学修障壁の計測

前項で分類された学修障壁項目を、社会人履修者の状態を計測することにより予測する方法を見出す。可能な限り、社会人履修者に負担がかからない計測手法を選定する。社会人履修者の状態、学修障壁計測の概要を表3に示す。表情からの心理状態推定(“疑問に思っているが、質問できない”、等)、オンデマンド動画の視聴確率からの理解度推定(難易度の高い講義内容(項目)の可視化、等)、課題提出リードタイムからの性格推定(課題への取り組み姿勢(性格)の可視化、等)、学修障壁推定(仕事の繁忙期の推定、等)、簡単な量的・質的調査/コミュニケーションによる情報補完、を想定している。検討、確立後、前述のプロファイリング情報、学修障壁項目データベースとの関連性を整理し、次項の検討に活用する。

## 学修障壁解消のためのサポート方法

学修障壁を解消するサポート方法のアイデア(表4)としては、図2に示した通り、心理的要因の場合には、制御資源を補充する方針を、ライフスタイルと教育コンテンツ提供方法のミスマッチの場合には、マイクロティーチング法[20]を参考にした、学修コンテンツ及び合格判定を細分化する方針をとることとする。

具体的には、制御資源補充では、競争心、協働を促す様な制御資源、例えば履修生各個人における学修進捗(競争心)、履修生グループ間の学修進捗比較(競争心、グループ内協働)、等を準備することを想定している。教育コンテンツ提供方法では、「1コマ(1.5時間)講義、レポート提出にて1発科目合格判定」という様な従来手法から、例えば「1コマ講義を小項目10個に分割、(オンデマンド5分講義+テスト)×10回とし、小項目毎に合格判定。小項目合格数が6割以上であれば、1コマ講義の科目合格とする」という様な分割判定方式の採用を想定している。また、製造現場実習の様な講義をオンデマンド配信講義にする場合は、前述の分割判定方式をベースに、Mixed Reality 映像等を駆使した製造現場説明コンテンツを投入とすることを想定している。これら工夫により、通勤移動中の短時間でもオンデマンド講義をより容易にこなすことができる様になると考えられる。“合格判定数を積み上げる”という点も、受講時の心理的負担を軽減する効果が期待される。表4の項目を全て検討するか、更に項目を追加して検討するか、または内容をより改善するかは、プロファイリング情報、学修障壁データベース結果から判断する。プロファイリング情報、学修障壁項目データベース、サポート方法を関連付け、提案EM法案を立案し、次項“実教育現場における評価”の検証に用いる。

なお、2にて述べた様に、社会人履修者の情報、真のニーズ

を整理した結果、新たな学修障壁が顕在化する可能性もある。その際は、別視点のサポート方法を考案し、別研究として検討することとする。

## 実教育現場における評価

提案EM法案を実教育現場に適用し、組み合わせの有効性を評価、検証する。評価項目は、修了率、受講時の量的・質的調査による履修の感想(心理的負担の減少、他)とする。この評価は、履修中の社会人行動ログより、学修時間分布、頻度等を整理し、注目すべきタイミングにおける社会人の状況(履修の感想、等)の量的・質的調査として行われる。事後調査(講義が終わった後の調査)であるため、社会人の属性により、量的・質的調査回答内容が大きく変動する可能性が懸念されるが、この回答の変動を最小限にするため、ビデオ振り返り法[21]による調査を採用する予定である。最終的に、“プロファイリング情報”、“学修障壁項目データベース”、“サポート方法”、の最適な組み合わせ方法を見出し、“提案EM法”の設計論を確立する。

## 5 今後の予定

本研究は社会人教育現場の課題解決に寄与するものである。本稿では履修証明プログラム[10,16]を例として、研究方針、内容について説明したが、“提案EM法”設計論が確立できれば、社会人大学生/大学院生正規課程教育[9]にも展開可能と期待される。研究体制、研究費を確保した上で、3カ年の計画で、先に記載した仮説に基づき、設計、検証を進め、設計論確立を目指す。

