

産業技術大学院大学 紀 要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第 5 号

2012 年 2 月

産業技術大学院大学

目 次

論 文

EntityStore:永続的なオブジェクト管理のためのフレームワーク……………	秋 口 忠 三	1
RSNP(Robot Service Network Protocol)を活用した PBL 教材の開発……………	加 藤 由 花 成 田 雅 彦 土 屋 陽 介	15
Sequence-based Access Control in Outsourced DNA Databases ……………	清 水 將 吾	21
SuperSQL を用いた適用型 Web ビューの最適化……………	慎 祥 揆	27
サービス設計手法 PLAN による新サービスシステムの提案 ……………	川 田 誠 一 松 本 優 祐 金 子 正 則 田 村 百合子	31
A CASE STUDY OF USER INVOLVEMENT IN EVALUATION OF DELIVERABLES IN THE STAGES OF DESIGN DEVELOPMENT. ……	小 山 登 山 下 幹 生 吉 田 敏	41
ものづくり系技術者の暗黙知抽出に関する考察と方法……………	橋 本 洋 志 吉 田 育 代 寺 本 吉 慶 田 端 秀 輝 韓 超	47
発展戦略理論による新興国封じ込め :「智」の競争としての国際政治分析……………	前 田 充 浩	53
不確定性から見る発生機能に関する考察……………	吉 田 敏 小 山 登	63
総 説		
グローバル学修コミュニティ創出へ向けて - APEN の試み - ……………	石 島 辰太郎	69
外部アカウント認証を使った本人確認付き利用者認証の試み……………	小 山 裕 司 中 鉢 欣 秀	75
受注プロジェクトのプロジェクトマネジメント……………	酒 森 潔	81
アイデンティティエコシステム ……………	瀬 戸 洋 一	97

PBL を支援するコラボレーティブツールに関する考察	中 鉢 欣 秀 小 山 裕 司	103
東京都の協力を得て実施した PBL から得られた知見	戸 沢 義 夫	109
Overview by Extended Hückel Method on Ferromagnetic Shape - Memory Alloys	管 野 善 則	117
製品のモジュール・リユースを促進する情報システムの提案と プロトタイプ構築	舘 野 寿 丈 近 藤 伸 亮	125
研究速報		
ユーザ参加型景観サービスのプライバシー保護策	嶋 田 茂	133
講義ビデオ提示システム設計者のための数学的枠組み	長 尾 雄 行 森 口 聡 子 土 屋 陽 介	141
AIIT における撮影スタジオを用いたデザイン教育の実践報告	網 代 剛	147
品質工学の MT システムを用いた筆圧情報による本人識別	越 水 重 臣 中 谷 純 鈴 木 真 人	153
イノベーション・システムの概念モデルに関する予備的考察	陳 俊 甫	159
サムネイル・スケッチによる有機的形態の発想と展開	福 田 哲 夫	165
モバイルロボットにおける Eye-to-Hand システムの 動的視覚オブザーバに関する一考察	村 尾 俊 幸 河 合 宏 之	177
速聴トレーニングによる速読速度向上の試みについて	村 越 英 樹 清 山 信 正 今 井 篤 都 木 徹 石 島 辰太郎	183

CONTENTS

Regular Papers

EntityStore: A Framework for Persistent Object Management ·····	Chuzo Akiguchi	1
A PBL Material using RSNP (Robot Service Network Protocol) ·····	Yuka Kato Masahiko Narita Yosuke Tsuchiya	15
Sequence-based Access Control in Outsourced DNA Databases ·····	Shogo Shimizu	21
Optimization of Adaptive Web View Using SuperSQL ·····	Sang-Gyu Shin	27
A Proposal of the new service systems by service design methodology PLAN ·····	Seiichi Kawata Yusuke Matsumoto Masanori Kaneko Yuriko Tamura	31
A CASE STUDY OF USER INVOLVEMENT IN EVALUATION OF DELIVERABLES IN THE STAGES OF DESIGN DEVELOPMENT. ···	Noboru Koyama Mikio Yamashita Satoshi Yoshida	41
Consideration and Method to Extract Tacit Knowledge of Expert Engineers ·····	Hiroshi Hashimoto Ikuyo Yoshida Yoshinori Teramoto Hideki Tabata Chao Han	47
Developmental Strategy Theories as Methods of Emerging Powers Containments : An Epistemic Competition Model of International Politics Analysis ·····	Mitsuhiro Maeda	53
Study of Created Function from the Viewpoint of Uncertainty ·····	Satoshi Yoshida Noboru Koyama	63
Review Papers		
Toward the Establishment of Global Learning Community - Challenge of APEN ·····	Shintaro Ishijima	69
A Hybrid User Authentication Protocol using of Open Authentications ·	Hiroshi Koyama Yoshihide Chubachi	75
Project management for the contract project ·····	Kiyoshi Sakamori	81

Identity Ecosystem·····	Yoichi Seto	97
Consideration of Collaborative Tools for PBL·····	Yoshihide Chubachi Hiroshi Koyama	103
Findings from PBL projects with Tokyo Metropolitan Government ····	Yoshio Tozawa	109
Overview by Extended Hückel Method on Ferromagnetic Shape - Memory Alloys·····	Yoshinori Kanno	117
Proposition and prototype of Information Systems for Promoting Product Module Reuse·····	Toshitake Tateno Shinsuke Kondoh	125
Short Notes		
Privacy Preserving Policy on User Participated Scenic Services·····	Shigeru Shimada	133
A Mathematical Framework for the Designers of Presentation System of Video Recorded Lectures·····	Takeyuki Nagao Satoko Moriguchi Yosuke Tsuchiya	141
A Report of design education using photograph studio at AIIT ·····	Tsuyoshi Aziro	147
Personal Identification using MT System of Quality Engineering by Pen Force·····	Shigeomi Koshimizu Jun Nakatani Masato Suzuki	153
Preliminary Study on a Conceptual Model for Systems of Innovation ··	Junfu Chen	159
Idea generation for Organic form used Thumbnail sketch ·····	Tetsuo Fukuda	165
A Study on Visual Motion Observer for Eye-to-hand Systems with mobile robot ·····	Toshiyuki Murao Hiroyuki Kawai	177
Attempt of speed-reading speed improvement by training of speed-listening ·····	Hideki Murakoshi Nobumasa Seiyama Atsushi Imai Tohru Takagi Shintaro Ishijima	183

EntityStore: 永続的なオブジェクト管理のためのフレームワーク

秋 口 忠 三*

EntityStore: A Framework for Persistent Object Management

Chuzo Akiguchi*

Abstract

EntityStore, which consists of a schema translator and a runtime library, is a framework for managing persistent objects to enable organization of interrelated complex objects and easy construction of application programs with the programming language Java. The persistency mechanism of EntityStore treats entities as persistent objects along with association links according to the schema represented by UML class diagram including entity classes and associations between them. Entities in the entity stores are stored in the text files as TSV format and interconverted between the memory and the storage. The schema translator converts the schema definition to the corresponding Java classes. In this paper, we declare targets and design policy of EntityStore, followed by description of the architecture and development process. The usefulness of EntityStore is evaluated after presenting three application examples.

Keywords: object persistency, object-oriented database, impedance mismatch, schema description language, software engineering database

1 はじめに

EntityStore は永続的なオブジェクトを扱うアプリケーションの開発を支援する簡易な基盤ソフトウェアであり、教育用 Java プログラミング環境 Ash の一コンポーネントとして開発したものである。Ash は Java によるソフトウェア開発の教育を行うためのプログラミング環境であり、図 1 に示す構成をとる。Ash では、オブジェクト指向技術に基づくソフトウェア開発の様々な技法を実践するための言語や、ツール、再利用方法論を含むソフトウェア開発プロセスの支援環境を実現することを目指しており、これまでにパイプ&フィルタに基づくコマンド拡張機構を含む基盤アーキテクチャの開発 [1] やソフトウェアプロセス支援環境の開発 [2], GUI ライブラリの開発 [3] 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 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 の全体計画の中の永続的なデータ管理に焦点をあて、永続的なオブジェクト管理のためのフレームワークである EntityStore について述べる。

プログラムの実行期間を越えて存在し続ける永続性をもつオブジェクトを本稿ではエンティティ(entity)と呼ぶ。エンティティ格納庫(entity store)は、永続的なオブジェクトであるエンティティの格納庫である。EntityStore は、相互に関連のある複雑なオブジェクト構造を編成し、オブジェクト指向言語 Java でアプリケーションを容易に構築することを可能にするエンティティオブジェクトの管理機構であり、スキーマトランスレータと実行時ライブラリから構成されている。EntityStore のエンティティ管理機構は、UML のクラス図 [4] で表現された関連をもつクラスに従って生成されたオブジェクト群に永続性を持たせるために、メモリ上に作成されたエンティティオブジェクトをテキスト形式でファイルに保存し、このテキスト形式ファイルからエンティティオブジェクトを再現するための永続化のメカニズムを提供する。ス

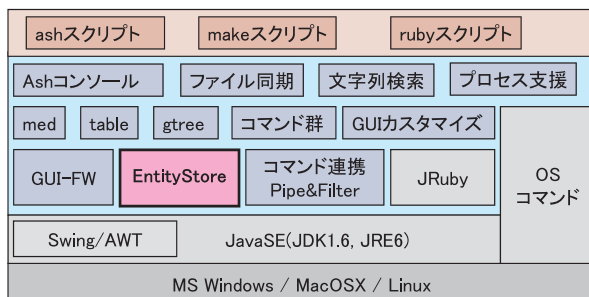


図 1: Ash のアーキテクチャと EntityStore

スキーマトランスレータは、**Java** 言語を拡張したスキーマ記述言語で記述したクラス記述からエンティティの生成と関連情報を操作する **Java** プログラムを生成する。

ソフトウェア開発プロセスの支援環境を実現する上で、ソフトウェア開発に係る種々のデータを体系的に収集し統合的に管理することが必要である。ソフトウェア開発に係る種々のデータの統合的な管理のためのデータベースを、ここでは **SEDB**(Software Engineering Database) と呼ぶ。SEDB は、ソフトウェア開発の各工程で作成する成果物に関する情報とそれらの成果物を作成する過程で収集される各種プロセス情報（作業時間、品質データ、規模データなど）を作業者と関連付けて管理できなければならない。このような管理を行うためには、**UML** のクラス図で表現される関連をスキーマで直接定義でき、その定義に従って、オブジェクト指向言語の記述力を歪めることなく、オブジェクトの生成と関連の生成を行えることが望ましい。

リレーショナルデータベースはこのような複雑な構造を持つ情報の管理には不向きであることが知られている [5]。特に複合データの扱いの困難さやインピーダンス不整合 (**impedance mismatch**) の問題はエンジニアリング系のアプリケーション開発のコストを大幅に高める。オブジェクト指向データベースは **SEDB** を実現する有力な候補である [6, 7]。商用化された **OODBMS** も利用できる [8]。しかしながら **SEDB** の実現基盤として安定的に利用できる環境は整っていない。

このような状況に鑑み、**SEDB** を実現するための基盤を提供することが、ソフトウェアプロセス支援環境の構築のために欠かせないと考えた。EntityStore 開発の動機はここにある。この動機を出発点とし、複雑な構造をもつ永続的な情報を扱うアプリケーションを効率よく開発するための基盤システムとして EntityStore の開発を行った。

本稿では、次節で EntityStore 開発の目的と設計方針を示す。続いて EntityStore のアーキテクチャと適用例を説明する。次に、時間性能とメモリ使用量、およびアプリケーション開発への適用効果の観点から EntityStore の実用性の評価を行う。最後に今後の課題について述べる。

2 開発の目的と設計方針

本節では、EntityStore 開発の目的・目標と設計の基本方針について述べる。

2.1 オブジェクト指向分析・設計・実装の支援

オブジェクト指向開発のロバストネス分析手法 [9] では、問題世界のオブジェクトをエンティティ、バウンダリ、コントロールの3種類のクラスに分類する。現実世界の永続的な情報はエンティティクラスで、エンティティクラスを利用したビジネスロジックはコントロールクラスで、ユーザインタフェースはバウンダリクラスでモデル化される。

リレーショナルデータベースを利用したアプリケーション

開発では、**O/R** マッピングによってエンティティオブジェクトとリレーションのタプルを対応付けているが、リレーショナルデータベースでは扱いにくいエンジニアリングデータ (**CAD** や **CAM**, **CASE** などのデータ) では、アプリケーションコードの **30%** がインピーダンス不整合の解消のために使われているという [5]。

クラス図で表現したエンティティと関連の構造をスキーマとして定義し、それから **Java** 言語のクラス記述を生成し、これらのクラスを利用してエンティティと関連の操作が行えるようにできれば、オブジェクト指向分析から、設計、実装へと自然な開発の流れを形成でき、データベースとプログラミング言語の間のインピーダンス不整合の問題も解消できる。

このような開発を支援するエンティティ格納の基盤システムを実現するために、エンティティと関連を記述できるスキーマ記述言語とエンティティの永続化のメカニズムを提供する基盤クラスを提供することとした。スキーマ記述言語は関連の記述ができるように **Java** 言語を拡張したものである。スキーマ記述言語で記述したスキーマはスキーマトランスレータによって **Java** 言語のクラス記述に変換される。これらのクラス群はそれぞれ基盤クラスを拡張し、エンティティの生成と登録、削除、関連の操作などを行うメソッドを含むものである。コントロールクラスやバウンダリクラスでは、これらのメソッドを利用してアプリケーション機能を組み込むことができる。

2.2 永続性の実現方式

エンティティはプログラムの実行期間を越えて存在し続ける永続性をもつオブジェクトである。オブジェクトに永続性をもたせるためには、メモリ上のオブジェクトを二次記憶装置に格納し、格納したデータからメモリ上にオブジェクトを再現できなければならない。データベース管理システム (**DBMS**) やファイルシステムがこれを司る。

EntityStore の永続性の実現方式は、**DBMS** と同様の関連の操作を、ファイルシステムと同程度の手軽さで利用できるものを目指した。実装をできるだけ単純にするために以下の設計方針をとった。

- エンティティの保存形式はテキストファイルとする。
- 全エンティティは関連情報も含めて一括してファイルに保存し、一括してファイルから再現する。
- エンティティの複数プロセスからの同時共有はサポートしない。

永続性の実現方式の詳細に関しては第 3.3 節で述べる。

2.3 スキーマ記述言語の設計

クラス間の関連に関してはオブジェクト指向プログラミング言語では十分な支援機能がない。関連を適切に設計し、関連を操作するための利用しやすい手段を提供することはアプリケーション開発の効率化に貢献できるだろう。

EntityStore では、永続的なデータの記述のための表記と、キーの指定、アクセッサの指定、UML クラス図の関連の記述機能を追加したスキーマ記述言語を設計した。スキーマ記述言語で定義したスキーマ定義はスキーマトランスレータによって Java のクラス記述に変換される。スキーマ記述言語の設計では、分かりやすい指定で、スキーマトランスレータがアプリケーション開発を容易にするためのメソッドを生成できることを念頭に置いた。スキーマ記述言語の詳細に関しては第 3.1 節で述べる。

2.4 継承関係

継承関係はオブジェクト指向の重要概念である。EntityStore でもエンティティクラス間の継承関係を扱うことができる。すなわち定義済みのエンティティクラスを Java 言語のクラス記述の `extends` で拡張できる。拡張したエンティティクラスは親クラスの属性とメソッドを継承する。すなわち親クラスで定義された属性や関連も永続化される。

スキーマ定義からスキーマトランスレータを使って生成されるクラスでは、親クラスのある属性にキーの指定がある場合、検索用のメソッド `find(key)` が生成される。`find(key)` は該当クラスのスタティックメソッドである。親クラスの `find(key)` を実行した場合、拡張クラスのエンティティも検索対象に入れるべきであろうか。EntityStore では検索対象に入れない仕様とした。継承する全エンティティクラスの全エンティティを対象としたい場合は、そのようなメソッドを容易に定義できるからである。

2.5 オブジェクト指向プログラミングに適した検索手段の提供

UML のクラス図は検索キーの概念をもたない。しかし永続的なデータを扱う場合には、格納されたエンティティに対して属性の外部表現をキーとして使用できる検索手段がほしい。EntityStore のスキーマ記述言語では、特定の属性に対して一意キーの指定ができるようにした。

その他に、特定のエンティティクラスに属するすべてのエンティティに対する全件サーチ、エンティティクラスに対して定義した `query` メソッドを利用した特定エンティティ群の選別、エンティティの文字列表現に対する正規表現によるパターンマッチ検索、関連を辿る検索などの検索手段を提供する。これらの検索手段を利用して、クラス図上でオブジェクト間の関連を辿って必要なオブジェクトを見つけ、そのオブジェクトのビジネスロジックを利用するといったオブジェクト指向的なプログラミングを支援することができる。検索手段の詳細に関しては第 3.5 節で述べる。

2.6 複雑な関連を持つエンティティの管理

検索手段以外にも、エンティティの新規作成と登録、削除、関連リンクの設定と変更、解除等の更新操作に対して、スキーマ定義に基づいて適切な更新メソッドがスキーマトランスレー

タによって生成される。これらのメソッドを使用してエンティティと関連の更新を行うことができる。関連の実装方式と操作の詳細に関しては第 3.4 節で述べる。

3 EntityStore のアーキテクチャ

EntityStore は、UML のクラス図でモデル化できる関連をもつクラス構造に永続性をもたせるために、スキーマ記述言語とエンティティの永続化のメカニズムを提供する基盤クラスを提供する。本節では、まずスキーマ記述言語とスキーマトランスレータについて説明する。続いて EntityStore の基盤クラスと永続化の実装方法、関連の実装方法、検索手段、更新手段について述べる。

3.1 スキーマ記述言語とスキーマトランスレータ

スキーマ記述言語は、UML のクラス図の関連を記述ができるように Java 言語を拡張した言語である。図 2 は、プロジェクトとプロジェクトの構成員の構造を表す UML のクラス図である^{*1}。Project と Party は Entity を拡張し、Parson は Party を拡張しており、これら 3 つのクラスはいずれも永続性をもつエンティティとして定義されている。Project と Party の間には、プロジェクト構成員とプロジェクトリーダーを表す 2 種類の関連が定義されている。

図 3 は、図 2 のクラス図をスキーマ記述言語で記述したスキーマ定義である。スキーマ定義では、`@キーワード` の形式で関連情報や永続性に関する情報を記述している。これをスキーマ記述タグと呼ぶ。表 1 は、スキーマ記述タグの一覧である。

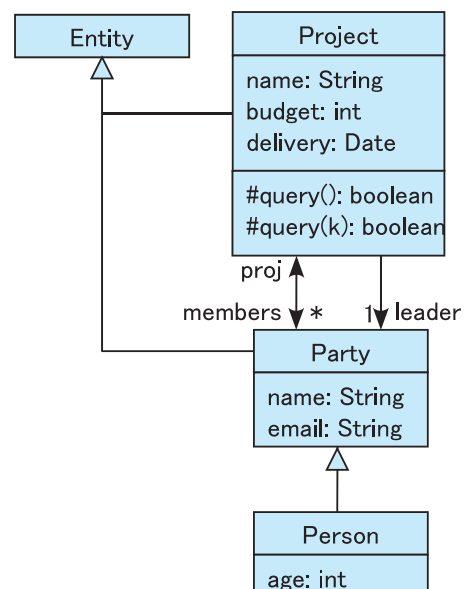


図 2: プロジェクト構造を表すクラス図

*1 このクラス図はスキーマ記述言語の記述例を示すためのものであり、Project の適切なモデルを意図したものではない。


```

1: package project;
2:
3: public class Project extends Entity {
4:     @startid 500;
5:     @ref1* Party members : proj;
6:     @key @accessor String name;
7:     @ref Party leader;
8:     @accessor int budget;
9:     @getter Date delivery;
10:
11:     //@ Application Code
12:     @Override protected boolean query() {
13:         return (budget >= 10000000);
14:     }
15:     @Override protected boolean query(String key) {
16:         return (Person.store.find(key) == leader);
17:     }
18: }
19:
20: public class Party extends Entity {
21:     @extendable
22:     @startid 1000;
23:     @ref1 Project proj : members;
24:     @key @accessor String name;
25:     @accessor String email;
26: }
27:
28: public class Person extends Party {
29:     @startid 2000;
30:     public int age;
31: }

```

図 3: プロジェクト構造のスキーマ定義 (project.es)

表 1: スキーマ記述タグ一覧

タグ	説明
@startid	エンティティ識別子の開始番号
@key	キー属性の指定
@accessor	getter と setter の生成
@getter	getter の生成
@setter	setter の生成
@extendable	エンティティとして拡張可能性の宣言
@ref	多重度が 1 の弱い関連
@ref*	多重度が 多 の弱い関連
@ref1	多重度が 1 の強い関連
@ref1*	多重度が 多 の強い関連
//@	アプリケーション固有コードの開始

スキーマトランスレータは、スキーマ記述タグの指定に従って、永続性に対応したコンストラクタと文字列形式への変換メソッド、エンティティの生成と削除に関するメソッド、キーによる検索を行うメソッド、関連の設定や関連を用いた検索を行うためのメソッドを自動生成する。図 4 にスキーマトランスレータの使用例を示す。この図に示すようにスキーマ記述言語で記述したスキーマ定義からエンティティの生成と関連情報を操作する Java プログラムが生成される。生成された 3 つの Java クラスの API を、それぞれ図 5、図 6、図 7 に示す。

本スキーマ記述言語の特徴を以下に示す。

1. Java 言語の拡張

Java 言語のクラス記述をベースに、関連情報や永続性に関する情報を記述する機能を追加した。追加する記述は、Java 言語のアノテーション表記にならない @

キーワードの形式とした。永続的なオブジェクトであるエンティティのクラスは、Entity クラスを拡張して定義する。このクラス定義の中で、アプリケーション固有のメソッドを Java 言語仕様に従って記述することができる。ここで記述したメソッドは対応する Java クラスの中にそのまま取り込まれる。

2. クラスの特定の属性に対するキーの指定

キーは一意識別子となり、同じエンティティクラスで同一の属性値をもつエンティティの登録は許可されない。またキーによる高速な検索を行うためにインデックスが付けられる。

3. 関連の多重度の記述

関連の多重度として多対多の多重度は扱わない。多対多の多重度は、1 対多の多重度の組み合わせで表現できること、および直接的な実装が複雑になり明確な意味をもつ操作の定義が困難であることがその理由である。

4. 誘導可能性の指定

アプリケーションの実装段階ではオブジェクト参照の性能を大きく左右するため誘導可能性は重要な設計判断となる。関連を扱う場合を検討した結果、利便性と実装の容易さの観点から、双方向の誘導可能性を持つ関連と片方の誘導可能性を持つ関連の 2 種類をサポートすることにした。

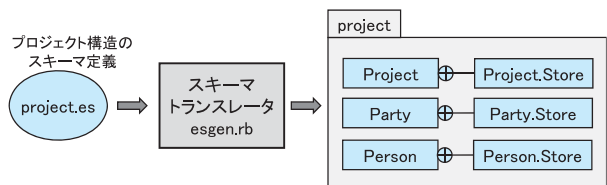


図 4: スキーマトランスレータによる Java コードの生成

```

1: public class Project extends Entity {
2:     static public class Store extends Entity.Store<Project> {
3:         private Store(String eName, int id);
4:         protected int itemTotal();
5:         protected Project newEntity(String[] items) throws Exception;
6:     }
7:     public IStore getStore();
8:     public String toStore();
9:     static public Project create(String name, int budget, Date delivery);
10:    protected Project(String name, int budget, Date delivery);
11:    protected Project(String[] items) throws Exception;
12:    static public Project create(Party leader);
13:    protected Project(Party leader);
14:    public Object getIndexKey();
15:    protected void _setIndexKey(Object key);
16:    public String getName();
17:    public void setName(String name);
18:    public int getBudget();
19:    public void setBudget(int budget);
20:    public Date getDelivery();
21:    public void link();
22:    public List<Party> getMembersList();
23:    public Party getLeader();
24:    public void setLeader(Party e);
25:    public void resetLeader();
26:    public Party findMembers(String name);
27:    public void remove();
28:    public void removeAll();
29:    static public void removeLeader(Party leader);
30:    public void assertLink();
31:    protected boolean query();
32:    protected boolean query(String key);
33: }

```

図 5: Project クラスの API

```

1: public class Party extends Entity {
2:     static public class Store<T> extends Entity.Store<T> {
3:         protected Store(String eName, int id);
4:         protected int itemTotal();
5:         protected T newEntity(String[] items) throws Exception;
6:     }
7:     public IStore getStore();
8:     public String toStore();
9:     static public Party create(String name, String email);
10:    protected Party(String name, String email);
11:    protected Party(String[] items) throws Exception;
12:    public Object getIndexKey();
13:    protected void _setIndexKey(Object key);
14:    public String getName();
15:    public void setName(String name);
16:    public String getEmail();
17:    public void setEmail(String email);
18:    public void link();
19:    public Project getProj();
20:    public void setProj(Project e);
21:    public void resetProj();
22:    public void remove();
23:    public void assertLink();
24: }

```

図 6: Party クラスの API

```

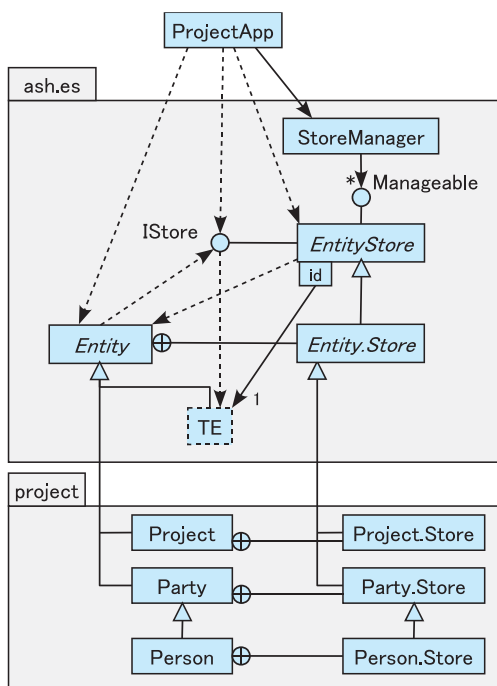
1: public class Person extends Party {
2:     static public class Store extends Party.Store<Person> {
3:         private Store(String eName, int id);
4:         protected int itemTotal();
5:         protected Person newEntity(String[] items) throws Exception;
6:     }
7:     public IStore getStore();
8:     public String toStore();
9:     static public Person create(String name, String email, int age);
10:    protected Person(String name, String email, int age);
11:    protected Person(String[] items) throws Exception;
12: }

```

図 7: Person クラスの API

3.2 EntityStore の基盤クラス

基盤クラスのクラス図を図 8 に示す。基盤クラスは `ash.es` パッケージに含まれるクラスとインタフェースから構成される。図 8 の `project` パッケージは、図 3 のスキーマ定義から生成されたクラスであり、基盤クラスの `Entity` と `Entity.Store` を継承している。



TEはEntityStoreとIStoreの型パラメータであり、Entityの拡張クラスとして定義される。

図 8: EntityStore の基盤クラス

基盤クラスを形成するクラスとインタフェースについて、機能と役割を以下に示す。

3.2.1 Entity クラス

`Entity` は、エンティティを生成し操作するためのベースクラスである。`Entity` クラスの API を図 9 に示す。エンティティは、対応するエンティティ格納庫 (`EntityStore` のサブクラス) に保存される。各エンティティクラスに対応するエンティティ格納庫は、`EntityStore` クラスの拡張クラスであり、そのエンティティクラスの内部クラスとして定義され、ただ一つのインスタンスをもつ。これが対応するエンティティのすべてのインスタンスを保持する。永続性をもたせたいオブジェクトは `Entity` の拡張クラスとして定義する。`Entity` の拡張クラスでは `Entity` の内部クラス `Store` も拡張しなければならない。

```

1: abstract public class Entity {
2:     abstract static protected class Store<T extends Entity>
3:         extends EntityStore<T> {
4:         protected Store(String eName, int id);
5:     }
6:     public int getId();
7:     public Object getIndexKey();
8:     public boolean setIndexKey(Object key);
9:     protected boolean query();
10:    protected boolean query(String condition);
11:    protected boolean grep(Pattern pat);
12:    public void link();
13:    public void assertLink();
14:    public void remove();
15:    abstract public IStore getStore();
16:    protected Entity();
17:    protected Entity(String[] items) throws Exception;
18:    public String toStore();
19:    public String toString();
20:    static protected int id(Entity e);
21:    static protected int parseInt(String s);
22:    static protected boolean parseBoolean(String s);
23:    static protected char parseChar(String s);
24:    static protected byte parseByte(String s);
25:    static protected short parseShort(String s);
26:    static protected long parseLong(String s);
27:    static protected float parseFloat(String s);
28:    static protected double parseDouble(String s);
29:    static protected Date parseDate(String s);
30:    static protected String formatDate(Date date);
31: }

```

図 9: Entity クラスの API

すべてのエンティティはエンティティ識別子と呼ぶ一意な識別子をもつ。エンティティ格納庫が各エンティティのエンティティ識別子に、全オブジェクトで一意性が保証された整数を割り当てる。メモリ上では、関連情報はオブジェクトリファレンスで表現されるが、外部ファイルに保存する場合は、エンティティ識別子によって関連情報が表現される。エンティティ格納庫がエンティティ識別子とオブジェクトリファレンスの対応表を管理している。

`Entity` クラスには、Java の基本データ型と日時を表す `Date` 型の 9 種類のデータ型に対するパーズメソッドが用意されている。これらのメソッドは各型のデータの文字列表現を内部形式に変換するもので、スキーマトランスレータが生成するエンティティクラスのコンストラクタの中で使用される。上記 9 種類のデータ型と文字列以外のデータ型を使用し

たい場合は、そのデータ型を扱うクラスを定義し、スキーマトランスレータに登録すればよい。

3.2.2 EntityStore クラス

EntityStore クラスは **Entity** クラスと連携して各エンティティに対する永続性の実現と関連の操作機能を提供する。永続性を実現するために、オブジェクトインスタンスをテキスト形式でファイルに保存し、このファイルからオブジェクトインスタンスを再現するメカニズムを実装している。エンティティ格納庫に格納されるオブジェクトはエンティティであり、**Entity** クラスがこれらのベースクラスとなる。**EntityStore** はエンティティの生成・登録と削除の際にエンティティ識別子の設定・参照を行う。

EntityStore のスキーマ定義では、エンティティの属性に対して一意キーの指定ができる。**EntityStore** クラスは、一意キーが指定された属性に対して **Map** を作成し、同じキー値をもつエンティティの格納を防止し、キー値による検索を高速に行うためのメソッドとして **find(String key)** を提供している。

EntityStore は、エンティティの管理とエンティティ格納庫自身の管理のために 2 つのインタフェース **IStore** と **Manageable** を実装している。

3.2.3 IStore インタフェース

IStore インタフェースを図 10 に示す。**IStore** は、エンティティを対応するエンティティ格納庫で管理するために必要なメソッド群が定義されている。**EntityStore** へのエンティティの登録、削除、キーによる検索、検索条件に適合するエンティティの選別ためのメソッドと、永続性を実現するための仕組みとして、エンティティ格納庫の内容をエンティティファイルへ保存する **save** メソッド、エンティティファイルからエンティティ格納庫を再現する **load** メソッドがある。

```

1: public interface IStore<T> extends Entity<T> extends Iterable<T> {
2:     int count();
3:     int nextId();
4:     T add(T e);
5:     void remove(T e);
6:     T getEntity(int id);
7:     boolean contains(T e);
8:     boolean updateIndex(T e, Object key);
9:     T find(String key);
10:    List<T> findAll();
11:    List<T> findAll(String condition);
12:    List<T> grep(String pattern);
13:    List<T> search(String key);
14:    void print(int max);
15:    boolean load();
16:    boolean save();
17:    boolean saveAs(String fileName);
18:    void renumberId();
19: }

```

図 10: IStore インタフェース

3.2.4 Manageable インタフェース

Manageable インタフェースを図 11 に示す。**Manageable** は、関連付けられたエンティティクラス群を管理するために **StoreMaker** から利用される。

```

1: public interface Manageable {
2:     String getEntityName();
3:     void addSubStore(Manageable store);
4:     void print(int max);
5:     void reset();
6:     void makeLink();
7:     boolean load();
8:     boolean append(String tsvFile);
9:     void addEntity(String line);
10:    boolean save();
11:    void saveEntityTo(PrintWriter pw);
12:    void renumberId();
13:    boolean assertLink();
14: }

```

図 11: Manageable インタフェース

3.2.5 StoreManager クラス

StoreManager クラスの API を図 12 に示す。**StoreManager** はプログラムが使用するすべてのエンティティ格納庫を管理する。**StoreManager** はアプリケーション全体で唯一存在するもので、**Singleton** パターン [10] で実装されている。アプリケーションは、**StoreManager** にエンティティ格納庫を登録し、エンティティ格納庫の内容の表示、ロード、セーブを行うことができる。

ロードとセーブはメモリと二次記憶の相互の変換である。二次記憶へのセーブメソッドには、引数をもたないものと引数にファイル名もつものがある。前者は事前に設定した **DB** ディレクトリの下にエンティティ格納庫ごとにエンティティ型名のファイルで保存し、後者は全体を 1 つのファイルで保存する。ロードメソッドについても同様である。ロードの際には、エンティティ間の関連リンクの設定やエンティティ間の継承関係の管理情報の設定も行っている。

```

1: public class StoreManager {
2:     static public StoreManager getInstance();
3:     public String getDBDirectory();
4:     public void setDBDirectory(String dir);
5:     public void clear();
6:     public void reset();
7:     public void add(Manageable store);
8:     public void printStores(int max);
9:     public boolean saveDB();
10:    public boolean loadDB();
11:    public boolean saveDB(String dbfile);
12:    public boolean loadDB(String dbfile);
13:    public boolean assertLink();
14:    public void renumberId();
15:    public void setSubStores();
16: }

```

図 12: StoreManager クラスの API

3.3 永続性の実装方法

永続的なデータであるエンティティは、タブ区切りのテキスト形式 (**TSV**) でファイルに保存される。エンティティの属性値はタブと改行コードを含まない文字列でエンコードされる。1 件のエンティティは、エンコードされた属性値をタブで区切った 1 行の文字列として保存される。**EntityStore** の

永続化メカニズムは、メモリ上のエンティティをファイルに書き出し、ファイルに保存されたエンティティデータからエンティティをメモリ上に生成する機能を提供する。

プログラムの実行時には、すべてのエンティティは **EntityStore** のロード命令によりメモリ上に展開される。メモリ上で更新されたエンティティ群はセーブ命令で一括してファイルに保存される。メモリ上のエンティティは **Java** のオブジェクトインスタンスでありインピーダンス不整合の問題は発生しない。ロード命令とセーブ命令の中にインピーダンス不整合の問題を局所化したといえる。この方式はインメモリデータベースの方式と近いものと考えられる。

このようなエンティティ格納の物理構造を採用した理由は、以下の4点である。

- 永続化のメカニズムを単純にできる。
- 新しいデータ型の追加が容易である。
- データベースコンテンツの作成コストを低減できる。
- **UNIX** のコマンドを使って容易にデータを加工できる。

このような利点があるがある反面、エンティティデータのロードとセーブに要する時間や、メモリ容量によって扱えるエンティティ量の制限などの問題に関して、利用面からの限界を知っておく必要がある。この点に関する分析は第7節で行う。

3.4 関連の実装構造

EntityStore では、関連の種類を2項関連で多重度が1対多のものに限定している。アプリケーション開発の実装段階では、関連をたどる方向も重要であるために誘導可能性の指定ができるようにスキーマ記述言語を設計した。

スキーマ記述言語での関連の記述は3種類の形態があるそれぞれに対して関連の実装構造を説明する。

3.4.1 一方向単一参照

図3のスキーマ定義の7行目の記述が一方向単一参照の使用例である。一方向単一参照は、メモリ上ではエンティティオブジェクトの参照で、ファイル上では参照エンティティのエンティティ識別子で表される。

```
7: @ref Party leader;
```

スキーマトランスレータはこの指定に対して、エンティティのコンストラクタ、関連リンクの設定、関連に対するアクセッサ、削除メソッド等のコードを自動生成する。

3.4.2 1対多の強い関連

1対多の強い関連は、2つのエンティティクラスの間で定義され、互いに相手の役割と自身の役割を記述することによって同一の関連の定義であることが分かるようにしている。図2のスキーマ定義では、5行目と23行目の記述が **Project** と **Party** の間の「参加関係」を1対多の強い関連として定義し

ている。すなわち、**Project** は複数の **Party** をメンバーとして所有しており、それらのメンバーのリストは **members** で参照できる。また **Party** は単一の **Project** に参加しそれを **proj** で参照できる。このようなクラス間の関連を定義しているのである。

```
3: public class Project extends Entity {
5:   @ref1* Party members : proj;
18: }
20: public class Party extends Entity {
23:   @ref1 Project proj : members;
26: }
```

1対多の強い関連の実装方法について述べる。メモリ上では、関連の多重度1を持つ側では相手側の複数のエンティティを管理するために **List** を使用し、もう一方の側では単一のエンティティの参照で表される。図2の例では、生成された **Project** クラスには

```
private List<Party> membersList;
```

というフィールド定義が生成され、**Party** クラスでは

```
Project proj;
```

というフィールド定義が生成される。

1対多関連は、ファイル上では、多値側のクラスの中で単一参照エンティティのエンティティ識別子で表される。関連の多重度1を持つ側では関連を表す情報は必要ない。**EntityStore** クラスのロード機能は1対多関連の双方向リンクを再現するのにスキーマトランスレータが生成する多値側のクラスの **link()** メソッドを使う。図2の例では、**Party** エンティティに参加プロジェクトの情報をもたせるだけでよい。**Project** エンティティに参加メンバーの情報をもたせなくても **Party** エンティティ全体を調べれば参加メンバーわかるからである。**Party** クラスの **link()** メソッドは **setProj(Project e)** メソッドを使って参加関係を表す双方向リンクを設定する。

エンティティの生成登録・削除、関連の設定と解消などの更新処理を行う場合は、関連の双方のクラスに含まれる関連を表す **List** や参照を一貫性をもって更新しなければならない。スキーマジェネレータは、図5と図6に示すように一貫した更新を行うためのメソッドを生成する。

3.4.3 1対多の弱い関連

1対多の弱い関連は1対多の強い関連と表現する情報は同じであり、ほぼ同じ検索手段が提供される。両者の違いは実装方法にあり、これは検索性能に大きな影響を与える。1対多の弱い関連では、関連の多重度1を持つ側で相手側の複数のエンティティを管理するための **List** を保持しない。そのため更新の負荷を軽減するが、検索のときには多値側のすべてのエンティティの走査が必要になるので、エンティティの個数が多くなると検索時間が実用の範囲を超えることになる。

3.5 検索手段の提供

相互に関連が付けられたクラス群から求める情報を検索する手段として、**EntityStore** では、特定のエンティティやエ

エンティティ群を選別する手段とそれらのエンティティから関連を辿って得られるエンティティ群を選別する手段を提供する。これらの検索手段は **EntityStore** の基盤クラスの **Entity** と **EntityStore**、およびスキーマ定義からスキーマトランスレータによって生成されるクラスのメソッドとして提供される。アプリケーションプログラムはこれらのメソッドを使用して、関連によって形成されたエンティティのネットワークから必要な情報の収集を行うのである。

Entity クラスで定義された検索に係るメソッドは図 9 の **Entity** クラスの API の以下の部分である。

```
1: abstract public class Entity {
9:   protected boolean query();
10:  protected boolean query(String condition);
11:  protected boolean grep(Pattern pat);
31: }
```

また **EntityStore** クラスの検索に係るメソッドは **IStore** インタフェースで定義された以下の部分である。

```
1: public interface IStore<T0 extends Entity>
      extends Iterable<T0> {
9:   T0 find(String key);
10:  List<T0> findAll();
11:  List<T0> findAll(String condition);
12:  List<T0> grep(String pattern);
13:  List<T0> search(String key);
19: }
```

図 3 のスキーマを使った **EntityStore** の検索プログラムの例を示す。

1. プロジェクト名に 'Proj' の文字列を含むプロジェクトの一覧を表示する。

```
for(Project pj : Project.store.grep("Proj"))
    System.out.println(pj);
```

ここで **Project.store.grep("Proj")** は **Project** エンティティの文字列表現が正規表現 "Proj" に整合したプロジェクトのリストを返す。

2. 予算が 10,000,000 以上のプロジェクトの一覧を表示する。

```
for(Project pj : Project.store.findAll())
    System.out.println(pj);
```

ここで **Project.store.findAll()** は **Project** クラスの **query()** の結果が真のプロジェクトのリストを返す。

3. リーダが 'CA' のプロジェクトの一覧を表示する。

```
for(Project pj : Project.store.findAll("CA"))
    System.out.println(pj);
```

ここで **Project.store.findAll("CA")** は **Project** クラスの **query("CA")** の結果が真のプロジェクトのリストを返す。

4. プロジェクト名が 'ProjX' のメンバーの一覧を得る。

```
Project pj = Project.store.find("ProjX");
for(Party p : pj.getMembersList())
    System.out.println(p);
```

1 対多の強い関連の場合は、**pj.getMembersList()** は **Project** クラスで定義された **membersList** を返すメソッドである。1 対多の弱い関連の場合は、呼び出し

のたびに **Party** のエンティティ格納庫のリストから参加プロジェクトが **pj** のエンティティを抽出して **List** を生成するようなメソッドが生成される。大量のエンティティを格納する場合、このメソッドは性能悪化の原因になる。

3.6 更新手段の提供

エンティティの属性の更新には **@accessor** や **@setter** の指定に基づいて生成されるセッタを利用することができる。キー属性に対するセッタによる属性の変更ではその属性に対して作成された **Map** の更新も行う。

関連の設定や設定の変更、解消は、1 対多関連の多値側のエンティティに対する関連のセッタで行う。すでに関連リンクが設定されている場合は、以前の関連リンクを解消し、新しい関連リンクを設定す処理が必要であり、関連セッタがこれを行う。二つのエンティティ間の関連の解消は関連セッタで **null** を設定すればよい。**Project** と **Party** の間の「参加関係」では、**Party** 側の **setProj(Project e)** メソッドが関連セッタとして生成されている。

エンティティの削除ではそのエンティティを参照している関連リンクも同時に削除しなければならない。また 1 対多の所有関係では、所有者の削除によってメンバーエンティティ全体の削除を行いたい場合も多い。スキーマトランスレータでは、このような関連を含めた一貫した削除を行うために 2 つの削除メソッド **remove()** と **removeAll()** を提供している。

4 アプリケーション開発プロセス

EntityStore のアプリケーション開発手順を、第 3.1 節で例示したプロジェクトのクラス図の例を使って説明する。まず開発全体の流れを示し、続いてアプリケーションプログラム作成の要点を説明する。

4.1 アプリケーション開発全体の流れ

開発の全体の流れは以下の通りである。

1. エンティティクラス図の作成

ロバストネス分析でエンティティクラスと関連を導出しクラス図を作成する。クラス図で多対多関連や 3 項以上の関連があったらそれらを 1 対多関連に変換する。この関連には 2 つのエンティティクラスのそれぞれの役割名を定義する。

2. スキーマ定義の作成

エンティティクラス図をスキーマ記述言語で記述しスキーマ定義を作成する。1 対多関連はアプリケーションが必要とするのアクセスの方向性を考慮して誘導可能性を決め、それに基づいて 4 種類の参照タグのいずれかを指定する。

3. Java ソースコードの生成

スキーマトランスレータを使ってスキーマ定義から **Java** クラス記述を生成する。Ash の環境では以下のコマンドで、src ディレクトリの下に、スキーマ定義で指定されたパッケージ名に従ってディレクトリ階層が作られ、その下に **Java** のソースファイルが生成される。

```
esgen.rb -d src project.es
```

4. アプリケーションプログラムの作成

スキーマトランスレータが生成した **Java** クラスを利用するアプリケーションプログラムを作成する。アプリケーションプログラムでは、**EntityStore** の基盤クラスとスキーマトランスレータが生成した **Java** クラスを **import** 文で指定し、これらのクラスのメソッドを利用する。検索に関しては第 3.5 節で述べたが、初期化、ロード・セーブ、エンティティと関連リンクの生成・削除・更新などのプログラミングの要点については後述する節で述べる。

5. アプリケーションのビルドと実行

EntityStore の基盤クラス、スキーマ定義から生成されたエンティティクラス、アプリケーションプログラムをコンパイルし実行する。

この開発手順は図 13 の **make** ファイルで記述できる。

```
1: # proj.mk: Makefile for ProjApp
2:
3: ASHJAR = $HOME/ashwork.jar
4: JAVAC = javac -d build -cp "src:$ASHJAR"
5: JAVA = java -cp "build:$ASHJAR" -Xmx512M
6: SRCS = ../src/appfw/DialogFW.java ¥
7:       src/app/ProjApp.java ¥
8:       src/project/Project.java ¥
9:       src/project/Party.java ¥
10:      src/project/Person.java
11:
12: runapp: _compile testdb
13:        $JAVA app.ProjApp project.q1
14:
15: _compile: build $SRCS
16:         -setspath src $HOME/src $JAVA_HOME/src
17:         $JAVAC $SRCS
18:         touch _compile
19:         @echo 'compile DONE!'
20:
21: src/project/Project.java: project.es
22:     esgen.rb -d src project.es
23:
24: build: ; mkdir build
25: testdb: ; mkdir testdb
26:
27: #EOF
```

図 13: ProjApp のビルド用の **make** ファイル (proj.mk)

4.2 初期化

EntityStore を使用するには、まずストアマネージャを取得し、ストアマネージャに対してプログラムで使用するエンティティ格納庫を登録しなければならない。これらは以下のコードで実行される。

```
StoreManager sm = StoreManager.getInstance();
sm.add(Project.store);
sm.add(Party.store);
sm.add(Person.store);
```

キーを指定したエンティティに対してはインデックスを付ける必要がある。また拡張可能性を宣言したエンティティクラスがある場合は、エンティティ格納庫の拡張関係を設定しなければならない。これらは以下のコードで実行される。

```
Party.store.installIndex();
sm.setSubStores();
```

登録したエンティティ格納庫を取り消したい場合はリセットメソッドを使う。

```
sm.reset();
```

4.3 ロード/セーブ

ロードでは保存ファイルからエンティティを生成しエンティティ格納庫に登録する。ひとつの **DB** ファイルに保存されている場合は **DB** ファイル名を引数にもつ **loadDB** メソッドを利用する。エンティティの追加や更新を行いその結果をひとつの **DB** ファイルに保存するには **DB** ファイル名を引数にもつ **saveDB** メソッドを利用する。これらは以下のコードで実行される。

```
String dbname = "projectDB";
boolean ok = sm.loadDB(dbname);
if(!ok) error("DB ファイルをロードできません!");
// エンティティの追加や更新処理
sm.saveDB(dbname);
```

エンティティ格納庫ごとに異なるファイルで保存されたファイル群からのロードでは、事前に **DB** ディレクトリを設定してから引数をもたない **loadDB** メソッドを実行する。このような形で保存する場合も同様に引数をもたない **saveDB** メソッドを実行する。これらは以下のコードで実行される。

```
String dbdir = "projdb";
sm.setDBDirectory(dbdir);
boolean ok = sm.loadDB();
if(!ok) error("DB ファイルをロードできません!");
// エンティティの追加や更新処理
sm.saveDB();
```

エンティティ格納庫に前にロードした内容があり、新たなロードの前にそれをクリアしたい場合はクリアメソッドを使う。クリア実施後はインデックスの設置と拡張関係の設定が必要である。

```
sm.clear();
Party.store.installIndex();
sm.setSubStores();
```

4.4 エンティティと関連リンクの生成・削除・更新

エンティティの生成と関連の設定は、以下のコードのように、それぞれ該当するエンティティクラスのメソッドを使用する。

```
Project px =
    Project.create("pX", 600000, date(2011,8,31));
Party aiit = Party.create("AIIT", "info@aiit.ac.jp");
Person p = Person.create("Takashi", "taka@yamano", 57);
px.setLeader(aiit);
p.setProj(px);
```

エンティティの属性値の変更や関連リンクの変更、エンティティの削除は、エンティティの特定後、そのエンティティクラスのメソッドを使って行う。以下のコードでは、プロジェクト `projectY` の予算を 1,000,000 円に設定し、`Takashi` の年齢を 45 才に変更し、`Takashi` の所属プロジェクトを `projectY` に変更し、その後プロジェクト `projectY` を所属メンバーを含めて削除している。

```
Project pj = Project.store.find("projectY");
Party p = Person.store.find("Takashi");
pj.setBudget(1000000);
p.age = 45;
p.setProj(pj);
pj.removeAll();
```

5 運用監視フレームワーク

データベースアプリケーションでは、運用中のデータベースの状況を監視するユーティリティプログラムが必要である。`EntityStore` では、運用中のプログラムが使用しているエンティティ格納庫の状況を監視するための基盤クラスを提供している。図 14 で `ash.es.admin` パッケージに含まれるクラス図が運用監視機能のフレームワークを提供する。

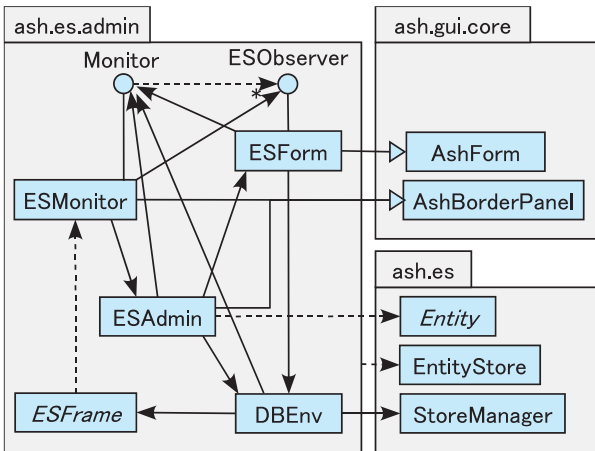


図 14: 運用監視フレームワーク

運用監視フレームワークは、`Observer` パターン [10] が設計の骨格になっている。`Monitor` インタフェースには、DB 更新通知オブザーバの設定、DB 更新の通知、エンティティ格納庫の内容やログ、警告の表示などのユーザへの様々なフィードバックを行うためのメソッドが定義されている。また、`ESObserver` インタフェースには、`Observer` パターンの更新通知を受けるメソッド `update()` が定義されている。`ESMonitor` クラスはアプリケーションの運用監視用パネルを実装するためのベースクラスであり、`Monitor` インタフェースを実装しており、`Observer` パターンの `Subject` 役となる `ESForm` クラスは、エンティティ格納庫の管理情報を表示するためのフォームであり、`ESObserver` を実装している。

`ESAdmin` クラスは、データベース運用監視の GUI 画面により、アプリケーションの実行監視に関するユーザインタフェースを提供する。`DBEnv` クラスはアプリケーションが利

用するエンティティ格納庫のファイルの所在管理、エンティティストアのロード・セーブなどを行う

`ESFrame` クラスは、アプリケーションプログラムの起動と終了の処理を行う。`ESFrame` クラスは、`Factory Method` パターン [10] を実装しており、アプリケーション側で運用監視用パネルを生成するファクトリメソッド `createMonitor()` を実装することによって、アプリケーション固有の機能を組み込むことができる。

図 15 に運用監視フレームワークを適用したシステムの運用監視画面の例を示す。これは、第 6.3 節で紹介する受注・入出庫管理システムを起動し、DB ファイルの読み込み (エンティティのロード) を行った直後の画面である。



図 15: 受注・入出庫管理システムの監視画面

6 適用例

本節では、`EntityStore` の 3 つの適用例を紹介する。

6.1 図書検索システム

図書検索システムは、`AIIT` の図書館で管理している約 7.6 万冊の蔵書に対して正規表現によるパターンマッチの検索を行うシステムである。スキーマで定義したエンティティは `QBook` のひとつだけで、7 つの属性 (書名、著者、出版社、出版年、蔵書 ID、所在、分類) をもつ。すべての属性を `String` 型とし、蔵書 ID にはキーの指定をした。スキーマ定義の規模は 18 行である。このスキーマ定義からスキーマトランスレータによって 58 行の Java プログラム `QBook.java` が生成された。

図書検索システムは、文字列ベースの対話処理を行う 98 行のフレームワークプログラムを拡張して実装した 131 行の Java プログラムであり、`help`, `source`, `setdb`, `load`, `save`, `renum`, `grep`, `query`, `iterate`, `extend` 等のコマンドを提供している。プログラムは、コマンドの入力、検索の実行、結果の表示を繰り返す。`iterate` コマンドでは、全件サーチで著者名と出版社の部分マッチで検索する。

蔵書検索プログラムのデータの準備では、筆者が所属する

産業技術大学院大学の図書館の司書より EXCEL ファイルとして提供頂いたデータを TSV 形式に変換し, Ash のコマンドを用いて上記 7 属性を抽出し EntityStore のファイル形式に変換した。

スキーマ定義, 検索プログラム作成, データの準備, 動作確認までの一連の開発プロセスを自然な流れとして進めることができた。なお, 第 7 節の性能評価は本プログラムの実行結果に基づいたものである。

6.2 全国鉄道路線情報の検索

国土交通省国土政策局では日本国の国土情報に関する様々なデータを公開している [12]。国土情報はデータ量が扱う範囲に応じてかなりの規模になり, 情報の種類によってはかなり複雑なデータ構造を扱わなければならない。EntityStore が対象とするデータのひとつの有力な適用領域と思われる。そこで EntityStore のアプリケーションとして, 国土交通省が提供するデータの中の国土数値情報・鉄道データの全国の鉄道の駅と路線の情報を, 事業者や路線を指定して一覧表形式と線画による図形形式で表示する機能をもつ鉄道データビューアのプログラムを作成した。鉄道データビューアで JR 東日本の中央線の路線図を表示した例を図 16 に示す。



図 16: 鉄道データビューアの実行画面

鉄道データの構造を表すエンティティクラスのクラス図を図 17 に示す。このクラス図からこの鉄道データには, 全国の旅客鉄道・軌道の運営会社, 路線名, 駅名, 線路の形状のデータが含まれていることがわかる。このクラス図にはデータの件数も書き加えてある。最大のデータ量となる線路形状の座標点を表す Coord クラスのエンティティは約 36 万件の規模である。

プログラム規模は, スキーマ定義が 149 行 (内 100 行はコード変換, 範囲計算, query メソッドを実装したアプリケーションコード), スキーマ定義から生成された Java プログラムが 7 クラス 593 行, 鉄道データビューアのアプリケーションコードが 11 ファイル 1018 行であった。その他に XML 形式の鉄道データから EntityStore 形式のファイルを生成するために, 120 行の Ruby スクリプトと 126 行の Java プログラムを作成した。

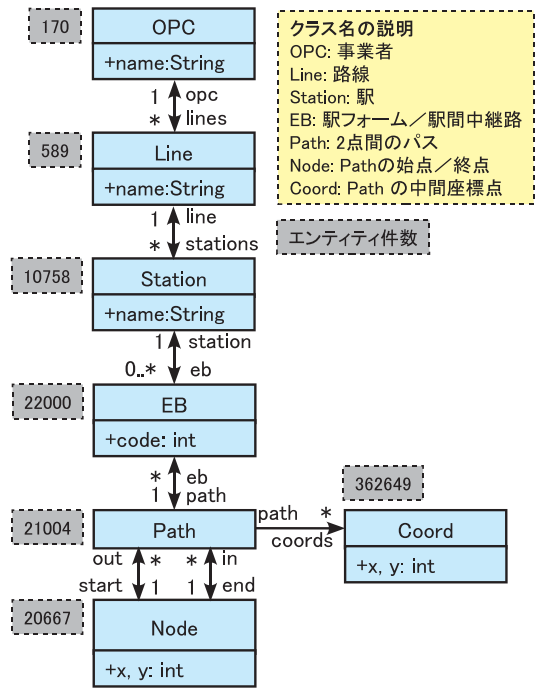


図 17: 鉄道データのクラス図

6.3 受注・入在庫管理システム

酒屋問題はソフトウェア開発手法の比較評価を行う目的で提案された共通問題である [11]。業務アプリケーションの代表的な例といえるだろう。このようなアプリケーション分野への EntityStore の適用可能性を考察するために, 酒屋問題の要件を満たす受注・入在庫管理システムを, EntityStore を利用して開発した。

まず, オブジェクト指向分析・設計手法を用いて酒屋問題のクラス図を作成し, エンティティクラスの実装には EntityStore を適用し, バウンダリクラスの実装は Ash の GUI フレームワーク [3] で行った。ビジネスロジックはスキーマ定義の中で記述したエンティティクラスのアプリケーションコード部のメソッドとして実装したものと, バウンダリクラスの中で実装したものがある。受注・入在庫管理システムのエンティティクラスのクラス図を図 18 に示す。

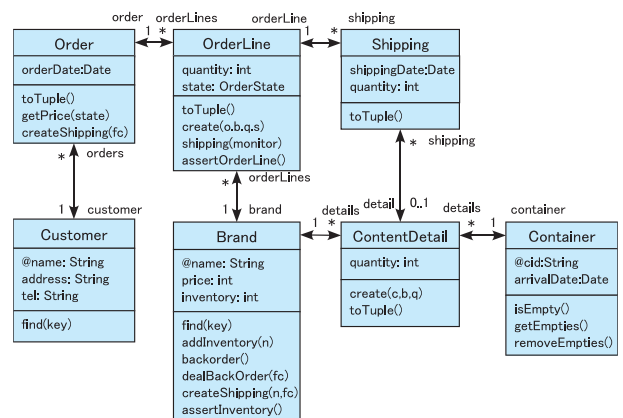


図 18: 酒類販売在庫管理システムのエンティティクラス図

アプリケーション全体のフレームワークとしては, Enti-

tyStore の運用監視フレームワークを使用した。起動後の画面イメージは図 15 に示したとおりである。図 15 で、銘柄登録、顧客登録、コンテナ管理、受注登録、問合せ、棚卸状況がユーザに見えるアプリケーション画面であり、タブで切り替えるようになっている。

プログラム規模は、スキーマ定義が 223 行 (内 173 行はビジネスロジック)、スキーマ定義から生成された Java プログラムが 7 クラス 978 行 (173 行のビジネスロジックを含む)、ユーザインタフェースを構成する部分が 10 クラス 978 行であった。

7 EntityStore の実用性評価

本節では、EntityStore の実用性を、検索と更新の時間性能、ロードとストアの時間性能、メモリ容量とファイル容量のリソース消費量、アプリケーションの開発への適用効果の観点から評価する。

7.1 検索時間と更新時間

EntityStore では検索処理と更新処理はすべてメモリ上で行われるので、検索・更新に関するオーバーヘッドは存在しない。第 6.1 節で紹介した図書検索システムでは、98.5 万件のエンティティに対して、grep(Pattern regex) メソッドによる検索で約 2.2 秒、query() メソッドによる検索で約 1.5 秒であった。更新に関するデータは取っていないが性能上問題になる設計上の問題点は見当たらない。この測定結果から、100 万件程度のエンティティならば、正規表現によるパターンマッチを利用した柔軟性の高い検索機能を実用的な性能で実現できることが確認できた。

関連を辿る検索性能の評価は、第 6.2 節で紹介した鉄道データビューアを用いて行った。路線の経路を求める計算では、数十万件の Coods エンティティに対して関連リンクを辿る操作を複数回実行している。1 対多の弱い関連を指定した場合、東海道線のような多くの駅をもつ路線では応答性能が十数秒 (手動計測で 14 秒) となり実用的な性能ではなかったが、1 対多の強い関連に変更することによって、瞬時 (1 秒以内) の応答性能を得ることができた。この変更はスキーマ記述を変更しスキーマトランスレータで Java プログラムを再生成するだけで良い。ファイル形式は 1 対多の弱い関連と 1 対多の強い関連で変わらないのでデータ変換の必要はなかった。メモリ使用量は両者でほとんど差はなく、約 190M バイトであった。

7.2 ロード・ストア時間

第 6.1 節で紹介した図書検索システムを用いてロードとセーブの時間を測定した。表 2 に、7 個の項目数をもつ QBook エンティティクラスのファイルからエンティティ格納庫へのロード時間と、エンティティ格納庫からファイルへのセーブ時間を測定した結果を示す。EXCEL で同じファイルをロード・セーブする時間と比べて要する時間は半分以下であった。時間性能はマシン性能に依存するが、EXCEL と比較したロー

ド・セーブの時間性能は、妥当な値と考える。

10 万件 (100K 件) 程度の QBook エンティティを扱う場合、ファイルのオープンで 2 秒、修正結果のセーブで 0.4 秒を性能の目安と考えることができる。かなり長時間の編集作業をともなうアプリケーションに適用する場合には、十分実用的な性能を得ることができるといえる。

表 2: エンティティオブジェクトのロード/ストア時間

エンティティ件数	ロード時間	セーブ時間
76K 件	2.1 秒	0.4 秒
227K 件	4.7 秒	0.9 秒
379K 件	7.2 秒	1.5 秒
531K 件	9.6 秒	2.0 秒
985K 件	19.3 秒	3.6 秒

7.3 メモリ使用量

前節の性能測定で、985K 件のエンティティの場合、ファイル容量は 90.0M バイト、メモリ使用量は 453M バイトであり、ファイル容量、メモリ使用量ともに、エンティティの件数に比例する。統計的な数値として、エンティティのメモリ使用量は、1 項目当たり約 70 バイト、7 項目をもつエンティティ 1 件当たり約 500 バイト、70K 件のエンティティで 35M バイトのメモリを消費した。同程度の規模のエンティティであれば、1G バイトのメモリで 200 万件程度のエンティティを扱うことができる。テキスト形式のファイル容量は 1 エンティティ当たり約 100 バイトであり、メモリ上では約 5 倍のメモリ容量が必要であることを確認した。

また、第 6.2 節の鉄道データビューアでは、7 つのエンティティクラスのエンティティの総数 438K 件に対して、メモリ使用量は約 190M バイト、1 エンティティ当たり約 434 バイトであった。

これらのデータは、扱うエンティティの件数に対して必要となるリソースを見積もる際の基礎データとして利用できる。

7.4 アプリケーション開発への適用効果

EntityStore の適用実績は少ないが、ここでは第 6 節で紹介した開発の事例からアプリケーション開発への適用効果を分析する。

1. オブジェクト指向開発のサポート

オブジェクト指向分析から、設計、実装へと自然な開発の流れを形成でき、データベースとプログラミング言語の間のインピーダンス不整合の不快感を感じることなく開発を進めることができた。クラス図上でオブジェクト間の関連を辿って必要なオブジェクトを見つけ、そのオブジェクトのビジネスロジックを利用するといったオブジェクト指向的なプログラミングを支援する目的はかなり達成できたと思う。

2. 永続性を扱うアプリケーション開発プロセス

永続性を扱うアプリケーション開発に EntityStore を適用することで、DBMS と同様の関連の操作を、ファ

イルシステムと同程度の手軽さで利用できることを確認した。適切な **make** ファイルを用意することで、スキーマ定義、検索・更新プログラム作成、データの準備、動作確認までの一連の開発プロセスを自然な流れとして進めることができた。受注・入庫管理システムを開発した経験から、業務アプリケーションの分野でも適用の場面は十分にあると考えられる。

3. エンジニアリングデータの扱いやすさ

第 6.2 節の鉄道データは、CAD や、CAM、CASE といったエンジニアリング分野のデータと類似した特性をもっている考えられる。EntityStore はこの分野を主要なターゲットとしているが、アプリケーション開発の容易性に関して十分満足のいく結果を得られた。メモリ効率の観点からは、大量の数値の配列データを効率よく扱うためのデータ構造の必要性が感じられた。

4. データ準備のコスト

EXCEL データは簡単に EntityStore 形式に変換できる。第 6.1 節の図書データの準備は Ash の環境で数行のスクリプトの作成で行うことができた。第 6.2 節の鉄道データは、かなり複雑なデータ構造が XML ファイルで提供され、ファイルサイズも 140M バイトと大きく扱いにくかったが、250 行程度のプログラムを作成することにより EntityStore 形式に変換することができた。簡単なテキストフォーマットを採用したことによって、データ準備のコストは低く抑えることができたといえる。

5. 学習コスト

スキーマ記述言語は非常に簡潔であり、クラス図の理解ができる技術者ならばすぐ理解できるものである。スキーマ定義での永続性や関連に関する分かりやすい指定で、スキーマトランスレータがアプリケーション開発を容易にするためのメソッドを生成する。この機能はアプリケーションの記述量を減らすうえで効果があるが、どのようなメソッドが生成されるかを理解するのは、ある程度の学習のコストが必要になる。教材の整備や、スキーマトランスレータが生成するメソッドの仕様の改善が必要である。

8 今後の課題

8.1 アプリケーション開発支援機能の強化

アプリケーション開発の生産性向上のために、ツールと基盤ライブラリの機能強化の課題がいくつか考えられる。

1. 開発支援ツールの強化

グラフィカルなクラス図エディタのような分析・設計支援ツールからスキーマ定義を自動生成し、スキーマトランスレータへのつなげるツール間連携の機能を実現したい。

2. スキーマトランスレータの機能強化

EntityStore のアプリケーションはいくつかのアーキテクチャに分類でき、それぞれに対応したアプリケーションフレームワークが構築できると思われる。これらをライブラリとして取りそろえ、スキーマトランスレータから特定のアプリケーションフレームワークに対応したコードを生成する機能は、アプリケーション開発の効率向上と学習コストの低減に大きな効果が期待できる。開発プロセスを記述した **make** ファイルの自動生成も興味深いテーマである。

3. データ型の拡張

数値データの配列はエンジニアリング分野では必須であろう。業務アプリケーションでは通貨データ型などがあると便利である。アプリケーション分野ごとに必要となる基本的なデータ型を扱うクラスを整備することは適用領域を広げる上で重要である。

4. 問合せ機能の強化

EntityStore のアプリケーション開発で、検索や問合せは最も記述量の多いプログラミングになると思われる。アクセスパスの簡易な記述などプログラマにとって利用しやすい簡易な問合せ言語の開発は興味深いテーマである。

5. アプリケーションジェネレータへの発展

EntityStore は永続的なオブジェクトを扱う基盤であるが、これを GUI 構築フレームワークと連携することによって、アプリケーション開発の全体的な生産性はより向上できると思われる。基盤ライブラリ、ツール、言語が一体になった開発環境の構築は、アプリケーションジェネレータへのひとつのアプローチである。

8.2 DBMS としての機能強化

EntityStore はオブジェクトの永続性を実現させるため簡易なツールを目指した。そのためデータの同時共有・同時更新を目的にしたデータベース管理の基本機能はもっていない。本格的なデータベース管理機能を提供することは考えていないが、数ギガバイトのメモリが安価に利用できるようになった今日、インメモリデータベースの簡易な実現方式として EntityStore のアーキテクチャは参考になるのではないかと考えている。

全体のアーキテクチャとしては、巨大メモリを搭載したマシンを EntityStore が占有し、外部からのトランザクション要求をパイプライン処理する方式が考えられる。このようなインメモリデータベースを実現するために必要となる技術テーマをいくつか提示する。

1. 巨大なエンティティ格納庫を複数のテキストファイルに分割して保存しこれらからエンティティ格納庫を構築する方式の実現

2. 複数エンティティ格納庫にまたがる更新処理のトランザクションの管理方式
3. 更新ログの管理方式
4. エンティティ格納庫のテキスト形式をベースにした問合せと更新のプロトコル

9 おわりに

永続的オブジェクトを扱うアプリケーション開発の支援を目的とした簡易な基盤ソフトウェアとして **EntityStore** を開発した。本論文では、**EntityStore** の開発の動機、開発の目標と設計方針、アーキテクチャ、アプリケーション開発プロセス、適用事例、実用性の評価、今後の課題について報告した。

報告の最後に、**EntityStore** 全体の開発規模を紹介する*1。表 3 に示すように、開発したソフトウェアは非常に小さなものである。スキーマトランスレータは **Ruby** で 710 行、基盤ライブラリと運用監視フレームワークはそれぞれ **Java** で 821 行と 599 行、全体で 2130 行のプログラムである。基盤ライブラリは本稿では説明を割愛した木構造を扱うクラスと多対多関連を扱うクラス（両者で 242 行）も含まれている。**EntityStore** の開発では、DBMS と同様の関連の操作を、ファイルシステムと同程度の手軽さで利用できるものを目指し、実装をできるだけ単純にするために目的を限定し機能を絞り込んだ。その結果非常にコンパクトなツールに仕上がったと自負している。

なお **Ash** の全体の規模は、**Java** コードだけで 23 パッケージ、189 ファイル、24.3K 行となっている。今後は、**Ash** 環境でソフトウェアエンジニアリングツールへの適用を図り、実用性の向上に努めたい。

表 3: **EntityStore** の開発規模

No.	行数	LOC	コメント	ファイル名
1	472	420	13	ruby/esgen/classinfo.rb
2	155	134	11	ruby/esgen/esgen.rb
3	174	156	3	ruby/esgen/fieldinfo.rb
合計	801	710	27	スキーマトランスレータ
1	178	126	42	ash/es/Entity.java
2	484	282	180	ash/es/EntityStore.java
3	48	21	17	ash/es/IStore.java
4	45	16	16	ash/es/Manageable.java
5	80	73	4	ash/es/Relation.java
6	10	9	0	ash/es/Sex.java
7	183	114	56	ash/es/StoreManager.java
8	209	169	25	ash/es/TreeNode.java
9	12	11	0	ash/es/Util.java
合計	1249	821	340	基盤ライブラリ
1	167	124	34	ash/es/admin/DBEnv.java
2	208	174	23	ash/es/admin/ESAdmin.java
3	97	77	16	ash/es/admin/ESForm.java
4	98	61	28	ash/es/admin/ESFrame.java
5	176	147	18	ash/es/admin/ESMonitor.java
6	5	4	0	ash/es/admin/ESObserver.java
7	16	12	3	ash/es/admin/Monitor.java
合計	767	599	122	運用監視 FW

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

謝辞

図書検索システムの開発に当たり、図書館の蔵書データを提供して下さった、産業技術大学院大学図書館司書の岡崎氏に感謝する。

参考文献

- [1] 秋口忠三, “教育用ソフトウェア開発環境基盤の試作,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 1, pp. 111–119, 2007.
- [2] 秋口忠三, “ソフトウェアプロセス支援環境の試作と評価,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 3, pp. 1–12, 2010.
- [3] 秋口忠三, “Ash プログラミング環境における GUI ライブラリの設計と評価,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 4, pp. 1–12, 2010.
- [4] Object Management Group, UML2.0 仕様書 2.1 対応, オーム社, 2006.
- [5] Thomas M. Connolly and Carolyn E. Begg, *Database Systems — A Practical Approach to Design, Implementation, and Management, Fifth Edition*, Pearson Education International, 2010.
- [6] Won Kim, *Introduction to Object-Oriented Databases*, The MIT Press, 1990.
- [7] Setrag Khoshafian, *Object-Oriented Databases*, John Wiley & Sons, 1993.
- [8] 佐藤比呂志, *Cache’ デベロッパーズガイド*, 翔泳社, 2009.
- [9] Doug Rosenberg, Kendall Scott, “ユースケース入門: ユーザマニュアルからプログラムを作る,” ピアソン・エデュケーション, 2001.
- [10] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, and John Vlissides, *Design Patterns — Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- [11] 玉井哲雄, *ソフトウェア工学の基礎*, 岩波書店, 2004.
- [12] “国土数値情報ダウンロードサービス,” http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/jpgis_datalist.html.

RSNP (Robot Service Network Protocol) を活用した PBL教材の開発

加藤 由花*・成田 雅彦*・土屋 陽介*

A PBL Material using RSNP (Robot Service Network Protocol)

Yuka Kato*, Masahiko Narita* and Yosuke Tsuchiya*

Abstract

This paper discusses contents of a PBL in AIIT from the viewpoint of educational material development. The feature of the PBL is that it is conducted as a research project, and that we collaborate with many organizations on the project. Now, we are planning to use the educational material for an international joint PBL and other universities. Therefore, in this paper, we discuss the future direction of the PBL in order to clarify the design concepts and issues.

Keywords: PBL, robot services, network service platform, the Internet, educational materials

1 はじめに

産業技術大学院大学は、高度専門職人材の育成を目的とした専門職大学院である。これまでの研究者養成型の大学院とは異なり、業務推進能力（コンピテンシー）を実践的に身につけるための教育が行われている。コンピテンシーとしては、大学全体として3つのメタコンピテンシー（コミュニケーション能力、継続的学習と研究の能力、チーム活動）を定義しているほか、2つの専攻がそれぞれのコアコンピテンシーを定義している。これらのコンピテンシーが、修士課程の2年間の教育を通じて強化されるよう、全体のカリキュラムが設計されている。1年次は主に講義形式の科目により知識の修得を行うが、2年次はPBL（Project Based Learning）型教育により実践的な教育を行っている点に大きな特徴がある。

我々はこれまで、情報アーキテクチャ専攻で実施しているPBL型教育について、その教育プログラムの設計、実施結果を報告してきた[1]。本学におけるPBL教育の特徴は、大学院教育として、修士論文と同等の位置付けでPBLを実施している点、教育対象が主に社会人学生である点にある。これらの背景から、各担当教員任せにせず、全学でPBL教育に取り組み、PBLの実施プロセスを定義してきた。本稿では、これらの枠組みの中で、個別のプロジェクトを設計した一例として、研究型プロジェクトのための教材開発結果を報告する。

2 PBL教材の概要

本稿で述べるPBL型教材のプロジェクトテーマは、「RSNP (Robot Service Network Protocol) [2] [3] を利用した実

界データ利用サービスの提案」である。RSNPは、ロボットサービスイニシアチブ（Robot Service initiative: RSi）[4]により策定された、オープンなロボットサービス向けプロトコル仕様である。RSNPの現在のバージョンは2.3であり、RSiではこれまで、仕様を実装したライブラリをSDKとして提供している。本PBLでは、このRSNPを利用して、サービス提案を行っていく。

PBLの特徴は、研究型プロジェクトとして、ネットワーク研究の動向、市場ニーズ等を調査し、それらを基に新しいネットワークサービスの提案を行っていく点にある。これらの活動を通じて、学生は研究型プロジェクトを推進する能力を獲得する。テーマ自身は、担当教員が実施している業界団体や企業との共同研究の一部であり、PBLは該当研究プロジェクトの一部に参加する形を取る。これにより、学外の研究者とともに実プロジェクトに携わることになり、実践的な教育が実現する。

3 PBL教材の設計

3.1 要求条件

PBL教材の設計にあたり下記の5つの要求条件を抽出した。

- 獲得できるコンピテンシーが明確に定義できること
- そのためのメソッドロジが定義されていること
- チームでの活動を前提とすること
- 活動、成果物により、学生個人の評価指標が定義されていること
- 1年間という活動期間に適したテーマ規模であること

さらに、上述したとおり、大学院での教育として、専門職修士課程の修了条件と成り得るテーマである必要がある。これらの要求条件を満たすために、全学で共通のフォーマットを利用し、シラバス（PBLガイド）を作成した。

3.2 設計結果

(1) PBLの目標

本稿におけるPBLのタイトルは「次世代モバイルネットワークサービスの研究開発」である。これは具体的なプロジェクトテーマに依存しないPBLにおける教育目標である。本PBLでは、研究型プロジェクトを推進する能力を教育するが、その対象は広義でのネットワーク分野であると定義しているため、このようなタイトルを設定している。具体的には、ユーザからの要求を基にシステムを構築するのではなく、ネットワーク研究の動向、市場のニーズ等を調査し、それらを基に新しいネットワークサービスの提案を行う。これにより、研究型プロジェクトを推進する能力（研究動向の調査、研究課題の設定、問題解決方法の提案、提案手法の実装、手法の有効性評価）の修得を目指す。

(2) プロジェクトの課題

具体的なプロジェクトテーマは、前述したとおり「RSNPを利用した実世界データ利用サービスの提案」である。これは2010年度からプロジェクトテーマとして取り組んでいる内容であり、昨年度のプロジェクト成果を入力とし、その拡張を行うことを目標とした。新しいネットワークシステムの設計が目標であり、最新の研究成果や少し先の技術を取り入れ、システムとして形にしていく。PBLの成果は、研究プロジェクトでの利用や、学会での発表等に利用される。

(3) 到達目標

プロジェクト実施により身につけるべき能力を、達成目標、到達目標として定義する。学生はこれらの目標を意識しながら活動を行う。一方、教員もこれらの目標を意識しながら指導を行うとともに、これらの項目を評価軸として利用する。以下に本PBLにおける到達目標を示す。

- 研究動向を調査する能力
- 研究課題を設定する能力
- 課題を解決するためのアーキテクチャ設計能力
- 提案手法を情報システムとして実装する能力
- 提案手法の有効性を評価する能力

(4) アクティビティの定義

本学におけるPBLでは、専門職人材の育成という観点から、以下の教育目標の達成が求められる。(1) 専門性を有する仕事において、専門知識を駆使して独力で（チームメンバーと協力しながら）業務を遂行できる、(2) 専門性を有する仕事

のメソッドロジを理解し、それを使いこなすことによって解決したくない問題を解決できる。

これらを実現するためには、プロジェクトを遂行していく際のアクティビティが定義されている必要がある。本稿では、アクティビティごとに主な成果物、修得できるコンピテンシーを表1のように定義した。ここでの工夫点は、成果物ベースでプロジェクト管理を行うことと、イテレーション型のプロセスを採用し、2サイクルのプロセスを定義していることである。前者については、プロジェクト開始前にゴールを明確

表 1: アクティビティの定義

アクティビティ	成果物	修得コンピテンシー
(i) 課題の設定	PJ 計画書	ビジョン設定力 PJ 定義力 PJ 管理力
(ii) 研究動向調査	調査報告書	情報収集力 研究動向調査力
(iii) 市場動向調査	調査報告書	情報収集力 市場動向調査力
(iv) 方式の提案	開発計画書	ビジョン設定力 課題設定力 課題解決力 計画書作成力
(v) 開発計画立案	開発計画書	課題まとめ力 モデル作成力 計画書作成力 仕様書作成力
(vi) 基本設計	基本設計書	要求実現力 方式記述力 システム設計力 設計書作成力
(vii) プロトタイプ構築	詳細設計書 ソースコード 構築システム テスト報告書	システム設計力 詳細仕様作成力 システム実装力 環境構築力 設計書作成力
(viii) プロトタイプ評価	評価計画書 結果報告書	計画作成力 実験実行力 結果分析力
(ix) ドキュメント整備	成果報告書 発表資料	成果総括力 報告書作成力
(x) 課題の見直し	PJ 計画書 開発計画書	ビジョン設定力 PJ 定義力 PJ 管理力 課題見直し力 課題解決力 計画書作成力
(xi) 基本設計	基本設計書	方式記述力 システム設計力
(xii) 詳細設計	詳細設計書	仕様作成力 システム設計力 仕様書作成力
(xiii) 実験システム構築	ソースコード 構築システム テスト報告書	システム実装力 環境構築力 設計書作成力
(xiv) 評価実験	評価計画書 結果報告書	計画作成力 報告書作成力 実験実行力 結果分析力
(xv) ドキュメント整備	成果報告書 発表資料	成果総括力 報告書作成力

に規定することが難しい研究型プロジェクトにおいて、成果物（主にドキュメント）の完成を各アクティビティの終結と定義した。後者については、1 サイクル目でプロトタイプシステムを構築し、課題を明確にした上で、2 サイクル目でテーマの再設定を行っている。

1 年間という限られた期間の中で、効率的にプロジェクトを推進し、その結果、高い教育効果を上げるために、本 PBL ではプロジェクト課題の大枠は教員が設定している。これは、課題の設定に時間がかかり過ぎ、全てのプロセスを経験することができなくなることを防ぐためである。課題の具体的な内容については後述する。

(5) 修得コンピテンシー

前節でアクティビティごとに修得できるコンピテンシーを定義したが、教育プログラムとして設計するためには、これらと本学で定義する 7 つの基本コンピテンシーとの関係を明らかにしておく必要がある。対応付けした結果を表 2 に示す。なお、共通認識構築力、プレゼンテーション力は表 1 には存在していないが、プロジェクト活動全体を通して修得できるコンピテンシーであるため、表 2 に記載を追加した。

表 2: コンピテンシーの対応

基本コンピテンシー	修得コンピテンシー
発想力	ビジョン設定力 課題設定力 課題設定力 課題解決力 課題まとめ力 成果総括力
マーケット感覚	情報収集力 市場動向調査力
ニーズ分析	情報収集力 研究動向調査力
ドキュメンテーション	仕様書作成力 方式記述力 設計書作成力 計画書作成力 報告書作成力
モデリングとシステム提案	モデル作成力 システム設計力 詳細仕様作成力 環境構築力 システム実装力 計画作成力 実験実行力 結果分析力
マネジメント	プロジェクト定義力 プロジェクト管理力
ネゴシエーション	共通認識構築力 プレゼンテーション力

(6) 成績評価の方法

教育の到達目標への達成度によって成績評価を行う。アクティビティごとに、それにかけた時間、およびかけた時間に見合った成果物が作成されているかを評価する。その上で、活動の質・量、成果物の質・量の 4 つの尺度に基づき評価を行

う。具体的な評価項目を下記に示す。なお、研究型プロジェクトの性格上、活動の質 20%、活動の量 10%、成果物の質 50%、成果物の量 20%という重み付けを行っている。

- 活動の質：
 - PM として、またはメンバとして適切なプロジェクト管理を実施したか？
 - プロジェクトにおける自分の役割を理解し、チームに貢献できたか？
 - プロジェクトの円滑な運営を支援するための活動を実施したか？
- 活動の量：
 - プロジェクト活動時間
 - 週 1 回のコアミーティングへの出席回数
 - 週 1 回以上のプロジェクト定例会への出席回数
- 成果物の質：
 - プロジェクトで定義した全てのドキュメントの内容が合格基準を満たしているか？新規性、有用性、信頼性の観点から、教員レビューにより可否を判定する。
 - ドキュメントの構成が適切であり文章として読みやすいものになっているか？
 - 評価実験を行うのに十分な機能を持ったソフトウェアを開発できたか？
 - 評価実験を行うのに十分な品質のソフトウェアを開発できたか？
- 成果物の量：
 - プロジェクトで定義したドキュメントに対し、一定量以上を作成したか？
 - 開発するソフトウェアのうち一定量以上を作成したか？
 - 発表会に関する成果物に対し一定量以上を担当したか？

4 PBL 教材の開発

4.1 RSNP の概要

前章で示した設計結果に従って、教材の開発を行う。我々はこれまで、ロボットサービスのインターネット化を実現するためのプロトコル仕様である RSNP の策定を行ってきたが、本稿ではこの RSNP を利用した PBL 教材の開発を考える。

ここではまず、RSi のロボットサービスモデルについて簡単に説明しておく。RSi では、ロボットサービスを、ネットワークを介してロボットが提供する情報サービス、もしくは物理的なサービスと定義している。図 1 にモデルの概要を示す。このモデルは、ロボットやサービスプロバイダ、サービスポータル、ユーザから構成され、同期・非同期の通信による動作や動作パターンの指示や結果の取り出し、ロボットからプロバイダへの問い合わせ・通知、サービスの提供、ユーザを含む外界とのやり取りを行うことができる。RSNP は、このモデルに従ってサービスのプロトコルを規定しており、異なるベンダで独立して開発したロボット／サービスの間での

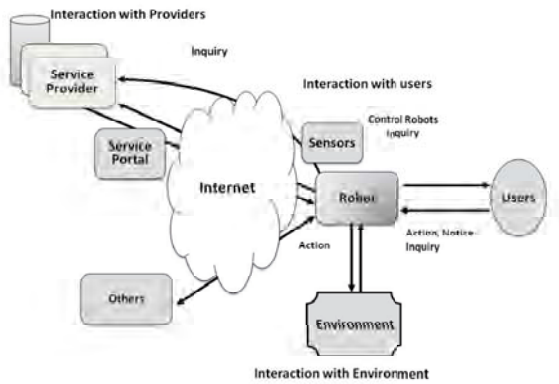


図 1: RSi のロボットサービスモデル

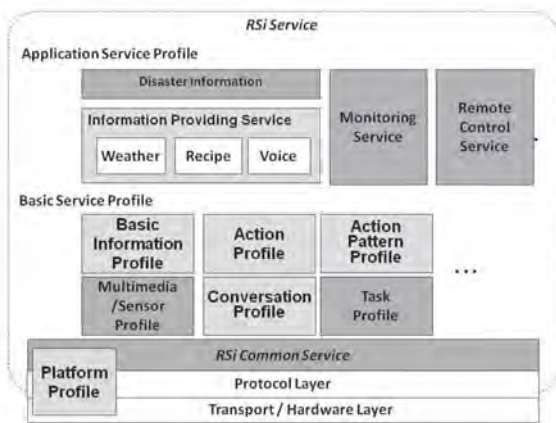


図 2: RSNP のシステムアーキテクチャ

相互運用を実現している。RSNP のシステムアーキテクチャを図 2 に示す。

プラットフォームのベースは、インターネットやシステム構築向け通信基盤である Web サービス基盤を利用している。そのため、高信頼メッセージング機能、セキュリティ機能等、インターネットとの整合性の高い標準化された機能を利用可能である。プラットフォーム自身は共通サービスとロボットサービスから成り、共通サービスでは、各種サービスをサポートするために、PULL 型・PUSH 型、同期・非同期型の通信モデルを提供している。一方、ロボットサービスは基本プロファイルと応用プロファイルから成り、カメラ・音声入出力などのマルチメディア機能や、前後回転動作など単純な動作・パターン動作などのロボットの動きを基本プロファイルとして提供し、情報サービス・天気サービス・防災情報サービス・見守りサービス・リモート制御などのサービスを応用プロファイルとして提供する。

RSNP2.3 準拠のライブラリ実装としては、富士通研究所で開発された FJLIB がある。これは、ロボット用 API (クライアント側) とサービス用 API (サーバ側) のそれぞれに対して呼び出し側のインタフェース実装と、呼び出された側の処理を記述するためのフレームワークを提供している。本 PBL ではこの FJLIB を利用し、ロボット用アプリケーションおよびサーバ用アプリケーションを構築する。

4.2 構築するシステム

RSNP を利用し、ロボットをはじめとする様々なデバイスとインターネットサービスを融合したシステムの構築を目指す。PBL として実施するためにはいくつかの制約条件がある。一番大きな制約は、利用出来る機材に限られていることである。情報系の専攻では、高額なロボットを購入することは難しいため、簡易ロボットや携帯電話 (スマートフォン) を利用したサービスを開発し、それが実ロボットに拡張可能であることを主張するストーリーが必要になる。スマートフォンは様々なセンサデバイスを内蔵しており、本 PBL テーマで利用するのに適している。ちなみに、FJLIB は Android 版が提供されているため、その利用が可能である。

このような背景から、本 PBL では、簡易ロボットとして LEGO MINDSTORMS を、携帯端末として Android 携帯を利用することとした。さらに、iRobot 社の Roomba への実装も考慮に入れる。具体的には、2010 年度は、Android 用ライブラリを利用したサービスとしてデジタル旅日記 [5]、インターネットサービスとロボットサービスの融合例として LEGO MINDSTORMS を利用した家庭用監視ロボット [6] の開発を行ってきた。

今年度は、これらを融合し、LEGO MINDSTORMS を Android 携帯を経由して操作するシステムの構築をターゲットとした。PBL 教材としてはこれらのデバイスを用意し、研究ターゲットについては学生自らが設定することとしたが、結果としては、ロボットとインターネットサービスの融合を実現するためのフレームワークを研究対象とし、そこに接続するロボットとして、LEGO MINDSTORMS と Android 携帯を組み合わせたクライアントを構築する形となった。現在はその前段階として、小型 Windows PC と LEGO MINDSTORMS を組み合わせるロボットを構築している。ロボットのイメージを図 3 に示す。

RSNP は、多様なロボットに共通サービスを提供するためのプロトコルであるため、今回簡易ロボット向けに開発したサービスを、enon [7] 等の実ロボットに展開していくことを計画している。



図 3: ロボットのイメージ

4.3 開発環境

PBL では、開発環境を学生自らが構築することもその教育目標によっては非常に重要である。しかし、開発自体が本質ではないプロジェクトにおいては、煩雑な環境は事前にパッケージとして構築しておくことが、プロジェクトの効率的な遂行に有効である場合もある。本 PBL の場合は、プロセスの実施に重点をおいているため、開発環境については事前にひと通りパッケージ化して提供することとした。開発環境のイメージを図 4 に示す。

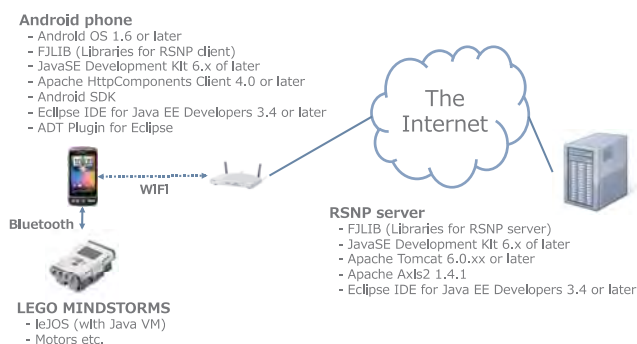


図 4: 開発環境のイメージ

今回は、環境をパッケージ化したために、次年度以降のプロジェクトや、他の組織のプロジェクトへのテーマの展開が容易になるというメリットが生じた。パッケージとしては、具体的には下記を用意した。

- ドキュメント一式：テーマ説明資料，ロボットアプリ構築用チュートリアル資料，ロボットサービス構築用チュートリアル資料，LEGO MINDSTORMS 設定手順書
- LEGO MINDSTORMS 用ソフトウェア一式：NXT ドライバ，leJOS（ファームウェア）セットアッププログラム，サンプルコード
- RSNP2.3 SDK (FJLIB)：富士通研究所から提供された RSNP ライブラリー一式
- サンプルコード：ロボット用，サーバ用，Android 用，LEGO MINDSTORMS 用のデモプログラム

4.4 プロジェクトの実施例

本プロジェクトテーマは、本学の学生が昨年度から実施してきたものである。本年度は、テーマをより絞り、開発環境をサンプルコード等を含めてパッケージ化することにより、他組織への展開もはかっている。具体的には、本学が 3 年前から実施しているベトナム国家大学との国際 PBL [8] において、テーマ提供を行っている。活動自体は 2011 年の 9 月より開始するが、現地での打ち合わせを含めた数回の打ち合わせを通し、プロジェクト準備を進めている。また、慶應大学 SFC で実施されているコラボレイティブ・マネジメント型情報教育 [9] へのテーマ提供も予定している。いずれも、本学学生が

技術サポートに入る体制を取り、本学学生にとっても、PBL 実施組織にとっても教育効果があるように工夫して運営していく予定である。

さらに、それぞれの組織は、教育対象となる学生の属性が異なるため、新たな課題、問題点等が発生することが予想される。実施体制のみならず、教材自身の洗練、対象に応じたカスタマイズの必要性を感じている。特に、国際 PBL の場合は、言語の問題、フェイス・トゥー・フェイスのミーティングが困難である点等、コミュニケーション手段の工夫が必要である。また、システムの不具合等で作業が滞ることがないように、事前準備を入念に行う必要もある。今後、実施例を増やすことにより、教材自身、運営方法ともに見直しを行っていく予定である。

5 まとめ

本稿では、昨年度から実施している PBL の内容を、教材開発の観点から論じた。本 PBL の内容は、今後、国際 PBL、他大学の PBL での実施を予定しており、教材のさらなる洗練が期待される。実施結果から得られた知見を活かし、今後も内容の見直しを継続して行っていく予定である。

参考文献

- [1] 加藤, 中鉢, 戸沢, “専門職大学院における PBL 型教育の実践—産業技術大学院大学における事例—,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 3, pp. 83–90, 2010.
- [2] 成田, 村川, 植木, 中本, 日浦, 平野, 蔵田, 加藤, “普及期のロボットサービス基盤を目指す RSNP (Robot Service Network Protocol) 2.0 の開発,” 日本ロボット学会誌 Vol. 27, No. 8, pp. 857–867, 2009.
- [3] 成田, 村川, 植木, 岡林, 秋口, 日浦, 蔵田, 加藤, “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),” 日本ロボット学会誌 Vol. 28, No. 7, pp. 829–840, 2010.
- [4] RSi Robot Service initiative, <http://robotsservices.org/>
- [5] S. Ushio, Y. Ito, K. Okada, T. Kitahara, H. Tsuji, S. Moriguchi, M. Narita, and Y. Kato, “The Digital Travel Diary System Using the Network Service Platform,” in *Proc. AINA Workshops 2011* pp. 890–895, 2011.
- [6] S. Ushio, K. Okada, Y. Kido, T. Kitahara, H. Tsuji, S. Moriguchi, M. Narita and Y. Kato, “A Home Security Service Robot System Using the Network Service Platform and Its Implementation,” in *Proc. SAINT 2011* pp. 402–407, 2011.

- [7] 富士通サービスロボット enon,
<http://www.frontech.fujitsu.com/services/products/robot/servicerobot/>
- [8] 中鉢, 成田, 戸沢, “ベトナム国家大学とのグローバルPBLから得た知見,” 産業技術大学院大学紀要, Vol. 4, 2011.
- [9] 慶應大学コラボレイティブ・マネジメント・ラボラトリー,
<http://collam.crew.sfc.keio.ac.jp/>

Sequence-based Access Control in Outsourced DNA Databases

Shogo Shimizu*

Abstract

DNA sequences are collected and managed as a database so that biologists can perform various analyses. When the administration of such database is outsourced, there arises a security or privacy problem. In this paper, we propose a perturbation method that protects a database and its query contents from a database administrator while preserving efficient similar sequence search. In our method, access to some sequence is granted only to a querier that holds similar sequence in order to prevent curious search.

Keywords: DNA sequence, database outsourcing, access control, private information retrieval

1 Introduction

DNA sequences are usually produced by organizations that routinely carry out wet experiments on their research targets. DNA sequences, along with various annotations, are collected and managed as a database, often open to the public, so that biologists can perform various analyses, including DNA homology search for functional prediction, checking the novelty of cloning data, and so on.

Meanwhile, a database outsourcing service called *database-as-a-service* (DaaS) has now emerged. It provides hardware/software/network infrastructure, database administration tasks, and database access interfaces for clients. Biology organizations, especially small ones, can benefit from such DaaS providers in terms of technical and cost reasons. However, there arises a security or privacy problem when utilizing DaaS. A database is located outside of an organization that owns the data. Thus, when a query is sent to the database, the database administrator, who is not a member of that organization, can have access to the database contents and logs. For example, if a database contains information on a novel gene, the information itself has value as a new discovery in biology or has economical value for new drug development. Note that encryption over a communication network is not enough to protect data. Currently, such risk of information leakage is reduced by operation procedures such as contracts, but ensuring technical protection in addition to operation procedures is more desirable.

Another scenario that concerns privacy is that a

database is open to the public, but queries to the database should be protected from a database administrator, which is often referred to as *private information retrieval* [1]. In medical information databases that contain DNA sequences, such as personal health records and single nucleotide polymorphism (SNP) databases, a patient's DNA sequence is sent as a query to a database to determine the existence of similar sequences implying the potential of particular diseases. Here, a patient's DNA sequence is very sensitive information. Thus, database users usually do not want to expose their query contents to a database administrator while keeping database retrieval effective.

In both cases above, developing a method that protects a database and its query contents from a database administrator and preserves efficient similar sequence search functionality is required. Note that data encryption with no indexing schemes does not work well because of inefficiency. The rest of this paper is organized as follows. First, we will describe our problem setting and introduce the related techniques. We will then give the overall system architecture and the details of query processing methods. Finally, we will introduce some related studies and summarize this paper.

2 Preliminaries

2.1 Secure Database Outsourcing

We assume that there exists a single DNA database, and any authorized user can enroll a new DNA sequence into the database or execute a DNA sequence similar-

Received on August 30, 2011.

* Advanced Institute of Industrial Technology

ity search against the database by giving a query sequence. An entity that enrolls a particular sequence may be different from the one that retrieves the sequence. A database administrator is not authorized to update and query the database. However, he/she can browse all the contents of the database and the input/output of any queries and try to guess a DNA sequence in the database or a user's original query from these data.

2.2 Sequence Similarity

A DNA sequence can be represented as a series of four characters: A, C, G, and T. We simply model a DNA sequence similarity search as a string similarity search. As a similarity measure between two strings, we adopt an *edit distance* [10], which is widely accepted. An edit operation is character insertion, character deletion, or character replacement. An edit distance between two strings is defined as the minimum number of edit operations needed to make the two strings identical. Let a database \mathcal{D} be a set of strings. Given a string s and an integer k , string similarity search against \mathcal{D} returns a list of strings in \mathcal{D} with a distance of less than or equal to k from s .

An edit distance between two strings of lengths n and m can be computed in $\mathcal{O}(nm)$ time by dynamic programming. For string databases, a filtering method called *q-gram* [10], or its generalization [4], is more efficient. A *q-gram* of string s is a substring of s of length q . The following *q-gram lemma* then holds: if the edit distance of two strings of lengths n and m is d , then they have at least $\max(n, m) - (d+1)q + 1$ common *q-grams*. Using this lemma, the string similarity search is processed as follows. First, by counting the number of common *q-grams* for each string in a database and a query string, strings that do not satisfy the *q-gram lemma* are removed from the candidates. Note that false positives, that is, strings with a distance of greater than d from the query string, may be contained in the candidates. This step can be done in $\mathcal{O}(n + m)$ time for each string in the database. Second, for each string in the candidates, compute an edit distance by dynamic programming and obtain final results.

2.3 Statistical Inference Attack

First, we consider a simple method that protects each *q-gram* by a hash function and explain why this protection is not enough. Let h be a hash function and $Q(s)$ denote a set of all *q-grams* generated from a string s . When enrolling a sequence s into a database \mathcal{D} , a client

sends s in some encrypted form and a set of hash values $Q_h(s) = \{h(q) \mid q \in Q(s)\}$ for *q-gram* matching. Each *q-gram* is assumed to be salted before it is hashed to prevent a dictionary attack. When processing a query, match a set of hashed *q-grams* $Q_h(t)$ generated from a query string t against each $Q_h(s)$ for each $s \in \mathcal{D}$. Based on the *q-gram lemma*, decide whether s is a candidate or not.

The original string s cannot be inferred from $Q_h(s)$ as long as h is irreversible. However, if the histogram of the hash values in the database is available, there is a risk of a *statistical inference attack* using prior knowledge about the frequency of the DNA sequence patterns. An attacker can use this as prior knowledge. From this, an attacker can try to guess the association between a hash value and an original *q-gram* and then reconstruct an original sequence from the presumed *q-grams*. In addition to this statistical inference, another inference is possible that utilizes the continuity of *q-gram* strings. Once a pair of hash values in $Q_h(s)$ and its corresponding *q-gram* is identified, another pair of hash values in $Q_h(s)$ and its corresponding *q-gram* may be guessed using the contiguous property of the *q-grams* and the relationship of frequencies of those *q-grams*. In the case of DNA sequences, there are only four patterns of *q-grams* that can appear after a particular *q-gram*, and they are a concatenation of the tail substring of the *q-gram* of length $q - 1$ and one character among A, C, G, and T. One of these four patterns invariably appears in $Q_h(s)$, where the identified *q-gram* is contained.

