

# 東京都立産業技術大学院大学 紀 要

Bulletin of  
Advanced Institute of Industrial Technology

第 14 号

2021 年 1 月

東京都立産業技術大学院大学

## 目 次

## 論 文

情報セキュリティ定量リスク分析のための 対策記述オブジェクトモデルの導入……………	奥 原 雅 之	1
LSTM based Networking Management for 3C Resources: Computing, Communicating and Caching ……………	Chaofeng ZHANG Caijuan Chen Wei Peng	7
解像度の異なるカメラの組み合わせによる全天球カメラ映像の拡張……………	小 宮 光 三 飛 田 博 章	15
サービスロボット向けの振りの実装と収集・体系化の検討 人形浄瑠璃を参考にして得られた知見……………	成 田 雅 彦 中 川 幸 子	19
人間の意思決定過程における態度変容に関する一考察 —態度変容を促す特殊詐欺対策の試案—……………	武 蔵 恵理子 細 田 貴 明	27
情報社会構築学へ向けて……………	前 田 充 浩	33
A proposal of the ASEAN common vendor risk index……………	Mitsuhiro Maeda Toshiaki Munakata	51
非正規職シングル女性を対象とした就労支援講座……………	三 好 きよみ	63
瀬戸内地域の持続的成長に向けての中小企業投資について ～インタビューからの共起ネットワーク分析～……………	川 淵 丈 裕 浦 崎 俊 樹 李 威 都 築 治 彦 三 好 祐 輔	71
建築に対する要求特性の把握に関する一考察 —テレワークの傾向と業務構成要素相互依存性—……………	吉 田 敏	77
総 説		
ソフトウェアリポジトリマイニングによる ソフトウェア欠陥予測手法の動向……………	追 川 修 一	83

教育向けソーシャルロボットの現状	兼 光 有 沙 永 井 美 雪 田部井 賢 一 大久保 友 幸	91
本邦における認知症の現状と課題：認知症・神経心理学講座の目的	佐 藤 正 之 阿 部 真貴子 田部井 賢 一	97
Emergency Warning Services via GNSS Signals	Keiko Shimazu	103
認知症予防としての社会参加と余暇活動	田部井 賢 一	121
遠隔によるソフトウェア開発 PBL とよりコンパクトな 授業動画収録システムの開発	中 鉢 欣 秀	125
<b>研究速報</b>		
訪問介護サービスにおけるサービスチャートを用いた 設計法の提案と評価	鈴 木 有 輔 侍 留 啓 介 佐 藤 格 史 原 怜 史 蕪 木 孝 弘 橋 本 洋 志	131
外国人技能実習生と日本人社員との効果的なコミュニケーションを 促進するサービス“DARAKE”の提案	安 藤 純 佐々島 宏 高 橋 祐 子 相 田 翔 江 夏 羽寿稀 Du CAM HONG 大久保 友 幸 廣 瀬 雄 大 池 本 浩 幸	139
スタートアップを加速させるための仕組みに関する 高等専門学校出身者へのインタビュー結果	板 倉 宏 昭 藤 田 正 典	151

「パートナーロボット」の開発研究 —「ストレスコーピング」に着目したコンセプト構築の試み— ……………	橋 本 智 行 秋 津 翔 吾 川 合 隆 太 付 迪 古 瀬 竜太郎 MAO XIN 土 屋 陽 介 近 藤 嘉 男 内 山 純	161
水害被害と移動弱者の問題を解決する新しい移動のデザイン提案 ……………	青 山 正 伸 高 橋 匠 戸 來 園 子 ミリグリマハムティ 山 下 顕 治 李 超 村 越 英 樹 河 西 大 介 海老澤 伸 樹	169
自律移動ロボット開発実装における修了生コミュニティの利活用 ……………	大久保 友 幸 怒 木 弘 隆 小 川 太 輔 兼 光 有 沙 川 合 隆 太 日下部 忠 之 森 本 寛 之	187
情報系専門職大学院における 対面・遠隔ハイブリッド型授業システムの開発 ……………	小 山 裕 司 大 崎 理 乃 木 下 修 司 柴 田 淳 司	193
直感的インターフェースを用いたヘルスケアデバイスの開発 —ストレス刺激の意味の置換による価値変化— ……………	藤 原 宏 樹 加 藤 貴 司 五 藤 利 哉 鄭 家 林 Giovanni Innella 河 西 大 介 池 本 浩 幸 國 澤 好 衛	201

匂いセンサを用いたメロンの追熟過程の監視……………	越 水 重 臣 小 黒 諒 小 杉 俊 介 鈴 木 健 志	219
IT 高度専門職技術者のための新カリキュラムの設計……………	小 山 裕 司 飛 田 博 章 柴 田 淳 司 大 崎 理 乃	225
渋滞と事故削減を目指した次世代都市交通構想 —AI の活用とマルチエージェントシミュレーションによる評価—……………	山 成 侑 香 宮 尾 勝 進 章 進 志 西 野 貴 志 劉 鵬 達 林 久 志	233
スマート EV 充電予約システムの マルチエージェントシミュレーションによる評価……………	蔡 詩 傑 林 久 志	245
ロードマッピング思考によるアイデア発想法……………	廣 瀬 雄 大 ロバート ファール 木 下 裕 介	251
IoT を利用した小規模農場における農業教育支援について……………	石 原 賢 一 安 井 健 人 古 杉 佳 久 ゲッテゲンス 光一郎 堀 田 昌 直 佐 野 博 紀 村 越 英 樹	261
緑藻培養産業における IoT の活用……………	堀 田 昌 直 石 原 賢 一 日下部 忠 之 小 川 太 輔 佐 野 博 紀 佐 藤 里 恵 安 井 健 人 古 杉 佳 久 ゲッテゲンス 光一郎 井 上 元 村 越 英 樹	269

# CONTENTS

## Regular Papers

Introducing Security Control Object model for Quantitative Information Security Risk Analysis ·····	Masayuki Okuhara	1
LSTM based Networking Management for 3C Resources: Computing, Communicating and Caching ·····	Chaofeng ZHANG Caijuan Chen Wei Peng	7
OmniLupe: A focus-and-context view mixing omnidirectional and detailed 2D images ·····	Kozo Komiya Hiroaki Tobita	15
An Implementation and a collection/systematization of the choreography for service robots Knowledge obtained with reference to Joruri Puppet ·····	Masahiko Narita Nakagawa Sachiko	19
A Study on Attitude Change in Human Decision Making Process - Proposal of Special Fraud Measures to Promote Attitude Change ····	Eriko Musashi Takaaki Hosoda	27
Towards Studies of Informatized Society Building ·····	Mitsuhiro Maeda	33
A proposal of the ASEAN common vendor risk index ·····	Mitsuhiro Maeda Toshiaki Munakata	51
Evaluation of a Support Program for Seeking Reemployment for Unmarried Female Non-Regular Workers ·····	Kiyomi Miyoshi	63
SME Investment for Sustainable Growth in the Setouchi Region ·····	Takehiro Kawabuchi Toshiki Urasak Robert Lee Haruhiko Tsuzuki Yusuke Miyoshi	71
Characteristics of Product and Processes with Architecture Concept -Telework Trends and Possibility Due to the Impact of COVID-19 ····	Satoshi Yoshida	77
<b>Review Papers</b>		
Trend of Software Defect Prediction by Mining Software Repository ····	Shuichi Oikawa	83

The Current Status of Social robots for education .....	Alisa Kanemitsu Miyuki Nagai Ken-ichi Tabei Tomoyuki Ohkubo	91
The present situation and problems of dementia in Japan: The aims of the department of dementia and neuropsychology .....	Masayuki Satoh Makiko Abe Ken-ichi Tabei	97
Emergency Warning Services via GNSS Signals.....	Keiko Shimazu	103
Social participation and leisure activities to prevent dementia .....	Ken-ichi Tabei	121
Software development PBL with tele-communication and a compact lecture video recording system.....	Yoshihide Chubachi	125
<b>Short Notes</b>		
Proposal and evaluation of service process design methods for home care services.....	Yuusuke Suzuki Keisuke Shitomi Itaru Sato Satoshi Hara Takahiro Kaburagi Hiroshi Hashimoto	131
DARAKE: A Service Design Proposal to Support Effective Communication between Technical Intern Trainees and Japanese Trainers.....	Jun ANDO Hiroshi SASAJIMA Yuko TAKAHASHI Sho AIDA Hajuki KOHKA Cam Hong DU Tomoyuki OHKUBO Yuta HIROSE Hiroyuki IKEMOTO	139
Results of Interviews with Colleagues who Experienced Colleges of Technology for Mechanism to Accelerate Startup.....	Hiroaki Itakura Masanori Fujita	151

Design Development of the “Partner Robot”

— Concept building with a focus on stress coping —	Tomoyuki Hashimoto Shogo Akitsu Ryuta Kawai Fu Di Ryutaro Furuse Mao Xin Yosuke Tsuchiya Yoshio Kondo Jun Uchiyama	161
--	--	-----

a new transportation design that solves the problems  
of flood damage and vulnerable road users

·····	Masanobu Aoyama Takumi Takahashi Sonoko Herai Miriguli Maihemuti Kenji Yamashita Li Chao Hideki Murakoshi Daisuke Kasai Nobuki Ebisawa	169
-------	--	-----

Utilization of the Alumni Community in the Development and  
Implementation of Autonomous Mobile Robots

·····	Tomoyuki Ohkubo Hirotaka Ikarugi Tasuke Ogawa Alisa Kanemitsu Ryuta Kawai Tadayuki Kusakabe Hiroyuki Morimoto	187
-------	---	-----

Development of The Hybrid Lecture System  
in IT Professional Graduate School

·····	Hiroshi Koyama Ayano Ohsaki Shuji Kinoshita Atsushi Shibata	193
-------	--	-----

Development of healthcare device using intuitive interface

-Value change by replacing meaning of stress stimulus-	Hiroki Fujiwara Takashi Kato Toshiya Goto Tei Karin Giovanni Innella Daisuke Kasai Hiroyuki Ikemoto Yoshie Kunisawa	201
--	--	-----



Monitoring of muskmelon ripeness using a smell sensor .....	Shigeomi Koshimizu Ryo Oguro Shunsuke Kosugi Takeshi Suzuki	219
Designing a New Curriculum for IT Professional Graduate School.....	KOYAMA Hiroshi TOBITA Hiroaki SHIBATA Atsushi OHSAKI Ayano	225
Next-Generation Urban Transportation Concept Aimed for Reducing Traffic Congestion and Vehicle Accidents.....	Yuka Yamanari Masaru Miyao Sin Syo Takashi Nishino Pengda Liu Hisashi Hayashi	233
Evaluating smart EV charging reservation systems by multi-agent simulation.....	Shijie Cai Hisashi Hayashi	245
Roadmapping Thinking-oriented Idea Generation Method .....	Yuta Hirose Robert Phaal Yusuke Kishita	251
Agricultural Education Support for Allotment Garden using IoT .....	Kenichi Ishihara Kento Yasui Yoshihisa Kosugi Koichiro Gottegens Masanao Hotta Hiroki Sano Hideki Murakoshi	261
IoT System for monitoring of Algae Productivity .....	Masanao Hotta Ishihara Kennichi Tadayuki Kusakabe Daisuke Ogawa Hiroki Sano Rie Sato Kennto Yasui Yoshihisa Kosugi Gettegens Koichiro Gen Inoue Hideki Murakoshi	269

# 情報セキュリティ定量リスク分析のための対策記述オブジェクトモデルの導入

奥原 雅之\*

## Introducing Security Control Object model for Quantitative Information Security Risk Analysis

Masayuki Okuhara\*

### Abstract

For today's organizations and companies facing various information security threats, it is essential to correctly understand the information security risks they face to select rational information security measures. Quantitative risk analysis is an important tool for this. In the conventional quantitative risk analysis, the frequency of occurrence of security risks and the amount of damages are modeled and processed as. However, it was difficult to evaluate how the risk would be reduced if these measures were implemented with such an existing model. In this paper, Courtney's method, which is a method for quantitative security risk evaluation, is extended to deal with vulnerabilities and the strength of security measures, and ISO / IEC 27002 based on the countermeasure object model of the JNSA Information Security Countermeasure Map WG. We describe the evaluation of control measures and the establishment of an information security quantitative risk analysis method that combines these.

Keywords: Information security, Quantitative risk analysis, Security control object model

### 1 はじめに

様々な情報セキュリティの脅威に直面する今日の組織や企業にとって、自身が今まさに直面している情報セキュリティのリスクを正しく知ることは、合理的な情報セキュリティ対策を選択するために不可欠である。そのための重要な手段となるのが、情報セキュリティリスク評価(情報セキュリティリスクアセスメントとも呼ばれる)の手法である。

情報セキュリティマネジメントのプロセスにおいて、情報セキュリティリスク評価は歴史的に重要な位置を占めてきた。例えば情報セキュリティマネジメントシステム (Information Security Management System, ISMS) に関する国際規格である ISO/IEC 27001 [1] においては、情報セキュリティリスク評価を実施することが要求事項として 6.1.2 項に定義されている。わが国においてはこの規格への準拠性を評価する制度として ISMS 認証制度が整備されており、一般社団法人情報マネジメントシステム認定センターによれば、この制度によって ISMS 認証を取得した企業・団体の数は 2020 年 9 月現在で 6254 団体を数える [2]。このことは、わが国の企業・組織において情報セキュリティリスク評価の実施が標準的なプロセスとして一般に定着していることを示している。

情報セキュリティのリスク分析は、情報セキュリティリスク評価において理論的な中核となる部分である。このうち定量的リスク分析手法は、取り扱うリスクの大きさを具体的な定量値として扱うもので、理論的には精密なリスクの評価が可能となるが、一方で複雑な現実世界の情報セキュリティリスクを定式化するために、何らかのモデルを介在させる必要がある。

定量リスク分析の先駆的事例として、R. H. Courtney Jr. によるデータ処理システムにおけるリスク分析手法の提言 [3] がある。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手法を示している。

情報セキュリティのリスク分析を定量的に行うためのモデルおよびツールとしては、CARM [5] が知られている。このツールでは、情報セキュリティリスクをもたらしセキュリティ事故の発生頻度、被害金額などをモデルとして処理し、それにふさわしいセキュリティ対策を実施することで、情報セキュリティリスクを低減することが可能である。しかしながら、それらの対策を実施した場合にリスクがどのように低減されるかを評価することは、このような既存モデルでは困難であった。これは、本質的にはセキュリティ対策自身が非常に複雑な構

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

造を持っているためである。多くのリスク分析モデルでは、一つのセキュリティ対策によって一つの情報セキュリティリスクをゼロにできるという簡単なモデルに基づいている。しかし、現実には一つのセキュリティ対策が特定のリスクを完全に消去できることはほとんどない。さらに、複数のセキュリティ対策に機能的な相関がある場合がある。これは、複数の対策が同時に必要とされる依存関係の場合もあれば、あるいは複数の対策が相互に干渉するために同時には実現できない排他関係の場合もある。

従って、対策によるリスク低減まで含めたリスク分析手法を確立するためには、セキュリティ対策を、先に挙げた相互依存や排他関係や、そのセキュリティ対策の有効性を数値で示すことを含む、十分な精度を持つモデルで表現する必要がある。2009年から2013年の期間で活動したJNSA情報セキュリティ対策マップWGにおいては、このような情報セキュリティ対策のモデル化が大きなテーマであった。このWGの最終成果報告書[6]では、情報セキュリティ対策のモデル化について独自の提言を行っている。

本稿では、定量セキュリティリスク評価のための手法であるコートニーの方法を、脆弱性およびセキュリティ対策の強度を扱うために拡張する方法と、JNSA情報セキュリティ対策マップWGの対策オブジェクトモデルによる既存セキュリティガイドラインの管理策の評価、およびこれらを組み合わせた情報セキュリティ定量リスク分析手法の確立について述べる。

## 2 コートニーの方法の拡張

### 2.1 コートニーの方法

本項ではコートニーの方法として知られる定量リスク分析の手法について述べる。

定量リスク分析の目的は、これから起こる可能性があるセキュリティ事故などの事象(イベント)のリスクを定量化することにある。事象には、システムによる不正侵入のようないわゆるサイバーセキュリティに関連するものから、地震や洪水などの自然災害による情報システムへの被害など、対象となる情報資産に影響を及ぼす一切の出来事を含む。

最初に、一回の事象あたりの金額ベースの影響を見積もる。一般に、まだ起こっていない事象の影響金額を正確に見積もることは困難であるが、本手法においてはその金額の桁数を抑えればよい。その見積もった影響金額から、表1に従ってその指標  $v$  を求める。例えば侵入者の攻撃によって情報が漏洩し、その対処におよそ10万ドルの費用がかかることが見込まれる場合、表1からこの事象に対する指標  $v$  は5と求めることができる。ここで、その費用が例えば12万ドルであっても、あるいは8万ドルであっても、影響金額が10倍のスケールになっているため、指標  $v$  の数値には影響を与えない。実社会においては2万ドルの違いは大きいですが、本手

法ではこの程度の差は同じとして扱うことで、精密な被害の見積もりを行うことなしに分析を進めることができる。

表 1: 指標  $v$  の決定

影響金額 (\$)	指標 $v$
10	1
100	2
1,000	3
10,000	4
100,000	5
1,000,000	6
10,000,000	7

出典:[3] Fig.2 より作成

次に、その事象がどれくらいの頻度で発生するかを見積もる。これも影響金額と同様に、その桁数がわかる精度でよい。その見積もった発生頻度から、表2に従って指標  $p$  を求める。例えば前述の不正侵入による情報漏えいの事象が、ほぼ3年に1回程度の頻度で発生すると考えられるならば、表2に従い、指標  $p$  は3となる。

表 2: 指標  $p$  の決定

発生頻度	指標 $p$
300年に1回	1
30年に1回	2
3年に1回	3
100日に1回	4
10日に1回	5
1日に1回	6
1日に10回	7
1日に100回	8

出典:[3] Fig.2 より作成

こうして求めた指標  $v$  と指標  $p$  により、表3に従って1年間あたりのリスクの値を決定する。前述の例においては、指標  $v$  が5、指標  $p$  が3と求められているので、それぞれの指標の表上の交点を読み取り、リスク値 \$30K を読み取ることができる。これは、この事象による被害金額の期待値が1年間で3万ドルになることを示している。

表 3: リスク値の決定

$v$	$p$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1					\$300	\$3K	\$30K	\$300K
2				\$300	3K	30K	300K	3M
3			\$300	3K	30K	300K	3M	30M
4		\$300	3K	30K	300K	3M	30M	300M
5	\$300	3K	30K	300K	3M	30M	300M	
6	3K	30K	300K	3M	30M	300M		
7	30K	300K	3M	30M	300M			

出典:[3] Fig.3 を一部修正

2.2 コートニーの方法の理論背景

古典的な確率論においては、ある事象の期待値  $E$  はその事象の発生確率  $P_0$  と、それが発生したときの値  $X$  の積によって表される。

$$E = P_0X \tag{1}$$

ここで、単位期間における事象の発生確率が  $P$  であるとき、単位期間の  $n$  倍に相当する期間で発生する事象の期待値の合計は、それぞれの事象の発生が独立であれば単純に単位期間での期待値の合計となるため、

$$E = \sum_n P_0X = nP_0X \tag{2}$$

で表現される。ここで、発生頻度  $P$  を  $P = nP_0$  として定義すれば、

$$E = PX \tag{3}$$

と確率の定義と同様な形で期待値を表現することができる。

コートニーの方法では、発生頻度と被害金額をそれぞれ 10 のべき乗の形で表現している。発生頻度は 3000 年あたりの発生頻度  $P$  に対して、 $P = 10^p$  となるように指標  $p$  を決めている。同様に、被害金額  $X$  に対して指標  $v$  を  $X = 10^v$  となるように決めている。この結果から、3000 年あたりの被害の期待値  $E_0$  は、

$$E_0 = PX = 10^p \times 10^v = 10^{p+v} \tag{4}$$

で表現できる。さらに 1 年あたりの被害の期待値を出すため、 $E = E_0/3000$  を求めれば、

$$E = \frac{E_0}{3000} = \frac{10^{p+v}}{3000} = \frac{10^{p+v-3}}{3} \tag{5}$$

となる。表 3 は、この計算をあらかじめ行って作成されたものである。なお、表中の数値はすべて 3 の倍数となっているが、正確には  $10/3=3.333\dots$  のような数値になるのが正しい。

2.3 コートニーの方法の拡張

一般に、情報システムなどに脆弱性が存在する場合には、その情報システムで発生する事象のリスクが大きくなる。例えば、インターネットサーバに何らかのセキュリティホールが存在する場合は、それが無い場合に比較して悪意ある攻撃の成功確率が上がるであろう。ここでは、評価対象にこのような脆弱性が存在する場合に、コートニーの方法を適用する手

法について考える。

評価対象となる情報システム等に脆弱性が存在すれば、攻撃が容易になると考えると、その事象の発生頻度が上がると考えることができる。ここで、事象の発生頻度を  $10^w$  倍にする脆弱性がある場合を考える。指標  $w$  はその脆弱性の大きさ(深刻さと言ってもよい)を表す変数である。この場合、新たな発生頻度は  $P \times 10^w = 10^p \times 10^w = 10^{p+w}$  となるので、この事象に対する期待値は式 (5) を修正して

$$E = \frac{10^{p+v+w-3}}{3} \tag{6}$$

とで表現することができる。

また一方で、ある事象に対してその発生確率を低下させるセキュリティ対策が取られることもある。このようなセキュリティ対策が実施されたときのリスクの値を表現することを考える。脆弱性のときと同様に、事象の発生頻度を  $10^{-c}$  倍にするようなセキュリティ対策が存在していた場合、新たな発生頻度は  $P \times 10^{-c} = 10^p \times 10^{-c} = 10^{p+c}$  となる。これを式(6)に代入すると、リスク値は

$$E = \frac{10^{p+v+w-c-3}}{3} \tag{7}$$

の形で表現できる。

ここで、式 (7) において変数となっているのは 10 のべき乗の係数  $p + v + w - c$  の部分だけであるから、もしリスクの値同士を相対的に比較するだけの用途であれば、これら 4 個の変数の線形結合だけを比較すればよいことがわかる。

2.4 コートニーの方法と国際規格の類似性

前項で見たように、事象のリスクの実数値を必要としない場面、例えば複数のリスクを相対的に比較して、その対策の優先順位を決めるような場合は、その指数部分である変数の線形結合だけを使えばよい。例えば、発生頻度、影響、脆弱性の 3 個の変数を考慮対象とする場合は、係数  $p + v + w$  の部分だけを取り出して比較することができる。

表 4 は、この 3 個の係数の合計値を計算した例である。ここでは単純のため、 $p$  を 0 から 2、 $v$  を 0 から 4、 $w$  を 0 から 2 の範囲で限定している。

表 4: リスクの係数の合計

$p$	0			1			2			
	$w$	0	1	2	0	1	2	0	1	2
$v$	0	0	1	2	1	2	3	2	3	4
	1	1	2	3	2	3	4	3	4	5
	2	2	3	4	3	4	5	4	5	6
	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7
	4	4	5	6	5	6	7	6	7	8

この表は、国際規格 ISO/IEC 27005 の Appendix E の例 1 として取り上げている手法内で記述されている表 E.1 とほぼ完全に同じ構造をしている。違いは、*p* および *w* について 0 から 2 の指標値の代わりにラベル「L」「M」「H」を使っていることのみである。このことから、この国際規格で例として取り上げているリスク分析手法は、コートニーの方法と同様の論理構造を持っているということがわかる。

### 3 セキュリティ対策のオブジェクトモデル

#### 3.1 JNSA マップ WG の対策モデル

定量リスク分析においては、事象の発生頻度、発生被害、脆弱性の大きさ、そして対策の実施度合いが変数となる。このうち、最も量化が難しい変数が対策の実施度合いである。

セキュリティ対策は情報セキュリティマネジメントの文脈では管理策 (Controls) とも呼ばれるが、その内容は極めて多様性に富んでいる。今日において一般的に利用されている管理策のリストとして ISO/IEC 27002 [7] があり、114 の管理策が実践のための規範 (Code of Practice) として例示されている。これらの管理策については、一部内容が重複するものや、互いに依存関係にあるもの、あるいは互いに排他関係にあるものも含まれる。

このため、一つのセキュリティリスクを発生させる事象について、それを低減する対策を指定するような分析手法を確立しようとする、この対策の扱い方が課題となる。

例えばウイルスの侵入というリスクに対応するために、一般的に選択される対策はウイルス対策ソフトの導入であろう。しかし、ウイルス対策ソフトが十全にその機能を発揮するためには、別の対策の実施が必要となる。例えば、定期的なウイルスパターンの更新は同時に実施が必要となる対策の一つである。また、利用者に対してウイルス対策ソフトの利用を周知することもまた別の対策であろう。さらに、ウイルス対策ソフトの稼働状況の監視や、実施状況の監査なども関連する対策として採用される。最初に想定したウイルス侵入のリスクに対して、多くの対策が相互に依存しており、これらを統合的に運用しないと当初のリスクの低減を図ることができない。

対策によるリスクの低減を定量化するためには、まずこのような相互に関係する対策の構造を適切に表現するモデルが必要となる。

2013 年に公表された JNSA 情報セキュリティ対策マップ検討 WG の活動報告書では、このための情報セキュリティ対策の表現モデルについて検討を行っている。

このモデルでは、「対策オブジェクト」と呼ばれる構造を定義している。対策オブジェクトとは、「情報セキュリティリスクをコントロールする識別できる対策の属性や振る舞いをカプセ

ル化したもの」である。ここで、対策の属性を「プロパティ」と呼び、対策の振る舞いは「メソッド」と呼ぶ。これらの要素を定義する目的は、複雑なセキュリティ対策の構造を標準化し、同じ目的を持つ対策群を効率よくグルーピングすることである。例えば一つの対策の「責任者を明確にすること」や、その「実施の記録を取る」ことは、多くの対策に共通して定義される対策であり、実際にこのような表現は多くの規格やガイドラインに登場する。このような共通で現れる要素を「メソッド」として標準モデルに取り込んでしまえば、個々にこれらの要素を対策ごとに洗い出すよりもはるかに効率的に、かつ網羅的に対策の全体集合を構築することができる。

表 5 は、この報告書で提案されている対策オブジェクトの構造を示したものである。

表 5: 対策オブジェクト

オブジェクト		「管理策」する。
プロパティ	静的	上位ルール (方針) 目的 (期待する) 効果 要求事項 機能 条件 責任者 管理者 利用者 時間 場所
	動的	リソース 責任者名 実施社名 (実施の) 手順 手段・技術 コスト 対象領域 対象者
メソッド	計画	検討する コストを算定する 方針を確立する 計画する 文書化する 有効性の測定方法を決める
	準備	責任者を明確化する 利用者を明確化する 実施者を明確化する 機能を明確化する 要求事項を明確化する 導入場所を明確化する 導入条件を明確化する 導入する時を明確化する リソースを確保する 導入する 手順を明確化する 手順を確立する 手順を文書化する 利用者を教育 (訓練) する
	実施	実施する 実施時に注意を払う 保守 (維持) する レビューする 実施を記録する
	レビュー	実施状況を監査する 有効性を測定する 見直す
	改善	改善する 廃止する

出典:[6] 表 4 を一部修正

ここで「実施する」のメソッドはこの対策オブジェクトの本体と呼ぶべき特別なメソッドである。この表では、一つの対策オブジェクトに 30 種のメソッドを定義している。これは、一つの実施すべき対策に対して、合計 30 個の派生する対策が付随していることを示している。この報告書では、当時の ISO/IEC 27002 のウイルス対策の分野で、この方法による対策の洗い出し結果と、この国際規格で実際に定義している対策との比較を行い、国際規格に登場する対策は全体の 25/782 であることを導き出している。このことは、一般的なセキュリティガイドラインの対策の網羅率は理論値に比べて 3% 程度であり、論理的に網羅しようとする通常のガイドラインの数十倍のボリュームが必要であることを示唆している。

### 3.2 JNSA モデルによる ISO/IEC 27002 管理策の検証

ここでは、前項で紹介した JNSA マップ WG が提言したセキュリティ対策のモデルを使って、ISO/IEC 27002 の日本における同等規格である JIS Q 27002 [8]の管理策の分析を試みる。

JIS Q 27002 には合計 114 個の管理策が収録されているが、それぞれの管理策は自然言語 (JIS の場合は日本語) の文章で要求事項が記載されており、一つの管理策の中で複数の要求事項が記載されていることも珍しくない。

例えば、「8.1.1 資産目録」の管理策は、JIS Q 27002 においては「情報、情報に関連するその他の資産及び情報処理施設を特定することが望ましい。また、これらの資産の目録を、作成し、維持することが望ましい」という表現で表されている。これは、「情報、情報に関連するその他の資産及び情報処理施設を特定すること」、「資産の目録を作成すること」、「資産の目録を維持すること」の3個の要求事項から成り立っていると理解することができる。

さらに、各管理策に付随して記載されている「実施の手引き」や「関連情報」の項目に、要求事項が記載されていることもある。従って、JIS Q 27002 が要求しているセキュリティ管理策の要求事項の総数は、管理策の 114 個をはるかに上回るものとなる。

このような自然言語による管理策の記述のままでは、情報セキュリティリスク分析を自動化するような目的では非常に扱うことが難しい。そこで、JNSA のセキュリティモデルの対策モデルに登場する「メソッド」を使用して、これら JIS Q 27002 の管理策を分解することを試みる。先に例に示した「8.1.1 資産目録」の管理策であれば、対策オブジェクトそのものは「情報、情報に関連するその他の資産および情報処理施設を特定すること」となる。ここで、「資産の目録を作成すること」はメソッドの「文書化する」に相当する。また、「資産の目録を維持すること」はメソッドの「保守(維持)する」に相当する。この結果、この管理策は「実施する」「文書化する」「保守(維持)

する」の3個のメソッドを持つオブジェクトとして定義することができる。

このような考え方で、JIS Q 27002 の 114 の管理策をすべてオブジェクトとして定義し、そこに登場するメソッドの分布を調査した。その結果を表 6 に示す。

表 6: メソッドの数の集計

メソッド	数
実施する	95
手順を確立する	36
要求事項を明確化する	32
文書化する	25
実施を記録する	25
レビューする	23
方針を確立する	18
責任者を明確化する	16
手順を明確化する	16
利用者を教育(訓練)する	14
保守(維持)する	9
計画する	6
導入場所を明確化する	6
リソースを確保する	5
手順を文書化する	5
実施者を明確化する	4
機能を明確化する	4
導入する時を明確化する	3
有効性を測定する	3
見直す	3
実施状況を監査する	2
利用者を明確化する	1
改善する	1
合計	352

結果的に、114 個の管理策から 352 個のメソッドを抽出することができた。これは、JIS 27002 として、約 350 個の要求事項を内容として保持していると言うこともできる。

なお、メソッドのうち、「検討する」「コストを算定する」「有効性の測定方法を決める」「導入条件を明確化する」「導入する」「実施時に注意を払う」「廃止する」は今回の分析では登場しなかった。これらの項目には、おそらく JIS Q 27002 の執筆者が当然のように管理策に含まれていると考えているものもあれば、ISO/IEC 27001 (あるいは JIS Q 27001 [9]) のようなセキュリティマネジメントフレームワークによってカバーされるべきものもあるであろう。

メソッドの数を見ると、一番多いのは「実施する」である。これは、管理策オブジェクトそのものであることから、その登場回数が多いことは当然とみることができる。次に多いのは「手順を確立する」の 36 個である。ISO/IEC 27000 シリーズは、情報セキュリティマネジメントシステムの確立の手法としてプロセスアプローチを取っており、各種の活動はプロセスの形で整備されることを考えれば、管理策に手順(プロセス)を確立することが要求事項として頻出することはこれも理に叶っている。同じ理由で、4 位の「文書化する」(25 個)の個数が多いことも理解できるだろう。

他に情報セキュリティマネジメントシステムのプロセスとして理解できるのは、「レビューする」(23 個), 「方針を確立する」(18 個), 「責任者を明確にする」(16 個), 「利用者を教育(訓練)する」(14 個)などである。しかし, 見方を変えれば, これらの要求事項は情報セキュリティマネジメントシステムのプロセスとしてすでに ISO/IEC 27001 の要求事項として組み込まれているので, これに従って情報セキュリティマネジメントシステムを構築しているのであれば, JIS Q 27002 の管理策として明示されていようがまいが, 必須のプロセスとして実施されているべきものである。この点で, これらのメソッドは JIS Q 27001 と JIS Q 27002 で重複している要求事項であり, JIS Q 27002 を JIS Q 27001 を実施するための管理策集と位置付けるのであれば, 本来記述する必要がなかった項目ということもできる。

JIS Q 27002 が JIS Q 27001 と独立したガイドラインとして運用できるように整備されたという JIS Q 27002 成立の経緯もあってこのような記述が存在していると理解することもできるが, そうであるならばこれらの情報セキュリティマネジメントシステム相当のメソッドは各管理策にすべて登場するのが論理的には正しいということになる。

#### 4 考察

管理策オブジェクトのメソッドを適切に使用すれば, JIS Q 27002 のような既存のセキュリティ管理策ガイドラインから, リスク分析の自動化ツールでも扱えるように構造化された管理策のデータモデルを作成することができる。すなわち, ある管理策の記述を, メソッドに分解して要求事項の集合としてモデル化できれば, 自然言語で記述された管理策を, 構造を持ったデータとして扱うことができる。

例えば, 「8.1.1 資産目録」の管理策は先に示したように, 「実施する」「文書化する」「保守(維持)する」の3個のメソッドを持つオブジェクトとして定義することができる。この3個のメソッドは, それぞれが独立しているのではなく, 相互に補完しあう関係にある。つまり, これらのメソッドは, 3 個の組み合わせで「資産目録」という一つの対策を実現していると言うことができる。情報セキュリティ対策のうち相互依存するものは, 管理策の維持管理や文書化などマネジメントに関するものが非常に多い。従って, これらの管理策マネジメントの部分のメソッドとして構造的に処理することができれば, 情報セキュリティ対策のモデルは非常にシンプルなものになる。

情報セキュリティ対策をシンプルな構造で記述できれば, その効果を 10 の指数の形で表現することにより, コートニーの方法に対策の効果として取り入れることができるであろう。この具体的方法は今後の課題である。

#### 5 おわりに

本稿では, 定量セキュリティリスク評価のための手法であるコートニーの方法を, 脆弱性およびセキュリティ対策の強度を扱うために拡張する方法と, JNSA 情報セキュリティ対策マップ WG の対策オブジェクトモデルによる ISO/IEC 27002 の管理策の評価, およびこれらを組み合わせた情報セキュリティ定量リスク分析手法の確立について述べた。

#### 参考文献

- [1] ISO/IEC 27001:2013 “Information technology - Security techniques - Information security management systems - Requirements”, 2013.
- [2] 情報マネジメントシステム認定センター, ISMS 認証取得組織検索, <https://isms.jp/ist/ind/index.html>, 2020. (visited 2020)
- [3] R. H. Courtney, JR., “Security risk assessment in electronic data processing systems”, National Computer Conference pp. 97-104, 1977.
- [4] ISO/IEC 27005 “Information technology – Security techniques – Information security risk management”, 2018.
- [5] Zeki Yazar, “A Qualitative Risk Analysis and Management Tool - CRAMM”, <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/auditing/paper/83>, 2002. (visited 2020)
- [6] 日本ネットワークセキュリティ協会情報セキュリティ対策マップ検討 WG, 2013 年度情報セキュリティ対策マップ検討 WG 活動報告書, [https://www.jnsa.org/result/2014/std\\_map/](https://www.jnsa.org/result/2014/std_map/), 2014. (visited 2020)
- [7] ISO/IEC 27002:2013 “Information technology - Security techniques - Code of practice for information security controls”, 2013.
- [8] JIS Q 27002:2014 情報技術 - セキュリティ技術 - 情報セキュリティ管理策のための規範, 2014.
- [9] JIS Q 27001:2014 情報技術 - セキュリティ技術 - 情報セキュリティマネジメントシステム - 要求事項, 2014.

# LSTM based Networking Management for 3C Resources: Computing, Communicating and Caching

Chaofeng ZHANG\*, Caijuan Chen\*\*, Wei Peng\*\*

The large-scale networking of IoT is already one of the indispensable technologies for people's lives in the 5G era. Especially when disasters and security problems appear, the fast networking of IoT and the allocation of network resources will be the main challenges. In this paper, we develop a 3C resource allocation scheme based on the LSTM learning model: We infer the shortest path matrix to calculate the minimum network allocation overhead. We use LSTM to predict the state of the network and allocate resources based on the number of tasks. We prove through mathematical experiments that our algorithm can improve network resource allocation efficiency while ensuring low computational complexity.

Keywords—Internet of Things, Communication Networks, AI Prediction, LSTM, Resource Allocation.

## I. Introduction

Today, the penetration rate of IoT is an essential indicator of modernization. When the COVID-19 comes with the medical system's challenges, medical IoT devices' importance is significantly increased, for example, the infrared remote body temperature measurement, intensive crowd detection sensors, and other epidemic prevention equipment. Generally, these devices have specific requirements for computation, communication, and database capabilities [1]. Such IoTs also play a vital role in the future of human-computer interaction. Therefore, a stable and compatible IoT control framework will also be one of the future research topics.

The concept of 3C is also mentioned in more and more IoT studies, namely communicating, computing, and caching. Communication refers to the communication between devices and between devices and base stations. With the popularization of 5G technology, the communication capacity problem caused by spectrum utilization efficiency has also become one of the essential performance indicators of the IoT framework system. Computing, refers to the computing capacity of IoT front-end devices. Due to the popularity of AI, more and more devices need to preprocess the information obtained, such as person recognition and action recognition [2]. It requires the equipment to have enough computing power to complete lightweight computing tasks. After that, the feature data with a small amount of data is uploaded to the server [3]. Capacity, refers to the overall access capacity under the system framework [4]. For example, content-based networks usually store popular data packets in a specific node in the community and distribute them when necessary, thereby reducing cloud services' bandwidth consumption. Only by reasonably coordinating the three indicators of communication [5], computation, and capacity in the IoT system can the overall service throughput and equipment utilization be guaranteed.

However, most previous studies only consider one single performance indicator [6]. For example, D2D-based communication usually optimizes the target in throughput, delay response, and arrival rate. In particular, the AI-based network routing algorithm predicts the future trend of changes through the cognitive network's current status and spectrum resources. Then it calculates the optimal solution accordingly. The problem of computing resource allocation faced by distributed computing needs to be further optimized through heuristic algorithms according to different equipment and communication conditions [7]. Simultaneously, an essential part of increasing the user experience, the issue of capacity, involves current indexes such as content popularity [8]. For the various above-mentioned indicators, the original single-objective system optimization scheme is usually a tradeoff process [9]. For example, to improve calculation efficiency, excessive bandwidth is occupied with optimizing the amount of calculation. But the system also ignores possible network congestion [10]. A large amount of original data is pre-stored to improve computing efficiency, occupying a considerable storage space, and increasing energy consumption. Based on the above problems, when facing the diversified indicators of 3C, we discover that an overall IoT control framework should be designed accordingly to coordinate each device's resource utilization efficiency to achieve the overall optimum.

In this paper, we propose a 3C resource integration solution based on machine learning: We designed the shortest route algorithm to determine the optimal delivering cost to each node; We use the deep learning model to calculate the optimal task path according to the system's current state; Through simulation experiments, we show that the system can solve more complicated optimization problems to the greatest extent, thereby improving the IoT framework's overall processing efficiency.

---

Received on September 16, 2020.

\* Advanced Institute of Industrial Technology.

\* E-mail: zhang-chaofeng@aait.ac.jp

\*\* Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China.



## II. Previous Works and Related Study

In previous research, we have optimized one single goal for IoT device performance. For example, in the research [11], we studied spectrum utilization in D2D equipment. In high-frequency D2D communication, we study how to break the short-distance and unstable link blocking. We briefly outline the possible communication waveforms and then optimize them with a specific channel of 0.1-1 THz. Then, we propose an autonomous relay algorithm called ATLR for gigabit multi-hop communication. Finally, we discuss how terahertz transmission can help alleviate interference problems and provide high-quality short-distance communication channels.

In the article [12], our design goal is to develop a comprehensive solution for a smart green IoT network through a data-driven mechanism. The goal of the program is to pursue minimum energy consumption. Using computational intelligence through the IoT network, the system can achieve self-regulation of components, minimize size, and optimize throughput. As we know, this research is the first time that LoRa and ZigBee integrated green protocols have been introduced to establish an IoT self-organizing network and solve energy efficiency issues: We propose a unique initialization mechanism that can automatically schedule node clusters and throughput. Each device executes a program to manage its energy consumption and optimize the switch between entering and exiting sleep mode, which depends on the AI-controlled service usage prediction to understand future usage trends. Our new theory is confirmed through actual deployment and simulation experiments.

The paper [13] proposes an intelligent resource management method based on DQL (Deep Q Learning Network) for wireless network architecture to improve the quality of service (QoS) under limited communication resources. In the context of network function virtualization (NFV), this paper aims to improve the effective use of spectrum resources for IoT devices. This article is solved in two steps. First of all, we use the least infrastructure to ensure the highest communication quality. Then, a DQL-based wireless resource allocation algorithm is designed to realize the fine-tuning of resource allocation. Unlike previous studies, the system can provide allocation strategies for a single IoT in a more segmented manner and ultimately maximize the use of bandwidth resources. The simulation also shows that the proposed MSIO on maximum coverage importance is increased by 3.12%. In contrast, the ARODQ algorithm's performance is increased by 4.05% compared with other solutions.

In our latest paper, [14], we propose a holistic IoT network solution. The solution focuses on solving the explosive growth of AI-based reasoning tasks in IoT systems. This problem will cause network congestion. In this regard, we propose a multi-hop maximum weight network to describe network services of DNN tasks. At the same time, we also develop a maximum weight algorithm (MWWP) to strategically reduce network latency based on the current network usage status. Finally, we establish a distributed AI reasoning model, and through simulations, we prove the

superiority of the solution in terms of computing and transmission performance.

## III. System Architecture

In this section, we discuss how to implement this IoT based 3C framework. Then perform simple modeling, and give the target that needs to be optimized according to the specific scenario.

### A. Resource-centric task allocation model

General IoT tasks are mainly divided into two categories. One is to process and transmit information obtained from the outside. Another is to actively collect data based on commands and gather them at a specific node. In the end, these processed data are either transmitted to the upper cloud server/edge server or stored on a node network for backup. As shown in Fig. 1, it usually includes the following five categories: task requirement, input content, communication service, computation service, and caching service.

However, one of the common problems often occurs when a certain task is allocated with a specific node to be complete. Here, we introduce the concept of "content" when establishing the IoT framework. The platform is responsible for allocating various resources from data collection, data transmission, data processing, and data storage. Here, 'contents' that are generated by tasks no need specifying a service node. The system then allocates the required communication services, computing services, and storage services according to these 'task requirements'. Specific 'tasks' do not require all services if no need for computation service or caching service.

### B. Task Processing

According to the above framework, any task can be "suggested" by the system to a service-capable node. When a task requirement is established, it only needs to complete the following six steps in sequence. For example, as shown in Fig. 2, two standard task requirements are discussed here, abnormal behavior monitoring *A* and environmental information collection *B*. First, task *A* needs to collect video data from device 1 and transfer the data to the device 2. The inference of the neural network preset by device 2, it is determined whether the video contains abnormal behavior. Finally, the judgment result is transmitted to the device 5 for centralized storage. Meanwhile, task *B* requires collecting changes in people's flow at a specific point in time. The screen captured by the device is transmitted to the device 3, and the calculation task of feature extraction is performed. The compressed data packet passes through the device 5 through the routing algorithm and finally reaches the device 4, and is transmitted to the cloud using the device's upload function 4. Then the cloud completes the remaining part of the calculation. In this process, the main problem is how to rationally allocate limited communication resources, computing resources, and caching resources when multiple tasks are working simultaneously.



Fig. 1. Five categories are needed to realize IoT resource management framework: task requirement, input content, communication service, computation service and caching service.

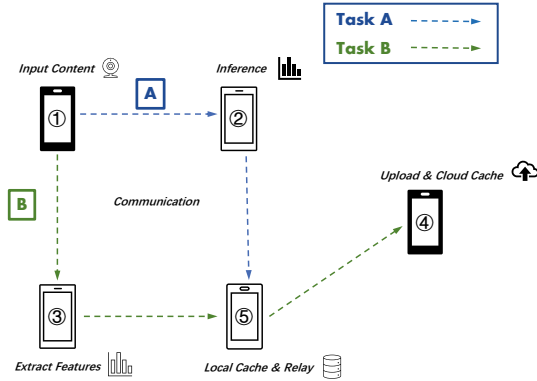


Fig. 2. An example that how tasks work among IoTs. The task A is for behavior monitoring and task B is for information collection.

### C. Task Allocation based on Network Slicing

Since the above three resources belong to different dimensions of resources, we introduce slicing to divide the resource area. The existing IoT network resources can be divided into three essential slices. One slice corresponds to computing resources. One slice corresponds to communication resources, and one slice corresponds to storage resources. The system can open up specific resources for a particular service. For example, autonomous driving requires real-time support of calculation examples and data from the cloud. It has a higher demand for low-latency services, so the system can individually set up a particular slice and allocate resources for the specific low-latency and high-data-volume service.

Therefore, the optimization problem of complex resources under the original IoT framework can be divided into obtaining the optimized resource allocation in each slice. When the throughput under each slice is optimal, the total throughput of the system is optimal. The coupling problem between each slice and the system's overall optimization goal can be compared to the relationship between the efficiency of each slice and the overall efficiency of a single task. When the task is optimized at each step, global optimization can be achieved.

### D. Optimization Object

Considering the system framework of IoT, we assume that there are currently  $\Phi$  nodes of IoT devices. Denoted as  $\Phi = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ . They are connected

through a wired or wireless channel, denoted as  $\epsilon = \{\epsilon_1, \epsilon_2, \dots\}$ . Here, because of the limited space, we do not consider communication problems such as interference [15], and assume that D2D communication is a two-channel process. Then, this constitutes a directed acyclic graph. The set of nodes that meet the task input is denoted as  $\Phi_1$ , the combination with computing capability is denoted as  $\Phi_2$ , the node with storage capability is denoted as  $\Phi_3$ , and the node with upload capability is denoted as  $\Phi_4$ . Obviously, we have  $\{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4\} \in \Phi$ . Therefore, the service capability of any device  $n$  can be summarized by a vector, namely

$$\Phi_n = \{\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4\}. \quad (1)$$

Here, we assume that the average service demand generation's average rate is  $\alpha$  and obeys normal distribution. Then, the total task demand rate within the entire framework reaches  $\delta = |\Phi|\alpha_0$ , where  $|\Phi|$  refers to the number of device nodes. At a specific time  $t$ , the total amount of storage or upload tasks completed by the device is recorded as  $\delta'_{n,t}$ .

For a single task, we assume that the amount of data size, calculation requirements, storage requirements, and upload requirements for four services  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ , the probability is  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ . Then the resource requirements of the task can be recorded as  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4\}$ , and the amount of data meets a specific normal distribution.

Objectively, to evaluate the system's actual efficiency, the main optimization goal is the average task completion rate. Therefore, in a period of service time  $T = \{t_1, t_2, \dots\}$ , we have an average task throughput rate  $\tau$  as

$$\tau = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{\Phi} \delta'_{n,t} \quad (2)$$

To manage multiple resources under the above optimization goals, it is hard to calculate the allocation policy in polynomial time. However, when  $T \rightarrow \infty$ , any  $\delta'$  also converges. Therefore, for the actual total service volume of any device  $n$ ,  $\Phi'_n, t = \phi'_1, \phi'_2, \phi'_3, \phi'_4$ , we have the total service volume of the system as

$$\Phi'_t = \sum_{n \in \Phi} \Phi'_{n,t} \quad (3)$$

where  $\Phi' = \{\Phi'_1, \Phi'_2, \Phi'_3, \Phi'_4\}$  is the total rate of each service. Therefore, for the resource allocation of a slice  $x \in X$ , our optimization goal becomes

$$\text{MAX} \quad \Phi' = \sum_{t=1}^T \sum_{n \in \Phi} \Phi'_{n,t,x} \quad (4)$$

We need to maximize the utilization of idle resources that the maximum throughput of resources is approached.

#### IV. Weighted routing algorithm

Whenever a task requires any service, the system needs to determine the target node. Although the classic *Dijkstra* can accurately find the shortest path in a weighted network, its  $n^3$  computational complexity is not suitable for all devices. Therefore, we need a general-purpose, pre-calculated routing table to be deployed on all the nodes.

##### A. Matrix multiplication of the shortest path

Then, we analyze the optimal solution of the shortest path. For the shortest path problem of all devices in the graph  $G = (\Phi, \epsilon)$  with weighted edges, we throw out the classical conclusion: all sub-paths of the shortest path are the shortest paths. Then, we rewrite the corresponding weight array  $\epsilon = \epsilon_{ij}$ , where  $i$  and  $j$  represent any connection points. Then, suppose there is a shortest path  $L$  for any two devices, which contains  $l$  edges, and  $l$  is a finite value. If  $i = j$ , then the actual weight of  $L$  is 0 and does not contain any edges. If the nodes  $i$  and  $j$  are different nodes, the path  $l$  can be split into  $i \rightarrow k \rightarrow j$ , where  $i \rightarrow k$  contains at most  $l - 1$  edges.  $k \rightarrow j$  must choose the shortest path. Then, by pushing back to  $i$  edge by edge, we can conclude that all the sub-paths, including  $i \rightarrow k$  are the shortest paths.

Based on the above conclusions, we assume  $\theta(l) = \theta(i, j)$  represents the sum of all weights on the path. Then we have the weight based on the last hop,

$$\theta(i, j) = \theta(i, k) + \epsilon_{k,j}. \quad (5)$$

Meanwhile, based on the shortest path mentioned above, we can get the recursive solution of the shortest path of all nodes and express it with a matrix. Next, we assume that  $s_{i,j}^l$  is the minimum weight from node  $i$  to node  $j$  (shortest path  $l$ ). Then, when  $l = 0$ , it means there is no edge connecting the two nodes; thus, we can get

$$s_{i,j}^l = \begin{cases} 0 & \text{if } i = j \\ \infty & \text{if } i \neq j \end{cases} \quad (6)$$

For any  $l \geq 1$ , if we know the minimum weight required for the first step  $l - 1$  that reaching each node, then we only need to calculate the minimum weight from the precursor node  $k$  to the target node  $j$ . Therefore, we can get a recursive definition

$$s_{i,j}^l = \min(s_{i,j}^{l-1}) = \min(s_{i,k}^{l-1} + \epsilon_{k,j}) = \min(s_{i,k}^{l-1} + \epsilon_{k,j}) \quad (7)$$

In other words, unless  $i$  and  $j$  have established shortest paths, the minimum path weight is equal to the sum of the weight to middle node  $k$  and one hop weight from  $k$  to  $j$ .

Then, we conclude the following inference

$$\theta(i, j) = s_{i,j}^{\Phi-1} = s_{i,j}^{\Phi} = s_{i,j}^{\Phi+1} = \dots \quad (8)$$

In other words, the shortest path from  $i$  to  $j$  cannot be longer than the shortest path traversing all nodes. Once the shortest path is reached, the edges that it passes the most cannot exceed  $\Phi - 1$ .

Therefore, for the initial weight matrix  $\epsilon = \epsilon_{i,j} = S^1$ , we can correspondingly calculate the shortest matrix sequence  $S^1, S^2, S^3, \dots, S^{\Phi-1}$  for any hop. For any  $S$ , we have  $s_{i,j}^l \in S^l$ . The matrix converges to  $S^{\Phi-1}$ , which is the total weight of each shortest path. Regarding how to calculate the weight sequence of the next-hop based on the current weight sequence, we implement it through the proposed algorithm here,

---

```

1: for  $i = 1 \rightarrow n$  do
2:   for  $j = 1 \rightarrow n$  do
3:      $S'_{i,j} = \infty$ 
4:   end for
5:   for  $k = 1 \rightarrow n$  do
6:      $S'_{i,j} = \min(S'_{i,j}, S_{i,k} + w_{k,j})$ 
7:   end for
8: end for
9: Return  $S'$ 

```

---

Here is a nested algorithm when  $S^1$  is known, and then  $S^2$  can be obtained. Finally, we can obtain  $S^{\Phi-1}$  in turn. To speed up the calculation and facilitate understanding, we adopted the calculation method of matrix multiplication. Suppose  $A$  represents the shortest path weight matrix of  $\epsilon \times \epsilon$ , and  $B$  represents the matrix of the edge set  $E$ , then we define the shortest path multiplication matrix

$$C = A \cdot B \quad (9)$$

And the elements inside are

$$c_{ij} = \min\{a_{ik} + b_{kj}; k \in \Phi\} \quad \text{if } c_{ij} = \infty \quad (10)$$

Therefore, we can expand our shortest path matrix edge by edge for the shortest weight. Among them, we have

$$\begin{aligned} S^1 &= S^0 \cdot \epsilon = \epsilon \\ S^2 &= S^1 \cdot \epsilon = \epsilon^2 \\ S^3 &= S^2 \cdot \epsilon = \epsilon^3 \\ &\dots \\ S^{\Phi-1} &= S^{\Phi-2} \cdot \epsilon = \epsilon^{\Phi-1} \end{aligned} \quad (11)$$

Therefore, as long as the initial weight matrix is determined, all the shortest weight paths can be calculated within  $O(\epsilon^4)$  calculation complexity. Fig. 3 is an example to explain how the constructed directed acyclic graph works.

Then, there must be  $2^{\lceil \lg(\Phi-1) \rceil} \geq \Phi - 1$  such that

$$S^{\Phi-1} = S^{2^{\lceil \lg(\Phi-1) \rceil}} = \epsilon^{\lceil \lg(\Phi-1) \rceil} \cdot \epsilon^{\lceil \lg(\Phi-1) \rceil} \quad (12)$$

Because the calculation time of each matrix of  $\lg(\Phi - 1)$  is  $O(n^3)$ , the core calculation interval of this method is within  $O(n^3 \lg(n))$ . Since only the number of fixed points in the graph is related to computational complexity, generally small and medium-sized IoT frameworks are sufficient to calculate an exact minimum path within the expected time.

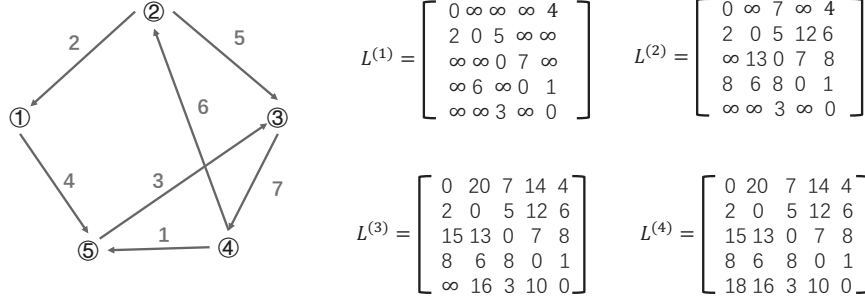


Fig. 3. An example that explains how the constructed directed acyclic graph works. Here we use a shortest path matrix calculation method to calculate the minimum weight cost.

## V. Routing algorithm based on AI-based deep learning model

In the previous section, we learn how to find the shortest path node for a single task when a task is initiated; that is, the smallest communication overhead. Therefore, we calculate the optimal node in the entire task processing process based on a simple greedy algorithm. Since a single task's greedy algorithm cannot achieve the global optimum, we use the LSTM neural model to optimize the network traffic state. In the end, we design an adaptive migration network solution.

### A. Greedy Algorithm

From the above optimization goals, we can see that to achieve the optimal global number of tasks; it is to reduce the overhead as much as possible so that other tasks have more available resources. Then, when considering a single task, it is clear that the recent overhead is relatively low. Then for any node  $i$  and node  $j$  that can be used for processing tasks, we implement the greedy algorithm of a single node through Algorithm II:

---

```

1: Shortest = ∞;
2: for  $i = 1 \rightarrow \Phi$  do
3:   for  $j = 1 \rightarrow \Phi$  do
4:     if  $i \neq j$  &  $\Phi_j \geq \beta_i$  &  $\theta(i, j) \leq \textit{Shortest}$ 
       then
5:       Shortest =  $\theta(i, j)$ 
6:     end if
7:   end for
8: end for
9: Return S'

```

---

In short, Algorithm II traverses all nodes and find the node that has enough resources; then the weight is the lowest. However, this algorithm has two apparent problems. First, the algorithm needs to traverse all target nodes to check whether the node has enough resources for competition. Second, it is impossible to predict the possible network congestion, which may lead to the imbalance of some local resources but fail to achieve the global optimum.

### B. Learning based Allocation Policy

Therefore, we need an overall resource optimization solution based on the IoT framework. However, most

of the traditional solutions are based on the global vision, assuming that all nodes know the optimal solution calculated under the global network condition. The computational complexity is high and limited to the optimal solution at the current moment. It creates two problems separately: First, the computational complexity is high and cannot be applied to all IoT devices. This is also in contradiction with the logical relationship of 'services that require computing capacity'; Second, network congestion and queue delays cause the current optimal solution not always to be the optimal solution. Queuing and delays, service time, etc., affect the overall trend of the network. Regarding the above two problems, we develop LSTM based neural networks to predict the IoT network's state and deploy policy on each node.

The advantage of this solution is that although the neural network's pre-training takes much, it can be performed on the central control end (cloud server with mighty computing power). Then the neural network can be deployed on the terminal node. This can effectively reduce the original terminal computational complexity from  $O(\Phi^4)$  to a linear increase of  $O(V\Phi)$ , assuming that  $V$  is the number of neurons. Next, we consider which AI model could be adopted to predict the network state and calculate the optimal target node accordingly.

### C. LSTM-based Prediction Model

Current, LSTM is a useful model for processing time series numbers. Typical research areas include speech recognition, video content, and traffic prediction. Mainly, the model is suitable for processing two types of tasks: classification output and sequence output. Classification output, such as judging various actions of the subject through the accelerometer on the mobile phone; Sequence output, for example, the input is a question sentence, and the output is the correct answer.

The output of the network state is a sequence output. Thus we design the following structural model. Inspired by CNN, the entire network's sequence state can also be seen as a time frame. The current state will be used as the input on the left of Fig. 4. This model contains the state of all nodes  $\Phi$  and the state of edge  $\epsilon$ . It is sequentially inputted to the sequence folding layer, convolution layer, and sequence expansion layer. Compared with ordinary LSTM, this design

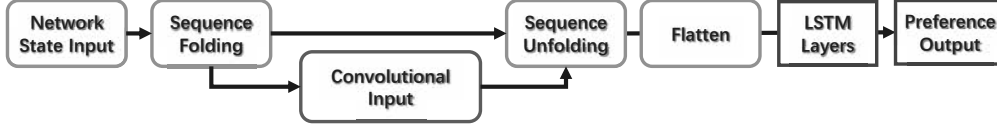


Fig. 4. The learning design of LSTM. The input contains the state of all nodes  $\Phi$  and the state of edge  $\epsilon$ . This data will then be sequentially input to the sequence folding layer, convolution layer, and sequence expansion layer. Then the data is restored to the vector sequence through the flat layer, and it is put into the classic LSTM layer for learning.

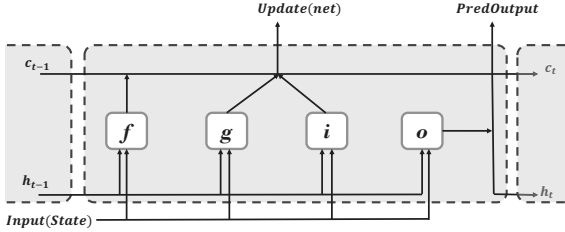


Fig. 5. A CNN based LSTM learning Model. It contains the forget gate ( $f$ ), the input gate ( $i$ ), candidate cells ( $g$ ) and the output gate ( $o$ ).

considers the change of time on the output result and considers the mutual influence between nodes. The data is then restored to the vector sequence through the flat layer, and it is put into the classic LSTM layer for learning.

The computing and uploading of one task have their logical sequence. Therefore, we train models for different services separately. We also use random length data to increase robustness. The most recent data has a more significant influence on the forecast. Therefore, in the specified truncation direction, we adopt a strategy of truncating to the beginning. For sequence-to-sequence networks, the information from last timestamp is more important than the initial stamp. The effect of truncating the beginning is smaller than the right.

The classic LSTM structure for each output is shown in Fig. 5 below. It contains the forget gate ( $f$ ) used to forget the previous influence, the input gate ( $i$ ) and candidate cells ( $g$ ) used to calculate the influence of the current input sequence, and the output gate ( $o$ ) used to calculate the hidden layer.

Correspondingly,

$$\begin{aligned} W &= [W_i, W_f, W_g, W_o]' \\ R &= [R_i, R_f, R_g, R_o]' \\ b &= [b_i, b_f, b_g, b_o]' \end{aligned} \quad (13)$$

The  $c_t$  used to convey the cell state

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_t \quad (14)$$

And hidden layer state

$$h_t = o_t \odot \sigma_c(c_t) \quad (15)$$

where  $\odot$  represents a simple Hadamard product. Like natural language processing, if the input is a series of states, we hope the system reads the states' connection and analyzes a solution for us. Then, we design the expression of the network output as a matrix  $Q$ , and

each element  $q_{ij}$  represents the actual score of any node from  $i$  to  $j$ .

$$Q = \{q_{(1,1)}, q_{(1,2)}, \dots, q_{(i,j)}, \dots, q_{(j,j)}\} \quad (16)$$

Then, for any  $q_{(i,j)}$ , we have

$$q_{(i,j)} = \frac{1}{c_{i,j}} \quad \text{if } \Phi_j \geq \beta_i \quad \& \quad \beta_i \leq s_{i,j} \quad (17)$$

In short, when the remaining resource is available, the reward  $q$  to the remaining destination is equal to the inverse of the occupied bandwidth resources. If the system can't find a suitable destination, the system outputs a negative award, which means unable to complete the task.

Since the network's output is suitable for all static nodes, a preference result can be obtained for batch distribution tasks. The system then updates the network with newly allocated resources and calculates the preference for the remaining resource. The following is a corresponding LSTM-based resource allocation strategy update algorithm. After the training is completed, batch task resources can be allocated for the nodes according to the system capacity. The distribution ratio  $\gamma$  here is inversely related to the number of calculations and allocation efficiency. For such a tradeoff, fine-tuning can be made according to the actual situation of network dynamics.

---

```

1: Set =  $\Phi \cdot \gamma$ ;
2: for  $i = 1 \rightarrow \text{fix}(1/\gamma)$  do
3:   PredOutput = Predict(net, State)
4:   TempPolicy = Sort(PredOutput, Set)
5:   Policy  $\rightarrow$  Policy + TempPolicy
6:   TempPolicy = 0
7: end for

```

---

After that, the network status is continuously updated according to the actual situation time frame  $T$  until the final input result.

## VI. Simulations

Next, we verify our ideas through experiments. First, the experimental environment is an ordinary desktop computer equipped with NVIDIA 2070 GPU, i7-9700K CPU, and 16G memory. When building the mathematical model, we consider dynamic IoT framework scenarios. As time changes, the number of tasks and the number of nodes that can provide services also change. At the same time, we introduce a general greedy algorithm for comparison.

Fig. 6 is the convergence curve of the LSTM-based training model. We set 100 nodes and use various parameters to test the AI model, such as input, waiting

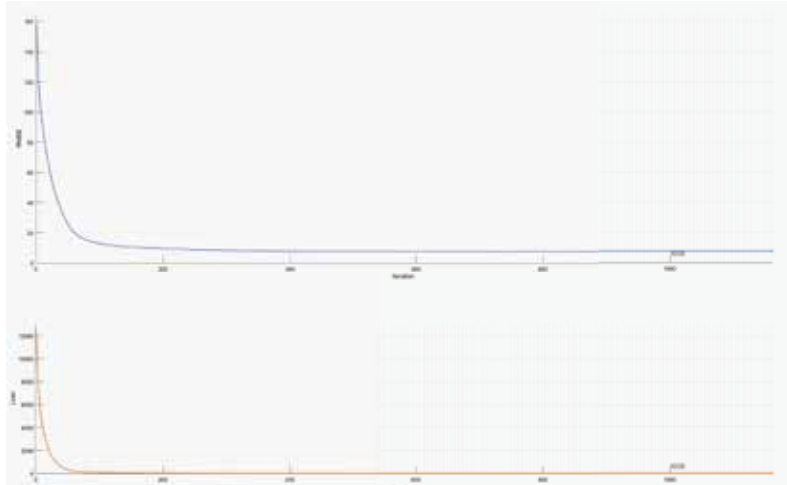


Fig. 6. The training convergence curve of the LSTM-based prediction model, which include Loss and RMSE.

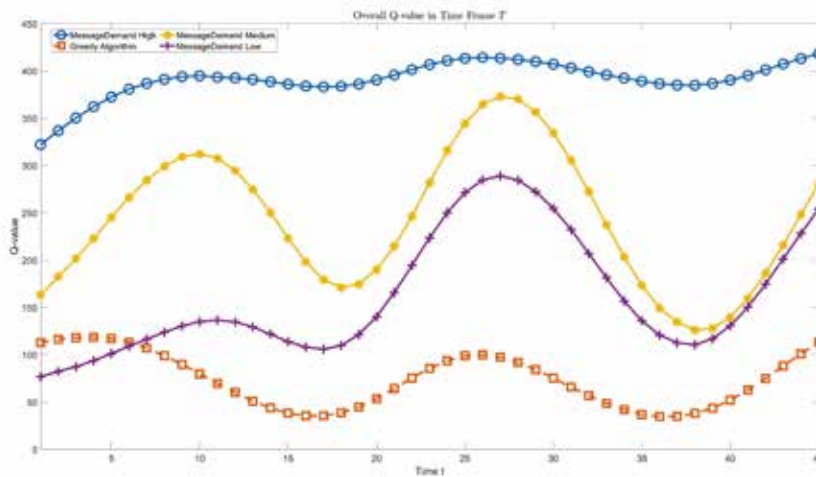


Fig. 7. An resource allocation optimization result within time frame  $T$ .

queue, processing capacity, scheduled tasks, etc. The output is the actual score corresponding to each node. When training the model parameters, we find that less than 1000 neurons lead to lower accuracy, while more than 10000 nodes are more consistent with the computing platform, prone to overfitting. Through GPU training, it is found that as shown in Figure 8, a stable fitting state can be entered after 300 iterations. The RMSE is also kept at a low level. Since this paper does not discuss the entire system's steady-state, the numerical data is not normalized. After the initial verification of the theory this time, a larger-scale and more stable system model training could be considered.

Fig. 7 is an actual optimization experiment. Among them, the trough of the curve is the response that the system can provide fewer service nodes. Correspondingly, the peak corresponds to higher system output. It simulates the comparison of IoT devices' service capabilities caused by turning on and off over time. Among them, in the orange line, we use the standard greedy algorithm. Under the same conditions, the purple line is the result of using the LSTM training model. The

Y-axis represents the actual reward scores (usually higher means more tasks have been processed, here refers to the number of successful tasks). Through the curve, we can find that when the learning experience is insufficient at the beginning, the greedy algorithm can effectively use the entire idle system in processing. However, as time changes, the LSTM neural model with learning ability can better adapt to dynamic changes. The other two are the changing curves when there is more task requirement. Among them, blue represents the system is saturated, so the fluctuation of the number of tasks completed is not so obvious.

## VII. conclusion

There are always many challenges in how to use neural networks in the field of network resource allocation. In this regard, this paper uses the LSTM neural network to predict and transforms the original algorithm with high computational complexity into a relatively accurate and straightforward recommendation algorithm. At first, we discuss how to use the shortest route matrix to build a routing list. Then, we design the LSTM neural network to calculate the

routing allocation strategy and obtain the optimized final solution. Finally, we experimentally simulate the entire training process and resource allocation process of the LSTM and prove that the algorithm we proposed can be optimized corresponding to network resources changes.

#### References

- [1] H. Gupta, A. Vahid Dastjerdi, S. K. Ghosh, and R. Buyya, "ifogsim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the internet of things, edge and fog computing environments," *Software: Practice and Experience*, vol. 47, no. 9, pp. 1275–1296, 2017.
- [2] A. V. Dastjerdi and R. Buyya, "Fog computing: Helping the internet of things realize its potential," *Computer*, vol. 49, no. 8, pp. 112–116, 2016.
- [3] Z. Yan, P. Zhang, and A. V. Vasilakos, "A survey on trust management for internet of things," *Journal of network and computer applications*, vol. 42, pp. 120–134, 2014.
- [4] R. Yu, Y. Zhang, S. Gjessing, W. Xia, and K. Yang, "Toward cloud-based vehicular networks with efficient resource management," *IEEE Network*, vol. 27, no. 5, pp. 48–55, 2013.
- [5] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos, "Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things," *Transactions on emerging telecommunications technologies*, vol. 25, no. 1, pp. 81–93, 2014.
- [6] D. Uckelmann, M. Harrison, and F. Michahelles, *Architecting the internet of things*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [7] H. Yang, A. Alphones, W.-D. Zhong, C. Chen, and X. Xie, "Learning-based energy-efficient resource management by heterogeneous rf/vlc for ultra-reliable low-latency industrial iot networks," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 8, pp. 5565–5576, 2019.
- [8] A. Pavlov, D. Ivanov, D. Pavlov, and A. Slinko, "Optimization of network redundancy and contingency planning in sustainable and resilient supply chain resource management under conditions of structural dynamics," *Annals of Operations Research*, pp. 1–30, 2019.
- [9] F. Hussain, S. A. Hassan, R. Hussain, and E. Hossain, "Machine learning for resource management in cellular and iot networks: Potentials, current solutions, and open challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 2, pp. 1251–1275, 2020.
- [10] D. Zeng, L. Gu, S. Pan, J. Cai, and S. Guo, "Resource management at the network edge: A deep reinforcement learning approach," *IEEE Network*, vol. 33, no. 3, pp. 26–33, 2019.
- [11] C. Zhang, M. Dong, T. H. Luan, and K. Ota, "Battery maintenance of pedelec sharing system: Big data based usage prediction and replenishment scheduling," *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 127–138, 2020.
- [12] C. Zhang, M. Dong, and K. Ota, "Enabling computational intelligence for green internet of things: Data-driven adaptation in lpwa networking," *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 15, no. 1, pp. 32–43, 2020.
- [13] C. Zhang, M. Dong, and K. Ota, "Accelerate deep learning in iot: Human-interaction co-inference networking system for edge," in *2020 13th International Conference on Human System Interaction (HSI)*, pp. 1–6, 2020.
- [14] C. Zhang, M. Dong, and K. Ota, "Fine-grained management in 5g: Dql based intelligent resource allocation for network function virtualization in c-ran," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 6, no. 2, pp. 428–435, 2020.
- [15] S. Bi, J. Lyu, Z. Ding, and R. Zhang, "Engineering radio maps for wireless resource management," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 2, pp. 133–141, 2019.

# OmniLupe: A focus-and-context view mixing omnidirectional and detailed 2D images

Kozo Komiya\* and Hiroaki Tobita\*

## 解像度の異なるカメラの組み合わせによる全天球カメラ映像の拡張

小宮 光三\* ・ 飛田 博章\*

### Abstract

In this paper, we present OmniLupe, an omnidirectional camera that provides a unique view mixing omnidirectional and detailed 2D images. Generally, omnidirectional content is generated by enlarging a single 2D image with a fisheye lens. Although the enlarged content affords users views from multiple angles, because the resolution decreases when users focus on part of the content, retrieving detailed visual information about other objects or texts in the view remains challenging. Therefore, we have combined a low-resolution omnidirectional image with a high-resolution 2D image by connecting two devices: an omnidirectional camera and a smartphone.

**Keywords:** Omnidirectional content, focus and context, interactive system, image processing

### 1 Introduction

The development of omnidirectional cameras allows users to enjoy omnidirectional video content, which, unlike traditional 2D video content, affords views from multiple angles. By wearing a head-mounted display (HMD), users of such devices can view content more intuitively simply by shifting the direction of their heads and, in turn, experience a greater sense of immersion in the content. Some omnidirectional camera systems even enable users to share omnidirectional content over the Internet, which allows multiple users to view the same content at once. Not only have mobile omnidirectional cameras recently become increasingly popular, but the products of omnidirectional cameras have enjoyed increasing use as well. However, despite all of those developments, the resolution of omnidirectional contents captured by mobile devices remains limited.

Generally, omnidirectional camera systems provide omnidirectional content by enlarging a single 2D image with a fisheye lens. Such systems offer many opportunities to view omnidirectional content in detail while browsing content such can text can be read or similar objects (e.g., buildings and animals) compared. Although the systems enable users to view content

from multiple angles, the resolution is low, especially for HMD wearers, which makes it challenging to retrieve detailed visual information about objects in focus.



Figure 1. OmniLupe overview: OmniLupe provides a unique view mixing omnidirectional and detailed 2D images to achieve a focus-and-context view

Of course, a simple solution to capture high-resolution content is to use a high-resolution camera. However, video from such cameras burden networks with high loads when people share the content, and people do not necessarily want to see all information

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology



available in omnidirectional content in the first place. Indeed, users generally focus on a few points or limited areas in images and shift focus from one to the next, in a way similar with omnidirectional images. At the same time, it is essential to provide detailed visual information depending on the viewer’s focus of attention.

To generate omnidirectional content, we think that designing the user interface is pivotal. Some systems have introduced unique cameras that contain many complementary metal oxide semiconductor (CMOS) cameras, which allow the system to provide unique views. However, those cameras are mostly prototypes, which differ entirely from product cameras. Generally, the prototypes are designed for limited cases, so novice users cannot fix or manipulate the system such as setting up the system or charging the battery in order to use the camera casually.

In response, we developed OmniLupe, an omnidirectional camera that affords users a unique view blending an omnidirectional and detailed look from the same viewpoint (Fig. 1). The system first establishes an omnidirectional image that allows users to browse the rough image. Next, the system sets a 2D image in the omnidirectional image that enables users to view detailed information therein. As a result, with both rough omnidirectional and detailed 2D images, a focus-and-context view is realized. To indicate the contrast between the two images, the system places a green rectangular wireframe around the 2D image.

OmniLupe combines two product devices—a mobile omnidirectional camera and a smartphone—to create a mixed view. First, because a smartphone is a useful device providing a simple user interface and used to capture 2D images or movies, users are usually familiar with manipulating the device and the kinds of content that it can capture. Second, because an omnidirectional camera for consumers, or “product camera,” provides a simple user interface as well, we integrated the two devices to realize our system.

We also prepared two original applications. One is a client application that works in an omnidirectional camera and smartphone; the other is a web application for browsing that enables users to view content on a PC, tablet, or HMD via a web browser. All devices used in our system communicate over a streaming server. The system is simple enough for use not only by

novices but also for a range of applications, including ones in communication and entertainment.

## 2 OmniLupe

In this section, we discuss OmniLupe’s focus on interaction and implementation. Each device in the system contains a Wi-Fi module and communicates with a streaming server that treats communication and video-streaming information over a network. OmniLupe mixes two different images—omnidirectional and 2D images—and a green rectangular wireframe borders the 2D image.

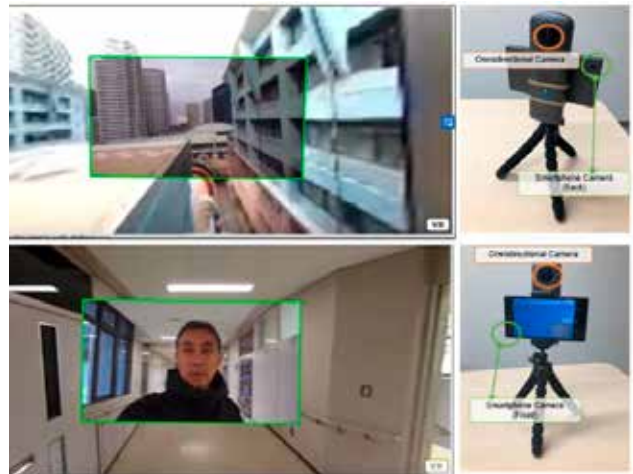


Figure 2. System overview: OmniLupe uses both an omnidirectional camera and a smartphone.

### 2.1 Interaction

We designed a simple configuration and interaction by using two product devices, because one of OmniLupe’s targets is novice users. Both devices used—an omnidirectional camera and a smartphone—provide a camera function with a different resolution. The resolution of the omnidirectional camera was  $1,920 \times 960$  pixels whereas that of the smartphone camera was  $1,920 \times 1,080$  pixels. Our system provides two modes, because smartphones generally have two cameras: one on the front, the other on the back. Figure 2 provides some simple examples of images captured by two cameras on a smartphone. Figure 2 (top) shows a floor scene by using the back camera, such that a user can see both detailed and rough information. Figure 2 (bottom) shows a man who uses OmniLupe to capture a hallway by using the front-facing camera so that he can see both the front- and back-facing information.

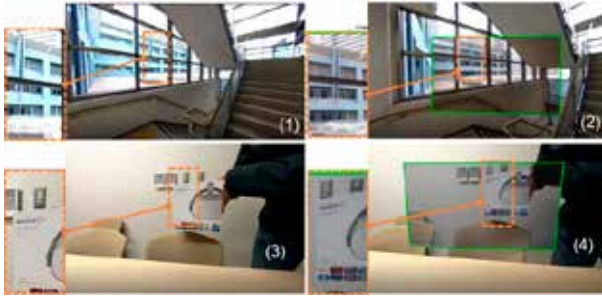


Figure 3. OmniLupe images: Images with OmniLupe (2, 4) are more explicit than typical omnidirectional images (1, 3).

## 2.2 Calibration

To initiate OmniLupe, a user first sets up the system’s hardware—that is, an omnidirectional camera and a smartphone. In our current prototype, we have connected two devices with a rubber band by taking each lens position into consideration. We installed an original application in each device to communicate with a streaming server, such that the application automatically sends the video data to the server when the device connects to a network. Next, the user launches a web application provided by the streaming server and manually calibrates both cameras by manipulating the application with a joystick and keyboard. Example of a view in OmniLupe

In what follows, we present some examples of our approach, with special focus on how OmniLupe works. Figure 3 (1) and 3 (3) depict typical omnidirectional images, whereas Figure 3 (2) and 3 (4) show those images enhanced by our approach. As a comparison of Figure 3 (1) and 3 (2) reveals, the building in OmniLupe is sharper than it would be otherwise. A comparison of Figure 3 (3) and (4) also reveals how text in our approach is more legible. The text in OmniLupe can be easily read.

## 3 Discussion

In this section, we discuss our approach for OmniLupe based on the reactions and comments from guest users who experimented with our prototype system.

### 3.1 User Interface

We used two product devices to realize OmniLupe and connected them with a rubber band. An advantage of our setup is that people can manipulate the devices easily—for example, charge each device when the battery is low. Because most of the original devices

introduced here are tentative, the design of the product devices is more robust than the original devices. Smartphones are especially one of the most user-friendly devices. Beyond that, we can anticipate that the technology of both cameras and smartphones has continued to develop. Considering all of the above, we simply combined an omnidirectional product camera with a smartphone. Although our implementation is admittedly simple, we could implement a higher-quality camera and smartphone in it as desired.

Most guest users readily used our green wireframe to surround high-resolution 2D images. In our former implementation, we did not use a green wireframe, which represents a 2D image so a mixed area between the images was distorted. Some users commented that the distortion was annoying while browsing an omnidirectional scene. Some added that our calibration process between the omnidirectional and smartphone cameras was difficult. By adding the green wireframe, we succeeded in providing a bright contrast between the images. From simple comparisons with and without a 2D image (Fig. 4), we found that our approach was useful for viewing a focal area of video content in detail, even to the point of seeing a building’s structure and text rather sharply. Those elements were unclear, however, when only an omnidirectional camera was used.

### 3.2 Related Works

Our approach combining two product cameras is so simple that a wide variety of applications are possible. As an example, we applied our approach for online communication; Figure 8 shows an instance of network communication with our unique view. In that case, a local participant wore an HMD and used a PC as a capture device, while a remote participant held our system in hand. Because the smartphone used had two cameras—one on the front, another on the back—the remote participant used both cameras. The camera on the back captured the direction in which the remote user moved, while the front-facing camera captured the user. The smartphone also displayed the local participant’s face captured by the PC, and the local participant could see the content created by our system.

Omnidirectional videos have outstanding potential in their application. Teo et al. [1] introduced a mixed-reality remote collaboration combining 360° video and 3D recognition, while HindSight [2] reportedly uses a

neural network to detect objects from live 360° videos. Group meeting applications with omnidirectional streaming have also been described. Rui et al. [3], for example, reported a capturing system with an omnidirectional camera. For omnidirectional streaming, web technologies have of course been useful as well. Quax et al. [4] introduced a solution that enables the delivery of original digital video content through well-supported codec and container formats to large audiences. Beyond that, Chen et al. [5] designed a stitching algorithm for tile-based live 360° video streaming. Omnidirectional videos have also been useful for learning foreign languages [6]. In omnidirectional video content, ways of treating audio to provide immersive experiences within 360° content are additionally important [7, 8].

#### 4 Conclusion

Herein, we have described OmniLupe, a unique focus-and-context system whose views mix omnidirectional and detailed 2D images. In the system, the omnidirectional image works to recognize the entire space, while the 2D image works to present the focal area in detail. We also discussed OmniLupe's design and implementation as well as how to use the system. After further developing OmniLupe to provide more productive interactions, we plan to evaluate our system in practical user tests.

#### References

- [1] T. Teo, L. Lawrence, G. A. Lee, M. Billingham, and M. Adcock, "Mixed Reality Remote Collaboration Combining 360 Video and 3D Reconstruction," Proc. The Conference on Human Factors (CHI '19), Paper No. 201, 2019.
- [2] E. Schoop, J. Smith, and B. Hartmann, "HindSight: Enhancing Spatial Awareness by Sonifying Detected Objects in Real-Time 360-Degree Video," Proc. The Conference on Human Factors (CHI '18), Paper No. 143, 2018.
- [3] Y. Rui, A. Gupta, and J. J. Cadiz, "Viewing Meetings Captured by an Omni-Directional Camera," Proc. The Conference on Human Factors (CHI '01), pp. 450-457, 2001.
- [4] P. Quax, J. Liesenborgs, P. Issaris, W. Lamotte, and J. Claes, "A Practical and Scalable Method for Streaming Omni-Directional Video to Web Users," The international workshop on Immersive media experiences (ImmersiveMe '13), pp. 57-60, 2013.
- [5] B. Chen, Z. Yan, H. Jin, and K. Nahrstedt, "Event-driven Stitching for Tile-based Live 360 video Streaming," Proc. The Multimedia Systems Conference (MMSys '19), pp. 1-12, 2019.
- [6] A. Berns, J. M. Mota, I. Ruiz-Rube, and J. M. Doderó, "Exploring the potential of a 360° video application for foreign language learning," Proc. The International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality (TEEM '18), pp. 776-780, 2018.
- [7] H. Huang, M. Solah, D. Li, and L. F. Yu, "Audible Panorama: Automatic Spatial Audio Generation for Panorama Imagery," Proc. The Conference on Human Factors (CHI '19), Paper No. 621, 2019.
- [8] P. Bala, R. Masu, V. Nisi, and N. Nunes, "When the Elephant Trumps: A Comparative Study on Spatial Audio for Orientation in 360° Videos," Proc. The Conference on Human Factors (CHI '19), Paper No. 695, 2011.

# サービスロボット向けの振りの実装と収集・体系化の検討

## 人形浄瑠璃を参考にして得られた知見

成田 雅彦\*・中川 幸子\*\*

An Implementation and a collection/systematization of the choreography for service robots

Knowledge obtained with reference to Joruri Puppet

Masahiko Narita\* and Nakagawa Sachiko\* \*

### Abstract

Service robots that operate there are required to coexist and have an affinity with people, and it is an important requirement to be able to attract people with attractiveness and exchange messages with people. Therefore, we are conducting research on the physicality of robots and high-quality choreography with reference to Joruri Puppet Theater, one of traditional Japanese folk performing arts. In this paper, we will show our service robot OSONO, which was well received at the International Robot Exhibition 2019, and its choreography. Also we propose the method to collect Joruri Puppets' choreography in wider range and discuss the knowledge for its systematization.

Keywords: Physical Properties, Choreography, Service Robot, Joruri Puppets, Systematization

### 1 はじめに

人との共存・親和性が求められる商業施設、すなわち、公共施設、観光施設、介護・福祉施設等の業務空間へ、様々なサービスロボットが普及し、活用されることが期待されている。これらのシーンで用いられるサービスロボットは、人を惹きつけ、人と相互にメッセージのやりとりを行えることが重要な要件の1つである。そのため、我々は人形浄瑠璃を参考に、身体性のあるロボットと良質な「振り」の研究を行なっている。尚、ここでの「振り」とは、なんらかの意図やメッセージ性をもつ仕草、あるいは、それを組み合わせた一連の動作のことである。本研究では、以下の課題を対象としている。

(1) サービスロボットが人の注意や関心を向けるさせるため身体性;例えば、良質なロボットの頭部のデザインは集客の要素になるが、そのモデリング手法と効果を明らかにすること。  
(2) メッセージを効果的に伝達するためのしぐさの抽出と実装;実際に演じられる人形浄瑠璃から良質なしぐさを抽出し、サービスロボットにて実装する。このとき、多様なしぐさの獲得

と体系化が課題になる。さらに、獲得したしぐさは、アクチュエータの少ないロボットへも適用できる必要がある。

(1)については、既に、集客力の高い人形浄瑠璃を参考に、顔長3.5寸(9cm)と2寸(5cm)の娘(むすめ:人形浄瑠璃のかしらの様式のひとつ)の頭部(かしら:人形浄瑠璃では、頭部を“かしら”と呼ぶため、以降、かしらと表記する)をモデリングする手法を考案し、簡単な動きを実装し、かしらロボと浄瑠璃ロボを開発し、良好な集客を得ることができた [1][2]。

本稿では、(2)について、3章にて国際ロボット展 2019にて好評を得たサービスロボット OSONOの実装、人形浄瑠璃の著名な振りである「くりず\*」の実装、このための振りの獲得の方法論、振りの表現の特徴について述べる。さらに、4章にてより広範囲に多様な振りの収集・体系化する方法論を提案し、文献分析やシミュレーションで得られた知見を述べる。また、5章にて OSONOについて、振りが質よく、また少ないアクチュエータで実装できるなど、OSONOとその振りの有効性を検証する。

\*注:「くりず」(割り頭)は、えぐるようにかしらを振る型で、右

Received on October 3, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* 青山学院大学, AOYAMA GAKUIN UNIVERSITY



図 1: 国際ロボット展 2019 にて好評を得たサービスロボット OSONO

へ「くりず」をしようとする場合、一旦左へ首をやり、顎をおとして右へ首を廻して女の切ない、やるせない思いを表す[3]。人形浄瑠璃の代表的な振りとして知られている。

## 2 関連研究

### 2.1 リーズナブルなロボットとアクチュエータ

2017~2019 年の日本のロボット市場では、サービスロボットは小型化し、安価なものが多く出回ってきた。これらは、家電機器風のデザインで、擬人化しやすい最低限の見た目、顔ディスプレイによる多様な表情をもつ。機構としては比較的少ない数のアクチュエータにより自由度 2 から 8 を実現している。例えば、Tapia は自由度 2, Xperia Hello! は自由度 3, unibo は自由度 8, Sota は自由度 8, ROBOCOT は自由度 2 である。コストを意識するとき、仕草の表現の質を確保しながら、アクチュエータの数を如何に最小化するかは課題である。

### 2.2 文楽人形とロボット

文楽人形の人形遣いが感情を演じ、データを収集する実験を実施し、それをもとにロボットのハード機構を設計[4]、試作した例がある[5]。この例で設計・試作されたロボットでは、自由度は 19 であり、アクチュエータ数は多い。ロボットの頭部のデザインについては対象としていない。データの収集には、モーションキャプチャを装着しており、大掛かりな設備が必要となる。対象の振りについてはロボットの利用者にかかされており、感情表現が中心でビジネスへの応用という視点は薄い。その良質なしぐさを生かしたうえ少ないアクチュエータ

を持つロボットでも再構築できることが課題である。

## 3 サービスロボット OSONO と振り

OSONO の実装、及び著名な振りである「くりず\*」の実装について振りの獲得の方法論、振りの表現手法の特徴について述べる。

### 3.1 浄瑠璃人形を参考にしたロボット OSONO

上記の課題のもと、筆者らは、浄瑠璃人形を参考にしたロボット OSONO を開発する。頭部は既に開発したかしらロボのかしらを用いる [1][2]。可動にすべき箇所は、目・口・首（前後の傾き、左右の傾げ、首の回転）、肩の上下、胴の回転、前後の傾き、胴の傾げ、手、腕（今回は足は配慮しない）だが、振りの質を損なわず抽出した仕草をどこまで少ないアクチュエータで再構築できることが課題である。ロボットの胴体の構造は、「かしら」を胴串に固定し、胴や腕は、肩板で支え、胴串で肩板を支え、胴串を腰関節経由で、支持台で固定する。外側の筐体骨格は肩板と一体化する。これらにより、首の胴の回転、肩の傾きが受動的に行える。一方、本稿で扱う振りは、行燈に手に寄りかかった演技のため、手の位置を行燈に固定し、手、腕などの部分を受動的に駆動することで、少数のアクチュエータで仕草を表現する(図 2)。

目・口・首の動作は、胴串に 3 台のサーボモータを配置し、糸で引くことで実現する。能動的に駆動する関節は模型用サーボモータで駆動し、受動に駆動する部分は、伝統的な糸操り人形を参考に糸にてつなぎ可動とするアーキテクチャとした[27]。



図 2: ロボットの筐体骨格

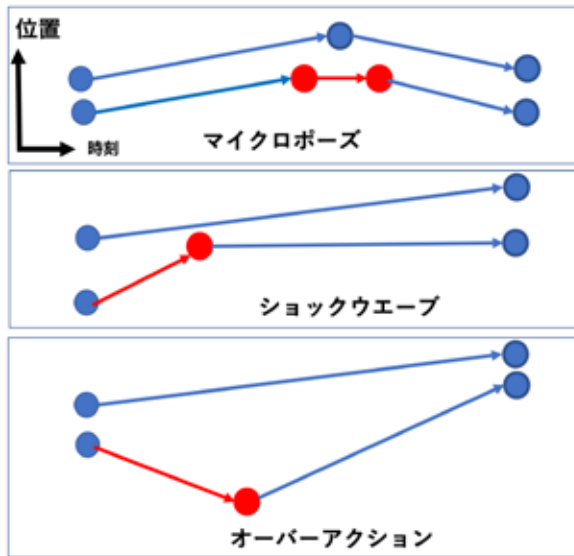


図 3: 振りを効果的に表現方法の模式図

### 3.2 OSONO の振りが必要なアクチュエータの数

OSONO の振りには、「艶容女舞衣・酒屋の段」中で、人形浄瑠璃で最もよく知られている場面の一つである“今ごろは半七様、どこにどうしてござろうぞ”と語られる、行燈に手に寄りかかって演じられる帰らぬ夫を待つお園のクドキの冒頭約 30 秒間をとりあげる(図 1)。この部分は、1 章に述べた、女らしさの表現の一つとして代表的な「くりず」の型を含んでいる。ここでは、相模人形芝居下中座[6][7]の実演[8]を収録し、振りの軌跡を OpenPose[9]で分析して特徴点として抽出したものをを用いる。この振りはシミュレータに既にマップされ有効性を確認している[10][11]。

この抽出・分析した振りを実機へマッピングするには、各関節の回転を、物理的に回転可能な範囲に伸縮し、時間的には特徴点の線型補間を行う。

### 3.3 浄瑠璃を参考にしたサービスロボットの振り

サービスロボットで振りを活用するには、振りの効果的な表現と、用いられる場面に即した多様な振りが必要である。ここで、効果的な振りの表現方法と、多様な振りを獲得する方法について述べる。

#### 3.3.1 効果的な振りの表現手法

振りを効果的に表現する方法として、項目番号(1)-(3)に詳述する。これらを模式した図 3 に示す。これらは、本実装で用いた振りの軌跡を分類し、それぞれの表現には名前をつけたものである。図 3 の各項目番号の表現について、上段が本節の示す表現を使わない場合の位置の変化の様子を示し、下段が本節で述べる効果的な表現を用いた場合の位置変化の様子を示す。下段の赤の部分は特徴的な変化を示している。

#### (1) マイクロポーズ

特徴点で同じ姿勢を一定時間持続する手法である。対象の特徴点を際立たせる効果がある。実際、一定時間持続しないポーズは動きの中に埋もれ認識されない。例えば、首を上下に振って「うんうん」と同意する仕草は、個々のピークでの持続がないと首が振動していると認識され、意味が伝わらない。また、「くりず」で顔を左に向けた場合、一定時間持続しないで次に顔を右に向けるとすれば、仕草の意味を汲み取ることができない。この一定時間の持続を、我々は「マイクロポーズ」と呼ぶ。頻繁に使われるので仕草の制御プログラムに組み込み、アクチュエータ毎に設定できるようにした。歌舞伎や舞踊などで使われる「決め」「見得」もこれに類すると考えられる。

#### (2) ショックウェーブ

関節の回転角を一定時間内で一定だけ変化させる場合の特徴的表現である。時間変化を一定にする制御をするのではなく、短時間の内に必要な変化を済ませ、その後は変化しないという制御の方法がある。これを「ショックウェーブ」と呼ぶことにする。ショックウェーブを振りに取り入れることで、特徴点の変化を明確にすることができる。例えば、「くりず」の開始に於いて首を下に振るが、この速度は演者によって違う。観客には速度の早い演技はメリハリがあると見える。しかしながら、早過ぎる変化をロボットで実装するには、慣性が大きくなりすぎ不安定になることがある。したがって変化を遅くする制御が必要になる。一方、遅過ぎる変化をサーボモータに与えると、動きがサーボモータの分解能を超えスムーズでなくなりゴツゴツする、あるいは、細かい停止が多数行われ慣性で動作が不安定になる。観客にとっては変化を感じられなくなる。これらの場合、ショックウェーブの考えで遅すぎる変化を集約できる。

#### (3) オーバアクション

関節の回転角を一方方向に回転させるとすると、その直前に関節を反対の方向に一回小さく振る。これによって動きが大きく見える。浄瑠璃の舞台上では、主遣いが出す合図に対応することもある。例えば、「くりず」の開始に際して、首を回転の反対方向に一瞬振り、腕を曲げて前に持ってくるに動きの、一瞬反対方向に振るといふ動きがこれにあたり、人形の他の演技にも多く見られる。オーバアクションは、1 つの関節の動きで表現できるが、2 つの関節で表現することで、アクションはより大きく表現される。例えば「うなづき」は、首の部位を前後に動かすことでも表現できるが、首の前後の振りと胴の前傾を合わせた 2 つの部位を動かすことで、仕草がより大きく見える。さらには、オーバアクションは、腕を移動する際に、最短距離で移動せず、円を描きながら大まわりに移動するときに現れる表現である。即ち、腕を下から上へ挙げる際に、直線で挙げず、肘の方向に振りながらあげる。

(1)-(3)共通に言えることは、動きの変化をより大きく明確にすることで振りを効果的に表現しようとする手法である。尚、本実装では、「くりず」の動きとは別に、自律的な目の瞬き、口の開閉、細かい傾きを付加し、同時動作に動作する関節の数を増やし、変化をつけることで、単純化を防ぎ、自然に見えるよう工夫している。これも、効果的に表現方法である。

#### 4 多様な振りの獲得

多様な振りを広範囲に収集・体系化する方法論と、実演記録、文献分析やシミュレーションで得られた知見を述べる。

##### 4.1 ロボットの振りの多様性

1章にて「くりず」を中心とした振りが OSONO で魅力的に実現できたことを述べたが、サービスロボットでは、これにとどまらず、使われる場面に即した多くの振りが必要である。例えば、訪問者と接するサービスロボットでよく使われそうな振りには、歓迎、呼び込み・注意喚起、指示・誘導、感謝、同意・うなずき、断る・否定、謝罪、困惑・驚く、依頼、客の機嫌を取る、取りなす、手を合わす、合図・目配せ、お辞儀をするなどが想定され、これらの多様な振りを獲得する必要がある。

振りについては、我々が既存研究[10][11]で論じたように、作者が表現したいストーリーやメッセージを作成し、それを演出者が舞台、舞台演出、床本(セリフ)に展開し、これらに即して細かい「振り(型、しぐさ)」を付ける。人形遣いは、セリフに合わせて人形を遣い、「歩く」「立つ」「座る」など基本的な動きや振りを表現する。基本的な動きには、登場人物の性質によって「らしさ」が付加される。型には「くりず」の様に長いものから、名前のない動き、セリフの1節に対応する比較的短いものがあり、これらが組み合わせられて1つの演技となる。このように振りはいくつかの生成段階を経て実現されている。

ただし、文献資料からこれらの多様な振りを獲得しようとしても、人形浄瑠璃では、先に挙げた、注意喚起、指示、断るなどのメッセージの分類に即して具体的な型や振りがまとめられた資料は存在しない。のみならず、振りについて記載された資料は極めて限られている。よって、様々なシーンで、人と相互にメッセージのやりとりを行うロボットの身体性のためには、既存の文献や文字記録、演技台本、動画記録、実演から人形の振りを収集した上で、それらを改めて体系化する必要がある。既存の人形芝居の文献では著名な外題や段や特定の人形遣いの一部分の演技を取り出して評論したものが一般的である。振りの生成段階によって利用できる資料は異なる。例えば、基本動作に付いた「らしさ」を表す振りや、短い振りでは、断片的な記録ではあるが、芸談の書[12][13]や研究書[15]が活用できる。また、後述するように歌舞伎[14]や日本舞踊など近い関係にある記録の活用しうる。

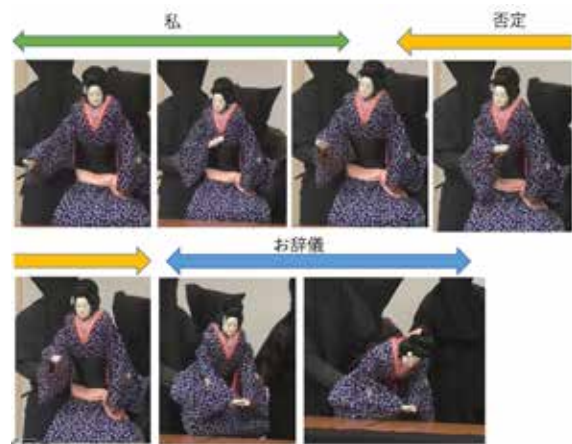


図4: 艶容女舞衣・酒屋の段-の実演(下中座)[8]における細かい振りの組み合わせ

##### 4.2 多様な振りの獲得方法

我々が振りを獲得する手順は次の通りである。(1) 外題の概要を調べることでメッセージ対応する振りを含む外題・段を見つける。実際、人形浄瑠璃には、多くの外題(演目)があるので、外題の概要から、見当をつける。既に知識のある外題の中から探すことも有効である。(2) 型の見極めには著名な出現演目や箇所を書いた資料[3][7]を活用する。(3) 対応する舞台シーンをピックアップする。これには、デジタル化した床本[16]をセリフの一部を用いてキーワード検索する、演技台本[8]を見る、演技を記録した文献[17][18]を確認する方法がある。(4) 実演あるいは動画記録をもとに確定する。(5) 実演記録より対象の振りを切り出し、分析し[10][11]、シミュレーションによる評価を行い、実機で振りを実現する。動きが明確ときは、実演記録を用いず直接シミュレーションすることもできる。

###### 4.2.1 断る・否定の振り

例えば、断る・否定のメッセージに対応する振りを探す場合、振りの粒度が細かいため、外題の概要から直ちに探すのは困難である。会話の多い演題を選び出せるにとどまる。一方、断る・否定に関連するキーワードとして「イエイエ」、「イエ」、「イエ／＼」を指定して、デジタル化した床本[16]をキーワード検索すると、セリフに否定を含むものが得られ、これに対応する動作を動画記録で確認することで「断る」に対応する振りを収集できる。

「イエイエ」のキーワードを含まない「断る」振りを探すには、演技台本や、演技を記録した文献、実演、動画記録を丹念に調べることになる。例えば、3.2で振りの実装の対象とした「艶容女舞衣・酒屋の段-」の“今ごろは半七様、どこにどうしてござろうぞ”の次のセリフ“今更返らぬことながら、私といふ者ないならば”の「ない」に対応して断る・否定の振りが



図 5: 妹背山婦女庭訓-山の段における  
雛鳥(右)に同意する侍女(左) (シミュレーション)

見出される(図 4)。4.2.3 でも振りの組み合わせについては詳述するが、この部分は、演技台本では、「うちみ」(内見)と記され、演技記録では、「両手を出して眺め、それから上手の屋台に向かって両手をついて辞儀をして」と記されている。すなわち、記録では、前後の振りの所作に着目されており、この所作に「否定」の意図が含まれることは記されていない。従って、演技台本や演技記録から直ちに探している振りに到達できるわけではない。具体的な振りは、右腕を右から胸前に持って来て、それを元に戻し腕を水平に振り、否定を表している。他の演者では、手のひらを反らしたり、手とかしらを逆方向に動かしたりすることで否定を強調している。否定は頻繁に用いられまた、強度も違うので、ここに挙げた振りだけでなく、首を振るもの、首と腕を同期に使うもの、腕と手を顔の前で振るなど様々な表現がある。

#### 4.2.2 肯定の振り

肯定のメッセージに対応する振りは様々なものがあるが、ここでは次の2つの振りについて述べる。(1)首を縦に振る仕草は広く用いられている。現代の日常生活でも普通のことである。「ウンウン」と繰り返すと、深く同意していることを表せる。この振りは OSONO に実装済みであり、後述の 5.評価に利用している。(2)膝を打つ仕草も「なるほど」「そうだ！」など強い肯定を表す時に使われる[28]。「妹背山婦女庭訓-山の段」[29]は、日本版のロミオとジュリエットと呼ばれ、両家の不和のために一緒になれない男女の悲劇の物語である。中央のヒロインの雛鳥が会えない寂しさを両脇の侍女へ「逢らぬ昔がましぞかし」(逢わなかった昔の方がよかったかも)と嘆くと、これに侍女が同意して、右手で自分の膝を打ち、中腰になりながら胸元に手をあてる。この2つの振りを合わせて「自分もそう思います」と同意を表している。動作は比較的単純なので目視でシーンをシミュレーションしたものを図 5 に示す。膝を打つ瞬間は短時間で、打った後戻り胸元に手をあてる動きが位置的に直線になるための、膝を打つ動作が目立たなくなる。このため膝を打って戻ったところで静止を長めにとり膝を打つ動作を際立たせてある。これは 3.3.1(1)で述べたマイ

クロポーズに相当する。

#### 4.2.3 細かい振りと組み合わせ

振りはセリフの1節に対応する短時間のものと、これらが組み合わせられて比較的長い一連の振りとなっている場合がある。4.2.1 で取り上げた例は、図 4 に示したとおり「私」、「否定」、「お辞儀」から構成されている。この部分は、「今更返らぬことながら、私といふ者ないならば、舅御様もお通に免じ」に対応し、セリフの意味を表している。振りの付け方にはセリフをそのままに表現する「当て振り」があるが、これはそれにやや近い。「うちみ」は、4.2.1 に記したとおり、両手を表して見る仕草で、身内を表すもので、ここでは自分(私)を表している。従って演技台本と演技記録は同じ振りを表していることがわかる。実演の記録では、右手を胸に持っていく仕草に対応している。このセリフに対する一連の動きは、他の人形遣いの演技でも同様である[19]。細かい振りと組み合わせに関する知識は、動画記録を見る場合も、実演を分析する場合も、振りを解釈することで一連の動画を場面、型や振りの単位で区切る際に役立つ。また、表現したいメッセージに対して振りを付ける際に有効である。

#### 4.2.4 作品上におけるサービスの業務シーン

外題の概要を調査することによりサービスの業務メッセージに対応する振りを含む外題・段を見つけた例をあげる。一般に、人形浄瑠璃のストーリーは時代物、世話物があるが、接客の場面は然程多くはない。ところが、「国言詢音頭 五人伐の段」[16][20]は外題の概要から、接客業務の振りが多く含まれていると推測できる。実際のストーリーは、段の前半は、高級料亭の上客(初右衛門:薩摩藩の要職)の悪口を書いた従業員の手紙が客に発覚し、関係者である遊女(菊野)と従業員(仁三郎)が、客の前に呼び出され、客に謝り、客が鷹揚に許している場面である。段の後半は、一旦許した客が騒動を起こすというものである。段の前半を「従業員のミスが原因の顧客とのやりとり」と解釈すれば、現在でも普通にありうる場面であり、多く汎用性の高いシーンといえる。使われているメッセージは、感謝、謝罪、困惑、依頼(懇願)、とりなしとなる。以下に、2分半程の客とのやりとりにおける動きを記す[20]。上手から初右衛門、菊野、仁三郎が並び座っている。

- 菊野が反省した様子で、うなだれたり、客を見たりしながら、客の発言をひたすら聞いている。振りは「くりず」。
- 時間をおいて、再度菊野が「くりず」で客を向こうとすると、客が「気遣ひしやるな」(もうミスは咎めない)と言って、菊野の肩を軽く叩く。菊野は、振りを止め、一度のけぞり、右手で打たれた左肩を抑え、決める。
- 菊野は右手を隣の仁三郎に差し出し、見る(許してもらったことを喜ぶ)。
- 菊野は初右衛門に向き直って一瞬擦り寄り前屈みで座る。



客は話続けるが、菊野はそのままほとんど静止。

- その後、上体をやや前に倒す。
- 菊野が「ヤレもつたいない」(感謝)と言うタイミングで、同意を求めように右腕を低く開きながら仁三郎に振り向く
- そして、初右衛門に向き直って近づき、「ええ、ええ、かたじけなや」と手を合わせる。
- (その必要はないと)客に手をはらわれ、菊野はお辞儀をする。

動きは、「反省してうなだれる」、「客を見る」、「お辞儀をする」、「客の機嫌を取る(手を合わせる、擦り寄る)、他の従業員(仁三郎)を見る(同意、目配せ)」「取りなす」が組み合わせられている。実際の振りは、「くりず」「向きを変える」「腕を差し出す」「手を合わせる」など少ない動きで表現されている。

また、座っている時も、首を振ったり、上半身を前後したり、肩を落としたり、結構動いている。これらの動きは、3.3 で指摘した自然に見せるための動きの一つと思われる。

#### 4.2.5 資料としての歌舞伎と日本舞踊

人形浄瑠璃の外題を歌舞伎が取り入れ、また、その逆の場合も多い。さらに、江戸時代、歌舞伎役者の子役に人形遣いが修行をつけ、また昭和のはじめまで、歌舞伎役者の演技全般への指導は、人形遣いが担っていたとの研究[21]がある。また、これらは振りを含め人形浄瑠璃と歌舞伎との関係が大変深いことを示しており、一般的に歌舞伎の振りに関する文献は、人形浄瑠璃の振りの研究の参考になると考えるのが自然である。一方、日本舞踊は、歌舞伎で舞踊の比重が高くなり、振付師が副業として、日本舞踊として教えたのが始まりとされており、日本舞踊は歌舞伎と極めて関係が深い。日本舞踊には、小寺融吉[22]、坪内逍遙の研究、標準日本舞踊譜[23]の策定など振りに関する文献があり、また、現代においても振りや型に関する研究が続いている。例えば、日本舞踊の踊り「羽根の禿」の振りは昭和 9 年の「をどりの型」[25]や日本舞踊における娘形技法の実証的研究[24]に収録されている。「羽根の禿」は人形浄瑠璃の演目[26]にもある。両者を比較すると一致度が高い。このように、歌舞伎や日本舞踊の振りの記録や文献を浄瑠璃人形の振りの研究に活用できることが期待できる。

#### 4.2.6 多様な振りの獲得方法の展開

人形浄瑠璃の振りの文字記録は必ずしも多くはなく、ロボットに即座に適用できるかたちで体系化されてはいない。しかしながら、演技の特徴分析や本節で述べた手法を組み合わせることで、上演にまつわる文字記録や随筆、演技台本、動画記録、実演を調査や、テキストの分析を行うことで、人形浄瑠璃の振りを獲得できることがわかった。さらには関連分野である日本舞踊や歌舞伎の体系や踊りの記述を、浄瑠璃

Table 1 Evaluation result by simulation

Test case	A	B	C	D
(1) No discomfort in the choreography	2.5	2.5	2.8	2.9
(2) Big choreography	2.6	2.6	2.8	2.6
(3) Choreography is clear	2.4	2.4	2.9	2.8
(4) Choreography quality	2.5	2.5	2.8	2.2
Average	2.5	2.5	2.8	

A, B, C, D: see descriptions in 4.

Table 2 Evaluation result by actual robot

Test Case	B	C	D
(1) No discomfort	2.8	2.9	2.7
(3) Choreography is easy to understand	2.5	2.5	2.7
(5) Attractive	2.1	2.1	2.3
Average	2.5	2.5	2.6

Test case symbols are the same as in Table 1.

Table 3 Evaluation result for the motions

(6) Eye blinking effective?	1.8
(7) Opening/closing the mouth?	2.3
(8) Fine head nodding effective?	2.2
(9) Distinguish easily choreography?	2.2

人形の所作の分析に適用できることがわかってきた。本稿では「くりず」の型をとりあげたが、ここで得られた手法を使い、人形浄瑠璃のより多様な振りを獲得していく。

## 5 評価と考察

浄瑠璃人形を参考にしたロボット OSONO について、振りが質よく、また少ないアクチュエータで実装できるなど、OSONO とその振りの有効性を、展示会での評価とアンケートでの評価により検証する。

### 5.1 展示会での評価

2019 年 10 月に東京ビッグサイトで開催された国際ロボット展にて、3、および 4 で述べた振りを実装した OSONO を展示した。その結果、多くの外国人や、子供連れ、若い女性などが立ち止まってロボットを眺めたり、撮影したり、ロボットそのものへの反応、振りへの反応など、身体性への反応が非常に良好だった。すなわち、高い集客効果を発揮する身

体性の効果を検証できた。

## 5.2 アンケートによる評価

アクチュエータ数の視点での OSONO の振りや、瞬きなどの効果を評価するためにアンケートを実施した。結果を Table 1, 2, 3 に示す。

Table 1 では、胴の回転、首の前後の傾きと胴の前後と左右の傾きの可動・固定と変化させたシミュレーション動画にて振りを提示し、アンケートへの回答を得た。テストケース A は、胴の回転・左右の傾き、首と胴の前後の傾きを可動とし、B は、胴の回転、首と胴の前後の傾きを可動とし、C は、胴の回転、首と胴の前後の傾きを可動とし、D は、胴の回転、首と胴の前後の傾きを可動とした。したがって胴のアクチュエータ数は各 4 軸、3 軸、2 軸、2 軸)である。Table 2 では、目の瞬き、口の開閉を行いながら、胴の回転、首の前後の傾きと胴の前後の傾きの可動・固定と変化させた実機にて振りを提示し、アンケートへの回答を得た。テストケース B は、胴の回転、首と胴の前後の傾きを可動とし、C は、胴の回転、首と胴の前後の傾きを可動とし、D は、胴の回転、首と胴の前後の傾きを可動とした。したがって胴のアクチュエータ数は 3 軸、2 軸、2 軸)である。Table 3 は、Table 2 で示したアンケートと同時に、目・口・うなずきについて回答を得たものである。評価は 3 回で評価者は合計 32 名の回答者である。1 回目の評価は、情報処理系修士の学生を対象とシミュレーションと実機、2 回目は情報処理系修士の修了生と教員で実機のみ、3 回目は、ロボット系の研究者を対象とし実機のみを用いた。

回答は、(1)動きに違和感がないか、(2)振りは大きいのか、(3)振りはよいか、(4)振りはわかりやすいか、(5)人を惹きつけるか、(6)瞬きは効果的か、(7)口の開閉は効果的か、(8)細かいうなずきは効果的かについて、5 段階(1.たいへん良い、2.良い、3.普通、4.そうはいえない、5.いいえ)で評点をつけてもらい、平均値を求めた。さらに、(9)振りの違いについては、3 段階(1.すぐ違いに気づいた 2.あまり変わらない、3.気がつかなかった)で評点をつけてもらい平均値を求めた。

結果は、Table 1 と 2 のいずれも、多くの回答者が振りの質を良いと感じている。一方、アクチュエータ数に関しては、実機では 2 軸と 3 軸で極端な評価の違いみられない。その中では首の前後の傾きと胴の前後の傾きを同時に可動にした B (アクチュエータ数 3 軸)の評価が高く、わかりやすく魅力的に表現できているといえる。とくに、4.2.2 で述べた肯定の振りについて「うんうん」と細かいうなずきの振りをいれた評価を行ったが、この所作に対して回答者は敏感に反応しており、肯定のメッセージを感じ取っていることがわかった。一方で、胴の左右の傾きを加えた A (アクチュエータ数 4 軸)で必ずしも評価が向上するわけではなく、評価した振りでは、アクチュエータ数 3 軸で十分な表現ができ、軸数(関節)を増やせば

人がロボットを魅力的と感じるとは限らないことがわかる。今回の評価では、胴および首の回転による表現について、著名場面の「くりず」と周辺の振りの例について評価した。今後、より多くのアクチュエータが必要な振りについても、比較的少ないアクチュエータ数で良質の振りが実現できる可能性がある。さらに、Table 1 と Table 2 の結果は類似しており、実機を用いずシミュレータだけでも類似の評価結果が得られることを示している。

Table 3 は、顔部の所作として、瞬き、口の開閉、細かい傾きの効果のアンケート評価である。結果はいずれも良いが、特に瞬きの評価は高い。胴と首、顔の所作をあわせると、アクティブな自由度 5 (目の瞬き・口の開閉・首の前後の傾き、胴の回転、胴の前後の傾き)にて質のよい振りが得られることがわかった。さらに、瞬きは人形浄瑠璃にはない所作であるが有効で、ロボットに実装することで、効果的な使い方が期待できる。

## 6 まとめ

サービスロボットの身体性の向上のため、我々は人形浄瑠璃を参考に、身体性のあるロボットと良質な「振り」の研究を行なっている。本稿では、国際ロボット展 2019 にて好評を得たサービスロボット OSONO の開発と人形浄瑠璃の代表的な型の一つである「くりず」の振りの演技分析と、実装の方法論について論じ、対象のシーンが、少ないアクチュエータ数でも質の良い振りを再現ができることをシミュレーションと実機にて検証した。

さらに、多様な振りを広範囲に収集・体系化する方法論を提案し、実演記録、文献分析やシミュレーションで得られた知見について論じた。今後、関連の方々との協力しながら、しぐさの範囲を拡大・体系化し、ロボットユーザインタフェースに生かしていく。

## 謝 辞

本研究は JSPS 科研費 20K12011 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 成田雅彦, “サイネージロボットの身体性を実現する ー 提案 浄瑠璃人形の比較を参考にした「かしら」のモデリング,” 産業技術大学大学紀要, No.11, pp 91-96, 2017. (日本語紀要)
- [2] 成田雅彦, “身体性のあるロボットのアクティブセンシングへの適用 「かしら」ロボットを拡張した浄瑠璃ロボの実現,” 産業技術大学大学紀要, No.12, pp 89-95, 2018. (日本語紀要)

- [3] 国立劇場(編), “文楽 国立劇場芸能鑑賞講座”, 国立劇場, 1975. (日本語著書)
- [4] 中川志信, “人間共存型ロボットにおける最適なモーションデザイン基本法則の抽出: 文楽人形遣いと共同研究から発見した人に感情を伝えやすい新構造ロボットを通して,” 大阪芸術大学紀要 藝術 36, pp139-146, 2013. (日本語紀要)
- [5] 中川志信, 他 “感情をモーションで伝えるロボットシステムの実機検証”, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, GS6-1, 2015. (日本語予稿集)
- [6] 昭和女子大学光葉博物館(編), “相模人形芝居の世界,” 昭和女子大学光葉博物館, 2016. (日本語著書)
- [7] 下中座(編), “相模人形芝居について: 芸態と特徴,” <https://seesaawiki.jp/sagami-ningyo-shibai/d/%b7%dd%c2%d6%a4%c8%c6%c3%c4%a7>. (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [8] 林美禰子, “相模人形芝居下中座における人形の遣い方,” ロボット学会ネットワークを利用したロボットサービス研究専門委員会, 2019. (実演, 及び配布資料)
- [9] Zhe Cao, et al., “Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields”, 2017 IEEE Conference on CVPR, pp 7291 -7299, 2017. (conference proceedings)
- [10] 成田雅彦, 中川幸子, “ロボットユーザインタフェースの提案と検討 - 人形浄瑠璃を参考にした身体性と振りについて-,” 産業技術大学大学紀要, Vol 3, pp61-66, 2019. (日本語紀要)
- [11] Masahiko Narita and Sachiko Nakagawa, “Physical properties of service robots which is referring to Joruri puppet,” IEEE/IIAI International Congress on Applied Information Technology, Vol.3, pp 158-162, 2019.(conference proceedings)
- [12] 山川静夫, 吉田玉男, “文楽の男,” 淡交社, 2016. (日本語著書)
- [13] 山川静夫, 吉田簗助, “文楽の女,” 淡交社, 2016. (日本語著書)
- [14] 六代目尾上梅幸, “女形の芸談,” 演劇出版社, 1988. (日本語著書)
- [15] 奥井遼, “〈わざ〉を生きる身体 -人形遣いと稽古の臨床教育学,” ミネルヴァ書房, 2015. (日本語著書)
- [16] 鶴澤八介, “床本集,” <http://hachisuke.my.coocan.jp/yukahon.html>, (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [17] 大西重孝, “文楽人形の芸術”, 演劇出版社, 1968. (日本語著書)
- [19] “文楽「艶容女舞衣」酒屋”, <https://www.youtube.com/watch?v=Av9miLovWGY> (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [20] NHK エンタープライズ(編), “人形浄瑠璃文楽 名場面選集 ~国立文楽劇場の30年~, NHK, 2014. (日本語 DVD)
- [21] 澤井万七美, “「人形振り」論考,” 大阪大学, 1999. (日本語博士論文)
- [22] 小寺融吉, “日本近世舞踊史,” 雄山閣, 1931. (日本語著書)
- [23] 東京国立文化財研究所, “標準日本舞踊譜,” 創芸社, 1966. (日本語著書)
- [24] 丸茂美恵子, “日本舞踊における娘形技法の実証的研究,” 日本大学, 2001. (日本語博士論文)
- [25] 小寺融吉, “をどりの型 巻2,” 小田原書房, 1934. (日本語著書)
- [26] 吉田光華, “羽根の禿 乙女文楽”, <https://www.youtube.com/watch?v=x9WU6cHFLVs> (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [27] 成田雅彦, 中川幸子, “人形浄瑠璃を参考にしたロボット OSONO の開発と「振り」の実装”, 日本ロボッロ学会学術講演会, 3K1-03, 2020. (日本語予稿集)
- [28] 中川幸子, 成田雅彦, “相互メッセージのための浄瑠璃人形の動作分析手法の検討”, 日本ロボッロ学会学術講演会, 3K1-02, 2020. (日本語予稿集)
- [29] NHK エンタープライズ(編), “人形浄瑠璃文楽名演集 通し狂言妹背山婦女庭訓,” Vol. 3, NHK エンタープライズ, 2011.(日本語 DVD)

# 人間の意思決定過程における態度変容に関する一考察

## — 態度変容を促す特殊詐欺対策の試案 —

武蔵恵理子\*・細田貴明\*

### A Study on Attitude Change in Human Decision Making Process

— Proposal of Special Fraud Measures to Promote Attitude Change —

Eriko Musashi\* and Takaaki Hosoda\*

#### Abstract

In recent years, the number of cases of special fraud in Japan has been increasing and has become a social issue. Special fraud is the general term for crimes of obtaining money, etc. By the means of transfer of money to a deposit account, or any other method, using a telephone or other communication means. Many people still have been deceived easily. I examined how people become victims of special fraud. Therefore, in this paper, we analyzed the attitude change of victims from actual examples. Then, we analyze, our scope is kind of decision making process could prevent special fraud.