## 謝辞

高等教育用EMに関する情報については、本学岡崎浩二特任准教授にご助言をいただきました。今回、このような機会を設けてくださった東京都立産業技術大学院大学諸先生方、事務局の方々に深謝致します。

## 参考文献

1. John Maguire. To the organized, go the students. Boston College Bridge Magazine. 1976;39(1): 16-22.
2. 木村誠. 学生生活と学びをデータベース化して効果的にサポート—山形大学のエンロールメントマネジメント. 学研・進学情報. 2013;9: 6-9.
3. 山本嘉一郎. エンロールメント・マネジメントを効果的に進めるためのIRについて. 京都光華女子大学紀要. 2013: 89-98.
4. 福島真司. 「総合的學生情報データ分析システム」の構築 山形大学におけるエンロールメント・マネジメントとインスティテューショナル・リサーチ. 情報管理. 2015;58(1): 2-11.
5. 浅野茂、鳥田敏行. 2020年度FD講演会 エンロールメント・マネジメント(EM)に関する講演会. 2020: 25-35.
6. 厚生労働省. 政策 雇用・労働 リカレント教育. [cited 12 October 2023]. Available from: [https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_18817.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_18817.html)
7. 厚生労働省. 雇用・労働 職場における学び・学び直し促進ガイドライン. [cited 12 October 2023]. Available from: [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou\\_roudou/jinzai\\_aikaihatsu/guideline.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/jinzai_aikaihatsu/guideline.html)
8. 石原直子. リスキリングとは—DX時代の人材戦略と世界の潮流—. リクルートワークス研究所. 2021年2月26日. [cited 12 October 2023]. Available from: [https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/digital\\_jinzai/pdf/002\\_02\\_02.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_jinzai/pdf/002_02_02.pdf)
9. 文部科学省総合教育政策局生涯学習推進課. リカレント教育の推進に関する文部科学省の取組について. 令和5年9月. [cited 17

