

# 産業技術大学院大学紀要

Bulletin of  
Advanced Institute of Industrial Technology

第1号

2007年10月

産業技術大学院大学

## 目 次

## 解 説

|                                  |         |   |
|----------------------------------|---------|---|
| 情報システムのアーキテクト育成のための教育と PBL ..... | 中 鉢 欣 秀 | 1 |
| プロジェクト・マネジメント・オフィス .....         | 酒 森 潔   | 9 |

## 論 文

|   |   |     |
|---|---|-----|
| ITSS-DS を活用した大学院学生スキル診断の試み .....  | 戸 沢 義 夫   | 17  |
| A Trial for Education on the Upper Portion of the Design Process<br>for Information Systems ..... | Yukio Namba<br>Yuka Kato                          | 39  |
| City Panning Approach for Enterprise Information Systems .....                                    | Yukio Namba                                       | 49  |
| 場面遷移ネットを用いたサービス工学に関する研究 .....   | 川 田 誠 一<br>下 村 芳 樹<br>新 井 民 夫<br>梅 田 靖<br>久保田 直 行 | 63  |
| 自治体システムに適用できる Web サービスの相互運用の検証 .....  | 成 田 雅 彦<br>島 村 真己子                                | 71  |
| 行政情報システムへの適用を考慮したプライバシー影響評価手法の開発 .....  | 瀬 戸 洋 一   | 79  |
| 国際標準化に向けたテンプレート保護技術の体系化 .....   | 清 水 将 吾<br>瀬 戸 洋 一                                | 93  |
| ソフトウェア開発工程における支援研究と実用化への課題 .....  | 森 本 祥 一   | 105 |
| 教育用ソフトウェア開発環境基盤の試作 .....  | 秋 口 忠 三   | 111 |
| 疎結合プログラム開発環境の通信路に関する一検討 .....   | 長 尾 雄 行<br>小 山 裕 司                                | 121 |
| UML 表記からの RTOS カーネル機能の抽出と FPGA による実現 .....  | 村 越 英 樹<br>武 田 有 志<br>片 桐 寛                       | 127 |
| 映像のコンテンツと主観品質の関係を考慮した映像配信システム .....   | 加 藤 由 花   | 131 |
| 受動性に基づく可動カメラ構造の視覚フィードバック制御 .....  | 村 尾 俊 幸<br>河 合 宏 之<br>藤 田 政 之                     | 141 |
| 因果律に基づく新たな信号処理法を用いた遅延時間推定法 .....  | 土 屋 陽 介   | 147 |



# CONTENTS

## Review Papers

|  |                    |   |
|--|--------------------|---|
| Education and PBL for Information Systems Architects ..... | Yoshihide Chubachi | 1 |
| Project Management Office .....                            | Kiyoshi Sakamori   | 9 |

## Regular Papers

|  |  |     |
|--|--|-----|
| A trial diagnosis of graduate students' skills by ITSS-DS .....  | Yoshio Tozawa  | 17  |
| A Trial for Education on the Upper Portion of the Design Process<br>for Information Systems .....                          | Yukio Namba<br>Yuka Kato   | 39  |
| City Panning Approach for Enterprise Information Systems .....   | Yukio Namba  | 49  |
| A Study of Service Engineering by using the Scene Transition Nets .....  | Seiichi Kawata<br>Yoshiki Shimomura<br>Tamio Arai<br>Yasushi Umeda<br>Naoyuki Kubota | 63  |
| Verification for the Interoperability of Web Services<br>for Municipality Systems .....                                    | Masahiko Narita<br>Makiko Shimamura  | 71  |
| Development of Privacy Impact Assessment Techniques for considering<br>Application to Government Information Systems ..... | Yoichi Seto  | 79  |
| Categorization of Template Protection Technologies<br>for International Standards .....                                    | Shogo Shimizu<br>Yoichi Seto   | 93  |
| Researches Supporting Software Development and their Problems<br>In Practical Application .....                            | Shoichi Morimoto   | 105 |
| Experimental Development of an Educational Software Development<br>Environment Platform .....                              | Chuzo Akiguchi   | 111 |
| An Investigation of the Transport Layer of Loosely Coupled<br>Program Development Environment .....                        | Takeyuki Nagao<br>Hiroshi Koyama   | 121 |
| Extraction of RTOS Kernel Functions from UML<br>and Implementation by FPGA .....   | Hideki Murakoshi<br>Yuji Takeda<br>Hiroshi Katagiri                                  | 127 |
| A Streaming Video System with Reference to the Relationship<br>Between Video Contents and Subjective Video Quality .....   | Yuka Kato  | 131 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| Passivity-based Control of Visual Feedback Systems<br>with Movable Camera Configuration ..... | Toshiyuki Murao<br>Hiroyuki Kawai<br>Masayuki Fujita | 141 |
| Delay Time Estimation using New Signal Processing Method<br>based on the Causality .....      | Yosuke Tsuchiya                                      | 147 |

# 情報システムのアーキテクト育成のための教育と PBL

中 鉢 欣 秀\*

## Education and PBL for Information Systems Architects

Yoshihide Chubachi\*

### Abstract

Effective education for Information Systems Architects (ISA) is necessary to solve various problems and issues in our information society. Recently, several professional graduated schools are funded in Japan, whose mission shall be increase the number of well-educated ISA. The problem is that the good practice for educating ISAs is still unclear. In this paper, the core competency of ISA is described and some approaches to educate ISA through PBL are mentioned.

Keywords: Information Systems, Architects, PBL, Project Based Learning, Modeling

### 1. はじめに

2003 年度より開始した専門職大学院制度に基づき、高度な専門的知識・能力の育成を目指す専門職大学院大学の設置が進んでいる。その中には、情報技術領域の専門家を育成する目的の大学院大学もいくつか含まれる。今後、一般の大学とは異なる専門職大学院大学において、高度専門職を教育するための教育内容に関する議論が高まるだろう。

本稿では、第 1 に本学のような専門職大学院では情報システムのアーキテクトの教育が重要であることを指摘し、アーキテクトの役割や一般的な育成方法について述べる。第 2 に、プロジェクトベース型教育の手法に焦点をあて、これを用いたアーキテクト育成の方法について述べる。

### 2. 情報システムズアーキテクトの育成

産業技術大学院大学（以下、AIIT: Advanced Institute of Industrial Technology）は、情報技術系の専門職大学院大学であり、情報システムの専門家である情報アーキテクトを育成することを目的としている。しかしながら、この情報アーキテクトという用語は誤解を招きかねない用語であるので、冒頭にあたり、この用語を使用することの問題点を指摘しておく。

“情報アーキテクト”と対になる用語である“情報アーキテクチャ”という言葉インターネットで検索してみると、例えば Wikipedia には次の説明がある[1]。

“情報アーキテクチャ（Information Architecture）は、知識やデータの組織化を意味し、「情報をわかりやすく伝え」「受け手が情報を探しやすくする」ための表現技術である。ウェブデザインの発展に伴い、従来のグラフィックデザイン（平面デザイン）に加え、編集・ビジュアルコミュニケーション・テクノロジーを融合したデザインが要求されるようになった。情報アーキテクチャはこれらの要素技術を組み合わせた、わかりやすさのためのデザインである。ウェブ技術の発達に伴いその重要性が認識されているが、情報アーキテクチャの考え方自体は、紙面デザインの頃から変わらない。”

この定義によると情報アーキテクトとは、知識やデータを組織化する仕事を行い、情報をわかりやすくデザインする人ということになる。また、情報アーキテクチャは Web 技術と密接な関係にある。このことからすれば、本学が「情報アーキテクトを育成する」と言った場合、「Web ページのデザイナーを育成するのか？」と勘違いされる恐れがある。

Web のデザイナーという職種は本学が育成すべき情報システムの技術者全体からすれば、その一部分にすぎない。よって、本学が教育すべき、社会における様々な情報関連分野における問題解決を行う高度専門人材を示す用語として、情報アーキテクトという用語を用いることは必ずしも適切ではないことが分かる。

もともと、我が国において、情報アーキテクチャという言葉そのものが、上の定義をもつものとして十分に普及しているとは言い難い。しかしながら、海外においては Information Architecture という概念は既に確立しつ

つある。これに基づく Web サイト構築のアプローチに関する文献[2]等もあり、早期に適切な表現について検討をする必要がある。

この問題は教員間でも何度か議論を行っており、対案として出てきた用語はいくつかある。その一つが IT (Information Technology:情報技術) アーキテクトだった。ところが、一般的に IT という言葉は案外と狭い領域で使われている。

IT の T は技術を意味する。よって、IT アーキテクトとは、端的に言えば技術職である。しかしながら、高度情報化社会における多くの問題は、純粋な技術上の課題からのみ発生するのではなく、それに関わる人間・組織・社会といった非技術的な要因を含めて複合的に発生する。そして、前者の技術上の課題に対してはエンジニアリング、あるいはサイエンスという理系領域の知見が適用できるのに対し、後者に起因する問題を解決するためには人文科学が対象とする領域に踏み込んでゆかなくてはならない。

本学で育成すべき高度専門人材は、IT そのものに関する深い理解を土台として、その上で総合的に実社会の問題解決を行える人材であるべきであろう。そのような人材は単純な技術者ではない。よって、IT アーキテクトという用語もまた、その用語が指し示す人材の範囲は限定的であり、ふさわしくない。

それに代わる用語としては「情報システムズアーキテクト (Information Systems Architect)」という言葉がさしあたり最も誤解が少ないように思う。歴史をふりかえれば情報システムという用語が指し示す範囲は、当初は電子計算機のハードウェアとソフトウェアからなる機械的なシステムであった。これに対し、近年は人間が構

成する組織的な活動を情報システムであるとみなし、そのアーキテクチャ (設計および設計思想) をモデルとして表現する局面が増えている[3]。

いわゆる企業の静的・動的構造を体系的に記述するビジネスモデリングがそうであるし、プロジェクト・マネジメントにおける WBS (Work breakdown Structure) も、タスクごとのインプットとアウトプットをネットワーク構造で整理したものであり、これもまた情報システムとしての視点を取り入れたある種のモデリングである。

これらの、人間の活動を情報システムとみなすモデリングの作業は、実社会における情報技術関連の様々な問題解決に有用である。情報システムのモデリングの本質は、一見して複雑で雑多な対象領域を、情報とその処理の視点から分析する。そして、それらを単に要素還元して終わらせるのではなく、分析した要素を総合し、全体像を端的に示したのがモデルである。

こうして得られたモデルは、第 1 に、複雑であった現状の構造や、将来のあるべき姿を見通し良く表現する。これにより、解決すべき課題は何であるか、どう解決するのか望ましいのか、といったことを考えるにあたり、建設的な議論のたたき台となる。

第 2 に、情報システムとして分析・総合したモデルは、当然ながら IT との整合性が高い。モデルで表現したソリューションを実際の情報技術を用いる問題解決に直結させることができる。

ところが、我が国においては特にこのような情報システムのアーキテクチャをモデリングできる専門家が不足している。情報技術に詳しい者や、業務に詳しい者はいたとしても、それらを結びつけ、望ましいソリューションを情報システムのアーキテクチャとして提供できる能