Keywords: special fraud, decision making process, attitude change, dual process theory, user interface

#### 1 はじめに

近年、日本は2008年の1億2,808万人を境に総人口は減少している[1]。また、2018年には総人口に占める高齢者(65歳以上)の割合は28.1%となっている[2]。

そのような社会情勢の中で、オレオレ詐欺、架空料金請求詐欺、還付金詐欺といった様々な詐欺の被害者となる高齢者の割合も高くなっている。特殊詐欺とは、このような様々な詐欺をまとめた総称で、特に面識のない不特定の対象者に対して、親族等を装い、電話、またはその他の通信手段を用いて、預金口座への振込み、キャッシュカードの詐取、またはその他の方法により、現金等をだまし取る犯罪の総称のことである。

2019年のデータによると、特殊詐欺の被害額は全体で約302億円、認知件数は16,836件となっており、そのなかで高齢者が全体に占める割合は83.7%となっており、特に、高齢者が被害に遭う率が高い。特殊詐欺の認知件数に占める高齢者の割合の経年変化を図1に示す[3]。

特殊詐欺の発生件数は2017年以降、被害額については、2014年以降減少傾向であるが、未だ特殊詐欺被害は無くならず、被害防止の対策が課題となっている。特殊詐欺の認知件数と被害額の経年変化を図2、図3に示す[3]。

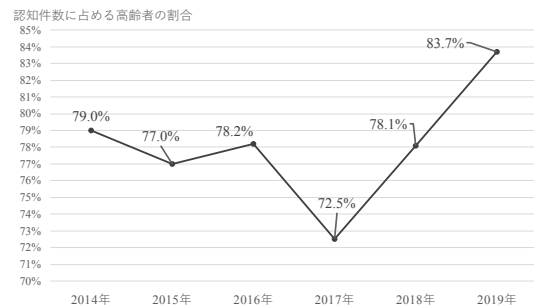


図 1: 認知件数に占める高齢者の割合の経年変化

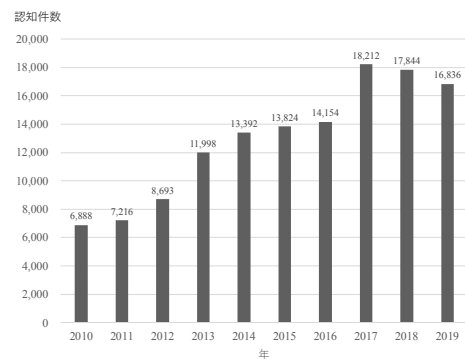


図 2: 特殊詐欺の認知件数の経年変化

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

註: 本紀要論文は、International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2020)で採択された論文を一部改変したもの。

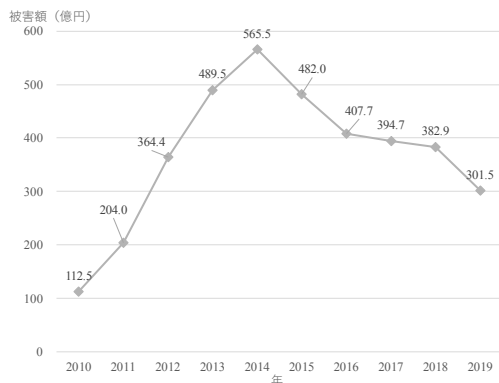


図 3: 特殊詐欺の被害額の経年変化

特殊詐欺の一つであるオレオレ詐欺の一例としては、犯人は、被害者に電話をかけ「オレだけど…」などと言い、電話を受けた被害者自らが「〇〇かい？」などと息子、または孫などの名前を聞き返し、以降、犯人はその息子、または孫などになります。そして「携帯電話を落としたので、新しい電話番号を教える」「カゼを引いて、のどの調子が悪い」などと、家族の元々の連絡先とは異なる連絡先を伝えたり、声の違いなどを不自然に思われぬように、カゼをひいているふりをしたりする。その後、日をおいて再度被害者に電話をかけ「〇〇だけど…」と、以前、被害者から聞き出した、息子、または孫などの名前を名乗ってなりすまし「株に手を出して大損してしまい、会社の金を使い込んでしまった」「今日中に●●万円を返さないと、会計監査が入ってクビになってしまう」などと、今すぐお金が必要だという話を切り出す。被害者は、実の息子や孫が大変な状態になっていると信じ込んでしまい、犯人の言うままにお金を振り込んだり、送ったりして、だまし取られてしまう[4]。シチュエーションは様々であるが、被害者の身近な人、警察官、または銀行協会職員等になりますと、緊急を要する案件であることを伝える点は、特殊詐欺に共通している点である。

このような特殊詐欺対策として、警察庁、全国銀行協会、各金融機関は、特設ページを設け、事例や対策を記載している。また、各金融機関、コンビニエンスストアに設置されているATM(Automatic Teller Machine, 以下ATMと呼ぶ)には、特殊詐欺に注意を促すポスターを掲示し、ATMの操作中画面には注意喚起用の画面を表示し、関係機関は協力して対策を行っている。被害者も、日頃から特殊詐欺の情報に触れ、気を配っていたにも関わらず、被害に遭ってしまっており、特殊詐欺の被害者は減少しない。

なぜ人間は、特殊詐欺の被害に遭ってしまうのか。

心理学の分野で、外的な要因によって態度が変化することを態度変容と呼んでいるが、態度変容について説明する理論のひとつに、二重過程理論をもとにしたモデルがある。二重過程理論とは、人間には二つの情報処理様式があると仮定する理論のことで、一般的に直感型の情報処理様式を

システム1、熟慮型の情報処理様式をシステム2と呼ぶ[5]。二重過程理論のうち2つの代表的なモデルである、PettyとCacioppoの精緻化見込みモデル(Elaboration Likelihood Model, 以下ELMと呼ぶ)及びChaikenのヒューリスティック-システムティック・モデル(Heuristic-Systematic Model, 以下HSMと呼ぶ)では、動機があり、認知処理能力が十分ある場合は、熟慮型の情報処理を行うとし、逆にそういった状況に無い場合、直感型の情報処理を行うと述べている。

本稿では、この二つのモデルをもとに、特殊詐欺の被害者の行動について、事例を通して分析を行う。そして、被害者がなぜそのような行動をとってしまうのかということ进行を考察する。加えて、如何にすればこの特殊詐欺の被害から脱却できるかの検討を行う。この検討結果を踏まえて、特に金融機関における窓口やATMを利用し発生する特殊詐欺被害を対象に、その防止に向けたICTを活用した施策の提案を行う。

## 2 態度変容に関する2つのモデル

態度変容とは、「ある問題(テーマ)に対する受け手の態度を変えさせること」を意味する、行動心理学や社会心理学で用いられる用語である。態度変容について説明する理論のひとつの二重過程理論から、代表的な2つのモデルについて説明する[6]。

### 2.1 PettyとCacioppoの精緻化見込みモデル(ELM)

人間の態度変容を説明するモデルとして代表的なモデルに、PettyとCacioppoの精緻化見込みモデルがある[7]。以下にELMのフローチャートを図4に示す。

ELMでは、システム1にあたる処理を周辺ルート、システム2にあたる処理を中心ルートとしている。中心ルートは、説得メッセージを精緻に吟味して判断するプロセスである。周辺ルートは、説得メッセージの与え手の信憑性、または魅力性など、説得メッセージの内容以外の周情的情報によって判断するプロセスである[6]。

ELMでは、人間が中心ルートで処理を行うのは、説得メッセージに対して、それを受け入れる動機があるか、または、そのメッセージを処理するだけの時間的・精神的余裕といった認知処理能力が十分あるときと述べている。一方、メッセージを処理する動機、または認知処理能力に余裕が無い場合、あるいは、両方とも欠けている場合には、メッセージの受け手は、周辺ルートで処理を行うと述べている。

さらに、メッセージを検討する動機があり、認知処理能力に余裕があるときの処理過程である中心ルートで決めた態度は、持続しやすいとされている。逆に、周辺ルートで決めた態度は変化しやすい。また、周辺ルートで決めた態度は、再考を促す何らかの要因があれば、中心ルートによる情報の再処理が行われる。

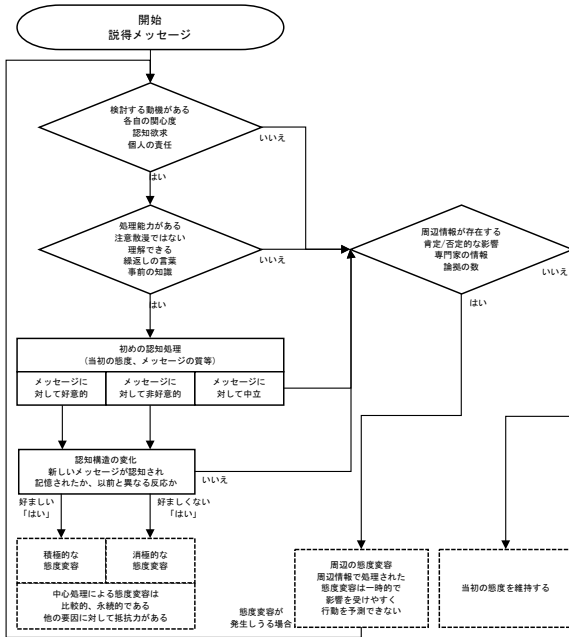


図 4: ELM のフローチャート ([7]をもとに筆者作成)

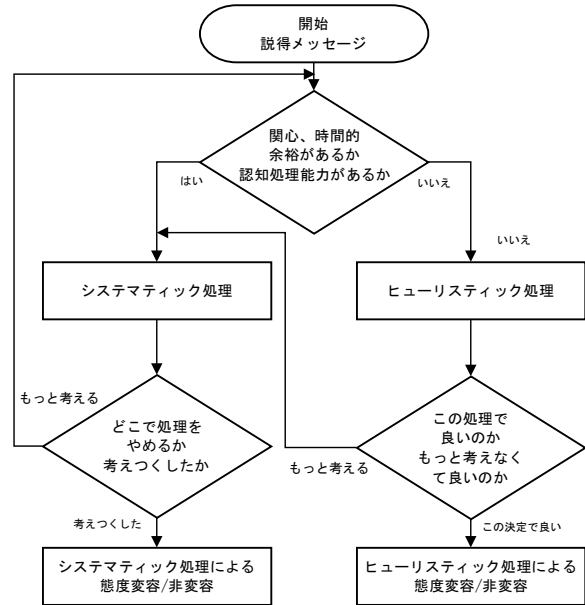


図 5: HSM のフローチャート ([8]をもとに筆者作成)

## 2.2 Chaiken のヒューリスティック・システムティック・モデル (HSM)

ELM と同時期に提唱されたのが、Chaiken のヒューリスティック・システムティック・モデルである [8]。HSM も ELM と同様に、説得メッセージの処理を二つの処理に分けて考えている。HSM では、システム1にあたる処理はヒューリスティック処理と呼び、システム2にあたる処理をシステムティック処理と呼んでいる。

HSM では、人間は正しい態度でいること、正しい結論を導き出したいと考えていると動機づけられており、説得メッセージが正しいかどうかを判断するモデルである。また、説得メッセージについて、自分にとって関心が高く、認知処理能力がある場合は、システムティック処理が行われ、どちらか一方でも欠如している場合には、ヒューリスティック処理が行われる。以下に HSM のフローチャートを図 5 に示す。

ヒューリスティック処理は、システムティック処理に比べて限られた情報で処理が行われる。Chaiken は、ヒューリスティック処理では、説得メッセージの受け手は、認知処理に掛かる負担を軽減するために、説得メッセージの詳細な内容を処理せず、メッセージの受け手の経験に基づいたヒューリスティクスを用いて判断していて、例えば、「専門家の言うことは正しい」「信頼できる人は正直な意見を述べている」「多くの人が賛同する意見は正しい」「長い説得メッセージならば情報量が多く、正しいに違いない」等の単純なルールを使用して、メッセージの有効性を判断すると述べている[9]。ヒューリスティック処理だけで情報を処理した場合、ELM の周辺ルートでの処理と同様に、反論メッセージを受け取った際には、

態度が変わりやすい。一方、システムティック処理は、説得メッセージを処理するために、多くの情報を処理する処理方法である。システムティック処理では、説得メッセージの内容をよく吟味し、結論を出す。

## 3 特殊詐欺被害における態度変容の事例

特殊詐欺の被害者は、犯人から「お金を振り込んで欲しい」等のメッセージを受け取った際に、どのような認知処理過程を経て、振り込んでしまうのか、本節では実際の事例をもとにひも解いていく。

### 【事例 1】(50代 女性)

最初に息子を装った者から「僕だけど携帯電話を落として番号が変わった」という電話がかかってきた。その際、息子の声と違う感じがしたので確認すると「オレオレ詐欺じゃないよ」と言われ、「犯人だったら自分からオレオレ詐欺と言うはずがない」と信用し、電話番号の登録を変更した。

翌日、その電話から「株を買うのに借金したが、今日中に返金しないと書類があつちに回る」と言われ、「もしかしたらヤクザが絡んでいるのかも知れない。息子の人生が台無しになっては大変」と思い、言われたとおり ATM から 98 万円を振り込んでしまった[10]。

### 【事例 2】(50代 女性)

警察官を名乗る男から「特殊詐欺の犯人を逮捕したところ、あなたの口座が犯罪に使われていた。早く手続きしないと口座が凍結され、預貯金を下ろせなくなってしまう。」と電話が

かかってきた。「キャッシュカードを作り替える必要がある。」「手続きのために今から銀行協会の者を行かせる。」等と言い、「手続きを早急に行うために暗証番号を教えてください。」と暗証番号を聞いてきた。また、「銀行協会の職員が伺った際には、身分証明証の確認を必ず行ってください。」と言ってきたので、すっかり安心してた。電話が切れた後、銀行協会職員を装った男が自宅を訪ねてきた。警察官を名乗った男が電話で説明したとおり、身分証明証(偽造されたもの)を確認した。銀行協会職員を名乗る者に、「警察の依頼でキャッシュカードを受取りに来ました。手続き終了後、新しいキャッシュカードをお届けします。」と言われたために、すっかり信じ込んでしまい、暗証番号を教え、キャッシュカードを渡したところ、預金 200 万円が引き出されてしまった[10]。

#### 【事例 3】(60代 女性)

息子を装った者から「知人女性を妊娠させてしまい、慰謝料が必要」と電話がかかってきた。女性は息子からの電話であると信じ込み、金融機関の窓口で 400 万円の振り込みを依頼した。その際、窓口担当者から「送金目的」と「送金先との関係」を尋ねられたが、犯人から事前に、『窓口で送金理由を聞かれたら、「自動車代金の支払いのため」、「送金先口座は息子の友人」と回答するように』と指示されていたため、そのとおり窓口担当者に伝えた。

それを聞いた窓口担当者は、自動車代金の支払いとしては不自然であると思い、再度、女性に確認したが、犯人から催促の電話がかかり、女性は焦っており、「とにかく早く振り込んで欲しい」と完全に信じ込んでいる様子だった。そこで窓口担当者は上司と相談し、別のカウンターへ案内。さらに詳しく話を聞くとともに、「特殊詐欺ではないか」と繰り返し説得するも、送金の意思は変わらなかったが、通報で駆けつけた警察官に説得されたことで冷静になり、女性はようやく特殊詐欺であると気づき、送金を取りやめた[10]。

#### 【事例 4】(80代 女性)

自宅に息子を名乗る電話があった。

「会社で事件を起こして上司からお金を借りた。代わりに返済してほしい。」と頼まれた。後刻、上司を名乗る男性から電話があった。「息子さんから聞いていると思うが、100 万円を返済してほしい。新型コロナウイルスの騒ぎでこちらもお金に困っている。すぐに返してほしい。」と言われた。指示通りに約 100 万円の現金を用意した。自宅で引渡すつもりだったが、再度上司から電話があった。

「自身は所用で行けなくなった。代わりに別の人が伺うので、自宅ではなく別の場所で引き渡してほしい」と言われた。返済するのであれば上司本人に手渡したいと伝えたが聞き入れられなかった。不審に思いながらも指定された場所に行き、若い男性に現金を手渡した。後刻、上司から電話があり、「約 100 万円は確かに受け取った。本日の夕方に領収書を届ける」と言われたが、来なかった[11]。

#### 【事例 5】(50代 男性)

携帯電話に若い男性から電話があった。「新型コロナウイルスの件で国から一律に 10 万円を給付することになったが、より早く手元に届けるために申請代行をする。マイナンバーカードなら1週間以内に確実に振り込まれる。5 月中旬までに 10 万円が入金される。通常マイナンバーカードを作るのには 1 カ月かかり、そうすると 10 万円をもらえなくなるかもしれない。マイナンバーカードの取得率が低いので、その手伝いをする。私もボランティアではないので申請手続きに 2, 3 万円の手数料はかかるが家に居ながらにして 10 万円がもらえる」と言われた。相手の名前を尋ねると「立ち上げたばかりなので正式名称がついていない」と言った。詐欺だと思い電話を切った[12]。

## 4 事例を踏まえた態度変容に関する考察

前項から、特殊詐欺に遭う被害者においては、認知処理能力が十分でない状況に追いやられ、直感型の情報処理を行うこととなり、熟慮型の情報処理を行うことができなくなっている傾向があることが行動事例から読み取れる。このような行動をとる背景を、前掲の態度変容に関する 2 つのモデルをもとに分析・考察を行う。

事例 1 では、被害者は、「お金を振り込んでほしい」という説得メッセージを犯人から電話で受け取った。その際、犯人は「株を買うのに借金をした」「今日中に返金しないと大変なことになる」等の情報も被害者に与え、メッセージを処理するだけの処理能力や時間的余裕を無くさせ、結果、被害者は、犯人に現金を振りこんでしまっている。これは、時間的余裕を無くしたことによって認知処理能力を失っている状態である。特殊詐欺の被害者は、周辺ルート、またはヒューリスティック処理によって、態度変容してしまったと考えることができる。

事例 2 では、警察官を装った犯人は「特殊詐欺の犯人を逮捕したところ、あなたの口座が犯罪に使われていた。早く手続きしないと口座が凍結され、預貯金を下ろせなくなってしまう。」と被害者に伝え、早く手続きをするよう促し、時間的余裕を無くさせている。結果、周辺ルート、またはヒューリスティック処理によって、態度変容してしまったと考えることができる。このことを明らかにすることとして、Chaiken は説得テーマに対する受け手の自我関与度と与え手の好感度について実験を行っている。実験の結果、自我関与度が低い場合(ヒューリスティック処理)、説得メッセージの論拠数にはあまり影響されず、与え手の好感度が高い場合に説得メッセージに賛成していたことがわかったと述べている。[9] 今回の事例でも、被害者は警察官からのメッセージと信じ込み、結果、犯人にキャッシュカードを渡してしまい、預金を引き出されてしまっている。Chaiken の実験結果は、この事例の結果をよくあらわしていると言えよう。

事例 3 においても、犯人は息子を装い、「知人女性を妊娠させてしまい、慰謝料が必要」と伝え、精神的な余裕を無くさせ、さらに催促の電話をかけ、時間的余裕を奪うことで認知処理能力を喪失させている。結果、被害者は周辺ルートやヒューリスティック処理による態度変容を行うことになったと考えることができる。

しかし、窓口の担当者が警察に通報し、駆けつけた警察官の説得により、冷静になり、送金を取りやめている。このとき、犯人からの電話によって、被害者は、一度は周辺ルート、またはヒューリスティック処理により態度変容していた状態であった。しかし、「警察官の説得」という要因が被害者に再考を促し、結果、中心ルートやシステムティック処理で再考を行い、特殊詐欺に遭うことを防ぐことが出来た事例と言える。

事例 4 では、新型コロナウイルスの感染が広がるなかで、人々は不安な状況にあり、精神的余裕がなくなっている状況である。その状況下で、犯人は息子を装い、「上司にお金を借りたが、新型コロナウイルスの影響で早く返金しないといけない」と被害者に伝えている。これは、精神的な余裕が無い状況に対して、さらに、メッセージを処理する時間的余裕を奪い、結果、被害者は犯人に現金を手渡してしまっている。

この事例でも、時間的余裕を無くしたことにより、認知処理能力を失っている状態である。被害者は、周辺ルートやヒューリスティック処理により、態度変容したと考えることができる。

事例 5 でも、新型コロナウイルスの感染防止への対策として、住民 1 人当たり一律 10 万円を給付する特別定額給付金に関連した詐欺の事例である。この事例でも、「給付金が早く受け取れる」と、被害者に時間的余裕を無くさせている。そして、周辺ルートやヒューリスティック処理によって、態度変容させることを促していると考えられる。

Petty と Cacioppo は、中心ルートを経て態度が変わる場合、与え手から与えられた情報を自分の頭の中でよく考え、今までの自分の態度とよく比較したうえで、どちらの態度を選択するかを決定することになると述べている[9]。

今回の事例でも、被害者は犯人からのメッセージを、周辺ルートやヒューリスティック処理によって処理している。しかし、被害者は、相手に名前を尋ね、「立ち上げたばかりなので正式名称がついていない」という回答を得たことで、被害者はメッセージを再考することができた。結果、中心ルートで処理を行い、特殊詐欺に遭うことを防ぐことが出来た事例と言える。

以上の 5 つの事例の分析を踏まえると、被害者は、特殊詐欺を行う犯罪者からのメッセージによって、認知的処理能力を失ってしまうことで、周辺ルートやヒューリスティック処理による態度変容を起こしていることがわかった。

しかし、事例 3 では、被害者は警察官に説得されたことで冷静になり、周辺ルート、またはヒューリスティック処理による態度変容ではなく、中心ルート、またはシステムティック処理によって再考するよう促された。また、事例 5 でも、「正式名

称がついていない」という回答をきっかけに、中心ルートによって再考を行い、犯人のメッセージを処理していた。

結果、被害者は、特殊詐欺の被害に遭うことを未然に防ぐことができています。

このことから、中心ルート、またはシステムティック処理による再考を促すことができれば、特殊詐欺に遭うことを未然に防ぐことが出来る可能性があると考えられる。

そこで、ICT を活用して、中心ルートやシステムティック処理による再考を促す施策について検討する。

## 5 ICT を活用した特殊詐欺対策の試案

前節の分析と考察をもとに、特殊詐欺を防止するための ICT を活用した対策の試案を検討する。

特殊詐欺を防止するために、電話の相手の音声録音する機能のついた電話機[13]や、ATM でスマートフォンを操作しながら振り込み操作を行った場合、画面上に警告メッセージを出力し、振り込み操作を強制的に遮断するソリューション[14]は、既に実用化されている。既存の対策は、特殊詐欺の犯人に対して、犯罪を思いとどまらせるような機能や、振り込み自体を遮断してしまう機能等、外部からのアプローチで被害を防止するソリューションが主であった。

しかし、事例の分析結果から、被害者自身が中心ルートやシステムティック処理で情報を処理することで、被害を防いでいるケースも見られた。既存の外部から被害を防ぐアプローチと合わせて、被害者側に気づきを喚起させることで、中心ルートやシステムティック処理による再考を促す、内部からのアプローチで被害を防止する必要があるのではないかと考えた。そこで、周辺ルートやヒューリスティック処理によって処理してしまったところから、再考を促す施策について、ICT を活用したソリューションの検討を行った。

### 施策①

ATM で取引を行う際に音楽が流れる機能を付加する。この音楽は各自が思い出の曲を設定することができるようにする。音楽は記憶とともに感情やその場の雰囲気も呼び起こすことができる、と Margulius も述べており[15]、家族との思い出等様々な思いを想起させ、再考を促す効果を期待する。

### 施策②

ATM で取引を行う際に、これまでの取引履歴と明らかに異なる取引を行おうとしている利用者を対象に、生体情報の一つである瞳孔の状態情報を取得し、瞳孔の拡大が起こっている利用者を検知する。このような利用者に対して、窓口社員が声掛けできるようにすることで、窓口担当者や警察官の説得で冷静になり、利用者に再考を促す。一般的に瞳孔が開いている状態は興奮状態であると言われており、この施策は、ヤン・ヴァレム・デ・ヘーが言う、以前の信念に反する



決断を行う場合、決断の過程で瞳孔が拡大する人間の特徴を活用した対策である[15].

### 施策③

特殊詐欺の被害に遭ってしまっている高齢者は、認知処理能力が十分に無い状態となっており、ATM やインターネットバンキングの画面に表示される、特殊詐欺の注意喚起文言を見落とす可能性が高い。さらに、高齢者は、若いユーザに比べて、自分が探しているものには無い情報や変更を見逃す可能性が高い[16]。そこで、高齢者が ATM やインターネットバンキングを利用する際には、画面に表示される注意喚起文言は、ボタン等を押下しないと消えないようにすることで、注意喚起の表示を必ず見るようにデザインすることで、高齢者自身に再考を促す施策が考えられる。

## 6 結論と今後の課題

本稿では、特殊詐欺の被害者の行動から、なぜ被害者は被害にあってしまうのか、分析を行った結果、被害者は、犯人からのメッセージによって、人間の認知的処理能力が失われていることがわかった。そのため、二重過程理論の Petty と Cacioppo の ELM の周辺ルート、または Chaiken の HSM のヒューリスティック処理による態度変容を起こしてしまっていることを明らかにした。

このことは、従来の研究で行われていない、特殊詐欺被害者の行動特性から、その被害にある原因を態度変容のあり方から明らかにするもので、今後の研究の方向性を見出した新しい発見である。

さらに、被害者が特殊詐欺の被害から脱却するには、中心ルート、またはシステムティック処理によって再考を促すことが必要であることを明らかにし、ICT を活用して、中心ルートやシステムティック処理による再考を促すための施策について、いくつかの試案を提示した。

今後は、試案の有効性を検証するとともに、特殊詐欺のような社会の課題解決に向けて、人間の行動の分析に基づく ICT の導入範囲や対象について、検討を行っていききたい。

## 参考文献

- [1] 総務省統計局,日本の統計 2019,  
<https://www.stat.go.jp/data/nihon/02.html>. (visited on 2019)
- [2] 内閣府,高齢社会白書,  
<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html>. (visited on 2019)
- [3] 警察庁,特殊詐欺認知・検挙状況等について,  
<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/sousa/sagi.html>. (visited on 2019)
- [4] 小宮 信夫,「増補版 犯罪に強いまちづくりの理論と実践」, p.87, イマジン出版株式会社, 2015.
- [5] 金子充「テーマ書評 (89) 二重過程理論」『マーケティングジャーナル』,日本マーケティング学会,第33巻3号,2014.
- [6] 細田貴明, 田畑智章「意思決定基準としての満足と納得に関する研究(2)-態度変容に関する二重過程モデルによる納得概念の検討-」,日本経営システム学会第63回全国研究発表大会予稿集,2019, pp.242-245.
- [7] Eagly, A. H., & Chaiken, S., *The psychology of attitudes*, Orlando, FL, US: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, 1983.
- [8] Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. "The elaboration likelihood model of persuasion," in L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology vol. 19*, San Diego, 1986, pp.123-205.
- [9] 今井芳昭,「信頼と説得の心理学—人は他者にどう影響を与えるか」, p.199, サイエンス社, 2006.
- [10] 株式会社ゆうちょ銀行,特殊詐欺等の犯罪事例について,  
[https://www.jp-bank.japanpost.jp/crime/crm\\_jirei.html](https://www.jp-bank.japanpost.jp/crime/crm_jirei.html). (visited on 2019)
- [11] 独立行政法人国民生活センター,新型コロナウイルスに便乗した悪質商法にご注意!,  
[http://www.kokusen.go.jp/news/data-n-20200403\\_1.html](http://www.kokusen.go.jp/news/data-n-20200403_1.html). (visited on 2020)
- [12] 独立行政法人国民生活センター,給付金・助成金に関連した相談事例,  
[http://www.kokusen.go.jp/soudan\\_now/data/coronavirus.html](http://www.kokusen.go.jp/soudan_now/data/coronavirus.html). (visited on 2020)
- [13] SHARP,防犯電話,  
<https://jp.sharp/phone/products/jdat95/>. (visited on 2020)
- [14] (株)日立製作所 金融ビジネスユニット,ATMでの振り込み詐欺被害を抑止する「携帯電話 電波検知ソリューション」,  
<https://www.hitachi.co.jp/products/it/finance/casestudies/channel/1709-joyo-bank.pdf>. (visited on 2020)
- [15] Susan Weinschenk,「続・インタフェースデザインの心理学」—ウェブやアプリに新たな視点をもたらす+100の指針, pp.51.69, 株式会社オライリー・ジャパン, 2016.
- [16] Jeff Johnson/Kate Finn,「高齢者のためのユーザインタフェースデザイン」—ユニバーサルデザインを目指して, p.116-118, 株式会社 近代科学社, 2019.

# 情報社会構築学へ向けて

前田 充浩\*

## Towards Studies of Informatized Society Building

Mitsuhiro Maeda\*

### Abstract

In the 21st century, we need to compile strategic frameworks of the informatized society building specially customized for developing states. The author tries to establish 'Studies of Informatized Society Building' based on Infocionomics and a Comparative Institutional Analysis. The basic system of this study is to compile five strategic framework models. The first is the base model applicable to all states. The second is the model applicable to 'highly industrialized' developing states. The third is the model applicable to 'industrializing' developing states, which indicates the optimal alignment of industrialization and informatization. The fourth is the model applicable to 'leap-frog' developing states, which indicates a process of informatizing the society and an industrial policy of establishing digital industries. The fifth is the model of 'nation building' developing states, including 'failed' states. The philosophy of the SDGs is 'leave no one behind'. Based on this philosophy, all five strategic frameworks should be applied simultaneously in order to align the informatized society building among developed states and developing states and consequently accomplish the 'global informatized society'.

Keywords : Informatization, informatized society, infocionomics, 'technium', digitization, integrated states, disruptive technology, X-Road, comparative institutional analysis

### 1 問題の所在

#### 1 研究の目的

本研究の目的は、発展途上国における情報社会構築のモデルを作成するための研究方法を、情報社会構築学 (Studies of Informatized Society Building) という新たな枠組みとして取りまとめることである。

21世紀の今日、社会の様相が大きな変容を遂げつつあることは多くの人々の共通の認識になっており、その変容の内容を、産業社会から情報社会への遷移として捉える論者は多い。

20世紀中においては、ダニエル・ベルは、20世紀第4四半期の世界に見られる変容を、「脱工業社会 (post-industrial society)」化としてモデルを構築した(注1)。アルビン・トフラーは、「第3の波」と呼んだ(注2)。

近年の例では、日本政府は、2017年、ソサエティ5.0論を発表した。これによると、人類の社会の形態は、ソサエティ1.0(狩猟採集社会)、ソサエティ2.0(農耕社会)、ソサエティ3.0(産業社会)を経て、ソサエティ4.0(情報社会)に到達し、更に今日ではソサエティ5.0(超スマート社会)への変容が進んでいるとする(注3)。

今日見られている社会の変容を、このように産業社会から情報社会への変容であると捉えるモデルは、この他にも枚挙にいとまがない。筆者はここで、これらのモデルに共通する問

題を取り上げたい。

これらのモデルは、産業社会構築が最も高度に進んだ先進国社会を対象にしたものであるという共通点を持つ。一方筆者は、21世紀における情報社会構築とは、成熟した産業社会構築に成功した先進国社会だけに課せられる課題ではなく、先進国、発展途上国の区別なく、地球上全ての地域において必要とされる課題であると考え、発展途上国においても、各国の事情に応じた内容で、情報社会構築に取り組みなければならない強い要請があると考え。

このため、今日の私達にとっては、成熟した産業社会を前提とした情報社会構築のモデルを構築するという課題に加えて、社会の状態に大きな違いのある発展途上国を対象に、それぞれの状態に応じた情報社会構築のモデルを構築するという課題に取り組むことも重要であると考えられる。現下では、後者の課題に対応するための取り組みは十分に進められているとは言い難い状況にある。この課題に対して、情報社会構築学という新しい研究分野を構築することによって対応しようとするのが本研究の目的である。

まずは、発展途上国という概念を明確にしておく。発展途上国の概念を明確に整理しているのは、国際開発金融の実務である。

OECD (経済協力開発機構: Organisation for Economic Cooperation and Development) の DAC (開発援助委員会: Development Assistance Committee) は毎

年「DAC List of ODA Recipients」(通称,DACリスト.)を発表している.OECD加盟国は毎年,自国が供与した ODA(政府開発援助:Official Development Assistance)の総額を OECD に報告しているところ,ODA の定義(注4)によると,ODA とは,先進国から「発展途上国に対して」供与される,平和目的の譲許的資金であるとされ,発展途上国の一覧が記載されているのが DACリストである.DACリストに記載されていない国または地域に対して供与された資金は,譲許性に関わらず,ODA とは見做されない.即ち,発展途上国とは DAC リストに記載されている国または地域であると定義される。

情報社会構築学もこの定義を援用する.情報社会構築学とは,DAC リストに記載されている国または地域において,情報社会構築を推進するためのモデルを構築する方法論,となる。

発展途上国という概念をこのように捉えると,以下の問題に直面することになる.第1は,数が多いことである.最新の 2020年版 DAC リストによると,発展途上国の合計は142か国・地域であり,これは地球全体の国家・地域の 3分の2を超えることになる.第2は,発展途上国に分類される社会の中での態様の格差が大きいことである。

DACリストは,基本的に一人当たり GNIを基準として構成されている.最新の 2020年版によると,発展途上国とは,一人当たり GNI(2016年)が12,235ドル以下の国または地域である。

発展途上国は4つのカテゴリーに分類される.第1は,一人当たり GNI(2016年)が1,005ドル以下で,かつ幾つかの経済指標が基準値以下の「後発発展途上国(Least Developed Countries)」であり,47か国・地域である.第2は,一人当たり GNI(2016年)が1,005ドル以下であるものの,幾つかの経済指標が基準値以上の「その他低所得国(Other Low Income Countries)」であり,2か国である.第3は,一人当たり GNI(2016年)が1,006ドルから3,955ドルの「下位中所得国(Lower Middle Income Countries)」であり,37か国・地域である.第4は,一人当たり GNI(2016年)が3,956ドルから12,235ドルの「上位中所得国(Upper Middle Income Countries)」であり,56か国・地域である。

DACリストは,発展途上国の分類に GNI及び幾つかの経済指標を基準として構築されており,発展途上国の態様についての大まかな見通しを得ることには有効であると考えられるため,情報社会構築学は,この DACリストを基盤とする独自の発展途上国のカテゴリーに関する分類を行い,それぞれのカテゴリー毎の情報社会構築のモデルの構築に取り組むこととする。

発展途上国のカテゴリー毎に別々の情報社会構築のモデルを構築する,という点に,情報社会構築学の最大の特徴がある.これは,情報社会構築に関するリニア史観と対比的な

ものとなる。

情報社会構築に関するリニア史観とは,地球上の全ての社会は,例外なく,先進国の例を倣って,まずは産業社会を構築し,次いで構築した産業社会を成熟させるというプロセスを経て,初めて情報社会構築に着手できるとする考え方である.この考え方に立脚すると,情報社会構築のモデルについては,先進国と発展途上国の峻別は原理的には必要ないことになる.成熟した産業社会だけが情報社会構築に取り組むことになるため,情報社会構築のモデルは,成熟した産業社会用のものが1つあれば足りることになるためである。

一方で,情報社会構築学のように,現時点で成熟した産業社会を構築している先進国のみならず,全ての発展途上国も同時に情報社会構築に取り組むことになると考えると,情報社会構築に関する多様なモデルが必要になることになる.発展途上国の中でも経済社会開発が進み,先進国に近い成熟した産業社会を構築している発展途上国は,基本的に先進国用のモデルと同様のモデルを用いて情報社会構築を進めることができる可能性がある.一方で,産業社会構築が途上である発展途上国では,産業社会構築と情報社会構築とを同時に進めるという課題に直面することとなる.更には,産業社会構築の目途が立っていない発展途上国では,産業社会構築を省いて情報社会構築を推進するという課題に対応しなくてはならないこととなる。

2017年4月1日に設立された東京都立産業技術大学院大学経営倫理研究所(Epistemic Research Institute of Social Ethics:ERISE)では,このような問題意識の下,2017年以来,発展途上国における情報社会構築のあり方に関する統一のテーマを設定し,連携するアジア,アフリカの諸大学,政府関係機関等との間で,毎年度(10月~翌年9月),「セミナー・キャラバン」と称して,連続共催セミナーを開催し,アジア,アフリカの協働研究者との間で,この問題に関する議論,協働研究を進めてきている。

2017年度は,統一テーマを「Developmental Strategies coping with the Middle Income Traps」と設定し,キルギス,カザフスタン,タイ,ベトナム,カンボジア及びインドネシアで合計23回の共催セミナー等を実施した(注5).2018年度は統一テーマを「Disruptive Social Changes on Blockchain」と設定し,ベトナム,インドネシア,イスラエル,ボツワナ,エスワティニ,スーダン,タジキスタン,ウズベキスタン,ラオス及びキルギスで合計44回の共催セミナー等を実施した(注6).2019年度においては,統一テーマを「An Advanced Methodology of Informatized Society Building」に設定し,インドネシア,ラオス,カンボジア及びベトナムで合計9回共催セミナー等を実施した(注7)。

これら3年間で合計76回の共催セミナー等における議論の結果,参加研究者の間では,現在の経済社会開発の程度に関わらず,情報社会構築は全ての発展途上国にとって

の重要課題であり、従って一人当たり GDP が低水準である等の理由により先進国同様のモデルを採用することが現実的ではない発展途上国においては、それらの発展途上国専用のモデルを構築することが急務であるということについて、強力な連帯感が醸成されてきている。3 年間に及ぶ様々な議論の結果、多くの知見が蓄積され、関係者の間で、これらの知見をベースとして、情報社会構築学 (Studies of Informatized Society Building) という新たな研究分野の構築に取り組もうとのコンセンサスが生み出されてきているところである。

## 2 情報社会構築学の基本的な枠組み

### 2.1 基本的な構造

情報社会構築学とは、発展途上国を対象にして、それぞれの発展途上国の経済社会開発の段階に応じた情報社会構築に関するモデルを組み立てるための方法論である。

基本的な構造は、以下のようなものである。

第1に、他の多くの研究に倣って、情報社会を産業社会からの遷移であると捉え、その遷移に関して、情報社会学近代化論の考え方を援用して構築した「局面整合性分析 (Phase Coherent Analysis : PCA)」という独自の分析モデルを用いる。

第2に、PCAに基づいて、情報社会構築に関する一般的なモデルをベース・モデルとして構築する。これは、発展途上国の特殊性を勘案していないモデルであり、成熟した産業社会を基盤として情報社会構築を推進するためのモデルである。

第3に、発展途上国を類型化し、各カテゴリーに対応する情報社会構築のモデルを構築する。

情報社会構築学では、発展途上国を以下のようなカテゴリーに類型化する。

第1のカテゴリーは、基本的に先進国と同様の成熟した産業社会構築を成し遂げている発展途上国である。このような発展途上国を、高度産業化段階発展途上国 (Highly Industrialized Developing States : HIDS) と呼ぶ。DAC リストの分類では、概ね上位中所得国の上位が相当する。

第2のカテゴリーは、現在、産業社会構築を推進中の発展途上国である。このような発展途上国を、産業化段階発展途上国 (Industrializing Developing States : IDS) と呼ぶ。DAC リストの分類では、概ね下位中所得国及び上位中所得国の下位が相当する。

第3のカテゴリーは、産業化を製造業の振興というプロセスで進めることが極めて困難であり、そのため産業社会構築も十分に進展していない発展途上国である。このような発展途上国を、非製造業発展途上国 (Leap Frog Developing States : LFDS) と呼ぶ。DAC リストの分類では、概ね後発発展途上国及び下位中所得国の中の一部が相当する。

第4のカテゴリーは、「失敗国家 (Failed States)」に典型

的に見られるように、そもそも十分な国家建設が完了していない発展途上国である。このような発展途上国を、国家建設発展途上国 (Nation Building Developing States : NBDS) と呼ぶ。DAC リストの分類では、概ね後発発展途上国及び下位中所得国の中の一部が相当する。

### 2.2 PCA

PCA とは、情報社会学近代化論及び比較制度分析に依拠しつつ、情報社会構築学の理論的基盤として筆者及び各国の協働研究者が構築を試みている理論モデルである。

情報社会学近代化論は、公文俊平が 2000 年に開始した情報社会学の基幹をなす研究の枠組みである。その内容は、公文俊平[2001]等を参考に要約するならば、凡そ 16 世紀半ば以降の近代化の動きを、近代化の出現局面である国家化局面、近代化の突破局面である産業化局面、及び近代化の成熟局面である情報化局面の3つの局面の重畳関係として分析していく手法であるということになる。

PCA においては、近代化、国家化、産業化、情報化、局面遷移等の主要な概念は、基本的に情報社会学近代化論のものをそのまま用いる。したがって、PCA においても、情報社会構築とは、基本的に、産業社会局面から情報社会局面への局面遷移として捉えられる。

情報社会学近代化論との比較では、以下の点に大きな違いを持つ。

第1は、研究対象を、最初から明確に発展途上国のみに限定していることである。このため、先に触れたように、情報社会構築を、情報社会学近代化論が前提としているようなリニアな捉え方以外にも複数の捉え方をすることになる。

第2は、PCA では、情報社会構築を近代化の産業化局面から情報化局面への局面遷移の中で捉えるモデルの枠組みは情報社会学近代化論に依拠するものの、局面及び局面遷移という概念については、情報社会学近代化論の考え方に加えて比較制度分析の考え方に依拠することにより独自の捉え方をする。なお、比較制度分析そのものを援用するのではなく、あくまで比較制度分析的な考え方をを用いるに留まることに注意が必要である(注8)。

具体的には、以下のようなモデルとなる。

局面については PCA では、比較制度分析における制度の概念を参考に、社会の中の枢要な諸制度が、以下の2つの条件を満たしつつ安定(均衡)している状態であると捉える。

第1の条件は、社会の中の枢要な諸制度が、それぞれ当該局面における主導価値 (basic value) との整合性を保つように (coherently) 構成されていることである。これを、価値整合性 (value-coherency) と呼ぶ。

第2の条件は、社会の中の枢要な諸制度が、それぞれ相互に制度補完性を持って安定(均衡)していることである。これを、補完性均衡 (complementarity equilibrium) と呼ぶ。

従って産業化局面とは、産業化局面特有の主導価値が存在し、社会の中の枢要な制度がその主導価値との価値整合性を保つように構成されており、かつそれらの諸制度が補完性均衡を保っており、それらの結果、社会の枠組みが安定している状態であることになる。情報化局面とは、情報化局面特有の主導価値が存在し、社会の中の枢要な制度がその主導価値との価値整合性を保つように構成されており、かつそれらの諸制度が補完性均衡を保っており、それらの結果、社会の枠組みが安定している状態であることになる。産業化局面から情報化局面への局面遷移とは、上記のように記述される産業化局面の安定した状態(均衡)が破壊され、新しい安定した状態(均衡)としての情報化局面が成立する過程であることになる。

各局面の社会の態様を決定する社会の中の枢要な諸制度として、PCA では、以下の3つを採り上げる。

第1は、テクノロジー、特に、情報共有と情報の加工／編集等による新たな智の創出に関するテクノロジーを運用するための社会的な制度である。情報社会学的な言い方をすれば、智の通有(通智)テクノロジー及び智の創造(創智)テクノロジーと呼べる。

テクノロジーを発達させ、維持運用するためには、研究者による研究だけではなく、産業化、制度化、社会化等多くの社会制度がシステムとして構築されていることが必要である。優秀な研究者が研究するだけではテクノロジーは発展、維持運用されることはなく、そのために必要な資金を回す必要があり、また様々な分野において産業として確立されることも必要であり、更にはそれらを実現するための法制度等も整備されることが必要である。研究開発分野における個別の技術の発展を支えるそれら広範な社会的諸制度から成るシステムを指す概念を、PCA ではテクニウム(technium)と呼ぶこととする。PCA で採り上げる第1の社会制度は、通智テクノロジー及び創智テクノロジーを発展、維持運用するためのテクニウム(通智＝創智テクニウム)である。

第2は、社会のガバナンスに用いられる、法律制度、政治制度、行政制度等であり、これをガバナンス機構と呼ぶことができる。

第3は、人々のライフ・スタイルを規定する、人々の内的規範(Social Ethics)である。言うまでもなく、人々の行動は、内的規範によって方向付けられる。内的規範が変化すれば、人々の行動はそれに伴い大きく変更され、結果として社会のあり方も決定的な影響を受ける。

人々の行動を決定する内的規範については、経済学で用いられている効用関数の考え方を採用することが効果的である。人々はそれぞれ内面に特有の効用関数を持っており、個別の行動については、その効用関数に従って高い効用をもたらす行動を選択する、というものである。

情報社会学近代化論においては、近代化の各局面におい

ては特有の主導価値が存在し、局面遷移によって社会において採用される主導価値は変化するとされており、PCA においても基本的にこの考え方を踏襲する。その上で PCA では、主導価値を、人々の内的規範である効用関数の評価軸としてモデルに内生化する。各局面においては、人々は、それぞれの局面における特有の主導価値を内的規範とする評価軸に則った効用関数を有しており、それに基づいて自らの行動を決定することになる。

以上のように、通智＝創智テクニウム、ガバナンス機構及び内的規範の3つの制度が補完性均衡を持ち、かつそれらが主導価値に整合性を保ちつつ安定している状態が局面であることになる。このような局面においては、比較制度分析の述べるように、各プレイヤー間では繰り返しゲームのナッシュ均衡が成立しており、そのことが局面の安定性をもたらしていると考えられる。

次に、局面遷移である。

局面遷移の契機を外生的な変化、典型的には破壊的(disruptive)テクノロジーの登場に求めると、モデルの構築は容易になる。日本政府のソサエティ5.0論は、局面遷移の契機を破壊的テクノロジーの登場に求めているモデルの典型であると言える。ソサエティ3.0(産業社会)からソサエティ4.0(情報社会)への局面遷移の契機は、インターネットに代表される情報通信技術の分野における破壊的テクノロジーの登場であり、ソサエティ4.0(情報社会)からソサエティ5.0(超スマート社会)への局面遷移の契機は、IoTによるサイバー・フィジカル・システム、AI等の破壊的テクノロジーの登場であるとされる。

情報社会構築学は、局面遷移が一定期間毎に必ず起きるとする情報社会学近代化論に依拠してモデルを構築しているため、局面遷移の契機を外生的な要因「だけ」に求めることはできない。比較制度分析においては、一旦成立したナッシュ均衡が変化することを内生的に説明することは困難であるため、局面遷移に関する内生的な説明には馴染まない。勿論、比較制度分析においても、制度変化(情報社会構築学における局面遷移に相当する)を内生的に説明するための様々な取り組みがなされているところである。例えば、アブナー・グライフ(Greif, Avner)はグライフ[2005]において、準パラメータ(quasi-parameter)及び制度強化(institutional reinforcement)／制度弱体化(institutional undermining)の概念を提示していることは特筆に値するものではあるものの、それを産業社会から情報社会への局面遷移にそのままの形で導入することは困難である。

このため PCA では、局面遷移の内生的な契機については比較制度分析から離れ、情報社会学近代化論において山内康英等が述べている、市場均衡の補正という考え方(注11)を採用する。これは、制度(局面)を主体型システムと非主体型システムの2層で捉えることにより、比較制度分析とは異なる

方法論で局面遷移が発生する理由を内生的に説明したものである。

局面とは、テクノロジー等が所与の条件で人々がそれぞれの効用関数に基づき効用を最大化しようとして行動する結果成立するナッシュ均衡としても捉えることができる。ナッシュ均衡が成立しているため、安定的な制度が出現する。

一方、制度に関して主体型システムと非主体型システムという考え方を導入すると、成立している均衡状態は非主体型システムであり、それとは別に主体型システムが存在し、その主体型システムがその均衡状態を評価し補正するという動きを想定することができ、それが局面遷移のメカニズムを内生的に説明することになる。均衡状態が主体型システムにとって望ましくないと評価され、主体型システムがその補正のための行動を取る場合には、破壊的テクノロジーの登場等の外生的要因がなくとも、当該制度は変更されていくことになる。

以上のことから PCA では、局面遷移については、内生的に生じる場合と破壊的テクノロジーの登場のような外生的な要因に基づく場合の両方を想定する。

内生的、外生的のいずれの場合においても、主導価値が変更され、通智＝創知テクニウムが大きく変化し、ガバナンス機構が大きく変化し、内的規範が大きく変化し、かつ通智＝創知テクニウムとガバナンス機構と内的規範の間で新たな補完性均衡が成立するに至れば局面遷移が達成されたことになる。このような考え方に基づくと、ソサエティ 5.0 論については以下のような評価をすることができる。

先に見たように、日本政府のソサエティ 5.0 論は、局面遷移を破壊的テクノロジーの登場という外生的要因によって説明するモデルの典型である。ソサエティ 3.0 とソサエティ 4.0 とを比較すると、確かに主導価値の変更、通智＝創知テクニウム、ガバナンス機構及び内的規範の大きな変更が発生し、かつ通智＝創知テクニウム、ガバナンス機構及び内的規範の間で新たな安定的な補完性均衡が成立していると見ることができることから、局面遷移を説明していると見ることができ、一方ソサエティ 4.0 とソサエティ 5.0 については、通智＝創知テクニウムにおいては相応の変化があることを認めるとしても、その他の分野では決定的な変化を見出し難く、現状では局面遷移を説明していることにはならないと考えられる。

外生的にせよ内生的にせよ、局面遷移が実現する場合には、ガバナンス機構の形態は大きく変更されることになる。この変更において PCA が注目するのが、比較制度分析におけるガバナンス競争の考え方である。

テクノロジー等が所与の条件下で社会にとって必要なガバナンス機能を提供するガバナンス機構の候補は1つではない。複数の候補の間でそれぞれが提供するガバナンス機能の有効性に関する競争が展開され、その結果、最も有効にガバナンス機能を提供できた形態のガバナンス機構が実際にガバナンス機能を提供する(言い方を換えれば、権力を掌

握する)ことになる。このようなメカニズムがガバナンス競争と呼ばれる。

### 3 情報社会構築学の情報社会構築モデル

#### 3.1 基本的な考え方

以上のような PCA の手法を用いて発展途上国の情報社会構築の進め方に関するモデルを構築するのが情報社会構築学である。具体的には、情報社会構築に関するベース・モデルを構築し、それを発展途上国の類型毎に修正する。まずは、ベース・モデルに関する検討を進める。

産業社会局面とは、産業社会段階における主導価値が成立して社会全体を覆っており、通智＝創知テクノロジーが産業社会段階のものであり、そのテクノロジーを維持、発展、運用するためのテクニウム(通智＝創知テクニウム)が成立しており、そのテクニウムと補完性均衡を持つガバナンス機構が成立しており、それらと補完性均衡を持つ内的規範が成立している社会の段階である。

情報社会局面とは、産業社会におけるものとは異なる、情報社会段階における主導価値が成立し、社会全体を覆っており、産業社会段階のものとは異なる通智＝創知テクノロジーが成立し、そのテクノロジーを維持、発展、運用するためのテクニウム(通智＝創知テクニウム)が成立しており、そのテクニウムと補完性均衡を持つガバナンス機構が成立しており、またそれらと補完性均衡を持つ内的規範が成立している社会の段階である。

産業社会と情報社会の基本構造、即ち、通智＝創知テクニウム、ガバナンス機構及び内的規範の3つの制度と、それらがそれぞれ一貫性を保つ主導価値は、それぞれ以下のように整理される。

産業社会の主導価値については、公文俊平の主張する通り、prosperity(経済的繁栄)である。社会の大多数の成員は、経済的繁栄を至上の価値と見做し、それを追求する人生を送る。産業社会を構成する3つの制度は、それぞれがこの経済的繁栄という主導価値と整合性を持つ。

産業社会を構成する通智＝創知テクニウムについては、以下のようにまとめられる。

産業社会とは、通智＝創知テクニウムに関して、インターネット、SNS 等が登場しない時代であり、その時代において通智(情報共有)のために用いられていたテクノロジーは、基本的に、マス(大量)メディアと呼ばれるもの、即ち印刷物と電波を用いたテレビ及びラジオである。印刷物は、典型的な平均費用逓減が見られ、印刷部数が大量であればあるほど単価が安くなる。このため、大資本を擁する大組織の情報発信力が大きくなる。テレビ及びラジオについては、言うまでもなく、大資本を擁する大組織の寡占となる。なおこの場合の大組織には政府を含める。産業社会の情報共有の基本的な構造は、政府を含めた大組織が発信する情報を、社会の成員が画一的に共

有する,というものであることになる。

マスメディア,即ち大量印刷技術とテレビ及びラジオというテクノロジーは産業社会の産物であり,それ以前の局面においては登場していなかったものである。マスメディアという破壊的テクノロジーの登場は,それ以前の局面から産業化局面への局面遷移の重要な外生的な契機となった可能性がある。

通智についてはこのように新しいテクノロジーが生み出されたのに対して,創智については,それ以前の局面と比較して破壊的なテクノロジーが活用されているようには見えない。基本的な手法は,引き続き人間が出席する会議における議論,即ち人間が言語を用いた議論を行うことにより新たな智を創造していくというものである。

勿論,議論によって効率的に新しい智を生み出すことができる手法については,様々な技術が開発されてきている。例えば,野中郁次郎等が明らかにしたように(注10),20世紀後半の日本企業の生産現場においては,従業員の間に保有されている暗黙知を形式知化するための方法論が確立していたとされる。また,川喜田二郎によって考案された KJ 法,ホワイト・ボードにポストイットを貼り付ける様々な手法等,例は枚挙にいとまがない。ただし,どのような手法を用いるにしても,人間が議論によって智を創造する,という基本的な様式に変更はなく,この意味では古代ギリシア等と比較して,決定的に違うことにはならない。人間による議論ではなく,AI が登場するのは,情報化局面になってからのことである。

産業社会のガバナンス機構については,以下のようにまとめることができる。

産業社会のガバナンス機構については,村上泰亮が開発主義国の政府の役割として列挙したもの(注11)が相当する。村上は,開発主義のプロトタイプとして,第1に,私有財産制に基づく市場経済を原則とすること。第2に,政府は,産業政策を実行すること,第3に,新規有望産業の中には,輸出指向型の製造業を含めておくこと,第4に,小規模企業の育成を重視すること,第5に,分配を平等化して,大衆消費中心の国内需要を育てること,第6に,農地の平等型配分をはかること,第7に,少なくとも中等教育までの教育制度を充実すること,及び第8に,公平で有能な,ネポティズムを超えた近代的官僚制を作ること,を挙げている。

情報社会学近代化論では産業化局面とは,製造業の企業が世界市場において「富のゲーム」(利潤拡大競争)を展開することを円滑化するために様々な社会制度が整備され,大きな社会的資源が投入される社会であるとする。製造業の企業が利潤を拡大するためには,経済活動に関する制度的インフラストラクチャーが整備されることが必要であり,また優秀かつ安価な労働者を調達するために,国内において,初等中等教育に加えて各種の産業人材育成に関する教育制度が構築されていることも必要である。

国民国家というガバナンス機構の形態は,以下の理由によ

り,製造業を振興するというガバナンス機能の供給に関するガバナンス競争に勝利したものと見ることができる。

第1に,経済活動に関する制度的インフラストラクチャーの多くは,法律によって整備されることになるためである。近代世界システムにおいては,強制力によって担保された法律は,基本的には国民国家を主体として運用される。複数の国家を対象とした合意を履行させることが大変に困難であることは,数多くの条約の実例が示している通りである。

情報社会学近代化論では,産業社会においては,産業企業という主体型システムが「富のゲーム」と呼ばれる利潤拡大競争を展開し,その結果(均衡状態)として世界市場という非主体型システムが構築されるとしている。「富のゲーム」の主体は民間部門の産業企業を想定している。一方,産業企業の競争力は,それらが所在する国民国家による支援政策(産業政策)の効果に決定的に依存する。産業企業は民間部門として他の国民国家に所在する産業企業との競争を展開している一方,国民国家は,自国内に所在する産業企業の国際競争力を高めるための支援について,他の国民国家との競争を展開している。

第2に,産業社会において提供されなければならない重要なガバナンス機能の1つが再配分であるところ,再配分として正当な「富のゲーム」の結果獲得した富を召し上げられることになる富裕層に対して再配分の必要性を納得させる理由としては,国民国家の *nation* という概念が,数少ない有効なものであるためである。富裕層が,貧者である他人を救うために私財を奪われるのは,貧者も自分もともに同じ国民国家における国民,例えば「同じ日本人」,「同じフランス人」であるためだ,という論拠である。

上記の2つの機能は,主権国家ではなく,国民国家でなくては果たすことができない。法律を中心とする制度的インフラストラクチャーの構築及び再配分機能は,機能としては,主権を有する政治体であれば可能ではあるものの,それが制度として安定するためには,「同じ日本人」,「同じフランス人」という同胞意識が存在することが決定的に重要であるためである。そのような,民族の概念を根拠に構築された同胞意識によって成立している主権国家の形態が国民国家である。

産業社会における内的規範は,経済学において通常の利用関数の評価軸とされている,経済的利益である。人々は行動を選択する場合,より大きな経済的利益が得られるものを選択する。

これに対して情報社会は,以下のように整理される。

情報社会の主導価値は,情報社会学近代化論に依ると,pleasure または共愉(*conviviality*) (注12)である。論者によって内容に差はあるものの,概ね,わくわくすること,愉しさ,等を中心とする概念となる。情報社会とは,3つの制度が,社会の成員の愉しさを増大するという価値に整合的に整備される社会であることになる。

共愉は、情報社会では、人々の内的規範、即ち効用関数の効用の評価基準として重要な意味を持つことになる。産業社会では人々は、より経済的利益が大きくなると予想される行動を選択するのに対して、情報社会では人々は、より大きな愉しさがもたらされると予想される行動を選択することになる。

次に、通智＝創知テクニウムである。

通智については、破壊的テクノロジーであるインターネット及び各種の SNS 等が登場した。これらのテクノロジーは、地理的、社会的な制約を超越し、無数のまとまりにおける無数の形態の分散型情報共有を可能にした。社会の成員は、同時に、数多くのまとまりに所属し、多くの異なる形態の分散型情報共有を行うことが、人類史上初めて可能になった。

情報社会においても、マスメディアの役割は相当強力に残っている。情報社会においても、マスメディアによる情報共有形態の構造は変わらず、大組織によって提供される情報の画一的な共有である。

したがって情報社会では、通智については、人類史上初めて登場したインターネット・SNS 等による分散型情報共有と、産業社会から継続しているマスメディアによる画一的情報共有とが混在するものと見ることができる。

創智については、現時点では、少なくとも2つの破壊的テクノロジーが登場している。第1は、インターネット・SNS 等である。これにより、地理的物理的な制約を超えて、低コストでの遠隔会議が可能になった。人間による議論、という手法自体は古代ギリシア等以来変わることがない手法であるとしても、地理的物理的制約がこれだけ根本的に超越されることは人類史上初であり、その影響は甚大である。

ただし、インターネット・SNS 等により地理的物理的な制約が超越されたことが実際に創智について革新的な効率性をもたらしているのかどうかについては、目下のところ、議論があり、情報社会学を始め多くの研究が進められているところである。公文俊平は、これらの技術は、社会の成員全てを新しい創智過程に導くものではなく、産業社会における産業化の進展が、社会の成員を、一部の富者と多くの貧民に階級分離したように、情報社会では一部の智民と多くの痴民の階級分離が進行しているとする(注13)。

第2の破壊的テクノロジーは、AI である。これにより、人類は人類史上初めて創智に関して、人間による議論という手法とは全く別の手法を手にする可能性が大きく開けた。

最後に、ガバナンス機構である。

今日の世界では、既に幾つかの形態のガバナンス機構の間でのガバナンス競争が展開されつつあるものと見ることができる。

### 3.2 情報社会におけるガバナンス競争

産業社会においては、ガバナンス機構の形態としては、国民の概念に基づく主権国家である国民国家が最も合理的で

あった。情報社会におけるガバナンス競争の候補としては、以下のものが考えられる。

第1は、産業社会における中核的なガバナンス機構の形態であった国民国家である。

第2は、統合国家(Integrated States)である。情報社会学近代化論は、これが 20 世紀後半以降に中核的な役割を担うことになると予想する。

公文俊平は前述公文俊平[2011]で、20 世紀半ば以降の統合国家化の過程を以下のように記述している。20 世紀半ばに開始される統合国家化の出現局面は、ヨーロッパ統合が中心となる時代とされる。21 世紀半ばに開始される統合国家化の突破局面は、アジア統合が中心となる時代とされる。22 世紀半ばに開始される統合国家化の成熟局面は、グローバル統合が推進される時代とされる。情報社会学近代化論では、統合国家の概念として、概ね10から数十か国を対象とするものであり、かつ EU の実例が示しているように、政治的な統合が相当程度進んだものを想定している。

第3は、国家の統合の範囲が更に拡大し、世界全体を覆うようになった国家の連合体である。今日見られる例としては、国際連合、各種の国際機関等がそれに当たる。

第4は、個人がそれぞれ所属する国民国家の桎梏を離れて国際的に連携するものである。典型的には、マルクス＝レーニン主義が主張した、労働者階級の国際的連携である。

マルクス＝レーニン主義の言う労働者階級の国際的連携については、今後のガバナンス機構の有力な候補となることは考えられない。しかしながら、同種の動きはその後も出て来ている。例えば 20 世紀末から 21 世紀初頭にかけて、日本では、従来は政府が担当していたガバナンス機能を、インターネットで連結した智民の連携が担当するようになるとする提案が多く出され、そのうちの幾つかにおいては実際の組織構築も進められた。こうした新しい動きは、外形上は、インターネットによってエンパワーされた(マルクス＝レーニン主義で言うところの)インターナショナルであり、インターということになる。

これらに加えて第5の候補として、情報社会構築学では、デジタル統合国家プラットフォーム(Integrated States Platform empowered by Digitization: ISPeD)と呼ぶものを考える。これは、既存の ASEAN(10 か国)、南部アフリカ開発共同体(16 か国)等の地域機構の枠組みを基盤として、加盟国間の政治的統合は一定の水準以下に抑えつつ、域内の電子政府のプラットフォーム構築を推進したものである。

インターネット、SNS、AI 等の通智＝創知テクノロジーの現状を勘案すると、情報社会におけるガバナンス機構は、ある種の電子政府の形態を採るものと考えられる。それらの電子政府を繋ぐプラットフォームについては、今日幾つかの例が出て来ている。

その中で特に注目すべきものは、エストニアが開発した X-Road である。X-Road の利点は、多くの国民国家で採用する



ことにより、コストを大きく抑えることができることである(ある種の、平均費用逓減)。技術及びコストの観点からは、電子政府のプラットフォームを各国毎に独自に構築することは合理的ではなく、今日の国民国家の枠を超えて、複数の国民国家が同時に同様のものを採用することが合理的である。電子政府のプラットフォームとして、技術的に X-Road が最も優れたものであるとは言えないとしても、世界で初めて同時に複数の国民国家で安価に実用に供される可能性を示したという意味で、X-Road の意義は大きいと考える。

即ち、X-Road「のような」電子政府のプラットフォームを地域機構全域で構築し、既存の地域機構の機能を増大する一方、政治的統合の程度はゆるやかなものに留めるものがデジタル統合国家プラットフォームである。

情報社会において求められるガバナンス機能については、以下のように整理することができる。

第1は、ガバナンス機構がガバナンスを開始する前提条件としての、社会全体を覆う個人認証システムの構築である(個人認証)。

第2は、社会の成員に対する各種の行政サービスの提供である(行政サービス)。教育、医療、安全等、政府が国民に提供することが求められる一般的な行政サービスであり、これは情報社会においても、産業社会、更にはそれ以前の形態の社会と同様、引き続きガバナンス機構によって提供されることが求められる。

第3は、社会の成員間のお互いの履歴・評価に関する情報共有システム(信用格付け)の構築である。社会の成員は、それぞれの社会の態様に依じて他者との関係を持つ。その関係は、安全保障上の関係であることもあれば、経済上の各種の取引の関係であることもある。情報社会では更に、複数の人間によるチームによってより大きな共倫を生み出すための関係が重要になる。これらに共通する問題は、初対面、見ず知らずの相手に対する評価の手法である。

比較制度分析の研究、例えば先述のグライフ[2005]では、社会の成員に対する信用格付けサービスの提供とガバナンス機構の形態に関する詳細な分析を行っている。これらの分析の対象は産業社会の時期に留まるものではなく、マグリブ貿易商の代理人契約、ヨーロッパにおける商人ギルド、ジェノヴァのポDESTA制等中世の分析にも及んでいる。

情報社会においては、情報社会特有の信用格付けシステムに関する需要が高くなるものと考えられる。

第4は、富(智)の再配分等市場の失敗を克服する機能であり、これをインクルーシブ機能、と呼ぶ(インクルーシブ機能)。

産業社会と同様に、情報社会においても経済的な格差が大きく拡大すると見られ、市場の失敗を補正する必要性は強いと考えられる。また先述の公文俊平[2011]の内容を繰り返すと、情報社会における最大の社会的資源は智であるところ、智そのもの、または創智手段の保有について、社会の成員の

間に大きな格差が生まれつつあり、産業社会において資本家と労働者の階級分離が発生したように、智民と痴民の階級分離が発生する可能性があるとしている。

即ち情報社会においては、経済的な価値(富)及び智の両面において、市場メカニズムにおいては大きな格差が発生する可能性がある。社会が安定するためには、市場均衡の結果を社会の成員が許容できる範囲の状態に補正することが必要であり、この補正を行うのがガバナンス機構である。

補正の内容は、再配分に限らない。後に述べる開発ファイナンス(development finance)の供給も、重要なインクルーシブ機能となる。

情報社会における少なくとも上記の4つのガバナンス機能を効率的に果たすことが、情報社会におけるガバナンス機構に求められる要件となる。

それでは、ガバナンス競争を展開する上記のガバナンス機構がこれらの4つの機能にどのように対応することができるのかについての検討を行う。

個人認証については、産業社会までは、国勢調査に代表されるように、人間を配してのヒアリング、手書きの文書の手作業による集計等の手法が採られてきた。このような手法(行政＝文書システム)を用いる場合には、対象は、政府の行政機構の所掌の及ぶ範囲、即ち当該国民国家の範囲に限定せざるを得ない。一方、これから新規に行う場合には、様々なデジタル技術を最大限に活用することにより、圧倒的な合理化が可能になる。

デジタル技術を用いて個人認証を行う場合には、平均費用逓減、即ち、対象となる人数が大きくなればなるほど一人当たりのコストが逓減するという現象が発生する。デジタル技術を活用しながら、その対象を、今日の国民国家の範囲に抑えることの合理性は、テクノロジー上は見当たらない。国民国家の人口は、概ね数百万人から数千万人であるところ、テクノロジー上は、それよりも遥かに大きな人数を取り扱うことが可能であり、また合理的でもある。

情報社会における主要なガバナンス機構の形態として情報社会学近代化論が主張するのは統合国家であり、情報社会構築学ではデジタル統合国家プラットフォームであるところ、両者はともに、現在の地域機構を対象としている。個人認証にデジタル技術を用いた場合の平均費用逓減を勘案すると、地域機構の範囲は、テクノロジー上はまさに手頃な大きさということになる。国民国家の範囲に限定した個人認証システムと地域機構全体を対象にした個人認証システムとをガバナンス競争の観点で見ると、コストの面で、後者の圧勝となる可能性がある。

教育、医療、安全保障等の行政サービスは、従来は、国民国家政府が供給することが当然であると考えられてきたものである。一方、デジタル技術を活用する場合には、再び平均費用逓減の効果により、国民国家の範囲を超えるより大きな範囲

で実施することが可能になり、かつコストが大きく抑えられることになる。

医療については、電子カルテの運用等に基づく医療の電子化により、国民国家の範囲を超える医療サービスの提供が既に可能になっている。

実例としては、エストニアとフィンランドの間の医療情報互換システムがある。2018年にエストニアとフィンランドは医療情報のデータ接続を実施した。これにより、フィンランド市民はエストニア国内の薬局で薬品の処方を得ることができる。更にフィンランドは、他のEU諸国との間での同様の医療情報互換システムの構築の準備を進めている。

一方教育(ここでは義務教育である初等中等教育、高等教育は除く。)については問題は複雑であり、平均費用逓減のコストの面から直ちに地域機構に基づくガバナンス機構に軍配を上げる訳にはいかない。

今日成立している国民国家の多くにおいては、初等中等教育の制度を構築した時期は、国家化に関する国民国家建設の時期と符合する。国民国家建設においては、日本人、フランス人、のような「国民」という概念を社会の成員に浸透させることが最重要の課題の1つであった。明治政府による日本という概念、日本人というアイデンティティの構築と浸透のための義務教育制度構築の努力については広く知られているところである。

即ち、多くの国々において初等中等教育が国民国家による義務教育として行われたのは、初等中等教育において、算数、理科等の初等中等教育としてのカリキュラムの教育と、国民という概念の浸透という2つの機能に同時に対応しようとしたためであると考えられる。国民という概念を浸透させるという機能を実施する主体は、絶対に国民国家でなくては不可能である。

産業化においても、先に見たように、中心的な活動を担うのは、民間企業である産業企業ではあるものの、実際にはこの競争は、自国の産業企業の国際競争力を高めるための国民国家間の開発主義競争でもある。産業企業と国民国家政府は、PPP(官民協調)と呼ばれる特別の関係を構築し、共に手を携えて、世界市場において他の国民国家のPPPとの競争を展開しているのである。この競争の中で、初等中等教育は、自国企業で活躍する優れた労働者を供給するという意味において、国民国家による産業企業の支援(産業政策)の重要な役割を果たしてきた。

このように、産業社会における初等中等教育というガバナンス機能を国民国家が独占的に供給して来たことには、相応の理由があったものと見ることができる。

したがって、情報社会において初等中等教育というガバナンス機能を供給するガバナンス機構を決定する要因は、情報社会における国民アイデンティティの動向であることになる。

情報社会においては、国民アイデンティティは無用の長物

になり、人々は直ちに地球全体への帰属をアイデンティティとするようになる、と考えることは危険である。国民アイデンティティには様々な複雑な効果があり、それらを無視して世界全体の連結にアイデンティティを求める方法論が危険であることは、20世紀における大きな努力にも関わらず、「万国の労働者よ、連帯せよ。」の政治的スローガンの達成状況が示しているところである。

従って、情報社会における国民アイデンティティのあり方については慎重な検討が必要であり、何らかの地理的、民族的、歴史的紐帯に基盤を置くアイデンティティが存続する可能性が高い。一方で、そのような地理的、民族的、歴史的紐帯に基盤を置くアイデンティティのあり方が、「国民」アイデンティティに限定されるかどうかについては議論の余地がある。

日本の例を採ると、地理的、民族的、歴史的紐帯に基盤を置くアイデンティティは、江戸時代には藩という単位で構成されていた。それを、日本、という概念で置き換えることが、明治政府の行った国家化の重要な機能であった。即ち、近代化において人々が地理的、民族的、歴史的紐帯に基盤を置くアイデンティティを保持することは一般的に見られる傾向であるとしても、その範囲の設定については相当程度の自由度がある可能性がある。

情報社会構築学では、新たな範囲として、地域機構の範囲を提唱し、検討を進めている。

目下、研究を進めているのはASEANであり、ASEAN加盟10か国の個別の国民国家に関するアイデンティティに加えて、ASEANそのものに対するアイデンティティ、即ちASEANity(ASEAN性)の構築を進めてはどうかという提案である。これについては、ASEANの中核的な会合で提言を行ったところである(注15)。

ASEANの中の数か国を含め、世界の多くの発展途上国においては、そもそも国民国家に関するアイデンティティは、20世紀の独立、国家建設の過程で人為的に創出されたものである側面は否定できない。特に、かつて欧米諸国の植民地であった地域が、地理的に植民地の枠組みを踏襲したままで独立して国民国家を構築しようとする場合には、相当なアイデンティティの創出が必要となった。20世紀は、世界各地でこのような国民国家に関するアイデンティティ創出の努力が行われた時代であった。情報社会構築学の提唱する地域機構の範囲を基盤にするアイデンティティ(地域機構アイデンティティ)の創出は、このような国民国家に関するアイデンティティ創出の努力の延長線上にあるものである。

地域機構アイデンティティの創出においては、個人認証に関するデジタル統合国家プラットフォームの仕組みが大きな効果を発揮することが期待される。上記ASEANの会合で発表し、ASEAN Vision2040に掲載された筆者が提案している具体的な方法は、クロス市民権(cross citizenship)、というものである。

市民権の取得をデジタル政府のプラットフォーム上で可能にすることで、物理的に領土の中にはいない、世界中の人々に市民権を付与するシステムは、既にエストニアが実施している(e-Estonia)。このシステムを援用することで、例えばASEAN 域内では、人々は、自国の市民権に加えて、他のASEAN 諸国の市民権をも得ることが物理的には可能になる。例えば、タイ国民が、タイ国民としての市民権に加えて、マレーシアの市民権、インドネシアの市民権等をも重疊的に取得していく、というものである。

地域機構内の他の国民国家の市民権を重疊的に獲得することは、ある国民が他の国民国家へ行った場合に、行った先の国民国家の行政サービスを受けられ、また「外国」企業投資規制等の外国人に対する規制を回避できる等、多くの利点がある。結果として、地域機構内の大半の市民が、地域機構内の他の大半の国民国家の市民権を獲得するに至れば、EUのような過程を経ることなく、市民権に関する限りにおいては実質的な政治統合が実現されることとなる。

以上のことから、情報社会における行政サービスに関するガバナンス競争の趨勢は、特にテクノロジーの態様を重視する観点からは、国民国家よりも地域機構を基盤に置く形態(統合国家またはデジタル統合国家プラットフォーム)に有利に進行すると考えることも不可能ではない。

次いで、インクルーシブ機能である。情報社会構築学の枠組みでは、インクルーシブ機能の中では、富の再配分と、開発ファイナンスの供給に着目している。

産業社会の市場均衡においては人々の間の富の偏在が大きな問題となり、その補正はガバナンス機構にとって極めて重要な課題となった。20 世紀後半を揺るがした東西冷戦(チャーチルの「鉄のカーテン」演説の 1946 年からマルタ会談の 1989 年までの 43 年間)は、富の遍在の補正方法を巡る資本主義体制と社会主義体制の間のガバナンス競争であったと見ることが出来る。体制を問わず、大半の国民国家政府は 20 世紀を通じて富の再配分を大規模に展開し、大きな成果を収めた。

情報社会においても、この課題に対するガバナンス競争が展開されることとなる。

有力な候補は、産業社会同様、国民国家である。国民国家は、産業社会において実施してきた手法と同様の手法を用いて引き続き有効に富の遍在の補正というガバナンス機能を果たしていくものと見られる。

地域機構がこの機能を有効に果たすためには、相当程度の政治統合が必要となる。この機能に関しては、情報社会構築学が提案するデジタル統合国家プラットフォームの有効性は明らかなものとはなっていない。

地域機構をベースとして政治統合が高度に進んだ状態が統合国家であり、今日目にするのできる実例は EU である。EU においては富の遍在の補正を国民国家の範囲を超え

て実施しようとする様々な政策が展開され、それに対する反発も各所で生まれ、ギリシア、イタリア等の経済危機、BREXIT 等の政治的動きが出て来ているところである。

それらの動きは、国民国家の範囲を超えて富の遍在の補正を行うことの困難さを示している。1950 年のシューマン宣言から 40 年間以上に亘る取り組みを続けて 1992 年に成立した EU においてすらこれらの大きな困難が続出しているという事実は、情報社会におけるガバナンス競争の趨勢に重要な示唆をもたらす。

それでは、地域機構を更に拡大した地球大の国際的連携は、有力な候補になるのだろうか。今日見られつつある富の偏在は、経済のグローバリゼーションに伴い、グローバルに発生していることを勘案すると、その可能性の検討が必要となる。

国際的連携について、国際連合等に代表される何らかの国際機関を期待することは、今日のそれらの現状を勘案するならば現実的ではないことは明らかである。国際機関は、基本的には国民国家の国際的「連携」であり、国民国家の国益から独立した運営は実質的には実現していない。

その中で注目されるのは、富の再配分について 20 世紀半ばから半世紀以上に亘って実績を積んでいる OECD-DAC における ODA (政府開発援助: Official Development Assistance) の取り組みである。

OECD 加盟国は、発展途上国に対して、ODA として定義される平和目的の譲許的資金を、先に見た DAC リスト掲載の国または地域に対してできるだけ多く供与することが要請されている。OECD 加盟国は何れも一人当たり GDP が一定額以上であること等の先進国の基準を満たす国々である。即ち ODA とは、国民国家単位で見した場合の国際社会における富裕層である先進国が、貧困層である発展途上国に対して行う富の再配分機能としての側面を持つと見ることが出来る。開発援助の実務家の中では、1970 年代に ODA 増額の国際的コンセンサスとして GDP の 0.7% という目標が定められたことを根拠として、各国における ODA の一層の増大を働きかける声が強いの。

一方で、この方法の有効性については、以下の問題がある。まずは、金額の問題である。

再配分のために必要な金額について正確に算定することは困難であるものの、日本政府の例を参考に考えると、少なくとも GDP の数%程度であると考えられる。ODA の対 GDP 比の 0.7% 目標は、一部の北欧諸国等では実現されているものの、日本、米国を含む主要国ではそれを大幅に下回る 0.2% 程度となっている。開発援助実務者の努力にも関わらず、各国が今後 ODA を急激に拡大する可能性は殆どないと言える。

金額の問題に加えて、原理上の問題をも指摘することができる。

国民国家内における再配分も ODA も、共に資金の支出

者は国民国家政府である。違いは、国民国家内における再配分は国民アイデンティティを根拠にするものであり、ODA は、グローバルな国際的連携というアイデンティティを根拠にすることである。

一方実際には、ODA の実務においても、グローバルな国際的連携というアイデンティティよりも国民アイデンティティが強調されている。そのことを示すのが、日本政府が 2015 年 2 月に閣議決定した開発協力大綱である。これは、日本政府の財政から ODA を支出することの正当性を日本政府として日本国民に対して述べたものである。

その内容は、外交及び経済上の日本の国益の観点から ODA を支出することを正当化するものとなっている。外交上の国益とは、ODA の支出によって国際社会の安定に努め、かつ国際社会における日本のステータスを向上させることは日本の国益に合致するということである。経済上の国益とは、ODA の支出によって発展途上国の経済社会開発を推進することは、日本企業への裨益を生むということである。開発援助関係者が「地球益」と呼ぶ、日本の国益とは関係のない国際社会の利益についての記述もあるものの、補助的な位置付けに留まっている。

これらのことから当面は、再配分の根拠としては国民アイデンティティを超えるものの登場を期待することは現実的ではないことになる。国民アイデンティティに基づいて再配分を実施する主体は国民国家であることから、21 世紀の情報社会においても、引き続き有力なガバナンス機構としての国民国家の役割は存続するものであると考えることができる。

一方、開発ファイナンスの供給については事態が異なる。情報社会においては、開発ファイナンスを国民国家の範囲に限定することなく供給することが物理的には可能になってきており、供給対象の範囲として、地域機構の枠組みは有力な候補となる。

開発ファイナンスとは、市場均衡における供給量が社会的に適正な (socially optimal) な量を大幅に下回るという市場の失敗が発生する分野に対するファイナンスである。典型的にはインフラストラクチャー・ファイナンス及び中小企業ファイナンスである。道路、電気、水道等のインフラストラクチャーは、莫大な投資資金が必要になる一方、その投資資金を回収するために料金を高く設定すると消費量が大きく下がり、またそもそも政治的に高い料金を設定できない等の理由により、十分な収益を得ることが困難である。即ち、儲からないため、民間企業による投資は少なくなる。一方でインフラストラクチャーは社会にとって絶対に必要なものであるため、誰かが投資をしなければならない。中小企業ファイナンスも同様で、中小企業ファイナンスは、情報の非対称性(金融機関が中小企業の実態を把握するためには莫大なコストがかかる)及びビジネス規模が少額であることから市場の失敗が発生し、民間の金融機関は儲からないため、十分な量のファイナンスを供給するこ

とは困難である。一方で中小企業の振興は社会にとって重要な課題であるため、中小企業の振興のために誰かがファイナンスを供給しなければならない。

これらの分野に対するファイナンスが開発ファイナンスと呼ばれる特殊なファイナンスである。市場の失敗を克服するため、市場均衡によって決定される金利よりも大幅に安い金利が設定され、譲許的 (concessional) ファイナンスとなる。

ガバナンス機構にはこのような開発ファイナンスの供給が求められ、その供給に関するガバナンス競争が展開されることになる。産業社会においては、インフラストラクチャー・ファイナンスについては、巨額で、かつ長期のファイナンスが必要になることから、事実上国民国家が独占的に供給していた。国民国家はインフラストラクチャー・ファイナンスを供給するための政府系金融機関を設立し、利子補給制度等を構築して政府財政資金を投入した。日本の財政投融资のように、そもそも政府財政の制度の中にインフラストラクチャー・ファイナンスを担う制度を構築した例もある。

20 世紀後半以降では、インフラストラクチャー建設に関して、多くの発展途上国は、自国政府だけでファイナンスを行うことは困難であるため、世界銀行等 MDBs (多国籍開発金融機関: Multilateral Development Banks) または先進国の ODA に相当の割合を依存している。発展途上国時代の日本も、東海道新幹線、東名高速道路の建設等においては、世界銀行からの融資を受けた。

20 世紀後半に多くの MDBs が発展途上国に対して供給したファイナンスの総額は膨大であり、発展途上国の経済社会開発に果たした役割は大きい。一方で、情報社会構築学の整理によると、産業社会においては基本的にインフラストラクチャー・ファイナンスの供給者は国民国家であったとして、MDBs、即ちある種の国際的連携が主要な供給者であったとはしない。その理由は、MDBs のファイナンスのほぼ全額がソブリン (sovereign) ・ファイナンスであったためである。

ソブリン・ファイナンスとは、借り手である発展途上国政府に直接か、または発展途上国政府の政府保証を取って実施されるファイナンスのことである。債務者は発展途上国の財務省であり、返済は発展途上国の政府財政によって行われ、債務が返済されない場合には、発展途上国政府のデフォルトになる。従って、資金の出元は MDBs であるとしても、形式的には発展途上国政府がファイナンスしていることになる。このため情報社会構築学では、MDBs からの融資の場合を含めて、国民国家によるファイナンスとして捉える。

産業社会においては中小企業ファイナンスにおいても、国民国家は極めて重要な役割を果たした。大半の国民国家は、中小企業ファイナンスを専門に実施する政府系金融機関を設立し、インフラストラクチャー・ファイナンスの場合と同様、市場の失敗を補正するための利子補給制度等を構築して政府財政資金を投入した。

これに加えて、幾つかの種類の民間金融機関も重要な役割を果たした。日本では、通常の銀行形態で中小企業ファイナンスを専門に実施する地方銀行、及びコミュニティ・ファイナンスの原理で運営される日本独自の中小企業専門金融機関である信用金庫等がその任に当たった。

以上のことから、産業社会における開発ファイナンスの供給については、インフラストラクチャー・ファイナンスについてはほぼ国民国家の独占、中小企業ファイナンスについては国民国家及び幾つかの種類の民間金融機関が担当したとまとめられる。

両者に共通する特徴は、いずれもファイナンスの対象が国民国家の範囲内に限定されていたことである。開発ファイナンスの供給者は国民国家毎に構築された政府系金融機関であり、そのファイナンス先は、国内のインフラストラクチャー・プロジェクト及び国内の中小企業であった。

開発ファイナンスが国民国家の範囲で完結していた最大の理由は、開発ファイナンスの仕組みにある。開発ファイナンスは、市場の失敗に対応する特別のファイナンスであるため、市場で調達したファイナンスの金利は貸し出すファイナンスの金利を上回るという逆転が発生するため、金融機関は、原資を市場からのみ調達することはできない。この逆転を埋める必要があり、通常は、国民国家の政府財政が用いられることになる。金融実務においては、このように政府財政の補助を受けたファイナンスのことを、「公的支援を受けた (officially supported)」譲許的ファイナンス、と呼ぶ。

20 世紀半ばにおいては、逆転を埋める手法は、事実上公的支援しか存在していなかった。その証左は、1961 年に設立された OECD の最大の役割は、加盟国の公的支援を受けた輸出信用の規制であったことであり、OECD において実質的には最も重要な ECG (officially supported Export Credit and Credit Guarantee) 委員会がその任に当たった。この経緯については、拙著 (注16) で詳しく分析したところである。

即ち富の再配分の場合と同様に、市場の失敗の補正の機能を担うことができるのは、国民アイデンティティによって公的支援の支出が正当化される国民国家しか存在しなかったということになる。

一方 20 世紀後半以降、開発ファイナンスの仕組みに関する多くの新しい技術の開発が続いており、21 世紀の今日では、必ずしも国民国家の範囲で完結させることなく、国際的な協調の下に推進することが技術的には可能になりつつある。

情報社会における発展途上国のインフラストラクチャー・ファイナンスの重要な供給者としての地位を占める可能性がある主体としては、国民国家及び国民国家毎に設立された開発銀行以外に以下の2つがある。

第1は、既に 20 世紀後半以降重要な役割を果たしてきた MDBs である。

20 世紀後半以降、数多くの MDBs が設立され、主として先

進国による拠出金等を元にして公的支援を行い、発展途上国におけるインフラストラクチャー・ファイナンスが供給されてきた。世界銀行及び世界銀行グループのように世界全体を対象として設立されているものもある一方、大半は地域毎に設立されている。その地域の範囲は、アジア開発銀行 (Asian Development Bank : ADB)、アフリカ開発銀行 (African Development Bank : AfDB)、米州開発銀行 (Inter-American Development Bank : IADB) 等のように、地域機構を超える広域のものが多い。これらは、地域機構を基盤に置くガバナンス機構の特殊なものとも見ることができる。

20 世紀後半から 21 世紀初頭にかけては、これらの MDBs によるファイナンスは、先に見たように、ほぼ全額ソブリン・ファイナンスであったため、実質的には国民国家によるファイナンスと見ることができた。これに対して、今日ではプロジェクト・ファイナンスの手法が整備されつつある。これは、債務の返済の原資を、当該プロジェクトから得られる収益に限定するものである。プロジェクトが実施される国民国家の財務省に対してはノン・リコースとなり、国家の債務にはならない。

この方式によれば、MDBs は、発展途上国の政府に対する貸付ではなく、プロジェクトに対する直接の貸し付けを行うことになる。即ち、MDBs がインフラストラクチャー・ファイナンスの直接の供給者となる。この方式が、量的に産業社会におけるソブリン・ファイナンスに比べて遜色のないものになるかどうかはガバナンス競争の趨勢を決定することとなる。

第2の候補は、各国毎に設立されている開発銀行の、地域機構内における国際的連携である。

先に見たように、産業社会においては、開発銀行は国民国家毎に設立され、国民国家の範囲内においてファイナンスを実施していた。一方今日では、開発ファイナンスにおける新たな可能性を開く技術が生まれている。そのような技術の代表が PPP (官民協調 : Public Private Partnership) ファイナンスである。

PPP ファイナンスは、経済産業省の 2005 年の定義 (注17) によると、「市場の失敗が発生する分野に対するファイナンスを、政府が市場強化措置 (market enhancement measures) を採るという前提で、民間部門が供給すること。」とされる。インフラストラクチャー・プロジェクトに対する PPP ファイナンスはその後大きく発展し、特にアフリカにおいて多くの実例が見られるようになってきている。

PPP ファイナンスを、従来の方式である公的支援方式と比較すると、以下のようになる。

市場の失敗が発生する分野に対するファイナンスであることは共通である。公的支援方式では、政府自身がプロジェクトの全額をファイナンスする。市場の失敗ゆえに当該プロジェクトは赤字になるものの、その赤字分を含めてプロジェクト全額のファイナンスを供給するのである。

これに対して PPP ファイナンスでは、政府が供給するのは、

赤字分の補填(市場強化措置)だけである。政府が赤字分を補填した結果、当該プロジェクトは採算性がある(*commercial viability*)ものとなるため、プロジェクトに対するファイナンスは民間金融機関が供給する。政府から赤字分の補填を受けていることを除けば当該プロジェクトに対するファイナンスは通常の商業ファイナンスということになり、その結果、国際協調融資の途が大きく開けることになる。

この場合の国際協調融資の担い手として有力な候補が、地域機構内の開発銀行の連携である。プロジェクトに政府による市場強化措置が施され、ファイナンス条件としては商業ファイナンスに近いものとなっている場合には、他国の開発銀行との国際協調融資は、技術的には十分に可能なものであり、かつその供給に関して国民アイデンティティに訴える必要はないことになる。

21世紀においては、南部アフリカ開発共同体(SADC: Southern African Development Community)という地域機構内の開発銀行が、SADC-dfrc(Development Finance Resource Center)の場を活用しつつPPPファイナンスの国際協調融資を進めていることについては、拙稿(注18)で見た通りである。

技術的には、国際協調融資の供給者の範囲は自由に設定することができる。一方 SADC-dfrc関係者との協議(注19)で明らかになったのは、実務的には以下の理由により、国際協調融資の供給者の範囲を地域機構の範囲に設定することが極めて有効であると考えられる。

第1に、SADC-dfrcのように、多くの地域機構においては、域内の開発銀行の連携のための組織が作られていることである。仮に開発銀行の連携の組織が存在しない場合においても、少なくとも財務省の連携の場は必ず存在しているため、その場を活用することができる。

第2に、地域機構は経済連携、場合によっては市場統合を重要な目標に設定していることが多く、地域機構内におけるインフラストラクチャーの構築は地域機構全体にとっての利益と合致すると見做されることが多いためである。

更に、今後は地域機構における多くの統合の動きにより、地域機構内において人々の間に、ある種の「地域機構益」のような概念が創出されていくことが考えられる。そのような概念は、ある開発銀行が地域機構内の他の国民国家のプロジェクトに対する市場強化措置を講じることを正当化することになることを期待することも不可能ではない。

以上、インクルーシブ機能に関する情報社会のガバナンス競争についてまとめると、以下ようになる。富の再配分については、産業社会同様、引き続き国民国家が圧倒的な役割を果たすと考えられる。開発ファイナンスの供給については、産業社会同様、引き続き国民国家(及び国民国家毎に設立された開発銀行)が重要な役割を占めることになる一方で、地域機構の範囲またはそれを超える範囲を対象にした新たな

ガバナンス機構の役割が大きくなる可能性があると言える。

#### 4 ベース・モデルのローカル化(今後の展望)

以上、発展途上国における情報社会構築という課題に対応するために筆者及び各国の研究者が協働で進めている情報社会構築学に関する基本的な枠組みを整理するとともに、ベース・モデルに関する基本的な考え方をまとめた。

情報社会構築学は、実際に発展途上国政府/社会が自国における情報社会構築において参照できる政策フレームワークを提供することにその存在意義がある。そのためには、ベース・モデルを発展途上国のカテゴリー毎にローカル化(*localizing*)したモデルを構築していかななくてはならない。一方、この作業については現在端緒に着いたばかりである。

このためこの章では、現下、この作業について各国の研究者と行っている議論を紹介するに留め、具体的な作業は今後の課題としたい。

今一度情報社会について整理すると、以下ようになる。

産業社会とは、主導価値(内的規範の効用関数の基準)が経済的繁栄であり、通智=創知テクニウムについては、通智テクノロジーがマスメディア、創知テクノロジーが人間の生物学的脳を基盤にしており、ガバナンス機構が基本的に国民国家に依拠し、このような状態で通智=創知テクニウム、ガバナンス機構及び内的規範が補完性均衡を成立させていた状態であった。この均衡が崩壊して新たに成立する社会が情報社会である。

情報社会とは、以下のような社会である可能性が高い。主導価値(内的規範の効用関数の基準)は *conviviality* 等と呼ばれるある種の愉しさである。通智テクノロジーは、産業社会時代同様のマスメディアに加えて、各種の SNS 等が高度に発達する。創知テクノロジーは、産業社会同様の人間の生物学的脳に加え、AI が高度に発達する。ガバナンス機構については、産業社会同様の国民国家が引き続き重要な役割を果たす一方、地域機構を範囲とするガバナンス機構の役割が高まるのが考えられる。そのようなガバナンス機構としては、政治統合を強めた EU 型の統合国家に加え、情報社会構築学独自の概念であるデジタル統合国家プラットフォームというものが発達する可能性がある。

このような認識に立って構築される情報社会構築のベース・モデルの骨格は、以下ようになる。

第1は、通智テクノロジーについて、各種の SNS 等のテクノロジー上の発達に対応する社会のルールを構築することである。

第2は、創知テクノロジーについて、AI と人間の生物学的脳の協働関係の仕組みを構築することである。例えば汎用 AI 開発に関する指針等も重要な課題となるだろう。

第3は、情報社会において重要なガバナンス機能を供給するガバナンス機構の形態を確定させ、その発展を推進する

ことである。情報社会構築学では、デジタル統合国家プラットフォームという形態が重要な役割を担うようになるのではないかと考え、その発展方法を探っている。

このようなベース・モデルを発展途上国のカテゴリー毎にローカル化したモデルを構築することが情報社会構築学の存在意義である。

現下、各国の大学及び政府関係機関等との協働研究においては、以下のような問題が提起されている。

高度産業化段階発展途上国 (HIDS) においては、概ねベース・モデルに基づく取り組みが有効であると考えられる。

産業化段階発展途上国 (IDS) においては、情報社会構築と産業化の推進の2つの政策的取り組みが必要となるため、複雑なモデルを構築する必要がある。

このカテゴリーにおける取り組みとして現下集中的に研究を行っているのが、インドネシアである。インドネシアは、一人当たり GDP が約 4,000 ドル、製造業に牽引される経済成長が進んでいる典型的な産業化段階発展途上国である。政府は総力を挙げて産業化を推進している。このような社会においては、第1に、そもそも当該社会における情報社会構築の意義を明らかにする必要があり、また第2に、現在社会的なコストの大半が向けられている産業化の取り組みと情報社会構築との関係を明らかにすることが必要となる。

筆者は、前者の題を「ダルマプルサダ問題」、後者の問題を「バンドン問題」と呼んで、現地の大学及び政府関係機関等との協働研究を進めている。

前者の問題が最初に提起されたのは、2018年3月8日、ダルマプルサダ大学(ジャカルタ)、において開催された「Advances in Technology for Welfare Society」セミナーにおいてのことである。この場で筆者がダルマプルサダ大学客員教授就任記念講演として行った講演に対して、ダルマプルサダ大学教員から出されたコメントは、以下のものであった。

情報社会構築を産業化との関係でどのように捉えれば良いのか。Industrie4.0論のように、情報化を単にデジタル技術の発達として捉え、それらを製造業の枠の中で説明するモデルであれば理解が容易である。即ち、産業社会とはデジタル技術を用いない製造業を推進する社会で、情報社会とは最先端のデジタル技術を活用して製造業を推進する社会ということで、両者とも製造業が中心の社会であり、違いは技術の差だけということになる。一方で情報社会構築学は、情報社会を、製造業を中心とする産業社会とは全く別の社会として捉える。それならば、現下、社会の全ての資源を産業社会構築に投入しているインドネシアにおいて情報社会構築をすることの意義を明確にする必要がある。

後者の問題が提起されたのは、2017年春にインドネシアのバンドン工科大学との共催で開催した2度の共催セミナーである。第1回は、「West Java Development Seminar : Role of SMEs in Development of Bandung and West

Java Region」(バンドン工科大学,バンドン,2017年3月6日)、第2回は、「One Day Seminar : Integrated SMEs' Development Proposal and Financial Support System for West Java Region」(バンドン工科大学,バンドン,2017年5月12日)である。

両セミナーにおいて筆者は、インドネシアの西ジャワ州における「州単位の」情報社会構築の必要性についての特別講演を行った。西ジャワ州は人口約4,700万人。通常の国民国家に相当する規模である。

これらのセミナーにおいて西ジャワ州政府の官僚から提起されたのが、以下の問題である。西ジャワ州においては、目下、産業化の推進のために懸命の努力を重ねているところであり、多くの分野では必要性に十分対応できていない。特に、インフラストラクチャーの建設と産業人材育成の面で苦戦している。バンドン州政府は、予算と人員が圧倒的に不足している。このような状況下、西ジャワ州が産業化と情報社会構築の二兎を追わなければならないとすれば、両者の関係が補完的か、独立であるのかが大きな問題になる。特に産業人材育成の面でこの問題は深刻である。目下西ジャワ州としては、産業化、即ち製造業に特化した産業人材育成を進めているところ、そのようにして育成された産業人材は情報社会構築においても有効な産業人材となるのか、それとも製造業に特化した産業人材育成は製造業においてしか有効ではなく、情報社会構築に対応するためにはゼロからそのための産業人材育成をしなければならぬのか。

このように、産業化段階発展途上国における情報社会構築モデルの構築においては、産業化と情報社会構築との関係についての整理することが当面の研究の重要課題となる。

非製造業発展途上国 (LFDS) においては、主導産業としての製造業の蓄積を欠いたまま情報社会構築を進めることになるため、情報社会構築に加えて、デジタル技術を活用した主導産業を構築するという課題にも取り組むことが必要となる。即ち、デジタル技術を情報社会構築及び主導産業構築の2つの目的に使うというモデルになる。

筆者はこの問題を、「ビシュケク問題」と呼んでいる。

筆者は2017年9月にキルギスを訪問し、H.E. Rosa Otonbaeva 前大統領との会談で、キルギスの経済社会開発に関して、キルギス大統領府投資委員会との協働研究を推進することで合意した。この合意に基づき、2019年9月にキルギスを再訪し、キルギス大統領府主催キルギス産業円卓会議で特別講演を行うとともに、キルギス大統領府投資委員会、Kyrgyz Software and Services Developers Association 等とキルギス発展戦略に関する協議を行った。

これらの協議において先方から提示されたのが、デジタル技術を活用して情報社会構築を進めるのと同時に、製造業を飛ばしてデジタル技術を活用した主導産業を振興するというモデルである。

デジタル技術を活用した主導産業のあり方に関しては、筆者は現在キルギス大統領府投資委員会との間で、キルギスにおけるデジタル技術を活用した主導産業振興に関する PPP のあり方についての協働研究を行っている。先述村上泰亮[1992]のように、平均費用逓減局面が広範に見られる製造業においては、日本及び東アジア諸国が 20 世紀後半に実施したような、行政指導を伴う PPP が有効であった。この経験を元に、デジタル技術を活用した主導産業振興における PPP のあり方を検討しようというものである。

国家建設発展途上国(NBDS)においては、国家のガバナンス機構を最先端のデジタル技術を活用して構築するという、電子政府構築が重要な課題となる。筆者はこの課題を「ハルツーム問題」と呼び、現在スーダン科学技術大学等関係者との協働研究を推進している。

先に見た X-Road 等の活用等により、これから新たに国家建設を行う場合には、過去の例と比べて格段に低コストでガバナンス機構を構築することができる。これに加えて筆者は、電子政府構築において、国民に対してはもとより国際社会に対しても開かれた情報共有システムを組み込むことにより、為政者の資質に依存しない制度的なグッド・ガバナンスの仕組みをビルト・インできるのではないかと考えている。

最先端のデジタル技術を活用した電子政府構築は、ある程度国家建設が進んだ国においても有効性が発揮される可能性がある。

例えばカンボジアにおいては、カンボジア工科大学との間で、基本的な国家建設は進展しているという前提で、付加的なガバナンス機能を最先端のデジタル技術を活用した電子政府の仕組みで構築するための協働研究を推進している。この場合、既に国家建設の基本的な枠組みは出来上がっているため、非電子政府の枠組みと電子政府のシステムとの接合性、所謂制度補完性(institutional complementarity)が問題になる。仮に電子政府のシステムが低コストで便利なものであるとしても、既に非電子政府の形態で運用されている部門が強力である場合には、接合性に問題が生じる。膨大な公務員を雇用し、非電子政府における手作業のために賃金を支払っている場合には、低コストの電子政府のシステムの導入は膨大な失業を生み、政治的な問題が発生する。この接合の問題を、筆者は「プノンペン問題」と呼んでいる。

以上、情報社会構築学の構想の概要と、それに基づく研究が実際に多くの発展途上国における情報社会構築のために貢献するようになるために必要な諸問題を列挙した。

引き続き、各国の研究者との協働でこれらの研究を推進してまいりたい。

[注]

注1: Bell, Daniel[1973].邦訳は、ダニエル・ベル[1975].

注2: アルビン・トフラー[1980].邦訳は、アルビン・トフラー[1980].

注3: 経済産業省[2017].

注4: OECD-DAC 統計作業部会が 1969 年に決定。

注5: 2017 年度に『Developmental Strategies coping with the Middle Income Traps』の統一テーマで実施した海外での共催セミナー等は、以下の通り。①キルギス国立工科大学(ビシュケク, 2017 年 9 月 26 日),②カラバルタ技術経済カレッジ(カラバルタ, 2017 年 9 月 26 日),③キルギス教育科学省(Chontoev Dogdurbek Toktosartovich 専門教育局長)(ビシュケク, 2017 年 9 月 27 日),④オトンバエヴァ(H.E. Rosa Otonbaeva)前大統領との会談(ビシュケク, 2017 年 9 月 27 日),⑤キルギス国際ビジネス委員会(ビシュケク, 2017 年 9 月 28 日),⑥EBRD(European Bank for Reconstruction and Development)キルギス事務所(ビシュケク, 2017 年 9 月 28 日),⑦キルギス大統領府投資委員会(ビシュケク, 2017 年 9 月 30 日),

⑧UNDP カザフスタン事務所(アスタナ(現ヌルスルタン), 2017 年 10 月 2 日),

⑨カザフスタン商工会議所(アスタナ(現ヌルスルタン), 2017 年 10 月 2 日),⑩カザフスタン教育科学省高等教育局(Gulzat Kobenova カザフスタン教育科学省高等教育局長)(アスタナ(現ヌルスルタン), 2017 年 10 月 2 日),⑪国立アルマトイ電力・電子技術テクニカル・カレッジ(アルマトイ, 2017 年 10 月 3 日),⑫アルマトイ電力通信技術大学(アルマトイ, 2017 年 10 月 3 日),⑬タマサート大学経営学部(バンコク, 2017 年 11 月 27 日),⑭タイ中小企業庁(OSMEP)(Suwanchai Lohawatanakul 長官)(バンコク, 2017 年 11 月 27 日),⑮泰日工業大学(バンコク, 2017 年 11 月 28 日),⑯ハノイ経営工科大学(HUBT)経営研究所(INBUS)(ハノイ, 2017 年 11 月 30 日),⑰ベトナム国家経済研究所(ハノイ, 2017 年 11 月 30 日),⑱カンボジア工業手工芸品省(プノンペン, 2017 年 12 月 10 日),⑲カンボジア工科大学(プノンペン, 2017 年 12 月 11 日),⑳カンボジア首相府 Son Koun Thor 大臣及びカンボジア産業界代表とのワークショップ(プノンペン, 2017 年 12 月 12 日),㉑カンボジア ICT Federation(プノンペン, 2017 年 12 月 12 日),㉒バンドン工科大学(バンドン, 2018 年 3 月 5 日),㉓ダルマプルサダ大学(ジャカルタ, 2018 年 3 月 9 日)。

注6: 2018 年度に『Disruptive Social Changes on Blockchain』の統一テーマで実施した海外での共催セミナー等は、以下の通り。①ベトナム中小企業基金(ハノイ, 2018 年 10 月 9 日),②ハノイ経営工科大学(HUBT)(ハノイ, 2018 年 10 月 10 日),③Dong A 大学グローバル・セミナー「Disruptive Social Changes on a Blockchain」(ダナ



ン,2018年10月11日),④ERIA(Economic Research Institute for ASEAN and East Asia)特別セミナー(ジャカルタ,2018年12月3日),⑤ダルマプルサダ大学(ジャカルタ,2018年12月5日),⑥テクニオン工科大学(ハイファ(イスラエル),2018年12月13日),⑦ボツワナ中小企業庁LEA(Local Enterprise Authority)(ハボロネ,2019年2月28日),⑧SADC-dfrc(南部アフリカ開発共同体開発銀行協会)(ハボロネ,2019年3月1日),⑨ エスワティニ NIDCS(国立産業振興公社)(ムババネ,2019年3月4日),⑩エスワティニ経済計画発展省(ムババネ,2019年3月4日),⑪エスワティニ経済産業省(ムババネ,2019年3月4日),⑫エスワティニ大学(ムババネ,2019年3月4日),⑬エスワティニ教育訓練省(ムババネ,2019年3月4日),⑭エスワティニ Centre for Financial Inclusion(ムババネ,2019年3月5日),⑮エスワティニ王立 Science and Technology Park(ムババネ,2019年3月5日),⑯ハルツーム大学(ハルツーム,2019年3月9日),⑰スーダン科学技術大学(ハルツーム,2019年3月12日),⑱Ribat 大学(ハルツーム,2019年3月12日),⑲Ton Duc Thang 大学(ホーチミン,2019年3月21日),⑳Dong A 大学(ダナン,2019年3月26日),㉑ハノイ経営工科大学(ハノイ,2019年3月29日),㉒タジキスタン工科大学(Tajik Technical University)(ドゥシャンベ,2019年5月24日),㉓FIFTYFIVEGROUP及びJICAタジキスタン事務所とのタジキスタン起業家向け共催セミナー(ドゥシャンベ,2019年5月24日),㉔EBRDタジキスタン事務所(ドゥシャンベ,2019年5月27日),㉕マイクロ・ファイナンス Humo(ドゥシャンベ,2019年5月27日),㉖タジキスタン国家投資資産管理委員会(State Committee on Investment and State Property Management)(ドゥシャンベ,2019年5月28日),㉗EBRDタシケント事務所(タシケント,2019年6月3日),㉘タシケント情報技術大学(Tashkent University of Information Technology)(タシケント,2019年6月4日),㉙ラオス商工省主催ラオス ICT/ブロックチェーン・セミナー(ビエンチャン,2019年6月13日),㉚キルギス大統領府主催キルギス産業円卓会議特別講演(イシククル(キルギス),2019年9月20日),㉛Karakol 投資委員会(Investment Council of Karakol)(カラコル(キルギス),2019年9月22日),㉜イシククル開発基金(Yssyk-Kol Development Fund)(カラコル(キルギス),2019年9月23日),㉝JICA 共催セミナー(ビシュケク,2019年9月24日),㉞キルギス国立工科大学(Kyrgyz State Technical University)(ビシュケク,2019年9月24日),㉟Business Association JIA 事務局(ビシュケク,2019年9月25日),㊱キルギス投資庁(Investment Promotion and Protection Agency of the Kyrgyz Republic)(ビシュケク,2019年9月25日),㊲キルギス銀行協会(The Union of Banks of Kyrgyzstan)(ビシュケク,2019年9月25日),㊳Business

Association JIA オシユ(Osh)事務所(オシユ(キルギス),2019年9月26日),㊴オシユ州政府産業振興局長(オシユ(キルギス),2019年9月26日),㊵キルギス教育科学省(The Ministry of Education and Science of Kyrgyz Republic)(Taalaipek Cholponkulov 初等職業教育庁長官)(ビシュケク,2019年9月27日),㊶EBRD(European Bank for Reconstruction and Development) Neil McCain キルギス事務所(ビシュケク,2019年9月27日),㊷Kyrgyz Software and Services Developers Association(ビシュケク,2019年9月30日),㊸International Business Council 事務局(ビシュケク,2019年9月30日),㊹ADBキルギス事務所(ビシュケク,2019年10月1日),㊺Association of Micro Finance Institutions Kyrgyzstan 事務局(ビシュケク,2019年10月1日).

注7:2019年度において、『An Advanced Methodology of Informatized Society Building』の統一テーマで海外において開催した共催セミナー等は,以下の通り.なお,2017年度及び2018年度と比べて開催回数が少ないのは,新型コロナの関係で,2020年3月に予定されていたイスラエル(テクニオン工科大学)での共催セミナー以降全てのセミナーがキャンセルされたため.①ダルマプルサダ大学(ジャカルタ,2019年12月2日),②ラオス首相府経済研究所(National Institute for Economic Research)(ビエンチャン,2019年12月9日),③カンボジア工科大学(Institute of Technology, Cambodia:ITC)(プノンペン,2020年1月14日),④キリロム工科大学(Kirirom Institute of Technology :KIT)(キリロム,2020年1月15~16日),⑤カンボジア首相府 H.E. Son Koun Thor 首相府大臣(Minister Attached to the Prime Minister)との協議(プノンペン,2020年1月17日),⑥タシケント情報工科大学(Tashkent University of Information Technology)(タシケント(ウズベキスタン),2020年2月25日),⑦VJCC(Vietnam-Japan Human Resources Cooperation Center)ハノイ事務所(ハノイ,2020年3月5日),⑧ハノイ経営工科大学(Hanoi University of Business and Technology)INBUS(The Institute of Business Studies and Development)(ハノイ,2020年3月6日),⑨Dong A 大学(ダナン,2020年3月11日).

注8:なお,以下の比較制度分析に関する説明においては,仮想制度研究所(Virtual Center for Advanced Studies in In Institution :VCASI)のwebにおける「解説:アブナー・グライフ『比較歴史制度分析』」([www.vcasi.org/page/517](http://www.vcasi.org/page/517))を参考にした.

注9:山内康英等[2009].

注10:野中郁次郎+竹内弘高[1996].

注11:村上泰亮[1992]pp98-99.

注12:conviviality はイヴァン・イリイチ(Illich, Ivan)の造

語である。

注13: 公文俊平[2011].

注14: 前田充浩[2019].

注15: ERIA Workshop on ASEAN Vision 2040 (ジャカルタ, 2018年8月9-11日). この成果は ERIA[2018]に取りまとめられた。

注16: 前田充浩[2010].

注17: 経済産業省[2005].

注18: 前田充浩[2019].

注19: 筆者は、ハボロネの SADC-dfrc (Southern African Development Community: 南部アフリカ開発共同体—Development Finance Resource Center: 開発銀行協会) において、H.E. Stuart Kufeni 総裁以下幹部とのワークショップを、2016年11月2日及び2019年3月1日の2度に亘って実施した。

## 参考文献

- [1] Alvin Toffler, “The Third Wave”, Bantam books, 1980. 邦訳は、アルビン・トフラー, “第三の波”, 鈴木健次・桜井元雄訳, 日本放送出版協会, 1980.
- [2] Daniel Bell, “The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting”, Basic Books, 1973. 邦訳は、ダニエル・ベル, “脱工業社会の到来—社会予測の一つの試み(上・下)”, ダイヤモンド社, 1975.
- [3] 経済産業省, “新産業構造ビジョン”, 経済産業調査, 2017.
- [4] 公文俊平, “文明の進化と情報化—IT革命の世界史的意味”, NTT出版, 2001.
- [5] 野中郁次郎+竹内弘高, “知識創造企業”, 東洋経済新報社, 1996.
- [6] 村上泰亮, “反古典の政治経済学, 下第8章「システムとしての開発主義」”, 中央公論新社, 1992.
- [7] 公文俊平, “情報社会のいま—あたらしい智民たちへ”, NTT出版, 2011.
- [8] Avner Greif, “Institutions and the Path to the Modern history”, Oxford University Press, 2005. 邦訳は、アブナー・グライフ, “比較歴史制度分析”, 岡崎哲二+神取道宏監訳, NTT出版, 2009.
- [9] 山内康英+前田充浩, “グローバリゼーションと世界システム内の相互作用”, 情報社会学会誌 Vol.3, No.2, 情報社会学会, 2009.
- [10] 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”, 産業技術大学院大学紀要第12号, 産業技術大学院大学, 2019年1月.
- [11] Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA), “ASEAN Vision 2040”, ERIA, 2018.
- [12] 前田充浩, “金融植民地を奪取せよ”, プレジデンス社, 2010.
- [13] 経済産業省, “アジア PPP 研究会報告書”, 経済産業省貿易経済協力局, 2005.



# A proposal of the ASEAN common vendor risk index

Mitsuhiro Maeda\*

Toshiaki Munakata\*

## Abstract

The ASEAN common vendor risk index helps Japanese companies to logically select a suitable local company in developing countries of ASEAN as a business partner. Vendor risk management is still under development and has not been standardized in developed and developing countries, either. We made the proposal in terms of researching vendor risk management practices in developed countries, optimizing Creditability index for SMEs (CIS project lead by AIIT with 9 universities in ASEAN countries) and having face to face interviews with local people in Cambodia.

Keywords: Vendor risk management, ASEAN, Cambodia, CIS (Creditability index for SMEs ),

## 1 Overview

The 2018 JETRO (Japan External Trade Organization) survey to Japanese companies told that identifying the best business partners in overseas is the biggest challenge for them (61.7%=1,532 answers)

Assumed that vendor risk management (evaluate overseas companies to select as business partners) has not been established in developing countries of ASEAN.

Even if in Japan, vendor risk management has not been standardized yet.

We picked up ASEAN as a sample of developing countries in order to look into the current practice of vendor risk management.

As the research for vendor risk management in Cambodia, Administrator: Mr.SY VANNA in CJBI(Cambodia-Japan Association for Business & Investment) told that CJBI provides Japanese companies with introduction services of local companies. However, the evaluation criteria and standards might not be clear enough. We explain findings, proposals, and challenges through our investigation in the document.

(1)参考文献 2018 年度日本企業の海外事業展開に関するアンケート調査(ジェトロ海外ビジネス調査)結果概要

### 1.1 Diplomatic relations:

Established in 1953. (The Legation of Japan was established in 1954)

### 1.2 Number of Residents:

Number of Japanese Nationals residing in Cambodia: 2,270 (Oct. 2014)

Number of Cambodian Nationals residing in Japan: 6,111 (Dec. 2015)

### 1.3 Trade with Japan:

Exports: 177.6 billion yen (2018)

Imports: 46.6 billion yen (2018)

### 1.4 Agreement with Japan:

Agreement between Japan and the Kingdom of Cambodia for the Liberalization, Promotion and Protection of Investment (June 2007)

Agreement between Japan and the Kingdom of Cambodia for Air Services (June 2016)

### 1.5 Japan's Economic Cooperation:

Grants: 201.5 billion yen (Total of 1992-2017)

Technical Cooperation: 86.3 billion yen (Total of 1992-2017)

Yen Loan: 140.3 billion yen (Total of 1992-2017)

(2)参考文献 Ministry of Foreign Affairs of Japan Homepage [https://www.mofa.go.jp/mofaj/外務省\\_ホームページ](https://www.mofa.go.jp/mofaj/外務省_ホームページ)

## Japan-Cambodia Relations (Basic Data)

## Business potentiality in Cambodia

(Table 1)

Received on October 1, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

		2014	2015	2016
GDP	Nominal GDP(Billion USD)	167	182	202
	Real GDP growth rate (%)	7.1	7.2	7.0
	GDP per capita (USD)	1,095	1,168	1,278
A number of Japanese companies expanding their business to Cambodia		182	224	270

(3)参考文献 SMBC Cambodia business guide

2018年3月カンボジア・ラオス ビジネスガイド 三井住友銀行グローバル・アドバイザー一部

### 1.5 Findings

A number of Japanese companies expanding their business to Cambodia are increasing.

However, according to Yoshifumi Onishi JICA Chief Advisor (Cambodia Japan Cooperation Center-CJCC), the salary rate in Cambodia is raising to the same level of Thailand so that Japanese companies' business expansion is getting slow.

#### Our Project theme:

**Propose a vendor risk management scheme in order for Japanese companies to logically select a suitable local company in developing countries of ASEAN as a business partner.**

## 2 Risk category of vendor risk management (Table2)

Risk category	Risk description	Risk type					
1 Business risk	Business risk is the exposure a company or organization has to factor(s) that will lower its profits or lead it to fail.	Management risk	Strategic risk	Emerging risk			
2 Financial risk	Financial risk is any of various types of risk associated with financing, including financial transactions that include company loans in risk of default.	Market risk	Credit risk	Liquidity risk			
3 Operational risk	Operational risk is the risk of loss resulting from inadequate operation processes, inadequate activities by officers and employees and inadequate systems or from external events.	Operational risk	Compliance risk	Reputational risk	System risk	Business continuity risk	Vendor management risk
4 Project risk	Project risk is an uncertain event or condition that, if it occurs, has an effect on at least one project objective. Risk management focuses on identifying and assessing the risks to the project and managing those risks to minimize the impact on the project.						

(4)参考文献

[https://www.fsa.go.jp/manual/manualj/manual\\_yokin/18.pdf](https://www.fsa.go.jp/manual/manualj/manual_yokin/18.pdf) 金融庁オペレーショナル・リスク管理態勢の確認検査用チェックリスト

Vendor management risk is a part of Operational risk management.

### 2.1 Credit risk vs Vendor management risk

It seems that vendor management risk is sometimes misunderstood as vendors' financial condition ranking evaluating their credit risk. Credit risk is categorized as financial risk. On the other hand, Vendor management risk is categorized as Operational risk so that vendor management risk isn't directly linked with credit risk. Of course, financial viability is a part of vendor management risk to evaluate, but not all. For example, even if its financial condition looks good, its operational process to control assigned tasks is inadequate; its vendor management risk increases, which mean that it may be difficult to make a contract with.

## 3. CIS (Creditability Index for SMEs) Project overview

CIS is great and important information to establish the ASEAN common vendor risk index. The CIS is explained as follows,

### 3.1 Project background

Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT), as the advocate of Asia Professional Education Network (APEN) and as the Proposer of APEN JAIF Project, promoted "Creditability Index for SMEs" -CIS project under "Comprehensive Industrial Human Resource Development (Ci-HRD) project in June 2015.

### 3.2 Objectives

SMEs are the backbone of the ASEAN economy as well as that of Japan and the cornerstones of the ASEAN's promise to achieve a balanced economic integration in 2015. They play a critical role in creating more jobs for the people including women and youth and further improving broad-based standard of living and quality of life.

- Enhance competitiveness of SMEs in the ASEAN region

- Develop CIS Base Model and Local Models, effective tools to connect SMEs by knowing partners' real figure, knowing strengths and weaknesses of each SME

### 3.3 Outcomes

- Developed CIS Base Model (for Conventional and Start-up SMEs) by AIIT

For conventional SMEs; 6 appraisal axes

For Start-ups (Less than 5 year experiences); 3 appraisal axes

- Developed CIS Local Model by Member Universities

- Conducted trial evaluation of SMEs in 6 countries  
3.4 Major Milestones

- Cooperation Agreement with member universities  
- Completion of CIS Base Model: April. 2016  
Completion of CIS Local Model: End of 2016 (7 of 9 members)

Conducted trial evaluation of SMEs in the country (6 of 9 members)

CIS Dissemination Seminar: Jan 2017 (4 of 9 members)

Member universities (Table 3)

	Member university	Base model	Local model	Local M Start-up	Trial evaluation	Dissemination seminar
1	Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT), Japan	○			○	
2	Vietnam National University-University of Engineering Technology, Vietnam (VNU-UET)		○	○	○	○
3	National University of Laos, Lao PDR (NUOL)		○		○	○
4	Institute of Technology of Cambodia, Cambodia (ITC)		○	○		○
5	University Brunei Darussalam , Brunei (UBD)		○			
6	De La Salle University, the Philippines (DLSU)		○	○	○	○
7	Institute Teknologi Bandung, Indonesia (ITB)		○	○	○	
8	Universiti Teknologi Malaysia (UTM)		○	○	○	
9	Yangon Technological University (YTU)					

(5) 参考文献

<https://aiit.ac.jp/education/global/apen.html> AIIT  
APEN プログラム説明 (CIS project)

## 4. CIS Base Model

### 4.1 Development of CIS Base Model

AIIT has developed CIS Base Model as follows:

#### 4.1.1. Outline

- 1) Evaluation Index for long existing SMEs
  - AIIT has long experiences of SME cooperation and evaluation (Tokyo Venture Business Award)
  - Developed based on CIS Prototype
  - Comprehensive evaluation index consisting 6 evaluation axes not only financial viewpoints for evaluation of SMEs having long history
  - Translated into easier English
- 2) Evaluation Index for Start-up SMEs
  - Index that evaluate SMEs having less than 5-year business operation
  - Developed
  - Evaluation items consisting 3 evaluation axes considering the immature stage of the SMEs

## 4.2 CIS Base Model

### 4.2.1. Evaluation Index for long existing SMEs

It is very important to evaluate the real potential of SMEs that the SME shall be evaluated from the various facets of the its activities, not only for the financial aspect.

CIS Base Model has the following 6 evaluation axes:

- 1) Management Strength ( = The Sociality, Management Strategy and Establishment of an Implementation Plan and the Management)
- 2) Technical Capabilities ( = Excellence in Technology and Service )
- 3) Sales Capabilities ( = Marketing and Sales Framework )
- 4) Human Resource Capability ( = Securing and Nurturing Human Resources )
- 5) Organization Strength ( = Supply Framework)
- 6) Financial Strength ( = Soundness and Certainty of Finance)

Source :(6) CIS base model

## 5. Importance of vendor selection judgment

Currently, most of companies outsource several tasks to vendors as their business partners. Therefore, the performance of vendors significantly influences their own business result. It is obvious that vendor risk management is a key to success for their own sustainable business growth.

A standard of vendor risk management sets forth the minimum requirements how companies manage vendor companies to ensure alignment with regulatory requirements and to minimize risk.

## 6. The status of vendor risk management in developed countries

Determine the common risk assessment factors for vendor selection from developed countries perspective

### 6.1 Vendor selection process in Japan

A standard of vendor selection criteria and processes does not exist in Japan. Companies judge and select their business partners on their own standards. It is common that a company decides their own selection criteria of vendors, evaluates targeted vendors each criteria and makes a final selection decision based on their overall evaluation result.

6.2 Vendor selection common criteria in developed countries

Vendor risk management for selection is confidentially determined by company base. It is merely disclosed to public. In order to identify the common risk factors and criteria of vendor selection in developed countries, fortunately, the following 4 companies (1 US, 1 Europe, and 2 Japan) and Creditability index for SMEs (CIS provided by AIIT) could be sampled to review their vendor risk assessment factors for selection.(Table 4)

Sample company	1. Organization/Compliance	2. Financial strength	3. Customer services	4. BCP	5. Information security	6. Legal/Contract	7. Human resource capability
US general insurance company	Fraud and Money laundering prevention. Scoring for economic sanctions.	Financial viability. Company stability. Organization & governance system	Due to Service Level Agreement	Contingency plan at emergency.	Information security management	Exit strategy	Back ground check
Europe general insurance company	Registration status. Anti-society group relationship. Acts of Conflict of Interest.	Financial viability. Company stability. Organization & governance system	Technological capacity	Business continuity planning	Information security management	A basic principle of business contract	
Japan call center support company			Work performance. Problem solving and operational improvement capability	Business continuity planning	Information security management	Pricing is better than competitors	Employees' status. Training & education
Japan IT company	Internal audit status	Financial viability. Company stability. Organization & governance system. Reputational risk	Incident handling	Re-assignment requirement and control. Contingency plan at emergency.	Information security management. Non-disclosure agreement. an entering/leaving management system. Computer access control.	Pricing is better than competitors. The contract situation such as compensation for damages or the intellectual property	Employees' status. Training & education.
Creditability index for SMEs (CIS)	Framework for roles, responsibilities, authority, etc. Prevention of fraud.	Soundness of Finance. Profitability, growth potential. Certainty of book closing and assets.	Social responsibility. Superiority in technology and service		Risk, Information management	Patent strategy. Relationship with partners.	Securing human resources. Personnel system



Common vendor risk assessment factors in developed countries (Table5)

Risk type	1. Organization/Compliance	2. Financial strength	3. Customer services	4. BCP	5. Information security	6. Legal/Contract	7. Human resource capability	8. Sales capability
Risk assessment item	1. Registration status	5. Financial viability	9. Business performance capability	13. Reassignment situation	17. Information security management	21. Preserving intellectual property, and compensation for damage situation	25. Employee situation	29. Sales framework
	2. Anti society group relationship	6. Governance and stability	10. Problem solving, process improvement	14. Contingency plan & execution	18. Non-disclosure contract status	22. Cost competitiveness	26. Training	30. Marketing strategy
	3. Internal audit status	7. Reputational risk	11. Incident handling	15. Business continuity plan & drill	19. Visitor management	23. Patent strategy	27. Personnel system	31. Has experience doing business overseas
	4. Framework for roles, responsibilities, authority, etc	8. Profitability, growth potential	12. Superiority in technology and service	16. Remote work capability	20. System access control	24. Relationship with partners	28. Securing human resources	32. High market share

6.3 Proposal

Vendor risk assessment and selection criteria are usually company confidential so that it is very challenge to obtain such information. Fortunately, analyzing 4 companies' information and "CIS" lead to the result in focusing on 8 risk types and 32 risk assessment items as the common risk factors in developed countries.

7. The status of vendor risk management in developing countries (Table 6)

	Risk associated with overseas business in developing countries (High→Low)	Scope of vendor risk management
1	Labor cost increase	◎
2	Exchange fluctuation	
3	Hiring, personnel management of local talented people	◎
4	Complexity of a legal system and Uncertainty of a regulation	◎
5	Change of an economic situation	
6	Unstable political situation, natural disaster	◎
7	Intellectual property infringement, Increase of imitation product	◎
8	Logistical and industrial infrastructure issues	◎
9	Competitiveness in a market	◎

(7)参考文献 Mitsubishi UFJ Research & Consulting "Research for competitiveness enhancement of small businesses in terms of expanding business into overseas" 高橋文行: 中小製造企業のアジア発展途上国進出におけるリスクマネジメント P95

7.1 Findings

There are unique risks as above in developing countries, which are not recognized as "High risk" in developed countries. Vendor management risk in developing countries is higher than in developed countries due to their uncertain and unstable environments. However, it seems that vendor risk management has not been executed enough in their immature business environment.

8. Vendor risk management in Cambodia

We visited Cambodia to have interviews with local people and Japanese working in Cambodia regarding Vendor risk management in Cambodia.

8.1 Interview result 1

Interview place: CJCC (Cambodia-Japan Cooperation Center) & CJBI (Cambodia Japan Association for Business & Investment)

Interview date: July 31, 2019

Interviewee: Yoshifumi Onishi JICA Chief Advisor  
Yasuhiko Yuge JICA Expert Biz Networking Coordinator

Yuko Nakai Japan desk staff  
SY VANNA Administrator

8.11 Characteristics of risks in Cambodia

- Regulations are under development, not matured enough.
- Education level is still low. (Especially in rural areas)
- Business quality level is lower than developed countries.
- Not punctual.
- Productivity is lower than developed countries.
- Project usually gets delayed.
- Cambodia president relationship with political parties which a company supports.
- Poor customer service mind-set.
- Poor complaint handling.
- Poor reputational risk perspective.
- Vulnerable infrastructure such as electricity.
- Capacity of electronic generators to cover blackout is not enough.
- A special disease in Cambodia. (dengue fever and so on)
- Financial statements are not supposed to be inspected by external auditors.
- There is a case that the current business process in Japanese companies needs to be negatively changed to fit into a capability of companies in Cambodia.

#### 8.12 Characteristics of culture in Cambodia

- A bribe to the public institutions is a problem.
- Cambodian moral is high.
- Cambodian minimum wages rise and are approximately equal to Thailand. Therefore, the business expansion speed of Japanese companies is declining.
- When failed, Cambodians are nervous. Do not direct communications to blame for it, a diplomatic communication should work better.
- The process of charging prepaid cards and the online bus reservations are not fully automated, human intervention is required to complete the processes. Therefore, an error is easy to occur.
- Cambodian does not apologize when making mistakes.

- Creditworthiness in security (land) more than financial statements.

#### (8) 参考文献

<http://www.cjcc.edu.kh/site/index.php/en/>

Cambodian-Japan Cooperation Center (CJCC) homepage

#### (9)参考文献

<https://www.cjbi.asia/eng/> Cambodia-Japan Business and Investment (CJBI)

#### 8.2 Interview result 2

Interview date: July 30,2019

Company name: nulo Lab Co,Ltd

Industry: IT

Interviewee: Naomi Nakano Senior Advisor

#### 8.21 Questions

1: Do you have a business assignment contract with local vendors?

Answer: Yes, for purchasing working goods and Interior decoration in the office.

2:How do you select vendors as a business partner for particular assignments?

Does the internal standard exist? Answer: No

If not, how do you select vendors?

Answer: Staff recommendation, human relationship, price.

3:How do you evaluate your vendor's performance?

Does your vendors' performance meet your expectation? Answer:No

What is a problem?

Answer: Their quality level is about a half of Japan standard. Their productivity is also lower than Japan standard.

4:How do you manage your vendors?

Do you regulate a vendor management rule?

Answer: No

Without rules, how do you manage vendors?

Answer: In case service quality and maintenance capability are priority, Japanese companies should be chosen.

What is the most difficulty of vendor management?

Answer: Anti-social groups are not considered. Public organization such as police, government offices are risky. For example, bribery sought, a requirement changed by a person in charge.

5:What do you think the most important matter to



focus on vendor selection?

Answer: Information security is weak because there is no regulation like personal information protection law and very few cybercrimes.

6: What do you think the most important matter to control on vendor management?

Answer: People relationship has strong influence to select and manage vendors.

7: Do you use a vendor risk assessment standard for selection if it is available?

Answer : Not sure because company’s culture in Cambodia is immature and logical assessment is less likely to work effectively.

(10) 参考文献 [https://nulo.co.jp/en/service\\_en/](https://nulo.co.jp/en/service_en/) Nulo Lab Co,Ltd

9. A proposal of vendor risk management approach for developing countries in ASEAN

Determine the common risk assessment factors for vendor selection from developing countries perspective

How much vendor risk management situation in Cambodia is relevant to risk associated with overseas business in developing countries? (Table 7)

Risk associated with overseas business in developing countries (High→Low)		Relevant interview comments in Cambodia
1	Labor cost increase	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Cambodian minimum wages rise and are approximately equal to Thailand. Therefore, the business expansion speed of the Japanese company declines.</li> </ul>
2	Exchange fluctuation	NA
3	Hiring, personnel management of local talented people	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Education level is still low. (Especially in rural areas)</li> <li>●Not punctual.</li> <li>●Poor customer service mind-set.</li> <li>●Poor complaint handling.</li> <li>●When failed, a Cambodian is nervous. Does not direct communication to blame for it, a diplomatic communication should work better?</li> <li>●Cambodian don't apology when make mistakes.</li> </ul>
4	Complexity of a legal system and Uncertainty of a regulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Regulations are under development, not matured enough.</li> <li>●Financial statements are not supposed to be inspected by external auditors.</li> <li>●Anti-social groups are not considered. Public organization such as police, government offices are risky. For example, bribery sought, a requirement changed by a person in charge.</li> <li>●Information security is weak because there is no regulation like personal information protection law and very few cybercrimes.</li> </ul>
5	Change of an economic situation	NA

6	Unstable political situation, natural disaster	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Cambodia president relationship with political parties which a company supports.</li> <li>●A special disease in Cambodia. (dengue fever and so on)</li> <li>●A bribe to the public institutions is a problem.</li> </ul>
7	Intellectual property infringement, Increase of imitation product	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Poor reputational risk perspective.</li> </ul>
8	Logistical and industrial infrastructure issues	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Vulnerable infrastructure such as electricity.</li> <li>●Capacity of electronic generators to cover blackout is not enough.</li> <li>●There is a case that the current business process in Japanese companies needs to be negatively changed to fit into a capability of companies in Cambodia.</li> </ul>
9	Competitiveness in a market	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Business quality level is lower than developed countries.</li> <li>●Productivity is lower than developed countries.</li> <li>●Project usually gets delayed.</li> <li>●The process of charging prepaid cards and the online bus reservations are not fully automated, human intervention is required to complete the processes. Therefore, an error is easy to occur.</li> <li>●Their quality level is about a half of Japan standard. Their productivity is also lower than Japan standard.</li> </ul>
10	Vendor selection criteria	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Staff recommendation, human relationship, and price.</li> <li>●People relationship has strong influence to select and manage vendors.</li> </ul>

9.1 Findings

The above information tells that vendor management risk in Cambodia covers majority of vendor management risk in developing countries so that we believe vendor management risk situation in Cambodia most likely represents developing countries of ASEAN and can be leveraged to establish “ASEAN common vendor risk index”.

9.2 How the common risk assessment factors for vendor selection from developed countries perspective needs to be adjusted to establish “ASEAN common vendor risk index”.

Common vendor risk assessment factors in developed countries (Table 8)

Risk type	1 Human resource capability	2 Financial strength	3 Customer service	4 BCP	5 Information security	6 Legal/Contract	7 Human resource capability	8 Sales capability
Risk assessment item	1.Registration status	5.Financial viability	9.Business performance capability	13.Reassignment situation	17.Information security management	21.Preserving intellectual property, and compensation for damage situation	25.Employee situation	29.Sales framework
	2.Anti society group relationship	6.Governance and stability	10.Problem solving, process improvement	14.Contingency plan & execution	18.Non-disclosure contract status	22.Cost competitiveness	26.Training strategy	30.Marketing strategy
	3.Internal audit status	7.Reputational risk	11.Incident handling	15.Business continuity plan & drill	19.Visitor management	23.Patent strategy	27. Personnel system	31.Has experience doing business overseas
	4.Framework for roles, responsibilities, authority, etc.	8.Profitability, growth potential	12.Superiority in technology and service	16.Remote work capability	20.System access control	24.Relationship with partners	28.Securing human resources	32.High market share



Proposal of “ASEAN Common Vendor Risk Index” (Table 9)

Risk type	1 Operational compliance	2 Financial strength	3 Customer service	4 BCP	5 Information security	6 Legal/Contract	7 Human resource capability	8 Sales capability
Risk assessment item	1.Registration status	5.Financial viability (Security analysis)	9.Business performance capability	*13.Sustainable infrastructure	17.Information security management	*21.Labor cost control	*25.Employee qualification	29.Sales framework
	*2.Political party support	6.Governance and stability	10.Problem solving, process improvement	14.Reassignment situation	18.Non-disclosure contract status	22.Preserving intellectual property, and compensation for damage situation	26.Training strategy	30.Marketing strategy
	*3.Audit for Financial statements	*7.Personal relationship	11.Incident handling	15.Contingency plan & execution	19.Visitor management	23.Total cost competitiveness	27. Personnel system	31.Has experience doing business overseas
	4.Framework for roles, responsibilities, authority, etc.	8.Profitability, growth potential	12.Superiority in technology and service	16.Remote work capability	20.System access control	24.Relationship with partners	28.Securing human resources	32.High market share

9.3 Proposal

Following 6 of 32 risk assessment items are unique to developing countries compared to developed countries. (\* in red)

ASEAN Vendor Risk Index unique assessment items

Risk type: 1. Organization/Compliance

2.Anti society group relationship → Political party support

3.Internal audit status → Audit for Financial statements

Risk type: 2. Financial strength

7. Relationship with competitors/ Reputational risk → Personal relationship

Risk type: 4. Business continuity

Newly added: 13. Sustainable infrastructure

Risk type: 6. Legal/Contract

Newly added: 21. Labor cost control

Risk type: 7. Human resource capability

25.Employee situation → Employee qualification

The analysis of above samples results in focusing on 8 risk types and 32 risk assessment items. Furthermore, our proposal recommends that 3 kinds of risk level rate (High, Medium, and Low) will be applied to each risk type and risk assessment item. Then these risk rates will be aggregated to judge the overall risk level rate of targeted vendors. The detail of risk assessment approach on this ASEAN common vendor risk index is described in the next chapter.

10. ASEAN Common Vendor Risk Index approach for selection of business partners

10.1 3 steps for vendor risk assessment

**Step1:** Ask a person in charge of a vendor about the 32 questions on the ASEAN common vendor risk index questionnaire and evaluate the risk rate of the risk assessment items as “High”, “Medium “or” Low” based on their answers.

**Step2:** Evaluate the risk rate of the 8 risk types in terms of applying the risk rate result of the 32 risk assessment items into the risk matrix each risk type.

**Step3:** Finally, determine the overall risk rate of a vendor in terms of aggregating the risk rates of the 8 risk types on the overall risk matrix.

10.2 How to optimize the risk assessment result

A vendor with the risk rate “Medium “or” Low” would be recommended as a business partner. Although a vendor with the risk rate “High” would not be basically recommended to make a contract with, there might be a case that they are only one company dealing with specific business needs in the market so there is no other options. In this case, focusing on risk types with unacceptable risk rate, the risk mitigation actions for the particular risk types will be taken with the vendor, which would make it possible to make a contract with them as a future business partner because their major risks will be under control. A risk rate is evaluated differently due to a type of business assignment, even if the same company is on the table.

10. 11.ASEAN Common Vendor Risk Index Questionnaire

Proposal- Sample answered questionnaire (Table 10)

Risk type	Risk assessment items	Risk assessment description	Risk level rating		
			High	Medium	Low

1.Organization/Compliance	Registration status	Confirm the articles of incorporation and the registration	No official registration at all	Partially registered	Everything registered properly
1.Ornaizati on/Compliance	Political party support	The president's relationship with a political party which a company support	The president has a negative relationship with a political party	The president has no relationship with a political party	The president has a positive relationship with a political party
1.Organization/Compliance	Audit for Financial statements	Confirm whether F&Ss are inspected by auditors	F&Ss are not inspected at all.	F&Ss are inspected by internal auditors	F&Ss are inspected by external auditors
1.Organization/Compliance	Framework for roles, responsibilities, authorities	Records are kept and documents are securely managed and stored	No records are kept	Records regarding important decisions are kept randomly	Records regarding important decisions are securely kept
2.Financial strength	Financial viability	Check financial condition, asset & liability	More than 3 consecutive years in red	The latest year FS shows negative, but surplus in the past record.	Surplus in 3 consecutive years. Its balance sheet looks stable
2.Financial strength	Governance and stability	Confirm a possibility of future growth and business sustainability	Less than 5 years from the establishment Less than 5 employees	5 - 10 years on business 5 - 10 number of employees	More than 10 years on business More than 10 number of employees
2.Financial strength	Personal relationship	Whether have a personal relationship with vendors	No at all	Have a relationship with their staff level	Have a relationship with their management
2.Financial strength	Profitability, growth potential	Financial accounts (or statements) are reliable	No presentation of "corporate tax report" bearing a receipt confirmation stamp from the tax office	Confirm presentation of "corporate tax report" bearing a receipt confirmation stamp from the tax office	Confirm presentation of "corporate tax report" with its detailed statements
3.Customer services	Business performance capability	Confirm their service level	Performance capability is less than the country's average	Performance capability is almost equal to the country's average	Performance capability is more than the country's average
3.Customer services	Problem solving, process improvement	Confirm insured processes and a progress status is reported without hiding anything.	Their processes and status are not clearly reported. Their remediation process for client's needs and issues are not clearly defined.	Their processes and status are reported, and issues are also communicated honestly. Their remediation process does not work enough	Their processes and status are reported, and issues are also communicated honestly. Also, their remediation process works well
3.Customer services	Incident handling	Confirm incident handling procedure and manual are available. Incident details are recorded.	Incident handling procedure and manual are unavailable. Incidents are not handled properly	Incident handling procedure and manual are available. However, incidents are handled inconsistently.	Incident handling procedure and manual are available. Incidents are handled consistently.
3.Customer services	Superiority in technology and service	Confirm competitive or superior about delivery times	Do not have any proper system to check actual delivery time and delivery setting standard	Have any proper system to check actual delivery time and delivery setting standard	Have any proper system to check actual delivery time and delivery setting standard based on the required delivery time by the customers
4.Business continuity	Sustainable infrastructure	Confirm vulnerability of infrastructure such as electricity	Frequent blackout, no back-up	Blackout from time to time but back-up works	Infrastructure is stable, strong enough electronic generators are available
4.Business continuity	Reassignment situation	Confirm a part of the assigned tasks needs to be reassigned to another company.	Major tasks need to be reassigned. The reassigned company is uncontrollable.	Sub tasks only need to be reassigned. The reassigned company is controllable.	Reassignment is not required.
4.Business continuity	Contingency plan & execution	Confirm an adequate Business Continuity Plan is prepared for emergency	BCP is unavailable	BCP is under progress or the BCP drill has not been conducted yet.	BCP is well prepared and the drill has been conducted.