- October 2023]. Available from:  
<https://www.mhlw.go.jp/content/11801000/001151144.pdf>
10. 文部科学省. 大学等における履修証明 (certificate) 制度の概要. [cited 14 October 2023]. Available from:  
[https://www.mext.go.jp/content/20220831-mxt\\_daigakuc03\\_100001506\\_01.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20220831-mxt_daigakuc03_100001506_01.pdf)
  11. 公立大学法人首都大学東京 産業技術大学院大学. 平成 30(2018)年度 AIT シニアスタートアッププログラム事業成果報告書. 平成 31 年 3 月. [cited 12 October 2023]. Available from:  
[https://aiit.ac.jp/documents/jp/master\\_program/certification\\_program/senior\\_startup/report/report\\_h30.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/master_program/certification_program/senior_startup/report/report_h30.pdf)
  12. 東京都立産業技術大学院大学. 令和元(2019)年度 AIT シニアスタートアッププログラム事業成果報告書. 令和 2 年 3 月. [cited 12 October 2023]. Available from:  
[https://aiit.ac.jp/documents/jp/master\\_program/certification\\_program/senior\\_startup/report/r1\\_senior-startup-report.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/master_program/certification_program/senior_startup/report/r1_senior-startup-report.pdf)
  13. 東京都立産業技術大学院大学. 令和 2(2020)年度 AIT シニアスタートアッププログラム事業成果報告書. 令和 3 年 3 月. [cited 12 October 2023]. Available from:  
[https://aiit.ac.jp/documents/jp/master\\_program/certification\\_program/senior\\_startup/report/senior-report2020.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/master_program/certification_program/senior_startup/report/senior-report2020.pdf)
  14. 東京都立産業技術大学院大学. 令和 3(2021)年度 AIT シニアスタートアッププログラム(東京テックイノベーションプログラム)事業成果報告書. 令和 4 年 3 月. [cited 12 October 2023]. Available from:  
[https://aiit.ac.jp/documents/jp/master\\_program/certification\\_program/senior\\_startup/report/r3\\_houkokusyo.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/master_program/certification_program/senior_startup/report/r3_houkokusyo.pdf)
  15. 東京都立産業技術大学院大学. 令和 4(2022)年度 AIT シニアスタートアッププログラム(東京テックイノベーションプログラム)事業成果報告書. 令和 5 年 3 月. [cited 12 October 2023]. Available from:  
[https://aiit.ac.jp/documents/jp/master\\_program/certification\\_program/senior\\_startup/report/r4\\_houkokusyo.pdf](https://aiit.ac.jp/documents/jp/master_program/certification_program/senior_startup/report/r4_houkokusyo.pdf)
  16. 東京都立産業技術大学院大学. AIT シニアスタートアッププログラム東京テックイノベーションプログラム. [cited 12 October 2023]. Available from:  
[https://aiit.ac.jp/master\\_program/certification\\_program/senior\\_startup/](https://aiit.ac.jp/master_program/certification_program/senior_startup/)
  17. 東京都立産業技術大学院大学. 学びやすい学修体制. [cited 12 October 2023]. Available from:  
<https://aiit.ac.jp/education/system.html>
  18. 牧野 千里, 岡崎浩二, 石井隆之, 北村嘉崇, 梶原直仁, 蔭藤 鈴木有輔, 大久保友幸, 内山純, 橋本洋志. 瘦身サービスにおけるサービス価値誘導モデル構築の試み. 第 8 回サービス学会国内大会予稿集. 2P01-25-07[Preprint]. 2020: 245-248.
  19. 橋本 洋志, 牧野 千里, 岡崎 浩二, 石井 隆之, 梶原 直仁, 北村 嘉崇, 蔭 藤. PBL テーマ設定に関わるインストラクションデザインの例. 産業技術大学院大学紀要. 2020;(13): 99-102.
  20. 金子 智栄子. マイクロティーチングに関するわが国の研究動向について—保育者養成課程へのマイクロティーチングの導入と課題—. 文京学院大学人間学部研究紀要. 2007;9(1): 131-150.
  21. 松本 弘美, 出石 幸子, 田中 響. 看護学生における高齢者疑似体験の振り返りに視点映像を用いた場合の学びの特徴. 令和 4 年度 鳥取看護大学・鳥取短期大学 地域研究・活動推進事業助成金報告.

# 脚立作業時の安全性向上の提案

Proposal for improving the safety of stepladder work

蓑輪 快人<sup>1</sup> 村越 英樹<sup>1\*</sup>

Yoshihito Minowa<sup>1</sup> Hideki Murakoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Hideki Murakoshi, hm@aait.ac.jp

**Abstract** A lot of accidents occur at construction sites. Regarding accidents in the construction industry, looking at the labor statistics data by category, the most common accidents are fall accidents. Furthermore, the most common cause of falls is ladders accident. We focus on stepladders, which are commonly used in plant construction sites. We report the development of sensing devices that would help prevent from accidents for stepladders.

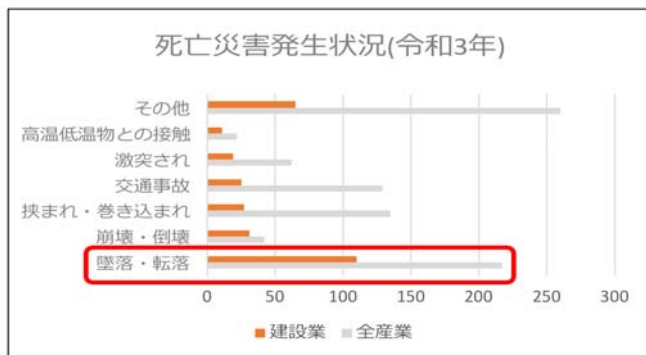
**Keywords** safety on construction site; stepladder sensing devices

