

産業技術大学院大学 紀 要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第4号

2010年12月

産業技術大学院大学

目 次

論 文

Ash プログラミング環境における GUI ライブラリの設計と評価……………	秋 口 忠 三	1
複合プライバシーを考慮したセキュアな道路コンテキスト サービスのシステム構想……………	嶋 田 茂	13
プライバシー影響評価ガイドラインの開発……………	瀬 戸 洋 一	21
人間中心デザインに関する専門教育プログラムの開発と実践……………	安 藤 昌 也	29
離散事象シミュレーションを用いたサービス設計手法 PLAN の提案……………	川 田 誠 一 佐田國 晴 信 杉 田 千 夏 天 間 要 介	35
品質工学における回帰寄与率 SN 比の提案……………	鈴 木 真 人 越 水 重 臣	41
技術革新の収益化と企業間競争……………	陳 俊 甫	49
身体動作インタフェースにおける身体動作抽出 ～電動車いすへの適用を通して～……………	横 田 祥 橋 本 洋 志 大 山 恭 弘 余 錦 華	59
受動性に基づく画像ベース視覚フィードバック制御の一考察……………	村 尾 俊 幸 河 合 宏 之 藤 田 政 之	67
人工物設計における価値創造に関する一考察……………	吉 田 敏 小 山 登 チ ヨ ユリム 元 帥	73
総 説		
受注企業のプロジェクト・マネジメント・オフィス……………	酒 森 潔	79
ベトナム国家大学とのグローバル PBL から得た知見……………	中 鉢 欣 秀 成 田 雅 彦 戸 沢 義 夫	85
IT サービスビジネスを目指した PBL における教育目標……………	戸 沢 義 夫	89

コンピテンシーを育成する経験学習教材の設計技法	網 代 剛	97
研究速報		
離散凸関数最小化の応用とその Web アプリケーションの実装	森 口 聡 子 土 村 展 之	103
中小企業向け貸し出し用“展示キット”の開発	國 澤 好 衛 安 藤 昌 也 長谷川 聡	109
微小物体の搬送・保持と位置検出を一つの機構で実現する 操作デバイス	舘 野 寿 丈	115
エアクッションを用いた快適座席のデザイン	稲 垣 健 志 小 泉 敦 藤 井 香 織 福 田 哲 夫	123

CONTENTS

Regular Papers

Design and Evaluation of a GUI Library in the Ash Programming Environment ·····	Chuzo Akiguchi	1
System Concept of Secure Road Context Services By Considering Complex Privacy ·····	Shigeru Shimada	13
Development for the Guideline of Privacy Impact Assessment ·····	Yoichi Seto	21
Development and Implementation of a HCD Education Program ·····	Masaya Ando	29
A Proposal of the Service Design Method PLAN by using the Discrete Event Simulation ·····	Seiichi Kawata Harunobu Satakuni Chinatsu Sugita Yosuke Tenma	35
Proposing the Regression Contribution S/N Ratio in Quality Engineering ·····	Masato Suzuki Shigeomi Koshimizu	41
A Study on Innovation Profitability and Inter-firm Competition ·····	Junfu Chen	49
Extraction on Human Body Motion Interface — Applied for the control of electric wheelchair — ·····	Sho Yokota Hiroshi Hashimoto Yasuhiro Ohayama Sin-hua She	59
A Study on Image-based Visual Feedback Control via Passivity Approach ·····	Toshiyuki Murao Hiroyuki Kawai Masayuki Fujita	67
Study of Value Creation of Artificial Design ·····	Satoshi Yoshida Noboru Koyama Cho Yurim Suimii.Yuan	73
Review Papers		
Project Management Office for Vendor Company ·····	Kiyoshi Sakamori	79

Lessons Learned from the global PBL with VNU ······	Yoshihide Chubachi Masahiko Narita Yoshio Tozawa	85
Educational objectives of PBL for IT services business ······	Yoshio Tozawa	89
Design Method of Educating Competency on Experiential Learning ···	Tsuyoshi Aziro	97
Short Notes		
Discrete convex function minimization and its web application· ······	Satoko Moriguchi Nobuyuki Tsuchimura	103
Design of the rental exhibition kit for a small-sized company ······	Yoshie Kunisawa Masya Ando Satoru Hasegawa	109
Manipulation device to realize feeding and gripping micro-objects with position detection by single mechanism ······	Toshitake Tateno	115
Design for Comfortable Seat by Air cushion· ······	Kenji Inagaki Atsushi Koizumi Kaori Fujii Tetsuo Fukuda	123

Ash プログラミング環境における GUI ライブラリの設計と評価

秋 口 忠 三*

Design and Evaluation of a GUI Library in the Ash Programming Environment

Chuzo Akiguchi*

Abstract

An educational Java programming environment Ash provides a convenient GUI(Graphical User Interface) library which is constructed on Swing/AWT packages included in the standard GUI programming environment of Java platform, in order to lighten programmers workload. The most distinctive feature of this GUI library is to enable programmers to construct GUI program without bringing down the intrinsic tree structure, or nested construction. In this paper, we describe the design and implementation of our GUI library, and present some examples of the application to educational programming and explorative programming. Finally, the library is evaluated in terms of descriptive power, usability, maintainability, extendability, and reusability.

Keywords: programming environment, graphical user interface, programming methodology, rapid prototyping, reusability

1 はじめに

教育用 Java プログラミング開発環境 Ash は、Java によるソフトウェア開発の教育を行うためのプログラミング環境である。図 1 に Ash のアーキテクチャを示す。Ash では、オブジェクト指向技術に基づくソフトウェア開発の様々な技法を実践するための言語や、ツール、再利用方法論を含むソフトウェア開発プロセスの支援環境を実現することを目指しており、これまでにパイプ&フィルタに基づくコマンド拡張機構を含む基盤アーキテクチャの開発 [1] やソフトウェアプロセス支援環境の開発 [2] を進めてきた。

ある程度の実用性を持つソフトウェアの開発では、GUI(Graphical User Interface)[3] やデータベース管理(永続性のあるデータの管理)、通信機能が必要になる場合が多い。Ash ではこのようなアプリケーション開発を、技術の本質だけに集中して学習できる開発環境を提供したいと考えている。そのために GUI や永続的なデータ管理、プロセス間通信の最も重要な側面を一つの開発環境の中で体系的に提供する計画である。本稿では、Ash の全体計画の中の GUI に焦点をあて、Ash での取り組みを紹介する。

Ash の中での GUI の位置づけは、Ash を構成する各種の開発支援ツールを実現するための基盤であり、かつソフトウェア開発課題の教材の開発や探索的プログラミングにおける GUI プロトタイピング支援環境を提供することである。Ash では、GUI プログラミングの負担を軽減するために、Java の標準の GUI ライブラリである Swing/AWT の上に、GUI プログラミングを容易に行えることを目的とした GUI ライブラリを提供している。この GUI ライブラリは、GUI 画面の視覚的かつ論理的な構造である入れ子の木構造を破壊することなくプログラミングできることに最大の特徴がある。本稿では、この GUI ライブラリの設計、実装、および各種 GUI アプリケーションへの適用評価について報告する。

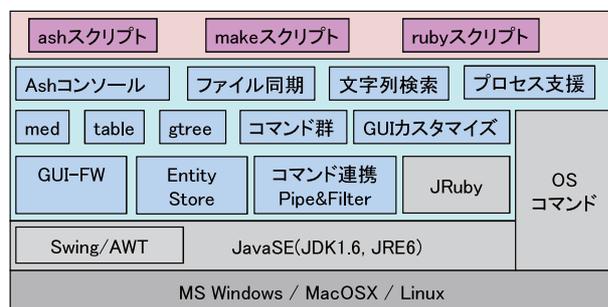


図 1: Ash のアーキテクチャ

Received on October 5, 2010.

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

2 GUI 構築技術の階層

GUI プログラミング環境は、図 2 に示すように各種プラットフォーム上にいくつかの技術階層で構築されている。本節では、まず GUI プログラミングの特徴を考察する。次に、Java 環境における GUI 技術に限定して、技術階層の各技術要素の現状と課題について述べる。

GUIビルダ	GUI画面記述言語
GUIライブラリ(コンポーネント + フレームワーク)	
JavaVM(JRE)	
プラットフォーム(ハードウェア + OS)	

図 2: GUI 構築技術の階層

2.1 GUI プログラミングの特徴

GUI プログラミングの特徴は以下の 3 点に集約できる。

1. GUI コンポーネントの生成と配置

GUI コンポーネントは視覚的な要素が重要である。従って GUI コンポーネントの生成では、色、フォントのサイズやスタイル、枠線の太さなど、ユーザに伝えたい意味を考慮した各種のプロパティ設定が必要になる。またアプリケーションの実行状況（コンテキスト）に依存した表示の調整も必要な場合がある。

2. GUI コンポーネントとアクションの関連付け

ボタンの押下などのユーザ操作によって起動されるアクションはコールバックと呼ばれる。コールバックは、アプリケーション処理が記述されるビジネスロジックの一部であり、GUI コンポーネントの情報がパラメータとして渡され、アプリケーションのデータに対して何らかの処理を実行する関数やメソッドとして実装されることが多い。

3. イベント駆動型の制御構造

アプリケーションロジックはユーザ操作や動作環境全体から非同期に発生する種々のイベントによって駆動されるイベント駆動型の制御構造をもつ。この制御構造はライブラリのフレームワーク部分に組み込まれ、アプリケーション側には隠される場合が多い。

2.2 GUI ライブラリの選択

GUI プログラミングを行う場合、開発対象のプラットフォーム（オペレーティングシステム）が提供する GUI ライブラリを決定しなければならない。Java 環境で GUI を

もつアプリケーションを開発する場合、開発対象のプラットフォームによって利用可能なライブラリは異なる。Java の標準的な API(Application Programming Interface) である JavaSE[4] では、Swing/AWT が GUI プログラミングに必要な API を提供している。Swing/AWT のライブラリは Java のソース行で約 233 KLOC*¹ あり、JavaSE 全体の 1/4 を占める。高機能であり、使いこなすためには長時間の学習が必要である。SwingGUI アプリケーションの開発を容易にするためのフレームワークとして SAF の開発も進められている [5]。デスクトップのアプリケーションを開発する場合の選択肢としては、Swing/AWT 以外に、Eclipse プロジェクトが提供する SWT がある [6]。

携帯情報端末でも Java が採用されている。Android は Google 社が中心になって開発を進めている携帯情報端末用プラットフォームである。携帯情報端末は、小さな画面上に対話性の優れた GUI を構築することが製品価値を大きく決定づける。そのため、このようなアプリケーション開発に適した独自の GUI ライブラリ、フレームワーク、および開発ツールが提供されている [7]。

いずれの開発環境においても、GUI 構築の基本的な機能や仕組みについては共通する部分が多い。まず基盤になるライブラリが提供される。ライブラリには、GUI 画面を構成する各種のコンポーネントの生成と配置を行う機能、各種の描画のサポート、ユーザや動作環境から発生する各種のイベントの処理、これらをアプリケーションのフレームワークとして全体をまとめる仕組みが提供されている。

GUI ライブラリは GUI 構築技術の基盤となる。基盤になる技術は安定していることが重要である。

2.3 GUI 画面記述言語

従来型のプログラミング言語では、GUI コンポーネントの生成と配置の記述は煩雑なコーディングになりがちである。特に多くのプロパティの設定が必要になる場合に顕著である。また、レイアウトの設計に当たっては、GUI コンポーネントの意味的な関連性を考慮するが、この意味構造を分かりやすくコーディングすることは容易ではない。

GUI コンポーネントとコールバックの関連付けも、プログラムを煩雑にする原因の一つになる。注意しないと悪質なスパゲッティプログラムになりかねない。プログラムの制御構造がイベント駆動型の制御構造をとることも、プログラムの実行の流れをトレースすることを困難にする原因になる。

Java のような汎用のプログラミング言語でこのような特徴をもったプログラムをコーディングすると、記述の冗長性、一つの構成要素に関する記述の複数箇所への分散、コールバック記述の煩雑さ等が、プログラムの複雑さを増大さ

*¹ LOC(Lines Of Code) はソースコードの規模を表す単位で、コメント行と空白行を含まない行数を表す。

せる。GUI 画面記述言語は、このような問題を解決するために、GUI 画面と関連するアクションを簡潔に記述することを目的とした専用言語である。Java 環境では、GUI アプリケーションにフォーカスした言語として、JavaFX Script の開発が進められている [8]。

2.4 GUI 画面設計ツール

GUI 画面を対話的に設計するツールは GUI ビルダとも呼ばれ、それぞれのプラットフォームの統合開発環境の中で、GUI 構築用のツールとして提供されている。例えば、Eclipse 統合開発環境の VisualEditor[9] や NetBeans 統合開発環境の Swing GUI ビルダー [10] などである。

GUI ビルダは最終画面イメージを直接編集することで GUI 画面の設計を行うことができ、GUI プログラミングの初心者でも利用できることから作業の効率化に大きな効果が期待できる。しかし次の問題点がある。

- 固定画面の設計には適しているが、可変サイズの画面の設計では、レイアウト方式の指定が必要であり、リサイズの際のレイアウトの変化がつかみにくい。
- 見かけの構造とデータの意味を表す内部構造が一致しているとは限らない。
- GUI ビルダの設計結果の利用方法によっては、成果物の二重管理が必要になる。

多くの GUI ビルダは、設計の結果から特定のプログラミング言語のソースコードを自動生成し実装作業の効率化を図っている。しかし実装過程で機能変更要求が発生した場合には、自動生成されたソースコードを直接修正せざるを得ない場合が多い。ソースコード上の修正の結果をオリジナルな画面設計情報に自動反映させる技術は、それぞれの GUI ビルダで工夫はされているが、十分とはいえない。

2.5 Ash における GUI 構築支援の目標

Ash では最も安定した GUI 基盤として JavaSE の標準 GUI ライブラリである Swing/AWT を採用した。Swing/AWT はすでに述べたように多くの機能を持っている。そのため、使いこなせるようになるまでには多くの学習時間を要する。Ash では利用目的を限定し、その範囲で効率よく GUI 画面の設計と実装が行えるような GUI ライブラリを Swing/AWT の上に構築することにした。

ライブラリの設計に当たっては、本節で分析した GUI 画面記述言語や GUI ビルダの利点にも着目し、GUI 画面記述言語並みの記述力をもち動作時の画面に近いイメージで記述できる GUI ライブラリを実現することを目指した。

Ash における GUI 構築支援環境の目標を以下にまとめる。

- 限定したアプリケーションに対する簡易な記述目的を限定しシンプルで軽い構造とする。リッチなインタフェースの実現に対して特別なサポートは行

わない。ソフトウェア開発支援ツールやプロセス支援ツールを対象とし、複雑な論理構造をもつ GUI 画面を容易に開発できることを目指す。

- プロトタイピングの容易さ
視覚的な要素をもつユーザ要求を最終イメージに近い形で記述し、実際に動作するプログラムとしてビジュアルな画面を表示できる。
- GUI 画面の部品化の仕組み
複雑な GUI 画面を分割して作成し、部分を合成して全体を構成する仕組みを提供する。
- ソフトウェアの保守性の向上
長期的なソフトウェアの保守性を確保するために、Java プラットフォームの中で最も安定した言語仕様と標準ライブラリの技術基盤の上に実現する。

3 Ash GUI ライブラリの設計方針と概念モデル

前節では、Java 環境における GUI 構築技術の各要素について解決すべき課題を検討し、これらの課題を踏まえて Ash における GUI 構築支援環境の目標を示した。本節では、まずこれらの目標に向けた GUI ライブラリの設計アプローチについて述べる。次に GUI ライブラリの概念レベルの設計の結果を概念レベルクラス図に従って説明する。

3.1 GUI ライブラリの設計方針

Ash の GUI ライブラリの設計に当たっては以下の設計方針を定めた。

- GUI 画面記述言語に近い記述性の提供
GUI ライブラリの形態をとるが、クラスとメソッドの設計を工夫することにより、GUI 画面記述言語に近い記述能力が得られるようにする。
- GUI 画面の論理構造に即した記述
GUI 画面の論理構造を直接記述できる。すなわち入れ子構造をもつ GUI 画面を一つの記述単位として扱えるようにする。
- コンポーネントの記述の集約化
各コンポーネントへのプロパティの設定等の記述を分散させることなく、できるだけ一箇所にまとめられるようにする。
- アクション記述との連携の容易化
コールバックやメディエーションなどのアクション記述との連携を容易にする。

図 3 に、この設計方針に従って設計した概念レベルのクラス図を示す。このクラス図は Swing/AWT の機能を、Ash における GUI 構築支援の目標に即して、機能構成を大幅に見直したものである。またこのクラス図の作成にあたっては、デザインパターン概念 [11] を随所にとり入れた。

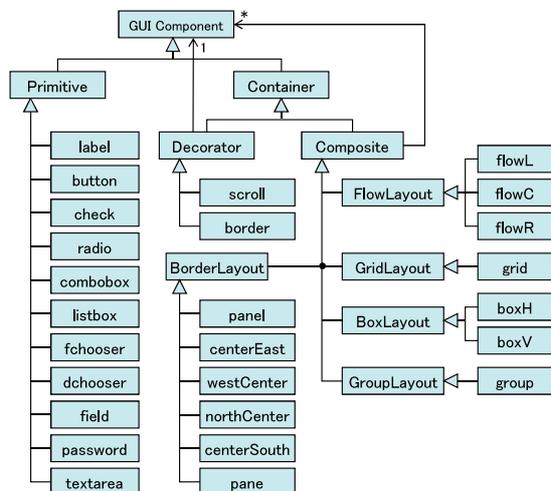


図 3: Ash GUI ライブラリの概念レベルのクラス図

3.2 概念モデルの構成

図 3 に示すように、GUI コンポーネントは、まず **Primitive** と **Container** に分類される。**Primitive** はさらに 11 個のコンポーネントに分類される。この 11 個のコンポーネントが、最も基本的な GUI 画面の構成要素となる。後述する実装モデルでは、これらの GUI コンポーネントに対応して同名のファクトリメソッドが提供されており、このファクトリメソッドを必要なパラメータを与えて呼び出すことによってコンポーネントを生成できるようにした。

Container はさらに **Decorator** と **Composite** に分類される。**Decorator** には **scroll** と **border** が含まれており、それぞれ一つのコンポーネントに対するスクロールの機能と枠線やグループ名などの付加情報の表示を追加するものでデザインパターンの **Decorator** パターンに相当する [11]。

Composite は、Swing/AWT が提供する主要なレイアウト機能 (**FlowLayout**, **GridLayout**, **BoxLayout**, **GroupLayout**, **BorderLayout**) に対応したパネルに分類した。さらにそれらをいくつかの機能に分類し、それぞれに対応するファクトリメソッドを用意した。**FlowLayout** については、含まれるコンポーネントの配置が左側か、中央か、右側かに応じて、3 種類のファクトリメソッド (**flowL**, **flowC**, **flowR**) を、**BoxLayout** についても同様の設計方針で、横方向か、縦方向かに応じて 2 種対のファクトリメソッド (**boxH**, **boxV**) を用意した。その他の主要なレイアウト機能に関しては後述する。

以下の節では、概念レベルの設計における重要な判断に関して述べる。

3.3 基本的な GUI コンポーネントの簡易な生成

ラベルやボタン、フィールド等の基本的な GUI コンポーネントを、できるだけ簡単な記述で生成できることは設計で特に重視した点である。そのために以下の設計上の方針を定めた。

- GUI 画面作成のベースクラスで GUI コンポーネント生成メソッド (ファクトリメソッド) を定義する。
- アプリケーションの各 GUI 画面はこのベースクラスを継承して作成する。これらの GUI 画面の実装では、必要なプロパティが設定された GUI コンポーネントを、生成メソッドを利用して最小の記述量で生成できる。
- 文字列はコンテキストに応じてラベルとして解釈される。
- GUI 画面に表示される文字列の表示属性を記述する簡便な記法を提供する。フォントの種類、サイズ、スタイルの各情報を、表示する文字列の記述に続けて表記できるようにする。

3.4 GUI 画面の入れ子型の構造の記述

JavaSE5 で、可変個の引数をもつメソッドの定義が可能になった。この機能を使えばコンポジット構造を宣言的に記述することができる。Ash の GUI ライブラリは、Swing/AWT のパネル生成にこのアイデアを適用したものである。以下に、入れ子型の GUI 画面の構造を宣言的に記述するライブラリ設計の要点をまとめる。

- 可変長引数をもつパネル生成ファクトリメソッド
パネルを生成するファクトリメソッドは任意個のコンポーネントを引数として受けられるようにしてある。引数として渡す各コンポーネントはまたパネルであってもよい。従って、入れ子型の構造をもつ一つのパネルの定義がそれに含まれるコンポーネントと一体となって宣言的に記述することが可能になった。
- **GroupLayout** を利用したフォーム形式の定義
Swing の **GroupLayout** を利用したフォーム形式のレイアウトを簡潔に記述できるようにするために、行と列の構造を作るメソッドとして **line** と **sg(sequence group)** を導入し、GUI 画面記述言語と近い形式で画面のコーディングができるようにした。

この設計方針は、Michael Jackson が指摘する木殺し (arboricide)[12] の弊害を解消することを目的としたものである *1。

*1 木構造は多くの要素をまとめて、整合がとれ一目で理解できるような調和のとれた形とする働きをするもので、ソフトウェアの中ではしばしばみられる。木殺しとは、この木構造を破壊し理解と調和を妨げるものであり、本来もっと広いスパンの記述が求められているにもかかわらず、狭いスパンの記述しか用意しないことによって引き起こされる。

3.5 Mediator パターンのサポート

パネルの定義と関連させて Mediator パターンの機能を組み込んだ [11]. パネルを Mediator, パネル配下のコンポーネントを Colleague とする. GUI コンポーネントが Colleague の役割を果たせるように Swing の GUI コンポーネントを拡張したクラスを AshPanel の内部クラスとして実装した. この機能によって, 個々の部品操作における相互依存性の制御が容易に行えるようになった.

3.6 Swing/AWT の機能を最大限利用

生成と配置以外の機能は Swing/AWT の機能をそのまま利用できるようにすることで, ライブラリの肥大化を防ぐと共に Swing/AWT の機能の利用に制限を加えないようにした.

4 Ash GUI ライブラリの実装モデル

前節では概念レベルの設計について述べた. これは GUI ライブラリ実装の語彙を提供するものである. この概念設計を Java のクラスとして実装設計した結果を図 4 に示す.

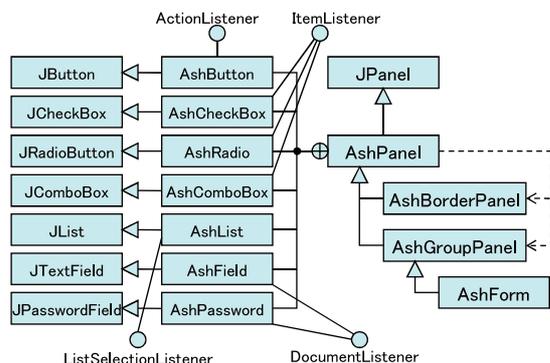


図 4: GUI ライブラリの実装クラス

4.1 実装クラスの概要

Ash GUI ライブラリの実装クラスは, Swing の JPanel を拡張した AshPanel が中心的な役割を担う. 補助的なクラスとして AshPanel を拡張した AshBorderPanel と AshGroupPanel, AshGroupPanel を拡張した AshForm がある. AshBorderPanel は Swing/AWT の BorderLayout のレイアウト機能を利用したパネルであり, 全体を North, West, Center, East, South の 5 個の領域に分割し, 画面のリサイズの際に, 上下左右のサイズを固定し Center 部分を可変にするレイアウト仕様を提供している. AshBorderPanel は, 概念レベルのクラス図の BorderLayout に分類される 6 種類のパネルを実装するために AshPanel で利用されている.

AshGroupPanel は, Swing/AWT の GroupLayout のレイアウト機能を利用したパネルであり, 水平方向と垂直

方向に整列されたコンポーネントのレイアウト管理を行う. AshGroupPanel も AshBorderPanel と同様に, 概念レベルのクラス図の GroupLayout に属する group パネルを実装するために AshPanel で利用されている.

図 5 に, 個人情報登録プログラム Person のソースコードと画面イメージを示す. Person パネルを生成するには new Person().createPanel() を実行すれば良い. このプログラムは, AshPanel を拡張し, GroupLayout のパネルを生成するファクトリメソッド group を使用している. group メソッドの呼出しの中で, パネルを構成するコンポーネントが line メソッドと sg メソッドを使って木構造として組み立てられている点に注目されたい.

```

1: import java.awt.event.*;
2: import ash.gui.core.AshPanel;
3: /**
4:  * Person: AshPanelの使用例
5:  */
6: public class Person extends AshPanel implements ActionListener {
7:     String[] ageList = {"10代", "20代", "30代", "40代", "50代"};
8:     AshField lastName_f, firstName_f;
9:     AshComboBox age_cb;
10:    AshRadio male_b, female_b;
11:
12:
13:    public AshPanel createPanel() {
14:        setActionListener(this);
15:        groupButtons(male_b = radio("", true), female_b = radio());
16:        Gap g = gap(5, 10, 20);
17:        return
18:        group(line("名字", lastName_f = field(10)),
19:             line("名前", firstName_f = field(10)),
20:             line("年齢", sg(age_cb = combobox(ageList), gap(20))),
21:             line("性別", sg(g_boxV("男性", male_b),
22:                            g_boxV("女性", female_b), g)),
23:             line(null, button("登録"))
24:        );
25:    }
26:    @Override public void actionPerformed(ActionEvent e) {
27:        String action = e.getActionCommand();
28:        System.out.println(action + ": " + lastName_f.getText());
29:    }

```

図 5: AshPanel を使用した個人情報登録プログラムの例

4.2 AshPanel のコンポーネント生成機能

AshPanel は, プリミティブな GUI コンポーネントの生成, 複数コンポーネントのレイアウト管理を行うパネルコンポーネントの生成, コンポーネントとアクションの関連付け, およびコンポーネント間の相互作用の調停を担当する.

コンポーネントの生成は, 図 3 の概念レベルのクラス図に示された各種コンポーネントに対応するファクトリメソッドの呼び出しで行う. 一つのコンポーネントに対して異なるシグニチャをもつメソッドを複数種類用意し, 生成時に主要なプロパティを指定できるようにした. アプリケーションで頻繁に設定するプロパティがあったら, そのプロパティを引数にもち内部でその処理を行うファクトリメソッドを新たに定義する利用法を想定している. プリミティブなコンポーネントとパネルについても同じ方針で設計・実装した.

AshPanel の内部クラスとファクトリメソッドの一部を図 6 に示す。図 6 では修飾子を省略しているが、すべて `protected` である。従って AshPanel の拡張クラスでこれらの内部クラスとメソッドを参照できる。

```
public class AshPanel extends JPanel {
    class AshButton extends JButton implements ActionListener;
    class AshCheckBox extends JCheckBox implements ItemListener;
    class AshRadio extends JRadioButton implements ItemListener;
    class AshComboBox extends JComboBox implements ItemListener;
    class AshList extends JList implements ListSelectionListener;
    class AshField extends JTextField implements DocumentListener;

    JLabel label(String text);
    AshButton button();
    AshButton button(Icon icon);
    AshButton button(String text);
    AshButton button(String text, String action);
    AshButton button(String text, boolean enable);
    AshButton button(String text, String action, boolean enable);
    AshCheckBox check();
    AshCheckBox check(String text);
    AshCheckBox check(String text, boolean selected);
    AshCheckBox check(String text, String action, boolean selected);
    AshComboBox comboBox();
    AshComboBox comboBox(Object[] items);
    AshField field();
    AshField field(String text);
    AshField field(int columns);
    AshField field(String text, int columns);
    JPanel flowL(Object... components);
    JPanel flowL(int hgap, Object... components);
    JPanel grid(int rows, int columns, Object... components);

    AshGroupPanel group(Object... objects);
    AshGroupPanel group(int hPad, int vPad, Object... objects);
    List<Object> line(Object... objects);
    List<Object> sg(Object... objects);
    Gap gap(int size);
    Gap gap(int min, int pref, int max);

    AshBorderPanel panel(Component compo);
    AshBorderPanel centerEast(Object center, Object east);
    AshBorderPanel westCenter(Object west, Object center);
    AshBorderPanel northCenter(Object north, Object center);
    AshBorderPanel centerSouth(Object center, Object south);
    AshBorderPanel pane(Object... objects);
}
```

図 6: AshPanel の内部クラスと主要なメソッド

4.3 AshPanel によるアクションと相互作用の処理

アクションリスナ (コールバックの Java での用語) の設定は各コンポーネント生成の中に組み込まれており、画面生成を開始する前に `setActionListener(listener)` を実行しておくことで、作成中のパネルの中に生成するコンポーネントには、生成時にこの listener が設定される。

調停対象のコンポーネント (Mediator パターンの Colleague) はパネル生成後に、`setColleagues` メソッドを用いて設定する。調停の対象となるコンポーネントとして、Ash では図 4 に示すように Swing のコンポーネントの中の JButton, JCheckBox, JRadioButton, JComboBox, JList, JTextField, JPasswordField のそれぞれに対して拡張クラスを定義し、この調停が必要な事象が発生したら `mediate(component)` メソッドが呼ばれる仕組みを実装した。

調停の開始と中断は `startMediation`, `stopMediation` で、調停対象コンポーネント (Colleague) の指定と解除は `setColleagues` と `resetColleagues` の各メソッドで行う。調停対象のコンポーネントが調停を必要とするイベントを発生させたら、これらのコンポーネントの調停を行うメディエータである AshPanel の `mediate` メソッドが呼ばれる。アプリケーション側は、この `mediate` メソッドをオーバーライド

し調停のロジックをこのメソッドの中に集約して記述することができる。

このようにパネルという入れ子型のコンポーネント管理の機構の中に、コンポーネントの配置、コールバックの設定、Mediator パターンの調停の機能が組み込まれている。このようにして、パネル定義のクラスの中の 1 個のコンストラクタと 2 個のメソッドに、コンポーネントのレイアウトと制御 (コールバックとメディエーション) に関する記述をまとめることができた。

図 7 に Mediator を使用したプログラムの例としてログインパネルのプログラムのソースコードと画面イメージを示す。ユーザ種別の選択 (ゲストか一般ユーザ) とユーザ ID とパスワードの入力の各々の事象に対して `mediate` メソッドが呼ばれ、それぞれのコンポーネントの状況に応じた表示の調整や可能な操作の制限 (enable/disable の設定) などを行っている。



```
1: class LoginPanel extends AshGroupPanel {
2:     JRadioButton guest, user;
3:     JTextField name;
4:     JPasswordField password;
5:     JButton ok;
6:
7:     LoginPanel() {
8:         setActionListener(this);
9:         form(new Line("ユーザ種別",
10:             sg(guest = radio("ゲスト", true), user = radio("ユーザ")),
11:             line("名前", name = field(10)),
12:             line("パスワード", password = password(10)),
13:             line(null, sg(ok = button("OK"), button("Cancel"))));
14:         groupButtons(guest, user);
15:         setColleagues(guest, user, name, password);
16:         startMediation();
17:     }
18:
19:     // ActionListener の実装
20:     @Override public void actionPerformed(ActionEvent e) {
21:         String action = e.getActionCommand();
22:         if(action.equals("OK")) {
23:             String userName = user.isSelected() ? name.getText() : "guest";
24:             System.err.println("login: " + userName);
25:         } else if(action.equals("Cancel")) {
26:             System.err.println("canceled: ");
27:         }
28:     }
29:
30:     // Mediator の実装。Colleagueからの変更通知を処理する。
31:     @Override protected void mediate(Component compo) {
32:         boolean userMode = user.isSelected();
33:         // ユーザ名は4文字以上
34:         boolean userOK = name.getText().length() >= 4;
35:         // パスワードは6文字以上
36:         boolean passOK = password.getPassword().length >= 6;
37:
38:         name.setEnabled(userMode);
39:         password.setEnabled(userMode && userOK);
40:         ok.setEnabled(!userMode || (userOK && passOK));
41:     }
42: }
```

図 7: Mediator 機能を使用したプログラム例

4.4 AshGroupPanel の役割

AshGroupPanel は、Swing/AWT の GroupLayout のレイアウト機能を利用したパネルである。Swing/AWT の GroupLayout のレイアウト機能は、水平方向と垂直方向に整列されたコンポーネントの管理を行うための強力なレイアウト機能をもっている。GroupLayout を利用するためには、水平方向と垂直方向の制約の記述をそれぞれ独立に行わない、両者を矛盾なく整合性をもたせて定義しなければならない。記述量も膨大になり、人間の手で誤りなくコーディ

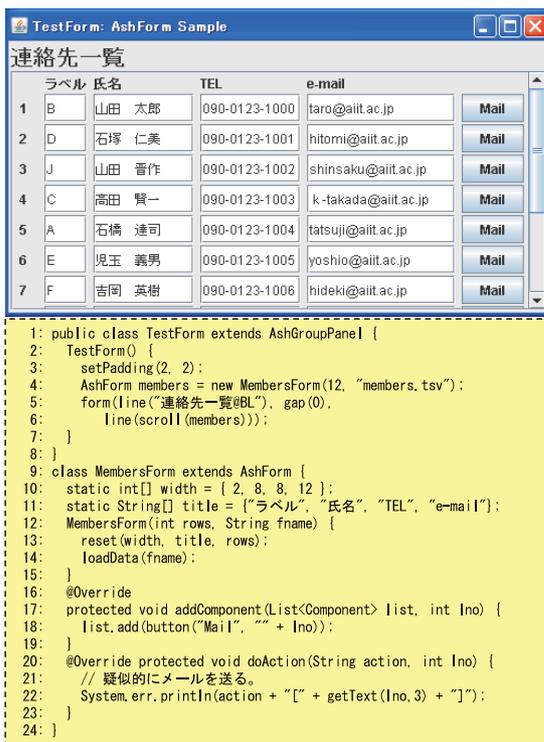
ングするのは困難を極める。

AshGroupPanel では GroupLayout のレイアウト機能を、line と sg の 2 個のメソッドで記述できる仕組みを実装した。line は水平方向の要素列を列挙し、sg はこの要素列をグループ化し一つの要素としてまとめる働きをする。設計対象のパネルの各行に対応して line を記述する。複数行の line の同じ順番にある要素は、同じ列に整列して配置される。

図 7 に示したログインパネルのプログラムでも GroupLayout を利用している。このプログラムは AshGroupPanel を拡張した LoginPanel クラスのコンストラクタで form メソッドを使用してレイアウトしている。AshPanel でグループレイアウトのパネルを生成するには、ファクトリメソッド group を使って form メソッドと同様の画面定義ができる。図 5 に示した個人情報登録プログラムはファクトリメソッド group を使用したプログラムの例である。

4.5 AshForm の役割

AshForm は GroupLayout を拡張した表形式のデータの入力・表示・操作・保存の機能を提供するクラスである。表の見出しや各列の相対サイズの設定、表のコンテンツの設定、表の各行に対するアプリケーション機能の組み込み等が可能である。図 8 に、連絡先一覧を表示しその一覧表に記載された相手にメール送信を行うプログラムの画面イメージとソースコードを示す。



```

1: public class TestForm extends AshGroupPanel {
2:     TestForm() {
3:         setPadding(2, 2);
4:         AshForm members = new MembersForm(12, "members.tsv");
5:         form(line("連絡先一覧@BL", gap(0),
6:             line(scroll(members))));
7:     }
8: }
9: class MembersForm extends AshForm {
10:     static int[] width = { 2, 8, 8, 12 };
11:     static String[] title = {"ラベル", "氏名", "TEL", "e-mail"};
12:     MembersForm(int rows, String fname) {
13:         reset(width, title, rows);
14:         loadData(fname);
15:     }
16:     @Override
17:     protected void addComponent(List<Component> list, int lno) {
18:         list.add(button("Mail", "" + lno));
19:     }
20:     @Override protected void doAction(String action, int lno) {
21:         // 疑似的にメールを送る。
22:         System.err.println(action + "[" + getText(lno, 3) + "]");
23:     }
24: }

```

図 8: AshForm を使用した連絡先一覧プログラム

以下ではこの例を使って AshForm の主な機能を説明する。AshForm では、表のコンテンツとして表示されるデータはあらかじめテキストファイルとして作成しておき、第 14 行目のように loadData(fname) メソッドで読み込むことができる。また、表の各行には、addComponent メソッドをオーバーライド定義することによってアプリケーション機能をもつコンポーネントを組み入れることができる。第 18 行目で“Mail”というラベルをもつボタンが追加され、このボタンが押下された時に実行されるアクションが第 20 行目から始まる doAction メソッドの中で記述されている。

この例が示すように、AshGroupLayout は整列化された形式をもつデータを扱う拡張性の高いコンポーネントの実現基盤を提供するものである。この例から、本 GUI ライブラリを拡張しアプリケーションの目的に応じて新たな複合コンポーネントの開発が比較的容易に行えることが分かった。

4.6 ラベル仕様

GUI 画面においても最も重要な情報の表現媒体は文字である。画面タイトルの表示や、各種表示項目の見出し、テキスト情報の表示等、表示する情報の内容に応じて多様なフォント種別、サイズ、スタイル、色を使い分けることが GUI 画面設計の中で大きな比重を占める。設計では複数の案を作り、その中から選択することになろう。ここで画面の最終イメージを容易に確認できることが望まれる。そのためには、画面表示部分を手早く作成できる簡潔な表記法が必要である。

GUI ライブラリで文字を表示するためには一般に Swing の JLabel のような文字列表示のコンポーネントを使用する。一つの文字表現を記述する場合、フォント種別、サイズ、スタイル、色等のプロパティを設定するために数行のコーディングを要するケースが多く発生する。

Ash の GUI ライブラリでは文字列表示を簡潔に記述できるように、パネル生成のファクトリメソッドと表示文字列のプロパティ設定について以下のように仕様を決定した。

- パネル生成のファクトリメソッドでパネルを構成するコンポーネントとして文字列が渡されたら、それをラベルとして扱いラベル生成メソッド label を適用する。
- 表示する文字列に続いて表示属性を記述する表記法(ラベル仕様)を導入する。

ラベル仕様の構文を以下に示す。

```

ラベル仕様 ::= 文字列 '@' スタイル* サイズ '%' フォント名
スタイル   ::= 'B' | 'I'
サイズ     ::= 'S' | 'M' | 'L' | 数字*
フォント名 ::= 文字列

```

それぞれ所定の特殊文字に続いてスタイル、サイズ、フォント名を指定する。スタイルで指定する文字の意味は、‘B’がボールド、‘I’がイタリックである。サイズで指定する文字‘S’、‘M’、‘L’はそれぞれ、小、中、大を意味する。サイズの指定はフォントのポイント数を直接指定することもできる。既定値で良ければ指定の必要はない。スタイルの既定値は標準体、サイズの既定値は中(14ポイント)である。

図8の第5行目に上述のラベル仕様に従って記述した例がある。ここでは表の見出しである「連絡先一覧」を‘@BL’で修飾し強調して表示するようにしてある。図10の第59行目にはサイズとフォント名を指定した例がある。

5 Ash GUI ライブラリの使用例

5.1 ソフトウェア教材の開発

筆者が担当している大学院修士課程の講義の教材として、酒屋問題や自動販売機問題[13]を題材に採用している。ここで分析モデルや設計モデルとしてだけでなく実際に動作するプログラムとして提示することを心がけた。この教材作成にAshを利用している。この教材はGUI画面を含むものである。

図9は自動販売機問題のクラス図と画面イメージを示す。クラス図や状態マシン図は分析・設計の段階で作成されるが、ユーザインタフェースを含む教材ではその画面イメージを設計の段階で用意すると理解しやすい。また設計仕様の具体的な検討を深めるときにも役に立つ。設計の結果を動作するプログラムとして記述することは、設計仕様がどのようにコードで表現されるかを学ぶ良い機会になる。しかしGUI部分のコーディングに過剰な負荷がかかるのは逆効果である。学習効果を高めるためには、適度なコーディング量で課題を解決できなければならない。

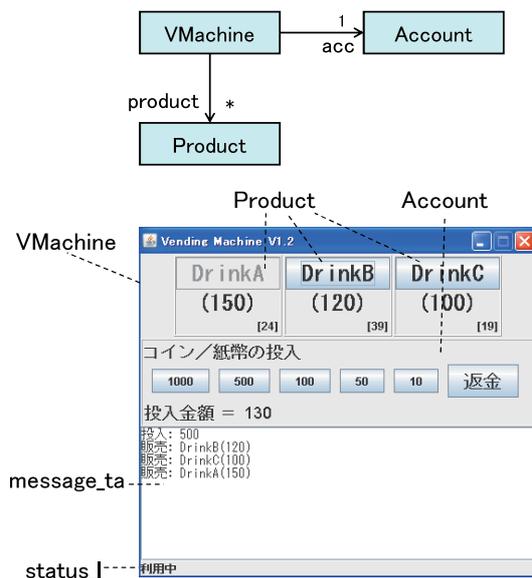


図9: 自動販売機問題のクラス図と画面イメージ

```

1: package gui;
2: import java.util.*;
3: import java.awt.event.*;
4: import javax.swing.*;
5: import ash.gui.core.AshBorderPanel;
6: import ash.gui.core.AshPanel;
7:
8: public class VMachine extends AshBorderPanel {
9:     public static void main(final String[] args) {
10:         JFrame frame = new JFrame("Vending Machine V0");
11:         frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
12:         frame.add(new VMachine());
13:         frame.pack();
14:         frame.setResizable(false);
15:         frame.setLocationRelativeTo(null);
16:         frame.setVisible(true);
17:     }
18:
19:     Account acc = new Account();
20:     List<Product> products = new ArrayList<Product>();
21:     JTextArea message_ta = textArea(10, 60);
22:     JLabel status_l = label("*****");
23:
24:     VMachine() {
25:         setNorth(pane(productsPanel(), acc.create()));
26:         setCenter(scroll(message_ta));
27:         setSouth(status_l);
28:         updateState();
29:     }
30:     private JPanel productsPanel() {
31:         Product p1 = new Product("DrinkA", 150, 25);
32:         Product p2 = new Product("DrinkB", 120, 40);
33:         Product p3 = new Product("DrinkC", 100, 20);
34:         products.add(p1);
35:         products.add(p2);
36:         products.add(p3);
37:         return flowC(p1.create(), p2.create(), p3.create());
38:     }
39:     public void updateState() {
40:         // 状態の変化を調整し画面上に反映させる。
41:     }
42: }
43:

```

```

44: class Product extends AshPanel implements ActionListener {
45:     private String name;
46:     private int price;
47:     private int inventories;
48:     private JLabel inventories_l;
49:
50:     public Product(String name, int price, int inventories) {
51:         this.name = name;
52:         this.price = price;
53:         this.inventories = inventories;
54:     }
55:     public JComponent create() {
56:         setActionListener(this);
57:         inventories_l = label("[ " + inventories + " ]");
58:         JPanel goods =
59:             pane(button(name+"@B24%MS Gothic"),
60:                 flowC("(" + price + ")@B24%MS Gothic",
61:                     flowR(inventories_l)));
62:         return border(goods);
63:     }
64:     @Override public void actionPerformed(ActionEvent e) {
65:         // 商品選択時の処理
66:     }
67: }
68:
69: class Account extends AshPanel implements ActionListener {
70:     private int remains;
71:     private JLabel remains_l;
72:     public JComponent create() {
73:         setActionListener(this);
74:         JPanel panel =
75:             pane("コイン／紙幣の投入@B18",
76:                 flowL(10, button("1000"), button("500"),
77:                     button("100"), button("50"), button("10"),
78:                     button("返金@B20")),
79:                 flowL("投入金額 = @B18", remains_l = label("0@18")));
80:         return border(panel);
81:     }
82:     @Override public void actionPerformed(ActionEvent e) {
83:         // コイン／紙幣の投入時の処理
84:     }
85: }

```

図10: 自動販売機問題のソースコード

AshのGUIライブラリを使った教材のソースコードを図10に示す。これは画面の表示に関する部分だけであり

80 行程度の規模である。自動販売機の機能を状態マシン図で記述し、機能の作り込みと各状態の遷移に伴う表示上の制御を組み込むと 120 行程度の規模になる。教材とし適度な規模に収めることができたと考えている。

この例は `AshBorderPanel` を拡張して実現している。第 24 行目のコンストラクタの中で、`BorderLayout` の上部 (North) に商品パネルと金銭管理 (Account) のパネルを `pane` で組合せた本体機能を、中央部 (Center) に自動販売機の動作をトレースするためのメッセージ表示用テキストエリアを、下部 (South) に自動販売機の状態を表示するラベルを、それぞれ設定している。pane は図 3 に示すように `BorderLayout` の一種であり、リサイズの際に縦方向のリサイズの影響を受けないようになっている。

5.2 特定アプリケーション用の GUI フレームワーク

これまで、いくつかの研究的なソフトウェア開発に本 GUI ライブラリを使用してきた。その中にはデータベース管理用のモニタシステム、ロボットアプリケーション用の擬似画面 [14][15]、HTTP ベースで双方向の対話処理を行う通信基盤ソフトウェアのテストツールがある。これらのソフトウェアの特徴は、いくつかの基本的な共通機能の組合せによって実現されているという点である。このようなコンポーネントベースのソフトウェア開発の例として、双方向通信基盤ソフトウェアへの適用例を紹介する。

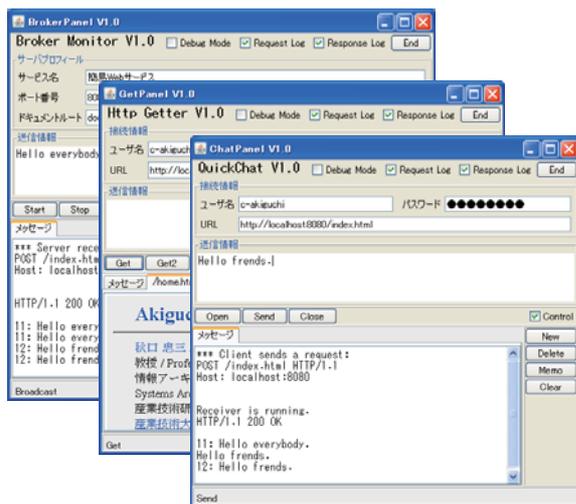


図 11: 双方向通信基盤のテスト環境

図 11 に、双方向通信基盤ソフトウェアのテスト用に作成したブローカと、ブローカに接続して動作している簡易 Web ブラウザ、チャットツールの各画面を示す。双方向通信基盤は、ブローカというサービスの仲介機能をもつサーバを介して各種のサービス提供クライアントとサービス利用クライアントが双方向通信を行うものである。ここでブローカと各種クライアントはいずれも多くの共通的な機能をもっており、ユーザインタフェース部分も共通する要素

が多い。本 GUI ライブラリを利用することによって、すべての通信コンポーネントに共通のベースクラスを作り、これを拡張して GUI 付の各種の通信コンポーネントを容易に実現することができた。

ネットワークを介して通信する複数のプロセスの動作確認は一般に困難が多く発生すると思われる。これらのプロセスにそれぞれ独立した GUI 画面を付加することによって、単一マシン上で、各プロセス間の連携した動作を確認できるので、このような分野のソフトウェア開発におけるテスト環境を構築するツールとしても有効であることを確認できた。

5.3 ダイアログ生成コマンド

Ash ではソフトウェア開発で有効性が実証された各種コマンドとこれらをパイプで連結して複合した機能を実現できる枠組みを提供している [1]。これらのコマンドはコマンドラインからの入力またはスクリプトで利用される。多くのパラメータをもつコマンドでは、これらのパラメータを対話的に指定できると使いやすさが向上する。

```
1: # dialog.ash
2: ADDRESS = 〒140-0011 東京都品川区東大井1-10-40
3: EMAIL = t-yamada@ait.ac.jp
4: COMMAND = 'echo "NAME (TEL/EMAIL) SEX [PHASE/LANG]"'
5:
6: dialog! 'ソフトウェア技術者登録画面' ¥
7: NAME: 氏名@field%60=山田たかし ¥
8: ADDRESS: 住所 ¥
9: TEL: 電話番号=03-3472-7831 ¥
10: EMAIL: 電子メール ¥
11: DATE: 登録日付='date' ¥
12: SEX: 性別@radio%男性%女性 ¥
13: PHASE: 経験@checkbox%分析%設計%実装%テスト%展開 ¥
14: LANG: 使用言語@combobox%Java%Ruby%Scala%Scheme ¥
15: MEMO: メモ@textarea%5%60='cat memo.txt' ¥
16: BUTTON: ''@button' 出力(E)'@$COMMAND
17:
```

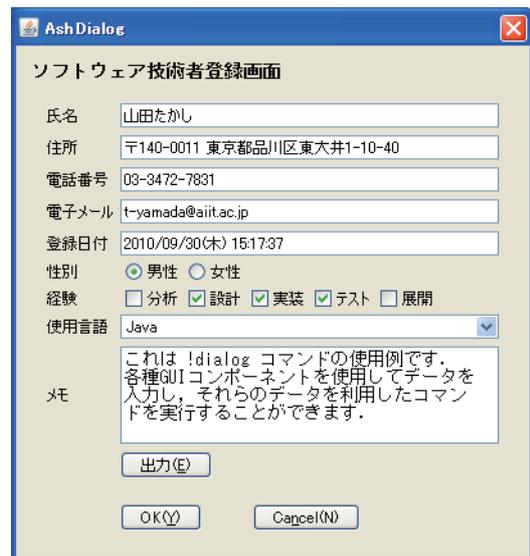


図 12: dialog! コマンドの使用例

そこで、Ash の GUI ライブラリを利用して GUI 画面を生成し、ユーザとの対話によって設定されたデータをパラ

メータとして参照できるダイアログ生成コマンド `dialog!` を開発した。ダイアログ生成コマンドの使用例を図 12 に示す。ダイアログ生成コマンドは図 3 に示す 11 種類のプリミティブなコンポーネントを `GroupLayout` を使ってレイアウトした GUI 画面を生成し、“OK” と “Cancel” のボタンを最下部に付け加えた固定レイアウトのモーダルダイアログを生成する。OK ボタンを押すとこのコマンドは正常終了となり設定したパラメータがスクリプトで参照可能となる。Cancel ボタン押すと異常終了となりスクリプトは終了する。

ダイアログ生成コマンドは、簡易な GUI 記述言語の機能を提供している。以下にその構文を示す。

```
ダイアログ ::= 'dialog!' 画面タイトル 項目仕様*
項目仕様  ::= 変数名 ':' 項目名 '@' コンポーネント '=' 初期値
コンポーネント ::= コンポーネント型 パラメータ*
コンポーネント型 ::= 'button' | 'check' | 'radio' |
                    'combobox' | 'listbox' | 'fchooser' | 'dchooser' |
                    'field' | 'password' | 'textarea'
パラメータ ::= '%' '@'? 文字列
```

6 Ash GUI ライブラリの実用性評価

本節では、Ash GUI ライブラリの実用性と有効性を 6 つの観点から評価する。

6.1 記述量

できるだけ少ない記述量で GUI 画面を作成できることが開発当初からの目標であった。Swing/AWT を使って作成した場合と比べて記述量は大幅に削減できた。特に `GroupLayout` のように複雑なコーディングを必要とする画面の作成でその効果は顕著であった。例えば図 5 の個人情報登録プログラムでは、記述量が約 1/4(25LOC/101LOC) に削減された。記述量が削減できた理由は、レイアウト記述、コンポーネント生成、ユーザ操作に関連する振舞いの記述の簡素化によるものである。

6.2 有用性

Ash の中で、文字列検索やサーチパラメータの指定、ファイル同期ツールなど、多くのパラメータの参照と設定を伴う対話処理は本 GUI ライブラリを使って開発した。

GUI 画面の設計は、概略のスケッチを紙に書いた後、その概略スケッチをソースコード中にコメントとして書き込む。この概略スケッチから本ライブラリを使用してほぼ支障なくコーディングすることができる。概略スケッチに書かれた GUI 画面に表示される文言は、そのままプリミティブな GUI コンポーネントの記述に取り込める。またレイアウトは、その論理構造を直接パネル記述のコードに変換することができる。最初のバージョンのコーディングが完了

したら、実際に実行し GUI 画面を表示して確認を行い、必要ならばレイアウトの微調整を行う。——このような開発サイクルを Ash の開発環境の中で無理なく回す事ができた。

簡単な対話処理ならばダイアログ生成コマンドを使い短時間で有用なツールを作成することができる。ソフトウェア開発の作業を効率化するために、作業内容に応じて使い捨て可能なツールを手軽に作れることは開発プロセスの効率化に役立つと考えられる。Ash のプロセス支援環境の開発でも、ダイアログ生成コマンドを使って、数行から数十行のスクリプトで有用な対話型ツールを作成することができた [2]。

6.3 保守性

GUI ライブラリを利用した GUI アプリケーションのソフトウェア構造は図 7 でも示したように、パネルを構成するコンポーネントの生成とレイアウトの処理、コールバック処理、メディエーション処理の 3 個の部分に分割できる。パネルというある程度大きな意味的かつ機能的なスパンをもつ単位で木構造を破壊することなく記述できるので、高いモジュール性を実現できる。これをより大きな GUI 付機能部品として利用することができる。このことから保守性に優れたコンポーネントの開発を促進できるものと考えられる。

6.4 拡張性

新たなプリミティブコンポーネントの組み込みは、`AshPanel` を拡張しその中にそのコンポーネントを生成するファクトリメソッドを定義することによって可能である。また既存のコンポーネントに対して新しいプロパティ設定が必要になった場合も、同様に拡張クラスの中で新たなファクトリメソッドを定義することで対応できる。`AshForm` と同様な方法で、`AshPanel` や `AshGroupPanel` を拡張することによって、アプリケーション独自のレイアウト機能を持つパネルコンポーネントを作ることも比較的容易に行える。このように本 GUI ライブラリは十分な拡張性があると考えられる。

6.5 再利用性

基本的な機能とそれに対応する GUI 画面とを一つのコンポーネントとして作成し、これらのコンポーネントを使って各種目的に応じて複合した機能を実現することが、本 GUI ライブラリを使ってやりやすくなった。基本的な機能はそれぞれ対応する GUI 画面要素をもつ。基本機能とその基本機能を人間が操作する GUI 画面要素が一体となって、一つの部品を構成する。これらの部品を使って上位の GUI 付の複合部品が構成される。このような再利用指向のソフトウェア開発に本 GUI ライブラリは適合しているといえる。

図 10 に示す自動販売機の例では、自動販売機全体が複数の商品 (Product) と一つの金銭管理 (Account) から構成されている。それぞれが独立性の高い GUI 付の部品として構成されており、部品化されたソフトウェア開発の最も初歩的な例といえるであろう。

6.6 性能

本 GUI ライブラリの性能は Swing/AWT の性能に依存する。オーバーヘッドはほとんど無いので、Swing/AWT が適用できる領域で性能上の問題は無いと考えられる。

7 むすび

本稿では、Ash GUI ライブラリの設計の考え方と実装方式、適用事例を示し、実用性と有効性に関する評価を行った。利用目的を限定し、コンパクトで拡張性の高いシンプルなアーキテクチャを目指した。その結果、ソフトウェア開発プロセスの支援ツールや探索的なプログラミングにおいて、実用性の高い GUI ライブラリが実現できたと考えている。

本ライブラリは、ソフトウェア設計とプログラミングの教育のための教材の開発や探索的なソフトウェア開発で利用し、段階的に改良を重ねている。限られた開発リソースの中で実用的な製品となるように開発を進めた。そのために、仕様を制限し、実装の負荷を軽減した箇所もある。今後適宜改良を施していきたい。今後の課題として、以下の点の改善があげられる。

- コンポーネントの品揃えの充実

図 3 では、現在の GUI ライブラリで対応している GUI コンポーネントの種類を示した。Swing/AWT ではこれ以外にも数多くのコンポーネントを提供している。現在未対応のコンポーネントを利用するためには、AshPanel を拡張し、対応するファクトリメソッドを追加すれば良い。未対応のプロパティを設定したい場合も同じ方法で対応できる。汎用性の高いコンポーネントの追加は AshPanel の強化で対応する予定である。

- スタイルの記述

一つのアプリケーションの見栄えを統一化するための仕組みとして、表示に関する共通属性を HTML のスタイルシートのように定義し、それをすべての GUI 画面に適用する機能があるとよい。これはアスペクトの一種と考えられる。AshPanel の中に依存性注入の仕組みを導入することで対応することを検討している。

- ライブラリの記述性の向上

本 GUI ライブラリは Java 言語のクラスライブラ

リとして実装した。可変個引数をもつメソッドを利用するなど画面記述言語に近い記述性を得るための工夫をしたが、可読性に関しては改善の余地があると考えている。Scala[16] のような言語を使用すれば、ライブラリとして使用する場合でも可読性を向上させるライブラリの設計が可能である。Scala には Swing 用のライブラリが提供されており、これは一種の GUI 画面記述用のドメイン固有言語 (Domain-Specific Language) になっている。本稿で述べたライブラリ機能は、このライブラリ機能をさらに記述力の豊かなものにできると考えている。

- GUI 画面記述言語の改良

本稿で述べたダイアログ生成コマンドは簡易な GUI 画面記述言語と考えられるが、レイアウト記述が限定されている。また記述量は少なくてすむが可読性は低い。使い捨ての対話型ツールを作成するには適しているが、多くの機能をもち保守性に優れたアプリケーションの記述には不向きである。各種レイアウト記述が可能で可読性の高い記述言語が求められる。

- GUI ビルダの提供

GUI ライブラリの使用に熟達してくると、第 6.2 節で述べたように、概略スケッチからのコーディングでもほとんど不便を感じないが、初心者にとっては利用容易性の向上を図る上で GUI ビルダは有効である。本ライブラリの保守性や拡張性、再利用性等の特徴を損なうことなく利用できる GUI ビルダを検討していきたい。

最後に現状の開発規模について概要を紹介しておきたい。本 GUI ライブラリは ash.gui.core のパッケージに含まれる。このパッケージの内容を表 1 に示す。本稿で紹介した内容は、この中の AshPanel, AshBorderPanel, AshGroupPanel, AshForm, AshFont, AshFileChooser, AshDialog であり、約 1.4KLOC の規模である。なお Ash の全体の規模は、17 パッケージ、175 ファイル、22.35KLOC となっている。

表 1: GUI ライブラリの規模

No.	行数	LOC	コメント	ファイル名
1	32	27	3	AshBorderPanel.java
2	394	332	55	AshDialog.java
3	47	45	1	AshFileChooser.java
4	97	80	13	AshFont.java
5	246	183	51	AshForm.java
6	306	201	97	AshGroupPanel.java
7	164	132	25	AshGUI.java
8	264	162	88	AshGUIFrame.java
9	8	5	3	AshIMenu.java
10	69	59	8	AshMenu.java
11	654	532	96	AshPanel.java
12	98	89	6	AshPopupMenu.java
13	42	34	7	AshToolBar.java
合計	2,421	1,881	453	

参考文献

- [1] 秋口忠三, “教育用ソフトウェア開発環境基盤の試作,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 1, pp. 111–119, 2007.
- [2] 秋口忠三, “ソフトウェアプロセス支援環境の試作と評価,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 3, pp. 1–12, 2010.
- [3] 大谷和利, “GUI の起源と進化の概略,” 情報の科学と技術, Vol.49, No.12, 情報科学技術協会, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110002829603/>, 1999.
- [4] “Java Platform, Standard Edition 6 API 仕様,” <http://java.sun.com/javase/ja/6/docs/ja/api/>
- [5] “JSR 296 Swing Application Framework,” <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=296>
- [6] Erich Gamma and Kent Beck, Eclipse プラグイン開発 デザインパターン × テスト駆動開発, ソフトバンクパブリッシング, 2004.
- [7] “Android 2.2 Platform” <http://developer.android.com/sdk/android-2.2.html>
- [8] “JavaFX Script,” <http://javafx.com/>
- [9] “Visual Editor Project,” <http://www.eclipse.org/vep/>
- [10] “Swing GUI ビルド,” <http://netbeans.org/features/java/swing.html>
- [11] Erich Gamma, et.al., オブジェクト指向における再利用のためのデザインパターン, ソフトバンクパブリッシング, 1999.
- [12] Michael Jacson, ソフトウェア要求と仕様, 株式会社新紀元社, 2004.
- [13] 玉井哲雄, ソフトウェア工学の基礎, 岩波書店, 2004.
- [14] 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.
- [15] 成田雅彦, 村川賀彦, 植木美和, 岡林桂樹, 秋口忠三, 日浦亮太, 蔵田英之, 加藤由花, “インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi(Robot Service Initiative) の取り組み,” 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 7, 2010.
- [16] “Scala,” <http://www.scala-lang.org/>

複合プライバシーを考慮したセキュアな 道路コンテキストサービスのシステム構想

嶋田 茂*

System Concept of Secure Road Context Services By Considering Complex Privacy

Shigeru Shimada*

Abstract

Propose architecture of the context-oriented video service system, which consist of construction of archives and databases for a large amount of sensor data taken with vehicle of cruising roads and selection by optional spatio-temporal terms. Especially, high-speed stream data processing is necessary for the video archive, and shows findings of the mode of processing are shown. And moreover, privacy breaches problem caused by context awareness will be decreased by considering a new concept of complex privacy quantification and measurement.

