

# 産業技術大学院大学 紀 要

Bulletin of  
Advanced Institute of Industrial Technology

第 3 号

2010年 3 月

産業技術大学院大学

## 目 次

## 論 文

ソフトウェアプロセス支援環境の試作と評価 .....	秋 口 忠 三	1
気球体付きゴンドラのデザイン .....	福 田 哲 夫	13
デザイナーの継続教育のためのプログラム開発と実践 .....	國 澤 好 衛	19
Study of Service Design in LEXUS Vehicle Development .....	Noboru Koyama Mikio Yamashita Keiichiro Kawarabayashi	29
プロトタイプを用いた 3D データ化とその開発プロセスの意義 .....	奥 野 郁 夫 橋 本 洋 志 天 野 直 紀	35
製品の機能創出に関する一考察 .....	吉 田 敏 小 山 登	43
場面遷移ネットを用いたサービスの離散・連続ハイブリッド モデリングとマルチエージェントシミュレーション .....	川 田 誠 一 館 山 武 史 下 村 芳 樹	51
<b>総 説</b>		
バイオメトリック国際標準化規格の適合性評価体制に関する提言 .....	瀬 戸 洋 一 板 垣 陽 介	59
ビジュアルログ共有によるコンテキストウェア ITS 通信情報サービス .....	嶋 田 茂	67
投資効果を考慮したサーバー集約の考え方 .....	南 波 幸 雄	75
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 - .....	加 藤 由 花 中 鉢 欣 秀 戸 沢 義 夫	83
PMCDFによるシミュレーション方式教育の評価 .....	酒 森 潔	91
専門職大学院における PBL 教育のグローバル化の試み .....	成 田 雅 彦 戸 沢 義 夫 中 鉢 欣 秀 土 屋 陽 介	99

PBL 用情報インフラストラクチャの構築と運用 .....	中 鉢 欣 秀 加 藤 由 花 戸 沢 義 夫	109
同期型 e-Learning システムを用いた PBL 実証実験の報告 .....	土 屋 陽 介 森 本 祥 一 長 尾 雄 行 清 水 將 吾 森 口 聡 子 村 越 英 樹 石 島 辰 太郎	117
ICT を活用した授業改善 .....	小 山 裕 司	125
開発・設計における品質工学の有用性について .....	鈴 木 真 人 越 水 重 臣	133
ものづくり PBL の実践に関する研究 .....	陳 俊 甫 安 昌 也 村 尾 俊 幸 大 坪 克 俊 網 代 剛	141
PSP を基盤とするソフトウェア開発プロセス改善 トレーニングの実施について .....	村 越 英 樹	157
<b>研究速報</b>		
Continuous Relaxation Algorithm for Discrete Quasi L-Convex Function Minimization .....	Satoko Moriguchi Nobuyuki Tsuchimura	163
DACS 方式を実現する為のシステム実装方法について .....	小田切 和 也	171
確率的手法による DNA データベースの安全なアウトソーシング .....	清 水 將 吾	177
連続時間モデルによるウェアネス情報のデータ量の見積もり手法 .....	長 尾 雄 行	183
液中における物体の超音波による姿勢制御 .....	館 野 寿 丈	189

## CONTENTS

**Regular Papers**

Prototyping and Evaluation of Software Process Support Environment···	Chuzo Akiguchi	1
Design for the Balloon Gondola··········	Tetsuo Fukuda	13
Design and Implementation of CPD Program for Designers ·········	Yoshie Kunisawa	19
Study of Service Design in LEXUS Vehicle Development ·········	Noboru Koyama Mikio Yamashita Keiichiro Kawarabayashi	29
Significance of Making 3D Data with Prototype and Development Process ·········	Ikuo Okuno Hiroshi Hashimoto Naoki Amano	35
Study of Creational Function of Products ·········	Satoshi Yoshida Noboru Koyama	43
Discrete-Continuous Hybrid Modeling and Multi-Agent Simulation of Services Using Scene Transition Nets ·········	Seiichi Kawata Takeshi Tateyama Yoshiki Shimomura	51
<b>Review Papers</b>		
A Proposal of Conformity Assessment Framework for Biometric International Standardization in Japan ·········	Yoichi Seto Yosuke Itagaki	59
Context Aware ITS Communication Services by Visual Log Sharing ·····	Shigeru Shimada	67
Effectiveness of IT Investment on Server Consolidation with Virtualization Technology··········	Yukio Namba	75
PBL Education on a Professional School – A Case Study on Advanced Institute of Industrial Technology – ·····	Yuka Kato Yoshihide Chubachi Yoshio Tozawa	83
Evaluation of the Simulation Type Education by PMCDF ·········	Kiyoshi Sakamori	91
Adoption of Global PBL to the Globalized the Software Development Education ·········	Masahiko Narita Yoshio Tozawa Yoshihide Chubachi Yosuke Tsuchiya	99

Development and Operation of Information Infrastructure System for PBL .....	Yoshihide Chubach Yuka Kato Yoshio Tozawa	109
An Empirical Report of PBL with Synchronous e-Learning System .....	Yosuke Tsuchiya Shoichi Morimoto Takeyuki Nagao Shogo Shimizu Satoko Moriguchi Hideki Murakoshi Shintaro Ishijima	117
An Improvement for Teaching and Learning with ICT .....	Hiroshi Koyama	125
Quality Engineering in Product Development and Design Stage .....	Masato Suzuki Shigeomi Koshimizu	133
A Study on the Practice of Project-Based Learning in Master Course of Innovation for Design and Engineering .....	Junfu Chen Masaya Ando Toshiyuki Murao Katsutoshi Otsubo Tsuyoshi Aziro	141
About the Execution of PSP Based Training for Software Process Improvement .....	Hideki Murakoshi	157
<b>Short Notes</b>		
Continuous Relaxation Algorithm for Discrete Quasi L-Convex Function Minimization .....	Satoko Moriguchi Nobuyuki Tsuchimura	163
System Implementation of Realizing DACS Scheme .....	Kazuya Odagiri	171
Secure Outsourcing of DNA Databases Based on a Probabilistic Approach .....	Shogo Shimizu	177
A Method to Estimate Data Volume of Awareness Information Using a Continuous Time Model .....	Takeyuki Nagao	183
Orientation Control of Objects in a Liquid Medium by Using Ultrasonic Standing Wave .....	Toshitake Tateno	189

# ソフトウェアプロセス支援環境の試作と評価

秋 口 忠 三 \*

## Prototyping and Evaluation of Software Process Support Environment

Chuzo Akiguchi\*

### Abstract

In this paper, we describe a software process support environment which provide a framework and tools for logging software process data, including work time, product size and defect information. We begin by studying two software process models, prescriptive process model and agile process model, followed by setting our sights to functions adaptable to both process models. Based on the study, a prototype system was developed based on our educational software development environment ASH in order to bring out what should be automated by scripting and/or effectively supported by dialogical tools. Two typical case examples are described to evaluate our approach.

Keywords: Software Process, PSP, Agile Software Development, Software Development Environment, Educational Software Development, Process Programming

### 1. はじめに

ソフトウェア工学では、開発対象のソフトウェアを構成するプロダクトとプロダクトを生成するプロセスの両方を扱う。プロダクトは開発の過程で生成されるすべての成果物を含む。プロセスはプロダクトを生成する工程であり、そこで使用される活動、手法、ノウハウを含む。ソフトウェア開発プロジェクトの最終的な目的は、高品質のプロダクトを予定されたコストと納期の制約の中で完成させることである。ソフトウェア開発プロジェクトの目的を安定して達成するためには、健全なプロセスが必要である。それぞれのプロセスは、組織、チーム、および個人の、これまでの開発経験とその中で蓄積してきた知識とデータに基づいている。

プロセスは新しいプロジェクトの要件に対応できるようにたえず改善が必要である。そのためにはプロセスデータを収集し、それを活用する仕組みを作らなければならない。本稿では個人レベルのソフトウェアプロセスを対象に、プロセス改善に必要なプロセスデータの収集の仕組みについて考察する。

筆者は、ソフトウェア開発の教育用の開発環境 Ash の開発を行っている [1]。Ash は、Java プログラミングやオブジェクト指向開発の教材として利用する他、開発プロセスの教材として利用できるものを目指している。本稿では、Ash の上に試作したソフトウェアプロセス支援

環境について報告する。これはソフトウェアプロセスを構成する一連の開発ステップの中に、プロセスデータの自動収集機能を組み込んだもので、開発者にほとんど負荷をかけることなく有用なプロセスデータが収集できる点が大きな特徴といえる。

本稿では、まずソフトウェアプロセス自体に焦点を当て、基本的なソフトウェア開発のプロセスの特徴を整理し、本稿で目指すソフトウェアプロセス支援環境の要件を提示する。次に、本支援環境のベースとなるソフトウェア開発環境 Ash の概要とソフトウェアプロセスデータの自動収集に関わる基盤機能について述べる。続く各節で、ソフトウェアプロセス支援環境の機能、適用事例、評価について述べる。

### 2. ソフトウェアプロセス支援のねらい

#### 2.1 ソフトウェアプロセスの種類

ソフトウェアに要求される機能を、コストと納期の制限の範囲内で、一定の品質レベルで実現することが、ソフトウェア開発プロジェクトのもっとも重要な関心事である。これはあらゆるソフトウェア開発プロジェクトの普遍的な目標と言えるであろう。この目標達成のためには、機能、品質、コスト、納期に係る多くの要因のバランスを取りながら、各プロジェクトの最適なプロセスを選択あるいは設計する必要がある。

ソフトウェアプロセスは、開発組織の規模（要員数）や文化、開発するソフトウェアの規模や種々の特性、社会に与える影響度などによって、様々な形態がとられる。それらの多くは、規範のプロセスとアジャイルプロセスに大別することができる [2]。規範的なプロセスとは、ソフトウェア開発に厳格な規律を設け、ドキュメント重視、計画重視 (predictive) を特徴とする。一方アジャイルプロセスでは要求や環境の変化への柔軟な適応性 (adaptive) に比重を置く。両者の本質的な違いはアジャイルソフトウェア開発のマニフェスト [2] に象徴的に表現されている。

## 2.2 規範のプロセス

規範的なプロセスの代表的な体系として、Watts S. Humphrey が提唱した能力成熟度モデル CMM [4]、チームソフトウェアプロセス TSP [5]、パーソナルソフトウェアプロセス PSP [6] がある。それぞれ、組織レベル、チームレベル、個人レベルの各レベルにおいて、プロセスを改善する方法論が示されている。彼の方法論で特筆すべき点は、成熟度レベルを定義し組織としてのプロセス改善を段階的に進める道筋を CMM で提示した上で、そのような組織を作る上で欠かせないチームと個人の能力を改善する訓練プログラムを詳細に提示している点であろう。

この中で、プロセス改善を行うためには、現状の定量的な理解が不可欠であるとし、CMM では、レベル 4 の管理されたレベルから最終段階のレベル 5 の最適化プロセスへ移行する条件としてプロセスデータの自動収集の支援があげられている。さらに組織としてのプロセス改善は個人のソフトウェアプロセスの改善なくして実現できないとの考えから PSP を策定し、プロセスデータの収集の方法と、それらのデータを利用したプロセス改善を行う仕組みを示した。

著者は、修士課程の学生向けに TSP と PSP の手法によるソフトウェア開発演習の講義を担当し、また自ら実践する中から、これらの手法の有効性と限界に関して考察する機会を得た。演習実施後の学生の感想として、データに基づくプロセス改善の考え方は多くの学生の賛同を得た。学生はデータにより意外な事実が付きプロセス改善の意識付けができた。またデータに基づき規模と作業量の見積もり精度を高めることの可能性を理解できた。さらにこれから行う作業に対してまずプロセスを設計することの価値を認めた学生もいた。

一方で、各種成果物の規模計測、各フェーズごとの作業時間測定、欠陥記録などのデータ収集や、データの分析や各種メトリックス計算など事後分析の負荷が大きいことが指摘された。また、仕様が明確でない場合には、仕様作成、設計、実装、テストの各フェーズを明確に分

けることは実際的ではなくデータ収集も不可能であるという意見もあった。

実際のソフトウェア開発の業務に PSP の考えを導入するためには、これらの負荷の軽減と、さまざまな開発形態でのプロセスデータの収集する仕組みが不可欠であろう。

## 2.3 アジャイルプロセス

アジャイルプロセスの代表例としては、XP (eXtreme Programming) [7] やスクラム [8]、クリスタル方法論 [9] などがあげられる。本稿で議論するプロセス支援環境の観点から、アジャイルプロセスの要点を以下に整理する。

- 1～3週間程度の開発サイクルを繰り返し実施する反復型の開発プロセスとし、1回の反復開発で動作するプログラムを完成させる程度の粒度まで要求仕様を細分化する。プログラムの規模はモジュールレベル（数百行あるいは数クラス程度）であり、個人のソフトウェアプロセスとして完成できる程度とする。
- ソフトウェア全体をできるだけシンプルな状態に保ち続ける。そのために複雑になったソースコードはより理解と拡張が容易になるようにリファクタリングを行う [10]。リファクタリングによる修正誤りを防止するために回帰テストの作成を義務付ける。
- 回帰テストは、開発するプログラムの仕様を明確に理解するために、プログラム設計フェーズで設計し、開発対象プログラムと並行してまたは先立って作成する。
- 実装する機能の優先度の決定はユーザが責任を持つが、その機能の実現に必要な規模と工数の見積もりには開発者が責任を持つ。
- 無駄な作業や不要な中間成果物を極力排除し、動作するプログラムの実現に注力する。動作するプログラムはいつでもビルドできるように自動化しなければならない。
- ソースコードは開発チームのメンバー全員が共同所有し、改善箇所を発見したら誰でも修正できる。そのためにコーディング規約を定義し全員が遵守しなければならない。
- 各回の反復開発で動作するプログラムが完成した時点で「ふりかえり」(retrospectives) を実施しプロセスの改善を行う。

以上の項目は多くのアジャイルプロセスで採用されているプラクティスである。これらのプラクティスはツールの支援によって可能になる。すなわち、アジャイル開発を実践する上で、複数人の共同開発の柔軟性を高める版管理システム、回帰テストの作成を容易にするテストフレームワーク、ビルドなどの作業を自動化するための

スクリプト言語などが必須のツールとなる [11].

## 2. 4 ソフトウェアプロセス支援

規範的なプロセスの考察から、データ収集の仕組み作りの重要性を指摘できる。プロセスを改善するためには、まず現状をデータに基づいて把握し、改善すべき項目を優先度をつけて特定し、高い優先度の改善項目から着実に実行することが必要である [4][6]。この考えは多くの技術者が同意するであろう。ここで、まずデータ収集を実践することが必要であるが、データ収集の負荷は非常に大きい。従って、ソフトウェア開発の実業務の中で、プロセス改善のためのデータ収集を行うためには、データの自動収集のための仕組みとツールの提供が不可欠であるといえる。

アジャイル開発を行うチームでは、PSP や TSP で要求するような詳細な開発データの収集は通常行っていないと思われる。しかし、ほとんど負荷のかからないデータ記録が可能になれば、そのデータを「ふりかえり」に利用し、より適切なプロセス改善が可能になると期待できる。

アジャイルプロセスの検討から、ツールを活用した定型的作業の自動化の促進と、柔軟な協同作業の支援が、必須のプラクティスと考えられる。これらのツールの利用は、どのような開発プロセスでも有効であり、プロセス支援環境としては、これらのツールの利用を前提に考えるべきであろう。

以上の分析から、実際のソフトウェア開発作業で採用される様々な開発プロセスに適用できるソフトウェアプロセス支援策として、データの自動収集を中心とした以下の機能の提供が有効であると考えた。

- 設計、コーディング、テストからなる基本的な開発プロセスを定義し、その定義に従って開発を支援する。
- 作業項目ごとの作業時間の記録を簡易化または自動化する。
- 定型作業のスクリプト記述による自動化を促進する。
- 階層構造をもつ複数のファイルから構成される成果物の規模を自動計測する。
- 各作業項目に対する作業時間と成果物の修正量を自動計測する。
- モジュールレベルのプログラム開発で単体テストの上位の回帰テストの作成を支援する。

## 3. Java プログラミング環境 Ash の概要

Ash は Java 言語によるソフトウェア開発の教育用に開発した Java プログラミング環境であり、Java と JRuby によるソフトウェア開発と実行時環境を提供し

ている [1]。ソフトウェア開発プロセスの教育用を主たる適用領域としているが、実用性も備えており、設計レビュー等のソフトウェア開発における会議支援システムの試作 [12] や、RSNP のロボット側アプリケーション開発環境 [13] の実現基盤としても利用している。

Ash では、ソフトウェア開発の基本アクティビティを改善するために、既存のツールを利用しつつ、開発対象のソフトウェア特性に応じた新規の支援ツールによって、自らの開発環境を拡張できる枠組みを提供している。ソフトウェアプロセス支援環境は、この拡張機能の一つとして実装した。ここでは、Ash のアーキテクチャとプログラミング環境、ソフトウェアプロセス支援機能の概要を述べる。

### 3. 1 Ash のアーキテクチャ

Ash のアーキテクチャを図 1 に示す。実行環境としては、パイプで連結して利用できるフィルタコマンド構築用のライブラリと Java の GUI 構築用ライブラリである Swing をラッピングした GUI 構築用簡易ライブラリがある。また、マルチスレッド環境で、複数のコマンドを並列動作させることができる。



図 1 Java プログラミング環境 Ash のアーキテクチャ



図 2 Java プログラミング環境 Ash の画面イメージ



### 3. 2 Ashの外観と機能の概要

Ashプログラミング環境の画面イメージを図2に示す。ソフトウェア開発環境としては、GUI環境で利用できるUnix風の各種コマンドとGUI画面を簡単に作成できる記述言語を提供している。コマンドの開発にはJavaとRubyを利用することができ、開発したコマンドはオンザフライで他のコマンドと同様にパイプで連結して利用することができる。

Ashの開発環境の特徴を以下に要約する。

#### 1) 独自コンソールからのコマンド実行

ファイル操作、テキスト処理、その他ソフトウェア開発で有効性が実証されているUnix風のコマンドをコンソールのコマンドラインから実行できる。パイプ&フィルターのコマンド連結アーキテクチャを提供しており、コマンドを連結してテキストデータの加工を行うことができる。また、外部アプリケーションとの連携が可能であり、Java以外の言語で作成されたアプリケーションをコマンドとして利用できる。

#### 2) ファイル編集ツール

ファイルの編集と表示のために、関連するファイル群をタブで切り替えて編集できるマルチテキストエディタおよび、テーブルエディタ、ツリーエディタを、コマンドとして提供している。各種コマンドの実行結果をパイプで受けて表示・編集ができる。マルチテキストエディタは、各作業に対応づけて作成することができ、その作業のファイル群を同時に編集しやすくしている。

#### 3) ファインダ

ファインダは、Windowsのエクスプローラのようなビジュアルなディレクトリ/ファイルの操作機能を提供する。ある特定の作業で使用するディレクトリとファイルから構成することができるので、プロジェクト全体の大きな森ではなく、現在作業に関係する一部の林と木の集まりに集中できる。また特定のディレクトリの配下にあるファイルが更新された場合、その更新時刻を記録する機能がある。この機能を利用することによって、外部エディタによる編集の履歴の記録も可能になる。

#### 4) コマンドランチャ

コマンドランチャはUnixのmakeコマンドに相当する構成管理機能をGUI環境で利用可能にする。コマンドランチャを利用することによって、ソフトウェアプロセスを一連のコマンド実行によって実現できる。

#### 5) スクリプト言語

一連のコマンドを組み合わせて高機能のコマンドを実現するためのスクリプト言語を提供している。また

JRubyを組み込んであり、Rubyプログラムの実行も可能である。

### 3. 3 Ashのソフトウェアプロセス支援機能

ソフトウェア開発のあらゆる作業は、ソースコードを含む様々な種類の文書の作成と修正を伴う。作業の結果の成果物は、新規に作成された文書または、改版された文書である。文書作成のプロセスには一連のステップがあり、各ステップに対応して、各文書は、作成着手、調査・検討、初期生成、加筆/修正、ドラフト完成、レビュー待ち、レビュー済み、承認待ち、承認済み、初版完成、公開、改版着手、調査・検討、加筆/修正、更新版完成、などの状態を持つ。

複数の文書からなる成果物の構成とそれらに対する作業ステップを関連付け、修正履歴や各ステップの所要時間等のデータをできるだけ少ない手間で記録する仕組みがなければ、実業務に影響を与えることなくソフトウェアプロセスの改善を行うための基礎データ収集することは困難である。

Ashではこのような仕組みを作るために、以下に示す機能を提供している。

#### 1) プロセスプログラミング支援

定型的な作業をスクリプトで記述しそれを簡単な操作で実行できる。このスクリプト記述は、Unixのmakeファイルと同様の、ファイル間の依存関係とファイルの更新時刻に基づくコマンドの自動実行の機構を採用している。関連する作業項目を、makeファイルをコマンドランチャから対話的に利用できるようにしてある。

#### 2) 作業環境と作業履歴管理の定義

複数の作業を同時に並行して進める場合に、各作業ごとの作業環境と作業履歴を簡単に切り替える仕組みを提供している。各作業環境は数個の作業ディレクトリと関連する作業コマンドを定義した数個のmakeファイルから構成される。これらの作業環境の定義をtask.mkというmakeファイルで記述し、コマンドランチャから特定の作業環境を指定できるようにした。このコマンドランチャをtaskランチャと呼ぶ。taskランチャを使って作業環境を切り替え、該当する作業環境のディレクトリ群をファインダで参照するとともに、この作業環境に関連するコマンド群をコマンドランチャから起動できる環境を容易に作るができる。作業切り替え時に、作業履歴ログを変更できる。この作業ログを解析し、各作業におけるコマンド実行の頻度を自動集計することができる。

#### 3) 文書作成作業と作業履歴の記録の支援

ソフトウェア開発作業に関連して、各作業で作成す

る文書、参照する文書、作業用の中間メモ等のすべての文書は、簡単に、生成、参照、編集、保存でき、その作業の履歴を自動収集できる。また、その作業履歴に対して、作業者は作業メモや備考を記録できる。

#### 4) タスク管理

複数の作業項目を並行して実行する場合、各作業項目の履歴を記録することは困難である。Ash では、各作業項目に作業コードを付け、作業項目毎にワークエリアと作業項目定義記述を用意し、これらに関連付ける仕組みを用意した。現在の作業項目に適したワークエリアとコマンドランチャ、操作パネルの作業環境で作業を行い、実行した一連のコマンドを、作業コードと関連付けて履歴管理している。この履歴情報から、各作業項目毎の作業時間を集計する機能を実現できる。

### 4. ソフトウェアプロセス支援環境の試作

本節では、Ash 上で試作したソフトウェアプロセス支援環境について述べる。本ソフトウェアプロセス支援環境は5つの機能から構成されている。

- ①作業時間の計測：タスク毎の作業時間の記録と集計
- ②作業環境の構築：ファイндаとコマンドランチャによる作業ディレクトリと作業手順の管理
- ③開発作業履歴の記録：作業履歴の自動記録の方法
- ④成果物の規模の計測：LOC カウント
- ⑤差分規模の自動集計：diff コマンドの差分出力結果の集計

以下の各節で、それぞれを詳細に述べる。

#### 4. 1 作業時間の計測

PSP では、プロセスをいくつかのフェーズやタスクに分割し、それらの実行ステップと実施すべき作業内容をプロセススクリプトとして詳細に定義している。この定義されたプロセスに従って作業を進める中で、各ステップに要した作業時間を厳密に記録することが求められている。作業の中断時間も正確に記録できるようにストップウォッチの利用が推奨されている。データの記録方法として LOGT というフォームシートが用意されており、各ステップの区切りで、これに作業ステップと所要時間を記録しなければならない。

このような作業時間の記録を容易にするために PSPTIMEKEEPER というツール（コマンド名は pspk）を用意した。PSPTIMEKEEPER の画面イメージを図3に示す。このツールはプロセス定義ファイル（後述）を指定して起動する。プロセス定義ファイルに定義された各タスクごとに、作業の開始、中断、再開、終了の時間ログ

をボタン押下だけで記録することができ、各タスクごとの時間累計と全体作業時間の合計を、中断時間を含め確認する機能がある。この時間ログの情報はテキストファイルで保存され、他の作業ログ情報と組み合わせて利用することができる。

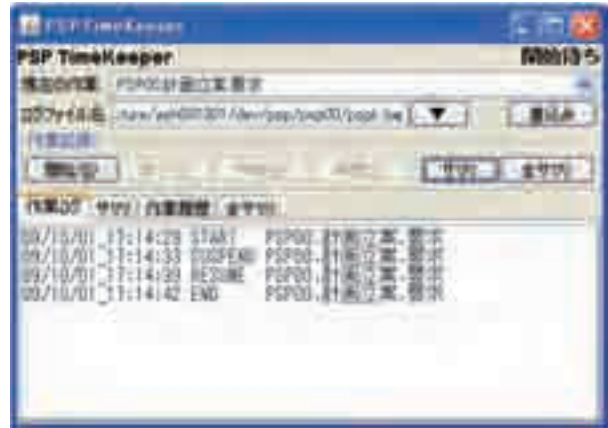


図3 PSPTIMEKEEPER の画面イメージ

#### 4. 2 作業環境の構築

3. 3 節で述べたように、Ash では一つの作業環境を一つのファイндаと複数のコマンドランチャによって管理する枠組みを提供している。ここではこの枠組みの中でソフトウェアプロセス支援環境を構築する方法を手順を追って説明する。

##### 1) 作業環境の定義

作業環境の定義例と対応する作業環境の画面を図4に示す。ファイндаに表示すべき複数のディレクトリがファイндаを起動するコマンド finder のパラメータとして記述され、また関連する作業を記述した make ファイルがコマンドランチャを起動するコマンドのパラメータとして記述されていることがわかる。

この例は本稿執筆時の作業環境であり、原稿を保存するディレクトリ、参照資料がおかれたディレクトリ、対象プログラムの開発に必要な仕様書、設計書、ソースコードなどがおかれたディレクトリと、例題のプログラム開発に必要な一連の作業手順を定義したものである。仕様書を参照しながらプログラミングを行う一般的なソフトウェア開発も同様に定義できるであろう。

##### 2) プロセス定義ファイルの作成

プロセス定義ファイルは、PSP のプロセススクリプトのステップに対応した活動をリストアップしたファイルである。図5にプロセス定義の例を示す。PSP では PSP0 から始まり、0.1, 1, 1.1, 2, 2.1 と段階を踏んでプロセスを詳細化・高度化している。図5のプロセス定義例は PSP2.1 のプロセススクリプトから作業時間計測の対象となる主要な活動を抽出したものであ

る。これをたたき台に、それぞれの開発案件に応じて修正して利用することを想定している。



a) 作業環境定義ファイルの例 (抜粋)

のコピーを作業環境の中に取り込んでおくと良いであろう。

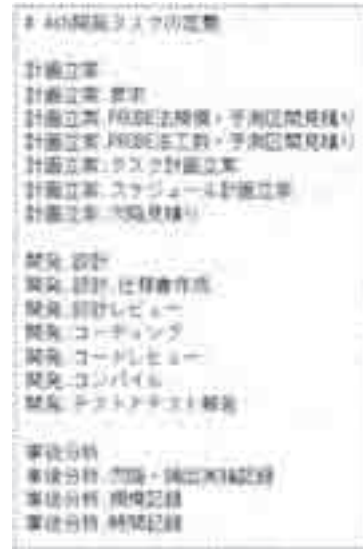


図5 プロセス定義の例



b) kiyou2009 に対応する画面

図4 作業環境の定義 kiyou2009 と対応する画面

### 3) 仕様書のひな型の用意

仕様書や設計書などのドキュメント類に関しては、各開発組織毎にドキュメント標準が定められている場合が多い。作業環境を構築する最初の段階で作成すべきドキュメントを特定し、そのひな型となるファイル

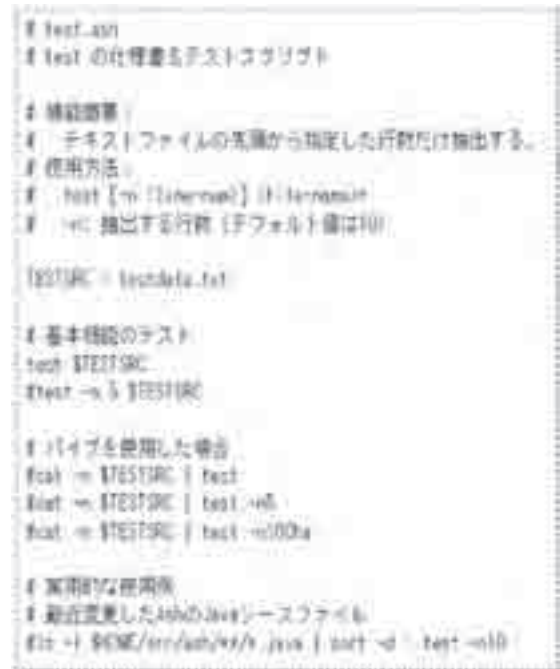


図6 Ash コマンドの仕様書のテンプレート

図6に示すのは、Ashのフィルターコマンドを作成する場合の仕様書のテンプレートである。この仕様書はテスト仕様書を兼ねており、仕様書の作成と同時に、テスト仕様書を実行できるスクリプトとして作成し、一つのファイルとして管理することを可能にする。

プログラムのテストはこのテストスクリプトを実行することによって行う。実行結果の確認は、あらかじめ期待される出力結果をテキストファイルとして用意しておき、diffコマンドでそれとの差分をとることによって自動化できる。また、アジャイルプロセスで行われるような段階的に機能を作りこんでいく開発の

スタイルでは、機能の作り込みと並行してテストスクリプトのテストケースを追加し、各作りこみ段階の出力結果を精査した上で、次の作り込み機能のテストとの比較データとして利用する。このようにフィルタコマンドとして実現できるプログラムに関してはテストファーストの開発スタイルをシステムレベルで実践する手段となる。

#### 4) ベースラインコードの用意

ほとんどのソフトウェア開発では、全くのゼロから開始することは少ない。大規模ソフトウェアの機能強化の開発では、大量のソースコードの中から修正すべき部分を特定しそれを作業環境の中に取り込むことがまず必要になる。また新規機能開発であっても、既存のソースコードをベースに、不要なコードを削除し、ある部分を修正し、新規の機能を追加することが一般的な開発のスタイルになるであろう。特にフレームワークを利用したソフトウェア開発では、いくつかのひな型になるソースコードを準備し、新規機能のコードをこのひな形のコードの適切な箇所に作り込む必要がある。ひな型を記述した適切なテンプレートファイル用意し、ベースラインとして作業環境の中に取り組みを組みをスクリプトで記述すれば、作業環境の構築のかなりの部分を自動化できるだろう。

また版管理システムを利用している場合は、リポジトリから作業コピーを取り出しベースラインコードを作成することになる。版管理システムとの連携機能については次節で述べる。

### 4. 3 開発作業の支援と履歴の記録

本稿では、一つの動作可能なプログラムを作成するための作業環境とその作業環境で行う開発に係る活動を合わせてプロジェクトと呼ぶことにする。

4.2で述べた作業環境の構築が完了したら、個人レベルのソフトウェアプロセスに従ったプロジェクトを開始する準備ができたことになる。すなわち、このプロジェクトへの作業環境の切替、プロセス定義に従ったプロセスの実行と作業時間の記録、用意された仕様書のテンプレートとベースラインコードの編集による成果物の作成が可能になる。

本プロセス支援環境の主要な目的は、一連の開発作業の中で、できるだけ開発者の負担をかけることなく有用な作業履歴のデータを自動収集することである。この自動収集機能の要件を検討するために、開発作業を進める過程で開発者とプロセス支援環境の間でどのような相互作用が発生するかを分析した。その結果は以下の通りである。

#### ① 文書作成用のアプリケーションの起動

② ソースコード編集のためのエディタの起動

③ 一群のソースコードのコンパイルをおこなうためのコマンドの発行

④ コンパイルによって発生するコンパイルエラーの確認、エラー箇所の特定と修正

⑤ テスト実行によって発生するエラーメッセージの確認、エラー箇所の特定と修正

⑥ 欠陥データの記録

⑦ 完成したプログラムと関連するドキュメントのバージョン管理システムへの登録

開発者はプロセス支援環境に上記の相互作用のトリガとなるコマンドを発行し、プロセス支援環境はこのコマンドを受けて、一連のコンパイル・テスト実行と時間ログの記録などを行う。自動化できる処理をスクリプトで記述し、また対話的な記録支援ツールで作業を効率化することによって、開発者の作業データを記録する負荷を大きく軽減することができる。欠陥データの登録などの作業は、自動的に記録されたコンパイルとテスト実行のエラーログの記録を元に作業の区切り目で実施できるようになる。これは開発作業を中断することなく重要な記録を残すことを可能にする。

以上の検討をもとに、プロセス支援環境の開発作業履歴の記録機能を試作した。図7は、LOCカウントプログラム開発用のプロセス記述の抜粋である。このプロセス記述もテンプレートを用意し、プロジェクトごとに独自に指定すべき部分を修正するだけで利用できるようにした。カスタマイズすべき項目は、図4の例では、プロジェクト名、コマンド名、クラス名、ソースファイルのパス名である。

図7に示すように、このプロセス記述では、4.2で述べた作業時間計測ツール pspk を起動するコマンドに加えて、標準的な開発プロセスの支援機能 (appdev.mk)、作業ログの管理機能 (worklog.mk)、版管理システムである Subversion との連携機能 (svn.mk) を利用している。それぞれ、make ファイルのスクリプトとして作成した。これらのコマンドはコマンドランチャから起動できる。

以下にそれぞれのスクリプトの機能の概要と全コマンドの連携した利用形態についてを述べる。

#### 1) 標準開発プロセス支援

標準開発プロセス支援機能としては、5つのコマンドがある。lint は、ソースファイルパス名で指定されたディレクトリの配下にある Java ソースファイルをコンパイルし、コンパイルエラーが発生したらそれを error.log ファイルにアペンドする。lint でコンパイルエラーがなくなったら、PSP で定義する意味でのコンパイル完了の状態になる。

runtime は、テストスクリプトを実行し、その実

行の結果ランタイムエラーが発生したら、そのエラーメッセージを error.log ファイルにアペンドする。JUnit 等のテストを実行した場合は、ソースコード上の問題個所の情報を含むエラーメッセージが記録される。実行時エラーがなくなったら、PSP で定義する意味でのテスト完了の状態になる。

defect は、欠陥記録を登録する対話的ツールを起動し、結果を defect.log ファイルにアペンドする。図 8 欠陥記録用の対話ツールの画面と defect.log の例を示す。defect.log は PSP の LOGD の内容とほぼ同じである。

errorView と defectView は、それぞれ今までのエラーメッセージと登録済みの欠陥記録を表示するコマンドである。



図 7 LOC カウントプログラム開発用のプロセス記述



図 8 欠陥記録の登録画面と defect.log の例

## 2) 作業ログの管理

作業ログの管理機能としては、7 個のコマンドがある。initwork は開発開始の時刻とベースコードの規模を作業ログファイル (work.log) に記録する。

editsrc はベースコードのファイルをマルチテキストエディタ上に表示し編集可能状態とし、編集開始時刻を work.log に記録する。commitsrc は、テストが完了した一群のソースコードを版管理システムにコミットすると共に、ソース規模と作業開始前のソースコードとの差分情報 (削除行数, 追加行数, 修正行数) を記録する。worklog は work.log の内容を表示する。worklog の内容については、後述する図 10 を参照されたい。

comdiff は、一群のソースコードのコメント行を抽出する (これをコメント差分と呼ぶ)。srcdiff は、コミット前のソースコードとコミット後のソースコードの差分を diff コマンドで求めた結果を表示する (これをソース差分と呼ぶ)。locdiff はコメント行と空白行を削除した内容について srcdiff と同様の差分を表示する (これを LOC 差分と呼ぶ)。これら 3 つの差分抽出のコマンドは、開発途中の任意の時点で、修正や拡張内容を確認するために利用することができる。

## 3) 版管理システムとの関係

チームによる開発では版管理システムは不可欠のツールであるが、個人のソフトウェアプロセスにおいても同様に有用であり、この機能を最大限に活用すべきである。作業履歴の管理を行う場合、版管理システムと密な連携をとり、容易に利用できる環境を提供することが重要であると考えた。そこで版管理システム Subversion の基本コマンドを対話的に利用できる機能をスクリプトで記述し、コマンドランチャから起動できるようにした。図 7 に示す SVN 管理のコマンド群は、版管理システムとの連携用スクリプト (svn.mk) のコマンドから選択したものである。

特定のプロジェクトに組み込む版管理コマンドの他に、版管理のリポジトリの操作を行うコマンド類をまとめたスクリプト (svnrepos.mk) も併用して、版管理システムとの連携を図っている。ここでは、リポジトリの生成 (create)、プロジェクトの初期登録 (import)、作業コピーの作成 (checkout)、リポジトリ URL の削除 (deleteURL)、各種リポジトリ情報の表示機能をコマンドランチャから利用できるようにしてある。

コマンドランチャから起動するコマンドに加えて、Subversion の作業コピーが置かれたディレクトリに対しては、ファインダから mkdir, add, delete, move, copy, diff などの Subversion のコマンドを対話的に利

用できるようにした。

#### 4) コマンドの連携使用形態

図9に本ソフトウェアプロセス支援環境を利用したプログラム開発の典型的なフローを示す。このフローに従ってコマンドを実行すると、ソースコードの編集画面、エラーログの表示画面、作業ログの表示画面が表示されるが、一つのプロジェクトには、一つのマルチテキストエディタが関連付け、タブの切り替えでこれらの画面の表示内容を確認できる。initwork, editsrc, lint, runtime, worklog などのコマンドを実行した後の画面例を図10に示す。

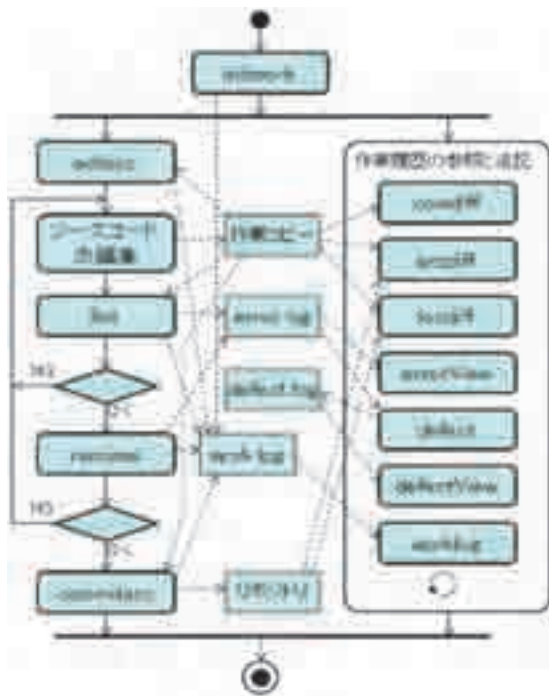


図9 プログラム開発の典型的なフロー

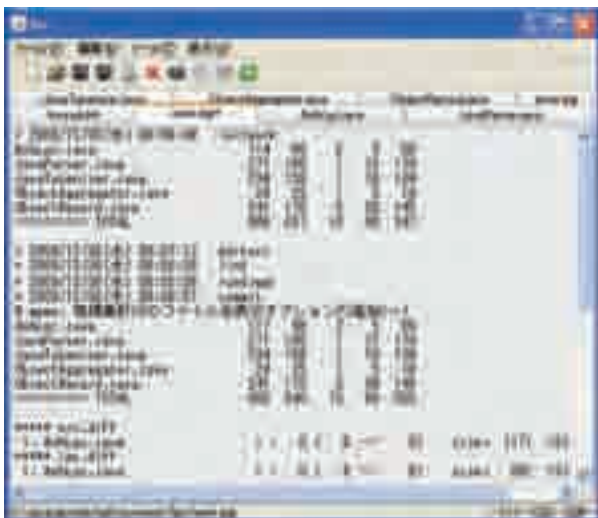


図10 開発作業履歴記録用コマンド実行後の画面例

#### 4. 4 成果物の規模の計測

成果物の規模データは、その作成に要する作業時間(工数)と共に、生産性と品質を計る上で最も基礎的なデータとなる。仕様書や設計書などのドキュメントやプログラムのソースコードなど、成果物の種類によって規模データの尺度に関して様々な候補が考えられる。成果物としてプログラムのソースコードを対象とすると、コメント行と空白行を除いた行数(以後LOCと呼ぶ)が、工数との相関を考えたときに、最も有用な規模データであると言われている[6]。本支援ツールでは、PSPの演習の課題プログラムとして取り上げられたソースコードの行カウンタのプログラムを、コーディング標準の制限をつけずに書かれた構文的に正しいJavaプログラムに適用できる一般化したツール(LOCカウンタ)として提供している。

図11に、LOCカウンタ(コマンド名はloc)を使って、このツールのソースコードの規模を計測した結果を示す。各ソースファイルに対して測定された5つの数値は、それぞれテキスト行数、LOC行数、クラス数、メソッド数、メソッドの行数を意味する。メソッド行数はメソッド宣言を含むメソッド本体のLOC行数の合計値である。メソッド行数と全体のLOC行数の差は、package宣言、import文、クラス宣言、フィールド定義に関するコード量である。なおLOCカウンタは、クラス宣言の詳細やメソッドシグニチャー一覧を表示する機能などをオプションで指定できるので、Javaのソースコードからクラス図レベルの概要情報を取得するツールとしても利用できる。

work/log	loc	cls	meth	methLOC	java
128	109	2	7	77	testLoc.java
271	188	1	12	179	JavaParser.java
234	158	1	16	132	JavaSerializer.java
28	25	1	5	18	ObjectAggregator.java
241	170	5	30	145	ObjectReader.java
902	651	10	30	502	----- TOTAL
151	126	3	5	95	

図11 LOCカウンタツールの規模計測

#### 4. 5 差分規模の自動集計

作業の区切り目で、前の段階の成果物と現状のそれとの差分を、その作業に費やした時間と共に記録すると、きめ細かな作業効率の現状把握が可能になる。commitsrc コマンドでは、ソースコードの版管理システムへのコミットと同時に、この差分情報を work.log に記録する。この差分情報の自動計算のために、diff コマンドの出力結果を解析するツールを ruby プログラムとして作成した (anlzdiff.rb)。この解析ツールでは、まず diff コマンドで作業前後の成果物の差分をとり、それから追加行数、削除行数、修正行数を計算する。修正が入っ

たすべてのソースファイルに対してこの差分計算を行いその結果を集計する。

コメントと空白行を含むソースコードと削除したソースコードのそれぞれに対してこの差分計算を行い、コメントによる設計情報の記述とコーディングの各々の作業を区別したデータを記録できるようにした。前者は主に詳細設計作業やソースコード完成後のリファクタリング作業に関連付けられ、後者はコーディング作業と関連付けられるので、両者のそれぞれの作業効率や作業品質を図る基礎データとして利用することができる。

図 12 に、LOC カウンタのリビジョン 20 と最新リビジョンの間の差分の集計結果を示す。この 2 つのリビジョン間で、差分結果を集計する機能を汎用化しクラスとして追加した。追加クラスにはプラス記号をつけてある。src.diff はコメント行を含む差分集計の結果であり、loc.diff はコメント行を除いた差分集計の結果である。両者の差分はコメント行の修正量を示す。

ファイル名	行数	削除	追加	修正
src\loc.java	27	0	5	32
src\loc.diff	27	0	5	32
src\loc.java	27	0	5	32
src\loc.diff	27	0	5	32

図 12 2つのリビジョン間の差分集計

## 5. ソフトウェアプロセス支援環境の評価

### 5.1 Ash のコマンド (loc) の開発への適用

本ソフトウェアプロセス支援環境を構成するツールである LOC カウンタの最初の版は、PSP の演習課題の 3A として作成した [6]。作業時間の計測には PSPTimeKeeper を使った。このプロセスデータを図 13 に示す。JavaTokenizer は JavaAPI として提供されている java.io.StreamTokenizer を拡張したクラスであり、課題 2A のプログラムを開発するときに作成したものを再利用している。従って課題 3A で開発したソースコードは、LOC が 168 行、クラス数は内部クラスを含めて 5 クラス、メソッド数 18 である。工数は PSPTimekeeper で記録した。図 13 の b) はそのサマリ情報である。

第 1 版を開発した後、メソッドシグニチャを解析する機能などを追加しバージョンアップを行った。本稿作成時の規模は図 11 に示した通りである。開発の後半では、本プロセス支援環境でプロセスデータを収集しながら開発を進めた。PSPTimeKeeper で作業時間の記録

をとらなくても work.log にプロセス改善に必要なほとんどのデータは記録できている。ただし中断時間も含めて各フェーズの作業時間を厳密に記録したい場合は PSPTimeKeeper を使用するのが良いだろう。

現在の Ash では、LOC カウンタは標準コマンドとしてインストールされている。LOC カウンタの機能強化は、回帰テストを含めてローカルな環境で実施し、完成したコマンドを Ash 環境にインストールする一連の作業もスクリプトを作成し、コマンドランチャからのインストールコマンドの実行で行えるようにした。Ash 環境の拡張のプロセスが構築できたと考えている。

ファイル名	行数	削除	追加	修正
src\loc.java	27	0	5	32
src\loc.diff	27	0	5	32
src\loc.java	27	0	5	32
src\loc.diff	27	0	5	32

項目	値
PSPTimeKeeper 実行	0:11:12(4.00%)
PSPTimeKeeper 実行	2:11:08(53.83%)
PSPTimeKeeper 実行	0:13:41(6.00%)
PSPTimeKeeper 実行	1:09:52(35.33%)
PSPTimeKeeper 実行	4:13:51

図 13 LOC カウンタの最初のバージョンの規模と工数

### 5.2 GUI プログラム (mandelbrot) の開発への適用

mandelbrot プログラムは、マンデルブロ集合<sup>1</sup>を表示するプログラムである。図 14 に GUI 画面を示す。マンデルブロ集合の表示領域に加えて、画面の上部に、表示する座標位置や解像度を入力するフィールド、ズームインやズームアウト、画像保存のボタンなどがある。メモは現在の画像の中心座標がメモ領域に記録される。

このプログラムの開発では、プロセスの各フェーズの時間測定は行わず、図 9 に示したフローに従って、基本的な開発プロセスの実行コマンドだけを使って開発を進めた。図 15 に最後の 2 回分の変更履歴 (work.log の抜粋) を示す。前半部分ではウィンドウのリサイズに対応する修正を行っている。二つのソースファイルを変更しており、合計で 407LOC のソースコードに対して、追加が 15 行、削除が 3 行、修正が 6 行である。ソースの修

<sup>1</sup> 漸化式  $\{z(0) = 0; z(n+1) = z(n)^2 + c\}$  で定義される複素数列  $z(n)$  が、 $n \rightarrow \infty$  の極限で無限大に発散しないという条件を満たす複素数  $c$  の集合をマンデルブロ集合という。  $z(n)$  が発散を始める  $n$  の値に対応した色を  $c$  の座標位置に描画することによって、マンデルブロ集合を多彩な図形として描画できる。

正時間は38分、コンパイルエラーはなく、動作の確認に18分程度の時間がかかっていることが分かる。後半部分ではコメントの修正を行っている。約20分ほどの時間をかけ、18行のコメントを記述したことが分かる。

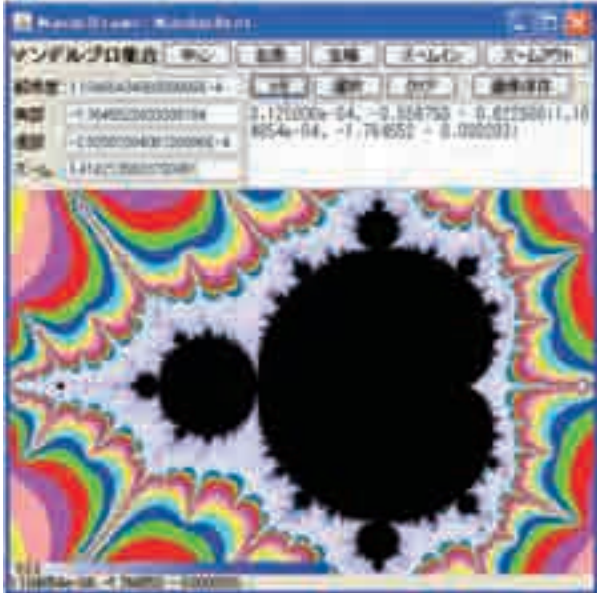


図14 マンデルブロ集合の表示プログラム

コマンド	実行時間	結果
1. Makefile compile	0.00	成功
2. Makefile run	0.00	成功
3. Makefile clean	0.00	成功
4. Makefile test	0.00	成功
5. Makefile help	0.00	成功
6. Makefile quit	0.00	成功
7. Makefile compile	0.00	成功
8. Makefile run	0.00	成功
9. Makefile clean	0.00	成功
10. Makefile test	0.00	成功
11. Makefile help	0.00	成功
12. Makefile quit	0.00	成功

図15 マンデルブロ集合プログラムの変更履歴

このように、特にプロセスデータの記録を意識しない開発を行っても、図9の作業フローさえ守っていれば、開発の開始、編集の開始、コンパイルエラーの修正時間を含むコンパイル時間、テストエラーの修正を含むテスト時間、開発規模データなどのプロセスデータを詳細に記録できることを確認できた。コンパイルエラーの内容とテスト実行エラーの内容についても error.log に記録

されている。error.log を見ながら欠陥分析を行い、欠陥の内容が確認後 defect コマンドを使って1件当たり数分以内（多くは1分以内）で登録作業を完了できた。欠陥登録を行う一連の作業は、プログラムの完成後に行うこともでき、開発作業を中断するストレスから解放されることを実感できた。

このプログラムは対話性が高く、動作するプログラムを見て新たな機能強化項目を思いつくことが多かった。たとえば、特定の座標位置の表示に切り替えるためのズームインとズームアウト、マウスでフレームをドラッグする位置指定機能、気に入った画像を保存する機能、その座標情報をメモする機能、頻度情報の表示機能などである。また表示性能のチューニングでは、一連の時間測定の手順をスクリプトで記述することによって、試行錯誤の作業の効率化が図れた。これら一連の機能強化の際のプロセスデータも、先と同様に新たな負担をかけることなく収集できた。

このように、本プロセス支援環境は、動作するプログラムを早い段階で作成し、それに対してユーザのフィードバックを得ながら製品品質を向上させるというアジャイル開発プロセスにもなじむものであると言える。

## 6. むすび

本稿では、ソフトウェアプロセス支援環境としてプロセスデータの記録を自動化または効率化するための仕組みと支援ツールを試作し、モジュールレベルのプログラム開発に適用した事例を元に有効性の評価を行った。

まず基本的なプロセスモデルとして規範的なプロセスモデルとアジャイルプロセスモデルを検討し、両者に適用可能で有効であると思われるプロセス支援機能を洗い出した。次に基本的な開発プロセスを定義し、そのプロセスを実行する中でプロセスデータを収集する仕組みをAsh上でJavaプログラムと、Ash, make, rubyのスクリプトによって作成した。またこの支援環境を使って、いくつかのプログラム開発のプロセスデータを収集した。本稿ではその典型的な2つの例での評価結果を報告した。

Ashの基盤環境についても、コマンドランチャの機能強化やGUI画面を記述するスクリプト機能、作業環境をプロジェクト単位で管理するためのマルチテキストエディタの開発、外部のテキストエディタによる編集履歴を収集する仕組みなど、プロセス支援として必要と思われる機能強化を並行して行ってきた。Ash本体を含むJavaプログラムのソース規模と、本支援環境の試作において作成したスクリプトの規模をそれぞれ表1と表2に示す。



表1 AshのJavaプログラムのソースコード規模

No.	行数	有効行	空白行	コメント	ファイル数	ディレクトリ名
1	223	163	19	41	3	src/ash
2	2,567	2,239	68	260	26	src/ash/command
3	875	792	30	53	3	src/ash/command/diff
4	5,068	4,009	151	908	32	src/ash/framework
5	1,001	837	29	135	5	src/ash/make
6	414	324	12	78	2	src/ash/ruby
7	999	825	30	144	7	src/ash/util
8	2,291	1,796	83	412	12	src/ash/gui/console
9	2,397	1,859	87	451	13	src/ash/gui/core
10	3,808	3,230	156	422	19	src/ash/gui/editor
11	2,009	1,730	65	214	11	src/ash/gui/filesync
12	1,270	1,153	47	70	8	src/ash/gui/tools
13	1,097	781	88	228	10	src/ash/es
14	767	599	46	122	7	src/ash/es/admin
15	508	382	24	102	2	src/ash/psp/guitool
16	903	651	23	229	5	src/ash/psp/loc
17	882	559	32	291	6	src/ash/psp/stat
	27,079	21,929	990	4,160	171	TOTAL

表2 本支援環境のスクリプトコード規模

No.	行数	有効行	空白行	コメント	ファイル名
1	307	242	32	33	psp/anzldiff.rb
2	12	7	2	3	psp/anzldiffloc.ash
3	15	7	4	4	psp/anzrevdiff.ash
4	116	86	20	10	psp/appdev.mk
5	35	28	4	3	psp/defectd.ash
6	178	137	23	18	psp/devlog.mk
7	11	7	2	2	psp/diffloc.ash
8	38	23	9	6	psp/diffrev.ash
9	8	3	3	2	psp/diffrevd.ash
10	36	26	7	3	psp/srcstore.mk
11	325	266	37	22	psp/svn.mk
12	116	96	15	5	psp/svnrepos.mk
13	47	37	4	6	psp/svnwork.mk
14	230	196	28	6	psp/task.mk
15	75	58	13	4	psp/worklog.mk
	1,549	1,219	203	127	TOTAL

Ashの開発目的のひとつは、コマンドラインとビジュアルツールの長所を兼ね備えた開発環境の研究である。すなわち、操作の簡易性と理解性の向上が期待されるビジュアルな開発支援ツールと、キーボードからの操作性と繰り返し作業の自動化に優れたコマンドラインやスクリプトによる開発支援ツールの両者の最適な連携を、実用的な開発環境の構築を通じて研究することである。開発対象のソフトウェア特性に応じた独自の支援ツールを手早く作成することによって、自らの開発環境を拡張できる枠組みを実現することが目標である。

本稿で報告したソフトウェアプロセス支援環境を実現する上で、拡張性は極めて重要であると実感した。実用性を高めるためには、開発者自身が、開発するプログラムの特性に応じてプロセス自身を柔軟に拡張できる仕組みが必要である。これを可能にするプロセス記述言語の開発は、開発プロセスを効果的に学習するための開発環境を構成するもので、Ashの研究対象の中でも重要と考えている。今後の研究課題としたい。

## 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, 2007.

- [2] Roger S. Pressman: "実践ソフトウェアエンジニアリング", 西康晴他監訳, 古川絵子他訳, 日科技連, 2005.
- [3] "Manifesto for Agile Software Development", <http://www.agilemanifesto.org/>
- [4] Watts S. Humphrey: "ソフトウェアプロセス成熟度の改善", 藤野喜一監訳, 日本電気ソフトウェアプロセス研究会訳, 日科技連, 1991.
- [5] Watts S. Humphrey: "Introduction to the Team Software Process", Pearson Education, Inc., 2000.
- [6] Watts S. Humphrey: "パーソナルソフトウェアプロセス技法", 松本正雄監訳, ソフトウェア品質経営研究会訳, 共立出版, 1999.
- [7] ケント・ベック: "XPエクストリーム・プログラミング入門", 長瀬嘉秀監訳, 永田渉他訳, Pearson Education, Inc., 2000.
- [8] ケン・シュエイバー, マイク・ビードル: "アジャイルソフトウェア開発スクラム", 長瀬嘉秀他監訳, スクラム・エバンジェリスト・グループ訳, Pearson Education, Inc., 2003.
- [9] アリスター・コーバーン: "アジャイルソフトウェア開発", 長瀬嘉秀他監訳, Pearson Education, Inc., 2003.
- [10] マーチン・ファウラー: "リファクタリング: プログラミングの体質改善テクニック", 児玉公信他訳, Pearson Education, Inc., 2003.
- [11] David Thomas, Andrew Hunt, Mike Clark, "The Pragmatic Programmers", 長瀬嘉秀監訳「達人プログラマー」, 株式会社アスキー, 2005.
- [12] M. Narita, Y. Murakawa, C. Akiguchi, Y. Kato and T. Yamaguchi: "Push Communication for Network Robot Services and RSi/RTM Interoperability", FUZZ-IEEE2009, 2009.
- [13] 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.

# 気球体付きゴンドラのデザイン

福田 哲夫\*

## Design for the Balloon Gondola

Tetsuo Fukuda\*

### Abstract

This balloon gondola was designed to allow emergency evacuation that is mooring at the roof of a high-rise building. Usually applications was intended to be used as a restaurant and observation room. An emergency such as fire, and floating away from the roof of a high-rise building. This balloon gondola can be navigated correspond to the wind and weather conditions. The important thing is that people will be able to evacuate from the high-rise building to the safe place.

Keywords: balloon gondola, mooring, high-rise building, emergency evacuation,

### 1. はじめに

この研究は大都市における安全や安心という命題に対する解決策として、高層建築物屋上へ気球体付ゴンドラを係留配備し、避難方法の提案とその展開可能性を探るものである。なお本稿は、2009年10月15日特許出願公開された日本国特許庁/特開2010-234311号広報に記載した発明内容を元に、運用上の多面的な活用方法などについて加筆修正と若干の解説を加えたものである。

また高層建築物屋上を活用し、自然の風や太陽光などクリーン・エネルギーによる空中移動手段の提案であって、環境の21世紀に求められるゼロエミッションでの運用を目指すものである。

通常時は高層建築物屋上に配置された構築物の一部として利用され、展望室や観測台、あるいは食堂設備を利用したレストラン、ビュッフェ、カフェなどに利用される。非通常時には高層建築物屋上に配置された構築物から離脱し移動可能な気球体付ゴンドラである。空中浮揚手段、姿勢制御手段及び推進手段を備え非常用緊急脱出装置として設計されている。また高層建築物屋上に配置された構築物に対する係留手段を備え、組み合わせで協調運用ができるよう機能的設計がされている。

### 2. 背景

大都市の暮らしに対する人々の欲求は、物理的な“モノ”から心理的な“コト”へと進化している。そして五感に訴える魅力的なしつらいの“場”としては、安全性の高い設備機能の充実とともに、こころ豊かな安心感の

ある都市基盤が求められるところである。

近年の都市部において建造される建築物は、土地面積に対する空間の有効活用等を理由に、延べ床面積の増加を目指し高層化する傾向が著しい。天変地異に弱いと言われる都市部では、このような高層建築物において災害時の緊急事態に対応する安全な避難手段となると技術開発が遅れており、まだ解決策としてその糸口さえ見えていないのが現状であり課題となっている。

例えば火災や地震などの災害時に高層建築物の上層階に取り残された人々を救助するには、ヘリコプターでの救出が考えられる。

しかし高層建築物の屋上にはヘリコプター着地用のヘリポートが設置されているのみで、常時避難用のヘリコプターを屋上に配備しておくことはなされていない。

配備対費用効果を考えれば、ヘリコプターを常時配備するだけでは通常経費を賄えないことは明らかである。また配備したとしても化石燃料を使用した機器装置としては、低炭素社会を目指し環境に配慮し構成される21世紀の枠組みには馴染まない。

一方、人を乗せて空中を移動する飛行船等については、従来から多数の提案がなされている。例えば現在使用されている気球船は主に観光用やスポーツ用が主目的であり、飛行船は、主に遊覧飛行を目的として飛行場や広場から人を乗船させてゆっくりと飛行する移動体としている。そして、飛行船は安全性の観点から、高層建築物への接近を回避する装置が取り付けられていて、飛来した飛行体は、屋上に停止して高層建築物の屋上等に取り残された人々を救助することは全く考えられていない。

したがってこの発明によって解決しようとするこ

は、災害等の非通常時に高層建築物内の人々が避難できるようにするため、高層建築物等の屋上に通常時から配備しておくものであり、非常時には人々を乗せて、短時間に高層建築物等の屋上から離脱して安全な場所に着地避難することのできる装置として考案、その利用頻度を高めることにより持続可能なシステムとして機能させることを目的としている。

### 3. システムの概要

この発明による課題を解決するための手段とシステムは、次のような内容である。

- (1) 通常時は高層建築物屋上に配置された構築物の一部として利用され、非通常時には高層建築物屋上から離脱して移動可能な気球体付ゴンドラであって、空中浮揚手段、姿勢制御手段及び推進手段を有する気球体、気球体とゴンドラとを結合する結合部及び高層建築物屋上に対する係留手段を備えた気球体付ゴンドラである。
- (2) 上記気球体の両側面には水平方向にストライプ状の突条が設けられるとともに、その上部には複数の姿勢制御用の空気噴出用手段を備えている。
- (3) 上記構築物は展望設備や食堂であり、通常時は展望設備や食堂の一部として利用され、災害時等の非通常時には係留手段を高層建築物屋上に配置された展望設備や食堂から切り離し、上記推進手段により安全な場所にゴンドラを移動させることが可能な機能的特徴を備えている。

### 4. 気球付きゴンドラの解説

この気球体付ゴンドラの提案は、災害等の非通常時に高層建築物内の人を乗せて避難させることができるとともに、通常時にも高層建築物屋上の構築物又は構築物の一部として展望設備や食堂の他、多目的な施設とすることにより継続的な使用を可能とし、有効活用することが期待できる。

ここでこの気球体付ゴンドラの実施形態について、図面を参照にして以下詳細の説明をする。

なおこの提案は、例示した実施の形態のものに限定されないことはいうまでもない。

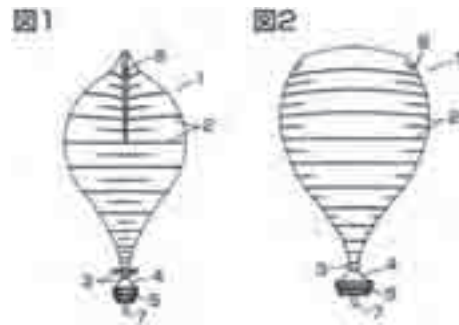
図1、図2に気球体付ゴンドラの模式図を示す。図1は、気球体付ゴンドラの正面模式図であり、図2は、その側面模式図である。

図1、図2において(1)は、気球体である。気球体は内部に球状体を有しこれを外皮で包囲している。図1、図2から分かるように気球体の形状は、上方部中央は凸弧状になっており、周縁部は内部の球状体を包囲してい

るので扁平形状となっている。また下方部は細長い逆円錐台形状となっている。

そして気球体内部の球状体には、ヘリウム等の空気より軽い気体が収納され、非通常時にはゴンドラを牽引して空中に浮揚できるように組み込まれている。

気球体の上記外皮には、軽量かつ強度のある軽合金・炭素繊維等の素材またはそれらに準ずる複合素材が使用されている。



符号の説明：

1. 気球体
2. 突条
3. 推進手段
4. 結合部
5. ゴンドラ
7. 係留手段
8. 空気を噴出する手段

図1 気球体付ゴンドラの正面模式図

図2 気球体付ゴンドラの側面模式図

また気球体には、水平方向にストライプ状の突条(2)が複数形成されている。これは係留時あるいは浮揚時に風の流れの影響を避け、気球体が横風等に対して安定となるようにするものである。さらに気球体の上部には、空気を噴出する手段(8)が異なる方向に複数個設けられており、必要に応じて空気を噴出して気球体の姿勢を制御し安定させるようにしている。

気球体の下部には、移動時に気球体を水平方向に移動させる推進手段(3)が設けられている。更に、推進手段の噴射方向を垂直方向にも可変できるように設定しておけば、気球体の上昇・下降に際し、その昇降手段としても利用可能である。

さらに気球体には、風向き、風の強度等の変動に対して姿勢を制御する手段が設けられている。姿勢を制御する手段は、気球体の姿勢を検出するジャイロ・スコープを含み、これにより姿勢検出信号を得て、空気を噴出する手段(8)及び必要に応じて上記推進手段(3)を制御する。

さらに気球体の下部にはゴンドラとの接続部 (4) が設けられている。図 1, 図 2 では気球体及びゴンドラは接続部 (4) を介して直結されているが、例えば接続部 (4) としてユニバーサルジョイントを採用して気球体の揺れがゴンドラに及ばないようにすることもできる。この場合には気球体からの揺れが緩和されるためゴンドラ内は快適な空間を維持することが可能となる。

## 5. ゴンドラ設備の解説

図 4 において (5) は、人を収容できるゴンドラである。通常時は、高層建築物屋上に配置された構築物 (6) に収容固定されその施設の一部として利用される。このためゴンドラには密閉できる出入口が設けられている。出入口は、階段設備やエレベータ等により屋上の構築物との通行に利用され協調運用が可能としている。

図 3 は、構築物 (6) に一部収容固定されたゴンドラの実施形態を例示する。図 3 に示すゴンドラは、展望室等として利用することができる。ゴンドラ内には必要に応じて椅子等の備品が備えられている。また非通常時に対応できるような操縦室が設けられ、気球体付ゴンドラの操縦手段が備えられている。

ゴンドラの形状は、下部が狭まった形状のものが好ましい。下部が狭まっていることにより、飛来した際に高層建築物屋上の構築物 (6) の中に収容しやすい利点がある。また眺望性の観点からも視界が得易く望ましい形態となっている。

構築物 (6) が展望室であればゴンドラはビューフェ等展望食堂として、また構築物 (6) に一部収容される場合には、ゴンドラは展望室として、また構築物 (6) に全体が収容される場合には、ゴンドラは待合室・料金所・受付・案内所等多目的な施設として利用することができる。

このように気球体付ゴンドラは、災害等の非通常時に被災者等を乗せて構築物 (6) から短時間で離脱して空中を飛行し安全な場所に避難することができる。

なおゴンドラを構築物の一部として使用するのではなく、ゴンドラ全体を高層建築物屋上の構築物として利用することも可能である。このような場合には、浮揚のためにより大型の気球体を必要とする。

また本発明における非通常時としては、災害等に限らず、イベント飛行や広告媒体として、近隣高層建築物への連絡用など一時的な気球体付きゴンドラの使用も含まれる。

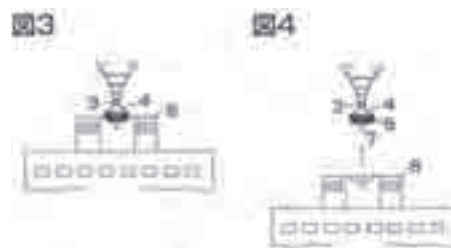
## 6. 係留装置の解説

気球体付ゴンドラには、係留手段 (7) が中心軸上に

衝撃緩和装置とともに設けられている。

係留手段 (7) は、ゴンドラが移動しないように高層建築物屋上又は高層建築物屋上の構築物 (6) に係留しておくためのものである。実施形態ではゴンドラの下部に突起を設けておき、係留時には高層建築物屋上又は高層建築物屋上の構築物に設けられたアンカーに挿入固定される。

なお本発明の係留手段はこれに限定されず、通常時にゴンドラが移動しないように高層建築物屋上又は高層建築物屋上の構築物に確実に係留しておけるものであればよい。



### 【符号の説明】

3. 推進手段
4. 結合部
5. ゴンドラ
6. 高層建築物屋上の構築物
7. 係留手段

図 3 構築物の一部として利用する時の模式図

図 4 構築物との離脱あるいは着地する時の模式図

図 4 は、気球体付ゴンドラが構築物から離脱あるいは構築物上に着地する時の模式図である。人を乗せて気球体付ゴンドラが構築物から離脱する時は、気球体付ゴンドラは、アンカーから係留手段 (7) を解除し、気球体の浮力及び必要に応じて推進手段 (3) を利用して浮揚する。そして、推進手段 (3) により飛行して、災害時等であれば安全な場所に着地することができる。

屋上施設への接地係留にあたっては衝撃緩和装置によりゴンドラ内の安全性に配慮されている。

一般的な飛行船における係留法は、以下の 6 項があげられる [3]。 (1) 人力によるもの、 (2) 自動車を利用したもの、 (3) 組み立て式のマスト利用のもの、 (4) 自走式マスト利用のもの、 (5) 地上接地係留のもの、 (6) 空中浮揚係留のものとなっている。

本発明は (6) 項の空中浮揚係留に準ずるが、一般的な飛行船の外形は横型形状の場合がほとんどであり風向きによっては船尾の軌跡が大きく球面上に広がることとなる。本発明の使用が想定される密集した高層建築物周辺では、縦型の気球体形状の採用によりこのような風向きの影響を受け難く姿勢の変化は少なくなる。また縦型形

状であるため屋上接地係留方式には最適で、係留に必要な必要面積は極端に狭くて澄むことにもなる。

## 7. その他の用途と可能性

一般的に気球あるいは飛行船本来の機能は飛行や空中停止などに威力を発揮する移動体であるが、この提案では通常時において別の用途として係留されており、非通常時は浮揚飛行するという逆転の発想による新概念の気球付きゴンドラの提案である。



図5 非通常イメージ

このことから概念設計の狙いは使用頻度を高めて資源生産性向上を図り、その移動推進方式であるクリーンエネルギーとともにエコデザインを目指すものである。

これらの概念設計の特徴を生かした応用例としては以下のようなことが考えられる。

- 1) 非通常時としては、高層建築物そのものからの出火や落雷の他、台風などの風水害や地震等を原因として都市基盤が機能不全に陥るなど、基幹施設などへのアクセスが不可能となるような場合には威力を発揮して、復旧活動への導入により円滑な遂行が期待できる。さらには非通常時における脱出用装置の他、移動式臨時交通管制センターや緊急物資輸送装置として、あるいは空中にあって地上環境の影響を受けることなく移動式の災害対策室や救急医療センターなどとして活用することが可能となる。
- 2) 通常時には高層建築物の屋上に設置係留してあり、展望台や展望食堂、休憩喫茶室等の用途としても活用することができる。さらに高層建築物の屋上間の移動装置として活用すれば、これまでのバイク便等による事務書類や郵便の配達、タクシーによる人の移動等に替わる新しい移動体として活用することも考えられる。



図6 気球付きゴンドラのイメージ図

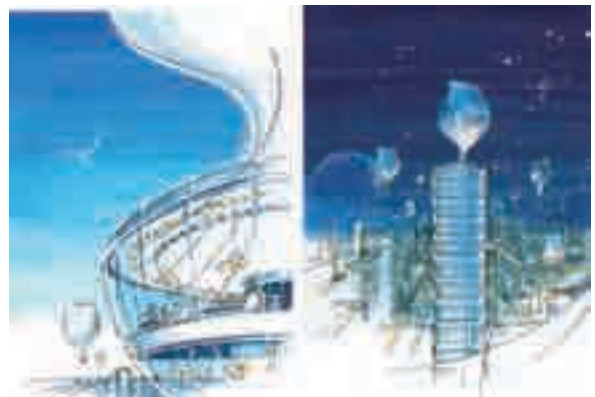


図7 通常イメージ

図8 設置景観イメージ

以上、施設運用の頻度を向上させ恒常的な売り上げが確保できれば、その利益の一部または全部を通常時の維持管理費用に充てることが可能となり、持続的運用可能なビジネスモデルとして機能することが考えられる。

またクリーン・エネルギーによる充電システムをスマートグリッドへ組み込むことにより持続的運用をより確実なビジネスモデルへと進化させることが可能となる。



図9 飛行・空中停止イメージ

## 8. まとめ

かつて人類が憧れた空への夢は気球によって開かれた。この気球付きゴンドラの提案はその概念を最新技術により再構築することにより、大空の自由な移動や旅を、あるいは都市の安全や安心を実現しようとするものであり、自然との調和を目指し環境を考える21世紀において、都市の高層建築物群を想定した防災システムの提案でもある。ゼロエミッション航行を実現する推進装置等には、脱石油エネルギーの風力とともに太陽光や太陽熱とを組み合わせた発電装置など、低炭素社会実現へ向けたクリーン・エネルギーを想定している。

自ら浮力を持つ気球付きゴンドラは、空中停止の際にもエネルギーをほとんど使用しない。したがってエコデザインとして物質エネルギー供給率を抑制しながら製品の機能性向上を図ることにより資源生産性を高めることが可能となる。

また、高層建築物の時代に合わせた都市防災の観点からだけでなく、通常時における静粛性やゆったりとした動きや速度からは、人々の余裕ある行動を促し、時間を楽しむ心のゆとりも期待できる。“安心感”という新たな価値を創り出すためのデザイン提案である。

これまで、都市空間における緊急災害など非通常時に着目しアイデアを深めてきたが、高層建築物に対応した緊急避難や防災措置はほとんどなされていないのが現状である。

この提案の実現には予測されるスマートグリッドなど効率的なクリーン・エネルギーの受供給体制との連携や超軽量素材の登場を待つことになる。また高層建築物屋上への法的規制等システム構築に必要な都市基盤整備など課題は山積している。他の防災システムとの組み合わせによる概念共有から再構築まで、ランドデザインの描ける国や自治体の防災対策に期待したい。

## 参考文献

- [1] 日本国特許庁, 特開 2009-234311 号広報.
- [2] 日本国特許庁, 特開 2004-249954 号広報.
- [3] 田中新造, “飛行船の雑学,” グラフ社, 1983.
- [4] 天沼春樹, “飛行船,” KTC 中央出版, 2002.

# デザイナーの継続教育のためのプログラム開発と実践

國澤 好 衛\*

## Design and Implementation of CPD Program for Designers

Yoshie Kunisawa\*

### Abstract

After 1990's, the problem that industrial design must solve has suddenly changed. We must bring up the designer who can solve a new problem. In addition, we must develop a systematic conversion program for designers playing an active part in industry. And we must implement it. Therefore we decided to implement it with the development of the CPD program for designers in collaboration with the designer's training program that Tokyo government carried out. This action started in 2006. And these are continuing this year.

This report summarized development contents, process and situation about designer's CPD program.

Keywords: design education, CPD (Continuing Professional Development),

### 1. はじめに

専門職人材の継続的な能力向上プログラムとして実施されているCPD (Continuing Professional Development) については、我が国においてもすでに多くの専門分野において関連学協会などが中心となり推進されているところである。しかし、残念ながらインダストリアルデザインの分野においては未だ実施のための十分な環境整備ができていないのが現状である。これまで数年にわたり日本デザイン学会ならびに(社)日本インダストリアルデザイナー協会、(財)日本産業デザイン振興会などが中心にCPD, Accreditation, 資格制度を並行して議論してきたが、現時点では、(社)日本インダストリアルデザイナー協会が、独自に資格制度を設け、一部試行する(2010年度開始を予定)にとどまっている。

ところで、1990年代以降、我が国の産業構造の変化を背景にインダストリアルデザインに対するニーズが急激に変化してきており、新たなニーズへ対応できるデザイナーの育成、特に既に社会で活躍しているデザイナーのための体系的なコンバージョンプログラムの開発と実践が喫緊の課題となっている。

そこで、学協会などでの議論とは別に、東京都が中小企業向けデザイン活用プログラムの一環として実施するデザイナー講座をベースに、段階的にCPDプログラムの開発と実践を試みることにした。この取り組みは、2006年に本学を母体に検討委員会を設け、産業界でのデザイナー継続教育ニーズに関する調査を踏まえプログ

ラムの骨格を設計し、ファーストトライアルを実施したものである。その後修正を重ねながら今年度まで継続している。

本報告は、このデザイナー向け継続教育プログラムについて、開発過程、開発内容、実施状況などをまとめたものである。

### 2. デザインニーズ

#### 2.1 デザインの様相

デザインはその成り立ちから、かたちや色彩にかかわる合目的性や審美性の問題に関心が集中しがちだが、本来的には新たな価値を創造する行為であって、極めて生産的で文化的な活動である。こうしたデザインの機能や価値を正しく理解し、今日の産業や地域の課題にデザイン力を活用していくことが求められている<sup>[1]</sup>。しかしながら、現在高等教育などで行われているデザイン教育は、その多くが旧来の延長上(かたちの操作にフォーカスした)にあり、今日の多様なデザインの状況に対応する人材の育成を目指した体系となっていない。このことは、我が国のインダストリアルデザイン分野の多くのデザイナーが企業に雇用される形態、いわゆるインハウスデザインシステムに組み込まれていることと関係している。それは、デザイナーを雇用する企業が、まずは自らのプロダクトサイクルの設計開発過程においてデザイン力を活用することを考えており、そのため、新たに採用するデザイナー予備軍に対しても、その実践力としてのコン

ピテンシーを求めているからである。また、デザイン教育機関もこうした産業界のニーズに応えることを優先しているために、実はデザイナーに本来必要な知識やスキル教育を提供する機会を放棄しているのである。もちろんこうした実情を理解し、いくつかの大学院教育<sup>2)</sup>において新たな取り組みが始まっているのも事実である。

こうした企業と教育機関との関係は、我が国にインハウスデザインシステムが定着する1950年代のデザインモデルが前提となっているが、それがいまだに業界内で信奉され続けていることを示している。しかし今日、デザインの様相は大きく変化している。とりわけ1990年代以降の構造変化により、我が国のインダストリアルデザインは、プロダクトやシステムの合目的性や審美性を追求することより、新たな社会的意味を創造し提案するという、より本質的なイノベーションの行為そのものに関心が移ってきた。デザインの力、デザインの方法論を新たな取り組みに適用することが求められているのである。このデザインの力とは、新たなこと、変化すること、混乱させることといったデザイン行為に秘められた変わりうる能力を活かし、新たな意味を示すことである。そして、デザインの方法論とは主に非言語を用いてデザインの力を実現するための手法を指している。

このデザインの様相の変化をさらに述べれば、デザイン（主にインダストリアルデザインにおいて）は、原初の機能として非言語の操作によりモノの審美性を追及する「かたちの操作」という働きを有するが、今日的にはシステムやプロダクトとユーザーとの関係の再構築に、そして、社会や産業の問題を文化的視点から再編集するというデザイン行為への変化ということである。これは、デザインのシンセティックな（統合的な）機能や新たなビジョン、コンテキストを示す力を活かそうという試みである。今日の多くの社会システムが、機能的・経済的合理性を優先し、かつ部分最適なシステムとして構想されてきたが、それらをより俯瞰的に、あるべき姿への道程として再編集することで、全体最適に近づける行為と捉えることが出来る。これは、多様な領域を統合したソリューションコンセプトをデザインすることであり、政治、経済、芸術など多様な領域を統合することである。そして、20世紀のテクノカルチャーが遠ざけてきた心理的、文化的コンテキストを採用することである。そのため、デザイナーには多様な状況を理解し、克服する知恵と実行力が不可欠となっている。

## 2.2 これからのデザイン人材に求められる視点

一方、(財)日本産業デザイン振興会がまとめた「次世代デザイン人材育成」ビジョン<sup>3)</sup>によれば、我が国の2004年時点のデザイナーの総数は、約17万人（米国で

50万人程度）、産業規模は約2.4兆円程度と推計された。また、同報告書によれば、その10年後においては、これまで大手製造業中心であったデザイン需要が、中小製造業やサービス業などへひろがり、また公的分野や環境、医療、健康などの成長領域での需要拡大により、産業規模は12兆円程度に膨らむものと予測されている。これは、デザイン手法をより高度な問題解決や今日の活動の再編集に利用し、デザイナーが新たなデザインの様相に対処することを見込んだものである。そして、こうした新しい様相に対処できるデザイナーの出現により、デザイナーの総数は、5倍の80万人程度になると見ている。この予測の妥当性はさておき、デザイナーの総数が拡大方向にあることは否定できないのではないだろうか。

図1は、デザインニーズの拡大を構造的に表したものである。今日のデザイン人材育成にとって、実はこの右斜め上に向かう新しい様相に対処できるデザイナーの育成が問題なのである。それは、デザインに課せられる、あるいはデザイナーが解決しなければならない課題が極めて複雑化、高度化してきているにもかかわらず、それらに対処できる人材の育成が行なわれてこなかったということによる。そして、このことは我が国のデザインを旧来のモデルに封じ込め、世界的な競争力を失わせることをも意味している。

## 3. デザイン人材の教育ニーズ

こうした、デザインニーズの変化に対応するために新たな教育的枠組みが必要となっている。

一方、東京都の産業労働局商工部創業支援課が推進するデザイン活用プロジェクト「TOKYO Design Support Program」の一環として、デザイナーの人材育成が重点事業としてテーマアップされ、2006年より推進計画の



図1 次世代人材育成の視点

「次世代デザイン人材育成」ビジョン（日本産業デザイン振興会 2004.2）をもとに作成



策定と実施が位置づけられた。これは、中小企業の商品力ならびに商品開発力強化を目的に、中小企業のデザイン活用を加速するためには、中小企業のビジネスモデルを理解し、そのモデルに合致したデザイン開発連携ができるデザイナーを多数育成していくことが急務との視点からである。こうした能力を有するデザイナーや、既に取り組んで成果を出しているデザイナーは皆無ではないものの、残念ながら現状の多くのデザイナーは、旧来からの大企業モデルに依存しているからである。この事業は、あくまで中小企業振興に資するスーパーデザイナーを育成するという短期的な要請を発意としてスタートしたものである。しかし、これは前項で指摘したデザインの様相が大きく変化する状況下で求められているデザイナーのコンバージョンプログラムにも通底するものであり、この2つは同一のコンテクストとして設計可能なものである。

こうしたことから、東京都と産業技術大学院大学はデザイナーの人材育成に関する推進方策を協議し、本学が計画策定ならびに運営を行なうこととした。そして、関係有識者を委員とする「スーパーデザイナー養成事業検討委員会」\*を設置し、プログラム開発を行なった。また、これと並行して、この実施内容の策定には対象層となるプロフェッショナルデザイナーのデザイン課題や教育ニーズなどを把握し、実情に即した事業展開を図るこ

表1 スーパーデザイナー養成事業の概要

事業概要	東京都が推進する“TOKYO Design Support Program”の一環として、本年度(秋以降3カ年の予定)より、産業技術大学院大学(本年度開学の公立大学法人)において、プロのデザイナーを対象に、製品開発に関わるマーケティング能力やマネジメント能力などを身につけてもらうための教育の機会を提供する。
事業対象	実務経験5年以上のフリーランスデザイナー、インハウスデザイナー
事業主体	東京都産業労働局商工部創業支援課
運営主体	公立大学法人首都大学東京 産業技術大学院大学
事業計画	事業検討委員会を設置し、本年度上期を目的に実施計画の詳細を検討する。 本年度下期より実施計画に基づき、教育プログラムを実施する。

\* 國澤好衛(首都大学東京教授:座長)、福田哲夫(首都大学東京教授)、川田誠一(産業技術大学院大学 産業技術研究科長)、青木史朗(財団法人日本産業デザイン振興会理事)、横田英夫(社団法人日本インダストリアルデザイナー協会理事)、久慈俊夫(地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター デザイングループ長)、白井郁夫(東京都産業労働局商工部創業支援課長)

とが不可欠との視点から「スーパーデザイナー養成事業に関わる教育ニーズ調査」を、関係企業のデザイン部門などを対象に実施した。事業開始時点での想定事業概要は、表1のとおりである。

### 3.1 スーパーデザイナー養成事業に関わる教育ニーズ調査

この調査は、東京都産業労働局による「TOKYO Design Support Program」の一環として06年秋から実施予定の「スーパーデザイナー養成事業」の内容策定にあたり、受講層となるプロフェッショナルデザイナーが抱えるデザイン課題や教育ニーズを把握することを目的として実施したものである。アンケートは、企業のインハウスデザイン部門やデザイン事務所の管理者、および実務担当デザイナーを対象に実施した。調査の概要は、表2のとおりである。調査項目は、①自社(自部門)の教育において取り組むべきテーマ、②自社(自部門)の人材育成について、③デザイナー教育プログラムに対する意見、④その他、教育プログラム受講に関する具体的な要望の4項目である。

表2 スーパーデザイナー養成事業に関わる教育ニーズ調査の概要

調査名称	スーパーデザイナー養成事業に関わる教育ニーズ調査
調査票	管理者様向け:デザイナーを管理する立場の方を対象 担当デザイナー向け:デザインの実務(経験5年~10年程度)に携わっている方を対象
調査機関	財団法人日本産業デザイン振興会 公立大学法人首都大学東京
調査対象	企業のインハウスデザイン部門、デザイン事務所、フリーランスデザイナーなど
調査期間	2006年7月~8月
有効回答数	53社・137名 (管理者 52名 / デザイナー 85名)

調査結果を要約すると、以下のとおりである。

#### ① 自社(自部門)の教育において取り組むべきテーマについて

現在取り組むべきテーマとしては、管理者・担当デザイナーともに複数回答の場合「創造力・提案力の向上」「国際化対応」「調査・研究機能の強化」「業務の効率化」を多くあげているが、管理者が担当デザイナーに比べて「国際化対応 67.3%」「調査・研究機能の強化 59.6%」をより重視しているのに比べ、担当デザイナーは「情報発信力の強化 51.8%」へのポイントが管理者の36.5%より

高い。また、最も優先して取り組むべきテーマをそれぞれひとつだけ選択した場合、管理者・担当デザイナーともに「創造力・提案力の向上」が圧倒的に高い一方で、管理者と比較すると担当デザイナーの「情報発信力の強化 7.1%」「活動分野の拡大 4.7%」へのポイントが高い。

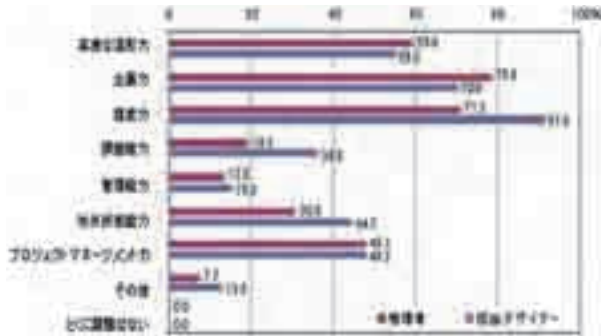


図2 優先的に取り組むべきテーマ

また、この取り組みを進めていくためにどのような能力をもった人材が必要かの問いに対しては、管理者・担当デザイナーともに「提案力」「企画力」「高度な造形力」「プロジェクトマネージメント力」を多くあげているが、担当デザイナーの「提案力 91.8%」「対外折衝能力 44.7%」「調整能力 36.5%」へのポイントは管理者のポイントに比べると特に大きい。

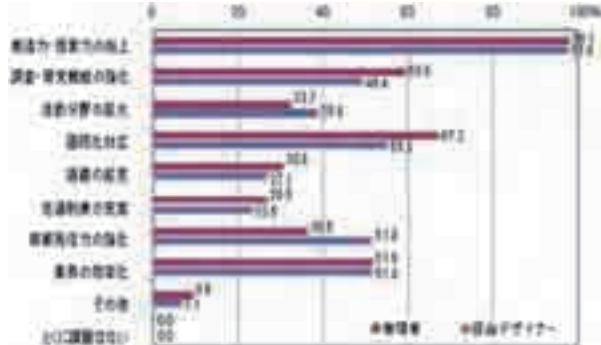


図3 どのような能力を持った人材が必要か

②自社（自部門）の人材育成について

自社（自部門）の人材育成について管理者に聞いたところ、現在自社（自部門）で取り組んでいる人材育成については「OJT（On the Job Training）」が86.5%と最も高く、次いで「社外研修 57.7%」「社内研修 50.0%」となっている。

年間でOFF J.T.（OFF the Job Training）に確保している教育時間（1人あたり）は「7～13日 26.9%」が最も多く、次いで「不定期・その他 26.6%」「14～20日と4～6日ともに 11.5%」となっている。

各分野での具体的なデザイナー教育は「技術面 69.2%」「営業・企画面 55.8%」「デザイン面 71.2%」と多くの企業や事務所で実施されているが、技術面の教育



図4 人材育成のために積極的に取り入れている施策

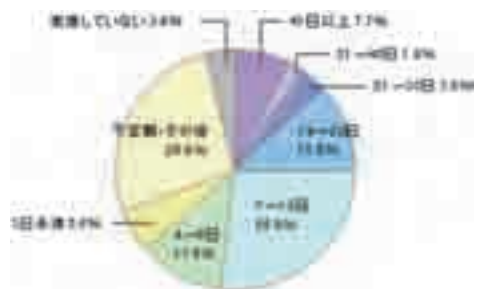


図5 教育対象者1人あたりの年間平均教育時間

の多くがOJTや社内研修を通して行われている一方で、営業・企画面やデザイン面では社外の研修やセミナーも利用している様子が見える。教育対象者1人あたりの年間平均教育投資額は「決まっていない・その他 63.5%」を除けば「10～29万円 19.2%」が最も多く、次いで「9万円以下 11.5%」となっている。担当デザイナーのデザイナー教育への要望（自由記述）では、広範囲な意見が出されたが、社内の教育体制への不満や社外教育プログラムへの期待、また、外部との交流を求める意見も目立った。



図6 教育対象者1人あたりの年間平均教育投資額（人件費含まず）

③デザイナー教育プログラムに対する意見

デザイナー教育プログラムに対する要望では、まず『ビジネス全般に関わる基礎的な教育』として管理者・担当デザイナーともに「マーケティング 88.5% / 80.0%」「技術 59.6% / 74.1%」「プロジェクトマネージメント 71.2% / 65.9%」のポイントが高い。

『デザインの専門的な教育』については、管理者は「デザインマネジメント 73.1%」「マーケティングリサーチ 67.3%」「デザイン思想 59.6%」「プレゼンテーション技法 59.6%」の順に要望が高かったが、担当デザイナー側は「デザイン思想 75.3%」「デザインマネジメント 71.8%」「プレゼンテーション技法 67.1%」の順に重要視している。同様に『実践的なケーススタディプロジェクト』で必要とされる内容については、管理者・担当デザイナーともに「製品開発プロジェクト 90.4%/91.8%」「ブランド開発プロジェクト 55.8%/55.3%」のポイントが高かった。