4.Business continuity	Remote work capability	Confirm whether remote work capability exists when natural disaster happens	Remote work capability is unavailable such as telecommunication work from home	Remote work capability is available such as limited telecommunication work from home	Remote work capability is available such as telecommunication work from home for all employees
5.Information security	Information security management	Confirm information security structure is established	A rule of personal information security does not exist.	A rule of personal information security exists. But it isn't implemented.	A rule of personal information security exists and is followed thoroughly.
5.Information security	Non-disclosure contract status	Confirm non-disclosure contracts are made with all employees	Not at all	Some employees only made non-disclosure contracts.	All employees made non-disclosure contracts.
5.Information security	Visitor management	Confirm the internal procedure is established about visitors	A rule of visitor control doesn't exist	A rule of visitor control exists. But it isn't implemented	A rule of visitor control exists and is followed thoroughly
5.Information security	System access control	Confirm how to control and monitor employees' system access.	Access control standard does not exist. No password control rules are available. Access log is not recorded.	Access control standard exists. Password control rules are available. Access log is not recorded.	Access control standard exists. Password control rules are available. Access log is recorded. Anti-virus software is installed into PCs.
6.Legal/Contract	Labor cost control	Confirm the competitiveness of labor cost in the market	The labor cost is too low and most likely increase in next 6 months	The labor cost may increase within next 2 years	The labor cost is under control within the expected range
6.Legal/Contract	Preserving intellectual property, and compensate for damage situation	Confirm there are articles such as the compensation for damages responsibility	No articles of compensation for damages responsibility	Articles of compensation for damages responsibility not fully described	Articles of compensation for damages responsibility is fully described on a contract
6.Legal/Contract	Total cost competitiveness	Confirm the cost assumption and management process is reasonable.	The outsourcing cost is more expensive than competitors.	The outsourcing cost is the market average. The cost management process is insufficient.	The outsourcing cost is cheaper than competitors. The cost management process is under control.
6.Legal/Contract	Relationship with partners	Confirm that relationships with domestic manufacturing, and sales bases are well organized	Relationships with domestic manufacturing, and sales bases are not well organized from subjective and objective measures	Relationships with domestic manufacturing, and sales bases seems organized from verbal explanation and their reputation	Relationships with domestic manufacturing, and sales bases are well organized
7.Human resource capability	Employee qualification	Confirm a person in charge and verify his/her background and experiences.	A person in charge has no experience of the assignment.	A person in charge has experience the assignment more than 6 months.	A person in charge has more than 1-year experience
7.Human resource capability	Training	Confirm all employees are fully trained periodically.	Employees are not trained at all.	Employees are partially trained. Manuals exist.	Employees are fully trained. All manuals are available.
7.Human resource capability	Personal system	Confirm a fair and equitable personnel evaluation system has been established	A personnel evaluation system has not been established yet	A fair and equitable personnel evaluation system has been partially established	A fair and equitable personnel evaluation system has been established
7.Human resource capability	Securing human resources	Confirm there are human resources with a high level of knowledge	There are no human resources with a high level of knowledge, etc, being handled	There are a few human resources with a high level of knowledge regarding the products and goods, services	There are enough human resources with a high level of knowledge regarding the products

					and goods, services
8.Sales capabilities	Sales framework	Confirm a sales strategy has been established and is in place	A sales strategy has not been established	A sales strategy has been established but has not been executed enough	A sales strategy has been established and is in place
8.Sales capabilities	Marketing strategy	Confirm different methods are utilized to provide products, and services	Only single method is utilized to provide products, and services	Limited number of methods are utilized to provide products and services	Different methods are utilized to provide products, and services
8.Sales capabilities	Has experience doing business overseas	Confirm they have any proper documents related to contracts, and financial closings for the company's overseas business	They don't have any proper documents related to contracts, and financial closings for the company's overseas business	They have limited kinds of documents related to contracts, and financial closings for the company's overseas business	They have any proper documents related to contracts, and financial closings for the company's overseas business
8.Sales capabilities	High market share	Confirm their products or services get higher market share in these five years	Their products or services have not got higher market share in these five years	Their products or services have got higher market share once in these five years	Their products or services get higher market share in these five years

12. ASEAN Common Vendor Risk Index –risk assessment Matrix each risk type

Risk Assessment Type : 1.Organization/Compliance (Table 11)

Risk assessment items	Organization/Compliance risk rate			
1.Registration status (Rate: Low)	High	Medium	High	High
2.Political party support (Rate: Low)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		3. Audit for Financial statements (Rate: High)		
		4. Framework for roles, responsibilities, authority, etc. (Rate: Medium)		

Overall organization/compliance risk rate: (Medium)

Risk Assessment Type : 2.Financial strength (Table 12)

Risk assessment items	Financial strength risk rate			
5. Financial viability (Rate: Medium)	High	Medium	High	High
6. Governance and stability (Rate: Low)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		7. Personal relationships (Rate: Medium)		
		8. Profitability, growth potential (Rate: Low)		

Overall Financial strength risk rate: (Medium)

Risk Assessment Type : 3.Customer service (Table 13)

Risk assessment items	Customer service risk rate			
9. Business performance capability (Rate: Medium)	High	Medium	High	High
10. Problem solving, process improvement (Rate: Medium)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		11. Incident handling (Rate: Low)		
		12. Superiority in technology and service (Rate: Medium)		

Overall customer service risk rate: (Medium)

Risk Assessment Type : 4. Business continuity (Table 14)

Risk assessment items	Business continuity risk rate			
13. Sustainable infrastructure (Rate: Medium)	High	Medium	High	High
14. Re-assignment situation (Rate: Low)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		15. Contingency plan & execution (Rate: Medium)		
		16. Remote work capability (Rate: Medium)		

Overall business continuity risk rate: (Medium)

Risk Assessment Type : 5.Information security (Table 15)

Risk assessment items	Information security risk rate			
17. Information security management (Rate: Medium)	High	Medium	High	High
18. Non-disclosure contract status (Rate: High)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High

	19. Visitor management (Rate: Medium)
	20. System access control (Rate: Medium)

Overall information security risk rate: (High)

Risk Assessment Type : 6. Legal/Contract (Table 16)

Risk assessment items	Legal/Contract risk rate			
21. Labor cost control (Rate: High)	High	Medium	High	High
22. Preserving intellectual property, and compensation for damage situation (Rate: Medium)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		23. Fair competition (Rate: Low)		
		24. Relationship with partners (Rate: Low)		

Overall Legal/contract risk rate: (Medium)

Risk Assessment Type : 7. Human resource capability (Table 17)

Risk assessment items	Human resource capability risk rate			
25. Employee qualification (Rate: High)	High	Medium	High	High
26. Training (Rate: Medium)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		27. Personal system (Rate: Medium)		
		28. Securing human resources (Rate: Medium)		

Overall human resource capability risk rate: (High)

Risk Assessment Type : 8. Sales capabilities (Table 18)

Risk assessment items	Sales capabilities risk rate			
29. Sales framework (Rate: Low)	High	Medium	High	High
30. Marketing strategy (Rate: High)	Medium	Medium	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
		Low	Medium	High
		31. Has experience doing business overseas (Rate: Medium)		
		32. High market share (Rate: Medium)		

Overall sales capabilities risk rate: (Medium)

13. ASEAN Common Vendor Risk Index – overall vendor risk assessment matrix (Table 19)

Risk assessment items	Overall vendor risk rate			
1. Organization/Compliance (Rate: Medium)	Medium	High	High	High
2. Financial strength (Rate: Medium)	Medium	Medium	Medium	High
3. Customer service (Rate: Medium)	Low	Low	Low	Medium
4. Business continuity (Rate: Medium)		Low	Medium	High
If multiple risk assessment items have a different risk level rate each other, more suitable rate will be chosen by a person to determine the represented risk rate on the vertical axis and the horizontal axis both. The represented risk rate on the vertical and the horizontal axis are applied to the risk decision matrix to determine the overall risk rate of the targeted vendor.				
		5. Information security (Rate: High)	6. Legal/Contract (Rate: Medium)	7. Human resource capability (Rate: High)
		8. Sales capabilities (Rate: Medium)		
		Risk mitigation actions for High risk items will be required to make a contract with the vendor		

Overall vendor risk rate: (High)

13.1 How we manage the assessed risks to achieve our business expansion plan in ASEAN developing countries.

This sample case indicates that the overall risk rate is “High”, which means the vendor is not recommended. However, if the risk level of “Information security” and “Human service resource capability” can be reduced, the overall risk rate would be lowered to “Medium” which means to make it possible to make a contract with the vendor as a business partner.

14. Conclusion – Proposal & Limitation

Our project theme is to propose a vendor risk

management scheme in order for Japanese companies to logically select a suitable local company in developing countries of ASEAN as a business partner. Vendor risk management is categorized as a part of operational risk management in Enterprise Risk Management Structure. However, vendor risk management is still under development and has not been standardized in developed and developing countries, either. Firstly, we researched vendor risk management practices to assess vendor candidates for selection in developed countries. These practices are almost confidential and unique each company. Fortunately, we got the vendor risk assessment practice information from the U.S, Europe, Japanese companies, and Creditability index for SMEs (CIS project lead by AIT with 9 universities in ASEAN countries) as samples. We extracted the common essence from them and identified 8 risk types and 32 risk assessment items for vendor risk management in developed countries. Secondly, we visited PhnomPenh Cambodia to look into the vendor risk management practice in developing countries. We had interviews with representatives from CJCC (Cambodia-Japan Cooperation Center) & CJBI (Cambodia Japan Association for Business & Investment) and nulo Lab Co,Ltd (Local subsidiary of Japanese company) and was successful for information gathering in regard to their vendor risk management practice, unique risks and culture of Cambodia. we adjusted the vendor risk management practice of developed countries to involve Cambodia practice and finalized the ASEAN common vendor risk index, assumed Cambodia practice represents developing countries in ASEAN.

Common vendor risk assessment factors in developed countries (Table 20)

Risk type	1.Organizational compliance	2.Financial strength	3.Customer service	4.EOP	5.Information security	6.Legal/Contract	7.Human resource capability	8.High market share
Risk assessment item	1.Registration status	5.Financial viability	9.Business performance capability	13.Reassign situation	17.Information security management	21.Preserving intellectual property, and compensation for damage situation	25.Employee situation	29.Sales framework
	2.Anti society group relationship	6.Governance and stability	10.Problem solving process improvement	14.Contingency plan & execution	18.Non-disclosure contract status	22.Cost competitiveness	26.Training	30.Marketing strategy
	3.Internal audit status	7.Reputational risk	11.Incident handling	15.Business continuity plan & drill	19.Visitor management	23.Patent strategy	27.Personnel system	31.Has experience doing business overseas
	4.Framework for roles, responsibilities, authority, etc	8.Profitability, growth potential	12.Superiority in technology and service	16.Remote work capability	20.System access control	24.Relationship with partners	28.Securing human resources	32.High market share



Proposal of ASEAN common vendor risk index-risk type and risk assessment items (Table 21)

Risk type	1.Organizational compliance	2.Financial strength	3.Customer service	4.EOP	5.Information security	6.Legal/Contract	7.Human resource capability	8.High market share
Risk assessment item	1.Registration status	5.Financial viability (Security analysis)	9.Business performance capability	*13.Sustainable infrastructure	17.Information security management	*21.Labor cost control	*25.Employee qualification	29.Sales framework
	*2.Political party support	6.Governance and stability	10.Problem solving process improvement	14.Reassignment situation	18.Non-disclosure contract status	22.Preserving intellectual property, and compensation for damage situation	26.Training	30.Marketing strategy
	*3.Audit for Financial statements	*7.Personal relationship	11.Incident handling	15.Contingency plan & execution	19.Visitor management	23.Total cost competitiveness	27.Personnel system	31.Has experience doing business overseas
	4.Framework for roles, responsibilities, authority, etc	8.Profitability, growth potential	12.Superiority in technology and service	16.Remote work capability	20.System access control	24.Relationship with partners	28.Securing human resources	32.High market share

14.1 Proposal

Following 6 of 32 risk assessment items are unique to developing countries compared to developed countries. (\* in red)

ASEAN Vendor Risk Index unique assessment items

Risk type: 1. Organization/Compliance

2.Anti society group relationship → Political party support

3.Internal audit status → Audit for Financial statements

Risk type: 2. Financial strength

7. Relationship with competitors/ Reputational risk → Personal relationship

Risk type: 4. Business continuity

Newly added: 13. Sustainable infrastructure

Risk type: 6. Legal/Contract

Newly added: 21. Labor cost control  
Risk type: 7. Human resource capability

25. Employee situation → Employee qualification

Thirdly, we created the ASEAN common vendor risk assessment questionnaire to evaluate candidate vendors each 32 risk assessment items under 8 risk types to select better vendors based on the Cambodia business practice representing ASEAN developing countries.

Finally, we understand the limitation is that more local research in ASEAN other countries will help to tune up the proposal to more fit into ASEAN business practice. Also, more samples from developed countries could conduct a deep dive into the commonization of vendor risk management factors. However, due to limited time and cost, this proposal of ASEAN common vendor risk index is established based on the assumption that Cambodia practice represents other developing countries in ASEAN

10) [https://nulo.co.jp/en/service\\_en/](https://nulo.co.jp/en/service_en/) Nulo Lab Co,Ltd  
(Visited on 2019) (ウェブ参照)

## 15. 参考文献

- 1) 2018 年度日本企業の海外事業展開に関するアンケート調査(ジェトロ海外ビジネス調査)結果概要
- 2) [https://www.mofa.go.jp/mofaj/外務省\\_ホームページ](https://www.mofa.go.jp/mofaj/外務省_ホームページ)  
(Visited on 2019) (ウェブ参照)
- 3) 2018 年 3 月カンボジア・ラオス ビジネスガイド 三井住友銀行グローバル・アドバイザー部
- 4) [https://www.fsa.go.jp/manual/manualj/manual\\_yokin/18.pdf](https://www.fsa.go.jp/manual/manualj/manual_yokin/18.pdf) 金融庁オペレーショナル・リスク管理態勢の確認検査用チェックリスト (Visited on 2019) (ウェブ参照)
- 5) <https://aiit.ac.jp/education/global/apen.html>  
AIIT APEN プログラム説明 (CIS project) (Visited on 2019) (ウェブ参照)
- 6) CIS Base Model AIIT APEN プログラム説明 (CIS project)
- 7) 高橋文行: 中小製造企業のアジア発展途上国進出におけるリスクマネジメント P95
- 8) <http://www.cjcc.edu.kh/site/index.php/en/>  
(Visited on 2019) Cambodian-Japan Cooperation Center (CJCC) (ウェブ参照)
- 9) <https://www.cjbi.asia/eng/> (Visited on 2019)  
Cambodia-Japan Business and Investment (CJBI) (ウェブ参照)



# 非正規職シングル女性を対象とした就労支援講座

三 好 き よ み\*

## Evaluation of a Support Program for Seeking Reemployment for Unmarried Female Non-Regular Workers

Kiyomi Miyoshi\*

### Abstract

Fukuoka Prefecture's Gender Equality Promotion Division held a program on "Women's Work and Life Support" for unmarried female, non-regular workers. The purpose of the support program is to reduce their anxiety and motivate them to switch to regular employment. This paper presents an overview of the program. Next, we report on the results of a questionnaire-based analysis of how participants changed as a result of attending the program. Using the self-efficacy scale, a comparative analysis of before and after the program revealed a tendency for increased self-confidence in all of the following areas: "state of readiness to improve the current situation," "own way of working and family life," "future outlook and goal setting," and "actions for career choice."

Keywords: Non-Regular Employment, Woman Self-Efficacy Scale for Reemployment, Employment Promotion Programs

### 1 はじめに

労働政策における規制緩和により、1990年代後半から、2000年代にかけて非正規雇用が増加した。1985年には、16.4%であった非正規雇用率が、1990年20.2%、1995年20.9%、2000年26.0%、2005年32.6%、2010年34.4%と上昇してきた。以降3分の1を超える水準で推移している[1]。2020年1月から3月期の調査結果では、5661万人の雇用労働者のうち、38.0%が非正規雇用であり、女性においては、2639万人の雇用労働者のうち、56.0%が非正規雇用である[1]。

女性労働者の過半数を超える非正規雇用の中でも、特にシングル女性の非正規雇用問題がある。ここでいうシングルとは、結婚していない状態である「独身」、「未婚」、「無配偶」等をいう。横浜市男女共同参画推進協会を中心とした非正規職シングル女性のニーズ調査結果[2]によると、次のようなことが明らかになっている。シングル女性は、非正規雇用の中でもフルタイムでの契約や嘱託、派遣社員の比率が高く、年収は、150万円未満 約3割、150万円以上250万円未満 約4割、250万円以上 約3割である。7割が年収250万円未満であり、等価可処分所得の中央値の半分である貧困線[3]の122万円に近い層も3割である。非正規職についている理由は、「正社員として働ける会社になかったから」と

いう、いわゆる不本意非正規が6割超であった。仕事に対する悩みや不安の上位には、「収入が少ない」が8割超、「雇用継続(解雇・雇止め)の不安」が約6割である。利用したいサポートとの上位には、「仕事に必要なスキルアップの場」「職業訓練・資格取得支援」が約4割と直接仕事に関する項目があがっていると同時に、「同じ立場の人たちとの交流の場」「話を聞いてもらえる場」「非正規シングル女性の交流サイト」もそれぞれ約3割あり、自身が置かれた状況などについて共有・共感できる場や関係を求めていることがわかる。

全国ではハローワークを中心として、様々な就労支援を行っている。東京仕事センターでは、女性再就職支援として、希望に合わせたセミナーや仕事の基礎を学ぶサポートプログラムを開催している。一方で、事務系の仕事に人気があり、応募が集中するため、相対的に希望条件を満たす求人が少なく、応募機会が得られないことが課題となっている[4]。就労に必要と思われる知識やスキルを学んでも、実際にそれらを活かした仕事に就けるかどうかは確実でないということである。以上のような問題を踏まえて、横浜市男女共同参画推進協会では、平成28年度地域における女性活躍推進モデル事業として内閣府からの委託を受け、非正規職シングルのための支援プログラム「仕事とくらしのセーフティ講座」を開発、実施するとともに、webサイトの運営を行っている[5]。福岡県男女共同参画推進課においても、特に、行政の支援が少

Received on October 15, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology



なく、支援の情報が届きにくい、非正規職シングル女性を対象として講座を開設している[6].

就業についての研究では、大学生を対象とした調査分析が多数ある。就職先を決定できる、就業できるという自己効力感が高い者ほど就業不安を軽減し、就職意欲を高めることが示されている[7]. 女子大生を対象とした就業と自己効力感の関連については、様々な調査分析が行われてきており、強い進路選択に対する自己効力が積極的な就職活動を導いている[8], 進路が決定した4年生は、未決定の4年生、および就職活動開始前の3年生と比較して自己効力感が高い[9], 自ら就職先の情報を収集し、自分を肯定的に評価し、自分を高めたいという動機を持っている者ほど就職できる[10], 自己効力が高い人ほど、就職活動の行動時期が早く、行動が積極的である[11]などが示されている。

一方、シングル女性を対象とした就業支援に関する調査分析は限られている。保健・福祉・保育分野への再就職・転職を目指す女性を対象とした就労支援プログラムにおける講座受講前後の自効力感尺度の調査分析では、特にキャリアプランニング講座が自己効力感を高めるのにより効果的であることが示されている[12]. 非正規職シングル女性を対象としたプログラムでは、講座受講前後の自効力感尺度の調査分析により、自分らしい生き方・家庭との両立、職業選択のための行動について、有意差が示されている[13].

本論文では、先に述べた、福岡県男女共同参画推進課が非正規職シングル女性を対象として開設した「女性の仕事と暮らし応援講座」の概要を紹介し、参加者が、本講座によってどのような変化があったか、自己効力感アンケートによる調査分析を行った結果について報告する。

## 2 「女性の仕事と暮らし応援講座」の概要

本論文で対象とする「女性の仕事と暮らし応援講座」は、福岡県男女共同参画推進課が、非正規職のシングル女性調査の結果の全国的動向を踏まえ、非正規職のシングル女性を対象として新規開設したプログラムである[6]. 以下に対象者、目的、内容等について述べる。

### 2.1 対象者、目的

原則として、非正規職のシングル女性を対象としており、非正規職で働く女性の不安を軽減するとともに、仕事に役立つ知識を得ることで、正規雇用の転換や仕事に対する意欲の向上を促すことを目的としている。また、受講者が気軽な雰囲気に参加できるように、講座名を「キッカフェ」とし、休日にお気に入りのカフェで、気の合う仲間とおしゃべりするような感覚で参加できるように雰囲気づくりをしている。

### 2.2 講座の内容と日程

本講座は、福岡市と北九州市の2か所でそれぞれ4回講座として行われた。場所は、福岡市天神駅、小倉駅近くという便利なところであり、会場は一般的な会議室のようなところではなく、コミュニティスペースとして適した場所であった。第1回から第4回までを連続して参加するのが原則であるが、単体での参加も可能とした。2会場で日程を変えて同内容を実施し、受講者が都合に応じてどちらの会場でも受講することが可能である。

第1回から4回の日程、および講座のタイトルと概要を以下に示す。講座は、1回あたり2時間程度であり、グループワークやディスカッションで、自分自身を振り返り、見つめ直す時間を多く設けている。また、毎回の講座終了後に気軽な雰囲気ですすめるように、茶話会風の交流会を設け、受講者同士のネットワークづくりを促した。

#### 第1回 2019年11月実施

タイトル:「キャリアとワタシ～立ち止まって考えよう～」

・勇気をもらえる事例レポート、強みを発見できる自己分析

#### 第2回 2019年12月実施

タイトル:「労働市場のトレンド」

・求められる仕事とワタシの強み、セルフメンタルケアのアドバイス、ミニヨガレッスン

#### 第3回 2020年1月実施

タイトル:「お仕事リテラシーを身に付けよう」

・仕事に役立つコミュニケーションスキル、職場の人間関係・トラブル対処法

#### 第4回 2020年2月実施

タイトル:「これだけは知っておきたいお金&制度」

・今更相談できないお金のこと、自分を守る支援制度や権利

## 3 講座の効果測定

講座受講の効果測定するために参加者に対して、自己効力感アンケートを実施した。

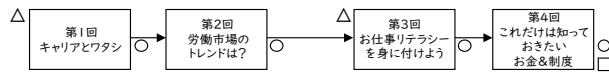
### 3.1 実施時期

2019年11月～2020年2月

### 3.2 方法

自己効力感アンケートは、受講初回の前、各講座後の計5回実施した。実施ポイントを図1に示す。回答は、無記名で、受講番号を記載するように求めた。調査結果は、個人が特定されないよう統計的な処理を行う旨を紙面、及び口頭で説

明した。なお、第4回終了後には、別途、受講後アンケートを実施している。



△:受講前自己効力感アンケート ○:受講後自己効力感アンケート □:受講後アンケート

図1: 講座の日程とアンケートの実施ポイント

### 3.3 調査内容

調査内容は以下の通りである。

#### I 現状を改善するにあたっての心の準備状態

現状を改善するにあたっての心の準備状態を「心の準備ができていない」(100%)から、「心の準備ができていない」(0%)までのビジュアルアナログスケール(図2)によって回答を求めた。

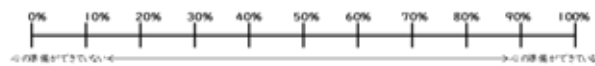


図2: ビジュアルアナログスケール

#### II 自己効力感尺度

女性の再就職・転職自己効力感尺度[14]を利用した。横浜市男女共同参画推進協会が、女性の就労促進学び直しプログラムの効果測定のために、受講生の状態を客観的に把握するとともに、就労への自信を測定するための尺度として、学生の進路選択に対する自己効力に関する研究[15]を基にして開発したものである。本講座の目的である「悩みや将来に対する不安の軽減、就労意欲の向上、正規職員を目指す女性の行動の後押し」に対する効果測定が可能と考え採用した。

尺度の構成は、「自分らしい働き方・家庭との両立(9項目)」「将来展望・目標設定(7項目)」「職業選択のための行動(6項目)」の全22項目3因子であった。「全く自信がない」「あまり自信がない」「少しは自信がある」「とても自信がある」の4段階で回答を求めた。分析では、1から4で得点化し、平均値を計算したものをを用いる。

#### III 思うことや感じること、心配なこと

思うことや感じること、心配なことなどについて、自由記述を求めた。別途実施した、受講後アンケートの受講の理由、受講後の感想等とともに、参考データとして取り扱う。

### 3.4 結果

受講者の総数は31名であった。開催回ごとの受講者数の内訳は、第1回23名、第2回15名、第3回17名、第4回18名であり、のべ73名であった。また、受講回数は、1回のみ12名、2回受講4名、3回受講7名、全4回受講8名であった。

#### 3.4.1 受講前の状況

受講前アンケートに回答した27名の得点(表2)をみると、最も低いのは、「⑮5年先の目標を設定し、それにしたがって計画を立てることができる。」であり、2.11、次は、「⑯自分の将来設計にあった職業を探すことができる。」で、2.12であった。最も高いのは、「⑧収入を得ることで自分の裁量で自由に買い物や外出などができる。」であり、3.26、次は、「③家庭の事情(家族の急変や子どもの病気)で急用が生じたとき、職場に事情を話し対処することができる。」と「⑦仕事をするを家族に理解してもらえよう話し合うことができる。」で、2.96であった。よって、受講前の時点では、5年程度先について計画し仕事を探すことには自信がないが、今現在の問題については、自分で対処できる自信がある傾向がみられる。

#### 3.4.2 講座受講前後の比較

受講者の受講前後の変化について検討するために、受講前アンケートに回答した27名を分析対象として、受講前と最後に受講した回の受講後アンケートの得点を比較した(表1)。なお、分析対象者の受講回数は、1回のみ11名、2回受講2名、3回受講6名、全4回受講8名であった。

まず、「現状を改善するにあたっての心の準備状態」については、50.53%から、72.50%に上がった。自己効力感全項目の平均値は、2.53から、2.88に上がり、統計的に有意であった。各尺度の得点の平均値は、「自分らしい働き方・家庭との両立」「将来展望・目標設定」「職業選択のための行動」、それぞれ、2.70から、2.98、2.37から2.74、2.48から2.92と上がり、いずれも統計的に有意であった。よって、自己効力感全般について、講座受講によって、高まったことがわかる。

次に、質問項目ごとに詳しく検討するために、各項目の得点を比較した(表2)。その結果、「①家庭生活(家事・介護・子育てなど)や個人生活と仕事の両立をすることで生活を充実させることができる。」「②家事・介護・子育てと仕事の両立をすることができる。」「④家庭の事情と仕事の締切を考えあわせて仕事を進めたり、人に助けを求めたりすることができる。」「⑤仕事をするにあたり気持ちの整理をすることができる。」「⑥ライフコースに応じて柔軟に働き方を変えていくことができる。」「⑬自分の才能を最も活かせると思う職業の分野を決めることができる。」「⑮5年先の目標を設定し、それにしたがって計画を立てることができる。」「⑯自分の将来設計にあった職業を探すことができる。」「⑲キャリアアップするために必要な資格や知識について調べることができる。」「⑳自分が従事したい職業(職種)の仕事内容を知ることができる。」「㉑将来どのような生活をしたいか、明確にイメージすることができる。」の14項目で、統計的に有意に得点が上がった。

### 3.4.3 第1回目受講前と各講座後の比較

各講座の受講者の講座ごとの受講後の変化について検討するために、第1回目の受講前アンケートに回答した23名を分析対象として、各回の受講者について、受講前と受講後の得点を比較した(表3)。まず、「現状を改善するにあたっての心の準備状態」については、全ての回において受講後に上がった。受講前にはいずれも約50%程度であったが、第1回、第3回、第4回の受講者は受講後に約70%に上がった。第2回の受講者は受講後に約60%に上がった。次に、自己効力感についても、全ての回の受講者において受講前よりも得点が上がった。統計的な分析結果からは、第1回目、及び第4回の受講者は、受講前に比較して受講後、「自分らしい働き方・家庭との両立」「将来展望・目標設定」「職業選択のための行動」のすべてにおいて、有意に得点が上がった。

### 3.4.4 全講座受講者の変化の推移

講座全体による変化を検討するために、第1回から第4回までの全講座の受講者8名を対象として、講座受講後の得点の推移を確認した(表4,図2,図3)。「現状を改善するにあたっての心の準備状態」は、受講前41.67%が、第一回目後55.00%、第2回目後56.67%、第3回目後65.00%と、受講ごとに上がっており、第4回受講後には、66.67%に上がった。自己効力感の平均得点についても受講ごとに上がっており、受講前の2.31が、第1回目後2.60、第2回目後2.60、第3回目後2.77、第4回目後には2.86と、受講が進むごとに上がっていった。自己効力感の尺度別にみると、「自分らしい働き方・家庭との両立」、「将来展望・目標設定」は、2回目後、1回目後より得点が下がったが、全4回受講後には、いずれも受講前よりも得点が上がっていた。「職業選択のための行動」は、第3回目後は変化がなかったが、受講が進むごとに得点が上がっていく傾向がみられた。具体的には、受講前と第4回後の得点は、「自分らしい働き方・家庭との両立」「将来展望・目標設定」「職業選択のための行動」、それぞれ、2.46から3.01、2.29から2.68、2.10から2.83と上がった。

### 3.4.5 自由記述:受講の理由,受講後の感想等

受講の理由について、「将来についての漠然と不安があった」という記述が多くみられた。受講後は、「知らなかった知識をたくさん得ることができた」、「自己分析で知りたいことを知ることができた」、「今の仕事の中で活かすこともあり大変役に立った」といったように、知識獲得についての記述がみられた。また、「いろいろな考え方を知ることができた」、「同じ悩みを共有できて気持ちが楽になった」といったように、受講者同士や講師との交流についての記述がみられた。さらに、「今後について考えるきっかけになった」といった将来展望や、

“将来の人生プランを自分なりに立てて行動しようと思う”、“お金の管理を見直そうと思う”といった今後の具体的な行動についての記述がみられた。

## 3.5 考察

受講前に実施した自己効力感アンケートの結果からは、自分の収入で買い物や外出する自信、及び働くことに対して家族へ理解を求めたり、家庭の事情について職場へ理解を求めたりすることへの自信は高い傾向がみられた。一方、目標設定や将来設定に対する自信については、低い傾向がみられた。また、自由記述の受講の理由にも“将来についての漠然と不安があった”という記述が多くみられた。よって、受講前は、今現在のことに対しては対処する自信があるが、将来については自信が持てない状態であったと考えられる。

自己効力感アンケートの講座受講前後の比較結果では、今回調査した、「現状を改善するにあたっての心の準備状態」、「自分らしい働き方・家庭との両立」、「将来展望・目標設定」、「職業選択のための行動」のすべてにおいて自信が高まっている傾向がみられ、統計的に有意差が示された。また、自由記述からは、講座受講によって、知識獲得に加えて、他者との交流によって、不安が軽減していること、さらに、将来展望に思いが至ることが示された。

全講座を受講した8名の自己効力感の変化の推移からは、「自分らしい働き方・家庭との両立」、「将来展望・目標設定」について、第1回目が高まった自信が、第2回目後に低くなる傾向がみられたが、これについては、新しく知識を得ることによってこれまでに知らなかったことに対する一時的な自信の低下とも考えられる。その後第3回目、第4回目と自信の高まりがみられ、最終的には、受講前よりも自信が高まる傾向がみられた。

これらのことから、「女性の仕事と暮らし応援講座」は、現状を改善するにあたっての心の準備ができてくるとともに、将来に対する不安や悩みを軽減させ、将来展望や職業選択についての自信を高めていることがわかる。よって、就労意欲の向上、正規職を目指す女性の行動の後押しに一定の効果があつたと考えられる。受講後アンケートでは、今後の具体的な行動についての記述も見られ、継続してヒアリング調査等を行っていくことで、講座の効果についてより明らかになるであろう。また、受講者同士や講師といった他者との交流による不安の軽減等の効果もみられたことから、今後、フォローアップ講座の開設や次年度の受講者との交流の場をつくるなどの検討も必要と思われる。

なお、今回は、各講座と自己効力感との関連については、第1回目の受講前と各講座受講後の比較検討にとどまり、各講座単体において受講前後の比較検討には至っていない

い。これについては、今後は、各講座の受講前にアンケートを実施することで、比較検討が可能となる。

#### 4 おわりに

本論文では、非正規職シングル女性を対象として開設した「女性の仕事と暮らし応援講座」の概要とその効果について報告した。福岡県で実施された講座であり対象が限定的ではあるが、非正規職シングル女性を対象とした就労支援講座の概要を提示し、その有効性を示したことで、今後の非正規職シングル女性への就労支援に対する実践的な展開に貢献できたと考える。

#### 謝辞

調査にご協力いただいた皆様へ心より感謝いたします。また、調査分析を進めるにあたり、野依智子教授(公立大学法人福岡女子大学)からアドバイスをいただきました。記して感謝申し上げます。なお、調査実施に際しては、公立大学法人福岡女子大学疫学等研究倫理審査委員会の審査と承認を得ました。

#### 付記

本論文の一部は、「女性の仕事と暮らし応援講座事業キックオフ報告書」[6]にて報告した。

#### 参考文献

- [1] 福岡県男女共同参画推進課, 女性の仕事と暮らし応援講座事業キックオフ報告書 2020年3月 野依執筆より, 2020.
- [2] 横浜市男女共同参画推進協会, 大阪市男女共同参画のまち創生協会, 野依智子, 非正規職シングル女性の社会的支援に向けたニーズ調査報告書, 2016.
- [3] 厚生労働省, 平成25年版 労働経済の分析, 2013.
- [4] 厚生労働省職業安定局, 公共職業安定所(ハローワーク)の主な取組と実績 平成29年7月, 2017.
- [5] 横浜市男女共同参画推進協会, 非正規職シングル女子のしごとと暮らし, 2016. Retrieved from <https://www.hiseiki-singlewomen.info/>, 2020年9月.
- [6] 福岡県男女共同参画推進課, 女性の仕事と暮らし応援講座事業キックオフ報告書 2020年3月, 2020.
- [7] 古市 裕一, 大学生の職業忌避的傾向と自己効力感および就業不安, 岡山大学大学院教育学研究科研究集録, 151, pp. 43-50, 2012.
- [8] 浦上昌則, 女子短大生の職業選択過程についての研究, Japanese Journal of Educational Psychology, 44, pp.195-203, 1996.
- [9] 柴田由己・安住伸子, 女子大学生の進路選択に対する自己効力と進路探索, キャリア教育研究, 29, pp.71-80, 2011.
- [10] 安達 智子, 進路選択に対する効力感と就業動機, 職業未決定の関連について—女子短大生を対象とした検討—, 心理学研究, 72(1), pp.10-18, 2001.
- [11] 富永美佐子, 女子大学生の進路選択過程における自己効力, 進路指導研究, 20(1), pp.21-31, 2000.
- [12] 奥田訓子, 森和代, 代島奈穂子・石川利江, 女性のための就労支援プログラムの開発と効果評価について. Journal of Health Psychology Research, 30(1), pp.123-131, 2018.
- [13] 奥田訓子, 非正規職のシングル女性を対象とした就労支援プログラムについて, 日本健康心理学会, 第30回記念大会プログラム, 2017.
- [14] 横浜市男女共同参画推進協会, 保育・介護・看護分野での女性の就労促進学び直しプログラム実施ガイド, 2015.
- [15] 浦上昌則, 学生の進路選択に対する自己効力に関する研究, 名古屋大学教育学部紀要, 42, pp.115-126, 1995.

表1:受講前後の得点の比較結果

(n=27)	受講前		受講後		t値	p値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差		
現状を改善するにあたっての心の準備状態(100%満点)	50.53	13.17	72.50	11.99	5.82	***
自己効力感(全項目)	2.53	0.53	2.88	0.59	3.80	***
自分らしい働き方、家庭との両立	2.70	0.52	2.98	0.55	2.99	**
将来展望、目標設定	2.37	0.69	2.74	0.68	3.27	**
職業選択のための行動	2.48	0.64	2.92	0.67	3.78	***

\*\*\* $p<0.001$ , \*\* $p<0.01$ 

表2:受講前後の得点の比較結果(項目ごと)

(n=27)		受講前		受講後		t値	p値	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差			
自分らしい働き方・家庭との両立	1	家庭生活(家事・介護・子育てなど)や個人生活と仕事の両立をすることで生活を充実させることができる。	2.37	0.67	2.75	0.77	3.07	**
	2	家事・介護・子育てと仕事の両立をすることができる。	2.26	0.75	2.58	0.77	3.33	**
	3	家庭の事情(家族の急変や子どもの病気)で急用が生じたとき、職場に事情を話し対処することができる。	2.96	0.92	3.09	0.70	1.00	
	4	家庭の事情と仕事の締切を考えあわせて仕事を進めたり、人に助けを求めたりすることができる。	2.62	0.88	3.04	0.78	3.33	**
	5	仕事をするにあたり気持ちの整理をすることができる。	2.67	0.61	2.92	0.82	2.21	*
	6	ライフコースに応じて柔軟に働き方を変えていくことができる。	2.38	0.68	2.74	0.75	3.43	**
	7	仕事をするを家族に理解してもらえよう話し合うことができる。	2.96	0.84	3.04	0.63	0.94	
	8	収入を得ることで自分の裁量で自由に買い物や外出などができる。	3.26	0.70	3.17	0.63	0.25	
	9	家計を支えるために働くことができる。	2.81	0.92	3.09	0.67	1.43	
将来展望・目標設定	10	自分の興味に合うと思われる職業を選ぶことができる。	2.56	0.87	2.83	0.74	1.97	
	11	現在考えているいくつかの職業のなかから、一つの職業に絞り込むことができる。	2.48	0.79	2.58	0.86	1.10	
	12	自分の能力に合うと思われる職業を選ぶことができる。	2.44	0.74	2.67	0.75	1.99	
	13	自分の才能を最も活かせると思う職業の分野を決めることができる。	2.33	0.77	2.63	0.76	2.80	**
	14	将来の仕事で役に立つと思われる免許・資格取得の計画を立てることができる。	2.48	0.92	2.75	0.72	1.97	
	15	5年先の目標を設定し、それにしたがって計画を立てることができる。	2.12	0.80	2.57	0.74	3.61	**
	16	自分の将来設計にあった職業を探ることができる。	2.12	0.86	2.68	0.71	3.36	**
職業選択のための行動	17	自分が就きたい仕事に活かせるように働く体験(インターン・ボランティア)を積むことができる。	2.24	0.71	2.64	0.73	2.68	*
	18	興味のある領域の会社や組織に関する情報を手に入れることができる。	2.50	0.69	3.00	0.65	3.38	**
	19	キャリアアップするために必要な資格や知識について調べることができる。	2.88	0.70	3.09	0.70	1.81	
	20	自分の興味を持っている分野で働いている人と話す機会を持つことができる。	2.46	0.89	2.87	0.87	2.90	**
	21	自分が従事したい職業(職種)の仕事内容を知ることができる。	2.58	0.79	2.78	0.77	1.66	
	22	将来どのような生活をしたいか、明確にイメージすることができる。	2.26	0.84	2.79	0.76	3.47	**

\*\*\* $p<0.001$ , \*\* $p<0.01$ , \* $p<0.05$

表 3 : 第 1 回受講前と各講座後の比較結果

(n=23)	n	第1回受講前		第1回受講後		t値	p値
		平均	標準偏差	平均	標準偏差		
心の準備状態(100%満点)	16	50.63	14.35	68.75	18.33	6.54	***
自己効力感(全項目)	23	2.45	0.54	2.76	0.53	4.68	***
自分らしい働き方、家庭との両立	23	2.64	0.53	2.84	0.55	2.98	**
将来展望、目標設定	23	2.28	0.70	2.67	0.60	3.65	**
職業選択のための行動	23	2.40	0.66	2.75	0.58	4.19	***

(n=12)	n	第1回受講前		第2回受講後		t値	p値
		平均	標準偏差	平均	標準偏差		
心の準備状態(100%満点)	9	50.00	19.44	60.00	12.47	1.50	
自己効力感(全項目)	12	2.28	0.45	2.60	0.51	1.83	
自分らしい働き方、家庭との両立	12	2.53	0.53	2.78	0.46	1.60	
将来展望、目標設定	12	2.11	0.64	2.40	0.67	1.48	
職業選択のための行動	12	2.17	0.49	2.58	0.63	2.03	

(n=11)	n	第1回受講前		第3回受講後		t値	p値
		平均	標準偏差	平均	標準偏差		
心の準備状態(100%満点)	10	48.00	17.20	71.00	10.44	4.05	**
自己効力感(全項目)	11	2.29	0.49	2.64	0.45	1.91	
自分らしい働き方、家庭との両立	11	2.43	0.46	2.83	0.47	1.97	
将来展望、目標設定	11	2.27	0.64	2.56	0.54	1.47	
職業選択のための行動	11	2.12	0.53	2.47	0.55	1.71	

(n=15)	n	第1回受講前		第4回受講後		t値	p値
		平均	標準偏差	平均	標準偏差		
心の準備状態(100%満点)	12	49.17	15.52	68.00	10.77	3.63	***
自己効力感(全項目)	15	2.30	0.45	2.77	0.52	3.45	***
自分らしい働き方、家庭との両立	15	2.51	0.49	2.92	0.50	2.77	*
将来展望、目標設定	15	2.14	0.62	2.54	0.62	2.60	*
職業選択のための行動	15	2.21	0.54	2.86	0.59	4.28	***

\*\*\* $p<0.001$ , \*\* $p<0.01$ , \* $p<0.05$

表 4 : 全講座受講者の得点の推移

(n=8)	受講前		1回目後		2回目後		3回目後		4回目後	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
心の準備状態(100%満点)	41.67	18.35	55.00	18.71	56.67	15.06	65.00	10.49	66.67	10.33
自己効力感(全項目)	2.31	0.57	2.60	0.48	2.60	0.64	2.77	0.44	2.86	0.63
自分らしい働き方、家庭との両立	2.46	0.57	2.76	0.54	2.72	0.47	2.97	0.42	3.01	0.58
将来展望、目標設定	2.29	0.74	2.55	0.54	2.45	0.86	2.66	0.61	2.68	0.75
職業選択のための行動	2.10	0.60	2.42	0.53	2.58	0.80	2.58	0.53	2.83	0.70

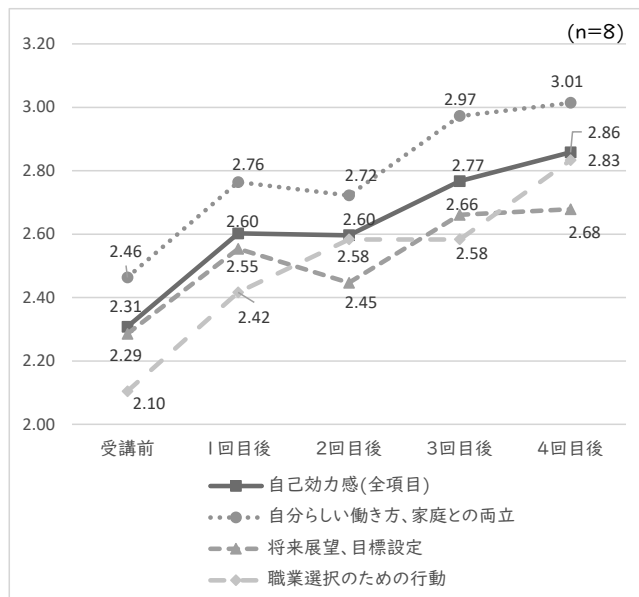
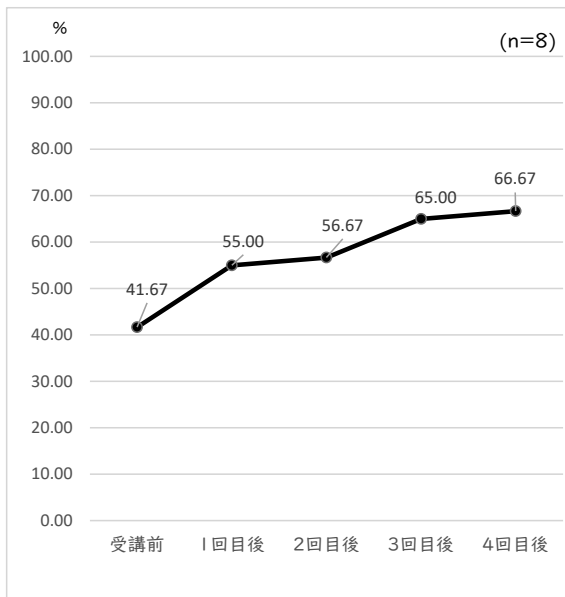


図 3 : 全講座受講者の心の準備状態の推移

図 4 : 全講座受講者の自己効力感の推移



# 瀬戸内地域の持続的成長に向けての中小企業投資について ～インタビューからの共起ネットワーク分析～

川淵 丈裕\*・浦崎 俊樹\*\*・李 威\*\*\*・都築 治彦\*\*\*\*・三好 祐輔\*\*\*

## SME Investment for Sustainable Growth in the Setouchi Region

Takehiro Kawabuchi\*, Toshiki Urasaki\*\*, Robert Lee\*\*\*, Haruhiko Tsuzuki \*\*\*\*  
and Yusuke Miyoshi \*\*\*

### Abstract

In response to the issues left by the quantitative analysis of large companies, we conducted an exploratory survey of small and medium-sized enterprises (SMEs), which are expected to differ greatly from large companies in terms of business scale, financial constraints, and human resources, to investigate the current state of research and development and its issues from an exploratory perspective, although the number of subjects of the survey is limited.

### 1 はじめに

本稿では、財務諸表に計上されていない技術・ブランド・組織力といった無形資産が、瀬戸内圏の企業価値に与える影響を調べることで、中小企業(同族企業)が無形資産への投資がどのような目的で行なわれているかを検証する。その際、研究開発費の有価証券報告書等の財務データではなく、瀬戸内圏の企業の経営者へのインタビューを通して、無形資産投資に対する創業者の考え方を客観的に判断している。

企業がイノベーションを実現していくためには、経営者のリーダーシップの発揮、研究開発活動、マーケティング活動など様々な取組みが含まれるが、ここでは、無形資産蓄積のための研究開発投資に焦点を当てることとする。たとえば、中小企業による研究開発活動の現状についてアンケート調査した総務省「科学技術研究調査」によると、中小企業のうち研究開発に取り組んでいる割合は、製造業で 7.2%、非製造業で 0.8%となっており、大企業の製造業 61.9%、非製造業 16.5%と比べると、いずれも低い水準となっている。ちなみに、従業員数 1～299 名の企業を中小企業、300～を大企業として分類している。非製造業については、「金融業、保険業を除く全産業」から「製造業」を除いた全産業を指す。このように大企業とは、研究開発に向けての実施状況が大きく状況が違っていることが確認できる。それゆえ、中小企業の今回の試行的調査では、中小企業による研究開発活動に取り組む上で直面している課題の把握と、今後中小企業を分析

する際の適用可能性について探った。

本研究の分析結果から、創業家が経営に関与する企業は、企業の成長(企業価値の最大化)を意識した経営を行っておらず、むしろ顧客の意向に沿った方針で機械投資をし、製品を生産していることが示された。このことから、瀬戸内圏の同族企業は、お得意様に対する設備投資をすることはあっても、大手企業のように企業価値の最大化を目指して研究開発費や人材育成等への出費を積極的に行っていないことがわかる。

### 2 研究開発の現状についてのインタビュー調査について

本研究では、事業規模・資金制約・人材といった面で大企業と大きく環境が違っていると想定される瀬戸内圏の中小企業に対して、探索的な視点で研究開発の現状や課題について調査をおこなった。無形資産のうち、研究開発に焦点をあてることから、製造業を分析業種に設定している企業の代表者へインタビュー調査を実施した。インタビューの手順は以下の通りである。

手順① 代表者へインタビューを実施

手順② インタビューのテープおこし

インタビュー内容については、同意を得た上でインタ

Received on September 16, 2020

\* トモニホールディングストモニリス株式会社

\*\* 日本証券アナリスト協会 認定アナリスト, Certified Member Analyst of the Securities Analysts Association of Japan

\*\*\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\*\*\* 佐賀大学, 経済学部, Graduated School of Economics, Saga University



ビュー内容を記録媒体に録音し、事後に記述データに変換した。

### 手順③ 切片化およびカテゴリー化

インタビューデータを内容毎に切片にして切り離しをおこなった。文章化したものをそのまま用いて共起ネットワーク分析を行える内容ではないため、ラベル名を付けた後、カテゴリーとしてまとめた。

### 手順④ 考察

カテゴリーのうち、中小企業の実態に関するカテゴリー、研究開発につながるカテゴリーを選択し、考察を加えた(末尾の表1を参照)。

上記のプロセスを踏んでいる理由は、この過程において、データのクリーニングや分類基準の微調整を怠れば、分類の精度が落ちてしまう恐れがあるからである。もっとも、我々が用いている分析とは異なる方法もある。その方法の利点は、数百万件のデータを容易に分類整理し、どのような内容が記述されているか、その内容がデータ全体の中で多いか少ないか、増加しているか減少しているか、出現した言葉の関連性の強弱はどうかについて把握することができることである。しかし、分析目的が不明確で、単なる分類整理になってしまう恐れがある。それゆえ、我々は共起分析をすることで、数量分析では扱えない「質的な分析」について考察を行う。

## 3 中小企業における無形資産蓄積について

無形資産に関する項目が、有価証券報告書にはほとんど開示されていない。そのため、無形資産に注目した研究が進んでいないのが現実である。無形資産に対する定量的な評価が困難であるため、実務社会ではイノベーションという言葉が多く使われていても、それに対応する学術的研究が進んでいないという現状の問題の解決策として、本研究では、共起ネットワーク分析を行なう。

こうした電子化されていない情報から意味のある情報を抽出する手法がデータマイニングである<sup>1</sup>。データマイニングのひとつに、テキストデータから必要な情報を抽出するテキストマイニング等がある。松尾、石塚(2002)では、語の共起の統計

情報を用いて、単一の文書からキーワードを抽出する方法を提案している。また、共起関係をもつ一般的なデータから特徴的なアイテムが発見できることを示している。たとえば、マイクロブログから特定の話題について抽出する手法を提案し、共起語と投稿間隔を併用した抽出手法が最も精度が高かったと結論づけている研究もある。

しかし、「無形資産」にフォーカスしたテキストマイニングを用いた研究はほとんど存在しない。その理由は、インタビューを通して企業の秘匿情報が漏れることを警戒するため、協力に応じてくれる経営者がなかなか現れないことにある。そこで、秘匿情報をインタビューアーが開示しないように努めるだけでなく、これまでの地縁を活かした独自のツールを用いることにより、中小企業(零細企業を含む)の無形資産投資に対する考え方を抽出することに成功した。その音源を元に、本研究では、「無形資産に対する中小企業の取り組み」において経営者に対するインタビューを通して、経営者が企業価値を高めるために、無形資産をどのように活用しているかについて検討する。もちろん、我々が現在も進めている数理モデルの構築を通して、無形資産に投資することが企業価値を高めることを普遍的に示すこともできるのだが、そうした効果が実社会ではほとんど反映されていないのには、学術面では重視してこなかった何かがあるはずである。特に中小企業で、イノベーションに欠かせないことがわかっているにもかかわらず、現実には取り組んでいない理由を探ることに意味がある。定量的なアプローチでは説明できていない、見落としていたなにかがあるのかもしれない。そうした意味で、今回の研究はこれまでの理論研究を補完する形で展開することにする。

本研究における仮説は以下の通りである。

### 【仮説1】

瀬戸内地域の企業経営者は、顧客との関係を維持するために製品開発という名目で投資を行っている。

上記の仮説を検証するため、将来の収益の源泉、競争融資を生み出す可能性のある指標として「無形資産」に着目した。こうした考えの背景には、金融機関の現場レベルにおいて「無形資産」を評価する場合にはチェックシートやヒアリングシートを活用しているが、その場合には、主観的になりやすく、定量的な評価は難しいという課題が存在している。「無形資産」に着目することは、企業にとっては自社の強みを把握することで利益創出へつながるものであり、金融機関にとっては、取引先の潜在力の可視化につながるものと考えている。企業と金融機関が「無形資産」に関する情報を交換することは、相

インギングといったデータマイニング手法が活用されていることについて言及することもある。

<sup>1</sup> 多くの先行研究では、極端な情報開示が情報費用の増大を招いていること、情報費用を減少させるためにテキストマ

互理解を高める有効なツールになる可能性があり、「無形資産」を評価することは目利き力・コンサルティング能力の向上につながると考えている。一番広義の無形資産である知的資産・知的財産・知的財産権のうち、知的資産・知的財産に着目し、可視化の可能性と汎用性の観点から検証をおこなう。

大企業の定量分析で残された課題に対し、事業規模・資金制約・人材といった面で大企業と大きく環境が違っていると想定される中小企業に対して、調査対象数は限られているが、探索的な視点で研究開発の現状や課題について調査をおこなった。

#### 4 共起ネットワーク分析を用いた結果

共起ネットワークとは、テキストの中で用いられた語と語の関係性を示したネットワークであり、インタビューの中で用いられている単語間の関係を意味している。本研究では、リンクを Jaccard 係数 13 以上の共起関係とし、分析を行った。Jaccard 係数は類似性の指標であり、単語間の共起関係を表すものとして広く使用されている<sup>2</sup>。

分析結果は、図 1 のような結果となった。共起ネットワークの中心は、「製品」という単語であり、「開発」「顧客」「機械投資」「人」「成長」など多くの単語とのネットワークを有している。また、「製品」「機械投資」「顧客」「成長」という一連の単語がつながっており、製品への機械投資が顧客の意向に沿ったように多く利用されており、それが企業の成長に繋がると考えていることも窺える。こうした各類型における共起ネットワーク分析の結果から、インタビューの内容にこれまで気づかなかった関係が示唆されたことは興味深い結果であった。つまり、我々の想定していた大企業との環境の違いが浮き彫りとなった。こうした結果の背景には、中小企業は、資金・人材等に制限があることを要因として研究開発投資自体はおこなっていないと思われる。しかし、中小企業の技術は機械設備以上に人の力によるものが大きいと企業経営者は考えており、人材への投資を重要な投資として位置付けている。こうした解釈は、上場企業の定量データを用いた分析結果を直接適用することは難しいものの、中小企業の実態として無形資産蓄積のための取り組みとして、人材への投資をおこなっているという事実発見があった。この点は無形資産投資の重要性を浮き彫りにするものである。

<sup>2</sup> Jaccard 係数のデメリットとして、単独での出現数が多い単語ほど他の単語との関係が薄くなる傾向があることが指摘されているが、本研究における出現数が多い単語は両方

企業経営において「人・モノ・金」の3つが大事だと言われている。この中でも、お金の問題は人・モノにも関係しており、ボトルネックになりやすいと考えられる。今回調査をおこなった製造業の中小企業に関していえば、継続的な機械投資が必要であり、研究開発投資をおこなう以前に、機械投資に一定の資金が必要になる。資金が潤沢な中小企業は少ないことから、資金面において制約があることがわかる。その他にも、技術の維持向上のためには機械の存在以上に人材が重要であると考えているものの、人手不足が叫ばれる現代において、「人」の確保に関する問題に直面している。資金や人材に限界がある中小企業における無形資産蓄積の実態は、企業内における暗黙知としての技術や経験の蓄積・伝承は人材教育を通じた活動であると考えられる。人材の重要性は機械投資よりも重要度は高いと考えられていることから、中小企業にとっては人材への投資が大企業における研究開発投資に類似する意味を持つ投資であると考えられる。この点において、大企業がおこなう研究開発投資と中小企業の実態が大きく異なっていること確認できる。

人材への投資については、今回、試行的に調査した T 社は現有する人材のレベルアップも含めた中で企業グループ全体での補完によって企業の成長を目指していた。限られた経営資源を有効利用することで成長に繋げようとしている点である。企業の中身をより深く理解していなければならない。

一方で企業側から金融機関を見た場合には、従来から視点や姿勢に大きな変化がないことに加え、一番の理解者であってもらいたい金融機関の担当者が頻繁に交替するような現状では、とても自社を理解してもらえていないのではないかと、この疑念を企業側に抱かれている。金融機関が自社を理解していないと感じる例として、自社のニーズに合わない商談会やマッチングの斡旋といった企業側にとってメリットの小さい表面的な取り組みがあり、原因として金融機関側の知識不足、理解不足があると考えられる。

企業を理解しているつもりでいる金融機関に対して、深くは理解してもらっていないと感じている企業側との間にギャップが存在している。既に事業性融資はコモディティ化が進んでおり、価格以外の付加価値を見出すことが金融機関にとっての課題となっている中、このギャップを埋めることが、課題解決のヒントになると考えられる。これに対する回答の一つとして、多湖(2007)では金融機関側の取り組みとして、他業態における脱価格競争を例に顧客満足があるからこそ脱価格競争という図式が成り立つのであって、顧客を満足させる立場にある従業員が顧客のために全力を尽くすプロセスやその成果が評価される仕組みが必要であると指摘している。つまり、ES

のレビューに登場し、一般的に用いられるものであると考えられるため、問題は少ないと判断した。

(従業員満足)があつてこそそのCS(顧客満足)であるということである。金融機関の担当者が一生懸命取り組むかは、金融機関の担当者の満足度が高いかどうかにかかっているということである。そのためには、まずは、組織体制や人事・評価制度など従来のマニュアルからの改革が必要ということである。

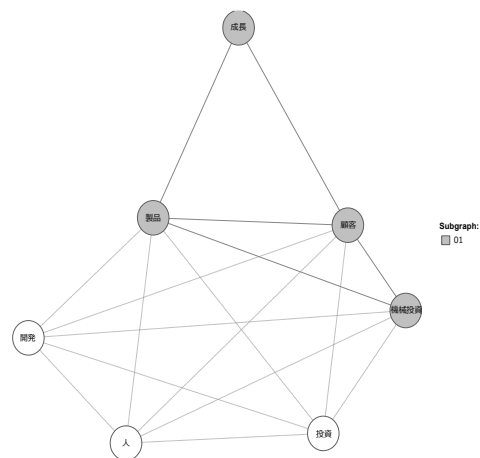
今回の試行的調査は、少ないサンプルであり、企業規模も業種も非常に限定的であったが、中小企業の実態の把握と金融機関が変化する必要性を改めて確認できたと考えている。

## 5 まとめ共起ネットワーク分析を用いた結果

こうした分析から、中小企業においては、資金・人材等に制限があることを要因として研究開発投資自体はおこなっていないことがわかった。しかし、中小企業の技術は機械設備以上に人の力によるものが大きいと企業経営者は考えており、人材への投資を重要な投資として位置付けているのは事実である。定量データを用いた分析結果を直接適用することは難しいものの、中小企業の実態として無形資産蓄積のための取り組みとして、人材への投資をおこなっているという事実発見があつた。この点は無形資産投資の重要性を浮き彫りにするものである。

中小企業の分析指標として無形資産投資を適用するためには、課題が残っている。人材への投資というキーワードは見つかったものの、公開された財務情報だけでの分析が難しいことに加え、企業側からは、そもそも、金融機関に十分に理解してもらっていないという声が聞かれた。分析の一步目は深度ある定性情報の入手であると思われるが、人材への投資を分析指標とするためには、適正な企業の実態把握の点において課題が残った。その次の段階として、入手した人材への投資に関する情報と財務情報との関連性を明らかにしなければならない。そのためには調査企業のサンプル数を増やすこと、および企業の財務情報の入手が必要となる。本研究では非上場企業の財務情報の入手に課題があつたが、今後、筆者が現場に戻れば活用可能な情報は揃っていることから、さらに研究を進め、実現させたいと考えている。この点の実現できれば、現行の担当者の主観に左右される部分に対する、判断基準となり、無形資産可視化への一步になると考えられる。

(図 1)



## 謝辞

本論文は、公益財団法人高橋経済産業研究財団、公益財団法人メルコ学術振興財団から研究助成を受けた研究成果です。

## 参考文献

- [1] 中小企業庁, 2017 年版中小企業白書,  
<https://www.fsa.go.jp/manual/manualj/yokin.pdf>,  
2017. (visited on 2019)  
(ウェブ参照)
- [2] 経済産業省 『通商白書2004年』
- [3] リーフ・エドヴィンソン, マイケル・S・マローン, 『インテリクチュアル・キャピタル』, 日本能率協会マネジメントセンター, 1999
- [4] Corrado, C., C. Hulten, and D. Sichel ,  
「Intangible Capital and U.S. Economic Growth」,  
Review of Income and Wealth, Vol. 55, No. 3, pp.  
661 - 685, 2009
- [5] 高安栄・中野牧子, 「環境ラベルと企業価値の関係に関する実証分析」, 環境科学会誌 30 巻2号, 88-95 頁,  
2017
- [6] 馬奈木俊介・八木迪幸, 「CSR と企業評価に関する分析」, 環境科学会誌, 21 巻 3 号, 235-238 頁,  
2008
- [7] 梅田政徳・川本琢磨・酒巻哲朗・堀雅博, 「企業内部の高齢化が設備投資に与える影響\* -日本企業の財務パ

ネルデータを用いた分析」, 内閣府経済社会総合研究所 『経済分析』 第 196 号, 135-157 頁, 2017

- [8] 宮尾龍蔵, 「日本の設備投資行動: 1990 年代以降の不確実性の役割」, 日本銀行金融研究所 『金融研究』, 1-22 頁, 2009
- [9] 相澤朋子, 「トービンのqモデルによる知財評価」, 『総合政策論集』第5巻第1号, 73-82 頁, 2006
- [10] 上野景真・田中秀幸, 「企業の ICT 投資と企業価値に関する実証分析」, 日本社会情報学会全国大会研究発表論文集, 1 - 4 頁, 2006
- [11] 上野景真・田中秀幸, 「企業の情報セキュリティ投資に対する市場評価の実証研究」, 社会・経済システム, 28 巻, 33 - 39 頁, 2007
- [12] 宮川努・金榮慧, 「無形資産の計測と経済効果ーマクロ・産業・企業レベルでの分析ー」, 『RIETI PDP』, 1-38 頁, 2010
- [13] 宮川努・滝澤美帆・枝村一磨, 「企業別無形資産の計測と無形資産が企業価値に与える影響の分析」, 『科学技術政策研究所 DISCUSSION PAPER:088』, 1-55 頁, 2013
- [14] 虫明千春, 「知的資産経営報告書の活用の現状と課題ー継続的な開示を中止した企業の事例研究ー」, 『IPマネジメントレビュー第 24 号』, 56-65 頁, 2017
- [15] 総務省 『平成 30 年科学技術研究調査』
- [16] 多胡秀人, 『地域金融 リレバン恒久化と中小・金融機関の在り方』, 金融財政事情研究会, 2007
- [17] 松尾 豊, 石塚 満, 「語の共起の統計情報に基づく文書からのキーワード抽出アルゴリズム」, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 3, 213-227 頁, 2002

(表 1) T社のラベルとカテゴリー一覧

ラベル	各社カテゴリー
T1 顧客ニーズ実現に必要な不可欠な機械投資	前提となる機械投資
T4 保有設備の開示が進む今日	
T5 機械のスペック提示だけでは不十分の思	
T2 機械投資を上回る優先事項としての人への投資	人を重視した研究開発に対するスタンス
T3 顧客の発注を促す人材の存在	
T8 いわゆる「研究」とは異なるスタンス	
T12 四六時中考えてみることの重要性	
T18 予算より発想が先にありきの本物の開発姿勢	
T19 自分たちにあった研究開発への取り組み	
T23 使う人の視点にたつてアイデアを出すことの大切さ	
T28 開発とは自分との戦いである	
T41 機械投資より前に既に整っていた人への教育・投資	
T42 金銭価値になびく人が多い中、製品評価を追求する姿勢	
T48 評価のフィードバックは、日々のコミュニケーションの延長としてのアドバイス	研究開発の前提となる顧客志向
T35 価値は製品に対する市場の評価、後からついてくる	
T36 顧客満足が自社にとっての価値	
T49 評価してくれる物、相手に注力することで実現させる成長	
T50 評価を手に入れていれば価格競争にはならない	
T51 価格ではなく相手との関係性を重視する姿勢	
T53 「品質、信頼」で勝負しているからこそ重要な経営方針	



# 建築に対する要求特性の把握に関する一考察 —テレワークの傾向と業務構成要素相互依存性—

吉田 敏\*

## Characteristics of Product and Processes with Architecture Concept -Telework Trends and Possibility Due to the Impact of COVID-19-

Satoshi Yoshida\*

### Abstract

A pandemic, Covid-19, occurred in 2020, which has had a major impact on various lifestyles and industries. In the business domain, there has been a drastic change in the form of work that symbolizes remote work. Some companies have drastically reduced the office area, and are fundamentally revising the business functions of their offices.

On the other hand, remote work has been discussed in various forms in recent years by central government agencies. To that end, a mixture of gradually advanced understanding of remote work and rapid practice based on pandemics.

In such a situation, the purpose of this paper is to develop a method for understanding the business characteristics of the user while focusing on the office function, focusing on the importance of understanding the content required for construction. To that end, we focus on the interdependence of components in the business on the user side, which is the target from the perspective. Then, we will develop a method for clarifying the requirements for architecture while maintaining logicity and objectivity. This will discuss future directions, including the possibility of remote work, based on the understanding of the required characteristics for architecture in the future.

Keywords: Business Characteristics, COVID-19, Design Process, Design Information, Modularity, Integration

### 1 はじめに

2020年に世界的なパンデミックが起り、様々な生活や産業などについて大きな影響が出ている[1]. その中で、ビジネス領域において主な変化の一つとして、テレワークを象徴とした業務形態の急激な変化が起っていることをあげることができる. 企業によっては、大幅に事務所面積の縮小を行い、これまでの事務所におけるビジネス上の機能の根本的な見直しが成されている可能性を示唆している.

一方、テレワークについては、ここ数年、中央官庁などを含み、様々な形で議論が進んでおり、徐々に注目される傾向があったと考えられる[2]. そのため、パンデミック以前からテレワークは少しずつ浸透してあったが、パンデミックの中で、かなりの人数をテレワークに切り替える企業が散見されるようになった. 徐々に進んできたテレワークに関する理解と、パンデミックに拠る急激な実践が混在し、今後の向かうべき方向性については、明確な示唆が成されていない面を否定できないと考えられる.

このような状況の中で、本稿の目的は、建築に求められる内容の把握が重要である点に着目し、事務所機能を対象としながら、ユーザー側の事業特性の把握手法の開発を目指すことである. そのために、具体的には、視点を対象となるユーザー側の事業における構成要素相互依存性に絞り、論理性と客観性を出来るだけ確保しながら、建築に対する要求内容を明確にする手法を開発していく. これにより、今後の、建築に対する要求特性の把握に基づいた、向かうべき方向性について議論するものである.

### 2 構成要素からみる設計思想

いわゆる人間が創った人工物は、複数の構成要素によって構築されている[3]. その構成要素の相互依存性の特性から見た、人工物に関する基本的な設計思想を考えていきたい. まず、人工物とは、人間によって設計されたものと定義づけ、その設計プロセスにおいて、要素間の関係性を調整することによって対象が創られるという一つの側面があると考えられる[4]. また、人工物の創造においては、設計者によって、機能、構造、工程などに関

Revised on September 18, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

し、この設計思想を検討することになる。この概念は、機能や構造などの各様相の構成の考え方と、それらの様相間の関係性の考え方を検討していくことになる。これらの件等によって、つくり手の考え方の傾向が表れる局面を捉え、出来上がる人工物の特性の一側面を理解することが可能となると考えられる[5]。特に、人工物の中でも、製品、サービス、システムなどについて、このような概念を適用することによって、ビジネス上の特性や強みを理解できる面があると考えられる。

このような製品などを創るプロセスを、慎重に見ていきたい。つくり手は、まず主要な要望内容を理解しようとし、理解した内容を主要な機能の束に整理し、それを複数の下位機能に展開させていくことになり、次に、これらの機能群を物理的な要素に対応させ、対象となる製品の構成を考えていく。求められる要望に対して整合的に機能に対応させて完成させるために、対象の各要素と共に、要素間のインターフェイスを設計していくことになる。つまり、機能群をつくり、構造群に対応させながら対象を組み上げることになるが、一つ一つの要素を発明していくことが難しいことを考えると、要素間のインターフェイスの設計が重要となる面がある。

当然ではあるが、このプロセスは、一方通行で簡単に終わるものではなく、つくり手によって、機能設計と構成設計の間を何度もフィードバックしながらつくり込まれることになる。その中で、つくり手がある傾向の考え方に基づいて判断していくようであれば、出来上がる製品は、つくり手の考え方の傾向が反映される可能性は低いと考えられる。

このような、機能群と構造群のデザインに関する基本的な設計思想を、先行研究では「製品アーキテクチャ」とよんでいる[6]。また、一般的に二つのパラメータが示されており、オープンとクローズの軸と、インテグラルとモジュラーの軸である[7]。このうちオープンとクローズの軸はつくり手が意識的にコントロールするものであるが、インテグラルとモジュラーの軸は場合によっては無意識のうちに考え方の傾向が表出し、また、明確に認識することが難しい面を持つため、注意が必要である。本稿では、この後者の軸を中心に考察を進めていく。

まず、インテグラルとモジュラーの特性は、図1のように、経済的資源と製品パフォーマンスの関係において、大きな相違点が生じることになる。インテグラル型の設計思想であれば、用いた経済的資源に対応するように、つくられる製品のパフォーマンスが向上していく傾向があると考えられる。一方、モジュラー型はパフォーマンスの目標が事前にわかれば、出来るだけ複雑性を抑えながら目標の達成を実現する方向性といえるが、目標を見誤っていた場合はリカバーすることが困難な場合が多いと考えられる。

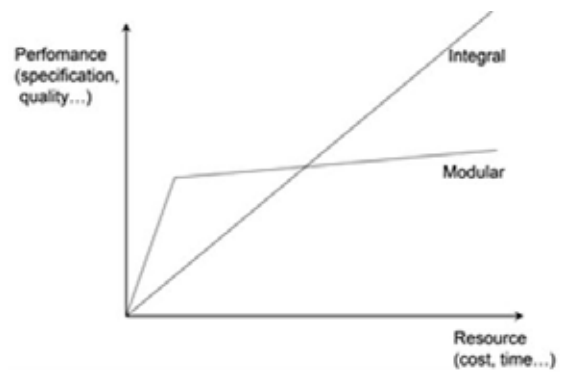


図1 投入される経済的資源と製品のパフォーマンス

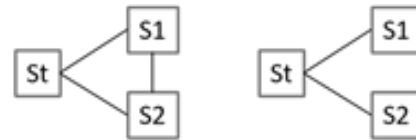


図2 製品構成の要素間相互依存性

### 3 構成要素に拠る要求特性の把握

#### 3.1 製品構成からみた設計思想の特性の把握

図2は、構造ヒエラルキーに基づいた考察のための図である。totalの構造(St)と、副次的に求められるコンポーネントの構造(S1, S2)の関係性を表している。

図2の左のインテグラル型では、全体の構造(St)と全ての部品の構造(S1, S2)が、相互に依存している。そのために、一つの部品の構造(S1)の設計を変更する場合は、total構造(St)との調整と、他の部品の構造(S2)との調整が、必要となってくる。

- ・(1-1) 全体との構成的な相互依存性 (St→S1)

部品の構造(S1)とtotalの構造(St)において、要素の相互依存関係が生じている場合である。部品の設計者は、自分の部品の構造(S1)と、totalの構造(St)との関係性を調整しながら、S1の構造を設計していくことになる。

- ・(1-2) 他部品との構成的な相互依存性 (S2→S1)

部品の構造(S1, S2)の間で、要素の相互依存関係が生じている場合である。部品の設計者は、自分の部品の構造(S1)と、他の部品の構造(S2)との関係性を調整しながら、設計していく必要が生じることになる。

同様のプロセスで図2の右のモジュラー型を検討すると、全ての部品の構造(S1, S2)が、相互に依存しているわけではない。つまり、相互関係は、解消されたり緩和されたりしている。また、totalの構造(St)に対して、部

品の構造 (S1) は, インターフェイスのルール化によって, integrate する必要がなくなる. モジュラー化によって, 部品の設計者は, 構造に関して他の部品を考慮する必要性が低く, 自分の部品の構造の理想化や開発に集中することが出来る.

### 3.2 機能と構成の関係性からみた設計思想の特性の把握

図3は, 実現を目指す機能と, それを実現するための部品の構造を考察するものである. 機能面は, 主要機能 (Ft) と, サブな機能 (F1, F2) で表現している. また, 部品の構造面は, total の構造 (St) と, サブ的な構造 (S1, S2) で表現している. 一般的に, Architecture 概念は, このような機能ヒエラルキーと構造ヒエラルキーで表現することが出来る [8].

図3の上のインテグラル型では, 全ての関係性が相互に依存している. そのために, 一つのコンポの構造 (S1) の設計を考えたとき, 様々な様相の構成要素の相互依存性が影響することになる.

- (2-1) 他コンポとの機能的な相互依存性 (S2→F1→S1, S2→F2→S1)

この場合, 当該コンポ (S1) については, 他のコンポ (S2) との機能的な相互依存性が考えられる. これは, 一つの機能 (F1 や F2) については, 当該コンポの構造 (S1) とだけでなく, 他のコンポの構造 (S2) とも, 相互に調整しながら設計していくことになる.

- (2-2) サブ機能間の相互依存性 (F2→F1→S1, F1→F2→S1)

このパターンは, 一つの部品の構成 (S1) の設計が, 相互に依存している複数の機能 (F1, F2) を成立させることが要求される. 複合化した機能の束を創り上げるために, 調整を行いながら S1 の部品の構造が検討される必要がある.

- (2-3) 建築との機能的な相互依存性 (Ft→F1→S1, Ft→F2→S1)

このパターンは, 建築全体の機能が, 複数の副次的な機能によって成立する場合である. 複数の副次的な機能 (F1, F2) がお互いに調整されながら, 建築 total の機能 (Ft) を成立させるパターンである. Ft と F1, F2 の相互の調整に基づき, 部品の設計者は, 自分の部品の構造 (S1) を設計することになる.

同様の考え方で図3の下のモジュラー型を述べると, ここであげた3種類の機能間の関係の相互依存性を小さく抑える方向の設計思想を考えることになる. つまり, ある機能 (F1) のためのコンポ (S1) の設計者は, 「他からの影響」をあまり受けずに設計を進めることができることになる. 「他からの影響」とは, 他コンポ (S2) との機能的な相互依存性, 他の機能 (F2) との相互依存性, total の機能 (Ft) との相互依存性である.

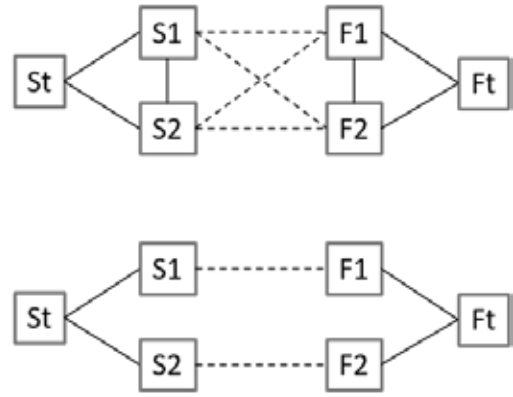


図3 構成と機能の要素間相互依存性

また, モジュラー化が進むと, コンポ内部の設計の自由度が高まる. 他のコンポとの相互依存性は, 対象のコンポの設計の条件の一部となる. モジュラー化が進んだコンポ設計では, このような条件が少なくできることを意味している. そのために, コンポの設計者は, 建築全体の条件や他のコンポの条件を, あまり意識することなく, 自分のコンポの設計や開発に専念できることになる.

一方, モジュラー化したコンポは, インターフェイスのルールを決まることによって, 標準化することが出来る. このインターフェイスの標準化によって, コンポの交換が可能となる. また, このインターフェイスの標準化は, 一つのコンポが, 一つの建築だけでなく, 多くの建築で共通部品として使われる可能性を示している. ただし, コンポの共通化には, モジュラー化を伴うものと, モジュラー化が伴わないものがあることには注意を要する. これらのモジュラー化の特性を前提にしながら, 設計プロセスにおける分担形態に関する考察を進めていく.

### 3.3 生産プロセスからみた設計思想の特性の把握

前項では, 設計行為の中で進められる内容, つまり, 求められる機能とそれを実現するための構造に関する検討について, 考察を加えた. ここでは, 次に, 生産プロセスを考えていく. 図4は, 先行研究 [9] を参照しながら, 設計活動 (α) と生産活動 (β) を, 先行研究を参照しながら描写したものである. 前項の設計活動の内容が, 概念から設計情報をつくる段階の考察ということが出来る. 生産プロセスは, 設計情報を媒体に落とし込む行為を指すことになる. この行為は, 生産者によって対象となる設計情報と媒体を操作して求められる機能を実現するという行為であると解釈ができる. 言い換えれば, この行為は, 設計情報をどのように媒体に落とし込むかという制御的な計画作成という行為と, 情報を落とし込む行為によって成り立つということになる. そのために, 生産活動には, このような二つの面があることは認識する必要がある.



このうち、制御的な計画作成については、有形の製品でも、無形の製品でも、製品をつくる上で必ず必要な面があると考えられる。この計画によって、設計情報が、単なる情報のままでなく、創造行為の目標である製品の機能を創り出すことになるためである。そのために、この制御的な計画作成において、生産プロセスが対象となり、2.2の製品構成と同様の理論展開が可能となる。要するに、生産プロセスに関する計画作成も、インテグラル型で構成要素を擦り合わせるタイプと、モジュラー型で塊ごとに分けていくタイプが存在することになる。

図5の左のインテグラル型では、全ての関係性が相互に依存している。そのために、一つのプロセスの構成(P1)の設計を考えたとき、各様相の構成要素の相互依存性が影響することになる。

- ・(3-1) 全体の工程との相互依存性 (Pt→P1)

部分の工程 (P1) と total の工程 (Pt) において、工程の相互依存関係が生じている場合である。部分のつくり手は、自分の対象とする工程 (P1) と、total の工程 (Pt) との関係性を調整しながら、P1 のストラクチャーを設計していくことになる。

- ・(3-2) 他部分の工程との相互依存性 (P2→P1)

部分の工程 (P1, P2) の間で、工程の相互依存関係が生じている場合である。部分のつくり手は、自分の工程 (P1) と、他の工程 (P2) との関係性を調整しながら、生産していく必要が生じることになる。

このような考え方で図5の右のモジュラー型を検討すると、全ての部分工程 (P1, P2) が、相互に依存しているわけではないため、相互関係は、解消されたり緩和されたりしている。また、total の工程 (Pt) に対して、当該の部分工程 (P1) は、インターフェイスのルール化によって、integrate する方向性がなくなる。モジュラー化によって、部分工程の設計者は、他の部分工程を考慮する必要性が低く、自分の工程の理想化に集中することが出来ることになる。

## 4 使い手側の活動特性と空間への要求内容

### 4.1 建築や空間への要求に関する基本的な考察

使い手は何らかの目的を実現するために活動をする。その活動のために的確な環境を提供することを建築や空間に求めることになる。そのために、使い手の活動の特性を理解することによって、建築や空間に何が求められているかを知ることになり、少なからず影響を及ぼすことになる。特に、本稿が対象とする事務所機能を求める使い手の活動を考えると、その活動内容について、これまでは深めの議論がなされてこなかった面があることは否めないとはいえよう。

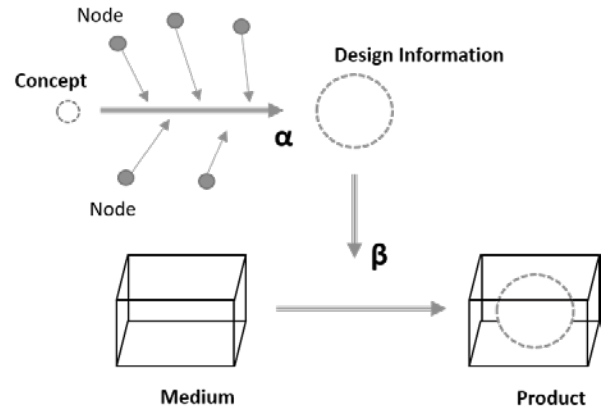


図4 製品情報の生成と製品の生産



図5 プロセスに関する構成要素相互依存性

業務の中に様々なプロセスがあり、それぞれのプロセスが異なる環境や性能を求められるようになる可能性は小さくないと考えることが出来る面がある。例えば、一つの提案書を顧客に提出するとしても、その準備に、顧客についての情報を集め、必要な知識を集結しながら、一つの提案内容にまとめ、最終的にプレゼンテーションか報告書にまとめることなどが考えられる。それらは、自社の各部署の情報や知識をまとめて上げるために会社の中を奔放し、自社の協力企業や専門領域の企業に必要な内容を依頼し、同時にインターネットなどの一般的な情報源によって資料を集め、それらを基に当該部署の知見を結集してまとめていくことなどが考えられる。これらは、様々な時間や労働力などの経済的資源を上手く配分しながら、仕事のプロセスをマネジメントしていかなければならない。

この時、空間の使い手が活動の方針を決めるために、様々な影響因子があると考えられる。組織文化やマネージャーの独特な考え方などの各組織独自の要因も、もちろん影響因子になる。また、製品領域・サービス領域の特性や、産業領域の特性も重要な因子になり得ると考えられる。ここでは、学術的な議論として、論理性と客観性を確保しながら議論を進めるため、一つの考え方として、ターゲットは製品領域やサービス領域、そして産業領域の傾向や特性に絞っていくものとする。

#### 4.2 生産活動における特性の記述

図6は、有形や無形の製品を生産していく上での、ビジネスモデルの特性を議論するためのフレームワークである。横軸は、生産業務のプロセスを表している。業務のプロセスがモジュラー化するという事は、プロセスが塊ごとに分けられるようにモジュール化していき、インターフェイスがルール化されていくことになる。また、縦軸は生産される有形や無形の製品の構成である。製品構成がモジュール化するときは、求められる機能と構造が1対1の関係になっていき、機能と構造間、機能と機能間、構造と構造間で、同じようにインターフェイスのルール化が成されながら、複雑性が抑制されることになる。各セルの内容を、生産活動の中でも、対象が人工物である以上、必ず必要となる立案から設計の活動を例として取り上げて、議論を進めていく。

Aのセルは、生産活動のプロセスも、生産される製品やサービスの構成も、インテグラル型である。生産活動のプロセスがインテグラル型ということは、各プロセス間で微調整や擦り合せが頻繁に行われる傾向がある可能性が高いことになる。複数のプロセスを一人で担当する場合は、担当者の活動の中で収束させることが出来る。しかし、プロセスごとに担当者が違ったり、担当部署が異なれば、担当者間や部署間で微妙な調整が成されたり、フィードバックが繰り返されたりすることが考えられる。また、生産する対象の構成がインテグラル型ということは、構成要素の部品や素材を調整しながら、全体のパフォーマンスを上げる方向となる可能性が高いということになる。

Bのセルは、生産活動のプロセスがモジュラー型で、生産される対象の構成がインテグラル型というものである。活動のプロセスがモジュラー化するという事は、それぞれのプロセスの間のインターフェイスがルール化しており、各プロセスの独立性が高い傾向があると考えられる。そのために、プロセス間の調整は抑えられる方向となるといえる。各プロセスの担当者や部署が異なっても、プロセス間での微妙な調整は必要なくなる可能性が大きくなると考えられることになる。

Cは、生産活動のプロセスがインテグラル型となり、生産される対象の構成がモジュラー型となるものである。つくられる対象の構成がモジュラー型の場合、対象のつくり込みの局面で、構成要素間のインターフェイスのルール化が進んでいることを意味しているのだから、多くの知識や情報を微調整することを抑えられることになる。これは、対象のつくり込みも分業できる可能性が高くなることを示唆している。

Dは、生産活動のプロセスがモジュラー型であり、生産される対象の構成もモジュラー型であるものであり、複数の様相で分業に合理性がある可能性を含む。

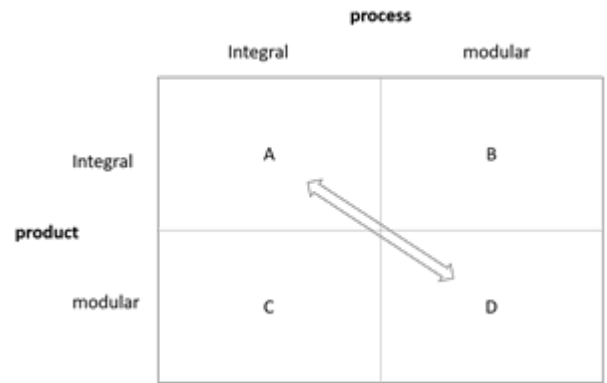


図6 プロセスと製品構成の要素相互依存性による業務解析

これ等を、製品やサービスの特性を踏まえた生産視点でまとめていく。モジュラー化の代表的な指標としては、製品領域の熟成度が高い傾向、技術的な知識の新規性が低い傾向、複雑性や不確実性が抑えられている傾向などをあげることができる[11, 12, 13]。この中で、製品領域の新規性による生産プロセスへの影響と、構成要素の複雑性による生産物構成への影響を、モジュラー化の視点から、企画や設計の生産活動を対象としてまとめると以下のようなことになる。

Aのセルの場合、製品領域の新規性が高く、構成の複雑性が高い製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。Bのセルでは、製品の熟成度が進んでプロセスのモジュラー化が認められるが、構成の複雑性が高い製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。Cのセルでは、製品領域の新規性が高いが、構成の複雑性は抑えられている製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。そして、Dのセルでは、製品の熟成度が高く、構成の複雑性は抑えられている製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。

このように考えると、本稿のテーマであったテレワークに対しては、Dのセルの親和性が高いことになる。他のプロセスとの調整や擦り合せの必要性が低いために、協働作業や細かい議論の必要性が抑えられる可能性が高くなることになる。また、つくられる対象の複雑性が低い場合、つくり込みの段階で多くの知識や情報を基本とする高い技術や知見を必要としない傾向があると考えられるため、個人的な知見や判断力によって対応できる範囲が多くなると考えられる。Bのセルはプロセスだけテレワークに対する優位性があり、Cのセルが対象構成の複雑性について優位性があることになる。一方、Aのセルは、擦り合わせや微調整の繰り返しが考えられ、テレワークのように他のスタッフと綿密な議論が難しい環境に対して親和性が薄いと考えることが出来る。

## 5 まとめ

本稿の目的は、建築に求められる内容の把握が重要である点に着目し、事務所機能を対象としながら、ユーザー側の事業特性の把握手法の開発を目指すことである。そのために、具体的には、視点を対象となるユーザー側の事業における構成要素相互依存性に絞り、論理性と客観性を出来るだけ確保しながら、建築に対する要求内容を明確にする手法を開発していく。これにより、今後の、建築に対する要求特性の把握に基づいた、向かうべき方向性について議論するものである。

本研究は、コロナ禍の中で、そしてコロナ禍の後で、建築がどのように社会に貢献できるかという議論を視野に入れたものである。これまでの建築産業は、慣行的に固定化した考え方のみに基づいた建築や空間の供給を進めてきた面があることを、否定しきれない。社会が変化し、建築や空間に求められる内容が変化するとき、建築を供給するつくり手側が、正確にそれらの変化を認識し、的確な創造活動をしていく必要がある。それには、社会的変化が起こるときに、その兆しや新規的な傾向を、できるだけ客観的に把握し、使い手側が要望することを出来るだけ正確に明示できる必要がある。元々、使い手は言語によって自分の要望を的確に表現することは極めて難しい[10]。そのために、使い手に直接訊ねるだけでは、正しい答えに行きつく可能性は低い。本研究は、このような状況を打破する可能性を得るべく取り組んだ新規性の高い試みではあるものの、構成要素間相互依存性という単一の視点の提示にとどまっている面がある。今後、この視点からの、より多くの可能性を導き出すことと同時に、新しい視点に拠る真理の追及を試みる必要があると考えられる。本研究は、今後、このような試みを、継続的に持続していくものである。

## 参考文献

- [1] 内閣府,『新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の変化に関する調査』, 2020.  
[https://www5.cao.go.jp/keizai2/manzoku/pdf/shiryo\\_2.pdf](https://www5.cao.go.jp/keizai2/manzoku/pdf/shiryo_2.pdf) (2020.8.30 閲覧)
- [2] 国土交通省, 総務省, 厚生労働省, 経済産業省,『THE Telework GUIDEBOOK 企業の為のテレワーク導入・運用ガイドブック』, 2008.
- [3] Herbert A. Simon, *The Sciences of the Artificial* 3rd Ed., pp3-13, The MIT, Press, 1996.
- [4] Baldwin, Carliss Y. and Kim B. Clark, *Design Rules*, vol. 1: The power of modularity, Cambridge: MIT Press, 2000.
- [5] Ulrich, Kirl, “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” *Research Policy*, 24, pp.419-440, 1995
- [6] 藤本隆宏, 青島矢一, 武石彰,『ビジネス・アーキテクチャー』, 有斐閣, 2001
- [7] 藤本隆宏,『日本のもの造り哲学』, 日本経済新聞社, 2004
- [8] Gopfert J and Steinbrecher M: “Modular product development: Managing technical and organizational independencies,” mimeo, 1999
- [9] 藤本隆宏,『能力構築競争』, pp85-110, 中公新書, 2003
- [10] 上原征彦,『マーケティング戦略論』, pp245-246, 有斐閣, 1999
- [11] Chesbrough, H. and Kusunoki, K. (2001) ‘The modularity trap: innovation, technology phase shifts and the resulting limits of virtual organizations’, in I. Nonaka and D. Teece (Eds.) *Managing Industrial Knowledge*, London: Sage.
- [12] Furlan, A., Cabigiosu, A., Camuffo, A. (2014). When the mirror gets misted up: modularity and technological change. *Strateg. Manage. J.* 35, 789–807.
- [13] Mortensen, N.H. and Løkkegaard, M. (2017), “Good product line architecture design principles”, International Conference on Engineering Design, Vancouver, Canada, 21.-25.08. 2017, *The Design Society*, Vol. 3, pp. 141–150.
- [14] Tidd, J., Bessant, J. and Pavitt, K., *Managing Innovation: Integrating Technological Market and Organizational Change*, 2nd edition, Chichester, John Wiley & Sons. 2001.
- [15] Baldwin, Carliss Y. and Kim B. Clark, *Design Rules*, vol. 1: The power of modularity, Cambridge: MIT Press, 2000.
- [16] 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
- [17] 藤本隆宏, 桑嶋健一編,『日本型プロセス産業』, 有斐閣, 2009
- [18] 吉田敏,「製品の機能創出に関する基礎的考察」, 日本感性工学会論文誌 第14巻2号 pp. 325 - 333, 2015
- [19] 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
- [20] 吉田敏編著,『技術経営』, 理工図書, 2012
- [21] 内田祥哉,『建築生産のオープンシステム』, 彰国社, 1977

# ソフトウェアリポジトリマイニングによる ソフトウェア欠陥予測手法の動向

追川 修一\*

## Trend of Software Defect Prediction by Mining Software Repository

Shuichi Oikawa\*

### Abstract

Software repositories are typically meant to be whole data that consists of version control systems, issue tracking systems, and communication archives. Since they contain the records of activities performed on software, they can be a target of data mining in order to retrieve useful information from them. Software defect prediction is one of such data mining efforts, and it tries to predict the existence of defects in software without performing tests. There are several topics where researches have been performed, such as metrics, sample imbalance, noise, and practical experiments. This paper describes such work from the past to the current and also the trend towards the future.

Keywords: Software Engineering, Mining Software Repository, Machine Learning, Defect Prediction

### 1 はじめに

ソフトウェアリポジトリとは、広い意味では何らかの形態のソフトウェアの収集場所ということになるが、研究の題材としてのソフトウェアリポジトリは、Git や Subversion などのソフトウェアのバージョン管理システム、および Redmine や Bugzilla などの課題管理システム、さらには開発メンバー間のコミュニケーションのアーカイブから構成されるデータを指す。現在では、GitHub や GitLab のように、これら全てのデータが単一のシステムで管理されるようになっている。オープンソースソフトウェアの開発プロジェクトは、著名かつ大規模なものだけをあげても、Apache, Eclipse, GNU, Linux, Mozilla など数多く存在し、Canonical, GitLab, RedHat のように、オープンソースソフトウェアの開発を主要なビジネスとしている企業も存在する。開発に関わる活動はソフトウェアリポジトリに蓄積され、そのデータは日々増加しており、またデータは公開されているため、豊富なデータを研究の題材として活用可能である。

ソフトウェアリポジトリマイニングとは、ソフトウェアリポジトリのデータを対象にしたデータマイニングである。データマイニングとは、大量のデータから何らかの有用な知識を発掘することである。従って、ソフトウェアリポジトリマイニングとは、ソフトウェアリポジトリのデータからの有用な知識の発掘を意味する。ここで、何を有用な知識とするか、が問題となるが、ソフトウェアリポジトリマイニングの関心事の中心は、ソフトウェア

工学である。そのため、ソフトウェア開発に関わる知識の発掘が目的となり、ソフトウェア品質、開発プロセス、開発者や研究者の支援などが知識の発掘対象としてあげられる[1]。

ソフトウェアリポジトリマイニングによる発掘対象のうち、ソフトウェア開発に深く直接的に関わる発掘対象として、ソフトウェア品質では欠陥予測や欠陥パターンの発掘、開発プロセスでは同時変更コードの発掘や欠陥修正プロセスの分析、開発者や研究者の支援としてはコミッターやレビューアの推薦やソフトウェアの部品検索などがある[1]。欠陥予測は、ソフトウェアを構成するモジュールの中でバグを含む可能性が高いモジュールを予測し、そのモジュールを重点的にレビュー、テストすることで、欠陥を発見しようとするものである。予測には、ソースコードのメトリクスやプロセスのメトリクスが用いられる。欠陥パターンの発掘は、ソースコードの変更履歴からエラーとなるパターンを発掘する。同時変更コードの発掘は、同時に変更されることの多いソースファイルの組み合わせを発掘し、変更のし忘れを防止する。欠陥修正プロセスの分析では、修正プロセスにおけるボトルネックを発見する。コミッターやレビューアの推薦では、あるソースコードの修正やレビューに適した開発者を推薦する。ソフトウェアの部品検索は、必要とする部品の検索を容易にする。

これらソフトウェアリポジトリマイニングの発掘対象の中でも、特に欠陥予測はソフトウェアの欠陥を発見する手段として以前から研究が行われており[2]、実用性が期待されることから、数多くの研究が行われてきた[3]。本論文では、欠陥予測の

これまでの研究を振り返った上で、最新の研究動向をまとめる。さらに、自然言語処理の手法のプログラムに応用する研究が盛んに行われるようになってきている[4]。これは、自然言語と同様に、ソースコードにも「自然さ」があると考える方法であり、その動向についてもとりあげる。

## 2 ソフトウェア欠陥予測の概要

### 2.1 欠陥予測の手順

ソフトウェア欠陥予測の手順は、一般的な機械学習における教師あり学習とその予測の手順と同じである。教師あり学習は、正負のラベルが付いた教師データを用意し、機械学習アルゴリズムにより、教師データを学習し、推定モデルを作成する。予測は、教師あり学習で作成された推定モデルが、正負のラベルが未知のデータに対し、ラベルの予測を行う。

ソフトウェア欠陥予測では、正負のラベルは、欠陥の有無になる。ラベルはソースコードに付けられるが、その粒度はファイル、関数が一般的である。修正はファイルに対して行われるため、ファイルレベルでの開発履歴の収集は容易である。関数レベルでの開発履歴を収集するためには、行われた修正の内容を解析し、修正が行われた関数を特定する必要がある。

正負のラベルは、ラベルを付ける対象の欠陥の有無の情報が必要になる。どこに欠陥があるかは、テストの実行結果または発生した障害を解析し、ソースコード中の欠陥箇所を特定し、修正のうえ、欠陥を除去できたことを確認するまでは不明である。そのため、欠陥の修正した履歴から、ラベルを付ける対象にある時点で欠陥があったことを推定する方法が用いられる。欠陥箇所の推定方法については、3.2節で述べる。

機械学習アルゴリズムにより、教師データを学習する。教師データは、上述の正負のラベルと、特徴量からなる。一般的に、ソースコードそのものは特徴量としづらいため、ソースコードの特徴を数値化したコードメトリクスが特徴量として用いられる。コードメトリクスとして代表的なものには、論理的な行数(LOC)がある。特徴量としては、機能の追加や拡張も含めた変更回数や欠陥の修正回数などの開発履歴も用いられる。これらはプロセスメトリクスと呼ばれる。メトリクスの詳細については、2.3節で述べる。

### 2.2 欠陥箇所の推定

欠陥箇所は、欠陥の修正履歴から推定する方法が一般的に用いられる。まず、欠陥を修正した変更(コミット)を特定し、その変更箇所に欠陥があったと推定し、欠陥修正以前に行われたその箇所への変更が欠陥を混入させたと考える。図1に欠陥修正コミットからの欠陥混入コミットの推定手順を示す。

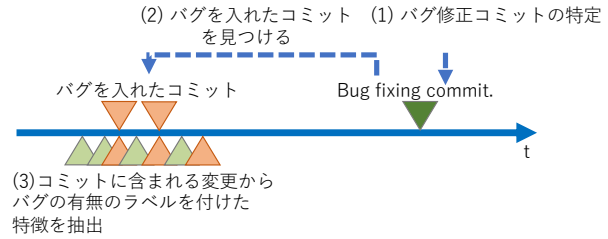


図1 欠陥修正コミットからの欠陥混入コミットの推定

この欠陥箇所の推定方法としては、**SZZ** アルゴリズム[5]が有名である。**SZZ** アルゴリズムは、次の手順で欠陥を混入した変更を推定する。1)課題管理システムやバージョン管理システムのログから、欠陥の修正を示唆する **fix**, **bug**, **defect** などのキーワード、および課題管理システムにおける障害レポートの番号を見つける。**bug**, **defect** は欠陥を意味する単語であるが、わざわざ欠陥を混入させる修正はあり得ないため、欠陥が見つかり、その修正を示唆するものと解釈する。番号に対応する障害レポートに欠陥修正が報告されている、障害レポートにバージョン管理システムへの変更履歴がある、これらが十分に近い時間に行われているならば、この変更を、欠陥を修正した変更と推定する。2)欠陥を修正したと推定される変更が行われた各行について、それらの行への変更履歴を追跡する。3)追跡した変更履歴から、障害レポートの作成日より後に行われた変更は欠陥の原因ではないため、削除する。

**SZZ** アルゴリズムの改良[6]では、空行や改行の追加削除、コメントの修正、また関数の移動は、欠陥修正に関わる修正ではないとして、無視する方法が提案されている。これにより多くの欠陥混入とは無関係な変更を取り除くことができる。

### 2.3 特徴量(メトリクス)

特徴量とするメトリクス[3]には、ソースコードの特徴を数値化したコードメトリクスと開発履歴から抽出されるプロセスメトリクスがある。以下、それぞれについて述べる。

#### 2.3.1 コードメトリクス

コードメトリクスとして代表的なものには、論理的な行数(LOC)があるが、特徴量として用いられることの多い他のメトリクスとしては、オペレータ数、トークン数、McCabe メトリクス、Halstead メトリクス、CK メトリクスがある。LOC を除き、いずれもコードの複雑さを表すものとなる。

McCabe メトリクスは、サイクロマティック数または循環的複雑度とも呼ばれる、制御構造の複雑さを数値化した尺度である。すべての命令を少なくとも1回実行するために必要となるテストケースの上限となる値であり、分岐が多くなるほど、その値は大きくなる。分岐が多くなれば、テストケースが全てのパスを網羅することが困難になり、テスト漏れが生じやすく、

欠陥が残りやすいという考え方に基づくメトリクスである。

Halstead メトリクスは、語彙の数に着目したメトリクスであり、使われているオペレータおよびオペランドの種類の数と出現回数を基本的な尺度とし、それらから計算されるプログラムの大きさや抽象化レベルを表す尺度から構成される。オペレータ数、トークン数を包含する尺度となっている。

CK メトリクスは、オブジェクト指向設計およびオブジェクト指向のプログラムに関するメトリクスであり、クラスの内部構造およびクラス間の関係から、設計の複雑度を数値化した尺度となっている。

いずれのメトリクスも、もともと設計およびプログラムの複雑度を定量的に分析する試みのもと開発されたものである。ソフトウェア欠陥予測は、これらのメトリクスが欠陥の有無の分類を可能にすることを前提としていることになる。

### 2.3.2 プロセスメトリクス

プロセスメトリクスとして代表的なものには、変更行数、変更回数、欠陥の混入回数、欠陥の修正回数、コードの存在期間などがある。変更行数は変更の規模を表すが、その他はいずれも、変更の頻度およびソースコードの安定性を表すものとなる。

プロセスメトリクスは、欠陥予測の対象の過去の開発履歴および欠陥混入履歴を表している。そのため、特徴量にプロセスメトリクスを含めることで、コードメトリクス単独よりも、より精度の高い予測が可能である。

## 3 ソフトウェア欠陥予測の動向

本章では、ソフトウェア欠陥予測の動向として、サンプル数の偏り、ノイズの影響とその対応、異なるプロジェクトの欠陥予測、実証実験について述べる。

### 3.1 サンプル数の偏り

多くのユーザを獲得し、長期間にわたり用いられ、開発が継続されているオープンソースソフトウェアは、高品質である。多くの欠陥の混入を許し、障害が頻発するようでは、ユーザは離れていき、開発が継続されることはない。従って、十分なデータを収集でき、また欠陥予測の興味の対象となるオープンソースソフトウェアには、欠陥が少ないことになる。このような、正例と負例のサンプル数に偏りがある場合、多い方を予測結果とするだけで正解となる確率が高くなるため、偏りがあることを考慮した学習をしなければ、少ない方のサンプルの予測を高い精度で行うことはできない。

予測により発見したい欠陥を正例とすると、正例が少なく、負例が多い場合、正例を人工的に増やして負例の数に近づけ、偏りを解消する方法をオーバーサンプリング、負例を減らして正例の数に近づける方法をアンダーサンプリングと呼

ぶ。オーバーサンプリング、アンダーサンプリングを簡便に行う方法として、ランダムに行う方法がある。ランダムオーバーサンプリングは、ランダムに選択した正例を複製する。ランダムアンダーサンプリングは、ランダムに選択した負例を削除する。その他、オーバーサンプリングの方法として、正例の  $k$  最近傍を求め、その近傍中に正例を生成する SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) と呼ばれる方法がある。

[8]は、特徴量として主にコードメトリクス、評価基準として再現率、適合率、F1 値を用い、オーバーサンプリング、アンダーサンプリングの効果を比較した。その結果、正例と負例の偏りを解消することで精度を向上できること、分類木ではサンプル数の偏りの影響が無いことを明らかにした。

[9]は、SMOTE のパラメータを自動的にチューニングすることで、分類精度を向上できることを示した。

SMOTE のパラメータは、近傍数  $k$ 、生成するサンプル数、距離関数から構成される。これらを一定の範囲で検索するグリッドサーチを行うことで、最適なパラメータを得ることができる。学習アルゴリズムによって、生成するサンプル数の最適値が異なることは、[8]でも指摘されている。

### 3.2 ノイズ

2.2 節で述べたとおり、変更履歴から欠陥修正の変更を特定し、欠陥の混入箇所を推定することで、正例、負例のラベル付けを行う。ここで、欠陥修正の変更の特定、欠陥の混入箇所の推定の両方で、間違いが発生する余地がある。欠陥修正の変更の特定では、一般的に fix, bug などのキーワードが検索される。厳密な規則のもとで、課題管理システムのタグやバージョン管理システムのログが管理されていれば、たとえば“[BUG]”のようなキーワードのみを検索すれば良いが、そのようなプロジェクトは一部に限られ、またキーワードを付け忘れた変更履歴が見逃されることになる。一方、より緩い条件で検索を行うと、これらの単語を含む文字列が存在したり、また異なる意味で用いられていたりしても、欠陥の存在を示唆すると判断される可能性がある。

欠陥の混入箇所の推定では、欠陥修正の変更箇所に欠陥があったと推定する。しかしながら、必ずしも、欠陥修正の変更箇所の全てに欠陥があるわけではない。欠陥修正に合わせて、リファクタリングが行われる場合も数多くあると考えられる。欠陥修正のために、関数やメソッドのインタフェースの変更が必要であったならば、そのインタフェースを使用する箇所も変更されることになるが、使用する側の方に欠陥があったわけではない。SZZ アルゴリズムの改良[6]では、意味的に変わらない軽微な変更は除外するが、それ以上の変更は修正とみなしてしまうため、これらの変更箇所は欠陥混入箇所に含まれてしまうことになる。

欠陥修正の変更の特定、欠陥の混入箇所の推定のそれ

ぞれで、欠陥混入箇所の見逃しと、欠陥ではない箇所が欠陥とみなされることが起こる可能性がある。見逃された欠陥混入箇所は欠陥がない箇所として、また欠陥ではない箇所が欠陥とみなされた箇所は欠陥がある箇所として、教師データは作成され、機械学習アルゴリズムにより学習されることになる。その結果が十分なものではなくるのは当然の帰結である。

[10]は、教師データにおけるノイズが予測精度に影響を及ぼすこと、および  $k$  近傍法に類似した、例えば負例のクラスター内に孤立して存在する正例をノイズとみなすという方法でノイズを除去することで、予測精度が向上することを示した。

[11]は、ノイズの予測精度への影響について議論し、ノイズの除去方法を提案、ノイズを除去したデータセットを提供した。これらの研究によりノイズの除去方法が明確になり、またノイズが除去されたデータセットが整備されるに伴い、それらのデータセットを用いた、どの学習アルゴリズムによる欠陥予測の精度の差異を明らかにしようとする、即ち学習アルゴリズムの順位付けを行う研究が盛んに行われる

ようになった[12],[13]。

一方で、ノイズに強い学習方法の研究も行われた。[14]は、特徴量のクラスタリングを行い、そこから特徴量を選択することで、ノイズを取り除いたデータセットとノイズを含むデータセットの両方で、有効な学習を行えることを示した。

### 3.3 異なるプロジェクトの欠陥予測

単一のソフトウェアレポジトリを対象としたソフトウェア欠陥予測(WPDP: Within Project Defect Prediction)の研究では、ノイズを除去したデータセットを対象として、欠陥予測精度に基づく学習アルゴリズムの順位付けが主流になるにつれて、より挑戦的なソフトウェア欠陥予測として、異なるプロジェクトの欠陥予測(CPDP: Cross Project Defect Prediction)の研究が行われるようになった。CPDPは、複数のプロジェクトを教師データとして予測モデルを作成し、そのモデルを用いて別のプロジェクトの欠陥予測をするものである。コストをかけてノイズを除去したデータセットを作成し、それらを教師データとして高精度な予測モデルを作成し、そのモデルにより別のプロジェクトの欠陥予測をするという流れは、機械学習の面からは自然な流れであると言える。CPDPの利点として、作成済みの予測モデルを用いて欠陥予測を行うため、予測モデルを作成するためのデータ収集が不要になり、低コストで欠陥予測が使用可能になることがある。また、ソースコードを厳重に管理している企業等の環境で予測モデルを作成することは困難な場合も多く、CPDPは、そのような環境への欠陥予測の導入を容易にする。

WPDPとCPDPでは、いくつかの相違点がある[15]。

1)使用されるメトリクスに違いがある。WPDPでは、プロセスメトリクスが欠陥予測の対象の過去の開発履歴および欠陥混

入履歴を表しているため、有効な特徴量となったが、CPDPではプロジェクトが異なるため、有効ではないメトリクスを用いた場合、予測精度を悪化させる傾向にある。そのため、基本的にはコードメトリクスが主要な特徴量となる。

2) WPDPは自分自身のプロジェクトのみが教師データであるのに対し、CPDPでは教師データに選択肢があり得る。欠陥予測の対象となるプロジェクトと類似したプロジェクトを教師データとした方が、良い予測結果を得られる。そのため、CPDPでは、類似したプロジェクトを選択する手法が研究対象となり、予測結果に影響を与える。

CPDPは、異なるプロジェクトを対象とするため、WPDPよりもはるかに多くの処理を行う必要があるため、その研究の余地が大きく、2013年以降のソフトウェア欠陥予測の論文の多くはCPDPに関わるものとなっている。

### 3.4 実証実験

ソフトウェア欠陥予測の大規模な実証実験としては、Googleによる実験[16]が有名である。実証実験の前に事前調査を行い、Googleの開発者はFindBugs[17]のような静的解析器を活用している、ソフトウェア欠陥予測アルゴリズムとしてBugCache[18]が提供する予測は開発者の理解に近いが、最近の変更が無いファイルに関する欠陥予測には興味が無い、との結果を得た。そこで、最近変更されたファイルにより重きをおくように改良したBugSpotsを開発し、上位0.5%のみに欠陥があると予測することで偽陽性判定を極力少なくするようにした。欠陥があると予測されたファイルには社内コードレビューシステムにコメントを挿入して、慎重なレビューを促すようにした。3ヶ月の試用期間の後、レビューの時間とコメント数を調査したところ、ほぼ変化は無いという結果となった。開発者からは、次のフィードバックを得た。1)ソフトウェア欠陥予測は、過去の履歴に基づいて予測を行うため、欠陥があると予測されたファイルに対し修正を加えても予測結果を変更することができない。2)技術的負債を抱えたファイルが何度も欠陥があると指摘されるが、対策方法が無い。実験結果からは、欠陥があると予測されたファイルに対し修正するというアクションを取れる方法が必要であることが示された。

ソフトウェア欠陥予測は、過去の履歴に基づいて将来の結果を予測するものである。欠陥があると予測されたファイルに対し何もアクションが無ければ、欠陥が発見される可能性がある。しかしながら、欠陥があると予測されたファイルに対して修正を加えるというアクションを取れば、ある意味で未来を変更していることになり、予測結果は有効ではなくなる、という解釈ができるとの指摘もある[19]。

ソフトウェア欠陥予測の研究としては、精度の比較が重要な位置を占めるが、研究の有用性を高めていくためには、実用面からの要求についても目を向ける必要がある。

#### 4 自然言語処理の手法に基づいた予測

ソースコードの「自然さ」に基づいた予測に関する初期の研究として、[4]がある。この研究は、人々が実際に記述した自然なプログラムは、自然言語と同様に、単純かつ反復的であるため、統計的言語モデルによりとらえられる予測できる属性を持つ、という仮説を設定し、**n-gram** に基づく言語モデルを適用することで、仮説は支持できるとした。実験では、英文のコーパスおよび **C** および **Java** プログラムを字句解析し、トークン列を抽出したうえで、**n** を変化させて、**n-gram** モデルを生成し、交差エントロピー誤差により評価した。英文のコーパスでは **n** が 3 以上で誤差はほぼ収束した一方で、プログラムも **n** が 4 以上で収束する傾向が見られた。これは、自然言語のような局所的な反復性が、プログラミング言語でもあることを示唆する。さらに、誤差はプログラミング言語の方が小さいことから、プログラミング言語の方が規則的である。**n-gram** モデルの応用として、トークンのサジェスト機能を作成し、その有用性を確認した。

自然言語処理の分野で、単語の意味を表現する方法の 1 つとして分散表現がある。ある単語の意味は、その単語の周囲にある単語により形成される、という分布仮説に基づき、コーパスから作成された共起行列は、高次元の疎行列となるが、それを低次元密行列に圧縮したものが、分散表現である。分散表現を、高次元の疎行列から比較的効率よく作成する方法として、ニューラルネットワークを用いて漸進的に学習する方法が知られている。ニューラルネットワークは、共起行列を入力として、対応する単語を出力するように学習する。即ち、周囲にある単語から、それが意味を形成する単語を予測することになる。

`code2vec`[20]は、上記の分布仮説を、あるメソッドの意味は、メソッドのソースコードにより形成される、と解釈したものである。ソースコードを抽象構文木(AST)に変換し、木の持つ葉から別の葉への経路をベクトル化し、トークンとともに共起行列を構成する。これをニューラルネットワークの入力として、メソッド名を出力するように学習する。得られた分散表現からは、あるメソッド名に近い意味を持つメソッド名を取り出すことができる。また、応用として、コードレビューにおけるメソッド名のサジェスト機能、意味からの API の発見があげられている。

分散表現を用いたソフトウェア欠陥予測の試みとしては、[21]がある。これは、欠陥を含むメソッドおよび含まないメソッドの分散表現を入力として、欠陥の有無を予測する CNN を学習させるものである。メソッドの局所的な情報だけでなく、メソッド間の関係も抽出することで、複数のメソッドに跨った呼び出し関係により発生する欠陥の予測にも成功している。

#### 5 おわりに

本論文では、従来から行われてきたメトリクスを特徴量とする欠陥予測手法、および近年になり行われるようになってきた自然言語処理の手法を取り入れることでメソッドのソースコードそのものを特徴量化した予測手法の動向について述べた。メソッドのソースコードそのものを特徴量化することは、メソッドの処理内容を表現することができるため、ソースコードの特徴を捉え、欠陥の特徴を把握し、より正確に予測できる可能性を持つ。

しかしながら、ソースコードに表現される欠陥の特徴は、ソフトウェアの欠陥の部分にすぎない点に中止する必要がある。ソフトウェアの欠陥とは、ソースコードなどの成果物に混入したあるべき状態とは異なっている間違いと定義される。ソースコードの断片としては全く問題がなくても、要求から逸脱していれば、それは欠陥として修正の対象となる。そのような欠陥におけるソースコードの特徴を学習したとしても、要求からの逸脱を予測できるわけではないだろう。従って、ソフトウェア欠陥予測の対象となるのは、ソースコードの断片として問題があり、ある条件のもと、それが顕在化する欠陥である。そのような欠陥を含むソースコードを学習の対象とする必要がある。

今後、Linux カーネルを対象として、自然言語処理の手法を取り入れたソースコードの特徴量化により、ソフトウェア欠陥予測の研究を行う予定である。オペレーティングシステムカーネルは、アプリケーションと比較すると、欠陥の発見と除去、即ちデバッグが困難であるため、欠陥予測の有用性が高い対象である。Linux カーネルのソースコードの欠陥が、ある条件のもと、顕在化した場合、明示的にエラーログを生成する。このエラーログが生成された原因となった欠陥を含むソースコードを学習の対象とすることで、ソースコードに表現される欠陥の特徴を学習できると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 門田暁人, 伊原彰紀, 松本健一. ソフトウェアリポジトリマイニング. コンピュータソフトウェア, Vol. 30, No. 2, pp. 52–65, 2013.
- [2] Jeffrey Voas, Larry Morell, and Keith Miller. Predicting where faults can hide from testing. IEEE Software, Vol. 8, No. 2, pp. 41–48, 1991.
- [3] 畑秀明, 水野修, 菊野亨. 不具合予測に関するメトリクスについての研究論文の系統的レビュー. コンピュータソフトウェア, Vol. 29, No. 1, pp. 106–117, 2012.
- [4] Abram Hindle, Earl T. Barr, Zhendong Su, Mark Gabel, and Premkumar Devanbu. On the naturalness of software. In Proceedings of the



- 34th International Conference on Software Engineering, ICSE '12, p. 837–847. IEEE Press, 2012.
- [5] Jacek Sliwerski, Thomas Zimmermann, and Andreas Zeller. When do changes induce fixes? In Proceedings of the 2005 International Workshop on Mining Software Repositories, MSR '05, p. 1–5, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
- [6] Sunghun Kim, Thomas Zimmermann, Kai Pan, and E. James Jr. Whitehead. Automatic identification of bug-introducing changes. In Proceedings of the 21st IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, ASE '06, p. 81–90, USA, 2006. IEEE Computer Society.
- [7] Foyzur Rahman and Premkumar Devanbu. How, and why, process metrics are better. In Proceedings of the 2013 International Conference on Software Engineering, ICSE '13, p. 432–441. IEEE Press, 2013.
- [8] 亀井靖高, 松本真佑, 柿元健, 門田暁人, 松本健一. Fault-prone モジュール判別におけるサンプリング法適用の効果. 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 8, pp. 2651-2662, aug 2007.
- [9] Amritanshu Agrawal and Tim Menzies. Is “better data” better than “better data miners”? On the benefits of tuning smote for defect prediction. In Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering, ICSE '18, p. 1050–1061, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [10] Sunghun Kim, Hongyu Zhang, Rongxin Wu, and Liang Gong. Dealing with noise in defect prediction. In Proceedings of the 33rd International Conference on Software Engineering, ICSE '11, p. 481–490, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [11] Martin Shepperd, Qinbao Song, Zhongbin Sun, and Carolyn Mair. Data quality: Some comments on the nasa software defect datasets. IEEE Transaction of Software Engineering, Vol. 39, No. 9, p. 1208–1215, September 2013.
- [12] Baljinder Ghotra, Shane McIntosh, and Ahmed E. Hassan. Revisiting the impact of classification techniques on the performance of defect prediction models. In Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering - Volume 1, ICSE '15, p. 789–800. IEEE Press, 2015.
- [13] David Bowes, Tracy Hall, and Jean Petrić. Software defect prediction: Do different classifiers find the same defects? Software Quality Journal, Vol. 26, No. 2, p. 525–552, June 2018.
- [14] Wangshu Liu, Shulong Liu, Qing Gu, Xiang Chen, and Daoxu Chen. Fecs: A cluster based feature selection method for software fault prediction with noises. In Proceedings of the 2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference - Volume 02, COMPSAC '15, p. 276–281, USA, 2015. IEEE Computer Society.
- [15] Steffen Herbold, Alexander Trautsch, and Jens Grabowski. A comparative study to benchmark cross-project defect prediction approaches. In Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering, ICSE '18, p. 1063, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [16] Chris Lewis, Zhongpeng Lin, Caitlin Sadowski, Xiaoyan Zhu, Rong Ou, and E. James Whitehead Jr. Does bug prediction support human developers? Findings from a google case study. In Proceedings of the 2013 International Conference on Software Engineering, ICSE '13, p. 372–381. IEEE Press, 2013.
- [17] David Hovemeyer and William Pugh. Finding bugs is easy. SIGPLAN Not., Vol. 39, No. 12, p. 92–106, December 2004.
- [18] Sunghun Kim, Thomas Zimmermann, E. James Whitehead Jr., and Andreas Zeller. Predicting faults from cached history. In Proceedings of the 29th International Conference on Software Engineering, ICSE '07, p. 489–498, USA, 2007. IEEE Computer Society.
- [19] Michele Lanza, Andrea Mocci, and Luca Ponzanelli. The tragedy of defect prediction, prince of empirical software engineering research. IEEE Software, Vol. 33, No. 6, p. 102–105, November 2016.

- [20] Uri Alon, Meital Zilberstein, Omer Levy, and Eran Yahav. Code2vec: Learning distributed representations of code. Proc. ACM Program. Lang., Vol. 3, No. POPL, January 2019.
- [21] Yi Li, Shaohua Wang, Tien N. Nguyen, and Son Van Nguyen. Improving bug detection via context-based code representation learning and attention-based neural networks. Proc. ACM Program. Lang., Vol. 3, No. OOPSLA, October 2019.



# 教育向けソーシャルロボットの現状

兼光有沙\*・永井美雪\*\*・田部井賢一\*・大久保友幸\*

## The Current Status of Social robots for education

Alisa Kanemitsu\*, Miyuki Nagai\*\*, Ken-ichi Tabei\* and Tomoyuki Ohkubo\*

### Abstract

There is a shortage of teachers in Japan's elementary and junior high schools. In addition, new subjects have been added and the burden on teachers is increasing. Currently, research on learning support using social robots, which is being conducted around the world, has the potential to solve these problems. In this paper, we focus on the role of robots in social interaction with humans, and introduce the educational robots and their research in Japan and abroad. Although there is still little research on educational robots for practical use in school education, future developments are expected.

Keywords: Social Robots, Educational-support Robots, Children, Tutor Robots, Learning by Teaching

### 1 はじめに

出生率の低下と労働人口の減少にともなう、サービス業を中心とした人手不足によりロボットへの注目が年々高まっている。日本のサービス分野におけるロボット産業の将来市場は、2035年には約4.9兆円に達すると予測されている[1]。

将来の人材を育てる教育現場においても、人手不足の状況は他の業態と同様である。文部科学省が2018年に埼玉県、千葉県など11自治体に協力を得て実施したアンケートによると、2017年時点で、小学校では11自治体で常勤が266人、非常勤が50人不足しており、中学校では10自治体で常勤が101人、非常勤が153人不足しているという結果が得られている[2]。また、2020年から始まった英語科目や、プログラミング教育科目など新たな教科も必修化され、教員一人当たりの勤務時間はさらに増加すると考えられる。

そこで教員の負担軽減や教育効果の向上を狙った、教育支援ロボットの活躍が期待されている。現在、ロボットを使用した教育支援に関する研究が世界各国で行われており、汎用性のあるロボットの増加、低価格化、OSSの普及などから誰でも容易に実験が行えるようになってきている。

教育現場に用いるロボットには、1)STEM/STEAM教育などで使用される、子供たちが組み立てやプログラミングを行うためのロボット、2)人とロボットがコミュニケーションを行うことで教育支援を行うソーシャルロボットがあるが、本稿では2)ソーシャルロボットによる教育支援について扱う。

今後の教育現場におけるロボットによる具体的な教育支援の方法を検討するため、多くの研究で使用されている代

表的な教育向けロボットの特徴や行われている研究の事例の調査を行った。

### 2 国内の教育における問題

#### 2.1 学校教育での教員不足

かつて公立学校の教員採用試験と言えば2000年には競争率が13%を超えるほどの難関試験であったが、2020年には4.2%まで減少している[3]。

この競争率の低下の背景には、ベテラン教員の定年による大量退職と、学校現場のいわゆる「ブラック」な職場という過重労働の現場であるイメージが広まったことがある。小学校においては、小学校教員免許取得者がそもそも減少してしまい、競争率低下が顕著であると言うことが指摘されている(川崎, 2019[4])。競争率低下のため、教員不足や教員の質の低下が懸念されている。実際に広島県では、2018年の教員採用試験の競争率が2.2倍と低く470人の採用計画に対し、420人しか採用できず一部中学校では授業が開講できなかった[5,6]事象も起きている。

教員不足は人数の問題ではなく、勤務時間にも表れている。文部科学省が、2016年に教育政策に関する実証研究の一環で、小中学校それぞれ400校の勤務実態を実証分析した結果、2006年の調査と比較して平日・土日ともいづれの職種でも勤務時間が増加している実態が判明している[7]。

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* 株式会社富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ, Fujitsu Social Science Laboratory Limited

## 2.2 新たな教科による負担

小学校では 2020 年に 10 年ぶりに学習指導要領が改訂された。このなかで、必修教科として外国語教育やプログラミング教育が導入されることになった。

特にプログラミング教育は、現在まで経験のない教員が多い。全国の小学校教員を対象にしたプログラミング教員の課題や教員研修に対する意識に関する調査[8]によると、全体の 92.0%の教員が、プログラミング教育に関する自己の知識・理解の不足を、課題に感じている。このように、新たな教科に対応する必要から、より一層教員への負担が生まれる状況となっている。

## 3 ソーシャルロボットによる教育支援

このように 2.1, 2.2 項で述べた学校教育の現場で発生している問題に対し、ソーシャルロボットによる教育支援が適切に行われれば、教員不足と教育への負担軽減を同時に解決できる可能性がある。

ソーシャルロボット(Social Robots)とは、人と社会的にインタラクションするロボットのことである。1999年にマサチューセッツ工科大学の Cynthia Breazealらが顔の部位のさまざまな動きにより感情を表現しコミュニケーションを行うロボットである Kismetを開発し、この用語を使い始めた[9]。

遠隔授業やコンピュータを用いた学習支援システムは既に多く普及しているが、ソーシャルロボットの教育はこれらの手法と比較して以下の利点がある。

- ①書き方、球技、視覚障がい者の学習など、物理的な指導が有効なカリキュラムに使用できる
- ②美術館の場所を移動しながら解説するといった、生徒の移動を含めたダイナミックな学習が可能である
- ③物理的なロボットとの関わりにより、学習効果や授業の魅力が高まる[10]

教育向けのソーシャルロボットに関しては、形状や機能などさまざまな特徴が確認できるが、本稿ではそのロボットの持つ役割に注目した。役割の分類には諸説ある[11-13]が、本論では 1)チューターロボット、2)チューティロボット、3)ピアロボットの3つに分類する。

### 3.1 チューターロボット(Robot as Tutor)

チューターロボットは、豊富な知識を持ち、教師や家庭教師のように生徒を教えることができるロボットである。一対一で教育するだけでなく、集団の中でアシスタントロボットとして生徒の中に入り、教室全体の雰囲気維持や生徒の積極的な質問を促す効果を持つことで、学びの促進を行うロボットがある。個人の英会話学習用のロボットはすでに複数の企業から商品化されている。

### 3.2 チューティロボット(Robot as Tutee)

チューティロボットは、初学者のように、これから学ぶことに対して何も知らないようなふるまいをするロボットである。学習者に間違いを正させることで、「教えることによる学び(Learning by Teaching)」をもたらすことを目的としており、生徒の自然な世話欲を引き出すよう、最初は簡単な単語の言い間違えや不完全なふるまいをする。これを生徒たちが正し、面倒をみることでそのトピックに対する学習を深めるといふ狙いがある[14]。すでに幼児の英語学習などでは有効事例が報告されている[15]。

### 3.3 ピアロボット(Robot as Peer)

ピアロボットは、生徒の「学習のパートナー／仲間(=ピア)」として、生徒と積極的に助け合い、支え合う中で知識や技術を身に着けることを目的としたロボットである。

チューターロボットのような指導ができるだけでなく、雑談や声掛けをし[16]、生徒の習熟度によってはチューティロボットとしてふるまう[17]など、より生徒の教育に適応した役割を担うことを目指している。

しかしながら、チューターロボットについては長年に渡ってさまざまな研究なされているが、チューティロボットや、ピアロボットについての研究はまだ多くはない。生徒とのより有効な関わり方や学習手法の研究が進んでいる途上であり、次章ではロボットの紹介に併せていくつか紹介する。

## 4 教育向けソーシャルロボットの現状

国内外における教育向けソーシャルロボットの研究に利用される代表的なロボットと、研究内容を紹介する。

### 4.1 NAO [18]

NAOは、アルデバランロボティクス(現ソフトバンクロボティクスヨーロッパ)が開発した、世界で最も普及しているヒューマノイドロボットである。介護施設でのコミュニケーション支援や受付代行なども担うこともでき、幅広い利用が可能である。入手しやすい価格と、開発の容易さから多くの研究に利用されている。教育向けとしては多くがチューターロボットとしての利用であるが、チューティロボット[19]としても利用されている。

歩行やダンスなど多彩な動きが可能のため、書き方[20]やフリースロー[21]など物理的な指導を必要とする教育の研究にも使用されている。



ソフトバンクロボティクス社 Web[18]より引用

図 1: NAO

#### 4.2 Robovie-R3 [22]

Robovie-R3は、高齢者・障がい者の社会参加への貢献といった、新たなロボットサービス創出の研究開発用として、国際電気通信基礎技術研究所(ATR)によって開発された等身大の人型ロボットプラットフォームである。首、腕、目が動かせるだけでなく、屋内外での移動が可能である。

小泉らの実験[16]では、ロボットの組み立ての基本的知識及びプログラミング的思考を学ぶ小学生の児童らに、Robovie-R3がチューターロボットとピアロボットとしての役割を担う場合の協調学習の比較検討を行っている。ビデオの説明や授業の流れを制御する管理行動のみをする無支援グループと、説明や管理に加えて声掛けや雑談するといった行動をとる支援グループに分け学習を行ったところ、支援グループではより協調学習を促進する可能性があることが示された。この研究ではロボットと児童らだけで学びの場を作られているが、児童へのアンケート調査では楽しさについて高い評価が得られており、ロボットの教育支援の可能性も示唆している。その他、小学校の理科室に導入し、子どもたちと理科の授業に関するクイズなどのやり取りを通じて、理科授業に対する理解を支援する取り組み[23]などもある。



ヴィストン株式会社 Robovie-R3 紹介 Web ページ[24]より引用

図 2: Robovie-R3

#### 4.3 Tega [24]

Tegaは、MITメディアラボによって開発された幼児とのインタラクションを支援する研究用ロボットである。先代のDoragonBotを改良したものであり、より感情表現が豊かになり幼児とのコミュニケーションを長時間行えるよう改善されている。遊びやプログラミング等の教育コンテンツも用意されており、幼児と一緒にタブレットを見ながら学習するといったピアロボットとしての利用が期待されており、幼児に対してパーソナライズされたストーリーテリングを行う研究が行われている[25]。

Chenらが行った研究[17]では、子どもの語彙学習のパートナーとしてTegaを利用している。この研究では、Tegaの役割を①チューターロボット、②チューティロボット、③ピアロボットの3つに分けて比較検討しており、それぞれの役割内容は以下である。

①チューターロボット: 全ての問題に正確に答え、知識を示し、子どもを正解に導く。

②チューティロボット: 語彙の知識を持たず、子どもに助けを求めたり、好奇心旺盛に説明を求めたりする。

③ピアロボット: 子どもの様子に合わせて①、②の役割を切替える。苦戦している時にはチューターとして、知識の定着が必要な時にはチューティとして、適応した行動をとる。

以上3つのロボットによる学習を比較したところ、③のピアロボットとの学習が、最も語彙の学習に有効であり、なおかつ顔表情の分析により他の2つのロボットと比べ肯定的な感情を示していることが分かった。ロボットとの1対1の具体的な学習方法の研究が深まっていることが分かる。



文献[17]より引用

図 3: Tega

#### 4.4 Sota[26]

Sota(ソータ)は、大阪大学大学院基礎工学研究科の石黒教授、吉川准教授らとヴィストン株式会社により開発された、社会的対話ロボットである。ほぼ同時期に開発されたCommUの研究結果にもとづき、人間と関わるロボットを広く普及させることを目的に開発された。CommUに比べシンプルな機構を採用し、親しみやすいキャラクターデザインを取り入れている。人間に向かって話しているのか、またはロボットに向かって話しているのかを、ロボットがはっきりと区別することができる。また、対話の参加者となる人間やロボットを無視し

ているように見えない“社会的振る舞い”も行うことが可能であることが特徴である。

この機能を活用して行われた研究に、教育現場においてチューターロボットとして生徒と対話しながら進める議論支援[27]やロボットによる講義[28,29]があり、「Learning by Teaching」を取り入れた講義システムの検討にピアロボットとして利用されている[29]。

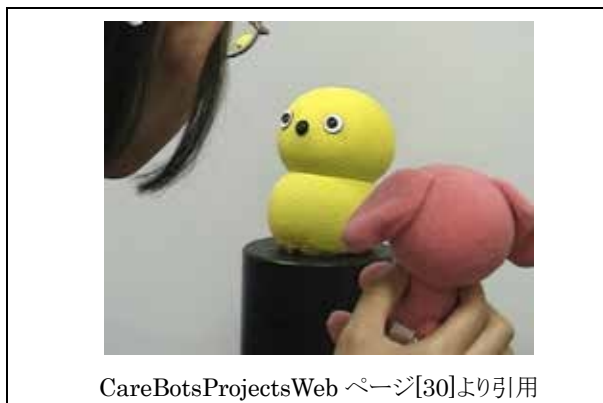


ヴイストン株式会社 Sota 紹介 Web ページ[26]より引用

図 4: Sota

#### 4.5 Keepon [30]

Keepon は、CareBots プロジェクト(代表:東北大学 小嶋秀樹教授)[30]により開発され、子どものコミュニケーション発達の解明を目的として作成されているロボットである。黄色いダンゴ型の身体(高さ 120mm・直径 80mm)を持ち、シリコンにより一体成型されている。シンプルな4軸で体の動きで表現し、注意の表出と情動の表出に対応する2種類の身体動作をつくりだす。そのシンプルな見た目から対人関係を苦手とする自閉症児の療養教育[31,32]への使用が多いが、ピアロボットに近い児童と相互作用をする役割を担った児童へのダンス教育[33]の研究などがある。



CareBotsProjectsWeb ページ[30]より引用

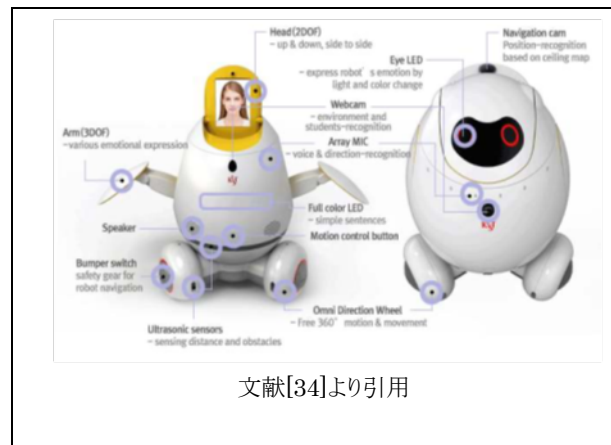
図 5: Keepon

#### 4.6 Engkey [34]

Engkey は、韓国科学技術研究院 (KAIST)により、韓国の小学生に英語教育を行うために開発された。高さ約 1m の白い卵形のロボットで、顔の部分にはディスプレイがあり、生徒たちに話しかけながら車輪で教室内を移動することで、朗読や音楽にあわせて頭と腕を動かしてダンスをすることができる。

フィリピンのような英語を母国語とする他の国の英語教師が遠隔操作し、生徒の様子を見たり、発音を聞いたりすることが可能である[34]。カメラには顔検出機能を持ち、教師たちの表情を捉え、教師の表情が変わるとそれに合わせてディスプレイ内のアバターの顔表情も変化する。

こういった遠隔地から操作・コミュニケーションを行うロボットは、「テレプレゼンスロボット (Telepresence Robot)」と呼ばれており、すでにさまざまなタイプのテレプレゼンスロボットが市販されている。テレプレゼンスロボットを活用すれば、土日の部活動の指導はロボットで行うといった負担軽減策も早期に実現可能ではないだろうか。



文献[34]より引用

図 6: Engkey

### 5 教育向けソーシャルロボットの現状まとめ

前項までで、教育で使用されるロボットの現状について調査したが、Tega や Keepon にみられるように、ロボットの機能以上に生徒との関わり方や子供に親しまれる形状といった要素が教育効果を上げるためには重要である。表 1 に各ロボットの外見比較を示す。

表 1: ロボット外見比較

ロボット名	開発者名	ロボットの高さ	幼児同等のサイズ	人間的な外見	開発時期
NAO	ソフトバンク ロボティクス	0.58m	○	○	2005(AL-01) 2009(Academic)
Robovie-R3	ヴイストン	1.08m	○	○	2010
Tega	MIT Media Lab	0.35m	○	×	2016
Sota	ヴイストン	0.28m	×	○	2015
Keepon	東北大学	0.12m	×	×	1997
Engkey	KAIST	1.05m	○	×	2010

既存研究の多くは1対1あるいは少人数向けの教育であり、学校現場への早期の導入は難しい面があるが、実用的な研究も増えていることが確認出来た。実際に学校教育でロボットが活用されるためにはロボット自体の要素だけでなく、ロボットを使う環境やより学習効果の出るカリキュラムの整備なども必要であり、今後の展開に期待したい。

## 6 おわりに

本稿では、国内の教育現場における教員不足の現状と、代表的な教育向けソーシャルロボットの調査を行った。その結果、教師の負担軽減や英語やプログラミング教育を含めた教育効果向上を期待出来ることが分かった。将来的にはロボットが児童を導き励まし、時には児童がロボットに教えることで理解を深める、といった光景が一般的になるであろう。

教育の形が変化していく中、対面授業とオンライン授業の両方のメリットを実現できる可能性を持つのがロボットによる教育支援であり、国内の教育の問題にも貢献出来るかと考える。今後もロボットと教育支援について注目していきたい。

## 参考文献

- [1] 経済産業省産業機械課, 2012年 ロボット産業の市場動向,  
[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/robot/pdf/20130718002-3.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/20130718002-3.pdf), 2013.  
(visited on 2020)(ウェブ参照)
- [2] 文部科学省初等中等教育局, いわゆる「教員不足」について,  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/002/siryo/\\_icsFiles/afieldfile/2018/08/08/1407922\\_10.pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/002/siryo/_icsFiles/afieldfile/2018/08/08/1407922_10.pdf), 2018. (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [3] 文部科学省: 令和元年度公立学校教員採用選考試験の実施状況について,  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/senkou/1416039\\_00001.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/senkou/1416039_00001.html), 2020. (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [4] 川崎祥子, “教員採用選考試験における競争率の低下—処遇改善による人材確保の必要性—,” 立法と調査, no.417, pp.18-27, Nov.2019.
- [5] 日経新聞, 日経新聞 電子版 2018年5月14日付: 教員不足で授業できず 4月分、広島市の市立中, 2018.
- [6] 読売新聞, 読売新聞 東京朝刊 2019年5月14日付: 「多忙な教職」学生敬遠 公立小採用 倍率低迷, 2019.
- [7] 文部科学省, 教員勤務実態調査(平成28年度)(確定値)について,  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2018/09/27/1409224\\_003\\_4.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/09/27/1409224_003_4.pdf), 2018. (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [8] 黒田昌克, 森山潤, “小学校段階におけるプログラミング教育の実践に向けた教員の課題意識と研修ニーズとの関連性,” 日本教育工学会論文誌, vol.41(Suppl.), pp.169-172, Mar.2018.
- [9] C. Breazeal and B. Scassellati, “A Context-Dependent Attention System for a Social Robot,” Proc. International Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp.1146-1153, 1999.
- [10] J. Li, “The Benefit of Being Physically Present: A Survey of Experimental Works Comparing Copresent Robots, Telepresent Robots and Virtual Agents,” International Journal of Human-Computer Studies, vol.77, pp.23-37, May2015.
- [11] T. Belpaeme, J. Kennedy, A. Ramachandran, B. Scassellati, F. Tanaka, “Social Robots for Education: a Review,” Science Robotics, vol.3, no.21, eaat5954, Aug.2018.
- [12] O. Mubin, C. J. Stevens, S. Shahid, A. A. Mahmud, J. J. Dong, “A Review of the Applicability of Robots in Education,” Technology for Education and Learning, vol.1, pp.1-7, Jun.2013.
- [13] 田中文英, “教育におけるロボットの活用,” 教育と医学, vol.66, no.1, pp.28-32, Jan.2018.
- [14] 田中文英, “幼児教育現場におけるソーシャルロボット研究,” 日本ロボット学会誌, vol.29, no.1, pp.19-22, Jan.2011.
- [15] 松添静子, 田中文英, “教育支援ロボットの賢さの違いが子どもの英単語学習に及ぼす影響,” 人工知能学会論文誌, vol.28, no.2, pp.170-178, Mar.2013.
- [16] 小泉智史, 神田崇行, 宮下敬宏, “ソーシャルロボットを用いた協調学習実験,” 日本ロボット学会誌, vol.29, no.10, pp.902-906, Dec.2011.
- [17] H. Chen, H. W. Park, C. Breazeal, “Teaching and Learning with Children: Impact of Reciprocal Peer Learning with a Social Robot on Children’s Learning and Emotive Engagement,” Computers & Education, vol.150, Jun.2020.