Keywords: Context-oriented video service, Stream data processing, Context Awareness, Privacy quantification and measurement, Privacy Breaches

1 はじめに

1.1 スマートグリッドにおける電気自動車

太陽光や風水力、バイオマス等に代表される分散エネルギーを、情報通信技術を利用して効率的に需要と供給のバランスをとり、電力の安定供給を行うスマートグリッドが検討され始めて久しいが、この中で最近特に注目されているエネルギー源として、一般の各家庭における個別の太陽光発電がある。特に最近では、各国の景気対策に相まって、太陽光発電の余剰電力の買い取り制度（太陽光サーチャージ）[1]や、太陽光発電システムの設置補助金制度等[2]による太陽光発電の推奨策が功を奏して、急速な普及が始まっている。

このようなスマートグリッドの普及により、そこで得られる電気エネルギーの使い方に関する新たなトレンドが表れている。化石燃料の代替えとしての電気自動車のニーズがこのスマートグリッド普及策に適合して、マイカーのエネルギー源が各家庭で生成される電気エネルギーを主に利用する考え方にあり、各マイカーは各家庭のガレージに駐車している間に充電を行い、走行に備える考え方である。このような状況においては、各家庭のガレージに駐車して停止している車両であっても通電状況下にすることができるため、車両に装備されている各種の装置をいつでも作動できるようなスタンバイ状態や又は作動状態におくことができる。これによって、例えばリビングルームで家族と一緒に立てた旅行計画情報を乗車前にカーナビに送っておき、すぐに案内を開始できるよう準備し

たり、乗車前にエアコンを動作させて、冬の寒い時期には車内をあらかじめ暖めておいたり、逆に暑い時期には冷房したりすることが可能となる。

1.2 車載カメラを用いた車両周辺の監視

最近の車両には、衝突防止や駐車アシストのために複数台の車載カメラが装備されることが多くなり、特にSUV(Sports Utility Vehicle)やミニバン等の大型車両には、前後左右を映すことが可能な合計4台の車載カメラを標準装備するケースが増えている。このような車載カメラは、スマートグリッド環境下において家庭のガレージに駐車している時にも作動させることができるため、駐車車両自体を監視カメラの代わりにして、車両周辺の状況を撮影したビデオプローブを蓄積し、他ユーザに向けてサービスする試みがある。そのサービス応用例として、街のモニタリングや、車両周辺の異常検出による警報サービス等が提案されている[3]。

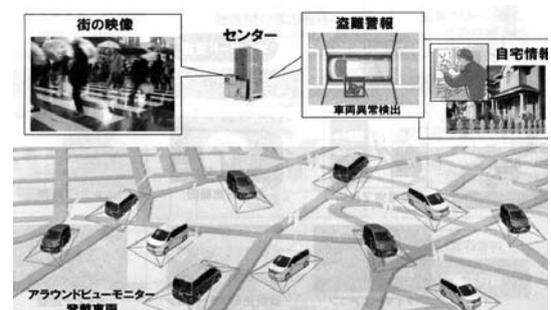


図1: 車載カメラビデオプローブ

情報処理学会 高度交通システム 2010 シンポジウム予稿集より

Received on September 25, 2010

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

この車載カメラによる撮影とビデオアーカイブ化は、車両が走行している時にも有効であり、車載カメラのビデオだけでなく、加速度センサや姿勢センサの状況と関連付けた運転の安全診断や、撮影された車載カメラビデオを共有することによる道路コンテキストの提供サービス等が新たに考えられる。類似のサービスとして、Google社のStreet Viewがあり、計測車両の車載カメラで撮影した画像をアーカイブして、一般ユーザからは、位置情報を地図と関連付けて提供される。このStreet Viewで提供されるのは、ビデオではなく静止画像ではあるが、360度パノラマ視を可能とするもので、より臨場感のあるコンテキストを提供している[4]。

本研究は、このような車載カメラで撮影されるビデオを用いた道路コンテキストのサービスに着目し、そのシステム実現上の問題となる各種の課題の整理と、特にその中で最も深刻な問題となるプライバシーの保護方式とそれを用いたセキュアなコンテキスト提供システムの実現方式の検討結果について報告する。

2 道路コンテキスト

2.1 道路コンテキストの定義

一般にコンテキストとは、情報の背景、前後関係、文脈など、物理的には認識できなくとも、主観的に理解されるものを指す。従ってこのコンテキストを得るためには、多くの場合、従来の文書やビデオ等のコンテンツに加え、そのコンテンツの特性(取得属性や有効な対象等)や、時間や空間及び音声等の付帯的な情報との密接な関係を与えることが行われる。従って、コンテキストは汎用的なものというよりは、その特性や付帯的な情報を考慮した環境下で有効なものと考えられる。

道路に即していえば単純に道路ビデオを自動車ユーザに提示することにとどまらず、位置や時間を条件にした「気づき」(awareness)の機会を与える情報と呼ぶことができる。従って道路コンテキストは、「道路にある各種のセンサをから取得されるデータを統合した情報」と定義される。この場合に考えられるセンサ類としては、道路に設置される監視カメラ・車両検知センサ・速度計等の静的センサ群と、道路を走行する車両の装備する車載カメラ・GPS・加速度・姿勢等の動的センサ群とがある。

次に、この道路コンテキストを用いたサービスについて考える。特に前述の道路走行車両から提供される動的センサ群から提供されるデータをUGC(User Generated Contents)形式で収集してアーカイブ・データベース化し、それらの履歴のデータベースからメタデータベースが構築できれば次のような各種のコンテキストサービスが提供できると考えられる。

コンシューマ向けサービス

- ・街の状況サービス…街区の風景ビデオからその時点で

の状況を提示する

- ・旅行雑誌の風景ビデオ提供…電子書籍の一部の記事に風景ビデオを提供
- ・老人・子供の見守りサービス…風景ビデオから老人や子供の状況を把握

自動車ドライバーサービス

- ・運転診断…ドライブログとしてセンサ履歴と危険度との相関を診断
- ・事故調査・診断…事故が発生した前後の挙動をセンサ履歴から提供・診断
- ・渋滞状況サービス…渋滞が発生している先頭の状況等をビデオで提供

ビジネス向けサービス

- ・事故調査・査定支援…事故発生前後の周囲状況のビデオを提供し、損害査定
- ・不動産物件状況サービス…対象となる不動産物件周辺の状況をビデオで提供

このように道路コンテキストは、社会的要請から生まれ発達した道路ビデオ技術から派生したものであり、一般的なUGC形式の、いわゆるライフログ等のコンテンツとは異なった、新たな切り口から有用性・有益性の高い情報サービスを生み出すことが期待される

2.2 電子雑誌への道路コンテキストサービス

道路コンテキスト自体の抽象的な定義の議論だけでは分かりにくいので、具体的な情報サービスシステムとしての道路コンテキストの位置づけを考えることにする。現在、多数の携帯情報端末が市場に出回っているが、それらを電子書籍として利用する動きが活発となっている。特に昨今話題となっているタブレット型デバイスには、形状が従来のパソコンや携帯電話とは異なるだけではなく、モバイル環境下で電子書籍を読むといった新たな利用シーンを創出するという点で、大きな期待が寄せられている。電子雑誌といえば、現時点では既存の紙媒体をそのまま電子化し、端末の画面上で読むことができるという単純なものが依然目立つが、記事をビデオ化し、タッチパネル等のポインティングデバイスを用いてインタラクティブに操作できるなど、マルチメディアとしての特性を生かす試みも始まりつつある[5]。

例えば車両内で旅行雑誌の1コマにある観光スポットの現在の状況をビデオで確認したり、あるいは観光スポットまでの道のりの状況を車載カメラで撮影したビデオで確認したりといったコンテキストサービスが考えられる。この場合、単独のビデオといったコンテンツではなく、その位置と時間情報、および気温や湿度等の環境情報との関連性加わることによるコンテキスト化が行われるもので、これから目指す観光スポットへのアプローチ方法の注意点や、推奨となる撮影地点と方角など、行動支援に結びつくようなサービスができることにある。そこで本研究では、この道路



図2: iPadによる旅行雑誌の閲覧例

コンテキストをタブレット型デバイスでの旅行雑誌の検索処理における一部の記事として提供するサービスを考えることにする。即ち図2に示すように、旅行雑誌の一部の観光スポット記事をタップすると、その付近の地図が表示され、現在位置からそのスポット位置までの経路と、それに沿って撮影されたビデオが、タップする指の動きに同期して表示することにより、目標とするスポット位置に到達するまでの経路上に存在するサブスポットの状況や混雑状況及びスポット付近の現在の状況等が容易に把握できるようなサービスを考えることにする。

3 サービス実現に向けた課題と解決方針

3.1 サービスシステムのデータベース構成

今回は、この道路コンテキストをタブレット型デバイスへインタラクティブにサービスするシステムの構築を目指し、そのシステムを実現させる上での各種課題とその解決方針を検討することを目標とする。特にUGC形式で多量の車両センサーデータがサービスセンターに寄せられるので、データ収集から配信ビデオ登録までの高速データベース化が要求される。そこで、ビデオデータベースの自動構築方式を中心にした検討内容について説明する。まず全体のシステムにおける構成の中で、データベース系のコンポーネントに着目すると、図3に示すように 1)最新ビデオデータベース、2)ビデオログデータベース、3)メタデータベースの3つの部分で構成する。

特にこの場合、最新ビデオデータベースとビデオログデータベースとに区別しているのは、次のような理由がある。

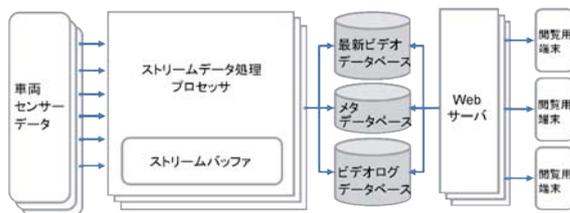


図3: サービスシステムの全体構成

車載カメラから撮影されるビデオデータには、状況を把握するためのコンテキストが最も多く含まれると考えられるので、できるだけ最新のビデオデータをクライアントとなるタブレット型デバイスへ提供する必要がある。しかもこの場合のデータベースのアクセスは一時的であり、トランザクション数はかなりの数に上ると予想される。

一方、事故の原因解析等の過去のビデオデータを要求するユーザは、最新のビデオデータを求めるユーザに比べかなり限定され、しかもそのトランザクションは長期に及ぶと予想される。従って、このようなトランザクションの特性が異なる場合には、データベースは別に分ける必要があると判断した。以下これらの中で、主要なコンポーネントについて説明する。

3.2 最新ビデオデータベース

可能な限り最新のビデオを提供する機能を実現するため、即時性が要求されるような情報処理系となり、ストリームデータ処理の活用が有効と考えられる。この場合、道路コンテキストサービスにおいて、ある経路上で、可能な限り最新なビデオを閲覧できるようにしたいとすると、高速に検索可能な形式のデータベースに格納する処理が必要となる。この場合、単純にデータストレージへ一旦蓄積した後にデータベース構築を行うのでは、検索可能となるまでに長い時間を要することになり、多量のサービス要求に対応できないことになる。そこで、車両センサーから提供されるデータをできるだけリアルタイムに処理することが求められる。

その方法は、新たにアップロードされた車両センサーデータを対象に、ストリームデータ処理を行い、最新ビデオとしての条件に適ったデータレコードだけを選択して、最新ビデオデータベースに登録する。この場合のストリームデータ処理としては、ビデオフレームとしての画像に含まれる画像特徴の認識から、画像特性を示す属性データを抽出し、それに加えて同時に計測されるセンサーデータ(位置情報及び時間情報等)を用いて、既に登録されているビデオデータレコードと置き換え可能かどうかの判断を行うような処理内容とする。なお、このストリームデータ処理の詳細は、後段にて説明する。

3.3 ビデオログデータベースの構築

ビデオログデータベースは、即時性を要求されないデータ処理系のためのデータベースの位置づけで、解析処理に長時間必要とするが、有用なコンテキストを提示できるようなデータを抽出する負荷の重い処理となる。この場合必要となるのは、並列に負荷分散実行可能な分散処理フレームワークであり、大規模なデータ処理系のスケールアウト技術が必要となる。

最新ビデオとして採用されないビデオストリームは、別途、ビデオログデータベースとしてアーカイブに蓄積される。これらはバックグラウンドで各種属性データを用いたデータマイ

ニングが施され、メタデータが抽出される。そして、特定条件（天候、時間帯等）のビデオの検索機能や、リコメンドビデオ（見晴らしの良い風景等）の提供などに役立てられる。またここでは、分散処理フレームワーク(MapReduce [6]等)の活用を行い、増大するデータに対するバッチ処理のスケールアウトを容易にするような処理系を導入する。

3.4 クライアント-サーバ間のデータ送受信方式

端末で撮影したビデオを、無線通信を経由してサーバに送信する場合、サービス提供にふさわしい安全性や速度を確保した送受信方法が必要となる。無線通信端末でビデオをサーバにアップロードする場合の通信プロトコルとして、FTPとHTTPSが考えられる。一般的にはFTPで認証とファイル転送を行うことにより、高速な通信を行うことが可能であるが、データの秘匿性は確保されない。

一方、HTTPSを用いる方法では認証をセキュアに行うことができるが、暗号化処理に要する時間と、暗号化によるデータ量の増加に伴う通信時間の増大に注意を払う必要がある。現実的にはデータ秘匿と通信の高速性のバランスをとり、認証のみHTTPSを用いる方法が妥当と考えられる。

3.5 ビデオデータの蓄積・再生方式

ビデオ撮影時のファイル形式には2通りの方法がある。ひとつは、最初から.mov等の形式でビデオファイルとして撮影する方法、2つめは.jpg形式等の静止画像を連続撮影して結合する方法である。

前者はデータ圧縮率が高く、ファイルサイズの縮減に効果があるが、サーバ側で静止画像を切り出した場合、鮮明な画像を得ることが難しい。他方、後者の場合は撮影したデータをいったん結合する処理が必要となるが、再分割後の画質の劣化はみられない。

車載カメラに見立てたスマートフォンから3G回線経由でビデオデータのアップロード実験を行った結果、ビデオピクセル数(dpi)および1秒あたりのフレーム数(fps)を調整すれば、いずれの方法でも問題なく行うことができることを確認した。このことから、ビデオ形式選択の際に考慮すべきファクターとしては、通信条件や機器およびソフトウェアの処理能力もさることながら、システムが提供するサービス条件を重視することが適切といえる。例えば道路上を走行して撮影されたビデオについて、閲覧用タブレット端末のタッチパネル操作を生かし、任意の地点で静止させたり、コマ送り/コマ戻しを可能にしたりするという要件が求められるのであれば、後者の静止画像結合方式を採用するのが妥当といえる。

3.6 ユーザ端末へのビデオ表示方式

本研究の目標とするビデオ表示機能としては、ユーザが指定した条件(例えば起点から終点までの経路上、および時間など)に適合したビデオデータがサーバからダウンロードされ、

クライアント上でビデオとして表示される。このシステムが従来のビデオ提供システムと大きく異なるのは、ユーザのリクエスト操作に応じてインタラクティブにビデオフレームを提供できるという点にある。即ち、クライアント端末画面の画面上に表示された電子地図の座標や、またタッチパネル上でユーザが行うタップ等の操作に合わせ、ビデオの再生を自在に止めたり戻したりできるというサービス仕様を実現するには、単純にビデオフレームをつなぎあわせて連続したビデオデータ化を行うだけでは要件を満たすことができない。一部のビデオフォーマットではXML形式のヘッダファイルに各コマの関連情報を持たせることもできるが、汎用性が低いとともに、ビデオを生成する処理がサーバに負荷をかけるため採用は難しい。その点では、連続したビデオフレームをファイルとしてまとめて出力する方法が適当であるが、必要なファイルすべてが欠けることなく配信されなければ、ビデオとして再生した際にコマ切れが発生し、なめらかな表示を実現することができない。

そこで、Webブラウザをベースとして考える場合、Ajaxによる非同期通信により、経路上にあるビデオファイルをまとめて先読みして取得し、JavaScript、CSS(スタイルシート)、HTML5といったWebブラウザがサポートする技術を活用して切り替え表示を行うことにより対応した。

3.7 ビデオ配信上のプライバシー保護の問題

道路といった公共の位置での撮影とはいえ、車載カメラから撮影されるビデオには、多くのプライバシーに関連するオブジェクトが撮影されている。したがって、これらのビデオを一般ユーザに公開するようなサービスを行う場合には、プライバシーに該当する機微なデータが一般ユーザに配信されないような保護対策が必要となる。

類似のケースとして、既にサービスが開始されているGoogle社のStreet Viewでは、このプライバシーの保護策として、個人同定の可能性がある顔画像にぼかしを入れたり、車両が同定されるような車番画像の文字が読めないようにぼかしを入れたりするような対策が行われている外、更に個人からの指摘により、一部の不都合なシーンの公開拒否ができるような対策が行われている[7]。

しかし今回提案の道路コンテキストサービスでは、画像よりもリアリティーの高いビデオを配信することになるため、これらのプライバシーの問題はさらに深刻となることが予想される。特に画像・ビデオといった視覚的に明確に見えるようなプライバシー対象だけでなく、その撮影位置がどのような状況にある場所なのか、その撮影時刻にはその位置においてどのようなことが問題となるのかなどの、時空間属性や社会的背景等のプライバシーに関するより深い状況を考える必要がある。この課題に関しては、複合プライバシー保護を考えることにし、解決方針の詳細は第5章にて説明する。

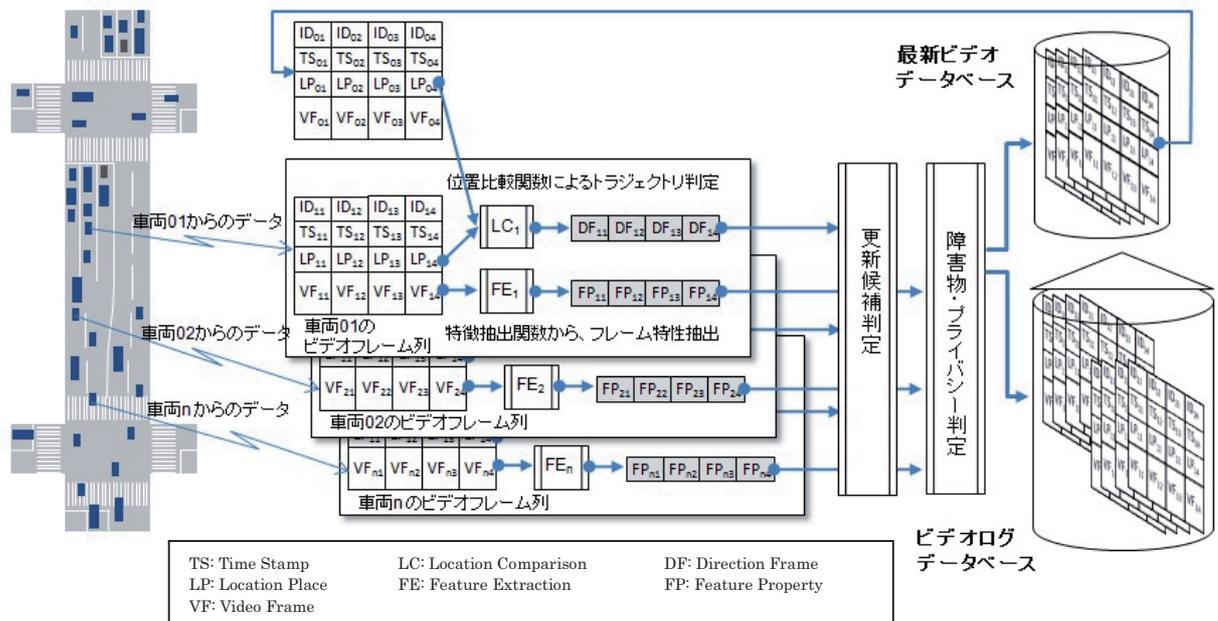


図4: ストリームデータ処理フロー

4 ビデオストリーム処理方式

前段までにまとめたサービス実現上の課題の中で、特に3.2節の最新ビデオデータベースから3.3節のビデオログデータベースまでのデータベース構築の処理系に注目して、そこで行われる処理内容について、より詳細に説明する。

4.1 ビデオストリーム処理フロー

ビデオストリーム処理では、

- 1) ビデオフレームのメタ情報取得
- 2) 位置比較関数によるトラジェクトリ判定
- 3) ビデオフレーム特徴判定
- 4) 該当ビデオを最新ビデオデータベースに収納

の処理ステップをメインメモリ上で高速に行う。各ステップの処理内容は以下の通りであり、連続的に入力されるビデオフレームに対応した処理系となっている。

ビデオフレームのメタ情報取得

この処理では、サーバが受信したビデオファイルをフレーム(画像)単位に分割し、各フレームに対応するメタデータとの関連づけを行う。図4において、例えば車両01からサーバに送信されてきたビデオをビデオフレームVF₁₁, VF₁₂, VF₁₃, VF₁₄...に分割し、それらに対応するLP(Location Place:位置情報), TS(Time Stamp:日時情報), ID(ビデオID)と関係付ける。

位置比較によるトラジェクトリ判定

これは、撮影されたビデオが道路上のいずれの車線をどのように走行したかを確認するための処理である。走行した車両のトラジェクトリと車線の位置情報と照合し、その車両がどの車線を走行していたかを判定する。この判定をLC(Location Comparison)関数と呼ぶことにする。その判定

方法は最小誤差フィッティングアルゴリズム[8]により、ある一定の経路内で車線変更をした可能性のある車両を判定し、どちらの車線のビデオとみなすかを決定する。以上の方法で車線を特定後、過去の同じ経路のビデオVF₀₁, VF₀₂, VF₀₃, VF₀₄,...を検索し、それらが存在すれば、置き換え対象とみなし、VF₁₁, VF₁₂, VF₁₃, VF₁₄,...を最新画像アーカイブに登録する。

ビデオフレーム特徴判定

ストリームデータ処理では、最新ビデオとして更新候補になるかどうかの判定に引き続き、障害物またはプライバシー保護対象となるかどうか判定を行う。この後段の判定を行うためには、各ビデオフレームに対してFE(Feature Extraction)関数により画像の特徴抽出を行い、障害物またはプライバシー保護対象となりうるかどうかの特徴量計算を行う。障害物の特徴抽出の例として、車載カメラのすぐ前方に大型トラックが走行している場合を考えると、ビデオフレームにはトラック車映が景色を覆い隠すような画像が含まれ、トラック背後の巨大な箱状の垂直平面を持った車両特徴が抽出される。また歩行者の顔や車番・表札等、プライバシー保護対象として明確な特徴が抽出された画像に対しては、ぼかし処理を加え、識別できないようにして、公開に備える。

該当ビデオを最新ビデオデータベースに登録

LC関数によって最新ビデオ候補であると判定され、かつFE関数によって公開に問題がないと判定されたビデオは、最新ビデオデータベースに登録される。更に、必要に応じて、次節で説明するような複合プライバシーの評価を行うことにより、公開ビデオにプライバシー保護対象が含まれるかどうかの判定を加える。

4.2 ビデオストリーム処理方式

これらの一連の処理フローの中で、ビデオストリームの処理方式について説明する。

ストリームデータ処理では、関係代数モデルに基づいて、ストリームデータ処理(選択・射影・結合・集合等の演算)をメモリ上でリアルタイムに処理する。このストリームデータ処理の特長として、1)インメモリでの差分計算による高速処理、2)SQL 拡張の CQL(Continuous Query Language)により、処理シナリオを宣言的に記述することができること等が挙げられる。このストリームデータ処理の対象とするデータは無限のデータ列となるので、これを有限のデータ集合として扱うためにスライディングウィンドウを設定する必要がある。その設定を行い、ストリームデータの一部を切り出し、バッファリングした後に、CQLによりクエリを行うようにする。このクエリとは、ストリームデータに対する問い合わせ処理の単位で、クエリの複数の連結や結合により、目的とする実際の処理系を記述する。

このストリームデータ処理に関しては、既に種々の方式が提案されており、Open Sourceのもの[8]や、商用化されているもの[9]など、多数のシステムが存在する。しかしこれらのほとんどは、ビデオや画像などのバイナリデータを直接扱えるものはない。そこで、ストリームデータ処理の前段にバイナリデータから等価な属性を抽出するような前処理系を設定して、その前処理で得られる属性値を用いることにより、他のデータと同様にストリームデータ処理ができるようにする。

ビデオストリーム処理を、既存のストリームデータ処理システムを用いて行う場合について考えると、ビデオのバイナリデータを直接ストリームデータ処理の対象にすることができないので、ストリームデータ処理系の前段に設定した前処理にてビデオをそれぞれ独立した画像フレーム列に変換し、それぞれの画像の特徴認識からその画像の特性となるメタデータを属性値として抽出して処理対象にすることによりストリームデータ処理系がサポートする CQL で記述することができる。前処理で得られる画像特徴のメタデータと、各種センサデータ(GPS・姿勢・時刻等)を対象に、CQL クエリを構成する。その構成例を図5に示す。

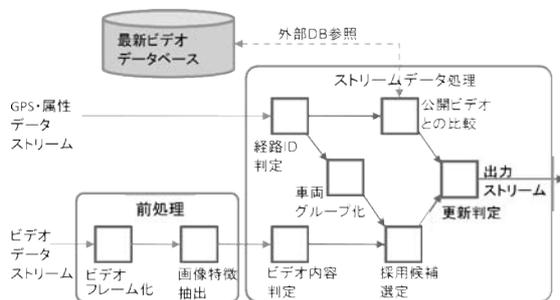


図5: ストリームデータ処理の CQL (Continuous Query Language) 図

5 複合プライバシー

個人情報に関連するセンシティブ(機微)な事項が含まれる情報サービスは、ことごとくプライバシー保護の対象として禁止するような方策があるが、これでは先進的な情報サービスの芽を摘むことになりかねない。むしろ、新たな情報サービスから得られるメリットを重視して、一部の個人情報の侵害から起因する問題の対策を行い、全体のサービスはできるだけ実現するのが望ましいと考えられる。先の Google 社の Street View を例にとると、一部の居住者のプライバシーが侵害されたからといって、その居住者が所属する地域全体又は国全体にわたってサービスを禁止するようなプライバシー保護策は過剰であると考えられ、その居住者の納得のいくプライバシー保護への対策できれば、全体のサービスは実行する方向の見解がある[10]。

このようなプライバシー保護を行うには、各居住者単位の個別の対策が行われることが理想ではあるが、そのような方策では多大な労力が発生するため、元の情報サービスのメリットが相殺されかねないような問題となる。そこで本研究では、このプライバシーの問題に抵触するかどうかを自動的に推測できるような、プライバシーの推測方式を提案する。

5.1 複合プライバシーの概念

本研究の対象とする道路コンテキストを抽出するための入力データとして、車両からの各種センサデータがあるが、その中でも特に車載カメラのビデオデータには、人の顔や車番など形状判定や認識から明確にプライバシー対象として判断可能なオブジェクトが含まれる特性がある。一方、GPS や時刻・車両 ID 等の数値・文字データは、テーブル形式にしたとしても、そのままの状態ではプライバシー判定を行うことができず、マイニング等のデータ解析を行って初めてプライバシーの存在が明確になるといった特性がある。そこで、前者のプライバシーを顕現的プライバシー(Evident Privacy)と呼び、その測度を EPM(Evident Privacy Measure)とする。一方、後者のプライバシーを潜在的プライバシー(Latent Privacy)と呼ぶことにし、その測度を LPM(Latent Privacy Measure)とする。

複合プライバシーとは、これらの顕現的プライバシーと潜在的プライバシーとの組み合わせによる相乗効果により、プライバシー強度が増加するようなプライバシー測度を考え、これを CPM(Complex Privacy Measure)と呼ぶことにする。特にこの複合プライバシーが有効となるのは、最初は顕現的プライバシー対象との評価が低いビデオフレーム内のオブジェクトに対して、複合プライバシー測度(CPM)の推定計算により、その可能性が高まる場合が多く存在することにある。

プライバシー定量化のためのモデル
EP モデル: EP を構成するオブジェクトの集合を $\{ep_{ij}\}$ とし、 i をクラス識別子、 j をその i クラスに属するメンバー識別子とすると、EPM を単純に i に対応した値 $epm(i)$ を割り振る。その

表 1: EPM 値の例

epm(i)	= 10 (Max)	≥ 7	≥ 5	< 5
オブジェクト 種別	個人の顔 車番(番号) 表札(文字)	洗濯干し 布団干し 塵の集積	自転車 バイク 自動車(駐車)	家屋 植木・花

具体例としては、表 1 に示すような値とする。これより $EPM = epm(i)$ で定義する。

LP モデル: LP の評価測度としては、PPDM(Privacy Preserving Data Mining)の研究分野において既に多数提案されているが[11][12]、その中でも摂動型の保護方式で定式化されている差分エントロピーに基づいた評価測度[13]を用いる。任意のランダム変数 A の差分エントロピー $h(A)$ は、 $h(A) = -\int_{\Omega_A} f_A(a) \log_2 f_A(a) da$ と記述されるの

で、プライバシー測度 $\Pi(A)$ は、 $\Pi(A) = 2^{h(A)}$ となる(但し、 Ω_A は A のドメイン)。これより $LPM = \Pi(A)$ で定義する。

CP モデル: CP はこれらの EP と LP との複合的な測度を与えるものと定義できるが、CPM としては EPM と LPM との相乗効果が出るような次のような積形式で定義する。

$$CPM = EPM \times (1 + LPM)$$

この場合、LPM 値が 0 から 1 までの正規化された値をとるものと仮定している

5.2 複合プライバシーの例

街区を映したビデオフレームの画像認識の結果、EP の候補として抽出され、かつ EPM 値が高くないオブジェクトが存在するが、そのオブジェクトに付随する属性の LP の相乗効果により、複合プライバシーとしての CP が問題となる場合の例について考える。

街区を映したビデオフレームの画像認識の結果、複数の自転車が抽出されたと仮定する。この自転車としてのオブジェクト自体は、EP の観点からは中位レベル(5.0)の EPM 値となるので、その段階ではまだ問題とならない。ところが、その自転車オブジェクトの存在場所が戸建ての住宅地域の場合には、家庭に関する LP の観点がセンシティブになり、自転車の種類から家族構成が推定できる可能性が高くなる。即ち、自転車としての EPM に住宅地としての LPM の相乗効果により、CP 観点からの問題が大きくなったと判断される。

このような複合プライバシーの観点から問題となるようなオブジェクトが含まれるビデオフレームは事前に公開が避けられるべきと判断され、最新ビデオデータベースへの登録を行わないようにする。

6 実装状況

6.1 プロトタイプシステムの構成

実サービスに向けた実用性検証のために、プロトタイプシステムを開発し、クライアントとサーバで構成した。クライアン

ト側では、ビデオ撮影アプリケーションと情報閲覧アプリケーションを利用するため 2 種類のデバイスを用いることを想定して構成した。即ち、撮影には車載カメラ・ビデオカメラ・スマートフォン、閲覧にはカーナビゲーション端末・タブレット型端末・PC 等が使えるように構成した。特に今回の実装では、撮影にスマートフォン、閲覧にタブレット型端末を用いた場合の実装と評価を行った。サーバ側はストリームバッファ及びストリーム処理サーバ、最新ビデオデータベース、メタデータベース、ビデオログデータベース、Web サーバといった複数のサーバで構成し、閲覧端末側からアップロードされたデータが公開可能かをフィルタリングしてデータベースに格納する処理とユーザが閲覧したい情報を取得する処理の 2 つに分けられる。

サーバ側の処理はクラウド上で行い、アクセス状況に応じて多重化できるような構成とする。クラウド技術は、Amazon EC2[14]を利用する。クライアント側とサーバ側の通信は、データ秘匿と通信の高速性のバランスをとって認証のみ HTTPS を用いる。また、ビデオの通信方式としては、閲覧用タブレット端末のタッチパネル操作を生かして任意の地点で静止させたり、コマ送り/コマ戻しを可能にしたりする機能が要求されるので、ビデオフレーム結合方式を用いる。ビデオサイズは通信速度を考慮して QVGA(320×240ピクセル)を選択した。

6.2 ストリームデータ処理系の実装

UGC 形態でサーバにアップされてくる大量の動的センサデータを処理するために、製品化されたストリームデータ処理システムを導入した。今回は、日立の uCSDP (uCosminexus Stream Data Platform) [9]を利用して、ストリームデータ処理系を構成した。このシステムの特長は、①インメモリでの差分計算による高速処理、②SQL の拡張言語である CQL により、容易に集計・分析シナリオ(選択、射影、結合、集合演算、集計など)を記述可能、の 2 点である。一方、uCSDP で取り扱ことのできるデータは文字と数値のみであるため、前処理にて、ビデオフレームのスライスや各種画像特徴の抽出処理を行う方式を採用した。

7 おわりに

スマートグリッドにおける電気自動車の今後のトレンドとして、車載カメラによるビデオプローブの可能性が出てきたことを示した。このようなトレンドに対応するサービスとして、道路コンテキストをタブレット型モバイル端末に向けて行うサービスを提案した。その実現のための技術検討として、UGC 形式により集積されるビデオストリームを高速に画像処理してデータベース化するストリームデータ処理方式、地図上の経路と時間指定から得られた結果を、端末上でインタラクティブに順・逆方向に表示可能な Ajax 先読み型のビデオ表示方式、

および道路コンテキストとしてのビデオ提供サービスに付随するプライバシーの問題を複合的プライバシーの導入により解決する方式をそれぞれ提案した。特に複合プライバシーの内容としては、従来にない新しい考え方を提示しており、画像に含まれるオブジェクトを顕現的なプライバシーと潜在的なプライバシーとの観点に分け、それらの相乗効果から複合的なプライバシーの問題が新たに発生する場合には、そのオブジェクトが含まれるビデオフレームの公開を事前に止めるといった新たなプライバシー対応方式の提案を行った。

参考文献

- [1] 太陽光サーチャージ
<http://taiyoseikatsu.com/words/tyg000100.html>
- [2] 「住宅用太陽光発電導入支援対策補助金」制度
http://www.j-pec.or.jp/subsidy_syste
- [3] 電気自動車と電子・情報技術の未来, 日産自動車, 高度交通システム2010シンポジウム論文集, 情報処理学会, 2010
- [4] Google Maps, ストリートビューの技術
<http://www.google.co.jp/help/maps/streetview/howitworks.html>
- [5] Wired Magazine
<http://itunes.apple.com/us/app/wired-magazine>, 2010
- [6] Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat: MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters, Communications of the ACM, 2008
- [7] Google Map プライバシー, Google Japan
<http://maps.google.com/intl/ja/help/maps/streetview/privacy.html>
- [8] Daniel J. Abadi, Yanif Ahmad, Magdalena Balazinska, et.al.: “The Design of the Borealis Stream Processing Engine, Proceedings of the 2005 CIDR Conference, 2005
- [9] SOA プラットフォーム Cosminexus:uCosminexus Stream Data Platform,
<http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/soft1/cosminexus/products/lineup/application/sdp/index.html>
- [10] マイコミジャーナル, 「Google Street View が英国で開始, プライバシー懸念の声も」,
<http://journal.mycom.co.jp/column/eutrend/010/>
- [11] Agrawal R., Srikant R., “Privacy-Preserving OLAP. Proceedings of the ACM SIGMOD Conference, 2000
- [12] Evfimievski A., Gehrke J., Srikant R., “Limiting Privacy Breaches in Privacy Preserving Data Mining”, ACM PODS Conference, 2003
- [13] Agrawal D., Aggarwal C., “On the Design and Quantification of Privacy-Preserving Data Mining”, ACM PODS Conference, 2002.
- [14] Amazon.com, Amazon EC2,
<http://aws.amazon.com/jp/ec2/>

プライバシー影響評価ガイドラインの開発

瀬戸 洋一*

Development for the Guideline of Privacy Impact Assessment

Yoichi Seto*

Abstract

The computerization of individual information become widespread, and the development of legal systems concerning the protection of individual information has advanced in each country. When the information system is constructed, the Privacy Impact Assessment is executed in a part of country such as US and Canada. PIA is a risk communications technique for evaluating it to "Prior" for reduction or averting the privacy issue. It is necessary to develop the guideline that attempts the maintenance of the implementation system, the matching of requirement of ISO22307, is standardized assessment tool of PIA. The condition to execute PIA effectively in Japan where construct the social framework for the privacy protection, for instance, the privacy commissioner etc. is insufficient.

This paper describes that the execution of PIA and the effectiveness were confirmed to two or more systems using the Privacy Impact Assessment guideline that analyzed the privacy issue when PIA was executed in Japan based on a fact-finding survey in US and Canada and other nations, the conformance of requirement of ISO22307 and developed.

Keywords: Privacy Impact Assessment, ISO22307, personal information protection law, privacy, risk communications

1 はじめに

情報技術の進歩により、多量の個人データを低コストで収集し、電子的に記録、格納、検索することが容易にできるようになった。このため、個人情報の取り扱いに注意を払う必要性が高まり、各国で個人情報保護に関する法整備が進んだ。しかし法整備が進んでも情報漏えいが生じ、個人情報を扱うシステムあるいは組織に対し、利用者の不信感を取り除くことはできていない。

このため、海外では、データを提供するデータ主体の視点からプライバシーを保護するためのプライバシー影響評価 (Privacy Impact Assessment 以下、PIAと記す) 制度が普及している[1]。PIAは情報システムを構築する際、事前にプライバシーリスクの問題を検討し対処するリスクコミュニケーション手法である。

リスクコミュニケーションをシステムで自動的に行う手法として多重リスクコミュニケーター MRC (Multiple Risk Communicator 以下、MRCと記す)がある[2]。MRCは、リスクを共有化する優れたツールであり、不正コピーによる著作権侵害問題への適用など、最適化問題として定式化が可能な事案には有効であるが、プライバシーのように目的関数

やパラメータが一意に設定できないような事案には適していない。

PIA が普及した国では、プライバシー情報(機微情報)を含まない個人データの保護を目的とした個人情報を保護する法と、情報システムで管理するプライバシー情報(機微情報)の安全性について、データを提供する主体の視点から事前評価する PIA の実施が、システムを構築する際の必須条件となっている[3]。

例えば、カナダやオーストラリアでは、政府機関で採用が進み、プライバシー情報を扱うシステムを構築する場合、PIA の実施が予算認可の条件となっている。米国では、行政システムの構築において、電子政府法第 208 条により実施が義務つけられている[3][4]。

2000 年代になり、国際金融分野において、不正送金などが問題になり、国際間で個人情報の開示が必要となった。このため、米国からの提案により PIA が国際標準化委員会 ISOTC68 に提案され、2008 年に国際標準規格 ISO22307 Financial services - Privacy impact Assessment として発行された[5]。

日本では個人情報保護に関する法律が制定されているが、この法律では、情報システムの構築にあたり事前に、データ

を提供する主体の視点でプライバシー課題を回避できない。また、カナダや米国などのように社会制度あるいは法制度が整備されていないため、日本で PIA を実施した場合、評価の中立性、公平性を保つことが困難である。このため、国際標準規格 ISO22307 をベースに日本での実施フレームワークを検討することが重要である。

本論文では、海外の実施体制の調査および ISO22307 の要求事項にもとづき、日本で PIA を実施する場合の課題を分析し開発したプライバシー影響評価ガイドラインと PIA の有効について評価する。

本論文の構成は、以下の通りである。2 章で PIA の概要、3 章で PIA の海外での実施例、ISO22307 の要求事項を分析し、日本で PIA を実施する際の課題を明らかにする。4 章で課題の対策を検討し開発したガイドラインの概要を述べる。そして、5 章で個人情報を扱う情報システムを対象とした PIA の実施例について述べる。

2 プライバシー影響評価の概要

1960 年代に個人のプライバシー意識が高まり、プライバシー保護が話題になった。1970 年以降、各国で個人情報の保護に関する法整備が行われた[1]。

個人情報保護に関する法律は、1980 年に OECD (Organization for Economic Co-operation and Development: 経済協力開発機構)で「プライバシー保護と個人データの国際流通についてのガイドラインに関する理事会勧告」を採択したことを契機に普及が加速した[6]。

1990 年代には、個人情報の電子化が進むとともに情報システムの構築におけるプライバシーの問題が生じ、プライバシー影響評価が検討され始めた。1990 年代後半、PIA がカナダ、ニュージーランド、およびオーストラリアで先行し実施された[7][8]。

図 1 に示すように、PIA は、プライバシーフレームワーク、プライバシーアセスメント、およびプライバシーアーキテクチャの 3 つの機能で構成される。PIA プロセスにおいてプライバシーフレームワークは法的側面、プライバシーアセスメントは運用上の側面、プライバシーアーキテクチャは技術的な側面をあらわす。

法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、ポリシーなどは PIA の構成要素ではなく、アセスメントを行うための入力要素となる[9]。

(1) プライバシーフレームワーク

法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、既存のポリシー等を基に、対象システムに必要なプライバシー要件の抽出や評価シートを作成する。

(2) プライバシーアセスメント

プライバシーフレームワークを基に、システムのデータフロー分析および評価シートなどによるプライバシーに関して影響分析を行い、個人情報をどのように収集、利用、管理するかについて設計仕様を評価する。

(3) プライバシーアーキテクチャ

プライバシーアセスメントで確認された問題に対し、システム設計仕様を検討し、技術的にプライバシーに関する問題解決を図る。問題解決のための技術を Privacy Enhancing Technology (PET) と呼ぶ。

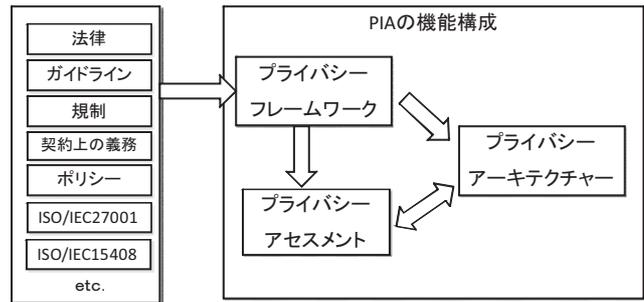


図 1: PIA の機能構成

3 影響評価の実施における課題

3.1 海外における PIA の実施例

海外ではプライバシー保護に関する法律や社会制度の整備が進んでいる。一部の国では、情報システム構築におけるプライバシー保護のための制度として、PIA が情報システム構築を認可する際の必須条件となっている。また、Privacy Commissioner (以下、プライバシーコミッショナーと記す)などの独立監督機関が PIA 実施に重要な役割を果たしている。

表1に米国、カナダ、オーストラリアなどにおける PIA の実施状況をまとめる[1]。

表 1: PIA に関する各国の実施状況

国名	法律、ガイドライン、ポリシー	独立検証機関	実施主体	備考
カナダ	法律で説明責任明示、ガイドライン、ポリシー(連邦レベルでは Treasury Board が作成)で手順等を説明	あり	新規導入・改修される個人情報を取り扱うシステムを使用・管理する行政機関	連邦レベルで予算執行前のPIA実施を義務化 連邦各省庁、各州にPrivacy Officerが存在 アドバイスと検証を省庁から独立したPrivacy Commissionerが実施
米国	法律で義務付けOMB Guidance for Implementing the Privacy Provisions of the E-Government Act of 2002を制定	ない	新規導入・改修される個人情報を取り扱うシステムを使用・管理する行政機関	電子政府法で情報セキュリティ管理法の制定に加えPIAを義務化(電子政府法208条) 実施組織内にPrivacy Officerが存在
オーストラリア	ガイドラインとポリシー、および、Privacy Actが存在する	あり	政府や自治体の各部門が自主的に採用	国勢調査のデータ分析方式の変更案などで採用
ニュージーランド	The Office of The Privacy Commissioner発行のハンドブックあり Privacy Actが存在する	あり	政府や自治体の各部門が自主的に採用	全政府共通のオンライン認証システム構築などで採用

OMB: Office of Management and Budget; 行政管理予算局

海外の実施例から、PIA 実施には、実施のための法律、独立し中立な監査体制、および実施手順を具体的に示すガイドラインが必要なことが分かった。

3.1.1 カナダ

カナダには、プライバシーに関する法律として、行政分野を対象とする Privacy Act(以下、プライバシー法と記す)と民間分野を対象とする Personal Information and Electronic Documents Acts(以下、PIPEDA と記す)の2つが存在する。どちらの法律にも PIA についての記述は存在しない。しかし、PIA は承認プロセスの一環として、義務化されている。現在、PIA の実施と法律との関係を整理する試みがなされている[1]。

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

PIA の実施主体は、評価対象であるシステムを構築/改修する政府機関である。プロジェクト実施組織の Deputy Minister(以下、副責任者)と記す)が PIA 報告書の承認を行う。また、PIA 報告書の公開や責任について PIA ポリシーに記載されている[7]。

3.1.2 米国

PIA の実施は、e-Government Act of 2002(以下、電子政府法と記す)第 208 条により、義務付けられている。プライバシーコミッショナーのようなプライバシーに関する独立した第三者機関は存在しない。このため、海外からの入国者を顔や指紋データなどを管理する US-VISIT などのシステム構築においては、Homeland Security Act of 2002(以下、国土安全保障法と記す)第 222 条に基づき、Chief Privacy Officer(チーフプライバシー・オフィサー 以下、CPO と記す)の任命を義務付けている[10]。

CPO は、U.S. Department of Homeland Security(米国国土安全保障省 以下、DHS と記す)が使用するシステムについて、プライバシー保護の確立を保証する必要がある。

システムを構築する組織の責任者が PIA 実施を指示し、PIA の実施報告書に対し、CPO が助言、署名し、Office of Management and Budget(以下、行政管理予算局と記す)が報告書を精査し、問題なければ予算認可を行う。

3.1.3 オーストラリア

オーストラリアでは、Privacy Act 1988(以下、プライバシー法と記す)が主に情報プライバシーに関する規制の根拠である。プライバシー法は、個人情報への取扱いに係る規制を目的としている。

プライバシー法第 14 条に規定されている Information Privacy Principles(以下、IPP と記す)は、政府機関によって扱われる個人情報に、プライバシー保護が最低限必要で

あることを提示している。つまり、行政システムの新規構築や改修という行政上の行為が、PIA の実施を必要としている[1]。

プライバシーに関する独立した第三者機関としてプライバシーコミッショナー制度が存在する。

PIA ガイドラインは、プライバシーコミッショナーが策定し発行を行っている。ガイドラインは民間用と行政用の 2 つが発行されており、行政用は PIA を実施した際、報告書を公開することが義務付けられている。民間での実施は、公開を義務付けていない。

ニュージーランドはオーストラリアと同様の実施状況である。

3.1.4 海外事例の分析

上記調査によると PIA を実施するには、法律(hard law)で義務付けている米国と、ソフトロー(soft law)に相当するガイドラインなどで義務付けているカナダ、オーストラリアがある[11]。法律で義務付けているのは調査した範囲では米国だけである。行政システムの構築においては、PIA の実施はシステム構築の予算認可の条件としている。

また、PIA の実施を中立に行うためには、カナダ、オーストラリアでは社会制度としてプライバシーコミッショナーが設置され、データ主体である個人の利益を守る仕組みができていくが、社会制度がない米国では、法律によって組織内に独立した専門監査機能である CPO を設置している。

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

3.2 国際標準 ISO22307 の要求事項

PIA に関する国際標準 ISO22307 には、6 つの要求事項が記載されている[5]。

- (1) PIA 計画
- (2) PIA 評価
- (3) PIA 報告
- (4) 十分な専門知識
- (5) 独立性と公共性
- (6) 対象システムの意思決定の際の利用

項目(1)から(3)が、PIA の実施手順の要求事項に相当する。ただし、PIA の本格的な実施の前に、対象とするシステムが PIA の実施を必要とするかの判断が必要である。このため、予備 PIA と呼ばれる暫定的な評価を行った後、上記の手順で PIA を実施する。

(1) PIA 計画

PIA の実施計画の目的は、準拠すべき国際標準、法律・法令、ガイドラインなどを調査し、プライバシーフレームワークを定義し、PIA 評価の準備作業を行うことである。また、PIA 評価を実施する際に必要になる専門知識を特定する必要がある。PIA 計画は文書化する必要があり、文書化では、対象

システムについて以下事項を記述する。

- ・ビジネス上の目的、個人情報の取り扱い方法
- ・対象システムの様態(導入, 改修など)
- ・対象システムの段階(企画, 設計など)
- ・対象システムの概念図
- ・業務プロセスフロー, データフロー, データモデル
- ・既知のプライバシーリスクへのポリシーや回避策
- ・対象システムをサポートする運用上の仕組み

(2)PIA 評価

PIA 評価の目的は、計画段階で定義した PIA の実施対象範囲について、プライバシーリスクを洗い出し、指摘事項と指摘に対する推奨案を作成することである。

指摘事項と指摘に対する推奨案の作成は、計画段階で定義された専門知識を持ったメンバーが行う必要がある。

PIA 評価では、以下の事項を実施しなければならない。

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

(3)PIA 報告

PIA 報告書の作成の目的は、対象システムについて関係者間でレビューを行うため、評価・分析した事項を文書化することである。報告書は、最低限以下の事項を記載しなければならない。

- ・PIA の実施範囲
- ・対象システムや関連システムの説明
- ・PIA を実施し、レポートを作成したメンバーの専門知識
- ・PIA 実施プロセスに組み込まれる独立性の度合い
- ・PIA 報告書の内容をどのように対象システムに反映するか
- ・システム開発のために実施された意思決定プロセス
- ・関連するプライバシーポリシー、個人情報保護に関する法律、その他の関連する規格
- ・プライバシーポリシーや法律との適合する上でのリスクに関する評価の結論など
- ・対象システムのビジネス目的を達成し、リスクを軽減するような代替案
- ・PIA 報告書の勧告に基づき対応する責任者の特定

(4)十分な専門知識

PIA を実施するためには、必要な専門知識をプロジェクトメンバーが持つ必要がある。十分な専門知識としては、少なくとも以下を含む。

- ・評価対応のプライバシー関連の法律、ポリシー、および国際的なプライバシー原則、例えば、OECD に精通した法律分野の専門的知識
- ・対象システムおよび関連システムと IT インフラストラクチャに関する専門的知識
- ・対象システムと他の関連業務系システムの業務知識

(5)独立性と公共性

PIA の実施には、利害関係者からの独立性を確保することが必要である。例えば、PIA 実施結果の公表が挙げられる。

(6)対象システムの意思決定の際の利用

対象システムにおけるプライバシー保護について意思決定を行う際に、判断材料として PIA の結果を利用する。

3.3 課題の分析と対策

日本で PIA を実施する場合の課題について分析および対策について述べる。

個人情報とは、個人を識別する情報を指し、例えば、氏名、生年月日、性別などが該当する。そのうちの機微情報である本人同意に基づかなければ通常取り扱われない思想信条、宗教などをいう[1]。したがって、個人情報は明確に定義できるが、保護すべきプライバシー情報は、個人の受け取り方で異なるため、明確な定義が難しい。

以下に、3つの課題をまとめる。

課題 1: 日本には、PIA 実施法およびプライバシー保護の法律が存在しない。日本にはハードローとして個人の情報を守る個人情報保護法は存在するが、個人情報保護法の保護対象である特定の個人を識別できる情報(氏名や住所など)のみを保護するものである[12]。プライバシー保護の根拠とされるのは、肖像権と同様に憲法 13 条の幸福追求権であり法律上明文化されていない[12]。

課題 2: プライバシー問題に関し、検討、助言を行う中立組織および機関、および PIA 報告書の承認・是正等の勧告に関わる組織が存在しない。

海外の PIA においては、プライバシーコミッショナーなどの独立監督機関が重要な役割を果たしている。日本において、プライバシーコミッショナーと同様の機能をどのように実現するかが課題となる。

課題 3: PIA を実施する際のガイドラインが存在しない。PIA を実施する手順を明確にするために、ガイドラインの整備が必要である。

表 2 に日本で PIA を実施する場合の課題と対策を示す。

表 2: PIA 実施における課題と対策

課題	対策
1. 根拠となる法律	<ul style="list-style-type: none"> ・PIA実施法、プライバシー保護に関する法律が未整備 ・コモンクライテリア認証などコンFORMANCEを利用する ・条例、政令などの整備する
2. 実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ・プライバシーに関し、検討、助言を行う中立、専門組織が存在しない。 ・PIA報告書の承認、是正など勧告に関わる組織体制が未整備 ・現状の社会制度で可能な中立で公平なPIA実施体制を明確にする ・将来的には、プライバシーコミッショナーなどの制度化が必要
3. 標準的な手順	<ul style="list-style-type: none"> ・実施手順がガイドラインのような形で規格化されていない ・国際標準規格ISO22307の要求事項に合ったガイドラインの開発

(1) 課題 1 に対する対策

PIA 実施法、プライバシーに関する法律が未整備な課題に対して以下の提案を行った。

法律が未整備であるので、何らかの規約や法律への準拠が必要である。この場合、システムを構築する場合の国際標準規格 ISO/IEC15408 に記載されているコモンライテリア認証でコンフォーマンスを確保することが有効である。特に、パート2 セキュリティ機能要求事項のプライバシー機能クラス的项目が有効である。

また、可能ならば、PIA 実施に関する政令、省令あるいは自治体などで条例の整備が必要である。

(2) 課題 2 に対する対策

現状の法体系および社会制度において、中立性を確保するためのひとつの手段として、PIA を実施する事業主体が事業活動のために収集、利用、保管する個人のプライバシー情報の取り扱いに関する実施体制の整備が必要である。詳細については 4.2 節で述べる。

ISO/IEC15408 に基づくセキュリティ評価・認証(コモンライテリア認証)を取得することで、第三者の客観的な評価が得られ、システム構築における中立性の確保が図れる[13]。

(3) 課題 3 に対する対策

PIA に関する国際標準規格 ISO22307 の要求事項に準拠したガイドラインの開発が必要である。実施手順をガイドライン化することで、実施者各自の評価能力や経験に左右されることを防ぐことができる。開発したガイドラインの詳細については 4.1 節で述べる。

4 プライバシー影響評価ガイドラインの開発

4.1 ガイドラインの開発

ガイドラインに従い PIA を実施することにより、実施者の評価能力や経験に左右されることを防ぐことができる。つまり、ガイドラインの目的は、標準化した実施手順を確立すること、効率的に作業を進めること、公開する報告書の内容を規定することである。ガイドラインを作成する上で、海外のガイドラインを参考にしたが、社会制度の相違により中立的な助言勧告組織の設置および指示、報告承認体制に関しては、日本特有の問題を考慮する必要がある。

諸外国では、公共性のある行政システムにおいて実施した PIA の報告書は、一般に公開を原則とする。これに対し、民間システムで実施した PIA 報告書は公開を必須としない。組織内の CPO などが助言勧告することにより問題の把握と対策を行っている。また、自治体で防犯カメラなどを設置することを想定した場合、PIA の実施を条例などで明文化し予算処置などと連携させることも有効である。

ガイドラインには、PIA の実施体制、手順、法的な根拠(コンプライアンス)の記載が必要である。分野によってプライバシーフレームワークの入力となる法的な根拠や PIA の実施

体制は異なったものとなる。例えば、行政機関の実施体制には、民間事業者に対し、必要に応じて、監督・指導を行うことが含まれる。また、個人情報の取り扱いについて、行政においては民間より厳格な対応が必要とされる。従って、ガイドラインは、行政機関と民間事業者用の 2 種類整備する必要がある。

ガイドラインの開発にあたり、国際的な適合基準として、ISO22307 の要求事項との整合性をとるようにした。PIA 実施においてプライバシーフレームワークを構成する際、評価項目の網羅性を確保するため、ISO/IEC15408 の適用が有効である。また、PIA の実施結果に対し、個人や構築事業者などステークホルダの理解も得られやすいと考える。そして、ISO/IEC27001 の管理策を参照することも評価の実施に有益である。

図 2 に開発したガイドラインで示す PIA 実施の具体的な手順を示す。

(1) プロジェクトの立ち上げ

プロジェクト実施責任者は、PIA の実施に必要な専門能力を持った実施担当者を選び、PIA 実施チームを編成し、予備 PIA の実施を指示する。



図 2: PIA 実施手順

(2) 予備 PIA 実施

予備 PIA の目的は、システムの企画段階において、その後の PIA を実施する必要があるか否か、PIA の実施範囲を明確にすることである。報告書には、最低、以下の 8 項目を含めることが望ましい。

- ・対象組織/システム名
- ・評価組織
- ・評価実施期間
- ・評価の目的
- ・対象システムの概要
- ・対象システムの個人情報の取り扱い
- ・予備 PIA の実施(適用範囲, 実施方法, 実施結果)
- ・予備 PIA 評価シート

(3)PIA 実施の準備

PIA 実施の準備では、準拠すべき国際標準、法律／法令、基準を調査し、プライバシーフレームワークを定義し、プライバシーアセスメントの準備作業を行うことである。

(4)PIA の評価

PIA 評価の目的は、計画段階で定義した PIA の対象範囲について、評価シートを用いてプライバシーリスクを洗い出し、指摘事項と推奨案を作成することである。この評価作業は、計画段階で定義された専門知識を持ったメンバーが行う必要がある。

(5)PIA 報告書の作成

PIA 報告書の作成の目的は、評価・分析した事項を文書化することにより対象システムを保有する組織でレビューを行えるようにすることである。

PIA を実施する際に使用する評価シート作成の考え方を示す。図 3 に示すように、プライバシーフレームワークは、PIA の外部にある法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、既存のポリシー等(以下、法律、ガイドライン等と記す)が入力要素となる[1]。

次に、評価シートの作成手順を示す。作成手順の概略を図 4 に示す。

第 1 に、プライバシーフレームワークを特定する。対象システムにおいて適用される法律、ガイドラインなどを調査し、プライバシーフレームワークとする。民間分野においては「個人情報の保護に関する法律」を基本とし、対象システムが扱う分野により、分野ごとに所管省庁から発行されているガイドラインを参照するのが良い。加えて特定の分野に係るガイドラインがあれば、それらの適用について判断し、プライバシーフレームワークを特定する。

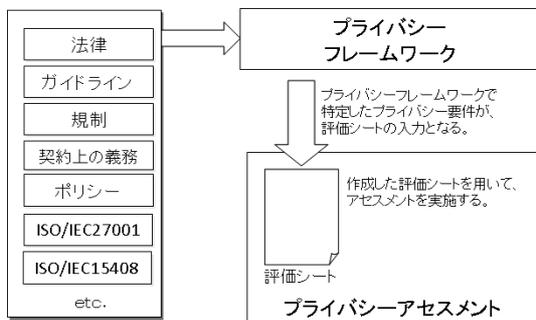


図 3: 評価シート作成の考え方

第 2 に、プライバシー要件を特定する。プライバシーフレームワークで特定した法律、ガイドライン等から、対象システムに適用される条項、要求事項を決定し、プライバシー要件とする。

第 3 に、プライバシー要件に基づき評価項目を作成する。

評価項目を作成する際には、プライバシー要件を対象システムが満たしているか否か判断できるような内容とする必要がある。したがって、必ずしも 1 つのプライバシー要件につき、評価項目が 1 つとはならない。プライバシー要件を確認するために必要であれば、評価項目が複数となる場合もある。

また、評価項目の作成時に、要求している内容に同一または類似のプライバシー要件があった場合は、評価項目は 1 つの評価項目にまとめる。

ただし、まとめる際には評価項目の根拠となるプライバシー要件が後から検証可能なように整理する必要がある。

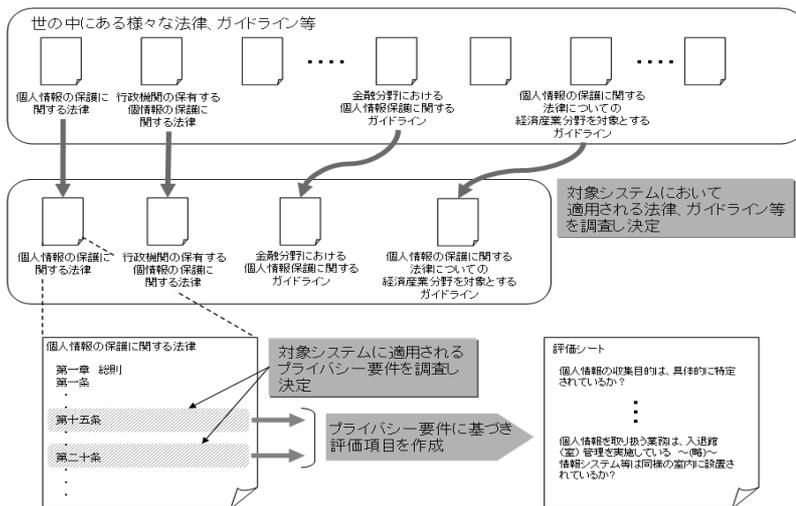


図 4: 評価シート作成手順

4.2 PIA の実施体制

行政機関と民間事業者用、2 つのガイドラインの相違は、実施体制と PIA 報告書の公開義務の 2 点である。

図 5 に、行政機関における PIA 実施体制を示す。この例は、民間事業者がプライバシーに影響するカメラ撮影を公共空間で行うシステムに対する PIA を想定している[14]。

プロジェクト実施責任者は、PIA 報告書を行政機関の長に提出する。行政機関の長は、必要があると認めるときは、プロジェクト実施責任者に対し、対象システムの管理、運用について報告を求め、監督する。行政機関の長は、PIA 実施結果を公開する。なお、行政機関が監督権を発効するには、条例、政令などで明記する必要がある。

一方、民間事業者は、組織内の CPO が承認した PIA 報告書をプロジェクト実施責任者へ報告する。行政機関の監督を受けず、自らが実施する PIA の場合、PIA 実施結果の公開義務はない。

5. プライバシー影響評価の実施例

5.1 評価対象システム

民間対応と行政対応、2 つのプロトタイプシステムを評価対象とした。民間対応の PIA は、民間事業者が提供するバイオメトリック認証サービスであり、ネットワークを通して指紋や静脈などの身体情報を用い、認証サービスを行うアプリ

ケーション(以下、「認証系システム」と記す)の概念設計段階の個人情報に対する評価を行った。

一方、行政対応のPIAは、民間事業者が提供する映像サービスであり、スマートフォンによるドライブログの常時記録アーカイブと映像サービスを提供するアプリケーション(以下、「監視系システム」と記す)の基本設計段階の個人情報に対する評価を行った[14]。

次節に、監視系システムのPIA実施の詳細を述べる。

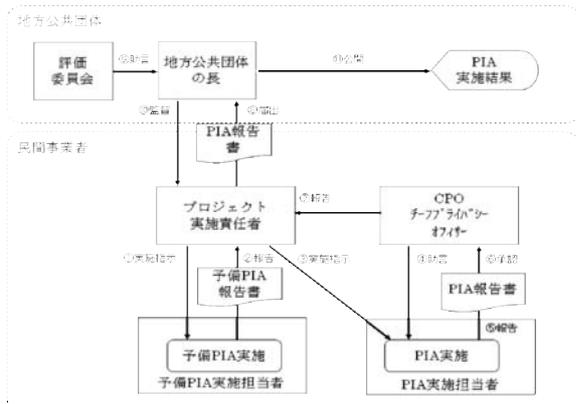


図5: 行政機関におけるPIA実施体制

5.2 監視系システムにおけるPIAの実施

PIAの実施は、開発したガイドラインに基づき、4章で述べたPIA実施手順に従って実施した。

評価シートの作成では、プライバシーフレームワークを①ISO22307 Financial services - Privacy impact assessment, ②個人情報の保護に関する法律(平成十五年五月三十日法律第五十七号), ③個人情報の保護に関する基本方針(平成16年4月2日閣議決定), ④ISO/IEC15408の法律、ガイドライン等とした。特定したプライバシーフレームワークから、プライバシー要件を特定し、評価項目を作成した。

評価項目は、情報の取得・公開、情報・システムの管理、苦情処理の категорияに分類し全体で29項目策定した。

作成した評価シートを使用し、プライバシーへの影響を評価した。PIAの実施範囲は、監視系システムにおけるセンター側システムとセンター側システムを利用する端末とした。

PIA実施の結果、29の評価項目に対し、情報の取得・公開において1項目、情報・システムの管理において7項目、苦情処理対応において1項目、計9項目の指摘事項があった。指摘事項の主な内容は、①個人情報の取得目的の明示方法の不備、②ドライブログの映像中の個人情報である顔や車番、システムのユーザ情報を含んだデータの収集、管理、利用等の取り扱いに関する方針の不備、③個人情報に関する苦情処理対応の体制が未整備などであった。

評価後、対象システムの関係者に発見された指摘事項を示し、システムへの技術的な実装や運用による改善をシステ

ム責任者に促した。

発見されたプライバシーリスクへの対策として、①監視系システムの外部向けホームページへの利用目的の明示、②映像加工技術による個人情報のマスキングおよび管理者のアクセス権設定による取り扱い範囲の制限、③苦情処理対応の組織体制整備など、リスク低減または回避のための対策検討を助言した。

5.3 PIAの有効性評価

今回、ガイドラインを開発し、開発したガイドラインに基づき認証系システム、監視系システムの2つのシステムに対してPIAを実施した[9][15]。

監視系システムに対するPIAの実施では、個人情報提供者(データ主体)のプライバシーリスクをシステム構築前の基本設計段階で評価し、リスクと改善案をステークホルダ間で共有することができた。本論文では、認証系システムに対するPIAの実施例を示さなかったが、同様に、システム構築前にリスクと改善案をステークホルダ間で共有できた。

PIAを実施した結果、明らかとなったリスクおよび改善案がステークホルダ間で共有され、リスクに対する回避および低減を検討し、導き出された対応策をシステムへ反映し、リスクコミュニケーションを実施することができた。

当初、監視系システムの開発に携わる技術者は、開発するシステムに内在するプライバシーに関する課題に対して認知していなかったが、PIAを実施することにより、開発するシステムに対するプライバシー保護の必要性を認識し、設計にプライバシー保護の観点を反映するに至った。

以上から、PIAは、構築されるシステムのプライバシーリスクを事前に可視化し、システムを構築する前にプライバシーリスクの回避および低減のための対策を設計等に反映することができることから、リスクコミュニケーションの手法として有効であることが確認できた。

6 おわりに

個人情報の電子化が進み、情報の取り扱いに関して、より注意を払う必要がでてきた。このため、情報システムを構築する際、個人情報の取り扱いの適正化を図るため、個人情報に関するリスクコミュニケーション手法としてのプライバシー影響評価PIAが注目された。2008年には国際標準規格ISO22307も発行された。

PIAを実施することにより、個人情報の収集を伴うシステムの導入または改修を行う際に、事前にプライバシー問題を回避または緩和することができる。

本論文では、海外の実施体制の調査およびISO22307の要求事項にもとづき、日本でPIAを実施する場合の課題を分析し開発したプライバシー影響評価ガイドラインをもとに、複数のシステムに対しPIAの実施し、その有効性を評価した。

日本の個人情報保護法では、システム運用前にプライバシー保護の課題を改善できない。改善にはPIAの実施が有効であるが、PIAを中立に実施監督するプライバシーコミッショナーなどの独立監督機関の仕組みがない。このためにISO22307などに基づいたガイドラインの開発およびISO/IEC15408に基づくセキュリティ評価・認証の取得による評価の中立性の確保を図る実施体制の提案を行った。さらに、開発したプライバシー影響評価ガイドラインをもとにPIAを実施し、その有効性を評価した。

その結果、ガイドラインにより漏れのない評価を効率的に対応でき、また、システム構築前に、プライバシーリスクに対する回避・低減策が得られ、PIAの有効性を確認できた。

今後、個人情報を扱うシステムの構築運用において、個人情報保護法とPIAを連携し実施することにより、個人の利益を守る立場からの個人情報保護を有効に実現できる見通しを得た。

謝辞

本研究を進める上で、弁護士 六川浩明氏の協力を得た。また、産業技術大学院大学の学生であった内田和紀氏、阿久澤肇氏、石橋達司氏、大類優子氏に、国際標準ドキュメントの分析、課題の検討などを対応していただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 瀬戸洋一： プライバシー影響評価のアセスメント手法に関する調査研究，産学戦略的研究フォーラム
<http://www.bsc-japan.com/kako.html> 2007.3
- [2] 佐々木良一，「合意形成支援ツール 多重リスクコミュニケーション（MRC）の開発とその後の展開」，JISTEC REPORT, Vol.71, pp.8-11, 2009
- [3] 瀬戸洋一： プライバシー影響評価手法の行政情報システムへの適用検討，東京都立産業技術研究センター研究報告会，2007.6.8
- [4] 平野美恵子： 米国の電子政府法，外国の立法，pp.1-74, 2003
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/legis/217/21701.pdf>
- [5] ISO22307 Financial services –Privacy impact assessment- 2008.5
- [6] OECD Guidelines on the Protection of Privacy and Transborder Flows of Personal Data
http://www.oecd.org/document/18/0,2340,en_2649_201185_1815186_1_1_1_1,00.html
- [7] Treasury Board of Canada: Privacy Impact Assessment Guidelines: A Framework to Manage Privacy Risks, 2002.8
http://www.TreasuryBoards-sct.gc.ca/pubs_pol/ciopu

[bs/pia-pefr/paipg-pefrld-PR_e.asp?printable=True](http://www.bsc-japan.com/pia-pefr/paipg-pefrld-PR_e.asp?printable=True)

- [8] Office of the Federal Privacy Commissioner, Australia: Privacy Impact Assessment Guide, 2006.8
<http://www.privacy.gov.au/PublicationsPIA06.pdf>
- [9] 大類優子，瀬戸洋一： プライバシー影響評価ISO22307の要求事項の分析，SCIS2010, 2010.1
- [10] United States Visitor and Immigrant Status Indicator Technology Program Office: Privacy Impact Assessment Update for the US-VISIT Program, 2005
http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/privacy/privacy_pia_usvisitupd1.pdf
- [11] 中山信弘： 国際社会とソフトローの基礎理論，有斐閣，2008.9
- [12] 堀部政男： プライバシーと高度情報化社会，岩波新書，1988
- [13] 独立行政法人情報処理推進機構，情報技術セキュリティ評価のためのコモンクライテリア パート 2: セキュリティ機能コンポーネント バージョン 3.1 改訂第 2 版，2007.9
- [14] 嶋田茂ほか： スマートフォンによるドライブログの常時記録アーカイブと映像サービスシステムの構想，情報処理学会研究報告，Vol.2009-ITS-038, pp.2, 2009
- [15] 瀬戸ほか： プライバシー影響評価ガイドラインの開発，信学会春全国大会，2010.3

人間中心デザインに関する専門教育プログラムの開発と実践

安藤昌也*

Development and Implementation of a HCD Education Program

Masaya Ando *

Abstract

Human-centered design (HCD: human centered design) is widely known as methodology for developing the product which is usable and received by the user. The competence of the HCD professionals has been examined by various industry organization even in Japan from 2001. In 2009, Human Centered Design Organization in Japan (HCD-net) arranged the HCD professional's competence based on these examination results and has started the HCD professional's qualification program. However, there is no systematic educational program for a HCD professional. In this paper, it describes development of the specialized education program of HCD which is based on the HCD competence. This program was carried out from September, 2010 as a certification program of AIIT.