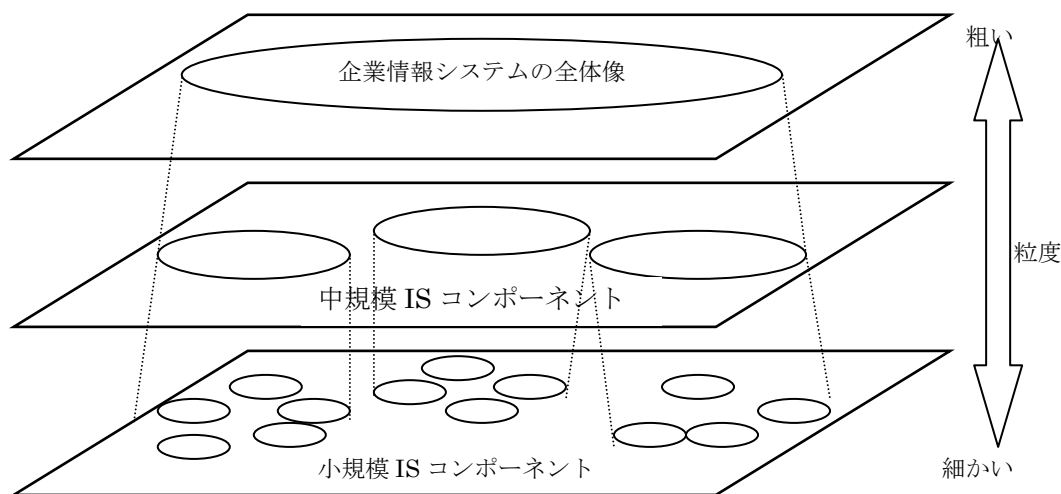


図 1 IS コンポーネントの粒度と視点

力をもつ者は少ないのである。

そこで、本稿の前半では、本学のような情報系の大学院大学においては情報システムズアーキテクト（以下、IS アーキテクト）の育成が重要であることを指摘する。その上で、現状において有効な IS アーキテクト教育方法について、AIIT 教員によるカリキュラム検討時の議論を踏まえて論じる。

### 3. IS アーキテクト育成の必要性

産業界において情報システムが果たす役割は年々幅広く広がっている。情報システムが企業活動の土台となっており、情報システムそのものが、企業が提供するサービスとニアリー・イコールの関係になっている場合すらある。

企業の組織が大規模になれば、企業を構成する要素も多様になる。特に、企業の経営戦略や経営計画を立案する場面においては、企業全体を俯瞰する粗い粒度の（＝おおまかな）構成要素を捉え、全体的な視野での議論ができなくてはならない。

このとき、情報化された、あるいは、今後情報化されるべき企業においては、その構成要素を情報システムのコンポーネントだとして捉える視点が重要となる。図 1 に示す通り、企業情報システムの全体像は、中規模の IS コンポーネントの組み合わせから成る。同様に、中規模の IS コンポーネントは、小規模の IS コンポーネントの集合である。その際、粒度が細くなるに従い、コンポーネントは個別の技術要素としての情報システムや、組織を構成する個々の人間の活動へと、より具体的になる。

一般論として、企業の組織的な活動が全て情報システムである、と言い切ることはできない。しかし、情報化のためには「企業活動のある種の側面を情報システムとして切り出して捉える眼」をもっている必要がある。そうでなければ、その企業にふさわしい情報システムを構築、あるいは再構築することができないからである。

このことから、従来の情報システムを発注するユーザ企業と、情報技術を提供するベンダー企業という区分けそのものが意味を成さなくなりつつある。即ち、従来は単なる情報技術のユーザとしての立場だった企業であっても、今後は自ら情報システムに関する計画・実現のための能力を持たなくては、自社の経営計画すら立案できなくなっている。

本論文で論じる IS アーキテクトとは、まさにこのような視点で情報システム全体を捉えることができるコンピテンシーを備えた人材である。企業の情報化が加速するにつれ、従来 IT 企業といわれたベンダー企業のみならず、より広範囲なユーザ企業においても、IS アーキテ

クトの必要性が高まるであろう。

## 4. IS アーキテクトのコンピテンシー

### 4.1 IS アーキテクトの条件

情報専門職である IS アーキテクトを育成するための教育内容を議論するあたり、まずは IS アーキテクトが満たすべき条件や備えるべきコンピテンシーを明確にしておく必要がある。

IS アーキテクトの役割は企業の情報化において重要であるため、構想した IS アーキテクトのフィージビリティについて、技術的な観点からも確実に保証できなくてはならない。

そのためには、IS アーキテクトであることの大前提として、IT に立脚した情報システムの工学的原理・原則と、IT を利用する企業の活動全般に関わる深い理解が必要となる。

この点において、本論文で述べている IS アーキテクトと、従来の IT コンサルタントや IT コーディネータとは、その役割と企業内での責任が大きく異なる。また、IT アーキテクトは必ずしも経営的視点を備えてはいない。

### 4.2 なすべきアクティビティ

IS アーキテクトが担う主要なアクティビティとしては、デミングの PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルを参考に、次の 4 つを指摘する。

1. IS アーキテクトを設計 (Plan) する
2. IS アーキテクトを実現 (Do) する
3. IS アーキテクトを評価 (Check) する
4. IS アーキテクトを改善 (Act) する

ここで、PDCA サイクルを土台とした理由は、IS アーキテクトが情報システムの初期導入から継続的な発展までを担う役割であると想定したためである。

以下、これら 4 つのアクティビティのために必要となるコンピテンシーについて述べる。

IS アーキテクトを設計するためには、企業における様々な活動を、情報システム化の視点から分析できる必要がある。また、分析の結果を総合して、望ましい IS アーキテクトの姿を構想できなくてはならない。

IS アーキテクトを実現するためのコンピテンシーとしては、構想したアーキテクトを実現するためのプロジェクトが定義でき、それをマネジメントできる能力が求められる。

IS アーキテクトの評価・改善のためには、構築した情報システムが生み出すヴァリューに対する経営的な視点からの判断を要する。また、実施したプロジェクトの



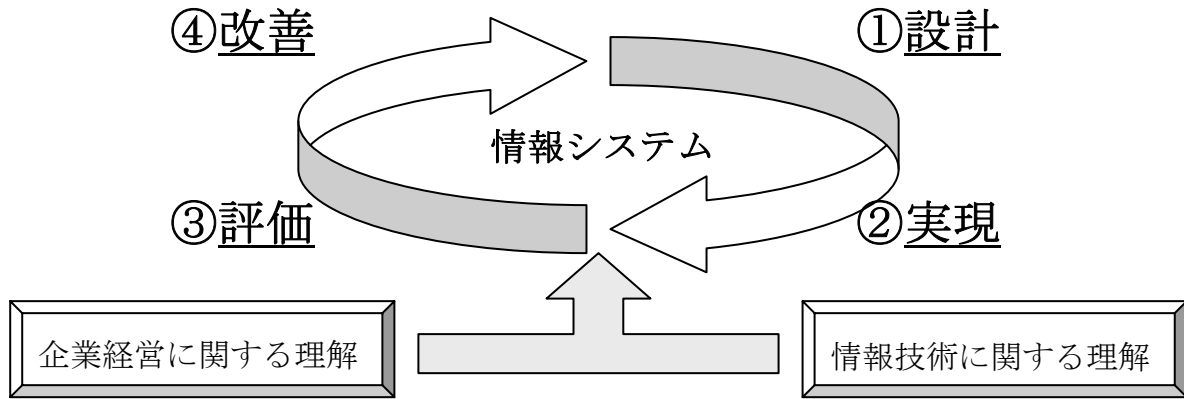


図2 ISアーキテクトの条件とアクティビティ

各種メトリックスを評価できる能力もなくてはならない。

以上述べてきた IS アーキテクトの条件とアクティビティを整理したものが図2である。

## 5. IS アーキテクトの育成方法

IT 技術者育成のためのカリキュラムについては研究も盛んであり、標準化も進んでいる。しかしながら本論文で述べている、IT の原理原則と、企業経営に関わる深い理解の両方を兼ね備えた実践的な IS アーキテクトを育成するための、効果的な教材・教授法については明らかでない。

そこで、本章では現段階で有効だと思われる教育手法を取り上げ、以下の節で個別に検討する。

### 5.1 プロジェクトベースラーニング (PBL)

0 節で述べた、IS アーキテクトが行なう 4 つのアクティビティについて、教科書的な説明を行なうだけでは、学生に必要なコンピテンシーが身についたかどうかの評価を行なうことが難しい。

そこで、IS アーキテクトが行なう PDCA の各作業を含むプロジェクト型の教育 (PBL: Project Based Learning) を実施することが一つの解決策となる。これは、学生に対して IS アーキテクトの実際のアクティビティを体験させる、ということである。

その際、専門職大学院という教育の場において、学生に対する教育として最も効果的なアクティビティのミニマムセットを抽出しておく。それは、そもそも大学教育においては、時間数の関係上、企業で行なっているようなフルセットの実プロジェクトを実施することが困難だからである。

IS アーキテクトの育成には企業における OJT (On the Job Training) で充分ではないか、あるいは、そちらのほうが良いとする考えもあるかもしれない。しかしなが

ら、OJT では達成できない教育レベルを大学における PBL で実現できる可能性は高い。

その理由は、実作業においては本来教育すべき内容とは直接関係のない各種の“ノイズ”的なアクティビティが発生することがあるからである。PBL を実施する教師側があらかじめ環境を整えることにより、本質的に必要な活動のみを学生に実施させることができれば、高い教育効果が得られよう。

加えて、OJT による IS アーキテクトとしての教育機会を与えられない社会人学生が自らのキャリアアップを目指す場合については、明らかに大学教育による効果が期待できる。

授業時間に対して適切なプロジェクトの「ミニマム・アクティビティ・セット」を設定し、教育環境を整備することが達成できれば、PBL 型による IS アーキテクト教育のための効果的な教育が可能となる。

### 5.2 アーキテクチャのモデリング教育

0 章で述べたとおり、IS アーキテクトは情報システムを粗い粒度から細かい粒度まで全体的な視野で捉えなくてはならない。このような視点を持つことは、簡単なようで実は非常に難しい。特に、既に IT のスキルを持つ技術者は、得てして自分の関心が高い、実装に近い細かな粒度の視点からでしか情報システムを捉えられない傾向がある。

ここでは、情報システムを複合的・階層的なものだとして捉え、全体としてのアーキテクチャを構築することができるようになるために、モデリング教育の有効性を指摘する。

例えば、オブジェクト指向に基づくモデリングでは、粒度の細かい構成要素から、粗い粒度の構成要素まで、各種 UML ダイアグラムを駆使することで表現できる。

クラス関連のモデルを例に説明すれば、細かい粒度か

ら順番に、メソッド、クラス、パッケージ、コンポーネント、システムといったものがモデル化できる。これらによって、単なる情報システム（ソフトウェア）の内部構造のみならず、エンタープライズ・ビジネス・モデリングまで可能であることが認知されている。

よって、オブジェクト指向等によるエンタープライズレベルのモデリング教育を取り入れることで、IS アーキテクチャを様々な粒度でモデル化できる IS アーキテクトを育成することができる。

### 5.3 システム開発プロセスの演習

ソフトウェア・システムの開発プロジェクトは、プロジェクトマネージャとしての能力を育成するための格好の教材である。教室で実施することが容易であるばかりではなく、要件定義の失敗や、欠陥の発生、納期の遅れといったリスクが発生する。よって、プロジェクトを通してそれらを体験し、必要なマネジメントスキルを身につける機会を与えることができる。