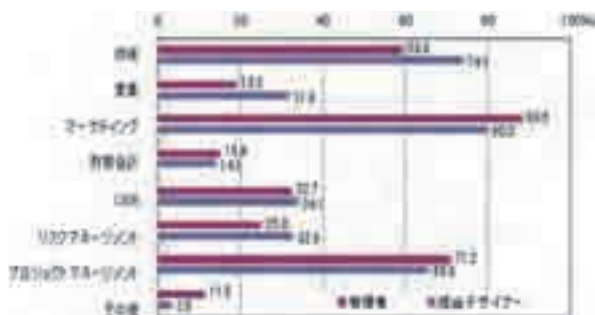


図7 ビジネス全般に関わる基礎的な教育ニーズ

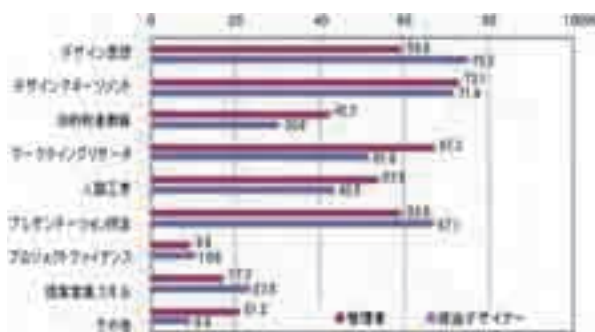


図8 デザインの専門的な教育ニーズ

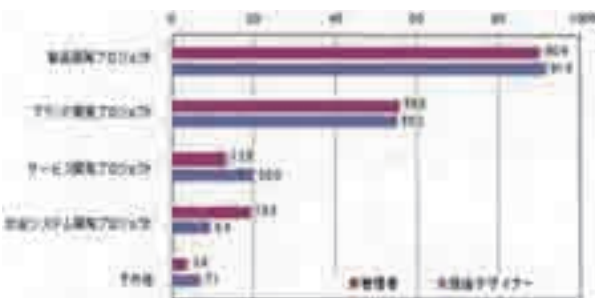


図9 実践的なケーススタディプロジェクトのニーズ

④その他、教育プログラム受講に関する具体的な要望

教育プログラムを受講しやすい曜日として、管理者・担当デザイナーともに「平日の昼間」「平日の夜間」そして「土曜日」を選択している。プログラム開講期間としては、管理者が「1ヶ月程度 34.6%」または「3ヶ月程度 23.1%」のポイントが高いのに比べ、担当デザイナー側は「3ヶ月程度 35.3%」「半年程度 22.4%」とより

長期間のプログラムを期待している。教育プログラムの魅力を感じる項目としては、管理者が「教育費用の助成措置」「通信教育」「修了後の継続的教育機会」「修了者の交流の場」をそれぞれ40%前後で支持する一方で、担当デザイナーの「教育費用の助成措置 70.6%」が高ポイントで目立ち、内容より費用を気にする様子が見ええる。また、担当デザイナーの「通信教育」へのポイントは20.0%で、管理者のポイント(40.4%)よりはるかに低い。

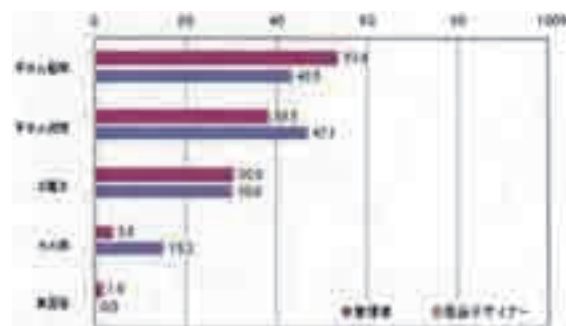


図10 受講しやすい曜日

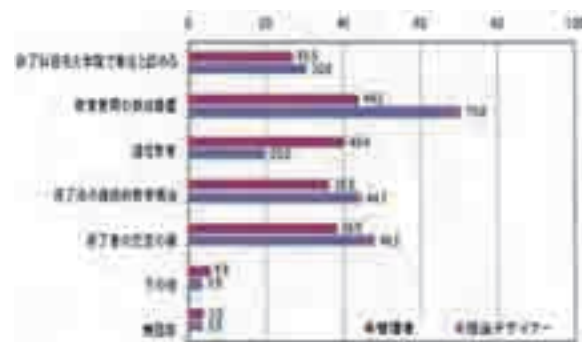


図11 教育プログラムとして魅力を感じる施策

最後にデザイナー教育プログラムに対する意見や要望を自由記述で聞いたところ、実に多様な意見が出され、いくつかを集約させることは出来なかった。

管理者の意見としては、今後育成すべきデザイナー像や教育制度のあり方、プログラムの進め方への具体的な提案がみられた。担当デザイナーの意見も多岐に渡ったが、特に「実践に活かせる内容」「現場で役に立つ内容」を要望する声と、「異業種との交流」「エンジニアやユーザーを含めた様々な人とのコミュニケーション」を求める声が目立ち、また、地域を限定せずいつでも参加しやすいプログラムを求める意見もみられた。

4. 開発プログラムとカリキュラム

4.1 2006年度のカリキュラム

調査結果を踏まえ、2006年度のプログラムは、“プロダクトサイクルにおける企画、デザイン、設計などの上流工程とプロダクトサイクルのマネージメントをリード

できるデザイン人材”の育成を目指すキャリアデベロップメントプログラムとすることとした。プログラム全体は、次の3つのコアから構成される。

- ビジネスベーシックコア (Business Basic Core)  
 プロダクトサイクルのマネジメントに不可欠なビジネス関連プログラム
- プロフェッショナルプラクティスコア (Professional Practice Core)  
 プロとしての実践力を総合的に高めるためのデザイン関連プログラム
- ビジネスプロジェクトコア (Business Project Core)  
 多様なデザイン課題に具体的に取組むケーススタディプログラム  
 ところで、このデザイナーのための継続教育プログラムは、現在も継続されているが、当初計画の「スーパーデザイナー養成講座」は、2008年度の3カ年で終了した。この3カ年のプログラムは、初年度(2006年度)のプログラム実施後、受講者を対象に行ったアンケートを踏まえ、2007年度に改訂をくわえている。また、2008年度については、2007年度の方針を基本にしつつ、運営上の観点からの小改訂を行い実施した。

2006年度のカリキュラムは、表3のとおりである。(特別講義を含め、全44コマ相当で、2期開講)

表3 2006年度カリキュラム

特別講義	日本デザイン学会大会参加
ビジネス	マーケティング
ベーシックコア	プロジェクトマネジメント 財務会計 リスクマネジメント OS 人材開発 IT概論
プロフェッショナル プラクティスコア	デザインの視点1 デザインの視点2 デザイン分析1 デザイン分析2 デザイン企画マネジメント 情報収集技術 知的財産戦略 プロジェクトファイナンス 経営企画
ビジネス	商品開発プロジェクト
プロジェクトコア	ナ・ビズ・フロント開発プロジェクト
ケーススタディ	社会システム開発プロジェクト

#### 4.2 2007年度プログラム

2006年度のプログラム開発の際、受講層は十分な実務経験のあるデザイナーであることから、デザイナーのコアコンピテンシーである「かたちの操作」に関する能力開発は必要ないものとの想定でスタートしたが、2006年度の実施状況を振り返ると、コアコンピテンシーについても、CPDの視点から教育機会の提供が必要であることが明らかとなった。受講者によって能力にはかなりのばらつきがあるが、これは、実務におけるOJTの質の問題と考えられる。

そこで、2006年度ではとりあげていなかったデザイン実務に直結するデザイン力の開発のためのプログラムを追加することとした。そして、プログラム全体を見直し、これまでの内容をスーパーデザイナーに必要な4つの能力を養成するという枠組みにグルーピングし直した。また、受講生のニーズを勘案し、体系的知識の習得のための講座とケーススタディに焦点を当てた講座を分けて実施することとした。

##### スーパーデザイナーとして求められる4つの能力

- デザイン提案能力:かたちで考え、かたちで表現する、かたちを操作する能力
- デザイン実現能力:デザインをビジネスの視点からマネジメントし、実現する能力
- デザインプロデュース能力:デザイン価値をビジネスや社会に幅広く活かす能力
- デザイン保護能力:知的財産権や契約などデザインビジネスの法規・倫理に対応する能力

カリキュラムは、体系的な知識の習得とプロジェクトに取り組む「デザインプロフェッション&プラクティスコース」とデザインケーススタディと演習に焦点を当てた「デザインディシプリン&プラクティスコース」の2つに分かれている。カリキュラム再編の骨子となる2006年度の枠組みと2007年度のコースマネジメントは、図12、13で比較することができる。

##### デザインプロフェッション&プラクティスコース

デザイン実務には精通したが、今後のキャリアアップのためにデザイン関連知識を幅広く学びたいと考えている人を対象に、デザインの周辺にあってデザイナーに不可欠なビジネスの基礎知識や、デザインに関する専門知識・手法などを体系的に習得するとともに、都内の企業などを対象にしたプロジェクトを通じて実践力を養成するコース。

##### デザインディシプリン&プラクティスコース

デザインの現場での最新の取り組みに触れながらデザインとデザイン力について学びたいと考えている人を対象に、独自のコアコンピタンスを活かしてデザイン領域で活躍しているデザイナーにフォーカスし、デザインの

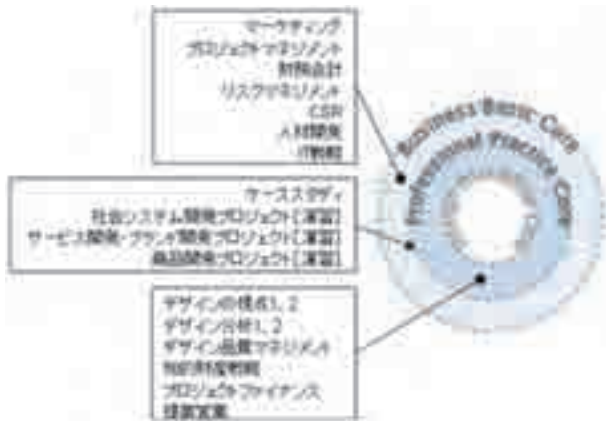


図 12 2006 年度の枠組み

ビジネスモデルをケーススタディするとともに、デザイナー本来のコンピタンスである表現力、構造化力、可視化力、提案力などを再確認するコース。

2007 年度のカリキュラムは表 4 のとおりである。

表 4 2007 年度カリキュラム

	オリエンテーション
	デザインの視点 1
	デザインの視点 2
	マーケティング
	プロジェクトマネジメント
	知的財産戦略
デザインプロフェッション	計算機計
6 コマ クラス	1 デザイン分科 1
36 コマ 2 期開講	2 デザイン分科 2
	情報編集術
	デザイン品質マネジメント
	提案営業
	ケーススタディ
	演習 1 フロント開発
	演習 2 商品開発
	フロントレーション技術
	デザインコーディング
	情報編集技術
	知的財産戦略
デザインディシプリンとプロフェッショナルコース	提案営業技術
20 コマ 1 期開講	ケーススタディ 1
	ケーススタディ 2
	ケーススタディ 3
	ケーススタディ 4
	ケーススタディ 5

	デザイン 提案能力	デザイン 実務能力	デザインプロ フェッショナル 能力	デザイン 基礎能力
	かたちで考え、かたちが表す意思、状況が伝わるように伝える能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力
Design Discovery Core	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力
Professional Practice Core	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力
Business Basic Core	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力	デザイン制作の工程の理解から、制作の現場で、制作する能力

図 13 2007 年度の枠組み

#### 4. 3 2008 年度プログラム

2008 年度は、2007 年度の実施方針および実施内容をもとに、いくつかの点での改訂を行い実施した。

2008 年度のカリキュラムは表 5 のとおりである。  
(全 48 コマで、2 期開講)

表 5 2008 年度カリキュラム

デザインの今日の課題 1	デザイン知識 1
デザインの今日の課題 2	27 コマ
マーケティング	
プロジェクトマネジメント	
情報編集術	
デザイン品質マネジメント	
サービス技術	
多様な目的のデザイン	
サステナブルデザイン	
チームマネジメント	
ケーススタディ 2	
ケーススタディ 1	
デザイン分析 1	
デザイン分析 2	
知的財産戦略	
提案営業	デザイン技術 1
スケッチスキル	37 コマ
フロントレーション技術	
プロジェクト演習	16 コマ

内容の改訂は、以下の点に沿って実施した。

- ① 2007 年度、2 つのコースに分けて実施したプログラムを、運営上の視点を踏まえ 1 つのコースに集約する。
- ② 2 つのコースの内容を集約するにあたっては、2007 年度の開講時間数を基準に 48 コマ (1.5 時間 / コマ)

で完結するプログラムに再編する。また、これを年度内に2回開催する。

- ③ 講座最後に習得した知識やスキルを体系的に活用体験するプログラムとして実施していたプロジェクト演習を、プログラムと同時並行で開講し、講座内容との関係性を明確にする。
- ④ 2006年度、2007年度ともに講座は、原則として週2回、各回2コマ（18:30～21:40）で開講していたが、演習を同時開講するために、週1回、各回4コマ（14:30～21:00）として実施する。

## 5. 実施状況

2006年度より3カ年にわたり継続実施してきたデザイン講座は、初年度は図14の体制で実施したが、運営上の問題もあり2007年度より実施母体を（財）日本産業デザイン振興会に移して開講することとした。

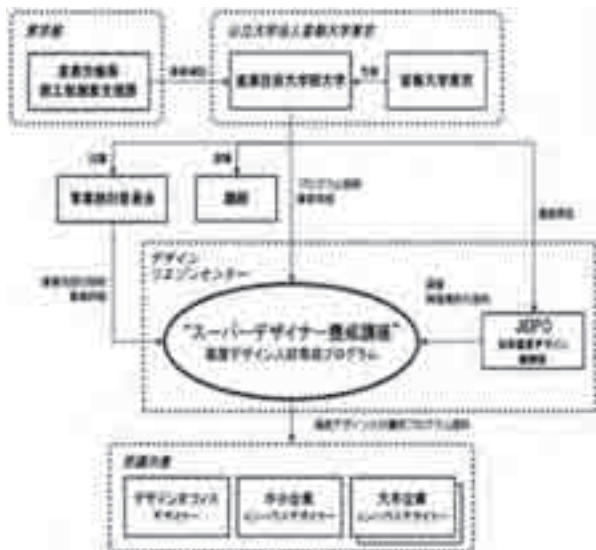


図14 実施スキーム（2006年度）

これまでの開講での受講者数は表6のとおりである。

3年間の合計で本プログラムを修了した受講者は、93名である。受講者の詳細などに関しては、ここでは割愛するが、受講者の平均年齢は、およそ35歳前後であり、職種はプロダクト系からグラフィック系まで幅広い。また、インハウスデザイナー、フリーランスデザイナーともに参加している。また、デザイナー以外からの応募も若干名あり、最終的にはこれらについても受け入れ可能と判断し実施した。

受講者には、講座終了時にアンケートをお願いし、講座内容や運営に関し貴重なご意見をいただいている。詳細は省くが、講座内容と運営に関しては概ね好評であり、特に講座に参加し、異なるジャンルのデザイナーなどと知り合い交流できたことを高く評価しており、こうした

受講生同士の交流は講座終了後の現在も続いている。

この規模での講座は、講師、受講生からすれば、非常に良い距離間で開講でき、受講生同士の交流も加速する。しかし、受講者数に関しては、運営サイドとしてはやや物足りないところでもある。需要層への的確なプロモーションが課題である。

一方、CPDの視点からは、講義内容を講義ノートとして記録し、幅広く活用できるようにすることも重要となる。初年度の講義は、すでに講義ノートとして別冊に仕上げている。今後は、このような資源を体系化する作業が求められるところである。

表6 受講者推移

年度			受講者
2006	1期		12
	2期		24
2007	デザインプロフェッション & プラクティスコース	1期	10
		2期	12
	デザインディシプリン & プラクティスコース	1期	11
2008	1期		11
	2期		13
計			93

## 6. おわりに

デザイナーを対象とするCPDの実施については、未だ議論の段階であるが、産業界との連携と社会人への新たな教育機会の提供を指向する本学として、デザイン系のCPDを先行して検討することは重要なことであり、既にスタートしている履修証明プログラムの今後の充実を図る上でも有効なものである。

またこれは、東京都が現在進めているスキルスタンダードのインダストリアルデザイン版策定とそれに呼応した教育プログラムの整備とも密接に関係している。できれば、これまでの実績をベースに、関係学協会などと連携した、本格的なCPDの取り組みへと移行したいところである。

ところで、2009年度については、2008年度に終了した「スーパーデザイナー養成講座」の枠組みとは異なる趣旨でデザイナー向けの教育プログラムを実施している。

これは、これまでの「スーパーデザイナー養成講座」を、より実務に即した内容に改訂したものである。プログラムは、下にあげている3部構成からなり、各部とも講義と演習を通じてデザインに必要な企画・開発のためのツール（デザイン手法）を体得できるようになっている。同時に、デザインの現場で活躍している著名デザイ

ナーの方々の講座を設け、より実践的なデザイン手法についても学べるようにしている。

○ユーザー・問題アプローチのためのデザインツールズ  
デザイン開発の上流で必要となるユーザーや問題を理解するためのリサーチ・分析手法を学ぶ。ユーザーの認知構造を把握するための「評価グリッド法」、問題分析のための「SWOT分析」、マーケティングアプローチとしてオーソドックスな「STP」、ユーザーのデザイン評価や選好構造を把握するためのデータ解析などを習得する。

○デザイン戦略・マネージメントのためのデザインツールズ  
デザインプロジェクトの推進やデザインオフィスのマネージメントに必要な技術をケーススタディとともに具体的に学ぶ。自動車開発などをケースにしたプロジェクトマネージメントの実践、知財データベースを活かした実践的知財戦略の分析・立案、デザイン実務に不可欠な契約、報酬、経営などについてデザインのビジネスモデルをケーススタディしながら習得する。

○デザインイノベーションのためのデザインツールズ  
デザインイノベーションに必要な発想から展開にいたる各種手法を演習とともに学ぶ。イノベーションのための場のデザイン、発想法、デザインに活かせる設計技法（田口メソッド、QFDなど）、簡易プロトタイプングによるデザインシミュレーションなどを習得する。

なお、運営上これら3つのプログラムは、独立した運営となっている。

2009年度のカリキュラムは表7（全48コマ、各部門も毎週1回開講、1日4コマで計16コマ）のとおりであるが、このプログラムは、過去3年の内容とは異なり、講義と演習を組み合わせ、講義の内容を演習で体得する構成を基本にしている。できるだけ、手法を体験し使い方を覚えてもらうこと、それを、実際の場で使ってもらうことを目指している。

短期間のプログラムの場合、体系的な知識の学習に重きを置くのか、実践的なプログラムに重きを置くのか、設計上難しい選択を迫られることになるのだが、ここではデザイン技法の理解、ノウハウの習得にフォーカスし、限られた範囲ではあるが、10～15程度の手法を体験できるものになっている。今後のプログラム設計の際の一つの考え方ではないかと思う。

さて、最後に、2006年度より過去3年以上にわたるプログラムの開発ならびに運営においては、関係機関の皆様方に多大なご支援賜りましたことをこの場を借りてお礼申し上げます。また、プログラムの実施にあたり快く講師をお引き受けいただいた皆様、ならびに演習テーマにご協力いただきました企業、関係者の方々に礼申

申し上げます。特に、東京都産業労働局創業支援課のご支援と（財）日本産業デザイン振興会のご協力がなければ、今回の取り組みは、実現しなかったことであり、感謝申し上げます。

表7 2009年度カリキュラム

ユーザー・問題アプローチのためのデザインツールズ	デザインリサーチ
	ユーザー認知構造の把握と分析
	マーケティング理論
	問題分析とマーケティングアプローチ
	ユーザーオリエンテッド評価
	生活者発想
	新しいデザインビジネスモデル
	デザイン評価、選好分析
	ケーススタディ1
デザイン戦略・マネージメントのためのデザインツールズ	プロジェクトマネージメント
	ケーススタディ2
	ケーススタディ3
	知財戦略
	知財ノウハウ
	デザインオフィス経営(1)
	デザインオフィス経営(2)
	デザインオフィスマネージメント
	中小企業デザインマネージメント
ユーザー参加型デザイン	
デザインイノベーションのためのデザインツールズ	アイデア発想法と発想ワークショップ
	簡易プロトタイプングによるデザインシミュレーション
	設計手法のデザイン応用(1)
	設計手法のデザイン応用(2)
	デザインの新しい課題
	新しいデザインアプローチ 場のプロセスデザインと創造的ワークショップ

参考文献

[1] 國澤好衛, “地域デザイン資源を活用したデザインマネージメントの取り組み”, 日本デザイン学会, 第17巻3号, 2010.

[2] 産業技術大学院大学: <http://aiit.ac.jp/>  
千葉大学: <http://www.design.ti.chiba-u.jp/spd/index.html>  
九州大学: <http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~strategy/>  
など

[3] (財)日本産業デザイン振興会, “次世代デザイン人材育成ビジョン”, 2004(2).

# Study of Service Design in LEXUS Vehicle Development

Noboru Koyama\*, Mikio Yamashita\*\* and Keiichiro Kawarabayashi\*\*\*

## Abstract

This study looks at the business model that Toyota developed and employed for the LEXUS line in Japan, looking primarily into the role that industrial design played in the entire process ranging from the planning of services to provide to their implementation.

The Apple iPod and iPhone created a whole new market by leveraging a wealth of new services added to the combination of off-the-shelf hardware and software elements; they are not necessarily seen as technologically groundbreaking products that formed a new market. In this service-centric networked society, a new business model must win the hearts and minds of consumers to do well. Apple has taken a novel approach to product planning from the very beginning.

Likewise, Toyota owes part of its success with the LEXUS to the decision to offer a series of systematic services to the luxury auto market where brand-building efforts had long been the name of the game. Instead of going after cutting-edge technologies, Toyota has chosen to lay greater emphasis on making customer-focused services available to LEXUS buyers by refining matured technologies. This approach has proven successful in offering customers a higher level of experiential values that go beyond conventional hospitality.

Automakers as well as consumer electronics companies today design and develop products that offer a high level of integration of hardware and software. In this study, we identify success factors behind the LEXUS' implementation of services that met customers' unconscious and unvoiced needs, seemingly little dependent on customer- and market-focused approaches and field-initiated improvement programs. We also present in this study a framework that allowed the designing of services, primarily from the perspective of the role that industrial design played in the process.

Keywords: Service Design, Values, Design Management and Strategy, Design Project Cases.

## 1. Study Background

The Apple iPod and iPhone created a whole new market by leveraging a wealth of new services added to a combination of off-the-shelf hardware and software elements; they are not necessarily seen as technologically groundbreaking products that have formed a new market. Their success has illustrated the point that, in this service-centric networked society, a new business model must win the hearts and minds of consumers to do well. Apple has taken a novel approach to product planning from the very beginning, and that holds the key to its success in capturing new customers.

The same thing can be said about the business model that Toyota developed and employed for the LEXUS line in Japan; Toyota owes part of its success to the decision to offer a series of systematic services to the luxury auto market at home, where upscale foreign carmakers have tended to focus their efforts on building their brands. Instead of going after cutting-

edge technologies, Toyota has chosen to lay greater emphasis on making customer-focused services available to Japanese LEXUS buyers by refining matured technologies that it first developed for LEXUS models sold in the United States to fit Japanese needs. This approach has proven successful in offering customers a higher level of experiential values that go beyond conventional hospitality. We have decided to look into how services and service design played their roles in the launch of the LEXUS in Japan.

## 2. Reason for Choosing this Subject of Study

Automakers as well as consumer electronics companies in Japan today design and develop products that offer a high level of integration of hardware and software. We expect that a study of the launch of the LEXUS brand in Japan will give us a good opportunity to identify success factors behind the LEXUS' implementation of services that met customers'



unconscious and unvoiced needs, seemingly little dependent on customer- and market-focused approaches and field-initiated improvement programs. We also would like to gain a fresh new insight by drawing a framework that allowed the designing of those services—primarily from the perspective of the role that industrial design played in the process. [1][2]

### 3. Purpose of the Study

As shown in Figure 1, we intend to develop a strategic approach to facilitating integrated design development for hardware, software and service elements: first by identifying the role that industrial design played in providing hardware, software and service solutions for the LEXUS before it was launched in Japan; second by identifying the new value that the LEXUS design created and added to the equation; and third by looking into design management approaches that Toyota took in the process. [1]

In order to gain a fresh insight, we have delved into not only the areas with immediate relevance to automobiles—areas of primary focus in conventional R&D phases for cars—but also areas with indirect relevance to automobiles that have played the most important role in the launch of the LEXUS. [3]

### 4. Organization Established for Launching the LEXUS Brand

The LEXUS Development Center, responsible for launching the LEXUS brand in Japan, had the structure as shown in Figure 2. Unlike Toyota Development Centers, which are responsible for mainline Toyota cars, the LEXUS Development Center had a Planning Division, and was designed to work in a cross-divisional and concurrent fashion. The LEXUS Planning Division was headed by a former chief industrial designer and was staffed by industrial designers, service planners and product planners. The Center—open and flexible—

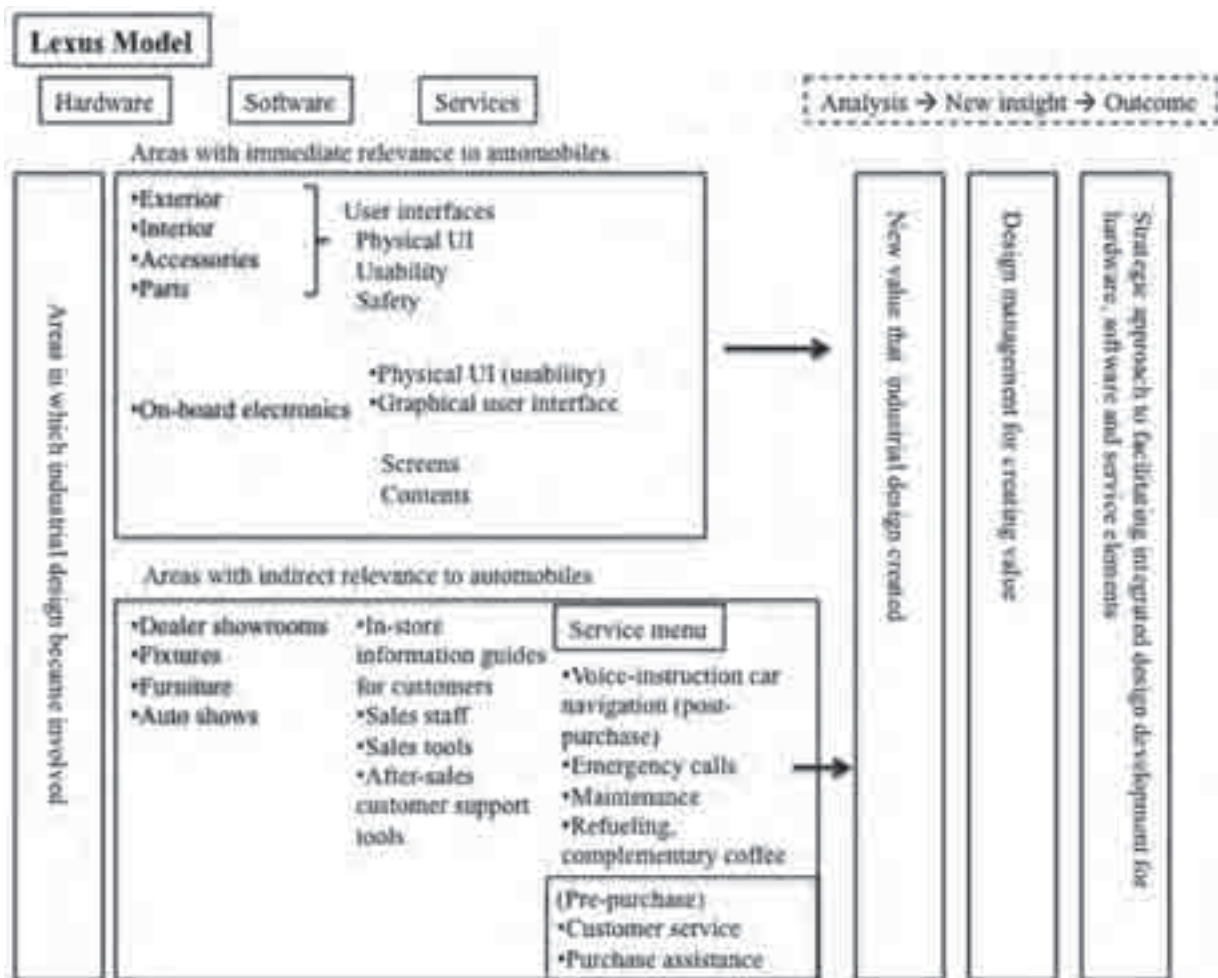


Figure 1 Areas in which industrial design became involved in LEXUS Vehicle Development

was structured to cover research and development, engineering, sales and manufacturing functions with industrial designing at its core.

The LEXUS Planning Division was one of Toyota's BR units\*, a special-purpose cross-divisional project team. This organizational structure shows how committed the then-Engineering Division was to the LEXUS project.

\*BR unit: Business Reform unit, originally known as Business Revolution unit when launched in 1993. It is a group- or office-level unit tasked with solving specific problems within a specified period of time.

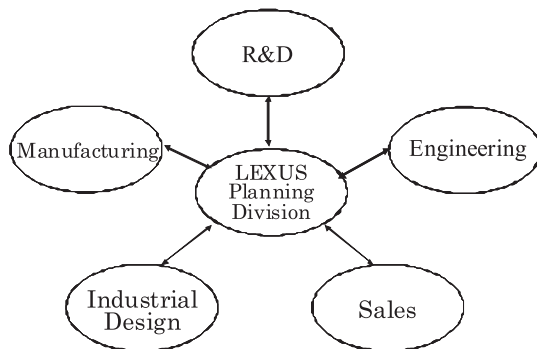


Figure 2 Positioning of LEXUS Planning Division

## 5. The Role that Industrial Design Played in Hardware, Software and Service Elements during the Development Process

### 5. 1 Vehicle Planning

When Toyota introduced its first LEXUS cars in the United States, engineers focused their primary efforts on building high-performance cars to establish the LEXUS as a high-performance premium car brand, a departure from the Toyota brand that was seen by many at the time as synonymous with the Corolla and pickup trucks. Engineers developed and built LEXUS cars based on the "Yet Philosophy," whereby contradictory objectives were reconciled—for instance, high speed yet fuel efficient, quiet yet light, and smooth handling at high speeds yet superb ride comfort. Industrial designers also implemented this philosophy in the design of LEXUS models, making seemingly paradoxical elements of simplicity and complexity complement each other, which became the basis of the distinctive LEXUS styling. [3]

### 5. 2 Designing Vehicle Exterior

What contributed to the success of the exterior design of LEXUS cars (See Figure 3) is that it had a distinctive

identity of its own—differentiated from mainline Toyota cars.



Figure 3 Exterior Design of LEXUS



Figure 4 One of LEXUS Design Cues[4]

The company placed particular importance on the design quality of LEXUS cars, ensuring that they were well built from top to bottom. Design cues were chosen to clearly differentiate a LEXUS from a Mercedes and a BMW; a typical example of signature LEXUS design characteristics is the slant-eyed headlights, which are different from the horizontally aligned headlights and grilles found on those competitive vehicles, as shown in Figure 4. [3]

### 5. 3 Designing Vehicle Interior

The L-finesse\* design philosophy was first incorporated into the designing of LEXUS cars sold in the United States and then evolved in Japan to offer an even higher level of hospitality—an abundance of design and styling elements never seen before on conventional cars were selected to offer impeccable comfort and services to LEXUS customers. For instance, the instrument panel—designed with careful attention to safety, usability and user interface—has a set of meters that when powered illuminate their needles, numbers and letters on the face in exquisitely timed sequence. Another example is the quality tactile feel of every one

of the nearly 200 switches in the flagship LS sedan. Furthermore, even the sound that the finely dampened glove compartment door, console lid and other lids make when they are opened and closed is meticulously controlled and pleasing to the ear. (See the Figure 5)



Figure 5 Interior Design of LEXUS

Industrial designers worked with engineers who held the title “LEXUS Feel Evaluation Leader” to develop these fine design details. [3]

\*L-finesse: a term coined by Toyota, meaning the integration of incisive simplicity and intriguing elegance and representing the esthetic philosophy incorporated into the LEXUS design. The term epitomizes the simple yet deep and evergreen figurative beauty that the LEXUS pursues.

#### 5. 4 Designing Exterior Vehicle Color

One can tell the color of a car from the light reflected from its surface. Controlling such light reflection is the key to giving a pleasing color to a car. LEXUS cars come in a range of distinctive colors that LEXUS color designers have chosen not only for their three attributes—hue, saturation and brightness— but also for their quantified sensuous attributes such as vividness, depth, and clarity. (See Figure 6 & 7)



Figure 6 Example of Eight Coat of Color



Figure 7 Example of Six Coat of Color

#### 5. 5 Designing In-Car Electronics Devices

A car navigation system is one of the most important electronics devices onboard a LEXUS. Being more than just an automated tour guide, it works as a control hub for a host of services explained later in this document. Industrial designers have devoted considerable time and effort to designing user interfaces for it; they have exercised their ingenuity in coming up with the screen structure and layout that utilize well-designed graphic user interface (GUI) for accessing contents.

#### 5. 6 Designing Dealer Showrooms, In-Store Fixtures and Other Elements

Traditionally, car dealers were solely responsible for determining where to open showrooms and what they should look like. When Toyota launched the LEXUS in Japan, however, the automaker got involved with choosing locations and designs of LEXUS dealer showrooms, as they were critical gateways to the plethora of services offered to LEXUS customers. For instance, Toyota conducted numerous field surveys around the country to identify heavy-traffic areas and locations and recommend them to LEXUS dealers as prime showroom locations. (See Figure 8)



Figure 8 Showroom of LEXUS

To ensure consistency, Toyota's industrial designers offered input and advice on design details of showrooms and in-store fixtures to the contractors that dealers hired to design and build their showrooms; this approach was unheard of in the Japanese auto industry and the result was that LEXUS showrooms—consistent with a black-and-white design motif—opened their doors around the country. LEXUS designers even had a say in choosing the designs of uniforms that salespeople wore and of the sales support tools that they used in showrooms.

LEXUS owners are entitled to receive LEXUS Total Care with an access to LEXUS Owners Desk—a dedicated LEXUS call center staffed with concierges who offer restrained yet caring support to LEXUS owners when they need it. LEXUS Total Care is available 24 hours a day, 7 days a week, 365 days a year, and offers such services as setting up a car navigation system and downloading data to it, finding parking lots, and making reservations for hotels and restaurants on behalf of LEXUS owners. Its highlight is safety and security services for LEXUS cars and their drivers; a host of sensors and cameras monitor the vehicles from remote locations and, when an airbag is deployed, sensors detect it and automatically notify HELPNET Center, which dispatches an ambulance to the scene of the emergency. [3]

(See Figure 9)



Figure 9 Concierge Service of LEXUS Owners Desk

#### 5. 7 Designing Booths for Auto Shows and Events

As part of brand-building efforts for the LEXUS, a team of LEXUS designers worked hard to maintain consistency in look and feel for all LEXUS booths at auto shows and PR events. They used white as a theme color for booth design, and communicated a unified visual branding message at all auto shows in which LEXUS participated around the world.

#### 6. LEXUS Meisters who Realize Design Quality of LEXUS Brand

Today's automobile factories are highly automated with state-of-the-art robots and machines. Yet, many

manufacturing processes are performed the old-fashioned way—manually. In the production lines for LEXUS cars are found a group of extremely skilled engineers known internally as “LEXUS Meisters,” who ensure that LEXUS cars are built with the highest design quality. At Toyota's Tahara Plant, the main manufacturing facility for the LEXUS line, LEXUS Meisters keep watchful eyes to maintain the quality of LEXUS cars at the highest level in a mass-production environment. 2,100 Toyota employees are working on the LEXUS production lines and every one of them is a certified LEXUS line engineer. These 2,100 LEXUS line engineers comprise 1,000 Class 3 line engineers, 600 Class 2 line engineers, 400 Class 1 line engineers, and 40 Junior Meisters with 10 LEXUS Meisters being at the top of the hierarchy. One LEXUS Meister is selected in each of the 10 fields of manufacturing—pressing, body, painting, plastic molding, plastic painting, assembly, quality inspection, engine casting, engine processing, and engine assembly.

LEXUS production lines follow more demanding quality standards than those for mainline Toyota cars. In particular, the paint line has an additional coating line capable of applying an unheard-of five or six successive coats on a Lexus car, leaving behind not a trace of an uneven paint surface; this meticulous attention to detail—a byproduct of the Industrial Design Division, the Material Engineering Division and the Production Engineering Division working closely together—ensures that one of the most visible design qualities of a Lexus remains exceptionally high.

#### 7. Industrial Design's Contribution to the Success of LEXUS

The jury is still out on whether the introduction of the LEXUS brand in Japan was a success as compared to its earlier foray into the United States in 1989, but everybody seems to agree that the service design that the LEXUS tailored for the Japanese market was a success. This success can be attributed to the Industrial Design Division's active involvement in the entire process of launching the brand; neither Toyota nor any other Japanese automakers had ever taken such a novel approach to launching a car brand. The launch of the Lexus in Japan is certainly a model worth keeping our curious eyes on.

## 8. Conclusion

Automakers as well as consumer electronics companies in Japan today design and develop products that offer a high level of integration of hardware and software. The success that the LEXUS achieved in Japan in offering services that meet customers' unconscious and unvoiced needs, seemingly little dependent on customer- and market-focused approaches and field-initiated improvement programs, was a good model to investigate. We believe this study is meaningful in identifying what made it a success primarily from the perspective of the role that industrial design played, and can be applied to other product categories as a reference model.

We will continue to work on the LEXUS model and hope to develop a new business model to share.

## REFERENCES

- [1] Noboru Koyama, Mikio Yamashita, Mikio Fujito, Keiichiro Kawarabayashi, Yasufumi Morinaga, Yoji Kitani, "Differences of Design Decision on Product Design Development through Comparative Research on Japanese, European and American Automobile Industries," *Journal of Kansei Engineering International*, Vol.8 No.2, pp. 169-173, 2009.
- [2] Mikio Yamashita, Keiichiro Kawarabayashi., Yoji Kitani, Mikio Fujito, Noboru Koyama, "Comparative Research on Product Design Development in Japanese and European Electronics Industries, Significant Difference from Historical and Current Viewpoints," In the preparatory articles for the 8th Conference of Japan Society of Kansei Engineering, 2006.
- [3] Noboru Koyama, Keiichiro Kawarabayashi, Mikio Yamashita, "A Case Study of Service Design – Areas in which industrial design became involved in LEXUS vehicle development," *IASDR 2009 Proceedings of International Association of Societies of Design Research*, 2009.
- [4] The figure made by combining images shown on the Toyota's Lexus Portal Site, <http://lexus.jp/>

# プロトタイプを用いた3Dデータ化 とその開発プロセスの意義

奥野 郁夫\*・橋本 洋志\*・天野 直紀\*\*

## Significance of Making 3D Data with Prototype and Development Process

Ikuo Okuno\*, Hiroshi Hashimoto\* and Naoki Amano\*\*

This paper discusses the significance of making 3D data with prototype and development process. There is a method of using the prototype as one of the methods to improve the designs about user's facility and shaping function at the early stage in the process of the prototype design. However, neither the specific effectiveness concerning the item nor the evaluation concerning the rapid manufacturing in the simple expedient are discussed well. Thus, this paper considers the significance of the prototype pushing as the example, and proposes the law of converting to 3D that becomes a assist of the making to the rapid. From the consideration, we show the effectiveness through the illustrative example.

Keywords: rapid manufacturing, product design, digitalization of prototype, stereo method

### 1. はじめに

プロトタイプを用いたプロダクトデザイン過程の初期段階において、ユーザの使いやすさや形状機能に関する設計の練度を上げる方法の一つとしてプロトタイプからの簡易3D化を用いた方法がある。しかしその具体的な項目に関する有効性と簡単な方法でのラピッドマニファクチャリングに関する検討はよくなされていない。そこで本論文はプロトタイプの意義を、具体例をとおして考察することで、そのラピッド化の一助となる3D化法を提案し、実例を通してその有効性を検証した結果を報告する。

我が国の産業の持続的発展を維持するためには、次の二つの視点、すなわち、製品の迅速な設計・開発・製造というラピッドマニファクチャリングと、ユーザの視点に立って付加価値が高く、かつユーザの使いやすい(ユーザビリティの高い)設計・開発することが必須である。

従来の設計・開発においては、機械加工を意識した平面図(特に三面図)が多用されてきた。この利点は、CAD/CAM用にデータ化しやすいこと、また機械設計の初学用として広く普遍的に教育されてきたためである。しかしながら、平面図からは、熟練者であっても微妙な曲面の優雅さ、各部品間などのスケール感、3次元配置される機能形状、などを詳細にイメージすることは困難である[1][5]。そのため、開発プロセスの途中で、

改めて設計の不備に気づき、開発プロセスの前の工程に戻るといったやり直しフィードバックが多々あり、このことは開発費用および期間を延ばす要因となっている。また、この不備をそのままにして開発されたならば、その製品はユーザ視点に立ったものではなく、ユーザにとって魅力ある商品とは言えないものとなる危険性がある。

本論文は、上記の問題を解決するために、設計段階でプロトタイプを用いることにより、ユーザ視点に立った設計、および、迅速な開発を可能とする方法について述べる。

初めに、ラフで3次元形状のプロトタイプを用意する。設計者であり、デザイナーでもあるデザインエンジニアはこのプロトタイプを実際に触ることにより、人間に備わっている知覚と感性が刺激され、平面図では気づきにくいこと、すなわち、曲面の優美さ、スケール感、機能形状の3次元配置の具合、などに関して、ユーザ視点に立って、考えを深めることができる。このプロトタイプが柔軟素材(粘土、木、発泡スチロールなど)であるならば、この考えているときに、図面を介さずに、3次元状に直接的に修正が行える。このことは、3次元⇔2次元変換を行うという複雑な手順を省けることにより、より直感的かつ迅速にユーザが使いやすいデザインを設計に反映することが可能となる。

本論文では、この開発工程に立った開発プロセスを実験的に施行して、得られた知見について述べる。また、

プロトタイプは製造に向けて, CAD/CAMにつながるよう, 迅速な3Dデータ化が必須となる. ここでは, 一般に使いやすくするために, 一般カメラを用いたステレオ視法に基づく3D化法について述べ, その実験結果を示す. この3D化法は, ラピッドマニファクチャリングを実現する一機能として位置づけられるものである.

## 2. 従来のデザインプロセス

ここでは, 従来のデザインプロセスを鑑み, その問題点を考察する. デザインエンジニアは課題に対しての案を視覚化し, それらを説明することを必要とする. たとえばイメージ図, プラン図, 外観図, や場合によっては文面によって伝えられる. 直観的にあらわすことのできないものは三面図など図面への書き込みで詳細に表すことになる. またデザイン案の伝達に用いられる方法としてこの他に, モックアップやプロトタイプも用いられる. これらデザイン構想, 最終レイアウト, ドキュメントに至る生産プロセスまでをデザインプロセスとする.

デザインプロセスにおいては課題の分析, 構想, 実体化, 詳細化が行われ適宜, 課題に対する最適化へのフィードバックがなされる. 構想段階においてはデザイン案, 工学的知識, 生産方法などから検討され, 実体化でデザイン案の選別がなされ, 見直しも行われる. 詳細化においては図化などの生産化プロセスに向けてコンピュータを用いての詳細な詰めが行われる. 工程が細分化され複雑化するにつれて情報のネットワークは高度化され個々の作業や活動が規定化されるという傾向になる [1].

ここで, 適度な包括的モデルとして, ポールとバイツ (1984) [1] のモデル構成を例にとる. デザイン課題から要求設計までを<課題の明確化>とし要求設計からデザイン構想までを<概念設計>デザイン構想から最終レイアウトまでを<実体設計>最終レイアウトからドキュメントまでを<詳細設計>とする. 前半がデザイン作成方針の最適化であり, 後半がレイアウトと形態の最適化である. さらに各段階において仕様に適合させるための情報などがやり取りされ, 課題と要求仕様に沿って高品質化と改良がなされる. これは各段階においてフィードバックがなされることになり, 変更や改良時における大きなリスクを回避できるメリットがある. さらに仕様に還元できるという循環型構図になっているので仕様の追加や変更が随時可能となり, 効率の向上が図られる [1].

とくに, 実体設計のデザイン構想から初期的なレイアウトそして最終レイアウトに至るプロセスにおいて詳細にみると複数の初期レイアウト及び形状の作成, 初期レイアウトの選定, 技術的, 経済的基準に従っての評価があり, そこで初期的レイアウトが決まる. 次に最終レ

イアウトに進むにあたって形状の最適化と完成, エラーチェック, コストの有効度ならびに部品リストと生産ドキュメントの原案の作成があげられている. つまり今日では当たり前になった経済的基準も含めた技術や形状の評価を選択肢など踏まえながら, その有効性をチェックできている点で実用的であり, 応用可能な提案と考える [1].

しかし, 実務レベルにおいてはどうか. 例えば, 初期レイアウトから最終レイアウトにいたる形状を最適化し完成するまでを例にとると, はじめに記載した. 平面図からは, 熟練者であっても微妙な曲面の優雅さ, 各部品間などのスケール感, 3次元配置される機能形状, などを詳細にイメージすることは困難である. ということが指摘されていることなどがあげられる. また, フィードバックされる情報の扱い, たとえば変更や改良の際の効率の問題がある.

ここで, 変更による波及は程度に影響されるが, たとえばプロトタイプの変更と同時に2次元変換が簡易な形で施行されることが可能であれば, そのメリットは大きいといえる. さらに最終形体が立体形状なものを立体形状から思考および考察するという, ごく自然な試みが, ピッドマニファクチャリングの一つの可能性を生み出すと考える. このフィードバックを極力少なくするためには, デザインプロセスの初期段階での設計練度を上げることが不可欠であり, この方法を次に述べる.

## 3. プロトタイプに基づくデザイン手法

### 3.1 手法の説明

ここでは, 本論文で提唱するプロトタイプに基づくデザイン手法およびラピッド化のための3D化法を説明し, その後に, 実例をとおしてその有効性を検討する.

- SP1 (ステップ1) はじめにプロトタイプを用意する.
- SP2 プロトタイプの全体を全周囲から眺めてみる.
- SP3 必要に応じて触れたりしながら確認し, また, ゲージを当てて希望する線や面かを確認する.
- SP4 形としてのコンセプトや必要とする形状が主張できているかなどの面からも検討する.
- SP5 プロトタイプの曲面部また, は多面接続部間の曲面などキーラインとなる面やラインの変更箇所が見つかれば変更, 改良を施す.
- SP6 必要に応じて対比する人形や物などと対比させながら, そのバランスや機能を考えてさらに必要に応じ修正を加える. この間までのSPからSP6を繰り返す.
- SP7 全体を眺めその最終レイアウトに沿った形状や優美さ, さらに3次元配置ならびに, 人により使用

される物については寸法計測や図面を参照するなどして、空間の取り方、身体と物との配置関係などユーザビリティにも配慮しながら部分や全体のバランス、コンセプトを再確認し全体を整える。必要に応じてスケールの違うプロトタイプが必要な場合には別途部分のプロトタイプと用意し、上記SPを繰り返し制作する。課題などを造形的に解決しながら形状、機能の解決に向けた繰り返し作業を行う。問題なければSP9へ。

- SP8 ここまでで修正では収まらないなど大きな構造の変更が必要な場合には、はじめからプロトタイプを見直すことになる。ただし何らかの記録に残しておくことで再構築時の参考となる。
- SP9 形が完了すれば一般的なデジタルカメラを用意する。
- SP10 あらかじめプロトタイプ全体が収まるテーブルを用意する。大きなものであればフラットな床でよい。プロトタイプの周りに物差しや標識である基準点を四隅に置き、これら基準点からのカメラ位置、カメラと三軸の傾きを測定するための用意をする。
- SP11 プロトタイプ本体にもターゲットマークを均一になるように配置する。また本体の表面は自動パターンマッチングに適したテクスチャーである必要がある（詳細は後章で説明する）。後はプロトタイプに対して鉛直方向になるようにカメラと対象物距離を一定に保ち、平行移動させた写真を数枚映す（今回の実験では2枚）。後は写真データをパソコンに取り込み、アプリケーションソフトを用いてディスクワーク上での3Dデータ化の作業となる。

### 3. 2 Case study

デザイン案のコンセプトは、本学PBL (Project Based Learning) において、ヒトの高度知的活動を支援するツールの公共または居住空間における製品設計、開発を行い概念設計から、インタフェースへのジェスチャー入力などを可能にし、快適性と情報操作時のストレスが軽減され、コンテンツ表示などの時間の効率を図ることのできる、インフィルにおける空間を考えた。

はじめにイメージ図、三面図、モックアップ、3DCAD (CATIA) 制作を行ったので各工程における考えや、気づきを下記に記す。また、プロトタイプであるモックアップについての気づきやその有用性は4章の最後にまとめた。

最初のイメージ図の段階ではアスレチック機能とインタフェースを有する椅子を考えた。長時間の体勢に耐え

るように健康促進用身体動作機能とリラックスが併用できる姿勢を想定した。コンピュータへの入力負担の少ないジェスチャー入力機能を備えるインテリジェントな環境をイメージするままにフリーハンドで描きペイントを施した。

その後、三面図に落とす段階においては、形状はより現実性に基づいた寸法が優先となる。より詳細に寸法を割り出すことは実現性への第一歩であり、想像の世界から現実の世界に思考を振り向けることになる。動体機能は取り除いた。形状はスモール化され、かわりに座面が下に降りることで背もたれに変わり、座姿勢にも応じられるように工夫を施した。座姿勢からもモニター視聴ができるように位置関係にも考慮した。それらの動作姿勢からの身体寸法を算出し座姿勢時に足が前に出せるように全面カバーに四角の空洞を設けることで足が伸ばすことができる。

次にモックアップの制作を行った。図面からのイメージをより立体化し、全体の形状やモノとしてのバランスや図面では表現しづらい曲面などのボリューム感を作りだすためである。結果、形状のイメージは知覚表現の優位性もあり、ほぼ思い通りに曲面やボリューム感は表現できた。ただし、椅子の部分や機能、またはドアの開閉部分などの詳細については切り割りしての加工、もしくは別途分けての制作が必要となり、今回はできていない。また、精密度はそのプロトタイプのサイズに依存することが確認でき、当然のことながら精度の向上にはそれ相応にプロトタイプのサイズを決める必要がある。つまり素材の耐久性の関係上、部品の厚みや大きさの制約を受けることで、はじめのコンセプトが変わってしまう懸念がある。よって素材選定とサイズには目的に応じた計画的な選定が必要であることがわかる。このプロトタイプにおいては全体的にユニークなプロポーションと集中できる閉じられた空間の表現に重きを置いた。

最後に3次元CADであるCATIAによって図面を参考にしての3D化を行った。これはこれまでの制作者とは別となる。三面図から寸法と照らし合わせ、大まかな指示と質問に答える要領で制作してもらった。カバーの空洞部は丸となり、全体の形状やボリューム感は微妙に異なることが写真からもうかがえる。ここでのデータから、応力解析やデジタルデジタル人形で視線の位置関係を確認することが可能となる。またラビットプロトタイプピンクを用いての立体形状の制作も可能にする。

以上の一連の作業からモックアップでの立体プロトタイプにおける有用性については次のことが体现できたので記述する。①知覚からの直観的な造形に対して素直にイメージが再現できる。たとえば曲面や線及び接続部分や全体の美的形状などである。②多角度からの視点に



よって対象の意外なバランス感覚が生まれる。たとえば全体のどこに最も主張すべきところがあるのか、またどこにあるべきか、など微妙な形状の違いで大きく印象が変わることなどである。③プロトタイプには適切な大きさが必要であるということである。小さすぎるとそのぶんラフになり特徴が誇張されやすくなる。精度を上げるには目的に応じた適度な寸法が必要である。これには目的ごとの分割化や縮尺の違いで対応できると考える。



図 1 Image sketch



図 2 Prototype



図 3 三面図



図 4 CATIA 5 によるモデル化

## 4. ステレオ視法に基づく 3D データ化

### 4. 1 概要

はじめに、デジタル写真測量（ステレオ視法）[3][8][10][11]の概要説明を記す。

ステレオ視は二箇所以上の異なる位置から測りたい物体の写真を撮り、写された物体の座標を測ることでその物体の立体的な形を作り測ることができる。まず写真の特性として中央から離れるほど、また高さが高いほど傾いて写る性質がある。この性質を中心投影といい、ステレオ視した場合のカメラ位置からの違いによる傾き度合いの差を視差という。またステレオ写真撮影時における二点間のカメラ間距離を基線長という。実寸法のわかっている標識などを一緒に写し込んで基線長 (B) (基線長と物体とカメラまでの距離 (H) を基線比という) の距離を求める。基準点の座標からカメラ位置 ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) とカメラの三軸の傾き ( $\omega, \theta, \kappa$ ) を求める標定に後で必要となる。また物体の一点とカメラレンズ中心と像点が一直線になる性質を利用しての式、これを共線条件式という。いわば中心投影を式に表したものであり、2枚のステレオ写真の同一物体のそれぞれの写真座標から対応する物体座標を、2本の共線条件の交点として求めることができる [3][9][10]。

### 4. 2 作業手順

ここでは、ステレオ視法に基づくデータ化の作業手順を示す。下記において、ISP $i$  はイメージデータに対する作業ステップ番号を表す。

- ISP1 測りたいプロトタイプ (モデル) を選ぶ。またカメラキャリブレーションを事前に行う。今回、日本写真測量学会提供の Image Master ビギナーズソフト [9] での 3D 化ツール (ステレオ法) を用いる。
- ISP2 大きくなければ四角のボードなどの枠内真ん中にプロトタイプを置き、その四方隅ならびに周りに標識を置く。
- ISP3 撮影は 2 枚の写真をとる。基準点のあるボードもしくは床にできるだけ垂直になるように方向を決め、2 枚とも平行な光軸になるように撮る。まず左写真からモデルがカメラ view 枠の右側 2/3 か 3/4 位になるよう距離を離す。右に平行移動させて同様に写す。基線比は 0.3 から 1.0 にとる [9][10]。
- ISP4 ソフトを立ち上げ写真を取り込む。Exif ファイルも読み込み、カメラ焦点距離も読み込む (カメラキャリブレーション済みであれば自動で読み込む)。
- ISP5 まず 4 点以上の基準点の標識を測る。円形重心であればモードに従って円形のターゲットを指定す

るだけで重心計算をしてくれる（コーナー検出も可能）。また、モデルの周りやモデル自体にもできれば標定する。最後に明らかな 2 点間の基準点距離を手入力する。

- ISP6 標定計算は自動で行ってくれる。また、1 画素以下の精度であれば OK が表示され、それ以上であれば、おかしいと思われる標定個所のやり直しをするか、最初からやり直す。
- ISP7 次にマニュアルでの図化を行う。標定作業で得られた左右のカメラ位置と傾きから、その画像を用いてステレオ画像を作成し、その画像を立体視しながら 3 次元で対象物を一点毎に計測する。その点と点を結線し、ポリラインで輪郭などを図化する。またダイアログのブレイクラインをチェックすることでその部分の輪郭が保持されたままで面計測できる。これら図化の全自動化は今でも難しいとされる。
- ISP8 自動計測後多数の点から小さな三角形でできたモデル、TIN (Triangulated Irregular Network) モデルが生成される。
- ISP9 TIN と同時に写真の貼り付けを自動で行い、モデルを自由に回転させることのできる 3 次元モデルができる。等高線図も可能である。
- ISP10 (備考) 本ビギナーズソフトにはないが、Image Master pro ソフトには 3D 化データ出力として VRML ファイルフォーマットをもつ。出力としてほかに DXF, 3DFACE, CSV, TXT などにも対応できる。

### 4. 3 実験 Prototype 1

実験目的 / 本実験は、ステレオ視によるプロトタイプの形状の再現性の確認を目的とする。同時にアルゴリズムなどによる性質を把握することで、今後のプロトタイプの素材やテクスチャーなどの参考になることを考慮した。

測定概要 / 上記記載の手順のとおり、はじめにカメラキャリブレーションを行い、次に対象物に対して鉛直方向になるようにキャリブレーションされたデジタルカメラを用いて 2 枚の写真をそれぞれ違った位置から撮影した。撮影距離は初めにキャリブレーションを行ったときのレンズ倍率と距離をおおよそ保つ必要がある。よって今回は対象物とカメラまでの距離 (H) はおおよそ 60mm とした。レンズ焦点距離は 6.3mm である。基準点は横軸方向の 2 点間距離を 290mm と入力した。

使用機器 / 使用カメラ：パナソニック製 DMC-LX1 (600 万画素)、ソフトウェア：トプコン社教育用ソフト Image Master ビギナーズ、ソフト機能：デジタルカメ

ラで記録された JPEG 画像による Exif データからの距離の読み込み及び画素サイズ入力、ステレオ画像の読み込み (画像は 2 枚のステレオ画像に限定)、ターゲットの中心演算 (円形標識の自動認識)、相互標定 (タイポイント：6 点以上、基準点含む)、絶対標定 (基準点：4 点以上もしくはスケール入力)、3D モデル計測他、パソコン環境：OS:Windows2000, XP, Vista が動作するパソコン、今回は XP を使用した。

図 5 は対象発泡スチロールのプロトタイプである。



図 5 Prototype



図 6 標定作業

プロトタイプをカメラで取り込み対象オブジェ以外の周辺 10 ポイントの標定とスケール入力を行った。

プロトタイプ本体への標定はしていない。その結果、図 7 の立体は歪み、とくに球面部は崩れ方が大きいことがわかる。次に図 8 ではオブジェに丸い 6mm φ 程度の大きさのシール (文具店にあるようなものでよい) をランダムに貼り付け対象オブジェの標定をオブジェ周辺以外に 10 数か所設定した。その結果実体モデルの形状にかなり近づき球面部も大きく改善される。図 9 では対象オブジェの真正面部のフラットな面にやはりモザイク (斑柄) のような印刷柄のシールをその部分にだけ張り付けたところ、図 8 と同程度もしくは本体のエッジ部は目視ではいくぶん正確な形状が再現された。



図 7 素地



図 8 ドットマーク



図 9 斑柄

自動計測とレンダリングの写真を下記に示す。



図 10 自動計測



図 11 Rendering

#### 4. 4 考察

写真である限りにおいて基本的には立体を非接触で忠実に再現できるということが言える。換言すれば写らないところは再現できない。つまりプロトタイプの形状に応じて複数枚（2枚以上）の撮影を要する。しかし複数撮影し、合成する方法は実用例も多々あり十分に実現可能である。本来測量用の技術であり、寸法的に目安としての造形物であっても測量（計測）が後でできるということが言える。

また自動で処理できるステレオマッチングについては対象物の表面のテクスチャーなどの条件を選ぶことになる。金属面やストロボ撮影での表面反射など光沢がある面に対してはとくに人間の目で判別するほどはうまく認識してくれないので素材の選定や、表面への柄の描画など今回の実験のような工夫が必要と考える。

ステレオマッチングの方法として、探索範囲を絞り込みことで、時間の短縮化ならびに精度向上につながるコース・トゥー・ファイン法がある。解像度を落とした広域画像でマッチングを行い、徐々に解像度を上げて精密化を測る手法であるが、それでもパターンに適した表面の条件を選ぶことにはかわりはない[3]。ステレオ視は物体の相対的な立体の形を測ることはできても絶対的な形は分からない。つまりステレオマッチングにおいても計算機では点単位で対応点を見つけることになる。そこで図化が必要となる。標定作業から得られた左右のカメラの位置と傾きからステレオ画像を作成し、対象物を一点毎に計測し、その点と点を結合して物体の輪郭などを図面化する作業である[3][9]。この図化は全てマニュアルでの作業となる。一連の作業の工程の中でも一番時間を要する作業である。Prototype2の実験では図化作業であるポリライン計測を行った。かなり高い精度の再現性があることが実験結果からわかる。

#### 4. 5 Prototype 2

本実験での最初の発泡スチロール時との違いは形状的に上面撮影でほぼ全体に収まる形状をしており、死角がないことである。また以外にはモデル座標 CSV データをあらかじめ設定していることと図化を行っている。また紙表面にあらかじめ柄（山肌のような模様）が入っていることである。これらの設定で再現精度は飛躍的に向上する。結果の写真を下記に示す。

総評として近接写真測量として実際に多くの事例が示すように、より応用分野が広がる可能性が十分にある。今回のモデルからのデザインプロセス提案についても従来の用途である測量技法にとどまらず、ステレオ視法を用いての創作活動の際のアプローチの手法としては、一般デジカメを用いての撮影など、自由度も高くあらゆる

プロトタイプ（物体）を3Dデータ化する可能性を示唆するツールであることを結果から得ることができた。下記に実験写真の結果を示す。

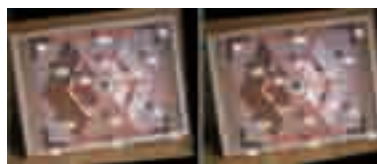


図 12 ステレオ写真



図 13 上面図



図 14 正面図



図 15 右側面



図 16 背面図



図 17 左側面



図 18 等高線図



図 19 Rendering

#### 5. おわりに

面 (Surface) と触媒 (Medium) は生態学的用語であり、平面 (Plane) と空間 (Space) はほとんど同じ意味をもつ幾何学の用語であるが、両者の違いに注意しなければならない[4]。この両幾何学の間にはどのような違いがあるのだろうか。面は実体のあるものであるが平面はない。面は「肌理」があるが、平面にはない。面は決して完全に透明であることはないが、平面は完全に透明である。面は現実に見えるものだが、平面は単に心に描かれるにすぎない[4][6][7]。

上記の記述に対する面は立体モデルの有用性を言い表すに十分な意味を与えている。つまり知覚を介して塑像や視覚的な環境の意義は実体のある面や縁、境界を抽象的幾何学 (Abstract Geometry) とは一旦切り離して新

たな知覚環境の価値を提供し、また課題に対するプロトタイプの試行によってそれら次元を再度統合することで本質の意味が見出されると考える。

言うまでもなくここでは平面と立体デザインの優位性についての比較を論ずるものではない。知覚をつうじてプロトタイプからの造形的手法をさらに簡易にデザインプロセスの初期段階に取り入れることにより、製品の使い勝手の思想的還元性やラビットマニファクチャリングとしての塑造練度による効率について写真測量法（ステレオ視法）を用いることで検証した。効率とはひとつには一般デジカメを用いた3D データ化の手軽さがある。このことはデザイン変更時においてプロトタイプの変更手続きがそのまま3D データ化に反映されるなどの簡易さを意味する。また製品およびステレオ視法双方の要求精度を満たす精緻なプロトタイプであればプロトタイプと図化が同時に進行するということである。車ボディーなど比較的大きく精度を要するクレイモデルからの3D データ化と比較するとステレオ視法は、接触式3D 測定器などに比べ測定点精度は劣る。しかし対象とする製品の精度を考慮し適所に用いる場合においてその簡易性とコスト比較、手軽さの点においてその塑造練度の効率はプロダクトデザインの工程において大きな一助となり得る。

課題に対する目標に至るまでの繰り返されるプロトタイプの試行錯誤においては、知覚でモデルを扱う必要があり、素材を含む環境のイノベーションも重要となる。扱いやすさ、ということである。ほかに立体化の手法として、モアレ写真などの光学的技術を用いたり、スライディングゲージなどの接触式造形方法など多くの方法がある。また目的に応じたモデルに使用する素材そのものの可塑性の扱いやすさの選定も欠かせないと考える。それらはステージを含む環境のインフラなど造形創作活動が手軽にでき、しかも安価にできることは、3D 化まで直観的表現としてスムーズに行えることと同意である。

今回ステレオ視をツールとしたプロトタイプの意義を4章で述べた知見のように、デザインエンジニアの創作活動のプロセスにおいて造形物の写真を数枚写すことで課題解決を意図する知覚的創作物を3D データ化されることは、制作者に初期段階から造形的思考をもたらすことを多大に支援することを実験的に明らかにした。また今回の1つのプロトタイプ写真からの3D データ化に要した時間は、基準点十点ほどの標定のみであれば十数分程度であり、これはラビットマニファクチャリング実施に向けた一支援技術といえる。

以上、プロトタイプの3D 化の一つとして、今回のステレオ視法をツールとして取り上げることで、プロトタイプからの3D 化と開発プロセスの意義と、そのラビッ

ト化の検証を論じた。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、本学PBL (Project Based Learning) 教育における関係者方々のご協力に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] ナイジェル・クロス著、荒木光彦、監修別府俊幸、高橋栄共訳、“エンジニアリングデザイン、”培風館、pp.26-27, pp.29-36 2008.
- [2] 菊池正編、海保博之監修、“感覚知覚心理学 朝倉心理講座6”, 朝倉書店、2008.
- [3] 秋山実、“写真測量”, 山海堂、pp.71-78, pp.215-260 2001.
- [4] James J.Gibson, “ギブソン生態学的視覚論”, サイエンス社、pp.35-37, 2005.
- [5] 精密工学会、“デジタルスタイルデザイン”, 研究分科会デジタルスタイルデザイン、海文堂出版、p.58-68, 2008.
- [6] 乾敏郎、安西祐一郎、“認知発達と進化”, 岩波書店、2001.
- [7] 佐々木正人、三嶋博之、“アフォーダンスと行為”, 金子書房、2007.
- [8] 吉澤徹編著、“最新光三次元計測”, 朝倉書店、2006.
- [9] 村井俊治、大谷仁志、“デジカメを使って形を測ろう～デジタル写真測量入門～”, 社団法人日本写真測量学会、2009.  
(ソフト“Image Master ビギナーズ”は上記に添付されているもの)。
- [10] 村井俊治、“写真測量の基礎知識”, 日本写真測量学会セミナー資料、2009.
- [11] 高地伸夫、“第15回三次元工学シンポジウム資料集”, デジタルフォトメトリ、2009.

# 製品の機能創出に関する一考察

吉田 敏\*・小山 登\*

## Study of Creational Function of Products

Satoshi Yoshida\* and Noboru Koyama\*

### Abstract

It is not so difficult to find discussions about design process of artifacts, and many practical production of manufactured goods followed these discussions. But the situation of social mechanism and technological development influences the ideal products in the moment, so we need to discuss the best way to create products in every moment.

In this paper, fundamental mechanism of design process of artifacts including products is discussed, and function design is focused especially.

Keywords: Functional Design, Design Process, Artifact, Product Design, Creational Function

### 1. はじめに

現代、人間が生活する空間は、きわめて多くの人工物で埋め尽くされている。これらの人工物には、物理的に把握しやすい有形の人工物だけでなく、システム、制度、論理、サービスなどの多くの無形の人工物を含むことになる [1]。これらの創造手法の体系化については、これまで極めて完成度の高い議論がなされてきたとは言い難い。人工物は、人間によって創造されるものであり、生活における利便性の向上を支えていくものであり、われわれの生活空間を埋め尽くすように存在している。また、これらを注意深く観察すると、全ての人工物が有形の側面と無形の側面を呈していることを理解することができる [2]。

また、人工物は一般的に目的を有し、その目的の実現のために設計され、創られることになる [1]。その創造プロセスは、基本的に設計行為と生産行為によって構成されていると考えることができる [3]。設計行為としては、供給対象者を明確にし、その対象者の要求内容を理解し、その要求内容の達成を目的として概念設計を行い、その概念に即した形で機能設計を行う [2]。それらの内容は、形態や構造の設計、そしてそれを反映した生産プロセスの設計に落とし込まれていくことになる [3]。

本稿の目的は、人工物の設計プロセスを精査しながら、その中で対象人工物の機能がどのように扱われているかを議論していくものである。また、本稿では、人工物の中でも、主に有形の製品について議論を進めるものであ

る。これは、我が国が資源立国でない以上、社会が有効性を認める何らかの製品を創り続ける必要性があることに立脚したものである。

### 2. 製品の設計プロセスの精査

#### 2.1 製品設計に関連する様相

人工物としての製品を理解する手法として、対象を構成している要素の構成に注目していくことが考えられる [4][5][6]。これは、人工的な対象が、つくられる時に諸要素をどのように扱うかというつくり手の恣意が、創り出される要素の構成に反映されることを捉え、その対象の特性を把握しようとする考え方に基づいている [4][7]。

創られた人工物の要素構成に関する先行研究では、米国を中心に要素のモジュラー化に関するものが多く進められてきた。代表的なものとして、K.Clerkらによるものが挙げられるが、これは複雑適応系の型に着目しながら設計と製品特性に関する進化理論として展開しているものである [4][8]。また、国内においても、延岡健太郎による研究をはじめ、複数の研究者が人工物のモジュラー化に基づいた研究や議論が行われている [9]。一方、藤本隆宏は、製品の構成要素間の相互依存性に着目しながら、擦り合せ化に関する視点から、自動車産業を中心とした論理展開を繰り返し広げてきた。その他、筆者らも他稿で建設産業を取り上げ、日本と海外の国際比較を行い、日本の建築技術における擦り合せ傾向の議論を行っている [10]。

対象の構成要素の相互依存性を記述する上で重要な点は、設計されるもの、つまり人工物のさまざまな様相をどのように理解していくかということである。本稿では、人間が人工物を設計し、複雑な情報やプロセスを把握し、システム化していく上で、対象の要素構成を階層化させて整理していく傾向があることを基本的な拠り所とする。これは、基本的には H.Simon による指摘によるもので、ある程度組成の複雑性が高い場合や、構成要素数が多い場合などにおいて、人間は対象を階層化させて理解することになるという考え方である [1][4][7][11]。前述のモジュラー化の考え方は、まさにこの考え方に基づいたものであり、擦り合せ化についてもこの考え方が極めて強い影響を及ぼしている [3][12]。

このように、対象の要素構成の階層化による認識に基づいて対象となる製品がつくられるとき、設計プロセスの各段階においてその影響が反映されるものであると考えられることになる。つまり、概念設計、機能設計、形態・構造設計、生産プロセス設計などが構成要素の階層化に基づいて進められることになる [1][2]。ただし、現実の設計行為における内容を見ると、一つの要素が複数のクラスターにまたがる場合や、さまざまな周囲からの与条件により、素朴な階層構造を構成することを前提にできないことが考えられる。この点については C.Alexander により、セミ・ラチス構造という名称で指摘されている。ここでは、対象をそのまま正確に記述することは視野に入れず、設計行為の各プロセスの関係性を読み解くことを考えていく。

以上の議論を踏まえ、ここでは主に二つの点を注視する。一つは、設計行為およびそのプロセスを精査していくに当たって、人工物は基本的に複数の要素によって構成されているとみなすべき点である。二つ目は、基本的に既存、既知の要素を扱うことになる点である。もし、全ての要素を発明、発見しながら新しい製品を創造しようとした場合、それは極めて困難であるということが容易に考えられる。実社会の中で創られる製品を見ると、大量生産でも、単品受注生産でも、一つ一つの要素を発明、発見しながら設計されるものは殆ど見当たらないと考えられる。このように、製品は複数の既存要素を利用し、構造化しながら設計されていくことになる。このことを踏まえ設計プロセスの様相を理解していく。

まず、対象となる製品が人工物である以上目的が存在する。一般的に、人工物の目的については、関係要素を操作して使用環境に対して最適になるよう構成を検討していくということを挙げる事が出来る。これは、使い手の要望を中心とした要求条件と、さまざまな要因に拠って構築される制約条件の双方を満たしていく必要があることになる。しかし、要求条件だけ注視した場合、

関与する立場は、主たる使い手だけに止まらない。その製品の主な使い手が限定されている場合でも、使い手以外の関与者からの要望が要求条件の構成要素となる側面が含まれることになる。出資、維持管理をはじめ、その製品が使用される環境に関与する全ての立場から要求要件が生まれることになる。このような視点から、製品の設計プロセスを考えた場合、関与者たちを特定し、また、関与者たちの要望はどのような全体像となっているかを把握することが初期段階の検討事項となる。

次に、把握した要求条件を基に、制約条件を考慮しつつ、概念設計を進めることになる。このとき、影響を受ける諸要素をどのように整理し、構築していくかが設計の課題となる。このような概念設計を前提として、機能設計、形態・構造設計、生産工程設計へと進むことになる。各様相共に、構成要素をどのようなストラクチャーで構築していくかが要点となっていく。

## 2.2 各様相の構成要素のストラクチャー

製品の諸要素がどのようなストラクチャーで構築されているかを理解するとき、作り手によって階層化される傾向がある可能性を基本としていくことになる。しかし、階層化は、多くの人工物創造の各プロセスにおいて、まったく矛盾が無いかたちで収まることは困難であると考えられる。人工物に関する物理的なストラクチャーに関して、前述のように C.Alexander は階層構造が部分的に崩れた形をセミラチス構造と呼び、その特性を議論している。このセミラチス化は、物理的な諸要素の機構にとどまらず、他の様相の機構、つまり関与者の機構、要望の機構、概念設計の諸要素の機構、生産工程設計の機構にも、含まれることになると考えられる [13]。

一方、アーキテクチャ概念の議論によって、そのストラクチャーにつくり手の持つ設計思想の傾向が表れることが指摘されている。対象となる製品などの人工物の種別に関わらず、全ての設計プロセスを通し、つくり手もつ思考の傾向が反映されることになる [14][15][16][17][18]。つまり、各様相のストラクチャーを精査することによってつくり手の思想を読み解き、また、つくり手の思想から創造される製品の特性を把握することが出来る可能性を得ることになる。

## 2.3 各様相と製品設計プロセスの関係性

ここまで述べてきたように、製品をはじめとする人工物の設計プロセスには、複数の様相が存在することになる。繰り返しになるが、使い手の要望に関する様相、概念設計に関する様相、機能設計に関する様相、構成設計に関する様相、生産プロセスに関する様相、生産組織に関する様相などが挙げられる。

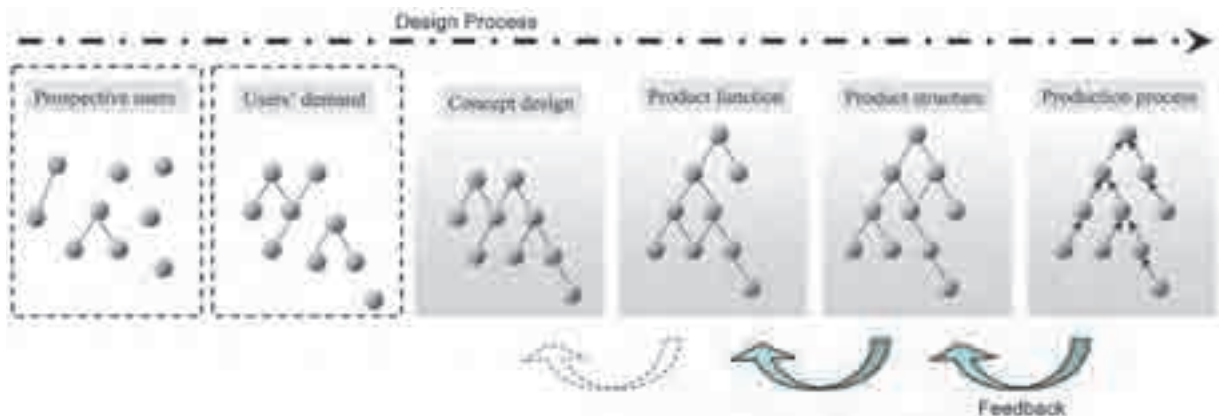


図1 製品の設計プロセスにおける各様相の概念

各様相は、隣り合わせのプロセスと相関関係を持つことになる。なぜなら、設計プロセスにおける前工程に当たる様相の内容を前提にしながら、次工程の内容が設計されていくためである。

また、このような関係性があるからこそ、次工程の内容によっては前工程へのフィードバックが必要となる場合が出てくることになる。有形の製品を前提にして、これらの関係性を表現したのが図1である。以下、製品の設計プロセスを追いつつ各様相を注意深く観察していく。

まず、設計プロセスの最初の段階として、対象となる製品の人工物としての目的の設定が考えられる。これは、人工物を創るうえで目的が存在し、それを達成することが前提となるためである。対象を何らかの製品としたとき、目的は基本的にユーザーの要望や必要性に応じた形で提示されることとなる。そのため、設計プロセスの第一段階として、ユーザーの要望を理解し、整理することになる。ただし、ここで言うユーザーとは単なる使い手だけでなく、対象となる関係者として出資者、管理者など使用に関する影響を受ける関係者すべてが含まれることになり、その関係者は単数の場合もあるが、多数の場合も考えられる。ほとんどの製品設計においては、この段階は作り手によって極めて薄めに認識されている場合が多い。しかし、誰に対する製品かという視点は、極めて重要な前提となっていくものである。そして、前述のように、多くの場合、複数の関係者の要求に対して応えなければならない。その場合、主たる使い手の要望内容と相反する要望事項を設計の条件に加えることが必要となる可能性を含むことになる。そして、これらの要望が製品の目的に直接的な影響を及ぼすことになる。この要望も、何らかの形で階層化されながら整理して理解されていく傾向があるといえる。創出される製品については、極めて明確な単一の要望が求められる場合もあるが、複雑かつ明確に言い尽くしにくい要望事項が求められる場合も少なからずあり得ると考えられる。特に、複数の技

術の飛躍的向上や情報技術などの基盤技術の急速な発展によって、使い手の製品に対する要望が加速的に複雑化してきているということが考えられる。また、使い手の嗜好に関する要望、つまりデザインなどの感覚的な側面で認識されるものは、単純な理論的考察では語りつくせない。その上、前述の通り、要望を持つ主体は、使い手だけでなく多岐に渡る立場が基本となるため、それらの要望が矛盾や複雑な関係性を持つことになる。そのために、この工程、つまり要望事項の記述、そして理解が、極めて困難となるいくつかの要因を持つことになる。

次に、要望に応えるために製品の概念設計がなされる。ここでも、多くの達成すべき事項を階層化させながら、全体として一つの人工物へ結実するように関連要素のストラクチャーが考えられることになる。ただし、このストラクチャーについて、前述のように当然きれいな階層化は確約されるものではなく、矛盾や重複を含むセミラチス化したものとなる。例えば、公共建築のエントランスを考えると、主要目的である公共性からはなるべく多くの人々が分け隔てなく入館できるよう開いたものが求められるが、警備やメンテナンスの観点からはなるべく閉ざした方向性が求められる。携帯家電品などのバッテリーも、軽さと持続性は相反することとなる。これらの概念設計を階層構造で表現しようとする、対象となる製品によっては、きれいな階層構造ではなく、ある階層で他のクラスターと結びつく現象を伴うセミラチス構造を呈していくことになる。

機能設計 (Product Function) では、前工程の概念設計の内容を基本としながら展開されていく。この段階では、製品の役割を具体的に検討していくことになる。作り手は、意識的、無意識にかかわらず、この製品の役割を概念設計の内容に照らし合わせながら整理していくことになる。一つの認識の仕方として、創られる製品の役割の実現がその製品創造の目的となるという理解も成り立つと考えられる。この点からは、この機能設計の段階は極めて重要であるということが出来る。

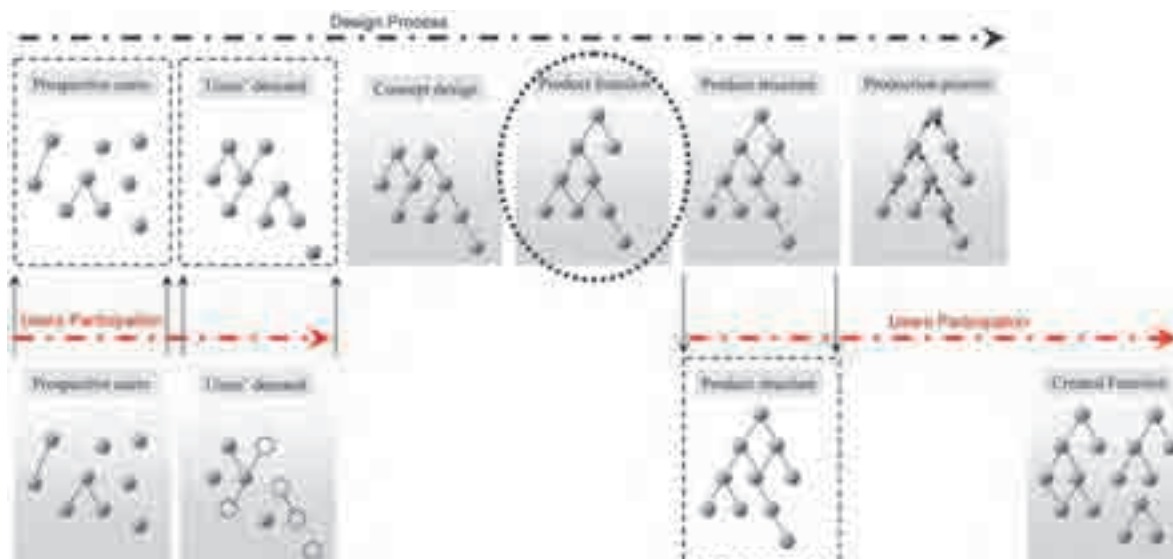


図2 使い手と作り手の視点から見た製品設計プロセス

この設計された機能を成り立たせるために、実際の製品の物理的な構成設計が行なわれる。このとき、機能設計の内容が、様々な製品構造上の制約とコンフリクトを起こすことが少なからず生じることも考えられる。そのために、多くの場合、構造設計の検討内容により機能設計の見直しが必要になる場合、いわゆるフィードバックが必要とされる場合が想定される。

構造設計の内容に基づき、それを実際に作り上げる生産プロセス設計が行なわれる。ただし、この内容は、構造設計が行なわれている中で、作り手がある程度の技術的実現性を想定していることが必要となる。つまり、構造設計を行ないながら実際にどのように生産するかについて、大筋は考えられているのである。そのために、設計図や仕様書に表出する構造設計の内容は、作るのが不可能なものや工期やコスト等がプロジェクトベースに乗らないものなどは、リジェクトされているのが通常である。

つまり、製品の構造設計時には、生産工程全体の概要、技術面、コスト面、そして物流、商流やサプライヤーの能力なども、少なからず構造設計時にある想定が加えられているといえる。

### 3. 設計行為における機能面の考察

#### 3.1 使い手の関与

ここまで考えてきた設計プロセスは、主体は作り手である。しかし、製品が創られるのは使い手のためであり、使い手も極めて重要な関与をしていくことになる。また、前述の通り、使い手以外にも関与する立場は多く、権利関係が生まれる関与者、対象製品の技術的関与者、物流面、商流面の関与者、使用される環境から影響を受ける

全ての対象者など、多くの立場が考えられる。

また、使い手は、製品創造の主要な拠り所となる用途や機能に対し重要な関与をしていくのは言うまでもないが、製品の社会への浸透という結果の良否を左右するパラメータの主体となっていくことになる。ここまで作り手の視点から考察を進めてきた設計プロセスに対し、対象を有形の製品に絞り、使い手等が影響を及ぼす局面を精査しながら、実際の製品設計プロセスに存在する課題を抽出していく。

#### 3.2 機能の二重性

ここまで述べてきたとおり、作り手の視点から考察した設計プロセスでは、使い手の要望を受けて製品の概念設計がなされ、その内容に基づいて機能設計がなされ、構造設計へと進んでいくことになる。ここで示された機能設計は、作り手が、概念設計に基づき様々な与条件を整理しながら構築していくものである。ここで、機能設計によって創られた内容を「設計機能 (Product Function)」と定義する。「設計機能」は、後工程である構成設計や工程設計で浮かび上がる課題によって必要に応じフィードバックされることにより、内容が揉まれていくことになる。ただし、その検討対象事項の範囲は、製品が生産されるまで、つまり製品が使い手の手に渡される前の段階までであることが重要である。

製品の創造活動において使い手の要望を実現させることが主要な目的の一つであると考えられるなら、「設計機能」が構築されたことやそれに関連して構造設計がなされることだけでは、目的の達成については不十分である可能性がある。なぜなら、「設計機能」に関する議論は、作り手の設計思想の一部を指しているだけであり、まさに設計プロセスの断片を取り上げた内容に留まっていると



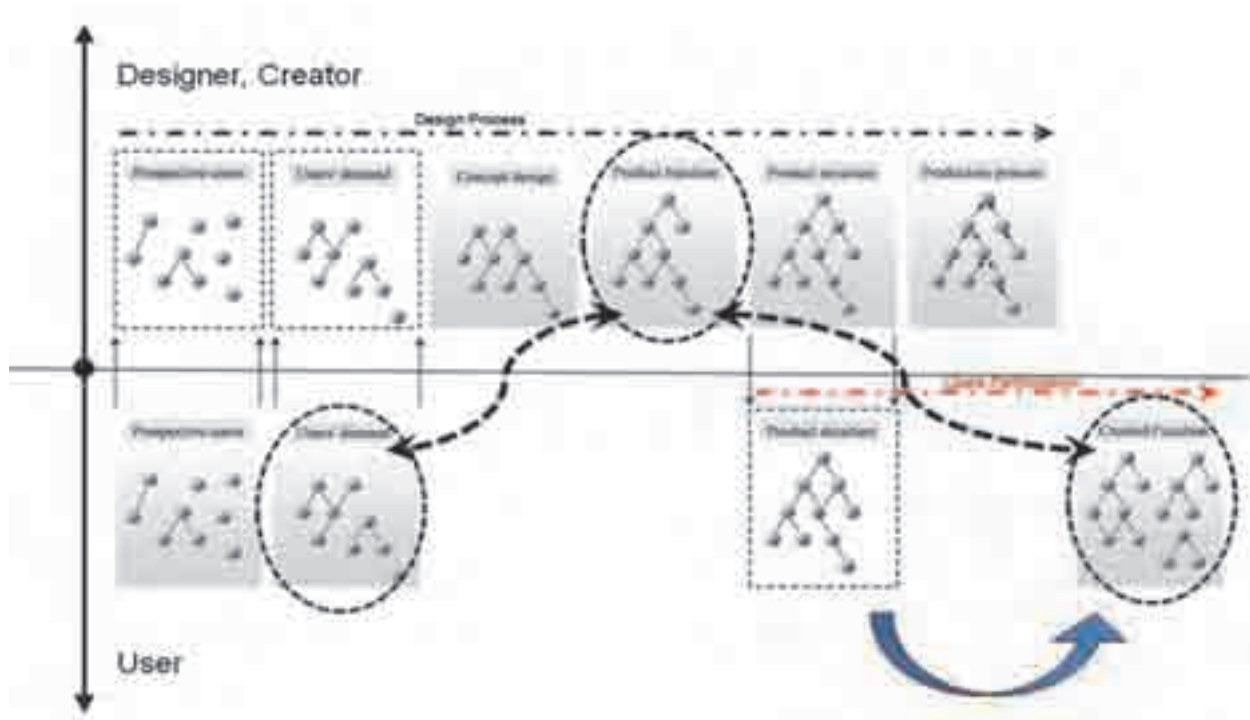


図3 「設計機能 (Product Function)」と「発生機能 (Created Function)」の差異

考えるべきであるからである。もちろん、マーケティングの概念などを含め、使い手の要望の把握によって、また既存の製品の顧客満足度調査などによって、使い手側の要求要件は理解しきった上で設計プロセスが進められるという考え方があることは周知の事実である。しかし、このような視点から使い手の要望が実現したかどうかを考えるには、実際の使用環境において使い手が製品を手に取り、「設計機能」通りの機能を取り出せたかどうかを観察しなければならない。しかし、これまでの設計・生産手法を顧みると、このような極めて当たり前の方向性についての議論が薄いことに気づく。少なくとも、作り手が知りたいことのみを中心の調査活動などに留まっていた傾向があるということができよう。ここでは、使い手が、生産された有形、無形の製品を手にしてどのように機能を得るのかを、作り手の視点や疑問を前提にすることなく真摯に考察していく。

使い手は、様々な設計情報によって生産された製品を受け取ることになる。しかし、そこに埋め込まれた情報を正確に読み取り、取り出さなければならない義務は、使い手側には存在しない。そのために、使い手は、主に構造設計によって構築された有形、無形の製品そのものを手にし、実際に使用していきながら、自分の使いたいように使うことになる。事実、多くの製品などの人工物において、作り手の考えた設計機能と全く違う機能を使い手によってなされることが見られるということは周知の事実といえる。

例えば、製品としての側面を持つ人工物として都市

の中の街路やショッピングアーケードなどを考えると、「設計機能」と全く異なる機能が見出されている場合を容易に観察することが出来る [19][20]。作り手は、これらの一つの主要な機能として、車と人が分離されて通過するための空間を設計したと考えることができるが、通過以外に極めて多くの行為を見ることが出来る。行動観察によって、滞留や静止に表されるような、休憩、立ち話、待合せから携帯電話の操作や子供の遊びなどの行為を見出すことが出来る。それらは、使い手が見出した滞留や静止がしやすいわずかな空間によって繰り返し行なわれる傾向があるが、作り手の「設計機能」には無かったものである。そして、これらの滞留や静止は、都市空間に必要な機能が表出したものであると考えることが出来る。また、もっと注意深く考察すると、視覚的な開放性、精神的干渉体、コミュニティ形成の媒体、街区の象徴などの役割に関連する機能を持つ可能性がある [21][22]。これらは、言わば使い手によって発生した機能である。しかし、これらは、作り手が「設計機能」を考え、構造設計および形態に繁栄させ、街路を作ったとしても、使い手側がそれらの機能を取り出したかどうかは別である [23]。注意深く観察すると、使い手は必ず独自の感じ方から使い方を生み出し、その対象を利用しながら、新しい利用概念を構築している (図3)。

### 3.3 使い手による「発生機能 (Created Function)」

前章のような傾向は多くの人工物でおこると考えられる。ここでは、使い手によって事後的に発生させられた

機能を「発生機能 (Created Function)」と呼ぶものとする。

以下、「発生機能」について、これまでの考察で触れてこなかったことの中で、主に二つの側面を考察していく。

まず、製品がおかれる環境について考えていく。製品がどのような環境に置かれるかによって、製品の役割は左右される部分があると考えられる。製品が置かれる環境は、時間と共に変化し、固定した考え方で捉えることが基本的に不可能である。その上、多くの操作可能な要素（主に内部環境）と操作不可能な要素（主に外部環境）によって構成され、極めて全体像を把握することが困難である。このような環境の中で、対象となる製品がどのような位置づけになるのか、どのような操作がなされるべきなのか、どのような予測不可能な事項がおこるのかなどについて、定性的な考え方は成立しにくい。つまり、使われる環境に多くの不確定性が存在する限り、「発生機能」を正確に予測することは極めて困難であるということである。

二つ目が、使い手の感覚的な部分である。すべての製品は、デザインや使い勝手をはじめとした使い手の感性によって取捨選別されていく可能性がある。そのため、作り手がどのような意図を込めても、その意図の全てが使い手に伝わり、「発生機能」に反映されるということは難しいと考えるべきである。繰り返しになるが、作り手が表現しようとした内容は、その製品の構成に落とし込まれているはずであるが、使い手によってその意図どおりに理解されるとは限らない。特に、設計機能が全く同様の製品を想定した場合でも、使い手が見出す使い方や用途には大きな相違が生じることがある。これは、iPodと国産音楽携帯端末などを考えれば自明であると考えられる。また、先に挙げた街路の例でもその側面は理解できる。例えば、ある街路がコミュニティの媒介となる場合がある。この場合を考えると、街路にはさらに多くの要素が複雑に絡まり、一様なコミュニティの生成過程はあり得ない。要素として考えられるものを挙げると、街路の設計機能、形態、関与者の利害関係、街区の中での街路の状況、行政の関与、経済的影響、地域特性、住民の帰属意識、経済状況、社会世相など、いくらかでも挙げることができるように考えられる。そのような中、どのようにして、どのようなコミュニティが生成されていくのかを、事前に特定することが不可能なことは明白である。

これらが意味していることは、製品の設計プロセスにおける「設計機能」と、使い手がその製品から取り出す「発生機能」が、基本的に関連性がないパラメータによって生み出されているということである。つまり、使い手

は与えられた製品を手にし、その後、その時点での環境の下、自分たちの感性に基づく嗜好によって様々な判断が加えられ、自分たちで「発生機能」のストラクチャーを創り出すことになる。

以上の考察のとおり、「発生機能」は、どのような製品についても創り出されることになる。そして、創り出された人工物が実社会の中で有効に使われるかどうかを考える場合、この「発生機能」が主に問われることになる。しかし、この「発生機能」について、有効な評価手法が確立されていないということに気づく。

街路の事例によって考察を試みる。特に住宅地内の街路を想定すると、まず設計プロセスに従い、「設計機能」として、人と車の快適な交通のための役割が与えられ、それに基づいた構造設計がなされる。街区の中では、通常緑豊かな、良好な質を実現した街路が概念設計の内容となる場合が多い。通常、その街路を創るための舗装や街路樹の仕様の検討、経済的試算、空間としての都市デザイン視点の評価がなされることになる。ただし、街路として重要なものとなるかどうかは、近隣住民、生活圏関与者、定期的な通過者、管理者などによって、複雑な権利関係の中、実際に使われていくことによって認識されていくことになる。また、場合によっては、地域コミュニティの形成媒体となり、住区の象徴として位置づけられ中心的役割を担うこともある。そして、近隣住民を中心に多くのセミ・プライベート化空間を表す行為、つまり通過行為以外の多くの行為を認めることになる。これらの行為は、遊具やベンチを単純に設置しただけでは、認められない場合も多い。また、心理的にも、ある特定の街路空間に特別な意味合いを見出している状況は少なくない [20]。象徴的な事柄としては、近隣住民が、街路に空間としての豊かさを感じ、好意や誇りを持っている場合がある。この場合、街区への訪問者にも同様の好意が生じていることも考えられる。これは、街路の変更計画が提示された場合に、近隣住民を中心とした反対運動が起こるプロセスを精査していくと理解できる [21]。

以上のような現象は、他の製品でも頻繁に見出すことが可能である。携帯電話やデジタルカメラ、パソコンなどについて考えると、設計者が設計プロセスで考えた機能設計の内容は、多くの部分を使用者に理解されることも無く使われないままとなる。その代わりに、独自の使い勝手の良い一部の機能は頻繁に使われるようになる傾向がある。場合によっては、つくり手が想定していなかった使い方が発生する場合もある [24]。例えば携帯電話のカメラは、コミュニケーションのための道具の一つとして、印象的なものを見たことやその場にいたことなどをメモ代わりに残すことが主な機能となっていると考えられる。

一般化すると、設計された人工物が使い手に渡った後は、使い手がさまざまな外的要因、内的要因に基づく環境の中で「発生機能」を構築することになる。この状況は、使い手を含む関与者、外的要因、内的要因は、継続的に変化していくために、定性的に捉えることが困難となる [25]。

しかし、問題は「発生機能」についての評価手法が確立されていないことである。「設計機能」については、対象の構成や生産プロセスと一緒に議論されながら、設計内容の仕様、費用対効果、デザインなどの定格化された評価軸によって吟味される。しかし、使い手によって創られる「発生機能」は、多くの可能性を含んでおり、その内容を深く理解しない場合、使い手がどのように受け止めたかを理解することはほとんど不可能である。

### 3. まとめ

ここでは、製品に関する設計行為に着目し、そのプロセスについて、機能設計を中心に精査しながらメカニズムを理解してきた。

明示した「発生機能」は、製品が市場に受け入れられ、浸透するかどうかについて極めて大きい要因となり得る。これまで、日本の技術革新によって多くの市場に浸透した製品が、いくつも創られてきた。それらの製品に関する技術的思想の傾向について「設計機能」と「発生機能」の概念から理解し、日本が世界に対して優位に開発をしてきた製品分野の特性を理解する必要がある。つまり、製品設計に関する一般化できる基礎的知見を得て、技術革新を創生してきた過去の国内の成功事例に関する傾向を理解するための視点を得ることが重要であると考えられる。

### 参考文献

[1] Herbert A. Simon、The Sciences of the Artificial, The MIT, Press、1996.  
 [2] 藤本隆宏、『日本のもの造り哲学』、日本経済新聞社、2004.6.  
 [3] 藤本隆宏、『能力構築競争』、中公新書、2003.6.  
 [4] Baldwin C. and Clark K., DESIGN RULES, Vol.1: The Power of Modularity, The MIT Press, 2000.  
 [5] 武石彰、青島矢一、「シマノ 一部品統合による市場の創造-」、『一橋ビジネスレビュー、2002、SUM』東洋経済新報社、pp158-177  
 [6] 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年  
 [7] 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  
 [8] Ulrich, Kirl, “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” Research Policy, 24, pp.419-440、1995  
 [9] 延岡健太郎、『MOT 入門』、日本経済新聞社、2006  
 [10] 藤本隆宏、『ものづくり経営学』、光文社新書、2007  
 [11] 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  
 [12] 吉田敏、日本の技術特性に関する一考察、平成 19 年 12 月、日本の技術革新 一経験蓄積と知識基盤化一 第 3 回国際シンポジウム論文集 pp25-28  
 [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] 内田祥哉、『建築生産のオープンシステム』、彰国社、1977  
 [15] Tidd J., Bessant J., Pavitt K., Managing Innovation, New York, John Wiley & Sons Ltd., 1997  
 [16] Dodgson M., Gann D., Salter A., Think, Play, Do, Oxford University Press, 2005  
 [17] 吉田敏 野城智也、「アーキテクチャ」概念による建築の設計・生産システムの記述に関する考察、日本建築学会計画系論文集 第 589 号、2005 年 3 月、pp169-176、  
 [18] 前田正史、吉田 敏、田中耕一、柘植綾夫他：『Beyond Innovation 一イノベーションの議論を超えて』、丸善プラネット、2009  
 [19] 米野史健：建築・都市計画分野における住民参加研究の方法論に関する一考察、日本都市計画学会学術論文集、Vol.34, pp.295-300、1999  
 [20] 原田昇：幹線道路計画の計画プロセスと住民参加、日本都市計画学会学術論文集、Vo.32, pp.559-564、1997  
 [21] 篠原一：『市民参加』、岩波書店、1977  
 [22] 蒲島郁男：『政治参加』、東京大学出版会、1988  
 [23] 延藤安弘：創造的まちづくりにおける環境学習のストラテジー、環境システム研究 Vol.24, pp.495-502、1996  
 [24] 安本雅典、「携帯電話端末における開発アプローチ」、『ビジネス・アーキテクチャ』、有斐閣、pp172-194、2001年  
 [25] 吉田敏 野城智也、構成要素の特性の変化に伴う建築生産技術と生産組織の動的な適合関係、日本建築学会計画系論文集 第 598 号、2005 年 12 月、pp189-196

# 場面遷移ネットを用いたサービスの離散・連続ハイブリッドモデリングとマルチエージェントシミュレーション

川田 誠一\*・館山 武史\*\*・下村 芳樹\*\*

## Discrete-Continuous Hybrid Modeling and Multi-Agent Simulation of Services Using Scene Transition Nets

Seiichi Kawata\*, Takeshi Tateyama\*\* and Yoshiki Shimomura\*\*

### Abstract

Recently, a new academic field, "service engineering" has been very actively investigated. However, there are few effective software tools to simulate and evaluate services designed based on the concept of service engineering. In the past, the authors proposed a service flow simulation method using scene transition nets (STN) which is a graphic modeling and simulation method for discrete-continuous hybrid system. Specially, in this paper, the authors regard services as complicated multi-agent and discrete-continuous hybrid systems just like production systems or transportation systems and propose a multi-agent service flow simulation method using STN GUI simulator. In addition, we propose an implementation technique of S-AV (Satisfaction-Attribute Value) functions in order to calculate realistic customer satisfaction values using STN. The experimental results of simulation of an online DVD rental service showed the availability of our method.