Keywords: HCD (human centered design), certification program, usability, user experience

1 はじめに

人間中心デザイン (HCD: human centered design) は、主にソフトウェア開発において、ユーザビリティが高くユーザに受容される製品を開発するための方法論として、1990年代以降、広く認知された概念であり、我が国の産業界においても様々な分野で実践されている[1]。一般的にHCDは、ユーザビリティ・テストなどによって、製品のユーザビリティ品質を評価する活動として認知されている傾向はある。しかし、本来の対象範囲は、ユーザの利用状況の把握やユーザの要求事項の明示など、より上流の工程をも含んだ製品開発全体に及ぶものである。そのため、HCDの実務者にはユーザに関する調査・分析能力と製品開発プロセスに関する幅広い専門的知識が求められる。

HCD実務者の専門性およびコンピタンスに関しては、2001~2002年にユーザビリティに関する国際学会であるUPA (Usability Professionals' Association)において議論されてきた[2,3]。また日本においては、ビジネス機械・情報システム産業協会[4]、ニューメディア開発協会およびテクニカルコミュニケーター協会において、ユーザビリティ専門家の資格認定制度が議論された経緯がある[5]。しかし、検討は行われたもののHCD専門家に対するニーズが明確でないなどの理由から、資格制度としては実施されていなかった。

ところが、2009年7月に内閣府による「電子政府ユーザビリティガイドライン」[6]が策定されると、HCD専門家の必要性が一気に高まった。電子政府ユーザビリティガイドラインは、

より使いやすく利用される電子政府システムの実現を目指し、今後政府が調達する電子政府システムにおいては、ユーザビリティを確保することが求められるようになり、その実施と検証には「ユーザビリティ専門家」を採用することが示されている。

政府のガイドラインを受け、2009年人間中心設計推進機構 (HCD-net)が、HCD専門家の資格制度を整備し、2010年4月には第1回の資格認定試験に合格した119名が、認定人間中心設計専門家(認定HCD専門家)となった[7]。HCD-netの資格認定制度は、人間中心設計に関する実務経験が5年以上あることを条件としたものであり、実務内容を詳細に検証評価する試験方式が採用されている。

HCDの実務では、ユーザビリティ・テストなどの実務知識だけでなく、ユーザ調査などの調査手法に関する知識や人間の認知機能に関する知識など、多様な専門知識が要求される。そのため、HCDに関する専門教育のニーズは高く、海外では、いくつかの大学でHCDの専門学科を設置するなどの取り組みが行われている。例えば代表的な事例として、米国ワシントン大学の Human Centered Design & Engineering 学科が挙げられる。ワシントン大学は、1989年に工学部テクニカルコミュニケーション学科としてスタートしており、米国内でもHCD専門教育の歴史は長い。しかし、日本国内においてHCDに関する専門教育を体系的に実施している教育機関はほとんどない。今後、社会の高齢化などにより、使いやすい製品やサービスはますます求められており、HCD専門家に対するニーズはさらに高まるものと考えられる。こうしたニーズに応えるためにも、体系的なHCDの専門教

育が望まれている。

また東京都は、情報サービス業の集積度が全国に比べ高く[8]、ソフトウェア業務においては全国売上高の60%以上を東京都が占める[9]という、極めて特徴的な地域である。こうした地域的特性を考慮すると、東京においてHCDの専門教育プログラムを提供することへのニーズも十分あると考えられる。

本稿では、学校教育法が定める履修証明プログラムとして2010年度に実施した人間中心デザインの専門教育プログラムの開発について述べ、その実践状況について述べる。

2 プログラム内容の検討

2.1 HCD 専門家のコンピタンス

HCD-net の資格制度で示された HCD 専門家のコンピタンスでは、コアコンピタンスとなるユーザビリティエンジニアリング能力に、「調査評価能力」と「設計デザイン能力」が定義されている(図 1)[10]。これらのスキルは、人間中心デザインの設計プロセスである、ISO 9241-210: 2010 (旧 13407: 1999) に示された設計活動に対応している[11]。また、関連知識には、各種調査法・分析法に関する知識に加え、認知心理学や人間工学などの関連学問分野の知識なども定義されている。

確かに、現在活動しているユーザビリティを中心とした HCD 専門家に求められるコンピタンスは、図 1 で示されるもので十分対応可能だと言える。しかし、ソフトウェア開発における昨今の関心事は、ユーザビリティからより良いユーザ体

験 (UX: user experience) の実現へとシフトしている。2010 年 3 月に ISO 13407 が ISO 9241-210 へと改定された際にも、人間中心デザインの目的は“UX の実現”である、と位置付けを大きく変更しており、教育プログラムとしては将来をも見据えた内容とすることが必要である。

9241-21 によると、UX は次のように定義される。

ユーザ体験 (UX): 製品やシステム, サービスを使用, あるいは使用を予想した時の, 人の知覚と反応 [11]

UX を高める方法論については、いまだ確立した方法論はないものの、ユーザの心理的・感性的側面を考慮した設計や、製品だけでなくサービスにも踏み込んだ提供方法の検討といった、これまで以上に深いユーザニーズの把握能力とデザイン提案力が、HCD に求められていると考えられる。

2.2 開発した教育プログラム体系

HCD 専門教育プログラムは、履修証明制度に基づいて実施することとした。履修証明制度は、2007 年 12 月に学校教育法の改正により、大学・大学院が学位に準じた社会人向けの教育プログラムとして施行されたものである。この制度は、多様かつ高度化する専門的な職業的知識・技術取得へのニーズの高まりに応じたものであり、社会人の職業キャリア形成にも寄与することが期待されている。本プログラムの目的とも合致した制度と言える。履修証明制度では、対象領域に関する科目を体系的に編成した、120 時間以上の課程である。

関連知識と手法 (加点項目)			← 必須コンピタンス指定項目 →				加点項目
		38. 質的分析手法に関する知識	45. 要求分析能力				
		37. 量的分析手法に関する知識	44. インスタレーション評価実施能力				23. 人材ネットワーク構築力
30. ユニバーサルデザインに関する知識		36. 調査実務計画に関する知識	43. ユーザビリティテスト実施能力	*情報構造の設計能力			22. 折衝調整・説得能力
29. 開発プロセスに関する知識		35. 各種調査評価手法に関する知識	42. 観察能力	48. プロトタイプ作成能力			21. 文書作成能力
28. 利用状況に関する知識		34. 心理学に関する知識	41. インタビュー実施能力	47. デザイン・仕様提案能力	51. プロジェクト管理能力		20. プレゼンテーション能力
27. 製品・技術に関する知識		33. 認知心理学に関する知識	40. 分析考察能力	46. 要求仕様作成能力	50. チーム運営能力	53. 教育能力	19. コミュニケーション能力
26. ユーザーインタフェースに関する知識	31. HCD・UCDに関する知識	32. 人間工学に関する知識	39. リサーチデザイン能力	*情報構造の分析能力	49. プロジェクトデザイン能力	52. 組織マネジメント能力	18. 情報収集力
E. 知識			F. ユーザビリティエンジニアリング能力		G. マネジメント能力		業務遂行能力
E1 開発部署共通	E2 プロセス・理念	E3 関連学問分野・手法	F1 調査評価能力	F2 設計デザイン能力	G1 プロジェクト運営能力	G2 組織管理能力	

図 1: 人間中心設計推進機構が定義する、人間中心設計 (HCD) 専門家のコンピタンスマップ 2009 年版[10]

表 1: 履修証明プログラム対応 「人間中心デザイン」プログラム編成

ユニット	科目名	講義内容	時間
基礎編	人間中心デザイン概論	本講義では、人間中心デザインの基本的な概念を学ぶとともに、実際の産業界において「人間中心のものづくり」がどのようにとらえられ、実践されているかについて、様々な立場から複眼的に理解する。	12
	人間中心デザインの認知科学	人間の認知特性に沿わないデザインは、エラーを誘発したり学習に時間を要したりすることになる。そのため人間中心デザインでは、認知科学に基づいた製品デザインを行うことが鍵となる。本講義では、特に人工物との相互作用に着目し、ユーザインタフェースなどのデザインやユーザ心理の理解に不可欠な、人間の認知特性の基礎理論を学ぶ。	12
	ユーザプロファイリング方法論	人間中心デザインプロセスにおいて、ユーザーの要求事項を分析するためにペルソナやシナリオを用いることが、広く一般的におこなわれるようになった。本講義では、調査結果に基づいてペルソナやシナリオを作成するための、具体的な方法論を演習形式で学ぶ。また、最新手法である定量調査による消費者行動プロファイリングについても紹介する。	12
	人間中心デザインのための発想法	デザインのように人間の創造性が関わる分野では、単発のアイデアの良しあしよりも、対象が変わっても新鮮なアイデアを生産し続けられる良質な方法や考え方ができることが重要となる。本講義では、人間中心のデザインのための発想力を高める方法論及びその訓練として、3つの手法を(KJ 法、インプロビゼーション、XB(クロスビー)法)取り上げる。	13.5
デザイン編	コンセプトデザイン方法論	本講義では、人間中心デザインの上流プロセスで用いられる手技法に力点を置く。最新の体系的手法である「ビジョン提案型デザイン手法」(ペルソナ法、シナリオ法、フィールドワーク、エスノグラフィー、文脈における質問(Context Inquiry)などの手技を体系化したもの)を理解するとともに、演習での各手法の実践を通して、体験的に学ぶ。	13.5
	コンセプト・リファイン方法論	本講義では、ペルソナ/シナリオ法などによって導出された、コンセプト段階のデザインアイデアに対して、コンセプトを精緻化するための気づきを得る手法(アクティングアウト法、ペーパープロトタイピング法)を修得する。	9
	情報アーキテクチャ設計論	本講義では、情報アーキテクチャの役割や基本的な考え方を学ぶとともに、カードソーティングなどの演習を通して、情報アーキテクチャ設計の基本プロセス及び手法に関する知識を修得する。さらに、ユーザーエクスペリエンスデザインとしての情報アーキテクチャの役割とは何かについても論じる。	7.5
	ユーザビリティ評価方法論	製品のユーザビリティを高めるためには、適切なタイミングで、製品のユーザビリティ評価を行うことが重要となる。本講義では、広く実践されているユーザビリティテストを実践できるスキルを獲得するために、実際の製品を対象に、テストの計画から実査、データのとりまとめと分析、改善提案までを演習する。	16.5
応用編	応用人間中心設計論	人間中心設計は、ユーザビリティの確保から、人工物の利用全体に視野を広げた、ユーザエクスペリエンス(UX)の実現へと進化・拡大を遂げつつある。本講義では、ユーザエクスペリエンスや人工物発達学など、人ともとの関わりについての新しい視点を紹介しつつ、今後の人間中心デザインのあり方や企業などでの取り組み方などについて論じる。	13.5
	(以下、2科目の中から1科目以上を選択)		
	デザインシステム計画特論 (学位課程の講義の活用)	デザイン、特にエステティック(美的)な問題やセミオティック(記号論)な問題に有効な、客観的手法としての解析手法の体系的理解と、実務に活用できるデータ収集から分析、評価にいたる一連のプロセスを実践的に学修する。様々な手法を体系的に整理するとともに、フィールドサーベイ、印象評価と分析、コレスポンス分析などによるデザインマップ作成などについて、演習を通して学ぶ。	22.5
サービス工学特論 (学位課程の講義の活用)	人間の内面モデル、サービスの満足度評価法、機能評価法、工学的サービスメディアの事例・特徴・設計論などを学んだ上で、これらを融合した実践的演習を通して、サービスメディアを工学的観点から考察し、効果的なサービスを創造・評価できる力の修得を目指す。	22.5	

HCD 専門家のコンピタンス及び UX への対応を考慮し、合計 132 時間(標準修了時間)の HCD 専門教育プログラムを表 1 に示す通り編成した。

2.3 プログラムの概要

カリキュラム編成の特徴は、全体を大きく 3 つのユニットに分割し、基礎編、デザイン編、応用編とし、それぞれ修得するコンピタンスのゴールを明確にしたことである。

基礎編では、HCD コンピタンスマップ(図 1)における関連知識の習得を主目的に構成した。まず、HCD に関する基礎知識を学ぶとともに、HCD の最も重要な基礎学問である認知科学を座学によって修得する。また、UX を実現するための新しいデザインアイデアを導出する基礎として、「人間中心デザインのための発想法」を取り入れている。

さらに、コアコンピタンスの中から昨今頼りに用いられるようになったペルソナ作成法を中心に、ユーザ調査とユーザ要求事項の分析を学ぶ「ユーザプロファイリング方法論」を盛り込んだ。

デザイン編では、HCD 専門家のコアコンピタンスである、「設計デザイン能力」と「調査評価能力」の知識と技法を学ぶことを主目的としている。

UX を実現するためには、これまで以上に開発の上流工程でユーザのニーズに応えられる製品やサービスのコンセプトを立案する能力が求められる。そこで、設計のより上流で実施する「コンセプトデザイン方法論」と、立案したコンセプトの精度を高めるための「コンセプト・リファイン方法論」を一連のものとして学ぶこととした。さらに、Web コンテンツの設計などで不可欠な「情報アーキテクチャ設計論」についても学ぶ。これらの科目は、演習を中心に実施する。また、HCD 専門家の業務の中心となる「ユーザビリティ評価方法論」については、十分に時間をかけた演習により、知識と経験を修得できるようにした。

応用編では、UX やサービス工学など、今後の HCD において求められる知識内容について学ぶことを主目的としている。「応用人間中心設計論」では、UX を実現するための方法論に関する最新の研究成果や、HCD を企業内で実現するためのマネジメントに関する考え方などを学ぶ。また、本学創造技術専攻の学位課程の講義の中から、HCD の応用として関連の深い「サービス工学特論」及び「デザインシステム計画特論」を選択科目として取り上げた。

このように、3 つのユニットそれぞれに、HCD 専門家としてのコンピタンスを体系的に獲得できるようにし、さらに UX など今後求められる分野についても学べるよう工夫したプログラムとなっている。なお、受講生には 3 つのユニットを修了することで、学校教育法に基づく履修証明書が交付される。

3 プログラムの実践

3.1 実施概要

開発した HCD 専門教育プログラムは、2010 年度に実施した。各ユニットの実施時期を、表 2 に示す。

なお、社会人が学びやすいよう、ほとんどの科目を金曜日夜(18 時 30 分～21 時 40 分までの 2 コマ)と、土曜日(10 時 30 分～18 時までの 4 コマ)に実施するよう配慮した。

表 2: 2010 年度「人間中心デザイン」実施期間

ユニット	期間
基礎編	2010 年 9 月 3 日～10 月 22 日
デザイン編	2010 年 10 月 23 日～12 月 18 日
応用編	2010 年 11 月 29 日～2011 年 2 月 7 日

3.2 受講者数

本稿執筆時点では、デザイン編までを実施しており、以下では基礎編及びデザイン編までの実施状況について述べる。

本プログラムでは当初、各ユニット 20 名を上限定員としていたが、予想以上の反響があり、定員を大きく上回る受講者が集まった。各ユニットでの受講者数を表 3 に示す。

デザイン編は、基礎編に引き続いて受講する受講者が 24 名と、デザイン編から新たに受講する 4 名の 28 名となった。

表 3: 2010 年度の受講者数

ユニット	一般受講者	学生受講者※
基礎編	24 名	3 名
デザイン編	28 名 (新規受講 4 名)	1 名

※本学の学位課程の学生は、科目ごとに受講が可能。数字はのべ人数を示す

3.3 受講者の特徴

基礎編の受講者 24 名の所属企業及び事業所の業務内容を見ると、企業等にシステム開発を行う「システムソリューション」が最も多く 8 名で、次いで自社で EC サイトやブログサイトなどを提供している「Web サービス提供」の企業が 7 名と多かった(図 2)。

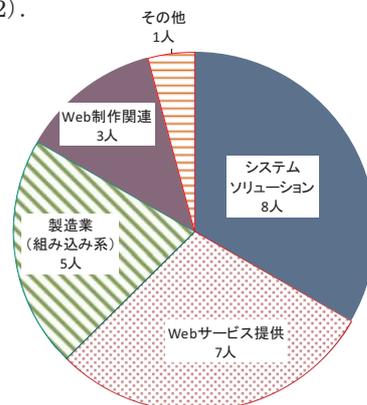


図 2: 基礎編受講者の業種分類 (N=24 名)

なお、受講者の中には直接的に開発には関わっておらず、マーケティングなど開発周辺の業務を担当されている方も数名おられた。

受講者の HCD の手技法の経験度を尋ねた。尺度は、以下の 4 段階とした。

1. 実調査・デザインを担当したことがある
2. 調査・デザインを依頼したり結果の報告を受けたりしたことがある
3. 知識としては知っているが、実務経験はない
4. 詳しく内容を知らない

結果を図 3 に示す。アンケートやインタビュー、ユーザビリティ・テストなど、比較的好く知られた手法では経験者が多いものの、その他の手技法では、知識はあっても経験していない人や知らない人が多い。特に、コンテクスチュアル・インクワイアリやワークモデル分析など、フィールドからユーザーズ及び要求事項を導出する手法や、コンセプト段階でのデザイン案を評価するためのアクティングアウトなど、上流工程での手技法では、多くの人が詳しく知らないと回答している。

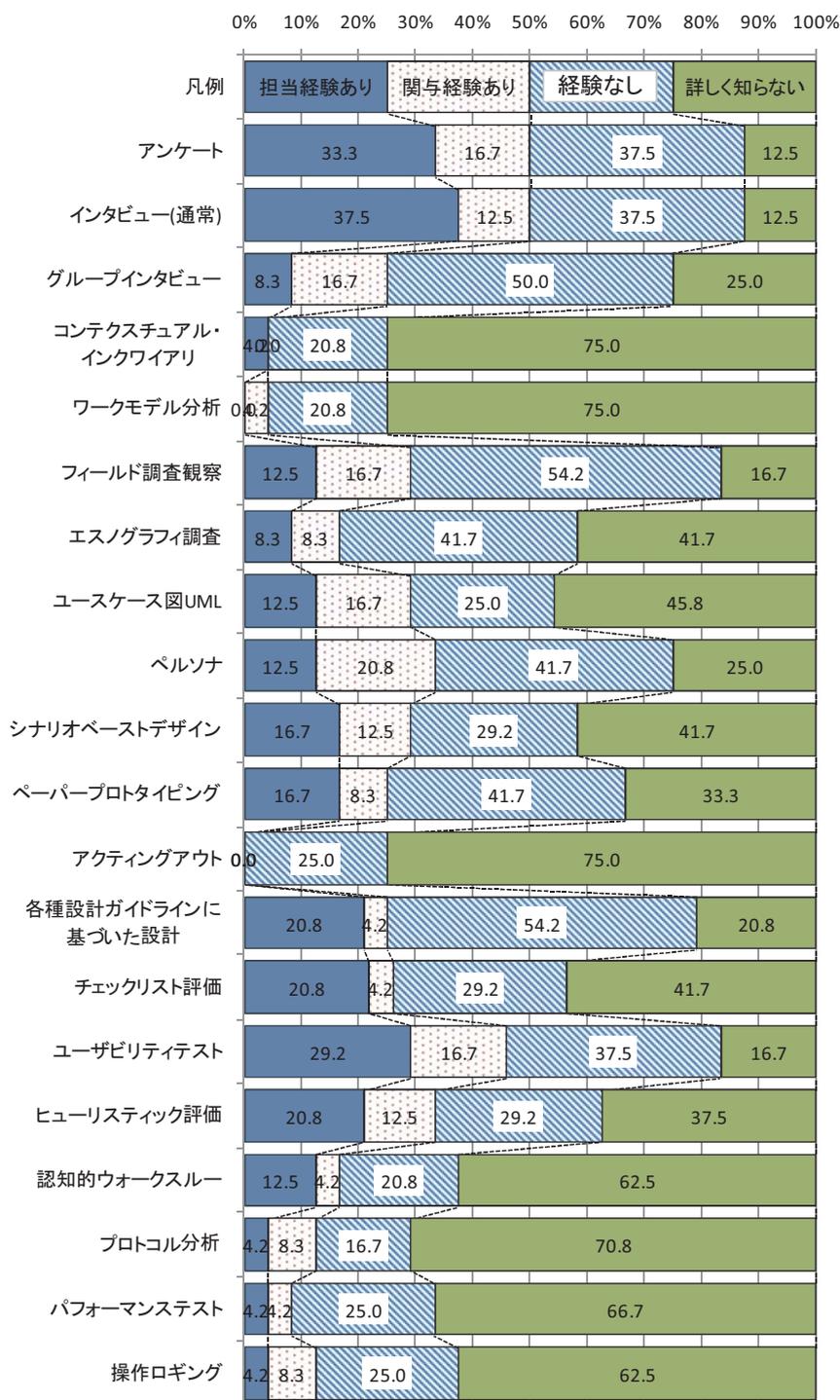


図 3: 基礎編受講者の HCD 手技法経験度 (N=24 名)

3.4 プログラムに対する評価

基礎編を修了した段階での、本プログラムでの満足度を尋ねたところ、回答者の7割以上に当たる16名が「満足」と回答しており、これまでのところ高い評価を得ていると言える。

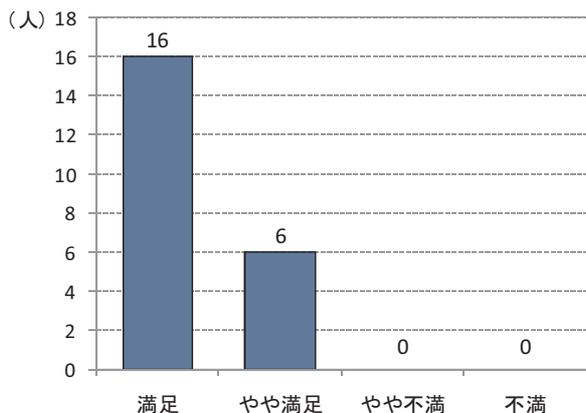


図4: 基礎編受講者の満足度評価 (N=22)

また、カリキュラム構成と習得したかった内容との一致度を尋ねた設問でも、回答者の7割以上に当たる16名が「合っていた」と回答している。

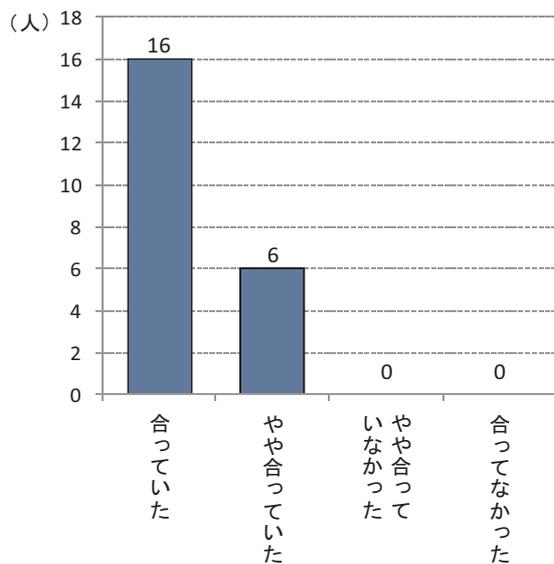


図5: 基礎編受講者の習得した内容との一致度 (N=22)

受講者からのコメントとしては、「第一線で活躍している講師の方たちから、生の知識、考え方を聞く事が出来て大変有意義でした」とや「ワークショップも多く身に着きやすかった」、「基礎を学ぶためにバランスの良い構成だったと感じました」など好意的な意見が多かった。

一方で、「全体的に時間が足りなかったように思いました」とや「ワークショップの後に必ず振り返りの時間を設けられるように時間設定してもらえると助かります」など、講義時間の不足に関する意見が散見された。これらの意見は、今後のプロ

グラムの見直しに役立てたいと考えている。

4 まとめと今後の取組み

本稿では、HCDの専門教育プログラムについて、HCD専門家のコンピタンスをベースにしなが、今後必要とされるUXなどの知識をも考慮した132時間の教育プログラムの開発について述べた。このプログラムは、履修証明制度に対応したものであり、2010年9月から実践している。

3つのユニットのうち、基礎編では24名の受講者が受講し、習得したい内容との一致度や内容の満足度評価において、高い評価を得た。

本プログラムは現在も実施中であるが、今後の実施内容に対する評価を行い、さらなるプログラムの改善につなげていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 「ユーザビリティハンドブック」編集委員会 (2007), 『ユーザビリティハンドブック』, 共立出版, 東京
- [2] Day, D.L., & Bevan, N.: CERTIFYING USABILITY (PROFESSIONALS): A Scheme to Qualify Practitioners, Interactions, January-February, 7-9, 2002.
- [3] Nowicki, J., & Quesenbery, W.: Building Blocks to a UCD Body of Knowledge, UPA Annual Conference 2002 presentation document, 2002.
- [4] ビジネス機械・情報システム産業協会:「人間中心設計プロセス実践事例集」, 社団法人ビジネス機会・情報システム産業協会 技術委員会 ヒューマンセンターデザイン小委員会, 2002.
- [5] ニューメディア開発協会:「ユーザビリティ資格評価に関する調査研究」, 2005.
- [6] 内閣府各府省情報化統括責任者(CIO)連絡会議, 「電子政府ユーザビリティガイドライン」(Online at: http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/guide/security/kaisai_h21/dai37/h210701gl.pdf; last access: 2010, Oct. 25)
- [7] 特定非営利活動法人人間中心設計推進機構:「認定人間中心設計専門家一覧」, (Online at: http://www.hcdnet.org/certified/news_certified/post_1.php, last access: 2010, Oct. 25)
- [8] 東京都産業労働局, 「東京都の産業と雇用就業2010」, 2010.
- [9] 経済産業省, 「平成20年特定サービス産業実態調査」, 2009.
- [10] 特定非営利活動法人人間中心設計推進機構:「HCDコンピタンスマップ」, 2009.
- [11] ISO 9241-210: 2010: Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems

離散事象シミュレーションを用いたサービス設計手法 PLAN の提案

川田 誠一*・佐田 國晴信*・杉田 千夏*・天間 要介*

A Proposal of the Service Design Method PLAN by using the Discrete Event Simulation

Seiichi Kawata*, Harunobu Satakuni*, Chinatsu Sugita* and Yosuke Tenma*

Abstract

In this paper, we explained the new service design framework PLAN. The PLAN consists of the four service design phases, Philosophical Design phase, Logical Approach phase, Analysis on Service phase and Next Best Policy phase. We focus on both of the Persona modeling and the discrete event simulation in the service designing process by our proposed PLAN. Illustrative example shows that the our approach is effective for the service design.

Keywords: Service Engineering, Service Design, Discrete Event Systems Simulation, Persona Model

1 はじめに

近年, 社会構造の変化, 環境対策, 収益性の向上の観点から, 製造業においていわゆる「ものづくり」からサービスを中心とした「コトづくり」へのシフトが課題となっている。また, サービス業そのものにおいても, 効率化を含めたサービスの生産性向上が課題であり, サービスの重要性が認識されているものの, 取り組むべき課題が多いのが現状である。

このようなサービスの高度化に関する研究は, 日本, 米国, ヨーロッパにおいてそれぞれの地域性や企業文化に根差した独特のアプローチがある。ここでそのすべてを論ずることはしないが, 次のようなアプローチがそれぞれの地域で実施されている。

- サービス工学(日本)
- サービス・サイエンス(米国)
- Product-Service System(ヨーロッパ)

このように, 様々なアプローチで研究が実施されており, 要素的な研究は活性化しているものの, 新規にサービス設計を実施する場合や, 既存のサービスを改善する場合において, どのような手順で実施し, 評価すべきかなどの, サービス設計手法を提案したものは少なく, 設計手法と, その手法に基づく課題解決事例に関する研究が期待されている。

本研究では, 新井[1]らが提唱しているサービス工学の

観点からサービスの設計に工学的アプローチを取り入れ, 新たなサービス設計のフレームワークである PLAN を提案するものである。PLAN という名称は, 本研究で提案する設計方法論が, 「Philosophical design」, 「Logical approach」, 「Analysis on service」, 「Next best policy」の 4 つのプロセスから構成されることから, その頭文字を並べて方法論の名前とした。また, PLAN の特徴の一つとして, サービスに関する離散事象モデルを構築し, 設計した一連のサービスプロセスがどのように機能するかをシミュレーションで検証できることにある。

以下では, PLAN の概要, ペルソナ作成のまとめ, シミュレーション事例などについて述べ, 提案する手法の有効性を確認する。

2 PLAN について

提案する設計方法論 PLAN は, 「Philosophical design」, 「Logical approach」, 「Analysis on service」, 「Next best policy」の 4 つプロセスで構成される。サービス設計方法論として PLAN を開発する際に留意したことは PDCA サイクルの考え方である。すなわちサービス設計のための一連のプロセスとして単に一度だけ PLAN を用いるのではなく, 得られたサービスをさらに改善するために PLAN という一連のプロセスを, 要求されるレベルのサービスが得られるまで, 何度も周期的に実行することを想定して開発した。すなわち PLAN というサイクルを回し続ける事でサービス設計が洗練される方法論となっている。

以下では、PLANの各フェーズの内容について説明する。

2.1 「Philosophical design」

本フェーズは、提供するサービスの価値や、人々が持つ価値観を明確にし、提供するサービスと提供される側の顧客について定義するプロセスである。本フェーズでは主として以下のようなプロセスを実行する。

- 発想法などの思考法を用いた議論
- ペルソナの作成
- ペルソナを活用した価値の創出
- プリミティブサービス例[2]を用いた分析・検討

ここでのプリミティブサービス例として、吉川ら[2]が提唱している17種類のサービスを用いている。これは、産業としてサービスが成立する以前から、人間の生活の中心の中で発生してきたサービスである。17種類のプリミティブサービスを列挙すると、医療、介護、補助、移動、飲食、美容、宿泊、教育、情報、相談、音楽、物語、娯楽、保管、輸送、保全、生産となる。

今回、吉川らのプリミティブサービス例を元に、108人を対象にSD法による印象分析を実施した。分析に用いた評価項目を表1に示す。

表1: 分析に使用した評価項目

NO	評価項目		NO	評価項目	
1	積極的な	消極的な	16	楽しい	苦しい
2	素直な	強情な	17	男性的な	女性的な
3	のんびりとした	こせこせした	18	安定した	不安定な
4	思いやりのある	わがままな	19	外交的な	内向的な
5	活発な	不活発な	20	慎重な	軽率な
6	幸福な	不幸な	21	美しい	醜い
7	やさしい	こわい	22	複雑な	単純な
8	意欲的な	無気力な	23	気持のよい	気持の悪い
9	親切的な	不親切的な	24	広い	狭い
10	頼もしい	頼りない	25	優しい	厳しい
11	責任感のある	無責任な	26	敏感な	鈍感な
12	おしゃべりな	無口な	27	清潔な	不潔な
13	理性的な	感情的な	28	面白い	つまらない
14	まじめな	ふまじめな	29	きれいな	きたない
15	速い	遅い	30	静かな	うるさい

因子分析の結果からサービスを次の4つの因子で説明することが妥当であることが分かった。

- 顧客対応能力
- 確実性
- 快適性
- 顧客共感能力

また、これらの4つの項目を用いて表2のような結果を得た。これらの因子を参考にして、顧客価値の設計及び、サ

ービスエンカウンターを特定した。

なお、以上のアンケート調査は次のような条件で実施したものである。

「被験者の選定」

様々な人物に対してのサービスの印象を分析する事が、現実に即していると考えたため、対象年齢は10代から60代までとし、性別は男女両方とした。

「調査方法」

- 調査実施期間 2009/12/17～2009/12/19
- 総回答数 108 サンプル
- 調査方法 gooリサーチを利用したインターネット調査
- 調査機関 NTT レゾナント株式会社

表2: 印象分析結果

質問内容	顧客対応能力	確実性	快適性	顧客共感能力
保管	1.14	-0.47	-0.07	0.23
保全	0.62	-0.54	0.32	0.26
補助	0.54	-0.27	0.28	-0.67
医療	0.52	-0.70	0.11	0.32
物語	0.49	0.58	-0.42	-0.88
介護	0.24	-0.42	1.13	-0.17
相談	0.21	-0.50	0.48	-0.28
宿泊	0.19	0.06	-0.95	-0.78
教育	-0.02	-0.37	0.16	0.51
美容	-0.02	0.66	-0.85	0.28
移動	-0.39	0.04	0.16	0.41
飲食	-0.43	0.40	-0.34	0.19
輸送	-0.44	-0.38	0.33	0.44
音楽	-0.49	0.70	-0.75	-0.55
生産	-0.66	-0.09	0.24	0.36
娯楽	-0.67	1.12	-0.04	-0.38
情報	-0.86	0.17	0.19	0.69

2.2 「Logical approach」

このフェーズは、「Philosophical design」で得られた情報を元に、シミュレーションを実施するプロセスであり、以下のようなプロセスから構成されている。

- サービス・ブループリントの作成, RSPの設定[3]
- Philosophy design で得た情報から価値関数を選定
- シミュレーションモデル作成
- シミュレーション実行

本研究では、離散事象シミュレータ”Arena”を使用しモデルの作成及びシミュレーションを実施した。

2.3 「Analysis on service」

このフェーズでは、「Logical approach」で得られたシミュレーション結果から、制約条件がある状況において、顧客満足や収益の最大化を実現する為の最適値を分析する。以下のような手法が考えられる。

- 線形計画法等による分析
- 待ち行列等各種分析
- 日程計画 (CPM 法)
- 在庫管理 (指数平滑化法)

最適値の選定が終わった状態で、サービス設計が完了する。

2.4 「Next best policy」

本フェーズでは、サービス現場から得られた情報や、顧客満足度調査など、アンケートによって得られた情報を元に、サービスの改善や次の施策を検討する。以下のようなプロセスで構成される。

- サービスを提供する現場からの情報収集
- アンケートなどによる情報収集
- 改善すべきサービスの特定と改善方法を検討

これらのプロセスを実行することで、「Philosophical design」で作成したペルソナや価値の修正や、「Logical approach」にて作成したシミュレーションモデルの修正を実施し、サービスの検証を行うことが可能となる。

後で示す事例では、アンケート結果から CS ポートフォリオを作成し、サービスの改善案の検討を実施している。そして、その改善案をシミュレーションにて検証し、改善案実施後の顧客満足度の数値がどのようになるか検証する。

3 ペルソナの作成

ペルソナ[4]とは、『架空の顧客像を設定した情報を担当者間で共有し、その顧客像への理解を深めることで商品やサービスの完成度を高めるためのマーケティング手法』とされている。

ペルソナを用いることで、顧客の有する価値が何かを考えることが容易になることや、サービス設計に関わる設計チーム全員で考え方を共有して顧客視点で議論することを容易にするなどの利点がある。本プロジェクトでは PLAN 手法中の「Philosophical design」および「Next best policy」の二つのフェーズでペルソナを用いている。なお、これら二つのフェーズではそれぞれペルソナの作成方法や用い方は異なっている。

以下では、「Philosophical design」および「Next best policy」それぞれのフェーズにおけるペルソナについて説明する。

3.1 「Philosophical design」フェーズにおけるペルソナの作成について

PLAN 手法の「Philosophical design」フェーズで求められるペルソナの条件は顧客が持っている価値の議論を円滑にするものでなければならない。従って、設計チーム間で議論が白熱するよう、ペルソナ作成者以外のチームメンバーからも興味をもたれるような説得力のあるペルソナを作成することが重要となる。

また、「Philosophical design」フェーズが設計の初期段階であるため、アンケートの集計結果など顧客の意見を事前に入手できていないことが想定される。このようなことから、「Philosophical design」フェーズでペルソナを作成する上で以下のような項目に留意することが必要である。

- どのようなサービスを顧客に提供したいのか？
- 顧客としてターゲットにしたいのはどのような人物であるのか？
- サービスが提供される環境や状況はどのようなものを想定しているか？

詳細な顧客データがない状況でも、以上のようなことを設計者あるいは設計チームにおいて検討を進めることで、後の設計に重要な知見を得ることができる。

次に、本研究において用いるペルソナ作成方法について述べる。まず、「Philosophical design」フェーズでは、先に述べたように顧客から入手できる情報が少ないため以下の方法で作成を行う。

- 対象とするサービスの顧客に関する仮説を立てる。
- 仮説に従って顧客の人物像を、性別、年代職業のようにおおまかに作成する。
- 作成した人物像を対象として、その家族構成、居住している地域の特性、勤務先の状況など顧客となる人物の環境情報を作成する。

本研究では、以上のような作業を『ペルソナシート I』というフォームに必要事項を記入することで簡易ペルソナが作成できるようにした。簡易ペルソナ作成の有効性は、文献[4]でも言及されているが、ここで作成する程度の骨格を持つペルソナを作成しておくことで、今後の設計プロセスの中で、より現実に近いペルソナに改良していくことが容易になると考えられることから、このような手順を考えた。

図1に考案したペルソナ作成シートを示す。

図1: ペルソナ作成シート

このようにして作成されたペルソナシートを設計者自身が検討することや, 設計チーム間で議論することで作成したペルソナをより現実に合うものに修正していくことが必要である。

3.2 「Next best policy」フェーズにおけるペルソナの作成について

PLAN 手法の「Next best policy」フェーズで求められるペルソナは, 詳細なアンケート調査などを実施することで対象となる顧客の考えを現実的に反映したものでなければならない。なぜならば, 本フェーズにおいてペルソナを用いることの目的が, 既存のサービスにおける問題点, 改善方法を顧客視点で明確にすることにあるからである。

次に, 本フェーズで作成するペルソナについて説明する。その手順は次の通りである。

- まず, すでに作成した簡易的なペルソナをアンケート結果などを用いて修正する。
- 次に以下の項目を追加して詳細情報を有するペルソナを作成する。
 - 名前の設定
 - 正確の設定
 - 趣味の設定
 - 近況の設定
 - 顔写真などの添付

ここでもペルソナシートを活用して作成するが, 「Philosophical design」での作成物よりも詳細情報を盛り込んだ図2に示す『ペルソナシートII』を使用する。

ペルソナシートIIを作成する上で, 顧客に対する臨場感溢れる印象を持てるように, 顔写真だけではなく, ペルソナが有する属性情報の中でも, 価値観がわかるような画像を導入することが望まれる。例えば, テニスが趣味であるとして, ラケットにこだわりがあるのか, テニスウェアにこだわりがあるのかがわかるような画像情報があると, 今後の顧客価値の分析に役立つものと考えられる。

図2: ペルソナシートII

4 産業技術大学院大学のシミュレーションモデル

産業技術大学院大学 (以下 AIIT) のシミュレーションモデルについて述べる。

4.1 AIIT のモデリングにおけるサービス概念

AIIT をモデリングするにあたって, サービスエンカウンター, 満足度, サービスブループリント, RSPなどサービス工学などで用いられている概念を用いる。以下にそれぞれについて概説する。

- サービスエンカウンター

サービスエンカウンターとは顧客がサービスに出会う場面のことである。例えば, 学校という教育サービスにおいては, 教室, 事務室, 図書館, 校舎, 廊下など様々な場所で学生は教育サービスを受取る。そのそれぞれの場所でサービスを受ける場面がサービスエンカウンターとなる。
- 満足度

本研究では, 顧客満足度はプロスペクト理論[3]と狩野モデル[3]の合成関数として定義している。この合成関数の独立変数はサービスの設計値であり, 従属変数は顧客の満足度である。
- サービスブループリント

サービスが提供されるプロセスを顧客中心に記述したものをサービスブループリントという。サービスブループリントを作成する際には, サービスの提供者である人間だけではなく, 顧客から直接見ることができない裏方などの人間や機械設備などについても記述する。以上のことを実施することで, サービスプロセスを臨場感を持って表現でき, シミュレーションモデルにおいては, サービスブループリントに基づ

いてサービスが提供される状況を視覚的に表現することに留意する。

- **RSP (Receiver State Parameter)**
サービス工学[1]ではサービスの受給者である顧客をレシーバ (Receiver) と定義している。そして、レシーバの状態 (State) に変化を起す行為の中で、対価を伴い顧客であるレシーバが望む状態変化を引き起す行為をサービスであると定義している。RSP を以下に定義するから顧客満足度を評価できる。

4.2 AIIT モデルの概要

開発する AIIT モデルの概要を説明する。まず、AIIT モデルにおける顧客は学生とする。そして、顧客である学生が大学が提供する様々なプロセスを経験することで学生の満足度がどのように変化するかが計算されるようなシミュレーションモデルを開発することとする。このようなモデルに基づいて、シミュレーションを実行すれば、PLAN を用いて設計したサービスの効果を検証することができるものと考えられる。

CS ポートフォリオ

ここでは、アンケート結果から図 3 に示すような CS ポートフォリオを作成し、サービスの改善案の検討を実施した。

図 3 から重要改善項目として学習環境を取り上げ、通学時間の短縮を図ることをサービス改善の目標とした。このことから、品川シーサイドキャンパスに加えて秋葉原サ

テライトキャンパスを利用できるように改善した場合の学生の満足度がどう変化するかをシミュレーションで検討することとした。

4.3 品川シーサイドキャンパスモデル ペルソナ作成部

このモデルでは8体のペルソナを作成する。作成するペルソナには Philosophy design で作成した数値を代入し、タイプの振り分けを行う。また、シミュレータで作成されたエンティティであるペルソナを確率的に分岐させ、ある設計値の重みづけ値を振付けることで具体的なペルソナを表現させている。

効用関数について

満足度を算出するための効用関数は、次のようにして作成した。まず、設計値に対する満足度のデータを得るために学生に対してアンケート調査を実施した。次に、アンケート結果で得られた結果を、あらかじめパラメータライズして作成した効用関数のパラメータに代入することで、シミュレーションで用いる効用関数を得た。

第一行動部

第一行動部は学生が大学に登校したとき、キャンパスのどの施設に向かうかを選択するサブモデルである。AIIT モデルでは、事務室、東京夢工房、図書館、教室、トイレ、自習室などの施設があり、この中から選択される。このとき空間スケールはキャンパス全体、時間スケールは施設到着から施設退室までの時間とする。

第二行動部

第二行動部は、事務室、東京夢工房、図書館、教室、ト

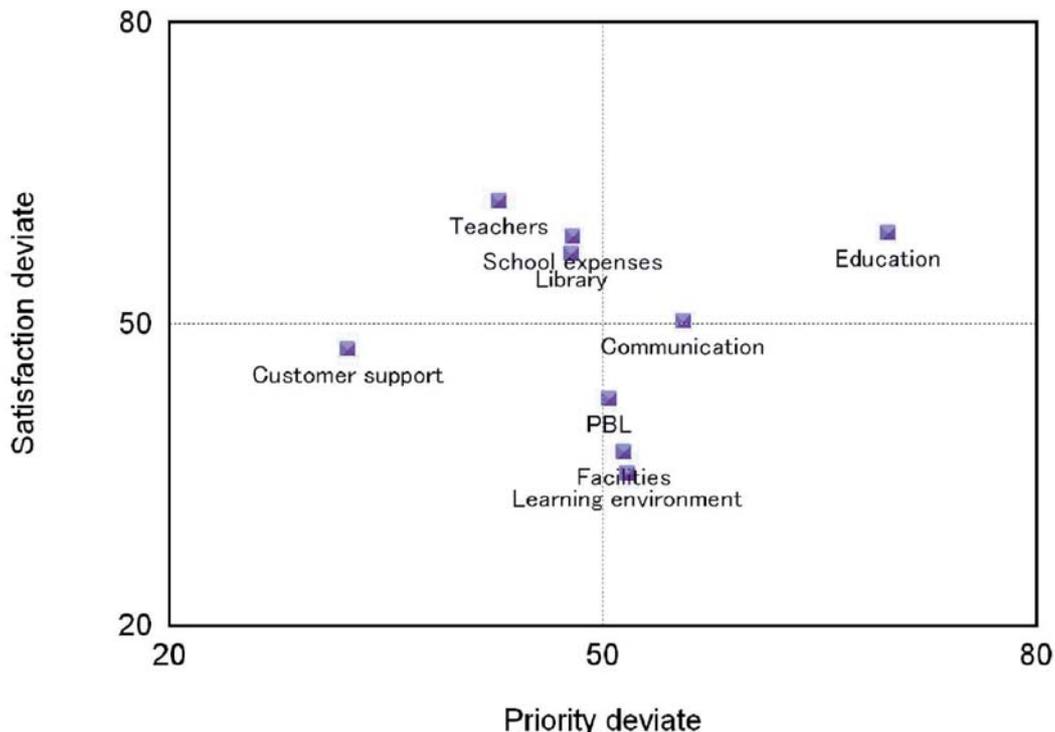


図 3: CS ポートフォリオ

イレ, 自習室からなるサブモデルである。これは、用いている離散事象シミュレータであるアリーナがアカデミック版であるため、作成できるモデル規模に制約があり、AIIT 全体をモデル化できないことから、モデルをサブモデルに分割して作成せざるを得ないことから、このように分割してモデル化することとした。そして、学生の満足度をサブモデルごとに計算し、それを合成することで全体のモデルにおける満足度を求めるようにした。

設計値の設定

設計値は学校の設備を設定した。この RSP は Philosophy design で得られた印象分析の結果から作成している。この設計値とそれに対応する満足度の変数に計算を行っている。

図4にアリーナで作成したシミュレーションモデルの例を示す。

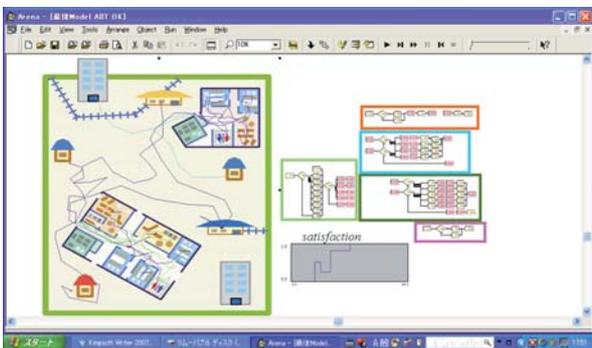


図4: AIIT シミュレーションモデルの例

シミュレーション結果について考察する。図 5 は、秋葉原キャンパスを追加する前と後の顧客満足度の違いを示したものである。ここで総合満足度の計算は、シミュレーション結果から得られる顧客満足度を excel 上で総合することで実施した。図 5 からわかるように、秋葉原キャンパスを追加した場合のシミュレーション結果が示す顧客満足度が高いことがわかる。

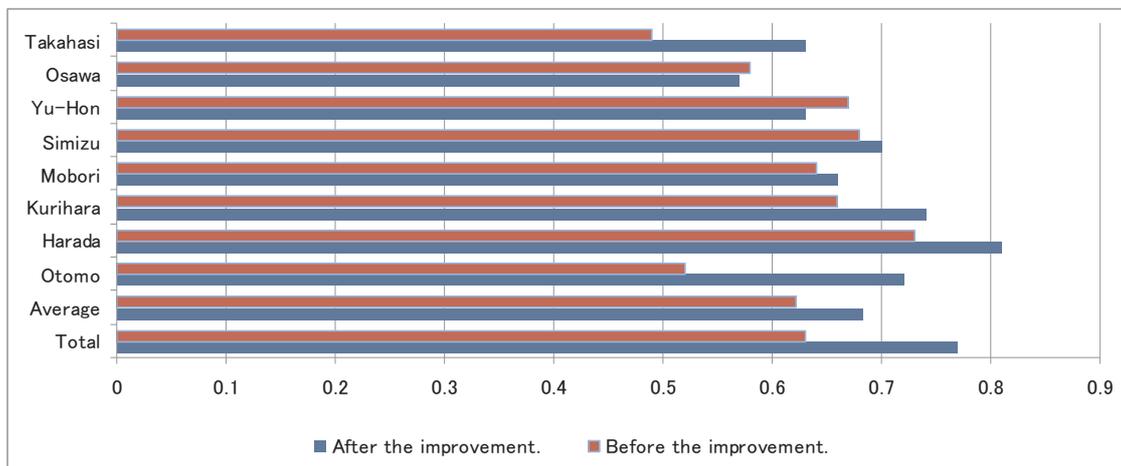


図 5: サービス改善による顧客満足度の変化

5 おわりに

本論文では、サービス設計を行う場合に必要のプロセスを4つに分類し、それぞれのプロセスで実施すべき内容を分析し PLAN という設計スキームにまとめた。次に、ペルソナモデルの作成、離散事象シミュレーションによる検証方法について説明した。事例として産業技術大学院大学 (AIIT) モデルを作成し、CS ポートフォリオ分析から、サービス改善案を提案し、シミュレーションにより改善案が有効であることを検証した。

今後は、改善案を実際のサービスに適用し、その結果から得られた顧客満足度等の情報と、本シミュレーションによる結果の比較検討を行うなど、提案手法を実システムに適用する事例を通じて有効性の検証とともに提案手法そのものを改良したいと考えている。

参考文献

- [1] 下村芳樹, 原辰徳, 渡辺健太郎, 坂尾知彦, 新井民夫, 富山哲夫, “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のモデル化技法 –”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 702, pp. 315 – 322, 2005.
- [2] 吉川弘之, “サービス工学序説”, Synthesiology, Vol. 1, No. 2, pp. 111 – 122, 2008.
- [3] 山岸真之, 木見田康治, 下村芳樹, “顧客価値と企業要件に基づくサービス設計支援手法の提案”, 日本機械学会第 19 回設計工学・システム部門講演会, 2009.
- [4] ジョン. S. プルーイト, タマラ. アドリン (秋本, 岡田, ラリス訳), ペルソナ戦略 – マーケティング, 製品開発, デザインを顧客志向にする, ダイヤモンド社, 2007.

品質工学における回帰寄与率型 SN 比の提案

鈴木 真人^{*,**}・越水 重臣^{**}

Proposing the Regression Contribution S/N Ratio in Quality Engineering

Masato Suzuki^{*,**} and Shigeomi Koshimizu^{**}

Abstract

The S/N ratio in quality engineering is a good indicator for evaluating the functions and quality of systems, and its application enables the design of systems with stable functions and quality. The usefulness of S/N ratio extends beyond science and technology or industry to the solution of problems in the wider society, yet its use and application are slow. This may be attributed to the fact that the mathematical description of S/N ratio is very difficult, so that most engineers and other technicians hesitate to use it. Therefore, I devised an S/N ratio with a concept that can be readily understood and that can be described in a simple mathematical formula, which I have named "Regression Contribution S/N Ratio." This paper describes the concept, numerical formula derivation, and effect of the "Regression Contribution S/N Ratio" in comparison to the existing Taguchi's S/N ratio.

Keywords: Quality Engineering, SN ratio, Dynamic Characteristics, Regression Method, Coefficient of Determination

1 背景

品質工学は、科学技術や工業をはじめとする産業分野だけでなく、社会に散在する諸問題を能率的に解決できる有効な手法である。しかしながら、その哲学の特異性と実用面、特に、品質工学の根幹をなす SN 比の数学的記述の難解さにより一般社会はいうに及ばず、科学技術、産業分野での展開、活用も十分とはいえない状況である。SN 比は「モノ」、「コト」の再現性や機能の線形性を表現するには最適な概念であり、各種技術評価における計測特性として効果的である[1]。そこで、品質工学の普及、活用の活発化を目的として、現状、品質工学で定義されている動特性の SN 比よりも、概念的に捉えやすく、数学的に記述しやすい SN 比の原理を検討した結果、データ整理や解析の際、例えば、EXCEL のグラフウィザードで散布図が描け、回帰直線を引き、その回帰式と寄与率を求めることができるスキルがあれば、簡単にその原理を理解し計算できる新たな SN 比を考案した。本稿はその原理と計算方法、田口の動特性の SN 比との差異に関して述べる。また、田口の動特性の SN 比を求めるために必要な実験データ数に対し、1/2 の実験データ数で制御因子・水準の要因効果の優劣を判定できる品質工学の手法自体の能率向上という可能性が見出せたことについても言及する。

2 田口の SN 比

SN 比とは、Signal / Noise Ratio のことであり、自然科学の現象や工学的特性などにおける【有害成分】に対する【有用成分】の比率、すなわち、

$$\text{SN 比: } \eta = \frac{\text{【有用成分】}}{\text{【有害成分】}}$$

である[2]。もとは、通信工学における信号の伝達特性、再生特性のよさを表現するために考案された無次元の指標である。品質工学では、SN 比をシステム機能の安定性の相対尺度と捉えて外乱、内乱、個体差の影響に対するシステムのロバスト性の獲得を目的として活用している。品質工学で使用される SN 比の主なものとして、ある状態におけるシステムの機能を単目的的に評価する「静特性」の解析で使用する「望目特性」、「望小特性」、「望大特性」、「ゼロ望目特性」の SN 比と、システムの入出力関係の線形性と再現性を評価する「動特性」の SN 比がよく知られている。ここで、「静特性」に関する SN 比は、その概念、特性と数学的記述(計算式)は一般の技術者にとっても理解しがたいものではなく、SN 比の意味するものの理解を阻むことは少ない。その概念を図1から図2を使って解説する。図1は、No.1 から No.3 の3つのシステムの特性を比較した一例である。No.1 のシステムは、システム出力の特性値の平均が理想値: μ と一致しているが、ばらつきが他者よりも大きい。また、No.2 のシステムは、

Received on September 25, 2010

*アマノ株式会社, AMANO

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

ばらつきは小さいが特性値の平均は理想範囲から外れている。No.3 のシステムは、特性値の平均とばらつきは理想とする特性範囲に入っている。ここで、ばらつきと特性値の平均値をそれぞれ二乗すると、横軸は分散： σ^2 となり、縦軸は特性の平均の二乗： m^2 となる。これを図 2 に示す。このとき、原点から各システムのプロットへ向かうベクトルを考えると、このベクトルの傾き： η が SN 比である。No.3 のシステムは、他者よりもこのベクトルの傾きが大きい。SN 比は大きいほど機能性が高いということが理解できるものと思われる。このように、「静特性」の SN 比は理解を得やすい。しかしながら、「動特性」の SN 比は、概念的には納得を得ることは困難ではないが、その数学的記述は一般の技術者からみれば、SN 比の概念を表現していることを読み取ることが困難な、難解な数式で表される。これが、品質工学に関して経験の少ない技術者が「動特性」の SN 比を独学で理解することや、品質工学の推進者が、彼らに教育をして品質工学の活用を推進することへの障害となっている。「動特性」の SN 比の概念は、システムの入出力関係を図 3 に示すように定義した場合、

$$\eta = \frac{\beta^2}{\sigma^2} \dots\dots\dots(1)$$

である。ここで、 β は回帰直線の傾き、 σ^2 は回帰推定値に対するデータの分散である。しかし、ここにノイズ因子の効果、入力のばらつきなども含めて考慮すると、

$$\hat{\eta} = \frac{\hat{\beta}^2}{\hat{\sigma}^2} = \frac{\frac{1}{r} \left(S_{\beta} - \frac{S_e}{r_0 \cdot n \cdot k - n} \right)}{\frac{S_{\beta \times N_e} + S_e}{r_0 \cdot n \cdot k}} \dots\dots(2)$$

という非常に複雑、かつ、なかなか直感的に理解し難い数式となる。ここで、 S_{β} は回帰の変動、 $S_{\beta \times N_e}$ は誤差因子による回帰係数の変動、 S_e は純誤差の変動、 r は有効除数、 n はノイズ因子の水準数、 k は信号因子の水準数、 r_0 は繰り返しの回数である。立林は、この式に対して一次回帰式の回帰係数

の推定値： \hat{b} を用いて、より単純化を図った SN 比の計算式 (3) を提案している[3].

$$\hat{\eta} = \frac{\hat{b}^2}{\sigma^2} = \frac{S_{\beta} / r}{V_{N_e}} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 V_{N_e} は誤差全体の分散である。しかし、この式も品質工学を十分理解していない技術者にとっては難解であることにはかわりはない。以上のように「動特性」の SN 比は、その数学的記述が複雑、難解であるため、その概念の理解や SN 比の活用の妨げになっているものと考えられる。

また、「動特性」の SN 比には、その概念の底流が通信工学の思考に由来している関係で、システムの入出力関係とノイズに関するひとつの前提条件が存在している。それは、図 4 のようにシステムの入力が大きくなるのにもなって、誤差

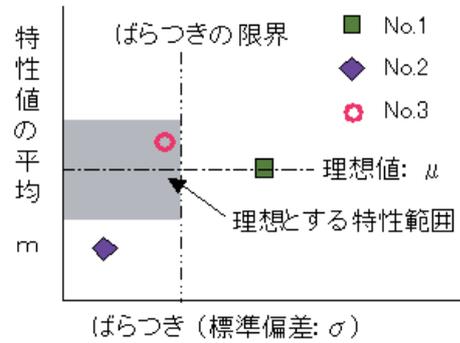


図 1: システム出力特性値の比較

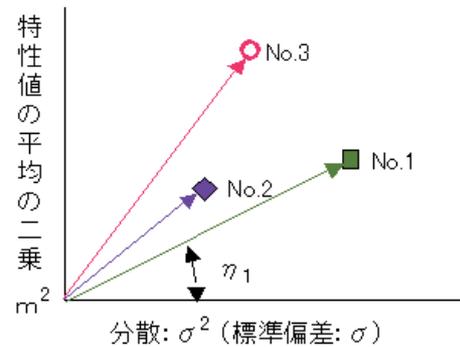


図 2: SN 比の概念の見える化

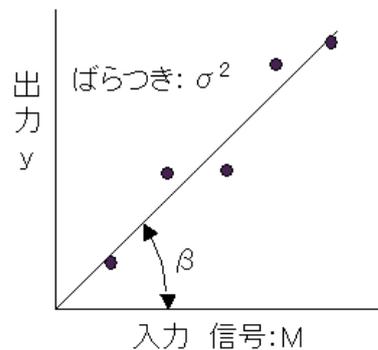


図 3: SN 比考察のための動特性の概念

(ばらつき)の大きさも増大する(であろう)という思考である。一般的な物理系、化学系のシステムであればこのような思考が現実の挙動と当てはまる場合も多いが、A/D コンバータのようなデジタル回路などは、図 5 に示すように入力の大きさと誤差が拡大されず、一定の幅で誤差が発生することが多い。このような場合、システムの比較、あるいは、システムを構成する制御因子の水準間の比較をするには動特性の SN 比 (以後、田口の SN 比) では評価することが難しくなる場合もある。この数年、品質工学会、品質管理学会では、田口の SN 比にかわり、利便性の追求、あるいは、理解度の向上を目的とした新たな概念の SN 比の提案 [4][5][6][7][8][9][10]もなされており、SN 比に対する考え方や実施の方法に関する多様化が始まった。

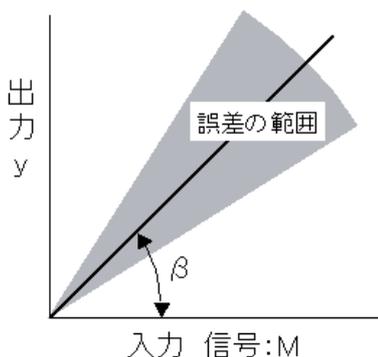


図 4: 動特性における誤差のとり範囲

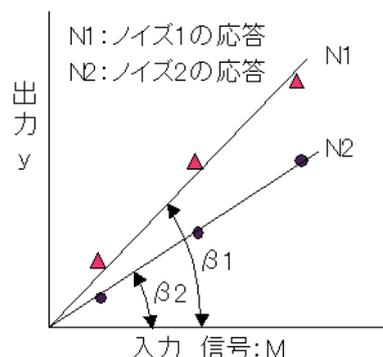


図 6: 田口の動特性における採集データ

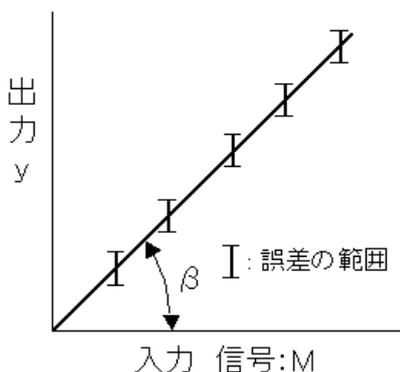


図 5: 入力の大きさに拡大しない誤差の例

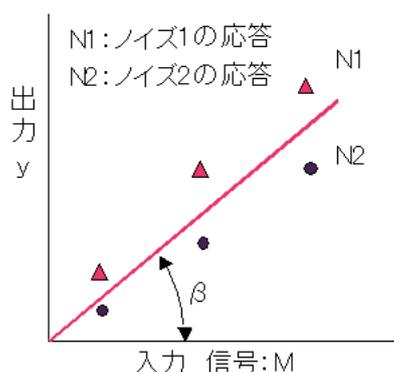


図 7: 回帰式をひとつだけ定義した場合

3 回帰寄与率型 SN 比の提案

一般に品質工学ではシステムの機能性を動特性で評価する場合、少なくとも 2 水準のノイズを単独、あるいは、調合した上でシステムに印加して、少なくとも 3 水準の信号を入力して、その応答を観測することでシステムのノイズに対するロバスト性の指標である動特性の SN 比を求めている。すなわち、図 6 のように少なくとも 6 個のデータの採集が必要条件であり、ノイズ因子の水準ごとのデータ群に対して回帰直線を定義して、それぞれの傾きの異なりと回帰直線と各データの偏差情報により、式(2)を使って動特性の SN 比を計算している。このように、田口の動特性の SN 比は印加するノイズ因子の違いによって影響をうける回帰直線の傾き: β の異なり自体も SN 比として表現している。式(2) の $S_{\beta \times N}$ がこれに相当する。しかし、品質工学の実験では、ノイズに対するロバスト性を評価することが目的であり、単独のノイズであっても調合したノイズであっても印加したノイズの違いによって生ずる β の異なり自体を問題とする状況はほとんどない。したがって、あえてノイズ因子ごとに回帰式を求める必要はないと考えることができる。そこで、図 7 のように、ノイズ因子 2 水準、信号因子 3 水準の計 6 個のデータに対して 1 つの回帰式だけで SN 比の定義ができないか、を検討した。

回帰分析において、線形が想像されるデータに対して回帰直線を定義した場合、最小二乗法により求めた回帰式は

$$y = b_1 \cdot x + b_0 \dots\dots\dots(4)$$

である。この式の信頼性を確認することを目的として、回帰式によって定義される直線と計測データ群のあてはまりのよさを表す回帰平方和: S_R と、定義される直線とそれぞれの計測データ間のばらつきや、線形性の悪さに由来するあてはまりの欠如の大きさを表す誤差平方和: S_e を計算により数値として求めることができる。また、平方和は加法性が成り立つため、 S_R と S_e の和を全体の平方和: S_T とした場合

$$S_T = S_R + S_e \dots\dots\dots(5)$$

となる。

回帰分析においては、定義された直線とデータのあてはまりのよさを表す指標として、寄与率: R^2 を用いることが多い。寄与率: R^2 は、

$$R^2 = \frac{S_R}{S_T} \dots\dots\dots(6)$$

となる。すなわち、全体の平方和に対する回帰平方和の比が寄与率: R^2 である。ここで、SN 比の定義は

$$\text{SN 比: } \eta = \text{【有用成分】/【有害成分】}$$

である。(5)式を見ると, S_R は計測データ群と回帰直線の当てはまりのよさを表しており, 【有用成分】と考えることができる. 一方, S_e は誤差の大きさを表しているため, 【有害成分】と考えることができる. すると,

$$\eta = \frac{S_R}{S_e} \dots\dots\dots(7)$$

は新たな SN 比(真値): η の定義式となりうる.

(7)式を(5)式, (6)式を使って変形すると

$$\eta = \frac{R^2}{1 - R^2} \dots\dots\dots(8)$$

となる. ここに, ノイズ因子の水準数に関係なく, ただ一本の回帰直線を引き, その寄与率: R^2 を求めれば, R^2 だけで定義できる新たな SN 比の概念が生まれる. この新たな SN 比を「回帰寄与率型 SN 比」と命名した.

4 回帰寄与率型 SN 比の利点

「回帰寄与率型 SN 比」は計測データ群に引く回帰直線のあてはまりのよさを定量的に評価する指標であり, 品質工学のパラメータ設計や機能性評価の評価特性として十分使用可能であるものとする. また, その概念は品質工学の知識がない技術者にとっても十分納得可能なものであり, この SN 比を用いることによって品質工学の推進にもつながるはずである. さらに, ここに提案した回帰寄与率型 SN 比は, R^2 のみで数学的に記述できる. つまり, 得られた計測データ群を自分で計算処理をして SN 比を求めることが簡便になるだけでなく, Microsoft® 社の EXCEL のような表計算ソフトウェアのグラフ生成機能から自動的に求めた R^2 の値を使うことで即座に SN 比が求まるという大きな利点がある. 当然, 図 4 に示したような, 入力の数値に応じてばらつきが大きくなるようなシステムであっても, 図 5 に示したような, 入力の数値に関係なく一定のばらつきを示すシステム, さらに, 入力の数値と全く無関係にランダムにばらつきが発生するシステムであっても SN 比による評価が可能となる. これらが, 現状, 品質工学を活用する上で, 回帰寄与率型 SN 比を使う際の利点である.

さらに, 回帰寄与率型 SN 比には, より大きな利点が期待できる. それは, 「動特性」評価の採集データ数を大幅に減らせる可能性があることである. 図 6 で示したように, 「動特性」評価で田口の SN 比を求めるためには, 少なくとも 2 水準のノイズ因子と, 少なくとも 3 水準の信号因子の組み合わせである 6 個のデータの採集が必要条件である. これは, 田口の SN 比が, ノイズ因子の水準ごとに, その水準数と同じ数の回帰式を定義する必要があることに起因している. ただし, 入力ゼロのときに出力がゼロという結果が厳密に予測できる場合は, このゼロ-ゼロを情報として用いることで, 採集デ

ータは 2 水準分の信号因子のデータ採集だけでもよくなるので, 必要なデータ数は 4 個となる. 一方, 回帰寄与率型 SN 比は, 1 本の回帰直線を定義すればよいからゼロ-ゼロが厳密に予測できない場合であっても, 必要なデータ数は 3 個となる. つまり, 回帰寄与率型 SN 比での評価を行うと, 田口の SN 比で評価するのに必要なデータ数の 1/2 に間引くことができる, ということである. この具体的方法を以下に解説する.