また、企業が新しい IS アーキテクチャを構築しようとする場合、定められた予算・資源・期間において確実に完成するかどうかの見極めが重要である。特に、単なる SI (System Integration) ではなく、新規の情報システムを構築、あるいは追加する場合においては、開発の過程で発生しうるリスクの正確な予測や、回避方法について知っておく必要がある。

このためには、一般的なプロジェクト・マネジメント手法に加えて、システム開発プロジェクトに特有の問題解決法を習得しておかなくてはならない。このようなことができる IS アーキテクトを育成するためには、技術系以外の学生に対しても、実際のソフトウェア開発プロセスを体験させることが一つの手段であろう。

その具体例としては、チームソフトウェア開発 (TSP: Team Software Process) [4]の演習があろう。またシステム開発型の PBL を実施するのも一つの手段である。これらを通して、システム開発計画立案時におけるフェーズビリティを判断できる IS アーキテクトの育成ができる。

### 5.4 今後の拡充について

ここまで、企業の情報化に伴い新たに必要となってきた人材である IS アーキテクトについて、それが登場した背景と、備えるべきコンピテンシーについて論じた。また、IS アーキテクトの育成のために、PBL 型教育、エンタープライズレベルのモデリング教育、及び、システム開発プロセス演習の3点について有効性を指摘した。

現状において、ここで述べた3つの教育内容で充分であるかといえ、そうではない。特に、大学という場に

において、企業経営的な知識をどのように身につけさせるかが大きな課題である。

また、システム開発プロセスの演習内容に関しては、TSP や従来型の RUP (Rational Unified Process) [5]のように、システム化を前提としてシステム要求の分析から始めるのではなく、それ以前の経営計画段階にあるエンタープライズ作業分野[6]を含むよう改善を施す必要があるだろう。

## 6. PBL における教育

ここからは、IT 専門職に従事する社会人学生に対して実施する PBL 型教育に求められる教育手法について論ずる。

ソフトウェア開発においては、ユーザとデベロッパー間のコミュニケーション、デベロッパーの技量、ユーザの情報システムに対する理解度、未経験の技術の取り扱い、といった多くの点で何らかのリスクが発生する可能性がある。よって、それらをマネジメントしながらゴール、すなわち、ソフトウェア・システムの完成まで到達する過程は、プロジェクト・マネジメントの要諦を学ぶ格好の題材となる。

ソフトウェア開発を教育の場で実施することの有用性は、単なるソフトウェア・エンジニアの育成としての側面のみならず、プロジェクトそのものを体験しやすいという点だ。このことから、大学教育の場においてソフトウェア開発をテーマにした PBL 型の教育を実践する例が増加している。

## 7. 一般学生向け PBL の具体例

そもそも、教授法がある程度定まっているコンピュータ科学の教育とは異なり、ソフトウェア開発プロジェクトを実際に実施するタイプの教育には、現状において有効性が明らかな教授法は確立していない。

その上で、社会人学生向け PBL 教育にふさわしい教育内容を議論するためには、一般学生と社会人学生の特性の違いを踏まえ、既に実施されている PBL 型教育の内容と効果を検証しつつ、有るべき姿を検討していく必要がある。

### 7.1 一般学生向け PBL 教育の例

現時点までに調査した範囲においては、慶應義塾大学[7]やはこだて未来大学[8]、山口大学[9]等において PBL 型教育が実施され、成果が生まれつつある。ここでは、慶應大学の取り組みについて紹介する。

本研究者が在籍していた慶應大学大岩研究室におい

ては、2005年度に採択された現代GPにおいて、コラボレーティブ・マネジメント型教育というテーマのもと、ソフトウェア開発を主体としたPBLを実施している。主たる教育の対象者は一般学生であり、それに実務従事者がマネージャの立場で参加する。

同研究室では、現代GPの採択以前においても、長年にわたりソフトウェア開発を題材としたプロジェクト型教育を行ってきた。その過程において、教育効果を高めるために必要なポイントがいくつか明らかになっており、それらを反映して現在のPBLにつながっている。その特徴として主要なものを挙げると次の各点である。

- ソフトウェアの出来栄えについてうるさくいう「発注者（ユーザ）」が存在していること
- プロジェクトをマネジメントするPM（Project Manager）がいること
- プロジェクト型教育全体をコーディネートするファシリテータが必要であること
- 客観的な立場からプロジェクトのプロセスとアウトプットに対して評価できる人が関与すること

前2者は、実務におけるソフトウェア開発プロセスに即しており、開発プロジェクトのステークホルダーを構成する要素のミニマムセットとなっている。後2者は教育効果を高めるための追加的な要素であり、同プロジェクトにおいてその効果が明らかになりつつある。

## 7.2 コラボレーティブ型教育の特徴

慶應現代GPにおける教育内容の特徴について記す。この教育においては、履修者と社会人PMに対して、プロジェクト遂行のための何らかのプロセスや方法論を明示的には指定しない。

プロジェクト経験のある社会人PMは出身組織のマネジメント方法を利用することが多く、それを妨げることにはしないのであるが、基本方針としてはソフトウェア開発プロジェクト未経験者であり、逆に言えば柔軟な態度をとれる学生との間で、コラボレーティブなマネジメントプロセスを実施していることである。

ここでは、両者のシナジーにより創発的に何らかの発見が誕生することを期待している。だからこそ、既知のプロジェクト遂行プロセスのテンプレートを履修者・PMに提供することをあえてしない。また、これを実現する場をやりわりとコーディネートするのがファシリテータの主要な役割となっている。

## 7.3 コラボレーティブ型教育の有用性

実際には、プロジェクトを通して生まれた「発見」が

常識的な内容にすぎない場合もある。即ち、「車輪の再発見」が生じる場合である。このことから、その意義を否定する向きもある。常識的なことであれば予め知識として教育しておけばいいのではないか、という意見である。

しかしながら、教科書に従って覚えこまれた知識と、自ら発見したグッド・プラクティスとでは、そこから体得する学習者のコンピテンシーに大きな質的差異がある。

加えて、仮に生み出したものが「車輪」であったとしても、それは問題を発見して解決する貴重なプロセスを体験したことの証であり、それこそが今後の問題解決のための素地として活かされるのだ、というのがコラボレーティブ型マネジメント教育の基本的な考え方であると言えるであろう。そして、そのような学びのプロセスが、学習者のモチベーションを支えていると考えられる。

## 8. 社会人向けPBLの検討

4年制大学における学部レベルの学生と、ソフトウェア開発の現場経験を有する社会人学生とでは、ソフトウェア開発教育に期待する内容が異なる。前者の関心は今後「就職するかもしれない」職業領域における実務の素養を身に着けることであり、後者はより実践的な「今の仕事に直ちに役立つ」教育を欲する。

以上の基本的な違いを念頭に、専門職を対象としたPBL教育の内容について議論したい。

### 8.1 社会人学生の特性と動機付け

社会人学生にとってはプロジェクトそのものの経験は既に有している場合が多い。よって、単にプロジェクトを「体験させる」ということだけでは彼らにとっての教育的価値は低い。

反面、日常の業務における様々な個別具体的事象に対する問題意識は高い。それらを体系的に整理し、何らかの有効な解決策を得て、実践できるようになることがこの場合におけるPBL型教育の基本姿勢としては適切である。

その上で、そのような学生たちが、意欲的にPBLに取り組むよう、単に「プロジェクトができる」「ものづくりができる」といったことだけではなく、更に高度な動機付けが必要だ。

### 8.2 社会人学生に提供するPBLの基本姿勢

一般的に、学習の過程における「気づき」や「発見」が学習者の動機付けに大きく関与することは議論を待たないであろう。であるならば、どのようにしてそれらを社会人学生に提供すべきかについて十分に検討しなくてはならない。

学部レベルではなく、大学院レベルの教育においては、定評のあるベスト・プラクティスについては、ファシリテータが指導を行なうべきであろう。その内容としては、一般的なプロジェクト・マネジメント手法やソフトウェア開発プロセスである。

そして、それらを活用してプロジェクトを行なう過程において、何らかの発見を生み出させる環境づくりを行なう。仮に、同じような車輪の再発明にすぎなかったとしても、より高度な車輪が発明できるようにコーディネートするというのが一つの望ましい姿勢だ。

これをベースラインの目標として設定した上で、真にオリジナリティのある成果物が生まれてくるかどうかが重要だ。予想されるアウトプットとしては、有用なソフトウェア・システムそのもの、新しいベスト・プラクティス、より一般性のある方法論といったものであろう。最終的にはここに到達するよう、指導する必要がある。

## 9. 社会人向け PBL の具体的な内容

ここまでの検討を踏まえ、ソフトウェア・アーキテクト育成のための PBL 型教育において具体的に何をすべきかについて述べる。

### 9.1 開発のプロセスとマネジメント

ソフトウェア開発のためのプロセスについては、いくつかのベスト・プラクティスがある。従来から多様な開発プロセスが提案され、実践されてきている。それらの知見に基づき、抽象性をもって定義してあるのがオブジェクト指向型の開発プロセスである。つまり、伝統的なウォーターフォール型の開発プロセスであっても、オブジェクト指向型の開発プロセスの一部をカスタマイズすれば、それと同じ姿となる。

このことから、オブジェクト指向型の開発プロセスをベースにしながら、新しい開発プロセスを考えさせることが十分に可能である。オブジェクト指向開発プロセスを、具体的な問題の解決にどう適応させるべきか考えさせ、プロジェクトにおける新しいグッド・プラクティスの発見につながるような内容の教育は効果的であろう。

マネジメント手法に関しては、基本的には PMBOK をベースとして利用できる。マネジメントをしっかりとやる場合、5 名程度のプロジェクトではオーバヘッドが大きすぎるとの指摘もあろう。しかしながら、マネジメントのための各種のツールが充実しつつあり、それらを活用すれば克服できる。

### 9.2 ファシリテーション

ファシリテーションの手法はさまざまだが、ソフトウ

ェア開発 PBL においてはレビューとディスカッションが中心となる。

レビューとディスカッションは、特に、アーキテクチャをデザインする場面において重要である。学生がモデルによって表現したアーキテクチャについては、メンバー内と教師で十分にレビューと評価を行なう。

企業における現場のソフトウェア開発においては、納期やリソースの不足から、成果物に対する十分なレビューができていない。教育の場において、そのための時間を設定し、機会を与えることは学生にとって魅力的だろう。

## 10. PBL 型教育に関するまとめ

PBL 型教育のメリットは、グループによる活動を通して、現実のプロジェクトにおける問題解決を実践的に取り組む機会を与えることにある。よって、単に定められたプロセスを提示して、それを実施させるのではなく、できるだけ学習者の創発的な問題解決方法の発見を促す必要がある。

しかしながら、既に実務においてプロジェクト経験している学生に対しては、学部レベルの教育に比べて、より高度なコンピテンシーの育成を狙う必要がある。そのためには、既に一定の効果が確認できている解法についてはある程度教師側が提示した上で、学習者がそれとは別の新しい「発見」や「気づき」ができるような環境を提供するのが望ましい。

よって、ソフトウェア開発を行なう PBL においては、ベスト・プラクティス的な開発プロセスや、マネジメント手法に関しては事前に知識を与え、その活用・応用方法に関して自由に発想させるのがよいであろう。

実務経験を有する専門職に対する効果的な PBL 型教育の姿を模索する試みはまだ始まったばかりである。積極的に他の様々な取り組みを参考にしながら、望ましい教育メソッドを開発していかななくてはならない。

## 参考文献

- [1] 情報アーキテクチャ (Wikipedia) :  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%83%85%E5%A0%B1%E3%82%A2%E3%83%BC%E3%82%AD%E3%83%86%E3%82%AF%E3%83%81%E3%83%A3>
- [2] L. Rosenfeld 他, “Web 情報アーキテクチャ: 最適なサイト構築のための論理的アプローチ (第 2 版),” オーム社, 2003.
- [3] 中嶋聞多, “情報システムの研究『情報社会を理解す

るためのキーワード: 2』,” 培風館, 2003.