Keywords: Service Engineering, Discrete/Continuous Hybrid Systems, Scene Transition Nets (STN), Service Flow Simulation, Multi-agent Systems, Customer Satisfaction

### 1. はじめに

近年、産業界ではサービス産業が一層重要視される傾向にあり、サービスの生産性を向上させることが重要な課題となっている。このような背景から、工学的な視点からサービスの設計・製造の方法論を確立することを目的とした新しい学問体系であるサービス工学 [1] が提案され、サービス設計を支援するサービス CAD の開発などが進められている。それに伴い、サービス工学の理論に基づいて設計されたサービスの評価を行うためのシミュレーション技法の確立が求められている。そこで著者らは、離散・連続混合システムのモデリング・シミュレーション手法である場面遷移ネット (scene transition nets, STN) [2] を用いてサービスの流れをモデル化し、シミュレーションによって評価を行う手法を提案している [3][4]。これらの手法は、サービスの流れを視覚的に確認することを可能にするとともに、顧客満足度などのパラメータの時間的推移をシミュレートしサービスの評価を行うことを可能としている。特に、文献 [4] では、サービスをマルチエージェントシステムとしてとらえてモデリングすることにより、サービスを構成する提供者・受

給者・製品などの複数のアクタ同士の相互作用が、サービスの成否にどのような影響を及ぼすかについて検証することを可能とした。

しかし、これまでの研究では、サービスの評価値となる顧客満足度の計算モデルをいかにして STN モデルに実装すべきかについて、あまり詳細な議論がなされておらず、満足度の計算式と各種パラメータは、設計者が任意に決定していた。そのため、シミュレーションによって算出された顧客満足度が現実的なものであるかの検証が不十分であった。そこで本研究では、文献 [4] の STN を用いてサービスをマルチエージェントシステム及び離散・連続ハイブリッドシステムとしてモデル化する手法を基に、サービス工学において顧客満足度の有用な算出手法として研究されている、S-AV 関数 [5][6] を STN モデルに実装し、顧客アンケート結果を反映させることにより、より現実的な顧客満足度が算出できるようなシミュレーション手法を提案する。本論文では、オンライン DVD レンタル配送サービスを例題として用い、S-AV 関数を実装した STN モデルによるシミュレーションによって顧客満足度を算出し、顧客アンケートによって算出した満足度と比較することにより、本提案手法の妥当

性を検証する。また, サービスの属性値や顧客の性質(本論文の場合, サービスの各要素についての重要度)を任意に設定し, 顧客満足度を予測することの可能性について検証する。

本論文の構成を以下に示す。第2章では, サービス工学の概要と本研究で用いる各種パラメータ, 及びS-AV関数を用いた顧客満足度算出手法について解説する。第3章では, 離散・連続ハイブリッドシステムのモデル化手法である, 場面遷移ネット(STN)の説明を行う。第4章では, STNによってサービスの流れをモデル化する手法について, 第5章ではサービスをマルチエージェントシステムとしてモデル化する手法ならびにサービスの各種ダイナミクス, 顧客満足度更新式(S-AV関数)の記述について述べる。第6章ではオンラインDVD配送サービスを例題として用い, 本手法の有効性を検証する。第7章で実験結果の考察を行い, 最後に第8章で結論を述べる。

## 2. サービス工学

### 2.1 サービスの定義

サービス工学では, サービスは「サービスの供給者であるプロバイダが, 対価を伴って受給者であるレシーバが望む状態変化を引き起こす行為」と定義されている[1]。そして, レシーバの状態変化を表現するパラメータを受給者状態パラメータ(RSP: Receiver State Parameter)という。また, RSPの変化に直接的に関与し, 変化を与えるパラメータをコンテンツパラメータ(CoP: Contents Parameter), CoPの作用を介しRSPの変化に間接的に影響を及ぼすパラメータをチャンネルパラメータ(ChP: Channel Parameter)と定義している。サービス工学では, 各RSPについて, その変化を実現する機能構造と実体構造を, CoPとChPを含む機能パラメータ(FP: Function Parameter)とその属性である属性パラメータ(AP: Attribute Parameter)を用いた, ビューモデルと呼ばれるグラフでモデル化する[1]。

### 2.2 顧客満足度の算出

サービス工学では, 前節の定義に基づき, 設計したサービスをCoPの品質からRSPの満足度を推測することで評価を可能とする手法がいくつか提案されている[5][6]。ここでは, あるRSPの満足度 $S_{RSP}$ を次式によって求めている。

$$S_{RSP} = \sum w_{CoPi} \cdot S_{CoPi} \quad (1)$$

ここで,  $w_{CoPi}$ はCoPiに対する顧客の重要度,  $S_{CoPi}$ はCoPiが与える満足度である。この $S_{CoPi}$ を推定する方

法として, S-AV関数(Satisfaction-Attribute Value Function)を用いる手法が提案されている。S-AV関数 $S_d$ は, 対象となるFPの属性値またはFPに対応づけたAPの値AVを引数とする関数であり, ロジスティック関数を用いる手法[5]や, プロスペクト理論と狩野モデル[7]を統合した関数を用いる手法[6]などが提案されている。そして, サービスの総合的な満足度 $S$ は, 次式で計算される。

$$S = \sum w_{RSP} \cdot S_{RSP} \quad (2)$$

ここで,  $w_{RSP}$ は個々のRSPの重要度である。

## 3. 場面遷移ネット

本章では, 場面遷移ネット(Scene Transition Nets, 以下STN)の概要とその構成要素について説明する。

### 3.1 STNとは

STNは, アクタとシーンという概念に基づき, 離散・連続混合システムを図式的に表現するためのモデルである。また, STNは離散事象システムのモデリングに用いられるペトリネット[8]のコンセプトに基づいており, 並列的に動作している複数のサブシステムがどのように関わりあっているかを示すことができる。

### 3.2 STNの構成要素

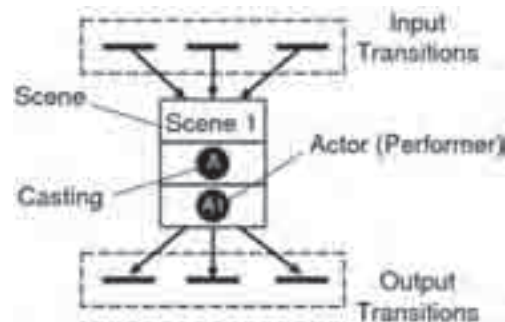


図1 STNの構成要素

図1に示すように, STNはアクタ(Actor), シーン(場面, Scene), トランジション(Transition), そしてシーンとトランジションを結ぶアーク(Arc)で構成される。以下に各構成要素の詳細を示す。

#### (1) アクタ(Actor)とアクタクラス(Actor Class)

アクタはペトリネットのトークン(Token)に相当するが, 自らの状態変数を保持している点がトークンとの大きな違いである。図1に示すように, アクタは後述する現行シーン内の図形で表現され(図1ではA1と書かれた黒丸), 現行シーンに記述されたダイナミクスに従っ

て自らの状態変数を動的に変化させる。また、アクタ変数がある条件（後述する出力トランジションに記述されている条件）を満たすと、アクタは別のシーンに遷移する。つまり、アクタは状態変数を変化させながら、ネットワーク内を移動していくことになる。また、オブジェクトとして概念的な共通性を持ち、同一のデータ構造を持つアクタの集合をアクタクラスと呼ぶ。図1では、アクタ A1 はアクタクラス A のインスタンスであり、アクタ A2, A3, ... もアクタクラス A のインスタンスであるとする、それらはアクタ A1 と同一のデータ構造を持つものとする。

## (2) シーン (Scene), キャスティング (Casting), パフォーマ (Performer)

シーンはペトリネットのプレース (Place) に相当し、図1に示すように上下に三分割された長方形で表される。最上段にはシーン名が記述され、中段にはそのシーンに遷移することができるアクタクラスが表示されている。このアクタクラスを、そのシーンのキャストと呼ぶ。最下段には、現在そのシーンにあるアクタが表示されている。このとき、そのアクタをシーンのパフォーマと呼び、そのアクタにとっては現在のシーンは現行シーン（または現行場面）と呼ぶ。

## (3) トランジション (Transition) とアーク (Arc)

STN のトランジションは、ペトリネットのトランジションに相当する。トランジションとシーンは図1に示すようにアーク (矢印) で結ばれており、シーンの入力側のトランジションを入力トランジション、出力側を出力トランジションと呼ぶ。また、トランジションにアークを介して入力側となるシーンをそのトランジションの入力シーン、出力側を出力シーンと呼ぶ。各トランジションには入力シーン内のパフォーマとなるアクタが出力シーンに遷移するための発火条件と、遷移時の状態遷移則が記述されている。

### 3. 3 STN によるシミュレーション

上記の要素を組合せてネットワークを構築後、シミュレーションを実行する。シミュレーションでは、ユーザーは各アクタの場面遷移の様子を観察することで離散事象システムの解析、またアクタ変数の時間的推移を観察することで連続変数システムの解析が同時に行えることになる。著者らは、容易に STN のモデリング及びシミュレーションを行える GUI ツールとして、STN GUI Simulator を開発しており、生産システムや搬送システムのシミュレーションを行っている [9]。図2にシミュレータの概観を示す。

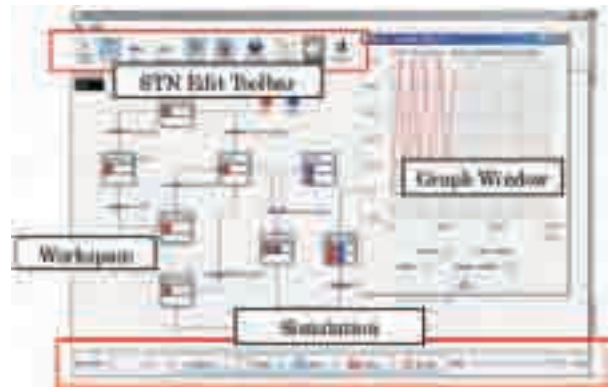


図2 STN GUI Simulator (Ver. 0.07)

## 4. STN によるサービスフロー・シミュレーション

本章では、STN を用いてサービスの流れのモデリングを行い、シミュレーションを行う手法 [3] について説明する。本手法では、サービスの個々のイベントをそれぞれ1つのシーンにより表現する。サービスの流れを表現する STN は、次のような手順で作成される。まず、顧客の行動遷移とプロバイダの行動遷移をそれぞれ STN で表現し、サービス・エンカウンタ [10] と呼ばれる、顧客とプロバイダが直接的に相互作用を行うイベントのシーンを抽出し、それらを重ね合わせ、一つのネットとして統合する。本手法におけるモデリングとシミュレーションの手順を以下に示す。

- (1) サービスのイベントの時間的推移を表すサービス・スクリプト [10] と呼ばれる概念を用い、顧客のサービスの需給過程を STN で構築する
- (2) 顧客とプロバイダが直接的な相互作用を行うイベントのシーンをサービス・エンカウンタとして抽出する
- (3) 抽出したエンカウンタに対応するプロバイダのシーンを作成する
- (4) エンカウンタ間の遷移を実現するためのプロバイダのシーンを追加作成し、プロバイダのネットワークを構築する
- (5) 顧客のネットとプロバイダのネットをサービス・エンカウンタのシーンを重ねることにより、1つのネットワークに統合する
- (6) シミュレーションを実行し、アクタの動きを観察することにより、サービスの流れを確認する。また、

顧客満足度の時間的推移を観察し、サービスの評価を行う

## 5. STN によるマルチエージェント・サービスフローシミュレーション

### 5. 1 マルチエージェントシステムとしてのサービスのモデリング

これまでに著者らは、STN を用いて生産システムや部品搬送システムのモデリングを行い、シミュレーションを行うことでそれらのシステムの評価を行う手法[2][9]を提案している。これらのシステムは、複数の機械、部品、無人搬送者、作業者などをアクタとするマルチエージェントシステムとしてモデル化され、それらのアクタの相互作用をシミュレートすることにより、システムの評価を行う。ここで、サービスを顧客、従業員、サービスに関わるモノ（製品など）をアクタとするマルチエージェントシステムとしてとらえた場合、生産システムと同様の手法で、STN を用いてサービスのモデリングを行うことが可能であると考えられる。例えば、次章で例題として用いるオンライン DVD 配送サービスは、一種の搬送システムとしてとらえることができる。

### 5. 2 サービスの各種ダイナミクスおよび顧客満足度更新式 (S-AV 関数) の記述

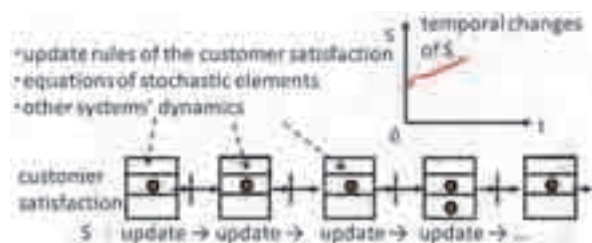


図3 シーンへのダイナミクス・満足度関数の記述

サービスの評価値として用いる顧客満足度は、2章で示した式(2)によって計算される。しかし、サービスでは、顧客満足度の値は複数の人・製品の相互作用の結果や、様々な確率的要素の影響によって値が変わってくる。例えば、DVD レンタルショップの場合、店内の顧客数、レジの店員の人数や会計処理速度、DVD メディアの在庫の有無などによって顧客満足度は変化する。場面遷移ネットでは各シーンに数式を容易に記述することが可能であるため、図3に示すようにサービスの各種ダイナミクスや確率的要素、そして顧客満足度を計算する更新式(S-AV 関数)などを容易にモデルに実装することが可能である。S-AV 関数の実装方法については、次章の例題を通して詳細を説明する。

## 6. 例題による検証：オンライン DVD レンタル配送サービスのシミュレーション

本章では、オンライン DVD レンタル配送サービスを例題として STN でシミュレーションを行い、本手法の有用性を検証する。本サービスでは、顧客はインターネットを介して DVD を注文し、郵送で DVD を受け取る。鑑賞後の返却手続きは、ポストに DVD を投函することで完了する。下記に、本サービスのサービス・スクリプトを下記に記す。

- (1) DVD オンラインレンタルサービスのホームページにアクセスする
- (2) ログインする
- (3) 借りたい DVD を検索する
- (4) 借りたい DVD が見つかった場合、注文手続きを行う  
見つからなかった場合は、ログアウトして終了する
- (5) 支払い手続きを行う
- (6) ログアウトする
- (7) DVD が自宅に到着するまで待つ
- (8) DVD を受け取る
- (9) DVD を鑑賞する
- (10) 鑑賞後、返却封筒に DVD を入れ、ポストに向かう
- (11) ポストに DVD を投函する
- (12) 帰宅する

上記のサービス・スクリプトに基づいて構築した、本サービスの STN モデルを図4に示す。本モデルのアクタの種類は、顧客、従業員、DVD メディアの3種類であり、それぞれのエージェントは複数存在する。顧客は前述のサービス・スクリプトに基づいて行動するが、DVD の注文時に DVD メディアの在庫がない場合 (DVD メディアのアクタがシーン「DVD ラック」に存在しない場合) は注文することができない。従業員のアクタは注文された DVD を包装し、郵送する作業と、返却された (顧客から郵送された) DVD の返却手続きを行い、DVD メディアを DVD ラックに戻す作業を行う (本例題では、それぞれの作業はそれぞれ別の従業員が担当することとする)。

本例題では、下記に示す3つの RSP の満足度を求め、サービスの総合的な満足度を算出する。

RSP<sub>1</sub>: 価格の安さ

RSP<sub>2</sub>: 配送の迅速さ

RSP<sub>3</sub>: 返却手続きの簡単さ

各 RSP<sub>i</sub> の満足度  $S_{RSP_i}$  は、それぞれ下記の式によって求められる。

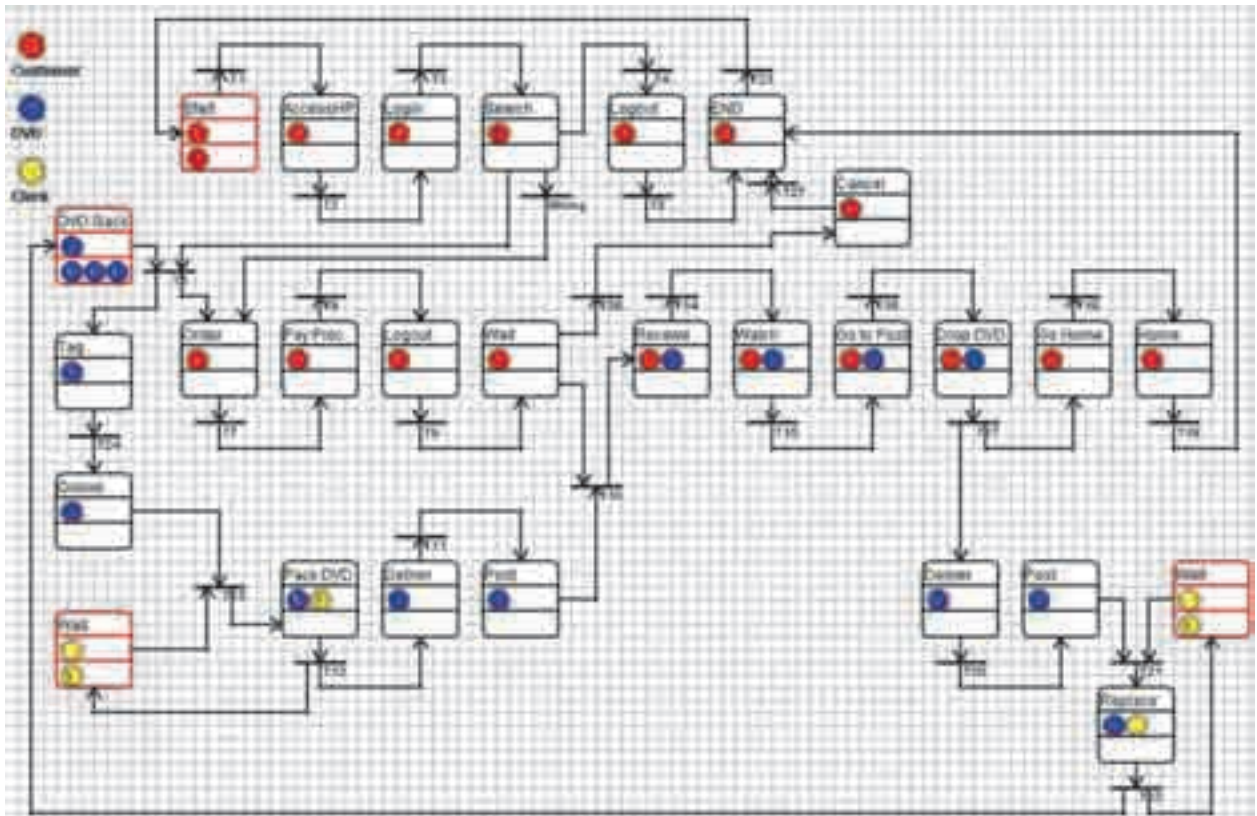


図4 DVD オンラインレンタルサービスのSTNモデル

$$S_{RSPi} = S_{di}(AV_i) \quad (3)$$

ここで、

AV<sub>1</sub>: DVD1枚当たりの価格 [Yen]

AV<sub>2</sub>: 注文完了後、顧客の自宅にDVDが届くまでの日数 [days]

AV<sub>3</sub>: 顧客の自宅から最寄りのポストまで徒歩で行く際に要する時間 [min]

とする。本来はRSP<sub>1</sub>には割引・クーポンの付加など、RSP<sub>3</sub>には返信時の包装の簡単さなど、多数の要素が関連すると思われるが、本検証では問題を単純化し、各RSPの満足度はそれぞれ1種類のCoPまたはAPの属性値のみが関連しているとした。上記の価格、配送日数、徒歩時間は全て値が大きくなるほど満足度の値は小さくなることが予想されるため、各満足度関数の近似関数S<sub>di</sub>は、下記のロジスティック関数を採用する。

$$S_{di}(AV_i) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_i(a_i \cdot AV_i - b_i))} \quad (4)$$

各パラメータ a<sub>i</sub>, b<sub>i</sub> は、DVD オンラインレンタル配送サービスを利用した経験がある29人に顧客アンケートを行い、得られた属性値(各AV<sub>i</sub>の値)と満足度(0~1の値)のサンプルから、関数フィッティングにより求めた。各パラメータ(a<sub>i</sub>, b<sub>i</sub>)の値は、それぞれ(0.04,

4.20), (0.75, 1.91), (-0.02, -3.79)となった。図5に、得られた関数の1つ(配送の迅速さの満足度関数)を示す。

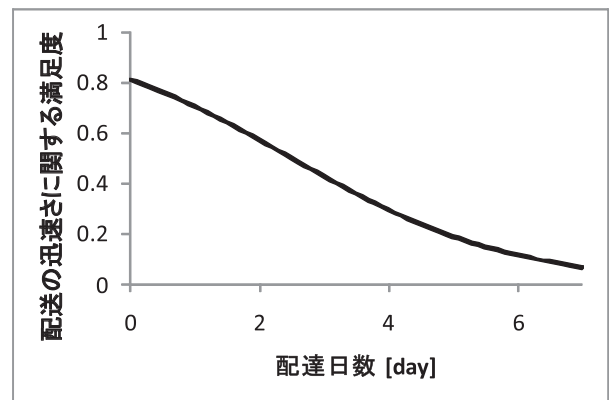


図5 配送の迅速さに関する満足度関数

2章で説明したように、サービスの総合的な満足度は、各RSPの満足度の加重和から求められる。重みとなる各RSPの重要度w<sub>i</sub>の値の決定法は、実験内容によって異なるため後述する。

まず、シミュレーションによって算出された顧客満足度をアンケートによって求めた満足度と比較し、シミュレーションの妥当性を検証する。顧客アンケートでは、前述の3つのAVに対応する、普段利用しているサービスにおけるレンタル価格、配送日数、及びポストに行く



までに要する時間を調査し, また, それらの3項目の満足度(大変満足(1), 満足(0.75), 普通(0.5), やや不満(0.25), 不満(0)), およびそれらの重要度(大変重要(1), 重要(0.75), どちらともいえない(0.5), あまり重要でない(0.25), ほとんど重要でない(0))も合わせて調査した. それぞれの項目の満足度に正規化した重要度を重みとして付加し, それらの加重和を「アンケートで求めた顧客満足度」とした. そして, 上記のアンケートで得たAVの値と重要度の組を用いて29人分のシミュレーションを行い, 算出された顧客満足度とアンケートで求めた顧客満足度とを比較した.

図6にアンケート及びシミュレーションにより求めた満足度の29サンプルの図を示す. アンケートによる満足度とシミュレーションによる満足度の値の誤差が0.1以上あるサンプルもあるが, 全体として各サンプル間の満足度の大小関係は, アンケートとシミュレーションの結果が非常に類似していることが読み取れる. また, 表1に示すように, これらの誤差の平均値と標準偏差はそれぞれ0.12, 0.08となった. 満足度の値は0~1の正規化された値であるので, この平均誤差の値は比較的小さいといえる. これらの結果から, 本提案手法で求めた満足度の値は, 現実的な値としてある程度信頼できるといえる.

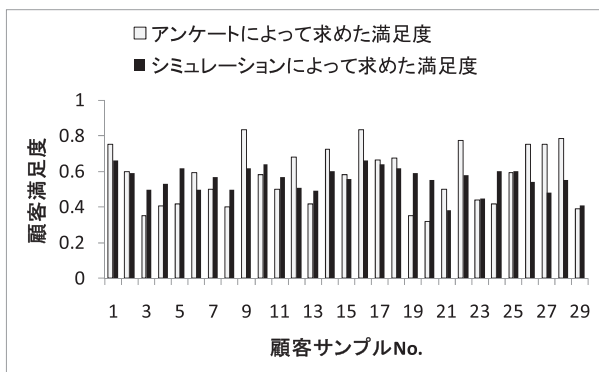


図6 アンケートによって求めた満足度と, シミュレーションによって求めた満足度との比較(29サンプル)

表1 アンケートによって求めた満足度と, シミュレーションによって求めた満足度との誤差平均と標準偏差

誤差平均	誤差標準偏差
0.12	0.08

次に, サービスの属性値と, 対象とする顧客がもつそれぞれのRSPの重要度を変化させ, それらの変化が顧客満足度の値にどのような影響を及ぼすかを, 本提案手法を用いて予測してみる. まず, 顧客アンケート

の結果から, 3つのサービス属性値と重要度の平均値を算出した. その結果, 価格  $AV_1=230$ [Yen], 配達日数  $AV_2=2$ [days], ポストまでに要する時間  $AV_3=6.5$ [min], それぞれの重要度は  $w_1=0.35, w_2=0.37, w_3=0.28$  となった. これらを平均的な属性値及び顧客の重要度として, シミュレーション上での平均配達日数と, 配送の迅速さの重要度  $w_2$  を変化させ, 顧客満足度の変化を観察した. 実験結果を表2に示す. まず, 重要度を固定し, シミュレーション上での平均配達日数を  $2$ [days] から  $0.5$ [days] (半日) に減少させたところ, 満足度は  $0.57$  から  $0.65$  に増加した. 逆に  $4$ [days] に増加させると, 満足度は  $0.47$  に減少した. 次に, 配送の迅速さの重要度  $w_2$  の値を  $0.2$  増加させ, 他の2重要度をそれぞれ  $0.1$  ずつ減少させたところ, 満足度の増減の幅が大きくなった. 逆に重要度を  $0.2$  減少させたところ, 満足度の増減の幅は小さくなった. このように, 本手法により, 各パラメータの変化が満足度に与える影響を観察することが可能であることが示された. 前述の実験により, 満足度の値は約  $0.1$  の誤差の範囲での信頼性があると考えられるが, このようにシミュレーション条件をいくつか変更し, それぞれの条件下で算出した満足度の値を相対的に比較検討するには, 特に本手法は有効であると考えられる.

表2 配達日数と重要度を変化させたときの満足度の予測値の変化

平均配達日数 [days]	配送の迅速さの重要度		
	平均値(0.37)	重要度高(0.57)	重要度低(0.17)
2	0.57	0.56	0.58
0.5	0.65	0.67	0.62
4	0.47	0.41	0.54

## 7. 考察

前章の実験により, S-AV関数をシミュレーションモデルに導入し, 実行することによって算出された顧客満足度の値が, ある程度現実に沿ったものであることが示された. シミュレータによって算出された満足度とアンケート結果から求めた満足度の間に, 誤差が大きいサンプルがいくつか存在していたが, S-AV関数を顧客セグメントごとに分けることで, これらの誤差を減少し, さらに信頼性が高い満足度を算出することが可能になると考えられる.

## 8. 結論

本論文では, マルチエージェントシステムならびに離散・連続ハイブリッドモデルとしてサービスをモデリングし, さらにサービス工学に基づくS-AV関数を導入した顧客満足度算出手法をモデルに実装することにより,

従来よりも現実に沿った顧客満足度を算出できるサービスのシミュレーションシステムを構築した。また、サービスの属性値や顧客の性質を任意に設定し、顧客満足度を予測することの可能性を示した。

#### 謝辞

本研究は、科学研究費基盤 B(1)18360079「市場表現に離散・連続ハイブリッドモデルを用いたサービス設計支援システムの開発」(研究代表者：川田誠一)の支援を得て実施した。

#### 参考文献

- [1] 下村芳樹, 原辰徳, 渡辺健太郎, 坂尾知彦, 新井民生, 富山哲男, "サービス工学の提案 - 第1報, サービス工学のためのサービスモデル化技法 -", 日本機械学会論文集 C 編, Vol.71, No.702, pp.315-322 2005.
- [2] 川田誠一, 川田尚吾, 渡辺敦, "場面の概念を用いた離散連続混合システムのシミュレーションモデル", 日本機械学会論文集 C 編, Vol.59, No.563, pp.10-16 1993.
- [3] 佐藤友亮, 鈴木遼, 原辰徳, 下村芳樹, 新井民夫, "サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築 (第 36 報) - サービス・マーケティング手法と場面遷移ネットに基づくサービスフロー・シミュレーション-", 2007 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.941-942, 2007.
- [4] 川田誠一, 館山武史, 下村芳樹, 新井民生, 梅田靖, 久保田直行: 場面遷移ネット GUI シミュレータによるマルチエージェントサービスフローシミュレーション. 平成 20 年度産業技術大学院大学紀要, 産業技術大学院大学, No. 2, pp.101-108, 2008.
- [5] 吉光陽平, 下村芳樹, 新井民夫: サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築 (第 24 報) - 受給者視点による実現構造評価 -, 2006 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 993-994, CD-ROM, 2006.
- [6] Y. Yoshimitsu, K. Kimita, T. Arai and Y. Shimomura: Analysis of Service using an Evaluation Model of Customer Satisfaction. In Proceedings of the 15th CIRP Life Cycle Engineering Seminar 2008, CIRP, CD-ROM, Sydney, Australia, 2008.
- [7] 狩野紀昭, 瀬楽信彦, 高橋文夫, 辻新一: 魅力的品質と当たり前品質, 品質, Vol.14, No.2, pp.39-48, 日本品質管理学会, 1984.
- [8] T. Murata, "Petri Nets, Analysis and Application", Proceedings of the IEEE, Vol.77, No.4, pp.541-580, 1989.
- [9] T. Tateyama, H. Chin, S. Kawata and Y. Shimomura: Development and Improvement of Scene Transition Nets(STN) GUI Simulator for Discrete-continuous Hybrid Systems, International Journal of CAD/CAM, Vol.8, No.1, pp.55-62, Paper Number 8, 2008.
- [10] R. P. Fisk, et al., "サービスマーケティング入門", 法政大学出版局, 2005.
- [11] J. M. Rathmell, "What Is Meant by Services?", Journal of Marketing, Vol.30, No.4, pp.32-36, 1996.

# バイオメトリック国際標準化規格の 適合性評価体制に関する提言

瀬戸 洋一\*・板垣 陽介\*

## A Proposal of Conformity Assessment Framework for Biometric International Standardization in Japan

Yoichi Seto\* and Yosuke Itagaki\*

### Abstract

As the biometric technology is close to a practical use, there is a move to introduce the biometric authentication techniques to the social infrastructure systems, such as e-passport and banking system. Considering domestic biometric vender advances into foreign markets, matching their biometric techniques to the international standard is required. Therefore, the organization of the domestic conformity assessment framework is necessary. The definition of conformity assessment is that any activity to determine, directly or indirectly, that a process, product, or service meets relevant standards and fulfills relevant requirements. In this paper, we propose the strategic scenario that builds the conformity assessment framework in Japan, from the standpoint of enhancement of industrial competitiveness in the world.

Keywords: Biometrics, Conformity Assessment, International Standard, Application Program Interface, Accuracy

### 1. はじめに

バイオメトリック製品が、政府関連機関や民間金融機関など社会基盤に導入された。例えば、電子パスポートや銀行 ATM における本人確認に、顔や静脈認証技術が利用されている。

バイオメトリック技術は、国境を越えて利用される場合が多く、相互接続性や性能評価の規格化が必要であり、国際標準化の重要なテーマとなっている。

国際標準化機構 ISO (International Organization for Standardization) や国際電気標準会議 IEC (International Electrotechnical Commission) などが発行する国際標準は、経済活動において重要性を増し、国際標準に準拠すること、つまり適合性評価が経済の円滑な発展にとって重要なテーマとなっている。

バイオメトリック技術に関しても標準化規格と適合性規格が開発され、今後、国際標準に準拠することが、国内基幹システムの構築および製品ベンダーの海外展開にとって必要になる。

本論文では、バイオメトリック技術に関する日本における適合性評価体制の整備に関して、日本の産業力強化の観点から戦略的なシナリオを提案する。

以下、2章で国際標準化機構により規定されている適合性評価の定義、3章で海外における適合性評価への取り組みについて述べる。4章で日本における適合性評価体制整備に関し提言する。

### 2. 適合性評価の概要

#### 2.1 分類

適合性評価 (Conformity Assessment) は、適合性調査委員会 ISO/CASCO (Committee on Conformity Assessment) により 2004 年に定められた ISO/IEC17000 規格 Conformity assessment - Vocabulary and general principles (適合性評価用語及び一般原則) によれば、「製品、プロセス、システム、要員または機関に関する規定要求事項が満たされていることの実証」と定義される [1]。

適合性評価は、活動主体で分類すると、表 1 に示すように 3 種類の評価フレームワークがある [2]。

① 第一者適合性評価 (first-party conformity assessment)

対象を提供する人、または組織によって実施される適合性評価であり、供給者適合宣言により、決定され

る。日本においては、ISO14000 シリーズなどの認証コストを節約するための手段として、一部の企業や自治体が利用している。

② 第三者適合性評価 (second-party conformity assessment)

対象について使用者側の利害を持つ人、または組織によって実施される適合性評価であり、ある分野で権力をもつ購入者により標準が決まる。例えば、米国の NASA 規格や日本の過去の電電公社仕様などが相当する。

図 1 に第三者適合性評価の例を示す。

表 1 適合性評価の分類

適合性評価の種類	実施主体	対象	目的
第一者適合性評価 (First-party conformity assessment)	組織自身	組織自身	品質管理
第二者適合性評価 (Second-party conformity assessment)	組織間の関係者	組織自身	取引関係の維持
第三者適合性評価 (Third-party conformity assessment)	独立した機関	組織自身	信用の向上

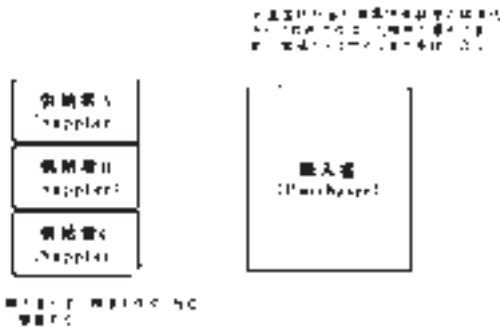


図 1 第二者適合性評価

③ 第三者適合性評価 (third-party conformity assessment)

対象を提供する人、または組織およびその対象について使用者側の利害を持つ人以外、つまり双方から独立した人、機関によって実施される適合性評価である。認定 (accreditation) を受けた第三者認証機関 (Third-Party Certification Body) によって認証 (certification) が行われる。

例えば、(財) 日本適合性認定協会 (The Japan Accreditation Board for Conformity Assessment) から認証機関として認定された (財) 日本情報処理開発

協会 (Japan Information Processing Development Corporation) が ISO/IEC 27001 の認証を行う仕組みが相当する。

図 2 に第三者適合性評価の例を示す。

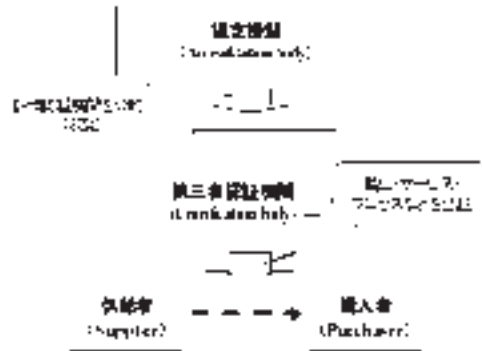


図 2 第三者適合性評価

2. 2 適合性評価制度普及の背景

国際貿易において、1980年に発行した「関税および貿易に関する一般協定 GATT スタンドアードコード」で多国間貿易における適合性評価の相違などの非関税障壁を取り除く努力を求めているが、GATT は一般協定であり国際条約のような法的拘束力がないため実効性を欠いていた。

1995年に GATT を発展させる形で設立された世界貿易機関 WTO (World Trade Organization) による協定は国際条約であるために条約国に対して強い法的拘束力が生じることとなった。

WTO は、貿易の技術的障害に関する協定 WTO/TBT 協定 (Agreement on Technical Barriers to Trade) において、貿易の技術的障害として規格や適合性評価を挙げ、オープンで公平性、公開性、透明性が保証される事を求めている。

具体的には

- ・各国の中央政府あるいは地方政府が、国民の生命・財産を危険や危害から守るために、法律に基づく強権のもとで特定の製品やサービスの特性を規定し、その遵守を義務づけている規格である強制規格、または法律に基づく強権によらず、契約と市場原理に基づいて供給者と購入者の間で製品やサービスに対して定められる規格である任意規格について、国際規格が既にあるか、または準備中である場合、その規格を基礎とすること
- ・適合性評価手続きについて、国際標準化機関によって発表された関連する指針、もしくは規格に基づいて制定すること

などを定めている。

この協定によって WTO 加盟国には、ISO などの国際規格やこれを基準とした適合性評価制度の使用責務が法的根拠を持って発生する [3]。ただし、国民の安全、健康を守ること、環境を守ること、国の安全保障に関わることなどは WTO /TBT 協定においても国際ルールの強制はしないことになっている。

## 2. 3 国際相互承認

適合性評価手続の相互承認 MR (Mutual Recognition) とは、相互承認の参加機関が、他の参加機関の適合性評価結果を、自ら実施したものと同等であるとして相互に承認することである。

相互承認は、その参加機関により、以下の 3 種類に分類できる。

### ① 政府間相互承認

相手国において行われた自国の強制法規の技術基準への適合性評価の結果が、自国において行われたものと同等であると政府が相互に認め合い、その結果を受け入れること。

### ② 認定機関間相互承認

政府間相互承認のように相互の適合性評価の結果の受け入れを保証するものではなく、認定機関相互の認定行為の技術的同等性を認定機関同士が確認することを意味する。政府が適合性評価結果を受け入れるものではない点で根本的に異なる。

### ③ 適合性評価機関間相互承認

各国の試験、認証の技術的同等性を適合性評価機関が相互に確認し合い、かつ適合性評価結果を受け入れることを意味する。ただし認定機関間相互承認と同様に政府がその結果を受け入れるものではない。

政府間相互承認の取決めを、相互承認協定 MRA (Mutual Recognition Agreement) と呼ぶ。相互承認協定が締結されることにより、従来輸入国内で適合性評価を受ける必要があったものが、当該手続を輸出国内で実施できるようになることから、適合性評価に伴う手続などの簡素化、コストの削減が見込まれ、貿易の円滑化につながるとされている。WTO/TBT 協定の第 6.3 条においても、WTO 加盟国は相互承認の合意のための交渉を行うことが奨励されている [3]。一方、非政府間レベルであることを明確にする際には、「相互承認取決め」という。

多国間承認取決め MLA (MultiLateral recognition Arrangement) は、複数の機関による非政府間レベルの相互承認取決めである。IAF (International Accreditation Forum) や PAC (Pacific Accreditation Cooperation) において使用される [3]。

相互承認協定の具体例として、日本では、電気通信機

器、電気製品、化学品、医薬品の 4 分野において日・欧州共同体相互承認協定、電気製品、通信端末機器、無線機器の 2 分野において日・シンガポール間相互認証協定、日米相互承認協定が結ばれている [4]。

非政府間相互承認の例として大規模なものでは、各国における試験所、校正機関、検査機関の認定を行っている試験所認定機関相互の協力機関である、国際試験所認定協力機構 ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) における協定がある [5]。

上記に述べた適合性スキームに従い、バイオメトリクス関係も検討を進める必要がある。

## 3. 適合性評価に関する各国の活動

### 3. 1 適合性評価試験制度調査の概要

調査対象国は、バイオメトリクスに関する製品開発、市場展開を活発に行っている韓国、シンガポール、米国、EU である。各国の調査結果概要を表 2 にまとめる。

#### (1) 韓国

韓国では、韓国情報通信部 MIC (The Ministry of Information and Communication) や、その関連研究所の、KISA (Korea Information Security Agency) に代表される公的機関が主導し、バイオメトリクスの研究や体制整備に取り組んでいる。

2005 年 4 月に情報通信省 MIC の提起した、総合的なバイオメトリクス基盤設立のための計画 Plan for Establishment on Overall Infrastructure for Biometrics に基づいて、2006 年 6 月にバイオメトリック技術専門の適合性評価機関である、韓国国立バイオメトリックテストセンター K-NBTC (Korea National Biometric Test Center) を設置した [6]。2007 年 9 月時点で、組織の運営体制は総勢で 6 名、評価に関する費用は、組織の運営コストや企業の試験費用を含めて全て政府が出資している。

K-NBTC の活動スコープは以下の通りである。

- ・ 指紋認証、虹彩認証、アルゴリズムパフォーマンス測定テストのための機器や BioAPI2.0 への適合性評価テスト用機器、相互運用性テスト用機器などの各種テスト用プロトコルの開発
- ・ SC37-KOREA を通じた国際標準に関する活動
- ・ 国内の標準化活動および調査活動
- ・ KISA と連携してのアジアバイオメトリックコンソーシアム ABC (Asia Biometric Consortium) やヨーロッパバイオメトリクスフォーラム EBF (European Biometric Forum)、英国バイオメトリックワーキンググループ BWG (Biometric Working Group) などとの国際協業への貢献

表2 各国の適合性評価活動に関する動向

国名	関連組織	評価機関	主な活動	主な実証実験結果
韓国	韓国情報産業振興院 (KISA)	韓国	2006年4月に適合性評価専門家組織(K-NBTC)を設立	試験内容: ・BioAPI適合性評価 (ISO/IEC JTC1 WG4 対応) ・アルゴリズム性能評価 (精度・信頼性) ・ユーザビリティ試験 実績: BioAPI (韓国), 韓国 ・適合性評価専門家組織 (K-NBTC) 評価結果
シンガポール	ITSC	韓国	2006年8月開催のAsia Biometric Conferenceにて適合性評価専門家組織を設立	試験内容: ・指紋特徴点データ 指紋画像データ ・顔画像データ 顔画像データ 実績: 上記
EU	技術標準化研究財団 (ISTC)	韓国	・ATIS (Association of Technical Information Standards) の適合性評価専門家組織を設立 ・「ヨーロッパ」で、ドイツの研究所、オランダの研究所などで共同研究プロジェクトを実施	試験内容: ・顔画像精度や信頼性に関する実証実験 ・顔画像データによる適合性評価試験の実証は特に実施されているが、ICBWDやEMVなどとも実施されている
米国	国立標準技術研究所 (NIST)	韓国	・NISTがBioAPI適合性評価専門家組織 (CERT) を立ち上げ、適合性評価専門家組織を設立し、共同研究プロジェクトを実施 ・バイオメトリクスに関する国際標準化活動	試験内容: ・BioAPI適合性評価 (CERT適合性評価) ・顔画像データによる適合性評価試験の実証は特に実施されているが、ICBWDやEMVなどとも実施されている

・これらの活動を通じての韓国産業界の活性化および、国際競争力の強化への貢献

K-NBTC が2007年11月時点で提供しているサービスは以下4点である。

- ・韓国内のバイオメトリック製品ベンダーの製品に対するテスト、認証サービス
- ・バイオメトリクス分野での政府主導プロジェクトの技術的支援
- ・国内公共機関におけるバイオメトリクスの研究に対する技術的な支援
- ・国内外のバイオメトリクス研究開発機関との連携

図3にK-NBTCで行われている具体的な適合性評価試験の流れを示す。

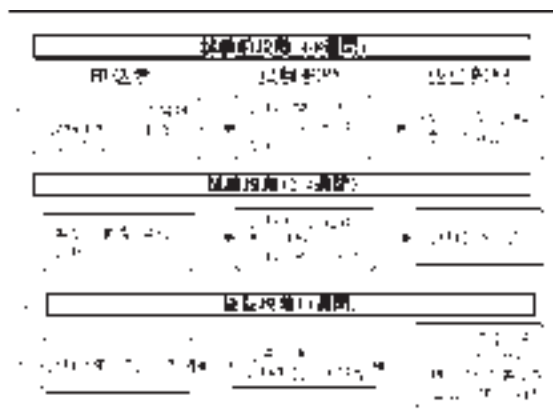


図3 K-NBTCにおける適合性評価試験の流れ

K-NBTC の認証実績については、BioAPI 適合性試験で、指紋について4ベンダー6つの製品、精度評価試験については、顔画像について2つの製品、指紋について

1つの製品の認証を行っている。その他、電子パスポートについて、画像品質と精度に関する試験を行っている。また新たに提供する試験内容として虹彩と静脈に関する精度評価、および偽造指紋の検出試験を準備している [7]。

(2) シンガポール

シンガポールにおいてIT分野の標準化を担当するのは、情報通信開発庁傘下の組織ITSC (The Information Technology Standards Committee) であり、バイオメトリクスに関してはBiometrics Technical Committeeが担当している。適合性評価の分野に関しては、研究活動は先行しているものの、適合性評価活動を専門に行う機関はまだ組織されていない。また、Institute for Infocomm Research (I2R) などの民間研究機関による活動も活発である。

2007年9月にシンガポールで開催されたABC2007において、ABCとI2R、Temasek Polytechnicの3機関が主催、ITSC Biometrics Technical Committee、K-NBTCが共催という形で、企業製品への適合性試験を実施した。試験内容は、I2RとTemasek Polytechnicが共同開発した指紋特徴点データ、指紋画像データ、顔画像データ、データ構造、BioAPIの5種類の適合性評価用ソフトウェア (BioAPI試験に関してはK-NBTC開発のソフトウェアを使用) を使用し、Temasek Polytechnicの学生が実試験を行うという体制であった [8]。

(3) EU

EUにおいては、行政執行機関であるEC (European Commission) のフレームワークプログラムという調査、技術研究計画の下で、EBFやBWG、ドイツのFraunhofer Gesellschaft、大手バイオメトリック製品ベン

ダーなどから識者を集めての複数のプロジェクトによる検討を行っている。

現在 EU 域内を管理するための次世代国境管理システムであるシェンゲン情報システム：SIS (Schengen Information System) やビザ情報システム VIS (Visa Information System) などの構築を進めている [9]。それに並行して 2005 年 1 月から 2 年間活動を行った MTIT (Minutiae Template Interoperability Testing) では、指紋認証の相互運用性 (Interoperability) を中心とする検討を行った [10]。

BioTesting Europe は、EU 域内の国家間で相互運用可能なパスポートやビザ、ID カードなどの大規模本人確認システムの構築のために必要なバイオメトリック認証に関連する技術、システム試験および認証制度の整備を検討するための 2007 年に実施したプロジェクトである。最終レポートが公開されている。活動状況の概要は以下のとおりである [11]。

- ・試験認証整備
- ・開発を要する試験製品サービス
- ・ツール開発
- ・エンドユーザーのサポート体制

また、中長期的な課題として以下をあげている。

- ・認証のためのインフラストラクチャーの開発
- ・バイオメトリックスの利用拡大に対する影響評価分析
- ・汎欧州試験データベース構築のためのデータ収集
- ・異なるベンダー間での指紋画像テンプレートの相互運用性の改良
- ・指紋、顔画像のためのベンダー独自の品質試験ツールの開発
- ・パートナーシップネットワークの拡大
- ・汎欧州的な協調開発の促進

2000 年に、イタリアのボローニャ大学バイオメトリックシステム研究所が、国際的に初めての試みとなる指紋認証コンテスト FVC (Fingerprint Verification Competition) を、米国ミシガン州立大学パターン認識画像処理研究所、サンノゼ州立大学バイオメトリックテストセンターと共同で開催した。これまでに 2000 年、2002 年、2004 年および 2006 年と 4 回開催している [12]。

EU における活動の情報公開は米国に比較して少ない。このため、プロジェクト実態の詳細な把握が難しい。

#### (4) 米国

米国における標準化戦略は、国立標準技術研究所 NIST (National Institute of Standards and Technology) と国家科学技術委員会 NSTC (National Science and Technology Council) の活動に集約される。

##### (i) 国立標準技術研究所 NIST

米国は、同時多発テロ以降のホームランドセキュ

リティ強化の流れの中で、バイオメトリックスの標準化に関わる活動が、米国商務省 DOC (Department of Commerce) 傘下の国立標準技術研究所 NIST へ一本化された [12]。

2005 年、NIST のコンピュータセキュリティ部門 CSD (Computer Security Division) が BTE (Biometric Test Environment) という名称の、BioAPI1.1 対応適合性試験用ツールを開発した。また国防総省で開発した適合性試験用ツールとの互換性試験も行っている。NIST/ITL の Web サイト上に試験ソフトウェアとともに実装説明書、ユーザマニュアルが公開されている。

2008 年には BioAPI と同様に NIST のコンピュータセキュリティ部門 CSD が開発した、CBEFF の適合性試験用ツールが公開された。これは ANSI INCITS398-2008 で定められた CBEFF パトロンフォーマット A データ構造への適合を試験するものである。BioAPI と同様に試験ソフトウェア、実装説明書、ユーザマニュアルが公開されている [13]。

また NIST 主導のもとで実用化促進のための顔画像認証ベンダーコンテスト FRVT (Face Recognition Vendor Test) や虹彩評価チャレンジ ICE (Iris Challenge Evaluation) などのベンダーコンテストの開催や、バイオメトリック認証を採用した個人識別システムのための規格や仕様の開発などを行っている [14]。

##### (ii) 国家科学技術委員会 NSTC

国家科学技術評議会 NSTC は、1993 年 11 月に設立された、行政機関内の科学技術政策を調整する閣僚級会議である。大統領が議長を務め、副大統領、科学技術政策室の責任者、開学技術に責任のある省の責任者などから構成される [15]。

##### (a) バイオメトリックスと ID マネジメントに関する小委員会

NSTC は 2002 年からバイオメトリックスと ID マネジメントに関する小委員会 (Subcommittee on Biometrics and Identity Management) を設置し、バイオメトリックスの標準と試験方法に関する検討を進めている。

バイオメトリックスに関しては、これまでに分析報告書 The National Biometrics Challenge の発行、採用するバイオメトリック標準の政府機関間での合意形成と標準の共通フレームワーク構築のためのポリシー Policy for Enabling the Development, Adoption and Use of Biometric Standards の発行、米国政府推奨登録標 Registry of USG Recommended Biometric Standards の発行などの活動実績がある。

##### (b) 標準と適合性評価のワーキンググループ SCAWG

小委員会は、標準と適合性評価を専門に検討するためのワーキンググループ SCA (Standards and Conformity

Assessment) WG を 2005 年に設置している [21].

ワーキンググループの具体的な活動内容として

- ・ The National Biometrics Challenge で規定された標準と関連する試験への対応
- ・ 連邦政府で利用するバイオメトリクスアプリケーションに要求される相互運用性に関連する標準を開発するための連邦政府機関間での合意

をあげている.

また, 標準と試験方法の開発支援に関する今後のアクションプランについても一部公開している. それによると適合性評価に関しては,

- ・ 推奨標準に関する試験用ツールの開発
- ・ 第三者適合性評価試験の実施推進
- ・ 第三者適合性評価試験機関の認可
- ・ 試験結果の認証

を実施するとしている.

#### (c) 米国政府組織のバイオメトリクス標準の保管

米国では, 国内および国際標準に関する情報の共有化を進めている. バイオメトリクスと ID マネジメントに関する小委員会が, 2008 年 6 月に公表した報告書, 米国政府推奨登録標準 (Registry of USG Recommended Biometric Standards) では, モダリティに関する標準から適合性評価に関するものまで広範な対象について, 米国政府が推奨するバイオメトリック標準をまとめている. 以下に 2008 年 6 月時点の米国政府推奨登録標準をまとめる.

- ・ データ収集, 蓄積, 交換に関する標準
- ・ データ送信のためのプロファイル
- ・ アイデンティティ証明
- ・ テクニカルインターフェース標準
- ・ 適合性評価試験方法に関する標準
- ・ 精度評価試験方法に関する標準

#### (d) バイオメトリック製品リスト

米国では, 連邦政府関連機関が使用する個人識別カード (PIV カード) に関する仕様を FIPS201 と SP800 シリーズで明文化している. さらに, PIV 仕様への適合を認定するために NPVP, FIPS 201 Evaluation Program などの試験を実施しており, 認定された製品を Web 上で公開している. これまでに PIV カード関連機器については NPVP において 26 の製品, FIPS 201 Evaluation Program において 22 種類, 397 の製品を公表している.

## 4. 日本における適合性評価体制の提言

### 4. 1 適合性評価のモデル

表 3 に示すように, 広義の適合性評価のフレームワークは, プログラムインターフェースやデータ構造など相

互接続に関する仕様とアルゴリズムなどの性能に関する仕様の 2 種類に分類できる.

適合性評価の体制を検討する場合, 国際標準のフレームワークに準拠することが必要となるが, 相互接続性仕様と製品の優劣を示す性能仕様では, 適合性に関する観点が異なる. つまり, 開発者および調達者にとって効率, 公平, 透明性を考慮した市場を形成するために, 相互接続仕様と性能仕様の観点で適合性を保証する体制の整備が必要である. この場合, 仕様が持つ性質の違いによって第一者適合性評価, 第三者適合性評価, 第三者適合性評価のうち, 最適な評価フレームワークを選択する必要がある.

表 3 適合性評価の対象となる規格例

#### (1) 性能評価

評価のためのサンプルデータがセンサーに依存するため, バイオメトリック認証装置が, センシング, 画像処理技術, 判定ポリシーノウハウなど, 複数の要素を含む評価を行う必要がある. このため, 評価が高コストになる. また, 開発ベンダーが技術流出に懸念を抱くことなどを考慮すると, 性能評価は, 画一的な評価を実施する第三者適合性評価とは異なる体制が必要と考える.

性能評価は, 可能ならば政府などの強いユーザー主導による第三者適合性評価体制が望ましい. 米国などで実施されている第三者適合性評価に相当する性能評価コンテストは, 公開競争による産業育成の側面ももっている. また, ユーザーである政府がベンダーのセールストークに惑わされない, 製品の実態を把握する発注側主導で要求仕様を作成することができるなどのメリットもある.

ただし, 日本において上記のような米国と同様の体制で効果的な対応は, 社会構造が違うので困難と判断する.

第三者適合性評価体制の整備が難しい場合は, コストの面, および技術情報の流出を考慮し, 開発した製品ベンダー自身が行う第一者適合性評価体制が適正と考える. ただし, 第一者適合性評価による信頼性の問題を補



完する意味で、評価手順などのプロセスに関しては第三者適合性評価とし、国際標準に合致した評価手順を行っているかを客観的に中立機関により評価するような体制が望ましい。

性能評価に関する適合性評価体制案を図4にまとめる。性能評価ツールは、米国などではPTS (Performance Test Suit) と呼ばれている。

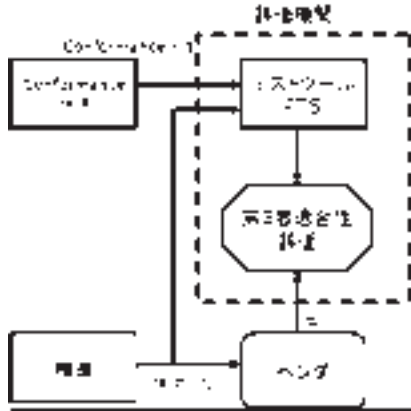


図4 性能に関する適合性評価体制案 (第一者と第三者評価の組み合わせ)

独立行政法人情報処理推進機構は、1999年、精度評価ガイドラインおよびテストツールを開発した(受託開発は(株)日立製作所)。これは、日本における組織体制の一つの可能性を示している。つまり、ガイドラインやテストツールを国(公的機関)が開発し公開することが有効である。

(2) 相互接続性仕様評価

相互接続に関係するAPIやデータ構造などの仕様は、比較的客観的な評価が可能であることから、第三者認証機関で反証テスト(反証テストとは、実験によってある仮説が間違えてない事を仮説として証明するテスト)などを行う第三者適合性評価体制案を検討する。BioAPIなどの相互接続に関する標準規格においては、第三者認証機関による適合性評価組織の整備が必要である。

仕様評価に関する適合性評価体制案を図5にまとめる。仕様評価ツールは米国では、CTS (Congormance Test Suite) と呼ばれている。

4.2 日本のシナリオ

日本では、民需主導で市場形成が行われ、また、多国籍連携システムの構想が考えられていないなど、バイOMETリックの市場形成の仕組みが、米国および欧州と異なる。このため、日本独自の戦略により、早急な適合性評価体制の検討および整備が必要である。

特に、独立した試験機関の設置が、バイOMETリクス試験の全体的な信頼性を向上させるとともに、ベンダー

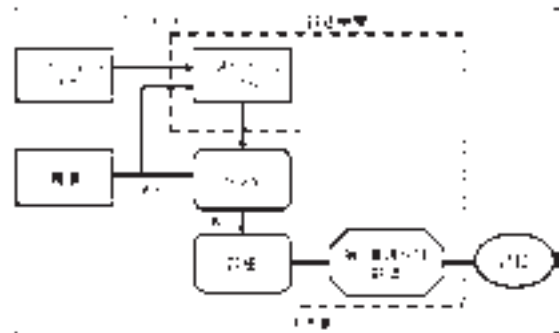


図5 相互接続性仕様に関する適合性評価体制案 (第三者評価)

への依存を低下させ、コスト構造が明確になることから、バイOMETリックシステムの調達コストを低下させることが可能となり、日本の産業力の競争力優位に働く。このため、ベンダーおよびユーザー両者にメリットがある。

米国や欧州は、自国の安全保障システムの実績を他国に広め標準とする強いモチベーションがあるため、社会ID、入国管理やパスポートシステムなどをきっかけに適合性評価の仕組みを政府主導で構築している。一方日本では、電子パスポートなど一部適合性試験に相当するプロジェクトを実施しているが、受託した組織が必ずしも適合性試験の体制整備の重要性を認識していない。また、銀行ATMなど国内市場に特化した民需主導での対応であり、適合性試験体制の必要性が、政府、産業界双方で認識されていなかった。

このため、日本では、戦略的に体系的なツール開発と組織化の検討ができていないのが現状である。民間企業ベースで、海外の社会IDビジネスへの展開も考えられ、国際標準への適合性は強く製品、システムに求められる。また、米国、欧州が、国内での適合性評価の実績を培い、ここ2年ほどの間に適合性評価制度の問題を取り上げる可能性が大きくなっている。

従って、日本における適合性評価体制に関する検討・試行の取り組みが急務な状況にある。

特に、下記の項目の検討が重要である。

- ・試験認証組織および法整備の検討
- ・評価ツールの開発
- ・適合性試験に関するエンドユーザーのサポート体制
- ・認証のための認定・認証・評価インフラストラクチャーの開発
- ・NIST, EU 機関, K-NBTC などとのパートナーシップネットワークの確立
- ・アジアを見据えた適合性評価体制の展開

このために、以下の委員会の設置と検討手順が必要である。

①政策検討委員会

バイOMETリクスの適合性評価に、国がどのように取

り組むかを検討する委員会。政策者としてのポリシーに基づき、国際情勢、産業界の意向などを考慮して結論を出す。

#### ②設置準備委員会

設置の方向性が明確になった場合、評価認証制度に関する検討委員会。国際のフレームワークに準拠させるため、米国、欧州との調整が必要である。また、基本的な戦略として、性能評価は手順を第三者適合評価、仕様評価は第三者適合評価の体制が、また、各国の状況を考慮すると、相互認証は、認定機関間で相互認証するスキームが現実的と考える。

#### ③ツール開発委員会

実際のテスト評価項目を技術的に検討および開発する委員会。国際標準委員会 SC37 のエキスパートを中心に技術的な項目を検討する。その結果を下記の試行組織にインプットする。

#### ④評価認証試行機関

評価、認証のための試行組織。経費的にメリットがある大学などに適合性試行組織を設置し環境の開発および運用のノウハウの収集を行う。その実績をもとに正式組織へ移行する。

これらの取り組みは、評価尺度などに関する開発であり、大学を含めた公的機関での開発が重要である。

### 5. まとめ

適合性評価は、以下に示す3つのフレームワークがある。製品を提供する組織によって実施される第一者適合性評価、製品について使用者側の利害を持つ組織によって実施される第二者適合性評価、製品を提供する組織およびその対象について使用者側の利害を持つ組織以外、つまり双方から独立した機関によって実施される第三者適合性評価である。海外では、韓国が、バイオメトリック技術に関する国際標準に関する第三者適合性評価機関を公的に設置しているほか、米国では政府調達のため、国内規格に基づく第三者的な適合性評価に関連する組織を運営している。また、一部の技術は第一者や第二者適合性評価を採用している。EU やシンガポールなどはプロジェクトとしての対応のみである。

日本において、政府における調達や製品の海外展開を考慮した場合、適合性評価組織を設置する必要性はある。設置の形態は、産業界および国の負荷を軽減する現実的なシナリオが必要であり、第一者、第二者および第三者認証を必要に応じて組み合わせることが重要である。例えば精度などは、基本的には第一者認証で実施するが、手順の妥当性に関しては第三者認証、公的組織によるAPI は第三者認証などが有効である。

本研究は平成19年度より3ケ年、経済産業省の基準認証事業の予算により(社)日本自動認識システム協会よりの受託研究により実施された2年間の成果をまとめたものである。

#### 参考文献

- [1] (社)日本自動認識システム協会：経済産業省基準認証研究開発委託「バイオメトリクスアプリケーションインターフェース標準規格への適合性試験に関する標準化」, 2009.3, 2008.3
- [2] (財)日本適合性認定協会編：適合性評価ハンドブック 日科技連 2002
- [3] 経済産業省 産業技術環境局相互承認について <http://www.meti.go.jp/policy/conformity/mrarenew/MR.htm>
- [4] 経済産業省 基準認証ユニット 相互承認推進室：相互承認協定を巡る動向 [http://www.jisc.go.jp/jisc/pdf/tekigousei\\_20pdf/20-7.pdf](http://www.jisc.go.jp/jisc/pdf/tekigousei_20pdf/20-7.pdf)
- [5] 奈良好啓：国際標準化入門 日本規格協会 2004
- [6] Jason Kim：KISA at a glance 日本自動認識システム協会における招聘講演 2007.8
- [7] Jason Kim, Ho-Kun Moon：Proposal of Test & Standard Ad-Hoc Group for ABC20008 2008.08
- [8] Chen Tai Pang, Lawrence Yau Wei Yun: ISO Standards on General Biometric Technologies & Conformance Testing ABC07における講演 2007.09
- [9] 田中一郎：US Insight Silicorn valley Research 2005.3 [http://www.nttdata.co.jp/event/report/usinsight/us\\_2005/pdf/usi\\_vol24.pdf](http://www.nttdata.co.jp/event/report/usinsight/us_2005/pdf/usi_vol24.pdf)
- [10] The Minutiae Template Interoperability Testing：  
<http://www.mtitproject.com/index.html>
- [11] BioTesting Europe Towards European Testing and Certification of Biometric Components and Systems 2008.06  
[http://www.biotestingeurope.eu/BioTesting % 20 Europe% 20-% 20The % 20Way % 20Forward.doc](http://www.biotestingeurope.eu/BioTesting%20Europe%20-%20The%20Way%20Forward.doc)
- [12] 情報処理推進機構 IPA：各国バイオメトリクスセキュリティ動向の調査 2004.2
- [13] NIST/ITL's Biometric Application Programming Interface (BioAPI) Conformance Test Suite (CTS) [http://www.itl.nist.gov/div893/biometrics/BioAPI\\_CTS/index.htm](http://www.itl.nist.gov/div893/biometrics/BioAPI_CTS/index.htm)
- [14] 情報処理推進機構 IPA：バイオメトリクス評価に関する調査 2005.03
- [15] Michael D. Hogan：Standards & Conformity Assessment Working Group Biometric Consortium Conference 2008 2008.09

# ビジュアルログ共有によるコンテキストアウェア ITS 通信情報サービス

嶋田 茂\*

## Context Aware ITS Communication Services by Visual Log Sharing

Shigeru Shimada\*

### Abstract

The trend of application situation to the real world of the context awareness and the problem in its practical use are explained. Privacy violation problems caused by context awareness will be decreased by committing the application area such as ITS. The plan of new image service and the core of technology how to retrieve context video scenes from the always recording video stream archives by utilizing smart phone are explained. Moreover, there will be a possibility of improving the penetration of the drive recorder to the ordinal user by these services.

Keywords: Context Awareness, Visual/Video/Life Log, Ubiquitous System, ITS, Drive Recorder, Car Navigation

### 1. はじめに

#### 1. 1 コンテキストアウェアネスの状況

コンテキストアウェアネスを、情報処理の観点からみると、実世界の事象から能動的にデータを収集してアーカイブ化し、ユーザの状況に応じて情報検索を行い、その状況に適合した情報を提供するようなユビキタス情報サービス技術であるといえる。このサービスでは、人間のアクティビティの状況や履歴がセンサーやカメラにより観測され、ネットワークを介してコンテキストとして提供されたものを、ユーザ側の環境により高品質にアウェアネスとして把握することを目的としている。

コンテキストアウェアネスは、人間生活のありとあらゆる分野への活用が検討されており、既に高齢者の介護サービス [1] や子供の見守りサービス [2] 等への適用が開始されている。これらのサービスの主なコンテキスト把握手段としては、温度・湿度・明るさ等の各種センサー類や、RFID のオンオフ出力等の時系列計測信号が用いられているレベルであったが、更に最近ではロケーション（移動軌跡）・映像・立体形状等の、コンテキストがよりリアルに視覚的に把握可能な観測情報（これを以降「ビジュアルログ」と略称）を用いる傾向になりつつある。監視カメラに代表されるような、定点に設置され

た Web カメラからの映像を用いてコンテキストを抽出し提供する技術 [3] や、更には StreetView [4] のような移動する Web カメラ（モバイルカメラ）からのビジュアルログの活用が増加している。この StreetView では 360° 全方位画像を提供しており、従来の固定した方位からの静止画像や映像サービスに比べ臨場感が増加し、コンテキストアウェアネスの観点からはリアリティーが格段に向上したと言える。

今後は市街や車両といった環境側のセンサーネットに加え、人間側にウェアラブルな小型センサーやカメラを装備して、環境と個人との結合ネットワークにより、総合的に各個人の状況や行動をロギング（履歴管理）するようなライフログシステムの普及が始まろうとしている。

#### 1. 2 プライバシー・個人情報保護からの制約

ビジュアルログとしては、Web カメラにより撮影されるもの全てが対象となるが、ビデオ蓄積と配信に伴うプライバシーや個人情報保護の問題が過剰に拡大する可能性がある。その一例として、2007 年頃から開始された Google 社の StreetView Web サービスのプライバシー侵害の訴訟がある [5]。このサービスでは、モバイルカメラを搭載した計測車両によりあらかじめ撮影してデータベース化された風景画像データベースから、任意の位置の指定によりだれでも容易に Web から検索できるよ

うにしている。しかし、この風景画像には、個人宅の表札・公開されたくないようなシーン・車両の車番・個人の顔などが含まれるため、多くのクレームが発生し、自治体から国レベルでサービスを禁止する要請が出されるといったように発展したケースがある。

この場合、StreetView Web サービスのアクセス頻度を向上させるため、その用途を広範囲に拡大して汎用化させたために、被撮影者から用途不明確な情報開示に対する不安を募らせたことが原因と考えられる。先に示したコンテキストウェアネスの適用例（高齢者介護サービスや子供の見守りサービス）では、個人のコンテキストをどのような目的でどの範囲のユーザに開示するのかを明確にしておき、更にそれらの制約を課しているため、プライバシー・個人情報保護の問題があまり発生しないと考えられる。

そこで本研究では、ビジュアルログの活用を ITS 分野に特化させ、電子政府のグリーン IT 政策に貢献するような情報サービス分野にコミットする。これによって情報サービスの目的と適用範囲が明確になり、プライバシーと個人情報保護の問題を減少させることができると考えている。更にその具体的なビジュアルログの適用範囲として、車載カメラにより撮影されるビデオデータを参加会員同士だけで共有するといった情報サービス分野に限定する。

## 2. 最近の ITS 情報処理系の動向

### 2.1 ドライブレコーダの普及率

ITS 情報処理系の分野において、自動車の運行・運転履歴を記録するものとして記録型タコメータが業務車両を中心に普及している。従来のタコメータでは、エンジン回転数・アクセル・ブレーキングの履歴の記録レベルであったが、最近では GPS 位置情報と車載カメラによる時空間データを履歴として蓄積するドライブレコーダが定着し始めている。このドライブレコーダ装備の効果として、運転操作の診断に加え、交通事故の分析や判定等に威力を発揮し始めており、特に交通事故を映像により明確に確認できる効果が注目されつつある。事故の瞬間だけでなく、その前後の映像の履歴を使って、交差点信号の変化や事故を誘発した車両の状況などが確認できるために、事故原因の推定には極めて効果的であると言える。

このような特長を持ったドライブレコーダではあるが、その普及に関しては、タクシーやバス・トラック等の業務車両への装着率が 49% に到達しているのに対して、事故発生率の多い一般ユーザ車両への装着率は 0.1% 程度であると言われており [6]、どのようにしてその装

着率を上げるかが問われている。本研究の目的は、このような一般ユーザ車両へのドライブレコーダの装着率を向上するための施策を検討することであり、特に一般ユーザ車両での装着メリットを向上させる新たな情報サービスを提案することを目標としている。

### 2.2 カーナビゲーションシステムとの比較

ドライブレコーダの普及が業務用ニーズから立ちあがっているのに対して、カーナビゲーションシステムは、一般ユーザのニーズから立ちあがっていることに注目する必要がある。カーナビゲーションシステムは、日本のベンダーから発祥しており、初期のシステムでは位置情報を地図上に点として表示するだけのものであったのが、移動軌跡の表示から経路予測及び最短経路案内表示、交通渋滞予測経路案内にまで至っている。またシステムの構成も CD-ROM・DVD・HDD といった高密度ストレージ応用への変遷に加えて、スタンドアロン型からネットワーク型へと進化を遂げており、カーナビゲーションシステムの構成方法もかなり変わりつつある [7]。特に最近の SSD に代表されるソリッドステートストレージデバイスの進展により、車載搭載機器の選択肢が広がり、従来の車両設置型専用機の発想から可搬型のポータブル機、小型で窓にも貼り付けられるような PND (Personal Navigation Devices)、更には iPhone に代表されるスマートフォン活用の APP (Application Program Products) へと変遷しつつある。

このようなカーナビゲーションシステムの日本国内での普及率は 47%、特に新車への装着率は 70% と言われている。又 PND が急速に普及し始めた欧州での普及率は 20% 程度であると言われている [8]。特に最近の欧州における PND の展開には目を見張るものがあり、従来型のカーナビゲーションシステムの 3 倍以上の設置台数の規模となりつつあり、世界的なデファクトスタンダードになりつつあると言ってよい [9]。

### 2.3 スマートフォンの活用

このような PND の急峻な展開を遂げている理由について考えると、PND のベンダーの 1 つである TomTom が欧州での車載情報提供装置のシェアを伸ばした要因として、ターンバイターンナビゲーション情報（経路誘導情報）の他に、公開されているスピード違反取締機位置の情報を地図上に表示する機能が評価されたと言われている [10]。当初このようなドライバー向け情報は、PC 等の固定したインターネットを介してダウンロードされる形態であったのが、リアルタイム情報提供の要求に応じて、携帯網やホットスポット等のモバイルワイヤレスサービスが要求されるようになって来た。この動向に対



図1 Google Androidスマートフォンによるカーナビゲーション (<http://www.google.com/mobile/navigation>)

し、新たなデバイスとして、スマートフォンをPNDハードウェアの代替えとして考えられるようになりつつあり、iPhoneやAndroidに代表されるスマートフォンのAPP (Application Program Products) として提供される準備が進みつつある [9]。特にワイヤレス通信機能を従来のPND専用装置に付加するためには、OSの見直しから専用のドライバーを整備するような大規模なものとなるため、それが既に装備されているスマートフォンを活用の方がより速く完成させることができるとの判断によるものと想定される。このようなスマートフォンによるカーナビゲーションシステム実用化により、カーナビゲーションシステムの世界標準化が期待でき、車載情報提供装置の普及拡大への期待が更に高くなることが予想される。

そこでこのような動向を背景に、ドライブレコーダ機能をこのスマートフォンによるカーナビゲーションシステムに同梱させることを考え、その実現方法について検討を行ったので報告する。

### 3. Vider サービスの構想

#### 3.1 サービス要件

スマートフォンによるドライブレコーダ機能の実現の方針として、次のような観点からの新たな情報サービスとしてVider (Video & Image Services using Drive Recorder) サービスシステムの実現方式を検討した。

##### 常時記録による自動アーカイブ化

事故発生時前後の数十秒間の記録ではなく、車両動作時には常時記録するビデオアーカイブが自動的に蓄積される形態とする

⇒ドライブレコーダの動作設定は、デバイスを車載ホルダーに装着して起動ボタンを押すだけのできる限りシンプルなものにして、操作の煩雑さによる普及の障害要因を取り除く

##### 多視点からのビデオログ確認

場所と時刻を指定すると、その付近を航行していた車両のビデオログが全て検索できるようにし、多視点からの

ビデオが入手できるようにする

⇒往々にして事故を発生した車両からのビデオでは、事故の状況が把握しづらいことが多く、事故を目撃した第三者の視点からのビデオが事故原因を究明する場合に有効となることがある

##### 認証機構

ドライブレコーダからのビデオアーカイブされたデータは、公的な認証機構を設定して、事故解析に用いるビデオが立件証拠として認められるようにする。

⇒一般ユーザによる改竄が行われないような情報セキュリティ機能を設定して、証拠資料としての正当性が保たれるようにする

##### 日常時からの利用

一般ユーザの利用形態として、緊急時だけでなく日常時にも有益な情報サービスが受けられるようにする

⇒日常的に有用なサービスが受けられなければ、スマートフォンユーザからの投資は期待することができないため、システム運用のビジネスモデルが成立しない

##### 個人情報保護策

任意に指定した位置と時間からの関連ビデオ (コンテキストウェアネス) の提供サービスを行う場合、個人情報保護策を整備する

⇒撮影されたビデオには、車番や車両の特徴や運転者の肖像等のプライバシー情報が含まれるので、それらがむやみに公開されないようなシークレット制御ができるようにする

### 3.2 サービスモード

以上のような基本的なシステム要件とその背後にある理由を記述したが、これらのシステムを実現する構成要素としては、スマートフォンのビデオ記録データをホットスポット無線通信網経由でセンターサーバにアーカイブして、それらをWeb配信するような、図2に示すようなサービスシステムの構成を前提とする。

次にこれら一連の要件を具体的なViderサービスとしてまとめるために、次のような3つのサービスモードを設定して、その機能の使い分けが把握しやすいようにする。以下の各モードの機能説明では、機能自体の他に各モードを実現させる上での課題をまとめておく。

#### (1) ドライブレコードモード

一般ユーザの各車両に装備されたスマートフォンにより常時記録型で撮影したビデオを、ホットスポット経由でアーカイブサーバへ転送・記録する処理

・自動アーカイブ：スマートフォンのカメラとGPSとの連動制御により、ビデオストリームの転送とビデオデータベースの自動構築

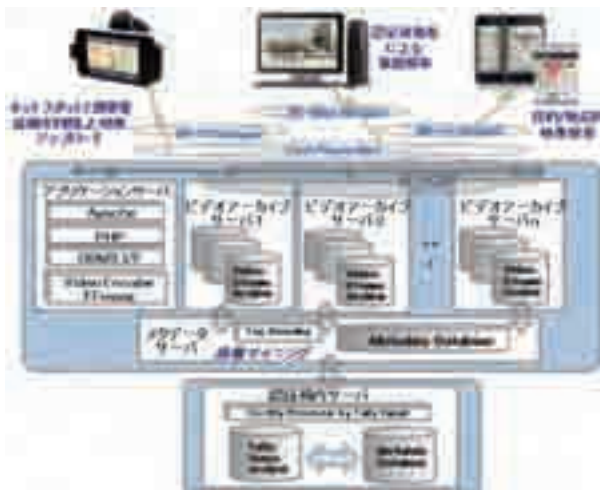


図2 Vider システム構成

- ・ビデオ DB 蓄積量の削減：車両から多量に提供されるビデオストリームからのデータ容量を削減するため、メタ DB と非同期更新による DB 構築
- ・プライバシー保護のためのフィルタリング：人物顔・車両車番・個人宅表札文字等のぼかし処理
- ・個人情報保護のための被撮影ビデオの配信拒否：撮影された自分が映っているビデオが配信されることを拒否するための指定処理

### (2) 事故調査モード

認定されたオペレータ（警察・損害保険担当等）による事故ビデオの検索と、複数の異なる視点からビデオを比較して、事故原因の調査を行う

- ・事故関連ビデオの検索：事故の発生した場所と時刻を指定すると、ビデオデータベースの条件検索により関連ビデオを提供
- ・多視点からのビデオ比較：事故発生時の複数の視点からのビデオを比較可能とするインタフェース
- ・証拠ビデオの認証：認証機構への参照により、ビデオが改竄されていないことを保証する
- ・事故シミュレーション：複数の視点からのビデオを用いて、一定の時間推移を伴うビデオシミュレート

### (3) CAS (Context Awareness Service) モード

スマートフォンユーザの要求に応じたコンテキストウェアアネスの提供を行う処理で、ユーザ条件だけでなく、予め登録されたリコメンドタグからのビデオ提供も行う

- ・ビデオストリームランキング：リコメンドシンボルに関係付けられるビデオストリームの候補が多数存在するようになるので、その中から最もその状況を提示しているビデオが最初となるように順序付けるためのビデオ解析によるランキング方式
- ・リコメンドビデオ位置のタグ付けと地図上のランドマーク化：スマートフォンユーザにより推奨されるビ

デオの位置及び範囲にタグをつけ、それに関連する地図上のリコメンドランドマークとしてオブジェクト化・リコメンドビデオ検索：リコメンドランドマークを指定することによる、関連したビデオの検索と表示

## 4. 構成要素の技術開発の内容

前段までにまとめた Vider システムを実現するのに必要な課題の中で、現在検討を行っているものに関してその取組方針と中間結果について概要を説明する。

### 4.1 映像データの管理方式

スマートフォンの映像データには、GPS 信号と時間情報が埋め込まれて出力されるため、単にそのままアーカイブ化するのではなく、映像データベースの構築を行うのに効率のよいアーカイブ化を行う必要がある。即ち、時空間属性を映像データから抽出して、特に時空間属性を明示的に検索条件として使うことができるようにする必要がある。このような時空間属性をキーにした関係型データベースへの映像データの格納方式として、次のような2つの方式が考えられる [11]。

①映像の格納場所を示すファイルポインタを用いた関係テーブル化

②映像データ自体を用いた関係テーブル化

この中で②の方式は、関係テーブル内に映像データ自体が管理できるため、DBMS トランザクション処理によるデータ管理特性は向上する。本研究では、映像ストリームそのものとしての配信だけでなく、画像解析によるリコメンドシンボルの自動タグ付け処理を各映像フレーム単位に行う必要がある。そのため、特定の長さを持った映像ストリームではなく、それぞれ独立した映像フレームを静止画像の時系列ファイルとしてアーカイブしておき、条件検索で得られた映像フレーム列を合成して映像ストリーム化の方が効率が良い。又 CAS モードにおけるユーザ指定のタグ入力を効率化させるためにも、映像フレーム実体（実際には画像実体）と、時空間属性実体及びタグ情報実体とを関係付けるような永続化スキーマの正規化設計が推奨されている [12][13][14]。これらの方針に基づき、実際の DBMS (ORACLE 10g) による永続化スキーマ設計は図3のようになった。

### 4.2 多視点映像ストリームの同期再生方式

事故調査モードでの活用を想定して、事故が発生した位置と時刻を指定するとその付近に居合わせた他の車両で記録されたドライブレコーダの映像ストリームが検索され、それらを時間同期で再生することにより、多視点からの状況判断ができるようなインタフェースを開発し



図3 映像データベースのスキーマ

ている。サービス要件の章で既に記述したように、事故調査で重要なのは、事故を引き起こした車両そのものからの映像よりは、事故を目撃した第三者の視点からの映像であることが多い。従って、複数の車両で記録されたドライブレコーダの映像ストリームが同時に検索できるようなインタフェースを開発する。

この機能を実現するためには、DBサーバ内のメタデータDBに対して必要な範囲を持った時空間条件の検索を行う必要がある。即ち、事故が発生した位置と時刻を厳密に指定しても、それに合致するものはその瞬間の映像フレームだけであり、事故の原因究明には十分ではないため、指定された位置と時刻を中心にしたある範囲を持った条件を指定する必要がある。事故の現象自体は短時間で発生するものであり、従来のスタンドアロン型ドライブレコーダでの経験値から、事故発生位置を中心に前後約30秒間程度で十分である。ところが、その事故に居合わせた車両の中で、この事故を目撃できる車両がどの範囲にまで及ぶのかの判定は難しく、基本的なカメラアングルの他に道路幅や建造物等の環境状況に依存する。従って、本研究では事故発生地点から一定の範囲内に居合わせた車両の移動軌跡を地図上にマーク表示して、それを必要に応じて選択クリックすることにより、関係付けられた映像ストリームが再生されるようなイン



図4 事故調査モードにおける多視点映像ストリームの同期表示

タフェースとした。更なる映像ストリームの再生が、隣接する車両同士で比較できるように、ストリーム表示領域の順序も入れ替えることができるようにしている。

#### 4.3 ビデオストリームランキング

CASモードで配信対象となる映像ストリームは、ユーザ車両のドライブレコーダからアップされたデータを用いることになるため、サービス範囲を均等になるようなユーザ車両の配置制御やアップされたアーカイブの編集等を行うことはできない。従って、同一の場所・経路を撮影した映像ストリームが多数存在することになり、サービス利用者にとっては冗長な情報サービスを受けた印象を持ち、コンテキストウェアネスのレベルが劣化する問題となる。そこで本研究では、このような冗長さをなくするために、位置や時間等の条件指定から検索された映像ストリームに対してコンテキストの表現力の観点からのランク指標を計算する技術を研究する。そしてこのランク指標を、同一地点を多重に撮影した映像ストリーム群に適用して、そのランキング順序が実用を想定したシナリオに基づく検索要求に適合するものであるかを評価する。

次にこの映像ストリームランキング方式に関し、具体例を用いて詳細に説明する。ユーザによりアップされ配信対象となる映像ストリームは、同一の場所・経路を撮影した冗長なものになる可能性が高く、特に駅前など車両が多く集まる場所での数は異常な数になる可能性がある。例えば図5のように、あるホテル駐車場入り口付近を撮影する車両はA, B, Cと3台考えられるとする。ところが、場所指定から映像ストリームを検索するユーザの立場からは、これら複数の映像ストリームから、その場所のコンテキストを最もよく表すもの1つを選択で



図5 駐車場入り口付近のビデオストリームランキングによる映像提供の順序

できればよい。そこで、そのコンテキスト表現力に基づくランキングを行うことにより最適な映像ストリームを自動選択する技術を開発する。具体的には、左図の3台の車両の場合では、画像特徴量と撮影知識等を用いて、 $B>A>C$ の順に駐車場のコンテキスト表現力が大きいと判定するようなランキング指標を開発する。この場合、画像特徴量による画像の評価方式に関しては既に多数の研究事例がある [9][10]。これらのうち多次元特徴空間での距離定義からSVMによるパターンクラスタリングを行う方式が比較的安定していることが報告されている。しかしこれらの方式では、駐車場探索などといった比較的限定されたランキング評価には粒度が適合しないため、クラスタリング後に更に画像構造解析を加えて詳細な評価を行う方式を考えている。

#### 4. 4 プライバシー保護技術

Vider サービスの場合、情報サービスの対象とするのは、各車両のドライブレコーダから撮影された映像ストリームであり、それらのデータの中にはプライバシー保護のためのフィルタリングを必要とする対象として2種類考えられる。まずその映像ストリーム全てに含まれる個人同定可能な建物や車両及び個人の肖像等のフィルタリングである。そして、ドライブレコーダモードにおいてシークレット要請を行ったユーザに対する特定個人の映像をフィルタリングする要請である。

前者に対するプライバシー保護策としては、建物表札や車番等の文字情報や個人同定可能な肖像等が解読できなくなるようにぼかしをかける方式が一般的である。この技術に関しては、既にStreetView [6]や監視カメラ映像配信等の既存サービスにおいて既に実施されている内容であるので、今回の研究対象としない。一方、後者の特定個人に対するプライバシー保護策としては、要求のシチュエーションがかなり限定的であるために、まだ十分な検討が行われていない分野であり、今回の研究対象としている。

後者のプライバシー保護の対象となるのは、保護を求めるユーザ自身の車両や肖像であり、それを他のユーザのドライブレコーダ映像に映っている部分をフィルタリングするのが目標となる。フィルタリング方式としては、保護を求めるユーザの車両や肖像に関する画像特徴をあらかじめ宣言しておき、シークレット指定を行った位置と時刻に隣接する条件の映像ストリームを対象に、画像の特徴マッチングをかけ、候補となる映像ストリームにCASモードでの配信を停止するフラグを付ける方式を検討中である。



シチュエーション：シークレット設定をした車両を映している可能性ある車両のドライブレコーダ映像をCASモード配信からフィルタリングする

⇒シークレット設定した車両に隣接する位置にあった車両群のドライブレコーダ映像を対象にして、シークレット設定車両の特徴との画像マッチングを行い、それに該当した映像ストリームはフィルタリングする

図6 被写体コンテキストビデオの配信拒否

#### 5. おわりに

コンテキストウェアネスの実世界への適用状況と実用化上の課題についてまとめた。その適用先をITS分野のドライバーに特定化することにより、プライバシー保護の問題を減少させ、常時記録型アーカイブ映像ストリームをスマートフォンから検索して新しい映像サービスを実現するシステムの構想と、そのコアとなる技術の内容を説明した。またこれによって、ドライブレコーダの一般ユーザ車両への普及率を向上させる可能性があることも説明した。

まだ本システムの実装は開発途上にあり、今回挙げた技術課題や解決策は変更される可能性があるが、Web2.0+スマートフォンといった新しいIT環境に適合した必需的なサービスとなるよう、これらの技術を極めて行く予定である。

#### 参考文献

- [1] パナソニック電工インフォメーションシステムズ株式会社, “みまもりネット”, [http:// www.newloc.jp/mimamori](http://www.newloc.jp/mimamori).
- [2] 東急セキュリティー株式会社, “キッズセキュリティー・駅”, <http://www.tokyu-security.co.jp/kids/>
- [3] 朝田佳尚: “監視カメラの賛否に影響を与える要因とは何か”, General Social Survey 研究論文集 [7] JGSS で見た日本人の意識と行動
- [4] Google Maps, ストリートビューの技術 [http:// www.google.co.jp/help/maps/streetview/](http://www.google.co.jp/help/maps/streetview/)



howitworks.html.

