

# 産業技術大学院大学 紀 要

Bulletin of  
Advanced Institute of Industrial Technology

第 6 号

2012 年 12 月

産業技術大学院大学

## 目 次

## 論 文

スマートシティにおけるプライバシー影響評価の適用に関する考察……	瀬 戸 洋 一	1
超音波振動と低周波振動を用いた溶接残留応力の低減……	越 水 重 臣 青 木 繁 栗 田 勝 実	9
国内の技術特性から見るイノベーションの阻害要因に関する基礎的考察…	吉 田 敏	15
NSBroker: インターネット上での対話型通信基盤……	秋 口 忠 三	21
ゲーミフィケーションに基づく達成度提示型ものづくり系技術伝承 WBL …	橋 本 洋 志 田 端 秀 輝	37
ヒトの概日リズムが照明環境の評価へ与える影響……	中 島 瑞 季 横 井 聖 宏 山 中 敏 正	43
小型ロボットを利用した簡易型 RSNP ロボットサービス開発環境の構築…	成 田 雅 彦 加 藤 由 花 土 屋 陽 介	53
チーム設計による 3D-CAD/RP の実務教育……	舘 野 寿 丈 橋 本 洋 志 佐々木 信 夫 吉 岡 秀 明 栗 原 宏	61
統計的なデータ分析による問合せ結果の自動的な構造化……	慎 祥 揆	67
ラスト・モダンにおける近代化の「圧縮」戦略（発展戦略） -開発主義と二つの共発主義-	前 田 充 浩	75
高圧下のせん断による新素材の作成……	管 野 善 則	87
自律的な学習における目標と手段の調査……	網 代 剛	93
Home Continuity Plan サービスに関する 平成 23 年度 AIIT-PBL の成果から ……	川 田 誠 一 田 村 百合子 西 垣 勇 人 三 好 きよみ 黄 海 蘭 加府藤 茂	101

プライバシーウェアネスに向けたソーシャルメディアの プライバシー侵害分析……………	嶋 田 茂	107
<b>総 説</b>		
RSNP を利用したロボットサービスコンテストの開催報告……………	土 屋 陽 介 加 藤 由 花 成 田 雅 彦	115
情報アーキテクチャ専攻における PBL 環境と学修支援……………	土 屋 陽 介 長 尾 雄 行 慎 祥 揆	121
日本が世界に誇れることについての考察……………	戸 沢 義 夫	127
自動車のデザインと設計開発における感性価値……………	小 山 登	133
大規模プロジェクトの PM 養成……………	酒 森 潔	137
<b>研究速報</b>		
小規模ソフトウェアの効率的開発を実現する PBL 教材の開発……………	小 山 裕 司 中 鉢 欣 秀	143
中国の電動自転車産業に関する一考察……………	陳 俊 甫	147
ナビゲーション関数を用いた視覚フィードバック制御の 目標値生成に対する一考察……………	村 尾 俊 幸 河 合 宏 之	153
離散凸最適化アルゴリズムの応用について……………	森 口 聡 子	159
遠隔ワークショップを介した防災まちづくりの 支援環境に関する実践報告……………	佐々木 一晋 脇 田 理 人 山 家 京 子	165
フリーハンド・スケッチによる形態の操作と展開……………	福 田 哲 夫	171
赤ちゃんの駅などの子育て支援施設のための什器の開発……………	國 澤 好 衛 岡 本 和 久 栗 原 佑 治 高 橋 大 輔 田 島 薫 成 富 田 郁 成	183
PBL における協創型ソフトウェア開発モデルへのアプローチ……………	中 鉢 欣 秀	189

## CONTENTS

**Regular Papers**

Study on the application of the privacy impact assessment in the Smart City ·····	Yoichi Seto	1
Reduction of Residual Stress Using Low Frequency and Ultrasonic Vibrations ·····	Shigeomi Koshimizu Shigeru Aoki Katsumi Kurita	9
Fundamental Study of Weak Points for Innovation In Japanese Technological Mechanism ·····	Satoshi Yoshida	15
NSBroker: Interactive Communication Base on The Internet ·····	Chuzo Akiguchi	21
WBL on Technical Transfer in NODZUKURI with Present of Achievement Based on Gamification ·····	Hiroshi Hashimoto Hideki Tabata	37
The Effect to Evaluation of Lighting Environment by Human Circadian Rhythm. ·····	Mizuki Nakajima Takahiro Yokoi Toshimasa Yamanaka	43
A Simple RSNP Robot Service Development Environment using Small-scale Robots ·····	Masahiko Narita Yuka Kato Yosuke Tsuchiya	53
Practical training of 3D-CAD/3D-Printing with team design ·····	Toshitake Tateno Hiroshi Hashimoto Nobuo Sasaki Hideaki Yoshioka Hiroshi Kurihara	61
Automatic Structuring Query Results by Statistical Data Analysis ····	Sang-Gyu Shin	67
Developmental Strategies, as 'Compressing' Methods of Modernization in the Last Modern Era: Developmentalism and Two Models of Co-developmentalism ·····	Mitsuhiro Maeda	75
Creation of the new materials under high pressure shear stress ·····	Yoshinori Kanno	87
A Research of the Purposes and Methods for Autonomous Learning ····	Tsuyoshi Aziro	93

Some Results of AIIT-PBL in 2011 about the

Home Continuity Plan Services ·····	Seiichi Kawata Yuriko Tamura Hayato Nishigaki Kiyomi Miyoshi Hailan Huang Shigeru Kafuto	101
-------------------------------------	---	-----

Privacy Invasion Analysis of Social Media for Privacy Awareness ·····	Shigeru Shimada	107
---	-----------------	-----

**Review Papers**

Report of Robot Service Contest Using RSNP ·····	Yosuke Tsuchiya Yuka Kato Masahiko Narita	115
--	---	-----

PBL environment and facilitation of learning in the Information Systems Architecture Division ·····	Yosuke Tsuchiya Takeyuki Nagao Sanggyu Shin	121
--	---	-----

Investigation on what Japan can be proud of in worldwide ·····	Yoshio Tozawa	127
--	---------------	-----

Kansei Value in an Automobile Design ·····	Noboru Koyama	133
--	---------------	-----

Project Manager Education for Large projects ·····	Kiyoshi Sakamori	137
--	------------------	-----

**Short Notes**

A Design of PBL Material for Efficient Software Development ·····	Hiroshi Koyama Yoshihide Chubachi	143
---	--------------------------------------	-----

A Study on Electric Two-Wheelers Industry in China ·····	Junfu Chen	147
--	------------	-----

A Study on Path Planning for Visual Feedback Control via Navigation ·····	Toshiyuki Murao Hiroyuki Kawai	153
---	-----------------------------------	-----

The Application of Discrete Convex Optimization Algorithms ·····	Satoko Moriguchi	159
--	------------------	-----

Development of Community-based Workshop for Disaster Mitigation with Remote Supporting Tools ·····	Isshin Sasaki Masato Wakita Kyoko Yamaga	165
---	--	-----

Idea generation for form used Freehand sketch ·····	Tetsuo Fukuda	171
---	---------------	-----

Furniture Design in Facilities for Parents accompanied with Small Child .....	Yoshie Kunisawa Kazuhisa Okamoto Yuji Kurihara Kaoru Tajima Daisuke Takahashi Ikunari Tomita	183
An Approach to Co-creative Software Development Model in PBL .....	Yoshihide Chubachi	189

# スマートシティにおけるプライバシー影響評価の適用 に関する考察

瀬戸 洋一

## Study on the application of the Privacy Impact Assessment in the Smart City

Yoichi Seto

### Abstract

The Smart City project is currently being promoted in various countries around the world. That is to take advantage of personal information and utilization of energy more appropriately. Therefore, it is said that when there are privacy issues. However, it specifically discuss the privacy risks in the specific project of Smart City is premature. We discuss the privacy risks around the smart grid standardization advances which technology is the core of the Smart City. In this paper, we have verified the effectiveness of the Privacy Impact Assessment, such as privacy risks in Smart City.

**Keywords:** Personal information protection law, Privacy Impact Assessment, Risk management, Smart City, Smart Grid

### 1. はじめに

エネルギーの有効利用や IT を利用しライフスタイルの变革を目指すスマートシティのプロジェクトは、現在、世界各国で推進中であり、特定のスマートシティのプロジェクトについて、プライバシーリスクを具体的に論じるのは時期尚早である。したがって、本論文ではスマートシティの中核的な技術であり、標準化が進むスマートグリッドを中心にプライバシーリスクを論じる。

スマートグリッドにおけるセキュリティとプライバシーの問題は、システムを実現する上で重要なテーマとなっている[1]。つまり、発電から送電・配電にいたる電力系統や制御機器を情報ネットワークと統合し運用する社会インフラ機器はサイバー攻撃等の情報セキュリティ上のリスクをもたらす。

例えば、系統制御システムの乗っ取り、虚偽の制御情報による系統混乱、DDoS(Distributed Denial of Service)攻撃によるサービス妨害・停止といった攻撃はライフラインの維持にとって重大な事態を招く可能性がある[2]。

また、スマートメータを介した消費者の電力使用量等の個人情報の流出によるプライバシー侵害の懸念も大きな問題として指摘されている。生活環境のいたるところに各家庭のエネルギー使用状況を監視することができるスマートメータなどの機器が設置されることで、個々人の生活情報がネットワーク上に流出する危険性が存在する。これらの問題は従来のプライバシーに関して議論されてきた範囲を超えた新たな問題も生み出す危険がある。

本論文では、スマートグリッドにおけるプライバシーの考

え方を整理するとともに、プライバシー問題を考える際の手法としてプライバシーバイデザインの考え方や、その有力な評価手法であるプライバシー影響評価の有効性について考察する。

### 2. スマートシティにおけるプライバシーリスク

#### 2.1. スマートグリッドにおけるプライバシーとは

プライバシーという言葉自体は、日常語化されているが、正確に定義することは難しい。例えば、以下の視点でプライバシーをとらえることができる。

- (1) プライバシーの多義性: 男女、年代などでも異なり、複数の解釈がある。なにをもって、プライバシー侵害と感ずるかは人により異なる。
- (2) プライバシーの個別性: 性別は同じでも個人の認識に差がある。どの程度をもってプライバシー侵害と感ずるかは人により異なる。
- (3) プライバシーの流動性: 問題の状況は、社会的背景、場所などで変化する。など考慮すべき視点がある。

現代社会は、セキュリティ(社会の安全性)とプライバシーはゼロサムゲームであり、「安全のためにはプライバシーを手放さなくてはならない」という考えもある。しかし、犯罪に対する不安感とプライバシーに対する安心感のバランスが重要である。

スマートグリッドにおけるプライバシー問題については、米国 国立標準技術研究所 NIST(National Institute of Standards and Technology)が、スマートグリッドに関するサ

イバーセキュリティおよびプライバシーに関する報告書を公表している[3]。詳細は 2.2 節で紹介する。

スマートグリッドの普及に伴い、プライバシーに関する懸念事項として、個人情報の窃盗、個人の行動の追跡、リアルタイム監視などを挙げている。第三者は、スマートグリッド用の機器から情報を入手することで、消費者の個人的な行動や状態を把握できるようになる。

例えば、スマートメーターのデータを第三者が入手した場合、電気製品や部屋の仕様状況がわかるため、家が留守かどうか分かるようになる。また、第三者が医療器具の使用状況を入手することも可能となるため、これまで厳重に管理されていた問題が表にでてしまう。

2010 年に米国で普及を進めているスマートメーターに深刻なセキュリティホールが発見された[4]。この報告によれば、不正侵入によりメータ管理を横取りし、プログラムを変更することで他人の電力料金を変更する操作が可能であることを指摘している。

図 1 は、スマートグリッドの簡易モデルである。プライバシーリスクのエリアとして 3 つある[1]。

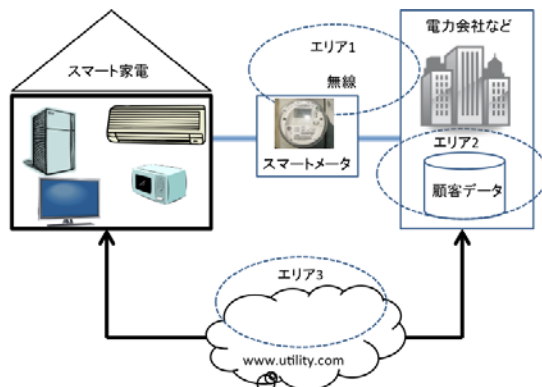


図1 スマートグリッドにおける主なプライバシーリスク

#### (1) エリア 1

スマートメーターにより収集される家庭の電力消費データがポイントである。データは電力供給側へ送られる。電力供給側はこれらの個人データをサービス提供組織に転送することもある。

データ転送は、有線のほか無線を利用する場合がある。ここでの転送データは、データの粒度に関係しリスクが発生する。例えばハッカーあるいは悪意あるプログラムにより転送中のデータが傍受される可能性がある。その結果、個人情報は危険にさらされる。この種のデータは、サービス提供者のみならず犯罪者によって興味ある家庭での行動、家族構成と結びつけることができる。

#### (2) エリア 2

電力会社などにより、電力料金や詳細な消費情報を含む、顧客情報の収集や、利用、開示などを関係つけている。このデータは、電力会社のみならず、サービス提供組織などにより 2 次利用される。そこで、データマッチング、市場調査、プロファイリング（行動分析）などが行われる。したがって、窃盗などの脆弱性が生じる恐れがある。

#### (3) エリア 3

消費者が電力消費データへオンラインでアクセスすることで、消費者が、いつ、どのように電気を利用しているか、ウェブを利用して把握する。このため、センシティブなデータへアクセスすることに対し強いセキュリティと、なりすましを防

止する強い認証技術が必要である。

米国では、スマートメーターが計測する電力利用情報を消費者にリアルタイムで提供し、かつ利用者のプライバシーを守ることが義務化する法案が 2010 年 3 月に米国下院に提出されている。同法案は、「e-know(Electric Consumer Rights to Know) Act」と呼ばれ、米国の消費者が電力利用料や電力料金の時間変化をリアルタイムで確認できる権利を確立すること、そして、このような電力利用情報を消費者が機器で読めるようなフォーマットにすることを求めている[6]。

## 2.2. 米国 NIST の取り組み

米国では、NIST を中心としてスマートグリッド関連機器の Interoperability 確保の検討を行っている。2010 年 8 月に NIST IR 7628 (Guidelines for Smart Grid Cyber Security) を発行した[11]。

この文書の目的は以下の 2 点である。

- ・スマートグリッドの情報セキュリティを扱う団体へガイダンスの提供
  - ・スマートグリッドに適合した情報セキュリティ要件の策定に利用した分析プロセスに関する背景情報の提供
- 本文書は次の 3 部構成となっている。

- ① Vol. 1: Smart Grid Cyber Security Strategy, Architecture, and High-level Requirements  
スマートグリッドの全体をブロックダイアグラムで表現した Logical Reference Model ベースにセキュリティ要件の適用の必要性の有無が定義されている。
- ② Vol. 2: Privacy and the Smart Grid  
スマートグリッドにおけるプライバシー問題を扱っている。内容の概要は後述する。
- ③ Vol. 3: Supportive Analyses and References  
一連の補足的な分析結果や参考情報についてまとめている。
  - ・脆弱性のクラス分類
  - ・ボトムアップ分析
  - ・研究開発テーマ
  - ・関連規格のレビューの方針
  - ・セキュリティ検討のキーになるユースケースなどを掲載している。

NIST IR 7826 Vol.2 はプライバシー課題にのみ割かれている[3]。スマートグリッドにおける重要なプライバシー情報としてスマートメーターや HEMS (Home Energy Management System) から収集される各家庭の利用者情報（単位時間当たりの電力使用量等）がある。例えば、図 2 に示すようにユーザ情報に含まれる「電力利用状況」からは、家庭内のユーザの生活行動パターンや家庭内設備（例えば、住宅の有無や電気自動車の所有など）をオンラインで推定することが可能である。

表 1 に示すようなプライバシーにかかわる情報がスマートグリッドを介して得ることができる。

これらの情報は、通常は電気料金の管理や省エネサービスのために用いられるものであるが、利用者が望まない別の行為に悪用される可能性がある。以下のような事例が指摘されている[2]。

#### (1) 詐欺行為

データの操作により他の場所や他の電機自動車が消費したように見せかける。

#### (2) 個人挙動パターンや利用機器の特定

スマートメーターやホームオートメーションのデータから特定の機器の利用を追跡できる。また、電気の利用データから、



屋内のどこで、いつどんな機器が使われているかがわかる。

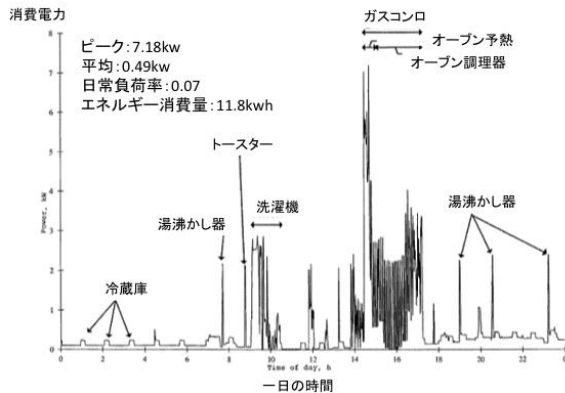


図2 個人の活動に対する電力使用状況の例

これにより、家電メーカーはこの情報を用いて、製品の信頼性や保証期間などの設定に利用や、ターゲット広告などのマーケティングに利用する。

(3)リアルタイムでのリモート監視

リアルタイムでモニタリングすることで、在宅の有無、住人の行動(歩いている、寝ているなど)の情報を得る。

(4)スマートグリッド以外の商用目的での使用

個人のエネルギーの消費履歴から導出されるライフスタイルの属性情報は広い分野の製品、サービスベンダーなどに有用な情報となる。ベンダーは属性情報を購入し、ターゲットの選定、商品を望まない人に対してもセールスを行う。

表1 スマートグリッドで入手できる情報

Data Element(s)	Description
Name	Party responsible for the account
Address	Location where service is being taken
Account Number	Unique identifier for the account
Meter reading	kWh energy consumption recorded at 15-60 (or shorter) minute intervals during the current billing cycle
Current bill	Current amount due on the account
Billing history	Past meter reads and bills, including history of late payments/failure to pay, if any
Home area network	Networked in-home electrical appliances and devices
Lifestyle	When the home is occupied and unoccupied, when occupants are awake and asleep, how many various appliances are used
Distributed resources	The presence of on-site generation and/or storage devices, operational status, net supply to or consumption from the grid, usage patterns
Meter IP	The Internet Protocol address for the meter, if applicable
Service provider	Identity of the party supplying this account (relevant only in retail access markets)

### 3. スマートグリッドのプライバシーリスク対策

#### 3.1. プライバシーリスク

スマートグリッドのような新技術の導入に伴うリスク検討にあたっては、リスクマネジメントのフレームワークの構築が必要となる。フレームワークの構築にあたっては、リスク評価が必要となり、どのような観点でリスクをとらえるのか、どのような程度のリスクまでは許容するのか判断が重要となる。

スマートグリッドにおけるプライバシーもリスク評価の観点からの検討が求められている。スマートグリッドのセキュリティ戦略を検討するにあたって必要となるタスクを以下のようなタスクを定義している。

タスク1 事例(ユースケース)分析

既存の情報源(例えば電力会社)からセキュリティ考慮にあたっての事例を選び、それらをもとにリスクアセスメントを行うための共通フレームワークを構築する。

タスク2 リスクアセスメント

全体的な機能レベルにおいて脆弱性、脅威を特定する。本アウトプットがセキュリティ要件の基礎となる。ポイントは、現実的な「脅威」のアセスメントを実施できるかである。

- ・ボトムアップ分析: 既に定期されている特定のセキュリティ問題に着目し、そこに内在する問題がなにかを詳細に検討する。ここでは包括的なギャップ分析は行わず、あくまで個別事例の問題に焦点をあてて分析する。
- ・トップダウン分析: スマートグリッド全体のロジカルインタフェースを構築する。現在約 18 のインタフェースカテゴリに分類されている。例えば、B2B コネクション、センサネットワークと管理システム間のインタフェース、一般向けサイトとのインタフェースなど。これらをもとに、それぞれのインパクトを高中低で分類する。ここでのアウトプットはタスク 3 のセキュリティ要件に用いられる。

タスク 3 セキュリティ要件の開発

既存の多領域におけるセキュリティ要件を参考とし、共通的な要件を作成する。ただし、これらは必須要件ではなく、あくまでも、ガイドライン的な要素として位置づけられる。プライバシーリスクに対する要件の抽出にあたっては、本プロセスにて、プライバシーアセスメントも実施する。

タスク 4 設計

上記のタスク 2 で詳細化された内容をもとにセキュリティアーキテクチャを設計する。ここで設計されたスマートグリッドのセキュリティアーキテクチャが全体のセキュリティ要件となる。セキュリティ要件のギャップなどが特定され、ギャップを解消するための検討を行う。

タスク 5 評価プログラムの作成

適合性評価としての評価プログラムを作成する。

タスク 2 は一般的なセキュリティ対応であるが、特にプライバシーに関するアセスメントの手法として提案されているのが、「プライバシー影響評価」(Privacy Impact Assessment 以下 PIA と表記)である。また、プライバシー保護に関する対応の基本的な考えを示したものが、「計画的なプライバシー対策」(Privacy by Design 以下 PbD と表記)である[7]。以下に概要を紹介する。

#### 3.2. プライバシーバイデザイン

Privacy by Design とは、「計画的なプライバシー対策」であり、カナダオンタリオ州情報&プライバシーコミッショナーの Ann Cavoukian 博士が 1990 年代に提唱したものである。定義は、「プライバシー侵害のリスクを低減するために、システムの開発においてプロアクティブ (proactive 事前) にプライバシー対策を考慮するというコンセプトであり、企画から保守段階までのシステムライフサイクルで一貫した取り組みを行うこと」である[7]。

PbD のコンセプトを図 3 に示す。PbD は情報技術だけでなく、組織や社会基盤も適用対象としている。PbD の実施は適用対象に 7 原則を適用する。また、アプリケーションにプライバシー強化技術 (Privacy-Enhancing Technologies 以下 PET と表記)を組み込み、組織のプライバシーリスクの低減対策を行うことである。

PET は、「個人情報の不必要又は違法な処理を防ぎ、個人データに関する個々のコントロールを強化するためのツール、及びコントロールを提供することにより情報システムの個人のプライバシー保護を強化する情報通信技術」のことである。例えば、情報の盗難に対しては暗号化技術、成りすまし防止に対しては認証技術がある。

PbD は、個人情報の公正な運用についての原則(Fair

Information practices, 以下 FIPS と表記)に則りシステムを構築することを勧めている.FIPS とは、個人情報扱うシステムの設計開発に関する技術や個人情報に関する公正な運用についての原則をいう。

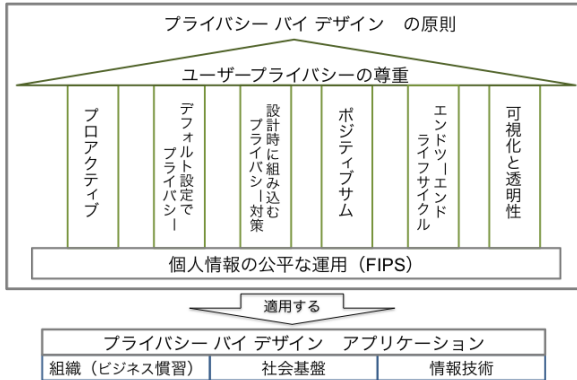


図3 Privacy by Design の考え方

FIPS の原則は、以下の通りである。

- (1) 通知: 個人情報を収集する者は、事前に情報の取り扱いについて、個人情報の所有者である当事者に開示する。
- (2) 選択: 個人情報を収集する場合はその使用方法について、当事者に選択権を与える。
- (3) アクセス: 収集した個人情報を当事者が参照及び訂正することが可能とする。
- (4) セキュリティ: 情報の不正利用に対して妥当な対策をとる。

FIPS の原則は OECD ガイドラインを基礎としており、米国プライバシー法や EU データ保護指令に採用されている[7]。

従来、社会の安全性を確保するには、セキュリティを強化し、ある程度のプライバシーの侵害は仕方がないという考え方が多かったが、PbD では、セキュリティとプライバシーの両方の安全性を成立させるポジティブサム (Positive-Sum Paradigm) を基本としている。

ポジティブサムの観点では、セキュリティ対策とプライバシー保護は Win-Win の関係が可能であり、プライバシーに配慮した効率的なセキュリティソリューションが成り立つ。つまり、ポジティブサムとは、システム構築に際してプロアクティブにビジネスプロセスにプライバシー対策とセキュリティ対策を両立し実装することである。

PbD のコンセプトを実現する手法が PIA である。個人情報を扱うシステムの構築にあたって、事業実行前のプライバシーリスク評価の実施で計画改善を図ることを目的としている。これにより、IT システム運用のリスク回避や、個人情報を提供する個人や関心のある世論への説明責任の実施することができる。次の節で PIA の概要を紹介する。

### 3. プライバシー影響評価

#### 3.1. プライバシー影響評価の背景

1990 年代に、個人情報の電子化が進むとともに情報システムの構築におけるプライバシーの問題が生じ、プライバシー影響評価の実施が検討され始めた。90 年代後半、行政機関による予算承認のプロセスとして、独立した第三者機関による PIA の実施が義務化されたことにより PIA がカナダ、ニュージーランド及びオーストラリアで先行し実施された[8]。

PIA とは個人情報の収集を伴うシステムの導入・改修の

際に、プライバシー問題の回避・緩和のために、プライバシーへの影響を「事前」に評価するリスク分析手法である。

PIA の実施結果を踏まえ、必要に応じて、システムの運用的及び技術的な面から構築するシステムの仕様の変更を促すものである。PIA を実施し、システム稼働前に変更を行うことにより、システム稼働後にプライバシー問題が発生し、システムの稼働停止や、それに伴い発生するビジネス上のリスク、システム改修に伴う費用負担を軽減することができる[5]。

図 4 は PIA の機能構成を示す。PIA は、プライバシー・フレームワークとプライバシー・アセスメント、プライバシー・アーキテクチャー 3 つの機能で構成される。

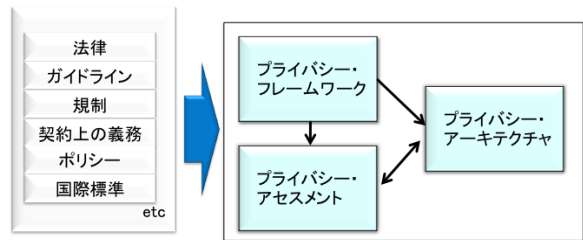


図4 プライバシー影響評価 PIA の概要

法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、ポリシーなどは、アセスメントを行うための入力データとなる。

#### (1) プライバシー・フレームワーク

制度面からのアプローチである。法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、既存のポリシーなどをもとに、対象システムに必要なプライバシー要件の抽出や評価シートなどを定める。

#### (2) プライバシー・アセスメント

運用面からのアプローチである。プライバシー・フレームワークを元に、システムのデータフロー分析、及び評価シートなどを用いプライバシーに関する影響分析を行う。

#### (3) プライバシー・アーキテクチャー

技術面からのアプローチである。プライバシー・フレームワーク、プライバシー・アセスメントを元に、システム設計仕様を検討し、技術的にプライバシーに関する問題解決を図る。

表 2 に米国、カナダ、オーストラリアなどにおける PIA の実施状況をまとめる。カナダには、プライバシーに関する法律として、行政分野を対象とするプライバシー法 (Privacy Act) と民間分野を対象とする PIPEDA (Personal Information and Electronic Documents Acts) の 2 つが存在する。どちらの法律にも PIA についての記述は存在しない。しかし、PIA は承認プロセスの一環として、義務化されている。現在、PIA の実施と法律との関係を整理する試みがなされている。

カナダでは、国家財政委員会 (Treasury Board) 発行の PIA ガイドラインの他、州単位で発行したガイドラインも存在する。また、州ごとにプライバシーコミッショナーも存在する。プライバシーコミッショナーは、政府組織から独立しており、PIA の実施に際し、助言を行う。また、PIA 報告書の回付を受ける。

PIA の実施主体は、評価対象であるシステムを構築/改修する政府機関である。プロジェクト実施組織の副責任者 (Deputy Minister) が PIA 報告書の承認を行う。また、PIA 報告書の公開や責任について PIA ポリシーに記載されている。

オーストラリアでは、プライバシー法 (Privacy Act 1988) が主に個人情報の取扱いに係る法的な根拠となっている。プライバシー法第 14 条に規定されている IPP (Information

Privacy Principles)は、政府機関によって扱われる個人情報に、プライバシー保護が最低限必要であることを提示している。つまり、行政システムの新規構築や改修という行政上の行為が、PIA の実施を必要としている[8]。

プライバシーに関する独立した第三者機関としてプライバシーコミッショナー制度が存在する。PIA ガイドラインは、プライバシーコミッショナーが策定し発行を行っている。ガイドラインは民間用と行政用の 2 つが発行されており、行政用は PIA を実施した際、報告書を公開することが義務付けられている。民間での実施は、公開を義務付けていない。ニュージーランドはオーストラリアと同様の実施状況である。

一方、米国における PIA の実施は、電子政府法(e-Government Act of 2002)第 208 条により、義務付けられている。プライバシーコミッショナーのようなプライバシーに関する独立した第三者機関は存在しない。このため、海外からの入国者を顔や指紋データなどを用い管理する US-VISIT などのシステム構築においては、国土安全保障法(Homeland Security Act of 2002)第 222 条に基づき、チーフプライバシー・オフィサー (Chief Privacy Officer)の任命を義務付けている。CPO は、U.S. Department of Homeland Security (米国土安全保障省 以下、DHS と記す)が使用するシステムについて、プライバシー保護の確立を保証する必要がある。システムを構築する組織の責任者が PIA 実施を指示し、PIA の実施報告書に対し、CPO が助言、署名し、Office of Management and Budget (以下、行政管理予算局と記す)が報告書を精査し、問題なければ予算認可を行う。スマートグリッドも同様のフレームワークで評価を実施している。

上記によると PIA を実施するには、法律(hard law)で義務付けている米国と、ソフトロー(soft law)に相当するガイドラインなどで義務付けているカナダ、オーストラリアがある。法律で義務付けているのは調査した範囲では米国だけである。行政システムの構築においては、PIA の実施はシステム構築の予算認可の条件としている。また、PIA の実施を中立的に行うためには、カナダ、オーストラリアでは社会制度としてプライバシーコミッショナーが設置され、データ主体である個人の利益を守る仕組みができていないが、社会度がない米国では、法律によって組織内に独立した専門監査機能である CPO を設置している。

日本で実施するためにも、PIA を有効に実施するための手順と中立的な評価が行える仕組みを整備することが必要である。

表2 PIA に関する各国の状況

国名	法律、ガイドライン、ポリシー	独立検証機関	実施主体	備考
英国	データ保護法はあるが、PIA実施を義務付けていない 内閣府が発行する報告書で、中央省庁に対して、PIA 実施を義務付けている	あり	新規導入・改修される個人情報を取り扱うシステムを使用・管理する行政機関 自治体の各部門が自主的に採用	アドバイスと検証を省庁から独立したInformation Commissioner's Office(ICO)が実施 予算承認との関連なし
韓国	個人情報保護法で公的部門に関してはPIAの実施を義務付けている 民間部門にはPIMSの取得を推奨	あり	行政機関や一部自治体 民間は任意	プライバシーコミッショナーは存在しないが、中央行政機関の行政安全部が調査、監査、助言、PIAガイドラインを発行 予算承認との関連なし
日本(整備中)	番号法(仮称)にて共通番号に関連するシステムについて情報保護評価の実施を義務付ける	あり	行政機関および一部民間企業・団体	情報保護評価を実施した組織が作成した報告書の承認を行う第三者機関(委員会)の設置を検討中 予算承認との関連なし

### 3.2. 国際標準 ISO22307 における手順と体制

PIA は国際標準となっている ISO22307 (Financial services-Privacy Impact Assessment) は、国際標準化委員会 ISO TC68/SC7(金融サービス)により 2008 年 4 月に発行

されたプライバシー影響評価に関する国際標準規格である[8]。

金融業務はグローバルな活動となるため、利用者の個人情報、コンピュータ・ネットワークを経由して国境を越えて移動することになる。このため、国際的な取引を行う際にプライバシー問題の整合性を取る共通のフレームワークが必要となり、ISO22307として標準化された。ISO22307は、内容的に金融業界限定してないため、他の業種にも適用可能と考える。

ISO22307 で定められた PIA の要求事項は、以下の 6 項目である。前半の 3 項目が PIA の実施手順に相当し、後半の 3 項目は PIA の実施体制に関係する[4]。

#### (1) PIA 計画

PIA 計画の目的は、以下の 4 点に関する作業を行い、PIA 実施計画書を作成することにある。

#### (2) PIA の適用範囲の定義

PIA 実施者に必要な専門知識分野の特定する。

対象システムに適用されるプライバシーについての法令、規格の特定

#### (3) 対象システムの調査

対象システムとして、以下の事項を記述する。

- ビジネス上の目的
- 個人情報の取扱い方法
- 対象システムの開発の種類(導入または改修など)
- 対象システムの段階(企画段階や設計段階など)
- 対象システムの概念図
- 業務プロセスフロー、データフロー、データモデル
- 既知のプライバシーリスクへのポリシーや回避策
- 対象システムをサポートする運用上の仕組み

#### (4) PIA 評価

PIA 評価の目的は、PIA 計画で定義した PIA の実施対象範囲となる情報資産について、情報資産の価値と脆弱性の程度、脅威の程度を評価することで、プライバシーリスクを明確化し、その対策案を作成することである。

PIA 評価では、以下の事項を実施する必要がある。

- 使用される個人情報についての業務プロセスとデータフローの分析
- プライバシーポリシーの適合性ギャップ分析
- PIA 報告書のための結論と勧告の作成

#### (5) PIA 報告

PIA 報告の目的は、対象システムについて関係者間でレビューを行うため、評価、分析した事項を文書化することである。

報告書は以下の項目を記載する必要がある。

- PIA の実施範囲
- PIA を実施し、報告書を作成したメンバーの持つ専門知識の分野
- PIA 実施プロセスの独立性
- システム開発のために実施された意思決定プロセス
- 関連するプライバシーポリシー、個人情報保護に関する法律、関連する規格等
- プライバシーポリシーや法律に適合する上でのリスクに関する評価
- 対象システムのビジネス目的を達成し、リスクを軽減する代替案
- プライバシーリスクを軽減する代替案が、対象システムの設計に適用されているか否か
- PIA 報告書の勧告に基づき対応を行う責任者の特定

#### (6) 十分な専門知識

PIA を実施するために、PIA 実施プロジェクトのメンバーは必要な専門知識を有する必要がある。最低限以下の分野をカバーしている必要がある。

- 評価対象に関するプライバシー関連の法律、ポリシー、及び国際的なプライバシー原則についての法律、分野の専門知識
- 対象システム、及び関連システムに関する IT インフラストラクチャについての専門知識
- 対象システム、及び関連システムに関する業務プロセスについての専門知識

(7) 独立性と公共性の程度

PIA を実施するにあたって、対象システムに関する利害関係に対して、中立性を確保することが必要である。PIA 報告書を、対象システムの開発主体と利害関係のない中立組織で確認することにより、利用者のプライバシー保護が確実に行われるようにする。

(8) 対象システムの意思決定時の利用

PIA の実施結果は、対象システムについて意思決定を行う際に、PIA 報告書に記載されたプライバシーリスクの回避策または緩和策を参照し、設計の変更などに用いられる。

日本におけるスマートグリッドに対し PIA を実施するためには、図5に示すように ISO22307 を要求事項としてハンドブックやマニュアル(手順や体制を明確化)の整備が必要である。

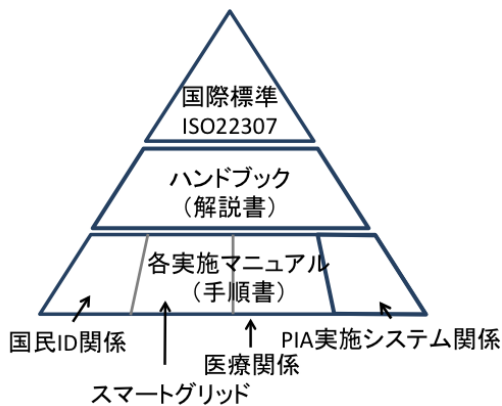


図5 PIA の実施環境の整備

4. スマートグリッドへの PIA の適用

4.1. 米国の事例

米国におけるスマートグリッドへの PIA の事例を以下に述べる。米国では、2009 年 7 月から 8 月に消費者(需要家)と電力施設などに関する PIA が実施された。スマートグリッドにおける PIA の実施により、事前にプライバシー問題の可視化ができ、対応すべき事項が明確になったという報告がある [5][10][11]。

米国のスマートグリッドにおける PIA の実施は以下の検証を目的としている。

- どのような個人情報スマートグリッドにより生成、蓄積、流通されるのか?
- スマートグリッドで利用する個人情報は、他のシステムやネットワークにおける個人情報とどこが異なるのか?
- スマートグリッド技術によって新規に発生するプライバシーリスクはなにか?
- 既存の法や規制、標準は、スマートグリッドにおける個人情報の生成、収集、流通に対して適用することができるのか?

・スマートグリッドの構成要素は、既存の法、規制および標準規格により、プライバシーリスクを低減し、プライバシーを保護できるのか?

(1) 対象範囲

PIA の実施範囲を図6に示す。消費者(電気自動車、スマートメータなど)、レガシーな発電システム、自然エネルギーによる新発電システムなど広域のシステムを対象に PIA を実施している。



図6 スマートグリッドへの PIA の適用例

(2) 関係法律と規格

PIA に利用した法律や規格は、下記の通りである。

- American Institute of Certified Public Accounts (AICPA)
- Generally Accepted Privacy Principles (GAPPs)
- ISO/IEC 27001 Information Security Management Principles
- The Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) Privacy Principles

(3) PIA 実施により得られた見解

PIA を実施することによって、10 の観点でプライバシーリスクが明確になったという結論である。

- 説明責任: プライバシーに関する責任部署などが書類、プライバシーの教育プログラム、およびスマートグリッドデータへのアクセスの監視に関する情報が欠落している。
- 目的と開示: 収集する情報の項目、そしてデータの収集の目的を明確にし、透明性をもたせる。
- 選択と同意: 集めたデータのタイプと利用の方法に関し、消費者へ選択権を与えるための手続きを確立する必要がある。
- 収集とスコープ: 収集するデータは、サービスに必要な最小限のデータとする。
- 利用と保有: スマートメータは、現在利用が可能でなくとも、利用と保有についての要求仕様を確立する。
- 個人のアクセス: スマートメータのデータは、消費者が容易にアクセスできない複数の場所で保管される。アクセスポリシーと手順を確立する。
- 公開と利用制限: エネルギーに関するデータあるいは他のスマートグリッドサービス活動は、許可された目的でのみ公開あるいは利用できるようにする。
- セキュリティと管理策: エネルギーに関するデータを盗難、許可されないアクセス、利用、あるいは改変から防御するための管理策を確立する。

-正確性と品質: スマートグリッドデータは、データのライフサイクルを通じて正確性を保つため、正確性、完全性などを完備させる。

-モニタリング、コンプライアンス: 消費者に関するコンプライアンスに準拠し、また、消費者から要求があった場合はPIAを実施できるような仕組みを確保する。

つまり、米国のスマートグリッドに関して、以下を結論としている。

(1) 個人に関連つける新しい種類の情報は、電力消費動向などを含み、関連するスマートグリッドデータに関する既存の法や規制では、これらのデータから流出するプライバシーの保護に関し考慮されていない。このため、プライバシーリスクを引き起こす可能性がある。

(2) 新しいスマートグリッドの技術、特にスマートメータや同様の端末機器も、また新しいプライバシーリスクや課題を生み出す懸念がある。既存の政策が、伝統的な電力網から収集されていた電力消費情報を収集する企業を守ることを目的としていたことが原因である。消費者の立場での政策転換が必要である。

米国において実施されたPIAは、スマートグリッドに関し活用した結果、どのような情報がどのような手順で収集、蓄積され、そしてどのような形で活用されるのかを明らかにするとともに、既存の法や政策の限界を明らかにしている。

これは、消費者をはじめとするステークホルダーの合意のもと、適正な観点でシステムを構築し運用し、新規のサービスの参入も可能としている。

#### 4.2. スマートグリッドにおけるPIA導入の意義

現状では、システムおよびサービスがどのような形になるか不明確な部分が多く、スマートシティ(スマートグリッド)におけるプライバシー問題は、まだ完全に把握できていない。同時に個人情報の収集に関わる組織における方針(ポリシー)や規制も十分に整備されていない。

スマートグリッドに関係するステークホルダー(消費者、施設、サービスプロバイダーなど)は多数存在する予定であり、また、個人情報の流通が複雑になる。

このため、スマートグリッドがもたらすプライバシーリスク自体が明確でなく、既存の法体系やガイドラインでは対応できない。どのようなプライバシー保護のコンプライアンス体系を整えばいいのか、PIAを用いて事前に把握することが有効である。

また、個人情報の流通は、一元的でなく、各施設、サービスプロバイダーが個別のプライバシー保護基準を順守するだけでは、プライバシー保護対策は完全でないと考えられる。システム構築運用の初期の段階で共通的なプライバシー基準の枠組みを整える上でPIAを活用できる。

米国におけるスマートグリッドのPIA手法も試行錯誤の段階であり、具体的な活用に向けた検討はこれからであるが、プライバシーリスクを可視化する方法としてPIAの活用が有効である。日本においては、3章で述べたように、先進的にPIAの活用を進める米国やカナダと異なる社会体制、法体系のため、まずは、PIAを実施できる環境の整備が必要である。

#### 5. おわりに

スマートシティは、いろいろな観点でプロジェクトが推進されている。現時点でスマートシティを俯瞰したプライバシーリ

スクを論じるのは時期尚早であり、具体的に開発が進み各国共通の課題となるスマートグリッドのプライバシーリスクについて述べた。

具体的には、プライバシーバイデザインというプライバシー対策の考えと、計画的なプライバシー対策において重要なプライバシー影響評価手法の有効性について述べた。

スマートグリッドにおけるプライバシー影響評価は米国やカナダなどでの実施に限定されているが、システムのプライバシーリスクの洗い出しおよび基本的な対策の方針、政策決定に有効であることが報告されている。報告では、従来のプライバシーに関して議論されてきた範囲を超えた新たな問題も生み出す危険があると指摘している。

日本でも、PIAを実施する環境の整備を早急に始め、スマートシティのプロジェクトで実施することが必要である。このためには、

- (1) PIAの効果を明確にする客観的な評価の実施、測定法の開発。
  - (2) PIAを実施コストの抑制する仕組みが必要。例えば評価方法の(半)自動化。
  - (3) PIAの実施環境の整備が必要。例えば、手順や実施体制を明確にしたハンドブックやガイドラインの開発。
- 以上が必要である。

#### 参考文献

- [1]新井宏征, 名和利男, 湧川隆次: 世界のスマートグリッド政策と標準化動向 2011, インプレス R&D インターネットメディア総合研究所, 2011.
- [2]伊藤聡, 島田毅, 神田充: スマートグリッドにおける情報セキュリティ, 東芝レビュー, Vol.66, No.11, pp.6-9, 2011.
- [3]NISTIR 7628 Guidelines for Smart Grid Cyber Security: Vol.2, Privacy and the Smart Grid, NIST, August 2010.
- [4]藤井秀之, 山口健介: スマートグリッドとプライバシー・個人情報の保護, 信学技報 SITE2010-40, pp.35-40, 2010.
- [5]SmartPrivacy for the Smart Grid: Embedding Privacy into the Design of Electricity Conservation, November 2009.
- [6]北米におけるスマートグリッド・セキュリティの取り組み, 平成23年電気学会全国大会 第1分冊, pp.5-7, 2011.
- [7]高坂定, 瀬戸洋一: プライバシーバイデザイン-計画的なプライバシー対策-, 自動認識10月号, pp.57-63, 2011.
- [8]瀬戸洋一ほか: プライバシー影響評価と個人情報保護, 中央経済社, 2010.
- [9]瀬戸洋一ほか: 情報セキュリティ実装保証とマネジメント, 日本工業出版, 2009.
- [10]NIST Smart Grid High Level Consumer-to-Utility Privacy Impact Assessment Draft v3.0, September 2009.
- [11]NISTIR 7628 Guidelines to Smart Grid Cyber Security Vol II: Privacy Briefing, September 2010.



# 超音波振動と低周波振動を用いた溶接残留応力の低減

越水 重臣 \* ・ 青木 繁 \*\* ・ 栗田 勝実 \*\*

## Reduction of Residual Stress Using Low Frequency and Ultrasonic Vibrations

Shigeomi Koshimizu\* and Shigeru Aoki\*\* and Katsumi Kurita\*\*

### Abstract

Welding is widely used for construction of many structures. It is well known that residual stress is generated near the bead because of locally given heat. Tensile residual stress on the surface degrades fatigue strength. On the other hand, welding is used for repair of mold and die. In this case, reduction of residual stress is required because of protection from crack of welded part in mold and die. In this paper, a new method for reduction of residual stress of welded joint is proposed for repair welding of mold and die. In this method, low frequency and ultrasonic vibrations are used during welding. Thick plates are used as specimens of mold and die. Residual stresses are reduced when low frequency and ultrasonic vibrations are used during welding. Experimental results are examined by simulation method using an analytical model. One mass model considering plastic deformation is used as an analytical model. Experimental results are demonstrated by simulation method.

Keywords: Welding, Residual stress, Mold, Repair welding, Plastic deformation

### 1. 緒言

溶接は多くの構造物に用いられている接合法である。溶接は局部的に熱を加える接合法であるために、溶接部付近に残留応力が発生する<sup>[1]</sup>。表面に発生する引張残留応力は疲労強度に悪影響を及ぼす<sup>[2]</sup>。残留応力を低減する方法がいくつか提案されている<sup>[3]</sup>。その中で、熱処理やショットピーニングが実用化されている<sup>[4]</sup>。これらの方法では、特殊な装置が必要であり、時間がかかるなどの問題点がある。溶接後に振動を加える方法も提案されているが、その有効性については疑問視されている<sup>[5]</sup>。

著者らは新しい残留応力低減法として振動を加えながら溶接する方法を提案し、その有効性について検討してきた。その中で、薄板の突合せ溶接において部材の固有振動数に近い比較的低い振動数の振動を加えながら溶接すると引張残留応力が低減されることを明らかにした<sup>[6][7]</sup>。また、広い範囲の周波数成分を含む不規則振動を用いることによって、引張残留応力が低減されることを明らかにした<sup>[8]</sup>。

一方で、超音波振動は固体中での伝達率がよいことが知られている<sup>[9]</sup>。超音波振動は難削材の切削や塑性加工などに利用されている<sup>[10]</sup>。これらのことを考慮して、著者らは超音波振動を加えながら溶接する方法を提案し、引張残留応力が低減されることを示した<sup>[11]</sup>。

金型の補修には溶接が使われている。この場合、金型の補修部のひび割れを防ぐために、残留応力の低減が望まれている。薄板の残留応力低減法を金型のようなブロック材に応用することができれば、金型の補修部のひび割れを防ぐことができる。

本報告では、金型の補修溶接の際に振動を加えることによって残留応力を低減する方法を提案する。この方法では、振動として低周波振動と超音波振動を加えながら溶接する。金型の試験片として厚板を用いた。その結果、低周波振動および超音波振動を加えながら溶接すると、残留応力が低減されることが明らかになった。実験結果を解析モデルを用いたシミュレーションによって検討した。解析モデルとして塑性変形を考慮したばねをもつモデルを用いた。シミュレーションによって実験結果を検証することができた。

### 2. 低周波振動および超音波振動を用いた実験

低周波振動および超音波振動を加えながら溶接する実験により、残留応力の低減について検討した。

#### 2.1. 実験装置

図1に試験片の寸法を示す。材質は一般構造用圧延鋼材 (JIS SS400)である。圧延時の残留応力を除去するために、真空焼鈍炉で1時間900℃に保持し、200℃になるまで炉冷した。試験片の中心線に沿って長さ150mm、幅5mm、深さ2mmの溝をつけた。金型の補修に見立てて、この溝部分を溶接する実験を行う。

図2に実験装置を示す。図1に示した試験片を図2のように支持装置上に置き、低周波振動および超音波振動を加えながら溶接した。

Received on September 30, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

\*\*都立産業技術高専, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

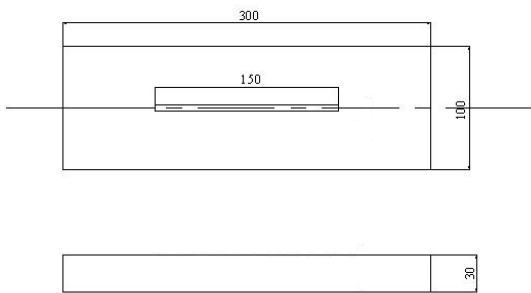


Fig.1 Size of specimen (mm)

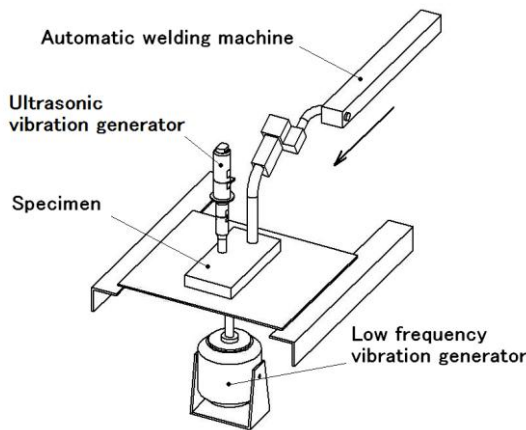


Fig.2 Experimental setup

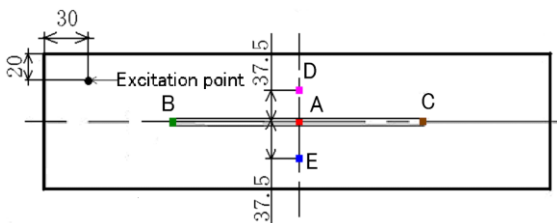


Fig.3 Excitation point of ultrasonic vibration and measuring locations of power spectral density functions (mm)

図2に示すように、低周波振動発生器は支持板の下に置き、低周波振動は支持板の下から試験片の中心に加えた。低周波振動の振動数は100Hzとした。ちなみに、図2に示すように置いた試験片の固有振動数は46Hzであった。したがって、100Hzの低周波振動により試験片が共振をすることはない。一方の超音波振動発生器は図3に示す位置に置き、超音波振動は試験片の上面から加えた。超音波振動の振動数は37.5kHzとした。超音波振動の出力は100Wである。試験片は自動炭酸ガスアーク溶接装置を用いて溶接した。溶接は一層溶接とした。また、比較測定のために、振動を加えないで溶接した試験片も製作した。

溝に沿って溶接を行った。溶接速度は2mm/sである。したがって75sで溶接が終了する。ワイヤの径は0.9mm、電圧は21V、電流は120Aとした。

## 2.2. 振動の測定

試験片上の振動を加速度ピックアップにより用いて測定した。加速度は図3に示す5点(A点からE点)で測定した。FFTアナライザーを用いて測定した加速度のパワースペクトル密度についても測定を行った。

図4にA点で測定した低周波振動のパワースペクトルを示す。また、図5にA点で測定した超音波振動のパワースペクトル密度を示す。図4および図5から、それぞれ印加した周波数成分に対応する100Hzおよび37.5kHzのところにピークが観察されることがわかる。他の点においても同様の結果が得られた。したがって、低周波振動および超音波振動が試験片に良好に伝達されていることが確認された。

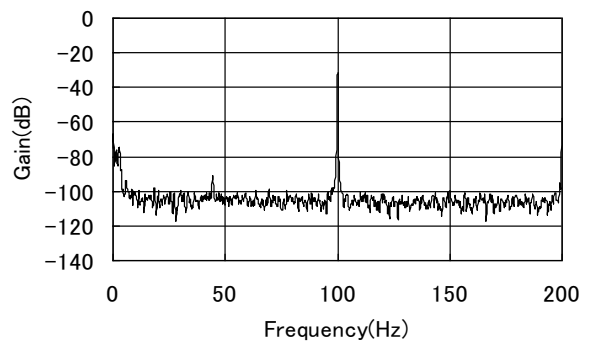


Fig.4 Power spectral density function of low frequency vibration (Point A)

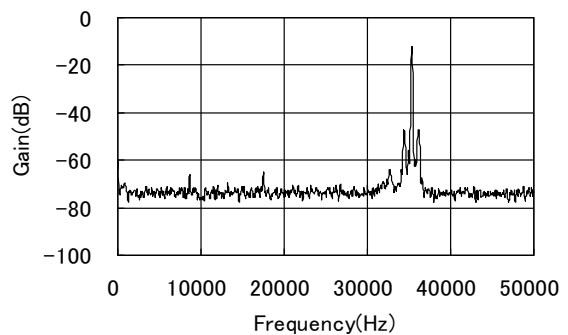


Fig.5 Power spectral density function of ultrasonic vibration (Point A)

## 2.3. 残留応力の測定

残留応力は6mol/lの塩酸で溶接部の酸化被膜を除去し、市販の化学研磨液(CPL)で平滑化した後にX線応力測定装置(株式会社リガク製)で測定した。表1に残留応力の測定条件を示した。

図6に残留応力の測定点を示す。図に示すように、ビード上の13点、ビード直角方向の5点でビード方向の残留応力を測定した。

## 2.4. 低周波振動を用いた実験結果

図7(a)および図7(b)にそれぞれ低周波振動を用いた場合のビード上およびビード直角方向の残留応力の測定結果を示す。



Table 1 Conditions of X ray stress measurements

Characteristic X-rays	Cr-K $\alpha$
Diffraction plane	$\alpha$ -Fe(211)
Filter	Vanadium foil
Stress determination	$\sin^2\psi$ method
Psi angle	0°, 15°, 30°, 45°
Irradiated area	2 × 4mm <sup>2</sup>
Tube voltage and current	30kV, 8mA
Scan condition	1.0°
Peak determination	Half value width method
Direction of measurement	Direction of bead
X-ray optics	Parallel beam

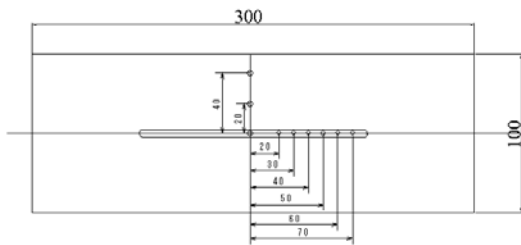
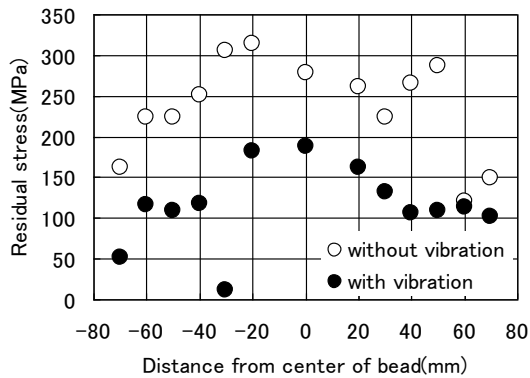
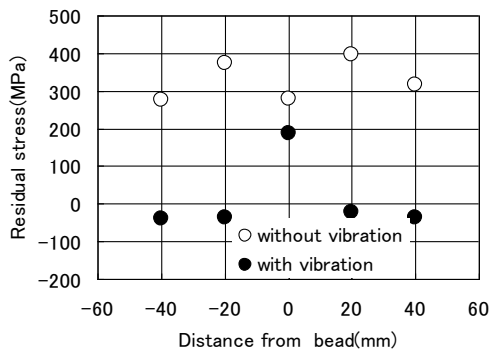


Fig.6 Measuring locations of residual stress (mm)



(a) on the bead



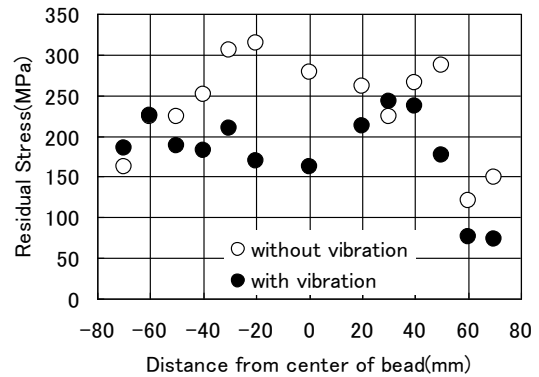
(b) on line perpendicular to the bead

Fig.7 Residual stress using low frequency vibration

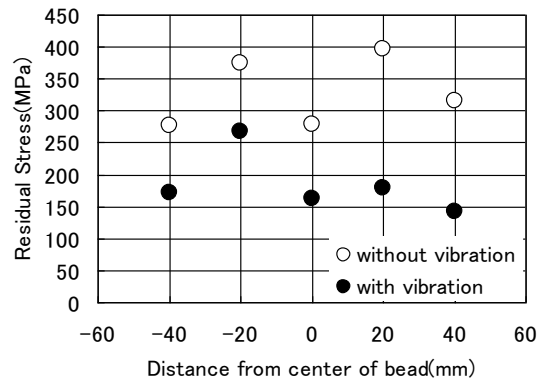
同図において、○は低周波振動を加えずに測定した結果、●は低周波振動を加えながら測定した結果である。低周波振動を加えない場合、ビード上では図 7(a)に示すようにすべての点で引張残留応力が生じている。とくにビード中央部で高い引張残留応力が生じている。低周波振動を加えながら溶接すると、引張残留応力が低減されている。ビード直角方向では図 7(b)に示すように、低周波振動を加えない場合には引張残留応力が生じている。低周波振動を加えながら溶接すると、引張残留応力が低減されていることがわかる。両図から、低周波振動を加えながら溶接することによって引張残留応力が低減される効果が明らかになった。

### 2.5. 超音波振動を用いた実験結果

図 8(a)および図 8(b)にそれぞれ超音波振動を用いた場合のビード上およびビード直角方向の残留応力の測定結果を示す。○は超音波振動を加えずに測定した結果、●は超音波振動を加えながら測定した結果である。超音波振動を加えない場合、ビード上では図 8(a)に示すようにすべての点で引張残留応力が生じている。とくにビード中央部で高い引張残留応力が生じている。超音波振動を加えながら溶接すると、引張残留応力が低減されている。ビード直角方向では図 8(b)に示すように、超音波振動を加えない場合には引張残留応力が生じている。超音波振動を加えながら溶接すると、引張残留応力が低減されていることがわかる。両図から、超音波振動を加えながら溶接することによって引張残留応力が低減される効果が明らかになった。



(a) on the bead



(b) on line perpendicular to the bead

Fig.8 Residual stress using ultrasonic vibration

### 3. 解析方法

溶接直後の溶接部付近の降伏力は非常に低い。そのため、小さい外力を加えることによって容易に塑性変形が生じる。振動を加えることによって塑性変形が生じ、ひずみが開放されることによって溶接残留応力が低減されたと考えられる。この条件を考慮したシミュレーションによって、ビードの中央部付近における残留応力の低減を定性的に検討することが解析の目的である。

#### 3.1. 解析モデル

解析に用いた2次元モデルを図9に示す<sup>[12]</sup>。この図は試験片のビード付近をモデル化したものである。横軸(x 軸)はビード直角方向、縦軸(y 軸)はビード方向を示す。

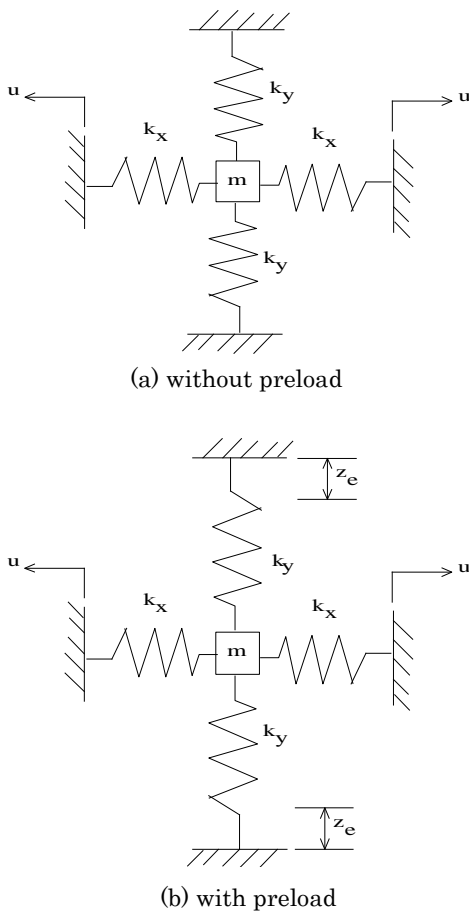


Fig.9 Two dimensional model

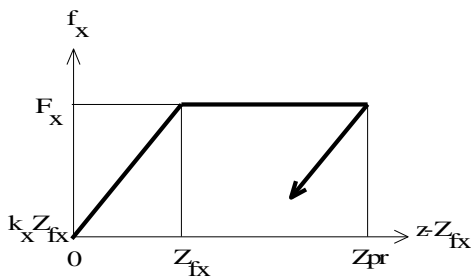


Fig.10 Perfectly-elasto-plastic force-deformation relation

図9(b)に示すように、y 軸方向のばねを釣合い位置から  $Z_e$  引張った状態で x 方向に振動を加える。  $k_y Z_e$  が振動を加えない場合の残留応力の相当する。それぞれのばねが完全弾塑性履歴復元力特性をもつものとした。

図10に x 軸方向の復元力と変位の関係を示す。 x 軸と y 軸が主応力の方向であるとして、ばねが図11に示すトレスカの降伏条件にしたがって降伏するものとした。ここでは  $F_y$  と  $F_x$  は等しいものとした。

入力に対する質点の変位を  $z(x\cdot u)$  とすると、弾性範囲内の x 軸方向の運動方程式は、

$$\ddot{z} + \omega_n^2 (z - Z_{px}) = -\ddot{u} \quad (1)$$

ここで、  $Z_{px}$  は永久変位を表し、  $\omega_n = \sqrt{2k_x/m}$  は弾性範囲内の固有円振動数を表す。  $Z_{fx}$  を弾性限界変位とすると、ばねが引張力を受けて降伏した場合の運動方程式は次式で与えられる。

$$\ddot{z} + 2F_x / m = -\ddot{u} \quad (2)$$

ここで、  $F_x$  は x 軸におけるばねの降伏力を表す。  $Z_{pr}$  を  $\dot{z} < 0$  となったときの変位とすると、  $Z_{px} = Z_{pr} - Z_{fx}$  となり、弾性範囲内の式(1)に戻る。

圧縮力を受けて降伏する場合に、残留応力に相当する  $F_{ys}$  が変化し、降伏力が変化する。この場合、運動方程式は、

$$\ddot{z} - 2(F_x - F_{ys}) / m = -\ddot{u} \quad (3)$$

$Z_e$  を振動開始時の降伏変位とすると、このときの降伏力  $F_{ys}$  は  $k_y Z_e$  となる。  $Z_{mr}$  を  $\dot{z} > 0$  となったときの変位とすると、  $Z_{px} = Z_{mr} + Z_{fx}$  であり式(3)の降伏力に相当する  $F_x - F_{ys}$  は次式で与えられる。

$$F_x - F_{ys} = \{F_x - k_y (Z_e + Z_{py})\} \quad (4)$$

ここで、  $Z_{py}$  は y 軸方向の永久変位の和を表す。 y 軸方向の変位に対して降伏領域がビードの幅と等しく、この領域の体積が等しいとすると、

$$Z_{py} = -0.5Z_{px} \quad (5)$$

これらの条件を考慮して、弾性範囲内の式(1)に戻る。振動を加えた後の残留応力は次式で与えられる。

$$F_{yf} = k_y (Z_e + Z_{py}) \quad (6)$$

x 軸方向と y 軸方向の応力は図11に示すような経路をたどる。永久変位が生じるときに残留応力が低減される。圧縮力を受けた場合に降伏することが多いので、図11では圧縮力を受ける場合に系が降伏するとした。実際の計算では圧縮力を受けた場合にのみ降伏した。

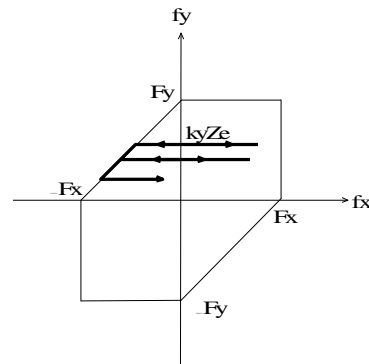


Fig.11 Tresca yield criterion

### 3.2. 解析結果

入力加速度は次式で与えられる.

$$\ddot{u} = U \sin \omega t \quad (7)$$

ここで,  $U$  は低周波振動および超音波振動の振幅である.  $\omega$  は 100Hz または 37.5kHz に相当する円振動数である. 振動を加えながら溶接した場合と振動を加えないで溶接した場合の残留応力の比を求めた.

表2および表3にそれぞれ低周波振動および超音波振動に対する結果を示す.  $F_y$  は一軸応力状態における降伏力である. 試験片の固有振動数は 46Hz である.  $k_y Z_e / F_y$  は 0.9 とした. 全ての条件で振動を加えながら溶接した場合と振動を加えないで溶接した場合の残留応力の比が 1 以下となっている. このことは低周波振動および超音波振動を加えながら溶接すると残留応力が低減されていることを示している. また,  $F_y / mU$  が小さいほど, 入力振幅が大きいほど残留応力が低減されることが確認された.

Table 2 Ratio of residual stress with low frequency vibration to that without low frequency vibration (100Hz,  $k_y Z_e / F_y = 0.9$ )

$F_y / mU$	2.0	3.0	4.0
$F_y / k_y Z_e$	0.515	0.770	0.861

Table 3 Ratio of residual stress with ultrasonic vibration to that without ultrasonic vibration (37.5kHz,  $k_y Z_e / F_y = 0.9$ )

$F_y / mU$	0.06	0.08	0.10
$F_y / k_y Z_e$	0.728	0.740	0.818

### 4. 結言

金型の補修溶接における残留応力低減に低周波振動と超音波振動がおよぼす影響について検討した. まず, 低周波振動を厚板に加えながら溶接を行った. 低周波振動を用いない場合には, ビードの中央に高い引張残留応力が生じていたが, 低周波振動を用いたことにより, 引張残留応力が低減されることがわかった. 次に, 厚板に超音波振動を加えながら溶接を行った. 超音波振動を用いた場合には, ビードの中央の引張残留応力が低減されることがわかった. 最後に, 塑性変形を考慮したばねをもつ解析モデルを用いたシミュレーションによって実験結果を検討した. その結果, 低周波振動および超音波振動を加えながら溶接すると, 引張残留応力が低減されることが確認された.

今後, 低周波振動と超音波振動を重畳しながら溶接を行い, その効果を確認したい. さらに, 実用性を検証するために, 試験片の形状や厚みを変えながらの実験も行っていく予定である.

### 5. 謝辞

本研究は, 平成 23 年度から 25 年度の大学・高専連携事業基金の援助を受けて行われたことを記し, ここに感謝の意を表す.

### 参考文献

- [1] Mele, E., Calado, L. and Luca, A.D., Experimental Investigation on European Welded Connections, J. Structural Engineering, ASCE, 129-10 (2003), pp.1301-1311.
- [2] Frost, N.E., Marsh, K.J. and Pook, L.P., Metal Fatigue, Dover, New York, (1999), pp.332-337
- [3] Le, N.V., Method and Mechanism of Beneficial Residual Stress in Tube, J. Pressure Vessel Technology, ASME, 116-2 (1994), pp.175-178.
- [4] Nakacho, K., A Simple Estimating Method for Reduction of Welding Residual Stresses in Thick Welded Joint from Stress-Relief Annealing-Part III: Development of Estimating Equations for Multiaxial Stress State in Thick Welded Joint, J. Pressure Vessel Technology, ASME, 124-1 (2002), pp.14-21.
- [5] Gnirss, G., Vibration and Vibratory Stress Relief. Historical Development, Theory and Practical Application, Welding in the World, 26-11/12 (1988), pp.4-8.
- [6] Aoki, S., Nishimura, T. and Hiroi, T., Reduction of Residual Stress for Welded Joint Using Vibrational Load, Steel and Composite Structure, 4-5 (2004), pp.355-365.
- [7] Aoki, S., Nishimura, T., Hiroi, T. and Hirai, S., Reduction Method for Residual Stress of Welded Joint Using Harmonic Vibrational Load, Nuclear Engineering and Design, 237 (2007), pp.206-212.
- [8] Aoki, S., Nishimura, T. and Hiroi, T., Reduction Method for Residual Stress of Welded Joint Using Random Vibration, Nuclear Engineering and Design, 235 (2005), pp.1441-1445.
- [9] Rose, J.L., Ultrasonic Waves in Solid Media, Cambridge University Press, Cambridge, (1999), pp.40-53.
- [10] Electronic Industries Association of Japan, Ultrasonic Engineering, Corona Publishing, Tokyo, (1993), 184-188.
- [11] Aoki, S., Nishimura, T., Hirai, S. and Hiroi, T., Effect of Ultrasonic Vibration on Reduction of Residual Stress of Welded Joint, Proc. Asia-Pacific Vibration Conference 2001, 3 (2001), pp.810-814.
- [12] Aoki, S., Nishimura, T., Hiroi, T., Hirai, S. and Kamiya, M., Effect of Vibrations with Different Frequencies on Reduction of Residual Stress of Welded Joint, Proceedings of International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2007, CD-ROM Paper No.OS3-2-1, (2007).



# 国内の技術特性から見る イノベーションの阻害要因に関する基礎的考察

吉田 敏\*

## Fundamental Study of Weak Points for Innovation In Japanese Technological Mechanism

Satoshi Yoshida\*

### Abstract

It is important to discuss and understand the characteristic of Japanese industrial area in these days because of economic and social condition. This paper analyzes industrial characteristics and product characteristics with Architecture concept which is based on the relationship among elements of artifacts. Especially, it is quite valuable to study the possibility of innovation to recover from today's situation. So this paper discusses the fundamental mechanism of innovation and the characteristics of Japanese creation and manufacturing characteristics. Then, some directions and methods for future development of several industrial areas in Japan is discussed.

**Keywords:** Innovation Process, Characteristics of Industry, Architecture Concept, Integration of elements, Kaizen

### 1 はじめに

現在、国内の多くの企業はこれまでの事業を見直す必要性を議論しており、特に最終顧客が買い手となる製品分野(B2C)の産業を中心に国際競争の中で早急な対応を迫られている。しかし、国内企業は、iPodやSNSなどのイノベティブな製品やサービスの創出は極めて限られていると言わざるを得ない部分がある。

本稿では、ここ数年頻繁に使われるようになったイノベーションという概念に着目し、それが国内企業で推進していく上での可能性について考察を加えていくものである。特に、日本の技術に関する特性が、これから起こそうとするイノベーションに対し、どのような影響を及ぼす可能性があるかを議論していくものである。

### 2 日本の技術的な特性の持つ可能性

#### 2.1 技術のパフォーマンスにおける継時的変化

まず、技術の変化を時間の経過に沿って考察する。図1は、技術の動向による製品特性の推移を表したものである。(参考文献1)縦軸は、製品のパフォーマンスを表し、具体的には製品の品質、軽さ、小ささ、価格の安さなどが該当する。横軸は、投入された経済的資源を表す。具体的には、投資コスト、かけた時間、対応してきた総人数などが該当する。このグラフは技術のS字曲線などと呼ばれており、一般的には、図1のようにS字型の曲線を描くことになる。

当初(A段階)は投資コストや時間をかけても、なかなか市場に出せそうな製品ができず、苦労することを表している。あ

る時点を超えると(B段階)、短期間にどんどん製品のパフォーマンスが上がり、一般的に市場にも認められるようになる。ただ、最終段階では製品に関するパフォーマンスは上がらなくなり、この時点(C段階)では安価で使いやすい製品が主要となり、それらは市場に多く出回るようになる。そして、製品の売れ筋から市場が欲する製品のパフォーマンスが明確になっていくことを意味している。

ちなみに、日本では、製品の質をどんどん上げていく競争のB段階で成功を収めてきた企業が多いといえよう。また、その後のC段階ではコスト競争となり、いかに安価に生産するかが重要となり、中国企業や韓国企業などが市場をとる傾向があった。(参考文献2)

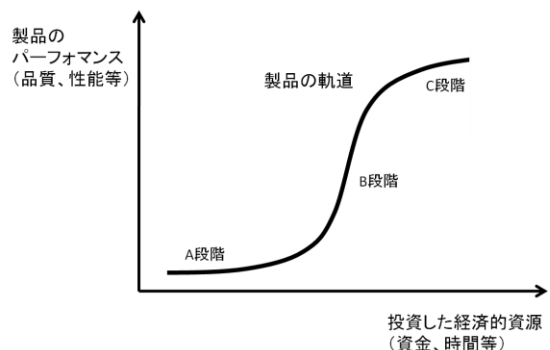


図1 技術のS字カーブの概念

Received on

\*産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

## 2.2 日本の技術的特性とイノベーションの阻害要因

ここでは、日本の技術的特性に基づいて考えた時、イノベーションを起こすことに対する阻害要因となり得る要素を検討し、仮説として提示していく。

### 2.2.1 顧客の要望を理解しにくいメカニズム

イノベーションは、社会に価値が認められ、浸透していく現象である以上、顧客の要望の理解が極めて重要である。この点から以下のことを考えていきたい。

#### 1) つくり込みへの賞賛

まず、作り手が地道に改善を積み重ねることへの賞賛について考えていく必要がある。

多くの優れた国内企業は、極めて高い質の創造メカニズムをつくり上げている。これは、最終的な製品やサービスだけでなく、設計や生産のメカニズムや組織体制など、多くの創造プロセスの中で徹底的に多くの要素の質を高めている傾向があると言える。

例えば、ある製造業のリーディングカンパニーの主力工場において、各工程における「匠」がビデオや写真を通して紹介され、その能力から創り出される品質が「お客様のため」であるという解説がなされていた。そこには、普通のユーザーでは違いがわからない可能性もあるような徹底的な品質の向上が成されている場合がある。担当者にヒヤリングし、本当に「お客様のため」になっているのかを確認すると、「高品質を求める人には分かる」という答がなされた。この事例を、考察していくと、作り手として類まれな品質向上に寄与できる能力が高く評価されていることを示しているが、オーバースペックなどへの対応に限界がある可能性を含んでいることになる。このような事例は、ユーザーの要望の把握に関し、作り手の考え方に不明確な部分が含まれていると考えられる。オーバースペックなどの危険性を含め、ユーザーが本当に求めていることを正確に理解しようとしているとは考えにくい。図1で言えば、C段階を突き抜けて上へ上へと向かおうとすることを意味している。言い換えるなら、すでに市場のほとんどが要望するような品質には届いているので、必要のないレベルということになる。

国内企業の内部には、全ての側面から高い質を確保することが肯定される傾向があるように思われる。また、国内の製品やサービスをつくる企業であれば、斬新なビジネスモデルなどの戦略面より、地道な技術部隊による質的向上の維持が優先されている傾向を否定できない。

これらは、先行研究の内容と矛盾しない。藤本が指摘している擦りあわせによる設計思想(参考文献3)からも、このような結論となることになる。

#### 2) マーケティングにおけるボタンの掛け違い

マーケティングの目的は市場と企業を結びつけることであるが、その中でも市場が何を求めているかを知ることが一つの主要な目的である。しかし、現在の国内の多くの企業でとられている具体的な手法には違和感を得ることになる。

ここでは、マーケティングの視点からも主要な手法の一つと言える、ショールームを取り上げて考察を加える。国内を代表する企業には十分に検討がなされたショールームがある場合が多い。通常、優れた展示空間があり、製品が魅力的に見えるよう演出されている。要するに、そこを訪れたユーザーは、新製品に魅了され、展示されているモデルを購入したくなるというわけである。しかし、これらの全てのショールームは、その目的を果たしていると言い切れない部分がある。

各企業のショールームの担当者、設計者にヒヤリングすると、社内の各部署から指示された、新しい技術開発や製品の改善点など、その製品の長所の明示が最大の目的であると指摘する。つまり、社内の企画部署、設計部署、生産部署、販促部署からは、アピールのポイントが示され、それに基づ

いて雄弁に伝えていくことが重要だということである。しかし、これでは、本来の目的である、市場と企業を結びつけるという側面が落ちているということになる。

極まれば、市場と企業を結びつける目的に特化したショールームがある。それは、ユーザーがほしい情報が何かを徹底的に考えてつくられているものである。通常のショールームでは、作り手がアピールしたいことを並べていることになり、言わば対極の状態といえる。要するに、作り手が、自分達がどんなにすごい製品を創り出したかを展示したいだけということになる。しかし、そんなことは顧客には関係ないのかもしれない。通常顧客は独自のストーリーを持って製品を購入し、使用していくのである。(参考文献4)

### 2.2.2 環境の変化に対する不適合

イノベーションは、慣行軌道の変更が前提となるが、この変化への対応力について考えてみる。

#### 1) 成功体験の共有

現在の多くの優れた国内企業は、つくった製品やサービスにおいて、図1のB段階における成功体験を持っている。そして、その体験の記憶は、各企業において組織文化の基盤となっている面があると考えられる。なぜなら、各企業の社員、それも幹部社員の多くが中心となっておさめた成功によって企業が今日の地位を確立している面があるからである。また、製品や生産方法の質を日々向上させることに集中すれば国際競争に打ち勝つことができた経験と記憶をお持ち社員が、現在の企業内の主要ポストに多いという傾向があるといえる。ということは、そのような成功を収めてきた方法論が否定されることが難しく、これからも方針をつくる際の基本となっていくことが多いと考えられる。つまり、これは、考え方ややり方の固定を示す内容であり、変化が拠り所となるイノベーションに対しては、マイナスに働く可能性を否定できない。

#### 2) 現行の体制の変化は困難

少なくない国内の企業では、現在も終身雇用を中心とした考え方があると言える。もちろん、現在この点は迅速に移行している面もある。しかし、大企業の優秀な課長や部長クラスが転職しようと考えた場合の困難さなどを考えれば明らかのように、転職を中心とした人の異動を前提としていない社会メカニズムが存在していることは否定しきれない。また、この社会メカニズムが劇的に変化することが困難なのは、主に2つの理由から明らかであるといえる。まず、組織への所属により社会的ステータスが語られる側面があること、そして、終身雇用を前提に半生を捧げてきた社員がすでにたくさんいることである。特に、人事制度や昇給制度など、会社が傾きでもしない限り、変えることが極めて困難なことは理解できよう。

要するに、現行の体制や慣行軌道を変更していくことは、なかなか困難な側面を持った国内企業が多いということになる。

### 2.2.3 日本の技術的思考に関する傾向

イノベーションは慣行軌道の変更が前提になる。(参考文献5)そのために、通常は既存の創造に関する考え方のどこかを変更していくこととなる。このとき、現行の考え方がすでに確立しているバランスがあるとすれば、それを崩すことになる。このような視点から、日本の技術的特性を考察しながら、イノベーションの可能性を考えていく。

#### ① 製品や生産プロセスの各要素の擦り合せ

人工物の特性を理解する考え方にアーキテクチャという概念がある。これは、対象の構成要素の相互依存性に着目したものであり、製品やその生産プロセスなどを対象に経営学分野を中心に先行研究がおこなわれている。(参考文献6)特に、藤本により自動車産業を中心に、製品そのものの構成要素や、生産プロセスの精査などの検討がなされているが、

その中でこのアーキテクチャ概念が使われている。その中で、日本の技術的特性として製品の構成要素を擦り合わせる傾向が考えられるという視点が提示されている。この、構成要素を擦り合わせる局面は、図1で言えばB段階で最も必要とされる可能性が高い。(参考文献7)これは、A段階は、新規性の高い考え方の創造段階であり、とにかく目的をはたすように何とか構成要素を選び、足りないところを創るような段階である。B段階は改善を繰り返し、できるだけ対象のパフォーマンスを挙げることに集中することになる。C段階は十分に対象のパフォーマンスが上がった状況であるためパフォーマンスの向上は主なターゲットではなく、できるだけ生産コストやスピードを抑えることが主なターゲットとなる段階である。このような視点から考えると、全ての構成要素を一度に取り扱いながら対象のパフォーマンスをできるだけ向上させようとする擦り合せ型の思考は、B段階に効果的であるという仮説が立つことになる。

この中では、イノベーションとは異なる方向性である「カイゼン」という概念にあてはまる内容で日本企業は強みを持つことになると考えられる。これは、トヨタ生産方式などで使われた概念であり、既存の多くの要素を徹底的に最適化していく概念である(参考文献8カイゼン)

#### ② 製品や生産プロセス以外の構成要素の擦り合せ

擦り合わせるのは製品やサービスを直接構成する部品・素材や情報などの要素や生産プロセスだけではない。例えば、iPodと国内メーカーの携帯端末の違いを見ると、iPodは、当初よりボタンがどこにあるのかよくわからないようなすっきりしたデザインだったのに対し、国内メーカーの製品は、押しやすいように、理解しやすいように、ボタンが表面の下半分にいつも通りの順番できちんと並んでいたというような傾向があったのであないだろうか。

iPodのデザインを創り上げることは、日本企業にも容易に可能だったのであろうか。日本の製品やサービスは、常に総合的なバランスがとられる傾向にあると考えられる。使い手から見た場合、おそらく使いにくいこと無く、品質も高く、壊れやすくもないということになる。理由は、全ての視点から検討された全要素の擦り合せが行われている傾向があるとするれば、全ての側面から考えて最適化を狙うことになるからである。そのため、逆に考えたとき、何かの慣行起動を変えることは、既存のバランス感覚を崩すことになる場合が考えられることになる。カイゼンの思考には、このバランスの移行が部分的で小規模なものであるため、全体のバランスを崩すことなく移行が可能メカニズムがあると考えることができよう。しかし、イノベーションの概念は、既存のメカニズムや考え方の何かに、不連続な移行があることが前提になる。そのため、その方向性を導き出すような製品コンセプトや生産プロセスを組むとき、多くの場合がかなり目立った変更を含む場合が多く、そのためには比較的強い既存と異なる方向性を持った内容となる可能性が強いと考えられる。そのために、既存のバランスが保たれる方向性とは逆の方向性が出てくることになり、日本の技術面の特性が阻害要因になる可能性を含むことになる。

### 3 日本の特性に基づくイノベーションの可能性

前章において、日本の技術的特性に基づき、イノベーションを起こすことに対する阻害要因となり得る側面を仮説として提示した。本章においては、ここで挙げた三つの仮説について、考察を加え、ある側面から見た検証を試みる。

個々の仮説を検証する前に、抽象的かつ多面的なイノベーションという現象に対し、ここでの視点を絞っていくことを試

みる。まず、イノベーションという概念の定義としては、既存の慣行軌道を刷新することで、製品やサービスを通して新しい価値を創造し、社会に変化を引き起こす現象と考えられる。ここでは、このような見方を基本として検証の可能性を追っていきたい。

#### 3.1 使い手の要望から見た可能性

社会の中に新しい価値を創造する現象という点、つまり、社会の中にこのような現象が起こらない限りはイノベーションとは言えないわけである。もし、品質の良い製品を創ることだけを主に考えたとしたら、その製品が市場で価値を創造し、その結果売り上げや利益に結び付くかどうかは、ほとんど関連していないことになる。価値の測定は、価値の定義を含め極めて困難であるが、企業の主要な目的である持続的発展という面を考えると、売り上げや利益という部分に帰着することも可能であろうと考えられる。しかし、作り手として価値が創造されるのは、求められた目的を的確に達成された時であると考えることが基本であろう。ここでは、このような見方から新しい価値をつくることを捉えていきたい。

現在行われている企業活動の中で、「ユーザーの視点でものを創る」という考え方をよく聞く。しかし、本当にユーザーの視点で考えているのであろうか。マーケティング学領域では、かなり前からユーザーは自己の要望を明確に言うことは不可能であると結論づけている。(参考文献4)要するに、見たこともない製品を考えたり、どんなことができるのかわからないのに実現してほしいことを考えたり、長期的に見て何が重要かを考えることなど、自分の要望を自分で正確に把握することが困難な面があるということである。

図2は、製品やサービスが作り手によってつくられ、それがユーザーによってどのように受け取られていくかを概念的に捉えたものである。作り手(各企業)は製品やサービスを概念設計、機能設計などを通して作り上げていく。かなり考え込んで最終的に構成を設計し、設計図や仕様書に落とし込み、生産していくことになる。(参考文献9)しかし、ユーザーはそんなストーリーは知ることはなく、基本的に興味をもつこともないといえる。使い手は、購入した製品やサービスについて、独自の印象を持ち、使い方や価値観を抱いていくことになる。例えば、デジタルカメラや携帯電話などの製品では、厚い取扱説明書がついているが、あれがまさに作り手のストーリーに基づいたものである。作り手は、自分が製品を創る上で考えた内容をできるだけ全て説明書に記述しようとするようになる。しかし、製品を買って取扱説明書を読破する使い手は稀である。通常、自分が使う上で必要最低限の情報を得ようとし、その製品のすべての説明を完全に理解することに意義を感じていないかのような傾向があるといえよう。そして、使いやすい、使いにくい、価値がある、価値が無い、という感覚は、作り手の狙いと異なるところから抱く傾向があるのではないだろうか。

イノベーションを起こす可能性を上げる基本的なことの一つに、「真摯にユーザーの視点に立つ」ということであるといえよう。そのためには、図2にある「発生機能」をよく観察する必要があると考えられる。この発生機能とは、使い手が様々な感覚や思いを抱いて、結果として表出する機能を指しているものである。要するに、作り手が考える機能とは異なり、使い手が無意識のうちに、もしくは事前に計画することなく、使っていく中で対象の製品の機能を明確化していく内容である。この発生機能の観察を行っている作り手は極めて少ないという傾向があるが、その内容については別稿に譲るものとする。

#### 3.2 変化に対する可能性

既存の慣行軌道の刷新は、企業などにおける社会の中

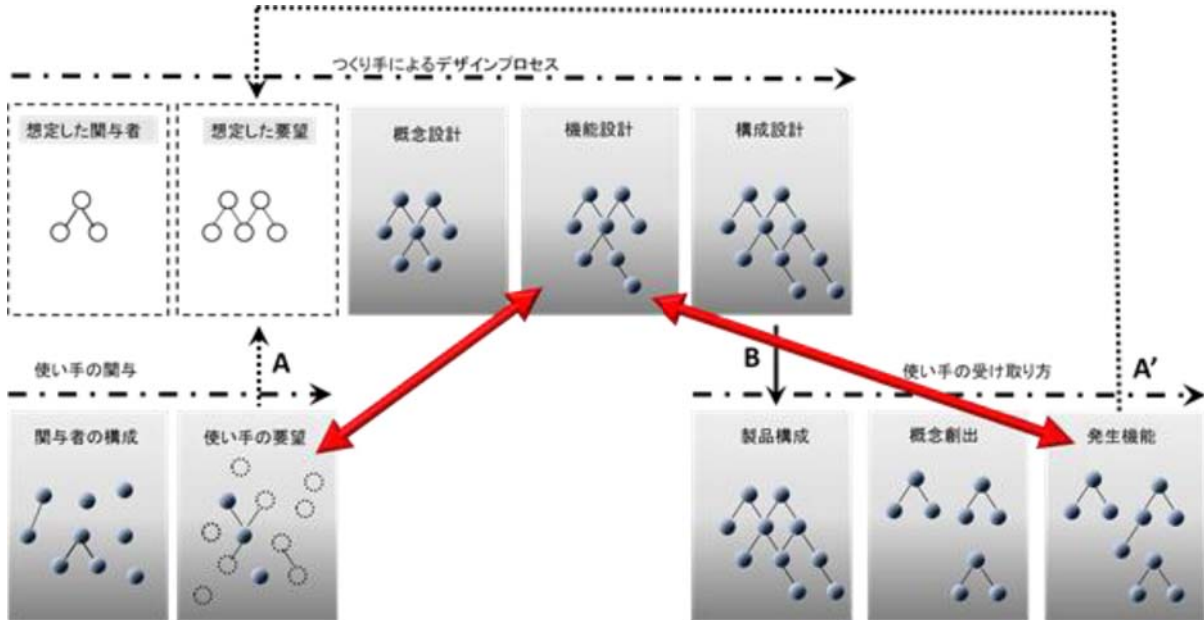


図2 製品やサービスにおけるつくり手の創造プロセスとユーザーの認識・使用プロセス

の活動では、これまで事業に取り組んできた方法を変えていくということが含まれる。要するに、改善によるこれまでの事業の手法や考え方の延長ではなく、何かの要素を刷新することを指す。この点については、下記の5つのタイプに分けて考えることができるとさせている。(参考文献 10 ドラッカー)

- ①新しい商品の開発
- ②新しい生産方式の導入
- ③新しい販路や市場の開拓
- ④新しい材料供給源の獲得
- ⑤新しい組織の形成

また、丹羽によると新しいマネジメントの展開なども加えるべきであると指摘されている。(参考文献5)この中で、多くの国内での議論は、①が中心で、②がその次に優先されている傾向が見受けられる面があることは否めない。その上、不確実性が組織に内包されるテーマについて取り組んでいる方向性がある可能性がある。もし、そうであるなら、現状の体制や創造システムを変化させないことが前提となっていることになりそうである。これは、イノベーションの可能性を著しく抑えることになり、コンピュータ技術や通信技術などの基盤的技術の発展に伴う創造メカニズムの変化や市場の変化に対応できない可能性を否定することは難しくなる。

以上のように慣行軌道の刷新が基本であるため、イノベーションを起こすには様々な変化が求められる。しかし、現在の企業の中では前述のように変化の内容は限られ、システム全体を急激に変えることは不可能に近いと考えられる。日本の優れた企業は、ここに至るまで必ず成功体験がある。成功してきたから優れた企業となってきたわけであろう。また、この成功体験の内容は、通常企業を中心を担うメンバーが同一のものを体験してきた傾向があるはずである。つまり、企業を中心メンバーが同じものを信じ、同じ方法を拠り所とする傾向が生まれるはずである。ここから、企業文化が生まれる可能性も低くないと考えられるし、社員全員の中で肯定される考え方に一定の方向性が生まれる可能性は否定できない。

このような考察の中から導き出せる方向性の中に、企業の創造メカニズムに変化を求めるようなイノベーションは、前記のような状態の企業では、起こすことが困難な可能性があることになる。この点は、企業の規模が大きければ大きいほど、

助長される可能性が高いと考えられよう。

### 3.3 既存のバランスからの解放の可能性

日本人の思考パターンとして、「非常に多くの複雑な条件(要素)を巧みに擦り合せて最適な答えを出す」、という特徴を持っている。(参考文献 11)これは、そのままではバランスの良い答えを導き出す傾向から、あるタイプのイノベーションは実現し難い側面を持つことになる。

通常、複雑な条件に対応する時に、最適な答えだけを追い求めることになる。前述のように、日本人はある傾向の考え方をするため、全ての構成要素を調整し、最高のパフォーマンスを構築することを目指すことになる。たくさんの素材や部品から製品を創り出す時に、最高の素材の擦り合わせを目指し、最高の部品を擦り合わせを目指していくことになる。また、多くのプロセスを組み合わせる時、最適なプロセスを考えだそうとすることになる。

このような考え方をとると、ある特定の視点から軌道の変更をすることが困難になる。例えば特徴のある「とがった」製品を創るのに、後れを取る可能性が生じることになる。要するに、ごく少数の優位点を信じ、新しいものを創ることが困難になるという事である。

しかし、イノベーションは既存の慣行軌道を変化させることが前提であるが、極特定の要素を非連続的に変化させることが基本的であると考えられる。しかし、全体の要素を擦り合わせる場合、そのような極特定の要素を変化させるだけでは製品は完成せず、その一部の変化を含む形で全体の最適解を求めることになる。

ここまで考えると、国内の組織は、ごく少数の要素の変化に特化したイノベーションは起こしにくいという方向性を見出すことができることになる。そのとき、特に以下のような問題点が生じる可能性があることになる。

まず、他地域の開発のスピードについていけない可能性が生じる点である。一部の要素を変化させた製品を考えた場合、国内の作り手は変化する一部の要素だけでなく、多くの要素の最適解を模索することになる。当然、スピードに問題が生じることがあることは否定できない。ただし、全体の最適解の必要性が非常に高い製品などについては、有利となる場合も考えられることになる。

次に、一部の変化に重心を傾けるイノベーションは起こし



にくいということである。これは、ある変化を進めることにより、全体のバランスより、新規の魅力などの側面を優先させることが望まれる場合に対応しにくいということである。例えば、iPod のスイッチ類は極めて解りにくいところにあり、はじめて操作した人は苦慮することになる。しかし、タッチパネルを全面的に使った操作面の新規性から全体のデザインが考えられていることが、国内各社の携帯端末のスイッチ類のデザインと大きく異なるものとなった面がある。国内各社のスイッチ類は、安心して今までの異種と同じように考えれば操作できる等に配されている。反面、デザイン面に新規性が無く、魅力を減じていると言わざるを得ない。

#### 4 まとめ

本稿では、イノベーションという概念に着目し、それが国内企業で推進していく上で、阻害要因を含めどのような可能性が生じる傾向があるのかということについて考察を加えた。

ここでは特に三つの側面から考察を加え、検証を試みた。使い手視点の理解の困難さから見たイノベーションの可能性について、変化に対応することによって得られる面があるイノベーションの可能性、そして、擦り合せの思考から生じる全体の要素の最適解が求められることによるイノベーションの可能性を議論してきた。しかし、対象となるイノベーション、前提となる日本の技術特性について、それらの抽象性、可変性から完全な形の検証は極めて困難であり、議論は持続されるべきである。特に、特定の産業分野や製品を取り上げ、具体的な事例で仮説と検証を繰り返すことによって、個々明確な結論を得ることができよう。

イノベーションは、非常に多くの事柄から起こる可能性がある。その可能性に対し、参加するメンバーが常に敏感になっておくことが重要なのは自明であろう。ただ、このような状況が構築できれば、弱みを強みに変える可能性が出てくる。つまり、複数の革新性を含む最適解の可能性を追求することが可能となり得ることになる。例えば、素材の革新と生産プロセスの革新を複合的に考えていったり、顧客やサプライヤーなど複数の組織と共同の製品開発を行ったり、様々な可能性があると思われる。これは、モジュラー型が得意な海外の企業に比べ、国内企業の方が、複合的で複雑な新規性を実現できる可能性を持つ面があるということである。

近年、イノベーションは、技術の革新から単純に良い製品が生まれるパターンは、かなり減っていると言われている。そして、大きな結果をもたらす可能性のある複合的な変化を持つイノベーションが徐々に起こり始めているといえよう。日本の能力の活かし方次第で、大きなイノベーションを起こす可能性があることになる。

#### 参考文献

- [1] 丹羽清、『イノベーション実践論』、東京大学出版社、2010
- [2] 伊丹敬之、加護野忠男、『経営学入門』日本経済新聞社、1989年
- [3] 藤本隆宏、『ものづくり経営学』、光文社新書、2007.
- [4] 上原征彦、『マーケティング戦略論—実践パラダイムの再構築』、有斐閣、1999
- [5] 丹羽清、『技術経営論』、東京大学出版、2006
- [6] 藤本隆宏、「アーキテクチャの産業論」、『ビジネス・アーキテクチャ』、有斐閣、pp3-26、2001、
- [7] 藤本隆宏、安本雅典編著、『成功する製品開発』、有斐閣、2000.3.
- [8] 今井正明、『カイゼン』、日本経済新聞出版社、2010

- [9] 藤本隆宏、『日本のもの造り哲学』、日本経済新聞社、2004.6
- [10] P・E・ドラッカー、『イノベーションと起業家精神』、ダイヤモンド社、2007
- [11] 藤本隆宏、能力構築競争、中公新書、2003.6
- [12] Ulrich, Karl T., “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” Research Policy, 24, pp.419-440, 1995
- [13] C.Alexander, 稲葉武司訳『形の合成に関するノート』、鹿島出版会、1978
- [14] Ulrich, Kirl, “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” Research Policy, 24, pp.419-440, 1995
- [15] 青木昌彦、「産業アーキテクチャのモジュール化」、『モジュール化』、東洋経済新報社、pp3-31、2002年
- [16] Baldwin C. and Clark K., DESIGN RULES, Vol.1: The Power of Modularity, The MIT Press, 2000.
- [17] 吉田敏、野城智也、「アーキテクチャ」の建築生産における構成要素のモジュラー化に関する考察、日本建築学会計画系論文集 第595号、pp173-180、2007
- [18] 吉田敏、日本の技術特性に関する一考察、日本の技術革新 一経験蓄積と知識基盤化— 第3回国際シンポジウム論文集 pp25-28、2009.
- [19] 馬場靖憲、『デジタル価値創造』、NTT出版』、1998
- [20] 青島矢一、武石彰、「アーキテクチャという考え方」、『ビジネス・アーキテクチャ』、有斐閣、pp27-70、2001
- [21] ヘンリー・チェスブロウ、楠木建、「製品アーキテクチャのダイナミック・シフト」、『ビジネス・アーキテクチャ』、有斐閣、pp263-285、2001



# NSBroker: インターネット上での対話型通信基盤

秋 口 忠 三\*

## NSBroker: Interactive Communication Base on The Internet

Chuzo Akiguchi\*

Abstract

Network Service Broker(NSBroker for short) is a fundamental software to construct two-way real-time communication systems interconnecting many participants on the Internet. Broker, which is a component included in NSBroker, intermediates service providers and clients using restricted HTTP protocol. After establishing the connection, the connected client and the server can communicate interactively as equals. In this paper, we present background and goals of developing NSBroker, and then propose two-way communication model among group members and basic message protocol. Next, the architecture and primary components of NSBroker are shown with a package diagram and a class diagram. How to develop NSBroker application is proposed as an application development process. We present three applications of NSBroker; 1) QuickChat which is a chat system including animation delivering and collaborative image editing, 2) rash which is a remote shell system, and 3) CoDE which is a collaborative UML class diagram editor. Finally, the result of performance evaluation test and the future plan are discussed.

Keywords: Request Broker, Network Service, HTML5, WebSocket, COMET, Ajax

### 1. はじめに

NSBroker(Network Service Broker)は、インターネット上で複数人の参加者による双方向通信を実現するための基盤ライブラリであり、教育用 Java プログラミング環境 Ash の一コンポーネントとして開発したものである。Ash は Java によるソフトウェア開発の教育を行うためのプログラミング環境であり、図 1 に示す構成をとる。Ash では、オブジェクト指向技術に基づくソフトウェア開発の様々な技法を実践するための言語や、ツール、再利用方法論を含むソフトウェア開発プロセスの支援環境を実現することを目指しており、これまでにパイプ&フィルタに基づくコマンド拡張機構を含む基盤アーキテクチャの開発 [1] やソフトウェアプロセス支援環境の開発 [2], GUI ライブラリ開発 [3], 永続的オブジェクト管理の基盤ライブラリ EntityStore[4] の開発を進めてきた。

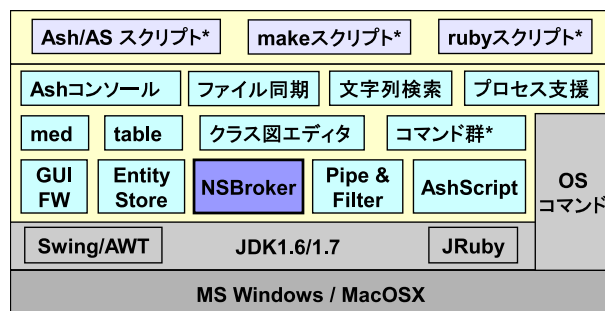


図 1 Ash のアーキテクチャと NSBroker

ある程度の実用性を持つソフトウェアの開発では、GUI やデータベース管理(永続性のあるデータの管理)、通信機能が必要になる場合が多い。Ash ではこのようなアプリケーション開発を、技術の本質だけに集中して学習できる開発

環境を提供したいと考えている。そのために GUI や永続的なデータ管理、インターネット上での通信機能などの最も重要な側面を一つの開発環境の中で体系的に提供する計画である。本稿では、Ash の全体計画の中のインターネット上での通信機能に焦点をあて、インターネット上で複数人の参加者による双方向通信を実現するための基盤ライブラリである NSBroker について述べる。

インターネット上のサービスの交換(提供と利用)は、インターネットに接続できる機器の爆発的な増加と多様化によって驚くべき変化を生み出し続けている。その多くは Web ブラウザと Web サーバに関連した技術によって構築されている。ユーザの圧倒的多数がこの環境で動くアプリケーションを前提としているからである。通信速度と CPU の高速化により、Ajax 等の実時間性が高く操作性に優れたアプリケーションでさえ既存の技術の組合せで実現できることが可能になった。現在は実時間双方向通信のアプリケーションを実現する基盤技術として HTML5 仕様の中で WebSocket 技術の仕様の策定が進んでいる。

本稿で提案するインターネット上での双方向通信の基盤技術 NSBroker では、このような標準的な環境を前提にするのではなく、グループでの実時間双方向通信のアプリケーションをアイデアレベルから短時間で開発できる基盤技術の実現を目指した。目的を絞り込みシンプルな設計を追求すれば、手軽で使いやすい基盤ライブラリを実現できると考えたからである。

NSBroker で対象とするアプリケーションは、ソフトウェア開発などのグループ活動を支援するインターネット・アプリケーションである。インターネットに容易に接続できる双方向通信の基盤ライブラリを提供することによって、汎用の Web ブラウザではなく、独自の GUI やコマンドラインインタフェースをもつアプリケーションをインターネット・アプリケーションに進化させることが可能になると考えた。

本稿では、まず NSBroker が対象とするインターネット・アプリケーションの領域とサービスの提供形態について分

Received on November 19, 2012.