- [4] W. ハンフリー, “チームソフトウェア開発ガイド—Team Software Process による開発のすべて,” コンピュータエージ社, 2002.
- [5] F. クリュージュテン, “ラショナル統一プロセス入門,” アスキー, 2004.
- [6] S. アンブラー他, “エンタープライズ統一プロセス,” 翔泳社, 2006.
- [7] [http:// crew-lectures.sfc.keio.ac.jp/gp/](http://crew-lectures.sfc.keio.ac.jp/gp/)
- [8] <http://www.fun.ac.jp/~sisp/index.html>
- [9] <http://www.yamaguchi-u.ac.jp/>

# プロジェクト・マネジメント・オフィス

酒 森 潔\*

## Project Management Office

Kiyoshi Sakamori\*

### Abstract

The focus of the PMO (Project Management Office) is to coordinate and communicate on all programs and projects in the enterprise or company. There are many types of PMO to be the center of excellence that supports the programs and projects. So the clear definitions of PMO and step-by-step implementation of the PMO functions is contribute to achieve successful project completion.

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

### 1. PMO とは

PMO (Project Management Office) とは複数のプロジェクトを総合的に管理したり支援したりする組織のことである。関連のある目標を持つ複数のプロジェクトをまとめたものはプログラムと呼ぶことから、PMO は Program Management Office と呼ばれている。「プロジェクト・マネジメント・オフィス」と呼ぶ場合、単独のプロジェクトのプロジェクトマネージャのサポートスタッフという意味もあり、現在は後者の「プログラム・マネジメント・オフィス」と呼ばれることも多い。

ここでは、名称が「プロジェクト・マネジメント・オフィス」であっても「プログラム・マネジメント・オフィス」であっても、その業務が複数のプロジェクトを対象にするというところが、PMO の唯一の大原則とする。

複数のプロジェクトを対象にするという定義のもとで、PMO にはその設置の目的や所属組織の特徴から、多くの種類が存在する。たとえば、もっとも標準的な PMO として企業の一つのプログラムでそのプログラムに属するプロジェクトを総合的にまとめる役割の PMO がある。さらに、この形式の PMO も、企業レベルの PMO として複数のプログラムやプロジェクトを総括して管理する EPMO (Enterprise Project Management Office) や、事業部レベルで、戦略の策定やプロジェクトポートフォリオ分析などを主要な役目とする部門 PMO、さらに一つのプログラムに所属する PMO などに分類することができる。

また、プログラムというような用語を使わない企業においても、大規模なプロジェクトでは統括 PM を置いて、複数のプロジェクトを管理することはある。このような

場合、統括 PM のスタッフとして複数のプロジェクトマネジメント管理するチームは PMO と呼ぶことができる。この形を発展させると、統括 PM を置かない中規模のプロジェクトにおいても、PM のもとに複数のサブ PM や PL (Project Leader) を管理する PMO も存在するかもしれない。ただし、このレベルまでくると、その PMO の役割が複数のチームを対象とした業務というより、PM の業務を支援する割合が高くなってしまふ。最初に定義した PMO は複数のプロジェクトを支援するという定義から外れた場合は PMO とは呼ばないことにしたい。

また、別の観点から PMO の種類を考えてみよう。たとえば、ソフトウェア開発ベンダなどにおいては、それぞれが別の顧客を対象にする複数のプロジェクトを統括的に管理するような PMO も存在する。このような場合、各プロジェクトの目的は全く独立したものであり、プログラムとは呼べない場合もあるので、PMO は明確に Project Management Office の略であるといえる。一つの企業もとの PMO とは、少し違った視点のプロジェクトの管理が必要な PMO である。

このように、PMO は非常に幅広い仕事を行っており、現在 PMO の仕事の定義や標準化には明確なものはない。もちろん PMO の必要性は認識されつつあり、プロジェクトの成功には不可欠な仕組みと考えら得ている。そこで、PMO を導入し期待すべき成果を得るためには、まずは PMO の定義を行い、PMO で対応する作業を明確にしておくことが重要である。本論文では PMO の業務の定義を行い、組織にとって重要な機能から段階的に導入を進める方法を提言していく。また、異なったプログラムに所属するプロジェクトを統括的に管理するような PMO も存在することから、ここでは PMO とは Project

Management Office の略であると定義する。

## 2. PMO の分類および目的

PMO の種類は PMO の数だけあるといっても過言ではない。それぞれの PMO が独自の目的を持ち同じ PMO は存在しないのである。ただ、その中でも特徴を分析することで、いくつかの PMO の種類に分類することができる。まず、大きな分類の視点として、企業の視点で、ベンダ企業の視点、統括 PM の視点で分類を考えてみよう。

### 2.1 企業の視点での PMO

企業活動を大きく 2 つに分けると、機能型組織で実施する企業活動と、なにか目的を持って開始されるプロジェクト型活動に分けることができる。企業ではこの 2 つのタイプの組織を組み合わせていることが多いが、そのバランスは企業によって異なる。2 つのタイプはどちらも企業戦略のもとに企業に利益をもたらすような効率的な活動を行うという点では共通点がある。その違いは、プロジェクトは独自の成果物を生み出すことと、期間が決められているという点である。また、プロジェクトは目的を達成するために必要に応じてチームが編成されるという点も相違点といえよう。

この 2 つの組織形態を比較した場合、プロジェクト型組織は、必要なときにすぐに活動できるという機動力に優れたところがある半面、機能型組織のように組織的な構造が無く企業戦略に基づいた統制をとることが難しいともいわれている。

そこで、企業の視点では企業戦略のもとにプロジェクト型組織の統制をとることが、企業が PMO に期待するもっとも大きな要望である。つまり、企業戦略の下でのプロジェクトポートフォリオマネジメントや、プログラムレベルでプロジェクトを統括する役割を PMO に求めている。このような PMO 組織は EPMO (エンタープライズ・プロジェクト・マネージメント・オフィス) とも呼ばれ、各プロジェクトに対しては強い検眼を持つ PMO である。

EPMO には企業レベルのものもあれば、事業部や、部門レベルで作られることもあるが、そのもっとも大きな特徴としては、企業の戦略に基づいて活動するという点である。そのためには、プロジェクトだけでなく、機能組織業務も含めた、統括管理が必要である。

### 2.2 ベンダ企業の PMO

プロジェクトの特徴として、必要なときに専門的な人を集めて組織化できるということがあるが、自社に適切

なりリソースが無い場合はプロジェクト要員として社外のリソースを調達することもある。企業によっては戦略的に社内には余分な人をおかず、必要であれば外部からそのプロジェクトのすべてのリソースを調達するというところも多い。

このような特徴から、逆に他社のプロジェクトを請負うことを、その企業の主要業務としている企業も多い。現在、多くのプロジェクトが、その全部あるいは一部を外部委託しているといえよう。

このようなケースでは、プロジェクトを請負う企業内に多くのプロジェクトが存在するわけであり、そのプロジェクトの成否が直接企業の業績に影響を与えることになる。それぞれのプロジェクトは、発注企業の企業戦略や方針のもとに管理されているが、ベンダ企業にとってはベンダ企業としてのポートフォリオがあり、それぞれのプロジェクトを分析したり複数のプロジェクト全体の評価を行うことになる。言い換えると、単独プロジェクトの PM から見ると、自分のプロジェクトを支援する PMO が 2 つ存在するともいえる。

ベンダ企業の視点の PMO の作業は、トップダウン的な企業戦略ではなく、複数の目的の違う独立したプロジェクトに共通な支援環境の構築が中心になる。企業が外部にリソースを求める目的は、そのプロジェクト実行の専門性である場合が多いので、ベンダ企業としては、自社の専門性を高めるような支援をプロジェクトに対して行うことが求められる。

### 2.3 統括 PM としての視点

プロジェクトの組織構造は通常、階層構造になることが多い。大きな目標を持つほど、プロジェクト活動を分割し独立させることが、その成功の秘訣といわれる。このようなケースで、ある目的を複数のプロジェクトに分けた場合、そのかたまりをプログラムと呼びそれぞれ独立して実行させる場合と、幾つかのプロジェクトの同期をとって進めるケースが考えられる。後者のケースでは、プロジェクトを統括する PMO は複数のプロジェクトを統括する統括プロジェクトマネジメントチームという立場になる。

このような PMO は統括プロジェクトマネージャのスタッフとしてのプロジェクトマネジメントの機能が求められる。通常の PMO は継続的な活動であり、その活動中は個々のプロジェクトが不定期に開始されては終了されるが、統括プロジェクトの PMO は期間を持ち目標とする独自の成果物を持つことになる。

PMO の一つの定義として、一つのプロジェクトの中でプロジェクトマネージャのスタッフとして活動するプロジェクトオフィスを示すケースがあるが、このような

PMO をもつプロジェクトが大規模化した場合、統括プロジェクトマネージャのもとでの PMO との境界の定義はなくなると考えてよい。

## 2.4 そのほかの視点での PMO

PMO にはこのほか、特別な目的で作られるものも存在する。たとえば企業において品質の向上という視点でのみ、複数のプロジェクトを支援するスタッフチームが存在し、これを PMO と呼ぶところもある。ベンダ企業においては、複数のプロジェクトのリソースの調製業務のみを専門に行う PMO が組織されるケースもある。このような PMO 活動は、基本的に通常考えられる PMO の仕事と本質的な違いはなく、業務の種類がある目的に特化した PMO であるということである。

このような PMO の場合注意すべきことは、統括的な PMO とこのような個別な目的の PMO が共存するケースである。このような場合、個々のプロジェクトに対して複数の重複した指示や依頼が出ないように注意する必要がある。PMO 間での役割分担の調整が必須である。

## 3. PMO の種類の定義

幾つかの視点での PMO の分類をおこなったが、その分類を考慮しながら PMO の種類を次のようにせいりすることができる。

### 3.1 E-PMO

E-PMO は Enterprise Project Management Office の略である。CIO など企業のマネジメントのもと、企業の戦略の策定やその戦略に基づいて PMO 活動を展開する PMO である。このような PMO はその業務の権限、責任において他の種類の PMO より高いレベルを要求される。また PMO の作業としても一般的な PMO の作業を包含している。この PMO の特徴としては、企業の利益管理など、必ずしもプロジェクトではないような業務も管理対象とする場合があることである。先にプロジェクトが存在し、そのまとめ役として PMO が発生したのではなく、企業の戦略のもとで作られたものであり、その管轄化にはプロジェクト以外の企業活動が含まれる場合もある。

### 3.2 部門 PMO

部門 PMO は、企業の部門の中で、その部門の複数のプロジェクトを管理する PMO である。基本的な作業は E-PMO と変わらないが、企業レベルの責任や権限は有していない。通常は他の部門の PMO と競合することは少ないし、E-PMO が存在しない場合に設置されるケー

スが多い。もし E-PMO も存在する場合や、業務上他のプロジェクトとの接点がある場合は、調整作業が必要である。

まれに大きな企業において E-PMO の下部組織として活動する部門 PMO が存在する場合がある、このケースの特徴は、PMO 中の組織構造が階層化したり、分散化する例がある。E-PMO と部門 PMO の役割分担は、対象とするプロジェクトの規模でおこなっているところが多い。