- [5] cnet news, "Couple sue Google for invading privacy with Street View", [http://news.cnet.com/8301-10784\\_3-9911642-7.html](http://news.cnet.com/8301-10784_3-9911642-7.html), (2008)
- [6] 読売新聞 2009.6.18 「「ドライブレコーダ, トヨタ全車に」遺族の会が要請へ」 <http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20090618-00000546-yom-soci>
- [7] GENIVI アライアンスワークショップ 2009 「日本のカーナビ市場は第2のガラパゴス」 [http://car.watch.impress.co.jp/docs/news/20090721\\_303762.html](http://car.watch.impress.co.jp/docs/news/20090721_303762.html)
- [8] 矢野経済研究所 「世界カーナビ/PND 市場に関する調査結果 2008 -サマリー-」 <http://www.yanooict.com/yzreport/38>
- [9] 日経エレクトロニクス: Google と Nokia が変えるカーナビ「安いだけ」の PND は消え去る, NIKKKEI ELECTRONICS 2009.1.12, pp.77-85, (2009)
- [10] Njection "Speed Traps, Car Fourum, Automotive Pictures", <http://njection.com/>
- [11] 榎美紀, 増永良文: 3次元地図を用いた自動索引付き映像データベースシステム, 情報処理, DBS 研究会資料, 2005-DBS -137, pp. 143-149 (2005) .
- [12] Satnam Alag: Collective Intelligence in Action, Manning Publication Corp., (2008).
- [13] Dong Wang and et al.: Video Diver: Generic Video Indexing with Diverse Features, Proc. of 9th ACM SIGMM International Workshop on Multimedia Information Retrieval (MIR'07) pp.61-70, (2007)
- [14] Peijiang Yuan and et al.: Semantic Concept Learning through Massive Internet Video Mining, Proc. of 2008 IEEE International Conference on Data Mining Workshops, pp. 847-853, (2008)

# 投資効果を考慮したサーバー集約の考え方

南 波 幸 雄\*

## Effectiveness of IT Investment on Server Consolidation with Virtualization Technology

Yukio Namba\*

### Abstract

The trend that the user companies does not have their information systems resources but use the resources the third parties provide has become popular. In recent days cloud computing as typical “use” model has been put to practical use. Many IT vendor companies try to promote server consolidation with private cloud technologies especially server virtualization technologies.

In this paper, the author mentions the meaning of server virtualization from the IT infrastructure perspective and examines the effectiveness of it from the IT investment viewpoint. Then we propose the better use of this technology.

Keywords: Server Consolidation, Cloud Computing, Effectiveness of Investment, Server Virtualization

### 1. はじめに

情報システム資源を自ら所有せず、雲（インターネット）の向こう側にあるものを「使う」クラウドコンピューティングが、企業情報システムにとっても現実の選択肢になってきた。一般的にクラウドコンピューティングというと、ソフトウェアをマルチテナント方式で活用する SaaS (Software as a Service) や、プラットフォームの共有サービスの PaaS (Platform as a Service)、ハードウェアを仮想マシンとして提供するサービスの IaaS/HaaS (Infrastructure as a Service / Hardware as a Service) などに区分される。

これらのインターネットを介してのマルチテナント型の共有サービスをパブリッククラウドという。またクラウドコンピューティングで用いられる技術を活用して、自社内で環境を構築するものをプライベートクラウドと呼ぶ。パブリッククラウドの種々の制限や、セキュリティ上の懸念などを考慮して、プライベートクラウドを検討する動きも盛んになってきている。特に複数のサーバーを、主として仮想化技術を用いて集約する提案が、ベンダー側から数多くなされている。

本論文では、主として情報システム基盤の観点から、仮想化技術を活用したサーバー集約の意味と意義を述べる。そのうえで、情報システムの投資効果の観点から、それらの効果を考察する。それらの考察に基づいて、現状の技術環境を前提としたサーバー集約が意味のある適

用分野について提案する。

本論文の内容に関して、一般的な内容については [1] を、クラウドコンピューティングについては [2][3][4] を、IT 投資マネジメントについては [5] を参考されたい。

### 2. サーバー集約の背景

#### 2.1 分散システムの課題

かつてのメインフレームによる集中処理の時代から、複数のコンピューティング資源を分散配置して処理を行う分散処理の時代になっている。分散システムという場合、3階層モデルのように処理機能を、Web サーバー、APサーバー、DBサーバーなどに垂直に分散する場合と、異なる場所に配置する水平分散とがある。いずれにしろ、処理機能の分散化という面では同じである。

分散処理は、個別のサーバーが基本的に単一の機能を持つという点および能力が不足するときはその機能を拡張すればよいという点で、基盤設計が考えやすい利点がある。半面処理系全体の能力（スループット）は、系を構成しているサーバー群の中の最も弱い部分（ボトルネック）に依存してしまう難点がある。

そのためすべてのサーバーに処理能力の余裕を持たせることが、全体を安定的に稼働させる条件になる。その結果多くのシステムにおいては、各サーバーの負荷を 10～30%程度で運用している例が多い。しかしこの点は、全体で見ると非常に大きい処理能力の余裕を持つことに

なり、IT 投資効果の観点からは問題になってくる。

また昨今注目を集めているグリーン IT の観点からは、使用電力の利用効率の悪さも指摘されている。一般的にサーバーの使用電力は、オーバーヘッドが大きいため、CPU が 100%稼働していても、0%でも、大きな差が出ない。そのため低稼働率のサーバーが数多くあることは、エネルギー効率の面からも問題である。

## 2. 2 仮想化技術によるサーバー集約

これらの課題を解決するために、サーバー集約が提案されている。具体的には仮想化技術を用いて、複数のサーバー環境を少数台のサーバーに集約することにより、投資効率を高め、また全体としての使用エネルギーの削減も図ろうというものである。それだけでなく集約化することにより、物理的な情報システム資源の管理の削減や、運用効率の向上なども見込める。

サーバーの仮想化を実現する技術は、

- 区画コントローラーがサーバー上をそれぞれの OS が稼働可能になるように、複数の部分に分割するハードウェア分割方式
- ハイパーバイザーにより、サーバー資源を論理分割する物理マシン上のハイパーバイザー方式
- ハイパーバイザーがホスト OS をサービスを利用して、資源の時分割をするホスト OS 上のハイパーバイザー方式

などがある。それぞれの方式には一長一短があるが、基本的にマルチ CPU (コア) の SMP サーバー上で、複数の OS 稼働環境をつくり、そのうえでアプリケーションを稼働させるものである。

## 2. 3 サーバー仮想化の用途

サーバー仮想化の用途としては、第 1 に本論文のテーマである物理サーバーの集約である。複数のサーバーに配置されているアプリケーションやアプリケーションの部分機能を集約することにより、物理サーバーの台数を削減することが可能になる。

第 2 には、古い稼働環境の延命である。通常 OS のバージョンは、ハードウェアとの組み合わせの相性がある。導入してから時間が経過したアプリケーションが稼働しているサーバーを更新したときに、そのアプリケーションが稼働している OS のバージョンが新サーバーで動かない場合がある。OS を更新すると今度はアプリケーションが、その使用しているミドルウェアや言語のバージョンとの不整合のため動かなくなる。このような場合に、旧バージョンの OS が仮想サーバーでサポートされていれば、実質的に新しいハードウェア上で古い OS 環境のアプリケーションを稼働させられることになる。

第 3 は、リソースの有効活用である。同一サーバー上にあるアプリケーション間で、負荷に応じてリソース配分を割り振ることにより、リソースの融通が可能になる。この点は、季節変動や一過性の変動があるサーバーを、他のサーバーと集約し、ピーク時だけ他のサーバーのリソースを割り振ることができれば、非常に効果的な利用法になる。

本論文では、主として第 1 と第 3 の用途について考察する。

## 3. サーバー集約の投資効果

### 3. 1 サーバー導入におけるコストドライバー

サーバーを導入するとき発生する費用を、消費した資源の費用を活動ごとに割り当てる基準であるコストドライバーの観点から考える。サーバーの主な導入費用には下記のものがある。

- ① ハードウェア取得費用
- ② 初期構築費用
- ③ ハードウェア保守費用
- ④ 運用費用
- ⑤ フロア費用
- ⑥ ソフトウェアライセンス費用

これらの費用が何を基準に発生するかを表 1 に示す。

表 1 サーバー導入のコストドライバー

	コストドライバー	備考
①	実売価格	リース料
②	難易度と台数の積	一時費用
③	定価	レベルによる
④	難易度と台数の積	又は固定費
⑤	サーバーのユニット数	電力も含む
⑥	CPU (コア) 数など	

サーバー取得価格は、値引き額を織り込んだ実売価格になる。これを経費として考える場合は、そのリース料になる。サーバーの保守費用は、定価をもとにして一定料率を掛けたものが一般的である。そして補修部品や CE が来るまでの保証時間など保守のサービスレベルにより、料率が異なってくる。運用に関しては、基本は台数で、それに対象になるサーバーの難易度により料率が異なってくる。情報システム機器をデータセンターに置いた場合の維持費用であるフロア費用は、通常ラック単位の課金体系である。そのためラックに何台のサーバーが詰め込めるかの尺度になる各サーバーのユニット数が料率に影響する。また DBMS やミドルウェアなどのソフトウェアのライセンス費用は、インストールしている

サーバーの CPU 数（マルチコアの場合はコア数）による場合が多い。

### 3. 2 仮想化によるサーバー集約の期待効果

複数台のサーバーを、仮想化技術を用いて 1 台のサーバーに集約した場合の費用と効果を考える。

#### (1) 一時費用

一時費用としては、サーバーの新規取得費用をリースに回すとすれば、新規環境の構築費用と旧サーバーの償却費またはリース解約費用に相当する残存リース費用になる。なお旧システムから新システムへのデータ移行などに関わる費用は、構築費用に含むものとする。また物理サーバーを仮想化するためには、仮想化ソフトウェアの新規取得も必要になる。

考慮しなければならない点は、Moore の法則によりサーバーの取得費用は、年々低下することである。Moore の法則は半導体の集積度は、18 か月から 24 カ月で倍になるというものである。これは集積度に従って、価格も低下することである。サーバーはキーパーツが半導体であるため、サーバーの取得費用はこの影響を受ける。この効果は、およそ 3 年～4 年で同一性能のもの価格が半減すると考えてよい。

#### (2) 保守費用

保守費用は、サーバーの台数が少なくなる分、費用削減になるはずである。しかし集約したサーバーが落ちた時の影響を考えると、仮想化サーバーの保守のレベルを上げることが必要になる。それに反して、Moore の法則によるサーバーの価格低下は、そのまま保守費用の低下になる。

その為保守費用に関しては、具体的な要件をあげて、増加要因と削減要因とをあわせて考慮することが必要になる。

#### (3) 運用費用

運用費用については、MSP (Managed Services Provider) などに完全にアウトソースする場合は、表 1 で示すように難易度を考慮した料率にサーバー台数をかけたものになる。なお MSP とは、企業が保有するサーバーやネットワークの運用・監視・保守などを請け負う事業者を意味する。

サーバーの集約に伴い、運用費用は台数が少なくなる分削減される。しかし仮想化サーバーの運用は、単一の物理サーバーの運用に比べて難しくなるので、この点は増加要因である。

しかし運用を人員派遣で、自前のデータセンター内で

行う場合は、その費用は通常必要な人員数（工数）にそれらの賃率を掛けた金額が必要になり固定費と考えたほうが良い。自前の運用要員を抱えている場合は、最初から固定費である。

これらの固定費扱いの時は、当然費用は変化しないか、運用要員のレベルアップが必要になる場合には、その賃率の増加分が増加要因になる。

#### (4) フロア費用

フロア費用については、データセンターをアウトソースしている場合は、ラックあたりの課金体系が一般的である。その為、台数が少なくなると、ラックに占める割合も小さくなる。通常、数年前のサーバーに比べて、性能向上のため小型化するため、全体としては小さくなる。その上最新のサーバーは、グリーン IT 対応などもしているため、消費電力も少ないため、電力費がラック費用とは別に徴収される場合には、これも削減要因となる。

#### (5) ソフトウェアライセンス費用

基本ソフトウェア特に商用 DBMS やミドルウェアのライセンス費用は、CPU 数（コア数）にリンクしているものが多い。これらの費用は、集約することにより全体としての使用 CPU (コア) 数を減らすことができれば、削減効果がでてくる。

#### (6) サーバー集約の効果

通常多くのサーバーは、可用性や障害・異常が発生した場合の他のサーバーへの影響などを考慮して、平均 CPU 負荷が 10～30% 程度で稼働させている場合が多い。

このような場合には、複数台のサーバーを集約することにより、費用削減することは可能になる。このときの一時費用は、ハードウェアの取得費用および構築費用、旧サーバーの除却またはリース解約に要する費用、仮想化ソフトウェアの取得費用などになる。効果が期待できるのは、集約することにより発生する、保守費用および運用費用、フロア費用、ソフトウェアライセンス費用の削減分になる。

これらの一時費用と費用の削減分を、対象システムのライフタイムで計算することにより、効果を見積もることができる。

## 4. サーバー集約の考え方

### 4. 1 考え方の前提

具体的な例を用いて、仮想化サーバーにより物理サーバーを集約する場合のシミュレーションを行う。ここで行うシミュレーションは、厳密なものではなく、各々の

状況に応じてどのような考え方をとればよいかを示すものである。

仮想化サーバーによる物理サーバーの集約を考えると、負荷の変動が問題になる。負荷の変動は、1日の中での変動と、季節変動、突発的な変動、トレンドを持つ変動などが考えられる。

図1に代表的な1日の中での負荷変動として、ランダムな挙動を示すものと、特異性（点）を持つものとの2種の変動タイプを示す。ランダムなタイプは、平均値としてはほぼ一定の負荷値を中心にして、ランダムな変動幅を示すものである。それに対して特異性を示すものは、ある特定の時間帯またはランダムな時間帯に、ピーク値などを持つものである。

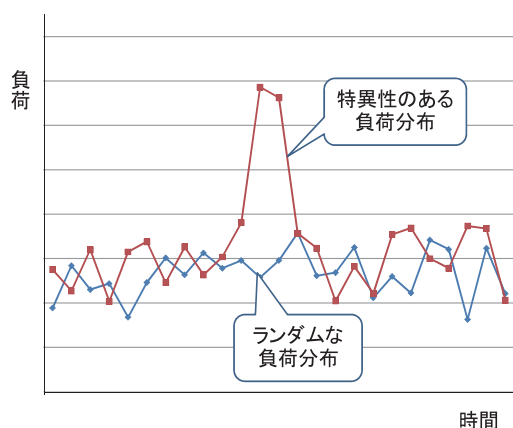


図1 負荷変動のタイプ

季節変動は、1年の中で例えば決算前後の負荷が高くなるとか、2月、8月はビジネスが低調になるために負荷が低くなるとか、中元、歳暮の時期になると負荷が上がるようなものである。突発的な変動は、例えば人気商品の新製品が発売されると、その時期だけ突発的に負荷が集中するような場合である。トレンドを持つものは、時間の経過とともにビジネスが拡大し、それに応じて平均負荷が増大（縮小）するようなものである。

#### 4.2 負荷変動がランダムな場合

負荷変動がランダムな場合は、ランダム性を正規分布に従うと仮定することにより、平均値 ( $\mu$ ) と標準偏差 ( $\sigma$ ) を用いて扱える。複数台のサーバーの負荷の平均値を、

$$\mu_i \quad i=1, 2, \dots, n$$

それらの標準偏差を、

$$\sigma_i \quad i=1, 2, \dots, n$$

とする。このとき  $n$  台のサーバーを集約するためには、

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_n$$

として、

$$\mu + j\sigma$$

の負荷に耐えるサーバーを導入すれば良い。ここで  $j$  は、可用性基準をもとにしてどこまで考えるかにより決まる。例えば  $j$  を 2 にすれば、 $2\sigma$  を超える確率であり約 2.5% になる。これが 3 であれば、 $3\sigma$  を超える確率になり、約 0.16% である。

#### 4.3 負荷変動に特異性がある場合

1日の中での負荷変動に特異性がある場合は、4.2の平均値の代わりに、ピーク値の平均値 ( $P_i$ ) をとり、標準偏差にピーク値の変動の標準偏差をとれば良い。

サーバー集約において効果で出やすい状況は、集約対象のサーバーのピークが出るタイミングが異なる場合である。図2で示すように、各々の負荷分布におけるピークのタイミングが異なる場合は、これらの負荷を集積したものは、さほど大きな負荷にならない。このようなケースは、たとえば日米欧の3極でオペレーションを行っているグローバル企業の各地域のシステムを統合したような場合が当てはまる。それ以外のケースとしては、業務時間帯にピークが来るアプリケーションと、夜間バッチ時間帯にピークが来るアプリケーションとを組み合わせるような場合である。ただしこの場合には、後述する運用上の問題が発生する場合がある。

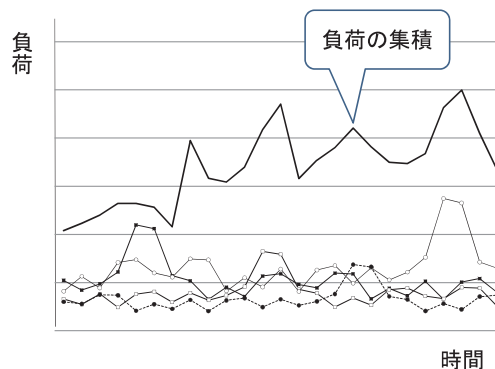


図2 ピーク値のタイミングが異なる場合

#### 4.4 負荷変動に季節性、突発性などがある場合

負荷変動に季節性や突発性がある場合は、同一仮想サーバー内に割り振られた他のサーバーのリソースを一時的に、配分できる場合は対処できる。

しかし傾向変動のように、負荷全体が増大したり縮小したりする場合は、仮想サーバー内のレベルの対処では対応できず、拡張性設計の領域での対処になる。

### 5. 現実の価格を用いたシミュレーション

#### 5.1 サーバーの仮想化に関わる費用

今までの議論について、具体的な費用を用いて、投資効果を考察する。

表2 サーバー性能と価格比

	CPU 種類	CPU 数	コア数	クロック MHz	メモリー GB	価格 (定価) 千円	仮想化 ソフトウェア 千円	価格比 A-1 比	価格/コア A-1 比
A1	X86	1	4	2.4	16	450		1.0	1.0
A2	X86	4	16	2.13	32	2,000	1,200	4.4	1.1
A3	X86	8	32	2.7	84	4,000		8.9	1.1
B1	IA64	2	4	1.6	16	5,000		11.1	11.1
B2	IA64	8	16	1.6	32	70,000	8,000	155.6	38.9
B3	IA64	16	32	1.6	65	200,000		444.4	55.6
B4	IA64	32	64	1.6	128	500,000		1,111.1	69.4
B5	IA64	64	128	1.6	128	800,000		1,777.8	55.6

表2は、H社のサーバーラインアップからとった、使用CPU（コア）の性能と搭載メモリーに対するサーバーの価格である。一般的にサーバーの価格は、その周辺機器や構成により大きく異なる。そのためこの表の個々の数値よりは、性能に対する価格比に注目してほしい。

なおこの表においては、性能はコア数に比例すると仮定している。A系列は32ビットCPU、B系列は64ビットCPUを搭載している。

表2の価格比は、A1を1とおいたときの各サーバーの価格を表す。また価格/コアは、A1を1とおいたときの、1コアあたりの価格比である。

ここで特徴的なのは、コア数に対する価格性能比の推移である。X86CPUであるA系列の場合は、コア数に対する性能価格比はほぼ一定である。しかし高級機であるIA64CPUのB系列の場合は、性能が高くなると性能価格比が増大する。この関係を分かりやすくするために、A1を1としたときのA系列と、B1を1としたときのB系列を、同一図中（図3）に示す。

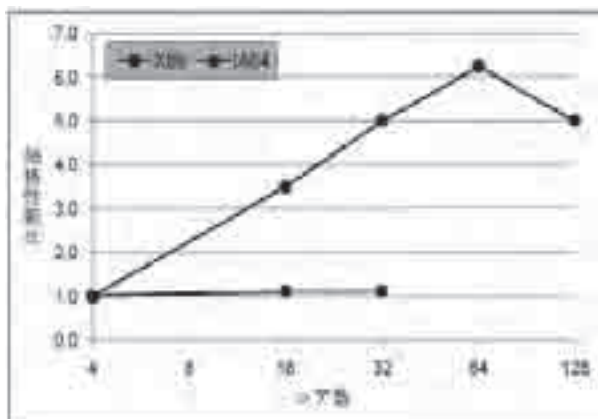


図3 価格性能比の推移

## 5. 2 簡単なシミュレーション

A系列の場合を例にとり、サーバー集約化の簡単なシミュレーションを行い費用の比較を行う。具体的には、平均CPU負荷率20%～30%のA1サーバー8台を、仮想化して集約することを想定する。

まず仮想化サーバーのサイジングにおいては、性能はCPUコア数に比例することを仮定する。A1サーバー8台の総負荷は、A1サーバーを基準にして、200%、変動は±40%になる。A2サーバーは、A1サーバーの4倍のキャパシティがあると考えられるので、総負荷はA1サーバー換算で400%になる。そのため、200%分のA1サーバー8台分の負荷とプラスマイナス40%分の変動は、十分まかなえる計算になる。そのため、A2サーバーは1台でA1サーバー8台分を収容できる計算になる。この関係を表3に示す。

表3 費用の比較 (X86)

	A1	A2
台数	8	1
基本性能	100.0%	400.0%
負荷/台	25.0%	50.0%
変動/台	5.0%	10.0%
総負荷	200.0%	200.0%
総変動	40.0%	40.0%
定価(千円)	450	2,000
仮想化ソフト(千円)	0	1,200
総価格(千円)	3,600	3,200
リース費用(千円)/月	60	53
保守費率/年	20%	30%
保守費(千円)/月	60	70
運用単価(千円)/月/台	50	100
運用費(千円)/月	400	100
総費用(千円)/月	520	223

次に期間費用を集計してみる。まずサーバーの費用を期間費用に換算するために5年リースとすると、月額費用は取得費用の約1/60になる。仮想サーバーには、仮想化ソフトウェアの費用も加算して計算する。

次に保守費用は、物理サーバーについては、定価の20%、仮想サーバーについては、保守レベルを上げて30%とする。また仮想化ソフトウェアの保守率も20%とする。運用費用はA1機は1台あたり月5万円、A2機は仮想化ソフトウェアが入っていることを考えて、月10万円とする。これらの費用を加算して総費用を算出する。表3に以上の関係を示す。

表より、月額費用は半分以下になっていることがわかる。この差額で、一時費用が期間内にまかなえるかを検討すれば、仮想化投資の可否が判断できる。

しかしIA64機の場合は、性能の向上以上に価格が上昇する。B1機とB2機との性能比は1対4であるので、A1、A2と同じように仮想化の費用を計算してみる。なおこの計算において、運用費用はX86の倍にしてある。この結果を表4に示す。

表4 費用の比較 (IA64)

	B1	B2
台数	8	1
基本性能	100.0%	400.0%
負荷/台	25.0%	50.0%
変動/台	5.0%	10.0%
総負荷	200.0%	200.0%
総変動	40.0%	40.0%
定価(千円)	5,000	70,000
仮想化ソフト(千円)	0	8,000
総価格(千円)	40,000	78,000
リース費用(千円)/月	667	1,300
保守费率/年	20%	30%
保守費(千円)/月	667	1,883
運用単価(千円)/月/台	100	200
運用費(千円)/月	800	200
総費用(千円)/月	2,133	3,383

表より、この場合は仮想化したほうが、コストアップになってしまう。これはIA64の場合は、性能価格比が一定ではなく、図3で示すように、性能向上に応じて価格比が増大することによる。

## 6. 考察

### 6.1 サーバー集約の技術的な問題

本論文ではサーバーの性能がCPU能力に比例すると仮定して、仮想化した場合のサイジングを行い、それに

基づいてIT投資効果の検討を行った。しかし実際は、これほど単純なものではない。サーバーの性能は、単にCPUのクロックと数量では決まらない。チップセットやキャッシュの配置などCPUおよび周辺領域の設計によって性能差が出てくる。

処理のボトルネックがメモリーである場合もあり、またディスクアクセスなどのI/Oの場合もある。そのため処理の特性によっては、メモリー搭載量が問題になったり、ストレージ機器の性能がボトルネックになったりする。これらを考慮しなければならないときは、処理特性にあったベンチマーク値を用いるのが良い。

### 6.2 サーバー集約の運用上の問題

設備面からの考察だけでなく、運用面からの考察も必要である。

例えば運用スケジュールが合わないシステムを同居させると運用の効率が悪くなる。またバックアップやバッチ処理を運用面から考えると、運用要員の負荷の分散化をしなければならない。運用においても、処理のピークがあると、それを処理できる人員の確保が必要になりコストアップ要因になるからである。

システムモニターや運用管理ツールの共通化も求められる。これらば異なると、設備的な投資額が増大すると、運用メンバーのスキルの多様性が求められ、これもコストアップ要因となる。

運用レベルの同等性も重要である。ミッションクリティカルなシステムと、そうでないシステムを同一の環境で集約すると、保守や運用を高いレベルのものに合わせなければならないので、高コスト化してしまう。

### 6.3 サーバー集約の投資効果

サーバー仮想化技術を用いて、複数の物理サーバーを集約するときの、情報システム基盤の観点からの考慮点およびIT投資の観点からの効果について考察した。

サーバーを集約化する場合には、どのサーバーとどれとを組み合わせるかが重要な課題になる。この際の考え方の基準は、突発的な負荷変動をお互いに吸収できる組み合わせがベストである。

季節的な一過性の負荷については、仮想化サーバー内でのキャパシティの移動が可能な範囲で吸収できる。

負荷のトレンドにより、キャパシティを増加させなければならない場合は、本質的には拡張性の議論である。この場合も、スケールアウトが可能であれば、仮想化サーバー間での負荷の再調整および必要に応じてサーバー数を増加させることにより対応できる。

しかしスケールアップしか対応手段のない場合は、1台の仮想サーバーのキャパシティが、対応できる負荷の

限界値になる。これ以上を求められると仮想サーバー自体のスケールアップが必要になる。このときに IA64 機などを使用しているときは、スケールアップによるコスト増大を招くため、仮想化することは単体で動かす場合に比べて不利になる。

一方で前述した Moore の法則によると、ハードウェア機器の価格は時間とともに低下する。このことを考えると 3～5 年前に導入したハードウェアの価格は、現在の同等の性能を持つものに比べて、2～3 倍高価であったことが予想される。この点は旧システムの資産コストが、表 3 や表 4 の値に比べて高くなることになり、投資効果を考える上では有利になる。

特に旧システムのリプレース時期に合わせた検討である場合は、償却費用（またはリース残存価格）がほとんど 0 になるため、一時費用が低下する。

表 4 で示した、ハイエンド機により構成されるシステムの集約を検討するときは、以上の考察に加えて、要員の再教育や、システムの信頼性の維持など、より広い範囲での検討が必要になる。

## 7. おわりに

本論文において、仮想化技術を用いた物理サーバーの集約について、情報システム基盤の観点および IT 投資の観点から考察した。

仮想化技術をうまく適用して物理サーバーの集約を行えば、投資対効果が見込まれる場合が多い。しかし IA64 機などを使用する場合は、単純な投資対効果を考えただけでは回収できないこともある。これはこのような高級機の性能価格比が、性能が上がるにつれて高くなるためである。

そのためハイエンド機を用いた UNIX 環境のシステムなどの場合は、単なるハードウェアのレベルだけでは、投資効果を正当化することは難しい。システムの可用性、処理の信頼性などの非機能要件の向上など、より広い範囲の効果と全体のコスト構造とを考えて考察しなければならない。

## 参考文献

- [1] 南波幸雄, "企業情報システムアーキテクチャ," 翔泳社, 2009.
- [2] 安延 申, 前川 徹, "ビッグトレンド," アスペクト, 2009.
- [3] 丸山 不二夫(編集), "特集:クラウドコンピューティング," 情報処理, Vol.50, No.11, pp. 1054-1105, 2009.
- [4] ニコラス・G・カー (著), 村上彩 (訳), "クラウド化する世界," 翔泳社, 2008.

- [5] 松島桂樹, "IT 投資マネジメントの発展," 白桃書房, 2007.



# 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 －

加藤 由花\*・中鉢 欣秀\*・戸沢 義夫\*

## PBL Education on a Professional School － A Case Study on Advanced Institute of Industrial Technology －

Yuka Kato\*, Yoshihide Chubachi\* and Yoshio Tozawa\*

### Abstract

This paper describes the design result of a PBL (Project Based Learning) educational program and its deployment result on the course of Information System Architecture, Graduate School of Industrial Technology, Advanced Institute of Industrial Technology. The position of PBL in graduate school level education is defined in this paper, and by using the result, we indicate that the management of the program by the course as a whole is very important instead of the management by each project. To realize the management, we define the procedure of PBL and the evaluation process, and use a management support tool (iPBL).

Keywords: Project-Based Learning, Educational System, Professional School, Information Systems

### 1. はじめに

産業技術大学院大学は、高度専門職人材の育成を目的に、東京都が2006年に設立した専門職大学院である。開学当時は、産業界が求める高度IT人材の育成を教育目標とした「情報アーキテクチャ専攻」1専攻から成る大学院であったが、2008年にもものづくり人材の育成を教育目標とした「創造技術専攻」が開講し、現在、2専攻を有する大学院となっている。

これまでの研究者養成型の大学院とは異なり、高度専門職人材の育成を教育の柱としていることから、産業技術大学院大学では、業務遂行能力（コンピテンシー）を実践的に身につけるための教育が行われている。コンピテンシーとしては、大学全体として3つのメタコンピテンシー（コミュニケーション能力、継続的学習と研究の能力、チーム活動）を定義しているほか、2つの専攻がそれぞれのコアコンピテンシーを定義している（具体的な内容については後述する）。これらのコンピテンシーが2年間の教育を通じて強化されるよう、全体のカリキュラムが設計されている。

1年次は主に講義形式の科目により知識の修得を行うが、2年次の1年間はPBL（Project Based Learning = 問題解決型学習）型教育により実践的な教育を行っている点に大きな特徴がある。複数の学生が協力し、明確な

目標を掲げて1つのプロジェクトを完成させていくことで、産業界で真に役立つスキルやノウハウを身につけていく。

大学としてPBL型教育に取り組んでいるが、本稿では特に、産業技術大学院大学情報アーキテクチャ専攻で実施しているPBL型教育について、その教育プログラムの設計結果および実施結果を報告する。本学におけるPBL教育の特徴は、大学院での教育として、修士論文と同等の位置づけでPBLを実施している点、教育対象が主に社会人学生である点にある。これらの背景から、各担当教員まかせにせず、全学でPBL教育に取り組むこと、そのために、PBLの実施プロセス、評価プロセスを定義すること、学生の学修プロセスを記録するためのツールを導入すること等の試みを行ってきた。本稿では、その結果についても報告する。

### 2. PBL 型教育

本学における教育プログラムについて述べる前に、国内、海外におけるPBL型教育の実施例について概観しておく。一般的にはPBL型教育とは、実際のプロジェクトや擬似的なプロジェクトを体験させることにより、課題解決の手法や能力を修得させる教育手法であり、本学で定義しているように、プロジェクト活動に重点をお

いた Project Based Learning とされる場合と, 問題解決に重点をおいた Problem Based Learning とされる場合がある. どちらにせよ, 複数の学生がチームによる問題解決を目指す点が共通している. PBL 型教育は, 海外の教育機関においても採用されている教育手法であり, それぞれ大きな効果をあげている [1][2][3][4][5].

例えば, 「コラボレイティブ・マネジメント型情報教育」(慶應大) [1] では, 企業側から派遣されるプロジェクトマネージャと学生が共同してシステム開発を行うことにより, 学生には実践的なシステム構築力を, 企業人にはプロジェクトマネジメント力を修得させている. 対象は主に学部学生 (一部修士学生) であり, 学内活動を中心に産学協同で PBL 型教育を実施している. 「実システム開発を通じた社会連携型 PBL」(同志社大) [2] では, 学生 (主に学部学生) が連携先組織の実システム開発を実施し, 社会的実践を通してエキスパートレベルの知識を修得させるとともに, 全人的な教育を実施している. 「プロジェクト学習 (システム情報科学実習)」(はこだて未来大) [3] では, 他大学, 企業, 地域社会等と連携したプロジェクトを通して, 問題提起から問題解決までのプロセスを実体験することを目指して, PBL 型教育が行われている. 対象は主に学部3年次の学生である. 海外の事例では, 「Competency Learning System」(Eindhoven university of Technology) [4] が, インダストリアルデザインコース (対象は学部学生) を対象に, 企業との連携により実社会の問題を解決する PBL 型教育を実施している. ここではコース自体が PBL のみによって構成されており, 講義科目が存在しない. 必要な知識はその都度自ら学ぶことが求められている. 「Team-Based Software Development」(Carnegie Mellon University Silicon Valley Campus) [5] は大学院レベル (修士課程) の学生を対象にした, ソフトウェア開発に関する PBL 型教育である. ここではソフトウェア開発プロセスを一通り経験することが重視されており, プロジェクトを通して問題解決能力を育成することが教育目標になっている.

これらのプロジェクトでは, 産学連携による実社会の問題が取り上げられており, 学生は社会的実践から非常に多くのことを学び取る. 一方, 大部分の事例が学部学生 (一部大学院修士課程の学生を含む) を対象としていることから, 情報システム構築プロセス全体 (上流工程から下流工程まで) の経験が重視されている. これを我々が対象とする社会人学生の修士レベル教育にそのまま適用することは困難である.

具体的には, 教育プログラムの設計にあたり, 以下の問題点を解決する必要がある. (i) これらの事例では, 主に学部学生を対象に, 社会的実践を通して全人的な人間力を育成することが主な目的になっているが, 実務経

験が豊富な社会人学生に同様の手法を適用することは困難である; (ii) 文献 [2] では, PBL を通して非常に伸びる学生がいる一方, あまり効果が見られない学生もおり, 教育効果にばらつきが大きいことが指摘されている. 必修科目として修士論文相当の扱いである本学の PLB では, 学修目標を明確にした上で, 教育効果のばらつきを必要最小限に抑える工夫が必要である; (iii) これらの事例では, システム開発プロセスの全てを経験させることが目的であり, コンピテンシー教育を主目的とはしていない. 社会人学生の場合, プロセスの経験だけではなく, チームによる概念形成方法等, 思考過程の体験が重要である. 既存の PBL ではこのような観点からのコース設計が行われていない.

これらの問題を解決するために, 本稿では, 適切に設計された教育プログラムにより, 学修項目を確実に修得させる PBL 型教育を実施することとした. ここでは, 自ら学ぶ姿勢を教育すること以上に, どのような教育プログラムを作成するかが重要な意味を持つてくる. 具体的なプログラムについて, 4章で詳述する.

### 3. 情報アーキテクチャ専攻における PBL

#### 3.1 PBL の位置づけ

まず, 情報アーキテクチャ専攻のカリキュラムについて説明する. 本専攻におけるカリキュラムは, 1年次に ICT 技術やプロジェクト管理などの専門知識の教育を行い, 2年次に実務実践型教育手法である PBL 型教育を実施している. このカリキュラムは, 業界で広く使われているスキル標準の分析結果に基づき設計されており, その研究成果は文献 [6] にまとめられている. 講義科目は, IT 基礎科目群, 基本共通科目群, 専門科目群に分類され, これらに加えて2年次に PBL に対応する科目 (情報システム学特別演習) を履修することにより, スキル標準で定義された職種に必要なスキル・コンピテンシーを修得させる. 図1に本専攻におけるカリキュラムの概要を示す.

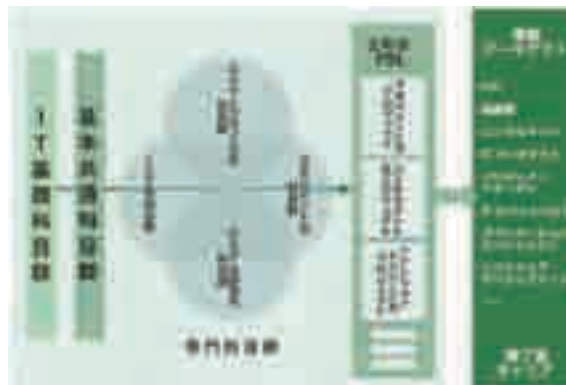


図1 カリキュラムの概要

次に、カリキュラムの中での PBL の役割について述べる。情報システム学特別演習は必修の講義科目として設定されているが、前述したとおり修士論文に相当し、大学院教育の中での比重が非常に高い。具体的には、学生 5 人程度のプロジェクトを 3 名の教員が指導する。各プロジェクトテーマは主担当教員が決定するが、修士論文に相当するレベルを確保するために、教育の質を保証する仕組み作りが非常に重要である。我々はこれまでも質保証の仕組みに関する様々な提案を行ってきた [7]。

ここでは、PBL の概念を図 2 のように定義し、専攻全体での教育方法および教育内容に対する共通認識を形成している。図 2 における横軸は PBL においてプロジェクト課題が遂行される流れである。ここは各教員の裁量に依る部分であり、プロジェクトごとに定義された成果物が生成される。それに対し縦軸は、プロジェクトを遂行する中で学生各自がコンピテンシーを獲得していく流れである。これはプロジェクトに依らない、専攻として共通の教育手法であり、大学として管理していく必要がある項目である。教育の質を保証するためには、この縦軸の部分が重要であり、本稿ではこの縦軸に相当する部分を、教育プログラムとして設計している。



図 2 PBL の概念の図

専攻において定義しているコアコンピテンシーは以下の 7 つであり、教育プログラムでは全プロジェクト共通にこれらの修得を学修目標としている。

- ・ 革新的な概念、アイデアの発想力
- ・ 社会的視点およびマーケット的視点
- ・ ニーズ分析力
- ・ モデリングとシステム提案
- ・ マネジメント能力
- ・ ネゴシエーション力
- ・ ドキュメンテーション力

### 3. 2 教育プログラムの概要

以下、実施した教育プログラムを紹介していく。情報アーキテクチャ専攻の 2009 年度の PBL では、10 人の専任教員（教授、准教授）が各自でテーマを設定し、10

個のプロジェクトを開講した。各教員がプロジェクトの設計と実施において責任を持つ主担当教員の役割を担っている。同時に、各プロジェクトには副担当教員が 2 名ずつ割り当てられる。主担当を担う 10 人の教員は、もう 1 つ別のプロジェクトの副担当教員になるとともに、5 人の専任教員（助教）が各自 2 つずつのプロジェクトの副担当教員の役割を担う。

具体的なプロジェクトテーマは年度ごとに異なるが、各教員の専門に従って決定され、情報システムという枠組みの中ではあるが非常に多彩である。2009 年度（後期）のテーマ一覧を表 1 に示す。

表 1 PBL テーマ一覧（2009 年度後期の例）

	テーマ名
1	次世代モバイルネットワークサービスの研究開発
2	ソフトウェア開発環境・開発プロセスの研究開発
3	ソフトウェア開発とマネジメント
4	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と基本設計
5	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）の開発
6	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
7	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
8	情報戦略とシステム化基本構想策定
9	プライバシー影響評価ガイドラインの開発と認証サービスシステムへの適用評価
10	インターネット販売専用 WEB サイト構築プロジェクト実践

前述したとおり、各プロジェクトは主担当教員の指導の基で実施されるが、教育手段として PBL を採用する場合、プロジェクト全体を管理し、統一した手法で PBL 教育が実施される仕組みが必要になる。我々はこれを PBL 運用ルールとして設計した。また、運用を支援する仕組みとしてツールを導入した。以下、これらについて詳述する。

### 4. 教育プログラム

本専攻における PBL は、教員がシラバスに相当する「PBL ガイド」（4.1 節）を作成し、それを学生に提示するところから始まる。その後、事前に定義された「PBL の実施フロー」（4.2 節）に従い PBL を実施する。全学生共通の定例作業としては「週報」（4.3 節）の作成、および「セルフアセスメント」（4.4 節）の作成がある。

このような PBL 運用を支援するためには何らかのツールが必要であるが, 本専攻では「PBL の管理方法」(4.5 節) に記述した iPBL を利用している。プロジェクトの実施結果を集計し「PBL における学生評価」(4.6 節) に基づき学生の評価を行う。これにより, 教育の質を保証する。以下, それぞれについて説明する。

#### 4.1 PBL ガイド

各教員は, PBL の開始前に PBL ガイドを作成し, 学生に提示する。これはシラバスに相当し, 学生がプロジェクトを選択する際の指針となる。プロジェクトのテーマは教員の専門性に従って選択されるが, 大学としての PBL 教育の一貫性を主張するために, 同じ指標にたった教育プログラムを作成することもガイド作成の 1 つの目的である。学生から見たときも, 大学として PBL 教育プログラムを設計し運用していることを主張するものとなっている。

PBL ガイドには, プロジェクトで取り扱うテーマを記述することになるが, 最も重要なメッセージは, そのプロジェクトに参加することにより修得できるコンピテンシーを明確に示すことである。修得したコンピテンシーによって学生の評価が行われることになるので, これにより評価の基準も明確になる。具体的には, 以下の 3 点が記述の中心となる。

- ・ 何ができるようになるのか (修得できるコンピテンシーを記述)
- ・ どのような方法で (メソドロジの提示)
- ・ どのように評価するのか (評価基準の提示)

実際の記述項目と記述例 (2009 年度加藤 PBL の例) を以下に示す。

##### (1) PBL タイトル, PBL の目標

どのような人材を育成するのか, 何ができるようになるのかを記述する。これは PBL としての目標であり, プロジェクト課題とは異なる。

記述例
次世代モバイルネットワークサービスの研究開発
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本プロジェクトは研究型のプロジェクトです。ユーザからの要求を基にシステムを構築するのではなく, ネットワーク研究の動向, 市場のニーズ等を調査し, それらを基に新しいネットワークサービスの提案を行っていきます。</li> <li>・ 研究型のプロジェクトを推進する能力 (研究動向調査, 研究課題の設定, 問題解決方法の提案, 提案手法の実装, 手法の有効性評価) の修得を目指します。</li> </ul>

##### (2) プロジェクトの課題, 特徴

プロジェクトで取り扱うテーマを記述する。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 教員の提示した複数のテーマの中から, プロジェクトメンバの興味に合わせて課題を決定します。</li> <li>・ 「モバイル端末を利用した音楽共有システム」「実世界データ利用サービス」などを考えています。</li> <li>・ キーワード: P2P, モバイル, アドホックネットワーク, マルチメディア, 分散処理</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クライアント/サーバ型とは異なる形態のネットワークを利用して, 次世代のネットワークサービスを提案します。地産地消ネットワークなど, 脱中心化を目指します。</li> <li>・ モバイル端末を利用した, マルチメディアサービスをターゲットにします。</li> <li>・ 新しいネットワークサービスの設計が目標です。最新の研究成果や少し先の技術を取り入れ, システムやサービスとして形にしていきます。アイデアを研究成果としてまとめる, またはそれを見極めてマネジメントしていく能力を育成します。</li> </ul>

##### (3) プロジェクトメンバになるための前提条件

履修を前提とする科目, 前提条件等がある場合にはここに記述する。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータネットワークに関する基礎的な知識を有していること。</li> <li>・ Java で簡単なネットワークプログラミングを行えること, または行う意欲があること。</li> <li>・ 研究開発型のプロジェクトの特徴を理解し, 積極的にプロジェクト活動を行う意欲があること。</li> </ul>

##### (4) 達成目標, 到達目標

到達目標にどこまで到達できたかが評価の指標になるため, この項目が評価軸として扱われる。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究動向を調査する能力</li> <li>・ 研究課題を設定する能力</li> <li>・ 課題を解決するためのアーキテクチャ設計能力</li> <li>・ 提案手法を情報システムとして実装する能力</li> <li>・ 提案手法の有効性を評価する能力</li> </ul>

##### (5) PBL 全体のアクティビティとその説明

プロジェクト活動で採用する方法論, メソドロジ, ツール等を提示する。PBL 全体のアクティビティを定義し, アクティビティごとの活動内容, 主な成果物, 修得でき

るコンピテンシーを記述する。

記述例（「方式の提案」の例）
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アクティビティ名：方式の提案</li> <li>・ 活動内容：設計コンセプトを策定する，課題を明確化し，問題解決手法を提案する</li> <li>・ 主な成果物：方式仕様書</li> <li>・ 修得できるコンピテンシー：ビジョン設定力，課題設定力，課題解決力，方式仕様書作成力</li> </ul>

(6) 7つの基本コンピテンシーとの関係

前項で定めた修得できるコンピテンシーと，専攻が定める7つの基本コンピテンシーとの関係を記述する。この項目により，専攻として統一された修了の基準を満たすことを保証する。

記述例（「ドキュメンテーション」の例）
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基本コンピテンシー：ドキュメンテーション</li> <li>・ 修得できるコンピテンシー：仕様書作成力，方式記述力，設計書作成力，開発計画書作成力</li> </ul>

(7) 成績評価の方法

成績評価は，4.6章で説明する評価マトリクスを用いて行う。ここでは，評価マトリクスのそれぞれの項目に対して，評価の重みと具体的な評価項目を記述する。

記述例	
<b>活動の質 (20%)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 適切なプロジェクト管理を実施したか。</li> <li>・ プロジェクトにおける自分の役割を理解し，チームに貢献できたか。</li> <li>・ プロジェクトの円滑な運営を支援するための活動を実施したか。</li> </ul>	<b>活動の量 (10%)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロジェクト活動時間（週 18 時間以下の場合）は不合格</li> <li>・ 週 1 回のコアミーティングへの出席回数（70%以上は不合格）</li> <li>・ 週 1 回以上のプロジェクト定例会への出席回数（70%以下は不合格）</li> </ul>
<b>成果物の質 (50%)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロジェクトで定義した全てのドキュメントの内容が合格基準を満たしているか。新規性，有用性，信頼性の観点から，教員レビューにより可否を判定する。</li> <li>・ 評価実験を行うのに十分な機能を持つソフトウェアを開発したか。</li> </ul>	<b>成果物の量 (20%)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロジェクトで定義した全てのドキュメントに対し，一定量以上を作成したか。</li> <li>・ 開発するソフトウェアのうち，一定量以上を作成したか。</li> <li>・ 発表会に関する成果物に対し，一定量以上を担当したか。</li> </ul>

4. 2 PBL の実施フロー

PBL ガイドを参考に，学生は参加するプロジェクトを選択する。学生は，「修得したいコンピテンシー，スキルと将来のキャリア展望」，および「第1～第3希望までのプロジェクト名と希望理由，修了後の仕事との関係等（2010年度は第5希望まで）」を記述した希望調書を提出し，この希望を基に配属が決定される。学生の希望を優先することが大前提であるが，PBL 活動を行うための適切なプロジェクトメンバ数があるため，事前に作成した配属ルールに従い，学生のプロジェクト配属を決定している。配属における基本方式は下記のとおりである。

- ・ 第3希望まで提出させ，可能な限り希望を優先する。
- ・ メンバ数を原則均等にする。5～6名がPBLメンバ数として適切であると判断している。
- ・ 教員は学生を選別しない。
- ・ 同一条件の場合は成績を考慮する。

実際にプロジェクト活動が開始すると，あらかじめ定義された実施フローに従ってPBL活動が実施されていく。ここでは，学生の視点と教員の視点それぞれから実施フローをまとめる。

(1) 学生の視点

学生は以下のフローに基づきプロジェクトを遂行していくことになる。

- ・ プロジェクト計画を作成する（目安：18時間/週）。
- ・ 計画に基づきプロジェクト活動を行う。
- ・ 活動内容を全て記録し，管理ツールに入力する。
- ・ 週報を提出する（週1回）。
- ・ セルフアセスメントを提出する（クォータごと）。

2009年度現在，情報アーキテクチャ専攻のPBLは前期と後期を別プロジェクトとして実施しているが，学生はプロジェクトの変更があったとしても1年を通してPBL活動に従事するため，本稿では1年を単位としたプログラムとしてPBLを扱うことにする。1年間の主な流れを表2に示す。

表2 学生の1年間

1月	PBLガイドの提示，説明会の実施
2月	プロジェクト希望調書の提出
3月	プロジェクト配属の決定
4月	PBLガイダンス，プロジェクト開始
4月～ 翌年2月	プロジェクト活動
8月	前期PBL発表会
翌年2月	最終成果発表会

(2) 教員の視点

PBLにおける教員の役割は，学生個人の指導を行う

こと, 担当プロジェクトの指導を行うことの2点である。前者としては, 学生の活動と成果を把握し, その結果を基に指導と評価を行う。このとき, 全ての学生に対する記録と成果物は全教員間で共有される。後者としては, プロジェクトの進め方を指導することになる。それぞれの役割において, 学生の実施フローに対応する作業を教員は実施する必要がある。以下に示す。

- ・ 学生個人に対する作業: 1週間ごとに学生の作業時間と成果物を確認する。また, 週報の提出を確認し, 内容のフィードバックと行う。クォータごとにセルフアセスメントの提出を確認し, 内容のフィードバックを行う。
- ・ 担当プロジェクトに対する作業: プロジェクト管理状況を確認し, 必要な指導を行う。

その他, クォータごとの成績判定会議(年4回)を実施するほか, 評価の学生へのフィードバックを随時行う。教員の視点での1年間の主な流れを表3に示す。

表3 教員の1年間

随時	PBL 検討会(全教員による PBL 全般に関する議論)
1月	PBL ガイドの提示, 説明会の実施
3月	プロジェクト配属の決定
4月	PBL ガイダンス, プロジェクト開始
4月~ 翌年2月	プロジェクト活動(プロジェクトの指導)
8月	前期 PBL 発表会
翌年2月	最終成果発表会

### 4.3 週報

PBL 実施フローの中で大きな役割を果たすのが週報である。週報の役割は, プロジェクトではなく, 学生個人による1週間を単位としたプロジェクト活動と成果に対し, 定性的な記録を取るためのものである。そのときそのときでの気づき, 印象的なエピソードなどを記録し, 教員からフィードバックを受ける。プロジェクトにおける個人単位の進捗管理(予定と実績)にも用いられる。

週報の記述項目と記述内容を下記に示す。

#### (1) 今週の活動と成果の実績

今週の自分の活動と, その結果でできた成果物の状況を記述する。成果物は必ず作成し, 他のメンバと教員が参照できるようにするよう指導している(URLやメールの送信日を記載)。

記述例
・ ○○を行い, △△を途中まで作成した(URL)。

<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ○○について考え, メモを作成した(URL)。</li> <li>・ ミーティングのファシリテーションを行った(議事録参照)。</li> <li>・ ○○を調査し, その内容をメールで送った(×月×日付メール参照)。</li> </ul>
--

#### (2) 来週の活動と成果の予定

来週の活動の目標と期待される成果物について, 計画を記述する。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 先週に引き続き○○を行い, △△を完成させる。</li> <li>・ ○○の作業に着手し, △△のアウトラインを作る。</li> </ul>

#### (3) 課題と解決策

今週発生した課題と, 今週解決した課題およびその解決策を記述する。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ○○の△△が遅れている。</li> <li>・ ○○の課題を△△することにより解決した。</li> </ul>

#### (4) 出来事, 気づき

プロジェクト全体で, 印象に残る出来事や, 自分の気づきについて記述する。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ○○の作業が滞っていたが, メンバで相談することで無事に遅れを取り戻した。</li> <li>・ ○○さんとのコミュニケーションが上手くいかない。メールではなく, 電話で連絡した方が良さそう。</li> </ul>

#### (5) 特記事項

その他, 特に報告することや, 他メンバ・教員への要望事項などを記述する。

記述例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 来週は業務多忙のためミーティングを欠席しますが, 週末には遅れを取り戻す予定です。</li> <li>・ 風邪のため体調不良。</li> <li>・ ○○について教員からアドバイスが欲しい。</li> </ul>

### 4.4 セルフアセスメント

セルフアセスメントは, 週報による活動と成果の記録に基づき, 学びを省察するためのものである。クォータ終了時にプロジェクト活動を振り返り, できるようになったこと, 向上したコンピテンシー等を記述する。主に, 定性的な評価(活動の質の評価)に利用する。セルフアセスメントの記述項目は以下の通りである。

#### (1) プロジェクト活動報告(約2000字)

プロジェクトの総括として, 第2クォータ, 第4クォー

タの終了時に作成する。

(2) プロジェクト活動

- ・プロジェクト目標と達成度 (%)
- ・プロジェクト目標達成のためにあなたが貢献した活動内容と役割。
- ・自分が作成にかかわった成果物。
- ・自分の活動のハイライト。

(3) コンピテンシー

- ・向上したコンピテンシー。
- ・プロジェクト活動を通じて得られたこと。

(4) グループ活動 (自己評価/相互評価)

- ・チーム内での役割を果たしたか。
- ・当事者意識を持っていたか。
- ・コミュニケーション。
- ・ネゴシエーション。

4. 5 PBL の管理方法

ここまで述べてきたように、情報アーキテクチャ専攻では、独立して活動している複数のプロジェクトを、専攻として定義した共通の規範に則って運用している。このような PBL 運用形態を支援するためには、何らかのツールが必要である。我々はこのようなプロジェクトの活動および成果を「見える化」し、適切に運用管理するためのツールとして、infrastructure for PBL (iPBL) を導入している。iPBL の構成を図 3 に示す。



図 3 iPBL の構成

iPBL は、Microsoft 社の Project Server 2007 を本学の PBL 用にカスタマイズしたツールであり、下記の用途に利用している。

- ・ WBS (Work Breakdown Structure) をインターネット環境で共有。
- ・ 進捗レポート、課題管理、進捗報告の機能を利用。
- ・ SharePoint によるファイル共有(グループウェア機能)

大きく分けて 2 つの役割があり、教員にとっては、学生の活動状況と成果物を見える化し、全学的な視点での学生評価に利用する役割がある。学生にとっては、プロ

ジェクト活動で必須となる、プロジェクトマネジメントと協調作業のための環境としての役割がある。利用のイメージを図 4、図 5 に示す。



図 4 PBL 見える化ツール



図 5 画面のイメージ

4. 6 PBL における学生評価

教育の質を保証するためには、適切な学生評価が非常に重要である。ここまで述べてきた、専攻として共通の PBL 実施ルール の策定やそれを支援するツールの導入は、適切な学生評価を一つの目的としたものである。

ここでの評価の指標は、学生個人のコンピテンシーが専門職大学院における修士のレベルに到達しているかどうか、ということである。PBL を通して何ができるようになったかが評価指標であり、プロジェクトが良い成果を出したかを直接評価することはない。ここでの評価者は全専任教員 (最終的な評価は全て成績判定会議で決定される) と外部評価者 (成果発表会等で評価を依頼) である。具体的な作業としては、3 名の指導教員が、外部評価者の評価等も参考にしながら、プロジェクトの学生を評価する。これらの評点を基に、成績判定会議で各学生の評点を決定することになる。

前述したとおり、評価は表 4 に示す評価マトリクスを用いて行う。具体的な評価項目や全評点に対する重み等

はプロジェクトごとに異なるが、活動の質/量、成果物の質/量という4つの項目に基づき評点を付けることは全プロジェクト共通である。これらの評価基準はPBLガイドに記述され、学生に開示される。

表4 評価マトリクス

活動の質 ・プロジェクト管理, チームへの貢献など.	活動の量 ・活動時間 (週 18 時間以下は不合格), 出席状況等.
成果物の質 ・合格基準を満たしたドキュメント, ソフトウェア等.	成果物の量 ・定義された基準を満たす量の成果物など.

評価の際には、iPBL に記録された活動時間や成果物などを確認することにより、定量的な評価が可能になる。また、セルフアセスメントの内容からコンピテンシーの修得状況を確認することにより、定性的な評価が可能になる。その他、教員によるアセスメント、成果発表会の内容、外部評価者からのコメント等を参考に、総合的に評点を決定していくことになる。

## 5. おわりに

本稿では、産業技術大学院大学情報アーキテクチャ専攻におけるPBL教育プログラムの設計と実施結果について報告した。大学院教育におけるPBLの位置づけを明らかにし、その結果、プロジェクトごとではなく、専攻全体での教育プログラムの管理が重要であることを示した。これを実現するために、我々は、PBL実施フローおよび評価プロセスの定義、これらの運用を支援するためのツール(iPBL)の導入を行った。

評価プロセスの体系化、ツールの改善等、解決すべき問題がまだ多く残されている。今後、これらの課題に取り組んでいく予定である。

## 参考文献

- [1] 松澤芳昭, 大岩元, “産学が共に学ぶ情報システム構築PBL (Project Based Learning) の試み,” 情報処理学会研究報告, IS-099, pp. 57-62, 2007.
- [2] 井上明, 金田重郎, “実システム開発を通じた社会連携型PBLの提案と評価,” 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 2, pp. 930-943, 2008.
- [3] 公立はこだて未来大学 H18 年度特色 GP 成果報告, 解がない問題への自己組織化アプローチ: <http://www.fun.ac.jp/sisp/reportForGP/resultGPH18.html>
- [4] Technische Universiteit Eindhoven,

Competence-based Learning:

<http://w3.id.tue.nl/en/education/>

- [5] Carnegie Mellon University West Coast Campus, MS Software Engineering Program: [http://west.cmu.edu/prospective\\_students/software\\_engineering/](http://west.cmu.edu/prospective_students/software_engineering/)
- [6] 加藤由花, 土屋陽介, 村尾俊幸, “産業技術大学院大学情報アーキテクチャ専攻の教育体系に関する研究,” 産業技術大学院大学紀要, No. 2, pp. 91-99, 2008.
- [7] Yoshio Tozawa, Yuka Kato and Yoshihide Chubachi, “Efforts to ensure the quality of PBL education in the graduate school of information systems,” The 2nd International Research Symposium on Problem Based Learning (IRSPBL2009), 2009.



# PMCDFによるシミュレーション方式教育の評価

酒 森 潔\*

## Evaluation of the Simulation Type Education by PMCDF

Kiyoshi Sakamori\*

### Abstract

There are 5 types of education methods for project management, lecture type, prototype method, actual project study, OJT, and mock-project education. To evaluate the effect of the project management education, the Project management competency development framework (PMCDF) is very useful. As the result of evaluation, the mock-project education is defined as the most important project management methodology.

Keywords: Project management, PMCDF, PBL, education

### 1. プロジェクトマネジメント教育

#### 1.1 プロジェクトマネジメントへの企業の期待

企業において戦略的プロジェクトの成否がその企業の発展に大きく影響を及ぼすと言われている。しかし、プロジェクトが予定通りに進行しない例も多く、その最大の原因はプロジェクト・マネージャの能力にあると考えられている。したがって、企業のマネジメントは社員にプロジェクトを成功させるプロジェクトマネジメントを求めている。

そのマネジメントの希望は、日経BPが毎年調査をしている「社員にとらせたい資格」にも表れている。図1-1は、昨年の日経ソリューションビジネスの調査においても、技術職のマネジメントの7割がプロジェクト・マネージャの試験合格を願っていることが紹介された。技術職においてはプロジェクト・マネージャの資格取得が、今年で連続7年間もトップの座にあることが、マネジメントの強い期待を示している。

#### 1.2 プロジェクトマネジメント教育の現状

このような例からも分かるように、産業界ではプロジェクトマネジメントの教育が重要であるという認識は非常に高い。しかしながら、具体的にプロジェクト・マネージャを育成するようなカリキュラムや教育コースを確立させている企業は少なく、単に資格試験を奨励し個人の勉強に任せているのが現状である。

このように、プロジェクトマネジメントという分野がまだ教育コースを作れるようには体系化されていない理由はなんだろうか。それは、プロジェクトマネジメント

図1-1 社員にとらせたい資格

出典：日経ソリューションビジネス 2009年10月30日号 pp.18-21

が、プロジェクトの成果物構築のプロセスや手順に大きく依存しているため、プロジェクトによってそのマネジメントの方法が異なっているからである。

#### 1.3 教育方法の種類

そこで、プロジェクトマネジメントの教育体系について、まず一般的な教育手法を分類し、それぞれの方式ごとにプロジェクトマネジメントの教育について検討してみよう。

##### ① 知識体系の講義方式

いわゆる学校の教室で行うクラスルーム型の教育であり、知識を体系化して教育するもっとも標準的な方法である。プロジェクトマネジメントの教育では、PMIによってPMBOKガイドにプロジェクトマネジメントの知識体系がまとめられており、このガイドを基に学習するこ

とで、プロジェクトマネジメントの一般的な知識を学ぶことができる。この学習の評価はPMP試験を始め、さまざまな試験により比較的客観的に評価できる。

#### ② プロトタイプ作成実習方式

この方法は小さな成果物の作成を実際に体験しながら学ぶ方法である。これによって教科書に書いてある知識だけでは対応できないような実践的なことを学ぶことができる。しかし、限られた教育時間内に終了するため、作業は小規模になりがちである。このような実践でプロジェクトマネジメント教育を学ぶとしても、プロジェクト全体が小さいため、単純で簡単な知識や実践力しか身につけることはできない。逆に、社会経験の無い学部学生にプロジェクトを体験させるような目的にはこのような簡単なプロジェクトの実施が効果的であろう。

#### ③ 実プロジェクト研究方式

この方式は、世の中で実際に活動しているプロジェクトに参加し、そのプロジェクトの活動を通じてプロジェクトを学ぶものである。この方式の最大のメリットは、実際のプロジェクトを体験できることにある。実際に自らプロジェクトに対し指揮命令を発揮するわけではないが、その隣についてプロジェクトマネジメントを研究することで、実作業の負荷が無い形でプロジェクトを学ぶことに専念できる。その結果、プロジェクトマネジメントの教育効果を高めること可能である。この方法の欠陥は、自ら判断するという実践力を身につけることは難しいこと、また、プロジェクト・マネージャの質により、教育効果に幅がでることなどがあげられる。

#### ④ OJT方式

これは実際にプロジェクトメンバーの一員となって、プロジェクト活動を学ぶ学習方式である。企業におけるプロジェクト・マネージャ教育方法としては一般的である。ただし、この方法は担当したプロジェクトの良し悪しによってその教育効果が大きく左右されることが問題である。また、プロジェクト失敗は許されないので、つねに安全側の対応を行うことになり、多様なマネジメント技術を試行することができないという欠点も持っている。

#### ⑤ シミュレータ方式

この方法は、実際のプロジェクトではなく、架空のプロジェクトを準備し、そのシナリオに沿ってプロジェクトを体験するものである。この方法は、プロジェクトマネジメントのさまざまな状況を設定できることや、限られた教育時間内にプロジェクトマネジメント活動に特化して学習できるという利点がある。失敗してもいいので、いろいろな手法を試すことも可能である。逆に、この方法の欠陥は、プロジェクトそのものが実活動ではないことである。予定外の状況や解答の無い複雑な状況を準備

することが難しいといえる。

### 1.4 PBL教育におけるプロジェクトマネジメント教育

いくつかの教育方法があることを念頭において、社会人大学院におけるPBL方式でのプロジェクトマネジメント教育ではどのように行えばよいか考えてみたい。

PBL教育は、受講者が自ら計画を立ててプロジェクト方式で学習を進めるものである。したがって1.3で述べた教育の方式のうち、①の講義方式はPBL方式の教育にはそぐわない。そこで、残りの4つの方式についての方式が効果的か検討してみよう。一般には、実際に成果物を作成することが効果の高い教育とされており、②のプロトタイプ実践型や③の実プロジェクト研究型が高度な教育として優れていると考えられている。

ただし、プロジェクトマネジメントの教育においては、プロトタイプ作成方式は、成果物作成作業の負荷が高くなってしまい、肝心のプロジェクトマネジメント活動の量や質が軽くなってしまいう可能性が高い。また、③の実プロジェクト研究方式では、実際のプロジェクトではあるが、自らプロジェクト・マネージャとしての判断をする場は提供されない。また、学習内容が実プロジェクトのレベルに依存してしまうという欠点もある。④のOJT方式は、自らプロジェクト・マネージャとしての実体験を伴うものであるが、プロジェクトによってはかなり偏った経験のみで終了してしまう可能性がある。さらに、プロジェクトに対する責任を持つ必要があり、社内教育などには活用できるが、その会社の外部の人間がこの方式で学習することにはいろいろ困難な状況がある。大学などで行うインターンシップ制度はこのOJT方式を短期間実施するものであるが、プロジェクトマネジメントを学習するのは難しいと言えよう。

最後に、⑤のシミュレータ方式はどうであろうか。この方式はプロジェクトマネジメントの教育において他の方式の問題点を押さえることができる優れた学習方式ということがいえる。成果物を作成するところは、模擬的に作られているので作業負荷を伴わない形で、大規模のプロジェクトマネジメント作業に専念できる。実際にプロジェクトマネジメントとして判断を求められる設定も可能であり、プロジェクト期間も教育に与えられた期間に合わせることも可能である。

最大の効果としては必要なプロジェクトマネジメント要素を自由にシナリオに埋め込むことができるということである。ある程度の失敗も許されるので、最新の技術を試すことも可能である。失敗した時に再度やり直しも可能である。

それでは、シミュレータ方式の学習の欠点はなんだろうか？やはり、実際の環境ではないため予期しないよ

うな事象への対応能力の訓練は難しいところがある。また、状況設定が難しいことや、シミュレータ実行中の仮想ロールプレイができるような指導者も必要になる。やり直しが可能であるということはその効果も期待できるが、逆に学習者の甘えも生じることになる。

そこで、以下の章ではこのシミュレータ方式の教育について、その効果や教育効果の高い実践方法を考えてみたい。

## 2. プロジェクトマネジメントの教育内容

これまで、教育の方法論について議論していたが、そもそもプロジェクトマネジメント教育では何を教えるものであろうか。その点から優れた教育方法を検討してみよう。教えるべきプロジェクトマネジメント能力については、PMIが発行した、「プロジェクトマネジメント・コンピテンシー開発体系（PMCDF）」が活用できる。このフレームワークで体系化されているコンピテンシーについてすこし考えてみたい。

### 2.1 プロジェクトマネジメントコンピテンシー

プロジェクト・マネージャが身につけるべきコンピテンシーとして体系的にまとめたものがPMCDFである。PMCDFは『個人と組織の双方に対して、プロジェクト・マネージャの専門職能開発をどのように査定し、計画し、マネジメントするかのガイダンスを提供するために開発された（PMCDF第2版）』もので、プロジェクト・マネージャがプロジェクト業務を遂行する上で必要なコンピテンシーを「知識」「実践」「人格」の3つの次元に分類し、その内「実践」と「人格」についてその基準を定義している。



図2-1 PMコンピテンシーの3つの次元

2007年に第2版が発行され、2009年夏に日本語訳が作成された。第1版との違いは、プロジェクトマネジメントの知識エリアでのまとめではなく、業務プロセスの単位で編集されたもので、業務手順に沿っているためわかりやすくなっているところである。また、各々のスキ

ル項目ごとにその項目のエビデンスとなる資料の例が挙げられたことでより客観的なコンピテンシーの評価が可能になった。

知識に関してはPMBOKガイドにより詳細に体系化されている。そこで、PMCDFでは、その知識を実プロジェクトに適用できる実践コンピテンシーと、プロジェクト・マネージャに必要な人に対する対応能力である人格コンピテンシーの2つの次元について体系化された。

PMCDFの最初の次元である実践コンピテンシーの体系は、プロジェクト・マネージャが持っている知識や経験を5つのコンピテンシーユニットに分け、各ユニットはさらにそれぞれ4～10のコンピテンシー要素に分割されている。そのコンピテンシー要素ごとにパフォーマンス基準とエビデンスの種類が記述され、利用者はそれぞれのコンピテンシー要素ごとに基準を満たしているか確認できるようになっている。（図2-2）

もう一つの人格コンピテンシーも、同じように6つのコンピテンシーユニットがそれぞれコンピテンシー要素に分解され、それぞれのパフォーマンス基準とエビデンスの種類が記述されている。（図2-3）



図2-2 実践コンピテンシーのユニット



図2-3 人格コンピテンシーのユニット

### 2.2 PMCDFのカスタマイズ

このようにプロジェクト・マネージャに求められるコンピテンシーを体系化してまとめたPMCDFは大変有用なコンピテンシーの計測ツールであるが、あらゆる分野のプロジェクトマネジメントに対応できるように作成されているため、業界によっては使いにくいところもある。そこで、産業技術大学院大学酒森PBLでは、このPMCDF第2版をベースに、IT業界に即したコンピ

テンシー体系、PMCDF for IT を作成した。

その主な修正内容は、次のとおりである。

- (1) コンピテンシー要素を見直して、実施されていない要素は除いた
- (2) パフォーマンス基準の業界用語を使いわかりやすく修正
- (3) エビデンスを、実際にIT業界で使われている書類に変更した

この結果、ユニットという分類は省略し、実践コンピテンシーを56のコンピテンシー要素に、人格コンピテンシーを57の要素で構成した体系を完成させた。この体系を使うことでIT業界に必要なプロジェクトマネジメントのコンピテンシーが網羅でき、プロジェクト・マネージャ育成の指標として活用が可能である。

### 2.3 PMCDFのPM教育への適用

PMCDF for IT は、本来個人のプロジェクトマネジメント能力の判定や、その学習目標設定に使用されることを目的としているが、プロジェクトマネジメント教育を提供する立場から利用可能である。

まず、この体系を利用してプロジェクトマネジメントの教育効果を検証することが可能である。例えば、教育プログラムの開始前にPMCDF for IT を使用して、受講生のコンピテンシーを把握しておき、教育終了後に再度確認することで教育の効果を測る。特に、試験で結果が確認できるような知識型の教育ではなく、実務の実践力を養う形式の教育においては教育効果を測るツールとして期待できる。

さらに、このPMCDF for IT を利用して、教育方法の設計が可能である。第1章で検討した教育手法の中で、シミュレータ型の教育手法をPMCDF for IT を使って検討してみよう。

## 3. PMCDF for IT によるシミュレータ型のプロジェクトマネジメント教育の考察

### 3.1 PBL方式のプロジェクトマネジメント教育効果

まず、PBL教育で有効と思われる4つの実践型のプロジェクトマネジメント教育方法についてPMCDF for IT を利用して考察してみたい。実践型プロジェクトとは第1章であげた、②プロトタイプ作成実習方式、③実プロジェクト研究方式、④OJT方式、⑤シミュレータ方式、である。これらの実践型教育に求められるものは単なる知識の習得ではなく、その知識を実際に発揮する能力の習得である。以下、それぞれの教育方式について考えてみよう。

以下のデータは、社会人25人を対象としてPMCD

F for IT を利用してプロジェクトマネジメントのコンピテンシーを調査したものである。実践コンピテンシーの57の要素、および人格コンピテンシーの56の要素別に、エビデンスとなる資料を参考にしながら、それぞれスキルレベル5段階で自己申告する方式でおこなった。このような自己申告方式の評価方式は、点数に個人差が発生しがちであるが、PMCDF for IT は具体的な作成文書を示すことにより、客観的な評価が可能となっている。

### 3.2 コンピテンシーの分布の状況

その結果、評価ポイントは個人差がかなり明確に表れた。図3-1と図3-2は実践コンピテンシーと人格コンピテンシーについてコンピテンシー要素別の5段階評価ポイントの平均値の分布である。この集計から25人のコンピテンシーはレベル1の評価ポイントからレベル5の評価ポイントまで幅広く分散しているということが分かる。つまり56項目の平均値をとっても2前後の人もいれば5の人もいるということである。

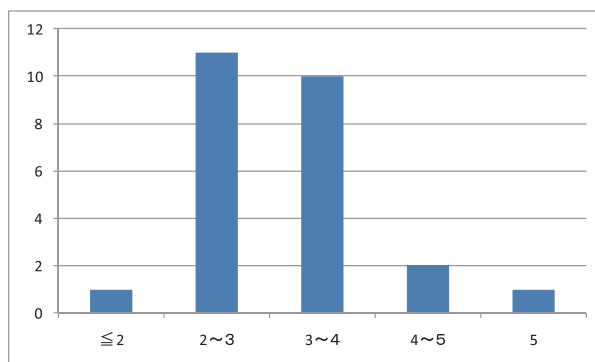


図3-1 実践コンピテンシーの平均値の分布

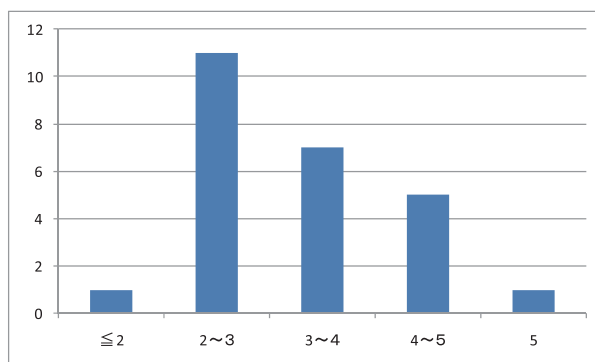


図3-2 人格コンピテンシーの平均値の分布

さらに、各個人のコンピテンシー要素の評価ポイントの標準偏差をとると図3-3と図3-4のようになった。

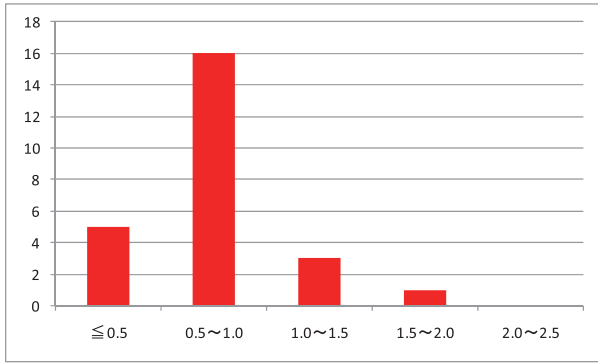


図 3-3 実践コンピテンシーの標準偏差の分布

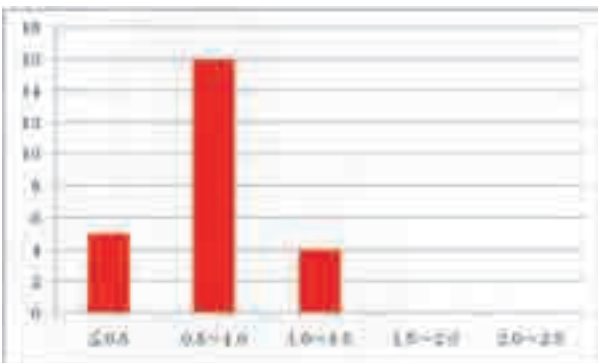


図 3-4 人格コンピテンシーの標準偏差の分布

これらのデータをみると、平均値の分布が2から5までであるのに、標準偏差の分布は1以下の範囲であることから、個人別に評価ポイントの振れは少なく、ポイントの高い人はすべてのコンピテンシー要素で高い評価にたまり、評価の低い人は低いレベルで固まっているということが言える。

この結論を確認する為に、ランダムに6名を選び、評価ポイント示したのが、図 3-5 と図 3-6 である。この図から評価レベルの高いひとは全評価項目が高く、低い人は全項目が低いということが確認できる。

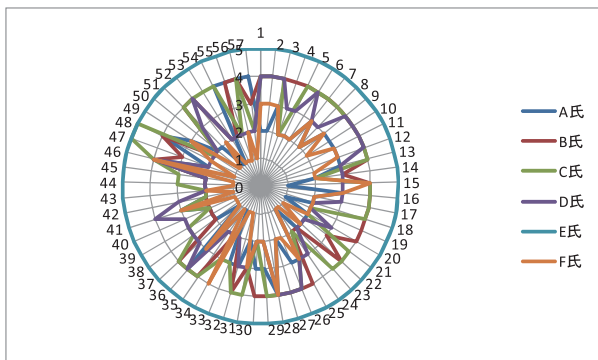


図 3-5 任意の6人の実践コンピテンシー

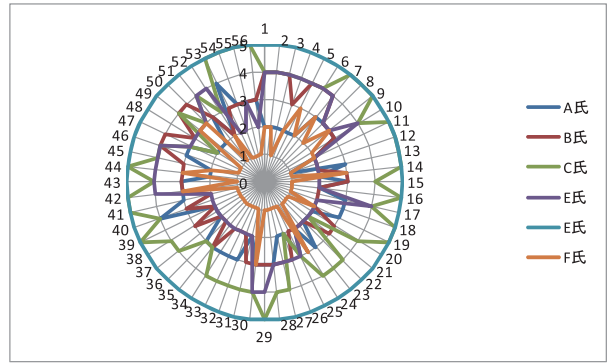


図 3-6 任意の6人の人格コンピテンシー

この結果をさらに確認する為に、ユニット別に6名の評価ポイントを平均して図にしたのが次の図 3-8 と図 3-9 である。

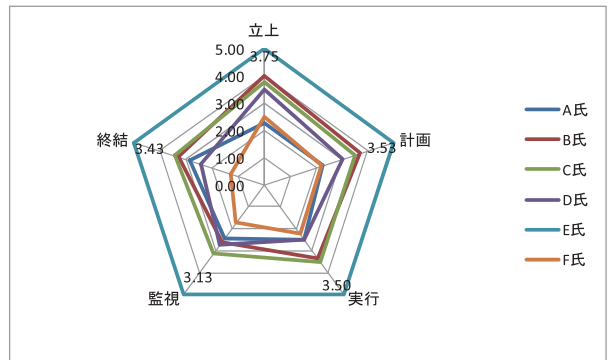


図 3-8 任意の6人のユニット別実践コンピテンシー

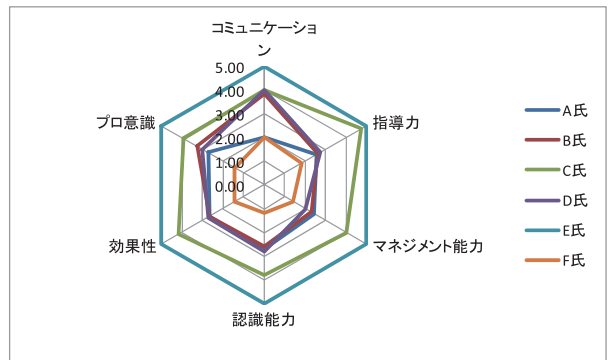


図 3-9 任意の6人のユニット別人格コンピテンシー

このようにまとめると、6人のグラフがまじわらず、外側から内側にきれいに並ぶことが分かる。コンピテンシーの高い人はすべてのコンピテンシーが高く、低い人はすべてが低いということが分かった。

### 3.3 単一のプロジェクトによって得られるコンピテンシー

続いて、同じPMCDF for ITを利用して、最近参加した特定のプロジェクトによって得られたコンピテンシーの評価を行った。評価表は同じであるが、過去の

複数のプロジェクト経験で蓄積したコンピテンシーではなく、ある一つの特定のプロジェクトによりどれだけのコンピテンシーが得られたかを申請してもらうものである。

この結果、単一のプロジェクトによっても得られるコンピテンシーの分布は、これまでの個人が蓄積しているコンピテンシーの分布と同じような傾向を示していることが分かった。

ただし、その中で明確な特徴としては、図3-10に表れるように、単一プロジェクトで得られるコンピテンシーは個人の蓄積したコンピテンシーよりも低いレベルにあるということである。

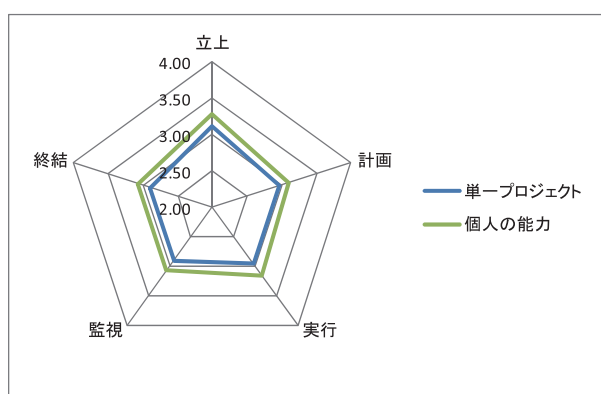


図3-10 単一プロジェクトで得られるコンピテンシーと、個人の経験値（実践コンピテンシー）

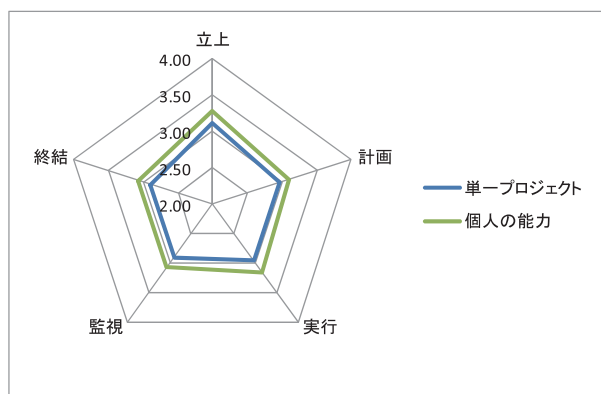


図3-11 単一プロジェクトで得られるコンピテンシーと、個人の経験値（人格コンピテンシー）

この調査によって、個人がひとつのプロジェクトで得られるコンピテンシーは、個人がすでに蓄積しているプロジェクトのコンピテンシーよりも低いということが確認できた。

つまり、ひとつのプロジェクトを実施するだけでは、すぐに個人のコンピテンシーの獲得にはつながらないということである。多くのプロジェクトを実施することで、それぞれのプロジェクトにおいて、コンピテンシー要素

のうちのどれかの要素が経験として蓄積されていくともいえる。

### 3. 4 PMCDF for IT による調査のまとめ

これまでの調査から、次の3点が整理できた。

- (1) プロジェクトマネジメントに必要なコンピテンシーは、実践コンピテンシーで57のコンピテンシー要素、人格コンピテンシーで56のコンピテンシー要素を幅広く網羅しているということである。
- (2) 個人別にみると、上位の人はすべてのコンピテンシー要素のポイントが高く、下位の人はすべてのコンピテンシー要素のポイントが低い傾向にある。
- (3) 単独のプロジェクトで得られるコンピテンシーは、個人がすでに蓄積しているコンピテンシーより低いといえる。

これらの点を考慮しながら、プロジェクトマネジメント教育方式について考えてみよう。これらの結果から言えることは、教育は網羅的でなければならないということ、およびすでに蓄積しているコンピテンシーを上回るものがなければならないということである。

この結果、②のプロトタイプ作成実習方式は、網羅性と高レベル性どちらも不十分であり、③実プロジェクト研究方式や、④のOJT方式は、部分的に高レベル性は期待できるものの、網羅性という観点で期待できない。これに対し⑤のシミュレータ方式は、網羅的に高いレベルのコンピテンシー要素を設定でき、教育効果が期待できるということがいえる。

## 4. プロジェクトマネジメント教育に求められるもの

PMCDF for IT による調査からも、シミュレータ方式のプロジェクトマネジメント教育への期待が持てそうであることが分かったが、この方式においてどのような点を考慮すればよいか、考えてみたい。

### 4. 1 シミュレータ方式で何を教えるのか

プロジェクトマネジメントの教育ということで、その方式をいくつか検討し、PBLにおいてはシミュレータ型の効果が高いということであるが、シミュレータ型で何を教えればよいかということが次の課題である。

知識を講義するだけであれば、PMIが発行しているPMBOKガイドが、現在あらゆるプロジェクトマネジメントの標準となっている。プロジェクトマネジメントの知識は体系化され机上でも学ぶことができるようになってきたが、それを現場で実践する能力についてまだ体系化できていないのである。

このような実践力を体系化したものがPMCDFであ

り、それをIT用にカスタマイズしたものがPMCDF for ITである。この体系は、本来個人のプロジェクトマネジメント・コンピテンシーを評価するためのものであるが、プロジェクトマネジメント教育に役に立つものである。とくにシミュレータ型のプロジェクトマネジメント教育においては、そのプロジェクトに自由にいろいろなコンピテンシー要素を組み込むことができる。PMCDFの体系を活用して、網羅性の高い仮想プロジェクトを準備することが可能である。

#### 4.2 シミュレータ方式のプロジェクトマネジメント教育の考慮事項

シミュレータ方式のプロジェクトマネジメント教育で何を教えるべきかが明確になれば、後は第1章で述べた、そのほかのシミュレータ方式のプロジェクトマネジメント教育の利点を活かすことを考えて行きたい。

大きな利点は時間的な制約に対して対応できることであった。限られた教育時間内にプロジェクトのライフサイクルを納めるよう設計することで、いろいろなケースの教育に対応することができる。

効果的なシミュレータ方式にするためには、段階的にいくつかのケースを準備することが好ましい。まず、第一段階のシミュレータ方式の教育では、実務の手順を細かく説明し、それによってプロジェクトの進め方も指導することができる。この方式は、まだプロジェクトマネジメントを経験していないが、これからプロジェクトマネジメントとして仕事を始めようと考えている層に効果的な教育と言えよう。

それに対して、すでにプロジェクトマネジメントとしての経験があるが、さらにステップアップをしたいと考えている層に対しては、課題型のシミュレーション方式が適切である。この方式は、プロジェクトの進め方や手順は教えず、受講生に独自に考えてもらう方式である。その中で、いくつかの突発的な課題を与え、その課題を解決するなかでプロジェクトマネジメントを学ぶ方式である。この方式を活用できれば、シミュレータ方式においてより実践に近いOJT方式に近い教育が可能である。

#### 4.3 まとめ

プロジェクトマネジメント教育には大きく知識型の教育と実践能力の教育に分けることができる。前者は通常の講義形式の教育が可能で、その評価は試験を行うことができる。これに対して実践能力を養う教育はその教育内容の体系化がまだできていない。実際のプロジェクトにOJT方式で入るか、小さなプロトタイプをつくるプロジェクト実施するか、いくつかの方法で実践能力を学

ぶ方法が提案されている。しかし、実プロジェクトにはいろいろな制約があり、そのまま教育に利用することがむずかしい。そこで、仮想プロジェクトを利用したシミュレーション方式の教育を検討した。

シミュレーション方式の教育においては、PMCDFを利用することで、網羅性の高い教育が可能である。PMCDFによるプロジェクトマネジメントコンピテンシーの調査からも、シミュレーション方式の教育によって網羅性や部分的に高いコンピテンシーが期待できる。

さらに、シナリオ型や課題解決型のシミュレーションをうまく使いながら、さらに充実したプロジェクトマネジメント教育が期待できる。

#### 参考文献

- [1] PMCDF (第2版) PMI 発行 2009,
- [2] 産業技術大学院大学: <http://aiit.ac.jp/>

# 専門職大学院における PBL 教育の グローバル化の試み

成田 雅彦\*・戸沢 義夫\*・中鉢 欣秀\*・土屋 陽介\*

## Adoption of Global PBL to the Globalized the Software Development Education

Masahiko Narita\*, Yoshio Tozawa\*, Yoshihide Chubachi\* and Yosuke Tsuchiya\*

### Abstract

Because business activities have been globalized, Japanese companies are always required to strengthen their global business activities, and highly talented IT personnel are also requested to have practical skills for globalization. On the other hand, PBL (Project Based Learning) has been recognized as an effective method for education and development of highly talented IT personnel.