- [18] SoftBank Robotics, NAO,  
<https://www.softbankrobotics.com/emea/en/nao>.  
 (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [19] F. Tanaka and S. Matsuzoe, "Children Teach a Care-Receiving Robot to Promote Their Learning: Field Experiments at a Classroom for Vocabulary Learning," *Jornal of Human-Robot Interaction*, vol.1, no.1, pp.1-16, Jul.2012.
- [20] W. Johal, A. Jacq, A. Paiva and P. Dillenbourg, "Child-Robot Spatial Arrangement in a Learning by Teaching Activity," *Proc. 2016 twenty-fifth IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 533-538, 2016.
- [21] A. Litoiu and B. Scassellati, "Robotic Coaching of Complex Physical Skills," *Proc. the Tenth Annual ACM/IEEE International Conf. on Human-Robot Interaction Extended Abstracts*, pp.211-212, 2015.
- [22] ヴィストーン株式会社, Robovie R3,  
[https://www.vstone.co.jp/products/robovie\\_r3/index.html](https://www.vstone.co.jp/products/robovie_r3/index.html). (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [23] 小松原剛志, 塩見昌裕, 神田崇行, 石黒浩, 萩田紀博, "理科室で授業の理解を支援するロボットシステム," *日本ロボット学会誌*, vol.33, no.10, pp.789-799, Dec.2015.
- [24] MIT Media Lab, Tega,  
<https://www.media.mit.edu/projects/tega-a-new-robot-platform-for-long-term-interaction/overview/>. (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [25] H. W. Park, M. Gelsomini, J. J. Lee, T. Zhu and C. Breazeal, "Backchannel Opportunity Prediction for Social Robot Listeners," *Proc. 2017 IEEE International Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2308-2314, 2017.
- [26] ヴィストーン株式会社, 普及型社会的対話ロボット「Sota (ソータ),  
<http://www.vstone.co.jp/products/sota/index.html>. (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [27] 小野宙生, 小池開人, 森田武史, 山口高平, "教育現場における議論支援ロボット," *2019年度人工知能学会全国大会論文集(第33回)*, pp.104-J-12-01, Jun.2019.
- [28] T. Ishino, M. Goto, A. Kashihara. "A Robot for Reconstructing Presentation Behavior in Lecture," *Proc. Sixth International Conf. on Human-Agent Interaction*, pp.67-75, 2018.
- [29] B. I. Edwards, I. O. Muniru, N. Khougali, A. D. Cheok, R. Prada, "A physically Embodied Robot Teacher (PERT) as a Facilitator for Peer Learning," *Proc. 2018 IEEE Frontiers in Education Conf.*, 2018.
- [30] Carebot Project,  
<https://www.ei.tohoku.ac.jp/xkozima/carebots/robot.html#keepon>. (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [31] H. Kozima, C. Nakagawa, Y. Yasuda, "Interactive Robots for Communication-Care: a Case-Study in Autism Therapy," *Proc. fourteenth IEEE Workshop on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2005*, pp. 341-346, 2005.
- [32] H. Kozima, C. Nakagawa, Y. Yasuda, "Designing and Observing Human-Robot Interactions for the Study of Social Development and its Disorders," *Proc. 2005 International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp. 41-46, 2005.
- [33] M. P. Michalowski, R. Simmons, H. Kozima, "Rhythmic Attention in Child-Robot Dance Play," *Proc. the eighteenth IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 816-821, 2009
- [34] J. Kim, K. S. Chun, D. Kwon, "Gesture Motion Programming by Applying Robot Motion Hierarchy Structure for the Educational/Entertainment Robot Engkey," *Proc. 2012 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts*, pp. 36-39, 2012.

# 本邦における認知症の現状と課題：

## 認知症・神経心理学講座の目的

佐藤正之\*・阿部真貴子\*・田部井賢一\*\*

The present situation and problems of dementia in Japan:

The aims of the department of dementia and neuropsychology

Masayuki Satoh\*, Makiko Abe\*, and Ken-ichi Tabei\*\*

### Abstract

Today, the increase of patients with dementia is one of the biggest problem in the world. In Japan, there are almost 5 million patients with dementia in 2020. Most of the diseases which cause in dementia have no disease-modifying drug, so the prevention and non-pharmacological intervention are important. But, generally speaking, these evidences are very poor. Our department aims to propose the way of the early diagnosis and the prevention of the cognitive declines. We are setting up a new battery of cognitive assessment which works online. And we are also confirming its validity and making some non-pharmacological therapies. In this article, we introduce some aspects of our activities.

Keywords: dementia, cognitive assessment, cognitive decline, non-pharmacological intervention

## 1 はじめに

本邦は、人類が遭遇したことのない高齢化社会を迎えつつある。老いは万人が逃れられない。核家族化が進んだ現在、できるだけ健康に老い、万が一病気や障害を負ってから生活できる環境整備が必要である。そのためには、医療・福祉はもちろん、行政やものづくり、地域コミュニティなどの間で問題点が共有され、解決に向けた協働がなされなければならない。本総説では、前半に本邦における認知症の現状と課題について解説し、後半は未病からフルステージの認知症への対応策を確立すべく令和 2 年 8 月に設置された「認知症・神経心理学講座」を紹介したい。

## 2 認知症の現状と課題

### 2.1 現況

現在、全世界の認知症患者は約 5,000 万人で、2050 年には 1 億 3,000 万人に達すると予想される。本邦の現在の認知症患者数は約 500 万人で、厚労省の試算では 2025 年には少なくとも 700 万人になると予想されている。“少なくと

も”というのは、以下に述べる認知症の予防対策が功を奏した場合に 700 万人ということであり、研究者の間では 1,000 万人程度、対策が上手くいかなかった場合には 1,200~1,300 万人に達すると予測されている。このように認知症は世界的に喫緊の課題にも関わらず、国家レベルでの対策を講じている国はごく一部でしかない。認知症の根本治療薬の存在しない現在、メタボリックシンドロームのコントロールや非薬物療法を含めた予防・進行抑制が重要である。

認知症の発症率は増加しているというのがこれまでの世界の共通認識であった。これは、平均寿命の延長や生活の欧米化が主たる原因である。しかし 2010 年代に入り、有病率が低下したという報告がなされるようになった。イングランドでは 1990 年と 2010 年とを比較すると、認知症の有病率が 20 年間で 1.8%低下した [1]。これは、過去数十年に及ぶ啓発やリスクコントロールの成果がようやく現れてきたと解釈されている。アルツハイマー病 (Alzheimer's disease, AD) の危険因子として、糖尿病、中年期の高血圧、中年期の肥満、喫煙、うつ、低学歴、運動不足があげられる。ある研究では、これら 7 つの因子を 10~25%減らすだけで、全世界で

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, 認知症・神経心理学講座, Advanced Institute of Industrial Technology, Department of Dementia and Neuropsychology

\*\* 東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科, Advanced Institute of Industrial Technology, School of Industrial Technology

110~300 万人の認知症患者が減ると試算されている [2]。また、これらの因子のコントロールで認知症の 3 割は予防可能という [3]。このように、メタボリックシンドロームを含めた生活習慣の改善が、認知症予防に有効である。

2.2 認知症の定義と症状

認知症ときくと多くの人はもの忘れを連想する。もの忘れが認知症の主症状であることは確かだが、もの忘れはあくまで健忘症であり認知症ではない。認知症というからには、もの忘れにプラスαが加わっていなければならない。そのプラスαとは何か？それは生活障害である。人や物の名前が出てこない、あれ・それなどの代名詞が増えたなどは、すべての高齢者にみられる正常な老化現象であり、少なくとも生活の大きな支障とはならない。もの忘れをはじめとする認知機能障害が原因で、その人の生活に障害が生じている、あるいはその人のこれまでのパフォーマンスからみて現在のそれが単なる老化では説明できないくらいに低下している場合に認知症と診断される (表 1)。このように、認知症の有無を決定づけるのは日常生活の情報であり、患者の置かれた環境 (例: 独居 or 三世同居) や生活歴 (例: 知的労働に従事か否か)、あるいは社会状況 (例: 都会 or 田舎) などによって一人一人異なる。言い換えると、認知症の特に初期においては、同程度の認知機能の障害であっても、認知症と診断される例もあれば、正常範囲内と判定される場合もあり得る。この点が、血液検査の値で正常値が決められ、それから外れると異常とされる肝機能障害や腎機能障害などと異なる点である。

表 1. 加齢現象としてのもの忘れと認知症との違い

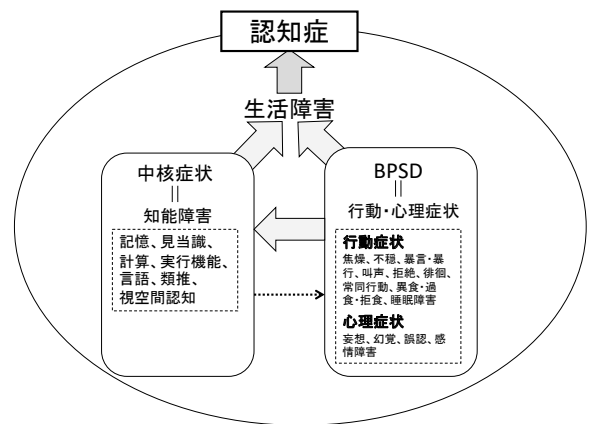
	物忘れ	日常生活上の障害
認知症	あり	あり
正常	あり	なし

認知症の症状は、大きく中核症状と BPSD (behavioral and psychological symptoms of dementia) に分けられる (図 1)。中核症状とは、いわゆる認知機能障害のことで、もの忘れが代表である。認知症で生じる認知機能障害は、もの忘れ以外にもたくさんあり、例えば“手際”や“段取り”の障害である実行機能障害はもう一つの重要な中核症状である。実行機能 (または遂行機能) (executive function) とは、目的をもった一連の活動を有効に完遂するために必要な機能で、次の 4 つの要素からなる: ① 目標設定 (goal formulation)、② 計画立案 (planning)、③ 目標に向けての計画の実行 (carrying out goal-directed activities)、④ 効果的行動 (effective performance)。これらがもつとも

必要とされるのが職場や家事の場面であり、仕事ぶりや家事の手際の良さ・悪さを介護者から聴取することは認知症の早期発見に役立つ。

BPSD は、認知症患者の行動・心理上の症状のことで、前者には徘徊や暴力・暴言、後者には幻覚、妄想などが含まれる。BPSD は、以前は周辺症状と呼ばれていたが、中核症状と同等に (ときにはそれよりも) 患者の療養・介護の成否を決定すること、“中核”に対する“周辺”という言葉のために医師や介護者が「たいしたことはないもの」「とるに足りないもの」との間違った印象をもってしまう恐れのあることから、本邦でも BPSD という英語がそのまま用いられている。

図 1. 認知症を形成する症状



BPSD: Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia

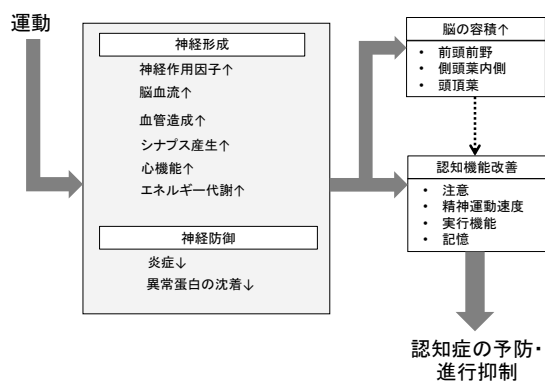
2.3 認知症の原因疾患と予防

認知症という語は、症候・症状を表す語であり、病名ではない。腹痛の原因が胃潰瘍や胆石、膵臓癌など様々あるように、認知症という状態を引き起こした原因疾患を同定することが重要である。認知症の原因疾患で最も多いのがアルツハイマー病 (Alzheimer’s disease, AD) である。AD は、神経細胞が原因不明で消失していく変性疾患に属し、認知症の原因の 5~6 割を占める。二番目が血管性認知症 (vascular dementia, VaD) である。VaD は、脳梗塞や脳出血などが原因で認知症を来したもので、約 2 割を占める。残る 2 割にレビー小体型認知症や正常圧水頭症、前頭側頭葉変性症などが含まれる。

従来、変性疾患である AD と脳血管障害が原因で生じる VaD は、まったく異なる疾患と考えられてきた。しかしこの 10 年来の研究で、AD のなかでも“純粋な” AD はむしろ少なく、AD と VaD との合併型すなわち脳血管障害を伴う AD (AD with cerebrovascular disease, AD with CVD) が最多であることが明らかになった。現在では、AD と VaD はある程度まで共通の病態機序を有していることが知られている。

ひと昔前まで VaD の発症要因とされてきた、高血圧に代表される血管性危険因子は、AD の発症にも関与する。従って認知症予防にもっとも重要なのは、高血圧、糖尿病、脂質代謝異常症などのいわゆるメタボリックシンドロームのコントロールである。日本糖尿病学会が編集した「糖尿病治療ガイド」によると、糖尿病がある人は、ない人に比べ、2~4 倍認知症になり易い。高血圧は、脳の微小循環を障害することにより、認知症を引き起こす。VaD の半数は高血圧が原因で生じる小血管病 (small vessel disease, SVD) に該当する。認知症患者数を 500 万人とすると、その 2 割の 100 万人が VaD であり、その半分の 50 万人が SVD である。言い換えると、血圧さえきちんと管理していたら 50 万人が認知症を発症しなくて済んだということになる。脳の代表的な変性疾患であるパーキンソン病の患者数が約 20 万人であることを考えると、この数字が如何に大きいか分かるであろう。脂質代謝異常症は、中年期のそれは認知症のリスクになるが、高齢期ではならない。以上より、認知症予防には中年期からのメタボリックシンドロームの管理が重要である。

図 2. 運動が認知症の予防・進行抑制をもたらす機序



## 2.4 認知症に対する非薬物療法

認知症の薬物療法以外をまとめて、非薬物療法 (non-pharmacological intervention) と呼び、運動療法、認知刺激療法、回想法、現実見当識訓練、光療法、音楽療法などが含まれる (表 2)。非薬物療法の長所・短所をまとめたのが表 2 である。2017 年に発行された「認知症疾患治療ガイドライン 2017」(日本神経学会編)によると、認知症の非薬物療法の中で有効性がほぼ確立しているのは、運動療法のみである。運動療法は、健常高齢者と軽度認知障害 (MCI) の患者の認知症の発症予防・進行抑制に有効とされ、推奨グレード 1 (強い推奨)・エビデンス強度 B (中等度の根拠) が与えられている。運動の内容としては、歩行などの有酸素運動が有効で、ストレッチや柔軟体操には効果はない (Erickson 2011)。運動がなぜ認知機能を改善させるかについては未だ分かっていないが、神経の形成と防御の様々な

要因が関与すると考えられている (図 2)。どのくらいの運動量が必要かについては完全には明らかになっていないが、2013 年にワシントンで開かれた「栄養と脳の国際カンファレンス」で示されたアルツハイマー病予防のためのガイドラインでは、「40 分の早歩きか、それに相当する有酸素運動を週 3 回以上」と示されている (Barnard 2014)。医療現場では、その時点でもっとも医学的・科学的に効果が確かとされているものから導入していくのは当然のことである。従って、今もし認知症患者やその家族から「認知症の予防や進行抑制のために薬物治療以外にどのようなことをしたいですか？」と質問されたならば、「まずは運動をしましょう、歩きましょう」と答えるのが医学的にもっとも適切な回答である。

表 2. 認知症に対する非薬物療法の種類と特徴

	内容	特徴
運動療法	有酸素運動、歩行	認知症の発症予防と進行抑制に対する有効性が確立
認知刺激療法	ゲーム、ドリル	ルールや手順を理解できる軽度の認知症が対象。楽しんでできる配慮が必要
回想法	写真などを利用し、楽しかった経験などを話してもらう。	Life review ともいう。成功の追体験が患者の心理状態の安定にはたらく。
現実見当識訓練	日めくりカレンダーや時計を目的の付くところに複数設置	重度の認知症で、現在と過去の区別が曖昧になっている患者では、かえって状態が悪化
光療法	日中 1,000~2,000 ルクス (コンビニ店内の明るさ) を確保	夜間消灯後の睡眠誘発を促進
音楽療法	活動的 (歌唱、楽器演奏) と受動的 (音楽鑑賞) を組み合わせて施行	BPSD の予防・治療の有効性が確立
アロマセラピー	植物由来の揮発性油 (エッセンシャルオイル) を拡散・塗布	多数の民間資格が存在

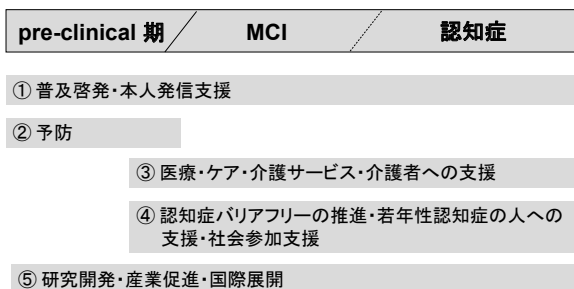
運動療法以外はすべて、推奨グレード 2 (弱い推奨)・エビデンス強度 C (弱い根拠) か、研究の質・量ともに不足

しているため現時点では判定不能とされている。そのような中、音楽療法の BPSD への有効性について初めて本ガイドラインに記載がなされた。この 10 年間で音楽療法が BPSD の治療や発症予防に有効であるという多数の介入研究・メタアナリシスが報告され、音楽療法の BPSD への有効性はエビデンスとしてほぼ確立している。

## 2.5 認知症施策推進大綱

平成 26 年 11 月に東京で開催された認知症サミット・後掲イベントで安倍首相（当時）が挨拶の中で、我が国の認知症対策は政府が一丸となって取り組むと表明した。認知症対策が、国家プロジェクトに位置付けされたのである。そして令和元年 6 月、「認知症施策推進大綱」が閣議決定された。この大綱は「共生」と「予防」を車の両輪として推進していくと謳っており、認知症とその予備群である軽度認知障害（mild cognitive impairment, MCI）だけでなく、まだ正常である pre-clinical 期をも対象とした点に特徴がある（図 3）。つまり、MCI や認知症を発症後の医療・ケア、介護者支援、認知症場バリアフリーの推進などに加え、pre-clinical 期の予防・啓発活動の推進をも目標に定めている。

図 3. 認知症施策推進大綱。「共生」と「予防」が車の両輪。



## 3 認知症・神経心理学講座の目的

### 3.1 設置の経緯

令和 2 年 8 月、本学に「認知症・神経心理学講座」が開設された。当講座は、(株)クレディセゾンが子会社である(株)脳活性総合研究所（以下、脳活総研）を通して設置した寄附講座で、まずは令和 2 年度から 3 年間、設置される。

認知症や MCI の有無を調べる検査はいくつかあるが、いずれも検査結果が基準値の範囲内か外れているかを評価する。つまり、その時点での認知機能の異常の有無は分かるが、その人の認知機能の年余にわたる変化は加味されていない。先述のように、認知症予防には中年期からの対策が重要である。もし、その人の加齢による認知機能の低下が正常の傾きに比し急であることが分かったなら、たとえその時点での数値は正常範囲内でも、メタボリックシンドロームの管理や運動療法の導入などの予防を行う強い動機付けとなる。

この問題を解決するため、中年期から高齢に至るまでの認知機能の変化を検出する検査「脳検」を、脳活総研が開発した。これは、5,000 名にも及ぶデータから各年齢の基準値を設定し、さらに加齢による変化の式を求めたものである。「脳検」を例えば毎年の健康健診に加えて行うことにより、そのひとの認知機能変化の傾きが計算できる（現在、医学国際誌に投稿中）。当時、三重大学に在籍していた佐藤が検査の監修に携わったことが縁で、認知症に関連する寄附講座の設置をクレディセゾンに依頼したところ、承認された。当初は三重大学への設置を試みたが同意を得られず、潰えたかと思われたところ、三重大学の佐藤の元に以前在籍していた田部井助教を通して川田学長のお耳に入り、本学に設置していただけることになった。8 月 1 日付けをもって、当講座の特任教授として佐藤、特任助教として阿部真貴子先生が赴任した。

### 3.2 講座の目的

当講座の名称「認知症・神経心理学講座」は、ひとの認知機能の研究を通して認知症を始めとする認知機能障害にアプローチしていくことから名づけられた。神経心理学とは、脳の障害によって生じた症候を通してひとの認知機能について解明していく学問と定義される。失語症や失行症、失認症が代表であるが、視空間認知障害や前頭葉機能障害、失音症なども含まれる。前述の検査「脳検」を活用して pre-clinical 期で将来の認知症発症に警鐘を鳴らすと同時に、各種の非薬物療法を提供し、発症防止に寄与する態勢を整えることが、第一の目的である。次に、三重大学時代からヤマハ音楽振興会と行ってきた認知症患者に対する音楽体操の効果についての検証を進める。これは、舞台となった自治体の名前をもって「御<sup>み</sup>浜<sup>はま</sup>・紀<sup>き</sup>宝<sup>たから</sup>プロジェクト」と呼ばれ、

これまでに音楽体操の健常高齢者 [4, 5]、軽度から中等度の認知症患者 [6, 7] に対する効果、そして 5 年間にわたる健常者への長期効果 (Sato, in press) について報告している。重度の認知症患者を対象とした研究を品川区を舞台に行っている。第三に、本学におられる多彩な分野の研究者とのコラボレーション。認知症は多分野の共同作業が必要であるにも関わらず、医学・福祉の現場とその他の領域との間で情報交換が上手くいっているとは言い難い。認知症関連の見本市に行くと、現場ではまったく役立ちそうもない品物が、臨床データの裏付けなしに置かれていたりする。多分野の適切にして密なコラボレーションによって、より現場のニーズに叶ったアプローチが可能になると期待される。

講座の設置期間はまずは 3 年間である。延長の可否はその間の活動実績と経済状況による。この特色ある講座が存在し続けられるよう、与えられた時間を精一杯精進していきたい。

#### 4. おわりに

本邦における認知症の現状と課題について解説し、本学に新たに設置された「認知症・神経心理学講座」を紹介した。認知症施策推進大綱に定められたように、認知症は未病の段階である pre-clinical 期から MCI そして発症後の全ステージを包含した問題である。現場に則した多分野の共同が求められ、本講座がその一助となることを望む。

#### 参考文献

- [1] F. E. Matthews, A. Arthur, A. L. Bames, J. Bond, C. Jagger, L. Robinson, C. Brayne, “A two-decade comparison of prevalence of dementia in individuals aged 65 years and older from three geographical areas of England: results of the Cognitive Function and Ageing Study I and II.” *Lancet*, 382: 1405-12, 2013.
- [2] D. E. Barnes, K. Yaffe K, “The projected impact of risk factor reduction on Alzheimer’s disease prevalence.” *Lancet Neurol*. 2011; 10: 819-828. doi: 10.1016/S1474-4472(11)70072-2.
- [3] G. Livingston, A. Sommerlad, V. Orgeta, S. G. Costafreda, J. Huntley, D. Ames, C. Ballard, S. Banerjee, A. Burns, J. Cohen-Mansfield, C. Cooper, N. Fox, L. N. Gitlin, R. Howard, H. C. Kales, E. B. Larson, K. Ritchie, K. Rockwood, E. L. Sampson, Q. Samus, L. S. Schneider, G. Selbæk, L. Teri, N. Mukadam. “Dementia prevention, intervention, and care.” *Lancet* 390(10113): 2673-2734. 2017. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31363-6.
- [4] M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida, H. Tomimoto, “The effects of physical exercise with music on cognitive function of elderly people: Mihama-Kiho project.” *PLoS One*, April 2014, Volume 9, Issue 4, e95230. doi:10.1371/journal.pone.0095230.
- [5] K. Tabei, M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida, H. Tomimoto, “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.*, 07 June, 2017. Doi: 10.3389/fnagi.2017.00174.
- [6] M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida, H. Tomimoto, “Physical exercise with music maintains activities of daily living in patients with dementia: Mihama-Kiho project part 2.” *J Alzheimer Dis*, 57: 85-96, 2017. DOI 10.3233/JAD-161217.
- [7] K. Tabei, M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida, H. Tomimoto, “Cognitive function and brain atrophy predict non-pharmacological efficacy in dementia: The Mihama-Kiho scan project 2.” *Front Aging Neurosci.* 10: 87. doi:10.3389/fnagi.2018.00087.
- [8] M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, Y. Matsumoto, K. Nakao, K. Tabei, N. Kato, H. Tomimoto, “The effects of a 5-year physical exercise intervention with music in community-dwelling normal elderly people: the Mihama-Kiho Follow-up Project.” *J Alzheimer Dis*, (in press).



# Emergency Warning Services via GNSS Signals

Keiko Shimazu\*

## Abstract

Galileo is a Global Navigation Satellite System developed by the EU (European Union), and QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) was produced by Japan. The main purpose of both systems is positioning service. Besides that, both sides, EU and Japan, have been planning "double-use strategy" that aims at danger notification and subsequent instruction to escape from disaster situations. We decided to name "common EWS" during our project.

In this paper, we report an interim result of our joint project being the development of a common EWS message. We have designed an information structure of Emergency Warning that can evolve to international standards in 122 bits (Fig. 1). We have been building some application system on QZSS and Galileo using the common EWS message to execute field test. We would like to make a big contribution by using satellites as the main communication network during the next disaster.

**Keywords:** artificial satellites, disasters, emergency management, emergency services, Global Positioning System, tsunami

## 1 Introduction

20 years have so far passed in the 21st century, and the wave of computerization is becoming increasingly sophisticated. The utilization of positioning information is a typical example, as it's no exaggeration that anyone can reach any point in the world by using a location application system on our cellular phones. The original purpose of the GNSS (Global Navigation Satellite System) was to allow ships and aircraft on the ocean without a mark to know their position accurately. In recent years, with the spread of car navigation systems and mobile communication devices, GPS has become familiar to the larger public. The location information can be specified when the mobile communication terminal receives the broadcast data from the satellite navigation system. The GPS (Global Positioning System) is a form of GNSS, having been originally developed for military purposes. US President Ronald Reagan announced that it would be open to civilian use for safe navigation of civilian aircraft, after a Korean aircraft crash in 1983. Currently, GPS has a system of 24 spacecraft (31 spacecraft including spare spacecrafts) and orbits about 20,200 km above the Earth. All of them are arranged so that we have four or more GPS satellites in the sky from anywhere on

Earth. Therefore, we can receive information to measure the "current position" along with the "current time" anywhere on the earth. It can be said that the social infrastructure based on mobile objects is now dependent on GNSS. That means the magnitude of risk when this service is limited is immeasurable. It was reported the US Department of Defense could limit GPS functionality in Afghanistan, when US military action against there entered the third week [1].

In response to this situation, some countries developed their own GNSS, and put it into practical use with aiming to become independent from GPS dependence developed in the United States.

From these movements, the field and terminology that GPS has previously monopolized has been generalized as "GNSS: Global Navigation Satellite System." As a famous example of the developed GNSS, we arise GLONASS developed by Russia during the Soviet Union, Galileo developed by EU (European Union), and BeiDou Navigation Satellite System developed by the People's Republic of China. By around 2020, all of

---

Received on October 5, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology



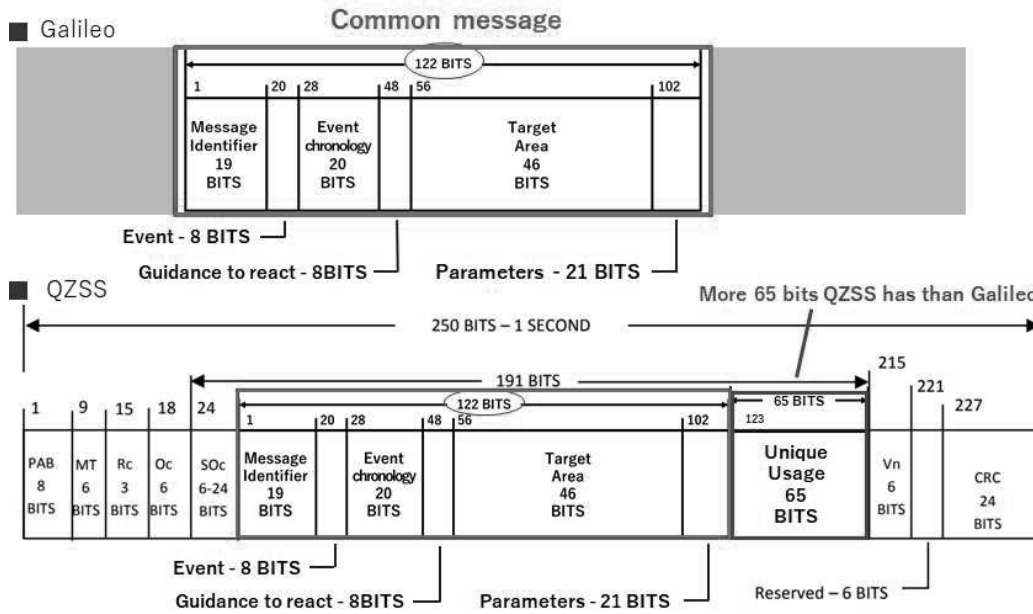


Fig. 1: Design of EWS message on Satellite.

these are expected to be used globally. These multi-GNSS receivers are also being developed. Some of them have begun to be used practically. Originally developed for military purposes, GPS is used as an infrastructure for safe flight of aircraft and ground transportation systems.

On the other hand, in the world of politics and diplomacy, “double-use” has been attracting attention because it aims to use specific technologies for both military and peaceful purposes, as it can be lifesaving.

This time we have begun to consider more active peaceful use of GNSS. In the world, terrorism of unprecedented methods and scales has occurred, and many lives are at risk. Natural disasters of all magnitudes are occurring across the planet. There is an article dealing with 10 major natural disasters in the 21st century [2]. Natural disasters in the 21st century are characterized by their ability to cause severe effects. The 9th place is the Great East Japan Earthquake that we experienced. This was also a complex disaster with the occurrence of a large tsunami due to an earthquake and a nuclear accident. The relay base station of the information communication network, which is the largest infrastructure of modern society, was destroyed by the combination of disaster groups (Fig. 2). As a result, the victims lost all means of communication, and by

consequence also lost the means to obtain emergency disaster information for evacuation necessary to protect their lives. This situation that occurred in Japan, a country with advanced information and telecommunications network equipment, was a huge impact for us engineers. Even when the information and communication network used every day is interrupted, we have started to study how to use GNSS so that emergency disaster information for evacuation immediately after the disaster can be obtained and lives can potentially be saved.

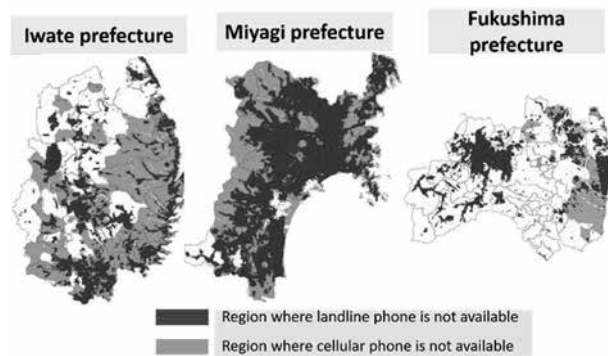


Fig. 2: Communication discontinuation situation 10 days after the disaster occurrence of the Great East Japan Earthquake [3]

This time, we evaluated usefulness of broadcasting emergency disaster information on GNSS. More precisely we measured the frequency at which the

receiver observes positioning information and we also measured the frequency at which the receiver observes disaster information during the same field test case. Then we compared both results.

This paper has the following structure. In the 1st chapter, the emergency disaster information broadcasting strategy by satellite navigation system is organized by the importance of the acute phase at the time of a major disaster and the advantages and issues of broadcasting emergency disaster information to the satellite navigation system. Chapter 2 explains the policy for designing the information architecture of emergency disaster information installed in GNSS by referring to the METHANE protocol used by disaster lifesaving specialists. Chapter 3 reports the result of common message design of Emergency warning system of GNSS. Chapter 4 explains not only the data sets used for field experiments, but also all experimental specifications, focusing on important points. Chapter 5 shows the results of field tests, and Chapter 6 discusses them. A summary is given in Chapter 7.

This is reprinted version of a paper for IEEE Aerospace Conference 2020.

## 2 Our Strategy of Broadcasting Emergency Warning Signals on GNSS

### 2.1 Acute Stages of Disaster Occurrence

We recognize that the Acute Stages of Disaster Occurrence are a very important period for rescue and lifesaving. The information communication network used on a daily basis may be destroyed during this Acute Stages of Disaster Occurrence, as we mentioned in previous chapter. The tendency is higher in severely affected areas. Therefore, we compared ad hoc communication methods that can be used immediately in the event of a disaster (Table 1). “2” means the functionality and capability are satisfied as an ad-hoc networking tool at giant disaster. “1” means the functionality and capability are satisfied with some conditions as an ad-hoc networking tool at giant disaster. “0” means the functionality and capability are not satisfied as an ad-hoc networking tool at giant disaster. As a result, it was found that the use of QZSS (Japanese GNSS) is optimal. The reasons for the

evaluation are wide area, no possibility of occurrence of secondary disaster for example human damage caused by machine destruction, and high immediate availability. We have come to propose Emergency Warning broadcasting system using GNSS. This system contributes to emergency evacuation behavior by facilitating self-help immediately after a disaster occurs.

Table 1: Comparative result which Ad-Hoc Communication Methods

		with relay			Satellite		
		car	balloon	U/V	Commer- cialized	Scientific experiments	QZSS
Communication Capability	Communication coverage	0	1	1	2	2	2
	Less affectedness of weather	2	0	0	2	1	2
	Less affectedness of physical subject	2	2	2	0	0	0
Operational Capability	Easiness of operation start-up	0	0	0	1	0	2
	Immediacy of signal sending	2	2	2	2	2	2
	safety for avoiding secondary disaster	1	0	0	2	2	2

### 2.2 Advantage of Broadcasting Emergency Warning using by GNSS

It's a very reasonable idea to use satellite communication systems when the standard information communication network is disconnected and/or where the information and communication network equipment installed on the ground is not satisfactory. The extent of damage caused by the tsunami, the pollution situation due to the Fukushima nuclear accident, and the power supply situation were delivered by satellite photos every moment, when the Great East Japan Earthquake occurred in Japan in 2011 (Fig. 3) [5]. Many of these were aimed at understanding the current situation. On the other hand, there is no report in which some victim could survive because of using information from satellites. A main reason is that satellite communication systems employ broadcasting method except satellite phones. In other words, satellite communication systems don't communicate to a specific receiver. Therefore, the receiving system needs to adjust the channel in order to get the needed information. We decided to use

positioning information calculated by broadcasting from GNSS satellites as an adjusting mechanism for selecting which emergency disaster information is needed for our place. More precisely, if areas that will be hit by disasters in a message of disaster information from GNSS covers present position from the same GNSS, our application on receivers shows the disaster information to users. We focused on this advantage. This time, the Emergency Warning broadcast using GNSS was tried by us, and the functionality was verified.

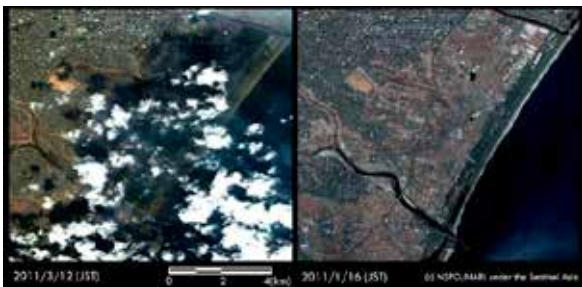


Fig. 3: Satellite photos for understanding the current situation at the time of the Great East Japan Earthquake [5]

### 2.3 Concern of Broadcasting Emergency Warning using by GNSS

We recognized that the issues when broadcasting emergency disaster information using GNSS were (a) Small amount of information that can be loaded and (b) ensuring broadcastability of positioning information and Emergency Warning information. The GNSS transmits information from the satellite that can identify the position of the receiver. The biggest representative example of GNSS is GPS. It is a de facto standard of GNSS. GPS is a system that places 24-30 orbiting satellites at an altitude of 20,000 km. GPS uses the L band. The GPS radio wave consists of a spread code for distance measurement and a navigation message for specifying the receiver position. GPS employs single positioning based on code phase as one of the positioning methods. It receives the signals of a total of four satellites, three satellites based on the principle of triangulation and another satellite to correct the clock error on the terminal side, and determines the terminal position. Therefore, the amount of data required for delivery is not large, and any GNSS is designed with a message bandwidth of

about 200 bits or less (Fig. 1). On the other hand, the satellite data used for grasping the situation at the time of disaster is mostly photographic images which cannot be delivered by using narrow band. Besides, it is meaningful to deliver information necessary for evacuation in an emergency together because information that can measure the position of the recipient is delivered as we mentioned in previous chapter. General GNSS receivers are not receiving broadcasts from one type of system, but receiving broadcasts from multiple satellite navigation systems to ensure redundancy. For example, QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) developed by Japan receives not only this satellite navigation system but also all GPS and GLONASS distributions. Therefore, it is possible that the value of Emergency Warning broadcasting will not be recognized by the satellite navigation system unless a system that distributes multiple GNSS is adopted.

### 2.4 Common EWS Message Design Based on Policy of METHANE

#### 2.4.1 Studying the METHANE

We studied the METHANE protocol to solve problem (a) shown in the previous section. The METHANE protocol is an information sharing tool for disaster medical care for acute period of disaster. The METHANE protocol was developed by NATO (North Atlantic Treaty Organization) and later deployed in the field of private disaster medicine by MIMMS (Major Incident Medical Management and Support) in UK [7] The aim of introducing the METHANE protocol is to efficiently save lives mainly in local disasters (originally conflict and battle). The operation of the METHANE protocol is to communicate the situation of the disaster area and the state of the victim verbally using radio according to the specified information structure. In other words, the METHANE protocol is an information structure developed for the purpose of sharing information with the minimum amount of information that is sufficient for decision making by disaster medical professionals in emergency situations (Fig.4). At present, it is used as a standard not only in Europe but also by disaster medical professionals in countries in the African continent. METHANE protocol has been introduced in Japan since 1995 and is spreading to other Asian countries.

In order to help all agencies gather initial information about an incident in a consistent manner, a common approach is recommended. The 'METHANE' model brings structure and clarity to the initial stages of managing any multi-agency or major/giant incident of disaster. METHANE is a mnemonic indicating a protocol used by emergency services to report situations which they may be faced with, especially as it relates to major incidents, where it may be used as part of their emergency action principles. The METHANE model (Fig. 4) is an established reporting framework which provides a common structure for responders and their control rooms to share major incident information. It is recommended that M/ETHANE be used for all incidents.

For incidents falling below the major incident threshold 'METHANE' becomes an 'ETHANE' message. During the decision making process using the joint decision model, there should be period consideration of the 'M' (representing 'major incident') by responders to establish whether a developing incident goes above the major incident threshold. Each responder agency should send a M/ETHANE message to their control room as soon as possible. The first resources to arrive on scene should send the M/ETHANE message so that situational awareness can be established quickly. The information received through multiple M/ETHANE messages will gradually build to support shared situational awareness in those responding to the incident and between control rooms.

In the event of this being used for a major incident, the reporting first on-scene officer would not usually get involved with the rescue work, but act as a coordinator on scene for arriving emergency vehicles. This may be achieved by the first vehicle on scene leaving its lightbar running, whilst all others turn theirs off on arrival, to make identifying the incident officer easier.

#### 2.4.2 Signals for Common EWS Message between Japan and EU

We also started a joint project with EU/EC (European Union/European Community) Space Programmed Galileo to solve the second issue ((b) mentioned in the section titled *Concern of Broadcasting Emergency*

*Warning using by GNSS*). We have designed Emergency Warning Service which is available on each GNSS, QZSS and Galileo. In other words, it is designed based within the message length that can be installed in both of QZSS and Galileo. The Fig. 5 below shows the outline of the radio signal of the GNSS by the exchange between the satellite and the ground. The top is Galileo and the bottom is QZSS. We would like readers to pay attention to the red part. In both communication services, signals are transmitted from the lower right ground station to the satellite using the C band, and further distributed from the satellite to the lower left user segment layer in the same frequency band. Here, Galileo and QZSS have different names for the E1 and L1 bands, respectively, because the names in Europe and Japan are different. More precisely, the DC report of QZSS is mounted on the "positioning reinforcement signal L1S," and 30.69 MHz is used as the occupied bandwidth in the central frequency band 1557.42 MHz. Fig. 1 shows how large parts of the message band can be assigned to Emergency Warning information for each GNSS. In Galileo, 122 bits of the total length can be assigned to Emergency Warning information, while in QZSS, 191 bits of the total length can be assigned to Emergency Warning information. However, since QZSS is used for SOC in 191 bits, 187 bits can be used for Emergency Warning information. Therefore, we decided to use 122 bits of the area that can be assigned to Emergency Warning information of QZSS as a common message area (common EWS) with Galileo. In this paper, the Emergency Warning information for self-help in the acute phase of disaster that can be broadcast on any GNSS will be referred to as the common EWS message.

<b>M</b>	<b>MAJOR INCIDENT</b>	Has a major incident or standby been declared? (Yes / No - if no, then complete ETHANE message)	Include the date and time of any declaration.
<b>E</b>	<b>EXACT LOCATION</b>	What is the exact location or geographical area of the incident?	Be as precise as possible, using a system that will be understood by all responders.
<b>T</b>	<b>TYPE OF INCIDENT</b>	What kind of incident is it?	For example, flooding, fire, utility failure or disease outbreak.
<b>H</b>	<b>HAZARDS</b>	What hazards or potential hazards can be identified?	Consider the likelihood of a hazard and the potential severity of any impact.
<b>A</b>	<b>ACCESS</b>	What are the best routes for access and egress?	Include information on inaccessible routes and rendezvous points (RVPs). Remember that services need to be able to leave the scene as well as access it.
<b>N</b>	<b>NUMBER OF CASUALTIES</b>	How many casualties are there, and what condition are they in?	Use an agreed classification system such as 'P1', 'P2', 'P3' and 'dead'.
<b>E</b>	<b>EMERGENCY SERVICES</b>	Which, and how many, emergency responder assets and personnel are required or are already on-scene?	Consider whether the assets of wider emergency responders, such as local authorities or the voluntary sector, may be required.

Figure 4: Communication model, METHANE for rescue and assistance [9]

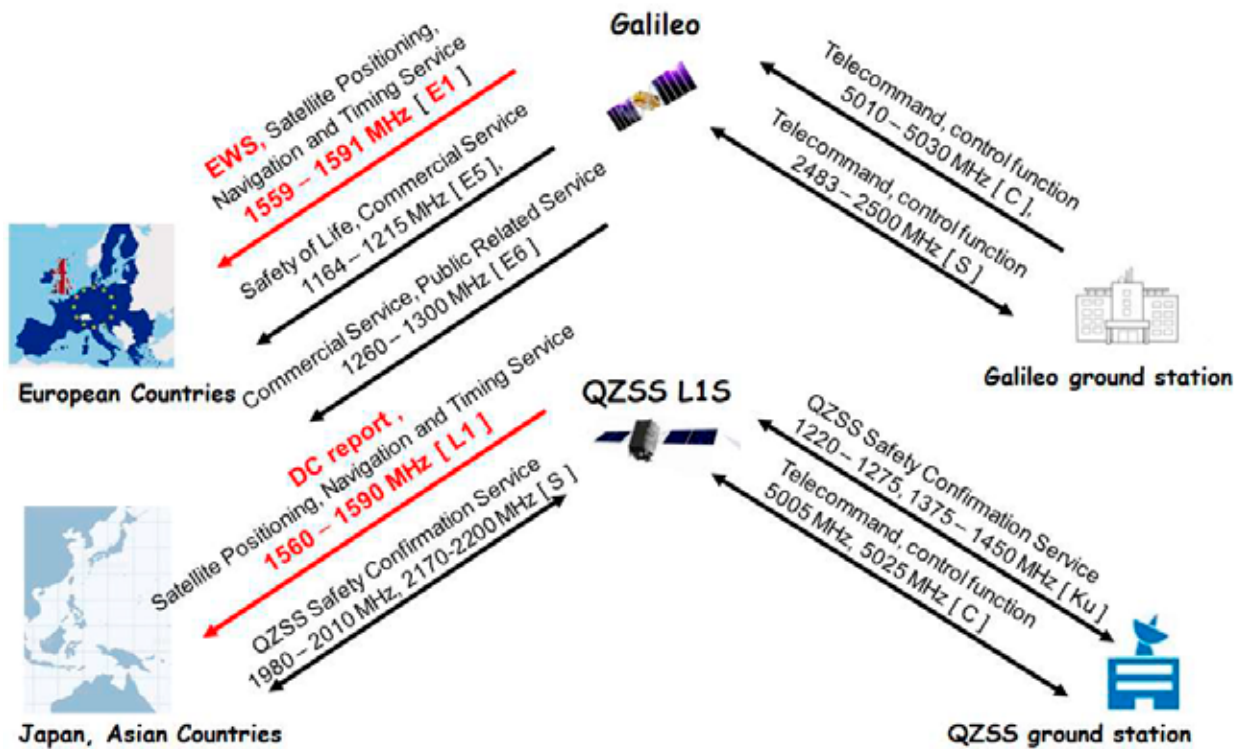


Figure 5: Outline of Signals of GNSS.

### 3 Common EWS Message Design on QZSS and Galileo

#### 3.1 Identify Broadcast Terms

Deploying our Emergency Warning Service on GNSS around the world may be lifesaving in the event of disasters of a global scale.

We can contribute to such global disaster mitigation by broadcasting common EWS messages from worldwide GNSS; victims who receive these messages then take appropriate evacuation measures. Following the METHANE model in the previous chapter, we use standard disaster terminology and code systems. We limit the information necessary for disaster response for individuals to take evacuation action. A common standard document dealt for this is Common Alerting Protocol (CAP), an XML-based data format for exchanging public warnings and emergencies between alerting technologies [10]. CAP allows a warning message to be reliably distributed simultaneously over many warning systems to many applications such as Google Public Alerts and Cell Broadcast. CAP increases warning effectiveness and simplifies the task of activating a warning for responsible officials. In our work we used the CAP standard for disaster categorization.

Specifically, we decided on six categories: “Geo” indicating a Geological event, “Met” indicating a meteorological event, “Safety/Terrorism,” “Security/Terrorism,” “Transportation,” and “Fire/Env/Infra.” The specific disasters included in each category were compliant with CAP-AU-ASD. This is the result of the organization of the disaster by Australia's Bureau of Meteorology, using CAP. The specification of this standard has been released, and validation and implementation have been reported [10]. We also added CBRN defense (chemical, biological, radiological and nuclear defense). CBRN represents protective measures taken in situations in which chemical, biological, radiological or nuclear warfare (including terrorism) hazards may be present. It consists of passive protection, contamination avoidance, and mitigation. A CBRN incident differs from a hazardous material incident in both intent and scope (i.e. CBRN can be a mass casualty situation). CBRN incidents are responded to under the

assumption that they are intentional and malicious; preservation of evidence and perpetrator apprehension are of greater concern than in HAZMAT incidents. We evaluated 45 disasters, including Earthquake, Tsunami, shooting, and Ballistic Missile Attack. Emergency disaster information for other than the aforementioned types necessary for assisted evacuation was extracted and systematized from existing global standards for large-scale disasters.

The message was designed so that all of these could be expressed using 122 bits length. This is to enable broadcasting from both QZSS, a GNSS developed by Japan, and Galileo, an EU-developed GNSS.

#### 3.2 Technique to handle all information in a narrow band

In order to efficiently represent information in a very limited space of 122 bits, we used a technique based on a relational database method generally used in information engineering. Table 2 shows the overall message allocation, and the following tables show the design details of each in Fig. 1.

In Table 4, “Geo” is assigned to “000” and “001.” In Table 5, “Earthquake,” “Debris Flow,” “Typhoon/Tropical Cyclone,” “HeavySnow,” “Chemical,” “Shooting,” and “Forest Fire” are assigned to “000.” If you want to identify and express the type of disaster, use the value pairs in Table 4 and Table 5. For example, to express “Earthquake,” “000000” is used by combined “000” in disaster category Table 4 and “000” in disaster category Table 5. In a same way, to express “Typhoon/Tropical Cyclone” “001000” is used by combined “001” in Table 4 of the disaster category and “000” in Table 5 of the disaster type. In Table 4, two types of codes are assigned to “Geo” and “Met,” respectively. This is a measure to increase the number of disaster types and the number of generated groups. The first “000” to “111” in Table 5 are paired with the first “000” in Table 5 and are represented by 6 digits. The next “000” to “111” in Table 5 is paired with the second “000” in Table 4 and is represented by another 6 digits. This operational rule is also applied in Table 7 and Table 8.

Table 9 shows how to express the areas where the victims need to take action to survive. In general,

disasters, especially natural disasters, cause damage in an area rather than a specific point. To express this, we adopted an ellipse representation method. “Latitude” and “Longitude” indicate the center of Ellipse, “Semi-major axis length” indicates the major axis of the ellipse, “Semi-minor axis length” indicates its minor axis, and “Semi-major axis azimuth angle” Specify the angle of the ellipse. A specific example of a disaster area is shown in Fig. 6. Latitude is 40.19745 deg, Longitude is 140.1355 deg, Semi-major axis length is 46.416 m, Semiminor axis length is 21.544 m, Semi-major axis azimuth angle is 24.09 deg, so “101110010010101,” “1110001110100110,” “ 1000,” “0111,” “0010001” are generated. With the method described above it was possible to broadcast the contents, severity, and instructions for rapid evacuation behavior of the disaster effectively using the 122 bits length.

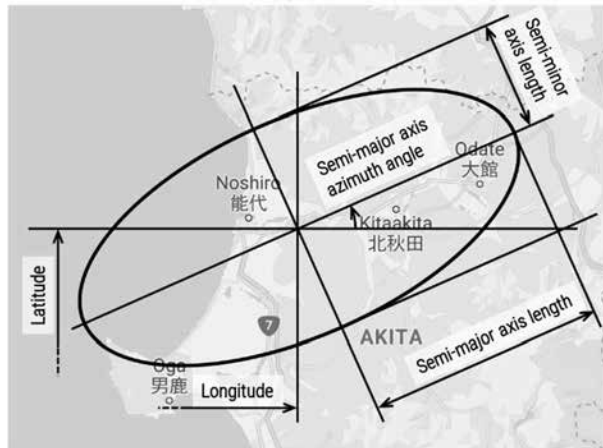


Figure 6: Representation Method of “Target Area.”

Table 2. Common EWS Message Design : top view in 122 bits

		Bit Length	Range
Identifier	Message type	3	Table 3
	Country ID	10	<i>Country code of Maritime Identification Digits</i>
	Provider ID	6	<i>Prepared Code table by each country</i>
Event	Event Category	3	Table 4
	Event Subcategory	3	Table 5
	Severity	2	Table 6
Chronology	Event Onset	16	Time Format
	Expected Duration	4	Continuous time
Guidance	Guidance Library	2	<i>Prepared Code table by each country</i>
	Response Type	3	Table 7
	Instruction	3	Table 8
Target Area	Target Area	46	Table 9
Specific Settings	Specific Settings	21	<i>Several structured table</i>

Table 3. Common EWS Message Design:  
Message type in 3 bits

	code
Initial Alert	000
1st Update	001
2nd Update	010
3rd Update or more	011
Training	100
Test	101
Cancellation	110
False alert	111

Table 4. Common EWS Message Design:  
Event Category in 3 bits

	code
Geo	000
Geo	001
Met	010
Met	011
Safety/Terrorism	100
Security/Terrorism	101
Transport	110
Fire/Env/Infra	111

Table 5. Common EWS Message Design :  
Event Sub-category in 3 bits

	code		code
Earthquake	000	Chemical	000
Tsunami	001	Biological	001
Crack in the Ground/Sinkhole	010	Radiological	010
Landslide/Avalanche	011	Nuclear	011
Satellite/Space Re-entry Debris/Meteorite	100	Explosive	100
Pyroclastic Flow	101	Unidentified Mysterious Animal	101
Lava Flow	110	Undefined Flying Object	110
Volcanic Mud Flow	111	<i>reserved</i>	111
Debris Flow	000	Shooting	000
Ash Fall	001	Ballistic Missile Attack	001
Volcano	010	Guerrilla Attack/ Special Forces Attack	010
<i>reserved</i>	011	Large-scale Terrorism	011
<i>reserved</i>	100	Air Strike	100
<i>reserved</i>	101	Hijack	101
<i>reserved</i>	110	Chemical Attack	110
<i>reserved</i>	111	Explosive Material Attack	111
Typhoon/Tropical Cyclone	000	Nautical disaster/ Maritime/ Marine Security	000
Tornado	001	Train/Rail Crash	001
Storm	010	Bridge Collapse	010
Snow Storm/Blizzard	011	Aircraft	011
Hailstorm	100	Oil Spill	100
Dust Storm	101	<i>reserved</i>	101
WindWave/Storm Surge	110	<i>reserved</i>	110
HeavyRain	111	<i>reserved</i>	111
HeavySnow	000	Forest Fire	000
Flood	001	Structure Fire/ Industrial Fire	001
Lightning	010	Geomagnetic storm	010
Extreme Heat	011	missing person	011
Wind Chill/Frost	100	Air pollution/ Acid Rain	100
Supercell/Downburst	101	Building Collapse	101
<i>reserved</i>	110	Dam Failure	110
<i>reserved</i>	111	<i>reserved</i>	111

Table 6. Common EWS Message Design :  
Severity in 2 bits

	code
Extreme: Emergency Warning (JMA standard)	00
Severe: Warning (JMA standard)	01
Moderate: Advisory (JMA standard)	10
Minor: No Warning nor Advisory (JMA standard)	11

Table 7. Common EWS Message Design :  
Response Type in 3 bits

	code
Evacuate – Evacuate as instructed in the <instruction>	000
Execute – Execute the <instruction>	001
Avoid – Avoid the subject event as per the <instruction>	010
Stay inside and Execute - Execute the <instruction>	011
<i>reserved</i>	100
<i>reserved</i>	101
All Clear – Situation is back to normal, information provided in <instruction>	110
None – No action recommended	111



Table 8. Common EWS Message Design :

Instruction in 3 bits			
	code		code
Urban areas	000	<i>reserved</i>	000
Building	001	<i>reserved</i>	001
Sea, Coasts and Beaches	010	<i>reserved</i>	010
Forest and bush areas	011	<i>reserved</i>	011
Immediately escape from present position (Japanese warning level 4)	100	<i>reserved</i>	100
Immediately escape from Target Area	101	<i>reserved</i>	101
Riverside area	110	<i>reserved</i>	110
Hillsides	111	<i>reserved</i>	111
Join official meeting point (building, square,...)	000	<i>reserved</i>	000
Reach closest building	001	<i>reserved</i>	001
Protect your body or head under the stable structures. (Japanese warning level 5)	010	<i>reserved</i>	010
Evacuate disabled people(Japanese warning level 3)	011	<i>reserved</i>	011
Prepare for evacuation (Japanese warning level 3)	100	<i>reserved</i>	100
Use TV, Radio & emergency broadcast system (Japanese warning level 2)	101	<i>reserved</i>	101
reserved	110	<i>reserved</i>	110
reserved	111	<i>reserved</i>	111
Using transportation (public or private)	000	<i>End of the event</i>	000
Using communication networks (phone, internet)	001	<i>End of evacuation</i>	001
reserved	010	<i>Back to normal situation</i>	010
reserved	011	<i>End of containment</i>	011
reserved	100	<i>reserved</i>	100
reserved	101	<i>reserved</i>	101
reserved	110	<i>reserved</i>	110
reserved	111	<i>reserved</i>	111
Turn off electrical/gas equipment and power (Japanese warning level 5)	000	<i>Test</i>	000
Caulk doors and windows	001	<i>Exercise</i>	001
Reach high floor or roof top	010	<i>reserved</i>	010
Reach basements or ground floor	011	<i>reserved</i>	011
Turn off electrical equipment and power and caulk doors and windows	100	<i>reserved</i>	100
Stay in a safe area in the building	101	<i>reserved</i>	101
Take iodine pills	110	<i>No action recommended</i>	110
reserved	111	<i>Unavailable guidance</i>	111

Table 9. Common EWS Message Design :

Target Area in 46 bits	
	Bit length
Latitude	15
Longitude	16
Semi-major axis length	4
Semi-minor axis length	4
Semi-major axis azimuth angle	7

#### 4 Field Test Specification

We created a file that uses the disaster and evacuation instructions in the Common EWS Message format shown in the previous chapter, broadcasted them on the L1 band link occupying 1,560-1,590 MHz of QZSS shown in Fig. 5, and received them with laptops and smartphones.

##### 4.1 Broadcasting Emergency Warning Information

The Emergency Warning information broadcast uses the L1 band of QZSS, a GNSS that Japan developed and operates, and is converted into a message according to the format shown in Chapter 3. Every 4 seconds, the QZSS L1 band broadcasts positioning information 4 times and other information once. We utilize this message for common EWS. Experimental data was created for the message broadcast according to the format shown in Chapter 3. The broadcast occurred at the time shown in the section titled *Field Test Period*.

##### 4.2 Field Test Period

Field tests were held on August 20th (Wed.), 21st (Thu.), and 22nd (Fri.) of 2019, all from 10:00:00 a.m. to the end of the morning data broadcast, and from 13:00:00 to the end of the afternoon data broadcast. These dates and times are all standard time in Japan. During this period, the weather was clear with almost no wind.

##### 4.3 Field Test Method

Throughout the period we received Emergency Warning information broadcast using the L1 band of QZSS on laptops and smartphones. The laptops stored the data as files and displayed it on the screen. The smartphone similarly receives all Emergency

Warning information, but outputs it to the screen and stores it as a file only when the examiner location matches that of the transmission. On August 20th we stayed at a specific location and conducted this reception experiment. On the 21st and 22nd, we conducted the test (1) in a test car equipped with laptops and smartphone and (2) with an experimenter on foot carrying a smartphone.

At this time, laptops received all Emergency Warning information that was broadcast and outputted the results. In the case of a smartphone, the received information was outputted only when an examiner was in the area specified in Fig. 6 in Chapter 3.

In addition, we manually checked if the output results were as planned and recorded the results in Fig. 7. Fig. 8 shows the actual output status on laptops, and Fig. 9 shows it on a smartphone.



Fig. 8: The actual output status on laptops.



Fig. 7: The actual recorded sheet.



Fig. 9: The actual output status on a smartphone.

#### 4.4 Equipment for Our Field Test

The specifications of laptops and smartphone used in the field test were as follows (Table 10, Table 11). The QZSS signal receiver connected to both by wire are as follows (Table 12). The external specifications of the software created for this field test running on a laptop and a smart phone are as follows (Table 13, Table 14).

Table 10: The specifications of laptops

Product name	Lenovo ThinkPad X280
Processor	Intel(R) Core (TM) i7-8550U CPU
OS	Windows 10 Home 64 bit
Memory	16.0 GB Soldered DDR4-2400
Storage	512GB SSD

Table 11: The specifications of the smartphone

Product name	SONY XPERIA SO-O2J
Processor	8 GHz (dual-core) +1.4 GHz (quad-core processor) hexa-core
OS	Android (TM) 6.0
Memory	3 GB
Storage	32 GB

Table 12: The specifications of the QZSS signal receiver

Product name	NEC QZ1
Signals	QZSS's L1-C/A, L1-SAIF, GPS's L1-C/A, GLONASS's L1
Positioning Mode	GPS, GPS +QZSS, GLONASS
Interface	Micro-USB (corresponding to USB2.0) terminal
Communication	Bluetooth Ver3.0 / Class2 corresponding to SPP/ SPP profile
Transmit Data Format	NMEA-0183

Table 13: The external specifications of the software for Android on SONY XPERIA SO-02J

Language	XAML, C#, SQLite
Size	AppSize 107 MB, UserData 179 MB
Input	Bluetooth Adapter
Output	SQLite DB File on Internal Storage

Table 14: The external specifications of the software for Windows 10 on ThinkPad X280

Software name	Tera Term <a href="https://tssh2.osdn.jp/index.html.en">https://tssh2.osdn.jp/index.html.en</a>
Input	Connect the QZSS receiver QZ1 to the PC COM port with a USB cable.
Output	Tera Term .log file on storage
Baud Rate	115,200 bps
Data length	8 bits
Parity	1 bit

4.5 Field Test Location and Number of Participants

Our field test was conducted while reciprocating about 5 km on the public road “Rinkai Road Omori Line 1” which is part of the Noshiro Space Event venue in Noshiro City, Akita Prefecture (Fig. 10). A field test of 3 days was conducted while 8 experimenters changed.

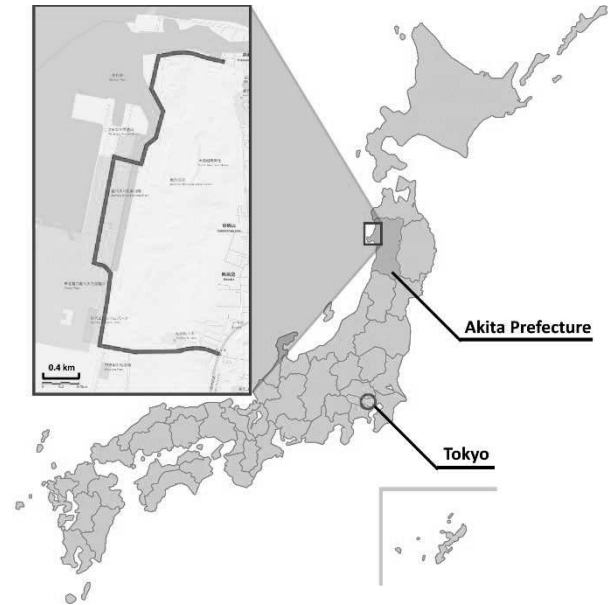


Fig. 10: Field test location.

4.6 Emergency Warning Message Data for Field Test

In this field test, three types of disasters were selected: Tsunami, Volcano, and Ballistic Missile Attack. Regarding “Severity” and “Message Type,” all values of its range were assigned in the message data at least once. For the value of “Target Area,” we prepared a number of superior message records that contain the area of the current experimental location as the value.

Table 15 shows the specifications for this field test data broadcast starting from 10:00 A.M. The message records indicated by ID1 includes the location of this field test as “Target Area,” which indicates that a tsunami has occurred, with a “Severity” value of “severe.” This broadcast executed by this message is “initial Alert.” The message record indicated by ID2 presents its Emergency Warning as updated information. The message record indicated by ID3 presents cancellation. The following column shows how many times the records are broadcast. The subsequent columns show the output specifications on the smartphone. If the Emergency Warning

information is the location of the smartphone user, it decides what output format to notify the user. The actual field test broadcast data created according to this specification is the 122 bits part shown in Table 16.

In accordance with the specifications of QZSS, we added codes necessary for broadcasting other than Emergency Warning information to the front and back, made one message, and broadcasted one record every 4 seconds using the L1 band of QZSS.

Table 15. Data specification

ID	TargetArea	Event	Severity	Message type	Number of records	Field of "Target Area" on a monitor	Field of "Event" on a monitor	Field of "Severity" on a monitor	Field of "Message type" on a monitor
1	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Severe"	"Initial Alert"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 4"	"Initial Alert"
2	Ellipse in which a current position is NOT	"Volcano"	"Moderate"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 4"	"Initial Alert"
3	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Severe"	"Cancellation"	75	Map without Ellipse	Blank	Blank	"Cancellation"
4	Ellipse in which a current position is NOT	"Volcano"	"Moderate"	"Update"	75	Map without Ellipse	Blank	Blank	"Cancellation"
5	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Minor"	"Initial Alert"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 2"	"Initial Alert"
6	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Moderate"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 3"	"Update"
7	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Severe"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 4"	"Update"
8	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Extreme"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 5"	"Update"
9	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Severe"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 4"	"Update"
10	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Moderate"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 3"	"Update"
11	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Minor"	"Update"	75	Map with Ellipse	"Tsunami"	"Japanese warning level 2"	"Update"
12	Ellipse in which a current position is	"Tsunami"	"Severe"	"Cancellation"	75	Map without Ellipse	Blank	Blank	"Cancellation"

Table 16. Actual data set for our field test (partial)

11 bits	122 bits	58 bits
0000	0000110101110000000000101000010000000000000000110001011001001010111000110100110100010001101100000000000000000000	00000
0000	001011010111000000001010100001000000001010000001100010110001011001011000110001111011101111010010000000000000000000	000000
0000	1100110101110000000000101000010000000101000000110001011001001010111000110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	01001101011100000000101010000100000001110000001100010110001011001011000110001111011101111010010000000000000000000	000000
0000	00001101011100000000001100001000000101000000011100010110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	00101101011100000000001100000100000110010000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	010011010111000000000010100001000000111000000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	01101101011100000000001000000100001000110000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	0101101011100000000001010000100000101000000011000101100010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	011011010111000000000011000001000001011010000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	011011010111000000000011000001000001011010000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	110011010111000000000010100001000001101110000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	000011010111000000101001010000100001000000000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	1100110101110000000010100000010000100010100000011000	000000
0000	0010110101110000001010011000001000010010100000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000
0000	000011010111000000001111000001000010011100000011000101110010010101110001110100110100010001101100000000000000000000	000000

### 5 Result of Our Field Test

Since GNSS broadcasts information that determines the current location of the user, we can use the fact that Emergency Warning information broadcasts at the same time and the location information of the owner of the mobile device to determine whether necessary evacuation information can be discriminated. For this field test, we took advantage of this and verified its usefulness by broadcasting the Emergency Warning and position information using GNSS.

In this experiment, we used laptops and smartphone installed in the car and a smartphone carried by a pedestrian. The result of laptops and smartphone installed in the car were reported on this paper. The reason was both results were almost the same and we wanted to omit them for want of space.

#### 5.1 Number of messages to receivers

The results of the field test by the method shown in Chapter 3 is shown in Table 17. The Message A column indicates the number of messages stored on the Windows 10 of the laptops, and relates to the positioning information that was broadcast 4 messages in 4 seconds out of the messages broadcast from QZSS. The second column is the Emergency Warning information message created for this experiment, stored on Windows 10 laptops. One message was broadcast every 4 seconds, and we recorded how many were received.

Table 17: Number of Messages stored in each Device

	number of message A	number of message B	number of message C
20 <sup>th</sup> , Aug	21,593	5,398	1,556
21 <sup>st</sup> , Aug	21,574	5,327	1,493
22 <sup>nd</sup> , Aug	21,373	5,296	995

#### 5.2 Synchronism between positional and emergency warning information

In order to check whether the number of records received shown in the previous section was uneven depending on the acquisition time, the record number

was accumulated over time and plotted. Fig. 11 shows the results of the experiment on the 20th. Fig. 12 and Fig. 13 are for the 21st and 22nd, respectively. The three types of plots are the same as in the previous section. The red dotted line is the number of messages related to positioning information that are broadcast by 4 messages in 4 seconds among the messages broadcast from QZSS. This information was stored on Windows 10 machines. The blue dotted line is for the number of recorded messages of Emergency Warning information created for this experiment among those stored on the Windows 10 machines. This is the number of messages that was acquired from broadcasting one message every 4 seconds. The green dotted line is the cumulative number of messages output after the smartphone's Android 6.0 application made a discrimination according to the positioning information described above.

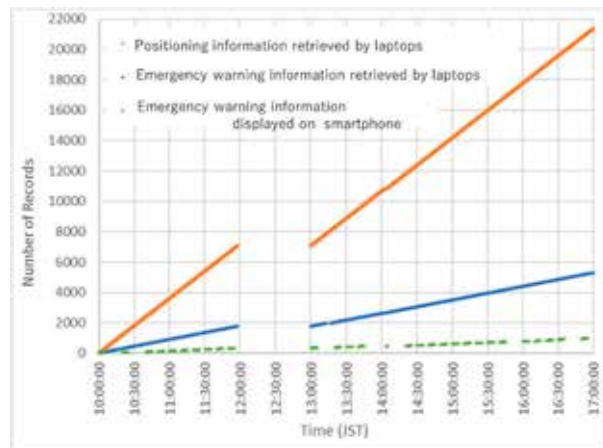


Fig. 11: The results of the experiment on the 20th.

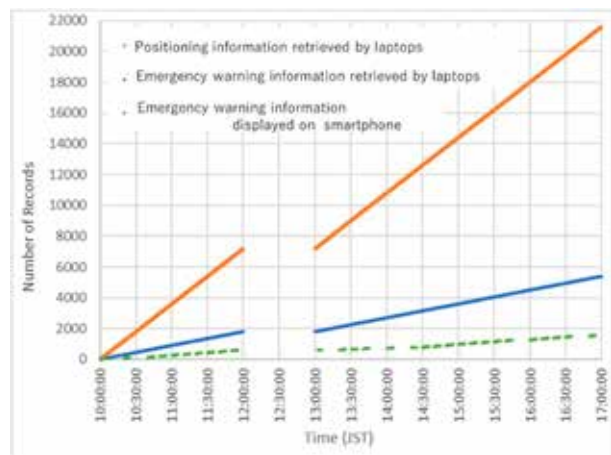


Fig. 12: The results of the experiment on the 21st.

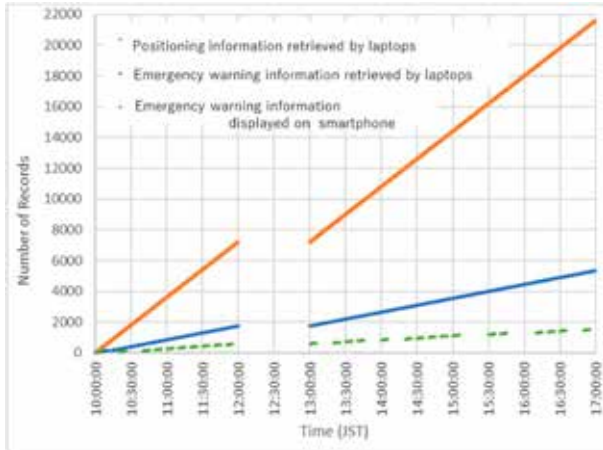


Fig. 13: The results of the experiment on the 22nd.

### 5.3 Receiving locations

In order to confirm whether or not the records shown in the section titled *Number of messages to receivers* were received according to the position where the data was acquired, the device positions were plotted on a map. Fig. 14 is the positioning of laptops that received the record on the 21st. Fig. 15 shows the position information of the laptops that received the Emergency Warning record. The test on the 22nd is also expressed in a plot, but the publication is omitted due to the similar results.



Fig. 14: The position of machines that received the emergency warning record on laptops.

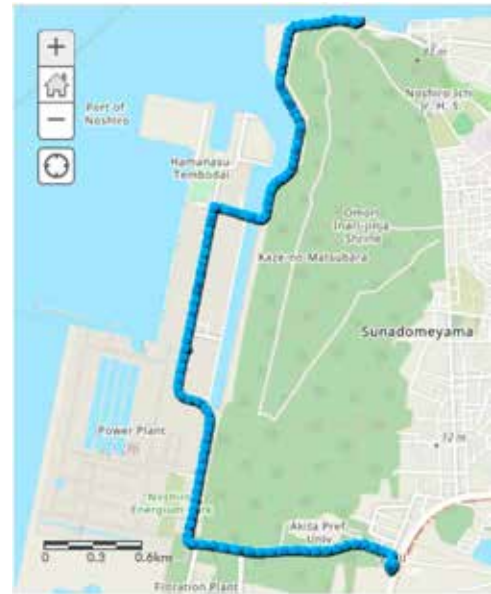


Fig. 15: The positioning of machines that received the emergency warning record on smartphones.

## 6 Discussion

### 6.1 Broadcasting Positioning Information and Emergency Warning Information

Since GNSS broadcasts information that measures the current location of the user, if Emergency Warning information is broadcast at the same time, the location information of the owner of the mobile device is used to determine whether evacuation is necessary. We verified its usefulness by simultaneously broadcasting the Emergency Warning information broadcasting and the positioning information using GNSS.

Fig. 14 and Fig. 15 were compared. The acquisition tendency has no dependency on the location of the receiver between the positioning information message and the Emergency Warning information message broadcast from QZSS.

For the next step, Fig. 11, Fig. 12, and Fig. 13 were compared. It appears that the number of Emergency Warning messages received shows about a quarter of the number of messages broadcast from QZSS being related to positioning information. Positioning information was broadcast once a second, and Emergency Warning information was broadcast once every 4 seconds. As long as these graphs are referenced properly, both receive emergency disaster information with synchronized timing and frequency. Nevertheless,

we cannot overlook the fact that Emergency Warning information was not received for a certain period of time. Fig. 16 shows an example of this in both the table and plot. The x-axis is the accumulated number of received messages and the y-axis is run time. This shows that Emergency Warning information cannot be received once every 4 seconds. Similar instances occurred twice in the experiment on the 20th, 6 times and twice on the 21st and 22nd.

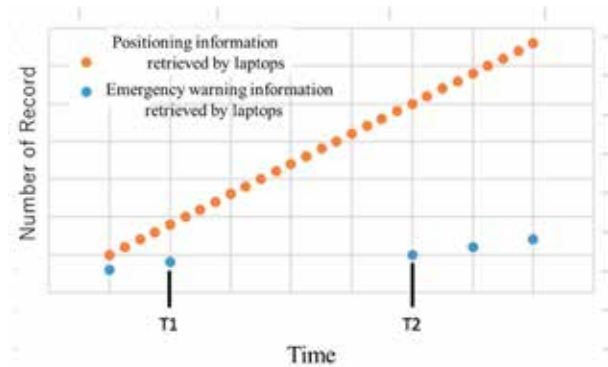


Fig. 16: Emergency Warning information has not been received for a certain period of time.

Our hypothesis for this is the receiver used for this field test receives not only broadcast signals from QZSS but also position information from GPS and GLONASS. On the other hand, the only source of Emergency Warnings was from QZSS. The former has sufficient redundancy, and the latter has no redundancy, which explains the gaps in Emergency Warnings. To what extent this deficiency rate affects evacuation behavior and how much redundancy can be expected through simultaneous broadcasting with Galileo will be included in future studies and incorporated into the plan of the next experiment.

## 6.2 Selection of Emergency Warning Information using Positioning Information

Since GNSS broadcasts information that measures the current location of the user, if Emergency Warning information is broadcast at the same time, the location information of the owner of the mobile device can be used to determine whether evacuation is necessary. With focus on this, apart from the case in the section titled Number of messages to receivers, when the smartphone outputs Emergency Warnings, it confirmed the location indicated by the Emergency

Warning.

The experimental data created for the field test, described in the section titled *Emergency Warning Message Data for Field Test*, includes a number of messages, indicating the non-experimental locations in the value of the “Target Area.” Therefore, we verified whether the “Number of Message C” in Table 17 matched or included the Target Area value of Emergency Warning information. As a result, the messages output from the smartphones on August 20th, 21st, and 22nd all take on the values of the “Target Area” in the Emergency Warning information broadcast by QZSS and the values of the location received by the smartphone. Because a match was shown, it can be easily and reliably realized whether the Emergency Warning information broadcasting from the same GNSS network is necessary at the receiving location.

## 6.3 Identification and Representation of “Target Area” in Ellipse

As shown in Chapter 3, in the common EWS that we developed, the value of “Target Area” is represented as an ellipse. In this field test, it was not possible to confirm whether this method was suitable for operation nor whether it matched the current mechanism. This is because the purpose of this field test was to determine whether Emergency Warning information created in accordance with the designed common EWS message could be received at the same timing and frequency as positioning information. Therefore, test data sufficient to judge the concern was not prepared.

## 7 Conclusion

Since GNSS broadcasts information that measures the current location of the user, if Emergency Warning information is broadcast at the same time, the mobile device can determine whether evacuation is necessary. For this experiment, we tried broadcasting our positioning and Emergency Warnings using GNSS and verified their usefulness. Among the issues of broadcasting Emergency Warning information to GNSS, we focused on the METHANE Protocol as a solution to the shortage of information. The

information required for self-help was selected and structured immediately after the disaster. The results were introduced in this paper as the design of the common EWS message. We created a message according to this design, broadcast it from QZSS, and conducted a reception experiment using a smartphone and laptops. We received 27,000 records (messages) per day and confirmed its utility from the contents. In the future, we aim to shift to the operational viewpoint and verify the suitability of the specification and expression of the “Target Area” value represented as an ellipse and the creation of a global standard operational system.

#### Acknowledgments

We would like to express our deepest gratitude to Deputy Director Nobutaka Kishi and Former Deputy Director Yasuhiko Kawazu of The Space Development Strategy Headquarters whose enormous support and insightful comments were invaluable during the course of our studies. We would also like to express our gratitude to Frederic Doms, policy officer, Galileo/EGNOS Applications, DG GROW, European Commission. Without his guidance and persistent help designing common EWS, this would not have been possible. We also owe a very important debt to Mr. Haruki Suzuki and Mr. Hamza Chaker who gave us invaluable comments and warm encouragements. Finally, this work was supported by Council for Science, Technology and Innovation (CSTI), Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), Enhancement of National Resilience against Natural Disasters (Funding agency:NIED.)

#### Reference

- [1] Declan McCullagh, U.S. Could Deny GPS to Taliban, Wired News, October 2001. Available from <https://www.wired.com/2001/10/u-s-could-deny-gps-to-t.aliban/>
- [2] Eric, 21 century’s top 10 worst natural disasters, Top10Tip, August 2013, Available from <http://www.toptenstip.com/top-10-worst-natural-disasters-of-the-21st-century/>.
- [3] Japan Aerospace Exploration Agency Earth Observation Research Center, Observing of disaster by ALOS, 2011, Available from [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/img\\_up/dis\\_opt\\_tohok\\_ueq\\_110314.html](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/img_up/dis_opt_tohok_ueq_110314.html).
- [4] I. Mateu, C. Boulanger, J-L. Issler, L. Ries, J-A. Avila-Rodriguez, S. Wallner, T. Kraus, B. Eissfeller, P. Mulassano, S. Germaine, J-Y. Guyomard, F. Bastide, J. Godet, D. Hayes, D. Serant, P. Thevenon, O. Julien, and G.W. Hein, “Exploration of Possible GNSS Signals in S-band,” in Proc. of the 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2009), 2009, pp. 1574-1587.
- [5] Infogalactic planetary knowledge core, 2011 Tohoku earthquake and tsunami, Available from [http://infogalactic.com/info/2011\\_Tohoku\\_earthquake\\_an\\_d\\_tsunami](http://infogalactic.com/info/2011_Tohoku_earthquake_an_d_tsunami)
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Japan Earthquake Tsunami March 2011, Available from [https://ngdc.noaa.gov/eog/data/web\\_data/japan/japan.html](https://ngdc.noaa.gov/eog/data/web_data/japan/japan.html)
- [7] Armed Forces Health Surveillance Center (AFHSC), Medical Evacuations from Afghanistan during Operation Enduring Freedom, Active and Reserve Components, U.S. Armed Forces, 7 October 2001-31 December 2012. Medical Surveillance Monthly Report (MSMR), Vol. 20 No.6 June 2013, Available from <http://pdfs.semanticscholar.org/5bbe/40295244f266222d9f00e70649a38f954b08.pdf>
- [8] Col. Dr. Ingo Hartenstein, Medical Evacuation in Afghanistan: Lessons Identified! Lessons Learned?, RTO-MP-HFM-157, pp. 5-1 – 5-14, Available from <http://stopthemedevacmadness.files.wordpress.com/2012/02/nato-medical-evacuation-in-afghanistan-mp-hfm-157-05.pdf>
- [9] JESIP, Early Stages Of An Incident M/Ethane, Available from <https://www.jesip.org.uk/early-stages-methane>
- [10] Australian Government, CAP-AU (Common Alerting Protocol: Australian Profile)-Specification, 2018, Available from <http://www.bom.gov.au/metadata/CAP-AU/Spec.shtml>





# 認知症予防としての社会参加と余暇活動

田部井 賢一\*

## Social participation and leisure activities to prevent dementia

Ken-ichi Tabei\*

### Abstract

It has been shown that social participation and leisure activities may reduce cognitive decline in the elderly and reduce the risk of MCI and dementia. However, since the number of researches is small, it is necessary to carry out further higher quality research.

Keywords: dementia, social participation, leisure activity

### 1 はじめに

社会参加は、家庭や社会に関与し役割を果たすことである[1]。また、高齢者において、社会参加は、社会やコミュニティ内で他者と関わることができる活動に参加することである[2]。

日本では、2000年から導入された介護保険を中心に、さまざまなサービスを展開させることで、高齢者に社会参加や余暇活動の充実を促す施策がとられてきた。内閣府の調査[3]では、高齢者全体の外出頻度は「ほとんど毎日」が最多(61.4%)である。そのうち趣味・余暇・社会活動は、外出する主な目的の44.6%であり、買い物や通院に次ぎ3番目に多い。外出頻度は男女ともに年齢が上がるほど低くなり、男性80歳以上は5割(55.6%)、女性80歳以上は4割(39.8%)に低下する。また、外出する主な目的は男女とも80歳以上は、趣味・余暇・社会活動を含め多くの項目で低くなるが、通院や通所は高くなる。これは加齢に伴い外出頻度が低下し、社会参加・余暇活動が減少してしまうことを示唆する。一方、病院やデイサービスなどは社会参加・余暇活動の場として重要な役割を担う。

### 2 認知機能に影響を与える社会参加・余暇活動

社会参加・余暇活動は、高齢者の認知機能に影響を与える要因のひとつである。横断研究は、社会参加・余暇活動が高齢者の認知機能を維持させること[4-6]を報告した。Sakamotoら[6]は、高齢者の社会参加のみならず、地域の社会活動の活発さが、高齢者の認知機能の維持に関連している可能性を示唆した。地域在住の高齢者を対象として、個人および地域の社会活動の種類の数と認知機能との関連を検討した。解析対象者は、家庭訪問による認知機能評価に

参加した261人のうち、脳卒中の既往がなく社会活動の種類の数と認知機能検査の結果に欠測のない180人であった。地域の社会活動の活発さの算出対象は、当該地区のJAGES (Japan Gerontological Evaluation Study) 調査の全回答者4042人(回答率64.8%)のうち、社会活動の参加状況と居住する小学校区がわかる2576人であった。結果は、高齢者が参加できる社会活動の種類の数が多いことと、認知機能の維持が関連していることを示した。さらに、社会活動が盛んな地域に居住する高齢者ほど認知機能が維持されることを示した。

縦断研究は、社会参加・余暇活動が高齢者の認知機能低下を抑制すること[7-11]、認知症のリスクを低減すること[12,13]を報告した。Scarmeasら[13]は、社会参加・余暇活動が、認知予備能を増やし、地域在住の高齢者の認知症のリスクを低減させる可能性を報告した。対象は認知症のない65歳以上の1772名であった。初年度に対象者の社会参加・余暇活動を調査し、その後継続的に参加した13項目(編み物や音楽などの趣味、散歩、友達や親戚を訪問する、友達や親戚の訪問、身体調整、映画・レストラン・スポーツイベントへ行く、雑誌・新聞・本を読む、テレビやラジオを視聴する、ボランティア活動、トランプ・ゲーム・ビンゴをする、クラブや集会に行く、セミナーに行く、教会・礼拝堂・寺院に行く)がポイントとしてカウントされた。また、神経学的ならびに神経心理学的検査を毎年(平均2.9年、最高7年)実施した。結果は1772名の対象者のうち、207名が認知症を発症した。認知症発症リスクは、7ポイント以上の高活動群で低下していた。Akbaralyら[12]は、余暇活動が、地域在住の高齢者の認知症発症を遅らせる可能性があることを報告した。解析対象者は、65歳以上の5698人の認知症のない高齢者であ

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

った。結果は、4年間の追跡調査により、クロスワードパズルをすること、トランプをすること、組織に参加すること、映画・演劇を見ること、そして芸術活動を実践することの余暇活動が、アルツハイマー病のリスクの低下と有意に関連していることを示した。一方、友人や親戚を訪問することまたは友人や親戚を招待すること、雑用をしたり、庭に行ったり、散歩に出かけたりすること、テレビやラジオの視聴、音楽の聴取、編み物とは有意な関連は見られなかった。

また、Verghezeら[14]は、社会参加・余暇活動が、MCI (Mild Cognitive Impairment, 軽度認知障害)のリスクを低下させる可能性があることを示した。対象はMCIでも認知症でもない地域在住の75歳以上の高齢者437名であった。結果は、追跡調査期間5.6年(中央値)において、58名が健忘性MCIに移行した。認知機能活動スケールの上昇が健忘性MCIのリスク低下と関連していたが、身体機能活動スケールの上昇は関連がなかった。

さらに社会参加・余暇活動は、アルツハイマー病の発症因子であるアミロイド $\beta$ の沈着を妨げる可能性がある。Landauら[15]は、社会参加・余暇活動がアミロイド $\beta$ の沈着の抑制と関連することを報告した。対象者は健常高齢者65名(平均年齢76.1歳)、アルツハイマー病患者10名(平均年齢74.8歳)、および健常若年者11名(平均年齢24.5年)であった。結果は、余暇活動の頻度の高い高齢者は、健常若年者と同程度のアミロイド $\beta$ の沈着であり、余暇活動の頻度の低い高齢者は、アルツハイマー病患者と同程度のアミロイド $\beta$ の沈着であった。

### 3 社会参加・余暇活動の介入研究

Iizukaら[16]は、高齢者を対象とした介入研究で使用されている社会参加や余暇活動の種類、これらの活動が認知機能を改善するのか、認知機能低下を抑制するのかについてPRISMA声明(the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses Statement)に則り、システマティック・レビューをおこなった。その結果、芸術、作文、ボードゲーム、読書、コンピュータスキル、手工芸、クロスワードパズルに関する20の研究が対象となった。20の研究のうち、13の研究はいくつかの認知機能において改善を示した。これら13の研究のうち12において、介入効果は特定の認知機能ではなく、むしろ、複数の認知機能に対してみられた。結論として、高齢者の認知機能は社会参加や余暇活動を通して改善できることを示唆した。以下に具体的な研究を示す。

芸術: 3つの研究[17-19]のうちの1つ[18]が認知機能に対する介入効果を示した。その研究は、介入が実行機能を改善すると報告したSchindlerら[18]によって行われた。彼らは、介入プログラムを2つのグループに分けた。芸術素材の検討、分析、解釈からなる「認知芸術プログラム」と、アート

ワークの作成と発表からなる「視覚芸術プログラム」を実施した。結果は、認知芸術プログラムは視覚芸術プログラムよりも介入効果をもたらした。

作文: 4つの研究[19-22]のうちの2つ(治療的執筆、自伝)[20,21]において、認知機能に対する介入効果がみられた。治療的執筆で、ADAS-cog (Alzheimer's Disease Assessment Scale-cognitive subscale)のスコアが改善された[19]。自伝に関しては、注意力および言語記憶への影響がみられた[20]。しかしながら、その研究は試験前・試験後の実験デザインであったため、その影響は対照群との比較の結果とは見なされなかった。自伝を含むその後のRCT (randomized controlled trial)では介入効果は観察されず[21]、日記を使用した介入の結果として認知機能の改善はみられなかった[22]。

ボードゲーム: ボードゲームに関する研究は、伝統的なタイプのボードゲームであるスカを使用した[23]。スカプログラムでは、参加者は遊ぶ前にスカの基本的なルールとテクニックについての講義を受けた。スカプログラムは、言語記憶、視覚記憶、注意力および実行機能を改善することを示した。

読書: 2つの研究が読書に関連していた[24,25]。ひとつは、本を読んで話し合うことであった[24]が、認知機能に対する介入効果はみられなかった。もう一方は参加者が絵本を読むためのテクニックを子供たちに教えるプログラムであり[25]、遅延の言語記憶が改善された。

コンピュータスキルの習得と手工芸: 2つの質の高い研究[26,27]は、健常高齢者を対象とし、コンピュータ技術の習得に関連した介入により、認知機能の改善に成功した。参加者は介入に使用されたソフトウェアに関する経験は全く持っていなかった。Parkら[27]は介入活動をデジタル写真技術の習得、手工芸技術の習得、そしてその両方に分けた。デジタル写真技術の介入の内容は、デジタルカメラの使い方を学ぶことと、プロの写真編集ソフトウェアを使用するために必要なコンピュータスキルを習得することであった。手工芸では、基本的な手工芸スキルを習得した。デジタル写真技術の介入の結果として、エピソード記憶および視空間処理に対して介入効果がみられた。さらに、エピソード記憶と処理速度の向上が、デジタル写真技術と手工芸の両方を学んだグループで観察された。Klusmannら[26]が行った研究では、一般的なソフトウェアとハードウェアの使い方を学ぶことで、即時および遅延の記憶、実行機能を改善させることが報告されている。

クロスワードパズル: クロスワードパズルの介入は[22]、健常高齢者を対象とし、新聞を参考にして作成されたクロスワードパズルを使用した。音声言語の流暢性に対して介入効果がみられた。

#### 4 さいごに

高齢者の社会参加・余暇活動に関する研究は、認知機能低下を抑制し、MCI・認知症のリスクを低下させる可能性を示した。しかし、研究数が少ないため、さらなる調査・研究を行い、より質の高い研究を蓄積する必要がある。

本稿は、『認知症ハンドブック 第2版』第4章認知症の危険因子と予防 H 社会参加・余暇活動と認知症の関係をもとに、加筆修正したものである。

#### 参考文献

- [1] World Health Organization: International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF), WHO, Geneva, 2001.
- [2] Levasseur M, Richard L, Gauvin L, et al.: Inventory and analysis of definitions of social participation found in the aging literature: Proposed taxonomy of social activities. *Soc Sci Med*, 2010, 71: 2141-2149
- [3] 内閣府. 平成 30 年度 高齢者の住宅と生活環境に関する調査結果:内閣府ホームページ, <http://www8.cao.go.jp/>
- [4] Maselko J, Sebranek M, Mun MH, et al. Contribution of generative leisure activities to cognitive function in elderly Sri Lankan adults. *J Am Geriatr Soc* 2014;62: 1707-13.
- [5] Lee PL. Cognitive function in midlife and beyond: physical and cognitive activity related to episodic memory and executive functions. *Int J Aging Hum Dev* 2014;79: 263-78.
- [6] Sakamoto A, Ukawa S, Okada E, Sasaki S, Zhao W, Kishi T, Kondo K, Tamakoshi A. The association between social participation and cognitive function in community-dwelling older populations: Japan Gerontological Evaluation Study at Taisetsu community Hokkaido. *International Journal of Geriatric Psychiatry*. 2016 doi: 10.1002/gps.4576.
- [7] Niti M, Yap KB, Kua EH, Tan CH, Ng TP. Physical, social and productive leisure activities, cognitive decline and interaction with APOE-epsilon 4 genotype in Chinese older adults. *Int Psychogeriatr* 2008;20: 237-51.;
- [8] Iwasa H, Yoshida Y, Kai I, et al. Leisure activities and cognitive function in elderly community-dwelling individuals in Japan: a 5-year prospective cohort study. *J Psychosom Res* 2012;72: 159-64.
- [9] Leung GT, Fung AW, Tam CW, et al. Examining the association between late-life leisure activity participation and global cognitive decline in community-dwelling elderly Chinese in Hong Kong. *Int J Geriatr Psychiatry* 2011;26: 39-47.
- [10] Hsu HC. Does social participation by the elderly reduce mortality and cognitive impairment? *Aging Ment Health* 2007;11: 699-707.
- [11] Gleib DA, Landau DA, Goldman N, et al. Participating in social activities helps preserve cognitive function: an analysis of a longitudinal, population-based study of the elderly. *Int J Epidemiol* 2005;34: 864-71.
- [12] Akbaraly TN, Portet F, Fustini S, et al. Leisure activities and the risk of dementia in the elderly: results from the Three-City Study. *Neurology* 2009;73: 854-61.
- [13] Scarmeas N, Levy G, Tang MX, Manly J, Stern Y. Influence of leisure activity on the incidence of Alzheimer's disease. *Neurology* 2001;57: 2236-42.)
- [14] Verghese J, LeValley A, Derby C, et al. Leisure activities and the risk of amnesic mild cognitive impairment in the elderly. *Neurology*. 2006;66(6):821-827. doi:10.1212/01.wnl.0000202520.68987.48
- [15] Landau SM, Marks SM, Mormino EC, et al. Association of lifetime cognitive engagement and low  $\beta$ -amyloid deposition. *Arch Neurol* 2012;69: 623-29.
- [16] Izuka A, Suzuki H, Ogawa S, et al. Can cognitive leisure activity prevent cognitive decline in older adults? A systematic review of intervention studies. *Geriatr. Gerontol. Int.* 2019;19:469-482. <https://doi.org/10.1111/ggi.13671>
- [17] Im ML, Lee JI. Effects of art and music therapy on depression and cognitive function of the elderly. *Technol Health Care* 2014; 22 (3): 453-458.
- [18] Schindler M, Maihofner C, Bolwerk A, Lang FR. Does participation in art classes influence performance on two different cognitive tasks? *Aging Ment Health* 2017; 21 (4): 439-444.
- [19] Pitkala KH, Routasalo P, Kautiainen H, Sintonen H, Tilvis RS. Effects of socially

- stimulating group intervention on lonely, older people's cognition: a randomized, controlled trial. *Am J Geriatr Psychiatry* 2011; 19 (7): 654-663.
- [20] de Medeiros K, Kennedy Q, Cole T, Lindley R, O'Hara R. The impact of autobiographic writing on memory performance in older adults: a preliminary investigation. *Am J Geriatr Psychiatry* 2007; 15 (3): 257-261.
- [21] de Medeiros K, Mosby A, Hanley KB, Pedraza MS, Brandt J. A randomized clinical trial of a writing workshop intervention to improve autobiographical memory and well-being in older adults. *Int J Geriatr Psychiatry* 2011; 26 (8): 803-811.
- [22] Murphy M, O'Sullivan K, Kelleher KG. Daily crosswords improve verbal fluency: a brief intervention study. *Int J Geriatr Psychiatry* 2014; 29 (9): 915-919.
- [23] Panphunpho S, Thavichachart N, Kritpet T. Positive effects of Ska game practice on cognitive function among older adults. *J Med Assoc Thai* 2013; 96 (3): 358-364.
- [24] Shatil E. Does combined cognitive training and physical activity training enhance cognitive abilities more than either alone? A four-condition randomized controlled trial among healthy older adults. *Front Aging Neurosci* 2013; 26: 5-8.
- [25] Suzuki H, Kuraoka M, Yasunaga M et al. Cognitive intervention through a training program for picture book reading in community-dwelling older adults: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr* 2014; 21 (14): 122.
- [26] Klusmann V, Evers A, Schwarzer R et al. Complex mental and physical activity in older women and cognitive performance: a 6-month randomized controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2010; 65 (6): 680-688.
- [27] Park DC, Lodi-Smith J, Drew L et al. The impact of sustained engagement on cognitive function in older adults: the Synapse Project. *Psychol Sci* 2014; 25 (1): 103-112.

# 遠隔によるソフトウェア開発 PBL と よりコンパクトな授業動画収録システムの開発

中 鉢 欣 秀\*

## Software development PBL with tele-communication and a compact lecture video recording system

Yoshihide Chubachi\*

### Abstract

The Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT) has been conducting PBL (Project Based Learning) type education as a compulsory subject for obtaining a professional degree since 2007, immediately after its beginning. In 2020, due to the spread of infectious diseases caused by the new coronavirus that occurred in Wuhan, China, it became impossible to conduct face-to-face classes as before. Like many universities in Japan, all classes are remote at our university, and PBL is also forced to be conducted remotely. In this paper, we first report on the status of remote PBL. Next, we will describe the newly constructed more compact system by improving the class video recording system that was previously constructed.

Keywords: remote PBL, remote class, lecture video recording

### 1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学(以下, AIIT)では, 開学直後の 2007 年度から専門職学位取得のための必修科目として PBL(Project Based Learning)型の教育を行っている。

2020 年度は, 中国武漢で発生した新型コロナウイルスによる感染症の拡大を受けて, 従来通りの対面での授業が実施できなくなった。国内の多くの大学と同様, 本学でも全ての授業が遠隔となり, PBL もまた遠隔で実施することを余儀なくされている。

本論文では, まず, 現在実施している遠隔による PBL の状況について報告する。この内容は文献[1]を再構成したものである。次に, 文献[2]で構築した授業ビデオの収録システムを改善し, よりコンパクトなシステムを新たに構築したのでこれについて述べる。

### 2 ソフトウェア開発 PBL の遠隔実施

PBL を遠隔で実施すること自体は, 筆者にとって初めての試みではない。過去, 海外(ベトナム, ブルネイ等)の学生チームと日本の学生チームとで遠隔 PBL を実施した経験がある[2][4]。ただし, その場合であっても海外の学生と日本の学生はそれぞれの拠点において対面でチーム活動をしており, 対面が全く許されない今回の状況とは異なっている。

そのため, 当初, 学生が同じ場所に集まることの全くできない遠隔での PBL は通常より困難なものとなるであろうと予測していた。本発表では, 開始から 3 ヶ月弱が経過した筆者が担当する遠隔 PBL の現状について, 学生からのヒアリング結果を交えて報告する。

### 3 遠隔 PBL の実施方法と学習への影響分析

#### 3.1 本プロジェクトの学習目標と通常時の実施法

本 PBL の学習目標は, アジャイル開発手法の本質を学ぶことであり, 実際のソフトウェア開発プロジェクトを通してアジャイル開発を実践できるようになることである。アジャイル開発の知識を学ぶだけではなく, チームによるソフトウェア開発の生産性を向上させるための技術を 1 年間のプロジェクトを通して学ぶ。チームの自己組織化, 継続的な改善等により, チームとしてのアジリティをどのように高めていくかについて, 実際のソフトウェア開発体験に基づき深く学習する。

開発するソフトウェアは Web アプリケーションやスマートフォン・アプリケーションであり, アジャイル開発のフレームワークとして標準的なスクラムによる開発を行う。実際に開発するソフトウェアは学生自身が企画する。

また, 通常時の PBL では, 週 1 回教員も参加するコア・ミーティングと, これとは別に週 1 回のミーティングへの出席を

最低限求めている。加えて、各自の個人作業の時間をとる必要があり、取得単位数から計算してミーティングと個人作業とを合わせて週 18 時間は PBL での学習にあてる必要がある。

なお、AIIT の専門職修士課程には、職を持つ社会人学生が多数在籍している。そのような学生は、業務の都合でやむを得ずミーティングに遅刻・欠席する者も多かったが、限られた時間を有効に活用しながら学習時間を確保し、プロジェクトでの学習を進めている。

### 3.2 遠隔 PBL の実施方法と学習への影響分析の方法

本年度の遠隔 PBL においても、授業の形態が遠隔になること以外、学習目標は一切変更せずに実施することとした。遠隔で実施するためのコミュニケーション・ツールとして Google Meet と Slack を利用することにし、プロジェクト管理のツールとしては Backlog を使う。これら以外のツールは学生が選択することとした。

本年度は、学生の意向を受け、学外のベンチャー企業と共同で、医療分野で利用する Web アプリケーション開発を行うこととなった。そのため、プロジェクト・チームでの作業に加えて、学外のステーク・ホルダーとのやり取りも発生する。

なお、本年度のチーム・メンバーは PBL が始まる前に既に顔見知りであり、一定の信頼関係が構築されていた。

以上の状況において、PBL を遠隔で行うことによる影響について分析するため、学生から遠隔 PBL のメリット、デメリットをヒアリングした。

## 4 遠隔 PBL の実施状況と学生からの声

### 4.1 遠隔 PBL の実施状況

2020 年 6 月時点での遠隔 PBL の実施状況について述べる。学生が利用しているコミュニケーション・ツールは前述の Google Meet と Slack のほか、

- チャットや画面共有、メンバーがオンラインかどうか確認する等のための Discord
- オンライン・ホワイトボードとして Miro
- Google Drive 等のファイル共有ツール

等となっている。

週 1 回のコア・ミーティングは教員も交えて Google Meet で実施し、成果物のレビューを行う。それ以外はチーム内や学外のステーク・ホルダーと Slack やメールで連絡を取りつつ、他のツールを活用しながら非対面でプロジェクトを進めている。また、Discord はミーティングで使用するというよりも、何らかの作業中に適宜連絡を取るために利用している。

### 4.2 学生にとってのメリット・デメリット

遠隔で PBL を実施することの影響を調べるため、学生から簡単なヒアリングを行った。まず、遠隔 PBL のメリットとして次の意見があった。

- 通学時間がかからない(メンバーによっては、毎日約 2 時間、時間を節約できている者もいる)
- 好きな時間に好きな場所で PBL の活動ができる
- オンラインによりコミュニケーションの時間や機会が増えて、メンバー同士の信頼関係が構築しやすい
- 遠隔でのミーティングは気軽に実施できる
- 既に信頼関係がある者同士なら会話がしやすい
- 一人の発言を参加者全員が集中して聞ける
- お互いの顔が見えないので、相手の表情や自分の振る舞いを気にせずに考えることだけに集中できる
- あまり気をつかわなくていいので気楽
- 初対面の人と合う際、余計な気配りをしなくても良い(名刺交換の際のマナーなど)
- (PBL 以外でも)教授陣とのアポイントメントが取りやすい
- ヘッドホン装着してビデオ/音声会議に参加すると集中できる
- 自宅から参加するので落ち着く

一方、デメリットとしては次の意見があった。

- 音声や動画だとチームの実際の雰囲気は体験できない
- 会議時間が長くなり時間が無駄になることがある
- 言葉以外の情報が無くなり、ディスカッションの時間が長くなりがち
- 時間の制約が緩くなりがち
- 時間に余裕ができる分、タイムマネジメントの意識を持つ必要がある
- 初対面同士の議論が難しい
- 自分に関係のない話題だと内職されてしまう可能性がある
- 相手が自分の話をどれくらい理解できているかの確認が難しい
- ネットワーク環境に依存する
- 回線が切れると気まずい
- チームへの帰属意識が高まらない
- 学校への愛着がなくなってしまう

### 5 遠隔 PBL に関する考察

前節の結果から、遠隔による PBL がチームに与える影響

について考察する。

まず、学生からの意見にあるように遠隔でのコミュニケーションは実際に対面で会うよりも手軽である。移動のための時間も節約でき、特に社会人学生にとっては有利である。学習にかかる時間の総量も対面で実施する場合よりも多くなっている(ただし、多くの企業で在宅勤務が推奨されていることの影響もあろうから、過去の状況と単純には比較できない)。

教員の視点からは、対面で実施していた時と比較してコア・ミーティングで欠席する者が極めて少ないことが従来と比較した際の大きな変化である。遠隔により場所を問わず参加できるが故の良い影響が現れている。

加えて、各種のツールを活用してコミュニケーションをしていることから、プロジェクトの活動の記録が残りやすいというメリットも感じられる。例えば、従来はチームの振り返りをホワイトボードとポストイットを利用して実施していたが、遠隔で Slack を利用して行う方式になったのでチームの改善への取り組みが必ず記録として残る。

なお、遠隔でのミーティングでは相手の表情がよく見えないことから指導内容が伝わっているかどうか確信が持てない場面もある。ただし、これについては視覚に頼らず言葉で明確に確認を求めることで、伝わっているかどうかはっきりと把握できるというメリットにもなっている。

一方、既に信頼関係がある者同士のコミュニケーションは遠隔でも問題ないが、プロジェクトに協力して頂いている学外のステーク・ホルダーとの打ち合わせには難しさを感じているようだ。

一つ気がかりであったのは、みんなが楽しく活動できるのか、ということであった。これができているかどうかを明確に示すことはできないが、ミーティングで時折笑い声が聞こえることや、通常の雑談と同じように Slack で面白い情報の交換などが行われている様子を見ると意外と上手く打ち解けている様子である。

ただし、アジャイル開発ではチームの雰囲気をよくするためにテーブルにお菓子を置く習慣があるが、これについては遠隔では不可能である。

なお、今回はあまり障害となっていないが、コミュニケーション・ツールの利用法に不慣れな学生が参加する場合、ツールの利用法に習熟するための学習コストが増えることは明らかである。学生のネットワーク環境が十分に整っていない場合には、更に実施が困難となるであろう。

## 6 遠隔 PBL に関するまとめ

現状、プロジェクト活動は学生の努力や工夫に支えられて順調に進んでいる。しかしながら、今後、ソフトウェア開発が本格化してきた際、遠隔で実施してきたこれまでの活動の蓄積がどのように成果物に反映されるかは未知数である。

プロジェクトは来年の 2 月まで継続するので、状況の変化によっては対面での実施も可能になるかもしれない。そのようになった際、既に行っている遠隔での形態と、対面での形態をどのように組み合わせていくかが課題となり得る。

遠隔 PBL はこの 4 月から始まったばかりであり、その影響が明らかになるのはまだ先のことである。本プロジェクトの学習目標である、アジャイル開発の本質理解が遠隔 PBL でどこまで達成されるのか、また、今後の状況の変化に応じた実施形態としてどのようなものが適切なのか、等、引き続き試行錯誤を続ける必要がある。

これらを通じて新たな知見が得られた際には、改めて報告したい。

## 7 授業教材収録システム

感染症対策のため、通常の授業も遠隔で実施することになった。本学は開学以来全ての授業をビデオで収録し、学生に対して後日 Web で公開している。そのため、授業の際には教室にビデオ撮影スタッフがあり、ビデオ撮影の補助をする体制が整っている。

遠隔で実施する授業には、大きく次の 3 つの形態がある。

1. リアルタイム型  
遠隔会議システムにより仮想的な対面形式で行う
2. オンデマンド型  
教員があらかじめ用意したビデオを学生が好きな時間に視聴する
3. ブレンド型  
上記 1.と 2.の複合であり、2.で学んだ知識を用いて 1.で演習を行う、などの形態

筆者は、形態 1.で授業を実施する場合は本学の教室で授業を実施している。いわゆる「無観客授業」であり、誰もいない教室で授業をおこなっている。一方、2.や 3.を想定して、プロレベルのビデオ画像が収録できる教材製作スタジオを研究室に設置し[2]、ビデオ教材の収録を行えるようにしてきた。

しかしながら、どちらで収録する場合でも大学の設備を利用することになる。そこで、よりコンパクトな収録システムを開発することで自宅にいながらビデオの収録ができるようにすることにした。感染症対策のもと、移動をできるだけ避けられ





図 1: 従来のビデオ教材収録システム

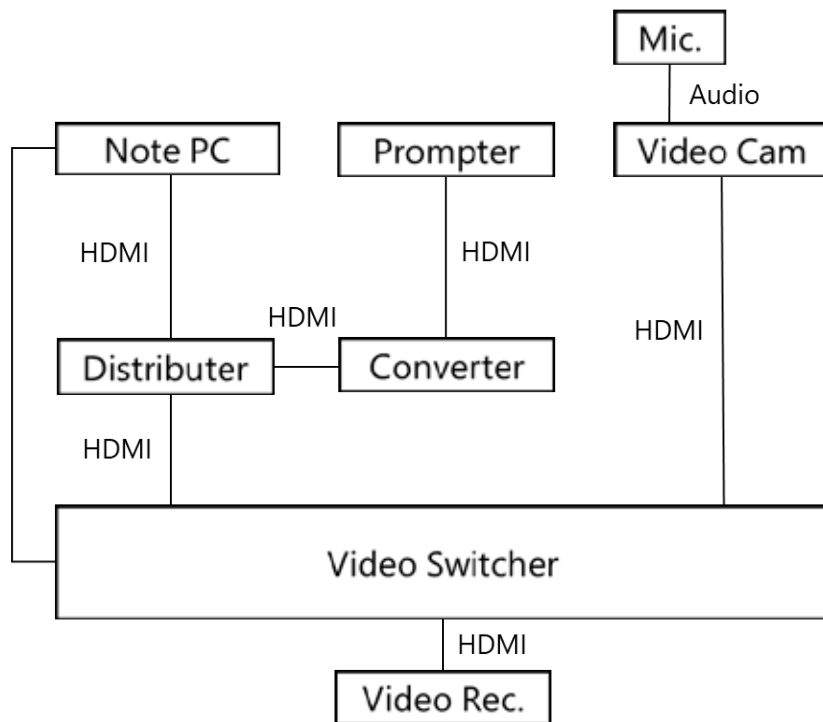


図 2: 新システムの全体構成図

るようにするためにもよりポータブルな収録システムを構築し、利用できるようにすることが求められた。

従来使用してきたビデオ収録システムを図 2 に示す。写真から分かるとおり、広めのスペースが必要となっている。また、ビデオスイッチャーや音声ミキサーが手元になく、一人で操作することが難しかった。

今回、新たに収録システムを設計するにあたり、次の要件

を設定した。

- 設置に必要な面積を小さくして、できるだけコンパクトなシステムにすること
- オペレータがいなくても手元にある機器を操作することにより一人で収録できること
- リアルタイム型とオンデマンド型どちらにも対応できる

機能を備える

- 最新の映像・音響機器を用いて、システム構成の簡素化をはかる
- プロンプター機能を搭載し、カメラ目線での収録を可能にすること

以上の要件を元に構築したシステムの全体構成を図 1 に示す。従来システムとの大きな変更点は、

- 音声ミキサーを廃止したこと  
ビデオスイッチャーに音声ミキサーの機能を有するものを選定し、こちらを利用することにした
- プロンプターを利用できるようにしたこと  
プロンプターに表示できるように、画面を上下左右で反転させる機器を導入した
- モニターディスプレイの代替  
ディスプレイ付きのビデオレコーダーを用いてモニターディスプレイを無くした

今回の新システム的设计にあたり、最も工夫を要したのがプロンプターの導入である。ハーフミラーを用いて比較的安価にプロンプターを実現できる製品は多く販売されているが、その多くはタブレットやスマートフォンの利用を前提としている。専用のアプリによりテキストの鏡像文字を表示し、それがハーフミラーに移ることでビデオカメラの前に表示されるものである。

この方法では、投影できる内容は文字列であり、テキストエディタ等で作成した文書を専用のアプリで表示させる必要がある。これでは、授業で利用するパワーポイントなどの画像をそのままプロンプターに投影することはできない。そこで、この問題を解決できる機器を探す必要があった。

調査の結果、鏡像文字のように HDMI で入力されたビデオ画像を上下左右に反転できる機器が見つかった。図 1 で「Converter」を記している機器である。Note PC から出力するプレゼンテーション画像は「Distributor」により 2 方向に分配される。一方は「Video Switcher」に入力され、録画することができる。もう一方は「Converter」に繋がり、HDMI 信号を上下左右反転する。その結果得られた画像がプロンプターに渡され、プロンプターのモニターがこれを表示する。

これらを配線し、設置したものが図 3 である。下の大きめの機器が Converter であり、上の機器が Distributer (分配器) である。これらを用いてプロンプターのハーフミラーにプレゼンテーションスライドを投影した結果を図 4 に示す。

Converter の機能によりもとの画像が左右反転して小型モニターに投影されていることが分かる。



図 3: HDMI の分配器とコンバーター

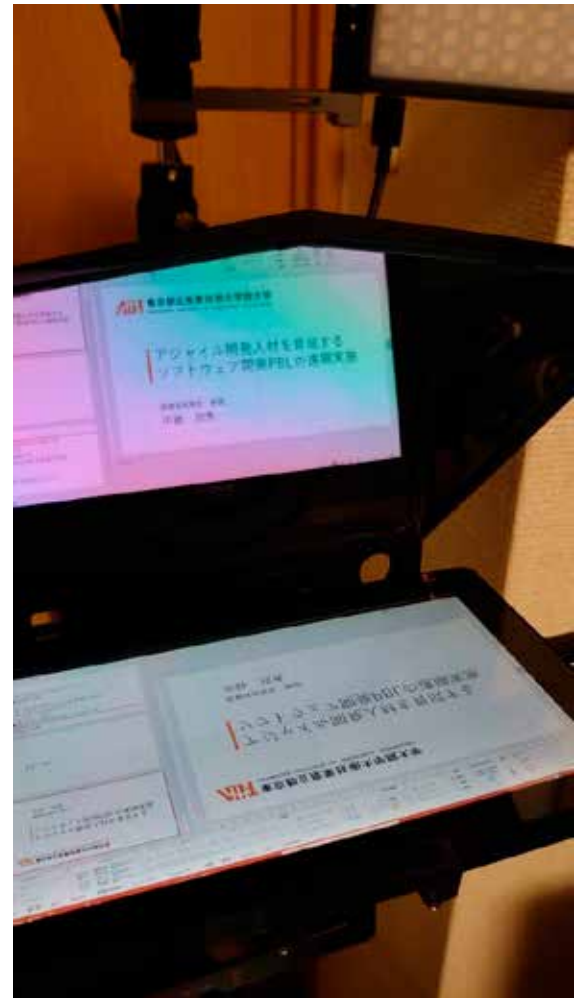


図 4: プロンプターへのスライド投影

利用者はこのプロンプターを見ながら話をするので、常にカメラに目線を向けながら収録を行うことができる。



図 5: 新ビデオ教材収録システム

全体のシステムを実際に設置した様子を図 5 に示す。音声収録用のマイク、ビデオカメラとプロンプター、モニター兼ビデオレコーダーを 1 つの三脚にコンパクトに設置することができた。また、手前には小型のビデオスイッチャーがあり、その下には分配器とコンバーターが隠れている。

全ての信号はビデオスイッチャーに集約され、ピクチャーインピクチャーや、クロマキーなどの処理を行う。その結果は USB 出力によりノート PC の Web カメラとして利用することができる。また、レコーダーによって収録し、YouTube 等で公開することもできる。

図 5 から分かるとおおり、設置にかかる面積は非常に小さく、当初の目的を達することができた。プロンプターは小型であるため、あまり細かい文字を投影すると読みづらいが、動画の閲覧者のことを考えれば細かい文字は避けるべきであり、問題はない。少し手を伸ばせば機器全体の操作を行うことができるので、一人でのオペレーションができるようになったことも大きな改善である。

## 8 まとめ

2020 年 3 月に政府から発せられた緊急事態宣言は多くの人々の暮らしを突然変化させた。このような変化に素早く柔軟に対応することは大変困難であった。しかしながら、環境が大きく変わるときこそ、それを奇貨として大きなイノベーションを起こすことができる。

大学において、授業は教室で実施するものという常識が一気に崩れ、遠隔での教育がいきなりスタートした。しかしながら、いざ始めてみると今までできないと漠然と思っていたことが、遠隔でも可能であると分かってきたものもある。

この経験を活かし、より学習効果の高い教育環境の構築を目指し、今後とも研究を進めていかなくてはならない。

## 謝辞

本論文の執筆にあたり、協力して頂いた当プロジェクトのメンバーに感謝する。

## 参考文献

- [1] 中鉢 欣秀, “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, pp.1-2, 2020.
- [2] 中鉢 欣秀, “アジャイル教材制作スタジオの構築とその有用性”, 産業技術大学院大学紀要, Vol.9, pp.55-59, 2015.
- [3] 中鉢 欣秀, “enPiT プログラムにおける遠隔 PBL とアジャイル教材開発”, 産業技術大学院大学紀要, Vol.8, pp.109-113, 2014.
- [4] 土屋 陽介, 中鉢 欣秀, 成田 雅彦, “3 か国の大学による国際共同開発 PBL”, 産業技術大学院大学紀要, Vol.8, pp.115-118, 2014.

# 訪問介護サービスにおけるサービスチャートを用いた設計法の提案と評価

鈴木 有輔\*・侍留 啓介\*・佐藤 格\*・原 怜史\*・蕪木 孝弘\*・橋本 洋志\*

Proposal and evaluation of service process design methods for home care services.

Yuusuke Suzuki\*・Keisuke Shitomi\*・Itaru Sato\*・Satoshi Hara\*・Takahiro Kaburagi\* and Hiroshi Hashimoto\*

## Abstract

Home care service for ALS patients is a service provided by multiple parties. There is a high burden on frontline caregivers and a very high demand for improvement in the way they work. This paper proposes a service chart design method for the purpose of maintaining and improving nighttime home care services for caregivers. First, the existing service design is described and the problems are pointed out. Next, the proposed service chart design method is described. Based on a concrete case study, an example of this service chart design is presented and discussed through it.

Keywords: Service Engineering, Value Co-Creation, Home Care Service, Service Chart, Visualization.