### 3.3 PM のスタッフ

PM のスタッフとしての PMO は通常は統括プロジェクトマネージャのスタッフとして活動し、傘下のプロジェクトを管理する。複数のプロジェクトを管理するという点では、部門 PMO との共通点も多いが、期間や目標成果物があるプロジェクト活動であることがおおきな違いである。このタイプの PMO は、統括プロジェクトの責任チームとして、各プロジェクトの管理権限も、責任も非常に大きなものになる。

単独プロジェクトにおいて統括 PM とは呼ばないような PM スタッフとして活動する PMO も、管理する対照があるかたまりのサブプロジェクトであり PMO としての活動の要素は数多くある。

このような PM のスタッフとしての PMO の活動の特徴は、通常の PMO が PMO 業務と PM 業務を明確に区別して、PMO 業務に専念していることに対して、PM スタッフとしての PMO は PM の業務と PMO の業務の区別がわかりにくいという特徴がある。

### 3.4 専門型 PMO

プロジェクトの品質管理のみを行う PMO のように、通常の PMO の業務の一つを単体で行う PMO である。PMO とは呼ばないこともあるが、作業内容は PMO の仕事である。このような PMO は、企業における PMO 設立の過程で存在することが多い。特に多くの企業においてプロジェクトの品質を高める活動は従来から行われており、このような PMO の存在は多い。最近はこのような品質に特化していた PMO がポートフォリオ分析など上流の PMO 活動を取り込み始めている。

専門型 PMO の例としては、このほかにプロジェクトマネジメントツールの導入と普及活動を行うもの、リソース管理を行うもの、PM 教育を専門に行うものなどが考えられる。また、2000 年問題対応や法改正対応などについて、一種のプロジェクトのような目的で構成される専門型 PMO も存在する。



### 3.5 ベンダ企業の PMO

他社のプロジェクトを請けることを生業としている企業の PMO である。このような企業において複数のプロジェクトを総合的に管理する必要性は非常に高く、PMO 活動そのものが企業活動の重要な位置づけになっている。PMO 活動の目的はプロジェクトの収支に関するものが多いが、品質管理活動も重要である。また、企業内の PMO と同じように、各プロジェクトの効率を高めるための標準化や、PM の育成活動なども行われる。

また、ベンダ企業の PMO として特徴ある業務として、プロジェクトのオポチュニティ分析がある。マーケティング活動ともいえるが、まさに企業活動ともいえるが、将来のプロジェクトの読みや、候補プロジェクトのステータス管理などを行う PMO 活動も存在する。

これらの特殊な業務はその重要性から、専門型 PMO として独立して活動するケースもある。

発注元からプロジェクトを一括して請け負う場合は、プロジェクトマネージャは発注もとのポートフォリオマネジメントや PMO に対応すると同時に、ベンダである自社の PMO の要請にも対応しなければならないことも多く、その分の負荷について考慮が必要である。

## 4. PMO の業務要素

いろいろなタイプの PMO が存在するが、それぞれが行う個別業務には共通点が多い。ここでは PMO の業務とされている作業を個別に整理してみよう。それぞれの PMO がこの作業全てを行うものではない。これらの業務は PMO の設立の目的により選択されるものであり、また PMO の成熟度合いによって行う内容も変わるものである。

### 4.1 プロジェクトポートフォリオマネジメント

一つの企業の上位に位置して、企業の戦略のもとにプログラムやプロジェクトの優先順位や組み合わせを決定する業務である。優先順位を決定するためには、単に企業戦略策定や企画力だけでなく、想定されるプロジェクトのリスクや実現可能性評価能力が必要とされ、PMO という戦略的チームに期待が高まっている。ポートフォリオマネジメントは CIO スタッフや企画部門などトップマネジメント直属の部隊が行うものであるが、プロジェクトの企画能力を必要とすることから PMO の仕事として位置づけるところも増えてきている。

また、通常プロジェクトポートフォリオマネジメントはプログラムやプロジェクトだけでなく、企業活動の常設組織の戦略も含めたものになるものであり、PMO には企業戦略の観点での判断能力も求められる。

ベンダ系の PMO におけるプロジェクトポートフォリオマネジメントは、プロジェクトそのものが商品であり、マーケットのオポチュニティ分析の位置づけになることもある。このような場合はプロジェクトポートフォリオマネジメントというよりも、プロジェクト一つ一つを企業の商品に見立てたプロダクトポートフォリオマネジメントの観点が大きいこともある。

### 4.2 プロジェクト戦略策定

ポートフォリオマネジメントの一種ともいえるが、プログラムやプロジェクト活動の観点から戦略的な活動を行うものである。たとえば、企業のプロジェクトの組織をどのような形にするのか、総合的・戦略的観点で検討し提言していく作業がある。また、プロジェクトの総合的な投資額をどのようにしていくのか、予算措置の仕組みをどのように行うのかファイナンス的な方針を決め実践することもある。また、将来的にはグローバルな展開を考慮した企業方針を検討し策定することも行われる。

ポートフォリオマネジメントが、企業の中長期戦略に基づいてプログラムの選択を中心に行うことに対して、プロジェクト戦略策定は、中長期戦略に基づいてプロジェクト全体を統率するような仕組みや方針を策定するものである。

### 4.3 プロジェクトの企画・提案

これも広い意味ではポートフォリオマネジメントの一部であるが、ポートフォリオマネジメントを意識していないような企業においては PMO にプロジェクト企画業務を置く場合も多い。全社レベルや部門レベルで策定した中長期戦略に基づき、その戦略を実現するためのプログラムやプロジェクトを企画・立案する業務である。

常設の PMO を持つ組織は、企業の定期的な戦略策定サイクルの中で PMO がプロジェクトの企画をおこなう。このような場合は PMO の中長期計画に基づいた個別プログラムやプロジェクトの企画ということになる。しかし、ある戦略にもとづいて PMO が同時に立ち上げる場合もある。この場合は PMO そのものもプロジェクトであり、PMO もある目的を持って立ちあげられ、そのプログラムが終了したときに解散される。

プロジェクトの企画作業においては、プロジェクトマネジメント能力、とりわけ、プロジェクト計画能力が求められる。また、プロジェクトの実施の判断を行うために、企業内で上位マネジメントに対して PMO がプロジェクト企画の売り込みや、社内承認プロセスを引き受けることもある。

#### 4.4 プロジェクトマネージャのアサイン

企業の組織形態によっては、すべてのPMがPMOに所属し、PMOから各プロジェクトに派遣される方式をとっているところがある。この場合、PMが同じマネジメントのもとに所属しているため、PMやプロジェクトの比較評価が容易である。PMの高いモチベーションも維持できる仕組みである。

またプロジェクト開始時はPMをPMOからアサインすることは無いが、プロジェクトに大きな問題が発覚した場合、火消しやレスキューのためにPMを派遣する場合もある。この場合、レスキュー用のPMを常に配備しておくことは難しいので、PM経験や知識の豊富なPMOスタッフを送り込むことになる。

#### 4.5 プロジェクト要員のアサイン

プロジェクト・マネジメント・オフィスの重要な仕事の一つに、プロジェクトへ要員をアサインする業務がある。プロジェクトの要員は複数の機能部門から集められることが多いので、プロジェクト間での要員の割り振りを調整する第三者的役割が必要となる。PMOはこれから予定されているすべてのプロジェクトの状況や要員の空き具合を把握しておき、プロジェクトへの割り振りを行う。

通常、このような業務を行うPMOは企業組織の中で非常に強いマネジメント権限を持つことになり、上位マネージャのもとに所属することが多い。

プロジェクトを請け負うことを生業としているベンダ系企業では、リソースマネジメントは最適な要員配置によるプロジェクト全体の成功を目的とするとともに、企業経営的な観点で要員の稼働率を管理することも必要になる。要員を効率よく稼働させることが企業の利益に直結するような企業では、この役目は企業戦略レベルで非常に重要なものとなる。このような形態での要員の管理業務では、要員の稼働率を組織のキーパフォーマンス指標として重点的に管理しているところもある。

#### 4.6 プロジェクト全体のスケジュールや進捗管理

一つのプログラムのもとに所属しているプロジェクトを管理するPMOは、プログラムレベルでのスケジュール管理を行う必要がある。この場合は、プログラムという単位のマスタースケジュールを作成し、そのスケジュールをもとに進捗を管理する。この業務は一つのプロジェクトにおける進捗管理と同じものと考えることができ、WBSなどプロジェクトマネジメントの手法を使うことができる。

ベンダ企業のPMOやユーザ企業であっても全社レベルのE-PMOなどでは、管理しているプロジェクト間の

関係は無い場合も多い。このような場合のスケジュール管理は、「現時点で遅れているプロジェクトが何件ある。」といったプロジェクト全体の統計的な管理を行うことになる。この数字は品質やコストなどほかの情報とあわせてまとめられることが多い。

#### 4.7 プロジェクト全体のコスト管理

これは、複数のプロジェクトを統括してコスト管理を行う業務である。単に各プロジェクトのコストの予実管理を行うものから、共通コストなどをPMOにプールして管理するケースもある。たとえば、共通会議室や通信費などから、トラブルプロジェクトへのレスキューPM派遣費用などをPMOが管理する。

通常PMOの予算は、個々のプロジェクトとは別予算で管理されるが、その予算はいったん企業の上位組織が負担し、それを各プロジェクトに賦課するケースや、PMOが個別にプロジェクトから管理費用をとるケースも存在する。

また、各プロジェクトのコスト管理が適切に行われ、予定通りに進んでいるプロジェクトの数などを統計的に収集し分析することをPMOのコスト管理と定義する場合もある。

#### 4.8 プロジェクト全体の品質管理

この機能が、実務で存在するPMOの機能としてもっとも多いと考えられる。もともと、複数のプロジェクトの品質の底上げを目指して、社内のプロジェクトを横串にして品質を高めるための組織は多くの企業に存在していたものが、PMOと呼称をかえるようになったものが多い。

品質管理そのものは、個別のプロジェクトの中で行う必要があるものであり、PMOそのものが直接品質管理の対象ではない。

PMOで行う品質管理は、個々のプロジェクトに提供する品質管理手順の標準化を行い、すべてのプロジェクトの品質を高めることにある。そのためには、品質レビューの種類と時間の決定、フェーズの終了完了基準、テスト方針標準、テスト計画標準などの策定を行うことが重要である。

#### 4.9 プロジェクト標準の策定

プロジェクト全体の質を高めるために、もっとも効果が期待され、PMOの役割の基本とされるものが、プロジェクト標準の策定である。プロジェクト標準を制定する目的は大きく2つ考えられる。

その第1は、標準を決めることで、経験の浅いプロジェクトマネージャの技術不足を補い、管理下のプロジェ

クト全体のレベルの均一化を狙うものである。対象とする標準は、プロジェクト計画書をはじめとするすべてのプロジェクトドキュメンテーションや、手順書である。どのような標準が有効かはその組織の状況や分野によって異なるので、PMO は必要な標準について調査し優先度の高いものから策定しなければならない。標準に盛り込む内容の深さも PMO が置かれた環境によってことなる。

もう一つの標準は、プロジェクト全体の進捗や品質の管理の観点から、用語を統一したり報告のフォームを統一するためのものである。このタイプの標準は個々のプロジェクトの作業負担が増す場合もあるが、企業全体や、プログラムマネジメントの視点では最低限必要なものとなる。