## 1 はじめに

建設業の現場では令和3年には288件の死亡災害が起きており、16,079件もの死傷者が発生している[1]。災害の発生は働く本人やその家族にとって悲惨な出来事となる。また安全管理は企業においても従業員や客先との信用上重要な課題である。昨今では姿勢推定による不安定な姿勢の検知やAI画像解析技術を用いた不安全行動監視技術[2]が用いられ、安全帯内部にセンサを組み込み、作業員が無胴綱状態になる前に自動で警告するシステム等がある。このシステムでは管理者側はリアルタイムで監視を行い、指導・教育・安全対策の基礎データを獲得し指示や指導に活用している[3]。これらのように安全管理にセンシング技術やIoT技術を利用する事例が増加している。

職場のあんぜんサイト[1]の労働災害統計によると、死亡災害のカテゴリー別で最も多いのは建設業・全産業共に図1に示す通り「墜落・転落」である。更にその中で墜落・転落災害の原因内訳の中で一番多いのが「はしご等」である。そこで「はしご等」の中で、筆者の働く建設現場でも頻繁に使用される「脚立」に絞り、センサを用いて安全性を向上させる脚立付属デバイスの開発を試みた。

本稿では脚立作業の安全性を向上させるデバイス開発について報告する。第2章では脚立事故の原因分析・分類について述べる。第3章では解決の手段としてデバイスプロトタイプ的设计と試作について述べる。第4章ではプロトタイプを用いた実験と考察を述べる。第5章は本稿のまとめと今後の展望である。



※職場の安全サイトのデータを基に作成

図1 建設業の死亡災害発生状況(令和3年)

## 2 脚立事故の原因分析・分類

### 原因分析・分類

脚立での転倒災害について厚生労働省の労働災害事例、労働災害統計にて具体的な事例調査を行った。被災の具体的な状況は、「作業中」、「上り」、「下り」で分類すると「作業中」の事故が約7割、次いで「下り」が約2割であった[1]。また事故のきっかけとしては「身体バランスの崩れ」が最も多く、次いで「足の滑り」、「躓き」の順に発生している。「身体バランスの崩れ」が多いのは、脚立に乗った上で何らかの作業をする為、作業に集中する中で不安定な姿勢になると思われる。また脚立の天板に乗ることや跨いでの使用は、不安定になりやすく誤った使用方法である。一方、消費者庁のアンケートでは約4割以上の一般消費者が天板に乗ってはいけないこと、跨いではいけないこと等の注意事項を知らなかったと答えている[4]。いずれの場合も脚立の転倒方向(不安定方向)は一定である(正しい姿勢であれば身体が脚立に接し倒れない[5])為、事故の多くは

①不安定方向への揺らぎにより転倒

②誤った使用方法(天板に乗る、跨いで使用等)により転倒の何れか、もしくはその組合せで起因した事例であると考えられる。

### 現場での観察と危険度の高い環境

脚立でのヒヤリハットの事例等はインターネット上や書籍等に散見されるが、周辺環境の記述が限定的であり、原因を深掘し、防止する為には十分ではないと感じている[1]。著者が日々の現場監督業務を行なう中で遭遇した事例では、雨天での半屋外作業がある。建設中の現場では建物の扉等がなく、屋内であっても雨天の際には雨や風が入る状況である。その為屋内の狭い作業環境にて雨合羽や長靴を履いての作業が発生する。建設現場では保護メガネ着用が義務付けられており、新型コロナウイルス禍では、マスク着用も義務付けられている。雨の日で目元が曇る中、長靴・雨合羽で脚立に上った作業が発生した。この状況は脚立使用に際し、非常に危険度の高い環境であった。事故防止の為には、事故発生時の周辺環境のより深い把握が不可欠であると感じた。

### 3 デバイスプロトタイプ的设计と試作

#### デバイスで実現すべきこととの方針

脚立の安全性を向上させる為には、作業中の姿勢や、正しく使われているかを監視することが有効と考えられる。更に事故防止の為には、事故原因となるような周辺環境条件の情報収集機能を持たせることも必要であると考えられる。

そこで、以下の機能を備えたデバイスを設計することを方針とした。

- 1) ①不安定方向への揺らぎ、②誤った使用法（天板に乗る 跨いで使用等）により転倒の危険を検出し、警告する機能。
- 2) Web カメラを用いた情報収集機能。