前述のように品質工学では少なくとも 2 水準の単独, あるいは, 調合したノイズ因子をシステムに印加して実験し計測データを得る. このとき, 単独, あるいは, 調合したノイズ因子の一方の水準はシステムの機能の発揮を阻害しにくい, つまり, 通常考えられる使用範囲内での弱めのノイズを印加することが多い. また, もう一方の水準はシステムの機能の発揮を大きく阻害する強めのノイズを印加する. 品質工学では, 強めのノイズは, そのシステムが市場でさらされるノイズレベルに対して, より増幅して印加することでより顕著にノイズに対する脆弱性を引き出すことを推奨している. 場合によっては, 2 水準のノイズ因子のいずれも, 機能の発揮を阻害する逆方向に相対するノイズ, 例えば, ノイズの第 1 水準は, 使用温度範囲の下限よりも低い温度とし, 第 2 水準は上限よりも高い温度とするなど, であってもよいことを追記しておく. 今回提案している回帰寄与率型 SN 比を計算するためには最低 3 つのデータが必要であるが, 図 8 に示すように, 信号因子でゼロ-ゼロ点に近いほうの 2 水準 (M1, M2) については, システムの機能の発揮を阻害しにくい側のノイズ因子の水準で実験して二つのデータを採集する. そして, ゼロ-ゼロ点から最も遠い信号因子の水準 (M3) は, システムの機能の発揮を阻害する側のノイズ因子の水準で実験して一つのデータを採集する. このように 3 つのデータを採集すると, M1 と M2 で得たデータは, 設計者の想定しうるノイズ環境下での, 設計者の意図に近く線形性が高いシステムの出力となるであろう. そして, ゼロ-ゼロ点から最も離れているため, テコ比が大きく, ゼロ-ゼロ点のまわりのモーメントに大きく寄与する M3 のデータで他の 2 データの線形性を乱すわけである. このような操作でシステムのノイズに関する脆弱性を顕在化させることが可能になるものと考えられる. ノイズに関する脆弱性は, 回帰寄与率: R^2 の小ささとなって現われる. したがって, システムのロバスト性はその逆の R^2 の大きさと現われる. (8)式を見ると, R^2 が大きくなると, 分子は大きくなり, 分母は小さくなる. したがって SN 比の真値: η は大きくなり, SN 比の概念通り機能することが確認できる. ここで注意が必要なのは, このようにして採集した 3 つのデータを使って直接ゼロ点比例式 (ゼロ-ゼロ点を通る) を求めると, 場合によっては計算上, R^2 が負の値に

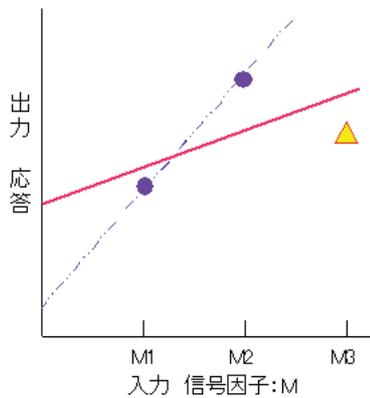


図 8: 回帰寄与率型 SN 比のためのデータ採集方法

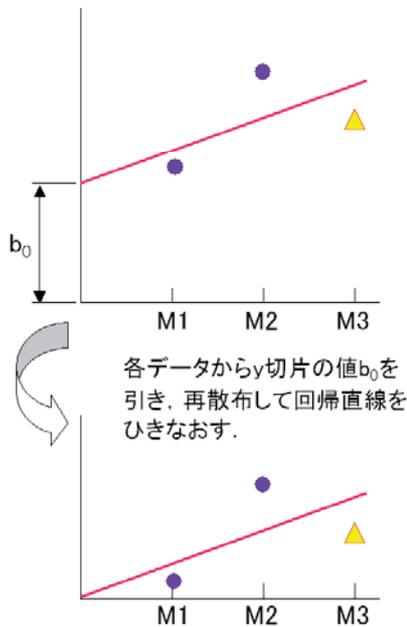


図 9: 3つのデータで回帰直線を引くための工夫

なることもある[11]. R^2 が負の値になると回帰寄与率型 SN 比は正確に求めることができない. そこで, 図 9 に示すように, y 切片を考慮した回帰式 ($y=b_1 \cdot x + b_0$) を求め, y 切片 (b_0) を採集したデータから引いて調整し, その調整データに対して再度, y 切片のある回帰式を求める. ただし, このとき y 切片として計算される値は, 誤差の集積などによる非常に小さい無視可能な値である. そして, この回帰式について寄与率: R^2 を求める処理を実施するわけである.

5 直交表実験における田口の SN 比との整合性の確認

回帰寄与率型 SN 比の概念が理解しやすく, また, その計算方法が簡単であったとしても, 得られた SN 比がシステム同士や, システムを構成する制御因子の水準間のロバスト性に関する正しい指標となっていなければ何の意味もない. そこで, 過去に行った L18 直交表実験の結果を基に, 回帰寄与率型 SN 比の解析結果を田口の SN 比の解析結果で評

価した. 当然, SN 比自体の値は, 両者間で一致するものではないが, 直交表に割り付けた制御因子の水準間の要因効果の並び方と, 確認実験での SN 比の利得の再現性を調べれば両者を比較検証することは可能である. 過去に行った L18 直交表実験の田口の SN 比評価で, 確認実験における SN 比の再現性のよいものは, 回帰寄与率型 SN 比でも再現性がよく, 制御因子の水準間の要因効果の並び方も, 両 SN 比の評価で一致すれば回帰寄与率型 SN 比は有効であると判断できる. 逆に, SN 比の利得の再現性が悪い実験の場合, 両者間で要因効果の並びが異なっていたり, 確認実験における SN 比の利得の再現性が異なっていたとしても, それは回帰寄与率型 SN 比が使えないということでない. なぜなら, 確認実験での SN 比の利得の再現性が悪いのであれば, 田口の SN 比であっても, その解析で得られた情報からシステムの最適化はできないからである.

以下, 複数の L18 直交表実験を行った事例について, 田口の SN 比評価, 回帰寄与率型 SN 比の 6 データ評価, 回帰寄与率型 SN 比の 3 データ評価, それぞれの評価方法によって得られた SN 比の要因効果図と確認実験での SN 比の利得の再現性を示す. 図 10 は, ある L18 直交表実験を行った結果, 田口の SN 比の評価で最適条件と対抗条件両者の確認実験で利得の再現性が 107% と良好な再現性を示した事例で, 田口の SN 比評価の要因効果, 回帰寄与率型 SN 比で 6 データ(ノイズ因子 2 水準: N1, N2 信号因子 3 水準: M1, M2, M3) 評価の要因効果, 回帰寄与率型 SN 比で 3 データ(N1-M1, N1-M2, N2-M3) 評価の要因効果を並べて表示したものである. また, 表 1 は, それぞれの SN 比の評価方法における確認実験の結果, ならびに, 利得の再現性である. ここで, SN 比は真数: η ではなく, $10 \cdot \log \eta$ によりデシベル変換を行った値である. まず, 要因効果図を見ると, 田口の SN 比評価と回帰寄与率型 SN 比 6 データ評価の要因効果は SN 比の値自体は異なっているが, 各制御因子の各水準の要因効果の並び方はほとんど一致している. また, 確認実験での利得の再現性も 107.1% と 104.8% でありほぼ同じ再現性となった. 一方, 回帰寄与率型 SN 比 3 データ評価の場合, 田口の SN 比評価の要因効果と 3 番目の制御因子, 6 番目の制御因子それぞれの並び方が少し異なっている. しかし, 3 番目の制御因子では, SN 比の最適水準(SN 比がもっとも大きい値を示す水準)は田口の SN 比評価と一致しており, 制御因子の SN 比最適水準選択には影響を与えない. また, 6 番目の制御因子では最適水準は田口の SN 比評価と回帰寄与率型 SN 比 3 データ評価で異なっているが, ここで最適化を行うために制御因子の水準の選択肢が異なったとしても, 最適化後に発生する影響は微弱であると考えられる. 確認実験の再現性の面から見ても, 田口の SN 比評価の 107.1% に較べると 81.5% と悪くなっているが, 十分, 再現性は獲得できていると判断できるレベルである. なお, この実験の対象であるシス

テムは, 図 5 に示すように入力の大きさに対し, 出力のばらつきは一定の幅で現われると考えられるシステムである.

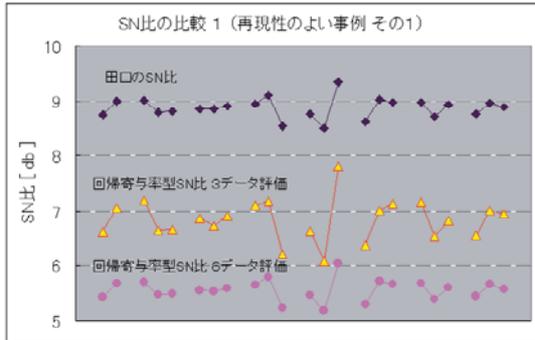


図 10: 事例 1 各 SN 比 要因効果図の比較

表 1: 事例 1 各 SN 比での確認実験 利得の再現性

田口の SN 比	実験 [db]	推定 [db]	再現性	
				最適条件
田口の SN 比	最適条件	10.23	10.17	107.1%
	対抗条件	8.55	8.61	
	利得	1.68	1.57	
回帰寄与率型 SN 比 6データ	実験 [db]	推定 [db]	再現性	
				最適条件
回帰寄与率型 SN 比 6データ	最適条件	6.91	6.87	104.8%
	対抗条件	5.26	5.30	
	利得	1.64	1.57	
回帰寄与率型 SN 比 3データ	実験 [db]	推定 [db]	再現性	
				最適条件
回帰寄与率型 SN 比 3データ	最適条件	8.99	9.14	81.5%
	対抗条件	6.51	6.11	
	利得	2.47	3.03	

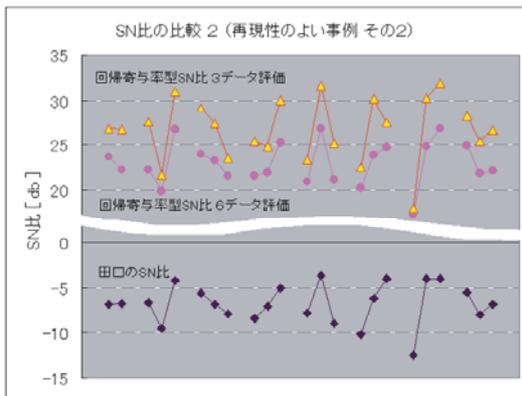


図 11: 事例 2 各 SN 比 要因効果図の比較

表 2: 事例 2 各 SN 比での確認実験 利得の再現性

田口の SN 比	実験 [db]	推定 [db]	再現性	
				最適条件
田口の SN 比	最適条件	6.92	3.48	119.8%
	対抗条件	-20.31	-19.26	
	利得	27.23	22.73	
回帰寄与率型 SN 比 6データ	実験 [db]	推定 [db]	再現性	
				最適条件
回帰寄与率型 SN 比 6データ	最適条件	37.06	33.38	99.0%
	対抗条件	10.22	6.26	
	利得	26.85	27.12	
回帰寄与率型 SN 比 3データ	実験 [db]	推定 [db]	再現性	
				最適条件
回帰寄与率型 SN 比 3データ	最適条件	46.28	49.07	82.1%
	対抗条件	7.01	1.26	
	利得	39.27	47.81	

図 11, および, 表 2 も田口の SN 比評価の確認実験において SN 比の利得の再現性が比較的良好であった L18 直交表実験のデータを使い, 回帰寄与率型 SN 比評価を行った結果の要因効果図を並べて表示したものである. 事例 1 と同様に SN 比の数値は異なっているが, 回帰寄与率型 SN 比 6 データ評価の要因効果図は田口の SN 比評価の要因効果図とほぼ同じ並び方をしており, 両者間で最適な制御因子の水準は一致すると見てよい. 回帰寄与率型 SN 比 3 データ評価は 4 番目と 6 番目の制御因子の水準効果の並び方が田口の SN 比評価のものとは異なっているが, 事例 1 と同様に最適化の水準選択で発生する影響はわずかであると考ええる.

図 12 と表 3, 図 13 と表 4, および, 図 14 と表 5 は確認実験における SN 比の利得の再現性が良好ではなかった事例について各 SN 比の要因効果図の比較と, 確認実験における利得の再現性を示したものである. それぞれの実験とも要因効果図の形態は, 田口の SN 比評価, 回帰寄与率型 SN 比 6 データ評価と 3 データ評価の 3 者間で異なる. しかしながら, 寄与度の大きい制御因子の最適水準はどの SN 比評価であっても一致している. いずれにしても, 評価対象が, 確認実験での SN 比の再現性が悪いシステムや制御因子と水準選択であった場合, その SN 比評価方法が田口の SN 比であっても, 回帰寄与率型 SN 比であってもそのシステムや制御因子の水準の最適化はできないことが予想される. これは, 評価方法の問題ではなく, 評価対象のシステム自体, あるいは, 実験方法の問題である. したがって, この 3 つの事例のように回帰寄与率型 SN 比評価と田口の SN 比評価の結果が異なるからといって, 回帰寄与率型 SN 比が使えない, というのではない. 前述のように, 回帰寄与率型 SN 比の利点はその概念の同意を得やすいこと, 計算が非常に簡単であること, そして, 再現性のよいシステムを評価する場合, 田口の SN 比評価に必要なデータ数の 1/2 でよいこと, である. 言い換えると, 回帰寄与率型 SN 比の 3 データ評価を使えば L18 直交表実験のような実験回数の多い評価方法の能率を大幅に向上することができる, というのである. そのため, 田口の SN 比評価を採用した場合よりも早く確認実験が実施でき, そこで良好な再現性が確認できれば得られた情報(各制御因子の最適水準)を使ってシステムの最適化は可能となる.

ここで再現性が不十分な場合, 評価対象としているシステムは再現性の悪いシステムか, 制御因子や水準の設定などに問題がある実験計画, 実験方法か, と考えられる. したがって, システムの変更や実験計画, 実験方法の修正にも早く着手できるようになる. 品質工学を使う目的は, 技術や設計のまずさを早く予想する[12]ことで, 設計の初期の段階において, 下流工程, すなわち, 製造や, 販売までの輸送や保管, そして, 販売後の客先の環境や使い方の違いなどにより, 機能がばらついたり, 機

能障害を起こしやすいシステムやシステムを構成する制御因子の水準を選択しないようにすることである。いいかえると、手持ちの技術で品質とコストが最適にバランスしたシステムを能率よく見つけ出すための技術である。

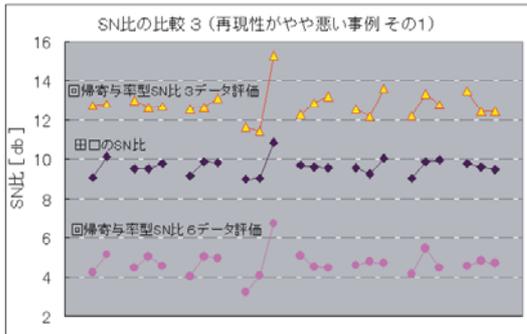


図 12: 事例 3 各 SN 比 要因効果図の比較

表 3: 事例 3 各 SN 比での確認実験 利得の再現性

田口の SN 比	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	11.03	7.49	12.54	61.2%
	7.49	6.75	6.75	
	3.54	5.79	5.79	
回帰寄与率型 SN 比 6データ	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	5.95	3.80	7.90	32.3%
	3.80	1.23	1.23	
	2.15	6.67	6.67	
回帰寄与率型 SN 比 3データ	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	15.47	10.21	16.56	86.3%
	10.21	10.47	10.47	
	5.26	6.09	6.09	

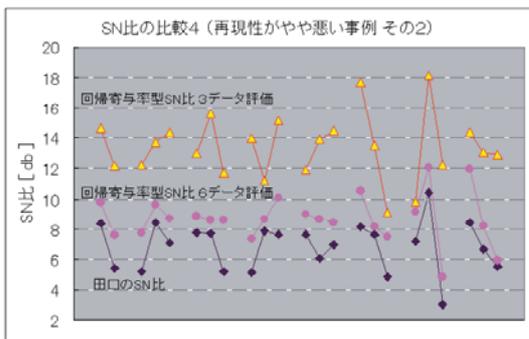


図 13: 事例 4 各 SN 比 要因効果図の比較

表 4: 事例 4 各 SN 比での確認実験 利得の再現性

田口の SN 比	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	16.76	6.25	17.14	49.9%
	6.25	-3.90	-3.90	
	10.51	21.04	21.04	
回帰寄与率型 SN 比 6データ	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	17.11	7.05	15.87	60.8%
	7.05	-0.67	-0.67	
	10.06	16.54	16.54	
回帰寄与率型 SN 比 3データ	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	43.65	11.76	19.42	262.7%
	11.76	7.28	7.28	
	31.89	12.14	12.14	

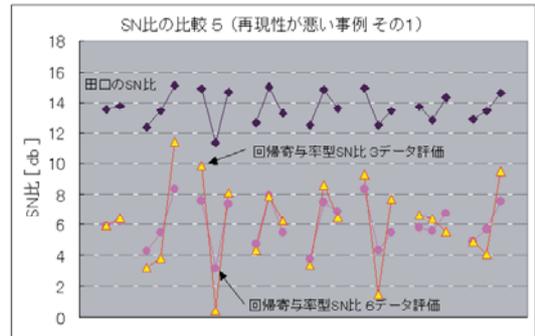


図 14: 事例 5 各 SN 比 要因効果図の比較

表 5: 事例 5 各 SN 比での確認実験 利得の再現性

田口の SN 比	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	11.36	12.46	21.23	-8.6%
	12.46	8.40	8.40	
	-1.10	12.83	12.83	
回帰寄与率型 SN 比 6データ	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	16.99	12.77	16.70	23.7%
	12.77	-1.15	-1.15	
	4.23	17.85	17.85	
回帰寄与率型 SN 比 3データ	実験 [db]		推定 [db]	再現性
	最適条件	対抗条件		
	14.72	11.51	24.82	12.8%
	11.51	-0.30	-0.30	
	3.21	25.12	25.12	

回帰寄与率型 SN 比を採用することにより品質工学の活用自体も大幅に能率が向上するとすれば、回帰寄与率型 SN 比の 3 データ評価は、まさに品質工学の思想に適した手法といえる。

6 結論

今回、品質工学で使われてきた動特性の田口の SN 比に対して、その概念が理解しやすく、数学的な記述も非常に簡便であるため計算しやすい新しい SN 比を提案し、それを回帰寄与率型 SN 比と名づけ、田口の SN 比との整合性やその効果について実験事例を両 SN 比で評価することで比較、検証してきた。以下に結論をまとめる。

1. 回帰寄与率型 SN 比は、回帰分析の寄与率: R^2 を使い、

$$\eta = \frac{R^2}{1 - R^2}$$

という簡単な数学的記述で計算できる。このため、複雑な計算は必要なく表計算ソフトウェア等のグラフ生成機能で自動計算される R^2 をそのまま使って SN 比を計算できる。上式で表現される SN 比の概念は品質工学を知らない技術者でも納得を得やすく、動特性の田口の SN 比評価において思考の前提となっている「入力信号の大きさに応じて出力のばらつきが大きくなる」に当てはまらない入出力特性のシステムであっても評価が可能となる。

2. 回帰寄与率型 SN 比評価は、田口の SN 比評価を実行するために必要な実験のデータ数を半減できる。田口の SN 比評価をするには、ノイズ因子 2 水準、信号因子 3

水準の組み合わせである 6 個のデータが必要条件であるが, 回帰寄与率型 SN 比評価であれば, ノイズ因子 2 水準のうち 1 水準で信号因子の下位 2 水準のデータを, 別のノイズ因子の水準で信号因子上位 1 水準のデータ, 合計 3 個のデータを採集すれば解析が可能となる。

3. 確認実験において SN 比の利得の再現性が良好な場合, 回帰寄与率型 SN 比は 6 データ評価, 3 データ評価とも, 制御因子の水準の要因効果の並びは田口の SN 比評価の結果とほぼ一致する。システムや実験計画, 実験方法の問題などにより SN 比の利得の再現性が良好でない場合, 制御因子の水準の要因効果が田口の SN 比評価とすべての制御因子で一致することはないが, システムへの寄与度の大きい制御因子の最適水準は見つけることができる。
4. 回帰寄与率型 SN 比の 3 データ評価は, 田口の SN 比よりも少ない実験回数でシステム機能の再現性が確認できるので能率がよい。ここで, 再現性が確認できれば, その最適化に関する情報は田口の SN 比評価の結果と整合性がある。再現性が確認できない場合, システムや実験計画, 実験方法を見直すべきである, という判断が早く下せる。したがって, 品質工学の活用自体も能率よく改善できる。

7 謝辞

この度, 回帰寄与率型 SN 比を検証するために貴重なデータ[13][14]の提供をしていただいたうえ, ご助言をいただきました(有)増田技術事務所 増田雪也代表に感謝いたします。また, 回帰寄与率型 SN 比の効果検証のご協力とデータ提供してくださいました(株)マキタ 蜂須賀智弘様, 生田洋規様, 小林憲司様, 花井貴将様, パルステック工業(株) 戸田昌之様にお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 田口玄一, "品質工学講座 3 品質評価のための SN 比," (財)日本規格協会 1988
- [2] 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
- [3] 立林和夫, "入門タグチメソッド," 日科技連 2004
- [4] 鶴田明三, 太田勝之, 鐵見太郎, 清水豊, "新 SN 比の研究(1)~従来型 SN 比の問題点と新 SN 比の提案," 第 16 回品質工学研究発表大会論文集 2008, pp.410-413
- [5] 鶴田明三, 太田勝之, 鐵見太郎, 清水豊, "新 SN 比の研究(2)~新 SN 比の計算方法とデータによる検証," 第 16 回品質工学研究発表大会論文集 2008, pp.414-417
- [6] 鶴田明三, 太田勝之, 鐵見太郎, 清水豊, "新 SN 比の研究(3)~数理と静特性への拡張," 第 16 回品質工学研究発表大会論文集 2008, pp.418-421
- [7] 鶴田明三, 太田勝之, 鐵見太郎, 清水豊, "新 SN 比の研究(4)~MT システムにおける SN 比の問題点と新 SN 比の効果," 第 16 回品質工学研究発表大会論文集 2008, pp.422-425
- [8] 鶴田明三, 太田勝之, 鐵見太郎, 清水豊, "新 SN 比の研究(5)~品質工学の考え方と整合性の検討," 第 16 回品質工学研究発表大会論文集 2008, pp.426-429
- [9] 前田誠, "ゼロ点比例式の SN 比の定義式の見直し," 品質工学 Vol.16 No.4 2008, pp.62-69
- [10] 河村敏彦, 岩瀬晃盛, 金藤浩司, "比例式モデルに基づく新しい SN 比の提案とその応用," 品質 Vol.36 No.3 2006, pp.91-99
- [11] 芳賀敏郎, 奥原正夫, 野澤昌弘, "エクセルによる多変量解析実務講座 テキスト I," 財団法人 実務教育研究所, 2002
- [12] 矢野宏, "超成功法," 講談社, 2005
- [13] 増田雪也, "ステンレス鋼の電解研磨加工における加工条件の最適化," 品質工学 Vol.9No.6 2001, pp.732-738
- [14] 増田雪也, 山岸光, "プレス打抜き加工における加工条件の最適化," 品質工学 Vol.12No.1 2004, pp.97-104

技術革新の収益化と企業間競争

陳 俊 甫*

A Study on Innovation Profitability and Inter-firm Competition

Junfu Chen*

Abstract

Recently, the technological innovation cannot pull the profitability in Japanese company often becomes the topic. The primary purpose of this paper is to discuss this topic, followed by a case study on Organic light-emitting diode display (OLED). Specifically, after preceding research of relationship between innovation profitability and inter-firm competition, the author explore a new analytical model consisting of competitive triads to interpret relations of stagnation in the innovation of OLED and inter-firm competition. And then, some hypotheses about innovation profitability and inter-firm competition are derived from the case study.

Keywords: Technological innovation, Profitability, Inter-firm competition, Competitive triads, OLED

1 はじめに

本稿の目的は、有機 EL ディスプレイ(Organic light emitting diode display:以下、OLED)の事業化において、日本の諸関連企業がどのような競争状況に直面し、それが結果的にその技術革新の収益化にどのような影響を及ぼしたかを検討することである。

1980年代後半、日本企業は欧米へのキャッチアップを終え、多くの主要産業でフロントランナーとなった。それ以来、高い経済成長率と競争力を維持するために、日本では技術革新を重視する姿勢が貫かれてきた。しかし、それがどの程度、日本の実質的経済成長と企業の収益に寄与できているかと問われると、思わず首をかしげたくなる[10]。

なぜなら、第1に、マクロ的に見れば、日本は世界のトップクラスへの仲間入りを果たした時期とほぼ同時期から、日本経済そのものが長期的低迷に入り、未だに不調から抜け出せずにいるからである。第2に、日本企業による個々の技術革新活動をみると、バブル経済が弾けてから日本企業は相変わらずデジタルカメラ、薄型テレビのようなヒット製品を創り出し続けたが、それに見合う収益の獲得に結びつかない例が散見されるからである。

技術革新と一国の実質的経済成長に関する議論は、経済学の専門家に委ね、本稿では技術革新の収益化と企業間競争に焦点を当てることとしたい。技術革新の収益化とは、技術革新を通じて付加価値の大きなビジネスを実現し、企業の収益獲得に繋げることである[23]。これが重要なのは、主

に2点が挙げられる。第1に、企業にとって、収益化は技術革新の最終目的である。収益化に繋がらない技術革新への注力は、コストにほかならず[6]、いずれ企業の業績を圧迫することになりかねないからである。第2に、企業にとって、収益化は技術革新を実現させる原資でもある。収益化に繋がらなければ、研究開発のための資金がやがて先細りになってしまい、企業の存続さえ危うくことになるからである。

技術革新の収益化を扱う研究は、これまで多く行われてきた。例えば、榊原[22][23]は、日本企業の研究開発の効率低下を明らかにした上で、今日の日本企業における技術戦略の閉鎖性を打破し、製品開発の取り組み方と長期にわたる試行錯誤によって技術革新の収益化を実現させる可能性が大きいと強調した。また、井上[15]は日本企業の収益低下は、長年の間に染みついた考え方や慣行にとりつかれていたことによる中途半端な選択と集中に帰し、それが結果的に開発効率の低下と時代を担う有効な技術と資源が開発できなくなったことにあると結論づけた。そして、このような状況を打開するために、資源の蓄積・追加・改編などを通じて、利益を上げやすい事業システムの創出が重要課題であると提案した。

これらの研究は、企業の内的要因(研究開発、意思決定等)に着眼することで、技術革新を企業の収益に転換させる過程(イノベーション・プロセス)に明確な方向性を与え、理論的にも実務的にも意義が大きいと評価できる。しかし、周知のように、技術革新の収益化は企業内で決められるものではない。市場における顧客の受容や競合他社との競争の試

練を受けてはじめて決められるものである。つまり、上記のような研究上の功績を否定できないが、必ずしも十分とは言えないということである。よって、本稿では企業を取り巻く競争状況という外的要因に注目し、それが技術革新の収益化にどのような影響を及ぼしたのかについて考察する。そして、考察の結果を踏まえ、技術革新の収益化と企業間競争に関する仮説の提示を試みる。

以下の構成は次の通りである。第2節では、企業間競争と収益化に関する従来研究を整理し、本稿の分析枠組みを提示する。第3節では、日本における主なOLED関連企業の取り組みを紹介しながら、そのイノベーション・プロセスの変遷の内実を明らかにする。第4節では、事例研究をもとに発見的事実を列挙し、技術革新の収益化と企業間競争に関する仮説の導出を試みる。そして、最後の第5節では、本稿の限界を述べた上で稿を締めくくる。

2 分析デザイン

2.1 企業間競争と技術革新の収益化

企業間競争と技術革新の収益化について、数多くの知見が蓄積されてきた。大まかにまとめると、主に2つの流れに集約できる。第1に、ある企業の競争行動とそれに応じる競合者の反応行動という対偶関係に焦点を当てた動的競争の研究である[28][1][2]。この種の研究は主に3つの特徴がある[27]。1つは、動的競争は市場の具体的な競争行動に焦点を当て、その競争行動が優位なポジショニングや優れた経営資源を求めるとの行為と考えていることである。もう1つは、動的競争では、企業の業績は自社の戦略と競争行動の結果によるものではなく、競争相手の戦略及び競争行動との相互作用による相対的な結果と見なされていることである。いわゆる競合間の相互依存関係という前提である。そして3つ目は、動的競争は競合間の競争行動の作用とその反作用の因果を探究し、それが企業の業績にどのような影響を与えるのかに注目していることである。

例えば、Smith, Grimm, Martin and Chen[28]は、米国の航空業界の事例を中心に、企業が如何に競争的行動とそれに対する反応行動を通じた競争優位の形成を研究し、競争への反応行動と企業の業績との間に確かな相関があると報告した。その上で、模倣的な反応に比べ、非模倣的な反応行動の方がより高い業績に繋がると主張し、仕掛けられた競争にただ反応するだけでなく、創意工夫のある反動的行動で臨むことが必要であると強調した。また、Chen and Miller[1]は、期待＝誘意性(expectancy valence)モデルを基に、競合企業間の競争による影響を検証し、競争への反応行動の多さが競争企業の業績にマイナスな影響を及ぼすと指摘した。

第2に、競争そのものを発見的プロセスと見なし[12]、それによる経営資源の蓄積と利用に注目する対話的競争の研

究である[20][25][11][30][31]。この種の研究では、激しい同質的競争の方が、技術革新の収益化およびグローバル市場における競争優位を創り出す可能性が大きいと主張する。例えば、沼上ほか[20]では、日本電卓産業における企業間競争を考察し、企業間の対話的競争は、競合他社の戦略的発想を援用したり製品展開を模倣したりする経験の中で、各社の独自の認知枠組み(戦略スキーマ)が形成され、戦略形成の能力が高められたと指摘した。また、米山・野中[31]は、日本の半導体メーカー間に展開する熾烈な同質的競争が、各社の新技術の市場導入時期を前倒しさせ、結果的に技術革新を加速させることになったと報告した。さらに、後藤・永田[11]はサーベイデータを基に、企業間の同質競争と技術革新の速度との関係を分析し、同質的競争は研究開発のリードタイムを短縮させる効果があるという実証結果を発表した。

要するに、企業間競争と技術革新の収益化を巡って、差別的競争と同質的競争という2つの流れは、互いに対立的な見解を示している。前者は競争の激化が企業の業績にネガティブな影響を与えると主張し、可能であれば競争を避けるべきであり、競争優位なポジションや価値の高い希少資源による超過利潤の獲得がベスト選択であると強調している。それに対して、後者は逆に熾烈な競争を経験することによって、技術革新の生産性と競争力の増強というポジティブな効果が得られると強調している。現状では、この2つの見方はそれぞれ長短があり、どちらが正しい競争観なのかを議論する意味がない。なぜなら、企業を取り巻く競争環境や分析者の寄り立つ立場によって、これらのいずれの競争観も正当化できるからである。

2.2 分析視点

本稿では、この2つの戦略観の善し悪しではなく、これらの研究はいずれも対称的な2者間競争に焦点を当てたもので、ともに競争主体間の競争行動の相互性と対称性を前提に置いているところに改善の余地があると考えられる。そして、上記の先行研究を補完する試みとして、ここでは3者間競争という複数の競争主体が織りなす競争の多元化に注目し、それがAM型OLEDの技術革新の収益化にどのような影響を及ぼしたのかを検討する。

なぜなら、第1に、競争行動の相互性と対称性という枠組みの下では、元来、各競争主体のもつべき独自の方向性や、異なる競争主体が感じ取る競争的脅威の相違性という異質な側面が無視されるからである。第2に、対称的な2者間競争の場合、企業間の直接的相互作用の究明に徹する反面、第3の対立的企業の出現ないしは2つの競合企業間の競争が第3の企業に与える影響について、あまり解明されていないからである。第3に、周知のように技術革新から収益化に転換するプロセス(イノベーション・プロセス)の草創期において数多くの企業が現れるだけでなく、これらの企業はそ

それぞれ異なる歴史的・経験的背景を有し、相異なる行動基準に沿って行動することが大いに推察されるからである。それに、時間の経過とともに企業間の競争関係も次第に変わっていきと考えられる。

ここで言う競争の多元化とは、例えば競争主体 A にとって競争主体 B は競合相手であるとはいえ、一方が第 3 の競争主体である C を競合相手と想定するかもしれない状況のことである[29][2]。このような競争状況を探るために、ここでは図 1 に示す市場における関連企業のポジションと既存技術的資源との連続性を軸にした分析枠組みを用いて、関連する競争主体を 3 つに分類する。

すなわち、新規参入陣営(X)、既存市場の競争優位陣営(Y)、既存市場の競争劣位陣営(Z)である。X 陣営とは、新技術市場を切り開いたイノベーターであり、先発優位の利得を必死に守る企業である。Y 陣営とは、既存市場の既得権益者であり、既存技術による利益の最大化を目指す企業である。この両陣営の中間に位置するのは、いち早く新技術を採用し、新技術による既存市場での競争優位の奪回をねらう Z 陣営である。

		市場 ポジション		
		新規参入	既存市場の競争劣位	既存市場の競争優位
技術的資源	連続的		Z	Y
	非連続的	X		

出所:筆者作成

図 1: 関連企業の分類軸

本稿であえて競争主体を 3 つに分類した理由は、次の通りである。第 1 に、3 者間関係は 2 者関係を内包する最も原子的なレベルだからである[26]。そのため、たとえ競争主体を 4 者以上に加わったとしても、競争主体の数が変わるものの、追加された参加者の演じる役割(中立者、媒介者、仲介者等)、および競争への参入による競争主体間の構造的変化の本質が変わらないと考える。第 2 に、3 者間競争の設定は、競争市場のもつ構造的要因を取り入れることによって、2 者間競争で見えてこない、絶対的対立の変化・宥和・放棄、または対立の惹起が明らかにすることができるからである[26]。第 3 に、通常、技術革新を引き起こすのは、該当産業の外部者であることが多いと言われる。仮にそれが正しければ、競争市場が独占状況下でない限り、新規参入企業の直面する競争状況というのは、最初から既存市場の競争優位企業と競争劣位企業が併存しているものはずである。この

推測から、従来のように新規企業対既存企業という明確な線引きは、単純化されすぎて競争の全体構造を視野に入れることができないと言えよう。

勿論、競争主体が3者以上になる場合の競争主体間の関係が複雑になることは、言うまでもないことであろう。例えば、X 対 Y 対 Z という三つ巴のような混戦関係もあれば、X+Y 対 Z のような新規参入者を締め出す戦略的關係もある。また、X+Z 対強大な Y という生き残りを図る弱者連合の戦略的關係も考えられる。これらの競争主体間の関係変化自体も極めて興味深いテーマであり、技術革新の収益化に深く関わっているものであると考える。しかし、本稿の目的は、3 者間競争の視点に立って、技術革新の収益化と企業間競争の關係について検討することにある。そのため、議論が発散しないよう、ここでは三つ巴の混戦にのみ焦点を絞り、競争主体間の關係の類型化等の議論については、稿を改めて検討することとする。

2.3 事例の選定と資料の出所

議論に入る前に、OLED の事業化を研究対象とした理由、及び関連資料の出所について若干説明したい。まず OLED を研究事例に選定した理由は次の通りである。

すなわち、1997 年から 2005 年の間における全世界への OLED 技術の特許出願数の中では、日本の企業と大学などによるものは約 66% を占め、2 位の米国の 13% を大きく引き離している。論文数も約 42% で首位である。しかし、日本企業は世界初の OLED 商業化に成功しているにもかかわらず、2005 年時点の OLED 世界市場シェアにおいては、首位の韓国勢に 20% も引き離され、3 位の 22% しか占められなかった[18]。

この事実から、OLED の事業化は、液晶(LCD)市場やプラズマ(PDP)市場と同じ道りを歩んでいるように彷彿させる。そうであるならば、OLED の技術革新のプロセスを辿ることによって、昨今の日本企業が直面する技術革新の収益化問題の究明に資する知見の導出が期待できると考える。

次いで、本稿で取り扱う OLED 事例の対象期間は、1997 年から 2007 年までである。それは、世界初のパッシブ型(Passive matrix:以下、PM 型)OLED が市販化され、研究開発のメインストリームが PM 型からアクティブ型(Active matrix:以下、AM 型)への転換を経て、OLED 業界の草分け的な企業の相次ぐ撤退に至るまでの全プロセスをカバーしているからである。

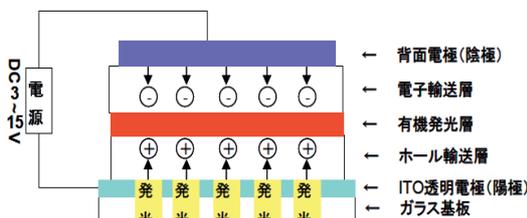
なお、本事例で使われる情報ソースは、主に関連企業に対するインタビューの記録と、『日本経済新聞』『日経エレクトロニクス』『東洋経済』などからなる。インタビューは、2005 年から 2007 年にわたって実施したものであり、計 19 名の関係者に対し 22 回(1 人に対する複数回の実施を含む)を行った。毎回の聞き取り時間は、おおよそ 90 分であった。加えて、インタビューの対象となった方々は、いずれも日本における

OLED 研究の第 1 世代と称される人物であり、かつ所属企業の研究開発をリードしてきたキーマンである。但し、ここでは、簡潔な記述を目指すために、文中に特別の注釈がつけられていない限り、引用された意見はすべてインタビューの記録によるものであると断っておく。

3 事例研究

3.1 有機 EL とは

OLED とは、有機化合物をガラス基板やフィルム基板上に塗布し、そこに電流を流すと電気の刺激によって自ら発光する技術のことである[14]。使用材料と駆動技術によって、OLED はさらに低分子系とポリマー系、また PM 型と AM 型に大別できる。PM 型の構造はシンプルであるが、瞬間の発光輝度の大きさによる素子寿命の短さやクロストークによる画質の低下などの欠点がある。それに対して、AM 型には高精細化の制限がないものの、PM 型より構造が複雑である。商品化の面では PM 型が先行している。本稿の分析対象は低分子型 OLED の事業化である。図 2 は OLED の原理を示すものである。



出所:城戸(2003), p.37と p.47

図 2: OLED の発光原理

それでは、液晶(以下、LCD)と比較しながら、OLED の技術的な特徴を概観しよう。大きく分けると主に 4 点が挙げられる。まず、パネルの薄さである。「OLED の素材は究極な薄膜にして1枚のガラス基板に塗るだけ」なので、サイズを問わず非常に薄いものができる。たとえば、現時点で開発された最も薄い LCD テレビの厚さは 2 センチ前後であるのに対し、2007 年末に発売したソニー製 OLED のそれは 3 ミリ程度である。しかも、OLED は 1 枚のガラス基板でつくられるものであり、研究を重ねることによって、さらに薄くなる可能性がある[14]。

次いで、視野角の広さである。LCD は受光型ディスプレイであり、情報や画像を再現するには他の光源を借りる必要がある。それゆえ、光の入射角度によって、ディスプレイの明るさに変化が発生する。いわゆる視野角依存性の課題である。それに対して、OLED は自発光型ディスプレイである。基板に塗りつけられた面積全体が発光するので、いかなる角度からもしっかりとした情報の表現ができる。

3 つ目は、応答速度の速さである。これまでに量産された LCD パネルの応答速度は 20~30 ミリ秒(秒/千)程度のもが多いのに対し、OLED のそれは 10 マイクロ秒(秒/百万)前後である。それゆえ、動画情報を表現する際に、LCD の方に残像現象が生じるが、OLED はそういうことなく、よりスムーズに動画を再現できる。

最後に、設計自由度の柔軟さである。すなわち、OLED の発光セルが固体膜からできており、ブラウン管(CRT)をはじめ、LCD、PDP などに比べ、柔らかく曲げられるようなフレキシブル・ディスプレイを容易に実現しうることである。

3.2 主要企業の取り組み

1990年代後半、東北パイオニアにおける世界初の PM 型 OLED の実用化の成功を皮切りに、多くの日本企業が同市場に参入するようになった。図 3 は、その主な関連企業をまとめたものである。紙幅の関係で、ここではそのすべてを扱うことができないが、代表格である東北パイオニア、ソニー、シャープの 3 社を取り上げることにする。

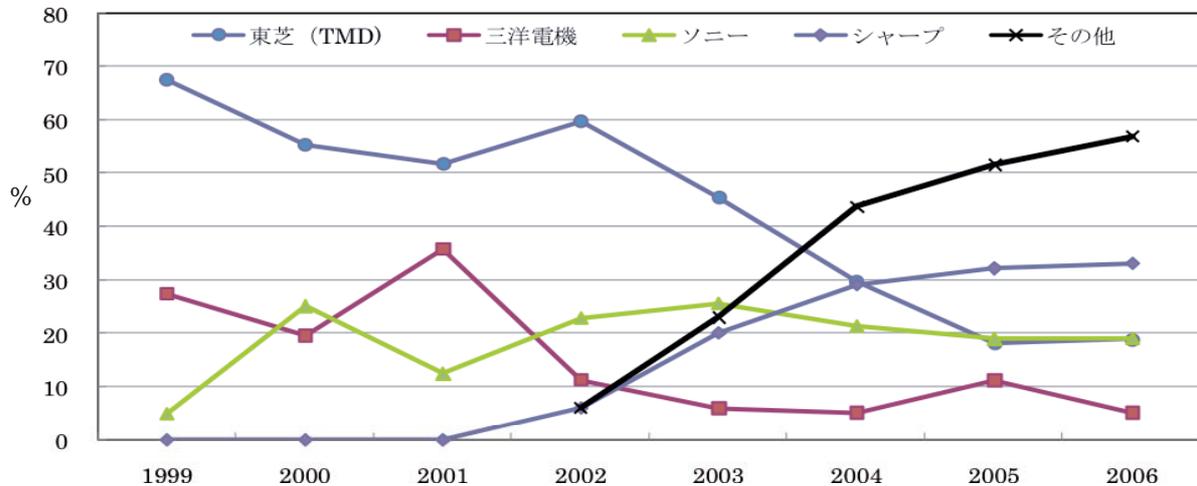
東北パイオニア:1995 年、パイオニアは 1980 年代末から取り組んできた OLED の研究開発を子会社の東北パイオニアに移転し、自社製のカーオーディオ機器の付加価値を高めるという目的のもとで PM 型事業を立ち上げた。その 2 年後の 1997 年秋頃に、半自動小規模生産装置を揃え、1998 年 8 月から同社の米沢事業所に全自動インライン式ガラス基板の全処理装置などを配備し、PM 型の本格的な大量生産体制に入った。そして、1999 年に同社は米モトローラの携帯電話の受注を獲得し、世間の注目の的となった。

同社の成功要因について、主に次の 3 点が挙げられる。第 1 に、研究開発への取り組みは早く、プロセス技術の完成度が高い。第 2 に、ターゲット市場は、車載機器のようなニッチ市場に特定され、競争技術はすでに成熟期に入った蛍光表示管であった。第 3 に、PM 型の事業化に必要とする初期投

市場ポジション			
	新規参入	既存市場の競争劣位	既存市場の競争優位
技術的資源		三洋電機 ソニー 日立ディスプレイズ カシオ計算機	東芝松下ディスプレイ セイコーエプソン シャープ
非技術的資源	東北パイオニア TDK 日本精機 ローム		

出所:各種報道資料を基に筆者作成

図 3: OLED 関連企業のグループ分け



出所:富士キメラ総研著「液晶関連市場の現状と将来展望」各年度版のデータに基づいて作成

図 4:LTFS の世界市場シェアの推移

資は数 10 億円で済み、新規参入の障壁が高くなかった。

ところが、PM 型が世間の注目を浴びているちょうどその時、同社の戦略を揺るがすニュースが発表された。1999 年に三洋電機と米コダック社が共同で AM 型試作品を発表したことであった。高画質で高品位の AM 型を目の当たりにした同社は、従来の事業展開を堅持し、PM 型に甘んじるか、将来を視野に入れて AM 型への進出を敢行するか、それともその両方に着手するかという選択に迫られた⁴⁾。だが、同社にとって AM 型への取り組みは決して容易なことではなかった。なぜなら、AM 型の製造には LTFS が必要不可欠であり、同社にはそれに精通する技術者もいなければ、そのための資源もストックされていなかったからである。

勿論、他社から LTFS を調達できれば、この課題はクリアできるが、世界の LTFS 市場は数社に占められている寡占状態下にあり、これらの企業はどれも外販戦略をとっていない。図 4 には、LTFS の世界市場シェアの推移を示す。

当然、東北パイオニアもこのような厳しい状況を十分に認識していたが、最終的に同社は PM 型の事業化を継続しながら AM 型への進出を敢行するという決定を下した。この意思決定の背後には、次のような思惑が推察される。第 1 に、既存の LTFS は LCD のために開発されたものであり、それを OLED に応用する場合、さらに一工夫が欠かせないため、既存の LCD 企業も絶対的優位を占めていないからである。第 2 に、同社は PM 型の商業化の先行によって OLED の製造上の問題点が把握され、生産技術もある程度確立していたからである。

そこで、同社は 2001 年 2 月に LTFS の製造を行わず、研究開発のみを手掛ける研究開発型企業と合弁会社を設立し、本格的に AM 型事業化に着手したのである。しかし現実

は厳しい。AM 型分野への進出と同時に、さまざまな課題も顕在化するようになった。1 つは、研究開発費用の拡大が経常利益の減少をもたらし、同社の年ごとの業績を圧迫するようになった。もう 1 つは、AM 型の生産技術、材料の蒸着技術等の技術的インフラの問題や AM 型のアプリケーション開拓の問題が同社を悩ませた。そして 3 つ目は、LTFS と OLED 素子とのマッチングが予想通りにうまくいかなかった。

結局、2005 年 12 月に AM 型の出荷に到らないまま、次の理由で AM 型事業からの撤退を決断した。「量産までにかかる費用、技術的課題、用途開拓の展望などを総合すると、顧客が欲しい値段と品質で出荷できる見込みが立たず、AM 型は中止せざるを得なかった。(略)パネルに使う有機材料の研究が進展する一方で、生産技術の改善はあまり進んでこなかった。材料の蒸着技術など生産面での様々な課題を解決するには、当社よりも資金力がある企業でないと太刀打ちできない」[19][4]。

ソニー:1990 年代後半、CRT テレビから薄型テレビへの移行にともない、ソニーの当該市場における地位が低下した。同社では、薄型ディスプレイ・デバイスとして、1993 年に LCD 業界への本格的参入を果たしたが、当時に CRT テレビの好調もあり、同社の LCD 事業はテレビ用大型パネルではなく、ビデオカメラや携帯電話などの中小型モバイル機器に絞られ、そのための LTFS のインフラが整備された⁵⁾。しかし、テレビ市場での失地回復のために大型パネルがなければならない。現状のままでは、テレビ事業の展開は他社に頼らざるを得ない。このような状況のもとで、ソニーはテレビ市場における主導権の奪回をめざし、自前の新たな薄型ディスプレイ・デバイスの開発に力を入れるようになったのである。

その後、ソニーではいくつかのディスプレイ・デバイスを検討していたが、最終的に白羽の矢が立ったのが AM 型である。その理由は次の通りである。

「技術進化の流れと技術的ポテンシャルに鑑みると、先々の電子ディスプレイは、真空デバイスからソリッドステートへ進化する道をたどることが予測される。アクティブマトリクスはガラスの上に TFT 素子を搭載したものであり、OLED は発光ダイオードの一種である。発光ダイオードと TFT 素子がひとつのプレートの上に乗る AM 型は、完全なオールソリッド・デバイスになり、かつ画質などの技術的ポテンシャルも極めて高いからである」。

ソニーにおける OLED 研究は、1994 年に中央研究所でスタートした有機材料の研究にさかのぼる。しかし、ディスプレイ開発を意図したのは AM 型プロジェクトを立ち上げた 1998 年であった。その頃から、「AM 型の製造には TFT のバックフレームが必要不可欠という認識のもとで、LTPS の経験者も加われることになった」。そして、2 年後の 2000 年に、AM 型プロジェクトが正式の組織に昇格し、開発目的も明確にテレビというアプリケーションに絞られたのである。

しかしながら、ソニーの AM 型への挑戦は、最初から一定のハンディキャップを背負ったものであった。なぜなら、第 1 に、同時期に PM 型はすでに事業化され、先行者陣営に材料と製造プロセスに関する一定の経験が蓄積されてきたからである。第 2 に、LTPS においても、東芝松下ディスプレイテクノロジー (TMD) や三洋電機が圧倒的な強さがあったからである (図 4 を参照)。このような状況のなかで、ソニーは AM 型の画面化、高輝度・高精細化を実現する TAC (Top emission Adaptive Current drive) 技術を自主開発したほかに、外部資源の有効活用をも視野に入れるしたたかな戦略展開を見せていたⁱⁱⁱ⁾。

例えば、主な出来事として、高効率の発光材料を開発するために、ソニーは 2001 年に燐光材料トップ企業である米ユニバーサル・ディスプレイ・コーポレーション (UDC) と共同開発の契約を交わし、2005 年には蛍光材料の大手である出光興産との共同開発に乗り出したⁱⁱⁱ⁾。また、製造設備においても、ソニーは 2004 年に愛知県にある LTPS 製造拠点の生産能力を強化するための投資を行い、2005 年 1 月に台湾奇美電子の子会社 ID Tech から LTPS の工場を買収した。

ところが、ソニーの参入によって、AM 型をめぐる開発競争がよりいっそう加速された。なぜなら、ソニーが 2001 に世界初のテレビ用 13 インチパネルの試作をプレスリリースした後、三洋電機は 15 インチ、東芝松下ディスプレイテクノロジーは 17 インチの試作品をデモンストレーションしたからである。それに対して、ソニーはさらに 24 インチの試作品を公表したが、エプソンと韓国サムソン SDI がそれぞれ 40 インチの試作パネルを発表したのである。

実際の事業化において、ソニーは小型の領域からスタートした。それは、生産設備や技術的限界がまだ解決されていなかったからである。その記念すべき第 1 弾の商品は、2004 年 9 月に発売された自社製 PDA「PEG-VZ90」である。しかし、他社と同様、その事業化は続かなかった。主な理由は、AM 型の技術がまだ未確立であることを除き、次の 2 点が挙げられる。第 1 に、競合技術 (LCD) の目覚ましい進化である。つまり、2000 年ごろ LCD と OLED の画質の差が歴然としていたが、LCD の進化が著しくわずか数年でその差が確実に縮小した。第 2 に、コスト・ストラクチャーの点で OLED は、LCD より圧倒的に必要部品数が少なく、安価に仕上げられるはずであるが、LCD の生産性が極限まで高まってきことと製造ライン規模の相違によって、OLED のコスト・ストラクチャーがプレミアムにはならなかったのである。

そして、AM 型事業化の取り組みが開始してから 7 年の歳月が経ったのち、ソニーは念願の世界初となる AM 型テレビを発売し、日本における AM 型の牽引者にまで成長してきたが、その 2 年 4 ヶ月後に生産中止が発表された。

シャープ: シャープにおける OLED の研究開発は、2002 年に同社の LCD 開発本部がディスプレイ開発本部に名称変更し、新しい組織のなかで OLED プロジェクトが立ち上げてからのことである。その背後には、LCD の成熟化や新たな技術による代替という不確かな未来に備える考えがあった、と説明された。

「LCD といえばシャープであると我が社は自負している。しかし、どんな技術でも成長から飽和へさらに衰退への道を歩む。また既存の技術より優れた性能をもつ新しい技術に出くわせば、現在の技術が淘汰させる可能性もある。このような未来に出くわす危機に備えるために、新しい技術のひとつとして OLED もきちんと取り組む必要があると、我々が認識している」。

このような考えのもとで、シャープは現に事業化に近い低分子系 AM 型ではなく、いまだに材料開発が中心といわれるポリマー系 AM 型を選択し、インクジェットで製造する方法に力を注いでいる。この選択が重要なのは、ここから次のようなシャープにおける AM 型 OLED の位置づけと見方が垣間見られるからである。

第 1 に、参入は事業化に近い低分子系 AM 型ではなく、ポリマー系 AM 型を選択したことは、AM 型があくまで次なる次世代技術として注目されている同社の意思表示と考えられ、決して LCD の代替を意図するものではないことが読み取れる。これが前述した各社との明確な差別化であり、シャープにおける AM 型の位置づけと言えよう。

第 2 に、LCD と低分子 OLED の関係に対するシャープの見方が推し量れる。つまり、通常、LCD は外部からの光を借

りて画像を表示する非発光型であり、OLED は自ら発光することで画像を表示する発光型である。また、使用する材料も一方が固体でもなく液体でもない結晶性のある LCD 材料を使うのに対して、他方は薄膜で結晶化しにくい OLED 素子を使用する。この徹底的な相違から、AM 型と LCD は「非連続的な」関係を有すると考えられる。しかし、前述のように両デバイスはともに TFT のベースを必要とし、製造方法も概ね共通する。技術原理に立脚するならば、両ディスプレイ・デバイスは異なるものだが、TFT 駆動技術と製造方法の観点に立てば、低分子 AM 型は LCD 技術の延長線上にあると考えられる。また、実際の LCD ビジネスにおいて、投資の大半が TFT の製造設備に費やされており、LCD メーカーといっても実質的には TFT メーカーの顔も併せものである。

したがって、シャープにしてみれば、低分子 AMOLED は LCD の延長線上にある技術であり、その取り組みを取り立てて急ぐ必要がないと推測できる。例えば、シャープの町田勝彦会長の次の発言がその明確な証となろう。

「LCD テレビの製造設備の 8 割がそのまま OLED の製造に転用できる。お好み焼きでいえば、具が豚玉 (LCD 材料) とイカ玉 (OLED 素子) で違うだけで、具を焼く鉄板 (TFT 基板) は同じ。材料さえ決まれば、当社はいつでも OLED のトップ・メーカーになれる」エラー！参照元が見つかりません。

しかしだからといって、シャープは単に手を拱いているわけではなく、次のような意味深い戦略展開を実施した。

1 つは、LTPS 市場の参入である。2003 年まで AM 型の駆動技術の中で、技術上・コスト上の観点から LTPS が最適な選択と言われた。しかし、当時のシャープは大型パネルに必要な a-Si TFT に強いものの、中小型を中心に採用される LTPS はほとんど所有していなかった。そこで、同社は半導体エネルギー研究所などと共同研究を進め、2002 年に独自の技術である CGS-TFT を用いて LTPS 市場に参入し、わずか 2 年で同市場トップシェアを勝ち取った¹⁾(図 4 を参照)。そして、同社の LTPS 分野への参入によって、同社は中小型 LCD パネルの強化を果たしたのみならず、AM 型に欠かせない LTPS 市場での主導権をも獲得することとなった。

もう 1 つは、既存技術の更なる技術革新と新たな応用展開である。例えば、同社は液晶分子の配向を工夫したり、様々な技術を投入したりすることで、従来に言われた LCD の弱点である「コントラスト」「視野角」「応答速度」を改善し、Advanced Super View LCD を実現した。そして、この技術を同社の高画質なアクオステレビのみならず、AM 型の携帯電話への応用が間近になる 2006 年に、携帯電話にも応用し、話題のアクオス携帯電話を発売した。それが結果的に、小型ディスプレイ市場における AM 型と LCD の性能的格差を縮め、AM 型の市場普及ハードルを更に高めることに繋

ったのである。

3.3 OLED の事業化の現状

OLED の実用可能性が現実味を帯びるようになって以来、PM 型にせよ AM 型にせよ、関連の日本企業は業界の牽引者としてその事業化をリードしてきた。しかし、2003 年以降、状況は一変し、PM 型市場の首位の座が韓国勢に渡された。また、日本における AM 型の事業化そのものも停滞気味になった。例えば、東北パイオニアと三洋電機は、それぞれ 2005 年の末と 2006 年の初頭に AM 型 OLED の事業化の撤退を発表した。ソニーは 2007 年 12 月に世界初の AM 型 OLED テレビを発売したが、そのおおよそ 2 年 4 ヶ月後の 2010 年春に生産完了を発表した。さらに、業界の中で最も本格的な出荷に近いと視される TMD は、事業化計画を公表したものの、未だに出荷に至らずにいる。そして現在、研究開発のレベルでは、日本企業は曲がれる OLED の実現など革新的な研究成果を実現したものの、AM 型事業化においては完全に韓国勢や台湾勢に追い越されたのである。

4 事例分析

4.1 発見的事実

ここまで、日本における OLED 事業化の取り組みと現状を概観してきた。以下では、上述の事例をもとに、主な発見的事実を列挙し、そこから導出する仮説を整理する。

第 1 に、競争の多元化である。表 1 は主要な関連企業の AM 型事業化への参入経緯や事業化計画等を要約したものである。この表からわかるように、OLED の場合、各々の陣営は同じく OLED の研究開発に着手しているものの、研究開発の経緯や事業化の目的が異なっている。例えば、X 陣営の東北パイオニアは、はじめに自社製カーオーディオの付加価値を高めるために OLED の研究開発に取り組み、後に PM 型での経験を基に AM 型への進出を挑み、OLED の普及と同市場における持続的競争優位を守ろうとした。それに対して、Z 陣営は X 陣営の成功の刺激を受けて、新しい技術革新を既存市場での競争優位を打開するための手段として、研究開発に突入した。そして、Y 陣営は、新しい技術革新の推進者よりも、むしろ既存市場における既得権益を守るために、OLED 展開を注意深く留意し、いつでも新しい技術に乗り換えられるように準備していたのである。

第 2 に、新技術に対する競争主体間の認識のギャップである。この認識のギャップとは、AM 型を「破壊的技術」と認識するか、それとも「持続的技術」と認識するかである[5]。つまり、PM 型 OLED の事業化を成功させた東北パイオニアにしてみれば、AM 型が LCD と異なる材料を必要とし、発光原理なども全く異なるため、ディスプレイ市場における「破壊的技術」と認識される。それに対して、既存市場の競争優位企業シャープから見れば、両技術が単に使う材料が違っ

表 1:AM 型 OLED の事業化にみる競争主体の多元化

	東北パイオニア	TDK	三洋電機	ソニー	TMD	シャープ
		X		Z		Y
歴史的経緯	CRT挫折 LCD未参入	精密機器中心 パネル初参入	CRT挫折 LCD劣位	CRT優位 LCD劣位	CRT大手 LCD優位	CRT挫折 LCD優位
参入の時期	1988年	1990年	1995年	1998年	2000年	2002年
参入の理由	①独自のデバイスが欲しい、②自社製品の差別化等	光ディスクで培った記録膜技術に応用したい等	①ディスプレイに於けるこれまでの苦い経験の反省等	①競争優位の奪回 ②自社独自のデバイスが欲しい等	技術的ポテンシャルが高い	顧客のニーズに応えラインアップのオプションとして
技術的資源	関連する技術的ノウハウや設備をもっていない	関連する技術的蓄積がある	LTPS技術 世界2位 (27.5%)	LTPS技術 世界3位 (5%)	LTPS技術 世界1位 (67.5%)	a-Si技術 日本トップ
事業化計画	PM型とAM型の両方に着手し、先行者優位を維持	PM型で能力・経験を蓄積し、後にAM型への参入も	米コダックと共同でAM型のトップシェアをねらう	AM型TVを目標に、同市場のトップシェアをねらう	AM型の一番乗りをねらわず、二番手の準備を注力	基本はLCD、有機ELを20年後の技術として備える
実際の行動	世界初のPM型を発売、AM型も積極的に着手、が研究費等の圧迫で撤退	早い時期にPM型を発売したが、企業性格や取引関係からAMに踏み入れず	世界初のAM型を試験的に出荷したが、本社の経営スキャンダルで撤退	世界初中型のAM型TVを発売し、今日では日本で最も積極的な推進者	ほぼ毎年プロトタイプを試作し、公表しているが、事業化の動きはなし	2006年に高分子型のプロトタイプを初公開し、技術蓄積をアピール

出所:インタビュー記録および各種報道資料に基づいて作成

ているに過ぎず、同じく TFT 技術をベースにする既存技術の延長線上にあるため、AM 型は「持続的技術」である。もちろん、この認識のギャップは、潜在的な存在として進化プロセスの中で次第に顕在するものがあれば、競争主体間の競争的インタラクションを通じて、経時的に形成されたものもあるが、AM 型 OLED の場合は後者に当たると考える。

第 3 に、技術的ロックインである。2000 年以後、OLED の技術進化経路は、シンプルな PM 型から AM 型へ移り変わった。それが OLED の画質と品位を一段と高めた一方で、他方では、OLED ならではの進化経路を放棄させ、OLED の製造コストと技術的難易度を押し上げることとなった¹⁾。しかしより深刻なのは、AM 型の技術的アーキテクチャーの転換の結果、OLED の事業化が LCD 製造インフラへの依存性を高め、TFT 技術者の協力なしにその事業化を実現できなくなったことである。つまり、この転換のプロセスが意味するのは、OLED の事業化のヘゲモニーが、ディスプレイ産業の新規参入者である X 陣営から、いったん既存市場の競争劣位企業である Z 陣営を経て、既存市場の競争優位企業である Y 陣営へ移り変わったという競争主体間における競争力学の変化が起こったのである[3]。

4.2 仮説抽出

これらの発見的事実から、どのような仮説が導出できるだろうか。ここでは、AM 型 OLED の事業化プロセスを顧みながら、企業間競争がその事業化にどのような影響を及ぼしたかを考察し、技術革新の収益化と企業間競争に関する仮説の抽出を試みる。

2000 年のはじめ、既存市場の競争劣位企業である三洋

電機とソニーは、LCD での知見と経営資源を活用し、AM 型事業化の可能性を世に示した。その後、東北パイオニアは急遽に戦略的転換を行ったりし、日本における OLED の事業化そのものが PM 型から AM 型へと転換していた。従来の競争理論によれば、PM 型で培ってきた OLED の知見は、東北パイオニアを競合他社と差別化する最大の資産であり、同社が消極的競争行動をとれば、自ら自身の競争優位を低下させ、競争相手の打撃を受けることになる可能性が大である。よって、同社は決して間違った戦略的意思決定を下したとは言えない。

また、既存の経営資源を援用した PM 型から AM 型への技術的アーキテクチャーの転換も極めて合理的な選択であると正当化できる。なぜなら、この転換によって、AM 型のコスト対パフォーマンス比が短期間で飛躍的に向上し、わずか数年で実用化レベルに到達したからである。つまり、X 陣営にしろ Z 陣営にしろ、各陣営はそれぞれ各自の差別的ポイントを的確に把握し、合理的な戦略的意思決定を行ってきたということになる。

仮に競争市場は既存の 2 者間競争で想定したように、X 陣営と Z 陣営しかいなければ、AM 型をめぐる競争は同質的競争となり、それが激しければ AM 型の開発スピードが加速化し、より高性能で低価格の AM 型製品による市場普及が果たされることになるであろう。しかしながら、実際の結果はそうではなかった。むしろ、OLED の技術革新を巡る競争は、新規参入企業 (X 陣営)、既存市場の競争優位企業 (Y 陣営) と競争劣位市場 (Z 陣営) から構成されたものであり、X 陣営と Z 陣営の合理的な戦略展開は、OLED 競争市場を車載機器や携帯電話のサ

ブディスプレイというニッチ市場から、デジタルカメラのビューファインダーやテレビのようなメインストリーム市場への移行をもたらし、OLEDとLCDの対決をも鮮明にさせた。それがY陣営の早期参入を誘発し、結果的に技術的に未確立なAM型をLCDとの激しい競争にさらし、AM型の達成すべき開発水準が、次第にLCDの技術進化によって吊り上げられるという不利な状況に陥ったのである。

他方、前述のように既存資源の援用が、確かにAM型の性能向上を実現し、迅速な事業化の取り組みに貢献した。しかし、この既存資源の援用は、Z陣営に競争優位を奪回するチャンスを与えたと同時に、Y陣営にとっても、AM型OLEDへの事業転換を簡単に行える福音そのものでもあった。

なぜなら、第1に、同じ産業に属す競争主体の間に保有技術やノウハウ等の経営資源の類似性が考えられるからである。第2に、PM型からAM型への技術的アーキテクチャーの転換が、一方でAM型の事業化におけるOLED素子のもつ絶対的競争優位を低下させ、他方ではLTPSがAM型OLEDのコア・テクノロジーとしての重要性を増すようになったからである。

勿論、本来ならば、LCD市場の寡占化の進化に伴い、LCD市場からAM型に転換する企業の増加が期待できないことでもない。しかし、LTPSの生産設備の寡占化と過剰供給、世界的な不況による企業内の投資案件の減少、およびLCDとOLEDのカニバリゼーションの矛盾などの諸要因が相まって、AM型の技術革新が結局、収益化に辿り着かないまま、停滞してしまったのである。以上の考察から導出する仮説を整理すると、主に次の4点が挙げられよう。

H1: 競争主体が3者以上になると、技術革新の収益化を巡る企業間競争の中で、既存市場の競争劣位企業が競争の結果を左右する重要な戦略的ポジションにある場合が多い。

H2: 競争主体が3者以上になると、競争主体間の差異が競争関係を複雑にし、従来に言われた同質的競争の効果である技術革新の早期実現が、逆に実現されにくくなる可能性が大きい。

H3: 競争が多様な様相を呈する中で、既存資源の援用は技術革新の収益化を実現させる要因であると同時に、それを停滞化させる要因でもある。

H4: 競争主体が3者以上になると、競争の構造的制約が技術革新の収益化を左右する可能性が大きい。

5 おわりに

本稿では、3者間競争の視点から、日本におけるAM型OLEDの技術革新を巡る企業間競争を考察し、それがその技術革新の収益化に及ぼす影響およびそこから抽出する仮説を検討した。

簡潔にまとめるならば、OLEDの技術革新とそれを巡る企業間競争は、次のように表現できよう。すなわち、競争の多元化が呈する様相の中で、既存市場における競争優位の早期奪回とLCDとの競争的圧力と相まって、Z陣営による既存資源の援用を促した。それが、AM型事業化の迅速な立ち上げに寄与した一方で、他方では、そうすることがLCDインフラへの高度依存が強化されることとなり、結果的にその事業化の展開がY陣営にロックインされることとなった、ということである。

とは言え、本稿における分析は、OLEDの事業化という単一事例に基づくものである。ここでの考察結果の普遍性と妥当性を主張するためには、他の事例による検証作業をさらに進めていく必要がある。また、本稿の考察から導出した仮説の検証作業も今後の課題として残されている。さらに、本稿の分析枠組みである、3者間競争を構成する各競争主体の定義の精緻化と、分析枠組み自体の更なる検証作業も欠かせないであろう。これらを今後の課題としたい。

*本研究は、平成22年度科学研究費補助金若手研究(B)課題番号:22730299の助成を受けている。

参考文献

- [1] Chen, M-J and Miller, D. Competitive attack, Retaliation and Performance: An expectancy valance framework. *Strategic Management Journal*. 15, pp.85-102, 1994.
- [2] Chen, M-J. Competitor analysis and interfirm rivalry: toward a theoretical integration, *Academic Management Review*, Vol.21, No.1, pp.100-134, 1996.
- [3] 陳俊甫, “技術トラジェクリー・シフトの二面性,” 研究年報経済学, 東北大学経済学会, 第69巻第1・2号, pp.71-85, 2007.
- [4] 陳俊甫, “イノベーターの頓挫と戦略的不確実性,” 研究年報経済学, 東北大学経済学会, 第69巻第3号, pp.79-98, 2008.
- [5] Christensen, C.M. *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press, 1997. (伊豆原弓訳, *イノベーションのジレンマ*, 翔泳社, 2000).
- [6] Drucker, P.F. *Managing for results*, Harper and Row Publishers, Inc. 1964 (上田惇生訳, *創造する経営者*, ダイアモンド社, 1995)
- [7] D' Aveni and Richard, A. *Hypercompetitor:*

- Managing the dynamics of strategic maneuvering. Free Press, 1994.
- [8] Ferrie, W. J., Smith, K.G. and Grimm, C.M. The role of competitive action in market share erosion and industry dethronement: A study of industry leaders and challengers, *Academy of Management Journal*, 42, pp.372-388, 1999.
- [9] 富士キメラ総研編, 液晶関連市場の現状と将来展望, 各年度版.
- [10] 後藤晃・児玉俊洋, 日本のイノベーション・システム, 東京大学出版社, pp.1-17, 2006.
- [11] 後藤晃・永田晃也, “『イノベーションの専有可能性と技術機会: サーバイデータによる日米比較研究,” NISTEP REPORT No.48, 1997.
- [12] Hayek, F.A. The Meaning of Competition, in *Individualism and Economic Order*, Routledge & Kegan Paul, pp.92-106, 1949. (田中正晴・田中秀夫編訳, 市場・知識・自由, ミネルヴァ書房, 1986)
- [13] 平井岳哉, “デジタル家電: 繰返し競争パターンの継続と変容,” 宇田川勝・橋川武郎・新宅純二郎(編), 日本の企業間競争, 有斐閣, pp.48-71, 2000.
- [14] 城戸淳二, 有機 EL のすべて, 日本実業出版社, 2003.
- [15] 井上達彦, 収益エンジンの論理, 白桃書房, 2006.
- [16] 石井淳蔵, “競争の場を作り出す競争,” 国民経済雑誌, 第188巻第4号, pp.1-16, 2003.
- [17] 豆野和延, “アクティブ型有機 EL ディスプレイ,” ED リサーチ社, Focus Report 7, 2000.
- [18] 『日本経済新聞』2006年4月21日. 日本特許庁による調査結果であり, 調査期間は1997-2005年である.
- [19] 『日経産業新聞』2006年5月19日, p.9.
- [20] 沼上幹・浅羽茂・新宅純二郎・網倉久永, “対話としての競争: 電卓産業における競争行動の再解釈,” 組織科学, 第26巻2号, pp.64-79, 1992.
- [21] Pavitt, K. Chips and Trajectories: How does the semiconductor influence the sources and directions of technological change, in R.M. MacLeod (eds). *Technology and the Human Prospect*. Frances Printer, pp.31-54, 1986.
- [22] 榊原清則・辻本将晴, “日本企業の研究開発の効率性はなぜ低下したのか,” ESRI Discussion Paper Series No.47, pp.1-20, 2003.
- [23] 榊原清則, イノベーションの収益化, 有斐閣, 2005.
- [24] シャープの歩み (<http://www.sharp.co.jp>) を参照. アクセス日: 2008年10月10日.
- [25] 新宅純二郎, 日本企業の競争戦略, 有斐閣, 1994.
- [26] Simmel, G. *The Sociology of George Simmel*, Free Press, 1950. (居安正訳, 社会学: 社会化の諸形式についての研究[上], 白水社, 1994)
- [27] Smith, K.G., Ferrier, W.J. and Ndofor H. Competitive Dynamics Research: Critique and Future Directions. in M. A. Hitt, R. E. Freeman and J. S. Harrison (eds), *The Blackwell Handbook of Strategic Management*: Blackwell Publishing, pp.315-361, 2005.
- [28] Smith, K.G., Grimm, C.M., Gannon, M.J. and Chen, M-J. Organizational Information Processing, Competitive Response, and Performance in the U.S. Domestic Airline Industry. *Academic Management Journal*, 34, pp.60-85, 1991.
- [29] Tversky, A. Features of similarity. *Psychological Review*, Vol.84, pp.327-352, 1977.
- [30] 宇田川勝・橋川武郎・新宅純二郎, 日本の企業間競争, 有斐閣, 2000.
- [31] 米山茂美・野中郁次郎, “並行競争が生み出すイノベーション,” *ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス*, 17巻1号, pp.81-92, 1992.
www.techon.nikkeibp.co.jp. アクセス日: 2007年5月25日. なお, 引用内の()部分は筆者による注釈.
-
- i) a-Si TFTの製造能力を欠如していることは, サムスンと合弁会社の設立からも垣間見ることができる.
- ii) TACは3つのコア部分から構成される. (1) 電流書き込み方式回路であり, それによって, 基板内のTFTの特性バラツキによる輝度ムラが抑制される. (2) トップ・エミッション構造であり, その構造を採用することで, パネルの開口率が拡大され, 高輝度・高精細化が可能となる. (3) 中空部分のない薄型構造であり, この構造を採用することによって, OLED素子の発光特製の劣化とパネルの厚みが改善される. 詳細は Sony News Release 2001年2月7日を参照.
- iii) UDCは1994年創立し, プリンストン大学, 南カリフォルニア大学が所有する OLED 関連特許を多数保有し, 特許ライセンスビジネスを行っている. 出光興産は世界最高レベルの青色蛍光有機材料などをもつ大手材料供給者である.
- iv) CGS-TFTとは低温連続粒界結晶(Continuous Grain Silicon) TFTの略称. 1998年にシャープと半導体エネルギー研究所が共同開発した技術である.
- v) 例えば, PM型の事業化に必要な費用は数10億円で済むのに対し, AM型を製造するに欠かせない1本のLTPS生産ラインだけでも約500億円の投資が必要とされる. 詳しくは, 富士キメラ総研編, 液晶関連市場の現状と将来展望を参照.