Thus, not only should it protect individual *q-grams* by a hash function, but the histogram of *q-grams* in the database should also be transformed sufficiently from the original one to prevent an attacker from inferring with the corresponding *q-gram* from a particular hash value.

3 Overall Framework

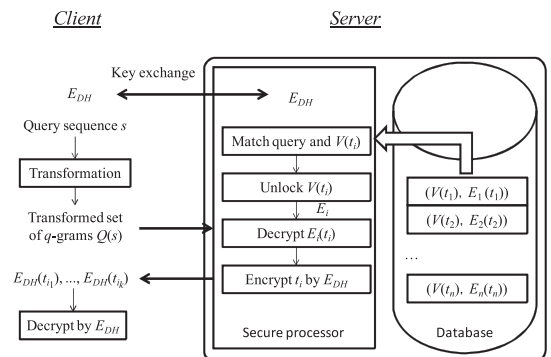


Fig. 1: System constitution of secure DNA search.

Figure 1 shows a system constitution of our secure string similarity search. The server consists of a database and a secure processor that performs the filtering phase securely. Query transformation and the refinement phase are done at the client side.

Let t_1, \dots, t_n denote raw sequences. For each $i \in [1, n]$, a set of data points $V(t_i)$ is constructed from $Q(t_i)$, allowing the success probability of a statistical inference attack with the histogram of all data points in the database to lessen and be used for matching with a query. Each t_i is stored in an encrypted form with a key E_i , which is hidden in $V(t_i)$. E_i can be extracted from $V(t_i)$ if and only if a query sequence s and t_i are sufficiently similar. The details of this mechanism will be described in the next section.

A *secure processor* is a special hardware device that consists of a processor with some RAM and ROM for physical protection. Data inside the secure processor cannot be seen. The secure processor is installed in the server with software programs, in this case, the implementations of a key exchange protocol and the filtering phase written on the ROM. Here, we use this hardware-based solution especially for not disclosing which data in $V(t_i)$ have matches with data in a query to the server. This information on matches easily leads to the invalidation of the effect of transformation of $Q(t_i)$. The details of a security issue will be discussed later. To prevent a malicious database administrator from directly querying the database with his/her own implementation, check a user or process ID that ensures that a query is passed from the secure processor in the database and/or make proper matching only when a query is passed from the secure processor, for example, some secret permutation is applied to every data point in $V(t_i)$ within the secure processor. Whether a software-based solution exists is an open issue. Although we adopt a hardware-based solution, the secure processor needs only a limited size of RAM in our method because each $(V(t_i), E_i(t_i))$ is read and matched against a query individually.

In the filtering phase, which is performed within the secure processor, t_i is decrypted by a decryption key E_i if t_i has enough similarity with a query. Otherwise, discard t_i and proceed to the next data in the database. Again, candidate results are encrypted by a shared key E_{DH} within the secure processor before being returned to a client. The key E_{DH} is obtained by a key agreement protocol when starting a session and is stored in the RAM of the secure processor during the session. As all the returned data are encrypted, an attacker learns nothing

from the outputs of the processor.

Note that by embedding a decryption key E_i into $V(t_i)$, t_i can be shared among *any* authenticated clients while preserving data security. If a decryption key of some client is used to protect data, other clients need to share the key securely outside the system, which is very troublesome and insecure. Therefore, such solutions usually assume the DaaS setting where only a single entity exists.

4 Query Processing

In this section, we describe a data enrollment procedure and a query processing procedure. We start by explaining a polynomial reconstruction problem, which is used as a key hiding mechanism in $V(t_i)$ in our method.

4.1 Polynomial Reconstruction Problem

We describe the outline of a fuzzy set matching method called *fuzzy vault* [8]. A fuzzy vault scheme carries out fuzzy set matching based on a polynomial reconstruction problem and error-correction codes and are used for applications such as biometrics and password recovery. For example, in a fingerprint authentication with a fuzzy vault scheme, minutiae in a fingerprint picture called a template is secured and stored in a smartcard or a database in a data enrollment phase. In the authentication phase, feature points extracted from a fingerprint picture on biometric devices are matched against the template for verifying their identity. The stored minutiae are kept secured during this matching procedure. Thus, an attacker cannot know an original fingerprint from a template. As feature points vary depending on the conditions of bodies and devices, some errors should be tolerated, that is, matching should be done in a fuzzy manner in the authentication. When the authentication succeeds, data hidden in the template, such as PIN, are obtained for an application.

Let us define the function of the fuzzy vault more formally. Let \mathcal{F} be a field of size p . Let $A \in \mathcal{F}^n$ for some n . To lock data $s \in \mathcal{F}^k$ in A , construct first an information polynomial of degree $k - 1$ so that coefficients of the polynomial represent s , and then construct a code polynomial of degree n using Reed-Solomon codes. For all elements in A , generate a set of points on the code polynomial. To conceal s , add $r - n$ pseudo points called *chaffs* to the points generated from A and output $R \in \mathcal{F}^r$ called *vault*, which consists of all the correct and pseudo points. To unlock the vault R , in other words, to cor-

rect a codeword and obtain the information polynomial, at least $\frac{n+k}{2}$ correct points must be identified, assuming that the Berlekamp-Massey algorithm [3] is adopted as a decoding algorithm. In the matching context, given another set $B \in \mathcal{F}^n$, s can be obtained if A and B have at least $\frac{n+k}{2}$ common elements.

The security of the fuzzy vault scheme is ensured information-theoretically by the polynomial reconstruction problem and by the existence of chaffs added to R . Let $\|S\|$ denote the cardinality of a set S . Let $\|A\| = \|B\| = n$ and $\|R\| = r$. To reconstruct an original polynomial from R , Juels and Sudan [8] showed that for a small real number $\mu > 0$, there are

$$\frac{\mu}{3} p^{k-n} \left(\frac{r}{n}\right)^n$$

possible polynomials with a probability of at least $1 - \mu$.

In the proposed method, we use the fuzzy vault mechanism to recover a decryption key E_i embedded in a vault $V(t_i)$ if a query sequence and a sequence in the database are sufficiently similar. To do so, we associate the q -gram lemma with the error correcting capability of the Reed-Solomon codes.

4.2 Data Enrollment Procedure

Let s be an enrolled sequence. Let $|s|$ denote the number of characters in s . For simplicity, we assume $|s| = n + q - 1$ for any sequence s , where n is a parameter. This assumption is valid when each sequence is split into subsequences of length $n + q - 1$ to identify locally similar parts more efficiently.

A data enrollment procedure at the client side is as follows.

- (1) Let \mathcal{F} be a field of size p . For a bit sequence of a decryption key E of s , construct an information polynomial f_I of degree $k - 1$ for some k .

$$f_I = e_{k-1}x^{k-1} + \dots + e_1x + e_0$$

Let l be the number of bits in one word. The first l bits of E are represented by e_{k-1} , the second l bits of E are represented by e_{k-2} , and so on. Thus, the length of E is equal to lk bits. Then, construct an (n, k) code. The choice of parameters n and k will be described later. Let f_C be a code polynomial of degree n .

- (2) Map the set of $n = |s| - q + 1$ q -grams generated from s to $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, where $a_i \in \mathcal{F}$ for each $i \in [1, n]$ and $a_i \neq a_j$ for any i and j . This mapping should be done in the same manner at any enrollment and query time.

- (3) Let $X \leftarrow \varphi$ and $V \leftarrow \varphi$. For each $i \in [1, n]$, repeat the following steps:

$$\begin{aligned} (x_i, y_i) &\leftarrow (a_i, f_C(a_i)) \\ X &\leftarrow X \cup \{x_i\} \\ V &\leftarrow V \cup (x_i, y_i) \end{aligned}$$

- (4) Add a group of pseudo data called chaffs to V . Let r be an integer from $n+1$ to p . For each $i \in [n+1, r]$, repeat the following steps:

$$\begin{aligned} \text{select } x_i &\in F - X \\ \text{select } y_i &\in F - \{f_C(x_i)\} \\ V &\leftarrow V \cup (x_i, y_i) \end{aligned}$$

- (5) After sorting elements in V in an ascending order of x -coordinates, send V as $V(s)$ with $E(s)$ to the server. The elements in V should be sorted to hide the order of generation.

At the server side, x -coordinates in $V(s)$ is permuted randomly using a permutation table in the secure processor to prevent a dictionary attack. This permutation table is written in a re-writable memory and should be refreshed periodically to enhance the security.

If r is taken to be close to p , a statistical inference attack becomes difficult because the histogram of x -coordinates is nearly uniform.

4.3 Query Processing Procedure

Query generation: At the client side, for a query sequence t , generate $n = |t| - q + 1$ q -grams from t , and map them to $B = \{b_1, \dots, b_n\}$, where $b_i \in \mathcal{F}$ for each $i \in [1, n]$, in the same manner as in the data enrollment procedure. Send B to the server with an integer d , which denotes an acceptable edit distance from t .

Matching and filtering steps: At the server side, given B and the integer d , repeat the following steps for every vault $V(s)$ in the database:

- (1) Assume that every x -coordinate in $V(s)$ is permuted reversely in the secure processor using the same permutation table used during the data enrollment time. Let $(x_i, y_i) \stackrel{(b_i, \circ)}{\leftarrow} V(s)$ denote the projection of $V(s)$ onto x -coordinate b_i . For any y , $(x_i, y_i) = (b_i, y)$ if there exists a pair $(b_i, y) \in V(s)$. Otherwise, (x_i, y_i) is empty. Let $Q = \varphi$. For each $i \in [1, n]$, repeat the following steps:

$$\begin{aligned} (x_i, y_i) &\stackrel{(b_i, \circ)}{\leftarrow} V(s) \\ Q &\leftarrow Q \cup (x_i, y_i) \end{aligned}$$

- (2) Let $th = n - (d + 1)q + 1$, which is the filtering condition in the number of common q -grams in the q -gram lemma. If $\|Q\| < th$, remove $V(s)$, that is, a sequence s , from the candidates and continue to the next item in the database. If $\|Q\| \geq th$, include $(V(s), E(s))$ in the candidates and proceed the following steps.
- (3) For each candidate, correct errors in a received codeword Q . The fuzzy vault scheme uses a generalization of Reed-Solomon codes, where a codeword consists of a set of points [8]. As a decoding algorithm of the Reed-Solomon codes, we adopt the Berlekamp-Massey algorithm, which is easy to implement and is efficient, although any algorithm is applicable. In the Berlekamp-Massey algorithm, the number of correctable errors is at most $\frac{n-k}{2}$. This ability of correcting errors can be used as fuzziness in similarity search. Therefore, we choose the parameters n and k to satisfy the following equation:

$$\frac{n+k}{2} = n - (d_{\max} + 1)q + 1,$$

where d_{\max} ($\geq d$) is the maximum edit distance that can be specified in a query. Note that this choice of parameter values is done during the enrollment time and can be different per sequence. If s has been decided to be a candidate for similarity matching with t in the previous step, that is, s and t have $th = n - (d + 1)q + 1$ common q -grams, then Q can be always decoded to the correct codeword because the number of different points is

$$\begin{aligned} n - th &= n - (n - (d + 1)q + 1) \\ &\leq n - (n - (d_{\max} + 1)q + 1) \\ &= n - \frac{n+k}{2} = \frac{n-k}{2}. \end{aligned}$$

Thus, it is ensured that a key E that encrypts s can be extracted from a polynomial hidden in $V(s)$ only when a similar sequence t is provided and a proper permutation is applied to x -coordinates $V(s)$ for matching. When a dissimilar sequence is given as a query, there is no need to decrypt s .

- (4) After decrypting s by E , re-encrypt s by a shared key E_{DH} , which is obtained by a key exchange protocol with the client when starting a query session, and send $E_{DH}(s)$ to the client.

Refinement step: At the client side, receive a list of candidate results encrypted by E_{DH} . After decrypting these data, the client computes an edit distance of each

pair and obtains the final results. No false negatives and additional false positives are made in our method.

Example 1. Let us consider an example of the constraints in parameter values. Let a codeword consist of 16 bits; therefore, $p = r = 2^{16} = 65,536$. Let $(n, k) = (128, 64)$. Then, the bit length of a key E is equal to $16 \times 64 = 1,048$. As $4^q \leq p$ must hold in order that each q -gram is mapped to a different element in \mathcal{F} , q is at most 8. To satisfy $\frac{n+k}{2} = n - (d_{\max} + 1)q + 1$, $d_{\max} = 10$ when $q = 3$. \square

The parameter values in the above example are suited for SNP searching and checking the novelty of a sequence. It is said that a human being has an individual difference to the degree of one substitution of single nucleotide per hundreds or thousands of base pairs. For example, Rs6313 (T102C) is a SNP for Homo sapiens 5-hydroxytryptamine (serotonin) receptor 2A (HTR2A), which consists of 1,416 base pairs. Using the parameter values, a patient or his/her doctor can query an SNP database by his/her own DNA sequence to determine whether he/she is likely to contract a particular disease.

Compared with the original q -gram filtering and apart from the overhead of the secure processor, additional processing is conducted to decode a codeword when a corresponding sequence turns out to be a candidate. The Berlekamp-Massey algorithm needs $O(e^2)$ time for decoding, where $e = \frac{n-k}{2}$ is the number of correctable errors. The overall efficiency depends on a filtering rate. As a filtering rate for SNP searching and novelty checking is generally very high, the overall efficiency is still expected to remain good in those applications regardless of the decoding step.

4.4 Security Consideration

By setting the number of points in a vault r to be equal to p , every x -coordinate occurs once in every vault, that is, the occurrence frequency of any x -coordinate is equal and divulges nothing to an attacker. Furthermore, as different polynomials are used to generate y -coordinates, the occurrence frequency of any y -coordinate in all the vaults is randomly distributed. Thus, the statistical inference attack from all the vaults in the database is impossible, and the security depends only on the fuzzy vault scheme. For example, when $r = p = 2^{16}$, $n = 128$, and $k = 64$, there are about 2^{127} possible polynomials for one vault. An attacker needs to identify one of these polynomials to obtain one sequence.

The secure processor plays the roles of hiding correct points in a vaults, which are otherwise easily guessed

from q -gram matching results, and protecting against a dictionary attack from a malicious database administrator who is not authorized to access the database. As described earlier, because of the permutation table that randomizes the x -coordinates in vaults, even if a database administrator can directly query the database without passing through the secure processor, q -gram matching cannot be done correctly, and thus a decodable codeword cannot be obtained. When a codeword consists of 16 bits, the secure processor needs a fixed memory size of 32×2^{16} bits = 256 KBytes, while there are $2^{16}!$ possible permutation tables. The permutation table and keys embedded in vaults can be updated inside the secure processor as many times as needed.

5 Related Work and Summary

Some privacy-preserving protocols for DNA matching have been proposed. In [2, 7], a secure protocol that computes an edit distance between two sequences based on dynamic programming without disclosing sequences to each other was proposed. In [9], DNA matching is regarded as the problem of deciding whether a word, which is one DNA sequence, is accepted by an automaton, which is constructed from the other DNA sequence, to enable approximate string matching and to develop a secure two-party protocol that performs state transitions of the automaton by an input sequence. The work in [6] improves the efficiency of the work of [9] by realizing a protocol that requires a constant number of rounds and $O(n)$ (where n is the length of sequences) server modular exponentiations. However, these encryption-based protocols assume one-to-one matching, and their computation costs are relatively high. They also require $O(n^2)$ client computation. Therefore, these protocols as well as other applicable encryption-based protocols, such as secure set intersection [5], do not scale well when there are a number of data to be compared with, especially when querying a large database. On the other hand, perturbation-based methods generally have the merit of computation cost at the expense of accuracy and are better suited for filtering data.

The aim of this work is to design a system that enables a private sequence similarity search against a database in DaaS environments. The problem has not been considered in the literature as far as the authors know. The feature of this approach is that similar sequences can be shared among *any* authorized users by embedding each decryption key of an encrypted data into its

index, enabling key storage on external disks and avoidance of a biased histogram of encrypted data. This key can be extracted only when a similar sequence is provided through a secure processor installed on the server. Although we adopt a hardware-based solution in this work to protect data from a malicious database administrator, developing an alternative efficient software-based approach only should be addressed in the future work.

References

- [1] D. Asonov, *Querying Databases Privately: A New Approach to Private Information Retrieval*, LNCS 3128, Springer, 2004.
- [2] M.J. Atallah and J. Li, "Secure outsourcing of sequence comparisons," *International Journal of Information Security*, Vol. 4, No. 4, pp. 277–287, 2005.
- [3] E.R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory*, McGraw Hill, New York, 1968.
- [4] S. Burkhardt, and J. & Kärkkäinen, "Better filtering with gapped q -grams," In *12th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching*, pp. 73–85, 2001.
- [5] M. Freedman, K. Nissim, and B. & Pinkas, "Efficient private set matching and set intersection," In *EuroCrypto '04*, pp. 1–19, 2004.
- [6] K.B. Frikken, "Practical private DNA string searching and matching through efficient oblivious automata evaluation," In *23rd Annual IFIP WG 11.3 Working Conference on Data and Applications Security XXIII*, pp. 81–94, 2009.
- [7] S. Jha, L. Kruger, and V. Shmatikov, "Towards practical privacy for genomic computation," In *2008 IEEE Symposium on Security and Privacy*, pp. 216–230, 2008.
- [8] A. Juels and M. Sudan, "A fuzzy vault scheme," *Designs, Codes and Cryptography*, Vol. 38, No. 2, pp. 237–257, 2006.
- [9] J.R. Troncoso-Pastoriza, S. Katzenbeisser, and M.U. Celik, "Privacy preserving error resilient DNA searching through oblivious automata," In *14th ACM Conference on Computer and Communications Security*, pp. 519–528, 2007.
- [10] E. Ukkonen, "Approximate string matching with q -grams and maximal matches," *Theoretical Computer Science*, Vol. 92, No. 1, pp. 191–211, 1992.

SuperSQL を用いた適用型 Web ビューの最適化

慎 祥揆*

Optimization of Adaptive Web View Using SuperSQL

Sang-Gyu Shin*

Abstract

In this paper, I introduce ACTIVIEW to achieve dynamic adjustment to the terminal display size when retrieve information from relational database is displayed as a view using SuperSQL, a query language which connects relational database to WWW. ACTIVIEW, first, generates the candidate layouts according to width restriction that judges whether the generated layout is narrower than the user display width, and developer restrictions that determines the structure information which is specified by developer in original query. And I have shown the efficiency of my proposed method in comparison to simple order search and exhaustive search on computation time, number of converted connect operators and layout structural consistency.

Keywords: ACTIVIEW, Adaptive Web view, SuperSQL, Database publish, WWW

1 はじめに

ACTIVIEW[1-3]は、関係データベースと WWW の連携システムである SuperSQL システムの基礎の上に開発したアダプテーション技術である。関係データベースからの構造化されていない平坦な検索結果を構造化する SuperSQL システムの機能を応用し、この構造を再構成することで様々なユーザ環境、すなわちユーザ表示画面に適応した Web ビューの提供を行う。Web ビューの作成は SuperSQL システムを用いているため、まず ACTIVIEW は SuperSQL の問合せ文をユーザ表示画面に合わせた表(レイアウト)を生成するように書き換える。元の間合せ文を書き換えることによって初期レイアウトとは異なるレイアウトが生成され、ユーザ表示画面に適応した表を提供することが可能になる。SuperSQL の問合せ文は関係データベースからの結果を入れ子構造に再構成できるように通常の SQL 文を拡張したものである。ACTIVIEW では構造化定義ができる SuperSQL の問合せ文の構造定義を、

- 関係データベースからの検索結果を横連結から縦連結にすることによってレイアウトの幅を変更する。
- 横か縦に連結しているレイアウトにリンク定義を導入することで結果レイアウトの長さを変更する。

という 2 つのレイアウト変換の基本概念を用いて、SuperSQL の問合せ文に定義された初期レイアウトの再構成を行う。この基本概念に従うレイアウトの構造変換は、ユーザ環境に最適なレイアウトをもつ Web ビューを提供するべき

であるという動機から、2 つの最適化制約と 3 つの目標指標をレイアウト変換の基準とする。ユーザ環境に最適化されたレイアウトを生成するために ACTIVIEW はまず、

- 幅制約
- 開発制約

の 2 つの守るべきである。最適化制約を満たしたレイアウトを元の間合せ文から生成する。この生成された複数のレイアウト結果を最終結果レイアウトの候補レイアウトとする。この候補レイアウトからユーザに提供する最終結果レイアウトを選択するために最適化レイアウトの判断基準になるのが、

- 幅占有率目標
- 充填率目標
- 長さ目標”

の 3 つの目標指標である。これらのレイアウトの評価基準を定めることで、より良いレイアウトを生成することが可能になる。

2 ACTIVIEW の実現

ACTIVIEW は SuperSQL の新規のメディアとして提案された。SuperSQL とは SQL を拡張した問合せ言語であり、データベースに問い合わせ得た平坦な構造の出力結果を構造化し、指定したメディアである XML, HTML, PDF, Excel, SWF (Shockwave Flash) などへ変換するシステムである。SuperSQL のメディア生成技能を基礎にした ACTIVIEW の特徴は、クエリーの出力結果が Web ページの表示環境に応じて変化することである。

2.1 SuperSQL の概要

SuperSQLとは、TFE(Target Form Expression)を用いてSQLを拡張した問合せ言語で、データベースに問い合わせた平坦な構造の出力結果を構造化し、指定されたメディアの応用データへ変換するシステムである。TFEは、SQLのターゲットリストを拡張したもので、TFE特有のオペレーター(結合子と反復子)を用いてレイアウト(生成されるテーブルの構造)を指定することができる。各結合子と反復子は次元に対応している。例えば、HTMLメディアを生成する場合1,2次元は、表の行と列に対応し、3次元はハイパーリンクに対応する。

SuperSQLの問合せ文は、SQLのSELECT節をGENERATE <medium> <TFE>の構文を持つGENERATE節で置き換えたものである。ここでは<medium>は出力媒体を示し、XML, HTMLなど出版メディアの指定ができる。出版メディアは、SuperSQLを通じ、データベースからの検索結果から生成できるメディアを示す。以下に、結合子と反復子について簡単に述べる。

- 水平結合子(,) : 両オペランドのデータを横に連結して出力。図1のA.
- 垂直結合子(!) : 両オペランドのデータを縦に連結して出力。図1のB.
- 深度方向への結合子(%) : 両オペランドのデータをリンクを利用して連結して出力。図1のC.
- 水平反復子([,]) : オペランドのデータがある限り、そのデータを横に繰り返し結合する。図1のD.
- 垂直反復子([!]) : オペランドのデータがある限り、そのデータを縦に繰り返し結合する。図1のE.

垂直反復子と水平結合子を組み合わせて用いると、図1のFのような出力が得られる。このような反復子のネストによってグルーピングを直感的に指定できる。

SuperSQLでは関係データベースにより抽出された情報に、文字サイズ、文字列の出力領域(セル)の横幅、セル内での文字列の位置などの情報を付加する装飾子がある。これらは、装飾演算子"@[装飾指定式]"によって指定することができる。

装飾指定式は(項目名 = 値)として指定する。複数指定するときは各々を“,”で区切る。例えば、チーム名の背景を赤にして、セル内の横幅を120pixelにしたい場合は以下のように記述する。

チーム名@[bgcolor=red, width=120}

装飾子は、このように属性に指定するだけでなく、反復子や式の範囲、画面全体などに対して指定するものもある。

2.2 システム構成

一般的なシステムの流れを図2に示す。

図2において、太線で囲まれた部分がSuperSQL処理系で

A	p.team , p.name	Japan Koji NAKATA
	クエリーの例	結果テーブル
B	p.team ! p.name	Japan Koji NAGATA
	クエリーの例	結果テーブル
C	p.team % p.name	Japan → link → Koji NAKATA
	クエリーの例	結果テーブル
D	[p.name],	Koji NAKATA Shinji ONO ...
	クエリーの例	結果テーブル
E	[p.name] !	Koji NAKATA Shinji ONO ... KAWAGUCHI
	クエリーの例	結果テーブル
F	[p.team , [p.name] !] !	Japan Koji NAKATA Shinji ONO ... England BECKHAM
	クエリーの例	結果テーブル

図 1: 各結合子と反復子のクエリーの例と結果テーブル

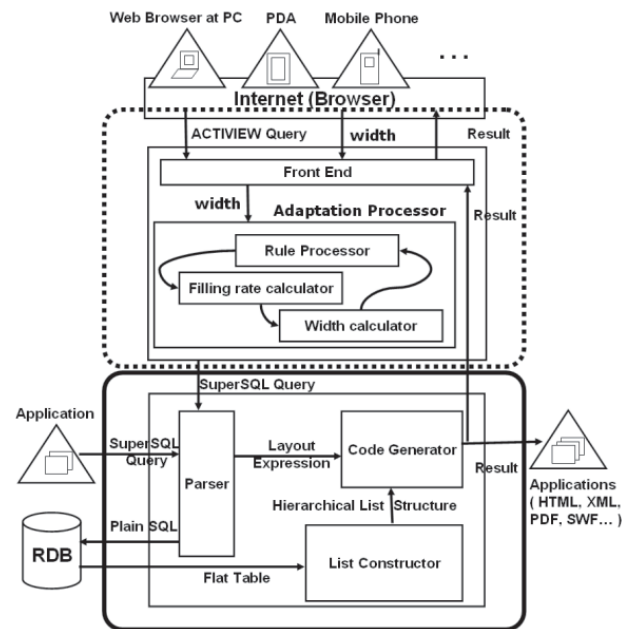


図 2: システムの概要図

あり、点線で囲まれた部分が追加されたACTIVIEWを実現するための処理部分である。

まず、フロントエンド(Front End)がブラウザからユーザ表示画面の幅を受け取り、この情報を適応化処理部に渡す。

適応化処理部(Adaptation Processor)は、フロントエンドが受け取ったユーザ表幅に従って元の問合せ文をユーザ表

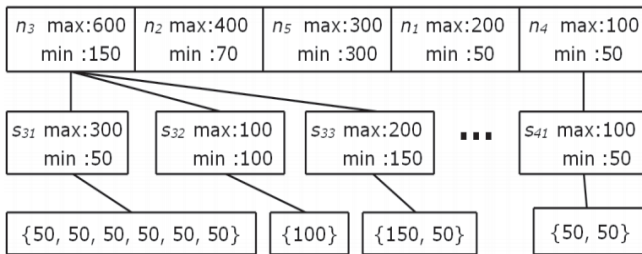


図 3: 変換対象の探索

4 ACTIVIEW のリンク変換

ACTIVIEW では、計算コストを下げる手法として、長さ目標を満たさないレイアウトに対して“リンク変換”を先に行う手法と、“統一変換”が可能な連結に対しては同時に変換を行う手法を利用する。そして、一貫性のあるレイアウトを生成するために、2つの条件と3つの目標指標を利用する。

4.1 リンク変換戦略の基本概念

初期レイアウトにリンク変換を先に適用することによって、変換の対象となる連結子の個数を分割により減らすことができる。リンク変換の適用は次の条件および優先順位の戦略に従う。

- リンク変換の前提条件
 - ① 反復子との連結子に適用することを前提にする。
 - ② 中括弧内のリンク変換は禁止する。
- リンク変換の優先順位の戦略
 - ① 多くの子要素をもつネストからの変換を優先する。
 - ② 長い結果テーブルをもつネストからの変換を優先する。
 - ③ 深いレベルにあるネストからの変換を優先する。

これらのリンクへの変換手法は実験結果から導かれた戦略に基づいた発見的な戦略である[1]。

4.2 統一変換可能な連結

開発者が指定した元の問合せ文に統一変換が可能な連結が存在すれば、同時に変換を適用することで、実質的に変換の対象になる結合子の個数を減らすことができ、計算コストの削減が可能になる。経験的に属性間の関連性が高い連結に対して統一変換を行うことにより、一貫性をもつレイアウトを生成する可能性が高い。たとえば、同一中括弧内の属性のように関連性が高い連結において、同時に変換を行って生成されたレイアウトが、連結子それぞれに対し、全数探索によって目標の結果値を最大化するよりも、構造的には一貫性のあるレイアウトとなる場合がある。

4.3 一貫性のあるレイアウトの生成

ACTIVIEW での一貫性のあるレイアウトは、次の優先順位に関する6つの戦略によって生成される。これらの優先順位は予備実験での結果レイアウトの比較を行った結果から発見された手法である。

1. 複数の領域 (TFE 定義による) 内で行う変換より同一領域内 (同一ネスト内・同一中括弧) での変換を優先する。
2. 各属性間の変換よりも入れ子や中括弧との連結子への変換を優先する。
3. 同一ネスト内では親ノードの方を優先する。
4. 変換の回数が少ないレイアウトを優先する。
5. 中括弧内の連結子は統一変換を優先する
6. これ以外は、全数探索によって生成されるレイアウトのうち、高い目標の結果値をもつレイアウトを優先する。

これらの戦略は幅制約と開発制約を満たしながら適用される。

5 おわりに

本稿では、関係データベースと WWW との連携システムである SuperSQL の関係データベースからの結果テーブルの構造化機能を利用して、データベースの情報を WWW ビューとして表示する際に、端末の表示画面サイズに動的な適応を実現する ACTIVIEW について記した。

ACTIVIEW を利用することで、1つのビュー定義から多様なユーザ表示画面サイズに適応化されたレイアウトを動的に生成することを可能になる。さらに、ACTIVIEW によってユーザ環境に最適なレイアウトを持つ Web ビューを提供するため、レイアウトの評価基準を定め、より良いレイアウトへの変換を実現する際のコストを最適化するための手法について記した。

参考文献

- [1] S. G. Shin, “ACTIVIEW : Implementation of Adaptive Web View Using SuperSQL,” The 6th International Conference on Informatics and Systems, 2008.
- [2] Y. Maeda, and M. Toyama, “ACTIVIEW : Adaptive data presentation using SuperSQL,” Proc. VLDB, pp.695-696, 2001.
- [3] 前田 葉子, 遠山 元道, “ACTIVIEW:SuperSQL を利用した適応型表示ビューの実現,” 電子情報通信学会データ工学ワークショップ, 5B-7, 2001.

サービス設計手法 PLAN による新サービスシステムの提案

川田 誠一*・松本 優祐*・金子 正則*・田村 百合子*

A Proposal of the new service systems by service design methodology PLAN

Seiichi Kawata*, Yusuke Matsumoto*, Masanori Kaneko*, Yuriko Tamura*

Abstract

Abstract. In this paper, the results of the educational project at the Advanced Institute of Industrial Technology are presented. The theme of the project is to develop the new service systems by service design methodology PLAN. Proposed services are an usability improved commuter rail system and a health care service system. Some simulation and experimental results confirm the effectiveness of our proposed service system designed by using the PLAN.

Keywords: Service Engineering, Discrete Event Systems, Systems Integration, RFID, PBL

1 はじめに

サービス産業の効率化に対する要求が高まる中、サービスに関する研究分野が広がりを見せ、本来は経営学などの分野で取り扱われてきた内容を理学や工学分野の研究方法を導入してアプローチするようになってきた。産業技術大学院大学創造技術専攻においても、大学院 2 年生を対象とする PBL (Project Based Learning) 型教育においてサービス工学の手法である設計工学的アプローチをよるプロジェクトを実施してきた。平成 21 年度においては、サービス設計手法 PLAN を提案し、方法論の開発からプロジェクトをスタートしたのである。PLAN 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いれ提案したものである。

平成 22 年度においては、先に開発したサービス設計手法 PLAN を用いて二つの事例設計を実施した。本報告はその内容を取りまとめたものである。

まず、2 章において、サービス設計手法 PLAN の概要を説明する。次に 3 章において通勤電車の快適性についてサービス改善を提案する。4 章においては食と健康に関する新サービスを設計し提案する。

2 サービス設計手法 PLAN

サービス設計方法論 PLAN は、次の 4 つのプロセスで構成されている。

- a) Philosophical design
- b) Logical approach
- c) Analysis on service
- d) Next best policy

PLAN は PDCA サイクルの考え方をういて開発された。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、何度もサイクル的に実行する方法論である。

各フェーズの概要は次のとおりである。

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

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

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。

Received on August 26, 2011

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

- 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)

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

3 PLAN を用いた通勤電車の快適性に関する事例研究

3.1 通勤電車の顧客ペルソナ設計とサービスブループリント

ペルソナとは、いかにも実現しそうな人物像の描写であり、ターゲットにする顧客の一部を代表する典型的な顧客像である。ペルソナは、顧客のゴールに基づいて設計され、行動、態度を定義する。科学的手法とあわせてターゲットを絞り込み、作業効率、意思決定など様々な効果を生み出す。ここでは図1のような簡易ペルソナを設計した。

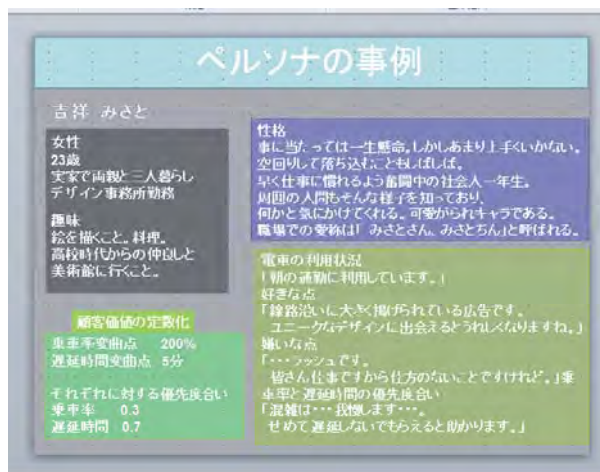


図1: 簡易ペルソナ

(2) サービスブループリント

サービス・ブループリントとは、サービスが提供される一連のプロセスを、顧客との協調関係を含めてフローチャート形式により記述したものである。

3.2 顧客満足度

本章では、通勤電車の快適性の評価に関するモデル化事例について述べる。

(1) 本モデルの特徴

本モデルでは、通勤電車において、顧客満足度に直接影響を与えるサービスのパラメータを定義し、顧客満足度の評価関数を作成した。具体的なサービスパラメータとしては、「電車の乗車率」と「電車の遅延時間」を定義した。一方、設計パラメータとして「急行電車の本数」と「普通電車の本数」を定義し、電車の本数の比率の変更により設計パラメータがどのように変化し、顧客満足度にどう影響するかを評価した。

通勤電車の遅延時間に対しては、急行に乗客が集中することで遅延が発生するという鳥海らの事例研究[4]がある。本モデルでも、急行に乗客が集中する事で電車の遅延時間が増える事を想定し、急行を無くすと乗客の集中がなくなると共に、電車の遅延時間が最低になることにより、顧客満足度が向上する事を想定した。

設計事例を以下に示す。

(2) 本モデルで用いた通勤電車の設計モデル

本モデルでは、急行と普通の通勤電車が走る路線を想定し、両タイプの電車が止まる駅での顧客と通勤電車の振る舞いを設計した。以下では、急行や普通などの電車の停車駅のパターン毎につけられている分類名を運行タイプと呼ぶ。普通は全駅に停車し、急行は限られた駅に停車する。

(3) 本モデルで用いたサービスパラメータ

本モデルでは、通勤電車の顧客満足度を評価するために、サービスの受容者自身からも設計者自身からも可観測な顧客の状態量であるRSP [3]として、「電車利用の快適さ」と「ダイヤグラムの正確さ、確実さ」を取り上げ、そのRSPに直接影響を与えるサービスパラメータとして、「電車の乗車率」と「電車の遅延時間」を以下のように定義した。

「電車の乗車率」…ある路線のある駅のある時間帯における電車の乗車率の平均値。乗車率は1両に150人乗っている場合を100%とする。

- C 電車の乗車率
- Ce 急行電車における乗車率
- Cl 普通電車における乗車率

「電車の遅延時間」…ある路線のある駅のある時間帯における電車遅延時間の平均値。遅延時間とは決められた停車時間からどれだけ遅れて発車したかを示す。

- T 電車の遅延時間
- Te 急行電車における遅延時間
- Tl 普通電車における遅延時間

この「電車の遅延時間」については、乗降客数の増加により乗降所要時間が一定の比率で増加し、乗降客数がある値以上になると、規定停車時間を超え、電車の遅延が発生するモデルを想定し、電車の遅延時間の関数を以下のように定義した。

- P 乗降客数(1車両当たり)
- Pa 乗降客数が規定停車時間を超える値
- a 乗降客数と乗降所要時間の係数

$$T = a(P - Pa) \quad (P \geq Pa)$$

T=0 (P<Pa)

係数 a は中村による田園都市線のグラフ[5]より、
a=0.009(min/人)と推定した。

(4) 本モデルで用いた顧客満足度の評価関数

本モデルでは、(3)で定義したサービスパラメータの値が直接顧客満足度に作用すると仮定し、顧客満足度の評価関数を定義した。評価関数としては、吉光らの研究[6]とその導入事例としての成井らの研究[7]で用いられたロジスティック関数によるレシーバ満足度の計算方法を適用し、(3)で定義した二つのサービスパラメータに対する顧客満足度と、総合的な顧客満足度を以下のように定義した。

- SC 電車の乗車率に対する顧客満足度
- ST 電車の遅延時間に対する顧客満足度
- ※SC, ST は±0.5 の中の値を取る
- S 総合的な顧客満足度

$$SC = \frac{1}{1 + e^{-ac(C-cb)}} - 0.5$$

$$ST = \frac{1}{1 + e^{-ad(T-Tb)}} - 0.5$$

$$S = ImC \times SC + ImT \times ST$$

- Cb 顧客満足度が急激に落ちる乗車率の値
- ac その時の SC の傾き
- Tb 顧客満足度が急激に落ちる電車遅延時間の値
- ad その時の T の傾き
- ImC, ImT 乗車率と電車遅延時間の優先度合
- ImC+ImT=1 とする
- この度合は顧客毎に個別の値を取る

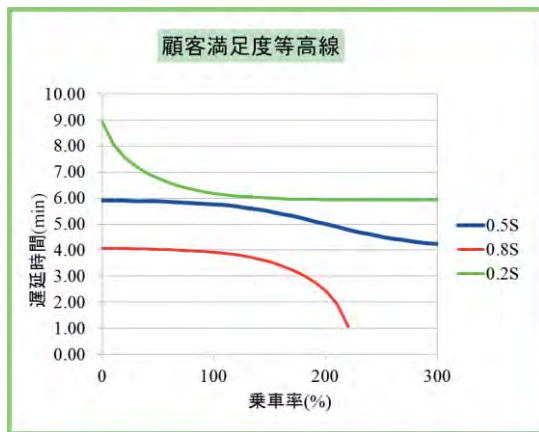


図3：顧客満足度等高線

例として 3.1 で定義したペルソナを想定し、遅延時間と乗車率の変化により、顧客満足度がどう変化するかを計算した事例を、以下に示す。

- Cb=200 (%) (乗車率変曲点)
- ac=-0.025 (乗車率変曲点の傾き)
- Tb=5.0 (分) (遅延時間変曲点)

- ad=-1.000 (遅延時間変曲点の傾き)
- ImC=0.3 (乗車率の優先度)
- ImT=0.7 (遅延時間の優先度)

乗車率と遅延時間の値により、顧客満足度 S が 0.2, 0.5, 0.8 となる等高線は図3のように描ける。

(5) ケーススタディ

本モデルに対して、JR 中央線立川駅上りを想定し、ピーク時である 7 時台の急行と普通の「電車の乗車率」と「電車の遅延時間」の算出した。尚、JR 中央線は、運行タイプが普通の電車を快速と呼び、運行タイプが急行の電車を特別快速、略して特快と呼んでいる。

表1：立川駅急行普通本数

項目	数値	説明
Ne(現)	2 本/H	午前 7 時台の 1 時間当たりの急行本数
Ni(現)	25 本/H	午前 7 時台の 1 時間当たりの普通本数
Ne(普)	0 本/H	全て普通とした場合
Ni(普)	27 本/H	全て普通とした場合

表2：立川駅出発時点の平均乗降客数(1 車両当たり)

項目	数値	説明
乗降客数 (1 日当たり)	384,627 ÷ 2 (人)	週刊東洋経済の全乗客数データ[7]に対して、上り下りで同数の乗降客があると想定し全乗降客数を 2 分の 1 した
電車本数 (1 日当たり)	323 (本)	JR 東日本の中央線立川駅上り時刻表をカウントした値
車両編成	10 (両)	
7 時台平均乗降客数 (7 時台普通平均乗降客数 (普))	乗降客数 × 2 ÷ (電車本数 × 車両数) = 120 (人/両)	7 時台は平均時の 2 倍の乗車人数になると想定。(この値は、急行を無くし、全て普通とした場合の想定平均乗降客数の値でもある。)
7 時台急行平均乗降客数(現)	120 × 1.5 = 180 (人)	急行の乗降客数を平均の 1.5 倍と想定
7 時台の普通平均乗降客数(現)	(120 × 27 + 180 × 2) ÷ 25 = 115 (人)	7 時台の急行普通本数、平均乗降客数、急行平均乗降客数より算出

ピーク時の平均乗降客数が(3)で定義した Pa に相当すると仮定し、電車の遅延時間を計算した。

表3: 電車の遅延時間

項目	数値	説明
Te(現)	0.009 (180-120) =0.54(分)	7 時台の急行電車の遅延時間(現在)
Tl(現)	0	7 時台の普通電車の遅延時間(現在)
Tl(普)	0	7 時台を全て普通電車とした場合の遅延時間

電車の乗車率には次の表の値を用いた。

表4: 電車の乗車率

項目	数値	説明
Ce(現)	$160 \times 1.5 = 240$ (%)	7 時台の急行電車の乗車率(現在)
Cl(現)	$(160 \times 27 - 240 \times 2) \div 25 = 154$ (%)	7 時台の普通電車の乗車率(現在)
Cl(普)	160 (%)	7 時台を全て普通電車とした場合の乗車率

以上より顧客満足度を計算すると次の表を得る。

表5: 顧客満足度

項目	数値	説明
SC(現)	0.39	乗車率 218%に対する顧客満足度(現)
ST(現)	0.97	遅延時間 1.458 分に対する顧客満足度(現)
S(現)	0.80	総合的な顧客満足度
SC(普)	0.51	乗車率 198%に対する顧客満足度(普通電車のみ)
ST(普)	1.00	遅延時間 0 分に対する顧客満足度(現)
S(普)	0.85	総合的な顧客満足度

以上のように、「電車の乗車率」と「電車の遅延時間」というサービスパラメータを用いて顧客満足度の評価関数を定義し、「急行と普通の電車の本数」という設計パラメータの変化のサービスパラメータへの影響をモデル化出来た。また、そのモデルを JR 中央線立川駅のデータに適用し、急行がある状態と普通のみにした運行タイプにおける顧客満足度 S をあるペルソナのケースで算出し、S が 0.80 から 0.85 に上がる事

を求めることが出来た。そして、このケーススタディ前に想定していた、「急行を無くすと乗客の集中がなくなると共に、電車の遅延時間が最低になることにより、顧客満足度が向上する。」というケースの具体例を示せた。なお、顧客満足度の評価関数は「電車の乗車率」と「電車の遅延時間」による影響の和として算出しており、その関数で用いている係数は顧客毎に異なる。その為、もし「電車の遅延時間」は全く気にならず「電車の乗車率」のみが評価対象である顧客がいた場合は、今回のケーススタディと逆の結果が得られることになる。

4 PLAN を用いた食と健康に関する新サービスの提案

4.1 健康に関する既存のサービス

健康とは人間のもっている身体的および精神的能力を十分に発揮できるような心身ともにすこやかな状態である。健康を守るためには生活環境を整える必要がある。その中でも重要とされているのが、栄養、運動、休養、ストレスであり、特に栄養、つまり食事は欠くことのできない行為であるとともに、味覚や嗅覚、視覚などの感覚を満足させるだけでなく、生活の空間や時間の演出を担うことも多い。食品生産、保存技術の向上や流通の円滑化により、いつでも好きなものを食べることができる現代の食生活は非常に多様であり、個人の食事を総合管理することは困難である。

4.2 食と健康に関するサービスデザイン

第3章と同様に前任者が提案した設計手法「PLAN」を用いてサービスをデザインした。「PLAN」の「P」の部分「philosophical design」に相当するフェーズでは、UMLを用いて顧客の定義を行った。UMLの図解的手法を用いることで、サービスの価値定義を簡潔に整理することができた。サービスの価値を把握するためにはサービスに関わる人を把握する必要があるため、コンテキスト図と目的を頂点とした機能構造図を作成した。しかしながら、境界定義の際、広義と狭義の定義の問題が出てきて適応することが難しいという問題点も生じた。

サービスに関わる人というのは、サービスを受ける人(受容者)、サービスを提供する(提供者)、両者の中間に位置する中間エージェントがある。受容者=食事をする人、提供者=食品製造業・農家・システム保守保全業者、仲介エージェント=外食産業・専門家、コンテンツ=本医食同源サービス、チャンネル=RFIDと定義した。

フローモデルでは本サービスにおける提供者から受容者間での関係図、スコープモデルにより本サービスの機能をRSPとして、受容者に与える影響を示している。

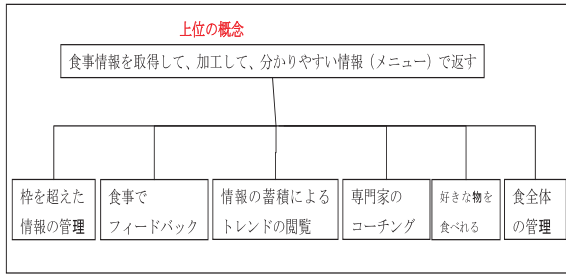


図4: 目的と機能の関係を表す構造図

- ① 食事をする人 ② 外食産業 ③ 専門家 ④ 飲食製造業
 ⑤ 20代学生 ⑥ 50代サラリーマン ⑦ チェーン店
 ⑧ 個人商店 ⑨ 移動店舗 ⑩ 医師 ⑪ 栄養士 ⑫ 工場 ⑬ 農家

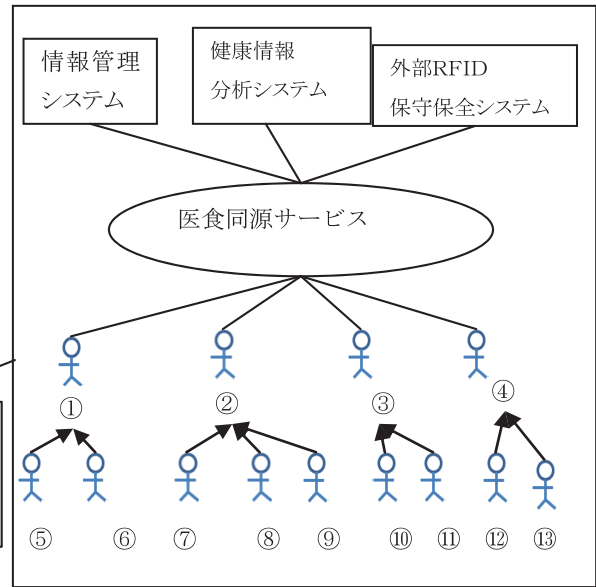


図5: コンテキスト図

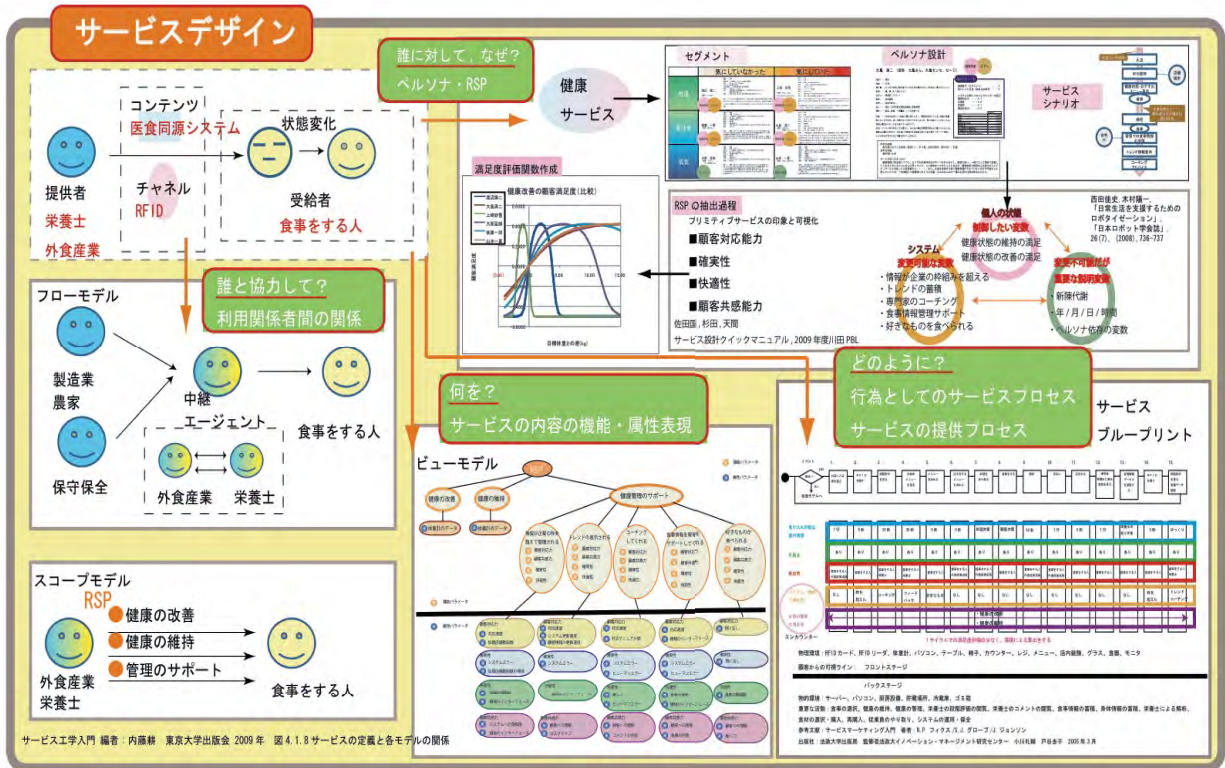


図6: サービスデザイン

4.3 顧客の定義とサービスブループリント

(1) 顧客定義

3章同様にペルソナを作成した。作成したペルソナ像はサービスデザインの内容を反映してより詳細に落とし込んだものである。複数のペルソナをすることによりペルソナの属性の特徴をセグメント分けて明確にした。

上崎 紗雪

性別・・・女性
 年齢・・・24歳
 見た目・・・普通。くびれなどの瘦り少な目？
 家族・・・一人暮らし。青森の実家に両親と年の離れた弟。
 住まい・・・阿佐ヶ谷 アパート
 職業・・・カーディーラー販売員
 所得・・・年収 250万330万
 友人・・・地元の友達。大学からの東京の友人複数。仕事仲間ともうまくやっている。
 趣味・・・運動、食事、自動車雑誌、美術館に行くこと
 性格・・・人懐っこい性格ではないが、人当たりは悪くない。物好きな口調であり目立つ方ではないが、興味のあることはすぐに調べる行動的な一面もある。表情豊かな方ではなく、笑顔を受けてしまうことも・・・
 何かに面倒見の良い一面もあり、ひそかに子供好きで可愛いもの好き(犬とか猫とか)。自分の体系に少しコンプレックスを持っており、夏場の薄着などは少し抵抗がある。

健康維持システム

図7: ペルソナ設計

	気にしていなかった	気にしていた
健康	<p>渡辺 謙二 (愛称: ケンさん)</p> <p>健康維持 システム</p>	<p>上崎 紗雪 (愛称: サユ、ユキ、サユキちゃん)・みさとちん (電車の時の)の友人</p> <p>健康維持 システム</p>
要注意	<p>後藤 一郎 (愛称: 特になし)</p> <p>健康改善 システム</p>	<p>大島 清二 (愛称: 大島さん、大島センセ、セージ)</p> <p>健康改善 システム</p>
病気	<p>大原 富郎 (愛称: トミー、汗っかきのトム)</p> <p>きっかけ</p>	<p>山本 一喜 (愛称: カズ、山ちゃん)</p> <p>存在が疑問</p>

図8: ペルソナのセグメント

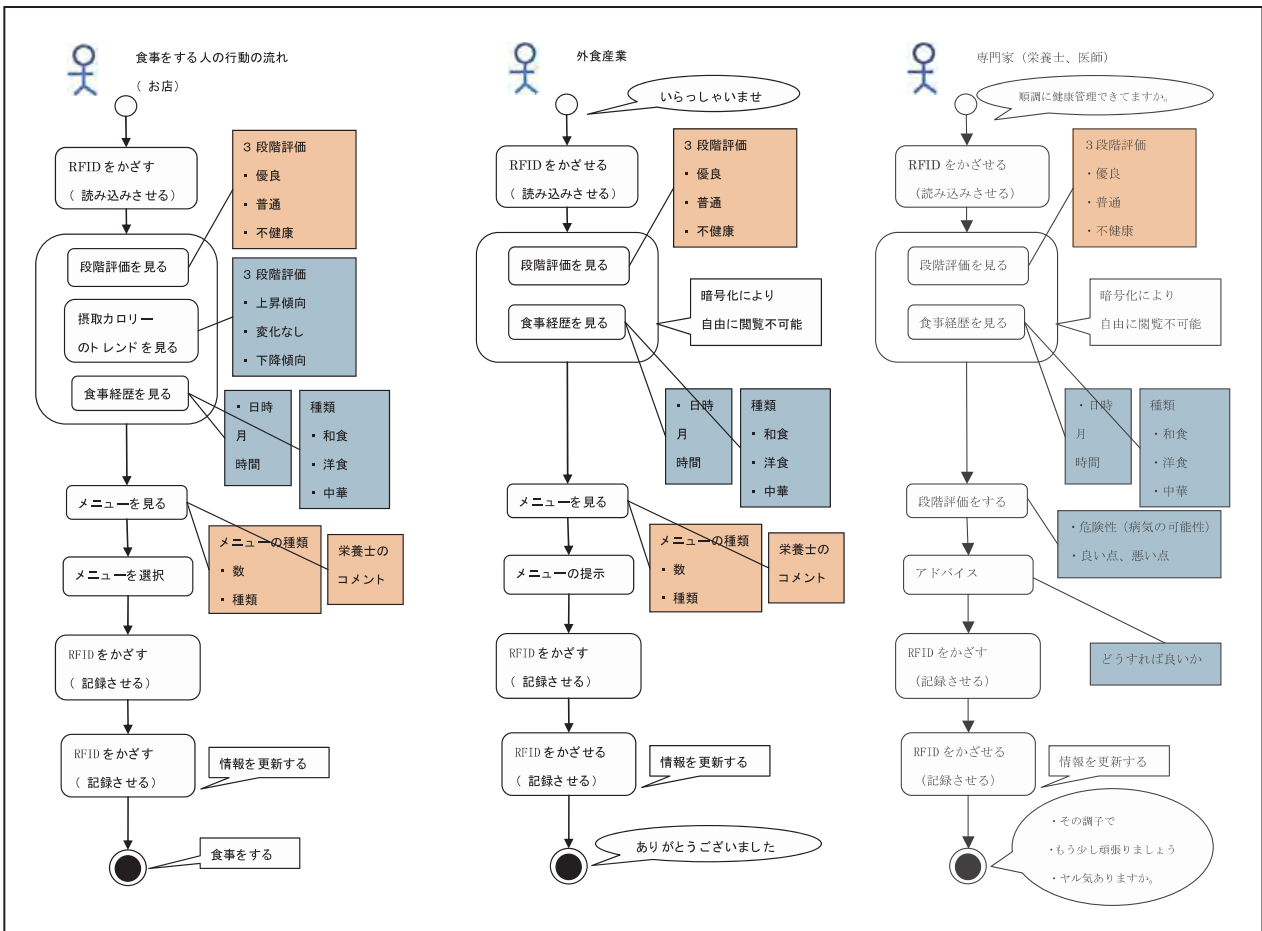


図9: サービス受容者、提供者に関するフローチャートモデル

(2) サービスブループリント

‘PLAN’のLのフェーズに移り、シミュレーションの作成、実行を行った。ペルソナ設計により定義した顧客をサービスブループリントのサービスプロセスに基づき、シミュレシ

ンをすることで価値観の変化を予測することが可能になる。第3章のブループリントの形式に時間、失敗点、参加者(受容者、提供者)、サービスシステムの機能に対する満足度、サービスを受けて自信の体質改善に対する満足度、フロント

ステージ(見える範囲), バックステージ(見えない範囲)を記述した。図 9 のようなフローチャートモデルを作り, ブループリントを作成した。

4.4 顧客満足度

(1)RSP(木構造化)による顧客満足度に影響を与える変数の定義

受容者の望む状態変化がサービスの価値であると捉え, サービス内容を受容者の引き起こす機能, 属性を用いて表現する。設計者からも観測可能な顧客の状態量(RSP)が存在し, サービス内容によって良くも悪くも変化する。

顧客自身の健康状態, サービスの機能の2つ大きく分類して属性, 構造化することで展開した。1つ目の大枠である健康状態の改善の満足度は健康状態の改善, 健康状態の維持に分けられる。サービスを長期的に利用することで顧客の満足度の増減が予想される。顧客の満足度に提供を与えるのは, 顧客個人の体重の増減または維持の際の誤差が関わってくると予測される。2つ目の大枠は機能であり健康管理のサポートから5つの機能に展開される。

サービスプロセスの各場面で短期的に満足度の増減が予測される。各機能では, サービスの因子がパラメータとして, 顧客の満足度に影響を与えると予測される。

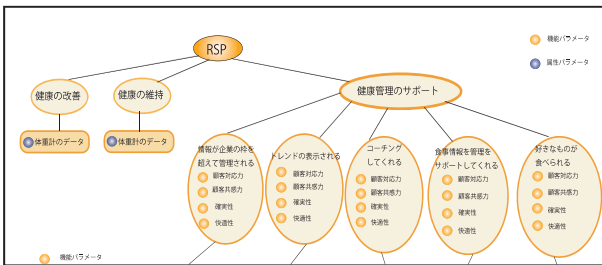


図10: RSPの機能属性構造図

(2)顧客満足度の設計

顧客の満足度は①食事の選択の時の短期的な満足度, ②健康の状態の満足度の2つの異なる満足度の変化をパラメータより設計した。

お店で顧客は, 1週間の体重の傾向から健康食を提示され, 3種類(健康的な食事, やや健康的な食事, 普通の食事)選択肢の中から満足度が高い食事を選択する。この際の満足度の評価する①食事の選択の時の短期的な満足度である。ただし, 健康的な食事というのは顧客本人が考える理想的な体重とする。食事の結果により体重変化をパラメータとする②健康の状態の満足度の2つの異なる満足度で評価した。

①食事選択時における短期的な満足度の設計

設計パラメータ

- k :健康食に対する関心
- f₁:満腹の度合い
- h₁:健康な度合い
- f:食事の健康な度合い
- h:食事の満腹な度合い
- ImS_f:満腹の優先度
- ImS_h:健康の優先度
- S_f:満腹の満足度
- S_h:健康の満足度
- S:総合満足度

$$S_f = \frac{1}{1 + e^{-k(f-f_1)}} - 0.5$$

$$S_h = \frac{1}{1 + e^{-k(h-h_1)}} - 0.5$$

$$S = \text{Im}S_f * S_f + \text{Im}S_h * S_h$$

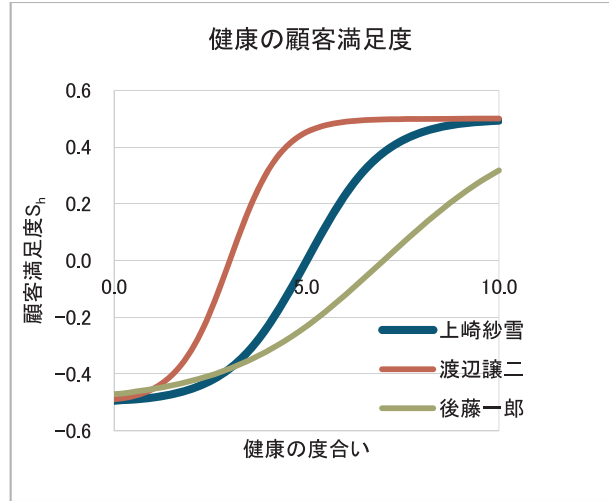


図 11: 健康の満足度

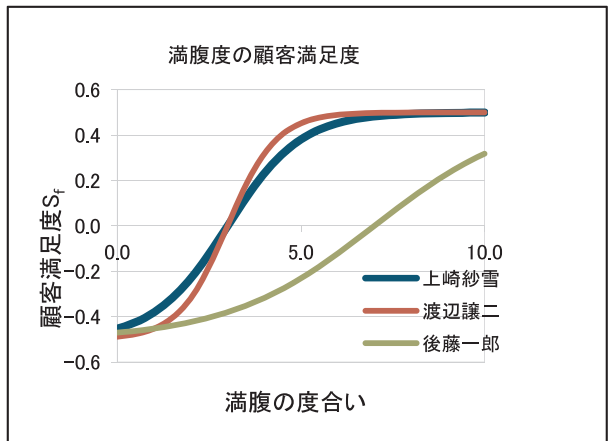


図 12: 満腹の満足度

②食事選択による健康状態の改善における長期的な満足度の設計

設計パラメータ

- h :健康に対する関心
- a:理想体重を頂点とした2次関数の係数
- b:理想体重を頂点とした2次関数の係数
- x:現在の体重と理想体重との差

$$S = \frac{1}{1 + e^{-h(ax^2+bx)}} - 0.5$$

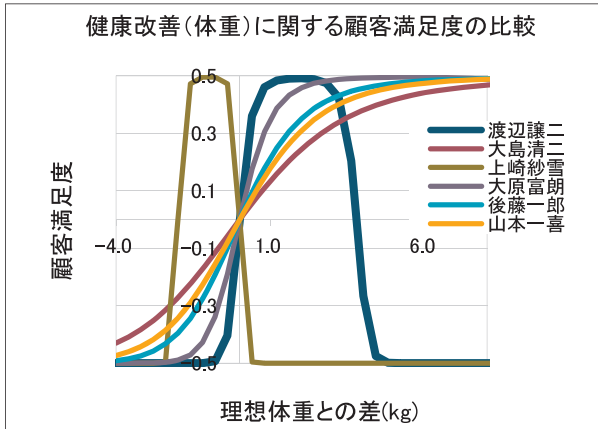


図 13: 健康改善(体重)に関する顧客満足度の比較

4.5 新サービスの実装モデル

RFIDと体重計、及びPCからなる食と健康管理に関するサービスシステムの実装事例について述べる。

(1) 本サービスシステムの特徴

本サービスシステムは、RFIDカードに食事履歴と総合段階評価を保持し、トレンド情報に基づいた専門家のコーチングにより、健康状態の維持・改善を図るものである。当PBLでは、このサービスシステムを「医食同源システム」と名付けた。

(2) 医食同源システムの構成

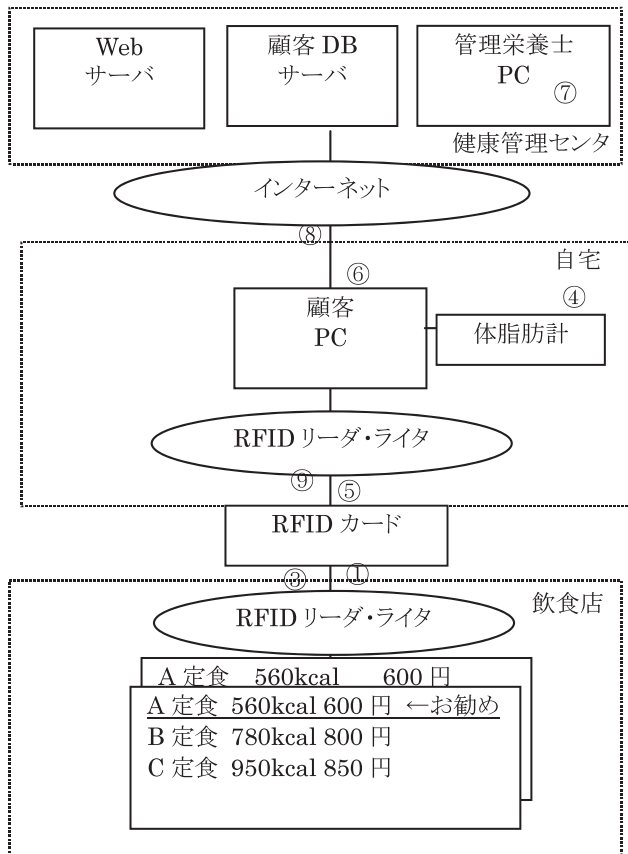


図 14: 医食同源システムの構成

(3) 処理フローと実装範囲

上記丸囲み数字に対応する処理フローを以下に示す。今回の実装範囲は①~⑤と⑨である。⑥~⑧についてはインタ

ーネットを経由せず、ローカル環境で簡易的に模擬した。

- ①客のRFIDカードから総合段階評価を読み取る
- ②総合段階評価から、お勧めメニューを提示する(お勧めメニュー以外でも選択可能)
- ③客が選択したメニューの栄養成分を食事履歴としてRFIDカードに書き込む
- ④体脂肪計に乗ると、測定値が顧客PCに送信される
- ⑤RFIDカードから顧客PCに食事履歴が送信される
- ⑥体脂肪計の測定値と食事履歴をサーバにアップロードする
- ⑦体脂肪計の測定値と食事履歴を見た栄養士は、コメントと新しい総合段階評価を作成する
- ⑧サーバからコメントと新しい総合段階評価が配信され、顧客のPCに表示
- ⑨栄養士のコメントを見ると同時に、RFIDカードの総合段階評価が更新される

(4) アプリケーション開発環境

医食同源システムの開発において、下記の環境を使用した。

- ・PC: Lenovo THINKPAD T510(Core i7, Win7 64bit)
- ・RFIDリーダ・ライタ: 東プレ TRF-100U
- ・体脂肪計: 東芝 SCF-20
- ・IDE: Microsoft Visual Studio 2010 Professional (DreamSpark ライセンス)
- ・開発言語: Visual C#
- ・DLL: 東プレ RFIDリーダライタ Windows用ライブラリ V1.02

(5) 店舗アプリケーション概要

店舗アプリケーションの画面を図15に示す。

店舗において客がRFIDカードをかざすと、客の健康状態を示す総合段階評価が店舗アプリケーションに送信される。この総合段階評価に基づき、おすすめメニューを提示する。

(6) 自宅アプリケーション概要

図14の⑧に該当する自宅アプリケーションの画面を図16に示す。サーバーから受信した専門家のアドバイスとBMIの増減等のトレンドグラフが表示される。



図 15: 店舗アプリケーションの画面

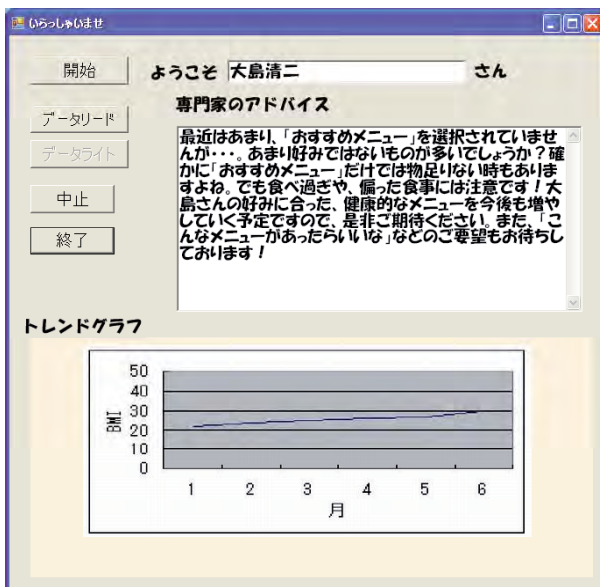


図 16 : 自宅環境の例

7月9日発行

- [9] 産業技術大学院大学平成 21 年度創造技術専攻川田 PBL 成果, サービス設計クイックマニュアル, 3月 2009

5 おわりに

本報告では, 平成 22 年度の PBL の成果としてサービス設計手法 PLAN を用いたサービス事例研究を実施した成果を取りまとめた. 本結果からわかるように PLAN を用いることで合理的なサービス設計ができることが示された. 特に, 離散事象シミュレーションと組み合わせる上で, 顧客のペルソナモデル, 顧客価値, 顧客満足度, サービスシナリオ, サービスブループリントなど, サービス工学で重要なサービス要素を考慮した設計が可能になった.

本プロジェクト遂行にあたり, 笹川広紀氏, 謝元國氏の協力に謝意を示す.

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)ーサービス工学のためのサービスのモデル化技法ー”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 702, pp. 315ー322, 2005.
- [2] 吉川弘之, “サービス工学序説”, Synthesiology, Vol. 1, No. 2, pp. 111ー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] 鳥海重喜, 中村幸史, 田口東, “通勤電車の遅延計算モデル”, オペレーションズ・リサーチ, 2005
- [5] 中村幸史, “通勤電車運行スケジュールにおける遅延計算モデルの構築”,
<http://www.ise.chuo-u.ac.jp/ise-labs/taguchi-lab/pdf/a02n8100038.pdf>
- [6] 吉光陽平, 原辰徳, 下村芳樹, 新井民夫, “サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築(第 24 報)ー受給者視点による実現構造評価”
- [7] 成井達哉, 舘山武史, 下村茂樹, 川田誠一, “サービス設計の効率化のための設計値決定支援システム”, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2007
- [8] 都市交通の現状, “週刊東洋経済臨時増刊”, 2010年

A CASE STUDY OF USER INVOLVEMENT IN EVALUATION OF DELIVERABLES IN THE STAGES OF DESIGN DEVELOPMENT.

Noboru Koyama*, Mikio Yamashita** and Satoshi Yoshida*

Abstract

Looking at the current situation of 'users-involvement' in the vehicle development process, most of car manufacturers are providing several opportunities to let potential users participate in the whole design process. One of the typical methods of users-involvement is so called 'panel-evaluation-system' that intermediate design results are evaluated by selected people ("panelists") who do not touch on the product development. In this study, based on the actual experience in the design development at a certain automaker, we present some findings obtained through operations of the panel-evaluation-system.

Keywords: Design Management, Panel Evaluation, User Involvement, Decision-Making.

1 Research Background

It is no exaggeration to say that the purpose of automotive design development is all about creating original designs that will attract consumers. Therefore, top management expects designers to utilize their capabilities to the fullest extent and push them to develop innovative, original designs that are unlike, or even if slightly better than, those of their competitors. The challenges in design management are how to retain talented designers and how to create an environment that elicits designers' full potential. However, even if managers could succeed in retaining and utilizing talented designers, this does not guarantee that original designs will be realized. The reason is that regardless of the quality of the ideas the designers create, if those ideas are not picked up and commodified in a timely and appropriate manner, the ideas that the designers worked so hard to create will remain unseen by the public. The key to eliminating this problem lies in the method of design decision-making during the development process. Since a new vehicle development requires huge investment, major manufacturers have been making efforts to improve the method and process of design evaluation and decision-making to eliminate errors. One of these methods is the 'panel-evaluation-system'. In this system, at the several points of design development, a third party not involved with the

development evaluates the intermediate development results, verifies the design's merits and points out potential and actual negative points, with the goal of increasing the product's ultimate marketability and enhancing its reception among customers. When this evaluation is performed by potential customers outside the company (target-users), it can be said that a kind of "users- involvement in design evaluation" was accomplished.

2 How I Arrived at the Idea for this Research

Looking at the current situation of users-involvement in the whole process of vehicle development, there are several points to note in the process stages from upstream to downstream.

First, one point we can mention in the upstream part of the process is market and consumer surveys to obtain information required for the development of new models or updates to current models. Because large amounts of development costs are incurred when developing new cars, a manufacturer must know whether the market exists for the model to be introduced, what kind of car current users are going to want next, and other things. Therefore, market and user surveys are must at the product planning stage so that the early-stage contact with potential and current users by staffs responsible for the vehicle development can be called the first step in

Received on September 30, 2010

*Advanced Institute of Industrial Technology

** Takarazuka University

users-involvement.

Second, a typical example of users-involvement in the midstream is so called ‘panel –evaluation-system’ that intermediate design results are evaluated by selected people (“panelists”) who do not touch on the product development. This system is widely used in the automobile industry. The panelists described here are sometimes invited from inside company (“in-house”) and sometimes from outside. Anyhow in case evaluations are conducted by participants from outside the company, it means that the “users-involvement in the evaluation process” is achieved.

Finally, a typical example of user involvement in the downstream is the activity of asking users to evaluate a product after the product's launch. The primary objective in this case is to reflect the opinions and requests of users into related models or next-generation models. Another major objective is to see if there is some difference between the results of the panel-evaluation conducted during that particular model's development process and the evaluations of customers post-launch. If a significant difference is discovered, it may indicate some problems in the methods used during the panel-evaluation, or that there is major room for improvement in the application of the results and the design decision-making process.

In this study, based on the actual experience in the design development at a certain automaker, we present some findings obtained through the operations of the panel –evaluation-system, from selection of panelists to in-house education, actual evaluation, and verification, as a case study of user-involvement in the midstream of product design development.

In this paper, I will examine a case study of midstream user involvement, the most important aspect of design decision-making.

3 Purpose of the Present Research

As a case study on midstream user involvement, which is regarded as the most essential element of decision-making for designs, I will present an example of research conducted during actual automotive design development through cooperation from a Japanese automaker (X Corporation). For this case study, I was given the opportunity to participate from

the planning stages in the preparation and practical use of an in-house panel evaluation system and to support the evaluation itself along with the compilation of its results and follow-up. I was able to identify and verify several matters cited as challenges in previous research on the theme of “user involvement in decision-making for designs,” including the selection and training of panelists and the issues and merits in conducting panel evaluations. As I compared these with panel evaluation issues cited in prior research, I considered and implemented ideas for improvement, which presented an opportunity to try a new methodology.

4 Case Study of Midstream User Involvement in Design Development

4.1 About X Corporation, the Subject of my Research

X Corporation, the subject of this case study, is one of the leading manufacturers in Japan that produces buses, trucks and other large vehicles. It is a subsidiary of Y Corporation, one of Japan's major automakers. The company has a design department within its technological department, which develops designs for the company's products and is sometimes commissioned by parent company Y Corporation to develop designs.

For this study, I participated from the planning stages in the preparation and implementation of an in-house panel evaluation system for decision-making in the design development of a truck. I was given the opportunity to support the actual evaluations as well as the compilation of results and subsequent follow-up. X Corporation, in the development of previous designs commissioned by parent company Y Corporation, had prior experience in in-house panel evaluations (conducted within Y Corporation), but this marked its first attempt at conducting its own such evaluations on its own project. For this reason, the company conducted the evaluations itself following a process, starting by defining “what is a panel evaluation” and continuing to panelist selection, panelist training, trial and actual panel evaluations, compilation of evaluation results and follow-up. This provided an excellent opportunity to not only acquire know-how but also to work on the panel evaluation issues that had been detected in the prior research mentioned above.

4.2 Definition of Panel Evaluation

In order to properly convey the essence of panel evaluations to the management of the design department at X Corporation for this evaluation, “panel evaluation” was defined in the following manner.

In the automotive industry, there is a widely-Used method for evaluation (“panel evaluations”) of the deliverables for a design by persons who are non-parties to the product’s design development (“panelists”) who participate in evaluation midway through development. The panelists described here may come from within or outside the company. To distinguish these, an evaluation process using panelists from outside the company is often called a “clinic” or a “product clinic.” (From here onward, “panel evaluation” will be used as a general term that includes the meaning of “clinic”). In any case, “panel evaluations” are methods by which a company receives evaluations of the deliverables of a design development from a third party’s perspective, then verifies the design’s value and points out potential and actual negative points, with the goal of increasing the product’s ultimate marketability and enhancing its reception among customers. Through careful survey and analysis of the evaluation results received, errors can be eliminated to the furthest extent possible, hopefully leading to more precise management decisions.

4.3 About the Panel Evaluation Process

In automotive design development, each step of the screening process for selecting and determining ideas – step one (design selection), step two (design determination) and step three (design approval) – is conducted over a roughly three-month period. In many cases panel evaluation is also conducted before the screening for each step and applied to the decision-making in each step.

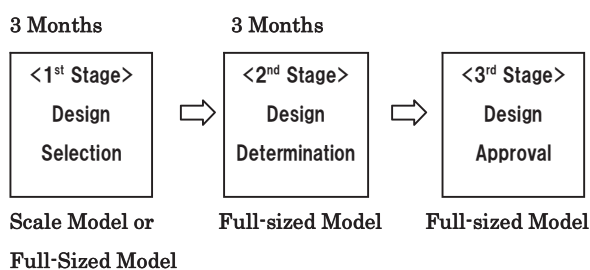


Fig.1 Decision-making Steps in Design Development

The deliverables presented to the panelists at each step include sketches, scale models, and full-sized models, which are shown in the manner listed above.

In this case study, a 1/5 sketch, 1/2 model, and full-sized model were used, with panel evaluation conducted at each step.

4.4 Issues in the Current Style of Panel Evaluation as Determined in Prior Research

Here I will summarize the issues and challenges in panel evaluation as clarified in prior research.

a) Panelist Selection

In many cases, the selection of panelists is limited to the extremely narrow range (of positions) within the company, which leads to bias in evaluations and opinions and hinders the ability to make a proper judgment. Individual discrepancies in panelists’ abilities and qualifications also end up affecting judgments.

b) Panelist Training

Often the selected panelists are asked to simply make evaluations without having received proper training or explanation, which is a major cause of variations in evaluations.

c) Panel Evaluation Standards

For evaluation standards, general point tabulation methods are the norm, and we have seen many cases in which the points take on lives of their own. Particularly on five- or ten-point scales, points are often intuitively assigned, leading to frequent instances of point totals being concentrated in the averages, and making it difficult to understand how the quality of a design was determined.

d) Methods for Application of Evaluation Results

In many cases evaluation results are not handled in a predetermined manner. We have seen panelists’ evaluation results simply being accepted as-is in selection of design ideas, or being intentionally manipulated.

e) Verification of Divergence from Actual Customer Evaluations

Many cases have been observed in which designs that were selected based on the results of panel evaluations and ultimately made into products were not properly verified for how they would be evaluated in the actual marketplace. Namely, there were many cases in which the evaluation and selection processes and the appropriateness of the judgment were not properly verified, which do not lead to improvements

in the system of panel evaluation.

4.5 Efforts toward Improvement in the Panel Evaluation System in this Case Study

In order to resolve the issues and challenges listed above, the following efforts were made when conducting this panel evaluation.

a) Panelist Selection

To prevent bias in opinions and to ensure a certain level of parameters, panelists were selected from a wide variety of positions within the company, including positions both directly and indirectly involved with the design development and positions not involved with the development but closer to the end user. Selections were made from the following departments.: Product planning, domestic planning, overseas planning, departments handling export countries (China, North America, Central America, South America, Australia, Asia and Middle East), domestic sales, product development, body design, electronic design, vehicle testing, and design. The system was arranged so that more than 100 panelists were registered and continuous participation of at least 80 panelists (a parameter) was ensured in an effort to increase the reliability of the evaluations.

b) Panelist Training

When panelists closer to the general users are selected to conduct the panel evaluation, there may be a significance in that evaluation can be conducted without any prejudice, but this method carries the risk of producing a failure like that of the Ford Edsel. Therefore, we conducted a simulation in which we used photos of models and actual sketches selected from bus designs released in the past that had received high evaluations in the marketplace to verify the evaluation capabilities and the qualifications of the panelist candidates. As a result, the design evaluation results by the panelists selected this time were almost identical to the evaluations in the market for buses, meaning that the reliability of these panelists could be verified to a certain extent.

c) Panel Evaluation Standards

For the evaluation scores used by panelists, a seven-step scoring method frequently used in sensory evaluation was adopted.

Point	Seven Evaluation Steps
7	Very Good
6	Good
5	Somewhat Good
4	Average
3	Somewhat Bad
2	Bad
1	Very Bad

Fig. 2 Example of Panel Evaluation Standard

This method is used by those who evaluate the flavor and other qualities of foods, and it gives panelists three degrees of both good and bad from the center. (See above)

For this case study, the following evaluation standards were established to adapt the method to automotive design.

[First Stage (Design Selection)]

7	A design that will be a global trendsetter
6	A design that looks innovative and high-level from a global perspective
5	A design well-done in both direction and design
4	The direction is OK the design needs some refinement
3	The concept and design direction are slightly off
2	The concept and design direction are completely wrong
1	The concept itself is wrong and unthinkable

Fig. 3 First Stage Evaluation Guideline

[Second Stage (Design Determination) and Third Stage (Design Approval)]

7	No complaints; top-level from a global perspective
6	Distinguished level from a global perspective
5	Could be made into a product in its current state
4	Could be adopted but needs refinement in parts
3	Needs considerable work to make it a product
2	An overall redo of the design is required
1	The design level is so low it cannot be evaluated

Fig. 4 Second Stage and Third Stage Evaluation Guideline

These standard settings made evaluation easier in the opinion of most panelists.

d) Application Method for Evaluation Results

I strongly advised that the company take the evaluation results as nothing more than opinions for reference and make the final decisions in discussions among management, rather than using the method often seen in American automakers in which evaluation results are simply imported directly into the design selection. This means that depending on the time and the circumstances, even designs with low panel evaluation results may be selected. In other words, I indicated the importance of the management’s judgment on the possibility and promise of a design idea, rather than simply relying on the panel evaluation results.

Exterior Model A	Aviation	Product Planning Division	Domestic Planning Division	Overseas Planning Division	Sales Division		Technical Division	Design Division	Various Division's Manager
Total Number	(04)	(0)	(7)	(0)	(19)	(20)	(4)	(18)	
Overall Styling	45	47	44	48	44	45	38	43	
Front-view Styling	41	40	47	47	41	45	45	44	
Side-view Styling	43	42	43	45	41	45	45	43	
Vehicle Concept	44	45	41	48	41	45	43	45	
Originality	45	48	48	47	42	43	43	43	
Advanced Feeling	43	48	43	52	39	43	43	38	

Table 1 Example of the Result of Panel Evaluation

e) Verification of Divergence from Actual Customer

Evaluations

The vehicle in this project is a pre-release model and has not yet been evaluated in the actual marketplace, so divergences could not be verified, though I am planning to perform verification work after it is released in the near future. However, when I arranged the opportunity to show it to dealers in advance, the design was well-received and I got the feeling that it could be accepted by the market.

5 Conclusions and Future Follow-up

Thanks to the effective application of the newly-adopted panel evaluation system, the decision-making for the design in this project was precisely executed at each step in the process, with design department managers praising the system as a form near the ideal for the future direction of the development process. However, to further improve the accuracy of the methodology, I will need to verify the discrepancies between the panel evaluation results and the evaluation results in the marketplace after this vehicle is released. To this end, I believe the following strategies are required.

5.1 Feedback to Panelists

Regarding the panel evaluation results and the design idea selected based on those results, I will report on the subsequent development process to the panelists, giving them a fresh recognition of the importance of panel evaluation in decision-making and also sharing the issues that became apparent in this study.

I will give a talk on the latest design trends in trucks, buses and other vehicles, using photographs from major motor shows around the world, in an attempt to increase their interest in design and enhance their awareness that they will continue to play a vital role as members of an evaluation panel.

5.2 Next Design Development Schedule and Plan for Conducting Panel Evaluation

I will clarify the issues and challenges from this panel evaluation and lay out a course and a plan for how to improve these points in the next design development project.

It is to be expected that panelists may change their positions in the company from the time of this panel

evaluation, so in the event that new panelists will have to be registered, I will replace them and train the new panelists. (I will also readjust the balance of panelists from various departments and so on.)

5.3 Detailed Analysis of Panelists in This Study

I will carefully analyze the evaluations of each panelist to detect panelists who gave abnormal values, trends among departments, and so on.

I will analyze disparities among genders and age groups and other trends for some projects.

I will analyze evaluation trends by the evaluated parts of the vehicle if necessary.

5.4 Debate over Use of Outside Panelists

I will confirm the existence of discrepancies through comparison of in-house panel evaluations and product evaluations conducted after release, and if judged to be necessary I will consider the use of outside panelists.

I am considering selecting around 20 individuals from among the staffs of major dealers or major users as candidates.

YAMASHITA, Mikio FUJITO, Kazuko SAKAMOTO, Yoji KITANI, Noboru KOYAMA and Yasufumi MORINAGA, "Study on User Involvement in Hardware, Software and Service Integrated Type Design Development", The Proceedings of the Kansei Engineering and Emotion Research International Conference, KEER2010.

- [5] Noboru Koyama, "Decision-making and User-Involvement in Automotive Design Development Process", Special Issue of Japanese Society for the Science of Design, vol.17-1 no.65, pp. 14-21, 2010.

References

- [1] Noboru KOYAMA, Mikio YAMASHITA, Mikio FUJITO, Keiichiro KAWARABAYASHI, Yasufumi MORINAGA and Yoji KITANI "Differences of Design Decision on Product Design Development through Comparative Research on Japanese, European and American Automobile Industries" The Best Oral Presentation of International Symposium for Emotion and Sensibility(ISES) ; Kansei Engineering International, Vol. 8, NO 2, 2008.
- [2] Noboru Koyama, "Car Styling 192", pp. 78-84, September, 2009.
- [3] Noboru KOYAMA, Mikio YAMASHITA, Keiichiro KAWARABAYASHI, Satoshi YOSHIDA, Mikio FUJITO, Yasufumi MORINAGA and Junfu CHEN, "A Comparison Study on the Use of Review Panel Evaluations for Decision-Making in Vehicle Design by Japanese, European and U.S.", The Proceedings of the Kansei Engineering and Emotion Research International Conference, KEER2010.
- [4] Keiichiro KAWARABAYASHI, Mikio

ものづくり系技術者の暗黙知抽出に関する考察と方法

吉田 育代*・寺本 吉慶*・田端 秀輝*・韓 超*・橋本 洋志*

Consideration and Method to Extract Tacit Knowledge of Expert Engineers

Ikuyo Yoshida*, Yoshinori Teramoto*, Hideki Tabata*, Chao Han*
and Hiroshi Hashimoto*

Abstract

We propose a novel method to extract tacit knowledge of skillful operation from expert engineers in the manufacturing industry. The data fusion analysis method that consists of the field-oriented interview, the human motion capture and the video analysis is applied for experts and beginners, and the operational differences between those are analyzed. The tacit knowledge is effectively extracted by returning and confirming the results of the analysis to the subjects. Through examinations applying the method to subjects operating in an industrial factory, the effectiveness of the method is shown.