#### デバイスの仕様と実装

①の「不安定方向への揺らぎ」の検知方法には、超音波式距離センサを使用することとした。超音波式距離センサは、ほこりなどに対する耐環境性が高く[6]、安価である為、建設現場に適していると考えた。当初は危険な範囲の境界をレーザー等で視覚的に表現し、境界を超えることを知らせる方法や赤外線式センサも検討したが、作業現場の光の環境が様々であり、誤動作の可能性が否定できず、また、レーザー光を使用した場合には作業者の目に入る危険性も否定できない為である。

ここで提案するデバイスでは、図2に示すように、作業者が境界領域を超えて作業し、計測距離が変化することを検知すると、アラートを出す仕組みとした。超音波式距離センサ HC-SR-04[7]を用いて高さ方向は 80cm 以上 300cm までの範囲を最大有効範囲とし、天井の高さで有効範囲を制限することとした。幅方向の不安定領域の設定は、脚立が転倒する条件をつり合い式の計算にて算出し、1.4m 程飛び出した位置となった。ここでは安全側となるように、脚立の下部脚先から先を不安定領域と仮定した。定めた不安定領域にて距離の変化を検知した場合には、ブザーを鳴らし、本人及び周囲の人に警告するよう実装した。この機能の実装には、天板下部に設置した Raspberry pi 4 を用いた。また、この Raspberry pi 4 は、後述する事例情報取得の為の Web カメラと接続している。

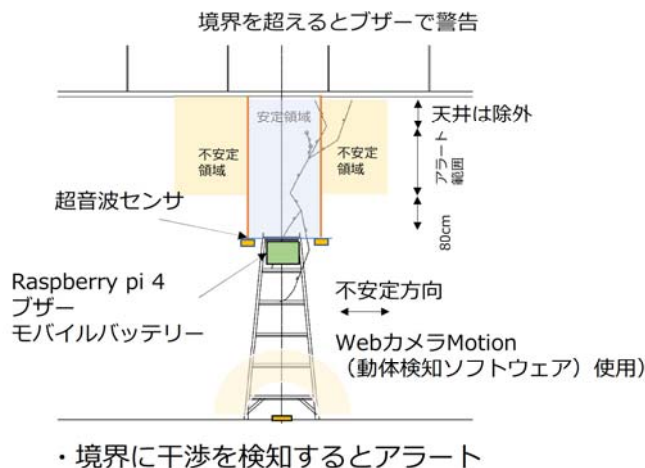


図 2 不安定方向への揺らぎの検知方法概略

②の「誤った使用法（天板に乗る 跨いで使用）」の検知には、圧力センサ MF02A-N-221-A03[8]を脚立の天板（最上段）及び、一段目の中央部に設置し、作業者の立ち位置を検知する（図3）。作業員がセンサを設置した天板やステップに乗り、圧力を感知するとブザーが鳴るように実装した。この機能の実装には、Arduino uno R3 を用いた。圧力センサ MF02A-N-221-A03 で検知した情報は、Obniz Board 1Y[9]（通信機能を持ったマイコンボード）を経由して、携帯電話の LINE アプリで通知を受ける仕組みも搭載した。

携帯電話の LINE アプリで通知を受け取れるようにしたのは監督者に脚立の使用状態を可視化して伝えるデバイスとすることで、監督者が現場を離れた際でも抑止の機能を持たせる為である。また作業員（職人）側も危険とはわかっているが、あと一歩で届く環境においては、楽な方向へ流れやすいが、外部の監視の目や声掛けがあれば防止に役立つと考えた為である。



図 3 誤った使用法の検知と通知方法概略

#### 事例情報の収集の為の仕組み

前述のように、事故防止においては、現場環境のより深い実態把握が必要である。そこで実態調査の為に Web カメラで動体検知できる機能を実装させた。Web カメラでの映像は、脚立が利用される際に Motion[10]（Motion: カメラ画像内の動きを検知し、静止画の撮影や動画の録画ができるソフトウェア）にて動体検知を行って録画可能とした。この機能を用いて各々の現場での脚立作業における危険な作業環境の把握、ヒヤリハット事例の収集に役立てることを期待する。