身体動作インタフェースにおける身体動作抽出 ～電動車いすへの適用を通して～

横田 祥*・橋本 洋志**・大山 恭弘***・佘 錦華***

Extraction on Human Body Motion Interface - Applied for the control of electric wheelchair -

Sho Yokota*, Hiroshi Hashimoto**, Yasuhiro Ohayama*** and Sin-hua She***

Abstract

This research studies the intuitive interface for an electric wheelchair by using human body except hands. For this purpose, we focused on the human body motion which has relation to actions or behaviors. This motion links an unconscious intention. Therefore, by applying this human body motion to the interface of an electric wheelchair, it is possible to operate the wheelchair without any complex motions. We call this interface as HBMI (Human Body Motion Interface). In this paper, we introduce the prototype by using HBMI, and show an evaluation of it. This evaluation showed that HBMI has the ability of an interface. However the problem has also remained. In case of the singular 2 motions, the system cannot distinguish different of them. This paper classified the body motion which is not distinguished when an electric wheelchair is operated by Human Body Motion Interface (HBMI).

Keywords: Intuitive, Voluntary motion, Self-Organizing map, Interface, Wheelchair

1 はじめに

現在, 一般的な電動車いすの操作インタフェースはジョイスティックである。ジョイスティックは, 速度と移動方向を一度に操作できる優れたインタフェースである。その一方で, それは, 目に見える明示的なインタフェースであり, ユーザは, 手首を意識的に動かし, それを操作する必要がある。ジョイスティックを操作するためには, 棒を握る操作と, 手首を曲げる操作という 2 つの操作を複合させる必要がある。この複合動作は, 手首に複雑な動作を要求し, この複合的な手首の動作は加齢と共に難しくなる傾向にある[1]。このことは, 操作ミスを生じ, 車いす操作の事故原因となる可能性を示唆している。このため, 複雑な動作を必要としない, 手首以外のインタフェースを考えることは, 重要であると考えられる。このとき, 身体状態を推定することは重要な課題となる。

本研究は, 身体動作インタフェース(Human Body Interface: HBMI)による電動車いすを開発している。本稿では, 身体動作インタフェースの概要とそれを用いた電動車いすの製作, そして, このインタフェースを通して得られる計測データからユーザの身体状態の推定と分類法を考察する。

本稿では, 推定法と分類に適合するように, SOM(Self-Organizing Maps)を導入し, 実験を通してその有効性を評価する。

2 身体動作インタフェース

我々は, 直観的操作系実現のために, 行動・行為に関連がある人間の身体動作に注目した。この動作は, 身体を動かすことに注意を向けることなく, 自然と発生する身体部位の動作であり, 人間がある行動・行為を行おうとするとき, それに伴い, ある固有の動作を示すことがある。例えば, 乗り物を操縦し移動する場合, 自然と移動方向に上半身が傾く現象を観察できる。このことは, 随意運動に伴う予測できる姿勢の乱れを抑えるための姿勢調節機能によるものである[2]。

よって, 行動・行為に関連がある人間の身体動作は, 人間行動特性の一種であると考えられ, 行動意図と潜在的に結びついていると考える。また, それは自然と発生する身体部位の動作であることから, その動作に複雑さは含まない。

したがって, 行動・行為に関連がある人間の身体動作をインタフェースに利用すれば, ユーザは操作器を操るためだけに体の一部を動作させる必要がない。つまり, 人間が本来持

Received on September 25, 2010

*摂南大学, Setsunan University

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

***東京工科大学, Tokyo University of Technology

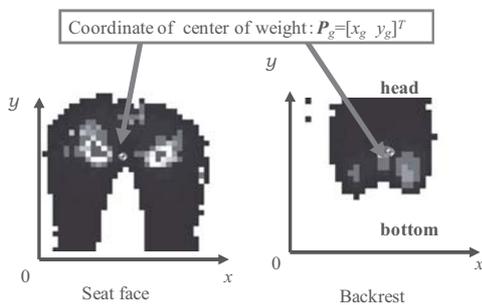


Fig.1: Coordinate of the center of weight

っている身体動作を利用するため, 複雑かつ意識的な動作を必要としない直感的な操作を可能にすると考えられる. 我々はこのようなインタフェースを身体動作インタフェースと称し, これを, 明示的な操作器を必要としない, 身体の一部の動作を利用したインタフェースであるとした.

3 身体動作計測箇所の選定

電動車いすの操作に身体動作インタフェースを用いるために, まず, 電動車いすにおける身体動作の計測箇所を実験を通して検討する.

3.1 計測方法

ユーザの車いす利用時の主な身体動作は上半身の動作となる. そのため, 電動車いすのための身体動作インタフェースの実現には, 上半身の動作を計測する必要がある. 車いす利用時の上半身の動作の計測方法として様々なセンサの利用が考えられるが, 無拘束に計測可能で, 事前の準備が不要との利点から, 圧力センサを用いる. そして, 得られた圧力分布情報を上半身の動作として計測する方法を採用する.

圧力センサは, TekScan, Inc の BPMS(Body Pressure Measurement System) [3]を用いた. このセンサはフィルム状で, サイズは 440 × 480mm であり, 格子状にフィルムに印刷された導電フィルムにより, 44 × 48 のセルに分割されている. センサに力が加わると, 各セルに加わる力が 8 ビットデータ(0~255)として PC に送信される. 本実験においては, 圧力分布の中心点(荷重中心 $P_g=[x_g \ y_g]^T$ (Fig.1))で圧力分布の変化を見ることとする.

3.2 計測実験

車いす利用時の圧力分布は, 背もたれと座面に生じる. ここでは, どちらの圧力分布がより身体動作を顕著に表わすのかを調べ, 身体動作インタフェースの入力として決定する. そのために, 身体動作による座面・背もたれの圧力分布の変化を実験により計測する.

方法は, 被験者の上半身に傾斜計をとりつけ, 上半身を

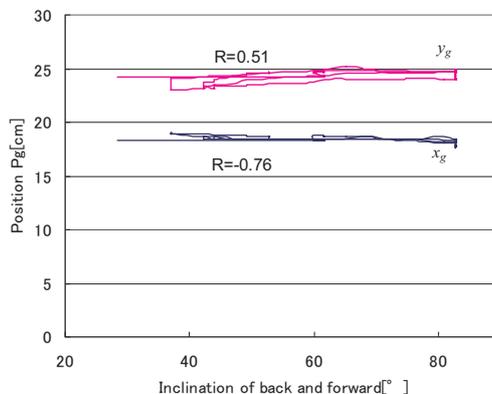


Fig.2: Position of center of weight in case of leaning Back and forward on the Seat face

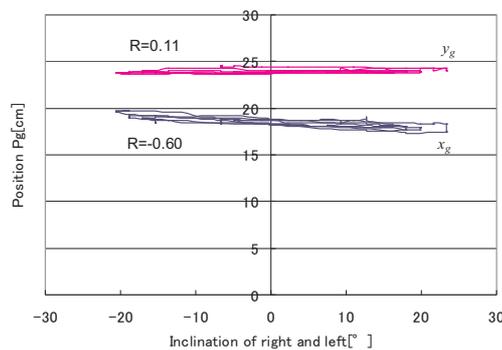


Fig.3: Position of center of weight in case of leaning right and left on the Seat face

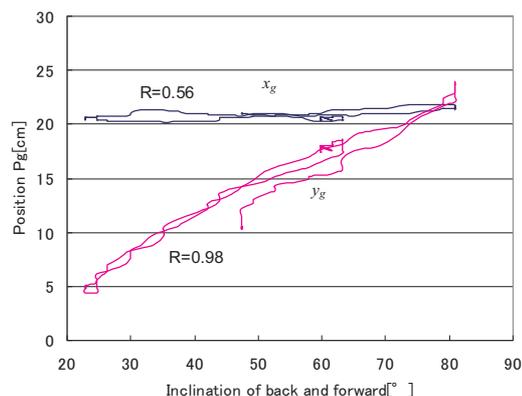


Fig.4: Position of center of weight in case of leaning back and forward on the Backrest

前後左右に傾けた時の圧力分布の荷重中心位置を記録する. 計測の結果を Fig.2-5, に示す.

Fig.2 が上半身を前後に傾けた場合の座面の荷重中心位置の変化, Fig.3 が上半身を左右に傾けた場合の座面の荷重中心位置, Fig.4 が上半身を前後に傾けた場合の背もたれの荷重中心の変化, Fig.5 が上半身を左右に傾けた場合

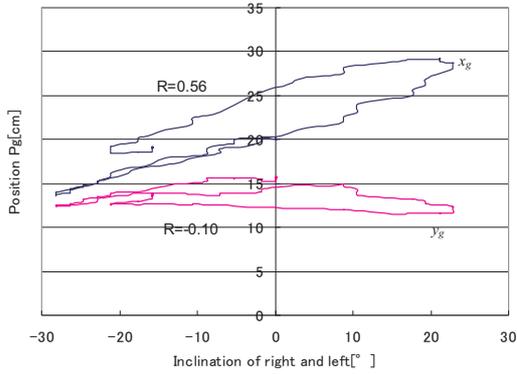


Fig.5: Position of center of weight in case of leaning right and left on the Backrest

の荷重中心の変化をそれぞれ表す。図中に上半身と荷重中心位置の相関係数を R として記入した。これらの結果から、背もたれの圧力分布が座面の圧力分布より、顕著に身体動作を表すことが分かった。したがって、座面の圧力分布を身体動作のインタフェースへの入力として利用することとした。

4 試作機の製作

前章で、身体動作の計測箇所を背もたれの圧力分布とした。本章では、前章の予備実験の結果を踏まえた試作機の製作とその操作方法について述べる。

4.1 システム構成

ユーザ製作した試作機は、主に、電動ユニット、圧力センサ、PC の 3 つの要素から構成される。圧力センサは 2 章の予備実験で利用したセンサを用いる。また、電動ユニットは、市販の YAMAHA JW-1 [4]を用いる。この電動ユニットのコントロールドライバは、前後方向と左右方向の指令電圧を受け取り、左右のモータに適する電圧を分配して供給する。ただし、このマッピングはブラックボックス化されている。PC は圧力分布の計測装置、かつ本システムのメインコントローラとしての役割を果たす。以上をまとめた、試作機のシステム構成を Fig.6 に示す。

PC が圧力センサから得られる圧力分布に基づき、電動ユニットに指令を与える。この指令を電動ユニットに伝達するために、Fig.6 中のインタフェースサーキットを設計した。この回路は、PC と電動ユニット間の橋渡しの役目を負い、PC とは USB 通信で接続し電動ユニットへ 2 つの電圧を与える。以上のシステム構成を基に製作した試作機の外観を Fig.7 に示す。圧力センサは 2 章の予備実験で得られた知見に基づき、背もたれに設置し、上半身の身体動作を検出する。メインコントローラである PC は、走行と被験者の乗り降りの妨げにならないよう、背もたれの後ろに設置した。同様

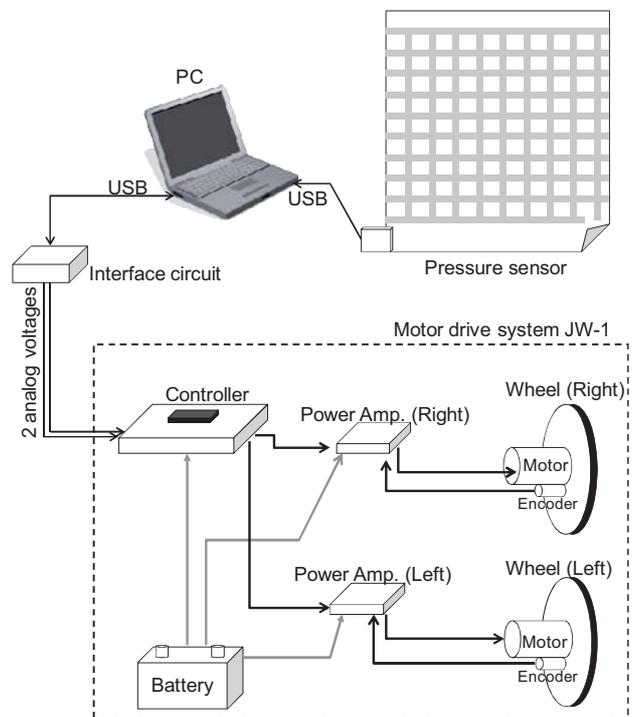


Fig.6: Proposed system configuration

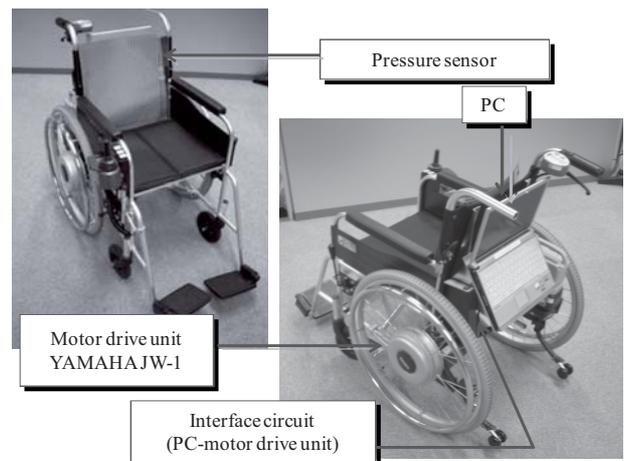


Fig.7: Overview of prototype

の理由により、PC と電動ユニットを結ぶインタフェース回路も背もたれの後ろに設置した。

4.2 操作方法

本システムは、身体動作による圧力分布の変化として、荷重中心位置(Fig.1) の変化に注目した。電動ユニットのコントロールドライバのインタフェースは 2 つの電圧であることから、荷重中心位置の変化を 2 つの電圧に変換することで、身体動作と車いす操作を関連付けた。その方法は以下のとお

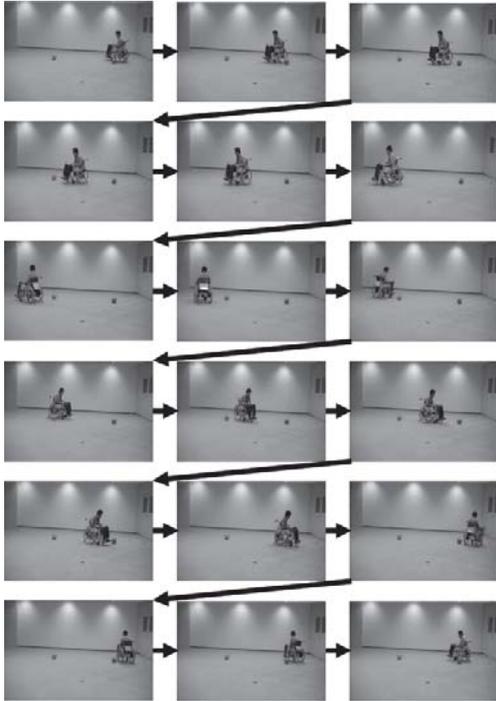


Fig.8: Test driving

りである。

- (1) 操作開始時の荷重中心座標の初期値 P_{g0} を取得する。
- (2) 以下の式により, 指令電圧を算出する。

$$V = A(P_g - P_{g0}) \quad (1)$$

ここで

P_g : 圧力センサにおける荷重中心座標

P_{g0} : 荷重中心座標の初期位置

A : 位置-電圧変換行列

V : 指令電圧

$$P_{g0} = \begin{bmatrix} x_g \\ y_g \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_{fb} & 0 \\ 0 & a_{lr} \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} v_{fb} \\ v_{lr} \end{bmatrix}$$

x_g, y_g : 荷重中心位置

v_{fb} : 指令電圧(前後方向)

v_{lr} : 指令電圧(左右方向)

a_{fb} : 変換係数(前後方向)

a_{lr} : 変換係数(左右方向)

- (3) 指令電圧を電動ユニットに与える。

4.3 走行実験

前述の手順を踏んで, 走行実験を行った。実験環境は室内で, 運転者は 30 歳男性, 身長 170cm, 体重 60kg である。実験における走行軌道の形は八の字をしている。操縦者

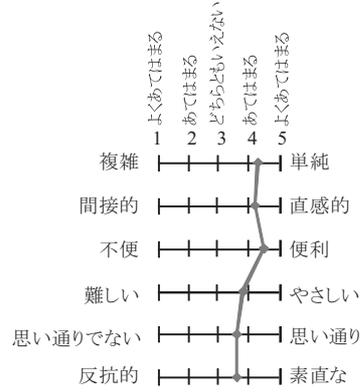


Fig.9: SD profile

はスタートからゴールまでこの軌道を 1 週する。Fig.8 が走行実験の様子である。実験において, 操縦者の上半身の身体動作を利用して, 車いすを操縦できた。このとき, 操縦者は上半身を行きたい方向に傾げるだけで, 車いすを所望の方向へ移動させることができた。

5 評価実験

身体動作インタフェースのインタフェースとしての可能性を検証するために, 本システムの操作感を評価する。そのために直感的な操作や操作意図と車いすの動作の一致が実現されているかを SD(Semantic Differential)法により調べる。

5.1 実験

10 名の被験者(20 代男性, 本システムによる走行が未経験)による走行実験を行った。各被験者は 1 回の試行(5 分間)中に, 屋内の平面な床の上(4m × 4m)を自由走行する。このとき, 走行回数に制限は設けない。試行の直後, 操作感に対するアンケート調査を行い SD 法により評価した。アンケート用紙では以下の形容語対を 5 段階で記した。前述の手順を踏んで, 走行実験を行った。

- 複雑 ⇔ 単純
- 間接的 ⇔ 直感的
- 不便 ⇔ 便利
- 難しい ⇔ やさしい
- 思い通りでない ⇔ おもいどおり
- 反抗的 ⇔ 素直な

SD 法により得られた結果の評定平均点を Fig.9 の SD プロフィールに示す。この図から本インタフェースに対して肯定的な印象を持っていることが分かる。特に便利, 単純, 直感的という項目において, 高評価を得た。

次に SD 法の結果について因子分析を行った。各形容語間の相関係数を基に主因子解法により因子負荷量を求めたのち, バリマックス回転により因子抽出を行った。このときの因子の抽出基準は固有値 1.0 以上とした。因子負荷量を

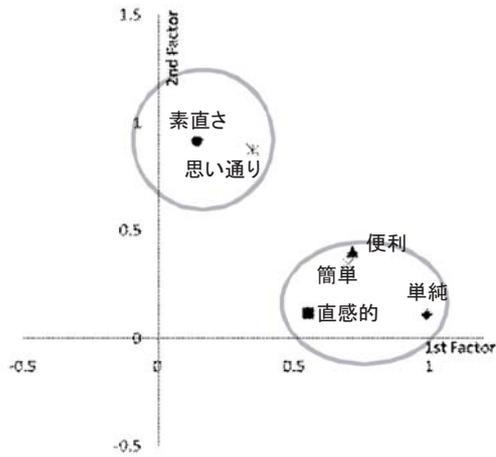


Fig.10: Factor Loading

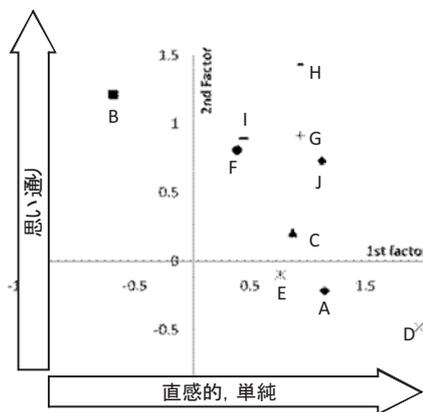


Fig.11: Factor Scores

Fig.10 に、因子得点を Fig.11 にそれぞれ示す。

結果解析より、2 因子が抽出された。Fig.10 より第 1 因子には、“便利”、“簡単”、“直感”、“やさしい”が見られることから、第 1 因子は、“直感的で簡単な操作”を表しているといえる。第 2 因子には、“素直”、“思い通り”、が見られることから、車いすの動作と操作の指示に差がない違和感のない操作を表す。つまり、第 2 因子は“操作意図と動作の一致”を示している。

Fig.11 は、それぞれの被験者のアンケート回答と上述の因子との関連性を示している。被験者 A, E, D の回答は、図の第 4 象限にプロットされていることから、本インタフェースに対して“操作意図と動作の一致”(第 2 因子)より“直感的で簡単な操作”(第 1 因子)に強い印象を持ったことを示している。被験者 B の印象は、図の第 2 象限にプロットされていることから、“直感的で簡単な操作”(第 1 因子)より、“操作意図と動作の一致”(第 2 因子)に強い印象を得たことを示している。被験者 C, F, G, H, I, J の回答は、図の第 1 象限にプロットされていることから、本インタフェースを“直

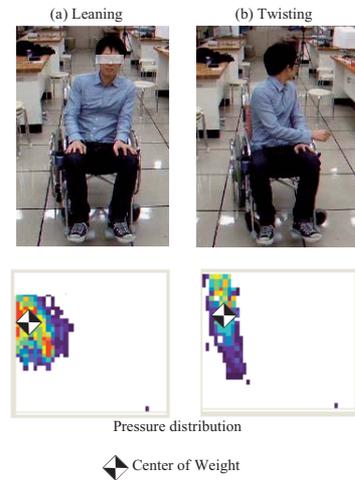


Fig.12: Example of confused motions

感的で簡単な操作”(第 1 因子)ができ、“操作意図と動作の一致”(第 2 因子)が実現されていることを示している。

したがって、被験者間での印象度合いの差はあるが、本インタフェース、直感的な操作または操作意図と動作の一致を実現していることがわかった。

6 混同動作問題

ここでは、混同動作問題について考える。この問題とは、Fig. 12 に示す場合で、ユーザが傾け動作(Fig.12(a))とひねり動作(Fig.12(b))という異なる身体動作を取ったとしても、車いすは同一の動作(Fig.13, Fig.14)を示すというものである。したがって、異なる身体動作が提示されたとしても、システムの動作には違いが見られないことが分かった。この問題の原因は、4.2 節で示した操作方法に起因する。すなわち、身体動作を圧力センサの荷重中心位置の 1 点に利用に集約し、操作に反映しているため、異なる身体動作によって生じた異なる圧力分布情報でも荷重中心位置が同一であれば、システムは同一の身体動作とみなし、車いすは同一の動作を示す。

ひねりと傾けという異なる身体動作でも、Fig.12(a),(b)が示すように、荷重中心位置は同一である。異なる身体動作の提示には、異なる操作意図が含まれていることが推測される。我々は、ひねり動作と傾け動作を混同動作と称し、これらを区別する。問題の原因を整理すると、以下のようになる。

- 圧力分布形状の無視
- 荷重中心位置のみを操作に利用

7 身体動作の分類・抽出

混同動作問題を解決するために、圧力分情報を有効に利用し、動作の分類・抽出を行う。車いす操作時における身体動作は、以下の 7 種類である。(1) 中立動作、(2) 前傾動作、(3) 後傾動作、(4) 右傾き動作、(5) 左傾き動作、(6)

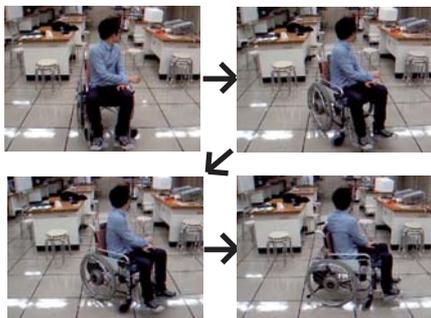


Fig.13: The motion in case of twisting

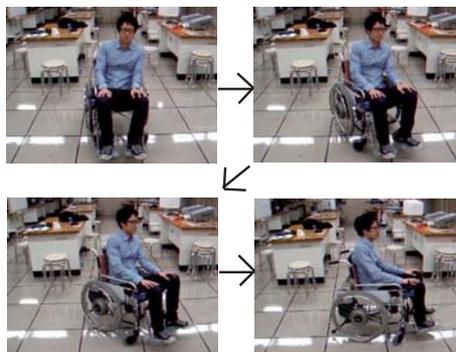


Fig.14: The motion in case of leaning

右ひねり動作, (7) 左ひねり動作これら 7 つの身体動作を正しく判別することができれば, 混同動作問題を解消することができると思われる。

7.1 SOM による分類

本システムのセンサは, センサシート表面に 34 × 44=1496 の圧力感知セルがあり, 一度に, そのデータを収集する。この 1496 個の圧力データパターンから身体動作を分類することができれば, 上記の 7 つの身体動作を判断することができると思われる。計測時に, 同じユーザが同じ動作を取ったとしても, 圧力センサから得られるデータは, サンプリング毎に異なる。なぜなら, 圧力データは, 背もたれに接する衣服の接触状態により異なること, また, 人間は精密に動作を再現することが難しいためである。したがって, 解析的な方法により動作を区別することは難しいため, ここでは, ヒューリスティックな方法により, 動作を区別することを考える。このときの要件は以下の 2 点である。

- ・ 教師なし学習
- ・ 入力データの低次元化

この条件に合致し, 広く一般的に用いられ分類の分野で効果をあげている方法の1つとして, 自己組織化マップ[5] (以下 SOM と略す) が挙げられる。以上の点から, 本稿は SOM を用いて動作を分類し, 7 つの身体動作を区別することを考える。

7.2 SOM の学修結果

1496 次元の圧力データが SOM の入力ベクトルとなる。学習用データは, 身長 170cm 体重 60kg の男性被験者が, 上半身を前後左右の傾け動作とひねり動作をした時の圧力データ 345 個を用いた。学習パラメータは以下の通りである。学習回数が 500,000 回, 学習率が 0.02, 学習半径が 6, 出力マップサイズが 20 × 20 である。マップにおける初期重みを乱数により設定した後に, SOM の学習を実行し, 出力マップの各セルにおける重みベクトルを得る。各セルの重みベクトルを得た後, 学習用データを作成した被験者が 7 つの身体動作を取ったときの圧力データを実験データとし,

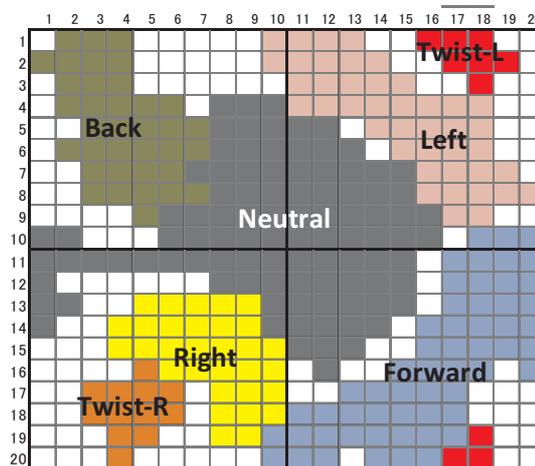


Fig.15: The classification on the map

各セルの重みベクトルと実験データのコサイン類似度(以下, 類似度と略す) を算出した。これより, 各動作に対する出力マップの各セルの類似度から, 各動作に対応する出力マップの領域が Fig. 15 のように得られた。

この図から, 7 種類の動作が分類できたことが分かる。特に, 問題点として指摘した混同動作問題の原因である, ひねりと傾けの動作の, 区別ができていたことが確認された。したがって, 従来の荷重中心位置を用いた方法では判別不可能な2つの動作が, SOM を導入することで判別可能であることが分かった。

8 おわりに

本研究は, 身体動作インタフェース(Human Body Interface: HBMI)による電動車いすを開発している。本稿では, 身体動作インタフェースの概要とそれを用いた電動車いすの製作・操作法, そして計測データからユーザの身体状態を推定する手法について述べた。

身体動作インタフェースは, 実験結果から, インタフェースの可能性が十分にあり, 直感的なインタフェースであることが示された。また, 自己組織化マップを導入することにより, ユ

一ザの身体動作を分類・抽出できることを示した。これにより、本研究で提唱する身体インタフェースの実現可能性を大きくできるものと考えられる。

参考文献

- [1] 河野慈圓, "学童および高齢者における歯磨き動作の特徴について", 歯科医学, Vol.58, No.3(19950625), pp. g91-g92, 1995
- [2] Gahery Y, and Massion J, "Co-ordination between posture and movement", Trends Neurosci 4, pp.199-202, 1981
- [3] TekScan, Inc. web page, <http://www.tekscan.com/>
- [4] YAMAHA Co., Ltd. web page, <http://www.yamaha>
- [5] Teuvo Kohonen, "Self-Organizing Maps", Springer, 1997.

受動性に基づく画像ベース視覚フィードバック制御の一考察

村尾俊幸*・河合宏之**・藤田政之***

A Study on Image-based Visual Feedback Control via Passivity Approach

Toshiyuki Murao*, Hiroyuki Kawai** and Masayuki Fujita***

Abstract

This paper deals with image-based visual feedback control via passivity approach. Firstly, the relative pose and the pinhole camera model are given. Secondly, we establish the relationship between the control error in the 3-D workspace and the visual feature error in the image space. Next, we derive the passivity of the image-based dynamic visual feedback system by combining the passivity of the control error system and the manipulator dynamics. Based on the passivity, stability and L_2 -gain performance analysis are discussed. Finally the validity of the proposed control law can be confirmed by comparing the simulation results.

Keywords: Visual Feedback Control, Passivity, Lyapunov Stability, L_2 -gain Performance Analysis

1 はじめに

近年、視覚フィードバック制御の研究はますます盛んに行われており、工場だけでなくより複雑なシステムや幅広い分野へも適用されるようになってきている [1, 2]. 中でも少子高齢化社会を迎える日本において必要不可欠とされる医療分野では、視覚フィードバック制御による腹腔鏡の制御 [3] や超音波探触子の制御 [4] などが、また生命科学の分野では、細胞注入 [5] などの応用研究が行われている。

古くから提案されている視覚フィードバック制御則は、主に位置ベース法と画像(特徴)ベース法という二つの制御手法に分類できることがよく知られている [1, 2]. 位置ベース法はカメラから観測対象の相対位置姿勢を元に、目標値入力を与える制御手法である。そのため、この手法では画像特徴量から相対位置姿勢の復元が最初に必要になるのだが、相対位置姿勢の復元とフィードバック制御則はそれぞれ個別に考えられ、おもにノイズに対してロバストかつ高速な相対位置姿勢の検出法が研究の対象となることが多かった。それに対して文献 [6] は、通常の位置ベース法が各時点における静的な画像情報を用いて相対位置姿勢を推定するのに対して、動きのモデルを用いて位置姿勢を推定し、かつ推定と制御を含めた全体の安定性について議論するという点で新しい制御アプローチとなっている。一方、最も初期の研究とし

て文献 [7] が挙げられる画像ベース法は、画像上の特徴量をフィードバックさせる制御則であり、3次元的な復元を行わず画像特徴量をそのまま扱うために比較的ロバストな制御則を設計できる手法となる。近年では、画像ベース法と位置ベース法の両手法を切り替える制御手法も提案されている [8]. また、最新の視覚フィードバック制御に関する研究が文献 [9] にまとめられている。

本稿では、受動性に基づいた画像ベース法の安定化視覚フィードバック制御則を提案する。文献 [6] と同様のアプローチとなるが、制御入力は相対位置姿勢の偏差ではなく、特徴量の偏差のフィードバックをそのまま制御入力として与えるものとなる。受動性に基づくアプローチで制御則は提案され、安定性と L_2 ゲイン制御性能解析について議論し、制御則の有効性をシミュレーション結果により検証する。

2 視覚カメラモデル

2.1 剛体運動の表現

本論文では、図 1 に示すような、三つの座標系によって表される Eye-in-Hand 構造の視覚フィードバックシステムについて考える。図中の座標系をマニピュレータの台座に基準座標系 Σ_w 、カメラにカメラ座標系 Σ_c 、観測対象に観測対象座標系 Σ_o として定義する。

Received on September 30, 2010.

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

** 金沢工業大学, Kanazawa Institute of Technology

*** 東京工業大学, Tokyo Institute of Technology

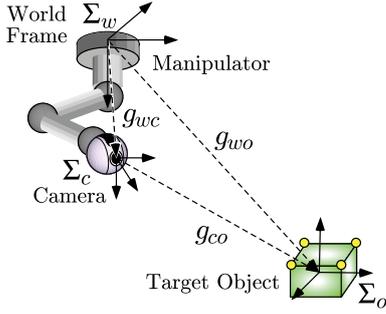


図 1: Eye-in-hand visual feedback system

本システムの制御目的は運動する観測対象にカメラを追従させることである. 言い換えると, カメラ座標系 Σ_c からみた観測対象座標系 Σ_o の相対位置姿勢 g_{co} を目標位置姿勢 g_d (本論文では一定値であるとする) に常に一致させておくこととなる. ここで, g_{ab} は同次表現と呼ばれ, 任意の二つの座標系 Σ_a から Σ_b の位置 $p_{ab} \in \mathcal{R}^3$ と姿勢を表す回転行列 $e^{\hat{\xi}\theta_{ab}} \in SO(3)$ から構成され, 4×4 行列として以下のように定義される.

$$g_{ab} = \begin{bmatrix} e^{\hat{\xi}\theta_{ab}} & p_{ab} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし, 演算子 $\wedge(\text{wedge})$ は 3次元ベクトルを 3×3 の歪対称行列へ写像する演算子であり, その逆写像は $\vee(\text{vee})$ で定義される [10].

本システムにおいて, 基準座標系 Σ_w からみたカメラ座標系 Σ_c の相対位置姿勢は g_{wc} は順運動学によりマニピュレータの関節角度から既知情報となる. しかし, 観測対象が未知な運動をするため, 観測対象座標系 Σ_o に関する相対位置姿勢 g_{wo}, g_{co} は未知情報になってしまう.

この相対位置姿勢 g_{co} と目標値 g_d の偏差を, 制御偏差 g_{ec} としてつぎのように定義する.

$$g_{ec} := g_d^{-1} g_{co} \quad (2)$$

さらに, この制御偏差に対する制御偏差ベクトルを

$$e_c := \begin{bmatrix} p_{ec} \\ e_R(e^{\hat{\xi}\theta_{ec}}) \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^6 \quad (3)$$

と定義する. ただし $e_R(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}}) := \text{sk}(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}})^\vee \in \mathcal{R}^3$, $\text{sk}(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}}) := \frac{1}{2}(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}} - e^{-\hat{\xi}\theta_{ab}})$ である.

制御目的を達成するためには g_{co} が必要になるが, g_{co} は同次表現の合成則から以下のように導かれる.

$$g_{co} = g_{wc}^{-1} g_{wo} \quad (4)$$

また, カメラ座標系からみた観測対象の相対速度は, g_{co} を時間微分することで,

$$V_{co}^b = -\text{Ad}_{(g_{co}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b \quad (5)$$

のように導かれる [6]. ここで, $V_{ab}^b = (g_{ab}^{-1} \dot{g}_{ab})^\vee \in \mathcal{R}^6$ は剛体運動のボディ速度を表しており, $\text{Ad}_{(g_{ab})} \in \mathcal{R}^{6 \times 6}$ は同次表現 g_{ab} の随伴写像として,

$$\text{Ad}_{(g_{ab})} = \begin{bmatrix} e^{\hat{\xi}\theta_{ab}} & \hat{p}_{ab} e^{\hat{\xi}\theta_{ab}} \\ 0 & e^{\hat{\xi}\theta_{ab}} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

で表される [10].

2.2 ピンホールカメラモデル

上述の相対位置姿勢 g_{co} は観測対象の位置姿勢 g_{wo} が測定不可能であるために未知情報となる. そこで, カメラの視覚情報を利用することを考え, 本節ではまずカメラモデルを導出する.

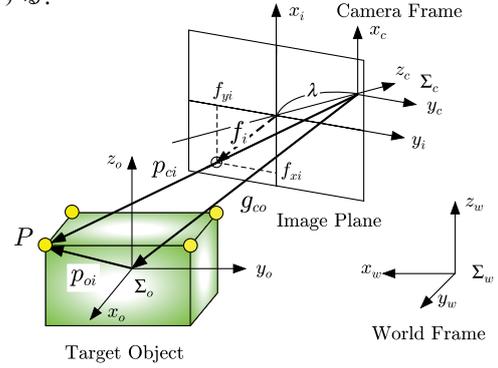


図 2: Pinhole camera model

本論文では, 図 2 に示すようなピンホールカメラを考え, そのモデルを示す. 画像特徴量として観測対象に取り付けられた m 点 ($m \geq 4$) の特徴点の画像面上における x 座標と y 座標を考える [11]. このとき, 観測対象座標系 Σ_o の原点から各特徴点までのベクトルを $p_{oi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$ とすると, カメラからみた相対的な特徴点 $p_{ci} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$ は

$$p_{ci} = g_{co} p_{oi} \quad (7)$$

で表される. ただし, 特徴点 p_{oi} はすべて既知であるとし, (7) 式は同次表現でよく用いられる表記法 $([p^T \ 1]^T$ を p と表記 [10]) により表したものである. p_{ci} の各要素は $p_{ci} = [x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}]^T$ とする.

しかし, 相対的な特徴量 p_{ci} も三次元情報であるため, カメラから直接得ることができない. したがって, カメラから得られる画像特徴量 $f(g_{co})$ について考える. この画像特徴量である $f(g_{co})$ は 2次元情報ではあるが, 3次元情報である g_{co} の情報を含んでいる. 画像面上での特徴点の座標を $[f_{xi} \ f_{yi}]^T (i = 1, \dots, m)$ とし, 特徴量を $f_i(g_{co}) := [f_{xi} \ f_{yi}]^T (i = 1, \dots, m)$ と定義すると, 特徴量は透視変換を用いることで

$$f_i(g_{co}) = \frac{s\lambda}{z_{ci}} \begin{bmatrix} x_{ci} \\ y_{ci} \end{bmatrix} \quad (8)$$

で表される。ただし、 λ はカメラの焦点距離、 s は [meter] を [pixel] に換算するスケーリングパラメータである。この $f_i(g_{co})$ を縦に並べたベクトルを f とすると

$$f(g_{co}) = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \quad (9)$$

となり、この $f(g_{co})$ が実際にカメラから得られる視覚情報となる。本節では f が三次元情報を含んでいることをより明示的に示すために $f(g_{co})$ と示したが、次節からは簡略化のために f と示す。

3 受動性に基づく画像ベース視覚フィードバック制御

3.1 画像面上における目標値

本制御手法では目標値は相対位置姿勢 g_d として与えられる。本節でははじめに、目標値 g_d に対して、画像面上における目標値 f_d を求めることとする。図 3 に目標値を生成するためのカメラモデルを示す。

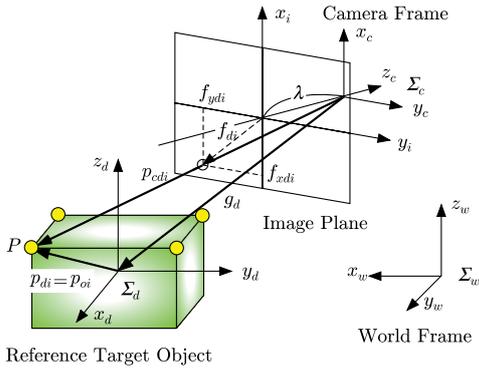


図 3: Reference camera model

カメラからみた相対的な特徴点の目標値 $p_{cdi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$ は

$$p_{cdi} = g_d p_{oi} \quad (10)$$

で表される。ここで、 p_{cdi} の各要素は $p_{cdi} = [x_{cdi}, y_{cdi}, z_{cdi}]^T$ とする。

画像面上での特徴量の目標値を $f_{di} := [x_{di} \ y_{di}]^T (i = 1, \dots, m)$ とすると、透視変換を用いることで f_{di} は

$$f_{di} = \frac{s\lambda}{z_{cdi}} \begin{bmatrix} x_{cdi} \\ y_{cdi} \end{bmatrix} \quad (11)$$

で表される。この f_{di} を縦に並べたベクトルを f_d とすると

$$f_d = \begin{bmatrix} f_{d1} \\ \vdots \\ f_{dm} \end{bmatrix} \quad (12)$$

となる。この f_d が目標相対位置姿勢 g_d に対する、画像面上における特徴量の目標値となる。

3.2 画像ヤコビアン

つぎに、画像特徴量 f と、目標相対位置姿勢 g_d から透視変換して得られる画像特徴量の目標値 f_d との関係式を導出する。

f_i を推定値 p_{cdi} のまわりで 1 次テーラー展開することで次式が得られる。

$$f_i - f_{di} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda}{z_{cdi}} & 0 & -\frac{s\lambda x_{cdi}}{z_{cdi}^2} \\ 0 & \frac{s\lambda}{z_{cdi}} & -\frac{s\lambda y_{cdi}}{z_{cdi}^2} \end{bmatrix} (p_{ci} - p_{cdi}) \quad (13)$$

ここで、画像特徴点 p_{ci} とその目標値 p_{cdi} の間の関係が必要になるが、その関係式を導出するために、制御偏差の回転量 θ_{ec} は十分に小さいと仮定する。この仮定により姿勢に関する制御偏差が以下のように近似できる。

$$e^{\hat{\xi}\theta_{ec}} \simeq I + \text{sk}(e^{\hat{\xi}\theta_{ec}}) \quad (14)$$

この近似を用いることで、(7) 式の真値と (10) 式の目標値との偏差は

$$p_{ci} - p_{cdi} = e^{\hat{\xi}\theta_d} \begin{bmatrix} I & -\hat{p}_{oi} \\ e_R(e^{\hat{\xi}\theta_{ec}}) \end{bmatrix} \quad (15)$$

と関係づけられる。ここで、実際の画像特徴量 f とその目標値 f_d との差を $f_e := f - f_d$ として定義する。このとき、 f_e はつぎのように関係づけられる。

$$f_e = J(g_d) e_c \quad (16)$$

ただし、

$$J(g_d) := [J_1^T(g_d) \ J_2^T(g_d) \ \cdots \ J_m^T(g_d)]^T \quad (17)$$

$$J_i(g_d) := \begin{bmatrix} \frac{s\lambda}{z_{cdi}} & 0 & -\frac{s\lambda x_{cdi}}{z_{cdi}^2} \\ 0 & \frac{s\lambda}{z_{cdi}} & -\frac{s\lambda y_{cdi}}{z_{cdi}^2} \end{bmatrix} e^{\hat{\xi}\theta_d} \begin{bmatrix} I & -\hat{p}_{oi} \end{bmatrix} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (18)$$

である。この画像ヤコビアン $J(g_d)$ は 3 次元上の制御偏差と画像平面上の制御偏差を関係づける行列となっている。

$J(g_d)$ が列フルランクを満たすように 4 点以上の特徴点を取り、その逆行列 $J^\dagger(g_d) = (J^T J)^{-1} J^T$ を用いると、

$$e_c = J^\dagger(g_d) f_e \quad (19)$$

が導かれる。したがって、制御偏差ベクトルは相対位置姿勢 g_{co} が未知でも、画像特徴量 f のみで構成することができる。

3.3 制御偏差システムと制御則

(2) 式の制御偏差 g_{ec} を時間微分することにより、制御偏差システムを導出する。制御偏差システムは

$$V_{ec}^b = -\text{Ad}_{(g_{ec}^{-1})} \text{Ad}_{(g_d^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b \quad (20)$$

となる。この制御偏差システムには以下の性質が成立する。

補題 3.1. 観測対象が静止している (すなわち $V_{w_o}^b = 0$) とする。このとき, 入力を $u_c := \text{Ad}_{(g_d^{-1})} V_{w_c}^b$, 出力を $\nu_c := -e_c$ とするとき, (20) 式の制御偏差システムの入出力間

$$\int_0^T u_c^T \nu_c d\tau \geq -\beta_c, \quad \forall T > 0 \quad (21)$$

が成り立つ。ただし β_c はある非負の定数である。

この補題 3.1 はつぎのエネルギー関数を用いることで証明される。

$$V_c = \frac{1}{2} \|p_{ab}\|^2 + \phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}}) \quad (22)$$

ここで関数 $\phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}}) := \frac{1}{2} \text{tr}(I - e^{\hat{\xi}\theta_{ab}})$ は回転行列に対する誤差関数を表す正定関数である [12].

制御偏差システム (20) に対し, 補題 3.1 の受動性に基づくことで次式の制御則を提案する。

$$u_c = -K_c \nu_c = K_c e_c \quad (23)$$

ただし, $K_c := \text{diag}\{k_{c1}, \dots, k_{c6}\}$ は x 軸, y 軸, z 軸の並進と回転におけるゲインであり, 各要素はすべて正とする。このとき安定性に関してつぎの定理が導かれる。

定理 3.1. $V_{w_o}^b = 0$ のとき, 制御偏差システム (20) と (23) 式の入力で構成される閉ループ系の平衡点 $e_c = 0$ は漸近安定である。

証明: (22) 式のエネルギー関数を Lyapunov 関数候補とし, 解軌道に沿って時間微分を行うと, 提案した (23) 式の制御則を用いることで,

$$\dot{V}_c = u_c^T \nu_c = -e_c^T K_c e_c \quad (24)$$

が導かれる。行列 K_c が正定であるため, システムの平衡点 $e_c = 0$ は漸近安定となる。□

提案した制御則は (19),(23) 式より

$$u_c = K_c J^\dagger(g_d)(f - f_d) \quad (25)$$

と変形される。したがって, 画像ベース法のように特微量の偏差のフィードバックをそのまま制御入力として与えるような安定化視覚フィードバック制御則となっていることがわかる。また, 文献 [6] では制御偏差システムと推定偏差システムを合わせて視覚フィードバックシステムとしていたが, 本手法では制御偏差システムのみで視覚フィードバックシステムを構成していることになる。

次節ではさらにカメラを把持するマニピュレータのダイナミクスを考慮した上で制御則を提案する。

4 受動性に基づく画像ベース動的視覚フィードバック制御

4.1 画像ベース動的視覚フィードバックシステムと受動性
本節では, 前節で構成したシステムに対して, つぎのマニピュレータダイナミクスを考慮する [13].

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau + \tau_d \quad (26)$$

$q, \dot{q}, \ddot{q} \in \mathcal{R}^n$ はそれぞれの各関節の角度, 角速度, 角加速度を表し, $\tau \in \mathcal{R}^n$ は入力トルク, $\tau_d \in \mathcal{R}^n$ はトルク外乱, $M(q) \in \mathcal{R}^{n \times n}$ は正定な慣性行列, $C(q, \dot{q})\dot{q} \in \mathcal{R}^n$ は遠心力・コリオリ力項, $g(q) \in \mathcal{R}^n$ は重力項を表す。

また, マニピュレータの手先に取り付けられているカメラの速度は, ボディマニピュレータヤコビアン $J_b(q) \in \mathcal{R}^{6 \times n}$ を用いることで $V_{w_c}^b = J_b(q)\dot{q}$ として表される [10]. 一方, 手先の速度の目標値を u_d とし, マニピュレータの関節角速度の目標値を \dot{q}_d で表すと, $u_d = J_b(q)\dot{q}_d$ と表すことができる。ここで, 関節角速度に関する偏差を

$$r := \dot{q} - \dot{q}_d \in \mathcal{R}^n \quad (27)$$

と定義する。この関節角速度偏差 r が 0 になると手先の速度がその目標値に一致することとなる。

このとき, マニピュレータへの入力トルクとして

$$\tau = M(q)\ddot{q}_d + C(q, \dot{q})\dot{q}_d + g(q) + J_b^T(q) \text{Ad}_{(g_d^{-1})}^T e_c + u_r \quad (28)$$

を考える。 \dot{q}_d, \ddot{q}_d はそれぞれ関節角速度と関節角加速度の目標値である。 u_r は関節角速度偏差をなくすための新たな入力であり, 後に提案する。このとき, (20), (26)~(28) 式を用いることで **Eye-in-Hand** カメラ構造の 3 次元画像ベース動的視覚フィードバックシステムは

$$\begin{bmatrix} \dot{r} \\ V_{e_c}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -M^{-1}Cr + M^{-1}J_b^T \text{Ad}_{(g_d^{-1})}^T e_c \\ -\text{Ad}_{(g_c^{-1})} J_b r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M^{-1} & 0 \\ 0 & -\text{Ad}_{(g_{ec}^{-1})} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} M^{-1} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} w \quad (29)$$

で表される。ただし, 入力, 外乱, 状態をそれぞれ

$$u := \begin{bmatrix} u_r \\ \text{Ad}_{(g_d^{-1})} u_d \end{bmatrix}, \quad w := \begin{bmatrix} \tau_d \\ V_{w_o}^b \end{bmatrix}, \quad x := \begin{bmatrix} r \\ e_c \end{bmatrix} \quad (30)$$

と定義している。**Eye-in-Hand** 構造の画像ベース動的視覚フィードバックシステムにおいて, 状態 x を 0 にとどめておくことで制御目的が達成される。

この画像ベース動的視覚フィードバックシステム (29) に対して, 下記に示す受動性が成立する。

補題 4.1. 外乱がない (すなわち $w = 0$) とする。このとき, 出力を $\nu := Nx$, $N := \text{diag}\{I, -I\}$ とするとき, 画像ベース動的視覚フィードバックシステム (29) の入出力間

$$\int_0^T u^T \nu d\tau \geq -\beta_0, \quad \forall T > 0 \quad (31)$$

が成り立つ。ただし β_0 はある非負の定数である。

この補題 4.1 はつぎのエネルギー関数を用いることで証明される。

$$V = \frac{1}{2} r^T M r + \frac{1}{2} \|p_{ec}\|^2 + \phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ec}}) \quad (32)$$

4.2 動的視覚フィードバック制御則と安定性

画像ベース動的視覚フィードバックシステム (29) に対し、補題 4.1 の受動性に基づくことで次式の制御則を提案する。

$$u = -K\nu = -KNx, \quad K := \text{diag}\{K_r, K_c\} \quad (33)$$

ただし、 $K_r := \text{diag}\{k_{r1}, \dots, k_{rn}\}$ はマニピュレータの各関節に対するゲインであり、ゲインにおける各要素はすべて正とする。このとき安定性に関してつぎの定理が導かれる。

定理 4.1. $w = 0$ のとき、画像ベース動的視覚フィードバックシステム (29) と (33) 式の入力で構成される閉ループ系の平衡点 $x = 0$ は漸近安定である。

証明: (32) 式のエネルギー関数を Lyapunov 関数候補とし、解軌道に沿って時間微分を行うと、提案した (33) 式の制御則 u_k を用いることで、

$$\dot{V} = u^T \nu = -x^T N^T K N x \quad (34)$$

が導かれる。行列 K が正定であり、 N が正則であるため、システムの平衡点 $x = 0$ は漸近安定となる。□

4.3 L_2 ゲイン制御性能解析

本節では外乱が存在する場合について考察する。特に、本論文では外乱抑制問題を考えることで L_2 ゲイン制御性能解析を行う。

ある正の数 γ を用いてつぎの条件を与える。

$$K_r > \frac{\gamma^2 + 1}{2\gamma^2} I \quad (35)$$

$$K_c > \frac{\gamma^2 + 1}{2\gamma^2} I \quad (36)$$

このとき、制御性能解析に関するつぎの定理が示される。

定理 4.2. 与えられた γ に対して、(35),(36) 式を満たすようにゲイン K_r, K_c を選ぶとき、(29), (33) 式で構成される画像ベース動的視覚フィードバックシステムは γ 以下の L_2 ゲインを有する。

(証明) 蓄積関数として (32) 式のエネルギー関数を考える。(29), (33) 式の閉ループ系の解軌道に沿って時間微分し、平方完成を用いると

$$\begin{aligned} \dot{V} + \frac{1}{2}\|x\|^2 - \frac{\gamma^2}{2}\|w\|^2 &= -\frac{\gamma^2}{2} \left\| w - \frac{1}{\gamma^2} \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & \text{Ad}_{(e^{-\xi\theta_{ec}})} \end{bmatrix} x \right\|^2 \\ &\quad + \frac{1}{2\gamma^2} \left\| \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & \text{Ad}_{(e^{-\xi\theta_{ec}})} \end{bmatrix} x \right\|^2 + x^T N^T u + \frac{1}{2}\|x\|^2 \\ &\leq \frac{1}{2\gamma^2}\|x\|^2 + x^T N^T u + \frac{1}{2}\|x\|^2 \end{aligned} \quad (37)$$

という関係式が成り立つ。(33) 式の制御則を代入すると

$$\dot{V} + \frac{1}{2}\|x\|^2 - \frac{\gamma^2}{2}\|w\|^2$$

$$\begin{aligned} &\leq -x^T K x + \frac{1}{2\gamma^2}\|x\|^2 + \frac{1}{2}\|x\|^2 \\ &= -x^T \begin{bmatrix} K_r - \frac{1}{2\gamma^2}I - \frac{1}{2}I & 0 \\ 0 & K_c - \frac{1}{2\gamma^2}I - \frac{1}{2}I \end{bmatrix} x \end{aligned} \quad (38)$$

となる。(35), (36) 式が満たされるとし、両辺を積分すると

$$\begin{aligned} \int_0^T (\gamma^2\|w\|^2 - \|x\|^2) d\tau &\geq 2V(T) - 2V(0) \\ &\geq -2V(0) := -\beta \end{aligned} \quad (39)$$

が成り立つ。 β は初期状態にのみ依存する非負の定数である。□

この制御性能解析では観測対象の運動を外乱としてとらえているために、 γ が小さいコントローラであれば観測対象の運動が状態に与える影響がより少ないことを示している。

つぎにシミュレーションにて制御則の有効性の検証をおこなう。

5 シミュレーション

本稿では 3 次元の視覚フィードバック制御則を提案したが、シミュレーションでは、簡単のために水平 2 自由度マニピュレータである SICE-DD アームを考える。観測対象は 2 秒間直線運動をさせた後、2.8 秒間は 8 の字運動をさせる。ゲインは以下のものを用いた。

Gain A : $\gamma = 0.302$,

$$K_c = \text{diag}\{10, 10, 5, 5, 5, 10\}, \quad K_r = \text{diag}\{5, 5\}$$

Gain B : $\gamma = 0.219$,

$$K_c = \text{diag}\{30, 30, 15, 15, 15, 30\}, \quad K_r = \text{diag}\{10, 10\}$$

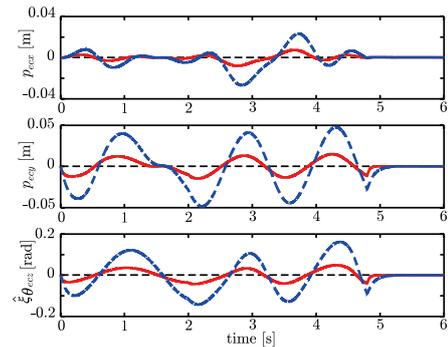


図 4: Control error: dashed; with Gain A: solid; with Gain B.

図 4 にこれら二つのゲインを比較したシミュレーション結果を示す。図 4 は 3 次元空間での x, y 軸の位置偏差と z 軸の回転偏差を示す。破線が Gain A の場合を、実線が Gain B の場合のグラフを示している。図 4 から明らかなように、外乱がある場合、 γ の小さい Gain B のほうが偏差が少なく追従性能が高いことが示されている。また、外乱がない場合 ($t > 4.8$) には、状態が平衡点 $x = 0$ に収束して

いることが確認される。したがって, 提案する制御則の有効性がシミュレーション結果によって示された。

さらに, ビジュアルモーションオブザーバを用いた制御則とのシミュレーション比較をおこなう。比較する制御則は文献 [14] のものを用いた。両制御則を比較するためゲイン K_r, K_e に対しては同じゲインを設定し, 文献 [14] の手法に必要となる推定偏差に対するゲインは $K_e = 20I$ を用いた。

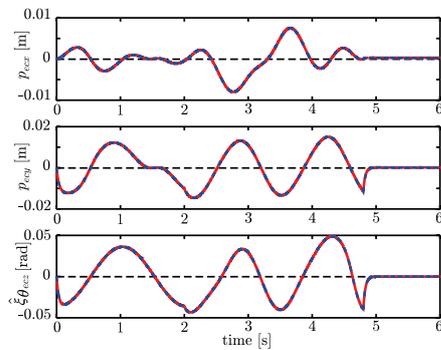


図 5: Control error: solid; with proposed control law: dashed; with previous one[14].

図 5 に両手法を比較したシミュレーション結果を示す。ほぼ同じシミュレーション結果となっているために重なっているが, 図 5 には 2 本のグラフが書かれている。つまり, 文献 [14] の手法とほぼ同じ制御性能を得られることがわかる。ただし, 本稿の制御則はオブザーバを設計していないために, コントローラを設計する際に微分方程式を一つ解く必要がないという利点がある。

6 おわりに

本稿では, 受動性に基づく画像ベース法の視覚フィードバック制御則として, 文献 [6] の手法に対して, ビジュアルモーションオブザーバで相対位置姿勢を推定せずに, 画像ベース法のように特徴量の偏差のフィードバックを制御入力として与えるような視覚フィードバック制御則を提案した。安定性と L_2 ゲイン制御性能解析について議論した後に, 制御則の有効性をシミュレーション結果により示した。

参考文献

- [1] F. Chaumette and S. Hutchinson, “Visual Servoing and Visual Tracking,” B. Siciliano and O. Khatib (Eds.), *Springer Handbook of Robotics*, Springer-Verlag, pp. 563–583, 2008.
- [2] 橋本浩一, (講座) ビジュアルサーボ I~VI, システム/制御/情報, Vol. 53, No. 9, pp. 411–416, No. 11, pp. 476–483, Vol. 54, No. 1, pp. 34–42, No. 3, pp. 117–123, No. 5, pp. 206–213, No. 7, pp. 264–273, 2009–2010.
- [3] K. Omote *et al.*, “Self-Guided Robotic Camera Control for Laparoscopic Surgery Compared with Human Camera Control,” *The American Journal of Surgery*, Vol. 177, No. 4, pp. 321–324, 1999.
- [4] A. Krupa and F. Chaumette, “Control of an Ultrasound Probe by Adaptive Visual Servoing,” *Proc. of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2007–2012, 2005.
- [5] S. Yu and B. J. Nelson, “Autonomous injection of biological cells using visual servoing,” In: D. Rus and S. Singh (Eds.), *Experimental Robotics VII*, Springer-Verlag, pp. 169–178, 2001.
- [6] M. Fujita, H. Kawai and M. W. Spong, “Passivity-based Dynamic Visual Feedback Control for Three Dimensional Target Tracking: Stability and L_2 -gain Performance Analysis,” *IEEE Trans. Control Systems Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 40–52, 2007.
- [7] B. Espiau, F. Chaumette and P. Rives, “A New Approach to Visual Servoing in Robotics,” *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 8, No. 3, pp. 313–326, 1992.
- [8] N. R. Gans and S. A. Hutchinson, “Stable Visual Servoing through Hybrid Switched-System Control,” *IEEE Trans. Robotics*, Vol. 23, No. 3, pp. 530–540, 2007.
- [9] G. Chesi and K. Hashimoto (Eds.), *Visual Servoing via Advanced Numerical Methods*, Springer-Verlag, 2010.
- [10] R. Murray, Z. Li and S. S. Sastry, *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*, CRC Press, 1994.
- [11] H. Michel and P. Rives, “Singularities in the determination of the situation of a robot effector from the perspective view of 3 points,” *Technical Report*, INRIA, 1993.
- [12] F. Bullo and A. D. Lewis, *Geometric Control of Mechanical Systems*, Springer-Verlag, 2004.
- [13] M. W. Spong, S. Hutchinson and M. Vidyasagar, *Robot Modeling and Control*, John Wiley & Sons, 2006.
- [14] 村尾俊幸, 河合宏之, 藤田政之, “受動性に基づく視覚フィードバックにおける推定と制御の内部構造,” 第 36 回 SICE 制御理論シンポジウム 資料, pp. 183–186, 2007.

人工物設計における価値創造に関する一考察

吉田 敏*・小山 登*・チョ ユリム**・元帥**

Study of Value Creation of Artificial Design

Satoshi Yoshida*, Noboru Koyama*, Cho Yurim** and Suimii.Yuan **

Abstract

It is not so easy to find discussions about the characteristics of Japanese technology development, but it is necessary to understand this point for future development of Japanese technology. This paper studies fundamental analysis of function design of Japanese products to understand strong points and weak points of Japanese technology. The purpose of this study is to make clear the aspect of the thinking way of functional design to create design information of Japanese products, and to understand the characteristics of design process of Japanese products. This is the trying for comprehension of direction of future Japanese products and technology.