In this paper, we consider to educate practical skills for globalization by globalizing the PBL methodology, and we have tried the short term global PBL feasibility study with College of Technology, Vietnam National University, Hanoi. We report the way to the feasibility study, how it was conducted, the evaluation, the success factors, and the perspective. Additionally, we make a short report about our next activity based on our result.

Keywords: Software development, PBL, Global education

### 1. はじめに

企業活動はすでにグローバル化された環境の中で行われており、日系企業にとっては活動強化が課題である。近年、ソフトウェアのオフショア発注や、現地での部品開発、現地市場への製品投入、関係海外企業との技術協議・交渉など、トップや経営層レベルだけでなく、現場の技術者が直接グローバル環境で活動する機会が増えている。しかしながら、専門技術者レベルでのこうした活動に対する教育界としての体系的なサポートはあまり見られない。

グローバル環境で活動できる人材は、日本企業や経営者が強く求めていることである。グローバルに活躍できる人材育成のための教育を実施することは、わが国の競争力強化、および相手国企業の双方の利益となり、情報アーキテクト、ものづくりアーキテクトを育成する専門職大学院として極めて重要である。

本稿は、専門職大学院におけるグローバル人材を育成する手法として PBL のグローバル化を検討する。さらに、検証のための小規模な PBL を実際に海外パートナーと提携し実施し、評価することで、実践的なグローバルな教育システムを提案する。

具体的には、本学の主要な教育手段として導入している PBL (Project Based Learning) の中で、グローバルな体制をどのように実現できるかについての探求を第一に行う。本学の学生と海外との学生が、共通の目的に向かってタスクを分担して作業を行い、それらを統合してプロジェクト成果を上げる形態のプロジェクト実施を実現して行くことをひとつの理想型である。

第2章にて、オフショア開発を中心としたソフトウェア開発におけるグローバル化とその課題、PBL を用いた専門職大学院における PBL 教育のグローバル化のメリットと課題について述べる。第3章にて本学で20年度に実施した、PBL のキー部分の実施可能性検証の計画、第4章でその実施、第5章で検証の評価を行い、第6章に本稿の成果を踏まえた展開として、大学間協定の締結、および、21年度に実施中の PBL について簡単に触れる。

### 2. ソフトウェア開発のグローバル化と専門職大学院における教育のグローバル化

#### 2.1 ソフトウェア開発におけるグローバル化

わが国のソフトウェアのオフショア開発は、主に開発コスト削減と国内のソフトウェア人材の補完のために行



われており, その規模は, 図1に示すように, 2005年は656億円であり, 2010年には2,000億円に達する見通しであり, 開発規模の比率では2005年にオフショア開発が6.1%, 2010年には14.6%になると予測されている[1]. また, 主なオフショア開発の発注先は, 中国・インド・ベトナムであり, 中国にとってはソフトウェア開発の受注の半分以上が日本からとなっている. このような状況の下, 現場の技術者が直接グローバル環境, 特にアジア諸国と共同で作業する機会が増えていると言える. しかしながら, オフショア開発を行っている企業では, 「品質に不安がある, 品質管理が難しい」「現地の人件費が上昇している」「言語問題でコミュニケーションが難しい」という課題を抱えている.

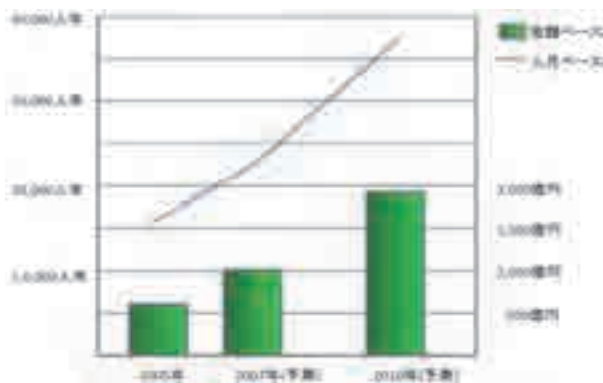


図1 オフショア開発の伸び[1]

## 2. 2 産業技術大学院大学のPBL

PBLは, 日本のIT系の大学で教育している内容と, 企業が求めている人材とにギャップがあり, それを補う新しい教育手段として注目されている. 経団連は高度IT人材育成の方法として強く推している[2]. PBLでは, 知識そのものを教えるよりは, 知識の応用のしかた, 実践的な場での活用方法を, 学生自ら学んでもらうことに重点が置かれる. グループでプロジェクトを推進するので, 通常の知識とは別に, 人間関係に関係したスキルの修得が期待されている. ITSS [3]では, 11職種すべてに, コミュニケーション・スキル, リーダーシップ・スキル, ネゴシエーション・スキルが重要スキルとして規定されている. これらはソフトスキルと呼ばれる. 通常の講義では学生がソフトスキルを修得するのは困難であるが, PBLなら修得可能だと期待されている.

公立大学 産業技術大学院大学は, 2006年4月に情報アーキテクチャ専攻の1専攻で開学した専門職大学院大学である. 2008年4月からは新しく創造技術専攻が加わり, 現在は産業技術研究科の2専攻体制になっている. 学生は各専攻, 1学年50名で, 修士の1年次と2年次の学生が在学している.

本学は専門職大学院大学であるので, 知識を教えるだ

けでなく, 産業界が必要としているコンピテンシー(業務遂行能力)を教育する点が通常の大学と異なっている. そのために, カリキュラムに特徴があり, 知識を教える講義を主体にした授業は1年次に集中し, 2年次は原則としてPBLに特化して学修するように設計されている. 2年次を修了すると修士号の学位が付与されるが, 修士論文を課していない. その代わりにPBLの履修が義務づけられている.

図2は, 情報アーキテクチャ専攻で行う教育の社会に対する位置付けを示している. 深刻化するハイレベルなIT技術者不足の解消に貢献することを目指している. 情報アーキテクチャ専攻の学生の90%以上は社会人で, 年齢層も20歳代から60歳代までと幅広い. PBLは数人でグループを作り, プロジェクトを実施するのだが, 学生が学修するのは教師からだけでなく, 他のプロジェクト・メンバーでから学修する部分も大きい. 社会でのさまざまな実務経験を持った人によるプロジェクト・メンバーの多様性は, PBLが成功裏に実施できた場合にはプラスの効果があると考えている.

PBLは2年次での履修のため, 本学で実際にPBLがスタートしたのは2007年4月である. すでに2007年度, 2008年度のPBLは終了し, それぞれ, プロジェクト成果発表会を実施した. 2006年からのPBL準備期間を含め, 本学でのPBL経験は4年目に達している[4].

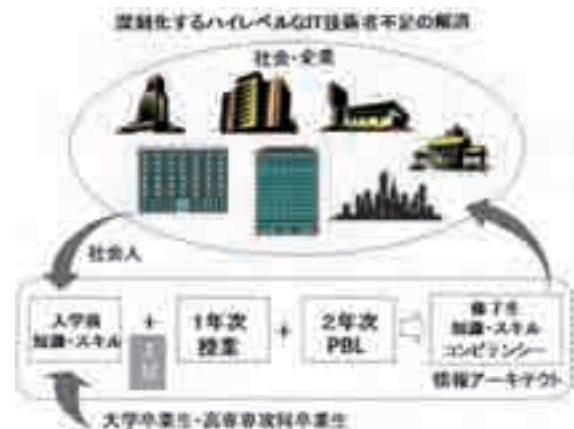


図2 情報アーキテクチャ専攻で行う教育の社会での位置付け

PBLは主担当教員がプロジェクトテーマを設定し, 学生が希望するプロジェクトを選ぶことでプロジェクト・メンバーが決定される. プロジェクトテーマは主担当教員の得意分野に応じてさまざまなものが設定される. 2008年度のPBLプロジェクトテーマを表1に示す. この内, ソフトウェア・アーキテクチャと開発プロセスPBLでは, SWW (Synchronized Web White board) というグループウェアのソフトウェア開発を行っ

た。後述するように、この SWW が今回の Global PBL Feasibility Study のテーマとなった。

表 1 2008 年度の PBL プロジェクトテーマ

モバイル端末を利用した次世代ネットワークサービスの研究開発
教育用ソフトウェア開発環境の研究と開発
ソフトウェア・アーキテクチャと開発プロセス
インターネット上のサービスの企画:ソフトウェアの企画・基本設計
オープンソースを活用した Web アプリケーションの開発
非構造データ/コンテンツからの BI-DB 構築
概念データモデリングを主とした情報システム上流工程
情報戦略とシステム化基本構想策定
情報セキュリティマネジメントシステム構築によるリスクマネジメントの修得
IT プロジェクトマネジメント実務標準の構築

### 2. 3 専門職大学院における PBL 教育のグローバル化のメリットと課題

IT とグローバル化は密接に関係しているし、本学（情報アーキテクチャ専攻）は、IT 系の専門職大学院なので、学生から見て、本学で学ぶとグローバル化を経験できると思ったとしても当然である。しかし、現時点のカリキュラムにはグローバル化を意識した部分はほとんどない。講義はすべて日本語で行われ、グローバル化に焦点を当てた科目も設置していない。学生に中国人や韓国人がいるが、すべて日本語で対応している。したがって、学生から見て、本学で学ぶとグローバル化を経験できるようにするにはどうしたらよいかが課題になる。グローバル化には、講義を英語で行うとか、海外大学との交換留学生の制度を作るとか、海外提携大学の講義を受講できるようにするとか、いろいろな可能性が考えられる。筆者らが考えたのは、本学の特長である PBL をグローバル化することであった。

PBL をグローバル化することで得られるメリットは、2.1 で述べたように、オフショア開発など多くのソフトウェア開発関連企業が直面しつつあるグローバル化を、実際のプロジェクトに先だって体験できることである。すなわち異なる文化や言葉を持つエンジニアとのコミュニケーションを行い、ソフトウェアの要件の提示・仕様の検討・開発の管理・評価を行うことで、グローバル化の難しさや進め方のスキルを身につけられることである。実際のプロジェクトではないので、実際的な金銭的な損失も発生しない。しかしながら、PBL をグローバル化する課題は、パートナー探し、パートナーとのコー

スの計画・運営、PBL チーム構成、実際の PBL の運営、評価において、実際のプロジェクトのグローバル化で起こる、異なる文化や言葉を持つエンジニアとのコミュニケーションに起因する課題の解決が必要になる。

### 3. PBL グローバル化への第一歩

本学で 20 年度に実施した PBL を用いた教育のグローバル化の試みについて、Global PBL の実施可能性検証の計画に本章で、実施・評価について次章で述べる [5][6]。

PBL をグローバル化すること、すなわち、プロジェクトの構成メンバーが複数の国の学生からなり、共通のプロジェクトテーマに取り組むことは、最終的な目標である。しかし、PBL のグローバル化が可能なのか、どのようなプロセスで進めればよいかは不明である。PBL のグローバル化への取り組みは、そういう状態からスタートした。その結果、後述するように短期間の Global PBL Feasibility Study を行うことができた。本格的な PBL ではないが、本格的な PBL のグローバル化に向けて一歩踏み出すことができたのは確かなので、今後 PBL のグローバル化を目指す人たちの参考になることを期待している。図には Global PBL Feasibility Study を検討する際に使用したチャートを示し、どんな提案やネゴシエーションを行ったかをわかるように配慮した。

#### 3. 1 日本で行われている Global PBL 調査

日本では PBL を実施している大学がそれ程多くないことと、Global PBL では英語が必須になることから、Global PBL はほとんど実施されていないのではないかと予想された。当初、筆者が知っていた唯一の例は、九州大学大学院の、「One Village One Portal ホスティングシステム構築」～三ヶ国共同プロジェクト～ [7] である。発表を聞くと相当に苦労したことが伺えた。その後、Research Symposium on PBL 2008 [8] に出席し、金沢工業大学と Singapore Polytechnic が International Collaborative PBL を実施した報告 [9] を聞いた。他にも日本では JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency: 宇宙航空研究開発機構) と東大が関係している US、EU との衛星追跡の Global PBL がある。

PBL シンポジウムでは、文化や言葉、習慣が異なるメンバーで構成される PBL は非常に難しいことが報告され、今後チャレンジする課題として挙げられていた。ヨーロッパでも、PBL のグローバル化は難しいことが判明した。金沢工業大学の経験でも日本の学生とシンガポールの学生が英語で議論をするのは困難とのことであった。したがって、PBL のグローバル化は困難であることを実証すべきと考えた。

### 3. 2 Global PBL Feasibility Study パートナー探し

Global PBL では、海外のパートナーが必要になる。Feasibility Study の最低条件は、日本のプロジェクト・メンバーと海外のプロジェクト・メンバーがリモート会議で議論する場があることである。本学の学生は社会人がほとんどであるから、リモート会議の時間は日本時間の夜7時以降になってしまう。この時間帯にリモート会議をやる国でないとパートナーにはなりえない。時差の関係から北米は候補からはずれる。一方、パートナーが Global PBL に興味を持つことが必須であるが、先に述べたように、ソフトウェア業界は、主に中国・インド・ベトナムにオフショア開発の発注しており、こうした国でも日本とのソフトウェアの共同開発プロジェクトをスムーズに進めようとする要件があると推測できる。オフショア開発を中東ヨーロッパに発注できるかという調査は行われているが[10]、現状はあまり進んでいない。また PBL シンポジウム[8]の感触から、協力者を探すのは困難と判断した。したがって、中国、東南アジア、オーストラリアが候補国だったが、現実的にパートナー探し可能な国として、最終的に中国とベトナムが残った。ベトナムへのオフショア発注のほとんどは日本からであり、日本語での対応も進んでいるので、Global PBL を日本語で実施できる可能性も高かった。したがって、先ずベトナムとコンタクトすることにした。

### 3. 3 College of Technology, Vietnam National University, Hanoi (VNU)

株式会社シー・シー・ダブルの協力を得て筆者らがコンタクトしたのは、ベトナム国家大学 (VNU) ハノイの技術大学 (COLTECH) 副学長 Nguyen Ngoc Binh 博士だった (Binh 博士は 2009 年 4 月 9 日に学長に昇任している)。アポイントメントをとり、戸沢と成田で 2008 年 10 月末に会いに行った。

図 3 はその時のプレゼンテーションの一部である。本学の目指していること、カリキュラムと PBL 概要について説明した後、PBL の具体的な事例として 2007 年に実施した「インターネット上のサービスモデルの提案と実証アプリケーションの開発」PBL の経験を成田が説明するなどし、本学の特長である PBL を前面に打ち出した。

幸い興味を持ってもらうことができ、Feasibility Study を実施することで合意ができた。詳細は後で詰めることになった。日本の年末年始、ベトナムの旧正月の休暇、予算執行が 3 月末までなどの制約があり、Feasibility Study の実施期間はあまり長くとれないことが判明した。

残念ながら Global PBL を日本語では実施できないか

とのことで、英語を使用することになった。リモート会議の時間を日本時間午後7時 (ベトナム時間午後5時)で行うことは了承された。施設を見学させてもらったが、フランスの大学で行われている遠隔講義を受講できる設備がきちんと整っており、リモート会議の経験も豊富で、リモート会議のインフラ面も整備されている。

#### Proposal of collaboration

- Education of highly IT skilled people
- PBL (Project Based Learning) as an educational vehicle
- Global team for the PBL project (Feasibility study at first)
- International Joint Training Program (in the future)

図 3 技術大学への最初の提案内容

#### Overview of SWW

##### What is SWW?

- SWW is a interactional document review tool through synchronized web whiteboard

##### What SWW dose?

- It is like a whiteboard in a conference room
- We can input and share text comments and drawings over document images for group review purpose

図 4 技術大学への SWW の説明

### 3. 4 Feasibility Study の PBL テーマ

Feasibility Study では、短期間であったとしても、PBL 活動であるため PBL テーマの選定が重要になる。短期間で成果が出せること、技術大学が PBL についてもっと知りたいということ、日本で行われているソフトウェア開発に興味があるということで、本学のソフトウェア開発系 PBL で作成されたソフトウェアの評価を PBL テーマとすることにした。

本学には表 1 の内、ソフトウェア開発系 PBL は 4 プロジェクトある。4 つの PBL 成果ソフトウェアのどれを評価対象にするかは、当初はベトナム側に選んでもらうつもりでいた。しかし、PBL 経験がない中で技術大学側が選択するのは困難ということから、本学側から提案することにした。ソフトウェア・アーキテクチャと開発プロセス PBL (中鉢担当) の SWW (Synchronized Web White board) である。これは、Web 上に共有できるホワイトボードがあり、誰もが文字や図を描くことができ、だれかが描くと瞬時にすべての作業員にその内容が伝達される。SWW は一種のグループウェアで、数人で作業するための道具である。作業員は Web が使用できる環境にあればどこにいても、離れていてもよい。Whiteboard を置くサーバーが必要だが、通常の PC なら簡単にインストールできる。図 4 は本学から技術大学

へ SWW を説明する際に使用したチャートの一部である。

SWW は 2009 年 2 月 11 日の PBL プロジェクト成果発表会に向けて完成されたが、外部ユーザーによる評価はほとんど行われていなかった。Feasibility Study でベトナム技術大学が評価してくれるのは SWW 開発チームにとって歓迎だった。

### 3. 5 本学の Global PBL Feasibility Study チーム

Feasibility Study は正規の科目ではないので、実施のためにはボランティア学生を募る必要がある。時期が 2～3 月になりそうなので、修了を迎える 2 年生ではなく修士 1 年生を対象にした。ベトナムのチームと日本のチームでリモート会議を数回（英語で）行う予定とアナウンスして募集したところ、予想を超える約 10 名の応募があった。英語力についての条件は特に定めなかったため、英語に自信のない学生も多かったが、英語でのコミュニケーションに大変興味を持っている学生が集まった。応募者全員が社会人学生だったので、午後 7 時からのリモート会議には遅刻しないよう参加することと、リモート会議の前に日本チームとしての事前準備活動を行うことをお願いした。日本チームの指導は、主として戸沢が担当することにした。これで日本側の体制は整った。

同時に Feasibility Study の実施に向けてベトナム側に体制を構築してもらう依頼をすることになる。

### 3. 6 Global PBL Feasibility Study 実施に向けての技術大学への提案

10 月末に Feasibility Study の実施で合意はできたが、実施するには技術大学に体制を作ってもらわなければならない。Proposal Update を作成して協力を求めた。図 5 に Proposal Update の主要なチャート 3 枚を示す。

ベトナム側で行うアクティビティについて日本側からきめ細かいサポートができないと、時間の無駄や行き詰まりが懸念された。それを解消するため、新たな提案として、成田と土屋が VNU へ行き 1 週間程度滞在し、現地で必要なサポートをする提案を追加した。

必要なチームは 2 つある。Feasibility Study を実施するためのチームの他に、実施結果を評価し、Global PBL を推進するかどうかを評価するためのチームである。評価チームは筆者らと Binh 博士を中心とした技術大学の担当教員で構成されるのでわかりやすいが、Global PBL Feasibility Study チームは教員と学生が必要になるので、特に強調をお願いした。

技術大学側の協力がなければチームは作れないのだが、結果的には 5 名の学生と 2 名の教員によるチームがベトナム側に作られた。技術大学との協議の結果、実施

日程は 2 月 26 日から 3 月 9 日までになった。この期間は、ベトナム学生にとっては通常の講義期間であるが、日本の学生にとっては春休み中になる。

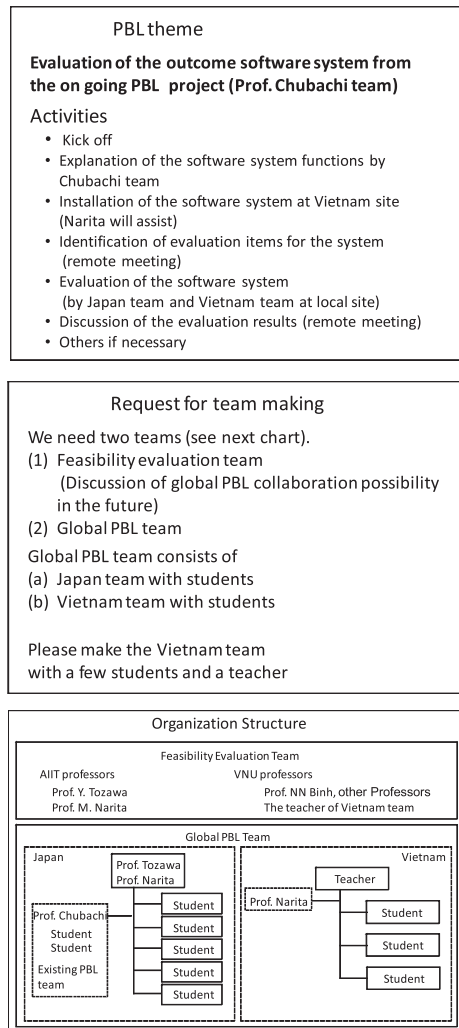


図 5 技術大学へ体制整備を求めた提案

	2/25	2/26	2/27	2/28 3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7,8	3/9
Remote Meeting		Kick off ★ Items to evaluate	★ SWW use Japan & Vietnam		★		★				★
Japan Activities	SWW use & practice	Explanation of SWW to Vietnam team	Evaluate SWW		Report results to Vietnam	Evaluate SWW	New requirement		Modify SWW	Modify SWW	Evaluate SWW What learned
Vietnam Activities	Narita & Tsuchiya arrive	SWW Install SWW use & practice	Evaluate SWW		Report results to Japan	Evaluate SWW	New requirement		Narita & Tsuchiya leave		Evaluate SWW What learned

図 6 実施スケジュール

図6は開始時のスケジュール計画である。このスケジュールは2月26日のキックオフ（リモート会議）で提示し、日本側、ベトナム側の両チームで共有された。成田と土屋が2月25日から3月5日までベトナムに滞在し、現地で直接的なサポートを行った。また、日本側の社会人学生が自費でベトナムに滞在してPBLに参加した。現地滞在期間中に日本とベトナム間で4回のリモート会議を実施した。図6の★はリモート会議を示している。リモート会議にはPOLYCOMを使用した。3月9日の最後のリモート会議は、日本人による現地サポートなしで実施し、それが可能であることを確認した。

#### 4. Global PBL Feasibility Study の活動内容

Feasibility Studyでの活動内容は提案時に図5の1枚目のチャートで示している。キックオフでは図7を示し、どのような成果物を作成するか、日本側、ベトナム側の両チームが共通認識を形成した。キックオフからは学生によるGlobal PBLチームの活動になる。教員は裏方にまわり、学生が主体でリモート会議を実施する。この内容は、日本チームのPM(Project Manager)がGlobalチーム全体に英語で説明した。

教員はリモート会議の進行を見守り、大きく軌道がはずれた場合は割り込んで修正する。日本側の教員は戸沢と中鉢、ベトナムには成田と土屋が滞在しているので、日本人教員間ではリモート会議の進行を見ながらリアルタイムのコメントをやりとりしていた。

##### 4.1 リモート会議前の事前準備

1回のリモート会議は1時間半で、以下のテーマで5回実施した[11]（図8、図9）。

- キックオフとSWW機能の説明
- SWWを評価するための評価項目の決定
- 各サイトで実施した上記評価項目の評価結果を相手サイトへ報告し、評価結果に相違が出た場合にその理由をディスカッション
- SWWに求められる新たな機能
- 新機能提案に対するSWW開発チーム（中鉢PBLチーム）からのフィードバックとそれについてのディスカッション

それぞれのリモート会議の前に、各サイト（日本側とベトナム側）で、リモート会議で発表する内容、資料作成のために数時間～十数時間の事前準備を実施した。発表資料は英語化され、会議前にメールでグローバルチームメンバー全員に送付された。発表は英語である。

SWWの評価と、求められる新機能がテーマなので、

事前準備で実際にSWWを使用してみる必要がある。SWWはグループウェアなので、SWWを使用するにはチームで取り組まなければならない。チームで取り組まなければSWWを評価できないことがチームの求心力をもたらし、各サイトでのプロジェクトとしてのまとまり強化に貢献した。評価対象としてSWWを選んだのは、結果的には非常に効果的だった。

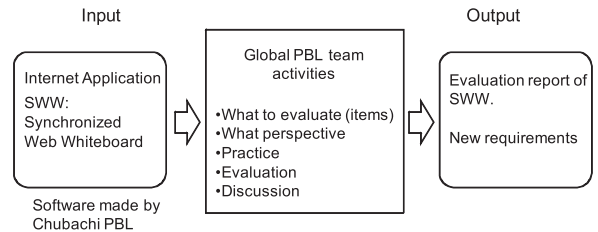


図7 Feasibility Studyで行うアクティビティ

##### 4.2 Global PBL Feasibility Study のアウトプット

Global PBL Feasibility Studyのアウトプットは図7に示すSWWの評価、追加の新規要望を含めて表2で示す6つのドキュメントを作成した。この内、評価項目、SWWの評価、日本側およびベトナム側チームによるSWWへの追加要望については、ミーティングで説明と検討を行った。

表2 Global PBL Feasibility Studyのアウトプット

作成した成果物	ページ数 (Power Point)
SWW ユーザマニュアル	7
評価項目	9
SWWの評価	13
SWWへの追加要望(日本側)	9
SWWへの追加要望(ベトナム側)	3
開発グループからのフィードバック	13

##### 4.3 学生アンケートの結果

5回のリモート会議が終わった直後、今回参加した学生にGlobal PBL Feasibility Studyについて教育手法としてのPBL、今回実施したPBL、プロジェクト進行の要点、リモート会議システムの評価、グローバルPBLの評価に関するアンケートを実施した。結果を表2（自由記載部分を除く）に示す、対象は日本学生7名ベトナム学生5名の合計12名である。日本チームメンバーは全員実務経験があり、さらに海外業務や海外経験のある人が3名であった。一方、ベトナムメンバーは全員実務経験がないが、内2名は海外との電話会議の経験があるか英語スキルが高かった。

以下にアンケートで得られた結果を解説する。教育手法としてのPBLについては、日本メンバーにはPBLに

については既知であったが、両チームの学生ともPBLの意味や2国間で行ったグローバルPBLの意味を認めている。今回実施したPBL活動については、役割分担は適切であり、事前準備として10時間（1回の会議当たり2時間）程度費やしており、ほぼ十分行われていることがわかる。日本とベトナムの役割分担については、日本側の満足度が若干低い、PBLの実施経験の有無から日本側がイニシアティブをとらざるを得ないためにやや負担を感じていたためと考えられる。会議中での両国チームによる検討もほぼ可能であると認識しているが、結論まで引き出すのはやや難しいと感じている。また、議論の仕方や文化の違い・英語力などさまざまな問題が指摘されている。さらに、TV会議には、音声品質、聞き取りにくさ、タイミングのずれに由来する空白などの問題があり、TV会議の難しさを経験している。今回は日本教員がベトナム側で参加したが、細かいニュアンスを伝えたり、間違った理解が進んで行った場合にフォローしたりすることが効果的だと感じている。プロジェクト進行の要点については、語学力の必要性もさることながら、会議の事前準備、プロジェクト目標がより重要であることが改めて明らかになった。

今回の活動は共同検討・決定のためにある程度有効で各種ドキュメントの翻訳も望まれている。今回は特に策を設けなかったが、会議をスムーズにするためには学生間の信頼確保が重要であることも明らかになった。具

体的には、導入として日本チームや日本の紹介やイベント的なコミュニケーションをしながら、互いのメンバー名を覚え個々の参加目的を知ることなどの工夫が指摘された。リモート会議システムの評価については、POLYCOM（TV会議システム）やそれによる室内の映像、相手方のプレゼンテーション表示のための画面などの有効性が確認できたが、会議システムだけでなくメール・メーリングリストの有効性が指摘された。また、チャット機能も有効活用の可能性が示された。一方、個人ごとの映像は必要とされていない。



図8 日本側メンバーとミーティング風景

今回のPBLへの参加目標と今後期待するテーマは自由記載とした。結果、日本チームは英語力の確認と異文化コミュニケーションが主体であったが、ベトナムチームは、日本との仕事の体験、テスト・評価技術の獲得な

表3 Global Feasibility Study についてのアンケート結果

項目	回答数	割合
1. 英語力の向上	15	75%
2. 異文化コミュニケーションの向上	12	60%
3. 実践的な経験の獲得	10	50%
4. ネットワークの構築	8	40%
5. 自己管理能力の向上	6	30%
6. 他者との協働能力の向上	5	25%
7. 問題解決能力の向上	4	20%
8. 時間管理能力の向上	3	15%
9. 柔軟性のある思考力	2	10%
10. 他者への理解力	1	5%

ど, 実際の職業に直結した目標が多かった。今回の PBL を通じての各自の目標達成はおよそ満足できるレベルだったと言える。今後期待されるテーマとしてもベトナムチームは実際の職業に役立つテーマを望んでいることが確認された。また, 両国チームとも Global PBL への関心は高く効果への期待度も高いことも確認できた。



図9 ベトナム側のミーティング風景

#### 4. 4 担当教員の感想

ソフトウェアの開発側の教員として参加した教員とベトナムでの現地サポートスタッフのコメントは以下に示す。

- テーマについては, SWW (Synchronized Web White board) はグループで使うツールであり Feasibility Study の対象にふさわしい。また, でき具合がちょうどよく, 評価・検討がしやすかった。一方, SWW のコンセプトを伝えるのが大変だった
- 遠隔会議専用の部屋が必要である。ただし, この問題は 2009 年度には解消されつつある。
- コミュニケーションについては, お互いの顔と名前が一致しないと, コミュニケーションがとりづらい。誰が話しているかがわからないと質問もしづらい。少なくとも 1 人, できれば 2 人くらい相手側のメンバーと会ったことがある人がいるとよい。この問題は, 次回の PBL では担当教員がベトナムへ出張し, また, 学生の一部が自費で訪問することで解決している。しかし, 後者については費用面の配慮が必要であろう。
- Global PBL では, ベトナムとは 2 時間程度の時差があることによって, 日本側・ベトナム側にとって都合のいい時間帯に開催できた。

#### 5. Global PBL Feasibility Study の評価と Global PBL を成功させるための要因

Feasibility Study の終了後, 3 月 23 日に戸沢, 成田で技術大学を訪れ, Feasibility Study の評価と今後の進め方についてのミーティングを行った。当初は英語による Global PBL は極めて困難なのではないかと予想してい

たのだが, 実際にやってみた感触はよく, 条件が整っていれば実施可能だという実感を持たた。技術大学でベトナム学生チームを指導した教員からも, 非常によいので今後も続けて行きたいとのコメントをもらっている。今回の Feasibility Study は成功したと言ってよい。図 11 は当日, なぜ今回は成功したのかについて意見交換し, それを協同でまとめたものである。技術大学から教員が手厚いサポートをしたことが指摘された。図 10 から, Global PBL を実施する場合に, 特に重要と思われることを以下にまとめる。

##### Why succeed this time?

- SWW was good to work with a team.
- SWW functional design has some debates from several perspectives of users.
- High motivation of students (both in Japan and in Vietnam).
- Each team made preparation work in advance for the remote meeting.
- English skill level was acceptable.
- There was a mechanism to control two teams to align.
- Small problem (scope is small), not open issues
- Scope was clear and shared by both teams
- Strong support, Intensive participation of staffs of both side
- Appropriate workload of both team, balanced workload

図 10 今回成功した要因

- PBL テーマが適切であること。
- 学生のモチベーションが高いこと。
- 英語によるコミュニケーションを積極的に行おうという意欲があり, 実践に前向きであること。英語が得意であるかどうかは重要なのではない。また, チームの中に通訳的な役割の人がいて, その人を通じてのコミュニケーションでも構わない。しかし, コミュニケーションを行おうとする姿勢と意欲が重要であり, リモート会議で, 互いに意思が通じたと感じられる努力が求められる。
- リモート会議に向けて, 十分な事前準備を行うこと。
- 各サイト(日本とベトナム)で, それぞれ, 学生を指導する教員体制がしっかりしていること。
- 両サイトの教員間で, PBL の目標, テーマ, 進め方について共通認識を持ち, リモート会議やその事前準備で適切な指導ができるとともに, Global PBL チームとしての一貫性をたもつこと。

以上は, 今回の Feasibility Study を通じて得られた仮説である。短期間ではなく, 数ヶ月の PBL で, 本格的な Global プロジェクトを実施する場合には, もっと他の要因が挙げられる可能性は残っている。さらに, ソフトウェア開発では, コンセプト・外部仕様の作成, 機能設計, 詳細設計・コーディング・単体テスト, 結合テスト, 評価など多々のフェーズがある。Global PBL feasibility study では, そのうち, 曖昧性の少ない評価と, それにもとづく次フェーズの外部仕様作成の前段階を

行ったに過ぎない。今後は、残りのフェーズについてもGlobal PBLでの可能性を検証するべきである。さらにグローバルスキルが必要とされるのはソフトウェア開発だけではない。したがって、コンサルタント、上流工程・プロジェクト管理などのPBLをグローバル化についても担当の教員を含めて積極的に検証するべきであろう。

## 6. Global PBL Feasibility Studyの成果にもとづく展開

その後、技術大学は、教育手段としてのPBLの潜在的有効性を認識し、PBLを正式科目として導入し20人の学生を集めて実施を開始した。PBLの実施方法、管理方法、学生評価の方法などを本学から供与する。2009年9月に、MOU (Memorandum of Understanding) を取り交わし、Global PBLを推進する計画を開始した。本学のPBL科目と技術大学のPBL科目は独立であるが、運用上、本学のPBLと技術大学のPBLがGlobalチームを形成する。実際、2009年9月にVNU COLTECHとミーティングを行い、具体的には、前回の課題であった長期(半期)のPBLに対して、技術大学の希望を反映し、先の経験の適用しやすいテーマとしてソフトウェア開発の各フェーズに対して適用を試みることにした。チームはVNU側から大学院生で30才程度の社会人の5人の学生、AIIT側も同等のメンバー4人で構成した。ソフトウェア開発の1つのPBLを対象に選択した。期間は、4ヵ月(16週)間とし、2008年の10月の初めからのスタートし、1月末までには終了とする。学生の必要条件は1週につき18時間(チーム会議を含む)とし、修了者に対して4単位を与える。このPBLはすでに実施中だが、11月に担当教員と学生2名がベトナムを訪問し、信頼関係の向上に努め、2010年1月現在、順調に実施している。

## 7. まとめ

本稿は、専門職大学院におけるグローバル人材を育成する手法としてPBLのグローバル化を検討し、可能性を検証するために、ソフトウェアの評価フェーズに絞ったGlobal PBL feasibility Studyをベトナム国家大学ハノイの技術大学と提携し実施した。結果、適切なテーマを選択し十分な環境を用意すれば、実践的なPBLの活用したグローバルな教育が可能であることを示すことができた。さらにこの成果を踏まえた展開として、平成21年度に行った大学間協定の締結、および、21年度に実施中のPBLについて簡単に触れた。

Global PBLでは、コミュニケーションの重要性が特に実感される。異なった文化で育った人たちの間のコミュニケーションは容易ではない。Global PBLでは、

コミュニケーションが成立するためのヒントを学ぶことができると思われる。これは、高度IT人材育成にとって、極めて有意義だと思われる。

## 謝辞

本プロジェクトの実施に当たり Vietnam National University の Nguyen Ngoc Binh 学長, Nguyen The Hien 教授, Nguyen Hai Chau 教授, 株式会社シー・シー・ダブル 筒井城二氏の協力に深く感謝する。

## 参考文献

- [1] 総務省 “平成19年版情報通信白書”, 2008
- [2] 経済団体連合会, “産学官連携による高度な情報通信人材の育成強化に向けて”, 2005, <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2005/039/index.html>
- [3] 情報処理推進機構, “ITスキル標準V3”, 2008, [http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/download\\_V3\\_2008.html](http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/download_V3_2008.html)
- [4] Yoshio Tozawa, “The introduction of PBL in a Japanese graduate school university as an essential curriculum for Master Program of Information Systems Architecture”, 36th SEFI annual conference, 2008
- [5] 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”, ソフトウェア・シンポジウム2009 pp.167-174, 2009
- [6] 成田雅彦, 中鉢欣秀, 土屋陽介, 戸沢義夫, “Global PBL Feasibility Study 結果報告”, 専門職大学院大学のPBL教育に関するワークショップ, 2008
- [7] 九州大学大学院, “One Village One Portal ホスティングシステム構築」～三ヶ国共同プロジェクト～”, 日本経団連 高度情報通信人材育成 重点協力拠点第一回合同フォーラム, 2008
- [8] Research Symposium on PBL in Engineering Education, 2008, <http://www.ucpbl.net/activities/previous-activities/activities-2008/pbl-research-symposium-2008/3878829>
- [9] Masakatsu Matsuishi et al., “International Collaborative PBL using Innovative Factories”, Research Symposium on PBL 2008, 2008
- [10] 電子情報技術産業協会, “情報システム技術国際調査～中欧～”, 2008
- [11] 大類優子, 成田雅彦, 中鉢欣秀, 土屋陽介, 戸沢義夫, “Global PBL Feasibility Study の実践検証”, FIT2009 pp.515-516, 2009



# PBL用情報インフラストラクチャの構築と運用

中 鉢 欣 秀\*・加 藤 由 花\*・戸 沢 義 夫\*

## Development and Operation of Information Infrastructure System for PBL

Yoshihide Chubach\*, Yuka Kato\* and Yoshio Tozawa\*

### Abstract

We can point out three major problems in Project-Based Learning. The problems we discuss in this paper are 1) communication overheads in the group work by students, 2) difficulties of evaluation of students' activities in the PBL, and 3) project management costs. In order to solve these problems, we have introduced a groupware named the infrastructure for PBL: iPBL. This provides several functions which support the activities of the students in the PBL. We mention its concepts and usage of iPBL in this paper.

Keywords: Project-Based Learning, PBL, iPBL, Project Management System, Project Server

### 1. はじめに

産業技術大学院 (Advanced Institute of Industrial Technology, 以下 AIIT) では, 従来の修士課程における修士論文の代わりに, プロジェクトベース学習 (Project Based Learning) の成果を評価して修士号を与えるカリキュラムを導入している. 筆者が所属する専攻では, PBLにより情報システムのアーキテクトである「情報アーキテクト」の育成を行っている [1].

AIITでは大学は学位を付与する際に, 学生が修士論文として纏めた研究成果を評価するのではなく, PBLで修得したコンピテンシー (実務遂行能力) を評価する. PBLを高等教育機関で導入している例は我が国においても増えている. しかしながら, 大学院修士課程において全学規模で導入し, なおかつ, 学生の修了要件として設定している大学は国内においては珍しく, 先進的な試みである.

PBL型の教育の特色の一つは学生のグループを構成し, グループワークを通して問題解決を行わせることである. 解決すべき問題には通常, 実務的な内容 (情報システムの構築など) を設定するため, 解決する作業を通して実務遂行能力を育成できる. PBLは情報システム産業に従事する実務従事者の能力向上に効果的であり, 特にプロジェクトマネージャーやソフトウェア技術者の育成に有効である [2][3].

従来の修士論文執筆型の作業においては, 教員や学

生同士でのディスカッションやレビューなどを行うことはあっても研究活動そのものは個人で行う. これに対して, 複数のメンバーでプロジェクトを組み, 設定した課題に取り組むPBLでは, 必然的に学生に対してグループ内での密なコミュニケーションを要求する. このことから, 学生のコミュニケーション能力やチーム活動能力が育成できる. また, 各種のタスクをメンバーで分担し, それらを集約することでひとつの課題に取り組むプロセスを経ることにより, マネジメント能力やリーダーシップ/フォロワーシップが育成できる.

さて, PBLにはこれらの従来型の研究指導にはない教育効果がある反面, 幾つかの解決すべき問題がある. ここでは下記の3点を指摘する.

第1の問題として, グループワークのためのコミュニケーションやマネジメントにかかる労力の割合が個人研究型の学習よりも高くなってしまいうということがある. グループ全体でのコラボレーション活動だけを行うだけでは高度な実務遂行能力を身につけるために充分でない. 依然として個人が必要なスキルを学ぶ活動は必要である.

PBLの教育成果を高めるためには, グループ活動と個人の学習活動とのバランスに配慮する必要がある. PBLにおける理想の学習環境としては, メンバー同士のグループワークを小気味良くこなしながら, 個人の知識修得のための時間も充分にとれる状況が望ましい.

PBLにおける第2の問題点としてPBLにおける学生

の評価をあげたい。従来の研究型の修士課程における指導においては、最終成果物としての修士論文の品質や分量が一定の水準を満たしているかどうかで学位取得のための判定基準となっていた。もちろん、PBLにおいてもプロジェクトで設定した課題を解決するための何らかの最終成果物を作成することが目的である。しかしながら、PBLにおいてはその最終成果物によってある課題を解決するに至る過程（プロセス）も評価の対象に含めるべきである。

この理由は、一般的に実務においては何らかの課題を単に解決できたかどうかだけではなく、その効率の良さも評価対象になるからである。つまり、同じ問題を解決するのに必要となるコストは能力によって異なり、コストの少ない方がより能力が高い、という見方ができる。実務においては非常に重要な観点である。

このことから、PBLにおいては最終的な成果物だけではなく、それを得る過程での学生の活動の内容の観点からの評価も大事になる。このことは、逆の見方をすれば、仮に成果物として十分な品質が確保できなかったとしても、そこまでの活動内容が評価できるものであるならば、教師はそれを判定して適切な評価点を与えることもありえるということになる（もっとも、全くアウトプットを生み出さなかったプロジェクトにおける学生の活動だけをもって成績を与えて良いのかどうかということに関しては議論の余地がある）。

第3の問題点として、学生が円滑にプロジェクトマネジメントを実施するのは難しいという問題について指摘したい。プロジェクトマネジメントを円滑に実施するために必要となる知識体系としてPMBOK（Project Management Body of Knowledge）がある[4]。AIITでは修士課程1年次にPMBOKを取り扱う授業を設置している。

PMBOKは大規模なプロジェクトのマネジメントを想定した、一般性のある知識体系の集合である。これを実際のプロジェクトに活用することはそれほど容易なことではない。PMBOK自体がもともと大規模のプロジェクトを想定しているということもあり、4～6人程度のグループによるプロジェクトにそのまま適用しづらいという問題もある。

筆者の意見は、プロジェクトマネジメントの全ての知識体系をPBLで活用することは難しいが、最低限、学生はWBS（Work Breakdown Structure）による計画、課題管理、定期的な進捗報告などを実施して欲しい。しかしながら、仮にこれらだけに限ったとしても、しっかりと実施するためには一定の手間がかかる。小規模のプロジェクトでは、マネジメントコストも無視できない。これらのコストを削減するための方策について検討する

べきである。そのためには、何らかのプロジェクトマネジメントツールを導入することがひとつの選択肢となる。

以上を整理すると、本稿で取り上げるPBLにおいて取り組まなくてはならない問題は以下の3点となる。

- グループワークにおける、主にコミュニケーションを起因としたオーバヘッドを解決すること
- PBLにおいて学生が成果物を出すまでの過程に関する評価の方法について検討すること
- 学生が円滑にプロジェクトマネジメントを実施できるようにするための道具立てを用意すること

PBLにおいて解決すべき問題は他にもあるが、本研究では主にこれらの3点の問題を解決するために、PBLを実施する学生が利用できるグループウェアを用意するというアプローチを取る。PBLにおいて活用しやすいグループウェアを用意すれば、グループ内での議論や各種成果物の共有といった作業が効率化できる。また、グループウェアにより学生の活動の記録を確認できるようになる。

なお、PBLにおいて学生のプロジェクト運営を支援するためのシステムを導入した事例として、松田らはプロジェクトマネジメント手法に着目し、学生がプロジェクトを円滑に実施できるようコンピュータが学生を支援するために、グループウェア「Goop」を用いたシステムを提案している[5][6]。

明石らはProject-Based Learning（PBL）を支援するコース管理システムであるCollasysを開発した。Collasysはプロジェクトの活動を支援する機能とPBLのコース運営を支援する機能を持ち、特にプロジェクト・成果物のレビュー・改善作業を考慮している[7]。

これらの先行研究では、ある大学の1つの授業といった比較的小規模でシステムを運用している。AIITでは、修士課程の2学年全員が利用できるスケーラビリティを備えること、殆どが職を持つ社会人であるためエンタプライズレベルでのクォリティを備えることなどを、導入するシステムの要件とした。

以下、本論文では、2.でPBLのためのグループウェアであるiPBLの導入に関して述べ、3.でPBLのためにiPBLが提供する機能と利用法について説明する。また、4.でiPBLのサーバー管理について述べ、5.で考察と今後の改善点について論じ、6.でまとめを行う。

## 2. PBLのためのグループウェアの導入

本研究では、前節で述べた問題を解決するためにPBLにおける学生の学習環境を情報技術で支援するためのグループウェアについて考察する。筆者らは、学生のPBL



図1 iPBLの利用者(役割)と使用するツール

に利用できる情報システムとして iPBL (infrastructure for PBL) を構築し、AIIT の学生に提供している [8] [9]。iPBL はマイクロソフトの Microsoft Office Project Server 2007 [10] をベースに本学向けにカスタマイズしたシステムであり、グループウェア機能を備える。

AIIT では、2008 年の 4 月より情報アーキテクチャ専攻の学生に対して iPBL を導入した。また、2009 年度からは創造技術専攻の学生にも提供している。ユーザ数は学生が約 100 人であり、教員が 30 人である。システムの導入にあたってはマイクロソフト社のパートナーであるテクノプロ・エンジニアリング社 [11] に構築を依頼した。

AIIT の PBL 用グループウェアとして Microsoft Offices Project Server を選定した主な理由は次の通りである。

- プロジェクトマネジメント用サーバソリューションとして一定のシェアを備え、社会的な評価が定まっていること
- エンタープライズ製品であるため、安定した稼働が見込めること
- Microsoft Office Project 2007 Professional [12] と連携し、WBS によるスケジュール管理、リソース管理などが行えること
- Microsoft Office 製品 (Word や Excel) との親和性が高い Microsoft Windows SharePoint Services [13] を用いたコンテンツ管理が提供出来ること
- 本学の基幹システムが Active Directory [14] 技術を用いた認証システムを導入しており、このシステムによるユーザ認証への対応が容易なため
- 本学の学生は大半が職を持つ社会人であるので、会社の業務でも利用可能な製品を利用してもらった方がよい

これらの特徴を活用することで、学生に PBL のための有用なグループウェア環境を提供することを狙い、構築作業を行った。これに並行して iPBL を用いてプロジェクトを実施する際に必要となる各種システムの操作手順書を作成した。なお、この操作手順書を用いて、毎年 4 月の PBL 開始時点で利用者向けガイダンスを行っている。

システムの運用に関しては、当初は筆者が管理を行ったが、2009 年夏以降、本学のサポートスタッフが運用を行い、テクノプロ・エンジニアリング社との保守契約に基づく支援も受けている。

### 3. PBL のために iPBL が提供する機能

#### 3.1 iPBL の機能の概要

学生が PBL を実施するために iPBL で利用できる機能の全体像を説明する。図 1 に iPBL のユーザを役割ごとに分け、それらのユーザが利用するツール、及び、iPBL を構成する要素技術をまとめた。初めに、バックエンドで動作するサーバー製品群から説明する。

- Microsoft SQL Server

DBMS (DataBase Management System) であり、全ての情報はこのデータベースに格納する。ユーザが直接このデータベースを操作することはない。

- Microsoft Office SharePoint Services

Windows Server 2007 が提供するサービス (サーバ) であり、汎用的なコンテンツ管理機能を提供する。

- Microsoft Office Project Server 2007

Project の各種情報を管理するサーバーである。

次に、フロントエンドである各ツールについて説明する。

- Microsoft Office Project Web Access (PWA)  
Web ブラウザ (Internet Explorer) からアクセスする Web アプリケーションであり, Microsoft Project Server における利用者向けのインターフェースである. ユーザがファイルを共有したり, 掲示板などでコミュニケーションしたりするためのグループウェアである「ワークスペース」の機能を内包する. PWA もワークスペースもどちらも SharePoint Services の上で動作する.
  - Microsoft Office Project Professional  
専用のアプリケーションであり, Microsoft Office Project Server 2007 とネットワーク経由で接続するクライアントソフトウェアである. グラフィカルな WBS 編集機能を備えており, WBS の作成・編集・保存・取得などが行える.
- 続いて iPBL のユーザを役割ごとに整理して説明する.
- **メンバー**  
プロジェクトのメンバー全員 (PM を含む) が担う役割である. メンバーはタスクの確認, PM への進捗報告, 成果物の共有, リスク/懸案事項の共有などを行う.
  - **PM (Project Manager)**  
プロジェクトのマネジャーが担う役割である. PM はメンバーが果たす役割に加えて, 計画の作成, 進捗管理などを行う.
  - **教員**  
教員はプロジェクトの進捗, 活動時間 (稼働時間) の把握, 成果物の確認を行う. また, 教員が資料などを学生に配布することも含む.

### 3. 2 SharePoint が提供する機能

SharePoint が提供する機能として, ワークスペースがある. ワークスペースには, ドキュメントを保管するフォルダがある. Windows の Internet Explorer 環境から利用すると, あたかもローカルのファイルにアクセスしているかのように操作が可能である. また, バージョン管理機能もあり, 編集前のチェックアウト, 編集後のチェックインの操作を行うことにより, 1つのファイルを複数人が編集するときのコンフリクトを避けることができる.

また, SharePoint サービスにはリスト機能がある. リストとはテーブル型のデータベースのことである. SharePoint でリストを定義すると, 入力や編集用のインターフェースをシステムが自動で生成する. ユーザはこれを利用することにより, データベースを作成できる. 作成したデータは, Excel や Access に出力して集計や加工をすることも可能である.

SharePoint にはサイトを作成する機能もある. サイトは独立したトップページを備え, その中にドキュメントや掲示板, Wiki, リストなどを自由に作成できる. 現在, 「教員専用サイト」と「学生用サイト」の2つを用意している. 教員用サイトには後述の成績評価のリストがある. 学生用サイトは PBL を受講する学生向けのポータルの位置づけであるが, 現在のところあまり活用していない.

これ以外に, アンケートの機能もあり, 後述の Self Assessment の提出の際に利用している.

### 3. 3 学生がレポートを提出するための機能

#### (1) 学生が提出するレポート

学生はプロジェクト活動中に iPBL を用いて提出するレポートとして, 週報, Self Assessment, PBL 年間活動報告の3つがある.

以下, それらの各レポートについて説明する.

#### (2) 週報

週報は PWA が提供する進捗レポート機能を利用している. PBL の主担当教員が自分の PBL の学生に対してレポートを提出するよう設定することで, システムは自動的に毎週レポートを提出するように促す.

学生が記入する週報の項目は表 1 の通りである.

表 1 週報の項目

	週報の項目
1	今週の活動と成果の実績
2	来週の活動と成果の予定
3	課題と解決策
4	出来事・気づき
5	特記事項

以下, 各項目に入力すべき内容について説明する.

#### 1. 今週の活動と成果の実績

プロジェクトにおいてそのメンバーが行った稼働と作成した成果のそれぞれについて, 実績を記入する.

#### 2. 来週の活動と成果の予定

プロジェクトにおいてそのメンバーが来週実施する予定の活動と成果について記入する

#### 3. 課題と解決策

プロジェクトにおいて解決すべき課題は何で, どのように解決するつもりなのかを記入する

#### 4. 出来事・気づき

具体的にどのような出来事が発生し, そこからどのような気づきを得たのかを記入する

#### 5. 特記事項

何か特記事項があれば記入する

学生が提出した週報は教員がそれらを閲覧できる。このとき、複数メンバーが提出したレポートを1つにマージして活動状況を確認できる。マージするには「リソース名」または「返信日」でグループ化できる。この機能をグループ内の全メンバーが提出した全ての週報に適用することで以下の2種類のビューを得ることができる。

1. グループの個人別の進捗状況  
リソース名でグループ化することにより、学生が毎週どのような活動をしたのか、時系列に確認できる
2. グループの週毎の進捗状況  
返信日でグループ化することにより、週別にグループが行った活動を学生ごとに確認できる

なお、現状では週報は主担当教員しか見ることができず、副担当や他の教員が確認することができない。他の教員に公開するためには教員が手動で週報を Word にエクスポートし、教員専用サイトにある専用のフォルダにアップロードする必要がある。

### (3) Self Assessment

AIIT の PBL では、学生はクォータごとに Self Assessment を提出することになっている。この Self Assessment は SharePoint のアンケート機能を用いて実装した。

セルフアセスメントで学生が入力する項目について、表2にまとめる。

表2 Self Assessment の質問項目

	Self Assessment の質問項目
1	主担当教員
2	学修番号
3	本クォータのプロジェクト目標を記述してください
4	プロジェクト目標の達成度 (%)
5	目標達成のためにあなたが貢献した活動内容、役割
6	自分が作成にかかわった成果物
7	本クォータにおける活動のハイライト (詳細に)
8	プロジェクト活動を通して向上したコンピテンシー
9	プロジェクト活動を通して得られたこと
10	役割分担 (チーム内での役割を果たしたか)
11	チームメンバーとしての当事者意識を持っているか (自分の役割を積極的に推進してチーム全体をリードしたか)
12	コミュニケーション (チーム内での自分の考えを相手に伝え、相手の考えを聞いたか)
13	ネゴシエーション (チーム外とのコミュニケーション、ネゴシエーションを適切に行えたか)
14	自由記述欄

これらの項目のうち 11 ~ 13 の項目は学生同士の相互評価である。すなわち、チームに 5 人メンバーがいた場合、自分を除く 4 名分の評価をこの欄に記述する。

以下、項目ごとに記述すべき内容を説明する。

#### 1. 主担当教員

この欄には、学生が所属する主担当教員の氏名を入力する。入力するには、教員の氏名を iPBL のユーザー一覧から選択する

#### 2. 学修番号

大学が学生に対して発行した学修番号を記入する

#### 3. 本クォータのプロジェクト目標を記述してください

Self Assessment を実施したクォータにおける、プロジェクト全体の目標を記入する

#### 4. プロジェクトの目標の達成度 (%)

プロジェクトの目標に対して何パーセントの達成度かを記入する

#### 5. 目標達成のためにあなたが貢献した活動内容、役割

プロジェクトの目標で設定した活動内容と役割のうち自分が貢献したものを記入する

#### 6. 自分が作成にかかわった成果物

プロジェクトにおいて自分が作成にかかわった成果物を記入する

#### 7. 本クォータにおける活動のハイライト (詳細に)

プロジェクトで実施した活動の中で、ハイライトとなる活動内容を記述する

#### 8. プロジェクト活動を通して向上したコンピテンシー

学生がプロジェクトの活動を行うことによって向上したと考えるコンピテンシー (実務遂行能力) について記述する

#### 9. プロジェクト活動を通して得られたこと

学生がプロジェクトの活動を通して、何を得たのかを記述する

#### 10. 役割分担 (チーム内での役割を果たしたか)

チームの中で自分がどのような役割を担当してそれを果たしたかを記述する

#### 11. チームメンバーとして Z での当事者意識を持っているか (自分の役割を積極的に推進してチーム全体をリードしたか)

この項目は相互評価項目である。他のチームメンバーが当事者意識を持ち、積極的にその役割を果たしたかどうかについて 1 ~ 5 の 5 段階で評価する

#### 12. コミュニケーション (チーム内での自分の考えを相手に伝え、相手の考えを聞いたか)

この項目は相互評価項目である。他のチームメン

バーのコミュニケーション能力について1～5の5段階で評価する

13. ネゴシエーション(チーム外とのコミュニケーション, ネゴシエーションを適切に行えたか)

この項目は相互評価項目である。他のチームメンバーが行ったネゴシエーションについて1～5の5段階で評価する

14. 自由記述欄

学生が自由に記述できる入力項目である。

なお、作成日時と作成者、最終更新日時、更新者の情報はシステムが自動的に記録する。

(4) PBL 年間活動報告

PBL 年間活動報告とは、一年間のPBLを通して行った活動について記述するものである。文字数は2,000字が目安である。2008年度は、iPBLのリスト機能を用い、PDFファイルで提出してもらった年間活動報告をiPBLで提出した。その際、主担当教員の氏名を選択して入力させることにより、主担当教員ごとに一覧表示できる。

なお、2009年度はこの機能を使わず、第4クォータのSelf Assessmentの項目を増やして対応した。

3. 4 成績評価時の利用法

(1) 成績評価の方法

AiITでは、PBLにおける成績評価にiPBLを活用している。成績評価のために前節で述べた各種レポートの内容を参照するのはもちろんのこと、主担当および副担当が学生ごとの成績を入力するためにも用いている。

そのために、SharePointのリスト機能を用いて次のデータベースを作成している。

1. PBL 評価 (素点)
2. PBL 評価 (総合)

これらのデータベースはそれぞれクォータごとに用意する。

(2) 成績評価で入力するリスト

主担当教員及び2名の副担当教員は、初めに1の「素点」を入力する。この素点で入力すべき項目は次の通りである。

表3 PBL 評価 (素点)

PBL 評価 (素点)	
1	主担当
2	学生名
3	活動の量 (点数)
4	活動の量 (講評)
5	活動の質 (点数)
6	活動の質 (講評)
7	成果物の量 (点数)

8	成果物の量 (講評)
9	成果物の質 (点数)
10	成果物の質 (講評)

以下、各項目について説明する。

1. 主担当

主担当教員の名前を記入する。後ほどこの項目ごとにグループ化することによって、PBLグループに対して主担当・副担当がつけた成績を整理して閲覧できる

2. 学生名

学生の名前を記入する

3. 活動の量 (点数)

活動の量を100点満点で記述する

4. 活動の量 (講評)

活動の量について文章で記述する

5. 活動の質 (点数)

活動の質を100点満点で記述する

6. 活動の質 (講評)

活動の質について文章で記述する

7. 成果物の量 (点数)

成果物の量を100点満点で記述する

8. 成果物の量 (講評)

成果物の量について文章で記述する

9. 成果物の質 (点数)

成果物の質を100点満点で記述する

10. 成果物の質 (講評)

成果物の質について文章で記述する

このPBL評価(素点)の入力が終わったら、それらの内容を参考に主担当は表4に示すPBL評価(総合)の項目に記入する。

表4 PBL 評価 (総合)

PBL 評価 (総合)	
1	学生名
2	活動の量 (点数)
3	活動の質 (点数)
4	成果物の量 (点数)
5	成果物の質 (点数)
6	活動の量 (重み%)
7	活動の質 (重み%)
8	成果物の量 (重み%)
9	成果物の質 (重み%)
10	総合 (点数)
11	総合 (講評)

以下、各項目について説明する。

#### 1. 学生名

学生の氏名を記入する

#### 2. 活動の量 (点数)

活動の量を 100 点満点で記述する

#### 3. 活動の質 (点数)

活動の質を 100 点満点で記述する

#### 4. 成果物の量 (点数)

成果物の量を 100 点満点で記述する

#### 5. 成果物の質 (点数)

成果物の質を 100 点満点で記述する

#### 6. 活動の量 (重み%)

活動の量・質、成果物の量・質を合計して 100% になるように活動の量をパーセンテージで重み付けする

#### 7. 活動の質 (重み%)

活動の量・質、成果物の量・質を合計して 100% になるように活動の質をパーセンテージで重み付けする

#### 8. 成果物の量 (重み%)

活動の量・質、成果物の量・質を合計して 100% になるように成果物の量をパーセンテージで重み付けする

#### 9. 成果物の質 (重み%)

活動の量・質、成果物の量・質を合計して 100% になるように成果物の質をパーセンテージで重み付けする

#### 10. 総合 (点数)

総合点を 100 点満点で記述する

#### 11. 総合 (講評)

総合的な評価を文章で記述する

なお、入力した教員の名前は作成者としてシステムが自動的に記録するので、入力は不要である。

### (3) 成績判定会議での利用

AIIT の情報アーキテクチャ専攻では、各クォータの終りに全教員が集まって成績判定会議を行っている。

この判定会議では、iPBL に入力した成績をプロジェクターで投影し、全教員が確認する。前項で説明した「PBL 評価 (総合)」を見ながら議論を行う。

主担当と 2 名の副担当が全担当学生の評価結果を説明する。他の教員は必要に応じて質問・コメントなどをする。

### 4. iPBL のサーバー管理

iPBL の運用のために必要となる各種の設定を以下に列挙する。

#### ● ActiveDirectory サーバーでのグループ設定

本学基幹の ActiveDirectory に登録してあるユーザのうち、iPBL へのアクセスを許可するユーザグループを用意している。PBL の履修が可能な学生のアカウントをこのグループに登録することで iPBL が利用可能になる

#### ● RBS (Resource Breakdown Structure) の設定

Project Server が管理する各種のリソースは RBS という木構造で管理する。PBL とそれに所属する学生の関係は RBS で管理しているため、年度の当初、および、PBL 間でメンバーが異動した際にはこの RBS を設定する必要がある

#### ● プロジェクトカレンダー、テンプレート

Project Professional 2007 で WBS を作成するとき基準となるカレンダーは予め Project Server で用意している。AIIT では 1 週間を 18 時間と計算したカレンダーを用いている。また、新規に WBS を作成するときのテンプレートファイルも用意している。

### 5. 考察と今後の改善点

以上見てきた通り、iPBL は AIIT の PBL を支援する、学生及び教員に対する各種の機能を提供している。現状、PBL によって差異はあるものの、ほぼ全ての学生がファイルの共有機能などを活用していると言える。WBS による進捗管理の機能については、PBL ごとの活用度のばらつきが大きいように思える。WBS を用いたプロジェクトマネジメントが定着するための方策を、今後とも継続的に検討して良く必要があろう。

また、成績評価時においては、教員は iPBL 上で閲覧できる週報・Self Assessment などを活用している。また、主担当と副担当による成績の素点の入力や、主担当による総合評価の入力もできる。これらのデータを確認しながら、教員全員で成績評価をすることも情報アーキテクチャ専攻では行っている。

ただし、より正確に利用状況を分析するために、学生や教員に対して利用者評価のためのアンケートを実施するなどし、客観的な情報を収集して今後のシステムの改善に活かしていきたいと考えている。

また、機能面の追加としては、システムがデータベースに蓄えている各種のデータを利活用して学生の活動状況をより見やすくするレポートを表示する機能の追加について検討している。Project Server ではキューブというデータベースのビューが作成できるので、これを用いてプロジェクトごとのリソースの稼働時間などの統計データを取ることができるよう、機能追加を行いたい。

また, iPBL のインターフェースの多言語化に対する要求もある。2009 年度は本学の学生とベトナムの学生とが共同で PBL を行った。この時, 情報共有のために iPBL を利用することを検討したが, インターフェースが日本語であったために断念した。将来的にもこのような国際 PBL の可能性があるため, 多言語化に対応しておくことが必要である。

この他, 学生が PBL 以外の授業やその他の活動で iPBL を利用したいという要望もある。ライセンス的には問題がないため, 対応することを考えている。これが実現できれば, 大学における PBL 以外の成果を iPBL のサーバー上に集約することができるようになる。

## 6. おわりに

本論文では AITT が修士課程の 2 年生を対象としている PBL において活用できる情報インフラストラクチャである iPBL について述べた。iPBL により, 学生はグループウェアにおける各種コミュニケーションを円滑に行うことができる。インターネット上の領域にファイルを格納し, メンバーで共有することも可能である。

また, 学生はプロジェクトマネジメントのために Microsoft Office Project を利用して WBS に基づく進捗管理を行える。メンバーは, プロジェクトマネージャーに対して進捗率を報告し, マネージャーはこれに基づきプロジェクト全体の進捗を管理することもできる。

また, 週報の機能を利用して, プロジェクトの進捗状況を定期的に教員に報告することも可能である。この週報では活動における気づきなど, 学生が得たコンピテンシーを評価するための情報も教員に提供する。加えて毎クォータごとに Self Assessment を提出するための仕組みも備えている。

現状, PBL の各グループでばらつきはあるものの, 本学の PBL 活動にはなくてはならないものになっている。教員にとっても成績評価の際に利用しており, 当初の目的は達成していると考える。今後はシステムが蓄積したデータの利活用を進めるなどの改善を加えていきたい。

## 参考文献

- [1] 中鉢欣秀, “情報アーキテクト育成のための専門職教育”, 情報処理学会研究報告 コンピュータと教育研究会報告 2007(12), pp.1-5, 2007
- [2] 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 49(2), pp.944-957, 2008
- [3] 松澤芳昭, 大岩元, “産学協同の Project-based

Learning によるソフトウェア技術者教育の試みと成果”, 情報処理学会論文誌 48(8), pp.2767-2780, 2007

- [4] Project Management Institute, Inc., “プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK® ガイド) 第 4 版”, Project Management Institute, Inc., 2008
- [5] 松田直浩, 喜多一, “Project Based Learning 型授業のためのプロジェクト目標マネジメント支援システムの提案”, MYCOM2006 第 6 回 AI 若手の集い, 人工知能学会, 2006
- [6] 松田直浩, 森幹彦, 喜多一, “プロジェクト型学習 (PBL) における WBS の活用とその導入手法の提案”, 国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌 2(1), pp.129-142, 2007
- [7] 明石 敬, 松澤 芳昭, 大岩 元, “Project-Based Learning を支援するコース管理システム”, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育研究会報告 2007(12), pp.15-22, 2007
- [8] 中鉢欣秀, “プロジェクト型教育 (PBL) 用インフラストラクチャの構築”, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育研究会報告 2008(13), pp.101-105, 2008
- [9] 中鉢欣秀他, “グループウェア導入による PBL の見える化”, JeLA 会誌 9, 29 ~ 135, 2009/5
- [10] “Microsoft Office Project Server ホームページ - Microsoft Online”, <http://office.microsoft.com/ja-jp/projectserver/FX100739841041.aspx>, 2010
- [11] “エンジニア転職、理系新卒採用、総合エンジニアリングサービス | 株式会社テクノプロ・エンジニアリング”, <http://www.technopro-eg.com/>, 2010
- [12] “Microsoft Office Project ホームページ - Microsoft Office Online”, <http://office.microsoft.com/ja-jp/project/FX100487771041.aspx>
- [13] “Windows SharePoint Services テクノロジーホーム ページ - Microsoft Office Online”, <http://office.microsoft.com/ja-jp/sharepointtechnology/FX100503841041.aspx>
- [14] “Active Directory 技術情報”, <http://www.microsoft.com/japan/windowsserver2003/techinfo/overview/activedirectory.msp>



# 同期型 e-Learning システムを用いた PBL 実証実験の報告<sup>†</sup>

土屋 陽 介\*・森本 祥 一\*\*・長尾 雄 行\*・清水 將 吾\*  
森口 聡 子\*・村越 英 樹\*・石島 辰 太 郎\*

## An Empirical Report of PBL with Synchronous e-Learning System<sup>†</sup>

Yosuke Tsuchiya\*, Shoichi Morimoto\*\*, Takeyuki Nagao\*, Shogo Shimizu\*, Satoko Moriguchi\*  
Hideki Murakoshi\* and Shintaro Ishijima\*

### Abstract

Recently, an advanced information systems architect education by PBL(Project Based Learning) is widely. There is LMS(asynchronous e-Learning system) as a tool supporting PBL education, but that has a lot of unsuitable points for education method of PBL. In our work, we apply the synchronous e-learning system to an advanced information systems architect education by PBL. This paper describes the result of the PBL with synchronous e-learning system. Also, we report proposal for practical use of a synchronous e-learning system.

Keywords: e-Learning, PBL, synchronous e-Learning system

### 1. はじめに

近年、大学院等をはじめとする高等教育機関では、実践的な教育手法である PBL (Project Based Learning) による高度 ICT 人材育成の取り組みが広がりつつある。

産業技術大学院大学 (以下、本学) では、2006 年度の開学以来、この PBL を主たる教育手法として取り入れて、情報システムに関する実務教育を実施してきた。カリキュラムの大きな特色は、1 年次に PBL 活動が必要となる素養を身につけ、2 年次の 1 年間を通した PBL 型教育の実施により、業務遂行能力 (competency) の養成・強化を図る点にある [1]。この PBL 型教育では、従来の研究型の大学院で実施されている教育活動とは異なり、学生が自主的にプロジェクトを運営して 1 年間という限られた時間の中で成果物を作成する。

こうしたプロジェクト活動を通じた学習・教育を円滑に進めるためには、インフラとして利用できるシステムが必要となる。しかしながら、moodle [2] や Blackboard [3] など、従来の LMS では PBL という教育手法に適合しない点が多く、LMS、グループウェア、プロジェクト管理ツールといった複数のアプリケーションと組み合わせて利用するしかないのが現状である。

特に、従来の LMS は座学の講義を主な対象として設

計されており、学習者が主体となってチーム単位で情報を管理するのが困難であったり、プロジェクトの進捗を管理する機能がなかったりという点から、PBL の活動にそのまま適用することはできない。

また、本学のように社会人学生を受け入れる場合、学生間のスケジュールのずれを調整することが難しく、毎回すべてのチームメンバーが揃ってミーティングを行える訳ではないという運営面の問題もある。更には、PBL では、取り扱うプロジェクト課題によって、学外 (遠隔) の専門家や実務者の協力を定期的に仰がなければならないこともあり、その場合には共同ミーティングなどのスケジュール調整や情報の共有はより一層難しさを増すことになる。

これらの PBL をめぐる諸課題の解決に対して、総務省が開発した同期型 e-Learning システム [4] は有効なインフラとして機能するものと考えられ、これが効率的で円滑なプロジェクト活動を支援すると期待できる。具体的には、このシステムを利用することにより、離れた場所にいるチームメンバーのリアルタイムなディスカッションや情報の共有・生成、あるいは学外の専門家や実務者といったプロジェクトへの協力者・他のステークホルダーとのコラボレーションなども可能となるはずである。

そこで本論文では、本学が実施するPBL型の授業において、この同期型e-Learningシステムを琉球大学、神戸情報大学院大学と共に活用し、その有用性や提供機能の多様な活用方法等について検証を行い[5]、同期型e-Learningシステムの今後の発展的な利活用に向けた提言をまとめる。

## 2. 実証実験の実施内容

### 2.1 実証実験の概要

実証実験は、本学の正規授業科目『体験型学習特論』及びそれに先立つ事前学習（個人学習）において実施した。授業では、琉球大学（沖縄県）、神戸情報大学院大学（兵庫県）の学生らが遠隔地からインターネットを介し、同期型e-Learningシステムを利用する形態でPBLによる合同授業を行い、「システムの有効性・安定性・満足度」「実証実験における学習モデルと同期型e-Learningシステムの適合性」に関する評価・検証を実施した。

### 2.2 授業の概要

本学は実務教育を行う専門職大学院であり、そのカリキュラムの大きな特徴は、2年次の1年間を通して実施されるPBL型教育である。従来の大学院における修士論文の指導に相当するこのPBL型教育では、実務的な課題をテーマとするプロジェクト活動の実践経験により、高度専門職業人が備えるべき業務遂行能力を養成することが狙いとなっている。

本実証実験の場となった『体験型学習特論』は1年次の最終学期（第4クォータ）に開講され、2年次に実施される実践的なPBL型教育に向けた準備的な位置づけの科目であり、担当教員が与える課題について、学生プロジェクトチームが解決していくPBL方式で授業が進められる。ここでは、専門性・スキルの向上だけでなく、グループワークの経験を積むと同時に、プロジェクト活動への理解を深め、2年次の実践的なPBL型教育の素地を培うことも重要な目的である[6]。

### 2.3 授業のテーマと目標

テーマは「大学図書館業務のモデリングとシステム提案」とした。大学図書館の司書への遠隔ヒアリング等を通して、図書館の現行業務の分析を行い「As-Isモデル（現状）」をまとめた後、その課題と改善策を検討し「To-Beモデル（あるべき姿）」とそれに基づくシステム提案を策定する工程までが学習の範囲である。これら一連のプロジェクト活動を通じて、業務分析の手法やシステム提案のプロセス・方法論等を学ぶことが狙いである。更に、先述のとおり、PBLという学修形態で学びを進めてい

く上で必要となるグループワークやコミュニケーションスキルの向上も重要な学習目標である。以下に、『体験型学習特論』の学習目標を示す。

#### 【修得知識項目】

- プロジェクトによる学習（PBL）の方法を理解する。
- モデリングによる業務分析の手法を理解する。
- システム提案のプロセスを理解する。

#### 【修得業務遂行能力】

- ヒアリング等を通じて顧客の業務内容を把握し、その結果をモデルとして表現することができる。
- モデリングの結果から業務を効率化する具体案を提案することができる。
- 業務の改善策をステークホルダーに説明することができる。
- 様々なバックグラウンドを持つメンバーと協調的にプロジェクトを進めることができる。

### 2.4 学習者とチーム編成

実証実験の学習者の人数は、拠点校である産業技術大学院大学と琉球大学はそれぞれ10名、協力校として参加した神戸情報大学院大学は3名、合計23名である。なお、琉球大学からの参加者には大学院生の他、学部生と沖縄県内のICT企業に所属する社会人が一部に含まれている。

実証実験では、この23名を3つのプロジェクトチームに分け、PBLを実施した。3つのうち2チームについては、図1に示すように、離れた場所のメンバーで構成された混成チームとし、授業時間数のほぼ100%で同期型e-Learningシステムを利用した。残り1チームは同一場所（琉球大学）のメンバーによる構成とし、グループワークは通常の対面式の形態で行い、遠隔講義の視聴や成果発表会等の場面で部分的に同期型e-Learningシステムを利用した。

各チームメンバーの所属別の内訳を表1に示す。チーム3が同一場所（琉球大学）のメンバーのみからなるチームである。同期型e-Learningシステムを活用することにより、遠隔地間を結んだプロジェクト活動が円滑に行われるか、同一場所でプロジェクトを遂行するチームと何らかの相違が生じるかどうかといった事柄を検証することが、このようなチーム編成としたことの狙いである。

### 2.5 実施内容

授業の各回のテーマを表2に示す。全15回のうち、前半の7回目までは現行の図書館業務の分析と問題点の抽出、業務改善策の検討が中心的なテーマで、第8回の授業でプロジェクトチームが活動の中間成果のプレゼンテーションを行った。

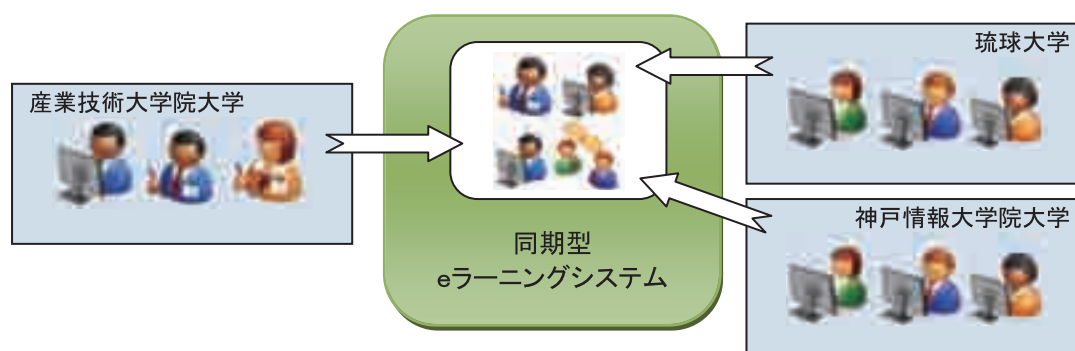


図 1 PBL の混成チーム編成

表 1 チーム編成の内訳

チーム名	産業技術 大学院大学	琉球大学	神戸情報 大学院大学	合計人数
チーム 1 (同期利用率 100%)	5 名	2 名	2 名	9 名
チーム 2 (同期利用率 100%)	5 名	2 名	1 名	8 名
チーム 3 (一部同期利用)	0 名	6 名	0 名	6 名
合計	10 名	10 名	3 名	23 名

表 2 授業の進行内容

回	テーマ
第 1 回	ガイダンス・分析対象の決定・プロジェクト概略計画
第 2 回	対象業務の調査
第 3 回	現行業務の把握(1)
第 4 回	現行業務の把握(2)
第 5 回	現行業務プロセス記述(1)
第 6 回	現行業務プロセス記述(2)
第 7 回	現状の問題点の考察、業務改善の提案
第 8 回	中間発表会
第 9 回	To-Be モデルの作成(1)
第 10 回	To-Be モデルの作成(2)
第 11 回	システム提案の考察
第 12 回	レビュー
第 13 回	モデルのリファイン(1)
第 14 回	モデルのリファイン(2)
第 15 回	最終成果発表会

第 9 回から第 14 回までは、現行業務の分析結果「As-Is モデル」に基づく業務改善の具体的な方策の検討とシステム提案「To-Be モデル」の作成に充てた。

最後の第 15 回で最終成果（改善方策とそのためのデモシステム）のプレゼンテーションを実施した。

## 2. 6 同期型 e-Learning システム

実証実験における同期型 e-Learning システムの構成の概要を図 2 に示す。サーバー式は全て本学の学内で構

築・運用し、拠点校である琉球大学、協力校である神戸情報大学院大学は Web カメラとマイク、スピーカを備えたクライアント用 PC から、インターネットを介して同期型 e-Learning システムを利用する形態をとった。

同期型 e-Learning システムは図 3 に示すとおり、リアルタイムの「Web 会議機能」や「データ共有機能」による遠隔講義や遠隔グループワークを支援する同期型システムと、「掲示板機能」や「受講機能」など、授業時間外の個人学習を提供する非同期型システムで構成される。本システムではインターネットを介して利用できる形態をとっているため、各拠点校からだけでなく、自宅や外出先からも遠隔講義に参加したり、個人学習ができるようになっている。

## 2. 7 授業における同期型 e-Learning システムの活用

実証実験では、『体験型学習特論』の開講前、授業中、授業時間外の 3 つのフェーズで同期型 e-Learning システムを活用した。

開講前のフェーズでは、受講前に学習者の知識レベルを一定水準に合わせるために、『体験型学習特論』の開始前に学習者に対して、事前学習教材をオンデマンドで配信した。

授業中のフェーズでは、授業のあらゆる局面において同期型 e-Learning システムの「Web 会議機能」と「データ共有機能」を利用した。具体的には、「遠隔講義機能」や「発表機能」を活用した講義の受講や、顧客役へのヒアリング・レビュー、成果報告会の実施、「グループワー

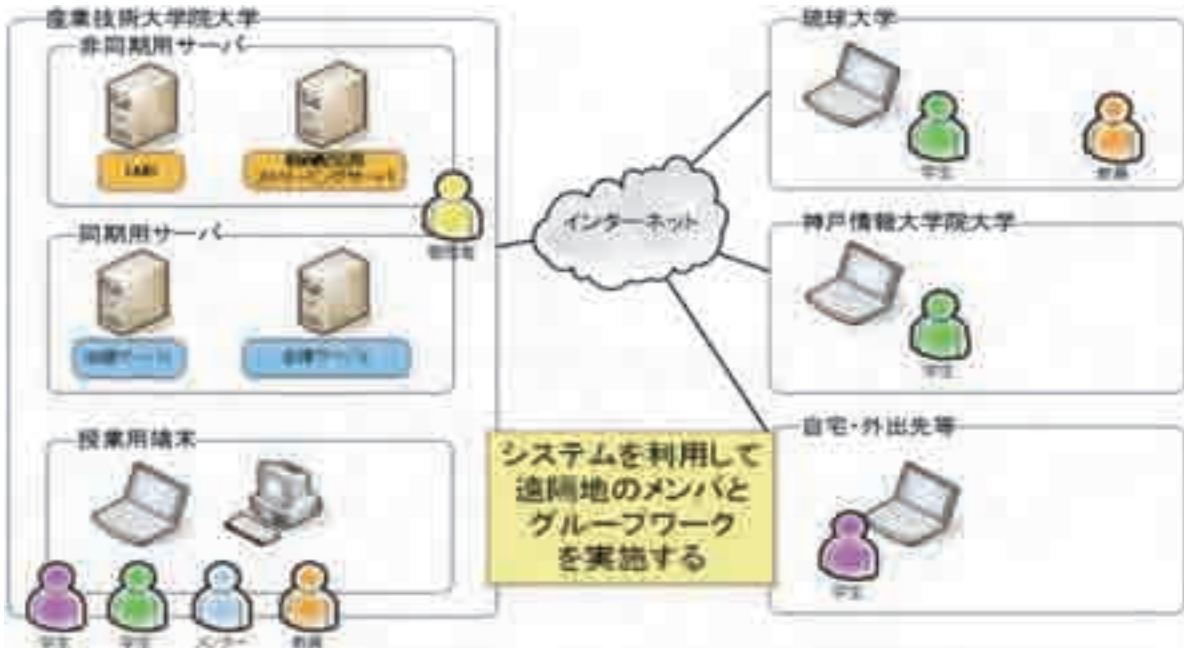


図2 同期型 e-Learning システムの構成概要

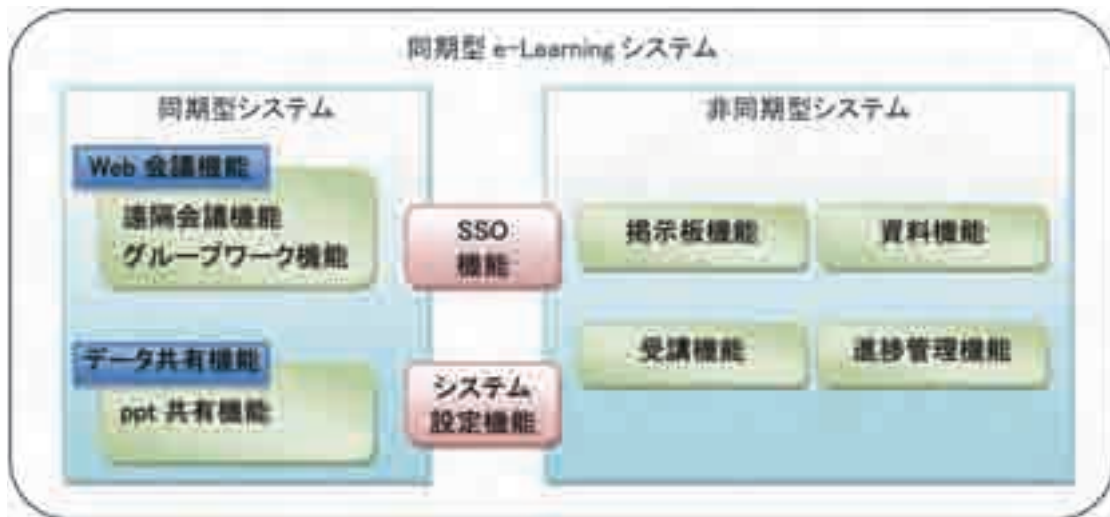


図3 同期型 e-Learning システムの基本構成と主要機能

ク機能」による遠隔間同士でのグループディスカッションや「ppt 共有機能」を利用した ppt 資料などの成果物の共同作成等である。

授業時間外のフェーズでは、非同期型のシステムを利用した。具体的には、「受講機能」による事前学習用教材や自習用教材、資料の閲覧・ダウンロード、講義映像の視聴、「掲示板機能」での情報交換等である。

## 2.8 授業運営の方法

科目『体験型学習特論』の内容構成は表2に示したとおりだが、同期型 e-Learning システムの機能を可能な限り PBL に活かすべく、次の項目を実施内容として組み入れることとした。

- 遠隔リアルタイムの講義・グループワークの実施(計 11 回)
- 遠隔リアルタイムでの顧客役へのヒアリング・レビューの実施(計 2 回)
- 遠隔リアルタイムの成果発表会と講評の実施(2 回)  
授業各回の冒頭の約 20 分間は、全拠点に対してメイン教員が講義用教材を使った講義を実況中継型で配信した。遠隔講義の後、約 70 分間で各チーム単位のグループワークを行った。このグループワークでチーム 1 と 2 は同期型 e-Learning システムの「グループワーク機能」や「アプリケーション共有機能」等利用しながら、共同作業を進めた。チーム 3 は対面式で同じく共同作業を行った。

顧客役となった産業技術大学院大学及び琉球大学の大学図書館司書に対するヒアリングを第4回、及びそれに基づく改善提案のレビューを第12回の計2回実施した。いずれの回も全員が90分間、「Web会議機能」を利用する方式で行った。

第8回にプロジェクト活動の中間成果発表会、第15回に最終成果に関する成果発表会を実施した。発表はいずれの回も全員が90分間、「Web会議機能」「データ共有機能」を利用する方式で行った。遠隔地メンバーによる混成チームであるチーム1と2の発表では、遠隔地のメンバーがそれぞれ役割を分担する形式で行われた。

### 3. システムの有効性の検証結果

上述の内容・方法で実施した同期型 e-Learning システムの実証実験について学習者にアンケートを行った。本章では、同期型システムと非同期型システムそれぞれの評価・検証結果について述べる。

#### 3.1 同期型システムの検証

同期型システムとして、「Web会議機能」の「遠隔会議機能」と「グループワーク機能」、「データ共有機能」の「ppt共有機能」がある。ここでは、同期型システムの提供するこれらの各機能が、プロジェクト活動を推進する上で有効であったかどうかを検証した結果について報告する。具体的には、各提供機能が「プロジェクト活動において役立つものであったか」(有用性)、「機能安定して使用できたか」(安定性)、「機能に対して満足しているか」(満足度)といった点を主な検証項目とした。表3にそのアンケート結果を示す。

同期型システムの提供機能である「Web会議機能」や「データ共有機能」について、PBLを有効に支援するものと学習者は概ね評価していることがわかった。例えば、離れた拠点の他のメンバーや実務者等と討議ができる、遠隔地間で同じアプリケーション画面を共有できるといった機能は、距離的制約から解放されたプロジェクト活動に有用であったようである。また、非同期型システムの提供機能に関しても、「受講機能」の活用が図られ、事前・事後学習等の個人学習が促進された。

しかし、総合評価では約7割の学習者が「不満」と答えていた。これはシステムの不安定さという要因が大きいと考えられる。実際に、「安定性」に対するアンケートでは「非常に不安定」という回答が多いが目立つ。今後、システムをPBLで有効に活用していくためには、この安定性とそれがもたらす快適な学習がキーポイントとなるものと考えられる。

表3 同期型システムのアンケート結果

	遠隔会議機能	グループワーク機能	ppt共有機能
この機能はプロジェクト活動に役に立ちましたか			
非常に役に立った	6%	6%	13%
役に立った	50%	43%	56%
どちらでもない	18%	13%	19%
役に立たなかった	13%	0%	6%
全く役に立たなかった	13%	25%	6%
この機能は安定して使えましたか			
非常に安定	0%	0%	0%
安定	6%	22%	6%
どちらでもない	6%	0%	25%
不安定	25%	22%	32%
非常に不安定	63%	56%	37%
この機能には満足していますか			
非常に満足	0%	0%	0%
満足	13%	14%	13%
どちらでもない	6%	14%	13%
不満	18%	22%	43%
非常に不満	63%	50%	31%
総合的に見て今回の同期型e-Learningシステムには満足していますか			
非常に満足	0%		
満足	31%		
どちらでもない	0%		
不満	25%		
非常に不満	44%		

#### 3.2 非同期型システムの検証

非同期型システムとして、「掲示板機能」と「受講機能」がある。ここでは、「掲示板機能」についてプロジェクト活動を推進する上で有効であったかどうかを検証した結果と、「受講機能」を利用して実証実験開始前に提供した事前学習用教材の内容が適切であったかを問うた結果について報告する。表4にそのアンケート結果を示す。

「掲示板機能」の結果では「使ったことがない」という回答が半数を占めている。これは、システム導入(検

証)時にバグが見つかり、その改修にも時間を要してしまつたため学習者がこの機能が利用できるようになったのが、実証実験の後半からとなつてしまつたという事情がある。そのため、多くの学習者はそれまでに使用していたメーリングリストや無償のグループウェア等、他の非同期型のコミュニケーション手段により情報交換・共有を行い、それが機能の運用開始後も継続されたようである。

表4 非同期型システムのアンケート結果

掲示板機能はプロジェクト活動に役に立ちましたか	
非常に役に立った	0%
役にたった	0%
どちらでもない	19%
役に立たなかった	13%
全く役に立たなかった	4%
使ったことが無い	50%

掲示板機能は安定して使えましたか	
非常に安定	0%
安定	13%
どちらでもない	25%
不安定	4%
非常に不安定	4%
使ったことが無い	50%

掲示板機能には満足していますか	
非常に満足	0%
満足	0%
どちらでもない	19%
不満	13%
非常に不満	4%
使ったことが無い	50%

事前学習用教材について、講義の内容を理解するのに適切でしたか	
非常に満足	7%
満足	53%
どちらでもない	33%
不満	7%
非常に不満	0%

事前学習用教材の内容については6割の学習者から「満足」という回答を得られた。開始前の予備学習支援として「教材の受講機能」は有効であったことが確かめられた。しかし、「掲示板機能」では仕様上、直リンクが漏れてしまうと他者に内容を読み取られるためセキュリティ上問題である。したがって、実際の授業では、このままでは利用するのは難しい。

#### 4. PBL 学習モデルとシステムの適合性の検証結果

##### 4.1 実証実験のPBL 学習モデル

多くの場合、PBLでは、同一専攻内の学習者をチーム分けし、それぞれにプロジェクト課題を与えると共に、教員が指導にあたるという形態をとる。プロジェクト課題は、学外の企業や学内組織のリアルなプロジェクト案件や、教育目的の仮想的な案件、指導教員が提示する案件等、様々であるが、一般的には、プロジェクト活動は学内を中心に展開されることになる。本学2年次のPBLも基本的にはこの形態に基づく学習モデルである。

今回の実証実験では、同期型e-Learningシステムを利用することで、この枠組みを超えた学習モデルによるPBLが実施されることとなった。すなわち、離れた場所に位置する複数の大学に所属する学習者で構成された混成プロジェクトチームが、学校という境界や距離を超えてリアルタイムに共同作業を進めるというPBLの形態である。本章では、実証実験で実施したPBL学習モデルと同期型e-Learningシステムとの適合性についての検証結果を述べる。

##### 4.2 PBL 学習モデルとシステムの適合性

今回実施されたPBLは、授業開講前の事前学習や開講後の個人学習、遠隔全体講義、遠隔グループワーク、遠隔ヒアリング・レビュー、遠隔発表会といったプロセスからなるが、システムはこの各学習プロセスに対応した機能を搭載し提供している。具体的には、「Web会議機能」の「グループワーク機能」や「データ共有機能」等は、遠隔地を結んだリアルタイムなPBLにおいて有効である。中でも、このような機能により学外のステークホルダー(今回は大学図書館の司書)と授業で直接のやり取りができたことは非常に有益であり、システムのメリットが十分に活かされた利用方法であったと言える。

また、この学習モデルとシステムの適合性を間接的に示すデータとして、学習者(各プロジェクトチーム)の学習成果の評価結果がある。本実証実験では、同期型e-Learningシステムを100%利用する遠隔の混成チーム1、2と部分的にシステムを使うチーム3に分けて授業

を行い(2.4章を参照), これら3つのチームの学習成果を評価した。その具体的な結果が図4である。

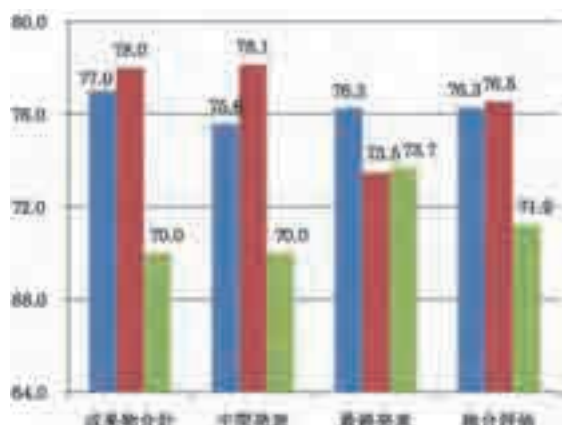


図4 各チームの学習成果

それぞれの項目で、左からチーム1(遠隔混成)、チーム2(遠隔混成)、チーム3(従来型)の評価点

同期型 e-Learning システムを100%活用した2チームの総合評価はいずれも約76点で、従来型のPBLを実施したチーム3と5ポイント以上の差が生じている。各チームの構成メンバーの技術レベルや実務経験等の属性に違いがあるため、この結果だけをもって、システムの学習成果に対する有効性や学習モデルとの適合性の高さを説くことは難しい。しかしながら、システムの活用を通じて、チーム1と2が遠隔地間でのプロジェクト活動を行い、一定水準の総合評価を得たということは事実であり、適合性を示すひとつの根拠となるデータと見ることができよう。

以上の結果から、今回の実証実験を通して、離れた場所にいるプロジェクトメンバー同士によるリアルタイムなプロジェクト活動という学習モデルと、同期型 e-Learning システムの提供機能との間には高い適合性があることが確かめられた。

## 5. 総括

今回の実証実験では、同期型 e-Learning システムがPBLにおける各学習の局面において有効であることを確認できた。特に、システムの中核をなす「Web会議機能」と「データ共有機能」は、離れた場所にいるプロジェクトメンバーや他のステークホルダーとのリアルタイムなコラボレーションを有効に支援するものであり、結果として十分な学習成果も確かめられた。

PBLにおけるシステムの提供機能の有効性や、利用面の容易性について報告したが、機能の有効性や利用の容易性をより一層高めるためには、多様な端末・機器や通信インフラが混在する環境下でも、一定の水準で利用

できる安定性の充実やセキュリティの確保等は、重要度の高い改善事項ではないかと考えられる。これらの改善が図られれば、より一層本システムはPBLの有効なインフラとして機能するはずである。

## 6. おわりに

実務現場におけるプロジェクトでは、専門性や経験・技術レベルの異なる多様なメンバーで構成されたチームが、プロジェクト案件の解決に向けてプロジェクト活動を推進していくのが通常である。例えば、経験豊富なプロジェクトマネージャの下で、ネットワークスペシャリストやデータベーススペシャリスト、アプリケーションスペシャリストといった専門技術者が、それぞれの役割を果たしながら、チーム全体としての力を発揮していくことになる。また、メンバーの力量も均一とは限らず、同じアプリケーションスペシャリスト職種であっても、中堅レベルが実務経験の少ない若手を指導しながら作業を進めていくということも当然のこととして行われる。

また、実際のプロジェクトでは、これに社内外の他のステークホルダーも関連してくることになる。このような多彩なメンバーによって行われる課題解決の活動がプロジェクトの実態である。

しかしながら、多くの場合PBLはひとつの学内で実施されるため、同じ専攻に所属するほぼ同水準の知識や技術を有した学生で構成されたメンバーでプロジェクト活動が行われることになる。本学を含め一部には、リアルなプロジェクト案件を題材として、実際の顧客(企業等)と共に行うPBLの事例[7][8]もあるが、上述のような多彩な顔ぶれによるチーム編成での実施は、学内という制約がある以上、現実的には難しい。

実際のプロジェクトのように、多様な専門性や経験を有したプロジェクトメンバーや他のステークホルダーを巻き込んだプロジェクト活動を通じて、チームとしての総合的な「知の集約・形成」を図り、業務遂行能力(competency)を獲得していくという学習モデルはPBLの理想形のひとつであり、今後のPBLの展開を検討する上での方向性を示すものであると考えられる。今回の実証実験を通じて同期型 e-Learning システムがこのような発展的なPBLの学習モデルと高い適合性を有することが確かめられた。

ただし、このような発展的な利活用を進めていくためには、現在の同期型 e-Learning システムの機能その他に改善や一層の拡充が図られる必要があると考えられる。最後に、今後に向けた提言を以下にまとめる。

### ● システム安定性の向上

多様なハードウェアやソフトウェア、ネットワーク

が混在する環境の中で、一定水準のパフォーマンスが保たれ、提供機能が利用できる安定性の確保・強化は最重要事項である。学習者だけでなく、管理者や教員・メンターについても余計な負荷を低減し、教育に専心することが可能となり、結果としてこれが学習成果の向上につながっていく。

- セキュリティの確保

グループワークの成果物等が、外部ネットワークから見えてしまうといったセキュリティ面の仕様は改善が必要である。これらの中には知的財産や個人情報も含まれるため、外部への流出は大きな問題になってしまう可能性がある。

- PBLのための機能強化

遠隔一斉講義や遠隔ヒアリング・レビューといった遠隔集合形態の学習を中心に、システムの提供機能の有用性を確認することができたが、グループワークに対する支援機能が拡充されると一層使いやすいシステムになる。

これからの理想的な PBL、あるいは実務教育手法としての PBL の在り方・方法論等を探る上で、以上のような課題意識を踏まえつつ、継続的にこのような取り組みを行っていくことは非常に有益であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 産業技術大学院大学, 新たな教育の枠組「コンピテンシーと PBL 型教育」:  
<http://aiit.ac.jp/view.rbz?nd=101&ik=1&pnp=101&cd=40>
- [2] moodle: <http://moodle.org/>
- [3] Blackboard: <http://www.blackboard.com/>
- [4] 総務省, 「高度情報通信人材育成のための e ラーニングシステム」:  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/2008/080530\\_5.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2008/080530_5.html)
- [5] 産業技術大学院大学, 「高度 ICT 人材育成のための実践的教育に対応した同期型 e ラーニングシステムの普及のための活用手法に関する実証実験(調査研究)」(2009 年)
- [6] 産業技術大学院大学, 「平成 20 年度産業技術大学院大学シラバス」(2008 年)
- [7] 慶應義塾大学, 「コラボレイティブ・マネジメント型情報教育」:  
<http://crew-lectures.sfc.keio.ac.jp/gp/>
- [8] 筑波大学, 「高度 IT 人材育成のための実践的ソフトウェア開発専修プログラム」:  
<http://www.cs.tsukuba.ac.jp/ITsoft/index.html>



# ICT を活用した授業改善

小山 裕 司\*

## An Improvement for Teaching and Learning with ICT

Hiroshi Koyama\*

### Abstract

This paper reports on an improvement project of PDCA(Plan-Do-Check-Action) process for teaching and learning using Information and Communication Technology(ICT). We designed and implemented two information systems such as online student evaluation of teaching and Video Contents for portable media players for purpose of getting efficient processes at the Check and Action stages, and estimated several conference and communication tools for an approach of student-centered classes. In this paper, we will summarize them and clarify the subjects of PDCA process for teaching and learning.