#### デバイス全体の構成

デバイス全体の構成を図4に示す。センサについては超音波式距離センサと圧力センサを採用した。Raspberry pi 4 はデジタル出力の処理に、Arduino uno R3 はアナログ出力の処理に使用した。また Obniz Board Y1 は Line 通知の実現が容易な為採用した。試行錯誤しながらのシステム開発であった為、機能別のシステム構成となったが、集約することは十分可能であると考えられる。

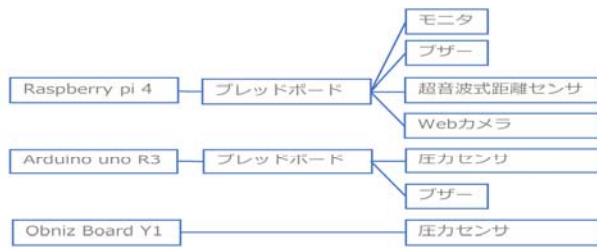


図 4 デバイス全体の構成

今回試作したデバイス群を図 5 に示す。Raspberry pi 4, Arduino uno R3, Obniz Board 1Y はひとつの箱にまとめて収納しモバイルバッテリーより電源供給する。図 6 は、取付時のイメージである。デバイスをまとめた箱は使用時には天板の下に設置する。超音波式距離センサは天板側面に設置する。圧力センサは天板上及び一段目に設置する。また Web カメラは脚立の下部に設置し、有線にて Raspberry pi 4 に接続する。



図 5 試作デバイス群



図 6 取付時イメージ



図 7 作業時イメージ

## 4 プロトタイプを用いた実験と考察

### 実験の目的

提案・実装したプロトタイプを用いて、著者が被験者となり、実際の建設現場での作業を再現した。実験の目的は、デバイスが安全性向上にどの程度役立つか確認し、改善の方針を定めることであり、具体的には以下の 2 つの側面から検証した。

### 不安定方向へ揺らぎの検知 (超音波式距離センサ)

不安定な姿勢として、図 6 のように機器を脚立に取り付けて前章 図 7 のように作業者がインパクトドライバーを用いて身を乗り出す作業を模した実験を行った。高さ 1.8m の脚立を屋外で使用し、超音波式距離センサが反応する高さ、位置の設定の妥当性を確認する。

### 誤った使用法の検知 (圧力センサ)

天板に乗る、跨いで使用するという誤った使用時に、センサで検知し、アラートが出ることを確認する。また、安全靴や長靴でも圧力センサが検知することを確認する。

### 実験結果

超音波式距離センサは、高さ方向は、不安定な作業時に手がかかる範囲を捉えることができたが、水平方向では身を乗り出すことなく手が少し出るだけでも反応してしまうケースがあった。安全性の観点からは、少しでも不安定領域に入ったときにアラートを発するのは良いことだと考えるが、アラートが頻繁に鳴ると作業者が慣れてしまうことが考えられる。その為危険な状態の時だけアラートが発せられるようセンサの追加などの改善が必要である。

圧力センサについては安全靴、長靴でもしっかり反応した。中央部のみにセンサを配置したが、作業中には端部に足をかけようとはならない為、検知上支障になることはないと考えられる。

### 考察

超音波式距離センサについて今後は 2 段階にセンサを配置し、1 つの境界を超える場合と 2 つを超える場合でブザーの音のピッチを変えるなどの改善が必要であると考えられる。また、アラート下で作業継続することへの更なる警告機能も追加した方が良いと考える。また、今回はブザーによる聴覚的警告としたがパトライトによる視覚的警告にも検討の余地がある。

今後、実際の現場での実験が必須となるが、不安定方向への揺らぎや誤った使用法といった行動にはアラートで注意を集めること、アラート情報が LINE で管理者に届くことを踏まえれば、作業者の安全意識向上へ一定の効果が期待できると考えられる。