Key Words: Value Creation, Design Process, Artifact, Function Design

1. はじめに

一般的に人間が活動する現代社会において、人間によってつくられた人工物が溢れている。例えば、執務空間を見渡しても、パソコン、文具、家具、書籍などが存在する。また、理論や制度なども人工物であり、まさに生活空間は人工物が溢れかえっているといえる。一方、人工物と対比されるのが自然物と言われる対象である。この自然物を対象としているのが一般的に自然科学であるといえる。言うまでもないが自然科学は極めて長い歴史を持つとともに、重厚な理論体系が確立されている。しかし、生活空間にあふれている人工物に関しての科学としての体系化がほとんど進んでいない。

一方、国際的市場で製品品質などが認められ、日本がものづくりの強国であり続けた時期があった。しかし、新しいビジネスモデルを武器にものづくり強国の日本に対抗してきた欧米諸国や低価格と高品質を武器とするアジア諸国の台頭で世界製造業界の環境は大きく変化し日本の競争力は弱体化されている。そんな中、過去の成功経験にこだわり今までのやり方を続けている日本企業が多い。自分の強みを活かすことは大事なことであるが、現状で過去のやり方を守り続けることが有効であるかについては検討が必要である。

ここでは、有形の製品を中心とした人工物の創造過程の一部である設計過程を取り上げ、そこでの価値創造に関する議論を展開するものである。

2. 人工物の設計過程

2.1 設計過程における人工物設計の要素の取り扱い

対象を人工物全体と捉えたとき、その設計過程の特性とは何であろうか。一つの重要な視点として、自然物と対比しながら人工物を対象として理解していくことが考えられる[1]。

自然物は、基本的にすでに存在している対象であると考えられる。ここから言えるのが、例外の存在可能性を否定しないうえで言及するならば、自然物は現況において存在している以上、ある合理性を確立している場合が基本となる。また、その創造過程には、基本的に人間が意識的に関与することがないと考えられる。そのために、創造過程に関する理解は、必ずしも高いとは言えない。例えば、生物全体を対象として考えても、どのような創造プロセスによって、自分で動き、成長し、繁殖することができるものが創られたのだろうか。全ての創造プロセスが解明され、再現されることがない限り、人間にとって理解するのが困難な対象であるということになる。その反面、合理性が確立されている自然物が多い以上、その構造を理解していくことで機能や働きを知ることができる。これは、自然科学の基本的視点といえる。

これに対して人工物はどうであろうか。まず、人工物は人間によって創られるものであるため、基本的に当初より存在することは無い。まず存在するのは、その人工物が創られる目的である。人工物の設計プロセスを追っていくと、まず、目的が掲げられ、それに対応した概念設計が行われ、機能設計、構成設計、生産工程設計といふ進む[2]。これらの設計

Received on Jan 15, 2010

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

**東京大学大学院工学系研究科, The University of Tokyo, Graduate School of Engineering

プロセスによって創られた設計情報に基づいて、対象となる人工物が生産されることになる[3]。これらのプロセスを参照しながら、人工物の創造行為を記述するなら、目的を掲げ、それを実現するために、その人工物が存在する環境を考慮しながら、操作すべき対象要素を調整する、ということになる[4,6]。言い換えるなら、目的を達成するため、操作可能な内的要素を調整しながら、外的環境に適合させる行為、ということができる。

ここで挙げた内的要素と外的環境は、通常の場合、複数の要素で構成されることになる。そして、それらの要素数が一つの場合、全体を一度に理解することが難しくなくなり、ここで挙げたプロセスについては多くを論じる必要性がなくなる。なぜなら、要素数が一つなら、調整可能な範囲が無いということになる。また、常に要素を発明や発見していくことは殆ど不可能であり、既存の要素を活用していくの方がはるかに多く、ここでの議論の主要な対象とされるべきであると考えられる。そのため、議論の主要な対象としては、複数の既存の要素によって構成される人工物ということを念頭に置いていくこととする。

このように、対象に内包された構成要素間の相互依存性が、その複雑性に関する源泉と考えることができる。ここでは、「インターフェイスの集約化」と、「インターフェイスのルール化・固定化」に分けて整理することにより、モジュラー型システムが複雑性を削減する特性を持つことを示すものである[4,7]。

まずは、「インターフェイスの集約化」の度合いを考えるものとする。システムの複雑性の一つの要因である構成要素間の関係数は、基本的には構成要素数によって決定づけられる。つまり、構成要素数が2の場合は要素間の関係数は1($2 \times 1 \div 2 = 1$)であり、要素数が4の場合は要素間の関係数は6($4 \times 3 \div 2 = 6$)となる。しかし、全体のパフォーマンスを低減せずシステムの複雑性を削減するには、何らかの形で要素間の関係数を減少させることが考えられる。このための一つの手法がインターフェイスの集約化である。システムを構成する要素間の相互依存性の度合いは、全ての要素間で一様ではない場合が多い。相互依存関係の強弱を認識し、相対的に相互依存の度合いが高い要素群に分けることによって、インターフェイスの集約化を図ることができる。また、構成要素間に存在する比較的無視することが可能な関係性を他の関係性と区別していくのが、階層的な解釈ができるシステムの特色であるといえる。多くのシステムは求められる目標を実現するために複数の副次的目標を持っている。例えば、生産システムで考えれば、求められる機能を実現させるために、いくつかのサブ機能を持つことになる。そして、他の様相(生産物、生産プロセス、生産組織)の構成要素を、機能の構成要素と簡潔に関連づけていくことが全体の複雑性の削減につ一方、「インターフェイスのルール化・固定化」が進めば構成要素間の相互依存性が弱められ、全体の複雑性が低減されることになる[4]。

1 複雑性の原

構成要素数の増

2 複雑性の削減方

A 階層

B インターフェイスの集約

要素間の相互依存

C インターフェイスのルール化・固定

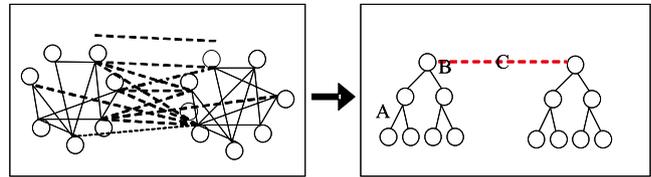


図1 人工物システムがモジュラー化された場合の複雑性削減の要点

つまり、インターフェイスのルール化とは、モジュール間の相互関係に基づく問題について事前に対処し、相互依存関係を低減させるものである。ここで注意が必要な点は、インターフェイスのルール化は一般的に言われる標準化とは異なるものであり、標準化とはオープン化とインターフェイスのルール化との組合せであると考えられる。つまり、標準化の一つの要素がインターフェイスのルール化という位置づけとなる。また逆に考えたとき、標準化はモジュラー化と見なすことができない。なぜなら、標準化が、もう一つのシステム複雑化抑制の要因となるインターフェイスの集約化を伴わないためである。

以上をまとめて図示したのが図1となる。ここでのシステムの「階層化」の生成について考える。通常システムに関する問題解決は、試行錯誤と選択性のさまざまな組み合わせに基づいているものである。つまり、ある複数要素から成り立っているシステムを構築する過程では、まず大きな課題や確立されている関係性から出発し、法則や経験からさまざまな部分における変形が試みられて最終的な目標に達することになる。この問題解決の過程には通常多くの試行錯誤が含まれるが、それらは無秩序というわけではなく、ある恣意性が含まれていくことになる。つまり、目標に向かって前進することが認識できるかどうかという観点から、問題解決には選択的な試行錯誤が必要とされる。H. Simon は、この前進を示す過程を「安定した中間的形態」とよび、生産物の組み立てにおいては、工程をあるまとまりに分けていくことなどが、安定したサブアッセンブリーの役割をつくりあげてことを示している。そして、この「安定した中間的形態」の存在が、システムの発展を迅速に進める要素となることを、さまざまな視点から説明している。全体を把握す

るのが難しいシステムも、試行と選択の組み合わせにより把握するのに程よい規模に縮小されていくことが行われるが、このときの試行と選択の組み合わせが、多くの場合階層性を生み出すと考えられる。ただし、基本的な与条件に矛盾がある場合、このような階層化は複雑な形態に陥ることになる。例えば建築システム全体の「機能」を捉える場合に、複数のステークホルダー(施主・テナント・管理者・訪問者など)による要求機能の多層化が起こることが考えられ、「アーキテクチャ」が単純に上位の階層の要素が少ない階層構造とはならない可能性を持っている。この点について、本稿ではこのような複雑な与条件を持たない対象として、部分に注目する形で「生産物」を取り上げ、分析を進めるものである。

モジュラー化によって、独立性の高い部分に切り分け、そのインターフェイスのルールを固定すると、複雑な調整は各部分の内部で完結し、部分間の調整を省くことが出来るようになる。つまり、他の部分で起こる現象に対して、調整する必要が基本的に無くなる。さらにインターフェイスのオープン化が進めば、ある特定部分のつくり手は対象部分に特化して発展させていくことが出来る。モノの生産の場合、一つ一つの部品のつくり手からみると他の部分に対して考慮をばらう必要ない状況で製品開発が可能となり、市場から見ると同様の複数の製品から自由に選択して用いることが出来るようになる。

しかし、モジュラー化は、デメリットもあわせもつことになる。要素間相互依存関係性を無くすようにシステムを切り分ける場合、対象となるシステムに対する深い知識・情報が必要となる。要素間相互依存関係性を無くすということは、要素の切り分け方と要素間の相互作用を同時に整理する必要があり、対象についての十分な情報が必要不可欠となる。要素間相互依存関係が残る方法で切り分けた場合、各要素はその内部の調整と要素間インターフェイスの調整を行うことになり、常に相互関係がある他の要素のことを同時に検討していく必要が出てくることになる。また、インターフェイスのルール化を行うことは、複雑性を抑える手法の一つであるが、一般的に個々の要素にとっては望ましくないもの、不要なものが含まれることになる。つまり、要素内部では自由度が高く保たれ、その反面、要素の切り分け方や関係性に無駄や無理を生じさせる可能性を含むことになる。一旦オープン化した場合、社会的な仕組みや産業構造がつくられたルールを前提としたものとなり、根本的な変化に対してかなり広い範囲での対応が必要となるため、切り分け方やインターフェイスのルールを見直すことが困難になる可能性が高い[7,10]。

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[10,11]。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

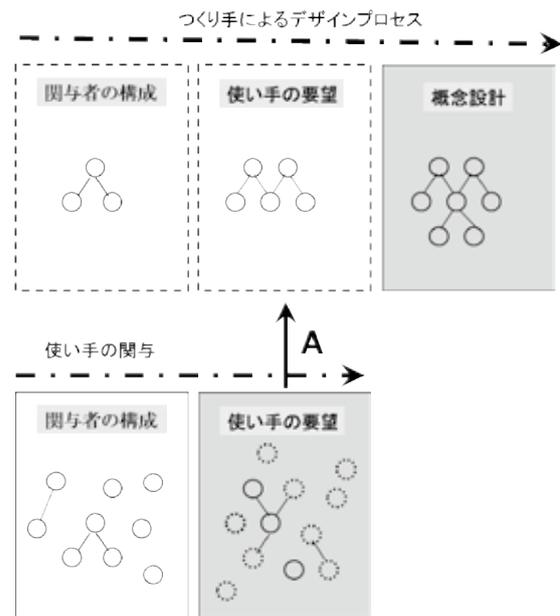


図2 人工物設計過程における使い手の要望

素の階層化に基づいて進められることになる[12]。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[13]。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。

2.2 設計過程における使い手の関与

有形の製品を中心とした人工物の設計過程を考えると、目的を達成するために外的環境に適合するように内的要素を調整していくことになる[14]。そのために、一つの典型的な過程として、その人工物に関する要望をまとめることによって目的を明確にし、それを基に概念設計し、機能設計、構成設計と進めていくことが想定される[15,16]。

通常の有形の製品に関する設計過程では、この要望をつくり出す関与者を特定する必要がある。しかし、その関与者の特定は検討されない場合が多く、使用者などの主要な使い手だけを対象と考える場合が多い。実際に製品などの人工物が使われる環境には、使用者だけではなく、購入者、使用監督者、メンテナンスなどの管理者、そして使用に関する影響を受ける全ての関与者(対象人工物使用時の近隣にいる者や、間接的に経済的、社会的影響を受ける者など)が存

在し、その全てについて対象人工物との関係性を分析していかなくてはならない[17]。

また、次の過程として、対象人工物の目的に直接かかわっている、関与者の要望を理解していくことになる(図2、A)。これは、対象人工物を設計していく上で極めて重要な段階であり、正確に分析する必要がある。しかし、現実の関品などの人工物設計においては、正確に分析することが大変に困難であることが理解できる[18]。これは、まず、前過程である関与者の分析が完璧に行うことが難しいことが考えられる。また、経済学などでも、伝統的に、生活者や社会が望むものが売れるように市場が動く、ということの問題にけりをつけようとしてきた。使い手の要望を直接理解していくことは困難であると主に三つの点から指摘できる。一つ目として、使い手は創られた人工物の選択からしか情報を得られにくく、そこには使い手の創造性が人工物に反映される余地が少ないこと。二つ目として、使い手は創造過程に関わる専門知識を持ちうるものが困難で、創造の方向性について関与することが困難であること。三つ目は、使い手が比較的短期的有効性しか判断がつかないため、必要な長期的視点がなされにくいということである。現在、マーケティング分野でも、使い手の要望を直接把握することについての限界については議論がなされており、使い手の要望そのものを正確に理解することは、ほぼ不可能と考えることができる。

問題は、設計過程において、ほぼ不可能と考えられる使い手の要望について、正確に理解できていることを前提にしていることである。このことは、少なくとも真実とは異なる認識をしていることを意味している。

設計過程としては、概念設計に引き続き、機能設計、構成設計がなされていくことになる。この間、必要に応じてフィードバックがなされ、対象の人工物の構成設計が作り込まれていくことになる。

使い手は、これらの過程によってなされた構成設計の内容を得ることによって、実際の人工物を入手することになる(図3、B)。有形の製品などを評価する時、この時点での判断がなされることになる。

しかし、使い手はこの時点では、作りあげられた人工物を手にし、まだ使い始める前の状況である。この後、使い手は初めて対象を使い始めることになるが、設計者が設計した内容通りの機能を見出すとは限らない。使い手は、この時点で人工物の構成を確認し、自身が認識できた形で機能を構成し始めることとなる。これには、これまでの記憶や認識に関する傾向に則ることになり、設計者が設計過程に使用したパラメータとは異なる内容を使うことになる[19]。

3. 設計過程における価値創造

3.1 主要機能からみた価値創造

人工物の設計を進めていく限り、そのプロセスの当初段階に目的の認識が必要となる。これは、前述の通り、

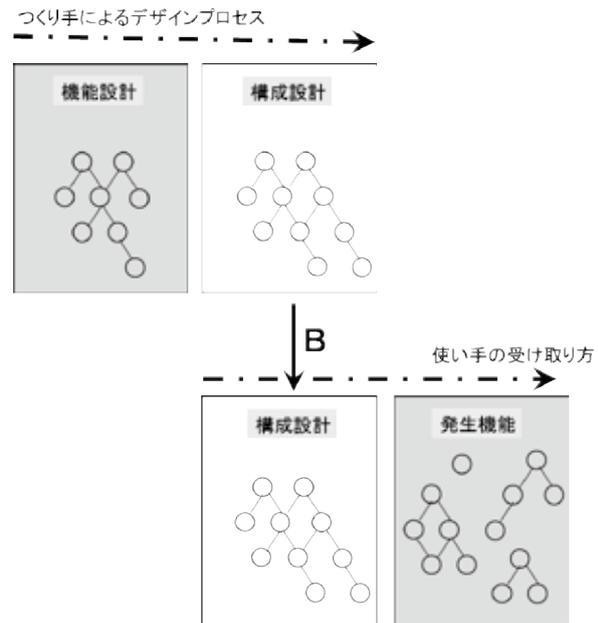


図3 人工物設計過程における機能設計と発生機能の相違

人工物の設計行為が、目的を達成するために行われることであるため、行為の前提となることである。この目的から設計行為が進められることになるが、その目的を基に概念設計がなされ、具体的な機能設計がなされていくことになる。そのために機能設計段階での階層状上位の主要機能が、設計される人工物の特性の一面を構築することになる[20]。

また、使い手が対象人工物から価値を取り出すことについて、主要機能の明確さは重要な要素となる可能性を含むことになる。なぜなら、主要機能が不明確な場合、創られる人工物は設計段階で明確な方向性を見出すことが難しく、作り手の想定によって補う側面が出てくる可能性が否定できないからである。

ここでは、人工物として有形の製品を取り上げ、主要機能からみた分析を行う。この主要機能は使い手からみた場合、主要な用途を表す側面を持っているが、対象によって明確度が異なる[21]。

具体的な対象を挙げて考えると、カメラ、テレビ、医薬品などは、設計時の対象の主要機能を明確に理解することができる。これは、道具として、何かの明確な行為を行うために利用される側面を持つ傾向があると考えられる。また、機能の複雑性が上がったものとして、乗用車や携帯電話が挙げられるが、主要な用途としては十分に理解できるものも多いと考えられる。一方、家具、パソコン、公園、住宅などの、使い手の行為によって機能が決定されていくものは、明確に主要機能を固定して理解することが困難である。また、B2Bとして生産される素材等の人工物は、主要機能を明確にすること

が困難な面があるといえる。

3.2 設計機能と発生機能の相違からみた価値創造

人工物によっては、使い手が使い始めた後に多くの機能が生み出される場合がある。特に、設計時には想定できないような機能を使い手が創り出す場合も考えられる。場合によっては、発生機能が起るかどうか、対象人工物の価値創造を構築することになる側面も見出されると考えられる。

発生機能が起りにくいものは、対象人工物の機能が固定化され、使い手による自由度が限られるものであると考えられる。逆に、発生機能が起りやすいものは、活動の環境を創るものである側面を持つと考えられる。特に、活動の将来の方向性については不確定要因が多く含まれ、多くの可能性がある内容を持つ人工物については、使い手によって多くの発生機能が創りあげられる。

たとえば、建築として戸建住宅を考えると、対象は生活の環境を創り出すことが目的となる人工物である[22]。しかし、いつの生活かと考えた場合、2年後のことも考えることになるし、20年後のことも思いめぐらすことになる。つまり、未来の自分の生活を豊かにするような環境を求めることになる。この未来の生活という部分には、極めて多くの不確定性を含むことになるのは自明である[23,24]。家族の構成、家族間の関係性、健康状態はどうか、そして経済面ではどのような状況になっているのか、全てに不確定性が含まれることになる。逆に、使い手は、常に発生機能を創り出していくことになり、各部屋や庭先に新しい機能的領域を創造していくことになる[25]。

携帯電話やパソコンの場合は、コミュニケーションの道具としての側面があり、そのコミュニケーションに対する考え方や行為が時間と共に変化するため、発生機能を多く含むことになる。

4.まとめ

ここでは、主要機能と、設計機能と発生機能の相違について考察してきた。これらにより、人工物の設計プロセスが対象によって全く異なる可能性を示してきた。

設計時の主要機能が不明確な場合、設計時に、使い手との間で出来るだけ多くの情報を交換することが必要であり、場合によっては出資者や管理者、またはサプライヤーなどの多くの関与者との議論が極めて重要となる面があると考えられる。そのことによって、使い手が望む主要機能を実現し、より多くの価値を創出していくことができる可能性を得ることができる。

また、設計機能と発生機能の相違が大きい場合、これらは、単独でこのような特性を見出し、設計過程を検討していくことも大切であるが、他の製品や人工物と比較し、対象の特性がどのような傾向を持つのかを考えていくことも極めて重要な内容となる可能性があるといえる。

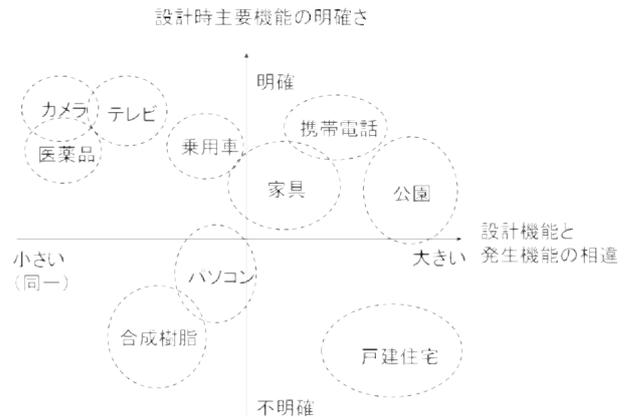


図4 設計過程の要点から見る有形の製品の特性

なぜなら、単独では気付きにくい側面について、多くの製品の特性を見ることによって、考察すべき重要なファクターに気付き、その調整の方向性を見いだせる可能性を得られるからである。一方、設計時の検討内容である設計機能が、実際の使い手が見出す発生機能と異なることが分かっている場合、当然その対処が必要であるということになる。対処すべき設計過程に関する見直しとしては、製品を使い手に渡した後の調査と設計へのフォードバック等が考えられる。しかし、現在のところ、住宅や公園がどのように使われており、どのような発生機能が創造されているのかを調査していく方向性はほとんど見出すことはできない。しかし、発生機能はいかなる人工物にとってもパラメータが含まれていることになり、慎重に検討していくことが重要であるということが考えられる。

課題としては、今回の考察が設計時主要用途と、設計機能と発生機能の相違という二つのパラメータで検討したものであるが、人工物設計過程および価値創造に関係する他のパラメータを抽出し、より立体的に設計過程を俯瞰していくことが必要であると考えられる。このパラメータの抽出については、人工物の設計過程を再度精査しながら、そこ潜む重要な要素を理解していくことが重要となってくると考えられる。

また、今回は人工物の代表として、有形の製品を挙げたが、無形の製品や製品以外の人工物も取り上げる必要があると考えられる。特に、無形の製品に関しては、今回の考察とほぼ同様の手法が適用できるため、本稿の内容と比較し、検討できる可能性が大きいといえる。

引き続き、対象を広げながら考察を加える必要があるが、特に対象の抽出のための視点については慎重に検討していく方向性とするべきである。

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、安本雅典編著、『成功する製品開発』、有斐閣、2000.3
- [4] Baldwin C. and Clark K., *DESIGN RULES, Vol.1: The Power of Modularity*, The MIT Press, 2000.
- [5] 馬場靖憲、『デジタル価値創造』、NTT出版、1998.9
- [6] Ulrich, Karl T., “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” *Research Policy*, 24, pp.419-440, 1995
- [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] Hippel, Eric, *Democratizing Innovation*, The MIT Press, 2005
- [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—経験蓄積と知識基盤化— 第3回国際シンポジウム論文集 pp25-28
- [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] 上原征彦、『マーケティング戦略論—実践パラダイムの再構築』、有斐閣、1999
- [19] 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
- [20] S. Yoshida, T. Yashiro, *Study on the Concept of “Architecture” to Describe Construction Products*, THE 10th ANNUAL CONFERENCE, CIB W104 Open Building Implementation, 2004
- [21] 前田正史、吉田敏、田中耕一、柘植綾夫、北澤宏一他：『Beyond Innovation—イノベーションの議論を超えて』、丸善プラネット、2009
- [22] 野城智也、西本賢二、信太洋行、既存建物の再生手段としての建築インフィルの動産化の可能性に関する考察、計画系論文集 NO.577 pp.135-142 2004年3月
- [23] 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、
- [24] S. Yoshida, T. Yashiro, *Concept model of module based system for sustainable production*, Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, Vol1, pp.599-604, 2004

受注企業のプロジェクト・マネジメント・オフィス

酒 森 潔*

Project Management Office for Vendor Company

Kiyoshi Sakamori*

Abstract

The function of the PMO(Project Management Office) of vendor company is different from user company. The project of vendor company is controlled by two PMO, vendor and user company. Also the important control factor is profit of the project, so the vendor company PMO focus the control point on the project profit. I like to clear the definition of PMO of the vendor company and contribute to achieve successful project control.

Keywords: PMO, Project Management, Program Management, Portfolio Management

1 はじめに

多くの企業においてプロジェクト型の組織運営が重要視されている。そのためプロジェクトを成功させるマネジメント能力が研究され、プロジェクト・マネジメント・プロセスのツールや技術が確立されてきた。しかしながら、プロジェクトマネジメント技術をプロジェクトマネジャーに頼るだけではプロジェクトの成功率は良くならず、企業を挙げてプロジェクトを支援する仕組み、すなわちプロジェクト・マネジメント・オフィス(PMO)が必要とされてきた。

PMOの機能としては、戦略的なプロジェクトの選定やプロジェクト全体のガバナンス、すなわちポートフォリオマネジメントを支援するところから、プロジェクトグループレベルでの管理、さらには個々のプロジェクトレベルでプロジェクトの実行や品質向上を支援するなど様々なレベルで提案が考えられている。

しかしながら、これらの機能はユーザ企業の視点で議論されるものが多く、プロジェクトを受注して実行することを生業としている企業にとっては十分ではないところもある。たとえばプロジェクトの目的やポートフォリオは発注者側の企業戦略に基づくものであるが、受注側の企業には自社の思惑や戦略がある。またプロジェクトのリスク・マネジメントを考えても、受注側企業は、自社の視点でそのプロジェクトを受注するリスクを検討している。プロジェクトを実施するプロジェクトマネジャーが受注側の場合、本来の発注企業の戦略に依存する管理と受注側企業の都合に依存する管理が必要になる。したがって、PMを支援するPMOについても、発注側と受注側ではその視点を区別して考える必要がある。

言い換えると、受注型企業のPMOは、一般的に研究されている社内プロジェクトのPMOとは異なった性格を持つ必要がある。本論文では、このような視点に立って、受注型企業のPMOについてそのあり方を考察していく。

2 PMOの定義

受注型企業のPMOについて述べる前にまずPMOの定義を明確にしておきたい。PMOは企業においてプロジェクト型経営を成功させるための仕組みであるが、この論文でその機能や仕組みについて議論する前提として以下の2つの点を確認しておきたい。

2.1 PMOは独立した組織であること

PMOの機能についてはいろいろな視点で体系化することができるが、それらの機能は企業活動において当然必要とされるものである。各企業は、これらの機能をPMOという組織形態にこだわらず、その企業の方針のもとにさまざまな組織形態で持っているものである。

しかし、PMOはこれら複数のプロジェクトを管理する機能を一つの独立した組織に集約したものである。プロジェクトに関する機能を一か所に集約することで、効率的なガバナンスを実現しようとしている。たとえばプロジェクト管理技法について標準化をする組織とプロジェクトマネジャー教育に責任を持つ組織が別々にあるよりも、一か所にまとめることで効果が期待できるというような理由からである。

このようにPMOは一つの独立したチームとしてプロジェクト管理の機能を持つところに意義がある。

2.2 複数のプロジェクトを横断的に管理していること

PMO のもう一つの定義は複数のプロジェクトの管理を支援するということである。もちろん、複数のプロジェクトに責任を持ちガバナンスするのはポートフォリオ・マネジャーや、プログラム・マネジャーである。PMO はあくまでもポートフォリオ・マネジャーのスタッフ部門という考え方である。ポートフォリオマネジメントの方法によっては、ビジネス的な管理はポートフォリオ・マネジャーが行い、プロジェクトの技術的実行支援を PMO に委託するケースもある。企業の機能組織の中に PMO がどのように位置づけられるかは企業の方針によるが、PMO は複数のプロジェクトを管理するために設置された組織である。図1に典型的なポートフォリオ、プログラム、プロジェクトと PMO の位置づけを示す。

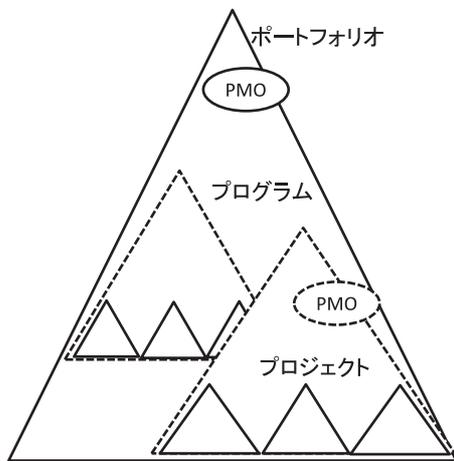


図 1: PMO の位置づけ

3 PMO の持つ機能

3.1 PMO の機能の全体像

PMO の機能はその企業形態や、状況などによってさまざまである。しかしその基本機能については整理しまとめることが可能である。その代表的例として「戦略的PMO (PMI 日本支部編)」[1]でまとめられたPMOの機能体系を図 2 に示す。

PMO の機能についてはこの書籍のほかにもいくつかまとめられたものがあるが、この戦略的PMOにまとめられた体系がほとんどの機能を網羅しているので本論はこの体系を基本として PMO の機能を議論することにする。

この体系の PMO の機能を簡単に解説すると次のようになる。

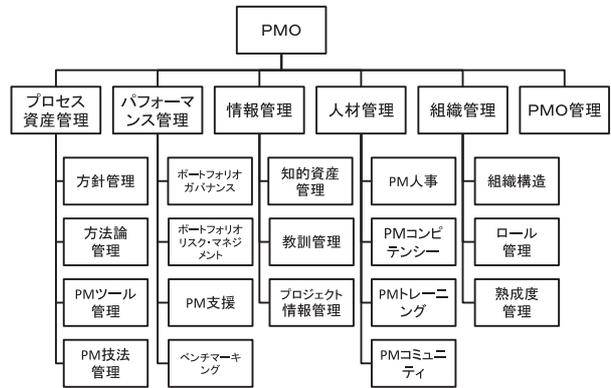


図 2: PMO 機能体系
(戦略的PMO.PMI 日本支部編より)

3.2 プロセス資産管理

まず PMO に関する社内の取り決めを行う。この中には、PMO プロセスをどのように考えているかという社内の方針や、ポートフォリオマネジメント、プログラムマネジメント、プロジェクトマネジメントの仕組み切り分けに関する方針が含まれる。さらにここで、プロジェクトマネジメントツールの標準を定め、プロジェクトマネジメント技法の定義もおこなう。

3.3 パフォーマンス管理

プロジェクトのパフォーマンス管理は、ポートフォリオ・ガバナンス、ポートフォリオ・リスク・マネジメント、PM支援、ベンチマーキングからなる、PMO の中枢機能といえるものである。これらは、ほとんどのPMOが持っている最低限の機能ともいえる。

ポートフォリオ・ガバナンスは、複数のプロジェクトを統制することを示し、戦略に基づいてプロジェクトの優先順位をつけて実行に移すポートフォリオ計画と、プロジェクトの品質や進捗、コストなどを総合的に監視し対応策を打つ、ポートフォリオ監視コントロールからなる。

ポートフォリオ・リスク・マネジメントは、複数のプロジェクトの視点でのリスク・マネジメントである。単一のプロジェクトの中でのリスク・マネジメントとの関係も深い。複数のプロジェクトであるから起こるリスクを分析し対応策をとる機能である。

PM 支援はプロジェクトの実行を行っているプロジェクトマネジャーを第三者の立場で、メンタリング、コーチング、コンサルティングなどを行い、場合によってはプロジェクトの立て直しを行うこともある。

ベンチマーキングは社内外のプロジェクトのベストプラクティスを定期的なベンチマーキングによって明確化するプロセスである。

3.4 情報管理プロセス

情報管理は、知的財産、教訓、プロジェクト情報について管理するプロセスである。プロジェクトマネージャーが最後にまとめた資料を、企業レベルの視点で収集し蓄積することで、新しいプロジェクトの実行に活用できるようにする。

3.5 人材管理プロセス

プロジェクトマネージャーの人事管理は、単一のプロジェクトだけでなく通常業務に対するものでもあり、企業の人事部門として実行されているところが多い。したがってここでは、プロジェクトへの PM のアサインや、PM のキャリアパスの制定などが行われる。

さらに、PM コンピテンシーをまとめ、PM の評価やトレーニングについて、企業レベルで統制のとれた方法を構築する機能も必要である。企業によっては PM コミュニティを立上 PM 間に様々な情報交換の場を提供しているところもある。

3.6 組織管理プロセス

これは企業内のプロジェクトマネジメントや PMO の組織を体系化し管理する機能である。組織構造だけでなく、役割やロールの定義も行う。

3.7 PMO の定義

これは企業内のプロジェクトマネジメントや PMO の組織を体系化し管理する機能である。組織構造だけでなく、役割やロールの定義も行う。

4 受注型プロジェクトの PMO の特徴

4.1 ポートフォリオマネジメントの2重構造

受注型プロジェクトは、そのプロジェクトの上位戦略が発注側企業と受注側企業両方にあることが大きな特徴である。

企業内においても情報システム部門の戦略と、ユーザ部門の戦略の両方の影響を受けるプロジェクトも存在する。たとえば、ユーザ部門の SCM 構築という戦略と情報システム部門のクラウド化という2つの戦略を受けながら実施されるプロジェクトも存在するのである。しかしこのよう複数の部門の戦略が存在していても、さらにその上位の企業戦略に行くとそれは統合されることになる。ここが他の企業から受注するプロジェクトとは大きく異なる点である。

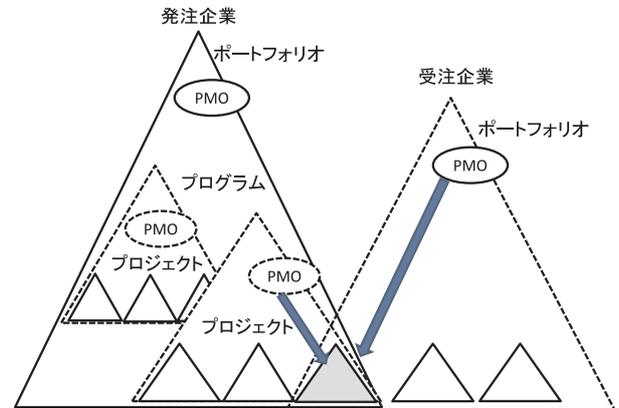


図3 2つの PMO による管理

受注型プロジェクトの戦略は発注企業の戦略と受注企業の戦略の両方の指示を受けるが、この2つの戦略は完全に独立したものであるということが大きな特徴といえる。

このようなプロジェクトは、プロジェクト実行時には、発注側、受注側それぞれのポートフォリオ要素となる。つまり、プロジェクトは発注側の PMO と受注側企業の PMO の両方の管理下に置かれることになる。このようなプロジェクトを PMO の視点で考えると、発注者側の PMO よりも受注者側の PMO のほうがその統制を行う時に注意が必要となる。

たとえば、プロジェクトレビューやドキュメント標準などについて発注者側の標準に従うべきか、受注者の管理方針で進めてよいのか事前に確認が必要であるし、品質管理基準も異なるかもしれない。

複数のプロジェクトが、それぞれ別の発注者のもとでプロジェクトを進めている受注企業の PMO は、その企業独自の共通な管理と各発注企業の管理とをうまく使いわけて対応することが求められるのである。

4.2 受注プロセスの管理

受注型 PMO のもう一つの大きな特徴は受注プロセスの管理である。一般に単一プロジェクトのマネジメントではプロジェクトの利益は管理対象としていない。したがって、プロジェクト活動を管理する PMO の機能の中にもプロジェクトの収入や利益管理は含まれない場合が多い。

しかし、現実には受注型のプロジェクトにおいては、プロジェクトマネージャーの大きな責任として、プロジェクトの利益管理がある。受注型プロジェクトで利益管理を行う理由の一つは、発注側プロジェクトに比較して、そのプロジェクトの利益がすぐに把握できるからである。プロジェクトが終了した時点でそのプロジェクトの収益が確定し、プロジェクト単位の損益が明確になるのである。単一プロジェクトの標準で考えると、プロジェクトは初期費用を使って完了したら消滅する。そのプロジェクトの利益については管理対象外ということである。しかし、受注型プロジェクトはここが大きく異なり、プロジェクト

マネジャーが存在するうちにその損益が明確に表れるのである。

このように受注型プロジェクトは、プロジェクトマネジャーはプロジェクトの収益に責任をもち管理する場合が多い。このようなプロジェクトマネジャーを支援する組織として PMO の役割も発注者側のプロジェクトとは大きく変わっている。

受注側の企業の PMO はプロジェクトの収入や利益についても管理することが大きな特徴である。

5 受注型プロジェクトへの PMO の関与

受注型プロジェクトにおいて、プロジェクトの流れに沿って PMO がどのように関与するか見てみよう。

5.1 プロジェクトの選定

受注型企業における戦略の例としては、たとえば、ある ERP パッケージを主軸としたシステム開発を主軸にプロジェクトを請け負うといったことや、システムの導入から運用保守まで一貫したサービスの提供を主軸とするなどがある。

このように、それぞれの企業の方針や戦略があり、この戦略に基づき事業計画を立て顧客の発掘に進むのであるが、この段階の PMO の仕事として、オポチュニティマネジメントがある。

企業全体や各部門単位で、戦略にのっとった案件候補がどのくらいあるのか、その候補が獲得できる確率も加味して、その部門の事業計画値に達しているかを収集しマネジメントに報告する作業である。これらは企業全体あるいは事業部の将来のリソース計画や戦略の見直しなどを行う重要な資料となる。

このような作業はビジネス戦略チームが行うこともあるが、プロジェクトの実行後の管理も含め一貫して PMO 組織で行うほうが効果的であると考えられている。また、各プロジェクト候補の見込みや売上額が適正に集計される仕組みを構築するのはまさに PMO の役目である。この PMO の活動により、企業の方針展開やリソース配分の見直しなど将来計画に結び付ける重要な役割といえよう。

5.2 提案作業に関する標準の作成と提案内容のレビュー

発注者側から具体的なオファーがあり、それに対する提案活動を行う場合、各プロジェクトの提案チームが効率よく提案活動をすすめられるように支援することも PMO の業務である。この支援活動の中には、提案を効率よく行うための社内レビューの仕組み、提案のための資料や契約に関する標準の整備などが考えられる。また、レビュー時の必要資料やデータ算出の標準、例外処理の手順なども PMO により標準化しておくことで、企業内で品質の高い提案作成を支援することになる。

また、PMO で定義した手順によりプロジェクトの提案に

対して、利益、実現可能性、リスク、戦略性、将来性などいろいろな角度から評価することも必要である。そのための提案チェックリストやリスクチェックリストなどの事前準備も不可欠である。

受注企業にとってもっとも重要といえる売上や利益なども適正であるか確認する。社内のビジネス状況により許容される利益率などもダイナミックに変化させるような仕組みも必要である。これらは、社内標準として整備するとともに、ビジネスに責任を持つ部門と十分に調整をしておくことが必要である。

また近年受注型プロジェクトについて、案件の受注時のプロジェクトリスクの査定がもっとも重要と考えられている。PMO により、リスクチェックリストを準備したり、提案レビューをおこなうことで、失敗の可能性の高いプロジェクトを受注段階で見極めなければならない。

リスクの洗い出しには、さまざま角度からの検証が必要であり、プロジェクトによっては専門家を招いて、プロジェクト提案レビューやテクニカルデザインレビューなども行う。リスクの分析の結果、重要度の高いリスクに対しては、事前に打てるだけの対策をプロジェクト計画に入れておく。

最終的に提案レビューをおこない、プロジェクトガバナンスの視点で実行の判断を行う基準を作成する。

5.3 プロジェクト進捗の管理

PMO の機能としてそれぞれのプロジェクトのパフォーマンスを監視コントロールすることが、もっとも一般的なものである。これらは PMO によるプロジェクトレビューという形で行われる。PMO によるプロジェクトレビューは計画完了時や終了時などフェーズの切れ目で行われるものと、プロジェクト実行時に定期的に行われるものに分けることができる。プロジェクトによってはレビューを実際に会議によるものではなく書類などによる報告で行われることもある。

またこれらレビューは、発注者側の PMO の視点でも行われることがある。発注者側か受注者側かどちらの PMO の管理のもとでプロジェクトを実行するかは、プロジェクトの契約時に決めておく必要がある。

プロジェクトはあくまでも発注者側のものであり、プロジェクトの目的は発注者側の戦略に基づくものである。したがって発注者側の PMO の管理下に置かれポートフォリオマネジメントの一要素になるのは当然であるが、プロジェクトの実行においては完全に受注者側に委託されることもある。このようなケースでは、プロジェクトの進め方やプロジェクトマネジメント技法は受注企業のものを使い、受注企業の PMO の管轄でプロジェクトが進められることになる。プロジェクトスコープは受注者側、成果物スコープは発注者側の PMO が管理することが多いが、プロジェクトによって定義がことなるものである。

プロジェクトがどちらの PMO に従って進められるかプロジ

プロジェクトマネージャーはプロジェクト実行時に注意して進める必要があるが、受注企業の PMO としても、そのプロジェクトへの関与のレベルについて十分に理解した行動が必要である。しかも PMO は複数のプロジェクトを管理するものであるが、発注者や契約方式の異なるため PMO の関与レベルはプロジェクトによってまちまちになっている。

受注企業が自社のポートフォリオに基づくプロジェクトガバナンスを行うためにも、最低限必要な管理レベルを定義しておき、そのレベルはすべてのプロジェクトで維持しなければならない。

必ず受注側にある PMO の管理項目としては、受注企業のポートフォリオ管理方針やプロジェクトの利益管理などが考えられる。これらは発注企業の PMO が管理する項目ではない。

受注者企業の管理が必要な項目として、稼働率管理もあげられる。母体組織構造がプロジェクト型になる受注企業では要員の稼働率がビジネスの指標として重要な管理項目になる。発注企業では、全体が機能型組織であることが多く、定常業務の比率も高いことから、稼働率を管理しないケースも多い。

また、リスク・マネジメントや、リソース・マネジメントについても、受注企業は発注者とは別の考え方で行う必要がある。受注型企業の PMO の業務の一部になりえる。

プロジェクトが完全に請負契約であると、品質管理や進捗管理、コスト管理なども受注業者に任せられることになる。この場合受注期企業の PMO の管理標準に基づいて管理される。

しかし、受入れ評価などにおいては発注者側の責任分野であり、発注者、受注者双方が関係する機能と言えよう。

このように、受注型のプロジェクトは発注側と受注側の監視コントロールを受けることになり、受注企業の PMO としてもその業務範囲を十分に検討しておくことが重要になる。

5.4 プロジェクト完了の管理

プロジェクトの完了評価はそれぞれの目的をもってプロジェクトを起こした発注者によって行われる。この場合最終成果物に焦点が置かれることが多い。

単純な社内のプロジェクトであれば、プロジェクトの成果物をプロジェクトオーナーやユーザ部門に引き渡す作業が行われるだけであるが、受注型プロジェクトにおいては、発注者に納品する作業が含まれ、受注側の PMO も発注側の PMO もこの契約完了の作業に十分注意する必要がある。

受注側のプロジェクトマネージャーとしては、プロジェクトの完成品を引き渡す前の出荷テストに注力を払い、納品物の品質維持を目的とした管理が行われることになる。

発注者と受注者で立場が異なるので、受注側の PMO は出荷品質の保証という立場で関与するとともに発注者に配慮した管理が必要である。

5.5 プロジェクトのガバナンス

これまで、単独のプロジェクトの支援という視点で、プロジェクトライフサイクルに沿って PMO の関与を見てきたが、ここからは PMO 本来の目的ともいえる、複数のプロジェクトのガバナンス機能について考えてみよう。受注企業は異なる企業で異なる戦略のもと実施されている複数のプロジェクトをガバナンスする必要がある。

各プロジェクトが他企業の異なる戦略のもとにあるということについては、単一企業のプロジェクトガバナンスより複雑ではあるが、単一企業においても事業部制をとっていたり、カンパニー制をとっている場合、全社 PMO は異なったタイプのプロジェクトを統括する必要がある場合もある。受注型プロジェクトは、独立度の高い部門 PMO が複数あるケースと考えることもできる。このような視点で考えると発注企業の PMO と受注企業の PMO のすみわけは、部門 PMO と全社 PMO の業務分担に近いともいえる。

しかしながら、受注型プロジェクトの PMO は、発注者の PMO とは異なるところもいくつか存在する。それは、プロジェクトの利益管理、標準原価管理、稼働率管理などにみられる。

利益管理は、4.2 節でも述べたが、受注企業のプロジェクトはプロジェクトの実施中あるいは終了と同時に売り上げが立ち、そのプロジェクトの損益が計算できるところが特徴である。したがって、プロジェクトガバナンスの大きな要素に売り上げや利益管理があげられる。これらは単独のプロジェクトの中でも必要な要素であるが、プロジェクト・ポートフォリオマネジメントにおいても最重要項目となるものである。受注企業のポートフォリオ管理のもとに、各プロジェクトのコストや収入、利益などを統計的に分析して、次の判断に結び付ける必要がある。PMO はこのための監視コントロール機能を持つことが多い。

企業全体の利益管理を、個々のプロジェクトの評価に落とし、プロジェクトを個別に改善していくことも重要であるが、そのためにはタイムリーに個別プロジェクトのコストの把握が重要である。このような場合要員のコストを一定額に決めておく標準原価法がとられることが多い。

このような場合 SE のランクや標準原価を決めて浸透させるのは受注企業の PMO の重要な役割となる。

さらに、プロジェクト単体ではなく企業や部門の利益管理の視点で重要な管理要素として、要員の稼働率がある。これは要員の標準単価とも関係し、企業の健全な活動の評価項目の一つである。稼働率は一般にプロジェクトの外でないことと把握できないものであり、複数のプロジェクトを管理する PMO または、リソースの配分の管理するチームが行うことである。

5.6 プロジェクト管理指標の集計

受注側プロジェクトにおいて収集し、企業のマネジメント判断に利用する指標として、発注者側には無いものとしては、プロジェクトの受注率、利益率、顧客満足度の評価などがある。

プロジェクトの受注率は、受注企業のポートフォリオマネジメントとして実施されるオポチュニティマネジメントの評価をおこなう指標である。受注企業においては、将来の受注案件の可能性を受注見込率で表し、ビジネス判断や達成目標管理に利用しているが、これらの見込みの数値がどのくらい正確であったか、どの分野の受注が健全であるか、あるいは企業のなかのどの部門の受注率が良いかなどの評価を行う必要がある。このような分析は、ビジネス戦略策定のときの資料として有意義なものである。

またプロジェクトの利益率は、個々のプロジェクトの利益についてプロジェクト実行時に収集したものを統計的に整理したものである。最終的な間接コストや営業コストも含め、各プロジェクトの売り上げと利益を集計し分析することで、企業の今後の方針策定に役立てることができる。

プロジェクト終了後、顧客満足度調査を行う受注企業が増加している。社内プロジェクトにおいてもプロジェクト終了後に、ステークホルダーに対して満足度を問うことは行われているが、受注企業と発注企業の間で契約の問題を加味して満足度調査を行う例はまだ多くない。

満足度調査は、プロジェクトマネジャーが直接顧客に頼む方式、PMO がプロジェクトマネジャーに変わって直接顧客と接触する例もある。情報の収集の方法はさまざまであっても、プロジェクトの品質情報の一つとして PMO 内で集計分析しビジネスの改善活動につなげたい。

6 受注型企業の PMO についてのまとめ

これまで分析してきたように、プロジェクトを請負って実行する受注型プロジェクトの機能は、発注型プロジェクトと大きく変わるものではない。ただ、その中にオポチュニティ管理、利益管理、稼働率管理、顧客満足度管理といった、受注者側にしか発生しないユニークな管理項目も存在した。

いくつかの受注者側の PMO 活動を調べてみると、プロジェクトの失敗を避けるために、受注プロセスのレビューや支援に力を入れているところが目立っている。実行しているプロジェクトの品質向上よりも、プロジェクト開始前に事前の問題のあるプロジェクトを見つけて排除するところが多い。

その結果は受注プロジェクト全体には高い効果がでていいる。プロジェクトの対案活動にも PMO が参加することで、プロジェクトの問題を上流で発見し解消することができているといえる。

一方、受注者側の PMO は、発注者側の PMO 活動を考

慮しながらも受注者側の視点でプロジェクトを支援するとともに、その活動を評価し次につなげることが重要である。

7 おわりに

プロジェクトの成功の支援のために PMO 活動があり、発注者側の PMO と受注者側の PMO は違いがあること。受注者側の PM は2つの PMO の管理下になること、受注者側は受注プロセスの管理を行う PMO が多いことなどについてまとめた。

プロジェクトが2つの PMO の管理下に置かれて実行しているとを両 PMO は理解して、プロジェクトにとって有用な PMO による支援が行われることを期待する

参考文献

- [1] Jolyon Hallows, “Project Management Office Toolkit”, 株式会社テクノ, 2005.
- [2] PMI 日本支部編, “戦略的 PMO・新しいプロジェクトマネジメント経営”, Ohmsha, 2010.
- [3] 酒森 潔, “プロジェクト・マネジメント・オフィス”, 産業技術大学院大学技術大学紀要, 2007.
- [4] 中村薫, “PMO 構築事例・実践法”, ソフト・リサーチ・センター, 2007.

ベトナム国家大学とのグローバル PBL から得た知見

中鉢 欣秀*・成田 雅彦*・戸沢 義夫*

Lessons Learned from the global PBL with VNU

Yoshihide Chubachi*, Masahiko Narita* and Yoshio Tozawa*

Abstract

Recently, the demand of fostering the information engineers who can work globally is increasing. In 2009, we had a global project-based learning in Master Program of Information Systems Architecture of Advanced Institute of Industrial Technology with Vietnam National University, University of Engineering and Technology as a partner. This paper discusses the findings from this education.

Keywords: global project-based learning, information technology engineer education

1 はじめに

我が国の大学教育において、近年、教育のグローバル化の必要性が叫ばれている。社会や経済のグローバル化が進展する中で、それに対応できる人材を育成することは大学教育の主要なミッションとなっている。

一方で、産業界においてもグローバルに活躍できる人材が求められている。特に、情報技術産業においては主としてソフトウェア開発業務のアウトソース先として中国・ベトナム・インドなどが注目されている。このことから、情報技術者にとっては海外の技術者と協力してプロジェクトを遂行できる能力が必須となっている。

AIIT では 2009 年度にベトナムのハノイにあるベトナム国家大学 (Vietnam National University: VNU) のメンバー大学である工業技術大学 (University of Engineering and Technology: UET) と共同で PBL を実施した。なお、この UET という大学名は 2009 年に改称された新しい名前であり、それ以前は The College of Technology (Coltech) と呼ばれていた[1]。本稿では、断りのない場合、先方の大学の名称を UET と表記する。

以下、本稿では 2009 年度の第 3,4 クォータに実施した UET とのジョイント PBL についてその内容と我々が得た知見について記す。なお、この PBL に先立ち、試験的に短期間の PBL を実施した。これについては成田[2]を参照されたい。

2 国際 PBL 実施の準備と計画

2.1 AIIT における国際 PBL 実施の狙い

AIIT の情報アーキテクチャ専攻の学生のうち、約 90%は

職を持つ社会人であり、情報システムに関連する仕事に従事している。よって、これらの学生は潜在的に国際的なプロジェクトにかかわる可能性がある。従って、業界のデファクトスタンダードである英語を用いた教育に関するニーズは高い。

AIIT では 2 年時の必修科目として情報システム学特別演習を履修する。ここでは、修士論文に代わる位置づけで PBL を実施している。PBL ではグループ活動を通して各種の実務遂行能力 (コンピテンシー) を身につける。本研究の主眼は、この PBL を他国の学生と実施することにより、英語によるコミュニケーション能力を向上させ、なおかつ、ソフトウェア開発という実務を遂行できるような能力育成を狙う、教育手法について検討することである。

日本の情報技術産業においては、日常的に英語を用いてコミュニケーションをする機会は限られている。近年、社内の公用語を英語にする試みがなされているが、英語に不慣れな者が突然英語でコミュニケーションを始めることの敷居は高い。大学のプロジェクトであれば、実務とは異なり失敗が許されるため、その意味でも大学において英語を使った実務の能力向上が図れるのであれば、専門職の育成の面で有意義である。

2.2 2009 年度国際 PBL の実施体制

2009 年度は中鉢が指導を担当するプロジェクトのメンバーによって UET との PBL を実施した。日本側は 2009 年度の前期から在籍していたメンバー 4 名に加え、後期にはベトナムとの PBL に関心のある学生 1 名が加わり、合計 5 名のチームとなった。本学の教員は中鉢が主担当になり、小山、土屋が副担当を務めた。また、成田、戸沢の支援を受けた。

ベトナム側も学生は 5 名参加した。この学生はソフトウェア

開発を講義する授業の受講者であり、本来の授業内容に加えて我々との PBL の作業も行った。また、教員は主に UET の Nam 先生が担当した。

実施に先立ち、2009年9月9日～10日の日程で、成田・中鉢が UET を訪問して、打ち合わせを行った。その際、本学との連携に関する MOU (Memorandum of Understanding) を UET の Binh 学長と締結した。この様子を図 1～2 に示す。



図 1: AIIT と VNU-UET 間の MOU 締結風景



図 2: 左から中鉢, 成田, Binh 学長, Nam 教授

2.3 実施するプロジェクト

本年度のプロジェクトでは、日本とベトナムの学生が共同でソフトウェア開発をすることで合意した。現在、IT 業界ではベトナムの企業に対するソフトウェア開発のアウトソーシングが盛んである。今回の PBL においても実際にソフトウェアを開発することで実践的なスキルを身に付けることを狙う。

プロジェクトの期間は 2009 年 10 月頭から 2010 年 1 月末までとした。本来ならば AIIT の授業期間に合わせ、2 月の成果発表会 (2009 年度は 2010 年 2 月 11 日) まで実施することを望んだ。しかしながら、ベトナムでは旧正月の前後は

学生が授業には出席しないことが分かり、1 月末までとした。

ベトナムと日本との時差は 2 時間である。これを考慮し、定期的なミーティングは平日の 19 時からとした。この場合、ベトナムでは 17 時からとなる。このことは夜間しか活動できない AIIT の学生と、昼間に活動したいベトナムの学生の双方にとって好都合であった。

プロジェクト内のコミュニケーションは、英語を利用する。ただし、ソフトウェア開発プロジェクトにおいては、プログラミング言語やモデリング言語 (UML) が共通言語として利用できる。このため、これらを英語と併用することで、英語を母国語としない学生同士のコミュニケーションを円滑にする。

教育目標については AIIT と VNU とで異なるものを設定した。AIIT の学生はソフトウェア開発経験があるメンバーを含むため、プロジェクト管理やソフトウェア開発プロセスの習得に力点をおく。UET 側の学生は、ソフトウェア開発プロジェクトそのものが未経験のメンバーが多いため、チームによるソフトウェア開発や、今まで接したことのない技術の習得を目標とした。

技術的な課題として、近年注目を集めているクラウド型のアプリケーションプラットフォーム上で動作する Web アプリケーションの作成を設定した。具体的には Google が提供する App Engine というクラウド環境を利用した。

Web アプリケーションを開発する場合、通常は Web アプリケーションサーバを構築し、管理しなくてはならない。Google が提供するクラウドサーバを利用することにより、この手間がなくなる。また、日本とベトナム側がサーバ管理の視点で同じ立場 (一方が管理者としての責務を負うことにならない) ため、この点でも PBL を実施する上で都合がよかった。

2.4 遠隔コミュニケーションのためのツール

今回の PBL のために、UET の学生とのコミュニケーションに用いる遠隔会議システム (Polycom) を導入した。図 3 は Polycom を用いて遠隔会議を行っている様子を撮影した写真である。



図 3: PBL における遠隔会議システムの利用

図の右上のテレビに遠隔地のビデオが表示される。また、こちら側の映像はテレビの上に設置したカメラによって撮影される。双方のビデオカメラの向きはリモコンによって操作可能であり、必要に応じて調整できる。

UET 側には、遠隔会議システムが設置された専用の教室がある。本 PBL 以外にも多く利用されており、使用する場合には予約が必要である。先方の Polycom とはインターネット回線を利用して接続する。

なお、今回の PBL では、Polycom と併用する形で Skype を利用した。ただし、ベトナム側で Polycom 教室が利用できない場合は、Skype のみの利用となる。

Skype では主に文字によるコミュニケーション(チャット)の機能を用いた。図 4 に Skype を用いてチャットを行っている際のスクリーンショットを示す。

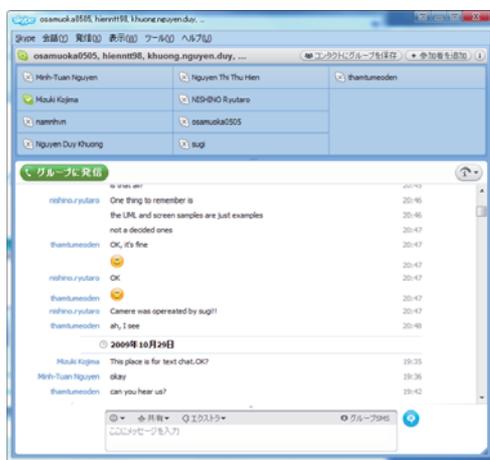


図 4: チャットによるコミュニケーション

Polycom や Skype の他、通常のメールによる連絡も行った。メーリングリストには Google Group の機能を使った。また、ソフトウェア開発のためのソースコードの構成管理には Google Code を利用した。

3 プロジェクトの実施と成果

3.1 定期的なミーティング

日本チームは、毎週火曜日にコアミーティング、土曜日には開発に伴う作業を行った。ベトナムとの遠隔会議は木曜日に設定した。このことにより、火曜日に遠隔会議のアジェンダを検討し、木曜日に会議を実施し、土曜日に開発作業を進めるというサイクルが生まれた。

遠隔会議においては、ネットワークの通信速度による画像や音声の遅延等が予想されたが、それらの問題は特に発生しなかった。しかしながら、時折 Polycom の音声ハウリングを起こし、会話によるコミュニケーションに支障があった。この問題の原因は特定できていない。

日本側もベトナム側も英語がネイティブではない。そのため、Polycom の音声だけではうまくコミュニケーションができ

ない状況が生じた。そのような状況においては、Skype のチャットが有用であった。音声だけでは伝わらなかった内容や、特に正確に相手に伝えたい事柄については、テキストチャットを併用することでそれらを確実に伝達することができた。

3.2 ベトナム訪問

開発するソフトウェアの仕様や設計の打ち合わせのため、2009年11月2日から4日にかけて、学生2名が VET を訪問した。プロジェクトの開始からちょうど1カ月後であり、先方の学生とはすでに遠隔会議で何度かコミュニケーションをとった後であった。しかしながら、実際に会いに行くことにより、メンバー間の信頼が深まった。

滞在した期間は限られていたが、顔を合わせて話し合いをすることで、お互いの考えをよく理解することができた。打ち合わせの際に撮影した写真が図 5 である。



図 5: VNU に訪問したときの様子

帰国の後、訪問した2名は訪問の前よりも明らかに向こうの学生と英語でコミュニケーションする機会が増えた。それぞれの英語の能力に差はあるものの、両名ともより積極的に会話に参加するようになった。実際に訪問したことの効果であったと考える。

3.3 ソフトウェア開発プロセスとその成果物

ソフトウェアの開発は RUP(Rational Unified Process) に従って実施した。RUP はソフトウェア開発プロセスとして近年主流になりつつある手法である。このプロセスは、従来のウォーターフォール型ではなく、イテレーションと呼ばれる開発サイクルを反復することが特徴である。今回の PBL においては、3.1 で述べたミーティングのサイクルに合わせてイテレーションを実施した。

遠隔地とのプロジェクトを実施する場合、双方が同じ開発プロセスに従うことは双方の進捗状況を管理するために重要である。デファクトスタンダードである RUP を用いることで、開発プロセスのマネジメントを円滑に行うことができた。なお、RUP については、英文の文献や資料が整っていることから、

ベトナムの学生が勉強することも容易である。

このプロジェクトで作成したソフトウェアは簡単なタスク管理ツールであり、「JV Manager」と名付けた。このソフトウェアは前に述べた通り Google App Engine 上で動作する Web アプリケーションである。その実行時の画面を図 6 に示す。

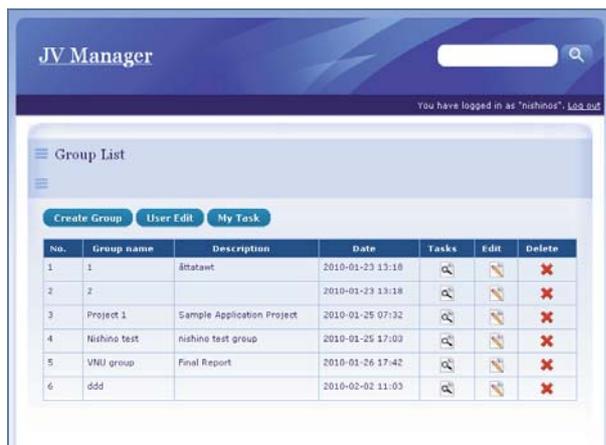


図 6: 開発したソフトウェア

このソフトウェアを開発することにより、Google App Engine という新技術の取得ができた。特に、従来型の RDB (Relational Data-Base) とは異なる概念に基づく Bigtable を用いたデータ管理手法について習得することができたことは大きな成果であった。

4 おわりに

本論文では 2009 年度に実施したベトナムとの国際 PBL について述べた。

ハノイは日本から飛行機で 6 時間程度で到着する、比較的近い国である。そのため、実際に訪問する際にも距離的な負担が少ない。また、英語がネイティブではないため、日本人にとっても英語でコミュニケーションをする際のストレスが少ないように思われる。加えて、IT 教育に対する意識が高いことから、今回のような PBL を実施する場合の相手としてふさわしいことが確認できた。

AiIT の学生にとっては今まで経験したことのない国際的なプロジェクトが実施できたことが最も大きなメリットであった。大学の授業の一環としてこのようなプロジェクトを実施することにより、実務で海外とのプロジェクトを行うための予備的な演習として有意義であったと思われる。今回の PBL に参加した日本側の学生が、その後、実務で英語を使う職場に転職した。その学生によると、大学で PBL をやったことにより、心理的な壁がだいぶ低かったと言っている。

また、別の学生はプロジェクトの開始当初、英語については全く自信がなかった。しかしながら、向こうを実際に訪問し

たことで UET の学生と親しくなり、頻りにチャットで会話するようになった。このことから、今まで外国語によるコミュニケーションの機会がなかった学生にとって、最初の突破口を開ききっかけになったと言えるだろう。

また、その他の効果として、自分の言いたいことをできるだけシンプルかつクリアに伝えるよいトレーニングになったと思われる。つまり、難しいことを英語で説明することはやはり難しいので、英語にするためには自分が言いたいことを整理して簡単な表現に直して伝達する必要が出てくる。

このことは自分が表現したい内容を端的にまとめるためのよい訓練にもなる。この能力は、英語でコミュニケーションするときのみならず、日本語でコミュニケーションするときにも重要な能力である。

以上述べてきたとおり、2009 年度に実施した UET との PBL は学生にとって有意義であったと結論付けられる。

ソフトウェア開発の真の難しさは、技術的な要素よりも人間と人間とのコミュニケーションの要素が大きい。今回のように海外との共同プロジェクトを行うことにより、この難しさがより強調されることになる。このことから、グローバルな PBL はソフトウェア技術者にとって、より学習効果の高い教育となることの確信を得た。

なお、今回の PBL 終了後、2009 年 3 月 17 日から 19 日にかけて学生と教員が再度ベトナムを訪問し、互いの学習成果を交換した。その時の様子を図 7 に示す。



図 7: PBL の打ち上げの様子

参考文献

- [1] “University of Engineering and Technology- Brief Introduction and History,” <http://e.uet.vnu.edu.vn/about/17>, 2010/10/30.
- [2] 成田雅彦, 戸沢義夫, 中鉢欣秀, 土屋陽介, “専門職大学院における PBL 教育のグローバル化の試み,” 産業技術大学院大学紀要, 2009.

IT サービスビジネスを目指した PBL における教育目標

戸 沢 義 夫*

Educational objectives of PBL for IT services business

Yoshio Tozawa*

Abstract

PBL (Project Based Learning) is regarded as a new educational method in universities or graduate schools for IT professionals. PBL is expected for students to learn practical skills or competencies in IT industries. There are two types of objectives in PBL, project objectives and educational objectives. Educational objectives are sometimes different from project objectives in PBL. Since IT industry business has shifted from manufacturing to services, required skills in IT industry has been changed. PBL has potential advantage for students to get new skills required in IT services business. Teachers of PBL need to establish educational objectives to realize the potential advantage of the PBL.