## 1 はじめに

ALS患者(以下、被介護者と称する)に対する訪問介護サービスは、医師・訪問看護師・ケアマネージャー・サービス提供責任者・介護士など複数の関係者が連携して提供するサービスである。

問題点として、以下が挙げられる。

- ① 夜間は、介護士の介護担当者と被介護者が1対1となる時間が多い。
- ② 個々人の被介護者に対する介護行動や介護担当者の動作などのサービスイベントは、上記関係者と被介護者およびそのご家族の間で決定されるため、必ずしも被介護者の要求を満たすものではなく、定められた訪問介護サービス中の個々の場面における被介護者からの要求に対して、介護担当者が独断で変更できない。
- ③ 事前に明示されていないサービスイベントが複合的に数多くあり(※1)、標準化や技術伝承を困難にしている。
- ④ 特に人口呼吸器を利用している被介護者については、サービスリスクが人命に及ぶ可能性が高く(※2)、その責任は重大である。

※1. 明示されていないサービスイベントとは、後述するサ

ービス計画書に記載されていない行動、動作、配慮などを指す。例えば、ポジショニングと呼ばれる、被介護者のおむつやパット交換後に枕や多数のクッションなどで全身の位置決めを行う一連の作業や、褥瘡(じよくそう、床ずれともいう)対策として背抜きと呼ばれる除圧作業などを指す。  
※2. 人命に及ぶサービスリスクとは、人工呼吸器を扱うにあたり、水抜きと呼ばれる加湿装置の水分除去や、各種メンテナンスに伴う設定ミス、組付けミスによって、空気供給圧力の異常や停止が発生し、利用者の呼吸困難を招くことである。意思表示が困難な利用者の場合、チアノーゼが発生するまで周囲が気付けない場合も多く、最悪の場合死に至る。

上記の問題点から、現場の介護担当者には高い負荷がかかり、働き方改善の要望が非常に高い。

本論文は、被介護者に対する夜間の訪問介護サービスの維持・改善を目的とするサービスチャート設計法を提案する。このサービスチャートは、1回の夜勤における介護担当者の負荷状況の推移とサービスイベントのタイミング、利害関係者の相関を多層的に組み入れて可視化することで、サービスリスクの発生源を明示化できる特徴がある。この明示化は、サービスリスクの低減のみならず、訪問介護サービスに関わる多数の人のサービス価値を維持・向上できる可能性を与え

Received on September 28, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

る。

本論文は、初めに、既存のサービス設計について述べ、この問題点を指摘する。次に、提案するサービスチャート設計法を説明する。具体的事例に基づき、このサービスチャートの設計例を示し、これを通じた考察を行う。

## 2 現状のサービス設計

### 2.1 現状のサービス設計の手順

現状のサービス設計は、厚生労働省老健局の定めた指針に準じている。なお、厚生労働省では訪問介護サービスを居宅介護支援業務としている。この厚生省老健局、社会保障審議会介護給付費分科会の資料[1]をもとに作成した居宅介護支援業務のフローチャートを図1に示す。

サービス計画作成時には、介護支援専門員(ケアマネージャー)が被介護者の要望と地域のサービス状況を考慮し、居宅サービス計画の原案を作成する。その後、被介護者及びそのご家族、関係者を集めたサービス担当者会議による調整を経て、サービス内容が確定される。

確定したサービス計画は、下記計画書[2]に整理される。

- ① [第1表]居宅サービス計画書(1)
- ② [第2表]居宅サービス計画書(2)
- ③ [第3表]週間サービス計画表
- ④ [第4表]サービス担当者会議の要点
- ⑤ [第5表]居宅介護支援経過
- ⑥ [第6表]サービス利用票(兼居宅サービス計画)

ここで、時系列でのサービスプロセスが整理される6[第6表]サービス利用票(兼居宅サービス計画)が現状を良く表すサービスチャートであり、これを図2に示す。

### 2.2 現状のサービス設計の問題点

図1、図2の設計手順では、以下3つの問題点がある。

- ① サービスイベントが発生するタイミングやきっかけが不明瞭である。
- ② 個々のサービスイベントの背景に介在する利害関係者の関係性が暗黙知となっている。
- ③ 当事者間の感性評価が存在しない。

以上よりサービスリスクの低減や、サービス価値向上を図る取組みを行う対象となるイベントが明示されておらず、現場でのサービスイベントは個々人により暗黙知化されて生じているため、サービスリスクの発生が時期や内容も含めて不明瞭であるという問題が指摘できる。

## 3 サービスチャートの設計法

本論文では、2.2で示した問題点を解消することを目的としたフレームワークを説明する。このフレームワークは、サービスリスクの発生源や、サービス価値向上を図るサービスイベントを特定できることに特徴がある。この概要を図3に示す。

### 3.1 サービスイベントの具体化

サービスチャートの各所にサービスイベントがある。これを具体化するために、介護者に対してインタビューを行い、これに基づきサービスイベントを作成する。

インタビューは、対象となる介護者とインタビュアーが1対1で複数回に分けて行った。

1回目はスタンフォードDスクールがデザイン思考で唱える「共感のためのインタビュー」の手法[3]をとった。

具体的には、「訪問介護でやりがいを感じた時の事を教えてください」という1つのメッセージから掘り下げ、下記項目を参考に物語を作るように聞き出すことに留意した。

- When :それはいつですか？
- Where :それはどこでしたか？
- Who :誰と一緒にでしたか？その人は誰ですか？
- Why :なぜそうした(感じた)のですか？
- What :何をやったのですか？
- How :どのように(どれくらい)やりましたか？
- Feel :その時どう感じましたか？

2回目はタイムスケジュールについて、3回目は関係者とのかわりや役割について、チャートや図を手書きして整理しながらヒアリングを行なった。

### 3.2 インタビューからのサービスチャート作成

図4に示すサービスチャートは、上段に介護担当者の感情的負荷と身体的負荷とサービスイベントを時系列で表し、いつどんな状態で何が行われているかの可視化を行った。

中段に介護中に想定されるリスクを整理し、上段のサービスイベントと介護担当者の負荷と併せることでリスクを低減するポイントがどこにあるかの可視化を行った。

下段では、想定されるリスクが発生した際の関係者と実務のフローを整理し、サービスリスクを軽減するための有意な関係者を表した。

## 4 具体例と考察

### 4.1 介護担当者のプロフィール

インタビュー対象とする介護担当者は、49歳、有料老人ホームでの介護を2年間経験後、重度障がい者の訪問介護を5年ほど経験している。詳細なプロフィールを以下表1に示す。

### 4.2 インタビュー結果

各サービスイベントの中身を抽出する方法論としてのインタビュー結果を表2、表3に示す。

ある介護担当者の発した言葉を表2に示す。なお、ここでは介護担当者の発言に沿って被介護者を「利用者さん」と記載する。

介護担当者と被介護者の満足度を類推するためのインタビューの推論を以下表 3. に示す。

インタビューでは、従来のサービス設計では 1 つのサービスイベントとして捉えられていたが、実際は複数のサービスイベントが複合して存在していることと、それぞれのサービスイベントに対して、必ずしも十分な教育がなされていない場合があることが分かった。

#### 4.3 サービスチャート

ある特定の夜勤における介護者の負荷状況と、一連のサービスイベントに対するサービス価値推論の推定のひとつとして表 4. サービスチャートを以下に示す。

サービスチャートでは、身体的負荷と精神的負荷を時系列で把握できる。この二つの負荷が重なる部分でサービスリスクが高まる。

#### 4.4 サービスチャートからのサービスリスク抽出

今回のインタビュー結果では、負荷状況と介護作業、リスクの発火点、想定リスク相関から、医療行為となる吸引・水引というサービスイベントで、かつ被介護者の起床直前となる朝 5 時の作業が最も大きいサービスリスクであることが判明した。また、異常事態発生時に介護担当者が頼れる関係者が訪問看護師しか存在せず、連絡するに至る明確な判断条件がないことが指摘できる。

上記の考察を通して、現時点では上記の回避策として以下が挙げられる。

- ① 人工呼吸器の操作方法習熟によりミスを防ぐ。
- ② 訪問看護師との情報共有手段強化。
- ③ 担当者会議による介護担当者とケアマネージャーとの情報共有強化。

#### 4.5 評価インタビューの結果

今回インタビューを行なった介護担当者に、サービスチャートに対して次の評価コメントを得た。

- ① 自分の作業内容が理解してもらえてうれしい。
- ② サービス計画のプロセスは詳細には知らなかった。
- ③ 担当者会議ではもっと発言するようにしたい。
- ④ 担当している ALS 患者は、痛みも苦しみも不快もちらに伝えられない。その気持ちを察しながら作業をすることが重要。
- ⑤ ぜひ他の介護担当者にもインタビューして欲しい。

この内容は、介護担当者が気づいていない点を指摘していることと、サービスイベントやサービスリスクの可視化が介護者の安全作業を担保できる可能性を示している。

## 5 おわりに

本論文のサービスチャートにより、サービスイベントと介護

担当者の負荷状況を可視化でき、現場におけるサービスイベントと、そのサービスを実現するための設計方法の提案には可能性が見えた。

また、各サービスイベントと各介護者が持つスキルの適合が満たされない場合があること。そして、それぞれのサービスイベントを実現する関係者間に複雑な責任関係があることが分かった。

今後、他の介護担当者や、別の関係者(訪問看護師、サービス提供責任者、ケアマネージャー等)の視点も加え、複合的な評価を検討する。

## 参考文献

- [1] 厚生省老健局, 第 3 回 社会保障審議会介護給付費分科会, 資料 3- II 居宅介護支援(3)を参照.  
<https://www.mhlw.go.jp/shingi/0112/s1210-1/1210-1e.html#3>(ウェブ参照)
- [2] 東京都福祉保健局, 東京都介護支援専門員業務の手引き(居宅編)【改定(3版)】  
[https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/ko-urei/hoken/kaigo\\_lib/care/kyotakutebiki25.files/kyotaku\\_4\\_04.pdf](https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/ko-urei/hoken/kaigo_lib/care/kyotakutebiki25.files/kyotaku_4_04.pdf) (ウェブ参照)
- [3] スタンフォード大学 ハツ・プラットナー・デザイン研究所編, 柏野尊徳 訳, スタンフォード流 デザイン思考を実践する人の 38 の技法, pp.21-22, 2018  
[https://cdn2.hubspot.net/hubfs/6895581/bootleg\\_2018.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/6895581/bootleg_2018.pdf)(ウェブ参照)

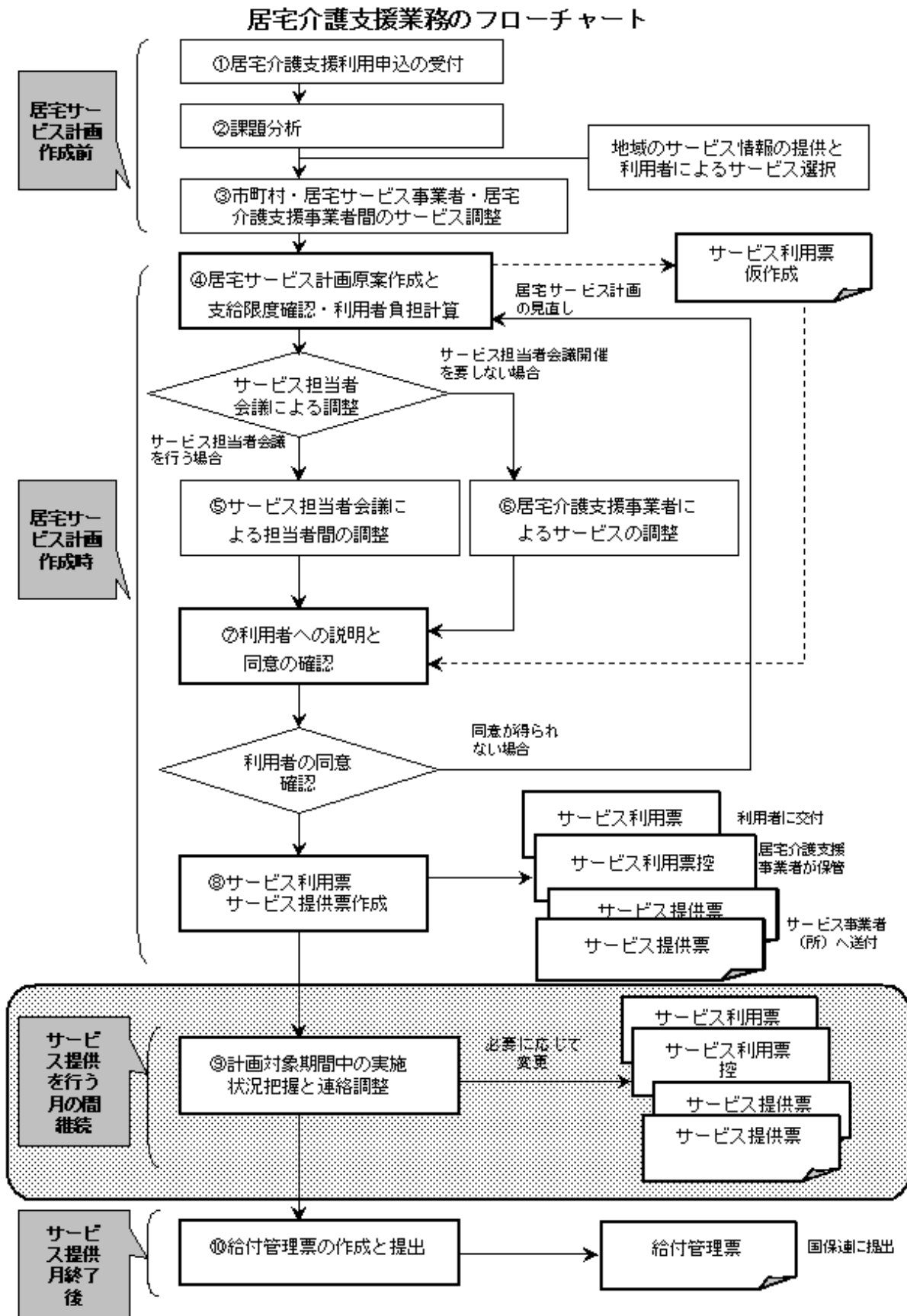


図1:居宅介護支援のフローチャート

認定済・申請中		平成 年 月分 サービス利用票 (兼居宅サービス計画) (一本化後)										居宅介護支援事業者→利用者																								
保険者番号		保険者名		居宅介護支援事業者事業所名		作成年月日	平成 年 月 日	何回分																												
被保険者番号		フリガナ被保険者氏名		保険者確認印		届出年月日	平成 年 月 日																													
生年月日	明・大・昭 年 月 日	性別	男・女	要介護状態区分	要支援 1 2 3 4 5	区分支給限度基準額	単位/月	限度額適用期間	平成 年 月 日から 平成 年 月 日まで	前月までの短期入所利用日数																										
提供時間帯	サービス内容	サービス事業者事業所名	変更後要介護状態区分 変更日	月間サービス計画及び実績の記録																																
				目次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
				種目																																合計回数
				予定																																
				実績																																

図 2: サービス利用票(兼居宅サービス計画)

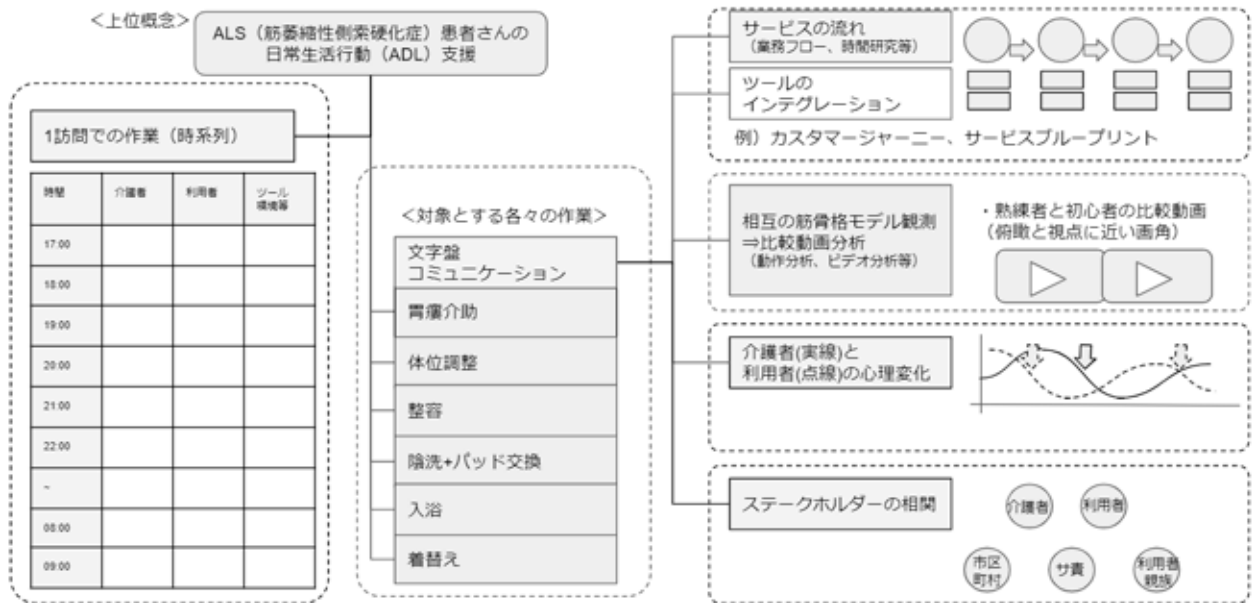


図 3: フレームワークの概念図



表 1:介護者のプロフィール

年齢	49 歳
関連職歴	<p>有料老人ホーム(正社員)2 年間勤務</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日勤が主、夜勤が月 6 回。</li> <li>・日勤で 4.3 人の被介護者に介護担当一人</li> <li>・夜勤では 26 人に対し介護担当一人</li> <li>・1 人で大人数を見るため身体的負荷が非常に大きい</li> <li>・「看取り」の経験や被介護者の容態急変などの精神的負荷から離職を検討</li> <li>・当時気づけなかったがバセドウ病だったと思う、体重激減 49 キロ(←56 キロ)</li> <li>・周囲の仲間にもバセドウ病の人がいた</li> </ul> <p>訪問介護事務所 (平成 27 年 4 月～令和 2 年 8 月現在)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・当初は日勤と夜勤両方</li> <li>・後に夜勤が主にな</li> </ul> <p>(依頼があったときに日勤もあり)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1 対 1 なので、身体的にはホームより楽</li> <li>・でも、バセドウ病になる</li> <li>・事務所の方針に疑問を持ち、別事務所に移籍</li> <li>・従来同様重度障がい者の訪問介護を担当中</li> </ul>

表 2:対象者の発した言葉の分析結果

状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・介護に通い始めて約 3 年経過</li> <li>・夜勤では利用者さんと 1 対 1 でヘルパーに負担がかかる(日勤ならナースと 2 人で行う)</li> <li>・陰洗は利用者さんが排便後 1 日に 1 回は行なう</li> <li>・利用者さんの身体を固定させるクッション類の位置が変わってしまうので直した</li> <li>・文字板で「ありがとう」と感謝された。 (通い始めて初めて)</li> </ul>
行動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陰洗してパッド交換</li> <li>・瞬きや眉間のしわなどから良い、悪いの感情を読み取りながらクッション類を大汗かきながら小一時間かけて一生懸命ポジショニングした</li> </ul>
感情	<ul style="list-style-type: none"> <li>・それまで、感謝とかコミュニケーションはほとんどなかった</li> <li>・会話ができない利用者さんから言葉(意思表示)は、なかなか出てこない</li> <li>・呼吸器をつけていると、首に負担がかかる。左右に身体を動かすことが、死につながるから気を付けないといけない。</li> <li>・簡単に足が上がらない。体も重いし。</li> <li>・とても驚いた。(後日同僚と話して)気持ち悪いくらい。</li> </ul>

表 3:インタビューアの推論

介護者がやりたかったこと	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陰洗を終わらせたい</li> <li>・パッド交換を終わらせたい</li> <li>・作業完了の確認が欲しい</li> </ul>
被介護者が満たしたいこと	<ul style="list-style-type: none"> <li>・体を清潔にしてくれること</li> <li>・自分の Yes/No を読み取って、身体に痛みが生じない位置に安定させてくれること</li> </ul>

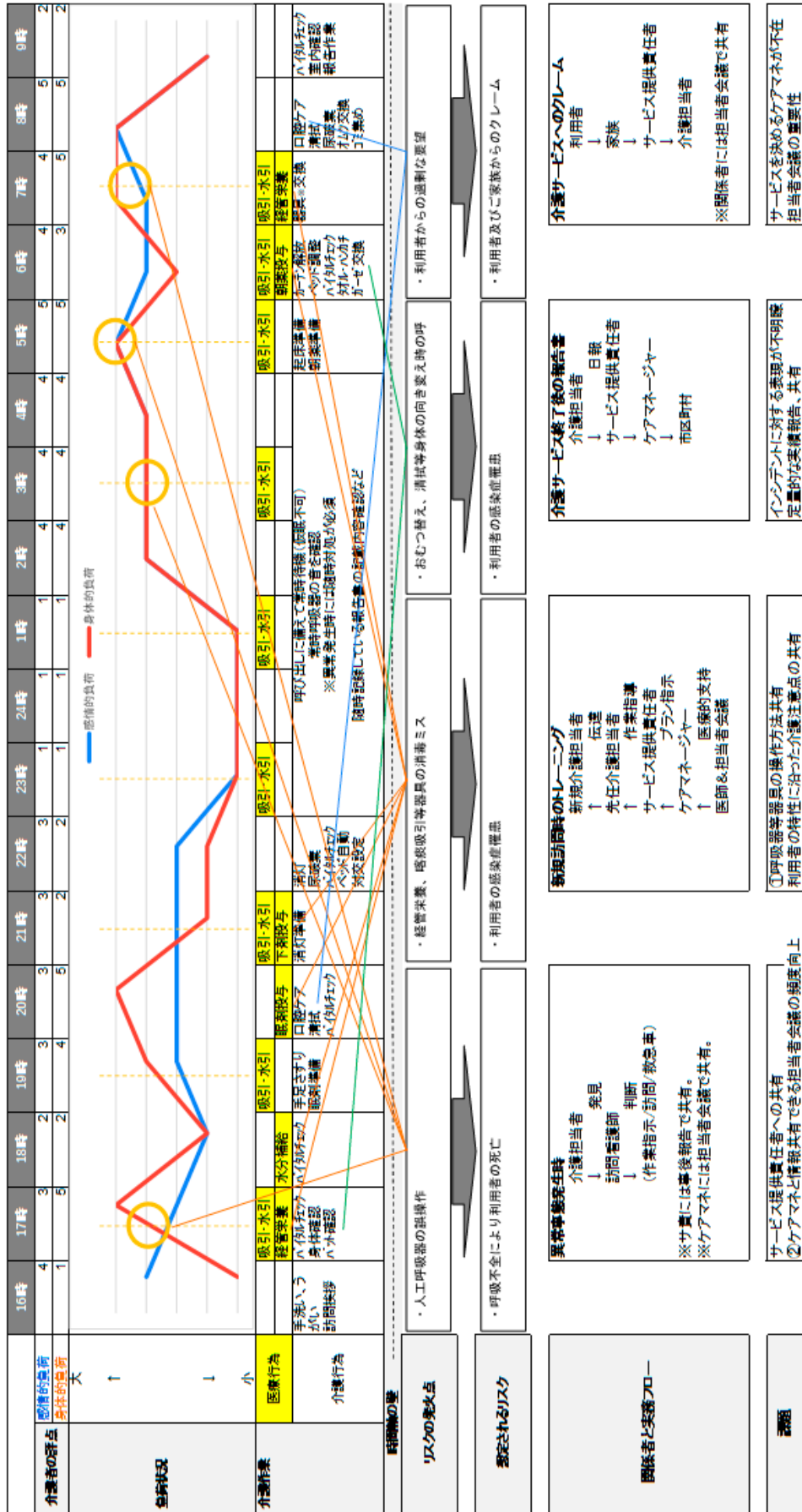


図 4: インタビューに基づくサービスチャート



# 外国人技能実習生と日本人社員との効果的なコミュニケーションを促進するサービス“DARAKE”の提案

安藤 純\*・佐々島 宏\*・高橋 祐子\*・相田 翔\*・江夏 羽寿 稀\*・  
Du CAM HONG\*・大久保 友幸\*・廣瀬 雄大\*・池本 浩幸\*

## DARAKE: A Service Design Proposal to Support Effective Communication between Technical Intern Trainees and Japanese Trainers

Jun ANDO\*, Hiroshi SASAJIMA\*, Yuko TAKAHASHI\*, Sho AIDA\*,  
Hajuki KOHKA\*, Cam Hong DU\*, Tomoyuki OHKUBO\*, Yuta HIROSE\* and  
Hiroyuki IKEMOTO\*

### Abstract

This paper proposes a new mobile application service, “DARAKE”, designed to support effective daily communication for improved productivity and efficiency between technical intern trainees and Japanese trainers. The human-centered design approach has been used for the service design of DARAKE, with a particular emphasis on mere exposure effect and business model analysis. A prototype has been developed, and then its business potential, service concept and design were evaluated by a venture capitalist and business managers. This project is ongoing, and future work is suggested to conduct pilot tests to improve the utility and applicability of the designed service.

Keywords: Human Centered Design, Service Design, Technical Intern Trainee, Business Model, DARAKE.

### 1 はじめに

我が国では、開発途上地域等での経済発展に貢献する「人づくり」に寄与することを目的として、技能、技術又は知識の移転を図るため[1]の技能実習制度が始まり、外国人技能実習生の受け入れが始まっており、現在では 30 万人を超える実習生を受け入れている。

本稿では、日本人とは異なる文化を持つ外国人との職場での交流、協働が増す中で 1993 年 4 月年に施行され創設された技能実習制度を活用して来日する外国人技能実習生に焦点をあて、日本で生じる日本人と外国人技能実習生との間で生じるコミュニケーションの取り方に伴う問題を解決するためのサービスの提案を実施することとした。

まずプロジェクトメンバーで、外国人との間での問題としてゴミの捨て方等があるが、これらの問題を抱えていた団地・行政付随団体等でのインタビュー調査を実施し、どういったことが原因で、なぜそうした問題が生じるのかをプロジェクトメンバーで検討した。その結果、日本人が来日する外国人との間で実施するコミュニケーションのとりかたについて、以下

の問題があることが分かった。

(P1) 助成金等の活用や行政側主導での対応等で、様々な対策が実施されているが、予算がつかなければボランティアで実施せざるを得ないため、継続発展性が無い。

(P2) ゴミの捨て方等は来日する外国人の母語でインストラクションが作成されているが、それぞれは文化的背景、衛生面での理由などの理解を深める記載になっていない。

(P3) 多言語でのちらしやお互いの文化を理解するといった単方向のコミュニケーションが中心であるこれらの問題の原因を検討した結果、以下のような原因があるのではないかと考えるに至った。

(A1) お互いの国の価値観の共有を一時的に深める取り組みはあっても、それを発展、継続させるためのインセンティブが欠落している。

(A2) 異文化接触のプロセスの解明では、初期の文化変容時期の体験が、異なる文化への印象を決定づけるが、こうした背景を加味したサービスのデザインがされていない。

(A3) コミュニケーションの基本である双方向性が欠けている異文化への適応については Hofstede[2]によると多幸

症,カルチャーショック,文化変容,安定した状態の4つの段階を経るとしている。

つまり外国人技能実習生の実態に合わせて考えると,来日前の期待感から,来日して異文化におけるコミュニケーションの難しさからカルチャーショックを受けた時点以降の体験が,日本における文化への感情につながることから,日本での初期の体験をいかに改善するかが重要となると考え,外国人技能実習生と日本人との間での双方向による体験を改善することで効果的なコミュニケーションを促進するサービスを人間中心デザインのプロセス,手法を用いて提案する。

## 2 人間中心デザインのプロセス

人間中心デザインは「ユーザーエクスペリエンス(UX)と使いやすさ,ユーザー価値の向上」[3]を目指し,利用状況の把握と明示,ユーザーの要求事項の明示,ユーザー要求に適合した設計による解決策の作成,要求事項に対する設計の評価,の4つのプロセスからなる。

また手法には様々なものがあるが,各プロセスで選択した手法は以下の通りである。

### 2.1 各プロセスでの分析手法

各プロセスで選択した手法は以下の内容である。

- (1) 利用状況の把握と明示では,ユーザーの問題を特定するプロセスのため,リサーチ,カスタマージャーニー分析,ステークホルダー分析を選択した。
- (2) ユーザーの要求事項の明示では,特定された問題に対する解決策を検討するプロセスのため,UX コンセプトツリー,ペルソナ,構造方程式モデルとした。
- (3) ユーザー要求に適合した設計による解決策の作成では,解決策のアプリケーションやビジネスモデルといったプロトタイプ制作であるため,プロトタイプング,ストーリーテリング,リーンキャンバスを選択した。
- (4) 要求事項に対する設計の評価では,プロトタイプの専門家による評価を選択することとした。

### 2.2 重視した手法

手法選択にあたってプロジェクトメンバーで検討した結果,重視したことには以下の2つある。

- (1) プロトタイプを使って自分たちで想定した体験が実現できているのかを確認するため,ストーリーテリングという手法を用いて映像を制作し検証した。
- (2) サービスを発展,継続させるためのインセンティブをどのように作るのかをリーンキャンバスを活用して検討した。

実際の外国人技能実習生の利用による検証については,今回の研究の過程において実施することができなかった

ため,今後の課題である。

## 3 サービスのデザインプロセス

### 3.1 リサーチ

まず調査対象となる外国人技能実習生について理解するため,外国人集住地域へ訪問し,外国人労働者と居住日本人とのコミュニケーションの促進と生活問題の解決をボランティアで実施している方々へのインタビュー調査を実施した。合わせて,外国人技能実習生に限らない日本に居住する外国人の日本人とのコミュニケーションについての調査資料,統計データを収集する目的でセカンダリ調査を実施した。

#### 3.1.1 インタビュー調査

インタビュー調査では,実際に日本で働く外国人技能実習生や外国人労働者に対して,外国人労働者,日本人が行うコミュニケーションについてのインセンティブ,日本語の会話が生活レベルの中で,どのような取り組みを実施しているのか,およびその奥にある深い考えを理解することを目的として,外国人集住団地,日本語ボランティアの現場に訪問し,日本人自治会長等へのインタビュー,ボランティア日本語教室でのベトナム人技能実習生の行動観察を実施した。

またプロジェクトメンバーの中には,日常の仕事で外国人を部下にしているメンバー,現場で外国人労働者との協働経験が多いメンバーがいたため,それらメンバーの意見,考えも参考とした。

インタビュー,行動観察の結果から,以下のことが分かった。

- (1) 外国人技能実習生の勤務時間が長いことから,日本語を職場以外で学習する機会はありません。
- (2) 職場環境以外での日本人とのタッチポイントはあまりない。
- (3) 外国人技能実習生の日本語の学習意欲は高い一方,ボランティアであるため,日本語の内容は生活日本語,教授法については我流のやり方となっている。
- (4) 実習実施機関に配属される前に送り出し機関,来日してからの監理団体での日本語教育を受けてきているが,生活日本語の習得もままならないため,日本人社員から日本語で教わる技能内容の理解不足や誤認等が生じている。
- (5) 職場で外国人を育成する場合の会社からのインセンティブはなく,育て方も個人に依存する現状にある。
- (6) 外国人集住団地では,既に居住している日本人が日本人を前提にしたルールを外国人に求める傾向があるため,日本人側の外国人労働者を受入れる姿勢が受動的または関与したがないことが問題になり,外国人との協調ができていない。
- (7) 地域での外国人居住者へのボランティアは高齢者に

依存しており、インセンティブが無く、継続的な面で問題である。

### 3.1.2 セカンダリ調査

プライマリー調査では情報量が不足することから、プライマリー調査と合わせてセカンダリ調査として外国人技能実習生に関する文献調査、デスクトップリサーチを実施した。

新宿区の調査[4]では居住外国人の 55.5%が日本人との付き合いが無い、と回答しており、その理由として「話しかけるきっかけがない」ことや「日本語を話せない」ことが大きな理由となっている。

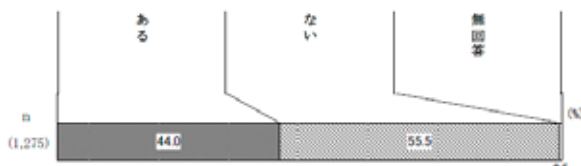


図 1. 日本人との付き合いの有無 [4]

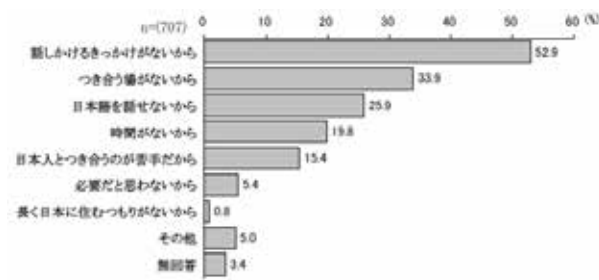


図 2. 日本人との付き合いが無い理由 (複数回答) [4]



図 3. 近所の外国人と付き合いの程度 (現在)/平成19年度との比較 [4]

### 3.1.3 統計データによる調査

サービスを提供する対象を外国人技能実習生としたが、発展的、継続的なサービスを提供する、という現状の問題から、技能実習生の中期的な増加傾向を統計データ[5]により調査した。

平成 30 年 12 月時点で「技能実習」は在留資格所持者全体の中で 328,360 人登録されている。

表 1. 技能実習の内訳 (平成 30 年 12 月時点) [5]

資格	人数(人)
技能実習1号イ	5,128
技能実習1号ロ	138,249
技能実習2号イ	3,712
技能実習2号ロ	173,873
技能実習3号イ	220
技能実習3号ロ	7,178
合計	328,360

\*イは「企業単独型」、ロは「監理団体型」を表す。

プロジェクトメンバーでの検討の結果、以下の 2 つの要因から 2025 年までの登録人数はさらに増加すると考え、過去 5 年間の在留資格別の平均成長率から、実習実施機関の経営環境、監理団体の数等の推計するための因子の前提が 2018 年 12 月時点での環境から変わらないことを前提に、5 年後には約 68 万人に達する可能性があると推定した。

- (1) 平成 30 年時点で外国人技能実習生の在留外国人に占める割合は多く、それ以前から増加している。
- (2) 外国人技能実習制度の改正で長期間の滞在が可能になっている(3号)ことは技能習得にプラスに働く。

表 2. 在留資格別の対前年成長率 [5]



年	成長率				対前年全体
	技能実習1号イ	技能実習1号ロ	技能実習2号イ	技能実習2号ロ	
5年間平均成長率	107.6%	119.1%	106.3%	114.3%	115.3%



図 4. 外国人技能実習生の将来増加の推計 (プロジェクトチームで試算)

### 3.1.4 調査から見た問題

コンビニエンスストアでの買い物、挨拶等といった生活の中で使われる生活日本語が最低限の中での外国人技能実習生にとっての日本での職場環境は、日本人社員とのタッチポイントが技能の習得と合わせて日本語の学習と成長、コミュニケーションに必要な相手の文化、考えを知る全てである。その一方、外国人技能実習生を受入れる立場にある日本人は自身の業務で忙しい中、外国人とのつき合いに前向きではない、ということがユーザー調査の結果によって分かった。さらに外国人集住地域での調査結果からの類推として、日本人のルールを外国人技能実習生に求めている可能性があると考えられる。

また職場以外での外国人技能実習生を含む外国人居住者へのサポートやボランティア活動は、人手・資金不足、高齢化により継続的支援が困難な状況にあり、調査訪問したボランティアでは、開催される日本語教室はボランティアで提供されるため、教える側の日本人が専門ではないため教材としては旅行シーン等の日常会話を題材にした内容を提供せざるを得ず、外国人技能実習生が求める職場レベルの日本語を提供できていなかった。

また今後の日本での外国人技能実習生の増加を考えると、このまま課題を放置しておく、山積され、大きな社会問題になりかねないと考えた。

こうしたことから多くの外国人技能実習生にとっては日本での生活に慣れていない中、残業が多く、疲労困憊であるため、実際には仕事以外での時間がとれないことが多いことから、日本人との関係は「日本社会における本人の立ち位置を示すもの」[6]と指摘されているように、外国人技能実習生と多くの時間を共有する日本人、外国人技能実習生がコミュニケーションを図れる手段を作ることがこれらの問題に対する解決策となりうると考えられる。

上記調査結果から見た問題への対策として、「相手への好感度が接触回数に応じて高まる」という単純接触効果[7]を活用し、日本人と外国人技能実習生との双方向のコミュニケーションを効果的に、かつ強制的な会話のきっかけを作り、良い体験を作ることによってタッチポイントの継続機会を作ることによって従来の体験を改善し、問題を解決することとした。

## 3.2 カスタマージャーニー分析

### 3.2.1 ターゲティング

外国人技能実習生というセグメントに絞ったが、さらに具体的な人物像を特定するため、外国人技能実習生をさらに細分化した。

細分化するにあたっては、外国人技能実習生が来日して以降も日本語の学習が必要となっているフィールド調査での結果から、昨今増加している国籍の外国人技能実習生で、日本語習得への難易度が高いセグメントをターゲットとした。

その結果、国別の出身地のデータから技能実習生の属性として大半を占めているアジア出身者、中でも昨今増加しているベトナム国籍の外国人技能実習生に絞り込むこととした。該当するベトナム国籍の外国人技能実習生は平成 30 年 12 月時点で約 16 万人(2014 年 12 月比 4.8 倍)である。

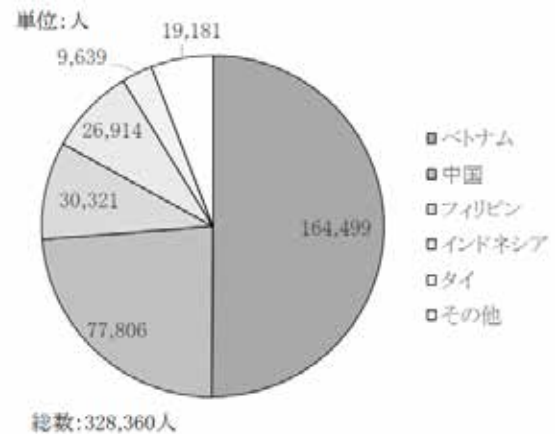


図 5. 技能実習生の出身国分布[5]

### 3.2.2 カスタマージャーニー調査からの分析

ターゲティングの結果から、ベトナム人技能実習生に絞り込みカスタマージャーニー調査を実施した。内容は、ベトナム人技能実習生が現地の送り出し機関に登録するまでの活動、来日し実習実施機関で技能実習期間が開始するまでの活動、実習実施機関での期間が満了するまでの活動があることが分かった。これらの活動の時期での技能実習生の行動や思考、感情をより深く理解するため、これらの期間を通じたカスタマージャーニーを具体的な調査とともに実施した。

来日間もない期間での問題に注力してはいるものの、その原因となる課題がより初期の時点に遡るか否かも確認が必要となるため、送り出し機関へ応募する時点まで遡って調査した。

カスタマージャーニーから読み取れるのは、実習実施機関に配属になる前に送り出し機関、来日後の監理団体での日本語教育を受けているものの、職場レベルの日本語の理解が十分ではないまま実習実施機関に配属されているため、作業現場では必要最低限なコミュニケーションとなっていることが分かった。

そこでプロジェクトチームで問題の解決に向けて検討したのは、次の 3 つの論点である。

- (1) 来日してからの実習実施機関でのコミュニケーションの改善に注目して解決策を検討する。
- (2) 現地での日本語教育にも原因がある可能性があり、そこから問題の解決策を検討する。
- (3) 来日してからの日本語教育に注目して検討する。

プロジェクトチームでの検討の結果、ステークホルダー分

析も行う中で、以下の3つの理由から現地での日本語教育を受ける時点起点としてサービスを検討することとした。

- (1) 日本人と外国人技能実習生の間でのコミュニケーションの問題は現地での間違った制度の理解や現地で受ける日本語教育の内容にも問題があるため、実習時に絞ると根本的な原因の解決につながらない。
- (2) ユーザーを限定してしまうとサービスとしての発展、継続に必要となる収益構造を支えるユーザー数の獲得に向けたタッチポイントが少なくなる。
- (3) 外国人技能実習生が抱える問題の解決は、直接的には日本人の先輩社員の良い体験につながるが、同時に間接的にも実習生を取り囲む様々なステークホルダーにも良い体験を提供するため、良い体験を享受するユーザーを絞り込みすぎないほうが良い。

行動プロセス	来日前	来日時	受入企業配属
タッチポイント	技能実習のセミナー 監理団体職員	監理団体職員	受入企業の経営者 受入企業の先輩社員
アクティビティ	・技能実習に関するセミナーへの参加 ・日本語・文化の勉強	・日本語・文化の勉強	・技能実習に取り組む
感情	お金を稼いで、スキルアップできるなら技能実習に挑戦したいな！ そのために日本語と文化を一生懸命勉強しよう。	日本語の読み書きは難しいけど、会話は慣れてきたから少し安心かな。 そういえば、どこの会社に配属されるのかな…？	社員の人は心配事を聞いてくれなくて、自分のことを分かってくれない。自分からは言いにくい…。会社辞めようかな。
課題・気づき	日本語力を測るテストは特に無く基準があいまい	来日時でも実習生は受入企業先が分かっていない	技能実習生に対する受入企業側のケアが不足

図 6. カスタマージャーニー

### 3.3 ステークホルダー分析

ベトナム人技能実習生が来日し、実習実施機関で技能習得し、帰国する間のステークホルダーを把握するため、ステークホルダーマップを作成した。

マップを作る中で、先輩日本人社員との間でのコミュニケーションに起因する問題が以下のような環境で生じていることが見えてきた。

- (1) 日本語の会話・理解力が十分でない外国人技能実習生が業務上の時間的制約があることから、外国人技能実習生が「分からない」を日本人の先輩社員へ正確に伝えることが難しい。
- (2) 先輩社員も業務上の時間的制約がある。
- (3) 教える内容がなかなか理解されていないことを先輩社員も理解している場合がある。
- (4) 先輩社員に対するインセンティブは無いように思われる。
- (5) こうした環境の背景に、成果を期待する経営者の存在も見えてきた。

そのためプロジェクトチームでは、当初技能実習生、先輩社員、経営者をペルソナとして、体験コンセプト、解決策の具体案を検討しようとした。

しかし検討を進めるうちに、3人のユーザーに絞り込んだ場合には事業計画が小さくなり、継続的なサービスの提供が難しくなることが判明した。そこで、体験コンセプトを見直し、ステークホルダーを広義に捉え、技能実習生と各プロセスで関わる関係者との間の相互主観に基づく体験をデザインすることとした。

ステークホルダー分析のために利用するマップの作成では、どの断面で作成すべきか迷うところであるが、プロジェクトメンバーとの検討の結果、新規事業を前提にする本稿のテーマでは、大きな構図でステークホルダーを捉え、俯瞰的に描いたほうが良いと考える。



図 7. ステークホルダーマップ

### 3.4 解決する課題の設定

リサーチ、カスタマージャーニー分析、ステークホルダー分析の結果から、解決する課題を「疲労困憊の技能実習生が直面する日本での仕事・生活での“わからない”」を解決する。「受入企業の忙しい日本人先輩社員がなかなか理解できない外国人の何が「わからない」のか“わからない”」を解決する。「外国人を即戦力化したい経営者が経験する成長に向けたコミュニケーションの取り方が“わからない”」を解決することとした。

そこで外国人技能実習生が「分からない」を伝えることができ、その結果スキル習得につながるように仕事の日本語を継続的に学習できる、また日本人先輩社員も外国人技能実習生と話すきっかけが必然的に行われるサービスの検討によって、問題を解決することとした。

### 3.5 ペルソナの設定

#### 3.5.1 プロトタイプ制作方針

プロジェクトメンバーでのプロトタイプ制作の方針検討の中で、提供するサービスのデザインとあるタッチポイントで利用するアプリケーションのデザインのユーザーの前提に2つの考えがあった。1つは、プロトタイプで構築するアプリケーションの範囲として、狭義の登場人物である技能実習生、日本人先輩社員と経営者に絞る考えと、2つは広義のステークホルダーを考慮に入れる考えであった。検討の結果、アプリケ



ーションについては、実際に利用する3ユーザーを前提にプロトタイプ制作を行い、来日前、監理団体といったステークホルダーの関与は、ビジネスモデル検討でのユーザーとして考慮し、サービスメニューや流通ルート等をデザインする方針とした。

### 3.5.2 アプリケーション用のペルソナ分析

ペルソナ設定に利用される手法がペルソナ分析である。ベトナム国籍の外国人技能実習生というターゲットセグメントからサービス利用者の代表イメージとしてのペルソナを構築するためにペルソナ分析を実施した。設定するペルソナはプロトタイプの方針およびステークホルダー分析の結果から狭義のペルソナとし、①技能実習生受入会社の経営者、②受入会社の先輩社員、③ベトナム人の技能実習生とした。

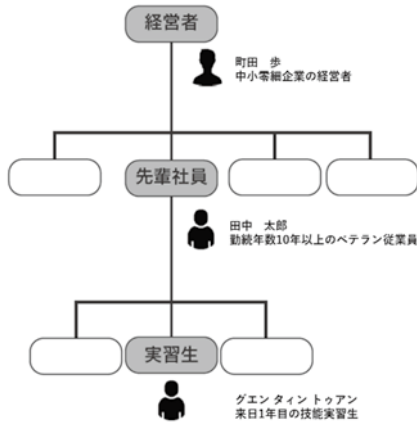


図 8. ペルソナ関係図

カスタマージャーニーマップでの分析結果から、より具体的な作業場所の状況、先輩社員の外国人との職場での経験年数、経営者の状況や制度を利用とした背景理解等の登場人物の輪郭を明確にすることができた。それらの情報から、体験コンセプト、プロトタイプ用アプリケーションの前提とするペルソナの特徴を設定した。

<p>①</p> <p>町田 歩 (54歳) 受入会社の経営者</p> <p>外回りの営業も兼ねているため、従業員と実習生の様子を確認できない。実習生受入後も生産性が向上しない。得意先からの注文数を増やし利益を上げたいので、実習生には早く仕事を覚えてもらい、長く働いてほしい。</p>	<p>②</p> <p>田中 太郎 (35歳) 受入会社の従業員(先輩社員)</p> <p>外国人と接する機会が無かったため、日本語が通じづらいほか、良い教え方や接し方が分からず苦労している。会社内の人手が足りないので、実習生には仕事を早く理解してほしい。</p>	<p>③</p> <p>グエン タイントップ (27歳) 来日一年目のベトナム人実習生</p> <p>習った日本語があまり定着していない。実習では先輩に怒られたくないので、分かったふりをしてみることが多い。母国よりも高給で安全な日本で、仕事を覚えてもっとお金を稼ぎたい。母国でも日本語が話せれば給料が上がるので、日本語も上手くなりた。</p>
--	--	---

図 9. 設定されたペルソナ

## 3.6 体験コンセプトの創出

### 3.6.1 コンセプト検討

これまでのインタビュー調査やセカンダリ調査、ステークホルダー分析の結果から、このサービスが利用される各タッチポイントでの体験を、主要なペルソナ毎に UX コンセプトツリーを作成して、それらの体験を通じて提供したい価値を検討した。

UX コンセプトツリーを利用して本質的ニーズの検討を実施した。本質的ニーズとしては、主に技能実習生は直面する日本での仕事・生活での「わからない」を解決したい、受入企業の日本人先輩社員は外国人が何を「わからない」のかわからないを解決したい、外国人を即戦力化したい経営者は成長に向けたコミュニケーションの取り方が「わからない」を解決したい、という本質的ニーズがあると考えた。

そのうえで、本質的ニーズを実現する要素に分解し、以下の5つを実現方法の中心となる考えとした。

- (1) 日々の職場での時間を活用する。
- (2) 職場でのお互いの「わからない」を可視化する。
- (3) 必然的に技能実習生と先輩社員がコミュニケーションをとらなければならない環境、きっかけを作り、単純接触効果を生み出すシーンを作る。
- (4) 実習生だけでなく送り出し機関職員、監理団体職員も技能実習生の成長が分かる。
- (5) 日本語の理解の成長がわかり、実習生の日本語を学習する動機付けにつながる。

その利用の結果、このサービスを使うことで日本人社員が外国人技能実習生と会話をするきっかけを増やし、日本人の外国人に対するマインドセットを変え、技能実習生の成長につながる、といった価値を、サービスを通じて提供する体験コンセプトとした。

合わせてこの体験コンセプトの実現状況が測定可能とするため構造方程式モデルも作成し、アプリケーションのログで計測可能とし、およびビジネスモデル側の指標とし、コンセプトの検証が可能となるようにモデルを策定した。

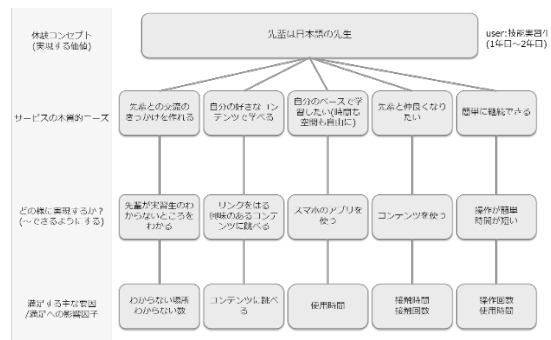


図 10. 利用シーン別のサブ体験コンセプト



図 11. 構造方程式モデル

### 3.6.2 サービス名

本サービスが技能実習生と先輩の日本人社員双方がそれぞれ感じている分からないこと「だらけ」を解決するためのサービスであることから、このサービスを伝えるキャッチコピーを「DARAKE」とした。

### 3.6.3 コンセプトの比較

体験コンセプトの検討と合わせて、定義する体験コンセプトが既に同様のサービスとして提供されているのか、差別化できるユニーク性は何か、を明確にするため、体験コンセプトと解決策、今回の場合にはアプリケーション、の比較分析を実施した。分析にあたり、プロジェクトメンバーで競合となりうるサービスを調査し、コンセプトの前提となる利用シーンや技能実習生の期待、経営者、先輩社員の期待や状況を観点として各サービスのコンセプトを推測し、推測コンセプトで比較分析を実施した。

分析の結果、以下のことが分かった。

- (1) 技能実習生が日本語を学習するためのサービスはたくさんあるが、多くは技能実習生が1人でテキストに向かい、個人の空いた時間を利用して日本語を学習するサービスやコンテンツが多い。
- (2) 本稿で提案するサービスのように職場および職場での時間を活用し、日本語学習だけではなく、コミュニケーション、それを通じた技能習得を前提にしているサービスがない。

このことから、本サービスの体験コンセプトの内容は差別化ポイントがあることが分かった。

## 3.7 アプリケーションのプロトタイプ制作

### 3.7.1 機能検討(体験コンセプトの機能展開)

体験コンセプトで検討した5つの要素は、利用シーン内容と合わせてプロトタイプの機能として実装することとなった。機能展開した内容は以下の内容である。

- ①ログイン
- ②利用者登録
- ③自己紹介機能

④学習用ビデオ登録、閲覧機能

⑤ビデオ学習での「分からない」をポストする機能、確認する機能

⑥登録済ビデオ以外に興味のある web サイトの URL を登録する機能、登録した内容を確認する機能

⑦「分からない」内容を教わった後の先輩社員への感謝をコインとして伝える機能

⑧登録された実習生からの感謝のコインを確認する機能

⑨先輩社員間のコイン枚数を比較できる機能

⑩実習生個人の「分からない」数の累計値がグラフとして見ることができる機能

### 3.7.2 非機能の検討

アプリケーションはサービスを提供する側での運用効率や初期のインフラ投資を抑え、採算分岐点を下げる目的で、クラウドの基盤を利用する前提とした。

### 3.7.3 プロトタイプ制作

プロトタイプアプリケーションの制作として利用したのは Adobe XD である。ワイヤーフレームを作り、各画面でのボタンを押すと実際に遷移先の画面に移動するよう、なるべく本番に近いイメージを制作した。

プロトタイプ制作にあたっては、体験コンセプトを踏襲しつつ、職場で利用できるデザイン、利用することを楽しめるデザイン、をアプリケーションとするためのデザインコンセプトとした。そのデザインコンセプトに沿って具体的なデザインを検討し、以下のような具体的な動き、表現が機能とは別に追加された。

- (1) 技能実習生が先輩社員から教わった日本語、技能が分かったら、分かった感謝の気持ちを技能実習生から先輩社員に伝える表現としてコイン交換を行う。
- (2) コインの交換時には、交換されたコインが先輩社員のアプリに賽銭のようにコインが画面の上から下に移動し、その後コインが回転することで次にどういったことが起こるのか期待を持たせる。
- (3) 1 交換あたりのコインの枚数をあえてインフレさせ、1 交換で 1 万コインが先輩社員に入るようにし、何十万コインも容易に獲得できるようにし、先輩社員のモチベーションに働きかけるようにする。
- (4) 色調は職場で使用することから、文字が分かりやすいよう白を背景として視認性を高めつつ、ヘッダーにはブルーを採用し、業務用としての意識を意図的に感じさせる。



図 12. プロトタイプワイヤーフレーム



図 13. プロトタイプの画面(抜粋)

※左は技能実習生用、右は先輩社員用

### 3.8 ストーリーテリングによる体験の検証

プロトタイプが実際に利用されるシーンにおいて体験コンセプトで本質的ニーズが実現可能であるかを検証するため、プロジェクトチームでプロトタイプを活用したストーリーテリングを映像で作成し、利用シーンでの検証を実施した。

実際に映像としてシーンを再現してみると会社の中での利用を強制する状況、インセンティブを与える利用者環境内の仕組みづくりが重要であることが分かった。



(技能実習生利用時シーン)



(実習生と先輩社員とのコイン交換シーン)

図 14. 映像を活用したストーリーテリング

### 3.9 リーンキャンバスでのビジネスモデルの検討

今後の技能実習生の市場推定は先に述べた前提で、その全体数に対して何を提供し、価格をいくらし、どうやって提供するのかを検討するため、リーンキャンバス[9]を活用した。リーンキャンバスの利用は初めて提供するサービスであるため、最初の利用者の設定が重要だと考えたからである。

#### 3.9.1 提供するサービスのメニュー検討

プロトタイプではアプリケーションを制作したが、アプリケーションを活用して提供するサービスとしてはカスタマージャーニー、ステークホルダーマップの分析の結果から、送り出し機関での日本語学習の結果を本アプリケーションに登録する時点が初期の利用時点に遡ることと設定した。そのうえで、実習生が利用する前のサービス、利用後のサービスをプロジェクトメンバーで検討し、以下のサービスメニューのアイデア出しを実施した。

##### (1) 利用前サービスのメニュー

日本語レベルの登録(送り出し機関, 監理団体)

##### (2) 利用時サービスのメニュー

導入設定サービス

初期設定サービス

オプションサービス(オリジナル日本語コンテンツ制作)

##### (3) 利用後サービスのメニュー

利用状況フォロー(利用状況の報告と助言)

有料コンサルティング(クラウド上のログから、コミュニケーションがうまく改善しているパターンを抽出して、コンサルティングを実施する)

#### 3.9.2 販売チャネル、初期利用者の想定及び販売数量の検討

2018年12月時点の統計データ[6]によれば、1都3県で活躍する外国人技能実習生は約5万人登録されている。

新規に提供するサービスという前提で考えた場合、技能実習生が多い監理団体に注力してユーザー数を獲得する方針、技能実習生が多い地区に集中する方針の大きく2つの方向性が考えられるが、プロジェクトチームで検討した結果、多い地区に集中することを選択した。理由は、事業収支で考えた場合、広域に流通ルートを求めると販売費がより必要となり採算分岐に影響が出ること、新規サービスの立ち上げでは初期のユーザーへのサポートがサービスの見直しに必要で、そのためによりユーザーに近いことが重要となる、と考えたからである。

そこで近隣地区に集中する方針で関東地区の技能実習生に対する事業収支上の獲得ユーザー数についてプロジェ

クトチームで検討し、監理団体型で技能実習生を受入れる実習実施機関の1社あたりの人数は3名程度であると推定されるため、目標設定として530社程度を損益分岐点として設定し、1600人と設定した。

現実的には1600人の技能実習生が、既存のビジネスを実施しているのであれば、獲得可能か、それ以上の想定ユーザーとコンタクト可能か、この時点で検証すべきところであるが、新規事業を前提に考えたため、目標を最初に設定することとした。

そのうえで、530社または1600人を実現するための販売方針を検討することとした。検討した結果、監理団体を販売チャネルとすることがアイデアとして出たが、監理団体が流通チャネルになることでのインセンティブ施策は必要となったが、具体的な監理団体へのタッチポイントをいかに確保するのかの検討までには至らなかった。

今後は、都道府県別の監理団体登録簿から、個別具体的な方法を検討する必要がある。

### 3.9.3 誰にとっての価値かを決め価格を設定

事業収支の検討にあり、先のサービスメニュー、想定ユーザー数(社数)を前提に価格の検討を同時並行で実施した。

初めに購入者の検討を行った。このサービスを利用することで現場の問題の解決、技能実習生の成長を期待するが、これらの価値は誰にとっての本質的な価値になるのかを検討した。技能実習生が成長することで、受入の実習実施機関での仕事量が増加することがメリットとして考えられるため、購入者を中小企業の経営者とした。

そのうえで価格の検討を行ったが、支払い方についてはフリーミアム、サブスクリプション、分割、一括買い上げ等の方式があるが、継続的な利用を目的としていること、技能実習生を受入れる企業規模が中小企業を想定していることから、初期費用の負担を軽減するため、サブスクリプション方式とし、月次課金、利用する実習生毎の課金とし、ユーザー企業の初期投資額を無くし、800ユーザー(技能実習生・従業員・経営者含まず)で黒字化を目指す回収シナリオを前提に1ユーザー月額利用料1,000円とした。

また実際の利用者は技能実習生となるが、来日時にスマートフォンを持っていないことからスマートフォンの代金を上乗せして課金し、提供することとした。

## 4 外部評価者による評価

### 4.1 監理団体職員経験者による評価

元監理団体運営者で外国人技能実習生を雇用した経験のある経営者の方による評価を受けた。評価結果は「サービスを利用したい」との評価であった。理由は、受入れた現場での日本語の問題はあることから、提供するサービスの前提

である課題の把握と解決策に共感していただいたことによる。



図 15. 外部評価者による評価(体験コンセプト評価時)



図 16. 外部評価者による評価(プロトタイプ構築後評価)

### 4.2 事業開発、評価経験者による評価

サービス「DARAKE」のプロトタイプ制作後は、実際の投資を伴うアプリケーション開発となる。そこで検討してきた内容について、外部評価者として事業会社の事業開発部門の方、ベンチャーキャピタルの方にサービス全体を評価してもらった。

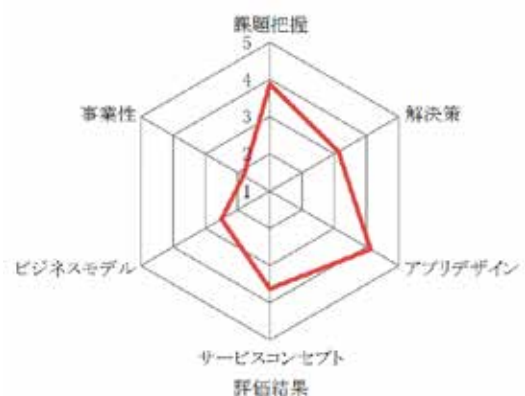


図 26. 評価結果

評価結果は、課題設定(把握, 解決策), 体験コンセプト, アプリデザインはプラス評価、事業性は指摘事項ありという評価をいただいた。

主な指摘事項としては以下の内容であった。

- ・購入者の再検討が必要である。

- ・販売計画の再検討, 提供価格の見直しが必要である。
- ・サービスを継続して利用してもらうための工夫が必要である。
- ・サービスインの前に改善事例の実績づくりのため 1 年間の事業開発期間が必要である。
- ・新規事業として初期に必要な費用の見直しが必要である。

## 5 考察と結論

### 5.1 考察

本稿では社会問題の解決に人間中心デザインのアプローチを適用してデザインしたサービスを提案した。具体的には、初めて来日する片言の日本語しか話せない外国人技能実習生が、日本人社員から日本語で教わる技能内容の理解不足や誤認等の外国人技能実習生側が抱える問題、日本語が良く分からない外国人に教える立場の日本人社員側で抱える問題、外国人技能実習制度を活用する経営者が抱える外国人技能実習生の成長が見えないこと、といった問題の解決を、外国人技能実習生向けのサービスビジネスとして提案した。

外部評価者の評価結果から、ユーザーが抱える問題の特定とプロトタイプを含む解決策の提案までは手法や手法を活用するときの考え方についての妥当性があると考えてもよいと思われる。

そこでユーザーが抱える問題の特定および解決策の検討で明らかになったことをまとめると、以下の 4 つになる。

(1) デザインするサービスは、問題の周囲にいるステークホルダーの協力を引き出すための仕組みが必要であり、そのためにユーザーとステークホルダーの両者が良い体験をするためのデザインが必要である。

(2) サービスを利用するユーザーの主観的な体験を改善するだけでは体験のデザインが不足している。

(3) 当事者とステークホルダー間の累積的な体験を改善するため、体験から得られた価値がどのようになっているのかをモニタリングできるデザインが必要である。

(4) さらに、社会問題の解決には時間が必要となることも多いことから、提供を持続するために適正な収益の確保ができる仕組みのデザインが必要である。

つまり人間中心デザインで新しいサービスをデザインするには、ユーザーの主観的体験だけをデザインするのではなく、先行する研究でもあるように、社会問題に関係するステークホルダー間での相互主観[10]を前提にした体験をデザインすることが望ましいと言える可能性がある。

### 5.2 結論

外国人技能実習生, 日本人先輩社員のコミュニケーション

を促進し、日本語習得, 技能習得を実現するサービスの提案を実施した。人間中心デザインではワークモデル, カスタマージャーニーマップやステークホルダーマップの作成を通じてサービスのデザインが検討されることが多い。本稿では人間中心デザインを同様に利用しつつ, 新規サービス, 新規事業開発を前提に活用し, 手法をビジネスモデルにまで広げることで, 適正な収益の確保と持続的な仕組みのデザインが可能となった。

外部評価者の結果にもあるように, ユーザーの問題の特定と解決策の提示については評価を頂いているが, 事業のデザインについて改善の余地が残る。今後, 開発されたサービスをコミュニティでのパイロットを通じて, ステークホルダー間で享受される体験の有効性を検証し, 改善を目指すことしたい。

## 6 謝辞

本研究の評価にあたり多くの示唆をいただいたココヨ株式会社事業開発センターの田中様, 和田様, 川崎様, 株式会社 SX キャピタルの遠藤様に感謝の意を表す。また外国人との共生に関するインタビューに対応していただいた方, セカンダリ調査にご対応いただいた行政の方ほか, 本研究にご協力いただいた皆様に感謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省, 外国人技能実習制度について,  
[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou\\_roudou/jinzaikaihatsu/global\\_cooperation/index.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/jinzaikaihatsu/global_cooperation/index.html), 2020. (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [2] ホフステード, “多文化世界 – 違いを学び未来への道を探る”, 有斐閣, 2013. (日本語著書)
- [3] 人間中心設計推進機構, HCD のプロセスと手法,  
[https://www.hcdnet.org/hcd/column/hcd\\_06.html](https://www.hcdnet.org/hcd/column/hcd_06.html). (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [4] 新宿区, 平成 27 年度新宿区多文化共生実態調査報告書, pp.60, 66, 160, 平成 27 年 12 月.
- [5] 法務省, 在留外国人統計(旧登録外国人統計)統計表,  
[http://www.moj.go.jp/housei/toukei/toukei\\_ichiran\\_touroku.html](http://www.moj.go.jp/housei/toukei/toukei_ichiran_touroku.html), 2020. (visited on 2020)(ウェブ参照)
- [6] 落合美佐子, 外国人研修生・技能実習生の生活実態と意識～語りの中から見えてくるもの～, 群馬大学国際教育・研究センター論集, 第 9 号, pp.51-68, 2010. (日本語論文誌)

- [7] R.B.Zajonc, “Attitudinal Effects of Mere Exposure,” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 9, No. 2, pp. 1-27, 1986.
- [8] アッシュ・マウリヤ, *RUNNING LEAN —実践リーンスタートアップ*, オライリージャパン, 2012.
- [9] 山内裕, 佐藤那央, “サービスデザイン再考～相互主観性からの視座～”, *マーケティングジャーナル*, Vol. 35, No. 3, pp. 64-74, 2016. (日本語論文誌)



# スタートアップを加速させるための仕組みに関する 高等専門学校出身者へのインタビュー結果

板倉 宏昭\*・藤田 正典\*\*

## Results of Interviews with Colleagues who Experienced Colleges of Technology for Mechanism to Accelerate Startup

Hiroaki Itakura\* and Masanori Fujita\*\*

### Abstract

We interviewed young colleagues who experienced colleges of technology who are expected to play an essential role in the industries, in order to investigate the following two issues: (1) what is necessary to develop graduates of colleges of technology into human resources who can take on the active and creative role of start-ups, and (2) what Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT) needs to take to strengthen mutual cooperation with colleges of technology. In addition, we studied to get lessons and suggestions about education that are effective for realizing start-ups from the perspectives of theory and practice, and academia and business. In this paper we will report the result of the interviews, and provide recommendations on efforts to accelerate collaboration between AIIT and the technical colleges and mechanisms to accelerate start-up ecosystems.

**Keywords:** Innovation Management, Start-up Ecosystems, Theory and Practice, Academia and Business, College of Technology, Advanced Institute of Technology

### 1 はじめに

イノベーションを推進する上で、スタートアップが生み出されるスタートアップ・エコシステムの構築は重要な課題である。さらに、スタートアップ・エコシステムの促進に向けて、イノベーションを通じて社会に価値を生み出す活動や人材育成を加速させる仕組みについて明らかにすることは重要である。

本稿では、産業界での活躍が期待される人材を育成する高等専門学校(以下、「高専」)の出身者にインタビューし、以下の事項について調査する。

- (1) 高専の役割が実践的・創造的技術者の養成へと変化するなか、高専出身者を、実践的・創造的技術者としてスタートアップを担えるような人材に育成するためには何が必要か
- (2) 高専の進学率が上昇するなか、専門職大学院である東京都立産業技術大学院大学(以下、「産技大」)が高専と連携を強化するためには何が必要か

さらに、「理論と実践」および「学術と実業」の観点から、これらの調査を通じて、スタートアップ実現やスタートアップ実現に有効な教育に関する教訓や示唆を得ることを目指す。

本稿は、スタートアップ・エコシステムを促進させる仕組みについての研究に向けた予備的調査であるが、インタビュー

の結果は、理論と実践、学術と実業の観点で示唆に富むものであり、インタビューの結果を踏まえて、高専と産技大の連携を加速させる取り組みやスタートアップを加速させる仕組みについて提言を行う。

以下、本稿で行った調査の背景、および調査方法について述べた後、調査結果について報告し、結果の考察と提言を行う。

### 2 調査の背景

#### 2.1 スタートアップ・エコシステムの加速

統合イノベーション戦略 2020 では、重点的に取り組むべき施策として「国内外の課題を乗り越え成長につなげるイノベーションの創出」を挙げ、「スタートアップ・エコシステム拠点都市の形成とスタートアップ支援政策の一体的な推進」を行うとしている[1] [2] [3]。

一方、東京都では、スタートアップ企業の成長と起業促進のため、「スタートアップ・エコシステム 東京コンソーシアム」を設立した。政府の動きにも連動した以下の活動を行うとしている。

- (1) 東京におけるスタートアップ・エコシステムの形成促進
- (2) 産学官によるスタートアップの創出や成長促進

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* 政策研究大学院大学, National Graduate Institute for Policy Studies



ここで、「エコシステム」とは、「ベンチャー企業や大企業、投資家、研究機関など、産学官の様々なプレイヤーが集積または連携することで共存・共栄し、先端産業の育成や経済成長の好循環を生み出すビジネス環境を、自然環境の生態系になぞらえたもの」である[4] [5].

これらの活動は緒に就いたばかりであり、今後具体的な成果が望まれるが、大学や研究機関においては、イノベーションを通じて社会に価値を生み出す活動や人材育成を加速させる仕組みについて明らかにすることが望まれる。

本稿では、産業界での活躍が期待される人材を育成するために実践的教育を行う高専にフォーカスし、専門職大学院である産技大との連携も考慮しつつ、上述の社会に価値を生み出す活動や人材育成を加速させる仕組みについて調査・考察する。

## 2.2 高等専門学校の充実

高専は、中堅技術者の養成に対する産業界からの要請に応えて、1962年に制度化された。5年間一貫の効果的な実践的専門教育を行い、戦後復興期、高度経済成長期を経て今日まで、我が国の産業を支える技術者の養成を担ってきた[6].

一方、我が国が経済的・産業的に成熟を迎えるという環境変化の中、高専にも以下のような変化がみられる。

- (1) 高専の役割に関して、中堅技術者の養成から、実践的・創造的技術者の養成へと変化
  - (2) 高専本科の卒業生の進路に関して、企業への就職から、専攻科や大学等へ進学・編入へと変化
- (1)については、高専を卒業した技術者に求められる資質・能力は、従来は生産工程における技術者であったが、環境の変化により、研究・開発や、社会課題の解決までに及ぶようになってきた[6]. さらに2008年には中央教育審議会答申において、本科・専攻科の位置づけが明確化され、要請すべき人物像の方向が示された[7]. また(2)については、1976年の技術科学大学の設置、1991年の専攻科制度の創設後、高専本科卒業後に進学を希望する学生が増加している。

これらの変化のうち、(2)については、2016年時点では、高専全体で本科卒業生の6割は従前のおり就職しているが、4割近くが進学するに至っていることなどの現状が明らかになっている[6]. 一方、(1)については、方針がどのように教育に反映され実現されているのかについて十分に明らかにはなっていないとはいえない。

## 2.3 産技大のミッション

東京都立産業技術大学院大学(産技大)は、2003年に創設された「専門職大学院」制度に基づく大学の1校である。専門職大学院は、高度専門職業人の養成に目的を特化し、

理論と実務を架橋した教育を行うことを基本としつつ、実践的な教育を行っている[8]. とりわけ産技大では、起業・創業・事業承継などを通して未来の価値づくりを担う「事業イノベーター」を育成することを目指しており、東京都立の大学院大学として、以下の3つをミッションとしている[9].

- (1) 東京の産業振興に資する高度専門職人材(プロフェッショナル)の育成
- (2) 高専と連携した9年間一貫教育・複線型教育システムの実現
- (3) 産業振興にかかわるシンクタンク機能

これらのうち、特に(2)のミッションについて焦点をあてると、産技大では、全国の高専専攻科を卒業した学生の受け入れ態勢を整えるとともに、ものづくり産業を担う多様なレベルの人材を輩出するために都立産業技術高専との連携し9年間一貫教育・複線型教育システムの基盤を整えている。しかし、これまでのところ高専専攻科の卒業生の受け入れ実績は十分とはいえず、高専との連携は重要な課題である。

## 2.4 本稿の目的

本稿の背景にある一連の研究活動の目的は、スタートアップ・エコシステムの促進に向けて、イノベーションを通じて社会に価値を生み出す活動や人材育成を加速させる仕組みについて明らかにすることである。

本稿の目的は、これらの一連の研究の予備的調査として、産業界での活躍が期待される人材を育成するために実践的教育を行う高専の出身者にインタビューし、以下の事項について調査することである。

- (1) 高専の役割が実践的・創造的技術者の養成へと変化するなか、高専出身者を、実践的・創造的技術者としてスタートアップを担えるような人材に育成するためには何が必要か
- (2) 高専の進学率が上昇するなか、専門職大学院である産技大が高専と連携を強化するためには何が必要か

さらに、本稿では、専門職大学院制度が掲げる「理論と実務を架橋した教育を行う」という立場から、理論と実践、学術と実業の観点から、これらの調査を通じて、スタートアップ実現やスタートアップ実現に有効な教育に関する教訓や示唆を得ることを目指す。

## 3 調査方法

### 3.1 インタビューの対象者

インタビュー対象者は、都立産業技術高等専門学校(都立高専)、国立木更津高等専門学校(木更津高専)、国立豊田高等専門学校(豊田高専)、国立奈良高等専門学校(奈良高専)の4校出身で、その後の経歴も様々な次の合計8名の高専出身者である。

- (A) スタートアップ企業 共同発起人。(豊田高専 1998 年入学, 37 才男性). 本科中退後, 起業し現職. 22 才で日本大学法学部に入学し, 卒業.
- (B) 一橋大学 特任講師(豊田高専 1998 年入学, 37 才男性). 本科卒業後, 神戸大学経済学部編入, 一橋大学大学院修士課程・博士課程を修了し, 複数研究機関などを経て, 現職.
- (C) フリーランス・プログラマー(木更津高専 2003 年入学, 33 才男性). 本科卒業後, 組み込みソフトウェア会社に就職し, 22 才で専攻科へ入学し修了. その後, 公務員, 派遣エンジニアを経て, 現職.
- (D) フリーランス・イラストレーター, 兼大学生(木更津高専, 女性). 本科中退後, 現職. その後, 大学に入学し, 在学中.
- (E) 東京大学大学院学際情報学府修士課程, 兼フリーランス・エンジニア(都立高専 2011 年入学, 25 才男性). 本科卒業後, 埼玉大学工学部に編入, 在学中にフリーランス・エンジニアとして活動を開始. その後, 東京大学修士課程に入学し, 在学中.
- (F) 大手電機メーカー技術者(都立高専 2011 年入学, 24 才女性). 本科卒業後, 就職し, 現職.
- (G) 総合研究大学院大学情報学専攻博士課程, 兼スタートアップ企業取締役 CTO(奈良高専 2011 年入学, 25 才男性). 本科卒業後, 専攻科進学, さらに, 総合研究大学院大学 5 年制一貫博士課程進学し, 在学中. 修士課程 2 年より, 現職.
- (H) スタートアップ企業 CTO(奈良高専 2011 年入学, 25 才男性). 本科卒業後, 大手不動産関連企業に就職, その後スタートアップ立ち上げ時に参加し, 現職.

### 3.2 インタビューにおける質問項目

インタビューは, 半構造化インタビューを採用した. Zoom を用いたオンラインで 2020 年 8 月から 10 月に行った.

半構造化インタビューは「あらかじめ評価基準と質問項目を決めておき, マニュアル通りに実施していく」ものであり, 本稿のインタビューにおける質問項目は以下のとおりである.(質問詳細については, 「参考情報」を参照.)

- ① 起業に役立つ経験
- ② 実践的研究の観点からの高専と大学の比較
- ③ 教育機関における理論と実践の比較
- ④ 仕事に役立つ高専・大学・大学院での学習内容
- ⑤ 普通科高校ではなく高専を選択した理由
- ⑥ 専門職学位過程に 3 割以上企業経験教員を配置することへの賛否
- ⑦ 産技大の高専推薦制度志願者が少ないことへの意見
- ⑧ 起業志願者へのアドバイス

## 4 結果

### 4.1 起業に役立った経験(質問項目①⑧)

今回インタビューした高専出身者 8 名のうち, 起業に関連した出身者は 7 名(実際に起業をした高専出身者が 1 名. 起業直後のスタートアップ企業に CTO として参加した高専出身者が 2 名, 高専時代にアルバイトを通じて起業を体験した高専出身者が 1 名, 起業予備軍としてのフリーランスが 3 名)である.

まず, 起業に役立つ経験に関して, 高専本科で学んだことよりも, 以下のような「若い時期の起業活動に触れる体験」が多く挙げられた.

「高専を中退した後, 仲が良かった高専生の友達から, HTML とか WEB ページとかで商売になるよ, と声を掛けられ, 今の会社の母体となるビジネス立ち上げた.」(A 氏)

「高専で学んだこと自体は, 起業には役立っていない. それよりも, 若いときに, 長期インターンで, スタートアップを見ていたことが役に立っている. ここで, スタートアップコミュニティに出会った. 長期インターンでは, 優秀な学生をインターンという形で雇っている. 学生の側から見たら, 起業後のスケージングの段階を足並みをそろえて体験できる. 大企業の(短期の)インターンよりも勉強ができてよい.」(E 氏)

「二つ. 一つは, 小学生 1 年の時からサッカー部の活動をやっていたこと. みんなと一つの目標に向かってやるのが, 部活を通じて好きになった. もう一つは, 研究活動. スタートアップは仮説検証で, これは研究と同じで, 今の活動(スタートアップ企業の取締役 CTO)で役立っている. 勉強も役に立っているけど, それよりもこれらの二つが役に立っている.」「修士 1 年の時, 8 月に東京で開催される勉強会で今働いている会社の社長と知り合って, インターンという形で米国本社に行った. 翌年 4 月から日本の法人の CTO 職の執行役員になって, 9 月に取締役にになった.」(G 氏)

「ベンチャーを起こすなら, 理論でも実践でもなく, 実際にそれをやっている人間に会うことが重要.」(H 氏)  
また, 以下の例のように, 高専時代ではないが, 就職後の「新規事業経験」を挙げた高専出身者もいた.

「在学中に, インターンシップで, 社員が 120 人ぐらいのミドルベンチャーに 5 日間いった. プログラミングをやっている人たちを見て, 仕事のイメージがついた.」「だけど, インターンシップの経験が起業のきっかけになったかどうかはよく分からない. 親の希望もあり安定志向だったし, スタートアップに入ることに, 高専のころ興味があったわけではない.」「むしろ, (最初の

就職先で) 社会人 2・3 年目から社内の新規事業を体験したのが(スタートアップ参加に) 影響した。」(H 氏)  
 なお、スタートアップに限らずその後の仕事で役立つ経験として、以下のような「実践的な学習経験」「学内外の様々な経験」が挙げられた。

「自力でやってきたとは言わないし、(高専で教わった) 回路やプログラムの勉強も役立っているが、そのまま仕事で使えるわけではない。いろんなことを若いうちに試させてもらったので、必要な時に、あんなことがあったかなあ、と思いだして、また勉強する。実践するときに、あの(高専の) 頃やったことが役に立つ。全く見当もつかずに、やるのとは違う。」(A 氏)

「組み込みソフトの勉強をすべて独学するのは無理。入り口は教えてもらうのがよい。高専の先生がメンターとなって教えてくれたのがよかった。」(C 氏)

「高専で勉強した内容については、今の会社では全くというほど使う機会はないが、高専の 5 年間で、学内の活動や、学外のボランティア活動など、経験したことが役に立っている。いろんな機会を与えてくれた先生のおかげ。」(F 氏)

「就職してみると、高専って、全然よかったと思う。大卒の人、特に文系の人って、プログラムもできないし、SQL とかも分かってない。高専は、勉強したことが役に立つ。」(H 氏)

#### 4.2 起業に必要なもの(質問項目①⑧)

起業に必要なものとして、先ず、以下のような「やってみる」ことが挙げられた。

「とにかくやってみる。計画的にできなくはないが、やってみないとわからない。完璧すぎずにやってみることが重要。」(A 氏)

「インターンなどで、実際にスタートアップしている人の中に入っていくこと。そこで、助成金やスタートアップの人たちと出会える。」(E 氏)

「とりあえずやってみるというのは大事。」(G 氏)

起業に必要なものの二つ目として、以下のような「ビジネスについての様々な知見」が挙げられた。

「(私は) 高専にしかいなかったが、意外と世の中にはいろんなことがある。知見を広めると、仲間もできるし、違った目でも見られて、幅が効いてくるので、いろいろ見聞きし、行ったりすることが重要。」(C 氏)

「高専生には技術力があるが、プロモーションする力が必要。」(D 氏)

「会社のことについていろいろ知識がある方がいい。知識をつけていかないと普通に職がなくなる(失業する)ので、過去にスタートアップした人がどういった意気込み・覚悟でやっていたか、経験談をいろいろ知って

から始めた方がよい。」「起業で失敗してもやっつけける、生きていける力を身に付けておかないと、精神的な安定がなくなり、判断を間違う。」「(一般の場合の) 高専のインターンは、大企業が多いが、(スタートアップでの) インターンはいい社会経験になり、起業のためのいい手段だと思う。ただ、起業すると全力で目標達成を目指さないといけない。インターンだけだと(起業する) 大変な人を見られるけど、起業の辛さまではよくわからない。」(G 氏)

なお、上述の「やってみる」ことや「ビジネスについての様々な知見」については、以下のように「若いうちに」という条件が付くことが多かった。

「10代にいろいろ試させてもらったのが、よかった。同じようなことをやるにしても、若くて柔軟なうちにやれたのはよかった。それに、若いうちだと、親にも甘えられる。」(A 氏)

「若いうちであれば、失敗してもやり直しが可能。再チャレンジできる。違う適性を探せる。」(B 氏)

「(略) これを若くて早いうちからやること。」(C 氏)

「就職してから起業に興味ありというのを聞いたが、学生時代から起業を身近にするのがよい。起業への挑戦は、しがらみのない間にした方がよい。」(G 氏)

起業に必要なものの三つ目として、以下のような「起業家個人の資質」や「起業仲間」についての意見が挙げられた。

「起業は、専門性よりも人間性。」(C 氏)

「どこの会社においても、起業する人は起業する。」(H 氏)

「起業は、仲間がいたら、違っていた(起業していた) かもしれない。」(C 氏)

「ビジネスを立ち上げるには、仲間が必要。私も仲間がいれば違ったかも。」(D 氏)

なお、「起業仲間」を挙げた高専出身者は個人で活動するフリーランス技術者であった。これらの意見は、起業におけるコミュニティの必要性も示唆するものといえよう。すなわち、起業が単に技術力やビジネスの知見があれば実現するというわけではなく、個人の資質と組織的活動を必要としていることを示唆しているといえよう。

起業に必要なものの四つ目として、以下のような「日本で起業を推進するための環境整備」に挙げられた。今後、スタートアップ・エコシステムを推進しようとするにあたり、留意すべき意見である。

「アメリカだと起業に失敗してもジョブマーケットがあるが、日本だと高専とか新卒とかで起業してもうまくいかなければセーフティ・ネットがない。制度が起業に向いておらず、見直す必要がある。」(B 氏)

「数年前に、起業してみようかなと思ったことがあった。が、止めちゃった。研究していた内容は(潜在的な市

場)受けていたが、自分の生活を安定させる必要があり、すぐに収益が見込めない起業になかなか手を出せなかった。」(C氏)

「東大では、アントレプレナーのための仕組みがあり、5年以内に起業する人たちのオフィスとかがある。こういうものの影響が大きい。」(E氏)

「高専では、起業は特別な人がやること、と思っていた。東大の起業のエコシステムはいいと思うが、高専では、そういうことを知らなかった。(高専生は)みんな知らないだけのような気もする。知ってもらえばいい。若いうちに、チャンスを与えるのはいい。」(G氏)

また、特筆すべき点として、「学習の場としての大企業での経験」を前向きにとらえた次のような意見が挙げられた。我が国における起業促進を検討するにあたってのヒントになるかもしれない。

「日本の場合、労働流動性が低いので、若いうちにスタートアップに入ると、逆に(他の一般企業での)経験積めないという課題もある。」(B氏)

「就職活動は安定志向で、ベンチャーから声もかかったが、上場企業に就職した。大企業でそこそこ経験を積んだので、ベンチャーに行っても怖くない、という気になった。」「今20代でベンチャーをやっているけど、勢いでやっているみたいなどころがある。大企業は、縦割りでしょ、とか悪いことも聞くけど、いろいろ経験を積める。(大企業に就職した後)30歳を過ぎてベンチャーやる人は(いろいろ経験も積めて)すごい。」「個人的には、スタートアップをする人は、大きい会社に入って、大きな会社を一度見た方がよい。100人の社員がいる会社、1000人の社員がいる会社、それぞれの規模の会社で学べることは多い。ベンチャーで仕事をするようになってから、もっと大企業のやっていることを見ておけばよかったと思う。社内を駆け回ればいろんな知見が仕入れられる。」(H氏)

さらに、特筆すべきもう一つの点として、以下のような「旧来型の技術者養成教育」についての指摘があったことである。

「高専には、そもそもスタートアップという発想がない。今も古典的な専門性の高い人を企業に提供するのが役割。高専生は、エンジニアとして就職するか、進学するか、の二択しかない。」(E氏)

これまで中堅技術者として養成されてきた高専生が起業活動の担い手として活躍するためには、高専においても起業活動についての知識や経験を授ける必要があることを示唆しているといえよう。

#### 4.3 理論と実践の重要性の比較(質問項目②③④)

今回インタビューした高専出身者のうち、3名はインタビュー時点で学生でもあるが、この3名も含めてインタビューした

すべての高専出身者が既に職業に就いている。

理論と実践については、以下の通り、基本的にはすべて「理論と実践の両方が必要」とする意見であったが、両者の優先度は、人により異なっていた。

「理論と実践は両方とも必要。」(A氏)

「大学で「経済学のための実践的データ分析」という講義をやっているが、理論的なことを押さえている人がたくさんいるので、可能である。」「私の場合、高専時代に理論的で役に立たないと思っていたことが、今役に立っている。理論的なことを突き詰めると、実践的になる。」「理論か実践かは分野によって異なり、例えば、情報工学はより実践的であることを前提としている。」(B氏)

「研究者になるなら別であるが、社会では実践が必要なので、その入り口として理論はいいと思うが、理論ばかりで実践ができなければ意味がない。」(C氏)

「実験などで実践をやって疑問を持たせて、それを理論の勉強する方が理解しやすい。」(D氏)

「理論と実践はともに重要。座学で学んだことが実習で確認できる。実習でやったことが理論で確認できる。」(F氏)

「分野によるのかもしれないけど、実践は今より重視すべきと思う。理論と実践とバランスよく進めていくと習熟が早くなる。情報学だと、実践はプログラミングになるが、スライドだけで理論をやられてもよくわからない。」(G氏)

「実践か理論かという、実践が重要。実践といっても、先達がいなくて自分でやってみることが重要。そこでエラーが出て、PCが壊れるわけじゃないしいいじゃないか、みたいなことを、学生時代を通じて学ぶことが重要。」(H氏)

#### 4.4 高専と大学と大学院の比較(質問項目②③④)

今回インタビューした8名の高専(本科)出身者のうち、6名が専攻科または大学に進学または編入しており、うち、3名が大学院に進学、本科中退の高専出身者2名もその後に大学に進学している。一方、大学や大学院では文系学部や研究科に所属した高専出身者も複数名おり、各高専出身者が経験した学歴は様々であるため、高専と大学と大学院の比較にあたっては、各高専出身者の推察も含まれている。

高専と大学と大学院の比較した場合の意見として、最も多かったのが、高専の方が「実践的」という意見である。また、高専の方が「研究の自由度が高い」「指導が手厚い」という意見も複数あった。

「高専は、自由に自分のしたい研究ができる。」(C氏)

「少人数で、何でもやらせてもらった。関係ない研究室の人も実験とかで来ていたし、家族みたい。先生と

の距離が近く、先生にいろいろ聞きやすい。」(D氏)  
 「高専時代の研究が一番役に立っている。実践的な研究ができた。先生の指導が手厚く、親身になって教えてくれた。そこで学んだことは役に立っている。先生と学生が同じ部屋で、ゼミは週2回だったが。それ以外の日もほぼ毎日やっていた。先生が自分の時間をほとんど教育に割いてくれている。先生は、研究はほとんどできていなかったはず。」(G氏)

これらの意見の背景には、指導教官が自らの専門分野の研究活動も重視する大学や大学院に比較し、教育活動を重視し、指導教官の専門分野よりも指導する学生の興味のある分野を優先させようとする高専のスタンスが表れているものと考えられる。

また、以下の意見は、普通科高校と高専と大学の差異を端的に示している。

「高専は、普通科高校と大学を足して2で割ったような感じ。高専の授業は普通科高校と同じ、高専のゼミは大学とあまり変わらないと思う。ゼミの規模は、若干大学の方が大きいと思うけどそんなに差はない。ゼミの年齢幅は、高専は多くて4年、大学は年齢幅が大きいので知見の幅がある。」(E氏)

「高専(本科)で学んだことで一番活かしていることは、プログラミング。実践の授業が高2からあった。数学も活かしている。大学数学も高校の時からかじれる。専攻科と大学院では、研究しかしていなかった。専攻科では、物事を他の人に分かりやすく伝えることを学んだ。授業で他の学科と交流が出てくることが活かしているかな。大学院では、大局を見ること、要点を掴むこと、を学んだ。課題が何で、既存研究と何が違うか、とか。」(G氏)

#### 4.5 普通科高校生と比較した高専生の特徴(質問項目⑤)

今回インタビューした高専出身者が高専を選択した理由とともに、かれらの他の高専生に対する認識についてもインタビューをした。その結果は、様々ではあるが、まず、「ものづくりへの興味」という特徴が窺えた。

「NHKの電子立国という番組を見た。」(B氏)

「ロボットとか機械類に興味があった。」(C氏)

「子供のころから川遊びが好きで、環境に興味があった。」(D氏)

「ものづくりが好きだったから。」(E氏)

また、「就職率がよい」「早く就職できる」「手に職がつく」などの意見もあった。

「5年間で就職できる。」(B氏)

「就職率が100%だったから。」(E氏)

「他の人より早く手に職をつけた。」(G氏)

なお、これらの「早く手に職をつけ」「早く就職する」ことを既

に中学生時代に考えた高専入学者は、その後大学院に進学し、一人は博士学位を取得している。

他の高専生も含めた高専生全般の特徴として、前述のインタビューした高専出身者の特徴と同様に、以下のように「ものづくりへの興味」や「手が動く」ことが挙げられた。

「高専生の方が、手が動く。大学生は、受験勉強をしているので座学は強いが、手が動かない。」(高専生の方が、応用的・実践的な研究も多くやっている。)(E氏)

また、特筆すべき意見として、高専生は「変わった人」とすると同時に「行動力のある人」という意見である。

「高専も大学も技術力の高い人はたくさんいる。ただ、高専には変わった人が多い。そもそも高1の時点で高専に入ったという段階で変わった人である。」(C氏)  
 「15才で高専を選ぶというのは、行動力はある人。」(D氏)

「高専に入る人の割合は1%にも満たないと思うので、人と違ったことをやるのは怖くないというのはあったが、(後略)」(H氏)

さらに、高専は、普通科に比較し「早期に進路選択・二極化」されているかもしれない。

「高専に入学して、例えばプログラミングとかに向いていない人がスクリーニングされて、向いている人だけが残ってゆく。残っている人間だけでやるから、実践的な教育もできる。」(B氏)

「高専の中には2極化している。意識高い系と、そんなに高くない系。」(G氏)

#### 4.6 専門職学位課程と企業経験教員

今回インタビューした高専出身者の多くが、「企業経験教員は重要」とする意見を持っていた。

「高専でも、一度企業勤めをした先生がいた。実践的なことを言ってくれるので、そういう人の話は違うなと思ったし、記憶にも残る。ちょっとでも社会を知っている人でないと分からない。」(C氏)

「高専では、社会の常識を全く教えてもらえない。社会の現実を教えてもらえるのは企業経験のある人だと思う。」(D氏)

「アカデミックしか知らない人(教員)が7割占めているのは、今の時代と逆行している。もっと、企業経験がある人の割合が増えるべき。」(E氏)

「学術とビジネスとは違う。企業経験者はこういうこと考えるのだ、って気づきが多い。それを、学生の時に知っておきたい。」(G氏)

一方で、以下のような「教員の質」、さらには「教員の多様性」を指摘する意見もあった。

「企業の経験を買われて教員になる人(教員)はよい。

ただし、企業の経験がどこまで一般化できるかは疑問。起業経験者を3割とって人数で(一律的に)決めるより、寧ろ多様性を考慮すべき。」(A氏)

「起業経験者を3割配置して、その人がどういう授業をするかが重要。」(H氏)

#### 4.7 高専と産技大

産技大に高専出身者の志願者が少ない理由について、今回インタビューした高専出身者の全員が「産技大について周知されていない」とする意見を持っていた。

「周知されていない。(高専推薦入試)制度を知っていたなら、違ってくる。」(D氏)

「十分に認知されていない。」(E氏)

「知られてないのが一番大きいかもしれない。」(G氏)

また、以下のような「特定の高専と大学との間の関係」があることについて説明があり、逆説的に、都立高専と産技大の関係における課題が浮き彫りになった。

「地域性があるのではないか。豊田高専だと、豊橋技科大は、選択肢になる。東京の場合も同様だと思う。ただ、東京の場合は他に選択肢がたくさんあり、一概には語れないかもしれない。」(A氏)

「進路は、一般におおよそ成績の上位1%から20%が国立大学。20-45%が長岡、豊橋(技術科学大学)、45-60%が専攻科に進学する傾向にある。」(E氏)

「奈良高専では、専攻科からの進学は、ほとんど奈良先端(科学技術大学院大学)に行く。」(G氏)

一方、学生側に「進学についての知識や意識の不足」ことを指摘する意見もあった。

「高専後の将来の進路について、知らない人が多かった。5年で就職できるので、あまり進路について考えない。就活に苦労もしないので、みんな気にしていない。」(C氏)

「進学しようと思う人は、先に大学に編入する。その後、普通の大学生と同じように大学院に進む。」(D氏)

「厳しい言い方をすると、専攻科に進学するのはものごとを先延ばしする傾向の強い人。そもそも進学しようとするなら大学編入試験を受けている。だから専攻科からさらに進学しようとする人は少ない。」(E氏)

「専攻科までは進路として考えるけど、その先はそもそも知らない。」(F氏)

特筆すべき意見として、「異なる学修・研究環境の必要性」を指摘する意見もあった。

「高専では7年間同じ場所で過ごした。同じ場所についていいのか、選ぶときに重視した。都立高専の場合、同じ場所にいるのはどうか、という考えもあるかもしれない。」(G氏)

「都立高専が(産技大と)同じキャンパスにあるとする

と、高1の時からずっと同じ場所にいるので、どこか他のキャンパスに行きたいと思うはず。その時点で候補から外れる。」(H氏)

## 5 考察と提言

### 5.1 理論と実践, 学術と産業

本稿の目的は、「高専出身者を、実践的・創造的技術者としてスタートアップを担えるような人材に育成するために何が必要か」および「産技大が高専と連携を強化するためには何が必要か」について調査し、理論と実践、学術と実業の観点から、スタートアップ実現やスタートアップ実現に有効な教育に関する教訓や示唆を得ることである。

理論と実践については、今回行ったインタビューを通じて、すべての高専出身者が、理論と実践はともに重要であるとの意見を持っていた。実際の高専における教育においても、両者の重要性は認識されており、その教育にも反映されていると考えられる。

一方、学術と実業の観点については、人材育成にあたってさらに注目すべきと考える。今回のインタビューの結果から、高専生は、普通科高校に入学した学生に比較し、①ものづくりに興味があって実践的技術力を持っており、②起業に必要な行動力も高い傾向がある、と考えられる。一方で、③ビジネスについての知見が不足しており、④起業活動に係るコミュニティとの距離が近いとはいえない状況である、などいくつかの課題が考えられる。

これらの課題に対しては、学校において学習や研究したことが実社会でどのように役に立つのか、また企業の研究開発や社会問題の解決に向けて何が必要となるのか、さらには、起業活動がどのように行われているのか、などについての知見を若い時期から身に付けることが必要であろう。また、起業家や投資家、関連する公的機関や提携可能な企業、など、起業活動に係るコミュニティ、すなわち、スタートアップのためのエコシステム、およびこのエコシステムのメンバー(仲間)との接点をつくることも必要と考えられる。そのためには、高専時代という若い時期から、ビジネスの知識の習得や、スタートアップのインターシップへの参加、などの活動の強化が望まれる。

さらに、失敗しても再チャレンジが可能なセーフティ・ネットなど、若者が起業にチャレンジしやすいような法制面を含めた社会制度の整備も必要であろう。また、高専生に期待される役割が、中堅技術者の養成から、実践的・創造的技術者の養成へと変化しているなかで、教育機関が十分にこの変化に対応できているかについて検証し、必要があれば改善策を講じる必要があるかもしれない。

### 5.2 スタートアップ活動を担う高専生の育成

高専出身者を実践的・創作的技術者としてスタートアップを担えるような人材に育成することことは、スタートアップ活動を加速させるために重要であると考えられる。

#### (1) 高専出身者による起業の促進

高専を選択する学生は、普通科高校を選択した学生と比較し、実践的能力を持っているとともに、起業に必要な実行力に富む傾向があり、起業に向いている可能性がある。したがって、高専出身者による起業を促進することは、イノベーションの推進に有効であろう。

また、雇用の流動性の低い日本においては、起業を促進するには、「若いうちに」「とにかくなってみる」ことが有効であると考えられる。これは産業側にとって望ましいだけでなく、起業を希望する学生側にとっても、自身のキャリア上で早期に再チャレンジやキャリアのチェンジも可能であり、日本の低い雇用流動性に伴うリスクを低減することも可能と考えられる。

#### (2) 高専生への起業関連教育

一方、これまで、高専では、中堅技術者養成という教育方針によって、技術面に偏重した教育が行われており起業に関する知見が不足している可能性がある。したがって、高専出身者による起業を促進するためには、高専生に対しビジネスに関する教育や、スタートアップへのインターンなどの起業体験を強化することが有効と考えられる。

### 5.3 高専と産技大の連携を加速させる取り組みの提言

高専において、起業に関する教育を行うにあたり、専門職大学院としての産技大が保有する起業に係る教育体制や提供するカリキュラムは有効であり、また、高専と産技大が連携することはイノベーションの推進に有効である、と考えられる。

これらを踏まえ、高専と産技大の連携を加速させるための取り組みとして以下を提言し、その概要を図1に示す。

#### (1) 高専への出張講座

今回の高専出身者へのインタビューでは、高専において起業に必要なビジネスに関する知見が不足していることが分かった。一方、産技大が保有するスタートアップに関する教育体制や提供プログラムは、高専生に不足した知見を補うのに有効である。したがって、産技大による高専への出張講座を開設する。

#### (2) 産技大での体験講座

(1)と同様の理由により、高専生による産技大での体験講座を開設する。本格的な講義や演習は高専生が産技大に入学し履修することになるが、高専生が起業に必要な講義を受講し、多くの社会人が学ぶ産技大の演習を体験することは、起業にとって有効であるだけでなく、高専生に産技大への入学を促すであろう。

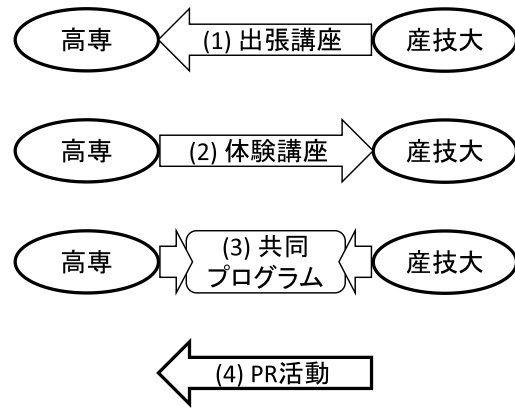


図1：高専と産技大の連携を加速させる取り組み

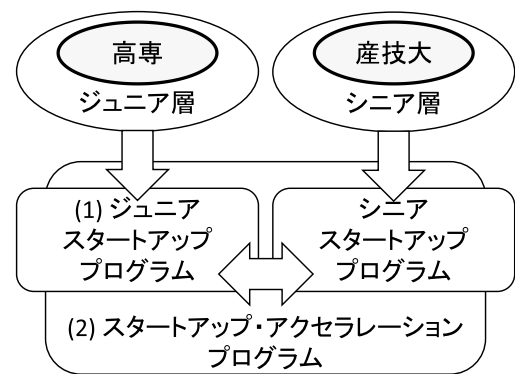


図2：高専と産技大の連携を加速させる仕組み

#### (3) 高専との共同プログラム

高専生が実社会の活動を経験するには、インターンシップと同様に、(2)で述べた産技大の演習やPBL活動などに参加することも有用であろう。一方で、都立高専の学生と現東京都立大学大学院および産技大の学生との間で実施されたGlobal Communication Program(GCP)など、高専と産技大が共同でプログラムを実施する。

#### (4) 高専へのPR活動

今回の高専出身者へのインタビューでは、産技大のことを知る出身者はほとんどおらず、産技大の認知度は極めて低かった。産技大の認知度を上昇させるためには、各高専に対して産技大および上述の(1)(2)(3)などの活動を積極的にPRすることが必要である。

### 5.4 スタートアップ・エコシステムを加速させる仕組みの提言

さらに、スタートアップ・エコシステムを加速させるために、以下のような仕組みを提言し、その概要を図2に示す。

#### (1) ジュニア・スタートアップ・プログラム

高専生の課外活動として、産技大が提供するシニア・

スタートアップ・プログラムと同様に、高専生(および高専経験者など)を対象としたジュニア・スタートアップ・プログラムを提供する。高専の実践的技術力と産技大のマネジメント力の融合は双方に有効で、高専生はマネジメントを学び、実践的技術力を生かすことができる。

## (2) スタートアップ・アクセラレーション・プログラム

実践的技術力を持っているが実業経験の乏しいジュニア(高専生および高専出身者)と、最新の実践的技術力に乏しいが、実業経験の豊富なシニアと一緒に活動し、最新技術と実業経験の融合、ジュニアとシニアのマッチングの機会を提供する。このプログラムは、5.4(1)のジュニアスタートプログラムと既に産技大に存在するシニア・スタートアップ・プログラムを最大限に活用するプログラムであり、スタートアップ・エコシステムの一環として位置づけられるものである。起業をインキュベートするプログラムとして、スタートアップを加速するために有効であろう。

なお、行動力に富む傾向のある高専出身者のエネルギーによってスタートアップが立ち上がってゆくことは望ましい。しかし、スタートアップを立ち上げ環境が十分に整備されていない中で、闇雲に突進することはベストな状況とはいえない。スタートアップ・エコシステムを加速させるためには、前述の提案したプログラムなどに加え、スタートアップに失敗した際のセーフティ・ネットや再チャレンジの仕組みなど、法制面を含めた社会制度の整備も必要であり、今後の研究課題である。

## 6 おわりに

### 6.1 インタビュー結果のまとめ

本稿では、(1)高専出身者を、実践的・創造的技術者としてスタートアップを担えるような人材に育成するためには何が必要か、(2)専門職大学院である産技大が高専と連携を強化するためには何が必要か、を調査するため、高専出身者 8 名にインタビューした。

その結果、起業に役立つ経験に関して、高専本科で学んだ専門的な技術そのものよりも、「若い時期の起業活動に触れた体験」、さらには「新規事業経験」などが起業に直接役立ったという意見が挙げられた。また、実践的な技術力を持つ高専生が起業を行うにあたり、必要なこととして、「やってみること」に加えて、「ビジネスについての様々な知見」などが挙げられた。さらに、起業には「個人の資質」や「起業する仲間」が必要であることも示された。

一方、起業に失敗しても再チャレンジやキャリアチェンジが可能な「若いうちに」実行することの重要性についての意見も複数挙げられたが、また、「学習の場としての大企業での経験」を前向きにとらえた意見も挙げられた。これは、逆説的に、「日本におけるスタートアップ立ち上げ環境の整備」の必

要性を示唆しているものとも考えられる。また、起業活動との接点の少なさやビジネスについての知識の不足は、現在の「高専生に期待される役割である「実践的・創造的技術者」の養成に対する教育機関の課題を示唆しているものとも考えられる。

理論と実践の観点で、高専では、理論と実践の両方の重要性は認識されており教育にも反映されていると考えられる。さらに、高専では、研究の自由度が高く実践的で手厚い指導が実施されているようである。

学術と実業の観点については、人材育成にあたってさらに注目すべきと考える。高専生は、実践的技術力を持っており、起業に必要な行動力も高い傾向がある一方で、ビジネスについての知見が不足しており、起業活動に係るコミュニティとの距離が近いとはいえない状況である。

これらのインタビュー結果も踏まえ、高専と産技大の連携を加速させる取り組みとして、(1)高専への出張講座、(2)産技大での体験講座、(3)高専との共同プログラム、(4)高専への PR 活動、を提言した。また、スタートアップ・エコシステムを加速させる仕組みとして、(1)ジュニア・スタートアップ・プログラム、および(2)スタートアップ・アクセラレーション・プログラム、を提言した。今後、日本におけるスタートアップの立ち上げ環境の整備などとともに、提案した取り組みが実施されることを期待する。

### 6.2 課題と今後の展開

本稿では、筆者のうち藤田が知人の高専出身者から任意に選んだ 8 名についてインタビューした結果を纏めたものであり、高専生全体を代表するものではない。今後、今回のインタビュー結果も踏まえて、高専出身者をスタートアップを担えるような人材に育成するための課題を整理した上で、対象とする高専出身者を増やしてアンケートを実施し分析を行う予定である。

高専生がロボットづくりを通じてその技術力やアイデアを競う高専ロボコン(全国高等専門学校ロボットコンテスト)[10]に加え、2020 年度より、D コン(全国高等専門学校ディープラーニングコンテスト)[11]が開催される。D コンでは、「高専生が日頃培った「ものづくりの技術」と「ディープラーニング」を活用した作品を制作し、その作品によって生み出される「事業性」を企業評価額で競う」としており、高専生が生み出すイノベーションへの期待が高まっている。本稿では、このようにイノベーション推進にとって期待の高い高専生に焦点をあてているが、今後、スタートアップ・エコシステムの促進に向けて、イノベーションを通じて社会に価値を生み出す活動や人材育成を加速させる仕組みについて明らかにすることを目指して、さらなる展開をしてゆく予定である。



## 謝辞

今回、インタビューを受諾頂いた 8 名の高専出身者に対し、心より感謝を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 閣議決定, 統合イノベーション戦略 2020, Jul. 2020  
[https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020\\_honbun.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020_honbun.pdf)  
 (visited on Sept./30, 2020)
- [2] 内閣府, 世界と伍するスタートアップ・エコシステム拠点都市の形成,  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/openinnovation/ecosystem/index.html> (visited on Sept./30, 2020)
- [3] 内閣府, スタートアップ・エコシステム拠点都市の選定について, Jul./14, 2020.  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/20200714.html>  
 (visited on Sept./30, 2020)
- [4] 東京都, 「スタートアップ・エコシステム 東京コンソーシアム」の設立について, Jan./22, 2020.  
<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2020/01/22/03.html> (visited on Sept./30, 2020)
- [5] 東京都, 「スタートアップ・エコシステム 東京コンソーシアム」が「スタートアップ・エコシステム拠点都市」に選定されました, Jul./14, 2020.  
<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2020/07/14/07.html> (visited on Sept./30, 2020)
- [6] 中央教育審議会, 高等専門学校教育の充実について ―ものづくり技術力の継承・発展とイノベーションの創出を目指して―(答申), Dec. 2008.12 月  
[https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2008/12/26/1217069\\_001.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2008/12/26/1217069_001.pdf) (visited on Sept./30, 2020)
- [7] 高等専門学校の充実に関する調査研究協力者会議,  
 “高等専門学校の充実について”, Mar. 2016.  
[https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2016/05/10/1370707\\_01\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/05/10/1370707_01_1.pdf) (visited on Sept./30, 2020)
- [8] 文部科学省, 専門職大学院  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/senmons\\_hoku/index.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/senmons_hoku/index.htm) (visited on Sept./30, 2020)
- [9] 東京都立産業技術大学院大学, 建学の理念と特色, ミッション  
<https://aiit.ac.jp/about/mission/> (visited on Sept./30, 2020)

- [10] 全国高等専門学校ロボットコンテスト  
<http://www.official-robocon.com/> (visited on Sept./30, 2020)
- [11] 全国高等専門学校ディープラーニングコンテスト  
<https://dcon.ai/> (visited on Sept./30, 2020)

## 参考情報

### 【インタビューにおける質問項目】

- ① 若い方の起業は, 多くの人の励みになると思います. どんな経験が起業に役立っていると思われますか.
- ② 大学より高専のほうが実践的な研究ができるという見方がありますがどう思われますか.
- ③ 教育研究機関における理論と実践をどのように考えられますか. (より実践性を重視すべきなど)
- ④ 現在のお仕事に, 高専で学んだこと, 大学で学んだこと, 大学院で学んだことがどのように役立っていますか.
- ⑤ 普通高校より高専を選ばれたのはなぜですか.
- ⑥ 専門職学位課程では, 企業等での経験がある教員が 3 割以上配置することが必要とされています. このことについて, ご意見があればお願いします.
- ⑦ 大学院入試で, 高専推薦制度がありますが, 志望者が少ない現状があります. このことについて, ご意見があればお願いします.
- ⑧ 起業に関心があるかたへアドバイスがあればお願いします.

# 「パートナーロボット」の開発研究 — 「ストレスコーピング」に着目したコンセプト構築の試み —

橋本智行\*・秋津翔吾\*・川合隆太\*・付迪\*・古瀬竜太郎\*・  
MAO XIN\*・土屋陽介\*\*・近藤嘉男\*・内山純\*

## Design Development of the “Partner Robot”

### — Concept building with a focus on stress coping —

Tomoyuki Hashimoto \*, Shogo Akitsu\*, Ryuta Kawai\*, Fu Di\*, Ryutaro Furuse\*,

Mao Xin\*, Yosuke Tsuchiya\*\*, Yoshio Kondo\* and Jun Uchiyama \*

#### Abstract

In this article, one direction of the “Partner Robot” which assist humans in our daily lives will be studied.

Under the COVID-19 pandemic, mental health is becoming a social problem. Dealing and alleviating stress is called stress coping. We expect this will be one of new area where the “Partner Robot” will take an important role.

We focused on the stress coping and developed a concept where “Partner Robots” certain behavior will trigger humans to feel empathy and for a change of pace. As an example, we focused on movement of mouth of the “Partner Robot”.

Keywords: Partner Robot, stress coping, COVID-19, mental health, empathy

#### 1 はじめに

国内のロボット産業はこれまで、製造分野、生産工場内の産業用ロボットを中心に発展してきたが、これからはサービス分野の伸びが著しいとされ、中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」と呼ばれ関心を集めている[1].

パートナーロボットの活用が期待される代表的分野は介護、コミュニケーション、子育ての3分野である。この中のコミュニケーションロボットは、会話をしたり、ダンス・体操を一緒にしたり、クイズ・ゲームの相手を行い、ロボットとのコミュニケーションによる脳への刺激が認知症予防や、ちょっとした運動を行うことで筋肉の萎縮や衰えを予防して寝たきり防止につながったりする効果が期待される[1].

サービス分野でのロボットは COVID-19 蔓延下での活用が活発となっており、公共施設や医療機関での消毒をするロ

ボットや、薬・検体を運ぶロボットが開発・導入され、非接触で感染症予防という価値をロボットが提供している。

一方で、新しい生活様式や日常生活の様々な制限、テレワーク等での働き方など、生活や仕事に不安な気持ちやストレスを感じている状況における、メンタルヘルスが社会的な課題となっている。パートナーロボットの可能性として、このメンタルヘルスの課題に対し精神的にユーザーを応援するような「情緒的な支援」という新しい分野が考えられる。

2016年より本学創造技術専攻・内山プロジェクトチーム(以下内山PT)では「人との共生を目指すパートナーロボット」を仮説提案型PBL(Project Based Learning)のテーマとして掲げ、継続して取り組んでいる[2-5].

2017年度は、人間とロボットのインタラクションに注目し、「表情」と「仕草」に着目したコンセプト構築を試み、コンセプト提案、および一部機能を実装した動作試作の提示を行っ

Received on October 3, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* 東京通信大学, Tokyo Online University

た[3](図1)。「表情」はマトリクス LED によるダイナミックな「顔の表情」を、「仕草」は空気圧アクチュエータによる柔らかな「腕の動作」で視覚化を試みた。



図 1:UCR-01 動作試作

2018 年度は、潜在的に感情を表現する「足」の「仕草」に着目し、仕草が際立つようなコンセプト構築を試み、提案および一部機能を実装した動作試作を制作し視覚化した[4](図2)。また、2017 年度の内山 PT の試作を見直し、要求仕様の一部機能、サービスを実装し、実験をしたところ、slack を用いたテキストチャットによるコミュニケーションはロボットへの新たな指示法の可能性を示唆するものとなった。



図 2:UCR-02 動作試作

感覚野、運動野の人的各部位に対する脳部位に着目すると、顔や手の占める割合が大きいとの報告がある[6]。一方、足については感覚野が広い部分を占めるのに対し、運動野が占める割合が狭いとの報告があり[6]、潜在的な感覚を表す部位として興味深い。なお「機能局在論」については様々な議論もある。

## 2 概要

Lazarus & Folkman によると、心理的ストレスの過程は、

何らかの刺激である「ストレス」が自分に対して有害または脅威であるか一次的認知的評定し、有害または脅威と感じた場合、「ストレスフル」と認知される。次にストレスフルである出来事に対して、自分の能力や経験などをもとに対処可能であるか二次的認知的評定する。その結果、対処可能である場合は対処することでストレス状態にはならず、一方、対処不可能である場合はストレス状態に陥るため、実際にストレス状態に陥らないように対処(ストレスコーピング)することで、ストレス状態を回避しようとする[7-9]。

ストレスコーピングにはさまざまな種類があり、分類方法や分類基準も研究者によって多岐にわたっているが、ここでは「気晴らし型コーピング」の可能性について検討していく[8-9]。気晴らし型コーピングとは、運動や趣味などいわゆるストレス解消法により気分転換やリフレッシュを図ることで、日々のストレス解消に有効な対処行動であると考えられている[10-11]。

また社会関係の中でやりとりされる支援であるソーシャルサポートでは、ストレスがあっても周りの人からのサポートを受けることによって、そのストレスを前向きにとらえるようになる、うまくストレスコーピングすることができるようになり、ストレスの影響を緩和する働きがあると考えられている。ソーシャルサポートはその内容により以下に分けることができる[11]。

- ・ 情緒的な支援 共感や愛情の提供
- ・ 道具的な支援 形のある物やサービスの提供
- ・ 情動的な支援 問題解決に必要なアドバイスや情報提供
- ・ 評価的な支援 肯定的な評価の提供

一方、脳科学の分野では、霊長類などの高等動物には、自らの行動と、他の個体が行動しているのを見ている状態で活動する神経細胞、ミラーニューロンが存在し、他の個体の行動を見て、まるで自身が行動をとっているように反応することがわかっている[12]。たとえば、他者のあくびをみていると、自分でもあくびをしたくなったり、怪我のシーンを見ただけで、自分も同じような感覚を感じるなど、運動や感覚レベルで自分と他者が同調していることが知られている。

本稿では、ストレスコーピングに着目し、パートナーロボットが「気晴らし行動を促す動作」や「情緒的な共感を抱かせる動作」でコーピングの手助けになりうると仮説を立て、第3章でコンセプト構築を試み、第4章で複数タイプのロボットのプロダクトを提案、第5章で一例の動作試作を行った。

## 3 コンセプト構築

2017 年度の内山 PT ではロボットとのコミュニケーションとして「表情」や「仕草」に着目したコンセプト構築を行い、2018 年度の内山 PT では潜在的な感情の表現として「足の動作」に着目したコンセプト構築を行ってきた。これら身体的

な特徴に着目し、本研究ではロボット自体は「身体的な特徴」を有せず、「動作による身体的特徴」で、「気晴らし行動を促す」ことや、「情緒的な共感を抱かせる」ことを試みる。

### 3.1 動作

ロボットの動作は気分転換やリフレッシュを図り、ユーザの行動を妨げないという考えから「単機能で瞬間的に動作」を促す。動作のモードは気晴らし型コーピングとしての単独動作モードとソーシャルサポートとしての外部動作モードの2種類を考え、単独動作モードはユーザが「近づく行動」をすることで動作し、外部動作モードは他者が「メッセージを送信する行動」をすることで動作する(図3)。



図 3:2つの動作モード

### 3.2 ハードウェア構成

最小の構成である、人感センサー・ESP32 マイコン・サーボモータとし、インターネットへの接続は ESP32 マイコンより Wi-Fi 接続することにより実現する(図4)。



図 4:ハードウェア構成

### 3.3 システム構成

単独動作モードでは、人が近づいたことを人感センサーが感知し、ESP32 マイコンへ信号を送信、ESP32 マイコンは信号を検知、処理を行い、サーボモータを動作させる。

外部動作モードでは、メッセージ送信すると ESP32 マイコンがメッセージを検知、処理し、サーボモータを動作させる。

このメッセージ送信には、2018 年度内山 PT[4]で試みた slack を利用したテキストメッセージ送受信を利用する。また、slack の Outgoing WebHooks からのリクエストを受信するため、WebAPI サーバを構築した。

例えば、slack から「動作して」というメッセージを送信すると、slack の Outgoing WebHooks でメッセージを WebAPI

に変換し、WebAPI サーバにリクエストする。WebAPI サーバは、この情報を中継し ESP32 マイコンへ送信、サーボモータを動作させる。一方、メッセージ受信は人感センサーで人を感知した場合、ESP32 マイコンはサーボモータを動作させると共に、slack の Incoming WebHooks の WebAPI を送信することで、slack 側では「人が近づいたよ」とメッセージを受信する仕組みである(図5)。

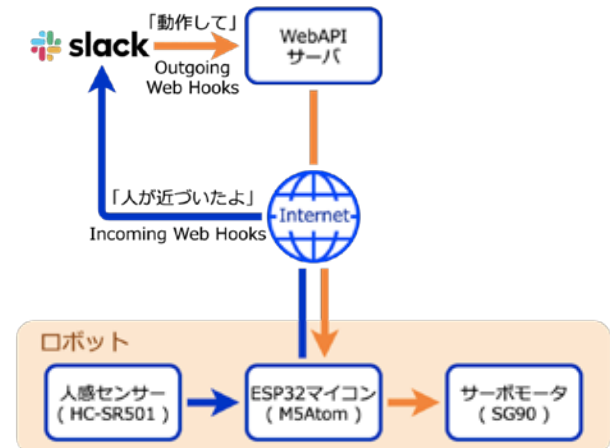


図 5:システム構成

## 4 プロダクト提案

プロダクト提案するロボットは 3.3 で示したようなシステム構成で「動作による身体的特徴」を行い、「気晴らし行動を促す」ことや、「情緒的な共感を抱かせる」ことをする。

### 4.1 「ハイタッチ」動作を模したロボット[UCR-03]

UCR-03 は手の身体的な動作特徴を模したロボット(図6)である。人が近づいた際に、ロボットの手を模した部分が上がりハイタッチのような仕草をすることで達成感や喜びの共感を表現し、ロボットと「ハイタッチ」する気晴らし行動を促す。



図 6:UCR-03 イメージ画像  
左:通常 右:動作時

#### 4.2 「体を揺さぶる」動作を模したロボット[UCR-04]

UCR-04は体の動きの身体的な動作特徴を模したロボット(図7)である。人が近づいた際に、ロボットの体に模した部分が左右に動き体を揺さぶるような仕草を、ユーザが真似をすることで共感し、体操のような「体を揺さぶる」気晴らし行動を促す。



図 7:UCR-04 イメージ画像  
左:通常 右:動作時

#### 4.3 「スクワット」動作を模したロボット[UCR-06]

UCR-06は足の動きの身体的な動作特徴を模したロボット(図8)である。人が近づいた際に、ロボットの足を模した部分を上下させ、潜在的な感情の表現により共感し、デスクワークで座っていることからの解放や「スクワット」する気晴らし行動を促す。



図 8:UCR-06 イメージ画像  
左:通常 右:動作時

#### 4.4 「会話をする」動作を模したロボット[UCR-07]

UCR-07は口の動きの身体的特徴を模したロボット(図9)である。人が近づいた際に、ロボットの口を模した部分が開閉することで、ロボットとの会話しているような共感や愛情を表現し、「会話をする」気晴らし行動を促す。



図 9:UCR-07 イメージ画像  
左:通常 右:動作時

### 5 動作試作

UCR-07の会話しているような共感や愛情表現を検証するため、ロボットの動作試作の作成を行った(図10)。

#### 5.1 機能

正面に人感センサーが配置され、この部分で人が近づいたことを感知する。感知されたセンサー情報は内部に配置されているESP32マイコンで処理され、上部の開閉をサーボモーターで制御する。開閉はゆっくりと開閉する動作と、素早く開閉する動作があり、これらの動作で身体的特徴を模し、会話しているような共感や愛情を表現する。また素早く開閉する動作を連続で行うことで、「パクパク」しているような愛嬌のある動作と音で愛情を表現する。



図 10:UCR-07 動作試作  
左:動作時 右:通常

#### 5.2 システム構成

図5で示したシステム構成を変更し、動作情報、センサー情報のログを記録、活用するためサーバにデータベースを追加した。サーバはWebAPIサービスを提供し、WebAPIサービスを通して、データベースを操作する(図11)。

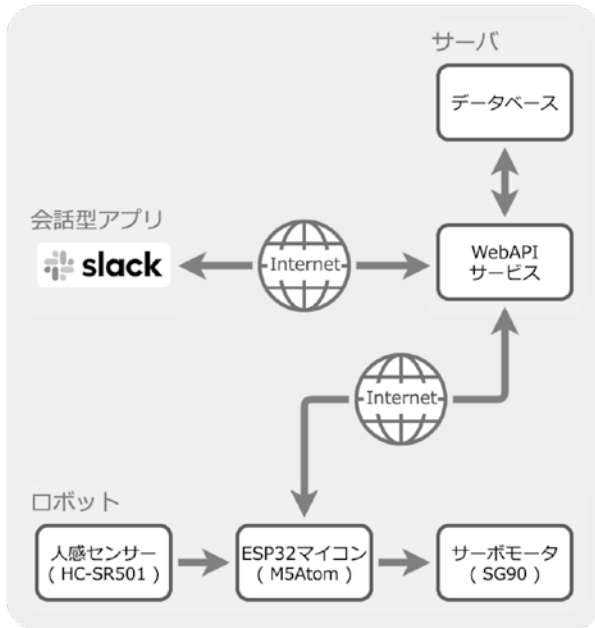


図 11:システム構成図

これにより人感センサーで人を感知した場合、ESP32 マイコンはサーボモータを動作させると共に、サーバに WebAPI を送信することで、slack 側への送信とデータベースへの記録が行われる仕組みである。

### 5.3 利用シーン

利用者が仕事や学業でストレスを感じた際にロボットに近づくと、口をパクパクさせ、あたかも「一緒にお喋りをしよう」という動作を行う。利用者はパートナーロボットを相手に、嬉しかった事、楽しかった事、嫌な思いをした愚痴などをお喋りし、日々たまるストレスに対してコーピングしてストレスの緩和を図る(図12)。



図 12:利用シーン1

友人は利用者のことを思い、メッセージ送信で利用者のロボットを動作させる。利用者は動作したロボットに気が付き、情緒的なサポートによりストレス緩和を図る。パートナーロボットは利用者が近づいたことを友人に知らせる(図13)。



図 13:利用シーン2

## 6 まとめ及び今後の展開

本稿では「人との共生を目指すパートナーロボット」について、メンタルヘルスの課題に対するパートナーロボットの可能性を見出すことを課題とし、一連の研究活動成果、および仮説構築型コンセプト構築の試み、動作試作について経過を報告した。

近年、ロボットは AI, IoT, 情報技術などにより複雑化しており、サービスロボット分野の非専門家が開発することは非常に困難である[13-14]。

一般的にロボットの定義はないと言われているが、通信情報白書 2014 ではロボットを「センサー、知能・制御系、駆動系の 3 つの要素技術を有する、知能化した機械システム」と定義しており[1], 本研究ではこれを最小限のシステム構成として、身体的な動作特徴に着目し試作したが(図11), より複雑なサービスの提供や表現を行う場合、サービスロボット分野の知識が必要となる。

図11のシステム構成のサーバ側を変更(図14)することにより、RSNP(Robot Service Network Protocol)サーバ・ロボットアプリケーションの接続、他のロボットとの協働などの機能を利用することができ、より高度なサービスの提供や複雑な表現を、サービスロボット分野の非専門家でも開発が可能となると考え発展させていく。

また、日常生活において発生する生活音には不快に感じるものも多く、ストレスの原因にもなりうる。しかしながら、例えば特徴的な日本文化である「ししおどし」の環境音は不快とされる生活音に一定の効果があるとされ不快さが低くなるという調査もある[15]。

第5章の動作試作では、素早く開閉する動作を連続で行うことで、「パクパク」しているような愛嬌のある動作と音で愛情を表現した。この時の音は動作時に発生する音であるが、これを環境音とすることで、生活音の不快さを低くし、ストレスの緩和の可能性についても検討していく。

これらを踏まえ、今後は動作試作を用い実験・実証を行う。

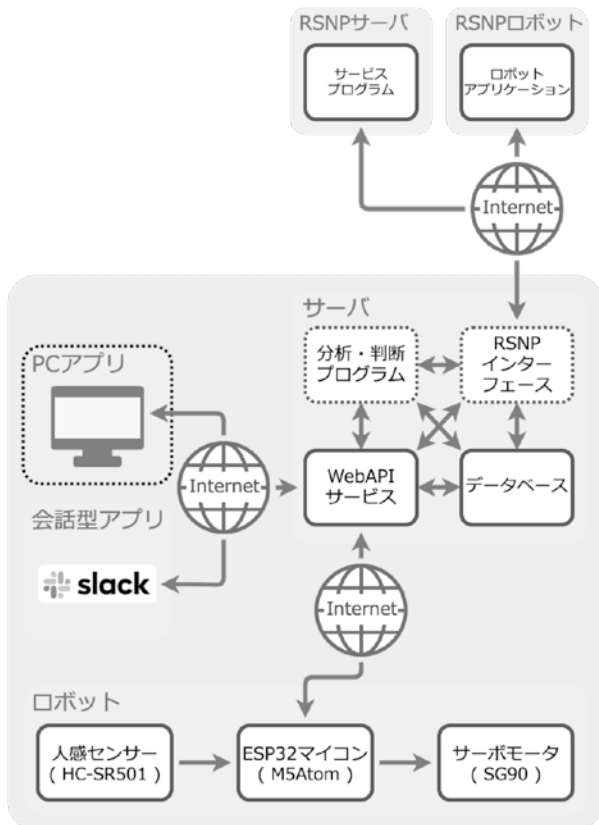


図 14:サーバ側を発展させたシステム構成図

## 7 おわりに

2016年6月、専門の異なる学生有志が、本学創造技術専攻・内山研究室に集いロボット研究活動をスタートした。2017年3月からは内山PTに引き継がれ5年目となる。

2020年、東京では世界中が期待しているオリンピックが開かれ、都市中が活気満ち溢れる予定であったが、COVID-19のパンデミックにより、学校生活は一転し、PBL活動も新しい活動形態が求められることとなった。

研究活動スタートより「人との共生を目指すパートナーロボット」の方向性などについて、本学情報アーキテクチャ専攻・成田雅彦先生から多くの励ましや助言をいただいた。また、設立有志メンバー、内山PT修了生に対して改めて感謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] 総務省平成27年版通信情報白書, pp.191-193, 2015.
- [2] 角田善彦, 上林昭, 高橋和章, 小野敦士, 神田雅泰, 岸本悠希, 山田涼馬, 近藤嘉男, 内山純, 人間とロボットの関係性を再デザインする—21世紀初頭を超えた

その先のコンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要, No.10, pp.161-167, 2016.

- [3] 平社和也, 竹島大智, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究—表情と仕草に着目したコンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要, No.11, pp.175-180, 2017.
- [4] 岡野恵実, 周元, 小川太輔, 神田雅泰, 平社和也, 土屋陽介, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究—人々のコミュニケーションを媒介するロボット—, 産業技術大学院大学紀要, No.12, pp.171-176, 2018.
- [5] 小川太輔, 大類桂一, 北浦なつみ, 胡瑤霞, 楊旭, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究—「ハートフルロボット」コンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要, No.13, pp.121-126, 2019.
- [6] Wilder Penfield, Theodore Rasmussen, The Cerebral Cortex of Man: A Chonical Study of Localization of Function, Macmillan, 1950.
- [7] リチャード.S.ラザルス・スーザン.フォルクマン 本明寛・春木豊・織田正美(監訳) 1991 ストレスの心理学—認知的評価と対処の研究 実務教育出版 (Richard,S.Lazarus,& Susan,Folkman 1984. STRESS,APPRAISAL,AND COPING. New York :Springer Publishing Company,Inc.)
- [8] 齊藤瑞希, 菅原正和, ストレスとストレスコーピングの実行性と志向性(I)-ストレスとコーピングの理論, 岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要 第6号 pp.231-243, 2007.
- [9] 平井康次, ストレスコーピング—自分でできるストレスマネジメント—, 心理健康科学, 6(2), pp.59-64, 2010.
- [10] 公益社団法人 日本看護協会 <https://www.nurse.or.jp/nursing/shuroanzen/safety/mental/kojin/index.html>, (visited on Oct. 3rd, 2020)
- [11] 厚生労働省, e-ヘルスネット, ソーシャルサポート <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/exercise/ys-067.html>, (visited on Oct. 3rd, 2020)
- [12] 守口善也, 心身症とアレキシサイミア, 心理学評論 Vol.57 No.1, pp.77-92, 2014.
- [13] 成田雅彦, 泉井透, 中川幸子, 土屋陽介, 松日楽信人, 加藤由花, ネットワークを活用したロボットサービスのための非専門家向け開発フレームワークの提案, 日本ロボット学会誌, Vol33 No.10, pp.807-817, 2015.
- [14] 加藤由花, 土屋陽介, 成田雅彦, ロボットサービスネットワークプロトコルを使用したパーソナルクラウドシステムの構築, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-DSP-

148 No.14, Vol.2011-GN-81 No.14, Vol.2011-EIP-  
53 No.14, 2011.

- [15] 松本じゅん子, 多賀谷昭, 病棟の騒音への認識に対する自然環境音の効果, 長野県看護大学紀要 15: pp.15-22, 2013.





# 水害被害と移動弱者の問題を解決する 新しい移動のデザイン提案

青山正伸\*・高橋匠\*・戸來園子\*・ミリグリ マハムティ\*  
山下顕治\*・李超\*・村越英樹\*・河西大介\*・海老澤伸樹\*

a new transportation design that solves the problems of  
flood damage and vulnerable road users

Masanobu Aoyama\*・Takumi Takahashi\*・Sonoko Herai\*・Miriguli Maihemuti\*  
Kenji Yamashita\*・Li Chao\*・Hideki Murakoshi\*・Daisuke Kasai\*・Nobuki Ebisawa\*

## Abstract

This research is a hypothetical design proposal assuming 2030. Targeting local cities with a population of about 100,000 along the seaside and rivers as the main target areas, primary lifesaving in emergencies such as tsunami and flood damage, and solution for daily mobility of vulnerable people who tend to lack mobility means We proposed a new mobility design that enables Specializes in short-distance, low-speed applications, and includes forms that float on water in emergencies and withstand the impact of a tsunami, and service proposals.

Keywords: EV design, Flood damage, Last one mile, Provincial city, vulnerable road users

## 1 はじめに

2011年、東日本大震災の大津波の際に多くの方が自動車での避難時に津波に巻き込まれて亡くなった。その後も日本全国で激甚化する水害による被害が続いている。また、社会構造の高齢化、地方公共交通の衰退、ラストワンマイルなどの構造的な問題によって移動の自由を制限される移動弱者の問題の深刻さが増している。

本プロジェクトは、この「水害被害」と「移動弱者」の二つの大きな社会問題に着目した、近い将来を想定した「新しいモビリティとサービスのデザイン」を行う「デザイン仮説提案型」の取り組みである。

なお本プロジェクトは、2019年4月から産業技術大学院大学の修士2年次の6名の学生と3名の担当教員によって一年間のPBL (Project Based Learning) プロジェクトとして進められた。

## 2 取り組む問題の特定と背景

### 2.1 「地震津波」多発国日本

2011年の東日本大震災では、津波から自動車から逃げようとして被害に遭った人、避難中に渋滞にあつて立ち往生し津波に追いつかれてしまった人、自動車に乗ったまま水に浸かり脱出できずに低体温症で亡くなった人など、自動車が

関係する被害は甚大であった。自動車内の遺体発見数だけでも、宮城県で575人(遺体収容数の6.1%)、岩手県で102人(同2.2%)にのぼった [1]。

将来も津波に対する具体的な不安は多い。例えば、南海トラフ巨大地震は今後30年以内には発生する確率90%とされる。太平洋岸の全域を襲う津波の最大高は、高知県で34メートル、静岡県で33メートル(一般的なビルの11階の高さ)が予想されている [図1]。

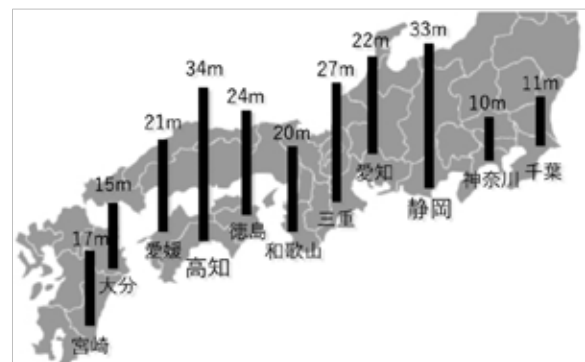


図1：南海トラフ地震の想定最大津波高 [2]

また、津波の“高さ”だけでなく、到達するまでの“時間”も注意しなければならないとされるが、津波の第一波の多くが

数分から10分以内に到達する [図 2].