Keywords: tacit knowledge, skillful operation, field oriented interview, human motion capture, video analysis

1 はじめに

本論文は、ものづくり系技術者の暗黙知の定義とその性質を考察した後に、現場に適用しやすい形の抽出方法を提案し、フィールド実験を通して、その有効性について議論する。

組織が競争優位を保つためには、獲得した技術を共有すべき知識として後進に伝え、それを維持する仕組みを持たなければならない。これをここでは技術伝承と呼ぶ。特に、ものづくりを行う日本の製造業などにおいては、熟練者の持つ高度な技を抜け漏れなく迅速に移転できるかどうか、組織の生き残りをかけた喫緊の課題となっている。われわれの調査したところ、現状、技術伝承について行われているのは、技術実行手順の文章としてのマニュアル化、あるいは、熟練者動作の写真や動画記録がほとんどである [1]- [9]。文章や動画は作業動作手順の紹介には適しているが、そこにひそんでいるコツを表現していることはあまりない。したがって、これまでの技術伝承方法だけでは、熟練者の技を円滑に伝え継ぐのは非常に難しい。実技での試行錯誤実習で非常にコストと時間をかけているのが実情である。

熟練者はおうおうにして行っている作業のコツを「勘と経験」と、ひとくりに答える。熟練者は非熟練者に比べて、現在の作業を円滑にするための周到な準備や手順の先読みが優れているだけではなく、作業動作そのものにも大きな違いがある。しかし、ときに本人ですらそのことに気づいていない場合がある。そこに、技の暗黙知がある。この暗黙知の中身を明らかにすることができれば、非熟練者はこれを知ること

によって、先人ほど試行錯誤することなく一定の技術水準に達することが期待できる。ゆえに、技術伝承において最も重要な点は熟練者の暗黙知を形式知化することである。

この形式知化する方法に要求される条件として、現場に適用しやすいことが必須である。すなわち、様々なセンサを被験者に取り付けることは、行動の妨げにつながり、熟練技を計測できない危険性が高い。そのため、非接触式の画像計測を採用するものとする。

次に、人間の心理計測も必要である。しかし、非接触式計測の立場をとる以上、実時間で計測は難しい。そのため、作業後のインタビュー方式を採用する。ここで、従来のインタビュー方式は、事前質問作成するだけで、暗黙知がどこに潜んでいるかの判別ができない。そのため、現場を見て、どのへんにコツがあるかを見分けられる現場志向型インタビュー方式を新たに導入する。

これら、画像計測や現場志向型インタビュー手法を効果的に融合し、かつ、熟練者の気付きを与えるように分析結果のフィードバックを用いた再インタビューを行うなどのプロセスを経る新たな暗黙知抽出方法を提案する。

本論文は、提案する方法の有効性を確認するため、実際にものづくり系企業の協力を得て、フィールド実験を行い、その結果、会社関係者が気付かなかった有用な暗黙知抽出が行えたことを述べる。

2 ものづくり系暗黙知の定義と性質

ここでは、製造業分野の基本的かつ伝統的のものづくり系技術を対象とする。この理由は、長い年月の間に獲得された技術が豊富で、熟練者と非熟練者の間に大きな実力差、つまり暗黙知が多くひそんでいると推測したことによる。また、多人数による流れ作業ではなく、一人作業が多く、観察が容易なことも副次的な選択要因となっている。さらに、機器の操作を行うことと工程が定まっていることから、これを環境の制約性と称する。環境の制約性は個人差に依存する暗黙知の多様性のある程度限定することができ、暗黙知の抽出の良否を客観的に判定しやすいと考えたためである。

本研究の主題となる暗黙知について、ここでの定義を記す。暗黙知とは、個人として明確には気づいていない、または組織として共有していない、有用な知恵である。このうち、前者を「個人としての暗黙知」、後者を「組織としての暗黙知」とする。ここで有用とは、熟練者と非熟練者を比較して時間、手数などのコスト差が明らかであることを意味する。

ものづくり系組織としての暗黙知の性質とそれを抽出する原理について述べる。

性質 1 機械操作マニュアル、社内教本など、ドキュメントやスクリプトに明示されていないのが暗黙知であるから、現象として現れる一連の動作から、どれが抽出すべき動作かを判断する手段を導入しなければならない。

性質 2 暗黙知は人間の内面の現象（心理、考え）に大きく依存し、直接計測ができない。しかも、本人が熟練の技の動作の瞬間にだけ、イメージングや体性感覚が想起するが、次の動作に移ると想起は終わり体性感覚は失われ、一連の動作後にはそれを忘れて気づいていない。したがって、一連の動作後に、何らかの方法で、本人に気付かせて、動作瞬間のイメージングや体性感覚をよみがえらせることが、抽出の鍵を握ると考える。

これらの性質を鑑み、次の抽出の原理が導かれる。

本人は気づいてはいないが、機器と連動したものづくり動作に暗黙知に関連した動作が現れていれば、その動作を抽出して、動作と暗黙知を関連付けることが暗黙知抽出法の原理となる。

ここで、動作計測のために、様々なセンサを熟練者に取り付けることは得策でない。なぜならば、センサは動作の邪魔になったり、心理に負担をかけて、通常と同じ動作を行うことを難しくさせるためである。したがって、非接触式の画像計測は有効な計測方法である。

3 暗黙知抽出法

前節で示した性質 1、性質 2 にそれぞれ適する計測法として、被験者に肉体的、心理的負担を極力かけないという条件の下、モーションキャプチャとインタビューを採用する。

ここで、インタビューは人間の心理を測定するためのものであるが、得られるデータは定性的でときとして主観的要因

が混入することがある。

本人は意識していなくても、ある作業時のイメージングや体性感覚に基づき、熟練技が動作として現れることが知られている [10]。そのため、動作情報を 3D 系として計測することは重要である。ここで、被験者に肉体的・心理的負担をかけないようにすることは必須である。なぜならば、熟練技を発現させようとするときに、何らかの負担が影響して、発現が乱れる、または、生じないことがあるためである。そのため、動作情報計測として、非接触式であるステレオビジョン視によるモーションキャプチャ [11] を採用する。これにより、身体の各部位の動作に関する 3D 情報を得る。

以上の考察に従い、暗黙知抽出のために、現場志向型インタビュー、モーションキャプチャ、ビデオ分析を用いる。それぞれの内容を以下に説明する。

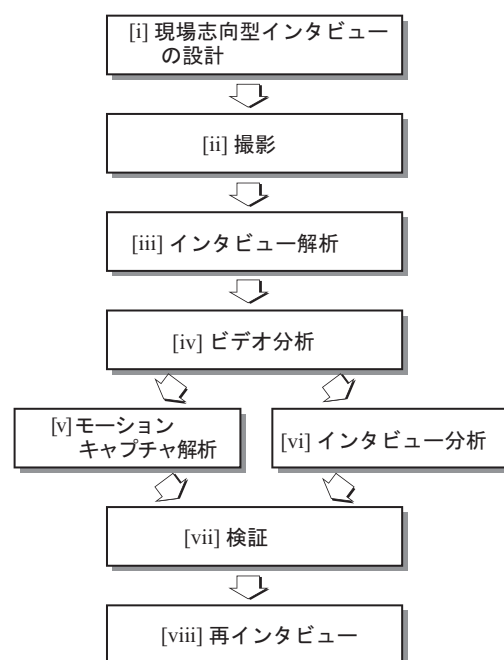


図 1: 暗黙知抽出法のフロー図

現場志向型インタビューは、われわれが本研究を進めるに際して考案した手法で、熟練者の技術遂行を現場で観察したインタビュアーが、その技術遂行の際の思考や行動の意味を質問により探る方法である。第三者的立場から根源的な問いを複数投げかけることにより、熟練者が気づいていない、あるいは気づいていたとしてもこれまで明示的に説明不可能であった知識を引き出すことを目的としている。

モーションキャプチャについては今回、光学式を採用した。2 視点で熟練者をカメラ撮影、デジタル記録を行い、人の動きのステレオビジョン視からヒューマンモデルを抽出し、作業時の四肢の姿勢、位置、動きを測定する。これにより、力加減の推定、姿勢により何を注視しているかの推定が行える。

現場志向型インタビューとモーションキャプチャを補完するのが、ビデオ分析である。熟練技は、作業時のある短時間に現れる。この時間を特定することが必要で、このため、ビデオ録画に基づく分析が有効である。このため、ビデオ撮影

者が作業者の作業を観測、重要な部分をクローズアップ、また、遠景での全体撮影を行うなど、適応的に、作業現場、作業動作を記録する。この記録映像を、複数の関係者で見て、熟練技が発現しているとみなされるタイムラインを抜き出す作業を行う。これはまた、熟練者に対して現場志向型インタビューを行う際に、熟練者とインタビュアーの間の共有資料としても利用する。

本提案法が適用する各手法の実施手順を図1に示し、以下に各手順を説明する。

[i] 現場志向型インタビューの設計

分析対象とするものづくり系技術について、可能な範囲で予備調査を行い、熟練者に対して行う質問をリスト化する。この内容は大別して、基本的質問と個別的質問がある。基本的質問は、技術の全体像や技術遂行時間、工具などの道具や装置類、技術遂行環境など、熟練者が技術を行う際の前提について尋ねるものである。しかし、実際の熟練者の観察については時間的な制約からこのパートに十分な時間が割けないケースも多いため、その際には、インタビュアーが個別的質問を行ったあと、時間を改めて把握する。

個別的質問は、熟練者の技術を観察して、それを技術として成り立たせている動きの核心や、そこにひそむ意味や理由をシンプルな問いで引き出す試みである。詳細として、姿勢に関するもの、視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚といった五感に関するもの、体の動きに関するもの、頭の中での判断に関するものという4つの項目がある。

[ii] 撮影

熟練者の技術を、その技術遂行環境に向いてモーションキャプチャとビデオ撮影を行う。モーションキャプチャを正しく行えるよう、2台のカメラを設置し、キャリブレーションを行ったあと、モーションキャプチャ用ソフトウェア [11] を動作させて熟練者の技術を記録する。ハンディタイプのビデオカメラによる撮影は、モーションキャプチャの実施に支障をきたすことなく、また熟練者の技術遂行の全体像が記録可能な位置にポジションを取り、熟練者の技術を記録する。

[iii] インタビュー

熟練者の技術を観察したインタビュアーが、熟練者の技術遂行が終了した直後に、ビデオカメラで撮影した動画を見ながら、[i] で作成した質問リストに基づいてインタビューを行う。このインタビューは必ず録音を行う。観察によって、事前に作成した質問以外にも尋ねる必要があると感じた場合は、それについても追加で尋ねる。インタビュー時間は長いほど好ましいが、実際には与えられた時間の中で優先順位の高い項目から質問する。

[iv] ビデオ分析

熟練者の技術を記録した動画を何度も再生しながら、暗黙知の潜んでいると思われる箇所を特定する。次に、モーションキャプチャで解析を行って高い効果が得られそうな箇所を推定して優先順位を付していく。

[v] モーションキャプチャ解析

[iv] で決定した順位にしたがって、モーションキャプチャ解析を行う。リンクモデルを作成し、通常の画像では困難な位置・角度からの分析で暗黙知抽出を行う一方で、熟練者の体の動きのデジタル的記録で取得した数値を用いてグラフ化、図版化することによっても、暗黙知の存在を確認、抽出する。本解析により、人間をリンクモデルで表現することができる。このモデルを用いて、身体姿勢を分析することができる。図2は、ステレオ視(図中左上と右上)からリンクモデルを抽出し、それに剛体をかぶせたCG(図中右下)を示している。



図2: モーションキャプチャの例

[vi] インタビュー解析

インタビュー録音を文字原稿に起こし、ビデオ分析により暗黙知が潜んでいると思われる箇所について、熟練者がインタビューでどのように考え、どのように回答しているかを解析する。また、インタビュー単体でも暗黙知の存在を推定し仮説を立てる。

[vii] 検証

[iv][v][vi] で導き出された仮説を同時に評価して照らし合わせる。ビデオ分析で立てた仮説をモーションキャプチャ解析、インタビュー解析で検証することは手順の中で行っているが、モーションキャプチャ解析で立てた仮説をビデオ分析、インタビュー解析で検証すること、インタビュー解析で立てた仮説をモーションキャプチャ解析、ビデオ分析で検証することもこの工程で行う。この循環で3手法を相互補完的に作用させ、最終的に、高い確率で暗黙知が存在すると想定できる技術ポイントを特定する。

[viii] 再インタビュー

[vii] で特定した暗黙知について、熟練者を再びインタビューして、本人が気づいていない、あるいは、本人は気づいてはいるものの組織で共有されていない知識であったかを問う。そうであると認められた場合、その暗黙知について、熟練者と非熟練者の間のコスト差算出を行い、数値として差異が認められれば有用な知恵であることを確定する。

4 実験

暗黙知抽出の実験対象として京浜工業所の協力を得て、砥石作成工程を取り上げた。この工程に携わる熟練者と非熟練者の2名を被験者とし、この2名を比較することにより、

暗黙知の抽出を図る。対象とした工程は、次の三つの工程からなる。

- 型詰め：砥石の材料（粉末）を計量し、型に詰める作業
- 焼成：型詰めした材料を焼き固める作業
- 仕上げ：焼き固めた材料を研磨し、形を整える作業

ここでは、仕上げ作業に本方法を適用した結果を述べる。

[i] 現場志向型インタビューの設計

事前に把握可能な範囲の中で、あらかじめインタビュー項目を作る。今回は以下のようなインタビュー項目を用意した。

- この作業はどのように行うのでしょうか。
- そのときに使う道具にはどのようなものがありますか。
- それぞれの道具の特徴と使い方のコツについて教えてください。
- 作業動作時、姿勢はどうなっていますか。手足はどう動かしますか。
- 視線はどこを見ていますかどれぐらいの時間がかかりますか。
- これを行う上で前提となる技術はありますか。
- この作業動作時に特に気をを使う点はどこですか。
- どれぐらいの熟練度が必要でしょうか。それはなぜですか。
- 失敗することがあるとしたら、それはどういうことが原因でしょうか。

現場では、熟練者の作業動作を見て、必要と思われる質問を付加する。

[ii] 撮影

あらかじめ現場の間取りや状態を調査し、撮影できる範囲の中で、被験者のどこに注目するかを決める。今回は現場にて熟練者と相談しつつカメラ位置を決めた。型詰め作業では、ステレオカメラで撮影する範囲として、被験者の上半身と研磨盤、ハンディカメラで撮影する範囲として、被験者の手元とした。カメラ位置が決まると、空間認識用のキャリブレーションポール、シートを設置し、撮影する。その後、キャリブレーションポール、シートを取り除き、熟練者、非熟練者それぞれに作業を撮影した。撮影の様子を図3に示す。



図3: 撮影の様子

[iii] インタビュー

直前に行った被験者の作業のビデオを、インタビュアーと被験者で確認しながらインタビューを行った。インタビュー内容はICレコーダによる録音、ハンディカメラによるインタビューの撮影、インタビュアーのメモ書きの3つにて記録した。

[i]にてあらかじめ作成した質問項目に加え、[ii]にて被験者の作業を観察しながら作成した追加質問を行い、被験者との話の中で新たに湧き起こった疑問についても質問した。質問の際、人によって表現の違うことを考え、具体的な数字（何mmか？何秒か？）で答えを引き出した。また、言葉だけでは理解しにくい部分については図を用いた質問、および回答という形でインタビューを行った。

[iv] ビデオ分析

作業を撮影したビデオを元に、熟練者、非熟練者それぞれの作業を分析した。ここでは両者の作業を分解し、作業項目の洗い出しと同時に、それぞれのタイムラインを作成した。また、モーションキャプチャを行うにあたって、どの部分に注目し、どの程度の時間的範囲について解析を行う必要があるのかのあたりを探った。ここでは熟練者、非熟練者それぞれが砥石3本分の研磨を行い、最も短い時間で終了した研磨作業について解析した。作成したタイムラインから両者の作業における手順の違い、作業ごとにかかる時間の差を定量的に分析した。その結果、熟練者と非熟練者の作業時間は表1のようになった。

表1: 表のキャプション

	削り作業	確認作業
熟練者	42.3 秒	11.7 秒
非熟練者	95.7 秒	63.0 秒

表1より、熟練者は非熟練者より104.7秒速く作業を済ませており、作業時間に関するコスト差があることがわかった。

[v] モーションキャプチャ解析

ステレオカメラの映像および[iv]を通して分析から、モーションキャプチャによる解析を行った。今回仕上げ作業では、被験者の上半身について注目し、その姿勢、手の動きについて数値化し定量的な解析を行った。その結果、砥石を研磨盤に当てるとき、熟練者のほうが非熟練者と比較して、上半身の位置が研磨盤に近く、目の位置が砥石に近いことが分かった（図4）。



図4: 熟練者（左）と非熟練者（右）の上半身姿勢の違い

また、研磨時の両者の右手首の軌跡を比較してみると、非熟練者は一定に手を左右に振っているのに対し、熟練者は円を描くように手を動かしていること、平ら出しの面（焼成の際に膨張し、隆起した部分を研磨によって平らにする部分で、地肌出しと比べて削る量が多い面）と地肌出しの面（砥石の地肌が出ればよく、削る量の小さくて済む面）によって砥石を当てる位置を研磨盤上で使い分けていることがわかった（図5）。

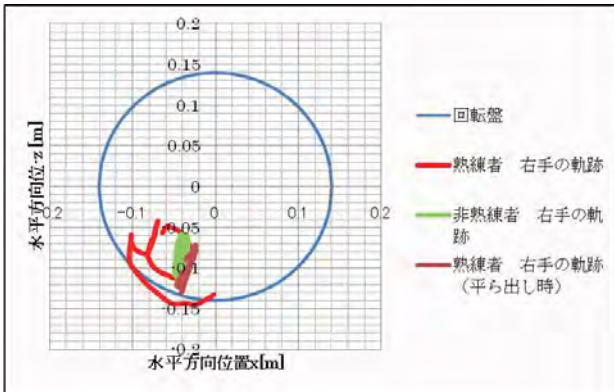


図5: 熟練者と非熟練者の研磨時における右手軌道

具体的には、削る量の大きい平ら出しの面では、回転による線速度の最も速い、研磨盤の外周側を重点的に使用し、削る量の小さくて済む地肌出しの面では、研磨盤の外周側は使用せずに、平ら出し面で使用していない内側の部分をまんべんなく使用し、研磨していることがわかった。研磨盤をまんべんなく使用する理由については次で述べる。

[vi] インタビュー解析

[iii] で得られたインタビューを基に解析を行った。熟練者は親指と中指で両端を支え、中指で中心を押さえるように砥石を持っていること（図6）、また、平ら出しでは、砥石を研磨盤に当たる面が凸になるよう反らす意識で持つことがわかった。

砥石を削る際、研磨盤も削れてしまう。熟練者は、研磨盤をまんべんなく使用していることが分かった。研磨盤の同じ所ばかりを使用してしまうと、研磨盤の形が平らでなくなり、使用できなくなる。

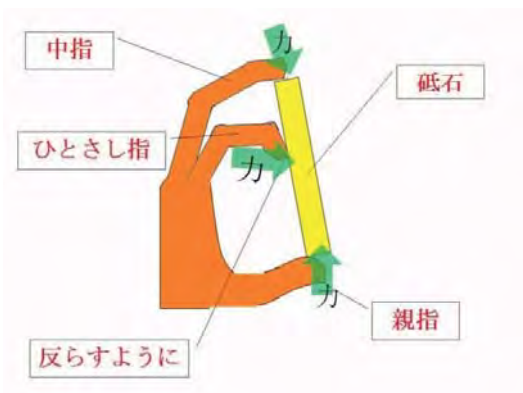


図6: 熟練者の砥石の持ち方

[vii] 検証

モーションキャプチャ、インタビューの結果を分析して、それぞれにおいて熟練者の動きについて特徴的な動きと判断される項目を次に示す。

モーションキャプチャ分析から見出された特徴的動作

- 熟練者のほうが非熟練者と比較して、上半身の位置が研磨盤に近く、目の位置が砥石に近い。
- 削る量の大きい平ら出しでは回転による線速度の最も速い研磨盤の外周側を重点的に使用し、研磨している。
- 削る量の小さい地肌出しの面では、研磨盤の外周側は使用せずに、平ら出し面で使用していない内側の部分をまんべんなく使用し、研磨している。
- 作業全体で円を描くように手を動かしている。

インタビュー分析から見出された特徴的動作

- 親指と中指で両端を支え、中指で中心を押さえるように砥石を持つ。
- 平ら出しでは、砥石を研磨盤に当たる面が凸になるよう反らす意識で持つ。
- 研磨盤の形状が偏って変化しないように、まんべんなく使用して研磨している。

これらの分析結果は、次で行う再インタビューの質問項目に反映させる。

[viii] 再インタビュー

[vii] 検証までで特徴的動作の候補とその原因推定を行い、これを確認するために、被験者（熟練者と初心者）に対して再インタビューを行った。その再インタビュー項目を次に示す。

- 仕上げ工程で、回転盤に対して前のめりの姿勢をとっていますか。
- 前のめりの姿勢をとっているのは、研磨する砥石を視界の真下におくためですか。
- 前のめりの姿勢をとっているのは、研磨に力が入りやすいようにするためですか。
- 仕上げ工程で、体をできるだけ回転盤に近づけるようにしていますか。
- 研磨機に体をつけていますか。
- 体をできるだけ回転盤に近づけるのは、研磨に力が入りやすいようにするためですか。
- 研磨機に体をつけているのは、体を安定させるためですか。
- 平ら出しで、回転盤の外周を使って研磨しているのは、研磨量を上げるためですか。
- 平ら出しで、砥石を反らすように持つのは、人差し指に力を入れるためですか。
- 地肌出しで、回転盤全体を使って研磨しているのは、回転盤のへこみを防ぐためですか。

- 砥石を水にくぐらせるのは、研磨で出た屑を洗い落とすためです。

この再インタビューを通して、次のことが明らかになった。

- 研磨機に近づいているのは手元が近い方が細かい作業がやりやすいから。
- 前かがみになるのは砥石を真上から見るため。
- 均等に力を入れるには真上からの方がよい。
- 作業を速くするためにはある程度力を強くかけなくてはならない。
- 平ら出しでは最終的に力を抜いて研磨する。
- 品物の状態によって外周や内周の位置を決める。
- 外周の方が、速度が速いので速く削れる。
- 外周の方が回転による曲がり小さいので安定して削れる。
- 砥石を親指、人差し指、中指の3本で持つのは、砥石の状態によって砥石を反らしたり反らさなかったりすることで、削れる部分を調整している。
- 上記のことは、はじめから教えるということではなく、やっているうちに自然と調整するようになる。
- 工場長は両手を使い、片手で砥石の両端を持ち、もう片方の手で砥石の中程を抑え、力加減を調整している。

以上のことから、再インタビューで確認できた暗黙知は以下の4つである。

- I. 研磨盤に近づき砥石を上から見下ろすことで、力をかけやすくし、研磨を容易にしている。
- II. 研磨する砥石の面によって、研磨盤上で線速度が速い位置、そうでない位置を使い分けている。
- III. 砥石の持ち方によって砥石の削る部分を調節している。
- IV. 研磨盤をまんべんなく使うことで、研磨盤の摩耗を遅らせ寿命を長く保たせている。

ここで、I、IIは個人としての暗黙知、III、IVは組織としての暗黙知であることがわかった。IVについては、工場長が思わず「そんな工夫をしていたのか！」と感想をもらったほど、工場長も共有していない、この熟練者ならではの知恵であった。これらの暗黙知を活用することによって、ビデオ分析により熟練者は仕上げ工程を砥石1本あたり54秒で終えている。一方、非熟練者は1本あたり158.7秒かかっているため、熟練者は非熟練者に比べて生産効率が約3倍高いということになり、コスト差はあるといえる。つまり、コスト差が明らかであるため、有用な知恵ということができ、4つの事実は暗黙知といえる。

5 おわりに

提案する新しい暗黙知抽出法は、企業関係者が有用と評価する暗黙知を抽出できることを示した。本方法は、被験者に肉体的・精神的負荷を多くはかけないため、熟練技発現の妨げにならないという意味での現場適用性が高いものと言える。抽出した暗黙知は、個人レベルに属するもの、組織レベルに属するものに分類できることが判明したことは、本提案方法の新たな利点と考えられる。

最後に、言語および姿勢の定量的表現の形で形式知化されているので、これを技術伝承に効果的に活用することが今後の課題である。

謝辞 最後に、今回暗黙知抽出のための実験にご協力いただいた、株式会社 京浜工業所の関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 森和夫, 3時間で作る技能伝承マニュアル, JIPM ソリューション, 2007
- [2] 野中郁次郎, 知識創造企業, 東洋経済新報社, 1996
- [3] 森和夫, 技の学び方・教え方, 中央職業能力開発協会, 2006
- [4] 山根八州男監修, ものづくり技術・技能の伝承と海外展開, 広島大学大学院工学研究科・産学連携センター編集, 2008
- [5] 中村茂弘, 技術・技能伝承術 団塊力を活かす! 工業調査会, 2005
- [6] 藤本隆宏, ものづくり経営学 - 製造業を超える生産思想, 光文社新書, 2007
- [7] 八木澤徹, 技能伝承—技能五輪への挑戦 団塊引退 技を受け継ぐ男たち, 中央職業能力開発協会, 2005
- [8] 森和夫, 技術・技能伝承ハンドブック, JIPM ソリューション, 2005
- [9] 黒田亮著, 勘の研究, 講談社学術文庫, 1980
- [10] 佐々木智典, 手の機能を考慮したユーザインタフェースに関する研究, 東京工科大学博士学位論文, 2010
- [11] モーションキャプチャソフトウェア PV STUDIO3D <http://www.privatestudio.co.jp/pvs3d.html>

発展戦略理論による新興国封じ込め :「智」の競争としての国際政治分析

前田 充浩*

Developmental Strategy Theories as Methods of Emerging Powers Containments : An Epistemic Competition Model of International Politics Analysis

Mitsuhiro Maeda*

Abstract

A basic framework of emerging power containments is a confrontation between incumbent big powers and emerging powers which try to change international regimes. After WWII, we have witnessed at least two big cases, the Cold War, the Soviet Union containment by Western powers, and the Japan Bashing, the Japan containment by major powers. In the 21st century, we are now observing the China containment.

The common dynamism among three cases is that attractiveness of each developmental strategy had/has worked significantly in gaining supports of developing countries. Thus emerging powers containments would be analyzed as attractiveness competitions among developmental strategy theories. In the Cold War, Marxism-Leninism competed the Neo-classical developmental strategy. In the Japan Bashing, the developmentalism competed the Washington Consensus. Following those cases, author tries to analyze the present China containment as a competition between so-called Beijing Consensus and Washington Consensus.

Keywords: emerging powers containments, developmental strategies, an epistemic competition, the Washington Consensus, the Beijing Consensus

1 新興国封じ込め

今日の国際社会の最大の問題の1つが、中国が進めている発展途上国への影響力の急速な拡大への対処であることは否定できない。中国は近年、独自の外交政策により、アジア、アフリカを中心とする発展途上国への影響力を急速に拡大し、資源権益の増大、自国企業のビジネス機会の獲得を進めるとともに、それら諸国が国際場裡において中国を支持するように誘導しつつある。

資源権益、自国企業のビジネス機会、国際場裡における支持等は、多分にゼロ・サム的狀況を示すため、中国がそれらを増大することは、すでに発展途上国との関係でそれらを相当程度確保していた他の主要先進諸国(本稿では、「先発国」と呼ぶ。)にとって看過できない問題を生じさせる。このため、中国の台頭によりそれら権益を失うことになる先発国は中国の台頭を阻止すべく、協調した行動を採ることがあり得る。そのような行動は、中国封じ込め (the China Containment) と呼ぶことができる。

本研究の課題は、現在国際社会で進行中の、この中国封じ込めの構造を分析することである。

今日の中国のように、ある国が国力を高め、発展途上国の権益を急速に拡大していくことは、近代世界システムにおいてはしばしば見られる現象である。そのような国を一般的に、新興国、と呼ぶことができる。新興国の台頭による発展途上国の権益の急拡大を看過できない先発国が協働してそれを阻止しようとする動き、すなわち新興国封じ込めの行動を採ることもまた、今回の中国の場合に限らず、一般的なことであると考えられる。

このため今日の中国封じ込めにおいては、過去行われた数々の新興国封じ込めにおいて用いられたものと同様の手法が援用されている可能性がある。したがって、過去行われた数々の新興国封じ込めをケース・スタディし、それらをモデル化することができれば、中国封じ込めをそのモデルの枠組みにおいて分析していくことができ、今後の国際政治の帰趨をより正確に見通すことができると期待される。

本研究は、過去行われた新興国封じ込めとして、以下の

2つを挙げる。

第1は、米国、英国等が中心となって進めたソ連封じ込めである。これは一般的には、東西冷戦、と呼ばれる。時期は、チャーチルによる「鉄のカーテン」演説が行われた 1946年からマルタ会談の 1989年までである。

第2は、米国が中心となって進めた日本封じ込めである。これは一般的には、ジャパン・パッシング、と呼ばれる。時期は、概ね 1980年代後半から 1990年代一杯である。

これら2つの新興国封じ込めのケースにおいては、軍事的、経済的対峙に加えて、理論の応酬、言わば智の競争(an Epistemic Competiton)が重要な役割を果たしたことが共通の特徴である。そもそもジャパン・パッシングにおいては、日本は米国の軍事同盟国であり、軍事面での対峙は全くなかった。ここで言う理論の応酬とは、主として、発展途上国の発展戦略に関する理論の説得力の競争、と見ることができる。

一般的には、発展途上国の発展戦略に関する理論とは、アカデミックな研究の積み重ねによって構築されるものであり、国際政治上の動きとは無関係なものと捉えられる。一方本研究の主張は、その理論の応酬が、軍事的対峙、経済的対峙同様、国際政治上、対立する国家間でライバル国の権益を減じさせるために用いられる、ある種の兵器として見ることができるということである。新興国封じ込めの最大の関心事が発展途上国への影響力拡大であることからすると、新興国、先発国にとって、お互い、相手よりも魅力的な発展戦略に関する理論を提示することが重要な意味を持ったということである。

新興国は、すでに先発国との間で権益関係が出来上がっている発展途上国に新たに参入して、先発国の権益を引き剥がし、自国の権益を確保していかなくてはならない。新興国は発展途上国に対して、これまで通りの先発国との関係を維持するよりも、それを止めて、新たに新興国と密接な関係を構築した方が良いことを説得しなくてはならない。そのための方法としては、軍事的な侵攻は、例えば 1979年のソ連によるアフガニスタン侵攻の例に見られるように、あまりにもリスクとコストが高すぎる。経済上のさまざまな利益供与を約束する方法は極めて有効であり、多くの場面で活用される。それらに加えて、発展途上国の発展戦略に関する理論という、言わば「智」の有する説得力も、そのための重要な方法として用いられると見るのである。

新興国は、先発国が発展途上国に発信している発展戦略の理論に基づいて経済社会開発を進めるとうまくいかない。それを止めて、新興国が発信する発展戦略の理論を採用すべきだ、と説得するのである。発展途上国がそれに説得された場合には、新興国はその発展途上国政府に対する影響力を拡大することができ、経済上の権益拡大も、政治上の権益拡大も有利に進めることができると考えられる。

以上のような考え方に立脚し、本研究を以下のように進

めることとする。

第1に、過去の新興国封じ込めにおいて、新興国と先発国がそれぞれ発信した発展戦略の理論を整理し、それらがどのように競争したのかを分析する。

第2に、今日の中国封じ込めに関して、中国が提示している発展戦略の理論を整理し、それと先発国が提示している発展戦略の理論との競争を分析する。

2 東西冷戦

2.1 東西冷戦の構造

東西冷戦の基本的な構造は、ソ連陣営と米国陣営の対立である。新興国封じ込めの視点では、ソ連を新興国、米国を中心とする西側先進諸国を先発国と見ることができる。ソ連は、第2次世界大戦終結時にはアジア、アフリカ地域に殆ど植民地を持たず、発展途上国との関係では、英国、フランス等の先発国に比べて、圧倒的に小さな権益しか持っていなかった。一方ソ連は、第2次世界大戦終結後、圧倒的な勢いで発展途上国に対する影響力を強化し、権益を拡大していった。1960年をピークに次々に政治的独立を果たした発展途上国の多くは社会主義体制を採り、ソ連に大きな権益を供与した。このようなソ連による発展途上国の権益の急拡大を看過せず、それを阻止しようとして米国、英国等が中心となって進めた協調した動きを、新興国ソ連封じ込め、と見ることができる。

このソ連封じ込めにおける発展戦略の理論の競争については、以下のように整理される。

ソ連が主張した発展戦略の理論は、マルクス=レーニン主義に基づくものである。具体的には、計画経済制度を採用し、経済全般を政府がコントロールすることである。

米国、英国等先発国が主張した発展戦略の理論は、新古典派経済成長理論である。

なお、新古典派経済成長理論を、このようにソ連封じ込め、または東西冷戦の手段として捉えることについては反論があり得る。曰く、新古典派経済成長理論は、そのような国際政治上の事情とは関係なく、研究者の理論的な研究の積み重ねの上に構築されたものである、と。確かに、新古典派経済成長理論の基礎となったハロッド=ドーマー・モデルは、ハロッドが論文を発表したのが 1939年(注1)であり、ドーマーが論文を発表したのが 1946年(注2)であり、東西冷戦前のものである。それに続くソロー=スワン・モデルにしても、発表は 1956年(注3)である。

確かに新古典派経済成長理論の淵源が第2次世界大戦前にあることは疑いない。一方、新古典派経済成長理論が 1960年代以降急速に発展した重要な要因の1つに、東西冷戦においてマルクス=レーニン主義に基づく発展戦略に対抗し得る発展戦略の理論を構築しなければならないという必要性があったことを見ることは不可能ではない。その

証左としては、新古典派経済成長理論を初期に整理したロストウ[1961]は、副題が”A Non-Communist Manifesto”となっていることを挙げることができる。すなわち、ソ連が主張するように、マルクス=レーニン主義に基づく発展戦略に則らなければ発展途上国の経済成長は不可能なわけではなく、マルクス=レーニン主義とは全く別の理論に則っても十分に経済成長できる、という含意である。

2.2 東西冷戦とODA

東西冷戦の全期間を通じて、マルクス=レーニン主義に基づく発展戦略の理論は相当強い説得力を持ち、それが東西冷戦における東側陣営の相当の優勢をもたらした一因であると考えられる。

その説得力の強さの理由は、第1に、マルクス=レーニン主義に基づく発展戦略の理論が分かり易く翻訳されたことであると考えられる。すなわち、この理論のエッセンスは、「貧困の原因は搾取にある。発展途上国の人々は、国内で資本家に、世界市場で欧米先進諸国の多国籍企業の資本に搾取されている。マルクス=レーニン主義は、この搾取を絶つものである。」と翻訳され、発展途上国の人々の共感を集めたと考えられる。

第2に、マルクス=レーニン主義の一方独裁制の考え方は、独裁、軍事政権等である発展途上国の政権の座にある多くの権力者にとっては魅力的であったと考えられる。民主的な選挙によって政権を追われることがないためである。

これに対して先発国が示した発展戦略の理論が、新古典派経済成長理論である。

新古典派経済成長理論自体は数学モデルを多用する難しいものであるので、実際に発展途上国の政府関係者及び国民に対して説得する場合には、マルクス=レーニン主義の場合と同様、分かり易く翻訳することとなった。ODA(政府開発援助:Official Development Assistance)という概念を中心に構築された、開発援助、という概念は、そのような翻訳として捉えることができる。すなわち、数学モデルは理解できなくとも、とにかく西側先進諸国との関係を密にすると、ODA という開発援助を受けられ、その開発援助の効果によって発展途上国は豊かになれる、という翻訳である。

今日にいたるまで、通常は、開発援助を拡大することとODA を拡大することとは同一視されていると言える。一方筆者の主張は、このように開発援助の大きさを計測する適切な指標として当然視されているODA という概念そのものが、東西冷戦におけるマルクス=レーニン主義との理論上の競争を重要な動機として構築されたものではないかということである。すなわち、ODA の概念の内容を精査するならば、開発援助、すなわち発展途上国の経済社会開発の支援という目的からは根拠が明確ではなく、マルクス=レーニン主義との理論上の競争関係を踏まえて初めて根拠が理解できるものがあるということである。

ODA の概念は、OECD(経済協力開発機構:Organization for Economic Co-operation and Development)のDAC(開発援助委員会:Development Assistance Committee)が定めた統計指示書で定義されている。すなわち、第1に、先進国「政府」から発展途上国「政府」に対して供与されるもの(したがって、個人、企業等によるフィランソロピーは含まれない。)であり、第2に、平和目的、すなわち軍事目的ではないことであり、第3に、贈与比率(Grant・エレメント)という指標で測られる譲許性(concessionality)が一定(25%)以上であること、というものである。

この定義の以下の2点は、開発援助という視点のみにおいては理由が不明確である。

第1点は、先進国側の資金の出し手を先進国「政府」に限定していることである。

今日では、メリンダ=ゲイツ財団に見られるように、フィランソロピー等、先進国における政府以外の主体から発展途上国の様々な主体に対して供与される資金の総額は相当巨額になっている。そもそも、発展途上国にしてみれば、問題は受け取る資金の総額であり、資金の出し手が先進国の政府であるか、政府以外の主体であるかは大きな問題ではない。

第2点は、譲許性、という複雑な概念であり、特にその水準(Grant・エレメント 25%超)である。市中金利を 10%として、元本が同額の資金を金利 10%で借った場合の元本返済総額に比べて元本返済総額が 25%以上安いことが ODA の定義上の要請になる。

一方、市中金利を 10%と定めた場合にGrant・エレメント 25%超のファイナンスを組成することは、現在よりも市中金利が高めであった 1960 年代においても、さほど困難なことではなかったと言える。実際に、これまで先進国から供与された ODA 資金のGrant・エレメントは 25%よりも相当高い水準になっており、先進国にとって、この基準は実務上の大きな制約とはなっていないことを窺わせる。すなわち、開発援助の視点からは存在意義が不明確な基準となっている。

一方、当時のマルクス=レーニン主義に基づく発展戦略の理論との競争を念頭に置くと、これら2点が定義に加えられた理由が明確となる。

先に見たように、マルクス=レーニン主義に基づく発展戦略の理論は、発展途上国への説得においては、先進国の巨大資本による搾取の排除、という内容が強調された。先進国の巨大資本の典型は、先進国の巨大銀行である。西側先進国が発展途上国に開発援助資金を供与する場合、それが贈与形態であれば搾取の批判は免れるものの、実際には贈与形態で多額の資金供与を行うことは先進国の財政負担能力の問題で不可能であり、資金の大半は融資形態で供与されていた。その融資には、水準はさておき金利が付いていた。

このため発展途上国にしてみれば、先進国から金利付きの融資を受けることは、開発援助という美名はさておき、実質的には従来通りの搾取ではないかとの疑念が生じる可能性がある。

このため、第1に、資金供与の主体として、民間金融機関を排除して政府のみに限定することで、第2に、金利は付いてはいるものの、それは譲許的であって、搾取の疑いのかかる民間金融機関による融資に比べて圧倒的に安い(実際には、上記のように、それほど大きく安いわけではなかったにしても)ことを強調する必要があったと考えられる。

東西冷戦は1989年12月のマルタ会談により終結し、ソ連も1991年に崩壊した。ソ連崩壊後に誕生したロシアでは、「ショック療法」と呼ばれる、急激な市場メカニズムの導入が進められた。すなわち、マルクス=レーニン主義に基づく発展戦略は、東西冷戦の一方の主体であるソ連においても放棄されたため、その採用を発展途上国に対して主張する主体は存在しなくなった。

3 ジャパン・バッシング

3.1 ワシントン・コンセンサス対開発主義

1980年代から1990年代、特に1997年のアジア通貨危機まで、日本は、東南アジア、南アジア、中央アジア、アフリカ等の地において、発展途上国に対する影響力を大きく高め、権益を拡大していた。日本がそれらの地で影響力を強めることができた重要な要因は、言うまでもなく、日本企業の直接投資の拡大と、円借款制度を中心とする日本政府からの開発援助資金の供与である。一方本研究では、それらに加えて当時の日本政府は、日本独自の発展戦略の理論を発展途上国に発信しており、その理論の説得力が、日本の発展途上国に対する影響力拡大の1つの重要な要因になったのではないかと考える。

日本独自の発展戦略の理論とは、開発主義、と呼ばれるものである。その内容については次節で見ていく。

それに対して米国は、東西冷戦終結の1989年に米国のシンクタンクの研究員(注4)が発表した、今後の適切な発展途上国の発展戦略のあり方をまとめたものであるワシントン・コンセンサス(注5)を根拠として、徹底した市場メカニズムの強調、政府による市場メカニズムへの介入及び各種の経済上の規制の排除を柱とする、新古典派経済成長理論を強力に主張した。

さらに米国の強い働きかけの下に、世界銀行は、1990年代に、世界の開発援助政策の基本的な方向として貧困削減、という考え方を打ち出した。1990年代には貧困削減が「世界の開発援助潮流」として広く世界で受け入れられるようになっていき、最終的に2000年の国際連合ミレニアム・サミットにおいて、2015年の世界の貧困人口を2000年の半分に減らすことを主な内容とするミレニアム開発目標が採択さ

れ、現在先進国は、その実現に向けて努力を積み重ねることが求められるようになっている。貧困削減、とは、開発援助資金を供与する対象としては、発電所、高速道路、港湾設備、工業団地等の経済セクターと呼ばれる分野ではなく、学校、病院、医療、衛生等の社会セクターと呼ばれる分野を中心にすべきだ、ということである。

この貧困削減の考え方は、ワシントン・コンセンサス同様、市場メカニズムを強調する発展戦略の理論であると言える。東西冷戦中には、最大の関心は東西冷戦の勝利であったため、開発援助においては、市場メカニズムを貫徹させることよりも東側を凌駕する多額の資金を発展途上国に供与することが必要であった。一方東西冷戦終結後には東側陣営に対抗する必要はなくなったため、開発援助も聖域ではなくなり、そこにおいても市場メカニズムを貫徹することが理論上の要請となったと考えられる。

貧困削減とは、その要請に応えようとして導出された考え方であると見ることができる。経済セクターとは、市場メカニズムに委ね、民間金融機関による商業金融を用いた民間企業の経済活動によって進めることのできる分野であり、そこに開発援助資金が供与されると、開発援助資金の譲許性ゆえに市場メカニズムが歪められ、商業金融がクラウド・アウトされることになる。このため開発援助資金は、そもそも民間金融機関が関心を持たず、商業金融が供与される可能性が極めて低い(クラウド・アウトの問題を引き起こさない)社会セクターのみに限定されるべきだ、とするのである。

以上のように、新興国であるソ連がマルクス=レーニン主義に基づく発展戦略の理論を主張し、先発国である西側先進諸国が新古典派経済成長理論に基づく発展戦略の理論を主張し、両者の間で競争が展開された東西冷戦というソ連封じ込めの場合と同様に、ジャパン・バッシングという日本封じ込めにおいては、新興国日本が開発主義という発展戦略の理論を主張し、先発国である米国がワシントン・コンセンサス及び「世界の開発援助潮流」としての貧困削減という発展戦略の理論を主張したと整理することができる。

発展戦略の理論間の競争としては、これら2つのケースには類似点がある。すなわち、新興国側は、市場メカニズムに対する政府の介入の重要性を強調する発展戦略の理論を主張し、先発国側は、徹底して市場メカニズムを重視する発展戦略の理論を主張する、ということである。マルクス=レーニン主義が説得力を失った1990年代においては、開発主義は、世界の中で有効に主張される発展戦略の理論の中では、政府による市場メカニズムへの介入を極めて重視する発展戦略の理論の代表であった。

3.2 開発主義

開発主義とは、第2次世界大戦後の日本が自国の経済発展のために編み出し、後にアジア四龍(韓国、台湾、香港及びシンガポール)がそれを大きく参考にして自国の発展戦

略を構築し、1980年代以降はASEAN諸国にも大きな影響を及ぼした発展戦略の理論である。日本による開発主義の淵源は、1940年代前半の国家総動員体制、軍需省による経済活動の全面的な管理の体制にある。

発展戦略の理論としての開発主義は、1992年に村上泰亮によって整理された(注6)。村上自身はその用語は用いなかったものの、その内容を筆者が整理すると、開発主義には、弱い開発主義と、強い開発主義があることになる。

弱い開発主義とは、国家の経済成長にとって重要な産業をターゲットにし、そのターゲットされた産業に対して補助金、技術開発支援等の支援措置を講じることである。ターゲットされた産業、それへの支援の方法等については、国家発展〇〇年計画等と呼ばれるNIS(国家イノベーション・システム:National Innovation System)という文書にまとめられ、発表されることが多い。日本ではかつての全国総合開発計画、新全国総合開発計画等である。

このように、NISをとりまとめ、その中でターゲットする産業を明示し、その振興方法の概要を定め、それに基づき実際に各種の振興政策を実施すること自体は、程度の差はあれ、米国を含め、多くの国で見られるものである。

一方、強い開発主義は、以下のように特殊なものであり、それを実際に運用した国は、日本をはじめ、少数しか存在しない。強い開発主義とは、政府の介入により、主要産業の国内の生産量を、予め設定した需要予測に合致する水準に抑えるというものである。このことは、主要産業が平均費用逓減状況が広く発生する産業である場合には、決定的に重要となる。この点を村上泰亮[1992](注7)の記述をもとにまとめると、以下のようになる。

平均費用逓減状況が広く発生する産業では、生産量を多くすれば単位生産量当たりの生産コストが低くなるため、市場均衡は安定的にはならない。全ての企業が生産規模を拡大しようとする結果、国家全体の供給能力は需要を大きく上回り、結局、過当競争の中で多くの企業が倒産し、資本と労働の無駄が発生する一方で独占または寡占が生まれる。それを防ぐためには、個別の企業に対して、過度な設備投資を断念させなければならない。

計画経済制度では、政府(国営企業)が生産規模を需要予測に適したものに決定すればこの問題は解決される。一方市場経済制度の下で日本は、この問題を独特の方法で解決した。行政指導、という方法である。すなわち政府は、民間企業が過度な設備投資をしないように民間企業に対して行政指導(法律に基づかない指示)を行い、民間企業はそれを聞き、計画していた設備投資を断念する。これが、村上泰亮の説明から導出される強い開発主義である。

強い開発主義は、市場メカニズムに則る限り避けることのできない過当競争による倒産等の無駄を排除でき、一方で独占または寡占が生まれることもなく、数社が適正競争を続け、それぞれの企業が、倒産の心配なく研究開発等を進め、

長期に発展していくことを可能にする。日本が、このような方法で経済成長を進め、多くの製造業の競争力において欧米諸国を凌駕しつつあった時、欧米諸国は日本の産業政策を「日本株式会社」と呼んで揶揄した。その内容の根幹は、このような強い開発主義にあったと言える。

日本は発展途上国に対して、弱い開発主義を相当強力に推進すること、さらに可能であれば強い開発主義をも採用することを説得した。

3.3 ASEAN諸国に対する開発主義の説得

1990年代においては、以下に述べるように、日本はASEAN諸国に対して開発主義を積極的に説得した。

1990年代初頭にインドシナ和平を実現したASEAN諸国は、1994年にはASEAN外相会合で、ベトナム、ラオス、カンボディア及びミャンマーという旧計画経済諸国を順次ASEANに加盟させていくことを決定した(注8)。1981年にマレーシアのマハティール首相が「ルック・イースト」政策を打ち出したASEAN諸国においては日本の発展戦略の理論に対する関心が高まっていた。

日本政府は、通商産業省[1985]において、マレーシア、タイ、インドネシア及びフィリピン(以下、ASEAN4。)が開発主義に基づく発展戦略を採用すべきだとする主張を行い、日本政府はそのための支援を行うべきであるとした。それを踏まえ、1987年に「New AID Plan」と呼ばれる独特の技術協力政策がASEAN4を対象にして開始された。さらに、開発主義に基づく発展戦略に関する広範な議論を行うことを目的として、1992年にASEANの経済閣僚と通商産業大臣の定期会合であるAEM-MITI(注9)が設置された。

1993年、世界銀行は「東アジアの奇跡」と題された世界銀行[1993]を発表した。その中では、日本をはじめ東アジア諸国が用いている審議会方式の効果を評価した。審議会方式は、強い開発主義の実施において重要な役割を果たす制度であった。

1993年に日本政府は、副題を「産業政策のススメ」とする『ASEAN産業高度化ビジョン』(注10)という文書を発表し、これを尊重することが同年のAEM-MITIにおいて決定された。その決定を受けて、ASEAN4でサポーティング・インダストリー育成政策等が開始された。

1994年、AEM-MITIは、カンボディア・ラオス・ミャンマー産業協力ワーキング・グループを設置した。この目的の1つは、ベトナム、カンボディア、ラオス及びミャンマーというASEAN新規加盟国の市場経済化を日本との協働において、すなわち開発主義に基づく発展戦略の理論に依拠しつつ進めることであった。

1995年、日本政府は、発展戦略等について議論する場として、ASEANに日本、中国、韓国を加えたASEAN+3の枠組みを構築した。1996年3月に開催されたASEM(アジア欧州会合)のアジア側経済閣僚会議がそれであり、第1

回準備会合は1995年11月、大阪で開催された。ASEAN+3という枠組み自体はマハティール首相が1990年に提唱したEAEC(東アジア経済協議体)構想で示されていたものの、米国の猛反発により実現しなかった。ASEM(アジア側経済閣僚会議)は、実質的にEAECと等価のものと言える。

一方、1997年7月のタイ・バース暴落と変動相場制移行を契機とするアジア通貨危機は、結果として日本によるASEAN諸国に対する開発主義の説得に大きな負の影響をもたらした。アジア通貨危機発生後、米国をはじめ、欧米先進諸国が、クローニー・キャピタリズム(インチキ資本主義)論を大々的に展開したためである。

クローニー・キャピタリズム論とは、アジア諸国では、民間企業が権利関係のはっきりしない同族経営であること、契約関係が不明確なままに特殊な人的関係の中で取引が行われること等、健全に機能する市場メカニズムが存在していない、とする主張である。これをもとに、健全に機能する市場メカニズムの不在がアジア通貨危機の原因である、と説明された。この考え方に基づくと、行政指導は市場メカニズムを歪めるものとしてネガティブな評価を受けることになり、強い開発主義はその存在意義を否定されることになる。

2002年にタクシン首相の発案により、アジア通貨危機の原因であった「ダブル・ミスマッチ」(注11)に対応するためにアジア債券市場イニシアティブが開始されたところ、これは、クローニー・キャピタリズム論への反応として、直接金融市場の整備に取り組もうとしたものと見ることができる。

21世紀に入る時点では、後述するように日本自身が強い開発主義を放棄することになり、今日では日本政府がASEAN諸国に対して開発主義に基づく発展戦略の理論の説得を継続していることは確認できない。

3.4 その他の発展途上国に対する開発主義の説得

日本政府は、1990年代に中央アジア諸国への円借款の供与を開始した。1993年にキルギスタン、1994年にカザフスタン、1995年にウズベキスタン、1997年にトルクメニスタン向けの円借款供与が決定された。円借款自体は開発援助としての低利融資であるものの、それを供与する際には、先方政府と国内の経済政策のあり方について広範な協議を行い、その幾つかをコンディショナリティ(融資条件)とすることになる。すなわち、円借款の供与を通じた先方政府との経済政策の議論において、開発主義に基づく発展戦略の理論の説得を進めることができる。

逆に言えば、円借款を受け入れることは、それら諸国が、日本が開発主義に基づいて行う経済政策に関する条件付けをある程度受け入れる用意ができたことを示す。

さらに中央アジア諸国は、東西冷戦終結後、政府の行政官を、開発主義を学ぶために日本に留学させた。埼玉大学大学院政策科学研究科及び政策研究大学院大学は、IMFと日本政府の資金により移行経済諸国の財務省及び

中央銀行の行政官に修士課程の教育を提供するプログラムを運営していたところ、中央アジア諸国の幾つかは、そこに、開発主義について学ぶように、という指示の下に職員を派遣した。

一方、中央アジアの移行経済諸国に対する開発主義の説得は功を奏したとは言い難い。理由は、行政指導の手法を実用化することが困難であったことにあると考えられる。

アフリカについては、以下のような経緯である。

東西冷戦終結後、東側陣営からのアフリカ向けの開発援助は激減し、西側陣営についても欧州諸国からの開発援助は大きく減った。当時の欧州諸国にとっては、移行経済諸国である東欧諸国への支援が最優先、かつ大きな負担となったためである。

1993年、日本はTICAD(アフリカ開発会議)を開始し、多くのアフリカ諸国の首脳を東京に呼んだ。1998年に第2回、2003年に第3回、2008年に第4回が開催された。これら会議を契機として、日本政府は累次アフリカ諸国向けのODAを増額していった。

2003年の会合では、アフリカ諸国が輸出振興政策への支援を要求したため、その問題に特化した会合として、翌2004年に日本(幕張)で貿易大臣会合が開催された。

2008年の会合では、テーマが「東アジアの成功体験のアフリカへの移転」とされた。東アジアの成功体験、とは、多分に開発主義の成功を意味するため、ここにおいて日本政府は開発主義に基づく発展戦略の理論をアフリカ諸国に対して積極的に発信することを明言したと見こともできる。ただしこの時点では、そもそも日本自身が強い開発主義を放棄していたため、アフリカ諸国に対して発信される成功体験としてのモデルが現時点では判然としない。

3.5 新興国日本封じ込め

日本政府は、少なくとも弱い開発主義は今日なお維持しており、2005年の経済産業省による「新産業創造戦略」、2010年の日本政府による「新成長戦略」等、定期的にNISを発表し続けている。

一方日本は、1990年代後半には主要産業における需要予測の策定を止めたため、強い開発主義を放棄したと見ることができる。需要予測の策定を止めた場合には、強い開発主義が原理的に成立しなくなるためである。

1990年代半ばまで、日本は、世界銀行[1993]でも取り上げられた審議会方式という方法でこの需要予測の策定を行ってきた。この需要予測の策定が、1990年代末には次々に取り止められることとなった。

また、弱い開発主義についても、ターゲットされた産業に対する支援策は、今日では他国に比べて大きなものであるとは言えない。以上のことから、今日の日本は、世界に対して開発主義に基づく発展戦略の理論を発信し、それによって発展途上国への影響力を拡大させようとしているとは

言えない。

4 新興国中国封じ込め

4.1 北京コンセンサス

以上の2つのケースを踏まえて、今日の中国封じ込めを見ていく。

中国封じ込めにおいては、ソ連封じ込め、日本封じ込めにおいて見られたような発展戦略の理論間の競争が見られるのだろうか。

先発国である米国等が発展途上国に対して発信する発展戦略の理論は、日本封じ込めの際と基本的に同じものが維持されていると見ることができる。すなわち、ワシントン・コンセンサスと、「世界の開発援助潮流」としての貧困削減である。

一方中国の側はどうか。中国は発展途上国への影響力拡大のために、何からの発展戦略の理論を発信しているのだろうか。

筆者は、近年メディアにおいてよく用いられる、北京コンセンサスという概念が、その発展戦略の理論を示していると考えられる。

メディアにおける用法を見ると、北京コンセンサスとは、中国の、アジア、アフリカを中心とする発展途上国に対する影響力の拡大の方法を揶揄した概念であり、ワシントン・コンセンサスをもじった名称である。その内容は、国際社会が協調して発展途上国に対して課している課題を無視して発展途上国に対する開発援助、直接投資等を拡大することにより、それら発展途上国と中国との政治的、経済的な関係を強化し、影響力を拡大すること、ということになる。中国は本来やってはならないことをやっている、というネガティブなものとして捉えられている。

一方筆者の主張は、ネガティブというのは、先発国の側から見た場合にそのように見えるだけであり、北京コンセンサスそれ自体は、十分にワシントン・コンセンサスと競争し得る発展戦略の理論を示している、ということである。中国は、その説得力を、発展途上国に対する中国の影響力拡大の1つの手段として使っている、と見ることができる。

国際社会が協調して発展途上国に対して課している課題との対比で北京コンセンサスを発展戦略の理論として成立すると、以下ようになる。

国際社会が課す課題の第1は、人権の擁護、民主化の推進である。民主化の推進とは、公正な選挙の実施は勿論のこと、その結果によって政権交代の可能性があるという実質的な内容までも含む。

これに対して発展戦略の理論としての北京コンセンサスでは、人権侵害、民主化の遅延等を理由に、国際社会が一致して経済上の制裁を実施し、開発援助の供与を止め、直

接投資も見合わせている発展途上国に対して大規模な開発援助、直接投資を行うことは正しい、と考えることになる。

課題の第2は、債務持続性である。

IMF(国際通貨基金:International Monetary Fund)は、全ての発展途上国の債務返済能力の今後の見通しを計算し、発表している。ストレス・テストをかけても債務返済能力がある発展途上国をシグナル緑国、通常で推移すれば債務返済能力があるもののストレス・テストをかけると問題が生じる発展途上国をシグナル黄国、通常で推移しても債務返済能力に問題がある発展途上国をシグナル赤国として、新規融資はシグナル緑国にだけ認めるようにしている。日本の円借款供与を含め、主要先進諸国は、このIMFの判断を尊重し、政府間の新規融資は基本的にシグナル緑国だけに限定する運用を行っている。

これに対して発展戦略の理論としての北京コンセンサスは、上記のIMF及び主要先進諸国の運用は間違っており、シグナル黄国及びシグナル赤国に対しても新規融資を拡大していくことが正しい、と考えることになる。実際に中国は、シグナル黄国にも、シグナル赤国にも大規模な融資を行っている。

シグナル黄国及びシグナル赤国が債務不履行を起こした場合には、債権を有する全ての先進国が等しく債務免除等の措置を行わなくてはならない。すなわち多額の債権を持つ先進国ほど負担が大きくなる。中国は、政府間融資の供与者としては新規参入者であるため、債権総額は、他の先進国に比べればそれほど多くはない場合が多い。

一方、シグナル黄国及びシグナル赤国の側にすれば、主要先進諸国からの融資が止まっているために新規融資への需要が強く、融資を行う中国に対しては大きな恩義を感じるようになる。すなわち中国は、債務不履行の際のリスクは他の先進国よりも小さい中で、新規融資によるそれら発展途上国に対する影響力の拡大を効果的に行っていると見ることができる。

課題の第3は、タイド条件の開発援助資金規制である。

開発援助資金を融資形態で供与する場合に、その資金を用いた案件の入札にタイド条件、すなわち資金を供与した先進国国籍の企業しか入札に参加できないという条件を付すと、開発援助資金は、発展途上国の経済社会開発支援という側面に加えて、資金を供与する先進国国籍の企業の輸出振興という効果を持つことになる。このような開発援助資金を用いた輸出振興の推進に規制が加えられない状況では、先進国は、他の先進国のライバル企業との競争の中で自国企業の輸出機会を確保するためには開発援助資金を拡大しなければならない、そのために財政負担の増大に我慢しなければならないというチキン・ゲームに参加させられることになる。

このため国際社会では、OECDを中心に、1970年よりタイド条件の開発援助資金規制のルールを何度も導入してき

た。現在運用されているのは 1991 年に成立した OECD 輸出信用アレンジメント「ヘルシンキ・パッケージ合意」であり、それによると、OECD 加盟国は、経済セクター（商業性（commercial viability）のある案件）に対しては、タイド条件の融資形態の開発援助資金を供与することが禁じられている。

これに対して発展戦略の理論としての北京コンセンサスでは、そのような規制はおかしい、そのような規制に縛られず、経済セクターに対してタイド条件の融資形態の開発援助資金を供与することは正しい、と考えることになる。実際に中国は、今日特にアフリカ諸国と東南アジア諸国を対象に、中国企業のタイド条件で莫大な開発援助資金を経済セクターに供与し、中国企業はそれにより大きなビジネス機会を得ている。OECD 非加盟国である中国は、上記 OECD 上の規制には直接は拘束されないものの、OECD 諸国はこのような中国の行動に対する不満を強めていると言える。

4.2 北京コンセンサスの説得力

このような北京コンセンサスに基づく発展戦略の理論は、発展途上国政府及び発展途上国の人々に説得力を持ち、中国のそれら発展途上国への影響力拡大に貢献することになるのだろうか。以下、順に検討していく。

第1に、人権、民主化の問題である。

ワシントン・コンセンサスを中核とする先発国の発展戦略の理論では、人権、民主化上の問題がある場合には、それを改善させるために国際社会が協調して開発援助供与を停止し、直接投資も控えるべきだ、考えることになる。この考え方の背景には、経済成長よりも人権、民主化を重視する思想があると言える。

もちろん人権、民主化を強調する場合でも、人権、民主化さえ進めば経済成長はなくても良いということではなく、近年の開発経済学の研究においては、人権、民主化を推進することが長期的な経済成長をもたらすのであり、人権を侵害し、民主化を推進しないままでは長期的な経済成長は成功しないことを示す実証研究が多く提示されている（注 12）。

一方北京コンセンサスに基づく発展戦略の理論では、人権、民主化上の問題があっても開発援助資金の供与、直接投資を止めるべきではなく、経済成長のために有効な支援策は、人権、民主化の推進状況に関わらず実施すべきだ、と考えることになる。

実は開発主義においても、程度の差はあれ、同様の考え方の存在を認めることができる。村上泰亮[1992]による開発主義の定義を牽くと、「開発主義は、明らかに国家（あるいは類似の政治的統合体）を単位として設定される政治経済システムである。その場合、議会制民主主義に対して何らかの制約（王制・一党独裁制・軍部独裁性など）が加えられていることが多い。」（注 13）と述べられている。したがって、議会制民主主義に関する考え方としては、北京コンセンサスの

考え方は開発主義をさらに先鋭化させたものである、と見ることもできる。

第2に、債務持続性である。

債務持続性については、発展途上国の経済社会開発の視点だけではなく、先進国側の債権管理の事情が強く反映されていることを認めざるを得ない。シグナル黄国及びシグナル赤国に対して新規融資を認めないこと理由は、発展途上国が持続的（sustainable）な経済成長を進めるために必要であるという理由だけではなく、発展途上国が債務不履行を起こすと、債権者である先進国に不利益が生じるためという理由もある。

債務不履行を起こした発展途上国に対するリスケジュール、債権放棄等の進め方については、パリ・クラブという、非公式会合ながら世界の主要な債権国に対しては事実上の強制力を持っている国際レジームにおいて決められることとなっている。パリ・クラブにおける包括的な債権放棄のスキームの歴史は、まずは 1988 年にトロント・タームが合意され、貧困発展途上国向けの債権が 33% 放棄された。1990 年にヒューストン・タームが合意され、低所得発展途上国向けの債権がリスケされた。1991 年にロンドン・タームが合意され、貧困発展途上国向けの債権が 50% 放棄された。1994 年にナポリ・タームが合意され、貧困発展途上国向けの債権が 67% 放棄された。1995 年にリヨン・タームが合意され、HIPCs（注 14）イニシアティブが開始された。1999 年にケルン・タームが合意され、HIPCs イニシアティブが拡大された。2000 年に合意された沖縄イニシアティブでは、HIPCs 向け債権が 100% 放棄された。2003 年には、包括的な債権放棄のスキームである、エヴィアン・アプローチが開始された。

この事実は、先進国は数年置きに債権放棄のスキームを拡大し続けているものの、それでも今日なお多くの発展途上国が債務不履行に陥り続けていることを示す。先進国が発展途上国向けの債権管理に極めて慎重になることには十分に理由があると言える。

一方、北京コンセンサスに基づく発展戦略の理論によると、以下のような主張が可能になる。すなわち、シグナル黄国、シグナル赤国においては資金需要がなくなるわけではなく、大きな資金需要がある。そのような発展途上国に対して、債務不履行の可能性を理由に新規融資を止めることは、折角軌道に乗り掛けているそれら発展途上国の経済社会開発を挫折させることになりかねない、という主張である。民間企業でも、事業を拡大する過程では設備投資が相次ぐため、一時的に債務が増大するものの、そこで資金をショートさせては民間企業は発展の機会を失い、倒産することになることと同様である。

第3に、タイド条件の開発援助規制である。発展途上国の経済セクターに対して先進国のタイド条件の開発援助資金供与を禁止することは妥当かどうか、という問題である。

タイド条件で開発援助資金が供与される場合には、資金

供与国の国籍を有する企業だけが競争することになるため、アンタイド条件で国際競争入札が行われる場合よりも入札価格が割高になる。このため、発展途上国に余計な債務負担を負わせることになり、債務持続性上問題である、という主張があり得る。すなわち、タイド条件の開発援助規制をするのは、発展途上国のためである、という主張である。

一方、北京コンセンサスを待つまでもなく、タイド条件の開発援助規制を事実上の強制力を持って運用している国際レジームである OECD 輸出信用アレンジメントを担当する OECD 輸出信用部会では、その規制の必要性を、明確に貿易歪曲性(Trade Distortion)の是正、貿易における公正な競争機会(Level Playing Field)の達成であると述べている(注 15)。すなわち、タイド条件の開発援助資金の供与によってある先進国が発展途上国の案件を自国企業に採らせることは、他の先進国企業のビジネス機会を奪うことになるため問題だ、ということである。OECD 輸出信用アレンジメントに基づく規制は、明確に、他の先進国企業の事情を動機として構築された国際レジームである。

このような事情を踏まえると、北京コンセンサスに基づく発展戦略の理論として、他の先進国企業の事情よりも発展途上国の経済成長を優先させるべきである、したがってタイド条件の開発援助資金規制は無意味である、という主張を組み立てることができる。ただし、この主張を行う場合には、上記の、割高になる、という問題は引き続き残る。

この点については、興味深い事実がある。タイド条件の開発援助資金の供与が禁止されたことにより、多くの案件に対する開発援助資金供与が断念されているという事実である。

OECD 輸出信用部会では、OECD 加盟国がタイド条件の開発援助資金を供与しようとする場合、その対象が経済セクターに当たるかどうかの審査が行われている。審査の結果、経済セクターに当たるとされた場合には、当該先進国は、その案件についてタイド条件の開発援助資金を供与することができない。

その場合、その案件に対して当該先進国または他の先進国がアンタイド条件の開発援助資金を供与するならば、国際競争入札が行われ、割安で事業が実施されることになる。しかしながら現実には、経済セクターに当たるとされたことにより当初予定していたタイド条件の開発援助資金供与が禁止された多くの案件が、別途の開発援助資金を、さらには民間金融機関の商業資金をも得られないということである。

ワシントン・コンセンサスに基づく発展戦略の理論に立てば、このことは問題ではない。そもそも経済セクターに当たるのであるから、資金は民間金融機関の商業資金を充てるべきであり、タイド条件、アンタイド条件に関わらず、開発援助資金は供与されるべきではない。規制の結果、当該案件に全く開発援助資金が供与されず、民間金融機関のビジネス機会が奪われなかったことは良いことである。仮に、実際に

は民間金融機関は当該案件に資金を供与しなかったとしても、それは民間企業の判断であり、非難すべきものではない。

一方で、資金を得られなかったために予定していたインフラが建設できなかったことは、発展途上国の経済社会開発の観点からすると、看過できない問題である。発展途上国にしてみれば、他の先進国企業のビジネス機会に関する公正な競争機会、及び先進国の民間金融機関のビジネス機会の確保は全く重要ではなく、とにかくインフラを造るための資金手当てができることが重要だ、という考え方は、十分に説得力を持つ。

以上のように、今日では先発国の側から見てネガティブな内容で捉えられることの多い北京コンセンサスは、それを発展戦略の理論として整理し、その内容を精査してみると、十分に発展途上国の政府及び国民に対して説得力を持つ可能性があると言える。発展戦略の理論は、国際政治における新興国封じ込めにおいて用いられる場合には、最大の問題は、論理的に正しいかどうかではなく、発展途上国の政府及び国民に対して説得力を持つかどうかである。先発国の視点で、理論的に間違っているから、と軽視することは危険である。

人類は 20 世紀に 2 つの事例を経験した。西側陣営に生まれ育った人間にとっては、マルクス=レーニン主義に基づく発展戦略の理論は、理論的には全く歯牙にもかける必要のないものに見えたかもしれない。しかしながらそれは発展途上国の政府及び国民に対して強い説得力を持ち、それが一因となって、東西冷戦では相当長期間の東側陣営の優勢を許したのである。

また日本の開発主義についても、近年では、日本の経済成長そのものが新古典派経済成長理論によって適切に説明されるものであり、開発主義の効果は殆ど認められないという分析が出てきている(注 16)。しかしながら、上記のようにそれは、1990 年代には確かに発展途上国で相当の説得力を持ったのである。

以上を踏まえるならば、中国が今日発信している発展戦略の理論が、発展途上国の政府及び国民に大きな説得力を持ち、そのことが中国の発展途上国への影響力拡大に一層の拍車をかけ、21 世紀の国際政治のあり方を大きく左右する可能性を忘れてはならない。

補注

注 1: Harrod, Roy F. "An Essay in Dynamic Theory", *Economic Journal*, Vol.49,1939.

注 2: Domar, Evsey D. "Capital Expansion, Rate of Growth and Employment", *Econometrica*, Vol.14,1946.

注 3: Solow, Robert M. "A Contribution to the

Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, Vol.70,1956 及び Swan, Trevor W. "Economic Growth and Capital Formation", *Economic Record*, Vol.32,1956。

注 4:ワシントン D.C.にある国際経済研究所のジョン・ウィリアムソン研究員。

注 5:財政赤字の是正、補助金カット等財政支出の変更、税制改革、金利の自由化、競争力のある為替レート、貿易の自由化、直接投資の受け入れ促進、国営企業の民営化、規制緩和及び所有権法の確立の 10 項目。

注 6:村上泰亮[1992]第 8 章「システムとしての開発主義」。

注 7:村上泰亮[1992]第 7 章「費用逡減の経済学」。

注 8:正式加盟は、ベトナムが 1995 年 7 月 28 日、ミャンマー及びラオスが 1997 年 7 月 23 日、カンボディアが 1999 年 4 月 30 日。

注 9:AEM は ASEAN 経済閣僚会議 (ASEAN Economic Ministers)、MITI は通商産業省。

注 10:通商産業省[1993]

注 11:インフラ開発等、自国通貨で長期の資金で対応すべき案件に、ドル建てで短期の資金で対応したこと。

注 12:例えば、Rodrik[1997]。

注 13:村上泰亮[1992]p6。

注 14:重債務貧困国 (Highly Indebted Poor Countries)。貧困発展途上国の中で、その他の経済指標の基準に適合し、特に手厚い債権放棄の措置が必要であると認められた諸国。

注 15:OECD 輸出信用アレンジメント前文。

注 16:大来洋一[2010]。

[8] ロストウ[1961]:ウォルト・ロストウ『経済成長の所段階—1つの非共産主義宣言』、木村健康・久保まち子・村上泰亮訳、ダイヤモンド社、1961 年。

[9] 大来洋一[2010]:大来洋一『戦後日本経済論—成長経済から成熟経済への転換』東洋経済新報社、2010 年。

[10]

Rodrik[1997]:Rodrik, Dani "TFPG Controversies, Institutions, and Economic Performance in East Asia", National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 5914

[11]

Harrod[1939]:Harrod, Roy F. "An Essay in Dynamic Theory", *Economic Journal*, Vol.49,1939。

[12]

Domar[1946]:Domar, Evsey D. "Capital Expansion, Rate of Growth and Employment", *Econometrica*, Vol.14,1946。

[13]

Solow[1956]:Solow, Robert M. "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, Vol.70,1956。

[14]

Swan[1956]:Swan, Trevor W. "Economic Growth and Capital Formation", *Economic Record*, Vol.32,1956。

参考文献

- [1] 通商産業省[1993]:通商産業省『ASEAN 産業高度化ビジョン—産業政策のススメリ』、通商産業調査会、1993 年。
- [2] ジョンソン[1982]:"MITI and the Japanese Miracle: the Growth of Industrial Policy, 1925-1975", Stanford University Press, 1982
- [3] 村上泰亮[1992]:村上泰亮『反古典の政治経済学・下、二十一世紀への序説』、中央公論新社、1992 年。
- [4] 世界銀行[1993]:世界銀行『東アジアの奇跡』、白鳥正喜監訳、海外経済協力基金、開発経済問題研究会訳、東洋経済新報社、1993 年。
- [5] 通商産業省[1985]:通商産業省『経済協力の現状と問題点 1985 年版』、通商産業調査会、1985 年。
- [6] 前田充浩[2007]:前田充浩『国益奪還』、アスキー新書、2007 年。
- [7] 前田充浩[2010]:前田充浩『金融植民地を奪取せよ』、プレジデント社、2010 年。

不確定性から見る発生機能に関する考察

吉田 敏*、小山 登*

Study of Created Function from the Viewpoint of Uncertainty

Satoshi Yoshida*, Noboru Koyama*

Abstract

This paper analyzes industrial characteristics and product characteristics from the viewpoint of product function. The process of new product development is structured in several respects. Designers and creators of products try to understand the needs of users to create concept designs and function designs that reflect those needs. Product components are then designed these considerations in mind. Users buy products that have been designed using such creation processes. However, they rarely have an understanding about the information involved in the design process, such as function design structure. As a result, most stakeholders tend to evaluate products using only sales figures or profit margins.

Keywords: Created Function, Value Creation, Design Process, Function Design, Uncertainty

1 はじめに

人工物は、人間によって創造されるものであって、われわれの生活の利便性の向上を支えているものであり、生活空間を埋め尽くすように存在している。また、人工物というものは、小さな製品から都市全体を含む有形のものだけでなく、制度や理論などの無形のものも極めて多く存在する。そして、これらを注意深く観察すると、全ての人工物は有形の側面と無形の側面を呈していることが理解できる。そして、人工物は一般的に目的を有し、その目的の実現のために創られることになる[1]。その創造過程は、基本的に設計行為と製作行為によって構成される。その設計行為は、目的を明確にし、その目的を達成するための概念設計を行い、その概念を構築する機能設計をし、その機能を成立させるための構成設計がなされていくことになる[2]。

本稿の目的は、このような特性を持つ人工物としての製品に関する設計行為に着目し、そのプロセスを精査しながら、各様相の不確定性ということに注視しつつ、製品の構成に直接影響を与える機能設計について考察を加えるものである。

2 製品の創造プロセスの解釈

2.1 基盤技術の発展の実業に対する影響

現在の技術発展を顧みると、特にコンピュータ技術(演算処理技術等)と通信技術(インターネットを含む)の急激な発展の影響範囲が極めて大きいと理解することができる。この二つの基盤的技術の発展は、多くの他の技術を含み、さまざまな創造的的局面や考え方に大きな影響を及ぼしている。

特に、コンピュータ技術は演算処理速度、記憶容量の飛躍的向上と、それに伴うソフト面での発達により、自動車や家電品を始め、非常に多くの製品のあり方やつくり方に変化をもたらしている[3]。また、通信技術の発達は、企業活動をから通常的生活レベルにまで深く浸透し、社会の動向やビジネスモデルの変化に強い影響を及ぼすようになってきている。このような変化は1990年前後からスピードを上げて進んできたと考えられ、現在の企業活動の在り方、これからの方向性に、これら基盤技術の変化が深く関わり合う可能性は極めて高いと言える[4]。

一方、我が国の経済的な発展の過程に注目すると、1960年代以降を中心に高度経済成長が実現され、1990年代にバブル経済が終焉するまで、多くの国内企業は順調に発展してきた傾向があったと言える。これは、企業経営の視点からは非常に重要な点を含んでいる。各企業は、株主に対し、従業員に対し、社会に対し、永続的な発展を約束していくことが求められ側面がある。現状維持を企業経営の目標に掲げることは、最も理想的な未来像が現状維持であるということの意味することになり、その企業経営の方向性に対する社会全体からの信頼感はほとんど期待できない。さまざまな環境下において、各企業ができるだけ発展していくことを求められるのは、最も基本的なことであると言える。社会全体の経済状況が上向きの環境では、昨年と同じ手法を維持し、それを修正したり改善したりしていくことにより、その年度の着実な経済的指標の向上が見込まれた一面があったと言える。その場合、慣行軌道を維持しながら、それを改善していくというビジネスモデルが肯定されてきた面があったわけである。

しかし、我が国において経済状況の下方への変化が訪れ、各国内企業は慣行軌道の維持に頼る方向性に不安を感じつつある。

また、現状の国内企業に求められる内容が技術的に変わってきたことも考慮しなければならない。高度経済成長期の頃は、技術的に創成期の分野が多かった中で、国内を代表するいくつもの企業が、フォロワーとして、基盤的な技術や新規性の高い製品の開発を、海外に依存してきた傾向があった。この場合、各企業は、基礎技術を他に学び、概念や機能を先進的製品に学び、製品構造や生産手法に対して改善を繰り返し、最終的により安価で、より高品質なものをつくっていけば良いということになる。しかし、国内の各企業が国際的に業界をリードしていく立場に立った後は、自らが新しい概念の製品を創造していかなければならなくなる。他では持ち得ない技術的知見を得て、新しい概念や機能の製品を考案し、既存製品や既存工場ラインの改善では対応が困難である[5]。つまり、これまで慣行化してきた活動だけでは、必要な方向性が満たされないことになる。

2.2 製品の創造に関連する諸要素

基本的に人工物である製品を設計していく行為は、様々な既存の要素をどのように扱いながら対象人工物に関する構成を築き上げるのか、ということについての情報の創造であると解釈をすることができる[5]。

このような解釈を前提とし、ここでは主に二つの点を注目する。一つ目は、設計行為を精査していくに当たって、人工物は基本的に複数の要素によって構成されているとみなすべき点である[6]。もし、対象が一つの要素で出来ているのであれば、設計行為も議論する余地がほとんど無くなり、ここでの考察の対象とする必要がなくなる。二つ目が、既存の要素を扱うことになる点である[2]。もし、全ての要素を発明、発見しながら新しい人工物を創造するとしたら、それは極めて困難であるということが想定される。事実、実社会の経済的活動の中で創られる製品を見ると、大量生産を基本とした製品でも、単品受注生産される製品でも、一つ一つの要素を発明しながら設計されるものは殆ど見当たらないということが出来よう。このように、複数の既存要素を使い、人工物は構築されていくが、このことを踏まえ設計プロセスを記述していく。

まず、人工物である以上目的が存在する[1]。一般的に、人工物の目的については、関係要素を操作して使用環境に対して最適になるよう当てはめる、ということを経ることが出来る。この点からは、使い手の要望を中心とした要求条件と、さまざまな要因に拠って構築される制約条件の双方を満たしていく必要があることになる。しかし、要求条件だけ考えても、関与する立場は、主たる使い手だけに止まらない。その人工物の主な使い手が限定されている場合でも、使い手以外の関与者からの要望が要求条件の構成要素となる。このような

視点から、人工物の設計プロセスを考えた場合、関与者たちが誰なのか、また、関与者たちの要望はどのような全体像となっているのかが初期段階の検討事項となる。

次に、要求条件を基に、制約条件を考慮しながら、概念設計に移る。このときも、諸要素をどのように構築していくかが設計の課題となる。そして、この概念設計を前提として、機能設計、構成設計、生産工程設計へと進むことになる[2]。各様相共に、関連要素をどのようなかたちで構築していくかが要点となっていく。

2.3 関連要素のストラクチャー

人工物の諸要素がどのように構築されるかについては、作り手によって、ある階層化がなされると考えられる[10]。しかし、階層化は、多くの人工物創造の各プロセスにおいて、まったく矛盾が無いかたちで収まることは困難であると考えられる。人工物に関する物理的な機構に関して、C.Alexander は階層構造が部分的に崩れた形をセミラチス構造と呼び、その特性を議論している[7]。このセミラチス化は、物理的な諸要素の機構にとどまらず、他の様相の機構、つまり関与者の機構、要望の機構、概念設計の諸要素の機構、生産工程設計の機構にも、含まれることになると考えられる。

また、アーキテクチャの議論により、その要素の構成につくり手の持つ設計思想の傾向が表れることが指摘されている[8]。対象となる人工物の種別に関わらず、全ての設計プロセスを通し、つくり手をもつ思考の傾向が反映されることになる。つまり、機構を精査することによってつくり手の思想を読み解き、また、つくり手の思想から創造される人工物の特性を把握することが出来る可能性を得ることになる。そのために、複数の研究において製品の構成に関する深い議論が行われている[8,9,11]。

2.4 製品設計プロセスにおける各様相

ここまで述べてきたように、人工物の設計プロセスには、複数の様相が存在する。使い手の要望に関する様相、概念設計に関する様相、機能設計に関する様相、構成設計に関する様相、生産プロセスに関する様相、生産組織に関する様相などが挙げられる。各様相は、相関関係を持つことになる。なぜなら、設計プロセスにおける前工程に当たる様相の内容を受け、次工程の内容が設計されていくからである。ただし、このような関係性があるからこそ、次工程の内容によっては前工程へのフィードバックが必要となる場合が出てくることになる。一般的に有形、無形の製品を前提にして、これらの関係性を表現したのが図1である。これらは、意識的に判断されていく工程もあれば、殆ど無意識に判断がなされている部分も含まれていると考えることが出来る。

以下、製品の設計プロセスを追う形で、各様相を注意深く観察していく。

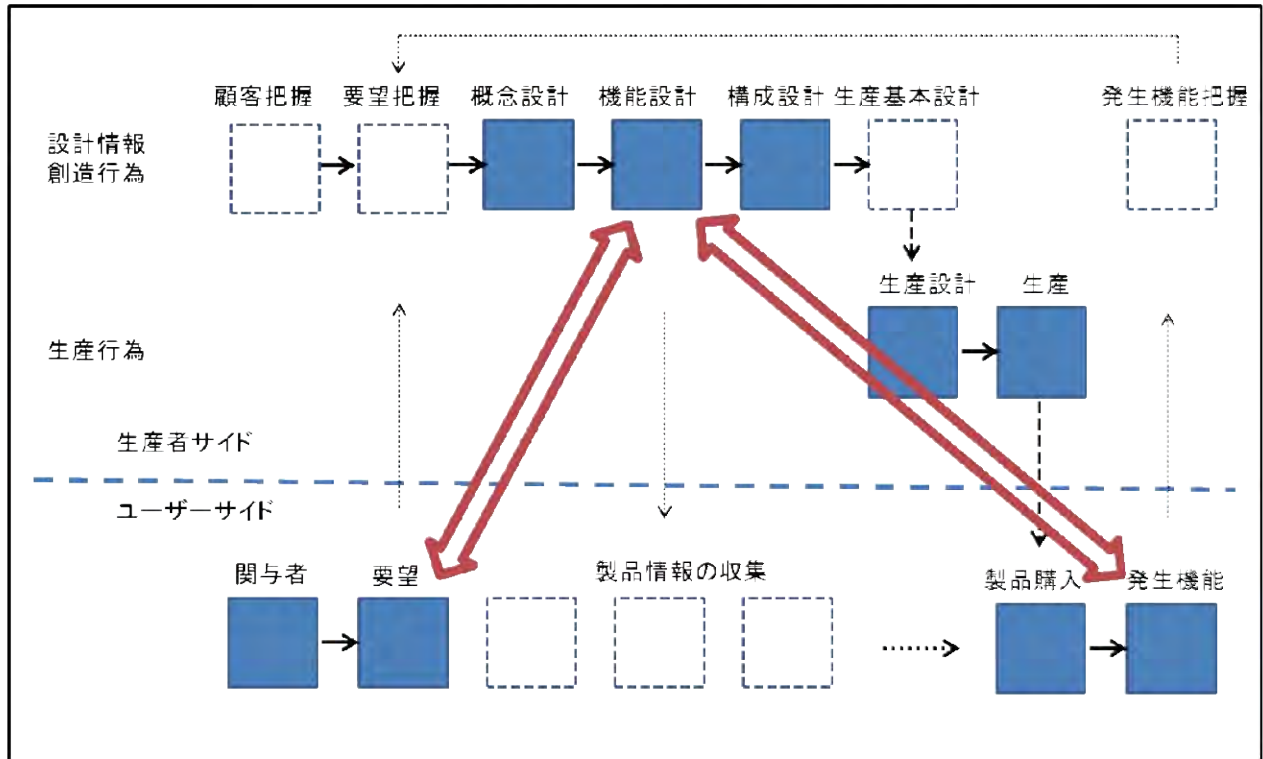


図 1: つくり手（生産者）と使い手（ユーザー）の各視点から見た製品の創造プロセス

まず、設計プロセスの最初の段階として、対象となる人工物の目的の設定が考えられる。これは、人工物を創るうえで目的が存在し、それを達成することが前提となるためである。対象を何らかの製品としたとき、目的は基本的に「誰か」の要望や必要性に応じた形で提示されることとなる。そのため、設計プロセスの第一段階として、「誰の」要望に応じるのかが検討されることになる。対象となる関与者としては、単数の場合もあるが、多数の場合も考えられる。ほとんどの製品設計においては、この段階は作り手によって極めて薄めに考えられている場合が多い。しかし、「誰に」対する人工物か、「誰に」対する製品かは、極めて重要な前提となっていくものである。そして、前述のように、多くの場合、「誰の」要求に対して応えなければならないかという点については、主たる使い手のみでなく、その周囲の関与者の要望を視野に入れる必要があることが考えられる。その場合、主たる使い手の要望内容と相反する要望事項を設計の条件に加えることが必要となる可能性を含むことになる。

そして、これらの要望が製品の目的に直接的な影響を及ぼすことになる。この要望も、何らかの形で階層化されながら整理して理解されていく傾向があるといえる。創出される製品については、極めて明確な単一の要望が求められる場合もあるが、複雑かつ言い尽くしにくい要望事項が求められる場合も少なからずあり得ると考えることが出来る。特に、複数の技術の飛躍的向上や情報技術などの基盤技術の急速な発展によって、使い手の製品に対する要望が加速的に複雑

化してきているということが考えられる。また、前述の通り、要望を持つ主体は、使い手だけでなく多岐に渡る立場が基本となるため、それらの要望が矛盾や複雑な関係性を持つことになる。そのために、この工程、つまり要望事項の記述、そして理解が、極めて困難となる側面を持つことになる。

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

次のプロセスである機能設計では、前工程の概念設計の内容を基本としながら展開されていく。この段階では、製品の役割を具体的に検討していくことになる。作り手は、意識的、無意識にかかわらず、この製品の役割を概念設計の内容に照らし合わせながら整理していくことになる。

また、この設計された機能のストラクチャーを成り立たせるために、実際の製品の物理的な構成設計が行なわれる。このとき、機能設計の内容を完全に実現させるためには、様々な構成上の制約とコンフリクトを起こす局面が少なからず生じることになる。そのために、多くの場合、構成設計の検討内容により機能設計の見直しが必要になる場合が想定される。この段階では、作り手の思考により作り出される製品の特性に大きな差が生じることが考えられる。

構築された構成設計の内容に基づき、それを実際に作り上げる生産プロセス設計が行なわれる。ただし、この内容は、構成設計が行なわれている中で、作り手がある程度想定していることが必要となる。つまり、構成設計を行ないながら実際にどのように生産するかについて、大筋は考えられているのである。そのために、設計図や仕様書に表出する構成設計内容は、作るのが不可能なものは極めて稀であるといえる。つまり、製品の構成設計時、生産工程全体の概要、技術面、コスト面、そして物流、商流やサプライヤーの能力なども、少なからず構成設計時に想定されている。ただし、実際に生産する時、さまざまな問題が生じることになり、設計内容へのフィードバックや設計時未決定だった詳細事項を決めていくなどの作業が必要となっていく。

3 不確定性による発生機能の認識

3.1 機能設計と発生機能

前節の創造プロセスの理解の中で、人工物としての製品の最も基本的な部分に関与した歪が生じている可能性がある。それは、製品の目的が必ず存在するが、その目的が最終的に社会で活かされる内容を反映していないという可能性である。つまり、何のために創っているのかが正確に理解されないまま、作り手が勝手な方向性を考えだしてしまっているということである。

図 1 において、二つの大きな矢印によって指示したところを注視していく。

まず、左側のユーザーサイドの「要望」と生産者サイドの「機能設計」の関係性を考える。この関係性は、非常に当たり前のことであるはずであり、使い手が何かを望むから、それをかなえるための製品をつくり手が考えていくという関係性である。しかし、この関係性は確立されているのであろうか。

近年、先端的マーケティング分野において、協創という概念が用いられている[12]。これは、つくり手と使い手が一所になって、ものを創り出していこうとする概念である。その根底にあるのは、使い手は自分が欲しいものを言い表すことが出来ない、という考え方からである。理由は、以下のようなものが挙げられる。

- ・ものを創るための情報がつくり手に偏っており、どのようなものを創り出すことができるのか使い手にはわからない。
- ・使い手は、今まで目にしたのや知ったものの中から選

択的発想は出来るが、全く見たことが無いものを要望することは極めて困難であること。

もし、このように使い手が本当に自分が欲しいものを言い表すのが困難なら、「設計機能」の内容は何を拠り所としているのであろうか。少なくとも、どうやら使い手側との関係性は、完全なものではないと考えることが出来る。

逆に、ある製品が社会の中で本当に価値を創り出すというのはどのような状況であろうか。それを右側の「機能設計」と「発生機能」を結んでいる二つ目の矢印によって考察を加える。

つくり手は設計プロセスの中、機能に関する束を自分たちの解釈で整理していく。これは、自分たちの想像や希望に基づいたものであり、使い手の要望を完全に反映したものとは言い難い内容である。そして、使い手側はこの「機能設計」の内容を知ることはなく、製品を購入して使用していくことになる。このとき、実際に使い手側はどのような機能を生み出しているのであろうか。この点を理解していくために、次節で発生機能の観察に基づく分析を進めていく。

3.2 観察による発生機能の認識

さまざまな製品が存在するが、ここでは、生産物が社会の中で広く価値を創造する事例を取り上げるため、都市の中の児童公園を対象とする。児童公園という生産物は、計画学において長い歴史と共に設計手法が確立されており、慣行的につくられていく面がある。基本的には、児童公園の目的は明らかであり、近隣の子供たちが遊具などを使いながら健康的に体を動かすことが出来る空間が目的であると言える。

ここでは、品川区にある典型的な都市の中の児童公園を取り上げ、実際にどのような人々がどのように利用しているかを観察し、記録していったものである。図 2 がその中の一つのシートである。この場合、日中の昼過ぎの 15 分間を観察したものであるが、小学校が授業などをやっている時間だったこともあり、遊具で遊ぶ姿は観察されなかった。むしろ、近隣企業の従業員たちが昼食後のひと時を過ごしているかのような、ベンチに座ったり、会話をしたりというような行動が観察された。このような形で 20 時間分、3 日間に分けて記録を行っていったものである。

観察された内容は、以下のようになる。

- ・子供たちによる利用は放課後の時間帯でも殆ど観察されなかった。
- ・企業の従業員がベンチなどで休息することが多い。
- ・近隣の主婦たちが午前中に立ち話をするが見受けられる。

特に、企業従業員が昼休みなどを中心に、休息をとる姿が多く観察されたことについて、つくり手の「機能設計」の内容に含まれていたのだろうか。むしろ、つくり手が予測することは、殆ど無理であったと考えられる。社会の中で多くの人々が価値を感じるかどうかを事前に予測するのが困難であるこ

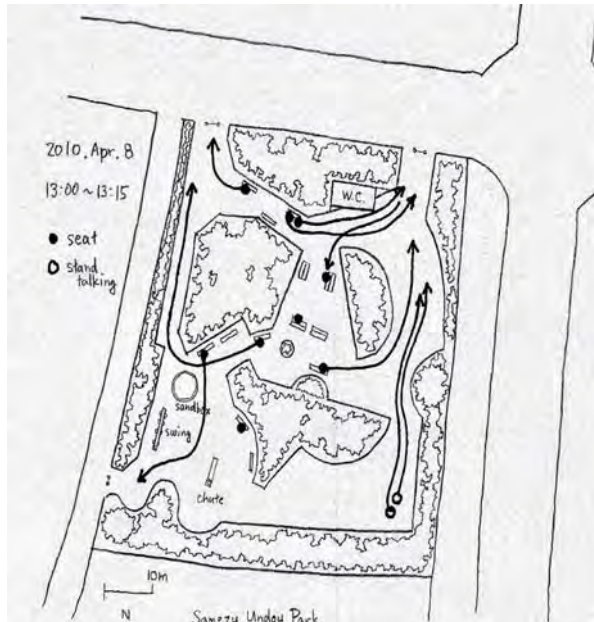


図 2: 児童公園における行動観察調査シート事例

とを端的に捉えている内容である。

3.3 発生機能の原因としての不確実性

それでは、なぜ社会の中で実際に生み出されていく発生機能を捉える事が出来ないのでしょうか。ここでは、使い手が生産物を使用しているうちに変化していく可能性を持つ、極めて多くの要素が存在する、作り手が操作できない外的な環境に関する不確実性を理解していくものとする。

技術を重んじたプロジェクトにおいて、不確実性を含む可能性は、以下のように分類できる。

・技術の不確実性

一つ目が、どのような技術が生み出され、それが最終的にどのような製品やサービスとして実現することができるかという視点から考えられる不確実性である。現在使われている技術について考えると、どのような弱点が膨らんできて、どのような可能性が膨らんで、どのような脅威が出現するのかということについて、全ての不確実性を予測することは理論的に不可能である。

例えば、飛行船のヒンデンブルグ号の事故などは、技術の達成レベルが低かったことにより、事前に想定していなかった残念な結果を起してしまった。その他、身近なところでも、自動車や家電品のリコール対象にも、事前予測が困難だった技術的不確実性が含まれる場合もあり、技術的に検討すべき事項を残しているかどうかの判断の難しさを俯瞰できる様相である。要するに、技術的未成熟段階で製品をつくっていく上で、多くの課題解決を同時にしていくことに不確実性が伴うということである。

・市場の不確実性

技術的に成功しているとしても、思うように市場で浸透していかない事例は多い。

例えば、ヨーロッパで開発された超音速旅客機のコンコル

ドは、技術的には十分な結果と言えるが、ソニックブーム(衝撃波)の発生による環境保護の問題の指摘や、実働機が少なすぎる為に利用し難かった点、座席が少なく料金が高かった点など、運航に対しいくつもの問題が出てきて、社会に浸透していかない方向となっていた。結局、思惑を大きく下回る程度の納入しか実現できず、最終的には事故が原因となり、現役を退くこととなった。その他、ソニーのビデオのベータ方式のような規格から、造られても殆ど使われなかった建物や施設まで、さまざまなものを挙げる事が出来る。

・社会的・文化的・政治的不確実性

技術が実用化され、社会の中で使われ始めると、その技術は複雑な社会的問題、文化的問題、政治的問題の影響を受けるようになる。そして、その影響の度合いが大きくなり、予測できない要素数が増え、結果として不確実性が高まる。

事例としては、2011年に連続して起こったエジプト、チュニジア、リビアの政変とフェイスブックとの関係性を挙げる事が出来る。また、政治的問題や宗教的問題から、ある国の製品の不買運動も、場合によってはある完成された技術を消滅に追い込む可能性があると言える。

また、典型的なものの一つが原子力技術と言える。東日本大震災以降、福島第一原子力発電所の事故の影響で、世界的に原子力発電所および原子力技術に疑問が投げられる結果となった。技術そのものの変化があったわけではなく、社会が変化した事例と言えるし、そのような変化を予見することは殆ど不可能であった。

・時間及びスピードに関する不確実性

時間がたつと共に、対象としている技術や製品のイノベーションが、成功と考えられたり、失敗と考えられたりすることがある。

携帯電話を理解する時、その使われている主な技術を見てみると、無線通信技術、バッテリー技術、小型液晶技術など様々なものが挙げられる。これらの技術が、今のように各製品に結実されるようなタイミングで発展してきたわけであり、これらの発展のタイミングが異なれば、製品の仕様レベルや社会への浸透の度合いが変わってきた可能性が高いと言える。

・複雑性に伴う不確実性

近年、演算処理技術と通信技術が急激に発展してきたが、それに伴い、グローバル化や事業拡大などの要因から、複雑性が高い局面が増えてきている。それも、瞬時に把握したりコントロールしたり変更したりできる技術基盤が浸透したために、その複雑性もどんどん大きくなってきていると言える。また、この状況は、イノベーションの可能性と言う視点から見ると、さまざまな機会を増やしている傾向も含んでいると言える。

事例としては、まずスペースシャトルを見てみよう。それ以前の機能に比べかなり多くの機能を求められたスペースシャトルは、機器の複雑性がかなり上がり、その結果として乗組

員が全員亡くなる事故を起こしたと考えられる。また、その打ち上げコストの大きさから、最終的に現役を退くこととなった。

その他、銀行の統合による、システム障害も事例として捉えられる。

これらの不確実性が、使い手が生産物を使用している間にも存在し、発生機能がどのように生まれていくかについて、理解することが殆ど不可能であると言わざるを得ない。前述の児童公園の例では、どのような木陰が生まれ、誰が使い始め、周囲に何が出来るかはもちろん想像しきれない。また、建物の中が禁煙が進み、エコロジーの肯定があり、建物内の空調エネルギーが抑えられことなどは、全くつくり手は考えていない要素であったはずである。しかし、重要なのは、このような要素は間違いなく少なからず生まれていくことになることである。

4 まとめ

本稿では、人工物である製品の設計プロセスを精査しながら、各様相の不確実性ということに注視しつつ、製品の構成に直接影響を与える機能設計について考察を加えるものである。

ここでは、慣行化されている設計プロセスに、極めて強く注意を払う必要があることを示唆したものとなっている。しかし、多くの製品分野において、使い手が使い始めてから十分な時間がたった後に、どのような発生機能が生み出されており、社会の中で実際にどのような価値が創り出されているのかを理解しようとする動きは極めてまれであると言わざるを得ない。今後、具体的な製品を次々に取り上げ、発生機能についての明確な指針を示していく必要があると考えられる。

参考文献

- [1] Herbert A. Simon、The Sciences of the Artificial, The MIT, Press, 1996
- [2] 藤本隆宏、『ものづくり経営学』、光文社新書、2007.
- [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] 馬場靖憲、『デジタル価値創造、NTT 出版』、1998.9
- [5] 藤本隆宏、『日本のもの造り哲学』、日本経済新聞社、2004.6
- [6] Ulrich, Karl T., “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” Research Policy, 24, pp.419-440, 1995
- [7] C.Alexander、稲葉武司訳『形の合成に関するノート』、鹿島出版会、1978
- [8] Ulrich, Kirl, “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” Research Policy,
- [9] 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
- [10] Baldwin C. and Clark K., DESIGN RULES, Vol.1: The Power of Modularity, The MIT Press, 2000.
- [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] 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.

グローバル学修コミュニティ創出へ向けて -APEN の試み-

石島辰太郎*

Toward the Establishment of Global Learning Community -Challenge of APEN-

Shintaro Ishijima

Abstract

The purposes of this article are to reconfirm the 3 missions of the establishment of AIIT, Advanced Institute of Industrial Technology and to clarify the importance of the “Learning Community” for nurturing the “super professionals”. The Learning Community will serve the analogous function for the professionals as the academic society for the researchers. Finally, a new project of AIIT to establish APEN, Asia Professional Education Network is introduced. APEN will be one of the realizations of the “Global Learning Community” which will contribute to standardize the process of Project Based Learning in Asia and to provide peer-to-peer assessment for the professionals.

Keywords: AIIT, APEN, Akademi, Competency, ERIA, Global Learning Community, PBL, peer-to-peer assessment

1 はじめに

産業技術大学院大学は我が国唯一の公立の産業技術分野の専門職大学院として平成 18 年 4 月に公立大学独立法人・首都大学東京により設置された。先例の無い大学院大学として本学は設立以来多くの試行錯誤を通じ、斬新な教育体系と教育環境を作り上げ、社会人を中心とする技術者の教育という新たなマーケットを開拓してきた。その道は未だ半ばであるが、本学の設立の理念を再確認し、その理念の実現を目指した新たな一歩を踏み出すために、法人としての第 2 期中期計画期に突入した時点で、意識を新たにすることは意義のあることと考え、本稿を著すこととした。

2 産業技術大学院大学の設立経緯

産業技術大学院大学は東京都の産業活性化を担う高度専門職人材の育成を設立理念とするが、その機能を発揮するために 3 つの使命を持つものとされている。それは、第一、産業振興に資する高度専門職人材の育成、第二は、複線型教育システムの実現、第三に産業振興に関わるシンクタンク機能、である。

2.1 教育システムの複線化と 9 年一貫教育

平成 17 年 4 月、首都大学東京は、東京都が設置する都

立大学、科学技術大学、保健科学大学および都立短期大学を再編する形で、幾多の障害を乗り越えて産声をあげた。この時、すでに新大学は公立大学法人とすること、さらには全教員に対して任期制とすること、経営と教学の分離(理事長と学長の分離)およびマルチキャンパスの 4 学部構成とすることなどが、幾多の議論の末に決定されていた。こうして大学教育の東京都における再編事業は一応の決着を見るが、残された学校教育の問題として、工業高校などの職業系高校と高等専門学校からなる、専門職人材の教育機関の整備不足の問題がクローズアップされることとなった。すなわち、普通高校から大学・大学院を経過する教育システム(仮に普通教育システムとよぶ)で学ぶ学生に比べて、職業高校や高等専門学校の学生には大学や大学院での教育を受ける機会が東京都の学校システムとしては欠落しているということである。欧米、たとえばフランスなどでは、職業系教育システムとしての高等教育機関と普通教育システムとしての高等教育機関がシステムとして準備されており、東京においてもそうした教育システムの複線化が必要であるということが指摘された。こうした要求に応える形で、高等専門学校への専攻科の設置と専門職の大学院大学設置による 9 年間一貫教育システムの構想が提示され、この構想の実現という形で産業技術大学院大学の開設、および 2 つの高等専門学校を産業技術高等専門学校として再編し専攻科を設置することが決定さ

れた。

2.2 東京の産業振興に資する高度専門職人材の育成

高等専門学校との9年間一貫教育による専門職人材の育成機関として産業技術大学院大学の設置が検討されていたのと同時に、東京の産業を牽引する先端型産業の必要性から、東京の産業振興に資する高度専門職人材の育成も、重要な課題として意識されていった。この時、大きな問題として既存の高等専門学校の教育分野と東京の次世代の産業構造が必ずしもマッチしない可能性があることであった。実際、東京のものづくり系の企業も中堅企業の多くが生産現場の主力を地方工場や海外工場に移しており、東京に残されているのは開発や技術営業、マーケティングなどの本社機能に近い分野が多いというのが現実であった。それでは次世代の東京の産業を牽引する業態とは何であろうか。一つだけ明確なことは、かなりの高付加価値を持つ製品やサービスだけが、東京という地域特性から産業として活性化されるということである。具体的な業態に関しては、おそらく時代と共に極めて早いスピードで変化していくと思われる。したがって、そうした変化にあっても、その変化に対応できる人材が必要とされる。本学設立時にはこうした観点から、まずは東京の近未来産業のインフラとなる人材として、「アーキテクト型の人材」、すなわち市場のWantsを抽出し形式知化し、その実現から運営にいたるライフサイクル全般をマネジメントできる人材と位置づけた。その結果、情報分野のアーキテクトを育成する情報アーキテクト専攻を先行して設置し、ものづくり分野のアーキテクト人材を育成する創造技術専攻を2年後に設置し、現在に至っている。

2.3 産業振興にかかわるシンクタンク機能

大学は社会へ有能な人材を輩出することを通じて社会に貢献することが最も大きな使命であるが、大学自身が持つ知的資源を通じて直接に社会に貢献することも今日の社会では強く求められている。こうした知的資源としては、大学の発明や発見により生まれる知的生産物、公開講座等を通じた知識の社会還元、産学連携による教員や学生の研究開発能力の活用などが考えられる。これらに加えて本学は東京都という行政体が設置している大学であり、東京都の産業政策に協力して政策立案に寄与するということが要求される。また、こうした機能を果たすことが、公立大学としての本学の一つのアイデンティティとなる。このために、本学には OPI(Open Institute)と呼ぶ組織が設置されている。この研究組織は、ドイツなどではよほどの大企業でない限り自前の研究所は持たないが、その代わりにその地域の大学の研究所がその地域産業にとっての共同研究所として機能していることから、これにならって地域社会に対して開かれた研究所という意味を込めて OPI と名付けられた。本学にとっては OPI は大学と社会を直接的に結び、産学公の連携を実現するための極め

て重要な組織であり、その活性化は大学にとっての大きな使命である。

3 産業技術大学院大学の教育システム

本学は通常の大学院とは異なり、実務知識・スキルおよび我々がコンピテンシー(業務能力)と呼ぶ能力の強化を目的とした高度専門職人材を育成する大学院で構成される大学である。したがって、設立当初からユニークな教育目的を掲げて今日まで教育活動を展開している。ここでは、本学の持つ様々な教育上の特徴の中から、Competency BasedのPBL型教育、クオータ制による知識スキル教育、および講義のオープン化とFD活動、といった3つの項目について述べることにする。なお、その他にも学修の便宜を図るための様々な制度が存在するが、それらについては大学パンフレットなどを参照いただきたい。

3.1 Competency Based の PBL 教育

本学は大学院大学であり、学生は既に専門分野における学部レベルでの基礎知識やスキルを獲得していることを前提としている。本学の役割は、既に業務を実践する上で的一定以上の知識・スキルを持つ人材を本学が志向するアーキテクトレベルの人材へと鍛えあげることである。これ以降、本学が志向するアーキテクトレベルの人材をスーパープロフェッショナルと呼ぼう。スーパープロフェッショナルの人材像はしたがって、高度な知識、卓抜したスキル、および知識・スキルを駆使して現実のプロジェクトを成功に導く高い業務遂行の能力(コンピテンシー)を持つ人材といえる。本学ではコンピテンシーをあらゆる業務で必要とされるメタコンピテンシーと業務分野毎に重要となるコアコンピテンシーに分類し、それぞれのコンピテンシーの強化を最大の教育目標としている。具体的にはメタコンピテンシーとしては、コミュニケーション能力、継続的学修と研究の能力、チーム活動能力を挙げている。一般の知識やスキルに比較して、コンピテンシーは個人の行動特性に関わるいわば動的な能力であり、動詞で表現される能力である。しかも多くのコンピテンシーには対人関係の要素が含まれることが大きな特徴である。したがって、知識やスキルという静的あるいは個人に特化した能力は個人学習という形での修得が可能であるのに比べて、コンピテンシーの強化には必然的に他者との交わりが必須となる。これ故に、従来、コンピテンシー教育は経験に基づくとされており、OJT といった現場経験を通じてのみ教育が可能であると考えられていた。しかし、OJT は整理され計画された教育のプロセスではないことから、その成果については極めて大きなバラツキがあり、最悪の場合には学習しようとする人間を挫折に追い込んでしまう場合もある。そこで、OJT を教育プロセスとして整備することにより OJT の持つ欠陥を是正することを目指して PBL, Project Based Learning といわれる教育手法が生み出された。PBL は様々な教育目的を

埋め込み周到に計画された OJT であり、PBL を通じて学生は個人学習では修得不可能なコンピテンシー能力の強化を図ることができる。最後に PBL 型教育で大きな成果を挙げるための一つの無視できない要素に学修チームの多様性がある。例えばコミュニケーション能力は単におしゃべりのできる能力という訳ではなく、異なる分野のプロフェッショナルや異なる価値観を持つ人との意思疎通を図れる能力であり、その強化のためには学修チームに様々な背景や価値観を持つメンバーが居て、プロジェクトを中心として意思疎通を図る経験を持つことが重要となる。

3.2 クォータ制による知識・スキル教育

本学では個人学習が可能な知識・スキル教育には短期間で高密度に学修をする能力を強化することを目的の一つとしてクォータ制を導入している。クォータ制はもちろん社会人が中心となっている本学の学生へ、学修上の便宜を図ること一つ目的ではあるが、あくまでも当初の目的はより短期間での高密度な学修により学修効果を向上させることにある。実社会でプロフェッショナルとしてプロジェクトに関わる場合、プロジェクト実行中に新しい知識を短期間で獲得し問題解決に当たらなければならない場面はそれ程珍しくはない。このようにプロジェクト実行の途上で生じる”on process learning”に備えて、スーパープロフェッショナルには高速での学修という能力が要求される。そして、こうした能力は常に新しい技術やスキルに挑戦しつづける「継続的学修と研究の能力」というメタコンピテンシーに通じるものである。

3.3 講義のオープン化と FD 活動

本学では講義支援システムと呼ぶ講義のビデオ化システムが導入され、全ての講義は終了後 1 日程度でビデオ教材に変換され、学生を含めて本学関係者はこれを視聴することができる。この仕組みにより全ての講義は教室という閉鎖空間から解放され、多くの人達の目に触れることになる。しかも、ビデオ授業へのアクセス権利は卒業後も 10 年間有効とする KHP (Knowledge Home Port) 制度と相俟って、卒業生も全ての講義の評価者となる。KHP 制度は本学修了生が卒業後も最新の実務知識を本学の授業から得られる仕組みとして生まれたが、その効果とは別に、本学の講義の品質を向上させる FD 活動における極めて特徴的なツールともなっている。

4 学修コミュニティの構築

研究者は通常 2 つの帰属組織を持っている。一つは大学や研究所といった、スペースや研究経費および給与などといったいわばハードウェアとしての研究環境を提供してくれる組織であり、もう一つは同一分野の研究者の集まりであり、研究情報の交換や研究評価を提供してくれる学会といった

組織である。もちろん、これらの 2 つの帰属組織は共に研究者にとって重要であるが、今日のグローバルな研究環境ではハードウェアとしての研究環境に関しては研究者の組織への帰属意識は極めて低くなっている。しかし、学会はいまだに評価機関としてあるいは情報交流の場として全ての研究者にとって大きな帰属意識を持つ組織として安定した存在となっている。こうした状況をプロフェッショナル人材に引き写して考えると、少なくとも我が国では多くの分野でプロフェッショナル人材が帰属意識を持つ組織としての、研究者にとっての学会に相当するものが存在しないか、あるいは、存在したとしても希薄な存在であることは否定できない(弁護士、税理士などの明確な資格の存在する分野では有資格者の協会といった組織が存在する)。我が国の産業技術系のプロフェッショナル人材は殆どの場合、特定の企業内に極めて強く拘束されていることによって、企業を超えた流動性が極めて低く、産業構造の変化を妨げる一つの要因ともなっている。さらに、プロフェッショナル人材の評価も一つの企業といった比較的狭い社会での評価となるため、研究者に比較して自己啓発へのインセンティブを維持することが困難となるといった弊害が生まれる。

4.1 学修コミュニティ

情報分野のものづくり分野でのアーキテクト人材であるスーパープロフェッショナル人材を育成することを目的とする本学が、修了生に対して精神的な帰属意識を持てる、研究者にとっての学会に相当する組織を提供することは、義務でもあり、また大きなチャレンジでもある。学会が研究情報を提供し、peer-to-peer の評価を提供することによって研究者のインセンティブを維持し向上させているように、プロフェッショナルに専門能力に関する情報と peer-to-peer の評価を提供するコミュニティが必要であり、本学ではこうしたコミュニティを学修コミュニティと呼ぶ。学修コミュニティの機能として要求される専門的な情報に関しては、本学が情報分野および創造技術分野に関する情報の交流拠点となることが可能である。その一つの仕組みが本学で毎月実施されている InfoTalk とデザイン・ミニ塾であり、毎回多くの受講者を集めており一定の成果を挙げている。こうして少なくとも本学は学修コミュニティにおいて専門職人材が学修を通して専門的知識・能力の向上を目指す拠点として大きな役割を果たすことができることを証明しつつある。

4.2 学修コミュニティにおける peer-to-peer 評価

それでは、学修コミュニティが持つべきもう一つの重要な機能である peer-to-peer 評価についてはどうであろうか。残念ながら、学修の成果と収入・仕事などの個人のキャリアパスとの関係が明確でないことから、こうした評価に対するインセンティブがそれ程強く働かないのが現状である。そして、こうした課題は大学のみでは到底解決できるものではない。

かし、学修コミュニティが実態的に機能するためには、プロフェッショナルが物質的、精神的評価を受ける合理的な判断基準としての **peer-to-peer** 評価の仕組みの存在が極めて重要である。そして、こうした仕組みが実際に機能する前提として、高度専門職人材の流動化された労働市場が生まれることが必須のこととなる。それでは、近未来にこうした流動性が生まれる可能性はゼロかと言えば、かなりの実現性があると思われる。その契機となるのが急速に進む産業社会のグローバル化であり、グローバルな人材ニーズの高まりである。現時点で本学はこの側面については、専門職人材に学位や履修証明といった形での精神的なインセンティブを提供するという限定された機能の発揮に留まっている。しかし、片肺ではない学修コミュニティの創出に向け、今後もできる限りの努力を続けていくことが本学に求められる使命の一つであると考える。

5 グローバル化

産業社会のグローバル化の進展は今更述べるまでもないが、東日本大震災を境に海外に生産拠点を求めるためのグローバル化から、進出先の市場を求めて海外へ移動していく、言い換えればグローバル社会へ飛び込んでいくグローバル化へと変化していく兆しが見られる。こうした変化は必要とされる専門職人材の人材像にも影響を与えるものと考えられる。具体的には、多くの専門職人材が少なくとも日本に帰ることを前提とした従来の典型的な海外出張型の勤務ではなく、精神的にも、物理的にも日本へ帰ることを前提としないグローバル社会での勤務が必要となるという場面に直面することになる。こうした環境においては専門職人材にはその能力を発揮する多様な機会が与えられることも意味し、そうした環境を自らのキャリアパス設計に活用することが珍しくない状況が発生するものとも言える。すなわち、グローバルな産業社会の中に専門職人材のための高度に流動化した労働市場が生まれることが期待される。こうした状況では **peer-to-peer** 評価が専門職人材の市場価値を決定することになり、重要な役割を担うことになるのは明らかである。こうして専門職人材が帰属意識を強く持つ学修コミュニティがグローバル産業社会に生まれる可能性があると考ええる。実際、技術士等の資格に対応する APEC エンジニアなど技術者資格のグローバル化の試みや、日本の IT スキル標準など技術レベルを測る尺度の国際化など、専門職人材のコミュニティ形成へ向かうと思われる様々な萌芽が見られる。

5.1 グローバル学修コミュニティの創出へ

産業技術大学院大学は我が国唯一の産業技術系専門職大学院として、スーパープロフェッショナルと呼ぶ高度専門職人材の育成を最大の使命としている。大学に課せられた 3 つの使命を言い直せば、高等学校世代を含めスーパ

ープロフェッショナル人材を生み出す教育システムを構築することと、スーパープロフェッショナルが帰属意識を持てる学修環境である学修コミュニティを形成すること、さらにはこうした学修コミュニティの中核として本学が人材供給拠点となることにより東京の産業振興に資することであると言えよう。本学はこれまで、教育システムとしては **PBL** を中心とする **Competency Based** な教育と高等専門学校との 9 年一貫教育を推進し、学修コミュニティの形成に向けた教育環境の形成を目指して積極的に革新的な試みを続けてきた。しかし、学修コミュニティが実質的な魅力を持つ研究者にとっての学会に匹敵する組織となるためには、グローバル化により研究者社会が持つようなレベルの流動化が専門職人材の労働市場にもたらされる必要がある。すなわち、本学が目指すべき一つの大きな方向性として、これまで構築に努めてきた学修コミュニティのグローバル化を図り、産業社会のグローバル化に伴う専門職人材の流動化に対して積極的に関与していくことがある。既に、本学では数年間にわたりベトナムとの間での実験的な **PBL** 型教育の経験があり、これを一つのモデルとして **PBL** 型教育のグローバル化を図りつつ、ものづくりを中心とする産業の中心として発展が見込まれるアジアという国際社会においてグローバルな **PBL** 型の学修を継続的に進めることのできるプラットフォームの形成に挑戦することができる。こうした発想から、この数年にわたって準備を進めてきたのが **APEN**(Asia Professional Education Network) の構想である。すなわち、**APEN** プロジェクトは、グローバルな高度専門職人材の育成を **APEN** というグローバルな学修コミュニティの形成を通じて達成していくこととするものであり、したがって **APEN** にはアジア共通のスーパープロフェッショナル人材像の形成とその育成のための **PBL** 型教育という基幹的な教育システムということだけではなく、高度専門職人材の流動化された労働市場の創出という 2 つの機能が課せられることになる。

5.2 APEN

APEN はこれまで述べてきた本学開学の理念である 3 つの使命を深化させた結果、辿り着いた戦略的プロジェクトである。**APEN** は各国に一つの代表する大学をメンバーとしてアジア圏でのグローバルな **PBL** 型教育の普及と改善およびこれを通じたアジア圏の産業振興を目的とするネットワーク型の組織として 2011 年 6 月 6 日に沖縄で開催された第一回 **APEN** ワークショップで正式に発足した。この時のメンバーは中国を代表して上海交通大学、韓国を代表して **POSTECH**、ベトナムを代表してベトナム国家大学および日本を代表して産業技術大学院大学の 4 大学であった。本学を除くいずれの加盟大学も本来は研究者養成あるいはトップマネジメント人材の育成を掲げる従来型のそれぞれの国を代表する一流大学である。そうした大学が、ものづくり産業に不可欠な実務型の専門職人材育成という本学の提案に賛

同してくれたことは、一つには従来の研究型大学のあり方への反省もあるが、むしろ急速に発展する産業社会の人材ニーズに着目し始めている証左のように感じられる。こうしてスタートを切った APEN であるが、APEN 設立に前後してアセアンを中心とするアジア地域のインフラ構築事業に必要な PPP(Public Private Partnership)型のプロジェクトを運営する人材を早急に育成する必要性に迫られた国際機関 ERIA(Economic Research Institute for ASEAN and East Asia)から、ERIA が提唱する Project Meister の育成事業への協力という呼びかけがあった。この呼びかけを受け、APEN 理事会は ERIA との協力事業推進と APEN の当面の加盟国を ASEAN 諸国+インド、中国、韓国、日本とすることを決定した。これにより、APEN は ERIA との連携をベースとして専門職人材の育成に資するアジアの産業振興に関わる多様な活動を展開していくことになる。なお、8 月に開催された東アジア経済閣僚会議では ERIA からのレポートとして APEN および AIIT を含む構想が報告され、ERIA との連携事業は本年 10 月から開設される国際コースなどを含めて急速に展開していく予定である。こうした華やかな動きも本来のグローバル学修コミュニティの創出に向けた活動という位置づけを忘れないことが重要である。APEN はあくまでも高度専門職人材が帰属意識を明確に持てる学修コミュニティとなるために、PBL 型教育の標準化を達成し、労働市場の流動化を促す仕組みや、peer-to-peer 評価の仕組みを生み出すことにチャレンジし続ける必要がある。これこそが、本学の設立理念の具現化の一つの形であり、本学はこの課題に挑戦し続ける必要がある。

組むことが本学のエネルギー源であり、本学設立の理念を果たしていくことになるものとする。

6 おわりに

産業技術大学院大学は設立から 6 年目の極めて新しい大学である。しかも、大学の規模は研究科1つで、2 専攻という小さな組織である。こうした小さな組織は立ち止まれば、その瞬間から社会から見えなくなり、その存在価値が失われる。これは小さい組織の宿命であるが、逆に鮮明なビジョンを描き、高速で動きまわることにより、社会にイノベーションをもたらすことができる。本学が発見した高度専門職人材の教育マーケットと学修コミュニティへのニーズは産業社会の加速するグローバル化に伴い、ますます高まっていくものとする。ここでは、本学のこれまでの足跡を振り返り、グローバル化をグローバル学修コミュニティの創出という戦略的目標に向けて推し進めていくことについて述べた。しかし、このプロセスには、たとえば学修コミュニティに所属するスーパープロフェッショナルにその証としてその能力、業績を認定する博士号を授与するための研究科の設置、高等専門学校および職業系高等学校をどのような形でわれわれの目指す学修コミュニティに位置づけるか、などなど今後も次から次へと課題が出てくるものとする。こうした課題に勇気を持って果敢に取り

外部アカウント認証を使った本人確認付き利用者認証の試み

小山裕司*・中鉢欣秀*

A Hybrid User Authentication Protocol using of Open Authentications

Hiroshi Koyama* and Yoshihide Chubachi

Abstract

Many Web applications use a variety of user authentication mechanisms. But, some of them create several problems and limitations. We tried to address these issues by using open authentications and introducing confirmation process using one-time token. This paper summarizes open authentication/authorization, discusses these issues, and reports a design and an experiment of a hybrid user authentication protocol.