Keywords: PBL, educational objective, IT services

1 企業が大学院に期待することの変化

企業の大学院（大学）への期待が大きく変わってきている。IT系企業では、昔は、企業に入社した後に人材育成のための社内教育を徹底して行っていた。新入社員教育の期間は1年から1年半あったものである。しかし、今では入社後すぐ仕事ができることを求めている。企業に人材育成の余力がなくなり、大学や大学院へ人材育成を期待する比重が増えてきた。

企業側の期待として、大学で専門家を養成して欲しいとの思いがある。企業に入社する前に専門家を育てて欲しいと思うようになった背景にはいくつか理由が考えられる。

- ① 高度 IT 人材がいなかったために多大な損失がしばしば発生する。
- ② 企業が必要とするスキルが変化している。
- ③ IT 業界が製造業からサービス業へとシフトしている。

一方で高度 IT 人材不足が指摘されている。リーマンショック後でも、高度 IT 人材不足は以前ほどひどくはなくなったが、未だに解決されていない。

企業が大学に期待することを明確に示したものに、2005年に出された経団連の提言「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」がある[1]。このレポートなどをきっかけに、文部科学省による「先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム」[2]、総務省の取り組み「高度 ICT 人材育成に関する研究会報告書」[3]、経済産業省の「IT 人材の育成」の取り組み[4]「IT を巡

る今後の戦略の検討ポイント」[5]、経団連の取り組み[6]などのさまざまな施策がとられている。

2005年の経団連の指摘は図1に端的に示されている。日本の大学で教えていることと、企業が必要としていることとのミスマッチである。図1をよく見ると、ミスマッチを起こしている企業は「IT サービス企業」である。海外の大学ではミスマッチは少ない。このことから、海外の大学では実施されているが、日本の大学では実施されていない「教育方法」にミスマッチを解消するヒントがあると想定される。

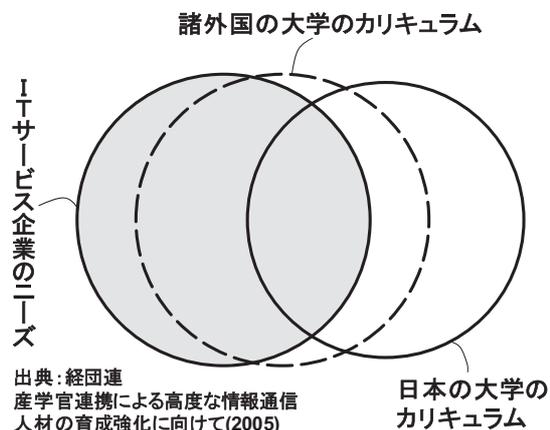


図1：企業ニーズとわが国の大学における情報工学教育のギャップ

2 新たな教育法としての PBL

海外の大学で実施されているが、日本の大学であまり実施されていない教育方法として PBL (Project Based Learning) が注目されるようになってきている。本学では大学設立時 (2006 年 4 月) から PBL がカリキュラムの主要な部分を占めている。学生は、修士 1 年次に必要な講義科目を修得する。この部分は他の大学院と同じである。しかし、修士 2 年になると、そのほとんどの時間を PBL に費やす。数人でチームを形成し、与えられたテーマや課題をチームで解決する。

本学の PBL の特長をまとめると次のようになる。

- (1) 修士論文に代わる修士号を取得するための必須科目である
- (2) 2 年次のほとんどを費やす (講義科目は原則 1 年次に修得する)
- (3) コンピテンシー教育であると明確に位置づけられている
- (4) 教員 10 名がそれぞれプロジェクトを設定し、教育内容は教員に委ねられる
- (5) 大学院レベルの教育が要求される
- (6) バックグラウンドの違う多彩なメンバーでチームが構成される

2.1 教育形式の違い

大学での通常の教育は講義の形で実施される。教員が学生に対して知識を教える。学生から見ると、今まで知らなかった知識が増える効果がある。学生は教員から知識を学び、知識は (通常) Body of Knowledge として体系化されている。IT 分野での Body of Knowledge は情報処理学会が J07 としてまとめている [7]。

それに対し、PBL では、学生数名から成るチームを作り、チームに対して課題や目標が与えられる。課題解決や目標達成のためにどう考えるか、何をするかはチームメンバーが集まって議論し、(個人ではなく) チームとして成果を挙げる。教育手段として、講義と PBL は明らかな違いがある。

PBL は教育を実施するためのひとつの手段である。

2.2 企業からの期待

PBL が企業が必要としているスキルを学ぶ上で有効だと考えられる理由がいくつかある。

一般に企業活動はプロジェクトで成り立っている。プロジェクトとして成果を挙げるのが大事である。複数メンバーが目標に向かって丸となり、協力し合って課題解決に取り組む。プロジェクトを成功させるために何が重要かをあらかじめ大学で学ぶことができればそれに越したことはない。PBL はプロジェクトを実施するので、チームとしてプロジェクトを成功させる体験をする。そ

の体験を通して何かを学ぶ。PBL がその機会が提供しているのは事実である。

経済産業省は 2006 年に「基礎学力」「専門知識」に加え、それらをうまく活用していくための「社会人基礎力」[8]を意識的に育成していくことの重要性を提唱している。社会人基礎力は「前に踏み出す力」「考え抜く力」「チームで働く力」の 3 つの能力から構成される。特に「チームで働く力」の育成に PBL は効果を発揮する可能性はある。

本学には産業界のニーズを教育内容に反映させることを目的にした運営諮問会議があり、その委員の方々にいろいろ意見を伺ったことがある。共通に重要だと指摘されたのはコミュニケーション能力である。大学が、実践を通してコミュニケーション能力を身に付ける場を提供するとすれば、それは講義ではなく PBL になる。大学は学生にとって新しい知識を教える場であるという立場から、コミュニケーション能力は大学での教育になじまないという意見もある。しかし、大学院は専門家の人材育成の場であり、専門家にコミュニケーション能力が要求されるのであれば、大学院の教育目標に含めることは必要だと思われる。

2.3 PBL のプロジェクト目標と教育目標

PBL を実施する上で重要なのは、プロジェクトに与えられたテーマを実施するプロジェクト目標と、教育手段としての PBL の教育目標を区別することである。プロジェクト目標と教育目標は必ずしも一致しないので、教育者としては教育目標が何であるかを正しく意識している必要がある。

PBL でのプロジェクトとしての成否は、当初のプロジェクト目標を達成できたかどうかで判定できる。一方、教育手段としての PBL が有効に機能したかどうかを判断するには、プロジェクト活動を通じて学生が何を学んだかが重要になる。プロジェクト目標と教育目標は同じではない。それらの関係を図 2 に示す。縦軸が教育目標である。一般的には、今までで知らなかったことを知る (知識獲得)、今まででできなかったことができるようになる、知った知識を他の問題に応用して問題解決できるようになる、コンピテンシー (業務遂行能力) が身につく、と表現できる。

先導的 IT 拠点間教材等洗練事業 PBL 教材洗練ワーキンググループでは PBL を整理する作業として、PBL を教育目標別に整理できないかどうかやろうとしたがうまくいかなかった。教育目標は多岐にわたっているし、粒度もさまざまだからである。IT 分野での PBL の教育目標はまだまだ整理されておらず、PBL を実施する教員も十分に認識しているとは言えないのが現状だと思われる。

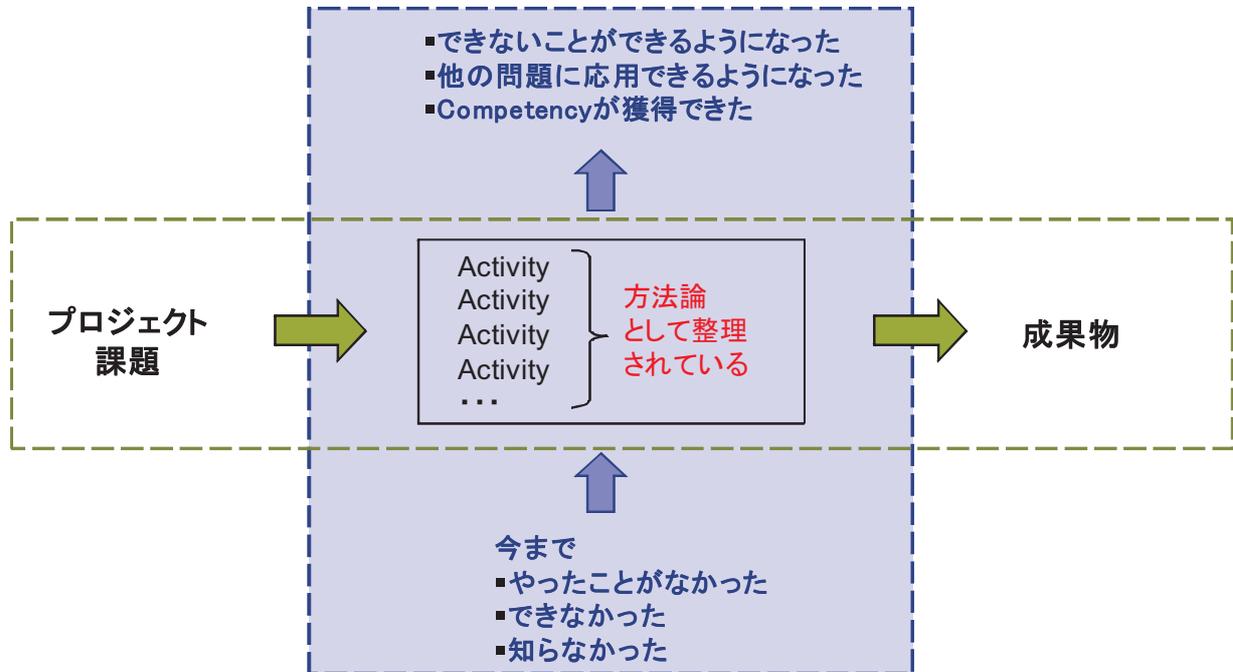


図2：PBLに於けるプロジェクト目標（横軸）と教育目標（縦軸）

筆者は、PBLが教育手段である以上、縦軸に何が含まれるかを教員が正しく意識し、PBL教育を通じて縦軸がより効果的になるように指導方法を工夫すべきだと考えている。縦軸に含まれているものをよりはっきりさせたいというのが本稿を書く動機である。教員が教育目標を認識していないと適切な教育ができないと考えるからである。

2.4 IT サービスビジネスへのシフトとの関係

図3は本学（情報アーキテクチャ専攻）のPBLが社会とどのように関係しているかを示している。深刻化するハイレベルなIT技術者不足の解消が目標のひとつになっている。

大学院でのIT教育にPBLを導入するきっかけは高度IT人材育成である。従来は高度IT人材育成は工学部で行われると考えられていた。しかし、IT業界は製造業か

らサービスビジネスにシフトしている。従来の工学部的なIT教育とITサービスビジネスが必要とする教育の違い、PBLに求められる教育目標を考察してみる。

IPA（情報処理推進機構）は2002年にITスキル標準（ITSS）を設定し、改訂を経て現在はVersion3になっている[9]。ITSSは各種IT関連サービスの提供に必要とされる能力を明確化・体系化したものである。ITSSは「ITサービスの提供」を目的としており、その背景には、IT業界が製造業からサービスビジネスに大きくシフトしたことがある。IT業界で仕事をする人材（専門家）を輩出する大学は、ほとんどが工学部である。工学部の基本的考え方は、製品を介した付加価値の提供である。しかし、サービスビジネスはサービスが付加価値であるため、サービス提供者とサービス消費者の間に介在する製品は存在しない。サービスの提供とサービスの消費は直接的、同時的である。サービスの考え方は工学部の基本的考え方と異なっている。

ITSSでは11の職種が定義されているが、それらすべての職種で共通に重要だとして挙げられているのが次の3つのスキルである。

- ①コミュニケーション・スキル
- ②リーダーシップ・スキル
- ③ネゴシエーション・スキル

これらのスキルは、知識とは異質なため、ソフトスキルと呼ばれる。このことを理解するために、サービスビジネスの基本的な構造を図4に示す。図4の左側はITサービスを使って何らかのビジネスを実施している人である。どのようなITサービスがビジネスに貢献するか、ビジネスに貢献するにはどんなITサービスが必要かを

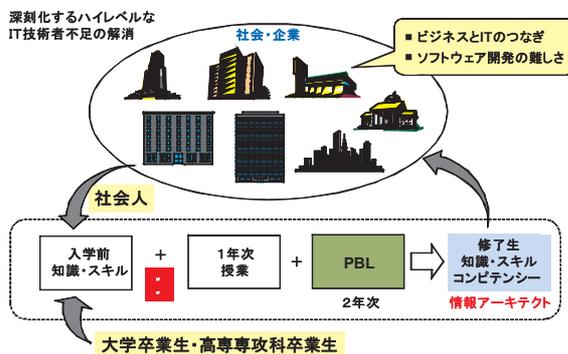


図3：情報アーキテクチャ専攻に於けるPBLの位置づけ

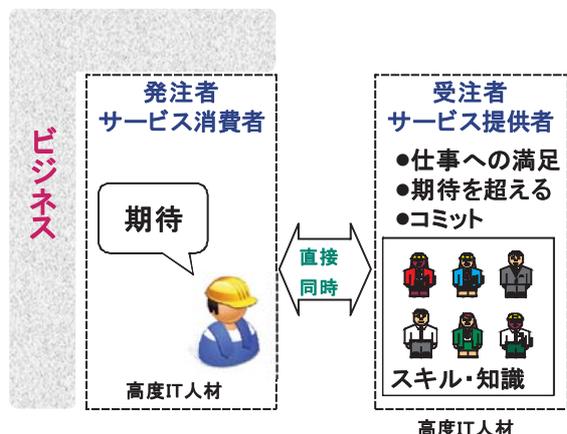


図4：ITサービスビジネスのモデル

把握することが重要な役割になる。求められている高度IT人材は、ITとビジネスをつなぐことができる人材である。

図4の右側は、左側が必要とするITサービスを提供する人である。システムインテグレーションのようなシステム開発も含まれる。求められている高度IT人材は、サービス消費者が必要とするものを、QCD（品質、コスト、納期）を確保して提供できる人である。

サービスビジネスの場合、いやいや仕事をする人と、やりがいを感じて仕事をする人では、仕事の質も効率も倍以上の差がでる。サービスを発注する側の人もそのことを認識し、サービス提供者が気持ちよく仕事ができるように心がけることが大切である。企業が必要としている人材は、その人が自分の仕事にやりがい、達成感、誇りを持っていることである。その仕事のやりがいがあるか、どこにあるかを学生に学んでもらうことは教育目標になると考えている。

サービス提供者の仕事のやりがいは次のような順序で得られる。サービス提供者が最初にするのは、自分は何ができるかのコミットである。（自分にできないことをコミットすると後でトラブルになる。高度IT人材はできることとできないことを正しく認識している）。サービス消費者は、提供されるものに対して「期待」を持っている。サービスビジネスでは、「期待」通りのサービスを提供できて普通である。期待を下回るとトラブルになる。しかし、期待を少しでも上回ることができると、サービス消費者が喜ぶだけでなく、それがサービス提供者のやりがいにつながる。期待を超えること、それによりやりがいを感じるものが、サービスビジネスを成功させる基本である。

このサイクルはサービス提供者だけで完結するのではなく、サービス消費者の「期待」が含まれている。期待を間違えて理解するとサイクルは成り立たない。期待を正しく理解すること、期待を正確に把握することが極

めて大事である。しかし、サービス消費者が「期待」をきちんと教えてくれるとは限らない。何を期待しているかを正しく表現したり、伝えてくれるとは限らない。「期待」への対処のしかたを学ぶ上でPBLは適している。

2.5 サービス消費者の「期待」の特定と共通合意

期待していることが何であるかを特定し合意すること（そしてコミットすること）がサイクルを実現する上でものすごく重要である。サービス消費者が（期待していることはあるのだけれど）期待を正しく表現できない場合に、期待を正しく把握する必要がある。その際に必要になるスキルが、コミュニケーション、リーダーシップ、ネゴシエーションである。

「期待」を中心にこれらのスキルを見ていくと次のようになる

①コミュニケーション

期待が何であるかを聞き出し、明確化し、合意する（期待がはっきりしている場合）

②リーダーシップ

期待していることがあいまいで決めかねているような場合、消費者をリードし、何を期待すべきかをはっきりさせ、期待内容の意志決定を促す

③ネゴシエーション

期待内容を理解した上で、その期待に応えるのが困難な場合、コミットできることと、期待内容が一致するように、相手の期待内容の変更を促す

これらのスキルの重要性は、サービス消費者の「期待」に関係している。サービスビジネスを成功させるためには、期待を把握したり、期待を合意したりすることが大事で、そのために必要なスキルである。ソフトスキルは大学での教育になじまないと考えられがちである。確かに、一般的にコミュニケーション・スキルを教育するとか、リーダーシップ・スキルやネゴシエーション・スキルを教育すると言っても、具体的に大学で何をすれば良いかが明確でない。しかし、一般的にソフトスキルを教育しようというのではなく、「期待」の把握というコンテキストで教育するのであれば、教育目標は具体的になるし、指導も可能になる。

一般的なソフトスキルではなく、サービスビジネスでの「期待」の把握としばり込み、そこで重要になるスキルと捉えることにより、PBLの教育目標が明確になる。

2.6 PBL受講学生の心得

PBLは新しい教育法であるため、教員から教えてもらうという態度で受講しても適切な教育が行えない。受講開始前に、PBLが教育手段としてどのような特長を持っているかを説明し、PBL学生の心得として次のようなガイダンスを行っている。

①知識を教えてもらうのではなく、自分で学習する

- ユニークな正解があるとは限らない
- 自分の役割を果たすために、どんな知識が必要かを、自分で考える
- 問題解決に必要な知識を身に付けていない場合は、自主的に習得する
- 知識の応用/適用のしかたを学ぶ
- 問題解決のための知恵を創造する

②グループ活動によるアイデアの発展/展開を重要視する

- チームメンバーから学ぶこと、チームメンバーへ影響を与えることの重要性を体験する
- バックグラウンドの違う多彩なメンバーの異なった視点の強みを活かす

③個人プレーではなく、チーム活動（プロジェクト）である

- チーム共通の目標を常に意識する
- 各自の役割を、チーム目標にどのように貢献するかを明確にし、分担する
- どんなアクティビティ（タスク）を行う場合でも、必ず「成果物」が何かを明確にし、作成する
- プロジェクト管理を行う

PBL で知識を学ぶ場合、学生が教師から学ぶ部分もちろんあるが、それ以外にチームメンバーから学ぶ部分も多い。学生が学ぶ内容は、誰がチームメンバーになるかに大きく依存する。このため、PBL で学生が何を学ぶかを教員が管理しようとするのはかなり困難である。

3 PBL に於ける学生の学び

駒谷氏は SSS2009 招待講演[10]で、PBL での学生の学びについて次の5つを指摘した。(1)知識の統合、(2)チーム活動からの学び、(3)プロセスからの学び、(4)マネジメントからの学び、(5)学生の主体的な学び。筆者はこれをヒントに次の6つに整理してみる。

- (1) プロジェクト課題を解決するために(アクティビティを実施するために)知識の応用・適用のしかたを学ぶ
- (2) 多様な視点、価値観、見方により、ひとりで考えるより、より良いものを目指す
- (3) 方法論を学ぶ(似た問題に対し、繰り返して適用できる)
- (4) (複数メンバーによる)プロジェクトの遂行方法・管理方法を学ぶ
- (5) 自分の役割を果たすために必要な知識で知らないものを自主的に学習する
- (6) “IT はサービス”で必要なことを学ぶ

3.1 知識の応用・適用のしかたを学ぶ

PBL はソフトスキルの教育には適しているが、特定の

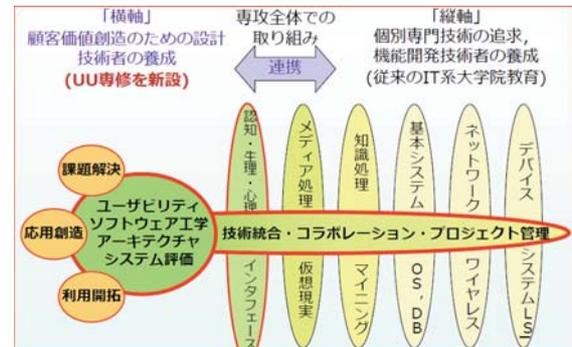


図5：東京農工大学での UU 専修の例

出典：東京農工大学文部科学省科学技術振興調整費新興分野人材養成プログラム 人材養成活動の総括報告より

知識（ハードスキル）を教育するのには向かないと言われることがある。知識の教育には、学生が知らない知識を教えることと、知識としては知っていても応用したことがない知識を応用できるようにすることの2種類ある。PBL では知識の応用・適用に重点が置かれる。

課題解決に必要な知識はひとつとは限らない。多種多様な知識を必要とする場合がある。従来の大学院では専門性を追求することから、ある特定の知識は深く教えるが、幅広い知識を教えることは少なかった。このような反省の上で、新しく設置した大学院では、幅広い知識を必要とするようなカリキュラムが組まれるようになってきている(例えば[11,12])。図5は東京農工大学での UU 専修の例であるが、はっきり人材育成を目的としており、本学の PBL でねらっていることと共通する部分が多い。

一般に、PBL では「知らない知識を新たに知る」よりは「知っている知識を応用する」部分の比重が高いと思われる。いろいろある知識の中から、どの知識を選んで適用するか重点が置かれる。プロジェクトに与えられる課題は正解があるわけではない。解決すべき問題自身もあいまいであることが多い。PBL で知識を学ぶことは可能であるが、課題と知識のマッチングを見つけ出すスキルがより重要になる。

3.2 多様な視点、価値観、見方から学ぶ

プロジェクトはチームで構成される。個人の知識範囲が狭いとしても、チームメンバー全員の知識を合わせると広がる。この利点を活かすことが重要になる。

チームメンバー全員の知識を合わせても、適用可能な知識を選ぶ範囲が狭い場合は、教員がそのことを指摘し、チームの視野を広げさせる必要がある。教員の重要な役割は、学生の活動で特定される知識範囲を把握し、必要に応じて目を向けるべき別な知識エリアを指摘することである。教育目標として、どの知識を知っているべきか、どの知識を応用できるようになるかを意識することで可能になる部分である。

チームメンバーの多様性は、いろいろなアイデアをも

たらず可能性があり、単一の知識を持ったチームよりは有利になる場合が多い。本学の PBL では、なんらかの設計やデザインを行う場合が多く、設計の際にいろいろな制約、価値観、トレードオフ判断を考慮しなければならない。どのような制約があるか、価値観があるかを幅広く特定するには、多様なメンバーでチーム内にあるアイデアを引き出すことが重要になる。PBL では自分の思いつかないアイデアに遭遇することから、目を見開くような学びが可能になる。

実際に PBL を実施していると、チームが到達しなければならないアイデアが出てこない場合がある。このような場合は指導教員がチームメンバーからそのアイデアが出てくるように引き出す努力をすることになる。学生に任せたままだと PBL 活動の質が落ちる場合があるので教員によるコントロールは必須である。

3.3 方法論を学ぶ

専門家はその分野の課題が与えられれば毎回異なった課題でも解決できる能力を身に付けている。繰り返して応用できる基礎を持っている。IT サービスビジネスでは繰り返しの基礎になるものを「方法論」と呼ぶ。例えば、システム開発のウォーターフォール・モデルは方法論の一つである。

PBL の教育目標には、繰り返し応用可能な方法論の修得が含まれる。通常、方法論は教員が学生に提示し、学生がそれに則ってアクティビティを実施する。方法論は PBL を選択する際に学生に提示する「プロジェクト説明書」に PBL の進め方として記載されている。

教員が提示した方法論に沿って、メンバー全員が共通の方法論に従う。学生がどのアクティビティを実施するかにより、学生が学ぶ知識やスキルは個々に異なるが、全体の進め方は方法論として学べる。方法論をマスターできれば、異なる課題に繰り返し応用できるという意味で専門家と言える。

筆者が PBL で使用している方法論を図 6 に示す。筆者の意見では、学生に方法論を考えさせるのは適切と思わない。学生が考えた方法論が繰り返し応用可能なものになっているかどうかを保証できないからである。

3.4 プロジェクトの遂行方法・管理方法を学ぶ

プロジェクトは複数メンバーで構成されているので、チームとして共通の目標を達成するためにはプロジェクトの管理が必要である。PBL ではプロジェクトがうまく遂行するにはどうしたらいいかを実体験する。大きく分けて2つの要素がある。

ひとつはチームあるいはチームメンバーとして活動することに関係している。コミュニケーション、リーダーシップ、フォローアップが重要になる。

もうひとつは、プロジェクト管理である。プロジェクト目標と

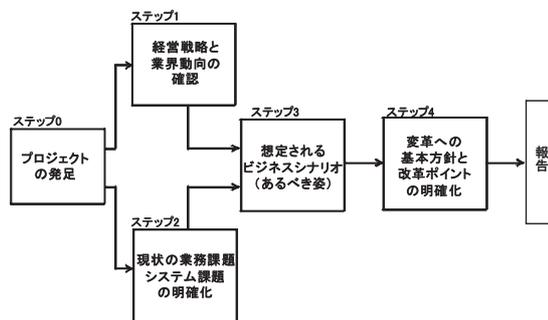


図 6： 業務改革（情報戦略）の方法論

チームメンバーの役割分担、計画と実績の管理、スケジュール管理、課題管理などが含まれる。プロジェクト管理は PMBOK (Project Management Body of Knowledge) で必要な知識がまとめられているので、それを実際に応用し経験する。

3.5 自主的な学習を学ぶ

プロジェクトを進めていく上で(アクティビティを実施する上で)、課題が見つかり解決しなければならなくなる。知っている課題であればどの知識を使えば解決できるかわかるのであまり問題にならない。しかし、初めて出会う課題の場合、課題解決に必要な知識が何かを知らない場合も多い。実社会では「知らなかったから解けませんでした」は許されない。PBL でも同じで、知らない場合は自分で自主的に勉強する必要がある。ある知識を深く勉強するというよりは、課題解決のためにどの知識が必要かを探ることが多い。

知っている範囲で解こうとするのではなく、自分が必要とする知識を探ることが重要である。PBL では正解があるとは限らないので、自主的に学習することは重要になる。自主的に学習する習慣がつくと自分の保有する知識が増えるので能力が高まり、ひいてはコンピテンシー向上につながる。

3.6 “IT はサービス”で必要なことを学ぶ

IT 業界はサービスビジネスにシフトしてきている。そのためサービスビジネスを実施する上で必要になるスキルの教育が重要になってきた。これは PBL の教育目標として重要なもののひとつである。ただし、これを実施するにはどんな PBL テーマでもいいわけではなく、しかるべきプロジェクト環境を整え、「期待の把握」を行うアクティビティやタスクを設定する必要がある。具体的には、PBL に協力してくれる企業を探し、協力企業の「期待」を把握して課題解決する。現状では協力してくれる企業を探し PBL のプロジェクト環境を整えるのは担当教員の個人的努力で行われている。しかし、PBL の重要な教育目標と考えられるので、今後は組織で取り組む体制を確立する必要があると思われる。

4 PBL に於ける教育目標

IT 業界でのほとんどの仕事はプロジェクトとして実施されている。個人プレーではなくチームで成果を出す。PBL が実社会で役立つ教育手段と見なされる理由の重要なものに、PBL を実施することによりプロジェクト経験を積めることがある。ここに PBL を指導する教員の落とし穴がある。学生数名でチームを作り、チームにテーマを与えるだけで、教員が特に指導しなくても学生はチーム活動から学ぶことがある。講義で知識を教えるのとは違い、PBL 教育では学生が何を学ぶかは同一チームにどのようなメンバーがいるかに大きく左右される。学生は教員だけでなく、チームの他メンバーから学ぶ部分が多いからである。学生を指導しようとしてあまり教員が口出ししすぎると、学生の自主的な学びを阻害する心配がある。しかし、学生指導は教員の重要な仕事であるから、学生が適切なスキルやコンピテンシーを学んでいるかどうかへの責任はある。学生が何を学ぶかについて教員は責任を持っているはずである。その責任を果たすには PBL での教育目標を教員がきちんと意識していなければならない。

プロジェクト目標は、プロジェクト終了時にプロジェクトが成功したかどうかを評価する基準になるのではっきりしているしわかりやすい。一方、教育目標は、プロジェクト終了時に学生が何を学んだかで達成できたかどうかを評価するものであり、客観的に評価するのは難しい。しかし、教員が教育目標をはっきり意識していないと教育目標の達成はありえない。IT 系 PBL プロジェクトの教育目標は PBL の実施経験がそれほど多くないことから十分に整理されているとは言えない。特に IT 業界がサービスビジネスへシフトしていることを考えると、従来の工学系の教育とは違った新しい要素が PBL 教育に求められていると考えられる。2 章、3 章で論じたことが教員が教育目標をはっきり意識して PBL を実施する場合の参考になることを期待したい。

参考文献

- [1] 日本経団連：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>
- [2] 先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/it/index.htm
- [3] 高度 ICT 人材育成に関する研究会報告書
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2008/pdf/080530_3_bs2.pdf
- [4] IT 人材の育成
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/index.html
- [5] IT を巡る今後の戦略の検討ポイント
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90602c01j.pdf>
- [6] 高度情報通信人材育成に向けた日本経団連の取り組み

<http://www.ipa.go.jp/jinzai/sangaku/pdf/08/siry04.pdf>

- [7] 情報専門学科におけるカリキュラム標準 J07

<http://www.ipsj.or.jp/12kyoiku/J07/J0720090407.html>

- [8] 社会人基礎力

<http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/index.htm>

- [9] ITSS Version 3

http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/download_V3_2008.html

- [10] 駒谷昇一：PBL は教育にどのようなインパクトがあるのか、SSS2009, pp.131-138, 情報処理学会 (2009).

- [11] 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/>

- [12] ユビキタス&ユニバーサル情報環境の設計技術者養成

<http://uu.tuat.ac.jp/>

コンピテンシーを育成する経験学習教材の設計技法

網代 剛*

Design Method of Educating Competency on Experiential Learning

Tsuyoshi Aziro*

Abstract

Experiential learning requires adequate confusion of its learners. Yet managing the degree of learner's confusion is difficult. The method to manage them would be required to objectify the process of learning. This paper proposes two hypothesizes on material – learner interaction, to manage the degree of confusion of learner. First is about the amount of information provided by material that will manage degree of diverging of their thought. Second is the possibility of existence of learners own "learning path".

Keywords: Experiential learning, Project Based Learning, Game design, Instructional engineering

1 はじめに

経験学習には、学習者の適切な迷いが必要である。本稿では、教材－学習者間の相互作用において、学習者の迷いの程度の制御につながる2つの仮説を提案する。ひとつは、教材が提供する情報量によって学習者の思考の発散の程度が制御できる可能性であり、いまひとつは、学習者に固有の“学習パス”の存在である。

1.1 背景：経験学習

産業技術大学院大学では、教育の目的を、能力(コンピテンシー)に定めている。こうした能力を育成する学習プログラムの体系のひとつに経験学習がある。コルブ [1] は、経験学習の基礎を、デューイによる、経験を通じて現代の科学技術に至る背景や原理を獲得するという意味での“再発見”，レウインによる、グループによるディスカッションが問題の発見や解の創造に寄与するという意味での“グループ”，ピアジェによる認知の発達段階と定めた上で、経験学習を、経験（CE：Concrete Experience）、観察（RO：Reflective Observation）、抽象化（AC：Abstract Conceptualization）、計画立案（AE：Active Experimentation）の4つの過程による循環的過程としてモデル化している。（図1参照）

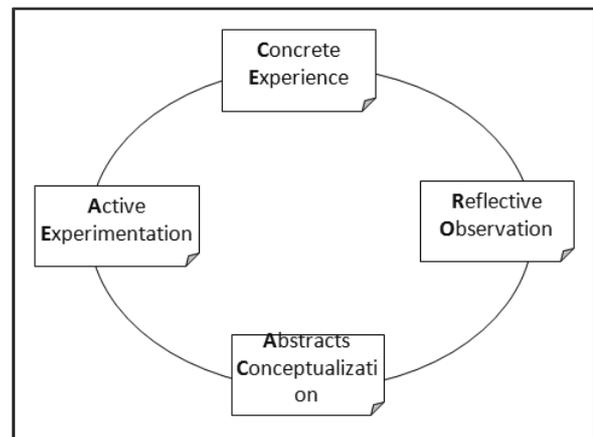


図1: 循環的学習モデル

1.2 経験学習の問題

PBL (Project Based Learning) をはじめ、ケースメソッド、ゲーミングシミュレーションなど、能力の育成を目的とした学習プログラムには、実践を通じて能力を獲得するという共通点がある。こうした実践には、学習者の自律的な学びのために“ある程度”の自由度が必要である一方で、学習であるために、やはり“ある程度”の統制が求められる。（図2参照）この点は、デューイ [2] が後年記しているように、学習プログラムの設計、実施において、非常にデリケートであるだけでなく、学習者にとっても、本当に自由に關心の赴くままにやるとよいのか、教授者の指示に従わなければならないのか、混乱を招くものである。木谷[3] は、小学校におけるゲーミングシミュレーションの実践を見学した折、授業が終了した直後、

児童が教員に向かって「先生、今度は本当に遊んでいいんですか？」と質問したエピソードを報告し、経験学習における適切な自由度の確保の難しさを指摘している。

1.3 経験学習の制御

これまで、経験学習における学習者の適切な自由度の問題について、教材設計者の着想による提案が、優れた成果をあげた事例 [4] は報告されているが、学習プログラムや教材の構成要素と、学習者の自由度との関係は明らかではなかった。経験学習における学習者の自由度、言うなれば“学習者の迷い”を適切に制御できる学習プログラム設計法が望まれる。

学習者の迷いの制御には、学習者の迷いを大きくする手段と、学習者の迷いを小さくする手段が必要である。本稿では、後者について、ファシリテーション[5] による学習者への働きかけや、多主体間の相互作用[6] とは、ひとまず切り分け、教材－学習者間の相互作用において、学習者の迷いを小さくする教材設計の手段についての仮説を提示する。

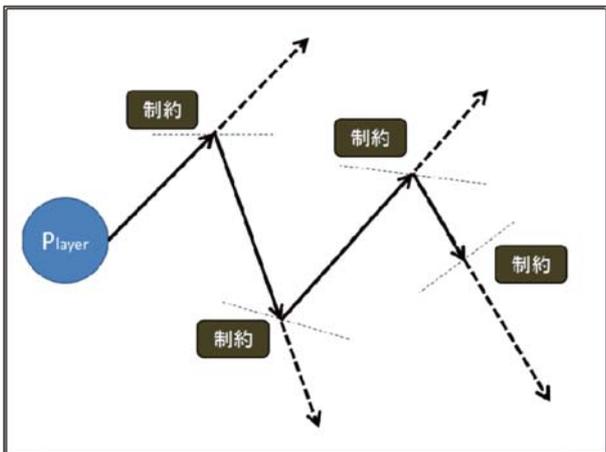


図 2: 学習者の迷い

2 仮説

循環的学習モデルにおける観察 (RO : Reflective Observation) [1] を、学習者と教材の相互作用と捉えた (図 3 参照)うえて、本稿での第一の仮説は、エンタテインメントにおいての、抽象的な概念を視覚化することによって、実在しない仮想世界でプレーヤが迷わず課題達成の手段の選択に集中できるようになるという、ゲームの設計技法[8] に着想を得たものである。第二の仮説は、筆者の実践から着想を得たものである。本節では、仮説の概要を記し、次節において、現在の取り組みと今後の課題を記す。

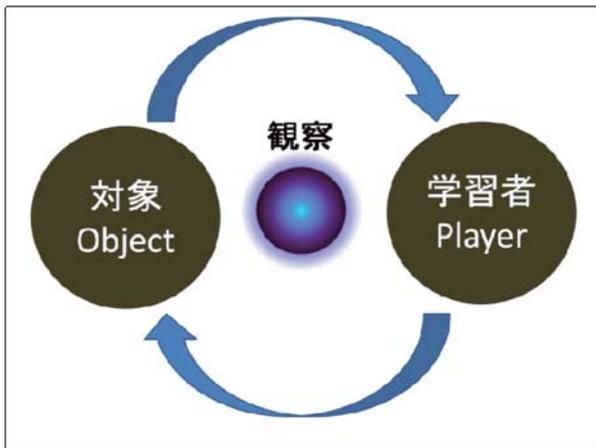


図 3: 教材－学習者間の相互作用

2.1 仮説 1 (情報量による制御)

学習者に提供する情報の量、質、および提供方法によって、学習者の迷いの状態は、変化するはずである。エンタテインメントにおける『信長の野望』[9]では、全国統一という抽象的な概念を“地図を塗りつぶす”という形で視覚化することによって、ゲームのプレーから不要な迷いを除去している[8]。この事例にならい、数学基礎教育において、パラメータを変化させた場合のモデルの振る舞いの変化を、グラフの変化(動画)によって、視覚表現した。これまでの教科書では、一般形の数式や、特定のパラメータを用いた図は、用いられているが、任意のパラメータに対応するモデルの振る舞いの変化は、学習者の想像に委ねられていた。第一の仮説は、この点について、学習者より任意のパラメータの入力を受け付け、モデルの振る舞いをフィードバックする仕組みを加えることで、学習者の迷いが小さくなるのではないかとのものである。

(図 4, 図 5 参照)

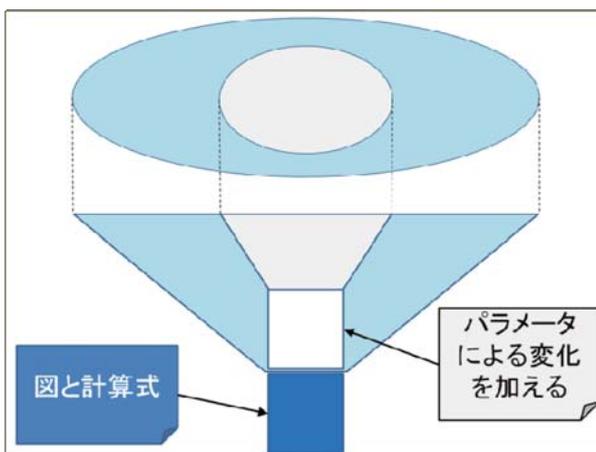


図 4: 情報量と学習者の迷い

情報を加えることで、学習者の思考の発散を抑える事ができる

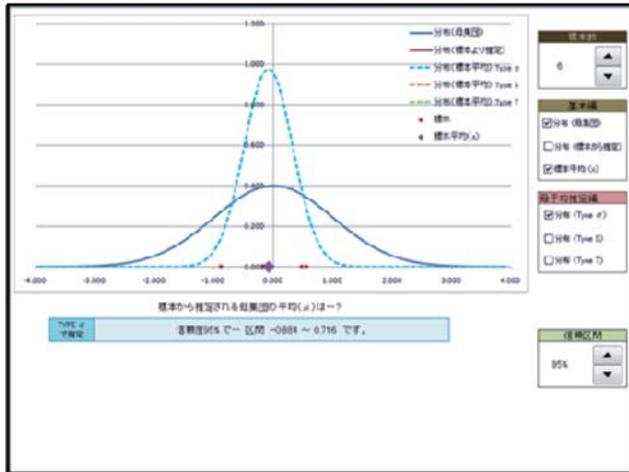


図 5: モデルの振る舞いの変化を表現

学習者によるパラメータの入力で、モデルの振る舞いが異なる。

2.2 仮説 2 (学習パス)

第二の仮説は、次のような GBS[7] に立脚した学習プログラムの実践を通じて、学習者の思考の過程が異なるという着想を得たものである。

ゴール: 観察(推論につながる事象の発見)

ミッション: 標本から母平均を区間推定する

リソース 1: 正規分布の特性(標準偏差によって、ある確率での標本の出現区間のちが)

リソース 2: 標本平均の分布(母集団よりも小さな標準偏差を持つ

カバーストーリー: 標本の母集団に正規分布を仮定

シナリオオペレーション: 学習者とシミュレータの対話形式

役割: 標本の再抽出, 信頼度(確率)の指定

フィードバック: 母平均の任意の信頼度での信頼区間, グラフによる視覚表現

※リソースについては、事前に 90 分を使って講義

2.2.1 結果 (リソース提供の失敗)

事前に講義を行ったにもかかわらず、次のような、リソースやカバーストーリーなど、学習プログラムの前提となる情報についての質問が多く出てきた。

- なぜ、標本標準偏差を割り引くのか?
- n-1 の理由は何か?
- なぜ、標準偏差が信頼度(例 95%)につながるのか?

このような学習者の質問を見る限り、事前の 90 分の講義は、学習者が本シナリオのリソースを獲得できていないという点で、失敗であったといえる。この結果から、次の原因が考えられる。

- 原因 1: 学習者の思考経路のちが(事前の授業を理解していない/関心がない)
- 原因 2: 異なる対象に当てはめる能力の欠如(事前の授

業は理解していたが、応用できなかった)

2.2.2 学習パスの着想

原因 1 について、母平均の推定と言う、具体的手続きの必要に迫られてはじめて、リソース(正規分布の特性)に関心が向くプレーヤが少なくとも、本学習プログラムにおいては存在したことになる。これは、プレーヤにより異なる思考経路が存在する可能性を示唆するものである。例えば、順を追って、前提を積み上げてゆくだけでなく、必要に応じて、アドホックに参照するなど、学習者によって異なる「ミッションを達成する経路」が存在する可能性である。(図 6 参照)

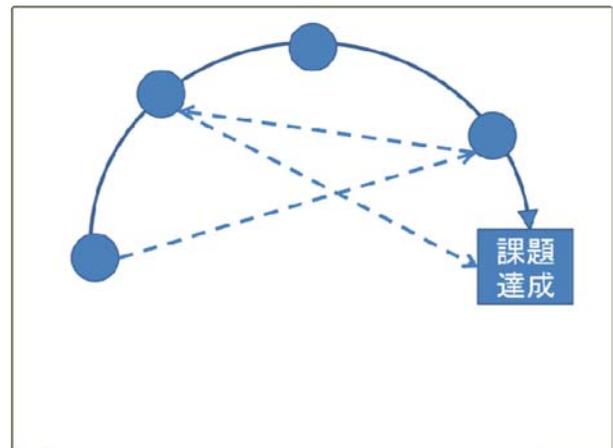


図 6: 異なる学習パスの可能性

3 現在の取り組みと今後の課題

3.1 視覚表現(仮説 1)の研究

本稿の関心は、学習者の“適切な”迷いの実現である。今日、特に映像表現の分野では技術の進歩がめざましく、多様な技法を低コストで実現できる環境になるが、特に教材設計における表現技法の選択については、選択の基準となるような指標が存在しない。この点について、教材が提供する情報の量(や質)と、学習者の迷いとの関係を明らかにするよう試作を重ねてゆく。

3.2 学習パス(仮説 2)の研究

学習のゴールを「母平均の区間推定の達成」など、特定の課題の達成とするなら、複数の経路を用意し、学習者の関心にのみ忠実にシナリオを制御することで、解決は可能である。しかし、学習のゴールを「観察(推論につながる事象の発見)」などの能力獲得とするなら、シナリオ制御のパラメータは、思考方法など、少なくとも、学習者の関心を放置するのではなく、適切に統制する要素を取り込むことで、能力育成の学習プログラムとしての意味が生まれるはずである。(図 7 参照)

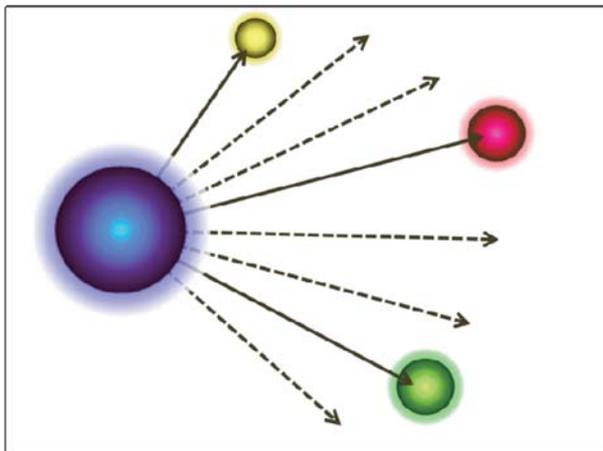


図7:学習者の関心を制御

学習者の関心にのみ従うのではなく、学習の目的によって、学習者の関心を“適切に”制御する（点線部には従わない）。

4 可能性としての可変制御

これまで、経験学習における教材の設計は、開発者が、どんなに細心の配慮を施したつもりでも、学習者の学習パスは、開発者による“見切り”によって設定され、固定されていた。このため、必ず、学習パスのミスマッチは発生することになる。一方で、能力育成の教育プログラムの一部であるためには、プレーヤの思考経路に適切な統制をかける必要がある。学習プログラムによる統制も固定的なものではなく、学習者の状態や学習の目的に応じて、統制の程度を、可変に制御できる経験学習における教材の設計が望まれる。（図8参照）

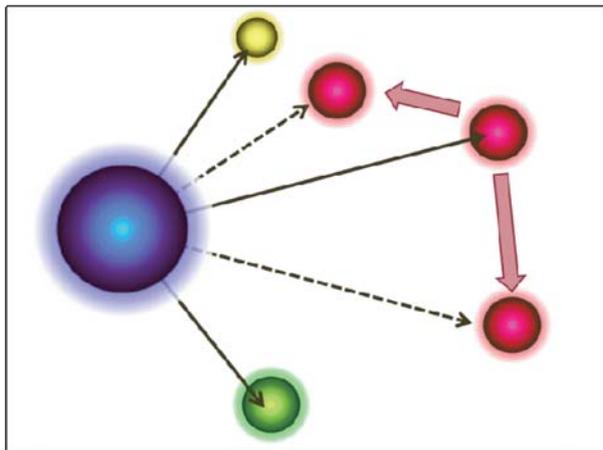


図8:可変制御のイメージ

これまで固定的だった教材による制約が、学習者の状態に応じて可変することで、学習者の迷いを最適化する。

このような教材の設計には、次のような課題が存在する。

- 課題1: 細分化した学習目標
- 課題2: 学習者の状態の検出

課題3: 制約の表現方法

課題1について、循環的学習モデルにおける観察(RO)だけについても、本稿で考察した、対象を置き換えるだけでなく、条件の交換や、評価の設定など、様々な能力が考えられる。これらについて、体系立てて整理する必要がある。

課題2について、ゲームを可変に制御するためには、学習者の状態を、適切に検出する仕組みが必要である。ゲームの操作ログ等の解析についても、研究を進めてゆきたい。

課題3について、抽象度の高い数学の概念を、具体的なメタファーで表現することで、数式やグラフよりも、時による変化や、パラメータによる“ふるまい”の違いがより明確に学習者に伝わる表現方法を、柔軟に探索してゆきたい。

5 むすび

今日、科学技術においては、オープン、クローズを問わず、グループウェア等による情報共有の影響は大きく、例えば、エンタテインメントであるネットワークゲームでさえも、sns等のメディアから攻略法の情報を入力しなければ、ゲームに勝つことは困難であると同時に、例えば戦略上優位なポジションなどの情報さえ入手できれば、それがなぜ戦略上優位なのかなど分からなくても、ゲームに勝利できてしまう。プレーの目的が「ゲームに勝つ」ことであるならば、いち早く最新の情報を仕入れるべきであり、ひと時代前のスタンドアローン型のシミュレーションゲームのように、自ら試行錯誤を経て、ゲームを解き明かすといったことをしては、ゲームでの勝利と言う目的の達成はほとんど不可能である。しかし(ネットワークゲームを、科学技術や教育の文脈に、不用意に用いるのは、少々飛躍があることは承知の上で)目的を、攻略法を情報発信できる能力の育成とした場合、今日のネットワークゲームのように、能力の育成が、必ずしもゲームの勝利(情報の参照)とは符合しない場合があるかも知れない。このような場合、能力の育成についても、体系立てられ、適切に制御可能な教育プログラムの設計が望まれる。本稿で検討した、ゲーミングシミュレーションにおけるゲーム(対象)によるプレーヤの思考経路の“ゆるやかな統制”は、能力育成を目的とした学習プログラムを、学習の目的や学習者の状態に応じて“適切に制御”できる可能性を持っている。また、現状ではまったくの憶測であるが、循環的学習モデルでの能力は、もしかしたら、運動選手における基礎体力のように、くりかえしによる習熟が期待できるかも知れない。こうした事を実証的に研究するためにも、“ゆるやかな制御”の研究を続けてゆきたい。

参考文献

- [1] Kolb, D.A, *Experiential Learning*, Prentice Hall, 1984
- [2] John Dewey (市村尚久訳)『経験と教育』, 講談社,

2004

[3] 木谷忍, 木村美智子 「子供の遊びの支援のための戦略的パネル討論の設計と評価」, 『日本シミュレーション&ゲーミング学会 2010 春季全国大会論文報告集』, 2010

[4] 杉浦淳吉, 吉川肇子, 鈴木あい子 『交渉ゲームとしての『SNG(説得納得ゲーム):販売編』の開発』『シミュレーション&ゲーミング』16(1), 2004

[5] 中村美枝子(1998)『ゲーミングシミュレーションにおけるファシリテーション』新井潔, 出口弘, 兼田敏之, 加藤文俊, 中村美枝子「ゲーミングシミュレーション」日科技連出版

[6] 兼田敏之(2005)『社会デザインのゲーミングシミュレーション』共立出版

[7] Roger C. Schank, Tamara R. Berman, Kimberli A. Macpherson, *Learning By Doing*, INSTRUCTIONAL DESIGN THEORIES AND MODELS, Lawrence Erlbaum Assoc Inc, 1999

[8] 新井潔 『シミュレーションゲーム進化論』, 光栄, 1992

[9] 光栄 『信長の野望』光栄, 1983

離散凸関数最小化の応用とその Web アプリケーションの実装

森口 聡子*・土村 展之**

Discrete convex function minimization and its web application

Satoko Moriguchi* and Nobuyuki Tsuchimura**

Abstract

The concepts of L- and M-convexity for functions in integer variables, introduced by Murota (1996), plays a primary role in the theory of discrete convex analysis. In this paper, we consider the initial procurement problem for a repairable inventory system, which is an application of the problem of minimizing an L-convex function. We develop efficient algorithms for discrete convex functions minimization and release softwares implementing our proposed algorithms. We, furthermore, develop the web application for the initial procurement problem for a repairable inventory system based on our L-convex function minimization software.

Keywords: Optimization Theory, Mathematical Programming, Optimization Algorithms, Combinatorial Optimization, Inventory System.

1 はじめに

最適化の分野では、整数変数の非線形計画は、様々な分野や現実問題で数多く顕在するものの、非常に困難であることが知られている。整数変数の非線形計画、難しい組合せ最適化問題を解く鍵として、離散凸関数の概念が考えられ、主に離散格子点上で定義された関数に対して様々な研究者により定義がなされ、理論研究が展開されてきた。その中でも、マトロイド・劣モジュラ関数の研究の流れを汲んだ離散凸解析による統一的枠組みが 90 年代以降注目され、今や多くの成果が報告されている [5, 6]。離散凸解析理論では、L 凸性と M 凸性という互いに共役な二種類の離散凸性が存在し、中心的な役割を担っている。これまで、L 凸性、M 凸性を有する最適化問題に対して、効率的なアルゴリズムが研究されてきた。

一方、在庫管理の理論は、古くから多くの研究がなされており、原材料調達から生産・物流・販売を経て消費者に渡る全体プロセスを扱う現代の企業活動の管理手法、SCM (Supply Chain Management) を実践する上でも、その基礎的な中核の一端を担っている。さらに、省在庫と環境負荷低減の観点から、近年重要視しなくてはならないテーマとなった。しかしながら、近年のこれらの要請を数理モデル化すると、古典的な在庫管理モデルでは表現しきれず、より難しい最適化問題を解く必要があったり、大規模な問題を扱わなくてはならなくなる。

を扱わなくてはならなくなる。

非常に困難で、効率的なソルバも存在していなかった非線形離散関数の最小化に対して、近年の離散凸解析理論の研究により、その中でも効率よく多項式時間で最小化できるクラスが解明されてきた。本研究では、離散凸関数の理論研究の結果を在庫管理に適用し、離散凸関数の一つとして知られている離散 L 凸関数の最小化問題を扱い、予備品在庫管理問題に対して開発したアプリケーションを報告する。予備品在庫管理問題は、あらかじめ予備品を購入しておくための代金と、品切れ時のバックオーダーに対する罰金からなるコストをできるだけ減らしたいというモデルで、従来は「Miller の離散凸関数」[2] の最小化アルゴリズムによる求解が試みられていたが、このアルゴリズムの理論計算量は効率的なものではなく、極めて小規模な問題しか解けていなかった。また、非線形離散関数の最小化を行える高性能な汎用ソルバが存在しないため、これまでは厳密解法による予備品在庫管理はできなかった。本論文では、近年の離散凸解析の知見から、この問題の多項式時間での求解が可能になったことを述べ、最速な離散 L 凸関数最小化ソルバの開発により、インタラクティブな条件パラメータの変更・調整に対して最適在庫量を求解できる予備品在庫管理のための WEB アプリケーションを開発したことを報告する。

Received on September 25, 2010.

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

** 関西学院大学, Kwansai Gakuin University

2 離散凸関数

点 $x \in \mathbf{R}^n$ の整数近傍を

$$N(x) = \{y \in \mathbf{Z}^n \mid [x(i)] \leq y(i) \leq \lceil x(i) \rceil, i = 1, 2, \dots, n\}$$

と定義する. 関数 $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R}$ は任意の $x, y \in \mathbf{Z}^n$ と任意の $\alpha \in \mathbf{R}, 0 \leq \alpha \leq 1$ に対して

$$\min\{f(z) \mid z \in N(\alpha x + (1-\alpha)y)\} \leq \alpha f(x) + (1-\alpha)f(y)$$

を満たすとき, **Miller** の離散凸関数といわれる [2].

\mathbf{L} 凸関数は, 整数格子点上で定義された関数のクラスとして, 離散凸解析において中心的な役割を担っている. ベクトル $x, y \in \mathbf{Z}^n$ に対して, 成分ごとに最大値, 最小値をとって得られるベクトルを $x \vee y, x \wedge y$ と書くことにし, $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1) \in \mathbf{Z}^n$ とする. 関数 $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R}$ が \mathbf{L} 凸関数であることは f が 2 条件

$$\text{(SBF)} \quad f(x) + f(y) \geq f(x \vee y) + f(x \wedge y) \quad (x, y \in \mathbf{Z}^n),$$

$$\text{(TRF)} \quad \exists r \in \mathbf{R}: f(x+\mathbf{1}) = f(x)+r \quad (x \in \mathbf{Z}^n),$$

を満たすことと定義される.

離散凸解析では, \mathbf{L} 凸関数と等価な概念である \mathbf{L}^\natural 凸関数も重要である. 関数 $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R}$ が \mathbf{L}^\natural 凸関数であるとは,

$$f(x_1, \dots, x_n) = \tilde{f}(0, x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

となる \mathbf{L} 凸関数 $\tilde{f}(x_0, x_1, \dots, x_n)$ が存在することである. \mathbf{L}^\natural 凸関数は **Miller** の離散凸関数である.

実数ベクトルを変数とする関数についても \mathbf{L} 凸性は定義されている. 関数 $f: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}$ が \mathbf{L} 凸関数であることは f が 2 条件

$$\text{(SBF}[\mathbf{R}]) \quad f(x) + f(y) \geq f(x \vee y) + f(x \wedge y) \quad (x, y \in \mathbf{R}^n),$$

$$\text{(TRF}[\mathbf{R}]) \quad \exists r \in \mathbf{R}, \forall x \in \mathbf{R}^n, \forall \alpha \in \mathbf{R}: f(x+\alpha\mathbf{1}) = f(x)+\alpha r,$$

を満たすことと定義される. 連続 \mathbf{L} 凸関数から (1) 式に基づいて連続 \mathbf{L}^\natural 凸関数も定義されている.

$\chi_X \in \{0, 1\}^n$ を集合 $X \subseteq V$ に対する特性ベクトル, すなわち

$$\chi_i(v) = \begin{cases} 1 & (v \in X) \\ 0 & (v \notin X) \end{cases}$$

とする. \mathbf{L}^\natural 凸関数の最小性規準は次の定理で与えられている.

定理 2.1 (\mathbf{L}^\natural 凸関数最小性規準 [5, 6]). $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$ は \mathbf{L}^\natural 凸関数とする. 任意の $x \in \text{dom } f$ に対し,
 $f(x) \leq f(y) \quad (\forall y \in \mathbf{Z}^n)$
 $\iff f(x) \leq f(x \pm \chi_X) \quad (\forall X \subseteq \{1, 2, \dots, n\}).$

ここで, 上記の局所最小性の判定は二つの劣モジュラ集合関数

$$\rho_x^+(X) := f(x + \chi_X) - f(x),$$

$$\rho_x^-(X) := f(x - \chi_X) - f(x)$$

の最小化に帰着できる. すなわち, 劣モジュラ集合関数最小化アルゴリズム [1, 8] により, 多項式時間で調べることができる.

3 予備品在庫管理モデル

Miller [2] は需要量, 発注量が離散値をとる予備品在庫管理モデル (バックオーダーを考慮した多品種モデル) を導入した. このモデルは, 航空機整備における部品管理等に用いられる重要なモデルである. その在庫費用関数最小化のため, [2] では「**Miller** の離散凸関数」を定義し, 多項式時間ではない最小化アルゴリズムが構築された. 後の離散凸解析研究の進展により, この在庫費用関数が \mathbf{L}^\natural 凸関数であることがわかった [3].

品種 (部品) 数が n からなる完成品に対して, バックオーダーを許し, 完成品の品切れ時のバックオーダーによる罰金と, あらかじめ予備品 (スペア) を購入しておくための代金からなるコストをできるだけ減らしたいという在庫モデルを考える. $c_j > 0$ を品種 j の単価とし, $x_j \in \mathbf{Z}$ を品種 j の発注量とする. $F_j(\cdot)$ は品種 j の需要に対する非負離散確率変数の累積分布関数で, $\varphi_j(m) \geq 0 \quad (m \geq 0, 1 \leq j \leq n)$ を用いて

$$F_j(k) = \sum_{m=0}^k \varphi_j(m) \quad (k \in \mathbf{Z}_+)$$

と書き表されるものとする. このモデルでは $\lambda_j > 0$ で

$$\varphi_j(m) = e^{-\lambda_j} \frac{\lambda_j^m}{m!} \quad (m \in \mathbf{Z}_+)$$

である. 次の関数 $f: \mathbf{Z}_+^n \rightarrow \mathbf{R}$ が最小化すべき目的関数である:

$$f(x) = p \sum_{k=0}^{\infty} \left(1 - \prod_{j=1}^n F_j(x_j + k) \right) + \sum_{j=1}^n c_j x_j, \quad (2)$$

ここで $p > 0$ を完成品 1 つに対してバックオーダーが生じた際の罰金とする. 完成品のバックオーダーの件数はバックオーダーが最大となる品種 (部品) のバックオーダーの量に左右されることに注意されたい. (2) 式の最初の項のは定常状態におけるバックオーダーが最大となる品種のバックオーダー量の期待値と, 完成品単位個数あたりの罰金の積, すなわちバックオーダーによる罰金の期待値を表している. (2) 式の第二項は, スペアの購入コストを表している. 二つの項を結合し, (2) 式は, バックオーダーによる罰金とスペアの購入代金からなるコストを表すことになる.

(2) 式は「**Miller** の離散凸関数」である [2]. 後に, (2) 式に対して, f は \mathbf{L}^\natural 凸関数であることが示された [3]. このことから, $f(x)$ の最小化は \mathbf{L}^\natural 凸関数の最小化アルゴリズムにより, [2] の方法より効率的に行えることがわかる.

4 最小化アルゴリズム

定理 2.1 から, L^\natural 凸関数 g の最小化に対する最急降下法が導かれる [5, 6].

L^\natural 凸関数に対する最急降下法

手順 0: x を $\text{dom } f$ に含まれる任意のベクトルとする.

手順 1: $\varepsilon \in \{1, -1\}$ と $X \subseteq V$ を次のように決定する.

手順 1-1: X^+ を $\rho_x^+(X) := f(x + \chi_X) - f(x)$ の任意の最小解とする.

手順 1-2: X^- を $\rho_x^-(X) := f(x - \chi_X) - f(x)$ の任意の最小解とする.

手順 1-3: (ε, X) を以下のよう定める:

$$(\varepsilon, X) = \begin{cases} (1, X^+) & \text{if } \min \rho_x^+ \leq \min \rho_x^- \\ (-1, X^-) & \text{if } \min \rho_x^+ > \min \rho_x^- \end{cases}$$

手順 2: もし $f(x) \leq f(x + \varepsilon \chi_X)$ ならば終了. x は f の最小解.

手順 3: $x := x + \varepsilon \chi_X$ とおく. 手順 1 へ戻る. \square

上記の最急降下法は多項式時間アルゴリズムではないが, 最急降下法にスケールング技法を適用した効率的な多項式時間アルゴリズムが, 提案されている [5, 6].

連続緩和を用いた実用上さらに高速な最小化法も提案された [4]. 離散 L^\natural 凸関数 $f: \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$ に対して,

$$f(x) = \bar{f}(x) \quad (\forall x \in \mathbf{Z}^n) \quad (3)$$

を満たす連続凸関数 $\bar{f}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R} \cup \{+\infty\}$ が与えられているとき, 連続最適化の手法により \bar{f} の最小解 $x' \in \mathbf{R}^n$ を求め, これを連続緩和解とする. x' の各成分に対して整数丸めを行って得られるベクトルを, 最急降下法の手順 0 における初期点として採用する.

式 (3) を満たす連続凸関数 \bar{f} が与えられているという仮定について, 一般に, L^\natural 凸関数の凸拡張可能性より, その存在性は示せるが, 実装上見つけることは容易ではないことに注意が必要である. しかし, (2) 式のように, 離散変数の関数 f が, 連続変数の関数 \bar{f} の変数を離散点に限定することで定義されている場合が多い. この連続緩和解からの最急降下法が理論的にも効率的であることを保障する近接定理も証明された [4].

5 開発ソルバ ODICON

我々のグループでは, 前述の L^\natural 凸関数最小化アルゴリズムをはじめ, 別の離散凸性 (M凸性) を有する関数の最小化アルゴリズムも実装し, 離散凸関数最適化ソルバとして公開している [9].

このソルバは, C 言語によるオープンソースソフトウェアであり, 単体で利用するよりも, むしろ別のプログラムに組み込まれることを想定している. 最小化したい離散関

数をもつ利用者は, その関数を C 言語上の関数として記述して, このソルバのしかるべきルーチンを呼び出せばよい.

一連のルーチンは, アルゴリズムの素直な実装を目指し, 入出力インタフェースも自然なものになるように留意した. 特に, C 言語において配列の要素数を, コンパイル時ではなく, 実行時の状況に応じて決定しようとする, その扱いに標準手法が確立されておらず, どのように実現するかは自明ではない. この点についても十分に検討して, 標準となりうる手法を選ぶようにした.

以上の工夫により, 他人のソフトウェアを組み込む時にありがちな, どのように結合すればよいのかわからない, という問題を最小限にとどめている.

5.1 ソルバの具体的な利用方法

我々のソルバには, 以下のようなルーチンを用意している.

```
double mconv_minimize(int dim,
                      double f(int dim, int x[]),
                      int init[], int lower[], int upper[]);
```

これは, dim 次元の M 凸関数 $f(\cdot)$ を最小化するルーチンである. すなわち, 利用者は, 最小化しようとする関数が離散 $M/L/M^\natural/L^\natural$ 凸性のうち, どの離散凸性を有するか指定して, 該当するルーチンを呼び出すことになる. 上記の例では, 初期解 $\text{init}[]$ から探索を行い, 最急降下法で最小解 (複数ある場合はそのうちの 1 つ) にたどりついて, その最小解を $\text{init}[]$ に入れ (元々の初期解は破壊される), 最小値を関数自身の値として返す. 探索範囲は $\text{lower}[i] \leq \text{init}[i] \leq \text{upper}[i]$ ($0 \leq i < \text{dim}$) に限定される.

上記の例で最小化する離散 M 凸関数は, 次の型で宣言しておく. なお, 最小化したい離散関数としては, いずれのルーチンでもこの型を受け取るよう統一している.

```
double f(int dim, int x[]);
```

例えば, 次のような 3 次元の離散 M 凸関数

$$f(x) = x_0^4 + (x_1 - 3)^2 + 5(x_2 - 7)^2$$

を C 言語で実装すると, 次のようになる.

```
double f(int dim, int x[]) {
    double r = 0;

    assert(dim == 3); /* check dim */
    r += x[0] * x[0] * x[0] * x[0];
    r += (x[1] - 3) * (x[1] - 3);
    r += 5 * (x[2] - 7) * (x[2] - 7);
    return r;
}
```

この関数を, 原点から探索して最小化するには, 次のようにする. 探索範囲は $-100 < x_i < 100$ とする.

```
int x[3]      = { 0, 0, 0 };
int lower[3] = { -100, -100, -100 };
int upper[3] = { 100, 100, 100 };
double min = mconv_minimize(3, f, x,
                             lower, upper);
```

この呼び出しの後, \min には最小値, $x[]$ にはそれを実現する最小解の 1 つが代入される.

以上のようなルーチンを, 離散 $M/L/M^d/L^d$ 凸関数の 4 種類の関数クラスの最小化に対して用意し, それぞれの関数クラスについて, 複数の最小化アルゴリズム実装し利用者がアルゴリズムを指定できるようにした. ルーチンの引数はほぼ共通しており, 呼び出すルーチン名を変更だけで異なるアルゴリズムを試すことができる.

ただし, ソルバの正しい動作が保証されるのは, 離散関数の性質とアルゴリズムの組み合わせが正しい時 (最小化しようとする関数がどの離散関数のクラスであるか正しく指定し, その関数クラスに対する最小化アルゴリズムを採用した時) のみであり, そうでなかった場合は結果が不正となるだけである. 入力された最小化しようとする関数が, アルゴリズムの要求する $M(M^d)$ 性/ $L(L^d)$ 性が満たされているかどうかを探索中に判定することは, 残念ながら理論的にできない.

5.2 在庫管理アプリケーション

我々は, さらにこのソルバを最適化エンジンとして組み込んだ在庫コスト最小化アプリケーションを開発した [10]. アプリケーションでは, 部品数 n をはじめとして, 3 節で述べた各種パラメータ $p, c_j, \lambda_j (j = 1, \dots, n)$ を対話的に入力し (図 1), 最適化を実行すると, 最適な予備品の準備個数と, その際のコストが表示されるようになっている (図 2).

このアプリケーションは Web アプリケーションとして公開している. 利用者対話的にパラメータ入力・最適化を行い, 瞬時に結果を得られる問題サイズに対して Web アプリケーションを提供しているが, さらに大規模な在庫管理を必要とする場合は, 開発ソルバ ODICON をダウンロードし, 利用者のローカル環境で最適化されたい.

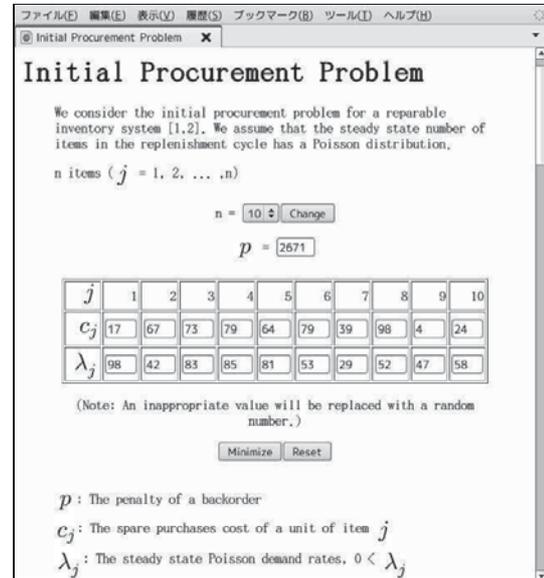


図 1: 開発したアプリケーション (入力)

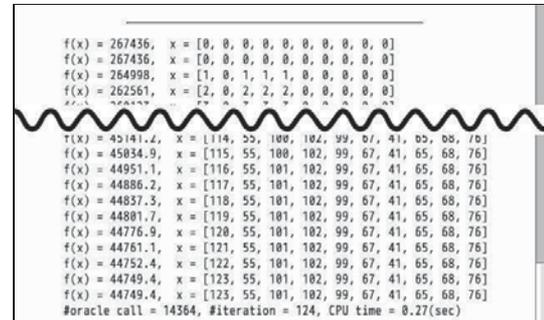


図 2: 開発したアプリケーション (最適化)

6 おわりに

本論文では, 離散凸関数最小化ソルバ ODICON の開発と, 近年の離散凸解析の知見により, インタラクティブな条件パラメータの変更・調整に対して最適在庫量を求解できる予備品在庫管理のための Web アプリケーションを開発したことを報告した. 今後は, ODICON の操作性を向上させ, 予備品在庫管理問題に留まらず, 様々な応用分野におけるソフトウェアの最適化エンジンとして組み込んでいくことが望まれる.