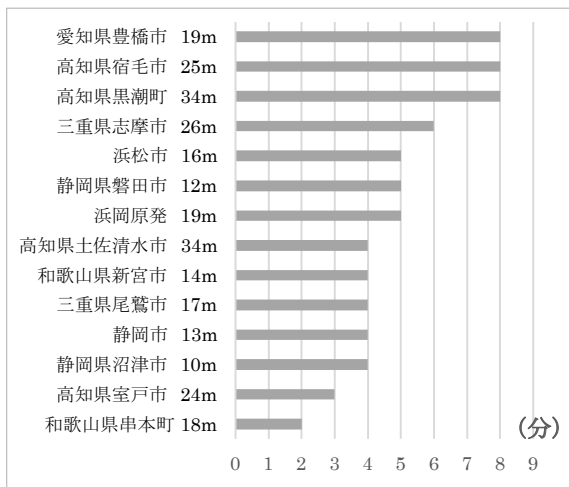


図 2 : 南海トラフ地震 津波到達時間 [3]

さらに、宮城県の平坦な地形の地域では、三陸海岸のような高台までの距離が近いリアス式海岸の地域よりも、自動車を使った避難による被災率が約3倍高かったことが東日本大震災の調査からわかっている [1]. 平坦で人がたくさん住める海岸沿いの地域ほど、被災リスクが大きい。

国土全体に山間部の占める割合が高く、海沿いの平野に多くの人が居住し、自動車に依存した生活者が多い日本においては、津波被害のリスクはより高いという認識が必要である。

### 2.2 多発する「水害」と増加する被害

次に、[表 2]に 2011 年の東日本大震災以降 2019 年までに発生した大規模水害を示す。地震津波被害を含む水害による家屋浸水・土砂崩れ・停電・自動車の水没などの被害が各地で絶え間なく発生した。日本中、津波だけに注意していればよいわけではなく、どこに住んでいても様々な災害の危険があることが広く認識され、自身の居住地のハザードマップを確認する行動が一般化した。

表 2 : 2011 年から 2019 年の代表的な水害被害

年	主な水害
2011 年	東日本大震災, 津波
2012 年	九州北部豪雨, 洪水
2013 年	台風 18 号, 伊豆大島豪雨
2014 年	広島豪雨, 土石流
2015 年	鬼怒川堤防決壊, 浸水
2016 年	熊本地震
2017 年	九州北部豪雨, 洪水
2018 年	西日本豪雨 北海道地震, 全域停電
2019 年	台風 15 号 19 号, 洪水, 長期停電

世界に目を向けると、この 20 年で自然災害による経済損失額はそれ以前の 20 年の 2.5 倍に激増した [図 3]. その原因の7割が「水害」であった [図 4]. 「津波」だけならば影響の範囲は限定的でも、気候変動を背景とした「水害」と広くとらえると、その人的経済的損失を防ぐことは、世界中で喫緊の問題である。

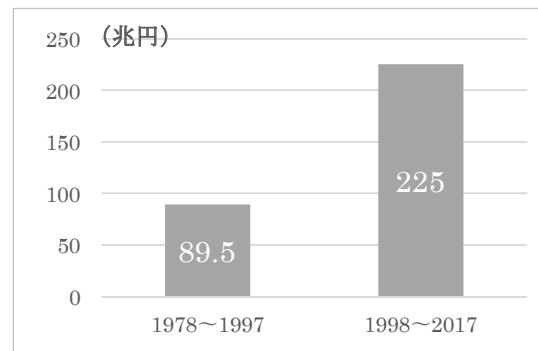


図 3 : 世界の自然災害の経済損失 [4]

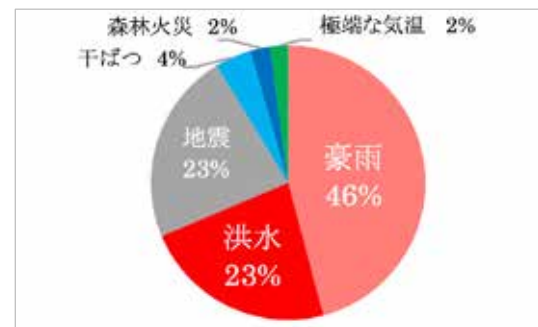


図 4 : 世界の自然災害 : 種類の内訳 [4]

### 2.3 地方でより深刻な「移動弱者」の問題

世界の中で日本の高齢化率は1番進んでおり、その率も 2050 年ごろまで上昇し続ける [図 5]. 高齢化という構造的な問題とともに、日本は世界の中でも移動弱者の問題が先行して発生している“移動弱者先進国”でもある。

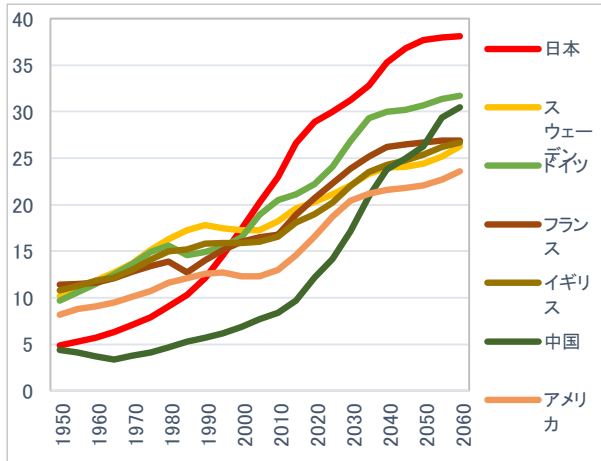


図5：世界の高齢化率の推移 [5]

それに加え、前述のように水害が毎年のように発生し、自分の力だけでは避難ができない高齢者、障害者、子育て家族などの移動弱者の避難の問題が存在する。

問題は全国各地で起こっているが、三大都市圏は2040年から2050年ごろまで人口増加局面であり、移動の選択肢は比較的多い。一方で、その他の地方の中核都市よりも小規模な都市の多くはすでに人口減少に転じている。自動車に依存しなければ生活が不便な地域は多く、自動車を運転できる人の手助けがなければ、日常の買い物にも病院にも行けない「弱者」や、移動手段が乏しいため運転免許を返したくても返せない人々の問題も存在する。自治体やコミュニティの財政悪化、公共交通手段の破綻・消滅の問題も地方の方が比較的先行している。従って、地方の方が、より早い解決が急がれる問題であると捉えた。

#### 2.4 問題解決の現状(非日常・災害時)

災害時の「水害被害」「移動弱者」の現状はどうか。近年CASE(Connected, Autonomas, Share, Electric), MaaS(Mobility as a Service)のキーワードの元で、自動車・交通に関わる変革が進められている。しかしその中に「自然災害・水害から人を助ける」ことに着目した機能・サービスは見つけることができなかった。水陸両用車の観光利用、自衛隊などの特殊車両活用などは昔からある。またベンチャー企業であるFOMM社がタイで水に浮く自動車を実用化しているが、タイの広い平野で時間をかけてゆっくり水位が上昇する水害への対応が特徴であり、津波やスコールなどによる急速な水位上昇、堤防決壊、耐衝撃性対策も必要な水害に対するものではない[6]。

逆に、災害避難時に自動車による交通渋滞の発生を防ぐため、多くの自治体では自動車による避難は禁止とされ、救命は基本「自動車以外」の手段で計画されている。それに対する自動車関連業界からの積極的な提案は見つけることができなかった。それどころか、大規模水害で大量のマイカー

が水没・廃車になり、貴重な財産と生活の足が失われて困窮する市民の姿が多く報道されるなど、「救命」以外の対応も十分とは言い難い現状である。

#### 2.5 問題解決の現状(日常時)

日常時の「水害被害」「移動弱者」の現状はどうか。

例えば、以前から進められている「交通死亡事故0」を目指した活動は、着々と死亡率が減少し成果は上がっている。特にドライバーの誤操作防止や被害軽減をする先進運転支援システム(ADAS)の進化は年々進み、死亡事故数も年々減少している。また、「移動弱者」の日常の移動の不自由さの解決のための公共交通の自動運転の実証実験は盛んに進められている。しかし、それらは主に既存公共交通の改善にフォーカスされており、家の玄関から幹線道路までの間の「ラストワンマイル」の問題解決とは別だ。

大野秀敏らは2015年の著作において、従来の鉄道などの公共交通をく大きな交通>、いわゆる「ラストワンマイルモビリティ」などの身近な個人の生活圏における自由な移動手段をく小さい交通>と呼び、日本各地における様々な実証実験や社会実装へのトライを紹介し、く小さい交通>の可能性の大きさを示唆した[7]。同時期に各自動車メーカーは自宅からの近距離移動の問題をターゲットにした超小型モビリティを相次いで発表した。

しかしその後、社会への実装、製品発売に至らないまま動きは沈静化してしましたが、2019年の国土交通省の旗振りによって再度本格化し、2020年には、軽自動車と電動車椅子の間に位置する車両規格が法制化され、具体的に動き出そうとしている[8]。これはポジティブな動きだと考えられるが、残念ながら主として健常者のラストワンマイルの問題を対象にしていると考えられる。「移動弱者」が頼れる手段は未だ本格的に実現に進んでいない。

ここまでの問題把握から、「水害被害」「移動弱者」という2つの社会問題にフォーカスし、日常時と非日常時両方の利用を想定した「新しい移動の提案」を行うことは、社会的な意義と希少価値のあるテーマになる可能性が高いと考えた。

### 3. 対象地域の予備調査

#### 3.1 今後必要とされるモビリティ

まず前章で述べた移動弱者が河川の氾濫、津波などの災害非常時にも避難や救命といった手段として使えるという、今までの自動車にはなかった新しい機能を持つモビリティを目指すこととした。

その上で移動弱者にとって、日常的に便利で安心して利用出来る移動手段としてどのようなものが望ましいかを考えた。交通弱者が利用する地方の公共交通は、今後も現在のようなインフラ的要素を維持していくことが難しい状況になって

いくであろうと推察される。それから脱するために有用な手段になるモビリティが将来は必要とされるであろう。そしてその方法論として、特に個人所有ではなく、シェアリングすることでその運営、維持が継続できるのではないかと考えた。個人の日常的な個別の利用に対応し、かつその使用が共有されるのであるなら、使用頻度も上がり、より移動弱者に欠かせないモビリティになりうる可能性が増すであろう。

その上で小型化、小エネルギー化、低コスト化を実現するのなら、電気自動車に将来性があるのではないかと考察した。電気自動車であれば、SDGs 的観点においても、風力発電をはじめとしたさまざまな手段による再生可能エネルギーで電力を賄うことが可能となる。また、運転免許がなくても誰もが利用できる完全自動運転を想定することで、より移動弱者にも寄り添えるモビリティとなる事を目標とした。

### 3.2 モデル地域で選んだ静岡県沿岸自治体

そこでモデル地域として考えたのが、今後高い可能性で起きるといわれる南海トラフ地震が引き起こすとされる、津波被害が想定される太平洋沿岸。中でもその沿岸総延長が最長である静岡県の海沿いの自治体である。津波被害が想定され、交通弱者が大都市圏などと比較すれば圧倒的に多い地方なら、どの程度の逼迫した状況か、我々が考えようとしているモビリティに対しての需要が生まれる可能性を探ることにした。

2019年現在で、地震による津波に対して、どのような対策をとっているかを、自治体に対して直接アンケート調査を実施した。かなりの危機感を持っているのではないかと推測し調査を開始したが、想定とは違う結果が出てきた。表3でまとめたように、各自治体が普段から意識し備えているのは、将来起こる可能性が高いとはいえ、緊急性があるかないかが全く予測できていない南海トラフと津波ではなく、毎年いずれかの地域が見舞われている台風や大雨による河川の洪水被害に強い危機感を抱いているという事だった。

表3：南海トラフにおける静岡県沿岸地域の各自治体の意識調査（2019年6月）

自治体名	広報や災害対策などの各課の回答内容
静岡市	市としては対策を進めたいが、市の面積が広い ため各地域の水害対策や富士山の噴火対策の 方が、市民に求められている
牧之原市	津波に対する対策を進めるよりも、各地の水害 対策の方が予算を取りやすく実際にその名義に よる対策が進んでいる
富士市	沿岸地域が狭いのと地理的關係で、津波被害よ りも富士山の噴火への対策を求められている

沼津市	海辺に面しているとはいえ、沿岸地域よりもそれ 以外の地域が多いため、川の氾濫など他の水害 への対策が急務となっている
御前崎市	起こりうる大地震への対策も進めているが、津波 への対策が遅れているのが実情である
浜松市	海岸線とは別に浜名湖を抱えているため、津波 よりも豪雨などによる増水などへの対策の方が 求められている
焼津市	市街地が海辺から近くまた平地が多いことから、 東日本大震災以後市民の意識もかなり高い
磐田市	現状南海トラフの津波対策において、大きな声 で車での避難は勧められないが、現状は避難場 所への遠距離や、高齢化などを始めとした交通 弱者を抱えることを考えると、早急に策を立てた い
袋井市	海岸線には居住地域が少なく、平地の方に住民 が多いのでそちらに対する対策が求められてお り、津波よりも河川の氾濫などによる水害への意 識が高い

この河川の洪水など含む水害に目を向けた場合、その地域は静岡に限らず、日本全国においてその数は枚挙にいとまがないことが考えられた。これまでは大規模水害と言っても主に海からのものに目を向けてきたが、実際には、河川の氾濫によるものも多いことに気づかされた。

そこで本プロジェクトは南海トラフなどの沿岸地域で起こる地震による津波被害にとどまらず、河川の氾濫なども想定した水害の両方に目を向け、かつ日常利用が出来るモビリティへと活用場面をさらに広げる想定とした。

### 3.3 モビリティの活用想定地域

想定地域を選定するにあたり、人口が全国自治体の内、人口20万人以下までの自治体の数で全体の92.7%を占める。そして各規模内の総人数を検討した結果、今回はそのボリュームゾーンである10万人前後の規模で「大規模水害」「移動弱者問題」に合致する都市を探した。

洪水被害の危険性がある自治体が多数あるところを可能な限りピックアップした。そして選んだ3都市の用途地域地図に、市役所から同心円を描き、大きさがどの程度であるかを計測した[図7][図8][図9]。

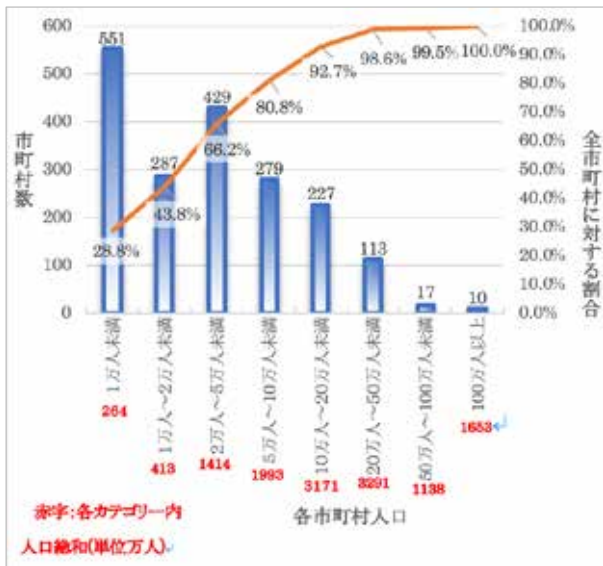


図 6 : 全国市町村 人口分布 [9]

次にモビリティの活用範囲をどの規模にすれば良いかを調べることにした。そこで 10 万人規模の自治体で、洪水被害の危険性がある地方都市が多数あるところを可能な限りピックアップした。交通弱者の移動の目的地には病院や役所、商店など市街地圏に存在する対象が多いと推測される。そのために(そして選んだ)都市の用途地域地図に、市役所から同心円を描き、その移動地域の大きさがどの程度であるかを検討した [図 7] [図 8] [図 9]。

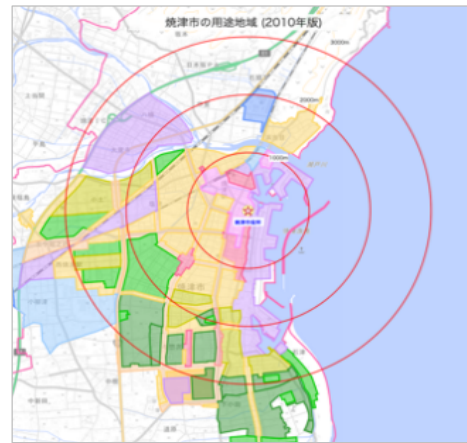


図 8 : 静岡県焼津市(14 万人)[10]

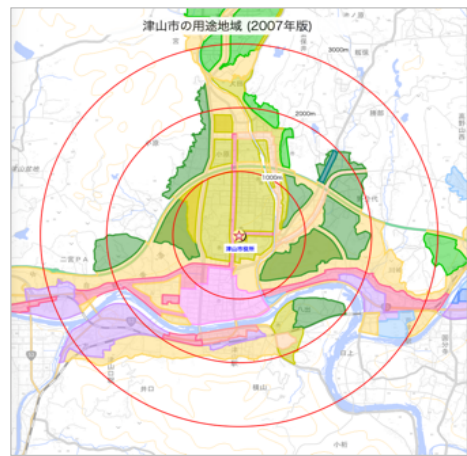


図 9 : 岡山県津山市(10 万人)[10]

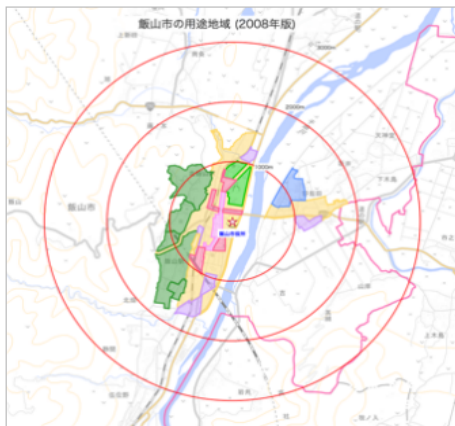


図 7 : 長野県飯山市(人口 10 万人)[10]

するとほぼ 90%以上の地域は、市街地規模が半径 3 km 以内に市街地圏(≒居住圏)があることが判明した。

この地域間を例えば路線バスなど公共交通を利用して移動する場合、最寄りのバス停までの徒歩による移動と、乗車までの待ち時間なども考慮するとおそらく 30 分程度の時間はかかるかと推察できる。これらの検討から提案のモビリティの 1 回の利用での移動距離は最大でも 10km 以内、移動の速度は最大で自転車並みの時速 20km/h の比較的 low speed と仮定した。

#### 4. コンセプトの構築

対象地域の選択やそれらの調査を通して、提案モビリティの日常的な使用に関する基本的な必要要件が明確となったので、さらに大きさや乗車定員、災害非常時の機能などを検討することで基本コンセプトの構築を行った。

##### 4.1 提案モビリティサイズの検討

前述のようにこのモビリティの移動の最高時速を 20km/h と仮定した。

完全に制御された自動運転を想定しているが、この速度であるなら、仮に対人対物の衝突事故が起きたとしても、死亡事故に至る確率は大幅に低くなると考えられる。

また衝突時のエネルギーは速度の2乗とその重量に比例する。この為このモビリティでは速度がかなり低速であることで通常の自動車のような乗員の安全の為の衝撃吸収性能などは必要とされない可能性が高い。またもう一つの衝突エネルギーの要因である重量もサイズを小型化して可能な限り削減したいと考えた。

そこで各地で導入の事例があるオンデマンドタクシーを参考にすることとした。タクシーの乗員から自動運転であることによる運転手の削減を考えると、乗車定員は3~4名と考えることが出来る。

一方、移動弱者の中でも要介護者の場合は、保護者や介添人を含め二人乗りは最低限と考えた。そこに必要に応じてプラス1名の定員、つまり3名であれば、必要十分と考えた。また地方都市の道路は狭いことも多く、日常の移動の道具としての観点からも車体の全幅などは日本の5ナンバーサイズ(全幅1700、全長4800以下)を参考とした。

#### 4.2 非常時の機能

現在、津波などが想定される地域においては様々な避難カプセルが設置されていることも多い。この事実を参考として非常時は小型の避難カプセルとして機能することを考えた。

津波などの避難カプセルとして求められているのは強い対衝撃性能や剛性と水密性能である。避難カプセルで水上を自由に移動することは求められていない。

そこで出てきた考え方が、一次救命に限定することだった。逃げるのに間に合わない、渋滞で逃げる事が出来ないという事態を招いてしまう現状があるなら、逃げなければよいという逆転の発想からのものであった。

逃げ遅れても最低限命が助かるには、水が引くまでやり過ごし、その間浮いていられることを最優先した構造にする。そこで24時間は沈まず、その間に発見され救助されるような機能(GPSなどの位置確認機能)を持たせ、自らが動かないようにすれば良いとした。これらのことにより必要以上のモーター出力やバッテリー容量などを積載することなく、重量軽減と燃費(電費)向上を狙うこととした。

沈まないことに加え、転覆しないようなボディバランスと、漂流物等の衝突による衝撃に耐えられる構造なら、一次救命としては必要十分ではないか?というアイデアが浮上してきた。衝撃に耐えるには、出来るだけ剛性の強い材質で、それに強い形状と構造を追い求めていくと、どうしても重量が増える方向になってしまう。ならば衝撃を受け止めて耐えるのではなく、逃がす、いなすということを可能とする形状や

構造を模索することとなった。

#### 4.4 沈まないモビリティ

これを実現するためには、居住空間の完全な水密性を実現する必要がある。ガソリンエンジンではその動作行程を実現するための換気孔が必要不可欠。故に一切の水密、気密を現実化できるものとしては、電気自動車であることは大きな利点であることが分かった。そこで重量を必要最低限とすればよいかを検討することとなる。

まず電気自動車の重量を一番左右するのがバッテリーである。バッテリーの軽量化を図るには、航続距離に直接起因する充電容量とモーターの出力も必要最低限を探ることとなる。そして非常時は浮遊し、GPSなどで位置情報を発信し救助を待つことが出来るようにすれば、水上移動をさせる推進力も必要なくなり、出力も必要最低限で考慮することが出来る。

また車体の材質と形状を迫り追及することも軽量化には重要である。安全性を担保するには車体の剛性を上げる必要があるが、丈夫な材質と構造を実現するだけでは重量化へと逆行してしまう。そこで軽量化を実現するためには、単に強度を上げるのではなく、衝撃を極力少なくするか、受けた衝撃を逃がす形状を実現できれば、剛性の高い材料や構造を採用せずに済むと考えた。

そして自動車のような長距離、長時間、高速の移動手段ということを使用目的から外すことにより、居住性に関しての装備を安全が担保されただけのものとする。これにより更なる軽量化を実現できると考えた。

このように全ての面において必要最低限を迫り追及することで、最大限の有効性を実現するというコンセプトが見えてきた。

#### 4.5 EVならではの避難した後の有用性

今までになかった避難時にも使えるモビリティとなることで、避難した後の優位性も生まれてくる。

EVであるならば、避難所に着いた際は、非常用電源としての活用方法が見いだせるのである。この優位性を最大限に生かすためには、水に浮く一時避難の方法をとることも大きい。救命と同時に電気の消費を最低限に抑えることで、より多くの非常用電源を蓄えることとなる。このような優位性を持つことは、普及や導入をさらに促進できると考えられる。これらのコンセプトを実現することが、本プロジェクトの目指す「水害被害と移動弱者の問題を解決する新しい移動のデザイン提案」を具現化できると確信した。

## 5 デザイン提案

### 5.1 一次デザイン

約 2 か月間の期間をかけて、基本コンセプトの構築を行った。メンバー全員で展開、協議を行い、水害から身を守るモビリティを想定し、スケッチを作成、アイデア展開、デザインのバリエーションの検討を行った。

水害時、漂流物から身を守り避難できる物として、船舶に設置される救命ボートから、着想を得る事ができた。救命ボートは主に洋上で使用される事を想定しており、水面で安定して乗れるよう、正多面体を基本構造としている。

しかし、陸上で使用する場合、道路幅の問題から車体幅を制限する必要がある。形状を保ちつつ空間を確保する為、正多面体の形状で複数の形状を検討し、構造上最も軽量で高い剛性が期待でき、かつ狭隘路なども障害物を避けて移動しやすい正四面体を基本のフォルムが最も安定し、空間を確保できる形状と想定した [図 10]。

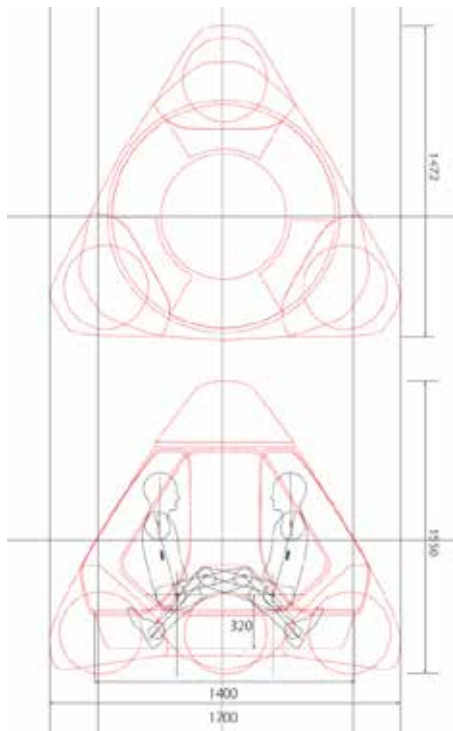


図 10 : パッケージング

基本パッケージは、正四面体の空間に成人 3 名を最大定員とした。車体の四隅に座って乗り込む事を基本としている。球形タイヤを使用し、タイヤ内部にモーターとバッテリーを内蔵することを想定している。この事により、タイヤと室内空間を分離する事ができ、居住性を確保しつつ浮く事が可能となる [図 11]。



図 11 : 水面浮遊時

また、方向性を持たない為、周囲の環境に合わせて移動する事ができる。車体を下げ 3 つのドアから乗り降りする事が可能となっており、バリアフリーにも対応している [図 12]。

これらの特徴的なフォルムから、愛称を tetra と命名し、プロジェクトを進める事とした。

正四面体のシンプルなデザインで、街中や民家に配置しても違和感なく溶け込めるように、モトーンを中心にカラーリングを行った [図 12]。



図 12 : 一次デザイン

## 5.2 二次デザイン

一次デザインをふまえ、足回りの居住空間を確保し、全体のデザイン、フォルムの改善を行った。足周りに重心が移動し、安定した状態で走行する事を想定している。車体幅に変更点はなく、狭い既存の駐車スペースに 4 台駐車する事ができ、効率が良いコンパクトなデザインとなっている [図 13]。

頭頂部にライトを設定し、夜間でも自動走行し地域のパトロールも可能となる [図 14]。太陽光発電で遮光ガラスの



電力をまかないつつ、3つ球状タイヤで電力バランスを取りながら発電走行を行う [図 15].

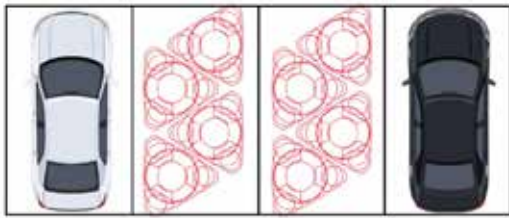


図 13 : 既存スペースの駐車時



図 14 : 夜間走行時

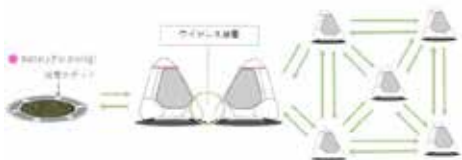


図 15 : 給電システム

また、10万人規模の市町村の用途市域(住居、商業、工業)エリアにおいて、片道3km程度の自由な移動を実現し、地域のインフラとして使用される事を想定した [図 16].

地面設置型の給電スポットは待ち合わせ場所や休憩場所になり、コミュニティの中心として機能する事を設定してお

り地域への貢献も期待される [図 17].



図 16 : 用途市域エリア走行時



図 17 : 地域のコミュニティー

## 6 最終デザイン提案

### 6.1 パッケージングの再検討

一次、二次デザインでは、モビリティの機能を果たす要素を中心に提案を行ったが、空間の狭さが目立ち、快適性に欠ける印象となった。

この事から、一次避難のポットとしての機能と、街乗りや公共スポットとして使用される際の、快適な居住性や、乗り降りのし易い高さ、乗車定員の妥当性をモックアップの作成を行い、さらに検証を進める事とした。

居住空間の狭さの原因は、ピラー幅と、着座時の頭部の目線の位置、天井の空間の狭さが問題として挙げられた。

ピラー幅を細くし、内側から見える外側の空間を広げる事とした。天井空間は、LEDパネルで室内を照らし、インテリアには明るいページのパネルを配置し、落ち着きがあり、遮蔽間を感じさせないカラーリングとした。

また、平均的な椅子の座面高さが 400mm、靴などを履いた際に 420mm 程度である事を考慮すると、設計上この高さを変更した場合、全体のデザインやシルエットの印象の変化、漂流物の衝突時の剛性に影響がある。着座時の頭周りの空間を広げる為に、四面体の稜線に膨らみを持たせる事で、成人で着座でき、快適に過ごす事ができる高さを検討し 300mm の高さとした [図 18]。

-Spec-	
最高速度：20km/h	● Wheel
最低速度：5 km/h	● Battery(For driving)
(人通りが多い街路の走行時)	● Battery(Indoor)
性能/電動機(モーター)：5kW×3	● Sensor/Antenna
乗車定員：通常2名(緊急時最大3名)	

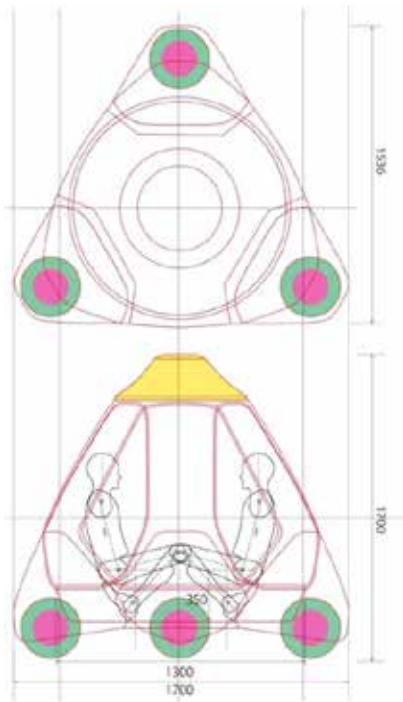


図 18 : パッケージング

### 6.2 1/1 ダーティモックアップ

図面上の設計の想定乗員数で居住性が確保されるか否か、ダーティモックアップを作成し検証を行った。このダーティモックアップは、直径 30mm の紙管に 3D Printer で出力したジョイントパーツを作成し、組み上げる構造としている。

組み立てに際し、紙管の輪郭線が車体の内側になるよう角度を厳密に測りながら調整を行った。1700mm×1700mm の車体に対して、成人男性 3 人で乗車する事ができる空間を確保できることを検証できた [図 19]。



図 19 : 1/1 ダーティモックアップ

### 6.3 最終デザイン

最終デザインは、全長 1700mm×全高 1700mm×全幅 1536mm、最大定員 3 名を最終デザイン提案とした。空調などの装備の為にバッテリーを配置する位置を車体の底面に配置する事により、重心が低くなり、走行時、水面での浮遊時の安定性を増すことができた。

ピラー部分を湾曲させ、空間を確保する事により、直線的なフォルムが一新され、丸みを帯びた親しみやすい印象となった。

また、内部空間が広がったことにより、車体を下げる事で、より乗り降りもスムーズとなった [図 20] [図 21] [図 22]。



図 20 : 最終デザイン 1



図 21 : 最終デザイン 2



図 22 : 乗降時



図 24 : 1/7 タイヤスケールモデル

#### 6.4 1/7 スケールモデル

3DPrinter で 1/7 スケールモデルを作成し、実空間において立体形状の検証を行った。ABS 素材の積層式のテストを繰り返した際、縮みにより、ピラー部分に反りが発生し、部品事に対称な形状で作成する事が困難であると判断した。このため硬化時の縮みの影響が少ない素材の検討を行い、PLA の積層式を採用した。

ドア部分は、塩化ビニルのスモークを採用し、NC 切削機を使用しケミカルウッドの切削、真空成型加工を行った。

3DPrinter で出力後にパテ盛り、やすりで磨いた後、アクリルスプレー塗装している。模型の形状を視認しやすくする為、全体のボディは白を基本としている [図 23]。



図 23 : 1/7 スケールモデル

タイヤ部分は、Objet3D を使用し、光造形で作成を行った。タイヤの溝部分を再現する為、正多面体の球状の格子をアルゴリズムで設計し出力している。2種類の基材を使用し、コアと表層のゴムの二層構造で出力している。複雑な形状を光造形で出力する事ができ、ゴムの基材を使用して、よりタイヤらしい形状を表現する事ができた。[図 24]

### 7 想定諸元と技術検証

ここでは、tetra の機能を実現するにあたり、必要とされる想定技術の具体的な実験結果および想定内容と、サイズ、重量、電力仕様などの想定諸元をまとめた。

#### 7.1 形状による回転差実験

車体の形状による、水上での回転差を測定するため、正四面体(三角錐)と球体の簡水上での安定性の実証を目的に、車体の形状による水上易な形態のスケールモデルを作成し、手動により水面上で回転させ、回転が停止するまでの時間を測定した [図 25][表 4]。



図 25 : 回転差実験

表 4 : 回転差実験結果(秒)

回数	1	2	3	4	5	平均
正四面体	1.32	1.05	1.11	1.15	1.21	1.17
球体	11.85	14.65	11.4	16.02	15.86	13.96

この結果、球は正四面体の 10 倍以上長時間、回転を続けた。これにより、正四面体は水上で衝撃により回転してもすぐに止まるため、乗員の危険回避に優れることが判明した。また、正四面体は立方体等と比べ重心が低く、衝突物を「いなす」形態のため、水面での安全性が高いと想定される [図 26]。

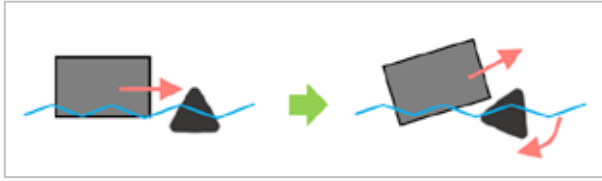


図 26：正四面体で想定される安定性

## 7.2 走行モデルの作成と動作実験

隘路での走行状態を調査することを目的に、走行用 1/20 モデルを作成し、走行実験を行った [図 27].

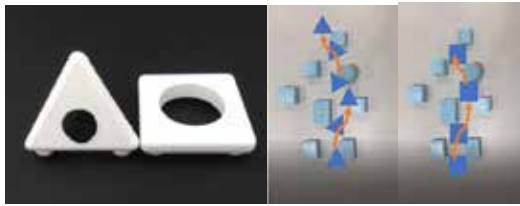


図 27：1/20 モデルによる走行実験

四角形に比べ正四面体は狭い道での走行優位性がみられた。たとえば 4 輪の移動体の場合車幅以下の道は走行できないが、tetra では底面が正三角形のため底面一辺の長さに対してその三角形の高さ方向は 15%程度短くなる。このこと、車体に方向性がないことを利用し、車体を回転させることで車幅(想定 1700mm)より隘路でも通り抜けが可能となることがわかった [図 28].

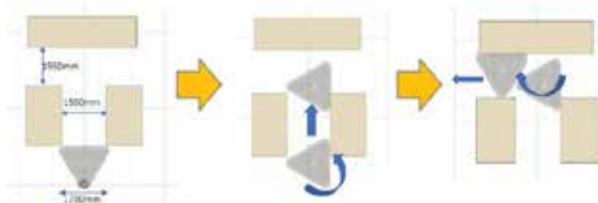


図 28：隘路での走行概念

## 7.3 3 輪走行モデルと実験結果からの知見

tetra の提案デザインは、バッテリーとモーターを内蔵し、軸がないため自由な方向に回転できる 3 個の球形タイヤを、三角推形状ボディの三隅に配置し、これを様々に制御することで通常の車などと異なる自由な動きができることを想定している。

そこで、3 輪での走行状態を調査することを目的に、実験のため 1/5 スケールの走行モデルを作成し、走行実験を行った [図 29].

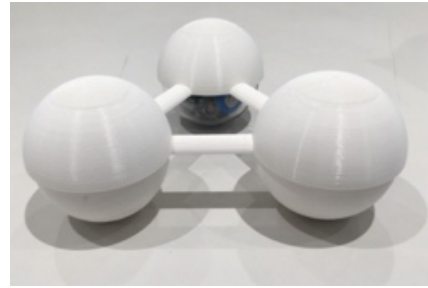


図 29：走行用 1/5 モデル

走行実験の結果をまとめると以下のようなになる [図 30].

- 1 輪低速走行時は、先頭の 1 輪による低速向け走行(時速 10 キロ以下). 後ろの 2 輪はフリーのため省エネ走行が可能.
- 1 輪高速走行時は、先頭 1 輪での中速走行(時速 20 キロ以上)だが、カーブでは後輪が外側に振られオーバーステア気味になるため横転等の危険度が高い.
- 3 輪完全同期走行時は、低速向け(時速 5 キロ以下)だが平行移動やその場での回転移動が可能のため狭い場所での移動、駐停車に向く.
- 3 輪同期走行時は、3 輪を制御して 4 輪と同様のカーブ走行を行う。中速時に適した走行である.

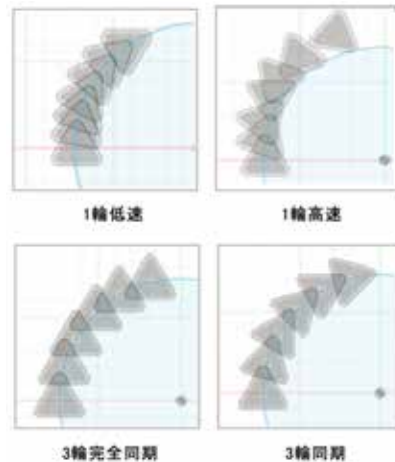


図 30：カーブでの走行状態

以上の知見から、三輪の球形タイヤを利用すれば、低速から中速までの走行形態に対応できるうえ、駐停車や車庫入れ等での平行移動にも容易に対応できることが明らかとなった。

## 7.4 球形タイヤの構造

tetra に使用するタイヤの想定構造を紹介する。

前述のようにtetra には車軸のない球形タイヤを採用するが、これは前後左右 360 度の自由移動を可能にするだけで

なく、車軸がないという特性を活かし全方向からの衝撃を容易に受け流すという特性も持っている。

ただ、その実現には、バッテリー、モーターなどの駆動系、コントロールのための制御装置などを内蔵し、車体と独立して走行可能な球形タイヤが必要となる。

[内部機構構造]

想定されるタイヤの内部は、通信およびコントローラ部、バッテリー部(一個あたりの想定蓄電 500Wh/kg×27kg=13.5kWh)、モーター・駆動装系部(電動型制御ブレーキ、回生協調ブレーキ含む)、外部からの無線充電用電磁誘導コイル・充電部(磁気共鳴式)、タイヤ周辺部を支えるプーリー等で構成される [図 31]。

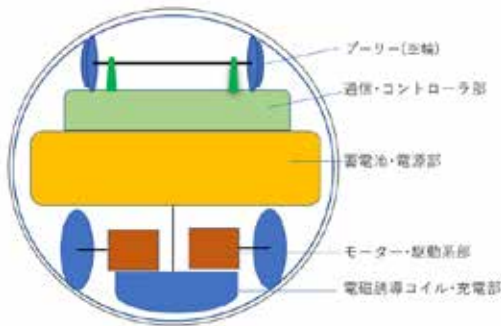


図 31 : タイヤの内部機構概念図

これらの内部機構を厚さ 10mm 程度の球形カーボングラファイトと圧電素子等の補助発電回路, 15mm~20mmの硬質タイヤゴムで覆うことで球形タイヤが完成する [11] [12]。

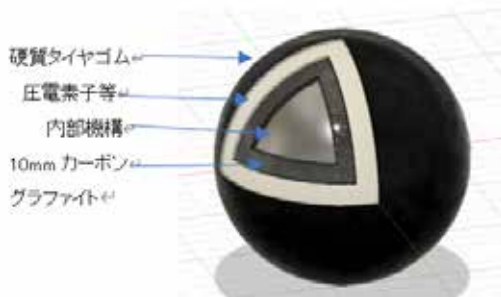


図 32 : タイヤの外部構造イメージ

7.5 車両搭載用電池

NEDO(国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構)による、2030 年までの 2 次(車載)電池の開発目標を参考にすれば [表 5], tetra 搭載電池は、エネルギー密度 500Wh/kg(1kg 当たり 500wh)タイプを 27kg×3 個搭載。電力出力量 40kWh, 最高出力 60ps が実現可能。1 回の充電での航続距離は 300km(空調利用などを除く)以上が想定可能となる。

表 5 : 車載用蓄電池の開発目標 [11]

		現状	2020 年代	2030 年代
EV	航続距離	120~200km	250~350km	500km 以上
	車両価格	300 万円以上	230 万円	190 万円
電池パック	蓄電池タイプ	LIB	先進 LIB	革新型蓄電池
	エネルギー密度	100Wh/kg	250Wh/kg	500Wh/kg
	コスト	7 万円/kWh	1.5 万円/kWh	1 万円/kWh
	研究開発体制	産主導 (垂直連携)	産学連携 (垂直連携を基本)	産学連携 (水平連携)

7.6 フローティング性能

tetra の最終デザインの想定から車体体積は約 1.59 m<sup>3</sup>と計算できる。つまり全浮力が 1590kg なので、車体体積の 40%(約 450mm)の水没で約 630kg の浮力が生じることになる。tetra の諸元では車体重量を 350kg と想定しているため、体重 90kg の大人が 3 人乗った場合で水害に遭遇しても、水上においてボディの部 450mm 程度が沈んだ状態で安定すると予測される [図 33]。



図 33 : フローティング性能

7.7 太陽光発電能力

tetra の太陽光発電能力を、NEDO による太陽電池の技術進化予測をもとに、以下の条件でシミュレーションした。

- 1 m<sup>2</sup> 1 時間当たりの平均太陽光エネルギー: 約 1kW/m<sup>2</sup>
  - tetra の太陽パネル面積: 1.23×3=3.69 m<sup>2</sup>
  - 1 日の平均日照時間: 約 3.5 時間
  - 太陽エネルギー変換効率: 40% [14]
- 1×3.69×3.5×0.4=5.17kWh/日  
(1 日の充電で平均 5.17kWh 充電)  
5.2kWh(発電量)/40kWh(充電量)=12.8%

この結果、外部からの電力供給が失われても、平均 1 週間の太陽充電で蓄電量の約 9 割を充電できることがわかった。



図 34：太陽光パネルを開いて充電中の tetra

7.8 tetra 諸元

以上を総合して tetra の諸元を以下の表 6 にまとめた。

表 6：tetra 諸元

仕様		
全長	1536mm	
全幅	1700mm	
全高	1700mm (車体高 1600mm)	
体積	1.59 m <sup>3</sup>	
表面積	14.28 m <sup>2</sup>	
室内寸法	幅*1225mm	
室内寸法	高*1230mm	
ホイールベース	1345mm	
トレッド	1345mm	
最低地上高	1600mm	
乗車定員	3名	
車両重量・総重量	350kg/550kg	
性能	最大速度	20km/h
	最小回転半径	0m
	電力消費	67Wh/km
	フル充電走行距離	300km
電池	リチウムイオン/水素・空気二次電池等	
	重量	80kg(26.8kg×3)
	電池密度	500Wh/kg
	電力量	40kWh(13.5kWh×3)
	定格出力	30kW
	最高出力	50kW(60PS)
駆動方式	3輪独立連動駆動	
操縦運転	自律移動・外部コントロール混合方式 完全自動運転	
制動	電動制御ブレーキ, 回生協調ブレーキ	
空調	イオン発生型空気清浄機能搭載 ・フルオートエアコン	
	ヒートポンプ(省電力暖房)システム, クリーンフィルター	
発電	高性能太陽光発電ユニット(変換効率:40%)	
	発電能力	1.23 m <sup>2</sup> ×3=3.69 m <sup>2</sup>

平均発電量	5.2kWh/日
-------	----------

8. サービスデザイン提案と検証

8.1 サービスモデルを静岡県焼津市で検証

4章で立てたコンセプトをもとに、5章6章7章では提案モビリティそのものの性能と外形などのハードのデザインの提案を進めてきた。8章ではそれが使用されるサービスのデザイン(=コト)の具体化と検証を試みた。

tetra のコンセプトに基づくサービスモデルの具体的な検証のため、3章の予備調査の段階から1都市に絞り込んだ。しかし水害などの自然災害の危険が常にあり、かつ少子高齢化や移動の不自由の問題が大きい都市という基準だけでは全国各地にあまりにもたくさんある。そこでさらに条件を追加し、南海トラフ地震などの大地震・津波の危機にも瀕し、海と河川の両方からの水害の危険があり、人口減少・高齢化問題も、自動車への依存問題もすでに顕在化している地域に絞り込み、条件にかなう静岡県焼津市 [図 35]をモデルとして検証を行った。

【静岡県焼津市の主な特徴】

- ① 南海トラフ地震, 津波, 洪水問題を抱える
- ② 少子高齢化(2010年から既に人口減少)
- ③ 人口14万人に自家用車9万台の極度の自動車依存
- ④ 土地が平坦で人口密度が高い(県下23市中1位)
- ⑤ 大井川はじめ中小河川氾濫も近年発生



図 35：焼津市の位置

まず、対象地域を実際に確認して絞りこむため、地域の住民2名にインタビューを行い、生活周囲の様子も記録した [図 36][図 37]。

【インタビュー 30代男性 カフェ経営】

- ・ 日常に自動車はなくては困る。2台持ちは普通。
- ・ 公共交通はあまり利用しない。自動車移動が日常。
- ・ 日本のどこに行っても災害はある。防災対策は必須。
- ・ 津波が怖い人はもう町を出ている。自分は残った。
- ・ 自動車所有前提に街が整備され公共の駐車スペースが随所にある。



図 36 : 自家用車の 1 家 2 台持ち, 駐車ピットの様子

【インタビュー 60 代女性 食品加工会社経営】

- ・ 直下型(地震)が来たらしようがない。避難途中の被災は避け, 第一波(の津波)はやり過ごす。
- ・ 民生委員をやっているが, 自分と家族の無事が最優先。地域の他人支援はその次。東日本大震災以降の常識。
- ・ 災害時に自動車は使わない。
- ・ 一時避難できる近所のシェルターは足の悪いお年寄りの避難で期待している。



図 37 : 家屋玄関の止水版, 避難シェルターの様子

この調査から, 主に3点のニーズの発見ができた。

- ① 災害から「逃げる」だけでなく, 「逃げる移動途中で被災するのは避け身近なシェルターに避難する」選択肢があり, 「避難ポッド」コンセプトが受け入れやすい素地がある。
- ② 焼津市のような自家用車中心の都市計画が行われてきた地方中小都市では車両を止める場所の余裕はすでにあり, 今後自家用車減少で生じる空きスペースの活用余地はさらにある。
- ③ tetra の 5 ナンバー以下のサイズで低速走行の車両は, ポジティブな提案に捉えられる実感が得られた。

8.2 焼津市中心地域の移動の特徴

焼津市の中で, 都市の行政・文化・生活機能, 津波避難施設など生活に必要な機能がコンパクトに集まる中心部にて検証を行った。全域が浸水危険区域に指定される地域である [図 38]。人口面積当たりの tetra の運用台数のシミュレーションをして他都市の中心部との比較適用をしやすいかと言う意図で, 漠然と広い地域にせず, 1km<sup>2</sup>の正方形の区域内で検証をした。

【検証地域内の主な特徴】

- ① 人口約 5000 人

- ② マイカー3000 台
- ③ 75 歳以上人口約 750 人
- ④ 「要支援」「要介護 1」の登録者数, 約 100 人
- ⑤ 徒歩, 自転車, 公共交通や介護タクシーなどを使った通院や買い物はするが, 気軽に楽しむ外出は少ない



図 38 : 検証地域の場所

地図上に, 日常生活に必要な大きな施設・店舗・学校・避難施設などをプロットし, さらにその上にバス路線を重ねた。さらに緊急避難場所も重ねて, その中の代表的な移動を矢印で繋いだ [図 39]。



図 39 : 日常の訪問施設の位置

ここからわかったことは, ①南北方向に比べて東西方向の移動が間延びして不自由, ②バスに乗るまでのファーストワンマイル&バスを降りてからのラストワンマイルの交通手段が十分でないことの2点。有効な移動手段が求められており, ニーズがあると考察した。

8.3 (CASE 1) 日常時のサービス

日常時を想定し, サービスの具体像設定と現実的な運用の可否の検証を試みた [表 7]。tetra の行動半径円内に全域がカバーされるようにプロットして検証した [図 40]。

結果, メインターゲットユーザーが一日一回気軽に外出できるには, tetra25 台稼働で可能だと試算した。

詳細試算: ①1 乗車あたりの所用時間平均:15 分 (平均時速 10km/h の場合, 12 分走行で 2km, 6 分走行で 1km ※停車時間などの余裕を含む想定) ②1 車両あ

たり昼間 8 時間に 32 乗車, 16 往復 ③400 人が一日一外出(1 往復)をする想定で, tetra は  $400 \div 16 = 25$  台

表 7 : 日常時のサービス内容・試算

日常時	
メインターゲット	● 地域内の, 75 歳以上の高齢者・障害者で, 他人の支援を受けずに気軽に外出できる自由がない人(=400 人を想定)
特徴	低速で優しく移動. 地域の日常生活の活性化, 地域エネルギーの地産地消の役に立つ ● 日常時 : 運転免許不要の自動運転サービス/ラストワンマイルの役割/月額額 or 利用都度払い/購入して家に常備可能 ● 日常停車時 : 休憩スペース, 太陽光発電所な
運営	● 第3セクター(地方自治体と民間の合弁) ● 運賃: 定額運賃か都度払いの選択制 ● 基本は事業会社所有のオンデマンドタクシーにて運用(ただし家庭に常備したい個人は所有も可) ● 高齢者障害者は, 介護保険適用で実費負担を軽く利用できることを想定

表 8 : 非日常時(災害時)のサービス内容・試算

非日常時(災害時)	
メインターゲット	● 要介護 1・要支援登録約 100 人のうち, 支援を受けずに避難行動が難しい人(=約 50 人を想定)
特徴	津波洪水から一人でも多くの命を救い, 地域の復旧を助ける病院などの非常用電源として復旧支援 ● 災害時 : 避難ボッド・シェルター/避難移動が難しい住民を優先救助/依頼がなくとも助けに来る ● 災害後 : 公共のモバイルバッテリー/避難所,
運営	● 災害時 : 自治体・警察・消防管理下 ● 緊急避難時は, あらかじめ自治体で把握している弱者ユーザーの避難支援を最優先で運営

### 8.5 サービスまとめ

ここまで, 日常及び災害時に分けて運用を検証し, 運用モデルの一例を規定した. コストに関しては, 生産台数による変動幅や自動運転技術を含む使用技術の 10 年後のコストを算出するに足る根拠に乏しく, 精緻な試算は行うことを断念した.

ただし, 自動運転技術に対する研究開発投資を利用者負担による回収を目指せば, かなり高額になる想定になるが, フランスの”移動権”(誰もが容易に, 低コストで快適に, 同時に社会的コストを増加させないで移動できる権利を規定している法律)と同等の考え方の導入で, 利用者は現状の公共交通の価格と遜色ない範囲で利用できるようになる未来の可能性があると考える [16]. また球形タイヤ技術はオムニホイールと同等価格にて調達できるようになると想定すると, 100 万円台の小型自動車・軽自動車と同等程度の価格帯での市場供給, 可能な限り 100 万円を切る価格帯も非現実的ではないと考える.

なお, 今回の検証は焼津市の一区域の条件をもとにしたものであり, このモデルを参考にする際には, 想定する地域の特長, ビジネス条件を変更しての再検証が必要となる.

### 9. おわりに

本プロジェクトは外部評価の一環として一般社団法人 電気自動車普及協会主催「国際学生 EV デザインコンテスト 2019」に参加した. 2019 年の東京モーターショーの関連イベントとして 10 月 27 日に最終審査が行われ, 参加 47 チーム中 2 位にあたる国土交通大臣賞を受賞した [17]. 11 月初旬に, 国土交通省を訪問し, 最終デザイン提案の改善, 使用技術の検証やサービスデザインの詳細化に向けての貴



図 40 : tetra ステーションの設置想定

### 8.4 (CASE 2) 非日常時のサービス

災害時を想定し, 日常と同じ 25 台の tetra が配備されている状態で, 避難移動が可能か検証した [表 8] [図 40].

結果, 焼津において津波最大波が到達するまでの時間の予測 17 分から 25 分まで約 20 分までの間 [15]に, 避難タワーなどに 2 往復 50 人の送迎可能と試算した.

詳細試算: ①地域内部に常駐の tetra が, 一斉に, 要介護 1, 要支援登録者を迎えに行き避難所への送迎を行う. ②地域に常駐の tetra が一斉に要介護 1, 要支援登録者を迎えに行き避難所への送迎を行う. ③第一波到達から最大波到達までの約 20 分の間 [15], 避難施設までの数百 m を 2 往復.  $25 \text{ 台} \times 2 \text{ 往復} = 50$  人. ④乗せるだけで一次救命ができる救命ボッドの特徴を生かし, 最後まで救助活動を行う.



重なるアドバイスをいただいた。その中から、室内空間の窮屈さの改善、走行スピード設定明確化、所有かシェアの明確化、災害発生時の配車フローのアイデアなどを最終プロトタイプとサービスデザイン提案に取り入れている。

また、本プロジェクトでまとめるまでには至らなかったが、立案したコンセプトの日本以外の地域への展開の可能性についての議論と検証を行なった。特に東南アジアの各地域における水害の問題は日本以上の規模を伴うものも多く大きな問題であった。これに対して、地域の地理的特性・身体的特徴・生活実態などに合わせて、バッテリー容量や最高速度・居住空間サイズの調整などは必要になると予想されるものの、基本のコンセプトは同じで応用展開が可能である手応えを感じられたことを最後に記しておく。

### 謝辞

今回の研究にあたり、インタビュー協力、アドバイス等いただいた各社各団体関係のみなさまに感謝いたします。

- 国土交通省
- 一般社団法人 電気自動車普及協会
- 日本グッドイヤー株式会社
- テスラ ジャパン
- 株式会社 FOMM
- 株式会社みちのりホールディングス
- 静岡県
- 焼津市
- 東京都立産業技術大学院大学の教職員のみなさん
- 每学期アドバイスをいただいた同学学生のみなさん
- EV デザインコンテストでアドバイスをいただいたみなさま

### 参考文献

- [1] 内閣府，“防災対策推進検討会議 津波避難対策検討ワーキンググループ 第6回会合 資料2『自動車で安全かつ確実に避難できる方策（補足資料）』”，平成 24 年 5 月 23 日  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/6/pdf/2.pdf> (visited on 2020)
- [2] 朝日新聞社と関西学院大学災害復興制度研究所，“南海トラフ地震の被害想定”，2015 年 9 月 28 日  
[http://www.asahi.com/special/nankai\\_trough/](http://www.asahi.com/special/nankai_trough/) (visited on 2020)
- [3] 内閣府(防災担当)，“南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び 被害想定(第一次報告)について，資料1-5 都府県別市町村別津波到達時間一覧表”

[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1\\_5.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1_5.pdf) (visited on 2020)

[4] 国連国際防災戦略事務局 (UNDRR: United Nations Office for Disaster Risk Reduction), “2018 Economic Losses, Poverty & DISASTERS 1998-2017”  
<https://www.undrr.org/news/un-20-year-review-earthquakes-and-tsunamis-kill-more-people-while-climate-change-driving> (visited on 2020)

[5] 内閣府，“平成 30 年版高齢社会白書 世界の高齢化率の推移”

[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/html/zenbun/s1\\_1\\_2.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/html/zenbun/s1_1_2.html) (visited on 2020)

[6] 株式会社 FOMM，“テレビ東京「ガイアの夜明け」放映のお知らせ”，2019 年 1 月 21 日

<https://www.fomm.co.jp/single-post/2019/01/21/テレビ東京「ガイアの夜明け」放映のお知らせ> (visited on 2020)

[7] 大野秀敏他，“＜小さい交通＞が都市を変える マルチ・モビリティ・シティを目指して”，NTT 出版，2015 年

[8] 国土交通省自動車局環境政策課 課長 西本 俊幸，“超小型モビリティの成果と今後”

<https://www.mlit.go.jp/common/001158768.pdf> (visited on 2020)

[9] 平成 27 国勢調査(総務省統計局) 都道府県・市区町村別主要統計表(2015 年)より

[10] メタウェアリサーチ有限公司，“用途地域マップ 国土交通省国土政策局の国土数値情報(用途地域データ)”  
<https://cityzone.mapexpert.net/> (visited on 2020)

[11] スフィロ社 BOLT 資料 <https://sphero-edu.jp/teaching/bolt/> (visited on 2019)

[12] グッドイヤー社コンセプトタイヤ EAGLE 360 URBAN 資料 <https://www.goodyear.co.jp/special/concepttire/> (visited on 2019)

[13] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)，“技術戦略研究センターレポート vol.4 Page.4 車載用蓄電池の開発目標”

<https://www.nedo.go.jp/content/100763660.pdf> (visited on 2020)

[14] NEDO「太陽光発電ロードマップ(PV2030+)」  
<https://www.nedo.go.jp/content/100080327.pdf> (visited on 2020)

[15] 焼津市，“第 2 章 想定される地震・津波被害表” 2.3 焼津市における静岡県第 4 次地震被害想定の結果  
[http://www.city.yaizu.lg.jp/public\\_comment/documents/tsunamibosai\\_2.pdf](http://www.city.yaizu.lg.jp/public_comment/documents/tsunamibosai_2.pdf)

(visited on 2020)

[16] 板谷和也, “都市・交通政策において日本はフランスから何を学ぶべきか”, 日本交通政策研究会 講演会 於都市センターホテル, 2017/02/13

<http://www.nikkoken.or.jp/pdf/symposium/JRCTP20170213.pdf> (visited on 2020)

[17] 一般社団法人電気自動車普及協会(APEV), “主催者ニュースリリース”, 2019年11月5日

<http://www.apev.jp/news/2019/11/ev2019apev-1.html> (visited on 2020)



# 自律移動ロボット開発実装における修了生コミュニティの利活用

大久保友幸\*・怒木弘隆\*・小川太輔\*・兼光有沙\*  
川合隆太\*・日下部忠之\*・森本寛之\*

## Utilization of the Alumni Community in the Development and Implementation of Autonomous Mobile Robots

Tomoyuki Ohkubo\*, Hirotaka Ikarugi\*, Tasuke Ogawa\*, Alisa Kanemitsu\*,  
Ryuta Kawai\*, Tadayuki Kusakabe\*, Hiroyuki Morimoto\*

### Abstract

In this paper, we describe the development of autonomous mobile robots using the "alumni community" for continuous learning. Supporting continuous learning is our institute's mission. We decided to participate in the "Tsukuba Challenge", using this community, and improve the accuracy of a developed robot in 2018. This challenge is a demonstration experiment for autonomous mobile robots to travel in a real outdoor environment. In this our development, we divided the robot's body into two units to maintain and carry for easier. The exterior to improve safety was redesigned using 3D-CAD and laser cutters. Robot navigation and localization were improved accuracy by experiment. The developed robot was verified in the Tsukuba Challenge 2019, and this community's problem was extracted.

Keywords: Alumni community, Autonomous Robot, Tsukuba Challenge, ROS (Robot Operating System), LiDAR

### 1 はじめに

専門職大学院は、平成 15 年に創設された社会的・国際的に活躍できる高度専門職業人の養成に目的を特化した学位課程である[1]。筆者らが所属する産業技術大学院大学は、産業界で活躍できるエンジニアの育成を目的として東京都が設立した専門職大学院で、既に独自のスキルを持って活躍している社会人学生が多数入学しており、カリキュラム内だけでなくカリキュラム外においても勉強会や起業の検討をするといった学生同士の相乗効果が生まれている。しかしながら、本学は大学院大学であるが修士課程のみの大学院であるため標準修了年限は 2 年と短い。2 年次の Project Based Learning (PBL)型授業において、社会人学生では業務以外の時間と体力をこのプロジェクトに注ぎ込むことになる者が多く、1 年生と 2 年生では交流機会が多いとはいえない。そのため、学内で生まれた活動や研究を数年に渡って継続していくことが難しい。

本学修了生の継続学修への支援については、本学の第三期中期計画(平成 29 年度～令和 4 年度)[2]に「修了後も専門能力の向上を図る場として学修コミュニティを一層充実し、学び直しができる学修環境を整備する。」として目標設定されている。修了生に対し修了後の継続的かつ自主的な学

修と研究の機会を提供し、活動を支援するため、これまで試行されていた「学修コミュニティ」を改編し、本学修了生が主宰する研究会として「AIIT 修了生コミュニティ」制度が、2018 年度から正式に開始された。この修了生コミュニティは客員研究員とは異なり、修了生の自主的な学修と研究の活動に主眼を置かれている。筆者らは情報アーキテクチャ専攻に所属する学生と創造技術専攻に 2 専攻所属する有志学生によるチームで自律移動ロボットの開発と実装を 2017 年にスタートし、製作の動機付けとして「つくばチャレンジ 2018」に参加した。2018 年の活動実績を検証した結果、機構・電気・ソフトウェアで課題が見つかった。大目標でもある次世代産業に繋がる技術開発を行うためには、単年度の活動ではなく、複数年に渡りプロジェクトを継続する必要性を実感した。そこで 2019 年度は修了生コミュニティの制度を活用し、修了生が中心となりプロジェクトを進めることとした。

本稿では筆者らの 2019 年度活動内容と、活動により見つかった修了生コミュニティ活動の課題について述べる。

### 2 修了生コミュニティで取り組んだプロジェクトの概要

人口減少と高齢化が一層進む日本において、1 人あたりの GDP 成長が今後より一層重要となる[3]。そのため、作業の機械化による効率化がさらに期待されている。また、高齢

者の社会参加意欲が近年高くなっており、身体機能や認知機能を補う自動化機械との共存が必要になると報告されている[4]。今後、機械による自動化はロボットによるものが中心となり、経済成長や高齢者の社会貢献に必要な不可欠である。

そこで、筆者らのチームではロボット掃除機や自動運転技術に関連して近年ますます注目を浴びている自律移動ロボットに着目し技術開発をスタートし、課題解決の実践の場としてつくばチャレンジに2017年度より参加した。

2018年度の結果は、オープンソースやモジュールを多用し、指示通りとはいかないまでも理想的な環境下であれば自律走行を行うことが出来るロボットを短期間で開発することができた。しかしながら「つくばチャレンジ2018」の本走行ではハード面のメンテナンス性の悪さや、シミュレーションと実際のロボットとのパラメータ設定の差、加えて運転操作の練習不足などから、時間内にスタートすることが出来なかった。

### 3 つくばチャレンジ

#### 3.1 つくばチャレンジの概要

つくばチャレンジとは、茨城県つくば市内の遊歩道などの市街地で移動ロボットが自律走行する技術チャレンジであり、2007年からほぼ毎年実施されている[5]。人が普段生活している実環境(リアルワールド)における自律走行技術の進歩を目的として、研究者と地域が協力して行い、先端技術への挑戦と公開実験の場となっている。参加するチームは、大学研究室、研究機関、企業、社会人サークル、学生サークルなど、毎年50前後のチームが参加する。各チームは、車いす程度の大きさの自律移動ロボットを製作し、実環境での自律走行に挑戦している。

自動運転自動車などで行われている開発は、主に道路の車道部分からの走行がメインであるが、つくばチャレンジでは、歩道側からのアプローチとなるのが最大の違いである。走行コースは毎年変化し、2019年の走行コースはつくばエクスプレスの研究学園駅付近にあるつくば市役所をスタート地点として屋外の市街地約2[km]+ $\alpha$ を走行させる。主に市役所構内、歩道、横断歩道、公園などを通過するコースで図1に示す。

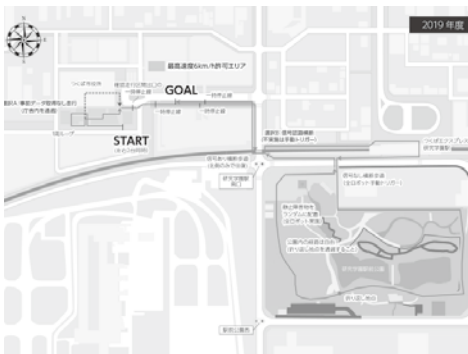


図1: つくばチャレンジ2019のコース地図

2019年のつくばチャレンジでは、説明会、事前にコースを走行し実験環境とロボットの確認を行う実験走行が7回、本走行、ロボットの開発成果の発表と情報共有を行うシンポジウムが開催された。6月29日(土)に説明会、実験走行は6月29日(土)、9月14日(土)、10月21日(月)、22日(火・祝)、11月2日(土)、11月8日(金)・9日(土)に行われ、本走行は11月10日(日)であった。また、シンポジウムは2019年1月11日(土)に行われた。昨今の働き方改革の影響もあり、前年度より土曜日に行われる実験走行が増えた、しかしAIITでは社会人学生の学修に配慮するため土曜日に講義が集中しており、参加出来るメンバーが限られる原因の一つとなった。

#### 3.2 チーム概要

2018年度、筆者らは「産業技術大学院大学チーム大久保」という有志での参加チームを結成し、「つくばチャレンジ2018」に参加した。参加メンバーは情報アーキテクチャ専攻に所属する学生と、創造技術専攻に所属する学生の混成チームであり、社会人学生を中心に留学生も参加するチームであった。

2019年度は修了生コミュニティの制度を活用し、修了生を中心に一部在學生に協力を得て開発を行った。最終的には、機構1名・回路1名・ソフトウェア1名+教員1名と言う構成となった。そのうち2名が社会人学生である。ソフトウェア担当は当初在學生4名であったが内3名が修了年次のProject Based Learning (PBL)型授業のため後期は活動に参加を断念せざるを得なかった。前年度に引き続き開発や実験は基本的に土曜日に行くこととなった。しかしながら前述のとおり本学では土曜日は授業があり、修了生1名が開発や実験のほとんどを担当する必要があり、前期は前年度担当者からの引継ぎ作業に時間がとられることとなった。

つくばチャレンジ2018では、当初の目標を達成することが出来なかったため、前年度に引き続き第一のマイルストーンである、確認走行区間でつくば市役所内を走行することを目標とした。

### 4 開発した自律走行ロボット

#### 4.1 全体概要

つくばチャレンジ2019に参加するため開発した自律移動ロボット「産技大2号」は、昨年度の製作したロボットの構成をほぼ踏襲し、走行精度を上げることに注力した。そのため、フレームおよび外装のみを新規製作した。昨年同様、筐体はアルミフレームで作られ、3層DCブラシレスモータ(T-Frog project[6]製、TF-M30-24-3500-G15L/R)、二軸ブラシレスモータドライバ(TF-2MD3-R6)、電源基板(TF-PW36-5/12M)を使用、バッテリーには、鉛シールドバッテリー(12V×2)、

非常停止回路として、非常停止スイッチとサーキットブレーカ、環境認識のため LiDAR(北陽電機製 UTM-30LX-EW)からなる。ロボットの自律制御は PC に Ubuntu および ROS を使用した。システムブロック図を図 2 に示す。

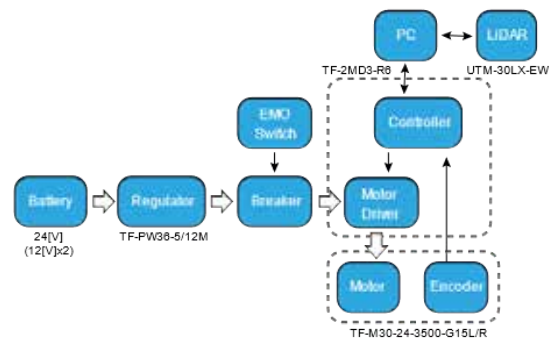


図 2: 電気回路ブロック図

## 4.2 昨年からの改良点

### 4.2.1 新フレームの開発

独自に製作したロボットでの初参加であった昨年は、時間の制約からキットを拡張して製作したことが、車体をコンパクトにできなかった要因となったことを踏まえ、次の4点の改良を行った。

#### 1) ボディ・シャシーの構造分割による運搬性向上

昨年は機体が大きくワゴン車で運搬する必要があり、レンタカー費用(約 15,000 円/日)が負担となっていた。そこで、新しくフレームを作成し、電気系モジュールを搭載するシャシーと自律制御 PC を搭載するボディに分割できるようにした。そのため、図 3 のように、ロボットを助手席に置き、セダン型乗用車 1 台で大会参加に必要な全ての荷物を運搬可能とした。本年度は実験走行と本走行合わせて 5 回参加したが、約 75,000 円のコスト削減となった。



図 3: 乗用車により運搬中のロボット

#### 2) 自由度の高いボディ設計のためのシャーシ

自律走行は、シャーシのみで行えるように変更し、後からデザインするボディ形状に自由度を与えた。

#### 3) ナット種類変更によるメンテナンス性の向上

昨年までは、先入れのナットを使用していたため、構造変更には分解作業後、再組み立てが必要であった。そこで、後入れナットを採用し、必要部分のみ追加することで、分解作業の必要がなくなった。また、部分分解もできることからメンテナンス性が向上した。



図 4: LiDAR 取り付けレール構造部

#### 4) 測域センサの取り付け方法の変更

実験中に現地で LiDAR センサの取り付け位置の調整が可能となるよう、容易に変更できるレール構造とした。その構造部を図 4 に示す。

### 4.2.2 外装

昨年は作業時間の制限から容易に加工できるプラスチック・ダンボールで作成したが、加工自由度が高いレーザカッタとアクリル板の組み合わせを選択し、3D-CAD を使用して設計、加工して製作した。昨年は、ボディより非常停止スイッチが突出しており不安定であったが、上部に埋め込むことができ、安全性が向上した。図 5 に、3D-CAD で設計したパース図と製作したロボットを示す。



図 5: 製作ロボットと 3D-CAD によるパース図

### 4.2.3 コマンドのエイリアス化

入力するコマンドが長いので、本番で間違わないように、OS のエイリアス機能を使って短縮化し、スタート時に必要な入力を容易にした。

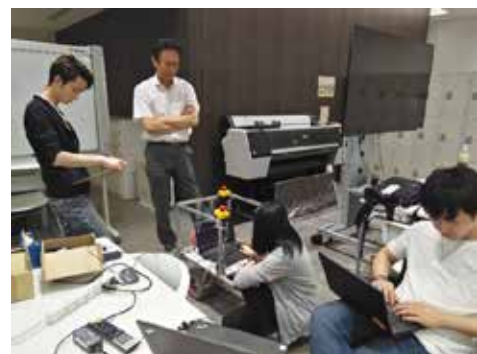


図 6: 勉強会の様子

### 4.3 勉強会の実施

法政大学理工学部創生科学科小林研究室は、過去に 10 回以上つくばチャレンジに参加し、課題達成の経験を有する。この研究室メンバーに勉強会の開催依頼し、2019 年 6 月 2 日(日)に技術を教示していただいた(図 6)。これにより開発スピードを加速することができた。つくばチャレンジ 2018 参加時点での設定ミス指摘してもらい、修正を行え、走行時の異音や不自然な挙動が改善出来た。また、今後 GPS などを利用する際のポイントも教示いただいた。

### 4.4 ロボット制御の検証

つくばチャレンジは屋外で行われるため、実環境化ではハードウェア・ソフトウェアなど複数の要因により誤差が発生する。ロボットモデルにより設計しても、正しく動作するとは限らない。そのため、以下の検証実験を行った。

#### 4.4.1 環境地図の合成

環境地図作成中に走行距離が長くなると自己位置推定に失敗し、作成した環境地図が  $\theta$  方向でランダムにねじれる現象が発生する場合があった。また、一度に走行ルート全体の環境地図を作成出来ない場合もあるため、コース全体を分割して地図作成し、地図を合成することとした。

必要なマップを分割して取得し(図 7)、走行をスタートさせる地点から取得した地図ファイルに、他の部分の地図ファイル情報を合成(図 8)できることが検証により分かった。また、仮定の障害物を置く(図 9)ことで自律移動ロボットが、仮想障害物を回避して走行することも確認できた。しかしながら、実際の仮想障害物の配置は自己位置推定の破綻につながるため、実際には別の方法で行う必要がある。

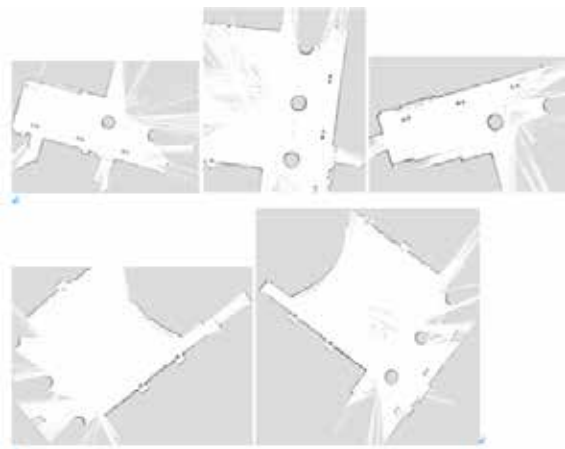


図 7: 分割取得した地図



図 8: 地図の合成結果

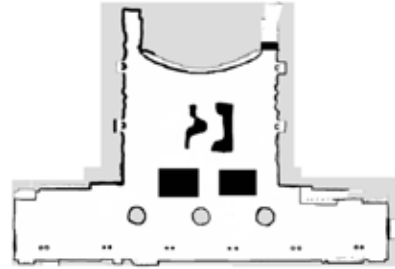


図 9: 仮想障害物を設定した地図



図 10: 確認走行区間狭部



図 11: 産業技術大学院大学 2F バルコニー

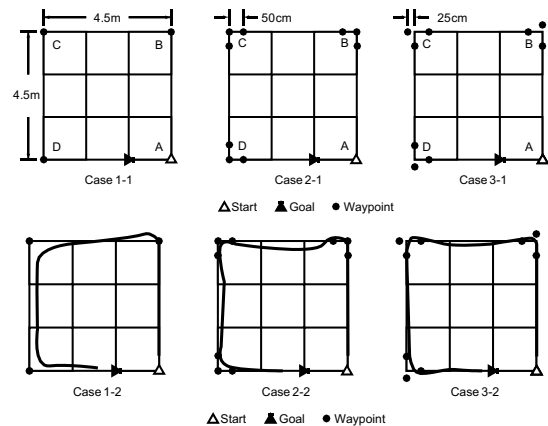


図 12: ウェイポイント設定値(上)と自律走行結果(下)

#### 4.4.2 Waypoint の検証

つくばチャレンジ 2019 では、確認走行区間中に通路幅が約 1.7m と幅の狭い部分が存在する(図 10)。そのため、ロボットの制御モデルと実際に製作したロボットでの制御結果が異なると、通過することができない。安定して通過するためにどの程度の頻度でウェイポイントを配置すればよいか、検討が必要である。そのため Waypoint のデータの修正による再現性と、ロボットが実際に走行可能部を正確に走行する上での適した Waypoint の配置方法を検討した。産業技術大学院大学の 2F バルコニーにはタイルが貼られており(図 11)、タイル四角の一片が 1.5m の正方形となっている。このタイルの大きさを利用し、ウェイポイントファイルの検証を行った。

正方形の四方の角をそれぞれ A,B,C,D とおいたとき、スタート地点を A として、B,C,D に Waypoint を設定し(図 12 Case1-1) 走行させたところ Waypoint の直上を走る場所 B、車体幅の約 0.5m 内側を通る場合 C,D があり(図 12 Case1-2) 曲がり方をコントロールできなかった。そのため、B,C,D の前方と進行方向にウェイポイントを設定し、1 角を 3 点(図 12 Case2-1) で曲がるようにすると、B,C,D すべてで直上近傍を再現性良く通過した(図 12 Case2-2)。車体幅の半値 0.25m を B,C,D の前後に Waypoint を設定すると、特に再現性が高い結果となった(図 12 Case3-2)。

表 1: つくばチャレンジ 2019 日程とチーム参加実績

日程	概要	参加内容
6 月 29 日(土)午前	説明会	ルール確認
6 月 29 日(土)午後	実験走行 1	課題コース視察
9 月 14 日(土)	実験走行 2	マニュアル走行 データ取得
10 月 21 日(月)	実験走行 3	マニュアル走行 データ取得 自律走行
10 月 22 日(火)	実験走行 4	不参加
11 月 2 日(土)	実験走行 5	マニュアル走行 データ取得 自律走行
11 月 8 日(金)	実験走行 6	不参加
11 月 9 日(土)	実験走行 7	マニュアル走行 データ取得 自律走行
11 月 10 日(日)	本走行	参加 結果: 50m
2019 年 1 月 11 日(土)	シンポジウム	発表 技術交流会

#### 4.5 つくばチャレンジ 2019 参加実績

本チームでは、6 月 29 日(土)・9 月 14 日(土)・10 月 21 日(月)・11 月 2 日(土)・11 月 9 日(土)の実験走行と、11 月 10 日(日)の本走行、シンポジウムに参加した(表 1)。なお、前年のつくばチャレンジ 2018 の日程に比べて実験走行が 1 回減っただけでなく、日曜日に行われる日数が減ったため、土曜・祝日に講義受講があるメンバーは参加が難しく、前年よりも役割を集約し少人数でデータ取得やロボットの運転操作を行うこととなった。

**6 月 29 日(土):** 午前の説明会に参加しルールを確認し、午後の実験走行では課題コースを下見し状況を確認した。

**9 月 14 日(土):** ロボットを持ち込み、マニュアル走行及びデータ取得を行った。しかし、幅の狭い地点では人が混み合い、ロボット同士も立ち往生しており、地図が正しく取得出来なかった。一部確認走行区間の折り返し地点で、自律走行を確認できた。

**10 月 21 日(月):** マニュアル走行とデータ取得及び自律走行を行った。自律走行マイルストーンの 1/3 を達成した。しかしながら横揺れに対して脆弱性があり、横揺れが起きる場所では現在地が分からなくなる現象が起きた。

**11 月 2 日(日):** 自律走行スタート出来ること、20m ラインを通過することの確認ができた。自律走行のシミュレータの中の動作と実動作が違うことがあった。原因はタイヤの空気圧差と考えられた。

**11 月 9 日(土):** 前週 11 月 2 日の実験走行でも起こったように自己位置認識で  $\theta$  方向に差異が発生した。車軸や車体は曲がっておらず、地図を再取得しても治らず、繰り返し検討した結果前週と同じくタイヤの空気圧が原因と考え翌日の本走行に挑んだ。

### 5 つくばチャレンジ本走行の結果と考察

#### 5.1 走行結果

産技大 2 号の目標は、最初のマイルストーンである確認走行区間とした。本走行(11 月 10 日(日)の前週の実験走行(11 月 2 日(土))で、つくば市役所南入り口に入る通路付近を走行すると、自己位置推定処理中に  $\theta$  軸方向に大きく回転し、目標を達成するのは困難であることが判明していた。そのため 11 月 10 日(日)の本走行当日は、目標をその通路までとし、MAP と Waypoint を取得して走行させた。

結果、自律走行距離は約 50m であった。これは、1 分以内自律走行スタートと、2 分以内に 20m の直線走行の課題を解決できたこととなる。



## 5.2 考察

本走行の走行結果から、以下の問題が浮かび上がった。

### 5.2.1 問題 1- 環境地図へのゴミの混入

自律走行をするときに直線走行部で大きく湾曲して走行することがあり安定走行が難しいことがある。この問題が分かったのは、大会当日の午前中のため大きな変更する時間が取れなく、直線走行に関係しないコース上の円形の障害物を画像編集ソフト Photoshop (Adobe 社) で除去すると、安定した自律走行を確認できた。直径約 0.3m の円形物体がゴミとして混入してしまうことは大学院内での実験では経験しておらず、大会会場でのみ起きていると考え、他チームからの LiDAR のレーザー混入による誤動作とも考えられる。解決には混入を防ぐ方法を検討する。

### 5.2.2 問題 2- エンコーダからのタイヤ回転誤差

つくば市役所南入口の通路を走行するときに  $\theta$  軸を回転させて自己位置推定を繰り返すためにコースオフしてしまう。これについては、走行路面の凸凹が他のコースより多くシャシーが左右に大きく揺れてしまいエンコーダからの位置情報のズレが累積されていると考える。次回までに対応実施する。

## 6 修了生コミュニティの課題と提案

社会人学生が多く所属する専門職大学院の修了生コミュニティであるため、平日夜間及び週末に開発が集中することになるが、在學生は大学院本来の授業があり、PBL や講義を優先した上で開発を進めるためには、いかに修了生のメンバーを多く集めるかが開発を継続する上で重要である。加えて「つくばチャレンジ2018」においては、土曜日の開催が大半となり、在學生のみのチームでは参加が非常に困難であった。修了生コミュニティの特性上、在学中の学びの延長であるため、在学中からの参加が開発や研究内容の理解の上でも容易であると考えられるので、在學生の参加を促す方法を検討する必要があると感じた。

修了生コミュニティでは、修了生の学内活動は認められているものの、レーザーカッターの使用や、祝日の教室使用の許可申請や予約などは、全てアドバイザーを経由した上で、在學生に協力を得なければ現実には使用できない。加えて、土曜日は校内の施設は、授業、PBL などのミーティングで全て使用中であり、その上で成果物の保管にも課題があるため、活動を行うことが非常に難しい。修了生コミュニティの目的である継続的な学修と研究が円滑に行うためには、教職員への理解を進めるとともに、アドバイザーの管理の下権限を広げるだけでなく、在學生との交流による相乗効果を修了生コミュニティの目的に加えることを提案したい。

## 7 おわりに

産業技術大学院大学の修了生コミュニティでのチームによる問題解決の例として、つくばチャレンジ 2019 に参加し、屋外走行する自律移動ロボットを開発した。本論では、この製作した移動ロボットの概要と前年からの変更点、つくばチャレンジ 2019 でのチャレンジ結果及び修了生コミュニティの課題などを述べた。

当初つくばチャレンジについて設定した目標は、2 つの問題で当初の目標を達成出来なかった。産技大 2 号に搭載している LiDAR は 2 次元センサであり、コース内に検出できる障害物が少なく自己位置推定が安定しない。そのため、次回参加の際には障害物との距離を推定する RGB-D カメラ等を用いた障害物検知方法による自己位置推定を実現したい。

修了生コミュニティについては、学習継続の場として、本学の多様なバックグラウンドを持った学生達の相乗効果が生まれる場として、修了後 1 年だけではなく複数年に渡って継続していくことが意義のあることと考える。そのためにも今後活用が活発になされることが期待される。

## 参考文献

- [1] 文部科学省, 専門職大学院制度の概要,  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/senmons\\_hoku/index.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/senmons_hoku/index.htm), 2020. (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [2] 東京都公立大学法人, 中期計画について,  
<https://www.houjin-tmu.ac.jp/about/guideline/middle-plan/>, 2019. (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [3] 吉川洋, 安藤浩一, 「人口減少, 産業構造の変化と経済成長」, RIETI Discussion Paper Series 19-J-033, pp2-3, 2019
- [4] 榎木哲夫, 「豊かな高齢化社会の実現に向けた人間中心のシステムデザイン」, システム/制御/情報, Vol. 63, No. 4, PP135-143, 2019
- [5] つくばチャレンジ 2019 ホームページ,  
<https://tsukubachallenge.jp/2019/>, 2019. (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [6] T-Frog project, <http://t-frog.com> (visited on 2020) (ウェブ参照)

# 情報系専門職大学院における 対面・遠隔ハイブリッド型授業システムの開発

小山裕司\*・大崎理乃\*・木下修司\*・柴田淳司\*

## Development of The Hybrid Lecture System in IT Professional Graduate School

Hiroshi Koyama\*, Ayano Ohsaki\*, Shuji Kinoshita\*, and Atsushi Shibata\*

### Abstract

This paper introduces the efforts to develop the hybrid lecture system for both face-to-face and online at an IT professional graduate school. By using this system, teachers can carry out remote lectures and lecture recording (audio / video) simply by connecting their laptops in the same way as conventional lecture systems, thus new learning costs are expected to be reduced. In addition to this system, we will introduce various ideas for online lectures given in the four lectures.

Keywords: Hybrid lecture system, Remote meeting system, Educational technology, Zoom

### 1 導入

コロナ禍により、多くの日本の大学ではインターネット及びリモート会議システムを活用した遠隔授業が実施されている。文部科学省の調査[1]によると、2020年7月1日時点における短大を含む全1,012大学で行われた授業のうち、対面と遠隔の併用が61%、遠隔のみが24%となっている。新型コロナウイルスの大規模な流行が収まった後も、対面授業と遠隔授業の併用は残り続けると予想される。このような併用の体制は文部科学省から大学に対して要請されているものであり[2]、すでにいくつかの取り組みがなされている[3][4]。

本稿では、情報系専門職大学院における対面・遠隔併用のハイブリッド型授業システム開発の取り組みとシステムを利用して実施した授業の内容を紹介する。著者らが所属する東京都立産業技術大学院大学(以下、当該大学院)では、品川区に所在するメインキャンパスの品川キャンパス以外に、JR秋葉原駅付近(千代田区外神田)に秋葉原サテライトキャンパスを所有しており、一部科目では以前から、学生の利便性を考慮してサテライトキャンパスでの遠隔授業の受講が可能である。また、授業の一部は、授業後に配信される講義ビデオの視聴とその視聴確認によって出席扱いとされる「録画授業」と呼ばれる形式で実施されている。

2019年度には、さらなる学生の利便性向上を目的として、秋葉原キャンパス以外での(すなわち、在宅等での)受講を可能にする計画があり、2020年度中の導入を目指していた。今回はその計画を転用することでハイブリッド型授業システ

ムを開発した。このシステムを用いることで、教員は従来の授業システムと同様の端末接続をするだけで、遠隔授業及び授業収録(音声・映像)を実施することができ、新たな学習コストの軽減が期待される。

### 2 ハイブリッド型授業システム

#### 2.1 ハイブリッド型授業システムの概要

提案するハイブリッド型授業システムは、教室内で行われる対面授業と、オンライン上で学生がリアルタイムで視聴する遠隔授業を同時に行えるシステムである。

図1にハイブリッド型授業システムの概要図を示す。当該大学院では対面授業と録画授業に対応する従来の授業システムとして、プレゼンテーションシステム(ソニー社製ビジョンプレゼンター)とデジタルオーディオミキサーを搭載した授業システムを利用してきた。教員PC等から出力された映像はプレゼンテーションシステムを介してプロジェクタから教室スクリーンに投影される。また、マイクの音声はデジタルオーディオミキサーを介して教室スピーカーから出力される。さらに、録画授業に対応するため、映像と音声は授業収録装置に記録される仕組みとなっていた。こうした従来の授業システムをハイブリッド型授業システムに対応するため、新たにカメラ、制御PC、大型TVを教室内に設置し、図1のように接続した。

ハイブリッド型授業システムでは、制御PCに搭載したリモート会議システム(Zoom[5])を用いて遠隔授業を行う。この時、制御PCの画面を配信するのではなく、授業収録装置に

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

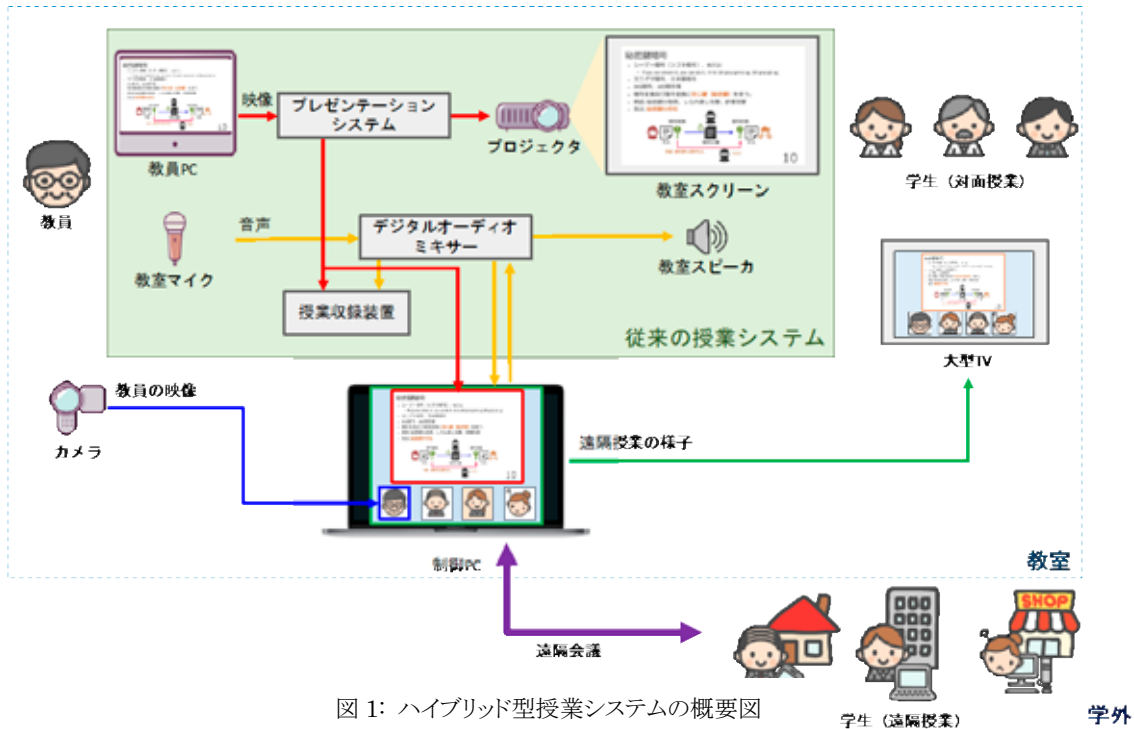


図 1: ハイブリッド型授業システムの概要図

入力していた HDMI 映像を分岐し、UVC (USB Video Class)に変換し、UVC カメラ映像として制御 PC に入力することで、教員 PC 等の映像を配信することを可能にしている。また、音声はデジタルオーディオシステムに繋ぐことで、教員等の教室のマイク音声を配信するとともに、遠隔授業の学生の声を教室のスピーカーから出せる設計となっており、教員、対面授業の学生、遠隔授業の学生の三者がインタラクティブに授業を行える様になっている。遠隔授業の様子は、制御 PC の画面を教室内に設置した大型 TV に映すことで、教員や対面授業の学生が遠隔授業の学生の様子を視覚的に伺えるようにしている。

### 2.2 ハイブリッド型授業システムの実践の様子

当該大学院の講義室にハイブリッド型授業システムを設置し、その様子を図 2 に示す。



図 2: ハイブリッド型授業システムの導入例

図 2 の講義室にある従来の授業システムでは、HDMI や VGA、Apple TV を用いて授業システムに接続することで、教室スクリーンに教員 PC の映像を映し出すとともに、授業記録装置への録画を行っていた。ハイブリッド型授業システムとするため、授業記録装置の録画内容と同じ映像を分岐させ、カメラ映像として制御 PC に入力している。制御 PC ではリモート会議システムを用いて映像を遠隔授業の学生と共有しつつ、教員カメラによって教員の様子を配信することができる。

ハイブリッド型授業システムを使う教員側の利点として、教員の手間の削減が挙げられる。ハイブリッド型授業システムでは従来の授業システムを変更していないため、対面授業における教員の手間は前年度までと変わらない。

ハイブリッド型授業システムを使う遠隔授業を受ける学生側の 2 つ利点として、コミュニケーションのしやすさと、遠隔授業と録画内容との一致が挙げられる。前者について、遠隔授業の学生の音声は教室スピーカーから流れて教員と対面授業の学生の両者に聞こえるため、遠隔授業の学生は教員だけでなく対面授業の学生ともコミュニケーションを行える。校舎について、授業録画装置の入力と同じ内容を遠隔授業の映像として配信しているため、後日に遠隔授業を受けた際に同じ動画を見ることができ、映像の違いによる齟齬がない。

### 2.3 可動式ハイブリッド型授業システム

演習教室は演習を主目的としているため、プレゼンテーションシステムやデジタルオーディオミキサーのような備え付けの設備がないことがある。当該大学院のネットワーク系演習教室においても、教室内のグループ演習や設備更新などへの対応を考慮して、移動が可能であり、かつ移動先でも利

用可能なシステムの導入が求められた。そこで、図 1 にて示したハイブリッド型授業システムと同等の機能をもつ可動式ハイブリッド型授業システムを設置した。

可動式ハイブリッド型授業システムの概要図を図 3 に示す。ネットワーク系演習教室では、従来の授業システムとして教員 PC、プロジェクタと教室スクリーン、教室マイク、教室スピーカー、授業収録用カメラが利用されてきた、可動式ハイブリッド型授業システムは、これらの既存設備に遠隔用マイク、遠隔用カメラ、制御 PC、大型 TV を追加することで構成される。教員 PC の映像を教室内プロジェクタと遠隔配信用制御 PC の両方に分岐しており、マイクは教室に設置されたスピーカ出力用の教室マイクとは別に準備した。追加された機器を用いることで、教室の様子を遠隔配信するとともに、遠隔で参加する受講生の様子を大型 TV に映し、遠隔で受講する学生と教室で受講する学生が、受講環境をお互いに共有できることを目指した。

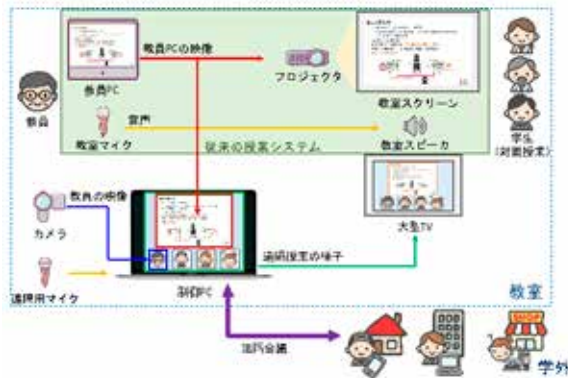


図 3: 可動式ハイブリッド型授業システム

### 3 実践

当該大学院では、提案したハイブリッド型授業システムの試験運用を 2020 年 5 月より行っている。ここではハイブリッド型授業システムを遠隔授業で利用した実践例として、第 1 クォータ(5 月~6 月)に開講した 4 つの科目である、情報アーキテクチャ特論 1、システムソフトウェア特論、データベース特論、ネットワーク特論の実施報告をする。

#### 3.1 情報アーキテクチャ特論 1

第 1 著者が担当した情報アーキテクチャ特論 1 は、情報アーキテクチャ領域の基礎として、離散数学、システム構成、戦略、アーキテクチャの 4 項目を学ぶことを目的として開講された。表 1 のとおり全 16 回の授業が行われた。受講者数は 34 名であった。

当該科目は今年度から第 1 著者が担当し、修得する知識・スキルは概ね同じであるが、内容及び構成は一新した。最初の離散数学(第 2~4 回)では、論理、情報の表現、計数、確率、グラフ、オートマトン等の中等教育、学部教育で学んだ知識の振り返りを行った。次のシステム構成(第 5~7 回)

では、ハードウェア、Web 型アーキテクチャ、各種のシステム構成、クラウド等の知識を確認した。第 3 の戦略(第 9~10 回)では、計算量及びアルゴリズムを振り返り、戦略の設計を示した。最後のアーキテクチャ(第 11~14 回)では、アーキテクチャの概念、システム設計、ソーシャルメディアを扱った。大半は座学であるが、システム設計ではグループワーク演習を行った。

表 1: 2020 年度情報アーキテクチャ特論 1 授業内容

回	テーマ
1	〈概要〉
2	〈離散数学 1〉情報の単位、情報の表現、論理
3	〈離散数学 2〉計数、確率
4	〈離散数学 3〉グラフ
5	〈システム構成 1〉計算機、Web、情報システムの構成アーキテクチャ
6	〈システム構成 2〉安定稼働システム、大規模システム等の構成アーキテクチャ
7	〈システム構成 3〉クラウドの構成アーキテクチャ
8	〈総括 1・試験 1〉
9	〈戦略 1〉アルゴリズム、計算量
10	〈戦略 2〉戦略の設計
11	〈アーキテクチャ 1〉アーキテクチャの概念
12	〈アーキテクチャ 2〉アーキテクチャの事例
13	〈アーキテクチャ 3〉アーキテクチャ設計
14	〈アーキテクチャ 4〉アーキテクチャ設計の演習
15	情報技術の活用及び展開) 検索、ソーシャルメディア
16	〈総括 2・試験 2〉

今年度の遠隔授業での工夫、課題、所感を以下に示す。

第 1 の工夫は、357 教室の既存の授業システムと Zoom 環境から構成された遠隔授業環境である。昨年度まで平日夜に秋葉原サテライトキャンパスに対して行っていた遠隔授業を、今年度から Zoom 環境に移行し、インターネット上のどこからでも参加できるようにするために準備していたものである。この環境の特徴は、映像・音声に関し、Zoom 環境を既存の AV 環境に適切に組み込んだことで、教員は従来の授業通りに授業することができ、教員の負担をある程度軽減でき、今後学生が教室に戻ってきた場合でも対面授業と遠隔授業を比較的にシームレスに実現できることにある。また、遠隔授業のオンライン接続の仕組みには Zoom を使った。類似の製品は各社から複数提供され、概ね大差は無いと言われているが、Zoom は通信回線の安定度、使い勝手及び細かい調整機能に若干優れているように感じた。また参加者の一覧表示で 49 名まで表示できることも、我々には適していた。構成詳細は第 2 章を参照されたし。

第2の工夫は manaba[6]の活用である。従来からある程度活用していたが、今年度遠隔授業を行うにあたって、活用の程度を進めた。具体的には、コースコンテンツの活用及び整備である。従来、コースコンテンツには教材のPDF等を置き、残りは概ね掲示板を使っていたが、教材に類するものはもちろん、例年概ね同じ内容で学生に提示するものはコースコンテンツに集約し、掲示板は学生との質疑だけにした。掲示板と違って、コースコンテンツはまとめて取り出し、別のコースに移し、再利用と改善ができるわけである。この授業科目では無いが、別の科目ではコースコンテンツ上にスライドの画像を貼り付け、文章を書き込み、教材自体を配置する試みも行ってみた。manabaの表現は豊富では無いが、コースコンテンツ上に集約できるのは強みである。

第3の工夫は授業内容の改善である。当該科目の教材は遠隔授業を考慮し、原則今年度新規に0から作成した。PowerPoint[7]で作成したスライド資料のほかに、遠隔授業での理解度の低下を軽減するため、教員自らのために準備した詳細シラバスを加筆修正し、授業内容の要点を箇条書きしたチェックシート型のノートを作成して配布した。また、課題、試験の結果はできるだけ当日あるいは翌日にコメント付きで返却するようにした。

第4の工夫は、特に遠隔授業を意識した各種ツールの試行である。以下に、試行したツールを列挙する。

- **ポインタ: Spotlight[8], ScreenPointer[9]**  
遠隔授業では学生に画面上で特定の箇所を特に注目してもらうための、いわゆる指し棒に相当するツールは有効であった。Spotlightはデバイスで、ScreenPointerはソフトウェアである。Spotlightは使い勝手に難があり、ScreenPointerを常用した。同様の機能はPowerPointにもあるが、ScreenPointerはPowerPoint以外の場所でも利用できる。
- **授業参加: Slido[10], CommentScreen[11]**  
遠隔授業では学生の授業参加を支援する必要もあると思ひ、Slidoで学生の意見をリアルタイムに集計してみたり、CommentScreenでメイン画面に学生が自らニコニコ動画風のコメントを流すことができるようにしてみたりしたが、効果的であったとはいいがたい。授業設計あるいは教授法の段階からの考慮が必要だと感じた。
- **オンラインでのグループワーク: Zoomのブレイクアウトルーム[12], SpatialChat[13], Google Drive[14]**  
遠隔授業では如何にグループワークを行うかが課題である。過年のOSS特論では、OSS開発を体験してもらう一環で、オンラインのみの制約を付けてグループワークを課したことがあったが、今回はオンラインで如何に対面でのグループワークに近いものを実現するか重要であった。画面上のアイコンの距離で音声の強弱が調整されるSpatialChatと、複数名で文書の同時編集ができる

Google Driveを試してみたが、約30名で複数の画面を共有したところ、処理速度上の問題が生じ、Zoomのブレイクアウトルームに戻した。Zoomのブレイクアウトルームは、教員側(ホスト)で学生を個々のブレイクアウトルームにリアルタイムで割り振ったが、約30名に対してこれを行うのは手間で時間がかかってしまった。ただし、最新のZoomでは、学生が自分でブレイクアウトルームを選択したり、移動したりする機能が準備された。

- **動画編集: iMovie[15], DaVinci Resolve[16], Premiere Pro[17], Vrew[18]**  
動画教材の作成ではこれらのツールを試用した。Premiere Pro以外は無料である。iMovieは機能が単純で制約があるため、修得は容易であった。DaVinci Resolve及びPremiere Proは概ねあらゆる機能が存在するため、何でもできるが、活用するまでには相当の労力が必要であった。Vrewは字幕を自動で付けてくれるツールである。

第1著者は、第2学期ではシステムプログラミング特論を担当し、第3学期ではOSS特論を担当している。ほかの授業、会議等もオンラインで行われることが一般的であり、我々も経験が蓄積し、またZoom、各種ツールも充実してきている。これらの経験と反省を活かし、授業の改善を継続している。

### 3.2 ネットワーク特論

第2著者が担当したネットワーク特論は、ネットワーク系演習教室で実施される基礎科目であり、当該大学院のネットワーク関連科目の中で最も基礎的な内容を扱う科目として位置づけられている。授業の目的は「コンピュータネットワークシステムに関連する事項の理解・修得」であり、この目的を目指して表2のとおり試験を含めて週2回、計16回の授業が行われた。受講者数は35名であった。

当該科目は、2017年度まで秋葉原キャンパスでの遠隔受講が可能であったが、教室変更に伴い2018年度より遠隔授業は実施されていなかった。各回授業は、教授設計学における9教授事象[19]に基づいて設計されており、講義中心でありつつも、授業で学習する知識・技能についてその利用をイメージできるようになるための工夫がされていた。

2020年度の遠隔授業実施にて確認された大きな課題は、次の4点であった。第1の課題は、評価とフィードバックに関するもので、ほぼ全員の受講生がカメラOFFで授業を受講する中で、授業内で学習者の様子を把握する機会が対面授業に対して少ないこと、またフィードバックを対面形式に比べてより意図的に設計する必要があったことである。第2の課題は、遠隔授業ではクラス内の相互作用(完全な三方向の相互作用[20])の構築が困難であり、対面授業で見られる「隣の人に聞いてみる」というような気軽な学習活動が減ったことである。

表 2: 2020 年度ネットワーク特論 授業内容

回	テーマ
1	授業の概要&コンピューターネットワークの歴史
2	ネットワークの基礎
3	ネットワーク機器
4	IP アドレスとネットワーク
5	演習1
6	ルーティング
7	IP に関連する技術
8	アプリケーションプロトコル(1), 演習2の準備
9	アプリケーションプロトコル(2)
10	演習2(1)
11	ネットワークサービス
12	演習2(2)
13	ネットワークシステムの管理
14	ネットワークシステムの設計
15	総括
16	最終試験

第3の課題は、受講生によって遠隔授業への参加条件が異なることである。今年度の実践では、遠隔授業参加者の授業への参画方法(カメラの ON/OFF, 音声入力の相互作用[20])の構築が困難であり、対面授業で見られる「隣の人に聞いてみる」というような気軽な学習活動が減ったことである。第3の課題は、受講生によって遠隔授業への参加条件が異なることである。今年度の実践では、遠隔授業参加者の授業への参画方法(カメラの ON/OFF, 音声入力の可否, 通信速度など)が異なるため、カメラや音声での入力を前提とした授業設計ができないことや突然の通信回線障害を考慮した授業設計が求められた。第4の課題は、教員と受講生の情報伝達に関するものである。2019年度まで、本科目を開講する情報アーキテクチャ専攻(2020年度からは「情報アーキテクチャコース」へ組織変更)では、週2回の授業のうち1回を対面授業回とし、必ず週に1回はリアルタイムで情報共有の確認ができる機会を設けていた。しかし、2020年度実践では、急な遠隔授業への移行に伴い、受講生側の授業参画制約に配慮し、対面授業回を設けないこととなった。そのため、全受講生と教員がリアルタイムで必ず対話ができるタイミングがなくなり、授業運営に必要な情報を受講生が受け取っているかどうかの確認が困難になった。

これらの課題へ対応するために実施した工夫の代表的なものとして、本稿では3点の工夫を紹介する。第1の工夫である「学習者の質問やコメントをベースとした授業づくり」は、課題1と2への対応として実施した。具体的には、受講生からの各回授業での質問やコメントをベースに、次回授業にて回答や解説、派生する情報を紹介する時間を15分ほど設

けた。このことにより「基本的なことでも質問して OK」という風土づくりができたとともに、発展的な質問に触れることで初学者にとって気付きを得ることもつながった。

第2の工夫である「非言語コミュニケーションの困難な環境における、疑問、理解状況の表出の場づくり」では、オンライン会議ソフトのチャットやリアクションツールの利用を積極的に推進することで、課題1及び2への対応を試みた。初回から数回の授業では、チャットに単純な質問への回答を書き込むタイミングを設けるなど、チャットやリアクションで考えや反応を可視化することを促進した結果、授業での教員の解説中に受講生から質問が寄せられるなど、受講生の興味・関心を授業の中に組み込んだ設計に成功した。

第3の工夫では、課題3への対応のために事前アンケートを実施した。事前アンケートでは、授業参加に利用可能なインターネット環境の有無と、カメラやマイクの保有有無、授業参加時に利用するデバイスの有無を調査した。これらの調査結果に基づいて授業を設計することで、事前に受講生が利用できないツールを前提とした授業設計を避けるなどの効果があった。ただし、授業が実際に始まると、カメラやマイクを持っていても、環境的な要因によって ON に出来ない例なども多く確認され、アンケートの項目の見直しが必要であることも確認された。

### 3.3 データベース特論

第3著者が担当したデータベース特論は、当該大学院のデータベース関連科目の中で最も基礎的な内容を扱う科目として位置づけられている。授業の目的は「今まで本格的にデータベース理論を学んでいなかった学生を対象にして、データベース及び DBMS(データベース管理システム)の基礎から応用までの内容を体系的に修得すること」であり、この目的の達成を目指して、表3のとおり15回の授業が行われた。受講者数は35名であった。

当該科目は、担当教員の異動に伴い2020年度より第3著者が担当を開始した。あわせてカリキュラムの見直しが図られ、リレーショナルデータベースだけでなく、非リレーショナルデータベース(いわゆる NoSQL)に関する内容が含まれるようになった。

第2章で紹介された授業システムを活用し、当該科目では Zoom のブレイクアウトルーム機能[12]を用いたグループディスカッションを多用した。これは、コロナ禍における対人機会の減少及び、対面授業でないことによる「隣の学生に教えてもらう」といった機会を補うための方策である。

Zoom のブレイクアウトルーム機能は、その名の通りミーティングを複数ルームに分割する機能で、ホストは分割されたミーティングに自由に入出することが可能である。当該科目では、その日のリアルタイム参加人数にもよるが、おおよそ1ルームに4-5人が入るように分割し、グループディスカッショ

ンを実施した。

表 3: 2020 年度データベース特論 授業内容

回	テーマ
1	授業の概要
2	データとデータベースの基本
3	データモデルとリレーショナルモデル1
4	データモデルとリレーショナルモデル2
5	リレーショナルモデルによる論理データモデル設計
6	スキーマ設計上の問題と正規化
7	SQL 1
8	SQL 2
9	集合論の基礎と関係代数
10	NoSQL データベース概要
11	SQL と標準化
12	RDMS まとめ
13	NoSQL 演習 1
14	NoSQL 演習 2
15	総括

ルームの作成においては、以下の 2 点に留意した。1 点目は、理解度に応じた学生の分散である。各学生が提出した課題の品質や、グループディスカッション時の受け答えから、各学生の理解度をおおまかに判断し、理解度の高い学生と低い学生が特定のルームに集中せずに分散し、「教えてもらう」環境を構築することに留意した。

2 点目は、組み合わせの連続回避である。「今日もこの人と一緒」という状況ができるだけ生じないよう、各回のグループディスカッションのメンバー構成を記録し、次回においてはできるだけ重複が生じないようにルームを作成した。

以上 2 点のための Zoom の操作はやや煩雑なものとなり、機能改善がまれる。具体的には、まず部屋数のみを指定してランダムに学生を分配し、その後、ルームを開設する前に、分配された学生のうち数名を、手元の情報をみながら入れ替える、という作業が必要になる。

また、グループディスカッションを円滑に実施することに特化して、Zoom のようなオンラインミーティングサービスも含めた、オンライン授業システムのベストパターンを考案できると望ましい。具体的には、357 教室におけるオンライン授業システムの配置では、制御 PC 側で Zoom にログインしていれば、教員 PC 側ではログイン不要という利点があるものの、グループディスカッション実施時は教員 PC 側で話す方が便利ということもあり、教員 PC においても Zoom ミーティングに参加して運用した。よりよい方策を検討したい。

### 3.4 システムソフトウェア特論

第 4 著者が担当したシステムソフトウェア特論は、これまで

大学で情報学を学ぶ機会のなかった学生をメインターゲットとし、「Unix 系 OS の操作を通じた、コンピュータの仕組みの理解と利活用方法の習得」を目的として開講された。表 4 のとおり全 15 回の授業が行われた。受講者数は 54 名であった。

表 4: 2020 年度システムソフトウェア特論 授業内容

回	テーマ
1	授業概要&コンピューターネの歴史
2	OS のインストール
3	基本操作
4	コマンドラインインターフェース
5	コマンド
6	シェルスクリプト
7	環境設定
8	通信
9	ユーザ管理
10	プロセス管理
11	ファイルシステム
12	開発
13	バージョン管理システム
14	クラウドサービスの利用
15	仮想化技術

当該科目は初学者が多くの割合を占めるため、自習を強く推奨してきた。2019 年度までは、初回から数回は教室設置 PC で基本操作を学び、その後、ノート PC や USB メモリ上に仮想環境を作り、自宅で大学と同等の環境を作成することで自習を促していた。

こうした背景のもと 2020 年度では、初学者への情報共有の正確さが課題となった。対面時であれば学生の画面を直接教員が確認することができたが、遠隔授業中では学生の画面を他の学生に共有することは、個人情報観点でリスクが多く困難である。そのため授業中の質疑応答では、操作環境や進捗が違う学生に対して、口頭のみで助言や指示を行う必要があった。

この課題へ対応するために実施した工夫の代表的なものとして、本稿では 2 点の工夫を紹介する。

第 1 の工夫として、バーチャルオフィスアワーを実施した。本大学院では、授業に限らず、学生相談を教員が受け付ける時間をオフィスアワーとして定めていた。これを遠隔対応できるように、Zoom を利用したバーチャルオフィスアワーとして設置した。バーチャルオフィスアワーへのアクセスリンクは授業支援システム上で公開し、毎週 2 時間程度、学生の質問を受け付けた。少人数かつ録画しないため、学生の画面共有をしながら質疑応答を行えた。

第 2 の工夫として、学生への情報の整理を行った。当該科

目は解説内容が広範囲かつ演習や課題も多いため、こちらが伝えたい情報を正確に学生に伝え、かつ学生が知りたい情報にアクセスがしやすくする必要はある。具体的には、授業資料を階層化して授業支援システム上で管理し、各授業の概要や目次を一覧で見やすく提示した。また、教員から学生への通知は文章を精査し、これまで以上に説明を詳細にするとともに課題のヒントや手順などの情報も加えた。

第 1 の工夫の結果として、バーチャルオフィスアワーは毎回 2~4 名が参加した。過去のオフィスアワーは毎回 1~3 名の参加であり、受講生の総数との比率から同程度の効能が合ったと思われる。一方、遠隔でやることの利点である場所を問わず参加しやすいという利点は活かしておらず、オフィスアワーの代替案としては良いが、更に参加しやすくする工夫が求められる。

第 2 の工夫の結果として、授業評価アンケートにおいて「授業資料が見やすかった」というコメントを得ており、一定の評価が得られたと考える。一方、お知らせに関しては、演習課題の提出ミスが 16 名いる回があるなど、文章の読み間違いをする学生が多くいた。この数字は例年の 6 名程度という数と比べて多い。文章だけでは読み間違いや読み飛ばしが多く発生するということがわかり、授業設計や指示の仕方を再考する必要がある。

#### 4 まとめ

本稿では、情報系専門職大学院における対面・遠隔併用のハイブリッド型授業システム開発の取り組みを紹介した。この授業システムは、教室内で行われる対面授業と、オンライン上で学生がリアルタイムで視聴する遠隔授業を同時に行えるシステムであり、当該大学院の 2 教室に実装された。教員は従来の授業システム利用時と同様の端末接続をするだけで、遠隔授業及び授業収録(音声・映像)を実施することが可能であり、全体として大きなトラブルなく稼働した。

ハイブリッド型授業システムが安定的に稼働したことにより、各授業の担当教員ごとに、第 3 章で紹介した遠隔授業実施のための各種工夫を加えることが可能となった。

今後の課題としては、ハイブリッド型授業システムに加えてなされた担当教員ごとの工夫の統合(標準化)が挙げられる。同一のツール・機能の利用での受講可能科目が増えるほうが、ツール・機能の学習コストは下がるため、学生は授業内容の学習に注力することができる。特に、今回紹介した科目群はいずれも本専攻情報アーキテクチャコースの初学者向けに用意されており、並行して受講する学生も多いことから、その効果は高いことが期待される。

また、第 3 章で紹介した実践においては、本来ハイブリッド型授業システムが目指している「対面&遠隔」の形式ではなく、遠隔のみの実施となったことにも注意しておきたい。対面・遠隔併用での授業を実施したうえで、ハイブリッド型授業

システムの再評価が必要であろう。

#### 参考文献

- [1] 文部科学省, “大学等における後期等の授業の実施方針等に関する調査”, 2020, URL: [https://www.mext.go.jp/content/20200915\\_mxt\\_kouhou01-000004520\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200915_mxt_kouhou01-000004520_1.pdf) (visited on 2020-10-04)
- [2] 読売新聞, “文科相「オンラインとのハイブリッド、やるのが普通の判断」...大学に対面授業促す考え”(2020-08-05 記事), URL: <https://www.yomiuri.co.jp/kyoiku/kyoiku/news/20200804-OYT1T50221/> (visited on 2020-10-04)
- [3] 文部科学省, “大学における新型コロナウイルス感染症対策の好事例”, 2020, URL: [https://www.mext.go.jp/content/20200811-mxt\\_kouhou01-000004520\\_3.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200811-mxt_kouhou01-000004520_3.pdf) (visited on 2020-10-04)
- [4] 京都大学高等教育研究開発推進センター, “ハイブリッド型授業とは”, 2020, URL: <https://www.highedu.kyoto-u.ac.jp/connect/teachingonline/hybrid.php> (visited on 2020-10-04)
- [5] Zoom, URL: <https://zoom.us/> (visited on 2020-10-04)
- [6] manaba, URL: <https://manaba.jp/> (visited on 2020-10-04)
- [7] Microsoft PowerPoint, URL: <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/powerpoint> (visited on 2020-10-04)
- [8] Spotlight, URL: <https://www.logicool.co.jp/ja-jp/product/spotlight-presentation-remote> (visited on 2020-10-04)
- [9] ScreenPointer, URL: <https://apps.apple.com/jp/app/screenpointer/id1368204906> (visited on 2020-10-04)
- [10] Slido, URL: <https://www.sli.do/jp> (visited on 2020-10-04)
- [11] CommentScreen, URL: <https://commentsscreen.com/> (visited on 2020-10-04)
- [12] Zoom, Enabling breakout rooms, URL: <https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/206476093-Enabling-breakout-rooms> (visited on 2020-10-04)
- [13] SpatialChat, URL: <https://spatial.chat/> (visited on 2020-10-04)



- [14] Google Drive, URL:  
[https://www.google.com/intl/ja\\_jp/drive/](https://www.google.com/intl/ja_jp/drive/) (visited on 2020-10-04)
- [15] iMovie, URL: <https://www.apple.com/jp/imoie/>  
(visited on 2020-10-04)
- [16] DaVinci Resolve, URL:  
<https://www.blackmagicdesign.com/jp/products/davinciresolve/> (visited on 2020-10-04)
- [17] Premiere Pro, URL:  
<https://www.adobe.com/jp/products/premiere.html> (visited on 2020-10-04)
- [18] Vrew, URL: <https://vrew.voyagerx.com/ja/> (visited on 2020-10-04)
- [19] 稲垣忠, 鈴木克明, “授業設計マニュアル Ver.2: 教師のためのインストラクショナルデザイン,” 北大路書房, 京都, 2015
- [20] 杉江修治, 関田一彦, 安永悟, 三宅なほみ, “大学授業を活性化する方法(高等教育シリーズ),” 玉川大学出版部, 東京, 2004

# 直感的インターフェースを用いたヘルスケアデバイスの開発

## —ストレス刺激の意味の置換による価値変化—

藤原 宏樹\*・加藤 貴司\*・五藤 利哉\*・鄭 家林\*  
Giovanni Innella\*・河西 大介\*・池本 浩幸\*・國澤 好衛\*

Development of healthcare device using intuitive interface

-Value change by replacing meaning of stress stimulus-

Hiroki Fujiwara\*, Takashi Kato\*, Toshiya Goto\*, Tei Karin\*

Giovanni Innella, Daisuke Kasai, Hiroyuki Ikemoto, Yoshie Kunisawa

### Abstract

Using a design-driven method, we designed and prototyped a new healthcare device for stress that adopted an intuitive interface, rather than the conventional numerical representation. The developed product was able to suggest a new direction for information expression in healthcare devices.

Keywords: Design-driven, Healthcare, Visualizing stress, Good stress, Intuitive interface

### 1 はじめに

内閣府の世論調査によると、日本国民の感じる「悩みや不安」として、半数以上が「自分の健康」と回答している[1]. また株式会社日本総合研究所の報告書ではヘルスケア産業の国内市場規模は 2016 年では約 25 兆円であったが、2025 年には約 33 兆円になると推計されている[2]. このような社会的関心の高さとこれからの成長産業という理由から本 PBL では「ヘルスケア」ということをテーマとし、プロジェクトを開始した.

### 2 テーマへのアプローチと設定

#### 2.1 テーマへのアプローチ

本 PBL はテーマに対し、デザイン的なアプローチを通じて課題の共有、問題提起、ソリューションの提案を行うことを目標とした. 一般的にデザインは、非言語(かたちや色といった視覚言語など)の操作(かたちの操作)による美的・感性的形式のありようとして議論される事が多いが、本 PBL のデザインとは、システムやプロダクトを通じてユーザーにどのような意味を提示できるかというコミュニケーションや関係性のデザインに重点を置いたものである.

#### 2.2 テーマへのアプローチテーマの設定

ヘルスケアという広義なテーマからどのようなヘルスケアをテーマとするか検討し、「肉体」、「社会」、「精神」という領域でヘルスケアに関するキーワードマップ(図 1)を作成し、議論を行った.

これらのキーワードマップから、「ストレス」というキーワードを抽出した. ストレスは心臓病や糖尿病などの生活習慣病の危険因子の一つと言われている一方で、うつ病や不安障害などの精神疾患にも深く関与している[3]. つまり、ストレスに関するヘルスケアを行うことで、肉体と精神の両方の健康増進に寄与できると考えたため、本 PBL はストレスに対するヘルスケアということをテーマとして設定した.



図 1: ヘルスケアキーワードマップ

Received on September 25, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

### 3 調査

#### 3.1 ストレスと関連製品・サービスについて

カナダの内分泌学者ハンス・セリエ(Hans Selye, 1907-1982)はストレスというものを「生体に作用する外からの刺激(ストレッサー)に対して生じる生体の非特異的反応の総称である」と定義している[4]. ストレスを引き起こす刺激はストレッサーと呼ばれ、ストレッサーは物理的, 化学的, 生物学的因子および社会・心理学的因子に分類することができる[5]. 物理的ストレッサーの刺激は温熱, 寒冷, 痛覚, 圧力, 光, 騒音, 放射線などがあり, 化学的ストレッサーの刺激は薬剤, 化学物質などがある. 生物学的ストレッサーの刺激は細菌, ウィルス, カビなどがあり, 心理的ストレッサーの刺激は怒り, 緊張, 不安, 喪失体験などが挙げられる[6]. 本 PBL ではすべてのストレスに対応するソリューションを考えることは困難であるため, 対象とするストレスを心理的ストレッサーと限定した.

これらのストレスの調査と並行して, ストレスに対するサービスや製品・行動(以下ストレス関連対処法)の調査を行った. そして, ストレスに対してアプローチを検討するため. 縦軸には重症—軽症, 横軸には科学的—社会的という軸を設定し, ポジショニングマップの作成を行いビジュアル的な検討を行った.

作成したポジショニングマップの中で, 代表的な例としては軽症かつ社会的な対処法としては「飲みニケーション」, 「カラオケ」等が挙げられ, 重症かつ社会的な対処法としては「自殺」などが挙げられた. 各人のマップをもとにストレス関連項目に関する共有項の抽出を行ったところ「現状のストレス関連製品はストレス自体を悪いものと捉えて, 溜まったストレスは解消する対象である」という知見が得られた. つまり, ストレスは悪い存在であり, 解消もしくは取り除くことが現状のストレス関連対処法がとっているアプローチであることが判明した.



図 2: ストレスグッズのポジショニングマップ

#### 3.2 良いストレスと悪いストレス

上記のストレス関連対処法に関する調査から, ストレスに対するアプローチは一元的なものに限定されるものなのかという疑問が浮上した. そこでストレスの捉え方に関する先行文献調査を行った.

生命反応学者の二木の報告ではストレスは常に悪いものとは限らず, 場合によっては良い刺激, シグナルにもなると報告している[7]. さらにストレスをよい刺激として受け止め, こころ, 身体を活性化することもできると述べられている. そして, 良いストレスはこころ, 身体ともに恒常性の維持, 健康を実現できるということが述べられている.

心理学者ケリー・マクゴニガルの報告[9]では「ストレスは健康に悪い」と心配し, ストレスのせいで, 病気になることを恐れることが健康に害を及ぼしているということが示唆されている. また, 前述の報告ではストレスがあった状態でもそれほど危険ではない場合には脳と体は「チャレンジ反応」という状態に切り替わることが可能だということが報告されている. ストレスがかかる状況下でもスポーツ選手やパフォーマーが良い成果をあげる場合や, アーティストがステージ上でより良い演奏を実現させることがあるが, これらがストレスを良い方向に転換したチャレンジ反応の例だと言われている. つまり, 同じ外的刺激であっても受け手の側の解釈により, 良いストレスにも悪いストレスにもなり得ることを 2 つの文献が示唆していることが知見として得られ, ストレスが必ずしも悪いものではないことがわかった.

#### 3.3 良いストレスへの変換

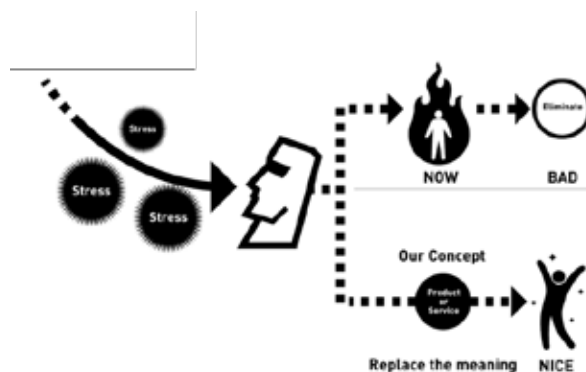


図 3: 良いストレスの変換イメージ

調査から, 外的刺激のストレスを良いストレスに変換できれば, ヘルスケアの新しい提案が可能ではないかと考えた.(図 3).

本 PBL では「良いストレスへの変換」という UX(ユーザーエクスペリエンス)を検討した際に「ストレスの可視化」が必要であると考えた. 対象の変換を行うためには, 変換前の対象の状態を捉えることが必要である. 本 PBL の対象はストレスであるが, ストレスを肉眼で認知することはできない. そこで, ストレスを可視化することができれば, ストレスという対象がどのような状態で, どのような推移があるかなど視覚的に認知することが可能になるのではないかと考えた.

自身のストレスと状態を, 提示可能なプロダクトやサービスにデザイン・試作・提案することにより, 「良いストレスへの変

換]を促進し、ストレスに対するヘルスケアの新しい方向性を示唆したいと考えた。

#### 4 目的

本 PBL ではヘルスケアの新しい提案として従来のストレス関連対処法ではなく、良いストレスへの変換を行うためのプロダクト(以下ストレス価値変換装置)の提案を行い、新しいストレスとの関係性を構築することを目的とした。

### 5 検討

#### 5.1 可視化方法の検討

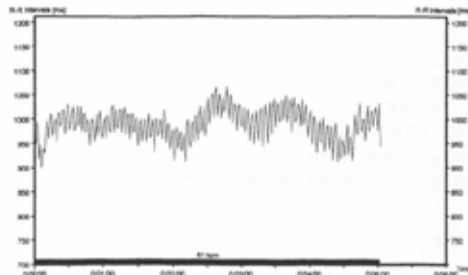


Fig.1 閑居安静時における心拍変動を示す。記録時間は5分間で、被験者は着座姿勢であった。図の縦軸は心電図のRR間隔、横軸は時間経過を示している。

図 4:出典

心拍変動による精神負荷ストレスの分析[10] p.4

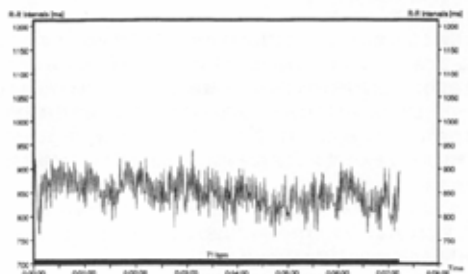


Fig.2 連続計算作業時における心拍変動を示す。記録時間は7分間であった。縦軸は心電図のRR間隔、横軸は時間経過を示す。

図 5:出典

心拍変動による精神負荷ストレスの分析[10] p.4

ストレス価値変換装置に必要なストレスの可視化方法を検討するため、一般的な評価方法の調査を行った。臨床医学分野では、主観的なストレス評価法(心理学的ストレス評価法)が多用されている。その他、生体信号変化を捉える生理学的評価法や、血液・尿・唾液中の生理活性物質(バイオマーカー)を測定する生化学的評価法になどがある[9]。また心拍変動の分析はストレス負荷と自律神経系の関係について有効な生体情報を提供している[10]という報告もある。

これらの調査から得られた知見は、いずれも評価データは数値化され、グラフ化された可視化方法であった。例としては図 4(安静時)と図 5(精神負荷時)[10]は心拍変動の比較

である。グラフ化による数字解釈のメリットは言うまでもないが、デメリットとしては解釈には専門的な知見が必要であり、非専門家を対象とした場合には、内容を直感的に理解することが難しいという問題点が挙げられる。

#### 5.2 インターフェースの検討

上記の可視化方法の検討から、ストレス情報とユーザーとの間に直感的なインターフェースを介することで新しいストレスとの関係性を提案できるのではないかと仮説を立てた。直感的なインターフェースは先行研究として MIT メディアラボの石井らのタンブルユーザーインターフェース[11]が挙げられる。タンジブル(tangible)とは「触れて感知できる、実体的な、有形の」といった意味合いであるが、実態のある物理的なオブジェクトを情報の入出力に使用することで、直感的なインターフェースを実現している。つまり、形のない情報にメタファーを与えることで、ユーザーに情報を連想させ、直感的に認知を促すインターフェースである。

本 PBL での直感的なインターフェースとはユーザーが取得する情報について非専門家であっても情報の状態が認知可能であることを指す。そこでストレス価値変換装置には直感的なインターフェースを採用し、「情報についてメタファーを有し、ユーザーに対し内容を想起させる」という可視化方法を採用することとした。

### 6 提案

#### 6.1 本 PBL の提案

ストレス価値変換装置に対する可視化方法が決定した後、価値変換には可視化のみでは良いストレスへの意味変換が難しいのではないかと議論が行われた。

そこで「良いストレスへの変換」という UX を再考し、「可視化」と「置換」という 2 つの UX に分解した。

可視化については本論の 1.5 に記述したが、可視化されたストレスに対し、意味の置換を促す UX を追加した。置換にはストレスが可視化されたユーザーに対し、新しい外的刺激(以下装置の外的刺激)を付与することにより、ストレスの意味の置換を促進できないかと仮説を立てた。これら 2 つが組み合わせられたプロダクトをデザインすることにより、ストレス価値変換装置を実現し、本 PBL 独自の提案とする。

#### 6.2 ストレスユーザーに対しての外的刺激

「良いストレスへの変換」を行うにあたり、強制的に思考を誘導することは難しい。そのために、装置の外的刺激はユーザーにとっては強制力がなく、非言語コミュニケーションである刺激(以下非言語による誘導)が望ましいと考えた。そこで、本 PBL は意味の置換を促す装置の外的刺激として、色彩に注目した。

色彩には人の行動や心理状況を誘導する効果が示唆されている。奥田らの研究[12]では食べ物の色彩が食欲の増進に影響があるという報告がある。また色彩に関するストレス関連の研究では、病院内ナースセンターの色彩環境をコントロールすることにより業務ストレスを軽減できる可能性を示唆している[13]。そして、照明における色についても精神的なストレス状態や疲労を緩和する作用がある[14]と報告されている。これらの先行研究から、色彩の効果に着目し、装置の外的刺激として色彩効果を用いることとした。

次にどのような色彩が適しているか検討を行った。図6のように色彩や配色にはイメージや形容詞を想起させる効果がある[15]。本PBLはこの点に着目し、心理的ストレス(不安, 恐れ, 怒り, 焦り, 憎しみ, 劣等感)に対し、反対のイメージを想起させる配色を選定し、ストレスユーザーに提示することにより、非言語コミュニケーションによる良いストレスへの意味の置き換えができないかという仮説を立てた。



図 6: 出典 Classification of image into 9 categories [16]

## 7 方法



図 7: ストレス価値変換装置開発までの流れ

ストレス価値変換装置の開発を行うにあたり、図7に示すようなフローで研究を実施した。前項まで見てきたように先行研究のレビューからストレスの表現や良いストレスへの変換を行うために適した媒体を調査、さらにその表現に対し意味を与えるためのアンケート、最終プロダクトを実現するためのデザインの試作が本PBLの流れとなる。

### 7.1 メディアの選定と全体システムの検討

これまでの議論から本PBLのストレス価値変換装置のシステム全体の検討を行った。

ストレスの可視化については、メディアとして磁性流体を選択した。磁性流体は米国航空宇宙局(NASA)がアポロ計画の中で宇宙服や機器を封止するための素材として開発された。物性としては強磁性体とそれらを覆う界面活性剤とベースとなる水や油から成るコロイド溶液である。また磁力を界面に作用させることで磁性流体に特徴的な図8のようなスパイク現象が発生する。[16]



図 8: 磁性流体のスパイク現象

磁性流体をメディアとして選択した理由として、以下の3つの理由が挙げられる。

1. 実体的かつ有形に存在する物質であること
2. 形が自在に変化すること
3. 動作を制御可能であること

本論の2.2にあるインターフェースの検討項目で記述したように、可視化を行う上で本来形のない情報であるストレスに対し、形を与えることが重要である。人々が種々のストレスに対して持つ心的イメージ(以下表象)をメタファーによって磁性流体の形を定義、さらに磁性流体の形状をストレスごとに変化させることでリアルタイムにストレスの状態を可視化することを試みた。

次に意味の置換を促すメディアとしてスマートLEDを選択した。本論の2.4における議論で述べたように、色彩には人の行動や心理状況を誘導する効果が知られている。新しい外的刺激を生成する上で、リアルタイムに色彩を変化することが可能なスマートLEDが意味の置換を行う上で有効であ

るという仮説を立てた。またそれぞれの心理的ストレス（恐れ、怒り、悲しみ、嫌悪）に対し、反対のイメージを想起させる配色を提示するメディアの要件としては、以下が挙げられる。

1. 117 組の配色を柔軟に変化させることが可能であること(色数は引用で用いている図 6 の配色数)
2. センシングしたデジタル信号からインタラクティブに色を変化させることが可能であること

これらの要件を満たすメディアとして、スマート LED を選定した。

以上から本 PBL ではストレスの「可視化」に対しては磁性流体、ストレスユーザーに対して新しい外的刺激を与える装置としてスマート LED を選択した。

図 9 に本 PBL で作成したストレス価値変換装置のシステム概要図を記載する。

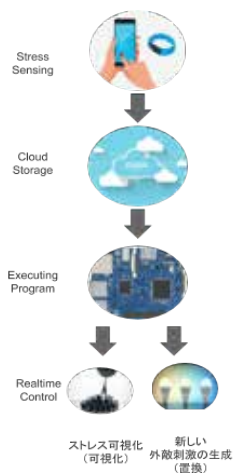


図 9: ストレス価値変換装置のシステム概要

ストレスのセンシングデバイスとして fitbit.inc から販売されている Fitbit inspire HR を用いた。入力機器については技術の発展によってストレスを直接計測できるデバイス等に置き換えることを想定している。次に取得した心拍データ等をスマートフォンによる通信を通じてクラウド上へアップロード、その後、制御に使用した Raspberry pi からデータを取得、電磁石の制御によって磁性流体に形と動きを与え、ストレスを可視化する。さらにスマート LED に対して受けたストレス反対のイメージを想起させる配色を生成し、利用者がそれらを知覚する。

## 8 アンケート

### 8.1 視覚化アンケートの目的

磁性流体でストレスの表象を表現するためには、ストレスの表象を抽象化し、さらに磁性流体を用いて形や動きとして

表現する必要がある。表象と一般的な形のイメージの関係を明らかにするためにアンケートを行った。アンケートを行う目的として、3つの項目を表 1 に示す。

表 1: 視覚化アンケートの目的

項目 1	ネガティブな基本感情とオノマトペの対応関係を明らかにする。
項目 2	静止画のパターンとオノマトペの対応関係を明らかにする。
項目 3	磁性流体の動きとオノマトペの対応関係を明らかにする。

項目 1 について、まずネガティブな感情とオノマトペの対応関係を把握するための文献調査を行った。オノマトペとは擬音語や擬態語の総称として使われる言葉である。またオノマトペを用いることで、形や動きの持つイメージや感情など本来あいまいで伝わりづらいものを直感的に理解することができる[17]。井上らの研究[18]では、基本感情の6種類(恐れ、喜び、怒り、悲しみ、嫌悪、驚き)に対応するオノマトペ活用頻度を調査している。これらを踏まえて本 PBL では心理的ストレスの中から基本感情の4種類を選定し、恐れ、怒り、悲しみ、嫌悪を抽出し、それらに対応するオノマトペを明らかにするためのアンケートを取った。

項目 2 については、文献調査をもとに形と感情の関係性を明らかにするため実施した。また静止画については木村らの論文から引用した[19]

項目 3 については、本 PBL で作成した動く磁性流体の抽象的な表象と、項目 1 で抽出した4つの基本感情のオノマトペに対応するイメージを明らかにするために実施した。これらの結果から、ネガティブな4つの基本感情とストレスの表象を結びつけるインターフェースとしてオノマトペを活用し、さらにそれらを磁性流体によって形状と動作による表現と結びつけるよう試みた。視覚化アンケートの概要を表 2 に示す。

表 2: 視覚化アンケート概要

実施期間	2019年10月26日(土)、27日(日)
回答者数	56名
手法	Web アンケート
アンケートタイトル	擬音語擬態語に対する動的イメージと静的イメージの調査
質問数	20問

視覚化アンケートに用いたオノマトペを表 3 に示す. 各オノマトペは井上らの研究[18]を元に恐れ, 怒り, 悲しみ, 嫌悪に分類している. なおこれらの分類については事前に被験者には知らせず視覚化アンケートの集計時に利用している.