Keywords: Web Applications, Authentication, Authorization, API: Application Programming Interface, OpenID, OAuth Protocol, Confirmation using One-time Token, Cloud Computing

1 はじめに

情報システム(Web アプリケーション)は, 利用者に関する情報を保持し, 各利用者に適した処理をする等の目的から利用者アカウントの管理及び認証の仕組みを組み込んでいることが多い. 産業技術大学院大学(以下, 本学)でも, 複数の情報システムが稼動しているが, これらのアカウントの管理及び認証は Active Directory によって一元管理されている. 当 Active Directory は, 本学の内部 LAN に接続され, 内部 LAN に接続されているサーバに対してのみ認証機能を提供している. 本学に設置するサーバであっても, 実際には利用者の便宜を考慮すれば, インターネット経由で学外から利用できるようにする必要が生じ, このための許可申請及び作業が発生する.

最近, これらの手間の軽減及び, 以下の理由から学外にサーバを設置する機会が増加してきた.

- 仮想技術及び VPS (Virtual Private Server) の普及から使用料が大幅に下落した.
- 機能及び性能面に優れたクラウド環境 (Google App Engine[1], Amazon Web Services[2]等) が現れた.
- 東日本大震災後は計画停電の可能性が存在する.

外部サーバ環境の情報システムに, 本学利用者(学生及び教職員)に対してアカウント認証機能を実現する場合は, 以下の選択肢がある.

- (1) 学外から本学の Active Directory を利用する.
学外からの本学の Active Directory への接続は, ファイアウォールを経由する必要がある. これには, 許可申請の後(現在までに許可された事例はない), ファイ

アウォールの設定を変更する必要がある. また, 本学停電時には認証機能は利用できない.

- (2) 新規に認証機能を実装し, アカウントを発行する.
現在, 多数の情報システムが独自にアカウントを発行しているため, 利用者は多数のアカウント(ID 及びパスワード)を所持する必要が生じていることが問題視されている. 新規にアカウントを発行すればこの現象にわずかではあるが拍車がかかる. また, アカウントの配布はメールでも手渡しでも相当の手間が生じ, 担当者がパスワードを知ってしまう危険性も無視できない. また, 本学のアカウントとの連動を考慮すると, 外部サーバ上に保護すべき情報を保持する必要が生じるために管理を一層厳重にする必要がある.
- (3) 外部のアカウント認証機能を流用する.
OAuth, OpenID 等のプロトコルを利用すれば, Twitter, Facebook, Google, Yahoo 等の外部アカウント認証を流用する. ソーシャルメディアが普及した現在, 本学利用者の多くはこれらのアカウントを既に保持している可能性が高いため, (2)で指摘した, 新規にアカウントを取得し, 取り扱うアカウントが増加する問題は避けることができる. ただし, 外部アカウントの認証はあくまでアカウント認証だけであるため, これだけでは, 本学利用者本人であることを確認することはできない.

本稿は, 外部アカウント認証を調査し, これらを流用する際に, 初回のみ本学 Active Directory 下にある電子メール (@aiit.ac.jp)を経由することによって, (3)で指摘した, 本人利用者本人であることを確認を可能にし, また利用者の使い勝手(手間)を実用レベルに維持する手法の設計及び実験をまとめる.

本稿の第 2 章では、OpenID, OAuth 等の外部のアカウント認証の概要及び処理の流れを概観し、第 3 章では、ワンタイムトークンを使って、外部アカウントと、本学利用者のアカウントを対応付ける仕組みの設計を示し、第 4 章では、この仕組みを実際に試してみた例を示し、第 5 章では、本稿をまとめる。

2 外部アカウント認証の仕組み

認証(Authentication)は、利用者あるいはプログラムが意図した人であるかを確認する行為である[3]。認証を行うには、意図した相手を確認するための情報を、「認証をする側」と「認証される側」が保持する必要がある。以下に認証手段を列挙する。

- 記憶(知識)による認証(SYK: Something You Know)
通常のログイン処理(利用者 ID と、本人のみが知っている秘密情報に相当するパスワードを照合することで相手を認証する)。
- 特徴による認証(SYA: Something You Are)
指紋等の生体的特徴
- 所有物による認証(SYH: Something You Have)
社員証(ICカード)等の複製が困難で本人のみが所持しているもの

Web アプリケーションでは、通常ログイン認証が使われ、ログイン後はセッション ID 等を HTTP Cookie[4]で渡し、これが一時的な秘密鍵の役目を果たすことで認証状態を継続する。この仕組みによってステートレスプロトコルである HTTP 上で擬似ステートフルを実現することが多い。

利用者アカウントの認証(Authentication)に利用できる仕組みには、OpenID, OAuth 等が存在する。以下では、これらを簡単に示す。

2.1 OpenID

現在、情報システムでは利用者認証が必要であり、アカウント(ID 及びパスワード)を発行する。第 1 章の(2)で指摘したように、利用者は多数のアカウントを保持し、結果として、多くの利用者が同じパスワードを使い回しているのが現状である。また、各サイトごとに実装されている認証機能では、平文ではないにしろ、パスワードはあちこちに記録される。

OpenID[5][6][7][8]は、分散型の ID 認証の仕組みである。OpenID を利用すれば、単一の ID を作成するだけで、OpenID に対応している Web サイトにログインすることができる。現在、Google, Yahoo, ミクシィ等が OpenID Provider (OP)として OpenID 認証機能を提供し、Wikipedia,

Facebook 等の約 50 のサイト(日本語のものが約 20, 英語のものが約 30)が OpenID を受け入れている(RP: Relying Party)。したがって、Google, Yahoo 等の ID を使って、Wikipedia 等にログインできる。

パスワードは OpenID サーバ(OpenID Provider)にのみ保存され、パスワードの確認は OpenID サーバで行われる。OpenID の認証の流れを図 1 に示す。

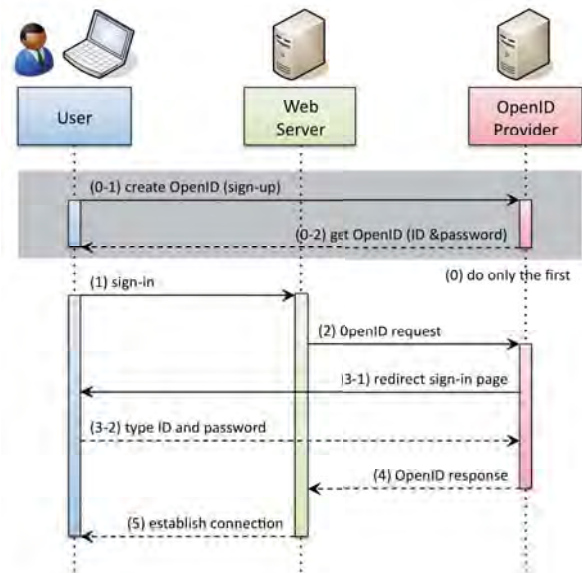


図 1: OpenID のシーケンス図

2.2 OAuth

OAuth[9][10][11][12]は、Twitter, Facebook 等が導入している認可・権限付与(authorization)の仕組みである。認可は、(ログインが終了した後の)認証された利用者あるいはプログラムに、何かを機能を利用する権限を付与する手続きである(操作 A の権限は付与するが、操作 B は禁止する等)。

従来、第三者のアプリケーションが Twitter API を利用するには Basic 認証を経由する必要があった。Basic 認証の仕組みを図 2 に示す。

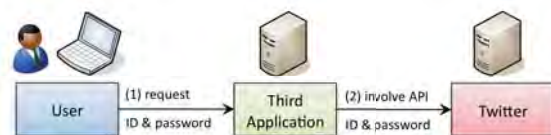


図 2: Basic 認証

Basic 認証には、以下に列挙する問題が指摘されている。Digest 認証, WSSE(WS Security Extension)認証も同様の問題を有する。

- 第三者アプリケーションに ID 及びパスワードを預ける必要がある(悪用される恐れあり)。

- 第三者アプリケーションがパスワードを平文で保持する。
- API 利用の範囲を制限できない。
- 認可(付与した権限)を取り消すことができない。

これらの問題を解決するため OAuth が設計された。図 3 に OAuth の仕組みを示す。

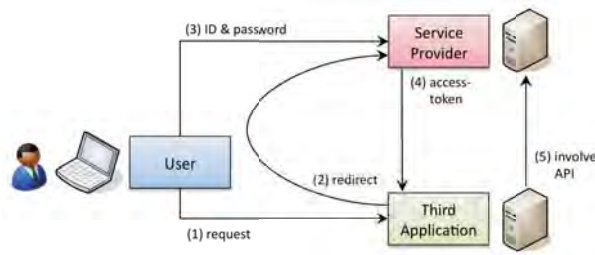


図 3: OAuth

OAuth は、第三者アプリケーションに、パスワードを渡すことなく、API の利用する権限を委譲(認可)することができる。OAuth の長所を以下に列挙する。

- パスワードを第三者アプリケーションに渡す必要がない。
- どの API(資源等)が利用可能かを細かく認可できる。
- 認可を取り消すことできる。
- 仕様が公開されている。

OAuth の認可の流れを図 4 に示す。

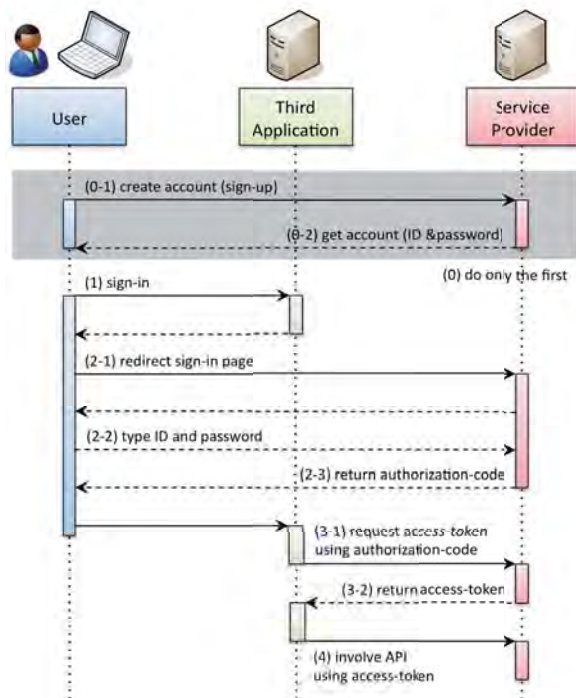


図 4: OAuth のシーケンス図

Twitter は 2010 年 8 月末で Basic 認証を破棄し、OAuth に移行した。

OAuth は認可の仕組みであるが、最近では Twitter 等の API は一切使用しないが、OAuth を認証の仕組みとして流用しているサイトが存在する。これは、本人しか持っていないであろう権限(これが秘密情報に相当する)を持っているために本人に違いないという根拠に依る。

2.3 外部認証 API

OpenID 以外にも、Web アプリケーションでの利用を前提に公開されている外部認証 API には、Google, Yahoo, Flickr, TypeKey, JagemKey 等がある。これらは、仕様が各社独自であるため、各認証 API ごとに実装する必要がある。また、これらは信頼性、継続性等を考慮して選択する必要がある。外部認証 API は、認証と同時に認可の機能を有しているものも多い。

3 ハイブリッド認証の設計

第 2 章で概観した OpenID あるいは OAuth 等の仕組みを利用し、自分の Web サイトにログイン認証を実装すれば、Google あるいは Twitter 等の外部アカウントでログインすることができる。これらのアカウントは Google あるいは Twitter 等の外部アカウントであるから、利用者が該当アカウントの所有者であることは確認できるが、しかし本学利用者本人であることまでは確認できない。これを確認するには、Google あるいは Twitter 等と、本学アカウントの関係を確認する必要がある。手作業で確認することもできるが、今回は次項に示すワンタイムトークンによる確認の仕組みによって、手間と時間、さらには手作業の場合に起こりうるミスを削減する。

3.1 ワンタイムトークンによる確認

今回のワンタイムトークンによる確認は、Google あるいは Twitter 等の外部アカウントが、該当 Web サイトが期待する利用者であることを確認することを目的とする。このため、指定されたメールアドレスにワンタイムトークンが付加された URL が書かれたメールを出し、この URL が参照されることで確認を完了する仕組みである。この流れを図 5 及び以下に示す。

- (1) ワンタイムトークンを生成する。トークン及び有効期限を保存する。指定されたアドレスに、トークンを付加した URL を本文に書いたメールを出す。
- (2) メールを受け取る。
- (3) メール本文の URL を HTTP GET で参照する。有効期限切れのトークン情報は削除する。保存されているトークンを比較し、有効であれば確認成功であり、トークン情報は削除する。無効であれば確認失敗である。

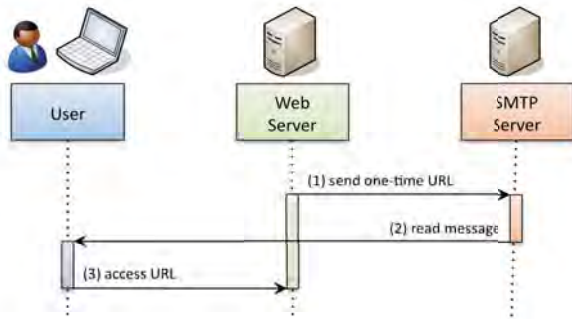


図 5: ワンタイムトークンによる確認のシーケンス図

今回の有効期限は 30 分であり、また1回使用されたワンタイムトークンは再利用できない。

今回は本学利用者であることを期待しているので、メールアドレスの指定を本学のドメイン(@aiit.ac.jp)に限定する。特定のメールアドレス宛のメールは、各種の MUA が利用され、また転送されている可能性があるが、実際に受け取ることができるのは本学アカウントの所有者(あるいは所有者が許可したもの)に限定されるため、これは秘密情報に相当し、本学利用者本人であることが確認できる。また、本学メールアドレスと学修番号は一対一に対応付けられているので、どの利用者であるかも確認できる。この結果、外部アカウントと本学利用者の関係を確認でき、両者間の対応付けを記録できる。

4 ハイブリッド認証の活用例

今回、本学情報アーキテクチャ専攻の平成 23 年度 PBL (Project Based Learning) 配属を受け付ける Web サイトを Google App Engine 上に構築する際に、第 3 章で設計した仕組みを実装し、実験を行った。Google App Engine[1]は Google が提供しているクラウド環境(PaaS: Platform as a Service)である。

ログイン時の制御の流れを図 6 及び以下に示す。

- (1) 初期画面では、使用する外部アカウントを選択する。今回は、Twitter 及び Google アカウントを選択できる。図 6 の分岐 A がこれに相当し、図 7 が表示される。
- (2) 外部アカウントを選択した場合、該当する外部アカウントの認証あるいは認可画面が表示される。図 6 の処理(1)がこれに相当し、Twitter であれば図 9、Google であれば図 8 が表示される。認証が完了した直後のアカウント情報は表 1 の(2)また(4)である。
- (3) AIIT のメールアドレスを使って、本学利用者本人かどうかの確認確認を行う。図 6 の処理(2)がこれに相当し、図 10 の画面で、本学メールアドレスを指定すると、指定されたメールアドレスにワンタイムトークンが付加された URL が書かれたメールが届く。確認完了後のアカウ

ント情報は表 1 の(3), (5), (6)である。この本人確認は外部アカウントを利用する場合は最初の1回のみで、これ以降は外部アカウントのみで利用できる。この判定が図 6 の分岐 B である。

- (4) 外部アカウントを使わずに本学アカウントのみで利用することもできるが、この場合のアカウント情報は表 1 の(1)であり、ログインするたびにワンタイムトークンによる本人確認が発生する。
- (5) 認証が完了すると、図 11 が表示される。これ以降はログアウトまでは図 6 の処理(3)に示す Cookie によってログイン状態が維持される。

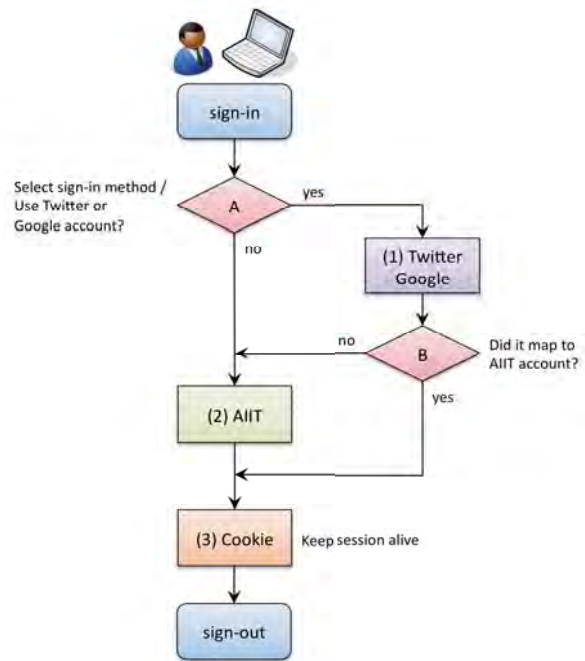


図 6: 制御の流れ

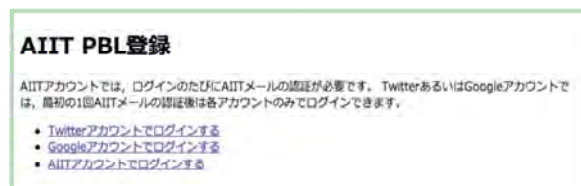


図 7: 認証選択画面



図 8: Google の認証画面



図 9: Twitter の認可画面



図 10: 確認メールの手続き画面



図 11: PBL 配属受付画面(参考)

表 1

	aiit id	twitter id	google id
(1)	a0666pk	—	—
(2)	—	5949102	—
(3)	a0666pk	5949102	—
(4)	—	—	pk0612
(5)	a0666pk	—	pk0612
(6)	a0666pk	5949102	pk0612

5 おわりに

本研究では、学外に設置した情報システム(Web アプリケーション)の利用者認証を、外部アカウント認証と、本学利用者のアカウント管理を関係付ける仕組みによって実現した。以下に、特長を整理する。

- (1) 本学アカウントと、外部アカウントの対応付けを1回行うと、次回以降は外部アカウントのみでログインができる(利用者のログイン処理の手間が通常の処理のレベルまで軽減される)。
- (2) 本学のアカウントがあれば、外部アカウントがなくても利用できる(ただし、この場合、ログアウトあるいは一定時間経過後は再度ワンタイムトークンによる確認が発生する)。
- (3) 外部サーバに本学アカウントの(秘密情報である)パスワードが記録されることはない。ただし、外部アカウントと本学アカウントの対応付けは保持される。
- (4) 本学の Active Directory を外部に公開する必要がない。また、本学のネットワークインフラの設定を何ら変更する必要がない。
- (5) 新規にアカウントを発行する必要がない。したがって、それらを配布する手間がない。
- (6) 手作業で本学アカウントと外部アカウントの対応付けを設定する必要がない。
- (7) サポート担当者がパスワードを知ってしまう過程がない。また、平文のパスワードが Web 画面、メール、紙等の上に記録または表示される過程がない。したがって、利用者は、外部アカウント(ID 及び自分だけが知っているパスワード)を使って、ログインできる。

今回は、1 週間(50 名)程度の短い期間の実験であった。次回は、継続的に稼動し、利用者数が多く、また利用頻度が高い情報システムに実装し、既知の問題(アカウント削除時の処理等)の解決及びスケール等に関する実験を行う予定である。

参考文献

- [1] Google App Engine,
<http://code.google.com/appengine/>
- [2] Amazon Web Services, <http://aws.amazon.com/>
- [3] 瀬戸, 織茂, 寺田, 佐藤, 情報セキュリティ概論, 日本工業出版, 2007/11
- [4] HTTP State Management Mechanism, RFC 6265, April 2011,
<http://tools.ietf.org/html/rfc6265>
- [5] OpenID, <http://openid.net/>
- [6] OpenID, <http://www.openid.ne.jp/>
- [7] OpenID Authentication 1.1, May, 2006,
http://openid.net/specs/openid-authentication-1_1.html
- [8] OpenID Authentication 2.0(final), December 2007,
http://openid.net/specs/openid-authentication-2_0.html
- [9] OAuth, <http://OAuth.net/>
- [10] OAuth 2.0, <http://OAuth.net/2/>
- [11] The OAuth 1.0 Protocol, RFC 5849, April 2010,
<http://tools.ietf.org/html/rfc5849>
- [12] The OAuth 2.0 Authorization Protocol(draft), September 2011,
<http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-OAuth-v2-22>

受注プロジェクトのプロジェクトマネジメント

酒 森 潔*

Project management for the contract project

Kiyoshi Sakamori*

Abstract

A standard project management system is considered from the customer point of view, and the project profit has not managed. However, many project managers are asked to pursue business profit by the vendor point of view. In other words, vendor project manager has a lot of contract related activities that contains no more elements to standard project processes, such as profit management, fulfillment, and delivery activities. In this paper, to organize the vendor project management systems and to contribute to the many project manager work.

Keywords: Project management, PMBOK, Project contract, System development

1 はじめに

昨今、PMBOKガイド®やP2Mなどで、プロジェクトマネジメントプロセスが体系化され、プロジェクトマネジメントにおいて必要な作業が定義されてきた。これらの標準が体系化するプロジェクトマネジメントは、発注者側の視点で整理されたものである。

しかし、顧客から請負形式で受注し実施されるプロジェクトのマネジメントは、体系化されているプロジェクトマネジメントのプロセスとともに、ベンダー企業の視点のプロジェクトマネジメントを実施することが求められている。たとえば、一般的なプロジェクトマネジメント体系にコストマネジメントは含まれるが、プロジェクトの収入や利益の管理は含まれていない。また、プロジェクトの提案活動、会社間の顧客対応、納品活動など、発注者側のプロジェクトには必要とされ企業間の契約プロセスに係る業務が数多く課せられている。

この論文では、このような受注プロジェクトに求められるプロジェクトマネジメント活動をプロジェクトライフサイクルに沿って順に解説し、発注者の視点で作られたプロジェクトマネジメント体系には無い、受注プロジェクトとしてのプロジェクトマネジメントのポイントを述べる。

2 受注プロジェクトの特徴

2.1 企業間の受注プロセス

受注プロジェクトのプロセスは発注者側で作成されたRFPに対して、受注企業が提案書を作成するところから始まる。提案書作成には、プロジェクトの計画を作成する能力が必要であり、何らかの形でプロジェクトマネージャが参画する必要がある。この段階のプロジェクトマネージャにはプロジェクト管理

能力よりも、プロジェクト提案力が必要とされる。

提案が採用され、契約書を取り交わしプロジェクトが開始されると、プロジェクトマネージャにとっては発注者である顧客の対応が重要な仕事になってくる。たとえば、プロジェクトの報告も受注企業内の報告と、顧客への報告とそれぞれおこなう必要がでてくる。プロジェクト終了時には、成果物を納め契約を終了する活動、および受注企業としての収支に関する評価作業なども必要になる。

このように受注プロジェクトには契約に関する作業を中心に、社内プロジェクトや発注者側のプロジェクトマネジメントとは異なった契約に関する作業が多く発生している。図1に企業間お受注プロセスのイメージを示す。

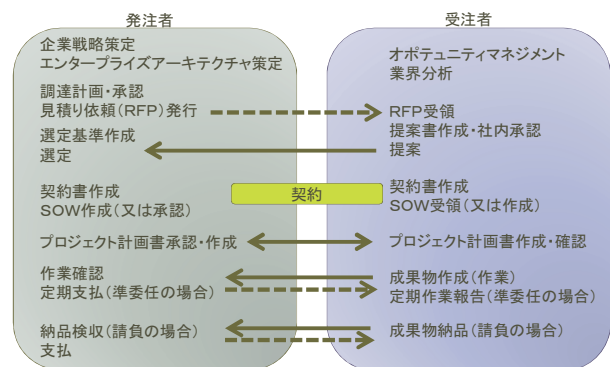


図1 企業間の受注プロセスのイメージ

2.2 三階層のプロジェクト組織

プロジェクト全体または一部を自社以外に発注する場合は、複数のプロジェクト構造が組み合わせられることになる。その典型的なパターンが「三階層のプロジェクト組織」である。図2に三階層のプロジェクト組織の概要を示す。実務では、受注者のプロジェクトマネージャがプロジェクトの管理を任せられ

る例が多い。しかし、PMBOKをはじめ多くのプロジェクトマネジメントのガイドブックや標準が、最上位のプロジェクト実行組織のプロジェクトマネジメントを想定してまとめられている。したがって、受注プロジェクトを管理するためには、標準には書いてない、プロジェクト運営に考慮しなければならないことが多くある。たとえば、通常プロジェクトの管理項目の中に「利益管理」は含まれていないが、受注者プロジェクトのマネジメントの仕事には受注者としてのプロジェクトの利益管理が大きな比重を占めている。

また、受注プロジェクトのプロジェクトマネージャは、発注者側のプロジェクトオーナーと自社の上位マネージャーなど複数のステークホルダーに対して報告する義務も発生する。

さらに、プロジェクトそのものは顧客の戦略にもとづいて開始されるが、受注者側にも企業としての戦略があり受注側のプロジェクトマネージャは両方の戦略実現を目指す必要がある。プロジェクトを支援する組織であるPMOも顧客側、受注側に存在する場合があります、プロジェクトは両方のPMOの影響を受けることになる。

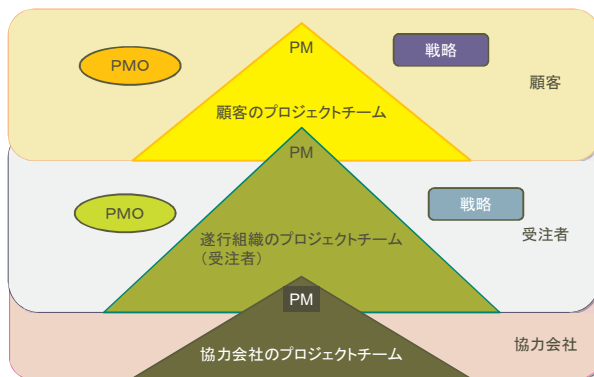


図2 三階層のプロジェクト組織

3 プロジェクトの獲得

3.1 受注企業のプロジェクト獲得戦略

一般にプロジェクトは企業の戦略に基づいて開始されるものである。その企業の戦略や投資効果予測からプロジェクトの目的が決まり実施される。したがって、そのプロジェクトを受注し実行する場合は、発注者側の戦略に基づいて実施しなければならない。

しかし、受注企業側にも、どのようなプロジェクトを獲得するかという戦略が存在するのである。どこかの会社からRFPが出るのをただ待っているということではなく、自社のプロジェクト戦略を立て、ビジネスの安定と拡大を考えなければならない。すなわち、受注のための戦略を立てて、より良いプロジェクトのオファーが多く来るような体制をとらなければならない。

また、いったんRFPが出てきて、それが受注会社の企業戦略に合うのであれば、そのプロジェクトを獲得すべく最善を尽くすことになる。この時の提案活動は本来営業部門の仕

事ではあるが、提案内容を考えることができるのはプロジェクトマネージャであり、この段階からプロジェクトマネージャの活動が開始される。

3.2 業界分析と戦略策定

受注企業のプロジェクト戦略の第1歩は、業界分析である。業界の状況を正しく分析し、これから先どのようなプロジェクトの需要があるかを見極めることが重要である。この分析によって、自社のプロジェクト体制を考え重要な分野への人材のシフトや要員の雇用などをおこない、プロジェクトの実施準備を開始する。

受注企業において、多くの仕事を獲得し企業を成長させていくためには、正しい業界の分析が必要である。自社の得意としている業界がこの先成長していくのか、新しいビジネスチャンスが生まれてないかなどつねにアンテナを張って業界動向をモニタリングする。そして、この結果をベンダー企業としての生き残りのための戦略につなげるのである。

この段階では、まだ具体的なプロジェクトが見えていないこともあるが、将来を見越して期待の持てる分野のプロジェクト実施体制を強化する。

また、業界の戦略分析の方法の一つとして、特定の顧客企業の戦略や動向に目を向けることも必要である。顧客が戦略に基づきどのような動きをしているかということを早くつかみ、受注企業としての自社戦略に組み込むことが必要である。受注企業の戦略は、業界動向や顧客企業の戦略に大きく左右されるともいえる。

3.3 オポチュニティマネジメント

プロジェクト受注企業においては、プロジェクト戦略を考えることを、ポートフォリオマネジメントというより、オポチュニティマネジメントと呼んでいる。まず、営業担当者など各顧客企業のプロジェクト予定情報を収集する。これらの予定案件は、獲得確率と、規模(収入)が重要な検討項目になる。

オポチュニティマネジメントでは、プロジェクトの実現確率と予定収入をかけあわせたプロジェクト期待値を積み上げていき、会社や部門の収入目標を管理する。

このような受注する可能性のある将来の候補プロジェクトから、提案活動に入ったプロジェクト、提案が取れて実行中になり、最後は完了したプロジェクトまで並べたものをプロジェクトパイプラインという。図3にプロジェクトパイプラインのイメージを示す。プロジェクトパイプラインは遠い将来で確度は低い候補としてたくさんあるものから、だんだん確度が高くなっていくにしたがって、プロジェクトの数は減っていき、最終的には完了したプロジェクトがもっとも少なくなっていく。プロジェクトパイプラインの中で、狭義のプロジェクト活動は受注から完了までであるが、実務においてプロジェクトマネージャが関与する仕事は提案活動から開始される場合が多い。

受注企業のプロジェクトマネージャは、自社の戦略やオポテ

ユニティマネジメントについて深く理解し、プロジェクトの獲得から実施まで、自社の戦略達成に貢献しなければならない。

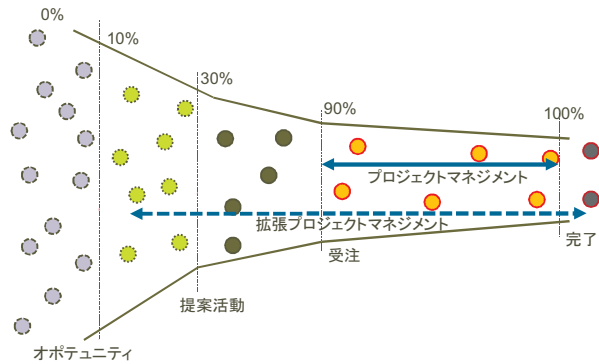


図3 プロジェクトパイプライン

4 プロジェクト提案活動

提案活動は本来営業担当の仕事であるが、提案内容をより現実的で魅力あるものにするためには、プロジェクトマネージャの協力が不可欠である。

まず、営業戦略や顧客との関係などについて、営業担当が考え提案の方針を作成する。また、要員の確保が可能なか、企業の方針とあっているかというような観点も含め提案活動が開始される。

提案活動の中で、プロジェクトマネージャとしてもっとも重要な役割は、プロジェクトの実行可能性を検証することである。顧客の要求を十分に理解し、その要求を達成するためには、どのような体制で、どのような技術を適用して達成可能か十分に検証する。

提案内容についての第三者によるレビューも重要である。提案チームが気付いていないリスクは無いのか、企業方針に合っているか、提案内容に漏れはないか、実現可能性はあるかなど、様々な角度で提案を確認する。また、受注企業の財務の責任部門は、企業経営の視点で利益の出るプロジェクトかどうかを検証する。

最終的に作成された提案書について、提案価格については営業部門が責任を持つが、提案する技術内容やプロジェクトの進め方、実現可能性などについては、そのプロジェクトを実施するプロジェクトマネージャの同意を得ることが重要なことである。

この章では以下提案活動に関するプロジェクトマネージャの関与について整理して説明する。

4.1 RFPの内容の理解

個客からRFPを受領したら、提案チームを作って提案活動を開始する。まずチームの中でプレーストーミングや専門家のインタビューなどを行い、顧客の要求や制約、前提条件、リスクなどを精査する。

内容について十分に理解できない場合は、顧客に面談を

求めRFPに対する質問をおこなう。質問はインタビュー形式で行うのがもっともよいが、事前に質問文を渡しておくことで効率的に行うことができる。質問内容については事前に十分検討し質問項目を整理しておくことが重要である。

プロジェクトによっては、受注候補企業を一堂に集めて質問会を開くところもある。あるいは質問はすべて文書でなければ受けつけないということもある。それぞれのRFPに応じた提案活動が必要である。

RFPから読み取るポイントは、まず、最初に顧客企業の戦略やユーザーニーズが出てきた背景を確認し、その中でこのプロジェクトそのものの目的は何かを理解する。もしこのようなプロジェクトの背景の記述が無い場合は、顧客への質問事項とする。

次に、具体的な依頼内容についても精査が必要である。顧客側で十分検討され具体的な解決案も示されている場合や、まだ漠然としたアイデアであり、具体的な実現方法については提案してほしいということもある。顧客の事前検討のレベルによっては顧客の考えたアイデアより良い方法を示すことも必要である。

さらに、RFPからはプロジェクトの進め方に対する条件や、制約条件なども記述されている。提案にあたっての注意事項なども記載されているので、提案チームで十分に時間をとって確認することが重要である。

提案チームでRFPの理解ができれば、提案の中身の作成に取り掛かる。この段階からプロジェクトマネージャとしての活動が要求される。

4.2 提案にからむステークホルダー分析

提案内容を考える前に、まずこの提案に関係するステークホルダーの分析をおこなうことが重要である。重要なステークホルダーを特定し、考え方を分析し、最も良い提案を考えるのである。

顧客についてもっともよく知っているのは、顧客担当の営業部員である。そのほか、その顧客のプロジェクトを担当したことのあるプロジェクトマネージャにヒアリングし、顧客のプロジェクト関係者について社内での力関係や、そのプロジェクトへの関与度合いなどを調べる。

また、ステークホルダーは顧客だけとは限らない。社内でのこのプロジェクトへの強い影響力を持つマネジメント、顧客とのパイプの強いマネジメント、さらには、特定の分野のシステム開発であれば、協力関係を持つベンダー企業の関与度合いなども調査する。

これらの情報はプロジェクト開始時にはプロジェクトチームに説明されるものであるが、プロジェクトマネージャはより早い段階で提案活動に参画し、理解しておくことが望ましい。

4.3 プロジェクト計画作成

提案書の中身でもっとも重要なものがスケジュールである。

プロジェクトマネージャは、RFPや、顧客ヒアリングで得た情報を基に、考えられる範囲で最適なスケジュールを作成する。この時有効な資料は、過去のプロジェクトの経験や、企業で共有している標準的なスケジュールチャートである。

また、スケジュールを作成するために重要なものは「制約条件」や「前提条件」である。制約条件は外から与えられるものであるが、前提条件とは、収集した情報では十分な計画が作成できないので、プロジェクトマネージャが仮に作成するものである。前提条件の定義にミスがあった場合、のちに大きなリスクになる可能性があるため、十分注意するとともに、定期的に見直すことも必要である。

提案作成段階において、プロジェクト受注のリスクを考えておくことも必要な仕事である。この段階のリスクマネジメントは、企業としてのプラスのリスク、あるいはマイナスのリスクを検討し、受注しても大丈夫かあるいは受注するとしたときどのような提案内容にすべきかを考えるものである。

検討には、顧客分析をしている営業担当、ベンダー企業のビジネスに責任を持つマネジメント、同じようなプロジェクト経験を持つ有識者、プロジェクトの実行プロジェクトマネージャなどが参加する。検討の結果考えられるリスクに対し対応計画を作り、プロジェクト計画や提案書に反映する。この段階で、このプロジェクトは受注しないほうが良いという結論になることも考えられる。

4.4 提案価格の見積りと決定

プロジェクトの提案価格を決めるためには、まずプロジェクトコストを正しく見積り必要がある。提案段階では見積りのための資料が十分でない場合もあるので、できるだけ多く見積り根拠になる資料を集めるとともに、確定していないところは前提条件を明確にすることが重要である。顧客に対して魅力的な成果物を提示することと、その成果物を作るために必要なスケジュールやコストはお互いに相反するものである。プロジェクトマネージャは、提案する理想的なシステムを提案したり、プロジェクトコストを正確に見積ったりするだけでなく、提案価格や企業戦略の視点も考慮してバランスの良い提案にしなければならない。

適正な提案内容とそれを達成するためのコストが算出できたら、そのプロジェクトのリスクに応じたコンテンジェンシー予備費を準備する。コンテンジェンシー予備費までがプロジェクトマネージャが使用できるコストである。

コンテンジェンシー予備費も加え提案を実現できる総コストが決定したらに、受注企業の利益を加えて提案価格が決定される。提案価格は、そのプロジェクトに対する企業の戦略により最終決定される。その決定に影響を与える要素としては、見積ったコスト、リスクなどのほか、顧客とのリレーション、受注企業の方針、受注企業の要員のアベラビリティなどさまざまなものがある。

また、顧客に対する戦略的な提案価格が先に決定してお

り、それをベースにプロジェクトの範囲やスケジュール、投入要員などが決まってくるプロジェクトも存在する。そのような場合であっても、まずは目的とする成果物からプロジェクトコストを客観的に見積ることが重要である。その見積りコストと、顧客に提案できる価格に大きな隔たりがある場合、調整作業が必要になる。この調整作業ができるのは、営業担当でもなければ企業のマネジメントでもない。プロジェクトを実行するプロジェクトマネージャが、企業戦略やプロジェクト実現可能性などを正しく理解し適切な提案内容にしなければならない。発注側のプロジェクトマネージャはコストの管理をすればいいのに対し、受注企業のプロジェクトマネージャは、プロジェクトの利益や受注企業の戦略も考慮しなければならないことに受注プロジェクトの大きな特徴がある。

図4はコストや価格の内訳と一般的な計算方法である。この計算式は基本ではあるが、ビジネスの状況によって柔軟に対応するものである。



図4 見積りコストと提案価格の関係

4.5 提案書の作成

プロジェクトによっては提案書を書類で提出するだけのものもあれば、プレゼンテーションの機会が与えられる場合もある。どのような形で提案するかによって提案書の記述方法に違いがあるが、基本的にはどちらも、わかりやすいこと、提案で訴えるポイントが明確であること、提案が顧客にとっても受注側にとっても企業の戦略に合致していることなどに注意しなければならない。

特に重要なこととしては、提案でありビジネスを獲得しようとしているのだから、自社の優れたところがアピールできているか、RFPに完全に合致しているかということである。

提案書の中身はどのように、単に成果物の優劣だけでなく営業的な要素が含まれており、プロジェクトマネージャにもそのような視点が要求される。

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| I. ご提案サマリー | V. ご提案に際しての前提条件 |
| II. ご提案システムの機能 | VI. 本提案の特徴 |
| II - 1. ご提案システム全体像 | VI - 1. 本提案の特徴 |
| II - 2. ご提案システムの機能 | VI - 2. 本提案をお勧めする理由 |
| III. システム構成 | VII. ご提案価格 |
| III - 1. システム構成図(全体) | |
| III - 2. システム構成図 | |
| IV. 開発作業の進め方について | |
| IV - 1. プロジェクトの構築作業工程 | |
| IV - 2. スケジュール | |
| IV - 3. 開発体制図 | |

図5 提案書の記載例

図5は提案書の記載事項の例である。この例にあるように、提案の最初に提案の骨子を1枚にまとめたサマリーを付ける。これはエグゼクティブサマリーとも呼ばれ、忙しい上位マネジメントに短期間で提案内容をアピールするためのものである。提案を審査する担当者にとっても、先に全体像を知ってもらうことは、提案活動において大変有効なことである。

提案の本体は、提案するシステムの概要とプロジェクト活動の進め方が中心になるが、これらがいかに優れており、顧客にとって価値のあるものかを説明することが重要である。提案書の最後の章には、もう一度本提案のポイントをアピールして締めくくることが重要である。

提案内容が素晴らしいものであることを納得させたうえで、最後に提案価格を提示する。通常提案価格は営業的要素が含まれており、営業的戦略にそって決定される。

4.6 提案書の社内承認

提案チームによって提案書が完成したら、企業の立場で内容を確認する必要がある。確認のポイントは、技術面、価格面、ビジネス戦略面などに分けて説明することができる。

まず、技術面はその提案が技術的に優れていること、実行可能であること、体制やスケジュールに問題がないことなどを確認する。このような技術的な視点で提案内容を精査できる専門チームを置く企業もある。プロジェクトマネージャが提案活動にも参加している場合は、基本的にはこの作業はプロジェクトマネージャが担当する。

提案価格については、コストの見積りがすべての基本である。プロジェクトマネージャは、見積りの根拠を確認し他の類似プロジェクトと比較するなど、見積の適正さを確認する。また、コンテンツジェンシー予備費が適切であるか、最終的な提案価格で利益は十分確保できるかなどについて、営業的視点でレビューする。

4.7 顧客への提案プレゼンテーション

提案の顧客プレゼンテーションはそのプロジェクトを実施するプロジェクトマネージャが行うのが良い。単に提案内容の評価だけでなく、プロジェクトマネージャの能力や人間性を示し実行チームとしての信頼を得ることも重要である。プロジェクトマネージャを中心に提案内容を十分に検討し、想定質問に対する回答の確認や、バックアップの資料なども準備しておく。

提案内容の説明時は、提案のアピールポイントの説明と、この提案を受け入れた場合の顧客のメリットを十分に強調する。質疑応答なども、担当者を事前に決めておくなど適切に回答して提案のイメージ向上を目指す。

営業担当者は、プレゼンテーションが終了しても顧客の状況を確認し必要な対応策を考えることが重要である。必要ならばプロジェクトマネージャを筆頭にプロジェクトチームで顧客

に挨拶に伺うというようなことも考える。

5 プロジェクトの立上げ

5.1 提案内容の確認と立ち上げ準備

提案活動が実り、自社の提案が採用されることになったら、RFPや提案内容を再確認して、顧客との間で契約書を取り交わす。

提案通りの内容が採用されて顧客から特に追加要望も変更も無いプロジェクトであれば、提案書をベースに既定の契約書を作成するだけで良いが、プロジェクトによってはいくつかの調整作業が発生することがある。たとえば、提案内容について顧客側から要望が出されたり、SOW (Statement of Work) の作成を依頼されたりする。このような作業は契約を前提とした顧客との交渉活動であり、プロジェクトマネージャが最初に行う責任ある仕事ということになる。

また、契約締結作業に並行して、受注企業側のプロジェクト実施への準備活動も開始しなければならない。

その第一は要員の確保である。提案時点である程度の要員の確保はできているが、契約がとれたということで実際にいつから要員が投入できるか予定要員ごとに確認する。提案時に具体的な名前が確定していない場合は、ここであらためて要員を探すことも必要になる。

社外の要員を調達する場合、提案書作成段階ですで見積りを取っておくべきでありここで調達先を確定する。正式契約は顧客との契約が締結された後になるが、その契約締結と同時に要員が確保できることを確認する。もし、別に新たな調達が必要な場合はその準備にとりかかる。

この他、プロジェクト開始準備としては、社内管理のためのプロジェクトコードや勘定科目コードの登録、さらにプロジェクトチームの活動場所や必要な機器の手配も開始する。

このような契約を締結するための作業は、プロジェクト活動に含めない場合もあるが、実質的にはプロジェクトを実施するプロジェクトマネージャが中心となって行う作業といえる。

5.2 契約書の作成と契約締結

契約書は営業部門で作成するものである。プロジェクトマネージャは関与しないことが基本であるが、どのような内容の契約書が取り交わされたかを知っておくことは必須である。通常、取引の多い顧客との間には「基本計画書」という契約書が存在する。これは両者の基本的な取引に共通の部分について法務部門などの確認も得て作成されている契約書である。原則としてこの契約書は変更することができない。

基本契約書に対して、それぞれのプロジェクト独自の契約内容を記載したものが、個別契約書とか契約書別紙と呼ばれていつものものである。これらはプロジェクトごとに作成する。個別契約書の部分の作成は必要であればプロジェクトマネージャも参加する。

もちろん、基本契約書と個別契約書に分けず、最初から1種類の契約書を作成することもある。

5.3 日本における契約の種類

プロジェクトマネージャは契約のタイプについても十分な理解をしておく必要がある。

契約タイプごとの特徴					
契約タイプ	成果物責任	発注側の指揮命令	派遣法の制約	成果物の帰属	瑕疵担保責任
請負	有り	無し	無し	受注者	有り(1年)
準委任	無し	無し	無し	受注者	無し
派遣	無し	有り	有り	発注者	無し
* 成果物の帰属と瑕疵担保責任期間は契約書の記述が優先される					

図6 契約タイプごとの特徴

図6に示すように日本国内では契約のタイプは大きく3つある。このうち受注プロジェクトとして契約するのは「請負契約」が中心である、このタイプの契約は価格が固定で受注者は成果物に対して責任を持つ。次に、SE支援など、投入される人間の単価で契約する方法を「準委任」という。この方法は、作業期間単位で費用を請求でき、かつ成果物責任が無いというところが特徴である。受注側はプロジェクトが延びても、要員の費用が確保できるので、準委任のほうがリスクは少ないといえる。

請負も準委任も発注者側に指揮命令権が無いというところが大きな特徴である。どちらもプロジェクトマネージャが発注先の要員に対して直接指揮命令することができない。このことが、外部から要員を調達する場合のプロジェクトマネージャの大きな課題となる場合もある。

また、日本独特の契約方式として「派遣」による調達が広く普及している。この場合仕事の分野によっては契約期間が限定されていたり、厳しく二重派遣が禁止されたりしている。これは派遣社員を守るための法律「労働者派遣事業の適正な運営の確保及び派遣労働者の就業条件の整備等に関する法律=労働者派遣法」の規定であり、プロジェクトマネージャはこの法律について十分理解しておかなければならない。

受注プロジェクトとして顧客から請負契約でプロジェクトを請負っている場合、プロジェクトマネージャは自社メンバーに対しては指揮命令権を持ち、顧客からのメンバーに対する指揮命令権は無いということになる。したがって、顧客の指示は要望としてプロジェクトマネージャに相談されることになり、ネゴシエーション力が必要になる。

5.4 プロジェクト憲章の発行

受注プロジェクトは契約が確定したこの段階でプロジェクト憲章を作成することになる。プロジェクト憲章とは、プロジェクトを開始してよいという正式なプロジェクト認可証書のことである。この書類によってプロジェクトが正式に認められることになる。本来プロジェクト憲章はプロジェクトのオーナーが発

行するものであるが、実際はプロジェクトマネージャが作成してオーナーの承認を得ることが多い。

発注側にすでにプロジェクト憲章が存在する場合は、新しく作る必要は無く、発注側の憲章のもとでプロジェクトを進めればよい。しかし、受注プロジェクトが独立したプロジェクトとして実行される場合、ここでプロジェクト憲章を準備することになる。プロジェクトによっては正式なプロジェクト憲章は作成せず、承認された顧客との契約書や提案書をもってプロジェクト憲章に替えることもある。

プロジェクト憲章に記述する内容は、プロジェクトタイトル、プロジェクトの目的・目標、主要なプロジェクトの成果物、ハイレベルなマイルストーン、ハイレベルなコスト見積り、ステークホルダーの特定、基本的なプロジェクト実行手順、問題や課題、ハイレベルな前提条件・制約条件、ハイレベルなリスク、プロジェクトマネージャ・その権限、プロジェクトの承認者・承認サインなどである。

これらの内容は、すでに提案書、契約書、社内稟議書、プロジェクト企画書などに記述されている項目が多い。また、この後プロジェクトが開始されて、詳細を作成する項目も含まれる。ただ項目名は同じようなものであっても、プロジェクト憲章の記述は「ハイレベルな」あるいは「概要の」と呼ばれるように、大きな視点でまとめたものである。プロジェクトマネージャの名前とその権限、プロジェクトオーナーの承認のところがもっとも重要といえる。

このように受注プロジェクトの場合のプロジェクト憲章は、顧客側で作成されている場合、契約締結後作成する場合、作成しない場合など様々である。

6 プロジェクト計画書の作成

発注者と受注者の間で契約が締結され、プロジェクトが正式に立ち上がったら、まずプロジェクトの計画を確定させなければならない。プロジェクトの提案活動では契約を得るという目的のために顧客の期待を膨らます活動をしてきているが、プロジェクトが正式に開始されたら、プロジェクトマネージャの役割は、顧客の期待をより現実的なものにしていくことである。

プロジェクト計画を作成するにあたり、これまでの提案活動や受注活動ですでにかなり具体的な計画が作成されていることもある。しかし、プロジェクトによっては、提案時の内容を見直したり、詳細の計画を作成しなおしたりする場合もある。提案書内に記述されたプロジェクト計画を見直し、より実現可能なプロジェクト計画書を作成することが重要である。

6.1 実行に絡むステークホルダーの確認

提案段階ではプロジェクトを獲得するために、提案に関連するステークホルダーを分析し対応計画を考えた。計画作成段階では、プロジェクト実行に関連するステークホルダーに

焦点を移し、ステークホルダーの特定、分析、対応計画を考える。提案時とは別のステークホルダーが現れたり、同じステークホルダーが違った考えで参画したりする可能性もある。ステークホルダーとはプロジェクトに関係するすべての人と言うが、狭義の意味で顧客マネジメントや顧客のユーザーを指す場合もあります。図7は受注プロジェクトに関係するステークホルダーのイメージである。顧客側のステークホルダーについて特に注意が必要になる。

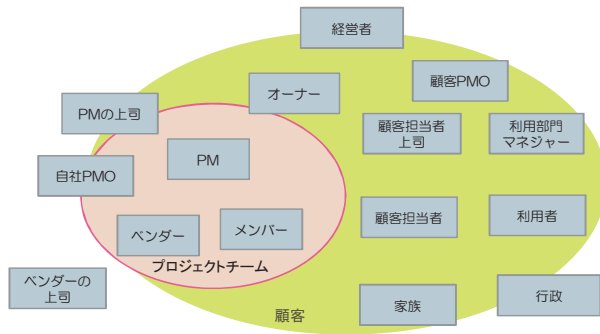


図7 受注プロジェクトに関係するステークホルダー

ステークホルダー対応のミスが、プロジェクトの失敗原因の大部分を占めるとも言われているので、十分注意してステークホルダー分析をする必要がある。

ステークホルダーの分析は、それぞれのステークホルダーがプロジェクト推進の賛成者なのか、反対者、あるいは中立的立場なのかを見極めるところから始める。また、プロジェクトに対する影響力がどれだけ強いということも重要である。プロジェクトに対してネガティブで強い影響力を持つステークホルダーには十分なケアが必要である。また、中立的なステークホルダーにはできるだけ賛同者に回ってもらえるようにその対応に注意する。

6.2 顧客要求の確認

プロジェクトの計画作成においては顧客の企業戦略やプロジェクト開始の背景などを確認し、プロジェクトの目的や目標が狂わないようにしなければならない。顧客側には、契約締結前には開示できなかったが、プロジェクトの実行に重要な制約事項などがあるかもしれない。プロジェクトマネージャは顧客のキーとなる人物を見定めプロジェクトの背景や目的を引き出しに行く必要がある。

顧客側の発注責任者でもあるプロジェクトオーナーにインタビューすることはもちろん、顧客側のさまざまな立場のマネジメント層に時間を取ってもらい、その方針や考え方を確認することが大切である。

注意すべきことは、この段階はユーザー要件の収集ではなく、あくまでもプロジェクトの方針を確定させるためマネジメントの考え方を理解するためのインタビューであることである。マネジメントがシステムに対する詳細な要求を伝えたと考えられないような対応方法が必要である。

顧客の中で、すでに構想立案フェーズなどが進められており、システムの構想がある程度できている場合などは、その構想立案の関係者に対するインタビューも行う。

6.3 プロジェクト計画書作成

すでに顧客からのRFPがあり、それに対する提案書もできている。しかし契約にあたっては最終的にプロジェクトの内容を調整していることもある。これらの情報を基にプロジェクト計画を作成するときは、自社企業内でゼロから計画を作成するときとはすこし考え方を変える必要もある。

たとえば、スケジュールやコストはすでに契約で確定している。また品質標準などの企業標準は発注者側のものと受注者側のものと存在することがある。リスクについては顧客側と受注者側のリスクが相反するものがある。このような受注側のプロジェクトマネージャの作業にも注力が必要である。

受注側のプロジェクトマネージャの管理項目としての大きな特徴は、プロジェクトの利益(あるいは収入)に対しても気を使わなければならないところである。PMBOK[®]ガイドやP2Mのような世界的な標準は社内のプロジェクトを想定している。このようなプロジェクトがもたらす利益は成果物が稼働を始めて、ある程度時間がたってからわかるものである。したがって、通常プロジェクトの成果物がもたらす利益は、プログラムマネージャの管理項目とされている。これに対して受注プロジェクトは、プロジェクトの終了と同時に収入が入り、プロジェクトの採算が評価できる。このため、プロジェクトの収益もプロジェクトマネージャの管理項目となるのである。

この後 6.4 節以下で、プロジェクト計画書の内容について順次説明する。

6.4 プロジェクト管理標準の決定

最初にどのような開発技術、開発手順を採用するかを決定する。通常は受注側が提案書の中で開発手法として開発手順を提案しているので、顧客とその方法で進めることを確認する。場合によっては顧客側で標準としている開発手法を使うこともある。また提案とは違う進め方を顧客から要求されていることもある。

そのほか、プロジェクト管理標準や、ドキュメント標準などを顧客側の標準に従うか、受注側の標準を使用するか確認し、プロジェクトの標準とする。プロジェクトマネージャは顧客の要望などを理解しながら、最適なプロジェクト管理基準を作成しなければならない。

たとえば管理標準の中で、変更管理手順は、顧客と受注側の契約を含めたプロセスが絡むので、どのような手順で行うかを事前に十分確認しておく必要がある。

変更管理の対象は、プロジェクト内のすべての構成要素である。スケジュールもコストも品質基準も、そのほかいろいろなものに対して、最初に決めたことを変更する場合どのよう

な手順を踏むか決めておくことが必要である。

変更管理の基本は、プロジェクトのステークホルダーが要求するベースラインの変更である。この中には当初のベースラインを変更する変更要求だけでなく、すぐに対応すべきは正や予防処置も含まれている。変更要求のほうは、変更管理委員会 (CCB) において、変更要求を承認して実施するという手順を決めておき、それにしたがって対応する。

難しいのは、顧客が出してくる変更要求である。この変更はスコープの変更、特に成果物スコープの変更要求が主体になるが、顧客との契約に関係する。このような顧客からの変更要求についても、その開始時期や運用方法など、営業を交えて合意しておくことが重要である。

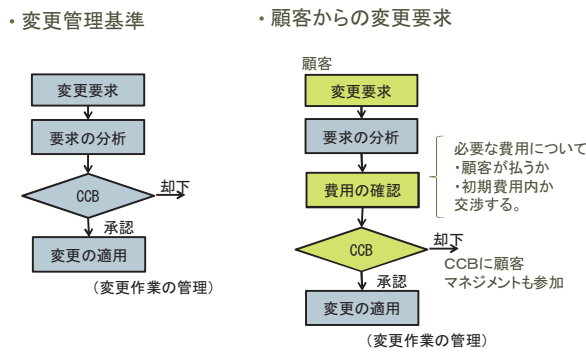


図8 変更管理の手順

6.5 スケジュールの作成と調整

プロジェクトの計画は、まずプロジェクトスコープを明確にするところから始まる。この段階はプロジェクト計画を作成するところなので、ユーザ要件を聞いて分析するというのではなく、このプロジェクトで実施する作業を決め、概要の WBS を作成する段階である。

概要の WBS から、作業をブレイクダウンして、ワークパッケージに落していく。すべてのワークパッケージは要素成果物あるいは完了基準が定義されていなければならない。また、ワークパッケージはアクティビティに分解される。アクティビティになると、他のアクティビティとの順序関係を付けて、プロジェクトネットワークが作成される。このネットワーク図をガントチャートで作成すると、工数の負荷などの管理が容易になる。

	4月			5月				6月				7月				8月				9月				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
計画作成																								
要件定義																								
外販設計																								
内販設計																								
開発																								
統合テスト																								
システムテスト																								
移行																								
PM(40万/週)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
AN(30万/週)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
SE1(20万/週)		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
SE2(15万/週)			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
プログラマ(10万/週)					5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
運用工数(人週)	3	3	6	6	10	10	10	10	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	15	15	15	
運用コスト(万円)	100	100	160	160	160	220	220	220	270	270	270	320	320	320	320	320	320	320	320	320	270	270	270	
運用コスト累計	100	200	360	520	680	900	1120	1340	1610	1880	2150	2420	2690	2960	3230	3500	3770	4040	4310	4580	4850	5120	5390	

図9 要員の計画

ガントチャートは発注企業のプロジェクトでも、受注プロジェクトでも同じような方法で作成することができる。たとえば、

各月や週別の投入工数やコストが計算、ガントチャートの個々のタスクに必要な工数を要員の単価や能力別に週単位で集計する。プロジェクトに必要なコストの大部分が人件費なので、要員コストの集計結果はそのままプロジェクトコストになる。もちろん、このほかに外部委託費や長距離交通費、コンピュータ購入費、コンテンツエンジン予備費なども考慮して最終コストを算出する。

このような時間軸を持つスケジュール表でアクティビティを管理することで、スケジュールの変更が要員投入にどのように影響するか、あるいは要員の過不足でスケジュールにどのような影響がでるか、一目で理解可能である。

請負型のプロジェクトでは、契約段階でスケジュールやコストが決まってしまうことが多い。その後、詳細の計画の見直しの中でスケジュールを調整したり、コストがオーバーしてしまったりすることがわかることがある。このような場合は、ネゴシエーションや調整作業が必要になる。

スケジュールの調整には、一般に「クラッシング」や「ファストトラック」が使用される。クラッシングはクリティカルパスに要員を投入し期間を短くすること。ファストトラックは、作業の順序関係を外せるような工夫をして期間を短縮する方法である。

コストを下げるには、スコープを削ることが最も簡単な方法であるが、要員を安いコストの外部調達に変えたり、外部調達時にオフショアを利用したりすることが行われている。受注企業の利益に余裕がある場合は、顧客との契約価格を変えずに受注企業の利益を少なくして、コストを増やすことも可能である。さらにプロジェクトマネージャが顧客側と折衝して予算を準備してもらうこともある。

スコープについては、概要は決まっているが、詳細についてはこのあとプロジェクトが開始されて要件定義において決めるため、この段階では明確な調整は不要である。しかし、スケジュールやコストを調整するために、スコープの見直しをすることは頻繁に行われている。

6.6 要員計画と体制図作成

WBSやプロジェクトスケジュールと整合性をもって要員の投入計画ができれば、プロジェクト体制図を作成しそれぞれの役割を明確にする。受注プロジェクトの体制図は、自社内チームの体制と、顧客側チームの体制に分けて考える必要がある。ステークホルダー分析結果も加味して、顧客側のステークホルダーに対して対応する責任担当者を決めておくことも重要である。

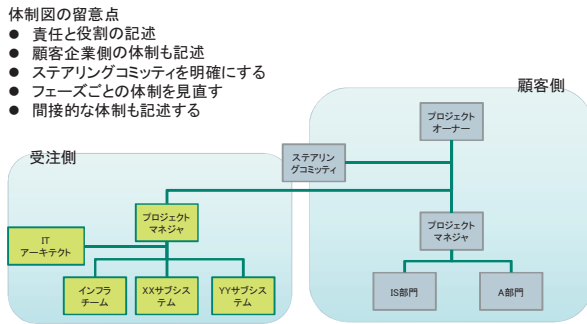


図10 受注プロジェクトの体制図

さらに、顧客側と受注側の間にも両者のマネジメントからなる「ステアリングコミティ」を設置するのも、プロジェクトを円滑に進める秘訣である。ステアリングコミティはプロジェクトの外の組織であるが、プロジェクトマネージャは連絡を密にして、何かあったときはプロジェクトに対する支援を依頼できる体制を作ることが重要である。図 10 に一般的な受注プロジェクトの体制図の例を示す。

6.7 プロジェクトの公式レビュー計画

プロジェクト活動においては、進捗レビュー、品質レビューといった、フェーズレビューといったプロジェクト外部のマネジメントレビューがある。さらに、受注プロジェクトは、自社内のマネジメントプロセスにもとづくレビューと、顧客側のマネジメントプロセスにもとづくレビューの両方が存在する。同じような時期に行われるレビューであっても、レビューの目的が異なると両方の要請に答えなければならない。

プロジェクト計画時に、自社の標準プロセスを確認するとともに、顧客企業のプロセスについても理解し合意しておく必要がある。そして、このプロジェクトにおいてはどのようなレビューをおこなうかを、計画段階できちんと決めておくことが重要である。

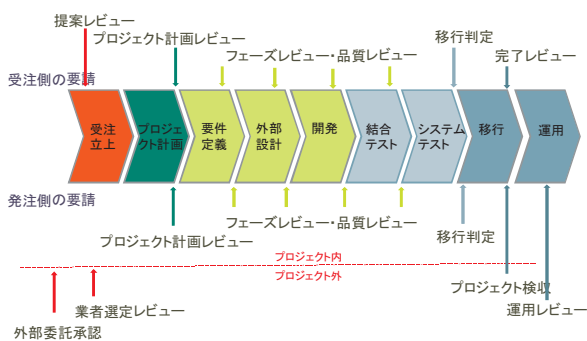


図11 プロジェクト実行中の各種レビュー

図 11 はプロジェクト実行中の様々なレビューである。受注側のレビューと、顧客側のレビューが混在している。

レビューには、このようなマネジメントによる正式レビュー以外にも、プロジェクト進捗管理のためにプロジェクトチームの中で独自に行うものもある。大きなプロジェクトでは、このよ

うな進捗レビューを階層的にうまく分割することが、効率的なプロジェクト運用につながる。

また、各担当者が個別に開催するウォークスルーや、ユーザと仕様を確認する会議なども一種のレビューであり、プロジェクト計画に含めておくことが重要である。

6.8 品質マネジメント

品質管理計画を作成するにあたって、受注側の基準で実施するのか、顧客側の基準を使用するのか明確にする必要がある。提案書などで、受注側で持っている品質管理手順に従うことを伝えている場合は、自社の基準を使いやすくなるが、顧客側からRFPやその後の要請などで顧客側の品質管理基準に従うことを指示されている場合は、早急にその内容を精査し、プロジェクト計画の中に反映しておくことが重要である。

また、このような品質管理基準について、特に取り決めなどが無い場合はプロジェクトマネージャがそのプロジェクトに適した品質尺度を選定し基準値を決定する。

6.9 調達マネジメント計画書

受注プロジェクトにおいて、さらに別の協力会社から要員を調達する必要がある場合、その調達がプロジェクトの成功に欠かせない場合とそうでない場合は調達プロセスのタイミングなどが異なってくる。

自社の要員が不足したり、技術レベルが低くなったりするようなプロジェクトを受注する場合、協力会社の要員や技術を前提として提案をすることがある。このような場合は、提案を作成する中で、協力会社にRFPを出して、実現可能性や協力会社のコストなどを確認する。協力会社のバックアップを確認して顧客に提案ができるのである。この場合でも協力会社への発注は、顧客と契約が締結された後になることに注意しなければならない。顧客との価格折衝などが長引く場合は協力会社との契約も検討しなおす必要がある場合もある。

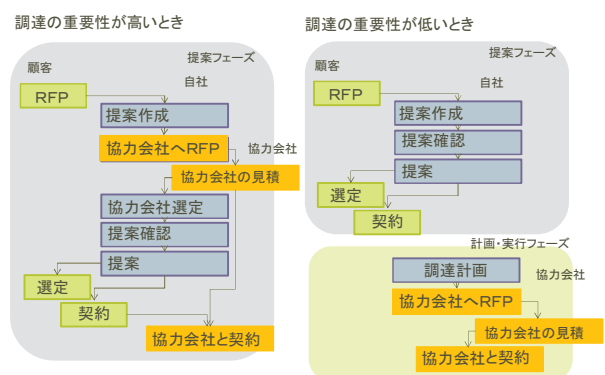


図12 調達プロセスのタイミング

調達、自社の要員の代替になるもので、特にコストや技術的な制約など無い場合は、自社要員で対応すると仮定して顧客に対して提案する。この場合は、契約後、自社でリスクをとって協力会社への発注を検討する。

6.10 キックオフミーティング

プロジェクト計画書が完成した時点で、ステークホルダーを集めてプロジェクトキックオフミーティングを行う。このミーティングはこの後プロジェクトを円滑に進めるにあたって非常に重要なものである。プロジェクトのメンバーだけでなく、関係するステークホルダーを集め、プロジェクトの理解してもらい、将来にわたって支援を得ることが最大の目的である。そのためにも、できるだけ上位のマネジメントを招待し、プロジェクトに対する思いを語ってもらう。この会議で参加者の紹介をおこない、今後のコミュニケーションを円滑に行えるようにする。

このキックオフでは、具体的なプロジェクトの進め方や、関係者をお願いすることなどもできるだけ詳しく説明すべきである。すべてのプロジェクト計画ができていない場合でも、最低限関係者に伝えておかなければならないことをまとめておき、報告する。

7 プロジェクトの実行

プロジェクト計画にしたがってプロジェクトが開始される。受注プロジェクトにおいては、プロジェクトの実行中も顧客対応という視点で社内プロジェクトとは違った特有の業務が存在する。

たとえば、プロジェクトの報告の仕組みや管理が、顧客報告用と自社報告用の2とおりあること、課題やリスクについても顧客を含め共有すべき課題と自社内の限るものに分けて管理しなければならないことなどである。受注企業内だけの管理項目としてコストマネジメント、プロフィットマネジメント、工事進行基準対応なども存在する。

さらに要員管理においても顧客とのリレーションなど、社内プロジェクトよりも考慮しなければならないことが数多く存在する。

以下、7.1 節より順にプロジェクト実行中の管理項目について説明する。

7.1 プロジェクト進捗管理

プロジェクトの進捗管理は、実績値の収集から始まる。計画値(ベースライン)と実績値を比べ、両者のかい離を検知したら直ちに是正作業をおこなう。是正が難しくベースラインを変えざるを得ない場合は、変更管理の仕組みを通じてベースラインそのものを変えることもある。

プロジェクトの実績値のうち、受注プロジェクト特有の問題はコスト管理である。請負契約では受注側の内部情報は発注側に開示する必要は無いものも多い。受注側のコストや利

益についてはビジネス上開示するものではない。

プロジェクトの進捗管理の中で、このように顧客側と受注者側の立場に注意してデータの共有を図り、プロジェクトを進めていく必要がある。

プロジェクトの実績値の収集は、プロジェクトの基本要素である「スコープ」「スケジュール」「コスト」の観点からまとめられる。

「スコープ」には成果物スコープとプロジェクトスコープがあるが、前者はプロジェクトの最終成果物の完成度を示す指標を収集する。後者は各作業の完成の把握を示す指標が必要でありWBSを使用して管理する。

「スケジュール」の実績は、各アクティビティの終了あるいはマイルストーンの終了で把握する。通常WBSとアクティビティリストは同じものとして管理され、スケジュールの進捗はスコープの完成や終了で管理されることもある。スケジュールの進捗管理で注意すべきことは、クリティカルパスのアクティビティについて注力が必要ということである。

「コスト」の実績収集には方法が大きく2つある。ひとつはプロジェクト全体で資源の投入数を管理するもので、もう一つはタスクごとに使用したコストを集計していくものである。前者のほうが正確なコストが収集できるが、作業の進捗とコストの計上が独立しているため、作業別のコスト効率などの指標はとることができない。

7.2 受注プロジェクトのコスト管理

顧客側のプロジェクトマネージャの視点でコスト管理を考えると、請負契約で発注した場合、発注額すなわちコストは一定なので、もしすべての作業が請負であれば、コスト管理は不要ということになる。スコープの変更などが発生し、バンダーに費用を払って追加発注する場合は、コストが増加しコスト管理が必要になる。

一方受注側のプロジェクトマネージャとしては、顧客の視点と受注者の視点の両面での管理が必要になる。顧客からの発注が完全に丸投げの場合、顧客側の予算と受注者側の予算(売上)が重なり、プロジェクトマネージャとしては両方の視点での管理しなければならない。

一方、受注企業のプロジェクトとして計画したコストに対して実績を把握し管理する。この場合、単にコストだけを見るのではなく、顧客の発注額と実績の差分(利益)を最大にするよう心がけることになる。

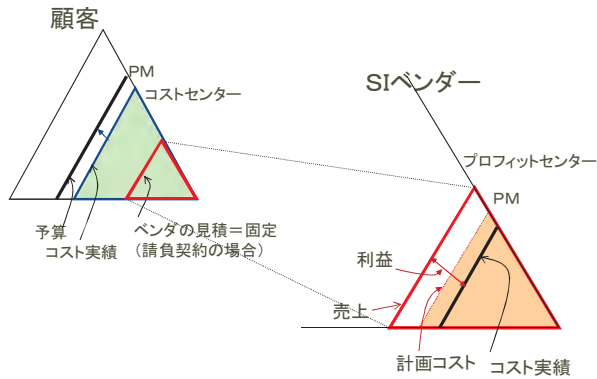


図13 顧客の視点と受注者の視点のコスト管理

7.3 アンドバリュー・マネジメント

アンドバリュー・マネジメントは、プロジェクトの範囲、スケジュール、コストパフォーマンスを同時に管理するための手法である。タスクの終了度合をそのタスクに予定していたコストで表すことがポイントで、これをアンドバリュー(EV)という。EVが全タスクの予定コストの合計(完成時総予算:BAC)に達したらプロジェクトが完了したことを示している。このほかに、タスクのコスト計画の累計値をブランドバリュー(PV)といい、これは、タスクの完了の計画値ということになる。このようにスケジュールとコストの計画値を同じ指標 PV で表しているのが EVM の特徴である。3つめ指標は実績コスト(AC)で、これはそれまでに使用したコストの累計値である。

アンドバリューは、PV,AC,EV の3つの指標を管理するものであるが、これらの指標はグラフにすると図14のようになる。PV はプロジェクトを計画した時点で全タスクの予定コストを単位時間で累計していくことで求められる。これはコスト使用計画でもあり、プロジェクトの開始時点で EVM の管理基準線として作成できる。

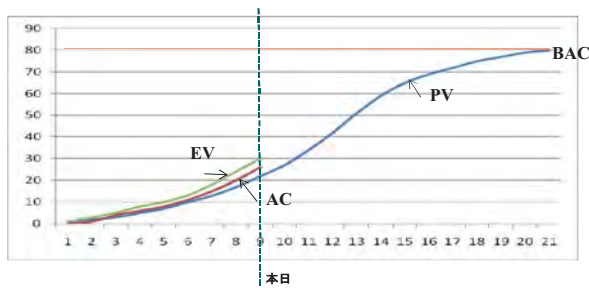


図14 アンドバリュー管理指標

7.4 受注プロジェクトのEVM

受注プロジェクトでアンドバリュー・マネジメントを使う場合、うまく使いこなすためにはいくつか工夫が必要である。

社内プロジェクト(発注側でプロジェクト管理)においては、コストの形状やタスクの終了について考慮していればEVMは非常に効果的な手法である。しかし、受注企業がEVMを使用するとき、プロジェクトマネージャとしてコストを正確に管理

しようとする、請負契約にもかかわらず受注企業のコストを顧客に開示してしまうことになりかねない。アンドバリュー・マネジメントは受注企業内の管理に利用し、顧客には共通に管理する必要のある指標を提示しプロジェクト運営することがアンドバリューをうまく活用する工夫である。

7.5 進捗管理会議

プロジェクトの進捗会議を定例(週次、状況によっては月次、日次も考える)で開き、スコープ、スケジュール、コストベースラインを基準に進捗共有をおこなう。会議が冗長にならないよう、報告書を事前に提出し、問題の部分のみ共有するなどの工夫も必要である。実績とベースラインとのかい離が発見できたときは、ただちに是正措置をとる。是正できそうもない場合は、ベースラインそのものを変えるために「変更要求」を起票し、変更管理委員会で認めた変更を実施する。(簡易なものはプロジェクトマネージャが判断)

実績状況について、プロジェクトチーム外のステークホルダーにも定期的、あるいは緊急に報告する必要がある。これらの報告については、プロジェクト計画段階で、コミュニケーションマネジメント計画として、だれにどのような報告を行うか定義しておく必要がある。

目的	頻度	参加メンバー	
ステアリングコミティ	プロジェクト重要事項の決定・承認(コスト、スケジュール、スコープなどに影響を与えるもの)	ステージ完了時 緊急時	プロジェクトオーナー プロジェクトマネジメント 検討事項の担当者
顧客報告会	プロジェクト進捗を顧客へ報告する	週1回火曜日 13:00-15:00	PM チームリーダー
プロジェクトリーダー会議(PL)	プロジェクト進捗管理、情報共有、その他各チームからの要請に応じて	週1回金曜日 13:00-15:00	PM、事務局 チームリーダー
チーム会議(T1~T3)	各チームの進捗管理、課題管理、情報共有	週1回 チーム毎	チームリーダー チームメンバー
社内PMOレビュー	受注企業としてプロジェクトの進捗状況の把握	フェーズ終了時	PM、事務局 チームリーダー
事務局会議(ST)	予算、スケジュール確認、イベント管理、庶務管理 その他連絡事項	週1回金曜日 10:00-12:00	事務局

図15 プロジェクト管理会議の種類(例)

7.6 問題管理、課題管理、リスク管理

プロジェクト実行中の三大管理として、課題管理、問題管理、リスク管理がある。

課題管理は、プロジェクト実行中に重点的に進捗を管理すべき事項を挙げたものである。問題管理と同じ扱いで使用しているところもあるが、厳密には「問題」ではないものも含まれる。問題管理はその名の通り、プロジェクトで発生した問題(プロジェクトに不都合を及ぼす事象)を管理するものである。問題管理には、プロジェクト実行中に気が付いた問題を管理するものやシステムテスト工程で発見した障害を管理する障害管理的なものもある。前者は課題管理と同じように扱われ、後者は品質管理の手法として実行されることもある。

リスク管理は、まだ問題とはなっていないが将来問題になる(悪い影響を与える)可能性のある事象について管理するものである。現在まだ起きていないということがポイントで、そ

れ以外の管理要素は課題管理や問題管理と同じものである。

リスク管理は、プロジェクトの提案時、計画作成時、そして今回のプロジェクト実行時というようにプロジェクトライフサイクル全体を通じて必要なものである。それぞれの時期で目的や進め方には少し違いがあるが、基本は「リスクの識別」→「リスク分析」→「リスク対応計画」のステップで行う。そして実行時のリスクマネジメントの特徴は、このサイクルを継続的に繰り返すこと、および対応策を実行するためのコストはコンテンツエンジニアリング予備費から使うことである。

昨今、問題が起きてから対応するのではなく、事前に対応するという「プロアクティブ」な活動が重要視されており、リスク管理の重要性が話題となっている。できるだけ作業負荷は減らしながら、重要なリスクについて重点的に対応できるように工夫していく必要がある。

プロジェクトによってはこれらの3つ(問題管理、課題管理、リスク管理)を分けずに一覧表で管理する方法もとられている。

7.7 受注プロジェクトの変更管理

変更管理の仕組みについては6.4節「プロジェクト管理標準の決定」の中で概要を述べたが、ここではプロジェクト実行時の手続きや、特に受注プロジェクトのコスト変更について考慮点を述べる。

プロジェクトにおける変更の対象は、スコープ、コスト、スケジュールに分類される。それぞれプロジェクト開始時にベースラインを決定しているが、このベースラインを変更しなければならないとき、変更管理プロセスに則って行うことが重要である。

通常ほとんどの変更管理の対象は、仕様変更など成果物スコープの変更要求から発生することが多い。しかし、成果物スコープの変更要求はWBSの変更、コストの変更、さらにスケジュールの変更にも影響する。どこかの要素だけの変更ではなく、それぞれの要素がお互いに影響しているのである。したがって、総合的な視点で変更の可能性を判断しなければならないことが多い。

このようなプロジェクト全体に影響のある大きな変更を安易に行わないように、変更管理委員会(CCB)で判断し承認されたものが実行されるという仕組みが重要である。一方、プロジェクト全体に影響することは無いが、予定したことが違っていたり、突発的なことで作業が遅れたりした場合は、プロジェクトマネージャの判断で行う変更や是正処置、予防処置なども存在する。これらの変更は迅速に行うということも重要である。また、受注プロジェクトにおいては、変更の種類には顧客からむものと受注企業内で対応するものがある。特に受注企業が請負でおこなうプロジェクトの場合、顧客からの仕様変更の扱いが重要になる。

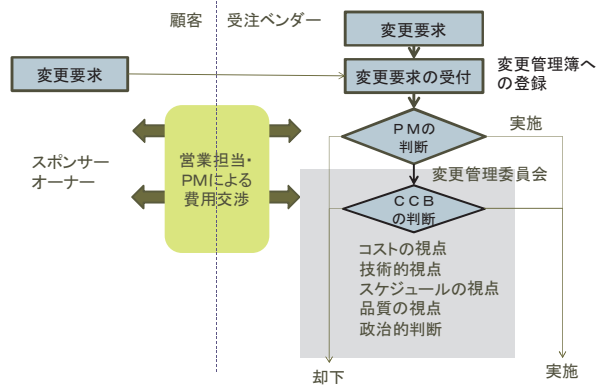


図16 受注プロジェクトの変更管理の仕組み

変更要求は顧客からもプロジェクトチーム内からも起票される可能性がある。起票された変更要求が変更の候補として管理される。変更要求の中には、予防処置や是正処置として直ちに実施すべきもの、変更ではあるがプロジェクトマネージャの裁量内で判断できるものもある。変更の影響が大きいものについては、変更管理委員会に判断する。

変更管理委員会は、変更の内容を調査して、コスト、スケジュール、品質など様々な視点で、変更の実施を判断する。この時、コストやスケジュールの変更について、顧客側の確認を取る必要がある。コストについては顧客から新たな費用が出るのか、あるいは受注企業内でコスト増を認めるのかなどの判断も必要になる。変更管理委員会を顧客側と合同で設置している場合は、委員会の中でコストなどについて判断できることもある。図16に受注プロジェクトの変更管理の仕組みを示す。

7.8 受注プロジェクトのコスト管理

プロジェクトを請負契約方式で受注したプロジェクトのコスト管理は非常に複雑である。

発注者側は、請負契約額が「コスト」になり、このコストに対して発注側のオーナーはマネジメント予備費を持っている。当初契約以外の追加発注をせざるを得なくなった場合は、この予備費を使うこともある。

一方受注側は、契約で決めた価格は収入金となり、その中から利益を引いた額がプロジェクトコストになる。プロジェクトコストは、プロジェクトの各タスクの実施に必要なコストと、プロジェクトマネージャが必要に応じて使う「コンテンツエンジニアリング予備費」から構成される。プロジェクトコストを追加せざるを得なくなったとき、変更は「変更管理委員会」で承認されるが、その予算は、まず受注者側として利益を確保した状態で、受注企業のマネジメント予備費を利用する方法がある。この時、プロジェクトの総コストが、顧客から得る収入金額を超えたとき、受注者側としては赤字プロジェクトになる。発注者側はコストオーバーしていないということがポイントである。

変更管理の結果、変更が当初計画になく顧客からの追加

発注額が必要と判断された場合、コストの増額を顧客に要求することになる。顧客内で議論され顧客側のマネジメント予備費から追加発注がなされる場合、受注者側のコスト変更が容易になるのである。

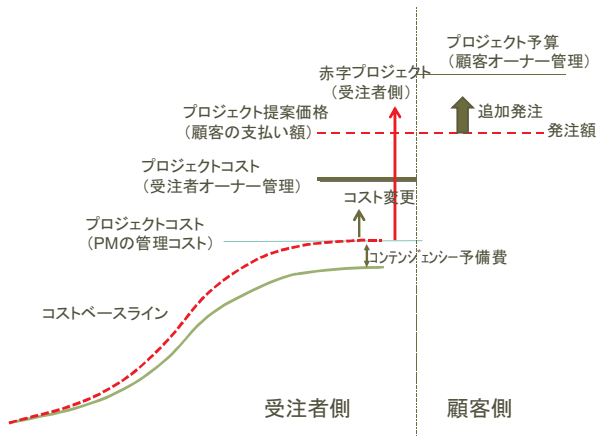


図17 受注プロジェクトのコスト

7.9 受注プロジェクトのプロフィット管理

プロジェクトの管理項目には、一般にスコープ、コスト、スケジュール、さらに付加的な項目として品質、コスト、要員、調達などがある。しかし、受注プロジェクトのプロジェクトマネージャは、さらにプロジェクトの収入や利益を管理しなければならない。

発注者側のプロジェクトの収益は成果物がもたらすものであるが、通常それはプロジェクトが終了して時間がたってから得られるものである。しかし、プロジェクトチームはプロジェクト終了と同時に解散してしまう。したがって、長期にわたってプロジェクトに掛けたコストと、その成果物(プロダクト)から得られる収入を比較し評価するのは、プログラムマネージャの仕事とされている。

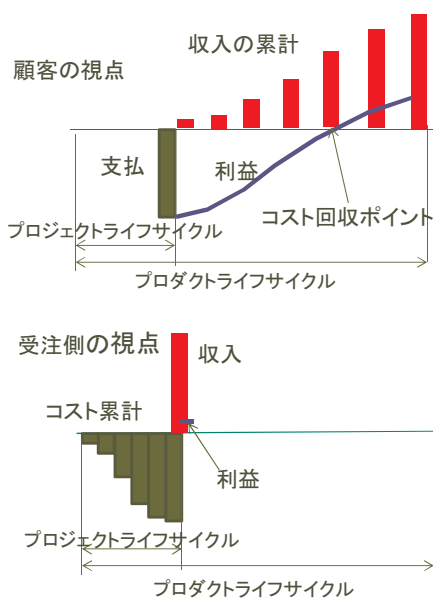


図18 プロジェクトのプロフィット管理のイメージ

しかし、受注プロジェクトにおいて受注側はプロジェクトの終了(成果物の完成)をもってそのプロジェクトの対価が得られる。したがってプロジェクトチームの存在期間中に、受注プロジェクトから見たそのプロジェクトの収入とコストの比較が可能なのである。そこで、プロジェクトマネージャの業務としてプロフィットマネジメントが必要になる。プロフィットマネジメントのポイントは、使用するコストの管理以外に、そのプロジェクトの収入の管理をおこなうところにある。

7.10 顧客との良好な関係の維持

受注プロジェクトのプロジェクトマネージャの役割の中でもっとも重要なことは顧客との良好な関係を維持することである。もちろん、プロジェクトがうまく進めば顧客との関係もうまく進むものであるが、プロジェクトにはさまざまな問題が発生し、顧客との関係に影響が及ぶことがある。

逆に、プロジェクトに問題が起きて、顧客との関係をうまく作っておくことで、協力しながら問題を解決していくことができるのである。プロジェクトマネージャは常日頃から、顧客とコミュニケーションを密にする、チーム意識を築く、正しい事実に基づいて議論することなどに心がけておくことが重要である。

受注企業によっては、顧客との関係を築くためにその顧客と継続して関係を築き上げる顧客対応専任者(エンゲージメントマネージャー)を配置しておくこともある。また、営業担当がこの役を担うこともあるが、プロジェクトマネージャも第一線で顧客対応をする重要な役目を持っている。

近年、二者間の対立の解決、すなわちコンフリクトマネジメントの重要性が広まっている。特に顧客と受注プロジェクトメンバーの間にコンフリクトが発生した場合、その解決には配慮が必要になる。通常は顧客のほうが優位に立ち、強制的な解決が行われることが多いので、受注プロジェクトメンバーのモチベーションの維持に気を付ける必要がある。できれば顧客との関係をうまく保ち、コンフリクトが起きた場合、正面から話し合う「対峙」や「問題解決」という解決方法がとれることが望ましい。

プロジェクトメンバーに対して、日ごろからこのような視点での解決ができるように指導や教育をすることも重要である。

顧客とのリレーションの最悪シナリオは、顧客からのクレームが多発し顧客の信頼を失うことである。クレームになる前に対応することが重要なことであるが、もし、クレームが発生してしまったら、内容を真摯に受け止めること、正しく内容を把握すること、迅速に行動することなどが重要なことである。

もし顧客が間違っていると考えても、すぐに自分たちの正当性を主張するのではなく、相手が冷静になってから客観的な説明をすることで問題の解決の糸口が見えてくる。冷静さを失った議論では解決は生れない。

コンフリクトの状況がこじれてしまったら、エスカレーション

という手段も解決法方法の一つである。顧客の上司あるいは自社の上司に状況を正しく説明し問題解決を仰ぐ。互いに上司に告げ口をするという対応ではなく、より広い視野をもった企業間の問題解決にゆだねるという考え方が重要である。

8 プロジェクトの終結

社内プロジェクトに比較して、受注プロジェクトは終結のための作業が多い。企業間の契約を完了させるための作業が必要になるからである。その中で特に重要なことは、プロジェクトの完了基準を顧客と合意し、その基準の達成を確認することである。

また、受注企業としての契約の終了処理も重要である。プロジェクトの収支決算も把握できるので、場合によってはプロジェクトマネージャがその原因分析や釈明作業をおこなうこともある。プロジェクトが完全に終了したのち、顧客満足度調査を行いプロジェクトの評価指標を整理することもある。

さらに、本来はプロジェクトチームの役割ではないが、成果物に対する瑕疵責任がある。プロジェクトチームがいなくなっても障害対応などができるように、資料や成果物を整理しておくことはプロジェクトマネージャの責任範囲である。

8.1 プロジェクト終了時の顧客との役割分担

SIプロジェクトでは、完成品を本稼働に移してプロジェクトが完了するものがほとんどである。このように成果物の本番移行とプロジェクトの終了の関連について提案時やプロジェクト計画作成時に明確にしておくことが重要である。たとえば、その成果物の受入れテストから本番移行まですべてを含めて請負契約で契約することがある。しかし、この方法はリスクが高いので、統合テストまでの成果物作成完了までを請負契約とし、あとは顧客側の移行作業を工数支援契約するという方法がとられることも多い。

受注プロジェクトのプロジェクトマネージャは、このようなプロジェクトの終了時の作業の定義について、顧客としっかり合意しておくことが大切である。また、システムの完了基準、本番移行手順、移行支援や本番支援の契約方式などについても明確にしておく必要がある。

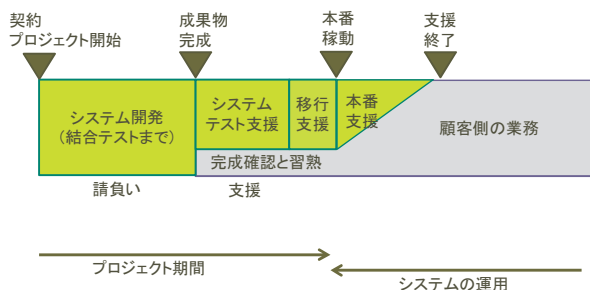


図19 プロジェクト終了時の顧客との役割分担

8.2 プロジェクト完了基準の作成と完了確認会議

プロジェクト完了の形はプロジェクトによってさまざまなので、顧客とプロジェクトの完了基準に合意しておくことはプロジェクトマネージャの必須項目といえる。

完了基準は、結合テストまでに終わるべきもの、システムテストで終了を確認できるもの、移行作業が滞りなく終了して確認できるものなど完了のタイミングが一定ではない。そこで、結合テストの段階から、顧客に引き渡すまで期間に、完了条件を達成したものからチェックして行く方法が実質的である。

プロジェクトの完了は、顧客と合意した完了基準がすべて満たされたとき宣言できる。しかし実際の現場は、プロジェクトの成果物がすべて完成し、本番移行の準備ができた段階で、本番移行作業に入っていくかという判断をおこなう。つまり、最後の本番移行作業のみ残してプロジェクトの完了を確認する。そして、移行作業が成功して本稼働が正しく開始されることを確認して最終の完了を宣言するのである。

このように完了の判定は一度でなく、段階的に行われることも多いので、完了を確認する会議もいくつかの種類がある。まず、成果物が完成したのかを確認するのが「システムテスト完了判定会議」である。システムを構築することだけがスコープのプロジェクトは、ここで終了ということになる。

しかし、システムの完成だけでなく、本番マニュアルの作成、ユーザ教育、ハードウェアの設置、本番移行直後の支援など、いろいろな作業を含み、さらに正常な本稼働が確認できて完了というプロジェクトも多い。

このようなプロジェクトでは「移行判定会議」は本番移行作業の直前にマネジメントを集めて開催される。完了判定基準のうち、この段階までに行えることをすべて終了させ判定会議を行う。本番データの作成作業など、この段階で終了していない項目は、その項目が完了したらプロジェクトの完了を承認するという条件で本番移行が承認される。

8.3 本番移行作業

本番移行作業は、そのシステムの稼働環境にあわせておこなうものである。たとえば、朝からオンライン稼働開始が必須のシステムは、夜の時間で本番移行を済ませる必要がある。また、移行作業に時間が掛かるシステムは、システムを止めることができる長期連休などを利用することになる。

本番移行作業は、タイムスケジュールを厳密に作成して取り組まなければならない。そのスケジュールで問題ないかリハーサルも必要である。さらに重要なことは、本番移行に何らかの障害が発生した場合、元に戻す時間を確保しておくことである。

移行作業がすべて終了したら、移行作業チームの中で作業の完了を確認しマネジメントに報告する。移行作業の完了を確認するチェックシートを作成しておけばスムーズに移行が進み、移行の完了の判断も容易になる。もし、移行作業になんらかの障害が出た場合は、データを元に戻し旧システム

で稼働するか、そのまま移行を続けるか判断が必要となる。この判断はプロジェクトマネージャに委ねられていることが多い。

最終的に移行作業が無事終了して本番処理が正しく稼働開始したらプロジェクトの終了である。

プロジェクト名	実行日		20X1/9/8																									
	日付	作業時間	担当	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
移行手順・確認体制最終チェック																												
稼働サーバにデータ移行																												
Linuxマシン(東京・大阪)接続確認																												
移行ソフトウェア(war含む)を結合テスト環境から2次媒体に取得																												
旧サーバからマスターデータ2次媒体に取得																												
ソフトウェア(war含む)の移行・解凍、移行プログラムの移行																												
ディレクティブ及びファイル配置の確認																												
本番機にデータ移行																												
データベースロールバック(詳細参照)																												
クライアントからの動作確認(Webブラウザ表示)、移行後テスト																												
主要ユーザーテスト実施																												
データベースメンテナンスバックテスト(2時間予定)																												

図20 移行タイムチャートの例

8.4 プロジェクト終了処理

本番稼働後、初期トラブルも落ち着いた頃、顧客を交えたプロジェクト完了報告会議を行う。新システムの稼働開始のセレモニーが行われることもある。完了報告会議では、これまでのプロジェクトの経緯を説明するとともに、本番稼働後の問題や対応策について説明する。この会議で承認を得てプロジェクトは正式に終了ということになる。完了報告会議は、プロジェクトの本番移行直後に行くことも、しばらく様子を見てからおこなうこともある。完了報告会議までが顧客に対するプロジェクトマネージャの正式な仕事ということになる。

場合によっては未解決の問題が残っている場合もあり、その対応はどうするのか、また今後の保守契約などがあればその内容も報告する。

報告会が終了したら、顧客も含めたプロジェクト関係者でプロジェクトの成功を祝う会を催すのも、プロジェクト終了というけじめになるし、顧客との良い関係継続する為にも必要なことである。

また、契約の終了処理はプロジェクトの完了が確認されると同時に営業担当が責任を持つ。受注プロジェクトの正式な終了は、契約の終了処理であるが、場合によってはプロジェクトマネージャが代行する。

プロジェクトが完了しても本番開始後トラブルが続いていると、顧客に受領印をもらえないこともある。本番開始後の対応を迅速に行うとともに、顧客との日ごころからの密なコミュニケーションが大切である。

8.5 自社内のプロジェクト終了処理

受注プロジェクトにおいては、成果物が完成し顧客との間で契約も終了したのち、自社内のプロジェクト終了処理が残っている。

ここでは、まずプロジェクトメンバーを解放することがプロジェクトマネージャの重要な仕事である。プロジェクトの終了と同時に全員が解散するのではなく、事前に要員解放計画を立てそれに従って行う。プロジェクトの終了時にはさまざまな問

題が発覚することもあり、できるだけ多くの要員を残しておきたいところであるが、プロジェクトコストの面からも要員のモチベーションの面からも、できるだけ速やかに要員を解放する必要がある。

解放にあたってプロジェクト内の責任分担が障害になったり、他のプロジェクトの状況が影響したりしてなかなかうまくいかないこともある。そのような中でも、次のプロジェクトが決まっている要員についてはできるだけ考慮する必要がある。また、長いプロジェクトの後は休暇や研修を予定している要員もあり、モチベーションの面からも十分配慮すべきである。

次にプロジェクトの評価をまとめる。このような評価指標が、受注企業の中で継続的に収集され今後のプロジェクト実施に役に立つものになる。プロジェクトの評価指標の一つに顧客満足度調査がある。プロジェクトが終了し落ち着いたところで、顧客のキーパーソンにプロジェクトについてのアンケートをとり、今後のプロジェクト活動にフィードバックする。

プロジェクトが完全に終了したら、自社内のプロジェクトのアカウントコードをクローズする。この作業によってプロジェクトが活動状況から終了状況に移り、これ以降はこのプロジェクトの原価を発生させることはできなくなる。

プロジェクトで消費される原価の中でもっとも大きな原価は、人のコストである。プロジェクトの稼働中プロジェクトメンバーは対象となるプロジェクトコードに作業時間の集計をしてきたが、これ以降できなくなる。

要員のコスト以外に、交通費の精算などの遅れを考慮して、通常は顧客との間でプロジェクト終了が確認されたのち1月ほどしてプロジェクトコードをクローズする。

8.6 瑕疵責任と障害対応計画

プロジェクトが完全に終了したのちはプロジェクトマネージャもメンバーもいなくなる。しかし、受注プロジェクトにおいて成果物を納めて1年間の間に発生した障害に対しては無償で修正をしなければならない。関係者のいなくなったあとの対応をうまく進めるためにも、プロジェクトの関連書類や資料は整理して参照しやすいようにしておくべきである。

もし障害が発生した場合は、迅速に対応する必要がある。中には障害ではなく顧客側の運用上の問題も含まれている可能性もあるが、解析が済むまでは真摯な態度を維持することが重要である。

参考文献

- [1] プロジェクトマネジメント知識体系ガイド第4版,PMI,2008.
- [2] William Heldman, Project+,Wiley Publishing,Inc.,2004.
- [3] TAC 株式会社,実務に役立つプロジェクト管理の基礎,TAC 株式会社,2011

アイデンティティエコシステム

瀬戸 洋一*

Identity Ecosystem

Yoichi Seto*

Abstract

The Identity (ID) management is focused on technologies such as OpenID and SAML in National Identification application. Although the individual has some ID on his person, the cooperation of ID become a difficult. The leakage of personal information is caused. Moreover, there is a privacy issue in the cyber space, too. In this description, the concept of linkage ID to build a flexible business model under the ID used in the public sector and private sector is introduced, as an example to provide referral to Identity Ecosystem development proceeds in the United States government.