## 5 まとめと今後の展望

本稿ではセンサを用いて脚立事故を防止する為、建設現場での事故防止に役立つ脚立付属デバイスを設計・試作し、不安定方向への揺らぎや誤った使用法を警告する機能を実現した。

プロトタイプ実験を踏まえて、超音波式距離センサの過剰反応への対策、試行錯誤しながらの試作の為、通信機器の数が増えたことへの再整理が必要である。また、今回は第三者による実験の許可を得る段階まで期限内に至ることが出来ず、内的な実験に留まった為、今後、実証実験を行う必要がある。

今後は実装した機能を再整理し、作業実態の情報収集、各現場での実証実験へすすめていきたい。また、建設現場では原則ヘルメットを着用するが、果実の剪定作業等はヘルメットを使

用しないケースが多く、より脚立事故の危険度が高い。このような機会での活用も考えられる[11]。本稿で提案したデバイス開発をベースに建設業や他産業の安全意識向上の助けとなることを目指していきたい。

## 参考文献

1. 厚生労働省, 職場のあんぜんサイト, 労働災害統計  
Available: <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.html>
2. 日本経済団体連合会, 最新技術を活用した労災防止対策事例集, AI 画像認識技術を用いた不安全行動監視技術の開発・運用, 2020. Available:  
<https://www.keidanren.or.jp/policy/2020/115.html>
3. FUJITSU Manufacturing Industry Solution COLMINA スマート安全帯. Available:  
<https://www.fujitsu.com/jp/solutions/industry/manufacturing/monozukuri-total-support/solutions/safetybelt/>
4. 独立行政法人 製品評価技術基盤機構, はしご・脚立の事故防止対策報告書, P17, 2022.  
Available: <https://www.nite.go.jp/data/000139707.pdf>
5. 独立行政法人 製品評価技術基盤機構, 「はしごの上で作業しない, 脚立にまたがらない」, P6, 2022.  
Available: <https://www.nite.go.jp/data/000140307.pdf>
6. 濱口聖士, 穂方孝之. 深度画像センサの外乱除去フィルタ, 神戸製鋼技報, Vol. 68, No 1, 2018.  
Available: [https://www.kobelco.co.jp/technology-review/pdf/68\\_1/020-022.pdf](https://www.kobelco.co.jp/technology-review/pdf/68_1/020-022.pdf)
7. 超音波距離センサ HC-SR04 データシート. Available:  
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
8. 圧力センサ MF02A-N-221-A03 データシート  
Available:  
[https://www.mouser.jp/datasheet/2/13/MF02A\\_\\_c3\\_a2\\_c2\\_96\\_c2\\_a1\\_A03-2634368.pdf](https://www.mouser.jp/datasheet/2/13/MF02A__c3_a2_c2_96_c2_a1_A03-2634368.pdf)
9. 通信機能を持ったマイコンボード Obniz Board 1Y.  
Available: <https://store.obniz.com/ja/products/obniz>
10. Motion.  
Available:  
[https://motion-project.github.io/motion\\_config.html#configfiles](https://motion-project.github.io/motion_config.html#configfiles)
11. 清水鉄也, 脚立からの転落事故の発生 状況, P134, 2019.  
Available: [https://www.kokusen.go.jp/research/pdf/kk-201912\\_7.pdf](https://www.kokusen.go.jp/research/pdf/kk-201912_7.pdf)



**Open Access** This article is licensed under CC BY 4.0.  
To view a copy of this license, visit  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 紀要編集会議

議長	追川 修一	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	高嶋 晋治	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	前田 充浩	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	三好 きよみ	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	三好 祐輔	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	松井 実	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 助教

---

2023年度 東京都立産業技術大学院大学紀要

2024年2月 発行

編集・発行 東京都立産業技術大学院大学

東京都品川区東大井 1-10-40

電話 03(3472)7833

URL <https://aiit.ac.jp>

---