\* 産業技術大学院大学, 産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

析し、NSBrokerの開発の背景と目的を示す。続いて、NSBrokerの概念モデル、通信プロトコル、ソフトウェアのアーキテクチャ、アプリケーション開発プロセス、適用事例、有効性の評価、今後の課題について述べる。適用事例として、簡易チャット機能、ファイル交換サービス、協同編集が可能なバイントツール、動画像の配信プログラム、クラス図協同編集ツールを紹介する。

## 2. 開発の背景と目的

本節では、NSBrokerの開発の背景と動機について述べ開発の目的を明らかにする。

### 2.1. 開発の背景

筆者らは、実世界データを利用したサービスを効率的に開発・構築するフレームワークとして、ネットワークサービスプラットフォーム (Network Service Platform: NSP) の研究を行ってきた [5][6]。この研究では、アプリケーション例としてグループによるソフトウェアプロセスを支援するシステムの試作を行い、NSPが対象とするアプリケーションの具体的なイメージ作りを行った。またNSPサービス実現基盤として採用したRSNP(Robot Service Network Protocol) [7]の評価を目的にRSNPのロボット側アプリケーション開発環境について検討した [8]。共同研究を通じてインターネット上での双方向通信の実現方式に関する考察も進めることができた [9]。

筆者自身はソフトウェアプロセスに主たる関心があり、ソフトウェア開発という現実世界の活動プロセスに関する記録を自動収集しそれを活用したプロセス改善の仕組みを研究している。グループによるソフトウェア開発をプロセスデータの自動収集の観点で支援するシステムの実現を目指している。その実現基盤としてRSNPを評価するとRSNPが提供する機能と求める機能の間のギャップが大きいと思われた。目的を明確化し機能を絞り込めば、インターネット上でソフトウェア開発のグループ活動を支援するシステムを実現する通信基盤を適度な工数で構築できる可能性が高いことがプロトタイピングを通じて明らかになった。NSBrokerの開発はこのような検討によって動機づけられた。

### 2.2. 開発の目的

NSBrokerが対象とするアプリケーション領域は、インターネット上で高度な対話性をもったグループ活動を支援するアプリケーションである。このようなアプリケーションを構築・運用するための通信基盤を提供することがNSBrokerの目的である。

この目的を達成するために以下の目標を設定しNSBrokerの開発を進めた。

1. 快適な対話性を実現できる通信基盤を提供する  
グループでの実時間双方向通信をサポートするアプリケーションを実現するための通信基盤を提供する。ビデオ画像等のマルチメディアの送受信も対象とする。
2. 双方向通信アプリケーションの開発環境を整備する  
インターネット上で高度な対話性をもつ新しい種類のサービスを実現する基盤としても利用できるようにしたい。そのためにはアイデアを手早く実証実験できる開発環境が必要である。通信基盤と共にアプリケーション開発を支援するテスト・デバッグ環境も合わせて開発環境として提供する。
3. 持続的な成長が可能な発展性のある基盤技術とする  
アプリケーション開発への適用経験から改善すべき点が発見されたら、改善要望に対して基盤ライブラ

リの機能強化やAPIの改善が素早く行えるように、シンプルな設計を追求し、製品構築とテスト環境構築を同時並行的に進める。

### 2.3. 設計の方針

以上の目的・目標を達成するために以下の方針に従って設計と開発を進めた。

- 双方向通信アプリケーションの明快なアーキテクチャを提供できるように理解しやすいグループ間双方向通信モデルを定義する。
- インターネット上でのアプリケーション構築と運用が容易になるようにHTTPプロトコルをベースにした簡易なプロトコルを定義する。
- オブジェクト指向の設計技術を駆使して重複がなく拡張性に優れたアーキテクチャを追求する。
- 通信機能をコンポーネント化し他のアプリケーション機能との独立性を高める。
- プログラマにとっての理解性と利便性に優れたAPIを提供する。
- アプリケーション構築と運用を効率化するために通信基盤と共にテスト環境を整備する。

### 2.4. 関連技術

NSBrokerを開発する上で既存の技術の多くを参考にした。インターネット上での双方向通信を実現する基盤技術として特に関連性の高い技術について以下にまとめる。

- **ORB(Object Request Broker)**  
ORBは、ネットワーク上のノードに分散したオブジェクト間でデータやメッセージを伝達・交換する際の仲介役として用いられるソフトウェアである。WindowsのCOM/DCOMや、Java/RMI、OMGが制定したCORBAなどの実装がある。高信頼性を要求されるアプリケーション間通信基盤であり、対話性の高い双方向通信アプリケーションには向かない。
- **COMET**  
COMETはHTTPを利用して双方向通信を実現する技術である。COMETではサーバ側からのプッシュ配信が可能であるが、多くの実装では擬似的に双方向通信を行うため通信が発生するごとにTCPのハンドシェイク手続きを再度行う必要があるほか、HTTPコネクションを長時間占有するためその間同一サーバに接続する他のアプリケーションの動作に影響を及ぼす可能性がある等の問題が生じる。
- **Ajax**  
Ajaxは、JavaScript組み込みクラスであるXMLHttpRequestを使った非同期通信と、通信結果に応じてダイナミックHTMLで動的にページの一部を書き換える方法により、Webブラウザの標準的な機能だけで実用的で優れたユーザインターフェースを備えた動的なWebアプリケーションの開発を可能にする技術である。しかしながら、各種Webブラウザ間の実装の違いや動的ページ書き換えの処理はアプリケーション開発の負担を増加させている。
- **HTML5 WebSocket**  
WebSocketはHTTPをベースとした双方向通信の技術であり、クライアントとサーバ間で通信を行うためのプロトコルの仕様 [10] と Web ブラウザ上で動作するJavaScript向けのAPI [11] の2つの仕様から構成されている。HTTPをベースとしているので通常のWebサーバとWebブラウザの関係と同様にファイアウォールを超えた通信が容易に実現でき

ることに加え、クライアントとサーバが接続後は対等な関係で相互にメッセージの交換が可能となる。

WebSocket ではクライアントとサーバの接続のために HTTP の GET リクエストが使用され、接続が確立するとそれ以降はソケットを使った双方向のデータの交換が可能となる。接続後のデータ交換は独自のプロトコルによって実現される。NSBroker でも同様に、POST リクエストで接続し、接続後はアプリケーション毎に独自のプロトコルでサービスの交換が行われる。

### 3. グループでの双方向通信のモデル

#### 3.1. NSBroker の概念モデル

NSBroker はインターネット上でグループでの双方向通信を実現するための基盤ソフトウェアである。NSBroker は Web アプリケーションにおける Web サーバに相当するものであるが、その主要な機能はサービスの提供者とその利用者の仲介役としての役割である。即ち、NSBroker のサーバとしての機能はサービス提供者とサービス利用者をインターネット上で接続するサービスを提供することである。NSBroker の概念を示す双方向通信のモデルを図 2 に示す。

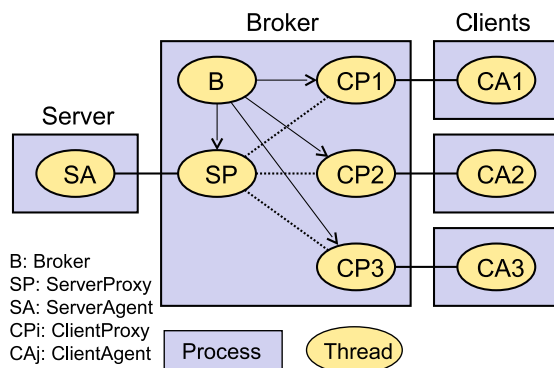


図 2 グループでの双方向通信のモデル

NSBroker の概念モデルは、ブローカ (broker)、プロキシ (proxy)、エージェント (agent) の 3 つの主要な構成要素から成る。ブローカはネットワークサービスを仲介する通信主体であり、エージェントはブローカから接続サービスを受ける通信主体である。エージェントはサービスの提供者か利用者、または両者かねる。サービスを提供する役割としてブローカに接続した場合これをサーバエージェント (server agent, SA) と呼び、サービスを利用する役割として接続した場合これをクライアントエージェント (client agent, CA) と呼ぶ。本稿では簡単のために以後サーバエージェントをサーバ、クライアントエージェントをクライアントと呼ぶことがある。ブローカは、各種のサーバやクライアント、その他のエージェントがインターネット上でサービスを交換する市場 (marketplace) を提供するものと考えることができる。

ブローカはエージェントからの接続要求を受けると、各エージェントに対応したプロキシを作り、以後はこのプロキシがエージェントとの双方向通信を受け持つ。一般的なサービスの交換形態では、サービス提供を行う 1 つのサーバエージェント SA がサービスの提供を受ける複数のクライアントエージェント CA<sub>i</sub>( $i=1..n$ ) と 1 対多の関係をもつ。各々の SA と CA<sub>i</sub> に対応して、関連するサーバプロキシ (server proxy, SP) とクライアントプロキシ (client proxy, CP) 群

(CP<sub>i</sub>) が作られる。これらがプロキシのグループを形成しグループでの双方向通信の基礎となる。1 つの SP とそれとサービス交換で関連付けられた CP<sub>i</sub>( $i=1..n$ ) からなるグループをプロキシグループ (proxy group) と呼ぶ。NSBroker は複数のプロキシグループを管理し、様々なサービス交換形態の実現を可能にしている。

#### 3.2. メッセージの構文

サービスの交換はメッセージによって行われる。エージェントとプロキシの間はソケットで接続されており、双方向に文字列のメッセージが送受信される。メッセージは可読性のある文字列をベースとする。文字列は改行コードによって複数行に分割され、行単位で処理される。エージェントとプロキシはこの構文に従ってメッセージの合成と送信、受信と解析を行う。これが対話の基本機能となる。

NSBroker の通信プロトコルの送信メッセージの構文を BNF 記法で以下に示す。

```

speech ::= { message }
message ::= ( query | answer | notify | command | plain )
query ::= '?' broker-protocol NL { content }
answer ::= '%' broker-protocol NL { content }
notify ::= '!' broker-protocol NL { content }
command ::= '>' data-string NL { content }
plain ::= '@' data-string
broker-protocol ::= dialog-name { key [=] value }
dialog-name ::= identifier
key ::= identifier
content ::= { data-string NL } NL
value ::= 空白文字と改行文字を含まない文字列
data-string ::= 改行文字を含まない文字列
NL ::= 改行文字

```

BNF の内容は以下の通りである。NSBroker の通信主体であるエージェントまたはプロキシは一連のメッセージを発行する。各メッセージは要求を示す一行の文字列とメッセージに関連した任意個のコンテンツデータを含む。

メッセージ種別は、QUERY, ANSWER, NOTIFY, COMMAND, PLAIN の 5 種類がある。それぞれ 1 つの特殊文字で表される。QUERY は ANSWER の返信を待つメッセージであり、正常に処理されると ANSWER メッセージが返信される。NOTIFY は一方向の送信を行うメッセージであり送達確認を必要としない。QUERY と ANSWER, NOTIFY のメッセージは対話名と複数のプロパティからなる。プロパティはキーと値からなり値は省略できる。

COMMAND は Shell コマンドとして評価され、その結果標準出力へ出力されたテキストがテキストコンテンツとして返される。PLAIN はメッセージとしての空白行をデータコンテンツの区切りを表す空白行と区別するために導入した。コンテンツは任意の非空白文字列が空白文字列で分離された構造をもつ。

NSBroker における通信はこの構文に従ってメッセージが送信され、そのメッセージの受信側はその内容を解釈し、この構文に従ってメッセージを返信するのである。対話は 2 者間の双方向通信の組合せで実現される。NSBroker のグループ管理のメカニズムがグループのメンバー間での対話を制御する。

#### 3.3. ダイアログ (dialog)

ダイアログは、アプリケーションレベルの対話プロトコルを定義し実装するために導入した双方向通信の仕様を示すインタフェースであり、QA 型通信と NOTIFY 型通信の 2

種類の通信形式を定義している。QA型通信は「QUERYの送信」、「QUERYの受信とANSWERの発行」、「ANSWERの受信」を行う3つのメソッドからなり、NOTIFY型通信は「NOTIFYの送信」と「NOTIFYの受信」を行う2つのメソッドからなる。

双方向通信機能を使ってサービス交換を行うアプリケーションはサービス交換のプロトコルを設計し、それをダイアログとして実装することによって、NSBrokerを介して接続することができる。システムパラメータの問合せや設定、ファイルの転送、テキストデータや画像などのコンテンツの送受信と表示、シェルコマンドの実行等の基本的なプロトコルについては、NSBrokerの組込みダイアログとして提供されている。

### 4. NSBrokerのアーキテクチャ

本節ではNSBrokerのアーキテクチャと個々のコンポーネントの役割を説明する。

#### 4.1. NSBrokerの全体のアーキテクチャ

NSBrokerのソフトウェアアーキテクチャを表すパッケージ図[12]を図3に示す。

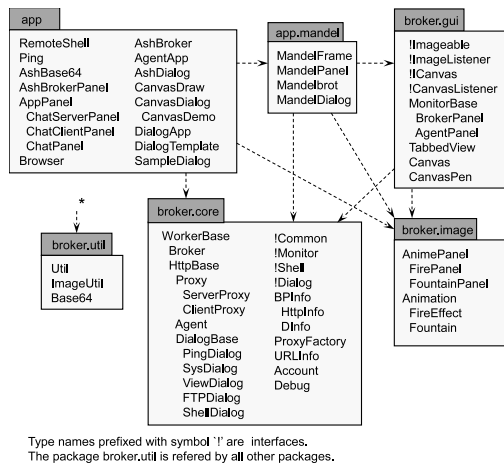


図3 NSBrokerのパッケージ図

NSBrokerは6つのパッケージから構成されている。双方向通信を実現する機能はbroker.coreに集約されている。broker.utilはファイル操作や文字列操作、画像データ処理、日時操作の機能を含む。broker.coreはbroker.util以外のパッケージには依存していない。

双方向通信以外のアプリケーション機能は、broker.coreのクラスのAPIを呼び出すことによってアプリケーションの双方向通信の機能を利用する。それに対してbroker.coreのクラスの実行結果はbroker.coreで定義されたMonitorインタフェースを使ってアプリケーション側へ伝えられる。

アプリケーションは、Monitorインタフェースを実装したMonitorクラスを双方向通信が開始される前にbroker.core.WorkerBaseに登録することによって、ユーザインタフェースと双方向通信のコア部分との双方向のAPIの呼出しが可能となる。

broker.guiパッケージにはアプリケーションのGUI部分を実現するためのクラスが含まれている。その中心的な役割を担うクラスがbroker.core.Monitorインタフェースを実装したMonitorBaseである。

MonitorBaseは以下の機能を提供している。

- ブローカの立ち上げとエージェントのブローカへの接続の管理
- 送信するメッセージやデータコンテンツの編集や管理
- 受信したメッセージやデータコンテンツの表示やアプリケーション機能の起動
- 各種アプリケーション機能の組込み

受信したメッセージやデータコンテンツの表示機能を使ってMonitorインタフェースの各メソッドが実装されている。

broker.imageパッケージには画像データの生成・送信・受信・表示のためのクラスが含まれている。動画像の送受信の性能を実験できるように、アニメーションの生成クラスも用意した。

appパッケージとapp.mandelパッケージはアプリケーションレベルのクラスを含み、broker.core、broker.gui、broker.imageのクラスを利用した各種のサンプルプログラム集となっている。アプリケーション独自の双方向通信の機能は、第4.3.4.節で説明するダイアログクラスとして実現できる。appパッケージにはダイアログクラスの実装例とその組込み例が含まれている。その一つはbroker.guiパッケージのCanvasクラスを利用した協調編集機能をもったペイントツールである。CanvasDialogで線画を描画するAPIをダイアログクラスとして実装しこれをマウスによる作画機能から呼び出している。協調編集機能を実装するサンプルとなる。

app.mandelパッケージはMandelbrot図形の生成サービスを実装したアプリケーションであり、Mandelbrot図形の表示区画と配色パラメータを渡してMandelbrot図形生成機能を呼び出し結果の画像を受信して表示するQA型通信と、生成したMandelbrot図形を送信するだけの送達確認を含まないNotify型通信の実装例となっている。

#### 4.2. NSBrokerの双方向通信コア部のクラス図

NSBrokerの中心部の構造はクラス図[12]によって最も効果的に説明できる。NSBrokerのコア部分のクラス図を図4に示す。主要な構成要素についてその役割を説明する。

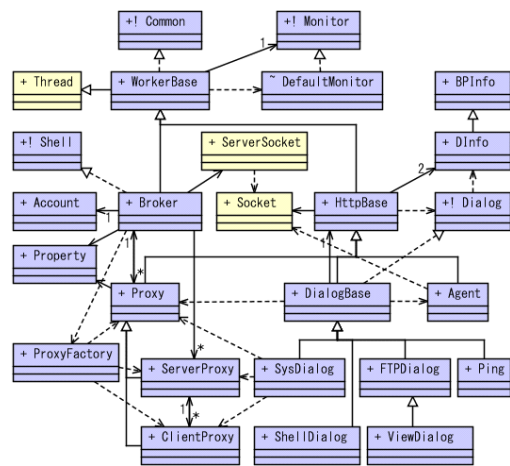


図4 NSBrokerの双方向通信コア部のクラス図

NSBrokerにおける双方向通信の主体はエージェント(Agent)とプロキシ(Proxy)である。ブローカ(Broker)はエージェントとプロキシの接続サービスを提供する。エージェントはサービスを提供するサーバとサービスを受けるクライアントの2種類に分けられる。

#### 4.3. 双方向通信コア部のインタフェース仕様

4つのインタフェースは双方向通信コア部の共通仕様を定義している。

#### 4.3.1. Common インタフェース

Common インタフェースでは、NSBroker の共通定数を定義する。NSBroker では、送受信されるメッセージはすべて文字列であり行単位で処理される。Common インタフェースでは、これらメッセージの構成要素となるプロパティの語彙を定義している (4.5. 参照)。Common で定義するダイアログ識別名とプロパティのキー名は、NSBroker メッセージを記述するときのキーワード (予約語) に相当するものである。

#### 4.3.2. Monitor インタフェース

Monitor インタフェースを以下に示す。

```
public interface Monitor {
    void msglog(boolean msglog);
    boolean msglog();
    void showStatus(String status);
    void print(String msg);
    void println(String msg);
    void viewText(String title, String text);
    void viewImage(String title, BufferedImage bimage);
    void viewComponent(String title, JComponent compo);
    void onClose();
}
```

Monitor インタフェースでは、NSBroker が内部の処理状況や受信したデータコンテンツの内容を、アプリケーションのユーザインタフェースを通じてユーザに通知するためのメソッドを定義している。DefaultMonitor は Monitor インタフェースのデフォルトの実装であり、タグ付きの文字列 (画像の場合はタイトルの表示だけ) として標準出力へ出力する。GUI を提供するアプリケーションでは、実行ステータスの表示領域、メッセージの表示領域、テキスト・画像・その他のコンテンツの表示領域を実装し、Monitor インタフェースの各メソッドを、これらの領域への文字列や画像の表示を行う機能として実装すべきである。broker.gui.MonitorBase はこの実装例である。

#### 4.3.3. Shell インタフェース

Shell インタフェースの記述を以下に示す。

```
public interface Shell {
    void initShell();
    String evalShell(String command);
}
```

Shell インタフェースでは、エージェントから送信されたコマンド文字列を評価・実行するインタプリタの初期化とコマンドの評価・実行を行うメソッドを定義している。Broker は Shell インタフェースを仮実装しており、特定の Shell 言語の組み込みは Broker を拡張して行うことができる。app.AshBroker は Broker に Ash コマンド言語を組み込んだものである。

#### 4.3.4. Dialog インタフェース

Dialog インタフェースの記述を以下に示す。

```
public interface Dialog {
    void query(DInfo dinfo);
    void onQuery(DInfo dinfo);
    void onAnswer(DInfo dinfo);
    void notify(DInfo dinfo);
    void onNotify(DInfo dinfo);
}
```

Dialog は、第 3.3. 節で述べた双方向対話型通信機能の仕様を示すインタフェースである。5 つのメソッドはいずれも DInfo(Dialog Information) 型を引数にとる。DInfo は

プロトコルのメソッド名とプロパティ情報 (key/value マップ) を保持しており、アプリケーションレベルのプロトコルを定義することができる。またプロトコルの実装の際は DInfo が提供している各種メソッドを利用してプロパティの値の参照や設定が行える。

Dialog インタフェースを実装したクラスをダイアログクラスとよぶ。ダイアログクラスを使用することにより、NSBroker の通信モデルに基づいたグループでの双方向通信が可能となる。従って双方向通信を行うアプリケーションの通信部分の開発はダイアログクラスの開発に集約される。

#### 4.4. 双方向通信を実現するクラス群

NSBroker は、WorkerBase, Broker, HttpBase, Proxy, ServerProxy, ClientProxy, Agent, Dialog 等のクラスから構成されている。

##### 4.4.1. WorkerBase クラス

WorkerBase は、ブローカを構成する主要なコンポーネントである Broker, Proxy, Agent, Dialog の共通のベースクラスである。これらのコンポーネントは Socket で接続された通信相手とメッセージの交換を行う。すなわち相手側からのメッセージを待ちながら相手側へメッセージを送ることができなければならない。二つのスレッドに送信と受信を分担させる必要がある。そこで WorkerBase には Thread を継承させ相手側からのメッセージを待ち受ける役割をもたせた。

双方向通信を行うアプリケーションでは各種データコンテンツの送受信が発生する。WorkerBase では、送信するデータコンテンツの配置と受信するデータコンテンツの配置のために docRoot と workRoot の二つのディレクトリを管理している。

双方向通信のアプリケーションを実現するためには、送受信されるメッセージのシーケンスを容易に追えることがテスト段階で必須となる。NSBroker では、通信基盤の内部の状態や受信したメッセージをアプリケーション側に伝える仕組みとして Monitor インタフェースを定義した。WorkerBase は、Monitor インタフェースを実装した Monitor クラスを保持し、このメソッドを呼出す API を提供している。

その他に、WorkerBase ではデバッグ支援や性能測定のためのメソッドを提供している。

##### 4.4.2. Broker クラス

Broker は、Agent に対する接続サービスを提供し利用状況を管理するために、Agent のアカウントを管理している。Broker は、起動後直ちに ServerSocket で Agent からの接続要求を待ち受ける。Broker は接続要求を受理したら適切な Proxy を生成し、Agent との交信を開始させるために生成した Proxy を起動する。

Proxy の生成は ProxyFactory が行う。ProxyFactory はアプリケーション独自のサービスに対応したプロキシを動的に生成する機能を提供している。また ServerProxy の二重起動や同一クライアントの同時接続等の制御等の様々な接続形態をサポートしている。

Broker は、現在 Agent に接続され稼働している全ての Proxy のリストと、全ての ServerProxy のリストをもち、様々な形態のプロキシグループの管理を可能にしている。アカウント情報とプロキシグループの情報を用いて様々な接続形態のサービス交換が可能になる。

クライアントからの接続要求に対して接続すべきサーバを特定することはマッチング戦略に係る問題である。現在の実装では ServerProxy のリストから最初にサービス可能なものを返す。このメソッドをオーバーライドすることによって、マッチング戦略をカスタマイズすることができる。

Broker のその他の機能として、稼働中の Proxy に対して各種のメッセージやデータコンテンツをブロードキャストするための API を提供している。

#### 4.4.3. HttpBase クラス

HttpBase は HTTP ポートを使って Scket による双方向通信を行うための機能を集約したクラスであり、Proxy と、Agent, Dialog の共通のベースクラスである。

HttpBase は、通信相手の HttpBase オブジェクトから送信されるメッセージを待ち受ける処理を WorkerBase から継承するスレッドに担当させている。メッセージ待ち受け処理は、通信相手から送信されるメッセージに対して、QUERY, ANSWER, NOTIFY, COMMAND, PLAIN の 5 種類のメッセージ種別に応じたメソッドを呼び出す。

NSBroker の QA 型通信は、双方向通信のための基本機能として、QUERY の送信、QUERY の受信と ANSWER の返信、ANSWER の受信を行う API を提供する。1 つの QUERY の送信後は、その QUERY の ANSWER を受信し処理が完了するまで新たな QUERY を送信することはできない。HttpBase は ANSWER の受信待ち状態を管理するために送信した QUERY の情報を保持し、同期呼び出しを行う invoke メソッドをサポートしている。

NSBroker の NOTIFY 型通信は送達確認を行わない通信方式であり、NOTIFY の送信と NOTIFY の受信を行う API を提供する。

#### 4.4.4. Proxy クラス

Proxy は、Broker 側で Agent との双方向通信を処理する。以下の機能を提供する。

- 接続情報や実行監視情報の管理
- Agent から送信された QUERY や ANSWER, NOTIFY の受信処理
- Proxy 間での各種メッセージの転送処理
- Shell コマンドの実行と結果の返信
- Agent から送信されたメッセージの全 Proxy への配信

メッセージの受信に関する処理は HttpBase クラスで定義された以下のメソッドをオーバーライドすることで実現されている。各メソッドはそれぞれ PLAIN, COMMAND, QUERY, ANSWER, NOTIFY の各メッセージの受信処理を行う。

```
public class HttpBase {
    ...
    void onMessage(String message);
    void onCommand(String command);
    void handleQA(DInfo dinfo);
    void answerReceived(DInfo dinfo);
    void notifyReceived(DInfo dinfo);
    ...
}
```

Agent が Broker に接続要求を出す時に役割を明示しない場合は Proxy が生成され、Agent は Proxy と双方向通信を行う。メッセージの宛先は Agent が @to プロパティで明示的に指定することができるが、省略した場合は Proxy のメッセージ配送ポリシーに従って転送先を特定する。Proxy は自身でメッセージの処理を行うが、Proxy を拡張した ServerProxy と ClientProxy では Proxy グループの情報を使い、メッセージの種別に応じて Proxy グループの何れかにメッセージを転送する。表 1 は、Proxy と ClientProxy, ServerProxy がメッセージを受信したときの転送先の決定方法を各メッセージ種別毎に示したものである。

表 1 メッセージの転送先の決定方法

Message type	Proxy	ClientProxy	ServerProxy
QUERY	self	SP	CPi
ANSWER	self	@from	@from
NOTIFY	self	CP* - CPi + SP	CP*
COMMAND	self	SP	CPi
PLAIN	P*	CP* + SP	CP*

self	自身で処理	SP	SP に転送
CPi	特定の CP に転送	CP*	全ての CP に転送
P*	全ての Proxy に転送	@from	QUERY 発信元に転送

Proxy はサーバにもクライアントにもならない不特定ユーザの Agent と双方向通信を行う。ServerProxy はサーバ (SA) との間で双方向通信を行い、ClientProxy はクライアント (CA) との間で双方向通信を行う。

Proxy では、PLAIN メッセージはユーザ ID を付加して Broker に接続中の全ての Proxy に配信 (ブロードキャスト) するが、ClientProxy と ServerProxy では Proxy グループ内での配信を行う。COMMAND メッセージは Broker が評価実行しその実行結果を Proxy が返信する。

QUERY, ANSWER, NOTIFY の各メッセージについては、Proxy は受信したこれらのメッセージを Broker 内で処理するが、Proxy を拡張した ServerProxy と ClientProxy は連携してメッセージの転送処理を行い、Proxy グループでの双方向通信を実現している。このようにして Proxy グループでつながった SA と複数の CA の間でのグループ間双方向通信を実現している。

ServerProxy はクライアントの接続要求に対するサービス要求の可否の判定や関係の確立・解消、Proxy グループの管理等の ClientProxy の接続管理を行っている。

#### 4.4.5. Agent クラス

Agent は、Broker 側の対応する Proxy との間で双方向の Socket 通信を行うために以下の機能を提供している。

- Proxy との間での接続の確立と解消  
Agent を生成し要求条件を満たす Proxy に接続し、双方向通信開始の準備を行う。終了要求に対してプロキシとの接続を解除する。
- Broker のシステムパラメータの問合せや設定  
Broker のシステムパラメータを問合せ、取得、設定を行う。
- 送信先の宛名リストの管理  
宛名リストの初期化、メンバの追加、削除、宛先パラメータ作成等を行う。
- 宛先を指定した NOTIFY の送信  
送信パラメータ @to に配布先の宛先を設定し、NOTIFY を送信する。すでに明示的に宛先 (@to) が指定されていたらそれを採用する。Agent の宛先管理リストが定義されていたらその内容を @to に設定する。それ以外の場合は未定義とし、Broker 側の配布ポリシーに従う。

Agent を使用するプログラムでは、HttpBase から継承したメソッドを利用して、メッセージ送信、同期呼出し、QUERY 送信、NOTIFY 送信、テキスト送信、画像送信、画像ファイル送信などを行うことができる。また、Agent の親クラス HttpBase で定義された以下のメソッドをオーバーライドすることによって、各種のメッセージの受信時の処理を拡張することができる。

```
protected void notifyReceived(DInfo dinfo);
protected void onCommand(String command);
protected void onMessage(String message);
protected void onClose();
```



#### 4.4.6. DialogBase クラス

DialogBase は、Dialog インタフェースを実装した双方向対話型通信機能をもつアプリケーションを実現するためのベースクラスである。双方向対話型通信機能は、Dialog で定義された5つのメソッド (QUERY の送信, QUERY の受信と ANSWER の返信, ANSWER の受信, NOTIFY の送信, NOTIFY の受信) から構成されている。DialogBase ではこれらのメソッドのデフォルト実装を提供している。拡張クラスにおいて、必要なメソッドを再定義することによって、任意の双方向対話型通信機能を実現することができる。第 4.5. 節ではシステム組込みのダイアログクラスについて説明する。

受信処理を行うメソッド (onQuery, onAnswer, onNotify) では、対話メッセージの受信後にコンテンツの受信と内容確認を行うのに、以下のメソッドを利用できる。

```
void readContent(DInfo dinfo)
void viewImageContent(DInfo dinfo, String title)
void viewTextContent(DInfo dinfo, String title)
```

#### 4.4.7. その他のクラス

BPInfo, DInfo, HttpInfo 等のクラスは、NSBroker における各種のメッセージ情報をプログラムの中で操作するためのメソッドを提供している。

BPInfo は HTTP 通信プロトコルとブローカ独自プロトコルのデータ構造を定義し、メッセージの文字列表現と内部のデータ構造の間の相互変換のためのメソッドを提供する。プロパティの値は任意の文字列を持ち得る。メッセージの中のプロパティ表現には空白文字や改行コードを含めることができないので、プロパティの値はエスケープ処理を施し、空白文字と改行コードを含まない文字列に変換されてメッセージが組み立てられる。HttpInfo は BPInfo を拡張し HTTP プロトコルのリクエストとレスポンスの情報を管理する機能をもつ。

DInfo は、Agent と Proxy の間の双方向通信のプロトコル情報、および Proxy 間でのメッセージの転送やコンテンツの処理に必要な情報 (コンテンツ情報、コンテンツの表示制御、中継点・終端区別) を管理する。

NSBroker のアプリケーションは、DialogBase クラスを拡張してアプリケーションレベルのプロトコルを実装する。DialogBase の拡張クラスの各メソッドの実装に当たっては、DInfo (とその親クラスの BPInfo) が提供するメソッドを使用して、アプリケーションレベルの API と NSBroker のプロトコルとの間のデータ変換を行う。

#### 4.5. 組込みダイアログ

NSBroker には、あらかじめ5つのダイアログクラスが用意されている。全体に共通で使用されるプロパティを表 2 に示す。それぞれのダイアログはこれら共通のプロパティに加えて独自のプロパティを持つ。

表 2 NSBroker で共通に使われるプロパティ一覧

プロパティ名	説明
@serial_no	メッセージの通し番号
@query_seq	QUERY の通し番号
@from	送信元の proxyID
@to	送信先の proxyID
@relay	中継送信の定義
@result	QUERY の実行結果
@timestamp	タイムスタンプ
@type	コンテンツ種別 (text/image/binary)

#### 4.5.1. システムパラメータの問合せや設定

SystemDialog は、NSBroker のブローカが管理しているシステムパラメータに対するアクセッサの機能を提供する。変更が許されたシステムパラメータに対しては値を変更できる。SystemDialog は 'system' という識別名で登録されている。表 3 に system ダイアログで使用するプロパティを示す。

表 3 system ダイアログのプロパティ一覧

プロパティ名	説明
@proxy_no	稼動しているプロキシの個数
@proxy	対応するプロキシ ID
@server	サーバ ID
@members	メンバ ID リスト
@proxy_info	プロキシグループの一覧情報
@server_info	サーバ一覧情報
@member_info	メンバの一覧情報
@next_proxy	次に割り当てるプロキシ ID

パラメータの値を問合せたい場合は、キー名だけからなるプロパティを指定した system メッセージを QUERY の同期呼び出しで送信する。その結果返される ANSWER のプロパティの値を参照すればよい。パラメータの値の設定は、プロパティに値を設定して system メッセージを送信すればよい。設定が正しく実行された場合は、ANSWER の @result プロパティの値が 'OK' となる。

以下はシステムパラメータの参照と設定を行う QUERY とそれに対する ANSWER の例である。以下の例でダイアログ識別名の前の文字はメッセージの種類を表すが、? は QUERY の同期呼び出しを意味する。同期呼び出しでは、送信側は QUERY を表す '?' を先頭文字としたメッセージを送信後待ち状態となり、ANSWER を受け取って内容確認を行ってから呼び出し側に制御を戻す。

```
/system @proxy @members
%system @proxy=3 @members=1:3 @result=OK
/system @next_proxy
%system @next_proxy=4 @result=OK
/system @next_proxy=200
%system @next_proxy=200 @result=OK
```

#### 4.5.2. メッセージの送受信時刻の測定

PingDialog はメッセージの送受信時刻を測定するためのダイアログである。アプリケーション側で設定するプロパティはないが、NSBroker の内部で、Dialog インタフェースの5つのメソッドに対応したタイムスタンプが刻印され、メッセージの受信側では対応するプロパティでその値を参照できる。PingDialog は 'ping' という識別名で登録されている。表 4 に ping ダイアログで使用するプロパティを示す。

表 4 ping ダイアログのプロパティ一覧

プロパティ名	説明
@time_query	QUERY の発信時刻
@time_onquery	QUERY の受信時刻
@time_onanswer	ANSWER の受信時刻
@time_notify	NOTIFY の発信時刻
@time_onnotify	NOTIFY の受信時刻

ping ダイアログの使用例を以下に示す。

```
?ping @to=3 @query_seq=7 @time_query=21:28:04.895
%ping @to=3 @query_seq=7 @time_query=21:28:04.895 \
@from=2 @time_onquery=21:28:03.589 \
@result=OK @time_onanswer=21:28:04.895
```

この例はあるマシンで稼働しているクライアント (@proxy=2) から別マシンで稼働しているクライアント (@proxy=3) に ping を QUERY として発行し、その結果の ANSWER メッセージを示したものである。QUERY 発信側のマシンのタイマと ANSWER 返信側のマシンのタイマの時間差が読み取れる。

### 4.5.3. ファイルの転送

FTPDialog はファイルの送受信を行うダイアログクラスである。FTPDialog は 'ftp' という識別名で登録されている。表 5 に ftp ダイアログで使用するプロパティを示す。

表 5 ftp ダイアログのプロパティ一覧

プロパティ名	説明
@file	送信するファイル名
@sink	受信ファイルの保存名
@type	コンテンツ種別 (text/image/binary)
@size	ファイルの容量

以下に使用例を示す。

```
?ftp @file=BRK.zip @sink=BRK2012.zip @type=binary
!ftp @file=BRK.zip @sink=BRK2012.zip @type=binary
?ftp @file=src/Broker.java @sink=work
```

最初の例はバイナリファイル BRK.zip をプロキシグループのメンバから取得し BRK2012.zip という名前で保存する。2 番目の例は BRK.zip をグループメンバに BRK2012.zip という名前で配信する。最後の例は、グループメンバから src/Broker.java をテキストファイルとして取得し、work ディレクトリの下に保存する。

ファイルの種別は @type プロパティ で明示的に指定することができる。ファイル種別 @type の指定がない場合はファイル名の添え字から種別を判定する。バイナリファイル (@type=binary) と画像ファイル (@type=image) については、送信側で Base64 でテキスト形式にエンコードして送信し受信側でデコードして元のデータ形式を再現している。テキストファイルは転送の過程でこのような変換が行われないので効率的である。@size プロパティは Broker が転送処理を行う際に受信したデータをメモリ上で保持するかファイルで保持するかを判断する情報として使用する。現在は 1M バイト以下のデータはメモリ上に保持する実装としている。

### 4.5.4. コンテンツの送受信と表示

ViewDialog は FTPDialog を拡張したダイアログであり、テキストファイル、バイナリファイル、画像ファイルの送受信とその内容の表示機能をもつ。ViewDialog は 'view' という識別名で登録されている。表 6 に view ダイアログで使用するプロパティを示す。

表 6 view ダイアログのプロパティ一覧

プロパティ名	説明
@file	送信するファイル名
@sink	受信ファイルの保存名
@type	コンテンツ種別 (text/image/binary)
@size	ファイルの容量
@title	コンテンツの表示タイトル

以下はコンテンツの送受信と表示を行うメッセージの例である。

```
?view @file=account.txt
?view @type=image @file=ph.jpg @title=cute_girl
!view @type=binary @file=BRK.zip @sink=BRK2012.zip
```

### 4.5.5. シェルコマンドの実行

ShellDialog は、シェルコマンドを QUERY として発行し、その実行結果を ANSWER として受信する機能をもったダイアログクラスである。ShellDialog は、'rash' という識別名で登録されている。このダイアログクラスを使うことによってシェルコマンドの同期呼び出しが可能になる。表 7 に shell ダイアログで使用するプロパティを示す。

表 7 shell ダイアログのプロパティ一覧

プロパティ名	説明
@command	シェルコマンドのコマンド文字列
@exitcode	シェルコマンドの実行結果の終了コード
@content	コマンドの標準出力への出力結果

### 4.5.6. 任意のダイアログの実行

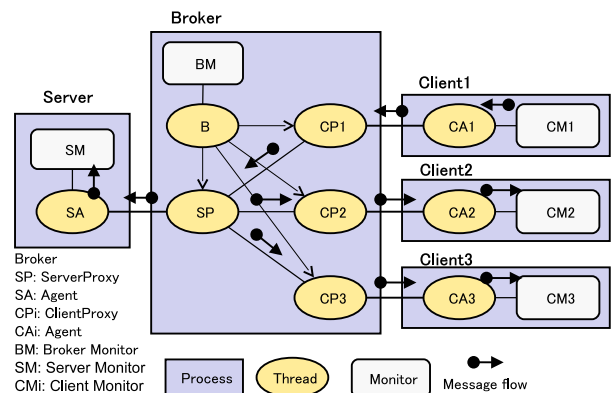
任意のダイアログクラスを実行するために、識別名が 'execute' という仮想的なダイアログを提供している。execute ダイアログは @fqcn プロパティをもち、このプロパティにダイアログクラスの完全修飾名 (FQCN) を指定することで、組み込みダイアログと同様にアプリケーションが定義したダイアログクラスを使用することができる。

以下に execute の使用例を示す。

```
?execute @fqcn=app.mandel.MandelDialog \
res=0.005 real=-0.6 imag=0.4
!execute @fqcn=app.mandel.MandelDialog \
res=1.0E-4 real=-1.76 imag=0.0
```

### 4.6. 実行時のオブジェクト構成

図 5 はブローカに一つのサーバと 3 つのクライアントが接続し、クライアント CA1 から画像ファイル fuji.jpg を NOTIFY 配信したときのオブジェクト構成とメッセージフローを示したものである。図 2 に示した双方向通信モデルに対してブローカとエージェントにモニタが接続したのになっている。ここで、Broker と Server, Client1 は同一マシン上で、Client2 と Client3 は別マシンで動作している。



A notify message "!view @file=fuji.jpg" transmitted from CA1 is transferred to the server and other clients through the corresponding proxies in the proxy group.

図 5 1 サーバと 3 クライアントでの双方向通信

CM1 上でのユーザ操作によって CA1 から発行された NOTIFY メッセージはクライアントプロキシ CP1 が受信し、サーバプロキシ SP とクライアントプロキシ CP2 と CP3 に転送され、それぞれ対応するエージェントに送信される。各エージェントはモニタメソッドの `viewImage(title, bimage)` メソッドを使って受信した画像を GUI モニタに表示する。ここで示したオブジェクト図は、`broker.gui.MonitorBase` クラスを拡張した `BrokerPanel` クラスと `AgentPanel` クラスの GUI を使っている。

NOTIFY メッセージを受信し画像を表示したときの GUI 画面の表示状況を図 6 に示す。Client2 と Client3 に対応する画面は他のマシン上で動作しているのでこの図には含まれていない。

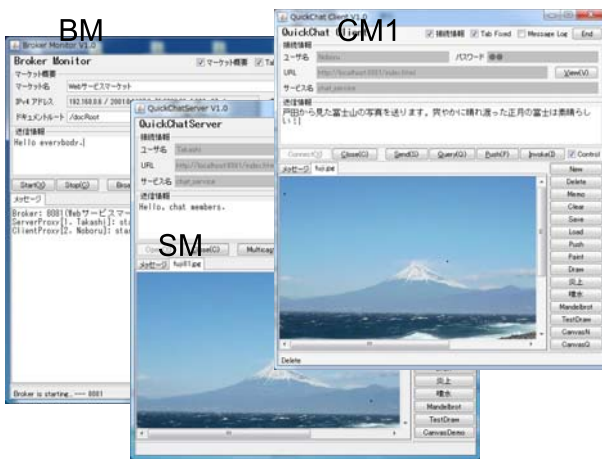


図 6 Broker とサーバ、クライアントの GUI 画面

## 5. アプリケーション開発プロセス

### 5.1. アプリケーション開発全体の流れ

システムパラメータの参照と設定、ファイルの送受信、テキストや画像等のデータコンテンツの送受信と表示、シェルコマンドの送信と実行結果の送受信等の基本的な双方向通信機能に関しては第 4.5 節で述べた。組み込みダイアログで提供されていないメッセージ交換を実現するためにはアプリケーション独自のプロトコルを設計しダイアログクラスを実装しなければならない。本節では、アプリケーション独自の双方向通信機能を開発する手順を示す。

### 5.2. 双方向通信のプロトコル設計

双方向通信のプロトコル設計では `Dialog` インタフェースの 5 つのメソッドを実装するために必要なアプリケーションレベルの仕様を決定する。

- ダイアログ識別名
- プロパティのキー名
- プロパティの取りうる値の定義
- QUERY の種類と渡すべきプロパティ
- 各 QUERY に対する ANSWER の種類と渡すべきプロパティ
- NOTIFY の種類と渡すべきプロパティ

QUERY と ANSWER, NOTIFY の種別は、プロパティの組合せパターンで判定しても良いし、明示的にメソッド名をプロパティで定義しても良い。これらの仕様を決定することは 1 つのクラスの API を設計することに相当する。QA 型通信と NOTIFY 型通信は両方を実装する必要はないが、多くの場合両者は類似したコードで実装できる。

### 5.3. ダイアログクラスの実装

プロトコル設計仕様に基づいて `Dialog` インタフェースの 5 つのメソッドを実装する。各メソッドはダイアログプロパティを管理する `DInfo` クラスを使ってプロパティの定義・値の設定・値の参照を行い、アプリケーションが用意したクラスのメソッドを呼び出せば良い。

### 5.4. ユーザインタフェースの設計と実装

サーバとクライアントの両者についてユーザインタフェースを設計する。アプリケーションレベルでのユーザインタフェースの設計では、通信相手に渡すデータの入力形式、更新相手から受け取るデータに対して実行すべきアクションを決定する。受信データの表示には `Monitor` インタフェースの API を用いる。

アプリケーション独自のデータの表示が必要な場合は、`Monitor` インタフェースを独自に実装しなければならない。独自の `Monitor` インタフェースの実装では `MonitorBase` クラスを拡張するか、`MonitorBase` クラスの実装を参考に新たに設計と実装を行うことになる。`app.AppPanel`, `app.ChatServerPane`, `app.ChatPanel` は典型的なエージェント側のユーザインタフェースとそれを拡張したサーバとクライアントのユーザインタフェースの実装例である。

ブローカ側の GUI は `broker.gui.BrokerPanel` で提供されている。`app.AshBroker` はこれに `Shell` インタフェースとして `Ash` シェルコマンドを評価実行する機能が実装されている。アプリケーションが独自のブローカ機能が必要とする場合は、`broker.gui.BrokerPanel` を拡張するのが良いだろう。

### 5.5. アプリケーション機能の作り込み

アプリケーション独自の双方向通信機能はダイアログクラスとして実装するが、アプリケーション機能は、`Agent` クラス、`HttpBase` クラス、組み込みダイアログの各クラスが提供する機能を組み合わせて実現する必要がある。アプリケーション側が使用する機能は `Agent` クラスとその親クラスが提供するメソッドである。主要なものを以下に示す。

```
class Agent extends HttpBase {
    // HttpBase で定義されたメソッド (一部)
    void sendQuery(dinfo);
    void sendAnswer(dinfo, result);
    void sendNotify(dinfo);
    void sendPlain(message);
    void sendMessage(message);
    boolean notifyViewText(title, text);
    void sendText(text);
    boolean notifyViewImage(title, bimage);
    void viewImageFile(fname);
    void sendBinary(fname);
    void setInvokeTimeout(int timeout);
    DInfo invoke(query);
    DInfo invoke(dinfo);
    boolean evalQuery(query);
    void evalNotify(invoice);

    // オーバライド可能なメソッド
    protected void onClose();
    protected void onCommand(command);
    protected void onMessage(message);

    // Agent で定義されたメソッド (一部)
    static Agent open(url,role,userId,password);
    void startListening(int timeout);
    void close();
}
Data types of arguments are defined below:
dinfo: DInfo, bimage: BufferedImage,
```

```
paramMap: Map<String,String>,
timeout: int, *: String;
```

## 6. 適用事例

本節では **NSBroker** の双方向通信ライブラリを用いたアプリケーションについて 3 つの例を示す。

### 6.1. プログラム例 1 : **QuickChat**

図 6 は簡易チャットシステム **QuickChat** の実行時の GUI 画面である。 **QuickChat** は、 **NSBroker** の仕様検討と実装、テスト、性能評価を行うための環境構築の一環として開発したものである。

**QuickChat** の開発では、まず **Monitor** インタフェースを実装した GUI ベースクラスとして **MonitorBase** を作成した。 **Broker** と **Server**、 **Client** の GUI 画面は **MonitorBase** を使用して構築したものである。

**MonitorBase** では、送信メッセージを編集する領域、メッセージを **NOTIFY** または同期・非同期の **QUERY** として送信するためのボタンを配置する領域、受信したメッセージを表示する領域、システム状態の表示領域、各種ダイアログの実行用ボタンを配置する領域を管理している。受信したコンテンツの表示やダイアログの編集領域として、メッセージ表示領域と同じ場所にタブ付の表示領域を設けた。

**BrokerMonitor** は **MonitorBase** に対して **Broker** の管理機能を追加したものであり、起動マシンの IP アドレスとポート番号、送受信するドキュメントルートパスの表示と設定の領域を備えている。

**QuickChat** のサーバとクライアントは画面タイトル以外はほとんど同じ内容である。画面上部に接続情報の設定領域があり、ユーザ名、パスワード、 **Broker** の URL、サービスの種別を設定できる。画面右側のダイアログ実行用ボタン配置領域には、コンテンツ送信 (**Push**)、画像の協同編集 (**Paint**, **Draw**)、アニメーション画像の配信 (炎上、噴水)、 **Mandelbrot** 画像の作成と配信 (**Mandelbrot**)、線画の作画 (**CanvasQ**, **CanvasN**) 等のボタンがある。

画像の協同編集はキャンバス上をマウスで線を描く操作をチャット参加者に配信する機能である。画像の変更ごとに画像データ全体を配信する **Paint** とマウスの軌跡情報だけを配信する **Draw** の 2 種類のプロトコルを実装し、協調編集作業の実時間性能の評価を行った。アニメーション画像の配信は毎秒何フレームの画像の送受信が可能か評価するために利用した。

**Mandelbrot** は画像を扱うアプリケーションに双方向通信機能を追加する方法を検証するために開発した。これは既存のアプリケーションの **API** をダイアログとして定義し、遠隔利用機能もたせた拡張を行う実装例となる。

線画の作画は、線画の描画ライブラリ **Canvas** に対してダイアログクラスを実装し、この **canvas** ダイアログを使って実装した。約 2.2 万本の線分からなる線画像を **QA** 通信方式と **NOTIFY** 通信方式で実行し、各種の条件の元で描画コストと通信コストの割合を測定した。これらの性能評価の結果については第 7. 節で述べる。

### 6.2. プログラム例 2 : リモートシェル **rash**

**NSBroker** のダイアログクラスは、GUI から利用するだけではなく、コマンドラインまたはスクリプトファイルから読み取ったメッセージをインタプリタ方式で評価・実行することで利用することもできる。

以下の **readEvalPrint** メソッドはインタプリタのトップレベルの制御構造を示す。

```
void readEvalPrint(url, role, userId, password) {
    Agent agent = Agent.open(url,role,userId,password);
    agent.startListening(2000);
    String line;
    while((line = readLine()) != null) {
        String message = line.substring(1);
        switch(line.charAt(0)) {
            case '@': agent.sendPlain(message); break;
            case '!': agent.evalNotify(message); break;
            case '?': agent.evalQuery(message); break;
            case '/':
                DInfo answer = agent.invoke(message);
                if(answer != null) println(answer.message());
                break;
        }
    }
    agent.close();
}
```

**open** メソッドで **Broker** に接続し、その結果得られる **Agent** オブジェクトを使ってメッセージを処理するメソッドを呼び出す。メインループでは、**readLine()** がコマンドラインまたはメッセージを記述したスクリプトから 1 行のメッセージを読み込み、メッセージ種別ごとに **HttpBase** が提供する対応するメソッドを呼び出している。このメッセージは第 3.2. 節で示した構文に従う。

第 4.5. で述べたように先頭文字の **?** は **QUERY** の同期呼出しを意味し、 **Agent** クラスの **invoke(message)** メソッドで実装されている。このメソッドは実行結果として **DInfo** 型の値を返す。この内容を文字列に変換すれば結果を読み取ることができる。

**rash** はこのメソッドを骨格に作成した **Ash** コマンドのリモートシェルである。 **readEvalPrint** に示した 4 種類のメッセージに加えて、リモートでの **Ash** コマンド (先頭文字 **>**) とローカルな **Ash** コマンドを実行できる機能がある。また **QUERY** の同期実行結果の表示 (**:prop**)、各コマンドの実行時間の表示 (**:prof**)、メッセージログの表示 (**:mlog**)、メッセージエコーの表示 (**:echo**) を制御するフラグの設定機能を用意した。

これらの **rash** コマンドをスクリプトファイルで記述し、機能テストや性能テストの自動化を図っている。以下は **ftp** ダイアログの性能評価用のスクリプトである。性能評価のためのディレクトリの初期化、大容量ファイルの **QUERY** 同期通信による取得、 **NOTIFY** 非同期通信による配信、実行結果の確認のためのファイル情報の表示の処理が記述されている。

```
rm -fr tmp
mkdir tmp
:echo
:prof
/ftp @file=data/ftp256.data @sink=tmp/get.data
sleep 32000
date
ls -lf tmp/*.data
!ftp @file=data/ftp256.data @sink=tmp/put.data
sleep 8000
date
ls -lf tmp/*.data
```

### 6.3. UML クラス図エディタの協調編集ツール **CoDE**

**CoDE** は UML クラス図の協調編集ツールであり、インターネットで接続された複数台のコンピュータ上で同一のクラス図を協同で編集する機能を提供する。個人作業用の UML クラス図エディタを **NSBroker** を使って拡張したものである。 **CoDE** の実行時の画面イメージを図 7 に示す。

1 つのエディタで「協同編集」の「サーバの開始」を実行すると、接続情報やマウスカーソルの色を選択するダイアログが表示され、必要な設定を確認後接続を実行すると、そのエディタは協同編集のサーバとしてローカルに接続し、クライアントからの編集参加の要求を待つ。協同編集を行う参加者は、「協同編集」メニューから「編集への参加」を実

行する。同様の接続確認のダイアログが表示されカーソルの色を選択して接続する。この状態で参加者は同一のクラス図に対して編集作業を行うことができる状態になる。協同編集の参加者の一人が既に作成した UML クラス図を編集対象として選択するとそのクラス図の情報は協同編集の参加者全員に配布され、同一のクラス図に対する協同編集が可能になる。クラスを表すノードや関係を表すアークの追加、削除、ノードの位置の変更、属性情報の設定や変更等のクラス図の協同編集が可能である。

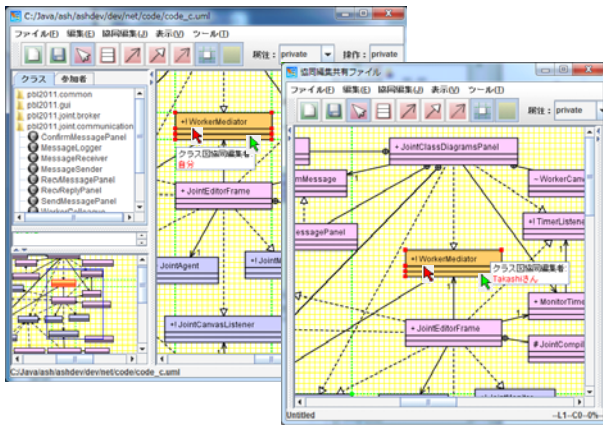


図 7 CoDE の実行時画面

CoDE では協同編集機能を実現するために DialogBase を拡張した UMLCanvasDialog クラスを実装している。オーバライドしたメソッドは onNotify(dinfo) だけであり、クラス図編集には NOTIFY 通信だけを使っている。プロトコルは UML クラス図の編集操作を method プロパティで指定し、付随するパラメータをそれぞれのプロパティで指定する方式をとっている。マウスの基本操作も定義しており、マウスドラッグによるノード移動も即座に協同編集者にフィードバックできるように設計されている。

マウスポインタはそれぞれの参加者ごとに異なる色を付けることができさらに参加者のユーザ名も表示される。協同編集者は他の編集者のマウスの動きを見ながら自分の編集作業を行うことができる。ほとんど時間差を感じない程度の応答性能が実現されている。

## 7. NSBroker の性能評価

本節では、まず NSBroker を使用して構築できるアプリケーションのネットワーク構成を示し基本的な通信形態を整理する。続いて各種通信形態における通信の基本性能、描画性能との相対比較、大容量データの送受信性能のそれぞれの測定結果を示す。これらの測定データを踏まえ包括的な性能評価を行う。

表 8 に性能測定に使用したマシンの仕様を示す。

表 8 性能測定で使用したマシンの仕様

マシン名	MPU	クロック	アドレス	メモリ	java
1PC110204	Intel Core i3-M370	2.40 GHz	64bit	4GB	1.7.0_05
2PC120221	Intel Core i7-2670QM	2.20 GHz	64bit	8GB	1.7.0
3PC110308	Intel Core i7-870	2.93 GHz	64bit	8GB	1.7.0_05
4notePC	Intel Core i5-M520	2.40 GHz	32bit	2GB	1.7.0_09

### 7.1. アプリケーションのネットワーク構成

アプリケーションを構築する場合、各種の論理的なネットワーク構成と物理的なネットワーク構成でどのような

能上の差異が生じるかを予測できることが重要である。NSBroker で想定される接続形態を図 8 に示す。

論理構成は通信主体（エージェントとプロキシ）の接続形態によって変わる。エージェントはそれぞれ独立したプロセスの中の 1 スレッドとして稼働する。各エージェントと接続するプロキシはブローカが動作するプロセスの中の 1 スレッドとして稼働する。各プロセスはインターネットで接続された任意のマシン上で動作させることができる。したがって物理的には多様な接続形態をとり得る。

もつとの単純な接続形態はエージェントとプロキシが同一マシンの別プロセスとして通信している場合である(図 8-(a))。典型的なアプリケーションは一つの LAN 上で複数の PC が接続する形態であり、一台のマシン上でブローカが稼働し、これに一つのサーバと複数のクライアントがそれぞれ別のコンピュータ上で動作する形態である(図 8-(c))。最も一般的で複雑な接続形態は、グローバル IP アドレスをもつ一つのマシン上で動作するブローカに対してインターネット上の一つのコンピュータがサーバとして接続し、さらに別の複数のコンピュータがクライアントとしてブローカを経由してサーバに接続する形態である。さらに、複数のサーバと複数のクライアントが相互に接続しあう形態も考えられる。

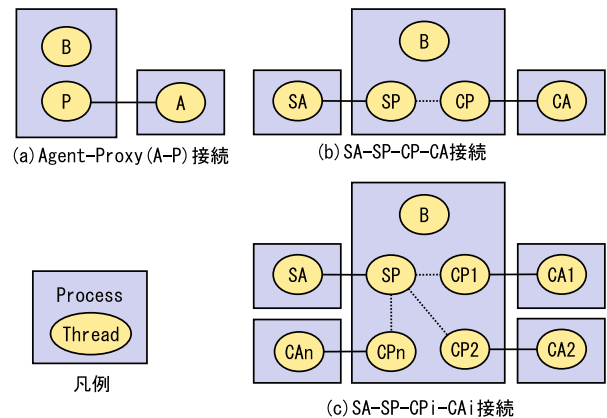


図 8 アプリケーションのネットワーク構成

本稿では、各種ネットワーク構成での性能予測の基礎データを得るために、図 8-(a) の A-P 接続と図 8-(b)(c) の C-S 接続について、各プロセスが同一マシン上にある場合と LAN 環境の異なるマシン上にある場合での性能評価を行う。

図 9 と図 10 はそれぞれ A-P 接続と C-S 接続での同期通信と非同期通信のメッセージシーケンスを示す。いずれも ftp ダイアログをファイル送信要求の同期通信 (/ftp) とファイル送信の非同期通信 (!ftp) を行った際のシーケンス図である。これらの図で縦方向の点線の矢印 (S,R) はファイルデータの送信 (S:ファイル読込み、エンコード、 SEND) と受信 (R:レシーブ、デコード、ライト) の時間のかかる処理を表している。

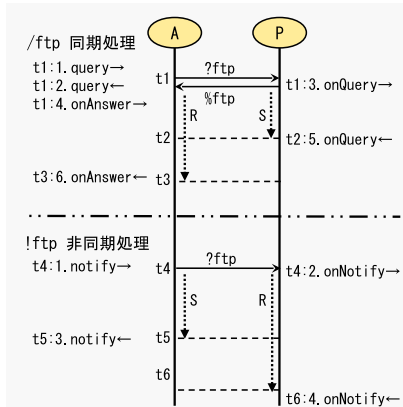


図9 A-P接続の同期・非同期通信

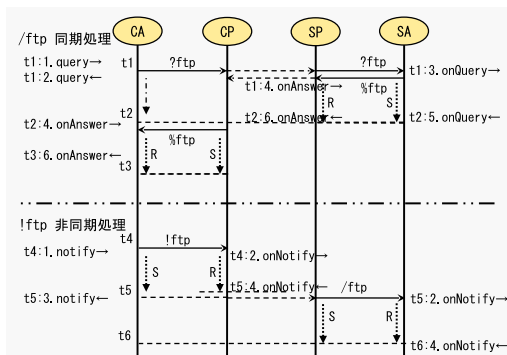


図10 C-S接続の同期・非同期通信

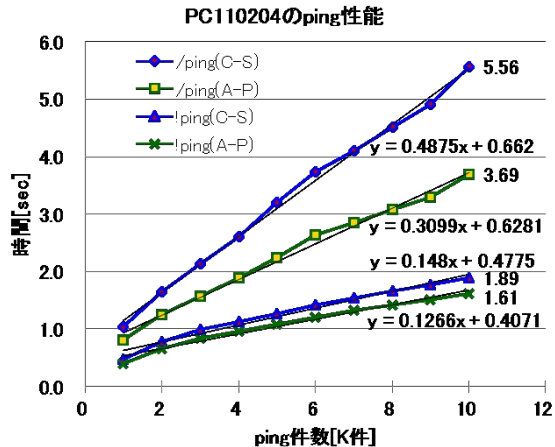


図11 同一マシン上でのping性能

表9 各種接続形態におけるping性能の線形回帰パラメータ

通信形態	$\beta_0$	$\beta_1$
/ping(C-S)	0.662	0.488
/ping(A-P)	0.628	0.310
!ping(C-S)	0.478	0.148
!ping(A-P)	0.407	0.127

time[sec] =  $\beta_0 + \beta_1 * \text{ping}$   
 $\beta_0$ [sec]  
 $\beta_1$ [sec/Kping]

通信形態	$\beta_0$	$\beta_1$
/ping(C-S)	0.725	0.428
/ping(A-P)	0.582	0.387
!ping(C-S)	0.306	0.079
!ping(A-P)	0.338	0.077

通信形態	$\beta_0$	$\beta_1$
/ping(C-S)	0.175	4.700
/ping(A-P)	0.148	3.900
!ping(C-S)	0.045	0.200
!ping(A-P)	0.041	0.200

7.2. メッセージ送受信の基本性能の測定

ping は時刻の刻印以外の処理を行っていない軽量のプロトコルであり、通信の基礎データとして他のデータの評価に欠かせない\*1。測定は4台のそれぞれ特性の異なるマシンに10000回のpingを実行し、1000回毎に経過時間を記録した。

図11は1台のマシン上で実行したping性能の測定結果を示す。このグラフの4本の線はそれぞれA-P接続とC-S接続での同期通信(/ping)と非同期通信(!ping)の性能を表す。10000回のpingに要した非同期通信はA-P接続で約1.6秒、C-S接続で約1.9秒、同期通信はA-P接続で約3.7秒、C-S接続で約5.6秒であった。いずれの通信形態でも1ミリ秒/ping未満である。測定の結果は予想通り1次線形回帰パラメータで表現できた。

同様の測定を異なるマシン間で有線LANと無線LANの場合について実施した。何れの結果もマシン特性によって差はあるもののほぼ同じ傾向の結果が得られた。ただし無線LANの同期通信ではメッセージの欠落によるQUERYの通し番号(@query\_seq)のずれが生じ10000件の測定に耐えられなかったため1000件での測定を行った。この測定結果から求めた線形回帰パラメータを表9に示す。

LAN接続されたマシン間でのping性能は非同期通信では同一マシン間での性能と比較して同等以上であることが確認できた(表9-cとd)。同期通信では相手側のマシンの性能に依存するが同等性能のマシンでは2倍未満(表9-b対c)、性能の劣るマシンでも3倍未満(表9-b対d)の時間で実行できた。無線LAN(130Mbps)では、有線LAN(1Gbps)の場合と比較して非同期通信で約3倍、同期通信では5~6倍の時間を要した(表9-d対e)。C-S接続の同期通信では4.8msec/pingの性能であった(表9-e)。

7.3. 通信性能と描画性能の相対比較

NSBrokerが対象とするアプリケーション領域は、インターネット上で高度な対話性をもったグループ活動を支援するアプリケーションである。快適な対話性を実現するためには通信性能と描画性能のバランスを考えた設計が必要である。そこで基本的な通信性能と描画性能のデータを得るために、Sierpinsky curveをcanvasダイアログを使って作画するプログラムを作成し描画性能を測定した\*2。

A-P接続とC-S接続についてQA方式(同期通信)とNOTIFY方式(非同期通信)での描画を数台のマシンで実行した。各種条件での描画時間の測定結果を表10に示す。表

\*1 pingにおける時刻の刻印には0.1msec/ping弱のコストがかかり通信コストより高かった。通信のコストはこの2/3程度であった。  
 \*2 Sierpinsky curveは再帰的に定義されたフラクタル図形の一つであり、Waclaw Sierpinskiによって発見された。閉じた線分で空間を一樣に埋め尽くす性質をもっており、描画の状況を視覚化できるので、描画性能を直観的に理解するのに役に立つ。n=1で4本、n=2で16本、n=3で64本の連続する線分で閉じた曲線が描画される。描画性能の測定では、n=1..7までの7つの曲線を色を変えて重ねて描画し、合計21,844本の線分の描画時間を測定した。

10の数値は線分あたりの描画時間(単位ミリ秒)である。測定で表示した Sierpinsky curve 全体の描画時間は1秒弱から数十秒であった。

表 10 canvas ダイアログの描画性能

a) PC120221		描画性能 0.024 [msec/line]				
クライアントマシン	!canvas A→P	!canvas C→P S	!canvas C→P S C	/canvas A→P	/canvas C→S	
同一マシン	0.042	0.078	0.101	0.168	0.249	
PC110308→有線	0.032	0.068	0.090	0.652	0.822	
notePC→有線	0.038	0.071	0.095	0.672	0.804	
notePC→無線	0.057	0.074	0.095	3.367	4.025	

b) PC110308		描画性能 0.711 [msec/line]				
クライアントマシン	!canvas A→P	!canvas C→P S	!canvas C→P S C	/canvas A→P	/canvas C→S	
同一マシン	0.738	1.589	2.491	0.834	0.885	
notePC→有線	0.641	1.513	2.418	1.761	1.901	
notePC→無線	0.680	1.453	2.356	4.018	3.645	

c) notePC		描画性能 0.039 [msec/line]				
クライアントマシン	!canvas A→P	!canvas C→P S	!canvas C→P S C	/canvas A→P	/canvas C→S	
同一マシン	0.080	0.133	0.204	0.327	0.496	
PC110308→有線	0.070	0.113	0.161	0.800	1.197	
PC110204→有線	0.065	0.126	0.163	0.768	1.203	
PC110308→無線	0.072	0.123	0.171	-	-	
PC110204→無線	0.084	0.130	0.142	-	-	

グラフィックスアクセラレータを搭載したマシン(PC120221とnotePC)では線分の描画コストは0.03msec/line程度でありプロセス間通信のコストよりも低い。一方グラフィックスアクセラレータを搭載していないマシン(PC110308)では0.7msec/line程度でありプロセス間通信のコストよりもはるかに高く、有線LANの同期通信のコストと同程度であった。

無線LANを用いた場合、非同期通信での描画性能はそれほど悪くないが、通信状況によっては通信にかなりの遅延がみられた。そのため同期通信ではinvoke呼び出しのタイムアウトによって通信が中断し不安定な動作になることが多かった。同期呼び出しを利用する際はタイムアウトや同期不全による障害からのリカバリー処理が必要である。canvasダイアログを用いた描画のテストは不安定な通信状態を視覚化することができ、アプリケーションの性能と信頼性の改善へのヒントが得られることを今回の性能測定の中で実感した。ここに示したデータは対話性の高いアプリケーションを開発する際の基礎データとして有用であると考えられる。

#### 7.4. 大容量データの送受信性能の評価

第4.5.3節で述べたように、NSBrokerでは送信するデータコンテンツをテキストファイルとバイナリファイルに分け、画像データを含むバイナリデータについては送信時にBase64でテキスト形式にエンコードし、受信時に元のバイナリデータにデコードしている。大容量データの送受信の性能評価では、1Mバイトから128Mバイトまでのファイルをテキスト/バイナリ、同期/非同期、A-P接続/C-S接続、同一マシン内/LAN接続の各種条件の組み合わせで送受信を行い所要時間を測定した。ダイアログの5つのメソッド(4.3.4節)の実行の開始時刻と終了時刻をログに出力し複数の通信主体が要した処理時間を測定できるようにした。

測定はftpダイアログをrashリモートシェル(6.2節)のスク립トとしてバッチ的に実行し、出力の結果のログをスク립トで解析した。各種条件での測定を一台のマシンとLAN接続された2台のマシンで役割を変えて実施した。当然ながら所要時間はファイル容量に比例する結果が得られた。これらの測定の結果から得られた線形回帰パラメータを表11に示す。

表 11 各種接続形態・通信形式におけるftp性能

a) PC110204(1台のマシン)		テキスト				バイナリ	
ファイル種別	接続・通信	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 0$	$\beta 1$
A-P	/ftp	0.148	0.033	0.220	0.053		
	!ftp	0.070	0.030	0.092	0.072		
C-S	/ftp	0.129	0.066	0.268	0.084		
	!ftp	0.263	0.066	0.174	0.103		

b) PC110204→notePC(有線LAN 100Mbps)		テキスト				バイナリ	
ファイル種別	接続・通信	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 0$	$\beta 1$
A-P	/ftp	0.083	0.108	0.126	0.145		
	!ftp	-0.060	0.098	-0.024	0.172		
C-S	/ftp	-0.070	0.178	0.067	0.210		
	!ftp	-0.144	0.167	-0.205	0.233		

a) notePC→PC110204(有線LAN 100Mbps)		テキスト				バイナリ	
ファイル種別	接続・通信	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 0$	$\beta 1$
A-P	/ftp	0.009	0.032	0.024	0.188		
	!ftp	0.006	0.036	0.276	0.177		
C-S	/ftp	0.028	0.044	0.037	0.221		
	!ftp	0.012	0.049	0.169	0.211		

$$\text{time[sec]} = \beta 0 + \beta 1 \cdot \text{size[MB]}$$

$$\beta 0 [\text{sec}], \beta 1 [\text{sec/MB}]$$

数MB以上の大容量データに対しては $\beta 0$ (容量ゼロの場合の送信時間)は無視できる値である。 $\beta 1$ は単位容量当りの送受信時間である。表11-a)によると、テキストファイルを同一マシン上・A-P接続・非同期通信(!ftp)の条件で行う場合で100MB当り3秒かかる。バイナリファイルの場合はこれが7.2秒となる。この差の4.2秒がBase64でのエンコード・デコード時間と送受信するデータ容量の増加(4/3強)によるものである。なお同じマシンでcatコマンドを使って同じ容量のテキストファイルをコピーした場合20秒程度の時間がかかった。ftpダイアログによるファイル送受信はcatコマンドよりもはるかに高速である。

表11-b)の右側の線形回帰パラメータを導き出したグラフを図12に示す。これはバイナリファイルをPC110204からnotePCへ送受信した測定結果の詳細を表すものである。

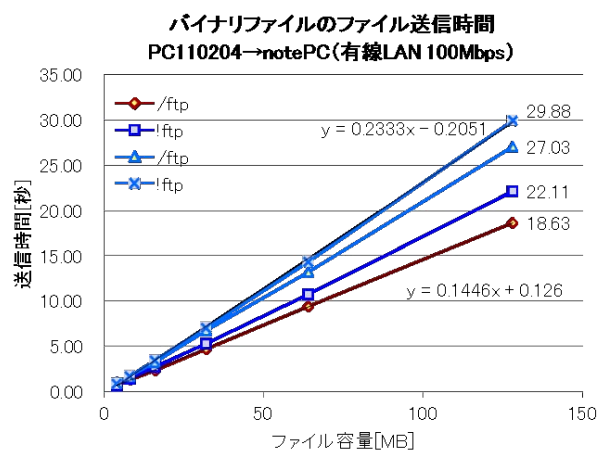


図 12 ftpダイアログによるファイル送信性能の例

以上の測定結果から以下の傾向を確認できる。

- 同期通信と非同期通信は大容量データの送受信に関して有意な性能差はない。
- 通信コストがファイルIOコストと比較して小さい(高速通信)の場合は、C-S接続はA-P接続のほぼ倍の時間がかかる。通信コストが相対的に大きくなると全体の送受信時間は長くなるが両者の性能差は小さくなる。

- CPU 負荷やファイル IO 負荷の大きい処理は複数マシンに処理を分散させることによって、通信コストよりも分散による処理の並列化の効果が期待でき、一台のマシンで処理するよりも高速化できる場合がある。

以上の知見は目新しいことではないが、定量的にその程度を把握できるので双方向通信アプリケーションを設計する際に有益な情報となるだろう。

## 7.5. アニメーション画像の送受信と表示

第 6.1. 節で紹介した QuickChat にはアニメーション画像を配信する機能がある。この機能を使って 7 万画素から 20 万画素の JPEG 画像を毎秒 5~30 フレーム (fps) 程度で長時間配信した際の動作の安定性を観察した。

1 つの QuickChat サーバと 3 つの QuickChat クライアントを有線 LAN(1Gbps) で接続された 3 台のマシンで稼働し、アニメーション画像の一方方向の長時間配信を行った。20 万画素の JPEG 画像 (約 40KB) を 30fps で 2 時間程度実行したが、特に異常は見られず動作は安定していた。

QuickChat の画像配信は特別な配信制御を行っていない。従って複数の通信主体がアニメーション画像の同時配信を始めるとメッセージの混信が発生し、最悪の場合サーバー・クライアントがフリーズする現象が発生した。1 つの QuickChat サーバと 1 つの QuickChat クライアントで双方向に配信する場合は 20 万画素 24fps でも比較的安定した動作をしていたが、これにクライアントが 1 つ追加されるとメッセージの混信が多発しフリーズした。追加クライアントを終了させるとフリーズは解消した。5ftp 程度の配信であれば 3 台のマシンで稼働させた 1 サーバ・2 クライアントが比較的安定して動作することを確認できた。これは 5fps で顔写真を送信しあうシンプルな鼎談システムを QuickChat をベースに開発できることを示唆するものである。しかし安定したシステムを実現するためにはアプリケーションとしてアニメーション画像を混信なく配信するメカニズムが必要がある。

## 7.6. 性能評価

以上述べてきた定量的な評価に加えて、QuickChat の画像の協同編集機能と UML クラス図エディタの協調編集ツール CoDE の操作感を報告する。QuickChat の画像の協同編集機能を、前節でのべた鼎談形式の 3 者間アニメーション画像配信を行っている状況で線画の追記編集を行ってみた。ペンの動きはほとんど遅延することなく 3 台のマシン間で観測できた。あるマシンのマウスを使って別のマシン上の画像を見ながら線画を描くことも違和感なう行うことができた。このことから応答性能は極めて良好であるといえる。クラス図エディタについてもほぼ同様の操作感が得られた。

NSBroker が対象とするアプリケーション領域は、インターネット上で高度な対話性をもったグループ活動を支援するアプリケーションである。そのために設計では対話性を損なわないメッセージ送受信の性能を重視した。また遠隔会議でのカメラ画像の交換も扱えるレベルの性能を目指した。信頼性に関しては高度なレベルを追求していない。ある程度のデータの欠落は運用レベルで対処するほうが実用的であると考えたからである。

以上の観点から、高度な対話性をもったアプリケーションをインターネット上で構築するための基盤ライブラリとして十分な性能と信頼性を備えていると評価できる。

## 8. 今後の課題

### 8.1. アプリケーション開発支援機能の強化

グループでの実時間双方向通信を扱うアプリケーションの開発生産性向上のために、基盤ライブラリの拡張性の向上や機能強化、開発支援ツールや開発環境の整備に関して以下の課題が考えられる。

#### 1. NSBroker のコア部分の拡張性

クライアント・サーバ型の接続形態は NSBroker では Proxy によって実現されており、接続サービスの仕様は Proxy の実装に組み込まれている。第 4.4.2. 節で述べたように NSBroker の ProxyFactory が Proxy のインスタンスを生成する。ProxyFactory 自身を拡張し、新しい接続形態をサポートする Proxy (ServerProxy と ClientProxy) の生成機能を組み込むことによって、新しい接続サービスの実現が可能であると考えている。しかしデフォルトの接続サービス以外にこの拡張性の適用例はない。この拡張性の実証が 1 つの課題となる。

#### 2. インタフェース定義言語

第 5.3. 節で述べた通り、NSBroker のアプリケーション開発ではアプリケーション独自のサービスに対してダイアログクラスの作成が必要である。ダイアログクラスの実装のかなりの部分はアプリケーションクラスのメソッド呼出しと NSBroker のメッセージ形式の変換処理であり、比較的簡単な変換規則で自動化できる。CORBA の IDL と同様のインタフェース定義言語を設計しアプリケーションクラスの仕様をダイアログクラスに変換するトランスレータを提供すればアプリケーション開発の生産性が大きく改善できる。

#### 3. テストとデバッグの支援

複数の通信主体からなるアプリケーションのテストとデバッグは、テスト環境の構築と結果の確認で開発者に大きな負担をかける。NSBroker では通信コア部分の開発の過程でテスト作業を効率化するための仕組みを作り込んできた。第 6. 節で紹介した QuickChat と rash は、通信コア部分のテスト・デバッグ支援環境の役割を担っている。例えば QuickChat の GUI 画面上には送受信されるメッセージを選択的に表示する機能がある。各通信主体がそれぞれの GUI 画面をもち、相互のメッセージ交換のフローを目視できるので、動作確認とデバッグの効率化に役にたった。rash はダイアログクラスのテストを行う際に、コマンドラインからの対話的なテストとスクリプト化したテストによるバッチテストに威力を発揮した。この仕組みはアプリケーションのテストとデバッグにも利用できるがさらに改善していく必要がある。例えば、複数の通信主体間のメッセージフローの追跡を容易にするためにメッセージログからシーケンス図を自動生成するツールなどが望まれる。

#### 4. 性能測定

第 7. 節で示した性能評価のデータを得るために、通信コア部分に対して時間測定の仕組みを作り込んだ。例えば、メッセージ送受信の時刻をタイムスタンプとしてメッセージに添付する機能、複数のマシン間でタイマー時刻を同期化する機能などである。またログを解析し性能データを集計するためにいくつかのスクリプトを作成した。アプリケーション開発でもこれらの性能測定の仕組みやツールは利用できるがさらに改善していく必要がある。



## 8.2. セキュリティ対策

NSBroker の接続サービスを受けるために ID とパスワードによるアカウントの管理を行っているが、セキュリティ対策は現状では全く講じていない。可読性の高いメッセージは第三者に丸見えの状態であり、インターネット上で動作するアプリケーションを開発するためには適切な認証手段と暗号化の仕組みを基盤ライブラリとして提供すべきである。

NSBroker のアーキテクチャは簡潔であり、接続サービスの受付処理やメッセージの送受信のポイントは単一化されている。開発と運用の利便性を考慮してセキュリティ関連コンポーネントを動的にかつ選択的に組み込む仕組みを考案することは興味深い開発課題である。

## 8.3. 各種形態のネットワークサービスの実証実験

NSBroker の通信モデルは 1 サーバ・複数クライアントによるグループでの双方向通信を基本としている。しかし通信の相手側は送信側が ProxyID で指定できるので、より柔軟な接続形態を実現できる。例えば 1 つの通信主体がサービスの提供者でありかつサービスの利用者にもなる接続形態も可能である。新しいネットワークサービスのアイデアのプロトタイプを作成し実証実験するための基盤として NSBroker は最適であると考えている。

## 9. おわりに

グループでの実時間双方向通信を行うアプリケーション開発の支援を目的とした簡易な基盤ソフトウェアとして NSBroker を開発した。本論文では、NSBroker の開発の背景と目的、設計方針、グループでの双方向通信のモデル、アーキテクチャ、アプリケーション開発プロセス、適用事例、有効性の評価、今後の課題について報告した。

NSBroker の開発では、グループでの実時間双方向通信のアプリケーションをプロトタイピング感覚でアイデアレベルから短時間で稼働するプログラムを開発できる基盤ライブラリの実現を目指した。内部構造をできるだけ理解しやすくするために、設計と実装をできるだけ単純にすることに努力を集中した。多くの通信基盤ライブラリにみられる多重のプロトコルスタックを排し、プレーンなテキストベースでプロトコルの実現基盤を設計した。その結果非常にコンパクトなツールに仕上がったと考えている。

報告の最後に、NSBroker 全体の開発規模を紹介する<sup>\*1</sup>。表 12 に示すように、開発したソフトウェアは非常に小さなものである。NSBroker は全体で 6 つのパッケージで構成されており、双方向通信を実現するためのコア部のパッケージ broker.core のサイズは 28 ファイル 2.48KLOC 程度、全体で 69 ファイル 6.48KLOC の規模となっている。この中で app.mandel と broker.image の 1.18KLOC はほぼ修正なく再利用したコードである。概念レベル設計以降の開発工数は約 600H であった。

表 12 NSBroker の開発規模

No.	パッケージ名	行数	LOC	コメント	ファイル数
1	app	1493	1107	212	18
2	app.mandel	703	565	81	4
3	broker.core	4821	2481	1880	28
4	broker.gui	1396	1168	96	8
5	broker.image	944	619	240	8
6	broker.util	683	538	88	3
	合計	10040	6478	2597	69

<sup>\*1</sup> 本稿ではプログラムの規模を行数で表しているが、何れもコメント行と空白行を含まない行数 (LOC) である。

なお Ash の Java コードの規模は、NSBroker を除いて 35 パッケージ、288 ファイル、29.9KLOC となっている。今後は、Ash 環境でグループによるソフトウェア開発を支援する協調作業支援のアプリケーション開発への適用を図り、実用性の向上に努めたい。

## 謝辞

産業技術大学院大学の 2011 年度修了生の董国福さんは、2011 年度の PBL 教育の中のソフトウェア開発の課題として UML クラス図エディタの協調編集機能 CoDE の開発を担当したが、この開発に NSBroker を適用し NSBroker の有効性を実証してくれた。CoDE の NSBroker 利用部のコードを分析することによって、NSBroker のアーキテクチャの改良と API の改善のために有益なヒントが得られ、NSBroker の全体の改善につながった。董国福さんの貢献に感謝する。

## 参考文献

- [1] 秋口忠三, “教育用ソフトウェア開発環境基盤の試作,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 1, pp. 111–119, 2007.
- [2] 秋口忠三, “ソフトウェアプロセス支援環境の試作と評価,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 3, pp. 1–12, 2010.
- [3] 秋口忠三, “Ash プログラミング環境における GUI ライブラリの設計と評価,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 4, pp. 1–12, 2010.
- [4] 秋口忠三, “EntityStore: 永続的なオブジェクト管理のためのフレームワーク,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 5, pp. 1–14, 2011.
- [5] Y. Kato, M. Narita and C. Akiguchi: “The Network Service Platform for Real-World Data,” IEEE WAINA2009, pp.55-60, 2009. 2008.
- [6] 成田雅彦, 村川賀彦, 植木美和, 岡林桂樹, 秋口忠三, 日浦亮太, 蔵田英之, 加藤由花, “インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi(Robot Service Initiative) の取り組み,” 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 7, 2010.
- [7] ロボットサービスイニシアチブ: “Robot Service Network Protocol 2.0 仕様書,” 2008(9).
- [8] 秋口忠三, 成田雅彦, 加藤由花, “RSNP のロボット側アプリケーション開発環境,” 日本ロボット学会学術講演会, 2009.
- [9] M. Narita, Y. Murakawa, C. Akiguchi, Y. Kato and T. Yamaguchi: “Push Communication for Network Robot Services and RSi/RTM Interoperability,” FUZZ-IEEE2009, 2009.
- [10] I. Fette and A. Melnikov: “The WebSocket protocol,” 2011, <http://tools.ietf.org/html/rfc6455>
- [11] Ian Hickson: “The WebSocket APT,” 2011, <http://www.w3.org/TR/2011/WD-websockets-20110929/>.
- [12] Object Management Group, “UML2.0 仕様書 2.1 対応,” オーム社, 2006.



# ゲーミフィケーションに基づく達成度提示型ものづくり系技術伝承 WBL

田端 秀輝\*・橋本 洋志\*\*

## WBL on Technical Transfer in MONODZUKURI with Present of Achievement Based on Gamification

Hideki Tabata\* and Hiroshi Hashimoto\*\*

### Abstract

This paper proposes a novel WBL for technical transfer based on gamification, which leads to continuously learning with fun. In this WBL system, target selection at any time method and sequential presentation of achievement method are used to derive the fun. And we report the problems and the possibilities through experiments by applying the WBL system with the methods to learners.

Keywords: technical transfer, gamification, WBL, target selection

### 1. はじめに

本論文では、学習者に対して継続した学習意欲を導出するため、WBL システム構築の設計指針としてゲーミフィケーション[1][2]に基づく「楽しさ」を導出または継続させる仕組みを導入する。この「楽しさ」を実現させるWBLを構築させるための方法論として、「随時目標選択」および「逐次達成度提示」が有用であるという仮説を立て、この仮説に基づいたWBL システムを構築し、その有用性を示す。

技術伝達の方法として、WBL(Web Based Learning)システムがある。WBLシステムのメリットとして、受講者の時間・空間を問わずに学習を進めることがあげられる。しかしながら、そのメリット故に学習者自身の学習意欲が高くないと、継続した学習が困難であるというデメリットが生じる危険性がある。

そこで、本論文では、学習者に対して継続した学習意欲を導出するため、WBL システム開発の設計指針として「楽しさ」を導出または継続させる仕組みを導入する。この「楽しさ」を実現させるWBLを開発させるための方法論として、「随時目標選択」および「逐次達成度提示」が有用であるという仮説を立て、この仮説に基づき「楽しさ」を導出・継続させるためには、「随時目標選択手法」と「逐次達成度提示手法」が重要と考え、学習対象に適切な実現を図る。

開発したWBLシステムの有効性を検証するため、(株)京浜工業所の経験年数が1年の初心者の社員に対して、このシステムを用いたフィールド実験を行った。さらに、熟練者との比較を行った結果、幾つかの興味深い結果を得たのでこれについて報告する。

### 2. 継続した利用を促す設計

#### 2.1. 他のWEBシステムとの差異の考察

WBLシステムに求められる、継続した利用を促すという設計要件について、他のインタラクティブなデジタルシステムとの比較で考える。

例えば、鉄道駅の自動発券機や銀行のATMについては、利用者の端末操作時間に比例して、端末に並ぶ行列も長くなる。すなわち、利用者が求める「やりたいことがすぐできる」という需要と営業の効率化は、利用者の端末操作時間の短縮を図るという点で一致する。それ故、このような端末に求められるシステムの設計要件には、「瞬間的に操作が理解できるようにする」ということが求められる。

一方、WEB上のオンラインショッピングシステムにおいても、利用者のストレス軽減のため、ひいてはユーザの離脱率を低減させるために「瞬間的に操作が理解できるようになる」といった機能性に関するシステム設計要件は存在する。同時に、ユーザに対し継続した利用を導出するという設計要件も同時に求められる。言い換えれば、一回あたりの利用時間の短縮と平行して、「また来たい」と思わせ利用回数の増加を促す、つまり継続した利用を促す機能設計が必要である。ITサービスにおいても、機能や性能だけではなく、何度でもアクセスしたくなる「顧客経験価値」重要が求められているのである [3]。

WBLシステムにおいても継続した利用が求められる。むしろ、ユーザも継続した利用を望むという点において、オンラインショッピングシステムよりも継続した利用を促す、という設計要件が求められている。

本論文では継続利用を導出するにあたり、デジタルゲームの設計手法に着目した。デジタルゲームは生活必需品では無いが、それゆえに、その発展の過程で人々に手にとつ

Received on September 25, 2012

\* (株) 楽屋, Gakuya Co., Ltd.

\*\* 産業技術研究所, School of Industrial Technology, AIIT

てもらうために、操作方法を瞬間的に伝える、という工夫をしてきた。同時に、ゲーム進行の時間軸にあわせて楽しさを感じさせる仕掛けが発生するように設計することで、ゲームプレイ、つまり楽しさの経験を継続させる手法(ゲームデザイン)を磨いてきた [4][5]。そこで、この楽しさを引き出し、継続させるゲームの手法を、WBL の継続利用に応用する。

## 2.2. ゲームフィケーションに基づく設計要件

本論文で構築する WBL システムでは、デジタルゲームが持つ実演・評価システムを援用するのではなく、デジタルゲームが継続利用を導出するために人を楽しませる表現手法を用いる。

一般的に言われているゲームフィケーションの原理は、

課題をクリア⇒報酬を与える⇒交流(自己アピール) (1)

を循環させることにあるとされている。

(1) に対する考察を述べる。

課題について、学習過程や個人のももとの知識や資質に依存するものであることから、課題は学習者の学習レベルにより適宜変更させることが望ましいと考える。

報酬について、単に報酬を与えるだけでは、目的と手段をはき違えて学習効果が途中から上がらないことが知られている。これは、教育心理学における、内的動機づけと外的動機付けで説明されている。すなわち、学習過程の端緒につくときは、まだ、学習意欲が熟成されていないので、報酬をあたえるという外的動機付けが有効であると言われている。ただし、金銭などの対価でなく、ほめる、または、スタンプといったものでないと、金銭では後々、その獲得が目的にすり替わってしまい、途中から学習効果が上がらなくなる危険性が指摘されている。

学習の端緒を上手にすぎると、次第に、課題を解決したいという意欲、すなわち、内的動機づけが現れるようになる。これが現れると、外部からの報酬無しで、自律した学習が行われるようになり、継続性が生じる。

ゲームフィケーション理論では、さらに継続性を堅固なものにするために、交流、すなわち、他者による認定という自己アピールの導入を図っている。

一方、類似の考え方で、サイトウが提唱する「ゲームニクス」理論 [5][9] がある。これは、ゲームのおもしろさと UI (User Interface) を関連付けた考察である。

サイトウは、ゲームが人を夢中にさせる UI や演出といったノウハウを「ゲームニクス」としてまとめ、それを利用することで現実社会とゲームを結びつけるべく活動を行っている。「ゲームニクス」理論は「直感的・本能的に操作できる」「複雑な操作を段階的に理解し、思わず夢中になる」という二つの要素を骨子としている。さらに、「直感的で快適なインターフェース」「マニュアル不要の操作理解」「はまる演出」「段階的な学習効果」「バーチャルとリアルとのリンク」という 5 項目を挙げ、さらにそれを実現する手法を詳細に述べている。

以上の考察を基に、開発する WBL システムの設計要件を考えると、次の要件が必要であることがわかる。

- ・ 「瞬間的に操作が理解できるようにする」ことはゲームニクスの「直感的・本能的に操作できる」要素に当てはまる。
- ・ 一方、「継続した利用を促す」ことに関してはゲームニクスの「複雑な操作を段階的に理解し、思わず夢中になる」という要素と対応する。

本論文では WBL にシステムの「継続した利用を促す」手

法に着目しているため、その手法の明文化のためにゲームニクスの中でも「複雑な操作を段階的に理解し、思わず夢中になる」要素を活用する。

## 3. WBL システム

開発した WBL システムの要件を次に示す。

- ・ デスクトップ PC での閲覧だけでなく、作業現場にタブレット端末を持ち込み作業しながらの閲覧を想定し、ブラウザで閲覧可能な Web アプリケーション
- ・ プラットフォームは、Linux+Apache+MySQL+PHP

WBL システム上の表示、操作上の特徴は以下のとおりである。

- ・ 目次としての役割を持つ「技術要素マップ」画面 (Fig.1) は、随時目標選択と逐次達成度提示に用いる。
- ・ 「技術要素マップ」画面には学習項目を示すタイトルが書かれたアイコンが並んでおり、アイコンをクリックすることで対応する「作業ポイント」画面へ遷移する。
- ・ 実際に手順やコツを動画や図版を用いて伝える「作業ポイント」画面 (Fig.2) は、作業内容の教示をリンクの張られたテキスト、動画などを用いたマルチメディア教材である。この教材の作成には、会社スタッフの既存の教示法に加えて、熟練者の暗黙知抽出を行った結果を会社スタッフと相談しながら反映させた。

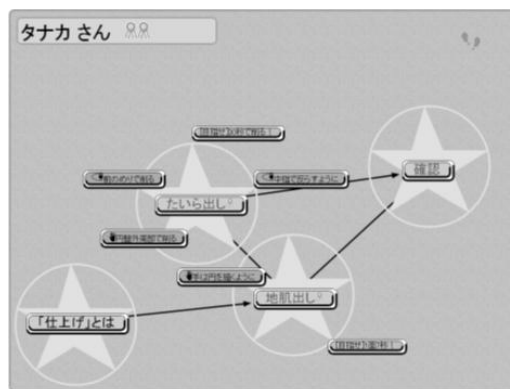


Fig.1 技術要素マップ画面

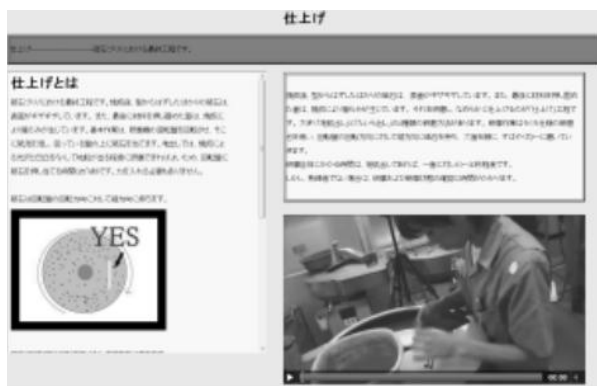


Fig.2 作業ポイント画面

本論文では、次章以降で述べる楽しさを導出する手法を「技術要素マップ」画面にて導入、検討を行った。

#### 4. 楽しさと「随時目標選択」「逐次達成度提示」の設計論

##### 4.1. 設計概要

本論文で構築した WBL システムの設計では、ゲームが持つ楽しさの中でも、

<楽しさ 1>「自分の意思で道を切り開く」楽しさ

<楽しさ 2>「操作に対して豊かなフィードバック表現が返ってくる」楽しさ

<楽しさ 3>「自分の行為の積み重ねに対する達成感」

という楽しさに着目した。そして、<楽しさ 1>を引き出す手法として【1】「随時目標選択手法」を、<楽しさ 2><楽しさ 3>の楽しさを引き出すための手法を【2】「逐次達成度提示手法」として提示する(Fig.3 参照)。

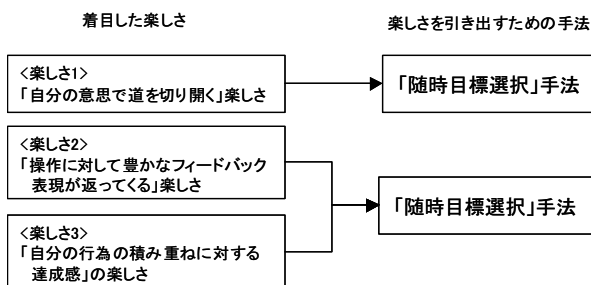


Fig.3. 着目したたのしさとそれを引き出す手法

本論文で構築した WBL システムにおいて、学習する項目を表示させる、いわゆる目次の役割を持つ画面(以下これを「技術要素マップ画面」と呼ぶ)にて上記 2 手法を導入した。

##### 4.2. 随時目標選択手法

物事を遂行する上で、大小さまざまなスコープでの目標を設定することの重要性はいままでもないが、デジタルゲームの設計にもおいてもこのことは共通している。

前述のサイトは「ゲームニクス」の「目標設定」の手法について、

- (1)スタート時のユーザ設定
- (2)最終目標の設定
- (3)直近目標の設定
- (4)中間目標の設定

といった点をあげている。ここで「ゲームニクス」に特徴的なのは、(4)中間目標の設定、についてである。(1)~(3)は「目標を明確にする」というものであるが、(4)は、

- ・ 中間目標は明確に提示せず、プレイヤーの判断で設定させる。
- ・ 中間目標を提示するための材料は的確に提示する。

という特徴を持っている。中間目標をプレイヤー自身に設定させ、クリアさせていることで、いかにもプレイヤーは自分が選択した道を自ら進んでいる気にさせることができる [7]。

本論文では、上記の「目標設定」の手法を基に、<楽しさ 1>「自分の意思で道を切り開く」楽しさを導出するために、言い換えれば、ユーザに押し付けではなく、自分で目標を設定してもらう(した気にさせる)ために、「随時目標選択手法」

を提示する。

「技術要素マップ画面」における「随時目標選択手法」は、以下の 2 つを特徴として持つ。

【1-1】学習する項目をリスト状に並べるのではなく、二次元マップ上に配置

これは、用意された学習項目を、従来の教科書のように上から下に順番に学ばせるのではなく、(ある程度の自由の中で)学習者の意思で選択した順番で学ばせるためである。「全体像を知ってから詳細を知りたい」「詳細を知ってから次のステップに進みたい」といった学習者のスタイルにあわせた学習を可能すると同時に、自分で学習の順番を考え選択させるということで、「自分の意思で道を切り開く」楽しむ体験を提供し、自主的な継続学習を促す。

【1-2】学習項目を、学習の進捗にあわせて複数提示

教科書のように、学習項目がリスト状に並んでいたならば、自由は無い代わりに、学習する順番はわかる。しかし、【1-1】のような形式を取った場合、いきなり全ての学習項目が表示されると、ユーザは何を直近目標にしてよいか戸惑ってしまうと考えられる。そこで、学習の進捗にあわせて関連する学習項目を開示することで、ゆるやかに選択の材料を提示する。

なお、(1)スタート時のユーザ設定、(2)最終目標の設定、(3)直近目標の設定の「目標を明確にする」という点と、(4)中間目標の設定の「目標をユーザに探させる」という点は一見相反するところがあるため、バランス調整が重要である。このバランス調整の過程については後述する。

##### 4.3. 逐次達成度提示手法

WBL を含めた WEB システムに限らず家電であっても、機器を操作した際に何かしらのフィードバックが返ることは、使用者にとってきちんと操作したことを実感させ安心させるために必要なことである。同時にそのフィードバック表現が豊かなものであれば、それを使用者は期待し楽しみを覚え、何度も操作したくなる。これを本論文では<楽しさ 2>「操作豊かなフィードバック表現を期待して入力をする」楽しさと呼ぶ。

また、立てた目標を一つ一つクリアすることで感じる、あるいは積み重ねた自分の行為を振り返ったときに、過去と現在を比較することで実感する<楽しさ 3>「達成する」楽しさもある。

そこで、本論文では<楽しさ 2><楽しさ 3>を引き出す手法として、「逐次達成度提示手法」を導入する。

「技術要素マップ画面」における「逐次達成度提示手法」は、学習項目を一つ修了する度に画面を変化させる、という形で実現させている。このことで、学習という入力に対して、逐次 画面の変化というレスポンスをきちんと返す、という「豊かなフィードバックを期待して入力をする」楽しさを導く。また、学習途中あるいは終了時に、その時のメニュー画面と学習開始時のメニュー画面の差を目に見える形で表現することで、<楽しさ 3>「達成する」の楽しさを演出する。

#### 5. WBL システム

##### 5.1. 設計指針

本論文では、WBL システムの構築にあたり、次の手順を採った。

- I. 手法の具象化
- II. 実際の WBL の構築

### III. 具象化した手法の評価

また III.の具象化した手法の評価を踏まえ、あらためて I.の手法の具象化について見直しを行う、というようなシステム構築ループ法を採用した。なお、この一連のシステム構築ループは、

- ・ WBL 構築チーム内での評価及び評価に基づく見直し
  - ・ 本論文筆者が所属する大学院における、ものづくりに関連する教員・学生による評価及び評価に基づく見直し
  - ・ 本 WBL を構築する際に取材協力していただいたものづくり企業による評価及び評価に基づく見直し
- というように 3 回の取り組みを実施している(Table.1).

Table.1. WBL システムの評価者

	評価者名称	評価実施日	年齢
対象a	WBL構築チーム	2010/7以降随時	20代～50代
対象b	ものづくり関連の教員・学生	2010/11/20	20代～60代
対象c	取材協力企業の社員・役員 (株)京浜工業所)	2011/1/20	20代～

この、開発過程であげられた問題点は、システム改善の材料であると同時に、教育コンテンツを作成する上での重要な点の再発見にも繋がった。

以下、システム構築ループを繰り返すことで見えてきた問題点とその解決策について述べる。

#### 5.2. 随時目標選択手法の具象化の問題点と解決策

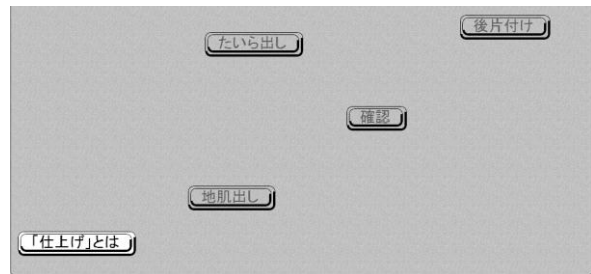
A) まずどこから始めればよいか分からない

WBL 試作版を作成し WBL 構築チーム内で評価をしていた時の話。「【1-1】学習する項目をリスト状に並べるのではなく、二次元マップ上に配置する」という手法に対して評価を受けるため、Fig.4 の上部のような画面をメンバーに提示した。画面作成者は、成長を左下から右上への上昇をイメージし、アイコンを配置したのだが、評価メンバーからは「どこがスタートでどこがゴールか分からない」という意見をもらった。

教科書のように学習項目がリスト状に並んでいたならば、そこには、「上から下に順番に」学んでいく、ということが含意されている。しかしながら、二次元マップ上に並べることで、リスト状に並べたときに含まれていた学習順番に関する暗黙の了解が消えてしまっていたのである。

このことに対して、初めて画面表を示させた際に学習項目を表すアイコンをアニメーションを使って順番に表示させた。このように、最初に表示されたアイコンが最初に学ぶところであるという意図を、動きを用いて伝えるように表示方法を改善した(Fig.4).

改善前: 初めから全部表示



改善後: アニメーションで順番に表示



Fig.4. スタートとゴールを示す工夫

B) 最終目標が見えづらい

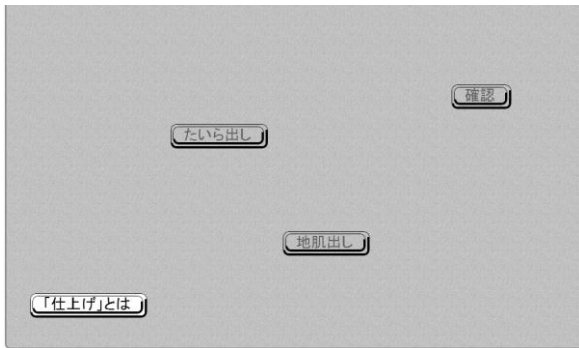
学内でのものづくりに関連する教員・学生による評価会にて、「途中で項目が増えると、『何、まだこんなにあるの』と引いてしまう」という意見があがった。同時に流入する情報の量を制限することで、学習の順番に関するある程度のガイドになることを意図した手法が、「先が見えない」という障害を発生させ、逆にユーザのやる気を削いでしまっていたのである。これは、「最終目標を設定する」というゲームニクスの目標設定手法と反していた。

この事象の解決策として、あらかじめアイコンの周りに、灰色の円を描画、追加のアイコンが表示される箇所のヒントになるようにした(Fig.5)。

C) 後で振り返るとき、項目からさがすことがやりづらい

これも学内でのものづくりに関連する教員・学生による評価会での意見。技術伝承マニュアルであれば、学習中、あるいは学習後に特定の学習項目のみ見返すということが考えられる。従来のような紙ベースのものであれば、目次を辿って任意の項目を探し出すということが可能であるが、その時の本システムではそのようなことができなかった。この事象の解決策として、既習の項目について一覧化する「検索」モードを追加した。なお、この「検索」モードは、「初めてアクセスした順」「最後にアクセスした順」「五十音順」とソートできるようにしており、ユーザが探しやすいように工夫をした(Fig.6)。

改善前: アイコンのみ表示



改善後: アイコン+アイコンが追加される場所のヒントを表示

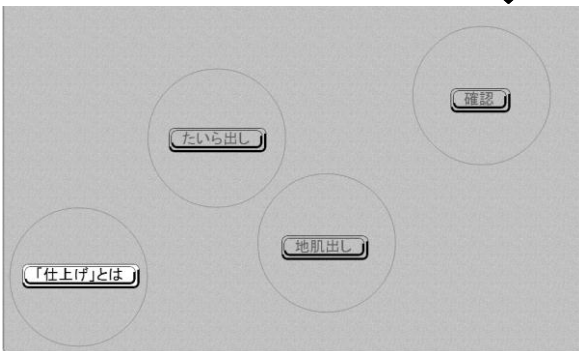


Fig. 5. 最終目標を見えやすくする工夫

改善後: 右上のボタンを押すと検索モードが表示



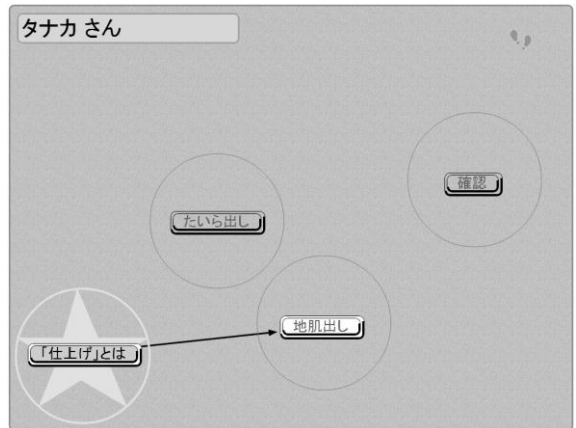
Fig. 6. 振り返りをアシストする工夫

### 5.3. 逐次達成度提示手法の具象化の問題点と解決策

達成度を目に見える形にする取り組み自体について、否定的な意見は無かった。しかし、一つ一つの行動についてレスポンスがあることは見えても、学習を続けてどのような形になるか、「最終的なゴールが見えない」という意見をもらった。

これに対し、どこに達成を示す星のマークが表示されるか、最初の段階で表示されるように表現を変更し、最終的な形が想像しやすく工夫をした (Fig.7)。

初めの学習項目クリアで大きな星が表示されることで



他の学習項目クリアで星が増えるんだと連想させる

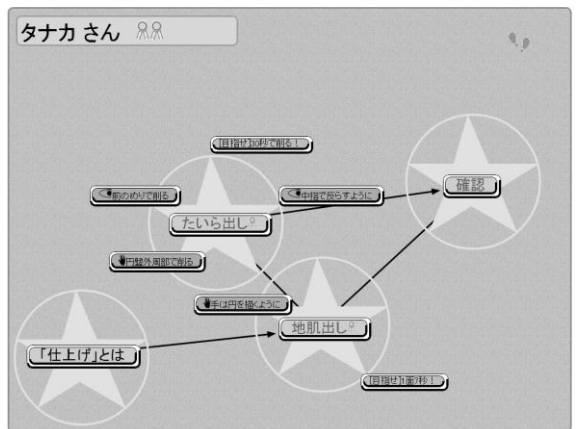


Fig. 7. 最終的なゴールを想像しやすくする工夫

## 6. 達成度提示型ものづくり系技術伝承 WBL に対する評価

前章で述べたように、本 WBL システムの構築過程において、ものづくりに関わる方々に随時目標選択、逐次達成度提示手法の実現化における問題点を指摘された。同時に、ものづくり技術伝承 WBL における随時目標選択、逐次達成度提示手法の妥当性や、このような手法を用いた WBL の利用シーンについての意見もあがった。本章では、そのような意見から、楽しさを用いた WBL の可能性について考察する。

### ・随時目標選択手法に対する評価

対象者 b の「ものづくり関連の教員・学生」に作成途中のコンテンツを見てもらったとき、「学習プロセスというのは、このようにひとつの道筋で描けるような簡単なものなのだろうか」「学習者によって重点的に学びたいところは違うが、このコンテンツだと一通り順番に進める流れしかない。もう少し学習者の学習状況を反映した作りにはできないか」という意見をもら

った。WBL システムの最終形としては、学習項目を学習者の意思で選択した順番で学ばせることを狙っていた。しかしながら作成途中の段階でこういう意見が出たということは、「全体像を知ってから詳細を知りたい」「詳細を知ってから次のステップに進みたい」といった学習者のスタイルにあわせた学習方法に対し需要がある、ということの表れである。すなわち、ものづくり技術伝承 WBL について、「随時目標選択手法」に対して評価されたと言える。

#### ・逐次達成度提示」手法に対する評価

対象者 c の取材協力企業の社員・役員に作成した WBL システムを見て評価してもらった際、「ビジュアルが変わっていく ここまで勉強したんだ」ということについては理解してもらえた(工場長)。また、社長から(こちらからゲームの表現手法を取り入れたとは説明していなかったのにも関わらず)「ゲームみたい。楽しそう」という感想があり、「逐次達成度提示」手法に対して、好意的な評価が得られたと言える。

#### ・企業内教科書としての可能性

実際に取材をした企業で作成した WBL システムを見て評価してもらった際、「手順書を作っても、写真と文章だけで、どこに何があるかが分からないので使われない、見ない。こういう形式であれば見る」「(技術習得を始める)前に最初にこれが見られたらイメージがつきやすい」「とつきやすくなる」という意見が聞かれた(20代男性、熟練技術者)。

また、「分かんなかったときに」「逆に一回みてたところが、後でどの項目が見たい、といったときに」見返す、という使い方もできるという指摘もあげられた。

## 7. おわりに

本論文は、楽しさで学習の継続利用を効果的に引き出すものづくり技術伝承 WBL システムを構築し、その有用性を検証するためのフィールド実験を行い、下記の成果が得られた。

1) ものづくり技術伝承 WBL システムの UI を考える上で、「継続した利用、利用回数の増加」を導出するため設計指針として「楽しさ」をあげた。

「楽しさ」を導出するための手法として、「随時目標選択手法」と「逐次達成度提示手法」を提示した。

2) 「随時目標選択手法」と「逐次達成度提示手法」について、手法の具象化→具象化した手法の WBL システムへの搭載→評価と手法の見直し、という手順を取ることで、手法が持つ問題点の洗い出しと洗練化を行った。その過程で、「学習項目をリスト状に並べることは、学習順番を暗黙的に指定しているという」「どれくらいの学習が求められているか目処を示すことが継続学習には重要」「教材には後で見返すことも求められている」という点について、再確認することができた。

3) 「随時目標選択手法」を用いた WBL システムをものづくり技術関係者に提示することで、「全体像を知ってから詳細を知りたい」「詳細を知ってから次のステップに進みたい」といった、学習者のスタイルにあわせた学習方法に対して需要があることが判明した。

4) 「逐次達成度提示手法」に関して、学習進捗にあわせて WBL システムのビジュアルを変化させることで、操作に対して豊かなレスポンスが返ってくる楽しさ、「自分の行為の積み重ねに対する達成感」という楽しさを伝えることができた。

5) 「随時目標選択手法」と「逐次達成度提示手法」を用い

たものづくり技術伝承 WBL システムについて、実際のものづくり企業での企業内教科書としての手ごたえを感じることができた。応用例として、学校での「電子教科書」への可能性も考えられる。ただし、利用者(児童生徒)や使用シーン(教室のように全員が同時に学習する場所)といった属性が今回の事例とは異なるので、「随時目標選択手法」のように学習者のスタイルによって学習方法を変化させることが適しているのかについては、改めて検討する必要がある。

## 謝 辞

今回の WBL システム開発にあたり、教材として砥石作成工程を取材させていただいただけでなく、WBL システムの評価にもご協力いただいた、株式会社 京浜工業所の関係者の皆様に深く感謝いたします。また、実験に協力していただいた、AIIT2010 年度修了生の韓 超氏、寺本 吉慶氏、吉田 育代氏に感謝します。

## 参考文献

- [1] 井上明人, “ゲーミフィケーション”, NHK 出版, 2012
- [2] 深田浩嗣, “ソーシャルゲームはなぜハマるのか”, ソフトバンククリエイティブ, 2002.
- [3] 田中達雄:「おもてなし」の IT 革命 エクスペリエンス・テクノロジーがビジネスを変える, 2010
- [4] 岩谷徹:「ゲームのチカラ」, 平成 19 年度 シリアスゲームの現状調査報告書, pp.5-7, 2008
- [5] サイトウ・アキヒロ:「クラリオンカーナビ「スムーズナビ NX710」開発の事後検証-ゲームニクス理論を応用したデジタル家電開発-」, 日本デジタルゲーム学界 2010 年大会 予稿集, pp.80-85, 2010
- [6] 藤本徹:「シリアスゲーム 教育・社会に役立つデジタルゲーム」, 2007
- [7] マーク・プレンスキー:「テレビゲーム教育論 ママ! ジャマしないでよ 勉強してるんだから」, 2007
- [8] 岩谷徹:「東京大学「オンラインゲームの教育目的利用のための研究」プロジェクト」, 平成 19 年度 シリアスゲームの現状調査報告書, pp.9-17, 2008
- [9] サイトウ・アキヒロ・小野憲史:「ニンテンドーDS が売れる理由 ゲームニクスでインターフェースが変わる」, 2007



# ヒトの概日リズムが照明環境の評価へ与える影響

中島 瑞季\*・横井 聖宏\*\* 山中 敏正\*\*

## The Effect to Evaluation of Lighting Environment by Human Circadian Rhythm

Mizuki NAKAJIMA\* , Takahiro YOKOI\*\* and Toshimasa YAMANAKA\*\*

### Abstract

We notice relevancies between objective and subjective evaluation from visual or non-visual effect of light quality on the lighting environment. From moving of the phase in human syntony in a day, how would be changing impressions of color temperature and positions of lighting. We examine two times a day. Examinees who have no task are observed by measuring rheometer for subjective evaluation from light change and by psychological measurement for objective evaluation. In a result there are differences in subjective evaluations, if objectives are not. These studies show that human circadian rhythm would take effect to evaluate of lighting environment.

Keywords: Lighting environment, Brain activity, Circadian rhythm, Evaluation.

### 1. はじめに

ヒトは多くの時間を空間に囲まれて生活しており、特に空間の印象に対して大きく影響を与える照明においては、光の量ではなく質が空間の演出性を高めることが知られている。そのため、照明空間の評価を適切に計り空間設計の指標を作成することは快適な生活に対して有意義であると言える。つまり光の質に対する評価手法の指標の作成は、山家が<sup>[1]</sup>一つの光から始まる「心地よい光(あかり)のある暮らしの創造」としての研究とデザインは、産学官民が連携してArt(芸術性)Space(空間性)Science & Technology(科学技術)の視点で、複合的に捉えていくことが大切であると指摘するように、今後の照明空間デザイン研究にとっておおいに有用である。

ヒトの目から入った光情報は、脳の中で大きく2通りの方法で処理されている。ひとつは形や色、動きの知覚に関するもので、網膜で受け取った光の情報が視覚野で処理されることで可能となる。もうひとつは脳の視床下部にある視交叉上核(SCN)と呼ばれる体内時計などで処理されている<sup>[2]</sup>。このような生体に内在するSCNを中心とした機構によって生じる、約24時間の様々な生体リズムを概日リズムといい、本間<sup>[3]</sup>は1.生まれつきのリズム『生得性』、2.外部から周期的なエネルギー供給を必要としない『自律性』、3.リズム周期が24時間から多少ずれる『概日性』、4.外界の周期性に同調する『同調性』、以上の4つの特徴を述べている。その中でも4の『同調性』が概日リズムの主たる機能で、24時間周期の昼夜変化に同調し1日の時刻や季節を認識する。つまり、光は視覚的作用と非視覚作用を持ち、視覚的作用とは照度や色温度が脳の視覚野で処理され知覚されることを示し、非視覚作用とは視覚的な知覚を必要せず、概日リズムへの位相調節作用、メラトニン分泌抑制へ作用する<sup>[4-6]</sup>。

光の非視覚効果に対するこれまでの研究では、人の内因性の概日リズムは25時間であり、朝の光によって24時間にリセットされると考えられていた。しかし最近になりCzeislerら<sup>[7]</sup>の実験から、内因性の概日リズムは24時間よりも少し長い位であるという研究結果が発表された。概日位相変化やメラトニン分泌抑制作用に関しては、かなり強い光が必要であると考えられていたが、Aokiら<sup>[8]</sup>の研究から数百ルクスの低い照度でもメラトニンが抑制させることが報告されている。さらにこれまで非視覚作用に対する照度の影響は明らかになっていたが、米国のBrainardと英国のSkeneらの2つのグループから光のスペクトルにも影響を与えていることが発表され<sup>[9-10]</sup>、さらに色の短波長光はメラトニン抑制だけでなく、体内時計の位相変化、覚醒作用、瞳孔の対抗反射にも強く作用することも明らかにされた<sup>[11-12]</sup>。

以上の研究報告をふまえれば、光の非視覚作用に対して、日常的に行われる程度の些細な照明変化でも影響を与えていると考えることができる。すると既存研究のような、ある目的で設定した照明環境が、心理、生理的に受け入れられているのか否かという評価だけでなく、非視覚効果が視覚効果の評価へ与える影響を、心理、生理両側面から正確に反映することが快適な照明空間のデザインに対して望ましい。このことは最近の照明における評価研究において、森田<sup>[13]</sup>が日本生理人類学会において明視性だけでなく生理的な光・照明の影響をも考慮した空間の快適性を考える方向性が進んできていると指摘し、戸田<sup>[14]</sup>は国際照明委員会(CIE)では生理指標を考慮した照明効果の技術委員会が発足するなど国際標準化への動きが活発化しつつあり、近い将来、非視覚的作用についても配慮された照明設計指針が設備されることからも示唆される。

Received on September 25, 2012

\*産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\*筑波大学大学院, University of Tsukuba Graduate school of Comprehensive Human Science

光の視覚作用, 非視覚作用両面から照明環境において光の質である色温度の評価を行った実験として, 垣鏑ら<sup>[15]</sup>の好みの色温度の季節差に対する報告がある. 500lx内で7500kと3000kの2条件で, 主観評価として温冷感, 快適感, 落ち着き感, 明るさ感の評価し, 生理評価として血圧を測定したデータを春期と秋期で比較したものである. 結果は, 主観評価の快適感は, 春期では明るさ感を反映し秋期では温冷感を反映し, 生理計測では秋期は7500kで温熱刺激に対する生理反応が比較的大きいことから, 条件により血圧変動がある指標に違いが見られ, 心理反応を裏付けるものとなったと報告する. これは, 1つの刺激に対する心理評価は, 概日リズムの影響を受け変化し, 客観評価はそのことを裏付けることができる可能性を示唆する. つまり, 照明環境の印象を評価するのであれば, 概日リズムの影響を受けた状態を前提とすることが必要であると言える. すなわち非視覚効果を受けている状態の視覚効果の評価比較することで, 概日リズムが照明環境への人の評価にどのように影響を与えているのか検討することが可能になると考える. そこで本研究では前述のように心理, 生理的に受け入れられているのか否かという評価ではなく, 心理指標と生理指標を用いた評価結果の関係性に着目する. そのため, 非視覚効果としての人の概日リズムが視覚効果としての照明の色温度への評価にあたる影響を, 主観評価としての心理評価と, 客観的评价としての生理計測評価両面から検討し比較することで, 非視覚効果と視覚効果が照明環境評価に与える影響の関係性を明らかにし, 評価手法の実用化への基礎的研究とすることを目的とする.

## 2. 実験

### 2.1. 目的

本実験は, 1日の中で非視覚効果の影響を受け, 概日リズムの同調性の位相が変化することが, 照明の視覚効果である色温度と照射位置に対する印象に影響を与えるのか, 同日の朝10時と夕方18時に2回実験を実施し, 主観評価としてのアンケートと客観評価としての脳血流計測を使用した評価両面から検討を行う.

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 被験者

本実験は筑波大学・人間総合科学研究科研究倫理委員会において承認を得て行われ, 被験者には研究の概要, データの扱いについて理解してもらい, 同意を得た上で実験を行った. 被験者は男性10名, 女性8名, 計18名, 平均年齢23.6歳で全員右利きであることを確認した. 既存研究より, 解析に必要な人数を満たしていると考えられる.

#### 2.2.2. 被験者の位相変化に対する配慮

概日リズムにおける同調性の実験は, ヒトの位相変化が示される必要があり, その指標として体温と心拍があげられる. 柳本ら<sup>[16]</sup>はよほどの環境変化が起きない限り本質的に崩れない同調性として体温と心拍をあげ, 他の能力と概日リズムの関係を探る目安になっていると指摘し, 広重<sup>[17]</sup>は, 体温リズムは精神活動との関係が詳細かつ勢力的に展開され, 体温は起床時数時間前に最低温となり以後次第に上昇して夕方最高温を示す概日リズムがあることがあきらかになっていると報告する. 以上より本実験では体温を実験毎に計測することで被験者の概日リズムの位相が動いていることを確認している.

さらに人の行動特性の差異, いわゆる朝方-夜型の個人差が考えられ, その影響は1-5時間遅れて頂点位相が現れると言われている. 本来であれば朝方-夜型の判別には深部体温リズムを測定することや終日ポリグラフィティ記録を用いて睡眠-覚醒リズムを調べるのが有効である. しかしこの方法は容易に行えるものではない. そこで質問紙票を用いて簡便かつ迅速に判別する心理学的アプローチが

Morningness-Eveningness Questionnaire (朝方-夜型質問紙:MEQ)である. これまでの研究から質問紙によって選ばれた朝方-夜型被験者では生理機能が示す概日リズム位相が異なることがわかっている. 以上の配慮を行い同調性の影響を受けている指標とし統制を行った.

MEQは日常の時間の使い方, 睡眠に対する属性, 起床後の気分, 限定された時間帯における行動特性等を選択肢から選び回答してもらうもので, 全19項目から構成されている. 得点範囲は16-86点で, 合計点数が高いほど朝方のリズムを持つと判断する. 判定は明らかな朝方(70-86点)適度な朝方(56-69点)中間型(45-58点)適度な夜型(31-41点)明らかな夜型(16-30点)の5つのカテゴリーに分けられる<sup>[18-20]</sup>. 結果は適度な朝方1名, 中間型11名, 適度な夜型4名, 明らかな夜型2名に分類された.

体温測定はテルモの電子体温計C231を用いた. 計測方法はより正確な体温を測定するため予測式ではなく実測式で10分程度の時間をかけた. 外的な影響を考慮し, 室温25度の実験控え室で5分程度安静に着席してもらった後計測を開始した. 結果はm2, m5, m6, m7以外は位相の変化が確認できた. m2, m6, m7に関してはMEQにおいて夜型であるという結果が出ているため位相の頂点のずれが考えられる. m5に関しては風邪を引いているとの自己申告をうけているため体調の影響を受け位相の変化を確認できなかった. (表1)

表 1 被験者情報

性別・番号	年齢	朝方-夜型	体温朝	体温夜
m1	23	43 中間	36.6	36.9
m2	24	33 適度な夜型	37.1	36.9
m3	27	45 中間	36.2	36.5
m4	22	30 明らかな夜型	36.7	37
m5	28	46 中間型	36.8	36.5
m6	23	30 明らかな夜型	36	36.7
m7	21	31 適度な夜型	36.6	36.5
m8	23	61 適度の朝方	35.8	36.9
m9	24	35 適度な夜型	36.3	37
m10	23	51 中間型	36.5	37.1
f1	28	45 中間	36.2	36.5
f2	23	48 中間型	36.3	37.1
f3	24	49 中間型	36.2	36.8
f4	25	44 中間型	36.8	37.2
f5	21	35 適度な夜型	36.9	37.1
f6	23	43 中間	36.1	36.4
f7	22	46 中間型	36.6	36.8
f8	21	44 中間型	36.6	36.8

#### 2.2.3. 実験刺激

今回の実験では実生活における照明環境デザインに対する評価方法の検討であるため, 被験者にとって日常生活を前提とし, 見慣れた光源に対する評価が望ましい. そのため色温度は照明学会の住宅照明設計技術指針により, 暖(3,300K以下), 中間(3,300K~5,300K), 涼(5,300K以上)の3つのグループに分けられ<sup>[21]</sup>, 順に電球色, 昼白色, 昼光色とも呼ばれる分類にならって, 電球色, 昼白色の2種類を使用した. さらに照明の平均演色評価数(Ra)は80以上が望ましいとされている. 以上を踏まえ, 光刺激は要件を満たす東芝ライテック株式会社のネオボールZリアル, 電球型蛍光灯を使用した.