Keywords: Identity Ecosystem, Identity Management, Personal Information Protection, National Identification Number, e-Government

1 はじめに

現在、日本政府は、社会保障・税に関わる番号制度の導入を検討している。本制度は、社会保障と税に共通の番号を国民一人ひとりに割り振る制度である。社会保障制度と税制を一体化することにより、より正確な所得情報を把握して適正な課税や給付につなげ、事務の効率化や国民負担の公平性の向上を図る目的で、2015年の導入に向けた検討を政府にて進めている。

現在でも基礎年金の他、健康保険、介護保険、運転免許、パスポートなど、個人に割り当てられた番号は多い。その管理主体は厚生労働大臣や市町村など様々で、別々に管理しているため、世帯の所得に応じて、社会保障の給付をしようとしても、個人毎の情報の付き合い合わせが容易でない。

そもそも、番号同士を結びつける仕組みがないためであり、複数の制度に共通した番号があれば、個人ごとに情報を付け合わせて確認することが容易になる。これにより正確な情報に基づき必要な課税や給付が可能になり、行政の事務も簡素化でき、国民も各種の手続きを簡略化できると言われている[1]。

一方、2010年6月、米国政府は Identity Ecosystem (以後、一般的用語で使用する場合はカタカナ、米国固有の内容を紹介する場合は英語表記とする)の構築を促

進することを発表した。

アイデンティティエコシステム(Identity Ecosystem)とは、アイデンティティ管理(Identity Management, IdM, ID 管理)のエコシステム(Ecosystem)を実現するというものである。

これは、図1に示すように、社会保障、税務サービス、医療介護サービス、電子政府サービス、民間ポータルサービス、金融サービスなど個別に発行されたIDを相互運用し、国民が安心安全にオンラインサービスを受け入れる認証基盤を構築するものである[2]。

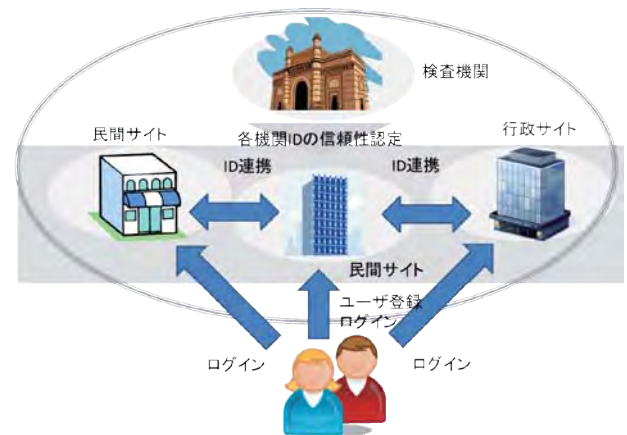


図1 アイデンティティエコシステムの概要

本稿では、米国の提案する Identity Ecosystem を例にアイデンティティエコシステムの構築の目的、アーキテクチャ、市場への影響を解説する。

2 アイデンティティ管理とエコシステム

アイデンティティエコシステムとは、アイデンティティ管理とエコシステムから成る造語である。

アイデンティティ管理とは、情報システムやネットワークにおいて、ユーザーのアイデンティティ情報(ユーザーID、ユーザー権限、ユーザープロファイル)の設定を継続的に追加・変更・削除すること、またはそのための技術の総称、この作業を支援する IT ツールを、アイデンティティ管理システムと呼ぶ[3]。

一方、エコシステムとは、本来は生物学における生態系を意味する用語である。近年ではビジネスにおける特定の業界全体の収益構造を意味する用語として用いられる[4][5]。

エコシステムは、次の3つの機能からなる。

- ・多様なビジネスプレイヤーの参加： 厳密なビジネス契約に基づくものでなく、興味あるビジネス母体が、自己責任で適時参加する(適時参加)。
- ・適者生存と進化： ビジネスがミスマッチの場合は、不適合者はそのビジネスモデルから手を引く(不適合者の退出)。
- ・新陳代謝の促進： あるビジネスプレイヤーが撤退してもそれに代わるプレイヤーが新たに参画し、マクロなビジネスモデルは健全な平衡を保つ。撤退したプレイヤーは再度新たなビジネスモデルで参画することもある。つまり、自浄作用によって、最大効果をもたらすビジネス状態を常に保つ(自己変革による再挑戦)。

企業の収益構造は一般的に「ビジネスモデル」と呼ばれる。ある業界にかかわる複数の企業が、協調的に活動して業界全体で収益構造を維持し、発展させる考え方である。ただし、エコシステムの場合は、通常のビジネスモデルのように明確なシステムとして表現できる場合は少なく、抽象的な企業の関係性を意味することが多い。

例えば、複数の企業が商品開発や事業活動などでパートナーシップを組み、互いの技術や資本を生かしながら、開発業者・代理店・販売店・宣伝媒体、さらには消費者や社会を巻き込み、業界の枠や国境を超えて広く共存共栄していく仕組みである。

アイデンティティ情報を秘匿し取引を実現するために必要な情報のみを共有することにより匿名の参加者を保護(利用者保護)する一方、より身元確認が必要な取引や医療情報の照会等にも対応する。

アイデンティティエコシステムによれば、アイデンティティを秘匿し取引を実現するために必要な情報のみを共有す

ることにより匿名の参加者を保護する一方、より身元確認が必要な取引や医療情報の照会等にも対応する。

3 アイデンティティエコシステムの仕組みとその効果

3.1 アイデンティティ管理の概要

アイデンティティ管理は、個人の認証であり、認証技術の実現方式をシステム構成の観点から分類すると、図2に示すように4つに分類できる[3]。つまり、アクセス元(ユーザー)、認証メカニズム、情報リソースがどこにあるかに着目することでローカル認証、直接認証、間接認証、オフライン認証の4パターンに分けることができる。

(1)ローカル認証

アクセス元、情報リソース、認証メカニズムが1つにまとまったスタンドアロン環境で使用、ネットワークは介在しない。

(2)直接認証

アクセス元とそれ以外がLAN経由で接続する。認証メカニズムと情報リソースは同じ筐体に収納されている。

(3)間接認証

3つの要素は分散しており、ネットワークで接続している。認証メカニズムと情報リソースの提供者は別々の可能性がある。現在の認証システムの主流である。Web上の認証は主に間接認証で行われる。

(4)オフライン認証

電子証明書使用のサーバ認証で多く採用されている。配布された電子証明書を使用することにより、オフライン状態でもアクセス元だけで自律して認証可能である。

認証方式	認証システム構成	認証技術例
ローカル認証	①アクセス元 ②情報リソース ③認証メカニズム	バイオメトリクス 固定パスワード マトリックス スマートカード ワンタイムパスワード MACアドレスなど
直接認証	①アクセス元 ②情報リソース ③認証メカニズム	OpenIDのWebサイト 認証 IEEE802.1認証 SSL認証 ARP認証など
間接認証	①アクセス元 ②情報リソース ③認証メカニズム	PKI
オフライン認証	①アクセス元 ②情報リソース ③認証メカニズム 電子証明書	

図2 認証の実現方式

今後の主流と考える認証つまりアイデンティティ管理の実現技術は、互いに独立した機能から構成される間接認証が重要となる。アイデンティティエコシステムの基本アーキテクチャは間接認証方式を採用している。

3.2 間接認証のアーキテクチャ

ID 管理は、主に管理面からのセキュリティと経済性を求めるものであった。しかし、ネットビジネスが拡大するとサービスシステムの増加と個人が管理すべき Identifier (識別子) が非常に多くなり、管理が適正でないとセキュリティ的な問題が発生するようになった。個人の属性が、複数のシステムに分散して登録され、管理の手間の増大が発生した。アイデンティティの観点から解決を図るものが SSO (Single Sign On) である。

従来の SSO はローカルなシステムでの利用が目的であったが、間接認証のアーキテクチャからなるオープンシステムでのサービスが実現された。

具体的な実現方法は以下の通りである。図 3 に従い説明する。

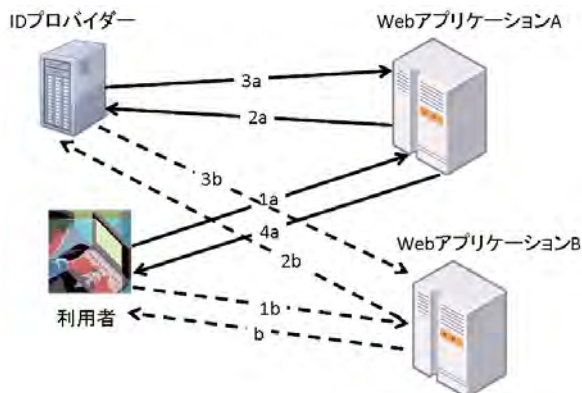


図 3 SSO の基本的な間接認証アーキテクチャ

ステークホルダーは、Web アプリケーションの利用者、Web アプリケーション、つまりサービスを提供するサービス提供者(サービスプロバイダー)、利用者のアイデンティティ情報(認証情報)と基本的な属性情報を保管する ID 提供者(ID プロバイダー)である。

なお、間接認証に関しては、いくつかのコミュニティで標準的なアーキテクチャが開発されている。SAML (Security Assertion Markup Language) と OpenID である。サービス提供者を SAML では Service Provider, OpenID では Relying Party, また、ID 提供者をそれぞれ ID Provider, OpenID Provider と呼んでいる。

処理の流れは以下の通りである。

- 1a: 利用者は、サービス提供者 (Web アプリケーション) にサービス提供要求する。
- 2a: 利用者をリダイレクトし、ID 提供者に認証を要求する。
- 3a: 利用者をリダイレクトし、Web アプリケーションに認証アサーション(認証情報)を応答する。
- 4a: 認証アサーションを判断して、問題なければサービスを開始する。
- 1b: 別のアプリケーションにサービスを要求する。

2b: 利用者をリダイレクトし、ID 提供者に認証を要求する。認証は 1a-4a の手続きで済んでいる。

3b: 利用者をリダイレクトし、認証アサーションを応答する。

4b: 認証アサーションを判断して、問題なければサービスを開始する。

認証アサーションには、基本的な属性情報を含んでいる。サービス提供者は、認証情報とともに属性情報の提供を受けて、権限の制御を行う。

3.3 アイデンティティ管理の課題

特定のユーザーのみに IT サービスを提供、ユーザー毎にサービス内容を変更するためには、システムはユーザーを特定するための識別・認証情報、利用できる機能や範囲を定める利用権限情報、ユーザーの行動や履歴を把握するプロフィール情報などを適切に管理していなければならない。これらのデータを統合して、ライフサイクル全般にわたって管理するのが、アイデンティティ管理である。

システム規模が小さくユーザーが少数に留まる場合であれば、各システムの管理者が人手でアイデンティティ情報を追加・変更・削除することが可能だが、システム規模が大きいと作業量が多くなるとともに、アイデンティティ情報が複雑になるため、正確なアイデンティティ管理には専用ツールが必要となる。特に複数システムにまたがって共通のアイデンティティ情報を適用するには、ディレクトリサービスなどの仕組みなしには不可能である[3]。

現状のサイバースペースにおけるアイデンティティ管理の問題点は、以下の 3 点である[6]。

- (1) 貧弱なアイデンティティソリューション
 - 身元確認 (ID 情報の登録)、本人確認 (認証)、許可のプロセスが貧弱なため、オンライン詐欺、ID 情報の窃盗、成りすましなどの被害を招いている。
- (2) ユーザー中心でないオンライン環境
 - ユーザーがさまざまな Web 上のサービスを利用するようになったことで、ID・パスワードが増え、ユーザー自身が管理しきれなくなっている。また、ソーシャルメディアのように ID 情報(個人の情報や多謝との関連性の情報)をもつサイトが増えたことにより ID 情報暴露の危険性が高まっている。
- (3) サービスの内容とセキュリティレベルの不整合
 - サービス内容に見合った適切なセキュリティレベルが確保されておらず、セキュリティリスクが存在する場合がある。

これらの問題を解決するために、米国政府は、適切に身元確認、本人確認、許可された“信頼できるデジタルアイデンティティ(デジタル ID)”を確立、維持することに主眼をおく政策提言がされた[7]。これを実現するための仕組みが Identity Ecosystem である。米政府は Identity

Ecosystem の構築に対し、リーダーシップを発揮すると宣言した。

3.4 米国政府が提案する Identity Ecosystem

2010年6月にオバマ政権は「サイバー空間での信頼できるID導入の国家戦略」(NSTIC: National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace)として、Identity Ecosystem の導入を促すとする発表を行った。ポイントは下記の通りである[7]-[9]。

(1) Identity Ecosystem とは、信頼できる組織が作り認証するデジタル ID を介し、個人や組織、サービス、デバイスが情報をやりとりできる仕組みである。情報漏えいリスクを低減するためユーザネームやパスワードを使わずに ID 証明をする仕組みである。

例えば、銀行や携帯電話会社などが信頼できる ID 証明を発行し、電子メールプロバイダやソーシャルネットワークサイトがこれを ID 証明として受け入れれば、ユーザネームやパスワードを入力せずに自動的にログインできるようになる。

(2) Identity Ecosystem を実現する具体的なデバイスは特定していないが、スマートカード、携帯電話、USBドライブ、信頼できるコンピューティングモジュールなどが例として挙げられている。明示的にバイオメトリクスについて触れていないが、バイオメトリック認証装置なども考慮の範囲と考える。

発表内容から類推すると、OpenID、SAML のようなシングルサインオン可能なシステムを念頭において戦略が策定されている。

NSTIC は、以下の4項目を目的としている。

- (1) 包括的な Identity Ecosystem フレームワークを構築する。
- (2) Identity Ecosystem フレームワークに基づき相互連携可能なアイデンティティインフラストラクチャを構築・実装する。
- (3) 信頼を高め Identity Ecosystem に参加しようという意欲を喚起する。
- (4) Identity Ecosystem の長期的な成功を確かなものとする。

これら目的を実現するために、下記9項目が重要としている。

- (1) 目的や戦略を実現するためのパブリック/プライベートセクターの取り組みを連邦政府がリードすることを示す。
- (2) 共有され包括的なパブリック/プライベートセクターの実施計画を作成する。
- (3) Identity Ecosystem に関連する政府サービス、実験、政策を拡大する。

(4) 強化されたプライバシー保護の実現のためにパブリック/プライベートセクターで協働する。

(5) リスクモデルと相互連携のための標準の開発と改善を行う。

(6) サービス提供者や個人の間での責任の所在を明確にする。

(7) 全てのステークホルダーに対する広報や啓蒙を行う。

(8) 国際的なコラボレーションを継続する。

(9) 米国内における Identity Ecosystem の採用を促進する他の方法を特定する。

Identity Ecosystem が実現できれば、ユーザーは、行政サービス、民間サービスを問わず自分の好きな ID を使って利用でき、その際に自分のどの ID 情報を連携させるかを自分自身でコントロールできるようになる。また、サービスの内容に応じたセキュリティに見合う認証手段を最小限に抑えることができる。

3.5 Identity Ecosystem のアーキテクチャ

NSTIC で示されている Identity Ecosystem は、統制、管理、実行の3つのレイヤから構成される[7]。

(1) 統制レイヤ

図4に示すように提携関係にない主体が、互いのデジタル ID を信頼できるようにするレイヤである。ユーザーの ID 情報を提供する業者 IdP (Identity Provider)、IdP が提供する ID 情報を利用してサービスを提供する事業者 RP (Relying Party)、ユーザーの属性情報を保管・提供する事業者 AP (Attribute Provider) の三者のサービスを信頼付与機関 (Accreditation, Assessment and Validation Services) が監査し、信頼付与機関は、政府の認定機関 (Government Authority) が認定する。

各事業者が監査レベルに応じたトラスト (信頼) マークを付与する。この仕組みを信頼フレームワークと呼ぶ。連携していない人、組織が互いにデジタル ID を信頼できるよう紐づけするレイヤである。

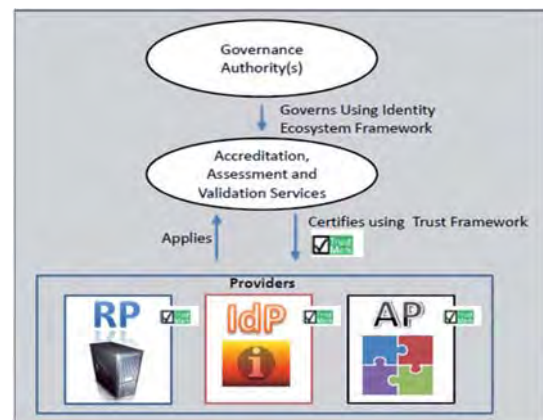


図4 統制レイヤ

(2)管理レイヤ

人間とそれ以外の主体(例えば組織, 端末)が同じ IdP の元で活動する層である. 図 5 に示すようにユーザーがインターネット上のサービスの利用登録を行う際に, ユーザーの身元確認を行い, ID やクレデンシャル(パスワード, 電子証明書, 指紋など自分であることを証明する手段)を発行する. ユーザーは, 利用する IdP, AP, クレデンシャルを自由に選ぶことができる. 例えば, 医療機関で受診する場合と, ウェブで何かを購入する際のクレデンシャルは異なるものを使うように事前に設定しておくことが考えられる. ID 連携によりユーザーネームやパスワードの入力なしにサービスにログインできる.

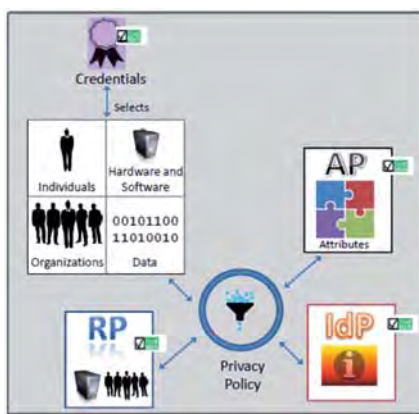


図 5 管理レイヤ

(3)実行レイヤ

人間, 組織, ハードウェアやシステムなどの人間以外の主体が相互に関与しオンライントランザクション上で活動する層である. ユーザーがサービスを利用する際に, 各サービスの間での情報連携の可否や, やり取りされる情報の内容をプライバシーポリシーに従いユーザーが決定する. 連携できるのは, サービスの利用に必要な最低限の情報のみである. これによりセキュリティ・プライバシーの保護を実現する.

図 6 に示すように ID は, 個人, 組織(家族), ハードウェア・ソフトウェア, データで利用できる.

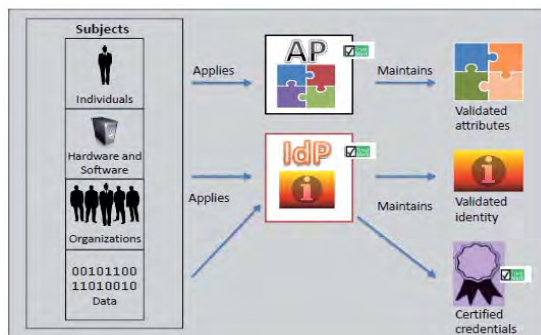


図 6 実行レイヤ

上記の 3 つのレイヤにより利便性とプライバシー保護を両立させたユーザー中心の仕組みが実現できる. また, 各サービス事業者は, 信頼フレームワークにより信頼レベルが認定されているので, 事業者は他の事業者との連携の可否を機械的に判断することができる.

デジタル ID の管理方法が不明であるが, デジタル ID は端末などで管理する可能性もあり, 端末の所有者認証などにバイオメトリクスは重要な機能となる可能性がある.

米国においては, ID の情報連携の仕組み(信頼の枠組み)として, 4 つの保証レベルを規定している[10]. 表 1 に示す保証レベルはアイデンティティエコシステムを実現する上での一つの信頼モデルの指針となる.

アイデンティティエコシステムを構築・運用する上で, 下記の 3 点に関する留意が必要である.

(1) プライバシー保護と参加の自由

トランザクションに必要な最低限の情報のみを連携させ, その他の情報は漏らさない, 厳密なアクセスコントロールにより, 情報の不正利用リスクを減らす. Identity Ecosystem を利用するかどうかは個人・組織ともに自由選択できるようにする.

(2) 相互接続性

強力で相互運用性のある技術とプロセスにより, ステークホルダー(利害関係者)間の適切な信頼レベルを実現する. 1つのアイデンティティをさまざまな web サイトで利用できるようにする. また, サービス提供者がさまざまなクレデンシャル認証メディアを受け入れるようにする. さまざまな官・民のアイデンティティから自分の好きなものを利用できるようにする.

(3) ユーザー中心

サービスの性質に応じて適切な(かつ相互運用可能な)クレデンシャルを選択して利用できる. ユーザーは必要な情報以外を連携しないようにコントロールする. サービス提供者による個人情報やクレデンシャルの名寄せを禁止することができる.

表 1 保証レベルの定義

保証レベル	レベルの定義	要求事項	
		本人確認	身元確認
レベル1 (基本的な保証)	主張された識別情報の有効性について, ほぼ, あるいはまったく信頼性がない。	確認対象の秘密情報(パスワードなど)を有効期限内で推測できる確率が2の10乗分の1以下であること。	身元確認の要求事項は特にない。
レベル2 (中程度の保証)	主張された識別情報の有効性について, ある程度の信頼性がある。	有効期限内で推測できる確率が2の14乗分の1であること。	金融機関など第三者のデータベースを照会し取得したデータをもとに確認
レベル3 (高いレベルの保証)	主張された識別情報の有効性について高い信頼性がある。	複数種類の認証要素を用いること。	公的な身分証明書をもとに, 氏名, 生年月日, 住所を確認
レベル4 (最高レベルの保証)	主張された識別情報の有効性について, きわめて高い信頼性がある。	複数の認証要素を用いること。また, その1つとして秘密情報を取り出すことが不可能なハードウェア本人認証機を用いること。	対面で, 公的身分証明書を元に, 訓練された検査人により, 本人を確認する。

4 アイデンティティエコシステムが与える市場インパクト

本稿では、米国の例を紹介したが、フィンランドにおいて ID エコシステムの実現に向けた取り組みが行われている。政府機関の発行する ID とともに、民間 ID を活用した場合、サービスの利用が促進されると報告されている [10]。

国内においては、単独の背番号制度の導入に留まる可能性も高いが、公的機関発行の ID および民間発行の ID を連携する構想は民間シンクタンクから出ているが、政府の見解としては、言及されていない。

日本でも電子政府や社会保障の番号制などを ID エコシステムとして構築することにより利便性や効率化に貢献できる、金融サービスや医療サービスにおける ID 連携推進することにより、新規ビジネスの創出効果が見込まれる。

表 2 に示す野村総合研究所の試算によれば、ID エコシステムによって、消費者や事業者、および社会全体にメリットがもたらされ、新たな民間ビジネスの創出も期待されている。この効果は 10 兆円を超える規模と試算している [10]。(社)日本経済団体連合会などの数値をもとに算出され、行政の業務効率化、利便性向上などを根拠にしており、期待数値の域を出ていないが、ある規模の市場効果があることは間違いないと考える。

表 2 「ID エコシステム」の導入効果(試算)

項目	「利便性向上・効率化」の効果	「ビジネス創出」の効果	効果の合計
番号制度を通じた電子行政推進(民間IDの一部活用)	約3.1兆円	約0.7兆円	約3.8兆円
上記において「民間ID」をさらに活用した場合	約4.8兆円	約5.7兆円 (NRI資産による最大効果)	約10.5兆円

5 おわりに

海外では、公的組織あるいは民間組織が発行する ID を機能的に連携し、ユーザーサービスの向上やサイバー空間における安全性を確保する方向で進んでいる。日本では、公的 ID の整備、公的 ID と民間 ID での連携に関し、検討が始まったばかりである。

アイデンティティエコシステムは、本来あるべきアイデンティティと個人の在り方を示している。ただし、実現する上では、プライバシー保護など多く課題があるのも事実である。

個人に付与する番号は、事業や制度ごとに付けられているこれらの番号を一本化するのではなく、国民一人ひとりに付与する番号と各制度の番号とを紐付けしていく方向で、検討が進んでいる。番号を利用する範囲が広がれば、

一つの脆弱性が大きな問題に発展する可能性もある。取り扱われる個人情報も増えるため、便利になる一方でプライバシー侵害のリスクも高まる。

従って、個人の利便性を向上させると同時に新しい市場を創出できるなどの長所があることだけに注視するのではなく、負の側面も把握し適切な対応が必要である。

このため、日本で整備する際に既存の複数のシステムの長所短所を分析することが重要である。海外事例の詳細分析、個人情報保護の具体的な検討に関しては、今後の課題である。

参考文献

- [1] 弁護士 三宅氏に聞く—共通番号制の監視策(論点争点メディアと人権法), 日経新聞朝刊 2011 年 7 月 25 日, および, 民間利用を促し使いやすい共通番号に(社説), 日経新聞朝刊 2011 年 7 月 27 日
- [2] Jean Camp: Identity Management's Misaligned Incentives, IEEE security & privacy, pp.90-95, Vol8, No6, 2010.
- [3] 平成 22 年度 (財)機械システム振興協会殿の調査開発事業「アイデンティティ・マネジメントへのバイOMETRICS 組み込み時の課題と海外動向, 標準化動向に関する調査研究報告書」, 2011 年 3 月
- [4] <http://www.atmarkit.co.jp/aig/04biz/idm.html>
- [5] <http://www.blwisdom.com/word/key/100084.html>
- [6] 特集「立ち上がる ID 連携サービス」IT ソリューションフロンティア, Vol.28, No.2, 2011.2
- [7] National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace Draft 2010.6
http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/ns_tic.pdf
- [8] Fact Sheet for National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace
<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/fact-sheet-national-strategy-trusted-identities-cyberspace>
- [9] National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/NSTICstrategy_041511.pdf
- [10] 「ID エコシステム」導入効果, 第 148 回 NRI メディアフォーラム, 2011.2.2

注) サイトの情報は、2011 年 8 月時点で確認

PBL を支援するコラボレーティブツールに関する考察

中 鉢 欣 秀*・小 山 裕 司*

Consideration of Collaborative Tools for PBL

Yoshihide Chubachi* and Hiroshi Koyama*

Abstract

We have been proving an infrastructure system for supporting Project Based Learning in AIIT. This system is developed by customizing MS Project Server 2007. Students and teachers can share files and project schedules with this infrastructure. Also, the students use this system to submit weekly reports and self-assessments. However, there are some demands to improve this system. In this paper, we discuss on the next version of the system in order to achieve more effective collaboration environment.

Keywords: project based learning, project management tools, collaborative tools

1 はじめに

産業技術大学院大学(以下, AIIT)では, PBL (Project Based Learning)による教育を行っており, 学生が実務遂行能力(コンピテンシー)を身につけることに主眼をおいた教育を行っている. 従来の大学院修士課程では論文指導を通して「研究」を遂行するための能力を教育することに力点をおいていた. すなわち, 研究遂行能力を教育する「従来型」と, 業務遂行能力を教育する「AIIT型」とでは, 教育理念が大きく異なっている.

このことを反映して, 学生の評価基準についても AIITでは学生の「活動」と「成果」のそれぞれを「質」と「量」の2つの軸で評価するマトリクス式の評価方法を採用している[1]. 従来の大学院修士課程では研究の「成果」としての修士論文の「質」が重視され, その内容によって学生の評価が決まる. つまり, 従来型ではアウトプットである修士論文の質に力点を置いて評価するのに対し, AIIT型ではアウトプットに至るプロセスの質と量までを評価の対象として含むことが両者の差異である.

従来型の修士教育では, 最終的な成果物としての「修士論文」とその「成果発表(プレゼンテーション)」の内容をもって修士号を与えるかどうかの判断を行ってきた. この場合, 教員は最終の成果を評価の対象とする. 逆に言えば, その成果に至るプロセスについては(主担当教員以外は)通常は関心が無い. これは, 学生の修了時におけるスタティックな評価方法だと言える.

これに対して, AIIT型では, 最終的な成果物に至るまでに学生がどのような活動を行ってきたのか, その質的・量的な側面から評価を行う. このことにより, 現実の未知の実務上の課題に対して, 学生がそれを解決できる能力を備えているかどうかを判断する. この際に必要となるのは, プロジェクトの一連の活動に対する評価であり, それは活動のプロセスにおけるダイナミックな評価方法が求められることを意味する.

さて, AIIT型のダイナミックな評価方法を達成しようとする場合, 最も課題となるのはグループワークにおける学生個人の日常的な活動を教員が把握し, その状況を評価して適切な指導に反映させるための方法である. もちろん, 学生の活動を, 教員がつきっきりで逐一確認することは困難である. 従って, プロジェクトのある時点における学生の活動の状況と, そこから日々生成される成果物の状況を把握するためには, 何らかの仕掛けが必要である.

本研究者は, この問題意識から, 2008年からiPBL (infrastructure for PBL)と呼ばれるシステムを導入しAIITのPBL教育で利用してきた[2]. しかしながら, このシステムの導入から現時点で3年が経過し, システムの機能面や性能面において時代遅れとなっている部分があることは否めない. また, この間のPBLにおいて本システムを実際に運用することで明らかになった課題も見えてきている.

そこで, 本論文では, 現状のiPBLが提供している学生の教育指導のための仕組みについて改めて整理した上で, 今後求められるシステムの有るべき姿について考察した

以下, 2.では現状の iPBL が提供している PBL のための機能とその課題を整理する. 3.では運用上の課題について述べる. 4.では主にクラウド型のサービスを中心に, 今後の AIIT 型の PBL において活用できると見込まれるツールについて述べる. 最後に, 5.でまとめを述べる.

2 iPBL が提供する機能と課題

2.1 iPBL の全体概要

iPBL とは, Microsoft 社製の Project Server 2007 を AIIT の PBL 向けにカスタマイズしたものである. 図 1 にその全体構成を示す.

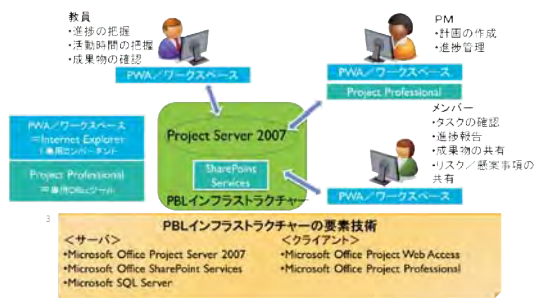


図 1: iPBL の全体概要

中核となる Project Server 2007 は, ディストップアプリケーションの Project Professional を用いて, プロジェクト計画の作成や進捗管理のための情報共有を行うためのサーバである.

これと共に, SharePoint Services をプラットフォームとした Web ベースのアプリケーションである Project Web Access (PWA) により Web ブラウザからプロジェクト管理のための情報を参照できる.

このシステムは, 管理者以外のユーザとして, 学生によるプロジェクトマネージャー (PM) とメンバー, および, 教員の 3 者が存在する. PM は Project Professional を用いて WBS を作成し, PWA を用いて進捗を把握する. メンバーは PWA を用いて進捗の報告を行う. 教員は, PWA を用いて進捗や課題を把握する

2.2 プロジェクト管理機能

iPBL を利用すると, PM が立てたプロジェクト計画をガントチャート形式でメンバーが共有することができる. Web ブラウザを利用して PWA にアクセスすることで, 図 2 に示す通り全てのプロジェクトの進捗状況を把握できる.

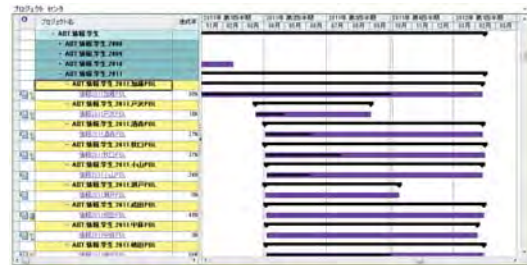


図 2 ガントチャートによる進捗の把握

この機能を用いるためには, PM がタスクを作成した後, メンバーにアサインし, その上で PWA に情報を発行する. メンバーは, タスクの進捗を PWA を用いて入力し PM の承認を受ける.

この一連の作業を行うことにより, リアルタイム製の高い進捗状況の把握が可能になる. しかしながら, 現状ではこれらを円滑に実施することは困難である. これは, PM とメンバーがこれらの機能を理解し, 使いこなすことが難しいからである. 一連の作業を解説した手順書を用意しているが, 全てのユーザが理解して使いこなしてはいない状況である.

2.3 プロジェクトワークスペース

すべてのメンバーは iPBL の PWA が用意するプロジェクトごとの「ワークスペース」を用いて各種のファイルを共有できる. これらは SharePoint Services の機能により実現されている. OS (Windows) のバージョン毎に差異はあるものの, 実質的には Web 経由でアクセスできるファイルサーバである.

このワークスペースを, Web ブラウザである Google Chrome で開いた画面を図 3 に示す

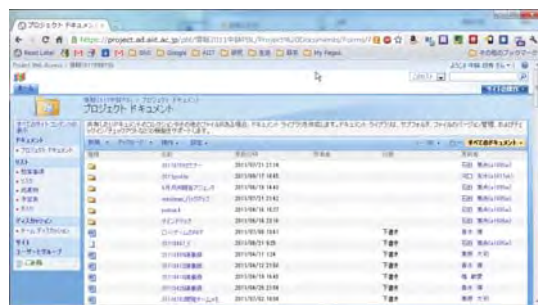


図 3 Web ブラウザによるアクセス

ユーザは一般的なブラウザ操作によって, ファイルをアップロードしたり, ダウンロードしたりすることが可能である. しかしながら, 近年増えてきた, JavaScript 等を活用したマウスのドラッグ&ドロップ操作によりファイルの追加やダウンロードができる Web アプリケーションに比較すると操作性に難があることは否めない.

この状況は、ワークスペースを Windows の標準ファイラーであるエクスプローラを用いると若干改善される。エクスプローラを用いてワークスペースにアクセスした場合の画面を図 4 に示す。

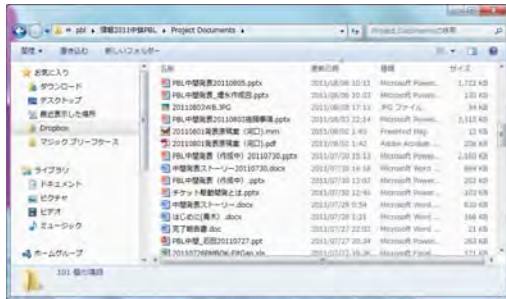


図 4 エクスプローラによるアクセス

これにより、ユーザはファイルサーバを操作するのと同じインタフェイスでプロジェクトワークスペースを利用できる。ただし、この操作が可能な OS は Windows に限られている。また、Windows でもバージョン毎に挙動に差異があるとの報告もあり、全てのユーザが快適に利用できているとはいえない状況である。

2.4 週報

AIIT では、PBL に所属する学生は 1 週間に一回、「週報」を提出することになっている。学生は週報に今週の活動と成果、次週の予定、現状における課題等を記入する。

この週報を提出するために、PWA のレポートコンポーネントを利用した入力フォームを用意している。レポートコンポーネントは、毎週のフォームを自動的に生成する。また、未提出の週報がある場合、ユーザのホーム画面に提出を促すメッセージが出る等の機能がある。

現状、このコンポーネントは Internet Explorer でのみ利用可能である。このため、Windows 以外の PC しか持っていない学生は大学の PC 教室で提出することになり、不便が生じている。また、教員にとっても閲覧するには、PWA にログインする必要があり、メール等の手段でも利用できるようにしてほしいといった要望がでている。

管理上の問題として、このコンポーネントの機能的な制約から、PBL の期間が終わった際にフォームの自動生成を停止させることができないことがある。停止させるには、管理者が手動ですべてのデータをバックアップした後、データベースを削除するしかない。そのため、実施的に停止は行えていない。

2.5 Self-Assessment

週報が毎週 1 回なのに対し、毎期毎に学生の学習状況などを把握するために実施している Self-Assessment も SharePoint Services のアンケート機能を利用して実現している。

この Self-Assessment には相互評価の項目がある。これはメンバーの名前と、評価 (5 点満点) のマトリックス式のアンケートを用いている。アンケートには集計機能があるが、この機能だけでは、相互評価の点数の自動集計ができないことがひとつの課題となっている。

また、週報はグループごとにまとめて一覧表示が可能であるのに対し、Self-Assessment はそのようなことができない。そのため、教員にとってはグループメンバー全員の提出物を閲覧するために、若干手間がかかる。

2.6 成績評価のための集計表

PBL の成績評価では、まず、主担当と副担当 2 名が学生に対して素点をつける。次に、主担当は、素点を参考にして改めて総合点をつける、という流れになっている。また、この際の点数は専攻の全教員が出席する成績判定会議で公開され、チェックされる。

この成績評価のための集計表も、iPBL のリスト機能で実現している。この集計表には、活動の量、活動の質、成果の量、成果の質の 4 つの点数を入力する。その上で、それぞれに重みを付けて、総合点を算出する。この際の計算は、現状、教員が手動で行なっている。

これは、SharePoint Services ではいわゆる計算式をフォームに埋め込む事ができないためである。この点も改善すべきポイントである。

3 運用上の課題

3.1 運用して明らかになった課題

以上述べてきた機能的な課題の他に、PBL のインフラストラクチャーとして iPBL を運用した経験から明らかになった運用上の課題について述べる。

このシステムは学生の PBL における成績評価に直結している。週報や Self-Assessment の内容は、学生の学習状況を把握するために用いられるため、全学生が iPBL を利用しなくてはならない。このため、学生にとっては、このシステムの使い勝手がクリティカルな状況となる。

また、学生毎に IT リテラシーが大きく異なる。特に、情報アーキテクチャ専攻と創造技術専攻の学生とでは、コンピュータ技術に対する知識の差がある。加えて、オペレーティングシステムについても、普段は Windows を利用せずもっぱら Mac を好む学生や、Linux のワークステーション環境で利用している学生もいる。

現状の iPBL は、Windows OS で Internet Explorer を使った場合に限り全ての機能が利用できるもので、それ以外の環境にある学生にとっては使いづらいという印象を持つことは避けられない。

このようなことから、OS や、ブラウザなどに依存しないようなインフラを用意することが今後望まれる。

3.2 管理上の課題

iPBL の管理は、現在学内のサポートスタッフにほぼ依頼している。例えば、週報や Self-Assessment の設定などはサポートスタッフが行っている。このことで、教員や学生の管理に対する負荷はある程度押さえられている。しかしながら、iPBL の運用に際してはいくつかシステム管理上の課題もある。

まず、技術的な制約から、管理者が一括して全プロジェクトのワークスペースを作成することができないことがある。学生は PBL のグループが決まった後、プロジェクトのワークスペースの作成作業を行わなくてはならない。毎年、4 月にこれを行うための説明会を教員が行っており、その際に使用する操作手順書も用意している。しかしながら、誤操作により想定と異なる設定情報でワークスペースが作成されることもたびたび発生している。

加えて、説明会では一斉に作成作業を行うためか、不完全な形でサーバに登録されてしまうこともある。そもそも作業手順が必ずしも容易とは言えないため、学生にとって iPBL は「使いづらい」という印象を最初の段階で与えてしまっている。

次に、PBL のグループメンバーの異動や、プロジェクトマネージャー（進捗管理者）の変更に伴う管理が厄介である。プロジェクトのメンバー変更に伴うワークスペースの閲覧権限情報や、週報の変更作業などが年に数回程度発生する。メンバーの異動は避けられないことから、ある程度は許容する必要があるだろうが、その際の作業の手間を軽減させる方策は検討する必要がある。

3.3 学生の指導と評価に利用するための課題

iPBL を導入したそもそもの目的の一つとして、学生の PBL における学習の状況を教員が把握し、指導と評価に用いることがある。現状において、作った成果物を学生が iPBL のワークスペースにアップロードすることで、教員はいつでも学生の成果物にアクセスできる環境にはなっている。これに対して、WBS に基づくプロジェクトのタスク管理や、リスク・課題管理については有効に活用されているとは言い難い。

その理由の 1 つは、PM が WBS で計画を作成する際に、Project Professional 2007 というデスクトップアプリケーションを用いなくてはならないことがある。このことは大き

な制約になっており、将来的には Web ブラウザから直接 WBS を作成できるようなインタフェースが望まれる。

プロジェクトのメンバーにとっては、タスクの進捗状況の報告が手間である。タスク毎に、予想される作業時間に対して、どれくらいの時間作業を行ったか、メンバーは iPBL を通して PM に報告できる。この際の入力作業の方法についても、操作手順書を用意しているのであるが、現状では上手く使われていない。

さらに、当初の目標を達成できなかった点として、WBS にあるタスクと、その成果物の紐付けが上手く利用されていないことがある。計画では、WBS のタスクには成果物に対するリンクが設定され、教員やメンバーは WBS から容易に成果物にアクセスできるようになるはずであった。iPBL にはこのための機能があるが、タスクと成果物を関連づける際の操作性に難があり、学生に子の作業を強要するのは難しい状況である。

このことから、学生の状態をリアルタイムに教員が把握し、適切な助言や指導を行う材料として用いるという iPBL の当初の目標は未達成であると言わざるを得ない。

4 PBL で活用できるツール

4.1 次期 PBL 向けインフラストラクチャに向けて

以上考察してきたとおり、現状の iPBL では、ワークスペース機能による成果物の共有についてはある程度当初の目的が達成されている。また、週報や Self-Assessment については、使い勝手や管理上の問題はあってもの一応は PBL 教育に支障のない範囲で利用できている。

但し、プロジェクトマネジメントツールとしての面では、WBS に基づくタスク管理や、実作業時間に基づく進捗の把握、あるいはタスクと成果物の紐付けについては期待した状況にはなっていない。

そこで、本節では、これらの課題を踏まえ、現状の Microsoft Project Server 2007 に代わるシステムとしてどのようなものが考えられるかについて議論したい。

4.2 Redmine によるプロジェクト管理

近年、プロジェクトマネジメントに利用できるツールが、フリー／有料を問わず様々登場している。筆者の PBL では、そのうちの一つである Redmine[3]に着目し、運用している。

Redmine は、プロジェクト管理機能を持つバグトラッキングシステム(BTS: Bug Tracking System)である。近年は、その利用方法として提案される「チケット駆動開発 (TiDD: ticket-driven development)」が注目を集めている[4]。TiDD は主にアジャイルなソフトウェア開発に適用できる手法である。この手法の基本ルールは「To

Ticket, No Commit!」と呼ばれ、チケットにより作業の見える化を行うのがその主旨である。

Redmine は Web ブラウザから利用可能な Web アプリケーションである。筆者の PBL で利用している Redmine のトップ画面を図 5 に示す。



図 5 PBL で利用している Redmine

この画面には、現在 Redmine の管理下に置かれているプロジェクトの名前と説明文が表示されている。ユーザの権限に応じ、これらのプロジェクトの情報にアクセスすることができる。

プロジェクトの情報にアクセスした画面を図 6 に示す。

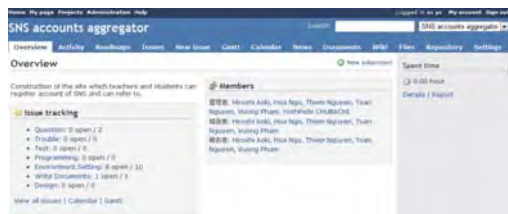


図 6 プロジェクトのタスク等

この画面では、プロジェクトの課題管理 (Issue tracking) や、メンバーの情報などを見ることができる。プロジェクトメンバーは、この画面にアクセスすることで自分が今アサインされているタスクを知ることができる。また作業が終わった場合も同様に、Redmine から進捗報告が行える。

Redmine では、標準でガントチャートによるプロジェクトのスケジュール管理ができる。図 7 にその様子を示す。

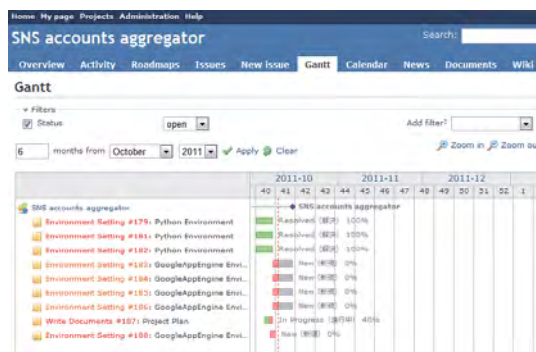


図 7 ガントチャートによる WBS

この画面から、プロジェクト全体の進捗状況をビジュアルで確認することができる。現状の iPBL における PWA の機能を代替するものとして期待できる。

次に、タスクの詳細情報は図 8 の画面の通り閲覧できる。

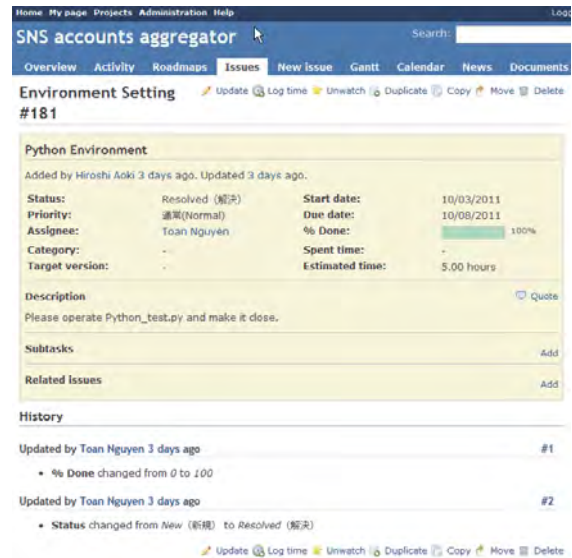


図 8 タスクの進捗状況

この画面を見ることで、メンバーはタスクの詳細な情報を確認することができる。

加えて、Redmine にはソースコードの構成管理ツールとの連携の機能がある。連携できるツールは複数あり、ここでは SVN と連携させた例を図 9 に示す。



図 9 レポジトリの閲覧

SVN のレポジトリの状況が Redmine のインタフェースを経由して表示されていることが分かる。この構成管理ツールとの連携機能は、特にソフトウェア開発系の PBL で有用であろう。

以上見てきたとおり、Redmine を用いることでプロジェクト管理に有用な機能が一通りそろっている。このような機能を活用することで、PBL における学生の状況を可視化することが現在以上に容易になると考える。

Redmine は普及して間もないツールであり、ソフトウェア開発の分野以外での認知は低く、技術的な面でも実際

の導入にはいくつかの課題が考えられる。しかしながら、PBL における学生の活動と成果を見える化するためのツールとして有望な選択肢の 1 つである。

4.3 Google が提供するツール

PBL のインフラストラクチャとして期待できるツールとして、Google Apps for Education (以下、単に Apps) がある[5]。Apps は Google 社が提供するサービスである。これを用いることで、任意のドメインのアカウントで Gmail 等のクラウド型アプリケーションを利用できるようになる (例えば、user@aait.ac.jp)。

加えて、GAFE 上で動作する多くのプラグインコンポーネントが配布されていて、それらを組み合わせることで比較的自由に機能の追加やカスタマイズができる。筆者が調査したところ、現状の iPBL を用いて実施している週報の機能や Self-Assessment を Apps で実現できる感触をえた。

これ以外に、Google Project Hosting も PBL で利用するインフラとして検討できる。このサービスはオープンソースのソフトウェア開発のための機能を提供する。Redmine と SVN の構成と同様の BTS やレポジトリを無料で使用できる。ただし、ソースコードを含む全ての成果物は公開されるので、誰でもアクセスできるようになる。このことが制約になる PBL においては利用できない。

以上の他、Google は様々なツールを提供している。これらのツールを用いて PBL のインフラストラクチャを構築することも今後検討すべきである。

4.4 多様なツールへの対応

近年、共同作業を支援するためのツールが数多く利用できるようになっている。今後の AIIT のインフラストラクチャを考えるに辺り、これらの様々なツールとの連携は無視できない。従来のように、一つの標準的なツールを用意し、その利用を学生や教員に強要するような考え方は受け入れられづらくなってきていると言える。

例えば、現在 iPBL の SharePoint Service で実現しているファイル共有については、Dropbox や SugarSync などのツールとの併用が必須になる。

また、Twitter や Facebook といった SNS も共同作業のためのインフラとして活用できる可能性がある。Skype を利用したオンライン会議も当たり前になってきた。

これらの多様なツールを利用しつつ、より教育効果の高い PBL の学習環境を構築することが今後の研究として必要である。

5 おわりに

以上、AIIT で実施している PBL 教育のインフラストラクチャとして利用している iPBL についてその現状と課題と解決策を述べた。現状においては、当初の目的をある程度達成はできてはいるものの、真に使い勝手の良いツールにはなっていない。

近年、Web ベースのアプリケーションのユーザインタフェースは飛躍的に向上している。これを踏まえ、本学の PBL インフラストラクチャについても、よりモダンな、使い勝手の良いツールになるようにしたい。また、プロジェクトの活動内容、ユーザの好みに応じた多様なツールが利用できるようになることが望ましい。

プロジェクト管理や、ファイル共有、週報・Self-Assessment といった現状 iPBL で提供しているサービスは踏まえつつ、新しいツールに求める要件を定義する必要がある。

これらの研究を通し、本来の主旨である大学としての学生の指導や評価の面でより活用できるインフラストラクチャを実現していきたい。

参考文献

- [1] Y. Tozawa, Y. Kato, Y. Chubachi, “ Efforts to ensure the quality of PBL education in the graduate school of Information Technology”, Proceedings of the 2nd International Research Symposium on PBL, , pp.1-9, 2009
- [2] 中鉢欣秀, 土屋陽介, 長尾雄行, 加藤由花, 酒森潔, 戸沢義夫, “グループウェア導入による PBL の見える化”, 日本 e-Learning 学会論文誌, Vol.9, pp.129-135, 2009/5
- [3] “Redmine –Overview”, <http://www.redmine.org/>, 2011/10
- [4] 小川明彦, 阪井誠, “Redmine によるタスクマネジメント実践技法”, 翔泳社, 2010
- [5] “Google Apps Education Edition”, <http://www.google.com/a/help/intl/ja/edu/index.html>, 2011/10
- [6] “Google Project Hosting on Google Code”, <http://code.google.com/hosting/>, 2011/10

東京都の協力を得て実施した PBL から得られた知見

戸 沢 義 夫*

Findings from PBL projects with Tokyo Metropolitan Government

Yoshio Tozawa*

Abstract

Project Based Learning (PBL) is the most essential curriculum in AIIT so that students can get competence and knowledge to cope with practical issues. We have conducted several PBL projects of real cases with cooperation of Tokyo Metropolitan Government. The theme of the PBL projects is IT strategy and Business Process Reengineering. We found that IT acquisition in TMG was not well done in many cases through the projects. The latest project dealt with the IT acquisition process. The issues are pointed out using the actual output of the projects. Roles and responsibilities of IT professionals in vendors are suggested to succeed IT acquisition in TMG

Keywords: PBL, Project Based Learning, Tokyo Metropolitan Government, IT acquisition, IT procurement, IT professionals

1 はじめに

日本の大学教育が、企業が求めている知識・スキルを教えられていないのではないかと指摘が日本経団連からされている[1]、企業が必要とする人材を教育する目的で、産業技術大学院大学は設置されている。従来の教育方法とは違った新しい教育方法を取り入れることで、企業が求めている知識・スキルが身に付くようにカリキュラムが設計されている。その中の中心的な部分は PBL (Project Based Learning)である。

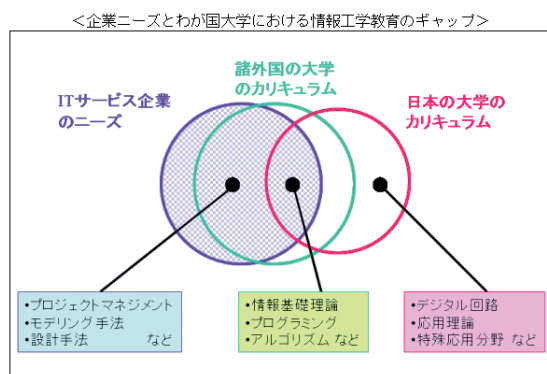


図1 企業ニーズとカリキュラムのミスマッチ
出典：日本経団連「産学官連携による高度な情報通信人材の育成強化に向けて」(2005)[1]

図1は経団連が指摘した企業ニーズと大学教育(カリキュラム)のギャップである。ここで注目してほしいのは、企業ニーズとは「IT サービス企業」を指している点である。IT産業は製造業というよりサービス業という認識に基づいている。

2 リアルケースによる PBL

本学では他大学との違いとして、社会人が仕事をしながら学生でいられることと、PBLによるコンピテンシー教育を謳っている。情報アーキテクチャ専攻の社会人学生の割合は9割以上である。図2は本学でのPBLの位置づけを示している。学生から見ると、修士1年次に講義科目を修得し、修士2年次はPBLに専念するようになっている。情報アーキテクチャ専攻では教授・准教授がそれぞれひとつのPBLを実施し、10個のPBLが並行して実施される。

筆者が実施しているPBLのテーマは「情報戦略と業務改革(BPR)提案」である。PBLに協力してくれる企業や組織のリアルケースを扱っている。今までにPBLに協力していただいた企業・組織は次のようである。

- ・ 東京都 (港湾局, 建設局, 総務局情報システム部, 総務局行政改革推進部)
- ・ インターネット総合サービス企業の情報システム開

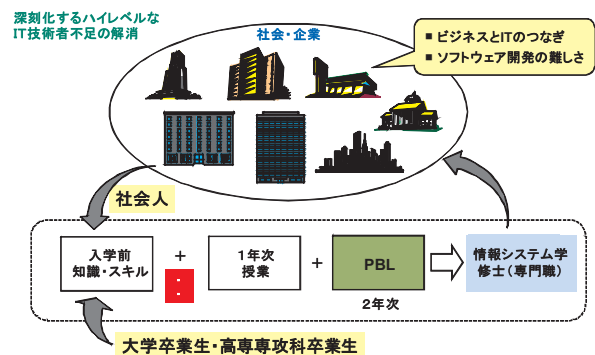


図2 情報アーキテクチャ専攻に於けるPBLの位置づけ

発部

- ・ 医療・健康ポータルサイトサービス企業
- ・ 音響機器メーカー設計開発部
- ・ 表面処理（メッキ）企業

2.1 PBL 教育目標の達成度

PBL が成功しているかどうかを客観的に測るのは困難であるが、平成 23 年度前期に実施した PBL(表面処理企業の協力)での主な学生のコメントからは、筆者が目指した教育目標は達成されたと感じられる。

● 学生 1

チャート重視で社長(顧客)から言葉を引き出していくというやり方に当初は戸惑いもあった。これは社長の言葉で話させることで、より多くの情報を得ることができ、かつ、話し手がハッピーになり、次もより協力的になってくれる。こういうサイクルに持ち込むにはとても有効な手法だと思った。社長が全部知っているかと思っているところに、気付きを与えることが非常に価値があるということをもっと体験できた。

● 学生 2

実際に一仕事やり遂げた実感も強く感じている。指導いただいた戸沢先生はじめ教員の皆様からは厳しい意見をいただき、資料の修正ややり直しが何度も発生し、自分たちのレベルが未熟であることを痛感した。最初に作成した資料と完成した資料を比べると、違いが歴然としており、指導を通して成長できたことを感じる。また時にはインタビューや資料の出来にお褒めの言葉をいただくこともあり、活動の期間を通してモチベーションを高く持てたと思う。

● 学生 3

当 PBL の活動をする上で学んだことは沢山ある。インタビューとは受ける人をハッピーにさせることである。お客様にお客様の言葉で話してもらうことである。

● 学生 4

私は、経営者と対話する機会など一切無いわけで、この PBL に所属スポンサーのビジネスにつながる提言を経験できたことは非常に大きいと思っている。最近の仕事ではドキュメントの精度も向上していると周囲から褒められる。特にあるべき姿を意識することと、そこに向けてどういうステップで進めていくかという仕事の進め方は、周囲と合意しながら仕事を進める上で重要な考えであり、そこに現実的なスケジュールを交えると強力な武器になることが分かった。

● 学生 5

本 PBL 活動で良かったことは、コンサルティング活動を実際の企業をお客様にイチから経験すること、この一言に尽きる。お客様に対するヒアリングから、業務分析を行い、課題を仮説として提示する部分に関して、指導教員、他の PBL メンバーと みっちり 検討及びレビューが出来たことは、非常に貴重な経験であり、自分の仕事に既に活かされている部分もある。

2.2 東京都のテーマ

東京都に協力していただいた PBL テーマの基本は「情報戦略と業務改革(BPR)提案」であるが、そのスコープは次のようであった。

- ・ 港湾局:縦割り組織の弊害
- ・ 建設局:工事情報共有システム
- ・ 総務局情報システム部:TAIMS
- ・ 総務局行政改革推進部:IT 調達

本学は東京都の公立大学なので、東京都との関係が強く、東京都の情報化推進リーダー研修を行っていた。情報化推進リーダー研修は、2~3 年毎の定期的人事異動により情報化推進リーダー(副参事、課長級)になった人(過去に IT に関係した業務の経験のない人を含む)を対象にした 3~4 ヶ月のフルタイム研修である。

筆者はこの研修で PBL による指導を 4 年間担当した。数人の新任情報化推進リーダーで 1 チームを作り、学生と同じ PBL テーマに取り組んでもらった。従って、筆者は上記 4 つの PBL については、学生チームと情報化推進リーダーチームと 2 回ずつの指導経験を得ている。

東京都の業務、役割の考え方、仕事の進め方、意志決定のメカニズム、価値観、ルールなどは、情報化推進リーダーの人たちとの議論からいろいろ学ばせてもらった。民間企業での常識とは違った部分も多く、合理的でないと思われる業務がなぜそのように行われているかにもそれなりの理由があることがわかり、驚きも多かった。

2.3 東京都の IT 化ルール

東京都は IT 化(電子都庁化)について平成 13 年に電子都庁推進計画[2]を策定し公表している。IT 化は概ねこの計画に沿って行われてきた。その後、平成 19 年に東京都:今後の IT 化取組方針[3]を公表している。

東京都の IT 化では、全庁的な IT インフラになるものは情報システム部が担当するが、個々の業務システムについてはその業務を所管する所管部署の責任で IT 化を推進する。情報化推進リーダーは各局内で業務システムが必要になる場合に IT 化を推進する役割を持つ。

IT 化にあたってはアセスメントを行うことが義務づけられている。企画時と運用時(運用開始してから 2 年後)である。企画時のアセスメントは業務システムが必要かどうか、仕事のしかたがどう変わるか、効果が期待できるかどうかを評価する。運用開始後のアセスメントは、システム機能が適切であるかどうか、運用が適切に行われているかどうかを評価する。ルールにきちんと従っている限り IT 化と IT 投資に大きな間違いが起こらないようになっている。

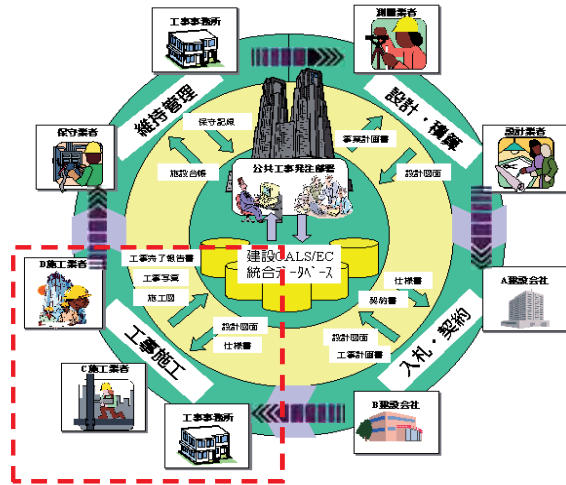


図3 建設 CALS/EC の考え方

3 東京都建設局の PBL

3.1 きっかけ

私が指導した情報化推進リーダーのひとりが建設局に就任し、本学 PBL のテーマとして提供してもらったものである。対象は「工事情報共有システム」である。このシステムは平成13年の電子都庁推進計画 82 ページに記載があり、電子都庁化の構成要素と位置づけられていた。当時、国土交通省（旧 建設省）が建設 CALS/EC を推進しており、その東京都版として推進計画に取り込まれたものである。工事情報共有システムは電子都庁推進計画に載ったことから、本来ならば行うはずの企画時アセスメントを経ずに予算が承認されシステム導入が行われた。

公共工事は図3に示すように4フェーズに分けられる。設計・積算、入札・契約、工事施工、維持管理である。工事情報共有システムは、工事施工段階で使用されるものである。東京都の工事監督員と工事を請け負った施工業者の現場代理人との間で IT を使って情報共有できるようにするものである。図4に示したように、工事監督員と現場代理人のコミュニケーションがスムーズにいくと、工事全体の生産性の向上が期待される。

工事監督業務は、現場代理人から出される提案や計画を見て、それを承認したり、必要な指示を出す仕事である。また、施工業者が承認した通りの材料を使っているか、設計図通りの工事を行っているかを管理・監督する。施工後外から見えなくなってしまう場合は、工事現場に向き工事状況を確認する。工事情報共有システムのユーザーは東京都職員（工事監督員）と施工業者の両方であるので、施工業者からシステム利用料を取ってもいいのだが、無料で使えるようにしていた。

システム導入後 2 年が経過し、ルールに従って運用時アセスメントを実施した。その結果判明したことは、ユーザーがなく誰も使っていないということだった。誰も使っていないのは問題なのでどうしたらいいかというのが PBL テーマとして

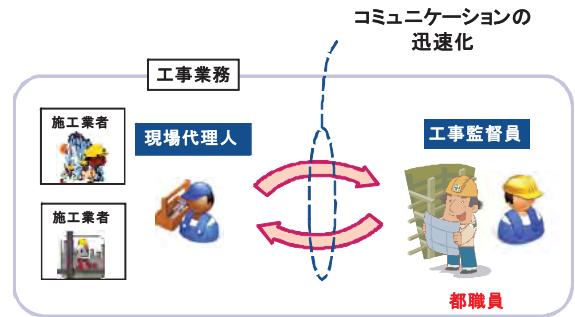


図4 現場代理人と工事監督員のコミュニケーション提供されたきっかけである。

3.2 工事情報共有システムの評価

運用時アセスメントは対象がシステムであり、導入されたシステムの機能や運用状態が適切かどうか、改善すべき点はないかどうかを評価するのが目的である。しかし、ユーザーがいなければ、システムがいいかどうかの判断はできない。システムはいいのだけれど、何か別な理由で誰も使っていない可能性があるからである。考えられる理由のひとつは、現場代理人が IT に慣れていなかったり、IT リテラシが低いためにシステムを使いたがらないというものである。

建設局では、なぜユーザーがいなかったかを調べるために、限られた人たちにシステムを強制的に使ってもらう実証実験を行い、アンケートをとった。その結果判明したことは想定していた理由とは異なっていた。

現場代理人のコメントは、工事情報共有システムを積極的に使っていきたいというものである。それに対し、工事監督員のコメントは、2 度手間になりシステムを使う分だけ負担が増えるから使いたくないというものであった。利用料を無料にしているにもかかわらず工事情報共有システムが使われないのは、施工業者側に理由があるのではなく、東京都に原因があったのである。

確かに、現在の工事業務は IT なしでまわっている。各種フォームが用意され、現場代理人と公示監督員のコミュニケーション手段に使われている。それらのフォームには押印が必要であり、記録を残すためにフォームの保管が義務づけられている。

システムを導入しても IT なしでまわっている業務の見直しが必要であれば、IT を使う部分がオーバーヘッドになり IT の効果は得られない。仕事のしかたを変えたり、業務ルールを見直すことをしないで IT を導入してもダメであるという典型例である。

工事情報共有システムがシステムのいいかどうかという判断はユーザーがいなければできない。しかし、IT 調達という観点では、工事情報共有システムは、そのシステムから効果が得られていないという意味で、IT 調達の失敗と言える。

現状① TAIMSとは？

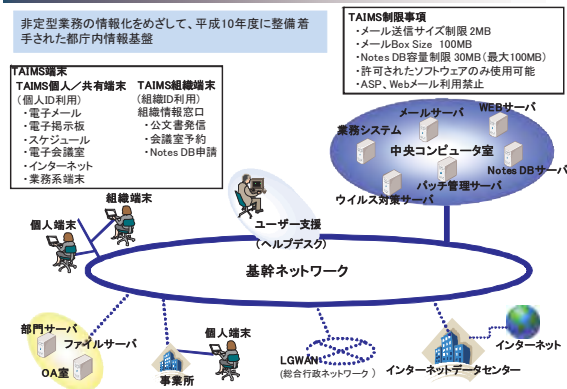


図5 Tokyo Advanced Information Management System

4 総務局情報システム部の PBL

情報システム部から提示された PBL テーマは TAIMS: Tokyo Advanced Information Management System (図5)である。TAIMS は都庁の IT インフラであり、電子都庁推進計画の中で最も重点が置かれているもののひとつである。これにより、インターネットへの接続や電子メールの利用が可能になっている。

電子都庁推進計画では、グループウェアの導入が明記されており、それによる効果として下記が挙げられている。

- 職員が横断的に議論し合える場の提供
- 業務ノウハウの共有化
- 情報共有化により報告を主な内容とする会議の縮減

TAIMS ではメールとグループウェアに Notes が導入されている。PBL で TAIMS 利用実態を調査した結果、TAIMS の課題を図6にまとめた。Notes データベースは誰でも使えるようになっており、Notes データベースを有効活用すれば業務上のメリットが得られるケースが多くあるにもかかわらず、ほとんど使われていないのが課題である。つまり、グループウェアから得られるはずの効果が得られていない。

Notes データベースは既に導入されており利用するために新たな投資は必要ない。使えばメリットが得られるはずなのに、それを使わないために宝の持ち腐れになっている。IT 調達の観点からは、得られるはずのメリットが得られていないという意味で、IT 調達が失敗していると言える。

5 総務局行政改革推進部の PBL

建設局や TAIMS の経験から、東京都の IT 調達が必ずしもうまくいっているとは言えない状況が見えてきたので、PBL テーマとして IT 調達を選択した。

5.1 IT 調達の特殊性

ここでの IT 調達は、パソコンやサーバーなどのハードウェアの調達ではなく、ソフトウェア開発を含む IT システムの調達を指す。一般に、政府や自治体での IT 調達は必

3.課題のまとめ

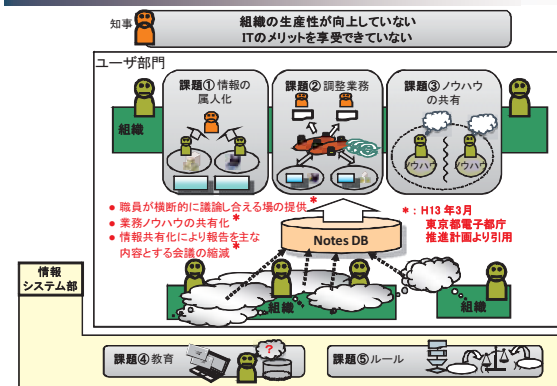


図6 TAIMS の課題

ずしもうまくいっているとは言えない。米国でクリンガー・コーエン法(IT 管理改善法)が制定されるきっかけになったのは、IT 投資が適切でない場合が多く見られたからである。

IT 調達の難しさは、調達しようとしているものが調達時点で存在していない点にある。この点が通常の物品調達とは大きく異なっている。従って、IT 調達は物品調達と同じように考えるはいけな。PBL で IT 調達を考えるにあたっては、最初に「IT 調達とは何か」を定義する必要があった。その結果を図7に示す

IT 調達はサービスの調達である。従って、調達時に考慮すべきことは次の二つになる。

- ① ベンダーの選定
- ② 選定したベンダーに対して必要とするシステムの指示

IT 調達が物品調達と違いサービスの調達であることを考慮し、IT 調達の特殊性を図8にまとめた。特殊性について注目すべき点について詳しく説明する。

5.1.1 仕様の詳細は基本設計・詳細設計中に徐々に固まる

システム開発では仕様の詳細が要求決定後、基本設計・詳細設計と進めていく中で徐々に固まっていくのが普通である。要求仕様書の段階ですべての仕様の詳細を確定するのはほとんど不可能である。詳細の決まり方に

1-(1) IT調達とは

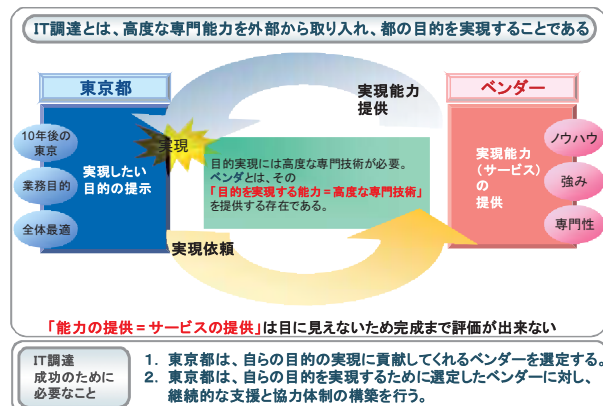


図7 IT 調達の定義

1. 東京都は、自らの目的の実現に貢献してくれるベンダーを選定する。
2. 東京都は、自らの目的を実現するために選定したベンダーに対し、継続的な支援と協力体制の構築を行う。

1-(4) IT調達の特長

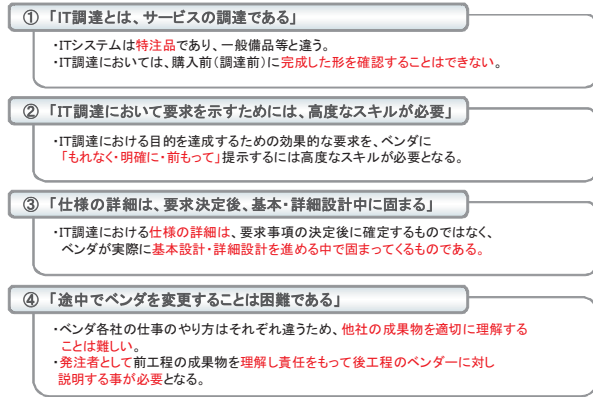


図8 IT 調達の特長

よっては作業量が見積りと変わってくることもあり得る。

5.1.2 途中でベンダーを変更することは困難である

一旦ベンダーを選定すると、途中でベンダーを変更するのは極めて困難である。例えば、要件定義が終わった後、基本設計に入る時点でベンダーを変更する場合を考えてみる。最初のベンダーは成果物として要件定義書を作成している。しかし、要件定義書の書き方は（標準がないので）ベンダー独自の方法になっており、後のベンダーが理解し解釈するのは困難である。発注者が努力すればベンダーの変更は不可能ではないが、発注者の手間や仕事は増える。従ってベンダーの変更は実質的にほとんど不可能である。

ベンダーの変更が難しいことを逆手にとって「一円入札」が問題になったことがある。最初の契約が赤字であっても、ベンダーが変更できなければ2回目以降の契約は競争相手のない特命随意契約が可能である。2回目以降はベンダーの言い値に近い契約になる場合が多い。適正価格と言えない（透明性の欠如）問題が発生する。

5.2 IT 調達におけるステークホルダー

図9に東京都の場合のIT調達に関するステークホルダーを示す。ステークホルダーが多く、関心事がそれぞれ異なっているのが特徴である。主なステークホルダー

1-(2) 主要なステークホルダーと様々な観点

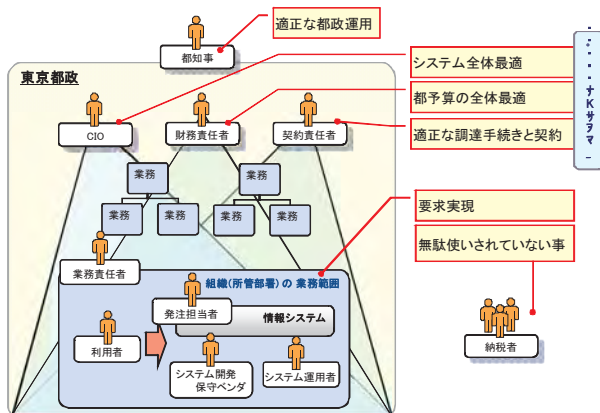


図9 東京都のIT調達に関わるステークホルダー

は次のようになる[4].

- 都知事
都政の運用
- CIO：情報統括責任者（総務局を所管する副知事）
システムの観点からの全体最適
システムのアセスメント
- 財務責任者（財務局）
財務の観点からの全体最適
都予算全体の中での承認・執行
- 契約責任者（財務局）
適正な調達手続き（透明性・公平性・説明責任など）に則った契約
- 業務責任者（業務所管部署）
業務上の必要性和効果，システムに対する要求実現
- 発注責任者（情報化推進リーダー（副参事））
システムの企画
IT 調達
- 利用者
システムの利用者（サービス・イン後）
- システム開発・保守ベンダー
システムの受注（請負契約）納品・保守
- システム運用者
サービス・イン後のシステムの稼働・運用
- 納税者
IT 調達で使われる費用の負担者

5.3 IT 調達で推奨される総合評価一般競争入札方式

IT 調達のガイドラインは、国際会計士連盟[5]や経産省から出されている[6](図10).

システムは開発にかかる費用だけでなく、保守・運用にも費用がかかる。システム効果が得られるのは、開発が終了し運用が開始されてからである。IT 調達の効果を見積るには、システム費用はライフタイム全体で捉えるべきである。一般に、

1-(5) IT調達の8つの基本原則と情報システムにおける政府調達指針



図10 IT 調達のガイドライン

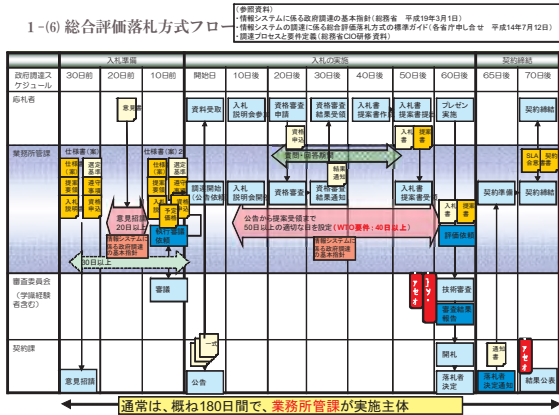


図 11 東京都でルール化された総合評価落札方式

国や自治体では単年度契約が行われるため、ライフタイム費用全体を考慮することはあまり行われていなかった。また、入札価格だけでベンダーを選定するのではなく、技術点を考慮して落札ベンダーを決定する方法が平成 16 年 3 月に経産省の IT 調達ガイドラインとして出された。

それを受けた形で、東京都は総合評価落札方式のプロセス(図 11)を策定している。総合評価落札方式では、事前に落札者決定基準の公開が義務づけられている。図 12 に技術点の評価項目例を示す。評価項目や配点割合は個々の IT 調達ごとに設定する。

情報システムに係る政府調達制度の見直しは経産省のホームページで最新の情報が参照できるようになっている[7]。

5.4 IT 調達の課題

IT 調達があまくいかない最大の原因は、欲しいと思っているシステムと納品されるシステムとに食い違いが発生する場合である。仕様書に書いてあることが実現できていなかったり、入札時の提案書に書かれている内容と違ったものが納品される場合がある。欲しいシステムと納品されるシステムの食い違いが発生する状況を東京都の場合を例にとりて図 13 に示す。

業務目的に合ったシステムは正方形と丸と三角の要素で構成されるべきものである。三角は利用者ニーズを反映している。東京都が必要としているものは正方形と丸と三角が揃ったものであるのに対し、納品されたものはそれとは似ても似つかないもの(図では傾いた「業務目的」で表現している)になっている。実装されたのは正方形の半分(ぬりつぶされた部分)と不要部分(ぬりつぶされている)である。点線の三角形、丸、正方形の半分は実装されていない。そのため業務目的を達成できない。なぜこのようなことになったかを矢印に沿って見ていく。

発注担当者は、業務目的を考えた際に利用者のニーズである三角を軽視して抜かしてしまった。次に、発注担当者は要求仕様書を作成するが、その際に丸の部分の正しく記述しなかった。要求漏れである。結果的に要求仕様書には正方形だけが書かれており、それが開発ベンダーに渡される。

1-(7) 落札者決定基準における技術点の評価項目 (東京都電子調達システム意見招請時仕様書の例)

評価項目	達成配点	最大加算点	配点割合	主な評価基準
構築するシステムの理解度	20	3%		業務概要・制度・業務種別の理解 システムの理解
要件への対応度	210	36%		各機能の必須要件、実現方法の提案内容
操作性	30	5%		ユーザインターフェイス、フェイルセーフ
関連システムとの連携	40	7%		連携インターフェイス 連携部分の理解・具体性
拡張性・互換性	30	5%		将来の機能拡張対応性・費用適正性 外的要因対応の工夫性・費用適正性
セキュリティ	30	5%		障害監視、バックアップ・復旧 パッチ適用
ハード・ソフト構成	10	2%		ハード・ネットワーク構成 ソフトウェア選定理由
説明会	20	3%		実行方法の資料等 効果的な説明会の実施
業務遂行能力	40	7%		資格・経験、官公庁実績 本業務への従事割合、セキュリティ管理
保守・運用管理	80	14%		ヘルプデスクの運用、構成管理手法 SLA定義、運用経費内訳(ライフサイクル)
環境負荷	20	3%		電力削減、社内取り扱ふ
移行方式	40	7%		移行からの移行手法
その他	0	20	3%	任意の提案

図 12 落札者決定基準の例

開発ベンダーは要求仕様書を見て設計・実装を行う。その際、要求仕様書の解釈の間違いから設計漏れや実装漏れが発生する。また、実装の際に必要としていない不要部分が増加されたりする。

これは、ステークホルダーである利用者、発注担当者、開発ベンダーの間のコミュニケーションがあまくいかなかったことが原因だとも言える。しかし、ちゃんと伝えてくれなかったから解釈を間違えました、言われたことだけをやりました、という開発ベンダーの姿勢にも問題があるように思われる。

IT 調達の課題として、東京都の特殊事情と言えるものがある。東京都は人事施策として 2~3 年ごとに必ず部署を異動するようにしている。同じ業務を長く続けると業者や関係者との癒着が起きやすいことを排除する目的である。そのため、ステークホルダーの業務主管部署の発注責任者(情報化推進リーダー)も例外ではなく、異動により IT 経験のほとんどない人が着任することもある。一般に、民間企業では IT 調達担当者は 5 年以上の経験を積んだ専門家である。しかし、東京都では専門家でない人が IT 調達を行わなければならない。要求仕様書を書くのは初めてである場合が多く、そのため適切な要求仕様書にならない場合もしばしば生じる。その状況を図 14 に示す。総務局行政改革推進部が東京都内部用ガイドラインとして出している「業務改善・情報システム導入ガイドライン」の V 字モデルをベースに課題点を指摘し

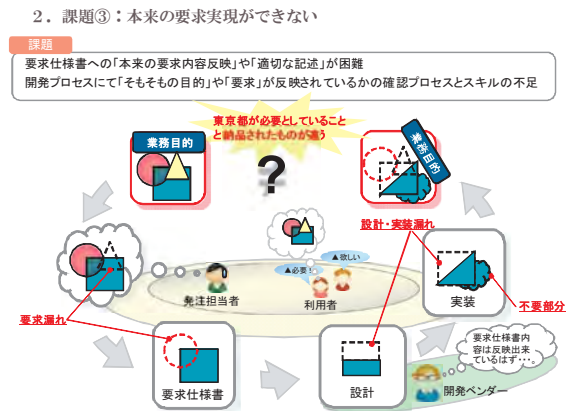


図 13 欲しいシステムと納品されるものが違う

2. 課題④：高度な専門スキルが不足している

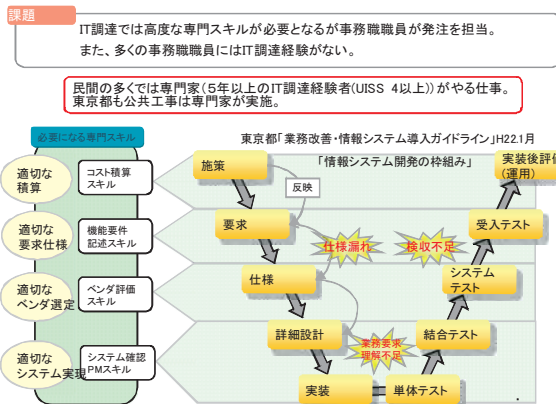


図 14 東京都では IT 調達担当者は IT の専門家ではない

ている。
東京都における IT 調達の課題は、東京都が必要とするシステムをベンダーが納品しないことにある。

5.5 東京都における IT 調達のあるべき姿

図 15 にあるべき姿を示す。業務所管部署とベンダーが協力し合い、所管部署はベンダーの力を借りるし、ベンダーは東京都と目的を共有するパートナーシップの関係を築くことが描かれている。

5.6 東京都に対する提言

図 16 から図 18 は、PBL の成果として東京都へ提言した内容 (改革のポイント) である。

- 改革のポイントは次の 3 つである
- 落札者決定基準の見直しとライフサイクルを考慮した契約へ変更する
- ベンダーとのコミュニケーションレイヤーを変更する
- 業務所管課へのサポートを強化する

6 ベンダーに求められるプロフェッショナリズム

最後に、PBL を通じて得られた知見として、IT 調達をもう

3. あるべき姿

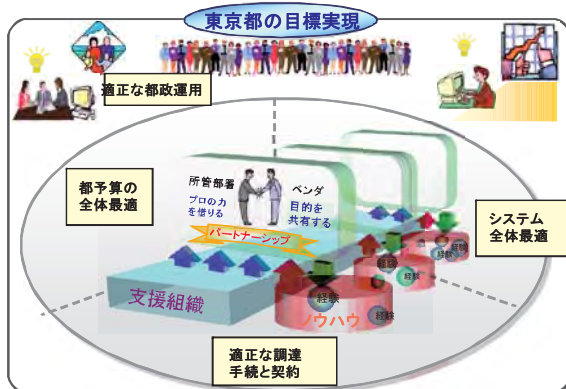


図 15 東京都における IT 調達のあるべき姿

4. 改革のポイント① 落札者決定基準の見直しとライフサイクルを考慮した契約

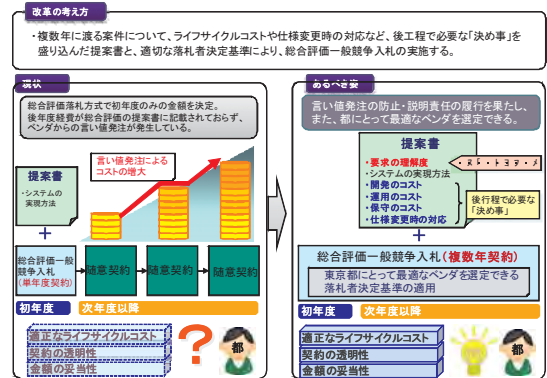


図 16 落札者決定基準の見直しとライフサイクルを考慮した契約

4. 改革のポイント② ベンダーとのコミュニケーションレイヤーを変更する

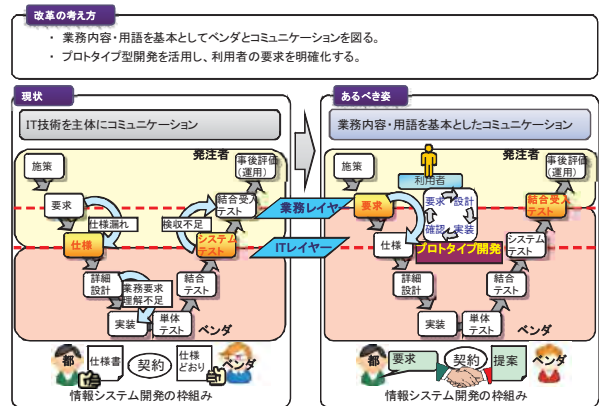


図 17 ベンダーとのコミュニケーションレイヤーを変更する

4. 改革のポイント③ 業務所管課へのサポートを強化する

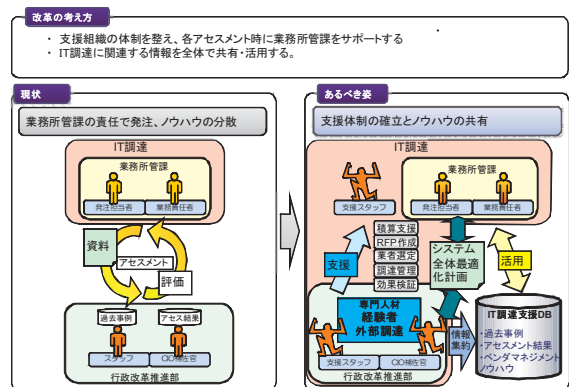


図 18 業務所管課へのサポートを強化する

少し広い視点から捉えてみたい。PBL では東京都への(仕事のしかたを見直す)提言を行ったのであるが、ここではサービスビジネスの視点から IT 調達の問題を捉えてみたい。IT 調達が成功するかどうかは、東京都のサービスや業務が効果的・効率的になるかどうかで判断できる。

サービスビジネスは図 19 に示したように発注者(東京都)と受注者(ベンダー)で成り立っている。サービスビジネス全体がうまくいくとは、発注者の背景にあるビジネス要求を満たすかどうかで決まる。ベンダーは発注者の背景にあるビジネ

ス要求が何であるかを理解しないで仕事を受注するのは間違いである。プロフェッショナルであれば、ビジネス要求が何かを正しく理解できる能力を持っているはずである。ビジネス要求が何かは、言ってくれないと(あるいは、要求仕様書に書いてくれないと)わかりません、というのは本当のプロフェッショナルではない。発注者の背景にあるビジネスを理解できれば、ビジネス要求が何か分かるのがプロフェッショナルである。

しかし、サービスビジネスでは、通常、発注者と受注者の間で文書による契約が交わされ、受注者は契約文書に書かれていることだけをやれば責任は全うされ義務を果たすようになっている。契約文書は要求仕様書だったり SLA (Service Level Agreement) だったりする。契約時には要求仕様書に加え、ベンダーの責任を限定するための付随文書が付加されるのが普通である。この段階で、ベンダーは発注者のビジネス要求が何であるかを知らなくても、契約書に従って仕事をすればよくなっている。サービスを提供する本来の目的は発注者のビジネスに貢献することであるはずであるが、契約を取り交わした時点でそれが忘れられ、契約書に従った仕事をすればよいと考えるようになってしまう。

民間企業であれば、発注者はITの専門家なので、ベンダーをコントロールし、きちんと仕事をしてもらうためのポイントを知っているので、契約書にもそのことが書かれている。しかし、東京都のようにITの専門家でない人の場合、契約書に必要十分なことを書くのは難しい。ベンダーはそれを逆手にとって東京都が必要としていることに見向きもしないで契約書の不備について自分にとって都合のいいように解釈しがちである。

東京都からベンダーに支払われる費用は(ほとんどの場合)税金である。税金から仕事をもらっているのだから、無駄遣いにならないように考えて欲しいのだが、そのようなモラルを期待するのは難しいようである。せめて、ITプロフェッショナルとしての自覚と責任から、発注者(東京都)の背景にあるビジネスに貢献することを考えてもらいたい。

ビジネスは繰り返して成り立っている。民間企業であれば期待に反する仕事をするようなベンダーは2度と仕事をもらえなくなる。期待に応えることが次の仕事につながる。従って、契約書はあっても、期待に応えることがプライオリティとしては高くなる。しかし、東京都ではベンダーを評価しないので、期待に沿わないベンダーであっても次回の入札に参加することが可能である。総合評価方式の入札では、過去の仕事はどうであったかを評価項目に入れることはできない。ベンダーのプロフェッショナルリズムに期待するゆえんである。

ITプロフェッショナルに求められる真摯さ

- ビジネスの基本は繰り返し
- 発注者の背景にあるビジネス要求

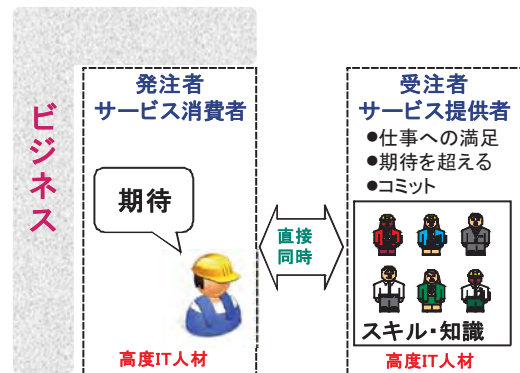


図19 ベンダーに求められるプロフェッショナルリズム

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
<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2005/039/index.html>
- [2] 電子都庁推進計画(平成13年3月)
http://www.soumu.metro.tokyo.jp/13it/dl/itplan_all.pdf
- [3] 東京都:今後のIT化取組方針(平成19年9月)
<http://www.soumu.metro.tokyo.jp/13it/dl/19torikumihoushin.pdf>
- [4] 戸沢義夫:IT調達におけるステークホルダーとITプロフェッショナルに求められる真摯さ, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-IS-117, No. 3
- [5] 国際会計士連盟:国際情報テクノロジーガイドライン第3号 情報テクノロジーの調達(2000年7月)
http://www.hp.jicpa.or.jp/specialized_field/pdf/00079-000124.pdf
- [6] 情報システムに係る政府調達制度の見直しについて(平成16年3月)
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/tyoutatu/minaosi.pdf
- [7] 情報システムに係る政府調達制度の見直し(経産省)
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/tyoutatu/index.html

Overview by Extended Hückel Method on Ferromagnetic Shape-Memory Alloys

管野 善則*

Yoshinori Kanno*

Abstract

Ferromagnetic shape-memory alloy (SMA) are powerful candidates as actuators, pressure sensors, magnetic sensors, etc. Magnetic-field-induced strain has been observed in many ferromagnetic SMA. The magnetic-field-induced strain is a reversible transformation in the martensite phase with the magnetic field. We have investigated the property of the ferromagnetic shape-memory materials by the extended Hückel method, and estimated the ferromagnetic shape-memory of Fe-Pt and Fe-Pd alloys at high temperatures. We used two physical quantities, i.e. cohesive energy and energy fluctuation, to measure the stability of the materials. On the basis of the cohesive energy and energy fluctuation, we discuss the characteristics of ferromagnetic SMA, in which the energy fluctuation is a measure of thermal stability of the metals and/or alloys. The martensite structure is unstable, which means that the energy fluctuation has to be controlled to a small value to keep the martensite phase. Furthermore, it is estimated that the energy fluctuation is associated with the Curie temperature. The Curie temperature is an essential parameter for ferromagnetic materials. From the discussion presented above, we can propose the following: (i) Alloys possessing a low cohesive energy are associated with a high mobility of atoms and are suitable for ferromagnetic shape-memory materials; (ii) Alloys showing a low energy fluctuation show ferromagnetic shape-memory and are favored for use as memory device.