2 種類の標準のどちらにも当てはまることとして、標準の強制力がどの程度のものかということも重要な取り決めとなる。その標準に絶対的に従わなければならない強制力のある標準は、PMO が全体把握を行うことが目的となることが多い。これに対して強制力のない、いわば、プロジェクト作業に必要なドキュメントやツールのテンプレートとして提供する標準もある。このようなテンプレートとしての標準は、個々のプロジェクトはその標準を使うか任意に決めることができる。

たとえば、社内情報システム部門の PMO は、開発手順や開発環境が類似したプロジェクトを管理することから、強制力の高いプロジェクト標準を制定することで、社内全体のプロジェクトのレベル向上に非常に高い効果が得られる。これに対して、ベンダ企業の PMO は複数のタイプの異なるプロジェクトを管理することから、複数のテンプレート的な標準を準備しておき、プロジェクトの種類によって選択する方式がある。また、このようなタイプの異なるプロジェクトでは、複数のプロジェクトを統括的に管理するという観点で、粒度は荒いがポイントを押さえた標準を制定することも重要である。

#### 4.10 プロジェクト課題管理

PMO の仕事に、課題管理は不可欠である。PMO の行う課題管理の目的は、個々のプロジェクト内の課題管理を推進することもあるが、プロジェクト間に落ちる課題を拾って管理する目的が大きい。

そういう観点では PMO チーム内での課題管理を行うことが最低限必要であり、できれば各プロジェクトの課題管理が標準化され、全体が PMO の課題管理に集約されるような仕組みになるのが好ましい。

企業のプログラム単位の PMO や統括 PM のスタッフとしての PMO はこのような PMO から末端のプロジェクトの課題管理まで連携した課題管理が必要であるし、

ベンダ系 PMO においてはプロジェクト間の問題は比較的少ないので PMO 内の課題管理に焦点をあてる方法で行われる。

課題管理とともに、リスク管理や問題管理も必要である。リスク管理は、現在は発生していないが将来発生する可能性のある問題や課題に対する方策を考えることであり、問題管理は現時点で問題として認識されたことに対する対策を管理するものである。課題管理は、現時点で問題ではないがやるべき項目として重点的その実行や完了を把握する必要のある項目である。この3者は区別しにくいこともあり、全体を広義の課題管理として取り扱うことも可能である。

PMO は統括的な視点での課題管理の手順やフォームを制定し運用していく役目を持っている。

#### 4.11 プロジェクトレビュー

プロジェクトレビューの目的は様々である。各プロジェクトの進捗管理の観点、プロジェクトの品質の観点、コストの観点といった最低限のプロジェクト活動のレビューから、プロジェクトの実現可能性のレビュー、特殊な技術に関するテクニカルなレビュー、ベンダ系企業におけるビジネスの視点でレビューなど様々な目的のレビューが存在する。

PMO はレビューの種類とその手順について標準を作成し、運営する役目を持っている。このようなレビューの頻度や内容の深さは、強制力を持った標準とともに、個々のプロジェクトの負担となる可能性も持っている。プロジェクトの状況や、全体最適の観点に必要なレビュー方式を決める必要がある。

#### 4.12 プロジェクト要員の教育

各プロジェクトのレベル向上を主要な目的とした PMO の場合、プロジェクト要員の教育は非常に重要である。本来個々のプロジェクトや、要員の所属組織において要員のキャリアなども考慮した育成プランを持つべきであるが、プロジェクト遂行能力に関しては、PM 教育をはじめ、各要員の技術教育を含めて PMO の役割としているところが多い。

教育の内容や目的は、さまざまであるがプロジェクト間で共通なことが中心になる。とりわけ、PMO が提示している準拠すべきプロジェクト標準やそのほかの標準についての教育は、PMO が責任をもって開催すべき項目である。

教育コースのインストラクタは PMO のメンバが担当する場合もあるが、必要に応じて外部から講師を招聘し実施する場合もある。

#### 4.13 プロジェクトの完了評価

プロジェクトの最終レビューや、各種標準書による最終報告によってプロジェクトの終了状況を評価することも PMO の業務の一つである。これは、個別プロジェクトの定期的な進捗レビューの最終レビューや最終報告とみなすこともできるが、プロジェクトの終結を確認するという観点で、PMO の一つの業務とみなすべきである。

プロジェクトの規模やタイプによっては、中間のレビューや標準にのっとった報告書の提出は行わないケースもありえるが、プロジェクト完了の報告は最低限必要である。そのための報告フォームや最終レビューの手順を PMO は制定しておく必要がある。

重要なプロジェクトは、プロジェクト終了後に事後報告を受け付けるのではなく、プロジェクト終結にむけての作業の直前に、その準備状況をレビューし必要な提言を行う必要がある。

#### 4.14 プロジェクト情報完了情報の集約と分析

プロジェクト完了にあわせて、必要とするプロジェクトパフォーマンスデータを収集する。このデータは、PMO 内で集約し統計的な処理を行った後、将来のプロジェクト見積もりや、企画段階において参照できるように蓄積することが重要である。

将来の分析に必要とすることから、すべてのプロジェクトの報告データの質に一貫性が必要になる。そのためにプロジェクト標準の中で最終報告の様式を細かく指定するとともに、

#### 4.15 プロジェクト支援活動

これまでのすべての作業項目がプロジェクト支援活動と呼べるものであるが、ここでは狭義のプロジェクト支援活動を定義する。PMO の目的のひとつに、複数のプロジェクトの支援があるが、もう少し具体的に言うと一つのプロジェクト内では対応できないものや、プロジェクト共通に行うべきものは PMO の支援活動に含まれるということである。

たとえば、共通の会議室の予約システムの提供、ネットワーク環境の提供などがこれにあたる。

この支援活動は、庶務や総務的な仕事になりがちなので注意する必要がある。企業や団体によってはこのようなプロジェクト支援組織が機能していない場合もあり、プロジェクトに関するすべての支援依頼が PMO に期待されるケースがある。個々の支援依頼に対して、課題管理や問題管理を経てその必要性や、対応者を明確にして必要に応じて慎重に対応することが重要である。

### 5. PMO 立上の標準化

各組織体で PMO を立ち上げる手順について考えてみたい。これまでの章で述べたように、PMO の仕事は多様であり、それぞれの設置組織体の環境や設置目的によって業務内容は異なっている。さらに、一気にすべての PMO 業務を活動させるのではなく、段階的に一つ一つの業務を立ち上げ定着させていくことが重要である。以下に PMO の立ち上げ手順について考えてみよう。

#### 5.1 PMO の目的決定 (PMO 憲章策定)

PMO を立ち上げるにあたってまず行うべきことは PMO 検証の策定である。プロジェクト検証はプロジェクトのスポンサーが作成するもので、プロジェクトを定義し PM に権限を与えるものである。PMO の種類で一つのプログラムを管理する PMO や統括 PM のスタッフとしての PMO は、期間や目標が明確な PMO 憲章が上位組織によって作成されることもある。

#### 5.2 目的から PMO の方針決定

PMO はその企業のプロジェクトの状況に応じた目的を作り、方針を決定する。この方針は上記の PMO 憲章に記述されるものである。また、定常的な PMO 組織では PMO の長期方針が、企業の戦略策定サイクルに合わせて作成される場合もある。

#### 5.3 PMO 業務の洗い出し

PMO の業務としてどのようなものがあるか、洗い出す作業である。第 4 章で挙げたような一般的な PMO 業務の一覧をもとに検討することが可能であるが、あわせてそれぞれのプロジェクトの状況や特徴も考慮すべきである。

#### 5.4 業務の優先順位づけ (ポートフォリオ分析)

PMO の業務一覧が完成したら、対象とする組織における各業務の必要性や有効性を考慮して優先順位を作る。この場合、単に業務の重要性だけでなくその実現性や企業戦略や方針などの要素も加味しなければならない。また、長期展望に立って段階的な PMO 業務の立上も計画も必要である。その企業のプロジェクトの状況に合わせた最適な PMO 業務の選択がこのあとの PMO 活動の評価に密接に関係してくる。

#### 5.5 PMO 業務評価指標作成

優先順位を元に PMO 業務の導入手順が確立されたら、それぞれの業務の評価指標を作成する必要がある。たとえば品質に関する標準を作成する場合、品質レビューの

回数目標やレビュー実施率が考えられる。これらの指標の中には個々のプロジェクトを評価するものもあれば、統括的なプロジェクト全体を評価するような指標も存在する。

### 5.6 個別業務の手順定義

PMO の立ち上げにおいて、もっとも重要で時間を要するのが、業務手順の作成である。この中には各プロジェクトに標準として提供する資料なども含まれているが、そのためにはある程度のプロジェクト経験が必要になる。これまでプロジェクト経験から作り出された利用可能でかつ効果のある標準が提供できるように心がけなければならない。

そのためには、安易な標準を作成しないためにも、PMO 自ら標準を勉強したり、多くの経験者の知恵を借りて作成すべきである。また、一度に多くの手順の作成は難しいので、効果のあるものから段階的に作っていくことも考えなければならない。

### 5.7 運用開始（段階的立上とリリース）

PMO の作業内容の定義ができたものから順次運用を開始する。単に標準や業務手順書を作成するだけでは PMO 活動はうまく回らない。PMO 活動を軌道に乗せその効果を上げていくためには、各プロジェクトへの啓蒙活動が必要である。PMO がプロジェクトの上位組織に位置する場合は、強い強制力を持って活動できるが、プロジェクトと横並びだったり、プロジェクトのサポート部隊という位置づけであると、プロジェクト全体の統制が難しい。運用開始に当たっては、各プロジェクトチームにその有効性を説明し協力を呼びかけるような活動も必要になる。プログラム全体のレベルを高めるという目標からは、ある程度プロジェクトの負担が増えても全体での効果があることを訴えて、ある程度の強制力の発揮も必要である。

### 5.8 評価

評価には PMO の業務としてのプロジェクト個々の評価やプログラム全体の評価があるが、さらに PMO の活動そのものの評価も含まれる。評価指標を事前に作成しておき、その指標に基づいた評価を行うという方法がもっとも標準的な方法である。

### 5.9 定着のための是正措置作成

評価の結果是正措置を講ずることになるが、プロジェクト個々の評価はそれぞれのプロジェクトの指標として活用させる。またプロジェクト全体の評価指標によっては、その是正策はプロジェクトにフィードバックするも

もある。あとはこのような個々のプロジェクトの問題も含めて、PMO 全体としての評価とその是正策の提案が必要である。

また、是正策は PMO 活動全体を通じていつでも対応できるものと、ある程度の集計結果をもとに次の PMO の作業サイクルで対応するものも考えられる。

### 5.10 PMO の業務拡大（次のステップ、PMO 憲章変更）

評価や是正策を考えたら、次は PMO の業務拡大や、現在実行中の業務のさらなる品質向上を考える必要がある。これまでの評価指標と改善策を 5-1 の PMO の目標や憲章作成/見直し処理に渡して一連の作業を終了する。

## 6. クロージング

今回は PMO の定義とその定義に向かったの立ち上げの方法について総括的にまとめた。PMO をこれから立ち上げようと考えている方、すでに PMO 活動をしているが、さらにより PMO 活動を目指している方には、頭を整理する意味でぜひ熟読していただきたい。

今後の展開としては、この PMO の定義をさらに研究し充実させるとともに、多くの PMO で活用できるテンプレート集を作成していきたい。

### 参考文献

- [1] Jolyon Hallows, "Project Management Office Toolkit," 株式会社テクノ, 2005.
- [2] Victoria Kumar, "The needs for a PMO – From a Consulting Company's Perspective," PMI global congress, 2007.