電球色の平均演色評価数は83Ra, 光度は59cd, 光束は810lm. 昼白色の平均演色評価数は83Ra, 光度は53cd, 光束は73lmであった。(図1,2)

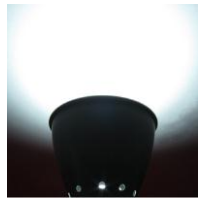


図 1 昼白色

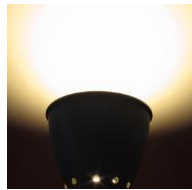


図 2 電球色

さらに光源を直接見るような刺激からは光のグレアより不快感を感じる恐れがある. そのため乳白色のカバーを装着し, 照度の極端な差から不快感を与えないよう配慮した. 刺激の光源は垂直方向50cm毎, 5つ設置した.(図3,4)



図 3 刺激提示例

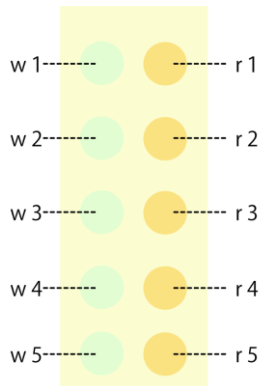


図 4 刺激の配置関係と名称

## 2.2.4. 実験環境

実験環境は, 被験者が周囲の環境より特定の意味づけを感じないように着席した際に空間との関係性を弱めること, 照射角度が変化しやすいたことがわかりやすいこと, 以上を配慮し, 壁面を白地の無地にした. さらに被験者の生理的負荷を減じるために無音に近い状態とし, 自然な体勢で椅子に着座して空間に光が照射される様子を見ることができる体勢で行った.(図5) 実験室内の温度は25°C 湿度は50%に設定した. 色彩照度計コニカミノルタCL200Aを使用し, 計測した各刺激内での照度と相関色温度を下記の表に示す.(表2)

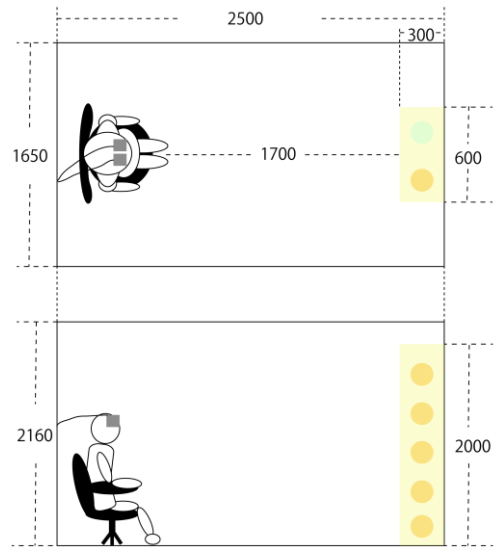


図 5 実験室内環境

表 2 各刺激における照度と相関色温度

刺激	照度	相関色温度
w1	37.2lx	4967k
w2	27.9lx	5002k
w3	26.1lx	4697k
w4	23.1lx	4569k
w5	21.8lx	4472k
r1	33.3lx	2434k
r2	31.2lx	2418k
r3	26.9lx	2341k
r4	25.0lx	2320k
r5	24.3lx	2354k

## 2.2.5. 客観評価

本実験においては, 定量的かつ数値的に人への心理的および生理的影響に関するデータを得ることが必要である. さらに本実験の目的は, 非視覚効果を受けている中で視覚効果の評価することにあるため, 非視覚効果の影響を直接評価するのではなく, 視覚効果の評価すること, すなわちヒトが光の質を評価している状態を客観評価することが望ましい. そのためには脳活動を計測することが最適であると考えられる.

脳活動計測の代表的な非侵襲の生理指標の中で, 脳機能イメージングは生きた状態の脳活動を外部から観察できることが大きな特徴である<sup>[22]</sup>. その多くは安全な検査としてすでに完成されており, 人の情動反応の理解に非常に有用である. 近赤外線分光法(Near Infrared Spectroscopy:

NIRS)は最小20mmの空間分解能, 200sec以下の時間分解能で頭皮表面から20mmの深さを計測することが可能である<sup>[23]</sup>. 近赤外線は生体への透過率が高く, 血液中に含まれるヘモグロビン分子には近赤外線をよく吸収するという性質がある. そのため近赤外線の吸収度合いからヘモグロビン濃度の変化を検出することが可能である. 脳血流量の変化は実際に情報を処理している神経活動のあらわれではないが, 神経活動がおこった領域において神経活動に必要なエネルギーを供給するために局所的に酸素消費量が増え, 酸素の補充を行うために血管の拡張がおこり, 血流量が増加する. その結果特定の領域において酸素化ヘモグロビン濃度が上がる. この指標を利用して大脳皮質にある様々な脳機能である, 知覚, 運動, 言語, 記憶, 認知, 思考, 実行機能などの働きを推測することができる. 以上の理由からNIRS装置を使用し脳血流変化を測定することで脳の働きを観察することができるといえる<sup>[24-25]</sup>. 以上より, 本実験においてはNIRSを使用し脳血流を計測し客観評価とする.

2.2.6. 脳血流計測

NIRSの長所は, 構造が小規模であること, 時間分解能が高いこと, 被験者の拘束性が低いことから実環境に近い状態において脳活動の計測が可能であることがあげられる. しかし短所として光路長の問題として, 脳の活動を計測する際に皮膚, 筋の血流の変化を脳血流の変化として測定してしまう可能性が考えられる. この短所を避けるために, 実験条件設定の際にコントロールとして実験条件と物理動作が同様で, 心理的な影響のみが違う条件を設定する必要がある. 田辺ら<sup>[22]</sup>は脳血流の変化には環境のほか実施する精神集中課題への慣れも結果に影響を与えることが考えられ, どちらが強く影響をあたえているのかは被験者の経験の個人差によると指摘する. このことを踏まえても特定のタスクに従事しないことが照明環境に対する印象の評価には必要なのではないかと考える. さらに刺激の急激な印象の変化を避ける, 心理的に強いプレッシャーがかり興奮, 緊張しないようにする, 発汗の影響を配慮するため長時間の実験を行わない等配慮することにより短所を補うものとする.

計測には日立メディコ製のETG-4000を用いた. 計測は国際10/20法に基づき, Fz部を中心に3×4のプロープを用い左右2カ所, 24チャンネルを記録した. プロープの計測間は3cmである. 本実験は被験者の情動の変化を計測しているため, 脳血流の計測位置は高次な活動を司っている前頭連合野とした. (図6)



図 6 プロープの配置

2.2.7. 主観評価

主観評価は, 脳血流を計測しながら刺激の変化を実験室内で観察した後に行った. 脳血流計測への配慮として, 前述の通り特定のタスクに従事するのではなく, 対象をただ観察させることが望ましいことがあげられるためである. そのため計測終了後に実験室を出たところで口頭により質問した. 先入観をもって刺激を観察しないように, 脳血流計測前に被験者に対して終了後に刺激を評価してもらう旨は伝えていない. そのため主観評価に細かい設定を入れると再現が難しいこと, さらにこの研究においては刺激の細かい印象を計測することが目的ではないため深く考えることなく回答できる, 「一番好きな刺激」「一番嫌いな刺激」の2つを質問項目とした. 被験者はそれぞれの質問項目に対して該当する刺激の位置と色温度を申告してもらうが, 事前実験において照明が5段階あることを正確に申告できる被験者が少なく, 上か中央か下で回答する被験者が多かった. そのため主観評価においての照射位置は下記の図のように設定し, (図7)3段階の照射位置と, 2種類の色温度から, 上記の2種類の質問項目に対して回答を得た.

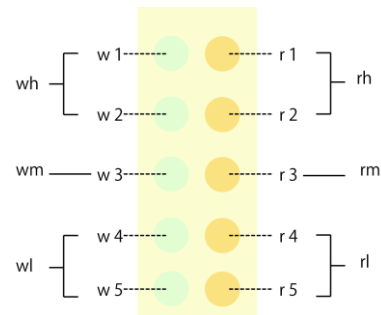


図 7 刺激の名称設定

2.2.8. シーケンス

実験は以下の手順で行われた. 刺激呈示のシーケンスは図の通りである. (図8)

1. 被験者は所定の位置に着席する
  2. 実験実施者より刺激の説明, 実験についての説明をうける
  3. 被験者に光トポグラフィーのプロープを装着後実験室の扉を閉め消灯
  4. 被験者は安静閉眼60秒後開眼し, 室内空間を見る
  5. 60秒の刺激提示×刺激数行う
  6. 実験室の扉を開け, 点灯後プロープを外し実験終了
- ※朝夕の2回計測を行う.

なお刺激は提示順序の影響を受けないよう, 被験者ごとに異なるよう配慮する.

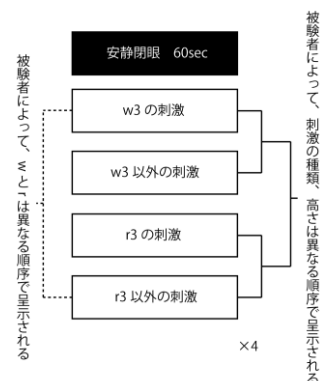


図 8 実験のシーケンス

2.3. 結果

2.3.1 主観評価結果

全18被験者の主観評価の結果は以下の通りである。(表3) 全回答を通して、電球色がより好まれる傾向にあることがわかる。朝好きの回答は1名を除き電球色であり、その中でもrlの回答が多く見られる。夕好きの回答は朝には昼白色を好きと回答した被験者が1名であったが4名に増加する。さらに照射位置に関しても変動にばらつきが認められる。嫌いの回答は朝夜共に昼白色に多く、照射位置の変動もほぼ無い。

表 3 主観評価結果

性別・番号	朝好き	朝嫌い	夕好き	夕嫌い
m1	rh	wm	rl	wm
m2	rl	wm	rh	wl
m3	rl	wm	wl	wm
m4	rh	wl	rh	wm
m5	rl	wm	rl	wh
m6	rm	wh	rl	wh
m7	rl	wm	rh	wl
m8	rm	wl	rm	wl
m9	rm	wl	rm	wl
m10	rl	wm	rh	wl
f1	rl	wm	rl	wm
f2	rl	wm	rl	wm
f3	rl	wl	rl	wm
f4	rm	wh	rm	wh
f5	rh	wm	wh	wm
f6	rl	wm	rl	wm
f7	rl	wl	wm	wl
f8	wh	rl	wm	rl

2.3.2 客観評価結果

全18被験者から全8刺激分の朝夕の脳血流変化のデータを取得した。ETG-4000により近赤外線反射が不十分とされたチャンネル、体動によりアーチファクトが混入したと見られるチャンネル、はずれ値を含むチャンネルを解析対象外とした。解析対象外チャンネルは以下の通りである。(表4)

表 4 解析対象外 ch

解析除外ch		ev	
mo		m9	
m10	9.12.19.20.23	m10	1.11.
f5	2.5.	m10	1.3.6.7.11.15.20.23
f6	22	f3	1.3.
f8	3.8.	f4	22
f7	13.15.20	f7	8.14.17.19
		f8	2.5

2.3.3 脳血流計測データの解析手順

NIRS装置によって計測したデータを以下の手順で解析を行った。

- NIRSによって計測できるデータには酸素化ヘモグロビン変化量(oxyHb)、脱酸素化ヘモグロビン変化量(deoxyHb)、それらの合計であるヘモグロビン変化量(totalHb)があるが、局所的な脳血流変化に最も反応が大きいとされるoxyHbをデータとして採用した。
- 5秒間の移動平均を算出した。
- oxyHbのベースラインは経時に伴う疲労などにより生理的なゆらぎが生じる。60秒の刺激呈示直前10秒をPre-stim期間、60秒の刺激呈示直後20秒を脳血流変化がベースラインまで回復するRecover期間、Recover期間の直後10秒をPost-task期間とした。今回の実験ではw3, r4, に対して各々の色温度の刺激がどれくらい動い

たかが照射位置となり計測対象となるため、w3r3がそれぞれの刺激の最初に付く。w3r3刺激が呈示される前、10秒間を平均値としベースライン補正をETG-4000内ソフトで行った。(図9)

- oxyHb は被験者内の相対的な値であるため、被験者間での比較が不可能であり比較可能な Z 値に変換されたoxyHb (Z-oxyHb)にする必要がある。それぞれのデータを各チャンネルで平均が 0、標準偏差が1になるように求めた。
- 上記処理を行った w3, r3の平均値と当該刺激の平均値の差分を各刺激による変化量と定義した。
- 各刺激提示時間内のRAWデータのグラフが30秒でトレンドの変化が見られる項目が多数あることから、刺激提示開始0秒から終了までの60秒、0秒から30秒、30秒から60秒までの3パターンで解析を行った。
- 計測時刻、主観評価の結果毎に各刺激を要因として、刺激提示時間における各chのZ-oxyHbの平均の差が統計的に有意であるか5パーセント水準で多変量の分散分析を行い、刺激、計測時刻、主観評価の差が脳血流変化に及ぼす影響について検討した。比較対象は全18被験者に対する朝夕の計測結果と、主観評価の結果から朝夕の主観評価の結果が好き嫌い両方変化しない群(nc群)、好きだけ変化した群(c群)の朝夕の計測結果である。詳細は下に記す。

◎全18被験者

-朝夕二回分の計測結果

--比較対

色温度 (Color = r,w)/位置 (Height = 1,2,4,5)/時間 (Time = m,e)/

光刺激 (Light =r1,r2,r4,r5,w1,w2,w4,w5)

-朝の計測結果, 夕の計測結果

--比較対

色温度/位置/光刺激

◎群分けした被験者 (c群=朝夕の主観評価結果が変化しない, nc群=朝夕で嫌いの主観評価のみ変化する)

-朝夕二回分の計測結果

--比較対

色温度/位置/時間/光刺激

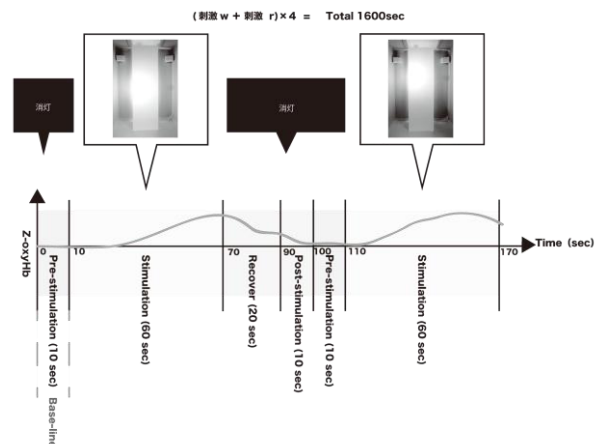


図 9 タスクの構成

2.3.4 脳血流計測データの解析結果

多変量の分散分析を行った結果、5パーセント水準で有意な差が認められたchを以下の表にまとめた。(表5)(表7)さらに有意な交互作用があった要因間で、どの組み合わせの変動が大きかったのか確認するために、単純主効果の検定(Bonferroni法)を行った結果も下記の表にまとめた。(表6)(表8)

表 5 全18被験者 多重比較結果

朝夕	Color	Height	Time	Light	Color*Time
0-60秒	ch.2 r<w, ch.3 r>w, ch.7 r<w, ch.8 r>w, ch.9 r<w, ch.13 r<w	有意差無	ch.1 m<e, ch.11 m<e	ch.8 r>w, ch.9 r<w(r5<w5)	ch.8
0-30秒	ch.8 r>w, ch.13 r<w	有意差無	ch.2 m<e, ch.20 m<e	有意差無	ch.4, ch.8, ch.15, ch.19
30-60秒	ch.3 r>m	有意差無	ch.1 m>e, ch.11 m>e, ch.14 m>e, ch.20 m>e, ch.23 m>e	有意差無	ch.14

朝	Color	Height	Light	Color*Time
0-60秒	ch.3 r>w, ch.13 r<w	有意差無	ch.8 r>w	有意差無
0-30秒	ch.8 r>w	有意差無	有意差無	有意差無
30-60秒	ch.3 r>m, ch.24 r>w	有意差無	有意差無	有意差無

夕	Color	Height	Light	Color*Time
0-60秒	ch.2 r<w, ch.7 r<w, ch.9 r<w, ch.13 r<w, ch.15 r<w, ch.18 r<w	ch.17 l>5	ch.7 r>w(r5<w5), ch.9 r<w(r5<w5)	有意差無
0-30秒	ch.2 r>w, ch.4 r>w, ch.13 r>w, ch.15 r>w, ch.16 r>w, ch.21 r>w	有意差無	ch.15 r>w(r1>w5)	有意差無
30-60秒	有意差無	有意差無	有意差無	有意差無

表 6 全18被験者 単純主効果の検定結果

朝夕	Color*Time r,w	
	r	w
0-60秒	ch.1 r m>e, ch.8 r m>e,	ch.18 w m>e, ch.19 w m<e
0-30秒	ch.20 r m<e	ch.2 w m<e, ch.4 w m<e, ch.14 w m<e, ch.15 w m<e, ch.19 w m<e,
30-60秒	ch.11 r m>e, ch.20 r m>e,	ch.1 w m>e, ch.11 w m>e, ch.13 w m>e, ch.14 w m>e, ch.15 w m>e, ch.24 w m>e
	Color*Time m,e	
	m	e
0-60秒	ch.3 m r>w, ch.8 m r>w, ch.13 m r<w	ch.2 e r<w, ch.4 e r<w, ch.7 e r<w, ch.9 e r<w, ch.15 e r<w
0-30秒	ch.8 m r>w, ch.19 m r>w	ch.2 e r<w, ch.4 e r<w, ch.13 e r<w, ch.15 e r<w, ch.16 e r<w, ch.21 e r<w
30-60秒	ch.3 m r>w	有意差無

表 7 群分けした被験者 多重比較結果

c	Color	Height	Time	Light
0-60秒	ch.1 r<w, ch.3 r>w, ch.4 r<w, ch.8 r>w, ch.9 r<w	有意差無	ch.1 m>e, ch.7 m>e, ch.11 m>e, ch.14 m>e, ch.18 m<e	ch.9 r<w(r2<w5)
0-30秒	ch.12 r<w, ch.24 r<w	ch.24 l<5	有意差無	ch.24 r<w(r1<w5)
30-60秒	ch.3 r>w, ch.6 r>w, ch.8 r>w, ch.22 r>w	有意差無	ch.1 m>e, ch.4 m>e, ch.7 m>e, ch.11 m>e, ch.13 m>e, ch.14 m>e, ch.20 m>e	有意差無
	Time*Color	Time*Height	Time*Color*Height	
0-60秒	ch.5, ch.10, ch.15, ch.20, ch.22, ch.23	交互作用無	ch.12	
0-30秒	ch.4, ch.14, ch.16, ch.22	交互作用無	交互作用無	
30-60秒	ch.2, ch.4, ch.7, ch.9, ch.13, ch.14, ch.15, ch.16, ch.16, ch.17, ch.24	交互作用無	交互作用無	

nc	Color	Height	Time	Light
0-60秒	ch.2 r<w, ch.5 r<w, ch.6 r>w, ch.7 r>w	有意差無	ch.6 m<e, ch.9 m<e, ch.19 m<e	ch.5 r<w
0-30秒	ch.5 r<w, ch.23 r<w	有意差無	ch.9 m<e, ch.11 m<e, ch.20 m<e, ch.23 m<e	ch.6 r>w
30-60秒	ch.10 r<w	有意差無	ch.1 m>e, ch.2 m>e, ch.11 m>e, ch.20 m>e, ch.23 m>e	有意差無
	Time*Height	Time*Color	Time*Color*Height	
0-60秒	交互作用無	交互作用無	交互作用無	
0-30秒	交互作用無	交互作用無	交互作用無	
30-60秒	ch.10	ch.1, ch.5, ch.7, ch.9, ch.10, ch.12, ch.17, ch.20, ch.21,	交互作用無	

表 8 群分けした被験者 単純主効果の検定結果

c	Time*Color r,w	
	r	w
0-60秒	ch.1 r m>e, ch.5 r m<e	ch.1 w m>e, ch.7 w m>e, ch.9 w m>e, ch.10 w m>e, ch.11 w m>e, ch.13 w m>e, ch.18 w m>e, ch.20 w m>e, ch.23 w m>e
0-30秒	ch.20 r m<e	ch.4 w m<e, ch.14 m<e, ch.16 w m<e, ch.22 w m<e
30-60秒	ch.11 r m>e, ch.15 r m<e	ch.1 w m>e, ch.2 w m>e, ch.4 w m>e, ch.6 w m>e, ch.7 w m>e, ch.10 w m>e, ch.13 e m>w, ch.14 w m>e, ch.15 w m>e, ch.16 w m>e, ch.17 w m>e, ch.20 w m>e, ch.22 w m>e, ch.23 w m>e, ch.24 w m>e
	Time*Color m,e	
	m	e
0-60秒	ch.2 m r<w, ch.3 m r>w, ch.8 m r<w, ch.9 m r<w, ch.12 m r<w, ch.13 m r<w, ch.15 m r<w, ch.20 m r<w, ch.22 m r>w, ch.23 m r<w, ch.24 m r<w	ch.5 e r>w
0-30秒	有意差無	ch.1 e r<w, ch.4 e r<w, ch.6 e r<w, ch.9 e r<w, ch.13 e r<w, ch.14 e r<w, ch.15 e r<w, ch.16 e r<w, ch.22 e r<w, ch.24 e r<w
30-60秒	ch.3 m r>w, ch.4 m r<w, ch.8 m r>w, ch.13 m r<w, ch.14 m r<w, ch.15 m r<w, ch.16 m r<w	ch.2 e r>w, ch.3 e r>w, ch.4 e r>w, ch.5 e r>w, ch.6 e r>w, ch.7 e r>w, ch.13 e r>w, ch.14 e r>w, ch.15 e r>w, ch.17 e r>w, ch.22 r>w
	Time*Color*Height r,w	
	r	w
0-60秒	ch.1 r 2 m>e, ch.14 2 r m>e, ch.17 5 r m>e, ch.20 1 r m<e	ch.11 w 4 m>e
0-30秒	有意差無	有意差無
30-60秒	有意差無	有意差無
	Time*Color*Height m,e	
	m	e
0-60秒	ch.3 m 2 r>w, ch.8 m 2 r>w, ch.10 m 2 r<w, ch.12 m 2 r>w, ch.20 m 1 r<w	有意差無
0-30秒	有意差無	有意差無
30-60秒	有意差無	有意差無

nc	Color*Time r,w		Color*Time m,e	
	r	w	m	e
0-60秒	有意差無	有意差無	有意差無	有意差無
0-30秒	有意差無	有意差無	有意差無	有意差無
30-60秒	ch.11 r m>e, ch.20 r m>e,	ch.1 w m>e, ch.11 w m>e, ch.13 w m>e, ch.14 w m>e, ch.15 w m>e, ch.24 w m>e	ch.3 m r>w, ch.4 m r>w, ch.8 m r>w, ch.15 m r<w	有意差無
	Time*Height 1,2,4,5			
	1	2	4	5
0-60秒	有意差無	有意差無	有意差無	有意差無
0-30秒	有意差無	有意差無	有意差無	有意差無
30-60秒	ch.2 1 m>e, ch.20 1 m>e, ch.23 1 m>e	ch.14 2 m>e, ch.20 2 m>e, ch.23 2 m>e	有意差無	有意差無

### 3. 考察

#### 3.1. 全18被験者についての考察

多変量解析

-朝夕2回分

--Color

左半球で有意差が認められるchが多いことから、左半球はcolorの差を受ける部位が多くあると考えられる。経時時間の差から有意差のあるchが現象することから、経時変化の影響はあまり受けにくいことが示唆される。

--Time

経時に伴い有意差のあるchが多く認められ、30-60秒では右半球に多くmが高い差を示し差を受ける部位があることから、mとeでは経時の変化に伴い脳活動が変化し、評価時間帯の違いが結果に影響を与えることが考えられる。

--Light

0-60秒でw5がr5より高い値で有意差のあるchが認められる。主観評価でrlが好きという回答者が多いことが関連している可能性が考えられる。

--交互作用

ColorとTime間で認められた。

以上より、タスク経時時間の差で有意差のあるchが変化することから、脳活動が経時に伴い変化する可能性が考えられる。Timeに関しては概日リズムの影響により光刺激に対する評価が変化することが考えられる。

--朝と夕

-Color

朝はすべてのタスク時間で有意差のあるchが認められるが数は少ない。夕においては30-60秒の間で有意差のあるchが無い。夕の0-30秒では0-60秒と比べて右半球で有意差の認められるchが多く、0-60秒では有意差の認められるchにおいてwがrより高い値を示しているのに対し、0-30秒ではrが高い値を示している。このことは朝と夕では経時の変化に伴う脳活動に差があること、さらに同時刻における光刺激の評価にたいして、経時変化において脳活動の一定の方向が認められると考えられる。

-Height

夕にHeightで有意差のあるchが認められることから、夕のほうが光の高さに敏感な脳活動の部位があることが考えられる。

-Light

朝は0-60秒で有意差の認められるchがあり、夕は0-60秒、0-30秒で認められる。このことはColorと同様に0-30秒の間において特に脳活動が変化していることが示唆された。さらにr1とw5のもっとも印象の遠い刺激間で有意差が認められており、色温度、高さに対して、朝より夕のほうに脳部位の活動差が大きい可能性が示唆された。

以上より、朝、夕において脳活動の経時変化や有意差のあるchに差があることが示唆され、照明を見ている時間帯の違いが脳活動にも現れることが考えられる。さらに主観評価の回答では、光刺激の高さが3段階で認識している被験者がほとんどであったが、脳活動では5段階に分けて有意差が認められるchがあったことから、認識していなくても、知覚しているのではないかと考えられる。

単純主効果の検討

-朝夕2回分

--Color\*Time(r,w)

wに多く主効果が認められるchが多く、r,wともに0-30秒はeに高い値を示し、30-60秒はmに高い値を示す。さらに右半球に有意差を認められるchが多い。これより、特にwにおいて概日リズムは光刺激を見たときの脳活動の経時変化に影響を与えることが考えられる。

--Color\*Time(m,e)

eに多く主効果が認められるchが多いが、30-60秒では主効果が認められない。さらにmにおいて主効果が認められるchはrに高い値を示すことが多く、eにおいてはwに高い値を示す。このことも、概日リズムが経時変化に影響を与えることと共に、光刺激の評価は評価時間帯の影響を受けていることが示唆された。

以上より、照明の色と評価時間帯の關係に主効果が現れること、すなわち、色と評価時間帯の評価に対する脳活動に因果關係があり、経時に伴い変化する差は、色と評価時間帯の關係に由来することが考えられる。

#### 3.2. 群分けした被験者についての考察

多変量解析

-c群とnc群

--Color

c群は経時変化と共に有意差の認められるchが増えるがnc群については減少する傾向がある。さらにnc群で有意差の認められるchは一貫してwが高い値を示すのに対し、c群は0-30秒でw、30-60秒でrに変化する。このことは、主観評価結果の差は、脳活動の経時に伴う変化に影響を与えること、光刺激を評価するタスク時間で脳部位に差があることを示唆する。

--Height

c群のみ0-30秒で有意差が認められた。主観評価結果に朝夕で差があったことが影響していると考えられる。

--Time

c群においては0-30秒で有意差の認められるchはないが、0-60,30-60秒で有意差のあるchが認められ、すべてmに高い数値を示す。nc群においては、すべての評価時間で有意差のあるchが認められるが、0-60,0-30秒においてeが高い値を、30-60秒においてmが高い値を示す。これは、概日リズムは主観評価結果に差がある群間において、脳活動に同じ影響を与えないことが示唆された。

--Light

c群、nc群共に0-60,0-30秒で有意差の認められるchがあるが、c群は0-30秒においてwが高い値を示し、nc群はrに高い値を示す。これは主観評価の差で好きはrが多く、嫌いにはwが多いという結果から、光刺激に対する好みに影響されていると考えられ、主観評価結果に差がある群間ではTime同様に脳活動に同じ影響を与えないことが示唆された。

--交互作用

c群においてTimeとColor間、TimeとColorとHeight間に認められ、nc群においてTimeとColor間、TimeとHeight間に認められた。

## 単純主効果の検討

-c 群と nc 群

--Color\*Time (r,w)

c 群においてwに有意差が認められるchが多く、経時と共に主効果の認められるchが増える傾向にある。nc 群も同様にwへ主効果が多く認められるが、30-60 秒のみ主効果が認められる。このことは、主観評価結果の差が経時に伴う値の変化に影響を与えていると考えられ、両被験者群共に概日リズムの影響をうけていることが示唆された、

--Color\*Time (m,e)

c 群においてはmの 0-30 秒のみ主効果が認められない。nc 群においてはmの 30-60 秒のみで主効果が認められる。評価した時間帯は主観評価結果に影響を与え、脳活動にも影響を与えていることが示唆される。

-c 群

--Time\*Color\*Height (r,w)

--Time\*Color\*Height (m,e)

r,w 共に 0-60 秒において主効果のあるchが認められ、m において 30-60 秒のみ主効果のあるchが認められた。

r の方が多く主効果が認められたこと、3つの要因間で主効果が認められたのはc群のみであることから、光刺激に対する主観評価結果が同一でも、評価者によって知覚過程が変化することが示唆される。

-nc 群

--Time\*Height(1,2,4,5,)

1,2 において 30-60 秒のみ主効果が認められ、すべて m に高い値を示していることから、評価時間帯によって照射位置を評価した脳活動に差があることが示唆された。さらに nc 群における朝の主観評価は、好きな照射位置に 4.5 を回答している被験者が多く認められ、その反対となる1, 2より影響を与えられた可能性が考えられる。

以上より、主観評価の結果が朝夕で変化しなくても、脳活動には差が生じることが示唆された。しかし、主観評価が変化しない脳活動の経時に伴う変化や反応部位が異なることから、両群間に知覚する際の脳活動に同一性が無いことが考えられる。さらに主観評価が変化する群に対して主効果が多く認められたことは、光刺激に対して知覚する際に、刺激と時間を関連づける部位が多く認められるということになり、個人の感情がより光刺激の評価に影響を与えていることで結果が変化することが示唆される。c 群においては主効果がタスク時間すべてで認められるが、nc 群においては30-60 秒間でしか認められないことから知覚過程に差が生じる可能性が考えられる。

## 4. 結論

本研究は、照明環境における光の質がもつ視覚的効果、非視覚的効果をふまえた主観評価と客観評価の関係性に着目した。1 日のなかでヒトの同調性の位相が動くことで、照明環境における色温度と照射位置に対する印象に変化が生じるのか、同日の 10 時と 18 時に 2 回実験を実施し検討を行った。その結果以下が考察された。

- A) 光を見ている間の脳活動は経時と共に変化する。
- B) 朝と夕では脳活動の経時変化による活性化部位、相互作用に差が生じる。
- C) 主観評価の結果が朝夕において変化がなくても、客観評価である脳活動は変化する。

- D) 主観評価で判断できない刺激の差でも、脳活動へ影響を与え、客観評価が変化することが示唆される。
- E) 朝夕で主観評価が変化する被験者群と変化しない被験者群では、脳活動の経時変化や反応部位が異なることから、両群間においての光の知覚認識過程は同一ではないことが示唆される。

以上より、1 日の中における経時変化からヒトの概日リズム位相が動くことによって、光に対する評価は変化すると思慮することができ、光の非視覚効果は視覚効果の評価へ影響を与えることが示唆された。

次に、評価手法に関して C), D) においては、既存研究から、光の非視覚作用に対して、日常的に行われる程度の些細な照明変化でも影響を与えていると考えること、人間は評価、判断、推論を含むような高次な心理過程が自身の中で生じていること自体を、直感的に意識することができず、推論により虚偽の理由を作り上げてしまうことが指摘されること<sup>[26]</sup>が考慮でき、照明環境を評価する際に、主観評価、客観評価の両側面から検討することが、よりヒトの感情を評価に反映することができることを示唆する。さらに A) に関して、光の明順応、色順応、等の影響を検討することができ、明順応は明所視になるまで 30-60 秒、色順応は残効がなくなるまで数秒から数分と言われている<sup>[27]</sup>ことから、各刺激提示時間内の RAW データのグラフが 30 秒でトレンドの変化が見られる項目が多数あることが説明できる。このかなり微小な光の変化も客観評価に影響を与えることが考慮できることから、主観、客観合わせた評価が重要であることがわかる。

しかし、E) に関して言えば、客観評価における交互作用に差が生じたことから、概日リズムにおける生得性だけでなく、後得性も考慮し検討しなければいけないことが示唆された。客観評価における色温度、時間、高さの平均値の上下関係に違いがあるだけでなく、結果にそれぞれ一定の関係性が見られたことは、照明環境における評価に影響する後得性が存在することを考慮することができる。後得性は知覚過程の差からも検討することができ、評価は無自覚・無意識のうちに起こる自動的で直感的な脳内プロセスである<sup>[28]</sup>ことから、今後、非視覚効果と視覚効果が照明環境評価に与える影響の関係性を明らかにし、評価手法の実用化への基礎的研究とするためには、知覚、認識過程の把握が重要であり、評価過程の情報取得プロセスに着目することが必要である。

## 参考文献

- [1] 山家哲雄 照明環境の設計・評価 照明学会誌 8B VOL.94 pp.529-530 2010
- [2] 樋口重和 光の非視覚作用 -光環境への適応- 日本生理人類学会誌 VOL.16, No1 pp.21-26 2011
- [3] 本間研一 サーカディアンリズム 北海道大学医学部生理学講座 研究報告 pp.740
- [4] 橋本聡子 本間さと 本間研一 睡眠と生体リズム 日薬理誌 129, pp.400~403 2007
- [5] 岡山大 中尾光之 徳丸信子 本間さと 本間研一 生体リズム機構の階層的モデル化 信学技法 MBE2007-65 2007
- [6] 大川匡子 生体リズムと光 照明学会誌 第 93 巻 第 3 号 pp.128-133 平成 21 年
- [7] Czeisler, C.A., Duffy, J.F., Shanahan, T.L., Brown, E.N., Mitchell, J.F., Rimmer, D.W., Ronda, J.M., Silva, E.J., Allan, J.S., Emens, J.S., Dijk, D.J., Kronauer, R.E.: Stability precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284(5423), pp.2177-2181, 1999
- [8] Aoki, H., Yamada, N., Ozeki, Y., Yamane, H., Kato, N.:



- Minimum light intensity required to suppress nocturnal melatonin concentration in human saliva. *Neurosci Lett.*, 252(2), pp.91-94, 1998
- [9] Brainard, G.C., Hanifin, J.P., Greeson, J.M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., Rollag, M.D.: Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *J. Neurosci.*, 21(16), pp.6405-6412, 2001
- [10] Thapan, K., Arendt, J., Skene, D.J.: An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.*, 535(Pt 1), pp.261-267, 2001
- [11] Lockley, S.W., Brainard, G.C., Czesler, C.A.: High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 88(9), pp.4502-4505, 2003.
- [12] Cajochen, C., Jud, C., Munch, M., Kobińska, S., Wirz - Justice, A., Albrecht, U.: Evening exposure to blue light stimulates the expression of the clock gene *per 2* in humans. *Eur. J. Neurosci.*, 23(4), pp.1082-1086, 2006
- [13] 森田健 光・照明研究の動向 日本生理人類学会誌 VOL.16, No1 pp.17-18 2011, 2
- [14] 戸田直弘 サーカディアンリズムへの光の影響 照明学会誌 第 91 巻 第 10 号 pp.656-658 平成 19 年
- [15] 垣鏑直 他 心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組み合わせに関する実験的研究 日本建築学会計画系論文集 第 528 pp.67-73 2000
- [16] 柳本有二 戎利光 サーカディアンリズムと行動体力との関係 体育学研究 38 pp.437-445 1994
- [17] 広重佳治 人のサーカディアンリズムと心理学 心理科学 第 20 巻 第 2 号 1998 11
- [18] 石原金由・宮下彰夫・犬上牧・福田一彦・山崎勝男・宮田洋 日本語版朝型-夜型(Morningness-Eveningness) 質問紙による調査結果 心理学研究, 57, pp.87-91, 1986
- [19] 関川香葉子 朝方-夜型による精神作業課題のサーカディアンリズム変化-高照度光照射の有無による検討- 法政大学紀要 pp.203-216 2008
- [20] 田宮聡 他 質問紙を用いた朝方-夜型の判定法に関する検討 心身医 第 30 巻 第 6 号 1990 10
- [21] 照明学会 編:住宅照明設計技術指針 第 2 版, 照明学会, 2007
- [22] 田代学 ヒトの情動メカニズムにせまる脳イメージング研究の進歩 日薬理誌 125 pp.88-96 2005
- [23] 山本剛 牧敦 小泉英明 光を用いた脳機能計測法:近赤外線光トポグラフィ 日本物理学会誌 59 10 pp.675-681 2004
- [24] 福田正人 精神疾患の診断・治療のための臨床検査としての NIRS 測定 MEDIX VOL.39 pp.4-10 2004
- [25] 日立メディコ 光トポグラフィ ユーザー会資料 2010
- [26] Petter Johansson, Lars Hall, Sverker Sikstrom, Anders Olsson. :Failure to Detect Mismatches Between Intention and Outcome in a Simple Decision Task: *Science* Vol. 310 no. 5745 pp. 116-119 7 October 2005
- [27] 島倉瞳ほか 色順応刺激消失後における色の見えの時間推移, *VISION*, Vol.21 No2 101-114, 2009
- [28] Bargh, J.A. et al. The automatic evaluation effect: Unconditional automatic attitude activation with a pronunciation task *Journal of Experimental Social Psychology*, 32, pp, 185-210 1996

資料 1 全 18 被験者 ch ごとの平均値と標準偏差

全 18 被験者	朝夕						期						夕					
	0-60秒		30-40秒		0-30秒		0-60秒		30-40秒		0-30秒		0-60秒		30-40秒		0-30秒	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
ch1	-0.018	0.455	-0.061	0.881	0.025	0.818	0.044	0.439	-0.066	0.908	0.157	0.797	-0.080	0.463	-0.053	0.855	-0.107	0.820
ch2	-0.026	0.429	0.067	0.838	-0.120	0.793	-0.043	0.432	-0.054	0.877	-0.028	0.814	-0.009	0.427	0.187	0.781	-0.211	0.763
ch3	-0.044	0.445	-0.164	0.849	0.073	0.736	-0.034	0.446	-0.204	0.887	0.129	0.722	-0.054	0.448	-0.124	0.810	0.017	0.749
ch4	-0.012	0.452	-0.027	0.936	0.002	0.836	-0.019	0.463	-0.056	1.000	0.021	0.867	-0.006	0.441	0.003	0.869	-0.016	0.806
ch5	-0.005	0.412	0.088	0.841	-0.096	0.773	-0.028	0.414	0.052	0.892	-0.111	0.783	0.020	0.411	0.124	0.789	-0.082	0.766
ch6	-0.005	0.428	-0.086	0.879	0.076	0.799	-0.002	0.463	-0.155	0.877	0.151	0.813	-0.008	0.391	-0.017	0.879	0.006	0.780
ch7	0.015	0.437	0.028	0.819	0.001	0.766	0.032	0.444	0.032	0.847	0.033	0.777	-0.002	0.430	0.024	0.793	-0.030	0.757
ch8	-0.045	0.423	-0.154	0.892	0.064	0.733	-0.020	0.439	-0.186	0.889	0.146	0.733	-0.070	0.408	-0.123	0.898	-0.018	0.726
ch9	-0.020	0.408	-0.028	0.864	-0.013	0.781	-0.036	0.425	-0.062	0.920	-0.010	0.776	-0.005	0.390	0.006	0.838	-0.016	0.789
ch10	-0.062	0.428	-0.101	0.859	-0.023	0.692	-0.038	0.450	-0.054	0.897	-0.021	0.674	-0.066	0.405	-0.147	0.820	-0.024	0.711
ch11	-0.052	0.421	-0.094	0.864	-0.010	0.758	0.007	0.427	-0.131	0.884	0.145	0.767	-0.112	0.407	-0.058	0.845	-0.165	0.719
ch12	-0.065	0.399	-0.181	0.858	0.048	0.637	-0.024	0.384	-0.159	0.886	0.111	0.670	-0.106	0.411	-0.203	0.832	-0.015	0.598
ch13	-0.058	0.401	-0.056	0.827	-0.060	0.808	-0.049	0.426	-0.134	0.863	0.035	0.842	-0.066	0.376	0.022	0.762	-0.154	0.764
ch14	-0.043	0.442	-0.134	0.829	0.048	0.772	-0.035	0.454	-0.210	0.869	0.141	0.823	-0.051	0.431	-0.058	0.782	-0.044	0.709
ch15	0.008	0.460	0.025	0.882	-0.008	0.817	0.024	0.489	-0.002	0.972	0.049	0.818	-0.007	0.401	0.051	0.784	-0.064	0.815
ch16	-0.003	0.429	0.023	0.874	-0.029	0.798	0.018	0.470	0.024	0.928	0.012	0.836	-0.024	0.384	0.022	0.820	-0.070	0.758
ch17	-0.062	0.431	-0.186	0.885	0.082	0.749	-0.061	0.446	-0.248	0.959	0.126	0.730	-0.063	0.416	-0.124	0.803	-0.002	0.766
ch18	0.024	0.441	0.059	0.818	0.032	0.395	0.041	0.482	0.051	0.861	0.029	0.384	0.008	0.398	0.067	0.777	0.036	0.406
ch19	0.006	0.460	-0.074	0.906	0.091	0.767	-0.029	0.486	-0.158	0.982	0.100	0.755	0.046	0.431	0.010	0.818	0.082	0.761
ch20	0.026	0.452	0.043	0.861	0.009	0.690	0.027	0.487	-0.088	0.953	0.141	0.680	0.025	0.418	0.173	0.738	-0.123	0.678
ch21	0.030	0.452	-0.007	0.858	0.068	0.723	0.042	0.500	0.011	0.893	0.073	0.716	0.018	0.401	-0.026	0.824	0.062	0.733
ch22	-0.032	0.412	-0.159	0.869	0.094	0.723	-0.025	0.433	-0.208	0.920	0.155	0.677	-0.039	0.391	-0.110	0.815	0.033	0.764
ch23	0.036	0.393	0.036	0.821	0.036	0.675	0.051	0.403	-0.031	0.854	0.133	0.649	0.021	0.383	0.104	0.784	-0.062	0.688
ch24	-0.030	0.428	-0.153	0.800	0.093	0.755	0.011	0.426	-0.124	0.816	0.145	0.673	-0.071	0.428	-0.182	0.786	0.040	0.829

資料 2 群分けした被験者 ch ごとの平均値と標準偏差

群分けした被験者	cnc						nc						c					
	0-60秒		30-40秒		0-30秒		0-60秒		30-40秒		0-30秒		0-60秒		30-40秒		0-30秒	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
ch1	-0.121	0.479	-0.265	0.766	0.023	0.838	-0.101	0.418	-0.264	0.842	0.062	0.799	-0.075	0.351	-0.262	0.899	0.100	0.759
ch2	-0.069	0.428	0.000	0.812	-0.137	0.881	-0.052	0.414	-0.041	0.822	-0.065	0.804	-0.032	0.400	-0.082	0.833	0.006	0.716
ch3	-0.176	0.412	-0.449	0.744	0.092	0.820	-0.146	0.400	-0.356	0.818	0.059	0.744	-0.112	0.365	-0.262	0.879	0.026	0.662
ch4	-0.104	0.482	-0.159	0.897	-0.049	0.853	-0.065	0.434	-0.162	0.943	0.032	0.835	-0.028	0.378	-0.164	0.993	0.113	0.813
ch5	-0.050	0.437	-0.008	0.815	-0.092	0.805	-0.017	0.402	-0.023	0.834	-0.011	0.739	0.026	0.371	-0.037	0.856	0.070	0.662
ch6	-0.100	0.460	-0.226	0.757	0.025	0.854	-0.065	0.416	-0.285	0.844	0.119	0.774	-0.075	0.370	-0.344	0.923	0.213	0.676
ch7	-0.020	0.466	-0.003	0.686	-0.038	0.766	-0.027	0.421	-0.095	0.816	0.038	0.758	-0.028	0.377	-0.186	0.923	0.114	0.745
ch8	-0.100	0.430	-0.211	0.888	0.011	0.727	-0.078	0.417	-0.295	0.823	0.139	0.711	-0.052	0.405	-0.379	0.747	0.266	0.674
ch9	-0.075	0.435	-0.062	0.733	-0.088	0.831	-0.081	0.392	-0.210	0.846	0.047	0.793	-0.084	0.347	-0.359	0.925	0.181	0.734
ch10	-0.234	0.417	-0.334	0.783	-0.133	0.844	-0.087	0.431	-0.199	0.889	0.026	0.707	0.059	0.392	-0.064	0.932	0.185	0.734
ch11	-0.194	0.442	-0.253	0.862	-0.136	0.786	-0.086	0.425	-0.211	0.814	0.038	0.745	0.025	0.378	-0.169	0.764	0.212	0.661
ch12	-0.151	0.385	-0.410	0.663	0.107	0.629	-0.082	0.399	-0.274	0.857	0.105	0.645	-0.014	0.401	-0.136	0.986	0.102	0.664
ch13	-0.145	0.445	-0.191	0.832	-0.089	0.806	-0.093	0.409	-0.174	0.886	-0.011	0.837	-0.035	0.367	-0.158	0.902	0.077	0.682
ch14	-0.141	0.477	-0.327	0.758	0.045	0.796	-0.104	0.425	-0.286	0.824	0.078	0.797	-0.066	0.368	-0.246	0.888	0.112	0.801
ch15	-0.123	0.477	-0.049	0.853	-0.197	0.756	-0.023	0.459	-0.111	0.891	0.065	0.852	0.074	0.418	-0.173	0.929	0.328	0.865
ch16	-0.072	0.441	-0.148	0.815	0.004	0.767	-0.024	0.420	-0.143	0.874	0.085	0.804	0.024	0.393	-0.139	0.933	0.185	0.833
ch17	-0.115	0.422	-0.245	0.721	0.013	0.775	-0.128	0.447	-0.261	0.832	0.005	0.733	-0.137	0.402	-0.278	0.934	-0.003	0.693
ch18	-0.081	0.420	-0.055	0.776	0.007	0.428	0.012	0.447	-0.037	0.856	0.032	0.389	0.110	0.455	-0.018	0.832	0.056	0.347
ch19	-0.074	0.493	-0.253	0.809	0.104	0.802	-0.047	0.457	-0.232	0.909	0.137	0.755	-0.022	0.417	-0.212	1.003	0.170	0.707
ch20	-0.070	0.422	-0.080	0.837	-0.059	0.706	0.021	0.454	0.001	0.899	0.041	0.697	0.112	0.462	-0.133	0.996	0.311	0.704
ch21	-0.106	0.466	-0.137	0.801	0.075	0.735	-0.008	0.454	-0.135	0.901	0.118	0.743	0.079	0.362	-0.354	0.890	0.155	0.646
ch22	-0.078	0.446	-0.221	0.763	0.064	0.783	-0.069	0.406	-0.287	0.829	0.109	0.717	-0.100	0.362	-0.354	0.890	0.155	0.646
ch23	0.034	0.350	0.022	0.692	0.046	0.655	0.042	0.384	0.003	0.818	0.080	0.663	0.051	0.415	-0.016	0.930	0.115	0.673
ch24	-0.055	0.409	-0.236	0.726	0.125	0.778	-0.054	0.396	-0.240	0.740	0.131	0.723	-0.056	0.365	-0.244	0.758	0.137	0.669

# 小型ロボットを利用した 簡易型RSNPロボットサービス開発環境の構築

成田 雅彦・加藤 由花・土屋 陽介\*

## A Simple RSNP Robot Service Development Environment using Small-scale Robots

Masahiko Narita, Yuka Kato and Yosuke Tsuchiya\*

### Abstract

This paper proposes a simple robot service development environment using small-scale robots. The environment consists of “the web site for academic research” and “the software for small-scale robots” implemented in smart phones. By using libraries and sample codes on iPhones, we can easily develop prototype systems to use robot services on the web site. Since the environment uses a common specification protocol to communicate servers with robots, developed softwares are easy to apply to high functionality robots. We conducted the demonstration of the prototype system in “International Robot Exhibition 2011”, and verified the effectiveness of the proposed environment.

Keywords: RSNP, robot services, network service platform, the Internet, smart phones

### 1. はじめに

近年、ロボットやロボットサービスのネットワーク化への関心が高まっている。ロボット技術に関するソフトウェア基盤としては、RTミドルウェア[1]やROS[2]などが存在し、ハードウェアとロボットアプリケーション間の通信を規格している。また、クラウドベースのロボット基盤に関しても多くの研究が行われており、RoboEarth[3]やCloud Robotics[4]などが注目を集めている。このような背景の下、我々は、インターネットを活用した多様なロボットとロボットサービスの相互利用を実現するためのプロトコル仕様であるRobot Service Network Protocol (RSNP)の研究開発を進めてきた[5]。RSNPは、ロボットサービスのインターネット化を目指して2004年に設立された業界団体であるロボットサービスイニシアチブ(Robot Service initiative: RSi)[6]によって仕様が定められ、現在のバージョンはRSNP2.3である。

RSNPはこれまで、様々なロボット上に実装され、複数ロボット間の相互運用実験等も行われてきた[7]。その結果、ロボット研究者だけではなく、情報系研究者も開発に参加するようになり、ロボットサービス開発の裾野は急速に広がりにつつある。しかし、情報系の大学では、高価なサービスロボットを入手することが困難な場合が多く、より簡易に安価な小型ロボットを利用したサービス開発/実行の仕組みが求められるようになってきた。

本稿では、この問題を解決するために、簡易型RSNPロボットサービス開発環境を提案する。これは、開発/実行サ

イトである「RSi 学術研究用サイト」とこのサイトに接続して動作検証が可能な「モバイル端末向けロボットサービスアプリケーション」から成り、開発者は小型ロボットやスマートフォンを利用してロボットを開発することにより、他のロボットにも適用可能なサービスを試作できるようになる。本稿では特に、iPhoneへの実装である「RSiCameraRobot」について詳述する。さらに、小型ロボットに実装したRSNPアプリケーションをそのままサービスロボットに移植し、同じサービスを利用できることを検証する。本研究の成果はRSiとの共同開発技術として、2011国際ロボット展(2011年11月9日~12日まで、東京ビッグサイトで開催)[8]に出展され、実環境における十分な実証検証を行った。

なお、産業技術大学院大学は、従来からベトナム国家大学と共同でPBL(Project Based Learning)を実施し、専門

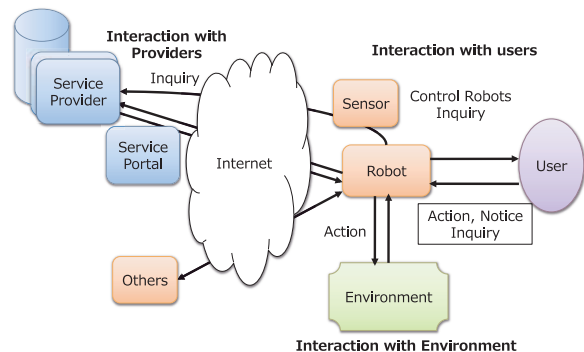


図1 RSiのロボットサービスモデル

Received on September 30, 2012.

\* 産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

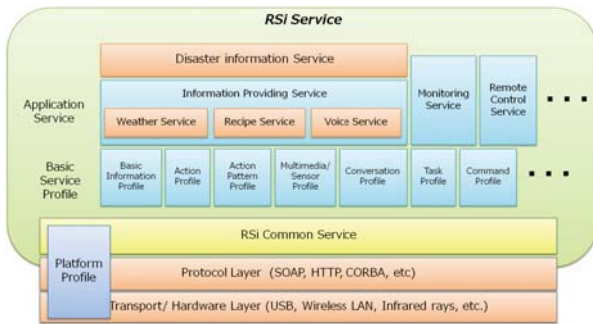


図2 RSNPのシステムアーキテクチャ

職技術者教育の一環としてグローバルな視野を持つ専門職技術者教育を行っている。今後、「RSi 学術研究用サイト」と「RSiCameraRobot」を用いた国際PBL，さらに「これらを具体的にどのように活用していくか」をテーマとした企画型のPBLを実施していく予定である。

以下，2.で本稿で考察対象とするRSNPについて，3.で学術研究用サイトについて，4.でRSiCameraRobotについて，5.でサービスロボットへのRSNPの実装について述べ，6.で本稿をまとめる。

## 2. RSi ロボットサービスモデル

RSiでは，ロボットサービスを，ネットワークを介してロボットが提供する情報サービス，もしくは物理的なサービスと定義している。図1にモデルの概要を示す。ロボットやサービスプロバイダ，ユーザなどから構成され，同期・非同期の通信による動作や動作パターンの指示・結果の取り出し，ロボットからプロバイダへの問い合わせ・通知，サービスの提供，ユーザを含む外界とのやり取りを行うことができる。このようにロボットをインターネットに接続する利点は，人とロボットが協調してサービスを行う「協調型」ロボットを実現できること，インターネット上のコンテンツを再利用できることなどにある。RSNPは，このモデルに従ってサービスのプロトコルを規程しており，異なるベンダで独立して開発したロボット/サービス間での相互運用が可能になっている。RSNPのシステムアーキテクチャを図2に示す。

RSNPの特徴は下記のとおりである：(i) インターネットとの整合性が高く，標準化された豊富な機能の上にサービスを構築でき，多様なロボットと各種サービスに適用でき，複数実装間で相互接続ができる；(ii) 計算機資源の限られているロボットへの情報提供や指示が迅速に行える；(iii) ロボットらしいサービスとして，画像やセンサ情報をロボットサービスへ連続的に転送でき，種々プラットフォームとの連携が実現できる。

プラットフォームのベースは，インターネットやシステム構築向け通信基盤であるWebサービス基盤を利用している。そのため，高信頼メッセージング機能，セキュリティ機能等，インターネットと整合性の高い標準化された機能を利用可能である。プラットフォーム自身は共通サービスと

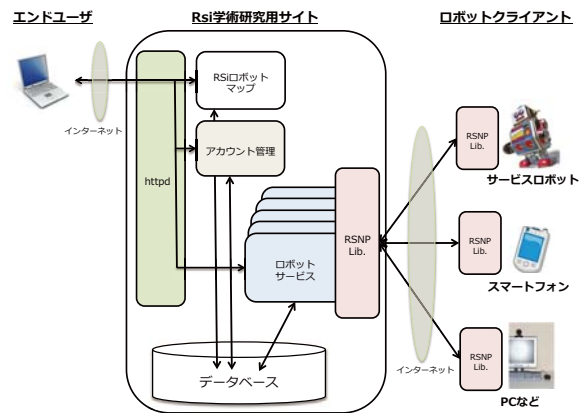


図3 システムの構成

ロボットサービスから成り，共通サービスでは，各種サービスをサポートするために，Pull型・Push型，同期・非同期型の通信モデルを提供している。一方，ロボットサービスは基本プロファイルと応用プロファイルから成り，カメラ・音声入出力などのマルチメディア機能や，前後回転動作など単純な動作・パターン動作などのロボットの動きを基本プロファイルとして提供し，天気サービス・見守りサービス・リモート制御などのサービスを応用プロファイルとして提供する。このように，ロボットの機能とロボットサービスの機能をモジュール化して提供することにより，機能の異なる多様なロボットや各種サービスへの適用を可能にしている。

## 3. RSi 学術研究用サイト

次に，RSi 学術研究用サイトについて説明する。本サイトは，研究者がインターネット上でRSNPクライアントロボットに関する様々なアイデアを試みることができる開発/実行環境サイトである。システム構成を図3に示す(本サイトの詳細については[9]を参照されたい)。サーバ機能は，現在，産業技術大学院大学内に構築されており，<http://rsi.aiit.ac.jp/>にアクセスすることにより，インターネット経由での利用が可能である。RSNP2.3の一実装であるFJLIBを用いて構築されており，RSNPサーバ(各種サービス等)，RSNPクライアント(ロボット等)，GUI，アカウント管理の4つのモジュールから構成される。

### 3.1. RSNP サーバ

RSNPサーバは，図3のロボットサービスの部分に相当し，サーバアプリケーションを実装するモジュールである。RSNPで定義された各種プロファイルを利用することで，様々なクライアントにロボットサービスを提供可能である。このとき，ロボットの実装はプロファイルに隠蔽されるので，サーバ開発者はこの実装を意識する必要がない。つまり，インターネット技術者がロボットと独立にサービスを開発することが可能になる。さらに，RSNPはWebサービスをベースとしているので，各種Webサービスとのマッシュアップも可能である。



図4 RSi ロボットマップ

### 3.2. RSNP クライアント

RSNP クライアントは、図3のロボットクライアントの部分に相当し、クライアントアプリケーションを実装するモジュールである。RSNP を利用することで、サーバ上で提供されている様々なサービスの利用が可能になる。なお、RSNP はロボットとサーバ間の接続に擬似 PUSH 機能を利用しているため、ロボットをファイアウォール内に設置したセキュアな運用が実現できる。

### 3.3. GUI

GUIは、図3のRSi ロボットマップの部分に相当し、サーバのフロントエンドの役割を果たすモジュールである。ここでは、接続しているロボットの位置を地図上で示すサービスとして実現している。Web サーバとして実装され、エンドユーザは Web ブラウザ経由でこの GUI にアクセスする。

### 3.4. アカウント管理

アカウント管理は、図3のアカウント管理の部分に相当し、アカウント管理機能を提供するモジュールである。ロボットサービスへのアクセス制御等を実現するためには、ロボットやそのユーザを管理する機能が必須であり、ここではプラットフォームの機能として提供している。ロボットの追加、登録情報の修正、変更、削除等はこの機能を介して実施され、管理情報はデータベースに保存される。

### 3.5. 提供サービス

現在、サーバ上でクライアントロボットに提供しているサービスは、RSi ロボットマップ(図4参照)、アカウント管理機能の2つである。これらに追加して、一実装例として、ロボット見守りサービスを提供している。これはロボットカメラで撮影された映像を、Web ブラウザ上で監視できるサービスである。学術研究用サイトでは、クライアントロボット用のサンプルコード(PCにWebカメラを接続した形態を想定)、および4.で説明するiPhoneアプリ

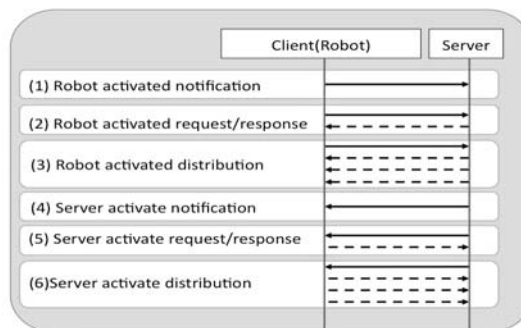


図5 RSNP のメッセージパターン

(RSiCameraRobot, AppStore で提供)を提供しており、これらを実行すると直ちにサイト上でサービスが利用できる。なお、本サイトは国際化対応しており、国際PBLでの利用が可能になっている。

## 4. RSiCameraRobot

次に、ロボット側システムとして開発したRSiCameraRobotについて説明する。RSiCameraRobotは、スマートフォン(本稿ではiPhoneを利用)をRSi仕様のロボットカメラとして動作させることにより、カメラの前の様子を遠隔からモニタする見守りサービスを大型のサービスロボットと同様に受けることができるアプリケーションである。これにより、サービスロボットを持たない多くの開発者が容易にロボットサービスを開発し、それを小型のロボットを利用して試作できる等の特徴がある。学術研究用サイトと同様、国際化対応により、グローバルな利用が可能になっている。

ここでスマートフォンを利用するのは、情報系研究者へのロボットサービス普及に有効であるためである。スマートフォンは、カメラ、加速度センサ、磁気センサ、明暗センサ、マイク、Wi-Fi、Bluetooth通信機能等を持ち、物理動作を除けばロボットに類似している。また、RSNPライブラリを搭載すれば、単独あるいはLEGO NXT等の小型ロボットと組み合わせてロボットサービスの試作を行うことができ、開発基盤としても適している。ただし、CPUが非力なことが課題であり、そのため本稿では、ロボットサービスの試作に必要な機能と性能を提供することを目的に、iPhone上にRSNPに準拠したライブラリ実装iRSNPと、それを活用した小型ロボットとしてRSiCameraRobotを実装することとした。なお、RSNPのライブラリ実装には前述したとおりFJLIBが存在するが、スマートフォンとしてはAndroid版のみであり、iPhone版は存在していないため、今回新たにライブラリの実装を行った。

### 4.1. iRSNP の実装

#### 4.1.1. 実装範囲

RSNPは、図5に示すように、ロボット起点サーバ通知型、ロボット起点サービス応答型、ロボット起点サーバ配信型、サーバ起点ロボット通知型、サーバ起点ロボット応答

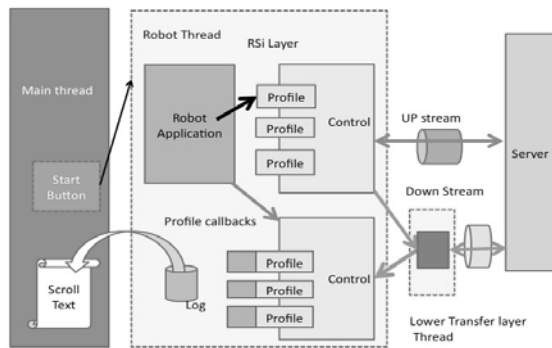


図6 iRSNPのアーキテクチャ

型、サーバ起点ロボット配信型の6つのメッセージパターンを持つ。iRSNPでは検証のため、このすべての機能を実装することとした。一方、サービスプロファイルの実装範囲は、学術研究用サイトへ接続し、おでかけマップや見守りサービス等のRSiサービスの利用に必要なもののみとした。

下位層としては、HTTP上にロボット起点とサーバ起点の2本の通信路を構築する。RSiはRSNPを、複数実装可能で相互接続できる標準プロトコルとして定めているため、仕様書をもとにこれらの実装を行った。

#### 4.1.2. 実装機能

プロトタイプとしては、上述したように、おでかけマップや見守りサービスでの利用を前提に、カメラを使った画像取得機能を実装することとした。ここでは、実用的な性能を実用的な性能で提供することを目指す。そのため、携帯電話の動画通話に一般に用いられるQVGA(320×240ピクセル)やその半分(240×160ピクセル)の解像度を持ち、フレームレートとしては、人間が動画として違和感を感じないレートとされる8fps以上を性能の目標とした。RSNPでは、画像を連続して転送するプロトコルとして、Multimedia\_profileにdistribute.camera\_image(サーバからの要求を契機にロボットが非同期に画像を配信し続けるプロトコル)が用意されているので、これを利用する。

ロボット側での画像取得から転送までの処理は、カメラからの画像取得、画像のJPEG画像への変換、JPEG画像のサーバへの送信の順になる。本稿では、これらを直列に行う直列方式と、画像取得とJPEG変換、送信とを並列に行う並列方式の2種類の方式を実装し比較することにした。

#### 4.1.3. 実装上の工夫

iPhoneの開発には、Objective-C言語とCocoaフレームワークを使う必要があるが、この上でRSNPの機能が実装できるかが課題となる。CocoaフレームワークはシングルスレッドのGUIアプリケーション開発には適しているが、RSNPはロボットとロボットサービスの間に上下2本の通信路を持ち非同期に制御する必要がある。そのためマルチスレッドにせざるを得ず、通常のプログラミングでは隠蔽されているrunLoop処理を行うことにより、RSNPで要求される通信パケットを仕様どおりの順番でやりとりする



図7 RSiCameraRobotの概観

ことにした。画像処理にはpickerとcaptureを利用し、自動焦点機能に対応した。

さらに、Javaではガベージコレクションによりメモリ管理が自動化されているのに対し、Cocoaフレームワークでは参照カウンタ方式が採用されており、メモリリーク対策が問題になる。また、Cocoaの提供するUI部品には処理時間が大きいものが存在し、性能向上の障壁になる。これらを考慮してアーキテクチャを設計した。結果を図6に示す。

#### 4.2. RSiCameraRobotの実装

iRSNPを利用し、iPhoneを用いたカメラロボットRSiCameraRobotを実装した[10]。ロボットの概観を図7に示す。本カメラロボットは、3.で述べた学術研究用サイトに接続すると見守りサービスを利用でき、これにより監視システムの構築が可能である。ここでは、iRSNP上にカメラ画像をdistribute.camera\_imageを用いて連続的に転送するアプリケーションを開発し、認証機能とともに提供している。回線負荷を低減するために、携帯電話回線を利用する際には、取得画像の解像度を制限する仕組みおよび転送速度を落とす仕組みを導入している。

#### 4.3. 性能評価

試作したiRSNPの通信路としての性能、画像取得/転送の性能について評価を行ったので、その結果を報告する。

##### 4.3.1. 実験環境

実験は、iRSNPを搭載したiPhone 3GS(iOS 4.1, ARM 600 MHz)、iPhone 4(iOS 4.1, ARM 1 GHz)、比較対象としてRSNP2.3ライブラリを搭載したPC(Mac OS X v10.6.5, Core 2 Duo 2.4 GHz, 4MB)を用い、サービス側に同じ型のPC、無線LAN環境としてAirMac Extreme(IEEE 802.11 b/g/n)を用いた。JPEG変換のcompression qualityは0.6とした。

##### 4.3.2. 予備実験

基本性能として、パケットを送信してから応答が返るまでの時間(オーバーヘッド時間)をメッセージパターン毎に測定した。データ長はペイロード10KBである。結果を表1に示す。サーバ起点ロボット応答型の結果である33msを、既存のRSNPライブラリの応答時

表 1 iRSNP 通信のオーバーヘッド

メッセージパターン	オーバーヘッド
ロボット起点サーバ通知型	18 ms.
ロボット起点サーバ応答型	33 ms.
ロボット起点サーバ配信型 (各配信ごと)	30 ms.
サーバ起点ロボット通知型	33 ms.
サーバ起点ロボット応答型	33 ms.
サーバ起点ロボット配信型 (各配信ごと)	35 ms.

表 2 iRSNP の性能評価結果

機種	ピクセル	方式	レート	サイズ	CPU
3GS	240×160	直列	9.0fps	7.1KB	38%
		並列	10.0fps	7.5KB	53%
4	240×160	直列	7.3fps	9.5KB	30%
		並列	9.4fps	7.5 KB	39%
3GS	320×240	直列	7.0fps	15.5KB	69%
		並列	6.8fps	15.0KB	57%
4	320×240	直列	7.2fps	12.6KB	39%
		並列	6.9fps	12.9KB	42%

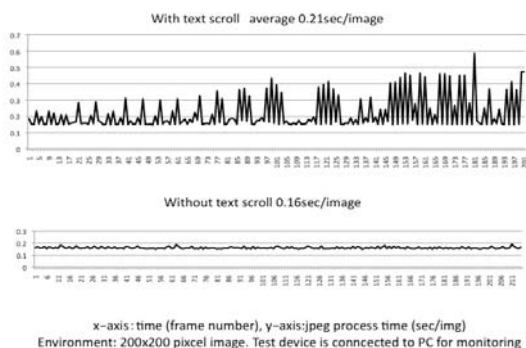


図 8 RSNP 処理への UI 部品の影響

間 26 ms. (文献 [11] におけるペイロード 10 KB, 有線ネットワーク帯域 100 Mbps, CPU Core 2 Duo 2 GHz) と比較すると, ロボット側の CPU の違い, 無線 LAN/有線 LAN の違いを加味すれば, 妥当な値であることがわかる. そのため, この結果を, ロボットサービスのシステム性能の見積りに利用することにした.

### 4.3.3. 画像取得/転送の性能

前節で規定した目標性能を達成していることを検証するため, 性能に大きな影響を与える, 機種, ピクセル数, 処理方式を変化させ, 転送レート, 画像サイズ, CPU 使用率を測定した. なお測定は, 転送を 1,000 回繰り返して平均を求める実験を 3 回繰り返した. 結果を表 2 に示す.

次に, Cocoa フレームワークの UI 部品における処理時間の影響を評価するために, iRSNP の画像転送と並列に,

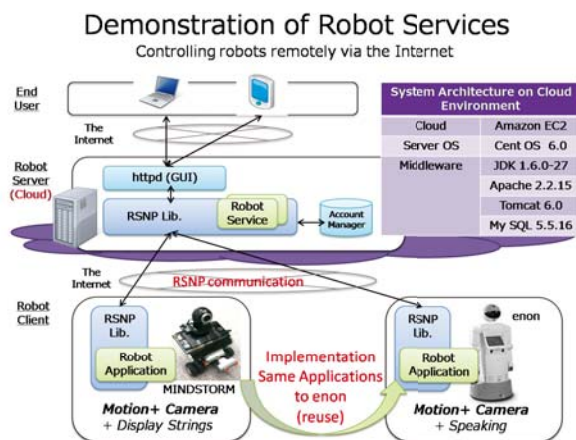


図 9 システムの構成

UITableView を用いてアプリからの情報を随時蓄積し, 2 秒間隔でスクロールして情報の最後尾を表示させる実験を行った. 測定はピクセル数 200×200, iPhone 3GS を使用し, デバッガに接続した環境で行った. 結果を図 8 に示す. ここから, スクロールなしの場合に比べ JPEG 処理時間が大幅に伸びており, JPEG 処理は distribute\_camera\_image 処理の大半を占めていることがわかった.

### 4.4. 考察

性能評価の結果を以下にまとめる.

- 画像取得/転送では, iPhone 4, 3GS とともに, QVGA の半分のサイズの画像で当初の目標値である 8 fps 以上の転送レートを達成できた. iPhone 3GS では, CPU 使用率が 40% から 60% になっているので, CPU パワーに対して処理速度が伸びず, CPU 使用率が下がっている. これは OS の制御によるものと思われる.
- 並列方式は, 直列方式と差がない場合がある. 画像圧縮時間が長く, 通信が十分早い場合と考えられるが, 通信負荷が高い無線環境では並列方式が有効である.
- スクロール等の UI 部品は CPU リソースの消費が大きい. さらに CPU 割り当ての優先度が高いと思われる. 画像圧縮等 CPU を多く消費する処理を遅らせ不安定にしている. 性能が要求される処理と同時に利用しないよう制御することにより, 高速で安定した処理を実現できると考えられる.

試作結果からは, iRSNP は他の実装と比べ遜色のない性能であること, 画像取得/転送処理においても当初の目標性能を達成可能であることがわかった. 本実装は RSNP 仕様をもとに行ったもので, RSNP の複数実装の検証にもなっている. 一方, iRSNP を使った際の画像転送のデータ量は, 1 画面あたり 12~15 KB と想定すると, 最速の場合で 0.8 Mbps 程度である. 少数のロボットをローカルサーバで処理するには問題ないが, インターネットに接続したホストで大量のロボットからの処理を受け付けるのは現実的ではない. その場合は, ローカルサーバとインターネットに接続したホストの役割分担を検討する必要がある.



図 10 ロボット制御用画面のイメージ

## 5. サービスロボットへの RSNP の実装

提案した簡易型 RSNP ロボットサービス開発環境の有効性を検証するために、複数ロボットへの RSNP の実装例として、LEGO NXT に小型 PC を組み合わせて実現したロボットのソフトウェアを、大型の富士通製サービスロボット enon に移植した。ここでは、サーバ側の検証を合わせて行うために、クラウド環境上でのサーバ機能の構築も試みた。システム構成を図 9 に示す。

小型 PC への実装機能は、遠隔操作、画像取得/転送、音声出力の 3 種類である。遠隔操作は、インターネット経由でロボットを遠隔操作するもので、ボタン操作によりロボットを前後左右に移動させる。画像取得/転送は、ロボットのカメラで画像を取得し、それをブラウザに連続転送する機能である。音声出力は、ユーザがブラウザに入力した文字列をロボットが読み上げる機能である。小型 PC には音声読み上げ機能がないため、コンソールへの文字列の出力で本機能を代替している。これらを実現するための RSNP のプロファイルとしては、遠隔操作のために Motion\_profile を、画像や音声データを扱うために Multimedia\_profile を利用している。ユーザがインターネット経由でロボットを操作する画面を図 10 に示す。

ロボットの制御は、RSNP を利用してクラウド上のサーバにより行われる。RSNP を利用することで、サーバとロボット間の通信仕様が共通化されるため、様々な種類のロボットが共通のサービスを利用可能になる。ここでは、もともと小型 PC 上に実装され、LEGO NXT を操作していたソフトウェアを、大型のサービスロボット enon でも利用することが可能であった。enon を制御するソフトウェアは新たにコーディングする必要があるが、インターネット上で提供されるサービスと、そのサービスにアクセスする部分は共通で利用可能である。ユーザが利用するインタフェースも、図 10 に示すものを共有できる。つまり、大型ロボットの入手が困難であっても、小型ロボットで動作の検証やサービス部分の開発を行い、それを容易にサービスロボットに展開することが可能であることが検証できた。

ここで構築した 2 種類のロボット (LEGO NXT と enon) は、2011 国際ロボット展の期間中連続稼働し、安定運用が可能であることが検証された。

## 6. おわりに

本稿では、小型ロボットを利用した簡易型 RSNP ロボットサービス開発環境を提案した。本環境は、開発/実行サイトである「RSi 学術研究サイト」とロボットアプリケーションである「RSiCameraRobot」から成り、開発者は、小型ロボットやスマートフォンを利用してロボットを開発することにより、他のロボットにも適用可能なソフトウェアを開発できるようになる。本稿ではさらに、小型ロボット (LEGO NXT) に実装した RSNP アプリケーションをそのままサービスロボット (enon) に移植し、同じサービスを利用できることを検証した。今後、ロボット機能の追加、異なるプラットフォームへの適用等を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、RSi 仕様策定ワーキンググループの皆さまに貴重なご意見を頂きました。また、産業技術大学院大学の五十嵐登さん、大山直人さん、齊藤由香利さん、阪口和明さん、角田龍太さん、中川幸子さん、中山央士さんには LEGO NXT および enon へのアプリケーションの実装にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku and W. Yoon, "RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology)," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2005 (IROS 2005)*, pp. 3933–3938, 2005.
- [2] M. Quigley, K. Conley and B. Gerkey, "ROS: an open-source Robot Operating System," *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Workshop on Open Source Robotics 2009*, 2009.
- [3] RoboEarth, <http://www.roboearth.org/>
- [4] R. Arumugam, R. Enti, L. Bingbing, W. Xiaojun, K. Baskaran, F. King, A. Kumar, K. Meng and G. KitVikas, "DAVinCi: A Cloud Computing Framework for Service Robots," *IEEE International Conference on Robotics 2010*, 2010.
- [5] 成田雅彦, 村川賀彦, 植木美和, 岡林桂樹, 秋口忠三, 日浦亮太, 蔵田英之, 加藤由花, "インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi (Robot Service Initiative) の取り組み," *日本ロボット学会誌*, Vol. 28, No. 7, pp. 829–840, 2010.
- [6] RSi Robot Service initiative, <http://robotsservices.org/>



- [7] 成田雅彦, 村川賀彦, 植木美和, 中本啓之, 平野線治, 蔵田英之, 加藤由花, “普及期のロボットサービス基盤を目指す RSNP (Robot Service Networl Protocol) 2.0 の開発,” 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 8, pp. 857–867, 2009.
- [8] 2011 国際ロボット展,  
<http://www.nikkan.co.jp/eve/irex/>
- [9] Y. Kato, T. Izui, Y. Murakawa, K. Okabayashi, M. Ueki, Y. Tsuchiya and M. Narita, “RSi-Cloud for Integrating Robot Services with Internet Services,” *The 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011)*, pp. 2164–2169, 2011.
- [10] RSiCameraRobot,  
<http://itunes.apple.com/jp/app/rsicamerarobot/id465884650?mt=8>
- [11] 村川賀彦, 植木美和, 岡林桂樹, “RSNP2.2 仕様と Android 版ライブラリ,” 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC2C2-1, 2010.



# チーム設計による 3D-CAD/RP の実務教育

館野寿丈\* ・ 橋本洋志\* ・ 佐々木信夫\*\* ・ 吉岡秀明\*\*\* ・ 栗原宏\*\*\*

## Practical training of 3D-CAD/RP with team design

Toshitake Tateno\*, Hiroshi Hashimoto\*, Nobuo Sasaki\*\*,  
Hideaki Yoshioka\*\*\* and Hiroshi Kurihara\*\*\*

### Abstract

In recent mechanical and electrical products, knowledge intensive product design is required for creating high-value-added products. Considering these trends, a design training program was planned and implemented for next generation product designers. In this program, every trainee belongs to a team and designs at least one part of the target product as a 3D-CAD model. These part models are assembled with other models in a common virtual space and fabricated by rapid prototyping (RP). The models are redesigned many times with discussions exchanged among team members. Not only technical skills of 3D-CAD/RP but also communication skills were trained through creating one product. In this paper, contents of the program carried out three times are introduced, and the knowledge gained through the practices are presented.

Keywords: 3D-CAD, Rapid Prototyping, Team Design, Communication Skill, Education

### 1. はじめに

電気機械製品においては低価格化競争への対抗として、高度な技術により高付加価値を持つ製品開発が求められ、今後もこの傾向が顕著になると考えられる。そのため設計では高度な専門知識を持った技術者集団による共同作業が必須となり、次世代産業システムに携わるエンジニアにとって、チームワークが必須のスキルになることは明らかである。

一方で、設計での計算機支援では、機械系や電気系の CAD(Computer-Aided Design)、各種シミュレーションツールなど、多くのツールが活用され、製品の高度化に伴って必需品となっている。

このように、次世代産業を担うエンジニアにとって、デジタルデータを共有しながら、チームで設計を進める能力は必須といえる。例えば機械系の設計においては、製品の3次元形状モデルデータを複数人で共有し、一つの製品設計を協動的に進めていくことは、航空機や自動車などの部品点数の多い製品を扱う企業では既に一般的となっている。しかしながら、同じ企業やグループ企業といった共通の教育システムを持った組織に限られており、共通の教育システムを持たない企業による連携プロジェクトにおいて、このような設計プロセスを実現することは困難である。

ところが近年、グループ企業の単位とは別に、地域単位で中小企業の持つ高度な技術を集約し、新しい製品づくりをする試みがみられる。例えば、品川区では、「近隣セキュリティーシステム<sup>[1]</sup>」の開発実践例がある。このような、企業間連携のプロジェクトによる新製品開発をさらに促進するには、地域間で共通な設計プロセスを作り上げることが有効であり、

その教育の場を提供することが必要となる。

そこで本学では、形状設計を対象に、地域での企業間連携によるものづくりプロセスを促進するための教育として研修を企画し、実施した。この研修の一部は既に紹介<sup>[2]</sup>されているが、本稿では、これまで3回実施された研修を比較しながら、得られた知見を整理する。

### 2. 機械系 3D-CAD と RP

#### 2.1. 3D-CAD

機械系の CAD は計算機を使って図面を描画するいわゆる Computer-Aided Drawing に始まるが、最近では3次元データを持った立体モデルとして形状を表現するいわゆる 3D-CAD(3-Dimensional Computer-Aided Design)が主流となっている。図面は形状や製造情報などを記述し、設計者と生産技術者間の情報伝達に用いられるが、立体モデルでは、レンダリングなどを施したグラフィクス表現、質量などの物理計算、構造解析、加工シミュレーションなど、シミュレーションと統合した利用にメリットがある。このため設計開発の上流から下流にわたる、マーケティングから、インダストリアルデザイン、設計、解析、加工、組立、販売、保全といった製品ライフサイクルにわたる広範囲の業務活動を、立体モデルをベースに製品モデルを共有し、統合していく方向にある。

このような傾向から、設計開発に携わる誰でもが自ら 3D-CAD システムを利用し、業務に生かしていくスキルが求められる。さらには、3D-CAD での製品モデルを他者とやり取りをしながら一つの製品設計を進めていくチーム設計能力が不可欠となる。

Received on October 18, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

\*\*OPI, Open Institute, AIIT

\*\*\* (株)デザインネットワーク, Design Network Co. Ltd.

## 2.2. RP

ラピッドプロトタイピング(Rapid Prototyping, RP)は、迅速な試作を意味し、形状設計の分野で言えば、3D-CAD でバーチャルに設計された形状を実体物として即座に作成することである。形状設計の場合、形の曲面の具合や、手に取ったときの感覚などは、計算機に提示された映像だけでは評価しにくいので、実体のある物として作られることが望まれる。また、詳細設計でアセンブリ部品を設計する際に、部品間の接触やクリアランス、組み付けなどを確認するが、計算機での数値的な表現だけでなく、感覚的な量として感じるためにも、その評価に実体物は有益である。

RP による形状生成の方法には、いくつかの方法があるが、現在は積層造形による方法が主流となっている。さらに、積層造形法においても、光造形、押し出し成型、粉末接着など、数多くの方法が開発され、それぞれの特徴を生かした活用がされている。形状設計では、実体物による評価が重要であり、その即座にフィードバックをしながら修正設計するプロセスを学ぶために有益なツールである。

## 2.3. ものづくり人材育成・確保事業

著者らの所属する産業技術大学院大学は、地域産業への貢献を目的とする組織として、OPI(Open Institute)を設置し、地域企業との共同研究の支援や、セミナーなどを企画・実施している。この活動の一環として、「他者と連携しながら実務レベルで新製品開発を成し遂げる能力豊かな社会人育成」事業を実施した。これは、平成 22 年度 1 次・2 次・2 次追加分の全国中小企業団体中央会の補助事業である「ものづくり人材育成・確保事業」<sup>3)</sup>の委託先として採択された研修である。

本研修はチーム力の養成をキーワードとしたカリキュラムを構成している点に特徴を持つ。研修は複数のコースがあり、それらは実施回毎に異なるが、3D-CAD/RP のコースは3回とも実施された。いずれも1~2週間の長期間に渡る充実した内容となっている。

## 3. CAD/RP 講座のカリキュラム

図 1~図 3 に、3回実施されたそれぞれの研修全体のカリキュラムと、3D-CAD/RP 講座の位置づけを示す。3D-CAD/RP 講座に関しての内容は同じであるが、他の講座との関連や、実施形態が若干異なるので、それぞれの研修を個別に説明する。3 回の研修は便宜のため、開催順に研修 A、研修 B、研修 C と呼ぶことにする。また、本講座は基礎編と応用編に分かれているが、チーム設計を含む応用編を中心に説明する。

### 3.1. 研修 A

専門講座である CAD/RP の講座は、基礎編(研修 4)と応用編(研修 5)を、それぞれ 15 コマ(22.5 時間)ずつで構成している。(図 1 参照) この研修 A では、受講者全員が基礎編と応用編の両方を受講した。

3D-CAD は CATIA V5 を使用し、RP の装置はオブジェクト社製 EDEN350(光硬化樹脂をインクジェットで積層していくタイプ)を使用した。会場の様子を図 4、造形機の外観を図 5 に示す。

基礎編では、いくつかの基本的な形状をモデリングする課題により 3D-CAD の基礎的なオペレーションを学習したうえで、独自のデザインを盛り込んだ形状モデリングをする自由

課題の設計をした。

応用編では、一つの設計対象物を複数人で協力して作成するチーム設計を行った。チーム編成は、基礎編での課題でスキルを評価し、各チームのバランスが取れるようにした。受講者の中には、既に業務で 3D-CAD を扱っている人から、全くの初心者までおり、スキルのばらつきは大きかったが、敢えてレベル別にチーム編成はせず、スキルに応じて適切にチーム内で作業分担することを演習の一つに含めた。また、車体の形状については大きさの制限と、全員が最低限一つの部品を設計する部品構成にすること、以外は任意に決めてよいとした。このため設計においては、3D-CAD のモデリングスキルだけではなく、意匠的なデザインスキルも求められる。さらには、チームを一つにまとめるチームリーダーも定めるので、リーダーシップスキルも期待される。このように、この課題では設計開発の実務で必要となる幅広いスキルが要求されるが、受講生にそれらをすべて身につけさせようとするのではなく、チーム内で如何に個々人が得意とするスキルを発揮させるかという点を重視した。

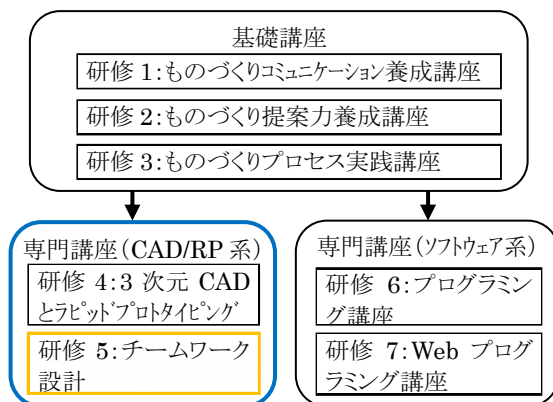


図 1 研修 A のカリキュラム

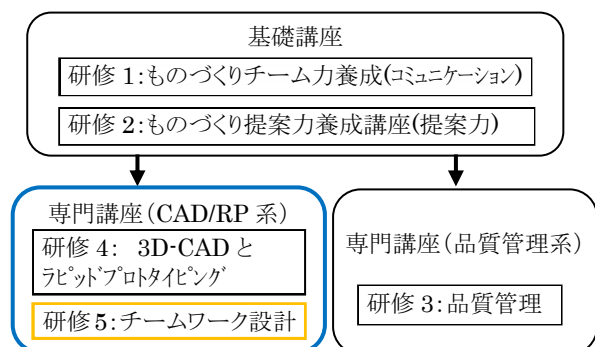


図 2 研修 B のカリキュラム

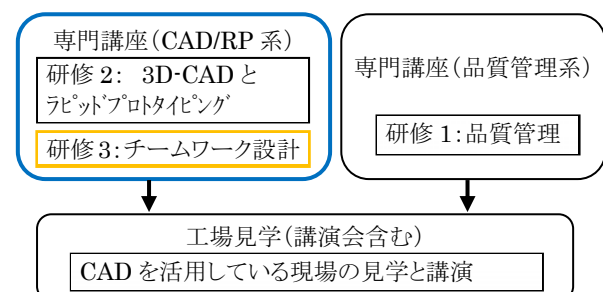


図 3 研修 C のカリキュラム

### 3.2. 研修 B

研修 B の課題は研修 A と同じであるが、基礎編と応用編の受講生を別々に募集した。その募集の段階で 3D-CAD の経験をもとに、基礎編と応用編を受講生に選択してもらうようにした。これは、研修 A の応用編において、同じチーム内での個人のスキル差が激しく、チーム設計をする上での支障が生じたことからの配慮である。ただし、応用編を選択した受講生も、3D-CAD の経験があるものの、本研修で使用する CAD は初めてである人が多いと考え、チーム設計に入る前に基礎編と同じ LED ライトの設計を行い、CAD の操作習得を行うこととした。応用編の研修時間は 18 コマ(27 時間)とし、研修 A よりも長い時間に設定した。

### 3.3. 研修 C

研修 C では、3D-CAD/RP 講座の課題及び実施形態は研修 B と同じであるが、チームワーク等の基礎講座の代わりに工場見学を実施した。これは、3D-CAD の活用実態を理解する上で、現場の見学が欠かせないと判断したためである。しかしながら、応用編の研修時間は 11 コマ(16.5 時間)となり、研修 B よりもかなり短い。チームワーク等の基礎講座が省略されることから、チーム設計に影響を及ぼす懸念された。このため、新たに TA(Teaching Assistant)を採用し、チーム活動をサポートする体制を整えた。また、研修 B において、自習をしたいとする意見が多かったことから、十分な自習可能時間を設けると共に、自習指導書を作成し、発展的な学習もできる環境を準備した。

また、本学の設備更新に伴い、3D-CAD は SolidWorks、RP の装置はオブジェクト社製 CONNEX350 を使用したが、研修を実施する上での機能的な相違はなかった。



図 4 講習会場の様子



図 5 積層造形による RP 装置

## 4. 作製例

### 4.1. 基礎編

基礎編の自由課題は図 6 に示す小型 LED ライトの部品とした。このライトは、ねじにより分解・再組立が可能であり、ライトの下蓋の部品を上蓋と正しく合致するようにモデルを作製する。作製した部品を使って再組立し、LED が点灯することまでを最低基準とし、下蓋の外側の部分にアレンジを加えてデザイン性の高い部品作製を目指すようにした。

研修 A では全員が基礎編を受講し、研修 B、研修 C の応用編受講者においても、チーム設計に入る前に CAD 操作習得のためこの自由課題を実施した。すなわち、応用編の受講者全員がこの課題を実施したことになる。

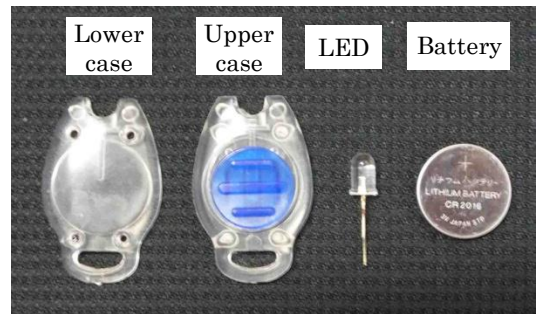


図 6 基礎編の課題(小型 LED ライト)

受講者の作成した RP 造形物を、既存の LED ライトに組み付けた例を図 7 に示す。この受講生は下蓋にクリップをあしらった独自の形状を作成した。クリップの形状には自由曲面を用いており、受講開始時には初級者であったが、かなり高度な技術を活用していることがわかる。また、図 8 に CG の例を示す。デザイン性に優れたものも多くあった。

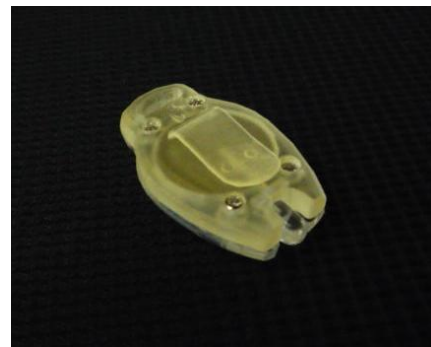


図 7 基礎編での作製例(RP モデル、研修 A)



図 8 基礎編での作製例(CG、研修 C)

## 4.2. 応用編

課題は全長 150mm 程度のソーラーカーとし、ソーラパネルとモータ・車輪についてはキットカー部品(図 9 参照)を使用し、車体を設計した。

設計開始時点には、設計プロセスの流れ(図 10 参照)を説明し、チーム内でのスケジュール作成に役立てられるようにした。また、講師が作製した作成事例を使って、部品の接合方法など具体的なノウハウについても説明した。(図 11 参照)

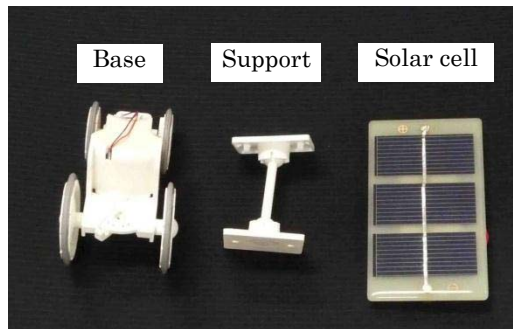


図 9 応用編の課題(ソーラーカーキット)



図 10 設計の流れの説明

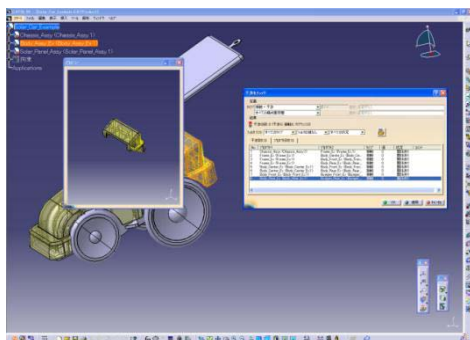


図 11 具体例を用いた設計方法の説明例

### 4.2.1. 研修 A での作製例

研修 A で作製された RP モデルと CG を示す。メンバーは全部で 12 人であり、3 チームで活動した。初めに製品コンセプトについて議論し、その後、部品単位に担当を分けてモデル作成し、分割した部品の接続仕様などコミュニケーションをとりながら仕上げていった。また、設計段階を経るたびに RP モデルを作製し、イメージの確認を行いながら形状を詳細化していった。成果物の一例を図 12 (RP モデル)と図 13(CG)に示す。図 12 は左からモデルを詳細化していった様子を示している。特に CG を見ると理解されるように、想定

したコンセプトに適合したモデル形状に仕上がっていることがわかる。他のチームのモデルもバギーや F1 マシンといった、チーム設計初期の段階で議論して決定したコンセプトを反映した形状となった。



図 12 研修 A での作製例 (RP モデル)



図 13 研修 A での作製例 (CG)

### 4.2.2. 研修 B での作製例

研修 B では、基礎編と応用編とを別々に開催した影響もあり、応用編に参加した受講生は 5 名で、1 チームでの実施となった。また、応用編に参加した受講生のスキルにばらつきがあり、CAD の操作を習得するため、全 6 日間(全 18 コマ)のうち初めの 2 日間(6 コマ)程度を基礎編と同じ LED ライトの作成を実施したため、チーム設計に充てる時間が少なくなった。これらのことからスケジュールが遅れ、設計初期段階のディスカッションや、設計の見直しが十分行なえない結果となった。

成果物を図 14 に示す。従来の自動車とは異なる斬新な形状が提案されたうえ、乾電池を搭載して駆動できる工夫もされたが、形状全体の統一感が若干不足している感じが見られる。



図 14 研修 B での作製例 (RP モデル)

### 4.2.3. 研修 C での作製例

研修 C では、研修 B と同様に基礎編と応用編とを分けて実施した。参加者は 5 名で、1 チームで実施した。CAD/RP の研修時間は全 5 日間 (11 コマ) となり、研修 A、研修 B に比べてかなり短くなったため、プロセスの効率化を図った。一つには、CAD の操作習得に充てる時間を 1 日 (2 コマ) に抑え、代わりに自習時間を設けた。また、前回の応用編に参加した受講生の一人をティーチングアシスタント (TA) として採用し、経験的な立場からのアドバイスができるようにした。

成果物を図 15 (RP モデル) と図 16 (CG) に示す。コンセプトとしての頑丈さが意識された構造になったうえ、あらかじめ乾電池と太陽電池との両方を同時に搭載する工夫が施されている。また、効率的な作業によって、この詳細設計までのプロセスをこれまでにない短い時間で済ませることができた。このように、モデルを作りこんでいくプロセスでは、製品に関する知識、プロセスに関する知識のいずれも過去の経験的知識が有効に活用されたことが明らかである。



図 15 研修 C での作製例 (RP モデル)



図 16 研修 C での作製例 (CG)

### 4.2.4. 走行会

応用編の最終日には、プロトタイプ of 走行会を行った。すべてのチームにおいて仮想・実体ともに組み立てを完成することができた。研修 A での走行会では設定した 10m 程度の距離を太陽光エネルギーにより完走することができた。研修 B、研修 C では、それぞれ雨天、夜間であったため、乾電池にて走行させ、完走させることができた。また、研修 B、研修 C では、講師が作製したモデルを並走させた。走行会は目標達成の喜びを実感する良い機会となった。



(a) 研修 A



(b) 研修 B



(c) 研修 C

図 17 走行会の様子

表 1 アンケート質問項目

1. 研修全体	
1-1	研修期間は適切でしたか?
1-2	設備は適切でしたか?
2. 講座	
2-1	講座の構成は理解を助けるよう良く考えられていましたか?
2-2	研修時間の配分は適切でしたか?
2-3	演習やケーススタディは理解の助けになりましたか?
2-4	チームの人数は適切でしたか?
3. 講師	
3-1	講師はプロフェッショナルとして振る舞っていましたか?
3-2	講師は事例などを示し明確に判りやすく説明していましたか?
3-3	講師は時間を適切に管理していましたか?
3-4	講師は研修生の質問や要望に適切に対応していましたか?
4. 教材	
4-1	教材の内容は学習全体に役立ちましたか?
4-2	教材の構成、文書、図表は判りやすかったですか?
5. 研修成果	
5-1	学修によって新たな知識やスキルが身につきましたか?
5-2	学修で得た知識やスキルは仕事で役立ちそうですか?
6. 研修満足度	
6-1	この研修に満足しましたか?
6-2	この研修を友人や同僚にも薦めたいですか?

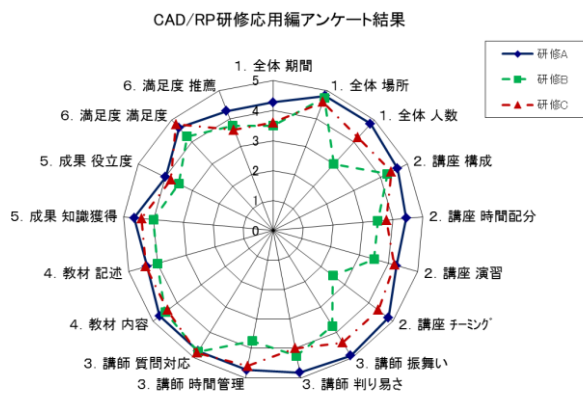


図 18 アンケート結果

## 5. 評価

本研修応用編の評価として、受講生に対しアンケート聴取を行った。表1にアンケート質問項目を示す。それぞれの項目について5点法で採点してもらい、最後に自由記述の欄を設けている。アンケート回収率は研修Aが73%、研修Bが80%、研修Cが100%であった。

各項目のポイント平均を実施回別に比較できるよう図18に記す。研修Aはすべての項目で4以上となっており、受講者にとって満足な研修になったことがわかる。これは長期の研修期間が確保でき、受講者全員が基礎編と応用編の両方を受講できるようにしたため、応用編開始時には最低限のスキルを全員が確保できたため考えられる。これに対し、研修Bは、特にチーミングにおいて十分な評価を得ることができなかった。これは、研修Aとは異なり、研修期間の問題から基礎編と応用編を並列に実施せざるを得ず、CADの経験に基づいて受講者を別々に募集してスキルの均一化を目指したものの、結果的にはスキルのばらつきを減らす間もなく応用編を開始することとなり、チーム活動を円滑に進められないことがあったためと考えられる。しかし、研修Cは研修Bよりも短い期間であったにもかかわらず、全体的には満足な結果を得ている。これは、自習時間の確保、TAの活用によるチーム設計プロセスの促進など、スキルのばらつきへの対応が功を奏したためと考えられる。

また、自由記述欄のコメントでは、「実務でのコミュニケーション能力を養うことができた」など、3D-CADやRPの技能習得に加えて、チームワークでの活動の体験を高く評価する意見が多かった。

## 6. まとめ

本稿では、次世代のエンジニア教育として、CAD/FPを活用したチーム設計をする「他者と連携しながら実務レベルで新製品開発を成し遂げる能力豊かな社会人育成」研修の実践を通して、研修方法について考察した。本研修を通して得られた知見を、整理しておく。

(1) CAD/FPを活用したチーム設計により、CAD/FPのスキルと、チームワークスキルとの両方の向上が期待できる。

(2) チーム設計を実施するうえで、受講者のCAD/FPのスキルレベルのばらつきを減らす工夫が必要である。

(3) チーム設計を進めるうえで、設計プロセスの経験的知識を活かすことで、プロセス効率化を図ることができる。

## 参考文献

- [1] 品川区 Web サイト  
<http://www.city.shinagawa.tokyo.jp/hp/menu000001000/hpg000000978.htm>
- [2] 館野寿丈・橋本洋志・佐々木信夫・吉岡秀明・栗原宏、"次世代ものづくり人材育成のためのCAD/FP"、電気学会シンポジウム資料、pp. 17-21, 2010。
- [3] 全国中小企業団体中央会 Web サイト  
<http://www.chuokai.or.jp/index.htm>



# 統計的なデータ分析による問合せ結果の自動的な構造化

慎 祥 揆\*

## Automatic Structuring Query Results by Statistical Data Analysis

Sang-Gyu Shin\*

### Abstract

In this paper, I propose automatic structuring query results by statistical data analysis when create a view which has database information by ACTIVIEW. When present information through the WWW, recently, the adaptation is need for mobile terminals which is exploded very rapidly. Then, I propose ACTIVIEW which can create web view that is optimized of user terminal screen by restructuring query results from common database result.

Keywords: Database Automatic Structuring Query Statistics

### 1. はじめに

近年, WWW の普及と共に, WWW を利用するビジネスアプリケーションや, 利用者への情報提供, 企業内情報開示が盛んになってきている[1-4].

WWW の普及に伴い, 閲覧者の Web ページに対する要求も多様化している.

特に, インターネットの発展によるビジネスモデルの進化と共にショッピングサイトやニュースサイトなどのデータ集約型 Web サイトが場所の限界を超え, 一般的に見られるようになった.

しかし, 多くの閲覧者が利用している大部分の Web サイトはデスクトップパソコン向けに作成されており, 現在, 多様化が進んでいるモバイル端末には望ましくない.

例えば, 本のオンラインショッピングサイトでは, 本が著者や出版社, 価格などが一連で表示されてあって, 閲覧者はこれらの情報を基に選ぶ.

しかしながら, 同じ内容を, 携帯端末のように画面幅が狭い端末からアクセスするためには, 閲覧者の要求や興味に応じるか, 情報提供側方の意志が入った形で再分流し, 表示して提供する必要が生じる.

しかし, 大手の企業以外は, 多様な閲覧者アクセス端末環境に応じたサイトを作成することは, サイト作成者にとって大きな負担である.

### 2. ACTIVIEW

閲覧者アクセス端末環境 (以下, モニタ幅) に適応したレイアウトを提供するため, まず, サイト作成者によって定義された元の問合せ文は, 本論文で提案する手法によって構造化される. 構造化された問合せ文は ACTIVIEW システム によって, モニタ幅に適応した問合せ文に書き直す.

そして, 書き直せられた問合せ文に従い, SuperSQL

システムは HTML 文を生成する.

本章では, ACTIVIEW システムの基盤になる SuperSQL と, この応用システムである ACTIVIEW に関して述べる.

#### 2.1. SuperSQL

SuperSQL[5]は, TFE (Target Form Expression) を用いて SQL を拡張した問合せ言語で, データベースに問い合わせた平坦な構造の出力結果を構造化し, 指定されたメディアの応用データへ変換するシステムである.

TFE は, SQL のターゲットリストを拡張したもので, TFE 特有のオペレーター (結合子と反復子) を用いてレイアウトを指定することができる.

各結合子と反復子は次元に対応している.

例えば, HTML メディアを生成する場合 1, 2 次元は, 表の行と列に対応し, 3 次元はハイパーリンクに対応する.

SuperSQL の質問文は, SQL の SELECT 節を GENERATE <medium> <TFE> の構文を持つ GENERATE 節で置き換えたものである. ここで <medium> は出力媒体を示し, XML, HTML など出版メディアの指定が出来る.  $r_1$  を関係, P は SQL における条件とすると, SuperSQL クエリーは以下のように表せる.

```
GENERATE<medium><TFE>
FROM  $r_1, r_2, \dots, r_n$ 
WHERE P
```

##### 2.1.1 結合子と反復子

以下に, 結合子と反復子について簡単に述べる.

- 水平結合子(,): 両オペランドのデータを横に連結して出力.

Received on September 25, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

- 垂直結合子(!): 両オペランドのデータを縦に連結して出力.
- 深度方向への結合子(¥%): 両オペランドのデータをリンクを利用することで連結して出力.
- 水平反復子([ ],): オペランドのデータがある限り, そのデータを横に繰り返し結合する.
- 垂直反復子([ !]): オペランドのデータがある限り, そのデータを縦に繰り返し結合する.

反復子の入れ子表現によってグルーピング (以下, 構造化) を直感的に指定できる.

### 2.1.2 装飾子

SuperSQLでは関係データベースにより抽出された情報に, 文字サイズ, 文字列の出力領域(セル)の横幅, セル内での文字列の位置などの情報を付加できる.

これらは装飾演算子@¥{装飾指定式¥}によって指定することができる.

装飾指定式は(項目名 = 値)として指定する. 複数指定するときは各々を","で区切る. 例えば, 科目名の背景を赤にして, セル内の中央に文字列を配置したい場合は以下のように記述する.

```
[ チーム名@{bgcolor=red, width=100}!  
  [ 選手名 , ポジション ]!  
 ]!
```

## 2.2 ACTIVIEW

ACTIVIEW[6]は, 関係データベースとWWWの連携システムである SuperSQL の基礎の上に開発したアダプテーション技術であり, SuperSQL が特徴とするデータベースの出力の多彩なレイアウト機構を応用している.

ACTIVIEW では, 3つの基本ルールを定め, これらのルールを適用し, ユーザ環境に最適化されたレイアウトの生成ができる.

ACTIVIEW を利用することで, 元の間合せ文から検索されたフラットなデータテーブルから, 同じデータであってもレイアウトの表示される画面の大きさに応じて動的に変化したレイアウト結果の提供が可能になる.

ACTIVIEW の間合せ文は, 出版メディア指定がACTIVIEW であるのみで, SuperSQL のクエリーと同じ書き方である.

### GENERATE ACTIVIEW

```
[ o.year@{width=60}, t.group@{width=40},  
  t.name@{width=150}, p.name@{width=300¥},  
  p.birth@{width=150}, p.pisition@{width=50},  
  p.clubs@{width=250}, p.height@{width=70},  
  p.weight@{width=60}  
 ]!
```

```
FROM play p, team t, openyear o  
WHERE t.teamid = o.teamid and  
       o.year = 2006 and t.id = p.teamid
```

ACTIVIEW の間合せ文は, フロントエンドが受け取ったユーザ表示画面サイズの情報を基に, 適応化処理部によってユーザ表示環境の画面サイズに適応するように変換される. 変換の手法は以下に示す.

(1) フロントエンドからユーザ表幅の値 (表示画面サ

イズ) を受け取る.

- (2) TFE 各構成要素の幅の情報と, 装飾情報の“幅”に関する情報が混在する式 (レイアウト式とサイズ情報) を作成し, 表の幅を計算する.
- (3) ユーザ表幅の値と比べ, 表の幅が大きければ, %以下に述べる変換ルールに従いクエリーを変更する. 本論文で提案するレイアウト変換ルールに従いクエリーを変更する.
- (4) ユーザ表幅の値と比べ, 表幅が小さくなるまで, (2) (3) を繰り返す.

この流れの処理によって, レイアウトは変換され, 閲覧者の表幅に応じた HTML 文を生成する.

## 3. 統計的なデータの分析

本研究では, サイト作成者が定義した ACTIVIEW 間合せ文から抽出した通常の SQL 文をデータベースへ問い合わせた結果の統計情報の分析によって, ACTIVIEW 間合せ文の構造化を決定する.

### 3.1. 代表属性

図1のように定義されているデータベースに対し, 問合せたデータベース検索結果は, 図2のような平坦なデータテーブルを返す. しかし, SuperSQL 間合せ文では反復子を指定することで, データベースの値があるだけ繰り返し表示できる.

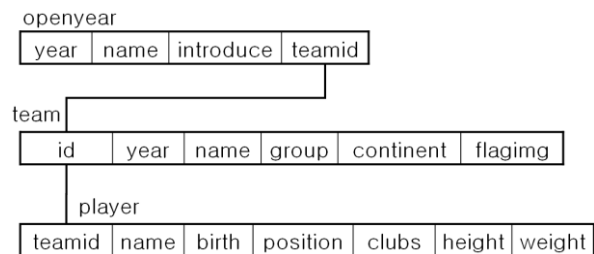


図1 データベースのテーブル Schema

group	name	name	birth
A	England	Paul ROBINSON	15/10/1979
A	England	NEVILLE	18/02/1975
A	England	Ashley COLE	20/12/1980
A	England	Steven GERRARD	30/05/1980
A	England	Rio FERDINAND	07/11/1978
A	England	John TERRY	07/12/1980
A	England	David BECKHAM	02/05/1975

図2 通常間合せ文によるデータベース検索結果

次のように通常の間合せ文に SuperSQL の TFE を指定すると, 「グループ名」と「チーム名」に構造化された表が生成できる (図3).

通常の間合せ文:

```
SELECT t.group, t.name, p.name, p.birth  
FROM team t, player p  
WHERE t.id = p.teamid
```

ACTIVIEW の間合せ文:

```

GENERATE ACTIVIEW [ t.group ,
                    [ t.name , [ p.name , p.birth ]
                    ]! ]!
FROM ...

```

A	Germany	Jens LEHMANN	10/11/1969
		Marcell JANSEN	04/11/1985
	...	...	...
B	England	Paul ROBINSON	15/10/1979
		...	...
	...	...	...