Keywords: Information and Communication Technology(ICT), Scholarship of Teaching and Learning(SoTL), Improvement of Teaching and Learning, Student Evaluation of Teaching(SET), PDCA(Plan-Do-Check-Action) Process, Faculty Development(FD)

### 1. はじめに

大学院教育の質の改善にFD (Faculty Development) 活動が注目されている。FD 活動とは、教員による授業改善のための組織的取組である。平成20年度から学士課程でもFD活動が義務付けられ、平成18年度の文部科学省の調査によれば、約630大学がFD活動を行っていた[1]。現在、FD活動として最も普及しているのが「学生による授業評価アンケート」であるが、現状、義務的に単に学生から回答を回収し、集計しているだけの組織も多い。しかし、調査結果の活用以外に、授業を継続的及び効果的に改善するための各種の試みが行われている。

本学(産業技術大学院大学)は、教育改善プロジェクトとして、神戸情報大学院大学等と連携し、「教育の質を保証する効果的なFDの取組」を行っている[2]。このプロジェクトでは、教育改善のための各種の情報システム開発及び実験が行われている。また、著者らは昨年度「ICTと教育」研究会を立ち上げたが、今年度は、授業設計及び教授法を議論する活動(SoTL: Scholarship of Teaching and Learning)を行っている[3]。この研究会では、インストラクションデザインに関する議論、各種のオンラインのコミュニケーションツールの活用に関する提案、実験報告が行われている。

本稿では、これらのプロジェクト及び研究会から、授業の効果的PDCAサイクルを実現するためのICT(Information and Communication Technology, 情報通

信技術)の活用に関する試みをまとめる。以下の第2章で授業のPDCAサイクルの現状と課題を概観し、ICTを活用した改善案を示した後、第3章から第6章で授業改善への各種のICTの活用を示し、第7章でこれらの活用を考察し、第8章で本稿をまとめる。

### 2. 授業のPDCAサイクル

図1に示すように授業のPDCAサイクルを構成する4段階を以下に示す。

- Plan (計画) : 従来の実績, 将来の予測等から計画を作成する → 目的にあった授業計画を作成する。
- Do (実行) : 計画に従って実行する → 授業計画に従って授業を行う。
- Check (評価) : 計画にしたがって実行できているかを確認する → 授業終了時に自己評価及び学生の授業評価結果に従い, 総合的に授業の適正を評価検証する。
- Action (改善) : 計画にしたがって実行できていない箇所を改善する → 授業計画と授業評価結果からギャップ分析をし, 来年度の授業計画に反映する。また, スライド等の資料の改善を行う。

この4段階を毎年の授業で実行し, 順次行って1周したら, 最後のActionを次のPDCAのサイクルに接続し, 螺旋のように1周ごとに次第にサイクルのレベルを上げ, 継続的に改善を行う仕組みである。

従来の授業のスタイルでは, 教員は授業の準備を行い,



図1 PDCA サイクル

授業を行う。最近であれば、スライド等の各種ツールを活用する等の取り組みが行われている。現在、本学で行われているPDCAサイクル及びFD活動を図2に示す。現状は、これらによって、授業のPDCAサイクルを構築している。しかし、現状の授業のPDCAサイクルが最善というわけではない。



図2 授業のPDCAサイクル（現状）

今回、現状の授業のPDCAサイクルに対して、ICTを積極的に活用し、改善することを試みた。改善案を表1にまとめる。また、図3は、図2に対して、これらのFD活動及びICTシステムを展開したものである。



図3 授業のPDCAサイクル（改善後）

### 3. 授業評価調査

従来の学期末の調査のほかに、授業中、短期、中期等の多段階の授業評価調査を行うため、ICT（Web）を活用した情報システムを開発した。ICTを活用した社会調査（アンケート）のシステムとして、既に多くのものが存在するが、以下の既存の類似ICTシステムの機能仕様及び特徴を調査し、

- LMS: Blackboard, manaba, RENANDI, Jenzaber
  - OSS: phpESP, LimeSurvey, opensurveypilot, UCCASS
  - SaaS: Google Form, WUFOO, FormAssembly
- 今回は以下の事項を特徴にした。
- 多段階調査（授業中、短期、中期、長期、修了後）のための仕組みを準備する。学生及び職員の手間（回答、回収、集計、解析）を軽減する。授業中、短期、中期のための設問を準備する。
  - PC、携帯電話等を活用する。帰りの電車でも回答できるようにし、学生の手間を軽減する。
  - 回収率を改善する。ICTの場合、紙に比較して、回収率が下がる傾向にあるため、催促（reminder）メールの機能を付ける。ただし、回収率に関しては、回答の義務付け等の運用面でも対策が必要ある。
  - 設問集を準備する。設問及び解析に社会調査法（社会調査のノウハウ）を活用する。
  - 調査結果を蓄積し、解析時のCI（Collective Intelligence）として利用する。
  - 調査結果を解析し、結果報告書を作成する。統計処理を使って集計結果を解析し、DV（Data Visualization）を活用し、視覚的に表示する。



図4 授業のPDCAサイクル（現状）



図5 授業のPDCAサイクル（改善後）

表 1 授業の PDCA サイクルの改善

		授業の PDCA サイクルの改善			
		Plan(計画)	Do(実行)	Check(評価)	Action(改善)
授業の PDCA	Plan(計画)	授業設計: 教員及び外部 委員等によるカ リキュラム改善	授業設計は、通常の会 議及びメールで行われ ている。	通常の会議及びメールで行わ れている現状の授業設計は効 率が悪い。また、連携する大 学院の類似科目の教員が集 まって教授法に関する議論 は、物理的制限から頻繁には 開催できないし、効率が悪い。	遠隔会議システムを利用することで物 理的制限を緩和して、必要に応じて会 議を開催して、活発に議論ができるよ うにする。⇒ 遠隔会議システム(nice to meet you, AIIT VideoChat)の活用(第 5章)
	Do(実行)	授業: シラバスに従っ た授業の実行	スライド、LMS 等の各種 ツールの活用	学生の理解度を高めるため には学生の授業参加が望ましい が、現状、学生の授業参加が 限定的である。	学生及び教員相互のコミュニケーション から各種の授業参加を図る。⇒ Skype, Twitter, Google Wave 等のコ ミュニケーションツールの活用(第 6 章)
	Check(評価)	授業参観: 教員相互の授 業参観	すべての授業が収録さ れ、動画コンテンツとし て蓄積され、インターネ ット経由で視聴できる講 義支援システムが構築 されている。また、過半 数の教室・演習室は壁 をガラス張りにしてある。 教員相互の授業参観で は、これらの仕組み及び 環境を活用できる。	現状、授業動画コンテンツは FD 活動にほとんど活用され ていない。また、実際の授業 参観の実行も限定的である。 理由としては、時間と場所が制 限されることがあげられる。	携帯端末等を活用して、通勤中ある いは出張中等、任意の場所と時間に 仮想の授業参観を行い、これを授 業評価あるいは授業設計に反映 する。⇒ 携帯 端末への授業動画配信(aiitcast)の 活用(第 4 章)
		授業評価: 学生による授 業評価	学期の最後に紙で授 業評価調査を行い、調査 結果を集計している。	現在は、学期の最後に授業評 価調査を行っているので、受 けている授業には反映されな い。また、反映されるのは次の 年度であるが、1 年弱の期間 が空いてしまうので、Action が 単に回想に終わってしまう恐 れがある(図 4)。紙で行って いるため、頻度が制限される。 回収、集計に手間と費用がか かる、誰かが配布、回収し、さ らに集計のために打ち込み作 業が生じる等の理由がある。	従来の学期末の調査のほかに、授 業中、短期、中期等の多段階の授 業評価調査を行う(表 2)。設 問 DB を構築し、自分が履修し ている授業自体に反映する 内容に関する設問、あるいはカリ キュラムに反映すべき内容に 関する設問等、多段階の授 業評価の目的毎に、社会 調査法(社会調査のノウハウ)を 反映した設問を準備する。授 業が行われている学期単位 でも、年度単位でも授業 及びカリキュラムの改善が 継続的に行われるのが理想 である(図 5)。⇒ ICT を活用した授業評価調査(第 3 章)
	Action(改善)	授業改善: アクションプラン 作成及び授業 への反映	授業評価の集計結果を 参考に、教員がアクシ ョンプランを作成してい る。	調査結果として、学生からの 回答を集計しただけのものが 教員に提示されている(図 7)。集計結果の解析は教員が 独自に行っている。	調査結果を統計処理で解析して、DV (Data Visualization)等によ って教員に提示することで、 アクションプラン作成及び 授業への反映を支援する。⇒ ICT を活用した授業評価調査(第 3 章)

表 2 多段階の授業評価

種類	時期	目的等
即時	授業中	学生の理解度確認: 今の箇所がわかったか等
短期	各授業後	次の授業への反映: 声の大きさ, 資料の文字の大小等 学生からの質問事項の収集
中期	学期3回程度	内容のレベル・内容・学生の興味等の調整
長期	学期終了後	次年度のシラバスへの反映
超長期	年度終了後 課程修了後	次回のカリキュラム見直しへの反映

システムの構成図を図 6 に示す。以下に各構成要素の概要をまとめる。



図 6 授業評価調査のシステム構成図

### 3. 1 「授業評価調査」要素

「授業評価調査」要素は、ICT を利用した社会調査（アンケート）のシステムである。最初に教員が授業評価調査の質問票を作成する。「設問 DB」要素に質問票のテンプレートは準備されているので、質問票及び設問作成の負担は軽減される。設定した調査開始日時には、調査の案内メール学生に自動的に配信される。メールを受け取った学生は、メールに書かれている URL から、PC あるいは携帯端末で Web サイトに接続し、回答を行う。回答の内容は蓄積され、「集計データの解析及び提示」要素によって、調査終了日時にあるいは随時、教員に提示される。また、回収率を高めるため、調査期間中に未回答の学生には原則 1 回催促メールが配信することもできる。

### 3. 2 「設問 DB」要素

当授業評価調査には、既存の授業評価調査の設問を参考にし、多段階調査の各段階、調査対象の大学院、専門分野等を考慮した設問が設問集として準備されている。これらの設問は、社会調査の専門家の観点から、過去の

委員会等で指摘された事項、社会調査法を反映して、学生の意見をできるだけ適切に調査できるように整備が行われている。

また、設問は必要に応じて自由に作成することができる。作成した設問は原則公開されるが、非公開にすることもできる。Delicious [4] 等のソーシャルブックマークのように、作成した設問には「短期」、「中期」、「配布資料」、「難易度」、「試験」等の種類、目的等を示すタグを自由に付けることができる。授業評価調査の質問票の作成は、この設問集から設問を選択して作成するが、あらかじめ準備されている質問票をテンプレートとして流用することもできる。以下に準備されている質問票の種類を示す。

- 産業技術大学院大学（講義）
- 産業技術大学院大学（PBL）
- 神戸情報大学院大学（大学）
- 神戸情報大学院大学（特定課題研究）
- 大学（文系）
- 大学（理系）
- 短期（授業後）
- 中期（学期中）

調査結果は、原則、蓄積され、収集データの解析で平均値、分散等を算出するために利用されるが、非公開にすることもできる。

図 7 従来の調査結果（紙）

### 3. 3 「集計データの解析及び提示」要素

集計された調査結果は、各種の統計処理が行われ、DV を活用して教員に提示される。現在の本学で行われている授業評価調査の設問から作成した例を図 8 に示す。

この例では、従来の集計結果及び自由欄という情報のほかに、「総評（アドバイス）」及び「昨年度及びほかの科目の集計結果」が表示されている。



図8 調査結果の解析例 (Web)

#### (1) 総評 (アドバイス)

以下の条件から指摘項目を抽出して、総評を生成している。

- 昨年度の値との比較
- ほかの科目との比較
- 参考値 (現在は絶対値)

以下に例 (抜粋) を示す。

ほかの科目群と比較し、「学生参加」が悪い値を示しています。  
「学生参加」、「質疑応答」、「シラバス」、「難易度」はまだ改善できる余地があります。

#### (2) 集計結果

従来の集計表示は、単に評価2が2名、評価3が6名、評価4が2名等の値が示されていたが、このほかに、経年で蓄積されている昨年度及びほかの科目の調査結果の平均値を表示して、相対的あるいは絶対的にどのように評価されているかが確認できる。

- 昨年度からどの程度改善できたか。
- ほかの科目と比較してどうか。

比較対象の科目群はタグによって指定できる。この例では、「all」、「aiit」、「情報」、「開発」

また、集計結果は設問及び解析の種類毎にグラデーション表示を利用し、視覚的にわかりやすく表示している。グラフ表示も可能である。

#### 4. 携帯端末への授業動画コンテンツ配信

本学では、すべての授業を収録し、動画コンテンツとして蓄積され、在学生及び修了生の修学支援のため、インターネット経由で視聴できる講義支援システムが構築

されているが、これらはFD活動にほとんど活用されていない。また、実際の授業参観の実行も限定的である。これらは、時間と場所が制限されることが理由としてあげられる。しかし、同じ大学院の教員、連携する大学院の類似科目の教員、外部委員等による授業参観は、授業評価、さらには授業改善、授業設計の各段階で非常に重要である。大学授業の研究者は、教授法の研鑽法として「自分の授業を録画してみる」を推奨し、さらには優れた授業参観、同じ科目の担当教員からのアドバイスを受けることが効果的だと指摘する [5]。

今回、これら授業動画コンテンツを効率的に活用するため、iTunes等を経由し、iPod、PSP等の携帯端末への授業動画コンテンツ配信システム aiitcast を開発した。図9にシステム構成図を示す。



図9 aiitcast のシステム構成図

既存の授業収録システム PowerRec で収録された授業動画コンテンツは、複数台の変換サーバによって wmv (Windows Media Video) から mp4 (MPEG-4 AVC) へ変換され、新配信サーバ上に蓄積される。利用者は、Web画面 (図10) から学期、専攻等のタグから絞り込みを行い、視聴したい科目のファイルをダウンロードする。



図10 aiitcast のWeb画面例

ダウンロードしたファイルは iTunes 等を経由して、携帯端末へ登録できる。現行の対応機種を以下に示す。

- PSP: PlayStation Portable (480 × 272)
- iPod nano (320 × 240)
- iPhone/iPod Touch (480 × 320)

2009 年度の各学期の科目で現在実用レベルでの評価実験を行った。約 80 科目 × 15 回 × 3 機種であるから、ファイル数は 3,600 である。90 分の授業のファイルの変換に約 30 分を要する。変換後のファイルは 200MB 程度、1 科目に換算すれば 3GB 程度で、配信サーバから自 PC へのダウンロードが有線 LAN であれば 1～2 分、自 PC から携帯端末への登録は USB 接続であれば 1～2 分を要する。

これによって、授業動画コンテンツを携帯端末で通勤あるいは出張等、時間と場所に制限されずに視聴でき、以下の授業参観等に活用できる。

- 教員相互の授業参観及び評価
- 教員及び外部委員等による授業参観及びカリキュラム改善
- 連携する大学院の類似科目の教員による授業参観及び授業内容等の議論

このシステムは、特に社会人学生の修学支援での活用も期待できる。

また、今年度から電子看板設置し、授業動画コンテンツを流す試みを始めた (図 11)。



図 11 電子看板 (授業動画コンテンツ)

## 5. 遠隔会議システム

専門職大学院の各科目の内容は極めて専門的で、特定の科目を担当できる教員は、通常同じ大学院に 1 名程度しか所属していない。したがって、各科目の授業設計を行う場合には、連携する大学院の類似する科目の教員が相互に授業設計及び教授法を議論する活動 (SoTL) が効果的ではある。しかし、現在、物理的制限から頻繁にはこれは開催できない。

今回、この課題を解決するため、電子会議システム (nice to meet you 及び AIIT VideoChat) を試みた。nice to meet you は V-CUBE 社の製品である [6]。AIIT VideoChat は、本学の学生が著者の PBL (Project Based Learning) で設計及び開発した mixi アプリである [7]。AIIT VideoChat のシステム構成を図 12 に、画面例を図 13 に示す。遠隔会議システムでは Polycom, Skype が有名であるが、今回実験に使用したシステムは、クライアント側に設備、ソフトウェアを準備する必要無いこと、多対多の映像付き会話が可能であること等の特徴がある。

以下に機能の項目を示す。

- 映像チャット
- 音声チャット
- 文字チャット
- スライド資料の掲示

両者は類似の機能を有しているが、前者は PowerPoint 等のスライド資料を扱うこと、動画及び音声の記録を残すことができること等が特徴であり、後者は mixi (SNS: Social Networking Service) のインフラを利用していること、前者と比較して動画画質が優れている等が特徴である。



図 12 AIIT VideoChat のシステム構成図



図 13 AIIT VideoChat の Web 画面例

これらによって、物理的制限から解放され、必要に応じて、以下の教員相互のオンラインの議論等に活用できる。

- 教員相互の授業参観及び評価
- 教員及び外部委員等による授業参観及びカリキュラム改善
- 連携する大学院の類似科目の教員による授業参観及び授業内容等の議論

## 6. コミュニケーションツール

学生の理解度を高めるためには、学生の授業参加度が高まることが望ましいが、現状、学生の授業参加が限定的である。この問題に対して、今回、オンラインのコミュニケーションツール及びコラボレーションツールを活用し、学生及び教員相互のコミュニケーションから授業参加度の改善を試みた。

実際には、授業中に学生及び教員の相互コミュニケーションは難しい。学生の多くは消極的であるし、また発言のタイミングが難しい。学生間のコミュニケーションが私語に発展してしまうことが多い。コミュニケーションツールの活用によって、学生が気軽に発言できる環境を準備し、活発に発言してもらい、関連する情報を履修者間で共有し、また、物理的に離れた複数の学生間のコミュニケーションを実現することができた。授業の本筋からの外れた議論の制御、授業時間外の議論、質問の対応にも効果があった。

学生及び教員相互のコミュニケーションがただの雑談で終わってしまうのは残念である。学生が授業を聞いて理解した内容を協働で整理することによって、授業内容の理解が深まる。同様に、コラボレーションツールによって、これを実現する環境を設定してみた。

学生の授業参加に利用できるコミュニケーションツールには、以下に例をあげる複数の選択肢がある。

- 電子メール
- Skype (あるいは IM)
- Twitter
- Google Docs
- Wiki
- 電子掲示板 (会議室)
- Google Wave

電子メールはコミュニケーション手段として有名であるが、時代遅れである。最近では Twitter が利用されることが多いが、Twitter は参加者数が  $n$  であれば、 $n \times (n - 1)$  の手間がかかるため、多人数の議論にはコスト高である。また、あらゆる議論がすべて公開されてしまうこと、140 文字の制限があること、参加者がオンラインで

あるかどうか分からないこと、リアルタイムに更新ができないこと等の理由から、今回は、学生及び教員相互のコミュニケーションのために Skype を使った。図 14 に Skype での発言数を示す (履修者 29 名)。12/2 から 1/27 まで 13 回の授業間に、約 1,600 の学生及び教員の発言があった。授業時間の利用が多いが、約 48% の発言が授業時間外であった。

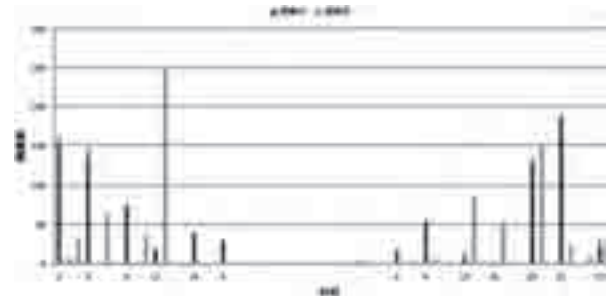


図 14 Skype での発言数

また、各コラボレーションツールには一長一短があったが、過度に新機能を取り込んでいること、今後の展開が期待できること等から、授業理解及び課題 (調査結果の整理) のコラボレーションのために Google Wave を使った。表 3 に各 Wave の編集数を示す。A から G が各調査課題の組 (4 ~ 5 名) の整理作業のための 36 日間の値、H は授業の整理作業のための 59 日間の値である。各調査課題の組は 170 ~ 180 程度の編集が行われている。また、実際の作業では、このほかに Skype 等が活用されていた。

表 3 Google Wave の編集数

組	A	B	C	D	E	F	G	H
数	177	177	108	174	168	50	187	491

このうち、C 組の編集数を学生単位に分け、グラフとして表示したものが図 15 及び図 16 である (13 日目が 2009 年 12 月 31 日)。このグラフから学生ごとの編集数にも、編集時期にも偏りがあることが読み取れる。

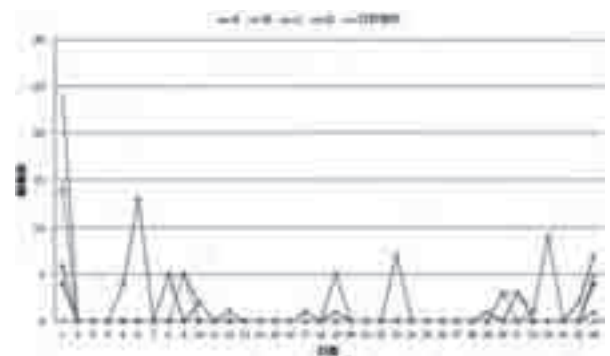


図 15 Google Wave の学生ごとの編集数

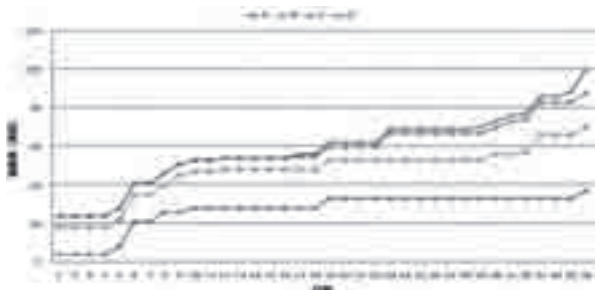


図 16 Google Wave の学生ごとの編集数 (累積)

## 7. 考察

これまで、ICT を活用した授業改善に関する試みを示してきた。以下では、これらを考察し、課題をあげる。

- 授業の PDCA サイクルを確実に実現する。「学生による授業評価アンケート」を行っているが、結果が有効に活用できていない大学は多い。これは PDCA の C (Check) 段階を断片的に行っているだけであるが、理想的には PDCA サイクルを確実に回し、継続的に授業を改善することが重要である。
- 授業の PDCA サイクルを定期的あるいは常時評価し、改善する。授業の PDCA サイクル自体を継続的に改善することが重要である。学生による授業評価アンケート以外に授業参観、教授法の研修、授業設計の議論等を組み込んで、現状の授業の PDCA を再編し、効果的 PDCA を実現することが提案できる。
- PCA (Plan-Check-Action) 段階で ICT を活用する。PCA 段階に ICT が活用できることは多い。本稿の第 3 章から第 5 章で、授業評価調査、調査結果の解析、仮想の授業参観、授業設計及び教授法の議論 (SoTL) 等に ICT を活用する試みを扱った。ただし、今後は、ICT を活用した際の効率及び、費用対効果を考慮する必要がある。
- D (Do) 段階で ICT を活用する。PDCA の最終目的は D 段階の改善にある。D 段階では、スライド資料から授業支援システム等が使われてきた。本稿では、学生の授業参加を引き出すための試みを示した。ICT の活用によって、学生の発言が増加し、また関連する情報を履修者間で共有することができた。授業の本筋からの外れた議論の制御にも効果があった。ただし、まだ活用の手法等には改善及び整理が必要であると感じた。
- 授業評価結果の解析では、収集データ数次第では異常値の考慮が必要である。

また、最後に、折角の情報システムであっても、ICT に関する理解が不十分、あるいは準備不足等の各種要因から、ほとんど利用されないこともあるという懸念があ

ることに触れたい。情報システムは、初期コスト以外に、年次コストがかかることが多い。情報システムは活用されてはじめて価値が生じることを理解する必要がある。

## 8. おわりに

本稿では、ICT を活用した授業改善の試みをまとめた。本学は、2006 年の設置の段階から積極的に FD 活動を行い、授業の PDCA サイクル等を実行してきた。授業改善は、授業の PDCA サイクルによって実現されるが、この PDCA サイクルに問題がある場合はもちろん、問題がない場合であっても定期的に PDCA サイクル自体も改善を行って行く必要がある。これに対して、本学の教育改善プロジェクト（「教育の質を保証する効果的な FD の取組」）及び「ICT と教育」研究会では、各種の調査、研修、教育改善のための各種の情報システム開発及び実験から授業設計及び教授法を議論する活動が行われ、様々な観点から教育に関する議論を重ねてきた。今後、これらを活かし、授業及び教育の改善に関して、さらに議論及び考察を継続していく必要がある。

最後に、本稿の執筆にあたって、梶原泰教氏（産業技術大学院大学 修士課程）に図 15 及び図 16 の作成を手伝っていただいた。ここに感謝の意を表す次第である。

## 参考文献

- [1] 「授業の質を高めるための具体的な取組状況」：文部科学省 Web サイト、  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/20/06/08061617/002.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/06/08061617/002.htm), 2008 年 6 月
- [2] 「教育の質を保証する効果的な FD の取組」：平成 20-21 年度 文部科学省 専門職大学院等における高度専門職業人養成教育推進プログラム  
<http://superfd.aiit.ac.jp/>
- [3] 「ICT と教育」研究会 (ICTEDU) :  
<http://pk.aiit.ac.jp/ictedu/>
- [4] Delicious:  
<http://delicious.com/>
- [5] 米谷 淳:「授業改善に関する実践的改善 8. 教師の成長と授業評価に関する一考察」, 大學教育研究, 12, 37-45, 2003, <http://www.iphe.kobe-u.ac.jp/mokuji/contents12/KJHE12e.htm>
- [6] nice to meet you:  
<http://www.nice2meet.us/>
- [7] AIIT VideoChat (mixi アプリ) :  
<http://pk.aiit.ac.jp/avc/>



# 開発・設計における品質工学の有用性について

鈴木 真人\*・越水 重臣\*\*

## Quality Engineering in Product Development and Design Stage

Masato Suzuki\* and Shigeomi Koshimizu\*\*

### Abstract

This paper offers a commentary on quality engineering, which has benefit in the phases of product development and design. Quality engineering is also known in Western countries as the Taguchi methods, in recognition of Dr. Genichi Taguchi, who proposed a set of methodologies. This paper introduces readers to tangible tools devised for using his principles in practical applications, such as loss function, S/N ratios, orthogonal array and graphs of factorial effects. It also discusses the utility of quality engineering at the product development and design stage.

Keywords: Quality Engineering, Loss Function, Orthogonal Array, S/N Ratio, Graphs of Factorial Effects

### 1. 緒言

#### 1.1 「技術」 = 「転写性」とは

品質工学について、その哲学を理解するうえで、まず「技術」という言葉の定義の認識を共有しておく必要がある。ここでいう「技術」とは主に工業技術と呼ばれる類のものである。

筆者は、「技術とは、転写性を確保する術、あるいは転写性そのものである。」と定義している。[1]

身近な例で転写性を説明し、その後、なぜ、技術 = 転写性であるか、の一例を示す。

「転写性」の転写とは、例えば、印鑑の印面に彫りこまれた裏文字に朱肉をのせ紙面に押し付けて、紙面に朱肉の文字を付着させることである。このとき、付着した朱肉の文字にかぶり、太り、欠けや印影の濃淡などがないうとき、良好な転写性があるといえる。



図1 印鑑

ここで、印鑑で紙面に判をきれいに押す、つまり良好な転写性を獲得するための方法を解説する。

まず、印鑑の印材の濡れ性、印面の平坦度や彫りこみ部と浮き出す文字部のエッジの鋭さなど、印鑑自体の要因、印材への付着性と紙への付着性を両立した朱肉の物

性的要因や、判を押される対象となる紙の繊維の均質性、朱肉の浸透性、厚さ、硬さ、弾力性、平坦度といった要因が考えられる。また、紙を置く台の硬さ、弾力性、平坦度や清浄度も重要な要因である。そして、判を押す人の一連の作業、たとえば、印面の清掃の仕方、朱肉の付け方、印鑑を紙へ押し付けるときの動作、押す力、保持する時間、印鑑を紙から離すときの動作なども重要な要因である。



図2 よい印影と悪い印影

これらの要因が判を押して印影を得るという目的に対する技術要素である。そして、これらの要因が最適化されたときに最高の転写性、つまり、理想的に反転された印影という結果が獲得できる。

#### 1.2 「技術」は「転写性」であることの工業的一例

樹脂部品とそれを成型する金型の関係で工業的な観点から「技術」 = 「転写性」の一例をあげる。

よい樹脂成型技術とは、金型と成型材料および作業環境の適正な保管・管理がなされていることを必要条件として、成型機にとりつけた金型の温度、締め付け力、樹脂材料の混練時間、その熔融温度、射出圧力、射出速度、射出後の冷却時間など成型に関わる諸要因をチューニン

グし、金型に彫りこまれた形状、寸法を正確に反転した外面を有する樹脂成型品を、一定の物性で獲得することである(図3)。すなわち、金型の内面形状を正確に転写した品物(実際には樹脂部品は成型後、多少収縮するが)を得ること、そしてまた、成型された部品は材料物性のカタログ値を満足(カタログ値を転写)していることが理想の樹脂成型技術である。技術=転写性という考えがなりたっている。

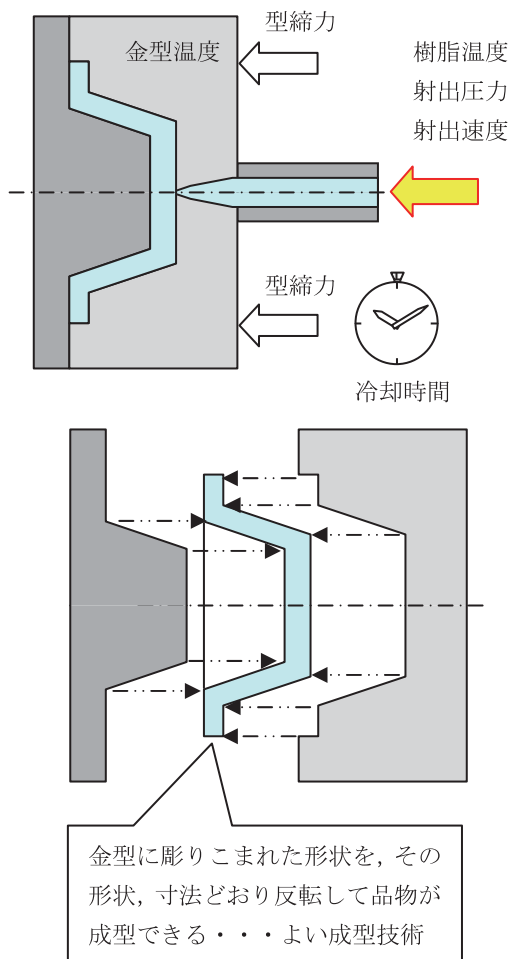


図3 樹脂成型技術と転写性

### 1. 3 工業製品は転写の連鎖で具現化される

技術とは、工業的な活動の成果である製品を仕様近づける能力、すなわち、理想を現実に転写する能力のことである。

一般的に工業製品は技術の連携、いいかえると転写の連鎖によって具現化されていく。

多くの工業製品は仕様書→構想→製品設計・製図→試作→評価・修正→本生産→出荷という流れで進み具現化されていく。これらを展開していく手段、および、作業と作業を結ぶインターフェイスが技術にほかならない。

まず、企画段階において製品の仕様書には市場の要求が反映されている必要がある。市場要求のドキュメントへの転写である。つぎに、仕様書で表された機能を具現

化するための科学的手法や工業的手段・方法を模索する。これが構想である。また、製品設計・製図は設計思想を情報伝達手段(部品図、回路図や実装図、または、それらの2Dデータ、3Dデータ)に転写する作業である。試作は設計思想の実体への転写あり、評価・修正は、製品仕様と実体との機能の差を縮める作業、つまり、仕様の実体に対する転写性の改善作業と考えられる。

当然、本生産も製品仕様の実体への転写である。このように製品が企画され、生産されるまでに技術の連携=転写の連鎖が繰り返される。

工業製品を企画から製品化する場面において最も源流の技術は、工業製品を安く、早く、ばらつくことなく生産するために利用されているその製品の機能をつかさどる自然科学の法則や工学的原理・経験則である。ほとんどの工業製品は「オームの法則」や「フックの法則」に代表される自然科学の法則や工学的原理・経験則の組み合わせによって、目的どおりに機能することを期待され、またそうなるように設計されている。このように考えると工業製品の良さ、とは、自然科学の法則や工学的原理・経験則がいかに良好にその製品に転写されているか、で評価することができるものと考えられる。

さて、「転写性」が「技術」の本質であるという論説を進めてきたが、「転写性」を分解すると、「再現性」と「線形性」から成り立っていると考えられる。

すなわち、「技術」=「転写性」=「再現性」+「線形性」である。

「再現性」とは、あるシステムに一定の入力をすれば、どのような状況(使用する環境やシステムの個体が異なる)であったとしても常にある値のまわりにばらつきの小さい出力値が得られることである。

「線形性」とは、入力の変えればその入力量に比例した(あるいは、ある関数に支配された)出力値が得られることである。

## 2. 品質工学とは

### 2. 1 品質と損失関数

「品質」とは何か? ISO9000での「品質」の定義は、「本来備わっている特性の集まりが、要求事項を満たす程度」である。

「品質」という概念は、工業製品や食品など実体をとまなうものだけでなく、生命保険等の契約内容や契約後のサポートなど、各種サービスにもあてはまり、自分たちの生活に密着したほとんどの商取引で付いて回る非常に重要な概念である。

工業製品の場合、材料の購入・輸送、部品の購入や加工および保管、部分組立と検査および保管、総組立と検

査、梱包、入庫、出庫、輸送という工程のすべてが製造品質として、品質問題に影響を与える。一般的には製造に関連する各工程の管理水準が品質水準を決めていると考えられている。そして、その品質の評価は顧客にゆだねられる。

ネットワーク通信が普及している現在、管理内、想定内の不適合率で製造した商品であっても、不適合品を買ってしまった顧客の不満は、短時間の内に予想もつかない数の人々に対して伝達してしまう。これからの社会において、企業はよりいっそう「品質」を重要視していかなければならない。

さて、モノ・コトを制御したり改善したりするためには「計測」という行為・行動は非常に重要である。一般的に「計測」とはモノ・コトの状態を直接、あるいは間接的に表現する物理量、化学量を人間の認知しやすい特性に変換して数量化することである。

したがって、「品質」という概念もなんらかの定量的な数値で計測しなければ、「品質」を制御したり改善したりすることは難しい。

本稿でこれから述べる「品質工学」という技術手段がある。「タグチメソッド」と呼ばれることも多い。これは統計学者の田口玄一博士が発明、体系化した汎用技術である。

品質工学においては、「品質とは、製品を出荷後社会に与える損失である。」という文章で「品質」を定義している。損失とは経済的にある「金額」を失うことである。つまり、ある製品に関する「品質」とは、その製品を出荷したために、社会が失ってしまう「金額」であるということである。「品質」を「金額」で計測するのが品質工学の根底に流れる思想である。

そして、「品質」を金額化するための手段が、田口博士が提案している「損失関数」という考え方である。

一般に、工業製品の損失は、その工業製品の目標とする機能水準の目標値（基準）を  $m$ 、機能障害を発生する機能の限界を  $\pm \Delta_0$ 、そのとき発生する損失金額を  $A_0$  とすると、図4のごとく、機能の水準の範囲が  $m \pm \Delta_0$  の

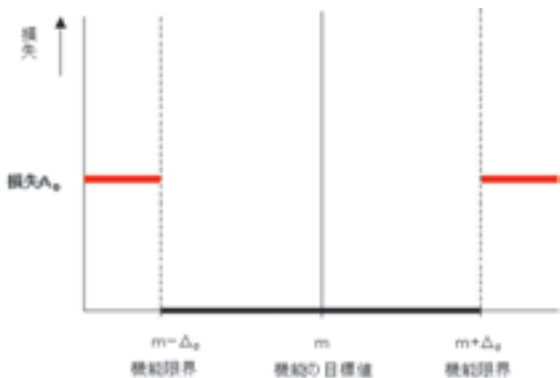


図4 一般的な機能限界と損失の思考

範囲においてはゼロ、機能の水準が  $\pm \Delta_0$  を超えた状態では  $A_0$  の損失が発生している、と考えがちである。

しかし、田口博士は、図5のように、機能水準の目標値；  $m$  からのずれの2乗に比例した損失が発生すると考えるのである。

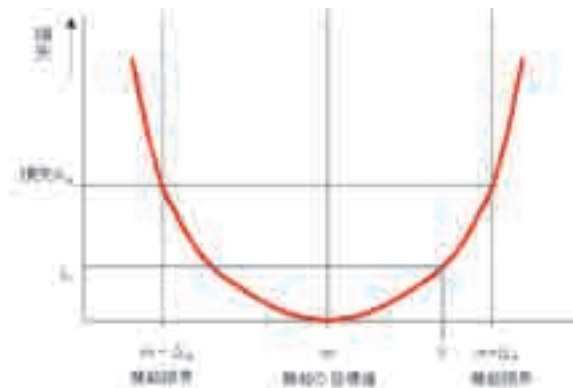


図5 品質工学での機能限界と損失の思考

また、これは非常に重要な思想であるが、機能の限界内においても損失が発生していると考えるのである。つまり、品質機能の限界値内であっても目標値；  $m$  から、  $(y - m)$  だけ離れた品質機能の水準においては、常に、

$$L = k \cdot (y - m)^2 \dots (1)$$

という損失が発生しているということである。ここで比例定数；  $k$  は、システムが機能障害を起こす限界；  $\Delta_0$  で、損失；  $A_0$  が発生するので、この点を通る2次関数であるから、

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (y - m)^2 \dots (2)$$

となる。このように損失が目標値からのずれの2乗に比例することは数学的に説明されている。

数多く生産される製品の場合（生産した製品の数だけ  $y$  が存在する場合）について損失の式を適用すると、  $(y - m)^2$  の平均値は分散；  $\sigma^2$  となる。したがって、損失の式は

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \sigma^2 \dots (3)$$

と記述される。[2] [3]

このように、製品を出荷した後、社会に与える損失は、機能の目標からの限界量と、そのとき発生する損失金額、および、製品の機能の分散を使って表すことができる。

「製品を出荷後、社会に与える損失」とは、企業がトラブル対策にかかる総費用や、企業のブランドイメージの低下など企業側に発生する損失だけではない。製品が使えないことにより起生するユーザーの実損失や機会損失、および、公害（たとえば  $CO_2$  の発生など）により生起する費用も当然含んでいる。それらを合計して「社会に与える損失」とするのであるが、この金額は技術者

が見積もってはいけない。この金額を決定できるのは経営者のみである。なぜなら、経営者こそが、経営理念にそって企業のブランドイメージを金額化する責任を担っているからである。

「損失関数」が品質工学の根幹である。つまり、品質工学とは製品にかかわるすべてのコストを最適化するための手段であり、コストを原理として技術活動の方向を確定する意思決定を支援する手段である。

## 2.2 品質工学におけるシステムのとらえ方

射手 A と射手 B が、同じ練習場で同時刻に同じ条件で射撃訓練をした。そのときの結果が図 6 である。

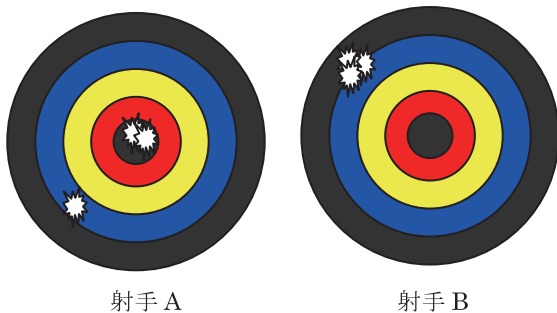


図 6 射撃訓練の結果

射手 A の射撃の腕は、3 発中 2 発がほぼ的の中心をとらえている。1 発は、的の中心から大きく外れた。射手 A は、3 発中 2 発も的の中心に命中させるほど、もともと射撃の腕前は高い。したがって、的の中心をはずした弾を撃ったときは、風が強く吹いたなど自然現象による影響とか、汗の流れが気になって精神状態がやや乱れた、など何らかの作用により的の中心をはずしてしまったものと考えられる。

一方、射手 B は、的の中心から大きく外れている。しかし、射手 A よりも、風を読む能力が高いのか、精神力が強いのか、弾着はまとまっている。風の影響や、精神状態の乱れの影響を受けにくい、つまり、「再現性」が高いのである。

射撃競技であれば、射手 A のほうが明らかに得点は高い。しかし、これが実戦では悪天候であっても、どのような肉体的、精神的状態であっても、的の中心を打ち抜くことを要求される。

この要求を満たすために二人がこれからしなければいけないことは、射手 A は風を読む能力を高める、または、精神力を鍛える必要があるのに対し、射手 B は小銃の照準器を調整するだけである。これを射手と小銃というふたつを要因とするシステムととらえた場合、どちらがコントロールしやすいシステムといえるだろうか。

ここで、品質工学におけるシステムのとらえかたを説明しよう。

一般的にはシステムは、図 7 のように示される。



図 7 一般的なシステム図

しかし、品質工学では、図 8 のように考える。

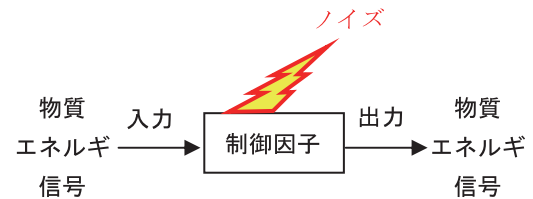


図 8 品質工学でのシステム図

通常、システムは、それを構成する複数の要素から成り立っている。このシステムを構成する要素を制御因子と呼ぶ。制御因子は部品であったり、下位のシステム（サブシステムと呼ばれる）であったりする。ひとつの制御因子には複数の選択肢があり、設計者はそのなかから、いずれかひとつを選択してシステムを構成する。この選択肢を品質工学では、水準と呼んでいる。

そして、非常に重要な思想が、システムはノイズにさらされているという意識をもつことである。ここでノイズとは、システムの置かれた環境の温度や湿度、設置場所の傾きや振動、電源電圧の変動、使用者ごとに異なる使い方、システムが処理すべき対象の性質（例えば、プリンタで例えると使用する紙の種類：上質紙、再生紙、裏紙、はがき）の違いなどに代表される外乱と、保存や使用によって発生する劣化や摩擦などに由来するシステム機能を阻害する要因（内乱）、および、製品製造時点で存在する製品個体ごとの機能のばらつき（個体差）である。これらは設計者がコントロールできない要因である。ノイズは単独、あるいは、複合してシステムに襲い掛かり、システム機能の働きを妨害する。

品質工学では、最初にノイズに対して鈍感となる制御因子の組み合わせを探索する。つまり、システムの「再現性」の確保を最優先でおこなう。そして、つぎの段階で、目標とする出力を得るための活動をおこなう。先ほどの射手の例では、射手 B の素質を持つ候補を見出すことを優先し、彼を見つけることができたならば、その候補の特性に合致するように小銃の照準器の調整をおこなうのである。

また、システムへの入力の変化させ、入力と出力の関係を観察することも品質工学の重要な手法のひ

とつである。このとき、単純に入力を変化させるのではなく、少なくともふたつのノイズ条件のもとで実験し、それぞれの場合についての傾きを評価する。そして、図9におけるノイズ1をあたえたときの結果のように、入出力関係が目標とする傾きと一致していたとしてもばらつきが大きいとか、ノイズ2をあたえたときの結果のように、入出力関係の線形性がわるくなるシステム構成は選択しない。

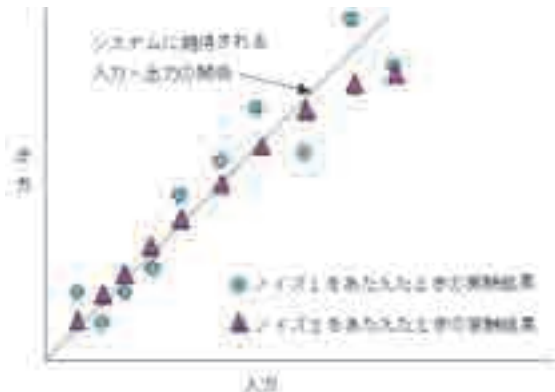


図9 品質工学的に悪い入出力関係

品質工学では、目標の傾きを得られないとしても、図10のようにばらつきが小さく「線形性」が確保され、かつ、ノイズ1とノイズ2の間で傾きに差がないような挙動を示す制御因子の組み合わせを見つけることを第1段階の目的とする。

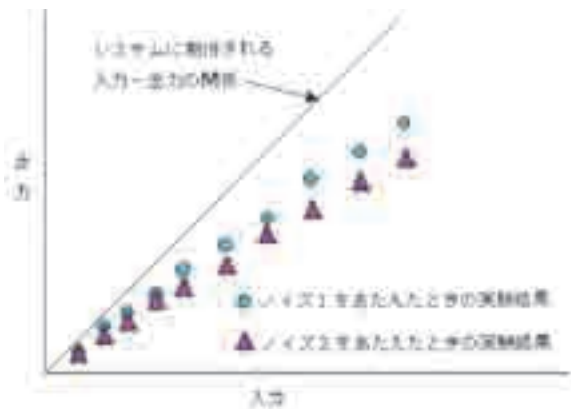


図10 品質工学的によい入出力関係

そして、つぎの段階で、目標の入出力関係（目標の傾き）を得るための活動をおこなうのである。

品質工学は、あえてノイズを与えてシステム機能の働きを乱すように実験し、その結果から、「再現性」と「線形性」を獲得するための制御因子の水準を選択する。すなわち、「転写性」＝「技術（力）」を評価し、それを獲得するための活動が品質工学の活用である。

### 3. 開発設計段階における品質工学の実践

#### 3.1 品質工学のツール（SN比、直交表、要因効果図）

品質工学では、システムや、モノ・コトの「再現性」と「線形性」を定量的に評価するために、SN比（シグナル／ノイズ比）という概念を使う。SN比は、その値が大きいほど「再現性」と「線形性」がよいことを示している。評価対象のシステムの構成要素が出力にあたえる効果のことを感度という。複数の水準を選択できる複数の制御因子を、少なくともふたつのノイズ条件のもとで実験し得られた結果を処理・解析をすることにより、それぞれの制御因子の水準ごとにSN比と感度というふたつの定量値がもとまる。

ここで、複数の制御因子ごとに水準も複数あるわけだから、その組み合わせは膨大なものになってしまう。とても総当りの実験などできるわけがなく、かといってなんのルールもなしに選択した水準の組み合わせだけを実験したところで、よい結果が得られえははずがない。

複数の制御因子について、複数の水準を効率よく組み合わせるために、品質工学では直交表という道具を使う。この直交表に示されたとおりの組み合わせで実験をおこない、得られたSN比と感度を直交表の解析ルールに則って計算すれば、各制御因子・水準のすべての組み合わせ数に対して圧倒的に少ない回数の実験で、その制御因子・水準のSN比や感度にあたえる効果の推定が可能となる。

ここに代表的なL18直交表を表1に示す。この表のA～Hの欄に制御因子を対応させて割り付ける。つまり、L18直交表は最大8種類の制御因子を同時に評価することができる。また、各制御因子の列に1～3（A列は1, 2）と数字が並んでいるが、これは制御因子の水準を表す。

表1 L18直交表

No.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	1	1	1	1
5	1	2	2	2	2	2	2	2
6	1	2	3	3	3	3	3	3
7	1	3	1	1	1	1	1	1
8	1	3	2	2	2	2	2	2
9	1	3	3	3	3	3	3	3
10	2	1	1	1	1	1	1	1
11	2	1	2	2	2	2	2	2
12	2	1	3	3	3	3	3	3
13	2	2	1	1	1	1	1	1
14	2	2	2	2	2	2	2	2
15	2	2	3	3	3	3	3	3
16	2	3	1	1	1	1	1	1
17	2	3	2	2	2	2	2	2
18	2	3	3	3	3	3	3	3

そして、左端の列が実験番号であり、たとえば、No.1の実験は、A～Hの制御因子それぞれについて第1水準を組み合わせでシステムを構成し実験しなさい、ということの意味している。この組み合わせで構成したシステムに対し、少なくともふたつのノイズ条件のもとで実験し、それぞれ出力データを採集する。さらに「線形性」を確認することを目的とするならば、入力値を少なくとも3水準変化させ、複数のノイズ条件のもとで出力データを採集する。これを、No.1～No.18についてすべて実験し出力データを採集するのである。

つまり、「再現性」のみを評価するのであれば、

$$2 (\text{ノイズ条件の水準}) \times 18 (\text{実験組み合わせの個数}) = 36 \text{ 個}$$

また、「再現性」と「線形性」を評価するのであれば、

$$2 (\text{ノイズ条件の水準}) \times 3 (\text{入力値の水準}) \times 18 (\text{実験組み合わせの個数}) = 108 \text{ 個}$$

のデータを採集することが必要条件となる。

このようにして採集した出力データを解析することで、SN比と感度に関する要因効果図というものを得ることができる。

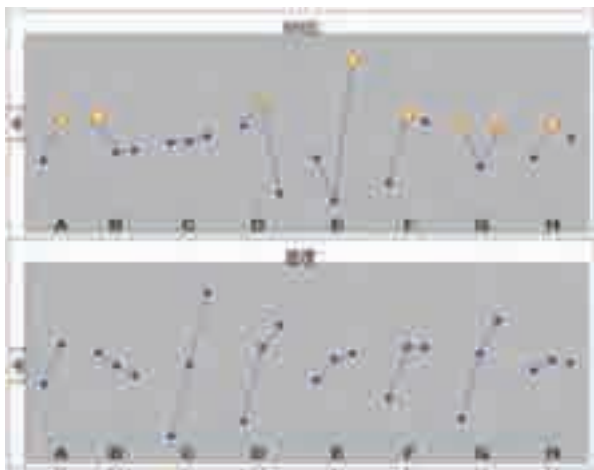


図 11 SN比と感度の要因効果図

図 11 にその一例を示すが、このふたつの要因効果図はセットにして評価することに意味がある。

品質工学を使った評価方法の第1の目的は、「再現性」や「線形性」を獲得することである。要因効果図を見て、SN比は大きければ大きいほど「再現性」や「線形性」がよいわけであるから、各制御因子ともSN比の大きい水準を選ばよ。この例では、制御因子Gの第1水準と第3水準のSN比は、その値にあまり違いがない。このようなときは、感度の要因効果図を見て、もし、システムに対して要求する感度を低くしたいのであれば第1水準を選択し、逆に、高くしたいのであれば第3水準を選択するのである。

また、制御因子Cのような特性のものが見つければ、

非常に幸運である。なぜならば、制御因子Cはどの水準を選択してもSN比はほとんど同じである。しかし、感度は選択する水準によって大きく変化する。これは、「再現性」や「線形性」を確保したまま、感度を設計者の望みの大きさにチューニングできることを意味している。[4]

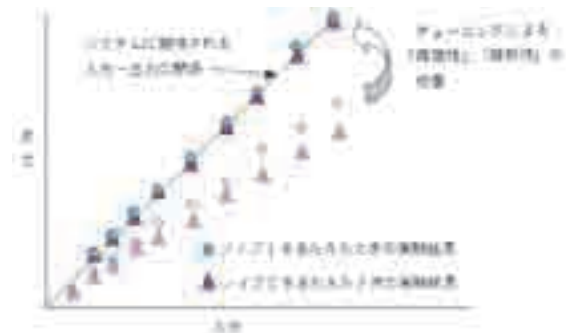


図 12 「再現性」と「線形性」の改善

しかし、このように都合よい特性の制御因子が存在し、発見することができるのか、という疑問がでるが、このような制御因子をひとつでもふたつも見出すために、品質工学では直交表を使ってなるべく多くの制御因子を組み合わせ、同時に、かつ、効率よく実験する戦略をとるのである。

制御因子CやGのような特性をうまく使うことによって、図 10 で示した特性を図 12 のように改善できるはずである。

### 3. 2 技術における劣勢 DNA の活動を弱める

工業製品において、製品を構成する制御因子の特性や、複数の制御因子が相互に影響を与えあうことにより起生する現象や特性が存在する。これを交互作用という。

設計段階、試作段階における評価では検出できなかったトラブルが量産後、あるいは出荷後に発生することがある。

それらのトラブルは発生確率が低いために少数のサンプルしか製造しない試作段階では、トラブル自体が確率的に顕在化しないことがほとんどであり、その検出は困難である。

また、製品が完成した直後から短時間のみ顕在化する過渡的な挙動が発生する場合もある。そして、多くの場合、このような過渡的な挙動はトラブルの種となる。このような過渡的に発生するトラブルを試作段階の評価で検出することも非常に難しい。なぜならば、試作品の評価開始直後の段階では、その評価の本来の目的である機能面での問題が発生し、それを解決するために試行錯誤状態に陥ることが多い。そして、試行錯誤の中に過渡的に発生するトラブルの現象が埋もれてしまう。このよう

なトラブルは量産開始段階、あるいは製品がユーザーの手元に渡った直後に顕在化する。量産が決まり、製造工程が確定した後にこの過渡的に発生するトラブルが見つかる、そのトラブルを除去するために、工場では出荷前にエージング処理をおこなう工程の追加など、予定外のコストが発生してしまう。

あるいは、電気、電子部品やネジなどのように一日あたり何十万～何百万個という数を生産する現場において、一日に数～数十個の不適合品が発生してしまうことがある。これをなくそう（減らそう）として、原因を探るべく生産工程・設備を多方面から徹底的に調査し、原因を解明するために工数・コストをかけるが、その原因を見つけることができない。そこで、材料の徹底的な管理を実施したり、製造設備や工程の管理方法を厳しくしたり、さらには、新しく工程を追加したりなど多大なコストと時間をかけるが、どうしても不適合品をゼロにできない。結局、全数検査などということになる。

以上の例のような、少数しか生産しない試作時点では発見できないトラブルの種や、過渡的に発生するトラブル、大量生産におけるごく少数の不適合品発生の原因の解明しきれない真の原因などを技術的劣性遺伝子（以下劣勢DNA）と呼ぶことにした。

劣勢DNAは、製品や、製造工程・製造設備を構成するシステムの制御因子について、ある水準を選択した時点で誕生する。極論をすれば、白紙の回路図用原紙のある位置に電源のシンボルと1個目の抵抗のシンボルを書き込み、両者を線でつないだ瞬間に誕生してしまうのかもしれない。

劣勢DNAの起源は、システム自体が応用している複数の自然科学の法則や工学的原理・経験則の組み合わせや、システムを構成する制御因子間の偶然的な組み合わせに起因する交互作用を原因としていることもある。当然、製造段階におけるシステム構成要素の加工・製造・組立のばらつきも当然原因となる。

そして、完成したシステムの保存、輸送、使用環境・使用方法などのいずれか単独、あるいは複合により劣勢DNAが目覚め、システムにトラブルを発生させる。

現在の一般的な企業における一般的な設計・開発の進め方では、これら劣勢DNAを除去することは非常に難しい。なぜなら、一般の企業ではこのようなDNAの存在とそれに対抗するための技術的手段に関する教育や実践が、技術者に対して実施されることがほとんどないためである。

また、残念ながらこの段階で品質工学を使ったとしても劣勢DNAを取り除く、あるいは、発生させないようにすることはできない。しかし、システムを選択する時点、あるいは、システムを構成する制御因子の水準を選

択する時点において品質工学を活用すれば、劣勢DNAの寄与を大幅に弱めることが可能となる。

### 3.3 上流設計における品質工学の有用性

最上流（源流）の「技術」とは、自然科学の法則や工学的原理・経験則であることはすでに述べた。そして、それらがシステムの中で阻害されずにうまく機能しているかを調べるためには、「再現性」と「線形性」を評価するSN比と、それを評価することを目的とした品質工学は非常に強力な武器になる。品質工学は開発・設計の源流段階、すなわち、構想段階においてこそ活用すべき手法なのである。

多くの技術者は、当然、自信を持って仕事を進めている。自分の設計は正しいと思込んで試作品を評価している。したがって、試作品を評価しているとき自分の想定と異なる出力となったときに、「いいデータがとれない。」という。この「いいデータ」とは設計者の期待している出力値、仕様書で規定している目標値などのことであろうが、残念ながら、それは「いいデータがとれない。」のではなく、彼の構想で設計を進め、作り上げた試作品の機能が不満足である、ということにはほかならない。

そして、次に彼は、「ここが悪い。」とあって、システムの制御因子のひとつを選び、水準の選択肢を変更する。何回かそんなことを繰り返せば、いつかは「いいデータ」が取れることもある。彼の次の行動は、条件、たとえば環境温度を変えて評価をしない。そして、また、「いいデータがとれない。」ということを繰り返す。

自分の目の前に立ちはだかる硬く、高く、しかも目に見えない技術の障壁にぶつかって、進むことも、また、退くこともできない状況に陥ってしまっている。

このような、「もぐらたたき」、「いたちごっこ」の状況にはまり込むことを回避できる可能性を品質工学は持っている。

これまで述べてきたように、品質工学では、第一段階では目標の出力を得ることは目的とせず、ノイズに対して強いシステム構成を見つけ出すことに傾注する。一般におこなわれているような、標準状態で目標の出力を得てからノイズに対する強さの評価をする方法と全く逆のアプローチである。

ノイズに対して弱いシステムをノイズに対して強くする、つまり、システムがかたまってしまってから出力のばらつきを小さくすることは、担当した技術者がその製品に対する相当高い「固有技術」を持っているとしても非常に困難なことが多い。なぜならば、常に目標出力の獲得とばらつきの低減を同時に実施しなければならないからである。

しかし、まず、ノイズに対して強いシステム構成を見出してから、ノイズに対する強さを確保したまま目標の出力にあわせこんでいく。この流れであれば、担当する技術者が程度の「固有技術」を持っていれば、簡単ではないかもしれないが、不可能ではないであろう。

品質工学を使う、使わないはどうあれ、その哲学を理解しておく、少なくとも、知識として持つておくことに損はない。

品質工学は、製品に期待される「技術（力）」に対して冷徹に判決を下す判事である。

工業製品の価値を決定づける要素は、「品質」、「機能」、「コスト」である。本文で述べてきたように、「品質」は「損失関数」を使って金額化することができる。「コスト」ももちろん金額で計ることができる。「機能」を金額化する手段、哲学を得たとき、この3つの要素をすべて「金額」で計測、比較し、バランスをとることができるようになる。我々技術者や企業の経営者が今後真剣に考えていくべきことは、「機能」を金額化する手段、哲学を見つけて出すことである。当然、この活動は品質工学、あるいは、その哲学をもとに発展していくものとする。今後を期待したい。

#### 4. 結言

2008年後半から2009年現在までの経済情勢は、製造業をはじめとする各種産業分野に深刻な打撃を与えている。企業内での機能、品質、コストに関する圧力は、過去とは比べものにならないほど強まっている。このような状況の中、研究／開発や設計、あるいは生産現場における機能、品質、コストの追及に代表される技術活動において、意思決定のスピードとその正確さに対する要求はより一層強いものとなっている。

技術の方向性の決定に関しては、意思を決定するための明快な手段が存在する。「品質工学」である。後戻りの少ない技術活動を目指すのとき、多くの場合、大きな効果を発揮してくれる。

本論文では、開発設計段階において有用な「品質工学」に関する基礎的な考え方、道具と使い方、そしてその効果などの概略をまとめた。

今まで「品質工学」に触れる機会がなかった方々にとっても、本論文でその基礎的な内容を理解していただければ、今後の科学的あるいは技術的活動をするにあたって、少なからずお役に立てるものとする。

本論文は、リードビジネスジャパン株式会社より発行された技術情報誌「EDN Japan 7月号：2009」に掲載した「品質工学のススメ」に加筆、修正したものである。

#### 参考文献

- [1] 鈴木真人, “品質工学のススメ” EDN Japan 年7月号 リードビジネスインフォメーション(株), 2009.
- [2] 田口玄一, “品質工学講座1 開発・設計段階の品質工学” 日本規格協会, 1988.
- [3] 立林和夫, “入門 タグチメソッド” 日科技連出版, 2004.
- [4] 越水重臣, 鈴木真人 “バーチャル実験で体得する実践・品質工学” 日刊工業新聞社, 2007.



# ものづくり PBL の実践に関する研究

陳 俊 甫\*・安 藤 昌 也\*・村 尾 俊 幸\*・大 坪 克 俊\*・網 代 剛\*

## A Study on the Practice of Project-Based Learning in Master Course of Innovation for Design and Engineering

Junfu Chen\*, Masaya Ando\*, Toshiyuki Murao\*, Katsutoshi Otsubo\* and Tsuyoshi Aziro\*

### Abstract

Recently, the project-based learning (PBL) has been introduced to improve the education of the lecture form in the higher education organization such as universities. That is, PBL gives students the opportunity to work autonomously and culminate in realistic products or presentations. However, there are a lot of similar techniques such as OJT, workshops and various variations appear even if it is called same PBL. The purpose of this paper is to examine the practice of PBL in master course of innovation for design and engineering based on executed "midterm evaluation questionnaire of PBL".

Keywords: Project-based learning, Monozukuri (product) architect, Interdisciplinary cooperation, Harmony in diversity, Competency

### 1. はじめに

昨今、大学等の高等教育機関では、知識の詰め込みになりがちな講義形式の教育を改善するために、数人の学生からなるプロジェクト型学習であるPBL (Project-Based Learning) が導入されている<sup>[6][11]</sup>。その主なメリットは、学生が主体となって現実性の高い課題に取り組みながら、必要とされる知識を習得・応用することができると同時に、自ら学習プロセスをマネージすることによって継続的に自己研鑽する習慣や能力をも身につけられる、というところにある<sup>[4][12]</sup>。

産業技術大学院大学 (以下、本学) では、「高度な科学技術に関する知識をもつ専門職人材の育成を目指し、ものづくり現場の業務遂行に必要とされる業務遂行能力 (コンピテンシー) を分析し、現実のプロジェクト実行を中心とする実務体験型教育としてPBLを採用している」<sup>[8][10]</sup>。

ところが、PBLは上記のようなメリットを有する一方で、他方ではOJT、ワークショップのような類似的な手法と概念的に重なる部分が少なくない。また、同じPBLといってもその実行主体が異なれば、様々なバリエーションが現れる。それ故、現状では研究者の間でPBLに関する一定の認識が共有されているが、その実施手法を含む方法論的アプローチは各々実施主体に任さざるを得ないのが現状である。

本稿の目的は、著者らが所属する産業技術大学院大学

創造技術専攻 (以下、本専攻) で実施しているものづくりPBLの特徴、実施状況、及び実施プロセスにおける問題点を検討し、より高質なPBL効果を得られるための方策を探ることである。

以下の構成は次の通りである。まず次節では、PBLに関する従来研究を取り上げながら、本専攻が目指すものづくりPBLの特徴を明らかにする。次いで、3節では2009年度のPBL履修者を対象に実施された「PBLに関する中間評価アンケート」を基に、ものづくりPBL実践の実施状況を報告する。そして、4節と5節においては、アンケートの結果から浮き彫りにされた問題点を検討した上で、本稿をまとめる。

### 2. ものづくり PBL

#### 2.1 PBLについて

Thomasは、教員のためのPBLハンドブックの定義を引用し、PBLを次のように定義している。「PBLとは、プロジェクトを中心とする学習モデルであり、複雑な問題解決活動を伴うものである。その活動の中で、学生は課題デザインから、問題解決、意思決定、調査活動まで、長期間にわたって自律的に課題をこなす機会が与えられ、最終的には成果物が求められる」<sup>[12]</sup>。このように学生はプロジェクト・チームを組んで互いに協力しながら活動することから、PBLは組織的な学習モデルとも言える。

他方, 学習の蓄積効果に注目し, PBL を構築主義に基づく教育上の戦略と捉える研究もある. Prior & Forwood らはその一例である<sup>[6]</sup>. ここでいう構築主義的な考え方は次の通りである. すなわち, 学生は講義等で習得したドグマ化しがちな知識と, その知識を実際のプロジェクト活動の中で応用し, その結果を顧みることによって生み出された新たな知見との相互融合によって, 現実で直面する問題解決に有効な知識・技能を創り出す, ということである<sup>[3][6]</sup>.

さらに, Blumenfeld らは, 動機付けの観点から PBL を捉えている. すなわち, 伝統的教育システムでは, 学生は講義や宿題に専念しがちであるのに対して, PBL はプロジェクトの全学習プロセスを学生に責任を持って遂行させ, 教員は効果的な学習を促進するファシリテーターの役割を担う. このような学習環境を創り出すことによって, 学生がプロジェクトの価値に関心を持つとともに, 自ら必要とされる能力を覚悟し, 達成できるように努力することが促される. これが, 結果的に学生の問題の探索(分析)能力と解決能力の養成に繋がることになる<sup>[1]</sup>.

これらの論説は着眼点こそ異なるが, PBL の持つ特徴の一部を共有している. それは, ①学生主導型学習, ②体験による探索的学習, ③組織的学習である. しかし, PBL 研究はまだ緒についたばかりであり, その定義や実施方法については, 論者の間に統一した見解が必ずしも存在しているわけではない. 同じ学生主導の経験型学習であっても, 問題解決型学習 (Problem-based Learning)<sup>[9]</sup>, 実践ベースの学習 (Practice-Based Learning)<sup>[4]</sup>, 仕事ベースの学習 (Work-based Learning)<sup>[5]</sup> のような異なる呼称のものが混在し, 概念的に重なっている部分も多い. そして現在では, 実施主体の所属する領域の違いによって, 多様な研究が展開されているのが現状である<sup>[4][12][13]</sup>. こうした現状は, PBL を伝統的教育システムのサブカリキュラムと認めるならば, 取り立てて問題にならないかもしれない. しかしながら, 本学のように PBL をメインの教育システムとして確立しようとする場合, PBL の概念規定を明確にすることが必要であると著者らは考える. なぜなら, PBL の実施に関する具体的かつ論理的なアプローチが不可欠であり, 従来の教育システムに慣れ親しんできた教員と学生にとって, どのような姿勢で PBL に臨み, その実施に当たってどのような新しいスキルが求められるかを認識しなければならないからである.

従って, 本専攻のように PBL をメインの教育システムとする場合, 育成する人材像に適した論理的实施方法を打ち出すことが必要であり, 本専攻ならではの特色を明確にすることが必要である.

## 2.2 ものづくり PBL

本専攻では, 「ものづくりプロセスの上流工程で, 社会の潜在的ニーズに形を与え, 機能を与え, 製品化するというプロセスを横断的に担える人材, すなわち「ものづくりアーキテクト」を育成すべき人材像として掲げている」<sup>[23]</sup>.

この人材像には, 3つの重要なポイントがあると考えられる. 第1に, 「ものづくりアーキテクト」は, 「ニーズ」より「ウォンツ」へと昇華させる人材であり, この育成によって新しい価値創造が期待されることである. 第2に, ものづくりによる価値創造は, 感性と機能の統合によってもたらされるという認識である. 第3に, 「ものづくりアーキテクト」は, ものづくりプロセスにおけるセクター間あるいは異なるバックグラウンドを有するメンバー間の利害を調整し, ある目標に向けて協働させる能力が求められることである.

他方, 本専攻の学生に目を向けると, 通常の大学と異なる特徴が浮き彫りにされる. それは, 学生層は異なる職種や経験をもつ社会人学生 (以下, 社会人) と社会経験のない新卒学生 (以下, 新卒者) が混在し, 各々のもつ知識・能力・スキルレベルの点においてバラツキが大きいということである.

たとえば, 2009 年度の入学者のうち, 社会人と新卒者の割合はほぼ均等である. その年齢層は 22 歳から 60 歳まで多様であり, 職種も精密機器, 医薬品, 総合電機, 情報サービス, デザイン事務所など多岐にわたっている (図 1 を参照). このような特殊性は, 学生間の均質性が高い通常の大学から見れば, 異色であるかもしれないが, 実際のものづくり現場の実情を想起すれば, 必ずしもそうではないことがわかる.