Keywords: ferromagnetic shape-memory, extended Hückel method, Fe-Pt, Fe-Pd, martensitic transformation

1 はじめに

本総説は当研究室においてこれまで耐熱材料の合金組成研究に用いてきた拡張ヒュッケル法の異分野への展開として書きおろした概説書的なものである。研究対象として、現在微少駆動アクチュエータ、スピーカー等で製品化されている巨大磁歪材料に注目した。巨大磁歪材料は圧電材料より大きな変位を持ち、磁場による制御を行うため非接触駆動も可能な将来的にも有望な機能性材料である。

拡張ヒュッケル法とは、元 京都大学 山本悟先生[1]によって開発された純国産のシミュレーション手法で、分子や結晶などの大きな系である場合に良く使われる半経験的分子軌道法である。この拡張ヒュッケル法の計算の結果「凝集エネルギー」と「ゆらぎ」という値を求めることが出来る。「凝集エネルギー」とは“クラスタを形成したときのエネルギーの低下量”＝“系の静的な安定性”を表す。「ゆらぎ」とは電子の励起しやすさを示す値で、“電子の励起しやすさ”＝“動的安定性”を表す。

さらに Mulliken の population によって求めることが出来る Atomic population と Atomic bound population はそ

れぞれ原子の静電結合性・共有結合性を示す値である。

本研究はこれら凝集エネルギー・ゆらぎ・Atomic population・Atomic bound population の計算結果より超磁歪材料の物理的性質を評価・予想しようとするものである。

2 超磁歪材料

2.1 超磁歪材料とは

超磁歪材料とは、磁場により駆動させることが出来る形状記憶合金のことである。

超磁歪材料は現在微少駆動アクチュエータ、新しい特性を持ったスピーカー等で製品化されている。超磁歪材料は圧電材料より大きな変位を持ち、応答も速く、磁場による制御を行うため非接触駆動が可能である。それらの特徴から、将来的には圧電材料を脅かす材料になる可能性を持っている。また、TDK は超磁歪材料をエンジンの直噴バルブに用いた超磁歪型直噴バルブの開発を行っている。超磁歪材料ならば、噴射量のアナログ的な制御が可能であり、エンジンの効率化に一役買っている。また、圧電材料型直噴バルブと違い非接触駆動が可能であることから管路の機密性等の面で優れている。

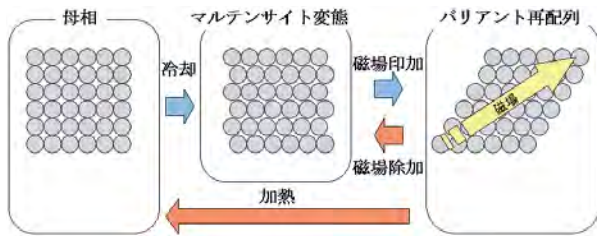


図 1: バリエントの再配列

そもそも磁歪とは、磁性材料に外部磁場を印加すると変位を生じる現象のことである。その原因は、磁性材料を構成する電子のスピンが外部磁場によって制御されてしまうためである。通常の磁歪は変位 $\lambda = 10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度の現象である。しかし超磁歪材料は変位 $\lambda = 10^{-4} \sim 10^{-3}$ オーダーという桁違いに大きな変位を生じる材料である。

超磁歪材料の変位はバリエントの再配列により説明されている。この機構は基本的には形状記憶合金と同じである。

形状記憶効果をもつマルテンサイト相は双晶として形成されている。このマルテンサイト相は結晶構造は同じだが結晶方位の異なるバリエント(兄弟晶)により構成されている。この状態のマルテンサイト相に応力を加えるとバリエントの再配列がおき、応力に応じて優先するバリエントが成長し変位が発生する。最終的には材料全体が単一バリエントに近い状態になる。その状態で加熱するとマルテンサイト変態の逆変態が起こり、元の状態に戻る。以上が通常の形状記憶合金の変形機構である。超磁歪では前記の応力の代わりに外部磁場による磁歪発生によってバリエントの再配列が生じていると説明されている。

2.2 超磁歪材料の技術動向

様々な文献[2-5]から抜粋した超磁歪材料の性能を表 1 にした。

表 1: 超磁歪材料比較(抜粋)

		可逆			キュリー温度
		変位	温度	磁場	
Terfenol-D	max	$\epsilon = 2 \times 10^{-3}$	常温	40kA/m	623K
		$\epsilon = 1 \times 10^{-3}$	常温	40kA/m	623K
NiMnGa		$\epsilon = 1 \times 10^{-3}$	265K	0.8MA/m	378K
NiCoAl		0.06%	165K	10kOe	275K
Fe-Pd	max	$\epsilon = 2.3 \times 10^{-3}$	260K	0.8MA/m	600K
		$\epsilon = 2 \times 10^{-3}$	260K	0.2MA/m	600K
		多結晶線	$\epsilon = 0.45 \times 10^{-3}$	260K	0.1 MA/m
	多結晶粒	$\epsilon = 0.18 \times 10^{-3}$	260K	0.1 MA/m	600K
Fe-Pt	max	0.60%	4.2K	3.2MA/m	360K
PMT-1(TDK)		1100ppm	常温	1kOe	653K
		1450ppm		3kOe	654K
		参考			
Fe-BaTiO3		0.75%	常温	200V/mm	

この表に参考として載せた Fe-BaTiO₃ は、物質材料研究所にて発表された、巨大電歪効果を示す材料である。超磁歪材料に匹敵する可逆歪をみせる圧電材料である。

さらにこの表 1 の各値の単位を合わせて比較できる様に

表 2 で書き直した。このとき単位換算は次の様に行った。

$$1[\text{Oe}] = 80[\text{A/m}]$$

$$1[\text{ppm}] = 1 \times 10^{-6}$$

表 2: 超磁歪材料比較(単位換算)

		可逆			キュリー温度
		変位	温度	磁場	
		$\epsilon \times 10^{-3}$	[K]	k[A/m]	[K]
Terfenol-D	max	2	300	40	623
		1	300	40	623
NiMnGa		1	265	800	378
NiCoAl		0.6	165	800	275
Fe-Pd	max	2.3	260	800	600
		2	260	200	600
		多結晶線	0.45	260	100
	多結晶粒	0.18	260	100	600
Fe-Pt		6	4.2	3200	360
PMT-1(TDK)		1.1	300	80	653
		1.45	300	240	653

表 2 のうち、実用化されているのは Terfenol-D である。Terfenol-D は Terbiuim・Ferrum・Naval Ordnance Laboratory・Dysprosium の各頭文字をとったもので、組成は Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe_{1.9}。通常ブリッジマン法で単結晶化したものである。よってこの性能が実用化のための目安となる。ちなみにこの表の Terfenol-D は粉末冶金によって製作された材料の値である。

Terfenol-D が優れているのは変位に必要な磁場が他材料にくらべ 1 桁小さいことである。そこが解決されたとして、Terfenol-D に匹敵した性能を持つのは Fe-Pd であるが、マルテンサイト変態温度が 280K であるため、それを超えると急激に変位が小さくなる。よってマルテンサイト温度の上昇ができれば Terfenol-D に対抗できうる材料ではないだろうか。一方、実用化もされている NiMnGa は変位が Terfenol-D に比べ小さいことと、材料がもろいことが難点とされている。

2.3 超磁歪材料の性質改善

2.3.1 超磁歪材料の低価格化

超磁歪材料が未だメジャーな材料になりきれていない理由として、材料が高価であることが挙げられる。その解決策が単結晶合金の焼結合金化である。

日本ではモリテックスと TDK が焼結合金の Terfenol-D バルク材を販売している。両社の Terfenol-D 焼結合金開発動向から超磁歪材料の性質改善のキーポイントを探してみる。

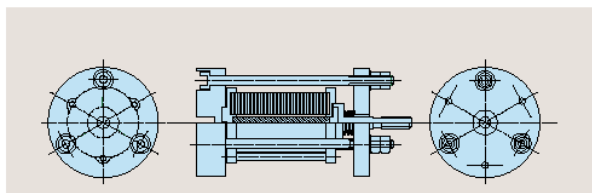
図 2 はモリテックスにより販売されている Terfenol-D 超磁歪アクチュエータである。

<モリテックス N2M-800>

モリテックス N2M-800 は NAPAC・モリテックス・長野県工業試験場のグループが開発した Terfenol-D 焼結合金である。通常の Terfenol-D 単結晶材料の価格は 300~600 円/g であり、最大 1700ppm の変位を起こす。これを粉末冶金法によって最大 1000ppm(120 k A/m 印加時) 、

800ppm(80kA/m 印加時)の変位を起こす材料 N2M-800を作成し、100円/gでの生産を可能にした。ちなみに、次項で述べるTDKのPMT-1は1100ppm(80kA/m)であるので、性能面ではTDKの方が上である。

長野県工業試験場は平成11年から、超磁歪材料の応用研究をはじめ、平成14年からNAPACとTerfenol-Dの粉末冶金について研究をしていたようである。



品名	MA-KY-150/40	MA-KY-120/20	MA-KY-80/20	MA-KY-50/6
素子寸法(mm)	φ40×150L	φ20×120L	φ20×80L	φ6×50L
外径(mmφ)	φ146	φ92	φ103	φ56
ボデー高さ(mm)	243	195	148	88.5
最大高さ(mm)	280	215	192	110
変位(μm)	180	144	96	60
磁歪(ppm)	1,200	1,200	1,200	1,200
最大発生力(N)	39,200	9,530	9,180	823
商品コード	D-0820	D-0821	D-0822	D-0823

※サイズ、出力変位量など、お客様の仕様に合わせて特注品に対応いたします。

図 2: カップヨーク型 Terfenol-D 超磁歪アクチュエータ(株)モリテックス

<TDK PMT-1>

TDK PMT-1はTDKの販売しているTerfenol-D超磁歪焼結合金である。このTDK PMT-1の完成までの問題解決についてTDKのホームページに以下のように記述があった。

①組成の工夫

複数材料の適切な配合。

②粉碎行程の工夫

粉碎する際通常よりやや粗い粒子にすること。

粗い粒子にすることで、磁界を加えながら成型する際、摩擦が少なくなりまく配向することが出来るようになった。

③焼成雰囲気工夫

焼結体の密度向上が信頼性の実現には必要。しかし、密度向上のためには原料の粒子を小さくせねばならず、上記②の粉碎行程の工夫と矛盾してしまう。そこで、焼結雰囲気を水素にすることで結晶に水素を吸蔵し密度が86%から97%まで向上した。

一方、平成14年11月5日のNEDOの議事録内に以下のように記述されている。

TbFe₂とSmFe₂は同じ結晶構造を持つが、TbFe₂は正の磁歪を生じ、SmFe₂は負の磁歪を生じる。SmFe₂を使って超磁歪材料を作成すればTbFe₂に比べ1/10のコストになる可能性がある。また、TDKが高価なTerfenol-Dを採用したのは高温(380℃)でも使用出来るためだそうである。

2.3.2 超磁歪材料の性質改善ポイント

<変位必要磁場の減少>

超磁歪材料であるTbFe₂は変位に大きな磁場が必要である。そこで、必要な磁界を低減化するため、DyFe₂と組み合わせ、Terfenol-Dが出現した。このことについて具体的に掘り下げてみる。以下に、Terfenol-Dを構成する材料の性質を挙げた。

TbFe₂: 正磁歪(1753×10⁻⁶) + 大きな負の

磁気異方性定数 (必要磁場 800kA/m)

DyFe₂: 正磁歪(433×10⁻⁶) + 大きな正の

磁気異方性定数

Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe_{2-x}: 正磁歪(1500~2000×10⁻⁶) +

小さな磁気異方性定数

(必要磁場 1000×10⁻⁶のとき 40kA/m)

このことより、磁気異方性定数を小さくなるよう組成を操作することで、変位に必要な磁場を変化させることが可能ということがわかる。

ここで例として、2.3.1にて磁歪材料として価格的に有望とされたSmFe₂で考えてみる。

SmFe₂: 負磁歪(-1560×10⁻⁶)。これに添加する材料として考えられるのは、負の磁歪をもち、磁気異方性定数がSmFe₂と符号が逆で近い値の物質である。SmFe₂と同様に負の磁歪を持つのは、SmFe₂と同じ希土類1-鉄2系の材料ではTmFe₂(-123×10⁻⁶)が考えられるが、これらの材料の磁気異方性定数を調査すればSm_xTm_{1-x}Fe₂という組成が有用であるかどうかの指標となるはずである。

<磁歪材料の使用可能温度域>

温度領域の目安になるのはキュリー温度T_cである。キュリー温度とは強磁性と常磁性を示す境目の温度のことである。常磁性とは、原子磁石を一定の向きを向かせようとする分子磁場の作用より、でたらめな向きにしようとする熱の作用が越えた状態をさす。キュリー温度以下になると、多くの磁歪材料は結晶構造が正方晶系から立方晶系に変化し結晶の異方性を持つ。よって結晶の異方性を利用して大きな変位を起こす超磁歪材料は、キュリー温度以上では使用できないと考えられる。

例外として、La(Fe_xSi_{1-x})₁₃化合物はキュリー温度の直上(200K)で小さな磁場で駆動可能だが、これは磁場によって常磁性から強磁性への転移(遍歴電子メタ磁性転移)が生じ体積を変化させるためである。ちなみにこの研究では、水素を吸蔵させる事により330Kまでキュリー温度を上昇させることに成功している。また、この研究ではFeの濃度を上昇させると磁気モーメントが増大するが、キュリー温度は逆に低下することを述べている。

また、鉄系合金超磁歪材料は、fct マルテンサイト相により

大きな歪を発生させている。

よってマルテンサイト変態温度も使用可能温度域の重要な要素になる。

<磁歪の発生条件>

“コロナ社 形状記憶材料とその応用[6]”には超磁歪の機構について以下のように記述がある。

「磁歪の原因は 3d 又は 4f 電子の持つ磁気モーメント間の交換相互作用によるエネルギーと磁気弾性エネルギーの兼ね合いで決まってくると言われている。」

さらに別の論文[2]には、「外部から磁場を加えると、磁化は結晶の容易軸方向から磁場方向へと向きを変える。ここで、結晶磁気異方性エネルギーがバリエーションの界面の移動のエネルギーより大きい場合、磁化の回転にともないバリエーションの変換が起きることになる。」

との記述がある。つまり

[バリエーション変換に必要なエネルギー] < [結晶磁気異方性エネルギー]

ならば、磁歪が生じる可能性があるということである。

[バリエーション変換に必要なエネルギー]については、拡張ヒュッケル法で求められる凝集エネルギーが一つの要素と考えることが出来るのではないかと考えられる。

3 拡張ヒュッケル法

3.1 拡張ヒュッケル法 (extended Hückel method) [1,7]

拡張ヒュッケル法は分子や結晶などの大きな系である場合によく使われる半経験的な分子軌道法の一つであり、有機化合物や金属錯体に適用されて、多くの成果を上げている。この方法は、パラメータとして軌道指数とイオン化ポテンシャルが与えられれば、分子軌道 (molecular orbital, MO), 軌道エネルギー, 全エネルギー, さらに各種の population などが計算できる。この方法で利用者に求められるインプット・データは分子を構成する各原子の座標だけであり、近似は粗いけれども大きな傾向は十分に把握でき、かなり大きな系についても比較的短時間で計算することができるので、利用者の立場からすると実用的である。

以下に、簡単に拡張ヒュッケル法の計算方法について概要を示す。

拡張ヒュッケル法では、分子軌道をその分子の構成原子の原子価電子の原子軌道、すなわち原子価軌道 (valence atomic orbital, valence AO) の一次結合で表す。

$$\psi_i = \sum_r C_{ir} \chi_r$$

例えば、水素原子はその 1s 軌道、炭素原子では 2s, 2px, 2py, 2pz の 4 個の原始軌道を考慮する。

今、一電子ハミルトニアンを h とすると、 r 番目の原子軌道

χ_r のクーロン積分 H_{rr} , 交換積分 $H_{rs} (r \neq s)$ は次のように定義される。

$$H_{rr} = \int \chi_r h \chi_r d\tau$$

$$H_{rs} = \int \chi_r h \chi_s d\tau \quad (r \neq s)$$

さらに、変分法によって次の永年方程式が得られる。

$$|H_{rs} - ES_{rs}| = 0$$

ここで S_{rs} は重なり積分の値であり、拡張ヒュッケル法では単純分子軌道法と異なってすべての S_{rs} を無視しない。

H_{rr}, H_{rs} は次のように評価する。

$$H_{rr} = -I_r$$

$$H_{rs} = \frac{K}{2} S_{rs} (H_{rr} + H_{ss})$$

ここで、 I_r は r 番目の原子価軌道の原子価状態のイオン化ポテンシャルの値であり、 K は定数で、Hoffmann は $K=1.75$ が妥当であるとしている。また重なり積分 S_{rs} は Slater 軌道を用いて計算している。クーロン積分の評価法では、 p_x, p_y, p_z 軌道はすべて同一の値をとり、 σ 電子、 π 電子あるいは孤立電子の区別はしない。

また、永年方程式で、重なり積分を無視しないため、電子密度、結合次数は、Mulliken の提唱に従って population と名づけられ定義されている。

さらに拡張ヒュッケル法は単純 LCAO MO (linear combination of atomic orbital MO) 法の一種であるから、その全電子エネルギーは軌道エネルギー E の和で与えられる。

3.2 凝集エネルギー (cohesive energy) [1]

凝集エネルギーは、クラスターを構成する原子が互いに無限に遠く離れている状態を基準 (エネルギーゼロ) にし、そこから凝集してクラスターを形成したときのエネルギーの低下量を表すものとし、正で大きいほど安定となるようにした。すなわち、次のようになる。

$$\begin{aligned} (\text{凝集エネルギー}) &= (\text{系の全エネルギー}) \\ &\quad - (\text{孤立原子のエネルギーの和}) \end{aligned}$$

ここで、孤立原子のエネルギー自体は各電子のイオン化エネルギーの和として求められる。

このようにして得られる凝集エネルギーは、系の静的な安定性を表していると考えられる。

3.3 エネルギーのゆらぎ (energy fluctuation) [1]

電子は普通基底状態、すなわちエネルギーの最も低い状

態にある。ところが温度が上がると、これらの電子は励起される。この電子の励起されやすさは、大まかには、基底状態において、電子の詰まっている最もエネルギーの高い軌道 HOMO(ホモ)(highest occupied molecular orbital)と、電子の詰まっていない最もエネルギーの低い軌道 LUMO(ルモ)(lowest unoccupied molecular orbital)との差で見積もることができる。しかし、実際には LUMO より上の軌道にも電子は励起されるわけであり、それらも考慮する必要がある。そこで、HOMO の軌道エネルギーを基準にして、電子が詰まっていない空軌道全ての軌道エネルギーの標準偏差から見積もる「ゆらぎ」という評価を用いる。ただし、電子の励起される確率はギブス分布に従うものとする。すなわち、次式のようになる。

$$\Delta E^2 = \left\langle (E_n - \langle E_n \rangle)^2 \right\rangle$$

$$\langle E_n \rangle = \frac{\sum_n E_n \cdot \exp(-E_n / kT)}{\sum_n \exp(-E_n / kT)}$$

ここで、 ΔE はエネルギーのゆらぎ、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 E_n は軌道エネルギーである。

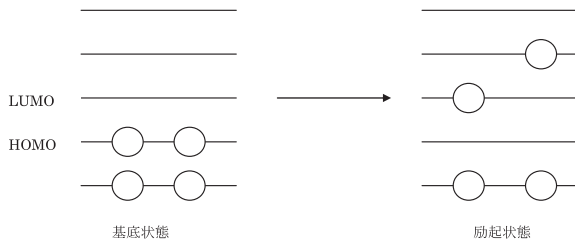


図 3: 電子の基底状態と励起状態

このようにして得られるゆらぎは、電子の励起されやすさ、すなわち反応性(動的な安定性)を表していると考えられる。つまり、ゆらぎが小さくなるということは、電子の安定性が増すということである。これは高温での原子の結合が安定であることを意味し、高温強度に優れていることに対応すると考えられる。

3.4 Mulliken の population[1]

結合性を拡張ヒュッケル法の計算結果から判断するには、Atomic population と Atomic bond population を用いる。これらは次のように定義される。

$$N_r = 2 \sum_j^{occ} \sum_s^{occ} C_{jr} C_{js} S_{rs} = \sum_s N_{rs} / 2$$

Atomic population

$$M_x = \sum_r^{onX} N_r$$

Atomic orbital bond population

$$N_{rs} = 4 \sum_j^{occ} C_{jr} C_{js}$$

Atomic bond population

$$N_{xy} = \sum_r^{onX} \sum_s^{onY} N_{rs}$$

以上の定義で、Atomic population と Atomic bond population を求めることができるが、その値を用いての結合性は以下のように判定される。

- 共有結合性: ABP が正で大きい。かつ AP が中性孤立原子と同じ。
- 金属結合性: ABP が正で小さい。かつ AP が中性孤立原子と同じ。
- 静電結合性: ABP が 0 または負。かつ AP が中性孤立原子より大きく変化。
- 分子結合性: ABP が 0。かつ AP が中性孤立原子と同じ。
- 反結合性 : ABP が負。かつ AP が中性孤立原子と同じ。

3.5 サンプル作成について

凝集エネルギーとエネルギーのゆらぎの計算値は、クラスタの形状や表面に影響を受ける。そのため分子軌道法を用いて計算を行う場合、どのようなモデルについて計算を行うかが重要な問題になる。本研究においては、表面原子の影響を少なくするため、なるべく原子数を多くし、かつ球形に近いクラスタを用いた。

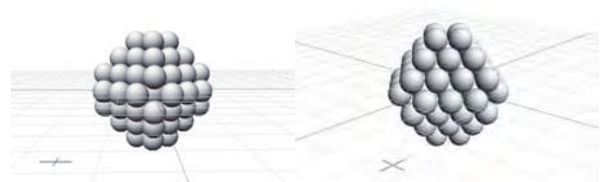


図 4: fcc 系クラスタ

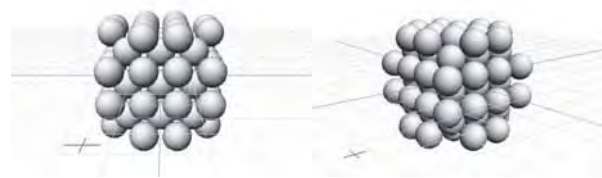


図 5: bcc 系クラスタ

図 4 は fcc 系クラスタ、図 5 は bcc 系クラスタである。以上のようなクラスタ中で、溶媒原子を合金元素で置換して凝集エネルギーとエネルギーのゆらぎを求めた。また、実際には合金元素とその組成が変化すると、構造と格子定数が変化するにもかかわらず、第一近似としてそれらを見逃した仮想的な

クラスタについて計算をした。さらに、添加元素を配置した位置、添加元素同士が隣接するかで計算値が異なってくるだろうが、濃度が一定の場合は全てのサンプルにおいて配置位置を統一することでその誤差を無視した。

4 拡張ヒュッケル法の超磁歪材料への適応

4.1 クラスタ製作のための調査

拡張ヒュッケル法計算のため、結晶構造と格子定数を調査した。まずは、Fe-Pt合金とFe-Pd合金について計算を行う。調査した各値は以下のようなものである。

表 3: 結晶構造と格子定数

< Fe-25Pt (at%) >	< Fe-31.2Pd (at%) >
母相 L1 ₂ 型	母相 A1型 (fcc)
a _{300K} =0.3731nm	a _{300K} =0.3758nm
fct マルテンサイト相	fct マルテンサイト相
a _{14K} =0.3820nm · c _{14K} =0.3608nm (c/a=0.945)	a _{77K} =0.3828nm · c _{77K} =0.3599nm (c/a=0.940)

今回は、磁歪性を見るため、fct マルテンサイト相のデータを用いてクラスタを製作した。よってクラスタの形状は図 4 のfcc系クラスタである。

4.2 結合性・凝集エネルギーによる評価

結合性と凝集エネルギーの値は、超磁歪材料の変位しやすさに影響していると考え、さらに「変位しやすさ」を2つの原因に分けて考えた。

まず、結合性はバリエーションの集団行動のしやすさを示していると考察した。つまり共有結合性が高いほど原子同士の結びつきが強いため、バリエーションの再変換などの集団的運動を起こすということである。逆に共有結合性が弱いと、原子が集団的運動を起こさず、転移などの方法で磁場により発生した力を逃がしてしまうことが考えられる。よって、共有結合性が高い材料の方が原子が集団的運動をしやすいとみなした。

しかし、当然共有結合性が高ければ材料としては硬くなり、変位を起こしにくいとも考えられる。そこで、指標となるのが凝集エネルギーである。凝集エネルギーは3章で述べたように、原子が結合に使っているエネルギーの大きさを示す値である。凝集エネルギーが弱いほど原子は動きやすい。もし、共有結合性が高く凝集エネルギーが弱ければ、集団運動をしやすく、さらに変位を起こしやすいのではないだろうか。それはすなわちバリエーションの再配列のしやすさであると考察した。

4.3 ゆらぎによる評価の解釈

2.3.2で述べたように、磁性に影響するのはd・f軌道の不

対電子であり、外殻の電子は原子間の結合に用いられているということである。(原子同士の軌道の重なりがd・f軌道までは達していない) このことと「ゆらぎ」という値を結び付け、以下のように考察した。

温度上昇により外殻の電子が励起されると、磁性を発生させていたd・f軌道の電子が増え不対電子が減少する。ある程度励起されると不対電子が無くなり磁性が無くなる。

超磁歪材料ではFe-Pt・Fe-Pd合金ともに磁歪発生のため低温にする必要があるが、ゆらぎが小さければその低温の電子状態を高温まで維持しやすく、使用可能温度の上昇につながるのではないかと考察した。例えば、f軌道には最大14個の電子を収納し、7個までの電子は対を作らない。よって、初期状態からf軌道の電子が7個になるまでは励起された方が磁性は良くなるが、それを超えると磁性が減少する。そのバランスを計算結果から見出さなければならぬ。

しかし、既に実験結果が出ているのなら、実験で求められた状態をより高温でも保つことが出来るという意味で、単純にゆらぎが小さいことが、使用可能な温度域を上昇させると考えることも出来る。

また、重要なのはゆらぎとマルテンサイト相との関係である。マルテンサイト相は、Fe系超磁歪材料が大きな変位を発生させる必須条件である。マルテンサイト相はエネルギー的には高く不安定な状態である。それゆえ、焼き戻しをするとエネルギーの低いセメンタイトに変化する。そのようなマルテンサイト相が存在できるのはエネルギーのゆらぎが小さいからである。つまりゆらぎが小さくなればマルテンサイト相の温度域を上昇させることが出来るということである。

以上の磁性・マルテンサイト相に影響する値としてゆらぎを捉えることで、超磁歪材料ではゆらぎが小さい方が良いと考察した。

5 拡張ヒュッケル法による FePt 合金・FePd 合金比較

5.1 対象材料の比較

論文より調べたFePt合金とFePd合金の性質の違いを表4にまとめた。

表 4: 結晶構造と格子定数

	Fe-31.2Pd(at%)	Fe-25Pt(at%)
変態温度	225K	85K
結晶容易軸	a-axis	c-axis
誘発歪	3.10%	2.30%
可逆歪	0.10%	0.60%
飽和磁場	0.8T	1.5T

これを見ると、Fe-25Ptのマルテンサイト変態温度ははるかに低く、実用化には遠い材料であることが分かる。しかし、可逆歪を見てみると、Fe-25Ptの方がはるかに大きな歪を発生させる。ところが、誘発磁歪はFe-31.2Pdの方が大きい。

これは、Fe-31.2Pd が合金中のほぼ全バリエントが変換されているのに対し、Fe-25Pt は 66%ほどのバリエントしか変換されていないためである。

以上のような性質が拡張ヒュッケル法の計算結果にどのように影響するか調査する。

5.2 結合性の比較

FePt 合金と FePd 合金の結合性を比べてみる。図 6 は Fe 原子との結合性を表したグラフである。このグラフから Pt と Pd 原子を抜き出したグラフが図 7 である。これから、Pt 原子と Pd 原子は Fe 原子との結合性が非常に近いことが分かる。表 5 は各組み合わせにおける結合性の値である。

表 5: 結合性の比較

FePt合金	Atomic population[eV]	Atomic bound population[eV]			差		
		100	111				
混合	Fe	7.03386	Fe-Fe	0.081023	Fe-Pt	0.045397	-0.03563
Fe単体	Pt	9.785939	Pt-Fe	0.038184	Pt-Fe	0.04518	0.006996
Pt単体	Pt	1.3337	Pt-Pt	0.039563	Pt-Pt	0.049419	0.009856

FePd合金	Atomic population[eV]	ABP[eV]			差		
		100	111				
混合	Fe	7.369394	Fe-Fe	0.093293	Fe-Pd	0.036266	-0.04514
Fe単体	Pd	9.993339	Pd-Fe	0.031377	Pd-Fe	0.038251	0.006874
Pd単体	Pd	0.788093	Pd-Pd	0.028816	Pd-Pd	0.03653	0.007714

Atomic bound population は値が大きいほど共有結合性が高いことを意味している。この計算結果より共有結合性は Fe-Pt の結合が Fe-Pd の結合よりも大きいことがわかる。よってより集団的な変化をしやすいと考察される。また、結合の異方性を見してみる。(100)方向原子との Atomic bound population と(111)方向原子との Atomic bound population で差をとると、Fe との結合、Pt 又は Pd 原子同士の結合は FePt 合金の方が大きい。しかし、Fe 同士の結合性と Fe と Pt との結合性の差を計算してみると FePd の方が大きい。この結合性のギャップが大きいものの方が変位の起点となりやすいのではないだろうか。

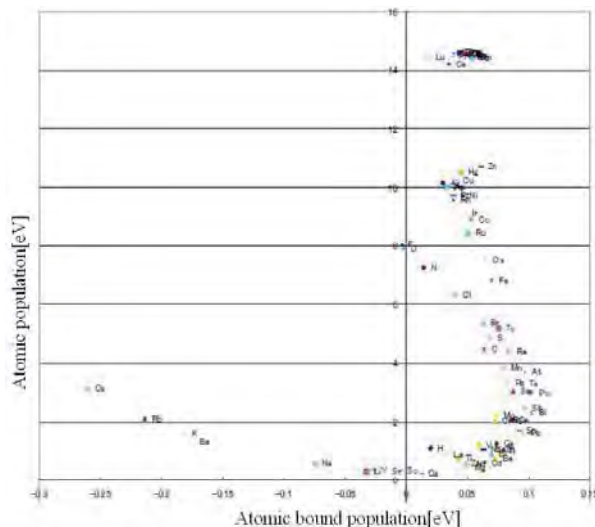


図 6: Fe 原子との結合性

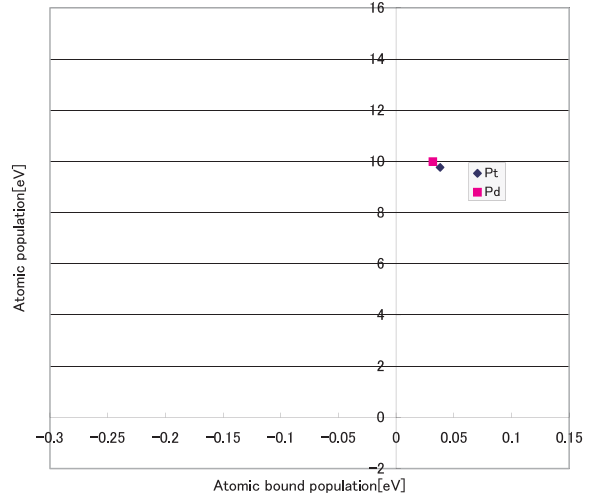


図 7: Fe 原子との結合性(Pt・Pd 原子)

5.3 凝集エネルギーの比較

FePt 合金と FePd 合金の凝集エネルギーを比べてみる。

凝集エネルギーの計算結果を以下に示す。

*** Fe-25Pt30 a=0.3820nm c=0.3608nm 14K **

Co-Energy (eV): -4.4582578

*** Fe-31.2Pd a=0.3828nm c=0.3599nm 77K ***

Co-Energy (eV): -3.9703946

これを見ると凝集エネルギーは Fe-31.2Pd が Fe-25Pt よりも弱いことが分かる。また、Fe との結合性を示したグラフを見ると、Pt と Pd は結合性が近い材料である。

よって、結合性が近い材料、凝集エネルギーの弱い Fe-31.2Pd の方が変形しやすいことが予想される。実際 Fe-31.2Pd の方が低磁場で駆動することが可能であり、誘発歪に関しては Fe-31.2Pd が 3.1%と Fe-25Pt の 2.3%よりも大きい。

5.4 ゆらぎの比較

次に、超磁歪材料である FePt 合金と FePd 合金のゆらぎの温度変化を見してみる。このグラフを見ると 120K までは Fe-25Pt の方が Fe-31.2Pd よりもゆらぎが小さい。

鉄合金系材料で超磁歪を示すためにはマルテンサイト相であることが必要である。ゆえにゆらぎが 130K 以上でゆらぎの小さい Fe-31.2Pd が高温でもマルテンサイトを保つことが出来ると考えられる。

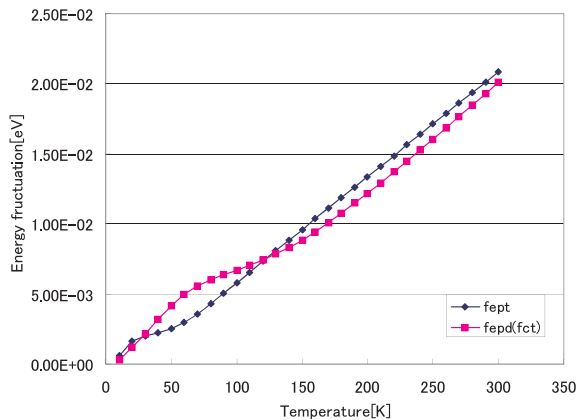


図 8: Fe-Pt 合金と Fe-Pd 合金の比較

6 謝辞

本研究を進めるに当たり、昔の当研究室卒業生、江原慧（現、ALSOK）君の力量に感謝すると共に、計算方法の指導と計算結果の解釈において、ご助言をいただいた、元 京都大学山本悟先生にこの場を借りて感謝の意を表させていただきます。

参考文献

- [1] 山本悟，“デモクリトスの原子論と材料学”，昭和堂，2005.
- [2] 福田隆，掛下知行，竹内徹也，岸尾光二，“日本応用磁気学会誌”，Vol.26, No.8, 2002.
- [3] 安田弘行，馬越佑吉，日本金属学会会報「あたりあ」，41 卷，3 号，2002.
- [4] 小林一光，電波新聞ハイテクノロジー，2001 年 4 月 8 日.
- [5] 森 輝夫，“超磁歪材料の応用デバイス”，Electronic Monthly, 1999.
- [6] 戸伏寿昭，堀川宏，田中喜久昭，松本実，“形状記憶材料とその応用”，コロナ社，2004.
- [7] 米沢貞次郎，永田親義，“三訂量子化学入門(上)”，化学同人，1989.

製品のモジュール・リユースを促進する情報システムの提案と プロトタイプ構築

舘野 寿丈*・近藤 伸亮**

Proposition and prototype of Information Systems for Promoting Product Module Reuse

Toshitake Tateno* and Shinsuke Kondoh**

Abstract

It is urgent need to promote reuse and recycle of products for reducing environmental load. In order to increase the amount of reuse, module reuse is noticed as an important factor, and the use of information systems becomes a key point. The authors have considered requirements for the information system, proposed realization approaches of the system, and developed prototypes for verification of realization. This paper integrates the series of research achievements, and explains the totally gained opinions.

Keywords: Reuse, Product module, Information system, Agent, RFID

1 はじめに

電気・機械製品などの製造に伴うエネルギー消費削減や製品廃棄における廃棄物削減への対策として、リユースは欠かせない。リユースには、製品をそのまま再利用する製品リユースのほかにも、製品に含まれるモジュールレベルのリユースや部品レベルのリユースもある[1]。これらの中でも製品レベルのリユースが最もエネルギーが少なくて実現できるが、製品の価値寿命により、リユース率は早い段階で限界に至ると考えられる。著者らはモジュール・リユースがリユース率の大幅な向上につながる手段になると考えている。製品単体での価値寿命が尽きても、含まれるモジュールには価値を持つものが多く、また、モジュールと呼ばれる程度の構成物であればコストとしても見合う場合が多いと考えるからである。そこで著者らは、モジュール・リユースを促進するために必要な条件を整理し、それを満足させる情報システムの提案と、実現性を検証するためのプロトタイプ構築を行ってきた。本報では、一連の研究[2,3,4]を総合し、解説する。

2 モジュール・リユースにおける課題

2.1 課題の整理

多くの製品についてリユースを促進するには、使用者の協力と自由市場の活用が不可欠であると考えられる。実際に、Web のオークションサイトなどでの中古市場は拡大する傾向

にある。しかしながら、製品のモジュールや部品レベルでの市場はいまだほとんど見られない。その理由は情報の不足が主であると考えられる。使用者が自由市場を活用するための情報、例えばモジュールの仕様や状態などが詳細に提供されればリユース量も増えると考えられる。そこで、リユースの促進を阻む現状の問題を考察し、これを情報システムによって解決するアプローチを提案する。

まず、モジュールをリユースする上での問題を整理した。

○ 回収製品についての情報取得の困難

市場から回収される製品は様々な年式、種類のものを含んでいる。これらの製品が回収されるときには、すでに同等製品の生産が終わっている場合や、オリジナルの製造業者とは異なる事業者が処理する場合などが考えられる。このような場合には、製品の設計・製造情報などを取得することが難しい。また、製品をリユースする場合には、実際の使用時間や条件などが製品寿命に影響するので、使用履歴に関する情報が重要であるものの、このような情報を取得することは難しい。

○ リユース品の需給調整の困難

回収製品から取り出した部品を有効にリユースするためには、それらの供給量の予測を行うことが不可欠である。供給が増えれば在庫問題となり、需要が増えればせっかくのリユースの機会を失うことになる。しかし、使用済み製品がいつ、どれくらいの数量発生するかを予測することは困難であり、リユース品の需給をバランスさせることは難しい。

Received on August 31, 2011

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

**産業技術総合研究所, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

○ 使用済み製品回収における非効率性

製品は、広い範囲にわたって消費者に配送されるため、使用済み製品は、様々な場所で分散的に発生する。この使用済み製品を再利用するにあたり、画一的に特定の場所に回収してから分解検査するのは非効率である。発生場所にできるだけ近い場所で分解・検査され、再利用可能なモジュールは直接再利用場所に配送されて使用されるのが望ましい。しかし、使用済み製品の分解・検査・発送の作業を発生場所で行うことは難しい。

2.2 解決アプローチ

このような問題に対し、著者らは、次のような3つのアプローチによるシステムを提案した。

○ 製品ライフサイクルを通じての情報共有

使用済み製品の種類や品質、状態などの不確実性に対処するため、製品のライフサイクルを通じて情報共有を実現することが有効である。本研究では、製品を構成するすべてのモジュールにタグを装着し、製品の仕様や稼働履歴などを情報管理するとともに、モジュールに搭載したセンサの情報も含めて個体情報を統一的に管理できるようにする。

○ リユース品の迅速な需給マッチング

使用における製品の廃棄決定後、可能な限り迅速に回収製品の情報を市場に提示することで、リユース品の採用の契約と納品までのリードタイムを短縮する。現在、一般に行われているオークションに似たシステムとなる。

○ 分散配置された場所での分解・判別

リユース品が発生する場所はその製品を使用していたユーザの居る場所である。このため、ユーザに近い場所で分解・判別・配送の処理がされることが望ましい。そこで、ユーザもしくはユーザに近い施設において作業ができるよう、必要な情報を検索し、適切に提示できるようにする。

3 システムの提案

3.1 システムの実現モデル

前節に示した機能を持つシステムの実現モデルとして、RFID(Radio Frequency Identification)[5]とモバイルエージェントを利用したシステムの構成を提案する。これを図1に示す。製品には少なくともモジュール単位にタグがつけられ、個々の特定ができるようになっている。また、一部のモジュールにはセンサが取り付けられており、製品の状態情報を検出できるようになっている。

RFID システムは、IC タグと呼ばれる小型の記録素子に書かれた情報を、電波で非接触に読み書きする装置である。また、RFIDの中にはアクティブタグとよばれるものがあり、自らが持つ電源により電子回路を作動させ、比較的長距離にデータを送信するものもある。この IC タグに記録されている ID 番号をキーとして、その製品に関する仕様履歴や分解方法などの情報を検索・記録する。また、アクティブタグを利用して各モジュールのセンサ情報を管理するセンサネットワークを構成することも考える。

一方、エージェントは自律的な振る舞いをするハードウェアやソフトウェアを一般に呼ぶものである。ここではネットワーク上のコンピュータ間を移動しながら活動できるモバイルエージェント[6]を利用する。エージェントはモジュール単位に存在し、それらに関する情報のやり取りをする。エージェントを用いる理由は、システムの構造変化に強く、分散処理ができることにある。これらの特徴は、リユースの際にモジュール構成が変化しても、動的にシステムを変更していかことや、通信速度が遅く不安定なネットワーク状態であってもデータを持ち歩かずに処理できる点で効果的である。

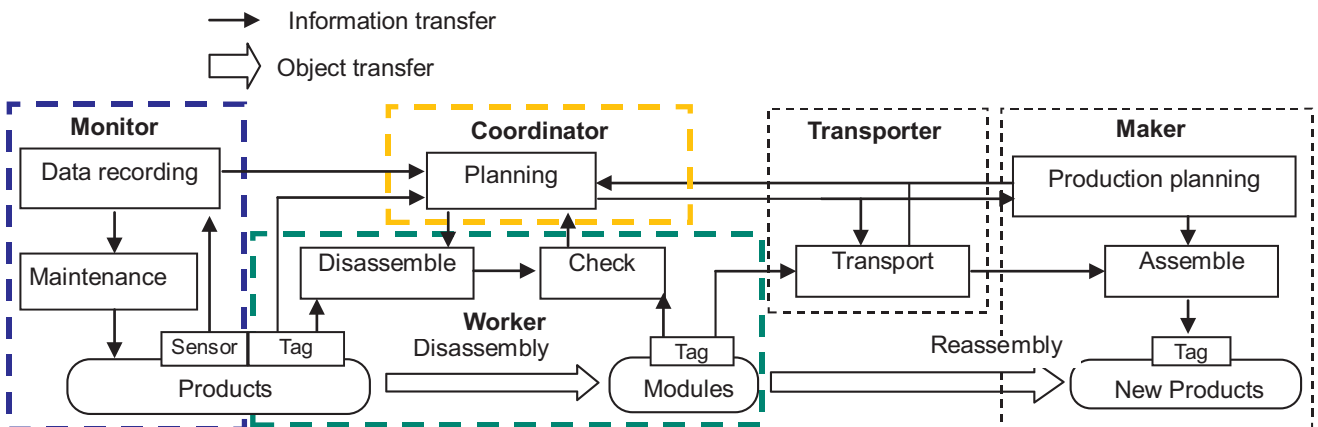


図1: システム全体の構成

3.2 システム全体の構成

提案システムは大きく6つの領域からなる。モニタは製品に取り付けられたセンサの情報を記録・管理する。記録されたデータはリユースに限らず、製品の保全にも用いられる。コーディネータは、ワーカ、トランスポータ、メーカなどと連携し、使用済み製品のリユース先の検索・調整などを行う。ワーカは、使用者などに指示を与えて製品を分解したり、状態を検査したりする。トランスポータは輸送をする。メーカは使用済み製品を受け入れて別の製品に組み込んで新たな製品として組み上げる。メーカは、リユースを専門に扱うディーラーであっても、この製品の所有者でないユーザであっても良い。

4 プロトタイプとケーススタディ

前章で提案したシステムの全体構成に沿ってプロトタイプを構築し、簡単なケーススタディを通して提案システムの実現性と効果を検証した。プロトタイプの構築とケーススタディは、第 2.2 節で示した 3 項目の問題解決アプローチを実現する形で実施された。また、図1との対応でいえば、それぞれモニタ、コーディネータ、ワーカの実現に相当する。

4.1 製品ライフサイクルを通じての情報共有システム

本節では、センサデータを含む製品の使用履歴データを、ライフサイクルを通じて管理できるようにするシステムの提案とプロトタイプによる検証を行う。

4.1.1 システムの構成

センサデータを含む情報共有に最も重要な部分はモニタの部分である。この一つの実現手段として、センサネットワークとモバイルエージェントによる構成方法を提案する。図2にそれを示す。製品はモジュールベースに構成されていることを前提とする。それぞれのモジュールは一つ以上のセンサを持ち、そのセンサノードは製品ノードに有線もしくは無線通信を介して製品ノードにデータを送付する。製品ノードは製品に含まれる全てのモジュールにおけるセンサデータを管理する。製品ノードは2種類の通信システムを持つ。一つはセンサノードと通信を行う製品内のネットワーク、もう一つは LAN や WAN と接続して他の製品や管理サーバと通信するためのネットワークである。

モジュールは固有の ID 番号を持ち、モジュールが製造されてから解体されるまで、この番号によって管理される。よってリユースによって異なる製品に組み込まれても、そのモジュールの使用履歴などの情報を、ネットワークを介して検索することができる。また、センサデータもこの番号とともに管理しておくことで、モジュールの生涯に渡ってのセンサ情報管理が可能になる。この管理のためには、製品とは別に全てのモジュール ID を管理するノードがあると便利であり、これを管理ノードとしてシステム構成に加える。

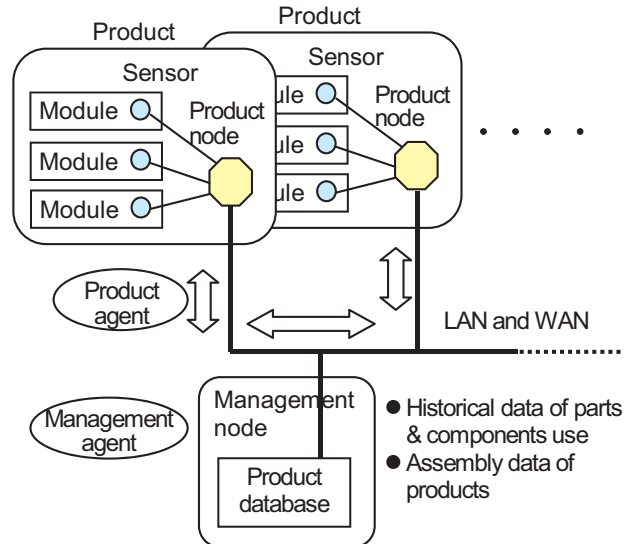


図2: モニタ部のシステム構成

4.1.2 プロトタイプの構築

提案システムの実現モデルとして、電動アシスト自転車を対象としたプロトタイプを構築した。この対象は電気自動車と同様に、車体、電磁モータ、充電電池を含む構造であり、システムを搭載して車両として走行できる。電気自動車は近い将来に急速に普及することが予測されている上、本研究での提案を応用するのに適切な対象であると考えている。

図3にその構成を示す。製品は、ボディ、モータ、バッテリーの3つのモジュールから成る。これらのモジュールは、それぞれに設置されたワイヤレスセンサデバイスによってネットワークが構成されている。このセンサデバイスには、コインタイプのアクティブタグ（クロスボー社製、Mica2）を用いた。ボディに取り付けられたセンサは、製品ノードを兼ねており、製品内のセンサデバイスおよび無線 LAN を介して他の製品ノードと通信する。製品ノードには、ポータブル PC を使い、その PC とセンサデバイスとの間には 315kHz の電磁波によって通信がされ、他の製品ノードとは無線 LAN によって通信がされる。モータモジュールには、モータ負荷を計測するための温度計がセンサとして取り付けられており、バッテリーモジュールにはバッテリー電圧を計測するための電圧計が取り付けられている。モバイルエージェントは JAVA 言語による Aglets[6] を用いた。

これらのセンサはモータやバッテリーの状態監視に一般に広く用いられるものであるため採用したが、これで十分とは限らない。実際にどのようなセンサを準備し、どのような情報を統合して判断するかは、メーカにより選択されて提供され、そのハードウェアやソフトウェアは環境配慮としての付加価値と安全性や信頼性を高める付加価値になると考えている。よって要求されるセンサ情報や処理の詳細は決定できないので、以降のケーススタディでは、それぞれの項目で示すような情報の処理や提示が要求されたと仮定し、それらの実行を通して情報システムとしての有益性を確認する。

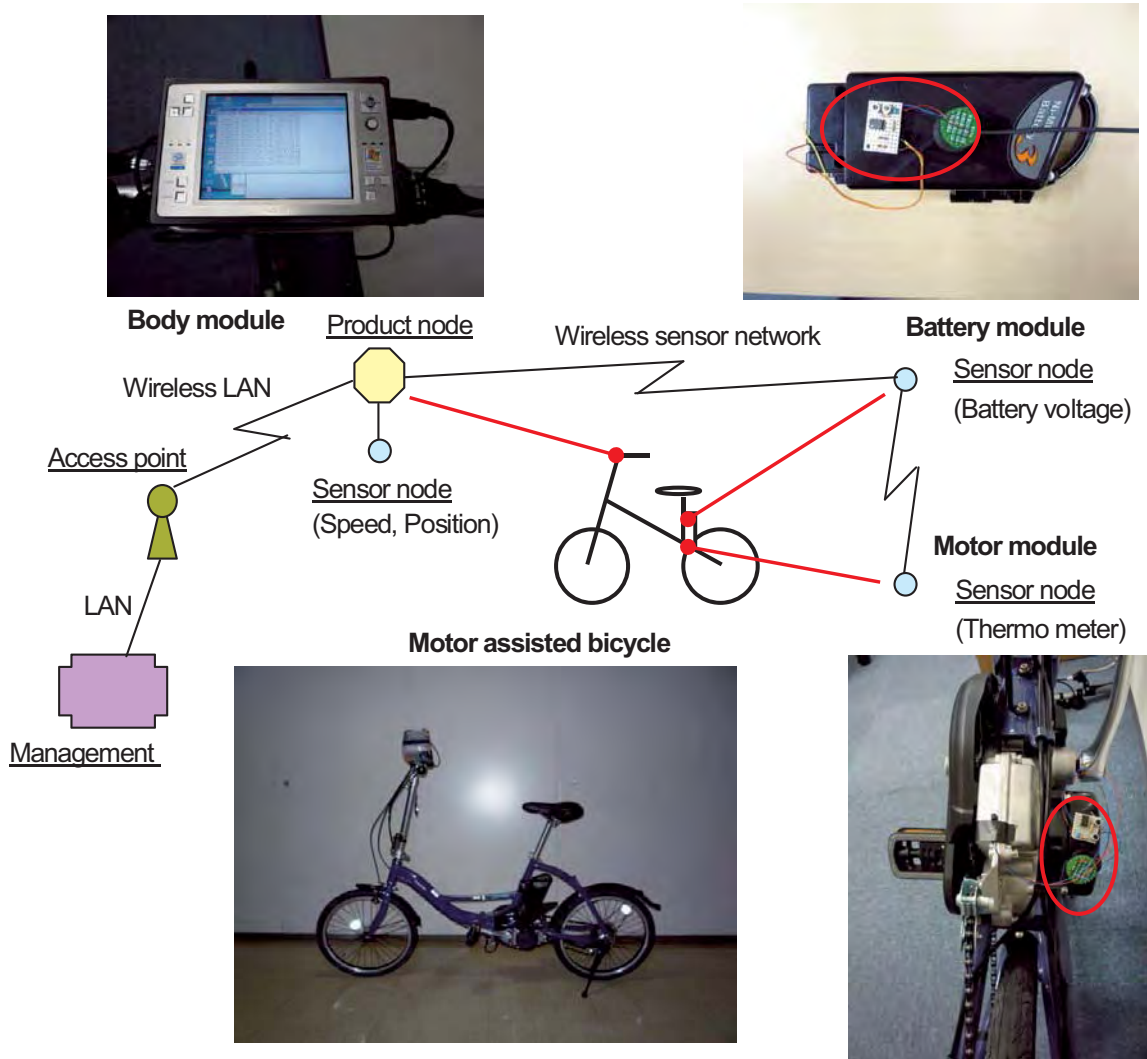


図3: モニタシステムの試作機

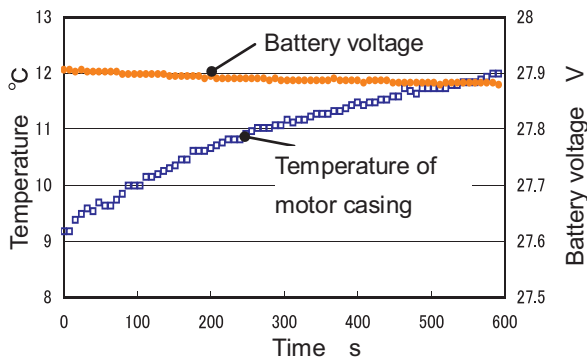


図4: センサデータ収集の実験結果

4.1.3 ケーススタディ

製品モジュールの構成や測定条件設定に動的に適應しながら、センサデータを記録する実験を行い、提案したシステム構成がリユースに対し有益であることを確認する。

図4は、10分間公道を走行した間での、モータモジュール

とバッテリーモジュールのネットワークセンサによる記録を示している。図4に示した2系統のグラフのうち、一つがモータケースに取り付けられた温度計の記録であり、もう一つがバッテリー電圧の記録である。このデータは8秒毎に測定された値をプロットしているが、このサンプリング間隔は解析の目的に応じて設定される。例えば、過剰負荷などの存在を把握するには、急激な温度上昇や電圧変化なども測定できるように比較的サンプリング周期を早めたうえで、温度計と電圧計のデータを組み合わせて用いることも考えられる。このように計測の項目や方法は、把握しようとする内容によって異なる。センサネットワークでは、このようにセンサの種類や計測方法が変わっても動的に変更できるのが特徴である。また、ノードは常に固有の番号で管理されるので、ネットワークの構成に変更があったり、ネットワークの切断が起きても、システム全体が停止することなく動作する。実験を通してこれらのことも確認できた。

モジュールのリユースでは、リユースの度に製品の種類やモジュール構成が変わる可能性が高い。センサネットワークによる容易な構成変更と、モバイルエージェントによる容易なデータ処理プログラム更新の仕組みが非常に有益であることが理解できる。

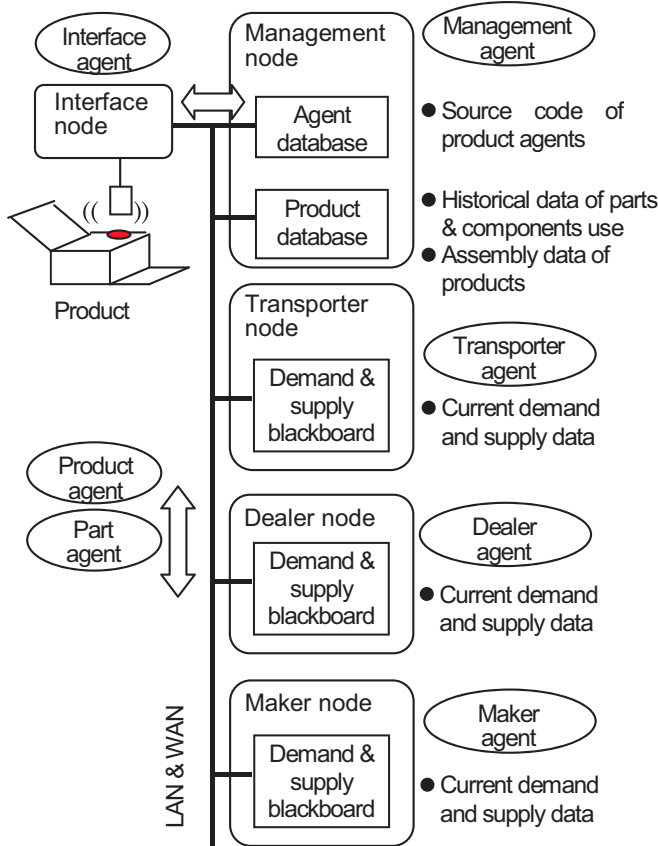


図5: コーディネーション部のシステム構成

4.2 リユース品の迅速な需給マッチング

本節では、使用済みとなった製品に含まれるモジュールの新たなリユース先を決めるためのシステムの提案とプロトタイプによる検証を行う。

4.2.1 システムの構成

需要と供給のマッチングの処理は、使用済みの製品に対応するモバイルエージェントが、ディーラーやメーカーなどのサイトを回り、適切な条件の取引先を検索することで進められる。これらの処理は、それぞれの役割をするエージェントソフトウェアによって構成される。

(1) 製品エージェントと部品エージェント

電気機械製品では、複数の部品によってモジュールを構成し、さらに複数のモジュールによって製品を構成するというように、階層的な構成をなすことが普通である。この情報は製品の組立情報と呼ばれる。一つの製品に含まれていた部品やモジュールでも、リユースされる時は別々の製品に組み込まれることが多いので、組立情報は使用履歴を管理する

上で重要な情報となる。よって、製品をライフサイクルに渡って管理するエージェントとして、部品もしくはモジュール単位に取り付けられたタグに対応して存在する部品エージェントと、タグに直接対応せずに複数の部品からなる製品を管轄する製品エージェントを存在させる。モジュールがさらに複数のモジュールを持つように複数の階層をもつ場合も、製品エージェントが階層構造を管理する形とする。

部品エージェントはタグと共に存在し、その部品・モジュールが廃棄処理されるまでデータを管理する。部品が何世代かの製品に渡ってリユースされる場合にも、一貫して情報を管理する。そして、部品ができる限り長く有効に利用されるための情報収集と情報発信を行う。

製品エージェントは対象とする製品に含まれる全ての部品エージェントのIDを持ち、それらのエージェントからの情報を統括し、製品としての行動を決定する。

(2) インタフェースエージェント

製品の多くは、人間が情報を入出力するための装置を持たないので、なんらかのインタフェース装置が必要である。そのインタフェース装置には、人との情報のやり取りをするための入出力機能と、製品および情報システムとの通信するための通信機能が必要となる。

インタフェース装置は、タグの情報を読み取るとタグに保管されている製品・部品エージェントのソースをコンパイルして実行するか、ネットワークを介してダウンロードして実行するが、原則として、製品・部品エージェントの保管場所はタグであり、インタフェース装置によって発生されるとする。いずれにしてもインタフェース装置は、製品・部品エージェントを発生させ、これらのエージェントと人との入出力を行うためのソフトウェアを持っている必要がある。これをインタフェースエージェントとする。

(3) サポートエージェント

製品・部品エージェントは自身の組立情報や保全情報のほか、リユースに向けた需要の有無などの市場情報を取得する。その情報を提供したり、需要と供給のマッチングをしたりするソフトウェアを広くサポートエージェントと呼び、製品の組立情報や保全情報を保持する製品データベース、輸送業者に相当する輸送エージェント、リユースの取引をするディーラーエージェント、サプライヤおよび組立メーカーに相当するメーカーエージェントからなる。製品・部品エージェントは管轄の製品データベースから製品・部品の情報検索を始め、情報の取得範囲を次第に広める手順を取る。管理ノードにある管理エージェントは管轄の製品情報を管理するとともに、他の地域の製品データベースを紹介して製品・部品エージェントの移動を中継する役割も持つ。

4.2.2 プロトタイプの構築(ソフトウェアの実装)

製品に取り付けられたタグが検出されると、インタフェースエージェントは製品に対応する製品・部品エージェントを発生する。そして、管理ノードのデータベースにアクセスして製

品に含まれるすべての部品の使用履歴や状態を検索する。このプロトタイプでは、製品の種類のみを検索するが、将来的には蓄積したセンサデータなどを利用する自己診断機能を持たせて、故障や劣化の状態を検出し、そのような状態情報を検索することも可能である。

次に、個々の部品エージェントはリサイクルディーラなどの売却が可能なサイトや、その納品に必要な輸送業者のサイトを検索して各モジュールの種類での価格を調査する。これらの検索結果から、各条件での価格リストを作る。

最後に、使用者にとって適切なライフサイクルオプションを選択できるようにする支援として、製品エージェントは、部品エージェントによる検索結果を総合し、使用者にとって適切と思われる上位数件の選択をリストする。このプロトタイプでは使用者の基本的な判断基準を、利益、環境負荷、作業負荷の3項目とし、その総合を評価値として算出するようにした。

サポートエージェントとしては、オークション1か所、リサイクルディーラ2か所、輸送業者2か所のノードを設置し、それぞれにエージェントを配置した。

エージェントソフトウェアは Aglets[6]を用いて実装した。

4.2.3 プロトタイプの構築(ハードウェアの実装)

図6に試作した端末を示す。タグには小型の RFID タグ(日本インフォメーションシステム社製、S-Label)を用いた。小型の携帯用端末は RFID の読み取り装置と接続されており、Java プログラムによってデータ読み取りなどの処理と、エージェントソフトウェアとが統合的に動作する。

4.2.4 ケーススタディ

ここでは、実装したプロトタイプの具体的な挙動を確認するとともに、システムが提供するサービスの有効性を示す。

リユース・リサイクルの判断に使用されるデータは表1のように設定した。

表1(a)は中古買取価格と輸送費の見積価格を示しており、本体については、故障している場合と、故障の有無に関わらず廃棄する場合も設定した。表1(b)はそれぞれのモジュールの重量と、廃棄した時の環境負荷を示し、表1(c)は、輸送費の計算式を示している。

対象とする製品を図7に示す。分解手順は、プリンタからトナー、フォトコンダクタユニットの順にのみ取り出すことができる。作業コストは、1 部品の分解を 100 とした。

製品エージェントはオークションと輸送業者のノード、部品エージェントは、リサイクルディーラ、輸送業者のノードを巡り、各モジュールの条件下での市場価格やコストを検索し、これらのデータから、評価値を算出して提示する。

図8に処理の結果を示す。この処理結果は5つのライフサイクルオプションを評価値の高い順に提示している。評価は販売した時の利益 R、環境コスト E、分解コスト V の結果から R-E-V を計算して評価した。これらの項目の重みは個人によって異なるので、カスタマイズされることが望ましい。

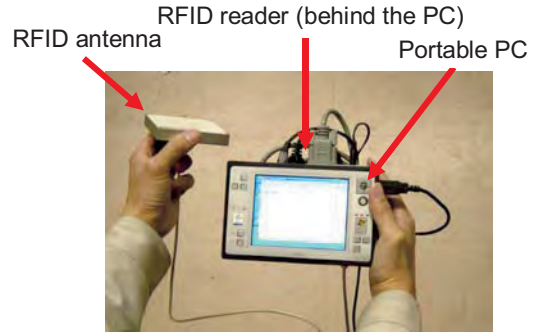


図6: コーディネーション部の試作機

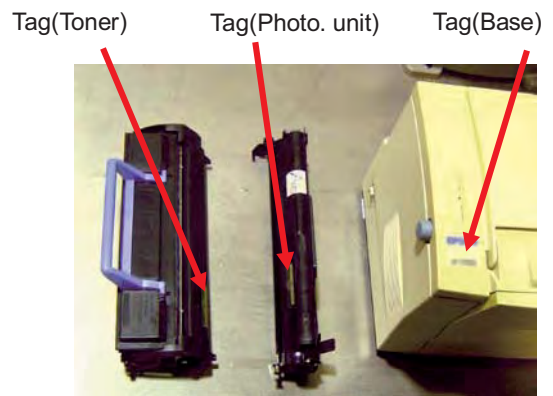


図7: ケーススタディで用いた製品モジュール

表 1(a): 価格データ

Part or Product	Auction	Recycle dealer		Transporter	
	A1	D1	D2	T1	T2
Base	-	1000	1500	700	800
Photo. unit	-	600	300	540	480
Toner	-	600	300	560	520
Printer	2200	-	-	800	1000
Base(broken)	-	200	500	700	800
Base(disposal)	-	0	0	0	0

Base(broken): In case that Base is broken and recycled

Base(disposal): In case that Base is broken and not recycled

表 1(b) 製品データ

Data item	Product data		
	Base	Photo	Toner
Weight	1000	300	200
Env. cost	100	20	10

表 1(c) 輸送データ

Data item	Transporter	
	T1	T2
Price	$P=500+200*w$	$P=400+400*w$

w is a weight of carrying package

図8に示す結果では、最も評価値が高い選択は、B:Baseをディーラ D2, P:Photoconductor unit と T:Toner unit をディーラ D1 に納品する場合である。この計算には、P と T を分解せずに済む分解コストの削減、一括して送付することによる輸送費の削減なども盛り込まれている。

このような処理は一種の意思決定支援である。ユーザがそれぞれを行うには多くの手間がかかるのに対し、情報システムが代わりに行うことで、ユーザの心理的な障害を低減し、リユースの動機を高めることにつながると思われる。

4.3 分散配置された場所での分解・判別

本節では、使用済みとなった製品をモジュール別に分解して送付するための作業支援をするシステムの提案とプロトタイプによる検証を行う。

4.3.1 システムの構成

製品エージェントによって使用者にライフサイクルオプションが提示され、使用者が希望のオプションを選択すると、その情報がオペレーションエージェントとよばれる分解作業・搬送を支援するエージェントに渡される。オペレーションエージェントは作業現場での設備に応じて適切な作業方法を選択し、作業者に提示する。

図9にシステムの構成を示す。作業者エージェントを管理するノードである作業者ノードには、ユーザやディーラなどの作業が行われる現場の設備に関するデータを蓄える設備データベースがある。また、その設備を用いて作業を行うための作業指示書や、その設備を動作させるための動作コマンドなどを蓄える操作データベースがある。作業者エージェントはこれらのデータベースの中から実行可能な方法を検索してオペレーションエージェントを発生させ、実行する。

作業現場は、ユーザ自身が分解する場合のように手作業に限られる場合もあれば、製品によっては専門の設備によって処理されることもありうる。このように、作業の条件により実行可能な作業とそうでない作業が生ずる。そのような場合は、製品エージェントに対しライフサイクルオプションの変更を依頼する。

4.3.2 プロトタイプ

ここでは、前節で用いられたプリンタを対象として作業を実施するための作業者エージェントとオペレーションエージェントを実装した。図10はAND/ORグラフ[7]を示している。このグラフは部品の組み立て構造の表現であると同時に、分解可能な手順をすべて表現している。グラフ中のアークそれぞれが、一つの分解操作となる。このアークそれぞれに対し別々に作業方法を定義しておくことで、どのような作業手順が示されても、指定された作業順序にしたがって定義された情報をつなぎ合わせ、一連の作業方法として提示できるようにした。

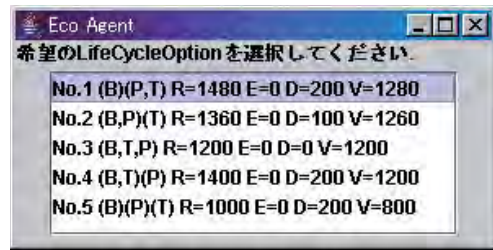


図8: 製品エージェントによって提示されたライフサイクル選択肢の結果

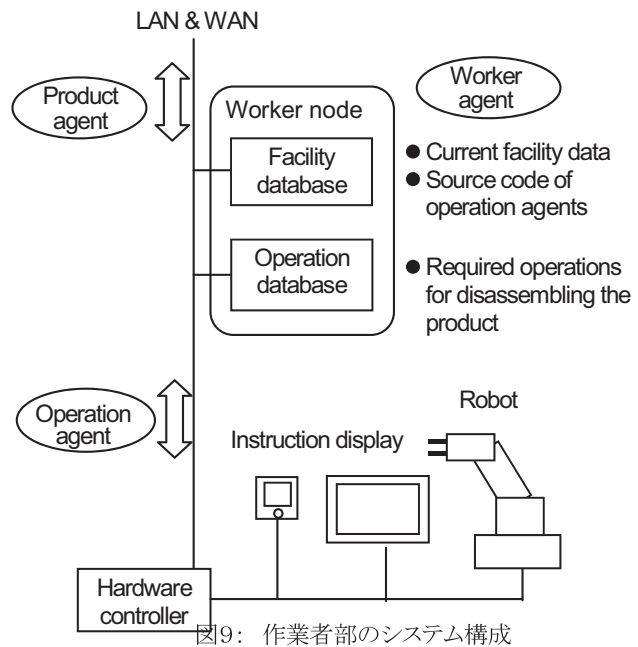


図9: 作業者部のシステム構成

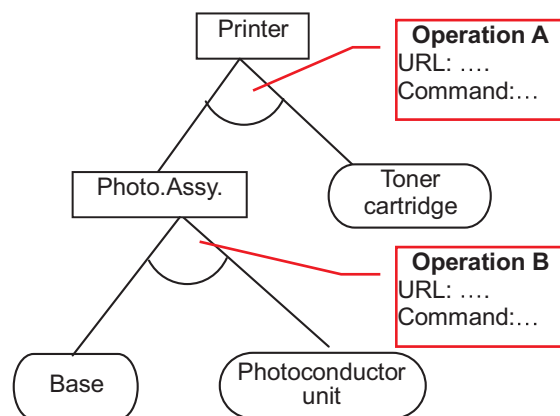


図10: 作業データの表現



(a) 作業指示の表示



(b) ロボットによる作業

図 11: 分解作業の実行

定義した作業方法は、手作業による作業と、ロボットによる作業を想定し、手作業の場合には作業指示書をユーザのポータブル PC に提示し、ロボットによる作業の場合にはロボットコマンドがロボットコントローラに転送されて実行される。

4.3.3 ケーススタディ

ケーススタディとして、トナーカートリッジの取り外し作業を手作業で行う場合とロボットで行う場合とで実施した

図 11(a)は作業者に提示された作業指示書の例である。この指示書は Web 形式になっており、作業者エージェントが作業手順に沿って必要な指示書の URL データを収集し、オペレーションエージェントを発生させて順番に作業者に提示することができた。

図 11(b)はロボットによって作業を行った様子を示している。動作を実行するロボットコマンドがテキストで AND/OR グラフのアーキに対応づけられて記録されており、これを作業者エージェントが収集してオペレーションエージェントを発生させ、ロボットコントローラに渡すことで実行できた。

以上のように、モバイルエージェントがノードに保管されているテキスト表記のデータを収集する機能を使って、手作業に加えて、ロボットなど機械のコントロールを含めた作業をも

管理していける。すなわち、作業現場の状況に柔軟に対応できることを確認した。

5 おわりに

本研究では、製品のモジュール・リユースを促進するためには、ユーザに適切な情報を提供することが重要であるとし、要求を満たすシステム構成の提案とプロトタイプ構築を行ってきた。一連の研究を通じて、RFID とモバイルエージェントの持つ性質がリユースの特徴に良く適合し、現在の技術において実現できる水準にあることが確認された。しかしながら、実際には情報セキュリティの問題や、システム運営の在り方など、社会的に解決すべき問題は多い。実用化にはさらに広範囲の議論が必要である。

参考文献

- [1] M.Thierry, M.Salomon, J.V.Nunen and L.V.Wassenhove, "Strategic Issues in Product Recovery Management", *California Management Review*, **37:2**, 114-135, 1995.
- [2] T.Tateno and S.Kondoh, "Proposal of Ubiquitous Disassembly System for Realizing Reuse and Recycling in Cooperative Distributed Facilities", *Mechatronics for Safety, Security and Dependability in a New Era*, Elsevier Ltd., 133-138, 2006.
- [3] 館野寿丈, 近藤伸亮, 鳥居俊彦, "製品使用者のリユース・リサイクル活動を促進するエコ・エージェント・システム", 日本機械学会生産システム部門講演会講演論文集, pp.61-62, 2006-6.
- [4] 館野寿丈, 近藤伸亮, "製品のモジュール・リユースを促進するエコ・エージェント・システム", 日本機械学会論文集, C- 2009.
- [5] 森田和敏ほか, "次世代 IC タグ開発最前線", エヌ・ティ・イー・エス, 2006
- [6] D.B.Lange and M.Oshima, "Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets", Addison Wesley, 1998.
- [7] L.S.Homen de Mello and A.C.Sanderson, "And / or Graph Representation of Assembly Plans", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, ,Vol.7, No.2, 211-227,1992.

ユーザ参加型景観サービスのプライバシー保護策

嶋田 茂*

Privacy Preserving Policy on User Participated Scenic Services

Shigeru Shimada*

Abstract

As a example of new type of user participated context service, we present a reality augmented scenic video service system which is composed of mashup of existing sophisticated services such as twitvideo and Google Street View. In this scenic video sharing service, peculiar privacy invasion problems which are different from problems in a conventional text sharing service have happen. So we present clusters of privacy protection items and the model of privacy protection plan.

Keywords: UGC (User Generated Contents), scenic service, privacy preserving

1 はじめに

1.1 UGC 共有サービスの状況

現在、サービス利用者自身により生成される UGC (User Generated Contents) を共有する各種の情報サービスが現在非常に注目されている。この UGC には、ブログ・SNS・Wiki 等で扱われる文字情報の外に、YouTube[1] や USTREAM[2] 等で扱われるビデオや音声などのマルチメディアのサービス、更に最近では、SNS にマルチメディアが加わった新たなマッシュアップサービスである twitvideo[3] が開始されている。

一方、この時空間特性を備えたコンテンツを提供するサービスとして景観サービスがあり、時空間の条件に対応した景観をデータベースから検索して、それを任意の方向から表示可能なパノラマ画像として提供するサービス Google Street View (StreetView と略称) [4] が開始されている。これは、提供されるコンテンツを用いた状況判断の観点からすると、単なるテキストや画像・ビデオに比べてより臨場感を提供できる意味でコンテンツ提供に近いサービスと言うことできる。しかしこれらのサービスの多くは、専用の計測車両と専任スタッフによるコンテンツを用いており、コンテンツの更新頻度が UGC に比べ少ない問題があり、実時間特性が劣る。

そこで我々は、この問題を解決するための新たなサービスとして、ユーザにより投稿されたマルチメディアをパノラマ画像の対応位置に埋め込み、時空間の臨場感特性を高揚させる技術を開発している[5]。今後の UGC はこのような、スマートフォン等のモバイル端末に装備される GPS や加速度センサーから出力される時空間属性データとを融合させたコンテンツを用いるアウェアネスサービスへと発展するものと予

想される。

1.2 UGC 共有サービス上の各種問題

このような UGC を共有するサービスの普及につれ、その利便性に並列して、各種の問題が発生している。例えば、ユーザからの多様な投稿によるコンテンツ品質が均一にならない問題、投稿コンテンツに著作権があるものが含まれその対応がなされていないまま投稿される問題、投稿された画像やビデオにプライバシーの侵害となるようなシーンが含まれる問題などがある。これらの中で特にプライバシー保護の問題は、社会訴訟にまで発展してサービス自体が禁止に追い込まれるようなケースも存在しており[6]、UGC 共有サービスの最大の問題となっている。

情報サービスにおけるプライバシー保護の問題は、従来、個人情報保護法や PIA (Personal Information Assessment) などの情報処理ガイドラインが提示され、それをどのように反映させるかといった政策的な対応が施されるようになってきている[7]。しかし、それはあくまで人間が介在した情報管理の操作をどのようにすべきかの行動規制が主体であり、個人情報処理そのものを自動的に保護するメカニズムを与えるものではなかった。

一方、この個人情報保護メカニズムに関する研究として、個人情報を保護した状態でのデータマイニング処理を可能とする各種の PPDM (Privacy Preserving Data Mining) 技術が開発されている。その技術内容としては、個人を同定可能な機微なデータをランダム化して情報漏洩を防ぐ摂動処理方式[8]や、マルチパーティプロトコルに基づく暗号化処理方式[8]があり、復元精度の劣化や膨大な計算量等の課題が残るものの、実用化はかなり進んでいる。ところがこれらの処理方式は、いずれも文字・数値情報に埋め込まれた

プライバシーを保護する範囲の技術内容であり、景観サービスで扱われる画像やビデオなどのマルチメディア内に存在するプライバシーを保護する技術に関してはまだ十分検討されていないと言える。

1.3 本稿の目的と構成

そこで本稿では、この UGC 景観サービスにおけるプライバシー保護の問題、特にマルチメディアに時空間属性を融合させたコンテキスト内に存在するプライバシーが侵害されるシーンを自動的に保護する方式の提案を狙うもので、従来は情報処理の対象にならなかったプライバシーを定量的に把握して、ビデオ提供時においてもプライバシーの侵害シーンを高速に判定して隠蔽可能なプライバシー保護のためのモデル化を目的とする。最初に 2 章ではユーザ参加型のコンテキストサービスの位置付けで開発した、新しい景観サービスシステムの構成例にふれ、そこで扱われるコンテキストに含まれるプライバシー保護項目を明確にする。次に、3 章ではそのプライバシー保護項目の類型化と処理モデルについて考察し、4 章ではそのモデルに基づくプライバシー保護策を景観サービスに適用する方式について述べる。

2 UGC 景観サービス

既に述べたように UGC 共有サービスは、文字情報主体のブログ・SNS を皮切りに、マルチメディアを用いた YouTube や USTREAM、更にはこれらを融合させスマートフォンによる時空間属性との関連を持たせたコンテキスト共有するレベルにまで発展している。そこで、コンテキストを共有するサービスの例として、ユーザが投稿した景観データを共有するサービス (UGC 景観サービス) のシステム構成を提示して、そこで問題となるプライバシー保護に関する技術課題を明確にする。

2.1 UGC 景観サービス構成上の課題

UGC 特性を備えた新たなコンテキストサービスを実現するには、既にサービスが開始されている twitter 等の SNS サイトと StreetView 等の都市景観サービスサイトとのマッシュアップを行うことが考えられるが、その場合にも、次のような課題が発生する。サービス対象とするコンテンツの更新頻度について考えると、twitter 等の SNS の更新周期は 1 日に 5 回以上が半数を占め、またブログの更新周期は 1 日に 1 回以上が半数以上を占めると言われている [9]。また、言及する事象がおこった時間からのタイムラグも 1 日以下と推測される。これに比べ、StreetView 等の景観サービスでは、最低でも撮影日から 2~3 ヶ月の期間が必要であるので、SNS・ブログのタイムラグと比較すると大幅な差があり、該当箇所の都市景観ビデオとブログや twitter のテキスト内容を同時に表示した場合、内容の齟齬が生じ、コンテキストサービスとして一体感のあるサービス提供が不可能となる恐れがある。

一方、景観サービスの先行例としての StreetView では、車載カメラにより撮影された 360° パノラマ画像が提供されるので、ユーザの意図する位置と方向を持って、都市の景観を詳細に調べることができる。しかし、提供されるのは静止した高解像度のパノラマ画像であるため、イベントや事故などの即時的な状況把握をするには情報が不足する。そこで最近サービスが開始されたビデオ共有と twitter とを融合した twitvideo に着目すると、twitter としての更新周期は頻繁であるのでコンテンツの時間差は少なくなるものの、撮影に使用されるスマートフォンのカメラの視野角は狭いため、情報提供ユーザの位置に関する情報が利用ユーザには理解しづらい状況にある。

このように、UGC 景観サービスを実現するためには、UGC コンテンツの更新頻度を最新に保つための課題と、提供されるコンテンツの視認性を良好に保つための課題との 2 つがあり、それらを既存のサービスの特性や性能を落とさず効率的にマッシュアップさせるかがシステム構成上の課題となる。

2.2 UGC 景観サービスのシステム構成例

ユーザが投稿する都市景観ビデオを既存の景観サービスのパノラマ画像の一部としてシームレスに重畳表示するような臨場感高揚方式を用いたシステム構成の例を提示する [5]。最初にその方式の概要をまとめると、次の通りである。

- 1) スマートフォンのカメラで撮影され投稿された都市景観ビデオのフレームとその付近で撮影されたパノラマ画像との特徴点マッチングを行う。
- 2) 都市景観ビデオフレームを、その位置に対応するパノラマ画像内でシームレスに接続するように形状変形させる。
- 3) この形状変形させたビデオフレームを使って、あたかもパノラマ画像の一部が最新のビデオになるような重畳表示を行う。

ユーザにより投稿される都市景観ビデオ単体のフレーム例を図 1(a) に示す。次にこのビデオフレームに変換処理を加え、ビデオとパノラマ画像の重畳表示を行った例を図 1(b) に示す。この図では、情報を提供するユーザが投稿した都市景観ビデオが、パノラマ画像との特徴点マッチングを行った後に形状変形され、パノラマ画像の赤枠内にシームレスに重畳表示される状況が確認される。これによって、赤枠内の都市景観ビデオの撮影時間と背景となるパノラマ画像の撮影時間とが異なる表示とはなるが、時間に不変の建造物等の位置関係を把握することができるため、ビデオ単体よりもより臨場感が高揚した表示を得ることができる。

この手順により実現する UGC 景観サービスシステムのサービスインタフェースについては図 2 のようになる。



(a) ユーザにより投稿される都市景観ビデオ単体のフレーム



(b) ビデオとパノラマ画像の重畳表示例

図 1: UGC 景観サービスの表示例

twitvideo の画面 (図 2 上) には、情報提供ユーザから投稿された日時の順番に、ツイートテキストとその関連するビデオ(又は画像)がリスト表示されている。情報利用ユーザは、これらのリストの中から興味あるツイート記事を選択してその内容を確認する。特にツイートテキストで説明されているビデオの内容でコンテキストが把握できるかを判断する。不足する場合には、その記事のビデオに関連するメタデータ〔緯度・経度・方位情報等〕を取得するコンテキスト取得オプションを指示する。この操作により、そのビデオ視点に適合したパノラマ画像が検索され、選択したビデオのパノラマ画像上の配置関係が枠線にて表示される (図 2 中)。そしてこの枠線を指定することにより、指定したビデオ周辺のパノラマ画像の対応位置に重畳表示される (図 2 下)。

以上のような機能を備える UGC 景観サービスシステムは、既存のサービスである twitvideo と StreetView とのマッシュアップにより実現し、そのシステム構成は図 3 のようになる。このようなマッシュアップによるシステム構成上の特徴としては、新たなデータベース (又はコンテンツアーカイブ) を作成しない点にあり、既存のそれぞれのサービスで構築され使われているデータベースから出力されるデータを直接用いて、それらをサービスに適合するよう高速に加工しながら提供することにある。これによって、それぞれのサービスで用いられているコンテンツの特性は保存される。

2.3 システム評価とサービスで用いられるコンテンツ特性

システム評価を行うため、ユーザ撮影の映像だけを表示した場合とそれをパノラマ画像に重畳表示させた場合とで、位置情報の把握がどれだけ容易になったかを計測する実験を行っている。具体的には、任意の被験者 10 名に、それら 2 種類の映像を見せ、どこで撮影されたものかを判断するまでの時間を計測した。その結果、パノラマ画像に重畳された表示の場合、映像だけの場合に比べ、約半分の時間で撮影位置の情報を把握することができ、この新規サービスによって映像に付随する位置の把握を高める効果的があることを確認した。この UGC 景観サービスにより臨場感が高揚されるのは、マッシュアップを構成する既存のサービスで用いられているコンテンツのそれぞれが備える特性の相乗効果であるということができる。即ち、twitvideo で用いられているビデオデータの備える時間的な即時性と、StreetView で用いられているパノラマ画像の備える空間的な視認性との 2 つの特性を両立させることによる相乗効果として臨場感が向上するものと判断される。

しかしコンテンツ特性の観点からは、ビデオデータとパノラマ画像にはそれぞれ特有の特性があり、同じ画像メディアであつてもかなり異なったものと言うことができる。その特性の比較を表 1 にまとめる。これから、コンテンツ公開の観点から



図 2: UGC 景観サービスシステムのインターフェース例

表 1:コンテンツ特性の比較

	twitvideo の映像フレーム	StreetView のパノラマ画像
画像サイズ	480×320	6400×2400
視野角	65°	360°
位置精度	±10m	±5m(サンプリング)
更新頻度	5 回/日	1 回/2,3 ヶ月
編集の有無	△ (ユーザ任せ)	○ (専任スタッフ)
著作権対応	× (ユーザ任せ)	○ (専任スタッフ)
プライバシー対応	× (ユーザ任せ)	△ (専任スタッフ) 公開前の事前対策

の特性が大きく異なっていることが分かり、特に twitvideo で用いられているビデオデータには公開の適切性に関するチェックはほとんど行われていないために、その対策がかなり自動化されることが望まれる。また StreetView のパノラマ画像においても、プライバシー保護の観点からの対応は不完全であることが分かる。これは後述のプライバシー保護のモデルを検討する場合に深い影響を与える。

3 UGC 景観サービスにおけるプライバシー

UGC 形式で Web サイトへ投稿されるユーザ撮影の景観画像や映像には、プライバシー保護の対象となるものが多く含まれる。本節では、これらのプライバシー保護対象となる項目の分類と定義を行い、プライバシー保護策をモデル化するための準備を行う。

3.1 プライバシー保護項目の類型

前節で示したような UGC 景観サービスでは、ユーザ

がスマートフォンを用いて任意に撮影した景観と時空間属性とをコンテキストとして Web サイトに投稿した形態での UGC を共有することが基本となっている。従って、これらの UGC には、プライバシー保護の対象となるものが多く含まれ、それらを明確にする必要がある。従来、個人の名称や病歴などを記述したテキストやデータに含まれるプライバシー保護の議論は多く行われてきているが、ここで注目している景観を構成するコンテキストでは、特有のプライバシー保護の考え方を行う必要があり、それらの分類からプライバシーの定義を行う。顕現的プライバシー保護項目(EP: Evident Privacy)

コンテキストを構成する景観の画像や映像には、個人肖像や車番等の視覚的に把握可能なプライバシー項目が含まれている。これらの項目は、人間の視覚からリアルタイムに認識されるものであり、プライバシー侵害の有無が瞬時に分かるといった特性がある。例えば、個人を特定できるような個人の肖像や、自動車の所有者を特定できるような車番など、その項目を見ただけで個人を識別できるようなものがこの項目に該当する。従来の監視カメラ映像のプライバシー対策は、この EP だけに注目したものであるといえる。

潜在的プライバシー保護項目(LP: Latent Privacy)

顕現的にはプライバシー侵害項目とはならないものであっても、時空間属性との関連から新たに発生するプライバシーに関するもので、必ずしもリアルタイムに認識されなくてもよい。例えば図 4 のように、景観画像に映された自転車に注目すると、駐輪場など公共の場所では特にプライバシー保護項目にならない場合(図 4 (a))であっても、駐輪されている場所が個人住居の前でしかも大

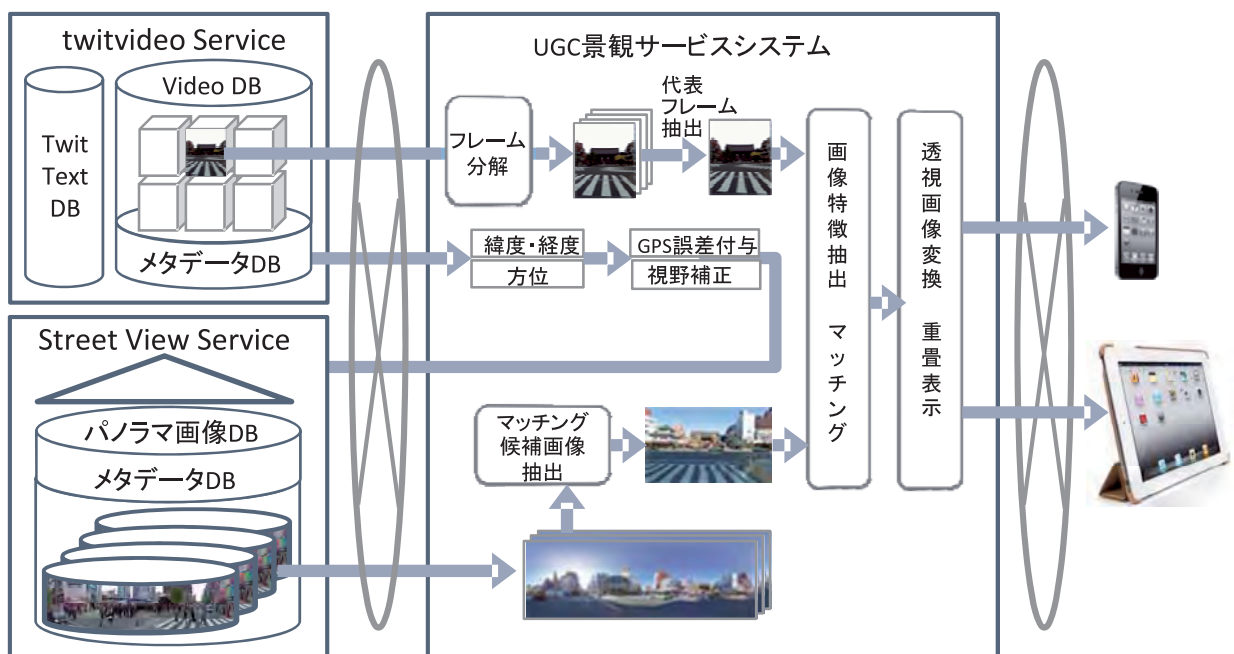


図 3: マッシュアップによる UGC 景観サービスシステムの構成

人用と子供用が隣接して駐輪されている状態が映されているとすると、その個人宅の家族構成が暴露されてしまうといったプライバシー保護項目となる(図 4(b)). このように、時空間属性との関連により新たなプライバシー保護項目となる場合があり、従来このような項目のプライバシー保護の対策はほとんど考慮されていなかった。

このように、コンテキストのデータ構成には画像・映像と時空間属性とがあり、そのプライバシー保護項目は、各レコード固有の項目が含まれ、それぞれ単体ではプライバシーの保護対象にならなくとも、これらが組み合わさった場合には、相互のプライバシー保護対象となる項目が発生し、それぞれ固有の定義上の問題が存在する。

3.2 顕現的プライバシー保護項目(EP)の定義上の問題

EP では、何をプライバシー保護対象とするかの議論がある。遠隔の Web カメラサービスや StreetView 等、現行の景観サービスでは、人物の顔や車番がその項目となっているが、ユーザの状況によっては、それ以外にも多数の該当項目が存在することが予想される。例えば、住宅地区における主婦の視点では、洗濯物や干した布団などがプライバシー保護項目になるほか、子供の通学見守



(a) 複数の自転車が映っている場所が駐輪場で LPにならないケース



(b) 複数の自転車が映っている場所が個人住居の前で家族構成がわかりLPになるケース

図 4：潜在的プライバシー保護項目(LP)の表示例

りサービスの観点では、その見守り対象となる子供だけでなく、その学校の制服や帽子などがプライバシー項目となり得る。このように、サービス利用者の目的や用途の外に、そのサービスの背景となる環境や文化の差などによっても新たな EP 項目が発生するので、その見極めをどこまで行うかの設定が問題となる。

このような、カメラ視線から何をプライバシー対象とするかに関する議論は、古くから行われており、Goffman によるフレームの概念がある[10]。フレームとは、個人の経験の組織化を分析するために用いられる概念であるが、各人が認識している状況やできごとにより一定の解釈をもたらす基盤となる枠組みである。カメラ撮影は、一定の対象を各自が備えているフレーム内にとらえる作業を通じて、抽象化された記号を洋々な解釈へと開いていく。プライバシーに対する視野は更に広がりがあるものとなり、記号のコンテキストを変えてしまうことにより、対象となる記号に新たな解釈を生み出す[10]。このようにフレーム概念は、プライバシーの侵害に限界がないことを明らかにしている。

3.3 潜在的プライバシー保護項目(LP)の定義上の問題

LP では、どのような項目との組み合わせによりプライバシー保護対象となりうるのかの議論がある。この場合、既に EP を構成する画像やビデオ内の自明なプライバシー項目ではなく、コンテキストを形成する時空間属性の選択が問題となるが、時空間属性単体においても、プライバシー項目とならない場合があるために、その選定方法が問題となる。そこで、前節で導入したフレームの概念をその選定方法に適用することができる。対象がカメラのフレーム内に置かれると、それぞれが生起し、進行している現時点から切り離されていく。そしてそこには必然的に対象の現時点からのコンテキストの変更が生じることになる。そのようにして、フレーム内に収められたイメージの記号は、様々なコンテキストにおかれることにより、それが生起した時点では全く意識されていなかった多様な解釈を受ける可能性へと開かれていく[11]。即ち、この時空間属性の選定においても、従来のフレームの範囲だけでなく予測不可能な範囲となり、無限の可能性があることが示唆されたことになる。

4 プライバシー保護策

コンテキストのプライバシー保護を行うポリシーについての検討を行う。前節でも述べたように、今回のプライバシー保護の対象とするのは UGC 景観サービスで扱うコンテキストでありユーザが投稿する景観画像やビデオ及びそれに関連する時空間属性である。このようなコンテキストには、従来のデータやテキストを対象とするプライバシー保護とは異なる独特の方策が要求されるので、そのモデル化と技術的な方策について検討する。

4.1 プライバシー保護策の類型化

景観を撮影する側のロジックとして、撮影シーンに含まれるプライバシー項目を事前に保護する方向の(1)事前保護策が考えられる。一方、景観として撮影される側のロジックとして、撮影被写体にシールドをかけて保護する(2)被写体保護策が考えられる。本節は、これらの類型化の根拠となるプライバシー保護のモデル化を中心に議論を進める。

(1) 事前保護策

まず EP として自明なプライバシー保護項目を検知して、UGC として公開する前にそれらを事前に隠蔽してプライバシーの侵害を保護する方策で、この場合に必要な技術としては、UGC の画像やビデオに含まれる EP 候補を自動的に検知する技術である。そこで、プライバシー対象のランク付け辞書を事前に作成しておき、UGC の画像やビデオフレームの認識から抽出されるオブジェクトとこのランク付け辞書とを比較し、合致した評価値を割り振る。そのランク付け辞書と合致しなかったオブジェクトに対しては、暫定的な評価値を与え、次段の LP の評価に備える。特に、画像の認識には、景観画像からの特定オブジェクトの認識技術が必要となるが、オブジェクト指定からの学習が可能で認識性能にロバスト性が高い、Joint HOG 特徴量を用いた物体認識アルゴリズム等[12]を用いる。更に LP を構成する時空間属性の評価尺度としては、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プライバシー評価値、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尺度[13]を用いる。

このような事前の保護策のメリットとしては、プライバシー侵害が起こるのを事前に防ぐことができ、UGC としてのサービスの安全性を保障できることにある。しかし、既存の StreetView 等で行われている事前保護策では、プライバシー保護項目の一部である顔や車番等に限られるため、この事前の保護策としての対策は十分ではない。先のフレーム概念からは、プライバシー保護項目は無限に存在することになり、完全なる対応は不可能である。

(2) 被写体保護策

EP や LP として事前にプライバシー項目の検知を行わないで、景観として撮影される場合に、撮影される被写体にプライバシー侵害とならないように隠蔽などの保護を行う方式である。この場合、保護を行う主体は、被写体となるプライバシー保護対象そのものであり、能動的なプライバシー保護策が求められる。例えば、3.3 節で示した個人住居の前に駐輪された複数の自転車の例においては、事前に子供の自転車だけを撮影されないように隠蔽するなどの被写体へのシールド操作を求めるもの

である。

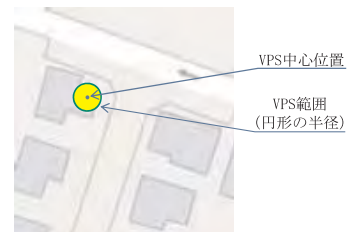
このような被写体としての保護策を行う場合のメリットとしては、事前保護策で問題となるような保護対象の事前の予測処理が不要となり、被写体側の任意の保護項目が確実に設定できることである。前節で導入したフレーム概念においても、EP に関してはその全てを事前に列挙することは不可能であることが明確にされている外、LP に関してもそのフレームを構成するコンテキストが入れ替わることにより多様な解釈がされるので、予測不可能な面があることが指摘されている。従って、事前保護を実施する側(景観サービスのために景観を撮影する側)では気が付かないような項目に対しても、被写体側で設定ができることになり、保護効果が絶大となる。

一方でメリットとして、被写体側でのプライバシー保護策が必要となることに気が付かず、事前に対応が行われなかった場合には、事前策で漏れたプライバシー項目の侵害が発生することになり、依然としてプライバシー保護策としては不完全となる。

4.2 効果的な保護策の提案

このような事前の保護策として EP や LP を計算機により自動的に認識することは至難の業であり、そのプライバシー保護項目が生起される範囲や背景を事前に求めること、即ちフレームを自動的に設定することは、更に難しいことが分かった。

そこで被写体保護策として、被写体となるユーザ自身



(a) 地図上にVPSの位置と範囲を設定するインタフェース例



(b) パノラマ表示においては、複数のシーンにVPSが現れる例

図5: 仮想プライバシー隠蔽(VPS)の設定と表示

が能動的にプライバシーの侵害から保護する項目を隠蔽するような対策を行う方針を検討する。ユーザのカメラによる景観撮影が行われる場合の物理的な世界での対策としては、洗濯物などプライバシー保護項目を隠蔽するように、ついたてを設置したりシートをかぶせたりすることが考えられるが、これらの物理的な手段は面倒な上に生活活動上の妨げとなる恐れがあり、実施には至らないことが多い。そこで、このような物理的な隠蔽をサイバー空間上で仮想的に行い、撮影された景観画像が Web 上のサイバー世界で表示される場合にその設定された隠蔽が行われプライバシーが保護されるような VPS (Virtual Privacy Shield)を用いる方式を提案する。

具体的な VPS を設定するインタフェースとしては、図 5(a)に示すように、地図上で隠蔽対象の位置とその範囲を設定したり、スマートフォンの GPS で測位した位置とシールド規模を設定したりする方法が考えられる。このような VPS が指定された状態で撮影された景観の画像や映像を Web 上で公開する場合には、図 5(b)の仮想の円筒で示されるように、設定された位置と大きさの VPS が表示され、プライバシー保護項目が隠蔽されるようにする。もちろん、StreetView 等で用いられる専用のカメラにより撮影される景観画像においても、設定されたその位置と範囲に VPS が表示され、プライバシー保護項目が仮想的に隠蔽されたパノラマ表示となる。

4.3 評価方式

以上のプライバシー保護策を第 2 節で提示した UGC 景観サービスシステムに組み込み、そのプライバシー保護能力を評価する。その場合の評価方針は次の通りとする。

事前保護策として設定するプライバシー保護項目の充足性、特に人の顔や車番以外で考えられるプライバシー保護項目に対するサービスユーザからの充足度を把握する。その場合、設定されたプライバシー保護項目の自動認識率の評価も行う。一方、被写体保護策として提案した VPS の効果を評価する。この場合、ユーザからの利便性を考え、スマートフォンの GPS 測位位置と範囲設定からの VPS 設定効果を把握・評価する。

またこれらの評価のために、多量のユーザからサーバーへの画像やビデオストリームのアップ処理の負荷をスケールアウトすることが可能なクラウド環境を用意して、各スマートフォンユーザから提供されるデータにプライバシー保護のためのストリーム処理を施してリアルタイムに近い形式で、要求に適合したコンテキストとして提供できるような実用化技術も開発する。

5 おわりに

本稿では、UGC 景観サービスにおけるプライバシー保護の問題に注目して、特にマルチメディアに時空間属性を融合させたコンテキスト内に存在するプライバシー

を定量的に把握するためのモデル化と、その保護策についての検討を行った。プライバシー保護項目の類型として、顕現的なものと潜在的なものがあることを明確にし、それぞれの項目の自動認識には限界があることを示した。又それらを保護するための方策として、事前保護策と被写体保護策が考えられ、特に後者の方策として VPS が有効であることを提案した。今後は、ユーザから投稿される多量の画像やビデオストリームを対象に、プライバシー保護が対処されたコンテキストを提供可能な景観サービスとしていく予定である。

参考文献

- [1] YouTube: <http://www.youtube.com/>
- [2] USTREAM: <http://www.ustream.tv/>
- [3] twitvideo: <http://twitvideo.jp/>
- [4] Google Street View, <http://www.google.com/streetview/>
- [5] 青木稔, 桜木康充, 河野昭也, 清水友晶, 中田卓司, 渡部大輔, 嶋田茂, “ユーザ参加型都市ビデオアーカイブの臨場感高揚方式による新たなコンテキストサービス”, 電子情報通信学会データ工学研究会技術報告, 2011
- [6] TODAY@PCWORLD, “Google Street View Departs Germany”, http://www.pcwold.com/article/224829/goolge_street_view_departs_germany.html, 2011
- [7] 瀬戸洋一, 伊瀬洋昭, 六川浩明, 新保史生, 村上康二郎, “プライバシー影響評価PIAと個人情報保護法”, 2010
- [8] J.ヴァイダヤ, C. W. クリフトン, Y. M. ズー著, 嶋田茂, 清水将吾訳, “プライバシー保護データマイニング”, 2010
- [9] 一般社団法人モバイルコンテンツ・フォーラム, “ケータイ白書 2011”, インプレス R&D インターネットメディア総合研究所(編), 2010.
- [10] Erving Goffman, “The Presentation of Self in Everyday Life”, Anchor Books, 1959.
- [11] Erving Goffman, “Frame analysis: An essay on the organization of experience”, Harper and Row, 1974
- [12] T.Nagahashi, H.Fujiyoshi, T.Kanade, “Object type classification using structure-based feature representation”, MVA2007, IAPR Conference on Machine Vision Applications pp.142-145, May, 2007
- [13] Agrawal D., Aggarwal C., “On the Design and Quantification of Privacy- Preserving Data Mining”, ACM PODS Conference, 2002

講義ビデオ提示システム設計者のための数学的枠組み

長尾 雄行*・森口 聡子*・土屋 陽介*

A Mathematical Framework for the Designers of Presentation System of Video Recorded Lectures

Takeyuki Nagao*, Satoko Moriguchi* and Yosuke Tsuchiya*

Abstract

Video recorded lectures are very important tools for education and there are many interests in developing presentation systems of video recorded lectures to utilize the videos as effectively as possible. In this note, we develop a mathematically rigorous framework to represent dependencies of video recorded lectures by weighted graph and higher-order functions. By using the mathematical framework of this paper, the designers can quantitatively investigate methods to present slides of lectures to students from among numerous videos using the history of their learning and the dependencies of the lectures.

Keywords: Video recorded lectures, e-Learning systems, optimization, higher-order functions.