参考文献

- [1] S. Iwata, L. Fleischer, and S. Fujishige, "A combinatorial strongly polynomial algorithm for minimizing submodular functions," *J. ACM*, **48**, pp. 761–777, 2001.
- [2] B.L. Miller, "On Minimizing Nonseparable Functions Defined on the Integers with an Inventory

- Application,” *SIAM J. on Appl. Math.*, **21**, pp.166–185, 1971.
- [3] S. Moriguchi and K. Murota, “Discrete Hessian Matrix for L-convex Functions,” *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E88-A**, pp. 1104–1108, 2005.
- [4] S. Moriguchi and N. Tsuchimura, “Discrete L-convex function minimization based on continuous relaxation,” *Pacific J. Optim.*, **5**, pp. 227–236, 2009.
- [5] 室田 一雄, 離散凸解析, 共立出版, 2001.
- [6] K. Murota, *Discrete Convex Analysis*, SIAM, 2003.
- [7] K. Murota and A. Shioura, “Fundamental Properties of M-convex and L-convex Functions in Continuous Variables,” *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E87-A**, pp.1042–1052, 2004.
- [8] A. Schrijver, “A combinatorial algorithm minimizing submodular functions in strongly polynomial time,” *J. Comb. Theory, Ser. B* **80**, pp. 346–355, 2000.
- [9] 土村 展之, ODICON: <http://www.misojiro.t.u-tokyo.ac.jp/~tutimura/odicon/>
- [10] 室田 一雄, 離散凸パラダイムの深化と拡大: <http://www.misojiro.t.u-tokyo.ac.jp/DCP/>

中小企業向け貸し出し用“展示キット”の開発

國澤好衛*・安藤昌也*・長谷川聡**

Design of the rental exhibition kit for a small-sized company

Yoshie Kunisawa*, Masya Ando*, Satoru Hasegawa**

Abstract

The exhibitor needs knowledge about display design and communication design to have a favor of the guest. Therefore exhibitor usually ask the specialist in display design about an exhibition design. However, it may be difficult for the company that lacks of exhibition experiences. In addition, I will think that they don't want to spend more than required in an exhibition. Therefore the exhibition kit was designed for the solicitation effect of an exhibition. The exhibition solves the problem of the communication design for small-sized company. I report about the prototype design of the exhibition kit which we developed.

Keywords: Small-sized company Exhibition kit

1 はじめに

東京都港区の産業は、専門サービス業の比率が極めて高い点に特徴がある。なかでもデザイン業は、デザイン力をコアコンピタンスにしている関連産業を含めて捉えなおすと、区内の約 45,000 箇所ある事業所の 1 割近くにのぼり、23 区のなかでも突出した存在となっている。^[1]

こうしたデザイン資源を新たな価値を創出する力として強化し、港区の産業振興や地域振興、街づくりなどに積極的に活用していくが求められているところである。

そこで、港区では、集積するデザイン関連業を新たな産業資源として捉え、この育成強化を図るとともに区の産業振興や地域振興に関する取り組みに積極的に活用していくことを目的に、平成 20 年度に「港区デザイン資源活用推進計画検討委員会」(座長:筆者)を設置し、「港区デザイン活用推進計画」を策定した。

その取り組みの要点は、

- ① 地域の産業(中小製造業や商店街など)の課題解決に区内のデザイン資源を活かす取り組み
- ② 港区のデザイン資源を港区の新たな産業クラスターの中核として育成する取り組み
- ③ 地域の住民が抱える課題を解決するために地元のデザイナー、クリエイターを参画させる取り組み
- ④ 港区のデザイン資源を活かし区内の子供たちにデザインの魅力を体感してもらう取り組み
- ⑤ 港区のグローバル資源(75 の駐日公館、多くの外国人

居住者など)を活かしたデザインの取り組みである。また、計画では、これらの要点は以下の3つのプログラムに集約されるとしている。

1. デザインをコアにした都市型創造産業の形成と情報発信力強化のためのプログラム
2. 豊富なデザイン資源、デザイン力を活用するプログラム
3. デザイン人材の育成とデザイン力啓発プログラム

こうした視点から、20 年度は初年度として、港区におけるデザイン資源活用事業のキックオフとなるシンポジウム、デザイン資源活用事例を学ぶセミナー、小学生のためのデザインワークショップなど、プレ事業を実施したところである。

また、21 年度においてもこの方針に沿い、デザイン産業クラスターの育成・強化のためのデザインコミュニティ形成支援策の展開や地域産業への地域デザイン力の導入として中小企業の見える化支援事業などを実施している。さらに、この事業推進のコアとなる組織として区内のデザイン関係者をメンバーとする「デザイン資源活用推進プロジェクト」を立ち上げたところである。

本報告では、この取り組みの一環として 21 年度に開発した「中小企業向け貸し出し用“展示キット”」のプロトタイプデザインについて、概要を述べることとする。

この“展示キット”は、区内の中小製造業を対象に貸し出しする展示会などで利用可能なディスプレイ什器セットで、展示会などの展示ノウハウがなくても、簡単に注目度の高い展示ブースを設営できるよう工夫したものである。

Received on September 25, 2010

*産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industry and Technology

**札幌市立大学, Sapporo City University

2 開発の背景と基本フレーム

2.1 展示会でのコミュニケーションデザイン

前述のデザイン資源活用事業では、区内の中小製造業の課題解決に区内のデザイン力を活かす取り組みとして「中小製造業見える化事業」が一つの柱となっている。この見える化事業は、中小製造業のコミュニケーション課題を解決することが狙いで、企業の有する技術力やノウハウ、人材など個々の企業の姿を関係者に的確に伝達するためのコミュニケーション手法をデザインすることがテーマとなっている。21年度は、このテーマのうち、区内の中小製造業などが展示会に出展する際のコミュニケーションデザインを取り上げ、その事例として展示会などの展示ノウハウがなくても、簡単に注目度の高い展示ブースを設営できる“展示キット”を開発した。これは、中小企業の場合、せっかく展示会に出展しても、展示ノウハウや展示費用が充分でないため、周囲との差別化や特徴を明確に伝えることができていないという現状を改善しようというところから出発している。

実際、昨年度開催された産業交流展 2009 での展示ブースの模様をみてみると実情は明らかである。写真 1 は、標準仕様のブースであり、写真 2 は、それを利用した典型的な展示ブースである。こうした実態から見えてくるのは、「標準の展示ブースをそのまま利用した展示は、個々の違いを見出すことが難しい」、「また、標準ブースを使った多くの展示は、ブースの中に入らないと詳しくわからない」、「標準のブースはだけでは殺風景で、このまま展示しても、魅力的には見えない」などの課題である。

一方、展示ブースの中には、注目度を高める改善に結びつくヒントも見つけることができる。写真 2, 3 は、そうした事例である。写真 2 は、あまりコストをかけずに壁面、展示台の色や素材、受付テーブル、照明などの工夫で注目度を高めている事例である。写真 3 は、オリジナルデザインで独自色を演出している事例である。展示コストはかかるものの、見栄えのする展示が期待できる。



写真 1: 展示ブースの標準仕様

展示ブースの標準仕様
(産業交流展のケース)
 ・3m × 3m
 ・壁面パネル
 ・カーペット
 ・受付台
 この他にオプションとして、
 机、椅子、照明器具などが
 提供される。



写真 2: 標準仕様を用いた展示ブースの典型例



写真 3: 標準構成だが色彩、素材などに工夫がみられる例



写真 4: オリジナルデザインのディスプレイを使用した例

次に、このような実情を踏まえて、出展者ができるだけ簡単に展示に工夫ができる展示什器開発のための基本フレームを述べることにする。

2.2 基本フレーム

展示会などに出展した際に、来場者の注目を集めるためには、ディスプレイデザインやコミュニケーションデザインなど

に関する展示ノウハウが求められる。そのため展示ブースの設計は、通常、ディスプレイデザインの専門家や専門業者に任せることになるのだが、出展経験の少ない企業にとっては、それすら難しいことかもしれない。また必要以上の展示コストはかけたくないというのが本音であろう。

そこで、中小製造業者が展示会に出展する際のコミュニケーションデザインに関するノウハウ不足の課題を解決するために、PR・訴求効果の高いディスプレイ用キットと展示ガイドを開発し、区内企業が簡単に利用できるようにしようというのが、今回の目的となる。

図1は、開発を進めるにあたり確認した、“展示キット”の基本フレームである。

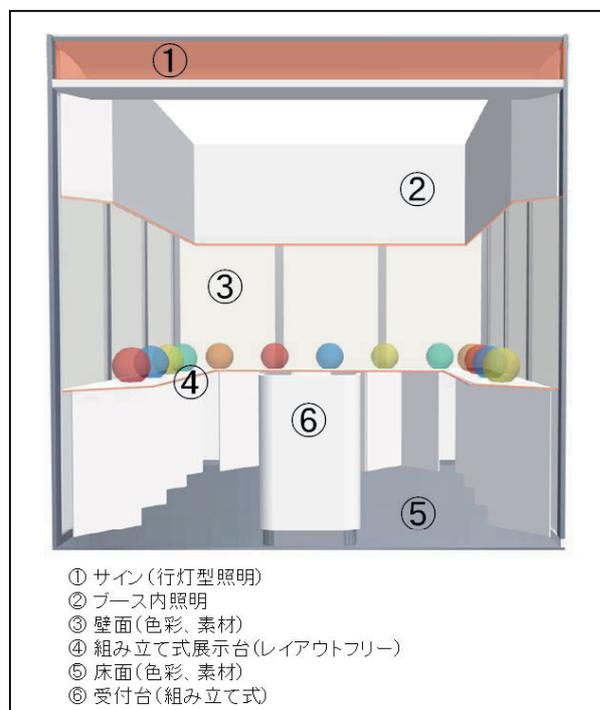


図1：“展示キット”の開発イメージ(CG制作:長谷川聡)

3 プロトタイプ

3.1 一次試作案

さて、基本フレームに沿って“展示キット”のプロトタイプを開発を進めることとなったが、開発にあたっては、「デザイン資源活用推進プロジェクト」のメンバーでもあり、“展示キット”を実際に使用することが想定される産業交流展の展示計画経験もある乃村工藝社の協力を仰ぐこととした。

具体化にあたり、前述の基本フレームのほかに示した設計要件は次のとおりである。

- ・来場者の注目を集める、PR・訴求効果の高いデザインであること
- ・ツールキットの単価を20万円程度とすること
- ・専門業者などに委託せずに設置撤収ができること
- ・運搬保管が容易であること
- ・再利用が可能であること

図2は、この要件に沿って制作された一次案である。

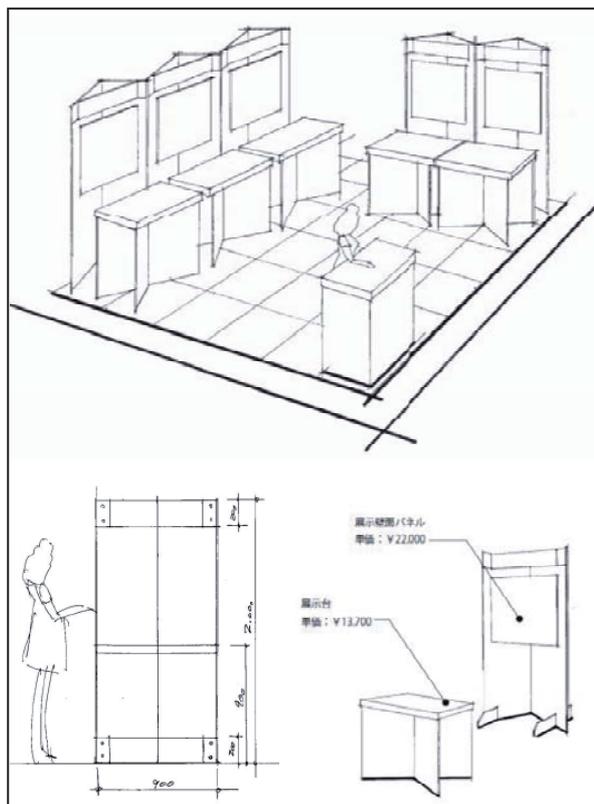


図2：“展示キット”一次案(制作:乃村工藝社)

この一次案は、基本構成が当初の基本フレームのイメージとは異なっているが、関係者間での設計要件を具体化する議論の中で、900mm幅のモジュールユニット構成を採用することによる。また、これらはコスト、重量、扱いやすさの視点から、段ボール素材を利用することとしている。

図3は、一次案に修正を加えた二次案である。この案では、正面のデザイン性と自立構造を変更している。

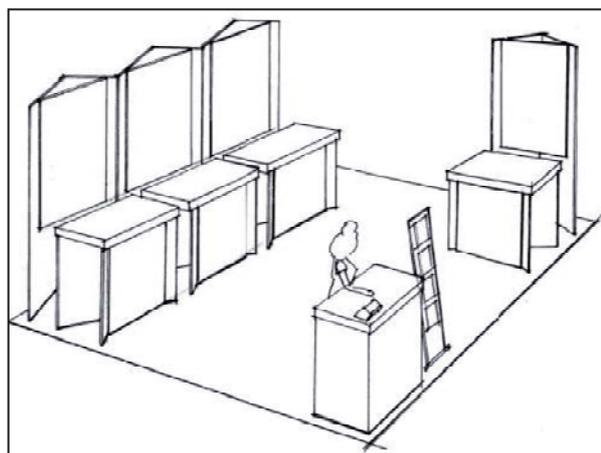


図3：“展示キット”二次案(制作:乃村工藝社)

この案に基づき、試作されたプロトタイプが写真5である。この段階では、最終仕様として白段ボール(一般の茶段ボールの表面を白色紙で加工したもの)を想定し

4 展示キットの詳細と構造と展示方法

4.1 展示パネルと展示台

展示パネルと展示台および梱包時のサイズは、写真10のとおりである。



写真10: 展示パネルと展示台および梱包時のサイズ

展示パネルの構成は、写真11のとおりである。



写真11: 展示パネルの構成

展示台の構成は、写真12のとおりである。



写真12: 展示台の構成

一方、展示パネルの組み立て方法は、以下の手順となり、写真13はその組み立て状況を示している。

〈展示パネルの組み立て手順〉

- ① 下部ユニットの短いスリット同志を合わせ、差し込む
- ② 長いスリットが上になるよう設置する
- ③ 上部ユニットにホワイトボードのユニットを差し込む
- ④ 反対側も差し込む
- ⑤ ホワイトボードのユニットを確実に落とし込む
- ⑥ 上部ユニットを下部ユニットに差し込む



写真13: 展示パネルの組み立て手順

さらに、展示台の組み立て手順は以下のとおりであり、組み立て状況は、写真14のとおりである。

〈展示台の組み立て手順〉

- ① 切欠きを上にして下部ユニットをクロスに差し込む
- ② 切欠きが上となる
- ③ 前面板を差し込む
- ④ 両側を差し込む
- ⑤ 前面板を確実に落とし込む
- ⑥ 天板を切欠きに合わせてのせる
- ⑦ 確実にはめ込む

4.2 受付カウンター

受付カウンターとその梱包時のサイズは、写真15のとおりである。なお、受付カウンターの構成および組み立て手順に

については, 展示台と同様であり, ここでは割愛する.



写真 14: 展示台の組み立て手順



写真 15: 受付カウンターとその梱包時のサイズ

4.3 展示方法

全ての組み立てが終わると, 展示ブースに合わせて展示パネル, 展示台, 受付カウンターをレイアウトすることになる. このプロトタイプでは, 写真 7, 8 のような展示方法を想定している. その際, この“展示キット”に付属しているスポットライトを取り付けることになるが, これはクリップ式になっており, 展

示パネルの上部に挟むことで簡単に固定できる. また, このライトは 100V 仕様となっており, 展示ブースに引き込まれた電源に直接接続することが可能である.

さらに, 展示パネルの前面はホワイトボード仕様になっており, 写真 16 のように, マグネットで簡単にパンフレットを張り付けることが可能である. また, ホワイトボードマーカーで書き込みができるため, こうした特徴を利用して来場者の注目を集める展示を独自に工夫できるよう設計されている.

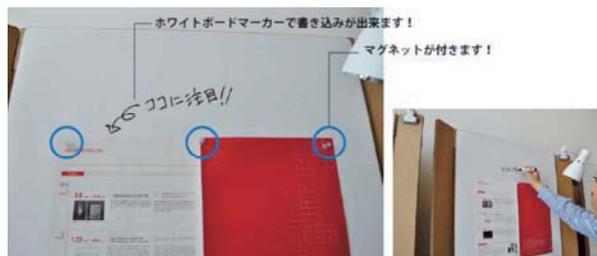


写真 16: 展示パネルのホワイトボード

5 おわりに

ここで開発した“展示キット”は, 22 年度に試行・検証・リファイニングを経て, 産業交流展 2010 にて本格使用することになる. 既に港区内企業 6 社の利用申し込みがあり, これら利用企業の展示指導, 効果測定などを実施し, 今後の事業にフィードバックする予定である.

さらに, 22 年度は, これと並行して展示会出展企業が, 出展後の営業フォローアップを可能とするプラットフォームを検討する予定である.

なお, 本開発は本学が港区より委託を受けた「港区産業デザイン活用支援事業」の一環として, 本学 OPI 事業として実施したものであるが, この“展示キット”のプロトタイプ製作にあたっては, 乃村工藝社の多大なるご支援をいただいております. ここに感謝する次第である.

最後に, 本開発の成果は, 港区よりプレスリリースされ, 2010 年 7 月 9 日付日本経済新聞地方経済面に掲載されたことを付記する.

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ジメントの取り組み”, 日本デザイン学会特集号, 17(1), 34-39, 2010.
- [2] “展示会用品港区無料貸し出し”, 日本経済新聞地方経済面 15, 2010.07.09

微小物体の搬送・保持と位置検出を一つの機構で実現する 操作デバイス

舘野 寿 丈*

Manipulation device to realize feeding and gripping micro-objects with position detection by single mechanism

Toshitake Tateno*

Abstract

In this paper, a new mechanism for manipulating micro-objects is proposed. The mechanism realizes feeding and gripping a micro solid object with detecting its position by single mechanism, which is valuable for fabricating micro manipulation device because the structure becomes simple and compact. A prototype device is developed by using piezo actuator and strain gauge. And, the functions of feeding and position detection are tested. Experimental results showed that a small electronic part can be conveyed by combinational vibration motion of piezo actuator, and the part position can be detected by analyzing outputs of arrayed strain gauges.

Keywords: micro manipulation, micro mechanism, piezo actuator, vibration drive, strain gauge

1 はじめに

電子部品など電気機械部品の小型化が急速に進み、その操作が課題となっている。操作には、部品の整列、搬送、保持、位置決めといった一連の操作があるが、従来の手法では、これらの操作を別々の機構によって実現していた。そのために、装置全体が大きくなるという問題があり、検査装置などの狭い空間内で利用することが難しかった。さらに、現在主流の真空による吸着手法では、扱える部品の大きさに限界があり、新たな手法が要求されている。そこで、圧電素子による振動駆動[1]の構造を基本とし、搬送・保持と位置検出を一つの機構によって実現する手法を提案する。

本研究では、微小物体を整列・搬送し、対象物体の位置を確認して保持するという4種の機能を一つの機構によって実現できる操作デバイスを考案し、そのうちの3機能、(a)搬送機能、(b)保持機能、(c)位置検出機能、について動作試験を実施した。

2 操作デバイスの提案と開発

図1に開発した操作デバイスの概念図を示す。操作デバイスの機構は、伸縮する積層型圧電素子と屈曲するバイモルフ型圧電素子の2種のアクチュエータを用いている。

整列・搬送時(図1(a))では、バイモルフ型圧電素子を周期的に屈曲させることで、微小電子部品を保持板に押し付ける力を変化させることにより、微小部品と振動台との間の摩擦力を変化させる。この動きに同期して水平軸の圧電素子

を伸縮させて振動台を左右に運動させる。それぞれの運動の振幅および位相を調整することで、微小部品を水平軸の左右の方向に運動制御することができる。

保持・位置検出時(図1(b))では、積層型圧電素子の運動を停止し、バイモルフ型の圧電素子に一定の電圧を印加することで、微小電子部品を保持板に押し付けて保持する。印加電圧を変化させることにより、保持力を変化させることもできる。保持力は保持板に取り付けたひずみゲージによって検出できる。ひずみゲージは搬送方向に配列されており、保持している部品位置に最も近い部分のひずみが大きくなる特性を利用して位置の検出ができる。

図2に開発した操作デバイスを示す。水平軸運動用に積層圧電アクチュエータ(NECトーキン製 AE0203D16F)、垂直軸運動用にバイモルフ型圧電アクチュエータ(日本セラテック製 PAB4010)を採用した。保持板には厚さ 0.1mm のアクリル板を用い、部品の移動経路に沿って 2mm ピッチでひずみゲージ(共和電業製 KFG-D9)が設置されている。

図3にシステムの構成図を示す。2ch の同期信号を発生できるファンクションジェネレータによって正弦波信号を発生させ、これらの信号を、アンプを通して電圧増幅し、圧電素子に印加する。印加電圧は最大 100V まで可能であり、チャンネル毎に制御できる。印加する正弦波は予備実験の結果を考慮して 1kHz とした。保持板に張り付けたひずみゲージはブリッジボックスを介してひずみアンプに接続されており、そこでの出力は PC に出力されて処理される。

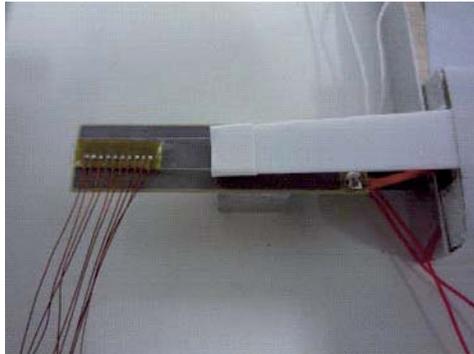
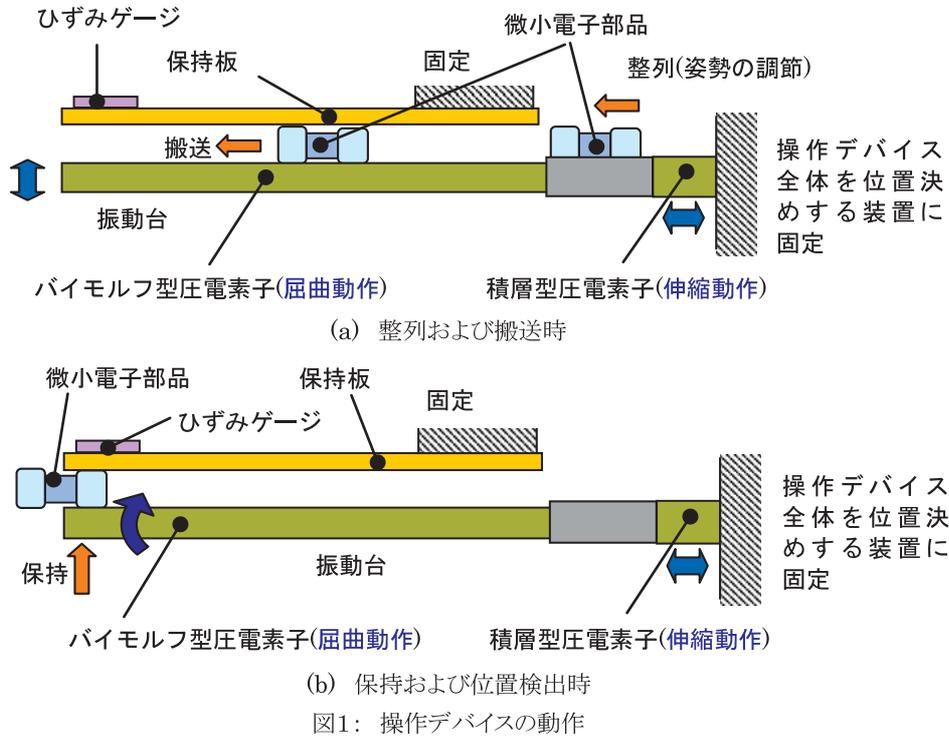
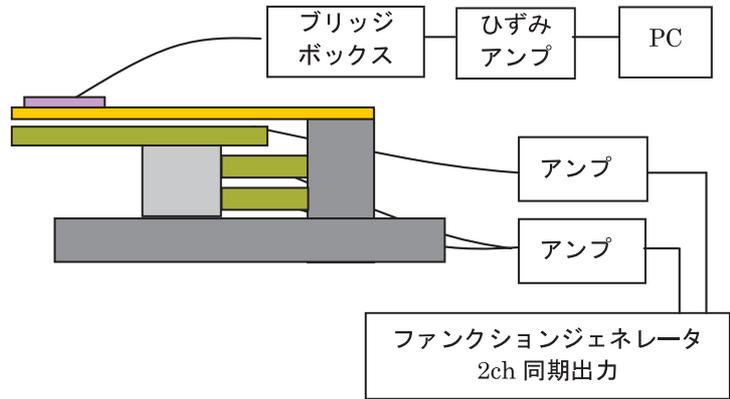


図2: 試作した操作デバイス

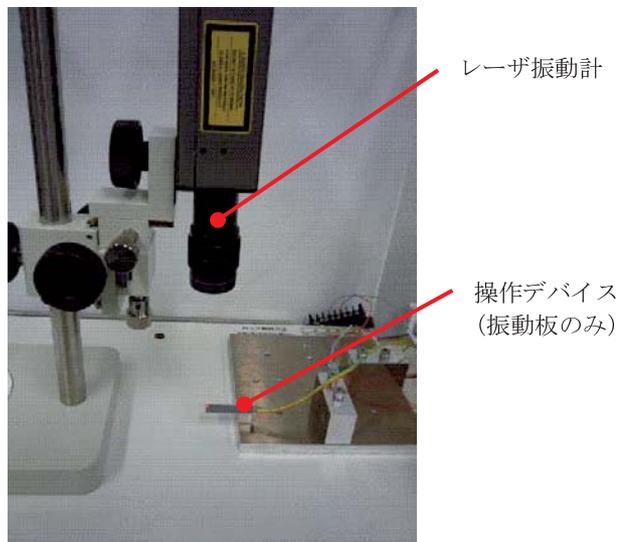


3 動作実験

3.1 搬送実験

3.1.1 予備実験

振動台となるバイモルフ型の圧電素子は板状の形状をしているため、板の固有振動数において大きなたわみを生ずることになる。そのため、搬送実験に先立って、まず垂直方向の振動数と振動振幅との関係を測定することとした。測定にはレーザー振動計を用いて、操作デバイスの先端部分の速度を周波数に対して測定した。実験の様子を図4に示す。バイモルフ型圧電素子のみ正弦波電圧を印加し、周波数を次第に変えて計測した。レーザー振動計からの速度出力を測定点での変位に変換し、振動数と振動振幅との関係としたものを図5に示す。



この結果から、340Hz 付近に一次振動モード、2.2kHz 付近に二次振動モードがあると考えられる。そして、効率的な振幅が得られる振動数として一次振動モードの周波数付近で搬送することが有効と考えられた。しかし、実際に 340Hz を使って搬送実験を行ったところ、搬送の方向が定まらず、振動板の根元から先端方向へ一定の速度で搬送することができなかった。この原因として考えられることは、振動板の振動振幅が場所によって異なるため、微小物体の垂直方向への跳ね上がりの運動が一定でなく、水平軸振動の振幅との位相関係が崩れることが考えられる。そこで、むしろ共振による振動を避けたほうが所望の振動に近い運動が得られると考え、1kHz により実験を行ったところ、期待する運動をする条件を見つけることができた。この条件を表 1 に示す。以降の搬送実験は、この条件で実施した。

また、この予備実験の結果から、振動板構造の改良も考えられる。今回開発したデバイスでは固有振動を利用していることにより、振動の腹と節との振幅の違いによる悪影響がみられたので、固有振動のような定在波ではなく、多くの超音波モーターで利用されている波のような振動、いわゆる進行波[2]と呼ばれる振動を作り出す構造にすることが有効である可能性がある。進行波を作り出すためには、振動板の構造を見直す必要があり、今後の研究の課題として考えている。

3.1.2 搬送実験

操作デバイスの搬送機能実験として、保持板を取り外した試作装置を用いて、振動板の上で微小部品を移動させ、搬送速度を測定した。測定方法としては、振動板上を移動する搬送部品の上方から顕微鏡カメラによって動画を撮影し、各画像フレームに対する部品の位置を解析することで速度を算出した。あらかじめ標準長さのスケールを撮影してキャリブレーションをした後、それぞれの画面上の画素位置の変化から、移動距離を測定した。動画のフレーム間隔が 10ms であることを利用し、速度を算出した。

搬送部品は、微小電子部品、1005,0603,0402 の 3 種で実験をおこなった。実験の様子を図 6 に示し、図 7 に電子部品 1005 の実験結果動画から取り出した画像フレームの例を示す。この図の第 1 フレームから第 10 フレームに至るまでに 9 のフレーム間隔が存在する。また、画像の位置から換算した移動距離は 6.12mm であったために、速度は 6.80mm/s と算出された。

表 2 にそれぞれの部品での速度測定結果を示す。電子部品の大きさによらず、およそ搬送速度が 6.7mm/s 程度となった。この結果は振動による搬送の原理に則しており、目的の機能を実現できていることが確認された。

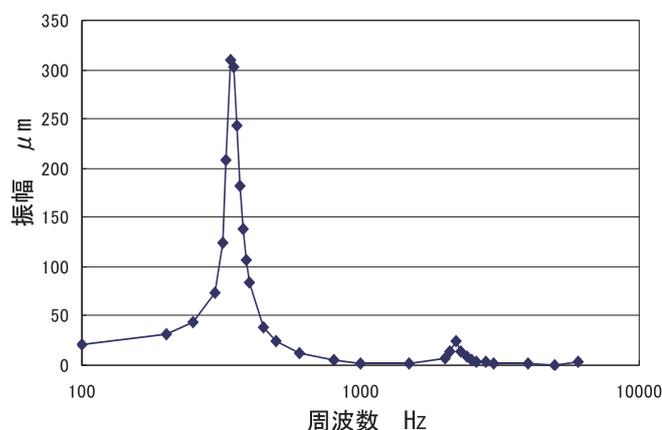


図 5： 振動系による周波数に対する振幅の測定

表 1： 搬送実験の実験条件

周波数	1 kHz	
入力波形	正弦波	
圧電素子印加電圧振幅	1.4 Vp-p (バイモルフ型圧電素子)	46.4 Vp-p (積層型圧電素子)
出力片振幅 (換算値)	0.2 μm (バイモルフ型圧電素子)	2.7 μm (積層型圧電素子)

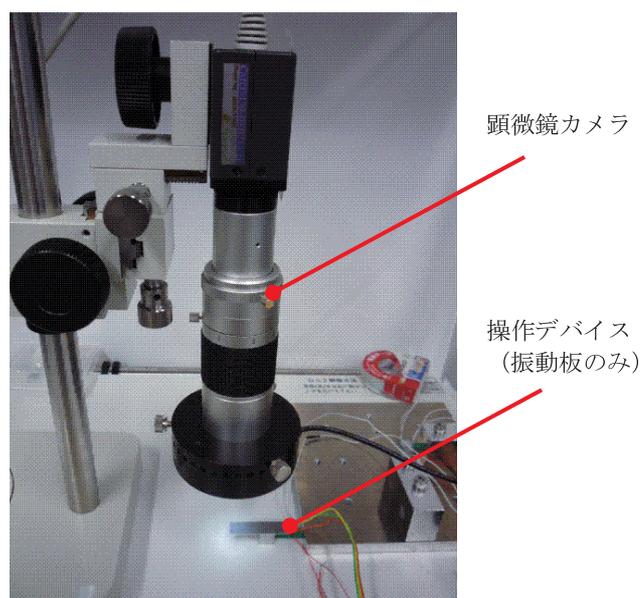


図 6： 搬送実験の実験装置配置

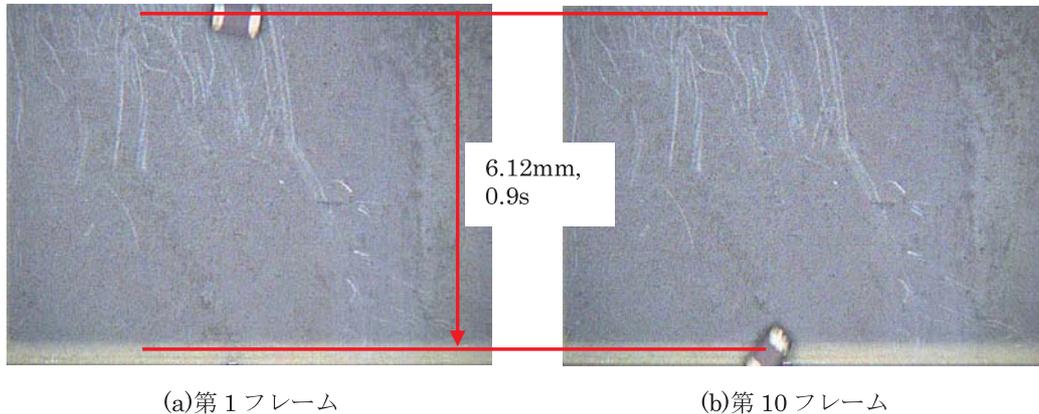


図7： 動画像より抽出した静止画像の例

表2： 搬送速度の測定結果

試験部品	大きさ μm	移動距離 mm	移動時間 s	搬送速度 mm/s
1005	1000×500×500	126	0.9	6.80
0603	600×300×300	122	1.1	6.58
0402	400×200×200	125	1.1	6.74

3.2 保持機能

保持は、振動板としても用いられるバイモルフ型圧電素子と保持板との間で搬送部品を挟むことで行われる。保持板と振動板との間には僅かな隙間があるが、バイモルフ型圧電素子に定電圧を印加して屈曲させることで、搬送部品を保持板に押し付けて保持する。バイモルフ型の圧電素子は、2枚の圧電素子の膨張の程度を異なるようにすることで屈曲の状態を発生する。振動板を保持板に近づけて把持する方向に屈曲するには、保持板と反対側の圧電素子を膨張させる方法と、保持板側の圧電素子を収縮させる方法がある。実験ではそれぞれの方法で、定電圧と振動板先端のたわみとの関係を実験的に測定し、保持機能として働くことを確認する。

実験装置にはレーザ変位計を用い、印加電圧に対するたわみによる変位を測定した。図8に実験の様子を示す。

図9に、測定結果を示す。入力電圧は圧電素子への印加電圧を示すが、正領域での結果は保持板と反対側の圧電素子に電圧を印加した場合を示し、負領域での結果は保持板側に負の電圧を印加した場合を示す。いずれの方法でも50~150 μm の範囲でほぼ線形の変位を確保することができている。この範囲での動きによって把持力を調整することができる。

また、この範囲での部品の大きさの違いを補償して把持することができる。このことから、現試作機において

は、例えば1005と0402の違いのように、部品の大きさが100 μm を越えて異なる場合、続けて把持はできず、それぞれにクリアランスの調整が必要といえる。

以上の結果から、振動板を屈曲させて微小部品を保持する機構は、保持対象部品の種類に応じて振動板と保持板とのクリアランス調整が必要であるものの、一つの機構で保持力を調節する機能を有することが確認された。

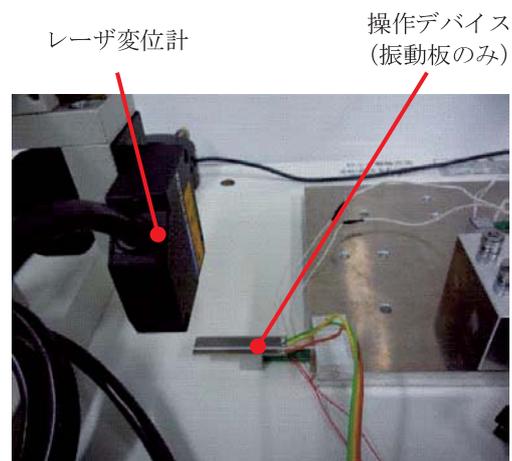


図8： 保持実験の実験装置配置

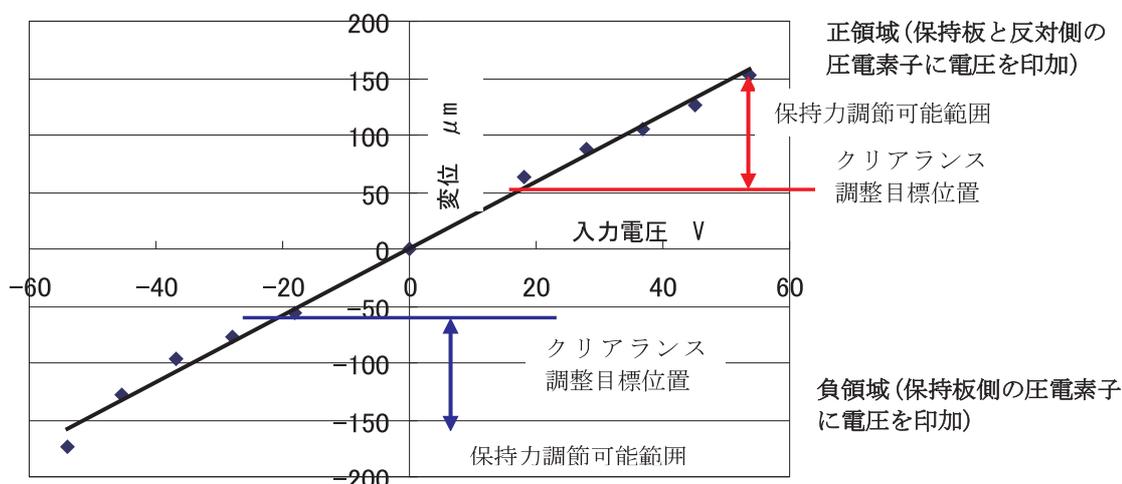


図 9： 先端部変位の測定

3.3 位置検出機能

位置検出は、保持板にとりつけたひずみゲージによって保持板のひずみを解析することにより検出する。本研究では、微小なひずみゲージが並んで配置されているゲージ (図 10) を用いて、保持板と振動板との間に挟まれた部品を検出する新たな手法を開発した。ひずみゲージは図 11 に示すブリッジボックス、ひずみアンプに接続されており、最終的に PC に取り込まれる。

部品が保持板と振動板との間に挟まった状態にあると、保持板を上を持ち上げる力を生ずる。このとき、部品と保持板との接触点を支持点とする曲げ応力を発生させる。この曲げ応力は支持点に近いほど大きいので、ゲージのひずみは直下に部品があるときに最も大きくなる。この原理により、部品がどの位置にあるかを検出できることになる。

実験方法は、まず、部品の無い状態で各ゲージのバランスを取る。次に、電子部品(1005)を保持板のゲージに挟み、場所をそれぞれのゲージの下に手で移動させる。データが安定したら 10 秒間以上のデータを記録して平均したひずみを算出する。このとき、すべてのゲージのひずみを測定しておき、保持板全体のひずみも同時に測定する。これは、部品の位置や姿勢によって保持板全体のひずみが増加してしまうため、そのひずみとの相対的な違いを明らかにするためである。図 12 に試作した位置検出装置でのひずみゲージ番号と実験での部品位置を示す。

図 13 に実験結果を示す。それぞれのグラフは各ひずみゲージの値を示しており、それぞれの部品位置に対して測定されたひずみの値を示している。ゲージ番号と部品設置位置は図 12 と同じである。

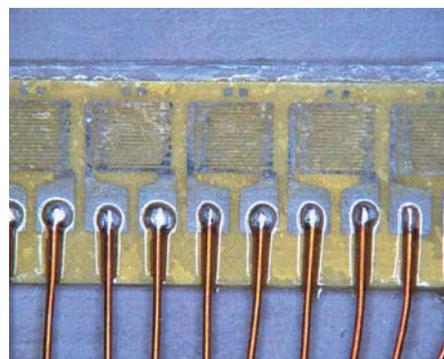


図 10： ゲージ部の拡大図

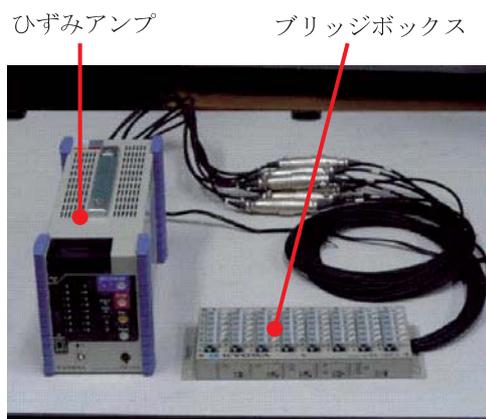


図 11： ゲージ部の拡大図

すべてのひずみゲージにおいて、部品がゲージの直下に位置する時に、最も大きなひずみを測定している (図中の赤線)。このように、試作した装置の位置検出機能が確認できる。ただし、位置分解能はゲージの幅に依存することになるので、精度の高い位置検出には、さらに微小なゲージが必要となる。

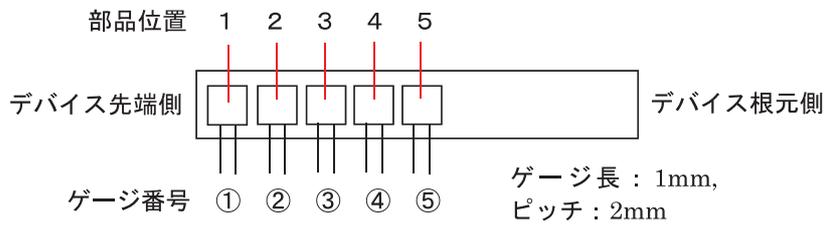
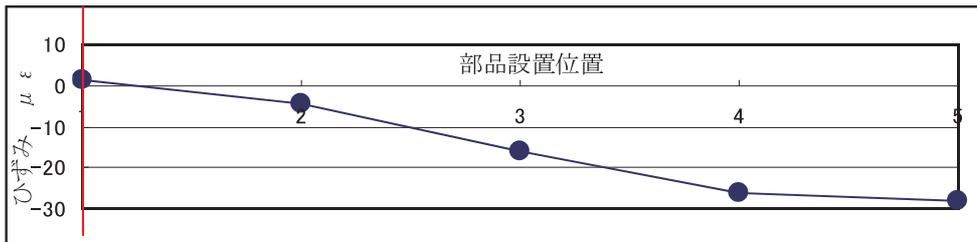
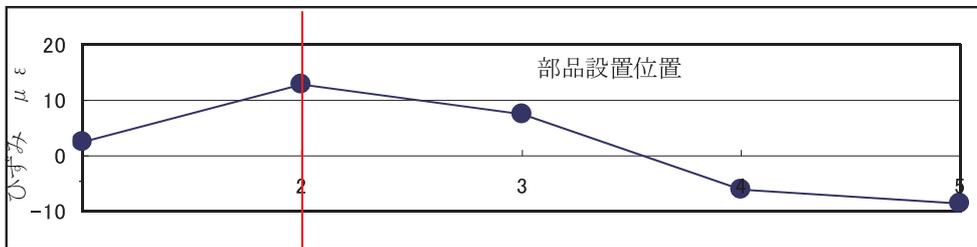


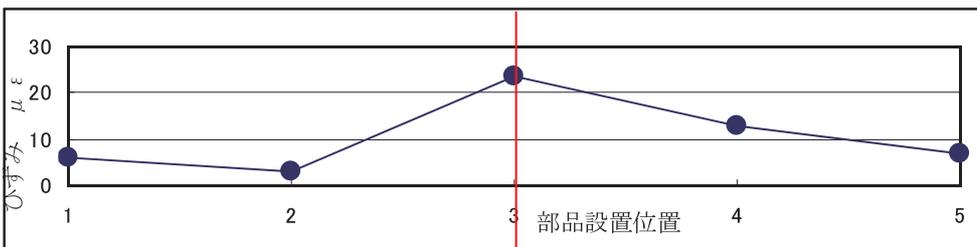
図 12 : ゲージ位置とゲージ番号



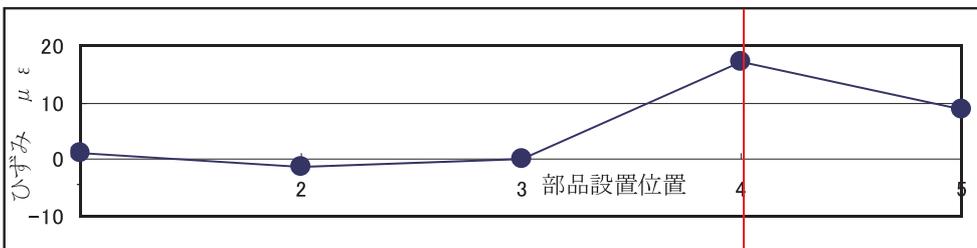
(a) ゲージ番号①



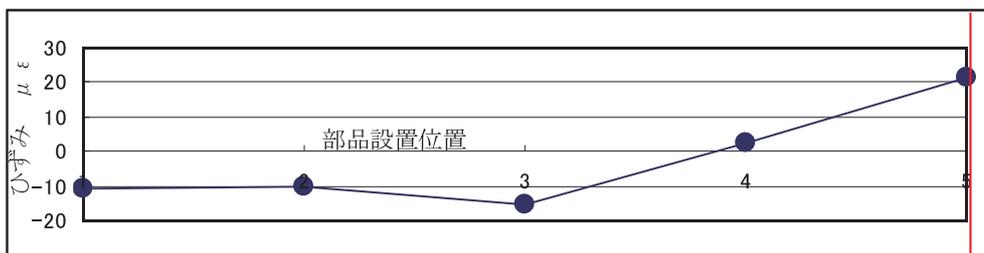
(b) ゲージ番号②



(c) ゲージ番号③



(d) ゲージ番号④



(e) ゲージ番号⑤

図 13 : 部品設置位置に対するひずみ測定値

4 おわりに

本稿では微小部品の搬送・保持と保持位置検出を一つの機構で実現する方法を提案し、電子部品を操作対象としたプロトタイプを試作した。試作に基づいた実験により、提案システムの 3 機能の実現を確認することができた。一方で、振動板の振動方法など、制御上の問題点を明らかにすることもできた。今後は、提案した機構を異なる構造で作成し、それらを比較しながら実用上有益な構造や振動の方法などを整理していく予定である。

参考文献

- [1] T. Tateno and N. Moronuki, “Versatile Motion Control of Micro-parts by using Multi-axes Vibration Drive and the Frictional Directionality of a Textured Surface”, Proc. of the 6th euspen Int Conf, pp.188-191, 2006.
- [2] 谷腰欣司, 超音波とその使い方: 超音波センサ・超音波モータ, 日刊工業新聞社, 1994.

エアクッションを用いた快適座席のデザイン

稲垣 健志*・小泉 敦*・藤井 香織*・福田 哲夫*

Design for Comfortable Seat by Air cushion

Kenji Inagaki*, Atsushi Koizumi*, Kaori Fujii* and Tetsuo Fukuda*

Abstract

This study is the progress report about the reclining seat for Eco-design. This seat designed for a long-distance buses, and this air cushion seat has three characteristics.

The first is comfort. This seat has an adjustment function for the most suitable body pressure dispersion by the structure using the air cushion and guarantees comfort.

The second is stability. The movement between plural air cells is slow-moving and it does not bound too much in comparison with a cushion of other material and can be stable with sitting posture.

The third is light weighting. This seat is lightweight design by air cell, therefore the cushion materials of this seat are clear at the weight of the half in comparison with urethane-based low repulsion materials.

This suggestion pursued resources productivity and suggested it about concept structure and the form that were necessary for an Eco-design.

Keywords: Air cushion, Light weighting, Comfortable seat, Eco-design

1 はじめに

本研究の取り組みは、2009年度受託研究であるファインテック株式会社社殿所有の特許申請技術であるエアクッションの用途開発について、長距離バス用座席としての可能性を探るためプロトタイプ製作を依頼されたもので、本稿はその研究経過報告である。

2 背景

時代が要求する設計概念のひとつにはエコデザインが上げられる。エコデザインは、環境に配慮したエコロジカルな側面と同時に、エコノミカルな経済的側面との融合が求められる。本研究の中核技術であるエアクッションは、空気そのものが核であり、長距離バス用座席だけではなく移動体用座席一般の課題である軽量化を実現する技術のひとつとしても優れている。

ファインテック製エアクッションの特徴は、

- ①快適性／体圧分散範囲は固体のクッション材に比べて全体に広く、効果が高い。
- ②安定性／空気のセル間移動は節度ある緩やかさで、他の材料に比較しても弾むような違和感がなく、安定している。
- ③軽量化／低反発ウレタン系素材に比べて約半分の重量で、環境性能にも優れる。

このうち軽量化への取り組みは、単に燃費効率向上に繋がるだけでなく、エコデザインの本質である資源生産性の向上に有効である。すなわち、使用材料は可能な限り抑制し物質集約度を高めると同時に、クッションの機能的な側面と快適な座り心地という感性的側面の双方を融合させることによるシナジー効果で、製品性能全般の向上につながるこの意義は大きい。

3 開発プロセスと作業内容

3.1 作業範囲の確認

本研究の作業範囲は、プロトタイプ製作を前提とした評価確認作業であることから、以下の通りとした。

- ①座席フレーム／車両用座席に実績のある天龍工業殿より提供を受けた既存バス用座席のフレームを用い、その改造範囲とする。
- ②エアクッションの艤装と範囲／1.フットレスト部, 2.座面部, 3.背もたれ部(ランバーサポートを含む), 4.ヘッドレスト部に実装することからはじめる。
- ③新座席の設計・評価は産業技術大学院大学が担当。
- ④エアクッションの試作／ファインテック株式会社社殿に依頼。
- ⑤プロトタイプの試作／株式会社キルト工芸殿に依頼。

3.2 コンセプトの立案

プロジェクトメンバーによるブレインストーミングの結果から、座席開発の主題を“安心のしつらい”とし、以下のキーワードを抽出することにより、デザインの三要素である形態、色彩、素材の検討を進めるための指針とした。

キーワード:

- ①ヒト:やさしさ/
・有機的形態による柔らかな触感と自然な色彩と配色。
- ②バ:くつろぎ/
・拘束感のない自由さと、包み込まれる安心感との両立。
- ③モノ:ゆとり/
・エアクションの特徴である軽量化を含むエコデザイン。

3.3 イメージスケッチの制作

コンセプトに基づき、イメージスケッチを描くことにより、完成イメージの共有化を図った。掲載スケッチ(写真2,3)は初期段階のもので、キーワードから導かれた有機的形態と、自然な色彩と包み込まれる安心感をイメージさせるものとした。

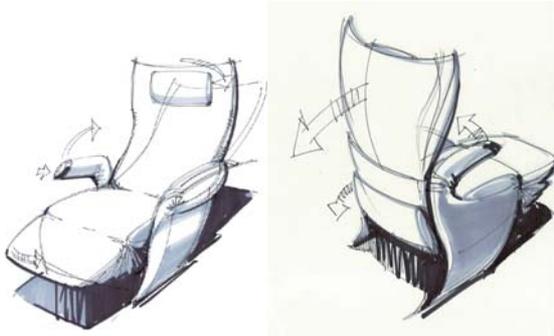


図1:快適座席のイメージスケッチ①,②

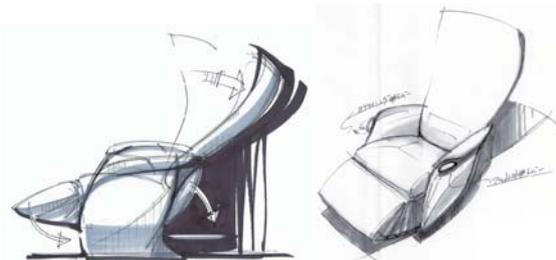


図2:快適座席のイメージスケッチ③,④



図3:既存座席と改造後イメージスケッチ

3.4 分解作業と形状トレース

使用する改造用座席は、その構造体の理解と必要寸法測定のために、一連の分解作業を行った。その際に採寸した寸法はエアクション一次試作の形状検討をするための設計基準として用いた。再利用を前提とした座席フレームは、既存構造を流用するために重量増は避けられない。

当面のプロトタイプ製作に伴う軽量化への取り組みについては、設計対象の範囲外とした。

3.5 原寸大図面での検討

デザインコンセプトの具現化には、(1)エアクションの座面形状(セル)を検討、(2)肘掛けと背もたれの形状最適化の検討、(3)快適性と審美性の両立などを並行作業した。

その検討結果から、(1)エアクションの形状(セル)は、座面から肩部高さまでの細長い一体型とした。また腰部(ランバーサポート部)は、個人の体格や姿勢によって最適形状が大きく異なるため、空気量を個別に調節できるよう弁とブローアを設けた。(2)の肘掛けや背もたれの形状検討の方向性については、深夜バスとしての使用を考慮し、プライバシーの観点から既存の一般座席よりも背もたれ部の座高を高くし、ホールド感のある座席寸法とした。

既存座席形状のトレース作業から新規座席プロトタイプへ移行する一連の検討作業については、原寸大テープ図面を基にして、途中の簡易モデルによる実測と体感評価を挟みながら、寸法確認と修正作業を経て一次試作を行った。

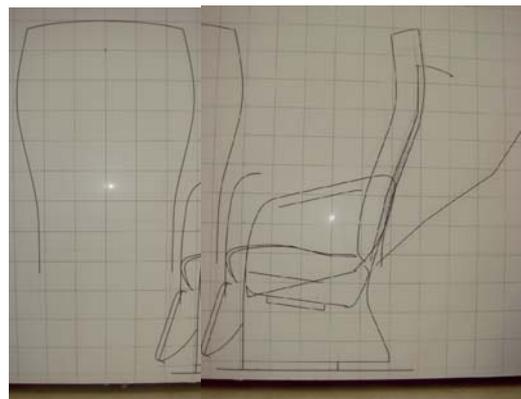


図4-1、4-2:背面、側面検討用原寸大テープ図面

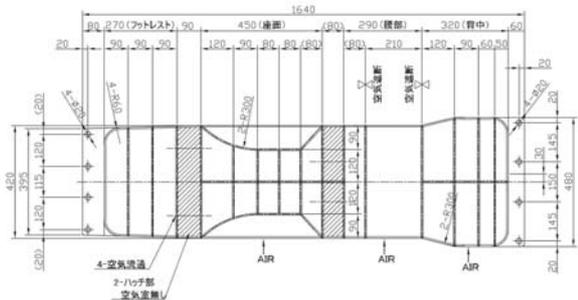


図5:エアクション一体型図面(一次試作)

①回答数: 33名

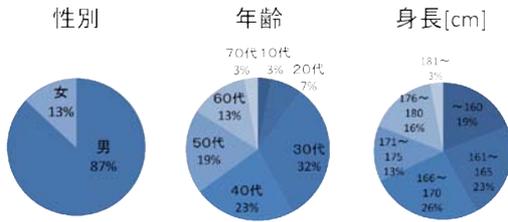


図 13: 回答者の構成(性別、年齢、身長)

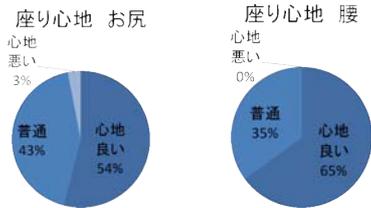


図 14: アンケート回答内容について

②その他の意見

- a.ソファとして使いたい
- b.早く高速バスに使って欲しい
- c.空気の移動が心地良い
- d.思ったほど空気の移動が感じられない
- e.腰の部分がもう少し出ていたほうが良い
- f.高級感がある
- g.肌触りが良い

4.2 アンケート結果からの考察

評価については、インタビュー形式ということもあり半数以上が心地良いと回答し、おおむね好評であった。しかし臀部から腰部、すなわち座面に対する評価は半々に割れたことから、座面に改善の余地ありと判断できる。尚、この座席は産業交流展(注記: [1])の他に、先端材料展(注記: [2])においても展示発表した。

4.3 これまでの問題点と対応策

エアアクション二次試作図面では、空気挿入時における変形量がまだ大きすぎること、底付きを避ける等の理由から、エアアクション三次試作図面にて臀部セルの前後方向寸法の一部を180mmの長さに変更した。

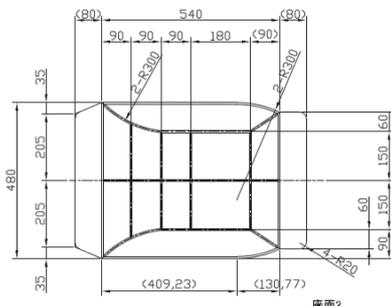


図 15: エアアクション図面(座面三次試作)

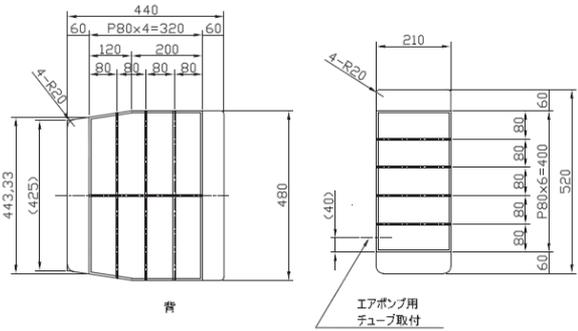


図 16,17: エアアクション図面(背面部・腰部三次試作)

4.4 体圧分布測定(三次試作品)

客観的評価を得るため、各形状エアアクション三次試作品の完成を待ち、体圧分布測定を行った。

測定方法については、

- ①座面がプラスチック製の椅子にエアアクション三次試作品を敷き、ニッタ(株)社製圧力分散計測システムを用いて測定を行った。
 - ②測定は、被験者が重心を前後左右に移動した際に、体圧が速やかに分散されるかどうか、感性評価とともに体圧分布を観測する方法で行った。
- 以下に測定データの一部を挙げる。

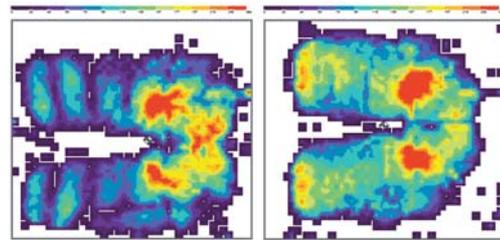


図 18: 座面測定データ(既存座面・試作座面)
(いずれも上体を起こして座った状態)

4.5 測定結果

- ①ウレタン系素材使用の既存座面と比較して、試作座面の方が臀部および大腿部を全体で体圧分散させているものの、空気圧の調整が上手くできずに圧力が高めとなっていることが確認できる。(上図では、体圧が高い部分を赤色表示し、低い部分を青色表示して示している。)
- ②資料添付は無いが、試作座面において被験者が重心を左右に移動した場合、体圧分布が速やかに均等になることは確認できなかった。
- ③上記②の結果は、今回試作した全てのエアアクションにおいても同様であった。
- ④この結果は、アンケートの被験者が「劇的に体圧分散されている気がしない。」という感覚的コメントと一致する。

5 座面部プロトタイプ

5.1 座面部プロトタイプの試作

測定結果は、重心移動した際の体圧分布の応答性が悪いことが確認されたため、空気の通り道について検討した。

検討結果から、気室(セル)間での空気移動が速やかに起こらない点にあると仮説を立て、仮説検証のために以下3パターンエアクッション四次試作品を制作した。

パターン1: 前後方向全ての気室間に空気の導管を設ける。

パターン2: 左右方向全ての気室間に空気の導管を設ける。

パターン3: 前後左右方向の気室間に空気の導管を設ける。

四次試作のエアクッションを内包したシート座面部分について、パターン1~3まで、それぞれの案について座面の試作をした。

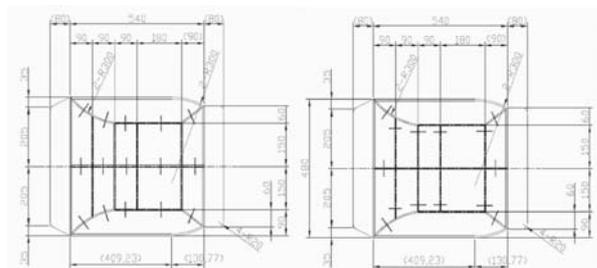


図 19: パターン 2(左),パターン 3(右) (四次試作図面)

5.2 体圧分布測定(四次試作品による)

パターン1~3のエアクッション四次試作品により体圧分布を測定した。測定方法は前回の三次試作品と同様である。

以下に四次試作品と着座時の測定データの一部を挙げる。

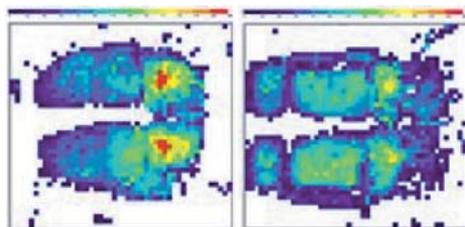


図 20: エアクッションパターン1形状
(上体を起こして座った状態)

①ウレタン素材使用の既存シートと比較して、エアクッションパターン1座面のほうが臀部および大腿部を全体で体圧を分散させていることが確認できる(上図では、体圧が高い部分を赤色表示し、低い部分を青色表示して示している)。

②資料添付は無いが、エアクッションパターン1において被験者が重心を左右に移動した場合、体圧分布が速やかに均等になることが確認できた。

③上記②の結果は、今回試作したパターン1~3の全てのエアクッションにおいても同様であったが、パターン3の前後左右方向全てに空気の通り道を設けた場合は、空気の通りが速すぎて安定感がなく、心地良い体圧分布の感覚

は得ることができなかった。



図 21: パターン 2(左),パターン 3(右)(四次試作品)

5.3 エアクッションの評価

エアクッションの方向性は、四次試作品により、適度な応答で心地良く体圧分散が可能であることが確認できた。

前後方向の重心移動に対しては、最終的に試作したパターン1が適当であると結論付けられ、また左右方向の重心移動に対しては、パターン1と同時期に試作したパターン2が適当であると結論付ける。

ただし全方位前後左右方向の重心移動に対しては、満足いく結果は得られていない。しかし検証後の空気を抜く片付け作業における際に容易に空気が抜けるか抜けないかで判断できるという意味である。重心移動に追従して穏やかに体圧分散できる「いいエアクッション」は、空気の流れが滞る箇所がないので節度は残りながらも、抜気作業がとてもやり易いのである。基本的なセルの分割形状の最適化については今回の試作期間内には試験することが出来なかった。

今後の課題としては、パターン3を基本にした空気の流れ方を穏やかにする方法として、以下の三点が挙げられる。

- ① 空気を通す繊維素材についての検討
- ② 空気を通す繊維の太さについての検討
- ③ 空気を通す通り道の数についての検討

6 アドバンスモデルによる可能性の提案

展示会での反響では「長距離バス用として実際に使って欲しい」との声が複数回答あった。また一方「家で使いたい」等という意見も多かったことから、エアクッションは長距離バス用の座席以外の利用シーンにも十分対応できるものであることが確認できた。

本座席プロトタイプの特徴は「長時間着座をしても体が痛くならない」あるいは「体重移動に追従して心地良く体圧分散を可能にしてくれる」ことから、

- ① 空港ラウンジなどのソファ
- ② 映画館の座席
- ③ 美容院の椅子

等、長時間にわたる着座姿勢が求められる他の用途展開にも十分応用可能なことを確認できた。



図 22:「リラクゼーション・チェア」への応用
(エコデザイン展用プロトタイプとイメージポスター)

これまでのことから, 別件 2004 年度エコデザイン展(注記:[4])の研究成果を基に, 軽量化座席としての可能性を探るべくプロトタイプ(アドバンス・モデル)を試作し, 2009 年度エコデザイン展(注記:[3])へ出品展示した. エコデザインへの取り組みは軽量化に着目して, リサイクル可能なペット樹脂による筐体と, エアクッションへの使用可能性について確認することができた.

7 まとめ

長距離バス用の快適座席としてのプロトタイプ提案からはじまった研究は, また同時に解決しなければならない課題を浮き彫りにした.

①実際に動態等へ搭載しての使用感を試験していない.

従って実際の揺れや振動に対するエアクッションの底付き感やホールド感についての評価は出来ていない.

②この底付き対策としては, エアクッションの異なるセル形状による三層化構造や, 左右の気室セル間への導管追加などの新しいアイデアを導き出すことができた. 期間内での試作には至っていない.

以上の課題は従来の素材であるウレタンや綿など異なる素材との組み合わせであれば即対応可能と考えるが, 本プロジェクトの目的は「エアクッション」のみでの課題克服である. 従って前提としては, 穴開や切裂きなどのいたずらや破壊行為などを想定した強い素材開発がまず必須条件と考えられる.

今後の研究継続のための課題としては, 以下であることを確認した.

- ① 座り心地の最適化と品質感
- ② 公共の場での耐久性ある高度素材の開発
- ③ エコデザインとしての素材の吟味と軽量化

以上

謝辞:

本プロジェクトには, ファインテック株式会社殿(エアクッションの試作), 天龍工業株式会社殿(バス用座席の提供),

川島織物セルコン株式会社殿(張り生地 of 提供), 株式会社キルト工芸殿(新座席の製作)のご協力を頂き進行することができた. またアンケートにご協力いただいた展示会入場者各位, 形状検討に合わせた部品の手配, 体圧分布の測定, 座り心地の確認などにおいて本学創造技術専攻の学生有志諸君をはじめ, 多くの方々にご協力を頂いた. 厚く御礼申し上げます.

以上

注記:

[1]「12 回産業交流展 2009」(2009/11/4-6)/主催:産業交流展 2009 実行委員会, 東京都他/於:東京ビッグサイト

[2]「先端材料展 2009」(2009/11/18-20)/主催:社団法人化学工学会, 社団法人日本能率協会/於:東京ビッグサイト

[3]「プロと卵のエコデザイン展 2009」(2009/12/3-8)/主催:社団法人 日本インダストリアルデザイナー協会 東日本ブロック環境委員会/於:新宿 OZONE プラザ

[4]「プロと卵が発想するエコデザイン展 2004」(2004/6/10-22)/主催:社団法人 日本インダストリアルデザイナー協会 東日本ブロック環境委員会/於:新宿 OZONE プラザ

編集担当

広報委員長	國澤好衛	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	管野善則	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	小山裕司	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
	戸沢義夫	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
	長尾雄行	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
	村尾俊幸	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 助教

2010年度 産業技術大学院大学紀要

2010年12月 発行

編集・発行 産業技術大学院大学

東京都品川区東大井 1-10-40

電話 03(3472)7834

URL <http://aiit.ac.jp/>