表 3:アンケートに用いたオノマトペ

恐れ	怒り	悲しみ	嫌悪
ビクビク	イライラ	シクシク	イライラ
ドキドキ	プンプン	メソメソ	ムカムカ
ブルブル	ムカムカ	ショボショボ	ビリビリ
ガクガク	ビリビリ	ウジウジ	ツンツン
オドオド		エンエン	キリキリ
ゾクゾク		シオシオ	モヤモヤ
ソワソワ		シュンシュン	
ゾワゾワ			

次に磁性流体の動きと特徴を表 4 に示す. アンケートでは磁性流体の動画を用いたが本稿では磁性流体の動きの特徴を文章で示す.

表 4:磁性流体の動きと特徴


図番号	磁性流体の動き	動作の特徴
図 10		線状の磁性流体が放射状に広がる
図 11		一定間隔で鼓動を打つ (スパイクなし)
図 12		不定間隔でスパイク現象を発生させる

図 13		中央から上下交互に伸びていく
図 14		突然スパイク現象を発生させる
図 15		早い間隔でスパイク現象を発生させる
図 16		円周方向に伸びて回転する

次に静止画を図 17 に示す.

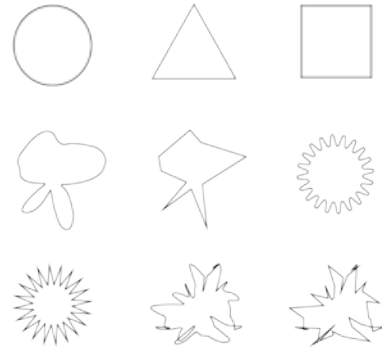


図 17: 静止画

### 8.2 意味の置換におけるアンケートの目的

項目 2.4 および 3.1 で述べたように, 光によってユーザーに外的刺激を与えるにあたり, 本 PBL ではスマート LED を用いる. LED の配色を選択するにあたり, 4 つの基本感情に対して反対の意味を持つ色彩を選択する必要がある. 光の色が持つイメージを表現するため, 河西らの研究[17]および図 6 を参考にした. 実施したアンケートの概要を表 6 に示す.

表 5:ネガティブワードの反対語に関するアンケート概要

実施期間	2019 年 11 月~2 月末
回答者数	10 名
手法	Web アンケート
アンケートタイトル	ネガティブワードの反対語に関する調査
質問数	24 問

表 6 および表 7 にネガティブワードの反対語に関するアンケート内容を記載する。形容詞を 6 つの群に分け、恐れ、怒り、悲しみ、嫌悪に対する反対語をそれぞれの群より選択頂いた。

表 6:ネガティブワードの反対語に関するアンケート内容 (群 1-3)

番号	群 1	群 2	群 3
1	該当なし	該当なし	該当なし
2	プリティな	飾り気のない	親しみやすい
3	メルヘンな	質素な	気楽な
4	初々しい	淡い	家庭的な
5	嬉しい	素直な	愉快的な
6	甘美な	簡素な	のびのびとした
7	かわいい	淡い	陽気な
8	愛らしい	素直な	楽しい
9	和やかな	簡素な	居心地の良い
10	あどけない	自然な	朗らかな
11	可憐な	素朴な	くつろいだ
12	可愛らしい	淡白な	アクティブな
13	キュートな	肌触りのよい	活動的な
14	懐かしい	マイルドな	いきいきとした

表 7:ネガティブワードの反対語に関するアンケート内容 (群 4-6)

番号	群 4	群 5	群 6
1	該当なし	該当なし	該当なし
2	枯れた	派手な	文化的な
3	風流な	装飾的な	渋い
4	しとやかな	情熱的な	凛々しい
5	ひなびた	鮮やかな	堅実な

6	微妙な	艶っぽい	高尚な
7	奥ゆかしい	華やかな	古典的な
8	味わい深い	豪華な	格調のある
9	控えめな	魅力的な	風格のある
10	充実した	こっぴどした	重厚な
11	丹念な	豊かな	男性的な
12	古風な	贅沢な	どっしりした
13	伝統的な	華麗な	本格的な
14	地味な	円熟した	がっしりとした

## 9 結果

### 9.1 視覚化アンケート:ネガティブな基本感情とオノマトペの対応関係

本実験では被験者を 10 代, 30 代, 男性, 女性に分け基本感情に対応する最も多かったオノマトペを表 8 に記載する。

表 8:ネガティブな基本感情とオノマトペの対応

	10代	30代	男性	女性
恐れ	ガクガク	ビクビク	ガクガク	ガクガク
怒り	イライラ	イライラ	イライラ	イライラ
悲しみ	シクシク	シクシク	シクシク	シクシク
嫌悪	ムカムカ	ムカムカ	ムカムカ	ムカムカ

### 9.2 静止画と基本感情の関係性

静止画と基本感情の関係性を表 9 に示す。

アンケートでは表 3 のオノマトペを元に回答を依頼し、その結果を各基本感情に当てはめて集計を行った。



表 9:静止画とオノマトペの関係性

静止画	恐れ	怒り	悲しみ	嫌悪
	29	2	18	7
	10	18	2	26
	24	7	9	16
	26	1	14	15
	11	14	1	30
	23	8	18	7
	10	21	0	25
	26	5	12	13
	19	24	4	9

9.3 動く磁性流体の表象とオノマトペの関係性

動く磁性流体の動作とオノマトペの関係性を表 10 に示す.

表 10:動く磁性流体の動作とオノマトペの関係性

図番号	アンケート結果
図 10	<p>Q2.1の動画についてイメージを選んでください。</p>
図 11	<p>Q2.2の動画についてイメージを選んでください。</p>

図 12	<p>Q2.3の動画についてイメージを選んでください。</p>
図 13	<p>Q2.3の動画についてイメージを選んでください。</p>
図 14	<p>Q2.5の動画についてイメージを選んでください。</p>
図 15	<p>Q2.6の動画についてイメージを選んでください。</p>
図 16	<p>Q2.7の動画についてイメージを選んでください。</p>

図 10～図 16 までに得た磁性流体の表象とオノマトペ関係を 4 つの基本感情にまとめた結果を表 17 に示す。

表 17: 磁性流体の表象と基本感情

図番号	磁性流体の表象	恐れ	怒り	悲しみ	嫌悪
図 10		39	2	11	4
図 11		48	3	4	1
図 12		27	14	7	8
図 13		25	5	20	6
図 14		34	7	9	6
図 15		43	5	2	6
図 16		16	13	18	9

#### 9.4 視覚化アンケートの考察

項目 1 の結果について恐れは「ガクガク・ビクビク」怒りは「イライラ」、悲しみは「シクシク」、嫌悪は「ムカムカ」となった。これらは本 PBL で参考にした井上ら[18]の研究と一致する結果となった。

項目 2 の静止画とオノマトペの関係性において○、△、□のようにカタチの抽象度が高いと感情とのイメージが湧きにくく、カタチが定まってくるとイメージと結びつきやすいという結果となった。例えば○は水玉など可愛らしいと感ずることもあ

れば、穴のようなネガティブな要素としても考えられる。また鋭角を持った棘のような形状は、ウイルスやサボテンや針のような具体的なイメージが湧きやすいため、嫌悪や怒りといった感情に結びついたものと考えられる。

項目 3 の磁性流体の動きの表象について、図 11 は心臓の鼓動のように、一定間隔で脈打つ動きをしており、表象のイメージがドキドキしているという印象を持つことにつながっていると考えられる。静止画のときと同様にその場に留まって動くものは恐れを示す傾向が強い。これは静的なイメージと同様に、変化の少ないものについては具体的なイメージが付きにくく、選択肢の初めにあったビクビクを選択した可能性が高い。動きのあるものは、悲しみや怒りを含む傾向が見られる。例えば涙を流す、ぐるぐると回ることが怒りや悲しみを連想させていると考えられる。これらの結果を踏まえて、最終プロダクトでは、心臓の鼓動を示すような一定間隔で鼓動する動作と鋭角を持った棘のようなスパイク現象、さらに円周方向への動きなどを組み合わせた形状と動作をストレスの表象とした。

#### 9.5 意味の置き換え: ネガティブワードの反対語のアンケートの結果

ネガティブワードの反対語のアンケートの結果を表 18 に示す。選択肢にある反対語の群の中で最も回答数が高かった反対語を記載している。

表 18: ネガティブワードの反対語に関するアンケート結果

	恐れ	怒り	悲しみ	嫌悪
群 1	和やかな	和やかな	嬉しい	愛らしい
群 2	のどかな	柔和な	のどかな	馴染みやすい
群 3	居心地の良い、愉快的	陽気な	楽しい	居心地の良い
群 4	該当なし	該当なし	充実した	該当なし
群 5	該当なし	該当なし	情熱的な	魅力的な
群 6	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし

## 9.6 ネガティブワードの反対語のアンケートの考察

ネガティブワードの反対語に関するアンケートの結果から、恐れ、嫌悪、怒り、悲しみといったネガティブな感情に対して、人々がいわゆる辞書的な意味では収まりきらない複数の反対語を持つことが確認できた。特に恐れや怒りに対する反対のイメージが一致している箇所が見られるのは興味深い。

本 PBL で用いるストレスの意味の置換を行うための、光による外的刺激を与える上でも有効な結果が確認できた。しかしながら、今回得たアンケートの結果では、母数が少なく表 7 で示したデータは傾向や示唆程度である。今後アンケートを継続し、母数を増やすことで引き続き相関関係を確認していきたいと考えている。今回の最終プロダクトでは、予備実験として光に用いる形容詞は「愛らしい」、「居心地の良い」、「優しい」、「楽しい」とし、これらをユーザーに対し外的刺激として与えることで、ネガティブな基本感情に対する意味の置換として用いることとした。

## 10 結果からのデザイン提案

### 10.1 目的

これまでに得た結果を用いて、ストレスの可視化および意味の置換を行う状況として住環境を想定し、情報を直感的に理解できる情報機器を開発する。本稿以降では想定するユーザー体験の設計(以下 UX の設計)およびプロダクトを開発するためのプロトタイピングの結果を示す。

### 10.2 UX の設計

直感的に理解できる情報機器として住空間を想定しデザインすることを試みた。

ストレスは本来一人で抱えてしまうことが多いが、家族のケアによるソーシャル・サポートにより緩衝されることが報告されている[20]。これらの観点からも住空間を想定した家族とストレスを共有可能な情報機器としてデザインを行うことを試みた。

本 PBL で開発を行う、ストレス価値変換装置を利用するユーザーをペルソナによって想定し、これらをもとに UX の設計を行った。想定したペルソナは父、母、娘から構成されている 3 人家族である。このペルソナに対し強制的に良いストレスに変換するのではなく、非言語コミュニケーションにより、良いストレスへの変換を促すことを目的とする。

1.5 節で既に述べたように「良いストレスへの変換」という UX を「可視化」と「置換」という 2 つに分解し、ストレスの可視化のためのメディアを磁性流体とした。磁性流体によって表現されたストレスを第三者が確認、そのストレスをライトによる非言語コミュニケーションによりポジティブイメージに変換する。これらを具現化するために、住環境を想定した家具とストレス価値変換装置が融合したデザインを試みた。以下、UX を設計するために本 PBL で作成した 4 コママンガによって

想定するユーザー及び利用シーンを図 17 に示す。

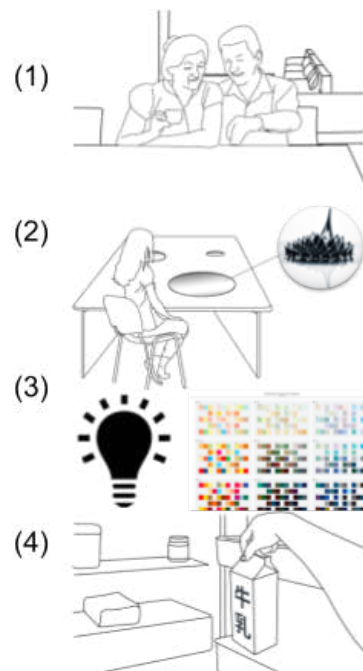


図 17:ペルソナによるストレス価値変換装置の利用シーン

1. 夫婦が仲良く一見ストレスがなさそうに過ごしている。
2. 娘がテーブルの上で父親のストレスの状態を直感的に確認できる。ここでは父親が予想外にストレスが溜まっていることが分かった。
3. ここでストレスと反対の意味を持つ光を生活空間に生成し、ポジティブイメージを促進させる。
4. なんか最近お酒の量が減ってきたなど父親が感じる。ポジティブイメージの生成により非言語による誘導でストレスの意味を置換する。

### 10.3 プロトタイピング

前項において決定した UX を踏まえて住環境を想定した家具と情報機器の融合というコンセプトでストレスの可視化および意味変換装置のデザイン提案およびプロトタイピングを行った。住環境を想定したプロダクトとして本 PBL では以下の 2 つのプロダクトの開発を最終目標としてプロトタイピングを実施した。

- ・ テーブル型のストレス可視化装置
- ・ 卓上ライト型の意味置換装置

### 10.3.1 テーブル型の可視化装置のプロトタイピング

テーブル型の可視化装置のプロトタイピングでは、視覚化アンケートによって得たストレスを表現するため、試作を行った。磁性流体で以下の3つの動作を表現できるように Raspberry Pi と電磁石を用いた装置のプロトタイピング (図:18)を行った

1. 一定間隔で鼓動する動作
2. スパイク現象の実現
3. 円周方向への動作

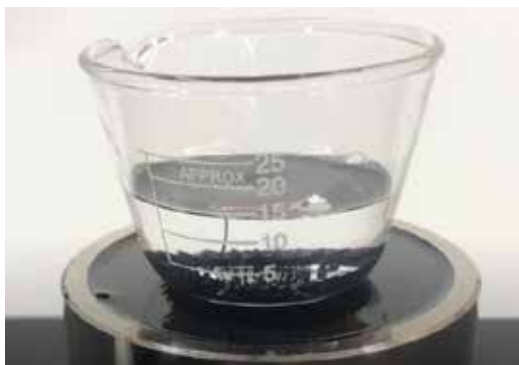


図 18:電磁石による磁性流体の動作確認

上記項目1の一定間隔の動作については Raspberry Pi に周期データを与えることにより電磁石の ON-OFFを行い、磁性流体が鼓動する状態のテストを実施した。上記項目2については電磁石の ON 時間の調整によりスパイク現象も任意に作成することができた。上記項目3の円周方向の移動についても電磁石を円周上に配置することで実現可能となった。

可視化装置をテーブル型へ実装のするため、磁性流体を組み込んだプロトタイプ(図 19)を作成し、磁性流体の動作確認を行った。



図 19:テーブル型可視化装置のプロトタイプ

### 10.3.2 卓上ライト型の意味変換装置のデザイン提案

卓上ライト型の意味変換装置は利用者に対し非言語による誘導を行うため、非言語による誘導が可能なスマート LED を用いた。3.1 項で述べたようにスマート LED はプログラミングにより配色を柔軟に変化させることが可能である。ネガティブワードの反対語に関するアンケート結果によって得た反対語をスマート LED によってポジティブイメージの色彩に調光を行うことで利用者との間で非言語コミュニケーションを成立させるという UX である。

卓上ライト型の形状デザインとしては利用者が筐体からの反射を利用した光源を作るデザインを模索した。プロトタイピング初期では、モデル上でスマート LED を再現し、筐体内で効果的に光が拡散する形状の作成を目指した。3D-CAD によるレンダリングにより光を再現し、シミュレーションを行った。(図 20)またパラメトリックデザインを活用し試作回数を減らし、プロトタイピングのしやすさと住環境に適した形状を抽出した。

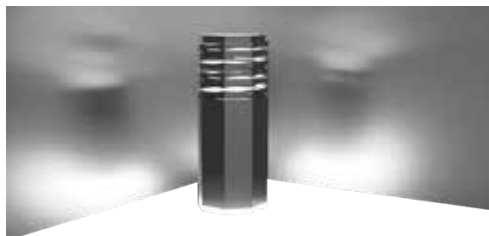


図 20 :シミュレーションによる光の拡散の確認

これらのプロトタイピングの結果から形状のデザインコンセプトを立て、ストレスという無形状なものに対して、図 21 に示すようにクリスタルのような硬質な形状をイメージしたデザイン提案をおこなった。機能としては光の拡散が得られる筐体を選定し、最終プロダクトのデザインとした。(図 21)

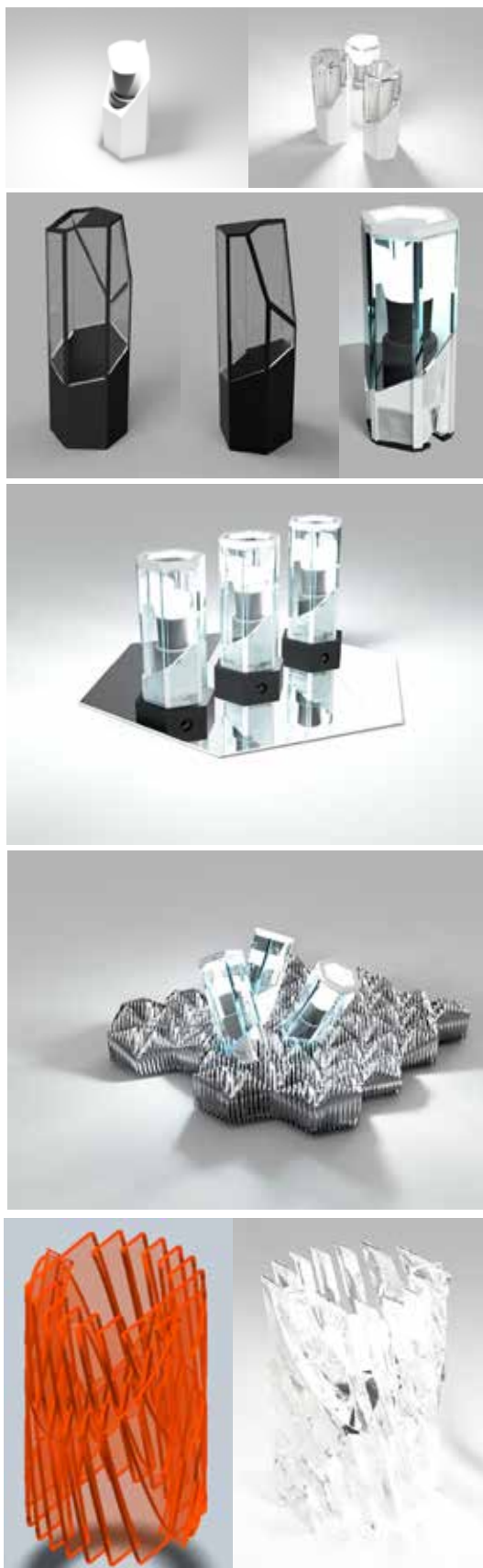


図 21 :形状デザインのためのプロトタイプング

#### 10.4 光によるポジティブイメージの生成

アンケートで得られた、ネガティブイメージの反対の配色を選定し、スマート LED の色とした。アンケートからネガティブイメージの反対の形容詞を選択し、形容詞から図 6 の配色の選定を行った。次にこれらの配色の RGB 値から CIE1931 色空間の座標軸に変換を行い、スマート LED の色彩表現のパラメータとして使用した。(図 22～図 25)



図 22:愛らしい光の配色



図 23:優しい光の配色



図 24:楽しい光の配色



図 25:居心地の良い光の配色

## 11 最終デザイン

### 11.1 ストレス可視化装置と意味変換装置

複数回に渡るプロトタイプングから最終プロダクトであるストレス可視化装置の外観を決定した(図 26).



図 26 : ストレス可視化装置の外観

ストレスの可視化装置は、視覚化アンケートの結果で得た一定間隔で鼓動する表象は心臓が鼓動している状態を示す。スパイク現象は怒り、嫌悪を示し、円周方向への動作により、恐れや悲しみが表現可能である。図 27 では中央部が心拍を示し、外周がストレスの状態を示している。



図 27: ストレス可視化装置の動作状況

意味変換装置は対比的な表現を行うため、硬質なクリスタルをイメージしデザインを行った。(図 28)



図 28: 意味変換装置

意味変換装置は、図 29 のように 3 台配色の調光を作るため 3 台を 1 セットとした。これらの 3 台を利用してアンケートから抽出したポジティブイメージを生成する。展示では 2 配色計 6 台を動作させた。

また東京国際フォーラムでの展示のコンセプトは住空間をイメージし、さらにエアプランツや多肉植物・ポプリを添えることで空間として展示物を体験できるよう工夫を凝らした。



図 29:意味変換装置の展示

ポスターを図 30 に示す。最終プロダクトのキャッチコピーは「ストレスをカタチで知る。ストレスをヒカリで〇〇へ」とした。



図 30:展示ポスター

本 PBL で作成した直感的インターフェースを持つ情報機器を住空間に配置した場合の利用イメージを図 31 及び図 32 に示す。



図 31:住空間での利用イメージ1



図 32:住空間での利用イメージ 2

## 12 展示

### 12.1 展示アンケート目的

直感的インターフェースを採用したヘルスケアデバイスがストレスに対して有効かどうかを判断するため、試作品の展示を行い、見学頂いた方に対しアンケートを実施した。

### 12.2 展示アンケート概要

アンケートの概要を表 19 に示す。

表 19:Kunisawa PBL About Design Works  
アンケート概要

実施期間	2019 年 2 月 11 日
回答者数	26 名
手法	紙ベースアンケート (後ほど Web 入力)
アンケートタイトル	Kunisawa PBL About Design Works
質問数	7 問

### 12.2.1 展示アンケート結果

アンケートの感想および結果を表 20 から表 21 に示す。

表 20: Kunisawa PBL About Design Works 感想

<b>展示に対するコメント(抜粋)</b>
先進的で感動しました。
小児うつ病の治療に照明を利用した記事を見たことがあります。
現状のプロトタイプにこだわらず、

コンセプトを深堀させていってほしい。可能性を感じます。

ストレスを可視化するという着目点が面白いと思います

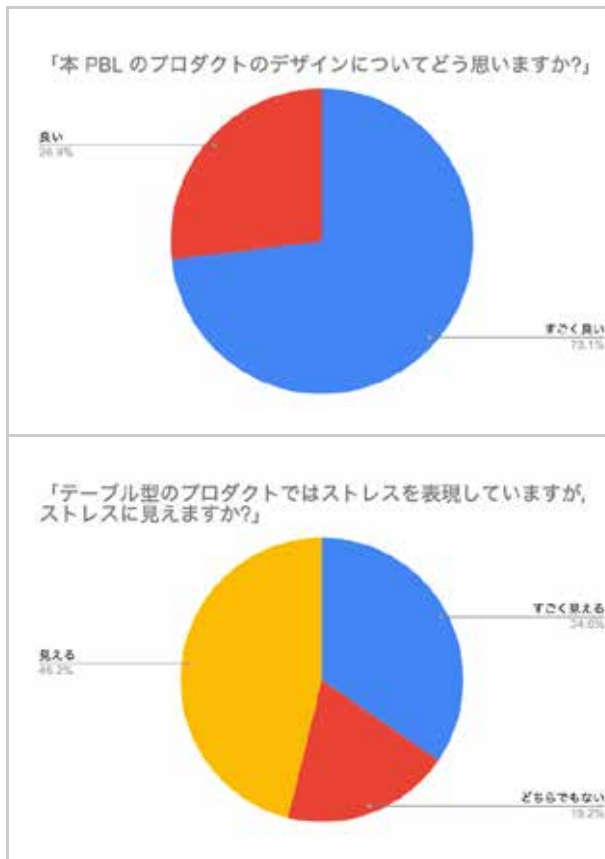
感性に訴えかけるのは人に良い影響を与えたいと思います。私も色の心理効果とアロマテラピーは好きです！

専門的なことをよく知らない私にでも、液体の動きだけでわかりやすいです。デザインも美しくシンプルで素敵だと思います。素晴らしいです！！

家族のストレスがわかると(特に娘のことなど)良いなと思います。家族が遠くにいる場合でもとても良いと思います。説明していただき、ありがとうございます。

インスタレーション展示がとても良くできていると思います。イライラ状態を解消する方法として意義があると思います。

表 21:Kunisawa PBL About Design Works  
アンケート結果





### 13 まとめと今後の課題

本 PBL の目的である直感的インターフェースを持ったヘルスケアデバイスの新しい方向性を示唆するため、先行研究レビュー、ストレス可視化の検討、表現媒体の検討、表現方法抽出のアンケート、デザイン試作を経て、最終的なプロダクトの提案を行った。これにより、先行研究のレビュー、ストレス可視化、意味の置換、表現媒体の選定、表現方法の抽出、デザイン試作を達成した。

展示アンケートの結果から家族のストレスがわかると良いという意見や、ストレスの可視化方法への評価、色による心理効果など本 PBL で提案、実施してきた直感的インターフェースを持ったヘルスケアデバイスに関して良好な意見を頂くことができた。これにより今後のヘルスケアデバイスの情報表現に対し、新しい方向性を示唆できたと考える。

課題としては本 PBL では実際の住環境における評価は未実施であるため、UX で想定したペルソナに対し、評価を実施する必要がある。今後研究を継続し、評価を行い、プロダクトの改善を行いたいと考えている。

### 14 プロジェクトの総括

PBL(Project based learning)には発想力、表現力、設計力、開発力、分析力など各人のコンピテンシーを向上させるという大目的がある。本 PBL のメンバーは、プランナー、研究者、デザイナー、エンジニアと多彩なメンバーで構成されている。社会人としての仕事では関わることのないメンバーが、1 年間の PBL 活動を通じて活発な情報交換やアイデア出し(図 33)、調査、プロトタイピングが行われた。またアートやデザインに興味のあるメンバーで構成されていたことで展示会等に足を運び、他のデザイナー、アーティストからさらなる学びを得ることができた。そして、お互いの得意分野を吸収する機会や、興味の幅を広げることで考えたアイデアをその都度プロトタイピングしながら議論を行った。また先生方に様々なご指導を頂くことで理想的な形のデザインドリブン型プロジェクトを最後まで遂行することができたと考える。(図 34)



図 33:ディスカッションの様子



図 34:メンバーと先生方の写真

### 謝辞

本 PBL 活動において、ストレスの測定方法や治療方法等について本学の田部井 賢一 助教、またプロトタイピングについて近藤 嘉男 非常勤講師には有益なご助言を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。展示ポスターおよびタイトル、アブストラクトの英文については三澤 彩様にご助言頂きました。ここに感謝の意を評します。最後に本 PBL におけるアンケートにご協力頂いた方についても心から感謝申し上げます。

### 参考文献

- [1] 日本経済再生総合事務局, 全世代型社会保障における 疾病・介護の予防・健康インセンティブ に関する参考資料,  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai25/siryou1.pdf>, (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [2] 株式会社日本総合研究所, 平成 29 年度健康寿命延伸産業創出推進事業(健康経営普及推進・環境整備等事業)調査報告書,  
[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/healthcare/downloadfiles/H29kenkoujumyou-report-houkokusho.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/healthcare/downloadfiles/H29kenkoujumyou-report-houkokusho.pdf), (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [3] Bruce S. McEwen, "Protective and damaging effects of stress mediators", *The New England Journal of Medicine*, 338, pp.171-179, 1998.
- [4] Selye HA., "The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation.", *Journal of Clinical Endocrinology*, 6, pp.117-230, 1946.
- [5] 市丸 雄平, 平林 あかり, 東風谷 祐子, "ストレスチェックの基礎知識としての神経・内分泌および免疫反応", *東京家政大学附属臨床相談センター紀要*, No.16, pp.51-66, 2016.

- [6] 浦川 加代子, “第4回 順天堂大学保健看護学部公開講座「知って得する!メンタルヘルス講座」ストレス対処力 (SOC)を高めるこころのストレッチ”, 順天堂大学保健看護学部 順天堂保健看護研究, 第3巻, pp.62-66, 2015.
- [7] 二木 鋭雄, “良いストレスと悪いストレス”, 日本薬理学雑誌, 129巻, 2号, pp.76-79, 2007.
- [8] ケリー マクゴニガル, スタンフォードのストレスを力に変える教科書, 大和書房, 2015.
- [9] 田中 喜秀, 脇田 慎一, “ストレスと疲労のバイオマーカー”, 日本薬理学雑誌, 137巻, 4号, pp.185-188, 2011.
- [10] 山口 勝機, “心拍変動による精神負荷ストレスの分析”, 志學館大学人間関係学部研究紀要, vol.31, No.1, pp.1-10, 2010.
- [11] 石井 裕, “仮想と現実の融合: 3.タンジブル・ビット-情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン-”, 情報処理学会誌, 43, No.3, pp.222-229, 2002.
- [12] 奥田 弘枝, 田坂 美央, 由井 明子, 川染 節江, “食品の色彩と味覚の関係”, 日本調理科学会誌, 35巻, 1号, pp.2-9, 2002.
- [13] 鄭 菊振, 佐藤 優, “病院内における業務ストレスを軽減させる色彩環境に関する研究”, 芸術工学会誌, 54巻, pp.58-59, 2010.
- [14] 松井 美由紀, 乗松 貞子, “緑色の照明が人間に及ぼす生理的・心理的影響”, 健康心理学研究, 25巻, 2号, pp.1-9, 2012.
- [15] Daisuke Kasai, Hiromi Miyauchi, “Study of the image proposal by the KANSEI evaluation method”, 5th International Congress of International Association of Societies of Design Research(IASDR) Tokyo, 2013.
- [16] Daisuke Kasai, Hiromi Miyauchi, Classification of image into 9categories, <http://design-integrate.jp/wp-content/uploads/2014/12/9imagecolorlist.pdf>, (visited on 2020) (ウェブ参照)
- [16] 石川 知一, Yonghao Yue, 岩崎 慶, 土橋 宜典, 西田 友是, “スパイク現象を表現するための磁性流体のビジュアルシミュレーション”, 研究報告グラフィクスとCAD (CG), vol.144, No.7, pp.1-8, 2011.
- [17] 山本裕子, 佐藤浩喜, “オノマトペによるイメージ共有におけるデザイン経験の要因”, デザイン学研究, 64巻, 2号, pp.65-72, 2017.
- [18] 井上 弥, 野中 陽一郎, “オノマトペは基本感情を表現することばとして有効か”, 学習開発学研究, 8号, pp.37-42, 2015.
- [19] 木村敦, 和田有史, 野口薫, “感情効果の類似が形と色の調和的關係に及ぼす影響”, デザイン学研究, 52巻, 6号, pp.1-8, 2006.
- [20] 同志社大学 福岡欣治・橋本幸, “大学生と成人における家族と友人の知覚されたソーシャル・サポート”, The Japanese Journal of Psychology, Vol. 68, No. 5, pp.403-409, 1997.



# 匂いセンサを用いたメロンの追熟過程の監視

越水重臣\* · 小黒諒\* · 小杉俊介\*\* · 鈴木健志\*\*

## Monitoring of muskmelon ripeness using a smell sensor

Shigeomi Koshimizu\*, Ryo Oguro\*, Shunsuke Kosugi\*\* and Takeshi Suzuki\*\*

### Abstract

After-ripening refers to a process for enhancing the sweetness and softening the pulp of some types of fruits by storing them for a certain period of time after harvesting. Fruits that have characteristics suitable for this process include melon, kiwi, and banana. Among them, a muskmelon (Earl's Favourite) is discussed in this study. Characteristically, melons do not go through significant changes in appearance but give off a smell during the after-ripening process. Therefore, the objective of this study was to determine the degree of fruit ripeness by the MT method in quality engineering, using a smell sensor. Smell data from fully ripe melons were used to create a unit space. In a sample of melons selected for the assessment, smell measurements were taken for the period from after they were harvested until they became fully ripe, and changes in the Mahalanobis distance from the unit space were observed. As a result of this experiment, monitoring of changes in Mahalanobis distance enabled discrimination among post-harvest period, after-ripening period, and fully-ripened period. Moreover, item selection successfully improved discrimination capability. As a result of item selection, the number of feature items adopted in the end was 25.

Keywords: Smell sensor, Muskmelon, Ripeness, MT method, Mahalanobis distance

## 1 INTRODUCTION

Some fruits, including bananas, kiwifruit, and melons, continue to ripen after harvesting. Referred to as "after-ripening," this is a process in which fruits become softer and sweeter over time following their harvest. This study discusses after-ripening of the muskmelon (Earl's Favorite). At present, the breed "Earl's Favorite" is only grown in Japan, and primarily in Shizuoka prefecture. The flesh of a muskmelon is tough soon after harvest, and is not suited for consumption. While the sugar content of a muskmelon remains largely unchanged over the course of after-ripening, the fruit becomes softer in texture and aromatic and mellow in flavor. The number of days required for after-ripening varies depending on the season as well as the storage conditions. Once a melon has been cut, no further after-ripening occurs. For these reasons, there is demand for a non-destructive method of determining whether or not a melon is ripe.

Studies have been conducted to measure the sugar

content of a melon in a non-destructive method using near infrared spectroscopy [1]. Meanwhile, the level of ripeness of a melon cannot be determined based on its sugar content alone. It cannot be discriminated by visual inspection, either, as the appearance of a melon changes very little over the course of the biochemical changes. A melon, however, does have a characteristic scent that becomes more pronounced with after-ripening [2] [3]. In this study, smell of melons was measured to monitor levels of their ripeness, applying the Mahalanobis-Taguchi (MT) system [4], which is used in quality engineering. A non-destructive inspection of melons to determine their levels of ripeness will be beneficial, as it will make it possible to inform consumers of the best-eating period of a muskmelon.

## 2 MEASURING SMELL OF MELONE

### 2.1 Smell sensor

To measure the smell of melons, a smell sensor

Received on October 14, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* I-PEX 株式会社, I-PEX Inc.

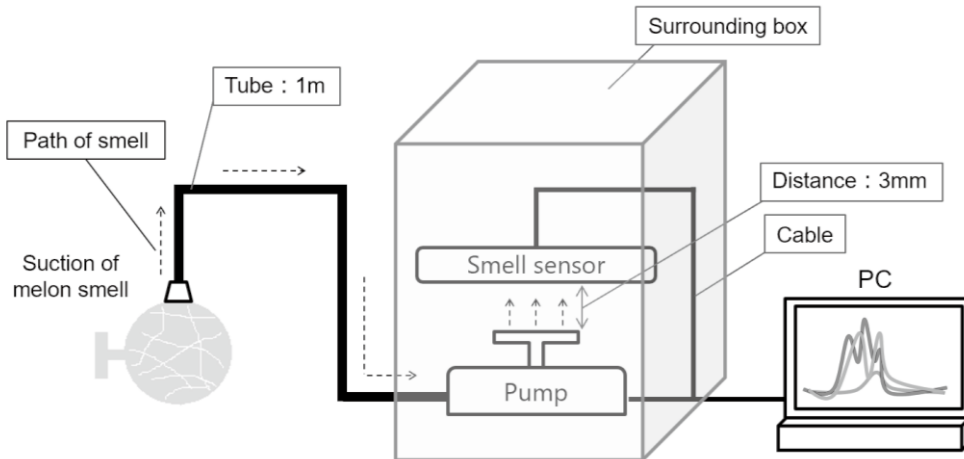


Fig. 1: Experimental setup

manufactured by I-PEX Inc. was used in this study. The sensor is built on multiple sensing elements to which different sensitive films were applied to piezoelectric thin films made of lead zirconate titanate (PZT). The sensing elements are created using micro-electro-mechanical systems (MEMS) technology. Smell molecules are attached to the sensitive film that resonates with voltage, and the molecular weight is determined based on changes in resonance frequency.

## 2.2 Selecting sensitive films

There are approximately 180 types of sensitive films available for use. Of these, the 25 types of films that were specifically sensitive to smell, when exposed to fully ripe melons, were selected. The 25 types of films were applied to the sensing elements, which were then mounted on the sensor chip. This sensor was used for the experiment described in the following section.

## 2.3 Smell measurement of melon

A schematic view of the device used for the experiment is shown in Figure 1. A surrounding box is placed on the smell sensor to prevent the air conditioning wind as a noise factor from affecting the smell sensor. The air around a melon was suctioned by a pump and sprayed onto the smell sensor for 5 seconds. The sensitive films applied to the individual sensing elements would adsorb smell molecules and output their signals. The authors call these outputs “smell

intensity”.

Typical measurements are shown in Figure 2. The smell intensity grows greater as the smell molecules are adsorbed to the films and becomes smaller when the spraying of the air containing the smell molecules ends, as the molecules are spontaneously desorbed from the films.

In this study, smell measurements were taken continuously at an interval of 3 minutes from after the melons were harvested until they became fully ripe, in order to monitor the process of melon ripening.

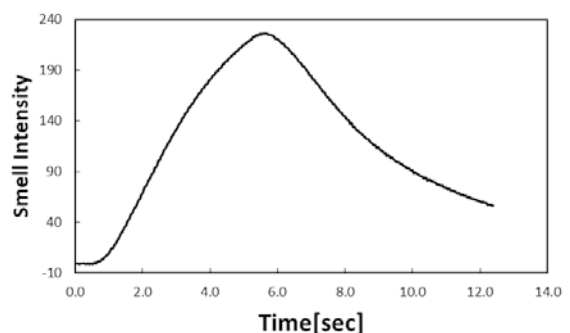


Fig. 2: Output signal of smell sensor

## 3 MONITORING MELON RIPENING PROCESS BASED ON MT SYSTEM

### 3.1 Monitoring ripening process based on MT system

This study employed the MT system to monitor the process of melon ripening. Smell data from the period

during which the melons ripened were used as a unit space. In a sample of melons selected for the assessment, smell measurements were taken for the period from after they were harvested until they became fully ripe. The measurement data were used to calculate the Mahalanobis distance. Figure 3 presents a schematic diagram of changes in the Mahalanobis distance over the course of melon ripening. It can be expected that Mahalanobis distance is large after the fruit harvesting, then becomes smaller as the fruit ripens to the fullest. The fruit is considered to have reached its full ripeness when the Mahalanobis distance is smaller than the predetermined threshold.

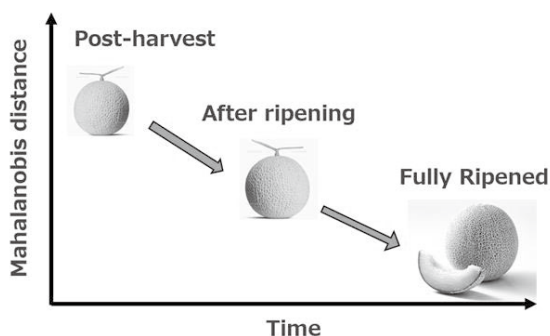


Fig. 3: Schematic diagram of changes in the Mahalanobis distance over the course of melon ripening

### 3.2 Creating unit space

Smell measurements were taken of Melon A from after the harvest until it became fully ripe. The measurements for the 25 types of sensitive films are as presented in Figure 2. Peak values of smell intensity

were measured at an interval of 3 minutes. For each of the 25 types of sensitive films, data from 5 measurements were used to calculate mean value and standard deviation, and they were used as the feature items (Figure 4).

In addition to the smell sensor measurements, sensory evaluation by humans was also performed. Meanwhile, the producers of the melon, at the time of its harvest, had predicted the length of time it should take for it to become ripe (i.e. 2–3 days), based on their experience. Using this prediction for reference, the unit space was defined as the duration of time in which melons smelled sweet in the sensory evaluation. The unit space was established using 244 samples and 50 feature items.

### 3.3 Mahalanobis distance of signal data

In the same method, smell measurements were taken of Melon B. The Mahalanobis distance calculated based on the 50 feature items is provided in Figure 5. The process of melon ripening was divided into three periods for the purpose of observation: I. Post-harvest; II. After-ripening; and III. Fully ripened. Specifically, I. Post-harvest period referred to the first 30 hours after the harvest, II. After-ripening period covered the 30–75th hours, and III. Fully ripened period referred to the period from the 75th hour. This last matched the period in which the "sweet smell of the melon" was observed in the sensory evaluation.

As the results presented in Figure 5 show, the Mahalanobis distance was large in I. Post-harvest period, making it easily distinguishable from the other

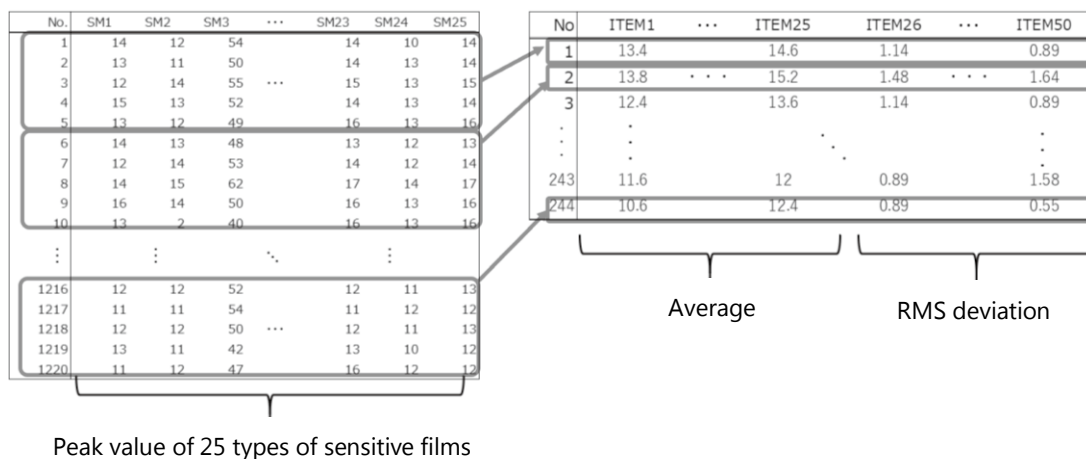


Fig. 4: Data of unit space

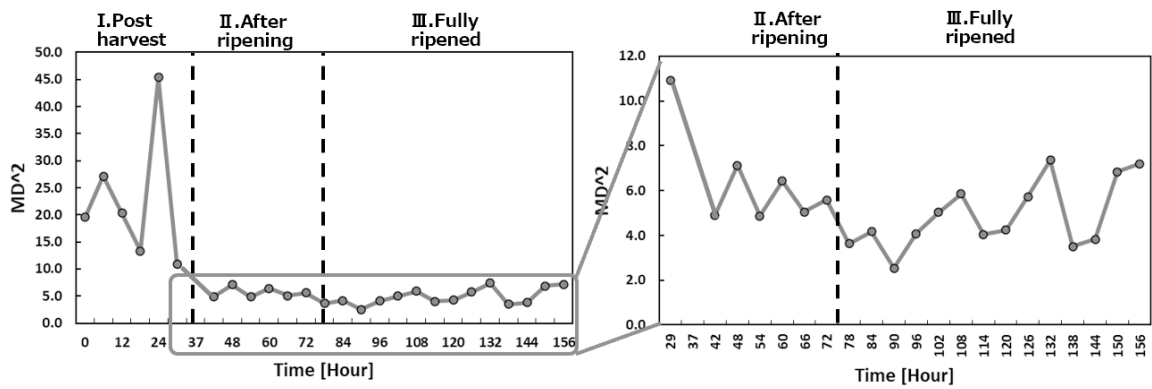


Fig. 5: Changes in the Mahalanobis distance over the course of melon ripening

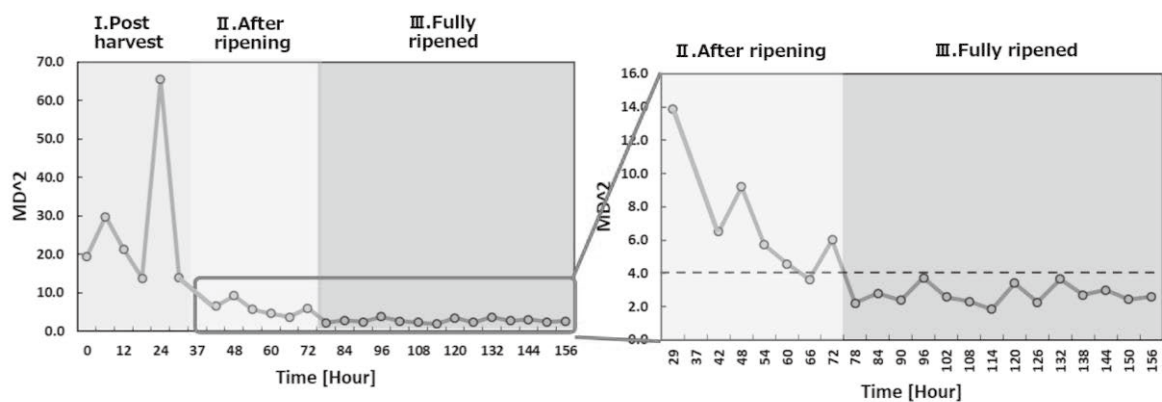


Fig. 6: Changes in the Mahalanobis distance after item selection

periods. The II. After-ripening and III. Fully ripened periods, on the other hand, were not distinguishable from one another, due to the Mahalanobis distance being very small and unstable in the latter. For the purpose of differentiating the two periods, a two-level orthogonal array was used to narrow down the feature item selection.

#### 3.4 Improvement by narrowing down item selection

The 50 originally selected feature items were plotted on a two-level orthogonal array (L68) for analysis, and items that would make the Mahalanobis distance greater for II. After-ripening period and smaller for III. Fully ripened period. As a result, a total of 25 items were selected from 18 types of sensitive films.

Changes in the Mahalanobis distance after the narrowing-down are shown in Figure 6. The improvements made included setting the threshold at 4, which made it possible to distinguish between the

two periods; in other words, one could now determine that a melon was in the Fully ripened period when the Mahalanobis distance was smaller than 4. It should also be noted that melons that were determined to be ripe were subsequently confirmed to taste sweet and delicious in taste evaluation.

#### 4 CONCLUSION

In this study, the smell of melons was measured, and the process of melon ripening was monitored by the MT system. Smell data from ripe melons were used to create a unit space. In a sample of melons selected for the assessment, smell measurements were taken for the period from after they were harvested until they became fully ripe, and changes in the Mahalanobis distance from the unit space were observed. The results of this experiment suggest a viable method of determining whether or not a melon is ripe by monitoring the Mahalanobis distance.

## REFERENCES

- [1] M.Tsuta, J.Sugiyama, and Y. Sagara.  
"Development of Food Quality Measurement  
Methods Based on Near-infrared Imaging  
Spectroscopy —Applications to Visualization of  
Sugar Content Distribution in Fresh Fruits and  
Fruits Sorting—" *Nihon Shokuhin Kagaku  
Kogaku Kaishi*, Vol.58, No. 3, pp.73-80, 2011. (in  
Japanese)
- [2] E.Senesi, L.F.Di Cesare, C. Prinzivalli and  
R.L.Scalzo, "Influence of ripening stage on  
volatiles composition, physicochemical indexes  
and sensory evaluation in two varieties of  
muskmelon" *Journal of the Science of Food and  
Agriculture* 85: pp.1241-1251, 2005.
- [3] S.Ohba, et al., "Characteristic volatiles and  
ripening changes of muskmelon" *Bulletin of the  
Shizuoka Res.Inst.of Agric.and For.* No.6, pp.57-  
64, 2011. (in Japanese)
- [4] S. Teshima, Y.Hasegawa, K.Tatebayashi, *Quality  
Recognition and Prediction: Smarter Pattern  
Technology with the Mahalanobis-Taguchi  
System (Book style)*, MOMENTUM Press, LLC,  
New York, 2012.





# IT 高度専門職技術者のための新カリキュラムの設計

小山裕司\*・飛田博章\*・柴田淳司\*・大崎理乃\*

## Designing a New Curriculum for IT Professional Graduate School

KOYAMA Hiroshi\*, TOBITA Hiroaki\*, SHIBATA Atsushi\* and OHSAKI Ayano\*

### Abstract

A curriculum is a system to achieve the educational objectives in which subjects are allocated to educate specific content. It is required that a curriculum is designed to meet the educational objectives. The curriculum should assure that a student has learned the required content when the student completes specific subjects. At the timing of revision, we redesigned a new curriculum for IT professional graduate school. In the curriculum, a body of knowledge was based on a new standard called iCD (i Competency Dictionary). Specifically, we associated our educational objectives, carrier models, and subjects via iCD.

Keywords: Curriculum Design, Body of Knowledge, Career Model, iCD (i Competency Dictionary) and IT Professional Graduate School

### 1 緒言 (背景)

本学 情報アーキテクチャ専攻 (以下, 当専攻) は, 「情報アーキテクト」を育成することを目的としている. 一般的な大学院が研究者の育成を重視しているのに対し, 当専攻は高度専門職技術者の育成を重視していること, また当専攻の学生は約 90%が有職者であることや年齢・職業・職位・経験等に多様性があることが特徴である. これらの事情を当専攻の教育内容, 制度, 仕組み等に適切に反映するため, 2006 年度の専攻設置から継続的にカリキュラムの改良が行われている[1-6]. 本章では 2014 年度から 2019 年度入学生を対象とした教育実践 (以下, カリキュラム 2014) の概要を示す.

#### 1.1 教育目標

教育目標として「情報アーキテクト」が必要とする (A) 知識・スキル, (B) 業務遂行能力が階層的に定義されている.

- (A1) IT 関連の基礎から応用に至る知識・スキル
- (A2) 対象分野の業務に関する知識
- (A3) マネジメントの知識・スキル
- (A4) 情報システムの開発に関する知識・スキル
- (B1) コミュニケーション能力
- (B2) 継続的学修と研究の能力
- (B3) チーム活動

#### 1.2 人材像

「情報アーキテクト」は「情報システム開発のための IT 高度専門職技術者」を意味する当専攻独自の総称で, 情報処理推進機構 (以下, IPA) の開発した共通キャリア・スキルフレームワーク[7] (以下, CCSF) 及び当専攻が独自に設定した「ストラテジスト」, 「システムアーキテクト」, 「プロジェクトマネージャ」, 「テクニカルスペシャリスト」, 「サービスマネージャ」及び「事業アーキテクト」に渡る範囲の人材像の職種を指す.

#### 1.3 授業科目

当専攻では, 1 年次の講義・演習型科目の履修によって (A) 知識・スキルを修得し, 2 年次の PBL 型科目の履修によって (B) 業務遂行能力を修得する. 講義・演習型科目は次に示す計 60 科目である.

- 情報アーキテクチャ専攻専門科目 (42 科目)
  - ✦ IT 系科目群 (15 科目)
  - ✦ エンタープライズ系科目群 (10 科目)
  - ✦ マネジメント系科目群 (9 科目)
  - ✦ システム開発系科目群 (8 科目)
- 事業アーキテクチャ科目群 (9 科目)
- 産業技術研究科科目群 (7 科目)
- 選択必修科目群 (2 科目)

#### 1.4 知識体系

当専攻では, CCSF に準拠した知識体系を中核にして,

教育目標，人材像，授業科目を関連付けている（図1）。



図1: 教育目標・人材像・授業科目の関連付け  
(カリキュラム 2014)

- 教育目標(A)は，知識体系の大分類の知識単位(10項目)に対応する。

例: (A1) IT 関連の基礎から応用に至る知識・スキルは次の3項目に相当する。

- ✦ K-01[基礎理論]
- ✦ K-02[コンピュータ・システム]
- ✦ K-03[技術要素]

※ 大分類の K-01 等は，階層的に中分類から小分類によって詳細に定義されている。

- 人材像は，知識体系の中分類の知識単位(24項目)に対応する。

例: 「ストラテジスト」が学ぶべき知識単位は次の5項目である。

- ✦ K-07-17 《システム戦略》
- ✦ K-07-18 《システム企画》
- ✦ K-08-19 《経営戦略マネジメント》
- ✦ K-08-20 《技術戦略マネジメント》
- ✦ K-08-21 《ビジネスインダストリ》

- 講義・演習型科目は，知識体系の小分類の知識単位(約120項目)に対応する。

例: 「プロジェクト管理特論3」で修得できる知識単位及びレベルを次に示す。

- ✦ K-05-14-04 〈プロジェクトスコープマネジメント〉(修得レベル4)
- ✦ K-05-14-05 〈プロジェクト資源マネジメント〉(修得レベル4)

- ✦ K-05-14-06 〈プロジェクトタイムマネジメント〉(修得レベル4)
- ✦ K-05-14-07 〈プロジェクトコストマネジメント〉(修得レベル4)
- ✦ K-05-14-09 〈プロジェクト品質マネジメント〉(修得レベル4)

これらの関連付けによって，当専攻の教育目標を詳細に定義することができ，当専攻のカリキュラムが情報システム開発領域を適切に網羅していることを示すことができた。また，この関連付けにしたがって，情報アーキテクトの各人材像の推奨科目を決定した。

学生は個々の将来のキャリアプラン及び人材像，希望研究室，興味，弱点等を履修科目に適切に反映した履修計画を設計し，随時学修成果(達成度)を確認することができる。学ぶべき知識体系に対して，履修の各段階で，現在までに何を学び，何が不足しているかを逐次確認し，履修する科目を決定することができる。

また，学生の最終の学修成果の専門性及びレベルを具体的に証明することにも活用ができた。

## 1.5 学生数

こうしたカリキュラムの継続的改良もあって，当専攻の志願者は増加傾向にある。表1に当専攻の2014-2020年度入学試験の志願者，合格者数の推移を示す。

表1: 入学試験の志願者・合格者の推移(2014-2020年度)

年度入学	募集定員	志願者数	合格者数	実質倍率
2014	50	66	60	1.10
2015	50	66	57	1.16
2016	50	58	54	1.07
2017	50	67	57	1.18
2018	50	85	56	1.52
2019	50	88	60	1.47
2020	40	83	47	1.77

## 2 新カリキュラム 2020 の設計

2020年度から産業技術研究科の再編が行われ，当専攻は，産業技術専攻 情報アーキテクトチャコースに改組され，学生定員，教員数等が減った。今後も，情報アーキテクトチャ領域で活躍できる「情報アーキテクト」の育成を継続するため，この機会に人材像，授業科目等のカリキュラムの改変を行う必要が生じた。学生定員は50名から40名に減り，教員定員は教授・准教授10名，助教5名から教授・准教授7名，助教4名に減った。

## 2.1 教育目標

「情報アーキテクト」の育成のための教育目標の「情報アーキテクト」が必要とする (A) 知識・スキル及び (B) 業務遂行能力は、従来の目標からの変更は無い。

## 2.2 人材像

学生は 2 年次の PBL 型科目履修時に自らが目指す人材像を決定する。表 2 に 2016 年度から 2020 年度までの 5 年間の各人材像の選択者数を示す。「テクニカルスペシャリスト」を選択した学生が最も多く、次いで「システムアーキテクト」が多い。

表 2: 各人材像の選択者数(2016-2020 年度)

年度	ストラテジスト	事業 アーキテクト	システム アーキテクト	テクニカル スペシャリスト	プロジェクト マネージャ	サービス マネージャ
2016- 2019	19	39	47	68	32	9
2020	6	6	13	19	7	4
平均	7.0	9.0	12.0	17.4	7.8	2.6

「事業アーキテクト」は 2014-2016 年度の文部科学省補助事業「高度人材養成のための社会人学び直し大学院プログラム」の「次世代成長産業分野での事業開発・事業改革のための高度人材養成プログラム」の成果を反映し、2015 年度入学生から新規に設置した、「ストラテジスト」類似の当専攻独自の人材像である (PBL 型科目の解説は 2016 年度から開始)。この背景及び表 1 の学生の選択を考慮し、「ストラテジスト」は「事業アーキテクト」領域を、「プロジェクトマネージャ」は「サービスマネージャ」領域を補うことで、新カリキュラム 2020 では人材像を「ストラテジスト」、「システムアーキテクト」、「テクニカルスペシャリスト」、「プロジェクトマネージャ」の 4 種類に集約した。

## 2.3 授業科目

カリキュラム 2014 では、講義・演習型科目は計 61 科目であったが、情報アーキテクトコースの新カリキュラム (以下、カリキュラム 2020) では、次に示す計 43 科目に整理した。

- 情報アーキテクトコース専門科目 (37 科目)
- 産業技術研究科科目群 (4 科目)
- 選択必修科目群 (2 科目)

情報アーキテクトコース専門科目の 37 科目は次の各専門領域 (骨子) に便宜上分類できる。

- ネットワーク関連科目 (5 科目)  
システムソフトウェア特論, ネットワーク特論, コミュニケーション技術特論, ネットワークシステム特別講義, クラウドインフラ構築特論
- プログラミング関連科目 (6 科目)  
Java プログラミング技法, フレームワーク開発特論, システムプログラミング特論, ソフトウェア工学特論, OSS 特論, コラボレイティブ開発特論
- セキュリティ関連科目 (5 科目)  
情報セキュリティ特論, 情報セキュリティ特別講義 1, 情報セキュリティ特別講義 2, セキュアプログラミング特論, セキュアシステム管理運用特論
- デジタル技術関連科目 (5 科目)  
IoT 開発特論, クラウドサーバ構築特論, データベース特論, データインテリジェンス特論, ビッグデータ解析特論
- マネジメント関連科目 (8 科目)  
アジャイル開発手法特論, プロジェクト管理特論 1, プロジェクト管理特論 2, プロジェクト管理特論 3, プロジェクト管理特別講義, 情報ビジネス特別講義 1, 情報ビジネス特別講義 2, 情報システム特論 1
- 戦略関連科目 (8 科目)  
IT・CIO 特論, 情報アーキテクトチャ特論 1, 情報アーキテクトチャ特論 2, 情報アーキテクトチャ特論 3, 標準化と知財戦略, 情報ビジネス特別講義 3, 情報システム特論 2, サービスサイエンス特論

各人材像では、学ぶべき専門領域が違う。人材像と学ぶべき専門領域の関係を表 3 に示す。

表 3: 各人材像と専門領域の関係

	ストラテジスト	システム アーキテクト	テクニカル スペシャリスト	プロジェクト マネージャ
	戦略, 事業, 上流, 企画, 提案, アーキテクトチャ	設計, 仕組み, 情報システム, アーキテクトチャ	ソフトウェア開発, 情報システム, デジタル技術	プロジェクトマネジ メント, 運用, 企業活動 (財務・組織等)
ネットワーク			◎	
プログラミング		○	◎	
セキュリティ		◎	◎	◎
デジタル技術	◎	◎	◎	
マネジメント	◎	○		◎
戦略	◎	◎		◎

## 2.4 知識体系

カリキュラム 2014 の知識体系は、CCSF に準拠し、

CCSF が示す情報システム開発領域を網羅していた。カリキュラム 2020 の知識体系は、CCSF の後継に相当する iCD (i Competency Dictionary) [9] に準拠するように設計した。

iCD は、情報システム開発に関する知識・スキルを網羅した辞書 (スキルディクショナリ) と、情報システム開発に関する業務を列挙した辞書 (タスクディクショナリ) から構成され、両辞書間の対応表も準備されている。

iCD のスキルディクショナリは階層構造を有し、第 1 階層は [メソドロジ], [テクノロジー] 等のスキルカテゴリが 5 項目、第 2 階層は〈戦略〉マーケティング、〈システム〉ソフトウェアの基礎技術、〈共通技術〉IT 基礎等のスキル分類が 88 項目、第 3 階層のスキル項目は 491 項目、第 4 階層の知識項目が 10,169 項目定義されている。次に示す iCD の知識体系の抜粋では、第 2 階層のスキル分類を〈戦略〉、〈企画〉等の接頭辞を抜き出し、新しい階層を作成した。以下では、第 2 階層のスキル分類の接頭辞を大分類の知識単位、残りの「マーケティング」、「アーキテクチャ設計手法」等を中分類の知識単位と呼ぶ。また、第 3 階層のスキル項目以下は細かすぎるので今回の知識体系での取り扱いは今後の課題とした。

#### ■ [メソドロジ]

〈戦略〉

- マーケティング
- コンサルティング手法
- 販売戦略 等

〈企画〉

- システム企画立案手法 等

〈実装〉

- アーキテクチャ設計手法
- ソフトウェアエンジニアリング手法
- データマイニング手法
- 見積り手法 等

〈利活用〉

〈支援活動〉

- 品質マネジメント手法
- リスクマネジメント手法
- IT ガバナンス
- 資産管理手法
- システム監査手法 等

#### ■ [テクノロジー]

〈システム〉

- ソフトウェアの基礎技術
- ソフトウェアの構築技術
- ソフトウェアの利用技術 等

〈開発〉

- システムアーキテクティング技術
- システム開発管理技術  
〈保守・運用〉  
〈非機能要件〉
- 非機能要件 (可用性, 性能・拡張性)  
〈組み込み・計測・制御〉  
〈共通技術〉
- IT 基礎 等

#### ■ [関連知識]

- 〈ビジネスインダストリ〉
- 〈企業活動〉
- 〈法規・基準・標準〉

#### ■ [IT ヒューマンスキル]

#### ■ [企業固有スキル]

カリキュラム 2014 同様、カリキュラム 2020 でも iCD に準拠した新知識体系を中核にして、教育目標、人材像、授業科目を関連付けている (図 2)



図 2: 教育目標・人材像・授業科目の関連付け (カリキュラム 2020)

#### □ 教育目標 (A)

教育目標 (A) は、知識体系の大分類の知識単位 (12 項目) に対応する。

(A1) IT 関連の基礎から応用に至る知識・スキル

- [テクノロジー] 〈システム〉
- [テクノロジー] 〈開発〉
- [テクノロジー] 〈非機能要件〉
- [テクノロジー] 〈共通技術〉

(A2) 対象分野の業務に関する知識

- [メソドロジ] 〈戦略〉

(A3) マネジメントの知識・スキル

- [関連知識] 〈企業活動〉
- [関連知識] 〈法規・基準・標準〉
- [メソドロジ] 〈実装〉

(A4) 情報システムの開発に関する知識・スキル

- [メソドロジ] 〈企画〉
- [メソドロジ] 〈利活用〉
- [メソドロジ] 〈支援活動〉
- [テクノロジー] 〈保守・運用〉

※ 大分類の [テクノロジー] 〈システム〉等は、階層的に中分類によって詳細に定義されている。

#### □ 人材像

人材像は、教育目標同様、知識体系の大分類の知識単位 (12 項目) に対応する (表 4)。iCD には、業務の辞書に相当するタスクディクショナリのほか、タスクのインデックスに相当するタスクプロフィールで「IT アーキテクト」、「プロジェクトマネージャ」等のプロフィールあり、ITSS[10]、CCSF の人材像、職種等からスキルディクショナリへの対応表も準備されている。今回はこれらと本学の教育内容を考慮して、表 4 に示す対応を決定した。

表 4: 知識単位, 教育目標, 人材像の関係

カテゴリー	スキル (大分類)	教育目標				人材像 (職種)			
		IA1 IT 知識の基礎 知識の応用 知識・スキル	IA2 IT 知識の応用 知識・スキル	IA3 IT 知識の応用 知識・スキル	IA4 IT 知識の応用 知識・スキル	システム アーキテクト	システム エンジニア	プロジェクト マネージャ	システム インテグレーション
[メソドロジ]	〈企画〉		●			○			
	〈利活用〉				●	○			
	〈支援活動〉				●		○		○
	〈保守・運用〉				●				○
[テクノロジー]	〈システム〉	●					○		○
	〈開発〉	●					○		○
	〈保守・運用〉				●			○	
	〈企画・設計・開発〉	●				○			○
	〈共通技術〉				●				○
[共通知識]	〈ビジネスインテグレーション〉					○			
	〈企業文化〉			●			○	○	
	〈企業・産業・標準〉			●			○	○	

#### □ 講義・演習型科目

講義・演習型科目は、知識体系の中分類の知識単位 (約 76 項目) に対応する。新カリキュラムの各科目で修得できる知識単位及びレベルの一覧は添付資料 1 を参照されたし。

「情報アーキテクチャ特論 1」で修得できる知識単位及びレベルを次に例示する。

- [メソドロジ] 〈実装〉
  - ✦ アーキテクチャ設計手法 (修得レベル 4)
- [テクノロジー] 〈システム〉
  - ✦ ハードウェアの基礎技術 (修得レベル 4)
  - ✦ ハードウェアの構築技術 (修得レベル 4)
- [テクノロジー] 〈開発〉
  - ✦ システムアーキテクティング技術 (修得レベル 4)
- [テクノロジー] 〈共通技術〉
  - ✦ IT 基礎 (修得レベル 4)

「システムプログラミング特論」で修得できる知識単位及びレベルを次に例示する。

- [テクノロジー] 〈システム〉
  - ✦ ソフトウェアの基礎技術 (修得レベル 4)
  - ✦ ソフトウェアの構築技術 (修得レベル 4)
  - ✦ Web システムの基礎技術 (修得レベル 3)
  - ✦ プラットフォームの基礎技術 (修得レベル 3)
  - ✦ クラウドコンピューティングの基礎技術 (修得レベル 3)
- [テクノロジー] 〈非機能要件〉
  - ✦ 非機能要件 (可用性, 性能・拡張性) (修得レベル 3)
- [テクノロジー] 〈共通技術〉
  - ✦ IT 基礎 (修得レベル 4)

これらの関連付けによって、カリキュラム 2014 同様、カリキュラム 2020 でも教育目標を詳細に定義する示すことができ、当専攻のカリキュラムが情報システム開発領域を適切に網羅していることを示すことができた。また、この関連付けにしたがって、情報アーキテクトの各人材像の推奨科目を決定した。新カリキュラムでの推奨科目の一覧は添付資料 2 を参照されたし。

### 3 結言

カリキュラム 2014 は 2013 年度に設計作業が行われ、CCSF を基準とした知識体系が組み込まれ、2014 年度入学時から運用を開始した。

IPA は、2002 年 12 月に ITSS の初版を公開し、2006 年 4 月及び 2008 年の 3 月に更新を行い、2008 年 10 月には ITSS の後継にあたる CCSF の初版を公開し、2012 年 5 月の第 1 版・追補版等、何度か更新を行い、2014 年 7 月には CCSF の後継として iCD の試用版を公開し、2015 年 6 月に正式版を公開した。

CCSF に準拠した知識体系は IT 専門職技術者を育成するカリキュラムでは非常に有効であったが、こうした背景から、カリキュラムの知識体系を対象領域での最新の標準指標 iCD への更新することは課題として残されていた。このため、産業技術研究科の再編の機会にカリキュラムの再設計を行い、知識体系を iCD 準拠に更新した。

カリキュラム 2014 での CCSF に準拠した知識体系を設計した経験があったものの、次の問題が残った。

- iCD のスキル領域すべてを網羅することが難しい (組込み・計測・制御に相当する授業科目が無い等)。
- iCD のスキルディクショナリの第 3 階層以下のスキル項目、知識項目の粒度が細かすぎるので、これらを活用す

ることが難しい。人材像にスキル分類を、授業科目にスキル項目を対応するように試みたが、項目数が多すぎるため、今後の課題として残した。

- 今回の知識体系の設計では iCD のスキルディクショナリの第 2 階層のスキル分類の接頭辞を大分類の知識単位、残りの部分を中分類の知識単位としたが、大分類の知識単位あたりの中分類の知識単位の項目数に差が生じた。〈システム〉の中分類の知識単位は 23 項目あるが、〈開発〉及び〈共通技術〉は 2 項目のみである。学生に対する修学の達成度表示には工夫が必要である。
- IPA は、2017 年 4 月にセキュリティ領域とデータサイエンス領域のスキル標準として ITSS+ を公開している。また、iCD も更新、新版の可能性も考慮する必要がある。

こうした課題があるものの、情報アーキテクトの対象領域での標準指標に相当する iCD に準拠した知識体系は、カリキュラム 2020 の妥当性を示す手段として有効だと思われる。今後は、適切に教育が行われるように運用段階でカリキュラムの調整を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 戸沢義夫・酒森潔・小山裕司, 「高度 IT 専門職大学院の教育目標を保証するカリキュラムの設計」, 情報処理学会 情報教育シンポジウム (SSS 2014), 2014.
- [2] 戸沢義夫・酒森潔・小山裕司, 「情報アーキテクチャ専攻カリキュラム設計の考え方」, 産業技術大学院大学 紀要 第 8 号, 2014.
- [3] 小山裕司, 「高度専門職教育支援ソフトウェアの開発」, 産業技術大学院大学 紀要 第 8 号, 2014.
- [4] 小山裕司・酒森潔・戸沢義夫, 「IT 高度専門職技術者の教育目標の保証に関する試み」, 産業技術大学院大学 紀要 第 11 号, 2017.
- [5] 小山裕司, 「IT 高度専門職技術者による iCD 活用」, 情報処理推進機構 IPA HRDI セミナー, 2017.
- [6] 小山裕司, 「産業技術大学院大学での学修成果可視の取組」, 首都大学東京 FD セミナー, 2019.
- [7] 情報処理推進機構, 「CCSF (Common Career Skill Framework) 第 1 版・追補版」, <http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/csfv1.html>, 2014. (visited on 2020)
- [8] 文部科学省補助事業「高度人材養成のための社会人学び直し大学院プログラム」, 「次世代成長産業分野での事業開発・事業改革のための高度人材養成プログラム」, <https://aiit.ac.jp/NEWS/notice/20141127.html>, 2014. (visited on 2020)
- [9] 情報処理推進機構, 「iCD (i Competency Dictionary) 2017」, [http://www.ipa.go.jp/jinzai/hrd/i\\_competency\\_dictionary/index.html](http://www.ipa.go.jp/jinzai/hrd/i_competency_dictionary/index.html), 2020. (visited on 2020)
- [10] 情報処理推進機構, 「ITSS (IT スキル標準) V3 2011」, <https://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/index.html>, 2012. (visited on 2020)





## 添付資料 2:

人材像ごとの知識単位, 推奨科目

ストラテジスト	システムアーキテクト
<p><b>何を構築するのかという戦略を決定する仕事</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>知識単位 (スキル大分類) 《戦略》《企画》《非機能要件》《企業活動》《法規・基準・標準》</li> <li>推奨科目 (以下17科目から最低7科目以上、計14科目以上) コミュニケーション技術特論、データインテリジェンス特論、ビッグデータ解析特論、情報セキュリティ特論、情報セキュリティ特別講義1、OSS特論、プロジェクト管理特論1、プロジェクト管理特論2、情報ビジネス特別講義1、情報ビジネス特別講義2、IT・CIO特論、情報アーキテクチャ特論2、情報アーキテクチャ特論3、標準化と知財戦略、情報ビジネス特別講義3、情報システム特論2、サービスサイエンス特論</li> <li>専門職種例 CIO、コンサルタント、事業アーキテクト、プロジェクトリーダー 等</li> </ul>	<p><b>どのように構築するのかという仕組みを決定する仕事</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>知識単位 (スキル大分類) 《企画》《実装》《システム》《開発》《法規・基準・標準》</li> <li>推奨科目 (以下17科目から最低7科目以上、計14科目以上) IoT特論、クラウドサーバ(構築)特論、データインテリジェンス特論、情報セキュリティ特論、フレームワーク開発特論、システムプログラミング特論、ソフトウェア工学特論、OSS特論、コラボレイティブ開発特論、プロジェクト管理特論2、情報システム特論1、IT・CIO特論、情報アーキテクチャ特論2、情報アーキテクチャ特論3、標準化と知財戦略、情報システム特論2、サービスサイエンス特論</li> <li>専門職種例 システムアーキテクト、Cto等</li> </ul>
<p><b>テクニカルスペシャリスト</b></p> <p><b>実装によってイノベーションを実現する仕事</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>知識単位 (スキル大分類) 《実装》《システム》《開発》《非機能要件》《共通技術》</li> <li>推奨科目 (以下17科目から最低7科目以上、計14科目以上) ネットワークシステム特別講義、クラウドインフラ構築特論、IoT開発特論、クラウドサーバ(構築)特論、データベース特論、ビッグデータ解析特論、情報セキュリティ特論、情報セキュリティ特別講義1、情報セキュリティ特別講義2、セキュアプログラミング特論、セキュアシステム管理運用特論、フレームワーク開発特論、システムプログラミング特論、ソフトウェア工学特論、OSS特論、コラボレイティブ開発特論、アジャイル開発特論</li> <li>専門職種例 プログラマ、インフラエンジニア (ネットワーク、DB、クラウド等)、テクノロジアーキテクト 等</li> </ul>	<p><b>プロジェクトマネージャ</b></p> <p><b>プロジェクトのタスク及びリスクを統括する仕事</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>知識単位 (スキル大分類) 《利活用》《交換活動》《保守・運用》《企業活動》《法規・基準・標準》</li> <li>推奨科目 (以下17科目から最低7科目以上、計14科目以上) コミュニケーション技術特論、ネットワークシステム特別講義、情報セキュリティ特別講義1、セキュアシステム管理運用特論、ソフトウェア工学特論、アジャイル開発手法特論、プロジェクト管理特論1、プロジェクト管理特別講義、プロジェクト管理特論2、プロジェクト管理特論3、情報ビジネス特別講義1、情報ビジネス特別講義2、情報ビジネス特別講義3、情報システム特論1、IT・CIO特論、標準化と知財戦略、情報システム特論2</li> <li>専門職種例 プロジェクトマネージャ、CSO、オペレータ、サービスマネージャ 等</li> </ul>

# 渋滞と事故削減を目指した次世代都市交通構想 —AI の活用とマルチエージェントシミュレーションによる評価—

山成 侑香\*・宮尾 勝\*・章 進\*・西野 貴志\*・劉 鵬達\*・林 久志\*

## Next-Generation Urban Transportation Concept Aimed for Reducing Traffic Congestion and Vehicle Accidents

Yuka Yamanari\*, Masaru Miyao\*, Sin Syo\*, Takashi Nishino\*, Pengda Liu\*,  
Hisashi Hayashi\*

### Abstract

In recent years, the concentration of population in large cities has been increasing, and the resulting traffic congestion and vehicle accidents have a great impact on society. In this paper, we propose solutions to solve these problems from two perspectives. One is an approach to solve traffic congestion by focusing on the transportation infrastructure system that supports the movement of vehicles. The other is an approach to avoid vehicle accidents by focusing on the characteristics of drivers. To solve these problems, we will utilize artificial intelligence technology and evaluate its effects by multi-agent simulation.

Keywords: Urban Transportation, Traffic Congestion, Vehicle Accidents, Artificial Intelligence, Multi-Agent Simulation.

### 1 はじめに

近年、世界的に都市への人口集中が顕著になっている。国際連合の予測によると、2018年時点で全人口の55.3%が都市部に住んでおり、その割合は2050年までに68.4%まで増加する見通しである[1]。都市への人口集中に伴い、人の移動を支える都市交通システムにおいては、今までよりもさらに多くの課題に直面していくと考えられる。

#### 1.1 都市交通における課題

都市交通の問題を大きく二つに分類すると、人の流入量増大に起因する問題と、一部のドライバーによる危険運転に起因する問題に分けることができる。人の流入量増大によって発生する問題として、都市部における渋滞の問題が挙げられる。日本をはじめ、世界中で都市部における渋滞は大きな社会問題となっている。首都圏白書(2017年度版)によると、道路移動時間の約4割は渋滞に費やされており、これは年間約280万人分の労働力に匹敵する。中でも全国の渋滞損失時間が最も集中しているのが首都圏であり、全国の約3割が集中している。このように、経済損失の観点からも渋滞解消は非常に重要な課題となる。また、地球環境の保護とい

う視点からも、渋滞解消は重要な課題となる。自動車からのCO<sub>2</sub>排出量は、その走行速度によって影響を受ける。例えば、走行速度が20km/hから60km/hに向上すれば、燃費が改善され、その結果CO<sub>2</sub>排出量は約40%低減する[2]。したがって、渋滞を解消し、車の走行速度を向上させることは、CO<sub>2</sub>排出量削減に大きな効果がある。



図1: バンコクの渋滞

Received on October 4, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

都市交通における問題のもう一つに、一部のドライバーによる危険運転が挙げられる。日本では、2020年6月に「妨害運転法」が創設され、いわゆる「あおり運転」と呼ばれる他の車両の通行を妨害する行為や、重大な交通事故につながる悪質な運転が厳罰化された。一部のドライバーによる危険運転は、近年特に注目されており、その対策が急がれている。また、昨今 UberEats に代表されるフードデリバリー業界が急速に拡大しており、「配達パートナー」と呼ばれるドライバーが都市部で多く見られるようになった。それに伴い、一部のドライバーによる道路交通法を無視した危険運転が問題となっている。

## 1.2 本稿における取組み

本稿では、主に2つのアプローチからこれら都市交通課題の解決を目指す。1つ目は環境を定義することにより、課題の解決を目指す方法である。交通は、主に移動を行う「人」と、それを支える「交通システム」に分類することができる。環境の定義によって課題解決を目指すアプローチでは、人の移動を支える交通システムを改善することによって、前述の都市交通問題の解決を目指す。2つ目は人の行動を定義することにより、課題の解決を目指す方法である。このアプローチでは、実際に移動を行う人の行動を、外部からの要因によって変化させることで、前述の都市交通問題の解決を目指す。我々はこれら2つのアプローチからの課題解決手法を提案するとともに、マルチエージェントシミュレーションによりその効果を検証する。

## 1.3 本稿の構成

本稿の構成は以下の通りである。2章、3章では、交通システムを改善・改良し、渋滞問題を解決する方法を提案する。2章では、都市部へ流入する車に通行権を発行し、都市部へ流入する車の数量を規制するアプローチをとるとともに、数量規制下におけるドライバーの自由度を最大化する方法を提案する。3章では、AI技術を活用し、信号機の制御を改善することで交通流の流れを改善し、渋滞を解消する方法を提案する。さらに、同技術を車群制御に展開する検討も行う。

4章、5章では、実際に移動を行うドライバーに着目する。ドライバーへの事故回避情報の提供や、合理的な行動を誘導するインセンティブスキームの設計により、事故を減少させる方法を提案する。4章では、車両同士の衝突事故における被害者に焦点を当て、被害者になる前に、警告および推奨回避行動を通知することで、事故を回避する仕組みを提案する。5章では、フードデリバリーの配達パートナー（ワーカー）に着目し、必要以上にスピードを出さなくても収入が減少しないインセンティブを設計することで、速度超過を抑制する仕組みを提案する。

最後に6章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2 通行権獲得オークション及び交渉メカニズム

### 2.1 背景

渋滞が引き起こす損失は1.1節で述べた通りであり、経済損失と地球環境問題の両側面から解決が望まれている。交通工学的メカニズムからみた渋滞の原因は、交通ネットワーク空間上の特定の地点を特定の時刻に、交通容量を超えた車両が集中的に通行することにある[3]。これを解決するには、その地点に対する時々刻々の交通需要が、常に交通容量以下となるように制御する必要がある。都市部における交通渋滞が大きな社会問題となっているロンドンや北京では、既に混雑税やナンバープレート規制といった方法で、都市中心部に流入する車両の数を制限する政策を取り入れている。前者は都市の中心部や特定の領域を指定して、その領域に入った車に対して定額、あるいは変動制の料金を課すものであり、価格規制によるアプローチである。後者は車のナンバーの末尾（奇数/偶数）で通行規制をかけるものであり、数量規制によるアプローチとなる。後者は日本でもG20大阪サミットで限定的に取り入れられた実績がある。今後、さらに都市部に人口が集中することが予想されており、中心部への流入量を制限する取り組みは、増えていくことが予想される。

### 2.2 関連研究と課題

混雑税によって渋滞を緩和させる手法の研究は、比較的古く1960年代から行われている[4]。混雑税等の価格規制によるアプローチは、従来情報の非対称性の問題があったが、近年ICTやAI技術を用いたダイナミックプライシングが提案されており、情報の非対称性の問題は解消しつつある。しかし、混雑税が社会的に効率的であっても利用者に金銭的負担を負わせるため、社会的合意が得られにくいといった側面がある。

あらかじめ決められた数の通行権を発行し都市中心部に流入する車両数を制限する、数量規制のアプローチに関する研究も存在する。これらの研究では、通行権取引市場のオークションメカニズムを構築し、効率的な通行権の配分を提案している[3][5][6]。しかしこれらの研究では、オークション入札時点と利用権利用時点の時間差によって発生する利用者選好の変化を考慮していないといった問題点があった。また当日の都市中心部の交雑状況をもとにフィードバックを行うといった動的なメカニズムが存在していなかった。

### 2.3 提案手法と目的

本テーマでは、定常的な朝の通勤交通を対象として、都市中心部に入る特定の地点を対象に通行権を発行し、その通行権を各エージェント（ここでは通行権獲得のオークション参加者とする）が利用者のスケジュールに合わせて獲得する、オークション及び交渉の組み合わせメカニズムを提案する。

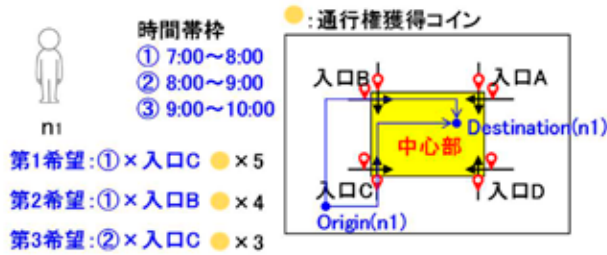


図 2: 通行権獲得オークションのイメージ

図 2 に、通行権獲得オークションのイメージを示す。通行権の獲得には、現金に換金できない本システム独自の通貨（通行権獲得コイン）を使用し、各エージェントは利用者の予定やスケジュールに合わせてコインを自己運用することを想定する。オークションは day-to-day オークションとし、通行権は時間帯枠、および通行地点（都市中心部入口）ごとに複数の種類が存在する。エージェントは、自分自身のスケジュールと、出発地・目的地情報をもとに、希望順位をつけて複数の通行権に入札する。例えば図 2 において、エージェント  $n_1$  は入口 C に最も近い場所から出発し、中心部右上を目的地としている。エージェント  $n_1$  は①7:00~8:00 に入口 C を通り抜けることができる通行権を第一希望としてオークションに入札し、次いで①7:00~8:00 に入口 B を、最後に②8:00~9:00 に入口 C を通り抜けることができる通行権に入札している様子を示す。

オークションによって通行権の配分が決定するが、実際にはオークション実施時から通行権を使用するまでに利用者の予定が変化する可能性がある。この利用者選好の時間変化を考慮するため、オークション実施後から通行権を使用するまでの時間で、エージェント同士が通行権の取引を行う交渉メカニズムを組み込む。これにより、動的に変化する利用者の予定に対応できる通行権の配分メカニズムを提案する。

本テーマは、都市中心部に流入する車両を、交通容量以下に制限し渋滞を解消しながらも、個人の都合を最大限に考慮し、移動の自由を最大化することを目的とする。提案手法の評価は、マルチエージェントシミュレーションで行う。実際に仮想の都市をシミュレーション上で作成し、提案手法によって都市中心部への車の流れがどのように変化するかを観察する。評価値は混雑度と各エージェントの満足度という 2 つの指標で評価する。なお、ここでの満足度は、各エージェントの予定と実際の通行権獲得状況の合致度をもとに数値化する。

また、本シミュレーションではある仮想都市をモデリングするため、実際に朝の通勤交通の時間帯の混雑度をもとに、通行権の交換（時間帯枠や通行地点の変更）を促すようなフィードバックメカニズムを取り入れることを想定する。例えば図 2 において、オークションの結果エージェント  $n_1$  は①7:00~8:00 に入口 C を通り抜けることができる通行権を獲得

しているとする。実際のシミュレーション上で、エージェント  $n_1$  が入口 C に向けて移動している際に、入口 C において渋滞が発生していた場合、本システムの管理エージェントから、エージェント  $n_1$  に対して入口を変更するような交渉を持ち掛ける。エージェント  $n_1$  が、入口 C から入口 B への変更を受け入れれば、エージェント  $n_1$  は入口 B から中心部に入る。なお、この交渉は入口の変更だけでなく、エージェントの出発時刻から予想される入口到着時刻をもとに、時間帯枠の変更を持ち掛けることも想定する。

## 2.4 期待される成果

オークションおよび交渉メカニズムと、交通シミュレーションを組み合わせることで、都市中央部へ流入する車両数を制限しながらも、移動の自由度を最大化する手法を提案し、その有用性を示す。これにより、渋滞に起因する経済損失や CO2 排出量を減少させ、経済、環境、個人の利益の各要素がバランスを取りながら共存できる都市交通システムを目指す。

## 3 階層型エージェントを用いた信号機制御と車群制御への応用

### 3.1 本章の取り組み

本章は、階層型エージェントという仕組みを用いて、交通渋滞を軽減する取り組みを紹介する。検討は先ず交通信号制御を中心にを行い、さらにその横展開として車群制御についても検討する。

### 3.2 背景

第 1 章で述べたように、都市部における交通渋滞によって引き起こされる問題は、大気汚染や騒音問題など環境問題に留まらず、日本にあつては 12 兆円/年と言われる甚大な経済損失を生んでいる[7]。渋滞は「ボトルネックにその区間の交通容量を上回る交通流率の交通需要が到着した時に、当該区間の上流に生じる低速の待ち車両列によって形成される交通状態」という定義がされているが[8]、実運用上では各高速道路や一般道で基準を設けた運用となっている[9]。

渋滞は大きく「自然渋滞」と「突発渋滞」に大別され、前者が信号交差点や高速道路のサグ部（下り坂から上り坂に変わる凹部分）に代表されるボトルネックによって引き起こされる現象であり、後者が交通事故などで発生する事前予測できない現象を表しており、規模的には前者が後者より大きなインパクトを持っている。

自然渋滞の大きな要因として交通信号が挙げられているが、特に日本にあつては、主要国中でも最高クラスに信号密度が高く[10]、信号の的確な制御は重要な課題である。本課

題については、信号制御に着目したソリューションのほかに、例えば自動運転による解決策やスマートシティ構想などのアプローチも試みられている。これらの手法は根本的な解決策となる期待が持たれる一方で、対象とする規模、コストの大きさから、解決すべき課題は技術領域にとどまらず、法律整備やステークホルダ合意の実現等、かなりの時間が必要になる。これに対し、信号制御による渋滞緩和へのアプローチは、既存のインフラと現状のICT技術を用いて改善が期待できるため、社会の要求に応えるには、的確な選択であると考えられる。

また、渋滞は上述の定義[8]があるが、「車群」によって顕現する現象であることは周知である。この車群に対して信号制御同様に、既存のインフラとICT技術を工夫することで緩和が可能であれば、交通渋滞という課題に対して大いにメリットがある。本稿ではこちらについても検討を行う。

### 3.3 信号制御

#### 3.3.1 関連研究と課題

信号の制御による交通渋滞の改善は、古くから行われているが[13]、近年はAI関連技術が積極的に取り込まれており、遺伝的アルゴリズムを用いたものから始まり、群知能、深層学習を用いた取り組みというような展開を見せている[11][15]。

特に深層強化学習を用いて、交差点個々の状況に柔軟に対応し最適化する取り組みは昨今多く見られ、他手法より渋滞緩和に有効な結果が出ることが報告されている[11][12][14]。

しかしながら、検討されてきた手法を現実に適用するためには、交差点毎の車の流れの状態を画像データとして多数

取得し、深層強化学習に与えて信号機を制御する3パラメタ(青、黄、赤と信号が一巡する Cycle, 主幹道路と従属道路の青信号の時間割合を示す Split, 隣接信号が青に変わる時間差を示す Offset)を変化させ、最も流れの良い状態を学習させる必要がある。深層学習は計算負荷が高いことを鑑みると、例えば都内に15000機以上存在する信号機[9]に対して個別に適応することは困難であると考えられる[12]。

また、この課題に対し一つの交差点で学習したニューラルネットワークを他の信号機にコピーし、そこから学習して計算負荷を下げようという転移学習を用いたアプローチもみられる[14]。しかし、個々の信号機は他の信号機と全く通信しないか、もしくは近隣の信号機としか直接的には通信しない。そのため、比較的狭い地域での交通流改善効果しか確認されていない[16][17][18]。

#### 3.3.2 提案手法と目的

地域全体を対象とした交通渋滞の最小化を、交通信号機の制御を通して試みる。このために、個々の交差点の渋滞緩和と、ある程度の領域(例えば東京23区程度)全体の交通容量の最大化の両面をバランスさせること考える。

まず、提案手法の俯瞰図を図3に示す。本提案は3層構造からなっており、最上位層の第1層は、この地域全体を表している。中間層の第2層は、信号機をまとめた領域を表す。これは行政区分ではなく、交通容量の大小や行政、商業、文教、オフィスなど地域特性を元に分割した区分とする。最下層の第3層は、個々の信号機と道路を表す層とする。この層は提案手法を考え易くするために100x100程度の交差点と道路のみで構成されるマトリクスフィールドを前提とする。

#### ★第1レイヤ 理想状態：地域内道路網の設計時の最大交通容量

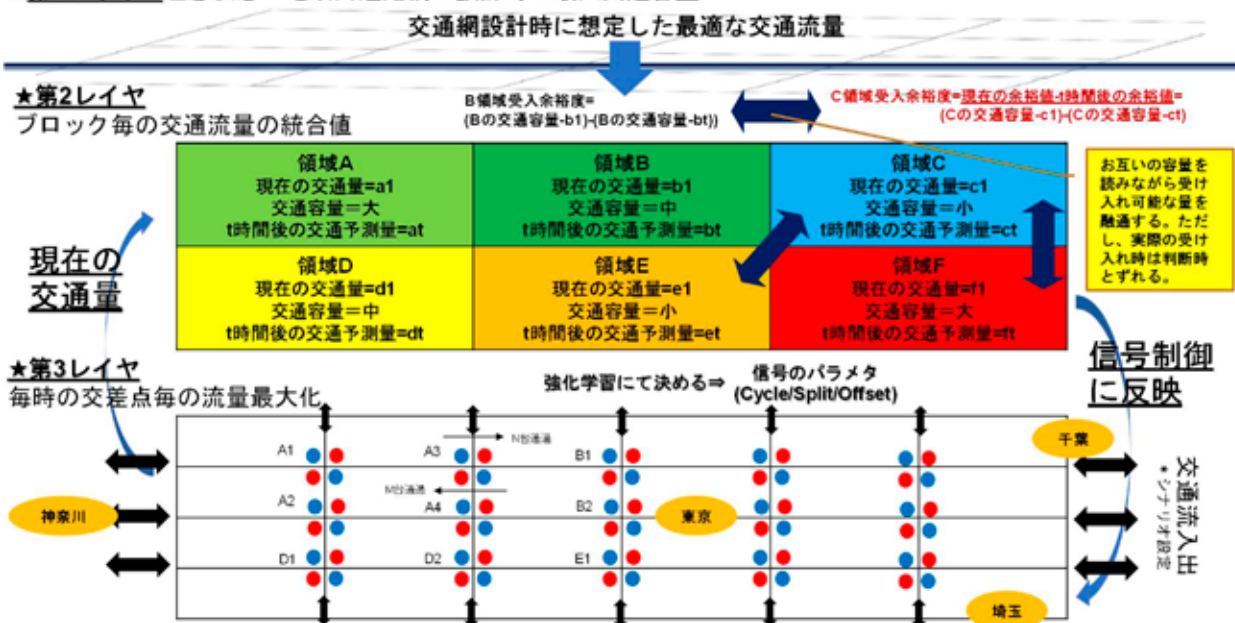


図3:階層型エージェントフィールド

また、今回は信号の制御がテーマなので、この仮想都市を走る車は予め走行ルートを定義しておき、再現が容易な環境を使用する。

次に提案手法の概要を述べる。第1層は、道路設計時に想定した最も効率的である時の交通容量を(全体理想値)持つ。この値は、天候や路面状態毎に予め想定されたものである。第2層、第3層はエージェント機能を持つものとする。詳細は後述するが、図3の上位層から下層の構成エージェントが目標として目指すべき交通容量を指示するトップダウンのルートと、現状に合わせて個々のエージェントが最適化した交通容量を上位層に伝達して行く、ボトムアップの2つのルートを使用して、全体理想値を現実の交通状況を踏まえながら実現することを考える。

#### (1) トップダウンルートの動作

第1層が持つ全体理想値は第2層に渡される。第2層は合計が全体理想値になるような、区分ごとの理想値(区分理想値)を持つ。さらに第2層は第3層から伝えられたリアルタイムの車の流通量から現在の自領域の混雑具合を知り、区分理想値を実現するために、領域毎に定義されたエージェントが隣接領域のエージェントと車の流入量についてネゴシエーションを行う。これは、自領域の空き具合で車の流入を調節する動作となる。

さらに、ここで決定された値(領域目標値)は第3層に渡される。第3層は信号1つ1つがエージェントとして振る舞う。信号機エージェントは、自らの交差点が最もスムーズに流れる現状を見つつ、第2層から指示された値になるように、3パラメタを調整する。

#### (2) ボトムアップルートの動作

ボトムアップルートの起点は第3層である。個々のエージェントは、最も自分の交差点がスムーズに流れるように、強化学習を用いてCycle, Split, Offsetの3パラメタを調整する。

どの程度スムーズに流れているかの評価は、車の待ち行列の長さ、本来出せる速度に対しての現状の車のスピードの差分を足し合わせて評価値とする。なおこの値が信号エージェントの強化学習の報酬値となる。

各信号エージェントは、この評価値を参照し、最良の評価値の時の3パラメタ値を解として信号制御に用い第2層の領域エージェントへ現状の交通容量を報告する。

第2層の領域エージェントは前述したように、第3層から出てきた現状の容量値と領域理想値を比較し、 $t$ 時間後にどの程度の流入を許容すれば、区間理想値を目指しつつ、全体理想値に近づけられるか隣接エージェント同士でネゴシエーションする。ネゴシエーション後の新たな領域目標値は、トップダウンルートに既述したように、第3層に渡され処理が実行される。

#### (3) 処理の終了条件

第2層において、第1層が示す全体理想値が達成できた場合、あるいは、処理の制限時間がきた場合に終了する。

なお、後者で終了する場合、試行錯誤した内で最も全体理想値に近い状態を採用する。

### 3.4 車群制御

次に上記システムを車群制御に展開する方法を示す。3層で構成される本システムの各層(図3)に各々エージェントを配置する。上位層から下位層に向かって、都市全体として実現したい車群の流れる方向と量を指示する。逆に下位層から上位層に向かっては、現場の交通状況を調整・最適化した結果を報告する。各層のエージェントは、現状を踏まえつつ上層から降りてきた車群の流れる方向と交通量を目指して調整を行う。これにより、現場の状況を考慮しつつ都市全体における交通量の平準化を行う事が可能になり、渋滞の緩和を期待することができる。以下に詳細を記述する。

#### 3.4.1 車群の定義

3.3節で述べた道路網分層理論に基づいて、都市全体をいくつかの独立したスケジューリングエリアに分割し、その後これらの独立した領域を単独のサブエリアとする。

独立したサブエリア内の各主幹道路にあるすべての車両を車群と定義する。

#### 3.4.2 関連研究と課題

車外交通誘導システムは現在最も使われている方法で、主な実施方法は道端に電光掲示板や放送情報表示板などを設置し、通行の運転手に前方の交通状況などの情報を知らせることである。運転手はこれらの情報を受け取ったのち、ルートの再選択を行う。この方法は安価でかつ、実際の使用効果も優れているため、多くの国がこの方法を使って交通流を制御している。しかし、そういった情報はすべての車両に向けられているため、旅行者が渋滞経路を避けて他の渋滞のクラスタに入る現象を引き起こす可能性が高い。また、この方法における情報伝達は一方向のみであり、誘導情報と道路上を走行する車両の間で相互に情報交換を行うことは無い[19]。上記の欠点を解決するためには、個別車両の情報までも集中的に管理し、すべての車両を調整する必要がある。異なる区間、異なる目的地に向かう車に対して、異なる誘導方法を提示することで、目的地まで最短かつ、全体の交通に影響しないような誘導が可能になると考えられる。

マルチエージェントを用いた方法は、動的経路誘導問題を解決するのに適した分散処理方法である。複雑なシステムのモデリングと問題解決に適しており、迅速に経路を生成し、システムのリアルタイム性要求を満たすことができる。Lo [20], Tuanら[21], Satuninら[22]はマルチエージェントの技術思

想を交通分野に応用し、スマート交通システムを提案した。李ら[23], Wang ら[24], 張ら[25]はそれぞれマルチエージェント技術を交通システムと交通流のシミュレーションに適用し、この技術における動的、ランダムな交通環境シミュレーションの実現可能性と有効性を検証した。しかし、これらの研究は車群向けの誘導研究ではなく、単一車両を対象とした経路誘導に関するものであった。

楊陽[26]はカーネットワークサービスを利用して各車の情報をマークし、車両ノードに伴うラベルクラスタ分割アルゴリズム(Label clustering algorithm for vehicle nodes, LCVN)を提案した。LCVN はまず、同じ目的地の車を同じラベルクラスタに分割する。各車のラベルと、ラベルクラスタのマーチング計算に基づいて、各車の最適経路を導くことで、渋滞を合理的に解消することができ、道路の運行効率と通行能力を向上させることができる。しかし、この研究は、車両ノード間で通信が可能な状況を仮定しており、通信の応答遅れを考慮していない。実際には、信号減衰、伝送損失などの通信阻害要因を考慮しなければならない。この問題を解消するためには、車両間の通信だけでは対応できない。道路施設を活用し、車両情報をリアルタイムに把握するだけでなく、車両ごとに道路状況を共有することが必要となる。

### 3.4.3 提案手法と目的

従来は個々の車両を制御し、渋滞を解消する視点で検討が行われてきた。これに対し本提案は階層型エージェントを用い、都市全体の交通量の最大化と、個々の車が最もスムーズに通行できる状態を同時に実現することを目指す。

階層型エージェントは信号制御と同じ定義を使用する。すなわち、第1層は都市全体の交通状態を表し、第2層は都市をサブエリア毎に区分した中間層を表す。第3層は各個の車両と実際の道路網を表す(図3)。また、詳細は後述するが各層には機能を実現するエージェントを置く。

第2層に向かって、第1層から各々のエリアの目標とすべき交通量の情報が伝達される。一方で、第3層からは現場の交通量が報告される。第2層は隣接エリア同士で第1層から伝達された交通量に近づけるよう、エージェント同士が交渉を行う。更にこの結果を受けて、第3層で各車両を誘導する。

本動作について、図3を用いて説明する。領域Bから領域Fを目指す車群があった場合、ルートとして $B \rightarrow C \rightarrow F$ と $B \rightarrow E \rightarrow F$ が考えられる。例えば時刻tにおいて、 $B \rightarrow C \rightarrow F$ と $B \rightarrow E \rightarrow F$ ルートは3:7の割合でBにいる車を分けようという解が出た場合、これを第3層に伝達し、実際の交通状況を考慮しながら各車両を誘導する。この誘導をできるだけ正確に実現するために、従来の電光掲示板のような不特定多数に情報を供給するのではなく、各車両のカーナビゲーションにルートの案内情報を送信する。

以上が提案システムの概要である。以下に実現のための詳細技術を示す。

#### 3.4.3.1 システム構成

3.3節で述べた道路網分層理論に基づいて、各層に対して、階層的な階段状構造システムを設計する。

地域全体の第1層は方策決定層である。中心方策決定エージェントを確立し、路網全体の協調と最適化制御を制御する。これは最も優先度の高い決定層である。

独立したサブエリアの第2層は協調層であり、サブエリア協調エージェントを確立する。道路網の規模が大きいため、中心方策決定エージェントだけで路網全体の協調および最適化制御を行うと計算量が膨大で、エージェントの設計が複雑になる。そのため、道路網を分割したサブエリアに対し、サブエリア協調エージェントを確立する。各サブエリアエージェントと、中心方策決定エージェントが協調し、該当エリアにある車の経路を最適に制御する。サブエリア協調エージェントとなる協調層の導入により、中心方策決定エージェントの計算量を低減することができる。

個々の信号機と道路を表す第3層は実体層であり、交差点エージェント、区間道路エージェント、車両エージェントから成る。これは実際の交通環境における主要な実体要素に対応し、情報の収集、転送、指示、分析及び処理任務を担当する。設計した階層的な階段状構造を図4に示す。

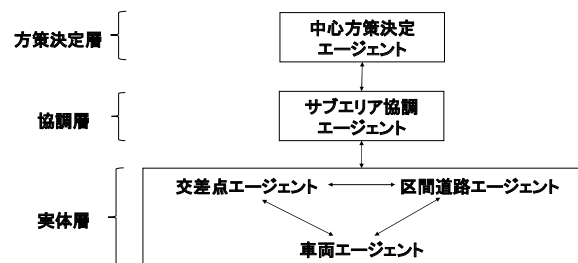


図4: システム階段状構造図

#### 3.4.3.2 エージェント機能の定義

以下に、ここでのエージェント機能の定義を示す。

(1) 車両エージェント: 車両の自己情報(最大走行速度など)及び外部情報(出発地、目的地、時間需要など)を収集する。また、収集した情報を総合的に処理し、リアルタイムで車両の現在における最適な経路を算出する。

(2) 交差点エージェント: 区間道路エージェントから必要な道路状況情報を自主的に取得し、交通信号情報を提供する。同時に中心方策決定エージェントに決定要求を出す。中心方策決定エージェントに情報をフィードバックして最適な経路を決定する。

(3) 区間道路エージェント: 区間道路エージェントはリアルタイムでその所在区間の道路状況情報(現在の車の流量、

信号情報など)を取得し、データの加工処理を行う。

(4)サブエリア協調エージェント:サブエリア内の車両走行方策を調整する。中心方策決定エージェントの計算量を低減し、システムの効率を向上させるためである。

(5)中心方策決定エージェント:サブエリア協調エージェントと通信する。サブエリア協調エージェントを介して、区間道路エージェントへのアクセスと、現在の時間帯に共通してアクセスした車両を評価する。これにより、経路案内に従わない車により発生する、渋滞現象の動的誤差を避けることができる。

### 3.4.3.3 システムの流れ

車両エージェントは出発地、目的地、時間、速度などの情報を分析・処理し、車両状態情報を生成する。区間道路エージェントと交差点エージェントの情報を分析・処理し、生成された道路状態情報と車両状態情報に準じて単一車両の走行経路の最初策を計算する。サブエリア協調エージェントは、該当エリア内における走行車両の流量状況に応じて、単一車両の走行経路を調整し、区域内の最適な誘導策を得る。更に、中心方策決定エージェントが全体的制御を通じて、各エリア内の車両の最適な走行方策を調整し、全域の誘導方策を得る。同時に、中心方策決定エージェントが各サブエリア協調エージェントに各エリアの誘導方策を伝達する。サブエリア協調エージェントは、該当エリアの誘導方策を修正し、各車両に通知する。これにより、システムへのダイナミックなフィードバック調整が実現する。システムの流れを図 5 に示す。

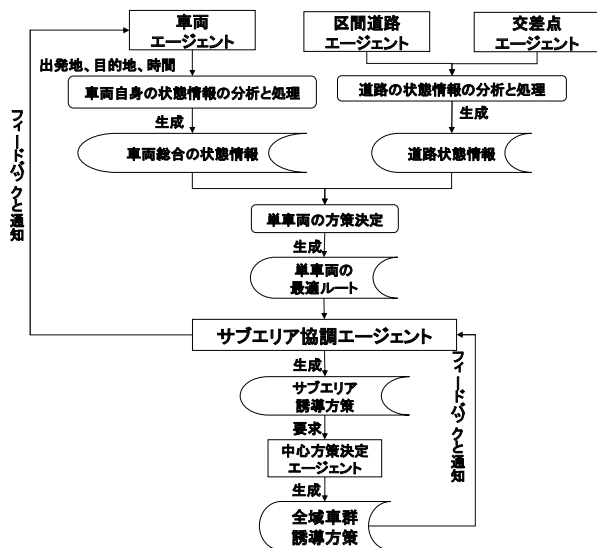


図 5: システムデータフロー図

### 3.4.4 評価方法

本手法を適用した場合における道路占有率、流量、平均速度、平均走行時間を、適用しなかった場合と比較することで、本システムの効果を評価する。

### 3.5 期待される成果

階層型エージェントが有効なことが確認できた場合、現状のインフラを大幅に変更することなく渋滞を緩和させることが可能となる。さらに、交通に限らず、多段で構成されるエージェント構成は、例えば生産ラインにおけるライン全体の最適化や、膨大な数がリンクされるセンサネットワークの振る舞いを制御することなどに応用が期待できると考える。

## 4 潜在的危険状態に陥ったドライバーの警告周知による事故予防

### 4.1 背景

平成 8 年から平成 27 年の法令違反別の交通事故傾向分析によると、従来は速度超過違反による死亡事故件数が多かったが、近年は大きく減少している。しかし、漫然運転及び脇見運転についての死亡事故件数については、速度違反に比べ減少率が小さく、その他の発生件数と比較し、その占める割合は高くなっている[27]。漫然運転及び脇見運転といった、人が原因となる法令違反に対して、これまでの取締りや安全教育を継続していくほかに、先端技術や交通事故に関する様々な情報の積極的な活用が望まれる。

### 4.2 関連研究と課題

近年、車車間通信により、お互いの位置や速度等の情報を頻繁に交換して衝突を防止する安全運転支援システムの実用化[28]や、近い将来における実現が見込まれる自動運転のために、走行中の車両が周辺の道路と交通情報を把握できるような路車間通信システムの研究と実験が目目されている[29][32]。

さらに、AI・機械学習を活用し、車載カメラと画像認識のアルゴリズムを組み合わせ、ドライバーモニタリングシステム[30][31]や、ハンドルセンサにより、ドライバーの心拍解析を行い、眠気状態を検出する仕組み[33]も提案されている。これにより、居眠り運転や脇見運転といった潜在的危険状態に陥った運転手を検出し、運転手に対して警告することで、事故を抑止できるようになった。

上述の事故防止の方針は、センシング技術や、ソフトウェア技術を用いて、車に機能を作りこみ、ドライバーの安全な運転を支援する。しかし、こういった機能を用いても潜在的危険状態に陥ったドライバーを十分に覚醒させることができなかった場合、追突事故やセンターオーバーでの正面衝突事故が発生する危険性がある。この場合、事故の被害者は何もできず、一方的に危機的状況に置かれてしまうという現状がある。被害者の立場からみると、衝突される前に、適切な回避行動を行える仕組みがあれば、事故防止に繋げることができる。



4.3 提案手法と目的

本テーマでは、ドライバーモニタリングシステムと車車間通信システムを用いて、潜在的危険状態に陥った運転者を検知し、運転者本人だけではなく、周囲の運転者にも警告する手法を提案する。これは、事故防止への新しい着眼点になると考える。

図 6 と図 7 に、本提案のイメージ図を示す。本提案は、二つのステップに分けることができる。

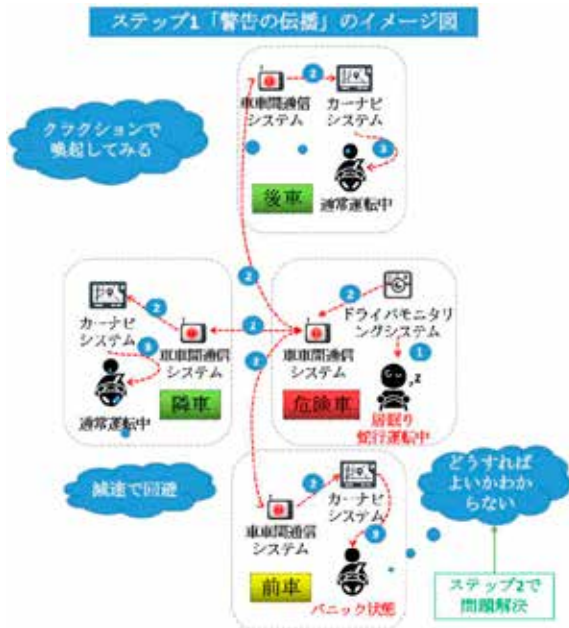


図 6: 本提案のイメージ図(ステップ 1)

一つ目は、警告の伝播である。図 6 から図 12 まで、潜在的危険状態に陥った車を危険車と表記する。危険車の前を走る車を前車、後を走る車を後車、隣を走る車を隣車と表記する。図 6 において、①ドライバーモニタリングシステムにより、潜在的危険状態に陥った運転者を検知した場合、本人に警告する。その後、②車車間通信技術を用いて周りの運転者に警告のメッセージを発信する。これは、③カーナビシステムとの連携による、音声での警告を想定する。警告された運転者は自分の運転経験から最適な回避行動を選択することで事故を回避しようと試みる。ただし、突然の警告により、緊張や心理的ストレスを感じる可能性がある。これにより、運転者は頭が真っ白になるなど、適切な回避行動がとれない可能性がある。ステップ 2 で、この問題を解決する方法を提案する。

図 7 を用いて、前車を例とした回避動作の推奨(ステップ 2)を説明する。①前車は、車載ミリ波レーダ[34]を用いて、隣車と危険車の相対距離を取得する。②取得した情報と自車速度を図 8 から図 12 に示す行動推論部に送り、推奨回避動作を算出する。③算出した推奨回避動作をカーナビシステムに送り、④危険車からの警告と一緒に前車に知らせる。

前車と同じ流れで、隣車と後車に、それぞれ危険車からの警告と算出した推奨回避動作を知らせる。なお、距離の定義については図 9 に示す通りである。

ステップ2「回避動作の推奨」のイメージ図



図 7: 本提案のイメージ図(ステップ 2)



図 8: 行動推論部(全体処理フロー)

本テーマの目的は、危険車の周囲の運転者に対し、危険予知の判断要素を知らせ、事故の被害者になる前に、主観的な事故防止手段を提供することである。

また、本提案で考えられる問題点と、解決策に繋がるアイデアを以下に示す。まず、図 11 に示す前車の処理フローの最後に、車線変更および加速が行えない、つまり「事故回避ができない」、「衝突注意の警告しか行えない」ケースが存在する問題を検討する。前述の前車、隣車、後車において、

推奨回避行動の算出を個別に行い、それぞれが運転者に知らせる方法を提案しているが、これは前車、隣車、後車といった危険車の周りの車全てにおける全体最適行動ではない。そのため、危険車の周りの車全てが協調し、事故を回避する仕組みがあれば、この問題を解決できると考える。

次に、危険車の事故回避を検討する。車車間通信システムを用いて、前車、隣車、後車の推奨回避行動を危険車にフィードバックし、周りの車の回避行動を踏まえ、自動運転により危険車を安全な場所に誘導する仕組みがあれば、危険車も事故を回避できるようになると考える。

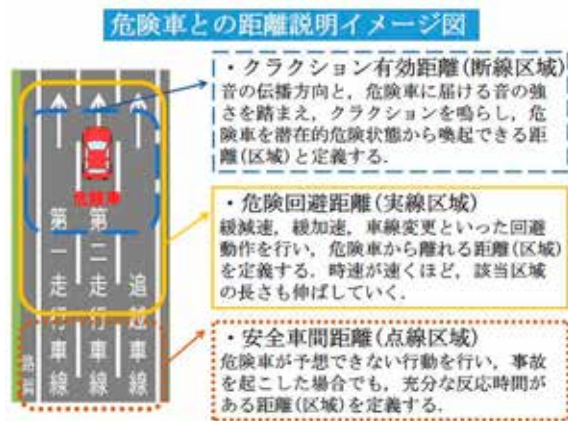


図 9: 危険車との距離説明イメージ図

#### 4.4 期待される成果

潜在的危険状態に陥った運転者からの警告伝播とアルゴリズムで算出した推奨回避行動で、運転者に主観的な事故防止手段を提供し、事故発生数を削減する新しい着眼点を提案する。

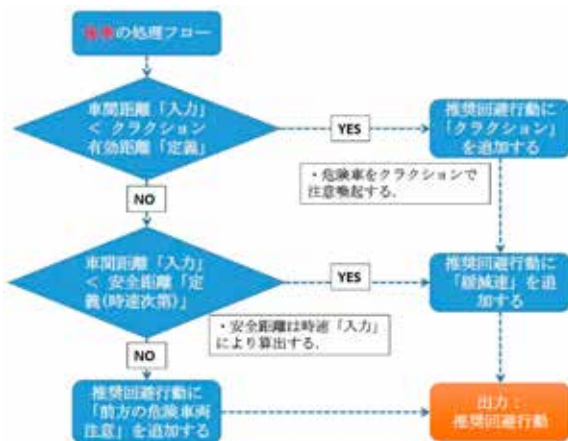


図 10: 行動推論部(後車の処理フロー)

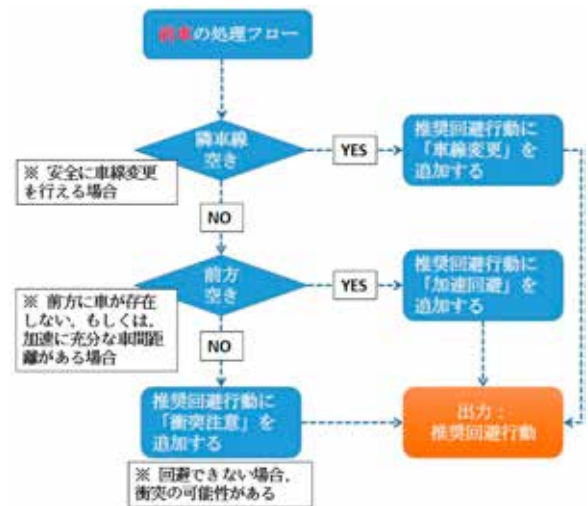


図 11: 行動推論部(前車の処理フロー)



図 12: 行動推論部(隣車の処理フロー)

## 5 フードデリバリーでのインセンティブスキーム

### 5.1 背景

世界の交通事故における死者数のおよそ4分の1は自転車と歩行者で占められている。日本では2011年から生活道路区域での速度規制が進められ、自転車や歩行者の死亡・重症事故の予防に効果を上げている[35]。

一方2000年代から世界中で拡大している、Uber Eatsに代表されるオンラインフードデリバリーでは、非常に簡単な手段で募集されたワーカーによる配達中の交通事故が問題となっており、今後深刻な結果を招く可能性がある[36]。

プラットフォーム上で個人のスキルや空き時間と消費者とをマッチングさせるフードデリバリーは、シェアリングエコノミー、またはギグエコノミーの代表例とされ、2010年代のスマートフォンの普及とUberなどのスタートアップの成長とともに注目を集めてきた[37]。

拡大が続くフードデリバリーにおける、ワーカーの行動選択に関するさまざまなインセンティブスキームを理解し、ワーカーや地域住民の安全を確保する必要がある。

## 5.2 関連研究と課題

配達を行うワーカーは、基本的なオンライン審査に合格すると、自分の自転車やオートバイ等を使用した配達が可能になる。ワーカーが得られる主な収入は、店舗まで移動して商品を受け取り、依頼主へ届ける収入と、移動距離に応じた収入がある。ワーカーは依頼主との仲介料と配達管理サービスの利用料を、配達収入の中から手数料としてプラットフォームへ支払う。

ワーカーは、プラットフォームが定めた規定を順守することでサービスを利用できるが、満足度評価が一定以下になるとサービスを利用できなくなるため、配達時間に関する厳しい要求が速度違反の要因にもなっている[36]。

ワーカーの労働時間と行動選択には、配達依頼を受けてから完了するまでの基本収入が大きな影響を与えている[38]。既存の多くのシェアリングプラットフォームでは、オフピーク時の割り増し料金や、格付けの高い人への追加インセンティブ等によって、より強力にワーカーをオンライン労働プロセスに引き入れ、ワーカーは目標以上のタスクを達成しようとする[39]。

## 5.3 提案手法と目的

本テーマでは、ワーカーが配達中の速度超過を抑制するためのインセンティブスキームを検討する。また、エージェント・ベース・モデルで表現されたワーカーの一連の行動をシミュレーションすることにより、稼働時間あたりの収入と移動中の速度超過率、プラットフォームがワーカーから得る手数料の総和を評価する。シミュレーションにおける状況に応じたワーカーエージェントの合理的な行動選択は、強化学習で求める。

図 13 に、インセンティブ設計の概要を示す。ワーカーの稼働予定に応じた依頼数固定オファーを出し①、これを受託したワーカーが配達時の行動方針（消極的：平均速度以下で移動 / 規制遵守：規制速度の範囲内で移動 / 規制無視：規制速度を超過して移動）に従って配達を行い②、必要以上にスピードを出さなくても成功報酬を得られ予想される収入が減少しない③ことを満たすインセンティブ設計を表している。このようなインセンティブを設計することで、速度超過を抑制することを検討する。

## 5.4 期待される成果

オフピーク時の割増料金など既存のインセンティブスキームと、依頼数を固定することで速度超過を抑制する提案手法とをシミュレーション上で比較し、稼働時間あたりのワーカー

の平均収入と速度超過率、プラットフォームへ支払う手数料の総和の改善を示す。これらの評価指標の改善により、地域における良好な交通環境と、ワーカーやオンラインフードデリバリーの利益との整合につながることを期待できる。



図 13: インセンティブ設計の概要

## 6 おわりに

本稿では、将来的な人口の都市集中に起因して深刻化していくことが予想される都市交通課題に対して、2 つの視点から解決手法と今後の研究の方向性を示した。一つ目は、人の移動を支える交通システムを改善することによって、渋滞を解消する方法を提示するものである。二つ目は、実際に車両を運転するドライバーの行動を、外部からの要因によって変化させることで、事故を回避する方法を提示するものである。

今後は、本稿で提案した各解決手法をマルチエージェントシミュレーションで実装し、その効果を評価する。また、シミュレーション結果を分析し、その内容を提案手法にフィードバックすることで、より改善効果の大きい手法を模索していく。

## 参考文献

- [1] United Nations, Population Division World Urbanization Prospects, 2018.  
<https://population.un.org/wup/> (visited in 2020)
- [2] 国土交通白書(平成 19 年度)  
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/hakusho/h20/> (visited in 2020)
- [3] 赤松隆, 佐藤 慎太郎, Nguyen Xuan Long, “時間帯別ボトルネック通行権取引制度に関する研究,” 土木学会論文集 D, Vol. 62, No. 4, pp. 605-620, 2006.
- [4] 文世一, “混雑料金と交通量配分,” 土木計画学研究論文集, No. 11, pp. 113-120, 1993.

- [5] 和田健太郎, 赤松隆, “ネットワーク通行権取引市場のオークション・メカニズム,” 土木学会論文集 D3, Vol. 67, No. 3, pp. 376-389, 2011.
- [6] 原祐輔, “時間帯別交通利用権オークションに対する選好誘出の効率性に関する研究,” 土木学会論文集 D3, Vol. 71, No. 5, pp. I\_951-I\_959, 2015.
- [7] 国土交通省, 効果的な渋滞対策の推進  
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h18/07.pdf>(visited in 2020)
- [8] 国際交通安全学会, 交通・安全学  
<https://www.iatss.or.jp/publication/commemorative-publication/>(visited in 2020)
- [9] 警視庁, 平成 30 年中の都内の交通渋滞統計(一般道路, 首都高速道路)  
[https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about\\_mpd/jokyo\\_tokei/tokei\\_jokyo/ippan.files/tokei.pdf](https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/ippan.files/tokei.pdf)  
 (visited in 2020)
- [10] Wikipedia, 日本の交通信号機  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/日本の交通信号機#世界との比較>(visited in 2020)
- [11] Tomoki Nishi, Keisuke Otaki, Keiichiro Hayakawa and Takayoshi Yoshimura, “Traffic Signal Control Based on Reinforcement Learning with Graph Convolutional Neural Nets,” 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 877-883, 2018.
- [12] 佐藤季久恵, 高屋英知, 小川亮, 芦原佑太, 栗原聡, “Deep Q-Network を用いた交通信号制御システムの提案,” 2017 年度人工知能学会全国大会(第 31 回), Vol. 31st Page.ROMBUNNO.3I2-OS-13b-4, 2017.
- [13] 岩岡浩一郎, “成熟社会を背景とした交通信号制御の高度化に関する研究,” 学位(博士)論文, 南山大学, 2017.
- [14] Elise van der Pol and Frans A. Oliehoek “Coordinated Deep Reinforcement Learners for Traffic Light Control,” 30th Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2016), In NIPS’ 16 Workshop on Learning, Inference and Control of Multi-Agent Systems, 2016.
- [15] K. J. Prabuchandran, A. N. Hemanth Kumar and Shalabh Bhatnagar, “Multi-Agent Reinforcement Learning for Traffic Signal Control,” 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 2529-2534, 2014.
- [16] Ujwal Padam Tewari, Vishal Bidawatka, Varsha Raveendran, Vinay Sudhakaran, Shreedhar Kodate Shreeshail and Jayanth Prakash Kulkarni, “Intelligent Coordination among Multiple Traffic Intersections Using Multi-Agent Reinforcement Learning,” NeurIPS 2019 Deep RL Workshop, arXiv preprint arXiv:1912.03851, 2019.
- [17] Tianshu Chu, Sandeep Chinchali and Sachin Katti, “Multi-Agent Reinforcement Learning for Networked System Control,” The International Conference on Learning Representations (ICLR), arXiv abs/2004.01339, 2020.
- [18] Tianshu Chu, Jie Wang, Lara Codecà, and Zhaojian Li, “Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Large-Scale Traffic Signal Control,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 21, No. 3, pp. 1086-1095, 2020.
- [19] 车广侠, 石建军, 隋莉颖, “VMS 交通诱导系统现状分析,” 交通工程, Vol. 8, pp. 19-21, 2006.
- [20] Steven K. C. Lo., “A collaborative Multi-Agent Message Transmission Mechanism in Intelligent Transportation System - A Smart Freeway Example,” Information Sciences, Vol. 184, pp. 246-265, 2012.
- [21] Quoc Tuan Nguyen, Alain Bouju and Pascal Estrailier, “Multi-Agent Architecture with Space-Time Components for the Simulation of Urban Transportation Systems,” Social and Behavioral Sciences, Vol. 54, pp. 365-374, 2012.
- [22] Sergey Satunin and Eduard Babkin, “A Multi-Agent Approach to Intelligent Transportation Systems Modeling with Combinatorial Auctions,” Expert Systems with Applications, Vol. 41, pp. 6622-6633, 2014.
- [23] 李伟, 何冬之, 李润梅, “基于 Multi-Agent 的多车道交通流的分布式仿真研究,” 计算机仿真, Vol. 2, pp. 191-194, 2005.
- [24] Wang, Fenghui, M. Yang, and R. Yang. “Simulation of Multi-Agent Based Cybernetic Transportation System,” Simulation Modelling Practice & Theory Vol. 16, No. 10, pp. 1606-1614, 2008.
- [25] 张发, 赵巧霞, “基于多 Agent 的交通流仿真平台,” 计算机工程, pp. 9-11, 2010.

- [26] 杨阳, “基于车辆群体行为态势的定位技术与交通流诱导方法研究,” 杭州电子科技大学, 硕士论文, 2019.
- [27] 内閣府, 平成 28 年交通安全白書  
[https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h28kou\\_haku/gaiyo/features/feature02.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h28kou_haku/gaiyo/features/feature02.html) (visited in 2020)
- [28] 内閣府, 内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動走行システム研究開発計画, 2018.  
<https://www.nedo.go.jp/content/100877723.pdf> (visited in 2020)
- [29] Toru Kojima, Toshiya Hirose, Toshihiro Takeuchi and Tadashi Hatano, “Basic Study Regarding Driver’s Acceptability of Automated Driving System Which Adopts Vehicle to Vehicle and Vehicle to Pedestrian Communication System,” *Society of Automotive Engineers of Japan*, Vol. 49, No. 5, pp. 1080-1086, 2018.
- [30] 後藤誠二, 峯岸由佳, 山本直樹, 森谷貴行, 中村創, 片山翔太, “カメラを用いたドライバー・モニタリングの開発,” *マツダ技報*, No. 36, pp. 130-135, 2019.
- [31] 山崎初夫, 小林史和, 山田拓郎, 井東道昌, 中野倫明, 山本新, “ドライバ状況モニターの開発と運転支援システムの警報提示方法の検討,” *IEEJ Trans. IA*, Vol. 125, No. 11, pp. 1038-1045, 2005.
- [32] トヨタ安全技術, ITS 専用周波数で通信し安全運転をサポート  
<https://toyota.jp/technology/safety/itsconnect/> (visited in 2020)
- [33] Masatoshi Yanagidaira and Mitsuo Yasushi, “Development of a Driver's Condition Monitor,” *PIONEER R&D*, Vol. 13, No. 2, pp. 75-82, 2003.
- [34] 小川勝, 夏目一馬, “車載ミリ波レーダの開発,” *通信サイエティマガジン*, No. 47 冬号, pp. 234-241, 電子情報通信学会, 2018.
- [35] Haruhiko Inada, Jun Tomio, Shinji Nakahara and Masao Ichikawa, “Area-Wide Traffic-Calming Zone 30 Policy of Japan and Incidence of Road Traffic Injuries Among Cyclists and Pedestrians,” *American Journal of Public Health*, Vol. 110, No. 2, pp. 237-243, 2020.
- [36] Mayila Maimaiti, Xueyin Zhao, Menghan Jia, Yuan Ru and Shankuan Zhu, “How We Eat Determines What We Become: Opportunities and Challenges Brought by Food Delivery Industry in a Changing World in China,” *European Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 72, pp. 237-243, 2020.
- [37] Koen Frenken, “Political Economies and Environmental Futures for the Sharing Economy,” *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 375, Issue 2095, 2017.  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2016.0367> (visited in 2020)
- [38] Yuqian Xu, Baile Lu, Anindya Ghose, Hongyan Dai and Weihua Zhou, “How Do Ratings and Penalties Moderate Earnings on Crowdsourced Delivery Platforms?,” *NYU Stern School of Business*, 2020.  
<https://ssrn.com/abstract=3609132> or  
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3609132> (visited in 2020)
- [39] Qingjun Wu and Zhen Li, “Labor Control and Task Autonomy under the Sharing Economy: a Mixed-Method Study of Drivers’ Work,” *The Journal of Chinese Sociology*, Vol. 6, Article Number 14, 2019.  
<https://doi.org/10.1186/s40711-019-0098-9> (visited in 2020)

# スマート EV 充電予約システムの マルチエージェントシミュレーションによる評価

蔡詩傑\*・林久志\*

Evaluating smart EV charging reservation systems by multi-agent simulation

Shijie Cai\* and Hisashi Hayashi\*

Abstract

In order to realize EV (Electric Vehicle) society, the development of EV charge infrastructures is indispensable. Under current situation, existing EV charge infrastructures are insufficient. If the number of EVs continue to increase with this pace, there will be long queues at EV charging stands, and the waiting time for charging EVs in cities will become much longer. However, if we naively increase capital investment, the low profitability and investment return risk would be a problem as well. In this study, we aim to develop a smart EV charging reservation system that combines a dynamic pricing system according to the degree of congestion and a car navigation system that recommends and reserves EV charge stands that match user's preference (time or price). Using this smart EV charging reservation system, we can disperse their charging locations and decrease total waiting time for charging. We will evaluate the effect of this new system by means of multi-agent simulation.