図 3 構造化された表

このように、構造化された表を生成するためには、通常の間合せ文から、どの属性を従い分類するかを決める必要が生じる。

この例を見ると、「チーム名」は「グループ名」に構造化され、「選手名」と「誕生日」は、「チーム名」に構造化されている。

「チーム名」属性では同じ値（チーム名）が重複して出現していき、「チーム名」属性のように重複して出現する値を持つ属性の値は、同じ値同士に纏めて表示できる。

**定義 1** 重複して出現する問合せ結果の値を持つ属性を代表属性 ( $A_R$ )、ある問合せ文 ( $Q$ ) の結果から抽出される代表属性の集合を代表属性集合 ( $S_{AR}(Q)$ ) とする。代表属性以外の属性は通常のデータを持つ属性だと判断し、データ属性とする。

**定義 2** ある属性  $A_X$  の問合せ結果値から重複して現れる値を代表値 ( $V_R(A_X)$ ) とし、これらの値の集合を代表値集合 ( $S_{VR}(A_X)$ ) とする。

例では、「チーム名」と「グループ名」属性が代表属性になり、

$$S_{AR}(Q) = \{ \text{チーム名}, \text{グループ名} \}$$

と示される。

### 3.2. 表属性の抽出

サイト作成者が定義した問合せ文を問い合わせた結果から、自動的に代表属性を抽出するのは、属性の結果値における重複した値が出現しているかを探ってみればできる。

**定義 3** ある属性  $A_X$  における、ある値がどれだけ重複して出現しているかを示すことをインスタンス代表度 ( $D_R(A_X)$ ) とする。

ある属性 ( $A_X$ ) の問合せた実際の結果値の集合を  $S(A_X)$  とすると、インスタンス代表度  $D_R(A_X)$  は、次のように表される。

$$D_R(A_X) = |\text{distinct}(S(A_X))|$$

すなわち、代表属性集合の数と同じになる。尚、ある属性 ( $A_X$ ) が代表属性であるかを判断する関数  $P_I(A_X)$  は、代表度を用いて、次のように定める。

$$P_I(A_X) = 1 - D_R(A_X) / S(A_X)$$

**定義 4** ある属性における、問合せした結果値がインスタンス代表度によって、集約される割合を集約率とする ( $P_I(A_X)$ )。

図 3 の各テーブルから、2006 年 World Cup 時のデータを問い合わせた結果を用いて、インスタンス集約率を抽出してみる。この集約率を基に、代表属性を定めることができる。次の問合せ文は、「チーム」テーブルに対し、32 個の結果 tuple を返還した(毎年、32 チームが参加)。

問合せ文 1 :

```

SELECT t.name, t.group, t.continent,
       flagimage
FROM   team t, openyear o
WHERE  t.id = o.teamid and
       o.year = 2006

```

問合せ結果、「name」属性の代表度は 32 であった。これは、同じ名前を持つ選手は一人もなかったことに起因する。

「name」属性の集約率  $P_I(A_{name})$  は  $1-(32/32)$  によって 0 になる。「flagimage」属性の集約率も 0 になった。

集約率が 0 である意味は、重複される結果値が 1 つもないことで、この属性に対しては構造化できない。

したがって、代表属性にはならない。

「group」属性は 8 の代表度を持って (Group A から Group H までである)、集約率は  $1-(8/32)$  によって 0.75 になる。同じく、「continent」属性の代表値集合 ( $S_{VR}(\text{continent})$ ) は「Africa, Asia, Europe, North and Central America, South America」の 5 つになって、代表度も 5 になり、集約率は 0.84 になる。

これらによって、問合せ文 1 の代表属性集合  $S_{AR}(Q)$  は

$$S_{AR}(Q) = \{ \text{group}, \text{continent} \}$$

になる。

### 3.3. 代表属性間の相関

集約率が高いほど、問合せ結果値に対する代表値の集約率が高い。この結果によると、集約率が高い「continent」に対し、構造化することが正しいと判断される。

しかし、集約率が高いだけで正しい代表属性になるのかを議論するべきである。

#### 3.3.1 同一テーブル

まず、問合せ文の結果が 1 つのテーブルのみ関係している場合の代表属性間の相関を調べる手法について述べる。「チーム」テーブルに対する問合せ文のように、「選手」テーブルに対しても、以下に記す問合せ文を通じて、

2006年 World Cup に参加した選手に対するデータの収集を試みた。

問合せ文 2 :

```
SELECT p.name, p.birth, p.pisition,
       p.clubs, p.height, p.weight
FROM   play p, team t, openyear o
WHERE  t.teamid = o.teamid and
       o.year = 2006 and t.id = p.teamid
```

例の問合せ文から見るように、問合せした結果は「選手」テーブルのデータのみ関係している。この問合せ文に対し、736個の結果 tuple が返還された (32 チームで各チームに 23 名の選手)。問合せ結果から分析した各属性の代表度と集約率は、

```
DR(Aname)=736,
PI(Aname)=1-736 / 736 = 0
DR(Abirth) = 691
PI(Abirth) = 1- 691 / 736 = 0.06$
. . .
```

となる。

「name」と「birth」は 0 に近いので、代表属性にはならないと判断できる。このテーブルから代表属性になれる代表属性集合は {position, clubs, height, weight} となる。「選手」テーブルのだけを調べると、この 3 つの属性が代表属性になり、これらの属性に従い、構造化されるべきである。しかし、「height」、「weight」の属性で構造化するのが正しいかは疑問になる。テーブルの各属性間の関係性を計算することで、この問題を解決する。

### 3.3.2 属性間の相関

例の問合せ文 2 で用いた「選手」テーブルの各属性に関する相関を調べる。テーブルの各属性に関する相関の調べは、テーブルから取り上げられた代表属性を対象にする。

まず、「teamid」の代表度と集約率は、

```
DR(Ateamid) = 32
PI(Ateamid) = 1- 32 / 736 = 0.96
```

であり、代表属性になる。各属性の間の包含関係を調べることで、どの属性に対し、構造化できるかが調べられる。

「teamid」は 32 個の代表値 (チームの数) を持っている。

1 つの代表値に対し、「birth」属性の結果値の中からは平均 23 個の値が包含されている。これは、「teamid」属性の 1 つの代表値に対し、「birth」属性の結果値との集約率が 0 になる場合である。

実際のデータから調べると、同じチームに同じ誕生日も持つ選手は 4 人しかいなかった。これは、「teamid」属性に対し、「birth」属性が構造化されても、意味ないことである。

この結果により、「teamid」が問合せ文に用いされた場合には、「birth」属性は構造化しない。

しかし、「teamid」属性の 1 つの代表値に対し、

「position」属性の結果値の中からは平均 4 個 (DF, FW, GK, MF) の値が包含されており、これに対する集約率は 0.83 になる。他に、「clubs」、「height」、「weight」属性に対しては、0.5 前後の集約率を見せた。

「birth」属性から「teamid」属性との相関を調べると、1 つの「birth」属性の結果値に対し、ほぼ 1 つの値が与えられる。これは、1 : 1 の関係で構造化できない。

「position」属性から「teamid」属性に対する相関を調べると「position」属性の値 1 つに対し、23 個の「teamid」属性が与えられる。これは、反対で構造化すべきことを意味する。

**定義 5** 代表属性等は、互いに相関を調べ、包含関係を示す。例えば、A 代表属性の 1 つの結果値に対し、B 代表属性の値が多数関係されてある場合、A 代表属性に対して、B 代表属性や他の属性を構造化する。

今までの調べによると、「teamid」属性が用いされた場合は「position」属性を構造化することが一番効率でできであると判断する。

### 3.3.3 JOIN

問合せ結果が、同一テーブルの属性のみ関係している場合は、これらの属性の間の相関を調べられる情報が少ない。しかし、2 つ以上のテーブルが JOIN され、問合せ結果を取る場合は、これらのテーブルの間にも関連性が生じるので、属性の間の相関を調べられる情報が増える。

そして、JOIN するテーブルの統計情報も参考することで、属性等の相関性をより深く調べられる。問合せ文 3 は、通常の ACTIVIEW の問合せ文 (2. 2 節参照) から通常問合せ文を取り出したものである。

2006年 World Cup に参加したチームと選手に関する問合せ文である。

問合せ文 3 :

```
SELECT o.year, t.group, t.name, p.name,
       p.birth, p.pisition, p.clubs,
       p.height, p.weight
FROM   play p, team t, openyear o
WHERE  t.teamid = o.teamid and
       o.year = 2006 and t.id = p.teamid
```

まず、WHERE 節で JOIN されるテーブル情報を参考してみる。各テーブルの tuple の数を調べることでテーブル間の包含関係をある程度調べられる。「team」と「player」テーブルの全インスタンス数を比べてみるとは「team」テーブルの全インスタンス数 360 であり、「player」テーブルに比べて非常に少ない。そして、2 つのテーブルは WHERE 節によって、関係されている。これらから判断すると、「player」テーブルは「team」テーブルに包含されているとする。

**定義 6** 互いに関係されているテーブルは、全インスタンス数が少ない側が多い側を含んでいるとする。

## 4 ACTIVIEW の問合せ文の構造化

本章では、3 章で述べた、問合せ結果の統計情報を基

に **ACTIVIEW** の問合せ文の構造化について述べる。**ACTIVIEW** では、出力メディアとして **HTML** を想定し、**HTML** における構造決定を考えるため、以下では **TFE** を追加することを中心に考える。**FROM** 句、**WHERE** 句については基本的に最初の実験に用いられた通常の **SQL** のものを利用する。**ACTIVIEW** における、閲覧者の表幅に適応した **Web** ビュー（以下、レイアウト）の提供に関しては様々な手法が研究されている。しかし、本研究では、従来の単純に、閲覧者の表幅に縮められるレイアウトの提供ではなく、各属性間の関係性を求めたレイアウトの提供を目指す。そのため、まず、問い合わせた結果の統計的な分析による、構造化を行い、構造化された問合せ文に従い、閲覧者の表幅に適応したレイアウトを提供する。

#### 4.1 反復子の適用

2.1.1 節で述べたように **SuperSQL** の問合せ文は結合子と反復子によって構造化される。**ACTIVIEW** の問合せ文は出版メディア指定が **ACTIVIEW** であるのみで、**SuperSQL** と同じ書き方である。まず、3.3 節で述べた、各属性の関係性に基き、反復子を指定する。

反復子を指定より、各属性の間に包含関係が指定できる。3.3.2 節の属性間の相関を従い、問合せ文 3 への反復子の指定について述べる。

まず、「**player**」テーブルからは、データ属性である「**p.name**, **p.birth**, **p.clubs**, **p.height**, **p.weight**」等は代表属性「**p.position**」、に以下のように構造化される。

```
p.position [ p.name, p.birth, p.clubs, p.height,
             p.weight ]!
```

続いて、3.3.1 節と 3.3.3 節のテーブル間の **JOIN** を基づく手法に従い、反復子を指定した問合せ文を以下に記した。

```
[ o.year,
  [ t.group,
    [ t.name,
      [ p.position,
        [ p.name, p.birth,
          p.clubs, p.height, p.weight
        ]!
      ]! ]! ]! ]!
```

#### 4.2 スタイルを確認する方法

ニュースデータなど、本文や詳細項目まで一度に表示してしまうと視認性が低下してしまうのである。したがって、単純に外側で集約するためにリンクを用いるのではなく、意味的に分割可能なところでリンクを作り、詳細情報をその先に表示するという手法も検討する必要がある。

本研究では、反復子の前にリンクを指定する。

それは、統計データに従って構造化された問合せ文は、各要素の包含関係を反復子で指名しているため、反復子の前の属性と、反復子に含まれて次に現れる属性の関係が他の属性より強いと判断するからである。以下の問合せ文の選手の情報は、「**p.position**」からリンクされたレイアウトで提供される。

```
[ o.year ,
  [ t.group ,
    [ t.name ,
      [ p.position %
        [ p.name, p.birth,
          p.clubs, p.height, p.weight
        ]!
      ]! ]! ]! ]!
```

## 5 実験と考察

ここでは、本システムの有用性を検証するための実験と評価について述べる。

### 5.1 実験方法

従来の手法と比べ、データベースに問合せした結果を、統計的に分析したデータを用いて構造化し、**ACTIVIEW** を実現する手法が、閲覧者に、より適応されたレイアウトを生成ができる事を証明する。そのため、元の問合せ文に対し、従来のルールの適用した手法と、統計的な分析により構造化された問合せ文にルールを適用する両方について実験を行う。本実験では、図 1 を基に、2 つの手法に対し、5.2 節の実験用の問合せ文を用いて、生成されるレイアウトの比較を行う。

### 5.2 実験による比較

閲覧者の表幅に適応可能なレイアウトを作成するため、従来の手法は問合せ文に現れる要素の順通にルールを適用するか、元の問合せ文から生成可能なレイアウトのパターンを生成し、あのパターンに対し、ルールを適用するなどの手法を取っている。元の問合せ文の表幅は 1180 である。したがって、1180 以上の表幅を持つ閲覧者環境では **ACTIVIEW** 処理は起こらない。本研究で提案した手法に従って、以下実験用の問合せ文を構造化すると、構造化された問合せ文になる。

実験用の問合せ文：

```
GENERATE ACTIVIEW
[ o.year@{width=60}, o.name@{width=200},
  t.group@{width=40}, t.name@{width=200},
  t.flaging@{width=50}, p.name@{width=300},
  p.birth@{width=150}, p.pisition@{width=50},
  p.height@{width=70}, p.weight@{width=60}
]!
FROM play p, team t, openyear o
WHERE t.teamid = o.teamid and
      o.year = 2006 and t.id = p.teamid
```

構造化された問合せ文：

```
GENERATE ACTIVIEW
[ o.year@{width=60}, o.name@{width=200},
  [ t.group@¥{width=40¥},
    [ t.name@¥{width=200¥}, t.flaging@{width=50},
      [ p.name@{width=300}, p.birth@{width=150¥},
        p.pisition@{width=50}, p.height@{width=70},
        p.weight@{width=60}
      ]! ]! ]! ]!
```

## FROM ...

閲覧者の表幅が 600 の場合、従来手法と提案手法によるレイアウト結果を図 4 に示す。従来の手法で生成されたレイアウトが、提案手法によって生成されたレイアウトより閲覧者の表幅最適化されているが、要素間の関係性が見えない。それに比べて、提案手法閲覧者に見やすいレイアウトを生成しながら、誤差範囲内のレイアウトを提供している。実験での誤差範囲は 10% にした。

図 5 は、閲覧者の表幅が 900 の場合のレイアウト結果である。提案手法では、880 の幅を持つレイアウト結果を生成した。従来の手法の中、元の問合せ文からレイアウト結果を生成する際、ルールを適用する対象として、元の問合せ文から生成可能な全パターンを対し、ルールを適用した結果のレイアウトである。

## 6 考察

生成可能なレイアウトのパターンを生成した後、ルールを適用する手法は、閲覧者の表幅に最適化された表幅を持つレイアウト結果の生成は可能だったが、要素それぞれの関係

(a) 提案手法

2006	Germany	A	Germany	
			Poland	
			Ecuador	
			Costa Rica	
		B	England	
			Trinidad and Tobago	

(b) 従来の手法

2006	Germany	A	Germany	
Paul ROBINSON		15/10/1979		GK
193	90			
Gary MEVILLE		18/02/1974		DF
178	72			
Ashley COLE		20/12/1980		DF

図 4 閲覧者の表幅が 600 の場合

(a) 提案手法

2006	Germany	A	Germany	
			Poland	
			Ecuador	
			Costa Rica	
		B	England	
			Trinidad and Tobago	

(b) 従来の手法

2006	Germany	A	Germany	
Paul ROBINSON		15/10/1979		GK
193	90			
Gary MEVILLE		18/02/1974		DF
178	72			
Ashley COLE		20/12/1980		DF

図 5 閲覧者の表幅が 900 の場合

に関しては関連性を持つことができなかつた。問合せ結果に対する、統計的なデータ分析によって、各要素間の関係性を求めることで、データを意味的に分割可能な場所で分割して別々に表示することは視認性向上のためにも望ましいと言える。本研究の提案手法によって、意味性を持つ要素の分類が可能になったと考えられる。そして、ACTIVIEW の適用による、閲覧者の表幅に適用したレイアウトを動的に生成する際も、意味的に関係ある要素等の集合で、レイアウトの再構造が可能になった。

結果に対する、統計的なデータ分析によって、各要素間の関係性を求めることで、データを意味的に分割可能な場所で分割して別々に表示することは視認性向上のためにも望ましいと言える。

本研究の提案手法によって、意味性を持つ要素の分類が可能になったと考えられる。

そして、ACTIVIEW の適用による、閲覧者の表幅に適用したレイアウトを動的に生成する際も、意味的に関係ある要素等の集合で、レイアウトの再構造が可能になった。

## 7 おわりに

本稿では、SuperSQL の TFE 指定で、構造化されていない ACTIVIEW 質問文の問合せ結果における統計的性質を定義し、それに基づいて自動的に構造化を行う手法を提案した。結果データの統計的な分析によって、各要素間の関連性、すなわち、意味性を探し出す手法を提案した。提案手法によって、ACTIVIEW システムは、閲覧者により見やすく妥当な構造を決定することができた。今後は、統計データ以外、データベースの Schema 情報を用いたレイアウトの変換や、閲覧者の意思が反映可能な問合せ文の構造化手法などを中心に研究を進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] Papastavrou, S, “Mobile agents for World Wide Web distributed database access,” IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, Vol. 24, Issue. 11, pp. 802–820, 2000.
- [2] Z. Xinwen, J. Won, G. Simon and K. Anugeetha, “Elastic HTML5:Workolad Offloading Using Cloud-Based Web Workers and Storages for Mobile Devices,” Mobile Computing, Applications, and Services, Vol. 76, Part. 8, pp. 373–381, 2012.
- [3] M. H. Qusay, Z. Shaunr and N. Thanh, “Integrating Mobile Storage into Database Systems Courses,” SIGITE’12, 2010.
- [4] H. Zef and V. Eelco, “Declaratively programming the mobile web with Mobl,” OOPSLA’11, pp. 695–712, 2011.
- [5] Y. Maeda, and M. Toyama, “ACTIVIEW : Adaptive data presentation using SuperSQL,” Proc . VLDB , pp.695-696, 2001.
- [6] S. G. Shin, “ACTIVIEW : Implementation of Adaptive Web View Using SuperSQL,” The 6th International Conference on Informatics and Systems, 2008.





# ラスト・モダンにおける近代化の「圧縮」戦略（発展戦略） —開発主義と二つの共発主義—

前田 充 浩\*

## Developmental Strategies, as 'Compressing' Methods of Modernization in the Last Modern Era: Developmentalism and Two Models of Co-developmentalism

Mitsuhiro Maeda\*

### Abstract

The main purpose of this study is to classify models of valid developmental strategies which will be adopted by developing economies in the 21st century. The strategy of 'developmentalism' had been adopted by Japan and some of the East Asian economies, and shown remarkable success in the latter half of 20th century. In the 21st century, however, many successful cases of socio-economic development could not be properly explained by the model of 'developmentalism'. Studies of Info-sociomics show a new model of 'co-developmentalism' to explain mechanism of recent successful cases. This study shows two models of 'co-developmentalism', the Washington Model, based on the Washington Consensus compiled in 1989, and the Connectivity Model, typically seen in ASEAN's policies toward ASEAN Connectivity 2015. International organizations/networks, other governments, research institutions have been collaboratively promoting various connectivity policies and producing synergetic effects among them. APEN (Asia Professional Education Network) has been playing significant roles in this area.

Keywords: reflexive modernization, developmentalism, co-developmentalism, connectivity, APEN

### 1. 問題の所在

1989年の東西冷戦集結以降、それまで計画経済制度を採っていた多くの諸国が市場経済化に取り組み、移行経済圏諸国と呼ばれることとなった。爾後約四半世紀、それら移行経済圏諸国の経済成長には大きな跛行性が見られ、順調に経済成長が進んだ諸国と失敗した諸国の格差が広がっている。

本研究は、幾つかの移行経済圏諸国が経済成長に成功した重要な要因の1つはそれら諸国政府が適切な発展戦略を採用をしたことであるという前提に立ち、その発展戦略の内容を検討し、モデル化を試みるものである。

20世紀後半以降の世界システムにおける重要課題の1つは、発展途上国の開発、すなわち「貧しい」発展途上国において順調な経済成長を推進し、相当程度の「豊かさ」を実現することであると言える。その実現のためには、それぞれの発展途上国が、発展戦略とここで呼ぶ基本的な方針の下に、各般の政策を包括的、システムティックに策定し、推進していくことが必要になる。今日の世界システムにおける重要課題の1つは、発展途上国に対して、有効に機能する適切な発展戦略を提示することであると言える。発展途上国の経済成長の正否は、多分に、政府が適切な発展戦略を採用できるかどうかによって決まってくる。移行経済圏諸国とは、1989年以前

において、計画経済制度（または、それを包含する政治体制としてのマルクス・レーニン主義）という制度を採用したがゆえに経済成長に失敗していた諸国、と見ることもできる。

なお、後に見るように本研究の整理では、発展戦略とは工業化による経済成長を進めるための方法に関する概念であるため、計画経済制度自体は発展戦略ではない。したがって、計画経済制度を異なる発展戦略の下に推進することはあり得る。しかしながら、歴史が示すところでは、どのような発展戦略の下にあるとしても、計画経済制度という制度を採用する限りにおいては順調な経済成長はあり得なかったと言える。

問題は、移行経済圏諸国が1989年以降に採用した発展戦略の内容である。計画経済制度を採用する選択肢が事実上消滅した20世紀末の世界では、市場経済制度の枠組の中に存在する多様な発展戦略の中のどれを採用するかによって爾後の経済成長の正否が大きく変わることになる。

本研究では、第1に、発展途上国が自国の経済成長のために採用する発展戦略を類型化し、その内容を整理する。20世紀末以降、実質的な選択肢として発展途上国に提示された発展戦略としては、開発主義及び情報社会学で言う共発主義の2つが考えられる。それらの特徴と有

Received on September 25, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

効性を分析する。

第2に、20世紀末以降の時期に経済成長に成功した移行経済圏諸国として、1990年代にASEANに加盟した4か国（カンボジア、ラオス、ミャンマー及びベトナム）を採り上げてそのケース・スタディを行い、それら諸国の経済成長を導いた発展戦略を検討する。

なお、これら4か国のASEAN加盟は、1994年7月のASEAN外相会合で決定され、この決定に基づき、1995年7月28日にベトナム、1997年7月23日にミャンマー及びラオス、1999年4月30日にカンボジアが、それぞれASEANに加盟した。

第3に、そのケース・スタディの結果として、共発主義の中に2つの類型が存在し、新しい類型の共発主義が発展途上国の経済成長に大きな効果を持ち、さらにその類型の共発主義の推進においては、発展途上国政府のみならず国際社会の多くの主体が協働し、重畳的な効果を発揮している可能性があることを示す。

## 2. 再帰的近代化と発展戦略

### 2.1. 前史としての開発主義

近代化戦略の有する効果とは、突き詰めると、工業化を短期間で成功させること、すなわち工業化に必要なとされる期間を「圧縮」することであると言える。

今日、工業化の進展の度合いを計測する指標としては、一人当たりGNIを用いることが一般的である。OECD、世界銀行等においては、世界の国家を概ね一人当たりGNIが10,000ドル程度で線引きし、それ以上の国家を先進国、以下の国家を発展途上国とする分類が行われている（注1）。すなわち工業化の「圧縮」とは、現時点において一人当たりGNIが10,000ドルを大きく下回る諸国が、短期間のうちに10,000ドルに近づく、またはそれを超える状態を実現することであることになる。1990年代に市場経済化に取り組んだ移行経済圏諸国について見ると、一部の資源産出国を除いて、各国の一人当たりGNIは10,000ドルに大きく及ばない水準にあった。「圧縮」は、これら諸国にとって極めて重要な問題であったと言える。

1990年代の移行経済圏諸国にとって採用可能であった発展戦略としては、以下のものを挙げることができる。第1の選択肢は、開発主義である。これは第2次世界大戦後、主として1950年代から1980年代にかけて日本が採用して大きな効果を上げ、1960年代以降、程度の差はあれアジアNIEs（韓国、台湾、香港及びシンガポール）において採用されてこれもまた大きな効果を上げ、1980年代以降では、幾つかのASEAN諸国においても採用されて効果を上げつつあったものである。

日本、アジアNIEs及び一部のASEAN諸国は、いわゆる雁行型発展を構成するところ、それら諸国は、単に経済成長が順番に軌道に乗っていったという事実のみならず、発展戦略においても大きな共通性を持つ、すなわち程度の差はあれ開発主義を採用したものとして捉えることが適切である。その共通性を、村上泰亮は、村上泰亮[1992]において、開発主義のモデルとして提示した。すなわち、「開発主義とは、私有財産制と市場経済（すなわち資本主義）を基本枠組とするが、産業化の達成（すなわち一人当り生産の持続的成長）を目標とし、それに役立つが、市場に対して長期的視点から政府が介入することも容認するような経済システムである。開発主義は、明らかに国家（あるいは類似の政治的統合体）を

単位として設定される政治経済システムである。その場合、議会制民主主義に対して何らかの制約（王制・一党独裁制・軍部独裁制など）が加えられていることが多い。」（村上泰亮[1992]下p5-6.）

筆者は前田充浩[2011]において、このように整理された開発主義をさらに2つの類型、すなわち弱い開発主義と強い開発主義の2つの類型を考えることを提案した。

弱い開発主義とは、「国家の経済成長にとって重要な産業をターゲティングし、そのターゲティングされた産業に対して補助金、技術開発支援等の支援措置を講じることである。ターゲティングされた産業、それへの支援の方法等については、国家開発〇〇年計画等と呼ばれるNIS（国家イノベーション・システム：National Innovation System）という文書にまとめられ、発表されることが多い。」（前田充浩[2011]p57）。

強い開発主義とは、アSEMBリー系製造業のような平均費用減局面が広く現れる産業を主導産業とする場合に市場の失敗を避けるために有効な発展戦略である。平均費用減局面が広く現れる産業では、当面は生産規模を拡大することがコスト削減をもたらすため、全ての企業にとってのナッシュ均衡は、生産規模を拡大するための設備投資を行うことになる。一方、需要には限度があるため、そのナッシュ均衡の結果は、過剰生産により多くの企業が倒産し、その後独占または寡占が発生することである。このような市場の失敗を避け、それぞれの企業が長期的な戦略に基づいた研究開発を適切に進め、かつ企業間の適切な競争が実現する状態を政府の政策によって実現しようとするのが強い開発主義である。端的には、行政指導という法律に基づかない方法で政府が市場に介入し、参入規制及び設備投資規制を行うことにより、業界毎に適切な数の企業による適正競争を進めさせるというものである。

このような開発主義は、1950年代の日本を嚆矢に多くの諸国で大きな成果を上げたため、1990年代の移行経済圏諸国にとっても有力な選択肢と成り得た。日本政府にとっては、世界の移行経済圏諸国の多くが開発主義を採用するならば、日本のそれら諸国への影響力が増大するため、その積極的な普及を進めた。その経緯については前田充浩[2011]で分析したところであり、その要旨を述べると以下のようなことである。

1993年、日本政府（通商産業省）は、「ASEAN産業高度化ビジョン-産業政策のススメ」（通商産業省[1993]）と題された文書をとりまとめ、日ASEAN経済閣僚会議（AEM-MITI）で発表した。これを受けて日ASEAN経済閣僚会議は、ASEAN諸国が同文書で示された内容の政策を採用していくことを決定し、日本政府（通商産業省）は、ASEAN主要国とその政策を検討するための次官級政策対話のプラットフォームを幾つか設置した。この文書の副題で言う「産業政策」とは、日本が実施してきた開発主義に他ならない。尤も、1993年の決定を受けて次官級政策対話が設置されたのはタイ、マレーシア、インドネシア及びフィリピンであり、移行経済圏諸国ではなかった。

1994年には、日本とASEANの共同により、日ASEAN経済閣僚会議の常設機関として「カンボジア・ラオス・ミャンマー産業協力ワーキング・グループ」が設置された。これは、カンボジア、ラオス及びミャンマーに対して市場経済制度への円滑な移行を促すためのさまざまな協力を推進するプラットフォームとして機能したのみならず

らず、それら諸国に対して開発主義を普及させる手段としても機能したものと見ることができる。

折しも 1993 年には、世界銀行が「東アジアの奇跡」と題された報告書（世界銀行 [1993]）を発表し、開発主義の根幹である、審議会等を用いた国内ステークホルダーのコンセンサス形成に対してプラスの評価を行った。

日本政府は、中央アジアの移行経済圏諸国に対しても、開発主義の普及を行った。1990 年代には、キルギスタン、カザフスタン、ウズベキスタン及びトルクメニスタンに対して円借款の供与を開始し、その政府間協議において、円借款供与の事実上の条件の 1 つとして、ある種の開発主義的政策の採用を推奨した。

また日本政府は 1993 年に TICAD（アフリカ開発会議：Tokyo International Conference on African Development）を開始し、アフリカ諸国に対して開発主義を普及するプラットフォームを得た。

JICA（国際協力機構：Japan International Cooperation Agency）は、1990 年代を通じて世界の移行経済圏諸国の政府の行政官を日本へ招き、開発主義を教える多くのセミナーを開催した。大学でも、例えば政策研究大学院大学は、1990 年代末から 21 世紀にかけて開発主義の講座を置き、世界の移行経済圏諸国の財務省または中央銀行の行政官に対して開発主義の教育を行った。

一方、21 世紀の今日においては、開発主義は世界の移行経済圏諸国で広く採用されたとは言い難い状況にある。その理由については、以下のように考えられる。すなわち、すでに村上泰亮が 1991 年に指摘しているように、開発主義、特に強い開発主義が成立するためには幾つかの重要な前提があり、移行経済圏諸国の多くにおいてはその前提を満たすことが困難であったためである。

最大の問題は、強い開発主義が成立する重要な前提である政府と民間部門との間の特別な信頼関係が移行経済圏諸国の多くでは実現不可能であったことである。強い開発主義の根幹は、民間企業の設備投資抑制であり、それを政府は、法律に基づかない行政指導という方法によって実現する。民間企業は、政府の行政指導に服して、短期的にはコスト削減、利益の増大をもたらす設備投資を断念するのである。そのためには、民間企業が、政府は業界全体の発展のために合理的な判断をしており、政府の行政指導に従うことは、短期的には設備投資の断念で不利益を被るとしても、長期的には自社の利益になると信頼することが不可欠となる。世界銀行が分析した審議会制度も、このような信頼関係の醸成に大きな効果があると見られる。

移行経済圏諸国が「移行」する前、計画経済制度を採用していた時期には、設備投資の決定は、政府が行い、政府が企業にそれを命令した。一方市場経済制度の導入により政府はそのような命令権限を失い、設備投資は企業の判断により行われることとなった。このような歴史的経緯を経ている移行経済圏諸国において、法律に基づかず相互の信頼関係に基づいて整備投資の断念を促す制度は、運営がきわめて困難であったと言える。

ASEAN の移行経済圏諸国について見ると、1986 年にドイモイを開始したベトナムは、多分に開発主義を中核とする発展戦略を採用したと見ることができる（注 2）。一方、他の諸国（カンボジア、ラオス及びミャンマー）については、1993-1994 年頃の日本政府の目論見には反して、21 世紀において、それら諸国が日本型の開発主義

を発展戦略の中核に据えているとは到底判じ難い。一方、それら諸国は 21 世紀に入ると、いずれも高い経済成長を遂げつつある。その発展戦略は、開発主義とは別のものである可能性が高い。

## 2.2. 共発主義（Co-developmentalism）

21 世紀においては、世界中で、移行経済圏諸国のみならず、数多くの発展途上国が急速な経済成長を遂げつつある。これら諸国の発展戦略に関する分析、モデル化の作業も進んでいる。

情報社会学の創始者である公文俊平は、近代開始以来の数百年間の歴史を俯瞰し、1550 年以降の近代における国家化の局面を、以下の 5 局面で捉えている。情報社会学で言う国家化の局面とは、国家の主要な役割の 1 つとして経済成長の促進を取り上げるならば、国家単位で経済成長を効率的に推進するための体制の構築として捉えられるため、発展戦略のある面を指す概念であると見ることができる。なお、それぞれの局面の末期には、新たな局面との重畳が発生するため、時期が重複する。

第 1 に、概ね 1550 年から 1700 年にかけての期間は、絶対王政という制度が国家化の主要な方式として用いられた。第 2 に、概ね 1650 年から 1800 年にかけての期間は、立憲君主政という制度が国家化の主要な方式として用いられた。第 3 に、概ね 1750 年から 1900 年にかけての期間は、民主共和政という制度が国家化の主要な方式として用いられ、それは世界標準となり、今日の世界にも大きな影響を保持している。

第 4 に、1850 年から 2000 年にかけての期間に世界で幅広く採用された国家化の方式として、開発主義を挙げた。開発主義とは、後発国における「圧縮」、すなわち短期間に一人当たり GNI を大きく高めるために、政府が市場に広範に介入する等大きなイニシアティブを発揮する社会的な制度（国家化の方式）であることになる。この意味での開発主義は、19 世紀後半には、当時の英国、フランス等先発国に対して遅れて工業化を開始した後発国たるドイツ、日本が採用し、また 20 世紀に入ると、革命後のソ連も連なった（注 3）。さらに 20 世紀後半になると、雁行型に、アジア NIEs、中国、一部の ASEAN 諸国が連なった。

公文俊平の整理の特徴は、これらに加えて、第 5 の局面をモデル化していることである。すなわち、1950 年から（これまでの 4 つの局面がそれぞれ 150 年間であることを考えると、多分 2100 年まで）にかけての期間において主要な方式となる国家化の方式として、共発主義（co-developmentalism）を挙げている。

共発主義は、開発主義同様、「圧縮」に対応するための発展戦略であると捉えることができる。すなわち、絶対王政によっても、立憲君主政によっても、民主共和政によっても高い水準の一人当たり GNI を実現することができなかつた国家（後発国または発展途上国）が、短期間にそれを先発国と比べて遜色ない水準に高めようとした場合に採用する発展戦略である。

開発主義と共発主義の違いを、本研究では以下のように整理する。なお、このような整理の仕方は、開発主義を市場経済制度を前提とした場合に限定する村上泰亮の整理とは異なるものとなる。

基準は、経済成長（近代化の「圧縮」）のために必要とされる政策の策定と運営において、外国政府または国際機関等の関与を認める程度にある。開発主義は、基本的

に、自国政府、端的には自国民によって構成される行政機構がイニシアティブを採るものであり、外国政府または国際機関等の関与は限定的にしか認めないものである。共発主義は、逆に、外国政府または国際機関等の関与を広範に認め、自国民によって構成される行政機構が大きなイニシアティブを採ることに必ずしもこだわらないものである。

この結果共発主義を採用した諸国では、外国政府または国際機関等が策定した政策をそのまま採用し、またその実施においても外国政府または国際機関等が主導的な役割を果たす事態が広く見られることになる。公文俊平は、このような事態は、1950年以降、とりわけ21世紀の世界においては、例外的なものではなく、一般的なものになっていくと捉えている。

開発主義を採用した場合には、自国民による優秀な行政機構、いわゆるテクノクラート集団の育成のために長い時間を必要とする場合が多く見られることになる。すでに国内に優秀で、かつ自国の発展のために身を賭す高いモラルに支えられた人材が十分に存在していればテクノクラート集団を自国民「のみ」によって構成することは比較的容易である。20世紀後半、日本に続いて韓国、台湾の経済成長が世界の注目を集めた頃、これら諸国の成功の要因として「科举制度の伝統を牽く優秀なテクノクラート候補がすでに存在していたこと」を挙げる見方があった。なお、そのようなテクノクラート候補が存在していた場合においても、彼（女）達を本格的なテクノクラートとして育成するためには、留学をはじめ、相当のコストを使って教育、訓練を行うことが必要になる。

一方、発展途上国の中には、そのようなテクノクラート候補が十分に存在していない場合も少なくはない。内戦等により従来の政府が機能を果たさなくなったいわゆる「失敗国家 (failed states)」の場合には特に問題が大きい。ボル・ポト政権による知識人の大量虐殺が行われたカンボジアは、その典型例である。

これら諸国が新たに開発主義という発展戦略に基づいて経済成長を進めようとする、テクノクラート集団の育成に膨大な時間を要し、大きな困難に直面することになる。

一方世界では、すでに20世紀後半から、世界銀行、アジア開発銀行等のMDBs（多国籍開発金融機関：Multilateral Developmental Banks）、国際連合、OECD（経済協力開発機構：Organisation for Economic Co-operation and Development）等の国際機関、及び多くの先進国政府が、個別の発展途上国が採用すべきさまざまな政策を策定し、発展途上国政府にその採用を提案し、採用された場合には、その実施においても主導的な役割を果たすことが広く行われている。発展途上国は、それらの提案を受け入れ、必要な国内の手続きを採り、顧問を受け入れ、それら国際機関または先進国政府と定期協議の場を持つことになる。この方法により、当該発展途上国は、自国民によるテクノクラート集団の構築という作業を大きく簡略化しつつ、相当の経済成長を実現することが可能になる。

実際には、ある時期のある発展途上国の採用した発展戦略を、100%開発主義、または100%共発主義と峻別することは不可能であり、必ず両者の組み合わせとなる。一方21世紀において急速に経済成長を成功させつつある発展途上国の多くでは、共発主義と捉えられる要因が

大きくなっていると見ることができる。

ASEANの移行経済圏諸国に関しては、上記のように、ベトナムに関しては1986年以降独力でドイモイを推進したことから、相当程度開発主義の要因を読み取れる。一方、他の諸国（カンボジア、ラオス及びミャンマー）については、21世紀におけるそれら諸国の経済成長の成功は、多分に共発主義によってもたらされたものと見ることができる。

### 2.3. 共発主義と再帰的近代

共発主義は開発主義と比べて、すでに国内に潤沢なテクノクラート候補が存在している場合を除き、短い準備期間で高い経済成長、いわゆる「離陸」を実現することが可能であることになる。この利点ゆえに、20世紀後半、特に21世紀に入ってから多くの発展途上国が共発主義を中核とする発展戦略を採用し、経済成長を進めるようになってきていると見ることができる。

一方共発主義の欠陥として、以下のことを指摘することができる。

第1の欠陥は、開発持続性 (sustainability) の問題である。外国政府または国際機関等の提案する政策をそのまま採用し、かつその実施においても外国政府または国際機関等の大きな助力を得ることで、確かに「離陸」は可能であるとしても、それが継続し、先発国の水準（現時点でOECDの基準を参照するとすれば、概ね一人当たり10,000ドル。）に達することは容易ではない。

第2の欠陥は、選択の問題、すなわち数多くの外国政府または国際機関等がそれぞれ別々の提案を持って来る状況で、自国にとって最も適切な政策を正しく選択する能力の問題である。持ち込まれる提案の内容が大きく異なる場合には、この選択がその後の自国の経済成長の正否を決定することとなる。

この問題は、20世紀後半の東西冷戦期には、極めて重要な問題となった。発展途上国、特に新たに政治的独立を果たした発展途上国は、西側陣営から市場経済制度を、東側陣営から計画経済制度を提案された。多くの発展途上国においては政治的、心情的に、東側陣営の説得を聞く志向が生まれ易かった。新たに政治的独立を果たした発展途上国の宗主国は殆どが西側陣営の主要国であったことに加え、東側陣営の行った次のような説得、すなわち「発展途上国の人々が貧しいのは二重の搾取、すなわち国内で資本家が労働者を搾取し、また国際経済で先進国が発展途上国を搾取しているからであり、したがって貧困から脱するためにはこれらの搾取を停止させればよい。」とする主張が説得力を持ったためである。また計画経済制度は通常共産党一党独裁とセットで採用されたものであり、選挙によって権力の座を追われるおそれがないことは多くの発展途上国の権力者にとって魅力的なものであったと言える。

これらの要因により、実際に1960-1980年代には、多くの発展途上国が計画経済制度を採用した。一方、その経済的な帰結については言を待たない。

1990年代初頭、計画経済制度が選択肢として消滅した後、1990年代を通じて、市場経済制度の中にも様々な類型が存在することが知られるようになり、今日では(様々な市場経済制度間の) 制度間競争、と呼ばれる。世界の主要国は、それぞれ独特の内容の市場経済制度を構築し、運営している。さらにそれら主要国は、発展途上国に対して、自国の市場経済制度を基本とする政策を推奨して

いる。すなわち主要国間の制度間競争は、発展途上国に推奨する政策間競争をもたらしており、主要国は、発展途上国に対して自国の市場経済制度を基本とした政策を採用させる説得の競争（情報社会学の用語を用いるならば、「智のゲーム」）を展開していると見ることができる。

したがって 21 世紀において発展途上国は、様々な先進国が提案して来る様々な政策の中で、自国の経済成長を最も効率的に可能にすることになるものを正しく選択する必要があることになる。

その選択は、極めて難しいものとなる。特に共発主義の場合、発展途上国の国内では優秀なテクノクラート集団が育成されていないことが少なくはなく、その場合にはその困難さはさらに深刻なものとなる。上記のように 20 世紀後半の東西冷戦中は、政治的配慮が強く働き、その結果、経済合理性の観点からは必ずしも適切とは言えない選択が多くなされたと言える。この危険性は、今日においても同様に存在する。すなわち、共発主義を採用する発展途上国は、そもそも国内に優秀なテクノクラート集団が存在していないために外国または国際機関等の提案する発展戦略をそのまま採用しようとするものであるところ、優秀なテクノクラート集団を欠いた状態でその選択を行うことは極めて困難である、という問題である。これは、共発主義に関する原理的問題と見ることが出来る。

このような原理的問題が存在するにも関わらず、現実を見ると、20 世紀末以降、数多くの発展途上国が共発主義的な発展戦略によって急速な経済成長を成功させている。

この理由について、情報社会学では、再帰的近代化の考え方を以て以下のような説明を行う。再帰的近代化とは、ベック、ギデンス、ラッシュが Beck=Giddens=Lash [1994] で提示した概念である。再帰的近代化の概念について詳しく立ち入ることは避けるとして、発展戦略との関連では、20 世紀末以降の世界が再帰的近代化の局面に入っているという認識は、以下のような示唆をもたらす。

すなわち、発展途上国に提案される多くの発展戦略については、少なくともその主要な内容は、これまでどこかの国で実施され、その結果も観察可能になっていると見ることができる。それゆえ、発展途上国は、発展戦略の選択を、概ね以下のようなプロセスで進めることができ、それは、国内において優秀なテクノクラート集団の育成がなされていない状態でも、さほど困難なことではないと見ることができる。

第 1 に、提案された発展戦略の主要な内容（モジュール）を拾い出す。主要な内容は 1 つであるとは限らず、複数のモジュール組み合わせとなっていることもある。

第 2 に、それらモジュールが過去に実施された例を探し、経済成長の適切な成功を実現したかどうかを判定する。失敗した事例が多いモジュールを中核に据える発展戦略は、この時点で選択肢から外れることになる。

第 3 に、成功した事例が多いモジュールを中核に据える発展戦略について、その成功の事例と自国の現状とを比べ、決定的な相違の有無を判定する。自国の現状と全く異なる条件においてのみ成功が見られたものについては、慎重な対応が必要となる。一方、自国の現状との相違がそれほど大きくはない場合には、その発展戦略は自国の経済成長の適切な成功をもたらす蓋然性が高いものと見て、有力な選択肢として捉えることができる。

再帰的近代化の局面では、第 2 のプロセスにおいて、参照すべき事例が多数存在していることから、発展途上国にとって比較的容易に上記プロセスを進めることが可能となっている。これが、再帰的近代化の局面では、「失敗国家」を含む、国内に優秀なテクノクラート集団が育成されていない発展途上国が共発主義により適切に経済成長を進めることが可能となっている理由であると考えられる。

世界が再帰的近代化の局面に入る前の近代化の局面（注 4）においては、様々な理論に基づく様々な発展戦略が考案され、それらの中で選択が行われ、選択されたものが採用されていった。その選択において特に重視されたのは、理論の整合性であり、適切な経済成長を成功させるメカニズムに関する理論的説明が説得力を持つものが選択された。しかしながら、理論的説明が説得力を持ったものが、必ずしも現実に適切な経済成長をもたらしたわけではないことについては言を待たない。

### 3. 共発主義の制度間競争

#### 3.1. 共発主義のワシントン・モデル

以上のことから、確かに公文俊平の指摘するように、20 世紀後半以降、特に 21 世紀に入ってからは、多くの発展途上国が共発主義を基本とする発展戦略によって順調な経済成長を進めていると見ることができる。問題は、共発主義の中にも幾つかの類型が存在し、それら間での制度間競争、及び発展途上国に対してその採用を説得する競争（「智のゲーム」）が展開されていると考えられることである。

公文俊平が共発主義のモデルを示したのは、21 世紀に入ってからのことである（公文俊平 [2004]）。一方、共発主義を上記のように、「圧縮」への対応のために、発展途上国が、自国が採用すべき主要な政策の策定及び実施において、外国政府または国際機関等の強いイニシアティブを受け入れること、と捉えるならば、その事例は 20 世紀後半においても多く見ることができる。例えば、東西冷戦中、計画経済制度を採用した発展途上国に対してソビエト連邦は、それら諸国の共産党員たる行政官を自国または東ヨーロッパ諸国へ留学させてそれら諸国のテクノクラート集団の育成を進めるという開発主義的な支援も行う一方、それら諸国が採用する主要な政策をソビエト連邦の共産党が策定し、また実施においてもソビエト連邦共産党からそれら諸国へ派遣された顧問等が重要な役割を担うという共発主義の色彩の濃い形態の支援を積極的に行った。

それでは、1990 年代以降の共発主義は、どのような形態を採ったのだろうか。本研究では、1990 年代今日に至る期間には、以下のように 2 つのタイプの共発主義がそれぞれ推進されてきたと見る。

第 1 は、主として世界銀行及び IMF が中心となって企画立案し、移行経済圏諸国のみならず世界中の発展途上国に対して一様に推奨している共発主義である。その内容は、東西冷戦終結直前の 1989 年発表されたワシントン・コンセンサスに大きく依拠するものとなっていると言える。1989 年以降の情勢の変化、個別の発展途上国の事情等を反映して、実際に提案される内容には相応の差異が生じるものの、大枠はワシントン・コンセンサスの内容が維持されているものである。このような共発主義を本研究では、（共発主義の）ワシントン・モデルと呼ぶこととする（注 5）。

その内容を要約すると、以下のようになる。

ワシントン・コンセンサスは、1989年に米国（ワシントン D.C.）の国際経済研究所が発表した、発展途上国に採用させるべき主要な政策の柱として 10 項目を挙げたものである。10 項目は、財政赤字の是正、補助金カットなど財政支出の変更、税制改革、金利の自由化、競争力ある為替レートの設定、貿易の自由化、直接投資の拡大、国営企業の民営化、規制緩和、及び所有権法の確立である。1989年という時期が重要であり、東西冷戦終結が目前になった時点で、先進国による発展途上国への政策の提案という面において、東西冷戦後の世界の秩序を示そうとしたものであると見ることができる。

すなわちその主張するところは、徹底した市場メカニズムの重視、政府による市場メカニズムへの介入の排除であると言える。この意味では、村上泰亮の整理による開発主義の概念と対照的である。この整理では開発主義は、長期的な経済成長の観点から政府が市場メカニズムに介入することを肯定するモデルであるためである（注 6）。

一方、このワシントン・コンセンサスが要求するような制度構築が完了していることはまず考え難く、そのような制度構築のためには数多くの障害が存在していることが一般的である。したがって、ワシントン・コンセンサスに基づく政策を発展途上国が採用する場合には、政策の策定及びその実施において、相当程度強力で国際機関等のイニシアティブを容認せざるを得ない。この場合には、国内に優秀なテクノクラート集団を育成しようという動因よりも、政策の策定及びその実施の両面において、国際機関等への依存を強めようという動因の方が強く働く可能性がある。

移行経済圏諸国においては、計画経済制度においてゴスプランを実施してきた経験上、国内に相当の能力を持ったテクノクラート集団は存在するとしても、彼（女）達に、市場メカニズムを徹底的に重視した政策を策定、実施することを要求しても不可能である場合が多い。このため、1990年代前半においては、世界銀行等は多くの移行経済圏諸国に対する「処方箋」を策定し、それら諸国へは経済学者等が経済顧問として多く派遣され、その「処方箋」に基づく政策を実施し、急激な市場メカニズムの導入を進めた。「ショック療法」と呼ばれたものである。

発展途上国がテクノクラート集団を欠く場合には、まずは市場メカニズムの制度整備が大きな課題となる。またその制度整備に成功したとしても、市場メカニズムを政府による介入を排除した形で運営することをテクノクラート集団に期待すること自体が困難になり得る。

ワシントン・モデルを採用した場合、政策の策定及び実施の両面において国際機関等のイニシアティブを相当強力で認めざるを得なくなることについては、次の事実が証左となる。すなわち、1990年代初頭の CDF（Comprehensive Development Framework）の提唱を皮切りに、1990年代以降今日に至るまで、世界銀行は、経済成長における開発援助受取国（発展途上国）のオーナーシップ（ownership）を強調し続けている。発展途上国が実際に順調な経済成長を成功させるためには、国際機関等のイニシアティブに委ねるだけではなく、国内において、経済成長に必要な様々な制度（その中には優秀なテクノクラート集団の育成も含まれる）を整備し、発展途上国国民が、自国の経済成長の成否を「自分の問

題（ownership）」として取り組むことが必要だ、という主張である。

裏を返せば、世界銀行等が莫大なコストをかけて開発援助を実施していても、必ずしも全ての発展途上国はその開発援助を活用した自国の経済成長の成否を「自分の問題」とは考えていなかったということになる。開発援助を活用した経済成長政策は、国際機関等が勝手にやっていることと感じていたということである。

本研究の対象である ASEAN の移行経済圏諸国においても、世界銀行等国际機関は各国を対象とする政策及び多くの重要なプロジェクトのマスター・プランを策定し、フィージビリティ・スタディ等を実施し、事務所を各国に設置し、政策の実施においても大きな影響力を保持しつつある。ASEAN の移行経済圏諸国においても、ワシントン・モデルの共発主義はある程度は採用されていることは否定できない。

### 共発主義のコネクティビティ・モデル

これに対して本研究では、21 世紀の ASEAN の移行経済圏諸国の順調な経済成長をもたらした発展戦略として、ワシントン・モデルとは異なる共発主義を挙げる。それは、複数の諸国を跨る地域的生産ネットワークに参入することを政策の根幹に据えた共発主義である。

すなわち、自国を含む複数の諸国を跨る高度な地域的生産ネットワークが成立するように、外国政府または国際機関から指示されたさまざまな政策をそのまま実施するというものである。これは、外国政府または国際機関からの指示を重視するという意味において共発主義であり、一方で、円滑に機能する市場メカニズムの整備を中核とする、当該発展途上国の一国内の制度構築に注力するのではなく、あくまで近隣諸国との間での地域的生産ネットワークの構築を最優先するという意味においてワシントン・モデルと異なるものである。この場合には極論すれば、国内の制度構築は地域的生産ネットワークの構築に支障が出ない水準のものを達成すればそれで足りるとすることになる。

ASEAN の移行経済圏諸国については、21 世紀の今日においても、それら諸国の国内における制度構築、特に市場メカニズムの整備関連の制度構築が世界の他の発展途上国と比べて特筆すべき進展を見せたとは言いがたい。一方でそれらは ASEAN において発展しつつある特別な地域的生産ネットワークに深く組み込まれつつある。そのことが、それら諸国の順調な経済成長をもたらした重要な要因である可能性がある。地域的生産ネットワークに参入することを最重要課題とする方向での共発主義的政策を推進したことが功を奏したと見られる。

まずは、21 世紀の ASEAN における特別な地域的生産ネットワークについて見てみる。

ASEAN に付置された研究機関である ERIA（Economic Research Institute for ASEAN and East Asia）は、2010年に、2015年の ASEAN 統合へ向けた ASEAN 全域の総合的な政策に関する提言書を発表した（ERIA [2010]）。そこでは冒頭（Chapter 1. Conceptual Framework p1-p12）、移行経済圏諸国を含めた ASEAN 全域の 20 世紀末以降の順調な経済成長の要因として、製造業において、世界史上他に類例を見ない、東アジア特有のネットワークが構築されたことを挙げ、その内容を fragmentation and agglomeration というモデルで整理している。その整理を要約すると、以下のようになる。

東アジア特有の生産ネットワークとは、Baldwin を始

めとする経済学者によって、現在ではセカンド・アンバンドリングと呼ばれるものである。ファースト・アンバンドリングは 1960-1970 年代に本格化した多国籍企業の動きを指す。すなわち、企業と、出自の国（先進国）との関係がアンバンドルされ、先進国に本社を置く多国籍企業は、生産コストの安い発展途上国に現地法人を作り、その発展途上国の現地法人が生産の大部分を担うというものである。ただし、企業自体は、その所在地に関わらず、多くの機能を束ねるものとして存在した。この結果、本社機能、研究開発部門、高度な技術を要する部門等が先進国に立地し、労働集約部門等が発展途上国に立地する、という構造になる。この場合、立地する発展途上国の数は、比較的少数となる。

一方セカンド・アンバンドリングとは、企業の有する多様な機能がその特性に応じて数多くの生産ブロックに分解され（fragmentation）、それらがそれぞれ最適な生産地点に立地し、相互に接続（サービス・リンク）されるといふものである。この場合には、発展途上国はそれぞれが自らの特性に応じて適切な生産ブロックを誘致するため、先進国だから研究開発部門、発展途上国だから労働集約部門、という単純な分類は得ず、複雑な生産ネットワークが構築されることになる。このように直接投資が企業単位ではなく生産ブロック単位で行われることにより、発展途上国のある地域においては、多くの企業の同様の特質を有する生産ブロックの集積（agglomeration）が生じることになる。企業の生産部門が生産ブロック単位に分解され、それぞれが最適な生産地点に立地し、結果として様々な企業の同様な生産ブロックが集積する地が発生するというのが fragmentation and agglomeration モデルの要点である。このような高度で複雑な分業構造が成立するためには、物流を中核とするサービス・リンク（ネットワーク）が洗練された形で存在していることが不可欠である。

このようなセカンド・アンバンドリング型の生産ネットワークは、20 世紀末以降の ASEAN の地において典型的に構築されつつあるとされる。

このような高度な地域的生産ネットワークは、多分に多くの企業活動の結果として、すなわち自生的に成立した面があることは否定できない。一方で、自らの地においてこのような地域的生産ネットワークが成立しつつあること、さらにはそれが域内の経済成長に決定的な役割を果たしつつあることを認識した場合、地域機構 ASEAN 及びメンバー国政府は、その一層の発展、活性化のために各種の政策を策定し、実施することになる。企業活動と、地域機構及び政府の政策の効果とが相俟って、この地域的生産ネットワークは一層発展、活性化していくことになる。情報社会学で言う、国民国家（この場合は地域機構を含む）の活動と産業企業の活動の重畳の一例と言えらる。

生産ネットワークを含めた域内のネットワーク構築を、地域機構 ASEAN ではコネクティビティと呼び、2015 年の ASEAN 統合のために必要な政策の中核概念としている。

現在 ASEAN では、外相級の ACCC（ASEAN Connectivity Coordinating Council）が設置され、毎年会合を重ねている。そこではコネクティビティを、物理的（Physical）コネクティビティ、制度的（Institutional）コネクティビティ及び人的（People-to-People）コネクティビティの 3 つに整理し、それぞれ 2015 年までの実

現目標を設定している。

これらコネクティビティは、メンバー国を覆うものとなる。このため地域機構 ASEAN はメンバー国である移行経済圏諸国に対して、そのコネクティビティに参加することを求める。すなわち、それら諸国の国土の上に道路等物理的コネクティビティを引き、それら諸国がさまざまな制度を ASEAN の制度的コネクティビティに即したものに變更、整備し、それら諸国の国民と他の ASEAN メンバー国の国民との間での人的コネクティビティを推進することである。

コネクティビティ・モデルの共発主義とは、このように提案されるコネクティビティ政策を基本的に提案されたままの形で採用するものである。繰り返すと、元々のコネクティビティ政策は、地域機構が策定したものであり、また実施においても地域機構の強いコントロールを受けることから共発主義と言え、またこれら 3 層のコネクティビティの推進においては、当該移行経済圏諸国が単独でワシントン・コンセンサスで述べられた内容の制度整備を進めることは必ずしも強くは意識されず、地域的なコネクティビティに参加することが優先されるためにワシントン・モデルと異なる。

### 3.2. 2 つの共発主義

これら 2 つの共発主義を比較すると、以下の点を指摘することができる。

両者に共通するのは、自国の投資環境としての魅力を向上させ、より多くの直接投資を招くことにより経済成長を推進するというメカニズムに依拠していることである。直接投資の増大が発展途上国（移行経済圏諸国）の経済成長を牽引するという考え方は、近年の開発経済学の分析の趨勢と符合する。

違いは、自国の投資環境としての魅力を向上させる方法である。

ワシントン・モデルでは、ワシントン・コンセンサスで述べられた内容の制度整備を進め、国内で市場メカニズムが円滑に機能する体制を整えることを自国の投資環境の魅力として、より多くの直接投資を招こうとすることになる。すなわち発展途上国は、単独で投資環境を整備し、単独で投資先としての魅力を発信し、投資を呼び込む努力を行うことが想定される。

直接投資の受け入れ促進は、ワシントン・コンセンサスの 10 個の政策の 1 つで謳われている。投資環境の整備のためには、投資する外国企業が経済活動を行い易いように、外国投資法を含む経済関係の法律が整備されていることが必要になる。その他のワシントン・コンセンサスで挙げられている政策、すなわち財政赤字の是正、補助金カットなど財政支出の変更、税制改革、金利の自由化、競争力ある為替レートの設定、貿易の自由化、国営企業の民営化、規制緩和、及び所有権法の確立を推進することもまた、当該発展途上国の投資環境の魅力を向上させることに繋がると考えられる。

また発展途上国は、単独で国内のインフラの整備を進めなければならない。資金が不足する場合（この場合が一般的であるとも言える。）には、国際機関及び先進国の開発援助資金を期待することになる。

発展途上国が、これら制度面及びインフラ面で投資環境整備を進め、投資先としての魅力を高めることに成功した暁には外国からの直接投資が増大し、それによって順調な経済成長が成功するということになる。

一方コネクティビティ・モデルでは、ある地域において、域内を覆う高度な地域的生産ネットワークが成立しつつあり、またその地域を対象とする地域機構がその発展、活性化のための各般の政策（コネクティビティ政策）を採っている場合、この地域機構に参加する発展途上国が地域機構がメンバー国のコンセンサスとして策定したコネクティビティ政策を適切に受け入れること自体が当該発展途上国の投資環境の魅力が大きく向上させることになるとする。言い換えると、近未来において当該発展途上国がその地域的生産ネットワークの中で相応の地位を占めるようになるという予測が、当該発展途上国の投資環境としての魅力になる。

ワシントン・モデルでは、発展途上国に相当量の直接投資が流入するのは、基本的に、ワシントン・コンセンサスで述べられている内容の制度構築、整備にめどが立ってからのことになる。一方コネクティビティ・モデルの場合、必ずしもそのような制度構築、整備が進んでいない段階でも発展途上国に相当の直接投資が流入することがあり得る。地域的生産ネットワークに参加することにより、当該発展途上国内の諸都市は、セカンド・アンバンドリング型の地域的生産ネットワークにおける生産ユニットの1つの立地候補となるためである。

それら諸都市における制度構築、整備が遅れていたとしても、地域的生産ネットワークにおける生産ユニットの中には必ずしも高度な制度構築、整備を必要としないものもある。一方でそれら諸都市における安価な人件費、労働者の特性、物理的な位置等何らかの要因が利点と評価された場合には、それに応じた生産ユニットが立地することとなる。法律の未整備が、規制の非存在として利点と評価される場合もある。

この結果、コネクティビティ・モデルでは、発展途上国は、単独で国内の制度構築、整備を完了させるよりも早い段階で地域的生産ネットワークに参加し、その結果直接投資の拡大を生み、順調な経済成長を成功させることができる可能性があることになる。移行経済圏諸国のように、市場メカニズムの円滑な機能に関する制度構築、整備に時間がかかる発展途上国の場合には極めて有効な発展戦略であると言える。

問題は、コネクティビティ・モデルが可能になるためには、発展途上国が高度な地域的生産ネットワークに地理的に含まれているか近接する位置にあり、かつその地域を対象とする地域機構が適切なコネクティビティ政策を推進していることが条件になることである。仮にそのような例がASEANにしか見られないのであれば、コネクティビティ・モデルはASEANのメンバー国にとってのみ採用可能な発展戦略であり、一般化はできないことになる。

この点については、ASEANにおける地域的生産ネットワークほどには大きな発展を見せてはいないものの、他の地域においてもそれぞれ地域的生産ネットワークは構築され、発展しつつあり、その中には近い将来にはセカンド・アンバンドリングとして捉えられるものも出つつあると見ることが可能である。例えばアフリカにおいても、南アフリカを中核とする南部アフリカでその動きを見ることが出来る。南アフリカ開発銀行（Development Bank of South Africa）は、南アフリカと周辺国を対象にした物理的コネクティビティについて多くのプロジェクトを提案し、推進しつつある。この地域を覆う地域機構としては、南アフリカ開発銀行自身が

その役割を果たす可能性もあり、また2001年に設立されたNEPAD（The New Partnership for Africa's Development）南部委員会（注7）がその任に当たることも考えられる。同様の動きは、中央アジア、ラテン・アメリカ、南アジア、太平洋地域等においても見ることが出来る。すなわち、今後、ASEAN以外の地域においてもコネクティビティ・モデルの実施例が見られるようになることが考えられる。

## 4. ASEANのコネクティビティ政策

### 4.1. 歴史的経緯

地域機構ASEANは、域内のコネクティビティを積極的に推進するコネクティビティ政策を明確に採用している地域機構である。地域機構ASEANのコネクティビティ政策の歴史的経緯を概観すると、以下のようになる。

地域機構ASEANは、1967年に設立された。設立当初は、東西冷戦における東南アジアでの西側陣営の結束、シンガポール独立（1965年8月9日）を巡るマレーシアとインドネシアとの対立緩和等の政治問題の調整が中心であった。1970年代前半にはベトナム戦争、それ以降1980年代にかけてはインドシナ和平問題への対応があり、引き続き政治問題の調整が重要課題であった。

一方インドシナ和平が視野に入り、かつメンバー国の経済成長が順調に進んだ1980年代終わりからは、経済問題の調整も主要な課題となるようになり、外相会合に加え、定期閣僚級協議の場である経済閣僚会合（AEM：ASEAN Economic Ministers）が設立された。

地域機構ASEANにおける最初のコネクティビティ政策は、ASEAN地域における市場統合の推進を唱えた1992年のAFTA（ASEAN Free Trade Area）の発表にすることができる。市場統合の推進については、その後、1997年にASEAN Vision2020が発表され、1998年にはHPA（Hanoi Plan of Action）が、2003年にはBali Concord IIが、2004年にはVAP（Vientiane Action Programme）がそれぞれ採択された。

さらに、2007年にはASEAN Economic Community Blueprintが採択され、以降地域機構ASEANは、2015年の統合（ASEAN Community 2015）へ向けて、所要の手続きを進み続けている。2008年にはASEAN憲章が発効し、2009年には2009年から2015年までに推進すべき政策を定めたRoadmap for an ASEAN Communityが採択された。2010年にはMPAC（Master Plan on ASEAN Connectivity）が採択され、現在、基本的にはこの実施（implementation）という形で各種の政策が進められている。

MPACの示した枠組では、ASEANのコネクティビティは、物理的コネクティビティ、制度的コネクティビティ、及び人的コネクティビティの3つの層でそれぞれ進められることになっている。

MPACが採択された2010年から2012年までの進捗状況について、ASEAN事務局（Lim Chze Cheen, Assistant Director and Head of ASEAN Connectivity Division）が第3回ASEANコネクティビティ・シンポジウム（2012年9月7日、プノンペン）で発表したところでは、以下のように整理される。

物理的コネクティビティについては、ASEANハイウェイ・ネットワーク構想、ASEAN電力グリッド構想等が進められている。制度的コネクティビティについては、ASEAN Framework Agreement on Facilitation of



Goods in Transit (AFAFGIT), ASEAN Single Aviation Market (ASAM), ASEAN Single Shipping Market (ASSM), National Single Windows (NSWs) 等の政策が進められている。人的コネクティビティについては、ASEAN Virtual Learning Resource Centre の設立、ビザ制限の緩和、入管における ASEAN レーン の設置、ASEAN 域内の観光産業の振興等の政策が進められている。

さらに、地域機構 ASEAN の中に存在する部分的な地域機構、すなわち IMT-GT (Indonesia, Malaysia, Thailand-Growth Triangle), GMS (Greater Mekong Sub-Region) 及び BIMP-EAGA (Brunei Darussalam-Indonesia-Malaysia-Philippines East ASEAN Growth Area) も、地域機構 ASEAN 全体のコネクティビティ政策と整合性を取る形で、それぞれコネクティビティ政策を推進している。

#### 「ハーモナイゼーション」

現在では、地域機構 ASEAN 以外の主体がハーモナイズされた形でこの地域を対象とするさまざまなコネクティビティ政策を推進しており、それら多くの政策が重畳的になされることにより、相乗効果が発生していると考えられる。

地域機構 ASEAN が中心となって推進しているコネクティビティ政策をハーモナイズされた形で補完する主体としては、閣僚級の ASEAN プラス型機構、シンクタンク及び他の国際組織を考慮することができる。以下、順に見ていく。スタイルを確認する方法

#### ASEAN プラス型機構（閣僚級）

第1は、ASEAN に他の国が加わった、ASEAN プラス型の機構である。現在では閣僚級で多くのプラットフォームが構築されている。

ASEAN プラス1、すなわち ASEAN と域外国1つで構成される機構は、経済相及び外相級で ASEAN プラス日本、ASEAN プラス中国、ASEAN プラス米国等が設立されている。

ASEAN プラス3、すなわち ASEAN と日中韓の機構は、さまざまな閣僚のものが多数構築され、活発な活動を見せている。例えば ASEAN プラス3の財務大臣会合は、2000年にアジア債券市場イニシアティブを提案し、緊急時の外貨融通の枠組であるチェンマイ・イニシアティブをはじめ、幾多の成果を生んでいる。

ASEAN プラス6、すなわち ASEAN と日中韓、インド、オーストラリア及びニュージーランドのプラットフォームでは、FTA等の議論が現在進められている。

これらのプラットフォームの中には、地域機構 ASEAN のコネクティビティ政策を補完する機能を果たしつつあるものもあると考えられる。典型は、経済相級の ASEAN プラス日本の機構である日 ASEAN 経済閣僚会合 (AEM-METI) である。これは1993年に開始され、年に1回開催されているもので、ASEAN 経済閣僚会合 (AEM: ASEAN Economic Ministers) と日本の経済産業大臣 (組織変更までは通商産業大臣。) の会合である。

上記のように、この機構は、1990年代半ばにおいては、日本が開発主義という発展戦略を ASEAN の移行経済圏諸国に対して提案するために用いられたプラットフォームである。日本による開発主義の提案は、上記の経緯のように21世紀に入る頃には事実上なされなくなったものと見ることができる。一方、近年では、このプラット

フォームが、日本による地域機構 ASEAN のコネクティビティ政策の補完のあり方を決定するプラットフォームとしても用いられていると考えられる。

#### シンクタンク

第2は、シンクタンク、特に ASEAN に関する研究に特化した、政策提言中心のシンクタンクである。その代表は、2008年に設立された国際機関である ERIA (Economic Research Institute for ASEAN and East Asia) である。

先に触れたように ERIA は、geographical simulation model 分析という新たに開発された手法を用いて、ASEAN 域内のさまざまなインフラ構想について、それらが ASEAN 域内の各地域 (県単位) にもたらす経済成長予測を行い、それを「アジア総合開発計画 (CADP: Comprehensive Asia Development Plan)」としてとりまとめ、2010年10月に発表した。現在 ASEAN は、コネクティビティ政策を「ASEAN コネクティビティ・マスタープラン (MPAC: Master Plan on ASEAN Connectivity)」に基づいて進めているところ、CADP はその理論的基礎を提供している。

#### 他の国際組織

第3は、地域機構 ASEAN 以外の国際機関/国際組織である。その典型としてここでは、2011年6月に設立された APEN (Asia Professional Education Network) を挙げる。

APEN は、アジアにおける高度産業人材育成のための特別な教育方法 (Project Based Learning: PBL) の発展及び普及、及びそれを実施する特別な仕組みである高度プロフェッショナル教育システム (HiPES: Higher Professional Education System または Multiversity) の開発、発展、普及等を目的として設立されたアジアの大学/研究機関のネットワークである。多岐にわたる APEN の活動の中には、地域機構 ASEAN のコネクティビティ政策と連動し、相乗効果を生みつつあるものもある。

石島辰太郎 APEN 会長が上記 ASEAN コネクティビティ・シンポジウム (2012年9月7日、プノンペン) で述べたところによると、APEN の活動の重要な目的の1つは、アジア、特に ASEAN 全域を覆う生産ユニットの共通のネットワーク (Global Industrial Network: GIN) の構築とその活性化であるという。APEN で言う生産ユニットとは、生産工場、R&D 施設等を、企業の枠を外して、それぞれ独立したものとして捉えた概念である。これらが、所在国に関わらず、国境の制約を受けずに接続し、ネットワークを構築するためには、地域全体で様々な標準化が進められ、かつコネクティビティが促進されることが必要になる。これが APEN の考えるネットワーク政策である。このような APEN のネットワーク政策は、物理的コネクティビティ、制度的コネクティビティ及び人的コネクティビティの3層でコネクティビティを捉える地域機構 ASEAN のコネクティビティ政策と多くの面で符合する。

具体的には、APEN は以下のようなネットワーク政策を推進している。

第1は、高度産業人材育成システムの標準化である。APEN は、APEN 自らが Multiversity (注8) と呼ぶ、標準化された高度プロフェッショナル教育システム (HiPES) をアジア各地に建設するプロジェクトを推進

している。標準化された高度プロフェッショナル教育システムにより、同質の高度産業人材が ASEAN 全域で供給されるようになれば、ASEAN 全域で同レベルの技術力を有する生産ユニットを設置することが可能になり、地域的生産ネットワークが大きく発展することになる。

このプロジェクトは、APEN の用語を用いれば、Multiveristy (標準化された HiPES) の ASEAN 展開ということになり、一方で地域機構 ASEAN の枠組を用いれば、典型的な人的コネクティビティ政策であることになる。

第 2 は、APEN の進める中小企業認証制度 (Credibility Index for SMEs : CIS) である。これはアジアにおける中小企業を、特に技術開発力、人材開発力に重点を置いて格付けするものである。これにより、外形上は判断し難い中小企業の成長可能性を判断し、公示することができる。これもまた、地域機構 ASEAN の枠組を用いれば、典型的な人的コネクティビティ政策であることになる。

APEN の進めるネットワーク政策が地域機構 ASEAN のコネクティビティ政策、特に人的コネクティビティ政策と密接な関係を持ち、適切に協働することにより大きな相乗効果を期待できることについて、ASEAN 関係者はかなり早い時期に着目し、閣僚級でその連携の強化の必要性を確認し続けてきている。

APEN の活動、特にネットワーク政策が ASEAN の閣僚級の公式文書で支持された例としては、以下のものがある。

第 1 は、2011 年 11 月 10 日にインドネシアのバリで発表された、ACCC (外相級の ASEAN コネクティビティ調整委員会 : ASEAN Connectivity Coordinating Council) 配布文書である。APEN 創設から 5 か月しか経過していない 2011 年 11 月の段階で、地域機構 ASEAN は、ASEAN コネクティビティ・シンポジウムにパネリストとして APEN を招待し、その招待を受けて石島辰太郎 APEN 会長は、シンポジウムの人的コネクティビティのセッションで上記の考え方を説明した。シンポジウムの結果は ACCC に報告されたところ、ACCC で配布された報告書 (Summary of Outcomes of the ASEAN Connectivity Symposium "Enhancing ASEAN Connectivity to Support ASEAN Community 2015" 8-9 November 2011, Bali, Indonesia) には、以下のよう

(抜粋)

10. To address the above-mentioned issues, Group 3 put forward the following recommendations:

(略)

(iv) Develop ASEAN's creative and value-based methodology in higher level professional education. Project Based Learning (PBL) will be an effective option.

(v) Develop educational cooperation among ASEAN academic entities and existing networks such as the ASEAN University Network (AUN) Secretariat and the Asia Professional Education Network (APEN).

すなわち、まずは PBL という APEN が唱道する特別な教育方法が、ASEAN が開発すべき創造的かつ付加価

値の高い高等専門教育の方法として有効であると記述され、さらに ASEAN は、ASEAN 大学ネットワーク (AUN) と並んで APEN との連携を強化すべきだと提言された。この文書は、APEN が閣僚級の公式文書で言及された初めてのものとなった。

第 2 は、2012 年 4 月 28 日に東京で発表された ASEAN ロードショーの共同声明 (Joint Media Statement on the ASEAN Roadshow to Japan) である。2012 年 4 月に ASEAN の 10 閣僚と ASEAN 事務局長は日本を訪問し、野田総理、関係閣僚、日本経団連等との一連の協議を進める ASEAN ロードショーを実施した。共同声明では、

7. Through the various opportunities presented at the Road Show, including the informal AEM-METI meeting, the Ministers outlined the following areas for further cooperation:

として幾つかの協力分野が列挙され、その中の 1 項目として、

(Support for Small and Medium Enterprises)

Promote and support the efforts of the Asia Professional Education Network (APEN) and ERIA to strengthen networks of SMEs in ASEAN and East Asia through "Only-one SME Mission" to ASEAN Member States, the establishment of the "APEN Credibility Index for SMEs" and the development of the "Comprehensive Higher Professional Education System", which will enhance technology transfer and collaboration among SMEs and enhance human resource development.

と、APEN が行っている「オンリーワン中小企業ミッション」、「中小企業信頼性指数制度」及び「包括的高度プロフェッショナル教育システム」の 3 事業が、ASEAN 閣僚が今後協力を推進することを確認した事業として列挙された。

第 3 は、2012 年 8 月 30 日にカンボジアのシェムリアップで発表された、第 18 回 ASEAN 閣僚会議の共同声明である。その中に、

12. The Ministers reaffirmed the importance of capacity building of human resources for small and medium enterprises (SMEs) and welcomed Japan's initiatives for introducing a "Comprehensive Higher Professional Education System (Multiversity)" and facilitating networking among SMEs through the Asia Professional Education Network (APEN) in interested ASEAN Member States.

との記述が入り、ASEAN の閣僚と日本の経済産業大臣は、APEN が行うマルチバーシティ事業と ASEAN の中小企業ネットワークの活性化事業を歓迎した。

このように、APEN の活動は、設立後 1 年強の間に 3 度にわたって ASEAN の閣僚級の支持を公式に受けている。APEN の組織の規模を考えるならば、これは驚異的な事実と見ることができると言える。

筆者は、このような驚異的な事実を可能にした背景が、まさしくコネクティビティ政策に関するハーモナイゼーションの効果であると考えている。すなわち、APEN が推進

しつつあるネットワーク政策を、地域機構 ASEAN は、自らが推進しようとしているコネクティビティ政策と適切な補完関係にあるものと判断し、その補完の効果を最大限に活用しようとしていると見るができる。

以上、21世紀の今日においては、発展途上国が近代化（工業化）に必要な期間を大きく「圧縮」するための戦略（発展戦略）として、20世紀後半に日本等東アジア諸国が採用した開発主義とは異なる共済主義が大きな効果を発揮していること、その中でも、現在 ASEAN 内の移行経済圏諸国が採用しているものは、従来知られていた共済主義（ワシントン・モデル）とは別の類型の共済主義（コネクティビティ・モデル）として捉えることが適切であること、さらにはそのコネクティビティ・モデルの推進に当たっては、当該発展途上国（移行経済圏諸国）政府のみならず、地域機構、国際機関／国際組織、シンクタンク等多くの主体が重疊的に政策を推進することにより、ハーモナイゼーションの効果を高めていることを見てきた。

公文俊平の唱える情報社会学のモデルによると、近代化という時代の中で、国民国家政府が主体として外交力の増大を目的にして競争する「威のゲーム」が最も強力に展開された時代、産業企業が主体として富の増大を目的にして競争する「富のゲーム」が最も強力に展開された時代を経て、今日では情報智業が主体として説得力の増大を目的にして競争する「智のゲーム」が強力に展開されるようになってきたと認識し、公文俊平は、そのような時代をラスト・モダンと呼んでいる。上記のように多くの主体が発展途上国（移行経済圏諸国）の経済発展という課題に対して積極的に関与し、コネクティビティ・モデル共済主義のハーモナイゼーションの効果を生みつつあることについても、それら主体の動機は、自らの国際社会における発言力の増大（「威のゲーム」）、自らの経済的な利益（「富のゲーム」）の観点のみならず、地球智場に対する説得力の増大という「智のゲーム」の側面から捉えることが適切である面も強いと考えられる。このインセンティブの問題については、今後の課題とすることとする。

#### 注 釈

注1：OECD においては、後者は、「援助対象国 (aid eligible countries)」とされ、それら諸国に対して行われるある種の条件を満たした資金のみが ODA（政府開発援助: Official Development Assistance) に計上される。

注2：村上泰亮の定義に照らせば、市場経済制度を前提にしている限り、共産党一党独裁制であっても開発主義は成立し得る。

注3：本研究が牽いている村上泰亮の開発主義の定義では、開発主義は市場経済制度を前提とするものであるため、計画経済制度を採るソ連は開発主義には当てはまらないものの、本研究では開発主義を、工業化による経済成長の進め方に関する概念として用いているため、市場経済制度の有無に関わらず、開発主義は成立し得る。すなわち計画経済制度を開発主義という発展戦略によって運営することがあり得る。

注4：情報社会学では、結果がどうなるか分からない状態で近代化が進められた、という意味で、「猪突猛進近代

化局面」と呼ばれることもある。

注5：内容においてワシントン・コンセンサスが基本になっていること、及び世界銀行と IMF がともにワシントンに存在することに由来する。

注6：本研究の概念の整理に依れば、開発主義は自国民によって構成されるテクノクラート集団がイニシアティブを採る経済成長の進め方であるため、政府による市場メカニズムへの介入は必ずしも開発主義の条件ではない。

注7：NEPAD においては、エジプト、アルジェリア、チュニジアを対象とする北部委員会、ナイジェリア、セネガル、マリ、ガーナを対象とする西部委員会、カメルーン、ガボン、コンゴを対象とする中部委員会、エチオピア、ルワンダ、モーリシャスを対象とする東部委員会及び南アフリカ、ボツワナ、モザンビーク、アンゴラを対象とする南部委員会の5つの委員会が設けられている。

注8：多入力多出力、すなわち複数のキャリア・コースを包含し、また社会人に対する生涯教育のための多くの仕組みを整備していることから、「単一 (UNI) versity」ではなく、「複数 versity」と命名されている。

#### 参考文献

- [1] 公文俊平 [2004]: 公文俊平『情報社会学序説——ラストモダンの時代を生きる』, NTT 出版, 2004 年.
- [2] ・村上泰亮 [1992]: 村上泰亮『反古典の政治経済学・下』, 中央公論社, 1992 年.
- [3] 前田充浩 [2011]: 前田充浩『「智のゲーム」としての冷戦史観: 国民国家と情報智業の重疊モデルの試み』, 情報社会学会誌 Vol.6 No.1, 情報社会学会, 2011 年.
- [4] 通商産業省 [1993]: 通商産業省『ASEAN 産業高度化ビジョン-産業政策のススメ』, 通商産業調査会, 1993 年.
- [5] 世界銀行 [1993]: 世界銀行『東アジアの奇跡』, 白鳥正喜監訳, 海外経済協力基金, 開発経済問題研究会訳, 東洋経済新報社, 1993 年.
- [6] Beck=Giddens=Lash [1994]: Ulrich Beck, Anthony Giddens, Scott Lash『Reflexive Modernization - Politics, Tradition and Aesthetics in the Modern Social Order』, Polity Press, 1994 年.
- [7] ERIA [2010]: ERIA『The Comprehensive Asia Development Plan』, ERIA Research Project Report 2009, No.7-1, 2010 年. 吉川恒夫, “ロボット技術,” 計測と制御, Vol. 41, No. 1, pp. 17-21, 2002.



# 高压下のせん断による新素材の作成

菅野 善則\*

## Creation of the new materials under high pressure shear stress

Yoshinori Kanno\*

### Abstract

A basic research of transformation mechanism on metal materials was performed by using the pure copper being no-oxygen contain in the body, based on the imaging plate method (IP). Under a high-pressure shear stress reaching to the region of 20 GPa, a several type of copper metamorphology is created. The creation is concerned with the discovery of new metal materials possessing an additional physical property. In the calculation simulation by molecular dynamics method (MD), the structural transformations of copper under high-pressure was argued

**Keywords:** transformation of copper, grating constant of copper, high pressure shear stress, X-ray diffraction, Molecular Dynamics Method

### 1. はじめに

本総説は当研究室においてこれまで新素材開発研究に関して行った、高压下での銅の変態及び、計算シミュレーションについて書きおろした概説書的なものである。

純銅は“変態しない、酸化し難い、入手しやすい”などの理由により金属材料の基礎研究に用いられてきた。しかし、最近の研究により銅が高压下のせん断を受けると変態するという報告がなされた<sup>[1]-[4]</sup>。これらの事実は前記研究のメカニズムを考える際に考慮しなければならないことを示している。さらに高压下のせん断により既報の構造と異なるものが生じるため新素材の作成が期待される。従って、高压下でせん断を加えた銅のより詳細な解析を行った。

また、高压下での物質の構造変化についての研究が多く行われているが、実験レベルの話であり高压下で物質はどういった反応を示すか物理的に検証するには至っていない。そこで銅を用いて、計算シミュレーション(MD法)により高压下での物質の構造変化について試行してみた。

### 2. 高压下でのせん断による新素材の作成

#### 2.1. 実験方法

高压負荷は、一軸加圧型を用いた。(最高圧力 20GPa)

試験片:無酸素銅

加圧負荷の機構図を図1に示す。

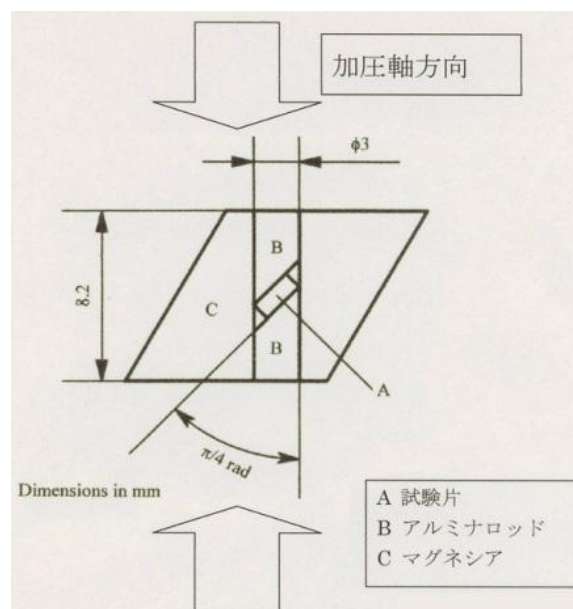


図1 高压発生装置でのせん断のメカニズム



図2 実験に用いたアンビル

2.2. 回折パターンの解析

せん断実験を行った後に透過型 X 線を用いて IP(イメージングプレート)に回折パターンを撮影した。

撮影条件は

ターゲット: Mo, フィルタ: Zr (0.1mm), 管電圧: 40kV, 管電流: 40mA, 試験片-IP 間距離: 40mm, 150mm である。

図 3, 図 4, 図 5 及び図 6 に透過 X 線回折パターンを示す。

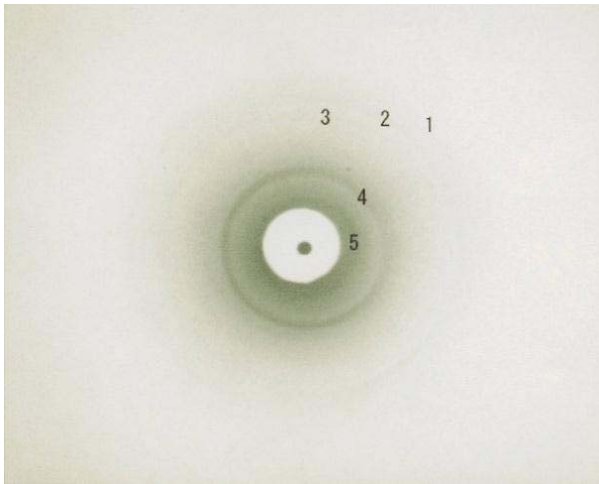


図 3 IP と試験片の距離 40mm (図中の数字はリング)

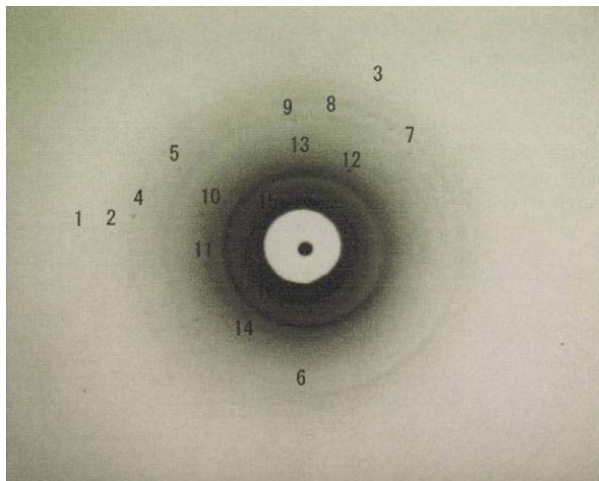


図 4 IP と試験片の距離 40mm (図中の数字はスポット)

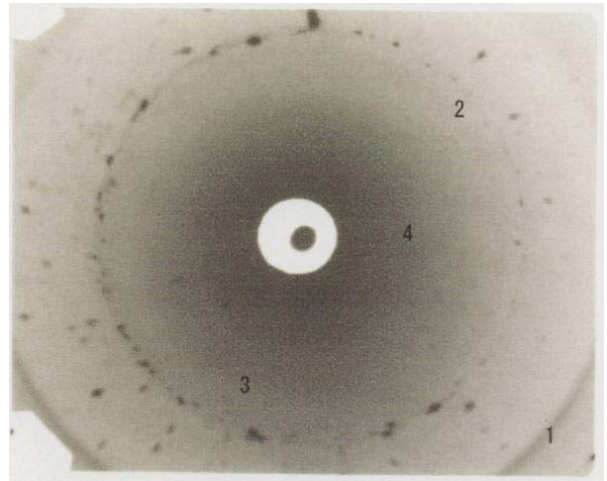


図 5 IP と試験片の距離 150mm (図中の数字はリング)

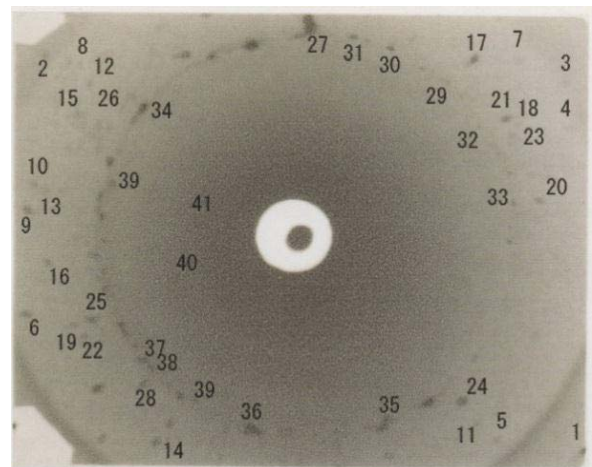


図 6 IP と試験片の距離 150mm (図中の数字はスポット)

これらの図中のリング・スポットに対して式 1 を用いて面間隔を求めた。ここで、 $d$  は面間隔、 $\lambda$  は波長、そして  $\theta$  は Bragg 角である。また式 2 の  $L$  は IP と試験片との距離、 $r$  はダイレクトスポット中心からリング、スポットまでの距離である。

$$d = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \dots (1)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{r}{L} \dots (2)$$

面間隔を求める際の  $K\alpha$  及び  $K\beta$  の波長は  $0.71069(\text{\AA})$ ,  $0.632253(\text{\AA})$  とした。

$K\alpha$  を基準として求めた面間隔と  $K\beta$  を基準として求めた面間隔が近い値であった。

$K\alpha$  は  $K\beta$  より非常に強いのでほとんどのリング、スポットは  $K\alpha$  によって生じたものと考えられる。従って、 $K\beta$  で生じたリング、スポットを  $K\alpha$  に基づいて面間隔を計算すると誤りが生じる為、 $K\alpha$  によって現れた面間隔を表 1 に示す。銅 (Cu) の面間隔を考欄には IP と試験片の距離及び図 3~6 で示されている No も併記している。

表 1 リング・スポットの面間隔

面間隔 (Å)	fcc(Å)	Reported <sup>[3]</sup> (Å)	考欄
6.858			150mm, ring, 4
6.691			150mm, spot, 42
5.366			150mm, spot, 41
3.800			40mm, ring, 5
3.275			150mm, spot, 39
3.250			150mm, spot, 38
3.225			150mm, spot, 37
3.222			150mm, ring, 3
3.200			150mm, spot, 36
3.176			150mm, spot, 35
3.152		3.14(h)	150mm, spot, 34
2.974			150mm, spot, 27
2.959			150mm, spot, 26
2.766			150mm, spot, 23
2.679			150mm, spot, 19
2.658			150mm, spot, 18
2.559			150mm, spot, 14
2.522			150mm, spot, 12
2.486			150mm, spot, 11
2.433			150mm, spot, 10
2.351			150mm, spot, 8
2.336			150mm, spot, 7
2.320			150mm, spot, 6
2.261			150mm, spot, 4
2.138			40mm, ring, 4
2.039			150mm, ring, 1
1.917			40mm, spot, 14
1.875			150mm, spot, 1
1.858			40mm, spot, 12
1.693			40mm, spot, 11
1.593		1.52(h)	40mm, spot, 10
1.369			40mm, spot, 9
1.334			40mm, spot, 8
1.284	1.278		40mm, spot, 7
1.267			40mm, spot, 6
1.100			40mm, spot, 4
1.085	1.090		40mm, spot, 3
1.020	1.044		40mm, spot, 2
0.927			40mm, spot, 1

次に式 3 に立方晶系の面間隔の式を、式 4 に面間隔同士の比の式を示す。

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \dots (3)$$

$$\frac{d}{d_0} = \sqrt{\frac{h_0^2+k_0^2+l_0^2}{h^2+k^2+l^2}} = \sqrt{\frac{s_0}{s}} \dots (4)$$

式 3 及び式 4 より面間隔同士の比はルートの Miller 指数の二乗の和である s 値の比に等しくなることがわかる。ただし、このとき添え字 0 がつくものを基準とする。

この方法を用いることにより表 1 に示す面間隔に対して指数付けを行った。結果を表 2 に示す。このとき、求めた指数を用いて格子定数、面間隔 6.691(Å)も記載する。

表 2 指数付け

面間隔	面間隔	Miller 指	Miller 指数	格子
6.858	1.000		(1 1 1)	6.845
6.691	1.025			
5.366	1.278	1.155	(2 0 0)	5.928
3.800	1.805	1.915	(3 1 1)	3.575
3.275	2.094	2.000	(2 2 2)	3.423
3.250	2.110			
3.225	2.127			
3.222	2.218			
3.200	2.143			
3.176	2.159			
3.152	2.176			
2.974	2.306	2.309	(4 0 0)	2.964
2.959	2.318			
2.766	2.479	2.517	(3 3 1)	2.720
2.679	2.560			
2.658	2.580	2.582	(4 2 0)	2.651
2.559	2.680			
2.522	2.719			
2.486	2.759			
2.433	2.819	2.828	(4 2 2)	2.420
2.351	2.917			
2.336	2.936			
2.320	2.956			
2.261	3.033	3.000	(5 1 1), (3 3 3)	2.282
2.138	3.208	3.266	(4 4 0)	2.096
2.039	3.363	3.416	(5 3 1)	2.004
1.917	3.577			
1.875	3.658	3.651	(6 2 0)	1.875
1.858	3.691	3.786	(5 3 3)	1.808
1.693	4.051	4.000	(4 4 4)	1.711
1.593	4.305			
1.369	5.009	5.000	(1 5 7), (5 5 5)	1.369
1.334	5.141	5.164	(0 4 8)	1.326
1.284	5.341	5.260	(1 1 9), (3 5 7)	1.301
1.267	5.413	5.416	(4 6 6)	1.264
1.100	6.235	6.191	(3 5 9)	1.106
1.085	6.321	6.325	(2 4 10)	1.082
1.020	6.724	6.733	(6 8 6), (6 0 10)	1.017
0.927	7.398	7.394	(6 8 8), (6 0 10)	0.926

表 2 から格子定数を決定するため、(1 1 1)面から(5 5 5)面を抜き出し表 3 に示す。

表 3 の面間隔の比及び指数のルートの比とは面間隔 6.858 を基準とし面間隔及び指数で割った値である。

表 3 格子定数

面間隔(Å)	Miller 指数	面間隔の比 (6.858 を基準)	Miller 指数のルートの比 (6.858 の指数を基準)	格子定数
6.858	(1 1 1)	1.000	1.000	11.878
3.275	(2 2 2)	2.094	2.000	11.345
2.261	(3 3 3)	3.033	3.000	11.749

1.693	(4 4 4)	4.051	4.000	11.729
1.369	(5 5 5)	5.010	5.000	11.856

### 2.3. 考察

指数付けの結果から既報の fcc とは異なる結晶構造が生じたと考えられる。すべての結晶構造を試した訳ではない為、その他の結晶構造も存在している可能性がある。さらに、格子定数の値は表 3 より 11.856 と得られた。これは従来の銅の格子定数の 3.28 倍である。このことから高圧下でせん断力が加わったことにより銅の結晶構造が押しつぶされて隣り合う結晶が重なり合った結果であると考えられる。

## 3. 計算シミュレーションによる構造解析

### 3.1. 分子動力学法について

高圧下での物質の構造変化についての物理的検証の為、本研究では計算シミュレーションとして分子動力学法を用いた。

分子動力学法(MD法: Molecular Dynamics Method)とは多数の粒子(原子、分子等)からなる系において与えられた粒子間相互作用(原子間ポテンシャル等)を用いて各粒子に働く粒子間力を求め、適当な運動方程式により各粒子の時間に対する位置、速度等の種々の物理量を求める方法である。図 7 に MD 法計算のフローチャートを示す。

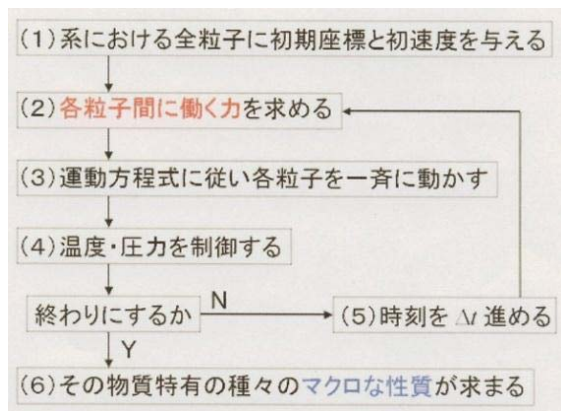


図 7 MD 計算のフローチャート

シミュレーションのプログラムには MXDORTO を用いた。これは東京工業大学大学院理工学研究科惑星科学専攻の河村雄行教授によるもので、2 体中心力による結晶と融体/ガラスの MD 法計算プログラムであり、特にイオン性流体と個体に適している。

### 3.2. シミュレーションの詳細

銅に高圧を加えることによる構造の変化を検証する為、式 5 に示す金属ポテンシャル(LRO-2'ポテンシャル)を用いた。

$$U(r) = k_B \left(\frac{A}{r}\right)^n \cos(2k_F r - B) + \exp(F - Gr) \quad \dots(5)$$

$k_B$  は Boltzmann 定数,  $k_F$  は Fermi 波数,  $A, B, F, G$  はそれぞれポテンシャルパラメータを示している。

MD 計算において必要な銅のデータは、原子量:63.536,

格子定数:3.615, 空間群:Fm3m である。

### 3.2.1. ポテンシャルパラメータの決定

ポテンシャルパラメータを決定するために常温(300K)で計算を行った。表 4 にパラメータとその結果を示す。計算を行う際にセルの大きさを格子定数の 5 倍に設定して行った。

表 4 計算結果(300K)

No.	A	B	F	G	msd
1	41.3	10	27.65	9.95	0.018
2	49.6	10	24.79	8.75	0.018

次に、上記で用いたパラメータを用いて 0.0001GPa で計算を行った。その結果を表 5 に示す。

表 5 計算結果(0.0001GPa)

No.	A	B	F	G	msd
1	41.3	10	27.65	9.95	0.001
2	49.6	10	24.79	8.75	0.002

表 4 及び表 5 中の msd(平均二乗変位)とは計算の過程において原子がどの程度変位したかを示す値である。従って、msd が 0 に近い値を示すということは計算の過程において原子がほとんど移動していないことを示すため、この値を目安にパラメータを決定した。

図 8 に  $A=41.3, B=10, F=27.65, G=9.95$  のときの 300K, 0.0001GPa のグラフを、図 9 に  $A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75$  のときの 300K, 0.0001GPa のグラフを示す。

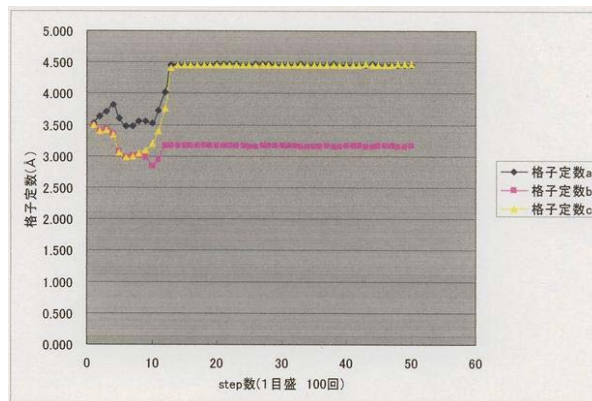


図 8  $A=41.3, B=10, F=27.65, G=9.95$  のときの格子定数の変化(300K, 0.0001GPa)



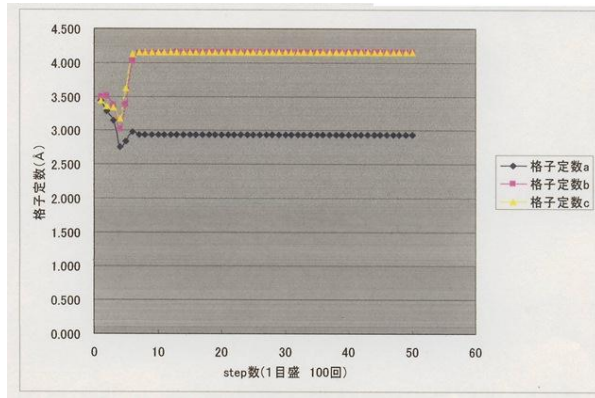


図9 A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 のときの格子定数の変化(300K, 0.0001GPa)

図8では格子定数 a が, 図9では格子定数 b が他の2つの格子定数とは大きく異なる値をとっていることがわかる。さらに3つの格子定数ともに銅の従来の格子定数である3.615(Å)とは異なる値となっている。このことからポテンシャルパラメータが適切ではないと考えられる。しかし,

A=41.3, B=10, F=27.65, G=9.95 のときの密度は 7.86378(g/cm<sup>3</sup>)

A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 のときの密度は 8.77340(g/cm<sup>3</sup>)

となっており, 銅の密度である 8.9331428(g/cm<sup>3</sup>)に A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 のときの密度は近い値をとっていることから A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 をポテンシャルパラメータとして圧力を掛けた場合の計算を行った。

### 3.3. 計算結果

上記で求めたパラメータを用いて計算を行う。ステップ回数:5000, 原子数:500, 温度:300K とし, 圧力を 0, 10, 20GPa と変化させて計算を行った。

図10には格子定数 a の変化, 図11には格子定数 b の変化, 図12には格子定数 c の変化のグラフを示す。

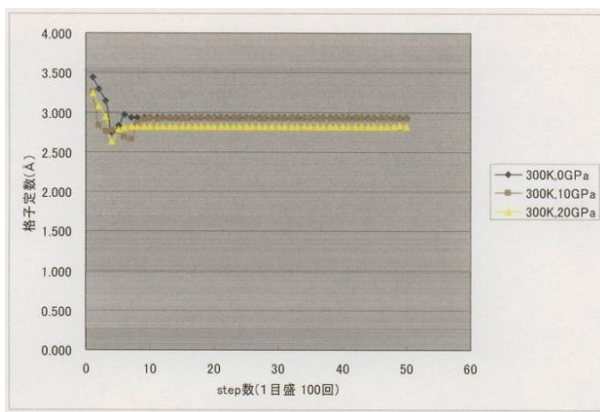


図10 A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 のときの格子定数 a の変化

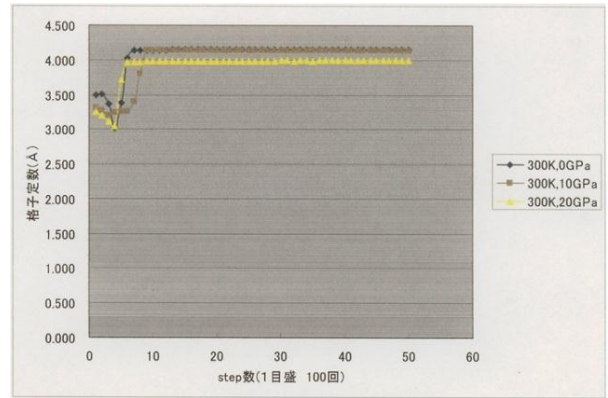


図11 A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 のときの格子定数 b の変化

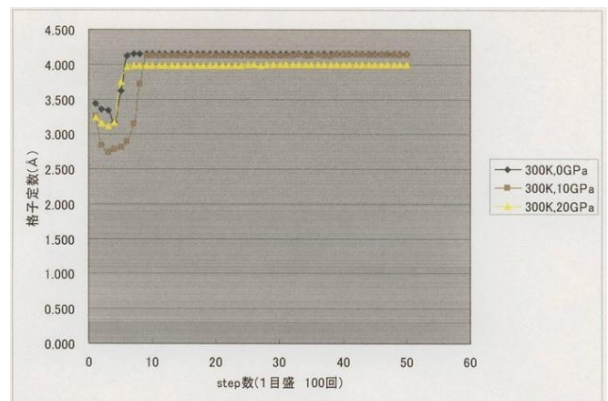


図12 A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 のときの格子定数 c の変化

図10から図12までから格子定数が圧力を上げてもあまり変化しないことがわかる。この結果から銅の様な対称性の良い物質は圧力を上げても格子定数はさほど変化しないと考えられる。しかし, 確証を得るために銅以外の対称性の良い材料に対しても計算を行う必要がある。さらに step 数を5000回と設定しているが, ほとんどの計算は1000回前後で終わり後は安定していることもわかる。これはプログラム自体の問題であるためこの点も今後の検討課題である。

### 3.4. 考察

図8では格子定数 a が, 図9では格子定数 b が他の2つの格子定数とは大きく異なる値をとっていることがわかる。さらに3つの格子定数ともに銅の従来の格子定数である3.615(Å)とは異なる値となっている。このことからポテンシャルパラメータが適切でないと考えられる事ができる。

しかし, A=49.6, B=10, F=24.79, G=8.75 の計算結果による密度は 8.77340(g/cm<sup>3</sup>)となっており, 銅の密度 8.9331428(g/cm<sup>3</sup>)に非常に近い値をとっていることから, 銅の密度の観点から考えると, ポテンシャルパラメータとして比較的正しいのではないかと考えられる。従って

- ポテンシャルパラメータ
- 圧力制御
- ポテンシャル関数

の3点において検討が今後必要である。

#### 4. おわりに

本報告では高圧下で銅にせん断力を加えた結果、従来とは異なる fcc の結晶構造が生じることを確認した。しかし fcc の構造が当てはまらない面間隔も存在しており、他の構造の共存も考えられる。これにより銅の変態を確認出来た。

さらに既報の論文において示された面間隔とは大きく異なる面間隔も出現している。これは IP が高感度のため得られたと考えられる。従って、今後の高圧せん断後の物性及び既報の論文での条件下で IP による X 線回折を行うことも有効である。

シミュレーションにおいてはポテンシャルパラメータ、圧力制御、ポテンシャル関数について検討が必要である。しかし、銅の密度の観点では比較的正しいポテンシャルパラメータが得られたと考えられる。

#### 5. 謝辞

本報告を進めるに当たり、昔の当研究室卒業生、竹本亮君の力量に感謝すると共に、高圧せん断実験、検証にご助言をいただいた、元 山梨大学古市博先生にこの場を借りて感謝の意を表させていただきます。

#### 参 考 文 献

- [1] 鈴木大輔, 鳥居直邦, 管野善則, 古市博, 日本機械学会 2003 山梨講演会講演論文集, (2003)223.
- [2] JCPDS, Powder diffraction file:4-0838.
- [3] H. Furuichi, E. Ito, Y. Kanno, and others, J. Non-Cryst. Solids, 279(2001)215.
- [4] B. D. Cullity, 村松源太郎 訳, X 線回折要論, アグネ, (1976), 301-314.
- [5] 平尾一之 河村雄行, パソコンによる材料設計(1994) 裳華房
- [6] 河村 雄行, MXTRICL/MXDORTO
- [7] 田中実, 福井芳彦, 竹内栄(1973), 液体金属イオン系の熱運動の計算シミュレーション: 自己拡散機構と集団熱運動の解析. 日本金属学会誌 37, 907-916

# 自律的な学習における目標と手段の調査

網代 剛\*

## A Research of the Purposes and Methods for Autonomous Learning

Tsuyoshi Aziro\*

### Abstract

This paper observes the purposes and methods for autonomous learning. The examples of purposes of learning are Key Competences, inductive thinking, and education on particular context so as mathematics. The examples of methods are Progressivism education, Experiential Learning, Case Method, PBL, and so on. The outcomes are followings. First, the transfer of competences between contexts to another is in common with the examples of purposes. Second, the examples of purposes are classified with the degree of the width of the transfer between contexts. Finally, the possibility of transfer of competence within particular context will be found.