# ITSS-DS を活用した大学院学生スキル診断の試み

戸 沢 義 夫\*

## A trial diagnosis of graduate students' skills by ITSS-DS

Yoshio Tozawa\*

### Abstract

Most graduate students of Advanced Institute of Industrial Technology are social workers in variety of enterprises. Their experiences are not limited to IT related jobs but extended to many other jobs. It is high demand of teachers to know students' skills and knowledge which they currently have. ITSS-DS is a tool to diagnose IT skill levels of individuals, which conforms on IT skill standard. This paper reports on results and findings of application of ITSS-DS to our graduate students.

Keywords: IT スキル標準, ITSS-DS, スキル診断, skill level, competency, project based learning

### 1. はじめに

産業技術大学院大学が開学して1年になるが、本学の学生は大半が社会人であり、大学時代の専門も工学系とは限らずさまざまである。また、会社の中でITに関連した仕事をしている学生であっても、社内研修や仕事を通じて身に付けた経験や千差万別である。学生に期待できる知識レベルがある程度想定できる通常の大学とは違い、学生が過去に学んだこと、既に知っていることは何かを把握するのは極めて困難である。

この1年間、講義を通じて驚いたのは、予想以上にITの基礎知識を持っていない学生が多いことである。確かに、彼らはITの基礎教育を受ける機会を持たなかったのも事実である。学生の理解力に合わせた適切な教育を行うには、学生の知識レベルを知る必要があり、入学時になんらかの方法で調査する必要性が生じていた。

しかし、学生の知識レベルを調査するのは簡単なことではない。学生に負担がかからないように調査を実施するには、1時間程度の作業で終わる必要がある。試験で知識レベルを調査しようとする、1時間は非常に短く意味ある結果が得られるような問題を作成できるかどうか疑問であった。

#### 1.1 ITスキル標準 (ITSS)

本学では「情報アーキテクト」と呼ばれるスーパープレイヤーの育成を目指している[1]。情報アーキテクトとは、高度な専門知識とノウハウに裏付けられた卓抜した業務遂行能力を持つ専門技術者である。一方、経済産業省は高度なIT人材の育成を目的として、IT人材に求められるスキルを整理、体系化する必要があると考え、

2002年12月に「ITスキル標準」を発表した。その後、情報処理推進機構が大幅な改訂を行い「ITスキル標準V2」を2006年4月に発表している[2]（現在は2006年10月にオペレーション職種の部分が改訂された「ITスキル標準V2 2006」）。

情報アーキテクトとITスキル標準で定義されている職種を比べると、本学が対象とする職種は次の6つになる（図1）。これらの職種の詳しい説明は末尾資料4に示してある。

- コンサルタント
- ITアーキテクト
- ITスペシャリスト
- ソフトウェア開発
- アプリケーションスペシャリスト
- プロジェクトマネジメント

（注：情報アーキテクトとITアーキテクトはしばしば混同されて使用される場合があるが、ITアーキテクトはロールを表しており、情報アーキテクトが持つ「スーパープレイヤー」の意味を含まない。）

#### 1.2 ITスキル標準と本学（情報アーキテクト専攻）カリキュラム

本学で最も関係が深いと思われる職種はITアーキテクトであり、現在のカリキュラム[3]は2002年に発表されたITスキル標準（バージョン1）を意識して作られている（図1）。バージョン1では、ITアーキテクトの専門分野は、アプリケーション、データサービス、ネットワーク、セキュリティ、システムマネジメントの5つであった。しかし、バージョン2になって、ITアーキテク

| 職種       | マーケティング                                     | セールス                         | コンサルタント                                    | ITアーキテクト                   | プロジェクトマネジメント                          | ITスペシャリスト  | アプリケーション開発  | ソフトウェア開発                   | カスタマーサービス                           | ITサービスマネジメント                   | エデュケーション                  |                            |
|----------|---|------------------------------|--|----------------------------|---------------------------------------|--|---|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 専門分野     | マーケティングマネジメント<br>販売チャネル戦略<br>マーケットコミュニケーション | 訪問型製品セールス<br>訪問型コンサルティングセールス | IT(Business Transformation)<br>メディア利用型セールス | パッケージ適用<br>アプリケーションアーキテクチャ | インフラストラクチャアーキテクチャ<br>インテグレーションアーキテクチャ | システム開発<br>ITアウトソーシング<br>システム開発<br>ソフトウェア製品開発<br>ネットワークサービス | プラットフォーム<br>システム管理<br>データベース<br>ネットワーク<br>分散コンピューティング<br>セキュリティ | 業務パッケージ<br>業務システム<br>基本ソフト | ハードウェア<br>ソフトウェア<br>ミドルソフト<br>応用ソフト | 運用管理<br>ファシリティマネジメント<br>ソフトウェア | オペレーション<br>システム管理<br>運用管理 | 研修企画<br>サービスデスク<br>サードパーティ |
| ハイレベル    | レベル7  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |
|          | レベル6  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |
|          | レベル5  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |
| ミドルレベル   | レベル4  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |
|          | レベル3  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |
| エントリーレベル | レベル2  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |
|          | レベル1  |                              |  |                            |                                       |  |   |                            |                                     |                                |                           |                            |

図1 ITスキル標準で定めているキャリアフレームワーク。波線部分が本学と大きく関係する部分。

トの専門分野は抜本的な見直しが行われ、アプリケーションアーキテクチャ、インテグレーションアーキテクチャ、インフラストラクチャアーキテクチャの3つに再定義された。このため、来年度以降は現行カリキュラムを見直し、情報アーキテクトの持つべき知識とスキルを明確にした上で、新たなカリキュラムを作成するべく作業を進めている(図3)。

本学のカリキュラムの特長[4]は、教育の重点が「知識」だけではなく「業務遂行能力(Competency)」にある点

である。業務遂行能力は、知っている知識を実際に応用して問題解決を前進させる力である。そのために、本学ではPBL(Project Based Learning)という教育方法を取り入れている。数人のチームがプロジェクトを結成し、プロジェクトに与えられた課題や目標を達成するアクティビティを通じて、業務遂行能力を身に付けさせる教育方法である。プロジェクト活動により、リーダーシップ、コミュニケーション、ネゴシエーション能力が向上すると考えているが、これらは講義による座学では教育しに

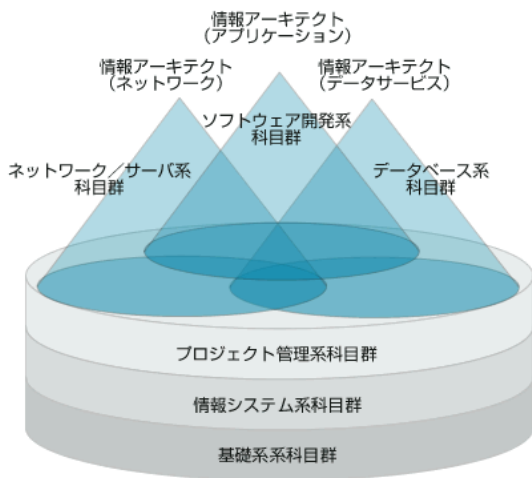


図2 本学の現行カリキュラム体系

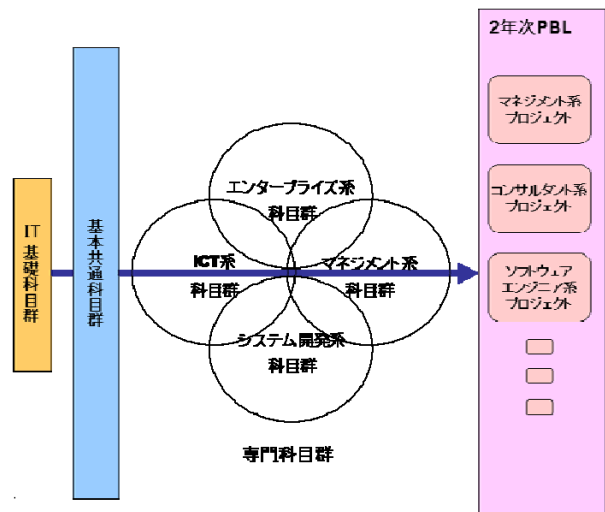


図3 現在検討中の新カリキュラム体系

くいものである。

### 1.3 ITSS-DS (IT スキル診断)

ITSS-DS は、IT スキル標準に準拠して、IT エンジニアを対象としたスキル診断を行うシステムである。日経 BP 社、ザ・ネット、日経 BP マーケティングが設立した任意団体、IT スキル研究フォーラム(iSRF)が運営している[5]。

ITSS-DS は、企業が自社と社員のスキル・レベルを正しく知るためのツールとして開発されたものである。質問数は 200 問弱、平均 30 分程度と短時間で受診できるのが特長である。企業にとっては、会社が必要としているスキルプロフィールと、実際の社員が保持しているスキルの差（ギャップ）を知ることは大事であり、ギャップがわかれば人事戦略・人事施策に反映させることが可能になる。ITSS-DS は社員スキルプロフィールの可視化機能があり、IT スキル研究フォーラム会員全体（約 2 万 4 千人）のスキルプロフィールとの比較ができるようになっている。

企業向けに開発されたツールがどの程度大学院学生のスキル診断に役立てられるかは未知数であったが、受診時間が 1 時間以内というのは、入学式直後に実施するには適切である。同様のスキル診断ツールは他社でも開発されているようだが、他社ツールとの比較検討はせず、とにかく ITSS-DS を使ってみることにした。

## 2. スキル診断

### 2.1 スキル診断の準備

スキル診断を行いたい動機は、入学時の学生の知識レベルを知りたいということがきっかけであったが、もうひとつ、本学の教育が学生のスキル向上に効果を上げていることを確認したいという意味もある。学生のスキル向上を把握するには、入学時だけでなく、学年終了時にも同じスキル診断をする必要がある。毎年実施していくことを視野に入れて、新入生と 2 年生合わせて全学生に対して実施することにした。スキル診断は通常の教育プログラム外であるため、時間がとれるのは、入学式直後（新入生）と 2 年次ガイダンス説明会前（2 年生）の 1 時間半に限られていた。

学生から見た場合、スキル診断は質問に回答する形態であるためテストと誤解してしまう心配がある。テストであれば成績に反映されたり、科目履修の前提になったりする。スキル診断での回答は自己申告方式でありテストとは大きく違う。そのため、①診断はテストではありません、②履修科目、修了要件、PBL プロジェクト配属などには一切関係ありません、③やむを得ない事情で診

断時欠席の場合でも不利な扱いを受けることはありません、これらのことを周知するように努力した。

### 2.2 スキル診断の実施

スキル診断は本学 PC 教室で行った。操作方法を記述した用紙を配布し、それに従って操作すればスキル診断が完了する。回答すべきことは、次の 4 つであり、すべてマウス操作による選択方式で回答するようになっているため、1 時間程度で回答できる。

- ①自分について：業界での経験年数、社会人になってからの年数、現在（将来希望）職種／専門分野、保持している資格
- ②コアスキル診断（72 問）
- ③全職種共通テクニカルスキル診断（40 問）
- ④職種別：専門テクニカルスキル診断（40 問前後）
- ⑤達成度指標診断（約 20 問）
- ⑥知識診断（8 問）