1 はじめに

産業技術大学院大学（以下、本学）では、2006年度の開学以来、演習を除くすべての座学の講義をビデオカメラで撮影しており、学生、卒業生及び教員が、インターネット経由で最新1年分の講義ビデオを自宅及び学内のいずれからでも閲覧可能な環境を提供している。本学では、情報アーキテクチャ専攻及び創造技術専攻の両専攻をあわせて年間800本以上の講義ビデオを収録している。1本の講義ビデオは90分の講義1回に対応しており、データ量は約700MBである。学生は講義ビデオを復習のための手段、あるいは所属以外の専攻の講義を閲覧するための手段等として活用している。講義ビデオの収録を目的として、すべての講義室に、教員のコンピュータ画面を撮影するための収録装置と講義室内の風景を撮影するための天井吊型のカメラを設置しており、コンピュータ画面に映し出される講義資料と、カメラに映る教員のジェスチャーを一つの画面に合成して、ストリーミング配信可能なデータ形式（Windows Media Video形式）で記録している。記録した講義ビデオは、撮影スタッフによる簡易な編集（前後の無音部分の除去及び教員の指示による編集等）を経て、講義ビデオを蓄積するためのビデオライブラリに登録され、おおむね撮影の翌日から利用可能となっている。このようにして収録した講義ビデオをe-Learning教材の一つとして、Learning Management System (LMS)を通じて、ハンドアウト等の講義資料とともに学生及び教員に提供している。

教育機関内のビデオライブラリやインターネット上のビデオ共有サイト（例えば[5]）等に蓄積されている多数の講義ビデオを教育のために活用する様々な方法が検討されている。特

に、講義ビデオを効率よく活用するには、講義ビデオの中のようなプレゼンテーションスライド（以下、スライド）が存在するかを学修者に効率よく提示する仕組みが必要である。学修者が多数の講義ビデオの中から自身の興味に合致するスライドを見つけ出すのは、ビデオ再生ソフトの頭出しやサムネイル機能だけでは不十分だからである。そこで、講義ビデオに含まれるスライドを検索する様々な方法が研究されている[6]。例えば、講義ビデオのすべてのスライドの文字認識を行い、スライド内容の全文検索を提供するシステム[4]がインターネット上に公開されている。筆者らは、ビデオライブラリの中からショッピングカートと類似のインターフェイスで任意のスライドを選択し、ビデオ、音声又は電子ブックへとオンデマンドで変換するシステムVideoPacker[1]を開発した（図1参照）。



図 1: VideoPacker のスクリーンショット

Received on August 31, 2011.

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

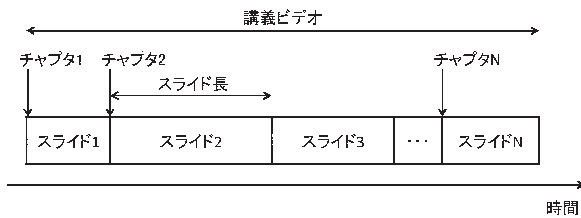


図 2: 講義ビデオの構成

表 1: 講義ビデオのスライド数のサンプリング調査

サンプル講義ビデオ数	613
平均スライド数	39.2
最小スライド数	1
最大スライド数	376
平均スライド長(秒)	104
最小スライド長(秒)	1
最大スライド長(秒)	7400

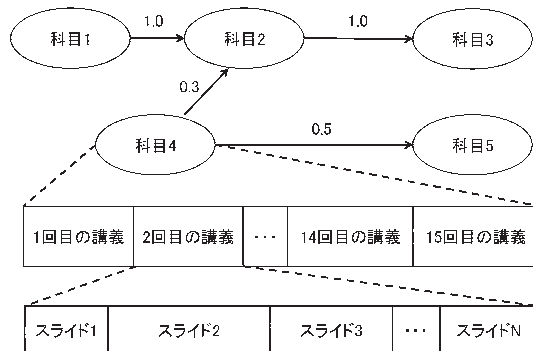


図 3: 科目, 講義, スライドの階層構造

本稿の目的は、講義ビデオの提示システムの設計者が、どのスライドをどの学修者に提示するのが適切であるかという問題を、数学的に厳密な手法で議論する枠組みを提案することにある。以下では、講義ビデオのデータである科目、講義、スライド及びそれらの依存関係をグラフ、集合及び高階関数を用いて表現する。特に、学修者がある科目の次にどの科目を履修すべきかという、科目間の依存関係を重み付きグラフで表現することで、科目間の依存関係を考慮した議論が数学的に厳密に行えるようにする。

2 講義ビデオの構成

一般的に、講義ビデオはチャプタによって複数の部品に分割されている。チャプタは講義ビデオの一部から頭出し再生するための情報であり、一般的に、頭出し位置がミリ秒単位で記録されており、付加的にそのチャプタの見出しがテキストデータとして記録されている。本稿ではチャプタで分割された講義ビデオの断片をスライドと呼び、スライドの再生時間のことをスライド長と呼ぶことにする*。講義ビデオとスライドの関係を図 2 に図示する。本学では、画面に表示されて

いるスライドのタイトルをチャプタの見出しテキストとして自動記録する撮影装置を利用している。ただし、未対応のプレゼンテーションソフトウェアについては撮影スタッフが手入力でチャプタ情報を記録している。本学のビデオライブラリに保管されている講義ビデオをサンプリング調査した結果を表 1 及び図 5 に示す。ここで、平均、最小、最大スライド数は講義 1 回あたりについての集計結果である。スライド長についても同様である。極端に短いスライドが存在するのは、教員がスライドを進めながら別のスライドを探す所作を撮影装置が記録しているためである。また、極端に長いスライドは、問題文をプレゼンテーション画面に表示して演習を行う場合があるためである。

3 重み付き有向グラフと高階関数による依存関係の表現

本節では、ビデオライブラリに保管されている講義ビデオに関する定量的な議論を見通しよくするための準備として、講義ビデオの基本データである、科目、講義、スライドを集合で表現する。そして、それらの依存関係をグラフと半順序によって記述する(図 3 参照)。本稿では、単一の組織のビデオライブラリのみを考察し、組織間でのビデオライブラリの連携は考慮しない。

3.1 重み付きグラフによる科目間依存の表現

ビデオライブラリに保管されている科目全体の集合を K で表す。 K の 1 つの元が 1 つの科目を意味する。現実の講義体系の設計時には、科目間の依存関係を検討して、循環依存や前方参照が無くなるあるいは極力少なくなるように配慮する。従って、科目間の構造を有向グラフを用いて表現することができる。そこで、本稿では、 E を辺集合とする、循環の無い有向グラフ (K, E) があらかじめ与えられているものとする(循環が無いという仮定は議論を単純にするために設けたが、前述の通り、理想的な講義体系の設計において自然な仮定であることに注意されたい)。ここで、科目の組 (k_1, k_2) が E に属することを、科目 k_1 が科目 k_2 の前提であると解釈する。この解釈は教員の立場に立ったものであり、逆に学生の立場から考えると、科目 k_1 を修了した後に科目 k_2 を学修すると知識の修得がスムーズに行えることを意味する。この表現では、学生がある科目 k を修了した直後に履修すべき科目の一覧が

$$\text{Next}(k) := \{k' \in K : (k, k') \in E\}$$

である。そして、科目 k の前提科目全体の集合が

$$\text{Prev}(k) := \{k' \in K : (k', k) \in E\}$$

である。科目 k が $\text{Next}(k) = \emptyset$ を満たす場合、その組織には k の次に進むべき科目が存在しないことを意味する。このような科目のことを終端科目と呼び、終端科目全体の集合を

*スライドと呼ぶ理由は、プレゼンテーションソフトウェアを用いる講義では、あるチャプタと次のチャプタの間には一つのスライドの映像が記録されるからである。

K_+ で表す. 同様に, $\text{Prev}(k) = \emptyset$ が成り立つ場合, その組織では科目 k の前提となる知識は提供されないことを意味する. このような科目のことを開始科目と呼ぶ. 開始科目全体の集合を K_- で表す. 一般的に, 学修者は自身の興味に基づいて, 開始科目から終端科目へ向かってグラフ (K, E) にそって学修を進める. 以下では, K_+ と K_- のどちらも空集合ではない場合のみを考察する.

3.2 依存関係の表現

前提科目の一覧 $\text{Prev}(k)$ に属するどの科目が学修者にとって有用かは学修者によって異なる. 教員の立場からすると, 科目設計の段階ではある科目 k の直後に特定の科目を優先して履修させたい場合がある. このような要望を表現するためにグラフ (K, E) の辺に重み

$$w : E \longrightarrow \mathbb{R}_+$$

を考える, ここで, \mathbb{R}_+ は非負の実数全体を表す. 不等式

$$w((k, k_1)) < w((k, k_2))$$

が成り立てば, 科目 k を修了した場合に, 科目 k_1 より科目 k_2 が次の科目として優先度が高いことを意味する.

グラフの辺に重みを付ける方式を用いると, データの作成が比較的容易である. ただし, 辺よりも頂点に重みを付ける方が理論的に扱いやすい場合がある. そこで, 科目の重みを表す高階関数

$$w_+ : (K_+ \longrightarrow \mathbb{R}_+) \longrightarrow (K \longrightarrow \mathbb{R}_+)$$

を次のように定義する[†]. $g : K_+ \longrightarrow \mathbb{R}_+$ に対して(このとき, $w_+(g) : K \longrightarrow \mathbb{R}_+$ であることに注意), $\text{Next}(k) \neq \emptyset$ のとき

$$(w_+(g))(k) = \sum_{k' \in \text{Next}(k)} w((k, k'))w_+(k'),$$

$\text{Next}(k) = \emptyset$ のとき $(w_+(g))(k) = g(k)$ とする (グラフ (K, E) に循環が無いという仮定により, この定義は意味を持つ). g は終端科目に重みを付けるための関数であり, $g(k)$ の値が大きい科目ほど優先度が高いと解釈する. 教員の意図として, 特定の終端科目 k を優先的に履修させたい場合には $g(k)$ の値を大きく取る. 教員の意図は重み関数 w と g によって表現することができる. 理論的には, w と g が与えられれば, どの科目を優先的に扱うかは科目の重み関数

$$w_+(g) : K \longrightarrow \mathbb{R}_+ \tag{1}$$

の値によって知ることができる(大きい値が高い優先度を意味する). 以下では, w_+ のことを重み付け高階関数と呼ぶ. 一般的に, w_+ は w の取り方に依存する.

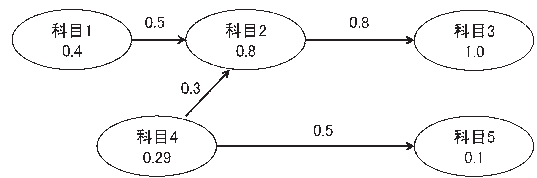


図 4: 重み付け高階関数の適用例

重み付け高階関数の適用例を図 4 に示す. 矢印の上の数値が与えられた w であり, 科目名の下の数値が関数 (1) によって各科目に付与される重みである. この例では, 終端科目全体の集合は {科目 3, 科目 5} である. 終端科目の重み関数 g は

$$g(\text{科目 3}) = 1.0 > g(\text{科目 5}) = 0.1$$

より科目 3 を優先する設定となっている.

3.3 講義の表現

一般的に大学の講義科目では 1 科目は 15 回の講義から成り立つ. そこで, 正の整数 N を固定して, どの科目 k も N 回の講義から成り立つものとする. 科目 k の講義全体の集合を $L(k)$ と表す. 我々の仮定からこの集合の濃度は $|L(k)| = N$ である. $L(k)$ には時間順序による自然な依存関係が存在する. つまり, m 回目の講義を修了した学生が次に進むべきは $(m+1)$ 回目の講義である, という自明な依存関係である. 科目間と同様に講義間にも有向グラフ構造を付与して考察することもできるが, 簡単のため, ここでは $L(k)$ には全順序 \leq が入っているものとする[‡]. 講義 $l_1, l_2 \in L(k)$ が $l_1 \leq l_2$ を満たすことを講義 l_1 よりも後に講義 l_2 が実施されることと解釈する. 本学の例では, 講義ビデオ一本が $L(k)$ の元一つに対応している.

3.4 スライドの表現

本稿で扱う講義は PowerPoint や Keynote 等のプレゼンテーションソフトウェアを使って行うものとする. 講義を録画したビデオ画面にはプレゼンテーションスライドが時系列に表示される. 学修者にとって必要なことは, 有意なスライドをビデオの中から見つけ出すことである. 科目と講義の関係と同様に, 講義とスライドの間にも自然な時系列の依存関係が存在する. 科目 k の講義 l に属するスライド全体を $S(k, l)$ と表す. $S(k, l)$ も講義と同様の全順序 \leq を導入する. スライドに付随する重要なデータとして, スライドの再生時間がある. ここでは, スライド $s \in S(k, l)$ の再生時間を $\text{len}(s)$ (単位は秒) で表す. 以下では len のことを長さ関数と呼ぶ.

一般的には, スライド 1 枚は数分程度の長さとするのがプレゼンテーションの作法とされている. しかし, 本学ビデオライブラリに存在する実際に録画されたビデオを観察すると, 数秒程度の再生時間のスライドや数十分程度の再生時間のスライドが存在していた (表 1 及び図 6 参照). 数秒程度の

[†]一般に, $(A \longrightarrow B)$ は集合 A から集合 B への関数全体を表す. $f : A \longrightarrow B$ と $f \in (A \longrightarrow B)$ は同義である.

[‡]講義間の構造も有向グラフで表現すると, 表現が煩雑となるため.

短いスライドが記録される主な原因は、あるスライドから別のスライドへスライドを切り替えながら目的のスライドを探す所作によるものである。あるスライドの再生時間が短い場合、そのスライドが学修者にとって有意であれば、講義のいずれかの箇所ですでに十分な時間をかけて別途学生に提示されているはずである。つまり、有意なスライドは再生時間がある閾値 t_{\min} 以上のものであるとするのが合理的である。一方で、スライドの再生時間が非常に長い事例が発生している。これは、教員が演習問題をプレゼンテーション画面に提示して学生はその問題に取り組んでいる場合、そして、スライドを表示している間に学生との質疑応答を実施する場合である。従って、再生時間がある閾値 t_{\max} 以上のスライドは、無編集のままでは冗長であり、必ずしも講義ビデオの利用者にとって有用ではない。このような場合には再生時間のうち、途中部分を省略する等の要約作業が必要である。

3.5 ビデオライブラリ内の全スライド

ここまでの議論で、我々は科目、講義、スライドの表現を行った。科目 k に属する全スライドを表す集合を $S(k)$ とすると

$$S(k) = \bigcup_{\ell \in L(k)} S(k, \ell) \quad (\text{disjoint union})$$

が成り立つ。 $S(k)$ には $S(k, \ell)$ と $L(k)$ の全順序から全順序が誘導される。誘導される全順序を \leq で表すことにすると $s \in S(k, \ell), s' \in S(k, \ell')$ について $s \leq s'$ が成り立つことは $\ell < \ell'$ もしくは $\ell = \ell'$ かつ $S(k, \ell)$ の元として $s \leq s'$ が成り立つことと同値である。つまり、科目 k のすべての講義の中で、時系列にスライド s がスライド s' より先に出現することと同値である。

科目 K にも有向グラフ (K, E) から誘導される半順序 \leq を付与する。つまり、 $k, k' \in K$ のとき、 $k \leq k'$ とは k から k' へ至るパス (長さ 0 を許す) が存在することと定義する。

ビデオライブラリ内のスライドの全体は

$$S = \bigcup_k S(k) \quad (\text{disjoint union})$$

である。 $S(k)$ の全順序と K の半順序から S には半順序 \leq が誘導される。 $s, s' \in S$ に対して $s \leq s'$ が成り立つための必要かつ十分条件はある $k, k' \in K$ が存在して、

$$k < k', \quad s \in S(k), \quad s' \in S(k')$$

が成り立つか、もしくは $s, s' \in S(k)$ かつ $S(k)$ の元として $s \leq s'$ が成り立つことと同値である。つまり、科目のグラフ (K, E) と時系列について s の方が s' よりも先に出現することを意味する。科目のグラフ (K, E) に枝がある場合には、 S に誘導される半順序は全順序ではない。

3.6 学生の興味と学修履歴

多数のスライドのうち、どのスライドが学生にとって有意であるかは、個々の学生の知識や経験に依存する。以下では、

学生の興味と学修履歴の表現を検討する。利用者である学修者を一人固定しておき、その学修者がスライド $s \in S$ にどれくらい興味があるかを関数

$$v : S \rightarrow \mathbb{R}_+$$

によって表現する。 $v(s)$ の値が大きいほど学修者はスライド s に興味があり、 $v(s) = 0$ の場合には学修者はスライド s に全く興味が無いものと解釈する (以下、一般に、この意味付けを行った $(S \rightarrow \mathbb{R}_+)$ の元を興味関数と呼ぶ)。

興味関数の典型的な例は全文検索によるスライドの検索結果である。スライド単位の全文検索では、あらかじめ各スライドにスライド本文の全文テキスト、もしくはスライドの標題部分だけのテキストを入力として与え、データベース等にインデックスを作成する。インデックスを使った検索結果は一般的に、各スライド s に実数値のスコアを対応させる関数である (高い値が良い検索結果を意味する)。現在では、Apache Lucene [3] 等のオープンソースソフトウェアを利用して実用的な全文検索が可能であるため、全文検索を使って興味関数を実装することは比較的容易である。 $v(s) = 0$ となる s は検索キーワードに合致しないことを意味するとすれば、全文検索による興味関数の特徴は、 $v(s) > 0$ となる s が S の半順序とはそれほど関係なく、とびとびに出現することである。

一方で、あるスライドを既に学修済みかどうか興味関数で表現可能である。例えば、興味関数 d を学修済みのスライド $s \in S$ に対して $d(s) = 1$ とし、そうでない場合には $d(s) = 0$ とする。このように意味付けを行った興味関数 d を学修関数と呼ぶことにする。講義間の依存関係が正しく設計されているという仮定の下では、学修関数 d は S の半順序と自然な関係にある。すなわち、 $s, s' \in S$ について

$$d(s) = 1 \quad \text{かつ} \quad s' \leq s \implies d(s') = 1$$

および

$$d(s) = 0 \quad \text{かつ} \quad s \leq s' \implies d(s') = 0$$

が成立する。

学修関数のこの性質を利用して、学修者の学修関数を対話形式のテストを通じて推定することができる。例えば、 S の中からランダムにスライドを選んで部分集合 S' を作成し、 S' のスライドを一つずつユーザに提示する。そして、提示したスライドを知っているかどうかを入力させる。スライド $s \in S'$ を知っていれば入力値 1、そうでなければ入力値 0 を受け取ることにする。スライドと入力値の対応を関数 $d_0 : S' \rightarrow \mathbb{R}_+$ として表現し、興味関数 $d' : S \rightarrow \mathbb{R}_+$ を $s \in S$ に対して、 $s \leq s'$ となる $s' \in S'$ が存在して $d_0(s') = 1$ となっていれば $d(s) = 1$ そうでなければ $d(s) = 0$ とする。十分多くのサンプルスライドを利用すれば、興味関数 d' が学修関数の良い近似になっていると期待できる。

3.7 科目間の依存関係の興味関数への織り込み

一般に興味関数 $v: S \rightarrow \mathbb{R}_+$ と 2 つの重み関数 $w: E \rightarrow \mathbb{R}_+$, $g: K_+ \rightarrow \mathbb{R}_+$ が与えられた場合, 次の式で科目間の依存関係を織り込んだ興味関数 $v_{g,w}: S \rightarrow \mathbb{R}_+$ を定義することができる.

$$v_{g,w}(s) = v(s)(w_+(g))(k), \quad k \in K, \ell \in L(k), s \in S(k, \ell).$$

右辺の重み $(w_+(g))(k)$ によってスライド s が属する科目 k がもつ依存関係を考慮した重みが適用される.

3.8 スライド長に基づく有意スライドの抽出

3.4 において, 学修者にとって有意なスライドにはスライド長の下限 t_{\min} 及び上限 t_{\max} が存在することを示した. 興味関数 $v: S \rightarrow \mathbb{R}_+$ が与えられた場合, 興味関数と長さ関数 len を次のように変換することで, この制限を満たすスライドだけを抽出することができる. すなわち, 変換後の興味関数を $v': S \rightarrow \mathbb{R}_+$, 長さ関数を len' として,

$$v'(s) = [\text{len}(s) \geq t_{\min}]v(s),$$

$$\text{len}'(s) = \min\{\text{len}(s), t_{\max}\}$$

と定義する[§]. ただし, $\text{len}(s) > t_{\max}$ となるスライドについては, スライドの途中をカットする等の方法で, スライド長が t_{\max} となるように調節するものとする.

4 最適化

以上の議論で, 学修者の学修履歴及び全文検索の結果を興味関数として表現することが可能であることを示した. さらに, 科目間の依存関係と科目の履修についての教員の意図を興味関数へ織り込むことができることを示した.

学修者が効率よく視聴スライドを決定しようとする意思決定は, 興味関数に関する最適化問題として記述できる. 興味関数を $v: S \rightarrow \mathbb{R}_+$ とする. 2 値変数関数 $x: S \rightarrow \{0, 1\}$ を, スライド s を視聴しない場合は $x(s) = 0$, 視聴する場合は $x(s) = 1$ となるものとする. 解くべき最適化問題は

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} && \sum_{s \in S} v(s)x(s) \\ & \text{subject to} && \sum_{s \in S} \text{len}(s)x(s) \leq T \\ & && x(s) \in \{0, 1\} (s \in S) \end{aligned}$$

である. ここで, T はビデオの視聴時間の上限である. スライド長についての考慮をする場合には, あらかじめ 3.8 で示した変換を行ってからこの最適化問題を解けば良い.

この問題は典型的なナップサック問題となっている. ナップサック問題は NP 困難な問題であるが, 動的計画法を用いて擬多項式時間で解けることが知られている. 上記の問題の場合, $O(|S|T)$ 時間で解くことができる [2]. ナップサック問題の拡張と変種については, 組合せ最適化の分野で多数の研

究がなされてきている. 動的計画法で得られた擬多項式時間の限界は, 入力の数値が大きい場合, その方法を現実には用いることができないことを示しているが, 実際には, 動的計画法と他のヒューリスティクスを組み合わせると大きいインスタンスでも解かれている.

5 おわりに

本稿では, 重み付きグラフと高階関数を利用して, 科目, 講義, スライドという講義ビデオの基本情報を定量的に解析するための枠組みを定式化した. そして, 科目間の依存関係, 学修履歴, 全文検索が興味関数として表現可能であることを示した. さらに, 学修者が効率よく講義ビデオを視聴するための意思決定が興味関数に関するナップサック問題で定式化できることを示した. 本稿の結果をもとに講義ビデオの提示システムを設計及び実装することで, ある科目の教員が関連科目の講義ビデオを学修履歴に基づいて学修者に紹介することが可能である. 従って, これまでに比べてビデオライブラリの活用の機会が増えると期待する.

参考文献

- [1] T. Nagao, Y. Tsuchiya and S. Moriguchi, "VideoPacker: An On-Demand Learning Material Exporting System for Video Lectures," *Proceedings of the Annual International Conference on Education and e-Learning (EeL 2011)*, Global Science and Technology Forum, 106–110, 2011.
- [2] J. Kleinberg and E. Tardos, "Algorithm Design," Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2005.
- [3] Apache Lucene, <http://lucene.apache.org/>
- [4] J. Adcock, M. Cooper, L. Denoue, H. Pirsiavash, and L. A. Rowe. "TalkMiner: a search engine for online lecture video," In *Proceedings of the international conference on Multimedia (MM '10)*. ACM, 1507–1508, 2010. <http://talkminer.com/>
- [5] YoutubeEDU, <http://www.youtube.com/education>
- [6] 柳沼良和, "講義映像のデータベース化と検索手法の動向," *メディア教育研究* 第 7 巻 第 1 号, 2010.

[§]一般に論理式 P について, $[P]$ は P が真であれば 1 そうでなければ 0 とする.

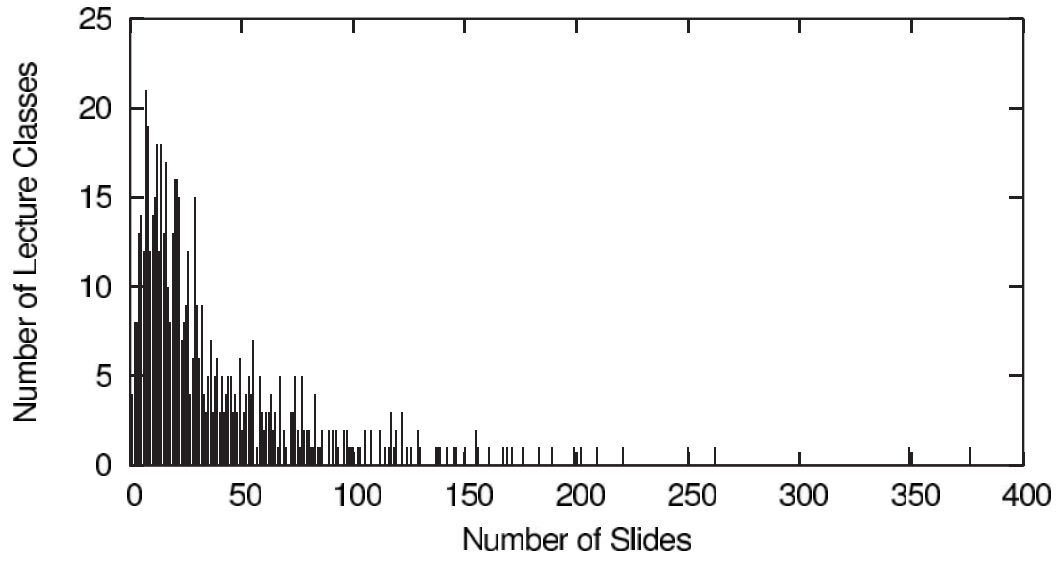


図 5: スライド数別の講義数

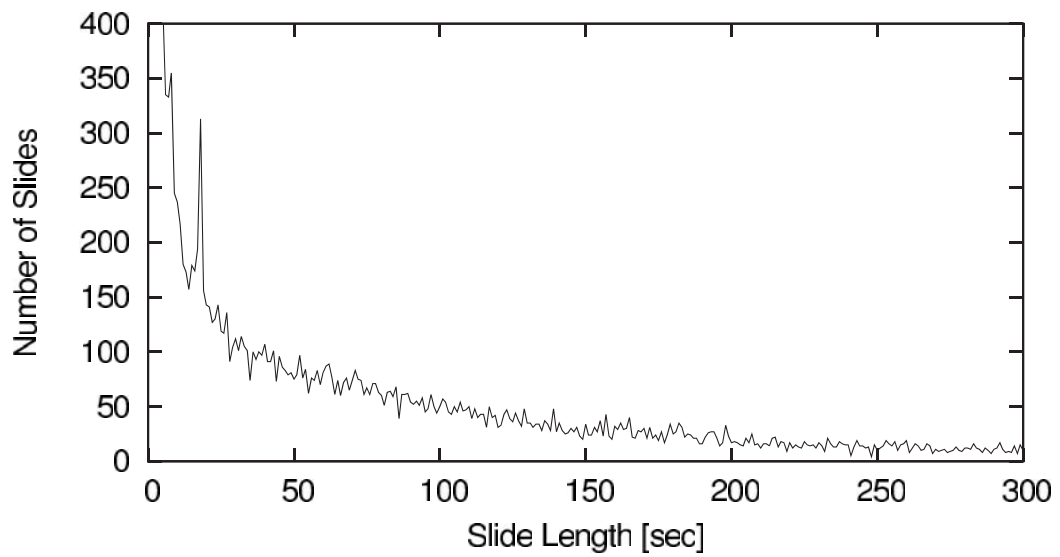


図 6: スライド長別のスライド数

AIIT における撮影スタジオを用いたデザイン教育の実践報告

網代 剛*

A Report of design education using photograph studio at AIIT

Tsuyoshi Aziro*

Abstract

At contemporary product designing project, the communication between members who have different specialty is important to success. This paper reports the experimental learning program with operating photograph studio and equipments as a method of communication that a member who does not have matured modeling skill can create knowledge with the other members who have that kind of skill.

Keywords: competence, experiential learning, communication, photograph

1 背景:コンピテンスの育成

産業技術大学院大学(以下 AIIT)をはじめとする実務家教育における competence(能力)育成の手法を考察する。経験学習は、その哲学的な背景において、学習の成果としての解の捉え方に特徴を持つ。すなわち、解が多数であるとする行動主義および、解は唯一であるとする合理主義との対比において、解を固定的で不変なものとするのではなく、解は経験を通じて絶えず統合・更新され(Integration and substitution)続けるものと捉えている[1], [2]。したがって経験学習における学習のモデルは、統合と更新の過程として記述される。

1.1 学習における過程

James[2]は日常における繰り返しを認識できることが人間の知性であり、繰り返しによって常識が形成されるとしている。また Argyris[3]は、Professional school において学生に新しい理論が理解されにくい原因は、新しい理論自体の難解さにあるのではなく、学生の中に既に形成された理論と新しい理論が矛盾するためであるとしている。このように、経験学習においては、矛盾の統合と更新が中心的な課題となる。

Kolb[1]は、経験学習における矛盾(Conflict)を統合・更新する過程を、経験の実施(Concrete Experience:CE)、反省的な観察(Reflective Observation:RO)、抽象的な概念化(Abstract Conceptualization:AC)、能動的な実験(Active Experimentation:AE)という4つの段階でモデル化している(図1参照)。このモデルは、各段階において、矛盾を内包すると同時に、段階間でも矛盾を持つ。経験の実施(Concrete Experience)の段階では、先入観なく経験を実施する能力、すなわち先入観と新たな経験との間の矛盾があり、反省的な観察(Reflective Observation)の段階で

は、多数の視点から観察する能力が求められ、抽象的な概念化(Abstract Conceptualization)の段階では、多数の視点からの観察を統合する能力、そして能動的な実験(Active Experimentation)では、概念を現実に応用する能力、すなわち概念と現実との矛盾の解決が求められる。さらに、経験の実施(Concrete Experience)と抽象的な概念化(Abstract Conceptualization)の間には、対象の理解(Apprehension)と包括的理解(Comprehension)との矛盾、反省的な観察(Reflective Observation)と能動的な実験(Active Experimentation)の間には帰納と演繹との矛盾が存在し、それらを統合し概念を更新してゆく能力が求められるとしている。

1.2 学習プログラムの要件

これまで見てきたように経験学習は、ただ経験の機会を提供すれば良い訳ではない。学習者の多様な経験を、多様なまま放置したり、特定の解を強制したりするのもない。矛盾を統合し概念を更新してゆく過程において、それぞれの過程を遂行する能力の育成が目的である。したがって学習プログラムに求められる要件は次の2つである。

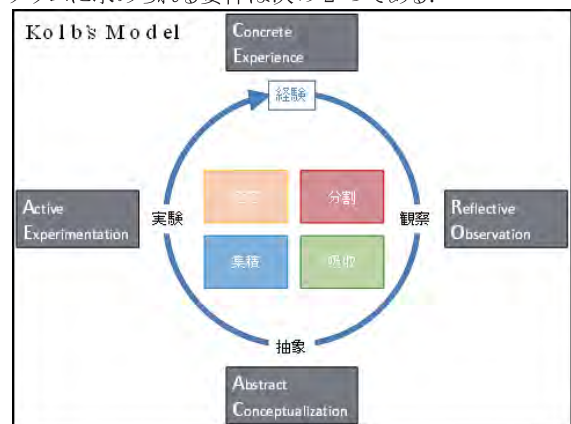


図1:Kolb のモデル

- ・学習者に適度な矛盾を提供
- ・学習者による矛盾の統合と更新の支援

前者については、既に、GBS[4]、ゲーミングシミュレーション[5]など、仮想の空間で矛盾を含む経験を提供する方法が見られる。また、学習者が既に実務経験を通じて、学習の対象について、常識を形成している場合は、さらに効果的に学習者に矛盾の提供が期待できる。しかし、矛盾を統合し更新する方法についての研究は少なく、手法も必ずしも確立しているとは言えない。例えば KJ 法[6]では、分類、図形化、文章化といった、作業目標は提示されているが、各段階における作業手順は明らかでない部分を含む。こうした問題について、松田・多胡・坂元[7]は、教授活動のシミュレーションの研究において、数学の教授を、具体化・抽象化・特殊化・数量化といった一連の流れとしてモデル化している。また、江本・松田[8]は「情報的な見方・考え方」として 13 の項目からなる一連の思考過程を学習者に修得させることによる問題解決力の向上を報告している。同様に玉田・松田[9]は、情報モラル教育において、3 種の知識を学習者に修得させることによる学習者の思考力・判断力の向上を報告している。これらはいずれも、学習者による矛盾の統合と更新において、一定の思考の枠組みや発想のための観点を提供し、それらを法則化する際の核とさせながら、経験を整理させることを意図していると考えられる。また、兼田[10]は、ゲーミングシミュレーションの対象を、都市社会などの多主体系モデルとした上で、交渉や意思決定のモデルを紹介している。

新井[11]は、次のようなエンタテインメント分野におけるシミュレーションゲーム開発者へのインタビューを報告している。「体験する事で知的興味が満たされ、ゲームをすることによって、自分が偏見を持っていることを意識し、それによって自覚的に行動を変えてゆくという“動的な知識”の獲得を目指している。」20 年近く前のエンタテインメントゲームにおいて、明確な設計技法と呼べるまで体系化されてはいないまでも、開発者がこのような点を意識していた事は非常に興味深い。

2 撮影スタジオを用いた学習プログラム

筆者は、2009 年度より、デザイン教育の側面支援として、撮影スタジオ(表 1 参照)を用いた学習プログラムを実施してきた。その目的は、ものづくりのプロジェクトにおける、フォトグラファーと非フォトグラファーの創造的コミュニケーションである。

2.1 学習プログラムの概要

今日、ものづくりのプロジェクトにおいては、完成した製品のプロモーションだけでなく、設計の各段階においても、映像表現の重要性はますます高まっている。すなわち、ものづくりアーキテクトとしての AITT 創造技術専攻修了者においては、専門分野の如何にかかわらず、映像表現のプロフェッ

ショナルと共にプロジェクトを遂行する場面が予想される。この時、重要になってくる能力は、自らが撮影できる能力ではなく、撮影のプロフェッショナルであるフォトグラファーと、プロジェクトを大きく前進させるという意味での、創造的なコミュニケーションの能力である。しかし、フォトグラファーと非フォトグラファーのコミュニケーション手法は、必ずしも確立している訳ではない。

このように、手法が確立していない分野の教育においては、経験より、常識と矛盾するような、新たな知見を獲得し、それらを統合し、絶えず、自らの常識を更新しつづけてゆく能力の育成が重要である。こうした能力の育成には、Kolb[1]をはじめとする経験型の学習プログラムが適している。

2.2 学習プログラムの現状

現在実施している学習プログラムの概要は、表 1 のとおりである。特に 2011 年度からは、現役プロ・カメラマンである田中振一氏に、技術指導を仰ぎつつ、学習プログラムの研究開発に取り組んでいる。経験型の学習プログラムにおける技術指導には、次の 2 つが求められるが、田中氏は、これらの点について、申し分のない力量を発揮してくれており、前年度にくらべて、学習プログラムの効率は、大きく向上した。

- ・現実的な解の提示(専門領域の知見)
- ・再現性のある手法の提示(コミュニケーション力)

経験型の学習プログラムでは、学習者の自発的な議論や試行錯誤を軸に学習が展開する。このため、学習者が到達した解が、実現不可能であったり、非現実的であったりする場合が想定される。もちろん、学習の目的が、発想である場合は、この点は問題とはならない。しかし、学習の目的が、実用的な技能の獲得である場合には、非現実的な解は、大きな問題となる。

一方で、経験型の学習プログラムでは、学習者による、矛盾の統合を経た常識の更新、すなわち解に到達する過程が重要である。技術指導の内容は、過程における学習者による暫定的な前提や仮説と、比較・検証が可能な形で提供される必要がある。

また、学習プログラムの参加者には、AITT 修了者も複数含まれており、AITT コア・コンピテンシのひとつである「継続的な学習」、あるいは「学びのコミュニティ」の形成にも、貢献できているのではないかと考えている。

表 1：撮影スタジオの概要

照明：ストロボ式照明	2 灯
定常光式照明	2 灯
ライトスタンド	2 脚
機材：カーボン三脚	2 脚
カメラ	2 機
映像処理用 PC	1 機
プリンタ	1 機
その他：背景紙（多数）背景紙スタンド，露出計等	

表 2：学習プログラムの概要

名称：Photograph Communication! カメラマンと対話するための撮影技法探求講座
技術指導：田中振一氏
参加者：10 名程度（AIIT 修了者を含む）
開催：月に 1 回程度（休日 10：00～16：00）
場所：東京夢工房
構成：
第 1 部：撮影技法の講習（矛盾の材料の提供）
第 2 部：撮影機材を用いて所与の課題を達成する実践（矛盾の統合と更新）

3 課題

3.1 動的学習支援

学習者による矛盾の統合と更新を支援するためには、学習者の思考の過程を検出し、適切なフィードバックをかける動的な学習支援の仕組みが必要である。これまで、学習プログラムにおける学習者の状態検出は、学習の過程を細分化した段階を設け、段階ごとに小テストを実施する方法が一般的であった[12]。しかし、この方法では、次の 2 つの問題がある。ひとつは、どんなに細分化しても、小テストで確認できるのは、結果であって、思考の過程を直接モニタリングできる訳ではない点である。もうひとつは、小テストは、学習の流れの妨げになる可能性があるという点である。

学習者の状態検出および状態に対応した適切なフィードバックの手法が確立されれば、学習者の状態に応じて動的に変化する、学習者による矛盾の統合と更新を支援する学習プログラムの実現が期待できる(図 2 参照)。

3.2 状態検出

本稿では、動的学習支援プログラムを目指した研究として、網代・吉川・矢守[13]に倣い、次の手順による、学習者の発話の解析を試みる。

- ・学習者による課題解決のディスカッションをビデオまたはボイスレコーダで記録する。
- ・学習の目的に応じた学習モデル、およびモデルに対応した発話のカテゴリを定める。

- ・記録した学習者の発話をカテゴリに分類する。
- ・カテゴリに属する発話の数で学習者の状態を判別する。

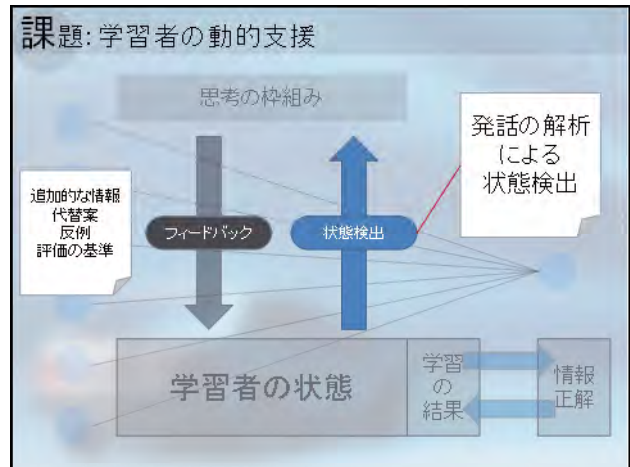


図 2: 動的学習支援

4 実験計画

4.1 概要

撮影スタジオを用いて、次のような学習プログラムを実施し、学習者(被験者)の状態検出を試みる。

はじめに、被験者に被験者には、次の 2 つが与えられる。

- ・実験課題
- ・撮影機材

実験課題は、紙媒体に印刷された写真であるが、撮影方法は被験者には知らされない。撮影機材は、複数の操作項目を持つ。被験者への要求は、「実験課題の再現」である。次いで、被験者は、撮影機材を任意に操作しつつ、「実験課題の再現」を目指し、試行錯誤を繰り返す。この被験者による試行錯誤の過程を記録し、解析することによる、被験者の学習状態の検出が本実験の目的である。被験者など実験の条件は表 3 のとおりである。

表 3：実験の条件

被験者：産業技術大学院大学在学学生および修了生
人数：2～3 名程度のグループで実施
所要時間：30 分程度

4.2 状態検出のモデル

学習者の状態検出は、Kolb[1]に則って行う。被験者の状態を、①撮影の実施(経験)を起点とし、②経験の結果である写真の評価(観察)、③問題の特定(仮説の構築)、④具体的な操作項目の設定(実験)の四段階の何れの状態にあるのかを特定する。実験では、この 4 段階を、何度も繰り返しながら、被験者の作品(写真)が、実験課題に漸近してゆくと予想される。特に撮影機材の各操作項目と、仕上がりの写真との因果関係について適切な仮説を構築できているかを検出するのが、本実験のねらいである(図 3 参照)。

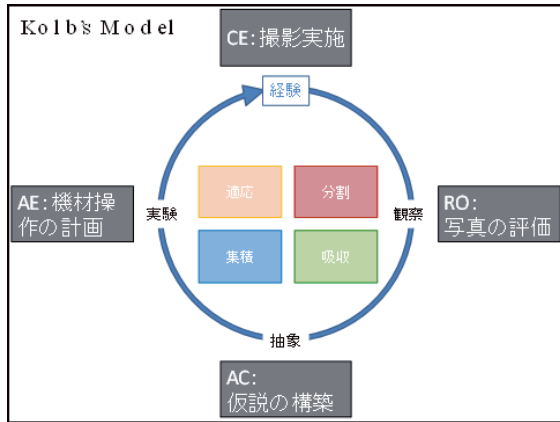


図 3:実験における状態検出のモデル

5 実験の結果と考察

5.1 実験の結果

実験の結果は、表 4 および図 4 のとおりである。標本では、被験者による撮影 (CE) は、18 回行われた。

表 4:実験の結果

	CE: 撮影	RO: 評価	AC: 仮説	AE: 実験	計	比較
1	1	1	0	0	2	0
2	1	0	0	4	5	0
3	1	0	0	0	1	0
4	1	1	0	0	2	0
5	1	3	5	1	10	1
6	1	3	8	0	12	2
7	1	2	6	1	10	3
8	1	2	2	0	5	0
9	1	2	1	3	7	0
10	1	1	3	1	6	2
11	1	5	3	5	14	1
12	1	1	0	0	2	0
13	1	0	1	3	5	2
14	1	3	0	3	7	2
15	1	0	1	0	2	0
16	1	0	1	0	2	0
17	1	0	0	1	2	0
18	1	0	0	0	1	0

表 4 は実験中、1 回の撮影から次の撮影までの間の、被験者の発話を、状態検出のモデル (図 3) に対応したカテゴリに分類したうえで、実験中の発話回数を数えたものである。各カテゴリに対応する発話は次のとおりである。カテゴリへの対応付けは筆者による。

CE: 撮影

RO: いい感じ, ダメ, 綺麗, すごい, 映る (写真の印象

についての発話)

AC: 寄せる, 接近, 距離, 水滴, ポタポタ, 大きい, 小さい, 光, 当て方, 足りない (原因の考察についての発話)

AE: 真上, シャッタースピード, 絞り, 数値, ライト, 丸, ドーム型, 三脚, 上げる, 下げる (機材の操作についての発話)

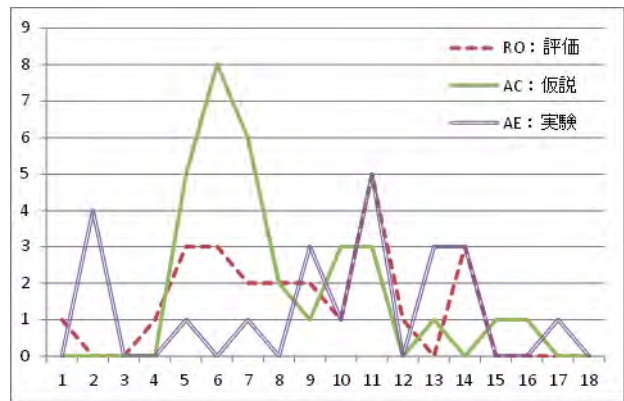


図 4:発話の推移

被験者の発話の推移 (図 4) を見ると、撮影 6 回目前後で、AC (仮説) に関する発話がピークを迎えており、以降は、評価と実験に関する発話、特に AE (実験) に関する発話が増える。また、RO, AC, AE を合計した発話数は、6 回前後と、11 回前後にピークを持っている。このことから、被験者の試行錯誤は、はじめに仮説についての議論が交わされ、そののち、仮説を実証する具体的な機材の操作に話題が移っていったという、被験者の状態が検出できたことが分かる。

実験中、AC (仮説) における最頻出の発話は「水滴」、次いで「大きい」であり、AE (実験) における最頻出の発話は「上げる」次いで「下げる」「三脚」であった。このことから、被験者は、写真に写る水滴の大きさと、カメラと被写体の距離を調節について試行錯誤をしていたことが分かる。

5.2 考察

実験の結果を考察する。学習支援プログラムにおいて、実験の結果のように、学習者が悩み、議論の交わしている段階は、学習者が問題解決に向けての、仮説の構築についてなのか、特定の仮説のもとに、仮説を実証する手段についてなのかによって、学習支援の方法は、異なるはずである。例えば、AC (仮説) 段階にある学習者に、水滴の大きさ以外の仮説を示唆する事で、議論に深まりを持たせることができたかもしれない。また、AE (実験) 段階にある学習者には、具体的な機材操作法を示唆することが有効かもしれない。少なからず、検討の余地は残

るものの、本稿での実験は、適切な学習支援の実現に向けての、学習者の状態検出手掛かりとなるものである。

6 今後の取り組み

6.1 検出方法

現在は、実験において観察された学習者の状態を観察している段階である。しかし今後は、テキストマイニング法[14]、プロトコル分析[15]など、質的データ解析法を早急に取り入れることで、状態検出法を確立したい。

6.2 制御法

学習者の状態は、学習プログラムの実施中にも、変化していると考えられる。こうした変化に対応するためには、学習プログラム実施中において、学習者の状態に応じて動的に対応できる学習支援プログラムが必要である。今後は、そうした学習支援プログラムの設計技法の確立に向けて研究を進めてゆきたい。

参考文献

- [1] Kolb, D.A, *The Experiential Learning*, Prentice Hall, 1984
- [2] James, W (梶田 啓三郎 訳)『プラグマティズム』, 岩波書店, 1965.
- [3] Argyis, C, *Organizational Learning*, FT Press, 1995.
- [4] Schank, R. C, Berman, T. R, and Macpherson K. A, “Learning by Doing” in C. M. Reigeluth and A. A. Carr-Chellman (Eds.), *INSTRUCTIONAL-DESIGN THEORIES AND MODELS*, Lawrence Erlbaum Assoc Inc, 1999.
- [5] Duke, R.D (市川新, 中村美枝子訳), *ゲーミングシミュレーションー未来との対話ー*, アスキー出版, 2001
- [6] 川喜田二郎, *発想法*, 中央公論社, 1967
- [7] 松田稔樹・多胡賢太郎・坂元昂, “教授活動の計算機シミュレーションに向けたモデルの提案”, *日本教育工学雑誌*, (15(4)), 1992.
- [8] 江本理恵・松田稔樹, “問題解決場面で思考・判断を助ける観点となるべき「情報的な見方・考え方」”, *日本教育工学会論文誌* 30(3), 2006.
- [9] 玉田和恵・松田稔樹, “3種の知識による情報モラル指導法の改善とその効果”, *日本教育工学会論文誌*, 33 (Suppl.), 2007.
- [10] 兼田敏之, *社会デザインのシミュレーション&ゲーミング*, 共立出版, 2005.
- [11] 新井潔, *シミュレーションゲーム*, 光栄, 1992.
- [12] Gagne, R.M, Keller, J.M, Golas, K.C, Wager, W.W (鈴木克明訳)『*インストラクショナルデザインの原理*』, 北大路出版, 2007.
- [13] 網代剛・吉川肇子・矢守克也, “ゲーミングシミュレーションにおけるプレーヤをゲームのプレーから、問題の解法構築へと誘導する思考支援ツールとしての『クロスロード』”, *シミュレーション&ゲーミング*, 21-1, 2001.
- [14] Feldman, R (辻井潤一訳), *テキストマイニングハンドブック*, 東京電機大学出版会, 2011.
- [15] 海保博之, *プロトコル分析入門*, 新曜社, 1993.

品質工学の MT システムを用いた筆圧情報による本人識別

越水重臣*・中谷純*・鈴木真人**

Personal Identification using MT System of Quality Engineering by Pen Force

Shigeomi Koshimizu*, Jun Nakatani* and Masato Suzuki**

Abstract

The authors have been developing authentication technologies based on studies of characteristic human actions, thereby offering high recognition rates combined with ease of use. This research concerns using a pen that is capable of measuring the force with which a user makes pen strokes to measure the force of the user's pen strokes when the user writes his name, and, using the Mahalanobis Taguchi (MT) system in quality engineering, analyze the resulting pen force data with the objective of verifying the identity of the user. The recognition rate of the technology is assessed based on two kinds of errors: false negatives, or failing to correctly identify a given user, and false positives, or incorrectly identifying an unauthorized party as having authorization. This research uses the MT method, the multi-MT method, and the Recognition Taguchi (RT) method to compare false negative and false positive error rates obtained by the technology in review. The results of the comparison show that the MT method gave the best overall performance. Effective application of the MT method, however, requires a large sample data set in order to generate its unit space, as opposed to the multi-MT and RT methods, which can generate their unit spaces with smaller sample data sets. Experiments have demonstrated that the multi-MT method results in fewer false positives, while the RT method gives fewer false negatives. Given the respective characteristics of the MT, multi-MT, and RT methods, it is crucial to determine which is the most appropriate to a given identity verification application.

Keywords: Personal Identification, Quality Engineering, Mahalanobis Taguchi (MT) system

1 はじめに

本人認証のための技術は、知識認証(パスワードや暗証番号など)、所有物認証(磁気カードやICカードなど)、生体認証(指紋や静脈、顔画像など)の3つに大別される。そのうちの前者2つには、パスワードの忘却やカードの紛失、さらには、なりすましといった問題点があり、今後、生体認証の重要性が増すものと予想される[1]。しかしながら、指紋や顔画像による認証は、ユーザーに対して精神的負担を強いているというのも事実である。そこで、筆者らは人間の行動特徴に着目し、ユーザーに負担を強いることなく、高い識別率を実現する本人認証技術の開発を進めている。その1つの方法が、本報で述べる筆圧情報を用いた本人認証技術である。筆圧情報を用いた本人認証とは、人が筆記する時にペンにかかる荷重を測定し、その荷重変化の特徴量から本人か他人かを識別することである。

また本研究では、本人識別のアルゴリズムとして、品質工学のMT(マハラノビス・タグチ)システムを採用している。次章でその概説を行う。

2 品質工学のMTシステム

MTシステムは、田口玄一博士により提唱されたパターン認識の方法であり、品質工学会を中心として発展してきた。様々な現象の予測、診断、判別に用いられる技術として、これまでに工程の機器監視や予防保全などに適用されてきたが、本論文のように個人認証の問題にMTシステムを適用した報告例[2][3]は散見されるものの数はまだ少ない。

このMTシステム法の原理は、(1)測定したい現象に対して結果が既知のデータ群の中からデータならびに結果においてばらつきの少ないデータ群を更に選び出し、このデータ群を基に「単位空間」と呼ばれるデータベースを作成し、(2)このデータベースを「ものさし」として未知の現象をマハラノビス距離として解析することにより構成されている。

例えば、本研究の場合は、個人認証の問題であるから、本人の特徴量データを用いて単位空間を作成する。そして、未知データに対しては、その単位空間からのマハラノビス距離を計算する。ある閾値を設定し、マハラノビス距離がその閾値より小さければ本人、大きければ他人と判別とする。

Received on September 25, 2011

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

**アmano株式会社, AMANO

パターン認識に用いられる代表的な方法にニューラルネットワークがある。ニューラルネットワークとMTシステムの比較を以下に述べる[4]。従来の教師データを必要とするニューラルネットワークを用いたデータ解析方法では、全教師データ(判定結果が明らかなデータ)の素性を数値化して表現する必要があるが、MTシステムではある特定の群に属するか否かという漠然とした内容を基準データとして分析を開始することができるため、基準データ(教師データ)の準備が非常に簡便になる。

また、ニューラルネットワークの学習では、同様の演算を複数回繰り返すことにより最適状態の神経回路やパラメータを形成する。そして識別率をさらに高めるには、学習データの数をさらに増やす必要があるが、学習データの数が大きくなるにしたがい、学習のための演算量が膨大になるといった問題点がある。一方のMTシステムでは、一度の計算でデータベース(基準データ)を生成でき高速に処理できるため、演算時間を非常に短くすることができるという長所がある。

3 研究の目的

本研究では、筆圧データによる本人識別の問題に品質工学の MT システムを適用し、その有効性を調査することを目的とする。

一般に識別率は、2つの誤りである本人排斥率(第1種の誤り)と他人受入率(第2種の誤り)で評価される。本報では、それら2つの誤り率について、品質工学で提案されている3つの方法、すなわち MT 法、マルチ MT 法、RT 法の3方式で比較した結果を述べる。

4 筆荷重の測定

4.1 筆荷重を測定するペン

論文の表題には、筆圧とあるが、正確には筆記中にペン先に加わるスラスト荷重を測定している。その筆荷重の測定には、日本システム開発株式会社の電子ペン DP-1000を使用した。最大測定荷重は 5N、サンプリング時間は最速で 3ms である。

4.2 筆荷重の測定データ

このペンを用いて、筆者が「越水」と書いているときの様子を図1(a)に、またその時の荷重データ例を図1(b)に示す。越水の画数(16画)に相当する16本のピークが現れていることがわかる。ここでは、筆者が自分の姓である「越水」と書いたデータを本人データと呼ぶ。それに対し、他人が「越水」と書いたデータを他人データと呼ぶことにする。

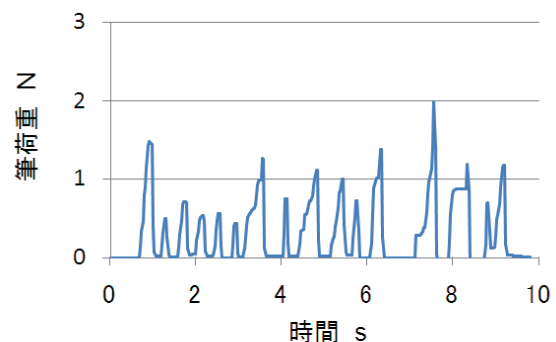
本研究では、本人データと他人データの識別に MT システムを用いる。すなわち、本人データで単位空間を形成し、他人データ(未知データ)とのマハラノビス距離を計算し、そ

の識別を行う。そして、本人を本人でないと誤る「本人排斥率」と他人を本人と誤る「他人受入率」を調べる。

単位空間を形成するためのサンプルとして、本人データ 210 個を用意した。また、識別実験のための未知データとして、本人データを 60 個、他人データを 18 名から合計 216 個取得した。



(a) 実験の様子



(b) 測定データの例

図 1: 筆荷重の測定

5 MT法による本人識別

5.1 MT法の解析手順

次のステップで MT 法による解析を行った。

- ①単位空間データの取得(前述)
- ②特徴項目の検討
- ③マハラノビス距離の計算
- ④項目選択
- ⑤マハラノビス距離による本人識別
- ⑥しきい値の決定

以下に、本人識別の結果を述べる。なお、MT法の解析には、ソフトウェア MT-AddIns(アングルトライ株式会社)を使用した。

5.2 特量項目について

MT 法では、特徴項目に何を取り上げるかが識別能力を大きく左右する。本事例では、項目として、平均値、分散、ピーク値、標本線を設けての変化量・存在量[5]など、70 個を取り上げた。まずはできるだけ多くの特徴項目を取り上げて、後から項目選択を行うことにした。

5.3 マハラノビス距離について

MT システムは、個人の複数個ある特徴項目から単位空間を作成し、そこからの距離(マハラノビス距離)が小さければ本人、大きければ他人と判別する。すなわち、複数ある特徴項目を1つのマハラノビス距離という評価指標に変換し、それをもとに本人/他人の識別を行うのが特徴である。以下に、品質工学の MT システムで用いるマハラノビス距離の特徴と計算式を簡単に述べる[5]。

まず、数理的な特徴としては、単位空間を作成する前に、各特徴量の平均を 0、標準偏差を 1 になるように基準化することで、本人の単位空間サンプルデータで算出したマハラノビス距離の平均値が 1 になるように操作している。

特徴量の数が k 個で、測定したデータ数が n 個ある場合において、 p 番目のデータのマハラノビス距離 D の 2 乗は次式で与えられる。このとき、 u_{ip} は基準化された特徴量、 r_{ij} は特徴量 u_i と特徴量 u_j 間の相関係数である。

$$D^2 = [u_{1p}, u_{2p}, \dots, u_{kp}] \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u_{1p} \\ u_{2p} \\ \vdots \\ u_{kp} \end{bmatrix}$$

5.4 識別結果

(1) マハラノビス距離による識別

未知データ(本人および他人 18 名)についてのマハラノビス距離(平均値)の結果を図 2 に示す。MT 法では、単位空間サンプルデータのマハラノビス距離の平均値は 1 になる。したがって、未知データのうち本人データのマハラノビス距離は小さく、1 に近くなり、他人データのマハラノビス距離は大きくなるので、その間にしきい値が設けられれば識別が可能となる。図 2 によれば、しきい値を 3~5 くらいに設定すれば本人と他人の識別が可能であることがわかる。

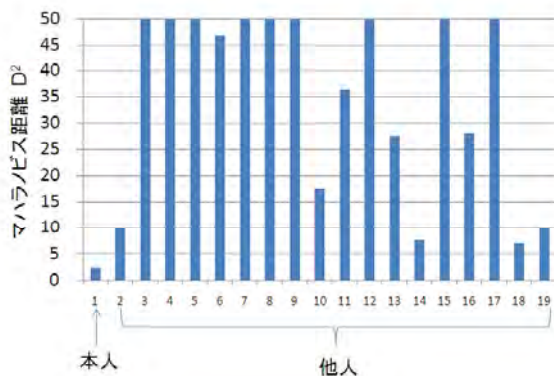


図 2: マハラノビス距離による識別(MT法)

(2) 単位空間のサンプル数が識別率に及ぼす影響

単位空間を形成するために用いるサンプルデータ数を変えて本人排斥率と他人受入率を求めた。その結果を図 3 に

示す。単位空間のサンプルデータ数が少ないと本人排斥率が高くなる。逆に、単位空間のサンプルデータ数が多くなると他人受入率が高くなる。すなわち、MT 法では単位空間のサンプルデータ数が 2 つの誤り率に影響する。本人排斥率と他人受入率のどちらを重要視するかは、その本人認証のアプリケーションによる。本研究では、本人排斥率が 0% になるところを 1 つの着目点とし、本人排斥率が 0% におけるサンプルデータ数を調べたところ、その数は 200 個であった。また、その際の他人受入率は 4.2% であった。以上は、項目選択前で項目数は 70 個での結果である。すなわち、本人排斥率を 0% にするには、70 個の項目数に対して、約 2.9 倍に相当する 200 個の単位空間サンプルデータが必要になることがわかる。

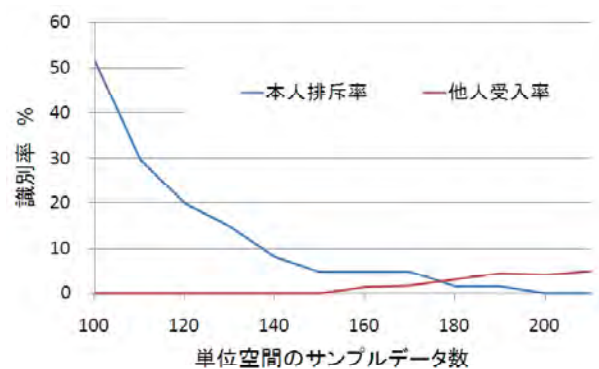


図 3: 単位空間のサンプルデータ数が識別率に及ぼす影響(項目選択前, 項目数 P=70)

(3) 項目選択の効果

次に直交表による項目選択[5]を行ったところ、効果が小さいと判定された項目は 70 個中 13 個あった。そこで、(その 13 個を除いた)効果の大きい 57 個の項目で再度、識別率を調べた結果が図 4 である。単位空間のサンプルデータ数を 150 個とした場合、本人排斥率は 0%、他人受入率は 0.9% となり、項目選択前に比べて識別率を向上させることができた。したがって、項目選択の効果は大きいといえよう。しかし、ここでも 57 個の項目数に対して、約 2.6 倍に相当する 150 個の単位空間サンプルデータが必要になることがわかる。

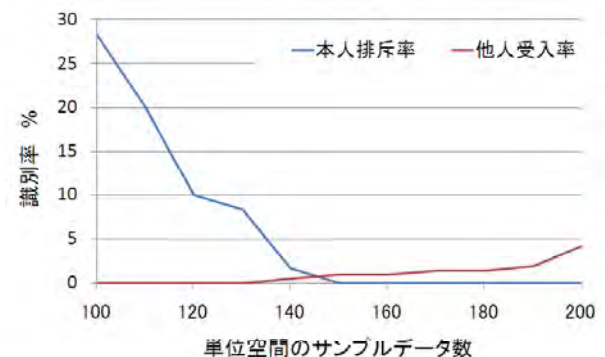


図 4: 単位空間のサンプルデータ数が識別率に及ぼす影響(項目選択後, 項目数 P=57)

(4) しきい値が識別に及ぼす影響

項目選択後(項目数 $P=57$, 単位空間サンプルデータ数 $n=150$)において, 判別のためのマハラノビス距離のしきい値を 3 から 5 の範囲で変えて, 本人排斥率と他人受入率を求めた. その結果を図 5 に示す. しきい値を小さくすると本人排斥率が高くなり, しきい値を大きくすると他人受入率が高くなる. 当然ではあるが, しきい値によって本人排斥率と他人受入率を調整することができることがわかる. ちなみに, しきい値が 3.9 以上では, 本人排斥率が 0% になった.

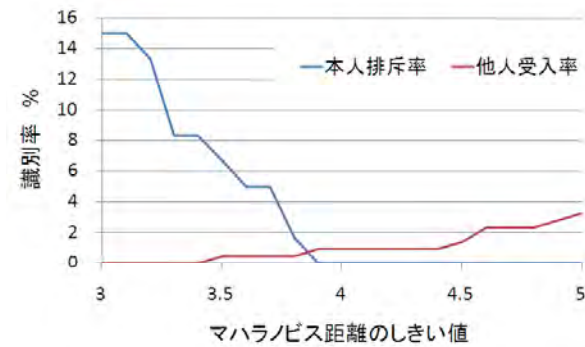


図 5: しきい値と識別率の関係

5.5 MT法における制約

MT法では, 項目数 P よりも大きい単位空間のサンプルデータ数 n が必要という制約がある. 実際には, 前節で述べたように, 識別率を良くしようとすると, 項目数 $P=57$ に対して, 必要となる単位空間のサンプルデータ数は $n=150$ であり, 項目数に対して 3 倍弱のサンプルデータ数が必要になることがわかる. しかし, あまりに多くのサンプルデータを集めることは困難である場合もあり, 実用性を考えると, 単位空間のサンプルデータ数はなるべく少ないほうが望ましい. そこで, 単位空間サンプルデータ数を減らすため, マルチ MT 法と RT 法の適用を検討することにした. 次章以降にその結果を述べる.

6 マルチMT法による識別

6.1 マルチMT法の特徴

マルチ MT 法 (MMT 法) とは, 項目群をローカルグループと呼ばれるいくつかのグループに分割してマハラノビス距離を求める方法である. MT 法では, 項目数 P よりも大きい単位空間のサンプルデータ数 n が必要という制約があるが, マルチ MT 法では, 項目を減らさずに単位空間のサンプルデータ数を減らすことができるというメリットがある[6].

図 6 にマルチ MT 法の概要を示す. その解析手順は, 以下の通りである.

- ① 特徴項目をいくつかのローカルグループに分割する.
- ② ローカルグループごとにローカル単位空間を定義する.

- ③ ローカル単位空間ごとに, 単位空間サンプルのマハラノビスの距離を求める.
- ④ ローカル単位空間を特徴項目とみなして, 複合単位空間を定義する.
- ⑤ 複合単位空間を用いて, 評価対象サンプルの複合マハラノビスの距離を求める.

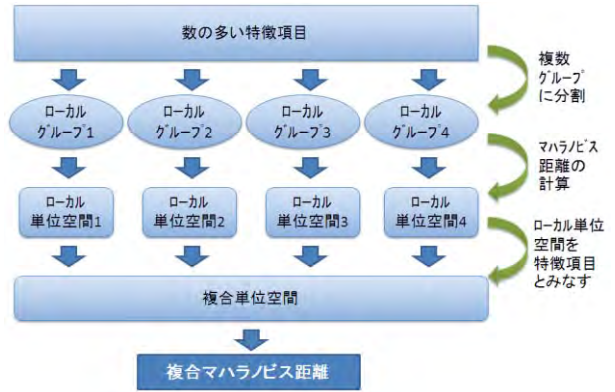


図 6: マルチMT法の概要

6.2 識別結果

(1) マルチMT法とMT法の比較

MT 法で採用した 57 個の項目を4つのローカルグループに分割した. 各ローカルグループの項目数は, 12,13,16,16 である. ローカルグループの項目数の数が均等ではないが, マルチ MT 法では計算上問題にならない. この4つのローカルグループでマルチ MT 法により解析した結果と前述した MT 法の結果を表 1 において比較する. マルチ MT 法において, 最も識別率が良かった場合(本人排斥率 1.7%, 他人受入率 0%), 単位空間のサンプルデータ数は $n=48$ であった. したがって, 4 章で述べた MT 法における必要なサンプルデータ数 $n=150$ に比べて, その数を 1/3 以下に削減できることになる.

表 1: MT 法とマルチMT法の比較

方式	MT法	マルチMT法
項目数 P	57	12, 13, 16, 16
サンプル数 n	150	48
しきい値	4	50
本人排斥率 (%)	0	1.7
他人受入率 (%)	0.9	0

(2) ローカルグループ数の影響

ローカルグループ数をさらに増やせば, 単位空間のサンプルデータ数を減らせると期待できる. 実際には, ローカルグループ数を 4, 8, 16 と増やして解析してみたが, 表 2 の結果が示すように, 本人排斥率が高くなってしまいう上, サンプルデータ数を減らすことにも貢献しないという結果になった. また,

一方の他人受入率はローカルグループ数を増やしても 0% のままであった。したがって、マルチ MT 法は、他人受入という誤りを防ぐのに有効であるという知見が得られた。

表 2: ローカルグループ数の影響

ローカルグループ数	サンプル数 n	しきい値	本人排斥率 (%)	他人受入率 (%)
4	48	50	1.7	0
8	48	10	11.7	0
16	48	5	16.7	0

7 RT法による識別

7.1 RT法の特徴

RT(Recognition Taguchi)法とは、パターン識別に特化した方法である。T 法(3)とも呼ばれる。RT 法は、数多くある特徴項目を SN 比と感度の二つの項目に縮約した後にマハラビス距離を計算するため、多重共線性が発生しにくく、数学的制約がない。また、単位空間を作成するためのパターンサンプルには、そのパターンの代表的なものを何通りか用意するだけでよいとされており、これは大きなメリットになる[6]。ただしその一方で、特徴項目はすべて同じ次元(単位)でなければならないといった制約もある[7]。なお、今回の RT 法の解析には、ソフトウェア MTRT-AddIns(アングルトライ株式会社)を使用した。

7.2 識別結果

(1) RT法による識別結果

本実験の筆荷重データには、筆記した文字の画数に応じたピークが現れる。そこで、「越水(16画)」と筆記した際に現れる 16 個のピークの値を特徴項目とした。その数値はすべて同じ単位(N)なので、RT 法による解析上、問題がない。RT 法により識別率を求めた結果を図 7 に示す。同図によれば、単位空間のサンプルデータ数が 9 個を超えると本人排斥率は 0% のままになる。RT 法では、本人排斥という誤りを防ぐのに有効であることがわかる。しかしながら、一方の他人受入率は 40% を超えてしまっている。

(2) RT法とMT法の比較

識別率について、MT 法と RT 法を比較した結果を表 3 にまとめる。MT 法に比べて RT 法は、本人排斥率を 0% に保ちながら、単位空間のデータ数を 150 個から 9 個と大きく縮減できるものの他人受入率は著しく悪くなるという結果になった。しかしながら、RT 法は、計算が簡単で計算時間も短いこともあり、簡便に本人かどうかを識別したいような場面や本格的な認証を行う前の前処理に適しているともいえる。

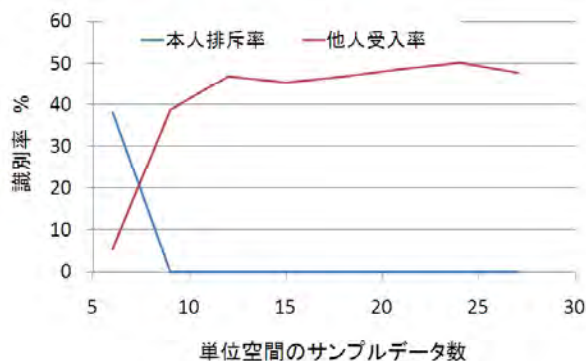


図 7: RT法における識別率

表 3: MT 法と RT 法の比較

方式	MT法	RT法
項目数 P	57	16
サンプル数 n	150	9
しきい値	4	4
本人排斥率 (%)	0	0
他人受入率 (%)	0.9	39.0

8 識別結果のまとめ(3方式による比較)

これまで述べてきた 3 方式(MT 法, マルチ MT 法, RT 法)の実験結果を表 4 にまとめる。総合的に最も成績がよいのは、MT 法である。しかし、マルチ MT 法では他人受入率が 0% であり、RT 法では本人排斥率が 0% である。すなわち、両者は補完的關係にあり、両者を組み合わせて、マルチ MT 法から RT 法の順で識別すれば、単位空間のサンプルデータ数を少なくしながら高い識別率で本人認証を実現できると考えられる。

MT 法, マルチ MT 法, RT 法は、それぞれに特徴があることから、本人識別のアプリケーションに応じて各手法を使い分けることが重要となる。

表 4: 3 方式(MT 法, マルチ MT 法, RT 法)の比較

方式	MT法	マルチ MT法	RT法
項目数 P	57	12, 13, 16, 16	16
サンプル数 n	150	48	9
しきい値	4	50	4
本人排斥率 (%)	0	1.7	0
他人受入率 (%)	0.9	0	39.0

9 結論

本研究では、筆圧情報から本人識別をすることを目的とし、品質工学の MT システムを適用した。本人排斥率と他人受

入率という2つの誤り率について、MT法、マルチMT法、RT法の3方式でそれぞれ比較した。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 最も本人識別の成績が良かったのはMT法である。
- 2) MT法では、項目数に対して3倍弱の単位空間のサンプルデータ数が必要となる。MT法は単位空間を作成するためのサンプルデータ数を多く必要としてしまうという問題点がある。
- 3) MTシステムでは、判別におけるマハラノビス距離のしきい値を変えることで、本人排斥率と他人受入率を調整することができる。
- 4) マルチMT法とRT法では、単位空間を作成するためのサンプルデータ数を少なくできるという利点を持つ。必要となる単位空間サンプルデータ数は、MT法の150個に比べ、マルチMT法では48個、RT法では9個と大きく削減できる。
- 5) 実験によれば、マルチMT法は他人受入率が0%で、RT法は本人排斥率が0%という結果となった。両者は補完的な関係にあり、組み合わせることで単位空間データ数を少なくしながら高い識別率を実現できると考えられる。
- 6) MT法、マルチMT法、RT法は、それぞれに特徴があることから、本人識別のアプリケーションに応じて各手法を使い分けることが重要となる。

参考文献

- [1] 瀬戸洋一, “ユビキタス時代のバイオメトリクスセキュリティ,” 日本工業出版, 2003.
- [2] 田村希志臣ほか, “MTシステムを用いた顔画像による個人識別の研究(1),” 品質工学, Vol.13, No.6, pp.66-73, 2005.
- [3] 田村希志臣ほか, “MTシステムを用いた顔画像による個人識別の研究(2),” 品質工学, Vol.19, No.1, pp.53-58, 2011.
- [4] R.Jugulum and L.Monplaisir, “Comparison between Mahalanobis-Taguchi System and Artificial Neural Networks,” 品質工学, Vol.10, No.1, pp.60-73, 2002.
- [5] 手島昌一ほか, “入門MTシステム,” 日科技連出版, 2008.
- [6] 田村希志臣, “よくわかるMTシステム,” 日本規格協会, 2009.
- [7] 永田靖, 土居大地, “タグチのRT法で用いる距離の性質とその改良,” 品質, Vol.39, No.3, pp.364-375, 2009.

イノベーション・システムの概念モデルに関する予備的考察

陳 俊 甫*

Preliminary Study on a Conceptual Model for Systems of Innovation

Junfu Chen*

Abstract

The approach of innovation system is emphasizing the influence of the development, diffusion, and application on an innovation by the relations and interactions between the elements which constitute a system. The key point of this approach is adopts a holistic perspective and putting the complexity and dynamics of innovation into a view. In this paper, at first, a review of the innovation system was followed focusing on Edquist(2005) and Malerba(2002). Then, a conceptual model of the innovation system for analyzing Chinese industrial innovation was shown.

Keywords: Systems of innovation, Institutional imperfection, Diversity of market, Firm's knowledge base, Characteristics of the technology

1 はじめに

20世紀80年代以来、GDPの増加率にしる、実質的生活水準の変化にしる、この30年間にわたる中国の経済成長は凄まじいものであり、疑問の余地がない事実である。しかしながら、産業進化に欠かせない能力の蓄積に目を向け、現代中国は果たして研究開発能力、イノベーション能力等の側面において欧米や日本のような先進国に追いついたかと問うと、必ずしも肯定的な意見が得られない。むしろ、中国は外国製品の模倣と改造という膠着状況に陥っていること、既存の経済学教科書から論理的に導き出せない現実を次々と生み出していることは、大方の見解である[1-4]。

既存の経済学・経営学理論から逸脱している中国の現実をどのように理解すべきか、グローバル化が浸透する中で、中国市場は日本企業にどのようなビジネス・チャンスをもたらさうか、また、中国自身にとって持続的な経済成長を成し遂げるためにどのような施策を講じるべきか、は興味を引く研究課題である。

これらの課題を探究するために、中国の経済成長を支える産業イノベーションのプロセスそのものを明らかにすることが欠かせないと考える。本稿は、このための予備的なメモである。ここでは、イノベーション・システムの観点に立脚し、中国で起こった産業イノベーションを考察するために、どのような概念モデルがあり得るかを検討する。具体的には、次の課題に取り組むこととする。

- (1) Edquist[5]とMalerba[6]を中心に、既存のイノベーション・システム研究の考え方を辿っていく。
- (2) 毛・呉[7]に依拠しながら、中国の産業イノベーション

を考察するためのイノベーション・システム概念モデルの導出を試みる。

以下では、順を追って報告していく。

2 イノベーション・システム

広辞苑によれば、「システムとは、複数の要素が有機的に関係し合い、全体としてまとまった機能を発揮している要素の集合体」である[8]。イノベーション・システムの視座は、イノベーション・プロセスに影響する諸要因、たとえば、組織、制度、市場、技術が相互に依存し、その相互作用を通じてイノベーションが促進される、という考えに基づく概念である。その最大の特徴は、イノベーション・プロセスにおけるダイナミックスと複雑性を視野に入れたことにある。

Freeman[9]は、高度成長期の日本を研究し、システムの視点から一国の経済発展を解析した。この研究の中で、「ナショナル・イノベーション・システム」の概念が提示され、イノベーション・システムに関する先駆的な役割を果たしてきたと同領域の研究者らに認識されている[5, 7]。そこでいう「ナショナル・イノベーション・システム」は、一国の中の公的機関と私的機関がネットワークを形成し、それらの活動と相互作用を通じて新しい技術の開発、導入と拡散を促進する、ということである[9]。

その後、イノベーション・システムの研究視座が広く採用され、研究の蓄積が確実に積み重ねてきた。大きく分けると、イノベーション・システムの視座は、主に3つのレベルで表現されている¹⁾。

- (1) ナショナル・イノベーション・システム[12,13]

(2) セクトラル・イノベーション・システム[14,15]

(3) リージョナル・イノベーション・システム[16, 17]

これらのレベルは、分析の準拠枠と解釈の力点は異なるが、ホーリスティックなパースペクティブに立脚しながら、イノベーションの規定要因、およびそれに伴う結果に焦点を当てていることは共通であり、異なる次元のイノベーション現象と問題に有益な知見と指針を提供してきたことは変わらない。

本稿は、中国で起こった産業イノベーションの内実とそこに潜む矛盾を整理する概念モデルの導出を目指す予備的な考察であるゆえ、ここでは様々なイノベーション・システムに関する詳細な検討を行わず、Edquist[5]によるイノベーション・システムを構成する要素間の関係(相互作用)と活動の議論、および Malerba[6]のセクトラル・イノベーション・システムの議論にフォーカスする。

2.1 Edquist の研究

Edquist は、既存文献のサーベイを通じて、イノベーション・システムにおける最も重要な構成要素は組織と制度であると指摘し、両者を次のように定義した。すなわち、組織は意図的に設立され、かつ明確な目的をもつ正式な構造であり、制度は、個人、グループ、組織間の関係や相互作用を規定する一連の共通の習慣、規範、ルーチン、既成の作法、ルールあるいは法律である。両者の関係は、組織(個人)はイノベーション・システム内で行動する一方、制度はインセンティブと妨害を通じて組織(個人)の活動に影響を与える、ということである。

また、彼の言うイノベーション・システムの活動とは、イノベーションの開発、拡散および応用に影響を与える要因、あるいは果たす機能のことである。その一例として、Edquist は研究開発活動を挙げた。すなわち、研究開発活動は商業的な価値を有する知識の創出方法として、イノベーションの基礎になり得るし、研究開発をイノベーションに転換させることに資することにもなり得る、ということである。その上、イノベーション・システムの解釈は、殆ど複数の要因に関わるものであるため、異なる要因の相対的重要性を明確にすることが必要である、と彼は強調した[5:190]。表 1 は、Edquist がまとめたイノベーション・システムに関する主な用語説明である。

さらに、イノベーション・システム視座の強みと弱みについて、Edquist は次のような諸点を挙げた[5:184-187]。

まず、強みとしては、

- (1) イノベーションと学習プロセスを中心に置いているため、技術変化やイノベーションは外因的なものと捉える他のアプローチと明確に区別できる。
- (2) ホーリスティックなパースペクティブにして、学際的視点をとるため、イノベーションに影響を及ぼす決定要因を包括的に把握したり、異なる分野・領域の知見を吸収したりすることができる。
- (3) 歴史的・進化論的視点をとることにより、最適化の概

表 1: イノベーション・システム: 主な用語

Innovations = product innovations as well as process innovations. Product innovations are new or better material goods as well as new intangible services. Process innovations are new ways of producing goods and services. They may be technological or organizational.

System of innovation (SI) = the determinants of innovation processes = all important economic, social, political, organizational, institutional, and other factors that influence the development, diffusion, and use of innovations.

Constituents of SIs = Components + relations among the components. Main components in SIs = organizations and institutions.

Organizations = formal structures that are consciously created and have an explicit purpose. They are players or actors.

Institutions = sets of common habits, norms, routines, established practices, rules, or laws that regulate the relations and interactions between individuals, groups, and organizations. They are the rules of the game.

An SI has a **function**, i.e. it is performing or achieving something. The **main function** in SIs is to pursue innovation processes, i.e. to develop, diffuse and use innovations.

Activities in SIs are those factors that influence the development, diffusion, and use of innovations. The activities in SIs are the same as the determinants of the **main function**.

[出所] Edquist [5] p.182

念が適応できなくなる。これによって、イノベーション・プロセスの認識が複雑になるが、他の視座より現実性を帯びようになる。

- (4) 分野・領域の横断と非線形性を強調することは、イノベーションに関わる個別の構成要素の影響のみならず、その構成要素間の関係性(相互作用)による影響をも浮き彫りにしている。
- (5) プロダクト・イノベーション、プロセス・イノベーション、及びイノベーションの細分化を視野に入れている。
- (6) イノベーション活動に大きな影響を及ぼす制度の役割を強調している。

次いで、弱みとしては、

- (1) 概念規定は厳格ではない。
- (2) 既成の実証上の規則が欠如しているため、定型化された理論より、概念的枠組みのない方法は見なされている。

2.2 Malerba の研究

Malerba は、産業レベルのイノベーション・システムに注目し、次のように定義した。

セクトラル・イノベーション・システムとは、「一連の特別なユーザーのために開発された新しい製品および既存の製品の集合体、およびこれらの製品の創造・生産・販売に関わり、かつ互いに取引上あるいは非取引上の相互作用をもつエージ

エントの集合体」のことである[6:250].

この集合体は、次の 5 つのビルディング・ブロックから構成され、各要素間の共進化を通じて変化と転換を経験する。

- (1) 知識ベースと学習プロセス:知識はあらゆるイノベーションの基礎である。イノベーションに関連する知識のベースおよび学習プロセスは部門間によって大きく異なる。通常、知識の獲得可能性、知識の蓄積可能性、知識の機会(リスク)、知識の専用可能性という 4 つの基準で産業(企業)間の差異を区別することができる。
- (2) 基本技術、インプット、需要およびキーとなる関係とダイナミックな補完性:異なる産業における基本技術、インプット、および需要が異なり、この差異は産業間の本質、境界と組織における相違性を生み出す。また、需給環境の相違は産業(企業)間の競争力、行為及び組織間に多くの差異をもたらす。これらの要素間の相互依存関係とフィードバック関係を考慮に入れると、その関係は産業(企業)の境界とその進化に重要な影響を与えることになる。
- (3) 異質な企業(非企業組織)のタイプとその相互作用の構造:企業は、産業イノベーションに関わる重要なキーファクタであり、それぞれの企業が持つ異質性は産業(企業間)の差異を生み出す²⁾。これらの企業は、取引上(非取引上)で結ばれているため、その相互作用のタイプと構造を分析するために異なる視点が必要である。主な分析視点として、取引や競争のプロセス、公式的協調や非公式的インタラクションのプロセスなどが挙げられる。
- (4) 制度:制度には、規範、ルーチン、習慣、既成の作法、ルール、法律、スタンダード等を含む。イノベーション・システムの中で、制度はシステム構成員の認知と行為、およびその相互作用の関係に影響を与える。一般的に、制度は国レベルのものと産業レベルのものに分かれ、産業レベルの制度の出現は、丹念に設計されたものもあれば、意図せず偶然に生まれた結果というものもある。留意すべきなのは、国レベルの制度と産業レベルの制度の関係は、一方から他方へという一方向的なものではなく、双方向的なものということである。
- (5) 多様性を生み出すプロセスと選択のプロセス:この二つのプロセスは、産業のダイナミクスに影響を及ぼし、産業システム間の相違を説明するものである。多様性を生み出すプロセスは、製品や技術から企業、制度、戦略、行為と関係する。とりわけ、新しいエージェントの創造は、産業システムのダイナミクスにとって重要である。他方、選択のプロセスは、異質性を軽減する役割を果たし、産業システムにおける多様なエージェント・グループの成長(衰退)、および見込

みのある行為や組織の範囲に影響を与える。

要するに、(1)から(3)では、産業(企業)自身の能力蓄積、技術・市場の特徴、保有する資源が異なるため、イノベーションの意欲、イノベーション・システム内の要素間関係、およびそのインタラクションのタイプと構造が異なってくるのが強調され、(4)と(5)では、システムを構成するそれぞれの構成員の認知と行為による影響、システムの進化そのものが強調されている、ということである。

2.3 小括

上記で見てきたように、イノベーション・システムの視座は、イノベーション・プロセスに内在するダイナミクスを捉え、そのプロセスを分析するために考えなければならない諸要素の明確化と、それらの諸要素間の関係性を分析するためのベース構築に貢献してきた。Edquist と Malerba によるイノベーション・システムの解釈の力点と主張は完全に一致していないが、システムを構成する諸要素間の関係は完全に独立できるものではなく、互いに依存・補強、あるいは相殺するものであること、その活動はイノベーションの開発、拡散およびその応用に影響を及ぼすことについて、ある程度のコンセンサスが得られていると言えよう。

しかしながら、イノベーション・システムの構成要素としてどのようなものを含めるべきか、イノベーション・システムはどのような機能と行動を含めるべきかについて、明確に規定されていない。むしろ、Lundvall[12:3]が主張するように、「イノベーション・システムの定義はオープンにすべきであり、柔軟性をもたなければならない」という考えが一般的である。なぜなら、イノベーション・プロセスは進化形的なものであるように、イノベーション・システムも規定を設けないまま、時間の経過とともに進化しているからである[5]。また、企業が異なれば、システムそのものの構成要素と活動なども異なってくるからである[6]。

したがって、産業レベルでイノベーションを考察するために、対象とする産業にフィットした分析モデルの構築が必要であり、有効であると考えられる。

3 概念モデル

これまで、Edquist[5]と Malerba[6]を中心に、イノベーション・システム研究の考え方を辿ってきた。それでは、中国で起こった産業イノベーションを探究するために、どのような概念モデルがあり得るか。本章では、毛・呉[7]に倣い、イノベーション・システムを構成する主要素の抽出を試み、イノベーション・システム概念モデルと特に興味深いと思われる仮説を提示する。

イノベーション・システムの主要素を抽出には、そもそも企業にとってイノベーションの動機は何か、如何にイノベーションが行われているのかという最も根本的な質問からスタート

するのが有効と言われる[7].

イノベーションの動機を究明するには、イノベーションの主体である企業の本質とイノベーションの定義そのものに立ち戻る必要がある[8]. 経営学の立場からみれば、企業の最も重要な目的は利潤の最大化である。他方、イノベーションとは、新しい発明や技術の商業化であり、新しい経済的価値と企業の競争力を創り出す経済的活動である[18-20]. これらの定義から、利潤の最大化とイノベーション目的の達成は、技術の特性のみならず、市場におけるニーズも必要不可欠であることがわかる。それはイノベーションの起源が、デマンド・プルにあっても、テクノロジー・プッシュにあっても変わらない。なぜなら、毛・呉が指摘されるように、「イノベーションは技術商業化のプロセスであり、商業化プロセスは企業の利潤追求のプロセスである[7:53]」、からである。因みに、ここでいう技術の特性は、技術のアクセスビリティ、技術機会、技術の蓄積可能性、技術専有可能性のことを意味している。

また、イノベーション・システムの視座では、イノベーションに影響を与える要素として、上記で言及された市場のニーズと技術の特性のほかに、企業の能力構築と資源ベース、およびこれらの要素で構成されるネットワークにおける相互作用の活動(機能)が重要視される。ここでキーとなるのは、知識ベースと学習プロセスである。なぜなら、知識はあらゆるイノベーションの基礎をなす一方、イノベーション活動は、新しい知識を生み出したり、新しい方法で既存の知識を新結合したりするプロセスでもあるからである[5].

例えば、実際のイノベーション活動の中で、企業は独自の技術を開発していくか、企業の外部にある技術を応用するか、あるいは単独でイノベーションに取り組むか、他企業と提携して取り組むかなどは、企業自身の知識体系によって判断・選択される。その判断基準として、Malerba[6]が指摘した知識の獲得可能性、知識の蓄積可能性、知識の機会(リスク)、知識の専用可能性、およびCohen and Levinthal[21]がいう吸収能力が挙げられる。吸収能力とは、企業が外部情報の価値を認識し、それを自社の中に同化し応用する能力のことである。資源ベース論の論者によれば、企業が異なれば、資源の保有する状況、市場ニーズへの認識、市場での競争戦略の選択などが異なってくる[22].

以上のようなことから、イノベーションに影響を及ぼす規定要素として、「技術の特性」と「市場のニーズ」、および「企業自身の知識ベースと学習能力」が考えられる。ここでは、知識ベースと学習能力のことを、「企業の知識体系」と呼ぶことにする。

そこで、「技術の特性」と「企業の知識体系」をイノベーションに影響を与える企業内の内発的要素と見なすならば、「市場ニーズ」はイノベーションを促進する外的要素と見なすことができる。ただし、ここで留意しておきたいのは、ユーザにとってのニーズには、ユーザの可処分所得や価値観によって高次的なものと低次的なものに分かれることがある。

例えば、携帯端末を1年で買い替えるユーザと、端末そのものが壊れるまで使いつづけるユーザの携帯端末に対するニーズが異なる。そして、その格差が大きければ、あるいはその格差のレベルが多様であれば、短期的な利益をねらい、ある程度の品質保証さえあれば商品化に踏み切る企業と、最高の品質でなければ商品化できない企業が、異なるイノベーションの実現経路を辿ることになる。それに、市場が大きければという条件を加わると、イノベーションを取り巻く市場環境は機会主義の温床となることが充分考えられる。

もちろん、このような結果は、ある意味で市場経済における自由競争の帰結というべきであるが、決して回避できないものではない。キーとなる対策のひとつとして、イノベーション・システム論者が強調する「制度」がある。

Edquist と Malerba の研究でも見てきたように、制度には、規範、ルーチン、習慣、既成の作法、ルール、法律、スタンダード等を含み、インセンティブや規制を通してイノベーション活動に影響を与える。制度の確立は、イノベーションの開発、拡散およびその応用を促す保証のひとつと見なすことができる。

要するに、イノベーションに関する根本的な問いから、イノベーション・システムの主な構成要素として、企業の内部に深く関わる「技術の特性」と「企業の知識体系」、イノベーション環境に関わる「市場のニーズ」と「制度」が抽出できる、ということである。

しかしながら、本研究の最終目的は中国で起こったイノベーションを分析することにある。そのため、中国の現状に沿って、これらの主要素について若干の変更を加えなければならない。変更すべき点は2つある。

第1に、周知のように、中国では長い間計画経済体制を敷いてきた。現在、計画経済体制から市場経済体制への転換を行っているが、道半ばである。いやむしろ、近年の急激な経済成長は様々な制度上の矛盾をもたらし、市場経済の制度整備に負われているのは現代中国の真の姿である。したがって、中国に分析の焦点を当てる場合、このような実情を考慮し、「制度の不健全性」を前提に置くことが必要不可欠であると考えられる。

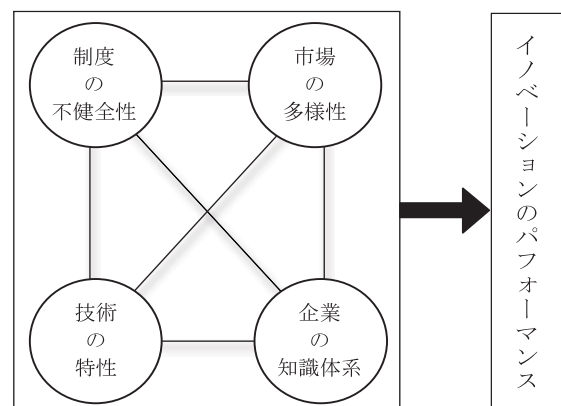


図1：概念モデル

表 2: 概念モデルの要素間関係と検証仮説の例

	関係の想定	検証仮説の例
技術の特性-制度の不健全性	逆相関	1a: 技術の特性(必要な知識レベル)が高ければ, 制度の健全性への依存が低くなる. 1b: 技術の特性(必要な知識レベル)が低ければ, 制度の健全性への依存が高くなる.
制度の不健全性-市場の多様性	正相関	2a: 制度の健全性は, 市場における機会主義を制御し, 健全なイノベーション環境が保たれる. 2b: 制度が不健全であれば, 市場は機会主義の温床となり, イノベーション環境が損なわれる.
市場の多様性-企業の知識体系	逆相関	3a: 市場の多様性が高ければ, 企業の知識体系の適応能力の高さが発揮されない. 3b: 市場の多様性が低ければ, 企業の知識体系の適応能力の高さが発揮される.
市場の多様性-技術の特性	逆相関	4a: 市場の多様性が高ければ, 技術に対するニーズのレベルが低くなる. 4b: 市場の多様性が低ければ, 技術に対するニーズのレベルが高くなる.

第2に, 中国は発展途上国にして, 世界第2の経済大国と言われている。中国国内には, 先進国に匹敵する購買力を有する北京, 上海, 深センのような地域もあれば, 相対的に購買力が乏しい開発途上の西部地域や, 「一日1ドル」という世界銀行の貧困ラインに括られる未開拓の農村地域も抱えている。さらに, 総人口13億人を超えるというとても大きい市場を有する。その結果, 現代の中国市場は, 経済発展の不均衡性と国内市場の大きさが相まって, 様々なレベルのニーズを有する市場の多様性を生みだし, 極度の機会主義の温床となっている, と考えられる。

したがって, 中国の産業イノベーションを考察する際に, 中国市場に潜在する様々な矛盾と機会主義を念頭に置かなければならない。このようなことから, ここでは概念モデルの構成要素として, 一般にいう市場ニーズの代わりに「市場の多様性」を取り上げ, その多様性にはらむ機会主義の危険性を重要視することが必要であると考ええる。

図1と表2で示すのは, 本稿で導出したイノベーション・システムの概念モデルと, それを構成する主要素間に想定された関係, および若干の検証仮説の例である。

4 おわりに

イノベーション・システムの視座は, システムを構成する要素間の関係とその相互作用によるイノベーションの開発・拡散および応用への影響を強調する。その最大の特徴は, ホーリスティックなパースペクティブを採用し, イノベーション・プロセスに内在する複雑性とダイナミクスを視野に入れているところにある。

これまで, 本稿ではまず, EdquistとMalerbaの研究を中

心にイノベーション・システム視座の考え方を迎ってきた。ついで, 既存研究の知見を踏まえ, 中国の産業イノベーションを分析するためのイノベーション・システム概念モデルと若干の検証仮説例を導出し, 提示した。この概念モデルは, イノベーション活動を規定する内発的な要素である「技術の特性」と「企業の知識体系」, イノベーション環境に影響を与える外的な要素としての「制度の不健全性」と「市場の多様性」からなるものである。

しかしながら, 本稿で提示した概念モデルは, 文献研究から導出したものであり, 推論の領域を出ていない。今後, 具体的な事例による概念モデルの検証, モデルの構成要素の操作可能性の検討, さらに, より適切な構成要素の有無を含め, 研究を進めていきたい。

※ 本研究は, 平成23年度の日本学術振興会科学研究費補助金若手研究(B)(課題番号:22730299)の研究結果の一部である。

参考文献

- [1] 大原盛樹, “中国オートバイ産業のサプライヤー・システム-リスク管理と能力向上促進メカニズムから見た日中比較,” アジア経済, 4月号, pp.2-38, 2001
- [2] 大原盛樹, “オープンな改造競争-中国オートバイ産業の特質とその背景,” 藤本隆宏・新宅純二郎編著, 中国製造業のアーキテクチャ分析, 東洋経済新報社, pp.57-80, 2005.

- [3] 田島俊雄・江小涓・丸川知雄, 中国の体制転換と産業発展, 東京大学社会学研究所, p.5, 2003.
- [4] 藤本隆宏・新宅純二郎, 中国製造業のアーキテクチャ分析, 東洋経済新報社, p.vii, 2005.
- [5] C. Edquist, "Systems of Innovation: Perspectives and Challenges," in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R. R. Nelson (eds.), *The Oxford Handbook of Innovation*, pp.181-208, 2005.
- [6] F. Malerba, "Sectoral systems of innovation and production," *Research Policy*, 31, pp.247-264, 2002.
- [7] 毛凱軍, 吳貴生, "我国制藥產業技術創新現狀研究," 創業與創新管理, pp.49-73, 2007.
- [8] 広辞苑, 第6版, 電子版.
- [9] C. Freeman, *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, London Printer, p.1, 1987.
- [10] C. Edquist, *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London Printer, 1997.
- [11] B. Carlsson (ed.), *Technological Systems and Economic Performance: The case of factory automation*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [12] B. -Å. Lundvall (ed.), *National Systems of Innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning*, London: Printer, 1992.
- [13] R. R. Nelson (ed.), *National Systems of Innovation: A comparative study*, Oxford University Press, 1993.
- [14] F. Malerba and L. Orsenigo, "Technological Regimes and Sectoral patterns of innovative activities," *Industrial and Corporate Change*, Vol.7, No.1, pp.83-117, 1997.
- [15] S. Braczyk and F. Malerba, "sectoral innovation systems: Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries," in C. Edquist, *Systems of Innovation*, pp.130-156, 1997.
- [16] P. Cook, M. Gomez Uranga and G. Etxebarria, "Regional innovation systems: Institutional and organizational dimensions," *Research Policy*, Vol. 26, pp.475-491, 1997
- [17] H. -J. Braczyk, P. Cooke and M. Heidenreich (eds.), *Regional Innovation Systems: The role of governances in a globalized world*, UCL Press, 1998.
- [18] C. Freeman and L. Soete, *The Economics of Industrial Innovation* (3rd), MIT Press, 1997.
- [19] 一橋大学イノベーション研究センター, *イノベーション・マネジメント入門*, 日本経済新聞社, 2001.
- [20] 陳俊甫・吉田敏, "イノベーション研究の再考—コンカレント探索の必要性をめぐって," 産業技術大学院大学紀要, No.2, pp.155-163, 2008.
- [21] W. M. Cohen and D. A. Levinthal, "Absorbive Capability: A new perspective on learning and innovation," *Administrative Science Quarterly*, 35, pp.128-152, 1990.
- [22] J. B. Barney, "Firm resources and sustained competitive advantage," *Journal of Management*, 17, pp.99-120, 1991.

注釈

- 1) イノベーション・システムの研究に関する包括的なレビューと論点について[9]に参照されたい。また、ナショナル・イノベーション・システム、セクトラル・イノベーション・システム、リージョナル・イノベーション・システムという3つのアプローチの他に、Carlsson による技術システムに注目した研究もある。詳しくは[10]に参照されたい。
- 2) Malerba[17]が言う企業には、ユーザやサプライヤーはもちろんのこと、企業体ではない個人、企業のサブユニット、グループも含んでいる。

サムネイル・スケッチによる有機的形態の発想と展開

福田 哲夫*

Idea generation for Organic form used Thumbnail sketch

Tetsuo Fukuda*

Abstract

The small sketching used for the initial stage of the design process is called a thumbnail or thumbnail sketch. In general, it is used for idea generation, and the visualization of the concept image is used as a thinking tool mainly. On the other hand, it is not only a designer to need sketching. In the manufacturing spot, all the project members need the communication tool as the common language that is not conveyed by the drawing.

This thumbnail sketch drawing method is to get the greatest effect that anyone can recognize from a characteristic minimum line.

This drawing method edited it as a presentation tool by the method that I created from the experience for 40 years of business and the education practice based on traditional perspective drawing.