Keywords: transfer, competency, autonomous learning, mathematics education, professional education

### 1. はじめに

社会の大きな変化を受けて、教育も変化しつつある。本稿では、近年の教育における学習の目的および手段を概観し、これらに共通の要素として「転移 (transfer)」に注目し、学習の目的の分類、および学習の目的と手段の対応づけを試みる。

OECD による DeSeCo (Definition & Selection of Competencies)<sup>[1]</sup>プロジェクト(以下、DeSeCo)が指摘するように、この分野では、まだ用語が確立されていない側面がある。そこで、本稿では、便宜的に、主に DeSeCo にならい、次のよう用語を定義する。

- 文脈<sup>[1]</sup>: 複数の学術や技術の領域、産業、経営者、被雇用者、市民といった社会の中での立場、国や地域、企業といったコミュニティの特性などの分類の総称。
- コンピテンシー<sup>[1]</sup>: スキル(技能)、能力(アビリティ)といった学習や経験で獲得できるものの総称。
- 自律的な学習: 環境の変化や未知の領域への対応として、環境と相互作用的<sup>[2]</sup>に関わりつつ、学習者の自律的な探索を明示的に取り入れるという意味で、プラグマティズム<sup>[3]</sup>に基礎を持つ学習。

### 2. 学習の目標

変化する社会や新たな技術に対応した学習の目標については、複数の議論をみることができる。たとえば DeSeCo<sup>[1]</sup>は、学習の目標を、特定の文脈に固有なコンピテンシーではなく、多数の文脈に転移 (transfer) 可能な能力「キー・コンピテンシー」として定義している。我が国においては、公教育における学習の理念を「生きる力」<sup>[4],[5],[6]</sup>として定義している。また、実務者教育の文脈では、アージリス<sup>[7]</sup>、センゲ<sup>[8]</sup>、特定の文脈における教育として、数学のポリア<sup>[9],[10]</sup>、デザイン教

育のパウハウス<sup>[11]</sup>、古くは、学習と遊戯を関係付けたフレーベル<sup>[12],[13]</sup>、経験による自律的な探究を学習の文脈に持ち込んだデューイ<sup>[14]</sup>にも、こうした議論を見ることができる。

これらに共通する事項は、おおよそ次のとおりである。

- 自律的な学習
- 環境との相互作用的な対応
- 他の文脈に転移可能なコンピテンシー

#### 2.1. キー・コンピテンシー

DeSeCo<sup>[1]</sup>は、多様化と同時に標準化が進み、絶えず新たな技術の影響を受け、資源等の環境保全にも配慮しなければならぬ今日の社会における教育の指針として、大きく次の3つのカテゴリからなる「キー・コンピテンシー」を定義している。

- 相互作用的に道具を用いる
  - 言語、シンボル、テキストを相互作用的に用いる
  - 知識や情報を相互作用的に用いる
  - 技術を相互作用的に用いる
- 異質な集団で交流する
  - 他人と良い関係を作る
  - 協力する。チームで働く
  - 争いを処理し、解決する
- 自律的に活動する
  - 大きな展望のなかで活動する
  - 人生計画や個人的プロジェクト設計し実行する
  - 自らの権利、利害、限界やニーズを表明する

DeSeCo<sup>[1]</sup>は、「キー・コンピテンシー」の策定にあたって、

Received on December 7, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

その要件を次のようにさだめ、研究者のレビュー、異なる学問分野(哲学, 人類学, 心理学, 経済学, 社会学), 異なる国(12の国: CCP-Country Contribution Process: オーストリア, ベルギー, デンマーク, フィンランド, フランス, ドイツ, オランダ, ニュージーランド, ノルウェー, スウェーデン, スイス, アメリカ), 異なるセクター(教育セクター, 労働セクター, 指標とアセスメント, 国レベルでの研究活動, 若者の発達, 市民社会など)の知見を統合しての検討を目指した。

- 「キー・コンピテンシー」の要件<sup>[4]</sup>
  - 全体的な人生の成功と正常に機能する社会という点から, 個人および社会のレベルで高い価値をもつ結果に貢献する。
  - 幅広い文脈において, 重要で複雑な要求や課題に応えるために有用である
  - すべての個人にとって重要である。

多数のコンピテンシーを検討してゆく中で, DeSeCo<sup>[1]</sup>は, コンピテンシーは, 国家, 地域やコミュニティなどの社会や, 学術・技術に固有の文脈と, 完全に切り離しては成り立たないとしたうえで, 様々な文脈に対する共通セットとして「キー・コンピテンシー」を定義するアプローチを選択する。DeSeCo<sup>[1]</sup>は, これを, 次の特徴を持つ, 機能的・需要的アプローチをとっている。

- 「キー・コンピテンシー」策定における受容的・機能的アプローチ<sup>[4]</sup>
  - 転移可能であること
  - 学習可能であること
  - 需要を反映したものであること

「キー・コンピテンシー」の検討段階における CCP<sup>[1]</sup>等の報告には, 多数の「キー・コンピテンシー」の候補となるコンピテンシーがあったとされる(たとえば, ドイツの職業訓練の文献だけでも, 650以上の異なった「キー・コンピテンシー」が提案されていたという)。DeSeCo<sup>[1]</sup>は, コンピテンシーは, 必ず特定の文脈において獲得されるとしながらも, 当該文脈と異なる文脈においての発揮が期待できないものは, 「キー・コンピテンシー」とはせず, 他の文脈でも発揮できるものを「キー・コンピテンシー」とした。これが, 転移可能であることの意味である。DeSeCo<sup>[1]</sup>ではこれを適応(adaptation)<sup>[1]</sup>とも呼んでいる。また, 「キー・コンピテンシー」は, 先天的に備わる能力ではなく, 学習による獲得が可能なものである。さらにDeSeCo<sup>[1]</sup>は, 「キー・コンピテンシー」を, 概念的プラグマティズムによるとしている。すなわち, 先に記した3つのカテゴリからなるキー・コンピテンシーの定義は, 固定的なものではなく, 文脈との相互作用によって, 組み合わせられて用いられることはもちろん, 優先順位が付けられたり, 適応という形で変化したりしてゆくものであるとしている。

## 2.2. 生きる力

学習指導要領解説<sup>[4],[5],[6]</sup>は, 「生きる力」の背景として, 21世紀を, 新しい知識・情報・技術が政治・経済・文化をはじめ社会のあらゆる領域での活動の基盤として飛躍的に重要性を増す「知識基盤社会」の時代とし, このような社会環境のもとでの学習の目標としての「生きる力」を次のように定義している。

- 基礎・基本を確実に身に付け, いかに社会が変化しようと, 自ら課題を見つけ, 自ら学び, 自ら考え, 主体的に判断し, 行動し, よりよく問題を解決する資質や能力, 自らを律しつつ, 他人とともに協調し, 他人を思いやる心や感動する心などの豊かな人間性, たくましく生きるための健康や体力<sup>[4],[5],[6]</sup>

「生きる力」は, 異なる文脈に転移可能なもののみとする「キー・コンピテンシー」と比べて, 基礎・基本や健康までも含む広範な内容である。それらは, 各教科において, より詳細に指導の内容が定められている。たとえば, 総合的な学習の時間<sup>[15],[16],[17]</sup>における学習の内容は, 基礎的・基本的な知識・技能の定着やそれらの活用は, 教科で行うことを前提に, 領域横断的なものとし, 特に探究的な学習および協同的な取り組みを充実させることとして, 各校種共通に, 次のように目標を定めている。

- 総合的な学習の時間の内容<sup>[15],[16],[17]</sup>
  - 横断的・総合的な学習や探究的な学習を通すこと
  - 自ら課題を見つけ, 自ら学び, 自ら考え, 主体的に判断し, よりよく問題を解決する資質や能力を育成すること
  - 学び方やものの考え方を身につけること
  - 問題の解決や探究活動に主体的, 創造的, 協同的に取り組む態度を育てること
  - 自己の生き方を考えることができるようにすること

一方で, 算数・数学<sup>[18],[19],[20]</sup>については, 総合的な学習が各校種で共通の目標であったのに対し, 各校種により異なる目標が定められている。

- 小学校算数科<sup>[18]</sup>: 算数的活動を通じて, 数量や図形についての基礎的・基本的な知識及び技能を身につけ, 日常の事象について見通しを持ち筋道を立てて考え, 表現する能力を育てるとともに, 算数的活動の楽しさや数理的処理のよさに気づき, 進んで生活や学習に活用しようとする態度を育てる
- 中学校数学科<sup>[19]</sup>: 数学的活動を通じて, 数量や図形などに関する基礎的な概念や原理・法則についての理解を深め, 数学的な表現や処理の仕方を習得し, 事象を数理的に考察し表現する能力を高めるとともに, 数学的活動の楽しさや数学のよさを実感し, それらを活用して考えたり判断したりしようとする態度を育てる。
- 高等学校数学科<sup>[20]</sup>: 数学的活動を通じて, 数学における基本的な概念や原理・法則の体系的な理解を深め, 事象を数学的に考察し表現する能力を高め, 創造性の基礎を培うとともに, 数学のよさを認識し, それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てる。

## 2.3. 帰納的推論

認知心理学において, 市川ら<sup>[21]</sup>は, 思考における推論を, 演繹的推論と, それ以外という意味での広義の帰納的推論とに分けている。市川ら<sup>[21]</sup>によれば, 演繹的推論とは, 本来, 推論の正しい方法があり, その方法にきちんと従いさえすれば, 必ず正しい答えに到達できるものであり, 帰納的推論と

は、個々の事例にもとづいて、一般的な法則を導く推論であるとし、すべての事例を検証した後、一般的結論を導くものを完全帰納推論、すべての事例を検証せずに一般的結論を導くものを不完全推論とし、確率推論、類推、因果推論など、演繹的推論以外の推論を広義の帰納的推論と定義している。この推論の過程では、必然的に論理が飛躍することになるが、これを、正解を得るための一連の手順であるアルゴリズムに対して、ヒューリスティックとしている。久原<sup>[22]</sup>は、自分の推論過程を意識的に吟味する反省的な思考として、次を検証するものを、批判的思考としており、これの中心的な役割が、帰納的推論であるとしている。

• 批判的思考<sup>[22]</sup>

- ・推論の適切さ
- ・推論によって導出された言明の真偽の度合い
- ・推論と与えられている情報などで構成された解釈の確かさ

また、市川<sup>[21]</sup>は、批判的思考を教えることは、学習者を良き思考者や市民に育てることであり、それは、批判的思考を構成するスキルを教えることによって可能であるとしている。この時、思考スキルは、他の文脈に転移可能であることを前提に、思考スキルの構成要素だけを訓練するよりは、ある文脈の問題解決過程全体の中で教授する方が、効果が高いとしている。また恩田<sup>[23]</sup>は、創造的思考について、現実的なものを現実思考、非現実的なものを内閉思考とし、創造的思考は、両者の中間にあるとしている。

2.4. 実務者教育

アージリス<sup>[7]</sup>は、実務者の学習について、学術的な研究者が開発した技術を、実務者がアプリケーションとして実行してゆく中で、その使用法に習熟してゆくというモデルではなく、実務者と研究者、あるいは異なる職務に携わる実務者同士のコラボレーションによって、変革が生み出されるというモデルを提案し、今日の実務者教育につながる、実務者の学びを明示的に意味づけている。アージリスの学習モデルは、問題のある環境に対し、学習者が、時に試行錯誤を繰り返しつつ、自律的に問題を解決 (inquire) するという、デューイ<sup>[14]</sup>のモデルを基礎にしている。また、センゲ<sup>[8]</sup>は、実務者による自律的な学習に、システム思考を持ち込み、物流・マーケティング等を題材とした動的なシミュレーションを用いつつ、企業の長期的な生存を実現するための組織の学習の方略を提案している。これらは、教授者からの一方的な情報伝達という教育とは異なる形式を提案しているが、極端な例では、実社会の中にこそ、学びがあるとして、教室という閉ざされた人工的な空間における教育を否定したイリッチ<sup>[24]</sup>などの例もある。

2.5. 領域固有の教育

ポリア<sup>[9],[10]</sup>は、数学教育の目的を、問題解決としたうえで、問題の解法のパターン化を試みている。ポリアの言うパターンとは、可能な限り条件を限定しない広範な種類の問題に対して、問題を解決できる複数の技法を組み合わせた問題解決法のシナリオである。学習者がこれを実践し問題を解決するには、くりかえしによる各技能及び解法への習熟が不可欠であるとしている。広範な数学の領域の学習において、学習者が身につけるべき内容を、集約しようという試みは、他にも

みられる。片桐<sup>[25],[26]</sup>は、ポリアほど明確に問題解決を学習の目的に据えてはいないが、数学の学習において必要と思われる技法を、たとえば、数量化、類推、帰納などとして、整理している。松田<sup>[27]</sup>は、比較的ポリアに近く、問題解決を明確に学習の目的に据えているが、ポリアほど、問題解決を規定せず、いくつかの確認項目の提示にとどめている。これは、問題解決における学習者の自律的な思考支援を目的とするためであるとしている。一方、遠山<sup>[28]</sup>は、数学の体系への理解が重要であるとして、数や論理の学習を重視した学習を提案している。遠山<sup>[28]</sup>は、1950年代の日本の数学および算数教育における生活単元学習 (商品の購買や銀行の模擬など、生活の場面の中に、会話や社会制度の学習と織り交ぜながら数学を扱うような、デューイの流れをくむ、アメリカ式の学習<sup>[34]</sup>であり、今日の総合的な学習にもつながるものである。)を、数学の知識を断片的に扱うだけで、数学の体系的な学習に有害であるとして、明確に否定している。また、インダストリアルデザインの分野では、ドイツのパウハウス<sup>[11]</sup>が、それまで、体系たてられていなかった造形や映像の表現方法について、評価基準を定めることを含む体系化を試みている。

3. 学習の手段

前章で概観した自律的な学習の目的について、目的を実現する学習モデルや学習の実施方法の事例を概観する。

3.1. 進歩主義教育

デューイ<sup>[29],[30]</sup>の問題意識は、変化する社会の中で、市民として主体的にふるまうことを、相互作用的に環境の変化と関わり、現実を重視しつつ、自律的な学習で、実現してゆこうとするものであり、今日の DeSeCo<sup>[1]</sup>にも相通じるものである。デューイは、20世紀初頭において、大量生産という科学技術による分業の進行という社会の変化を受けて、それまでは、日常生活に必要なものやできごとは、すべて自分でまかなわれていたのに対し、それらが、自分の知らないところでできた既存の物を、しくみや理由もわからないままに、与えられた手順で操作することに終始してしまうことが、民主主義において、主体的に判断を下してゆくべき市民の育成にとって、大きな障害となるとの問題意識を持ち、自律的に科学技術や歴史を探究する「進歩主義教育」を提唱、実践した。

デューイ<sup>[14]</sup>はシガゴ大学付属小学校での手工教授において、児童が、自律的な探究を経て、羊毛を掻き出すピンのついた道具を「再発明」したと報告している。デューイの時代において、羊毛を紡ぐ道具は、児童が自律的に「再発明」した道具よりも、はるかに精巧で能率の良い道具が実用化されていたはずであり、児童の再発明自体には、社会的な価値は皆無であると思われる。教育の目的を、最新の、あるいは既に確立された知識や作業手順を身につけることとするならば、この学習は、まったく無意味なこととなる。しかし、デューイは、教育の目的を、児童の自律的な探究としており、この限りにおいて、探究の結果としての道具が、最新のものであるか否かは、はっきりと問題ではなくなる。

デューイの「進歩主義教育」は、学習者の自律的な探究を明示的に扱った点で、今日の教育につながるが、同時に、今日に至るまでも解決策が確立していない次のような問題も露呈させている。

- 学習の制御の困難さ
- 学習の成果についての不確実性

- 自律的な探究の成果と現実との不可分性

デューイの「進歩主義教育」は、ひろくアメリカに普及してゆくが、それに伴って、ほとんど無秩序な教室で、児童が自らの原始的な欲望の赴くままに徘徊するのを放置している状態を「進歩主義教育」と称しているというような極端な例も見られた<sup>[31]</sup>。これに対しデューイは、観察や判断といった知的活動が、欲望を制すると反論したが、この問題は、今日に至るまで、程度の差こそあれ、観察される現象であり、この種の学習の制御の困難さを端的に表している例といえる。また「進歩主義教育」において、すべての児童が「再発明」に到達できる訳ではない、というよりは、ほとんどの児童が「再発明」に至らないであろうことは、想像に難くない。この意味で、デューイの実践は、少なからぬリスクを持っている。さらに、DeSeCo の指摘<sup>[11]</sup>にもあるように、自律的な探究を、現実の文脈から完全に切り離すことは、容易ではないと思われる。あくまで教育の目的は自律的な探究としながらも、探究の対象があまりに現実とかけ離れていれば、学習者は困惑するであろうし、探究の対象が現実的であるほど、既知の情報が存在するので、学習者は、それらを参照するかもしれないし、教授者は、それを学習の目的の障害となる程度まで提供してしまうかもしれない。

### 3.2. 協同学習

協同学習とは、少人数のグループによる活動から、新たな知見の獲得を期待する学習方法である。杉江<sup>[32]</sup>は、グループ学習がすなわち協同学習ではないとしたうえで、次の諸点を学習の目標としている。

- 協同学習の目標<sup>[32]</sup>
  - 主体的で自律的な学びの構え
  - 確かで幅広い知的習得
  - 中間とともに課題解決に向かうことのできる対人技能
  - 他者を尊重する民主的な態度

また杉江<sup>[32]</sup>は、協同学習を成功させるためには、学習者と教授者、学習者間に、自由に発言しても大丈夫であるという信頼関係を構築することが不可欠であるとしている。これは、教授者、ただ単に「自由に発言してください」とアナウンスするといった形式的なものだけではなく、学習者の発言を一方的に否定しない、あらかじめ用意した正解に誘導しないことなどを、態度、言動に至るまで、徹底することであるとしている。このような協同学習と同様の手法で、実際の問題解決を期待する手法が、アクションリサーチである。矢守<sup>[33]</sup>は、アクションリサーチの特徴を次の諸点としている。

- アクションリサーチの特徴<sup>[33]</sup>
  - 目標とする社会的状態の実現へ向けた変化を志向した広義の工学的・価値懐胎的な研究
  - 目標状態を共有する研究対象者と研究者(双方含めて当事者)による共同実践的な研究

また、アクションリサーチで導かれる解について、矢守<sup>[33]</sup>は「正解」ではなく「成解」という言葉を用い、協同的な実践の中から解を構成してゆくことを強調し、さらに、アクションリ

サーチは、当事者が生身をさらし、生活をかけている実践に研究者が介入するため、導入には慎重にならなければいけないとしている。このように、アクションリサーチは、協同学習と同じく、対象者との信頼関係をきわめて重視する特徴がある。

### 3.3. 経験学習

コルブ<sup>[34]</sup>は、経験学習の主たる構成要素を次のように定め、循環的学習モデルを提案している。

- 経験学習を構成する要素<sup>[34]</sup>
  - デューイによる経験
  - ピアジェによる発達段階のモデル
  - レウインによるグループダイナミクス

コルブによれば、経験学習は、デューイ<sup>[29]</sup>、<sup>[30]</sup>によって、学習者の自律的な探究が学習の場に取り入れられ、ピアジェ<sup>[35]</sup>や、フレーベル<sup>[12]</sup>、<sup>[13]</sup>による、経験による知識構造(シエマ)の獲得というモデルによって補強され、経験を知識化する手段として、アクションリサーチ<sup>[33]</sup>、協同学習<sup>[32]</sup>などの、グループダイナミクスの知見が用いられたとされる。これらを統合すると、経験から得られた結果を、反省的(第三者的に)に観察し、具体的な観察の結果を、抽象的な概念とし、その概念を検証することで、次の行動を計画するという、次の4つの段階を循環させることで、経験から知識を抽出する学習モデルが成り立つとしている。

- 循環的学習モデル<sup>[30]</sup>
  - 経験 CE (Concrete Experience)
  - 観察 RO (Reflective Observation)
  - 概念 AC (Abstract Conceptualization)
  - 検証 AE (Active Experimentation)

### 3.4. 教育現場での実践

学習指導要領解説<sup>[15]</sup>、<sup>[16]</sup>、<sup>[17]</sup>は、総合的な学習の実施にあたっては、具体的な内容は、各校における自主的な計画に委ねるとしている。総合的な学習に限らず、自律的な学習では、教授者や教育機関による独自の授業方法がとられるものが多い。たとえば、早稲田大学人間総合センター<sup>[36]</sup>は、千葉県館山市立北条小学校における60年以上継続している総合学習を報告している。それによれば、太平洋戦争直後の教育改革<sup>[37]</sup>を契機として、全国に複数の総合学習に精力的に取り組む学校がみられた<sup>[38]</sup>が、北条小学校の事例は、今日に至るまで、一貫して生活の実践と学習を結びつける学習プログラム(それらは、研究発表だけでなく、運動会や卒業式などの公式の学校行事の企画の一部を児童による自律的な話し合いに委ねるなどの活動を含む)の、開発・改良および実践を続けており、それらが、現場の教職員の自律的活動によって継続している点で、公立小学校としては異例であるとしている<sup>[36]</sup>。野嶋<sup>[39]</sup>は、北条小学校の事例を引用しつつ、優れたとされるものをトップダウンで実行するのではなく、現場での実践の積み重ねによっても優れたものが生み出せるとし、現場による実践の効果、および活動を継続させる仕組みの重要性を指摘している。

### 3.5. 発想法

発想法は、自律的なグループ活動、主にディスカッションなどに、ある種の形式を設けることで、目標に向かって、効率的に機能させるための制御方法ともとらえることができる。高橋<sup>[23]</sup>は、発想法を次の4つに分類している。

- 発想法の分類<sup>[23]</sup>
  - 発散的思考(発散技法)
  - 収束的思考(収束技法)
  - 発散と収束の組み合わせ(統合技法)
  - 創造的な態度を養成(態度技法)

高橋<sup>[23]</sup>は、特に発散的思考と収束的思考について、アイデアをたくさん出し、選択肢を広げる発散思考と、それらを評価・統合する収束思考とを明確に区別して実行することが、創造的思考の大原則であるとし、この区別があいまいな場合、アイデアを広げなければならないときに、批判や選別をしてしまうことで、アイデアが委縮してしまい、反対にアイデアを集約し、次の段階に進むべきときに、いつまでも議論が続くというような、効率の悪い状態になってしまうと指摘している。

### 3.6. Learning by Doing

シャンク<sup>[40]</sup>は、インストラクショナルデザインの文脈で、自律的な学習の方法論を提案している(GBS: Goal Base Scenario)。GBSは、次の7つの要素から構成される。

- GBS Design<sup>[40]</sup>
  - Learning Goals
  - Mission
  - Cover Story
  - Role
  - Scenario Operations
  - Resources
  - Feedback

シャンク<sup>[40]</sup>は、学習者にミッションと初期条件、資源、選択肢を与え、自律的にミッションの達成を目指して活動させるというものであり、学習のゴールは、学習者に提示されたミッションではなく、自律的なミッション達成であり、これを「ゴール」としている。GBSは、eラーニングだけでなく、シリアスゲーム<sup>[41]</sup>と呼ばれる学習ソフトにも応用された例がある。

### 3.7. ケースメソッド

ケースメソッド<sup>[42]</sup>は、20世紀前半に、ハーバード大学で、経営大学院用のプログラムとして体系化されたものである。多様な事例を扱う法律大学院における判例研究の手法にならったものであり、架空または実在の問題を提供する事例(ケース)について、当該問題の解決策を、教師による講義ではなく、学生による討論で構成的に導き出す授業形式である。高木<sup>[42]</sup>は、ケースメソッドにおけるディスカッションが、自ら発言し、相互に理解し、対立し、新たな理解を作り上げる過程であるとし、これが、個の尊重と、関係性による創造という、新たなリーダーシップの形態となるとしている。

### 3.8. ゲーミングシミュレーション

ゲーミングシミュレーション<sup>[43]</sup>は、1960年代にアメリカを中心に発達した、問題解決技法である。たとえば、都市における再開発問題など、人間が介入する複雑なシステムを、仮想の世界のシミュレーションで再現し、相互に異なる立場を理解しあい、問題の解決策を構成的に導き出すとするものである。ゲーミングシミュレーションは、問題の解決策を、構成的に導き出すとする点で、ケースメソッドとの共通点がみられる。また、1990年代には、エンタテインメントのゲーム製作企業が、ゲーミングシミュレーション的なソフトを開発・販売していた事例もある<sup>[44]</sup>。

### 3.9. PBL

今日、PBLは、Problem Based Learning、または、Project Based Learningと複数の名称がみられる。Problem Based Learningは、日本では、1990年代末頃から、看護の分野を中心に研究報告を見ることが出来る<sup>[45]</sup>。Problem Based Learningは、学習者による自律的なディスカッションを経て、問題の解決策を構成的に導き出すものである<sup>[46]</sup>。この点で、協同学習<sup>[32]</sup>、ケースメソッド<sup>[42]</sup>、ゲーミングシミュレーション<sup>[43]</sup>等と共通点が見いだせる。一方、Project Based Learningは、日本では、2000年代に、創造的なものづくりの演習技法として研究報告を見ることが出来る<sup>[47],[48]</sup>。Problem Based Learning、Project Based Learningいずれの場合も、学習者による自律的な活動を経て何らかの解を構成的に導き出す点においては、大きな違いは見られないようである<sup>[47],[48],[49],[50],[51],[52]</sup>。

## 4. 考察

### 4.1. 転移

「キー・コンピテンシー」は、学習者による(特定の文脈で)獲得したコンピテンシーの転移・適応に重きが置かれているようである。やや極端な言い方をすれば、学習者自身が、転移可能であるコンピテンシーが存在することを知り、そのコンピテンシーが何であるか、さらには、自らの置かれた文脈についても、学習者自身が定義することを求めているようにも見える。「キー・コンピテンシー」を教育の実践に活用する場合の教育機関の役割は、固定的なコンピテンシーを提示することではなく、DeSeCoの定める3つのカテゴリを参考に、学習者が、自らの置かれた文脈におけるコンピテンシーを定義しやすいような、ガイドラインやモデルケース、あるいはカウンセリング等の支援であるという見方もできる(しかし、これを実践するには、教育機関、学習者に相当程度の技能が求められるようにも感じる。あるいは、こうした印象も、DeSeCoにおけるCCPの12か国と、我が国の文脈の違いなのかも知れない)。

一方で「生きる力」は、「キー・コンピテンシー」と比べると、内容が固定されており、マニュアル的な運用がしやすい印象である。注目すべきは、総合的な学習における探究との対比で、基礎・基本を担当するとされる教科の指導内容に、技能を身につけるだけでなく、表現し考察する能力を育て、現実の問題解決に応用するまでが含まれていることである。このことから、学習指導要領は、探究すなわち自律的な学習、習得すなわち教示的な学習というような単純な分類ではなく、探究につながる中間的な領域を定めていることが分かる。固有の文脈における教育には、ボリア、松田、パウハウスなどの事例が参考になる。これらに共通する点は、広範な領域の

学習を、何とか集約し、効率化しようとしていることである。これは、個別の事例に、ある種の知識または技能のセットを転移させることであり、「キー・コンピテンシー」とも共通点が見いだせる。このように考えると、転移が可能な文脈の広さによって、本稿で概観した学習の目標を分類することができる。それぞれの文脈で獲得されたコンピテンシーは転移によってつながるといような解釈ができる(図1参照)。

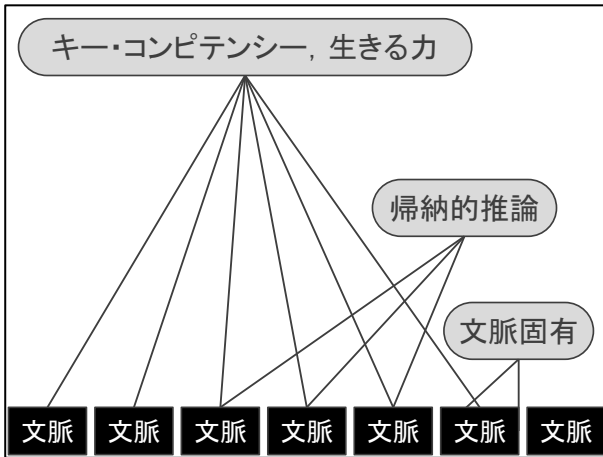


図 1:学習の目標の分類

#### 4.2. 目的と手段の対応

本稿で概観した学習の目的(2章)と学習の手段(3章)との対応関係を考える。4.1で考察したように「キー・コンピテンシー」や「生きる力」は、直接何がしかの学習手段で身につけるものではなく、複数の文脈と学習手段を組み合わせる身につけてゆくべきものと考えられる。また、3章で概観した学習手段は、ケースメソッドにおける経営の事例や、PBLにおける看護やものづくりといったように、それぞれ対象とする文脈を持っていつも、単なる領域固有のコンピテンシーの獲得ではなく、他の領域への転移を視野に入れているようである(たとえば、ケースメソッドでは、経営の事例を題材にしつつ、リーダーシップが育成できるとしている)。このように考えると、3章で概観した学習手段は、図1における「キー・コンピテンシー」「生きる力」と固有の文脈との中間の領域、たとえば帰納的推論のあたりを学習の目的として考えて良いだろう(図2参照)。

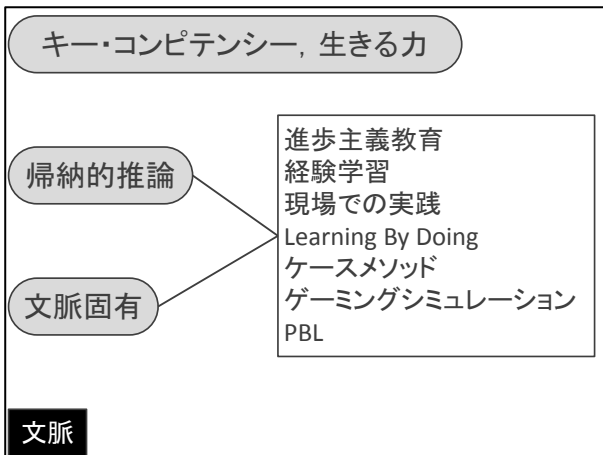


図 2:学習の目的と手段の対応

#### 4.3. グループ活動

本稿で概観したすべての学習手段の事例は、自律的な学習の手段として、グループ活動を用いている。自律的な学習にグループワークは有効であるかも知れないが、唯一の手段ではないはずである。反対に、グループ活動が学習や活動の障害となる場合も考えなければならない。たとえば、実務におけるソフトウェア開発でのプロジェクトメンバー間の概念の共有、学習における学習者の知識や経験、関心の違いなど、日常の中で容易に見出すことができる。

### 5. 今後の研究

#### 5.1. 転移の支援

転移(Transfer)に注目する。転移できる文脈が多いとは、それだけ次のような問題が発生すると考えられる。

- 直接的な学習が困難になる
- 転移が複雑になる
- 学習者に転移の負荷がかかる

さらに、コンピテンシーは特定の文脈で獲得される<sup>[1]</sup>とすれば、特定の文脈において獲得されたコンピテンシーを定義し、その転移を支援することには、次のような効果が期待できる。

- 学習者によるコンピテンシーの定義と転移の支援
  - 獲得したコンピテンシーの転移の範囲の拡大
  - より転移の範囲が広いコンピテンシーの獲得
  - ケースメソッド、PBL といった、より転移の範囲が広いコンピテンシーの獲得を目的とした学習の効率改善

#### 5.2. 基礎教育における展開

筆者はこれまで、多様な文脈をもつ専門職大学院において、数学<sup>[53],[54]</sup>、撮影技法<sup>[55]</sup>等の基礎学習に取り組んできた。これらは、それぞれ、これまで数学に親しんでこなかった学生への工学的文脈における学習支援、これまで映像表現に親しんでこなかった学生への感性的文脈における学習支援を目指してきた。しかし、他の文脈で既に高いコンピテンシーを持っていると考えられる学生に対して、コンピテンシーの転移支援を実施できれば、学習支援の効率改善も期待できる。

そこで、まずは、近接した文脈間の転移から、徐々に文脈の範囲を広げてゆき、数学の学習から、撮影の学習に転移可能なコンピテンシーの定義、さらに広い範囲の文脈へ転移可能なコンピテンシーの定義と転移の支援、というような形で研究を進めてゆく(図3、図4、図5参照)。



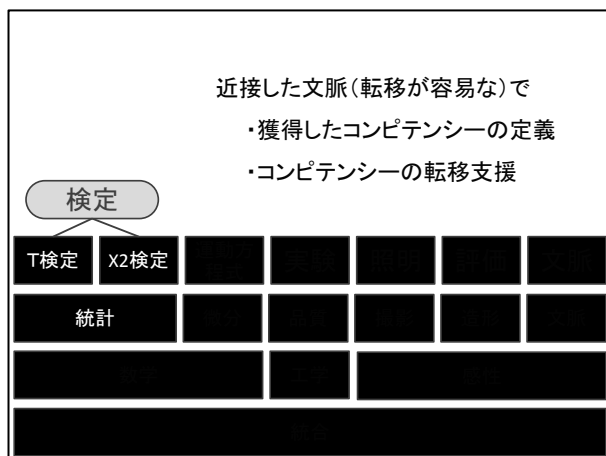


図 3: 近接した文脈間の転移

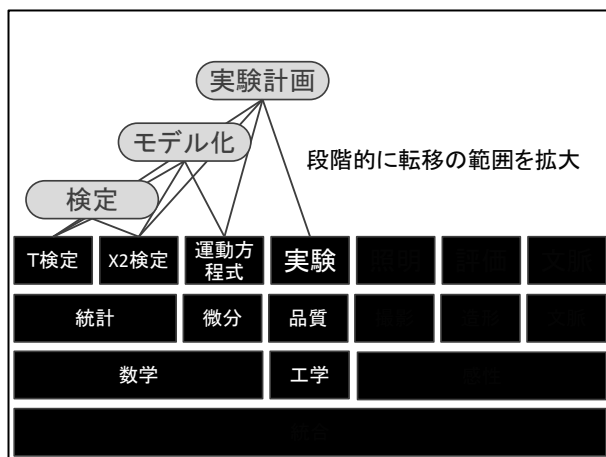


図 4: 転移の範囲を拡大

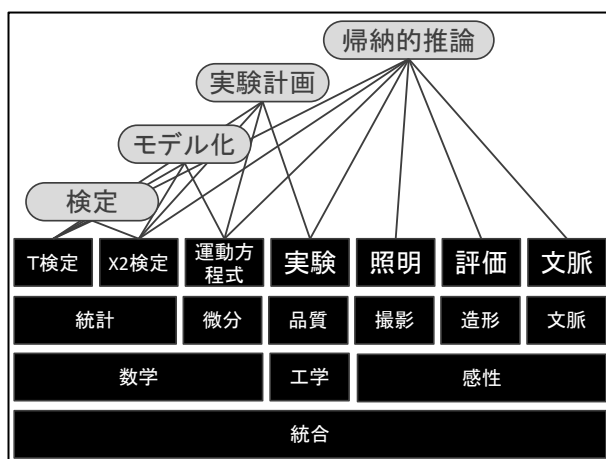


図 5: 大きく異なる文脈間の転移

## 6. 謝辞

本研究は、科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究 No. 23650547)の支援によって行われた。

## 参考文献

- [1] ドミニク・S. ライチェン・ローラ・H. サルガニク(立田慶裕 訳), キー・コンピテンシー, 2006, 明石書店.
- [2] 坂元昂, 教育工学の原理と方法, 1984, 明治図書
- [3] W. ジェイムズ (榊田啓三郎 訳), プラグマティズム, 1957, 岩波書店.
- [4] 文部科学省, 小学校学習指導要領解説・総則編, 2008, 東洋館出版.
- [5] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説・総則編, 2008, ぎょうせい.
- [6] 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説・総則編, 2009, 東山書房.
- [7] Chris Argyris, Donald A. Schon, "Organization Learning II", 1996, Addison-Wesley Publishing.
- [8] ピーター・M. センゲ (守部 信之 訳), 最強組織の法則, 1995, 徳間書店.
- [9] G. ポリア(柴垣和三・金山靖夫 訳), 数学の問題の発見的解き方1, 1964, みずす書房.
- [10] G. ポリア(柴垣和三・金山靖夫 訳), 数学の問題の発見的解き方2, 1964, みずす書房.
- [11] 三井秀樹, 新構成学, 2006, 六耀社.
- [12] フレーベル(荒井武訳), 人間の教育(上), 1964, 岩波書店.
- [13] フレーベル(荒井武訳), 人間の教育(下), 1964, 岩波書店.
- [14] デューイ(宮原誠一訳), 学校と社会, 1957, 岩波書店.
- [15] 文部科学省, 小学校学習指導要領解説・総合的な学習の時間編, 2008, 東洋館出版.
- [16] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説・総合的な学習の時間編, 2008, 教育出版.
- [17] 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説・総合的な学習の時間編, 2009, 海文堂.
- [18] 文部科学省, 小学校学習指導要領解説・算数編, 2008, 東洋館出版.
- [19] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説・数学編, 2008, 教育出版.
- [20] 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説・数学編・理数編, 2009, 実教出版.
- [21] 市川伸一, 認知心理学4思考, 1996, 東京大学出版会
- [22] 久原恵子・井上尚美・波多野誼余夫, 批判的思考力とその測定, 読書科学, 27, 131-142, 1983
- [23] 高橋誠, 新編想像力辞典, 2002, 日科技連.
- [24] I. イリッチ(東洋・小澤周三訳), 脱学校の社会, 1977, 東京創造元社.
- [25] 片桐重男, 数学的な考え方の具体化と指導, 2004, 明治図書.
- [26] 片桐重男, 数学的な考え方とその指導—指導内容の体系化と評価, 2004, 明治図書.
- [27] 松田稔樹・多胡賢太郎・坂元昂, 教授活動の計算機シミュレーションに向けたモデルの提案, 日本教育工学雑誌, 15(4), 1992.
- [28] 遠山啓, 数学の学び方・教え方, 1972, 岩波書店.
- [29] デューイ(松野安男訳), 民主主義と教育(上), 1975, 岩波書店.
- [30] デューイ(松野安男訳), 民主主義と教育(下), 1975, 岩波書店.
- [31] デューイ(市村尚久訳), 経験と教育, 2004, 講談社.
- [32] 杉江修治, 協同学習入門, 2011, ナカニシヤ出版.
- [33] 矢守克也, アクションリサーチ, 2011, 新曜社.
- [34] Kolb, D.A., "The Experiential Learning", 1984, Prentice Hall.
- [35] 波多野誼余夫, 認知心理学5学習と発達, 1996, 東京大学出版会.
- [36] 千葉県館山市立北条小学校・早稲田大学人間総合センター, ふだん着の総合学習, 2000, 第一法規出版.
- [37] 村井実, アメリカ教育使節団報告書, 1979, 講談社.
- [38] 中村恵子, 日本における総合・合科的学習, 現代社会文化研究, 34, 2005.

- [39] 野嶋栄一郎・鶴田利郎・金森紀博・渡邊淳, 児童・生徒の成長と教員の成長を並行的に実現する学校教育システム, 日本教育工学会研究報告集, JSET12-4, 2012.
- [40] Roger C. Schank, Tamara R. Berman, Kimberli, A. Macpherson, "Lerning by Doing", Charles M. Reigeluth Alison, A. Carr-Chellman (Eds.), INSTRUCTIONAL-DESIGN THEORIES AND MODELS, 1999, Lawrence Erlbaum Assoc Inc
- [41] 藤本徹, シリアスゲーム, 2007, 東京電機大出版局
- [42] Barns, L.B, Christensen, C.R, Hansen, A.J. (高木晴夫訳), ケースメソッド実践原理, 1997, ダイヤモンド社.
- [43] 兼田敏之, 社会デザインのシミュレーション&ゲーミング, 2005, 共立出版.
- [44] 新井潔, シミュレーションゲーム進化論, 1992, 光栄.
- [45] 糸井 志津乃. 森 美智子. 畑尾 正彦, 看護学における問題基盤型学習(PBL)を用いたテュートリアル教育(1)テュータ評価からみた学生の学習傾向, 日本赤十字武蔵野短期大学紀要, 12, 1999.
- [46] D. R. ウッズ (新道幸恵 訳), PBL(Problem-based Learning), 2001, 医学書院.
- [47] 中村俊浩・松尾哲司, プロジェクト型早期専門教育科目「電気電子工学概論」, 工学教育, 54-3, pp19-22, 2006.
- [48] 出村公成・谷正史・服部陽一, 金沢工業大学における夢考房プロジェクト教育, 工学教育, 54-6, pp128-135, 2006.
- [49] 美馬のゆり, 大学における新しい学習観に基づいたプロジェクト学習のデザイン, 工学教育, 57-1, pp45-50, 2009.
- [50] 佐藤宏介・小田坂宏三・久保井亮一, 大阪大学基礎工学部におけるPBL科目, 工学教育 54-3, pp46-50, 2006.
- [51] 岡田将人・村中貴幸・亀山健太郎・北川浩和・鈴木秀和, 異分野融合型PBLの実践と分担制導入による教育効果, 工学教育, 58-1, pp76-82, 2010.
- [52] 伊藤照明, 教育効果を高めるプロジェクト指向型授業に求められる基礎的要件, 工学教育, 54-6, pp122-127, 2006.
- [53] 網代剛・松田稔樹, 「数学的な見方・考え方の活用に着目した数学独習教材用の学習モデル」, 日本教育工学会研究報告集, JSET12-3, 2012.
- [54] 網代剛・松田稔樹, 数学的な見方・考え方の活用を促進するe-learning教材と学習者モデルの妥当性評価, 日本教育工学会研究報告集, JSET12-4, 2012.
- [55] 網代剛, AIITにおける撮影スタジオを用いたデザイン教育の実践報告, 産業技術大学院大学紀要第5号, 2011

# Home Continuity Plan サービスに関する 平成 23 年度 AIIT-PBL の成果から

川田誠一\*・田村百合子\*・西垣勇人\*・三好きよみ\*・黄海蘭\*・加府藤茂\*

## Some Results of AIIT-PBL in 2011 about the Home Continuity Plan Services

Seiichi Kawata\*, Yuriko Tamura\*, Hayato Nishigaki\*,  
Kiyomi Miyoshi\*, Hailan Huang\* and Shigeru Kafuto\*

### Abstract

Abstract: In this paper, It is shown about some results of AIIT-PBL in 2011. The project is related to the development of the Home Continuity Plan Services. Here, we propose an evaluation framework of the HCP (Home Continuity Plan) services by discrete event systems simulation. The HCP (Home Continuity Plan) service is a new service system for maintaining our daily life safeness by using the concept and idea of the BCP (Business Continuity Plan) which is the important planning for the company to continue their business whatever happens in the disaster such like the 3.11 Tohoku earthquake in Japan. The HCP service in this paper is designed a model-based system integration technique and described using the OMG SysML. As a new service, it is difficult that the customer of this service has the any expectations a priori. So, in this paper, we propose the framework that makes sure how to introduce the customer's expectations and how to evaluate these expectations to produce or not to produce the real business contract.

Keywords: BCP, Home Continuity Plan, SysML, System integration, Discrete Event Systems, Customer expectations

### 1. はじめに

本論文は、平成 23 年度における産業技術大学院大学産業技術研究科創造技術専攻における PBL 型授業の成果から取りまとめたものである。本プロジェクトのチーム編成は次のとおりである。

主担当教員: 川田誠一  
副担当教員: 福田哲夫, 佐々木一晋  
学生: 加府藤茂, 黄海蘭, 田村百合子,  
西垣勇人, 三好きよみ

震災など家庭の日常が破壊されるような様々な状況において、事業継続計画 (Business Continuity Plan, 以下 BCP と略す) の重要性が指摘されてきた[1]。中小企業庁では「中小企業 BCP 策定運用指針」[2]を HP 上で公開しているなど、大企業だけではなく、中小企業、ひいては個人の生活においても、日常の破壊に対処する備えが必要であると考える。著者らは、個人生活においても、家庭版 BCP といえる家庭生活継続計画 (Home Continuity Plan, 以下 HCP[3]と略す) の策定が重要であるとの考えに立ち、新サービスとしての HCP サービスを考え、システムインテグレーションの視点でモデル化し、新サービスとして提案した[4]。

本報告では、顧客が事前に期待することが不可能な新サービスを提供することの困難さを克服するために、顧客期待を形成させるサービス[5]を付加することと、そのように付加

したサービスが顧客期待を形成させることを検証する方法として、離散事象システムシミュレーションが有効であることを示すことを目的として事例を紹介する。

以下 2 章では HCP を提案し、3 章では HCP をモデルベースのシステムインテグレーションにより実現することを前提として、SysML[6]を用いて HCP サービスをモデル化し、4 章で HCP サービスの事例を提案する。5 章で離散事象シミュレータを用いて提案する HCP サービスなどの新サービスの評価方法と事例について報告する。

### 2. HCP サービスの提案

#### 2.1. 日常生活のリスク

現代において人々は、電気・ガス・上下水道といった公共設備や、電話インターネット等の通信設備・バス鉄道交通といった移動手段、および、物流が正常に機能している前提で日常生活を送っている。

災害時には、これらの機能が一時的、一定期間停止し、日常最低限の生活を維持するのが危ぶまれる状況となる。

災害のレベル、機能停止する期間により、リスクの大きさが変わるとともに、それぞれの家庭の背景にも依存して影響の大きさが異なる。

家庭の日常生活のリスクとその影響については以下のようなものがある。

Received on September 25, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

### ① 電気、ガス、上下水道などライフラインの停止

電気は家庭において、照明、電話、TV、PC、お風呂など広く利用されているため広範囲での影響がある。マンションの高層階ではエレベータの停止、機械式駐車場の停止により自家用車を出すことができず移動も困難になる。数時間止まっただけでも命の危険にさらされる病人のいる家庭では影響が極めて高い。

上水道については、料理や入浴などに影響があるが、水が入手できないとミルクをつくられない乳児のいる家庭では影響が高い。

### ② 電話、携帯電話など通信設備の機能不全

災害時には輻輳を避けるために通信を制限され、離れたところにいる家族と連絡をとりにくい状態が発生する。インターネットにおいても、アクセスが集中し必要な情報が入手できないという状態となる。連絡をとること、状況を把握することは、どの家庭でも重要性が高く、影響が大きい

### ③ 交通機関の麻痺

勤務先、学校などから、自宅に帰宅できない、出社できないという状況が発生する。

### ④ 物流の麻痺

スーパーマーケットやコンビニに行っても、生活必需品が入手できないという状況が発生する。ガソリンが入手できないと自家用車での移動が必須である家庭では影響が高い。

これらのリスクへの対策は、まずは生命維持、生活維持ができることと考えられるが、各家庭の家族構成やライフスタイルにより優先度が変わってくる

## 2.2. HCP サービスの機能

緊急時におけるリスクを洗い出し、事前に対策を準備し、いざという時に実行する活動として、会社においてはBCP[1]があるが、家庭においても同様な活動を行う事が2.1で述べたリスクを回避する為に有効であると考えられる。その活動をHCP[3](Home Continuity Plan)と呼ぶ。又、インフラ、通信、物流など個人では検討が難しいリスクの回避策をサポートする為に、顧客をサポートするサービスが有効であると考えられる。そのサービスをHCPサービスと呼ぶ。このHCPサービスで提供する機能について、以下に説明する。

HCPサービスは、HCP作成支援サービスとHCP実行支援サービスの二つに大きく分類される。それぞれに複数の機能が含まれる。

### 2.2.1. HCP 作成支援サービス

HCP作成支援サービスとは、顧客がHCPを理解し、その作成を支援するサービスのことであり。本サービスは次の4つのサービスから構成される。

#### ① チェックシートサービス

顧客がHCPチェックシートに回答することで、災害などの緊急事態を想定し、日常生活のリスクの整理と、緊急時に向けての計画策定を始めることを支援する。

#### ② 相談サービス

顧客に対してHCPの導入説明や相談を受ける。導入後は継続的なHCPに関する相談を受けたり支援したりする。

#### ③ HCP セミナー

HCP作成支援に関するセミナーを開催する。

#### ④ ポータルサイト

顧客に対して、HCPに関する情報を提供する。

### 2.2.2. HCP 実行支援サービス

HCP実行支援サービスとは、HCPの契約者が緊急時にHCPを実行する事を支援するサービスのことであり。本サービスは次の6つのサービスから構成される。

#### ① 帰宅支援サービス

災害時に、帰宅困難者の帰宅を支援する。

#### ② 安否確認サービス

災害時に、家族の安否確認を支援する。

#### ③ 生活維持必需品サービス

顧客が災害などの緊急時の生活維持に必要な食品や日用品を検討する事を支援する。また、顧客が予約しておく品物を緊急時に配送する。

#### ④ 災害時の情報提供サービス

災害や事故などの緊急時において、その災害や事故に関するリアルタイム情報や状況を理解するために必要な知識や、状況に対処するための有用なアドバイスなどを提供する。

#### ⑤ ライフライン代替サービス

顧客が災害でライフラインが停止した時のための代替手段を検討する事、事前に回避策を準備する事を支援する。

#### ⑥ 重要文書等写しの保管サービス

災害や事故で写真や重要な文書が消失した時のために、そのコピーなどを保管し、緊急時の代替えを支援する。

## 2.3. HCP サービスの顧客価値

吉川等[5]によると、サービス受容者の説明として、「レセプターは、ドナーからサービスを受容すると、ある行動を起こし、その結果が効果となる。」とあるが、HCPサービスでも同様に、サービスの提供により、顧客が行動を起こし、効果が生まれると考える。そして、その効果の事をここではHCPサービスの顧客価値と呼ぶ。

HCPサービスの具体的な効果を、「サービス→行動→効果」の流れで記述すると、次のようになる。

- 「HCP 作成支援サービス→日常生活の整理と優先順位付け→日常生活の見える化、見直しと最適化」
- 「HCP 実行支援サービス→HCP 実行と緊急時サポート受容→緊急時の生活維持」

当然のことではあるが、同じサービスを提供しても顧客が異なれば、そのサービスの効果も異なる。これは、それぞれの顧客がサービスに期待する程度や状況に違いがあるからである。例えば、病人や介護人が在宅し、日常生活の見える化よりも、緊急時の生活維持がとにかく重要という家庭もあるかもしれない。一方、元気で仕事をしており、緊急時には生きていられれば良いが、日常生活の見える化や最適化は興味がある、という顧客もいるであろう。

HCPサービスにおいてはこの例のような個別具体的な顧客の課題を整理し、個々の顧客の期待に応じた効果の生成を支援する事が重要なポイントとなる。

## 3. SysML によるサービスシステムの表現

本HCPサービスにおけるSysML[6]モデリングは「UseCase 図」、「Sequence 図」、「Activity 図」、「Requirement 図」、「Block 図」の5種類の図で構成されている。モデリングにおいて各図の機能は次のようである。

UseCase 図:HCPサービス提供者と顧客、またパートナーや行政との関係等を含めたサービスの概要機能を定義を示

す。

**Sequence 図:** HCP 提供サービスの計画から実現までの運用手順概要を定義し、サービスの運用規則等を表現する。

**Activity 図:** HCP サービスのモデル要素、イベント、アクション、遷移を定義し、上流のパートナーから下流の顧客までサービス活動の過程を示す。

**Requirement 図:** HCP サービスシステムの機能特性を示す。サービスとして果たさなければいけない機能の要件や要素を定める。

**Block Definition 図:** HCP サービスシステムの構造を表現する。

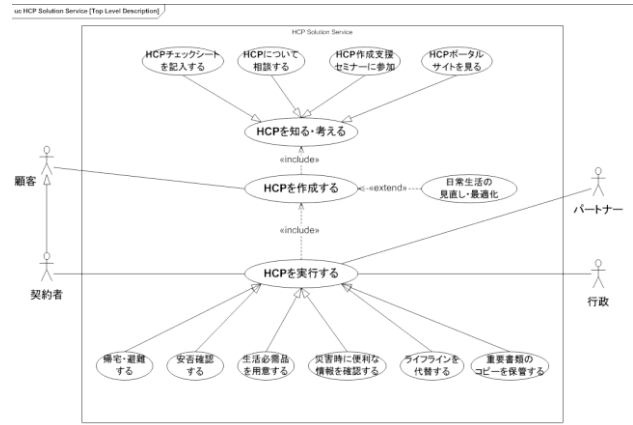


Figure 1 Top Level Use Case Diagram

#### 4. SysML を用いた HCP サービスモデルの事例

HCP サービスは、新しい概念のサービスである事から、モデル化はサービスの概要を定義する事から始め、続いて、詳細な要件分析と振る舞い定義を中心に行った。個々の事例を以下に示す。

##### 4.1. サービス概要定義

HCP サービスの概要モデルとして、顧客から見たサービスの価値と提供機能の関係、及び、顧客やサービス提供のパートナーである HCP サービスのステークホルダとサービスの関係を、Use Case 図を用いて定義した。その図を Figure 1 に示す。

本サービスにおける顧客の最終目的は HCP を実行し、緊急時における日常生活のリスクを回避する事である。HCP の実行を実現する為にはその前に、新しい概念である HCP を理解し Plan を作成する必要がある。そこで、「HCP を知る・考える」「HCP を作成する」「HCP を実行する」の 3 つを HCP サービスの顧客価値の柱とし、依存関係より、「HCP を知る・考える」を「HCP を作成する」が include し、更に「HCP を実行する」に include される関係として定義した。又、「HCP を作成する」は、「日常生活の最適化・見直し」を含めて行う事により、HCP の品質を高める事と、日常生活の改善が期待できることから、「日常生活の最適化・見直し」を「HCP を作成する」が extend する関係として定義した。これらの顧客価値を実現するために用意する HCP サービスの個別具体的な機能は「HCP を知る・考える」では 4 つ、「HCP を実行する」では 6 つを用意した。この関係を Generalization で記述した。個別機能のうち、「HCP を知る・考える」に関する 4 つの機能は HCP サービスの契約者でなくても利用できる。一方「HCP を実行する」に関する 6 つの機能を利用するには HCP サービス契約が必要となる。そこで、Actor として、顧客から契約者を分離し汎用関係を定義し Generalization で記述した。又、「HCP を実行する」ための機能は、専門業者や行政の機能をインテグレートして契約者に提供することを想定している。そこで、専門業者(パートナー)と行政というステークホルダを、HCP サービスの外部に Actor として配置した。

##### 4.2. サービス要件定義

サービス要件定義では、機能が満たさなければいけない品質特性を明確にした。品質特性には、機能性、信頼性、使用性、効率性、保守性などがあり、サービスの特性に合わせて定義する必要がある。本モデルでは、4.1 で定義した HCP サービスの提供機能毎個別にサービス要件を定義し

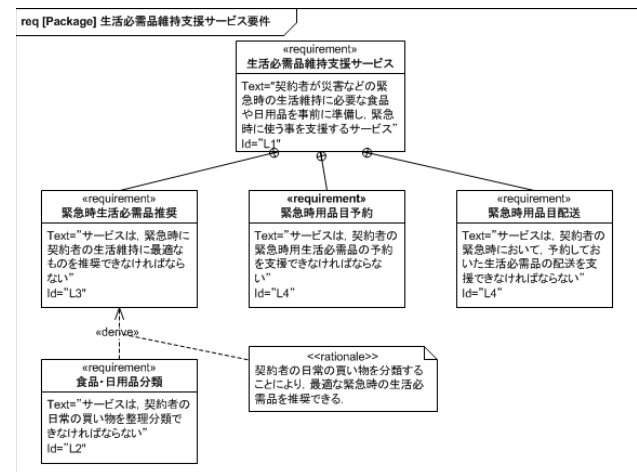


Figure 2 Requirement Diagram of a HCP Service

id	Name	Text
L2.1	期間	買い物を検討する妥当な期間で分類しなければならない。期間=1週間
L2.2	季節	買い物の内容に差が出ると思われる季節毎に分類できなければならない。季節=春、夏、秋、冬
L2.3	分類体系	物流の仕組みとの連動の良さを考慮した分類でなければならない。※分類=JICFS ( <a href="http://www.dsri.jp/company/jicfsdb/top.htm">http://www.dsri.jp/company/jicfsdb/top.htm</a> ) の分類に準じる
L2.4	正確さ	契約者から提供される情報に準じた正確さを提供しなければならない。
L2.5	契約者の手間	契約者が、買い物の整理分類のために最小限の手間で済ませられるようにしなければならない。1週間当たり=4H以内

Figure 3 Example of Requirement Table

た。具体的な要件としては、2章の「HCP サービスの提案」の内容を振り返り、顧客の Wants (潜在 Needs) を推測し抽出した。

ここでは、「HCP を実行する」ための機能の一つである「生活必需品を用意する」機能の要件定義の事例を以下に示す。

「生活必需品を用意する」機能は、「生活必需品維持支援サービス」と命名し、機能要件を「食品・日用品分類」「緊急時生活必需品推奨」「緊急時用品目予約」「緊急時用品目配送」に分類した。この分類を Package として記述したものが Figure 2 の Requirement 図である。「緊急時生活必需品推奨」の要件は「食品・日用品分類」より導かれる事から、Derive Dependency の関係とその説明として Rationale を記述した。品質特性は 4 つの個別要件に対して Requirement Table として記述した。具体例として「食品・日用品分類」の事例を Figure 3 に示す。

### 4.3. サービス振る舞い定義

サービス振る舞い定義では、機能が顧客にどのように提供されるのかをシナリオで示し、更にそのシナリオ上の課題の検討を行った。ここでは、4.2 で説明した「生活必需品維持支援サービス」についての具体例を以下に示す。このサービスの提供シナリオは時系列に複数のモジュールで構成される。そこで、その全体像を Sequence 図を用いて記述した。事例を Figure 4 に示す。

このサービスは「食品・日用品分類」「緊急時生活必需品推奨」「緊急時品目予約」「緊急時用品目配送」の順に実施される。「食品・日用品分類」の機能の提供方法には「相談による通常時食品・日用品分類」「レシートによる通常時食品・日用品分類」「レシート分類アプリによる通常時食品・日用品分類」の 3 つのオプションが選択可能であり、Interaction Operator の Alternatives でくくった。又、配送のトリガは「災害発生」「顧客要望」の 2 つのオプションを取り得る。こちらも同様に Alternatives でくくった。このサービスのうち、生活必需品の用意と配送は HCP サービスの外部のステークホルダの機能をインテグレートして実施する事を想定している。そこで、「顧客」「生活必需品維持支援サービス」「生活必需品供給配送組織」という 3 つの参加者を定義し、それぞれに Lifeline を設け Interaction を記述した。

次に、このシナリオの最後のモジュールであり、最も複雑な振る舞いが想定される「緊急時生活必需品配送」の業務フローを Activity 図を用いて Figure 5 に記述した。

業務フローは「緊急時配送依頼」イベントから開始され、「配送可否判断」「倉庫での荷物の積込」「運搬」「配送先の状況確認」「受渡」の順に行われる。災害時においては、「予約した品目の用意が予定通り可能か」「配送経路上に障害はないか」「顧客自宅でエレベータが使えるか」などの障害が想定される。そこで、それらの検討すべき課題を Comments の中に記述した。それらの課題に対しては明確に対処方法を決定し、又、必要に応じて顧客との契約に明記する必要がある。

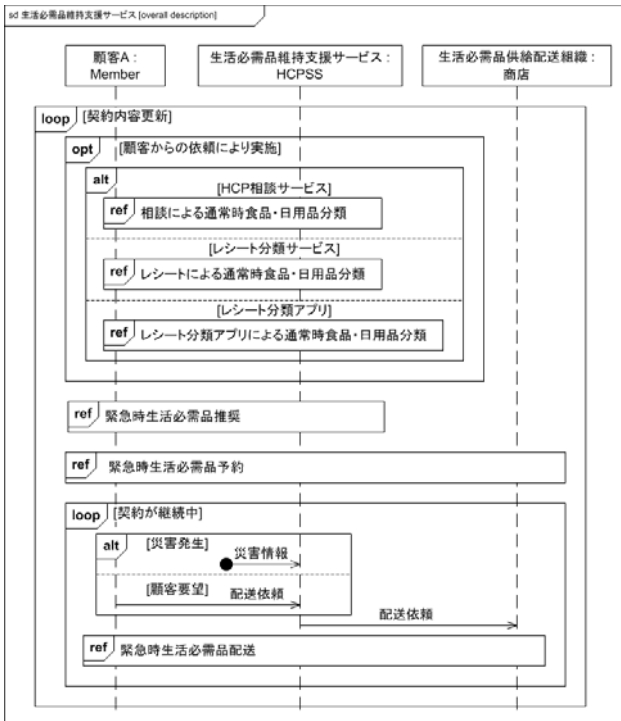


Figure 4 Sequence Diagram of a HCP Service

### 4.4. サービス構造定義

サービス構造定義では、サービスの振る舞いを実現する構造を定義する。構造には、ステークホルダ、ソフト、ハード、環境など、必要な要素をその特性に関わらず定義できる。ここでは、4.3 で説明した「緊急時生活必需品配送」について、Block Definition 図を用いて記述した具体例を Figure 6 に示す。

このサービスは「契約者」「倉庫」「配送路」「配送先」「商店」「配送業者」で構成され、「倉庫」には「緊急時生活必需品」が、「配送路」には「道路」「車両停車場から配送先までの道」が、「配送先」には「連絡張り紙」「自宅」「避難所」が、構成要素として含まれる。更に、「道路」には状況に合わせた「車両」が、「車両停車場から配送先までの道」には「台車」「パワードスーツ」「配送先のビルのエレベータ」という配送先の状況に合わせた構成要素が含まれる。その関係を Part Association を用いて記述した。また、「商店」「配送業者」は HCP サービスの「パートナー」である。それらの関係を Generalization で記述した。

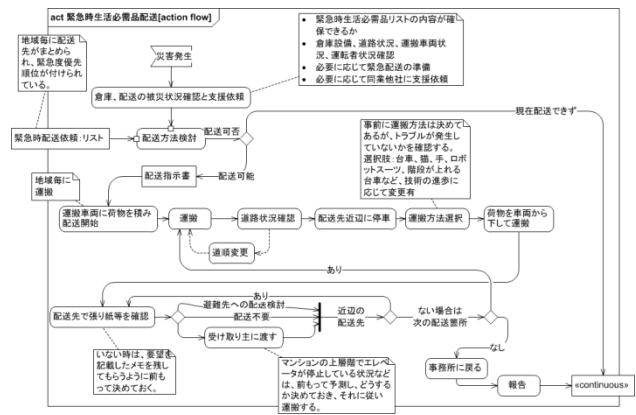


Figure 5 Example of Activity Diagram

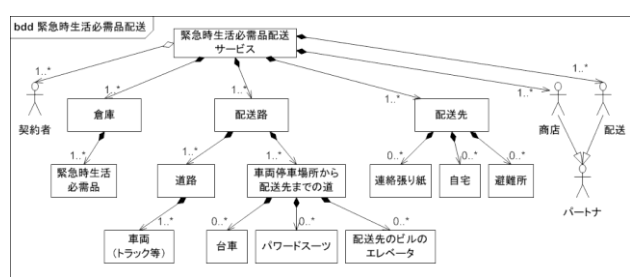


Figure 6 Example of Block Definition Diagram

## 5. 新規サービスのシミュレーション

### 5.1. 新規サービスと顧客期待

サービスの価値を決めるうえで、そのサービスに対する顧客期待がいかほどのものとなるかを知ることは重要である。既存のサービスを考えると、サービス提供者も顧客も、顧客期待を事前に想定することは容易ではないとしても、ある程度の過去の事例や実績から顧客期待を推定し、サービスを提供する価格の妥当性を判断することができる。

例えばホテル業を例にとると、顧客はホテルを利用する場合、まず具体的に宿泊するホテルをいくつか選択し、知名度や、立地条件、宿泊価格などから、顧客期待を生成できる。

このような状況において、提供者であるホテル側は、宿泊時期が閑散期か繁忙期か、また、予約が直前の予約であるか相当事前の予約であるか、また、ホテルが有する部屋の広さ、調度品などのレベルなどある程度の相場観で提供するサービスに対して価格設定することが可能である。この広さの部屋で朝食付きなら、10,000 円で提供できるなどの判断をするのである。

サービス設計としては、あとは顧客が、事前に期待を持ってホテルを利用し、利用後に期待と自身のサービス体験を比較して期待よりも高いサービスが提供されれば高い顧客満足度が生まれるのであり、逆に、実際に受けたサービスが事前の期待より低いと、顧客満足度が低くなるのである。

HCP サービスのような今まで存在しなかったような新規サービスをビジネスとする場合には、サービス提供者側はサービスを提供するのに必要なコスト計算はできるものの、そのサービスが顧客に対してどのような価値があり、どのような対価を求めれば良いのか、いわゆる値決めが難しい。先にホテルの例で述べたような顧客期待を事前に推定することが困難である。

本報告では、新規サービスを設計する際には、まず顧客期待を持たせるような何らかの工夫をする必要があることと、そのような工夫が有効であるかどうかを評価する方法を持つことが必要であることを指摘し、それを事例で示すことにする。

## 5.2. 顧客期待を形成させるためのプレサービス

本 HCP サービスでは、顧客が顧客期待を形成することを目的として HCP サービスのプレサービスである次のような無料サービスを組み込んで提供することを考えた。

### ① HCP サービス無料セミナーの実施

このセミナーでは、基本的な HCP サービスの概念とチェックシートの作成方法などを説明し、HCP の重要性と、HCP 有料サービスに対する顧客期待が形成されるような説明がなされる。

### ② HCP チェックシートの無料提供

顧客は日常生活維持のために必要な計画を立てる場合、本チェックシートが参考になる。

チェックリストは2つのレベルに分けて作成される。レベル1は緊急時に基本的に必要な対応、レベル2は顧客の特性に応じてカスタマイズした個別ニーズに対応するためのチェックリストである。

レベル1のチェックシートでは

- ① 物の内外の環境と家庭内使用機器との関係からくる対応
  - ② 防災対策
  - ③ 家族とのコミュニケーション
  - ④ 近隣地域とのコミュニケーション
  - ⑤ などに着目している。
  - ⑥ レベル2のチェックシートでは
  - ⑦ 緊急時における帰宅方法
  - ⑧ 安否確認
  - ⑨ 災害発生後に生活必需品を配送するサービス
  - ⑩ 緊急時に必要な知識の入手支援
  - ⑪ ライフライン代替方法の提供
- などの項目がある。

以上のようにレベル2では HCP 有料サービスが顧客に有用であることが理解できるように設計されており、セミナーに

おいて顧客期待を形成させるのに重要な要素の一つとなる。

## 5.3. 顧客期待が形成されたか否かを評価するシミュレーション

以下では、提案する新規サービスにより顧客がどのように顧客満足度を獲得するかを離散事象シミュレーションを実行することで検証することを検討した。

シミュレーションにおいては、顧客が期待値を形成することをどのように表現するかが課題である。本報告では、日本版顧客満足度指数 JCSI[7]を導入してモデル化した。これは、顧客がどのような視点でサービスを評価し、満足感を得て、その結果を次のサービスにつなげていくかを体型立てたモデルである。サービスを多面的に評価するために、顧客満足の原因・結果を含む次に示す6つの項目について調査し、指数化している。

- ① 顧客期待： サービスを利用する際に、利用者が事前に持っている印象や期待・予想を示す。
- ② 知覚品質： 実際にサービスを利用した際に感じる、品質への評価を示す。
- ③ 知覚価値： 受けたサービスの品質と価格とを対比して、利用者が感じる納得感、コストパフォーマンスを示す。
- ④ 顧客満足： 利用して感じた満足の度合いを示す。
- ⑤ クチコミ： 利用したサービスの内容について、肯定的に人に伝えるかどうかを示す。
- ⑥ ロイヤルティ： 今後もそのサービスを使い続けたいか、もっと頻繁に使いたいかなどの利用意向を示す。

## 5.4. シミュレーション

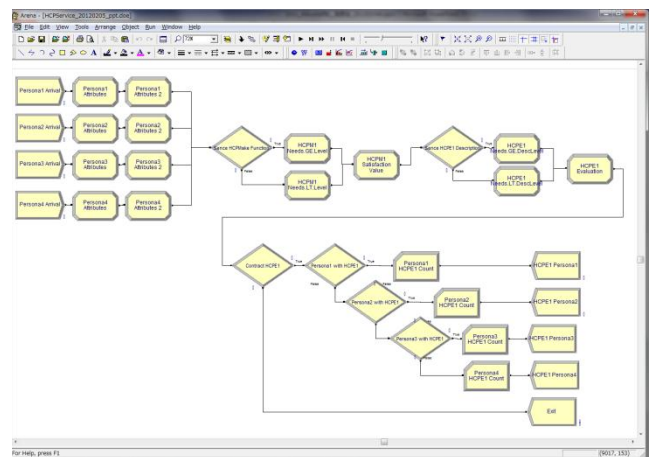


Figure 7 Snapshot of the Simulator

シミュレータは次のような構成になっている。

入力と出力

- ① サービスに対する期待値の入力  
想定する顧客が、HCP サービスに対し事前に期待する度合いを数値化し、パラメータとして入力する。
- ② 予測契約率の出力  
想定する顧客が持つ期待の度合いと、HCP サービスの条件に応じて、予測契約率が出力される。

## シミュレータの構成

- ① HCP サービスの内容や価格が顧客の知覚にどう影響するかを数式化し組込む。
- ② HCP サービスに対して、内容が期待通りだったか (Function)
- ③ 信頼感があったか (Reliability)
- ④ 値ごろ感があるか (Price)
- ⑤ などを定義する。
- ⑥ 契約するかどうかの閾値を `val_threshold` として定義する。
- ⑦ 契約する, しないの判定

HCP サービスシミュレータへの顧客に関する関数の組込みについては, HCP サービスの内容や価格が顧客の知覚にどう影響するかを数式化し組込んでいます。

Figure 7 にシミュレータのスナップショットを示す。

## 6. おわりに

HCP という概念を用いて, 災害などにおける日常の継続という視点で BCP の家庭版ともいえるサービスをモデル化し提案してきたが, 本報告では, 特に本サービスのような新規サービスにおける顧客期待の形成の重要性を指摘し, 顧客期待を形成させる事例としてプレサービスの提案と, 離散事象シミュレーションによる評価の枠組みを事例により示した。

本論文は, 平成 23 年度における産業技術大学院大学産業技術研究科創造技術専攻における PBL 型授業の成果から取りまとめたものであり, その後いくつかの学会で講演発表している。[8], [9]

本研究を遂行するに当たり, 貴重なご意見を頂いた産業技術大学院大学福田哲夫教授ならびに佐々木一晋助教に謝意を示す。

## 参 考 文 献

- [1] Business Continuity Planning Guide, Central Advice Unit, PACE, UK, 1998
- [2] <http://www.chusho.meti.go.jp/bcp/>
- [3] <http://www.homecontinuity.com/>
- [4] 田村, 西垣, 黄, 三好, 加府藤, 川田, “Home Continuity Plan サービスの提案と SysML によるモデル化”, 第 54 回自動制御連合講演会講演論文集, 豊橋技術科学大学, 2011 年 11 月
- [5] 吉川弘之, “サービス工学序説—サービスを理論的に扱うための枠組み”, *Shythesiology* Vol.1 No.2, 2008
- [6] OMG Systems Modeling Language, Version 1.2
- [7] <http://www.service-js.jp/jcsi/page0800.php>
- [8] 川田, 田村, 西垣, 三好, 黄 海蘭, 加府藤: 離散事象シミュレーションによる Home Continuity Plan サービスの評価, 第 51 回「離散事象システム研究会」講演論文集, 2012 年 6 月 1 日、宮崎
- [9] Y. Tamura, H. Nishigaki, K. Miyoshi, H. Huang and S. Kawata: A Proposal of Home Continuity Plan Service System, Modeling by SysML and Validating by Discrete Event Simulation, Proceedings of the SICE2012, Akita, August 20-23, 2012



# プライバシーウェアネスに向けた ソーシャルメディアのプライバシー侵害分析

嶋田 茂

## Privacy Invasion Analysis of Social Media for Privacy Awareness

Shigeru Shimada

### Abstract

Recently, persons can easily post photos to SNS via mobile device with camera, it is increasing the privacy invasion caused by SNS posting photos. Most of them cause posting photos without asking permission from the photographic subject user. We categorized the factors regarding privacy invasion. We did this by a survey from our university concerned and mining SNS archive. Finally, we planned how to provide service for the protection of privacy invasion.

Keywords: Keywords in English. Privacy Invasion, SNS, Photo Posting, Natural Language Processing, Face Recognition

### 1. はじめに

#### 1.1. SNS の状況

最近のインターネット環境下でのソーシャルネットワークサービス(SNS)の活用が大変高まっている。その中でも、スマートフォンを用いて、写真やビデオ等のマルチメディアを Twitter<sup>[1]</sup>や Facebook<sup>[2]</sup>等の SNS サイトへ投稿して、ユーザ間で共有するソーシャルメディアが活況を呈している。例えば、インターネット利用者の統計サイトである Royal Pingdom<sup>[3]</sup>の調査によると、Facebook の利用者は 2009 年から 2011 年の2年間に3倍の1億人となり、それに伴い1人当たりの画像の投稿数は 25%増加している。特に顔認識技術を持った Face.com では、モバイル端末上で顔を認識し、その画像に対してユーザ情報のタグ付けを容易にするとした新たな画像共有方法が提供され、Facebook への投稿数の更なる増加をもたらしている<sup>[4]</sup>。

このようなユーザ数の拡大と新機能による写真の SNS への投稿が増大するにつれ、プライバシー侵害リスクも連動して大きな問題なりつつある。例えば、トレンドマイクロ社の Facebook 利用者に対する画像共有のプライバシー侵害調査では、90.6%のユーザが他人による勝手な写真投稿により不快感を感じていることが報告されている<sup>[5]</sup>。又この SNS への写真投稿に関するプライバシー侵害の問題に対処するための方策として、SNS 各社からサイト利用ユーザの個人情報保護方針に関する各種利用規程の改訂<sup>[6]</sup>が行われているが、一般ユーザにはその具体的な改訂がサービスとして見えないだけでなく、むしろその改訂によるプライバシー保護効果の有効性に関する議論が大きくなりつつある。

SNS の機能や範囲が広がるにつれ、そのサービス対象となるメディアがテキストから画像やビデオへと拡大し、そのプライバシー保護方針もサービスで扱う各メディア特有の特性に依存させる必要がある。特に、今回注目している SNS へ

のマルチメディア投稿時に発生するプライバシー侵害に関しては、プライバシーポリシーの策定や公開範囲の設定、画像投稿ユーザから被撮影者への了解確認を推奨する程度の対応がほとんどである。このような状況では、各投稿ユーザのプライバシー解釈の裁量に依存することになりプライバシー保護策としては不十分であり、その解釈が人によって異なることから、ユーザ間のトラブルの温床となっている。

#### 1.2. 研究の目的と本稿の構成

このような状況から、SNS へ写真の投稿を行う時に発生するプライバシー侵害の要因を究明してその結果を知識ベース化しておき、新たな写真投稿時にはそれを用いてプライバシー侵害の診断を行い、未然に侵害を防ぐように気付かせるようなプライバシーウェアネスサービスを開発することを目的とする。そのため、SNS ユーザにプライバシー侵害に関するアンケート調査を行い、その分析からプライバシー侵害要因の概要を把握し、更に過去に蓄積された多量の SNS 投稿記事のアーカイブを対象に、プライバシー侵害となる要因を明確にするための詳細な分析を行ない、それらを知識ベースとして記憶させる。新たに SNS へ画像投稿する場合には、その知識ベースを用いてプライバシー侵害となるかどうかを判断する技術の検討を行う。

本稿では、最初に SNS 画像投稿に伴うプライバシー侵害の状況を把握するためのアンケート調査の結果について説明した後、この分析結果から得られたプライバシー侵害の状況を更に詳細な要因へと類型化するため、過去の SNS アーカイブを対象にした分析処理について述べる。そして、その類型化を知識として用いて、SNS 画像投稿時にプライバシー侵害の診断を行い、侵害となる場合にはユーザへの気付きサービスを行う方式について述べる。

## 2. プライバシー侵害のアンケート調査

最初に、SNS 画像投稿時に発生するプライバシー侵害の状況を把握するため、「SNS に投稿される写真のプライバシー調査」と題するアンケート調査を行った<sup>[7]</sup>。

### 2.1. 調査方法

アンケート調査は、本学の産業技術大学院修士課程に所属する学生・卒業生・教職員を対象に行い、合計 123 名(男:108 人, 女:15 人)であった。アンケート形式としては設問に番号で答える選択方式を基本に、一部自由記述を設定し、より詳細なプライバシー侵害の内容が把握できるようにした。その設問に関しては、以下の4つのジャンルに分けて問い合わせを行った。

- (1) 回答者の特徴を確認する質問
- (2) SNS 画像記事からのプライバシー侵害の有無を確認する質問
- (3) SNS 画像記事上に映されている人物の痴態画像と時空間属性の漏洩を懸念するかどうかの質問
- (4) SNS 画像記事投稿時の了解性の有無を確認する質問

### 2.2. アンケート結果

このようなジャンル別の設問によるアンケートの集計結果は次のようになった。

#### 回答者の特徴

回答者の年代は、30 歳代(48%)が最も多く、続いて 20 歳代(27%)、40 歳代(16%)、50 歳代(7%)、60 歳代(2%)と続いた。回答者の特徴として、本学は社会人が多く在籍する専門職大学院であるため、通常の大学に比べ年齢が高いこと、及び 70%の学生は就職していることが挙げられる。

#### プライバシー侵害の有無

SNS 画像記事からのプライバシー侵害の経験があるかどうかを確認する設問に対して、33%の回答者が過去にプライバシー侵害を感じたことがあると回答している。

#### SNS 画像記事上に映されている人物のプライバシー懸念

投稿された画像内に映された人物(自分・家族・知人)のプライバシーに関して、痴態画像又は時空間属性のどちらが漏洩された場合にプライバシーの懸念をより強く感じるかの選択を聞いた。その結果図1に示すように、自分や知人に関しては時空間属性をより強く気にする(72%)のに対して、家族に関しては痴態をより強く気にする(51%)ことが分かった。

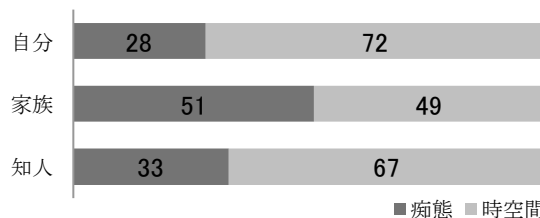


図1 SNS 画像記事上に映される人物のプライバシー懸念

#### 画像記事投稿時の了解性の有無

SNS への画像を投稿する時に、知人や他人に対して投稿を行うことに対する了解を前もってとるかどうかの設問に対して、自身への了解の必要性と了解を実行するかどうかを調査した。その結果、64%の回答者が了解を必要とし、これに呼応して、63%の回答者が了解をとっていることが分かった。

以上のことから、SNS 利用ユーザは自分自身の痴態となる画像の漏洩よりも、行動時間やその写された位置情報といった時空間属性の漏洩を懸念することが分かった。また、画像内に他人の顔が含まれている画像の投稿時には、了解性の有無をプライバシー侵害の重要な指標としていることが分かった。以降の章では、ここで明らかになった時空間属性やその他のプライバシー侵害項目を含めて、過去のツイートデータアーカイブを対象にした詳細なプライバシー侵害要因の分析方式とその結果について述べる。

## 3. プライバシー侵害要因の分析

最初に SNS 画像記事の構成を定式化した後、その画像に関するプライバシー保護対象についてのモデル化に触れ、過去のツイートアーカイブを利用してプライバシー侵害要因を抽出する分析方式について述べる。その分析方式は複数考えられ、各分析方式の特長をまとめる。

### 3.1. SNS 画像記事の構成と定義

分析対象とする SNS への画像を主体とした投稿メッセージに注目し、その特性を明確にする。Twitter や Facebook 等の SNS へ画像を投稿する場合、投稿の主体となる画像の他に、それを説明するテキストや、投稿者のユーザ名称や位置・時間等の時空間属性が付帯して生成される。この SNS 内に生成されるメッセージを以降「SNS 画像記事」と略称する。その記事には①ユーザ間での共有対象となる画像データ部と、②その画像内容や周辺状況を説明するテキストデータ部、及び③投稿ユーザ名称や位置や時間等の属性データ部との3つで構成され、これらは互いに関連付けて管理される。

次に SNS 画像記事の定義について述べる。このような SNS 画像記事がプライバシー侵害として問題になるのは、投稿画像データそのものだけでなく、それを説明するテキストデータや投稿時の位置や時間等の属性データも含まれる。しかし、この画像データ部を持たないメッセージは単なる SNS 投稿メッセージとして扱い、SNS 画像記事からは除外する。但し、SNS 画像記事としては、前者の画像データ部だけの場合もあり、テキストデータ部や属性データ部を省略してもよいものとする。

$$\begin{aligned} \text{SNS 画像記事} &= \text{画像データ部} \\ &+ (\text{テキストデータ部}) \\ &+ (\text{属性データ部}) \end{aligned}$$

(\*) : は省略可能

以降、この SNS 画像記事を処理対象とする場合には、これら3つの部分を含めたものとして扱う。

### 3.2. 画像のプライバシー保護対象モデル

本研究では、このような SNS 画像記事を投稿する場合に発生するプライバシー侵害を分析することを目的としているが、その分析の処理は、SNS 画像記事のどの部分にプライバシー侵害項目が含まれているかを判定する処理と等価であると見なす。即ち、SNS 画像記事の画像データ部に映されている項目、テキストデータ部に記述されている項目、及び属性データ部に記載されている項目をそれぞれ分析対象として、それらの項目にプライバシー侵害に触れるものがないかを判定する。このプライバシー侵害の判定を行う場合、

画像・テキスト・属性の全てのデータ部にプライバシー侵害項目が見つからなくても良いとし、3者のいずれかにプライバシー侵害項目が含まれれば、プライバシー侵害ありと判定することにする。

このような判定の妥当性の根拠として、画像に含まれるプライバシー保護対象に関するモデル化がある。嶋田らによって提案された画像に含まれるプライバシー保護のモデルとして、顕現的プライバシー保護対象と潜在的プライバシー保護対象とに分類するモデル化が行われている<sup>[8]</sup>。前者の顕現的プライバシー保護対象は、その画像データだけの判断で明らかにプライバシー保護対象となり得るものを指し、個人を特定できるような顔画像や所有者が特定されるような車番画像等が対象となる。一方、潜在的プライバシー保護対象では、一見してプライバシー保護対象にならなくとも、撮影された位置や時間等の属性との組み合わせによりプライバシー保護対象となり得るものを指す。

このモデルを SNS 画像記事に当てはめて考えると、前者の顕現的プライバシー保護対象では、画像データ部にプライバシー侵害項目が見つかる場合であり、後者の潜在的プライバシー保護対象では、画像データ部では見つからなくとも、他のテキストデータ部又は属性データ部でプライバシー侵害項目が見つかる場合に相当する。

### 3.3. SNS 画像記事のプライバシー侵害分析方針

SNS 画像記事に含まれるプライバシー侵害要因を分析する課題に関して、従来の研究例との比較を行い、今回の分析方式の方針について述べる。

関連する顕現的プライバシー保護を扱った研究としては、知野見らによる監視カメラで映された肖像のプライバシー保護方式に関する研究<sup>[9]</sup>や、Google Street View による景観画像内の車のナンバープレートや個人宅の表札にぼかしをかける技術<sup>[10]</sup>がある。これらの研究で保護されるのは、肖像や表札などの限られた対象の範囲のものであり、家族の自転車や洗濯物などの新たなプライバシー要因に対応するには技術的な限界がある。

一方、画像の潜在的プライバシーを扱った研究は、今のところほとんど無いが、それに関連した、SNS メッセージのテキストデータ部に注目したプライバシー保護に関する研究は多く見られる。例えば、片岡らによる自然言語情報の開示制御技術 DCNL(Disclosure Control of Natural Language information)方式がある<sup>[11]</sup>。ここでは、ユーザが SNS へ投稿したテキストを、事前に用意した NG ワード辞書や Web 検索を用いて自動的にチェックし、単語単位の開示制御が行われている。これにより、プライバシー侵害項目を自動検出することが可能ではあるが、その検出は予め作成された NG ワード辞書に登録されている単語とその類義語までの範囲に限られる問題がある。

このような状況から、本研究では主に潜在的プライバシー侵害を対象にして、SNS 画像記事に含まれるプライバシー侵害項目の分析方式について検討する。前節の SNS 画像記事の定義から、SNS 画像記事は画像データ部とテキストデータ部、及び属性データ部の 3 ファクタで構成されるが、各部のプライバシー侵害項目の抽出処理はシーケンシャルに行い、その前段の処理結果を後段の処理に影響させることによる相乗効果を狙った方式をとることにする。このシーケンシャル方式は、3つのファクタを使って6通りの組み合わせが考えられるが、今回の分析では、属性データ部の影響は前者2つに比べて少ないという前提のもとに、画像データ

から分析を開始する画像主導型分析方式と、テキストデータから開始するテキスト主導型分析方式の2通りに集約させて行うことにした。次節では、各分析方式の特長について説明する。

## 3.4. 分析方式の概要

### 3.4.1. 画像主導型分析方式

SNS 画像記事の画像データ部に着目して画像解析を行い、そこに含まれるプライバシー侵害項目を抽出する。続いて、その項目に対する記事のテキストデータ部に着目してその侵害内容を更に詳細に分析を行い、その侵害理由を明確にしていく方式である。画像解析を最初に行うメリットとして、人の顔や表札などのプライバシーセンシティブなイメージ(以降、PS イメージと略称)を直接抽出できる可能性が高いことにあり、後段のテキスト分析によるプライバシー侵害分析を行う必要が必ずしも無いことにある。しかし、今回の我々のアプローチでは、画像解析によるプライバシー侵害項目が抽出できたとしても、その理由を確認する意味でのテキスト分析を加える方式となっている。なお、このテキスト分析処理では、ツイートのテキストデータ部に「侵害」や「丸見え」等のプライバシーセンシティブなキーワードが含まれるかどうかを判定することにより、以降これらのキーワードを PS ワード(Privacy Sensitive Word)と略称する。この PS ワードの自動設定方式の詳細については、後の4章にて記載する。

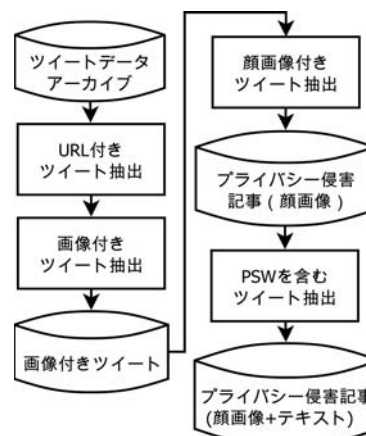


図2 画像主導型分析方式

PS イメージとは、顕現的プライバシー対象に相当する画像であり、個人特定可能な顔画像や個人宅の表札等が候補となる。これらの PS イメージを抽出できたとしても、画像データに含まれるプライバシー侵害項目を全て抽出したことにはならない。しかも、これらを高精度でかつ短時間に抽出できる画像処理技術が必要となる。そのために、Farhadi<sup>[12]</sup>や Yao<sup>[13]</sup>によるシーン解析の手法を用いることが考えられるが、これらの手法はいずれも 60~80%程度の認識率であり、まだ十分ではない。そこで今回は、プライバシー侵害に最も影響力のある顔画像に注目して、顔画像検出を代表的な画像解析として分析を行った。今回は商用の顔認識ソフトウェアを用いている<sup>[14]</sup>。

### 3.4.2. テキスト主導型分析方式

SNS 画像記事のテキストデータ部に着目してテキスト解析

を最初に行い、そこに含まれるプライバシー侵害項目を抽出する。続いて、その項目に対する画像データ部に着目して、その侵害内容を更に詳細に分析を行い、その侵害理由を明確にしていく方式である。テキスト解析を最初に行うメリットとして、一見しただけではわからないようなプライバシー侵害となる画像データ部を持つツイートに対しても、テキストデータ部から PS ワードによるプライバシー侵害項目を抽出することにより、潜在的プライバシー保護対象となるツイート抽出ができることである。この方式では、最初にテキストデータ部の解析によりプライバシー侵害要因の抽出を行い、その結果を対象にしてプライバシー侵害画像の抽出が行われる。これより、テキスト主導型分析方式では、プライバシー侵害を含むツイートを効率的に且つ、より多く抽出するための方式と言える。

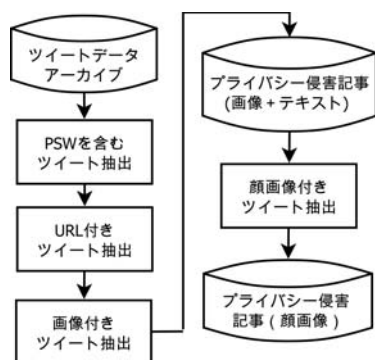


図3 テキスト主導型分析方式

## 4. PS ワードの自動設定方式

### 4.1. PS ワードの設定方針

PS ワードを設定する目的としては、SNS 画像記事のテキストデータ部に含まれるプライバシー侵害項目を検知することであり、このプライバシー侵害に抵触するような表現を持つキーワード群を PS ワード(Privacy Sensitive Word)として登録しておき、分析に用いる。この PS ワードの設定方法としては、人の判断によりプライバシー侵害と考えられるキーワードのいくつかを適当に選択することが考えられるが、このような方式ではその PS ワードを選択した人の裁量に依存することになるため、分析結果の一意性がない。これを避けるために、多量のツイートを対象にした統計的な処理による自動的な設定方法を考えることにする。これにより、PS ワードの選定に人の判断が入りにくいため、分析結果の一意性は良好になる。

### 4.2. PS ワードのテキスト処理

PS ワードを抽出するためには、テキストデータ部の形態素解析を行う必要があるが、その PS ワードを正確に抽出するために、次のようなテキスト解析上で付随する処理を行う。

#### テキストデータ部のクレンジング

テキストデータ部のテキスト解析を進めると SNS 特有の用語や顔文字などのノイズが発生し、適切な PS ワードを検出できず、解析が失敗する原因ともなる。そこで、ノイズの除去を行うために PS ワードの対象にならない不要な文字列を除外した。除外対象となる不要な文字列としては、@mention、URL、半角・全角英数字記号とした。

#### 形態素解析エンジンと辞書

データのクレンジング後の単語分析を進める際には、分かち書きをして「名詞」「形容詞」「助詞」などの形態素に分解する必要がある。今回は形態素解析エンジンとして MeCab を用いる<sup>[15]</sup>。MeCab では標準機能のシステム辞書として IPA 辞書(ipadic)を提供しているが、SNS 投稿時に使用されることの多い新語や口語が含まれている場合、正しく分解することができない。そこで、今回はユーザ辞書として Wikipedia のタイトルリストを追加し、可能な限りコンテキストに沿った形態素解析を行えるようにする。

#### 頻度解析

形態素解析によって得られた全ての形態素から、ツイートアーカイブのテキストデータ部に対して形態素の出現回数を求めた。また、平仮名 2 文字以下のキーワードについては、意味を持たない言葉として出現回数のカウント対象外としている。(例:「きた」、「こら」) これらの処理により、頻度解析の精度を向上させることができる。

### 4.3. PS ワードの自動抽出の処理フロー

前節で得られた形態素の頻度解析情報から PS ワードの自動抽出処理を検討する。形態素の頻度解析情報はツイートアーカイブから得られた情報であるため、一般的に書き込まれる形態素の頻度が高くなり、プライバシー侵害時に現れる特有のキーワードを検知することができない。そこで、ツイートアーカイブから「プライバシー」に関するツイートのみで形態素解析と頻度解析を行った情報を比較し、次に示す処理フローによって PS ワードを抽出することとした。

#### Step1 「プライバシー」ツイートの抽出

「プライバシー」に関するツイートデータを得るために対象ツイートデータから単語:「プライバシー」が含まれるツイートを抽出する。

#### Step2-1 「プライバシー」ツイートに対する解析

「プライバシー」という単語が含まれるツイートに対して、形態素解析を行う。次に、頻度解析を行い、単語の出現頻度数と単語を出力する。この単語出現頻度数を  $Tp$  (True Positive)と定義する。

#### Step2-2 一般ツイートに対する解析

ツイートアーカイブ全件に対して、形態素解析を行う。更に頻度解析を行い、単語の出現頻度数と単語を出力する。この単語出現頻度数を  $Fp$  (False Positive)と定義する。

#### Step3 適合率算出

要因適合率(Precision)とは、単語:「プライバシー」が含まれるツイートと一般的なツイートに対する「プライバシー」要因頻度から算出される比率で、式(1)として算出する。

$$Precision_w = \frac{Tp_w}{Tp_w + Fp_w} \quad (1)$$

$Tp$ :「プライバシー」で抽出したツイートの出現頻度数

$Fp$ :一般的に用いられるツイートの出現頻度数

この要因適合率を用いることにより、「プライバシー」ツイートで頻繁に使われる単語を導き出す。

#### Step4 適合率のソート

適合率順にソートをかけて自動抽出された上位の形態素から、我々が「プライバシー」要因に関する形態素であるものを選択した上位 20 単語を PS ワードとして定義した。

#### 4.4. PS ワードによるツイートの重み付け

本研究の目的はプライバシー侵害対象となる SNS 画像記事をアーカイブから検出することであり、今回の分析対象においてはツイートアーカイブからプライバシー侵害画像付きツイートを検出することにある。そのため、各ツイートデータに評価基準を設けツイートを抽出しなければならない。そこで、PS ワードとして定義した 20 単語に対して PS ワードの要因適合率が高い順に 20~1 の重み付け情報を付加し、この重み付けを用いてツイートに PS ワードに基づくプライバシー侵害値情報 (WeightScoreSum) を式 (2) によって付加した。但し、ある PS ワードが別の PS ワードを包含しているケースがあり、その場合は重み付け情報が重複計算されないようにする。

$$WSS_w = \sum_{i=1}^{20} (Wpsw_i * \text{出現数}_w) \quad (2)$$

Wpsw: PS ワード重み付けスコア値

PS ワードの要因適合率とプライバシー侵害値情報 (WeightScoreSum) を表 1 に示す。

表1 PS ワード適合率と重みスコア

単語名	Tp	Fp	適合率	Wps
プライバシー	40062	40062	0.5	20
プライバシー侵害	1465	1465	0.5	19
侵害	2448	35155	0.065	18
肖像権	429	11966	0.035	17
名誉毀損	84	7757	0.011	16
軽視	237	24270	0.0097	15
漏洩	74	13621	0.0054	14
丸見え	188	55547	0.0034	13
私生活	96	33006	0.0029	12
ネットストーカー	12	4682	0.0026	11
流出	227	117131	0.0019	10
プライバシーベート	316	167645	0.0019	9
誹謗中傷	41	20356	0.0020	8
隠し撮り	17	17135	0.0010	7
盗撮	98	111560	0.00088	6
垂れ流し	76	123443	0.00062	5
不用意	11	20209	0.00054	4
晒し	139	329723	0.00042	3
不快感	15	329723	0.00040	2
不適切	14	35622	0.00040	1

### 5. 大容量ツイートアーカイブを用いた分析

#### 5.1. 分析対象とするデータ

今回のプライバシー侵害の分析においては、必ずしも最新の動向を反映する必要は無く、むしろ多量のデータを用いた普遍的なプライバシー侵害の考え方を求めるものである。具体的には、Twitter サービスへの投稿記事を対象とし、2012 年 5 月 30 日~2012 年 8 月 30 日までの期間に Twitter データ収集 API ツールを用いて収集蓄積した約 900 万件のツイートアーカイブを用いた。このアーカイブを作成する方法は、Twitter 記事のクロウリングプロセスとその

結果のファイリングプロセスで行った。当初、REST 形式 API による一定期間のポーリング収集では不安定で合ったが、Streaming API がリリースされた後は、安定的にクロウリングできるようになった。収集したデータは一定周期でファイルへ一時集積するとともに、分析処理の効率化のために Oracle11gR2 へ格納し管理するようにした。

#### 5.2. 分析処理

今回行った分析処理では、画像主導型分析方式を用いることにより、分析処理時間の短縮よりも詳細な分析結果が得られることを重視した。

##### 前処理

まず前処理として、全ツイートレコードから画像を含むツイートを抽出した。その結果 1.4% に相当する 126,458 件の画像付きツイートレコードが得られた。

##### 画像データ部の分析

画像付きツイートに関連する全ての画像のダウンロードを行い、商用の画像認識ソフトウェアパッケージを用いて顔検出を行った。その結果、顕現的プライバシー保護対象となる顔画像が含まれるツイートレコードを抽出し、その割合は全体の 19% になった。残りの 81% のツイートレコードは、潜在的プライバシー保護項目が含まれる候補となる。以降、これら個別にテキストデータ部の分析と属性データ部の分析を行う。

##### テキストデータ部の分析

事前に定義済みの PS ワードと地名ワードが含まれているかどうかの分析を行った。表 2 に示すように、テキストデータ部には PS ワードよりも地名ワードがより多く使われていることが分かった。しかも、潜在的プライバシー保護項目に分類されたツイートレコードにより多く含まれていることが分かった。

表2 PS ワード及び地名ワードを含むレコードの比率

	PS ワード	地名ワード
顕現的プライバシー	0.03%	0.9%
潜在的プライバシー	0.09%	4.1%

##### 属性データ部の分析

属性データ部の GPS 緯度・経度情報と、画像データに付随して記録されている EXIF データが含まれているかどうかの分析を行った。これによると、表 3 に示すように、潜在的プライバシー保護項目に分類されるツイートレコードに含まれる比率が高いことが分かった。

表3 緯度・経度及び EXIF データを含むレコードの比率

	緯度・経度	EXIF データ
顕現的プライバシー	0.1%	0.04%
潜在的プライバシー	0.8%	0.2%

これらの位置情報を Google Map 上にプロットすると、図 4 のようになった。これよりプライバシー侵害の候補となるツイート記事を投稿した位置は、鉄道の駅や行楽施設の周辺に多く集中していることが分かった。

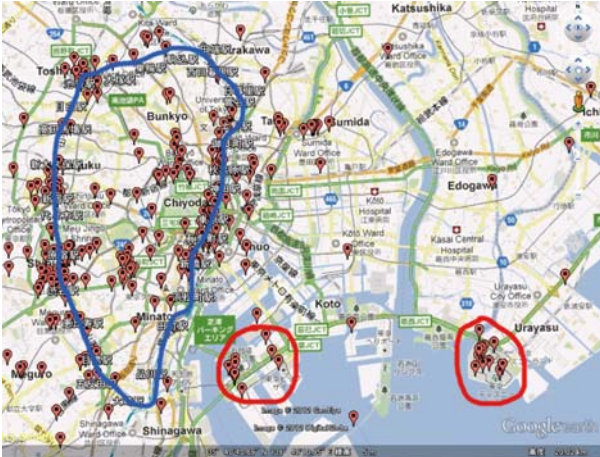


図4 プライバシー侵害ツイートレコードに含まれる GPS 緯度・経度情報と EXIF データの分布 (山手線の主要駅と、ディズニーランドやお台場付近に集中)

5.3. 分析結果の考察

これまでの分析により、約 12 万件の画像を含むツイートから、顕現的プライバシー+潜在的プライバシーの合算で 24%のプライバシー侵害の可能性のあるツイートを検出した。最初の画像データ部の分析における顔検出により、約 12 万件の画像を含むツイートから 19%を顕現的プライバシー保護対象として抽出した。但し、現時点では投稿者が自ら自身の顔を投稿した顔画像が含まれている。アンケート結果では、自ら投稿した自身の顔は重要視しないとあったように、今後は顔認証により、投稿者の顔画像を除外する必要がある。

また、潜在的プライバシー保護対象の可能性のあるツイートは 5%で、テキストデータ部・属性データ部の分析により、潜在的プライバシー保護対象として検出することができた。特に SNS 利用ユーザが懸念する位置情報より、駅周辺・行楽地でより多くの画像投稿が行われていることが分かった。更に、テキストデータ部に”駅”に関連する地名が多く含まれていることから、時空間情報は属性データ部のみでなく、テキストデータ部にもワードとして持っていることが分かった。

5.4. プライバシー侵害の類型化<sup>[16]</sup>

以上の分析結果から、表4に示すように、ツイッターへの画像投稿時にプライバシー侵害となる要因の類型化を行うことができる。この表において、行楽地とは、お台場やディズニ

表4 プライバシー侵害要因の類型化

画像データ		属性データ	テキストデータ
顔画像	本人	場所・時間	テキスト
Y	Y	自宅	
Y	Y	行楽地・平日	
Y	Y	特定場所	
Y	Y		自宅
Y	Y	平日	行楽地
Y	Y		特定場所
Y	N		
N	N	ユーザ情報	
N	N		ユーザ情報
N	N	特定場所	
N	N		特定場所
N	N		PSワード

ーランド等の観光地や行楽施設を指す。また特定場所とは、養護施設や病院などの非常にプライバシーに敏感な施設や場所を指す。このような類型化によって、画像投稿時にプライバシー侵害となる要因を規則化できたことになり、次章で示すプライバシーウェアネスの推奨行為の根拠として用いることができる。

6. プライバシーウェアネス

一般にプライバシーウェアネスとは、あるユーザの行為がプライバシー侵害を起しそうな場面において、その侵害理由を提示することによりプライバシー侵害となることをユーザに気付かせ、未然にプライバシー侵害を防ぐサービスを指す。これは、プライバシー分野のオプトイン保護策に相当し、結果的にプライバシー侵害の漏洩量が少なくなるので、社会に受け入れやすいと考えられている。本研究では、これを SNS への画像投稿時のプライバシー侵害に当てはめ、プライバシー侵害通知サービスとして検討を行った。

6.1. サービス概要

SNS 利用ユーザが SNS に画像投稿を行う前に、事前利用する事で他者のプライバシー侵害となり得る要因を画像データ・テキストデータ等から解析し、その指摘通知を行う。これにより、各画像投稿ユーザは、自身のプライバシー解釈の裁量に依存することなく、共通解釈による事前のプライバシー侵害項目の確認を行うことが可能となる。但し、最終的な SNS への画像記事の投稿は利用ユーザに委ねることとし、投稿そのものを強制的に抑制はしない事とする。

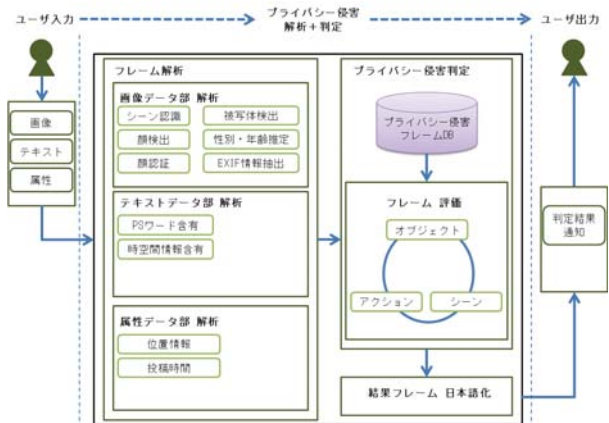


図4 プライバシー侵害通知サービスのシステム構成

6.2. サービス内の分析プロセス

本サービス内部の分析プロセスを図4に示す。本サービスは大きく分けて、フレーム解析、プライバシー侵害判定、プライバシー侵害判定通知の 3 プロセスに分かれる。フレーム解析プロセスでは、前節で説明した画像データ部・テキストデータ部・属性データ部の 3 ファクタに着目し、データ部毎の分析を行う。プライバシー侵害判定プロセスでは、前プロセスのフレーム解析結果を独自のプライバシー侵害フレーム DB を利用して、プライバシー侵害判定を行う。最後に利用ユーザに対して、判定結果の通知を行う。

Step1 フレーム解析

フレーム解析とは、画像データ部・テキストデータ部・属性データ部

ータ部の分析により、画像投稿記事の意味を等価なフレームとして抽出する処理を指す。最初に画像データ部の分析を行い、顕現的プライバシー保護対象と潜在的プライバシー保護対象に分類し、保護モデルに沿った分析を行う。その分析結果により、テキストデータ部・属性データ部を組み合わせる追加分析を行う。その結果、SNS 画像投稿に対するプライバシー侵害項目の抽出が行われる。

以下では、各データ部の分析手法を示す。

#### (1) 画像データ部

最初に、商用の顔認識ソフトウェアによる画像解析を行い、以下の情報を取得する。

- 顔検出: 画像から顔情報を検出する
- 顔認証: 顔検出より検出された顔が SNS 画像投稿ユーザ自身であるかの顔認証を行う
- シーン認識: 画像から撮影された風景・夜景・夕焼け等のシーンを認識する
- 被写体検出: 画像から主要な被写体が何であるかを検出する
- 性別・年齢推定: 顔検出により検出された顔から性別と年代を検出する

これらの情報を使用し、顕現的プライバシー保護対象と潜在的プライバシー保護対象に分類する。

#### (2) テキストデータ部

画像データ部解析より、顕現的プライバシー保護対象でなかった場合、テキストデータ部解析を組み合わせる事で、潜在的プライバシー保護対象であるかを分析する。テキストデータ部の分析には、PS ワードを使用し、今後の PS ワード拡張のために、学習機能を有する。また、それ以外のワード検知として、テキストデータ内に持つ時空間情報を検知する。

#### (3) 属性データ部

画像データ部解析により、顕現的プライバシー保護対象で無かった場合、属性データ部を組み合わせる事により、潜在的プライバシー保護対象であるかを分析する。属性データ部には、SNS 画像記事や EXIF 情報の緯度・経度といった位置情報、ユーザプロフィール・投稿時間が含まれる。本サービスでは、位置情報や投稿時間に注目し、分析を行う。

#### Step2 プライバシー侵害判定

プライバシー侵害の判定は、過去のツイートアーカイブの分析から得られたプライバシー侵害フレーム DB の参照から適・不適の判定を行う。Step1 の分析により、画像投稿記事の画像データ部・テキストデータ部・属性データ部からプライバシー侵害項目の抽出結果としてフレーム化が行われる。このフレームを対象に、先行研究<sup>[12]</sup>の方式によるオブジェクト・アクション・シーンのフレーム間の構造比較から、プライバシー侵害の有無を判定する。

#### Step3 プライバシー侵害判定の通知

前ステップのプライバシー侵害判定にて、侵害の可能性ありと判定されたフレームを日本語化し、その情報をサービス利用ユーザに通知する。なお、最終的な画像投稿可否判断は、サービス利用ユーザに委ね、判定結果の通知に留めることとする。

## 7. おわりに

SNS への画像投稿時に発生するプライバシー侵害の類型化とその保護策であるプライバシーウェアネスを提案した。本稿では、SNS に投稿される写真のプライバシー調査と題したアンケートを実施結果として、SNS 利用ユーザは自身の時空間情報の漏洩を気にすると共に、知人の時空間情報にも気にする事が分かった。更に、SNS へ画像投稿を行う

場合は、その了解性を求める傾向にあることもわかった。また、過去のツイートアーカイブを利用して、画像主導型分析により、SNS 利用ユーザへプライバシー侵害項目を分析し、結果を類型化した。最後に、この類型を反映したプライバシー侵害通知サービスを提案した。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり、次の方々に研究の協力を頂き、成果を参照させて頂いたことに感謝する。  
町田史門、小山貴之、宋洋、高田さとみ

## 参考文献

- [1] Twitter: <https://twitter.com/>, 2012
- [2] Facebook: <https://www.facebook.com/>, 2012
- [3] Royal Pingdom, "Internet 2011 in Numbers", <http://royal.pingdom.com/2012/01/17/internet-2011-in-numbers/>, 2012
- [4] Face.com: <http://face.com/>, 2012
- [5] トレンドマイクロ: "SNS と携帯電話の利用におけるプライバシー意識調査", <http://jp.trendmicro.com/jp/about/news/pr/article/20120410035738.html>, 2012
- [6] Google, "ポリシーと原則", <http://www.google.com/intl/ja/policies/privacy/>, 2012
- [7] 高田さとみ, 小山貴之, 町田史門, 宋洋, 嶋田茂, "SNS 画像投稿時に発生するプライバシー侵害の要因分析", 電子情報通信学会 EMM 研究会技術報告, 2012
- [8] 嶋田茂, "ユーザ参加型景観サービスに含まれる潜在的プライバシーの保護策", 電子情報通信学会 EMM 研究会技術報告, 2011.
- [9] 知野見健太, 李光鎮, 中島大介, 新田直子, 伊藤義道, 馬場口登, "PreSurv: プライバシー保護機能を有する画像サーベイランスシステム", 情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 1, No. 2, 2008
- [10] Google マップストリートビュー, Google, <http://maps.google.com/intl/ja/help/maps/streetview/privacy.html>, 2012
- [11] 渡辺夏樹, 片岡春乃, 内海 彰, 吉浦 裕, " SNS 上のテキストからプライバシー情報を検知するシステムの構想 と予備評価", 日本セキュリティ・マネジメント学会誌 24(3), 15-30, 2011.
- [12] A. Farhadi, M. Hejrati, M. A. Sadeghi, P. Young, C. Rashtchian, J. Hockenmaier and D. Forsyth: "Every picture tells a story: Generating sentences from images", ECCV, pp. 15-28, 2010.
- [13] Benjamin, Z. Yao, Xiong Yang, Liang Lin, Mun Wai Lee, Song-Chun Zhu: "I2T: Image Parsing to Text Description", Proceedings of the IEEE, vol8, no8, 2010
- [14] 顔画像センシング技術 OKAO Vision, OMRON, <http://www.omron.co.jp/ecb/products/mobile/okao01.html>, 2012
- [15] MeCab, 工藤拓, <http://mecab.googlecode.com/svn/trunk/mecab/doc/index.html>, 2012
- [16] 町田史門, 小山貴之, 宋洋, 高田さとみ, 嶋田茂, 越前功 "SNS 写真投稿に起因するプライバシー侵害の類型化とその保護策", 電子情報通信学会 EMM 研究会技術報告, 2012





# RSNP を利用したロボットサービスコンテストの開催報告

土屋 陽 介\* ・ 加 藤 由 花\* ・ 成 田 雅 彦\*

## Report of Robot Service Contest Using RSNP

Yosuke Tsuchiya\*, Yuka Kato\* and Masahiko Narita\*

### Abstract

Robot services initiative (RSi) hold a robot service contest using RSNP (Robot Service Network Protocol) in September 2012. A possibility that hardware will become low-cost and advanced software will become open is very high in the future. In such situations we expect that the RSNP contest contribute to accumulating a many knowledge/experience as a project with which a university/educational facilities and industry cooperated, strengthening of industrial competitiveness and ideal future robot business. In this paper, we report result of the RSNP contest.

Keywords: RSNP, Contest, Robot Service

### 1. はじめに

インターネットとロボットの融合は新しい分野であり、新しいビジネスの形としても期待されている。そのような中、ロボットサービスイニシアチブ(Robot Services initiative: RSi)[1]では、これまでロボットによるインターネットを活用した魅力あるロボットサービスを簡単かつ便利に利用できる社会を目指し、RSNP (Robot Service Network Protocol)の仕様作成・普及に努めてきた。RSNP は、様々なロボットが簡単、効率的にインターネット上のサービスへ接続可能となるロボットサービス向けの通信プロトコル仕様で、「通信機能」「ロボット動作指示機能」「マルチメディア機能」「情報提供機能」などのインターネットを介したロボットサービスの基本機能を提供している。

そこで、さらなる RSNP の普及と魅力あるロボットサービスの充実のために「RSNP を利用したロボットサービスコンテスト (以下、本コンテスト)」と題して今年度初めてコンテストを開催することにした。

コンテストを開催することで、さまざまなアイデア、より質の高いロボットサービスが集まり、それらを提供できるようになると期待できる。本稿では、本コンテストの準備および結果について報告する。

### 2. コンテスト概要

本コンテストは、毎年定期的に開催することを考慮して、毎年秋に開催される日本ロボット学会学術講演会にて成果発表を行うことにした。今年度は初めてコンテストを開催することもあり、第 30 回日本ロボット学会学術講演会 30 回記念一般公開事業として開催することとなった。本章では、本コンテストの概要について述べる。

#### 2.1. コンテストの目的

本コンテストでは、インターネットとロボットの融合による、インターネットを活用した魅力あるロボットサービスをより多くの人に提供すること、多くの人から様々な知識/経験を集積すること、ロボット業界/ソフトウェア業界および学術研究機関の相互発展、国際競争力の強化を目的とし、RSNP の認知拡大、ロボットサービスやサンプルコードの収集、RSNP 対応ロボットの増加を狙う。

#### 2.2. 募集要件

対象者は、国内外の大学、研究機関および企業に在籍の者とし、個人での応募も許可した。ただし、上記で述べたように、本コンテストは日本ロボット学会学術講演会にて成果発表を行うため、発表者は日本ロボット学会の会員である必要がある。

作品の募集にあたっては、RSNP を利用した以下の作品のジャンルを募集した。

- インターネットロボットサービス/API
- RSNP 対応ロボット
- ロボットサービスのコンセプト

本来なら完成されたインターネットロボットサービス、もしくは RSNP 対応のロボットだけを募集するところではあるが、今回初めてのコンテストということもあり、まずは RSNP を知ってもらうというためにもコンセプトレベルのアイデアも募集の対象とした。来年度以降はインターネットロボットサービス、および RSNP 対応ロボットだけを募集する予定である。

#### 2.3. 主催および協力団体

本コンテストは関連団体から協力を得て、開催するまでに

至った。本コンテストの主催および協力団体について表 1 に示す。

表 1 主催および協力団体一覧

主催	RSi
共催	日本ロボット学会
	計測自動制御学会 SI 部門
	ロボットビジネス推進協議会
協賛	NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)
	電子情報通信学会 CNR 研究会
	APEN (Asia Professional Education Network)
後援	産業技術大学院大学
	公立はこだて未来大学
協力	日本ロボット学会 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

この他にも個人協賛を募集し、後述する賞を提供いただく仕組みを用意した。

## 2.4. 賞

コンテストの結果で優秀な成績を収めた作品には賞を贈呈する。賞は、上述した主催、各協力団体および個人協賛から賞を提供してもらい、受賞作品にそれぞれ授与する。以下に本コンテストで用意した賞の一覧を示す。なお、該当する作品がなかった場合は、「該当なし」とすることとした。

- 最優秀賞:賞状および副賞(10万円)
  - RSi 賞
- 優秀賞:賞状および副賞(2万円)
  - RT システムインテグレーション賞  
(計測自動制御学会 SI 部門)
  - ロボットビジネス推進協議会賞
  - 日本ロボット学会 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賞
- 奨励賞:賞状
  - APEN 賞

## 2.5. 応募方法

コンテストへの応募にあたり、2 つの手順で登録してもらうことにした。1 つ目は、本コンテスト事務局へメールでの参加登録、2 つ目は、日本ロボット学会学術講演会への講演申し込みである。前者は、参加申込者の所属、氏名、連絡先、応募のジャンルを連絡してもらうため、今後の連絡のために必要であった。後者は、今回日本ロボット学会学術講演会での講演により審査を実施するため、コンテスト参加者には論文投稿による講演申し込みが必要であった。以上の 2 つの登録をもって正式にコンテストへのエントリーと認めることにした。なお、講演論文では、作成したサービス概要、システム構成図、動作などについて記述してもらうことにした。

## 2.6. 開催スケジュール

本コンテスト開催までのスケジュールを表 2 に示す。本年度は告知開始から審査発表会まで約 4 ヶ月という短い期間で実施した。

表 2 スケジュール(2012年)

5月16日	Web サイト立ち上げ, 告知開始
7月20日	エントリー締め切り
8月31日	作品提出締め切り
9月18日	コンテスト審査発表会
9月19日	審査結果発表, 表彰式

## 3. 運営・準備

コンテストの運営にあたり、告知および参加者用の Web サイト、コミュニティサイト、RSNP のチュートリアルサイトを準備した。本章ではこれらのサイトについて述べる。なお、運営・準備にあたっては、産業技術大学院大学 NSP 研究所が事務局となりコンテストに関する諸々の作業を行った。

### 3.1. コンテスト Web サイト

コンテスト Web サイトは、本コンテストのメインとなる Web サイトである[2](図 1 参照)。ここでは、コンテストの開催告知やコンテストの概要説明、応募方法の説明、全体スケジュールの提示等を行った。また作品の提出機能を用意し、応募作品はこのサイトから提出してもらうようにした。

### 3.2. コミュニティサイト

コンテスト参加者同士、および RSNP 関係者との交流のため Facebook ページを用意した[3]。参加者が Facebook ページに登録することにより、コンテスト事務局からの連絡など、コンテスト Web サイトより新しい情報が入手しやすくなる。また、コンテストについての質問や RSNP の仕様に関する質問も Facebook ページで受け付け、参加者全員がその質問および回答を共有できるようにした。

### 3.3. RSNP チュートリアルサイト

RSNP 初心者でもコンテストに参加できるように、RSNP の概要説明から、RSNP の開発環境の構築方法の解説、RSNP のサンプルプログラムの配布、RSNP 仕様書の配布を行う RSNP のチュートリアルサイトを Wiki で構築した[4](図 2 参照)。本サイトを見ることで、RSNP を全く知らない初心者でも RSNP を利用したロボットサービスの開発環境が整えられる。また、サンプルプログラムでは、実際に PC と Web カメラで構成されるロボットで遠隔地の見守りをするサービスを用意して、RSNP を使うことにより、どのようなことが出来るのかコンテストに応募する際のヒントを示した。

RSNP 仕様書の配布では、3.2 章で述べた Facebook と連携し、Facebook の認証システム (OAuth) を利用することで、仕様書をダウンロードした人の把握だけでなく、Facebook ページへの登録を促すようにした。

また、本サイトは海外からの参加者を見込み英語版も用意した[5]。これにより RSNP の国際競争力の強化を狙う。



図 1 コンテスト Web サイト



図 2 チュートリアルサイト

## 4. 提出物

審査の対象となる提出物は、2.2 節で述べた応募のジャンルによって提出するものが違う。本章では提出物の詳細について述べる。

### 4.1. インターネットロボットサービス/API

インターネットロボットサービス/API では、以下の提出を求めた。

- サービス概要(スライド 2 枚程度)
- API 仕様書
- API のバイナリもしくは公開 URL
- ソースコード(任意)
- サービス利用マニュアル
- サービス紹介ビデオ

実際にサービスを利用することで審査するため、バイナリもしくは公開 URL を提出してもらおう。また審査員だけでなく、誰でもそのサービスが利用できるよう、サービス/API の仕様および利用方法について記載した API 仕様書、サービス利用マニュアルの提出を求めた。

なお、ソースコードは任意での提出とした。これは企業によ

っては公開できないことがあるためである。また、よりわかりやすく説明するために必要であれば、ビデオ・写真の提出を受け付けた。こちらも任意提出である。

### 4.2. RSNP 対応ロボット

RSNP 対応ロボットでは、以下の提出を求めた。

- ロボット概要(スライド 2 枚程度)
- ロボット利用マニュアル(任意)
- ロボット紹介ビデオ(任意)
- ロボット仕様書(任意)

マニュアルおよびビデオ・写真は著作権の問題で提出が難しいことが考えられるため、任意提出とした。ただし、その場合は、作成したロボットについて詳しく分かるように、概要の枚数を増やして説明してもらった。また、作成したロボットの詳細を記載した仕様書も任意提出とした。

### 4.3. ロボットサービスのコンセプト

今回、初めてのコンテストということもあり、まだ RSNP について詳しく知らないという人も多いかと思われたので、今回に限り、コンセプトレベルの応募も受け付けた。提出物としては以下の提出を求めた。

- サービス概要(スライド 4 枚程度)
- サービス仕様書(任意)
- サービス利用マニュアル(任意)

考案したサービスについて詳しく説明してもらうため、他のジャンルよりサービス概要の枚数を多めに設定した。また、概要説明だけでなく、実際にコンセプトとして作成した仕様書や利用マニュアル等があれば提出してもらうようにした。

コンセプトの場合、特に制作物が無い場合も考えられたので、その場合でもなるべく詳細が分かるように概要以外の提出も求めるようにした。

### 4.4. ライセンス

提出されたサービスは今後誰でも利用できるように公開するため、作成した API については誰でも自由に使用可能なライセンス形態をとるよう求めた。これは、コンテストの目的でもある、より多くのサービスを提供するためにも必要である。ただ、作成したサービス/API の公開は必須としたが、ソースの公開までは強制はしていない。これは企業によっては公開できない場合もあると考えられたためである。

## 5. 審査方法

審査はあらかじめ依頼しておいた審査委員が、成果物の事前審査と当日のプレゼンテーションによって総合的に判断した。事前審査の評価項目としては7項目、当日の審査としては2項目設定した。以下に、その評価の観点および、評価項目について述べる。

### 5.1. 評価の観点

評価の観点としては、まずテーマである RSNP を利用していることを大前提とし、以下の項目を満たす作品であるかを審査によって判断した。

- RSNP を利用したサービス/ロボットであること
- ネットワークとロボットを融合したサービスであること
- 利用者に魅力的なサービスが提供できること

### 5.2. 評価項目

具体的な評価項目を表 3 に示す。表 3 において「技術力」「完成度」「アイデア」の分類に属する項目が事前審査の評価項目で、「プレゼン」に属する項目が当日のプレゼンテーションによる審査の評価項目である。

RSNP を効果的に利用しているかどうかを強調するため、評価項目として一般的な評価項目と RSNP に関する評価項目で分けて審査を行った。

採点はそれぞれの評価項目に対して 5 段階(1:最低~5:最高)で採点し、全審査員の採点結果の平均により集計を行った。

表 3 具体的な評価項目

分類	評価項目
技術力	一般的な技術力
	RSNP の技術力
完成度	一般的なサービス/ロボットとしての完成度
	RSNP を利用したサービス/ロボットとしての完成度
	ドキュメントの完成度
アイデア	サービスのアイデア
	RSNP を利用したロボットサービスとしての魅力
プレゼン	総合的な内容
	発表の優劣

### 5.3. 賞の選定方法

2.4 節で述べた各賞について、上記の採点結果を元に選定した。まず最優秀賞については、総合で最も評価の高かった作品に贈る。次に、優秀賞の 3 件については、賞を提供していただいた協賛団体が、評価上位の作品からそれぞれの団体の狙いに沿った作品を独自に選ぶという形をとり、賞を決定する。また奨励賞についても賞を提供していただいた団体の意向により賞を決定する。

### 6. 参加者を増やす施策

本コンテストは今年初めて開催するということもあり、参加者があまりいないと考えられた。そのため、以下の施策を行い、参加者を増やす努力をした。

- RSNP チュートリアルの実施:3 回
- RSNP チュートリアル wiki サイトの作成
- RSNP 仕様書の英語化
- 講演論文のひな形作成

RSNP チュートリアルの実施では、ROBOMECS 2012 および、日本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の研究会(2 回)にて、参加予定者向けに RSNP の開発環境構築からサンプルプログラムの動作までを実際にやってもらうチュートリアルを 3 回開催した。ここではおよそ 10 名の参加者がいた。このチュートリアルの内容を Web ページに直したものが RSNP チュートリアル Wiki サイトである。本サイトでは、開発環境構築方法、サンプルプログラムの動かし方が載っているだけでなく、必要なファイルやデモプログラムのダウンロードもここからできるようにした。本サイトにより、チュートリアルに参加していなくても、サイトを見ればひと通り RSNP を利用した開発について知ることができるようになる。

RSNP 仕様書の英語化では、今まで日本語の仕様書しかなかったものを、コンテストに合わせ、仕様書をすべて英語で表記する英語化を行った。これにより、海外からの参加者を見込む。

講演論文のひな形作成では、日本ロボット学会学術講演会に講演を申込み際に提出する講演論文のひな形を作成し、希望者に配布した。これは、論文を書くことに慣れていない学生のために用意したもので、コンテスト参加への敷居を低くするためのものである。

### 7. コンテストの結果

ここまでで述べた準備内容で実際に応募を受け付けた結果、全部で 15 件の応募があった。応募者の所属としては 15 団体、合計 53 名がコンテストに参加した。この全 15 件の応募作品について事前審査および当日のプレゼン審査をした結果、以下のように賞を決定した。以下では各賞について応募作品のタイトルを記載する。賞としては事前に用意していた 5 件の賞に加え、審査員特別賞、審査員奨励賞として 2 件の賞を追加した。

- RSi 賞
  - 「RSNP を用いた英単語学習ロボットの開発」
- RT システムインテグレーション賞
  - 「動画からの特徴的な表情抽出による高齢者の見守りシステム」
- ロボットビジネス推進協議会賞
  - 「伝導性織物デバイスと RSNP を用いたヒューマンセンシングシステム」
- 日本ロボット学会 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賞
  - 「ロボットサービスにおける非常時サービス実現のためのサービスサーバの開発」
- APEN 賞
  - 「RSNP Remote Control Robot using a LEGO MINDSTORMS and an Android Phone」
- 審査員特別賞
  - 「RSNP を利用した LRF 測定データ提供サービス」
- 審査員奨励賞
  - 「移動ロボットによる見守りサービス」

## 8. おわりに

本稿では、RSNP コンテストの準備概況、運営体制および結果について報告した。今年度のコンテストでは初めての開催であるにもかかわらず 15 件の応募があり、全体的には本コンテストは成功したと言える。今後は今回のコンテスト開催における反省点をまとめ、来年度のコンテスト開催に向けて生かしていく。

### 参 考 文 献

- [1] <http://robotservice.org/>
- [2] <http://robotservice.org/contest/2012/>
- [3] <https://www.facebook.com/RSNPcontest>
- [4] <http://robotserveice.org/wiki/jp/>
- [5] <http://robotserveice.org/wiki/en/>



# 情報アーキテクチャ専攻における PBL 環境と学修支援

土屋 陽介\*・長尾 雄行\*・慎 祥 揆\*

## PBL environment and facilitation of learning in the Information Systems Architecture Division

Yosuke Tsuchiya\*, Takeyuki Nagao\* and Sanggyu Shin\*

### Abstract

In this report we briefly summarize the environment of education for the master course in the Information Systems Architecture Division of our institute, which is designed to educate students from industry to become experts of information systems. The graduate course consists of lecture-based period and Project-Based Learning period, each of one year-long. We describe how the Project-Based Learning is carried out in our program and also depict various systems to facilitate learning designed especially for students from industry. We also show the result of the ITSS skill level checker and analyze the tendency of the students' interests in learning.