出所: 産業技術大学院大学経事課, 2009, p. 6

図 1 学生の多様性

表 1 創造技術専攻で修得するコンピテンシー

メタ・コンピテンシー	<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>○ チーム活動の能力</li> </ul>
コア・コンピテンシー	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 発想力 <ul style="list-style-type: none"> <li>企画アイデア力</li> <li>実現アイデア力</li> <li>独創力</li> </ul> </li> <li>○ 表現力 <ul style="list-style-type: none"> <li>要求定義力</li> <li>提案力</li> <li>可視化力</li> </ul> </li> <li>○ 設計力 <ul style="list-style-type: none"> <li>機能デザイン力</li> <li>感性デザイン力</li> <li>機能と感性の統合力</li> </ul> </li> <li>○ 開発力 <ul style="list-style-type: none"> <li>開発準備力</li> <li>実装力</li> <li>テスト・問題解決力</li> </ul> </li> <li>○ 分析力 <ul style="list-style-type: none"> <li>データ解析力</li> <li>ユーザビリティ評価力</li> <li>マーケットリサーチ力</li> </ul> </li> </ul>

これらの特色に鑑み、本稿では本専攻で実施する PBL を「ものづくり PBL」と名付け、次のように定義する。すなわち、ものづくり PBL とは、ものづくり現場に必要とされる業務遂行能力の修得を目的に実施される小人数チームによる実務体験型学習のことである。

その主な特徴は、Thomas<sup>[12,pp.3-4]</sup>の提示する中心性 (Centrality)、問題駆動 (Driving question)、建設的調査 (Constructive investigations)、自主性 (Autonomy)、現実主義 (Realism) という 5 つの特性のほかに、本専攻の特有な事情であり、かつものづくり現場にも要請される学際的協働 (Interdisciplinary cooperation) と多様性の調和 (Harmony in diversity) が加わるということである。すなわち、

- 1) 中心性：PBL はメインカリキュラムであり、サブではない。
- 2) 問題駆動：PBL の中心課題は、学生が該当領域の鍵概念と原理に遭遇する (或いは取り組む) ように後押しする。
- 3) 建設的調査：PBL の調査活動は、調査、知識創造と問題の解明を含む目標指向のプロセスである。
- 4) 自主性：PBL は伝統的教育システムとプロジェクトに比べ、学生の自主性、選択、自律的作業時間及び責任を重視する。
- 5) 現実主義的：PBL は従来の教室型ではなく、実

行される可能性が高く、かつ解決されていない現実的問題を取り入れる。

- 6) 学際的な協働：PBL 活動の中で、学生は異なる専門領域の壁を越えて協力しながら課題をこなすことが求められる。
- 7) 多様性の調和：PBL の成果物を仕上げるために、学生は互いの多様性を認め、協調しながら活動を進める必要がある。

以上のような特色を踏まえ、ものづくり PBL を通じて修得できないしは強化できるコンピテンシーについて、本専攻では本学共通の 3 つのメタ・コンピテンシーと独自の 5 つのコア・コンピテンシーを設定している。表 1 はそれをまとめたものである。

### 3. ものづくり PBL の実施体制と実施方法

#### 3.1 PBL 実施体制と実施方法

本専攻におけるものづくり PBL は、2009 年 4 月に 10 のテーマをもって始動した。具体的な実施方法と実施体制については以下の通りである。

まず、PBL のテーマ決定に当たって、2009 年度 (以下、本年度) は初めての実施であり、本専攻で定めた共通のコンセプトである「感性と機能の統合」に沿って教員側が提示するという形式を取った (表 2 を参照)。該当年度の履修資格保有者は、提示されたテーマの中から 1 つを選択して応募するが、特定の PBL に応募者が集中しないように、各 PBL の定員は履修者数と教員の数との割合で算出することになった。本年度の場合、1 つのプロジェクト・チームは 4 ~ 5 名の履修者からなり、全部で 10 チームを構成している。

表 2 創造技術専攻の PBL テーマ (2009 年度)

シミュレーションによるサービス設計
安心・安全を確立するためのイノベーション技術開発
都市型中小製造業の新たなモノづくりモデルの開発
ユビキタスコンピューティング環境における新製品の提案と開発
都市におけるモビリティの研究
微小振動を利用したマイクロ製品の提案および開発
ヒトの高度活動支援技術の設計・開発
大都市における動態のデザイン 2025
癒しを演出する商品の開発
都市空間のイノベーション

次いで、PBL 活動はクォーター単位で行われ、毎クォーターの最終週にはクォーター毎の進捗を報告する発表会が開かれている。その目的は、主に 2 つが挙げられる。1 つは、各プロジェクトの実施状況と問題点を把握することである。もう 1 つは、各々プロジェクトにとって、他のプロジェクトの進捗状況等を知るチャンスを設ける

ことによって、プロジェクト間の競争意識を刺激し、活動そのものを活性化させることである<sup>[1]</sup>。

実際の活動運営は、プロジェクト・メンバーが主体的意識をもって遂行するが、週毎に教員チームとのコア・ミーティングを開いている。学生はその場を使って、進捗状況を報告し、教員からのアドバイスを受けることになっている。各々のプロジェクトに対する指導は、主担当、副担当、および担当助教から編成したチームで行われている。

さらに、学生の日頃の学習状況を把握するために、本専攻では全履修者に対し、週毎に1週間の活動状況とそれに対する自己評価等を記す週報の提出を義務づけている。そして最終的には、このような仕組みによるプロジェクトの進捗状況と日頃の学習状況の評価は、年度末の最終成果物の評価や学生自身によるセルフアセスメントと総合して、履修者の最終成績に反映される。

### 3. 2 ものづくりPBLに関する中間調査

調査は、本専攻におけるPBL教育の改善を目的に、第1クォーターと第2クォーターが終わった時点(2009年8月)で、本年度のPBL履修者(10チーム、計41名)を対象に記名式で質問紙調査を実施した(資料1を参照)<sup>1</sup>。回収状況は、10チームのうち9チームから回答が得られ、有効回答率は73%(30件)であった。質問は主に評定法、複数選択、および自由記述の形式を採用し、主に次のようなことを尋ねた。

「実際の活動で得られた満足度は何点で評価されるか(満点10点)」「プロジェクト・チームの活動はうまくいったか」「修得したいコンピテンシーと実際に修得したコンピテンシーは何か」「今後のものづくりPBLに対する期待と改善点は何か」等である。主な調査結果は、次のようにまとめられる。

第1に、実際の活動で得られる満足度を10段階で尋ねたところ、約3分の2の回答者は6点以上の高い得点をつけた(表3を参照)。ただし、同じPBLの中でも満足度のバラツキが大きいチームもある。そこで、満足できないことについて自由記述で確認した結果、主な理由は次の3つに集約されることがわかった。1) 提示されたPBLテーマに興味がないこと、2) メンバー間のスキルレベルに格差があるため、PBL活動が自らのスキルアップに繋がるかどうか疑問を感じていること、3) 学生同士の意思疎通ができていないことである。

逆に、8点以上をつけた理由については、1) 知識の

<sup>1</sup> 本調査は、仮説検証ではなく、ものづくりPBLの実施状況の把握とそこに潜む問題の抽出に重点を置く探索的なものである。従って、データ分析に当たって、統計的有意性より、それが示すトレンドを重視する。

ない状態から自主的に勉強し、能力向上や成果が出たと体感できたこと、2) 自由に研究ができ、教員の指導が適切であること等も確認できた。

表3 PBL活動に於ける満足度

(単位: 10点満点)

PBL	学生	1	2	3	4	5	平均値
A		5	6	6	6	-	5.75
B		5	2	6	5	-	4.50
C		10	7	7	n.a.	-	8.00
D		6	2	3	n.a.	-	3.67
E		6	4	n.a.	n.a.	-	5.00
F		8	7	n.a.	n.a.	-	7.50
G		9	4	7	4	-	6.00
H		9	5	7	5	6	6.40
I		8	6	9	n.a.	-	7.67

出所: アンケート結果に基づいて作成

第2に、プロジェクト・チームが機能しているかどうかの質問に基づいて分類したところ、9チーム中、うまく機能しているチーム(5つ)とそうでないチーム(3つ)に分かれた(表4を参照)。ただし、4つのチームを除き<sup>2</sup>、同一PBLで意見が一致しないことも確認された。特に社会人の8割近くが、ネガティブな意見を持つ傾向が見られた。

表4 チームとして機能しているか

(単位: 人)

機能しているチーム	PBL	PBL	PBL	PBL	PBL
	C	F	G	H	I
機能している	3	2	3	5	2
機能していない	0	0	1	0	1
合計人数	3	2	4	5	3

機能していないチーム	PBL	PBL	PBL	PBL
	A	B	D	E
機能している	1	0	1	1
機能していない	3	4	2	1
合計人数	4	4	3	2

出所: アンケート結果に基づいて作成

そこで、具体的に機能している、もしくは機能していない理由を複数選択で答えてもらった。結果は選択肢の間で僅差ではあるが、うまく機能している要因の回答を順に並べると、「人間関係」「メンバーの貢献度」「社会人と新卒者のバランス」であった。それに対して、機能

<sup>2</sup> 残りのチームについては、2名しかいない回答者の回答が対立するものであったため判別がつかない。

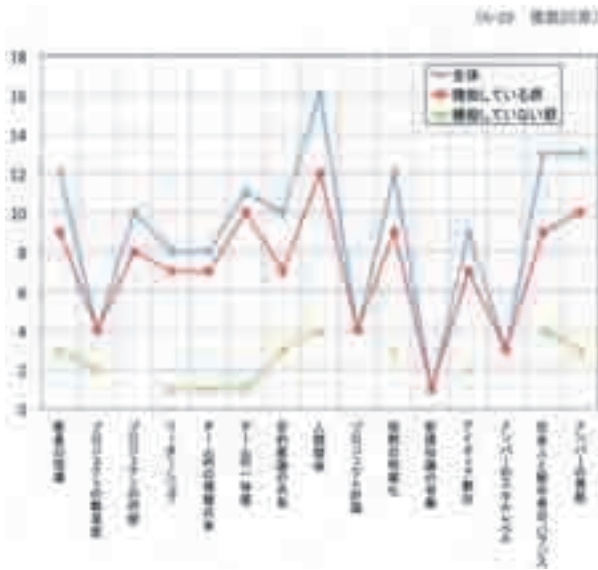


図2 チームとして機能している要素

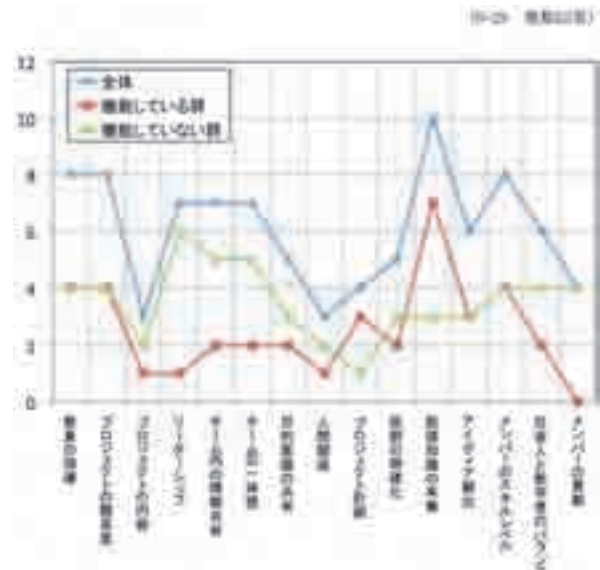


図3 チームとして機能していない要素



図4 伸ばしたいコア・コンピテンシー

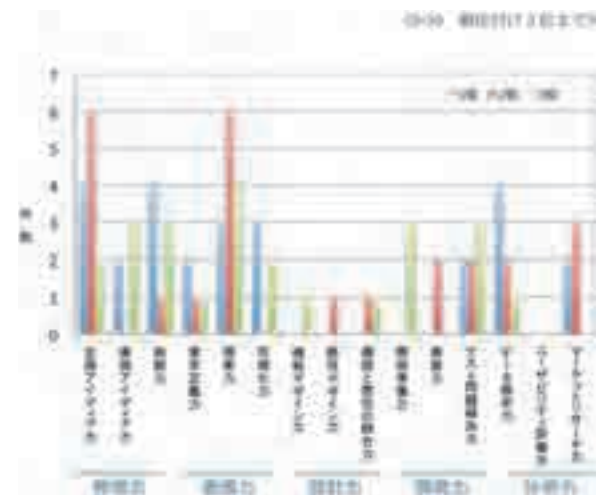


図5 伸ばしたと感じたコア・コンピテンシー

していない要因は「前提知識の有無」「メンバーのスキルレベル」「プロジェクトの難易度」「教員の指導」という順番であった(図2と図3を参照)。その中で、特に総合的にみれば、うまく機能していない要因は、チームのマネジメントに関するものに集中していることが明らかになった。しかし、興味深いことに、チームとして機能していないと答えている回答者の中に、人間関係はうまくいっているという回答も数件寄せられた。

第3に、PBLを通じて、伸ばしたいコア・コンピテンシーと実際に伸ばせたと感じたコア・コンピテンシーに関して、複数回答してもらった。その結果、最も伸ばしたい順に「機能と感性の統合力」「提案力」「データ解析力」となった。それに対して、実際に伸ばせたと感じたのは、「提案力」「企画アイデア力」「データ解析力」

「テスト・問題解決力」となった(図4と図5を参照)。伸ばしたいコンピテンシーと実際に伸ばせたコンピテンシーの回答には、やや順番の入れ替えと項目の相違が見られるが、本年度PBLがまだ進行中であることを考えればやむを得ない結果と言えよう。

しかし、この結果を受けて、学生が期待通りにコンピテンシーを修得していると判断できるかという点、必ずしもそうではない。というのは、実際、なぜそう感じたかに関する出来事の記述を精査すると、その根拠には在り来たりのプロジェクト経験や感想らしきものが多く、新たな知識を修得したことや、ある問題に関する理解を深めたことのような具体性を伴った反省に基づくものが極めて少ないことが、判明されたからである。

さらに、今後のPBL活動を通じて、修得したいコン

ピテンシーを獲得できると思う理由,あるいはできないと思う理由を尋ねたところ,表5のような結果が得られた。ここで,特に注目すべきことは,教員の指導方法という項目である。なぜなら,この表に示されたように,PBLは学生の主体性を最大に尊重する教育手法であるが,指導教員の関わり方によって,学習効果が大きく変わっていくと学生が考えている点である。

表5 コンピテンシーを獲得できる/できない理由

(N=29 複数回答)

理由	獲得できると思うか		
	思わない	思う	合計
PBL課題の設計	0	10	10
教員の指導方法	3	14	17
前提知識の必要性	3	6	9
活動時間の制約	0	3	3
メンバーの協力	2	11	13
学習環境	3	9	12
その他	2	5	7

出所: アンケート結果に基づいて作成

最後に,今後のものづくりPBLに対する期待と改善点について,複数選択と自由記述で尋ねたところ,改善要望として最も多かったのは「情報システム」であった。次いで「チームの選考方法」「学習環境」「教員の関与」が続く。

チームの選考方法と編成については,「チームの選考方法は教員と学生の出身学科・興味などを考えた方がいい」「チームの選考方法を教員全員で統一してほしい」「担当教員同士の専門が被らない形で配置し,デザイン系・工学系・経済学系までの学生が無理なくそのテーマで行えるようなものにする」等が代表的な意見として挙げられる。

教員関与の仕方については,「教員は毎週見ているながら助言がない時がある。作業をスムーズに進めるために,その時その時でアドバイスを頂きたい」「各PBLのメンバーの能力にバラツキがある。教員からその助け(指導)があるとよりよいPBL活動を行える」「教員の得意な分野を学生のために使って頂きたい」など,教員による積極的な関与が求められているのが多数であった。

さらに,上記のほかに中間発表の回数や評価に関する要望もあった。たとえば,「発表回数を減らし,活動に充てる時間を増やす。現状では絶えず発表のための作業に追われているように感じる」「評価方法については,個人評価ではなく,グループ評価にした方が良い」が挙げられる。

#### 4. 調査結果からの示唆

本調査の結果を総合的にみれば,本専攻で取り組むものづくりPBLには未解決な課題があるものの,おおむね高く評価されている。上述の結果から抽出しうる示唆については,主に次のようなものが挙げられる。

1つ目は,チームマネジメントの質を上げることが,ものづくりPBLの実行にとって至急の課題である。現在,履修者は非常に高い学習意欲をもって,積極的にPBL活動にコミットメントし,チーム内におけるコミュニケーションもうまくいっているように見受けられる。しかし,調査結果からもわかるように,実情としてはメンバー間における能力のバラツキや,意思疎通等が課題として残されている。これらの課題を解決するために,チーム内における情報の共有と一体感が必要であり,メンバー間の多様性を調和させるスキル,環境および方法の開発が求められる。

同様のことがPBLの現状認識と学生の満足度との相関分析からも確認できよう。表6はその分析結果を示すものである。つまり,一般的にはPBL実施前の期待と実際の活動内容との一致度,チームとして機能しているか,及びチームへの貢献度は学生の満足度と強い相関があると考えられる。しかしながら,予測に反して,チームへの貢献度は学生の満足度との相関が見られなかった。この結果からPBL活動の中で学生個人の努力よりも,チーム全体の出来具合が学生の満足度を決定する重要なファクタであることが明らかになり,本専攻においては学生のコンピテンシー修得と同様に,そのチームマネジメントの教育にも注力する必要があると示唆される。

表6 PBLの現状認識と満足度との相関

	期待との一致度	機能しているか	チームへの貢献度
満足度	.659**	.624**	.089 <sup>n.s.</sup>

\*\* $p < .001$ 

2つ目は,コンピテンシーの修得を具体化することである。PBLのエッセンスは学生が主体的意識をもって,課題解決するために理論構築をし,知的な探検を自律的に遂行することにある。しかし,コンピテンシー修得の調査結果に示されたように,履修者の自己評価は体験や感想のような主観的なものに偏りがちで具体性を欠いている。これを改善するために,学生の努力は言うまでもなく,教員側による適時に適切なアドバイスも欠かせない。また,1年次の講義による体系的な学習内容と2年次のものづくりPBL活動における体験型学習との関連性をさらに密にし,そこで修得した知識がPBL活動における知的探求の手かがりになる創意工夫が必要である。

3つ目は、PBL テーマの選定である。本年度は、本専攻で定めた共通テーマに沿って教員側が提示する形式をとった。これは一定の評価を得たが、テーマそのものの適切性を問う声も少なくなかった。教育効果もさることながら、学生のモチベーションをあげるために、教員と学生間のコミュニケーションをさらに深めることが欠かせないように思われる。

## 5. おわりに

本稿では、従来のPBL研究の知見を踏まえながら、本専攻で実施する「ものづくりPBL」の特色を明確にした。すなわち、「ものづくりPBL」は従来のような履修者の主体性や課題の現実性などに加え、ものづくりプロセスに欠かせない部門間（分野間）の協働と調和が、本専攻のPBLを成功裏に終わらせるための必須条件である、ということである。本稿ではこれを「学際的協働」と「多様性の調和」と名付けた。

その上で、本専攻におけるものづくりPBLの実践について、履修者を対象とする中間調査の結果を報告し、ものづくりPBL教育をより良くするための方向性として次のような示唆を示した。(1) チームマネジメントの必要性、(2) コンピテンシー修得の具体性（コンピテンシー修得に関する学生自身による反省的学習を促すこと）、(3) 教員と学生のタイアップの重要性である。

しかし、本年度のものづくりPBLは、まだ進行中である。従って、今回の調査結果のみで、ものづくりPBLの特徴、実施状況およびその問題点の全貌を明らかにすることは充分ではないと認めざるを得ない。

今後の課題としては、このような調査を定期的に行い、ものづくりPBLを進めていく上での良い方策を探ることとしたい。

## 謝辞

本研究を進めるに当たって、2009年度のPBL履修者から忌憚のないご意見・ご感想を頂いた。ここで「ものづくりPBLに関する中間アンケート」にご協力いただいた回答者全員に感謝を申し上げます。

## 参考文献

- [1] Blumenfeld P. C., E.Soloway, R. W. Marx, J. S. Krajcik, M. Guzdial, and A. Palincsar. Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*. 26(3-4). pp.369-398, 1991.
- [2] 公立大学法人首都大学東京. 産業技術大学院大学の将来像, 2009.
- [3] Max R. M., P. C. Blumenfeld, J. S. Krajcik, M.

Blunk, B. Crawford, B. Kelly, and K. M. Meyer Enacting project-based science: Experiences of four middle grade teaches. *The Elementary School Journal*, 94(5). pp.517-538, 1994.

- [4] Mergendoller J., T. Markham, J. Ravitz, and J. Larmer. Pervasive management of project based learning. *Handbook of classroom management*. Evertson C. M. and C. S. Weinstein. Lawrence Erlbaum Associates. pp.583-615, 2006.
- [5] Naylor M. Work-Based Learning. *ERIC Digest*. pp.411-417, 1997.
- [6] Prior R.J. and J. K. Forwood. A project-based learning approach to protein biochemistry suitable for both face-to-face and distance education students. *UniServe Science Teaching and Learning Research Proceedings*. The University of Sydney. pp.181-188, 2007.
- [7] Reeves J. and A. Fox. *Practice-Based Learning*. Dunedin Academic PrLtd, 2008.
- [8] 産業技術大学院大学設置認可申請書. 平成17年補正申請・抜粋. from <http://ait.ac.jp>.
- [9] Schwatz P., S. Mennin., and G. Webb., Eds.. *Problem-based learning: Case Studies, Experience and Practice*, Routledge, 2001. (大西弘高他訳. PBL世界の大学での小グループ問題基盤型カリキュラム導入の経験に学ぶ. 篠原出版新社. 2007年).
- [10] 創造技術専攻が求めるコンピテンシーとは. 産業技術大学院大学内部資料.
- [11] 館野寿丈, 楊明. 新しい製品や事業の企画・調査活動を中心とするプロジェクト型科目の実践と効果. *工学教育* 54 (2) .pp.76-80, 2006.
- [12] Thomas, J. W.. A review of research on project-based learning, 2000. Download from [http://www.bit.org/index.php/site/RE/pbl\\_research/29](http://www.bit.org/index.php/site/RE/pbl_research/29)
- [13] Tretten R .and P. Zachariou. Learning about project-based learning: Assessment of project-based learning in Tinkertech schools. *The Autodesk Foundation*, 1997.

付録

## PBL に関する中間評価アンケート

### ■調査趣旨

本調査は、PBL 教育の実態、及びあなたの PBL 履修前の期待と履修体験で感じる問題点を把握し、今後の本専攻における PBL 教育の改善を目的として実施するものです。あなたの意見は、創造技術専攻助教の研究課題「ものづくり系 PBL の実践に関する研究」、及び今後の PBL 教育改善に生かされます。

### ■調査対象と調査形式

- 1) 本調査は、2009 年度創造技術専攻の PBL 履修者（2 年生）を対象とします。
- 2) 本調査は、アンケートの趣旨にご賛同頂いた学生方への任意調査です。
- 3) 本調査は、2009 年度 PBL 終了後（2010 年 2 月予定）に追跡調査の実施を行うため記名式とします。

### ■個人情報と回答データの取り扱い

- 1) 本調査で取得した個人情報の取り扱いについて、アンケート協力者の個人情報の保護遵守に徹し、協力者が特定されるような形では一切公開いたしません。
- 2) 本調査で得られた回答データについては、研究目的のみに使用し、それ以外の目的では使用いたしません。

### （記入上の注意）

- 1) 記述により回答する質問では、空欄にご記入ください。
- 2) 数字で回答する質問では、最も当てはまる数字に○を付けてください。
- 3) □のある選択肢から選んで回答する質問では、□に√（チェック）を付けてください。
- 4) 順位付けて回答する場合、（ ）に数字で順位をご記入ください。

アンケートの回答によりあなたが不利益を被ることはありません  
率直なご回答をお願いいたします

産業技術大学院大学 産業技術研究科 創造技術専攻  
助教（陳, 安藤, 村尾, 大坪, 網代）

2009 年 7 月





問 3. あなたの所属する PBL のチーム活動についてお尋ねします.

(1) あなたの所属する PBL が, チーム活動としてうまく機能していると思いますか. 該当するものをひとつ選んで○をつけてください.

非常に そう思う	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	ほとんど そう思わない	まったく そう思わない
6	5	4	3	2	1

(2) あなたの所属する PBL が, チーム活動としてうまく機能していると思う要因には, どのようなものがありますか. 以下の選択肢の中から当てはまるものをいくつでも選んでください. (√ 印はいくつでも)

<input type="checkbox"/> 教員の指導	<input type="checkbox"/> プロジェクトの難易度	<input type="checkbox"/> プロジェクトの内容
<input type="checkbox"/> リーダーシップ	<input type="checkbox"/> チーム内の情報共有	<input type="checkbox"/> チームの一体感
<input type="checkbox"/> 目的意識の共有	<input type="checkbox"/> 人間関係	<input type="checkbox"/> プロジェクト計画
<input type="checkbox"/> 役割の明確化	<input type="checkbox"/> 前提知識の有無	<input type="checkbox"/> アイディア創出
<input type="checkbox"/> メンバーのスキルレベル	<input type="checkbox"/> 社会人と新卒者のバランス	<input type="checkbox"/> メンバーの貢献

(3) あなたの所属する PBL が, チーム活動としてうまく機能していないと思う要因には, どのようなものがありますか. 以下の選択肢の中から当てはまるものをいくつでも選んでください. (√ 印はいくつでも)

<input type="checkbox"/> 教員の指導	<input type="checkbox"/> プロジェクトの難易度	<input type="checkbox"/> プロジェクトの内容
<input type="checkbox"/> リーダーシップ	<input type="checkbox"/> チーム内の情報共有	<input type="checkbox"/> チームの一体感
<input type="checkbox"/> 目的意識の共有	<input type="checkbox"/> 人間関係	<input type="checkbox"/> プロジェクト計画
<input type="checkbox"/> 役割の明確化	<input type="checkbox"/> 前提知識の有無	<input type="checkbox"/> アイディア創出
<input type="checkbox"/> メンバーのスキルレベル	<input type="checkbox"/> 社会人と新卒者のバランス	<input type="checkbox"/> メンバーの貢献

問4. これまでのPBL活動中で最も達成感や充足感を感じたことがありますか。(√印はひとつ)

□ある	□なし
-----	-----

あると回答した方は、具体的にそう感じた時あるいは出来事をご記入ください。

--

問5. これまでのPBL活動の中で、自分は十分に貢献できていると思いますか。該当するものをひとつ選んで○をつけてください。

非常に そう思う	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	ほとんど そう思わない	まったく そう思わない
6	5	4	3	2	1

貢献できた場面・理由と貢献できていない場面・理由等を、それぞれ具体的にご記入ください。

貢献できた場面・理由：
-------------

貢献できていない場面・理由：
----------------

問 6. あなたのコンピテンシーの獲得についてお尋ねします.

(1) あなたが1年間のPBL活動で最も伸ばしたいと考えているメタ・コンピテンシーは下記のどれですか. 以下の選択肢の中から, 上位3位までを選び, それぞれ順位をつけてください. (例: (1) コミュニケーション)

<input type="checkbox"/> コミュニケーション	<input type="checkbox"/> リーダーシップ	<input type="checkbox"/> 主体性
<input type="checkbox"/> 計画性	<input type="checkbox"/> 継続性	<input type="checkbox"/> 問題の発見
<input type="checkbox"/> 問題の分析	<input type="checkbox"/> 問題解決方法の構築と実践	<input type="checkbox"/> 学際的なチームワーク
<input type="checkbox"/> 歴史認識	<input type="checkbox"/> 技術倫理	<input type="checkbox"/> 環境・グローバル認識

(2) あなたが1年間のPBL活動で最も伸ばしたいと考えているコア・コンピテンシーは下記のどれですか. 以下の選択肢の中から, 上位3位までを選び, それぞれ順位をつけてください. (例: (1) コミュニケーション)

<input type="checkbox"/> 企画アイデア力	<input type="checkbox"/> 実現アイデア力	<input type="checkbox"/> 独創力
<input type="checkbox"/> 要求定義力	<input type="checkbox"/> 提案力	<input type="checkbox"/> 可視化力
<input type="checkbox"/> 機能デザイン力	<input type="checkbox"/> 感性デザイン力	<input type="checkbox"/> 機能と感性の統合力
<input type="checkbox"/> 開発準備力	<input type="checkbox"/> 実装力	<input type="checkbox"/> テスト・問題解決力
<input type="checkbox"/> データ解析力	<input type="checkbox"/> ユーザビリティ評価力	<input type="checkbox"/> マーケットリサーチ力

(3) 第1クォータ(1Q)と第2クォータ(2Q)のPBL活動体験を通して, あなたが最も伸びたと感じるメタ・コンピテンシーはどれですか. 以下の選択肢の中から, 上位3位まで選び, それぞれ順位をつけてください. (例: (1) コミュニケーション)

<input type="checkbox"/> コミュニケーション	<input type="checkbox"/> リーダーシップ	<input type="checkbox"/> 主体性
<input type="checkbox"/> 計画性	<input type="checkbox"/> 継続性	<input type="checkbox"/> 問題の発見
<input type="checkbox"/> 問題の分析	<input type="checkbox"/> 問題解決方法の構築と実践	<input type="checkbox"/> 学際的なチームワーク
<input type="checkbox"/> 歴史認識	<input type="checkbox"/> 技術倫理	<input type="checkbox"/> 環境・グローバル認識

- (4) 第1クォータ(1Q)と第2クォータ(2Q)のPBL活動体験を通して、あなたが最も伸びたと感じるメタ・コンピテンシーはどれですか。以下の選択肢の中から、上位3位まで選び、それぞれ順位をつけてください。(例：(1)コミュニケーション)

<input type="checkbox"/> 企画アイデア力	<input type="checkbox"/> 実現アイデア力	<input type="checkbox"/> 独創力
<input type="checkbox"/> 要求定義力	<input type="checkbox"/> 提案力	<input type="checkbox"/> 可視化力
<input type="checkbox"/> 機能デザイン力	<input type="checkbox"/> 感性デザイン力	<input type="checkbox"/> 機能と感性の統合力
<input type="checkbox"/> 開発準備力	<input type="checkbox"/> 実装力	<input type="checkbox"/> テスト・問題解決力
<input type="checkbox"/> データ解析力	<input type="checkbox"/> ユーザビリティ評価力	<input type="checkbox"/> マーケットリサーチ力

- (5) あなたが伸びたと感じるメタ・コンピテンシーとコア・コンピテンシーについて、伸びたと感じた出来事等を具体的にご記入ください

- (6) あなたが伸ばしたいメタ・コンピテンシーとコア・コンピテンシーを現在のPBLでうまく獲得できると思いますか。

非常に そう思う	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	ほとんど そう思わない	まったく そう思わない
6	5	4	3	2	1

(7) なぜ, あなたはそうに思いますか. そう思う要因について, 以下の選択肢から当てはまるものをいくつでも選んでください (√ 印はいくつでも)

<input type="checkbox"/> PBL 課題の設計	<input type="checkbox"/> 教員の指導方法	<input type="checkbox"/> 前提知識の必要性
<input type="checkbox"/> 活動時間の制約	<input type="checkbox"/> メンバーの協力	<input type="checkbox"/> 学修環境
<input type="checkbox"/> その他 (具体的にご記入ください)		

問 7. PBL の進め方に対するご意見をお聞きします.

(1) PBL における現在の主担当教員の役割を分類すると, 下記の選択肢のうち, どれに当てはまるとお考えですか. (√ 印はひとつ)

<input type="checkbox"/> ファシリテータ (学生の活動への支持を最小にとどめ, 調整する役)
<input type="checkbox"/> アドバイザー (学生の活動に支持を出さず, 助言をする役)
<input type="checkbox"/> インストラクタ (学生の活動に具体的な指示を出し, 指導する役)
<input type="checkbox"/> アシスタント (学生の活動を補助する役)
<input type="checkbox"/> 何もしていない (見守る役)

(2) あなたが理想的と考える主担当教員の役割を分類すると, 下記の選択肢のうち, どれに当てはまるとお考えですか. (√ 印はひとつ)

- ファシリテータ（学生の活動への支持を最小にとどめ、調整する役）
- アドバイザー（学生の活動に支持を出さず、助言をする役）
- インストラクタ（学生の活動に具体的な指示を出し、指導する役）
- アシスタント（学生の活動を補助する役）
- 何もしていない（見守る役）

問 8. 現在の PBL の実施方法について、改善すべき点がありますか。下記の選択肢のうち、当てはまるものを選んでください。（√ 印はいくつでも）

- |   |                                   |   |
|---|-----------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> 時間数              | <input type="checkbox"/> 時間帯      | <input type="checkbox"/> 教員の数           |
| <input type="checkbox"/> プロジェクト計画書        | <input type="checkbox"/> チームの選考方法 | <input type="checkbox"/> 週報の報告義務        |
| <input type="checkbox"/> 発表会の回数           | <input type="checkbox"/> 教員の関与    | <input type="checkbox"/> 情報共有システム（iPBL） |
| <input type="checkbox"/> セルフアセスメントの方法     | <input type="checkbox"/> テーマ      | <input type="checkbox"/> 学修環境           |
| <input type="checkbox"/> その他（具体的にご記入ください） |                                   |   |

では、具体的にどのように改善すれば良いと思いますか。

問 9. 現在の PBL に, ものづくり系プロジェクト特有の課題があるとしたら, どんなどころにあると思いますか.

例) 分野横断的な知識取得が求められること, モックアップを製作するので必ずメンバーが実際に集合しなければならないこと等.

問 10. 本専攻の PBL 教育に関するご要望等があれば, お聞かせください.

以上

ご協力, 誠にありがとうございました.



# PSP を基盤とするソフトウェア開発プロセス改善 トレーニングの実施について

村 越 英 樹\*

## About the Execution of PSP Based Training for Software Process Improvement

Hideki Murakoshi\*

### Abstract

I have been taking charge of the lecture concerning the software development in AIIT. In the lecture, I am executing training based on PSP (Personal Software Process). This report describes the application of CMU SEI PSP course to the lecture in AIIT and the execution of the lecture.

Keywords: PSP, Personal Software Process, Software Development, Improvement

### 1. はじめに

本学発足以来、著者はソフトウェア開発に関する講義を担当し、PSP [1][2]をベースとした講義を展開してきた。PSP（パーソナルソフトウェアプロセス）は、CMU SEI（カーネギーメロン大学ソフトウェア工学研究所）が開発したソフトウェア開発技術者のプロセス改善を目的としたトレーニングプログラムである。本学が発足した2006年度は、情報アーキテクチャ専攻の講義科目であるソフトウェア開発特論の2コマを利用して、PSPの概要を紹介した。2007年度には、Java言語のプログラミング学習とともに文献[3]をベースとした15コマの講義を展開した。しかしながら、Java言語の習得を目的とする受講生が多かったためか、PSPによる作業工程の計測記録に基づくプロセス改善のトレーニングが機能していないように思えた。2007年度の8月には、CMU SEI主催のPSP/TSPファカルティワークショップに参加して、大学院教育へのPSP/TSPの導入に関する知見を得るとともに、PSP developerの認定を受けた。

2008年度からは、著者の所属が創造技術専攻になり、組込みシステム関連の講義科目となったが、組込みソフトウェアの品質確保は重要な課題であるとともに、作業計画立案やスケジュール管理など2年次PBLに必要な要素を含んでいることから、PSPによるプロセス改善のトレーニングを組込みシステム特論の中で展開している。ここでは、プログラミング経験者を対象とし、CMU SEIが提供する教材をベースにチューニングを行

い、PSPによるプロセス改善トレーニングを体験できるよう配慮した。

本稿では、CMU SEIのPSPコースを大学院での15コマの講義にチューニングを行い、実施までの過程と、実施結果の考察を報告する。以下第2章では、CMU SEI PSPコースの概略について紹介する。第3章では、大学院での15コマの講義への展開と講義環境の構築について述べる。第4章では、講義の実施と実施結果について述べるとともに考察を行う。第5章は、本稿のまとめと今後の展望である。

### 2. CMU SEI PSP コース

PSPコースは、ソフトウェア開発技術者が自身のプロセス改善を行うためのトレーニングであり、図1に示すようにPSP0~PSP2.1の6つのプロセススクリプトに従いプログラミング演習を行うものである。プロセスPSP0からプログラミング演習を開始し、PSP0.1, PSP1.0, PSP1.1, PSP2.0, PSP2.1と進めていく。プロセスを更新するごとに、時間計測、規模見積り、コードレビューなどの工程が加えられ、単純なプロセスから始めて、計画通りのスケジュールで高品質なソフトウェア開発を行うためのプロセス改善の過程を体験できるようになっている。このプロセス改善を体験することで、自分でプロセスを設計し、実施し、改善していくことを自然に学習できるようになっている。



図1 PSPプロセスの発展

プログラミング演習課題は、文献[1]で紹介されている10本のプログラミング課題から構成されるものと、文献[2]で紹介されている8本のプログラミング課題から構成されるものがある。プログラミング課題の一覧を表1、表2に示す。文献[1]には循環プロセスであるPSP3が含まれている。

表1 プログラミング課題：文献[1]

課題番号	利用プロセス	内容
1	PSP0	n 個の実数データの平均値と標準偏差を求める。n 個データの保存には、リスト構造を用いる。
2	PSP0.1	プログラム規模(論理行数：総LOC)を計測する。
3	PSP0.1	課題2を拡張して、総LOC、部分プログラム(クラス、関数など)名、部分プログラム行数、アイテム(メソッドなど)数を計測する。
4	PSP1.0	n 組のデータから回帰パラメータを求める。
5	PSP1.1	シンプソン法を利用した数値積分。
6	PSP1.1	プログラム規模の見積りと予測区間を求める(PROBE手法によるプログラム規模の見積り)。
7	PSP2.0	2組のデータの相関を求める。
8	PSP2.1	リスト構造のデータのソーティング。
9	PSP2.1	正規分布の $\chi^2$ 検定。
10	PSP3	3重回帰パラメータと70%予測区間を求める。

プログラミング課題のほかに、プログラム規模測定規準、コーディング標準、欠陥分析とレビューチェックリストの作成および中間レポート、最終レポートの5つのレポート課題がある。中間レポート、最終レポートでは、レポート執筆のプロセスを自作し、そのプロセスを利用してレポート作成を行う。これらのレポートにより、自

分自身でプロセスを作成し、改善する能力を養うようになっている。

表2 プログラミング課題：文献[2]

課題番号	利用プロセス	内容
1	PSP0	n 個の実数データの平均値と標準偏差を求める。n 個データの保存には、リスト構造を用いる。
2	PSP0.1	プログラム規模(論理行数：LOC)を計測する。総LOC、部分プログラム(クラス、関数など)名、部分プログラム行数、アイテム(メソッドなど)数。
3	PSP1.0	n 組のデータから回帰パラメータ、相関係数を求める。
4	PSP1.1	標準偏差を利用したプログラム規模の相対規模の表作成。
5	PSP2.0	シンプソン法を利用した数値積分。t 分布関数の積分。
6	PSP2.1	t 分布の積分値から積分範囲(0~x) x を求める。
7	PSP2.1	プログラム規模の見積りと予測区間を求める(PROBE手法によるプログラム規模の見積り)。
8	PSP2.1	3重回帰パラメータと70%予測区間を求める。

### 3. PSP コースの大学院講義へのチューニング

CMU SEIでは、PSPコースを前半(見積りと計画立案)5日間、後半(品質管理と設計)5日間の集中講義で実施している。1日の講義や演習の時間は約8時間なので、PSPコースの実施に約80時間を要することとなる。一方、大学院での講義時間は、90分×15回の225時間であり、講義時間外の予習復習時間を考慮しても、クォータ制を採用し(約8週間で終了)、受講生の多くが社会人である本学においては60時間程度を想定するのが妥当であろう。そのため、PSPコースから3/4程度に取捨選択を行い、大学院の講義に適応するようにチューニングをすることが必要である。すなわち、プログラミング課題とレポートを6つ程度に絞ることになる。

前章で示したプログラミング課題をみると、いずれもPROBE手法(PROxy Based Estimation：PSPで用いるプログラム規模見積り手法：文献[2]第6章)で用いる数値計算が主な内容である。文献[1]の10本のプログラミング課題(表1参照)は、PSP1.1までの見積りと計画立案に重きが置かれているようである。また、文献[1]には、選択的に課題を実施するモデルが示されているが、

いずれも前半を主な実習対象としている。一方、文献 [2] で示されたプログラミング課題 (表 2 参照) は、前半後半両方の PSP プロセスが配置されている。また、文献 [1] の課題 2, 3 が 1 つの課題にまとめられているなど、新しいバージョンであるだけ洗練されている印象を受ける。そこで、プログラミング課題としては、文献 [2] で示されたものをベースに考えることとした。

レポート課題については、プログラム規模測定規準、コーディング標準の作成は、プログラミング課題 2 の実施に必要であり、この課題をはずすと PSP では重要なファクタである規模測定ができなくなってしまう。また、中間レポートおよび最終レポートで求めているプロセス作成課題は、PSP コースの最重要な課題であるため、このプロセス作成課題をはずすことはできない。レビューチェックリストは、テキストとして使用する文献 [2] に例が掲載されており、このチェックリストを利用することが可能であると考えた。その結果として、表 3 に示すような講義計画を立案した。

プログラミング課題としては、文献 [2] の 1~5 および 3 つのレポート課題 (プログラム規模測定規準、コーディング標準、中間レポート) を採用している。CMU SEI の PSP コースでは、プログラミング課題 1~4 を実施したところで中間レポートとして、欠陥の記録のまとめを行うことになっているが、5 つのプログラミング課題と 3 つのレポート課題の配置から、プログラミング課題 5 つを先に実施し、まとめとなるレポートを最終的に課すこととした。講義の実施に余裕を持たせてプログラミング課題 1~4 および 3 つのレポートを採用して、CMU SEI の PSP コースの前半部分だけとすることも考えたが、PSP1.1 までのプロセスでは、プログラム規模の見積りとスケジューリングまでの学習になり、プログラム品質やプロセス品質の管理は課題となっていない。そこで、レビュープロセスを導入した PSP2.0 プロセスの学習を含むプログラミング課題 1~5 を採用し、プログラム品質やプロセス品質の導入学習を行うこととした。一方、PSP2.1 で導入される設計テンプレートについては、紹介だけにとどめた。

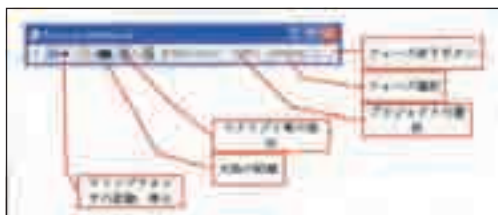
また、PSP コースの実施にあたっては、プロセス内の各工程の時間計測や欠陥の記録が必要である。CMU SEI からは、Microsoft Office Access を利用したツールが提供されているが、少々癖があり、使い勝手が悪い。The Software Process Dashboard Initiative[4] が提供するフリーのサポートツール Process Dashboard があり、本講義では Process Dashboard を採用した。図 2 に Process Dashboard のキャプチャ画面を示す。図 2 (a) は Process Dashboard のメインウィンドウであり、ストップウォッチの起動停止、欠陥の記録、スクリプトの表示

表 3 「組込みシステム特論」講義計画

第 1 回	講義ガイダンス 組込みシステムの構成と特徴. 組込みソフトウェアの役割. PSP の目的: ソフトウェア開発の見積り, 計画立案, パフォーマンスを追跡し, フィードバックをかけることの重要性などについて解説する.
第 2~3 回	ベースラインプロセス PSP0 PSP0 スクリプトの解説の後, PSP0 スクリプトに従いプログラミング演習(プログラミング課題 1)を実施する.
第 4~5 回	プログラム規模の測定 論理 LOC によるプログラム規模の測定とコーディング標準について解説する. LOC カウント標準, コーディング標準の作成. PSP0.1 スクリプトの解説の後, PSP0.1 スクリプトに従いプログラミング演習(プログラミング課題 2)を実施する.
第 6~7 回	プロジェクト計画立案のためのプログラム規模見積り プログラムの見積り方法である PROBE 手法について解説する. PSP1.0 スクリプトの解説の後, PSP1.0 スクリプトに従いプログラミング演習(プログラミング課題 3)を実施する.
第 8~9 回	プロジェクト計画立案 ソフトウェア規模から各タスクの見積り, スケジュール作成までのプロセスを解説する. PSP1.1 スクリプトの解説の後, PSP1.1 スクリプトに従いプログラミング演習(プログラミング課題 4)を実施する.
第 10~12 回	ソフトウェア品質とレビュー PSP で用いるソフトウェア品質指標を紹介するとともに, 設計レビュー, コードレビューについて解説する. コードレビューチェックリストの作成. PSP2.0 スクリプトの解説の後, PSP2.0 スクリプトに従いプログラミング演習(プログラミング課題 5)を実施する.
第 13~15 回	ソフトウェア設計プロセスについて解説し, PSP 設計テンプレートを紹介する. PSP2.1 スクリプトを解説する. まとめ: 欠陥分析, PSP データ分析に関するレポート作成. レポート作成プロセスを定義し, そのプロセスを利用してレポートを作成する.

などの指示を行う。図 2 (b) は、プロジェクト計画サマリーの管理画面であり、プロジェクト計画の入力を行うと、計測した実際の作業時間が記録され、自動的に集計作業

が行われる。図2(c)は欠陥記録のためのウインドウを開いたキャプチャ画面であり、欠陥の発見時に虫マークをクリックしたときに表示される。欠陥の内容だけを入力すれば、修正時間は自動的に記録される。また、このように記録された記録は、各プロジェクト(プログラミング課題)ごとに管理されるとともに、指定したプロジェクトの統計処理が行われ、プログラム規模や作業時間の見積り値と実際の記録との比較や、プロジェクト内の各フェーズでの欠陥除去率などを表やグラフにて表示することができる。これらの機能により、PSPで面倒な時間記録や欠陥除去率などの処理を効率的に行い、PSPの学習をサポート可能である。



(a) メインウインドウ



(b) プロジェクト計画サマリー



(c) 欠陥記録

図2 Process Dashboard

#### 4. 講義の実施と結果の考察

本講義は2008年度と2009年度の第1クォータで実施された。プログラミングの経験を履修の条件としたこともあり、受講者数は12名(2008年度)、10名(2009年度)であった。また、最終課題まで提出して単位を取得した受講生は、それぞれ8名(2008年度)、4名(2009年度)の計12名であった。そのうち、すべての課題で正しくデータ計測が行われていたのは9件であり、以下ではこれらデータをもちいて、講義の実施報告を行う。

図3にプログラミング課題ごとに受講生が作成したプログラム規模を掲載する。グラフの横軸がプログラミング課題番号であり、縦軸がプログラム規模(LOC:行数)である。プログラミング課題1では、LOCの計測をオプションとしているので、データの無いものは0 LOCとして記載している。本講義ではプログラミング言語を指定せず、受講生が得意とするプログラミング言語とプログラミング環境を選択している。C/C++言語を選択する受講生が多数であったが、JavaやRubyで演習を行う受講生もいた。そのため、プログラム規模にはばらつきがあるが、各プログラムは、平均80 LOC程度である。

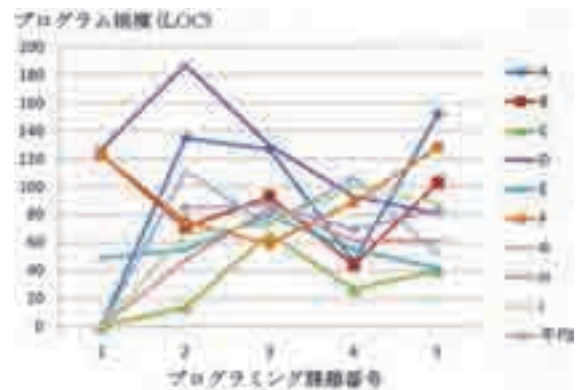


図3 プログラム規模実績

図4はプログラム規模の見積り値と実績値の誤差を示したものである。横軸がプログラミング課題番号であり、縦軸に見積り誤差である。規模の見積り値が100 LOC、実績値が150 LOCで誤差50%、実績値が50 LOCで-50%と記録している。プログラミング課題1では、規模見積りをしていないので、記録なしとなるが、誤差0%と記載している。今回のデータでは、多くの受講生が当初の見積りでは過大な見積りをする傾向にあることが読み取れる。図4のグラフ内では、誤差が少なくなっているには見えないが、これは課題ごとにプロセスが異なり、新しいフェーズが加えられたことが原因であると考えられる。実際にプログラム課題8まで記録を残した受講生がいるが、課題7、8での誤差が少なくなっていることが認められた。データは少なく参考程度である。

と考えるが、受講生 Y と村越 (X) のプログラム課題 2~8 のデータを記載しておく (図 5)。

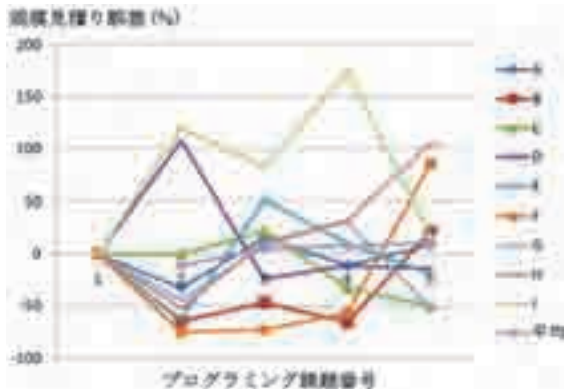


図 4 規模見積り誤差

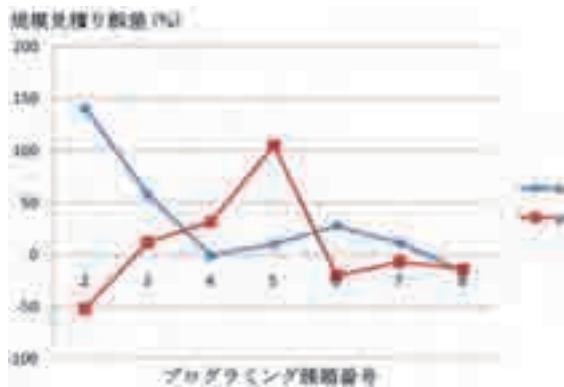


図 5 課題 8 までの規模見積り誤差

図 6 にプログラム課題ごとの開発時間、図 7 に開発時間見積り誤差を示す。各プログラミング課題にかかる時間は、平均 5.2 時間である。見積り誤差については、図 7 に示した範囲では、-50%~50% に分散しており、0% に収束していくようには見えないが、規模見積り誤差と同様に、課題が進みプロセスが安定するにつれて誤差が少なくなる傾向がある。

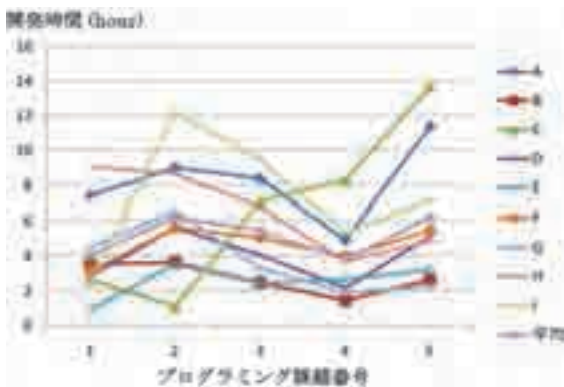


図 6 開発時間

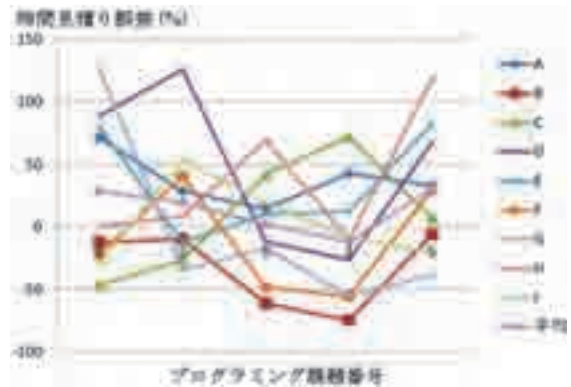


図 7 時間見積り誤差

以上は規模見積りと時間見積りを基とした開発計画と開発状況の管理に関する考察であるが、以下ではプログラム品質とプロセス品質に関する考察を行う。図 8 は各プログラミング課題における欠陥数である。ここでは 1000 LOC 中に含まれる欠陥数をグラフの縦軸にしている。平均的に欠陥数は減少傾向にあるが、それほど変化はない。図 9 には 1 時間に作成するプログラム LOC を生産性として縦軸にプロットしている。各課題では使用するプロセスが異なり、課題が進むごとにプロセス内のフェーズが増えているが、このグラフからフェーズの増加による生産性の低下は認められない。

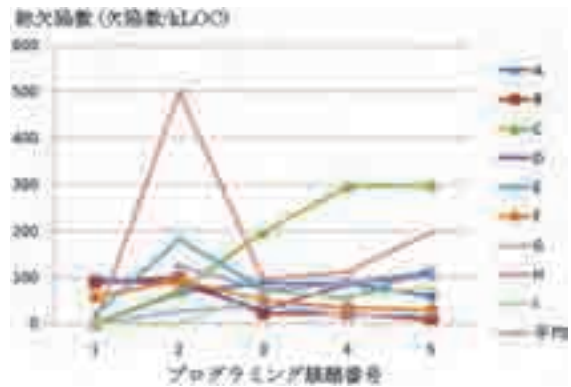


図 8 欠陥数

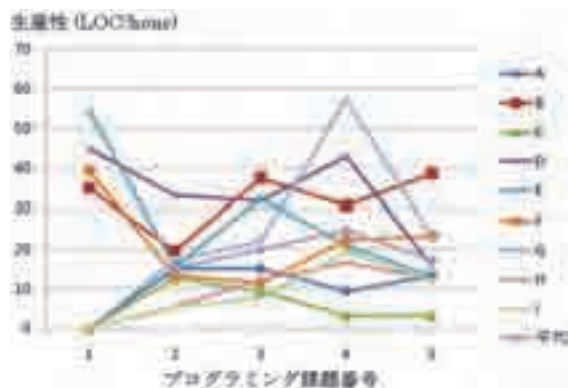


図 9 生産性

図 10 は、失敗時間率を掲示する。失敗時間率とは、総開発時間におけるコンパイル時間とテスト時間の合計時間の割合である。PSP ではコンパイルおよびテストフェーズは、欠陥除去のための時間であり、これを失敗時間と呼んでいる。図 10 から失敗時間率は減少していることが認められ、開発プロセスの早い段階で欠陥を除去していることが分かる。また、PSP2.0 プロセス（プログラミング課題 5）では、設計レビューおよびコードレビューのフェーズが加えられているが、このフェーズを追加することで欠陥摘出率（コンパイル前に欠陥を除去した割合）の向上を顕著にみる事ができる（図 11 参照）。PSP では、欠陥の除去は、開発のより早い除去フェーズ（レビュー、コンパイル、テスト）で行う方が高品質のプログラムを開発でき、高品質なプロセスであると定めている。一般的にも、欠陥の除去は開発のより早いフェーズで実施することで、開発コストを抑えることができることが知られている。これらのことから、受講生は、PSP プロセス（PSP0 → PSP2.1）の改善により、生産性を落とさずに高品質なプロセスで高品質なプログラムを開発できることを体験できたものと考ええる。

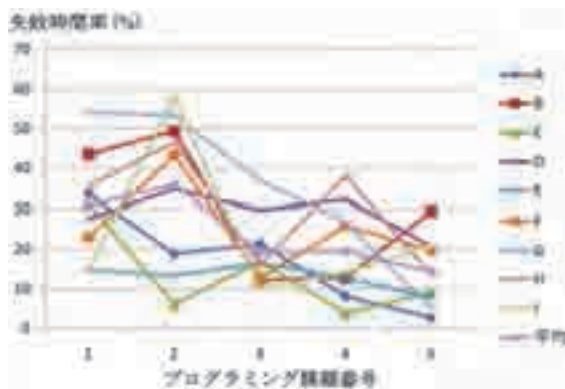


図 10 失敗時間率

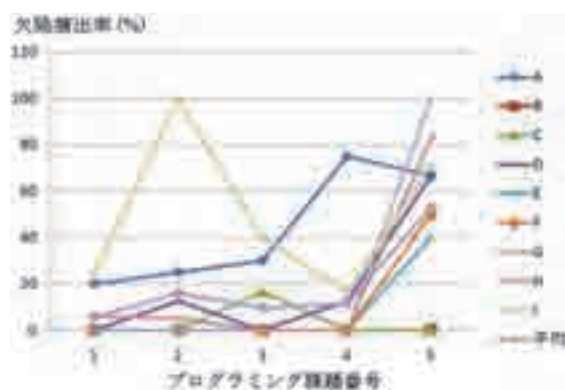


図 11 欠陥摘出率

本講義の最終課題では、レポート作成のためのプロセスを自作して、そのプロセスを利用して自分自身のプログラミング演習の記録を分析している。提出されたレ

ポートに記載されていた自作のプロセスは受講生それぞれのレベルではあったが、この経験により開発計画の立案や管理に関する基本的な考え方を伝えられたものと考ええる。受講生の中には、課題以外の提出物として、自身の職務のプロセスを作成し、コメントを求める者もいた。

## 5. まとめ

本稿では、CMU SEI が提供している PSP コースを、本学での講義科目として実施するためにチューニングを行い、実施し、その結果について考察した。チューニングした PSP トレーニングを通して、開発計画の立案とその管理、プログラム品質とプロセス品質に対する考え方やプロセス改善の手法などを伝えることができたと考ええる。しかしながら、本講義の受講生が少なく、当初の計画では、本講義の後に TSP をベースとしたチームによるプログラム開発演習 [5] を実施し、2 年次 PBL の導入教育とすることを想定していたが、こちらは思い通りに機能していないのが残念である。創造技術専攻でのプログラミング経験者の少なさが、原因の一つであると考え、次年度以降、プログラミングスキルを習得するための基礎的な講義を強化していく予定である。

## 参考文献

- [1] Watts S. Humphrey 著, 松本正雄監訳, ソフトウェア品質経営研究会訳, “パーソナルソフトウェアプロセス技法—能力向上の決め手,” 共立出版, 1999.
- [2] Watts S. Humphrey 著, 秋山義博監訳, JASPIC TSP 研究会訳, “PSP ガイドブックソフトウェアエンジニア自己改善” 翔泳社, 2007.
- [3] Watts S. Humphrey 著, PSP ネットワーク訳, “パーソナルソフトウェアプロセス入門” 共立出版, 2001
- [4] The Software Process Dashboard Initiative : <http://www.processdash.com/>
- [5] Watts S. Humphrey 著, 秋山義博監訳, JASPIC TSP 研究会訳, “TSPi ガイドブック” 翔泳社, 2008.

# Continuous Relaxation Algorithm for Discrete Quasi L-Convex Function Minimization

Satoko Moriguchi\* and Nobuyuki Tsuchimura\*\*

## Abstract

We consider the problem of minimizing a nonlinear discrete function with quasi L-convexity proposed in the theory of discrete convex analysis. This problem is more general than the problem of minimizing L-convex function and, for this problem, a steepest descent algorithm and a steepest descent scaling algorithm are known. In this paper, we use continuous relaxation approach which minimizes the continuous variable version first in order to find a good initial solution of a steepest descent algorithm. For discrete quasi L-convex functions, we give a proximity theorem showing that a discrete global minimizer exists in the neighborhood of a continuous global minimizer. This proximity theorem affords theoretical guarantee for the efficiency of the proposed algorithm,

Keywords: Optimization Theory, Mathematical Programming, Optimization Algorithms, Convex Analysis, Combinatorial Optimization, Discrete Convex Analysis

## 1. Introduction

In recent research towards a unified framework of discrete convex analysis [11], the concept of L-convex functions was proposed as a generalization of the Lovász extension of submodular set functions [7]. The concept of M-convex functions was also proposed as an extension of that of valuations on matroids invented by Dress and Wenzel [2]. These two concepts of discrete convexity are conjugate to each other, and a Fenchel-type duality theorem holds for L- and M-convex/concave functions [11]. Applications of discrete convex analysis can be found in mathematical economics with indivisible commodities [1][13][14], system analysis by mixed polynomial matrices [10], etc. These two discrete convexities, L- and M-convexities, play central roles in the theory of discrete convex analysis and provide a nice framework of nonlinear combinatorial optimization; global optimality is guaranteed by local optimality and descent algorithms work for minimization. Steepest descent algorithms, which terminate in pseudo-polynomial time, and steepest descent scaling algorithms [8], which terminate in polynomial time with the aid of a scaling technique, are also known. The proximity theorems on a scaled local optimum for L-convexity and M-convexity guarantee the efficiency of scaling algorithms. Furthermore, the proximity theorems between the continuous and integral optimal solutions

for L- and M-convexity provide the efficient minimization algorithms from the viewpoint of both theory and practice [9].

Quasi L- and M-convex functions were introduced as classes of discrete quasiconvex functions by generalizing the concepts of L- and M-convexity [12]. Various greedy algorithms work for the minimization of quasi L- and M-convex functions and some proximity theorems on a scaled local optimum for (semistrictly) quasi L-/M-convex functions, which guarantee the applicability of the so-called “scaling technique” to the quasi L-/M-convex function minimization, are established.

The objective of this paper is to show that we can generalize the proximity theorems between the continuous and integral optimal solutions for L-convexity towards quasi L-convexity. We also minimize a quasi L-convex function more efficiently, in the case where the continuous variable version which can be minimized tractably is available. For quasi L-convex function minimization, unfortunately, we do not know yet a polynomial-time algorithm. It is known that quasi L-convex function minimization is very hard problem. We propose a continuous relaxation approach which first minimizes the continuous variable version, i.e., a continuous quasiconvex function, in order to find a good initial solution of a steepest descent algorithm. In general, for discrete function minimization, we can say that the rounded continuous relaxation solution is

almost certainly nonoptimal and may be very far away from the optimal integer solution. For separable convex optimization problems, proximity results between the continuous and integral optimal solutions were obtained [3][4]. In this paper, for the discrete quasi L-convex function minimization problem, which is a nonseparable optimization problem, we give a proximity theorem showing that a discrete global minimizer exists in a neighborhood of a continuous global minimizer. On the basis of our new proximity, we can minimize a discrete quasi L-convex function efficiently by using continuous relaxation. In order to show the performance of our new continuous relaxation approach, we make numerical experiments with randomly generated test problems. It is observed from numerical results that our new approach, when applicable, is much faster than the previously proposed algorithms.

## 2. Preliminaries

Let  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a function. The effective domain and the epigraph of  $\bar{g}$  are given by

$$\begin{aligned} \text{dom } \bar{g} &= \{x \in \mathbf{R}^n \mid \bar{g}(x) < +\infty\}, \\ \text{epi } \bar{g} &= \{(x, \alpha) \in \mathbf{R}^n \times \mathbf{R} \mid \alpha \geq \bar{g}(x)\}. \end{aligned}$$

For a function  $g : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{Z} \cup \{+\infty\}$ , we use the notation  $\text{dom } \mathbf{Z} g = \{x \in \mathbf{Z}^n \mid g(x) < +\infty\}$  for the effective domain of  $g$ .

A function  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  is said to be convex if it satisfies

$$\begin{aligned} \bar{g}(\alpha p + (1 - \alpha)q) &\leq \alpha \bar{g}(p) + (1 - \alpha)\bar{g}(q) \\ &\quad (p, q \in \text{dom } \bar{g}, 0 \leq \alpha \leq 1). \end{aligned}$$

A function  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  is said to be quasiconvex if it satisfies

$$\begin{aligned} \bar{g}(\alpha p + (1 - \alpha)q) &\leq \max\{\bar{g}(p), \bar{g}(q)\} \\ &\quad (p, q \in \text{dom } \bar{g}, 0 < \alpha < 1), \end{aligned}$$

and semistrictly quasiconvex if it satisfies

$$\begin{aligned} \bar{g}(\alpha p + (1 - \alpha)q) &< \max\{\bar{g}(p), \bar{g}(q)\} \\ &\quad (p, q \in \text{dom } \bar{g} \text{ with } \bar{g}(p) \neq \bar{g}(q), 0 < \alpha < 1). \end{aligned}$$

It is easy to see that convexity implies semistrictly quasiconvexity, and semistrictly quasiconvexity implies quasiconvexity under a certain assumption.

A convex function  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  is said to be proper if  $\text{dom } \bar{g} \neq \emptyset$ , and closed if  $\text{epi } \bar{g}$  is a closed

set. For a closed proper convex function  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$ ,  $\arg \min \bar{g} \neq \emptyset$  if  $\text{dom } \bar{g}$  is bounded.

### 2. 1 L-Convex Functions

For vectors  $p, q \in \mathbf{Z}^n$ , we write  $p \vee q$  and  $p \wedge q$  for their componentwise maximum and minimum. We write  $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1) \in \mathbf{Z}^n$ . A function  $g : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  is called L-convex [11] if it satisfies (SBF[ $\mathbf{Z}$ ]) and (TRF[ $\mathbf{Z}$ ]):

$$\begin{aligned} \text{(SBF[}\mathbf{Z}\text{])} & \text{---} \\ g(p) + g(q) &\geq g(p \vee q) + g(p \wedge q) \\ &\quad (p, q \in \text{dom } \mathbf{Z} g), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(TRF[}\mathbf{Z}\text{])} & \text{---} \\ \exists r \in \mathbf{R} &\text{ such that} \\ g(p + \mathbf{1}) &= g(p) + r \quad (\forall p \in \text{dom } \mathbf{Z} g), \end{aligned}$$

where it is understood that the inequality (SBF[ $\mathbf{Z}$ ]) is satisfied if  $g(p)$  or  $g(q)$  is equal to  $+\infty$ .

The concepts of L-convexity can also be defined for functions in real variables through an appropriate adaptation of the conditions (SBF[ $\mathbf{Z}$ ]) and (TRF[ $\mathbf{Z}$ ]). Namely, we call a function  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  L-convex [11] if  $\bar{g}$  is convex and satisfies (SBF[ $\mathbf{R}$ ]) and (TRF[ $\mathbf{R}$ ]):

$$\begin{aligned} \text{(SBF[}\mathbf{R}\text{])} & \text{---} \\ \bar{g}(p) + \bar{g}(q) &\geq \bar{g}(p \vee q) + \bar{g}(p \wedge q) \\ &\quad (p, q \in \text{dom } \bar{g}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(TRF[}\mathbf{R}\text{])} & \text{---} \\ \exists r \in \mathbf{R} &\text{ such that} \\ \bar{g}(p + \mathbf{1}) &= \bar{g}(p) + r \quad (\forall p \in \text{dom } \bar{g}). \end{aligned}$$

### 2. 2 Semistrictly Quasi L-Convex Functions

To extend the concept of L-convexity, we relax the submodularity condition (SBF[ $\mathbf{Z}$ ]). Let  $g : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a function. We call  $g$  *semistrictly quasubmodular* if it satisfies (SSQSB[ $\mathbf{Z}$ ]):

$$\begin{aligned} \text{(SSQSB[}\mathbf{Z}\text{])} & \text{---} \\ \text{For all } p, q \in \mathbf{Z}^n, &\text{ both 1 and 2 hold:} \\ 1. & g(p \vee q) \geq g(q) \Rightarrow g(p \wedge q) \leq g(p), \\ 2. & g(p \wedge q) \geq g(p) \Rightarrow g(p \vee q) \leq g(q), \end{aligned}$$



and call  $g$  *semistrictly quasi L-convex* if  $\text{dom}_{\mathbf{Z}} g \neq \emptyset$  and it satisfies (SSQSB[ $\mathbf{Z}$ ]) and (TRF[ $\mathbf{Z}$ ])[12].

Let  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a continuous function. We call  $\bar{g}$  *semistrictly quasisubmodular* if it satisfies (SSQSB[ $\mathbf{R}$ ]):

(SSQSB[ $\mathbf{R}$ ])

For all  $p, q \in \mathbf{R}^n$ , both 1 and 2 hold:

1.  $\bar{g}(p \vee q) \geq \bar{g}(q) \Rightarrow \bar{g}(p \wedge q) \leq \bar{g}(p)$ ,
2.  $\bar{g}(p \wedge q) \geq \bar{g}(p) \Rightarrow \bar{g}(p \vee q) \leq \bar{g}(q)$ ,

and call  $\bar{g}$  *semistrictly quasi L-convex* if  $\text{dom } \bar{g} \neq \emptyset$  and it satisfies (SSQSB[ $\mathbf{R}$ ]) and (TRF[ $\mathbf{R}$ ]).

### 2. 3 Minimization of (Semistrictly Quasi) L-Convex Functions

In this paper, we assume the existence of minimizer of (semistrictly quasi) L-convex functions. For this condition, we need  $r = 0$  in (TRF[ $\mathbf{Z}$ ]) and (TRF[ $\mathbf{R}$ ]).

For minimization of a discrete L-convex function, we have the following optimality criterion, which shows that global minimality is characterized by local minimality. The characteristic vector of  $X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$  is denoted by  $\chi_X \in \{0, 1\}^n$ .

**Theorem 2. 1** (Theorem 7.14 in [11]) *Let  $g : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a discrete L-convex function. For  $p \in \text{dom}_{\mathbf{Z}} g$ ,  $g(p) \leq g(q)$  ( $q \in \mathbf{Z}^n$ ) if and only if*

$$g(p) \leq g(p + \chi_X) \quad (X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}). \quad (1)$$

Likewise, for minimization of a discrete semistrictly quasi L-convex function, we have the following optimality criterion, which shows that global minimality is characterized by local minimality.

**Theorem 2. 2** (Theorem 6. 2 (ii) in [12]) *Let  $g : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a discrete semistrictly quasi L-convex function. For  $p \in \text{dom}_{\mathbf{Z}} g$ ,  $g(p) \leq g(q)$  ( $q \in \mathbf{Z}^n$ ) if and only if*

$$g(p) \leq g(p + \chi_X) \quad (X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}). \quad (2)$$

Note that we verify (1) in polynomial time by the submodular function minimization algorithms [5][15][16], but (2) in exponential time because there exists no known polynomial time algorithm for semistrictly quasisubmodular function minimization.

Throughout the paper, we assume that a continuous

semistrictly quasi L-convex function has a minimizer. Minimization of a continuous semistrictly quasi L-convex function is tractable with a theoretical basis provided by convex analysis.

### 3. Proposed Algorithms

For discrete semistrictly quasi L-convex function minimization, our continuous relaxation approach and proximity theorems between the discrete minimizer and the relaxation solution are given in Sections 3. 1. Section 3. 2 is devoted to the proofs of proximity theorems.

#### 3. 1 Algorithm for Semistrictly Quasi L-Convex Functions

The local characterization of global minimality for semistrictly quasi L-convex functions (Theorem 2. 2) naturally leads to the following steepest descent algorithm [12, Sec. 6.2].

##### Steepest descent algorithm for a semistrictly quasi L-convex function $g$

**S0:** Find a vector  $p \in \text{dom}_{\mathbf{Z}} g$ .

**S1:** Find  $X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$  that minimizes  $g(p + \chi_X)$ .

**S2:** If  $g(p) \leq g(p + \chi_X)$ , then stop ( $p$  is a minimizer of  $g$ ).

**S3:** Set  $p := p + \chi_X$  and go to S1.

Note that polynomial time method to find  $\varepsilon$  in step S1 is not known, although we can find one by submodular function minimization algorithm if  $g$  were L-convex function [5][15][16].

The following is another ‘‘proximity theorem,’’ showing that a continuous relaxation solution of a discrete semistrictly quasi L-convex function minimization problem exists in a neighborhood of the integer minimizer.

**Theorem 3. 1** *Let  $g : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a discrete semistrictly quasi L-convex function and  $\bar{g} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  be a continuous semistrictly quasi L-convex function with  $\arg \min \bar{g} \neq \emptyset$ . We assume that*

$$g(p) = \bar{g}(p) \quad (p \in \mathbf{Z}^n).$$

*Then, for any  $p^* \in \arg \min g$ , there exists some  $\bar{p} \in \arg \min \bar{g}$  such that*

$$p^* \leq \bar{p} < p^* + (n - 1)\mathbf{1}.$$

The proof of Theorem 3.1 is given later in Section 3.2.

When we have a unique continuous relaxation solution, to minimize a discrete semistrictly quasi L-convex function  $g$ , we propose a continuous relaxation approach which is the steepest descent algorithm starting with a continuous relaxation solution as the initial solution. Uniqueness of the continuous relaxation solution guarantees that our continuous relaxation approach is efficient if the relaxation solution can be found fast. In order to find the relaxation solution, we can utilize continuous quasiconvex minimization algorithms for  $\bar{g}$  since a continuous semistrictly quasi L-convex function is semistrictly quasiconvex by the definition.

### 3.2 Proof of Theorem 3.1

*Proof.* For an integer  $s \geq 2$ , we define  $g_s : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$  as

$$g_s(p) := \bar{g}\left(\frac{p}{s}\right) \quad (p \in \mathbf{Z}^n).$$

We have

$$g(p) = g_s(sp) \quad (p \in \mathbf{Z}^n). \quad (3)$$

For all  $p, q \in \mathbf{Z}^n$  and  $0 \leq \alpha \in \mathbf{Z}$ , we have

$$\begin{aligned} \bar{g}\left(\frac{p}{s} \wedge \frac{q}{s}\right) \geq \bar{g}\left(\frac{p}{s}\right) &\Rightarrow \bar{g}\left(\frac{p}{s} \vee \frac{q}{s}\right) \leq \bar{g}\left(\frac{q}{s}\right), \\ \bar{g}\left(\frac{p \wedge q}{s}\right) \geq \bar{g}\left(\frac{p}{s}\right) &\Rightarrow \bar{g}\left(\frac{p \vee q}{s}\right) \leq \bar{g}\left(\frac{q}{s}\right), \\ g_s(p \wedge q) \geq g_s(p) &\Rightarrow g_s(p \vee q) \leq g_s(q). \end{aligned}$$

Thus semistrictly quasisubmodularity (SSQSB[ $\mathbf{R}$ ]) for  $\bar{g}$  leads to (SSQSB[ $\mathbf{Z}$ ]) for  $g_s$ .

We have

$$g_s(p + \mathbf{1}) = \bar{g}\left(\frac{p + \mathbf{1}}{s}\right) = \bar{g}\left(\frac{p}{s}\right) = g_s(p),$$

which means (TRF[ $\mathbf{Z}$ ]) for  $g_s$ .

We have  $\text{dom}_{\mathbf{Z}} g_s \supseteq \text{dom}_{\mathbf{Z}} g \neq \emptyset$ . Those three properties mean discrete semistrictly quasi L-convexity of  $g_s$ .

Optimality criterion for  $g$ , i.e., (2) yields

$$g(p^*) \leq g(p^* + \chi_X) \quad (X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}),$$

which implies

$$g_s(sp^*) \leq g_s(sp^* + s\chi_X) \quad (X \subseteq \{1, 2, \dots, n\})$$

from (3). By applying semistrictly quasi L-proximity theorem on a scaled local optimum (Theorem 6.4 in [12])

to  $g_s$  and  $sp^*$ , there exists  $p_s \in \arg \min g_s$  with

$$sp^* \leq p_s \leq sp^* + (s-1)(n-1)\mathbf{1}. \quad (4)$$

Dividing all parts of (4) by  $s$  shows

$$p^* \leq \frac{p_s}{s} \leq p^* + \frac{s-1}{s}(n-1)\mathbf{1} < p^* + (n-1)\mathbf{1}.$$

Put  $K := \{p \in \mathbf{R}^n \mid p^* \leq p \leq p^* + (n-1)\mathbf{1}\}$ . Since  $K$  is compact, every sequence in  $K$  has a convergent subsequence, the limit point of which belongs to  $K$ . For  $k \in \mathbf{N}$ , we suppose  $s_k = 2^k$ ,  $p_{s_k} \in \arg \min g_{s_k}$  and  $\frac{p_{s_k}}{s_k} \in K$ . From the sequence  $\{\frac{p_{s_k}}{s_k}\}$ , we take a convergent subsequence  $\{\frac{p_{s_{k_i}}}{s_{k_i}}\}$  and put  $\lim_{i \rightarrow \infty} \frac{p_{s_{k_i}}}{s_{k_i}} = p' \in K$ . Continuity of  $\bar{g}$  implies  $\lim_{i \rightarrow \infty} \bar{g}\left(\frac{p_{s_{k_i}}}{s_{k_i}}\right) = \bar{g}\left(\lim_{i \rightarrow \infty} \frac{p_{s_{k_i}}}{s_{k_i}}\right) = \bar{g}(p')$ . Note that  $\{\bar{g}\left(\frac{p_{s_{k_i}}}{s_{k_i}}\right)\}$  is a monotonically decreasing sequence ( $\bar{g}\left(\frac{p_{s_{k_1}}}{s_{k_1}}\right) \geq \bar{g}\left(\frac{p_{s_{k_2}}}{s_{k_2}}\right) \geq \dots \geq \bar{g}\left(\frac{p_{s_{k_i}}}{s_{k_i}}\right) \geq \dots$ ) and

$$\bar{g}(p') \leq \bar{g}\left(\frac{p_{2^{k_i}}}{2^{k_i}}\right) = \min g_{2^{k_i}} \quad (i \in \mathbf{N}). \quad (5)$$

Now, we prove  $\bar{g}(p') = \min \bar{g}$ , i.e.,  $p' \in \arg \min \bar{g}$ , by contradiction. Assume  $\bar{g}(p') > \min \bar{g}$  and put  $\varepsilon_0 := \bar{g}(p') - \min \bar{g} > 0$ . We fix an arbitrary  $\bar{p} \in \arg \min \bar{g}$ . For any number  $\varepsilon > 0$ , there exist  $N \in \{s_{k_i} \mid i = 1, 2, \dots\}$  and  $q := \sum_{k=0}^N \frac{b_k}{2^k}$  with  $b_0 := \lfloor \bar{p} \rfloor$  and  $b_k \in \{0, 1\}^n$  such that  $2^N q \in \mathbf{Z}$ ,  $|\bar{p} - q| < \varepsilon$ . Continuity of  $\bar{g}$  gives

$\forall \varepsilon' > 0, \exists \delta_{\varepsilon'} > 0, : |x - y| < \delta_{\varepsilon'} \Rightarrow |\bar{g}(x) - \bar{g}(y)| < \varepsilon'$   
for  $x = \bar{p}$  and  $y = q$ . Now, considering the number  $\varepsilon' = \frac{\varepsilon_0}{2}$ , we have

$\min g_{2^N} \leq \bar{g}(q) < \min \bar{g} + \frac{\varepsilon_0}{2} < \min \bar{g} + \varepsilon_0 = \bar{g}(p')$ ,  
contradicting (5). This proves  $\bar{g}(p') = \min \bar{g}$ .

## 4. Numerical Experiments

We here mainly compare the performance of our new continuous relaxation approach with those of the previously proposed algorithms. We observe from numerical experiments that our approach is much faster than the previous algorithms.

We implemented three algorithms for minimization of a discrete semistrictly quasi L-convex function shown in Table 1 in the C language to compare the performance of these algorithms.

We use the following libraries:

- ‘L-BFGS’ by J. Nocedal\*<sup>1</sup> with its C++ wrapper by T. Kudo\*<sup>2</sup>, which is an implementation of quasi-Newton method for continuous function optimization

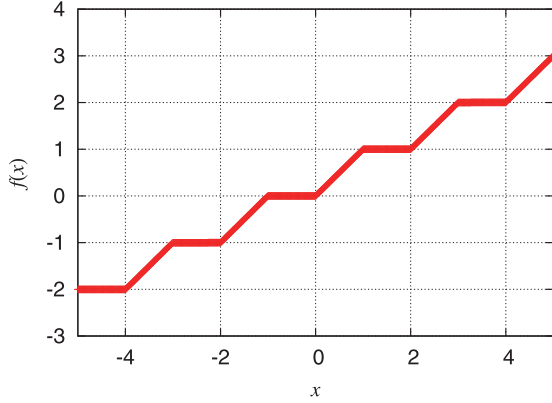


Fig. 1 The figure of function  $f(x)$ .

[6]. As the routine requires the gradient of the objective function, we calculate a finite-difference approximation by calling the function evaluation oracle  $n + 1$  times. We use this only in RELAX (our new continuous relaxation approach).

- ‘SIMD-oriented Fast Mersenne Twister’ developed by M. Saito and M. Matsumoto<sup>\*3</sup>, which generates pseudorandom numbers. We make use of this to generate test problems.

As test problems for discrete semistrictly quasi L-convex function minimization, we consider the following function:

$$g(p) = \lceil f\left(\sum_{1 \leq i < j \leq n} h_{ij}(p(i) - p(j))\right) \rceil \quad (p \in \mathbf{Z}^n),$$

where  $h_{ij}(z) = a_{ij}z^2 + b_{ij}z$  and  $f(x)$ , defining as follows,

$$f(x) = \begin{cases} x - (1 - C)\frac{\lfloor x \rfloor}{2} & (\lfloor x \rfloor \equiv 0 \pmod{2}), \\ \lfloor x \rfloor - (1 - C)\frac{\lfloor x \rfloor - 1}{2} + C(x - \lfloor x \rfloor) & (\text{otherwise}), \end{cases}$$

Table. 1 Algorithms we implemented for semistrictly quasi L-convex function minimization.

symbol	algorithm
SD	steepest descent algorithm [12, Sec. 6.4]
SCALING	steepest descent scaling algorithm [12, Sec. 6.4]
RELAX	our new continuous relaxation approach

Table. 2 Observed computational complexity for semistrictly quasi L-convex function minimization.

algorithm	SD	SCALING	RELAX
oracle calls $C$	$3.4 \times 10^3 \cdot 2^n$	$8.3 \times 10^1 \cdot 2^n$	$3.7 \times 10^0 \cdot 2^n$
CPU time $T$	$2.9 \times 10^{-4} \cdot 2^n$	$8.3 \times 10^{-6} \cdot 2^n$	$4.3 \times 10^{-7} \cdot 2^n$

are univariate functions. We adopt  $f$ , whose slope alternates between 1 and  $C (= 0.001)$ , to convert a convex function into a quasiconvex function, and draw its figure in Figure 1.

In our continuous relaxation approach, we use

$$\bar{g}(p) = f\left(\sum_{1 \leq i < j \leq n} h_{ij}(p(i) - p(j))\right) \quad (p \in \mathbf{R}^n).$$

For each  $n$ , we generate ten test problems with randomly chosen integer variables  $1 \leq a_i, a_{ij} \leq n, -n^2 \leq b_i, c_i, b_{ij} \leq n^2$ . For each problem, we randomly choose an initial discrete solution  $p_0$  satisfying  $-10n \leq p_0(i) \leq 10n$ .

Our computational environment is the following: HP dx5150 SF/CT, AMD Athlon 64 3200+ processor (2.0GHz, 512KB L2 cache), 4GB memory, Vine Linux 4.1 (kernel 2.6.16), gcc 3.3.6.

All the algorithms implemented here provide an optimal solution under the assumption that an oracle for computing semistrictly quasi L-convex function values is available. We measure the number of oracle calls and CPU time for each problem. Our numerical results are summarized in Figure 2. The upper of the figure shows the relationship between the number of oracle calls  $C$  and dimension  $n$  for semistrictly quasi L-convex function minimization, and the lower shows the relationship between CPU time  $T$  and  $n$ . In all the algorithms the relationship is linear in  $C$  and  $2^n$ , which implies  $C = O(2^n)$ . Also, the relationship is linear in  $T$  and  $2^n$ , which implies  $T = O(2^n)$ . These results are displayed in Table 2.

<sup>\*1</sup> <http://www.ece.northwestern.edu/nocedal/lbfgs.html>

<sup>\*2</sup> <http://chasen.org/taku/software/misc/lbfgs/>

<sup>\*3</sup> <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/m-mat/MT/>

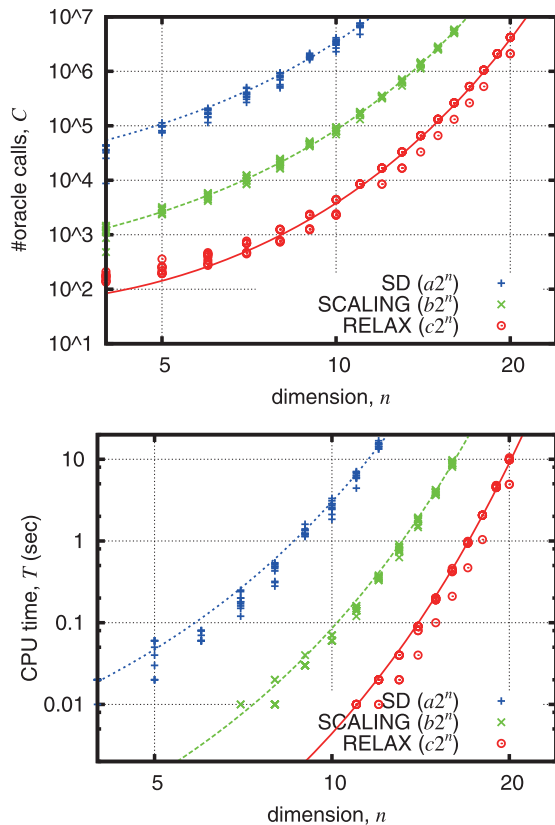


Fig. 2 The number of oracle calls and CPU time for semistrictly quasi L-convex function minimization.

## 5. Conclusion

By numerical experiments with randomly generated test problems, we can conclude that our continuous relaxation approach is faster than the previously proposed algorithms. Our new approach, however, is not a polynomial time algorithm because, unfortunately, there exists no known polynomial time algorithm for semistrictly quasisubmodular function minimization which is called in the local search, i.e., step S1.

It is known that not only semistrictly quasi L-convex function minimization, but also semistrictly quasisubmodular function minimization is very hard problem. When we get a polynomial time algorithm for semistrictly quasisubmodular function minimization, our approach yields much more benefit.

Furthermore, the proximity theorem has a beneficial effect on the case where we have a unique continuous relaxation solution. The multiple relaxation solutions case is left as a future work.

## References

[1] V. Danilov, G. Koshevoy, and K. Murota, "Discrete

convexity and equilibria in economies with indivisible goods and money," *Math. Social Sci.*, **41**, pp. 251–273, 2001.

- [2] A.W.M. Dress and W. Wenzel, "Valuated matroids," *Adv. Math.*, **93**, pp. 214–250, 1992.
- [3] D.S. Hochbaum and J.G. Shanthikumar, "Convex Separable Optimization is Not Much Harder than Linear Optimization," *J. ACM*, **37**, pp. 843–862, 1990.
- [4] D.S. Hochbaum, "Lower and Upper Bounds for the Allocation Problem and Other Nonlinear Optimization Problems," *Mathematics of Operations Research*, **19**, pp. 390–409, 1994.
- [5] S. Iwata, L. Fleischer, and S. Fujishige, "A combinatorial strongly polynomial algorithm for minimizing submodular functions," *J. ACM*, **48**, pp. 761–777, 2001.
- [6] D.C. Liu and J. Nocedal, "On the limited memory method for large scale optimization," *Math. Prog. B*, **45**, pp. 503–528, 1989.
- [7] L. Lovász, "Submodular functions and convexity," in *Mathematical Programming—The State of the Art*, eds. A. Bachem, M. Grötschel and B. Korte, pp.235–257, Springer-Verlag, 1983.
- [8] S. Moriguchi, K. Murota, and A. Shioura, "Scaling Algorithms for M-convex Function Minimization," *IEICE Transactions on Fundamentals*, **E85-A**, pp. 922–929, 2002.
- [9] S. Moriguchi and N. Tsuchimura, "Discrete L-convex function minimization based on continuous relaxation," *Pacific J. Optim.*, **5**, pp. 227–236, 2009.
- [10] K. Murota, *Matrices and Matroids for Systems Analysis*, Springer, Berlin, 2000.
- [11] K. Murota, *Discrete Convex Analysis*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2003.
- [12] K. Murota and A. Shioura, "Quasi M-convex and L-convex functions: Quasi-convexity in discrete optimization," *Discrete Appl. Math.*, **131**, pp. 467 – 494, 2003.
- [13] K. Murota and A. Tamura, "New characterizations of M-convex functions and their applications to economic equilibrium models with indivisibilities," *Discrete Appl. Math.*, **131**, pp. 495–512, 2003.
- [14] K. Murota and A. Tamura, "Application of M-convex submodular flow problem to mathematical economics," *Japan J. Indust. Appl.*

Math., 20, pp. 257–277, 2003.

- [15] J.B. Orlin, “A faster strongly polynomial algorithm for submodular function minimization,” Proceedings of IPCO 12, M. Fischetti and D. Williamson, eds., Ithaca, NY, pp. 240–251, 2007.
- [16] A. Schrijver, “A combinatorial algorithm minimizing submodular functions in strongly polynomial time,” J. Comb. Theory, Ser., B **80**, pp. 346–355, 2000.

# DACS 方式を実現する為のシステム実装方法について

小田切和也\*

## System Implementation of Realizing DACS Scheme

Kazuya Odagiri\*

### Abstract

In the university network, customers with different membership and position connect to the network and use network services comparative freely. Because it is difficult to manage the network based on network policy and security policy, the method to manage a whole network every user is needed simply and flexibly. As a study to manage a whole network, there is the study of policy-based network management which controls a communication by the mechanism called PEP located client computers and network servers. Because the existing method has problems such as the necessity to change network configuration physically, we proposed a new method called DACS (Destination Addressing Control System). In this paper, we explain the implementation results of DACS system to realize DACS Scheme.