Keywords: Design process, Thumbnail sketch, Organic Form, Idea generation, Reduced brush

1 はじめに

デザインプロセスにおけるスケッチの役割は、新鮮な感動や観察した形の記録として、あるいは会話のメモ程度の簡単な確認用として、何よりも思いつきの考案を即座に可視化可能なところにその特徴があり、また発想の原点として、当初の指標を確認できる意味においても貴重である。

小さいものはサムネイルまたはサムネイル・スケッチと呼ばれ、イメージ創出やアイデア展開などに使われることが多い(参考文献[1]『プロダクトデザイン』8章—058スケッチの項、共著拙文参照)。

本稿ではこのサムネイル・スケッチについて、概念生成のための可視化ツール、形態操作のための発想と展開、そしてコミュニケーションを促すツールと捉えて、最も簡素且つ短時間で描画可能な方法として示すものである。

2 サムネイル・スケッチの機能

2.1 簡潔な描写が生み出す“力”

描画による視覚伝達手段は、古く旧石器時代から用いられ世界各地の洞窟内の線刻画等に確認されている。

ここでは、日本の絵巻物に見られる鳥獣戯画の他、大和絵などの“白描画”に注目したい。その簡潔な墨線のみで筆は、陰影や彩色が施されたものと比べても遜色がない。むしろ簡潔に整理されているからこそ理解が容易であり、それらを超えてなお説得力あるものに仕上がっている。

本稿では、このサムネイル・スケッチを通じて『上手』なスケッチを描くことよりも、簡素に徹した描画ながら、『解る』そして

『伝わる』フリーハンド技法として記しておきたい。

2.2 簡潔な描写が生み出す“力”

図像情報としてのスケッチは、すでに実際のデザインプロセスにおいて必須の工程として組み込まれ、発想から玉成まで不可欠な要素となっている。中でもサムネイル・スケッチは、その効果がマーケティングやデザイン現場で語られることはあっても、小型で一見簡素な表現であるため、これまではデザイナー個人の感性や技量に委ねられていた。

発想のための方法論は『アイデアのつくり方』[2]をはじめ『アイデアのヒント』[3]他多くの著書が存在するものの、概念の生成など文字情報としての解説が主であった。

またデザインのためのスケッチ技法書には、マーカーやパステルなど速乾性の専用画材についての使用方法や解説、またそれらの画材を用いたイメージ・スケッチあるいはレンダリングなどいわゆるプレゼンテーション用としての『上手』な描画法の解説が主となっている。このような中で、初期段階における有効なサムネイル・スケッチの解説には乏しい。

とりわけ、有機的形態の操作については、伝統的透視図法では理解から作図までに手数と時間が掛かりすぎるものの他、三次曲面形態の持つ動勢など微妙なニュアンスまでは伝えられない。

2.3 新しい伝達用ツールとして

ものづくりの現場は分野横断型である。したがってデザイナーやエンジニアを含む職能相互の理解を促す共通言語が求められている。これには、見取り図、挿絵、ポンチ絵あるいは

マンガ等とよばれるスケッチの類いがあり、図面や文字だけでは伝えられない感性領域のコミュニケーション・ツールとして実際に使用されている。

特に、一目瞭然のサムネイル・スケッチは、仕様の打ち合わせ時の卓上のメモ用紙、あるいは白板への書込みなど、議論の渋滞解消に効果がある。このような場合には、精度ある仕上がりや期待されている訳ではないため、伝統的透視図法では手数と時間を必要とするため、手法として馴染まない。

スケッチには、a 言葉や文字だけでは正確に伝わらないことでも、b 図像情報とともにイメージを共有することにより、c 議論がはじまり、d 相手を動かす『力』が生まれる。視覚伝達用としては、すでに標準化され信頼性がある図面類とともに、第三者への理解を促すための補助ツールとして期待されている。

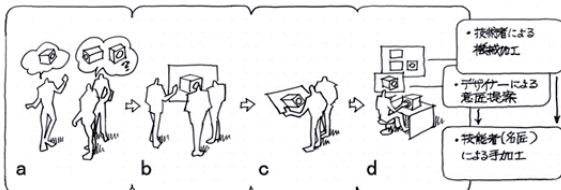


図 1:以心伝心のコミュニケーション・ツール

3 描画前の準備

3.1 筆記具の握り方

1. 筆記具は、a 親指と人差し指、中指の三本で掴む。
2. 筆記具と指の間には、b 斜線部のように懐を空けることで自由に思い通りの線が引けるようになる。
3. 筆記具の握り方が悪い場合には、描画範囲は狭くなり滑らかな線も描けなくなるので注意が必要である。

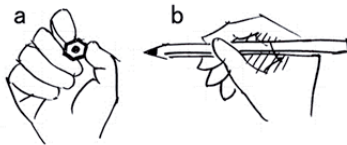


図 2:筆記具の握り方

3.2 描画姿勢と視線

1. 正確な描画には、画面を傾けずに正対し、右利きの場合、画面中央 a よりやや左 b へ身体の中心を置く。
2. 線描の視線は、目標を c に固定してから、手元の基点 d には視線をやらず、c へ向かい一気に描く。
3. 長い水平線は、腰を使った身体全体の移動で描く。
4. 肩は固定し、腕を一杯に伸ばすことで大コンパスの様に大きな円が描ける。
5. 肘は固定して曲線を、水平移動で直線を描く。
6. 手首から先を動かしては、短い曲線や直線を描く。

7. 指先では、微細な線を描く。

8. 左手 e で紙を押さえて、右手 f の力を抜き、筆先 d から目標 c をイメージして、一気に描く。

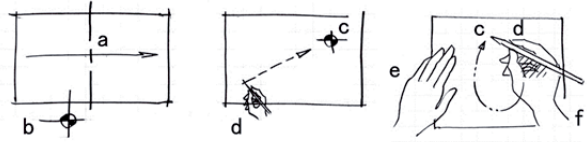


図 3: 描画姿勢と目標を見据える眼の位置

3.3 運筆の心構え

紙と筆記具一本という描画方法は簡素ながら、十分に意思を伝えることが可能である。

1. 意在筆前: 運筆の前に、画面全体の空間を意識する。
 2. 一気に描く: 一筆目に神経を集中し、筆成りに続ける。
 3. 疾風迅速: 線の力、面の合力、形の勢を感じる運筆。
 4. 奔放自在: 迷いのない流れと、ゆったりと雄大な運筆。
 5. 流暢連綿: 変化は無限、気持ちの一貫性で繋がる線。
- 以上を意識した描画線は、描画対象物を活性化させる。

3.4 線描速度と表情

遅い筆跡 a は、ゆっくりと渋滞した線であり、微細な歪みとともに味のある表情を作り出す。比較的柔らかな線はまた静的で落ち着いた形にも仕上げることができる。

速い筆跡 b は、素早く滑らかな線として、迷いがなく太さや強弱などにより立体感が得易い。やや硬質な線は、動的で艶のある新鮮な形に仕上げることができる。

以上から、素材が硬質な工業製品には、速い筆跡による描画が、また柔らかなものには遅い筆跡が向いているといえる。



a. 10 秒

b. 1 秒

図 4:無駄のない速筆のすすめ

4 観察眼を養う

4.1 感動体験を記録する

感動体験の記録とは、観察眼を養うことにあり、『上手』に描くためではない。約物である? : インテロバング(感嘆修辭疑問符)の意味する概念は、意外性のある感動体験にある。また逆に続けて何故だろうという疑問に置き換え、調査・分析し理解する取組姿勢のことにあるとすれば、問題意識を持つということは発想を促す原動力として大切にしたい。



図 5:感動体験を記録する

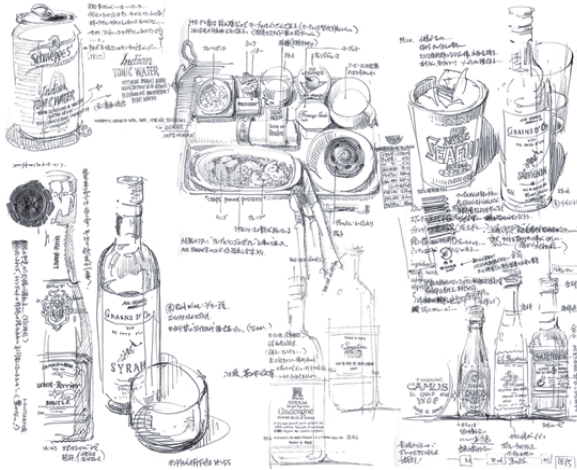


図 6:印象は文字と画像で鮮明になる

4.2 観察から特徴を捉える

観察眼とは、特徴を瞬時に捉えた部分表現でも構造化と抽象化を繰り返す過程から本質を感じ取ること、あるいは発見することにある、全体の理解は可能となる。

図7は、描画時間を区切り、徐々に秒数を減らしながら描画を繰り返す訓練である。当初10分間程度からはじめていた描画は、やがて十分の一、百分の一程度までと描画速度を短縮し、十秒以下となっても、その特徴を残し、なお『解る』そして『伝わる』表現が可能となる。このことは、学生諸君への演習を通して確認している描画訓練法である。

これら描画速度短縮のメリットは、概念生成などの考察に多くの時間を捻出することにつながる。

このような精密描写から単純画像への置き換え訓練は、深い観察により、全体の構造化を促し、単純化するための造形要素を理解する効果が得られる。さらに抽象化の過程で誇張や変形を促すことから、新しい形態への発想や展開も期待できる。

a.60秒 b.12秒 c.8秒 d.6秒 e.6秒

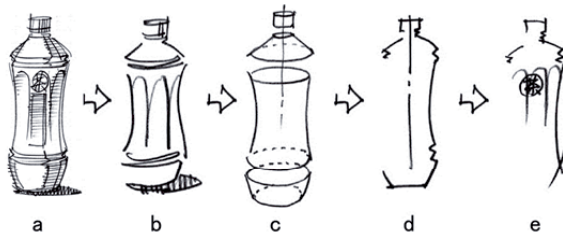


図 7:観察→構造化→単純化→抽象化の描画訓練

5 伝統的透視図法による描画

5.1 透視図の基本は水平線

透視図の基本は、モノを見る眼の位置が水平線と重なることにある。すなわち眼の位置より低いものは水平線の下に描き、眼の位置より高いものは水平線の上に描く。その関係性により、一般的なスケール感を得ることができる。

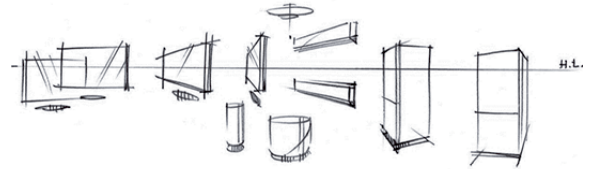


図 8:基本は水平線と眼の高さの関係性

5.2 フリーハンスケッチ用の透視図法

図9は、インダストリアルデザイナー向けのフリーハンド用透視図法[5]としてよく考えられている。現場での利用価値は高く、伝統的透視図法の中にあつて、目分量でよい簡単な作画が現場での利用価値を高めている。

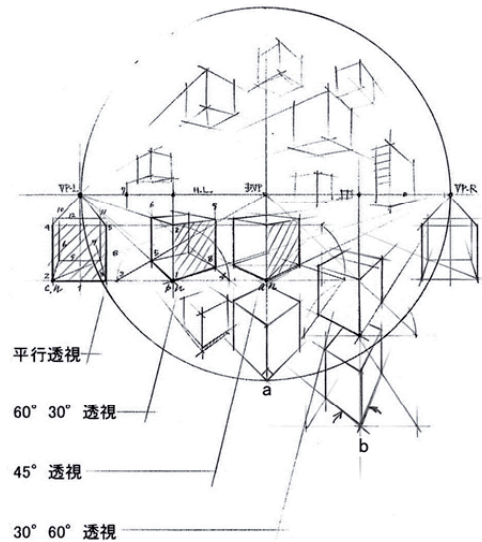


図 9:透視図と描画の限界(参考文献[5]を基に作画)

5.3 透視図法の限界を知る

透視図法では、立体を平面上に表現することから、歪みの発生が避けられない。焦点間を直径とする円(視界)の円周上 a、円周外 b ではオーバースペースとなるが、誇張と捉えるかあるいは歪みとするのかは判断の分かれるところでもある。

一方、透視図の歪補正については、これまでも様々な研究がなされている。中でも対角線を曲線にした方法はパースガイドのひとつとして使い易く秀逸である。

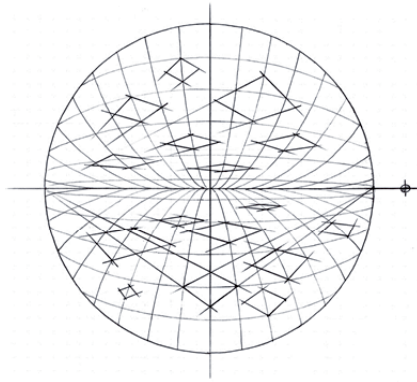


図 10:対角線を曲線にした歪み補正を試みる
(参考文献[5]を基に作図)

5.4 立方体からの複雑な描画

正方形の16分割の後,1:4の対角線に注目した12点の割り出し描法[5]は,コンパス等の製図機器を使わずフリーハンドによる擬似楕円を描く方法として便利だが複雑である。

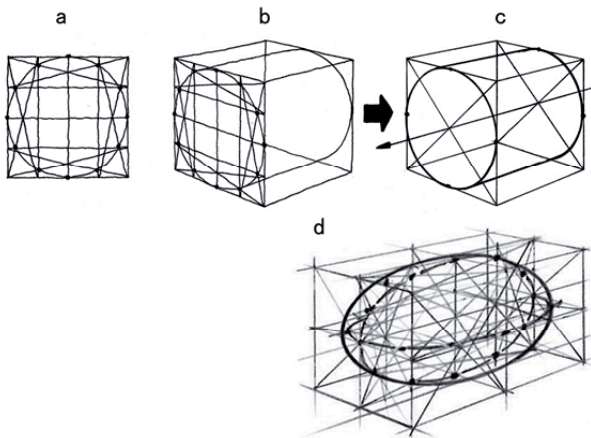


図 11:透視図法による円柱→楕円球の作画
(参考文献[5]を基に作画)

5.5 パースガイドの活用

パースガイドを手掛かりとした描画方法は,表現したい内容に合わせて最適画角が得られれば,全てを透視図法に頼らなくても自由な線描による効率良い描画は可能となる。

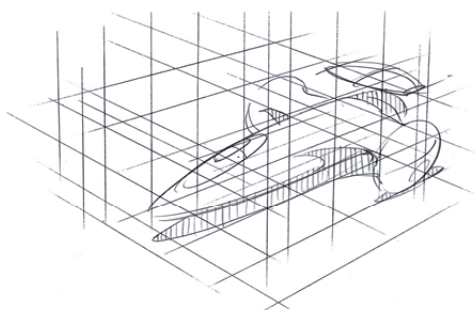


図 12:パースガイドを活用した描画例

このように,立方体から有機的形態を導きだす方法 d は,仕様

が決まっている場合には効果的であるものの,発想や展開用としては不向きであることが解る。理由は作図から描画完成まで 手数と時間を必要とする。最適画角を決めるまで自由な発想と展開ができない。したがってこれらの発想法では任意の角度から形態を眺め評価するようなものや有機的形態の再現には限界があり向いていない。

伝統的透視図法は,平面図を基に組み立てる建築系の作画法や,また定盤上の立方体を基に機械加工するような作画法については,ともに工学的なアプローチとして理解できる。したがって透視図法には,投影図法の修得と理解が前提であることは言うまでもない。

6 立体感の表現方法

6.1 遠近表現と立体感

伝統的透視図法を用いない表現方法で,簡便に立体感が得られる遠近法についてまとめてみる。a は光と影による表現, b は大小の差による表現, c は重なりによる表現, d は消失点による表現, e は空気の濃淡による表現,またはそれらの組み合わせによる効果等があげられる。これらの遠近法は,投影図を基本に直接立体感が得られる描画方法であり,伝統的透視図法によらない省略描法として実用的である。

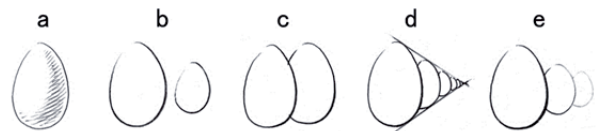


図 13:遠近表現と立体感

6.2 投影による立体感と位相表現

一般的光源による投影は,物体の位相を特定し表現することができる。このことは透視図法によらず投影図面などから一気に立体描写が可能であることを示している。古来より等角投影法などは石造建築加工用図面等にも用いられている伝統的手法でもある。



図 14:投影による表現例

6.3 人工光と自然光

人口の点光源による拡散光 a と,自然の太陽光である平行光線 b との描き分けについては,室内と屋外など描画対象の置かれている環境や状況を描き分けることができる。

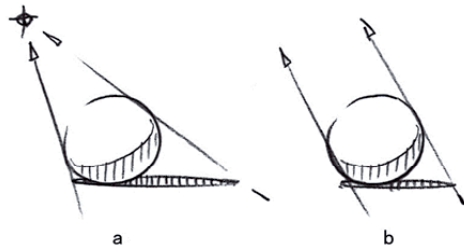


図 15:光源の違いと影の長さ

6.4 光源の位置と立体感

平面図形の円から立体図形の球を導き出すために、光源との関係性を赤道と子午線に見立てた立体表現から試みる。

abc は立体感に乏しく、def の方が立体として認識し易い。ghi は def 同様立体として認識できるが、相対的に暗く陰影面が多いため描画には塗り込む手間が掛かる方法となる。

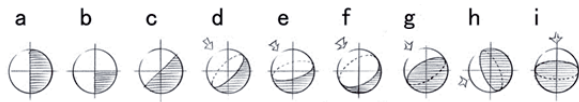


図 16:赤道と子午線に見立てた球体表現例

6.5 陰影による発想と展開

有機形態の外形線は同じでも陰影のつけ方によりその立体の印象は変化し別物として連想される。最小限の線描方法を試みる。

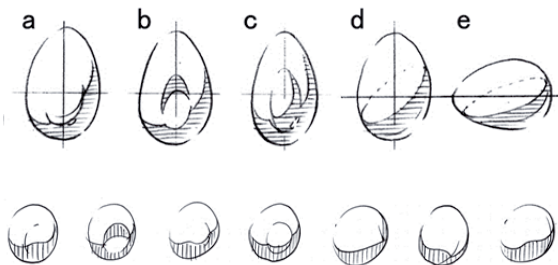


図 17:下半球への影のみによる立体展開例

7 省筆による効果的表現

7.1 省略した筆跡

小型で最小限の筆跡によるサムネイル・スケッチは、形態が大掴みに省略されるため、かえって特徴を際立たせることができる。また透視図法にとらわれない短時間での描画能力を磨くことは、発想や展開の幅・量とともに拡大することが可能となる。この多量のスケッチは、デザインプロセスの概念の評価軸に合わせてマッピングされた全体俯瞰から、イメージ・キーワードによるゾーニングを経て、必要な最適解へと絞り込む過程において必要となる。描画速度を上げるには、筆跡を極限まで省くことが必要で、本稿では“省筆”として定義する。

7.2 作画手順と省筆への試み

まずはじめは、a プロポーションを探る、b プロポーションを

基本にして、描きたい形態を探る、c 線の整理をして形態を掴む、d 断面を意識した補助線を引き立体を説明する(この場合、左手前斜め 45 度上方に光源を想定する)、e 下半球相当に陰影を付けて説明を補助する。

この段階では、e のように影をつけずとも、d の表現で十分に立体として認識できることが確認できる。

一般的には、b 段階に留まり、迷いのある描画線で発想の展開に必要な“省筆”までには至っていない。

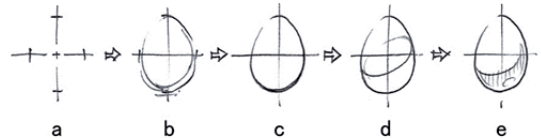


図 18:基本的な作画の手順

7.3 省筆による立体表現

7.2-d から、一本の線で立体感の表現は可能となり、多様な有機的形態への応用は a 球を原点に、b タマゴ型、水滴型など外形を変えても可能であることを示している。

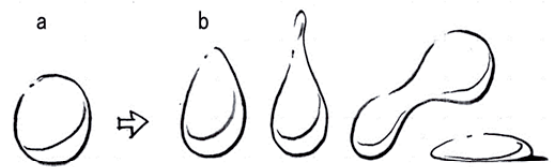


図 19:省筆によるサムネイル・スケッチの展開例

独創的な発想は、その発想が微弱でも記憶が消えないうちの定着、変形、誇張、など素早い筆跡での記録が重要となる。

一気呵成に描くことはその記録時間の短縮となり、結果的には発想に量的時間を割くことが可能となる。そして良質な発想創出の確率は、その発想の総量にも関わっている。

本稿では、これらの手間と時間を掛けずに描画可能な省筆による表現を心掛け、発想とその展開を試みる。

8 透視図を用いない発想と展開

8.1 有機的形態からの発想と展開

デザインワークでは、自由な発想が基本であり、定番はない。しかし、具体的にいくつかの展開方法により進めることでバリエーション豊かな発想と展開は可能になる。図 21 の a は観察的、b は分析的、c は時間的、d は第三の用途開発を目指し魅力的展開方法の例を示している。

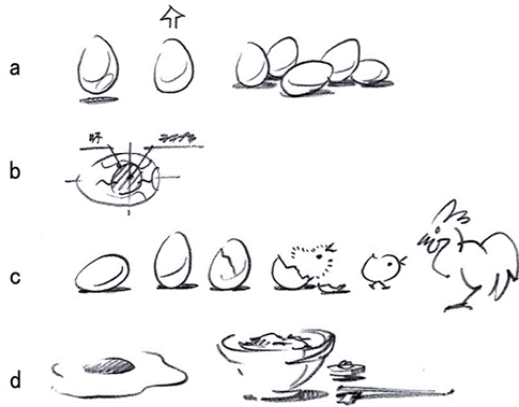


図 20: アイデアの渋滞には展開方法を変えて発想

8.2 サムネイル・スケッチによる自由な発想

新しく自由な発想は、日常の観察による記憶や知識の組み合わせと、未来に対する夢の大きさから生まれる。したがって感動体験の数だけ発想の幅は広がることになる。

心の中の形は探し難く、また細部は表現し難いことから、多くのスケッチの中より最適解を探り当てる作業を繰り返す。

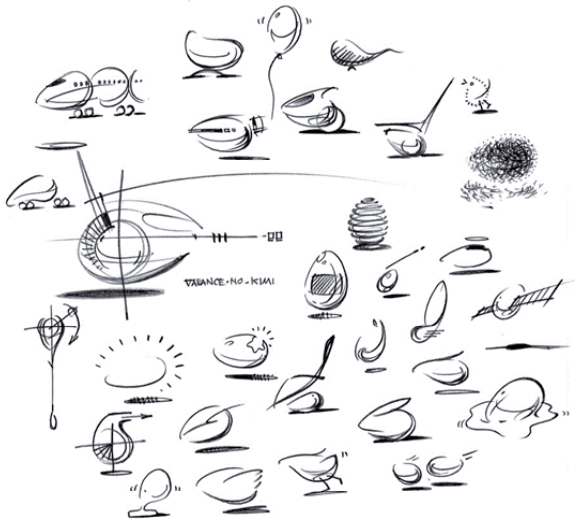


図 21: 夢のある自由な発想の作画例

8.3 比例操作による発想と展開

形態の持つイメージは、基本形が同じでも縦横の比率によって、安定から不安定まで、スリムやコンパクト等と変化する。

概念設計に合わせた最適解を得るには、何種類もの形を抽出しておき、イメージ・キーワードをフィルターとして選択、第三者を含めた相対的な評価を繰り返す中から生まれる。

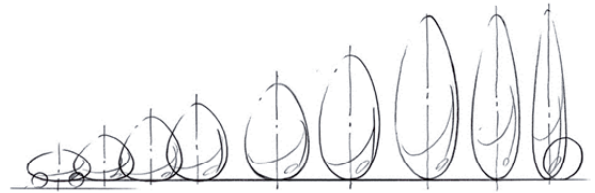


図 22: 縦横の比率による印象の違いと展開例

8.4 加工方法による発想と展開

縦横の姿勢の見直しなど、位相を変化させる。また切断面を変化、穴開け等、機械加工をイメージしてその可能性を探る。

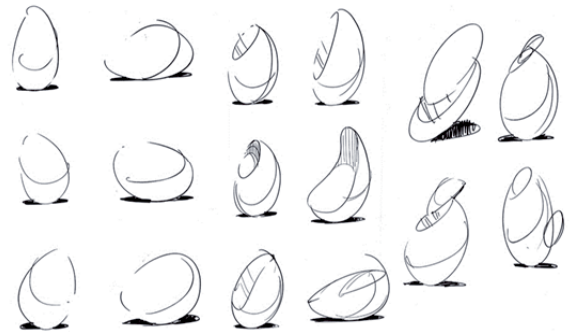


図 23: 加工方法と比率を変えての展開例

8.5 素材による発想と展開

硬い材料から柔らかい材料まで素材特性を生かした展開では、力を加えて変形させる、折る、曲げる、伸ばす等により思いがけない形態の発想と展開、そして飛躍が期待できる。

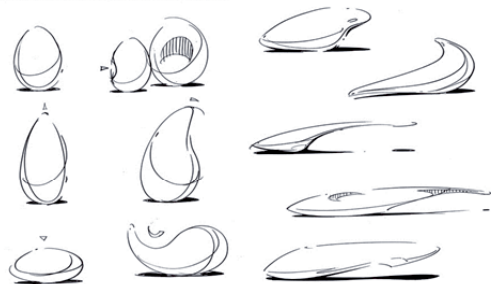


図 24: 素材・加工・比率を変えての展開例

8.6 生命体への“見立て”による発想と展開

生命体などに見立てた展開は、具体的な有機的形態をイメージしながら、構造化、単純化、抽象化作業により、生命体として完結型の秩序ある構造形態が期待できる。

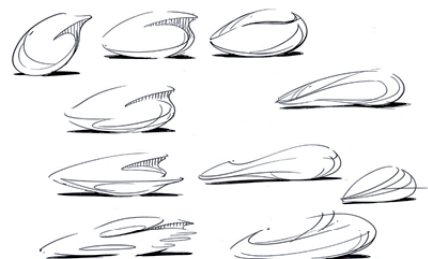


図 25: 生命体への見立てによる展開例

8.7 中心線による発想と展開

安定形から不安定形まで中心線を変化させて描く発想と展開は、形態に緊張感をもたらす、新しい動勢を表現する。

概念生成において抽出されたキーワードの動詞や形容詞等に合わせて表現しておく、相対評価が得られ易い。

このような最適形態選択への発想と展開はまた、飽きのこない形態を目指す、その後自然発生的に生まれてくることもある。孵化するまでの忍耐が必要である。



図 26: 中心線の傾斜角度や曲げによる展開例

具体的な対象物の展開には、中心線による審美的均衡から動勢と量感などを吟味し、発想を促進させることができる。



図 27: 中心線の変化による展開例

8.8 幾何学的形態と中心線による発想と展開

自然界に幾何形態は見当たらない。したがって立方体から有機的形態を導き出すには無理があり作画も複雑となる。

一方、幾何学的形態から有機的形態を得るのに有効な手段としては、中心線を用いた展開が理解し易い。立体化は、その後陰影を加筆することで容易に可能となる。

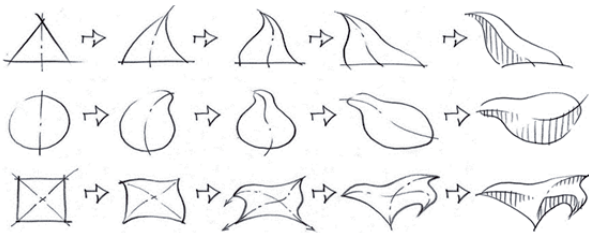


図 28: 幾何形態から有機形態への変形と展開例

8.9 側面図からの発想と展開

側面図やシルエットからの発想は、サムネイル・スケッチの基本であり、複雑な透視図法を用いなくても、形の伝達は前述 6.1 の遠近表現組み合わせでも可能である。したがってこの簡便な描法は、図像によるプレーン・ストーミング用として、短時間内での発想の幅と展開数の拡大に極めて有効である。



図 29: シルエット(上段)と側面窓等(下段)による展開例



図 30: 上記の図 29 に陰影の一筆を加えた展開例

8.10 曖昧な表現に“力”

フリーハンドによる感性表現は、定規では表現できない微妙な意図を表現することができる。またその描画内容や寸法などが感覚的で曖昧な分、相手を引き込み議論する余地を残し、次段階への展開に繋がること多いに期待できる。

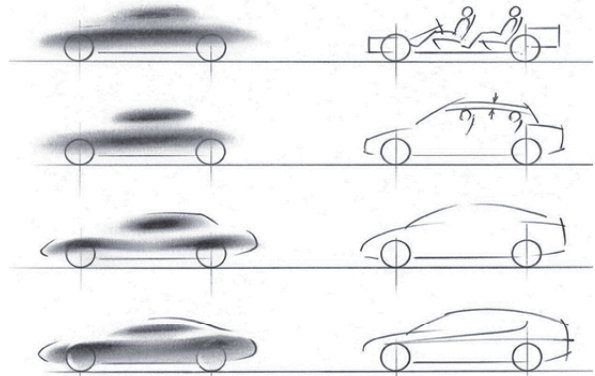


図 31: パステル表現と鉛筆による描画展開例

9 断面の集積による発想と展開

9.1 断面表現の基本形

これまでの伝統的透視図法は、立方体を基本とする無機的な面構成や、ある程度の仕様が決定しているものには威力を発揮する。しかし有機的三次曲面による形態を創出する方法としては、複雑な作業を伴うため発想段階での自由な形態操作ができずに不向きである。したがって有機的な秩序ある形態の描画には、aのように地球儀にある赤道と子午線の概念を取り入れて立体表現すると解り易い。bとcは等高線による試みである。

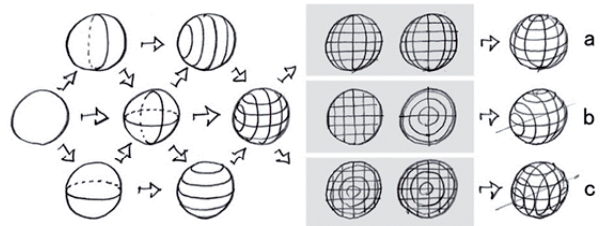


図 32: 陰影によらず断面で立体を表現する

9.2 中心軸線と直交断面による発想と展開

外形線は同じでも直交断面次第で形態は変わる。

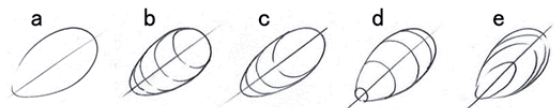


図 33: 中心軸線と断面による発想と展開

9.3 等高線図による発想と展開

等高線で描く有機形態は、陰影が無くても立体表現が可能である。この線図概念は、船舶や自動車等に多用されており有機的三次曲面の再現に不可欠なものとなっている。省略画としてフリーハンドで検証しながら描けるようになれば理解はより一層深まる。

a の垂直断面は、側面の断面変化が理解し易い。b の水平断面は、上面の断面変化が理解し易い。c の横断面は、前後方向の断面変化が理解し易い。d の横断面+a bの一部は、複合形態でも全体が理解し易い。

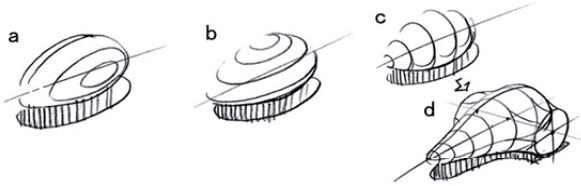


図 34:等高線図による立体表現の例

身の回りのほとんどの製品は左右対称のものが多い。従って中心に軸線を描くことで画角を調整し、中心断面を描くことから形態操作を始めると解り易い。続いては前から後ろまで中心断面と直交する断面数個の組み合わせにより全体形状を吟味しながら発想を展開させてゆくことができる。

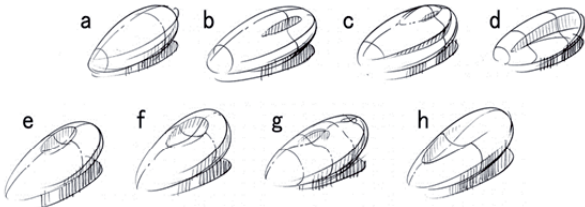


図 35:楕円球から断面の違いによる発想と展開例

9.4 切断面による発想と展開

基本的な面や立体の動勢を残しながらの展開は、原型を一部分切り欠いた後でも印象が残っている。この特徴を良く見極めた形態操作では、a と b, c と d のように、それぞれ呼応しながら構成されているため、線や面が破綻することもなく、全体の立体的調和を維持しながら発想を展開することができる。

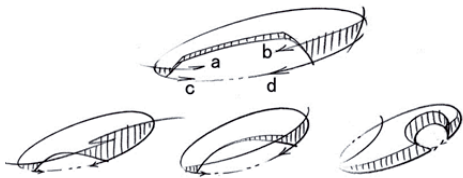


図 36:全ての線と面は相互に呼応し秩序を保つ

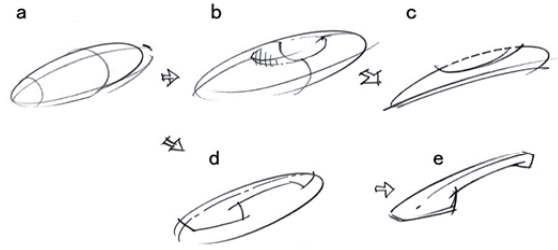


図 37:切り欠いても曲面の動勢は変わらない

10 有機的形態への展開

10.1 三次曲面の性質を知る

三次曲面の展開には、基本形態の構成面を理解することからはじめる。その特徴的な表情は、外形線+中心線+断面線により確認を繰り返しながら伝達できるように最適解を探る。

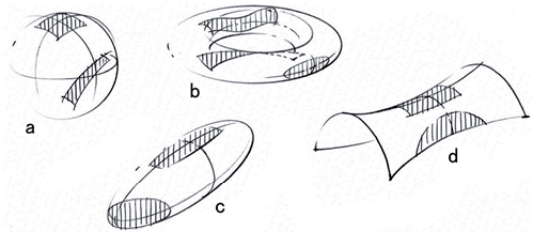


図 38:基本形となる面の性質を見極める

10.2 最適画角の選択

考案した三次曲面形態は、特徴が活きる効果的な画角を必要とする。また画角考案中に新発想の展開も期待できる。

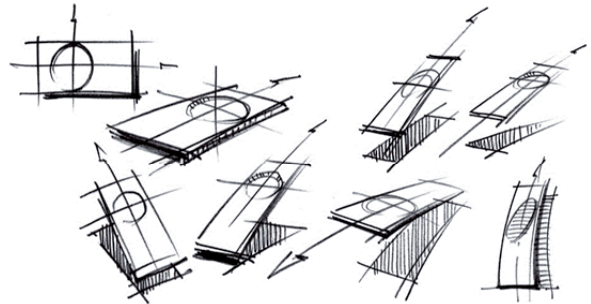


図 39:面の特徴を生かした最適画角の試案

10.3 三次曲面の吟味と形態への展開

a を基本形としながら、b は曲率一定とし、c は手前の曲率を大きく、d は奥の曲率を大きく表現した作画例である。

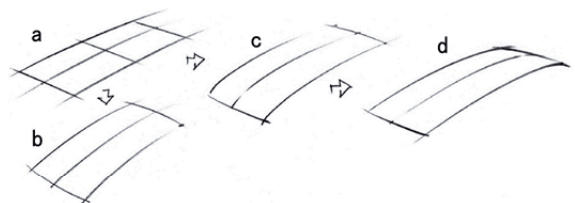


図 40:面の性質と表情の見極め

似たような面でも基本的な曲率の違いは、立体として構成されたときに表情を際立たせる。この図38による微妙な面の差異が図40のように形態に魅力をつける重要な要素にもなる。

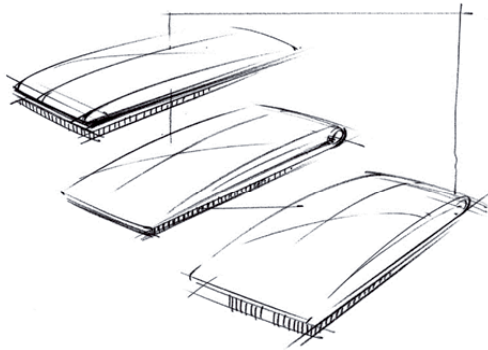


図 41:面の性質の違いによる形態の展開例

面の性質の違いは、陰影の入れ方によっても表現できる。aは中央で折れるか二次曲面, b cは下方の曲率が大きい, d eは球面の大小差, fは上方の曲率が大きいことを表す。

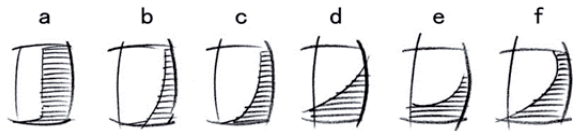


図 42:陰影による面の違いに関する表現例

10.4 中心線による展開

左右対称のものは、中心の断面線から描くと解り易い。続けてそれぞれの直交する断面線とともに仕上げてゆく。

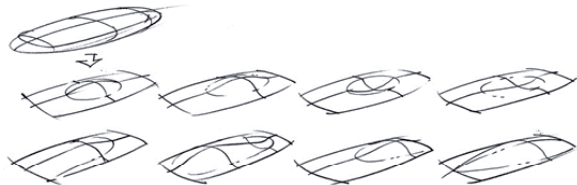


図 43:中心線の操作による面の展開例

図41により展開する形態は、上方より床面に投影した影を描いて立体化を試みる。場合によっては形態と下部陰影を描くことにより全体の量的考察など簡単に展開可能となる。

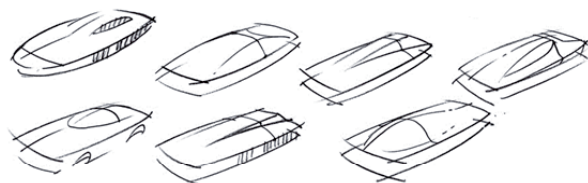


図 44:投影による立体化と展開例

10.5 投影による立体展開

輪郭線を用いない立体表現は、大胆な対比構成から特徴ある形態を表現する。面の素材やテクスチャの違いによる明度差など、必然的に単純化や抽象化を促すことができる。

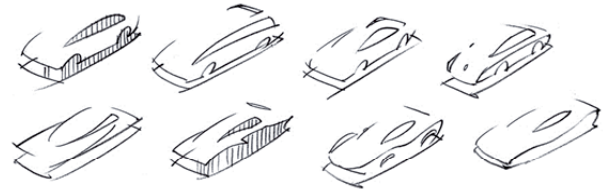


図 45:面の対比的階調表現と展開例

11 理解を促す効果的な画面構成

11.1 背景の効果

画面の主体はモノであり、背景はあくまで補助的なものである。aとbはアンダーラインのように、cとdは枠で囲みモノを際立たせる。特にeはモノを描かずに背景を描くことでモノを浮かび上がらせ、暗示させることができる。

概念生成のためのイメージボード用には、形態としてまだ明確なイメージが描けないのでeの方法が効果を発揮する。

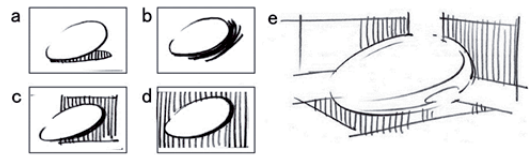


図 46:背景を描くことでモノを暗示させる例

図45-eを更に発展させて、aは背面と床面の間に加筆する方法, bは伝統的透視図法の立方体より割り出して描いたもの, c dはbのイメージをパースガイドなしで描いたものであり、描き方によりそれぞれ表情の違いが出ていることが解る。

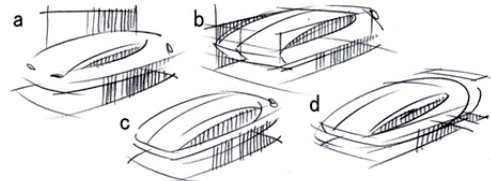


図 47:描画方法による表情の違い

11.2 トリミングの効果

伝えたい内容は画面構成次第でその情報量に変化する。概念設計に合わせた最適画角を選択、トリミングやズームインなどの処理によりメッセージ性は更に強調される。

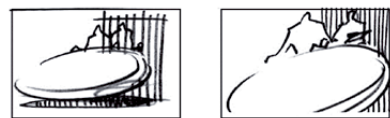


図 48:トリミングにより伝達内容は変化する

11.3 映り込みを活用した表現

モノを描こうとせず、周囲の景色が映り込む様子を描くことにより、モノそのものを浮かび上がらせるという試みである。作画例はそれぞれ a 壁面, b 背景の空, c 手前の空, d 手前

の景色と水平線, e 床面を映すことを示している。

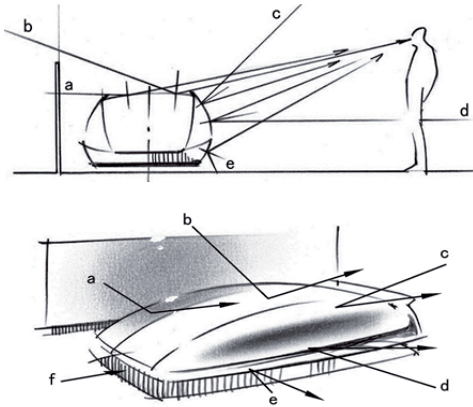


図 49:三次曲面への映り込みと見え方の関係

11.4 添景としてのヒトの描写

描画対象物は,ヒトを添えて表現することで寸法を暗示させる。描画にあたっては,年齢による比率や姿勢・動き等について観察を繰り返して,描画の準備をしておくが重宝する。

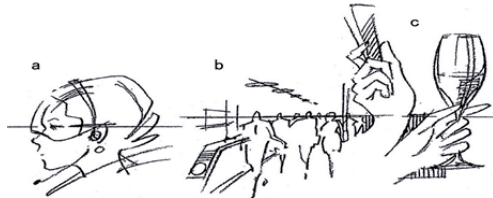


図 50:寸法や機能を効果的に伝えるヒトの添景

添景を効果的に活用した画面構成は,視線誘導がスムーズになり,機能の説明など伝達内容が理解しやすい画面となる。

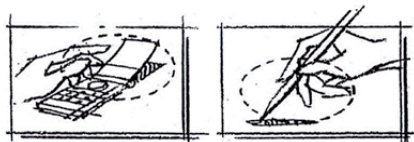


図 51:添景(手)との組み合わせで視線を誘導する

12 サムネイル・スケッチによる実践

意志を込めた線は,それだけで説得力を持つ。説明や論理的展開は後からでも可能である。描画により視覚化された概念は,絶えず触発を繰り返し,方向を探りながら創造的で飛躍した発想を促す。

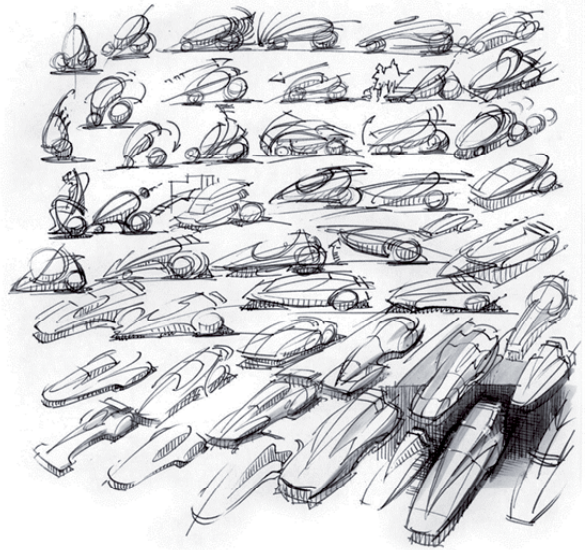


図 52:サムネイル・スケッチによる発想と展開例

細部の理解を深めるには,文字と矢印,あるいは寸法線や数字等の情報を加筆することで表現は可能となる。

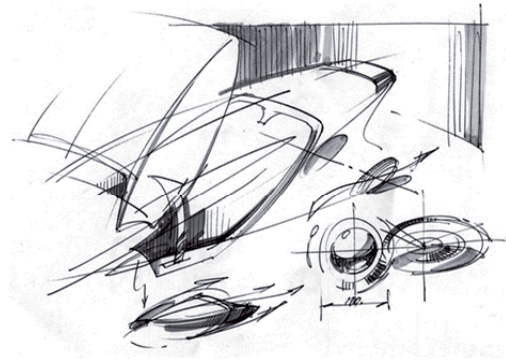


図 53:サムネイルからアイデア・スケッチへの展開例

更に,プレゼンテーション用としては,解りやすい画面構成から一連の動作や機能解説とともに,最小限の陰影に加えて色彩や素材の加筆により,効果を発揮することができる。

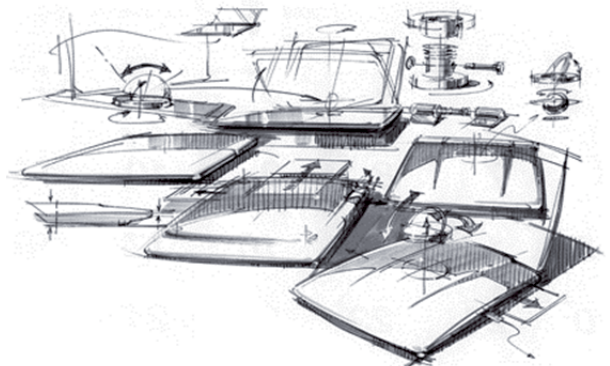


図 54:詳細のコラージュによるスケッチの展開例

13 まとめ

スケッチは、ものづくり関係者間の共通言語であり“上手”ではなく、発想が“解る”、“伝わる”といったことが重要である。

説得力あるスケッチの基本は、a 簡潔(特徴の整理と絞り込み)、b 明瞭(本質を見抜いた構造化)、c 姿勢(一所懸命伝達しようとする熱意)、であり『達意簡明』にある。

本稿は、伝統的透視図法を出発点に、四十余年の実務経験で磨き、“省筆”の概念として導き出したもので、複雑な透視図法を用いない発想と展開の方法をまとめたものである。

デザインプロセスにおけるスケッチ技法の修得は、投影図法から透視図法まで、工学を背景とした図法理解が基本であることに間違いはなく、必須であると考えている。その上で、スケッチには過去の記憶を思い出しながらかく想像画、現在を見ながら記録として描く写生画、未来のあるべき姿として夢を描く空想画などがある。デザインプロセスにおける自在な発想と表現は、これらの技法修得によりはじめて可能となる。

この省筆画法によるサムネイル・スケッチが、無限のアイデア創出に役立つことを切に願うものである。

参考文献

- [1] 日本インダストリアルデザイナー協会編, プロダクトデザイン・商品開発に関わるすべての人へ, ワークスコーポレーション, 2009.
- [2] ジェームス W. ヤング著, 今井茂雄訳, 竹内均解説, アイデアのつくり方, 阪急コミュニケーションズ, 1988.
- [3] ジャック・フォスター, 青島淑子訳, アイデアのヒント, 阪急コミュニケーションズ, 2003.
- [4] 陳廷祐著, 成家徹郎訳, 書の美学, 東京書籍, 1992.
- [5] Jay Doblin 著, 岡田朋二・山内陸平訳, ダブリンのデザイン透視図法, 鳳山社, 1971.
- [6] Thomas C. Wang, Projection Drawing, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.

モバイルロボットにおける Eye-to-Hand システムの動的視覚オブザーバに関する一考察

村尾俊幸*・河合宏之**

A Study on Visual Motion Observer for Eye-to-hand Systems with mobile robot

Toshiyuki Murao* and Hiroyuki Kawai**

Abstract

This paper investigates passivity-based visual feedback control with a visual motion observers for eye-to-hand systems with a mobile robot. Firstly, relative rigid body motions and a pinhole camera model are given. Secondly, we present a visual motion observer for eye-to-hand systems with a mobile robot. Next, we derive a passivity property of an eye-to-hand visual feedback error system. Then, a control law for eye-to-hand visual feedback systems is proposed. Based on the passivity, stability and L_2 -gain performance analysis are discussed. Finally validity of the proposed control law can be confirmed through a simulation result.

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。

視覚フィードバック制御則は、従来より二つの制御方法と二つのカメラ構造に大別できることがよく知られている。すなわち、制御方法は位置ベース法と画像ベース法、カメラ構造はカメラがハンドの手先に取り付けられた **Eye-in-Hand** 構造と、固定カメラ構造とも言われるカメラとハンドが別々に配置された **Eye-to-Hand** 構造である [1, 2]. 文献 [6] は、位置ベース法のようにカメラから目標となる対象物 (以下、目標対象と呼ぶ) への相対位置姿勢をもとに入力を与える制御手法となっているが、通常的位置ベース法が各時点における静的な画像情報を用いて相対位置姿勢を推定するのに対して、動きのモデルを用いて位置姿勢を推定し、かつ受動性を巧みに扱うことにより推定と制御を含めた全体の安定性について議論するという点で新しい制御アプローチとなっている。この受動性に基づく視覚フィードバック制御の手法は、**Eye-in-Hand** 構造 [6] だけでなく、**Eye-to-Hand** 構造 [7] に対しても、また画像ベース法 [8] に対しても同様のアプローチで制御則を提

案できる。

この受動性に基づくアプローチ手法において、**Eye-in-Hand** 構造ではカメラは目標対象のみを観測し、カメラから目標対象への相対位置姿勢を推定するのみで制御則を構成できる。それに対して、**Eye-to-Hand** 構造ではカメラから目標対象への相対位置姿勢に加え、カメラから制御する対象物への相対位置姿勢も必要となる。文献 [7] では、マニピュレータの関節角度を用いて、カメラから制御する対象物への相対位置姿勢を計算しているが、扱う制御対象によっては常にマニピュレータのように外部センサから測れるとは限らない。また、このように他のセンサを用いる場合には、カメラの外部パラメータが正確に測れていなければならないという問題も生じる。

この問題を回避するために、文献 [9] では制御する対象物がマニピュレータであるにも関わらず、関節角度を用いる代わりに、制御対象となるマニピュレータの手先をカメラに観測させ相対位置姿勢を推定する手法を提案している。文献 [9] の手法は、カメラの外部パラメータの不確かさに対してロバストとなり、さらにはモバイルロボットのように通常自分自身の位置を直接測定できない制御対象に対しても有効になる。しかし、文献 [9] では目標対象の相対位置姿勢を推定するためのオブザーバと同じ運動モデルを用いて、制御対象の相対位置姿勢を推定するためのオブザーバを構成していた。その結果、推定入力が制御偏差に干渉されてしまう問題や制御入力がフィードバックする偏差と直接的には対応しないという問題が生じ、制御入力を調整するためのゲイン設定を複雑にさ

Received on September 5, 2011.

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

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

せていた。

そこで、本稿ではモバイルロボットにおける **Eye-to-Hand** 構造の視覚フィードバックシステムを想定し、制御対象の相対位置姿勢を推定することを目的とした動的視覚オブザーバを再構築する。そして、推定入力に制御偏差に対して非干渉となるような、受動性に基づく視覚フィードバック制御則を提案する。提案した制御則に対して安定性と L_2 ゲイン制御性能解析をおこない、シミュレーションにて制御則の検証をおこなう。

2 剛体運動の表現とカメラモデル

2.1 剛体運動の表現

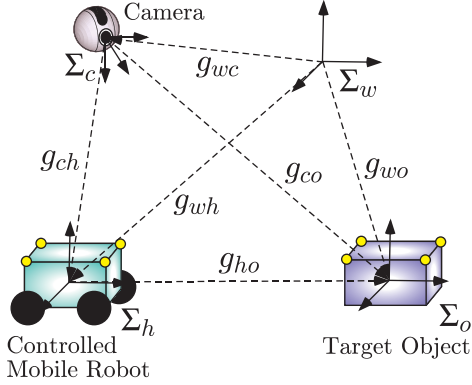


図 1: モバイルロボットにおける **Eye-to-Hand** 構造の視覚フィードバックシステム

本稿では、図 1 に示すような四つの座標系によって表される、モバイルロボットにおける **Eye-to-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、制御対象となるモバイルロボットにロボット座標系 Σ_h 、カメラにカメラ座標系 Σ_c 、目標対象に目標対象座標系 Σ_o 、さらに基準座標系 Σ_w を定義する。

本システムの制御目的は目標対象にモバイルロボットを追従させることである。言い換えると、ロボット座標系 Σ_h からみた目標対象座標系 Σ_o の相対位置姿勢 g_{ho} を目標位置姿勢 g_d (本稿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 (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 (vee) で定義される [10]。

この相対位置姿勢 g_{ho} 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。

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

さらに、この制御偏差に対する制御偏差ベクトルを $e_c := [p_{ec}^T r_{ec}^T]^T \in \mathcal{R}^6$ と定義する。ただし $r_{ec} := \text{sk}(e^{\hat{\xi}\theta})^\vee \in \mathcal{R}^3$, $\text{sk}(e^{\hat{\xi}\theta}) := \frac{1}{2}(e^{\hat{\xi}\theta} - e^{-\hat{\xi}\theta})$ である。

制御目的を達成するために必要になる g_{ho} は、同次表現の合成則から以下のように導かれる。

$$g_{ho} = g_{ch}^{-1} g_{co} \quad (3)$$

g_{co} と g_{ch} は同次表現の合成則から同様に

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

$$g_{ch} = g_{wc}^{-1} g_{wh} \quad (5)$$

で表される。また、カメラ座標系からみた目標対象とモバイルロボットの相対速度は、(4), (5) 式をそれぞれ時間微分することで、

$$V_{co}^b = -\text{Ad}_{(g_{co}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b \quad (6)$$

$$V_{ch}^b = -\text{Ad}_{(g_{ch}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wh}^b \quad (7)$$

のように導かれる [6]。ここで、 $V_{ab}^b = (g_{ab}^{-1} \dot{g}_{ab})^\vee \in \mathcal{R}^6$ は剛体運動のボディ速度を表しており、 $\text{Ad}_{(g_{ab})} \in \mathcal{R}^{6 \times 6}$ は同次表現 g_{ab} の随伴写像である [10]。

本稿では **Eye-to-Hand** 構造の視覚フィードバックシステム (カメラのボディ速度が 0, すなわち $V_{wc}^b = 0$) を考えるため、(6), (7) 式で表された相対速度はそれぞれ以下のようになる。

$$V_{co}^b = V_{wo}^b \quad (8)$$

$$V_{ch}^b = V_{wh}^b \quad (9)$$

2.2 ピンホールカメラモデル

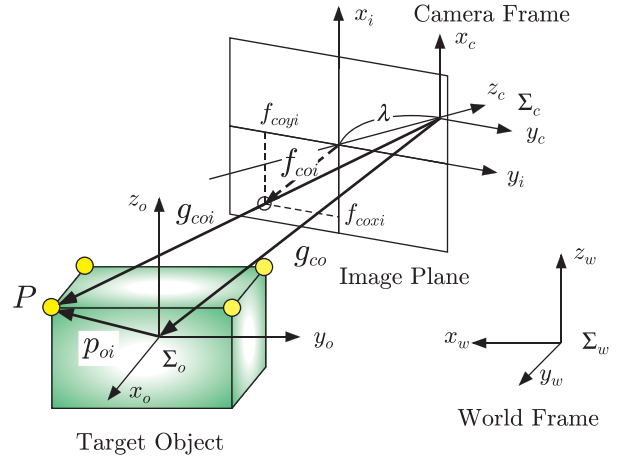


図 2: ピンホールカメラモデル

上述の相対位置姿勢 g_{co} および g_{ch} は目標対象の位置姿勢 g_{wo} 、モバイルロボットの位置姿勢 g_{wh} が測定不可能であるために未知情報となる。本稿では、観測出力として得られる情報はピンホールカメラから得られる画像特徴量とし、目標対象とモバイルロボットにそれぞれ取り付けられた $m (> 4)$ 点の特徴点の画像面上における x 座標と y 座標を考える。ここで、目標対象とモバイルロボットにそれぞれ取り付けられた特徴点は全て観測できるとする。図 2 に目標対象を観測しているときのピンホールカメラモデルの図を示す。このとき、目標対象座標系 Σ_o の原点から各特徴点までのベクトルを $p_{oi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$ 、またロボット座標系 Σ_h の原点から各特徴点まで

のベクトルを $p_{hi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$ とすると、カメラからみたそれぞれの相対的な特徴点 $p_{coi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$, $p_{chi} \in \mathcal{R}^3 (i = 1, \dots, m)$ は $p_{coi} = g_{co} p_{oi}$, $p_{chi} = g_{ch} p_{hi}$ としてそれぞれ表される。ただし、特徴点 p_{oi} , p_{hi} はすべて既知であるとし、同次表現でよく用いられる表記法 $[\begin{smallmatrix} p_{ab}^T & 1 \end{smallmatrix}]^T$ を p_{ab} と表記 [10]) により表したものである。

目標対象に対する画像特徴量を $f_{coi} := [f_{coxi} \ f_{coyi}]^T (i = 1, \dots, m)$, またモバイルロボットに対する画像特徴量を $f_{chi} := [f_{chxi} \ f_{chyi}]^T (i = 1, \dots, m)$ と定義すると、特徴量は透視変換を用いることで、

$$f_{coi} = \frac{s\lambda}{z_{coi}} \begin{bmatrix} x_{coi} \\ y_{coi} \end{bmatrix}, \quad f_{chi} = \frac{s\lambda}{z_{chi}} \begin{bmatrix} x_{chi} \\ y_{chi} \end{bmatrix} \quad (10)$$

で表される。ただし、 $\lambda \in \mathcal{R}$ はカメラの焦点距離、 $s \in \mathcal{R}$ は 1 画素の実質的な縦横の大きさの逆数であり、 p_{coi} の各要素を $p_{coi} = [x_{coi} \ y_{coi} \ z_{coi}]^T$, 同様に p_{chi} の各要素を $p_{chi} = [x_{chi} \ y_{chi} \ z_{chi}]^T$ として表した。この f_{coi} と f_{chi} を縦に並べたベクトル $f_{co} = [f_{co1}^T \ \dots \ f_{com}^T]^T \in \mathcal{R}^{2m}$ および $f_{ch} = [f_{ch1}^T \ \dots \ f_{chm}^T]^T \in \mathcal{R}^{2m}$ が実際にカメラから得られる視覚情報となる。

3 モバイルロボットにおける Eye-to-Hand システムに対する動的視覚オブザーバ

本節では目標対象とモバイルロボットに対して、異なる動的視覚オブザーバを構築する。

3.1 目標対象に対する動的視覚オブザーバ

上述のカメラ座標系からみた目標対象の相対位置姿勢 g_{co} は目標対象の位置姿勢 g_{wo} が測定不可能であるために未知情報となる。そこで、相対位置姿勢 g_{co} を含んでいる視覚情報 $f_{co} \in \mathcal{R}^{2m}$ を利用し、非線形オブザーバを構成することで相対位置姿勢の推定値 \bar{g}_{co} を得ることを考える。(8)式に基づき、推定値 \bar{g}_{co} の運動モデルをつぎのように構成する。

$$\bar{V}_{co}^b = u_{eo} \quad (11)$$

$u_{eo} \in \mathcal{R}^6$ は目標対象に対する推定偏差の振舞いを安定にするために加えられる入力であり、後に制御則の一部として提案する。

ここで、カメラ座標系からみた目標対象の相対位置姿勢の真値 g_{co} とその推定値 \bar{g}_{co} の偏差を、目標対象に対する推定偏差 e_{eo} として

$$e_{eo} := \bar{g}_{co}^{-1} g_{co} \quad (12)$$

と定義する。さらに、その推定偏差ベクトルを $e_{eo} := [p_{e_{eo}}^T \ r_{e_{eo}}^T]^T \in \mathcal{R}^6$ と定義する。姿勢推定偏差の回転量 $\theta_{e_{eo}}$ を十分に小さいとし、さらにカメラの画像特徴量をその推定値の周りで 1 次テーラー展開することで、この推定偏差ベクトル e_{eo} は、カメラから得られる視覚情報 f_{co} と推定モデルにより得られる視覚情報 \bar{f}_{co} , さらに画像ヤコビアン

の逆行列 $J^\dagger(\bar{g}_{co}) \in \mathcal{R}^{6 \times 2m}$ を用いることでつぎのように導かれる [6].

$$e_{eo} = J^\dagger(\bar{g}_{co})(f_{co} - \bar{f}_{co}) \quad (13)$$

この推定偏差ベクトル e_{eo} が 0 になれば、目標対象に対する相対位置姿勢の真値と推定値が一致することとなる。

(12)式を時間微分し、(8), (11)式を用いることで、目標対象に対する推定偏差システムは以下のように導出される。

$$V_{e_{eo}}^b = -\text{Ad}_{(g_{e_{eo}}^{-1})} u_{eo} + V_{wo}^b \quad (14)$$

3.2 モバイルロボットに対する動的視覚オブザーバ

本節では、カメラ座標系からみたモバイルロボットの相対位置姿勢 g_{ch} を含んでいる視覚情報 $f_{ch} \in \mathcal{R}^{2m}$ を利用し、推定値 \bar{g}_{ch} を得ることを考える。文献 [9] では、モバイルロボットを推定するための運動モデルにモバイルロボットの速度 V_{wh}^b を組み込まず、前節で述べた目標対象に対する運動モデルと同様 $\bar{V}_{ch}^b = u_{eh}$ を推定値 \bar{g}_{ch} の運動モデルとして構成していた。それに対して、本稿ではモバイルロボットのような制御対象の相対位置姿勢を推定するための動的視覚オブザーバを、文献 [9] とは異なる運動モデルを用いて新たに提案する。

はじめに、前節と同様にカメラ座標系からみたモバイルロボットの相対位置姿勢の真値 g_{ch} とその推定値 \bar{g}_{ch} の偏差を、モバイルロボットに対する推定偏差 e_{eh} として

$$e_{eh} := \bar{g}_{ch}^{-1} g_{ch} \quad (15)$$

と定義する。また、その推定偏差ベクトルを $e_{eh} := [p_{e_{eh}}^T \ r_{e_{eh}}^T]^T \in \mathcal{R}^6$ と定義する。モバイルマニピュレータに対する推定偏差ベクトル e_{eh} は前節の議論と同様にして、つぎのように導かれる。

$$e_{eh} = J^\dagger(\bar{g}_{ch})(f_{ch} - \bar{f}_{ch}) \quad (16)$$

ここで、推定値 \bar{g}_{ch} の運動モデルを (9)式に基づき、つぎのように構成する。

$$\bar{V}_{ch}^b = \text{Ad}_{(g_{e_{eh}})} V_{wh}^b + u_{eh} \quad (17)$$

$u_{eh} \in \mathcal{R}^6$ は u_{eo} と同様に推定偏差の振舞いを安定にするために加えられる入力であり、後に制御則の一部として提案する。目標対象に対する運動モデル (11) は目標対象の速度が完全に未知情報となるために、目標対象の情報を運動モデルに組み込むことはできなかった。それに対して、モバイルロボットの場合には、モバイルロボットの速度 V_{wh}^b が提案する制御入力であるために、運動モデルの中にモバイルロボットの速度情報 V_{wh}^b を組み込むことができる。推定値 \bar{g}_{ch} の運動モデル (17) には未知情報となる g_{ch} の情報を含む e_{eh} が必要になるが、 e_{eh} の計算方法については次節で述べる。

(15)式を時間微分し、(9), (17)式を用いることで、モバイルロボットに対する推定偏差システムは以下のように導出される。

$$V_{e_{eh}}^b = -\text{Ad}_{(g_{e_{eh}}^{-1})} u_{eh} \quad (18)$$

4 モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システム

4.1 制御偏差システム

つぎに制御目的を達成するための制御偏差システムについて議論する。(2)式で定義した制御偏差 g_{ec} は、二つの推定偏差 $g_{e eo}$, $g_{e eh}$ を用いて以下のように表すことができる。

$$g_{ec} = g_d^{-1} g_{ho} = g_d^{-1} g_{ch}^{-1} g_{co} = g_d^{-1} g_{e eh}^{-1} \bar{g}_{ch}^{-1} \bar{g}_{co} g_{e eo} \quad (19)$$

(19)式において、二つの推定偏差 $g_{e eo}$, $g_{e eh}$ のみが未知情報となるため、それらが得られれば制御偏差 g_{ec} は求まる。ここで、 $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_{e eo} \leq \frac{\pi}{2}$, $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_{e eh} \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲内で、以下の関係式 [7] が成り立つことに着目する。

$$\xi_{\theta_{e eo}} = \frac{\sin^{-1} \|r_{e eo}\|}{\|r_{e eo}\|} r_{e eo}, \quad \xi_{\theta_{e eh}} = \frac{\sin^{-1} \|r_{e eh}\|}{\|r_{e eh}\|} r_{e eh} \quad (20)$$

これらの関係式を用いることで、推定偏差ベクトル $e_{eo} = [p_{e eo}^T r_{e eo}^T]^T$, $e_{eh} = [p_{e eh}^T r_{e eh}^T]^T$ から推定偏差 $g_{e eo} = (p_{e eo}, e^{\xi_{\theta_{e eo}}})$, $g_{e eh} = (p_{e eh}, e^{\xi_{\theta_{e eh}}})$ が求められ、制御偏差 g_{ec} を導出することが可能となる。この過程で、モバイルロボットに対する運動モデル (17) に必要となる $g_{e eh}$ が導出されることにも注意されたい。

(2)式で定義した制御偏差 g_{ec} を時間微分することで、制御偏差システムは以下のように導出される。

$$\dot{V}_{ec}^b = -\text{Ad}_{(g_{ec}^{-1})} \text{Ad}_{(g_d^{-1})} V_{wh}^b + V_{wo}^b \quad (21)$$

4.2 視覚フィードバック偏差システム

このとき、(14), (18), (21)式を用いることで、モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システムは (22) 式のように表される。

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ec}^b \\ \dot{V}_{e eo}^b \\ \dot{V}_{e eh}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{Ad}_{(g_{ec}^{-1})} & 0 & 0 \\ 0 & -\text{Ad}_{(g_{e eo}^{-1})} & 0 \\ 0 & 0 & -\text{Ad}_{(g_{e eh}^{-1})} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} I \\ I \\ 0 \end{bmatrix} V_{wo}^b \quad (22)$$

ただし、入力、状態をそれぞれ

$$u := \begin{bmatrix} \text{Ad}_{(g_d^{-1})} V_{wh}^b \\ u_{eo} \\ u_{eh} \end{bmatrix}, \quad x := \begin{bmatrix} e_c \\ e_{eo} \\ e_{eh} \end{bmatrix} \quad (23)$$

と定義する。モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システムにおいて、状態 x を 0 にとどめておくことで制御目的が達成される。

この視覚フィードバック偏差システム (22) に対して、つぎの補題が成立する。

補題 1. 目標対象が静止している (すなわち $V_{wo}^b = 0$) とする。このとき、入力を u , 出力を $-x$ とするとき、モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システム (22) の入出力間に

$$\int_0^T u^T(-x) d\tau \geq -\beta, \quad \forall T > 0 \quad (24)$$

が成り立つ。ただし β はある非負の定数である。

証明：エネルギー関数として

$$V = E(g_{ec}) + E(g_{e eo}) + E(g_{e eh}) \quad (25)$$

を考える。ただし、 $E(g_{ab}) := \frac{1}{2} \|p_{ab}\|^2 + \phi(e^{\xi_{\theta_{ab}}})$ であり、 $\phi(e^{\xi_{\theta_{ab}}})$ は回転行列に対する誤差関数を表す正定関数である [11]。視覚フィードバック偏差システムのもつ歪対称性 \hat{p}_{ec} , $\hat{p}_{e eo}$, $\hat{p}_{e eh}$ を用いることで、エネルギー関数 V の時間微分は

$$\begin{aligned} \dot{V} &= x^T \begin{bmatrix} \text{Ad}_{(e^{\xi_{\theta_{ec}}})} & 0 & 0 \\ 0 & \text{Ad}_{(e^{\xi_{\theta_{e eo}}})} & 0 \\ 0 & 0 & \text{Ad}_{(e^{\xi_{\theta_{e eh}}})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ec}^b \\ V_{e eo}^b \\ V_{e eh}^b \end{bmatrix} \\ &= (-x)^T u, \end{aligned} \quad (26)$$

となる。(26)式の両辺を積分することで

$$\int_0^T u^T(-x) d\tau = V(T) - V(0) \geq -V(0) = -\beta \quad (27)$$

が成り立つ。 β は初期状態のみに依存するある非負の定数である。□

5 モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック制御

5.1 制御則と安定性解析

モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システム (22) に対し、補題 1 の受動性に基づくことで、目標対象が静止している場合に平衡点 $x = 0$ を安定とする制御則として次式を提案する。

$$u = -K(-x) = Kx \quad (28)$$

$$K := \text{diag}\{K_c, K_{e eo}, K_{e eh}\}$$

$K_c := \text{diag}\{k_{c1}, \dots, k_{c6}\}$, $K_{e eo} := \text{diag}\{k_{e eo1}, \dots, k_{e eo6}\}$ と $K_{e eh} := \text{diag}\{k_{e eh1}, \dots, k_{e eh6}\}$ は x 軸, y 軸, z 軸の並進と回転における制御偏差とそれぞれの推定偏差に対するゲインである。ただし、ゲインにおける各要素はすべて正とする。このとき安定性に関してつぎの定理が導かれる。

定理 1. 目標対象が静止している ($V_{wo}^b = 0$) とき、モバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック偏差システム (22) と (28) 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：(25)式のエネルギー関数をリアプノフ関数候補とすると、(22), (28)式の解軌道に沿った時間微分は (26)式より

$$\dot{V} = u^T(-x) = -x^T Kx \quad (29)$$

と導かれる。したがって、システムの平衡点 $x = 0$ は漸近安定となる。□

ここで、従来研究 [9] の制御則との比較を行う。文献 [9] の制御則 $V_{wh}^b = -K_c \text{Ad}_{(e^{-\xi_{\theta_{e eh}}})} e_{eh}$, $u_{eo} = K_{e eo}(e_{eo} - \text{Ad}_{(e^{-\xi_{\theta_{ec}}})} e_c)$, $u_{eh} = K_{e eh}(e_{eh} + \text{Ad}_{(g_d^{-1})} e_c)$ は、 e_c で定義された制御偏差が両推定入力に干渉してしまうために、制御偏差 e_c が存在する場合、それが推定入力 u_{eo} , u_{eh} に影響を与え

ていた. また, モバイルロボットに対する速度入力 V_{wh}^b は, 制御偏差ではなくモバイルロボットに対する推定偏差をフィードバックする形となっていた. それに対して本稿で提案した制御則 (28) $V_{wc}^b = \text{Ad}_{(g_d)} K_c e_c$, $u_{eo} = K_{eo} e_{eo}$, $u_{eh} = K_{eh} e_{eh}$ は, 各々の偏差が各々の入力に対してのみ直接フィードバックされている. したがって, 本稿の受動性に基づく視覚フィードバック制御則は制御偏差が推定入力に干渉するという影響を回避することができるため, 制御偏差がある場合, 従来研究 [9] の制御則に比べて性能が向上し, ゲイン設定も容易になる.

このように制御則を提案できるのは, モバイルロボットにおける **Eye-to-Hand** 構造の視覚フィードバック偏差システム (22) の入力に対する行列が対角行列になっているためであり, 構成した視覚フィードバック偏差システムにおいて, 両推定と制御の構造を分離しているためと解釈できる. 入力に対する行列が対角行列となるようにモバイルロボットに対する運動モデルを提案したことが, 本研究の主要な貢献となる.

5.2 L_2 ゲイン制御性能解析

本節では目標対象が運動する場合について考察する. 特に, 本稿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.

ここで, 正のスカラーの定数 k_{eo} を用いることによって, $K_{eo} = k_{eo}I$ とゲインを定義しなおす. また, ある正の数 γ を用いてつぎの条件を与える.

$$K_c > \frac{(\gamma^2 + 1)(2k_{eo} - 1) - 1}{2\gamma^2(2k_{eo} - 1) - 2} I \quad (30)$$

$$k_{eo} > \frac{\gamma^2 + 1}{2\gamma^2} \quad (31)$$

$$K_{eh} > \frac{1}{2} I \quad (32)$$

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 2. 与えられた γ に対して, (30)~(32) 式を満たすようにゲイン K_c , k_{eo} , K_{eh} を選ぶとき, (22), (28) 式で構成されるモバイルロボットにおける **Eye-to-Hand** 構造の視覚フィードバック偏差システムの閉ループ系は γ 以下の L_2 ゲインを有する.

(証明) 蓄積関数として (25) 式のエネルギー関数を考える. (22), (28) 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

$$\begin{aligned} \dot{V} + \frac{1}{2} \|x\|^2 - \frac{\gamma^2}{2} \|V_{wo}^b\|^2 &= -\frac{\gamma^2}{2} \left\| V_{wo}^b - \frac{1}{\gamma^2} \left[\text{Ad}_{(e^{-\xi\theta_{ec}})} \text{Ad}_{(e^{-\xi\theta_{eoo}})} 0 \right] x \right\|^2 \\ &\quad + \frac{1}{2\gamma^2} x^T W x - x^T u + \frac{1}{2} \|x\|^2 \\ &\leq \frac{1}{2\gamma^2} x^T W x - x^T u + \frac{1}{2} \|x\|^2 \end{aligned} \quad (33)$$

という関係式が成り立つ. ただし,

$$W := \begin{bmatrix} I & \text{Ad}_{(e^{\xi\theta_{ec}e^{-\xi\theta_{eoo}}})} & 0 \\ \text{Ad}_{(e^{\xi\theta_{eoo}e^{-\xi\theta_{ec}}})} & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (34)$$

とした. したがって,

$$P := K - \frac{1}{2\gamma^2} W - \frac{1}{2} I \quad (35)$$

と定義し, さらにこの P が準正定であると仮定すると, 任意の目標対象の速度 V_{wo}^b に対して (28) 式の制御則を代入することで以下の不等式が成り立つ.

$$\begin{aligned} \dot{V} + \frac{1}{2} \|x\|^2 - \frac{\gamma^2}{2} \|V_{wo}^b\|^2 &\leq -x^T K x + \frac{1}{2\gamma^2} x^T W x + \frac{1}{2} \|x\|^2 \\ &= -x^T P x \leq 0 \end{aligned} \quad (36)$$

$P \geq 0$ とし, 両辺を積分すると

$$\begin{aligned} \int_0^T \|x\|^2 d\tau &\leq \gamma^2 \int_0^T \|V_{wo}^b\|^2 d\tau - 2 \int_0^T \dot{V} d\tau \\ &\leq \gamma^2 \int_0^T \|V_{wo}^b\|^2 d\tau + 2V(0) \end{aligned} \quad (37)$$

が成り立つ. ここで, P は

$$P = \begin{bmatrix} K_c - \frac{1}{2\gamma^2} I - \frac{1}{2} I & -\frac{1}{2\gamma^2} \text{Ad}_{(e^{\xi\theta_{ec}e^{-\xi\theta_{eoo}}})} \\ -\frac{1}{2\gamma^2} \text{Ad}_{(e^{\xi\theta_{eoo}e^{-\xi\theta_{ec}}})} & \left(k_{eo} - \frac{1}{2\gamma^2} - \frac{1}{2} \right) I \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ K_{eh} - \frac{1}{2} I \end{bmatrix} \quad (38)$$

と変形できるが, この P が準正定となる十分条件はシュア補元を計算することで,

$$K_{eh} - \frac{1}{2} I > 0 \quad (39)$$

$$\begin{aligned} K_c - \frac{1}{2\gamma^2} I - \frac{1}{2} I - \left(-\frac{1}{2\gamma^2} \text{Ad}_{(e^{\xi\theta_{ec}e^{-\xi\theta_{eoo}}})} \right) \\ \cdot \left(k_{eo} - \frac{1}{2\gamma^2} - \frac{1}{2} \right)^{-1} \left(-\frac{1}{2\gamma^2} \text{Ad}_{(e^{\xi\theta_{eoo}e^{-\xi\theta_{ec}}})} \right)^T > 0 \end{aligned} \quad (40)$$

$$k_{eo} - \frac{1}{2\gamma^2} - \frac{1}{2} > 0 \quad (41)$$

という条件となり, さらにこの条件式を計算すると, (30)~(32) 式を満たすことと等価となる. したがって, (30)~(32) 式が満たされるとき, $P \geq 0$ となるので, モバイルロボットにおける **Eye-to-Hand** 構造の視覚フィードバック偏差システムの閉ループ系は目標対象の速度 V_{wo}^b から被制御出力 x に関して γ 以下の L_2 ゲインを有する. \square

この制御性能解析では目標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目標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.

6 シミュレーション検証

本節では, 目標対象が静止してる状況において, 提案した制御手法のシミュレーション検証をおこなう. 初期設定は $p_{ho} = [1 \ -1 \ -0.5]^T \text{ m}$, $\xi\theta_{ho} = [0 \ 0 \ 1.047]^T \text{ rad}$ とする. また最終的な目標位置姿勢は $p_d = [0 \ 0 \ -0.5]^T \text{ m}$, $\xi\theta_d = [0 \ 0 \ 0]^T \text{ rad}$ とする. また推定に関する初期設定は, 真値を $p_{co} = [0 \ 0 \ -1]^T \text{ m}$, $\xi\theta_{co} = [0 \ 0 \ 0]^T \text{ rad}$, $p_{ch} = [0.366 \ 1.366 \ -0.5]^T \text{ m}$, $\xi\theta_{ch} = [0 \ 0 \ -1.047]^T \text{ rad}$,

推定値を $\bar{p}_{co} = [0.1 \ -0.1 \ -0.9]^T$ m, $\bar{\xi}\bar{\theta}_{co} = [0 \ 0 \ 0.087]^T$ rad, $\bar{p}_{ch} = [0 \ 0 \ -0.3]^T$ m, $\bar{\xi}\bar{\theta}_{ch} = [0 \ 0 \ 0]^T$ rad とする. 本シミュレーションにおけるゲインは $K_c = 5I$, $K_{co} = 10I$, $K_{ch} = 10I$ と設定した.

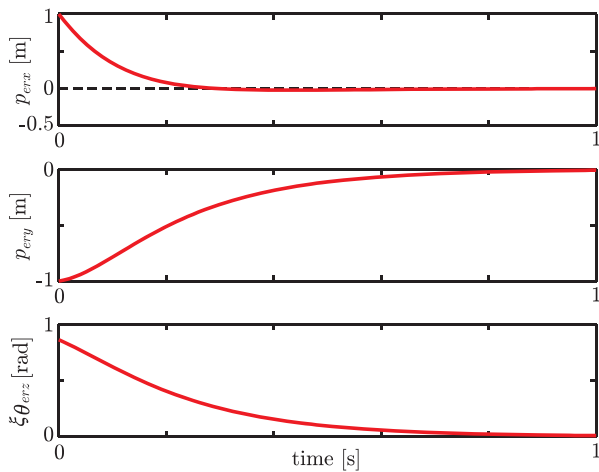


図 3: 制御偏差ベクトル e_r

図 3 に g_{ho} と g_d の間の実際の偏差ベクトルである $e_r := [p_{er}^T \ r_{er}^T]^T$ を示す. 上から 3 次元空間での x, y 軸の位置偏差と z 軸周りの回転偏差を示す. 図 3 において, すべての偏差が 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.

7 おわりに

本稿ではモバイルロボットにおける Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステムにおいて, 目標対象の運動を推定するためのオブザーバとは異なる運動モデルを用いて, 扱う制御対象の相対位置姿勢を推定するための動的視覚オブザーバを構築した. そして, 推定入力に制御偏差に対して非干渉となるような, 受動性に基づく視覚フィードバック制御則を提案した. 提案した制御則に対して安定性と L_2 ゲイン制御性能解析をおこない, シミュレーションにて制御則の検証をおこなった.

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 Hu-

man Camera Control,” *The American Journal of Surgery*, Vol. 177, No. 4, pp. 321–324, 1999.

- [4] A. Krupa and F. Chaumette, “Control of an Ultrasound Probe by Adaptive Visual Servoing,” *Proc. of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2007–2012, 2005.
- [5] S. Yu and B. J. Nelson, “Autonomous injection of biological cells using visual servoing,” In: D. Rus and S. Singh (Eds.), *Experimental Robotics VII*, Springer-Verlag, pp. 169–178, 2001.
- [6] M. Fujita, H. Kawai and M. W. Spong, “Passivity-based Dynamic Visual Feedback Control for Three Dimensional Target Tracking: Stability and L_2 -gain Performance Analysis,” *IEEE Trans. Control Systems Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 40–52, 2007.
- [7] T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, “Stabilizing Predictive Visual Feedback Control for Fixed Camera Systems,” *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 94, No. 8, pp. 1–11, 2011.
- [8] 村尾俊幸, 河合宏之, 藤田政之, “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,” 産業技術大学院大学紀要, No. 4, pp. 67–72, 2010.
- [9] H. Kawai, T. Murao and M. Fujita, “Passivity-based Dynamic Visual Feedback Control with Uncertainty of Camera Coordinate Frame,” *Proc. of the 2005 American Control Conference*, pp. 3701–3706, 2005.
- [10] R. Murray, Z. Li and S. S. Sastry, *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*, CRC Press, 1994.
- [11] F. Bullo and A. D. Lewis, *Geometric Control of Mechanical Systems*, Springer-Verlag, 2004.

速聴トレーニングによる速読速度向上の試みについて

村越 英樹*・清山 信正**・今井 篤**・都木 徹***・石島 辰太郎*

Attempt of speed-reading speed improvement by training of speed-listening

Hideki Murakoshi*, Nobumasa Seiyama**, Atsushi Imai**, Tohru Takagi*** and Shintaro Ishijima*

Abstract

When understanding sentences by silent reading, following steps are used: 1) strings are input by eyes, 2) strings are converted to voices and 3) voices is understood. Then, we tried to improve the speed-reading speed by training of step 3) voice understanding (speed-listening). This paper reports the experimental result and shows the next step of our study.

Keywords: speed-reading, speed-listening, sentence understanding, e-Learning

1 はじめに

蓄積型 e-Learning システムに利用される主なコンテンツの構成要素は、音声、テキストおよび動画である。本学では、すべての講義を録画し、蓄積型 e-Learning コンテンツとして配信している。ここで用いられているコンテンツの主な構成要素は、教員の講義シーン(動画および音声)、およびパワーポイント等により作成された講義資料(主にテキスト)である。このコンテンツを利用して学習する学生は、主に社会人学生であり、職務等との関係から、90 分の講義内容をより短い時間で学習したいという要望が多い。

音声を高速に視聴するには、プレイヤーの再生スピードを調整することになるが、速度が速くなるにつれて聞き取りにくくなる。これに対して著者らは、リニアに音声を時間伸縮するのではなく、プロポーショナルに時間伸縮する話速変換技術を開発した[1]。時間短縮の際には、全体を時間短縮するなかで音声のない部分はさらに短くし、音声の話し始めの部分や声の高さが高い部分のみを相対的にゆっくりする動作が基本となる。話速変換技術を用いることで、より短い時間でより多い音声情報を聞き取り可能とした。一方、人間の速聴能力は、限界はあるものの、トレーニングを重ねることで向上することが報告されている[2]。

もう一つの情報源であるテキスト情報の高速取得には、人間の能動的な行動である速読技術を身につける必要が生じる。ここで我々が注目したのは、認知心理学で用いられている文章理解のモデルである。このモデルでは、文章を理解するときに、次のプロセスを利用している[3]。

①視覚による文字列の入力

②入力文字列から脳内音声への変換

③脳内音声の内容理解

この文章理解モデルは、すべての人間にあてはまるものではないが、多くの人間がこのプロセスにより文章を理解している。このプロセスのうち、③に相当する部分は前述のようにトレーニングにより向上することが分かっている。そこで我々は、速聴トレーニングをするだけで、黙読速度が上がるのではないかと考え、本研究では速読と速聴の関連を実験により調査した。

本稿第 2 章では、速読速度向上を目指した速聴トレーニングと速読実験の方法について述べる。第 3 章では、実験結果を掲載し、考察する。その結果、被験者の平均速読速度は、速聴トレーニングにより、緩やかに向上していく傾向があることを確認した。しかし、今回の実験では、速聴トレーニングの管理方法や被験者のモチベーションの維持などに問題があることも分かった。これら問題点を踏まえた次期ステップにおける改善策、第 4 章で述べる。第 5 章は、本稿のまとめである。

2 実験方法

速聴トレーニングによる速読速度向上の実験方法は、速聴トレーニングの前後に簡単な文章を読み、その速度を計測するものである。以下に実験のステップを記載する。

ステップ 1: トレーニング前テスト(速読テスト)

課題文を読み終える時間をストップウォッチで計測する。

Received on September 21, 2011

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

** NHK 放送技術研究所, Science & Technology Research Center, Japan, Broadcasting Corporation

*** 財団法人 NHK エンジニアリングサービス, NHK Engineering Service, Inc.

ステップ2:速聴トレーニング

1日10分以上1週間の速聴トレーニングを行う。

ステップ3:トレーニング後テスト

1週間後、ステップ1と同様のテストを実施する。

速読テストおよび速聴トレーニングには、財団法人 日本国際教育支援協会が実施している日本語能力試験[4]~[8]の1級の聴解問題の文章を用いた。この問題を用いた理由は、比較的分かりやすい文章であるとともに、標準の速度で朗読されたCDがあり、この朗読音声は速聴トレーニングに利用できるためである。また、今回の実験では速読速度の測定をメインに考えているが、文章には内容把握に関する質問(選択問題)があり、簡単な内容把握のテストをすることも可能である。

速聴トレーニングに用いる音声は、日本語能力試験の標準音声から、2倍速、2.5倍速、3倍速、3.5倍速、4倍速、5倍速の音声を作成した。これまでの経験で、3倍速前後で聞き取りの限界に当たることが分かっているため、3倍速前後の音声を多く用意している。

速聴トレーニングは、遅い速度(2倍速)の音声から開始して、被験者自身の判断で理解できるようになったら早い速度(2.5, 3, 3.5...)に移行する。毎日のトレーニング時間を記録し、速読テスト受験時に報告する。また、リニアに話速変換した音声と、プロポーショナルに話速変換した音声の2種類を準備している。これは速聴トレーニングに用いる話速変換方式の違いによって、速読速度に影響するかを見るためである。このため、被験者を2つのグループに分けて、グループ1がリニアな音声、グループ2がプロポーショナルな音声でトレーニングを行う。

3 実験結果と考察

前章で示した実験を2週にわたりステップ1, 2, 3, 2, 3の順で行った実験結果の生データを表1に示す。本章ではまず、この表に記載したデータの読み方について説明する。

表1は被験者20名すべてのデータであり、A~Jの10名がグループ1、K~Tの10名がグループ2である。また、被験者20名のうち、速聴トレーニングの記録およびすべての実験に協力いただけたのは9名(A, C, D, E, F, G, J, O, S)である。第1回目、2回目、3回目に使用した速読テストの文字数は、それぞれ322, 232, 277文字である。時間(秒)の欄が文章を読み終えるまでの実測値であり、文字数/分の欄は1分間に読むことができる文字数(換算)である。回答の欄は課題文の内容に関する質問の回答が正しい場合○、正しくない場合×と記している。音声化の欄では、黙読時に音声化をしたか否かを、速読テストの実施時に自己申告してもらったものである。氏名欄にはすべての実験に協力いただいた13名に色付けし、音声化の自己申告に基づいて、3回の速読テストすべて音声化したと申告した被験者を黄色、3回すべて音声化しなかったと申告した被験者を青色、それ以外を緑色とした。文字数/分の欄の色付けは、速聴トレーニングの記録によるものであり、聞き取れた音声速度をあらわしている。5倍速の音声を聞き取れたとき緑色、4倍速が黄色、3.5倍速が青色、3倍速がオレンジ色である。

以下では、この実験結果をベースとして、必要に応じて取捨選択して議論を進めることとする。

3.1 速読速度の向上について

3回の速読テストから、速聴トレーニングにより速読速度が向上しているかを検証する。そのため、表1から速聴トレーニング

表1 速読実験結果

グループ1												
氏名	第1回速読実験 322文字				第2回速読実験 232文字				第3回速読実験 277文字			
	時間(秒)	文字数/分	回答	音声化	時間(秒)	文字数/分	回答	音声化	時間(秒)	文字数/分	回答	音声化
A	19.57	987.2253	○	○	13.31	1045.83	○	○	9.06	1834.437	○	○
B	21.17	912.6122	○	○	7.68	1812.5	×	×				
C	11.22	1721.925	○	×	7.95	1750.943	×	×	11.2	1483.929	○	○
D	30.57	631.9921	×	×	36.61	380.224	×	×	26.38	630.0227	○	×
E	27.08	713.4417	○	○	11.99	1160.967	×	○	19.64	846.2322	○	○
F	20.12	960.2386	○	○	14.74	944.3691	○	○	17.08	973.0679	○	○
G	38	508.4211	○	○	29.24	476.0602	○	○	27.89	595.9125	○	○
H	28.88	668.9751	×	○								
I	33.8	571.5976	○	×	19.92	698.7952	○	○	29.96	554.7397	○	○
J	26.81	720.6266	○	○	15.92	874.3719	×	○	18.95	877.0449	○	○
グループ2												
氏名	第1回速読実験 322文字				第2回速読実験 232文字				第3回速読実験 277文字			
	時間(秒)	文字数/分	回答	音声化	時間(秒)	文字数/分	回答	音声化	時間(秒)	文字数/分	回答	音声化
K	17.2	1123.256	○	○	7.61	1829.172	○	○				
L	20.5	942.439	○	○	12.54	1110.048	×	○				
M	12.85	1503.502	○	○	7.59	1833.992	×	×	12.23	1358.953	○	○
N	13.82	1397.974	○	×	15.68	887.7551	×	×	15.15	1097.03	○	×
O	27.52	702.0349	×	○	18.75	742.4	○	○	22.93	724.8147	○	○
P	22.16	871.8412	○	○	15.17	917.6005	×	○	15.83	1049.905	○	○
Q	43.71	442.0041	○	×	23.06	603.6427	×	×				
R	30.48	633.8583	○	○	15.58	893.4531	×	○				
S	16.7	1156.886	○	○	17.74	784.6674	×	○	19.34	859.3588	○	○
T	38.56	501.0373	○	○	15.06	924.3028	○	○				

ングの記録およびすべての実験に参加した 9 名のデータをグラフ化して図 1 に示す。このグラフを見るかぎり、明確に速度向上を示している被験者は A だけであり、他の被験者の速度向上はそれほどではない。また、被験者 C, D 以外の被験者は、3 回の速読テスト後の聞き取り調査で、黙読時に音声化していると回答した被験者である。音声化していない被験者 C, D のデータに比べて、速読速度が安定していることが認められる。このグラフ内には、黙読時に音声化している被験者の平均値をプロットしているが、平均値からはやや速度向上の傾向が認められる。

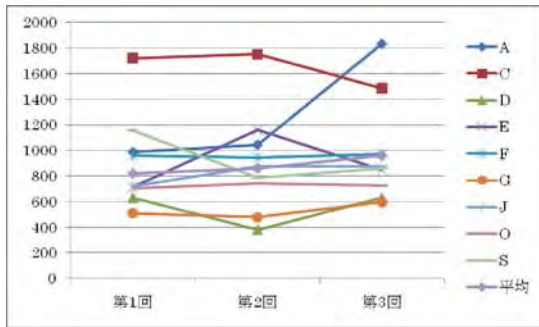


図 1: 3 回の速読テストの結果

3.2 速聴可能速度と速読速度

速聴トレーニングによって速聴可能となった音声速度は、個人差があるものの、グループ 1 では 3~4 倍速、グループ 2 では 3.5~5 倍速となり、話速変換技術を用いてプロポーショナルに時間短縮を行った音声を用いたグループ 2 の方が早い速度を速聴可能であった。表 2 には、グループごと、速聴可能速度ごとに平均をとった速読速度をまとめる。この表を一見するかぎりでは、速聴可能速度と速読速度には関連性は無いように見える。しかしながら、被験者データの比較的多い(2 名以上の被験者がいる平均値)グループ 1 第 2 回の 3.5 倍速と 4 倍速、グループ 2 第 2 回の 3.5 倍速から 5 倍速の部分では、より速い速度の音声を理解できる方が速読

	グループ1		グループ2	
	第2回	第3回	第2回	第3回
3倍速	1045.83	1834.437	887.7551	
3.5倍速	796.0889	630.0227	854.4851	859.3588
4倍速	1033.792	955.2372	1108.756	
5倍速			1151.01	724.8147

速度も早いことが分かる。

3.3 その他の考察

今回、速読実験を通して気付いたことや、今後の実験の進め方に関する知見について以下にまとめる。

1) 黙読時の音声化について

実験を実施する前は、音声化する人は黙読時には必ず音声化し、音声化しない人は音声化しないものだと考えていた。実験の結果から、同一人物であっても、あるときは音声化し、

あるときは音声化しないことがある、ということが分かった。また、実験データからは、音声化したときとしなかったときで、速読速度が大きく変わることがあるように見うけられる。ただし、音声化の調査は自己申告なので、音声化したのか、していないのかの判断に明確な基準が無いために生じた誤差である可能性もあるが、非常に興味深い結果だと考える。

2) 速読速度と文章理解について

今回の実験では、速読速度をメインの調査結果としたため、黙読時間をストップウォッチで計測した後、少々時間をおいて文章内容に関する質問に回答してもらった。日本語能力試験の聴解問題なので、それほど難しい問題ではない、また同じ 1 級の問題なので難易度に大きな差はないと考えるが、第 2 回目の速読テストの正解率が非常に悪い。その原因として、第 2 回目の問題だけ質問内容に回答するためには、課題文の 2 つの要素を記憶しておく必要があり、この点が誤答を誘発していると考えられる。次回以降の実験では、課題文の 2 つ以上の要素を質問し、回答を求めるのは避けるべきであろう。

3) 被験者のモチベーション維持について

初回の速読テストから第 3 回速読テスト終了までに 2 週間を要している。トレーニングの実施により、その振る舞いがトレーニング前とどのように変化したかを調査する今回のような実験では、被験者のモチベーションをいかに保つかが重要なファクタとなる。特にトレーニング実施に関しては、自己申告制としたが、この部分について効果的なトレーニングを行っていることを保証する仕組みを考える必要がある。すなわち、モチベーションを維持し、積極的にトレーニングに取り組むような仕組みである。

4 実験の改善について

今回実施した実験では、いくつかの改善すべき点があり、それらを前節 3.3 1), 2), 3) に記載した。本章では、これらの改善すべき点について改善策を記載するとともに、次期実験計画についてまとめる。

4.1 3.3 1)の「黙読時の音声化」について

文献[3]では構音抑制を行うことで、音声化の有無を判断している。構音抑制条件として、一定のスピードで「あいうえお」を発声し続けさせ、黙読速度と、構音抑制を行っていない(発声していない)黙読速度と比較して、黙読速度に差が生じない場合を音声変換していないと判断している。しかしながら、我々の実験結果では、同じ被験者が黙読時に、あるときは音声化し、あるときは音声化しないと回答しているため、この判定方法を利用することは難しいと考える。そこで、この改善については、従来通りの被験者への聞き取り(自己申

告)に加えて、被験者により多くの黙読課題を与えて、黙読速度から判断する以外ないだろう。

4.2 3.3 2)の「誤答の問題」について

まず、黙読文章の選択については、2 つ以上の無関係なものを同時に覚えていなければならない問題は避けるべきであろう。また、今回の実験では、人間による時間測定が行なわれたため、1度に1文章の黙読速度の測定しかなかった。そのため、たまたま難しい日本語文章と設問に当たり、誤答ばかりという結果となったとかがえる。もちろん、適切な難易度の日本語を1つだけ選択することは難しいので、1度に速読速度を測定する文章数を増やすことで、この問題を解決できると考える。

以上 2 つの黙読速度測定に関する改善方法は、より多くの黙読文章を被験者に与えることとなるが、文章の提示および速読速度の測定には、PC上で動作する管理プログラムを構成することが妥当であると考えられる。

4.3 3.3 3)の「モチベーションの維持」と「正確なトレーニング記録」の取得について

今回の実験では3回の速読テストを2週間かけて実施し、速聴トレーニングおよびその実施記録は、被験者の本人の管理としていた。そのため、速聴トレーニングの記録を提出しない被験者も存在した。また、提出されたトレーニング記録の中にも、正確な記録が記載されていないことも考えられる。このようなことを無くすためには、高いモチベーションを維持した中で、管理された速聴トレーニングを実施することが必要である。

文献[2]では、4桁の乱数字の聞き取り実験を実施しているが、4桁の乱数字を200問実施することで、速聴に慣れることが報告されている。これは、比較的短い時間で速聴トレーニングを完了できることを示唆している。速聴トレーニングの期間が短縮化できれば、被験者のモチベーションを維持しつつ、管理された速聴トレーニングを実施可能となる。すなわち、3回の速読テストと2回の速聴トレーニングを数時間のうちに実施する可能となる。この部分についても、短時間で正確な記録をとるため、速聴トレーニングのためのソフトウェアを作成して対応する。

5 おわりに

本研究では、黙読により文章の内容を理解するモデルとして、①視覚による文字列の入力、②入力文字列から脳内音声への変換、③音脳内音声の内容理解、というプロセスを仮定し、速聴トレーニングにより速読速度の向上を試みた。その結果、黙読時に音声化していると申告した被験者の平均速読速度は、速聴トレーニングにより、緩やかに向上していく傾向にあった。また、速聴トレーニングに利用する音声の違

いによって、速読速度に違いがあるかについて実験したが、今回の実験では明確な違いを見ることはできなかった。

本報告書では、速聴トレーニングによる速読速度向上を試みた第一報として、実験結果を報告するとともに、次回実験計画を記したものである。次回実験は、被験者のモチベーションを維持しつつ、正確なトレーニング記録をとるため、速読テストおよび速聴トレーニングを管理するソフトウェアを作成し、数時間で実験を実施できるような計画とした。実験用ソフトウェアの完成、速聴トレーニング用音声の準備ができ次第、実験を実施して、結果を報告する予定である。

参考文献

- [1] 今井 篤, 池沢 龍, 清山信正, 中村 章, 都木 徹, 宮坂栄一, 中林克己, “ニュース音声を対象にした時間遅れを蓄積しない適応形話速変換方式”, 信学論(A), vol. J83-A, no. 8, pp. 935-945, 2000.
- [2] 大島一恵, 西本卓也, 渡辺隆行, “視覚障害者用早口合成音声による慣れの効果”, 電子情報通信学会技術報告, WIT2005-43/SP2005-81, pp.19-24, 2005.
- [3] 高橋麻衣子, “黙読と音読による文理解の違い—音韻変換と注意資源の役割に注目して—”, *Cognitive Studies*, 13(1), pp. 121-124, 2006.
- [4] 日本国際教育支援協会, 国際交流基金, “平成 21 年度第 2 回 日本語能力試験 1・2 級試験問題と正解”, 凡人社, 2010.
- [5] 日本国際教育支援協会, 国際交流基金, “平成 21 年度第 1 回 日本語能力試験 1・2 級試験問題と正解”, 凡人社, 2010.
- [6] 日本国際教育支援協会, 国際交流基金, “日本語能力試験 1・2 級試験問題と正解 平成 20 年度”, 凡人社, 2010.
- [7] 日本国際教育支援協会, 国際交流基金, “日本語能力試験 1・2 級試験問題と正解 平成 19 年度”, 凡人社, 2008.
- [8] 日本国際教育支援協会, 国際交流基金, “日本語能力試験 1 級試験問題と正解 平成 16~18 年度”, 凡人社, 2009.

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

2011年度 産業技術大学院大学紀要

2012年2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/>