Keywords: ITSS, Project-Based Learning

### 1. はじめに

産業技術大学院大学(以下, 本学)の産業技術研究科情報アーキテクチャ専攻(以下, 本専攻)では, 2006 年の開学以来, 分野横断的な知識とスキルを有する専門職人材である, 情報アーキテクトの育成を行っている。本学の学生の大半は社会人であり, 会社等における業務と並行して平日夜間及び土曜日に講義・演習及び PBL (Project Based Learning) 型の教育を受けている。本稿では, 様々な背景を持つ社会人学生に対する教育上の支援という視点から, 本専攻における PBL の実施環境を簡潔にまとめる。そして, 支援の枠組みの一つとして実施している IT スキル診断の結果に基づいて, 学生の興味及びスキル熟達度の傾向について報告する。

#### 1.1. PBL とは

PBL とは, 与えられた課題を解決するために学生がプロジェクトを遂行し, チームの協調作業によって成果物を完成させることで, 課題解決, 意思決定及び調査研究に関わる能力を養うためのよく知られた教育手法である。PBL においては, 学生チームがコーチ役の教員の支援のもとで課題解決のためのグループ活動を行い, チーム及び個人の活動の成果を融合させて1つの成果物を完成させる。従来の教育が概念及び知識の獲得に主眼を置くのとは対照的に, PBL では, すでに得た概念及び知識をいかに実世界で活用するかという点に焦点を当てる。この教育手法は中等教育[17], 高等教育[16]及び社会人教育[18]等, 様々な教育現場において, 実社会で役立つ能力を磨くための手段として活用されている。

### 2. 情報アーキテクチャ専攻の PBL の現状

#### 2.1. 講義・演習科目と PBL

本学では修士課程の学生に対して, 修士論文に代わるものとして PBL を必須科目に指定している[2]。ただし, 修士課程全体で PBL を実施するのではなく, 原則として1年次に講義及び演習科目を履修し, 様々な専門分野の概念及び知識を修得し, その後, 2 年次の PBL へとすすむモデルを採用している。本学の情報アーキテクチャ専攻では社会人を主な教育の対象に設定している。社会人の教育のため, 本学が取り組んでいる課題としては, 次の二つが挙げられる。一つは, 学生の背景の違いを吸収して円滑な PBL 教育を実施することである。もう一つは, 会社等における業務と学業の両立を支援することである。

このような課題を解決するために, 本学では様々な取り組みを行っている。例えば, 入学前に1年次の科目を履修する制度(AIIT 単位バンク制度, 科目等履修制度, 履修証明プログラム)及び履修期間を標準の 2 年から延長する制度(長期履修制度)を提供している[4]。また, 多様な学修機会を提供するため, サテライトキャンパスの運用[5], 講義支援システムによる講義資料及び講義動画の配信も行なっている[7]。更に, 4月の入学式の直前に7日間の日程でプレスクールを実施している。その目的は, 学生の背景のばらつきを抑え, 円滑に修士課程の教育を実施することにある。2012年度のプレスクールでは, 基本情報技術者試験レベルの知識の確認を行う IT 基礎講座を実施し, 1年次の講義科目の概要を周知する事前講義ガイダンスを行った。これらの学修支援の仕組みを図 1 に示す。

Received on September 25, 2012

\*産業技術研究科, Graduate School of Industrial Technology, AIIT

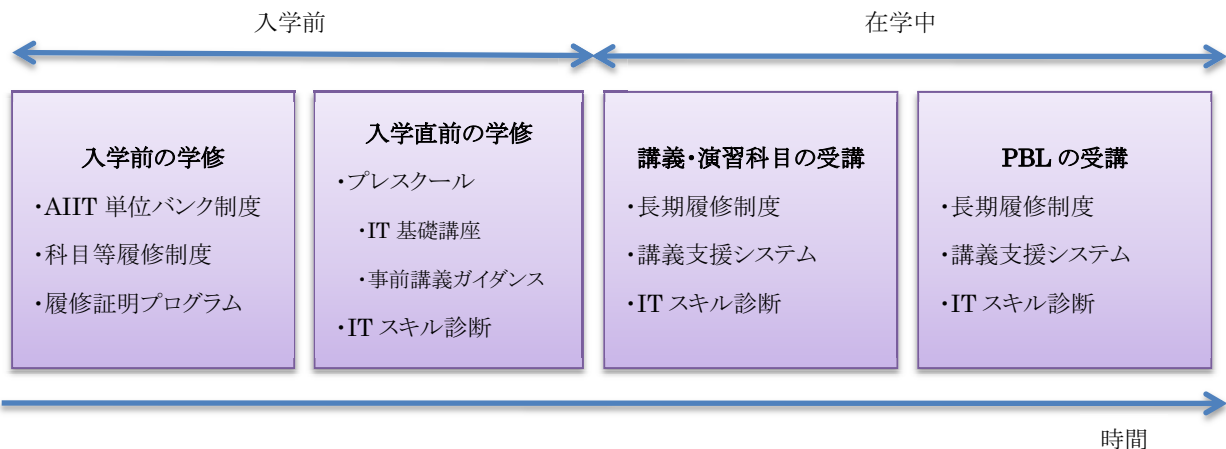


図1 本学における学修支援の仕組み

## 2.2. 情報アーキテクチャ専攻の PBL

PBL 型教育に全学として取り組むため、本学では 2006 年度の開学より PBL 委員会を設置して PBL の科目設計及び運用方法等を検討し、2007 年度から PBL 型の教育の実践を始めた[3]。これまでに本専攻で実施した PBL プロジェクトの一覧を表 1 に示す。各年度に 10 前後のプロジェクトが実施されている。各プロジェクトには原則として 5 名前後の学生が配属され、主担当教員 1 名、副担当教員 2 名の支援の下でプロジェクトの運用を行う[2]。

本専攻の PBL におけるプロジェクトは事前に詳細化されているわけではなく、プロジェクトに関する大きな枠組みだけが入力として学生チームに与えられる。具体的には、プロジェクトに固有の課題、方法論、修得できるコンピテンシー（業務遂行能力）及び成績評価方法等がプロジェクト単位で事前に教員によって定義されており、PBL プロジェクト説明書（あるいは PBL ガイド）として文書の形でプロジェクト開始前に学生チームに提示される[2]。プロジェクト全体を通じた成果物及びアクティビティの一覧が事前に例示されるプロジェクトも存在する[10]。このプロジェクト説明書はプロジェクトの大まかな方向付けを与える役割を担うとともに、学生に対して教員がどのような活動を期待しているのかを伝える意味を持っている。このような入力が与えられた後に、学生チームは課題解決のためのプロジェクト計画を立案し、計画から終了までの全過程を自分たちの力で遂行する。

プロジェクトテーマは多様であり、自治体等の外部組織を顧客とするプロジェクト[14]、海外の大学との連携プロジェクト[9][11]、研究型プロジェクト[10]、オープンソースソフトウェアを活用してシステムの企画、設計、開発及び運用の全工程を実施するプロジェクト[15]等が見られる。外部組織との連携には、担当教員が紹介する場合及び修了生が紹介する場合が存在している。

プロジェクト活動はチームによるグループ作業と個人別活動によって成り立っている。プロジェクト毎に設定した頻度（週 2,3 回程度）でミーティングを実施して意思決定、タスクの割り当て及び進捗確認等が行われている。ほとんどのプロジェクトではプロジェクトマネージャー（以下、PM）を担当する学生を設定しており、PM がタスクの割り当て及び管理を実施している。プロジェクトがどのようなプロセスを使って活動を行うかの決定も学生チームが行う場合が多い。例えば、システム開発系のプロジェクトでは、標準的なプロセスを学生自身がカスタマイズして利用する例[8]が見られる。

本専攻では、PBL 教育を支援するために、PBL のプロジ

ェクト活動で必要となるシステムの設計・開発も行っている。例えば、進捗管理、ファイル管理、提出物の管理を目的とする情報共有基盤の設計・開発が行われ、実際の PBL で活用されている[5][6][12][13]。大学側が準備したこれらのシステム以外にも、学生が自主的にプロジェクトの目的に応じてメールリスト、グループウェア、ビデオ会議システム、バージョン管理システム等を選定して活用するという場合も存在する。

## 3. スキル診断

講義・演習型教育及び PBL 型教育のどちらについても、学生が自身の知識及びスキルの現状を客観的に把握し、自身のキャリアプラン及び学修計画を作成することを支援する仕組みが必要である。本専攻ではそのために、2007 年度から学生に IT スキル標準（以下、ITSS[19]）に基づいたスキル診断システムを提供している。学生は入学時、進級時及び修了時に、Web ベースのスキルチェックを受診することで自身の得意分野・不得意分野を把握することができるようになっている。学生自身に入学から卒業までの時系列の知識・スキルの変化を把握してもらい、自身の成長を得点の変化で把握することで、更なる学修への動機付けを行うことも意図している。スキル診断の結果は、教員が学生に対して実施する個別面談においても指導資料として活用している。

### 3.1. IT スキル標準

ITSS は IT 分野におけるプロフェッショナルを育成するための共通のものさしを提供するという目的で、情報処理推進機構（IPA）によって 2006 年に策定され、現在は V3 2011 が公開されている[19]。ITSS では IT 分野の業務を 11 の職種と 35 の専門分野および 7 つのキャリアレベルに分類したキャリアフレームワーク[20]と、それぞれの専門分野で必要とされるスキルの一覧（スキルディクショナリ[21]）を提供している。

ITSS では、達成度指標及びスキル熟達度をレベル 1 からレベル 7 の 7 段階にレベル分けして定義している。達成度指標は専門分野における実務経験を表現するものである。一方で、スキル熟達度は専門分野で要求されるスキルの熟達度を表現するものである。達成度指標、スキル熟達度の両者について、レベル判定のための評価基準が職種及び専門分野単位で用意されている。この二つの指標におおむね共通



する点は、レベル 1 からレベル 3 はメンバーとして、レベル 4 はリーダーとして、レベル 5 からレベル 7 は責任者として求められる実務経験及びスキル熟達度を表していることである。達成度指標によるレベルの目安としては以下の様に要約されている[19]。

- レベル1. 最低限必要な基礎知識を有する
- レベル2. 上位者の指導の下、要求された作業を担当する
- レベル3. 要求された作業をすべて独力で業務を遂行する
- レベル4. 独力で業務上の課題の発見と解決をリードする
- レベル5. 企業内のハイエンドプレイヤー
- レベル6. 国内のハイエンドプレイヤー
- レベル7. 国内のハイエンドプレイヤーかつ世界で通用するプレイヤー

スキル熟達度については専門分野及び知識項目毎に詳細なレベル分けがなされている。詳しくは IT スキル標準 V3 2011[19]を参照されたい。

企業等が ITSS を利用して従業員の専門分野別スキル熟達度を把握する目的で、複数のベンダーからオンラインテスト形式の IT スキル診断ツールが提供されている。本学では、2007 年度から 2010 年度までは、IT スキル研究フォーラムの ITSS-DS を利用していたが[22]、システム更改に伴い、2010 年度末からは株式会社ネクストエデュケーションシンの ITSS レベルチェッカー[23]を利用している。両者ともに IT スキル標準をベースとし、IT に関するスキルの診断を行なうシステムである。前者についての活用事例は文献[1]を参照されたい。本稿では、後者の活用事例について報告する。

### 3.2. ITSS レベルチェッカーの概要

ITSS レベルチェッカー[23]は、ITSS のキャリアフレームワークに合わせて、実務能力、テクニカルスキル、ヒューマンスキルを客観的に診断するシステムで、24 時間どこからでも受診が可能な ASP 形式の Web サービスとなっている。本システムでは、各職種で現在どのくらいのスキルレベルがあるのかを診断する。出題数は 90 問で制限時間は 90 分となっている。出題内容としては、例えば IT アーキテクトの職種の診断を行った場合、全職種のレベル 1,2 共通領域と専門領域についてテストを行う。具体的な項目を以下に示す。

#### 【レベル 1,2 共通領域】

基礎理論、アルゴリズムとプログラミング、コンピュータ構成要素、システム構成要素、ソフトウェア、ハードウェア、ヒューマンインタフェース、マルチメディア、データベース、ネットワーク、セキュリティ、システム開発技術、ソフトウェア開発管理技術、プロジェクトマネジメント、サービスマネジメント、システム監査、システム戦略、システム企画、経営戦略マネジメント、技術戦略マネジメント、ビジネスインダストリ、企業活動、法務、リーダーシップ、コミュニケーション、ネゴシエーション

#### 【IT アーキテクトのスキル領域】

アーキテクチャ設計、設計技法、標準化と再利用、コンサルティング技法の活用、知的資産管理 (Knowledge Management) 活用、テクノロジー、インダストリ(ビジネス)、プロジェクトマネジメント、リーダーシップ、コミュニケーション、ネゴシエーション、アプリケーションアーキテクチャ設計、インテグレーションアーキテクチャ設計、インフラストラクチャアーキテクチャ設計

## 4. スキル診断の結果について

### 4.1. 希望職種の変遷

2011 年度入学者のスキル熟達度を職種別に集計したものを図 2 に示す。大きな傾向としては、IT スペシャリストを希望職種として挙げる学生が最も多い点が挙げられる。ITSS-DS を利用して実施した 2007 年度生の受診者 37 名、2008 年度生の受診者 33 名及び、ITSS レベルチェッカーを利用して実施した 2011 年度生の受診者 43 名、2012 年度生の受診者 32 名の希望職種を合わせて図示したものが図 3 である。この図から、2007 年度、2008 年度ではプロジェクトマネジメント・IT アーキテクト・コンサルタントを希望している学生の割合が多かったが、2011 年度 2012 年度では、IT スペシャリストを希望している学生が 4 割以上おり、希望職種に大きな変化が見られる。このような学生の志望傾向の変化に対応するには、毎年実施している個別面談等を通じて、希望職種を考慮した上で履修科目の相談を行うことが必要と考えられる。また、長期的な希望職種の傾向の変化については、カリキュラムの変更で対応することが必要と考えられる。

### 4.2. 入学時及び進級時共に受診している場合

2011 年度入学者であり、入学時及び 2 年次進級時ともにスキル診断を受診している者が 21 名存在する。これらの受診者を匿名化して、2011 年度時点のスキル熟達度順にラベル A~U を割り当てて図示したものを図 4 に示す。この図において入学時のスキル熟達度の範囲は、1.9 から 3.9 であり、平均熟達度は約 2.8 である。また 2 年進級時には熟達度が 1.4 から 4.5 の範囲となりレベルの差は広がっているが、平均レベルは約 2.9 となり、全体としてはわずかにレベルが上がっている。なお、図 4 において入学時に比べ 2 年進級時で 3 割以上スキル熟達度が下がった学生の受診状況を調査した結果、受診時間が 25% から最大で 65% 程度減っており、なんらかの理由により途中で受診を取りやめたため、スキル熟達度が大幅に下がってしまった可能性があることが考えられる。ITSS レベルチェッカーでは、90 分という制限時間内に最後まで受診する必要があり中断ができないため、試験中に何らかの問題で中断せざるをえなくなった場合、その時点で試験が終了となってしまふ。上記のケースを考慮して受診時間が大幅に減ったデータを除くと 2 年進級時のスキル熟達度が平均で 3.0 となり、入学時から平均が 0.2 ポイント上昇していることがわかる。

## 5. おわりに

本稿では、情報アーキテクチャ専攻における PBL 実施環境について、社会人を支援するための制度上の仕組み、PBL の運用形態を要約し、学修支援の目的で実施しているスキル診断について報告した。今後も継続的に、制度、運用、システム等、様々な視点から社会人の学修の支援環境をととのえていきたい。

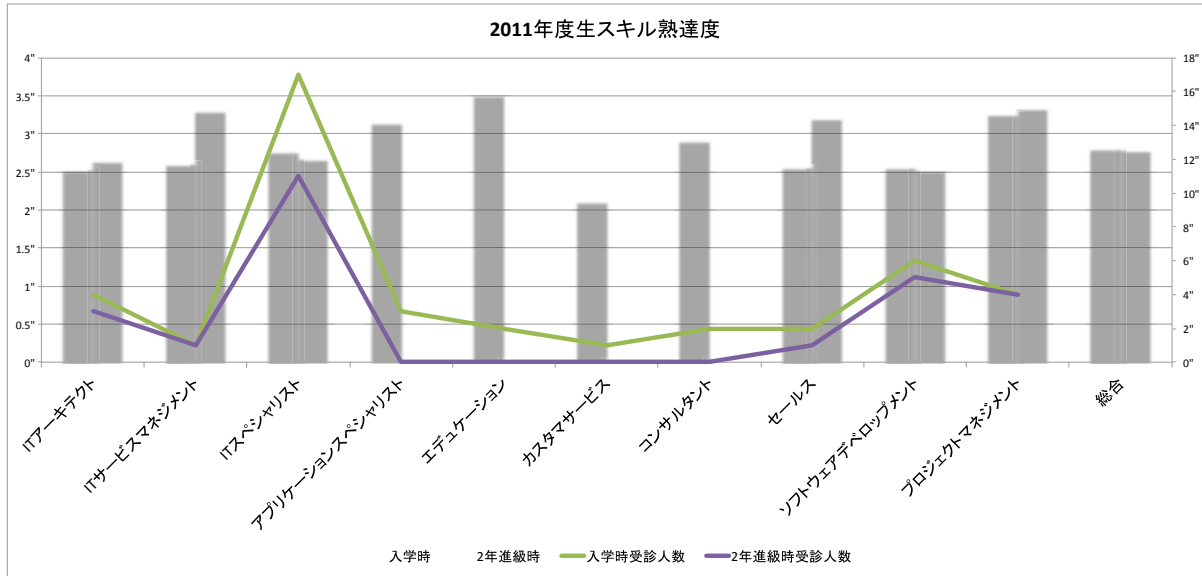


図 2 2011 年度生のスキル熟達度及び希望職種の人数

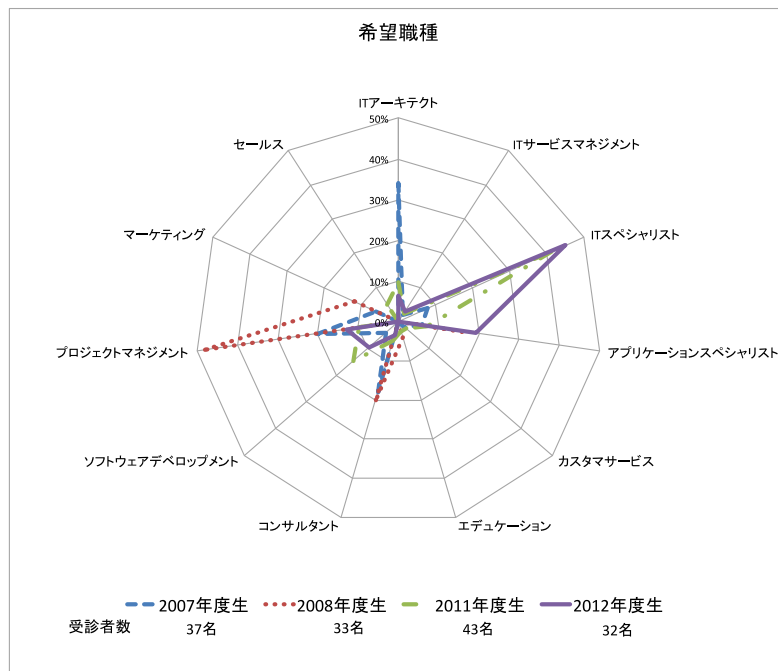


図 3 年度による希望職種の変化

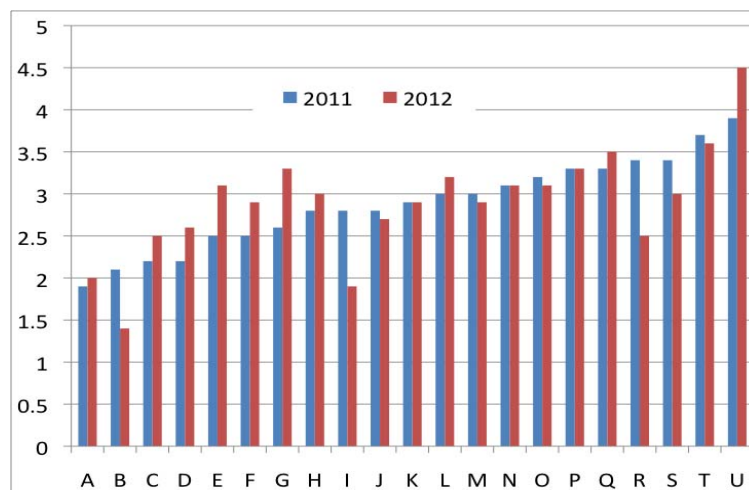


図 4 2011 年度入学者のスキル熟達度の変化

## 参 考 文 献

<http://www.nextet.net/service/itsssol/aboutsolution.html>  
1

- [1] 戸沢 義夫, “ITSS-DS を活用した大学院学生スキル診断の試み,” 産業技術大学院大学紀要 No.1, pp.17-38, 2007.
- [2] 加藤 由花, 中鉢 欣秀, 戸沢 義夫, “専門職大学院における PBL 型教育の実践—産業技術大学院大学における事例—,” 産業技術大学院大学紀要 No.3, pp.83-90, 2010.
- [3] 公立大学産業技術大学院大学, AIIT FD レポート第 3 号, [http://aiit.ac.jp/about/pdf/resource/fd\\_report\\_200804.pdf](http://aiit.ac.jp/about/pdf/resource/fd_report_200804.pdf)
- [4] 学びやすい学修体制: 産業技術大学院大学 Web サイト, <http://aiit.ac.jp/education/system.html>
- [5] 中鉢 欣秀, 小山 裕司, 石島 辰太郎, “産業技術大学院大学の ICT 環境の運用と課題,” 研究報告インターネットと運用技術(IOT), 2012-IOT-16 11 号, pp.1-4, 2012.
- [6] 中鉢 欣秀, 小山 裕司, “PBL を支援するコラボレーティブツールに関する考察,” 産業技術大学院大学紀要, No.5, pp.100-108, 2011.
- [7] 土屋 陽介, 小山 裕司, 中鉢 欣秀: “授業配信システムの設計と開発,” 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, 一般社団法人情報処理学会, Vol.2011, No.2, pp. 1-7, 2011.
- [8] 木崎 悟, 成田 亮, 丸山 英通, 土屋 陽介, 成田 雅彦, 中鉢 欣秀, “国際PBLにおける的確な仕様の伝達とチケット駆動による開発作業の効率化,” ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2011 論文集, pp. 1--6, 2011.
- [9] 中鉢 欣秀, 成田 雅彦, 戸沢 義夫, “ベトナム国家大学とのグローバル PBL から得た知見,” 産業技術大学院大学紀要 No.4, pp.85-88, 2010.
- [10] 加藤 由花, 成田 雅彦, 土屋 陽介, “RSNP (Robot Service Network Protocol) を活用した PBL 教材の開発,” 産業技術大学院大学紀要 No.5, pp.15-20, 2011.
- [11] 成田 雅彦, 戸沢 義夫, 中鉢 欣秀, 土屋 陽介, “専門職大学院における PBL 教育のグローバル化の試み,” 産業技術大学院大学紀要 No.3, pp.99-107, 2010.
- [12] 中鉢 欣秀, 加藤 由花, 戸沢 義夫, “PBL 用情報インフラストラクチャの構築と運用,” 産業技術大学院大学紀要 No.3, pp.109-116, 2010.
- [13] 中鉢 欣秀, 小山 裕司, “PBL を支援するコラボレーティブツールに関する考察,” 産業技術大学院大学紀要 No.5, pp.103-108, 2011.
- [14] 戸沢 義夫, “東京都の協力を得て実施した PBL から得られた知見,” 産業技術大学院大学紀要 No.5, pp.109-116, 2011.
- [15] ScoreDoc, <http://scoredoc.net/list>
- [16] 西森 年寿, 加藤 浩, 望月 俊男, 八重樫 文, 久松 慎一, 尾澤 重知, “高等教育におけるグループ課題探究型学習活動を支援するシステムの開発と実践(<特集>実践段階の e ラーニング),” 日本教育工学会論文誌, 29(3), pp.289-297, 2005.
- [17] 包 領兄, 中村 真二, 細澤 あゆみ, 二見 晃平, 湯瀬 裕昭, 青山 知靖, 鈴木 直義, “情報教育における高大連携型 PBL の実践,” 情報処理学会研究報告, Vol.2010-IS-113 No.9, 2010.
- [18] 酒森 潔, “産業技術大学院大学・情報アーキテクチャ専攻の PBL : 社会人大学院における PBL 学習 (べた語義(第 13 回)),” 情報処理 53(5), pp.514-518, 2012.
- [19] IT スキル標準 V3 2011, [http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/download\\_V3\\_2011.html](http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/download_V3_2011.html)
- [20] IT スキル標準 V3 2008 のキャリアフレームワーク, <http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/itss13.html>
- [21] IT スキル標準 V3 2011 スキルディクショナリ, [http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/V3\\_2011data/SkillDic\\_V3\\_2011.pdf](http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/V3_2011data/SkillDic_V3_2011.pdf)
- [22] IT スキル研究フォーラム, ITSS-DS の概要, [http://coin.nikkeibp.co.jp/coin/nip/isrf/itssds\\_gaiyou.html](http://coin.nikkeibp.co.jp/coin/nip/isrf/itssds_gaiyou.html)
- [23] ネクストエデュケーションシンク, ITSS レベルチェッカー,

表 1 産業技術大学院大学における PBL テーマ(成果発表会時の発表題目)一覧

年度	テーマ
2007 年度	教育用ソフトウェア開発プロセス支援システム SPEED の開発
	ソフトウェア・アーキテクチャと開発プロセス
	インターネットサービスにおけるコミュニケーションインフラの企画
	研究型プロジェクトによる次世代ネットワークアーキテクチャの設計
	産技大 PBL 教育における e-Learning システム開発プロジェクト
	PMO の立ち上げとプロジェクトマネジメントスキル育成プログラムの実施
	東京都港湾局の業務改革提案
	概念データモデリングによる情報システム設計
2008 年度	産業技術大学院大学における情報セキュリティポリシーの策定プロジェクト
	ラショナル統一プロセス RUP に基づいた Web アプリケーションの開発
	オープンソースを活用した Web アプリケーションの開発
	GUI アプリケーション開発の為に新フレームワーク XDF の有用性と今後の展望
	情報セキュリティマネジメントシステムの教育機関への適用の試み
	概念データモデリングから見える東京港のあるべき姿とは
	成功率 31.1%～プロジェクトマネジャーへの提言～
	東京都建設局と楽天株式会社における業務改革提案
2009 年度	ユーザの行動を予測できる環境におけるモバイル P2P ネットワークシステムの研究開発
	インターネットサービス企画: 価値あるサービス創出の試み
	Web マーケティングによるクロスメディア広告効果の検証
	コンテキストウェアネスサービスに向けたビデオストリームマイニング
	次世代モバイルネットワークサービスの研究開発
	インターネット上のサービスの企画:ソフトウェアの企画・基本設計
	ソフトウェア開発環境・開発プロセスの研究開発
	ソフトウェア開発とマネジメント
2010 年度	オープンソースを活用したシステム(Web アプリケーション等)の開発
	PM 教育用仮想プロジェクトの実践と PM コンピテンシーの研究
	情報戦略とシステム化基本構想策定
	プライバシー影響評価ガイドラインの開発と民間および行政システムへの実施適用
	概念データモデリングなどを用いた情報システム上流工程
	実世界データ利用サービス構築によるサービス基盤検証
	UGC ビデオのストリーム処理による即時的コンテキストサービス
	プライバシー影響評価の実施環境整備とその効果の検証
2011 年度	オープンソースを活用した Web オークションシステムの開発
	フレームワーク設計によるソフトウェア開発者の設計力強化
	文書作成管理ソフトウェア DoWMS の企画・設計・開発
	教育サービス会社への概念データモデリングを用いた業務改善提案
	ICT 分野の PM 育成用シナリオ型教材作成プロジェクト
	「よくねる」サービスの企画・立案
	D&M 社(白河拠点)の設計業務に対する業務改革提案
	グローバルなソフトウェア開発とマネジメント:VNU との共同 PBL
2011 年度	クラウドロボティクスのためのタスク分散フレームワーク
	OSS スタイルによる iOS アプリケーションの開発
	少人数・短納期開発プロジェクト向けマネジメント手法
	概念データモデリングを用いた医療法人の業務改善提案
	Contextual Twitter サービスにおけるプライバシーポリシー
	クラス図エディタの開発を通じた開発プロセスの習得
	株式会社フレア様 情報戦略と業務改革(BPR)提案
	一歩進んだシミュレーションツールによるプロジェクト実践力向上
日本におけるプライバシー影響評価の実施環境整備とその効果検証	
画像認識技術と位置情報を利用した AR サービスの企画・立案	

# 日本が世界に誇れることについての考察

戸 沢 義 夫\*

## Investigation on what Japan can be proud of in worldwide

Yoshio Tozawa\*

### Abstract

Japanese common sense is sometimes said out of worldwide common sense. It is difficult for Japanese to notice their normal behaviors are not natural from worldwide perspective. Accumulation of natural behaviors by Japanese comes up with worldwide admiration. Toyota production system is one of such admirations. This is what Japanese are proud of. This article clarifies the links between Japanese normal behaviors and what non-Japanese cannot follow. Differences between decision-making mechanism in Japan and that in western countries are analyzed. Fundamentals which supports Toyota production system are investigated.

Keywords: Toyota Production System, Japanese common sense, bottom up decision-making

### 1. はじめに

日本にいと周りの人達も自分と同じように考え、同じよう  
に行動するので、それが当然であるように思い、世の中すべ  
てがそうなっていると考えがちである。しかし、視野を広く持  
ち、世界全体から見ると、日本人が当たり前とと思っていること  
が、実は世界に誇っていいことであることに気付く。日本人だ  
からできたこと、日本人がやってきたことを正しく認識し、世  
界に誇っていいという自信を持つことは、現在の日本の閉塞  
感を打破する上では極めて大切なことだと思われる。

昔、竹村建一が「日本の常識は世界の非常識」と言い出し  
て、このフレーズは多くの人を知ることになった。「日本の常  
識」「世界の非常識」をキーワードにしてインターネットで検索  
すると、非常に多くのブログがヒットする。これらのキーワード  
を持つ本もいくつか出版されている[1][2][3]。

「日本の常識は世界の非常識」の解釈として、日本人のや  
っていることは世界の非常識だからダメだ、日本人の常識を  
捨てるべきだ、という論調も多い。しかし、筆者はそうではなく、  
日本人が当然のごとくやっていることを、欧米の世界の人た  
ちは真似できないのだから、それを誇りに思っているのだと  
いう観点で論じてみたい。

### 2. 日本の意志決定メカニズム

#### 2.1. ボトムアップの意志決定

欧米の意志決定がトップダウンであるのに対し、日本の意  
志決定はボトムアップであると言われることがある。一般に、  
組織はピラミッド型をしており、縦割りになっている。縦割り組  
織の弊害はいろいろ言われているが、ピラミッド型の組織と  
いう点では日本も欧米も変わらない。縦割り組織で仕事をす  
るより、仕事の目的別にダイナミックに組織を作る方が効率  
が良いということで「プロジェクト」という考え方が導入されるよ  
うになってきた。IT 業界では、縦割り組織は残っているもの

の、現在ではほとんどの仕事がプロジェクトとして行われるよ  
うになっている。

意志決定がトップダウンかボトムアップかという議論は、プ  
ロジェクトの話ではなく、ピラミッド型をしている組織の中で、  
組織としての意志決定がどのように行われるかについてであ  
る。

欧米の企業組織では、CEO が絶対的な権限を持っている  
ことが多く、リーダーシップのある CEO が率いている企業  
で成功した例は多い。例えば、IBM を立て直したルー・ガー  
スナー、GE のジャック・ウェルチ、アップル社のスティーブ・  
ジョブズなどである。創業者でなくても、トップダウンの意志決  
定がきちんと行える組織であれば、リーダーシップのあるトッ  
プが組織をコントロールすることができる。

日本では、創業者が企業を発展させる例はいろいろある  
が(例えば、松下幸之助、本田宗一郎、孫正義、三木谷浩  
史、柳井正など)、創業者以外が発展させた例は少ない。フ  
ァーストリテイリングの柳井正は、何回か社長を任命したこ  
とがあるが解任せざるをえなかった。理由は、社長がいろい  
ろな部門の調整役になってしまい、リーダーシップを発揮しな  
くなったためである。社長の仕事に、リーダーシップと調整役  
の両方があるのは確かである。これが組織の意志決定に関  
係している。割り組織のそれぞれの部門の利害を調整する  
のが社長の役割になっているケースは、日本では欧米に比  
べて多いと思われる。

トップが意志決定して、トップダウンの指示で組織全体が  
動くケースと、各部門が独自に意志決定して社長が調整す  
るケースでは、組織の意志決定メカニズムが基本的に異なっ  
ている。各部門が独自に意志決定するというのは、日本の政  
府組織で「省益あって国益なし」と言われることがあるのを思  
い浮かべればわかりやすい。最近では「決められない政治」  
と言われるが、トップダウンの意志決定が行われない組織で、  
しかも、調整がうまくできない状態を指している。これらは、日  
本の典型的な意志決定がトップダウンではないことを示して

Received on September 25, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

いる。

ボトムアップの意志決定を(日本政府や自治体組織の場合を例にして)図1を用いて解説する。縦割り組織で、部署A、部署B、部署Cに分かれているとする。各部署の役割責任は文書(法律や条令)であらかじめ定められており、部署A,B,Cを統括するポジションの人が着任しても、その人の意向で各部署の役割責任が変わることはほとんどない。部署Aが担当する仕事は法律や条令で決まっているので、それを担当するのは誰になるかをあらかじめ決めておく。民間企業だと仕事が発生してから誰が担当するかを決める場合が多いが、官公庁では仕事が発生するかどうかに関係なく、事前に担当者を決めていることが多い。

例として、埋め立て地の沿岸に公園を作ることを考える。護岸は部署Aの担当、公園までの道路は部署Bの担当、公園内施設は部署Cの担当と分かれる。法律(条例)で決まっているからである。護岸と道路と施設は互いに関連するので、部署A,B,Cは調整する必要がある。各部署は自分の責任範囲の情報(データ)は持っているが、他部署の情報はわからない(情報共有はほとんどできてない)。部署A,B,Cのそれぞれの担当者が集まり、調整のために会議を開催することになる。この場合、案件内容からあらかじめ担当者が判るので、会議の出席者が誰になるかは事前にわかる。民間企業だと上司に連絡して担当者が誰になるかを決めてもらわなければならないことが多いが、官公庁だと上司に頼まなくても担当者がわかるので、担当者同士で連絡し合い会議を行うことが可能である。従って、上司は会議が行われることを知らず、事後に会議結果の報告を受けることになる。

図1では、会議結果を部署Aの担当者から課長へ、部署Bの担当者から課長へ、部署Cの担当者から課長へ、それぞれ報告されることが示されている。部署A,B,Cの担当者が集まり、会議を行って決めたことは、それぞれ3人の課長へ報告(レク)される。課長は(事前にそのような会議があることを知らないので)初めてそのことを聞くことになるが、担当者が決めたことに課長がダメと言ったり、否定したりするのは難しい。なぜなら、他の2人の課長も同内容の会議結果の報告を受けており、誰かがダメと言うと、他の2人の課長に迷惑がかかるからである。従って、担当者が決めたことを上司は追認することになる。

ボトムアップの意志決定とは、部下が決めたことを上司が追認することで組織の意志決定になることである。上司が集まる会議は議論の場ではなく、追認の場である。

会議で議論をしない(反対意見を述べない)のがマナーなので、会議で追認できるように、会議参加者に事前に了解を得ておく必要がある。これを「根回し」と呼ぶ。根回しが日本のと言われることが多いが、これは組織の意志決定メカニ

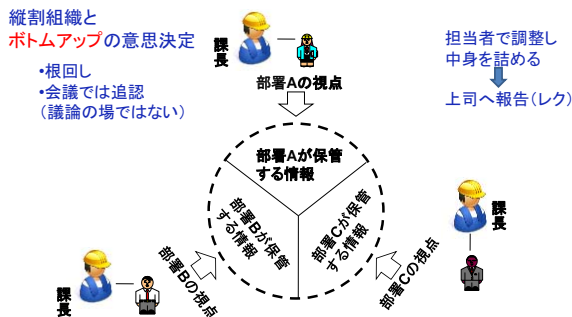


図1 ボトムアップの意志決定

ムがボトムアップに行われることと関係している。欧米がトップダウンの意志決定であることを考えれば、ボトムアップの意志決定は日本の特徴である。

## 2.2. 組織内のコミュニケーション量

1980年代になり、日本の高度経済成長や自動車など製造業での品質が非常に高くなったことについて、なぜそれが可能なのか、その理由を究明する研究がアメリカで盛んになった。この研究を通じて、日本の意志決定メカニズムがボトムアップであり、欧米と違っていることが認識された。ボトムアップ意志決定が日本の国力を強化していることに関係しているのではないかと仮説から、いくつか議論が行われた。

そのひとつが、組織内で行われるコミュニケーション量である。トップダウンの意志決定よりボトムアップの意志決定の方が組織内コミュニケーションが多くなるというものである。根回しは、部署の壁を越えて、同意を必要とする人に事前に説得に行く行為である。根回しでは、縦割り組織の壁を越えたコミュニケーションが、上位の人だけでなく担当者レベルの人を含めて行われており、しかも本音で話し合っている。あらゆるレベルでの組織内のコミュニケーションがスムーズに行われているのが日本の強みと言える。これはアメリカが下した日本の強みについてのひとつの結論であり、日本が誇っていることである。

## 2.3. 官僚主導

筆者は1990年頃、原子力の安全に関係した政府委員会の委員を務めていたことがある。当時、筆者はIBMでの人工知能の専門家であり、人工知能が原子力の安全に役立つかもしれないということで、IBMから委員を出すように要請されたからである。他の委員メンバーは原子力の専門家で、原子力発電所を実際に作っている企業を代表した専門家たちも多かった。極めてしっかりした見識を持った人たちである。従って、メンバーを見る限り、委員会は学識経験者の集まりである。

委員会での議案は、事務局(政府)が案を作り、委員会で審議したものは学識経験者の意見としてまとめられる。筆者がびっくりしたのは、せっかくの機会なのに、委員のメンバーはほとんど発言しない点である。委員会は自由な議論の場ではなく、委員会が用意した案を追認する場になっている。最初、筆者は気付かなかったのだが、企業を代表して来ている委員は、その企業が政府からの仕事をもらっている限り、自由に発言できない立場にあることがわかった。事務局案に反対すると、その企業が政府からの仕事を受注できなくなる心配があるからである。

委員会を経て、事務局案は学識経験者のお墨付きを得ることになる。原案は事務局が作ったとしても、委員会を経ると事務局の責任ではなく、学識経験者の意見に変わる。このようにして、事務局は表には現れないけれど、実質的に社会の進む方向をコントロールする仕組みが存在する。官僚が世の中をある程度主導できるようになっている。

この仕組みは官僚が優秀であればうまく機能する。日本でコンピュータ産業が淘汰されずに生き残ったのは官僚の頑張りによるところが大きい。最近「脱官僚」を叫ぶ人が増えてきているが、一概に悪いとは言えない部分がある。

## 3. 日本発の製造業

日本の製造業は最初から優れていたわけではない。政府

がいろいろな形で下支えして発展してきたのも事実である。しかし、それ以上に、日本の文化、「常識(当たり前)」が製造業を世界のトップに押し上げたのである。そのことについて以下に論じる。

### 3.1. 混流生産

日本の自動車工場を例にとってみる(図2参照)。日本では同じ生産ラインに異なった車種(モデル)が流れているのは日常的な風景で当たり前である。同じものを多量に作り続けるのではなく、同じ生産ラインで異なったものを作るのが「混流生産」である。アメリカでは多量に作ってもそれを消費する市場があったので、同じものを作り続けても(混流生産に取り組みなくても)問題はなかった。フォードが開発した自動車生産の流れ作業は、それぞれの担当者が決められた作業を繰り返すことで多量の自動車を完成させる画期的なものだった。アメリカでは流れ作業による同じものの大量生産が浸透し、混流生産は必要なかったし、行われなかった。

日本での自動車産業が混流生産を行うようになったのは、日本の自動車市場が小さかったため、同じ車を多量に作っても売れなかったからである。必然的にひとつの生産ラインで複数の車種を混ぜて生産せざるを得なかった。混流生産を行うには、生産ラインを流れる車に貼り紙を付け、その貼り紙にその車種(モデルやオプション)を書いておき、工場作業員はその貼り紙を見て適切な作業を行う。フォード生産方式では、工場作業員は決められたことだけを行えば良かったのに対し、混流生産では、作業員は貼り紙を見て自分が行うべき作業を判断することが求められる。

### 3.2. 多能工

日本人の感覚では、貼り紙を見て自分が行うべき作業を判断するのは誰にでもできることだと思いがちである。しかし、日本を出るとそうではない。ある自動車会社が初めて東欧に工場を建てた時、最終品質検査を通過できない不良品が多量に生まれた。日本で普通に行われている混流生産を東欧に持ち込みでできるだろうと思ったからである。しかし、工場作業員は、貼り紙を見て自分が行うべき作業を判断することがなかなかできず、不良品を発生させる原因になってしまった。そこで、混流生産を止め、同じ車を作り続けるように変えたら不良率は大幅に下がった。

図2にも示してあるが、工場作業員は貼り紙を見ていろいろな作業を行う。自分のやれることは限られるから、目の前に車が来てても何もできませんというのでは作業員は仕事をしないで遊ぶことになり、望ましくない。多能工が望まれる。

日本人は多能工になることに抵抗はないし、当然と受け容

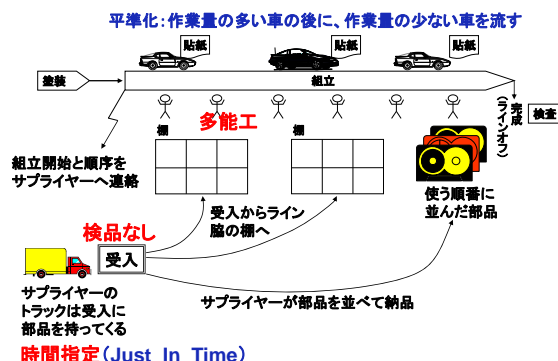


図2 混流生産

れている。また、工場作業員も多能工になろうと自主的に努力をする。その努力は評価してもらえる。一方、欧米では、工場作業員は決められたことだけをやればいいのであって、それ以外のことをしても評価されない。

日本では混流生産が当たり前であり、それを支えているのは多能工である。これは欧米ではなかなかできないことであり、日本が誇っていることである。言葉を変えれば、日本の工場作業員は優秀ということになる。

### 3.3. Just In Time

Just In Time は、日本の製造業はどこが優れているかをアメリカが徹底的に研究した結果名付けられたものである。元々はトヨタが行っているカンバン方式を指していた。今では幅広く解釈され「必要なものを必要な時に必要な量だけ生産する」ことを指す。

Just In Time が優れているのは、部品在庫がない点である。部品在庫なしで生産できることから「リーン(lean:やせたという意味)生産方式」とも呼ばれる。トヨタ生産方式でムダを徹底的に排除した結果実現できたものであるが、アメリカ人の眼から見ると画期的なものであった。

サプライヤー(部品メーカー)は部品を決められた時間に持って来るが、工場ではそれを検品したりはしない。検品は注文した個数が正しいかどうか、品質に問題がないかどうかをチェックするのが目的である。通常の商取引では検品は常識である。しかし、検品自体は付加価値を生む行為ではない。付加価値を生まない仕事はムダという考え方からは、検品は無い方がよい。検品を行わずに済むというのはアメリカ人にとっては驚きであった。

トヨタで検品を省略しても問題が起きないのは、サプライヤーの品質が良いからである。サプライヤーは個数を間違えることもなければ、不良品を届けることもない。

Just In Time は品質に自信がないと達成できない。日本製は品質が良いと言われるが、品質の良さは Just In Time を可能にする重要な要素になっている。Just In Time を形だけ真似してもうまくいかないのは、サプライヤーの品質に成否が大きく左右されるからである。

日本の製造業は欧米の企業に比べて品質へのこだわりが強い。一般に品質とコストは反比例の関係にあると思われている。コストを抑えるためには品質の追求をどこかであきらめるのが当たり前というのが欧米企業の感覚である。従って、契約で規定された品質を満たせばそれでよしとするのが普通である。それに対し、日本の企業はコストとは別に、少しでも品質を良くしようとする努力を怠らない。これが結果的には日本企業の品質の良さとなり、Just In Time の画期的な生産方法を実現可能にしている。

トヨタがムダの排除を徹底して追求することから到達した生産方式が、世界的には Just In Time (またはリーン生産方式)の画期的な方式として認知されるようになった。トヨタは画期的なことをやろうとしてカンバン方式を始めたのではない。ムダの排除という当たり前のことをやり続けただけである。当たり前のことの積み重ねが、結果的には、欧米人が真似できない生産方式になっていたのである。それを支えているのは品質の良さである。

日本人が当たり前とやっていて、世界中の誰にとっても同じだろうと思うのは間違いである。日本人だからできたのであって、欧米人にはできないことがある。その一例が検品の廃止である。このようなことは日本人が世界に誇っていることであり、日本人ならもっと知っていていいことだと思われる。

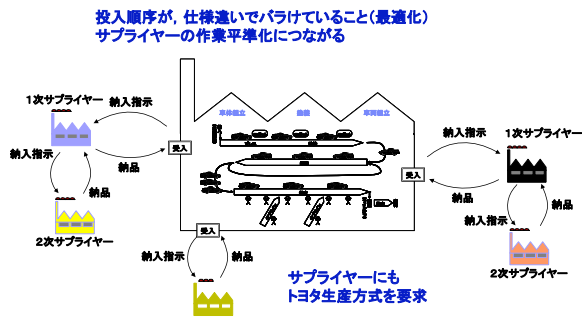


図3 サプライヤーへの配慮

### 3.4. サプライヤーへの配慮

製造業のメンタリティとしてまとめて生産すると、能率もいいし、コストもさがるから、一度にまとめて生産したいという思いがある。しかし、トヨタ生産方式では「必要なものを必要な時に必要な量だけ生産する」べきなのである。これは、まとめて生産したいメンタリティに反している。必要とされていないのに見込みで(まとめて)生産するのは悪であり、許されない。これはサプライヤーにも徹底されている。

サプライヤーは、欲しいと言われてから生産するので、ある時は多量の注文が来るが、注文が全く来ない時期もあるというのでは非常に困る。サプライヤーの立場からは、注文が平準化して、いつも定常的な注文があるのが望ましい。サプライヤーへの注文は、自動車メーカーから1次サプライヤー、2次サプライヤーへと下位サプライヤーに伝播される。自動車メーカーでのちょっとしたブレが、下位サプライヤーには大きな変動になる(これをブルウィップ効果という)。注文の変動が大きいとサプライヤーはついていけず、結果的に悪い品質のものが混じってしまう。

下位サプライヤーがついてこれるようにするには、自動車メーカーからの注文が平準化して来るとが極めて大切である。実は、トヨタでは混流生産で平準化が実現されている。混流生産ではいろいろ異なった車種が流れてくる。車種によっては手間のかかるものもあるし、手間のかからないものもある。作業員にとっては、手間のかかるものと手間のかからないものが交互に来るのがのぞましい。作業員の負荷を考えると、自動車の混流生産では、ラインに投入する車種の順序をどのようにするかが非常に大切になる。トヨタは投入順序を最適化して決めるシステムを持っており、できるだけ同種の車種が続かないようにバラけるようにしている。

投入順序の最適化は、直接的には工場作業員の仕事の平準化のためである。平準化の最適化により車種がバラけることになり、結果的には、サプライヤーにとっての平準化につながっている。

個々の企業は独立しており、自分が良くなることだけを考えれば良く、契約を守ってさえいれば、サプライヤーの状況に関心を持たなくても良い、という考え方もある。欧米のビジ

ネスではそれが普通である。しかし、日本では、サプライヤーと共に全体がよくなるのを良しとする文化がある。暗黙的なサプライヤーへの配慮である。

サプライヤーへの配慮がされているからトヨタ生産方式は成り立っているのであり、混流生産や Just In Time が実現できている。サプライヤーへの配慮を意識して行っているわけではないが、結果的にそれが実現しているのがすばらしく、日本だからできたことと言える。

トヨタは決してサプライヤーを甘やかしているわけではない。サプライヤーへの要求レベルは非常に高いし厳しい。馴れ合いではない。日本の自動車メーカーとサプライヤーの関係を欧米企業から見て閉鎖的と非難されることもあるが、日本のカルチャーに基づく部分があり、日本人が誇りに思っている部分とも言える。

## 4. トヨタ生産方式

### 4.1. トヨタの生産性

アメリカは1985年からMITを中心にしてIMVP(国際自動車プログラム)を実施し、日本自動車メーカーの競争力の源泉は何かを徹底的に研究した。それは“The Machine that changed the World”という本[4]にまとめられた。その中に図4に示すデータが載っている。NUMMIはGMとトヨタが合弁で設立した会社であり、GMが閉鎖した工場を利用して生産を開始した。

GM工場(米国)では部品在庫が2週間分もあるのに対し、トヨタ工場(日本)ではわずかに2時間分である。これは、Just In Timeを実現しているからである。NUMMIは米国工場であるが、トヨタ生産方式を導入することにより、部品在庫を2日分まで減らすことに成功している。GMとトヨタの品質の違いもはっきり数字に表れている。車を1台生産するのに何時間かかるかを見ても、GMとトヨタでは2倍近い開きがある。明らかにトヨタの生産性が高いことが読み取れる。

### 4.2. トヨタ生産方式の原点

ここでは、筆者がトヨタ生産方式にとって大事だと考えていることをいくつか述べる。トヨタは新しいこと、画期的なことをやりたくてトヨタ生産方式を考え出したのではない。ごく当たり前のことの積み重ねの結果として生み出されたものである。「当たり前のこと」とは何かが重要である。当たり前のことは手間がかかったり、効率的でなかったり、楽ではなかったりする。人間の業として、当たり前のことは「やるべき」とはわかっている。楽な方へ行きたくなる。それを戒め、当たり前のことをきちんと実行するように言い続けているのがトヨタ生産方式である。

#### ①ムダの排除

ムダを排除するのはいいことであり、当たり前である。トヨタ

<GM・トヨタ生産性比較>		1987年時点の調査資料	
	GM Framingham	Toyota Takaoka	NUMMI Fremont
製品時間[時間/台]	31	16	19
不具合[件/100台]	135	45	45
作業スペース	8.1	4.8	7.0
平均部品在庫	2週間分	2時間分	2日分

出典: J.P. Womack, et al., The Machine that Changed the World (IMVP Survey)

図4 GM・トヨタ生産性比較



では、ムダを以下の7種類に分類し、とにかくムダが見つかれば排除することが求められている。ムダを見つけるのは工場の現場の作業員から経営幹部まで、誰でもよい。ムダを見つけることと、ムダを排除することは別のことである。どうすれば排除できるかを考える前に、ムダそのものを見つけ出すことが重要と考えられている。

1. 造り過ぎのムダ  
早く造り過ぎたり、多く造り過ぎるムダ。このムダは、まとめて作りたくなる製造業のメンタリティを戒めている。必要とされるまで生産してはならない、というのがこのムダと関係している。必要と言われたらすぐに生産できるように準備しておくことは重要だが、生産してはならない。
2. 手待ちのムダ
3. 運搬のムダ
4. 加工そのもののムダ
5. 在庫のムダ
6. 動作のムダ  
付加価値を生まない作業(人、設備、機械の動き)
7. 不良品、手直しのムダ

## ②お客様第一主義

今では「お客様第一主義」はどの産業でも当たり前になってきているが、一昔前の製造業では、必ずしも重要なこととは思われていなかった。製造業はものを作るまでが仕事であり、お客様がそれを買うかどうかは製造業の範疇外と考える人が多かった。トヨタは昔からお客様第一主義を唱え、お客様が要望したものを作るという姿勢をとり続けた。

お客様要望が起点にあり、それが製造工程を逆方向に伝播するという考え方である。製造業では工程はいくつも連なっている。一般的な考え方は、前工程が終わったから後工程を実施するというPushの考え方である。それに対し、お客様第一主義から来るトヨタの考え方は、後工程が必要としているから前工程を行うというPullの考え方である。「後工程はお客様」というキーワードと共にPull生産を導入した。

製造業はPushだと思っている人が多い中で、製造業にPullを導入したのは画期的なことであった。Pushだと前工程と後工程の間にバッファ(倉庫)が必要になり、どうしても在庫ができてしまう。Pullだと倉庫が不要になるのでLeanになる。「リーン生産方式」は、製造業にPull生産を導入した結果達成されたものである。

## ③一個流し

製造業ではまとめて作る方が効率が良くコストも下げられると多くの人が信じている。その常識に反して、「一個流し」は一括してまとめて作るのではなく、一個一個作るのが大事だと教えている。一個作り、その品質に問題ないことを確認し、完成させてから、次のものにとりかかる。これが一個流しの考え方である。一個の完成を確認してから次のものにとりかかる、という考え方は、ある意味では当たり前である。しかし、この当たり前の考え方と製造業の常識とは相容れない部分がある。互いに反する場合、製造業の常識に従うのではなく、当たり前の考え方を優先することを求めている。

まとめて作るどうしても不良品が混じってしまう。それに対し、一個の完成を個々に確認してから次のものにとりかかれば、不良品が混じることはない。一個流しは品質を良くする原点になっている。完成車だけでなく、すべての部品を一個流しの考え方で生産するのがトヨタ生産方式である。

## ④カイゼン

カイゼンは日本語でありながら、世界に通用する言葉になっている。日本人にとって改善は当たり前のことで、取り立てて新しいことではない。日本の製造業では、多くの企業がQC(Quality Control)サークルが結成され品質改善に取り組んできた。

カイゼンは英語ではContinuous Improvementで、欧米人にはなかなかできなかったことである。カイゼンの重要性は理解できるのだが、それを継続的に実施することがなかなかできない。例えば、ITIL<sup>®1</sup> version 3ではITサービス・マネジメントの知見が5分冊に分かれてまとめられているが、そのうちの1冊がカイゼンに充てられている[5]。わざわざ独立した1冊にしなければならない程、重要であると同時に、意識喚起しないと定着しないと考えているからである。

改善は「課題解決」により達成されるのは事実である。大学では、学生に課題解決力を身に付けさせることが教育のひとつの目標になっている。確かに、課題解決は大事ではあるのだが、トヨタでのカイゼンは課題解決を最重要とは位置づけていない。

課題解決の前にやることがあるのである。トヨタではカイゼンを推進するために「なぜなぜ5回」と「見える化」が推奨されている。

トヨタのカイゼンは大きく次の2つのステップからなる。

1. 課題を引き起こしている根本原因(本質的な課題)の特定
2. 本質的な課題の解決

「なぜなぜ5回」と「見える化」は課題解決ではなく、根本原因を特定のために行う作業である。

なぜなぜ5回は、課題の原因が見つかったと思っても、もう一度「なぜ？」を繰り返す、本当にそれが本質的原因なのかどうかを考え続ける態度を指す。経験的に「なぜ？」を2回や3回繰り返したくらいでは本質的原因に行き着いていないことがわかっている。だから、5回繰り返すことを求めているのである。課題が見つかったらすぐにそれを解決しようとするのではなく、その前に、課題の本質的原因を追及することの方が重要であると教えている。

本質的原因を追及するのは当たり前のように見える。しかし、課題解決が大事だと思い込んでいる人は、課題解決に目が行き、しばしば課題の本質的原因を追及しようとなし。本質的原因を追及するという当たり前のことをきちんとしなさい、という戒めが「なぜなぜ5回」である。

「見える化」は、元々はトヨタ用語であったが、最近では一般用語化して、誰でも使うようになった。一般用語としての「見える化」の意味は、知りたい人が情報入手できるとか、知るべき人に知らせるとか、情報共有のニュアンスを指すことが多い。しかし、トヨタの「見える化」の意味は、そうではなく、**誰が見ても問題の本質が何であるかをわかるようにすること**である。「誰が見ても～わかる」という部分が大事で、これが「見える化」である。何が見えるようにするかと言うと、問題の本質である。

トヨタでは、課題の本質が見えるようになれば、課題の80%は解決したと考える文化がある。課題解決は残りの20%の作業に過ぎない。見える化ができれば、誰もが課題の本質を理解できるようになるので、多くの人が課題解決のアイデアを出せるようになる。

課題解決は専門家だけが行う仕事ではない。誰がやってもいいのである。組織の壁や仕事の縄張り、役職、身分にとらわれず、すべての社員がアイデアを出し取り組んでいいのである。良いアイデアを出した社員を報いる制度もきちんと

<sup>1</sup> ITIL<sup>®</sup> is a Registered Trade Mark of the Cabinet Office.

整備されている。

カイゼンは気付いた人は誰がやっても良いし、すべての社員にカイゼンへの貢献が奨励されている。この点が欧米のカルチャーとの違いである。欧米企業では、各人の仕事が職務記述書(文書)として明確に規定されており、そこに書かれている以外の仕事を行う義務もないし、やっても評価されない。だから誰がやってもいいけど職務記述書には書かれていない仕事は誰もやらない。

一方、カイゼンは義務化すべきものでもない。職務記述書に書くと義務化することになる。義務化するとそれを評価しなければならぬ。質の低い仕事をしている部署ならたくさんのカイゼンは可能かもしれないが、非常に質の高い仕事をしている部署ではカイゼン項目は少なくなる。カイゼンへの取り組みは「評価」になじまない。

欧米企業にカイゼンがなかなか根付かないのはこのような欧米のカルチャーに起因しているからである。カイゼンを定着させることができた文化的背景を持つ日本は、この点だけを取ってみても誇っていることである。

### ⑤後工程へエラーを流さない

エラーを流すのが悪いのは当たり前である。前工程にエラーがあるのに、エラーを含んだまま後工程に渡してはいけない。前工程はエラーがないことを確認した上で後工程に渡さなければならない。ここまで聞くと当然と思うかもしれないが、これは実は非常に難しいことである。

前前工程→前工程→後工程の順序で工程が連なっているとする。

前工程は前前工程から渡されたものを引き継いでいる。引き継いだものを含めて後工程に渡すのだが、前前工程から引き継いだものの中にエラーがあったらどうなるだろうか。前工程は前前工程から引き継いだものの中にエラーがないことを確認する責任があり、エラーが見つかったらそれを正すためのアクションをとるべきである。それをせずに後工程に前前工程から引き継いだものをそのまま(丸投げして)後工程に流すのは良くないのである。

後工程に渡したもののの中にエラーがあると、それは前工程の責任とされる。エラーが前前工程から引き継いだものの中にあり、前工程がエラーを発生させていないとしても、引き継いだものの中にあるエラーに気付かなかったことが悪いとされる。後工程にエラーを流したら、エラーを発生させた人とは別に、エラーを流した人も悪いのである。

エラーを発生させていないのにエラーを流したことが悪く、責任があるという考え方は、情報化が進んだ現在では受け容れない人が多いのではないかと思う。私は単に中継しただけで、エラーの発生に関わっていないから、私には責任はない、と言いつくす人は多いのではないか。

例えば、メールに添付ファイルがあり、添付ファイルの中身にエラーがある場合を考えてみる。添付ファイルを部下や同僚に転送したらどうなるだろうか。情報中継者としては部下や同僚にきちんと転送したのだから役割を果たしている。添付ファイルは自分の作成したものではないから、それに対する責任はない。転送した添付ファイルにエラーがあったとしても、それは私の責任ではない。添付ファイルを作成した人の責任だ。こう考える人は多いのではないだろうか。

トヨタではこのような考え方を否定している。エラーを流したら流した人が悪いのである。添付ファイルを転送した人の責任が問われるのがトヨタである。これは世間の常識とは違っている部分と言える。

ここでは説明しないが、後工程にエラーを流さないという考え方はトヨタの「自働化(自動ではなく、人偏の自働)」に由

来している。後工程にエラーを流さないのは品質に貢献している。エラーが混入しているかどうかを見る目が多くなるからである。

当たり前のことの積み重ねなのだが、なかなか実践できるものではない。それをきちんと徹底してやるように企業文化に組み込んだのがトヨタであり、結果的に画期的な生産方式と認知されるようになったのである。

## 5. おわりに

日本にいると当たり前で、誰もがそのように考えたり行動したりすると思っていることが、広く世界から見るとそうでないことがいくつかある。東日本大震災の際に暴動や略奪が起こらず整然と災害に向き合い対処したのは世界から驚きの目で称賛された。同じことは約 90 年前の関東大震災の際にも海外メディアが報じている。

日本の常識は世界の非常識と言われることがあるが、世界の常識が良いことで正しいとは限らない。日本の常識の中には世界が真似したくても真似できないものがある。それらは日本文化に根付いているものが多い。日本人にとって当たり前と思うことを積み重ねると、結果的には世界を驚嘆させるものが生まれてくる。このことを日本は誇りに思っていることである。

本論文では日本の意志決定メカニズムがボトムアップであることと、トヨタ生産方式を生み出すことができた日本的背景について述べた。誰か一人の天才によるアイデアで成功するのではなく、社会のすべての人が当たり前だと思うことを積み重ねることができる文化が日本を差別化する要素になっている。このことは日本が誇っていることだということを、多くの日本人が認識してもらいたいと思う。

## 参考文献

- [1] 竹村健一, “日本の常識、世界の非常識,” 幻冬舎, 2005
- [2] 牧野洋, “不思議の国の M&A—世界の常識 日本の非常識,” 日本経済新聞社, 2007
- [3] 高橋純, “「黒」は日本の常識、世界の非常識 (小学館 101 新書),” 小学館, 2011
- [4] ジェームズ・P・ウォマック, ダニエル・ルース, ダニエル・T・ジョーズ(沢田博 訳), “リーン生産方式が世界の自動車産業をこう変える,” 経済界, 1990
- [5] UK Cabinet Office, “ITIL® 2011 Edition : Continual Service Improvement (継続的サービス改善) TSO (The Stationery Office), 2011(翻訳は 2013 予定)

# 自動車のデザインと設計開発における感性価値

小山 登\*

## Kansei Value in an Automobile Design

Noboru Koyama\*

### Abstract

There are three important aspects to the way in which people perceive automobiles, as products. *1. The car is a high-priced consumer item and the decision to purchase a car is influenced by a person's preferences.* Products influenced by preference means that people tend not to buy the exact same product twice. *2. The new car becomes an extension of the self.* Once bought for its image, it must be able to satisfy that image of him or herself that the driver sees reflected in it. More than a mode of transportation, the new car is an extension of the driver's personality. *3. The automobile exists in most markets as a mature product.* Any mass-manufactured product passes through three stage of growth: introduction, popularization and maturity. The needs and demands of the marketplace in the second stage, when a type of item becomes a truly mass product, are much less demanding than those in the third stage. In these three aspects, it is very important to think about Kansei Value for designing of automobile.

Keywords: Kansei Value, Affective Engineering, Service Design, Brand Design, User Experience Design

### 1. はじめに

自動車の商品特性を、デザインという立場からとらえてみると、以下のように3つの特徴があげられる。[13]

一つ目は「高額・嗜好商品」であるということ。このことは、買い替える際、再度同じものを買おうとしない属性を持つ商品で、購買行動としては、個人の好みや、ファッション、経済的な変化などに大きく左右されると言われており、感性価値に大きく影響される。

二つ目は「擬人化される商品」であるということ。セクシーなスタイルとかキュートな顔つき、グラマラスなボデー等と人間に擬えた言葉で表現されたり、「車格」と言った人格に相当するような言葉すら使われる。これらのことから、自動車のデザインや設計は、人間の感性と密接に関わっており、五感のすべてに影響が及ぶといっても過言ではない。また、今、若者の自動車離れが言われているが、まだ多くの年代において、自動車は単なる輸送・移動の道具にとどまらず、自己表現の対象であったり、分身としての存在であったりすることもある。洋の東西を問わず、社会的地位の高い人たちはそれに相応しい高級車に乗る一方、自分の個性やライフスタイルに相応しいと思えば、社会的地位などに関係なく、スポーツカーや個性的なクルマにも乗る。自分自身の感性価値の創造ともいえる。

三つ目は「成熟した商品」であるということ。現代の自動車は最先端のテクノロジーを駆使した様々な製品や部品の集合体であり、高度に成熟した商品といえる。さらには、先進国においては、成熟期から飽和期を迎えた商品であり、企業は、新たな需要を喚起して、製品の多様化や個性化を図ること

なる。ここでも、機能や性能の他に、感性価値が大変重要な要素になってくる。

次に、技術的な商品として、自動車という製品を考えると、その関連する分野の広さと多様性をつくづく実感することがある。自動車本体に使われている材料を見てみても、鋼板はもとより、アルミニウム等の非鉄金属、各種プラスチック、ガラス、紙、布など様々あり、装着される部品まで含めると、レアメタルに至るまで、ありとあらゆる材料が使われている。

自動車本体に使用される材料の種類が多さに加えて、自動車に組み込まれる製品も多種多様で、その機能や性能などのレベルも高い。例えば車載用のオーディオ・ビデオ機器やエアコンなどを見ても、家庭用と比べ、性能は同等以上でありながらより軽量・コンパクトであり、更には走行中の振動や屋外での厳しい気候条件下における耐久性などを考慮すると、より堅牢なものになっている。さらに走行中の確実な操作を行うためのユーザーインターフェイスにも工夫が凝らされており、家庭用の製品とは一線を画す。クルマのシートにしても、ただ単なる形状や座り心地だけでなく、高速走行や悪路走行時での体のホールド性や安全性、さらには廃棄時における環境負荷の低減などにも充分考慮した設計になっていて、家庭で使用される家具としての椅子とは異なる特性や機能が要求される。

### 2. 自動車における感性工学

#### 2.1. 人々が自動車で求めるもの

現代の豊かな時代にはピンとこない人も多いかも知れない

が、食うや食わずの時代には、人々は腹一杯食べることを夢みていた。空腹が満たされるようになると、人々は食べ物の質、すなわち、美味しいものを求めるようになっていった。そして、この質を求める時代の次に到来したのが感性の時代と言われている。美味しい食べ物を求めるだけでなく、器にこだわったり、食事をする時間や場所、食事とともにする人達、食事という行為全体に関わる経験にまで、思いを巡らす。

自動車でいうと、目的地まで人や荷物を運ぶという根源的な目的を果たすクルマづくりの時代から始まり、「より快適に、より早く」ということが求められるようになり、さらに、自己表現なども含む感性に訴えるクルマが求められるようになってきたと言えよう。この感性価値というものは人それぞれで異なるもので、製品開発ということでは、単なる機能的な充足からユーザー個々の「精神的満足」まで実現しなければならないという、より高度な開発が求められる時代になってきたということである。

ここでは、その代表的な製品であるレクサスの開発を例に取りあげながら、感性豊かなデザインや感性価値の設計などを解説していきたい。

## 2.2. デザインと感性工学

レクサスは、日本のプレミアムブランドとしての独自性を「L - finesse」という言葉で定義したブランドである。L は Leading-Edge、すなわち先鋭。Finesse は人間の感性とか巧み、精妙といった意味。これらを明確なデザインフィロソフィとして位置づけ商品化が始まった。

### 2.2.1. 感性豊かなエクステリアデザイン

レクサスのドア断面は、一見シンプルに見えるが、実は 10 種類くらいの選りすぐられたカーブから構成されているという。シンプルさというものは、決して単純にすることや要素を減らすことではなく、計算し尽くして表現できるシンプルなメッセージというものを目指したということである。また、現行レクサス LS のフロントフェンダー上部の塊感のある角張った形状が、下部の張りのある立体と相まって、リアフェンダーに流れてゆき、2 つの立体がリアフェンダーで一体化する構成は、フロントで凛とした表情を持ち、それがリアでエモーショナルな印象に変化することを狙ったデザイン(図1参照)で、まさに研ぎ澄まされた感性デザインを目指したものと言える。



図1 研ぎ澄まされた感性デザインの例

### 2.2.2. 感性領域の安心感のあるインテリアデザイン

現行レクサス LS の室内は、「心地良いインテリア」がテーマで、きめ細かな心づかひの感性デザインが目を引く。室内に入り込みドアを閉めると、人のシルエットに合わせたドアの内側の柔らかいパッドが身を包んでくれるような感覚が生じる。この、そっと腕に触れる部分があるのとないのでは、車内に

おける安心感がまるで違うという。クルマの室内空間というのは、単に広ければよいというものではない。運転席の両サイドが広く開いているとかえって不安になるらしく、程よく、優しく包み込む工夫が必要という。(図2参照)



図2 きめ細かな心づかひの感性デザインの例

レクサスの室内デザイン担当のチーフデザイナーはこう述べている。「内装デザインにおける究極のおもてなしとは、本来なら限りある空間の中に、限りない空間を感じさせること、そして、高速で移動する空間であると同時に、人にとって心地よい空間であることである」と。

また、感性を意識した細かな触感にも心を配っている。一つの例がステアリングのデザインである。本来であれば丸いだけの断面に変化をつけ、ドライバーの手にぴったりの感覚を与えるように、ステアリングを握る 10 時 10 分の位置に親指が収まるように、わずかな平面を施してあるのも感性デザインと言ってよい。さらには欧州の競合車の革がドライな質感であるのに対し「しっとり感」を打ち出したのもおもてなしの心と言える。その他、指先の繊細なフィーリングに応えるために、作り込まれたスイッチ類などにも触覚への気配りがなされている。(図3参照)

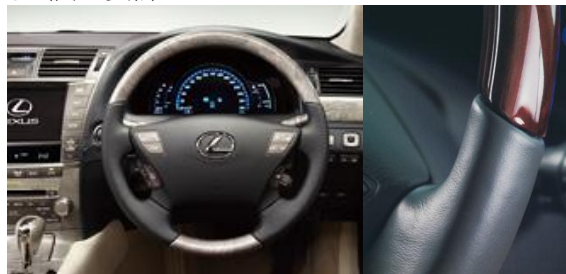


図3 感性を意識した触感にも配慮した例

### 2.2.3. 考え抜かれて設計された色、カラーデザイン

クルマを購入する際、どんなボディカラーを選択するのかが悩みの種であるが、それほど重要なファクターとも言えるのがボディカラーである。カラーデザインの担当者に聞くと、自動車用塗装とは実に奥深く、緻密で繊細なものという。ユーザーが一番気にする見栄え品質であり、クルマほど高度な耐久性、耐候性が要求される塗装は他にはないとも言われている。塗装の厚みは、わずか 100 マイクロメータ(約 0.1 ミリ)で、温度や湿度、はね石や擦り傷、はたまた酸性雨にも対応しなければならない。色とは「物に当たって反射した光」が色と認識されるので、カラーデザイナー達は、常に「光を操りたい」と思っている。このことがうまくできるとわずか 100 マイクロメータの薄さの中でも、立体感や深みなどが出せるという。

色に対する表現や人の受け止め方は千差万別であるため、色を数値化することにより、色づくりをする人の共通の認識を確立させた上で、ユーザーの希望に応える色を正確に具現化していく。従来からある「明度」「彩度」「色相」などの尺度を数値化することはそう難しくはないが、「深み」「透明感」などといった官能的尺度を数値化するのは困難なことである。レクサスのカラーデザイングループでは、独自の尺度を作り

上げ、色相や質感などの特徴を入れ込んだ色ごとの相関関係を解析し、数年の歳月を経てレクサスカラーのポジショニングを導き出したという。「明るさ」「鮮やかさ」「深み」「立体感」という4つの指標の設定によりカラー領域を明確にして、色の数値化をきちんと実施した結果、従来の色の領域外で、より「深み」のある「立体的」な色の表現に成功したという。

デザイナーが感性に訴えるクリエイティブした色も、最終的な製品になるには、長い時間と知恵が必要となる。材料技術部のエンジニアが、デザイナーの思い描いた通りの色をつくるだけでなく、生産性や性能・品質などを加味して初めて具現化される。更には、生産技術部のエンジニアが、実際の工場の塗装ラインで指示通りに塗装した際、デザイナーが思い描いた色になるように調整しなければ出来上がらない。こうした三位一体の技術開発が感性豊かな色(カラー)を生み出す。

## 2.3 自動車設計における感性工学

クルマの設計というと、構造を計画し、それに基づきボデーやシャシーなどの設計を行い、各種部品を設計するという流れが基本にあるが、ここでは、感性に関わる設計上の配慮の事例を、レクサスを例にとり、エンジニアやデザイナーの方々から伺ったことや調べたことを紹介したい。

### 2.3.1 「走り」のフィーリング

車両の性能を開発する部署では、「走り」のフィーリング、すなわち、「走り」の味付けをする「パフォーマンスマイスター」というエンジニアがいて、それぞれの車両にあったドライブフィーリングを設定している。この味付けは、まさに料理と似たところがあり、例えば、塩をほんの1グラム入れるだけで、まるっきり違う味になってしまうように、わずか1ミリの違いでも「走り」のテイストは変わると言われる。レクサスでは、プレミアムブランドに相応しい「味付け」がなされているがコンピュータでは弾き出せない人間ならではの感性の領域での調整と言える。

### 2.3.2 スイッチのフィーリング

レクサスの各モデルには180~200個近いスイッチが使われている。これらのスイッチは人間工学に基づきドライバーが正確で安全な操作が出来るように設計されている。スイッチは大きく分けて、快適性や利便性に関係したもの、クルーズコントロールなどの運転に関するもの、そしてシートやエンジンスタートといったモノを動かすためのもの、の3タイプがある。そして、これらのスイッチを操作フィーリング上、標準、やや重め、重めと分けている。標準が一番軽く操作できるもので、使用頻度が比較的高く身近にあって操作しやすいもの、例えばエアコンの温度設定などで、しっかりとすぐ反応してくれるタイプのものに適用される。やや重めのもは運転関係のもので、ちょっと触れただけではスイッチが入らないよう、やや重くしてある。押したという反応がドライバーに伝わり、動作を認識させる必要があるもの。重めのもは、シートやエンジンスタート関係のもので、不意の動作ではONにならないように、明白にドライバーの意思で作動させることを伝えるもの。これらのスイッチの重さには、操作の意味と感覚が密接に連動していると言える。

### 2.3.3 フタやレバー、フックの開閉フィーリング

自動車には、スイッチ以外にも、フタやレバー類がある。初

代のレクサスLSが初めて採り入れたのが灰皿のフタ用の樹脂ダンパーで、それまでの車では味気なく「パカッ」と開いていたものが「スゥーッ」と何とも言えない心地よさで開くようになった。このように一連の動作がスムーズで、ユーザーに動きが自然で気にならないと感じてもらうことが重要なのだという。

もし、こういう感性的な配慮がなく、カップホルターを開けたら「カタン」という音がしたら高級車のフィーリングは大きく損なわれるであろう。上述のスイッチの感触やフタ物の開閉速度をコントロールし、室内全体の機能部品の調整をするのは、レクサスでは「フィーリング評価リーダー」と呼ばれるエンジニアである。要は気にならないようなチューニングが大切で、まさに感性の領域の設計と言える。

### 2.3.4 心地良い空間での照明と音

夕暮れ時に現行レクサスLSのドアを開けると、足元がふわりと照らされる。人をドライビングにいざなう、暖かみのある柔らかな照明が演出される。何とも言えない心地よさを感じる瞬間と言える。しっとりとした選りすぐられた革シートにすわりエンジンのスタートボタンを押すと、V8エンジンの静かな鼓動に合わせて、メーターの照明がゆったりとリズムカルに点灯していく。ほぼ時を同じくしてマークレビンソンの透明感のある音が流れ出す。この一連の流れは、まさに、心地よいドライブへいざなう至上の感性の領域での設計と言ってもよい。さらには、これらの設計を支えるデザインの配慮が内装デザインの随所に見られるが、詳細は後のデザインと感性工学のところで述べることにする。



図4 感性を意識した照明の例

### 2.3.5 サングラスをかけたメーター

初代レクサスGSのチーフエンジニアは「おもてなしの精神を形にした、全く新しい高級なメーターをつくりたい」との意向を持っていた。それに対応するため、開発エンジニア達は、「高級」「おもてなし」といった言葉の意味を形にすることに専念し、その結果、本物の金属の文字盤を使ってのメーターづくりに至った。いままで世界的に見ても、時計の文字盤のように、本物の金属をメーターに使うことは殆どなかったという。理由は、金属板に太陽の光が反射し、視認性に支障が出るからだ。そこで思いついたのが、陽の傾きに応じてメ

ーターそのものがサングラスをかけるという発想。選ばれた素材は、光の透過率を変えることのできる ECD (エレクトロクロミック・ディスプレイ) で、これにより、日中や夜間において光が室内に射し込まないときは透明のままであるが、朝日や夕日が低くメーターに射し込むときには色味が増して反射を抑え、メーターの視認性は損なわない。ドライバーにハイテクと感じさせずに、心地よさを提供する技術と言ってよい。(図 4 参照)



図 5 心地よさを提供する技術の例

### 3. 感性に訴えかける匠の技

数年前に、レクサスを製造している田原工場を見学したことがあるが、デジタル技術とロボット技術に代表される最先端の生産技術はもちろん、現代の名工と言っても良い人達が徹底した作り込みをしていたのが印象に残っている。そこでは、人間の持つ微調整能力や美的センス、さらには五感など、感性に訴えかける「匠の技」が活用されていた。クルマが出来上がる 10 の基本工程、「プレス」「ボデー」「塗装」「樹脂成型」「樹脂塗装」「組立」「品質検査」「エンジン製造」「エンジン加工」「エンジン組付」それぞれに、匠と呼ばれる技能師が配置され、彼らを支える「レクサス技能認定制度」で認定を受けた技能師補(約 40 名)、1 級(約 400 名)、2 級(約 600 名)、3 級(約 1000 名)の各作業員が、同制度で認定された作業を行っている。

このように、工場の現場までも巻き込んだ「感性を支えるものづくりの匠の技」があつてはじめて感性価値の高い製品開発が実現できるのだということを確認した。



図 6 専用ラインで感性のものづくりの例

### 4. おわりに

長年、自動車という、ものづくりに関わってきた一人として、改めて思うことは、自動車産業の裾野の広さ、自動車という製品の関連する分野の広さ、また、人を乗せて高速で安全に走るという厳しい条件下での設計やスタイリングデザインの難しさである。さらに、感性領域での価値の創造など、今までのモノづくりでは不十分なところも多く、ユーザー、すなわち、人間中心デザイン的な考えが大変重要になってくる。最近ではユーザーエクスペリエンスデザインという考え方が浸透してきており、単にハードウェアのデザインだけでなく、ソフト、サービスも包含したデザインソリューションが求められてきている。戦後、培われてきたデザインマネジメント手法は、ハードウェア主体のものであったと言えるが、ユーザーエクスペリエンスに立脚した新たなデザインマネジメントの手法の確立が急務となっている。価格競争ではなく、いかに豊かなエクスペリエンスを提供できるかが次代の競争のポイントであり、新たなビジネスチャンスを切り拓くものと確信している。

### 参考文献

- [1] 自動車における感性価値, 小山登, 感性工学 Vol.11No.2 特集「製品と感性工学」, 査読無, pp83-87, 2012 年 9 月
- [2] Noboru Koyama, Keiichiro Kawarabayashi, Mikio Yamashita: A Case Study of Service Design- Areas in which industrial design became involved in LEXUS Vehicle Development, Proceedings of International Association of Societies of Design Research(IASDR2009), 2009 年 10 月
- [3] Lexus Magazine QUARTER 4, 2008, pp.22-26, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2008 年 12 月
- [4] Lexus Magazine QUARTER 2, 2008, pp.26-31, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2008 年 5 月
- [5] Lexus Magazine QUARTER 4, 2007, pp.46-49, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2007 年 12 月
- [6] Lexus Magazine QUARTER 3, 2007, pp.24-27, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2007 年 8 月
- [7] Lexus Magazine QUARTER 2, 2007, pp.17-19, pp.48-49, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2007 年 5 月
- [8] Lexus Magazine QUARTER 1, 2008, pp.20-25, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2007 年 2 月
- [9] Lexus Magazine QUARTER 3, 2006, pp.20-23, pp.49-51, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2006 年 8 月
- [10] Lexus Magazine QUARTER 2, 2006, pp.4-9, pp.12-15, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2006 年 4 月
- [11] Lexus Magazine QUARTER 4, 2005, pp.12-17, トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部, 2005 年 10 月  
(注) 上記の[3]~[11]の Lexus Magazine の本論説に掲載の写真については、トヨタ自動車株式会社レクサス国内営業部の了解を得ている。
- [12] TES MAGAZINE, TOYOTA ENGINEERING SOCIETY NO.2, 1999 VOL.50, トヨタ自動車株式会社トヨタ技術会, 1999 年 2 月
- [13] トヨタのカーデザイン, pp.3-4, トヨタ自動車株式会社デザイン部, 1985 年 7 月

# 大規模プロジェクトの PM 養成

酒 森 潔\*

## Project Manager Education for Large projects

Kiyoshi Sakamori\*

### Abstract

In some fields of education, collaboration with companies is impossible, and actual cases cannot be set as a target of research. In such cases, Project simulator may be used to emulate different real-world situations. In this type of education, the quality of the simulator to be prepared is a major issue. Just like airplane pilots using a jumbo-jet flight simulator to train themselves against all kinds of situations before operating an actual airplane, we want to use PBL activities as a business simulator to nurture students to become experts in their fields in order to promote their performance in the world of business.

Keywords: Project management, Education, Project simulator

### 1. はじめに

プロジェクトの失敗例は後をたたない。2008年の日経コンピュータの調査では成功率が31%であったが、その後もこの値に大きな変化はないとされる。そこで企業では優れたプロジェクトマネジャーの養成を急務としてきた。しかしながら、それは一朝一夕には進むものではない。

その最大の理由は、「プロジェクトはすべて異なるものであるという」プロジェクトの本質からきている。すなわち、どんなにプロジェクト管理技術を学習しても、あるいは過去にいくつかのプロジェクトを成功させた実績を持っていても、今実施するプロジェクトにその能力や知識を適切に適用することは必ずしも簡単ではないのである。

このように知識や経験を今のプロジェクトにうまく適用させプロジェクトを成功に導く能力は「プロジェクトマネジメントのコンピテンシー」とも呼ばれている。そして、多くの企業が、プロジェクトマネジメントコンピテンシーの教育が重要であることを理解している。

しかしながら、コンピテンシーとはどのようなものか明確に定義し、それをどのように教育すればよいか理解し、実践している企業は少ない。わずかの企業においてテキストによる知識学習やOJT(On the Job Training)による実践教育がおこなわれているのが現状である。高校や大学などの教育機関においても、講義形式の知識の教育がやっと始めようとしている段階であり、実際の仕事の現場を想定したコンピテンシーを教育するような実践教育は数少ない。

このような環境の下で、プロジェクトマネジメントの能力を高めるために、どのようにコンピテンシーを定義し、そのコンピテンシーをどのように身につけさせることができるかについてまとめてみたい。

### 2. プロジェクトマネジャーのコンピテンシー

まず、最初にプロジェクトを成功に導く「プロジェクトマネジャーのコンピテンシー」とは何か、その定義を考えてみよう。繰返し型の定常業務においては、仕事の方法や注意点をマニュアルやガイドに整備し、それに従って業務を行うことすべての従事者が同様に高いレベルの業務を遂行可能である。たとえば、ファーストフードの店では、詳細な業務マニュアルを整備して従業員教育を行なうことで、経験の無い従業員でも共通に質の高いサービスを行うことを目指している。

しかし、プロジェクト型の業務は「独自性」という特徴があり、原則として同じ手順が繰返えされることはなく、共通な手順書を作成することが難しい。プロジェクトマネジャーは、プロジェクトマネジメントに関する一般的な知識や手順、あるいは自分の過去の経験を、個々の「独自な」プロジェクトに合わせた形で適用しなければならないからである。そのイメージを図1に示す。



図1 プロジェクトマネジャーのコンピテンシー

プロジェクトにおいては、このような知識や経験をプロジェクトに適用させる能力をコンピテンシーと呼ぶことができる。プロジェクトマネジメントの手順や方法論は「知識」である。その手順や方法論を実行できることを「スキル」、さらに個々のプロジェクトを成功させるための適用能力が「コンピテンシー」である。コンピテンシーは、優秀なプロジェクトマネージャーが持つプロジェクトを成功に導く行動特性ということもできる。

知識やスキルは教科書や手順書を作成すれば、人に教育することは難しいことではない。しかし、コンピテンシーをどのように教育するかということは、企業においても教育機関でも現在まだ研究中といえる。それはコンピテンシーを具体的に定義することが難しく、またその達成度を示す指標もこれといったものが見つかっていないということが理由である。

### 3. コンピテンシーの定義

まず、プロジェクトマネジメントのコンピテンシーの定義を考えてみたい。PMI(Project Management Institute)はプロジェクトマネージャーのコンピテンシーについてPMCDF(Project Management Competency Development Framework)第2版<sup>3)</sup>に次のようにまとめている。

ここでは、プロジェクトマネージャーに必要なコンピテンシーの定義を『プロジェクト環境においてアクティビティを実行する能力として証明されるもの』として、それを大きく次の3つに分類している。

- (1) 共通に求められるコンピテンシー
  - 知識コンピテンシー
  - 実践コンピテンシー
  - 人格コンピテンシー
- (2) 組織におけるコンピテンシー
- (3) 業界特有のコンピテンシー

このなかで特にプロジェクトマネージャーに共通なコンピテンシーとして「実践コンピテンシー」「人格コンピテンシー」をあげ、それらはさらに次のように実践コンピテンシーを図2の5つのユニット、人格コンピテンシーを図3の6つのユニットに分類している。

PMCDFはこれらのコンピテンシーについてその定義と達成基準を体系的にまとめたものである。これにより、プロジェクトに共通なプロジェクトマネージャーのコンピテンシーが体系的に整理された。また、第2版の特徴としては、各コンピテンシーの要素ごとに、達成したかどうかの「証拠書類」の例が記述されていることである。これにより、各能力の客観的な達成度の定義を行うことが容易になってきた。

しかしながら、これらのコンピテンシー体系はプロジェクトマネージャーが最終的に身に付けなければならないコンピテンシーを定義したものであり、それらをどのように身に付けていけばよいかについての記述がほとんど無い。また、それぞれのコンピテンシーの評価方法は最終的なエビデンスを示せるか否かの選択であり、達成過程の評価を細かく行うようなものになっていない。

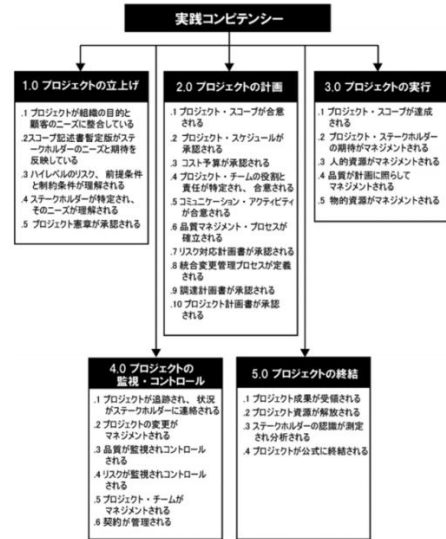


図2 PMCDFによる実践コンピテンシー「PMCDF第2版」より抜粋

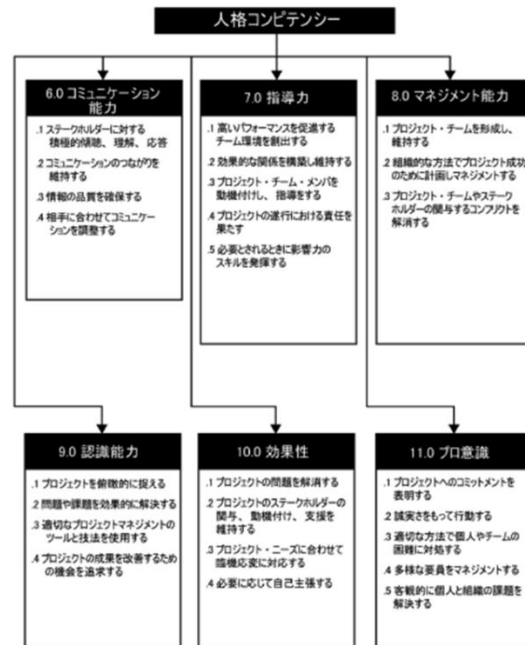


図3 PMCDFによる人格コンピテンシー「PMCDF第2版」より抜粋

### 4. コンピテンシーはどのように身につくのか

それでは、優秀なプロジェクトマネージャーは、その定義すら難しいコンピテンシーをどのようにして身に付けていけばいいのだろうか。企業ではベテランといえるようなコンピテンシーを身に付けるには、多くの年月をかけてすこしでも多くのプロジェクトを経験し、様々な場面に携わることが最善の方法とされている。少ないプロジェクト経験ではコンピテンシーは部分的に身につくものであり、多くのプロジェクトを経験し



場面を体験することにより、様々な状況に合った最適な知識の適用方法を身に付けることができるのである。

もちろん、その際基本となるプロジェクトマネジメントの知識を正しく理解しておくことが、より高いレベルのコンピテンシー獲得につながることは言うまでもない。自己流や勘と経験だけの世界でプロジェクトを多くこなしても、必ずしも高いレベルのコンピテンシーとして身につくものではない。また、コンピテンシーが身についたかどうかを計測する方法もないので、プロジェクトの実務経験において真のコンピテンシーが身についているのか確認しながら修正することもできない。

実務においては、多くのプロジェクトを経験する中で、徐々にスキルが蓄積され、いつのまにかコンピテンシーが身についてくると考えられる。プロジェクトマネージャーがコンピテンシーを身に付けているかということは、プロジェクトの成功経験が多いということや、難しいプロジェクトを成功させた経験があるといった主観的な判断によることが多い。

このようにプロジェクトマネジメントのコンピテンシーを育成する方法については、コンピテンシーの達成基準もふくめ、多くの企業でいまだに確立されていないのである。

## 5. コンピテンシーをどのように教育できるか

それでは、プロジェクトマネジメントのコンピテンシーをどのように教育すればよいのであろうか。よく、現場に出て荒波に揉まれ、自力で嵐を乗り越えることが効果的な方法であるなどと言われる。異常な体験や失敗を多くこなすことで、コンピテンシーが身に付くという考えである。

しかし、本当にそうであろうか？そもそも、異常な体験や失敗に至らないようにするのが、優秀なプロジェクトマネージャーであるはずである。まず、正しいプロジェクトマネジメントの知識を習得し、その知識を効果的に実行することができてこそ、正常ではないプロジェクトにも対応できるのである。良い事例の実務手順を数多く実施することで、真のコンピテンシーが身に付くのである。

良い事例を多く教育するには、実事例をやみくもに数多く経験させるのではなく、効率よく体系立てられた教育のカリキュラムが必要である。そのカリキュラムは大きく3段階に分けて考えることができる。(図4)

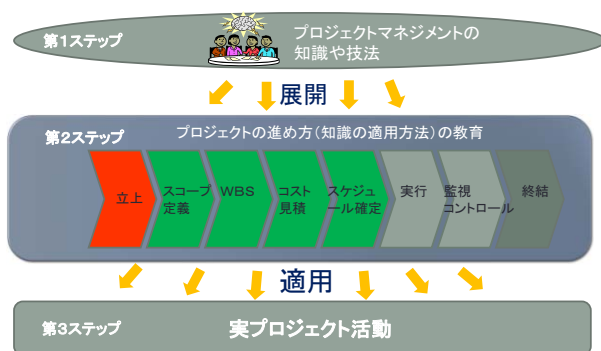


図4 コンピテンシー教育のステップ

まず、第1ステップは、知識の習得である。プロジェクトマネジメントに必要な基本的な知識は、カリキュラムに基づいた効果的な教育により身に付けることが可能である。これは一般的に教室における講義形式の教育であるが、その中には演習的な要素を加えても効果的である。この演習はあくまで

も知識を身に付けさせることを目的としたものである。

次に第2ステップは、これらの知識をどのように実践に生かすのか、正しい活用方法を教育することである。これは車の教習所において、運転の基本技術を習得させることに似ている。どんな優秀な学生でも、いきなり大きなプロジェクトを任されても正しい判断をすることは難しく、まず基本的な手順を教育しておくことで、その後の実プロジェクトでの正しい判断が可能になるのである。

最後の第3ステップは、いろいろな例外ケースを含むプロジェクトを、自分で手順を考え判断をしながら実施することである。プロジェクトはすべて異なるものであり、進め方もそれぞれのプロジェクトやその場の状況に合わせる必要がある。複雑な形のプロジェクトや制約の多いプロジェクトを実施する場合は、標準的なプロジェクトマネジメントプロセスではうまく進まないこともある。これらのプロジェクトをうまく進める能力が「プロジェクトマネジメント」のコンピテンシーである。これによってまさに実プロジェクトを自分で実施することである。もちろん教育のためには、余裕があれば最初はベテランプロジェクトマネージャーの補佐的な役割をしたり、小規模でリスクの少ないものから始めることは重要である。

## 6. 産業技術大学院大学でのコンピテンシー教育

産業技術大学院大学においては、このような教育の手順を考慮した教育がおこなわれている。修士課程の1年次には、プロジェクトマネジメントの基本、システム開発プロジェクトの手順、システム開発プロジェクトの高度なツールの学習、リアルタイムプロジェクトの体験といったようなことを学ぶ。さらに、プロジェクトマネジメントに必要なITの幅広い知識が40科目以上配備され、学生が個々の能力や実務分野に合わせて選択して学習することが可能になっている。これらはまさしくプロジェクトマネジメントの基本知識の教育といえる。

2年次はプロジェクトマネジメント教育の第2ステップになり、学んだ知識を実プロジェクトで正しく活用するための学習を行う。この段階で良い事例の実務手順を身につける教育には、充分に実務の状況が配慮された模擬プロジェクトを実施することや、負荷の少ない簡単なプロジェクトを実施することである。本学では、このような正しい実務手順を身に付け、知識を実務に活用する能力を学ぶ方法としてPBL(Project Based Learning)方式の学習方法を取り入れている。

PBL活動は、学生自らプロジェクト計画を立ててそれを実践することで、第2ステップの標準的な手順から、第3ステップの複雑なプロジェクトの実践まで幅広い学習効果が期待できるのである。

## 7. PBL方式の学習の分類

先に述べたように、PBL方式の学習は、学習者自らプロジェクト形式で課題に取り組む方式であり、コンピテンシーの教育に効果が期待されている。PBL方式の学習は、まずその進め方により2つに分類することができる。

一つは「プロセス型教育」であり、学生は準備されたシナリオにしたがって、課題の解決に取り組む。この方式は、これから新しい仕事を始めようとする学習者に、具体的な仕事の進め方を理解させるのに適している。学習のシナリオを事前に作成しているので、限られた学習期間内に多くの学習要素を組み込むことが可能であり、また学習者の達成度の評価も比較的容易である。ただし、教育者は事前に教育効果の高いシナリオを作成しておくが必要になる。

これに対して、「問題対応型」のPBL方式は、学習者に課

題を先に与え解決の進め方は教えない方法である。この方法は、学習者自らが仕事の進め方を考えて目標達成を目指すものであり、発想力や想像力の養成に有効である。具体的な仕事をまだ考える必要のない若年の学生の想像力養成や、逆にすでにある程度の仕事をこなしているベテランの教育に効果がある。この方法は学習の進捗やその達成度が学習者によって差が出る可能性が高いので、PBL 実行時に指導者の適切な介入が重要になる。また、学習の進捗が一樣ではないためその達成度を評価することが難しい。

PBL の学習方式、はさらに、その課題の種類が実際のビジネスで行われる実事例なのか、あるいは学習用に作成した模擬的な事例なのかによっても分類することができる。前者の「実事例」型の PBL 学習は、企業などから実際のビジネスのテーマをもらってその解決を図るものであるが、企業における OJT に近い学習ができその高い効果が期待される。ただし、実施期間や規模などの調整が難しく、納期、コスト、品質などの保障に問題が起きる場合もある。指導側が考える学習要素をすべて満たすことも困難で達成度の評価も難しく、適切なテーマが存在する場合に非常に高い学習効果をもたらす。

後者の「模擬事例型」は指導する側が、学習を目的とした小規模な課題や仮想の事例を与える方式である。この方式は学習期間や学習者のレベルを考慮したテーマを与えることで、学習者に対して効果的な学習環境を与えることができる。この方式の PBL 学習では、事前のテーマ設定が非常に重要である。しかし、目的にあった教育効果が得られ学習者の評価も比較的容易になる方法といえる。

もちろん、実事例型と模擬事例型との境界は明確ではなく、企業の与える実事例の中にも、教育にあわせた模擬事例に近い実事例や、実事例に匹敵するような模擬事例も存在する。

図 5 に PBL の分類をまとめる。

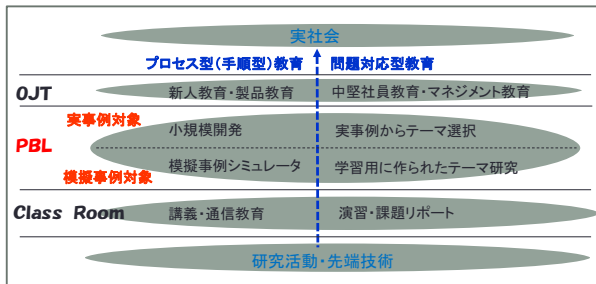


図 5 PBL 法式の学習の分類

産業技術大学院大学では、1年時のクラスルーム教育の内容を基礎に、2年次は PBL 方式で基礎知識を実務に適用する訓練を行っている。PBL の進め方やテーマ選定はそれぞれの教育内容に適した方法がとられている。最先端の業務実施方法について PBL 方式で学んだあと、実社会で実務に適用していくという3ステップの教育方法をまさに実践しているのである。

### 8. PBL 方式によるプロジェクトマネジメント教育

このような特徴のある PBL 方式を使って、大規模なプロジェクトを実践できるプロジェクトマネジメントの教育を行うには、どのような方法が考えられるであろうか。

PBL 方式で学習を進めることそれ自体で、プロジェクトマ

ネジメント教育を行うことも可能である、しかし、限られた期間やリソースの制約がある PBL 活動は、それぞれの本来の目的を持っており、その目的の達成が第一に求められる。たとえば、プログラミング能力を身に着けたい PBL 活動では、与えられた時間の大部分をプログラミングの学習に費やすことになり、プロジェクトマネジメントは重要な要素ではあるものの、あくまでもプログラミング活動の援助的なものと考えられる。言い換えると、プロジェクトマネジメント活動にあまり時間をかけなくてもプログラミング能力向上という目的達成が可能であるということである。

そうすると、もし大規模で複雑な要素を持つプロジェクトマネジメントを学びたい場合は、そのプロジェクトマネジメントが管理対象とする大規模な成果物作成作業(プロダクトプロセス)が必要という事になる。しかし、このような大規模なプロダクト作業を学習の対象とするには、プロジェクトマネジメントの責任の問題、期間的な問題、費用的な問題、大きなリスクが伴う問題など様々な制約が存在する。

したがって、大規模なプロジェクトマネジメント業務を実践し学習するために、それに見合った実在のプロジェクトを準備するのは非常に困難であるといえる。

それでは、PBL 活動を通じて大規模で複雑なプロジェクトマネジメント活動を実践するには、どうしたらよいだろうか。その解決方法の一つとして、模擬プロジェクトの実践がある。模擬プロジェクトでは、プログラム作成のようなプロダクトプロセスには時間をかけず、すでに完成されたものを使用する。こうすることによって、限られた期間で大規模なプロジェクトマネジメントプロセス部分を体験できるのである。図6にそのイメージを示す。通常の PBL 活動は、与えられた期間のほとんどをプロダクトプロセスに費やしなければならないのに対して、模擬プロジェクトはシミュレータを利用して、PBL 参加者は大半の時間をプロジェクトマネジメント活動に費やすことが可能である。学習期間の大半でプロジェクトマネジメントプロセスを実施することで、通常のプロダクトプロセスを含む PBL 活動以上のプロジェクトマネジメント活動が実施できるのである。

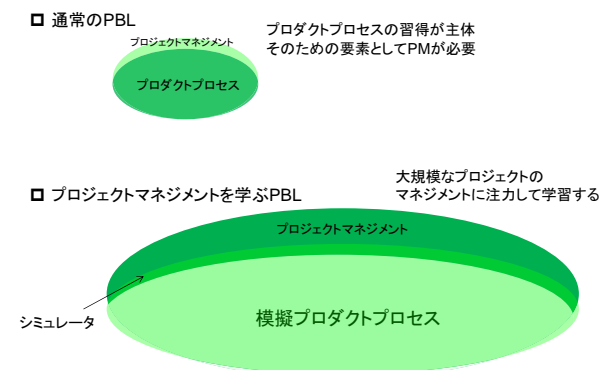


図6 プロダクトプロセスを含む PBL 活動とプロジェクトマネジメントに注力した PBL 活動のイメージ

### 9. 模擬プロダクトプロセスの実現方法

それでは、模擬プロダクトプロセスをどのように準備すればよいであろうか。

それを実現するには2つのポイントが重要である。最初のポイントは、シミュレータを使用することである。実在しないプロダクトプロセスの成果物を事前に準備してプロジェクトマネジメントに紹介したり、逆にプロジェクトマネジメントの指示をプロダクトプロセスに接続する仕組みがシミュレータの機能である。

もう一つの重要なポイントは、きちんとしたシナリオを準備することである。実際の作業であるプロダクトプロセスを実施しないので、その作成物などは事前に準備しておくことになる。したがって、そのプロセスはあらかじめ十分に吟味しておく必要がある。プロジェクト実施中の成果物には、プロダクトプロセスで作成されるものと、プロジェクトマネージャーが作成するものに分けられるが、シナリオがきちんと準備されていることで、適切なプロダクトプロセスの成果物が準備され、プロジェクトマネージャーは自分の成果物作成に注力できるのである。

実際にプログラムを作成する PBL を実施してもプロジェクトマネジメントは学習可能であるが、限られた学習機関と作業工数から、学べるプロジェクトマネジメントの要素は限られてしまい必ずしも十分な経験を積むことができない。また実業務を実施する方式では、失敗が許されないことから、安全策に走ってしまい学習すべき要素が限られてしまう。このようなことから、本学のプロジェクトマネジメントの教育には、シナリオを持つ模擬プロジェクトを実施している。

このような模擬プロジェクトは、いわばパイロット養成のためのシミュレータのようなものであり、大規模で失敗のゆるぎのないタイプの業務の訓練には非常に効果的なものである。プロジェクトマネージャーが、実際にプロジェクトを実施する前に訓練する場所として、クラスルームでの知識教育にも、実際のプロジェクトの OJT にもできない部分の教育を行うことが期待できる。

## 10. 産業技術大学院大学における模擬プロジェクト事例

産業技術大学院大学では、このような模擬プロジェクトを取り入れたプロジェクトマネジメントのための PBL 学習を行っている。

この模擬プロジェクトは、100 人月規模のシステム開発の受注プロジェクトである。まず、存在する清涼飲料水販売会社と同規模の架空会社シリウス社について、社長以下各組織の組織図、企業の置かれた状況、企業戦略などが準備されている。この企業の情報戦略の一つに社内ポータルを整備を行うことがあり、情報システム部門を中心にプロジェクトの立ち上げるところからプロジェクトが開始される。このプロジェクトの顧客となるシリウス社では RFP を作成し業者選定を行う。

一方、このプロジェクトに対してパイナップル社というシステム開発ベンダーが、提案作成からシステム構築、本番移行まで参画する。パイナップル社では RFP に対して社内で提案するにあたって、WBS やスケジュールを作成し、作業工数を見積もり、リソースを割り当てる。品質方針作成やリスクアセスメントを経て提案内容を確定する。この間、顧客インタビュー、社内の上司や PMO のレビューなどを体験し、提案内容の承認を受けたのち、顧客への提案を行う。この提案活動からベンダーとしてのプロジェクトマネジメントの作業が開始し、PBL 学習者は提案に必要な一連のプロジェクト管理作業を体験する。

模擬プロジェクトでは、パイナップル社の提案が無事採用

され、シリウス社からの発注が行われたという設定でプロジェクトは進行する。提案活動でベンダーの視点ではかなり詳細なプロジェクト計画を作成しているため、契約後はそれをベースにさらに顧客と調整しながら計画を確定する。

プロジェクトが開始された後は、通常システム開発の手順にしたがって作業を進めるが、その中でアーンドバリューマネジメントによる進捗管理や、リスクマネジメント、問題管理、変更管理などの手順を具体的に体験する。また、自社の協力会社からプログラム開発やインフラ構築を調達する内容も含まれ、プロジェクトマネージャーとして調達管理の一連の手順も実施する。

最終的に完成したシステムをベンダーが納品し、本番移行に移る一連のプロジェクト終結作業を経験する。このフェーズではベンダーとしての立場、および発注者としての立場両面で体験する。

これらの一連のプロジェクトの実施は15のステップに分けられており、すべてのステップで、実プロジェクトと同じ品質の資料の作成や、上司レビュー、顧客説明などの場を体験する。全工程の中に準備されているインプット資料は50種以上、作成するドキュメントは60種類に及び、上司レビュー18回、テクニカルレビュー5回、チーム会議53回、顧客報告18回を体験する。ドキュメントはテンプレートが準備され、短時間で高いレベルの成果物作成が可能であり、教員が上司役や顧客役になってロールプレイを行なうことで、実プロジェクトと同様の臨場感でプロジェクトを実施する。

## 11. 産業技術大学院大学の PBL 学習の特徴

このようなシナリオを準備した模擬プロジェクトを実施する PBL 学習のすぐれた点は、大規模プロジェクトを短期間で体験できること、数多くの資料作成やコミュニケーションの場を体験できること、失敗を恐れず実施できること、教育効果の判定が実業務実施よりも容易であること、プロジェクトマネジメントの判断をチームで議論しながら進められることなどである。

大規模プロジェクトが実施可能であることについては、第8章で述べたように、実際のプログラム構築作業はシミュレータによって仮想化したことで、学習時間が限られている中で実務レベルのプロジェクトマネージャーの作業を最大限に増加させることができている。

数多くのプロジェクトマネジメントの実務を体験できるというところでは、多くの実務レベルの資料作成を行うために学習者のレベルにあわせて、すでに作成された資料の一部を穴埋め方式で考えることも、すべての成果物を最初から作成することも可能である。また、資料作成だけでなく進捗会議、顧客交渉、上司レビューなど数多くのコミュニケーションのロールプレイが準備されて実体験を行うことが可能である。

失敗を恐れず実施できるということが、模擬プロジェクトであることの最大のメリットである。プロジェクト実施者は、新しい考え方や自分流の考え方を試してみることができる。もし間違った方向に進んでも、ステップごとに作業はいったんシナリオで準備した流れに戻されるので、毎回正規のルールに戻って学習が可能である。学習者はチャレンジ精神を持っているいろいろなことに挑戦できるのである。

学習効果の測定が比較的容易であるというのも、シナリオ型の PBL 学習のメリットである。学生が自由な発想でプロジェクトを推進することは、学生の発想力の向上には大変効果的といえるが、学習効果を測定することが難しいことも多い。シナリオをベースに、準備した学習要素をすべてこなしながら進めるプロジェクトであれば、学習要素ごとの学習者の能

力や達成度の判定をきめ細かくおこなうことができる。

また、デメリットは実プロジェクトでないこと、プロジェクトマネジメント以外のプロダクトを作成しないこと、シナリオやテンプレートが豊富なため、学生が自ら工夫し創造的な活動にならないことなどが上げられる。

実プロジェクトではないというデメリットは確かにそうである。実プロジェクトで起こる不確実な要素に対応できることもプロジェクトマネジメントの要素であり、シナリオ型ではそれが難しい。しかし、不確実な要素に対応する前に、なによりも正しいプロジェクト活動を体験することが必要である。プロジェクト体験が少ない状態で、いろいろな要素を体験することが必ずしも良いことではない。運転技術を習得中の人が、まず自動車教習場でいくつかの運転技術を確認して路上に出るのと同じである。

実際のプロダクトを作成していないというデメリットもある。プロジェクト活動においては実際のプロダクト作業が大半であり、プロジェクトマネジメント作業はその付随作業なのである。このようなプロダクト作業の無い“はりぼて”の環境での訓練では十分な育成ができないということも一理ある。ただし、これも限られた時間で最大の効果ということを考えて、複雑で大規模なプロジェクトほど、シミュレータで訓練を積んで実社会に出ていくことが必要と考える。学生に創造的な発想力や判断力を体験してもらうという目的は別の方法で行うことが可能であろう。

図7にシナリオ型プロジェクトの15ステップのうち2つのステップを紹介する。

## 12. まとめ

プロジェクトマネジャーのコンピテンシー育成には、模擬プロジェクトが有効であることを述べてきた。PBL学習方式で1年間という限られた時間で最大の学習効果を出すためには、どのようなテーマを実施すべきか、またコンピテンシーの育成という教育の効果をどのように計るかが大きな課題になっている。産業技術大学院大学では、このような課題に向けPBL学習方式を研究し、改良を重ねている。そのような中で、シナリオに基づく模擬プロジェクトの実践はプロジェクトマネジャーの教育には非常に効果の高いものであり、シミュレータ機能をさらに充実したものにしていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] 勝又 彰, “IT 市場での ProactivePM 育成に向けた大学教育へのお願い”, プロジェクトマネジメント学会: PM 標準カリキュラムと企業内教育, 61/81 (2009).
- [2] 坂上慶子, 田中秀樹, 山崎伸晃, “プロジェクトマネジャー能力向上のためのコンピテンシー・フレームワーク作成”, 日立ユーザー会 49 回論文, 2009.
- [3] “プロジェクト・マネジャー・コンピテンシー・開発体系 (PMCDF) 第 2 版”, PMI, 2009
- [4] Kiyomi Miyoshi, Kiyoshi Sakamori, “Acquisition of project manager competencies through the Project Based Learning”, Promac2012, 2012
- [5] 酒森 潔, 石井 浩靖, “プロジェクト・フライト・シミュレータによる大規模プロジェクトの PM 養成”, 日本工業教育協会, 2012
- [6] 酒森 潔, “産業技術大学院大学・情報アーキテクチャ専攻の PBL”, 情報処理学会 4 月号, 2012

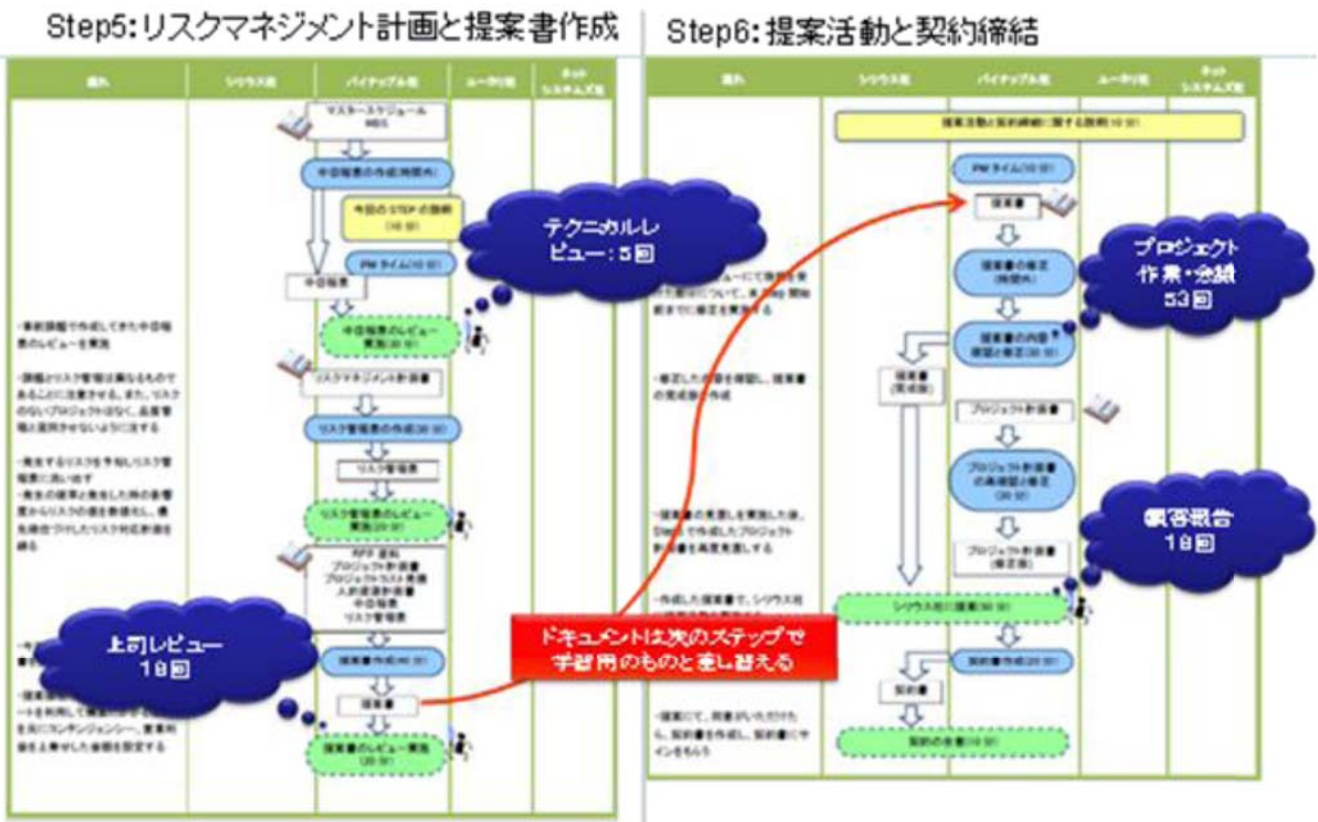


図7 シナリオの事例

# 小規模ソフトウェアの効率的開発を実現する PBL 教材の開発

小山裕司\*・中鉢欣秀\*

## A Design of PBL Material for Efficient Development of Small-scale Software

Hiroshi Koyama\* and Yoshihide Chubachi\*

### Abstract

We have designed a PBL teaching material to bring up professional engineers effectively. This material simulates a business startup, which tests a hypothesis by the process of software development which consists of planning, design, implementation, operations and advertisement for a short period of time. This paper summarizes our PBL education, design and discusses this material, and reports an experiment of tracking and checking the progress of our PBL team.