Keywords: Policy-Based Network Management, DACS Scheme

### 1. はじめに

大学のネットワークシステムの管理・運営を行う上で特徴的であるのは、研究室に所属していない一般学生・研究室所属の学生・教員・職員・外部者などの所属や置かれた立場の違う人々が、比較的自由的な形でネットワークに接続しサービスを利用している点である。このようなネットワークで、ネットワークポリシーやセキュリティポリシーに基づいてネットワークを管理することは、非常に難しい点がある。例えば、学生にノートパソコンを貸与している大学において、教室毎に異なるサブネットワークが割り当てられているネットワーク環境で、ある授業の受講資格を持った学生だけが、授業時間内に授業を開講している教室から学内のネットワークサービスを使えるように厳密に管理する場合は、利用者毎の細かなネットワークサービスの管理が必要になる。その為、ネットワーク全体を利用者単位で柔軟に管理する方法が必要となる。

既存のネットワーク管理に関する研究・技術としては、認証に関する研究 [1] やサーバ負荷分散などの負荷分散に関する研究 [2] など様々な研究が為されているが、これらの研究は、それぞれある特定の個別の目的を研究とするものである。ネットワーク全体を管理対象とし、特定の目的に限定せずにネットワークを効率的に管理する

為の研究としては、IETF (Internet Engineering Task Force) で示されているポリシーに基づくネットワーク管理 (Policy-based Network Management : PBNM) の研究 [6][7][8][9] がある。しかしながら、この方式は、多数のクライアントから発信される通信をネットワーク経路上に配置した通信制御の為の装置・仕組みでまとめて制御するが故に、処理負荷が高くなる点と各ホスト間にその装置・仕組みを追加する為にネットワークの構成変更が必要となり得る点が問題点となる。

そこで、筆者らは、これらの問題点を克服する新しいネットワーク管理の方式を提案し、DACS (Destination Addressing Control System) 方式と呼んでいる。この DACS 方式の基本原理は、クライアント上のパケットフィルタリングと Destination NAT (宛先 NAT) の仕組みを用いてクライアントから発信される通信を制御し、その通信制御を通してネットワーク全体を管理する方式である。これまでの研究で、クライアントにソフトウェアを配置してネットワーク全体を効率的に管理する目的の研究は、DACS 方式以外に見当たらない。

これまでに行った DACS 方式の研究としては、DACS 方式の基本原理 [11] やセキュリティ機能 [12] の提案などの DACS 方式の仕組みに関する研究や利用者が自由かつ容易にカスタマイズ出来るポータルを実現出来る新しい Web サービス [14] などの DACS 方式に関する応用研

究がある。しかしながら、いずれも提案とその実現性を確認する為の機能実験の結果を示したものであり、実際にシステムの実装まで至っていなかった。そこで、本論文では、DACS方式の内容を説明した後、この方式を実現する為のシステムであるDACSシステムの実装方法について述べる。

## 2. 研究の動機と関連研究

既存のネットワーク管理に関する研究・技術としては、例えば、認証に関する研究 [1] やサーバ負荷分散などの負荷分散に関する研究 [2]、VPN (Virtual Private Network) に関する研究 [3]、あるいは、検疫ネットワーク [4] に関する研究など様々な研究が為されている。しかしながら、これらの研究は、それぞれある特定の個別の目的について研究されており、ネットワーク全体を効率的に管理することを目的としている研究ではない。ネットワーク全体を効率的に管理する為の研究としては、IETF (Internet Engineering Task Force) で示されているポリシーに基づくネットワーク管理 (Policy-based Network Management : PBNM) の研究 [6][7][8][9] がある。この PBNM は、図 1 に示された内容のものである。



図 1 IETF における PBNM

具体的には、PDP (Policy Decision Point) と呼ばれる場所で、ポリシー情報に基づいて通信の許可や遮断などの判断が行われる。その判断の結果が、サーバやクライアントなどのホスト間のネットワーク系路上に配置された通信制御の為の仕組み、例えば、VPN 装置、Router、Firewall などの上に配置される PEP (Policy Enforcement Point) と呼ばれる場所に通知・伝達され、その判断に基づいて通過しようとする通信に対して制御が加えられる仕組みである。また、この PBNM と同様

に、ネットワーク系路上にアクセス制御の為にゲートウェアシステムを用いて利用者単位でアクセス制御する Opengate [5] に関する研究も行われている。

これら方式の問題点として、次に示す 2 点をあげる事が出来る。

- (1) 多数のクライアントから発信される通信をネットワーク系路上に配置した装置・仕組みでまとめて制御する方式である為、非常に処理負荷が高くなる点。
- (2) 各ホスト間に通信制御の為に装置・仕組みが必要である為、ネットワークシステムの構成によっては、その装置・仕組みを追加する為の構成変更が必要になる点。

そこで、これらの問題点を克服する新しいネットワーク管理の方式を提案し、DACS方式と呼んでいる。詳細は後述するが、この DACS方式の基本原理は、PBNMにおける PEPに相当するソフトウェアをクライアントに配置し、そのソフトウェアの通信制御の為に機能であるパケットフィルタリングと Destination NATの仕組みを用いてクライアントから発信される通信を制御し、その通信制御を通してネットワーク全体を管理する方式である。クライアントに PEPに相当するソフトウェアを配置するという観点で考えると、PBNMの研究の中には、クライアントにソフトウェアを配置して QOS 制御する方式の研究 [10] もある。しかしながら、これまでの研究で、クライアントに PEPに相当するソフトウェアを配置してネットワーク全体を効率的に管理する目的の研究は、DACS方式以外に見当たらない。

これまでに行った DACS方式の研究としては、先に説明した DACS方式の基本原理 [11] やセキュリティ機能 [12] を示した。更には、DACS方式を用いて実現出来る新しい利用者サポート [13] を示した。その他、組織内のローカルエリアネットワーク上に分散して存在する各種情報、例えば、データベース形式で保存されているデータ、PDF やテキストファイルなどのドキュメント形式で保存されているデータなどを効率的に活用することが可能になる Web サービスの機能 [14] [15] についての研究や、更には、それらの機能を用いて利用者が自由かつ容易にカスタマイズ出来るポータルを実現する為の新しい Web サービス [16] についての研究を進めている。しかしながら、いずれも提案とその実現性を確認する為の実証実験の結果を示したものであり、実際にシステムの実装まで至っていなかった。そこで、本論文では、DACS方式を実現する為のシステムである DACSシステムの実装結果に基づいた実装方法について説明する。第 3 章で、DACS方式の内容について説明し、第 4 章で、DACSシステムの実装方法を説明する。

### 3. 既存 DACS 方式の概要説明

#### 3. 1 基本機能の説明

DACS 方式の原理は、ネットワークに接続したクライアントの通信をユーザ、またはクライアント単位で制御することによって、ネットワークシステム全体を管理することである。具体的な制御内容は、通信先サーバを変更する、あるいは、通信を遮断することである。ネットワーク管理者により通信制御情報を管理するサーバ（以下、通信制御情報管理サーバ）に設定された通信制御の為のルール（以下、通信制御ルール）に基づいて制御される。通信先サーバを変更する為には、クライアント上に Destination NAT を配備し、通信制御情報管理サーバに定められたルールに従って宛先を変更する。通信を遮断する為には、クライアント上にパケットフィルタリングの仕組みを設けて、同様に通信制御情報管理サーバに定められたルールに従って通信を遮断する。DACS 方式では、これらの原理に基づき、以下の基本機能をユーザ、又は、クライアント単位で実現する。

- (a) 同一ホスト名に対する通信先サーバ切替
- (b) 利用サービス制限
- (c) アクセスポート許可

ユーザ単位で通信制御する為には、ユーザ認証サーバと組み合わせることにより、あらかじめ通信制御情報管理サーバに設定されたユーザ単位の通信制御ルールに従ってクライアント上で Destination NAT による宛先変更を行うか、パケットフィルタリングの仕組みにより通信を遮断する。同様に、クライアント単位で通信制御する為には、通信制御情報管理サーバに設定された IP アドレス単位の通信制御ルールに従い通信制御を行う。それにより、ある特定の場所に設置したクライアントに対する通信制御が可能になる。但し、その通信制御の前提条件として、原則的にはクライアントに固定 IP アドレスを設定する必要がある。DHCP 環境下においては、ネットワーク単位、あるいは、サブネットワーク単位で接続されたクライアントに同一の制御をすることは可能である。又、通信制御情報管理サーバには、ユーザ、及び、クライアント単位の通信制御ルールが両方設定されている為、そのユーザでログインしたクライアントを制御する為のルールが重複してしまう場合は、ある一定の処理法則に従い優先するルールを決めて通信制御を行う。その処理法則は、各組織毎に定められるネットワークポリシーにより決定される。

#### 3. 2 基本システム構成

図 2 に、DACS 方式における基本的なシステム構成の全体像を示す。同図の DACS SV (DACS Server) は

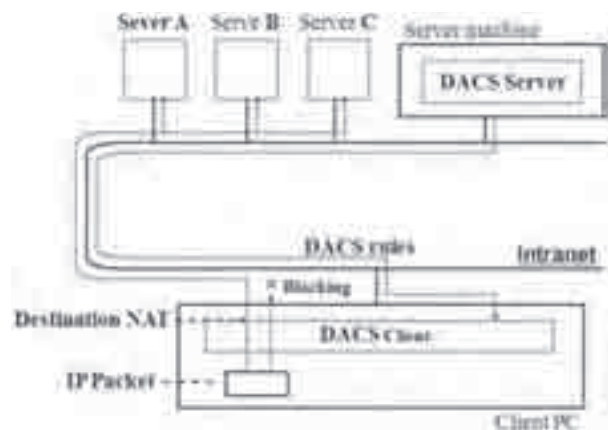


図 2 DACS 方式の基本システム構成

DACS 方式によるサービスを提供する為に必要なサーバ機能であり、通信制御情報管理サーバの役割も果たす。DACS CL (DACS Client) は、サービスの提供を受ける為に必要なクライアント機能である。又、DACS CTL (DACS Control) は、DACS CL の一部であり、実際に通信を制御する通信制御サービスの役割を果たす。更に、DACS rules は、前節で説明した (a) ~ (c) の 3 つの基本機能による通信制御の為に必要なルールであり、次の (A) (B) で構成される。(以下の宛先情報 X,Y,Z は、IP アドレスとポート番号である。)

- (A) (a) の機能を制御する為には、Destination NAT に必要な通信先変更前の宛先情報 X と通信先変更後の宛先情報 Y。
- (B) (b)(c) の機能を制御する為、パケットフィルタリングで通信の遮断や許可をする為に必要な通信の宛先情報 Z。

その DACS rules は、DACS SV から DACS CL へ送信された後、DACS CL の一部である DACS CTL に適用される。そして、DACS CTL では適用直後から通信制御が行われる。ここでは、DACS SV は常時定常状態(運用状態)であり、ネットワークの通信が問題なく行える状態であるとの前提のもと、DACS CL の基本的な処理の流れと内容を説明する。また、DACS CL は、クライアント OS の起動・終了処理の一部として起動・終了させる。

また、DACS SV・CL・CTL のレイヤー設定を図 3 に示す。サーバ、及び、クライアントのアプリケーション層に配置された DACS SV と DACS CL 間で DACS rules を送受信する。DACS CL は、DACS CTL に対して DACS rules を適用する (b)。DACS CTL は、ネットワーク層に配置され、Destination NAT による通信先サーバ変更やパケットフィルタリングにより通信を遮断する (c)。



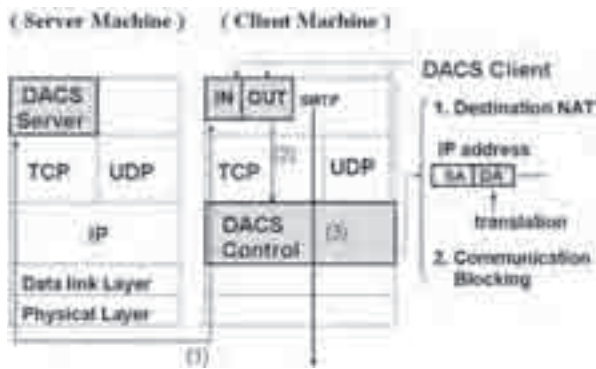


図3 レイヤー設定

### 3. 3 VPN 機能

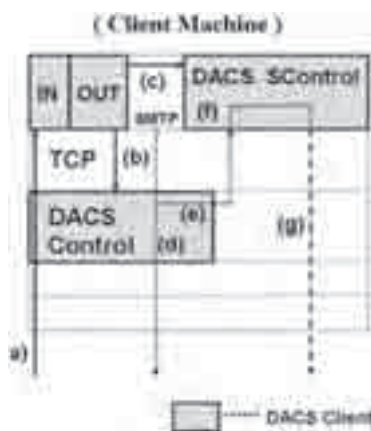


図4 VPN 機能

DACS 方式は、クライアントに配置した DACS CL で通信を制御する方式である。その為、DACS CL を配置していないクライアントをネットワークに接続する場合、ネットワークサービスを自由に利用出来てしまうという問題点がある。セキュリティポリシーやネットワークポリシーによっては、そのようなクライアントが接続するのを許可する場合もあり得るが、不許可の場合に備えて対処する必要がある。図4に示したように、クライアントから発信される通信をVPN (Virtual Private Network) 化出来るように機能拡張し、VPN 化されないクライアント、つまり、DACS CL を配置しないクライアントからの通信を遮断出来るようにして対処する。具体的な仕組みを図4に従って説明する。まず、通信制御開始前に必要な初期化処理を説明すると、(a)のように、DACS SV から DACS rules が DACS CL に対して送信された後、(b)のように DACS CTL に DACS rules が適用されると同時に、(c)のように通信 VPN 化する機能である DACS SCTL (DACS SControl) に DACS rules が適用されて、初期化処理が完了する。そして、(d)のようにクライアントアプリケーションから通信が発信されると、DACS CTL の制御によって、(e)のように

localhost へ宛先が変更される。その通信を受け取った DACS SCTL の制御によって、(f)の部分で通信がVPN 化されて、(g)のように、その通信がクライアント外部へ発信される。

## 4. DACS システムの実装方法

### 4. 1 既存提案方式からの変更点

これまでに提案した DACS 方式では、システムの動作内容をプロトコル (DACS プロトコル) として次のように整理して示した。

(Phase 1)

利用者がクライアントにログインした時点で、DACS CL から DACS SV に IP アドレスとユーザ名を送信し、それらに対応した DACS rules が DACS SV から DACS CL に送信される。そして、通信制御を司る DACS CTL や DACS SCTL に適用する処理。(初期化処理)

(Phase 2-a)

DACS 方式のシステム運用中に、DACS rules に変更があった場合に、ネットワーク管理者の操作によって、当該クライアントの DACS CL に DACS rules を送信し、DACS CTL や DACS SCTL に適用する処理。

(Phase 2-b)

Phase 2-a の一部として、ネットワーク上に分散して存在しているクライアントの DACS CL が起動しているかどうかを DACS SV 側からチェックする処理。

Phase 1 の段階で、DACS rules をクライアント側に送信・適用し、変更があった場合のみネットワーク管理者の操作によって該当するクライアント側にのみ再度 DACS rules を送信・適用する処理を行うことで、DACS CL から DACS SV への DACS rules の送信要求が出来るだけ集中しないような仕組みとした。しかしながら、実装段階で、DACS SV と DACS CL 間でのメッセージの送受信に使用するポートとは別番号のポートを Phase 2-b の処理で使用している為、DACS SV と DACS CL 間のネットワーク系路上に Phase 2-b の処理で使用するポートを遮断してしまう Firewall などのフィルタリングの仕組みがある場合やクライアント自身で Personal Firewall が起動されている場合など、DACS 方式の構成要素である DACS SV と DACS CL の処理では対処しづらい原因で Phase 2-b の処理がうまく動作しない場合があると判明した。その為、確実に最新の DACS rules に基づく通信制御が行えるように、クライアントアプリケーションから通信が発信された時点で、DACS CL から DACS SV に DACS rules の送信要求を出して DACS SV から DACS CL へ DACS rules を送信・適用し、確実に最新化された DACS rules に基づく通信制御を行

えるように変更した。通常、クライアントは、フィルタリングの仕組みによって外部からの通信に対して防御される存在である為、クライアントから発信される通信は、明確な意図を持って遮断されない限り、ローカルエリアネットワーク内の宛先まで到達することが出来る。その為、常に最新化された DACS rules で通信制御する為には、この方法の方が都合良い。この変更によって想定される DACS CL から DACS SV への DACS rules の送信要求が増大することによる DACS SV の処理負荷増大の問題点は、DACS SV の冗長化とサーバ負荷分散技術を用いることで対処出来る。

## 4. 2 実装上のポイント

### (1) 開発システムの環境

#### a. DACS SV

動作 OS: Fedora Core 2

開発言語: Visual C++ 7.1

#### b. DACS CL

動作 OS: Windows XP Professional Edition

開発言語: Visual C++ 7.1, Winsock2 LSP (DACS Control)

その他: Putty (DACS SControl)

### (2) DACS SV と DACS CL 間の通信

DACS rules の送受信などの DACS SV と DACS CL 間は、TCP/IP のソケット通信を用いて実現している。

### (3) クライアント上での通信制御部

今回は、Windows クライアント上で動作する DACS CL を実装した。DACS Control の機能として必要な宛先 NAT とパケットフィルタリング機能は、Microsoft 社の Winsock2 LSP (Layered Service Provider) を用いて実装した。Winsock2 LSP とは、図5に示したように、もともと存在している Winsock API とその下位層の間に設けられる新しい層である。具体的には、クライアントソフトウェアがサーバ接続時に実行される connect() の中で呼び出される WSPconnect() の内部に宛先 NAT の処理とクライアントから発信される通信に対するパケットフィルタリング処理を組み込んでいる。また、クライアントへの通信を受信する際にクライアント側で実行される

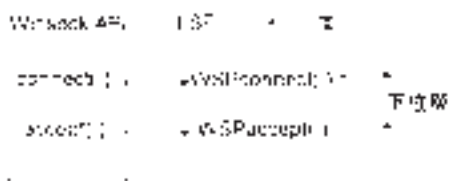


図 5

accept() の中で呼び出される WSPaccept() の内部に、クライアント外部から着信する通信に対するパケットフィルタリングの処理を組み込んでいる。

### (4) VPN 通信

通信を VPN 化する為の VPN クライアント、つまり、DACS SControl は、フリーソフトウェアの Putty の機能を流用して実現した。クライアントから発信される通信のうちで VPN 化する必要がある場合は、上記の宛先 NAT で通信の宛先を Localhost へ変更する処理を施し、それ以降は、Putty がその通信を受信してポートフォワーディング機能により VPN 通信を発信する。

## 5. まとめ

本研究では、ポリシーに基づくネットワーク管理の新しい方式としての DACS 方式を実現する為のシステムである DACS システムの実装結果について説明した。今後は、DACS システムの評価を行う予定である。

## 文 献

- [1] 若山公威, 出路裕介, 冷基立, 岩田彰, “指紋照合によるリモートユーザ認証方式,” 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.2, pp.401-404, 2003.
- [2] 下川俊彦, 木場雄一, 中川郁夫, 山本文治, 吉田紀彦, “広域分散環境における DNS と経路情報を利用したサーバ選択機構,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J86-B, No.8, pp.1454-1462, 2003.
- [3] C.Metz, “The latest in virtual private networks: part I,” IEEE Internet Computing, Vol.7, No.1, pp. 87-91, 2003.
- [4] <http://www.nec.co.jp/univerge/solution/pack/quarantine/>
- [5] 只木進一, 江藤博文, 渡辺健次, 渡辺義明, “利用者移動端末に対応した大規模ネットワークの Opengate による構築と運用,” 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.4 pp.922-929, 2005.
- [6] S.Jha, M.Hassan, “Java implementation of policy-based bandwidth management,” Int. J. Network management, John Wiley & Sons, Vol.13, issue.4, pp.249-258, July, 2003.
- [7] G.M.Prerez, F.G.Skarmeta, S.Zeher, T.Symchych, “Dynamic Policy-Based Network Management for a Secure Coalition Environment,” IEEE Communications Magazine, Vol.44, issue.11, pp.58-64, November, 2006.
- [8] D.C.Verma, “Simplifying Network Administration

Using Policy-Based Management,” IEEE Network, Vol.16, issue.2, pp.20-26, March-April, 2002.

- [9] 菅野政孝, 田中俊介, 坂田祐司, 小熊慶一郎, 白鳥則郎, “情報ネットワークシステムのポリシー制御” PolicyComputing” の適用と実装,” 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.2, 2001.
- [10] H.Chaouchi, P.M.Antunes, “Pre-handover signaling for QOS aware mobility management,” Int. J. of Network management, John Wiley&Sons, Vol.14, issue.6, pp.367-374, November, 2004.
- [11] K.Odagiri, R.Yaegashi, M.Tadauchi, N.Ishii, ” Efficient Network Management System with DACS Scheme : Management with communication control,” Int. J. of Computer Science and Network Security, Vol.6, No.1, pp.30-36, January, 2006.
- [12] K.Odagiri, R.Yaegashi, M.Tadauchi, N.Ishii, “Secure DACS Scheme,” Journal of Network and Computer Applications,” Elsevier, Vol.31, No.4, pp.851-861, November, 2008. (in printing)
- [13] K.Odagiri, R.Yaegashi, M.Tadauchi, N.Ishii, “New User Support in the University Network with DACS Scheme,” Int. J. of Interactive Technology and Smart Education, Vol.4, No.3, pp.138-146, August, 2007.
- [14] K.Odagiri, R.Yaegashi, M.Tadauchi, N.Ishii, “New Web Service Based on Extended DACS Scheme,” Int. J. of Computer Science and Network Security, Vol.6, No.3, pp.8-13, March, 2006.
- [15] K.Odagiri, R.Yaegashi, M.Tadauchi, N.Ishii, “New Function for Displaying Static Document Dynamically with DACS Scheme,” Int. J. of Computer Science and Network Security, Vol.6, No.5, pp.81-87, May, 2006.
- [16] K.Odagiri, R.Yaegashi, M.Tadauchi, N.Ishii, ” Practical DACS Web Service for User's Free Portal Page Creation,” Proc of Int. Conf. on Web Services, pp.952-959, July, 2007, Salt Lake City, Utah, USA, IEEE Computer Society, July, 2007.

# 確率的手法による DNA データベースの安全な アウトソーシング

清水 將 吾\*

## Secure Outsourcing of DNA Databases Based on a Probabilistic Approach

Shogo Shimizu\*

### Abstract

Database outsourcing is often used from technical or cost reasons. When outsourcing a DNA database administration, sequence information stored in the database or sent as a query should be technically protected from a database administrator since it may contain much economical values or privacy. In this paper, we propose a privacy-preserving DNA homology search method with  $\epsilon$ -gap filtering by adding perturbation to a set of  $\epsilon$ -gaps, which are used for measuring similarity. Also, we show that gapped  $\epsilon$ -gaps can enhance the level of security against a statistical inference attack.

Keywords: DNA database, privacy protection, database outsourcing, similarity search, perturbation

### 1. はじめに

DNA 情報は、通常、生物学実験を専門とする組織によって生産され、機能予測等の分析のためにデータベース化されることが望まれる。しかし、実際には組織内に情報技術の専門家を割り当てられないことがあり、データベースの効率的な構築、運用が課題となっている。そこで、インターネット経由でデータベース環境を提供する Database-as-a-Service の利用が検討される。

DNA データベースに対してよく行われる問合せの種類としてホモロジ検索がある。ホモロジ検索では、問合せとして与えられた配列と類似した配列をデータベースから検索して利用者にその一覧を返す。このとき、データベースに格納されている配列や問合せ配列が組織の外部であるデータベース管理者に漏洩することは経済的価値またはプライバシーの面から問題である。従って、データベースや問合せの内容をデータベース管理者から技術的に保護できることが望ましい。

本稿では、ホモロジ検索を効率的に処理する方式として  $\epsilon$ -gaps [9] を採用し、フィルタリングに使われる  $\epsilon$ -gaps 集合に攪乱演算子を適用することによってデータベース管理者による統計的推論攻撃を防ぐ手法を提案する。統計的推論攻撃とは、データベース中の各値の頻度分布の偏りを利用した攻撃のことである。また、 $\epsilon$ -gaps の一般化であるギャップ付き  $\epsilon$ -gaps [3] を本方式と組み

合わせることによって、更に安全性を高められることを示す。

### 1.1 関連研究

プライバシー保護型 DNA 照合のためのプロトコルがこれまでにいくつか提案されている。[2], [7] では、二つの配列間の編集距離を互いに配列を知られることなく計算するプロトコルを提案している。[8] では、DNA 照合をオートマトンによる語の受理問題とみなし、紛失通信プロトコルに基づいてオートマトンの評価を行うプロトコルを提案している。[6] は [8] の計算効率を改善し、定数回のラウンドと  $\epsilon$  (  $n$  は配列の長さ ) 回の剰余指数計算によってオートマトンを評価するプロトコルを実現した。

しかし、データベースへの適用を想定したプライバシー保護型 DNA 照合方式はこれまでに提案されていない。上記のような暗号プロトコルに基づく方式は計算コストが大きく、データベース検索に適用すると多数の DNA 配列との照合計算を双方で行う必要であり、現実的ではない。これに対し、確率的手法に基づく方式は、一般に、計算結果は正確ではないが処理効率が良いという長所をもっており、データベース中の解候補のフィルタリングに適している。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2章で問題を定義する。次に、3章で、確率的な攪乱によるデータ保

護方式を提案する。4章で、ギャップ付き  $q$ -gram を使用したより安全な方式を提案する。最後に、5章で、まとめと今後の課題について述べる。

## 2. 問題

### 2.1 問題設定

二つの文字列間の類似性を編集距離により定義する。編集距離とは、文字の挿入、削除、置換のいずれかを編集操作としたとき、二つの文字列を同一の文字列にするために必要な編集操作の最小数として定義される。

データベース  $\mathcal{D}$  を任意の長さの文字列（または、配列）の集合とする。 $\mathcal{D}$  に対する問合せ（または、ホモロジ検索）とは、文字列  $s$  と整数  $k$  が与えられたとき、 $s$  との編集距離が  $k$  以下であるようなすべての  $t \in \mathcal{D}$  を得ることである。

この問合せを効率的に処理する方式として、 $q$ -gram [9] が知られている。 $q$ -gram では、「長さ  $s$  の二つの文字列の編集距離が  $k$  であれば、それらは少なくとも  $s - k + 1$  個の共通の  $q$ -gram をもつ」という補題に従って、 $\mathcal{D}$  中の解候補のフィルタリングを行う。次に、得られた解候補に対して実際に編集距離を計算することで最終的な解を得る。

本稿では、 $\mathcal{D}$  に対してデータの登録および検索を行う利用者は同一の一組織のみとし、利用者と異なる組織にデータベース管理業務を外部委託すると仮定する。目的は登録および検索に用いられるデータの元の配列情報を、データを閲覧できるデータベース管理者から秘匿することである。但し、データベース管理者はデータの改ざんは行わず、自身が利用者になって別のデータを登録または検索することもないと仮定する。従って、データベース管理者は正規利用者によって登録または検索時に送信されたデータの閲覧とそれらのデータからの推論のみが可能である。

データベースが大規模である場合、安全性を確保すると同時に、問合せ処理の効率性が求められる。本稿では、効率的な問合せ処理方式の枠組みとして  $q$ -gram を採用する。 $q$ -gram により問合せ処理を行うためには、元の配列  $s$  と  $s$  の  $q$ -gram 集合の組が必要であるが、このうち、 $s$  はクライアントの暗号鍵により保護することとし、 $q$ -gram 集合のみを別の手法で保護することを考える。 $q$ -gram 集合はフィルタリング時に類似性の判定に使われるため、暗号化を適用することはできない。問合せ処理方式の枠組みを図1に示す。

### 2.2 ハッシュに基づく手法

配列情報を秘匿する方法として、まず、 $q$ -gram のハッ

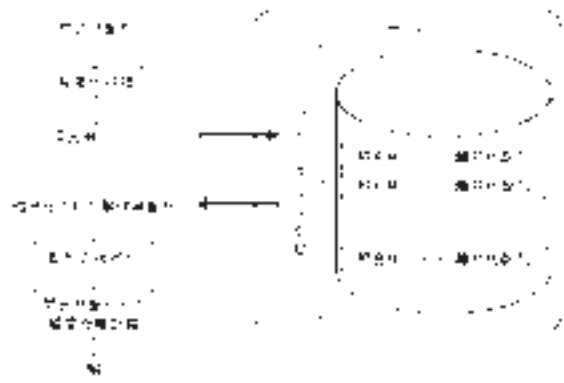


図1 問合せ処理方式の枠組み

シユ値で照合する方法を考える。使用するハッシュ関数を  $h$  とし、配列  $s$  から生成されるすべての  $q$ -gram からなる集合を  $\mathcal{H}_s$  とする。この方法では、データベース  $\mathcal{D}$  に配列  $s$  を登録するときに、暗号化された  $s$  と照合用に  $q$ -gram のハッシュ値の集合  $\{h(s_1), \dots, h(s_{s-k+1})\}$  を送信する。検索時には、問合せ配列  $t$  から生成される  $q$ -gram のハッシュ値の集合  $\{h(t_1), \dots, h(t_{t-k+1})\}$  を照合し、 $\{h(s_i) \in \mathcal{H}_s \mid h(s_i) \in \mathcal{H}_t\}$  であるようなすべての  $s_i$  をクライアントに返す。ここで、 $s$  は集合  $\mathcal{H}_s$  の基数を表し、 $h$  は  $q, s, k$  および編集距離  $k$  から決定される  $q$ -gram 補題の閾値である。

この方法では、 $h$  が非可逆である限り、 $\mathcal{H}_s$  から  $s$  を得ることはできない。しかし、 $\mathcal{D}$  に格納されている配列数が十分多い場合、 $\mathcal{D}$  のハッシュ値の頻度分布が実際の値に近付き、事前知識を用いた統計的推論攻撃が可能になる。実際に、隠れマルコフモデルに基づくモチーフ検索では、同じ機能を持つファミリー毎にアミノ酸の出現の依存関係を数値化したスコア行列が利用されており [5]、これを事前知識として利用できる。この情報から  $\mathcal{D}$  に格納されているハッシュ値と元の  $q$ -gram との対応関係を推測し、照合結果から元の配列を推測できる。更に、塩基配列の場合、ある  $q$ -gram の次に出現する  $q$ -gram は、前の  $q$ -gram の先頭の塩基を取り除いた配列に ACGT のいずれかを接続した4通りしかなく、この依存関係も推論攻撃に利用できる。例えば、あるハッシュ値と  $q$ -gram の組が既知である場合、スコア行列を用いて次の  $q$ -gram の予測頻度を計算し、これと大きく外れた出現頻度をもつハッシュ値をその  $q$ -gram のハッシュ値候補から除外できる。

従って、ハッシュに基づく手法では配列情報を十分に保護できず、更なる洗練化が必要である。

## 3. 確率的攪乱に基づく手法

前章で述べた統計的推論攻撃の可能性を減少させるた

め、データベースに格納する  $q$  gram 集合に確率的攪乱を加え、頻度分布を変形する。

### 3. 1 問合せ処理

まず、攪乱演算子  $\mathcal{R}$  を次のように定義する。以下、 $s$  を配列、 $Q = \{q_1, \dots, q_n\}$  とする。 $Q_i$  を長さ  $q_i$  のすべての  $q$  gram からなる集合とする。

**定義 1.**  $\{Q_1, \dots, Q_n\}$  を  $\{0, 1, \dots, \sigma\}$  上の確率分布とし、 $\{Q'_1, \dots, Q'_n\}$  を  $\{0, 1, \dots, \sigma\}$  上の確率分布とする。配列  $s$  の  $q$  gram 集合  $Q(s)$  が与えられたとき、 $\mathcal{R}$  は以下の処理によって別の  $q$  gram 集合  $Q(\mathcal{R}(s)) = \{Q'_1, \dots, Q'_n\}$  を生成する。

1.  $\{0, 1, \dots, \sigma\}$  の中から  $\{q_1, \dots, q_n\}$  に従って無作為に整数  $r$  を選択する。
2.  $Q(s)$  から無作為に  $r$  個の  $q$  gram を選択し、これらを  $Q'_1$  に含める。
3.  $\{0, 1, \dots, \sigma\}$  の中から  $\{q_1, \dots, q_n\}$  に従って無作為に整数  $r$  を選択する。
4.  $Q'_1$ 、 $Q'_2$  とする。 $r$ 、 $Q'_1$  かつ  $q \notin Q'_2$  であるような  $q$  gram を  $r$  個無作為に生成し、これらを  $Q'_2$  に含める。

この攪乱演算子は配列毎に独立に適用でき、特定の  $q$  gram には依存しない。

$$Q(\mathcal{R}(s)) = \{Q'_1, \dots, Q'_n\}$$

とする。  $s$  をデータベースに登録するときは  $s$  の暗号化テキストと  $Q(s)$  の組をサーバに送信する。

問合せ時は、問合せ配列  $t$  を  $\mathcal{R}$  で攪乱した後に、 $Q(\mathcal{R}(t))$  をサーバに送信する。問合せを攪乱する理由は、問合せが蓄積することによって再び統計的推論攻撃が可能になるためである。例えば、基本的な機能を表す配列パターンは問合せ配列中に頻繁に含まれる可能性があり、その偏りからハッシュ値と元の  $q$  gram との対応を推測できる。

サーバ側では各  $Q'_i$ 、 $\mathcal{R}$  について、問合せ  $Q(\mathcal{R}(t))$  と  $Q'_i$  との照合を行う。

$$Q'_i \cap Q(\mathcal{R}(t)) = \mathcal{I}_i$$

とする。  $\mathcal{I}_i$  は  $s$  と  $t$  の実際の共通  $q$  gram 数よりは小さく、これをそのままフィルタリング条件に使用すると多くの偽陰性が発生する。このため、以下では、 $\mathcal{I}_i$  から

$Q'_i$ 、 $Q(\mathcal{R}(t))$  の値を推定することを考える。

簡単のため、 $Q'_1$ 、 $Q(\mathcal{R}(t)) = \mathcal{I}_1$  とする。各  $q$  を  $q_1$ 、 $q_2$  に対して、 $q_1$  から  $q_2$  への遷移確率を次のように定義する。

$$p_{q_1, q_2} = \frac{|\mathcal{I}_1 \cap Q'_2|}{|Q'_1|} = \frac{|\mathcal{I}_1 \cap Q'_2|}{|Q'_1|} \cdot \frac{|Q'_1|}{|Q'_1|}$$

以下では、 $p_{q_1, q_2}$  の計算方法について述べる。簡単のため、 $Q'_1 = \{Q_1, \dots, Q_n\}$  と仮定する。まず、 $q_1$  の値が分布  $\{Q_1, \dots, Q_n\}$  に従って選択される。 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 、 $Q_4$ 、 $Q_5$  に含まれる  $q$  gram のうち、 $r$  個が  $Q_1$ 、 $Q_2$  に含まれると仮定する。 $q_2$  個の  $q$  gram の中から  $r$  個の  $q$  gram を選ぶ方法は  $\binom{q_2}{r}$  通りあり、 $Q_1$ 、 $Q_2$  の中から  $r$  個の  $q$  gram を選び、残りの  $q_2 - r$  個を  $Q_3$ 、 $Q_4$ 、 $Q_5$  から選ぶ方法は  $\binom{q_2 - r}{q_2 - r}$  通りある。従って、ちょうど  $r$  個の  $q$  gram を含む確率は

$$P_{q_1, q_2} = \frac{\binom{q_2}{r} \binom{q_2 - r}{q_2 - r}}{\binom{q_2}{r} \sum_{k=0}^{q_2} \binom{q_2 - k}{q_2 - k}}$$

である。 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 、 $Q_4$ 、 $Q_5$  であるためには、 $q_1$ 、 $q_2$  個の  $q$  gram を  $Q_1$ 、 $Q_2$  から選択する必要があり、任意の  $q$  gram が  $Q_1$  に含まれる確率は  $\frac{q_1}{q_2}$  である。従って、攪乱によって追加される  $q$  gram によってちょうど  $r$  の共通  $q$  gram を含むようになる確率は次式で得られる。

$$\sum_{r=0}^{q_2} \binom{q_2}{r} \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^r \left(\frac{q_2 - r}{q_2}\right)^{q_2 - r}$$

上式を  $P_{q_1, q_2}$  とおくと、 $p_{q_1, q_2}$  は次式で得られる。

$$p_{q_1, q_2} = \frac{P_{q_1, q_2}}{\sum_{r=0}^{q_2} \binom{q_2}{r} \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^r \left(\frac{q_2 - r}{q_2}\right)^{q_2 - r}}$$

上式で示されるように、 $p_{q_1, q_2}$  の値は  $q_1$ 、 $q_2$  と分布  $\{Q_1, \dots, Q_n\}$  のみに依存し、これらのパラメータが与えられれば  $s$  に依存せずに計算可能である。

従って、 $Q'_1$ 、 $Q(\mathcal{R}(t)) = \mathcal{I}_1$  であるとき  $Q'_1 \cap Q(\mathcal{R}(t)) = \mathcal{I}_1$  である確率は、

$$P_{Q'_1, Q(\mathcal{R}(t))} = \sum_{r=0}^{q_1} \binom{q_1}{r} \left(\frac{q_1}{q_1}\right)^r \left(\frac{q_1 - r}{q_1}\right)^{q_1 - r} = \sum_{r=0}^{q_1} \binom{q_1}{r} \left(\frac{q_1 - r}{q_1}\right)^{q_1 - r}$$

である。ここで、 $s$  と  $t$  の編集距離が  $q_1$  以下であるためには、 $q$  gram 補題より、

$$|s - t| \leq q \cdot d(s, t)$$

でなければならない。このため、

$$p_{i,j} = \frac{Q_{i,j} + \alpha}{Q_{i,j} + Q_{i,i} + \alpha}$$

であれば、 $\alpha$  の暗号化データを解候補に含めることとする。ここで、 $\alpha$  は偽陰性の程度と効率性を調整する閾値である。

### 3. 2 安全性

攪乱演算子  $f$  の適用により、 $g$  ハッシュ値の頻度分布が変形され、統計的推論攻撃の難しさが上がる。 $f$  のパラメータ  $\beta$  の値を小さくし、 $\gamma$  の値を大きくする程安全性は高まるが、一方でフィルタリング精度が劣化するため検索効率が下がる。 $f$  で用いられる  $p_{i,j}$  が一様でない限り、攪乱の効果が平準化されることはない。

但し、元の文字列中で連続して出現する  $g$  のパターンに依存関係が残っており、ハッシュ値の頻度の大小関係から元の  $g$  との対応を推測できる可能性がある。

### 4. ギャップ付き $g$ による安全性の向上

前節で述べた  $g$  の連続性による頻度の偏りを利用した攻撃の可能性を減少させるために、 $g$  の一般化手法であるギャップ付き  $g$  [3] の適用を検討する。

#### 4. 1 ギャップ付き $g$

$\text{shape}(Q)$  を非負整数の集合とする。任意の整数  $i$  と  $\text{shape}(Q)$  に対して、位置付き  $\text{shape}(Q)$  は集合  $\{i, i+1, \dots, i+|Q|-1\}$  で定義される。 $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$  (但し、 $Q_i \in \Sigma$ ) とし、 $S = (S_1, S_2, \dots, S_m)$  を文字列とする。各  $i \in \text{shape}(Q)$  に対して、 $S$  の位置  $i$  での  $Q_i$  を  $S[i]$  と書き、 $S[i, j]$  で定義する。

$S, T$  をハミング距離が  $k$  であるような長さ  $n$  の文字列とする。このとき、 $S$  と  $T$  の共通  $Q$  の数は少なくとも  $\frac{n-k}{|Q|}$  以上であることが示されている [3]。

データの登録、検索時の処理は、連続した  $g$  を生成する代わりにギャップ付き  $g$  を生成する以外は 3 章で述べた手順と同様である。但し、 $\text{shape}$  は外部委託先には秘密にしておく。ギャップ付き  $g$  の場合は特定の  $g$  間に出現の依存関係がないため、3. 1 章で得た  $p_{i,j}$  はより正確な値になる。

複数の  $\text{shape}$  を利用することで、 $Q$  補題およ

び攪乱効果によるフィルタリング精度の劣化を改善することができる。これは  $Q$  索引の大きさとトレードオフである。また、小さい  $k$  であれば、編集距離にも対応できる [4]。

### 4. 2 安全性

ギャップ付き  $g$  を使用することによって、ある  $Q$  と次の  $Q$  で位置が一致する文字の数が減るため、データベース中のハッシュ値の出現頻度の大小関係を  $Q$  の推測に利用することは困難である。例として、 $Q = (A, C, G, T)$ 、 $ACAGCTCA$  の場合を考える。このとき、 $ACA$  であることが分かれば、次の  $g$  として  $CAA, CAC, CAG, CAT$  のいずれかが必ず出現するため、出現頻度の相関を用いた予測が可能になる。一方、 $ACT$  であることが分かったとしても、 $CTA$  であり、 $CTA$  としてどのパターンもあり得るため、 $CTA$  の頻度情報を用いて  $CTA$  の候補を絞ることができない。従って、攻撃者は  $\text{shape}$  が分からない限り、ハッシュ値の出現頻度の相関を利用した攻撃は困難である。 $\text{shape}$  の選び方は  $\Sigma^k$  通りある。更に、 $\text{shape}$  は配列パターンを分断するため、特定のパターンが頻出するといった生物学的な事前知識を用いた推測も困難にする。

しかし、フィルタリング結果としてクライアントに返される暗号化データの頻度から、暗号化データと元の配列との対応関係を推測される可能性がある。実際、モチーフを含み、機能等がよく知られている配列は、頻繁に検索される可能性がある。これはセキュアハードウェアを使用しない限り不可避であると予想される [1]。

### 5. おわりに

本稿では、DNA データベースの運用管理業務を外部委託する場合に、データベース管理者による統計的推論攻撃から配列情報を保護する手法を提案した。フィルタリング方式としてギャップ付き  $g$  を利用することで、利用者のプライバシーを維持しながら効率性を調整できることを示した。

今後は、安全性の定量的評価と実データを用いた判定の精度と効率性の検証を行う予定である。

### 参考文献

[1] D. Asonov, "Querying Databases Privately: A New Approach to Private Information Retrieval," LNCS 3128, 2004.  
 [2] M.J. Atallah and J. Li, "Secure outsourcing of sequence comparisons," Int. J. Inf. Sec., vol.4, no.4,

pp.277-287, 2005.

- [3] S. Burkhardt and J. Kärkkäinen, "Better filtering with gapped q-grams," In Proc. of the 12th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2001), LNCS 2089, pp.73-85, 2001.
- [4] S. Burkhardt and J. Kärkkäinen, "One-gapped q-gram filters for Levenshtein distance," In Proc. of the 13th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2002), LNCS 2373, pp.225-234, 2002.
- [5] S.R. Eddy, "Profile hidden Markov models," In Bioinformatics, vol.14, no.9, pp.755-763, 1998.
- [6] K.B. Frikken, "Practical private DNA string searching and matching through efficient oblivious automata evaluation," In Proc. of the 23rd Annual IFIP WG 11.3 Working Conference on Data and Applications Security XXIII (DBSec 2009), LNCS 5645, pp.81-94, 2009.
- [7] S. Jha, L. Kruger, and V. Shmatikov, "Towards practical privacy for genomic computation," In IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P 2008), pp.216-230, 2008.
- [8] J.R. Troncoso-Pastoriza, S. Katzenbeisser, and M.U. Celik, "Privacy preserving error resilient DNA searching through oblivious automata," In Proc. of ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS 2007), pp.519-528, 2007.
- [9] E. Ukkonen, "Approximate string matching with q-grams and maximal matches," Theor. Comput. Sci., vol.92, no.1, pp.191-211, 1992



# 連続時間モデルによるアウェアネス情報の データ量の見積もり手法

長尾 雄行\*

## A Method to Estimate Data Volume of Awareness Information Using a Continuous Time Model

Takeyuki Nagao\*

### Abstract

In this paper, we construct a mathematical model that describes how data propagates across a unicast network with delay. We formulate and prove a formula for the total size of data that remains inside the network. As an application of the model to groupwares, we compute an upper bound for the total size of awareness information inside the network, assuming that a single server collects user information periodically from finitely many clients, processes it to generate the awareness information, and sends the generated data to the clients periodically.

### 1. はじめに

インターネットが広く一般に普及した現在では、企業、大学、官公庁、家庭等の様々な場面で WWW (World Wide Web) が社会的なインフラとして活用されている。これまでの WWW は HTML (HyperText Markup Language) 等で記述された情報を複数のユーザで共有する場として使われ、主に、非同期的なコミュニケーションの道具として利用されることが多かった。しかし、最近では、Twitter [1] 等に見られるように、ユーザが発信する情報を特定のグループへと即時配信できるグループウェアに注目が集まっている。この流れは、WWW の利用形態がこれまでの非同期的な形から、より同期的な形へと遷移していることを意味している。

グループウェアは複数ユーザの協調作業を支援するための道具であり、一般的に、ユーザに対してアウェアネス情報を提供するのが特徴である。アウェアネスとは、同じグループウェアを利用している自分以外のユーザの活動を理解することである [2]。アウェアネス情報はアウェアネスを提供するためにグループウェアがユーザに提示する情報のことである。遠隔地のユーザのカーソルを別ユーザの画面に表示するテレポインタもアウェアネスの一例である [3]。

同期的なグループウェアでは、非同期的なグループウェアと比較して、アウェアネス情報の提供頻度が高いのが一般的であり、ユーザが受け取る情報はより即時的

な特徴をもつ。ただし、提供頻度が高くなるにつれ、アウェアネス情報のために必要なデータ量も増えるため、グループウェアの設計者はアウェアネス情報の提供方式とデータ量の大きさについても設計時に考慮しなければならない。

まず、データの発生量を必要最低限に抑えることが必要である。その手段としては、例えば、アウェアネス情報を事前に加工して帯域を抑える方法が知られている [5]。次に、多人数による同時利用に耐えるネットワーク設計を行う必要がある。例えば、センサーネットワークの分野で行われているように、ネットワークを階層化し、複数の中継ノードでデータを集約しながら伝播する方式が考えられる [4]。最後に、アウェアネス情報をどのようなタイミングで送信するべきかをグループウェアの要求に基づいて検討する必要がある。ネットワークの帯域には上限があるため、同時刻にデータを送信できるユーザやノードの数には限界があるからである。アウェアネス情報の送信タイミングがネットワーク上のデータ量にどのように影響するのかを数学的に厳密なモデルで記述できることが望ましいが、現状ではそのような結果は知られていない。

そこで、本稿では WWW ベースのグループウェアを主な対象として、一回あたりの通信で発生するデータ量とタイミングを記述する数理モデルを作成し、任意の時刻におけるネットワーク上のデータ量を見積もる手法を提案する。

## 2. 数理モデルの導出

この節の目的は、グループウェアを構成するコンポーネントとアウェアネス情報を送受信するためのネットワークを抽象化して数理モデルを導出することである。インターネットの様に遅延が一定ではなく、時間とともに接続するコンポーネントの数が発散するネットワークでも利用できるような汎用的なモデルを作成する。

以下では、 $\mathbb{R}$  は実数全体、 $\mathbb{Z}$  は整数全体、 $\mathbb{N}$  は正の整数全体、 $\int_a^b$  は半開区間  $(a, b]$  上での積分を表すものとする。半開区間  $I = (a, b]$  の長さ  $b - a$  を  $|I|$  で表す。集合  $S$  の元の数を  $\#S$  と書く。

### 2. 1 コンポーネント

本稿で考えるグループウェアは分散アプリケーションであり、ソフトウェアやハードウェアによって実装された複数のコンポーネントがネットワークを経由して接続されているものとする。接続されたコンポーネントは、大きく分けて、グループウェア本来の機能を提供するものとアウェアネスに関わるものの2種類に分類できるが、ここでは前者を無視して議論を進める。グループウェア本来の機能もネットワーク上で通信を行う場合があるが、今着目しているのはアウェアネスに関するデータなので、こうした通信は別のネットワークで実施されるものとする。アウェアネスに関わるコンポーネントをすべて集めて得られる集合を  $\mathcal{N}$  とする。 $\mathcal{N}$  は無限集合でも良い。

コンポーネントの生成と消滅も考慮しておく。グループウェア上での時間の経過を測定する方法が必要なので、ここでは、時間を実数で表現する。単位は秒とする。各コンポーネント  $j \in \mathcal{N}$  がグループウェアに接続されて利用可能となる時刻を生成時刻と呼ぶ。生成時刻の値として  $-\infty$  を許すことにする。同様に、コンポーネントがグループウェアから切断され、利用不可能となる時刻を消滅時刻と呼び、消滅時刻として  $\infty$  を許す。一度切断されたコンポーネントは再び接続されないものとする。コンポーネント  $j \in \mathcal{N}$  の生成時刻と消滅時刻をそれぞれ  $t_0, t_1$  とするとき、実軸上の区間  $I(j) = [t_0, t_1]$  を  $j$  の生存区間と呼ぶ。

### 2. 2 ユニキャスト通信

次に、アウェアネス情報をネットワーク上で共有する方法について考える。ネットワークの通信方式には様々なものが考えられるが、ここでは簡単のため、任意の2つのコンポーネント  $j, k \in \mathcal{N}$  がユニキャストで通信可能であると仮定する。ただし、通信には遅延があるが容量に制限は無いものとする。

ユニキャスト通信を定式化するための準備として、一回の通信のタイミングとデータ量の時間変化を連続時間で記述するための、通信特性関数を定義する。次の (i)–(iii) の性質をもつ関数  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  を通信特性関数と呼ぶ。

- (i) すべての  $t \in \mathbb{R}$  に対して  $f(t) \geq 0$ ,
- (ii) ある  $t_0 \in \mathbb{R}$  が存在して  $t \leq t_0$  のとき

$$\int_{-\infty}^t f(s) ds = 0,$$

- (iii) ある  $t_1 \in \mathbb{R}$  が存在して  $t > t_1$  のとき

$$\int_{-\infty}^t f(s) ds = 1.$$

通信特性関数で連続であるものの存在を証明することは容易である。通信特性関数は必ずしも連続でなくても良い。例えば、Dirac のデルタ関数 (インパルス関数)  $\delta(t)$  やその有限線形結合  $\sum_j c_j \delta(t - t_j)$  も通信特性関数として扱うことができる。ただし、後者については係数  $c_j$  の正規化が必要である。例えば  $c_j > 0$  かつ  $\sum_j c_j = 1$  とすれば良い。任意の定数  $\alpha > 0$  に対して通信特性関数  $f(t)$  をスケール変換した  $\alpha f(\alpha t)$  もまた通信特性関数である。

以下では、一回の通信の進捗状態を時間に関して連続的に表現するための手段として通信特性関数  $f$  を利用する。具体的には、

$$\rho_f(t) = \int_{-\infty}^t f(s) ds$$

の値が通信の完了した割合を表すものと解釈する。つまり、 $\rho_f(t) = 0$  は通信開始前、 $\rho_f(t) = 1$  は通信完了、それ以外は通信途中を意味する。

通信特性関数  $f$  に対して、(ii) を満たす  $t_0$  の上限を  $\tau_0$ 、(iii) を満たす  $t_1$  の下限を  $\tau_1$  として、 $I(f) = [\tau_0, \tau_1]$  とおく。 $I(f)$  通信特性関数  $f$  の生存区間と呼ぶ。 $t \in \mathbb{R} \setminus I(f)$  のとき  $f(t) = 0$  である。また、任意の有界閉区間  $I$  に対して、 $I(f) = I$  を満たす通信特性関数  $f$  の存在を示すことは容易である。時刻  $t$  において通信が行われていれば  $t \in I(f)$ 、そうでなければ  $t \notin I(f)$  が成り立つ。

ユニキャスト通信を次の様に定式化する。任意の2つのコンポーネント  $j, k \in \mathcal{N}$  が与えられたとき、可算個の元からなる集合  $\mathcal{C}(j, k)$  で次の (i),(iii) の性質をもつものが存在すると仮定する。

- (i)  $j, k \in \mathcal{N}$  かつ  $c \in \mathcal{C}(j, k)$  のとき、通信特性関数  $\chi_{j,k,c}^S$  と  $\chi_{j,k,c}^R$  が存在して、すべての  $t \in \mathbb{R}$  に対して

$$\int_{-\infty}^t \chi_{j,k,c}^S(s) ds \geq \int_{-\infty}^t \chi_{j,k,c}^R(s) ds \quad (2)$$

が成り立つ。

$$(ii) I(\chi_{j,k,c}^S) \cup I(\chi_{j,k,c}^R) \subset I(j) \cap I(k).$$

元  $c \in \mathcal{C}(j, k)$  コンポーネント  $j$  から  $k$  へのユニキャスト通信と呼ぶ。  $\mathcal{C}(j, k)$  が空集合となることも許す。通信特性関数  $\chi_{j,k,c}^S, \chi_{j,k,c}^R$  はそれぞれ送信と受信の進捗の様子を記述する。  $\chi_{j,k,c}^S$  を送信特性関数、  $\chi_{j,k,c}^R$  を受信特性関数と呼ぶことにする。

コンポーネント  $j$  から  $k$  への一回の通信を識別するための添字が  $c$  であり、

$$\int_{-\infty}^t \chi_{j,k,c}^S(s) ds \quad (3)$$

は送信元のコンポーネント  $k$  がバイナリデータ  $b$  をネットワーク上へ送信した割合を表すものであり、値 0 が送信開始前の状態、値 1 が送信完了状態を意味する。同様に、

$$\int_{-\infty}^t \chi_{j,k,c}^R(s) ds \quad (4)$$

は受信先のコンポーネント  $k$  がバイナリデータ  $b$  をネットワークから受信した割合を表すものであると解釈する。

この解釈の下で、条件 (i) は、送信されたデータ量は受信されたデータ量よりも小さくならないことを意味する。時刻  $t$  までに  $j$  が送信したデータ量、  $k$  が受信したデータ量はそれぞれ (3) と (4) にバイナリデータ  $b$  のビット長  $|b|$  を乗じたものに等しい。条件 (ii) は送信元と受信先のコンポーネントが存在している間のみ通信が発生することを意味する。

不等式 (2) から次の命題が従う。

**命題 2.1** 送信特性関数、受信特性関数の生存区間をそれぞれ  $[t_0, T_0], [t_1, T_1]$  とすると、  $t_0 \leq t_1$  かつ  $T_0 \leq T_1$  が成り立つ。

上の命題で、ユニキャスト通信  $c$  の送信開始及び終了時刻が、それぞれ  $t_0, T_0$  であり、受信開始及び終了時刻が、それぞれ  $t_1, T_1$  である。ユニキャスト通信は有限時間内に終了し、開始から完了までの所要時間は  $T_1 - t_0$  に等しい。以下では、送信開始時刻と受信開始時刻の差  $t_1 - t_0$  のことを遅延と呼ぶ。

## 2. 3 総データ量

コンポーネント  $j$  から  $k$  へのユニキャスト通信  $c$  でバイナリデータ  $b_{j,k,c}$  を送信する場合を考える。送信されて受信される前のバイナリデータはネットワーク上に存在する。従って、一回のユニキャスト通信  $c$  に限定して言えば、時刻  $t$  においてネットワーク上に存在するデータ量  $V_{j,k,c}(t)$  は

$$V_{j,k,c}(t) = |b_{j,k,c}| \int_{-\infty}^t [\chi_{j,k,c}^S(s) - \chi_{j,k,c}^R(s)] ds$$

を満たす。不等式 (2) によりこの式は非負であることに

注意する。時刻  $t$  においてネットワーク上に存在するすべてのデータ量の合計（以下、総データ量）を  $V(t)$  とするとき、

$$V(t) = \sum_{j,k,c} V_{j,k,c}(t)$$

である。ただし、和は  $j, k \in \mathcal{N}$  かつ  $c \in \mathcal{C}(j, k)$  なる  $j, k, c$  について取るものとする。以下でも同様とする。

次の様に受信特性関数が送信特性関数の平行移動である場合を主に考察する。

**仮定 2.1**  $j, k \in \mathcal{N}$  かつ  $c \in \mathcal{C}(j, k)$  ならば、ある定数  $L_{j,k,c} \geq 0$  が存在して

$$\chi_{j,k,c}^R(t) = \chi_{j,k,c}^S(t - L_{j,k,c})$$

がすべての  $t \in \mathbb{R}$  について成り立つ。

仮定 2.1 の下で

$$V_{j,k,c}(t) = |b_{j,k,c}| \int_{t-L_{j,k,c}}^t \chi_{j,k,c}^S(s) ds \quad (5)$$

が成り立つ。  $L_{j,k,c}$  は遅延に等しい。

以上の議論をまとめると次の補題を得る。

**補題 2.1** 総データ量  $V(t)$  について

$$V(t) = \sum_{j,k,c} |b_{j,k,c}| \int_{-\infty}^t [\chi_{j,k,c}^S(s) - \chi_{j,k,c}^R(s)] ds$$

が成り立つ。特に、仮定 2.1 の下では、

$$V(t) = \sum_{j,k,c} |b_{j,k,c}| \int_{t-L_{j,k,c}}^t \chi_{j,k,c}^S(s) ds$$

と書ける。

## 3. アウェアネス情報への応用

この節では、以上で行った議論を WWW ベースのグループウェアへ応用する。グループウェアとして想定するのは、一定周期でユーザの状態をクライアントから収集してサーバへ送信し、サーバ上でアウェアネス情報へ加工して、定期的に各クライアントへ配布するものである。各サーバ及びクライアントを前節のコンポーネントとして扱う。

### 3. 1 時間周期系での総データ量評価

このグループウェアを前節のモデルで扱うために、コンポーネントの周期的な挙動を通信特性関数で表現し、総データ量の評価を行いたい。そのために、次の仮定を導入する。

仮定 3.1  $\mathcal{C}(j, k) = \mathbb{Z}$  であり, コンポーネント全体の集合  $\mathcal{N}$  は有限個の元から成るとする. さらに, ある  $T_{j,k} > 0$  が存在して

$$\chi_{j,k,c}^S(t) = \chi_{j,k,0}^S(t - cT_{j,k})$$

がすべての  $t \in \mathbb{R}$  について成り立つとする.

次の定理は, 通信の遅延が一定で, 任意の2つのコンポーネントの周期の比が有理数の場合, 総データ量は時間周期的に変化することを示す.

定理 3.1 仮定 2.1 と仮定 3.1 の下で, さらに,  $L_{j,k,c}$  が  $c$  に依存せず, ある定数  $T > 0$  と正の整数  $n_{j,k}$  が存在して,  $T_{j,k} = n_{j,k}T$  と書けると仮定する. このとき, 総データ量  $V(t)$  はすべての  $t \in \mathbb{R}$  に対して  $V(t+nT) = V(t)$  を満たす. ただし,  $n$  は  $n_{j,k}$  の最小公倍数である.

証明 3.1 補題 2.1 から

$$\sum_{c \in \mathbb{Z}} V_{j,k,c}(t + T_{j,k}) = \sum_{c \in \mathbb{Z}} V_{j,k,c}(t)$$

が従う. 両辺を  $(j, k)$  について総和すれば良い.

定理 3.1 の状況では, システムは単一の周期  $nT$  を持つので, 総データ量の時間変化を1周期分だけ知ることができれば, すべての時刻における総データ量を知ることができる. 周期の比が無理数になるコンポーネントの組が存在する場合や, ネットワークの遅延を許した場合にはこのような周期性は期待できないので, 総データ量を評価するためにはすべての  $t \in \mathbb{R}$  について考慮する必要がある.

以下では, システムが必ずしも単一の周期を持たない場合にも成り立つ総データ量の評価を導く. そのために, 通信特性関数  $f$  について,  $t \in \mathbb{R}$  かつ  $T > 0$  のとき, 任意の正の整数  $\mu$  に対して

$$\sum_{\nu \in \mathbb{Z}} \int_{t-(\nu+\mu)T}^{t-\nu T} f(s) ds = \mu \quad (6)$$

が成立することを利用する.

結果を述べる前に次の4つの量を定義する.

$$m_{j,k} = \lfloor \inf_c \frac{L_{j,k,c}}{T_{j,k}} \rfloor, \quad M_{j,k} = \lceil \sup_c \frac{L_{j,k,c}}{T_{j,k}} \rceil,$$

$$b_{j,k} = \inf_c |b_{j,k,c}|, \quad B_{j,k} = \sup_c |b_{j,k,c}|.$$

これらの量はすべて整数であり,

$$m_{j,k}T_{j,k} \leq L_{j,k,c} \leq M_{j,k}T_{j,k}$$

が成り立つ.

定理 3.2 仮定 2.1 と仮定 3.1 の下で, 任意の時刻  $t \in \mathbb{R}$  における総データ量  $V(t)$  は

$$\sum_{j,k} b_{j,k} m_{j,k} \leq V(t) \leq \sum_{j,k} B_{j,k} M_{j,k}$$

を満たす. ただし, 総和は  $\mathcal{C}(j, k) \neq \emptyset$  を満たす  $(j, k)$  について取る.

この定理は, 個々のコンポーネントが周期的な通信を行う場合, ネットワークの遅延に上限があれば, 遅延と周期の比とバイナリデータの大きさによってネットワーク上の総データ量をだまかに評価することが可能であることを示す.

証明 3.2 仮定 3.1 から

$$V_{j,k,c}(t) = |b_{j,k,c}| \int_{t-cT_{j,k}-L_{j,k,c}}^{t-cT_{j,k}} \chi_{j,k,0}^S(s) ds$$

と書ける. 今,  $L_{j,k,c} \leq M_{j,k}T_{j,k}$  なので,

$$V_{j,k,c}(t) \leq B_{j,k} \int_{t-(c+M_{j,k})T_{j,k}}^{t-cT_{j,k}} \chi_{j,k,0}^S(s) ds$$

である. 等式 (6) を使うことで

$$\sum_{c \in \mathcal{C}(j,k)} V_{j,k,c}(t) \leq B_{j,k} M_{j,k}$$

を得る. 同様に  $m_{j,k}T_{j,k} \leq L_{j,k,c}$  から

$$b_{j,k} m_{j,k} \leq \sum_{c \in \mathcal{C}(j,k)} V_{j,k,c}(t)$$

も従う. この2つの不等式を  $j, k \in \mathcal{N}$  について総和することで定理を得る.

定理 3.2 を単一サーバでアウェアネス情報の加工を行うグループウェアに適用すると, 下記の系を得る.

系 3.3  $E$  個のクライアントから  $b$  ビットの観測データを収集し, 単一サーバで  $B$  ビットのアウェアネス情報へ加工してすべてのクライアントへ送信する場合を考える. クライアントとサーバ間のユニキャスト通信がすべて周期  $T$  で実施され, ネットワークの最大遅延が  $L$ , 最小遅延が  $\ell$  とすると, 任意の時刻  $t$  における総データ量  $V(t)$  は

$$E(b+B)\lfloor \ell/T \rfloor \leq V(t) \leq E(b+B)\lceil L/T \rceil \quad (7)$$

を満たす.

### 3. 2 時分割による総データ量の抑制

ここでは、周期にくらべて遅延が十分に小さい場合を考える。具体的には、周期と遅延が正の整数  $N$  について

$$T_{j,k} > 2NL_{j,k,c}$$

という関係を満たすと仮定する。

系 3.3 において、通信特性関数が  $\chi_{j,k,c}^S = \delta(t-cT)$  を満たしている場合、つまり、すべての通信の開始時刻が同一である場合、 $V(t)$  の最大値は  $E(b+B)$  に等しい。従って、(7) の第 2 の不等式で等号が成立するような  $t$  が存在する。このことは、任意のタイミングでアウェアネス情報を送信することを許した場合、(7) の第 2 の不等式は最適であることを意味している。実は、以下で示すように、 $N$  が大きい場合には、通信特性関数を時分割することで、一般的に、 $V(t)$  の最大値を  $(b+B)\lceil E/N \rceil$  以下に抑制することができる。

通信特性関数の族  $\mathcal{F} = \{f_j\}_j$  と半開区間  $I = (a, b]$  に対して、

$$w_{\mathcal{F}}(I) = \#\left\{j : \int_I f_j(s) ds \neq 0\right\}$$

とおく。  $w_{\mathcal{F}}(I)$  は区間  $I$  と交わる  $f_j$  の生存区間の個数に等しい。さらに、実数  $\ell > 0$  に対して

$$W_{\mathcal{F}}(\ell) = \sup\{w_{\mathcal{F}}(I) : |I| < \ell\}$$

と定義する。  $W_{\mathcal{F}}(\ell)$  は  $\ell$  の単調非減少関数で非負の整数値を取ることは明らかである。さらに、  $W_{\mathcal{F}}(\ell) = 0$  となることは、  $f_j$  が通信特性関数であることに矛盾するので、一般的に  $W_{\mathcal{F}}(\ell) \geq 1$  が成り立つ。  $W_{\mathcal{F}}(\ell)$  が有限の値を持つ場合、  $|I| \leq \ell$  という前提の下で、生存区間が  $I$  と交わるような  $f_j$  の総数は  $W_{\mathcal{F}}(\ell)$  以下であることを意味する。

**補題 3.4** 仮定 2.1 と仮定 3.1 が満たされ、定数  $L > 0$  が存在して、すべての  $j, k, c$  について  $L_{j,k,c} < L$  であると仮定する。このとき、総データ量  $V(t)$  について

$$V(t) \leq W_{\mathcal{F}}(L) \sup_{j,k,c} |b_{j,k,c}|$$

という評価が成り立つ。

**証明 3.3** (5) から、すべての  $t \in \mathbb{R}$  に対して  $V_{j,k,c}(t) \leq |b_{j,k,c}|$  が成り立つので、

$$V(t) = \sum_{j,k,c} V_{j,k,c}(t) \leq W_{\mathcal{F}}(L) \sup_{j,k,c} |b_{j,k,c}|$$

である。

補題 3.4 は、遅延に一様な上限  $L$  が存在すれば、  $W_{\mathcal{F}}(L)$  の値を制御することで、データ量を上から評価

することができることを意味する。以下では、  $\mathcal{F}$  をうまく選ぶと  $W_{\mathcal{F}}(L)$  の値を小さくすることが可能であることを示す。

通信特性関数の族  $\{f_j\}_j$  が

$$j \neq k \text{ ならば } I(f_j) \cap I(f_k) = \emptyset$$

を満たすとき、族  $\{f_j\}_j$  は互いに独立であると定義する。次の 2 つの補題を証明することは容易である。

**補題 3.5**  $\alpha > 0$  を任意の定数とする。通信特性関数の族  $\mathcal{F} = \{f_j\}_j$  が互いに独立であるとき、  $g_j(t) = \alpha f_j(\alpha t)$  において得られる族  $\mathcal{G} = \{g_j\}_j$  も互いに独立な通信特性関数の族である。さらに、  $W_{\mathcal{G}}(\ell) = W_{\mathcal{F}}(\alpha\ell)$  がすべての  $\ell > 0$  について成り立つ。

**補題 3.6**  $N$  を任意の正の整数とする。このとき、互いに独立な通信特性関数の族  $\{\varphi_{N,j}\}_{j=1}^N$  が存在して、すべての  $j$  について

$$I(\varphi_{N,j}) \subset \left[\frac{2j-1}{2N}, \frac{j}{N}\right]$$

が成立する。

**仮定 3.2** 定数  $T > 0$  と正の整数  $N$  が存在して、すべての  $j, k, c$  について

$$2NL_{j,k,c} \leq T_{j,k,c} = T$$

が成り立つと仮定する。

仮定 3.2 の下で、  $W_{\mathcal{F}}$  をできるだけ小さくするような  $\mathcal{F}$  を具体的に構成しよう。少なくとも 1 回はユニキャスト通信を行うコンポーネントの組  $(j, k)$  全体の集合を  $\mathcal{E}$  で表すと

$$\mathcal{E} = \{(j, k) \in \mathcal{N} \times \mathcal{N} : \mathcal{C}(j, k) \neq \emptyset\}$$

である。以下では、全単射

$$\mu : \mathcal{E} \rightarrow \{1, \dots, \#\mathcal{E}\}$$

を一つ固定して、

$$\nu(e, N) = \mu(e) \bmod N, \quad N \in \mathbb{N}, e \in \mathcal{E}$$

とおく。このとき、補題 3.6 の  $\varphi_{N,j}$  を使って、任意の定数  $T > 0$  に対して

$$\chi_{j,k,c}^S(t) = T^{-1} \varphi_{N, \nu((j,k), N)} \left( \frac{t}{T} - c \right)$$

とおくと、族  $\mathcal{F} = \{\chi_{j,k,c}^S\}_{j,k,c}$  について

$$W_{\mathcal{F}} \left( \frac{T}{2N} \right) = \lceil \#\mathcal{E}/N \rceil$$

が成立する。  $\#\mathcal{E} \leq N$  のときは  $\mathcal{F}$  は互いに独立である

が,  $\#\mathcal{E} > N$  のときは互いに独立ではない.

以上の議論と補題 3.4 を合わせると, 次の定理を得る.

**定理 3.7** 仮定 2.1 と仮定 3.1 が満たされ, 定数  $T > 0$  と  $N \in \mathbb{N}$  が存在して

$$2NL_{j,k,c} < T_{j,k} = T$$

がすべての  $j, k, c$  について成り立つとする. このとき, 送信特性関数  $\{\chi_{j,k,c}^S\}$  を総データ量  $V(t)$  が

$$V(t) \leq \lceil \#\mathcal{E} / N \rceil \sup_{j,k,c} |b_{j,k,c}|$$

を満たすように取ることができる.

定理 3.7 から読み取れることは, 単一周期  $T$  を持つシステムでは, 遅延  $L_{j,k,c}$  が  $T$  に比べて非常に小さい場合には, 総データ量を一回の通信分に抑えた場合でも, 時分割によってユニキャスト通信の生存区間を互いに独立にすることで, 一周期の間に  $N$  回のユニキャスト通信を行うことができるということである.

単一の周期を持たないシステムでも, 同じ周期を持つような  $(j, k)$  をグループ化して個別に定理 3.7 を適用することで総データ量を評価することができる. 相異なる周期  $T_{j,k}$  の値に番号を付けたものを  $\{T_p\}_{p=1}^P$  とする. 各  $p = 1, \dots, P$  について

$$\mathcal{E}_p = \{(j, k) \in \mathcal{E} : T_{j,k} = T_p\}$$

とおき,

$$N_p = \inf \left\{ \frac{T_{j,k}}{2L_{j,k,c}} : (j, k) \in \mathcal{E}_p, c \in \mathcal{C}(j, k) \right\}$$

$$M_p = \begin{cases} \lceil \#\mathcal{E}_p / N_p \rceil & N_p \geq 1 \text{ のとき} \\ \#\mathcal{E}_p & 0 < N_p < 1 \text{ のとき} \\ \infty & \text{それ以外のとき} \end{cases}$$

とおくと次の系を得る.

**系 3.8** 仮定 2.1 と仮定 3.1 のもとで, 送信特性関数  $\{\chi_{j,k,c}^S\}$  を総データ量  $V(t)$  が

$$V(t) \leq \sup_{j,k,c} |b_{j,k,c}| \sum_p M_p$$

を満たすように取ることができる.

定理 3.7 をグループウェアに適用すると, 次の系を得る.

**系 3.9** 系 3.3 と同じ設定のもとで, ある正の整数  $N$  について  $2NL < T$  とすると,

$$V(t) \leq (b + B) \lceil E/N \rceil$$

が成り立つように通信特性関数を構成することができる.

グループウェアでアウェアネス情報を提供するための周期的な情報収集や情報配布を行う場合を考えると, この系からわかることは, ネットワークの遅延の上限をあらかじめ測定しておき, 遅延の上限と比べて非常に大きい周期を取り, 各コンポーネントの通信のタイミングを時分割することで, 総データ量を抑制できるということである.

#### 4. おわりに

本稿では, ユニキャスト通信のタイミングとデータ量の時間変化を記述する数理モデルを作成し, 時間周期系へと適用して, 任意の時刻におけるネットワーク上の総データ量の見積もりを行った.

一般的に, 時間周期系ではネットワークの遅延の上限と周期の比が総データ量の上限を左右する量であることが明らかになった. そして, グループウェアについては, ネットワークの遅延と比べて非常に長い周期でアウェアネス情報を収集, 配布する場合には, 通信のタイミングを時分割することでネットワーク上の総データ量が抑制可能であることを示した.

本稿の結果を現実のグループウェアに適用するには, ネットワークの混雑に応じてアウェアネス情報の送信タイミングを制御するプロトコルが必要である. 今後はこのようなプロトコルの開発と数理モデルを使った評価を行う予定である.

#### 参考文献

- [1] Twitter, <http://twitter.com/>.
- [2] Dourish, P. and Bellotti, V. Awareness and Coordination in Shared Workspaces, CSCW (1992).
- [3] Dyck, J., Gutwin, C., Subramanian, S. and Fedak, C. High-performance telepointers, CSCW '04: Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work, New York, NY, USA (2004), ACM.
- [4] 関根理敏, 瀬崎薫 センサネットワークにおける属性データの階層的集約法, 電子情報通信学会技術研究報告, 103, 314 (2003), 27-32.
- [5] 岩橋政宏, 高橋知将, 鈴木貴之 Awareness 映像通信のための機能的階層符号化, 情報処理学会研究報告, 2007, 73 (2007), 13-18.

# 液中における物体の超音波による姿勢制御

館野 寿 丈\*

## Orientation Control of Objects in a Liquid Medium by Using Ultrasonic Standing Wave

Toshitake Tateno\*

### Abstract

This paper deals with a contactless manipulation method to control not only position but also orientation of millimeter size objects in a liquid medium. The contactless manipulation is desired for controlling micro machines that cannot drive by itself. A new method is proposed to use several kinds of materials that have different reactions from acoustic pressure of ultrasonic standing wave. As an example structure, combination of millimeter size beads of polypropylene and nylon is designed. Polypropylene beads are lead to nodes (zero displacement) in the wave. On the other hand, nylon beads are lead to anti-node (maximum displacement) of it. Connecting two nylon beads besides of a Polypropylene, this object is constraint into the orientation parallel with the standing wave. Experimental results show that the structural object under water in a glass vessel is moved to an appropriate position and orientation by radiating 40 kHz ultrasonic standing wave generated with piezoelectric devices.

Keywords: Ultrasonic standing wave, orientation control, acoustic radiation pressure, piezoelectric device, micro machines

### 1. はじめに

液中に浮遊する数 mm 程度の位置や物体の向き(以後、姿勢とする)を非接触に制御することができれば、種々の検査装置などへの応用が期待できる。例えば、カプセル型内視鏡などの医療用機器や配管検査装置などの産業用機器の中には、自らの運動機能を持たずに、周囲の液体とともに移動しながら検査するものがある。これらの機器は、小型でかつ外部との物理的接続を不要とするので、閉じられた狭い空間の検査に適している。しかしながら、運動機能を持たないために、特定の位置をセンサを当てて精密な測定をしたり、治療や修理のための操作を加えたりといったことをすることはできない。しかし、運動機能を付加しようとするれば、一般に機器は大きくなり、狭い空間での実用に不向きとなる。そこで、非接触な作用により物体の位置・姿勢を制御することが望まれる。

非接触な方法による物体操作には、超音波 [1] 以外にも光 [2] や磁気などを使ういくつかの方法があり、多くの研究が進められている。しかし、多くの研究では、物体の位置を操作することを扱うものであり、姿勢をも制御することを目的としたものはほとんどない。そこで本

研究では、超音波を使って非接触に位置と姿勢との両方を制御する方法を提案し、実験によってその実現性を確認した。

### 2. 関連研究

液中や空中に浮遊する粒子を超音波定在波によって捕獲して移動させる研究 [1] はこれまでに多くなされてきた。その目的としては、特定の粒子のみ選別して取り出すことや、特定の粒子を反応物質の周囲に近づけることで効率的に化学反応を進ませる研究が多い。また、対象物体の大きさも、数 mm 程度の機械部品から、 $\mu\text{m}$  スケールのマイクロビーズ、ナノメートルスケールのカーボンナノチューブに到るまで報告がされている。材質においても、プラスチックを初め、最近では、赤血球といった生体物質を扱う例 [3] も増えている。

しかしながら、これら超音波による捕獲や操作では、対称物体の位置を移動させて集積させることを目的としており、対象物の姿勢を制御しようとする研究は少ない。少ない研究のなかには、磁性体である対象物を超音波によって特定の領域に集めた上で、その周辺に磁場を発生させて姿勢を制御しようとするものなどはあるが、超音

波そのものの特性を利用して姿勢制御しようとする研究はほとんど見られない。本研究は、超音波により物体を捕獲する原理そのものを利用して、対象物体の姿勢をも制御しようとするものである。ここでは、物体が超音波定在波における節もしくは腹に集まるといふ、物質の材料と大きさの違いによって集積される位置が異なるという特性を利用している。この原理によって物体の位置と姿勢の両方を、超音波という一つの媒体によって制御する研究は見あたらず、新しい物体制御技術といえる。

### 3. 理論

#### 3. 1 定在波による捕獲

液中に超音波定在波を発生させると、水中に浮遊するある径の粒子は、その超音波放射圧を受けて定在波の節または腹に集まることが知られている。節または腹のいずれに集まるかは、溶媒と粒子の密度と圧縮率によって決まり、式(1)にある $\phi$ の値が正の場合は節に、負の場合は腹に集まるとされている[4]。

$$\phi = \frac{5\rho_c - 2\rho_w}{2\rho_c + \rho_w} \frac{\beta_c}{\beta_w} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_c$ ：粒子の密度、 $\rho_w$ ：水の密度、 $\beta_c$ ：粒子の圧縮率、 $\beta_w$ ：水の圧縮率

表1に実験で使用した素材であるポリプロピレン、ナイロン、ならびに参考として、ポリエチレン、ポリスチレンの密度と圧縮弾性率(縦弾性係数)を示す[5]。

ポリプロピレン球は、水の密度 $\rho = 1.0\text{g/cm}^3$ よりも低く、圧縮率(圧縮弾性率の逆数)は水(圧縮弾性率2060MPa, 20°C)に比較して高く(圧縮弾性率は低い)、 $\phi = -0.42 \sim -0.98$ で負となり、腹に集まることになる。一方、ナイロン球の密度は水よりも高く、圧縮率は水よりも低く、 $\phi = 0.70 \sim 0.90$ で正となり、節に集まることになる。

表1 密度および圧縮弾性率 [5]

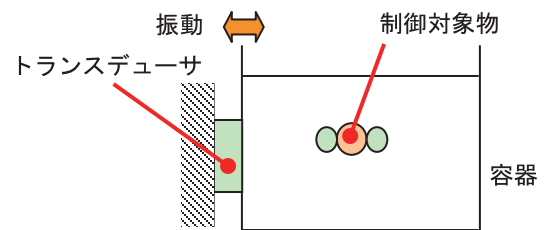
材料	密度 g/cm <sup>3</sup>	圧縮弾性率 MPa
ポリプロピレン	0.90~0.91	1100~1550
ナイロン6	1.12~1.14	4960~8960
ポリスチレン	1.04~1.09	2740~4120
ポリエチレン(低密度)	0.91~0.925	96~261
ポリエチレン(中密度)	0.926~0.940	172~377
ポリエチレン(高密度)	0.941~0.965	412~1240

#### 3. 2 姿勢拘束

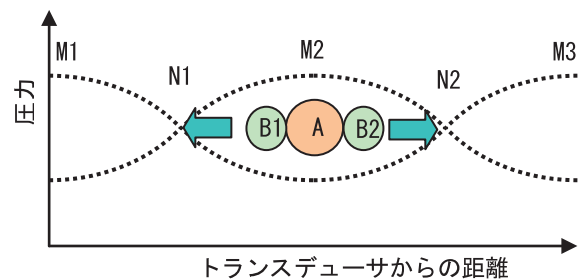
第3.1節で示したように、液中の粒子が定在波の腹または節に捕獲され、腹になるか節になるかは、粒子と液それぞれの、密度および圧縮弾性率の関係で決まる。ここで、この性質を物体の姿勢拘束に利用する新たな手法を提案する。

提案手法の基本的な原理は、定在波の腹に集まる材質の物体と節に集まる材質とを結合させて構成することで、それぞれの物質が腹もしくは節に引き寄せられる力を利用して姿勢を拘束しようとするものである。図1は腹に集まる球Aに、節に集まる2つの球B1およびB2をAに対して対称となるように結合させた結合球を、定在波の腹の付近に置かれた場合の様子をイメージ的に示している。図1における破線は、超音波定在波による圧力変化を示している。超音波定在波はトランスデューサによって発生した進行波と、対面に反射した進行波とが重ね合わせられることで進行しない波として生じるものである。定在波の節の部分N1,N2では圧力変化が無く、腹の部分M1,M2,M3では最も圧力変化が大きくなる。

今、この構造体が2次元の運動のみ許されるとすると、B1とB2の距離が定在波の半波長分の長さ満たないとき、B1は節となる図中のN1に、B2はN2に引き寄せられ、互いに反対方向に引き寄せられることになる。また、Aは定在波の腹に捕獲されようとする。これらの力によって構造体は、定在波の進行方向に対してB,A,Bの姿勢を維持することになる。



(a) 構成例



(b) 姿勢制御の原理

図1 姿勢制御の例



#### 4. 試料および実験装置

##### 4.1 試料

本試験研究では、液中の数 mm 程度の物体を決められた姿勢に制御することを目的としているが、この応用の一つとして、医療分野の検査装置として体内に入った装置を、体外から操作させることが考えられる。そのため、試料の形状は外壁との接触においても問題が無い様、基本的には球体、および球体を組み合わせることのできる形状とした。

図2に作成した試料を示す。図2(a)は単体の球が超音波によって捕獲されることを確認するための実験に用いる試料であり、大きさの異なる 1/8 インチ (3.2mm),

3/8 インチ (4.8mm), 7/32 インチ (5.6mm) 径のポリプロピレン球に、太さ直径 0.04mm の金属フックを埋め込み、ワイヤを固定したものである。ワイヤには糸を用い、長さおよそ 30mm 程度でおもりにつなげる構造にした。おもりを使用する理由は、ポリプロピレン球の比重は水よりも軽く、水面に浮上してしまうことを防ぐためである。図2(b)は姿勢制御の実験をするための試料であり、材質の異なる球を結合させている。1つの 3/8 インチのポリプロピレン球を挟むように、2つの 1/8 インチのナイロン球を直接結合させた。ナイロン球の比重は水よりも大きい、ポリプロピレン球よりも小さいために、結合された3つの球全体では水に浮上するので、単球の試料と同様にワイヤでおもりにつないでいる。

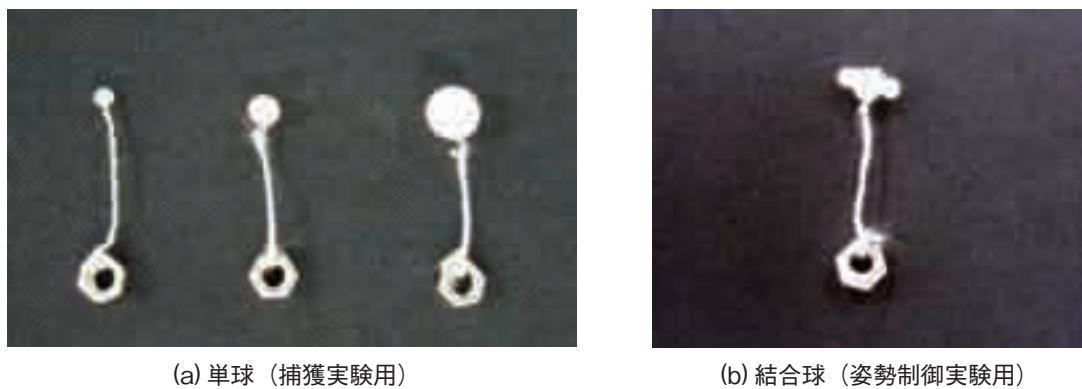


図2 実験用試料

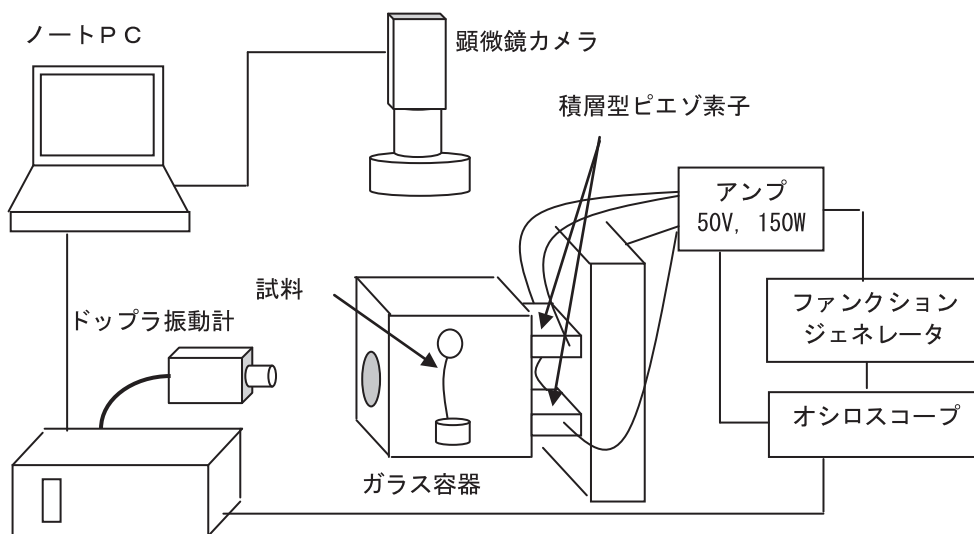


図3 実験装置の構成

表2 積層電圧アクチュエータ仕様

品名	変位量 [ $\mu\text{m}$ ]		発生力 [N]	共振周波数 [kHz]	静電容量 [ $\mu\text{F}$ ]	絶縁抵抗 [ $\text{M}\Omega$ ]	全長 [mm]
	150V 印加時	100V 印加時					
AE0203D16	17.4 $\pm$ 2.0	11.6 $\pm$ 2.0	200	69	0.35	50	20

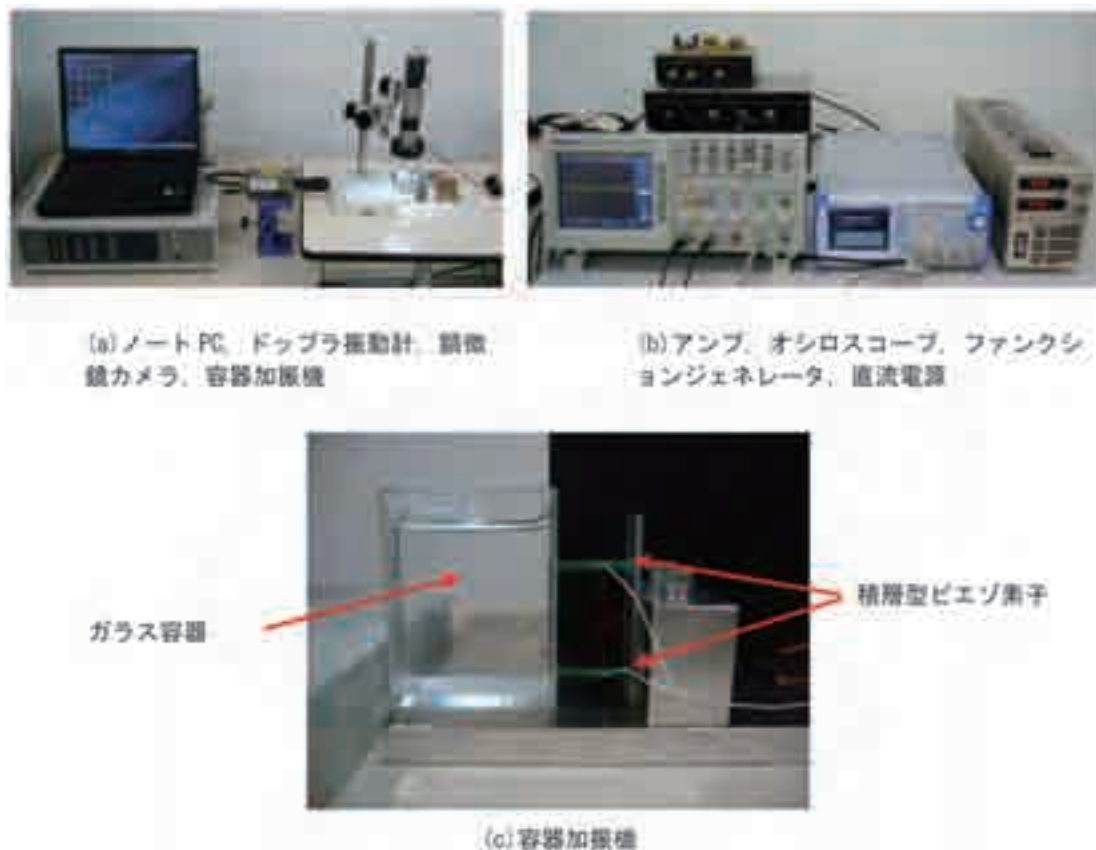


図4 実験装置写真

## 4.2 実験装置

図3に実験装置の構成図を示し、図4に写真を示す。

試料を入れる容器はガラス容器（長さ45×幅18×高さ55mm）を用い、その片側面に積層型ピエゾ素子（NECトーキン製、積層圧電アクチュエータ、AE0203D16）を2つ接着して基盤に固定した（図4(c)）。ガラス材は超音波を良く反射するので、振動する両側面での反射を利用して共鳴させることで液体中に定在波を発生させる。積層型ピエゾ素子は、ピエゾ素子を何層にも重ねることで、伸縮の大きな変位量を得ることができるようにしたものである。表2に使用した素子の仕様を示す。

水中の音速は1488m/s(20℃)であり、ピエゾ素子の振動周波数を33kHzにすると、波長はおおよそ45mmとなり、容器の長さ一致する。

## 5. 実験

### 5.2 捕獲実験

まず、この定在波による球の捕獲を確認するために、作製した試料を用いて実験を行った。以下にポリプロピレン球での実験結果を示す。

単球の試料をガラス容器の加振面付近、中央付近、反射面付近に設置し、加振前後における球の位置変化を観察した。図5は容器を側面から見た図であり、容器内の位置と圧力関係を示したものである。振動波の波長と、加振面から反射面までの距離とが等しい場合、図5下部に示すような定在波が生ずる。加振面、中央、反射面において圧力変化が大きい腹となり、腹と腹の中央部分が圧力変化の小さい節となる。これら2つの節の位置を境に、図中①～③のように領域を区分することにする。

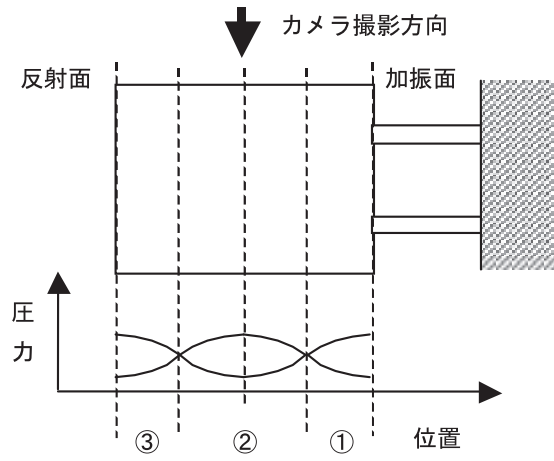


図5 観察実験の方法

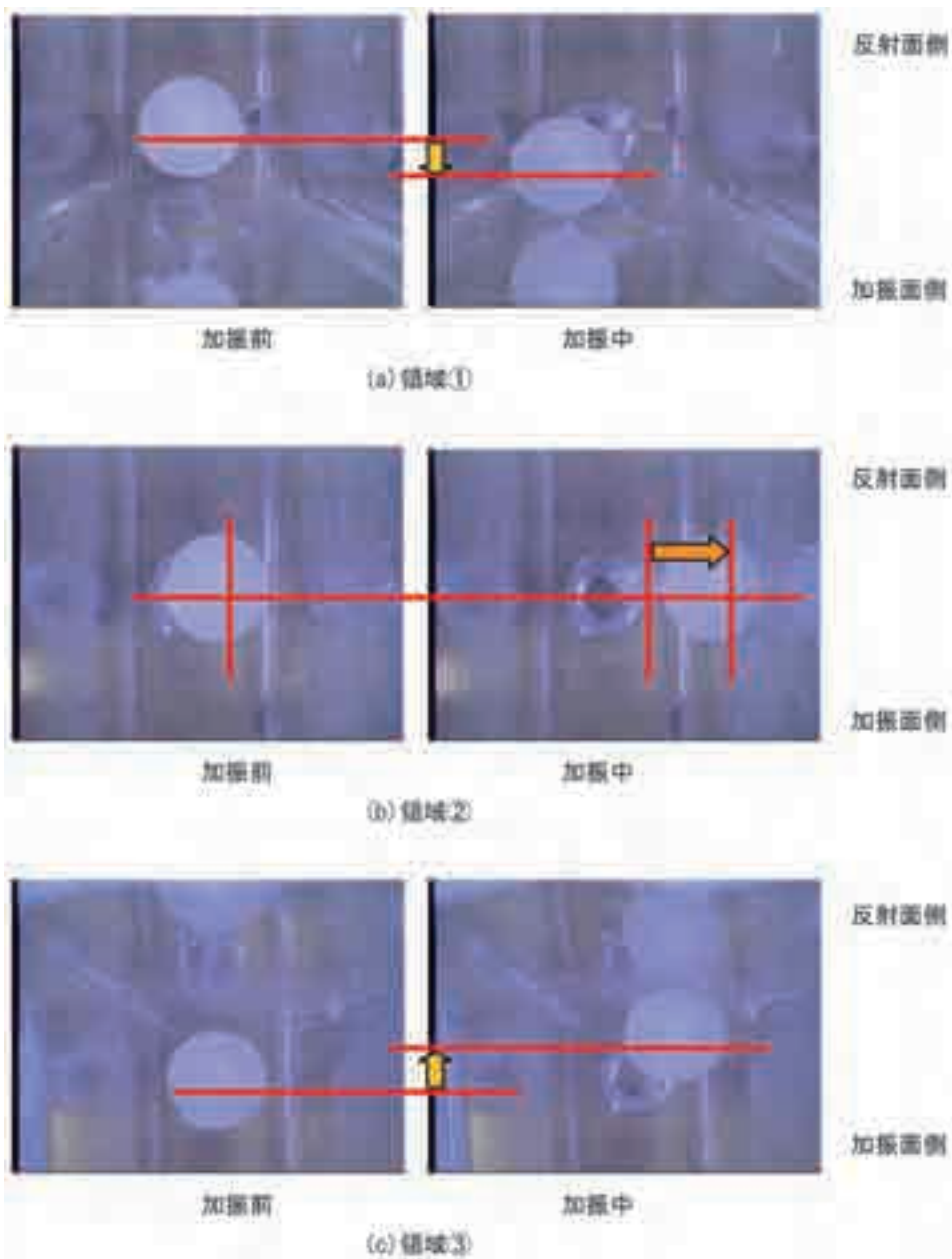


図6 捕獲実験の結果



図7 姿勢制御実験の結果

本実験では、領域の①～③に単球を設置し、1波長の定在波を発生するよう周波数33kHzとし加振した。加振前後における球の位置変化は、容器の上面からカメラ撮影することで行った。

図6は3/8インチの単球を用いて捕獲実験を行った結果である。写真下部が加振面側、上部が反射面側である。

この結果、加振面および反射面に近い領域①と③では、球が面に近づき、定在波の腹に向かっていることが確認できた。しかし、領域②では定在波の腹となるのは容器の中央付近ではあるが、加振方向と垂直の方向に移動した。これは、容器の両側面もガラスであるために、側面間においても半波長の定在波が発生し、それらの腹となる側面に引き寄せられたものと考えられるが、このことに関しては、側面の影響を受けない程度の大きな容器を利用して実験を行って検証する必要がある。

## 5. 2 姿勢拘束の実験

単球の捕獲実験において使用したポリプロピレン球は、定在波の腹の部分に引き寄せられる。一方で、ナイロン球は定在波の節の部分に引き寄せられる性質がある。そこで、本実験では、3/8インチのポリプロピレン球を中心に、この対称となる位置に1/8インチのナイロン球を結合させ、図2(b)に示した結合球を作製した。周波数33kHzでの定在波中では、図1に相当する寸法となり、姿勢制御が実現できると考えられる。

図7は、結合球を図5の領域②に相当する位置に配置し、定在波を発生させた前後での、姿勢変化を示している。加振前の初期状態では、定在波の方向に対して結合球の結合方向が60度ほど傾いていたが、加振中には、定在波の方向に近い向きに姿勢が変化している。このように、定在波の腹と節それぞれに引き寄せられる特性を利用して、姿勢制御が可能であることが明らかになった。

## 6. まとめ

以上の研究結果から、液中の物体の超音波による位置姿勢制御が実現できることを明らかにした。実現方法としては、制御対象に異なる材質の組み合わせを利用する新たな姿勢制御手法を提案し、実用化への見通しを得た。本技術は、例えば人や動物が飲み込んだ医療用小型検査装置の位置姿勢制御や、配管の亀裂検査のための工業用小型撮影装置の位置姿勢制御などに応用できると考えられ、今後、用途に応じた改良を加えていく予定である。

## 参考文献

- [1] C.J.Schram, "Manipulation of particles in an acoustic field", *Advances in Sonochemistry*, Mason (Ed), 1991, pp.293-322.
- [2] A.Askin, "History of optical trapping and manipulation of small-neutral particle, atoms, and molecules", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol.6, No.6, 2000, pp.841-856.
- [3] A.Sarvazyan, "Diversity of biomedical applications of acoustic radiation force", *Ultrasonic*, Vol.50, 2010, pp.230-234.
- [4] K.Yoshioka and Y.Kawashima, "Acoustic radiation pressure on a compressible sphere", *Acustica*, Vol.5, 1955, PP.167-173.
- [5] 機械工学便覧, 日本機械学会, 1984.

## 編集担当

広報委員長	成田 雅彦	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
	秋口 忠三	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
	安藤 昌也	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 助教
	瀬戸 洋一	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
	舘野 寿丈	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
	村越 英樹	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	森口 聡子	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

---

2009年度 産業技術大学院大学紀要

2010年3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/>

---