Keywords: car navigation system, smart EV charging reservation system, dynamic pricing, waiting time reduction, multi-agent simulation

## 1 はじめに

現在、世界中で EV(電気自動車)の導入が進められている。この背景には地球温暖化とピークオイルという二つの社会問題が存在している[1]。これらの社会問題は、どちらも石油燃料に由来したものであるため、世界中の自動車メーカーはこれまで同様に内燃機関式エンジン車を作り続けることが非常に難しい。その結果、自動車各社は EV を主流とする車社会を目指して新たな活動を進めている[2]。

一方、社会問題とは別に、経済的観点から見た場合、日本にとって自動車産業は重要な基幹産業である。日本政府は社会問題を解決しつつ、かつ産業の活性化を進めるべく、2020 年までに、国内の PHEV・EV の保有台数を最大 100 万台にすることを新たに目標として設定している[3]。現状では EV の国内普及台数は未だ数十万台レベルではあるが、今後ますます増加していくのは間違いない。

また、EV の普及に重要な充電設備の側面を考えた場合、現状で日本国内の充電場所に関する統計では、EV 購入者

の 9 割が戸建の住宅にて充電を行っていると報告されている[4]。現在、日本国内にて戸建と共同住宅の割合は 6:4 である。共同住宅では、共有の駐車場に充電設備を後から導入するのは難しいため、現在の共同住宅の多さから、充電設備の不足が EV の普及に与える影響は無視できない[5]。

EV の充電設備不足から、充電待ち時間を減らすことが EV 普及のための課題となっており。さらに、充電スタンドオーナーの利益を増やすことで、長期的に充電スタンドの数を増やすことが重要である。

本論文では混雑度に応じた変動価格と EV ユーザーの好み(時間と価格)に合わせた充電予約カーナビシステムを組み合わせる スマート EV 充電予約システムを提案する。

本システムの目的は、第一に EV の充電待ち時間を減らすこと、第二に、各充電スタンドオーナーの利益を増やすことを目指す。

本論文は、以下のように構成される。2 章で関連研究について議論する。3 章で問題設定を行う。4 章で提案手法、5 章でシミュレーションモデル、6 章でシミュレーションシナリ

Received on September 16, 2020

本論文のドラフトは人工知能学会第 15 回ビジネス・インフォマティクス研究会(SIG-BI) [15]で口頭発表済みである。

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

を説明し、7章で評価基準を定義する。8章で評価結果を示し、9章で本論文をまとめる。

## 2 関連研究

これまでの研究によると、公共のEV充電設備についての立地場所や分布、家庭でのEV利用の視点から、総合的な充電環境の充実・発展が課題となっている[6]。

また、EV充電の利便性を高める上で、所有住宅だのみの充電環境確保には限界がある。ベルリンにあるスタートアップ企業 Ubitricity のように、街灯や自動販売機、時間貸し駐車場にも、充電機能を付加することができる[7][8]。しかし、充電器の利用にはバラツキがあるため、新規の設備投資を考えた際、収益率が低く、投資を回収できない恐れもある。

また、走行中のEVのバッテリー切れを起こさないための電欠シミュレーションにより、約30kmごとに充電器を設置すれば電欠が起きないことが分かっている。そして現在、平均26.4kmごとに一つの充電設備が設置されているが、実際は県別に見ると、30kmを超える地域があり、電欠の不安を感じるEVユーザーもいる[9]。

木山らの研究[10]では、適切な充電スタンドを経由し、途中で充電しながら進むことによって、バッテリー切れを起こさずに目的地に到達するためのEV向けのルート探索手法を提案している。また、全てのEVが最適充電スタンドを選んで充電すると、町の中心部に列ができ、長い待ち時間が発生するという問題も残る。内田らの研究[11]では、複数のEVを異なるルートに分散してガイドすることにより、交通渋滞を考慮したルート探索手法を提案している。しかしながら、充電スタンドの混雑状況は考慮されていない。

Hayashi ら[12]は、高速道路で走行するEVのために、各充電スタンドの待ち時間をデジタルサイネージに表示することにより充電場所を分散化したり、行列ができた充電スタンドで充電できる充電量を制限したりすることにより、充電待ち時間を減らす手法を提案し、その効果をマルチエージェントシミュレーションで検証している。しかしながら、デジタルサイネージで誘導できる充電スタンドは周囲数か所の充電スタンドに限定されており、また、充電量の制限はEVユーザーの満足度を下げるといった問題も残る。

Hiwatari ら[13]はEVの電欠回数を減らすことを目指した充電スタンドの設置場所の最適化手法を提案しており、その効果をマルチエージェントシミュレーションで検証している。このアプローチは、長期的な充電スタンド整備計画を策定するためには重要である。しかしながら、短期的かつ動的な充電待ち時間の軽減の視点には欠けている。

## 3 問題設定

本研究では、従来の研究では不十分であったEVの充電場所の動的な分散化と、充電待ち時間を減らすことを第一の目標とする。さらに、充電スタンドオーナーの利益を増やすことにより、長期的に充電インフラへの投資を促すことを第二の目標とする。そのためのスマートEV充電予約システムの設計を本論文の問題とする。

## 4 提案手法

現在、日本国内では充電ステーションの予約はできるが、価格は基本的に固定である。図1のように、利用者は最寄りの充電スタンドで充電することが多い。それに対し、我々は、時間優先と価格優先を選択できる充電予約カーナビシステム(図2)と変動価格を組み合わせたスマートEV充電予約システムを提案する。

時間優先を好む利用者は、待ち時間の少ない充電スタンドを選択する。それにより、時間優先の利用者の充電場所の分散を期待できる。一方で価格優先を好む利用者は、価格の安い充電スタンドを選択する。利用率に応じて価格を変動することにより、価格優先の利用者の充電場所も分散することが期待できる。

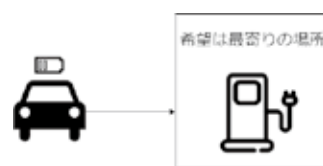


図1: 一般充電予約カーナビシステム

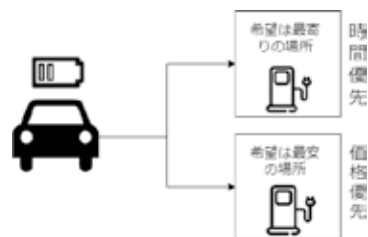


図2: 時間優先と価格優先を選択できる充電予約システム

## 5 シミュレーションモデル

### 5.1 価格設定

固定価格は1分あたり15円とする。変動価格はそれぞれの充電スタンドの利用率によって変動する。ユーザーが選ぶ条件によって、価格設定方法が変わる。各充電スタンドでは独立した変動価格を設定する。利用率は累計充電時間 / 24時間と定義する(日付が変わると累計充電時間はゼロに戻る)。

変動価格は次のように設定する:

$$\text{変動価格} = \text{利用率} \times 30 + 7.5$$

### 5.2 EV の状態遷移

EV の充電と走行はバッテリー残量によって以下の 4 つの状態に分類できる。

- 状態 1: 正常走行状態.
- 状態 2: 充電スタンド検索状態.
- 状態 3: 充電中の状態.
- 状態 4: 充電待ち状態.

以下の流れで上記の4種の状態が遷移する。

- 状態 1: 目的地に向かう。途中、バッテリー残量が不足すると状態 2 へ。
- 状態 2: 充電スタンドを選択(予約)し、移動する。到着後は状態 3 へ。充電スタンドの選択・予約が出来ない場合は状態 4 へ。
- 状態 3: 100%まで充電し、状態 1 に戻る。
- 状態 4: 最寄りの充電スタンドに向かう。到着後、充電待ち行列がなければ状態 3 へ。充電待ち行列があれば、待機し、自分の順番になれば状態 3 へ。待機中、よりよい充電スタンドを選択(予約)できればそこへ移動し、状態 3 へ。

### 5.3 充電スタンドの状態遷移

充電スタンド自体も充電の利用状況によって下記の 3 つの状態を遷移する。

- 状態 1: 空き状態。予約が入れば状態 2 へ。
- 状態 2: 予約済み状態。充電が必要な EV が到着次第状態 3 へ。
- 状態 3: 充電中の状態。累計充電時間はスタンド側に記録される。充電後状態 1 へ。

### 5.4 EV ユーザーのタイプと充電パターン

ユーザーのカーナビ使用, 新予約システムの導入, 価格優先条件を選択有無によって 3 タイプの EV ユーザーを設定する。

- EV ユーザー1(ncar): 距離優先  
カーナビを使わず, 一番距離が近い充電スタンドを選択する。予約システム利用せず, 固定価格を選択する。
- EV ユーザー2(kcar): 時間優先  
一番待ち時間と移動時間の短い充電スタンドを選択する。予約システムを導入し, 変動価格を選択する。
- EV ユーザー3(pcar): 価格優先  
一番価格の安い充電スタンドを選択する。予約システムを導入, 変動価格を選択する。

以上の各 EV ユーザーが充電に行くときは, ユーザーの好み(距離優先, 時間優先, 価格優先)に応じて異なる充電スタンドを選択する。図 3 のフローチャートのように, カーナビを使わない距離優先の EV ユーザー1 は最寄りの充電スタンドへ向かう。EV ユーザー2 と 3 カーナビをもっているが, どこにも充電予約ができない場合には, 最寄りの充電スタンドへ向かう。時間優先の EV ユーザー2 は, 予約可能ならば, 一番待ち時間と移動時間の短い充電スタンドを選択する。価格優先の EV ユーザー3 は, 予約可能ならば, 一番価格の安い充電スタンドを選択する。

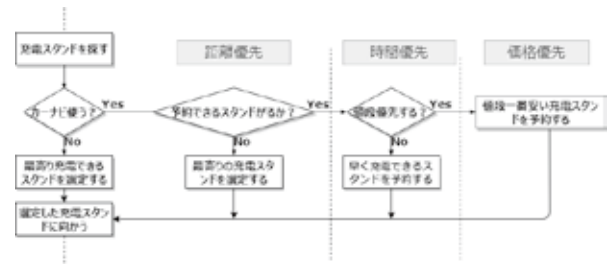


図 3: 充電スタンドを探す EV フローチャート

## 6 シミュレーションシナリオ

### 6.1 地図

町は縦 16km 横 16km, 間隔 2km の基盤目状都市である。町の中心部範囲(赤線内)は縦横 10km の正方形を設定する(図 4)。

### 6.2 EV の出発地と目的地

全ての電気自動車は図 4 の町の中心部にある各目的地に向かって走行する。出発地は地図のランダムな場所に設定し, 目的地は地図の中心部にあるランダムな場所に設定する。町の中心部範囲は縦横 10km の正方形の範囲とする。目的地に到着すると, 地図の中心部でランダムに新しい目的地を設定する。

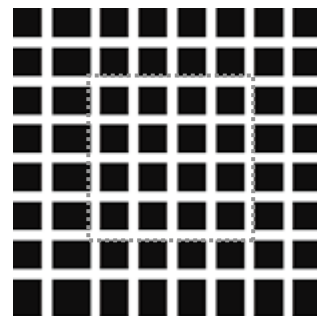


図 4: シミュレーション地図設定画面



### 6.3 EV の仕様と台数

EV は日産リーフ(電気自動車)の仕様を参考に、バッテリー容量 62kWh, 電費 9.2km/kwh, 運転速度は平均 30 km/h としたうえで, 初期 EV バッテリー残量は一様乱数で設定する。

### 6.4 各種 EV ユーザーの割合

以下の 4 つのモデルケースを表 1 にまとめる(それぞれ EV 計 100 台)。

表 1: ケース設定

	カーナビ利用				予約種別		
	なし		あり		予約なし	時間優先	価格優先
	固定価格	変動価格	固定価格	変動価格			
Case0	100				100		
Case1	40 <sup>※3</sup>		60		40	60	
Case2	40			60		30	30
Case3				100		50	50

- Case0: ncar 100 台
  - Case1: ncar 40 台, kcar 60 台,
  - Case2: ncar 40 台, kcar 30 台, pcar 30 台
  - Case3: kcar 50 台, pcar 50 台.
- ncar: 距離優先, kcar: 時間優先, pcar: 価格優先

Case0 では, 全てのユーザー(距離優先)がカーナビと予約システムを使用せず, 固定価格を選択する。

Case1 では, カーナビデータ[14]により 4 割のユーザー(距離優先)はカーナビを使用せず, 固定価格を選択する。6 割のユーザー(時間優先)はカーナビを使用し, 固定価格を選択する。

Case2 では, カーナビデータにより 4 割のユーザー(距離優先)はカーナビを使用せず, 固定価格を選択する。残り 6 割のカーナビユーザー(時間優先と価格優先の割合は 1:1)はスマート EV 充電予約システムを使用し, 変動価格を選択する。

Case3 では, 全てのユーザー(時間優先と価格優先の割合は 1:1)がスマート EV 充電予約システムを使用し, 変動価格を選択する。

### 6.5 充電スタンドの種類と数と位置

充電スタンドは急速充電タイプとし, 満タン充電に必要な時間は 60 分と設定し, 充電スタンド 10 ヲ所をランダムに設置する。青いマークは設置後の充電スタンドを表している(図 5)。

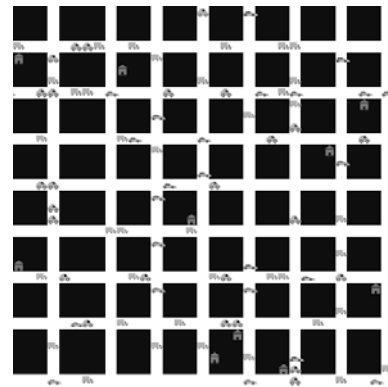


図 5: シミュレーション画面

## 7 評価基準

### 7.1 評価基準 1: 充電待ち時間

ユーザーの充電好み条件によって, 地図のそれぞれの場所で充電することになる。一番近い場所で充電することを選んだ場合, 充電待ちの列ができ, 長い充電待ち時間が生じる。一方で, 安くて遠い場所へ充電することを選んだ場合, 移動距離が長くなり, 長い移動時間が生じる。そのため, ここでの待ち時間は, 電気自動車のバッテリーが少量になり, 充電スタンド検索状態になってから, 充電中状態になるまでにかかる全ての時間を指している。

充電待ち時間 =

$$\text{各 EV の充電スタンドへの移動時間} \\ + \text{充電スタンドでの充電待ち時間}$$

### 7.2 評価基準 2: 充電スタンド収益

充電の時間と単価をかけて, 充電スタンド側の収益が生まれる。車両の予約システム導入の有無によって計算が異なる。各充電スタンドの収益はこの 2 種類のユーザーが充電することによって生み出した利益の合計である。

- 予約システムを導入/使用していない車両ユーザーからの収益計算:

$$\text{充電スタンド収益} = \\ \text{固定価格(時間単価)} \times \text{充電時間}$$

- 予約システムを導入/使用している車両ユーザーからの収益計算:

$$\text{充電スタンド収益} = \\ \text{変動価格(時間単価)} \times \text{充電時間}$$

## 8 評価結果

各ケース 100 回ずつシミュレーションして評価する。評価基準は充電待ち時間平均値と各 EV 充電スタンドの収益の平均値を用いている。

【充電待ち時間】Case1 は、カーナビを使わない Case0 よりも待ち時間が大幅に減少した。Case2 と Case3 は、優先予約を使わない Case1 よりも待ち時間がそれぞれ 12%、60% 減少した(図 6)。

【充電スタンド収益】Case0 は充電の待ち時間が長く、充電時間が短いため、同じ固定価格の Case1 よりも利益が少ない。Case3 が、優先予約を使わない Case1 と優先予約一部導入の Case2 よりも充電スタンド利益平均値が高い(図 7)。

今回のシミュレーション結果により、時間優先と価格優先を選択できるスマート EV 充電予約システムを導入することにより、全体の充電待ち時間が減り、充電スタンド側の収益も上がる結果が得られた。

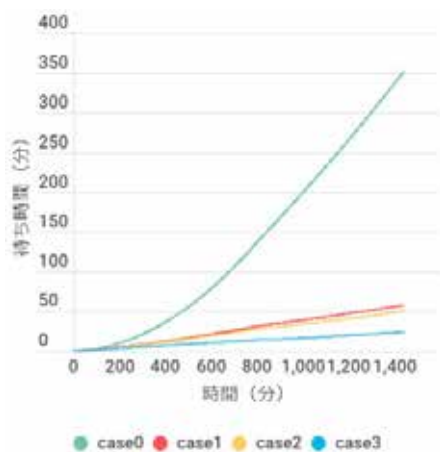


図 6: 各 EV 充電待ち時間の平均値

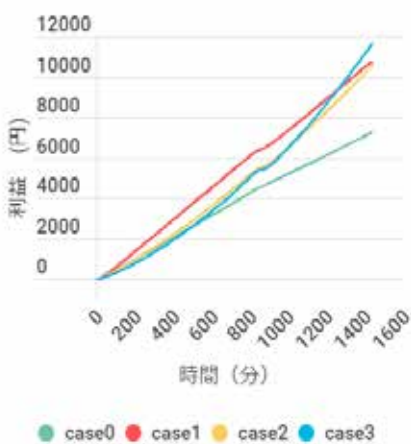


図 7: 各 EV 充電スタンド利益の平均値

## 9 まとめ

本論文では、充電待ち時間と充電スタンドへの移動時間の短縮、および、充電スタンドの増益の二つを目的とし、混雑度に応じた変動価格と EV ユーザーの好み(時間と価格)

に合わせた充電予約カーナビシステムを組み合わせるスマート EV 充電予約システムを提案した。提案手法の有効性は複数のモデルケースにより、マルチエージェントシミュレーションにより評価した。そして、時間優先と価格優先を選択できる充電予約カーナビシステムを導入することにより、全体の充電待ち時間が減り、充電スタンド側の収益も上がる結果が得られた。今後の研究方向は実際の様々な交通状況や自宅充電設備利用状況を踏まえ、より詳細に仮説検証していく予定である。

## 参考文献

- [1] 岡本博之, “世界のエネルギー情勢の長期展望—シェール革命を超えて—,” 名古屋市立大学 22 世紀研究所 評論集, pp. 1-18, 2017.
- [2] 奥田修司, “EV-PHV 普及に関する経済産業省の取組,” 2017.  
<http://www.chademo.com/wp2016/wp-content/japan-uploads/2017GA/2017GAMETI.pdf>  
(visited on 2020.09.01)
- [3] 経済産業省, 国土交通省, “EV/PHV 普及の現状について,” 自動車新時代戦略会議, 2018.  
<http://www.mlit.go.jp/common/001283224.pdf>  
(visited on 2020.09.01)
- [4] 経済産業省製造産業局自動車課, “電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の充電インフラ整備事業補助金について,” 2017.  
[https://www.meti.go.jp/information\\_2/publicoffer/review2017/html/h29\\_s6.pdf](https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2017/html/h29_s6.pdf)  
(visited on 2020.09.01)
- [5] 森川郁子, “日本の EV シフトに立ち塞がる集合住宅の重荷, 共同駐車場に充電設備は簡単に入らない,” 東洋経済新報社, 2018.  
<https://toyokeizai.net/articles/-/214568>  
(visited on 2020.09.01)
- [6] 土屋依子, 田頭直人, 池谷知彦, 馬場健司, 伊藤史子, “電気自動車の自宅での充電環境の確保に関する一考察,” 交通工学論文集, 2(3), pp. 1-10, 2016.
- [7] アイティメディア株式会社, “自販機と電気自動車用充電器を併設, ホーキングら 10 社がインフラ普及事業,” 2011.  
<https://www.itmedia.co.jp/promobile/articles/1103/09/news071.html>  
(visited on 2020.09.01)
- [8] T. Alexa and C. Liv, “Driving electric mobility forward: How a German start-up is transforming

- EV charging infrastructure.” *Energy News*, 35(3), pp. 11-13, 2017.
- [9] 中国自動車技術研究センター日本自動車研究所, “日中新エネ自動車と充電インフラ協働研究成果報告,” 日中省エネルギー・環境総合フォーラム, 2016.
- [10] 木山昇, 小林雄一, 青島弘和, 白井啓介, 柏山正守, “航続可能距離と充電時間を考慮した電気自動車向けルート探索手法”, *情報処理学会論文誌* 54(1), pp. 156-165, 2013.
- [11] 内田英明, 藤井秀樹, 吉村忍, “マルチエージェント交通シミュレーションにおける充電を考慮した EV の経路選択,” *人工知能学会論文誌*, 32(5), pp. AG16-I\_1-9, 2017.
- [12] H. Hayashi, T. Paul, S. Sakakibara, H. Aisu, and H. Yamada, “Modeling key players of highway EMS as MetaMAS™ agents that interact with traffic and power simulators.” *International Journal of Transportation*, 4(1), pp. 57-70, 2016.
- [13] R. Hiwatari, T. Ikeya and K. Okano, “A road traffic simulator to analyze layout and effectiveness of rapid charging infrastructure for electric vehicle,” *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2011.
- [14] マイボイスコム株式会社, “カーナビの利用に関する調査(第9回)/アンケートデータベース(MyEL),” 2018. [https://myel.myvoice.jp/products/detail.php?product\\_id=24504](https://myel.myvoice.jp/products/detail.php?product_id=24504)  
(visited on 2020.09.01)
- [15] 蔡詩傑, 林久志, “スマート EV 充電予約システムの提案と評価 —変動価格とナビシステムを利用した充電待ち時間の短縮—,” 第15回人工知能学会ビジネス・インフォマティクス研究会, 2020.

# ロードマッピング思考によるアイデア発想法

廣瀬 雄大<sup>\*,\*\*</sup>・ロバート・ファール<sup>\*\*</sup>・木下 裕介<sup>\*\*\*</sup>

## Roadmapping Thinking-oriented Idea Generation Method

Yuta Hirose<sup>\*,\*\*</sup>, Robert Phaal<sup>\*\*</sup> and Yusuke Kishita<sup>\*\*\*</sup>

### Abstract

This paper proposes a roadmapping thinking-oriented idea generation method designed for strategic theme identification and prioritisation. This paper begins to review some example patterns of modular and integral idea generation mapping based on the three-layered roadmap structure and discusses the role of systematic prioritisation in them. A structured method is then suggested for idea generation mapping to navigate strategic theme identification and prioritisation relating to sustainability-oriented innovation.

Keywords: Roadmapping, idea generation, systematic prioritisation, sustainability-oriented innovation, technology and strategic planning.

### 1 INTRODUCTION

Roadmapping is a structured visual mapping approach, which often involves a workshop-based process [1], to support innovation, technology and strategic planning in a systematic manner, used worldwide by many organisations for various purposes [2], including the recent trend for understanding and navigating sustainability-oriented innovation [3]. The first step when implementing workshop-based roadmapping is to identify and prioritise strategic themes through brainstorming and idea generation by using a multi-layered roadmap structure [4]. However, identifying and prioritising strategic themes relating to sustainability-oriented innovation is challenging. This is because particular steps are needed before prioritisation, such as identification of sustainability issues of interest and turning them into strategic themes in a business context including competitive advantages. There is a practical need to develop a structured process to navigate workshop participants to overcome this challenge especially when looking into technological innovation aiming for the long-term sustainability contributions.

Building upon the authors' previous research on strategic roadmapping for technology ventures and investors [5], this paper proposes a roadmapping thinking-oriented idea generation method designed for strategic theme identification and prioritisation. This paper begins to review some example patterns of modular and integral idea generation mapping based on the multi-layered roadmap structure and discusses the role of systematic prioritisation in them. Understanding the modular and integral idea generation mapping patterns together with the role of systematic prioritisation from the practical perspective provides workshop participants with the opportunity to generate and structure ideas in a systematic manner through visualisation for improved decision-making and strategy development. A structured method is then suggested for idea generation mapping to navigate strategic theme identification and prioritisation relating to sustainability-oriented innovation.

The structured method proposed in this paper is useful not only in part of workshop-based roadmapping but also in other workshops for brainstorming and idea generation. This research is

---

Received on October 3, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* ケンブリッジ大学, University of Cambridge

\*\*\* 東京大学, The University of Tokyo

ongoing, with future work suggested to conduct pilot workshops to test the approach in practice, and further exploration on possible mapping patterns and combinations with consideration of potential application areas, and to examine the timing to implement systematic prioritisation along the idea generation mapping process.

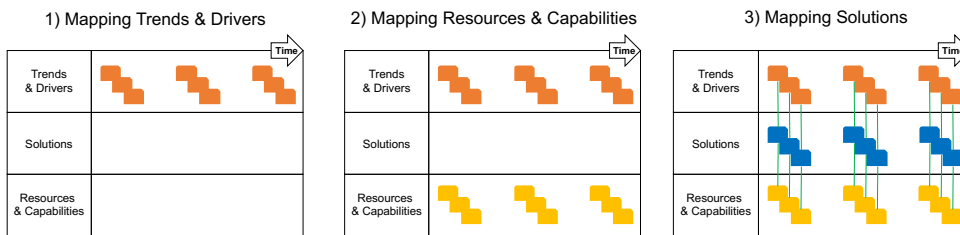
The remainder of this paper is as follows. Section 2 reviews some example patterns of modular and integral idea generation mapping and the role of systematic prioritisation based on the multi-layered roadmap structure. Section 3 then suggests a four-step

structured method to navigate strategic theme identification and prioritisation relating to sustainability-oriented innovation. Insights for future work are included in Section 4. This paper concludes with Section 5.

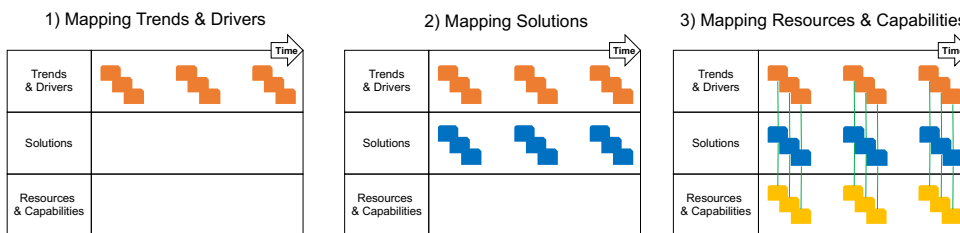
## 2 MODULAR AND INTEGRAL MAPPING PATTERNS

The fundamental purpose of implementing roadmapping is visualisation of strategy for decision-making [6], which represents contents decided from the result of mapping activities through workshop

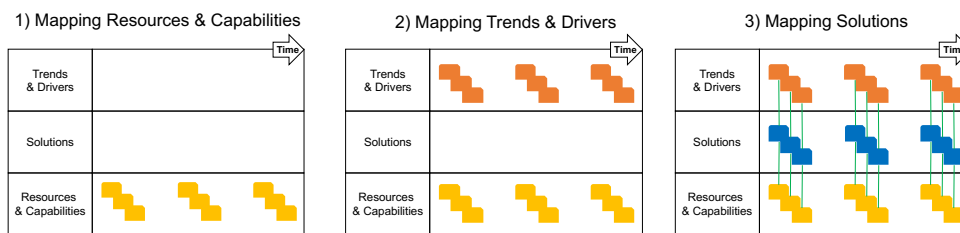
### Modular Mapping Pattern I



### Modular Mapping Pattern II



### Modular Mapping Pattern III



### Modular Mapping Pattern IV

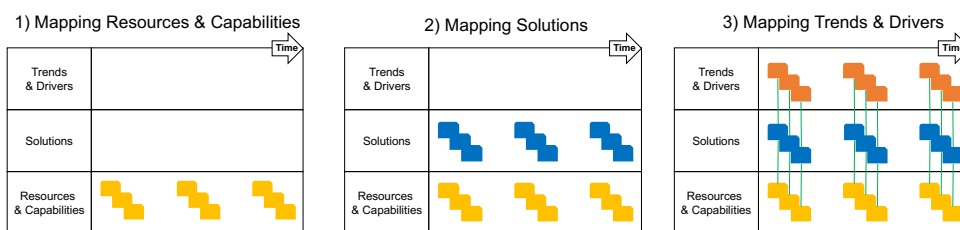


Figure 1: Example Patterns of Modular Idea Generation Mapping.

including sessions for brainstorming and idea generation. The mapped contents here consist of ideas from workshop participants in terms of trends and drivers (why), solutions (what), and resources and capabilities (how) based on a multi-layered roadmap structure. One of the limitations in brainstorming and idea generation when implementing workshop-based roadmapping is the lack of a structured process to understand and navigate the hierarchical structure of the mapped ideas for systematic understanding through visualisation to build up as the coherent contents supporting decision-making leading to improved strategy development.

This section explores how ideas can be mapped by workshop participants using the multi-layered roadmap structure, and how the hierarchical structure of ideas could be understood for systematic understanding through visualisation. The following sections review example patterns of idea generation mapping by using the modular thinking and integral thinking, inspired from the engineering design and architecture field [7].

## 2.1 Modular Mapping Patterns

Figure 1 shows some example patterns of how ideas can be mapped by employing the modular-inspired thinking, demonstrated on the multi-layered roadmap structure. The modular-inspired approach to idea generation mapping offers workshop participants to generate ideas consecutively for trends and drivers (why), solutions (what) and resources and capabilities (how), and then identify strategic themes based on the linkages and possible combinations between them. This corresponds to how ideas are generated and structured modularly for systematic understanding through visualisation in terms of trends and drivers (why), solutions (what) and resources and capabilities (how). There are at least four example patterns of how ideas can be mapped modularly on the three-layered roadmap structure, described as follows:

- *Modular Mapping Pattern I:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the ‘trends and drivers’ layer (why), then mapping ideas for the ‘resources and capabilities’ layer (how) to map ideas for the ‘solutions’ layer (what). With mapping ideas for the ‘solutions’ layer, it is achieved by considering the linkages and possible

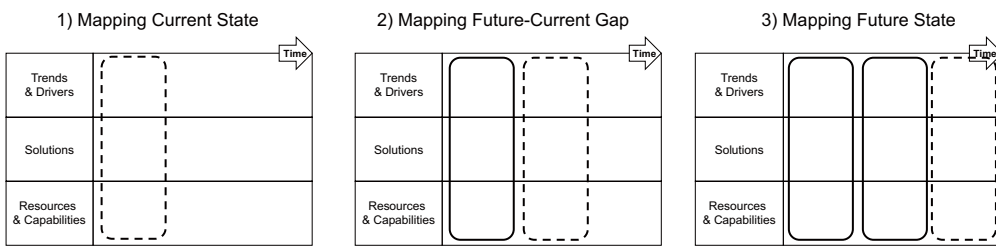
combinations between the ideas mapped for the ‘trends and drivers’ layer such as long-term visions, business goals or societal problems, and the ideas mapped for the ‘resources and capabilities’ layer such as technologies, skills and finance. This idea generation mapping pattern is often used in practice for exploring new business and strategic opportunities, for example, when workshop participants generate and structure ideas for the ‘solutions’ layer by using the ideas mapped on the ‘trends and drivers’ layer and on the ‘resources and capabilities’ layer as the basis to navigate idea generation mapping for the ‘solutions’ layer to identify strategic themes.

- *Modular Mapping Pattern II:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the ‘trends and drivers’ layer (why), like the Modular Mapping Pattern I, but the next step is to map ideas for the ‘solutions’ layer (what) as a means of meeting needs or solving problems based on the ideas mapped for the ‘trends and drivers’ layer. The final step is to map ideas for the ‘resources and capabilities’ layer (how) to support the ideas mapped for the ‘solutions’ layer. This idea generation mapping pattern is often used in practice for exploring new business and strategic opportunities, for instance, when the ‘market-pull’ strategic orientation is employed by workshop participants to identify strategic themes.
- *Modular Mapping Pattern III:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the ‘resources and capabilities’ layer (how) and then mapping ideas for the ‘trends and drivers’ layer (why). The final step is to generate ideas for the ‘solutions’ layer (what). Similar to the Modular Mapping Pattern I, with mapping ideas for the ‘solutions’ layer, it is achieved by considering the linkages and possible combinations between the ideas mapped for the ‘trends and drivers’ layer and the ideas mapped for the ‘resources and capabilities’ layer. The difference between the Pattern I and III is that the latter emphasises more on ideas mapped on the ‘resources and capabilities’ layer as the basis to navigate idea generation mapping for the ‘trends and drivers’ layer.

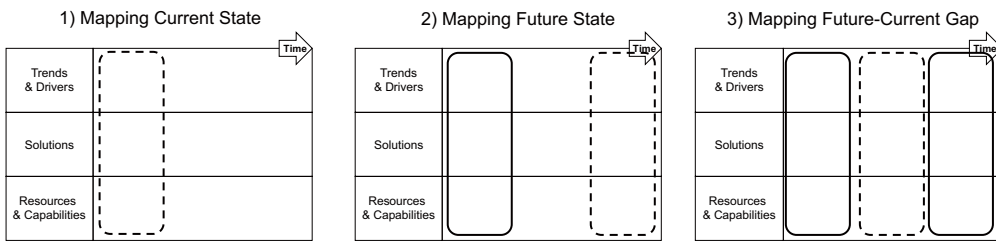
- Modular Mapping Pattern IV:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the ‘resources and capabilities’ layer (how), like the Modular Mapping Pattern III, but the next step is to generate ideas for the ‘solutions’ layer (what). The final step is to map ideas for the ‘trends and drivers’ layer (why). This pattern is often used in practice for exploring new business and strategic opportunities, for example, when the ‘technology-push’ strategic orientation is employed by workshop participants to identify strategic theme.

Overall, the example patterns of modular idea generation mapping, shown in Figure 1, provide insights for how ideas can be mapped separately for various purposes on the multi-layered roadmap structure in terms of trends and drivers (why), solutions (what) and resources and capabilities (how). This leads to support the hierarchical structure of the ideas to build up as coherent strategic themes. Further possible patterns of modular idea generation mapping will be examined as future work, to be discussed in Section 4.

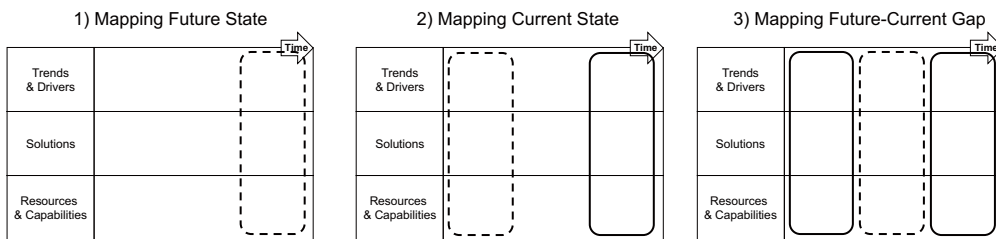
**Integral Mapping Pattern I**



**Integral Mapping Pattern II**



**Integral Mapping Pattern III**



**Integral Mapping Pattern IV**

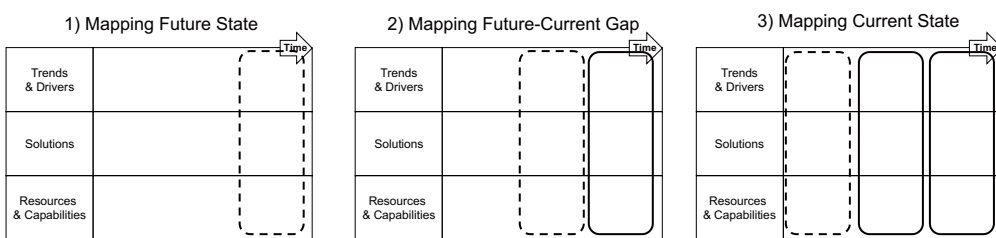


Figure 2: Example Patterns of Integral Idea Generation Mapping.

## 2.2 Integral Mapping Patterns

Figure 2 shows some example patterns of how ideas can be mapped by employing the integral-inspired thinking, demonstrated on the multi-layered roadmap structure. The integral-inspired approach to idea generation mapping offers to generate ideas simultaneously for trends and drivers (why), solutions (what) and resources and capabilities (how), and then identify strategic themes based on them. This corresponds to how ideas are generated and structured integrally for systematic understanding through visualisation in terms of trends and drivers (why), solutions (what) and resources and capabilities (how). There are at least four example patterns of how ideas can be mapped integrally, which are described as follows:

- *Integral Mapping Pattern I:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the current state, mapping ideas for the current-future gap and then mapping ideas for the future state. This idea generation mapping pattern is often used in practice, for instance, combined with the ‘technology-push’ strategic orientation when the forecasting approach is employed by workshop participants to identify strategic themes in terms of why, what and how.
- *Integral Mapping Pattern II:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the current state, like the Integral Mapping Pattern I, but the next step is to map ideas for the future state and then finally map ideas for the future-current gap. This pattern is often used in practice, for example, to identify strategic themes by using the forecasting approach but with an emphasis on filling the future-current gap between the identified future state and the identified current state.
- *Integral Mapping Pattern III:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the future state, mapping ideas for the current state, and then mapping ideas for the future-current gap. This idea generation mapping pattern is often used in practice, for instance, combined with the ‘market-pull’ strategic orientation when the back-casting approach is employed by workshop participants to identify strategic themes in terms of why, what and how.

- *Integral Mapping Pattern IV:* This idea generation mapping pattern starts with mapping ideas for the future state, like the Integral Mapping Pattern III, but the next step is to map ideas for the future-current gap. The final step is to map ideas for the current state. This idea generation mapping pattern is often used to identify strategic themes, for instance, by using the back-casting approach but with an emphasis on filling the future-current gap between the identified future state and the identified current state.

Overall, the example patterns of integral idea generation mapping provide insights for how ideas, with each consisting of a set of why, what and how as a potential strategic theme, can be mapped on the multi-layered roadmap structure in terms of timeline including the current state, the future-current gap and the future state. Further possible patterns of integral idea generation mapping will be examined as future work, to be discussed in Section 4.

## 2.3 The Role of Systematic Prioritisation

As discussed in Section 2.1 and Section 2.2, the example patterns of modular and integral idea generation mapping provide workshop participants with the opportunity to generate and structure ideas in a systematic manner through visualisation to identify strategic themes. This is done by structuring modular and integral linkages and possible combinations of the contents being discussed in terms of why, what and how.

However, the purpose of implementing a workshop-based roadmapping is not only about idea generation and brainstorming, which often leads to divergence of the contents being discussed, but more importantly for improved strategy development, which requires convergence leading to decision-making [8]. To navigate idea generation and brainstorming to achieve improved decision-making and strategy development, there is a practical need for developing a structured process to overcome this challenge. Otherwise it may lead to divergence only and result in undesired and poor workshop outcomes.

To overcome this practical challenge, systematic prioritisation should be a promising way to support



workshop participants to carefully make decisions based on strategic choices from their organisational viewpoint. Previous studies indicate that roadmapping generally employs a democratic process such as voting, involving all workshop participants to assess each content being discussed quantitatively and qualitatively, identifying the most relevant outputs for their organisations [9-10]. Figure 3 suggests how the role of systematic prioritisation and non-systematic prioritisation can come into play in the modular and integral mapping, which are described as follows:

- *Non-Systematic Prioritisation in Modular Mapping:* The modular mapping approach without systematic prioritisation can be used when idea mapping is done modularly but outputs are prioritised on an ad-hoc basis rather than systematic prioritisation. In practice, this approach is useful, for instance, at the early stage of brainstorming and idea generation to explore new business and strategic opportunities, positioned relatively towards divergence.
- *Systematic Prioritisation in Modular Mapping:* With the modular mapping approach, systematic prioritisation plays an important role in practice for having the impact of convergence to prioritise the ideas mapped for the ‘trends and drivers’ layer, the ideas mapped for the ‘resources and capabilities’ layer separately before prioritising the ideas mapped for the ‘solutions’ layer as strategic themes. It is important to note that the modular mapping pattern with systematic

prioritisation and non-systematic prioritisation shown in Figure 3 corresponds to the Modular Mapping Pattern I and III shown in Figure 1, for representation purposes in this section.

- *Non-Systematic Prioritisation in Integral Mapping:* The integral mapping approach without systematic prioritisation can be useful, for example, when a specific topic is given as an assumption and boundary to conduct, on an ad-hoc basis, brainstorming and idea generation for identifying strategic themes in terms of why, what and how. It is positioned relatively towards divergence.
- *Systematic Prioritisation in Integral Mapping:* With the integral mapping approach, systematic prioritisation plays an important role in practice for having the impact of convergence on idea generation and brainstorming. The first step is the same as the integral mapping approach without systematic prioritisation described above. The next step is to prioritise the ideas mapped for the ‘solutions’ layer as strategic themes by separating out the ‘why-what-how’ combined set of ideas to re-assess the ideas mapped for the ‘trends and drivers’ layer and the ideas mapped for the ‘resources and capabilities’ layer separately. This approach is useful, for instance, when a specific topic is given as an assumption and boundary for idea generation mapping, while evaluation is needed before final decision-making.

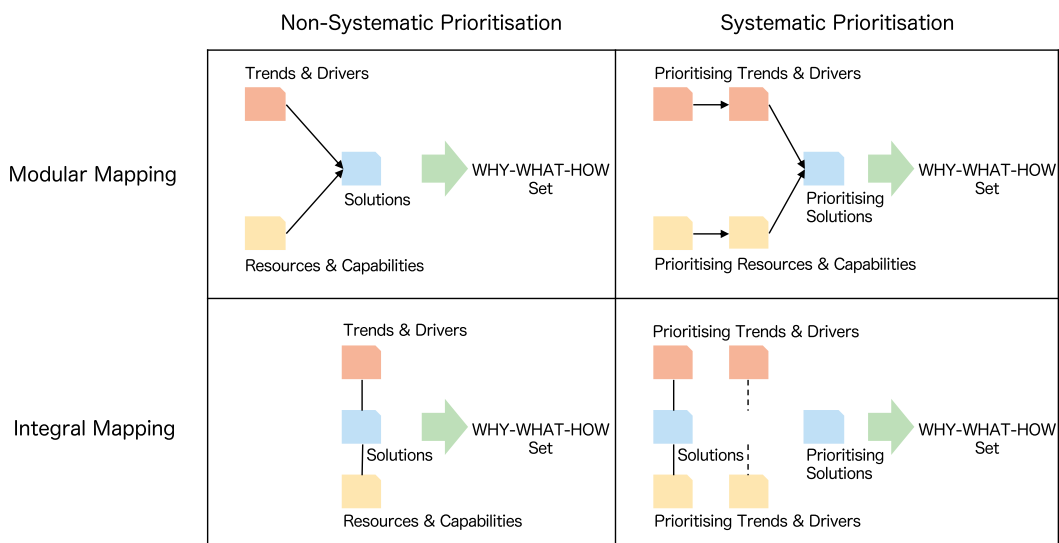


Figure 3: Modular and Integral Idea Generation Mapping with and without Systematic Prioritisation.

It is important to note that whether to conduct a session with systematic prioritisation or non-systematic prioritisation in idea generation mapping depends on the workshop scope and aim to navigate the effect of divergence for brainstorming and idea generation purposes, or convergence for evaluation and decision-making purposes.

This section has provided one way of utilising the systematic prioritisation approach in brainstorming and idea generation based on the multi-layered roadmap structure using the modular and integral mapping patterns. Figure 3 is expected to provide a practical foundation to develop a structured process for workshop participants to conduct brainstorming and idea generation through visualisation in a systematic manner turning into coherent contents supporting improved decision-making and strategy development within a given timeframe.

### 3 CASE OF SUSTAINABILITY-ORIENTED INNOVATION

Technological innovation is of vital importance globally for accelerating and sustaining economic growth [11-12], leading to a variety of social, economic and environmental benefits [13-14]. These benefits include new business and industrial development, creation of employment, economic wealth, environmental protection and a higher quality of life through new technological and innovative solutions, contributing to the long-term sustainability. One of the fundamental drivers to accelerate technological innovation is the emergence of technology ventures [15], which include small and medium-sized enterprises (SMEs), start-up companies, university spin-outs and corporate innovation projects and ventures in and of large technology-intensive firms pursuing technology commercialization and business development [16].

Navigating emerging technology ventures to accelerate innovation towards successful commercialization and business development is challenging worldwide, especially with those aiming for sustainability-oriented innovation [17]. This section suggests a possible combination of the idea generation mapping patterns shown in Figure 3 as a structured method to identify and prioritise strategic themes for characterising sustainability-oriented

innovation. There are four steps designed in the structured process: 1) Assumption and Boundary Setting, 2) Theme Range Prioritisation, 3) Main Theme Prioritisation and 4) Project Theme Prioritisation. These are shown in Figure 4, from identifying sustainability issues of interest turning into a business context in terms of annual sales target and profitability target. The following describes these four steps with a hypothetical case example for demonstration.

#### 3.1 Step 1 – Assumption and Boundary Identification

First, it is important to identify assumption and boundary setting prior to strategic theme identification and prioritisation. By using the modular mapping approach without systematic prioritisation for divergence purposes, ideas can be mapped separately for the ‘trends and drivers’ layer, the ‘resources and capabilities’ layer, and the ‘solutions’ layer. As the result, required actions with resources and capabilities needed can be identified together with sustainability issues of interest, target country and region. These can be considered as the assumption and boundary setting for workshop participants to conduct brainstorming and idea generation further in the next step.

For a hypothetical case example, sustainability issues of interest here could be the increasing trend of industrial wastes having negative impacts on the environment, with a target country and region as Tokyo, Japan. Required actions would then be to reduce, reuse and recycle (3R) the industrial wastes with relevant 3R technologies as the needed resources and capabilities. These are the assumption and boundary setting for this particular hypothetical case example.

#### 3.2 Step 2 – Theme Range Prioritisation

Based on the assumption and boundary setting identified in Step 1, the next step is to explore and prioritise possible solutions to set the theme range for consideration. In this step, the modular mapping approach with systematic prioritisation can be employed for convergence purposes. Ideas can be mapped and prioritised separately on the ‘trends and drivers’ layer and the ‘resources and capabilities’ layer to map ideas on the ‘solutions’ layer to identify and

prioritise target market(s), range of possible solutions, and resources and capabilities to support the solutions.

For the hypothetical case example continued from Step 1, the target market would be industrial wastes produced at the Toyosu Fish Market (formerly known as Tsukiji Fish Market located in Tsukiji) in Tokyo, Japan. For instance, approximately 26,101 tons per year of industrial wastes has been produced between 2018 and 2019<sup>1</sup>. Microbial management and incineration technologies can then be suggested as the range of possible solutions especially for treating organic wastes. The resources and capabilities would be relevant microbial management technologies, skills and finance to acquire, run and monetise the possible solutions. The theme range in this case is the range of possible solutions in the field of microbial management technologies and incineration technologies for the Toyosu Fish Market, which is continuously producing significant amount of organic wastes every year.

### 3.3 Step 3 – Main Theme Identification

By using the theme range prioritised in Step 2, the integral mapping approach without systematic

prioritisation is used to identify and prioritise the main theme for divergence purposes. Ideas can be generated simultaneously for the ‘trends and drivers’ layer, the ‘resources and capabilities’ layer, and the ‘solutions’ layer. As the result, main theme can be identified in terms of target customers and business needs, customer value proposition (narrowed down from the range of possible solutions prioritised in Step 2), and resources and capabilities needed for the customer value proposition. In the next step, these can be used as the basis for brainstorming and idea generation to finally prioritise a project theme.

For the hypothetical case example continued from Step 2, the target customers would be the fish and grocery dealers at the Toyosu Fish Market having practical needs to manage daily organic wastes while keeping the waste management cost as low as possible and minimising negative impacts on the environment. The customer value proposition in this case could then be to offer a microbial management service of organic wastes at a low-price range to make the waste management practice sustainable for the fish and grocery dealers at the Toyosu Fish Market. The

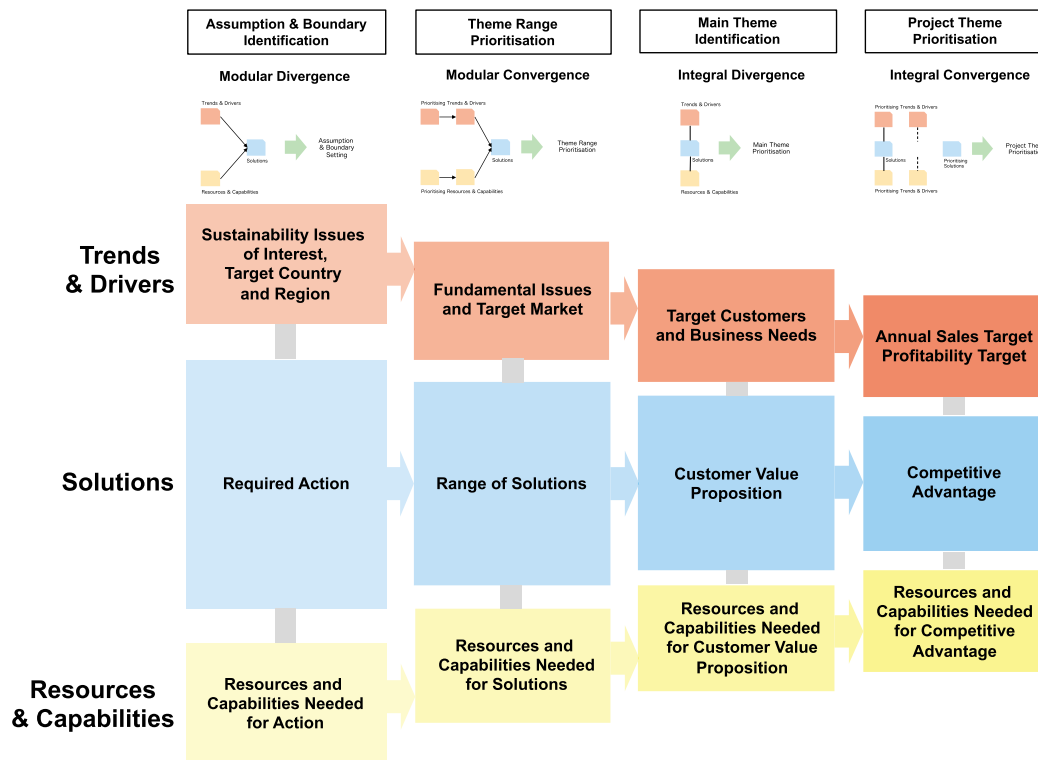


Figure 4: Four-Step Method Suggested for Strategic Theme Identification and Prioritisation.

<sup>1</sup> Environmental Assessment of Toyosu Fish Market: [https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/assessment/information/tosho/kohyo/242\\_toyosu\\_tosho.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/assessment/information/tosho/kohyo/242_toyosu_tosho.html)

resources and capabilities would be those needed in order to realise the identified customer value proposition.

#### 3.4 Step 4 – Project Theme Prioritisation

By using the main theme identified in Step 3, the integral mapping approach with systematic prioritisation can be used for convergence purposes to identify and prioritise a project theme. Ideas can be generated simultaneously and prioritised for the ‘trends and drivers’ layer, the ‘resources and capabilities’ layer, and the ‘solutions’ layer. As the result, a project theme can be identified including annual sales target and profitability target, competitive advantage, and resources and capabilities needed for achieving the competitive advantage.

For the hypothetical case example continued from Step 3, over the next five years the annual sales target could be set as one billion Japanese yen per annum with 20% profitability target. The competitive advantage to achieve these business targets is to realise more than 99% of the microbial treatment rate by developing an efficient and effective solution with publicly available microorganisms at reasonable prices, with the residue used as compost for the agriculture industry, developing a sustainable business model as a whole.

#### 4 INSIGHTS FOR FUTURE WORK

The structured method proposed in this paper is expected to be useful not only in part of workshop-based roadmapping but also in other workshops for brainstorming and idea generation. Future work is suggested to conduct pilot workshops to test the four-step idea generation method described in Section 3 for characterising sustainability-oriented innovation to navigate strategic theme identification and prioritisation. The method should be tested in terms of utility, applicability and stability for further refinement for practical use in industry. The degree and timing of systematic prioritisation in the idea generation mapping process should also be examined to improve effectiveness and efficiency of strategic theme identification and prioritisation.

Also, the modular and integral mapping patterns as well as previous studies such as [18] suggest that there

are further possible mapping patterns and combinations that could be characterised for further potential application areas, depending on the roadmapping workshop scope and aim with expected outcomes. Future work is suggested to identify and examine all the possible mapping patterns and combinations with consideration of potential application areas.

Lastly, the scientific reasoning behind this research could be explored further to examine, in workshop-based roadmapping, why people should need to have the hierarchical structuring of ideas in terms of modular and integral thinking and systematic prioritisation through visualisation to make decisions and for improved strategy development.

#### 5 CONCLUDING REMARKS

This paper has proposed a roadmapping thinking-oriented idea generation method designed for strategic theme identification and prioritisation. Example patterns of idea generation mapping have been discussed in terms of how ideas can be mapped modularly and integrally by workshop participants based on the multi-layered roadmap structure.

A possible combination of the idea generation mapping patterns has then been suggested as a structured method for strategic theme identification and prioritisation relating to sustainability-oriented innovation. The method covers from identifying sustainability issues of interest and turning them into strategic themes in a business context. A hypothetical case example with microbial management technologies for treating industrial organic wastes in Tokyo, Japan was included for demonstration.

This research is ongoing, with future work suggested to conduct pilot workshops to test the approach in practice, and further exploration on the possible modular and integral mapping patterns and combinations with consideration of potential application areas, and to examine the timing of systematic prioritisation along the idea generation mapping process.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT) and the University of Cambridge's Strategic Technology and Innovation Management (STIM) Consortium for supporting this research.

## REFERENCES

- [1] N. Gerdtsri, R. S. Vatananan, and S. Dansamasatid, "Dealing with the Dynamics of Technology Roadmapping Implementation: A Case Study," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, No. 1, pp. 50-60, 2009.
- [2] R. Phaal, C. Farrukh and D. R. Probert, "Technology Roadmapping – A Planning Framework for Evolution and Revolution," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 71, No. 1-2, pp. 5-26, 2009.
- [3] M. Despeisse, M. Yang, S. Evans, S. Ford and T. Minshall, "Sustainable Value Roadmapping Framework for Additive Manufacturing," *Procedia CIRP*, Vol. 61, pp. 594-599, 2017.
- [4] R. Phaal, C. J. P. Farrukh, and D. R. Probert, "Strategic Roadmapping: A Workshop-based Approach for Identifying and Exploring Strategic Issues and Opportunities," *Eng. Manage. J.*, Vol. 19, No. 1, pp. 3-12, 2007.
- [5] Y. Hirose, R. Phaal, Y. Okada and Y. Kishita, "Strategic Roadmapping for Technology Ventures and Investors," AIIT Working Paper Series, No. 13, pp. 169-178, 2019.
- [6] R. Phaal and G. Muller, "An Architectural Framework for Roadmapping: Towards Visual Strategy," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, No. 1, pp. 39-49, 2009.
- [7] R. Phaal and S. Yoshida, "Architecting Strategy: Visual Form and Functions of Roadmaps," PICMET'14 Conference, Kanazawa, 27-31 July 2014.
- [8] C. Kerr, C. Farrukh, R. Phaal and D. Probert, "Key Principles for Developing Industrially Relevant Strategic Technology Management Toolkits," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 80, No. 6, pp. 1050-1070, 2013.
- [9] G. McKenzie, A. Gill and R. Phaal, "Prioritisation by 'Dot-Voting' in Roadmapping Workshops," Centre for Technology Management Working Paper Series, Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 2019.
- [10] I. M. Ilevbare, D. Probert and R. Phaal, "Towards Risk-Aware Roadmapping: Influencing Factors and Practical Measures," *Technovation*, Vol. 34, No. 8, pp. 399-409, 2014.
- [11] N. Rosenberg, "Innovation and Economic Growth. Innovation and Economic Growth", Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2004.
- [12] P. Aghion, P. A. David & D. Foray, "Science, Technology and Innovation for Economic Growth: Linking Policy Research and Practice in 'STIG Systems'". *Research Policy* Vol. 38, pp. 681-693, 2009.
- [13] OECD, *Innovation for Development*, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2012.
- [14] UNIDO, *Inclusive and Sustainable Industrial Development: Creating Shared Prosperity / Safeguarding the Environment*, Vienna: United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2014.
- [15] J. M. Utterback, *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business Press, 1996.
- [16] M. P. Hekkert, R. A. A. Suurs, S. O. Negro, S. Kuhlmann & R. E. H. M. Smits, "Functions of Innovation Systems: A New Approach for Analysing Technological Change," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 74, pp. 413-432, 2007.
- [17] R. Adams, S. Jeanrenaud, J. Bessant and D. Denyer, "Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review," *International Journal of Management Review*, Vol. 18, No. 2, pp. 180-205, 2015.
- [18] Y. Okada, Y. Kishita, R. Phaal, Y. Nomaguchi, T. Yano and K. Ohtomi, "Supporting Roadmap Design for Sustainable Futures using Backcasting," EcoDesign 2019 International Symposium, Tokyo, 25-27 November 2019.

# IoT を利用した小規模農場における農業教育支援について

石原 賢一\*・安井 健人\*・古杉 佳久\*・  
ゲッテゲンス 光一郎\*・堀田 昌直\*・佐野 博紀\*・  
村越 英樹\*

## Agricultural Education Support for Allotment Garden using IoT

Kenichi Ishihara \*, Kento Yasui\*, Yoshihisa Kosugi\*, Koichiro Gottgens\*,

Masanao Hotta \*, Hiroki Sano\* and Hideki Murakoshi\*

### Abstract

Beginners in farming, who are experiencing it at an allotment garden, are suffered from the necessity to judge the validity of growing conditions like soil moisture level, sunshine condition or soil temperature trend, even if they acquire many key points to notice in growing crops from an well experienced farmer, who has acquired the knowledge and skills enough to judge the circumstances. We build an IoT system to digitize those environmental characteristics, humidity in %, sunshine in lux and temperature in degree(°C), and record those data graphically on the server. With the aid of this IoT system, they can monitor the data of their gardens on the Web and judge the circumstances with confidence whether those values are appropriate to crops or not.

Keywords: IoT, growing condition, digitize, soil humidity, soil temperature.

### 1 はじめに

都市近郊では市民農園という仕組みを利用して、野菜や果物などの栽培を多くの農業初心者が楽しんでいる。しかしながら、初心者である彼らにとっては耕作地の土壌の湿度や水分量の適否を正しく判断することは困難である<sup>[1]</sup>。一部の市民農園では、経験豊富な農業従事者に依頼して、水分量や肥料の使い方など栽培のノウハウを初心者に伝授する機会を設けているのだが、言葉による説明では、両者の経験値の差を埋めることはできない。村越 PT では千葉市にある一市民農園と連携し、耕作地の土壌湿度、土壌温度、日照量などを数値化して Web 上に開示する IoT システムを構築し、農業技術伝承を補完する試み<sup>[1]</sup>を実施した。本システムにより、耕作地の土壌の状態や周辺環境データの見える化をすることに成功したので本稿で報告する。本稿第 2 章では、連携先となった市民農園である「農業塾」を紹介する。第 3 章では、土壌状態などの取得を目的とした、土壌情報の見える化システムの構想について概説する。第 4 章では、予備実験システムの試作について記載する。予備実験により、IoT 技術を利用した見える化システムの構築に関する多くの知見を得た。第 5 章では、「農業塾」に実装したシステムについて詳細に述べると共に、実験結果を示し、考察する。第 6 章は、

本稿のまとめと今後の課題である。

### 2 農業塾

近年、市民農園という言葉をよく見聞するがこれにも様々な運営方法がある、1 坪ほどの土地を無料で貸し出すもの、農家が自分の土地で会員を募り、種まきと収穫時のみ参加して、途中の生育期間の手入れは農家が行う方法、また、土地を貸し出して、本格的に農作業の方法を 1 から教える有料市民農園などである。今回、連携事業を行うことになった農園は最後のタイプであり、一定期間修業した後、近くの農園を借り自分で農作業を日常的に続け、恒常的に野菜栽培ができることを目指す市民農園である。会員の多くは耕作地とは離れた距離に住んでおり頻繁に監視、管理することは難しい状況である。自分の耕作地の野菜の生育状況や生育環境が自宅で判れば効率的な管理ができる。IoT システムの実現は農業技術伝承と遠隔監視の 2 点で有効な手段である。連携の相手先は千葉県花見川区武石にある。活動している人数は約 70 人程度、月謝制で運営されている、図 2 は農業塾の写真であり、生育が良好なところ、それほどでもないところが入り混じっており、市民農園の典型である。

Received on October 04, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology



図 2:農業塾(5月)

### 3 システムの構想

5月から断続的に話し合いをはじめ多くの情報を共有しながら農業塾の現状や問題点, IoT システムの構想などを話合った。以下に主な要点を示す。

- 1) 土壌管理, 生産物生育状況管理・監視ができていない
- 2) 圃場の状態の可視化
- 3) 農作物の生産ノウハウ蓄積及びその伝達方法が複雑すぎて伝わらない
- 4) 利用者同士が(気持的)に交流できるコミュニティがない
- 5) センシングデバイスによる土壌情報の可視化はできないか
- 6) オンラインコミュニティが作れないか
- 7) 体験学習を効果的にするe-Learning が作れないか
- 8) 塾の卒業生が休眠農地の積極利用で, 耕作放棄農地の減少化

9) 引いては農業の後継者不足問題への一助にならないか

などである。これらのなかから, 本 PT では上記 1)に焦点を絞って IoT システムを構築することになった。4),5),6)に関しては農業塾が担当した。農業関係における IoT の事例はすでに多く実施報告されているが, それらは, 大規模農業, 工業的農業での実績であり, 小規模なものは手作りで対応するのが妥当である。複数のセンサを選定してデバイス層を構築し, それらとの信号交信と広域ネットワークとの交信を行うフロントネットワーク層の構築を行った。広域ネットワークから IoT プラットフォームおよびアプリケーション開発は農業塾が担当した。これにより農業塾 IoT システムにおいて土壌や周辺環境のデータの見える化に成功した。土壌情報を計測するにあたり何を対象にするか問題点を検討した<sup>2)</sup>。以下の 10 項目が検討した問題点である。

- 1) 水分量(根腐れ病を未然に防ぎたい)
- 2) 酸性度(pH 値)
- 3) 日照度
- 4) 気温
- 5) 現場の映像
- 6) 塩害(潮風による塩害)
- 7) 害虫(有機農法にこだわるので農薬使用は禁止)
- 8) 害獣(カラス, 土竜, 鼠)
- 9) 窃盗(野菜, 農具, 設備等)
- 10) 電気電導度(EC 値)

これらの中から, 土壌水分量, 日照度, 気温, pH(センサが入手できれば)の 4 種類を IoT システムに取り入れることとした。また 5)現場の映像は監視カメラ等が現地で盗難されており今回は断念した。7)害虫, 8)害獣については 5)現場の

## IoT 農場管理ソリューションのシステムアーキテクチャ

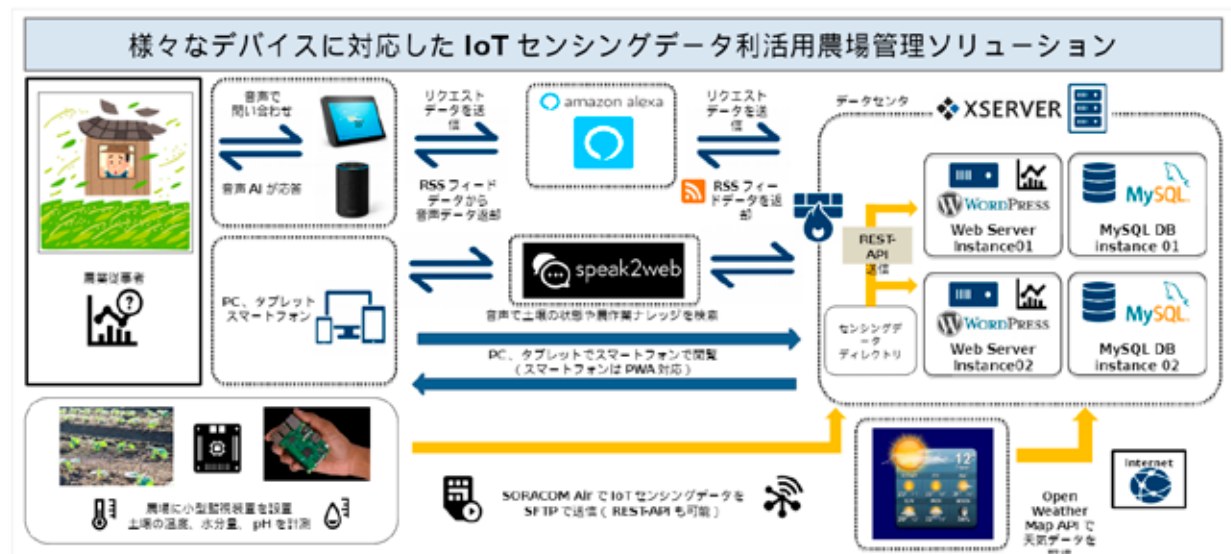


図 1:IoT システムイメージ図

映像に関連する為今回は除外した。8)害獣についてはセンサシステムをワイヤレス化する事で対応した。6)塩害については 2)pH との相関を観ていく事とした。9)窃盗については直接土壌とは関係無いので今回除外した。センサシステムの窃盗については運用方法にて対応した。以上を踏まえて全体構想を作成した、その全体構想図を図1に示す。

#### 4 予備実験

今回のシステム構築に当たり、予備実験を行った。予備実験の目的として、各デバイスの挙動の確認、オープンサーバを利用したデータの流れ、グラフ表示機能を利用した見える化の確認、屋外運用での問題点の確認を行った。また実際には降雨により土壌水分量に変化するがセンサの挙動を確認する為、制御機構を組み込み散水機能も取り付けた。

##### 4.1 予備実験場について

モックアップによる予備実験を行うに当たり、実験場である千葉の市民農園では頻繁なデバイスの回収が困難である為、メンバーの持つ埼玉にある畑を予備実験として利用する事とした。図3の写真は実際の畑の様子である。



図 3:予備実験場の外観

##### 4.2 予備実験システム

予備実験システムは Arduino を用いた市販キットを利用して簡易システムを汲み上げた。以下に予備実験システムの機能ブロック図を図4に示す。

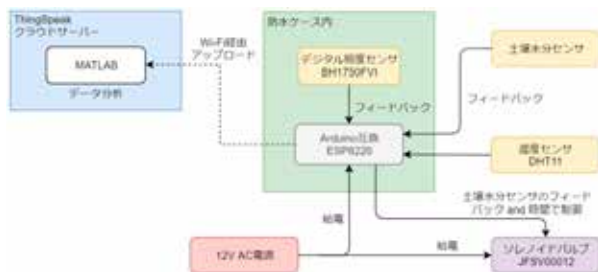


図 4:予備実験システム機能ブロック図

Arduino マイコンを中心とした配線図写真を図5に示す。

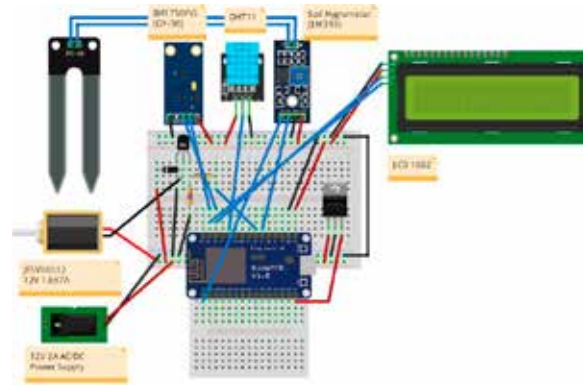


図 5:予備実験システム配線図

図5を元にした回路図を図6に示す。

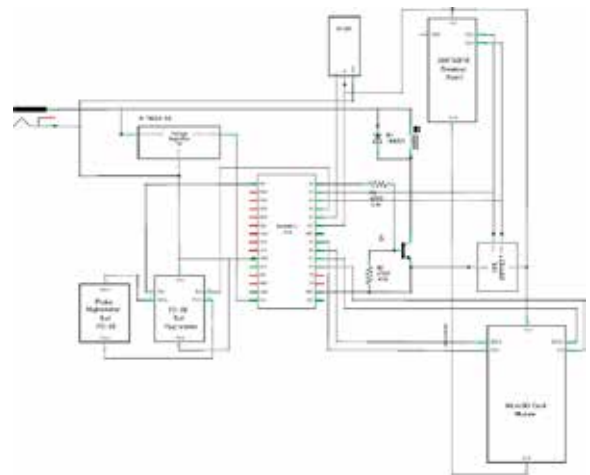


図 6:予備実験システム回路図

図5に示した構成だけでは通信障害時にデータが消滅するので、図6には SDC カード Module を利用し通信不能時は計測データを保存する機能を追加している。

##### 4.3 予備実験システムの流れ

予備実験システムの流れとしては、各センサからのデータを集計解析し散水量をコントロールする。またセンサデータをネットワーク経由でアップロードを行い、アップロード値と温度計等を用いた実測値を比較して検証を行った。以下に予備実験システムの流れ図を図7に示す。

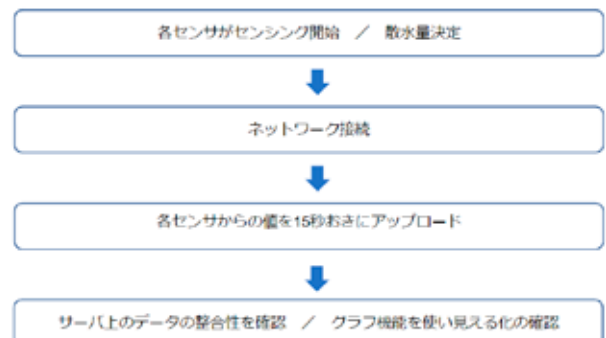


図 7:予備実験システムの流れ



#### 4.4 予備実験の様子

実際に作成したデバイスを設置して予備実験場にて動作確認を行った。今回の実験では日照、湿度、気温、土壌水分量を測定し散水量を制御している。また各測定データはオープンサーバへアップロードしている。図8の写真は畑に設置したデバイスの様子である。



図 8:予備実験場のデバイスの様子

今回の予備実験ではセンサの性能を確認する為に市販の計測器を用いて計測値の差異を確認した。図9の写真は土壌水分量を確認している様子である。



図 9:予備実験の水分量確認の様子

また土壌水分量は急速な変化が起こらない為、散水機能を用いて土壌水分量の変化を計測した。図10の写真は散水機能により予備実験場に散水している様子である。



図 10:予備実験場での散水の様子

#### 4.5 予備実験結果

予備実験を経て、各デバイスの挙動確認、オープンサーバへのデータ蓄積、データのグラフ表示による簡易的な見える化の確認、屋外運用の問題点の洗い出しを行うことが出来た。これによりIoTシステムの構築の着手が可能となった。図11に今回蓄積したデータのグラフを示す。

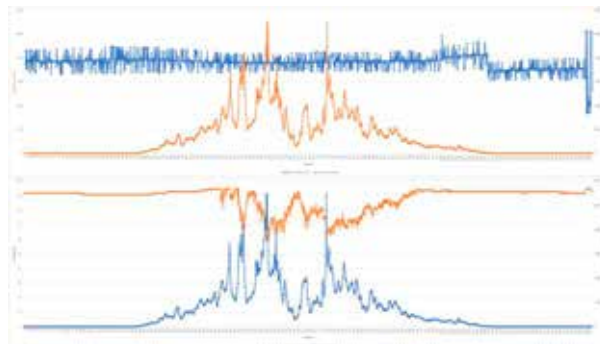


図 11:予備実験で蓄積されたデータプロット

#### 4.6 予備実験考察

今回の予備実験に於いて、土壌データを測定しデータをアップロードして、そのデータをグラフ化する事を確認した。図12にそのグラフの一部を示す。グラフをみると日の出、日の入り、散水時にグラフが変化している事が解る。一連の流れを確認したので本番のIoTシステムの構築に目途が立った。またこの予備実験に於いて課題も見つかリ、外での運用での雨(漏電)対策、デバイスの発熱対策、デバイスの熱に惹かれてダンゴムシが大量に寄ってくるなどもあり、デバイスケースの密封性と放熱性が重要であることを確認した。

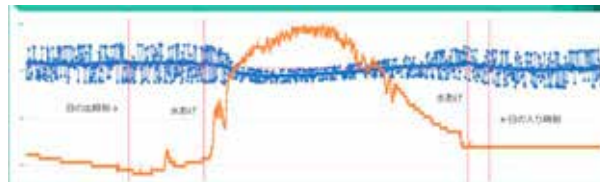


図 12:土壌データグラフ 青:水分量 橙:照度

#### 4.7 予備実験を経て

次のステージは、分散配置のセンサからの信号収集手法の確立である。農地という関係上、無線での情報のやり取りでなくてはならない。現在の近距離通信の種類をその到達距離と通信速度で分類表示したものが図13である。

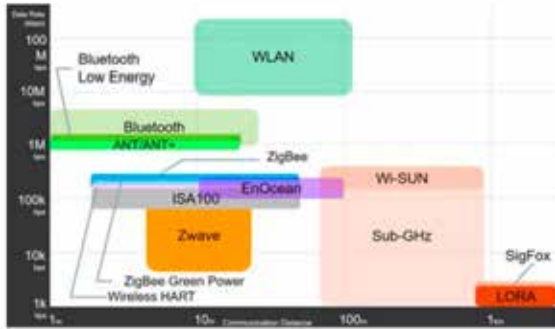


図 13:各種近距離通信方法の比較[4]

農業塾には ZigBee, WLAN, EnOcean, ISA100, Zwave, などが適していると考えられる。今回は入手が容易な ZigBee[8]を採用する事とした。予備実験を経て各センサの選定も行った。選定したセンサと簡単な性能を以下に上げる。

- 1) 土壌水分センサ[5]
  - ・型名 SKU:SEN0193
  - ・方式容量式
  - ・動作電流5mA
  - ・寸法 23mmW×99mmL
- 2) pH センサ[6]
  - ・型名 SKU SEN0161
  - ・測定レンジ0~14pH
  - ・精度±0.1pH(25℃)
  - ・レスポンス 1分
  - ・寸法先端センサ部・・・43mmL×32mmφ
  - ・測定器全体・・・144mmL×32mmφ
- 3) 土中温度センサ[7]
  - ・型名 DS18B20
  - ・測定レンジ-55℃~125℃
  - ・精度±0.5℃
  - ・寸法 DIP8pin
- 4) 照度センサ[10]
  - ・型名 BH1750FVI
  - ・測定波長 560nm ピーク
  - ・測定レンジ・・・0~65000lx
  - ・レスポンス 180msec(高精度測定)
  - ・24msec(低精度測定)
- 5) 温湿度センサ[9]
  - ・型名 DHT11(Guangzhou Aosong Electronics Co., Ltd.)
  - ・消費電流 3mA
  - ・温度センサ部(気温)
  - ・精度・・・±2℃
  - ・レスポンス・・・10秒
  - ・湿度センサ部
  - ・精度・・・±5%

・レスポンス・・・6秒

- 6) 内部温度センサ[11]
  - ・型名 LM60BIZ
  - ・測定レンジ-25℃~125℃
  - ・精度±3℃
  - ・出力抵抗 800Ω
  - ・寸法形状 3-pinTO-92

上記デバイスは、土壌水分センサ, pH センサ, 土中温度センサ, 内部温度センサをまとめて「土壌センサユニット」として土中に埋め、照度センサ, 温湿度センサ, 内部温度センサを「環境センサユニット」として大気中に設置して IoT システムのデバイス層とする。

## 5 「農業塾」に実装した IoT システムの稼働テスト

千葉市にある市民農園と埼玉県の実験場にそれぞれ土壌センサユニットと環境センサユニットを設置し、連続稼働テストを行った。

### 5.1 システム全体像

今回のシステムでは土壌センサユニットで計測したデータを Zigbee を用いて無線で IoT ゲートウェイへ通信する。IoT ゲートウェイでは、土壌データや環境データを整理しアクセスポイント経由で農業塾のサーバへデータをアップロードしている。図14は IoT システム全体像である。尚、市民農園のシステムは、デバイス用電源は電池から供給することで完全に独立したシステムであるのに対し、実験農場では AC100V から供給している点が異なる。

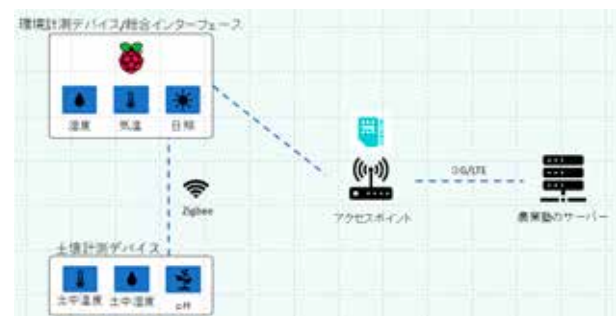


図 14:農業塾 IoT システム全体像

### 5.2 開発環境

今回のデバイスマイコンとしては、ZigBee[8]、Arduino[14][15]、Raspberry Pi[12]、mbed[13]がありその開発環境を以下に上げる。

- 1) Debian 10.2
- 2) Python 3.7.3
- 3) Tera Term Version 4.1000 (SVN# 7207)
- 4) Arduino IDE 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)
- 5) PyCharm 2019.2.3 (Professional Edition)

6) Mbed オンラインコンパイラ

5.3 システムフローチャート

今回 IoT ゲートウェイとして Raspberry Pi を採用した. 各センサから無線で送られてきたデータをサーバにアップロードする. センサとサーバを繋ぐ要の機能を持つ. その Raspberry Pi に於けるスケジュールのシステムフローを図15, 各プログラムのシステムフローを図16に示す.

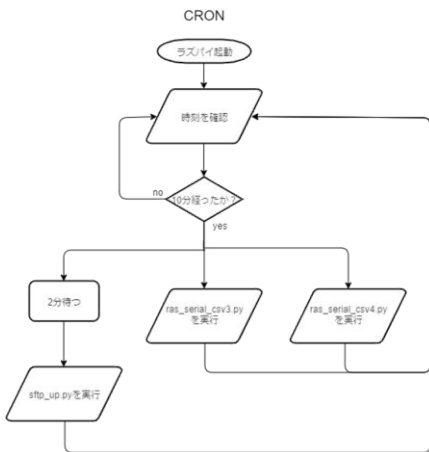


図 15:システムフローチャート1

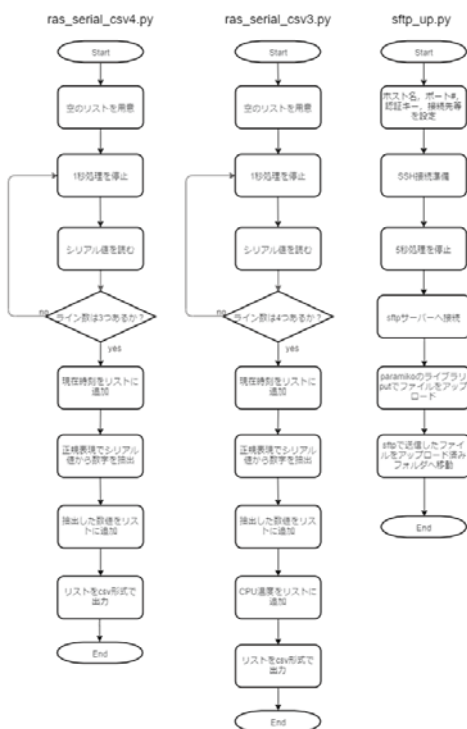


図 16:システムフローチャート2

5.4 回路図

今回の実験で使用した IoT ゲートウェイ. 土壌センサユニット. 土壌センサ用電池ユニットの回路図を以下に示す

1) IoT ゲートウェイ 図17

メインユニットは Raspberry Pi であり Zigbee と接続して土壌センサユニットとデータ通信を行う. またアクセスポイントとも接続し農業塾サーバとの通信も行う.

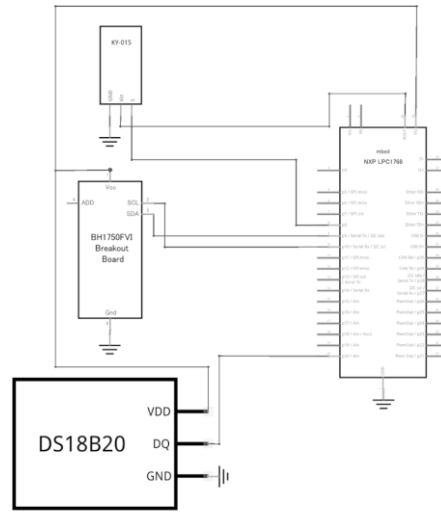


図 17:回路図 (IoT ゲートウェイ)

2) 土壌センサユニット 図18

メインユニットは Arduino であり各種センサと接続しデータを集計する. また Zigbee とも接続して集計データを IoT ゲートウェイと通信する.

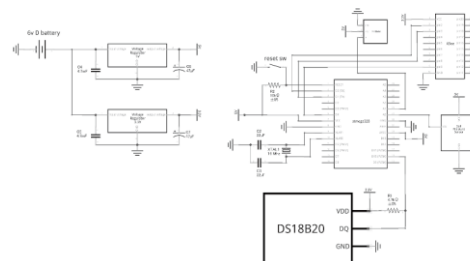


図 18:回路図 (土壌センサ)

3) 土壌センサ用電池ユニット 図19

土壌センサユニット用の電源である. 土中にて長期間稼働させる為に単一乾電池16本を採用した.

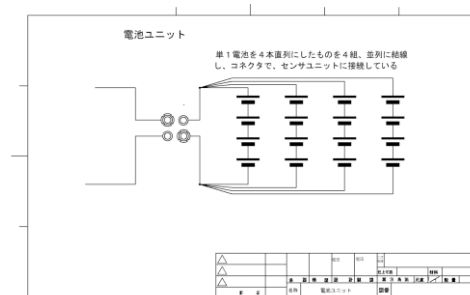


図 19:回路図 (土壌センサ用電池ユニット)

## 5.5 実験結果

開発したセンシングシステムを用いて二か所で実証実験を行った。結果、千葉の市民農園のシステムでは、土壌センサユニットは正常動作し、環境センサユニットは通信不調となった。通信不良に備え、データ蓄積機能を本体に組み込んでおいたので、データ欠損は免れた。千葉の農業塾より採取されたデータを図 20 に示した。



図 20: 千葉の農業塾より採取されたデータ

気温、湿度、照度は周辺環境に応じて変化しているが、土中温度とpHはほぼ一定で変化がみられず、システムの内部温度は全く変化がなかった。また、土壌センサユニットが約1か月間動作し続けたことから、マイコンが省電力で動作している事を確認し、土中でも適切な環境対策を施すことで長期的な運用が可能である事も確認した。埼玉の実験農場に設置したデバイスにおいて各センサは正常に動作し、農場のリアルタイムデータをサーバ上で閲覧することが可能となり、当初の目的である遠隔で現地の状態が把握できることを確認した。結果を図 21 に示す。

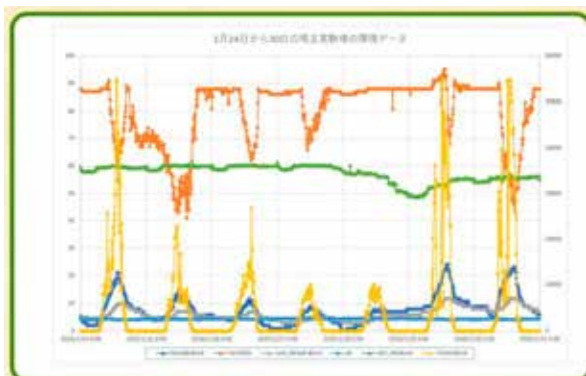


図 21: 埼玉の実験農場より採取されたデータ

日照に応じて気温、湿度、土壌温度が変化していることから、デバイスは適正に環境データを取得出来ていると言える。例として、1月28日は午後から雨が降った影響により、気

温と湿度が上昇し、日照は雨雲により不安定な数値となっている。しかし、pH値は天候やその他環境変化にあまり対応しなかった。土壌水分量の変化と日照量、気温、湿度変化の関係について、日照量が増え、気温が上昇、湿度が低下すると土壌水分量が増えた。また、日照量が減り、気温が低下、湿度が上昇すると土壌水分量が減った。

## 5.6 考察

今回の計測結果により様々な要素が土壌環境に影響していることが確認でき、多地点でのデータ収集の効率化の重要性について改めて認識することができた。千葉のシステムでは、土中温度、pH、内部温度の3種類のデータに変化が見られなかった点は、原因調査中である。土壌センサユニットは今回時間が限られていたこともあり、約1ヶ月しか実証運用出来なかったが、デバイス撤収後も電池は切れることなく動作し続けている。消費電力から算出した推定動作時間は約3ヶ月であるため、さらに長期的な運用も可能であると考ええる。しかし、将来的には年単位で長期運用させたいと考えているため、さらに消費電力の節約やバッテリー運用方法を突き詰める必要がある。今回開発した計測システムは、農業塾のウェブサイトと連携が取れることが今回の実証実験で確認でき、リアルタイムでの土壌水分量や土壌酸性度等土壌情報も把握できるようになった。今まで実現されていなかった土壌状態の可視化と、長期的なデータ蓄積による将来的な農業技術伝承の具体化に大きく貢献したと考える。

## 6 まとめ

広く普及している Arduino の開発環境としては、流通しているプログラムは動作確認されているのだが、複数のプログラムを組み合わせると動作不安定となり、手直しの連続であった。今後予想される膨大なデータの解析を滞りなく進めるためにも、データ特性の違いを考慮した区分格納アルゴリズムを早急に確立する必要性が明らかとなった。現地作業は情報不足に起因した非効率な部分もあったが、最終的に全素子が稼働し、総合データを採取するまでの全過程の動作を確認できた。本システムの完成で、土中の温度や水分量が自宅から把握できる。桜開花日がそれまでの一日毎の最高温度積算値と相関を有しているように、今回の産学連携で製作した IoT システムも継続的に使用することで、土中温度の積算値あるいは土中水分の積算値など農業データの活用が見込まれる。

## 参考文献

- [1] 難波修人, 辻順平, 能登正人: "農作物の自動灌水制御に向けたニューラルネットワークを用いた Q 学習",

- The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Irrigation Control of Crops
- [2] 前島勇治, 神山和則, 八木一行訳:”持続可能な土壌管理のための自主ガイドライン(Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management)”, 農研機構研究報告農業環境変動研究センター第39号(2018)
- [3] 関祐二:”これならわかる「土と肥料」の実践講座 第1回～第28回”, 農業経営者(1993.05.01～1998.04.01) [https://agri-biz.jp/item/search?farmbiz\\_flg=False&sub\\_category\\_type=1&item\\_type=1&title\\_by\\_item\\_id=615&date\\_order=desc&keyword\\_text=&page=1,2](https://agri-biz.jp/item/search?farmbiz_flg=False&sub_category_type=1&item_type=1&title_by_item_id=615&date_order=desc&keyword_text=&page=1,2) 「visited on 2020,01,22」
- [4] ROHM Co.,Ltd. : TechWeb 情報サイト [https://micro.rohm.com/jp/techweb\\_iot/tech-info/engineer/1708](https://micro.rohm.com/jp/techweb_iot/tech-info/engineer/1708) 「visited on 2020,01,22」
- [5] DFRobot : 静電容量式土壌水分センサ DF Robot SKU SEN0193 [https://wiki.dfrobot.com/Capacitive\\_Soil\\_Moisture\\_Sensor\\_SKU\\_SEN0193](https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193) 「visited on 2020,01,22」
- [6] DFRobot : Ph センサ DF Robot SKU SEN0161 [https://wiki.dfrobot.com/PH\\_meter\\_SKU\\_SEN0161\\_](https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU_SEN0161_) 「visited on 2020,09,26」
- [7] 秋月電子通商 : 防水温度センサ DS18B20(土中温度) <http://akizukidenshi.com/download/ds/maxim/DS18B20.pdf> 「visited on 2020,09,26」
- [8] Digi International K.K. : 無線モジュール子機 XBee ZB (S2C) [http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/files/BR\\_xbee\\_ZB.pdf](http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/files/BR_xbee_ZB.pdf) 「visited on 2020,09,26」
- [9] 秋月電子通商 : 温湿度センサ DHT11 [http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11\\_20180119.pdf](http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11_20180119.pdf) 「visited on 2020,09,26」
- [10] ROHM Co.,Ltd. : 照度センサ BH1750FVI GY-302 <http://image.dfrobot.com/image/data/SEN0097/BH1750FVI.pdf> 「visited on 2020,09,26」
- [11] Texas Instruments Incorporated. : 内部温度センサ LM60BIZ <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm60.pdf> 「visited on 2020,09,26」
- [12] RASPBERRY PI FOUNDATION : Raspberry Pi Zero W <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/> 「visited on 2020,09,26」
- [13] Arm Limited (or its affiliates). : mbed LPC1768 <https://os.mbed.com/platforms/mbed-LPC1768/> 「visited on 2020,09,26」
- [14] 秋月電子通商 : AVR マイコン ATmega328P@5V 16MHz <https://avr.jp/user/DS/PDF/mega328P.pdf> 「visited on 2020,09,26」
- [15] Arduino : ノーブランド Nano (Arduino NANO 互換機) <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano> 「visited on 2020,09,26」

## 緑藻培養産業における IoT の活用

堀田昌直\*・石原賢一\*・日下部忠之\*・小川太輔\*・佐野博紀\*・  
佐藤里恵\*・安井健人\*・古杉佳久\*・ゲッテゲンス光一郎\*・  
井上元\*\*・村越英樹\*

### IoT System for monitoring of Algae Productivity

Masanao Hotta\*, Ishihara Kennichi\*, Tadayuki Kusakabe\*,  
Daisuke Ogawa\*, Hiroki Sano\*, Rie Sato\*,  
Kennto Yasui\*, Yoshihisa Kosugi\*, Gettegens Koichiro\*,  
Gen Inoue\*\* and Hideki Murakoshi\*

#### Abstract

We applied an IoT system to cultivation of green algae called *Nannochloropsis gaditana* in outdoor raceway ponds. To monitor the growing conditions of algae, we organized sensors like thermometers and CO<sub>2</sub> meters in air and under water, illuminometer for sunshine and newly developed densitometer for measurement of algae density in the cultivating pond. Connecting these sensors by wire to plural of micro-computers, such as Arduinos, Mbed LPC-1768 and Raspberry-pi, we constructed an IoT system for the algae farm and implemented examinations of algae productivity, in real time and over months.

Keywords: IoT, Alga(e), Nannochloropsis, sensor(s), densitometer

#### 1 はじめに

微細藻類は数  $\mu\text{m}$  サイズの水生単細胞生物で、地球上のあらゆる水域に分布している。国内では 1960 年代から数種類の緑藻が健康食品やサプリメント、あるいは稚魚稚貝の栄養源として大量培養による事業化がなされており、近年は地球環境の持続性という観点からバイオ燃料としての可能性も研究されている。今回、産学連携事業を行う株式会社イービス藻類産業研究所(以下 イービス藻研 と略す)は、他の緑藻に比べて EPA を多く含むことでその優位性が認められている「ナンノクロロプシス」(*nannochloropsis*)という緑藻培養事業を開始した。本緑藻を大規模培養している事業所は国内では前例がなく、その量産技術はまだ完成していない。村越 Project Team(以下 村越 PT と略す)とイービス藻研は IoT を利用して藻類培養の生産性を高めることを目標として産学連携事業を実施した。本事業では水温、気温、日照

などの気象情報センサーや、培養液中の溶存 CO<sub>2</sub> センサーおよび藻の育成状況を判定する藻密度計からの信号を収集するシステムを検討し、藻培養の環境変数と生育変化という、制御と結果の両面からの実時間計測ができるシステムを企画・設計・開発した。藻密度の計測については、既存の装置に適した装置がなく、新方式の計測器を考案した。その新規性とは藻密度測定距離が異なる複数測定子からの信号を Arm マイコンを用いて最小二乗法計算を実施し、測定器汚れによる光量減衰と濁り成分による光量減衰を分離して算出する方法であり、特許を出願した(特願 2020-20224)。

計測された各信号はインターネットに送信され、遠隔地でもデータ解析可能な環境を構築した。2020 年 1 月 12 日以降、すべてのセンサーのデータが継続的にサーバに上がっており、IoT 環境を構築したイービス藻研の石巻培養研究所だけではなく同社の東京事務所および本学からもデータへのアクセスを可能とした。

Received on October 04, 2020

\* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\* 株式会社イービス藻類産業研究所 EBIS Algae Research Institute Inc.

本稿第2章では代表的な6種類の微細藻類について紹介し、第3章で事業連携先の(株)イービス藻類産業研究所について、第4章で産学連携事業の内容に関しての事前討議を、第5章では最終的にまとまった連携事業の具体的な細目を記述する。第6章で新規開発した藻密度計の開発経緯を説明し、第7章では開発したIoTのシステム構成を説明する。第8章ではIoTシステムにより得られた個別のデータと総合的な連続運転結果を紹介し、第9章で事業を総括する。

## 2 現在事業化されている微細緑藻について

微細緑藻は100を超える種類があるが、現在培養されている代表的なものを以下に6種類上げる<sup>[1]</sup>。

### 2.1 クロレラ

3~10 $\mu\text{m}$ の球形のクロレラは1960年代に大量生産に成功しその成分(タンパク質45%, 脂質20%, 糖質20%, 灰分10%, ビタミン, ミネラル)を利用した商用事業が行われている。

### 2.2 ユーグレナ

別名ミドリムシとも呼ばれ、植物であると同時に動物としての特性も有している。含有する栄養素は54種類に上り、食品、化粧品などに応用される。日本においては世界に先駆けて2005年12月に屋外での大量培養に成功し、一気に事業が広まった。現在はバイオ燃料への利用も視野に入れた開発が行われている。

### 2.3 スピルリナ

形状は名前が示すようにらせん形状で幅5~8 $\mu\text{m}$ 、長さ300~500 $\mu\text{m}$ である。含有成分はたんぱく質60%であり抗酸化作用がある $\beta$ -カロテンを多く含む。またその寸法が大きいため目の細かい布での分離・脱水濃縮が可能である。アフリカでは貴重なタンパク質補給源として古くから日常的に市場で売られていた乾燥物「ダイエ」の原料としても知られている。

### 2.4 ドナリエラ

高濃度塩湖に生息する外径10 $\mu\text{m}$ の卵型で、頂点に2本の鞭毛を有する単細胞藻である。細胞の再生を助ける抗酸化作用に優れるカロチノイドを多量に蓄積することから、医薬品や化粧品に利用されている。

### 2.5 ヘマトコッカス

ヘマトコッカスはアスタキサンチンというカロチノイドを多く含有する緑藻であり、1980年代に高い抗酸化活性が見いだされて1990年代から商業生産されるようになった。特徴は成長初期の緑色形態(グリーンステージ)にストレスを与えると、その過程で細胞内にアスタキサンチンを蓄積して赤色形態となる(レッドステージ)。ヘマトコッカスはごく普通の環境でしか生育しないため、解放状態ではコンタミによる影響を受けやすく、その培養は完全密閉の工業的手法による。

## 2.6 ナンノクロロプシス

大きさが3~5 $\mu\text{m}$ の球形の海洋性単細胞藻類であり、1960年代よりワムシ(稚魚の餌)生育用の栄養源として利用されてきた<sup>[2][4]</sup>。近年、本緑藻は $\omega$ -3タイプのEPA(エイコペンタエン酸:高度不飽和脂肪酸で、赤血球の殻を柔らかくする作用があり、血糖値低下、抗リウマチ作用その他多くの薬効がある)を多く含むことが特徴である。また、特定の栄養素の量を加減することで成長の促進と脂肪酸の蓄積量増大を同時に達成できることなどが解明され始めており、将来性が期待されている<sup>[5]</sup>。今回連携するイービス藻類産業研究所で培養しているのが本緑藻である。

## 3 連携先企業とのマッチング

連携先の企業として(株)イービス藻類産業研究所を選んだ。同社は2018年6月に創立されたベンチャー企業であるが、緑藻培養事業が立ちいかなくなった企業を買い取り、1年の間に買い取った生産設備の不具合点を次々に改修して生産を軌道に乗せた実績を評価した。親会社のイービストレード株式会社が環境事業を手掛け、緑藻の販路を有して



図1: (株)イービス藻類産業研究所  
石巻研究所の培養池全体像

いることも信頼度を担保している。緑藻培養生産地は宮城県石巻牡鹿半島の先端に近い鮎川にあり、図1に示すように生産用に7基の大型培養池(レースウエイ)と2基の小型培養池を有するパイロットプラントである。図2で示すように各

レースウェイは培養水の回遊速度が一定になるように水車で制御されている。生産量としては小規模であるが、ナンクロロプシスが EPA を含むことで稚貝稚魚の栄養源としてニーズが高く、徐々に商業ベースに乗りつつある。なおこれらの培養池はその後すべてビニールハウスで覆われ、冬季の寒冷対策がなされている。

今回の連携事業「藻類産業における IoT の活用」は、培養条件と藻の育成結果を Web 上で把握できる IoT システムを構築し、培養変数間の相関を解明して生産の効率化につなげる計画である。



図 2: レースウェイ近影

現在の培養は隣接する海から汲み上げた海水を海藻の胞子も含まない程度にまで多段フィルターで濾過して用いている。生育養分として培養海水中の CO<sub>2</sub> 溶存濃度を目標値になるように制御し<sup>[3]</sup>、それに見合う栄養分補給と組み合わせで培養している。これらに加え水温管理、日照管理を行うことで生産効率向上に努めている。それらの培養条件での生育状況の検査に光学顕微鏡を用いているが、作業量の多さとタイムラグの観点から改善が望まれている。

#### 4 産学連携事業実施内容の検討

開発準備段階では討議を重ね以下の問題点を共有した。

- 1) 溶存 CO<sub>2</sub> 濃度を一定に保つのが難しく、ばらつき幅が小さくなるように制御可能な方式を開発する。
- 2) 日照量の制御が難しく、強すぎると「焼け」が発生し<sup>[2]</sup>、少ないと光合成の量が少なくなる。きめ細かく制御できる運動追従性の良い日よけで、現地鮎川の気候条件に適した具体策を立案する。
- 3) 藻密度測定 of 効率的な方法を確立し具体化する。
- 4) 測定データの Web モニター化を実現する。
- 5) 気象庁の日照予測情報を自動的にダウンロードするプログラムを開発する。

- 6) 過去の膨大な培養データから相関分析などの解析を行う。

以上の内容が討議され、今回取り上げるテーマとして以下の 3 項目に絞り込んだ。

- A ; 日照予測データダウンロード自動化・・・気象庁の日照予報センターが公開している予測情報をダウンロードするソフトを制作する(5.1 で詳述, 上記 5) に対するアクション)。
- B: 過去データの解析・・・一部文字情報で記録されている培養履歴表から数値情報を読み取り解析を行う。(5.2 で詳述, 上記 6) に対するアクション)。
- C: 日照, 気温, 湿度, CO<sub>2</sub> 濃度, 藻密度を計測し, インターネット上でこれらの値にアクセス可能なシステムを構築する(5.3 で詳述, 上記 1,3) に対するアクション)

### 5 選定項目の実施概要

#### 5.1 日照予測データダウンロード自動化

応用気象エンジニアリングが提供しているひまわり衛星の日照データは自由に閲覧可能だが、データそのものはひまわり標準フォーマットと呼ばれる 12 のブロックで構成されておりダウンロードは容易ではない。村越 PT では必要な情報をダウンロードする独自ソフトを開発し、イービス藻研を挟む石巻と鮎川漁港の 2 地点の日照予測情報の自動ダウンロードを可能にした。データは 1 平方メートルあたりの日照量を MJ (メガジュール) でグラフ表示し、1 日ごとの総日射量も簡単に計算できる。図 3 にデータ例を示す。イービス藻研では本データも藻培養の指標の一つとして採用し、生育予測

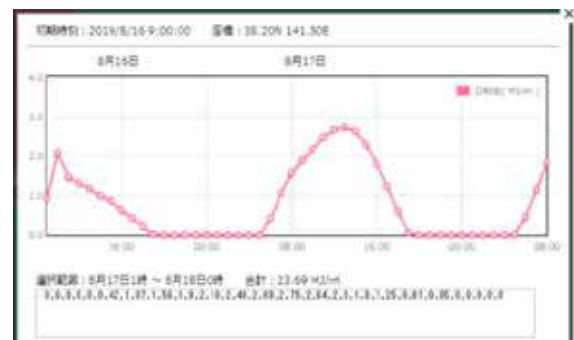


図 3: 鮎川漁港付近の 2019/8/17 の日射量

に役立てている。

#### 5.2 過去データの解析

全部で 9 面ある培養池の 2014 年 9 月 6 日から 2016 年 9 月 2 日までの長期間の培養記録を解読し分析を行った。数字・文字の入り混じった記録を整理し、培養池ごとの藻密度の増加率を目的変数とし、水温, pH 値, 平均, 最高, 最





図 4: 培養池 No3 の 2014 年 9 月から 2016 年 9 月の培養記録の回帰分析の結果

低の各気温, 気圧, 風速など全部で 16 種類の条件を説明変数として重回帰分析を行った. 図 4 は培養池 No3 の回帰分析の結果である. 回帰係数の有意性を示す P 値はいずれも 5% を下回ることではなく, 残念ながら有意性のある結果は見いだせなかった. 目的変数を藻密度増加率/日とし, 説明変数を水温, pH, 気温, 日照の 4 つに絞って回帰分析を行ったがやはり有意性のある回帰係数は見いだせなかった. 今回の産学連携事業ではこれらのデータを更にきめ細かく且つ同時性を保って収集し, 新しい知見を得ることを目指す.

### 5.3 各種パラメータの計測収集

日照, 気温, 湿度, CO<sub>2</sub> 濃度, 藻密度などの環境変数を見える化するための各種センサーを調査検討した. それらの仕様をまとめる.

#### 1) 温湿度計測

使用センサー: DHT11

(Aosong Guangzhou Electronics Co., Ltd.)

消費電流...3mA

温度センサー部(気温)

精度...±2°C

レスポンス...10 秒

#### 湿度センサー部

精度...±5%

レスポンス...6 秒

#### 防水温度センサー

使用センサー: DS18B20

レンジ...55~125°C

分解能...12bit

レスポンス...0.75 秒

接続先...Arduino

#### 2) 日照度計測

使用センサー: 日照計測モジュール BH1750FVI

測定レンジ...0~65000lx

精度...±15%

消費電流...150µA

信号...I2C

接続先...Arduino

#### 3) CO<sub>2</sub> 計測

使用センサー: SCD30 SENSIRION 製

CO<sub>2</sub> センサー部

方式...非分散赤外線方式

- 測定レンジ ……400~10000ppm
- 精度 ……±30ppm + 3%
- 温度センサー部
  - レンジ ……40~70°C
  - 精度 ……±0.4°C + 0.023×(T°C - 25°C)
  - レスポンス ……10 秒
- 湿度センサー部
  - レンジ ……0~100%
  - 精度 ……±3%
  - 精度 ……±0.4°C + 0.023×(T°C - 25°C)
  - レスポンス ……10 秒
  - レスポンス ……8 秒

接続先 ……mbed LPC1768

なお、本センサー部分は CO<sub>2</sub> 選択透過性を有する機能性幕で密閉し、水中に浸した状態で測定する。

4) 藻密度計

- 使用センサー: 新規開発 (第 6 章で記述)
- 方式 ……透過光方式
- 測定レンジ ……0.5~50 (千万個/ml)
- レスポンス ……2 秒
- 接続先 ……mbed LPC1768)

6 藻密度計の開発

6.1 事前調査

環境測定に関しては既成の測定器で対応可能であるが、生育状況を計測する藻密度計に関しては最適な装置がなく、自作することにした。山口ら<sup>[12]</sup>によって吸光度測定法、蛍光強度測定法などの妥当性がクロレラを試料として確かめられており、その報告ではこれら光学的方法は広い濃度範囲にわたって直接計数法との相関が高いことが確認されている。吸光度を利用した濁度計には透過光方式<sup>[7]</sup>、散乱光方式<sup>[6]</sup>、透過光散乱光方式、表面散乱光方式などがあるが<sup>[8]</sup>、いずれの測定方法も使用される窓の汚れの影響を払拭できない点があり、測定ごとに洗浄して汚れの影響を回避して精度を担保している。ナンノクロロプシスは生命機能が失われると粘性物質を分泌するため、特に汚れ対策は重要である。村越 PT ではこの問題を解決すべく検討し、藻密度に依存した減衰量と窓の汚れなど装置に起因する減衰量を数学的に分離することで、透過光方式でも汚れに影響を受けずに藻密度測定ができることを検証した。

6.2 方式の検討

減衰光強度を Y, 測定光路長を X, 濁りによる減衰係数を B, 汚れによる減衰係数を C とすると、濁りによる減衰量は  $e^{-Bx}$ , 汚れによる減衰量は  $e^{-c}$  と表せる。したがって光量  $A_0$  の光は測定光路長 X を通過した後では

$$Y = A_0 e^{-Bx - c} \dots\dots (1)$$

と表せる。現在の濁度計と呼ばれている装置は、図 5 の左のように一つの測定光路で計測する方式を採用し、構造を工夫することで汚れによる減衰量  $e^{-c}$  を物理的に少なくする方法で種々改良されてきた。ところが、図 5 の右のように、異なる

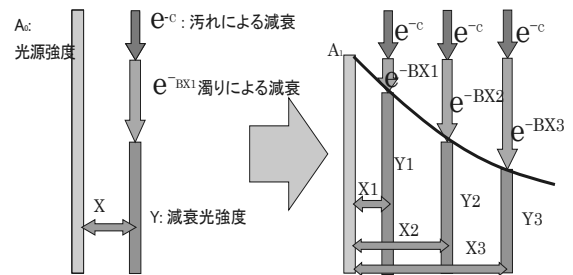


図 5: 汚れによる減衰と濁りによる減衰の分離

測定光路長 X を少なくとも2種類選ぶことで式(1)内の未知数 B, C は独立した数値として求められる。現実には測定誤差の影響を小さくするために 3~5 種類の異なる光路長で測定し B, C を求める。

式(1)の両辺の対数をとって最小二乗法を適用すると連立方程式(2)が得られる

$$\begin{vmatrix} \left(\sum_i X_i\right)^2 & \sum_i X_i \\ \sum_i X_i & N \end{vmatrix} \begin{vmatrix} B \\ C \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \ln A_0 \times \sum_i X_i - \sum_i (\ln Y_i \times X_i) \\ N \times \ln A_0 - \sum_i \ln Y_i \end{vmatrix} \dots\dots (2)$$

ただし N は異なる測定光路長の個数とする。

式(2)を解いて、 $B=b, C=c$  を求めれば

$$y = A_0 e^{-bx - c} \dots\dots (3)$$

が、回帰式として得られる。この式は物理的には意味があるが、実作業に使うには感覚とのずれがあるので、(3)式を変形して

$$y = A_1 e^{-X/L} \dots\dots (4).$$

ただし  $A_1 = A_0 e^{-c}, L = 1/c$

とする。A<sub>1</sub> が汚れによる減衰を表し、L は光がそれだけの距離を進むと 1/e(=0.3679)倍になる基準減衰距離を表す。L は藻密度に結び付く数値であり、D を藻密度(単位 個/ml)とすれば、関係式

$$D = K/L \dots\dots (5)$$

となる。

ように設計されている。これらの測定子ユニットから得られる

実際に製作した装置は図6の機械加工設計図に示すように、内径20mmの金属円筒の側面に等間隔に5ヶ所、対向位置に孔をあけ、そこに測定窓とライトガイドを兼ねる透明アクリル円柱を嵌合して組み立てる。アクリル円柱は組み立てた状況で中央部に規定量のギャップを持つ寸法に加工されており、前もって中心に通されている透明ビニルチューブを、アクリル円柱で挟んで保持するように組付ける。アクリル円柱の一方の大气側にLED光源、他方に受光素子を組付け、5組の減衰光測定子ユニットを構成する。5個の測定子ユニットにおいて透明ビニルチューブ内面のギャップは1, 2, 4, 6, 8mmとなる

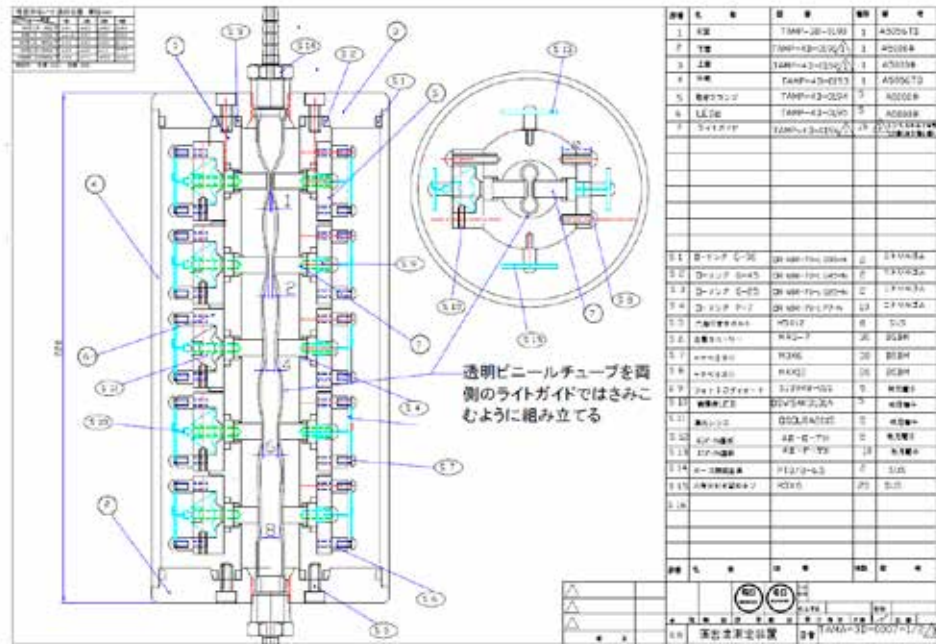


図6: 藻密度計の機械加工設計図

減衰光量が最小二乗計算の基礎データとなる。

制御電子回路図を図7に示す。LPC1768は5対のLEDと受光素子を20msec間隔で順次切り替えて透過光強度の測定を実行し、結果を電気信号で受け取る。受け取

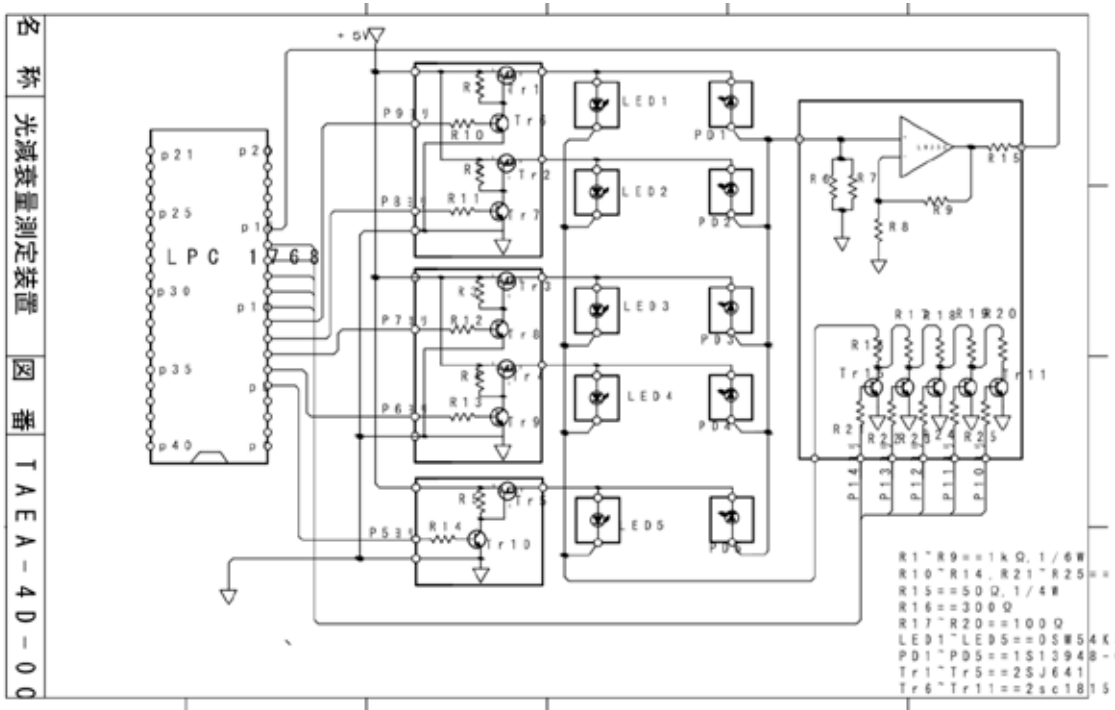


図7: 藻密度測定装置 回路図

った信号を数値化し、その数値をもとに数学処理で算出した藻密度の値を液晶表示器に表示するとともに Raspberry pi に転送する。最終的に Raspberry pi はすべてのデータをインターネットへ送信する。藻密度計、電気制御系、液晶表示ユニット、Raspberry pi と水ポンプを一体にして組上げた外観図を図 8 に示す。



図 8: 藻密度測定装置外観図

### 6.3 性能確認

2019 年 12 月 6 日に最初の設計による藻密度計をイービス藻研石巻研究所に設置して稼働させたが、2 週間ほどで動作が不安定となり使用に耐えなくなった。当初の設計のままでは測定流路に突き出したアクリル円筒が測定液のスムーズな流れを阻害して局所的に淀みを生じさせる不具合が認められたので、図 6 に示したように測定部の入口から出口まで流路面が滑らかに変化するように改善し対応した。5 CH (チャンネル) のうち 1mm ギャップの信号出力が不安定なので、残りの 2, 4, 6, 8mm の 4CH で最小二乗計算を行うようにプログラムを変更し、1 月 12 日から藻が収穫される 2 月 3 日まで、21 日間安定した測定を継続できた。サーバ上のデータをダウンロードし、ノイズ処理とグラフ化の作業を行った、最終的にはすべてのセンサーの毎分のデータを 3 週間分蓄積しグラフ化した。基本的なアプリケーションは作成したが、統計解析等に向けたアプリケーション開発は次期連携事業のテーマとする。

### 7 IoT システムの構築

今回開発した IoT のシステム構成を 5 層の階層構造で捉えると<sup>[9-10]</sup>、最上部の第 1 層には【アプリケーション層】があり、データ解析とシステム運用を管理する。その下の第 2 層に【IoT プラットフォーム層】としてのサーバが位置する。第 3 層に【広域ネットワーク層】としてのインターネット層が広がり、そこへは第 4 層の【フロントネットワーク層】である消費電力の小さな BT-LE (Bluetooth Low Energy), ZigBee (IEEE802.15.4) などの近距離無線ネットワークを通して現場からの情報が送信される。第 4 層はデバイスとインターネットを結びつける機能を有しているためゲートウェイと呼ばれることもある。最下層がセンサー類で構成される【デバイス

層】であり、具体的な環境情報を数値化する役割を担う<sup>[11]</sup>。IoT の全体構造を図 9 に示す。

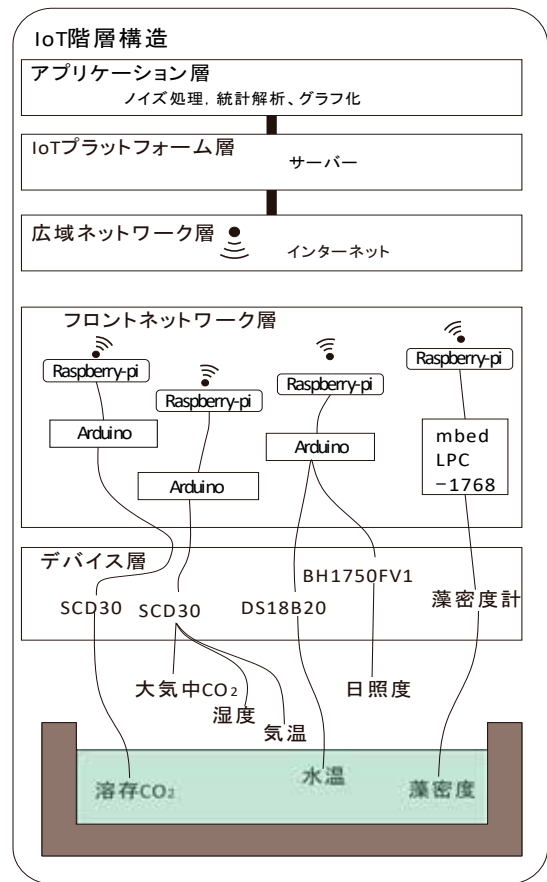


図 9: IoT システム全体構造図

通信距離の範囲で分類すると、規模としては Local Area と Metropolitan Area の中間であり Smart House class と言える<sup>[13]</sup>。

本連携事業では、気温、水温、湿度、日照量、大気中 CO<sub>2</sub>、培養液中の溶存 CO<sub>2</sub>、藻密度などの物理特性を電気信号に変換するグループをデバイス層とし、Arduino あるいは LPC-1768 は、それらの電気信号を数値化しデータによっては演算処理を行い、結果を Raspberry pi と共有するフロントネットワーク層を形成する。フロントネットワーク層は収集したデータを WiFi で接続されている広域ネットワーク層に送信する。今回は専用の IoT プラットフォームは立てられなかったため既存サーバにデータを蓄え、それを Google Drive に移行蓄積することで代用している。結果としては蓄積したデータに複数関係者が遠隔で同時アクセスでき、データ有効活用の自由度が飛躍的に向上した。

### 8 運用結果とデータ分析

各種データ収集の結果を以下にまとめる。測定日時はいずれも 2020/01/13 0:00~24:00 である。

### 8.1 CO<sub>2</sub>, 水温の測定

CO<sub>2</sub>センサー、温度センサーと信号処理回路を水密状態に封印して培養液中に浸し、水中環境モニターを行った。測定結果を図 10 に示す。図は 0 時から 24 時間計測した結果でサンプリング周期は 1 分である。鋸歯状のデータが CO<sub>2</sub> 濃度であり、溶存 CO<sub>2</sub> が低下した場合は不足分を注入して濃度が所定範囲になるよう調整を行う。グラフでは 2500ppm~6000ppm(左目盛)の範囲で制御されているがこれを±5%に制御するよう改良中である。水温は 10.8℃~

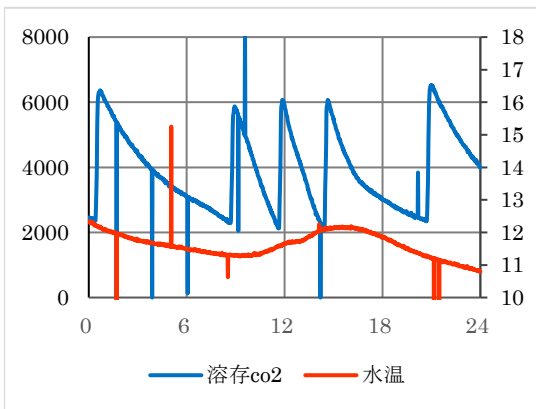


図 10: 溶存 CO<sub>2</sub>(青線, 左目盛(ppm))  
と水温(橙線, 右目盛(°C))

12.3℃(右目盛)で、8.2 項の日照に対比させると、約 6 時間遅れて反応している。~12.3℃(右目盛)で、8.2 項の日照に対比させると、約 6 時間遅れて反応している。

Arduino などを使用した場合、グラフに示すようなパルス状ノイズの混入は避けることができない。現状ではこれらは目視判断により抹消処理をしている。

### 8.2 日照, 湿度の測定

日度測定, 湿度の測定結果を図 11 に示す。測定は 1 月であり日照は昼でも 10000Lux である。

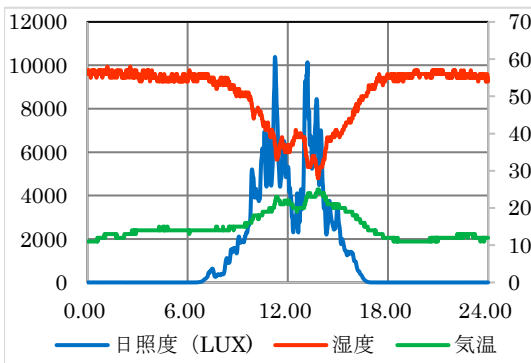


図 11: 日照(青線, 左目盛:Lux)  
湿度(橙線, 右目盛:%)、気温(緑線, 右目盛:°C)

培養池をビニルで覆ったことにより、この日照でも気温は 20℃まで上昇している。湿度も気温も日照に対しリアルタイムで反応しており、湿度は夜間に 58%であったものが昼間は温度上昇とともに 25%まで低下しているのがわかる。

### 8.3 大気中 CO<sub>2</sub>, 気温の測定

大気中の CO<sub>2</sub>と気温の測定結果を図 12 に示す。緑藻の活性特性として、昼間は培養液中の溶存 CO<sub>2</sub>を取り込み酸素を排出するが夜間はその逆の反応を呈する。大気中

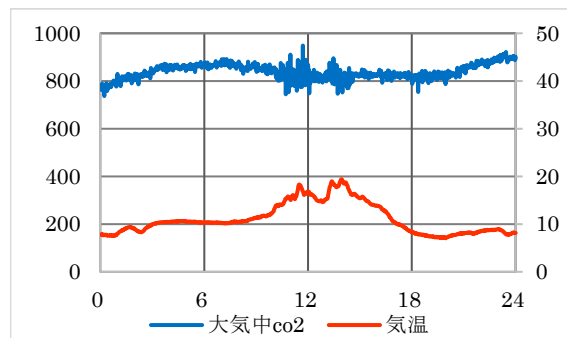


図 12: 大気中 CO<sub>2</sub>(青線, 左目盛: ppm)  
気温(橙線, 右目盛: °C)

CO<sub>2</sub> 濃度はそれに対応して昼間は減少傾向を示し夜間は増加傾向を示している(8.4 項の藻密度のグラフ参照)。

### 8.4 藻密度計

藻密度の測定結果を図 13 に示す。縦軸の単位は千万個/ml で、通常 6 百万個/ml から 1 億 6 千万個/ml が培養の範囲である。測定開始時点ですでに 4 千万個/ml を超えており培養は中間程度まで進んでいる状態である。炭酸同化作用は日光により促進されるというのが定説であるが、得られたデータからは日照よりも水温の影響のほうが大きいと判定できる(8.2 項の日照, 8.1 項の水温のグラフ参照)。

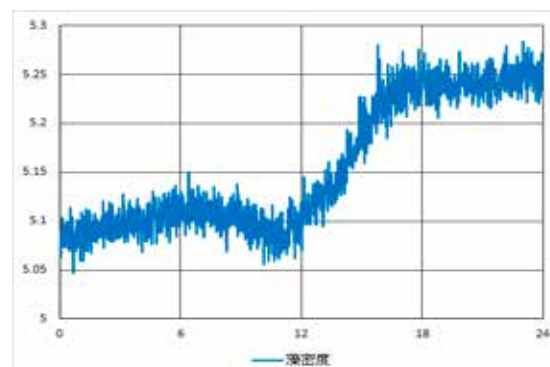


図 13: 藻密度  
藻密度 (千万個/ml)

### 8.5 連続測定結果

2020年1月12日12時から緑藻を収穫した2月3日15時までの溶存CO<sub>2</sub>、水温、日照量と藻密度の連続測定結果を図14、15、16に示す(グラフの時間軸は1月1日を起点として1日単位の通し番号とする)。前述の8.1項～8.4項では読めなかった長期間の変化・相関を見ることができる。溶存CO<sub>2</sub>に関しては藻密度の増大とともにCO<sub>2</sub>消費が増大し、補給する回数が増えている。藻密度に関しては、

培養池に保温対策をしたため冬季でも3週間で1.4倍に生育しており冬季の培養も可能なことが確認できた。また藻の生育は全般的に水温上昇と相関を有しているが28日から30日にかけては日照(図15)も水温上昇(図14)も少ない状況下で漸増している現象が注目される。ナンクロロプシスはある一定濃度範囲内では、藻密度そのものが増殖速度を律速する特性を有しており、28日以降の現象はこの特性を裏付けている一例とみられることもできる。各種相関が今後のデータの蓄積により明らかになると期待される。

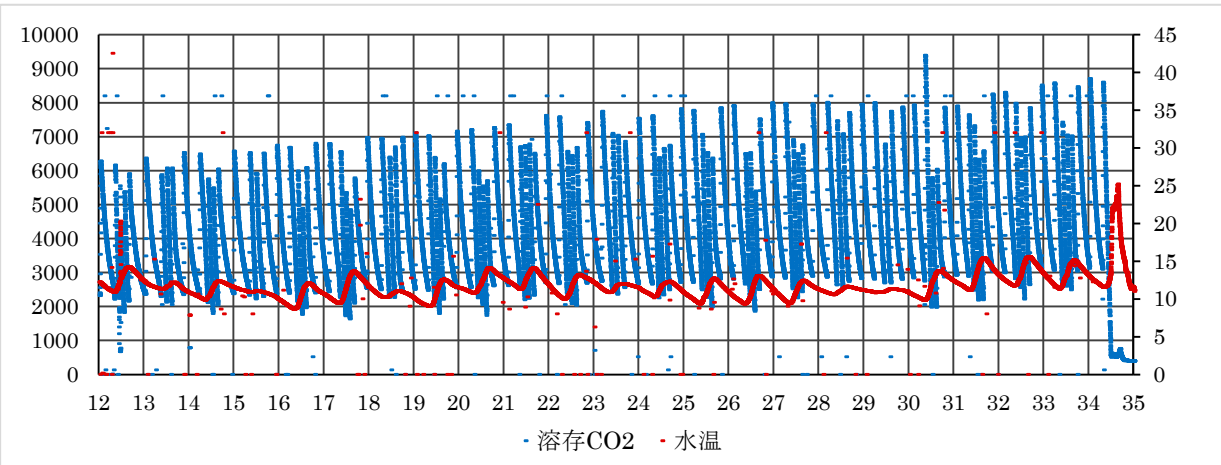


図 14: 溶存 CO<sub>2</sub>(左目盛:ppm)と水温(右目盛:°C)

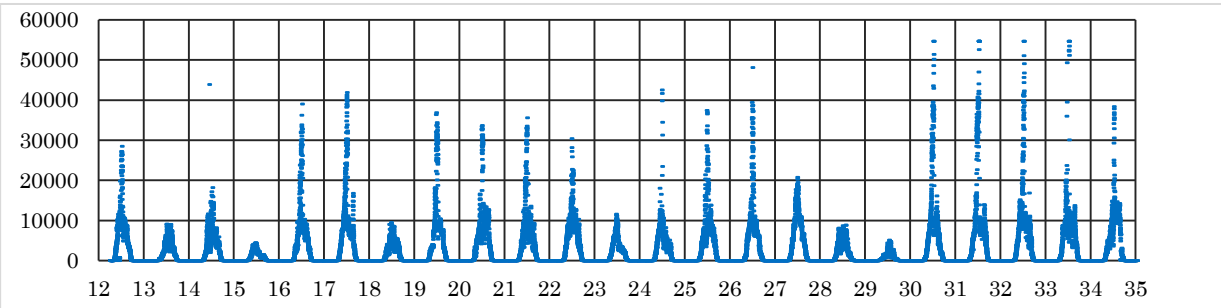


図 15: 日照度(目盛:Lux)

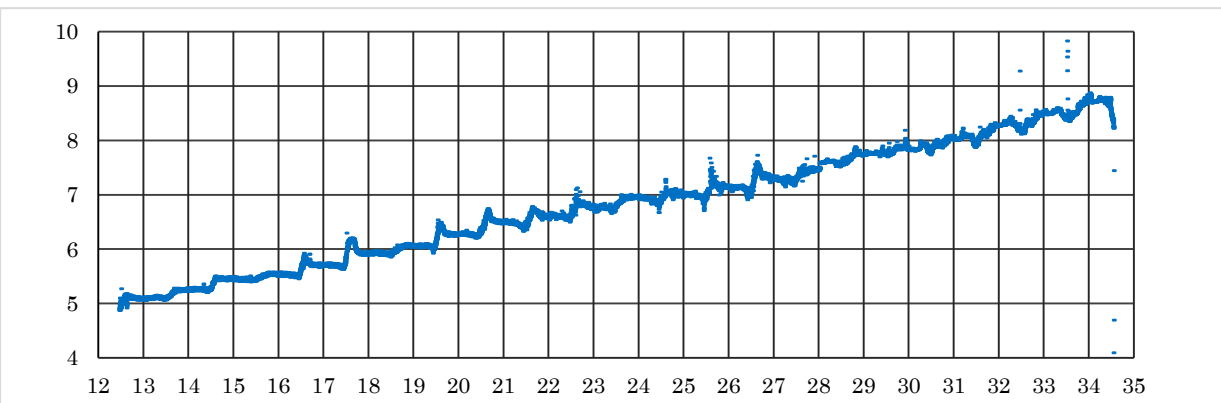


図 16: 藻密度(目盛:千万個/ml)

## 9 まとめ

今回作成した IoT システムでは 5 層にわたる連携動作が問題なく動作することを検証した。

成果としては

1. 緑藻培養変数と生育状況を示すデータが広域ネットワークを通して複数地点よりアクセス可能となった。
2. 日照、水温、藻密度変化の相関が明確に読み取れた
3. デバイスとしての藻密度計は藻密度を実時間で把握できる利点だけでなく、そのあとに続く藻密度濃縮工程でも有用であるという評価を連携先の事業者から受けた。

の 3 点があげられるが、未達部分を総括すると

1. IoT プラットフォームとしての専用サーバ未構築  
(現在、サーバを借用している状況)
2. 藻密度計の不均一な汚れへの対策が不十分
3. 環境データとしてアンモニアモニターも必要
4. 日照制御の自動化
5. 藻密度計に凝縮緑藻検出機能が必要
6. CO<sub>2</sub> 濃度変動が大きい
7. データ処理アプリケーション構想の確立
8. ノイズ処理の手法の確立
9. IoT システムの緑藻培養効率化への寄与度の算定

などが今後の課題である。村越 PT の作業としては初期目標を達成したが、上記 1~8 の対策を講じて、IoT 化の効果を算定する最終的な目標を達成するために AIIT 藻類研究所を新設して本事業を継続する。

## 10 謝辞

本事業を御指導いただいた、PBL 副担当の林准教授、廣瀬准教授、また問題発生の都度ご指導いただいた橋本教授および越水教授に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 藻類産業創成コンソーシアム, 産業で利用されている主な藻類, [https://algae-consortium.jp/about\\_algaebiomass/use](https://algae-consortium.jp/about_algaebiomass/use), (閲覧確認 2020, 08, 24)
- [2] 増田篤稔, 向阪信一, 洞口公俊, 村上克介, “微細藻類の大量培養装置開発事例”, *Eco-Engineering*, Vol. 19, No.3, 139-144, 2007.
- [3] L. Moraes, G. M. Rosa, A. Morillas, Espana, L. O. Santos, M. G. Morais, E. Molina, Grima, J. A. V. Costa, F. G. Acien Fernandez, “Engineering strategies for the enhancement of *Nannochloropsis gaditana* outdoor

production: Influence of the CO<sub>2</sub> flow rate on the culture performance in tubular photobioreactors”, *Process Biochemistry*, 76, 171-177, 2019.

- [4] 岡内正則, 山田敏之, 尾崎照遵, “ナンノクロロプシスの大規模培養及び小規模培養に適した培養液の作成”, *水産増殖 (Aquaculture Sci.)* Vol. 56, No. 2, 147-155, 2008.
- [5] 東京工業大学, 東京工業大学地球生命研究所, 科学技術振興機構, “油脂高生産藻の脂質量と組成を改変する技術を開発～藻による油脂やバイオ燃料の生産性向上に期待”, <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20150907/index.html>, (閲覧確認 2020/01/25)
- [6] 熊谷道夫, 津田良平, “湖沼における植物プランクトンの迅速測定”, *環境技術*, Vol.19, No9, 546-551, 1990.
- [7] 吉田豊・西辻昭・木下重教, “レーザによる液相粉じんの定量について”, *日本鉱業会誌*, 98 巻, 1133 号, 591-596, 1982.
- [8] ㈱北辰電気製作所, “プロセス用濁度計 WLS301/W301”, *計測と制御*, Vol.17, No.10, 68-69, 昭和 53 年.
- [9] 藤本慎吾, 岡田伊策, 笈田佳彰, 福田貴三郎, 出内将夫, “IoT 技術早分かり”, *日本船舶海洋工学会誌*, 第 64 号, 4-11, 平成 28 年.
- [10] 小泉寿男, 井上雅裕, 大江信宏, 秋山康智, 市村洋, 清尾克彦, “分野別 IoT 教育カリキュラムの提案”, *工学教育 (J.of JSEE)*, Vol. 66, No. 1, 46-53, 2018.
- [11] 亀岡真一, 磯田修平, 橋本篤, 伊藤良栄, 宮本哲, 和田弦己, 渡辺直樹, 亀岡孝治, “圃場における生育環境情報取得のための無線センサーネットワーク構築”, *農業情報研究*, Vol, 26, No. 1, 11-25, 2017.
- [12] 山口航平, 奥村真子, 三木理, “生長段階での微細藻類バイオマス量の間接的測定法の評価”, *BUNSEKI KAGAKU*, Vol. 65, No. 10, 559-562, 2016
- [13] Yuichi KAWAMOTO, Hiroshi NISHIYAMA, Nei KATO, Naoko YOSHIMURA, Shinichi YAMAMOTO: “Internet of Things(IoT): Present State and Future Prospects”, *IEICE TRANS. INF.& SYST.*, VOL. E97-D, NO. 10, 2568-2575, 2014.

## 紀要編集委員会

編集委員長	中 鉢 欣 秀	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
	奥 原 雅 之	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
	村 越 英 樹	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
	廣 瀬 雄 大	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 准教授

---

2020年度 東京都立産業技術大学院大学紀要

2021年1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)7834

URL <https://aiit.ac.jp>

---