Keywords: MVP (Minimum Viable Product), UVP (Unique Value Proposition), IT Tools, TiDD (Ticket-Driven Development), Startup, PBL (Project-Based Learning)

### 1. はじめに

産業技術大学院大学(以下、本学)は、高度専門職の養成を目的にした専門職大学院である。1年次の各種科目では、専門分野の知識・スキルを修得する。情報アーキテクチャ専攻では、IT関連の基礎から応用、対象分野の業務、マネジメント、情報システム開発等の知識・スキルを学ぶ。しかし、これだけでは高度専門職として活躍することは難しい。実際の業務を成功に導くためには、経験及びコンピテンシー(業務遂行能力)が不可欠である。2年次に配当されているPBL(Project-Based Learning)型科目では、実際の業務に近いプロジェクトを体験することで、知識・スキルの活用経験を蓄積し、さらにコンピテンシーの修得を目指している。

情報アーキテクチャ専攻の小山裕司 PBL(以下、当 PBL)では、新規事業の立ち上げを仮定し、製品(情報システム)開発の企画から実装・運用までのすべての段階を体験することで、以下を修得した高度エンジニアの養成を目標としている[1]。

1. 効率的開発メソッド(マネジメント)
2. 高いレベルの開発技術

また、製品の利用者数あるいは評価等からある程度自慢できる成果をあげることができれば望ましい。

本稿は、1及び2の修得を目標にするPBL教材の開発及び実証実験をまとめる。本稿の第2章では本学のPBLを概観し、第3章では教材の設計及び特徴を概観し、第4章ではこの教材を実際に試してみた例を示し、第5章では、現状の課題及び今後の改善等を列挙し、本稿をまとめる。

### 2. 本学の PBL 型科目

本学の PBL 型科目では、実際の業務に近いプロジェクトに、複数のメンバで取り組み、知識・スキルの活用経験を蓄積し、さらにコンピテンシーの修得を目指している。

#### 2.1. コンピテンシー

本学が提唱する「コンピテンシー」に類似する概念には、多くの職場・地域社会で多様な人々と仕事をしていくために必要な基礎的な力を意味する「社会人基礎力」、問題解決・交渉・モチベーションアップ等の非定型の対人的技能を意味する「ソフトスキル」等があるが、本学では、高度専門職人材に必要とされる業務遂行能力として、情報アーキテクチャ専攻では「7つのコアコンピテンシー」、創造技術専攻では「5つのコアコンピテンシー」、さらにこれらの源として「3つのメタコンピテンシー」を設定している(表1)。本学では、PBL型科目を履修することで、これらが修得できるようにカリキュラムが設計されている。

表1 本学が提唱するコンピテンシー

3つのメタコンピテンシー	7つのコアコンピテンシー (情報アーキテクチャ専攻)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・コミュニケーション能力</li> <li>・継続的学習と研究の能力</li> <li>・チーム活動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・革新的概念・アイデアの発想力</li> <li>・社会的視点及びマーケットの視点</li> <li>・ニーズ分析力</li> <li>・モデリングとシステム提案</li> <li>・マネジメント能力</li> <li>・ネゴシエーション力</li> <li>・ドキュメンテーション力</li> </ul>

Received on August 31, 2012

\*産業技術大学院大学 産業技術研究科, School of Industrial Technology, Advanced Institute of Industrial Technology

## 2.2. PBL 構成メンバ

通常の業務では、単独で問題解決にあたることは稀で、通常は複数メンバからプロジェクトが構成される。本学 PBL でも、これを反映し、約 5 名のメンバからプロジェクトを構成し、問題解決のために協働作業を行う。社会人学生が多数を占める本学では、構成メンバの年齢・職業・職位・経験等は様々であるが(20 代前半の社会人経験の無い学生, 30 代の適度に経験を積んだ技術者, 50 代の一流企業の部長級等), 通常の大学院ではこうした体験を得ることは難しい。また各 PBL は 3 名の教員が指導にあたる。

## 2.3. 成果・過程・評価

通常の業務プロジェクトでは成果はもちろん、計画に従った進捗も要求される。本学 PBL でもプロジェクト計画を作成し、計画的に作業したり、計画を修正したりすることによってプロジェクト管理を体験する。成績は、PBL の「成果」及び「活動」を「質」及び「量」から評価します。研究であれば、前期は怠け、後期だけ頑張ることも許される可能性もあるが、本学 PBL では成果物へ至る活動・過程も質及び量から評価される(表 2)。

表 2 PBL 評価マトリクス

	質	量
活動	プロジェクト管理 での役目・貢献等	活動時間 (遅刻・欠席等)
成果	ドキュメント・論文・ ソフトウェア等の質	基準を満足する 成果物の量

## 2.4. 大学院レベルの PBL

本学では、PBL 活動を通常の大学院の修士論文(研究活動)相当に位置付けている。本学の学生は、原則 2 年次の時間のすべてを PBL に使う。PBL 型教育は、医学・看護等の分野で導入されているが、数単位相当の授業時間で、既存の教材に従ったシミュレーションを行う場合が多い。本学の PBL は、大学院レベルの質・量で、実務に近い相当規模のプロジェクトを行うことが特徴である。企業・自治体等の外部組織と連携したり、成果を論文として発表したりする PBL も多数ある。

## 3. 教材の設計及び特徴

今回の PBL 教材は、一般公開できるレベルの製品(情報システム)開発の企画から実装までを約 4 か月で完了する規模を想定している。本学は 4 学期制であり、各学期は約 2 か月であるため、2 学期分相当の規模である(第 1 学期及び第 2 学期あるいは第 3 学期及び第 4 学期)が、通常の大学の前期あるいは後期分に相当する。当教材での製品開発は以下の第 3.1 節から第 3.4 節に示す 4 段階を経る。

### 3.1. 第 1 段階: 企画・事前準備

「企画・事前準備」(約 1 か月)段階では、PBL で開発する製品の企画を行うと同時に各種の事前準備を行う。以下に行うべきことを列挙する。

- 企画立案  
事業のスタートアップを行う如く、現状の制約・背景を調査し、開発すべき製品の企画を提案する。提案は、利用者(顧客)を具体的に想定し、新しい製品が何かの問題を解決できるという「仮説(We believe [target market] will [do this action/use this solution] for [this reason].)」を立てることで行う。提案は、大学院レベルの 6 名のプロジェクト規模であることに留意する。また提案が運用からフィードバックが期待できること、OSS あるいは一般公開で学外者が興味を持ってくれること、自分たちが楽しんで開発に参加できること、事業として成立しうる可能性があることを考慮すべきである。
- 企画案の絞り込み  
企画の最終決定には複数の手段がある。今回は、最初に各メンバが約 10 の企画(計 60 程度)を提案し、制約・背景以外の類似製品・利用者の想定の調査等を行い、投票等で 10 以下に選考し、次に詳細に調査し、また実現可能性・事業計画・マネタイズ計画等を考慮し、最終的に企画を決定するという選考手段の例として示した。
- 事前準備  
企画が絞る過程で、開発に要する要素技術がわかってくるのでこれらを調査する。また、本来 PBL 参加時に修得しているべき知識・スキルの確認・修練、コミュニケーション手段の確立・プロジェクト管理等のツールの整備及び修得も平行して行う。

### 3.2. 第 2 段階: 試作版の設計及び実装

次の「試作版の設計及び実装」(約 1 か月)段階では、試作版の設計・実装を行い、実際に試す。何か間違いが発見された場合は仮説を早期に修正する。以下に活動項目を列挙する。

- 役割の決定(第 3.5.1 項参照)
- 利用者の想定  
事業性・集客性を確認するため、利用者の想定を詳細に調査する。特に試作段階から使ってくれる可能性が高い利用者(ステークホルダ)の候補を選び、可能であれば、この段階で交渉を行う。
- 知財の確認(必要に応じて)
- MVP (Minimum Viable Product) の決定  
機能候補を議論し、製品の最小機能を決定する。類似品がある場合は機能を詳細に調査する。実際に使われる機能はわずかであるため、約 1 か月で実装できる規模に機能を絞ることが重要である。1 機能の実装に約 1 週間を要する場合は、15 機能程度が現実的である。MVP から外れた機能は次の段階の拡張に活用する。
- UVP (Unique Value Proposition) の確立  
MVP の決定の際には、新規性・話題性を確保できるように、製品の価値は何であるか、あるいは独自の目玉機能が何であるかを意識することが重要である。
- MVP の実装  
MVP を機能単位(約 1 週間で実装できる単位)に分解し、順次実装・テストを行う。これを効率的に行うためチケット管理を活用する(第 3.5.2 項参照)。
- 初期利用者(ステークホルダ)との交渉準備
- 留意事項  
設計及び実装の際には、OAuth・Ruby・多言語対応の

ためのフレームワーク・クラウド環境等の実装に必要なとされる知識・スキルはもちろん、自動テスト・CI 等の開発の効率・品質・コスト等を改善するための事項も積極的に修得するようにすることが望ましい。

### 3.3. 第 3 段階: 実証実験・改善

前段階の成果を受け、「実証実験・改善」(約 1 か月)段階では、実証実験を行い、仮説を検証する。以下に活動項目を列挙する。

- 試作版の公開・実証実験
- ステークホルダとの交渉  
実際に稼働する試作版を提示し、ステークホルダと意見交換を行い、得られた知見を戦略及び試作版に反映する。
- 改善作業  
ステークホルダからのフィードバックあるいは MVP の積み残し機能の設計及び実装を行う。
- 正式公開の準備  
想定した利用者にしたがって、正式公開のための準備を行う。特に Facebook を活用する等、普及のための戦略及び準備は重要である。

### 3.4. 第 4 段階: 運用・普及

最終段階の「運用・普及」段階では、製品の正式公開を行い、一般利用者に普及を試みる。以下に項目を列挙する。

- 正式公開・運用  
安定稼働を実現する。
- 普及活動  
Facebook 等のソーシャルメディアを活用する等、想定した利用者に応じた普及戦略を実行する。
- 改善作業  
継続的に改善を行うことで、利用者にとって常に最新・最良の状態を維持することが重要である。

### 3.5. 開発効率の改善

当 PBL は、昨年度まで同程度の製品開発に約 8 か月を要していたが、当教材での製品開発は約 4 か月を想定しているため、単純に 1/2 の効率改善が必要である。以下では、MVP・UVP 等の第 3.1 節から第 3.4 節に示した項目以外の効率改善に関する特徴を示す。

#### 3.5.1. 役割及び意識

当教材での開発では、役割に応じて以下の役職を設定している。

- ハスラー: 各種戦略(事業・マネタイズ・知財・普及等)、ステークホルダ交渉、UVP の設定等の戦略を担当する。
- プロダクツアーキテクト: 製品を機能単位で設計する。
- UX アーキテクト: UX(使い勝手)設計を担当する。
- プログラマ: 実装を担当する。ハスラー及びアーキテクトもプログラマを兼ねる。

プロジェクトマネージャに相当する役職は不在であるため、受動的では無く、自ら当事者意識を持って積極的に開発に参加し、適切に成果を上げること、適切にコミュニケーション(報告・相談)を取ることが期待される。PBL メンバ間のコミュニケーション及び課題処理の流れを図 1 に示す。オンラインコミュニケーション及び定例のミーティングで PBL メンバが相談して仕様を設計し、アーキテクト担当が課題を登録する。プログラマ担当は課題を順次実装し、報告を行う。アーキテクト担当は実装を確認し、課題を完了する。これらの流れが、できるだけ無駄を省き、淡々と円滑に処理されることが理想である。

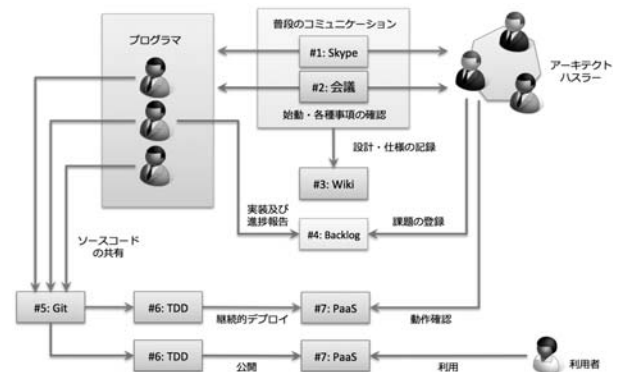


図 1 効率的開発の流れ

#### 3.5.2. IT ツールの活用

課題を円滑に処理するために、当教材では IT ツールを効果的に積極的に活用することを指示している。図 1 の各段階(#1~#7)で利用している IT ツールを表 3 に示す。

表 3 IT ツールの活用

#	目的	ツール	補足
1	普段のコミュニケーション	Skype, YouRoom, Yammer 等	随時、PBL メンバ間で相談し、設計と実装を繰り返す。待ち時間等、無駄に浪費されている時間を減らす。決定事項は#3-4 で管理する。
2	週 1-2 のミーティング	co-meeting 等	情報交換(#1, #3-4 の確認、次の 1-2 週間では何をやるかの確認等)を行う。
3	議事録ドキュメント	ホワイトボード, Wiki(Backlog 等), Google Docs 等	#1-2 で相談した内容を記録する。
4	課題管理	Backlog, Redmine 等	アーキテクト: #1-2 で相談した仕様を機能単位で登録する。 プログラマ: 順次実装し、進捗を報告する。 課題の状態: 設計中→仕様決定→処理中→処理済み→完了
5	ソースコード管理	Subversion, Git(Backlog 等), Bitbucket 等	コード共有, コード査読, リファクタリング等
6	開発環境	xUnit, RSpec 等	自動テスト, テスト駆動開発, ペアプログラミング等
7	実行環境	Google App Engine, Heroku, Amazon EC2, Jenkins 等	クラウド環境, 継続的デプロイメント等

本学では PBL 支援のための情報システム(iPBL)が準備され、PBL 活動のプロジェクト管理からファイル共有等に利用されている[2][3][4]。今年度のシステム更改の際に iPBL の実態が SharePoint から Backlog[5]に変更された。Backlog は課題管理、Wiki、ファイル共有、ソースコード管理等の機能を有する。当教材では、Backlog を中核とし、Skype 等の IT ツールで不足を補い、コミュニケーションミス等のプロジェクトに発生する各種の無駄を排除し、効率的にストレス無くプロジェクトを進めることができるように配慮している。

### 3.5.3. 効率的及び繰り返しの効果

当教材では、従来の 8 か月を 4 か月に短縮した結果、複数の製品開発を経験することができる。これは、効率的に提案・開発するメソッドを修得することによって、短期間に何度も試行・挑戦することができるという長所がある。メンバの知識とスキルが向上し、相互に特徴が理解でき、メソッドの理解が出来れば、2回目は開発効率を改善することができる。

また、時間短縮の結果、2年次の1年間で最低2回の製品開発を経験できる。以下に繰り返しの長所をあげる。

- 前回の開発で、成功したり、失敗したりした経験を次の開発で活かすことができる。
- 複数の開発環境・デバイス・プログラミング言語等を体験することができる。
- 複数の役割(アーキテクト・プログラマ等)を体験することができる。

## 4. 今年度の PBL 活動

今年度は本稿で示した教材にしたがって PBL 活動を指導したが、学生が積極的に早めに PBL 活動を始動し、夏期休業期間も活動を継続したため、3回繰り返して製品開発を行うことができた。表4に概要を示す。

表4 各製品開発の概要

	名称 開発コード	概要	環境等	対象・協力・ ステークホルダ等
1st	ScoreDoc	スポーツ大会支援サイト	Web クラウド RoR 等	鹿島アントラーズ 東京都 振興局等
2nd	L2M	ソーシャル パズルゲーム	iOS Xcode等	一般
3rd	BLE	AR・携帯型 サイネージ	組み込み C 等	東京都 建設局 (葛西臨海水族園) 等

各 PBL メンバがアーキテクトあるいはプログラマ等の複数の種類の担当を責任を持って体験できた(表5)。

表5 役割の体験

	ハスラー	プロダクツ アーキテクト	UX アーキテクト	プログラマ
1st	A	B	C	D・E・F
2nd	E	F	G	B・C
3rd	B	C	E	F・G

課題管理の統計から、前期約 5 か月の課題アクション数(新規課題作成、コメント、作業進捗及び完了の報告の数)が当 PBL は 120/月・名であり、当専攻の平均 31/月・名の約 4 倍であり、ある程度活用できていることがわかる。また、課題アクション数はアーキテクト担当の 1 名が約 50%を占めている。これが即ち問題という訳では無いが、もうすこし平準に分散しているほうが望ましい。

## 5. おわりに

当 PBL では、製品(情報システム)開発分野で活躍できる高度エンジニアを養成することを目標に教育を行い、今年度が 5 年目である。過去 4 年間の教育の経験及び最近の開発のトレンドを反映して教材を作成し、今年度の学生にこれを使った PBL 活動を実行してもらった。IT ツールを積極的に活用したり、繰り返し各種の開発を経験したりすることで効果的に修得できていることが実感できると同時に以下に前期が終わった段階で列挙する問題も判明した。

- 一部の学生の前提知識、プログラミングのスキルが不足しているため、これがプログラミングの量あるいはリファクタリングの不足に結び付いていた。
- 期限切れの課題・連絡待ちの事象が何度も発生している(スキルの問題もあれば当事者意識の問題もある)。
- 当事者意識が弱い学生が受動的に参加する。
- 自動テスト・CI に関する意識・実装が不足している。
- 実証実験での反響から、多数の改善項目に気付いた。
- 普及戦略が甘いため、再度練り直しが必要である。

これらの多くは学生が自ら問題に気が付いたものであり、繰り返し開発を経験することで修正できることも多い。また本来 PBL 参加段階で修得しているべき知識・スキルが不足している問題は、本質的には専攻のカリキュラム及び成績評価に起因する可能性が高いが、当面は特にスキルが不足する学生のために別途開発技術修得のための教材開発あるいは勉強会開催等で対処したい(今年度も学生が相互に教材を作成し、勉強会を開催していた)。

今後は今年度の経験を生かした改善を行い、教材の完成度をあげ PBL 教育効果をあげていくことを目指したい。

## 参考文献

- [1] 『平成 24 年度 PBL プロジェクト説明書』, 産業技術大学院大学 情報アーキテクチャ専攻, 2012.
- [2] 中鉢欣秀, 小山裕司, 石島辰太郎. 産業技術大学院大学の ICT 環境の運用と課題 (インターネットアーキテクチャ) 電子情報通信学会技術研究報告: 信学技報, Vol. 111, No. 485, pp. 61-64, 2012-03-15.
- [3] Shintaro Ishijima, Hiroshi Koyama, Yoshihide Chubachi, and Fumio Harashima. ICT based learning system of AIIT for professional education in Japan. In ITHET2010, Cappadocia, Turkey, 2010. IEEE.
- [4] 中鉢欣秀, 小山裕司, 石島辰太郎. ICT を基盤とした高度専門職教育. 情報教育シンポジウム. コンピュータと教育研究会, 情報処理学会, 2010.
- [5] Backlog, <http://www.backlog.jp/>
- [6] 中鉢欣秀, 小山裕司. AIIT におけるプロジェクト型学修(PBL)のための Backlog システムの導入. 第 39 回 EVA・第 19 回 IOT 合同研究発表会, 情報処理学会, 2012



# 中国の電動自転車産業に関する一考察

陳 俊 甫 \*

## A Study on Electric Two-Wheelers Industry in China

Junfu Chen\*

### Abstract

The purpose of this paper is to introduce the evolution of electric two-wheelers(E2W) industry in China using data collection from literature and field survey. At first, the background of this research are given. Secondly, briefly reviews the core technology and the characteristics of E2W. Then, based on statistical data and historical events, the evolution of E2W industry are discussed in three distinct periods: incubation period, growth period, adjustment period. Finally, the paper concludes with a summary and future research direction.

Keywords: E2W, core technology of E2W, incubation period, growth period, adjustment period

### 1. はじめに

昨今、科学技術力と製品開発力で勝る日本企業が、イノベーション収益の面で低迷していると指摘された[1]。例えば、初の有機 EL ディスプレイの事業化に成功したのは日本企業であるが、現に世界で最も力を発揮しているのは韓国企業である。20世紀後半、世界初の電動自転車を市場化したのは日本企業であるが、最も電動自転車が普及され、イノベーションの便益を享受しているのは中国企業である。さらに、細心に調べるならば、類似的なケースは、半導体産業など様々な分野でも観察され、決して稀有な出来事ではないことがわかる。

こうした状況を打開するには、日本企業が直面する課題を真正面から対処することは欠かせないが、「相手を知り、己を知れば百戦危うからず」という教えもある。そのため、日本企業に焦点を当てるのは重要であるが、韓国勢・中国勢のような後発者は、どのようにキャッチアップに成功したのかを検討することも必要であると考え。

本研究は、このような問題意識のもとで進めてきたものである。ここでは、これまで取り組んできた研究事例の一つである中国の電動自転車産業の展開について、収集した資料情報、及び中国の現地におけるフィールド調査の結果にもとづいて考察する。

以下の構成は、次のとおりである。まず次節では、電動自転車とは何か、そのコア・テクノロジーと新しいパーソナル・モビリティとしての特徴を説明する。次に第3節では、統計データと歴史的な出来事をもとに、中国の電動自転車産業の進化を萌芽期、成長期、調整期に分けて考察する。そして第4節では、本稿の議論で得られる暫定的結論を示し、今後の課題について述べる。

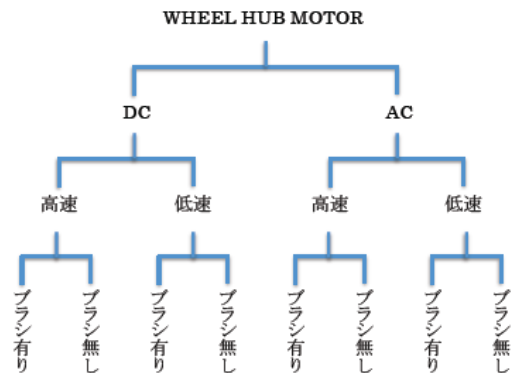


図1 電機モーターの種類

### 2. 電動自転車について、

#### 2.1. 電動自転車とは、

電動自転車とは、電機モーター駆動で走行する二輪車、ないしは電機モーターが人力をアシストし、車体に備え付けたペダルを踏まなければ走行できない二輪車のことである。

本稿でいう中国の電動自転車は、主に前者のタイプを指し、中国では運転免許が必要ない軽車両の範囲に属するものである。その基本構造は、電動自転車の車体を除き、大きく3つのコア部分から構成される[2][3]。

- (1) 電機モーター
- (2) 蓄電池
- (3) 制御機器システム

#### (1) 電機モーター:

電機モーターは、電動自転車の心臓に喩えられた

表 1 電動自転車用バッテリーの性能比較

	鉛酸	ニッケル	リチウム(LIB)
エネルギー密度	40Wh/kg	80Wh/kg	100Wh/kg
パワー密度	130W/kg	200W/kg	1000W/kg
エネルギー効率	約 65%	約 90%	約 99%
サイクル(寿命)	250-350 回	600-800 回	1000 回以上
環境汚染	あり	あり	なし
安全性	優	良	良
リユース	97%	90%	—

出典: 曹秉剛(2006), 馬貴龍ほか(2008)を基に作成。

部分である。その良し悪しは、直接電動自転車の品質にかかわる。電動自転車用の電機モーターには、Watt Brushless Hub Motor, In-wheel motor, Wheel hub motor, さらに、直流と交流、高速と低速、ブラシの有る無しによっていくつの種類に分けられる。図1は、この分類を示すのものである。

2000年まで、中国における電動自転車の多くは、Wheel hub motorの直流型高速ブラシ有りのタイプを採用していた。このタイプの主な長所は、軽量で上り坂の性能が長けていること。そして逆に、このタイプの短所というのは、モーター自体の摩損可能性が比較的に速く、寿命は大体1500時間くらいしかもたないというところにある[4]。

2000年に入ってからWheel hub motorの直流型低速ブラシ有るタイプとブラシ無しタイプの台頭により、中国の電動自転車モーター市場は、三つ巴の状態になっているのが現状である。

## (2) 蓄電池:

蓄電池は、電動自転車の動力源である。その品質が直接的に電動自転車の継続走行距離に影響する。電動自転車に使用可能な蓄電池は、主に鉛酸バッテリー、ニッケル水素バッテリー、リチウムイオンバッテリーという3つが挙げられる。

現に、中国で製造された電動自転車の約97.5%は、鉛酸バッテリーを使用されている[5]。しかしながら、環境汚染への配慮から、近年では、リチウムイオンバッテリーの研究開発が盛んに行われ、一部では実用化もされていた。

しかし、現状では、鉛酸バッテリーに比べ、リチウムイオンバッテリーのコスト対パフォーマンス比が悪いため、本格的普及はまだ時間がかかる。

表1は、ここで言及された三種のバッテリーの性能比較を示すものである。

## (3) 制御機器システム:

電動自転車の制御機器システムは、電機モーターと蓄電池の効率、省エネルギー効率を高め、電動自転車がダメージを受けた際の損傷程度を低減する役割を果たす重要な部分である。電動自転車の頭脳とも言われる。

中国の電動自転車に使われる制御機器は、主にブ

ラシ有るタイプとブラシ無いタイプ、及び三相ブラシ無し直流型のタイプという三種類がある。そのなか、電子部品コストの低下と性能の向上にともない、現在では、三相ブラシ無し直流型のタイプがもっとも使われている制御機器システムである[6]。

電動自転車の走行とこの三つのコア部分との関係は、すなわち、蓄電池は制御機器を経由して車輪内にある電機モーターに電力を送り、電機モーターの回転を通じて電動自転車が走行する、ということである。そして通常、制御機器システムは、車体に付ハンドルにつなぎ、電動自転車の速度等を調整する。

## 2.2. 電動自転車の特徴

新しいパーソナル・モビリティとして、電動自転車の特徴は主に次のような2点が挙げられる。

第一に、ガソリン自動車やオートバイに比べ、排気ガスがなく、環境に優しい。蓄電池の種類によって、例えば鉛酸バッテリーであれば、環境汚染があると主張する論調もある。しかし、その汚染は主にバッテリーを製造する時に生じる一次的なものであり、製造メーカによる製造環境の徹底的な管理と回収・再処理のシステムの完備が整えば、製品化された鉛酸バッテリーによる二次汚染の恐れがなく、逆に繰り返しリユース可能なエコ製品にもなりうることも指摘された[8]。

第二に、小型乗用車やガソリンオートバイに比べ、電動自転車はもっとも経済的な短距離移動手段である。例えば、WeinertとCherry[9]の試算では、都市交通手段の1キロに当たる燃料の経済性において、小型乗用車はガソリンオートバイの2.7倍、電動自転車の7.3倍の燃費を必要とし、ガソリンオートバイは電動自転車の2.7倍の燃料を費やしている。また、これらの移動手段のメンテナンスにかかる費用においても、小型乗用車はガソリンオートバイの3.4倍、電動自転車の60倍の費用がかかり、ガソリンオートバイは電動自転車の17.5倍の費用を必要とするという。

もちろん、もっとも経済的な移動手段として、伝統的な自転車もあるが、走行速度や省力化の観点から考えれば、電動自転車は、圧倒的な優位性をもっていることがわかる。

加えて、中国で製造・販売される電動自転車には、大きく2種類がある。

ひとつは、通称「豪華型」と呼ばれるタイプである。このタイプの主な生産基地は、かつてガソリンオートバイの完成車メーカや部品メーカが集積している江蘇省無錫市周辺と浙江省台州地域である。

もう一つは、通称「軽便型」と呼ばれるものである。これは、主に伝統的な自転車の産業集積地である天津市周辺地域で製造されている。

図2は、両タイプのイメージである。

## 3. 中国電動自転車産業の概観

中国における電動自転車産業の始まりは、20世紀後半にさかのぼる。

当該産業の首席専門家である清華大学教授馬貴龍[10]によれば、当該産業の進化プロセスを大きく4つの段階に分けられる。研究開発段階(1980年代後半-1993年)、産業化のための開発段階(1994年-1997年)、市場導入の段階(1998年-2001年)、産業化突入の段階(2002年-現在)、である。

ここでは、記述の簡潔さをめざし、馬貴龍[10]と中国にお



図2 軽便型と豪華型

ける電動自転車の生産台数の推移(図3)を参考に、その進化史を大きく次の3つの時期に分類し考察する[11].

- (1) 萌芽期(1980年後半-1997年)
- (2) 成長期(1998年-2003年)
- (3) 調整期(2004年-現在に至る)

### 3.1. 萌芽期(1980-1997年)

中国における電動自転車の取り組みは、1970年代に始まった。1980年代のはじめ、中国を代表する大手自転車メーカーである上海永久や鳳凰を中心に、電動自転車の研究開発と販売ブームを引き起こした[12].

しかしながら、当時、北京や広州など中国多くの大都市では、駆動装置をつけた二輪車の走行が禁じられていた。その上、地域政府や住民のエコ意識も高くなかった。このような孤立無援の中、そもそも電機モーターと蓄電池の技術水準がそれほど高くなかった電動自転車のブームは、早々に幕を閉じることとなった。

1985年に、上海自転車の第二工場(上海自転車二廠)は、電動自転車DX-130の量産化を果たし、再度電動自転車の可能性を世に示したが、当時に使われた蓄電池のエネルギー比率は37.5W/hしかなく、かつ実質的な重量は11.5kgもあること[13]や、電源技術の未成熟やアフターサービスなどの諸問題により、量産したものの、電動自転車産業の本格的普及につながらなかった[14].

その後、清華大学グループが1990年頃に、百キロ0.55kW/hのエネルギーしか消費しない半軸構造の高速Hub motorを試作し、その性能と節電効果が当時市場で販売された各種の駆動方式より優れていることを証明した[12]. さらに、同グループは、1994年にPrinted hub motorの研究開発に着手し、翌年に完成車メーカーと共同で試作車づくりにチャレンジしながら、Printed hub motorを量産するための諸条件をクリアした[10].

他方、同時期に電動自転車の動力源である蓄電池の開発においても、密閉式でメンテナンスフリーの蓄電池の開発や蓄電池の充電回数と寿命等の効率向上などの研究成果も上げていた[14].

これらの電機モーターと蓄電池の進歩を契機に、中国の電動自転車は、DX-130の市場化の不振からおおよそ13年の歳月を経て、もう一度市場導入へ突入する準備ができた。



そして、この時に中心となったリーディング・カンパニーは、従来の伝統的な自転車大手メーカーではなく、大陸鳩、千鶴、威士達という新生の企業であった。とりわけ、威士達は、清華大学グループの協力のもと、1996年に電動自転車の少量生産に成功し、年間数千台ペースの海外輸出を果たしたのである[10].

### 3.2. 成長期(1998-2003年)

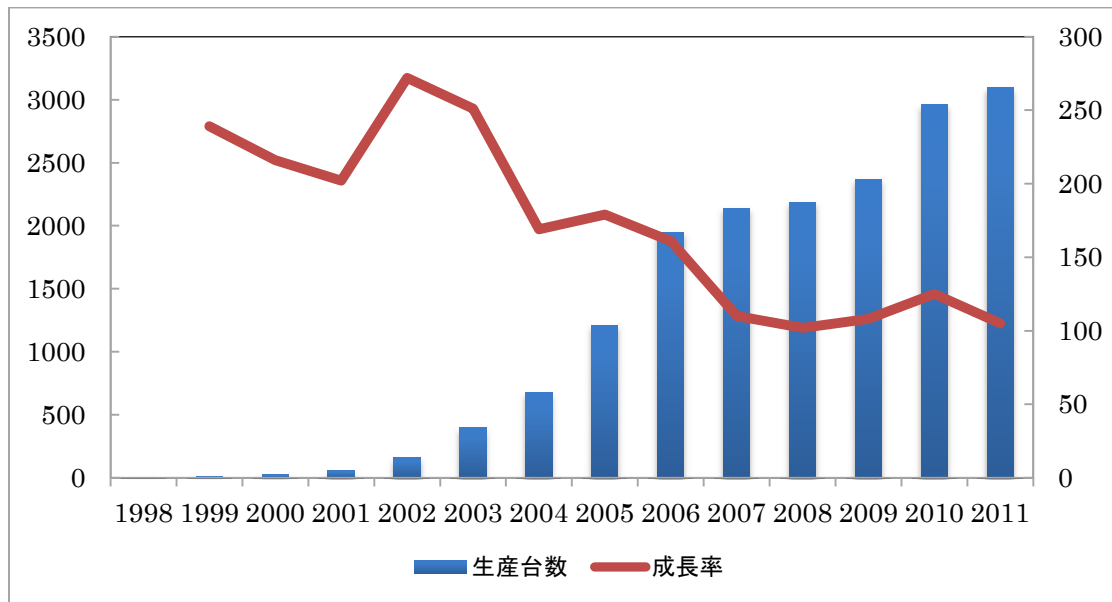
中国の電動自転車に関する正式な統計記録は、1998年に始まった。この年を当該産業の本格的な普及の起点にし、その進化を眺めると、この成長期で特に注目すべき出来事として、主に2つが挙げられる。

第一は、制度的・政策的サポートである。1998年12月、中国自転車協会が中心に制定した国家規格が中央政府に許可され、「国標 GB17761-1999 電動自転車通用技術条件(電動自転車の共通技術条件)」という国家規格基準として、1999年に正式に公布された。この規格のなかでは、電動自転車車体の最大重量を40kg以下、ペダルの装着、モーターの定格出力の上限を240W、最高時速を20km/h以内という規定が明記された。この国家規格の公布は、電動自転車産業の技術開発に明確な基準を提供し、当該産業の成長に寄与した。

また、電動自転車をもたらず経済効果、環境負荷、及びエネルギー節約上の意義を認識した各地の地域政府(安徽、江蘇、上海、浙江、天津など)も、積極的に電動自転車のナンバープレートの登録を許可したり、地域内の電動自転車企業を支援したりする政策を打ち出した。その結果、中国各地域において、それぞれ20社から40社ほどの電動自転車生産者が、雨後のタケノコのように次々と現れた[15].

さらに、1988年に公布された軽車両に動力装置をつけてはならないという「道路交通管理条例」も、2003年10月28日付けの「中華人民共和国道路交通安全法」に取って代わった。この法令では、電動自転車のように動力装置をつけた新しいパーソナル・モビリティでも、新しい国家規格基準内に設計されたものであれば、軽車両と見なすと明文化された。

第二は、この時期における中国社会が直面する様々変化である。例えば、中国の経済発展に伴い、多くの大都市における住民の生活行動範囲が拡大し、移動距離が従来より長くなったこと。中国人の平均月給は1995年の500元未満から1200元以上へ倍増したこと[16]. さらに、2003年の



出典:天津市自転車電動自転車行業協會資料に基づく作成。

図3 中国における電動自転車の生産台数の推移(1998-2011年)

SARS の影響を受け、多くの住民や通勤・通学族は公共交通機関を利用することを避け、代わりに電動自転車を選ぶようになったこと、などがあった[17]。

このような一連の制度・政策上のサポートと、20世紀における人々の環境意識の向上や燃料価額の高騰、可処分所得の向上、及び職住環境の変化とあいまって、電動自転車は中国で市民権を得るようになり、着実に成長の道のりをたどりはじめた。

加えて、この時期における電動自転車の技術そのもの自体も、大幅な前進を成し遂げ、その普及に寄与したことも見逃せない。例えば、Weinert[9]によれば、1995年から2000年までの間、電動モーターの効率は約6割を向上し、蓄電池の寿命は約35%を伸ばした。

この間の成長ぶりを明確に示したのは、1998年から2003年までの5年間にわたる生産台数の推移であろう。すなわち、統計データをみると、電動自転車の年間生産台数は、1998年の5.45万台から、2001年の59万台へ、さらに2003年には399.7万台を有する規模へ急拡大した。そして、その増加率は、一貫して200%以上という高い水準を維持していたのである。

### 3.3. 調整期(2004-現在)

2004年に入り、中国の電動自転車市場は、さらに飛躍的な成長をみせた。図3に示されるように、その生産台数は2004年の675.7万台から、2005年に1,211万台、2007年に2,138万台へ、さらに2011年にはついに3,096万台に突入した。生産台数の増加率でみると、成長期に劣るものの、一定の成長率(100%台)をキープしていることがわかる(図3を参照)。

このような結果から、電動自転車産業は高度成長期から安定的な低成長期、すなわち市場の調整期に移り変わったと読み取れよう。

調整期に入った電動自転車産業には、いくつかの動向が注目に値する。

一つは、業界の整理と再編である。というのは、1998年頃、中国全体において、電動自転車企業は部品サプライヤーを含め100社にも足らなかった。しかし、その数は10年後の2007年には瞬く間に2445社へ膨らんだ[18]。その中に、日雇いバイトと簡単な工具(ドライバー)だけで操業する投機的な零細企業も少なくなかった[19]。なぜならば、電動自転車に欠かせない車体、電機モーター、蓄電池、制御機器システムなどの部品パーツは、すべて市場で調達できるからである。また、生産台数においても、図3に示されるように、1998年から2007年まで約370倍に膨らんでいた。

このような急激な規模拡大は、実際の市場需要とかけ離れたものであり、市場飽和による供給過剰をもたらすだけでなく、同業者間の熾烈な競争の結果、業界内における零細企業の淘汰や企業間合併を引き起こした。

もう一つは、電動自転車の国家規格をめぐる論争である。すなわち、電動自転車の普及に伴い、ユーザの需要に応え、かつより魅力的な商品を見せつけるため、1999年に制定された国家規格の最高速度などを超えた製品は、市場に溢れ、電動自転車に起因する交通事故も多発した。

こうした状況に対し、当局は、「電動摩托车和電動轻便摩托车通用技术条件(電動オートバイと電動軽便オートバイの共通技術条件)」を公布し、より厳格な管理に乗り出そうとした。しかしながら、この新しい国家規格の設定基準が厳しく、法令が実施されれば、約1000社の完成車メーカー、約6000社のサプライヤー、さらにはおおよそ10万軒の代理販売店が倒産に追い込まれる恐れがあり、電動自転車産業に莫大な打撃をもたらすであろうと試算された[20]。つまり、本来電動自転車産業の発展に寄与し、市場を厳格に管理しつつ、製品の多様化を促すはずの新しい法令は、逆の効果をもたらしかねないということである[21][22]。

詰まるところ、この法令は公布されてまもなく実施中止に追い込まれてしまった。本稿を執筆する時点において、この論争はまだ決着をついていない。今後、電動自転車という新しい市場の成長を損なわず、かつ電動自転車と電動オートバイとの棲み分けは、大きな課題として残されている。

むしろ、この調整期における新たな技術革新の動きにも注目すべきであろう。特筆に値するものとして、鉛酸バッテリーとリチウムイオンバッテリーの動きが挙げられる。

鉛酸バッテリーによる環境汚染の問題が提起されてから、中国では製造時だけでなく、使用後の鉛酸バッテリーに対してもより厳格に管理し、そのリユースをはかろうと、製造メーカーと販売者、及びユーザが一体となる回収システムが提案され、新旧バッテリーの交換や古いバッテリーをもって新しいバッテリーを購入する際の割引制度などが検討されている。

他方、リチウムイオンバッテリーも電動自転車に実装された。しかしながら、現状ではリチウムイオンバッテリーは、鉛酸バッテリーより 600 元ほど高く、2006 年から 2010 年までの 5 年間における国内市場及び輸出市場を含め、その普及率(2006 年 5 万台、2010 年 40.2 万台)が緩慢である[23]。

さらに、電動自転車の更なる進化を推しすすめるために、天津市自転車電動自転車行業協会は、より軽く、より技術的に精細・精密で、より設計のファッション性が高く、より高付加価値という「軽、精、巧、高」の製品イノベーションの方向性を打ち出した。そして、この方針に向けて、当該協会は自ら中心となり、企業におけるマグネシウム合金、炭素繊維等の研究開発を支援している。現在では、これらの材料開発から一定の成果が得られ、量産体制に入りはじめた[24]。

#### 4. まとめと今後の課題

中国における電動自転車産業の進化は、まだ続いている。本稿では、統計データと歴史的な重要出来事を中心に、電動自転車の展開をマクロ的な視点で概観してみた。これまでの記述から、中国における電動自転車産業の進化は、次の 2 点に深く関わっていることがわかる。

一つは、非技術的な要因の役割である。つまり、技術的な要因であれば、過去二回のブーム時に比べ、今日の電動自転車の成長をもたらした第三次ブームの当初においては、技術的水準が大幅に向上されたものの、依然として様々な課題を抱えているのが実情であった。それに対して、この間に大きく変わったのは、世界全体における環境意識の向上、中国社会における職場と住宅との間の距離の変化、さらには乗用車が高くて購入できない、公共交通機関の利用が面倒で時間がかかる、という中国社会における固有的な事情である。

もう一つは、電動自転車産業の成長を促進する様々な制度的な支援である。例えば、1999 年の国家規格の公布、2003 年における道路交通管理条例の改定、及び各地域政府の保護・促進策である。しかしながら、調整期の議論でも見てきたように、制度的な支援は諸刃の剣である。すなわち、厳格な管理がなければ、市場が混乱するが、規制が厳しすぎれば、産業発展の妨げになる、ということである。

以上のような結果から、中国の電動自転車産業の進化に限って言えば、技術的な要因は産業進化を推進する必要条件であり、十分条件ではない。産業進化を促す制度、及びその時々々の時勢こそ、産業進化や社会におけるイノベーション成果の定着に重要な役割を果たす、と結論づけられよう。

しかしながら、これは本稿の暫定的な結論でしかなく、仮説の域を出ていない。なぜならば、本稿では、中国における電動自転車産業の進化にある技術の発展経路に関する特徴や、その進化プロセスに潜在する矛盾などについて、殆ど解明されていないからである。

周知のように、科学技術力と製品開発力は、一朝一夕で成し遂げられるものではない。既存研究を補完し、中国の電動自転車産業の成功から有益な知見を引き出すために、上

記の課題をさらに掘り下げていくことが必要であろう。とりわけ産業レベルの分析にとどまらず、より一歩進んで企業レベルの分析に踏み込む必要がある。

これらを今後の課題として、さらに研究を進めていきたい。

#### 謝辞:

本研究を進めるに当たって、中国天津市自転車電動自転車行業協合理事長龚孝燕氏、谷華氏、江蘇省自転車電動自転車行業協会主任宋金芸氏から多大なご支援を頂いた。この場を借りて謝意を申し上げる。

なお、本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金若手研究(B)(課題番号:22730299)の支援を受けたものであり、本稿はその研究成果の一部である。

#### 参考文献

- [1] 妹尾堅一郎, 技術力で勝る日本が、なぜ事業で負けるのか, ダイヤモンド社, 2009.
- [2] 唐蘇亜, “個人交通工具の新概念—電動自転車”, 電機技術, No.2, pp.46-47, 1999.
- [3] 唐蘇亜, “我国電動自転車産業の発展現状”, 電機技術, No.2, pp.39-43, 2004.
- [4] 馬貴龍, “電動自転車駆動方式法案綜述”, 電器工業, Vol.6, pp.5-7, 2002.
- [5] 馬中超, “波折中前行, 碰撞中發展”, 在 2011—2012 年全国電動自転車品牌經銷商峰会暨行業發展趨勢研討會上的讲话, 江蘇省自転車電動自転車協会資料, pp1-6, 2012.
- [6] 曹秉剛, “電動自転車技術新進展”, 電源技術応用, Vol.10, No.6, pp.6-11, 2007.
- [7] 馬貴龍, 孫延先, 喬峰華, “磷酸鉄鋰電池的發展”, 中国自転車, No.11, pp.24-28, 2008.
- [8] 馬貴龍, “鉛酸電池的過去, 現在和未来”, 中国自転車, No.6, pp.10-11, 2009.
- [9] J. Weinert., C. Ma., and C. Cherry, “The transition to electric bike in China: history and key reasons for rapid growth,” *Transportation*, Vol.34, pp.301-318, 2007.
- [10] 馬貴龍, “電動自転車の歴史進程”, 電動自転車, 第 1 期, pp.48-49, 2006.
- [11] ここで示された統計データは、天津市自転車電動自転車協会の内部資料に依拠するものである。
- [12] 黄靖遠, “電動自転車の發展歴史及市場前景展望”, 電氣時代, No.9, pp.11-13, 1999.
- [13] 宋百令, “電動自転車發展淺談”, 中国自転車, Vol.3, pp.18-19, 1989.
- [14] 唐蘇亜, “個人交通工具の新概念—電動自転車”, 電機技術, No.2, pp.46-47, 1999.
- [15] 商国華, “電動自転車前程璀璨”, 摩托車技術, No.8, pp.20-22, 2000.
- [16] 駒形哲哉, 中国の自転車産業: 第 5 章 自転車産業の發展方向, 慶應義塾大学出版会, pp.195-238, 2011.
- [17] 丛木, “防非典消費者青睐兩輪車”, 中国自転車, Vol.5, pp.6-7, 2003.
- [18] 天津市自転車電動自転車行業協会内部資料による。
- [19] 郭力文, “電動自転車發展戰略思考”, 中国自転車, No.11, pp.9-11, 2005.
- [20] 劉鳳桃, “過億超標電動自転車去留”, 中国經濟週刊, 6 月 20 日号, pp.60-62, 2011 年.
- [21] 邢紀驊, “談電摩技術標準出台对電動自転車産業釋放的冲擊和機遇(1)”, 中国自転車, No.12, pp.2-5, 2009.
- [22] 邢紀驊, “談電摩技術標準出台对電動自転車産業釋放的冲擊和機遇(2)”, 中国自転車, No.12, pp.13-17, 2010.
- [23] 金雲, “鋰電, 与未来相連”, 電動自転車, No.5, pp.18-19, 2011.
- [24] 龚孝燕, “打造天津形象產品, 實現産業二次勝飛”, 電動自転車, No.1, pp.10-13, 2011.



# ナビゲーション関数を用いた視覚フィードバック制御の 目標値生成に対する一考察

村尾 俊幸\*・河合 宏之\*\*

## A Study on Path Planning for Visual Feedback Control via Navigation Function

Toshiyuki Murao\* and Hiroyuki Kawai\*\*

### Abstract

This paper investigates passivity-based pose control via a navigation function for three-dimensional (3-D) eye-in-hand visual feedback systems. Firstly, we describe the representation of a relative pose and a camera model. Next, a passivity-based stabilizing pose control law for the 3-D visual motion error system which the time-varying desired pose can be applied to is proposed. Moreover, a path planner to be appropriate for the visual motion error system is designed through a navigation function. Finally, we present simulation results in order to verify the validity of the proposed control scheme.

**Keywords:** visual feedback control, navigation function, passivity, stability

### 1. はじめに

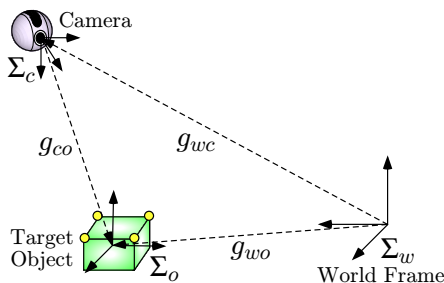


Fig. 1 Visual feedback system with an eye-in-hand configuration.

近年、視覚フィードバック制御の研究はますます盛んに行われており、工場だけでなくより複雑なシステムや幅広い分野へも適用されるようになってきている [1, 2]. 中でも少子高齢化社会を迎える日本において必要不可欠とされる医療分野では、視覚フィードバック制御による腹腔鏡の制御 [3] や超音波探触子の制御 [4] などが、また生命科学の分野では、細胞注入 [5] などの応用研究が行われている。

視覚フィードバック制御則は、従来より二つの制御方法と二つのカメラ構造に大別できることがよく知られている。すなわち、制御方法は位置ベース法と画像ベース法、カメラ構造はカメラがハンドの手先に取り付けられた Eye-in-Hand 構造と、固定カメラ構造とも言われるカメラとハンドが別々に配置された Eye-to-Hand 構造である [1, 2]. 文献 [6] は、位置ベース法のようにカメラから目標となる対象物 (以下、

目標対象と呼ぶ) への相対位置姿勢をもとに入力を与える制御手法となっているが、通常的位置ベース法が各時点における静的な画像情報を用いて相対位置姿勢を推定するのに対して、動きのモデルを用いて位置姿勢を推定し、かつ受動性を巧みに扱うことにより推定と制御を含めた全体の安定性について議論するという点で新しい制御アプローチとなっている。この受動性に基づく視覚フィードバック制御の手法は、Eye-in-Hand 構造 [6] だけでなく、Eye-to-Hand 構造 [7] に対しても同様のアプローチで制御則を提案できる。

本論文では、Fig. 1 で示す Eye-in-Hand システムの受動性に基づく視覚フィードバック制御 [6] に対する目標値生成手法について議論する。著者らは文献 [8] にて、常に障害物が見えているという仮定のもと、カメラから得られる視覚情報を用いて障害物を回避できるような目標値生成手法をナビゲーション関数を用いることで提案している。しかし実システムにおいては、全方位カメラ等を用いない限り、カメラが障害物を回避した後は障害物が見えなくなることが多い。そこで本論文では、障害物をかわした後に切り替えるための目標値生成手法について提案する。具体的には、障害物を回避した後は再びその障害物には衝突しないという仮定をおき、カメラがある作業範囲内から外に出ることなく最終目標位置姿勢へ収束することのみを目的とした目標値生成手法を提案する。

本論文の構成は以下のとおりである。2 節では、従来研究 [6] で提案している Eye-in-Hand 構造の 3 次元視覚フィードバック制御について述べる。3 節では、2 節で述べた制御

Received on October 22, 2012.

\* 産業技術大学院大学, 産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

\*\* 金沢工業大学, 工学部, College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

のための目標値生成手法について議論する．4節でシミュレーション結果を示した後，最後に5節でまとめをおこなう．

## 2. 受動性に基づく安定化視覚フィードバック制御

### 2.1. 剛体運動の表現とカメラモデル

本論文では，Fig. 1 に示すような，三つの座標系によって表される **Eye-in-Hand** 構造の視覚フィードバックシステムについて考える．基準とする座標系として基準座標系  $\Sigma_w$ ，カメラにカメラ座標系  $\Sigma_c$ ，目標対象に目標対象座標系  $\Sigma_o$  を定義する．また，任意の二つの座標系  $\Sigma_a$  から  $\Sigma_b$  の位置  $p_{ab} \in \mathcal{R}^3$  と姿勢を表す回転行列  $e^{\hat{\xi}^{\theta_{ab}}} \in SO(3)$  を要素に持つ同次表現  $g_{ab}$  を以下のように定義する．

$$g_{ab} = \begin{bmatrix} e^{\hat{\xi}^{\theta_{ab}}} & p_{ab} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{4 \times 4} \quad (1)$$

ただし，演算子  $\wedge$  (wedge) は 3次元ベクトルを  $3 \times 3$  の歪対称行列へ写像する演算子であり，その逆写像は  $\vee$  (vee) で定義される [9]．

カメラ座標系からみた目標対象の相対位置姿勢  $g_{co}$  は同次表現の合成則から以下のように導かれる．

$$g_{co} = g_{wc}^{-1} g_{wo} \quad (2)$$

また，カメラ座標系からみた目標対象の相対速度は， $g_{co}$  を時間微分することで，

$$V_{co}^b = -\text{Ad}_{(g_{co}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b \quad (3)$$

のように導かれる [6]．ここで， $V_{ab}^b = (g_{ab}^{-1} \dot{g}_{ab})^\vee \in \mathcal{R}^6$  は剛体運動のボディ速度を表しており， $\text{Ad}_{(g_{ab})} \in \mathcal{R}^{6 \times 6}$  は同次表現  $g_{ab}$  の随伴写像である [9]．

一方，上述の相対位置姿勢  $g_{co}$  は目標対象の位置姿勢  $g_{wo}$  が測定不可能であるために未知情報となる．本論文では，目標出力として得られる情報はピンホールカメラ (Fig. 2 参照) から得られる画像特徴量とし，目標対象に取り付けられた  $m (\geq 4)$  点の特徴点の画像面上における  $x$  座標と  $y$  座標を考える．このとき，目標対象座標系  $\Sigma_o$  の原点から各特徴点までのベクトルを  $p_{oi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$  とすると，カメラからみた相対的な特徴点  $p_{coi} \in \mathcal{R}^3$  は  $p_{coi} = g_{co} p_{oi}$  で表される．ただし，特徴点  $p_{oi}$  はすべて既知であるとし，同次表現でよく用いられる表記法  $([p_{ab}^T \ 1]^T$  を  $p_{ab}$  と表記 [9]) により表したものである．

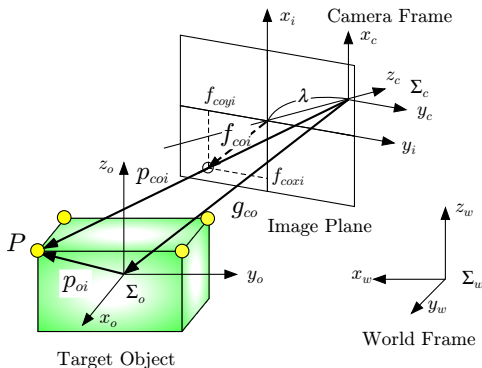


Fig. 2 Pinhole camera model.

画像特徴量を  $f_{coi} := [f_{coxi} \ f_{coyi}]^T$  と定義すると，特徴量は透視変換を用いることで，

$$f_{coi} = \frac{\lambda}{z_{coi}} \begin{bmatrix} x_{coi} \\ y_{coi} \end{bmatrix} \quad (4)$$

で表される．ただし， $\lambda \in \mathcal{R}$  はカメラの焦点距離であり， $p_{coi}$  の各要素を  $p_{coi} = [x_{coi} \ y_{coi} \ z_{coi}]^T$  として表した．この  $f_{coi}$  を縦に並べたベクトル  $f_{co} = [f_{co1}^T \ \dots \ f_{co4}^T]^T \in \mathcal{R}^{2m}$  が実際にカメラから得られる視覚情報となる．

### 2.2. 視覚フィードバック偏差システム

一般的な位置ベース法の視覚フィードバックシステムの制御目的は，カメラ座標系  $\Sigma_c$  からみた目標対象座標系  $\Sigma_o$  の相対位置姿勢  $g_{co}$  を目標位置姿勢  $g_{cd}$  に常に一致させておくことである．ただし，目標位置姿勢  $g_{cd}$  は時変とするが，実システムを考慮に入れ，最終値は一定値とする．制御則を構成するにあたり  $g_{co}$  を直接得ることができないため， $g_{co}$  の推定値  $\bar{g}_{co}$  を得るために (3) 式に基づいたつぎの視覚オブザーバを構成する．

$$\bar{V}_{co}^b = -\text{Ad}_{(\bar{g}_{co}^{-1})} V_{wc}^b + u_e \quad (5)$$

$u_e \in \mathcal{R}^6$  は推定偏差の振舞いを安定にするために加えられる入力であり，後に制御則の一部として提案する．

ここで，制御偏差  $g_{ec}$  と推定偏差  $g_{ee}$  をつぎのように定義する．

$$g_{ec} = g_{cd}^{-1} g_{co} \quad (6)$$

$$g_{ee} = \bar{g}_{co}^{-1} g_{co} \quad (7)$$

また， $r_{ei} := \text{sk}(e^{\hat{\xi}^{\theta_{ei}}})^\vee \in \mathcal{R}^3$ ， $\text{sk}(e^{\hat{\xi}^{\theta_{ei}}}) := \frac{1}{2}(e^{\hat{\xi}^{\theta_{ei}}} - e^{-\hat{\xi}^{\theta_{ei}}})$  を用いて，制御偏差ベクトルを  $e_c := [p_{ec}^T \ r_{ec}^T]^T \in \mathcal{R}^6$  と，推定偏差ベクトルを  $e_e := [p_{ee}^T \ r_{ee}^T]^T \in \mathcal{R}^6$  と定義する．推定偏差ベクトル  $e_e$  は視覚情報  $f_{co}$  と推定値  $\bar{g}_{co}$  からつぎのように得ることができる．

$$e_e = J_e^1(\bar{g}_{co})(f_{co} - \bar{f}_{co}) \quad (8)$$

ここで， $\bar{f}_{co}$  は画像特徴量  $f_{co}$  の推定値を表し， $J_e(\cdot)$  は画像ヤコビアン的一种である [6]．また，目標値  $g_{cd}$  と推定偏差ベクトル  $e_e$  を用いると，制御偏差ベクトル  $e_c$  は計算可能である [7]．

視覚フィードバック偏差システムは (6)(7) 式を時間微分することで下記のように導出することができる．

$$\begin{bmatrix} V_{ec}^b \\ V_{ee}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{Ad}_{(g_{ec}^{-1})} & 0 \\ 0 & -\text{Ad}_{(g_{ee}^{-1})} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} I \\ I \end{bmatrix} V_{wo}^b \quad (9)$$

ただし，入力を

$$u := [u_c^T \ u_e^T], \quad u_c := \text{Ad}_{(g_{cd}^{-1})} V_{wc}^b + V_{cd}^b \quad (10)$$

と定義している．目標位置姿勢を時不変としていた文献 [6] の視覚フィードバック偏差システムと本論文の偏差システム (9) は同じ形となっているが，(10) 式にあるように，入力  $u$  の一部に目標位置姿勢の速度 (以下では，目標速度とする)  $V_{cd}^b$  が陽に入るところが異なる．**Eye-in-Hand** 構造の視覚フィードバック偏差システムにおいて，状態  $x := [e_c^T \ e_e^T]^T$



を0にとどめておくことで相対位置姿勢  $g_{co}$  が目標位置姿勢  $g_{cd}$  に一致することになる。この視覚フィードバック偏差システム (9) は目標対象が静止 (すなわち  $V_{wo}^b = 0$ ) しているとき、入力  $u$  から出力  $-x$  に対して受動性を有することを、以下のエネルギー関数を用いることで証明することができる。

$$V(x) = E(g_{ec}) + E(g_{ee}) \quad (11)$$

ここで  $E(g_{ab}) := \frac{1}{2}\|p_{ab}\|^2 + \phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}})$  であり、関数  $\phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}})$  は回転行列に対する誤差関数を表す正定関数である [10]。

### 2.3. 安定化視覚フィードバック制御

Eye-in-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システム (9) に対し、受動性に基づくことで、目標対象が静止している場合に平衡点  $x = 0$  を安定とする制御則として次式を提案する。

$$u = -K(-x) = Kx \quad (12)$$

$$K := \text{diag}\{K_c, K_e\}$$

$K_c := \text{diag}\{k_{c1}, \dots, k_{c6}\}$  と  $K_e := \text{diag}\{k_{e1}, \dots, k_{e6}\}$  は  $x$  軸,  $y$  軸,  $z$  軸の並進と回転における制御偏差と推定偏差に対するゲインである。ただし、ゲインにおける各要素はすべて正とする。このとき安定性に関してつぎの定理が導かれる。

**定理 1.** [6] 目標対象が静止している ( $V_{wo}^b = 0$ ) とき、Eye-in-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システム (9) と (12) 式の入力で構成される閉ループ系の平衡点  $x = 0$  は漸近安定である。

証明: (11) 式のエネルギー関数をリアプノフ関数候補とすると、(9)、(12) 式の解軌道に沿った時間微分は

$$\dot{V} = u^T(-x) = -x^T Kx \quad (13)$$

と導かれる。したがって、システムの平衡点  $x = 0$  は漸近安定となる。

本節ではカメラ座標系からみた目標対象の相対位置姿勢  $g_{co}$  を目標値  $g_{cd}$  に一致させるための安定化制御則を提案した。紙面の都合上省略するが、外乱が存在する場合には外乱抑制問題を考えることで  $L_2$  ゲイン制御性能解析を行うことが可能である [6]。Fig. 3 に受動性に基づく安定化視覚フィードバック制御のブロック図を示す。

□

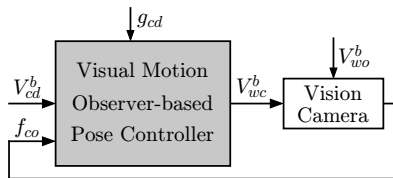


Fig. 3 Block diagram of visual motion observer-based pose control.

### 3. ナビゲーション関数を用いた目標位置姿勢生成

前節では、カメラからみた目標対象の相対位置姿勢を目標値に一致させる安定化制御則を提案したが、目標値に対する議論はなかった。本研究の視覚フィードバック制御の制御目的は、ある作業範囲内に留まりつつ、目標位置姿勢の最終値  $g_{cd_f} = (p_{cd_f}, e^{\hat{\xi}\theta_{cd_f}})$  に収束するような時変の目標位置姿勢  $g_{cd} = (p_{cd}, e^{\hat{\xi}\theta_{cd}})$  を生成し、それにカメラからみた目標対象の相対位置姿勢  $g_{co} = (p_{co}, e^{\hat{\xi}\theta_{co}})$  を一致させることとなる。

そこで本節では、目標位置姿勢  $g_{cd}$  がある範囲に留まりながら最終値  $g_{cd_f}$  へ収束するような  $g_{cd}$  のボディ速度  $V_{cd}^b = [(v_{cd}^b)^T (\omega_{cd}^b)^T]^T$  を設計する。目標速度  $V_{cd}^b$  が設計されれば、 $g_{cd}$  はつぎの微分方程式を解くことで生成できることに注意されたい。

$$\dot{g}_{cd} = g_{cd} \hat{V}_{cd}^b \quad (14)$$

前節で提案した視覚フィードバック制御則 (12) と (10) 式で表される偏差システムの入力により、カメラ入力  $V_{wc}^b$  は

$$V_{wc}^b = \text{Ad}_{(g_{cd})} (K_c e_c - V_{cd}^b) \quad (15)$$

のように構成されるが、目標速度  $V_{cd}^b$  と目標位置姿勢  $g_{cd}$  を用いることで生成できるようになる。

#### 3.1. 目標軌道生成のための姿勢偏差

目標速度  $V_{cd}^b$  を設計するにあたり、本節では姿勢に対して議論する。作業範囲内の維持は、位置成分を用いて達成させるために、姿勢成分は目標姿勢  $e^{\hat{\xi}\theta_{cd}}$  をその最終値  $e^{\hat{\xi}\theta_{cd_f}}$  に収束させることのみを目的とする。はじめに、つぎの姿勢偏差を定義する。

$$e^{\hat{\xi}\theta_{ed}} = e^{-\hat{\xi}\theta_{cd_f}} e^{\hat{\xi}\theta_{cd}} \quad (16)$$

また、偏差ベクトルを  $r_{ed} := \frac{1}{2}(e^{\hat{\xi}\theta_{ed}} - e^{-\hat{\xi}\theta_{ed}})^\vee$  として定義する。目標位置姿勢の最終値  $g_{cd_f}$  が時不変であることを考慮すると、(16) 式を時間微分することで、姿勢偏差速度の関係式はつぎのように導出することができる。

$$\omega_{ed}^b = \omega_{cd}^b \quad (17)$$

#### 3.2. ナビゲーション関数

本節では、作業範囲内に留まりながら最終目標位置へ収束させるためのナビゲーション関数  $\varphi(p_{cd})$  を設計する。

ナビゲーション関数とはつぎで定義される特殊人工ポテンシャル関数である。

**定義 1.** [11, 12] 滑らかなモース関数  $\varphi(p_{cd}) : D \rightarrow [0, 1]$  が以下の性質を有するとき、 $\varphi$  はナビゲーション関数である。

1.  $p_{cd_f} \in D$  のとき唯一の最小値が存在する。
2.  $D$  の境界で最大値を持つ。

ここで、 $D$  はカメラが移動可能な領域を中心  $p_0$ 、半径  $\rho_0$  の球体で定義した集合である\*1。

\*1 本稿では目標対象は静止しているとしているため、 $p_0$  は目標対象座標系  $\Sigma_o$  を基準として考えることができる。たとえば、 $p_0 = [0 \ 0 \ 0]^T$  とすると、目標対象を中心半径  $\rho_0$  の空間がカメラの移動可能領域となり、 $p_0 = p_{co}(0)$  とするとカメラの初期値が中心の空間となる。

ナビゲーション関数を具体的に設計していく。はじめに目標位置  $p_{cd}$  とその最終値  $p_{cd_f}$  との間の偏差に関するつぎの関数を定義する。

$$s(p_{cd}) = \|p_{cd} - p_{cd_f}\|^{2\kappa} \quad (18)$$

ここで、 $\kappa$  は形成されるポテンシャル場を変化させるためのパラメータである。つぎに、移動可能領域  $D$  の内部にカメラを維持させるための関数  $\eta$  をつぎのように定義する。

$$\eta(p_{cd}) = \rho_0^2 - \|p_{cd} - p_0\|^2 \quad (19)$$

この関数 (19) は 0 に近づくほど領域の端に近くなることを示している。また、パラメータ  $\kappa$  を用いたモデル空間上のナビゲーション関数  $\tilde{\varphi}(x) \in \mathcal{R} \rightarrow [0, 1]$  をつぎのように定義する。

$$\tilde{\varphi}(x) = \left( \frac{x}{\mu + x} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \quad (20)$$

ここで、 $\mu$  は収束速度を調整するためのパラメータである。(18)–(20) 式の関数を組み合わせることで、ナビゲーション関数を

$$\varphi(p_{cd}) = \tilde{\varphi} \circ \frac{s}{\eta}(p_{cd}) = \left( \frac{s(p_{cd})}{\mu\eta(p_{cd}) + s(p_{cd})} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \quad (21)$$

と設計する。ここで、 $\circ$  は合成演算子を表している。紙面の都合上証明は省略するが、文献 [12] の Theorem 4 と同様の手法で、 $\kappa$  を適切に設定した (21) 式の関数がナビゲーション関数となることは証明できる。

### 3.3. 目標速度の提案と収束解析

ナビゲーション関数および姿勢偏差を用いることで、つぎの目標速度を提案する。

$$V_{cd}^b = \begin{bmatrix} -e^{-\hat{\xi}\theta_{cd}} K_{dp} \nabla \varphi(p_{cd}) \\ -K_{dr} e^{-\hat{\xi}\theta_{cd}} r_{ed} \end{bmatrix} \quad (22)$$

ただし、 $K_{dp} := \text{diag}\{k_{dp1}, k_{dp2}, k_{dp3}\}$  と  $K_{dr} := \text{diag}\{k_{dr1}, k_{dr2}, k_{dr3}\}$  は、それぞれ  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸の並進と回転における目標速度に対するゲインである。また、 $\nabla \varphi(p_{cd}) := \left( \frac{\partial \varphi(p_{cd})}{\partial p_{cd}} \right)^T$  は  $\varphi(p_{cd})$  の勾配ベクトルを表し、計算すると次ページ下記に示す (23) 式となる。

提案した目標速度 (22) を用いることで、つぎの定理が成立する。

**定理 2.**  $p_{cd}(0) \in D$  かつ目標対象が静止している ( $V_{wo}^b = 0$ ) とする。このとき、(22) 式によって生成される目標トラジェクトリは  $p_{cd}(t) \in D$  であり、かつ目標位置姿勢  $g_{cd}(t)$  は漸近安定な平衡点  $g_{cd_f}$  を持つ。

証明：つぎの正定関数を考える。

$$V_n = \varphi(p_{cd}) + \phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ed}}) \quad (24)$$

(17)(22) 式を用いると、(24) 式の正定関数を解軌道に沿って時間微分することにより、つぎの関係式が得られる。

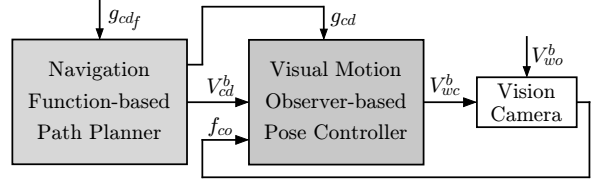


Fig. 4 Block diagram of visual motion observer-based pose control with navigation function-based path planner.

$$\begin{aligned} \dot{V}_n &= (\nabla \varphi)^T \dot{p}_{cd} + r_{ed}^T e^{\hat{\xi}\theta_{ed}} \omega_{ed}^b \\ &= (\nabla \varphi)^T e^{\hat{\xi}\theta_{cd}} v_{cd}^b + r_{ed}^T e^{\hat{\xi}\theta_{ed}} \omega_{ed}^b \\ &= -(\nabla \varphi)^T e^{\hat{\xi}\theta_{cd}} e^{-\hat{\xi}\theta_{cd}} K_{dp} \nabla \varphi \\ &\quad - r_{ed}^T e^{\hat{\xi}\theta_{ed}} K_{dr} e^{-\hat{\xi}\theta_{ed}} r_{ed} \\ &= -(\nabla \varphi)^T K_{dp} \nabla \varphi - (e^{-\hat{\xi}\theta_{ed}} r_{ed})^T K_{dr} e^{-\hat{\xi}\theta_{ed}} r_{ed} \end{aligned} \quad (25)$$

したがって、初期状態  $p_{cd}(0) \in D$  に対して、 $p_{cd}(t) \in D$ ,  $\forall t > 0$  となることがわかる。またナビゲーション関数では  $\nabla \varphi(p_{cd}) \rightarrow 0$  のときには  $p_{cd}(t) \rightarrow p_{cd_f}$  となる [12]。さらに、 $e^{-\hat{\xi}\theta_{ed}} r_{ed} \rightarrow 0$  は  $r_{ed} \rightarrow 0$  となるために、姿勢偏差の定義より  $e^{\hat{\xi}\theta_{cd}}(t) \rightarrow e^{\hat{\xi}\theta_{cd_f}}$  となる。したがって、 $g_{cd}(t) \rightarrow g_{cd_f}$  が導かれる。□

定理 2 はナビゲーション関数をリアプノフ関数候補の一部とすることで証明している。この定理 2 により、提案したナビゲーション関数を用いた軌道生成をおこなうことで、目標位置姿勢  $g_{cd}(t)$  が作業範囲内に留まりつつ最終目標位置姿勢  $g_{cd_f}$  に収束することが示された。Fig. 4 にナビゲーション関数を用いた受動性に基づく視覚フィードバック制御のブロック図を示す。

## 4. シミュレーション検証

本節では、提案した制御手法の有効性を確認するために静止している目標対象に対するシミュレーション検証をおこなう。

初期設定は  $p_{wc} = [0 \ 0 \ 1]^T \text{ m}$ ,  $\xi\theta_{wc} = [\pi/12 \ -\pi/12 \ \pi/12]^T \text{ rad}$ ,  $p_{wo} = [-5 \ 6.5 \ 3]^T \text{ m}$ ,  $\xi\theta_{wo} = [0 \ 0 \ 0]^T \text{ rad}$  とする。また最終的な目標位置姿勢は  $p_{cd_f} = [0 \ 1.5 \ 0]^T \text{ m}$ ,  $\xi\theta_{cd_f} = [0 \ 0 \ 0]^T \text{ rad}$  とする。さらに、本シミュレーションにおけるゲインの設定や各パラメータは以下のようにした。  $K_c = 5I$ ,  $K_e = 10I$ ,  $K_{dp} = 50I$ ,  $K_{dr} = 2I$ ,  $p_0 = [0 \ 0 \ 0]^T \text{ m}$ ,  $\rho_0 = 10 \text{ m}$ ,  $\kappa = 2$ ,  $\mu = 4$ 。

Fig. 5 に相対位置姿勢  $g_{co}(t)$  と最終的な目標位置姿勢  $g_{cd_f}$  との間の偏差  $e_r$  を示す。Fig. 5 より、全ての偏差が定常状態において 0 に収束していることが確認できる。また、Fig. 6 にカメラのトラジェクトリを示す。  $p_{wc}(0)$  と  $p_{wc}(3)$  はカメラの初期値と最終値を表しており、また図中の直方体が目標対象を表している。Fig. 6 より、目標対象の前へカメラが動いていることが確認できる。また、本シミュレーションでは作業範囲を目標対象を中心とした半径 10 m の球体の内部としたが、 $\rho_0^2 - \|p_{cd} - p_0\|^2$  の最小値が

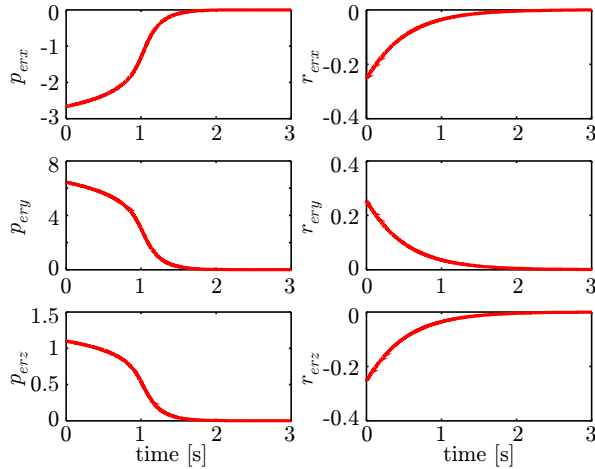


Fig. 5 Pose control error.

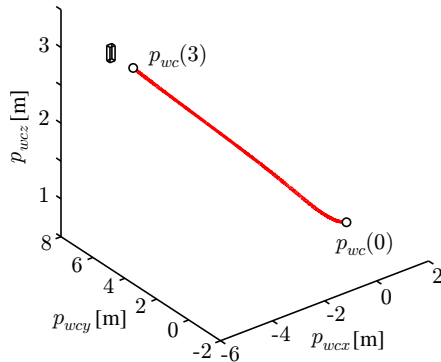


Fig. 6 Trajectory of camera.

23.75であり、常に正の値を維持していることから作業範囲の外に出ていないことがわかる。したがって、ナビゲーション関数を用いた視覚フィードバック制御において、カメラが作業範囲内に留まりつつ最終目標位置姿勢に収束することが示された。

## 5. おわりに

本論文では3次元 Eye-in-Hand 構造の視覚フィードバックシステムに対して、作業範囲内に留ませつつ最終目標位置姿勢へ収束させるためのナビゲーション関数を用いた安定化視覚フィードバック制御手法を提案した。制御則への目標位置姿勢生成をナビゲーション関数を用いて設計し、ナビゲーション関数をリアプノフ関数候補の一部とすることで設計する目標位置姿勢が最終的な目標位置姿勢に収束することを示している。最後にシミュレーションにより、提案した制御手法の有効性を示した。

## 参考文献

- [1] F. Chaumette and S. Hutchinson, "Visual Servoing and Visual Tracking," B. Siciliano and O. Khatib (Eds.), *Springer Handbook of Robotics*, Springer-Verlag, pp. 563–583, 2008.
- [2] 橋本浩一, (講座) ビジュアルサーボ I~VI, システム/制御/情報, Vol. 53, No. 9, pp. 411–416, No. 11, pp. 476–483, Vol. 54, No. 1, pp. 34–42, No. 3, pp. 117–123, No. 5, pp. 206–213, No. 7, pp. 264–273, 2009–2010.
- [3] K. Omote *et al.*, "Self-Guided Robotic Camera Control for Laparoscopic Surgery Compared with Human Camera Control," *The American Journal of Surgery*, Vol. 177, No. 4, pp. 321–324, 1999.
- [4] A. Krupa and F. Chaumette, "Control of an Ultrasound Probe by Adaptive Visual Servoing," *Proc. of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2007–2012, 2005.
- [5] S. Yu and B. J. Nelson, "Autonomous injection of biological cells using visual servoing," In: D. Rus and S. Singh (Eds.), *Experimental Robotics VII*, Springer-Verlag, pp. 169–178, 2001.
- [6] M. Fujita, H. Kawai and M. W. Spong, "Passivity-based Dynamic Visual Feedback Control for Three Dimensional Target Tracking: Stability and  $L_2$ -gain Performance Analysis," *IEEE Trans. Control Systems Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 40–52, 2007.
- [7] T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, "Stabilizing Predictive Visual Feedback Control for Fixed Camera Systems," *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 94, No. 8, pp. 1–11, 2011.
- [8] Y. Tsuruo, T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, "Visual Motion Observer-based Pose Control via Obstacle Avoidance Navigation Function for Eye-in-Hand Systems," *Proc. of the 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2012(to appear).
- [9] R. Murray, Z. Li and S. S. Sastry, *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*, CRC Press, 1994.
- [10] F. Bullo and A. D. Lewis, *Geometric Control of Mechanical Systems*, Springer-Verlag, 2004.

$$\nabla\varphi = \frac{2\mu \{ \kappa(\rho_0^2 - \|p_{cd} - p_{c0}\|^2)(p_{cd} - p_{cd_f}) + \|p_{cd} - p_{cd_f}\|^2(p_{cd} - p_{c0}) \}}{\kappa(\mu(\rho_0^2 - \|p_{cd} - p_{c0}\|^2) + \|p_{cd} - p_{cd_f}\|^{2\kappa})^{\frac{1+\kappa}{\kappa}}} \quad (23)$$

- [11] E. Rimon and D. E. Koditschek, "Exact Robot Navigation using Artificial Potential Functions", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 8, No. 5, pp. 501–518, 1992.
- [12] D. E. Koditschek and E. Rimon, "Robot Navigation Functions on Manifolds with Boundary", *Advances in Applied Mathematics*, Vol. 11, No. 4, pp. 412–442, 1990.

# 離散凸最適化アルゴリズムの応用について

森 口 聡 子\*

## The Application of Discrete Convex Optimization Algorithms

Satoko Moriguchi\*

### Abstract

Discrete convex analysis, is a unified framework of discrete convex optimization based on the theory of matroids and submodular functions. In the last decade, efficient discrete optimization algorithms have been proposed in this discrete convex analysis. This paper reviews recently developed softwares and web applications of fundamental algorithms for discrete convex minimization. We have developed web applications for an inventory system and a call center shift scheduling.

**Keywords:** Mathematical Programming, Optimization Algorithms, Combinatorial Optimization, Inventory System, Shift Scheduling.

### 1. はじめに

最適化の分野では、整数変数の非線形計画は、様々な分野や現実問題で数多く顕在するものの、非常に困難であることが知られている。整数変数の非線形計画、難しい組合せ最適化問題を解く鍵として、離散凸関数の概念が考えられ、主に離散格子点上で定義された関数に対して様々な研究者により定義がなされ、理論研究が展開されてきた。その中でも、マトロイド・劣モジュラ関数の研究の流れを汲んだ離散凸解析による統一的枠組みが90年代以降注目され、今や多くの成果が報告されている[9, 10]。離散凸解析理論では、L凸性とM凸性という互いに共役な二種類の離散凸性が存在し、中心的な役割を担っている。これまで、L凸性、M凸性を有する最適化問題に対して、効率的なアルゴリズムが研究されてきた。

非常に困難で、効率的なソルバも存在していなかった非線形離散関数の最小化に対して、近年の離散凸解析理論の研究により、その中でも効率よく多項式時間で最小化できるクラスが解明されてきた。

離散凸解析は、オペレーションズ・リサーチ (OR) における問題解決にも利用され、在庫管理問題やスケジューリング問題などへの応用が報告されている[1, 3, 11, 18]。在庫管理の理論は長い歴史をもつが、現代のSCM (Supply Chain Management) においてもその基礎として重要である。在庫管理理論と離散凸関数の関わりは古く、1970年代にMiller [4] は予備品在庫管理問題の研究において、現在「Millerの離散凸関数」と呼ばれる概念を定義している。その後の離散凸解析の研究により、Millerの予備品在庫管理問題に現れる関数はL<sup>♯</sup>凸関数であり、したがって、この問題は多項式時間で求解が可能であることが明らかになっている。一方、コールセンターは、企業と顧客の接点として

近年、増々重要となってきた。電話を受けることを主とするインバウンドの業務形態において、サービスレベルを保ちつつ各時刻に配置するオペレータの人数を決定するシフトスケジューリング問題がKoole–Sluis [3] で扱われ、ここではマルチモジュラ性が重要な役割を果たしている。このマルチモジュラ性は (変数変換を通じて) 離散凸解析におけるL<sup>♯</sup>凸性と等価な概念である。

本稿では、離散凸解析理論の成果を応用分野の研究者・実務家が利用できるようなという目的で開発・公開が進められている、離散凸最適化に関連するアルゴリズムとそれを紹介するデモンストレーションソフトウェアについて報告する。

### 2. 離散凸関数

離散凸解析における中心的な概念であるL凸関数、M凸関数の定義とその最小化アルゴリズムについて、ごく簡単に述べる。詳しくは文献[9–11]を参照されたい。

#### 2.1. M凸関数とM<sup>♯</sup>凸関数

本節では交換公理に基づくM凸関数を説明する。これ以降、離散関数  $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  に対して、

$$\text{dom } f = \{x \in \mathbf{Z}^n \mid f(x) < +\infty\},$$

として、

$$\text{supp}^+(x - y) = \{w \in \{1, 2, \dots, n\} \mid x(w) > y(w)\},$$

$$\text{supp}^-(x - y) = \{w \in \{1, 2, \dots, n\} \mid x(w) < y(w)\}$$

とする.  $\chi_i \in \{0, 1\}^n$  は  $i = 1, 2, \dots, n$  に対する特性ベクトル, すなわち

$$\chi_i(v) = \begin{cases} 1 & (v = i) \\ 0 & (v \neq i) \end{cases}$$

とする. また, 便宜上,  $i = 0$  のときは  $\chi_i = (0, 0, \dots, 0)$  と約束する.

関数  $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  が  $\mathbf{M}$  凸関数であるとは,  $f$  が次の交換公理 (**M-EXC**) を満たすことである.

$$\begin{aligned} & \text{(\b{M-EXC}) 任意の } x, y \in \text{dom } f \text{ と任意の } u \in \\ & \text{supp}^+(x-y) \text{ に対して, ある } v \in \text{supp}^-(x-y) \\ & \text{が存在し,} \\ & f(x) + f(y) \geq f(x - \chi_u + \chi_v) + f(y + \chi_u - \chi_v). \end{aligned}$$

ここで, 上記の不等式は,  $f(x)$  か  $f(y)$  が  $+\infty$  であるとき成立していると約束する.

定義より,  $\mathbf{M}$  凸関数  $f$  の実効定義域は成分和が一定の超平面の上に乗っていること, つまり, ある整数  $r$  に対して

$$\text{dom } f \subseteq \{x \in \mathbf{Z}^n \mid \sum_{i=1}^n x_i = r\}$$

が成り立つことが導かれる. したがって,  $n$  変数の  $\mathbf{M}$  凸関数  $f$  の定義域をある座標軸方向に沿って射影した  $n-1$  変数の関数を考えても情報は失われない.  $\mathbf{M}$  凸関数とを射影して得られる等価な概念は,  $\mathbf{M}^\natural$  凸関数と呼ばれている. 両者に本質的な差はないので,  $\mathbf{M}$  凸関数か  $\mathbf{M}^\natural$  凸関数かは, 場合に応じて使い分ければ良い.

$\mathbf{M}$  凸関数の最小値は整数格子点上で局所的に特徴付けられる. 連続の凸関数のもつ良い性質の代表である「局所最小性=大域的最小性」の  $\mathbf{M}$  凸関数版は, 下記の定理で与えられている.

**定理 2.1 (M 凸関数最小性規準).**  $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  は  $\mathbf{M}$  凸関数とする. 任意の  $x \in \text{dom } f$  に対し,

$$\begin{aligned} & f(x) \leq f(y) \quad (\forall y \in \mathbf{Z}^n) \\ \iff & f(x) \leq f(x - \chi_u + \chi_v) \quad (\forall u, v \in \{1, 2, \dots, n\}). \end{aligned}$$

上記の局所最小性を判定するには,  $O(n^2)$  回の関数値評価を行えば良い.

連続の凸関数が降下法により最小化が行えたように, 定理 2.1 を用いて, 最急降下法が提案された ([10, Sec. 10.1.1]). 最急降下法は擬多項式時間アルゴリズムであるので, スケーリング技法と近接定理を組み合わせることにより, 効率的な多項式時間アルゴリズムも提案された [6, 15, 16] ([10, Sec. 10.1.2] も参照). また, 連続緩和を用いたより現実的な高速アルゴリズムも開発された [7].

## 2.2. L 凸関数と $\mathbf{L}^\natural$ 凸関数

本節では劣モジュラ性に基づく  $\mathbf{L}$  凸関数を説明する.

ベクトル  $p, q \in \mathbf{Z}^n$  に対して, 成分ごとに最大値, 最小値をとって得られるベクトルを  $p \vee q, p \wedge q$  と書くことにし,  $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1) \in \mathbf{Z}^n$  とする. 関数  $g: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  が  $\mathbf{L}$  凸関数であることは  $g$  が 2 条件

$$\text{(\b{SBF}) } g(p) + g(q) \geq g(p \vee q) + g(p \wedge q) \quad (\forall p, q \in \mathbf{Z}^n),$$

$$\text{(\b{TRF}) } \text{ある } r \in \mathbf{R} \text{ が存在して,}$$

$$g(p + \mathbf{1}) = g(p) + r \quad (\forall p \in \mathbf{Z}^n)$$

を満たすことと定義される. ここで不等式 (**SBF**) は  $g(p)$  か  $g(q)$  が  $+\infty$  であるときには成立していると約束する.

$\mathbf{L}$  凸関数は  $\mathbf{1}$  方向の線形性 (**TRF**) をもつので, ある一つの座標値が 0 に等しい超平面に制限した  $n-1$  変数の関数を考えても本質的な情報は失われない. このように導出される  $\mathbf{L}$  凸関数と等価な概念は  $\mathbf{L}^\natural$  凸関数と呼ばれている.

$\mathbf{L}^\natural$  凸関数は離散中点凸性により定義される. すなわち, 関数  $g: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  が離散中点凸性

$$g(p) + g(q) \geq g\left(\left\lceil \frac{p+q}{2} \right\rceil\right) + g\left(\left\lfloor \frac{p+q}{2} \right\rfloor\right) \quad (\forall p, q \in \mathbf{Z}^n)$$

をもつとき,  $g$  は  $\mathbf{L}^\natural$  凸関数である.

$\mathbf{L}^\natural$  凸関数は, 並進劣モジュラ性により特徴付けることが可能である. すなわち, 関数  $g: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  が並進劣モジュラ性

$$g(p) + g(q) \geq g((p - \alpha \mathbf{1}) \vee q) + g(p \wedge (q + \alpha \mathbf{1})) \quad (1) \quad (\forall \alpha \in \mathbf{Z}_+, \forall p, q \in \mathbf{Z}^n)$$

をもつとき,  $g$  は  $\mathbf{L}^\natural$  凸関数である (ただし,  $\mathbf{Z}_+$  は非負整数全体を表す).  $\alpha = 0$  のとき, 式 (1) は劣モジュラ性に一致する.

$\chi_X \in \{0, 1\}^n$  を集合  $X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$  に対する特性ベクトルとする.  $\mathbf{L}$  凸関数の最小性規準は以下の定理で与えられている.

**定理 2.2 (L 凸関数最小性規準).** 関数  $g: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  は  $\mathbf{L}$  凸関数で, (**TRF**) において  $r = 0$  とする. 任意の  $p \in \text{dom } g$  に対し,

$$\begin{aligned} & g(p) \leq g(q) \quad (\forall q \in \mathbf{Z}^n) \\ \iff & g(p) \leq g(p + \chi_X) \quad (\forall X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}). \end{aligned}$$

ここで, 上記の局所最小性の判定は劣モジュラ集合関数

$$\rho_p(X) := g(p + \chi_X) - g(p)$$

の最小化に帰着できる. すなわち, 劣モジュラ集合関数最小化アルゴリズム [2, 13, 14] を用いて, 多項式時間で調べることができる.

連続の凸関数が降下法により最小化が行えたように, 定理 2.2 を用いて, 最急降下法が提案された ([10, Sec. 10.3.1]). 最急降下法は擬多項式時間アルゴリズムであるので, スケーリング技法と近接定理を組み合わせることにより, 効率的な多項式時間アルゴリズムも提案された ([10, Sec. 10.3.2]). また, 連続緩和を用いたより現実的な高速アルゴリズムも開発された [8].

## 3. デモアプリケーション

**DCP (Discrete Convex Paradigm)** プロジェクト [19] では, 前述の離散凸性 ( $\mathbf{L}$  凸性と  $\mathbf{M}$  凸性) を有する関数の最小化アルゴリズムや関連するアルゴリズムを実装し, 離散

凸関数最適化ソルバを始めとするアプリケーションソフトウェアを公開すると同時に、ソルバの動作を手軽に試せるように、いくつかは Web 上のデモンストレーションソフトウェアとしても公開している。ここでは、その中から、離散凸関数最小化ソルバのデモアプリケーション、在庫管理アプリケーション、コールセンターのシフトスケジューリングアプリケーションを取り上げる。

### 3.1. 離散凸関数最小化ソルバのデモアプリケーション

離散凸関数最小化ソルバのデモンストレーションを目的として、2 次の  $L^{\natural} / M^{\natural}$  凸関数, 擬分離  $L^{\natural}$  凸関数, 層型  $M^{\natural}$  凸関数などの最小化を扱う Web アプリケーションを提供した。

#### 3.1.1. 2 次関数

$L^{\natural}$  凸 2 次関数最小化のデモンストレーションにおいては、利用者が定義する 2 次の  $L^{\natural}$  凸関数

$$f(x) = \frac{1}{2}x^T Ax + b^T x$$

の最小化問題を最急降下法で解く。利用者は、 $n$  次対称行列  $A = (a_{ij})$  と  $n$  次元ベクトル  $b = (b_i)$  を入力することによって関数  $f$  を定義し、初期解も指定することができる。アプリケーションは、利用者の入力が  $L^{\natural}$  凸関数を与えるかを判定する<sup>\*1</sup> (図 1)。入力が正しい場合 (あるいは利用者が正しいものに修正した場合) には、「Minimize」ボタンを押すことが可能になる。利用者がこのボタンを押すと、アプリケーションは (全列挙に基づく) 最急降下法を適用し、計算の途中経過とともに出力する (図 2)。 $M^{\natural}$  凸 2 次関数に関しても、同様である。

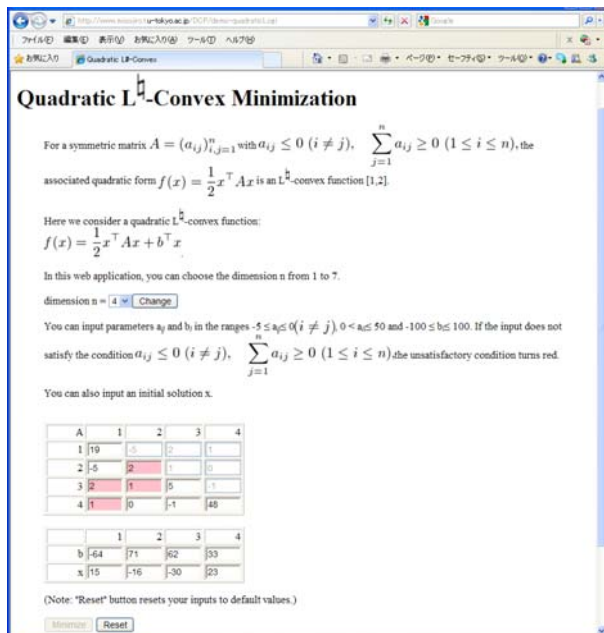


図 1 Online solver for quadratic  $L^{\natural}$ -convex functions (input)

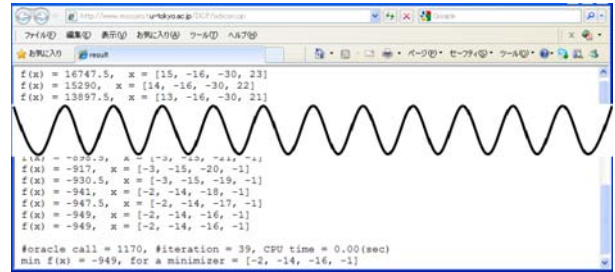


図 2 Online solver for quadratic  $L^{\natural}$ -convex functions (output)

#### 3.1.2. 擬分離 $L^{\natural}$ 凸関数

擬分離  $L^{\natural}$  凸関数最小化のデモンストレーションにおいては、

$$f(x) = \sum_{i \neq j} f_{ij}(x_i - x_j) + \sum_{i=1}^n f_i(x_i)$$

の形の離散凸関数 (擬分離  $L^{\natural}$  凸関数) の最小化問題を最急降下法で解く。各  $f_{ij}, f_i$  は 1 変数の凸関数であり、2 次関数, 4 次関数, 指数関数, 絶対値関数などを提供している。利用者は、パラメータを入力することによって関数  $f$  を定義し、初期解も指定することができる。アプリケーションは、実装したソルバの中から (IFF 法に基づく) 最急降下法を適用し、計算の途中経過とともに出力する。

#### 3.1.3. 層型 $M^{\natural}$ 凸関数

層型  $M^{\natural}$  凸関数最小化のデモンストレーションにおいては、

$$f(x) = \sum_{Y \in \mathcal{T}} f_Y(x(Y)), \quad x(Y) = \sum_{i \in Y} x_i$$

の形の離散凸関数の最小化問題を最急降下法で解く。ここで、 $\mathcal{T}$  は層族 (任意の  $X, Y \in \mathcal{T}$  に対して  $X \cap Y, X \setminus Y, Y \setminus X$  のどれかは空集合である集合族) で、各  $f_Y$  は 1 変数の凸関数である。2 次関数, 4 次関数, 指数関数, 絶対値関数などを提供している。利用者は、パラメータを入力することによって関数  $f$  を定義し、初期解も指定することができる。アプリケーションは、実装したソルバの中から最急降下法を適用し、計算の途中経過とともに出力する。

### 3.2. 在庫管理

離散凸関数最小化のソルバを最適化エンジンとして組み込んだ在庫コスト最小化アプリケーションを開発して、オンラインアプリケーションとして公開した。アプリケーションでは、部品数  $n$  をはじめとする各種パラメータ  $p, c_j, \lambda_j (j = 1, \dots, n)$  を対話的に入力し (図 3)、最適化を実行すると、最適な予備品の準備個数と、その際のコストが表示されるようになっている (図 4)。

ここで用いた予備品在庫管理モデルは Miller [4] によって提案されたもので、需要量, 発注量が離散値をとるもの (バックオーダーを考慮した多品種モデル) であり、航空機整備における部品管理等に用いられる。文献 [4] では、在庫費用関数の数学的な取扱いのために「Miller の離散凸関数」の概念を定義し、(計算量が多項式時間ではない) 最小

<sup>\*1</sup> $f$  が  $L^{\natural}$  凸関数  $\iff a_{ij} \leq 0 (i \neq j), \sum_{j=1}^n a_{ij} \geq 0 (i = 1, \dots, n)$ .

化アルゴリズムを提案している。この在庫費用関数は、後に、 $L^{\natural}$  凸関数であることが判明している [5,11]。このことから、 $L^{\natural}$  凸関数の最小化アルゴリズムにより、在庫費用関数の最小化を効率的に行うことができる。

本研究で開発したオンラインアプリケーションは、利用者が対話的にパラメータ入力・最適化を行って瞬時に結果を得られる範囲の問題サイズに対して提供しているが、さらに大規模な在庫管理を必要とする場合は、[7,8]の研究を基にして開発された離散凸関数最小化ソルバ ODICON [20] をダウンロードして利用者のローカル環境で最適化を実行することができる。

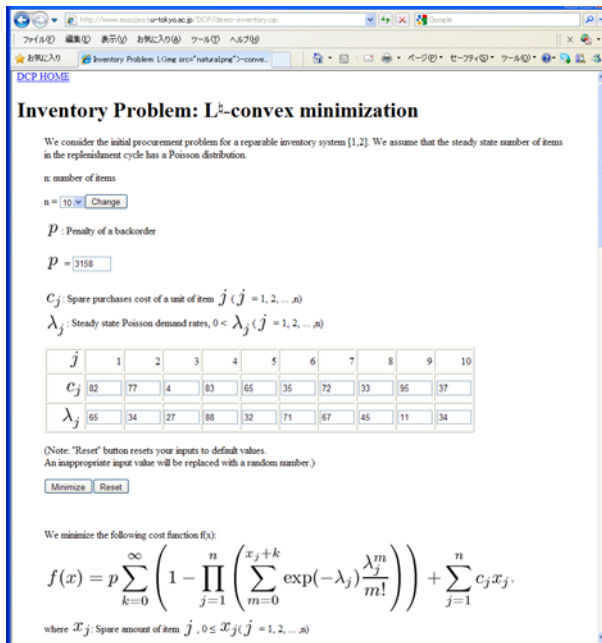


図 3 Online solver for an inventory problem (input)

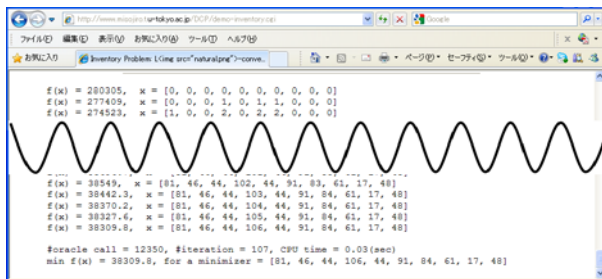


図 4 Online solver for an inventory problem (output)

### 3.3. コールセンターにおけるシフトスケジューリング

離散凸関数最小化のソルバを最適化エンジンとして組み込んだ、コールセンターにおけるシフトスケジューリングのアプリケーションを開発して、オンラインアプリケーションとして公開した。

アプリケーションでは、各時間区間の客の到着率  $\lambda_i$ 、オペレータのサービス率  $\mu$ 、客を待たせる時間の限界の基準値  $c$  などのパラメータを対話的に入力し (図 5)、最適化を実行すると、各シフトに配置するオペレータの最適な人数

と、その際のサービスレベルが表示されるようになっている (図 6)。

ここで用いたモデルは、Koole–Sluis [3]のモデルで、サービスレベル  $S(y)$  の具体形は、待ち行列モデル  $M/M/n$  に基づいて定められている。Koole–Sluis [3]では、 $-S(y)$  がマルチモジュラ (multimodular) 関数と呼ばれる離散凸性を有することを指摘し、ヒューリスティクスに基づく最適化手法を提示した。離散凸解析の理論研究により、マルチモジュラ性は  $L^{\natural}$  性と等価な概念であり、マルチモジュラ関数と  $L^{\natural}$  凸関数の間には、変数変換を通じて 1 対 1 対応があることが知られている [10,11]。この事実により、Koole–Sluis のモデルは  $L^{\natural}$  凸関数の制約なしの最小化問題を解くことで、厳密解を効率よく求めることができる。

本研究で開発したオンラインアプリケーションは、利用者が対話的にパラメータ入力・最適化を行って瞬時に結果を得られる範囲の問題サイズに対して提供しているが、独自のシフト構成やさらに大規模なスケジューリングを必要とする場合は、[7,8]の研究を基にして開発された離散凸関数最小化 ODICON [20] をダウンロードして利用者のローカル環境で最適化を実行することができる。

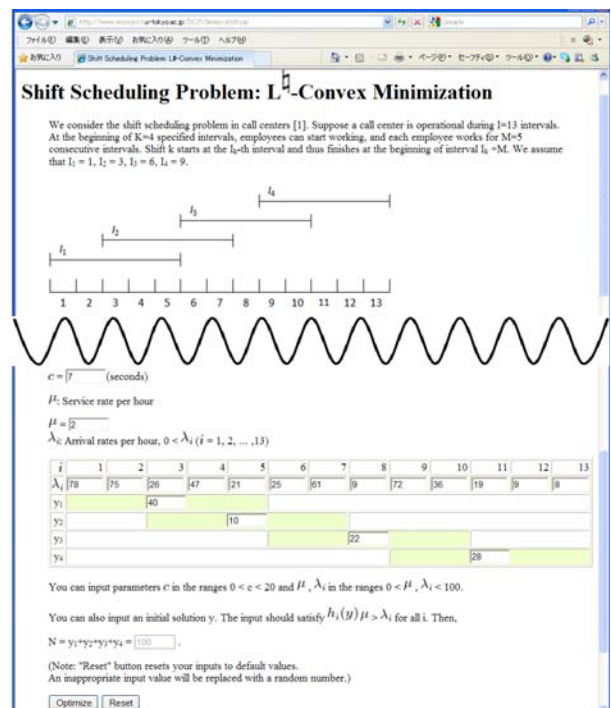


図 5 Online solver for a call center shift scheduling problem (input)



```

f(x) = 0.313291, x = [40, 50, 72]
f(x) = 0.269544, x = [41, 50, 73]
f(x) = 0.232883, x = [42, 50, 74]
f(x) = 0.202506, x = [43, 50, 75]
f(x) = 0.177634, x = [44, 50, 76]
f(x) = 0.157524, x = [45, 50, 77]
f(x) = 0.138162, x = [45, 50, 78]
f(x) = 0.122126, x = [46, 50, 79]
f(x) = 0.106286, x = [46, 50, 80]
f(x) = 0.0935387, x = [46, 50, 81]
f(x) = 0.0810925, x = [47, 50, 82]
f(x) = 0.0712482, x = [47, 50, 83]
f(x) = 0.0621449, x = [48, 50, 84]
f(x) = 0.0553925, x = [48, 50, 85]
f(x) = 0.0500143, x = [49, 50, 86]
f(x) = 0.0472748, x = [49, 50, 87]
f(x) = 0.0464528, x = [49, 49, 87]
f(x) = 0.0464528, x = [49, 49, 87]

#oracle call = 238, #iteration = 17, CPU time = 0.02(sec)
min f(x) = 0.0464528, for a minimizer = [49, 49, 87]

N = 100
x[1] = 49
x[2] = 49
x[3] = 87
x[4] = 100

y[1] = 49
y[2] = 0
y[3] = 38
y[4] = 13

```

図 6 Online solver for a call center shift scheduling problem (output)

#### 4. おわりに

本稿では、離散凸解析理論の成果を応用分野の研究者・実務家が利用できるようなという目的で各種ソフトウェアの開発・公開が進められている DCP プロジェクト [19] の一端を担う、離散凸最適化に関連するアルゴリズムとそれを紹介するデモンストレーションソフトウェアの最近の開発状況について報告した。離散凸解析における最新のアルゴリズム理論を利用しやすい形で公開された初めての試みであると同時に、既存の方法では多項式時間による解法が用いられていなかった在庫管理、シフトスケジューリングの応用分野において、離散凸解析理論の進展により効率的な多項式時間求解が可能となった事例を、理論の詳細を理解せずともその意義を享受できるよう開発し、公開したものである。

DCP プロジェクトは発展途上の段階であり、より広範な応用分野に対してアルゴリズムの有用性を示すソフトウェアを開発・公開していくことが今後の課題である。

#### 参考文献

[1] M. Begen and M. Queyranne, “Appointment Scheduling with Discrete Random Durations,” *Mathematics of Operations Research*, Vol. 36 pp. 240–257, 2011.

[2] S. Iwata, L. Fleischer, and S. Fujishige, “A Combinatorial Strongly Polynomial Algorithm for Minimizing Submodular Functions,” *J. ACM*, Vol. 48, pp. 761–777, 2001.

[3] G. Koole and E. van der Sluis, “Optimal Shift Scheduling with a Global Service Level Constraint,” *IIE Transactions*, Vol. 35 pp. 1049–1055, 2003.

[4] B.L. Miller, “On Minimizing Nonseparable Functions Defined on the Integers with an Inventory Application,” *SIAM J. on Appl. Math.*, Vol. 21, pp.166–185, 1971.

[5] S. Moriguchi and K. Murota, “Discrete Hessian Matrix for L-convex Functions,” *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E88-A, pp. 1104–1108, 2005.

[6] S. Moriguchi, K. Murota, and A. Shioura, “Scaling Algorithms for M-convex Function Minimization,” *IEICE Transactions on Fundamentals*, Vol. E85-A, pp. 922–929, 2002.

[7] S. Moriguchi, A. Shioura, and N. Tsuchimura, “M-convex Function Minimization by Continuous Relaxation Approach—Proximity Theorem and Algorithm,” *SIAM Journal on Optimization*, Vol. 21 pp. 633–668, 2011.

[8] S. Moriguchi. and N. Tsuchimura, “Discrete L-convex Function Minimization Based on Continuous Relaxation,” *Pacific Journal of Optimization*, Vol. 5 pp. 227–236, 2009.

[9] 室田 一雄, 離散凸解析, 共立出版, 2001.

[10] K. Murota, *Discrete Convex Analysis*, SIAM, 2003.

[11] 室田 一雄, 離散凸解析の考えかた, 共立出版, 東京, 2007.

[12] K. Murota and A. Shioura, “Fundamental Properties of M-convex and L-convex Functions in Continuous Variables,” *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E87-A, pp.1042–1052, 2004.

[13] J.B. Orlin, “A Faster Strongly Polynomial Algorithm for Submodular Function Minimization,” in *Integer Programming and Combinatorial Optimization*, 12th International IPCO Conference, Ithaca, NY, USA, June 25-27, 2007, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 4513, eds. M. Fischetti and D. Williamson, pp. 240–251, Springer, Berlin, 2007.

[14] A. Schrijver, “A Combinatorial Algorithm Minimizing Submodular Functions in Strongly Polynomial Time,” *J. Comb. Theory, Ser. B*, Vol. 80, pp. 346–355, 2000.

[15] A. Shioura, “Fast Scaling Algorithms for M-convex Function Minimization with Application to Resource Allocation Problem,” *Discrete Appl. Math.*, Vol. 134, pp. 303–316, 2003.

- [16] A. Tamura, “Coordinatewise Domain Scaling Algorithm for M-convex Function Minimization,” *Math. Prog.*, Vol. 102, pp. 339–354, 2005.
- [17] 田村明久, 離散凸解析とゲーム理論, 朝倉書店, 東京, 2009.
- [18] P.H. Zipkin: “On the Structure of Lost-Sales Inventory Models,” *Operations Research*, Vol. 56, No. 4, pp. 937-944, 2008.
- [19] K. Murota, S. Iwata, A. Shioura, S. Moriguchi, N. Tsuchimura, and N. Kakimura, DCP (Discrete Convex Paradigm): <http://www.misojiro.t.u-tokyo.ac.jp/DCP/>
- [20] 土村展之, ODICON: <http://www.misojiro.t.u-tokyo.ac.jp/~tutimura/odicon/>

# 遠隔ワークショップを介した 防災まちづくりの支援環境に関する実践報告

佐々木一晋\*・脇田理人\*\*・山家京子\*\*\*

## Development of Community-based Workshop for Disaster Mitigation with Remote Supporting Tools

Isshin Sasaki\*, Masato Wakita\*\* and Kyoko Yamaga

### Abstract

The intention of this research is to explore the new possibilities of the workshop with real-time text and movie sharing. We put into practice as two workshop sessions, Remote guided tool and Disaster simulation game. The process of two workshops behind a resident's observation was analyzed as compared with the ordinary way of workshop without any sharing service. In the process of remote workshop some site-oriented questions were abstracted from the site-oriented movie, and we developed new view types that could be shared with each participants. Finally in two parts of experimentation, the technical based problems to solve and the practical uses of remote workshop were found to be worth considering.

Keywords: Workshop, Support tools, Remote participation

### 1. はじめに

#### 1.1. 背景

近年, facebook や Twitter<sup>注1</sup>に代表されるソーシャルメディアの多くが携帯情報端末を介して広く活用されている。こうした携帯情報端末を介したコミュニケーション・サービスの主な特徴は, ユーザーが立ち会う“特定の場所”に関連する情報(テキストや画像・動画)<sup>注2</sup>を個別に発信することが可能である点, ならびに遠隔地から他のユーザーの投稿情報を同時に閲覧・共有することが可能である点にある。また携帯情報端末が携帯化・高機能化することにより, 一個人であっても簡単にテキストや音声, 画像や動画を発信・共有することが可能になっている。また, 東日本大震災直後においては, 電話回線による情報伝達が極めて困難である一方で, インターネットを活用した情報通信サービスは比較的機能しており, その冗長化されたシステムの有用性が再確認されることとなった。こうした状況下で, 地域コミュニティにおける自主的な地域防災活動やまちづくり活動の一助として, コミュニケーション・サービスを活用した実践的な手法が期待されている。

#### 1.2. 目的

本稿は, 携帯情報端末を介したコミュニケーション・サービスを地域防災ワークショップ(WS)に組み込み, 新たなまちづくり支援の枠組みを提示することを試みる。特定の地域や場所に基づく情報を発信するユーザーと, 遠隔地からそれらの

情報を取得・活用を試みる不特定多数のユーザー間の情報伝達のプロセスに着目し, WSの検証と課題抽出を行うことを目的とする。本稿のWSは, 遠隔地における現地情報を撮影班と会場参加者(地域住民)で共有を試みる「遠隔まち歩きWS」と, 遠隔地の想定災害状況を共有して屋外活動の協力を試みる「遠隔防災WS」の2つからなる。遠隔防災WSはDIG(災害図上訓練)を実空間で展開するものであり, 想定される災害情報を現地情報に置き換えて共有することで, 災害時の対応を想定することを目的としている。

#### 1.3. 既往研究

地域コミュニティにおける住民間の情報共有や合意形成を目的とするワークショップ(以下WS)は, まちづくりの現場で広く実施されており, なかでもまち歩きは, 地域資源や課題を発見し共有する手法として実施されている。まち歩きで得た情報や知見は地図に書き込んだり写真を添付したりして点検地図としてまとめられ, 情報共有が図られる。点検地図は書き込みや写真添付の作業を伴う際に情報の再確認がなされ, 視覚的かつ触接的な成果物が得られる点で情報共有に大変効果的である。しかし, 紙媒体での成果物においては取得情報の個別の履歴や属性を一括して処理することは困難であり, まち歩きWSに参加できなかったメンバーと情報共有がなされにくいなど課題も残る。また, これまでWSなどで行われてきた防災教育・情報共有ツールとしてのゲーミングでは, クロスロード<sup>注3</sup>や防災すごろく<sup>注3</sup>が開発されてい

Received on September 30, 2012

\*産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

\*\*清水建設, Shimizu Corporation

\*\*\*神奈川大学, Kanagawa University

る。これらのツールの多くは、防災上の知識を学び、防災意識を高めることを目的として作成されたものであり、地域固有の防災情報を組み込んだものではなく、実空間における防災情報への対処・共有のあり方とは大きく異なるものである。

近年、情報技術の普及とともに、WS における情報共有を支援するツールの活用が試みられている。静止画を用いる研究では、加賀ら<sup>2)</sup>が GPS カメラ付き携帯を利用し、まち歩きで撮影した画像とともに付加情報を収集し、3D 空間モデルを用いて画像表示を行える景観評価システムを構築しており、バーチャルリアリティを活用した事例では、有馬ら<sup>3)</sup>や大畑ら<sup>4)</sup>が景観シミュレーションによるイメージ共有、合意形成を支援するシステムを開発し、意見の具体化や空間把握に効果があることを示した。WebGIS を活用した事例では、阿部ら<sup>5)</sup>が WS の事前・事後でも利用可能なシステムを構築し、意思伝達やイメージ共有に効果がみられたことが報告されている。これらの研究は、情報技術を活用することで、情報の入手ならびに二次利用を容易にするという点に優れているが、専用にプログラミングしたソフトウェアを使用しており、実施には高度な専門的知識と設備が求められることが課題である。また、建築・都市計画分野においては、本稿で扱うリアルタイム動画共有サービスやテキスト共有サービスを WS 支援に関する研究は未だみられない。

## 2. WS 支援環境の枠組み

本稿で提示する WS 支援環境は、遠隔地の情報の把握を可能にする「遠隔まち歩き WS」と、遠隔地の想定災害状況に応じて屋外活動の協力を試みる「遠隔防災 WS」の2つである。これらの支援環境を用意するに当たっては、2009 年度 WS における住民の発言や住民アンケート調査、防災マップに掲載した防災関連の地域情報の活用を試みている。具体的には、遠隔まち歩き WS においては、遠隔地の撮影ルートの選定の際の判断材料、遠隔防災 WS においてはルール・タスク設定やコンテンツの設計条件に採用した(図 1)。

## 3. 遠隔まち歩き WS の実証実験

### 3.1. 遠隔まち歩き WS 支援環境

遠隔まち歩き WS では、撮影班が「USTREAM」を活用して遠隔地の現地映像を会場内に配信を行う。会場(自治会館)に集まる参加者(地域住民)は 3 班に分かれ、投影される現

地映像を視聴しながら、関連する発言が記録されていく。各班の参加者の発言は、記録係を通じて「Twitter」に投稿され、会場内に投影される現地映像の隣に各班のコメントの一覧が投影される。また、Twitter に投稿された各チームの発言は撮影班も確認することが可能であり、適宜、会場内の発言内容に応じて撮影ルートが変更されることを想定している(図 2)。これらの既存サービスを使用した理由は、Twitter についてはテキスト共有の操作方法が単純であり、API<sup>注 5)</sup>を活用した独自ツールへの拡張性を有している点にある。また、USTREAM については、ビデオカメラとインターネットに接続可能な PC、もしくは近年普及しているスマートフォンなどと連携することで、手軽に生中継動画を配信できる点にある。

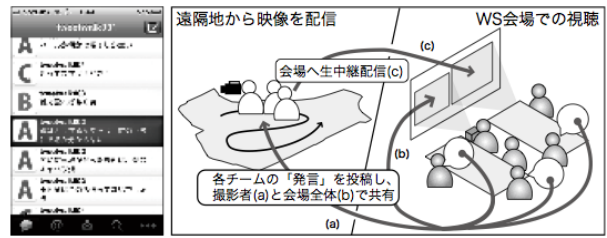


図 2 遠隔 WS 支援の概念図

### 3.2. 実験の目的と概要

2010 年 12 月、横浜市神奈川区 S 地区を対象として、遠隔地からの現地情報の取得・共有手法に関する実証実験を行った。参加者は、地域住民 14 名に学生を加え、延べ 32 名である。実験中の参加者の発言、実験後に実施したアンケート調査、参加者の自由意見をもとに WS の検証を行った。WS の目的は、2009 年度の住民アンケート調査で得られた防災関連の地域情報を、現地から配信される動画をもとに確認すること、ならびに具体的な改善策などを議論・共有することである。

事前の住民アンケート調査で得られた「(住民が)関心をもつ防災関連の地域情報」を一巡するように撮影ルート(仮)を選定する一方で、実際には、会場内の参加者の発言によってルート変更や現地映像が調整される旨を参加者に事前に周知した。現地映像の生中継は約 33 分間配信され、参加者は会場内で A, B, C の 3 つの班に分かれて現地映像を視聴した。危険箇所に関する情報や気付いたコメントなどが現地映像と対応づけて記録されていく。1 班は地域住民 4~6 名で

ワークショップ支援環境	ワークショップの取り組み	ワークショップの作業項目	作業プロセス・使用評価について
第 2 回 WS (2010年12月11日) <b>遠隔まち歩きWS</b> 住民アンケート調査 (12/3) の回答結果を、現地から生中継で会場に報告。会場で視聴する参加住民間で意見の抽出・共	危険想定箇所・移動予定ルートの抽出 ↓ リアルタイム動画・テキスト共有 サービスを活用した遠隔まち歩き支援ツール	2010 年度第 1 回 WS (12月3日) <b>住民アンケート調査</b> ・防災マップについて ・災害の備えについて ・地域の危険度について (地図に記載) ・S 町の防災について	アンケート調査 (2010 年 12 月 11 日) ・動画の生中継について ・発言の画面表示について ・総合評価 ・自由意見 (記述)
第 3 回 WS (2011年1月15日) 2009 年度 <b>防災マップ</b> S 町の防災マップを作成	避難想定箇所 ↓ 危険想定箇所の提供 ↓ 防災マップ作成 WS ↓ 現地フィールドワーク ↓ 避難想定箇所 ↓ 危険想定箇所の提供 ↓ 実空間における 防災シミュレーション WS	・現地把握および現地確認・調査 ・ポストイットによる記述/分類 ・地図上に記載情報の確認・修正 ・印刷・対象地域へ ・アンケート調査 ↓ 防災マップの基礎情報を用いてタスク設定を行う。 ・実地での災害時の追体験 ・アンケート調査	アンケート調査 (2009 年度実施) ・防災マップについて ・災害の備えについて ・地域の危険度について ・防災、まちづくりについて ↓ アンケート調査 (2011 年 1 月 15 日) ・ゲームのツール評価、体験評価 ・ゲームの有効性/可能性について ・自由意見 (記述)

図 1 遠隔ワークショップ支援環境の構築に向けた実験プロセス



では、「皆で意見の共有できる」(F-27)との回答がある一方で、ポストイットの方が見やすいとする回答も多い。「画面表示の際に時系列で表示されることで話題がバラバラなる」(F-26)といった意見もあった。総合評価については、動画の生中継及び発言の画面表示とも「役に立つ」と答える参加者が多く、今回試みた遠隔 WS 支援ツールが一定の評価を得られたといえるだろう。

表1 アンケートの自由筆記欄の回答

番号	動画の生中継に関する回答	番号	Q18	Q18の回答理由
F-1	自分で行ったことのない場所が見られるのが良かった。	F-44	1	ポストイット+画面で各チームの発言が分かる。会話できる。
F-2	自分が知らない視点のみ取りだりできて良かった。	F-45	4	わかりにくいところがありポストイットの方がなれている。書いた字の方が見える。
F-3	他人の視点で見られる。	F-46	4	パソコンは記憶に携りにくい。
F-4	主観(実際にいったときに)違う。	F-47	2	他の人の意見をとらえやすいと思う。
F-5	カメラ側が伝えてくることは、与えられる情報が一方的。	F-48	1	意見共有できる。
F-6	目で見る画面を見ることで、自分の気が付くような気がした。	F-49	1	現実に見てみたいとわからないから(準備を考えながら)
F-7	知らないところで気が付く。見る考えに集中できる点がいい。	F-50	2	意見共有できる。
F-8	カメラの目線と自分の目線は違い、違和感がある。	F-51	2	読みやすい
F-9	同じ場所でも人数で立ちと人それぞれ着目している箇所が違ふ。多様な意見が期待できると思う。	F-52	2	誰で意見の共有ができる。
F-10	時間差が少なすぎると、見たい所に届かない。	F-53	3	字が小さくてあまり見えなかった。
F-11	まち歩き+動画+まち歩き。その間に机上ミーティングをかきね、あらためてまち歩きをする。	F-54	1	必ず参加していれば大いに役に立つと思う。
F-12	はじめての体験で驚いた。老人や障害者にとってとても役に立つと思う。			
F-13	はじめての経験で動画中継が楽しかった。			
F-14	動画の方が道が広く見えた。			
F-15	知らない所が出てくるとどこかわからなくなつてつい知らぬ所も多くあると気づいた。			
F-16	動画と実際に見るのでは、スケールのギャップがある。			
F-17	レポート役の話しが良かった。			
番号	発言の画面表示に関する回答	番号	その他実験における新しい発見	
F-19	誰が見ているのかわかりやすい。分らないところが見える。	F-55	ホワイトボードだと手が挙げていくが、会話しやすかった。	
F-20	ポストイットを使うと反応しやすい	F-56	同時に発言できるのはいい。	
F-21	時間の節約になる。	F-57	前の画面だけを見るのが良い。撮影ルートを事前に知らず、ルートが分かるようにすると画面に集中できる。	
F-22	はじめて参加して進んでいる。こういうやり方は新鮮。	F-58	画面を見るときで、家と家との間隔が狭く、地震の後の火災が心配と改めて思った。	
F-23	はじめで参加して進んでいる。こういうやり方は新鮮。	F-59	狭い地域でも意外と知らない場所がある。	
F-24	位置が分かるのはポストイット	F-60	自分ではいけない場所にも行った気になれるのでとても楽しかった。	
F-25	画面に表示するのはポストイットの方が見やすい	F-61	被災者が向町の事を一生懸命考えていてありがたいと思った。	
F-26	ポストイットの方がスピードで1つの話題に対する受け答えがわかりやすい。画面はバラバラでわかりにくい。	F-62	画面中継が楽しかったし分かりやすい。	
F-27	とても良いと思う。皆で経験の共有ができる。			
F-28	画面は文字が小さい			
F-29	意見点は多い。			
F-30	正確にまとめてあるのが助かる。			
番号	Q17	Q17の回答理由		
F-31	1	話し合いに役立つ。		
F-32	2	画面だけ見ると良い。		
F-33	2	視野が狭い。		
F-34	3	話し合いが活発に効率的に行える点でよいと思った。		
F-35	3	ただ実際に実際に自分の足で立つほうがより深く実情を伝えられると思う。		
F-36	1	大勢で移動しそれぞれ意見を出しあってもまとまらないと思うので動画の方が共有でき、意見を凝縮できるのが大変有効だと思う。		
F-37	1	自分が思うことを指示できる。		
F-38	2	見る側がはじめての場所も出てくる。		
F-39	1	大勢で歩かなくても動画によって共有できる。		
F-40	2	わかり易く、はじめてでも楽しみな。		
F-41	4	動画の方が良い。うまくいく。		
F-42	4	生中継といっても時間のズレがあった。		
F-43	1	40年この地で暮らしているが町内のすみずみまであまり知らない所が多い。		

(3)参加者の自由意見

実験後に、参加者が自由に感想や意見を発表する場を設けた。そこで得た意見を表2にまとめる。「未知の場所を確認できる」(O-4,O-5)「視点の共有は新発見」(O-7,O-8)という肯定的な意見を得た一方で、「映像の違和感」(O-9)「現在位置の分かりにくさ」(O-10,O-11)が挙げられた。アンケート調査の自由筆記意見同様、発言の画面表示はポストイットの方が良いとする意見も見られた(O-13,O-14)。

(4)まとめ

遠隔まち歩き WS を通じて、普段の視点とは異なる他者の視点を共有できることの楽しさや、局所的な領域を参加者全員で共有できる点、現地映像に言及する発言に対する発言が引き出される点で一定の評価を得ることができた。電柱のスパンについてより具体的な言及をする参加者の発言が見受けられるなど、多様な発言を共有できるとともに、映像と発言が対応しているので、話題が限定されやすいといえる。また、「(1)参加者の発言」でも記したように、話題と映像が連動して展開されることで、より具体的な発言や災害時を想定したイメージなど発言がなされ、活発な議論が行われていることが分かる。一方、課題として、投影される映像の視点・視角

が目視とは異なり違和感を感じる点、道が広く見えるなどのスケール感に関する不満を挙げる意見も確認できた。人や物、指差しなどの配信映像の中にサイズの比較対象となるオブジェクトを映し出すなど、より説明的な映像配信が必要とされる場面も確認できた。また、撮影時の現在位置の分かり難さから、画面に集中できないといった意見があった。GPS を活用して位置情報と配信映像を連動して提示するなどの今後の展開も考えられる。また、タイムラグの発生によって、撮影者が会場の発言に応じるのに手間取る場面があり、それを不満に感じる参加者もいた。発言を映像に反映させるまで数十秒の時間を要したが、映像自体のラグが概ね 5, 6 秒(UQ-wimax)だったことから、運営側の行動時間がラグの主な要因と考えられ、撮影班の移動速度の調節と記録役の発言入力作業などにより改善されるものと思われる。

4. 4.遠隔防災 WS

4.1. 遠隔防災 WS の作成

テキスト共有サービスを活用することで、屋外における移動中の情報交換を可能にし、より実践的な災害時のシミュレーションを可能とする実地版の DIG(災害図上訓練)を提示した(図7)。ゲームの作成に当たっては、2009 年度 WS「S 町の防災を考える会(図1)」において防災マップ作成時に得た地域の防災情報「遠隔まち歩き WS」の実証実験で得た現地情報と、住民アンケート調査から得た「地域住民が関心をもつ危険箇所」を「ルール」や「タスク」の設計に活用した。参加者が災害時の体験を想定しながら、地域の防災情報の確認ができるように地域情報の選定を行い、災害時における住民間の協力関係や課題を想定することなど、今後の地域課題に対する対策を考えることを促す仕掛けを組み込んでいる。

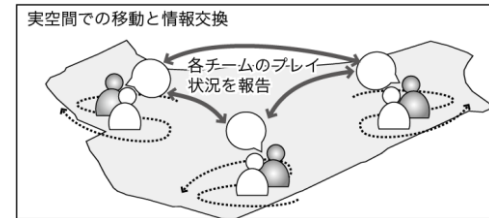


図7 遠隔防災 WS の概念図

4.2. 遠隔防災 WS の概要

2011 年 1 月 15 日に横浜市神奈川区 S 地区のにおいて、住民 6 名の参加者に学生を加えた延べ 12 名でワークショップを行った。実験後にはアンケート調査を行い、防災情報の確認作業ならびに災害時の行動想定について検証を行った。WS では、参加者を A,B,C の 3 つの班に分け、1 班は、プレイヤーとしての参加者 2 名に学生 2 名がつき、それぞれ記録係と報告係を担当した(図8)。3 チームはそれぞれ異なるスタート位置からゲームを開始した。



図8 1チームの構成

(1)ルール設定

参加者は各班に分かれて、制限時間内の獲得ポイントを競うチーム対抗戦で進められる。それぞれのチームは、指定地域内を自由に移動しながら、「大地震が発生、余震が続く状態」を想定して地区内に設定したタスクを発見・処理することで得られる「災害時の経験=ポイント」を集めていき、制限時間 50 分内にチームが獲得したポイント数を競う。

(2)タスクの設定

タスクは、「災害が発生する危険箇所」と「災害時に役立つような施設」を発生場所とし(図9)、チームがその地点を通過したところで各チームに同行する記録係がタスク発生を告知する。チームは、「災害を回避、生還する」、「他チームを救助する」、「災害時に役立つ備品や施設に向かう」といったタスク処理をすることでポイント入手する(表 3)。また、1 つのタスク処理が終了する度に、「場所」、「タスク内容」、「結果」、「ポイントの変動」を同行する記録係の学生が記録し、同時に Twitter へ投稿する。この投稿により、それぞれのチームは他のチームの動向を共有する。また、タスク処理において、一定の確率で「他チームの救助を得るまで待機しなければならない」というペナルティを発生させ、「他チームを救助することでポイントを獲得できる」ルールを設けた。

これは、それぞれのチームが独自に意思決定を行いながらも、行動を共有することで相互に影響し合い、協力関係を築くように意図しており、見かけの目的である「ポイント争奪」を通して「自助・共助の大切さと被災のリスク」をゲームから体験できるように狙ったものである。

4.3.WS の報告と検証

実験後に参加者へアンケート調査を行い、参加者 6 名から回答を得た。設問と結果を図 11 に、筆記欄の回答を表 4 に示す。Q1,Q2,Q3,Q6 の回答結果から、ゲームによって、楽しみながら防災情報の確認や新たな発見を得ることに効果がみられることが分かった。Q5 筆記欄でも「防災倉庫の位置が分かった。地図より記憶に残る」「危険箇所が多く、食料品店の少なさが分かった」「普段と違う目線で新たな発見が多かった」といった回答を得ている。一方で、Q9 筆記欄で挙げられた回答「救助待ちの時間が長い」のように、参加人数の少なさやタスクの設定によって待機時間が長くなるなどのゲーム進行が滞る場面もみられた。しかし、待機時間という制限は、参加者の意思決定に影響するとともに、実際の災害時において、被災地での行動はリスクが伴うことや災害時の自助・共助の大切さへの気づきを促す意味で重要な要素であると考えている。アンケート調査でも「自助・共助の大切さは認識できた」という意見が得られたことから、Twitter の利用法の周知や簡易化に加え、参加人数の変動にも対応できるようなルールの柔軟さが今後地域で実践していくための課題と考えられる。



図9 タスクの配置

表3 タスクとポイント

タスク内容	タスク処理	ポイント
災害に遭遇	サイコロが白の面を出し、生還する	1
	サイコロが赤の面を出し、ケガしてしまう	-1
他チームを救助	他チームが待機している地点に到達する。	3
	小・中学校	10
災害に役立つ備品や施設に向かう	医療関係の施設	5
	防災倉庫やその他防災系の施設や装置	5
	食料品店	5
	自動販売機	1

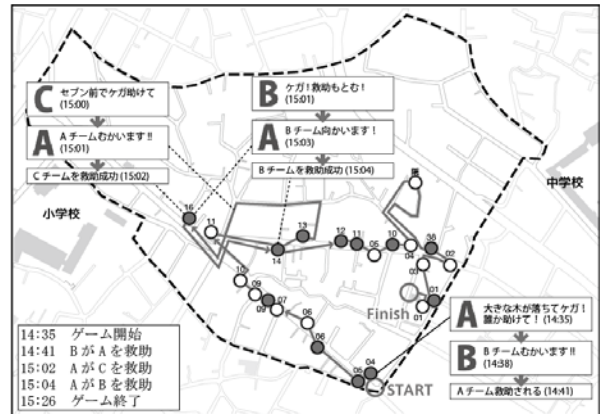


図10 Aチームの行動履歴

A チームは、対象地区内の商店や医療施設などが並ぶ、一番大きな通りをスタート位置とし、町の中心部を主に移動、66 ポイントを獲得した。町内で通称中通りと呼ばれる通りからスタートした B チームは、3 チームの中で最も多くのタスクを処理し、83 ポイントを獲得した。最も北からスタートした C チームは、最も行動範囲が広く、タスク処理数では B チームに劣るものの、ポイントの大きいタスクを複数処理したため、B チームと同じく 83 ポイントを獲得した。それら状況は、報告係の学生によって Twitter に随時報告がなされたことで共有された。また、タスク処理によってペナルティを受け、他チームの救助を要請する報告が Twitter に投稿されたことで、参加者が救助に向かうためにルート変更を行うといった行動が見られた。特に A チームは、救助に向かうルート変更を行ったために、町の中心部を行き来したことが、行動範囲が小さくなった要因といえる。

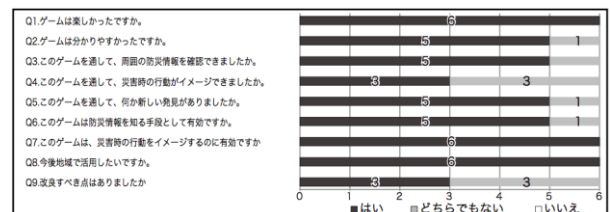


図11 遠隔防災 WS に関するアンケート調査結果

図4 自由筆記欄の回答

Q5の筆記回答  
このゲームを楽しみながらもっと多くの人に知ってもらって活用したい。  
防災倉庫の場所がわかって良かった。地図で見ると歩いて自分の目で見たほうが頭に残る。  
危険な場所が思ったより多く、また、食料品店が少ないことが分かりました。体験を通して得られたことを町内の一人でも多くの方々にアピールしていくのはどうしたら良いかが課題です。  
自助と同時に共助が大切であることは認識できた。  
普段の目線とは異なった場所(特に目線より上)に新たに発見できたことが多かった。

Q9の筆記回答  
今後子供を対象としたゲームを考えて活用したい。  
twitterの入力が年齢層によって違う。学習、練習する必要があるように思う。  
シニア層にはまだツイッターがポピュラーではないので、慣れるしかありませんが、すごくいいアイデアだと思います。  
被災した時の対処が助けを求めるのは良いが救助を待つ間、動きが止まってしまうので、ペナルティ(仮に-1)とあわせてゲームを先に進めた方がスムーズにいくと思う。  
もっと大人数で実施する機会があればいい。ゲーム自体は盛り上がりと思う。

5. まとめ

本稿で明らかになったことを以下に示す。

- リアルタイム動画・テキスト共有サービスを活用した「遠隔まち歩き WS」の支援環境を提示した。成果としては、会

場の参加者と遠隔地の撮影者による対話的な手続きに従って現地映像の配信環境を整備し、地域住民を交えて実践的な活動を行った。遠隔地から配信される現地映像と対応する発言を会場内に可視化することで、地域住民間の異なる視点や具体的な意見を引出し、災害時を想定した地域固有の課題を抽出することができた。また、配信映像のアングルやルート選定に関する参加者の間接的な発言が起点となり具体的な問題が発見されるケースなどが確認できた。課題としては、参加者の発言を撮影者に伝達するまでに生じるタイムラグならびに会場に映写する動画の撮影地点の指示説明への対応があげられる。運営側の柔軟な対応もしくは暫定の移動ルートの事前説明などが必要であろう。また、インターネットが接続された環境であれば場所を移動することなく、WS 会場内で配信映像を視聴しながら会場の発言を閲覧できるため、今後は、高齢者やまち歩きのような屋外活動が困難な住民や子育て中の親など、様々な生活環境を過ごしている参加者を交えることで、これまで以上に、具体的かつ多様な意見を盛り込んだ WS が実現できることを期待したい。

- 2) リアルタイムテキスト共有サービスを活用し、実空間における「遠隔防災 WS」の支援環境を提示した。移動中でも各班の被災状況を共有する環境を整えることで、地域社会における実地的な DIG(災害図上訓練)として運用が可能になった。ゲームを通して対象地域内の防災情報の抽出方法ならびに災害時の自助・共助のあり方への認識に変化がみられる一方、WS では各チームの進捗状況を Twitter へ投稿する作業は、参加者に代わって補助役である学生によって行われていた。チーム内の情報伝達や位置情報の確認・記録作業に応じてそれぞれのメンバーが個別に分担対応していたが、実際の災害時には WS 参加者が自らで情報の発信・共有を行うことが望ましいため、より簡便かつ有効な手法の検討が必要である。また、参加した地域住民が少数であったことやそれ起因して WS の進行が滞る場面もみられた。こうした参加人数の増減や作業時間や地域固有の課題への対処可能な、より柔軟なルールへと修正していくことが課題である。
- 3) 今後は防災フェアなどの地域イベントと連携して、より多くの住民が参加し、具体的な地域情報を抽出・共有するためのツールとして利用されることを期待される。

## 参考文献

- [1] 矢守克也・吉川肇子・網代剛:防災ゲームで学ぶリスク・コミュニケーション,ナカニシ出版,総頁数 175,2005
- [2] 加賀有津子,宮川淳,河口将弘,呂煜鉉,福田知弘:GPS カメラ付き携帯電話を利用した地域景観評価システムの構築,第 28 回情報・システム・利用・技術シンポジウム 2005,PP.55-59,2005
- [3] 有馬隆文,百合野高宏,日高圭一郎:まちづくりワークショップにおけるバーチャルリアリティの活用とその評価—空間理解とイメージ共有のためのワークショップ支援システム,日本建築学会計画系論文集,第 617 号,PP.79-85,2007
- [4] 大畑浩介,有馬隆文,瀧口浩義,坂井猛,荻島哲:空間理解をイメージ共有のためのワークショップ支援システム—その 1 日本建築学会計画系論文集(617),PP.79-85,2007
- [5] 阿部陽介,大貝彰,鶴心治,加藤孝明,日高圭一郎,村上正浩,渡辺公次郎,郷内吉瑞:WebGIS 基盤の防災まちづくりワークショップ支援システムの有用性検証—その 1・2,日本建築学会大会学術講演梗概集,F-1,PP.791-794,2006

## 【補注】

注1) ブログ:個人や数人の班で運営され、日々更新される日記的なWebサイトの総称。SNS(Social Networking Service):人と人とのつながりを促進・サポートするコミュニティ型のWebサイト。Twitter:個々のユーザーが140文字の短文で投稿・閲覧できるコミュニケーション・サービス。

注2) USTREAM, <http://www.ustream.tv/>インターネットに接続可能なPCもしくはスマートフォンを用いて生中継動画を手軽に配信・共有できるサービス

注3) 他の防災に関するゲームとして、遊びながら毎月の防災の備えを確認できる「大ナマジン防災すごろく」やクイズ形式で楽しみながら防災知識が身に付く「ぼうさい駅伝」などがあり、幅広い年齢層を対象に複雑な防災マニュアルを分かりやすく学べる工夫がなされている。

注4) 住民アンケート調査は、横浜市S町に63ある班の班長(輪番制)を対象に、WSの一環として行った。内容は、主に防災に関する知識と危険箇所に関する認識をアンケート形式で問うものである。用紙は、町内会役員数名が直接班長宅を訪問し、趣旨を説明した上で配布した。不在の場合は、ポストインによる配布を行った。回収は、町内で行われる班長会議で行い、学生が集計した。回答数は40であった。(内、未記入1を含む)

注5) API(Application Program Interface), ソフトウェアを開発する際にプログラム上の手順を定めた規約の集合。

## 【謝辞】

実験を行うにあたり、ご参加いただきました、神奈川県横浜市S町自治連合会の関係各位に心から謝意を表します。



# フリーハンド・スケッチによる形態の操作と展開

福田 哲夫\*

## Idea generation for form used Freehand sketch

Tetsuo Fukuda\*

### Abstract

This paper is the method of the freehand sketch edited for the product design. The characteristics of this drawing method are blending of the perspective drawing and the thumbnail sketch. Then, it has the characteristics of this sketch that not only a product form and a functional expression but also the exterior and the interior can be expressed, too. This drawing method are based on the educational activity and training experience for forty years, to many students who aim for the product design, and the in-house designer in the various industry fields. Offering this methodology for all the people concerned with “Monodukuri”.

Keywords: Design process, Perspective, Freehand sketch, Reduced brush, Idea generation.

### 1. はじめに

本稿は紀要5号の続編としてまとめたものである。

これまで工学系の透視図法では、平面図を基にした立方体の作図法が基本として用いられてきた。静的で安定感ある視角からの描写は、建築物から家具類や家電等の生活用品の描写に向いている。

しかし携帯できるような小型のものは、全方位からの視角と評価が必要であり、水平面を保って観察される視角には余り意味がなく、描画時間も掛かりすぎる。また感性系のデッサンによる画法も、光と陰影を駆使して現実感を目指すのがこれにも時間が掛かる。

一方、一気呵成に描くサムネイルスケッチやイメージスケッチは、フリーハンドによるシンプルな線描法として主にデザインプロセスの初期段階で用いられており、クロッキーの画法と同様に概念描写として適している。これら透視図法とクロッキーとを統合した手法として、インダストリアルデザインやプロダクトデザイン向けの実践的な描画方法として解説をする。

化された輪郭だけの形態は、詳細が無くても特定の意味を持つイメージの伝達が可能となる。

この特徴ある輪郭だけの形態が、第三者に対して正しく伝達されるためには、構成学から基礎的な美的構成原理を学び、審美的な造形要素の単純化技術を養い、その評価にも十分耐える形態としてまとめあげる技術の習得が必要になる。

サムネイルスケッチからイメージスケッチまで、アイデアの展開には、このような大胆なシルエットでの概念構成が重要である。訴求したい最初概念を残しながら、詳細表現とともにアイデアを整理し、最終イメージまでの可視化を進めることができる。

スケッチは、漫画の世界でキャラクターを描くときのように概略な表現として細部まで描かず、単純でも魅力的、そしてエレガントな表現は十分可能となる。



図2: 特徴を捉えた単純な表現で理解を促す

### 2. 輪郭による抽象的描画と理解

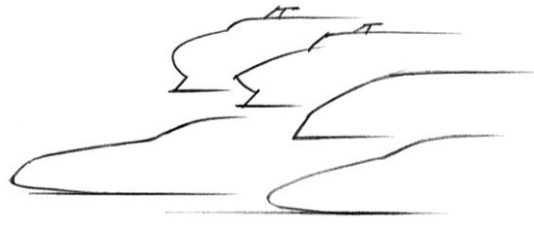


図1: 輪郭のみでも理解可能な抽象形

古くからの遊びには影絵がある。この極めて抽象

### 3. 線描の基本

フリーハンドスケッチの線描には、その性格上必ずしも正確さを要求しない。本稿ではむしろ的確なイメージの定着方法として、発想効率を上げることを狙いとした“省筆法”とともに、時間を掛けずに多くのアイデア展開が期待できる一気呵成の線描スケッチについて、“速筆法”と定義し解説をした。

Received on September 25, 2012

\*産業技術研究科, School of Industrial Technology, AIIT

### 3.1. 線の準備と姿勢

画面は図3のように水平より手前に傾斜させ、奥行き方向の歪みのないように描き易い角度に設定しておく。また歪みの確認には、机上ではなく壁面に掛け、水平方向の視線で確認をすると歪補正がしやすい。

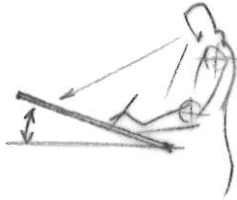


図3: 傾斜画面による描画姿勢

### 3.2. 線の描き方

筆記具は、図4のように親指と人差指と中指の三本の指で持ち、その掌に卵を握る要領で懐を大きく開けることで、微妙な表情のある線を描くことができる。

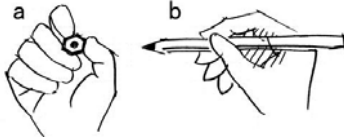


図4: 懐が大きく柔らかなグリップ

### 3.3. 円弧と直線の描き方

滑らかな運筆のコツは、線種を問わず肩と肘の力を抜き、手首と指先を固定して描くことである。

指先による手元の動きから、図5-a.b.のように大きな円弧を描くまでには、手首、肘、肩というふうに関節の長さを半径とすることで描ける。c.のように画面に水平線を描く場合には、円弧にならぬよう身体を腰全体で移動し、水平に筆を滑らせ描くことができる。

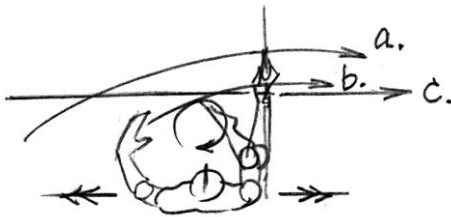


図5: 迷いがなく勢いのある線描

図6のように、画面上には1.起筆点を定めて筆を置き、到達目標点をイメージする。2.起筆点には視線を置かず、到達目標点に狙いを定めて、3.一気呵成の運筆をする。

白板に向かい大きな円弧を描く場合には、腕を伸ばし、描画面との距離に注意しながら、いずれも起点を注視したまま、一気呵成に描くことにより、起点に戻り、生き生きとして歪みの少ない運筆が可能となる。

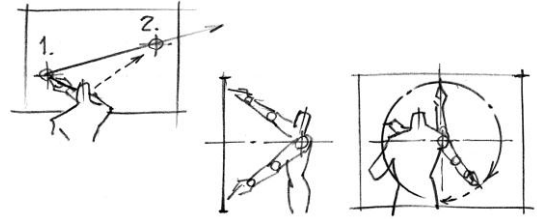


図6: 描画の姿勢

### 3.4. 曲線の描き方

1. 運筆のためのガイドとなる点を数点打ち目印を付ける。2. 視線は目の点ではなく常に行先の点を目標に移動させながら、淀みのない運筆を心掛ける。3. さらに滑らかな曲線は、これらの反復練習をすることで運筆イメージが腕に記憶され、下描きがなくても再現できるようになる。

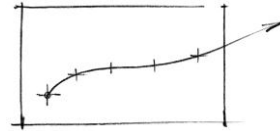


図7: 常に全体の流れを意識して運筆

## 4. 伝統的透視図法による描画

### 4.1. 図法用語の解説

以下、透視図法の図中解説として用いる語句について以下のように略称を示す。

1. 水平線…HL (Horizontal Line)
2. 消失点…VP (Vanishing Point)
3. 左側の消失点…VP-L (-Left)
4. 右側の消失点…VP-R (-Right)
5. 対角線の消失点…DVP (Diagonal VP)
6. 最近角…N (Nearest Corner)
7. 視点…EP (Eye Point)
8. 立位置…SP (Standing Point)

### 4.2. 伝統的透視図法による外観図の描き方

1. 立方体の平面図 a b c d は、基準の HL と接するよう任意の角度に描きその接点を n 点とする。

2. n 点からは、垂線を下ろし垂線上に立方体からの距離を SP として定める。

3. SP からは、平面図の a b, a d 両辺に平行線を描き、HL との交点に消失点 VP-L, VP-R を設ける。

4. 垂線上任意の位置には、立方体の一辺の長さ a-a' を定め、VP-L, VP-R へ向けて透視線を描く。

5. 平面図の b, d 点と SP 点を結び、HL との交点 b', d' からそれぞれ垂線を下ろす。

6. 透視線と HL からの垂線との交点から立方体を作図する。

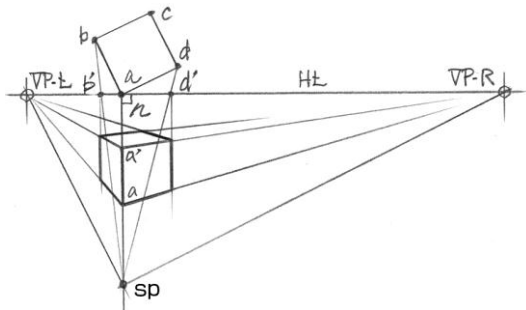


図 8: 伝統的透視図法

このように立方体は、伝統的透視図法により描くことはできるが問題点も多い。

1. あらかじめ左右の二消失点が定まらない。
2. 従って描画用紙の寸法が特定できない。
3. 描画角度や視点設定に自由度はなく不便である。等々の理由により、必ずしも実用的とはいえない。

## 5. 伝統的透視図法の限界を知る

### 5.1. 透視図理論と見え方の違い

透視図法は、近くのを大きく、遠くのを小さく描くことが基本にある。したがって図 9-b. のような列柱と観察者との距離の関係からは魚眼レンズで覗いたようになる。床や梁の線は曲線となり、高さも両端で短く、画面の周辺部では歪みが大きくなる。

しかし人間の眼には必ずしも b. のようには見え、透視線が曲線となるところを人間の脳は直線として c. や d. のように認識している。

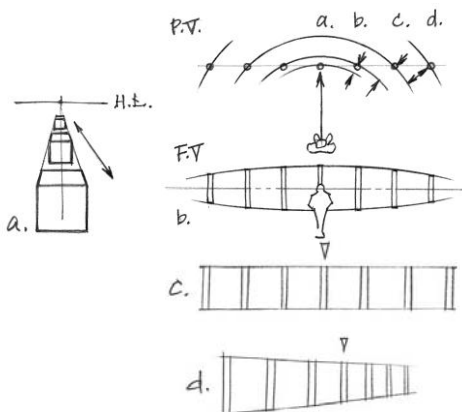


図 9: 透視図理論と実際の見え方の違い

このように三次元の立体描画は、補正が必要なまま二次元の平面上に表現されることから、正確な線としては画面上どこにも存在しないこととなり、補正が必要となる。

### 5.2. 透視図理論の矛盾

図 10 の円形や正方形の板について、a. は観察者の眼と同じ高さで水平に眺めていると仮定する。視線は水平状態から徐々に b, c と下降させ、d 付近ではそれぞれ正円や正方形となった後、e のような縦長の楕円や菱形へと変化する。縦横の軸比率は逆転し、徐々に歪みが大きくなっていくことが解る。

この場合、観察者は斜めから見ているので、b.~c.

までが理論的には合っている。d. は真上から見た状態で不自然となり、e. に至っては現実にはあり得ない形態ということになる。

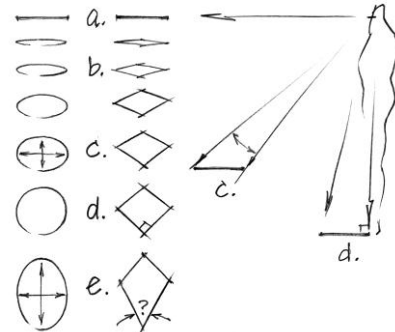


図 10: 描画の限界を知る

しかしスケッチの利点は、描画対象の特徴を増幅し、誇張や変形、そして第三の展開を暗示するなど有効な手法として活用することができる。このことは図 12. の例が示している。

### 5.3. 二消失点の距離と描画イメージ

二消失点の距離の違いは、描画対象の表現に大きく影響する。a は望遠、b は標準、c は広角とカメラのレンズ収差と同様に理解できる。d では歪みが大きく、最近角が  $90^\circ$  より狭く不自然となる。

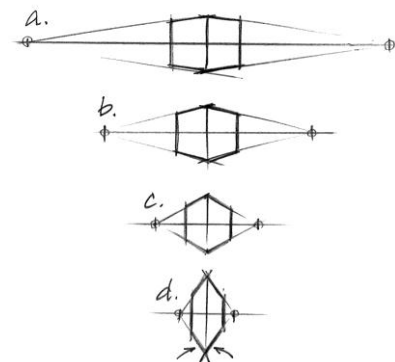


図 11: 二消失点の距離と描画イメージ

### 5.4. 透視図の限界を超えた表現

図 12-a. のビルは、二つの消失点  $VP-L, VP-R$  を直径とする円周上を大きく離れており、屋上先端部の歪みが大きいものの、高さが強調されて見える。

b. d. も a. と同様に円周上を大きく離れて歪みはあるものの、平行透視を基本に作図することで比較的歪みが少なく感じられる。c. の自動車は、ボンネット先端が二つの消失点  $VP-L, VP-R$  を直径とする円周上にあるため  $90^\circ$  に近く、また先端と後端に捻れが生じ歪みの大きいことが解る。

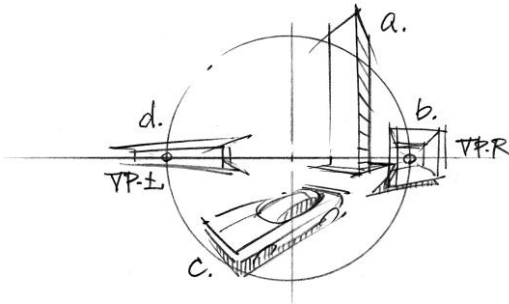


図 12: 限度を超えた透視図による外観表現例

図 13. は VP-L1. と VP-R. により作図された原画について、左側の壁面を透明表現として、VP-L1. を VP-L2. に移動させて歪み補正を加えたものである。

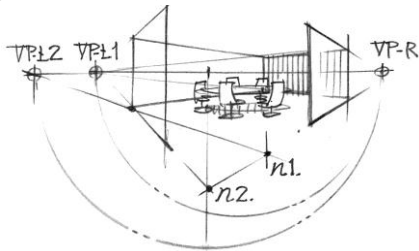


図 13: 限度を超えた内観表現例

このように透視図法の限界を知ることは、歪み補正を効果的に使うことで迫力のある描画が可能となる。それらを誇張と捉えるか、歪みと捉えるかの判断は各自のデッサン力と審美眼に頼ることになる。

## 6. フリーハンドスケッチに適した簡易透視図法

図 8 のような伝統的透視図法では、描画対象物の角度を決めてから二つの消失点を決める過程を経ている。これに対して図 15~18 は、インダストリアルデザイナー向けのフリーハンド用透視図法(参考文献: [2])としてよく考えられている。

長所は、描画対象物を二つの消失点 VP-L, VP-R から求めるため用紙をはみ出すことがない。また図 17 の作図に必要な寸法は 1/2 が基準であり、目分量でも測りやすいことから、フリーハンドによる簡便な描画法としてデザイン現場での利用価値を高めている。

### 6.1. 描画視角の全体像を理解する

図 14 のような全方位にわたる視角から、描画対象のイメージに合わせた視角の選択をする。多少の時間は掛かるが、決定後は素早い描画が可能となるため、後は部分意匠等に専念することができる。

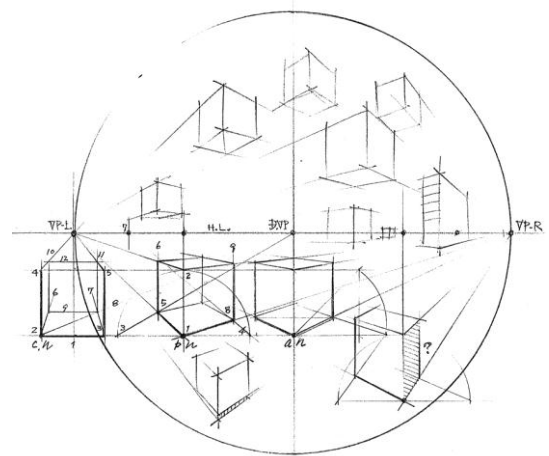


図 14: フリーハンド用透視図法

### 6.2. 簡易透視図法による立方体の描画

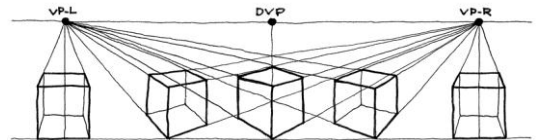


図 15: 透視図法の相関図

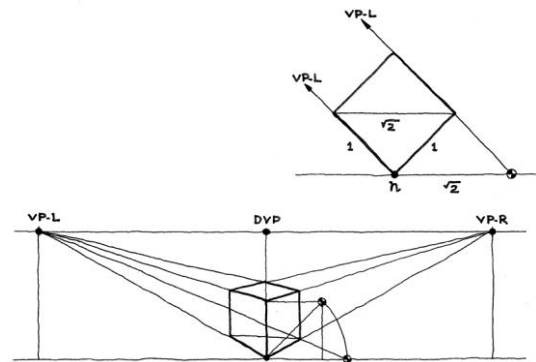


図 16: 45° 透視の描き方

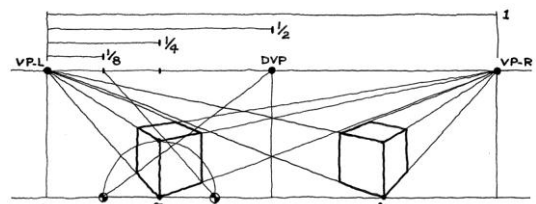


図 17: 60-30° (60-30°) 透視の描き方

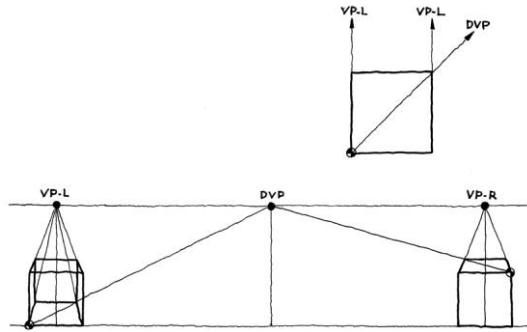


図 18: 平行透視の描き方

### 6.3. 平行透視から視角の補正

平行透視を応用した視角補正用の省略画法を示す。視角の補正範囲は狭いが、正面図等から簡便に透視図が得られる方法として便利である。

1. 立面図として 四辺形  $a b c d$  を描く。
2. 水平線  $HL$  で眼の高さを定め、垂直線  $VL$  で左右の視点位置  $EP$  を任意の位置に決める。
3.  $EP$  から  $a b c d$  までを透視線で結ぶ。
4. 次に線を奥へ若干平行移動し、透視線と交差する部位に  $c' d'$  を得る。
5. 四辺形  $a b c' d'$  をもとに基本の透視図を得る。

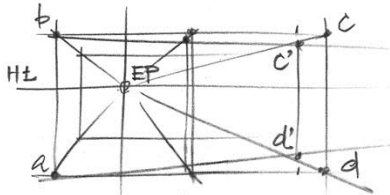


図 19: 平行透視からの視角補正

### 6.4. 三点透視の概念

a は二点透視である。しかし c のように縦方向の線においても遠近が生じることから、左右の消失点に加え第三の消失点を用いることによりその矛盾を解消し、より現実的な描画を得ることが可能となる。

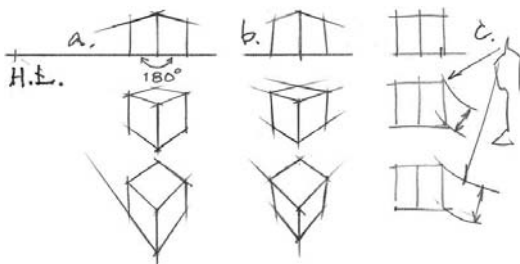


図 20: 垂直方向の消失点を加えた表現

### 6.5. 二点透視から三点透視への補正

1. 立方体  $a b c d e f g h$  を用意する。
2. 底面に対角線を描く。
3. 底面  $a b c d$  の各点は、透視線と対角線との交点から  $a' b' c' d'$  として絞り込む。
4. 補正可能範囲は狭いが、簡便に擬似的三点透視が得られる省略画法として便利である。

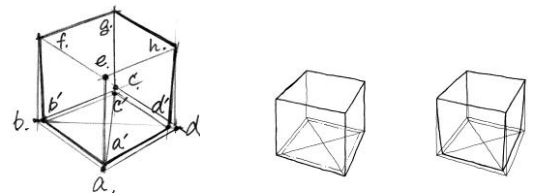


図 21: 二点透視から三点透視

### 6.6. 立方体からの増殖と分割

透視図法の多くは、立方体を基本としている。この立方体から他の幾何学的形態への再現や展開方法は、図 22 のような増殖や分割法により縦、横、奥行きなど三軸の比例変更により、合理的な描画を可能にしている。

a は正方形の対角線を用いた増殖法であり、b はその透視図法への応用を示している。c は同様に対角線を用いて分割する方法を示している。

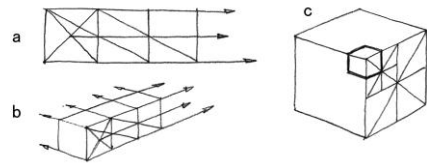


図 22: 増幅と縮小展開の方法

## 7. 外観図への応用

### 7.1. 基本は水平線との関係

水平線  $HL$  は透視図の基本であり、観察者の眼の高さにある。したがって描画対象物が眼より低い位置では水平線  $HL$  の下方に描き、眼より高い位置のものは水平線  $HL$  の上方に描くことで、その関係性から一般的なスケール感を得ることができる。

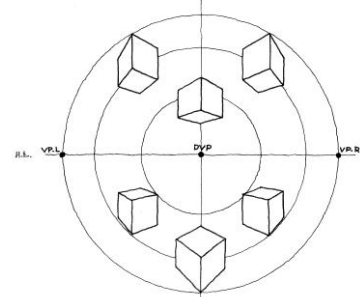


図 23: 歪みは周辺部で大きく中央部は小さい

### 7.2. 外観の作図は平面から

透視図法では主として平面図を基に作図を始める。一般的には、建築の敷地に対して配置されることが多く、建物から間取りや内装までの描画に効果的である。したがって垂直や水平を基準とした生活用品の中では、天井の照明器具、壁面の空調や棚、窓枠、水平の床面に設置される冷蔵庫等の比較的大型のものから、机や卓上に置かれる生活小物用品などはこれらの透視図法によって描画可能となる。

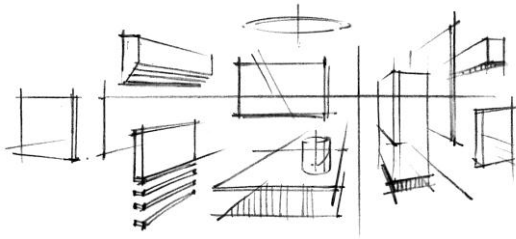


図 24: 水平線とモノの関係

## 8. 内観図への応用

### 8.1. 基本構図の選択

室内などの内観図は、個人用住宅から公共空間まで図 19 の平行透視図法を用いて描くことができる。平行透視図法は一点透視のようだが、奥行きに対角線を用いることから、二点透視図法のひとつである。

図 25~図 27 は、

1. 視点の高さは観察者の眼の高さに同じである。
2. 画面に対し a では中位が眼の高さとなる。b では相対的に視点が高くなるため、上部空間は狭く感じる。c では相対的に視線の位置が低くなるため、描かれる上部空間が広く感じられる。
3. 次に視点を左右側へ移動させることにより、退屈な画面から魅力的な画面へと導くことができる。



図 25: 水平線が画面中央の場合

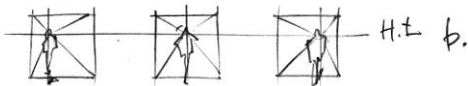


図 26: 水平線が画面上方の場合

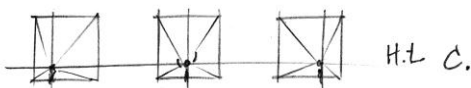


図 27: 水平線が画面下方の場合

このように視点 EP となる水平線 HL の高さや左右の立位置の設定は、空間の広さや見せ方等、伝えたい内容により効果的な画面を得ることができる。

### 8.2. 内観図の簡易基本描法

はじめに内観図の基本となる空間の正面図を描く。

1. 水平線 H.L. は眼の高さとする。
2. 垂直線は眼の左右方向の位置とし、上記 1, 2, の交点は観察者の視点 EP となる。
3. 全ての透視線は EP へ向かい描かれる。
4. 人物他の構成要素を描き入れ、完成させる。



図 28: 内観図の基本描画

### 8.3. 内観図の応用描画

室内などの内観図は、複数の描画対象物について視角や大きさや距離などを吟味し配置することで、場の臨場感を的確に伝えることができる。

図 29 は、図 19 を応用したもので、画面両端の歪みはやや大きくなるものの、誇張した店舗の内装表現等には効果的である。

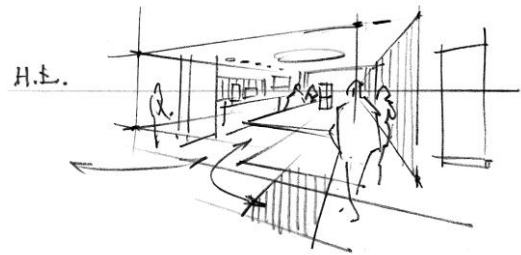


図 29: 店舗のシーンスケッチへの応用

## 9. 立体の陰影表現

### 9.1. 図面からの陰影表現

図 30 は平面図を用いた陰影表現で、光源は左斜め上方 45° を基本とする。左上は板紙を浮かして、左下は立方体を接地して表す。中央は板紙の重なりを表す。右上は円柱を、右下は砲弾型を表している。

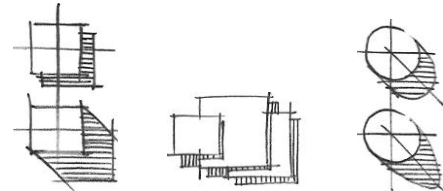


図 30: 平行光線による立体感

図 31 については、図 30 と同様に同じ図面を用いても影の描き方次第で立体の形や位相の違いが描き分けられることを示している。

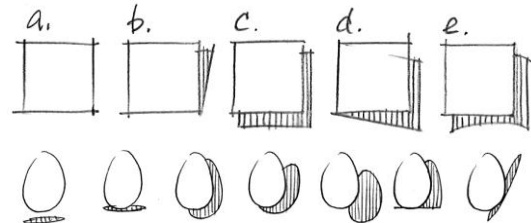


図 31: 正面図と投影による立体表現

## 10. 立体感と省略描法(省筆法)

### 10.1. 周囲の強調による立体感

短時間で効率の良いスケッチを描くには、主題の明確な表現に心掛けることにある。

そのためには、主題の定義に必要な事柄以外の表現を弱めるか、あるいは省略をするとよい。

ここではその立方体には手を加えず、周辺の背景操作により立体感を残す最小の方法について示す。

a. b. は投影された陰影のみの表現. c は周囲を太く囲み表現. d. e. は背景を用いた映り込みの表現. f は背景で囲み表現する。

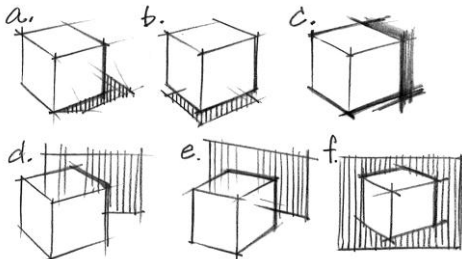


図 32: 周囲の強調による立体感

### 10.2. 映り込みによる立体感

背景にある周辺の景色を映り込ませることで立体感を表現するが、同時に描画対象物のテクスチャなど表面処理についても表現することができる。

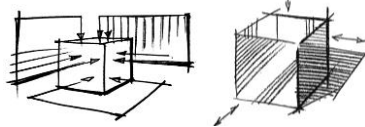


図 33: 映り込みとストロークによる立体感

### 10.3. 明度差による立体感

一般的に立体感は、明度差で描き表すバリュー・スケッチで得られる。一番明るい箇所はハイライトと呼び、光源と投影された面の角度による明度差を揃えることにより立体感をさらに際立たせることができる。

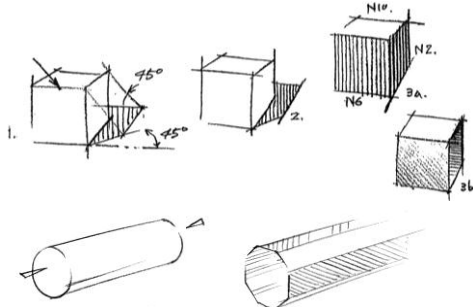


図 34: バリュー・スケッチ

### 10.4. テクスチャによる立体感

光源は左斜め上方 45° を基本とするが、テクスチャの密度を変えて明度差を表現する。



図 35: テクスチャと素材感

### 10.5. 空気遠近法による省筆表現と立体感

空気遠近法とも言われる表現方法は、遠ざかるに従い霞をイメージして淡く描くようにするが、省筆によ

る時間短縮には効果的である。

1. モノには陰影を付けずに、投影された遠方の影の一部を省略し省筆につなげる。



図 36: 影の省筆の例

2. 中心線と補助線を効果的に用いて、描き込み量も段階的に減らす。

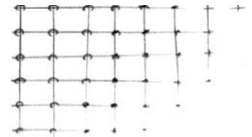
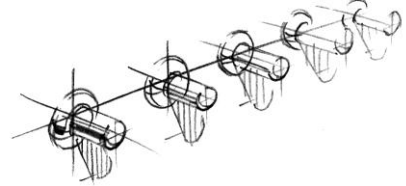


図 37: 繰り返しの表現には空気遠近法

3. 省筆のためには観察を繰り返し最適な表現手法を試みる訓練を心掛けたい。

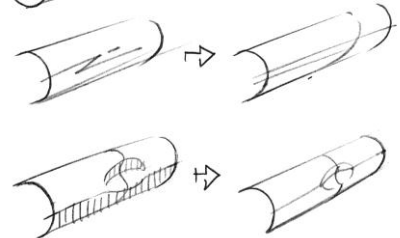


図 38: 映り込みによる省筆表現の例

### 10.6. ハイコントラストによる省筆

ハイコントラストによる表現は、光の当たる面をすべて白く、光の当たらない箇所をすべて影として仕上げ、中間の陰影を付けずに描く省筆画法である。

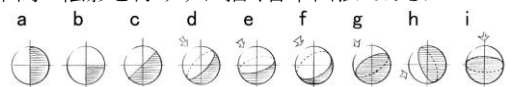


図 39: 光源の位置を変えた球体の陰

最も明るい箇所の表現は、隠蔽力のある白い画材、色鉛筆、ガッシュ、ポスターカラーなどにより加筆する表現方法と、あらかじめ描かずに紙の白さを生かした表現方法とがある。後者による図 40、図 41 の方法は、消す手間が省け、アイデアが醒めないうちの定着用メモとしてのサムネイルスケッチには効果的である。

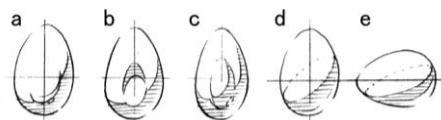


図 40: ハイコントラスト表現

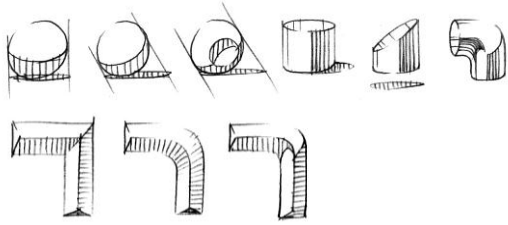


図 41:ハイコントラスト+ハイライト表現

### 10.7. 描画対象物と光源との関係

1. 屋内の部屋に置かれているようなものは光源が近いので放射光線を用いて描く。(a)
2. 屋外の離れた光源は、太陽や月などと同じく、遠い光源として平行光線を用いて描く。(b)
3. 上記のような光源の配光特性を考えることにより、屋内あるいは屋外などに置かれている状況までも描き分けることが可能となる。

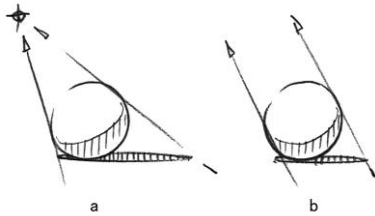


図 42:放射光線と平行光線の差

### 11. パースガイドを用いた発想と展開

前述の定規による透視図は手間が掛かることと、必ずしも正確ではないことが明らかである。したがってパースガイドの活用は、最適視角を下図としたバリエーションスケッチを描くには効率的である。

図 43 の a. は全方位の視角をイメージし描くが、方向性が決まれば b. のように画面の両端へ消失点 VP をイメージし描く。c. はこれらの繰り返しから、画面外に VP をイメージしながら描くことで、画面への最適な大きさでの描画が可能となる。

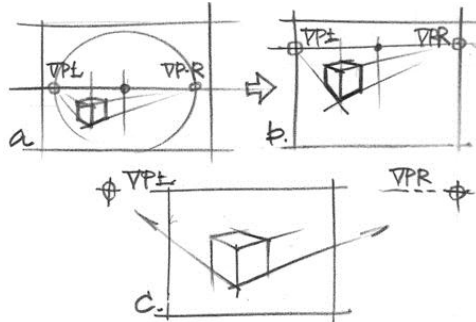


図 43: パースガイドを用いた描画訓練法

運筆には、常に視角全体を意識し、消失点をイメージしながら身構え、呼吸を止めて、描画範囲のみ筆先を紙に着筆させるよう、一気呵成に描く。

特に左右の二消失点 VP-L, VP-R が、描画範囲外であっても、それらを意識した速筆を心掛けることで、歪みや乱れの少ない線描表現が可能となる。

また運筆には、一気呵成の筆勢が、画面全体に緊張感を生み、品質感まで表現が可能となる。

### 11.1. 奥行きの歪みを補正したパースガイド

図 44. のパースガイドは、対角線を曲線としたもので、奥行き寸法の不足という歪みを補正している。

図 45. を眺め、反射的にひらめいた筆先と紙との間に形を再現させてゆく。全方位からの描画が可能となるため、描画対象のイメージに合わせた最適視角を特定し易い。また描画対象物全体のイメージを掴めるため、アイデア整理用としても便利である。

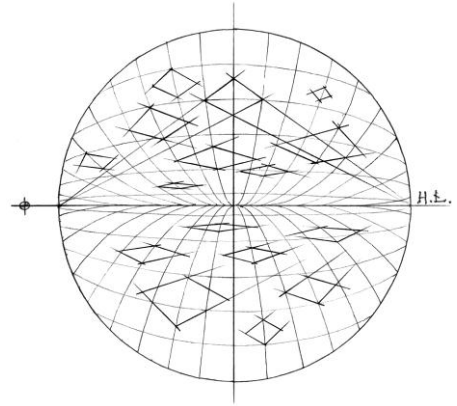


図 44: 奥行きを補正したパースガイド

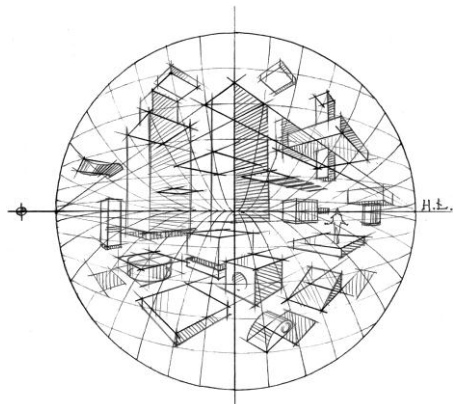


図 45: パースガイドを用いたアイデアの展開

### 11.2. パースガイドの準備とアイデア展開

パースガイドは、描画対象のイメージを伝え易いと思われる視角に合わせて起こし、下敷きとしてアイデアを展開していく。作図に無駄がない分、効率的な描画が可能となる。

図 46 は、最適視角より割り出して作図したもので、具体的な展開のためのパースガイドである。

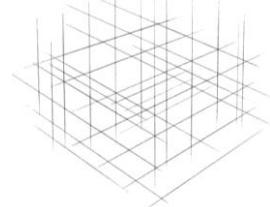


図 46: 専用のパースガイドを作図

### 11.3. パースガイドの活用

図 46. に加筆したのが図 47. である。パースガイドは、あくまでアイデア展開のための手掛りであり、デッサンする気持ちを忘れて説得力のある生きたスケッチなど



望めない、枠にとらわれない発想を期待したい。

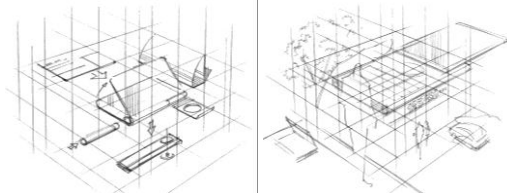


図 47: 同一視角でもスケール感は自由自在

### 11.4. 立方体の歪みを検証する

描いた立方体の歪みについては、下記4項目を検証し、正確な表現へと近づけていく。

a. は透視線三方向の比例を正す。b. は消失点を水平線に揃える。c. は最近角を  $90^\circ$  以上になるようにする。d. は透視線の辻褄を合わせる。

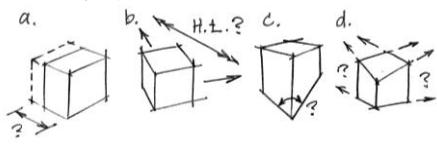


図 48: 立方体の歪み検証法

## 12. 幾何学的形態からの発想と展開

透視図法の基本は、立方体と球体である。他の幾何学的形態の直方体・角柱の他、半球、円柱、円錐等の形態は、本稿の描画展開法を身に付け応用することで、自在な展開が可能となる。

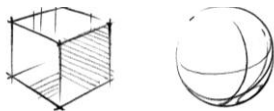


図 49: 立方体と球体が描画の基本

### 12.1. 比例の吟味による展開

デザイナーには、美の基準といわれる造形構成原理を学び、審美眼を養い、発想豊かな感性を身につけることが求められる。

等差数列の他に等比数列がある。中でもフィボナッチ数列には限りなく黄金比に近づく不思議がある。図 50-a は黄金比の作図法。b.c. はルート矩形の作図法である。自身の審美眼を磨いて吟味したい。

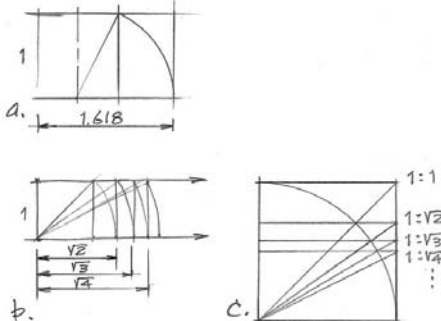


図 50: 審美的ルート矩形からの展開

図 51 では、その基礎的アプローチから、立方体の三軸比例変化によるプロポーションの差や卵形の視覚的なイメージが大きく変化することを理解したい。

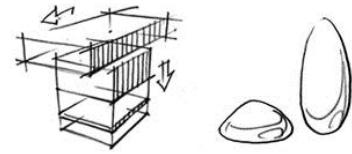


図 51: 比例の吟味からの展開

## 13. 立方体からの発想と展開

### 13.1. 立方体を基本にした発想法

一般的に透視図は、水平の基準面より作図を始めることから、立方体を中心の発想と展開が求められる。

立方体を塊材料として見立て、機械加工を施す手順でイメージ展開すると解り易い。

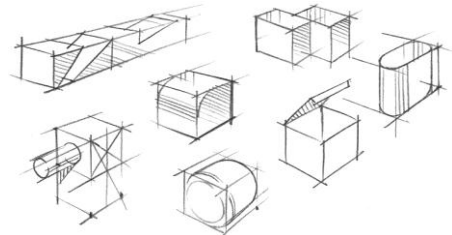


図 52: 素材と加工方法からの発想

穴加工、円柱との組み合わせ表現等には、楕円を用いる。楕円の作図は、12 点法(参考図書[2])等により疑似楕円を求めることはできるが、近似角度のテムプレートの利用も便利である。

組み合わせ方は、図 51-a.b. では歪みが生じる。

図 53-c. のように左側の面に描く場合には、VP-R へ向かう透視線に対して楕円の短軸を合わせ、その右側の面に描く場合には VP-L へ向かう透視線に楕円の短軸を合わせるとよい。

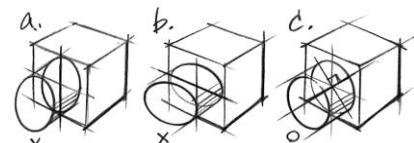


図 53: 楕円の短軸を合わせた描画角度

アイデアの壁に突き当たった際には、すぐにキーワーを変えて、圧縮・引張・捻る・撓む・開ける・塞ぐ・研磨・切る・繋ぐ・貼る・剥がす・削る・盛る・加熱・冷却他、加工方法を思い浮かべる等自由な発想を試みる。

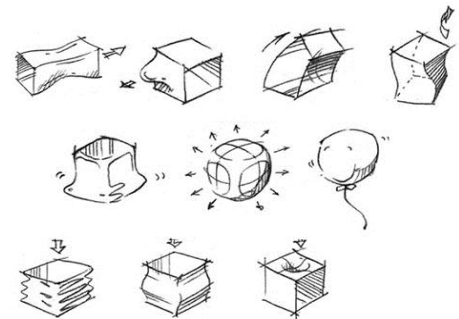


図 54: 素材と加工を想定した展開例

### 13.2. 板材からの発想を促す

1. 板材の曲率や性質を読み立体を制御する。

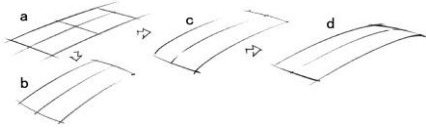


図 55:面の性質を知る

2. 視角を変えた描画から印象の再確認をする。

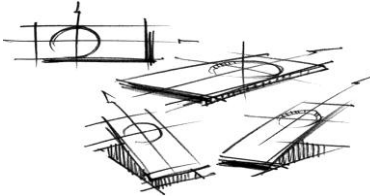


図 56:視角を変えた一気呵成の描画

3. 視角を変えても、面の映り込みを意識する。

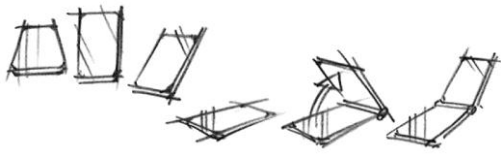


図 57:面の映り込みと描画例

4. 中心線と断面線を意識した形態補助線を描き込むことにより立体感を得る。

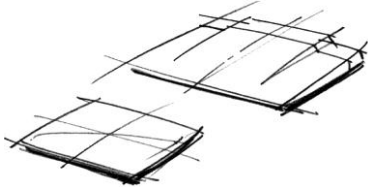


図 58:中心線と断面線による立体感

5. 背景の映り込みを意識した加筆により、描画対象の滑らかな表面処理までも表現可能となる。

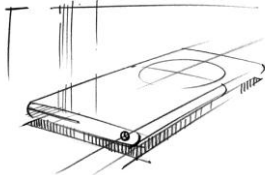


図 59:背景の映り込みによる表面処理

6. 基本の形態を基に詳細の動きや部品説明などの表現を加える。

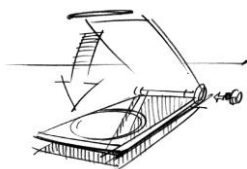


図 60:細部の動きを加筆した表現

### 13.3. 直方体からの発想を促す

立方体を基本に、増殖と分割を繰り返して理想の比例に向けて作図を始める。描画内容の立体が手の中に感じられるようになれば、後は発想を豊かに微妙な表情までも再現できるよう訓練をする。

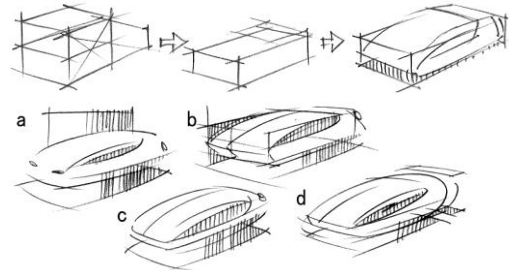


図 61:直方体からの展開

### 13.4. 球体からの発想を促す

形態によっては、立方体よりも球体からの発想や展開が容易な場合がある。形態の観察から、まずは幾何学的形態への構造化や組み立てなどの訓練が欠かせない。球体を基にした描画法の詳細は紀要5号に解説している。

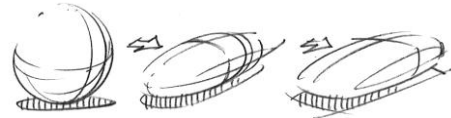


図 62:球体からの展開

## 14. 画面構成

背景の組み込み方によっては、寸法等の仕様の他、時間、場所、状況特定することができる。またモノの配置からは動きや重さ軽さも表現することができ、相対的なスケール感とともに臨場感を演出する。

### 14.1. 背景により理解を促す

1. 背景は具象・抽象を問わずモノの表面に映り込ませることで表面処理まで表現が可能となる。

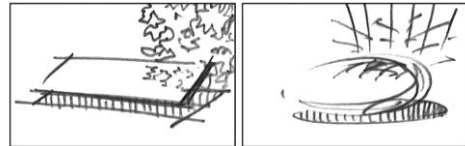


図 63:モノ+背景で映り込み効果

2. 手や人間とともに表現することで、場の状況がなくてもスケール感の演出や、機能説明が可能となる。

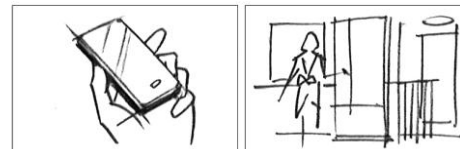


図 64:手・人+モノで機能説明

3. 背景に場の状況や人間を配置することで、モノを浮かび上がらせ、より現実的な臨場感が生まれる。

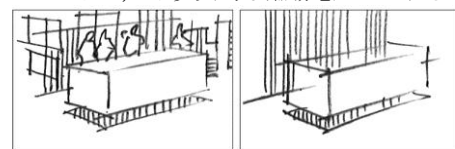


図 65:モノ+場+人で臨場感

## 14.2. 余白により理解を促す

余白やぼかしによる効果は、描かれるモノの時間的・空間的に変化する様子を連続的に描き出す。『老子』によれば“…故有之以為利，無之以為用“，空虚なところがその働きをする。描画対象の的確な表現は勿論のことだが，その魅力を理解し，更に際立たせ増幅させるには，背景や余白を含む全体の画面構成が肝心であり欠かせない。

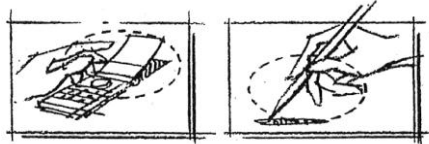


図 65:最適配置と画面構成による理解

## 15. 筆跡と筆勢

紙の上に描画された絵は動くものではない。しかし筆勢によっては，見る者の心の中で連想を生み，生き活きとした動きのある表現が可能となる。

筆跡は脳が手や指に伝達する意識観念であり，指紋同様に他人とは一致しないといわれる。フリーハンドによるスケッチは，要点を絞る簡便な手法でも，描き手の個性が表れるツールとして秀逸である。

フリーハンドスケッチはまた，心の動きに手が応えるようにその筆跡が生き生きとしていなければ描画内容は伝わらない。一所懸命な筆勢が肝心である。

## 16. おわりに

現代のものづくりプロセスは，実用性や合理性など効率一辺倒である。手書きによるスケッチ技法というものは，多様なツールを備える最新の描画用電子端末機器に比べれば，正確さを欠き技量の差もはっきりと現れる。手描きスケッチはまた，あらかじめプログラムされたものはないものの，その描き手の個性が際立つ。電子機器の呪縛から脱することから，イノベーションを誘発する大きな可能性に期待している。

ものづくりに携わり，フリーハンドスケッチに魅力を感じ，その描画技術習得を目指す人たちの参考となれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 日本インダストリアルデザイナー協会編，“プロダクトデザイン”商品開発に関わるすべての人へ，ワークスコーポレーション，2009.
- [2] Jay Doblin 著，岡田朋二十山内陸平訳，ダブリンのデザイン透視図法，鳳山社，1971.
- [3] Thomas C. Wang, Projection Drawing, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.



# 赤ちゃんの駅などの子育て支援施設のための什器の開発

國澤好衛\*・岡本和久\*・栗原佑治\*・高橋大輔\*  
田島薫\*・富田郁成\*

## Furniture Design in Facilities for Parents companied with Small Child

Yoshie Kunisawa\*, Kazuhisa Okamoto\*, Yuji Kurihara\*, Kaoru Tajima\*  
Daisuke Takahashi\* and Ikunari Tomita\*

### Abstract

Extracting local problems and solving them by local resources. We called it as "Chimon-Chito". Based on a way of "Chimon-Chito", we performed a model project in Itabashi district. The theme of the project is to improve the child care environment. We developed the exclusive furniture which was helpful in case of nursing and diapering at the stations of the baby. In addition, "the station of the baby" is the child care support facilities which Itabashi-ku founded.

Keywords: Design Development Furniture PBL station of the baby

### 1 はじめに

2009年度より板橋区がデザイン活用事業として実施している「デザイン開発シミュレーションプログラム」は、区内の中小企業と大学などが連携し、区内の社会課題、行政課題、住民課題などの解決のために、地域企業とともにソリューション開発(新技術・新商品・新サービスの開発)を行うものである。これは、地域課題の解決というデマンドサイドから企業のビジネスイノベーションにつながる新たな商品、サービスの開発を企図したものである。

本報は、板橋区の委託を受けて実施した2010年度の「デザイン開発シミュレーションプログラム」について、速報として概要を紹介するものである。

なお、2010年度のプロジェクトは、2009年度に実施した同プロジェクト<sup>[1]</sup>と同様、後述の「地問知答」を開発モデルのコンセプトとしている。そして、板橋区で全国に先駆けて導入された子育て支援施設である「赤ちゃんの駅」に設置することを目的とした子育て支援専用什器の研究開発を実施した。

### 2 「地問知答」のものづくり

「地問知答」とは、地域の問題を地域の資源を活用して解決するという概念を表現した造語である。それは、生活者の目線で身近な問題に関心を寄せ、その解決を起点にモノづくりを考えるというデザイン本来の力を活用した取り組みを表現するものでもある。

さらに、この試みはサプライサイドからのシーズオリエンティドな開発とは異なり、需要者が期待する価値を発掘し、その価値を提供する仕組みを提案するデマンドサイドからの開発につながる。

しかしながら、中小製造業の商品開発においては、自社の固有技術をベースにした用途開発型のプロセスや、異業種連携にみられるような、連携企業の保有するリソース総体を前提にテーマ開発を進めようとするサプライサイドからのモノづくりプロセスが一般的である。

しかし、今日的には革新的な製品開発に寄与する需要者を中心にしたモノづくり思想、需要者の効用を原点にしたモノづくり手法が定着し、中小製造業においても従来からのサプライサイドのモノづくりをデマンドサイドからのモノづくり手法に転換することが求められている。

一方、都市部の中小製造業にとっては、新たな価値を求めるユーザーが身近に多数存在することから、彼らや彼らを取り巻く環境に対する問題提起は、イノベーションの起点となる。さらに、生み出されるソリューションは、都市部における共通の課題の解決策として広く有効なものともなるはずである。

さてこの、「地問知答」モデルを利用可能なものにするためには、特にデマンドサイドからのアプローチに必要な手法の開発と、その成果としての抽出された課題を解決するためのソリューション開発に結びつける手続きが重要となる。

板橋区での「地問知答」モデルプロジェクトは、こうした点を明確にするとともに、実践による実証がテーマである。そこで、昨年度この「地問知答」の考え方にに基づき、板橋区においてモデルプロジェクトの実践とモノづくり手法のモデル化を試みたので、その概要を述べることにする。

なお、本プロジェクトは産業技術大学院大学産業技術研究科創造技術専攻の正規カリキュラムである2010年度PBLとして実施されたものである。プロジェクトメンバーは、岡本、栗原、田島、高橋、富田の4名、指導教員は國澤、小山、安藤である。

### 3 平成 22 年度板橋区「地問知答」プロジェクト

#### 3.1 プロジェクトの目的

本 PBL では昨年度より、「東京都の中小製造業がデザイン力を活用して新たなモノづくりを進めていくための手法を開発し、幅広く応用できるようモデル化することを研究テーマにしている。

これは、デザイン力を単に商品性の向上のために活用しようということではない。デザインには本来、身近な問題を発見することを起点とし、魅力的な解決策を導き出そうとする力が備わっている。これを、地域課題を掘り起こし、地域の資源で解決していくことに応用するものである。

そしてこのデザインの力を活用しながら、地域のニーズを基点に地域企業が商品開発に取り組むということ、また、同時に都市に共通する課題の解決策を模索する試みが「地問知答」の本質であり、昨年度に引き続き、この「地問知答」モデルを板橋区に適用し、モノづくりモデルの検証・深耕を行った。

さて、今年度とりあげたテーマは、板橋区で率先して取り組んでいる、子育て環境の改善を加速するための商品開発である。

板橋区では 2006 年より、「赤ちゃんの駅」と呼ばれる外出時に手軽に授乳やオムツ替えができる施設の整備を進めている。これは、「授乳とオムツ交換ができる場所があるかどうか気がかり」という乳幼児を連れて外出する保護者の声を受けて、板橋区が全国に先駆けて導入した子育て支援施設で、区立の保育園や児童館などを手始めに、オムツ替えや授乳ができる場所と設備を用意したものである。その後、大学施設や高齢者施設、NPO 運営施設などにも設置が進み、2010 年 6 月現在で 135 か所に拡大している。

一方、この「赤ちゃんの駅」は、ネーミングのわかりやすさと導入が容易なことが評価され、全国に波及、現在では数多くの自治体で同様の「赤ちゃんの駅」の設置が加速している。また、導入した自治体では、「赤ちゃんの駅」マップを製作・配布したり、携帯電話のサイトから検索できるようにしたり、さらには導入支援のための補助事業などを行うなど、独自の工夫やサービスにも取り組んでいる。

一つの地域の課題を解決するための小さなアイデアから始まった「赤ちゃんの駅」であるが、共通の課題を抱える自治体の共感を得て、全国規模の取り組みとして定着・発展し、我が国の子育て支援のありようを大きく変えることにつながっており、「地問知答」のテーマに相応しいものである。

しかしながら、施設の実態調査を進めると施設の規模やロケーション、オムツ替え用ベッドや授乳用ソファ、パーティションなどの関連設備の整備状況もまちまちであることが明らかとなった。また、施設に必要なオムツ替え用ベッドや授乳用ソファ、パーティションなどの関連器具は、こうした施設向け専用が開発されたものは存在せず、既存の什器などで対応するか、新たに購入するとしても汎用的なものを調達しているのが実情である。

したがって、子育て支援拠点の拡大とともに、今後は心理的負担がなく安心してオムツ替えや授乳ができる快適な子育て支援施設の整備に取り組むことが必要といえる。

こうした視点から、プロジェクトでは、この「赤ちゃんの駅」などで便利に使用できる授乳・オムツ替えのための専用什器の開発を行うこととした。また、併せて、今年度試行したモノづくり手法を開発プロセスとしてモデル化した。

#### 3.2 プロジェクトの成果

今回のプロジェクトでは、前述の什器に求められる要件を明らかにし、2 つのプロトタイプを開発した。

開発のプロセスについては後述するものとし、ここでは開発したプロトタイプ 2 機種について順次解説することとする。

写真 1, 2 は、オムツ替えも授乳も行えるパーティション型の専用什器である。このプロトタイプは、オムツ替えや授乳のための専用空間を確保できないケースを想定してデザインしたものである。オムツ替えのためのベッドと授乳のための椅子がパーティションに内蔵されており、上段はオムツ替え用のベッドとして、下段は授乳用椅子として使用できるようデザインされている。パーティション型にしたことで、特別に囲われた授乳・オムツ替えのスペースを用意しなくても、人目を遮断したスペースを簡単に確保することが出来るという利点がある。

また、専用のスペースが確保できた場合でも、スペース内で他のお母さんの目を気にすることなくパーソナルな環境でオムツ替えや授乳ができることから、ユーザーには機能性と安心感を提供することが出来るものとなっている。

役所や銀行などの待ち時間のある空間、これまでの赤ちゃんの駅だけでなく今後新たに赤ちゃんの駅として期待される場所などの導入が想定される。

次の写真 3, 4 のプロトタイプは、一般には別々に用意されていたオムツ替え用ベッドと授乳のための椅子の機能を両方備えたソファ型専用什器の 1 号機である。

これは、狭いスペースでもオムツ替えと授乳ができるよう、できるだけコンパクトな専用什器を開発しようとデザインしたもので、背もたれを手前に倒すことによりオムツ替え用のベッドとしても使うことが可能な 2 ウェイクースになっている。

授乳用ソファとしての快適性はいうまでもなく、オムツ替え用ベッドとしての使い勝手を十分確保し、さらに赤ちゃんを抱いたお母さんでも簡単にベッドに変身させることができる構造を採用し、とても省スペースな設計となっている。一見すると普通のソファと変わらないデザインで、どんな場所にも設置することができるよう配慮している。授乳室をできるだけコンパクトにしたいケースでの導入に最適なものとなっている。

なお、このタイプは写真 5, 6 にあるようにバージョンアップしており、商品化を前提に機能検証を実施することになっている。

さて次項では、前述の 2 つのプロトタイプのプロトタイプのプロトタイプを解説していく。

昨年度の研究では、「地問知答」によるモノづくりモデルは、「知る」「探る」「紡ぐ」「創る」の 4 つのステップから構成されると整理した。今年度もこのモデルに従って開発が進められたが、モデルの完成度を上げるため、特に「探る」のステップで新たな手法などにトライした。

## 4 「地問知答」のプロセス

### 4.1 知る

「知る」は、対象となる地域を理解し、そこに潜む問題を明らかにするステップである。

さまざまな資料から板橋区の実情や施策を把握したうえで、実際に現地を訪れ、実態を把握し、これらの結果から課題の整理を行った。板橋区で行われている施策や区民の要望、住民満足度調査などの資料を整理すると、区内には自転車、防犯、生活利便性、子育てなどに関わる課題があることが見えてくる。

これらを肌で感じるために、板橋区の代表的な地区である大山駅周辺や大規模住宅団地の高島平、行政の中心地である板橋駅周辺、さらに中小企業の集積した地域や保育園、商店街を訪問した。そして、こうしたフィールド調査をもとに様々な課題から絞り込みを行い、今年度は「子育て環境の改善」に焦点を当てて進めることにした。

オムツ交換・授乳パーテーション



写真 1： 収納状態

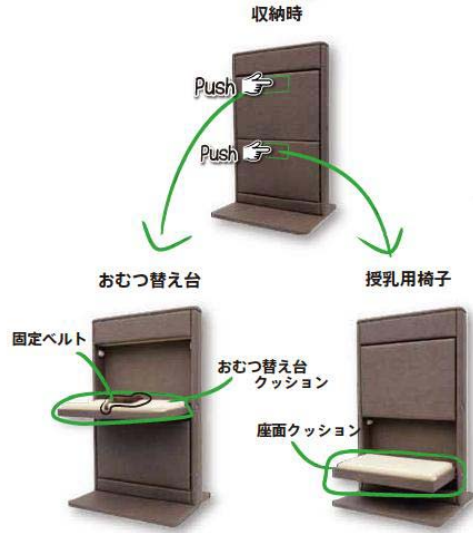


写真 2： 展開方法

オムツ交換・授乳ソファ Type1



写真 3： オムツ交換・授乳ソファ

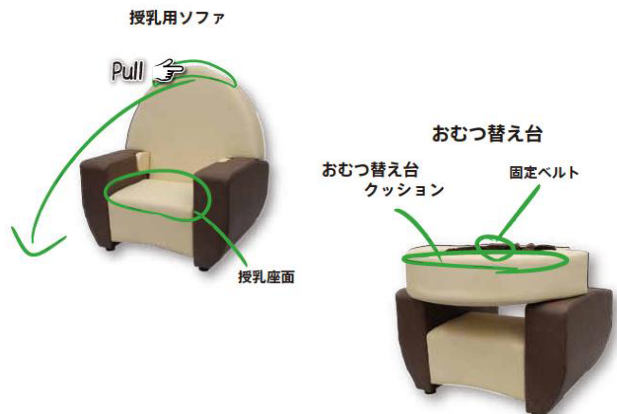


写真 4： 写真 3 の展開



写真 5： オムツ交換・授乳ソファ Type2



写真 6： Type2 (ベッド使用状態)







写真7: 市場調査で収集された関連施設



写真8: プロトタイプのためのデザインスケッチ



写真9: プロトタイプの製作過程



写真10: プロトタイプの機能検証

#### 4.2 探る

探るは、より本質的な解決策を発見するためのステップとなっている。

昨年度はこのステップで課題に対する解決策の発散と収斂を繰り返しながら、課題の深堀を行ったが、今年度のプロジェクトではユーザーの価値を抽出する手法を用いてモデルの一般化を試みた。

このステップはユーザー調査を起点に進めていくことになる。ユーザー調査では、問題の実態を知るために、板橋区小竹向原児童館を訪問し、子供が歩き出し、一緒に外出する機会が増えてくる1歳から2歳の子供を持つ親15名にインタビューを行った。

インタビューでは、主に子供を連れての外出中、外出先での困りごとを聞いた。

次にインタビューで得られた多くの情報から、ユーザーの本質的な価値を探るための分析を行った。

インタビューを書き起こし、そこから行動部分を抽出し、これをカード化する。

このカードからはユーザーの心の声、価値を抽出することができる。様々なベネフィットのカードが161枚得られたが、それらは類似する内容で集約することで、41のグループに分けられた。

このグルーピングの結果、「子供のことを必要以上に意識せずに親が生活を楽しめる、周辺の施設や子育てにやさしい環境の価値」、「子供と移動する際の肉体的な負担を減らせる価値」という二つの重要なベネフィットが抽出された。

さらに、この二つのベネフィットに注目してブレインストーミングを行い、ベネフィットのデザイン要件への変換を行った。

そして、「なるべく持たない、持っても小さく」「これ一つで

優しく配慮された子育て環境に」「移動支援グッズ」という3つのデザインコンセプトが導出された。

ここまでが「探る」のステップとなる。

#### 4.3 紡ぐ

紡ぐは、決定したコンセプトを元に、中小企業と連携してプロトタイプを開発するステップとなる。

連携企業の公募に当たっては「探る」で導き出された、先程の、「なるべく持たない、持っても小さく」「これ一つで優しく配慮された子育て環境に」「移動支援グッズ」というコンセプトに共感いただき、共同でソリューションの開発を進めていただけの企業を募った。

板橋区の支援を受けて、板橋区のH.P.に公募情報を公開するとともに、区内施設へポスター掲示を行い、最終的に木工加工の技術を持つ金井製作所とオリジナルチェア製作や販売を行っている藤原製作所の2社を連携企業として選定した。

一方、公募と並行して、コンセプトの具体化のために、授乳・オムツ替え施設、移動支援グッズ、子育て支援グッズなどの市場調査を行った。

子供を持つ親のために設置されている既存の支援施設や、商業施設にあるベビールームなどを訪れ、それらの場所に設置された製品や施設環境について理解を深め、次のステップに向けての情報を収集整理した(写真7)。

以上が、「紡ぐ」のステップとなる。

#### 4.4 創る

そして、最後のステップは「創る」である。

これは、連携した企業とアイデアを練りながら、プロトタイ

ブを作り上げるステップとなる。

また、このステップでは製作したプロトタイプを検証も行うことになる。写真 8 は、プロトタイプのための、デザインスケッチであるが、これを連携企業の技術力を活かしながらプロトタイプデザインに展開していく。省スペースでもベビールームの設置を可能にするため、「できるだけ、コンパクトにする」、「ユーザーに機能性や安心感を提供できる」、「自分だけのスペースを確保し、他人の視線を遮断し安心して利用できる」ことがポイントとなる。

写真 9 は実際にプロトタイプを製作している過程である。

また、このプロトタイプを利用して、機能性やユーザビリティテストを行い、改善すべき課題や製品化への問題点を明らかにした(写真 10)。

ここまでが、「創る」のステップで、以上が本プロジェクトでのデザインプロセスである。

## 5 おわりに

今回の PBL では、第一次プロトタイプ (Type1) の製作、検証までを行ったが、その後の検証結果や成果発表会での意見を元に、冒頭の第二次プロトタイプ (Type2) を製作し評価した。さらに、現在その検証結果をふまえ Type3 を製作しているところである。現況の詳細については続報にゆずるとするが、連携した藤原製作所は、早い段階での商品化を希望しており、更なる検証とともに、商品化に向けたプロモーション戦略の検討と産学公連携センターと共同し特許出願を準備しているところである。

最後に、このプロジェクトに関し多くの方にご協力をいただいた。ご協力をいただいた皆様にこの場をお借りしてお礼を申し上げたい。

## 参考文献

- [1] 國澤好衛, “都市型中小企業のためのデザイン力を活用した新たなモノづくりモデルの開発” 産業立地, 2010 年 9 月号.

# PBLにおける協創型ソフトウェア開発モデルへのアプローチ

中鉢欣秀\*

## An Approach to Co-creative Software Development Model in PBL

Yoshihide Chubachi\*

### Abstract

A novel software engineer education method for Project-Based Learning is proposed in this paper. Recently, industrial business models in information technology are changing rapidly. In Japan, so-called "User vs. Vendor model" is quiet common for Japanese traditional IT companies. On the other hand, there are a lot of companies who develop their software service through the dialogue with their customer directory. Such novel model shall be called "Co-Creative Software Development: CcSD" model which derived from marketing field research. We propose a new PBL for educating the new engineers who can adapt to CcSD model.

**Keywords:** Co-creation, Software Development, PBL

### 1. はじめに

本研究者が提案する「コ・クリエイティブなソフトウェア開発方法論」とは、ソフトウェア開発者がグローバルなマーケットとの直接的な対話を通してソフトウェア・サービスを開発する、アジャイル型の新しい開発プロセスである。

本研究では、この開発プロセスを定義し、プロジェクト型学習（PBL）により教育するための教材および教授法を開発することを目的とする。

本研究者が行なってきた PBL 支援インフラストラクチャの構築 [4][5][11][13]、および、グローバルな人材育成のための PBL 教育 [9][10] の成果を踏まえ、次世代型のソフトウェア開発者育成法として普及を図る。

以下、2. で研究の目的について述べ、3. ではこの研究を達成するための目標について述べる。最後に 4. でまとめを述べる。

### 2. 研究の目的

#### 2.1. コ・クリエイティブなソフトウェア開発

コ・クリエイション（Co-creation）とは、マーケティング分野の用語であり、商品やサービスの開発にあたり企業が顧客を巻き込むことでよりよいものを創りだすことを指す。

コ・クリエイションの最近の事例としては、Starbucks、Dell などが顧客のアイデアをソーシャルメディアにより収集し、自社のサービス改善につなげていることが報告されている [1]。

一方で、ソフトウェア開発においては、Linux を代表とするオープンソース型のソフトウェア（OSS）開発のスタ

イルに見られるように、利用者と開発者が一体となってソフトウェア・プロダクトを開発事例が数多く存在する。OSS の開発では利用者と開発者が協創<sup>\*1</sup>的に振る舞うことが、価値あるソフトウェアを生み出すための原動力となっている [2]。

これらを踏まえ、本研究ではマーケティング分野の概念であるコ・クリエイションをソフトウェア開発領域に適用した新しいソフトウェア開発プロセスを定義し、PBL で学習できるようにする。この教育内容は従来型の IT ベンダ企業向け技術者教育や、ユーザ企業の発注担当者向けの教育とは異なる、新たな融合型の人材育成を目指す。

#### 2.2. IT 産業界の現状における構造的な問題

前項の目的を設定した背景には、我が国におけるソフトウェア産業界の構造上の問題がある。一般的なソフトウェア開発ビジネスにおいては IT を提供するベンダ企業と、自社のサービスのために IT を利用するユーザ企業との間には明確な対立構造が存在する。このため、両者のコンフリクトをマネジメントすることがソフトウェア開発チームに求められ、コ・クリエイティブにソフトウェアを開発することが非常に難しい。

図 1 は、従来のソフトウェア開発におけるユーザ企業とベンダ企業との関係構造を模式化したものである。本来、ベンダ企業にとっては実際にソフトウェアを利用するエンドユーザに有益なプロダクトを製造することが最大のミッションであるはずだ。ところが、エンドユーザとベンダ企業の開発部門やアウトソース先企業との間には図に示した通り、幾重にも壁が存在している。このため、エンドユーザが求

Received on September 30, 2012.

\* 産業技術大学院大学，産業技術研究科，School of Industrial Technology, AIIT

<sup>\*1</sup>コ・クリエイションは「共創」と訳されることが多いが、本研究では「協創」と表記する。

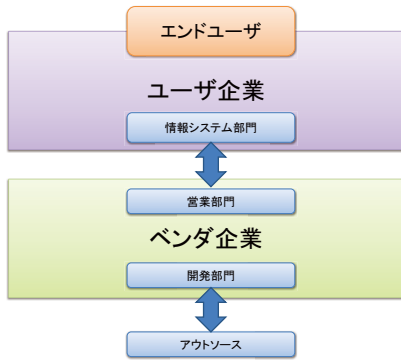


図1 ユーザ企業とベンダ企業の構造

めるソフトウェアを正しく製造することは構造的に困難である。

一番上に示した「エンドユーザ」とは、実際にソフトウェアを利用するユーザ（個人）である。エンドユーザは「ユーザ企業」に所属し、企業が提供するサービスを実現するために情報システムを利用する。近年は、B2C型でサービスを提供する企業が増えたことから、エンドユーザはユーザ企業の外部に存在し、Web等でユーザ企業が提供するサービスを利用する場合も見られる。

このようなソフトウェア開発を行う場合、一般的にユーザ企業にある「情報システム部門」がシステム開発を主導することになる。情報システム部門は複数の「ベンダ企業」に対してRFP（Request For Proposal）を提示し、これを受けてベンダが作成した提案を精査し、ソフトウェア開発を発注するベンダ企業を選定する。この一連のプロセスはベンダ企業の「営業部門」が担当する。

営業部門が契約を取り付けた後、ベンダ企業の「開発部門」が実際のソフトウェア開発プロジェクトを開始することになる。このとき、ベンダ企業内で必要なリソースが調達できない場合、ベンダ企業は社外の企業等に対して「アウトソース」を行う。いわゆる下請けの関係であり、近年は人件費の安い海外にアウトソースすることも多い。

### 2.3. IT産業の構造変化

翻って世界に目を向けると、以上述べてきたユーザ企業とベンダ企業が対立する構造に依らない、新しいタイプのソフトウェア開発企業が登場してきている。例えば、GoogleやFacebookなどの有力な企業は、自らの顧客であるユーザとインターネットを通じて直接的にコミュニケーションをしながら、自社のプロダクトをグローバルに提供することでビジネス的な成功を収めている。

更に、App StoreやGoogle Playといったスマートフォン向けアプリのマーケットが登場しており、個人であっても直接ソフトウェアプロダクトをマーケットに投入すること容易になってきた。

### 2.4. 次世代のソフトウェア開発者チームの育成

ここまでの分析から、今後は従来型の「ユーザ・ベンダ型モデル」は急速に存在感を失い、新しいタイプの企業が

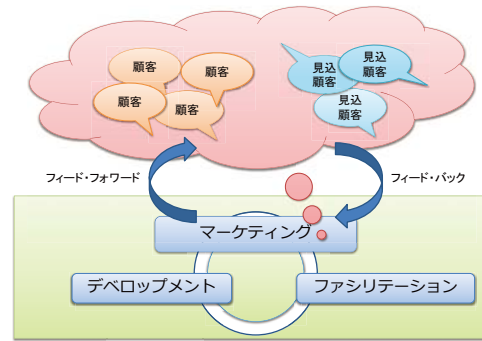


図2 コ・クリエイティブなソフトウェア開発チームの振る舞い

成長してくるものと予測する。本研究者はその際の中核概念が「コ・クリエイション」であると考えている。

すなわち、適時的にプロダクトをマーケットへ投入することで得られるマーケットからの“フィード・バック”や、将来的なマーケットの動向を予測して前もって製品に反映させる“フィード・フォワード”など、マーケットとの対話を通してプロダクトを生み出さうソフトウェア企業が求められる。これは、マーケットとのコ・クリエイションのプロセスであり、その構造は図2で示される。図1で示したモデルと比較すると、開発チームが直接マーケットとの対話を行う点で大きく異なる。加えて、今後はグローバルなマーケットに対してのプロダクト開発も視野にいれておく必要があり、このような環境で迅速にソフトウェア開発ができる能力を備えた人材育成が望まれる。

そこで、本研究ではこの「コ・クリエイティブ型ソフトウェア開発」に対応できる知識や技術を持った人材を育成するための新しい教材と教授法について研究開発することを目的とする。近年、ソフトウェアの開発プロセスを教育するためのメソッドとして、PBLが効果を上げている[14]。

ただし、既存のPBLではユーザ・ベンダ型の構造を前提とした上で、プロジェクトの中でそれぞれのロールを体験することによる教育効果を狙ったものが多い。これでは産業構造の変化を踏まえた次世代の開発者を育成する内容として不十分である。特に、グローバルなマーケットとのコ・クリエイティブな対話のプロセスや、そのベースとなる迅速なソフトウェア開発のためのチームとしてのアジャイル性を獲得する方法の体得を柱に再構成する必要がある。

以上の背景を踏まえ、次世代のソフトウェア開発者を育成するための「コ・クリエイティブなソフトウェア開発者を育成するPBL型教育」の手法を確立し、必要な教材やWebサービスとともにパッケージ化し、様々な教育機関における教育に提供できる成果を得ることを本研究の目的とする。

## 3. 研究の目標

### 3.1. PBLによるScrumの学習

アジャイルなソフトウェア開発プロセスとして近年注目されているScrumは、野中らが日本企業のベストプラク

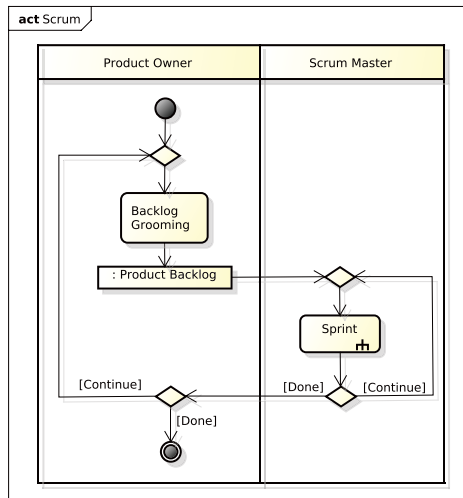


図3 Scrum のアクティビティ図 (全体像)

ティスについて述べた文献 [3] が起源だとされる。これを Sutherland らが 1990 年代半ばにソフトウェア開発プロセスとして定義した。Scrum は他のソフトウェア開発方式と比べて非常にシンプルであり、その全体像は図 3, 4 でほぼ網羅されている。このため学習すべき知識項目の数はさほど多くない。その反面、実際に Scrum をプロジェクトで実施できるようになるには相当の訓練が必要である。

このようなスキルの獲得のためには Scrum 型でプロジェクトを行う PBL を実施することにより、高い教育効果が見込める。しかしながら、大学の教室で学生が Scrum を学ぶことに適した既存の教材は見当たらない。また、指導する教員にとっても Scrum の概念を深く理解して学生を指導することは難しい。

よって、本研究では Scrum 型のプロセスを学習するための PBL 用教材を製作することを目標の 1 つとする。そのためのアプローチとして、Scrum を参考にしたアジャイルなプロセスを本研究の計画そのものにも取り入れ、アジャイルを学ぶ教材をアジャイルで製作するという、ある種メタ的な手法をとる。研究自体をアジャイルで実施することの意義は、迅速に教材を作成し、授業を展開して効果を確かめ、さらなる改善を行うというプロセスを繰り返すことで、教材の質を漸進的に向上できることにある。

Scrum はチームによる自己組織化や、作業プロセスの改善などを重視するのが特徴である。これらは、実際にプロジェクトを行なってみて具体的な課題に直面してみないとその重要性に気づかないことが多い。そこで本研究で開発する Scrum 教育のための教材は、PBL を実施中の学生および教員がオンデマンドでアクセスできるようにする。これにより、学生がプロジェクトを実施中に具体的な課題に気づき、その解決を自主的に求めることを支援できるようになる。

その最初のステップとしては、Scrum の全体概要、役割分担 (Scrum Master や Product Owner, Team Member など)、成果物 (プロダクトバックログ、スプリントバックログ、バーンダウンチャートなど)、プロセス (スプリント計画会議、デイリースクラム、振り返りなど) に関する教

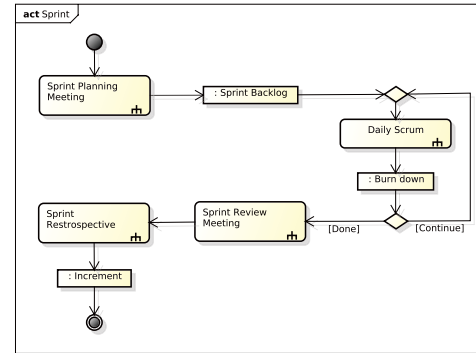


図4 Sprint のアクティビティ図 (詳細)

材を用意しておく。加えて、Scrum で実際にソフトウェア開発を行うときに利用するクラウド型のツールについても解説する。

また、ゲーム感覚で取り組めるアンプラグドなワークショップを体験させるのも Scrum の学習において効果的である。そこで、この教材では各種のワークショップ (紙飛行機作成、ボール渡し、Manager-Worker ゲームなど多数) を紹介し、実施するための方法についても内容に含める。

なお、本教材の研究開発全般において、Scrum コーチの認定資格を有する専門家に依頼し、内容等についてレビューして頂く。

### 3.2. コ・クリエイティブ型開発プロセスの学習

クラウド技術などの発展により、開発したプロダクトをインターネット上にあるグローバルなマーケットに投入することが容易になってきている。学生が実施する PBL の成果物を現実のマーケットで公開し、その評価を得ることも難しくなくなった。

そこで、PBL での成果物を実際にマーケットに投入し、コ・クリエイティブにソフトウェアの製品価値を高める体験をするための教育コンテンツを追加する。加えて、各種の Social Network などを利用してグローバルなコミュニケーションを通じたコ・クリエイティブなソフトウェア開発を行えるようにする教材開発にも取り組む予定である。

## 4. おわりに

本研究で得た知見は、本学における PBL 型授業や、他大学 (静岡大学・慶應大学等) の授業に随時導入し、その結果を積極的に発表する。発表する媒体としては、関連する学会等のほか、SNS やブログでも情報提供を行っていく。これにより、本研究における成果を広く社会に還元するものとする。

また、将来的には、作成した電子教材を各国語 (英語、中国語・韓国語及び ASEAN 諸国の言語など) に翻訳し、海外の技術者と日本の学生とが共同で取り組むことのできるグローバルな PBL へと展開したい。

## 謝辞

本研究にあたり Scrum の専門家としての立場から様々な有益なアドバイスを頂いた吉羽龍太郎氏をはじめとする Scrum コーチの方々, ならびに, 本研究の着想にあたり多くの助言を頂いた静岡大学松澤芳昭先生, 慶應義塾大学岡田健先生に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 顧客との co-creation プラットフォーム-ベストプラクティス, <http://wired.jp/2011/09/29/>, 2012-10-24 参照
- [2] クリス・ディボナ他, オープンソースソフトウェア-彼らはいかにしてビジネススタンダードになったのか, オライリー・ジャパン, 1999-07
- [3] H. Takeuchi, I. Nonaka: The New New Product Development Game, Harvard Business Review January-February, 1986
- [4] 中鉢 欣秀, 小山裕司: AIIT におけるプロジェクト型学修 (PBL) のための Backlog システムの導入, 情報処理学会 第 19 回 IOT・第 39 回 EVA 合同研究発表会, 島根県松江市, 2012-09-27.
- [5] 中鉢 欣秀, 小山 裕司: PBL を支援するコラボレーティブツールに関する考察, 産業技術大学院大学紀要, No.5, pp.100-108, 2011
- [6] 木崎 悟, 成田 亮, 丸山 英通, 土屋 陽介, 成田 雅彦, 中鉢 欣秀: 国際 PBL における的確な仕様の伝達とチケット駆動による開発作業の効率化, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2011, 東京女子大学, 2011-09.
- [7] 木崎 悟, 丸山 英通, 土屋 陽介, 中鉢 欣秀: ソフトウェア開発 PBL へのチケット駆動開発の適用による共同作業の改善, プロジェクトマネジメント学会 2011 年度秋季研究発表大会, 産業技術大学院大学, 2011-09.
- [8] 木崎 悟, 成田 亮, 丸山 英通, 中鉢 欣秀: グローバルなソフトウェア開発におけるマネジメント手法, 情報処理学会 第 172 回ソフトウェア工学研究会, 早稲田大学, 2011-05-17.
- [9] 中鉢 欣秀, 成田 雅彦, 戸沢 義夫: 加藤由花, 戸沢義夫: ベトナム国家大学とのグローバル PBL から得た知見, 産業技術大学院大学紀要, pp.1-4, 2010.
- [10] R. Nishino, M. Kojima, O. Oka, T. Okino, T. Sugita, Y. Tsuchiya, H. Koyama, Y. Tozawa, Y. Chubachi: Experience Gained through International PBL in Software Development, 1st Asia-Pacific Joint PBL Conference 2010, 2010-10-23
- [11] 中鉢 欣秀, 加藤由花, 戸沢義夫: PBL 用情報インフラストラクチャの構築と運用, 産業技術大学院大学紀要, pp.109-116, 2009
- [12] 戸沢 義夫, 成田 雅彦, 中鉢 欣秀, 土屋 陽介: Global PBL Feasibility Study の実践と得られた知見, 情報処理学会 情報教育シンポジウム論文集, pp.167-174, 2009-08-20.
- [13] 中鉢 欣秀, 土屋 陽介, 長尾 雄行, 加藤 由花, 酒森 潔, 戸沢 義夫: グループウェア導入による PBL の見える化, 日本 e-Learning 学会論文誌, Vol.9, pp.129-135, 2009-05.
- [14] 松澤 芳昭, 杉浦 学, 大岩 元: 産学協同の PBL における顧客と開発者の協創環境の構築と人材育成効果, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.944-957, 2008

# 編集後記

紀要編集委員長  
中鉢 欣秀

この度、産業技術大学院大学紀要第6号を発刊する運びとなった。本学の教員を中心とする著者による28件の論文を収録し、多様な研究成果がこの中には含まれている。情報科学や機械工学の基礎的研究もあれば情報システムの応用、ないしは、デザイン・感性領域に関するものもある。分野融合型の新しい研究を試みる本学の特性が、この紀要という形で改めて顕示されたと言えよう。

著者から投稿された論文は編集委員による査読を経て掲載しており、各論文の種別は、著者から送付された投稿票に記載されたものをそのまま掲載している。ただし、本学における研究の多様性から、査読にあたっては一般的な学術論文誌のような内容面の評価は困難であり、編集委員会では明らかな記述の誤り・誤字脱字などの有無を確認することに留めるものとした。これは、これらの多様な研究成果を一律な評価軸で判断するのではなく、むしろその多様性を保ったまま一つの論文誌という形に纏めるといことこそ本学紀要の意義なのではないかとの考えに基づく。

紀要の編集方針は、歴代の編集担当者の見解を踏まえ様々な変遷を辿ってきたと聞く。紀要の編集のあり方については今後も継続的に議論をする必要があるだろう。例えば、他分野の読者が研究の内容を評価できるような評価軸を提示することを予め著者に求めたり、研究の過程における投稿論文の位置付けについてより明確に記載してもらったり、といった工夫も必要なのかもしれない。

今回、編集委員長としてすべての論文に目を通す機会が与えられた。私自身は情報システムが専門であるが、創造系の教員の論文も大変興味深く拝読させていただいた。逆に、情報系でも相当に高度な研究もあって、なかなか読み応えがあった。

本誌を手にとられた方には、他の分野の研究者の手による論文もぜひご一読していただきたいと切に願う。他分野との融合から新しい果実を得るためには、自分と異なる立場に対する理解が不可欠であり、そのために必要となる努力をし続けることこそが、次世代への飛躍につながるのだと思う。

未筆ながら、論文を執筆された著者の皆様、編集委員各位、及び、本学事務局に感謝を申し上げ、本稿の締めとしたい。

## 紀要編集委員会

編集委員長	中 鉢 欣 秀	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 准教授
	加 藤 由 花	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 教授
	越 水 重 臣	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 准教授
	陳 俊 甫	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 助教
	土 屋 陽 介	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 助教
	吉 田 敏	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授

---

2012年度 産業技術大学院大学紀要

2012年12月 発行

編集・発行 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 <http://aiit.ac.jp/>

---