## 3. スキル診断結果の解釈と活用方法

### 3.1 ITSS-DS が提供する診断結果

ITSS-DS は被診断者の回答からその場で次の診断結果と回答信頼度が計算される。自己申告型の診断なので回答内容に矛盾が含まれていると判断されると信頼度が低くなる。

- ①スキルレベル
- ②スキル熟達度
- ③診断結果詳細
- ④知識診断結果

今回のスキル診断では、スキル診断結果をどう解釈すべきかがわかっていなかったため、学生には診断結果を見るようにはガイドせず、約 1 ヶ月後に診断結果の見方、活用方法についてのガイドを提示した。

### 3.2 知識診断結果

ITSS-DS には知識診断質問が 8 問含まれている。知識診断は、他の質問を回答した後、最後に回答するようになっている。質問は職種／専門分野で固定してではなく、回答から計算されるレベルに依存して質問が選ばれるため、全部で 72 パターンある。問題数が少ないこともあり、パターンごとの平均点などもわからないため、個人の点数がわかっても、知識レベルの判断には使えない。

学生にとっては、答えを間違った場合の正解を知ることによって知識が増えるという意味はある。しかし、教員から見ると、学生の知識レベルを知る手段としては使えないため、期待はずれであった。



### 3.3 診断結果詳細

診断結果詳細では、コアスキル、共通テクニカルスキル、専門テクニカルスキルについてそれぞれスキル項目が定義されており 0～100 点で評価される。これらのスキル項目は ITSS-DS 独自のもの（ノウハウ）であり、IT スキル標準で定義されているものではない。

本学では、学生が診断結果を活用するために、これらの項目について、本学平均点（受診者 92 名）、全国平均点（約 24,000 名）、目標値（ITSS-DS で ITSS 基準のレベル 4 以上と判定された約 3,300 名の平均値）を同時に示した。全国平均値と目標値は ITSS-DS から提供される。学生は自分の点数を知ることができ、それらを本学平均点、全国平均点、目標値と比較することでどのスキルを伸ばすことに着目すべきかがわかる（図 4）。

- 平均 56.8) (目標値 76.2)
- ②ロジカル・アプローチ (本学平均 69.5) (全国平均 63.8) (目標値 79.9)
- ③リスクマネジメント (本学平均 64.1) (全国平均 58.5) (目標値 75.4)
- ④パートナーシップ (本学平均 66.8) (全国平均 63.7) (目標値 73.2)
- ⑤セルフコントロール (本学平均 67.1) (全国平均 61.7) (目標値 75.3)
- ⑥チームデベロップメント (本学平均 72.3) (全国平均 65.8) (目標値 79.8)

#### 3.3.2 共通テクニカルスキル

● 工程別スキル

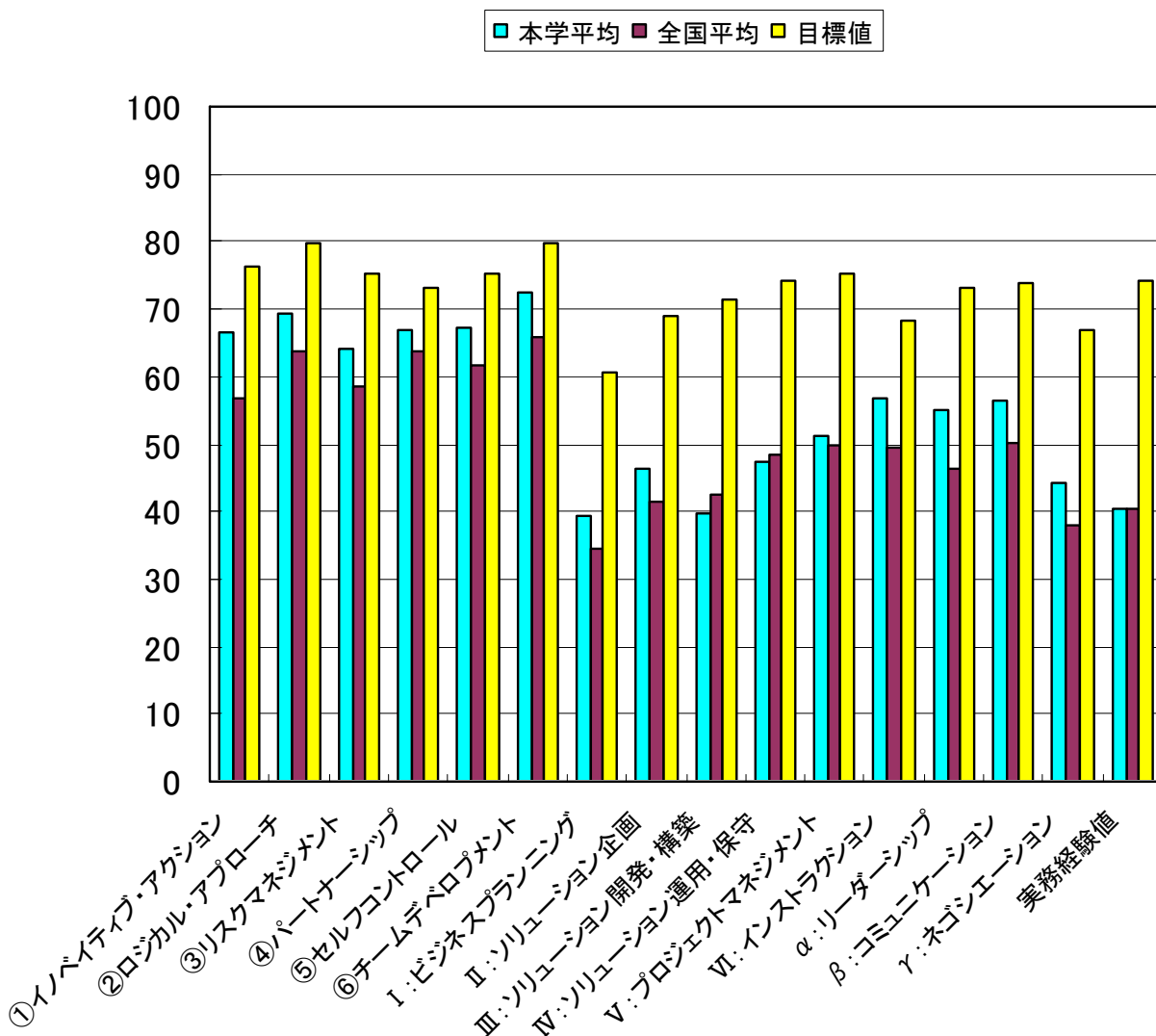


図 4 スキル項目別本学平均値の比較

#### 3.3.1 コアスキル

①イノベティブ・アクション (本学平均 66.6) (全国

34.4) (目標値 60.6)

- II : ソリューション企画 (本学平均 46.4) (全国平均 41.6) (目標値 69.0)
- III : ソリューション開発・構築 (本学平均 39.8) (全国平均 42.5) (目標値 71.4)
- IV : ソリューション運用・保守 (本学平均 47.4) (全国平均 48.4) (目標値 74.3)
- V : プロジェクトマネジメント (本学平均 51.3) (全国平均 49.9) (目標値 75.3)
- VI : インストラクション (本学平均 56.8) (全国平均 49.6) (目標値 68.4)
- ビジネススキル
  - α : リーダーシップ (本学平均 55.2) (全国平均 46.5) (目標値 73.1)
  - β : コミュニケーション (本学平均 56.4) (全国平均 50.1) (目標値 74.0)
  - γ : ネゴシエーション (本学平均 44.4) (全国平均 37.9) (目標値 66.9)

### 3.3.3 専門テクニカルスキル 共通

実務経験値 (本学平均 40.5) (全国平均 40.4) (目標値 74.2)

### 3.3.4 専門テクニカルスキル 職種別

この数値はそれぞれのサンプル数が少ないため本学平均を示すのが困難であり、目標値だけを示している。

- コンサルタント
  - ① 戦略立案 (目標値 74.2)
  - ② 顧客対応 (目標値 83.4)
  - ③ 改革推進 (目標値 80.4)
  - ④ IT 活用 (目標値 76.9)
  - ⑤ パッケージ適用 (目標値 71.2)
- ITアーキテクト
  - ① 業務企画 (目標値 76.6)
  - ② システム企画 (目標値 72.0)
  - ③ 基盤設計 (目標値 58.0)
  - ④ 運用計画 (目標値 75.4)
  - ⑤ 要素技術 (目標値 69.6)
- ITスペシャリスト
  - ① システム設計 (目標値 69.4)
  - ② データ管理 (目標値 67.0)
  - ③ 実装設計 (目標値 68.9)
  - ④ 基盤設計 (目標値 74.4)
  - ⑤ セキュリティ構築 (目標値 64.4)
- ソフトウェア開発
  - ① パッケージ設計 (目標値 64.8)
  - ② ミドルウェア設計 (目標値 76.7)
  - ③ 技術開発 (目標値 76.1)

- ④ 実装技術 (目標値 86.7)
- ⑤ プラットフォーム技術 (目標値 76.6)
- アプリケーションスペシャリスト
  - ① システム立案 (目標値 79.1)
  - ② アプリケーション設計 (目標値 55.9)
  - ③ アプリケーション開発 (目標値 84.3)
  - ④ パッケージ適用 (目標値 62.2)
  - ⑤ 業務知識 (目標値 66.6)
- プロジェクトマネジメント
  - ① 統括管理 (目標値 80.7)
  - ② 技術管理 (目標値 64.2)
  - ③ 進行管理 (目標値 79.0)
  - ④ 知財管理 (目標値 51.4)
  - ⑤ 業務実行 (目標値 81.9)

### 3.3.5 診断結果の活用方法

学生は自分のスキル項目の点数を、本学平均、全国平均、目標値と比較する。それによりギャップの大きいスキル項目を見つけたら、それを強化するにはどうすべきかについてアドバイスを必要とする。コアスキルや共通テクニカルスキルの工程別スキル、ビジネススキルを向上させるには、日頃の行動パターンを変えていくことで達成できるものも多い。

例えば、α：リーダーシップを強化したいとする。リーダーシップが弱いと判定されたのは、末尾資料1でαマークが付いている質問の回答による。αのマークが付いた質問を捜すと、コアスキル診断質問9「ビジョンや将来像を、周囲に説明するのが苦痛である」、質問25「現状に満足せず、これまでにない発想を示す」などが見つかる。これらの質問で上位得点が得られるような行動パターンに変えていくことで、結果的にリーダーシップが強化されることになる。

### 3.3.6 資料1の見方

資料1はITSS-DSの質問項目一覧である。コアスキル質問では、あてはまるかあてはまらないかを回答するため、(↑)マークはあてはまる場合に点数が上がり、(↓)マークはあてはまらない場合に点数が上がることを示している。

質問回答とスキル項目点数との関係はiSRFの企業ノウハウとして開示されていない。しかし、学生がスキルレベルを向上させようとしてスキル診断結果を活用するためには、質問とスキル項目の関係がわかっている方が望ましい。資料1で質問に付けられたマークは学生が活用できるようにするために筆者が付加したものである。どの質問がどのスキル項目の数値に影響を与えるかは、筆者がITSS-DSの動作を解析して割り出した。

### 3.4 回答の信頼度

ITSS-DS は自己申告方式であるため、学生が正しく回答している保証はない。ITSS-DS では、異なる質問間での回答の整合性から信頼度を計算している。本学での調査での回答信頼度の分布は下記のようなものであった。この結果から、大半の学生は正直に回答したと思われる。

| 信頼度 | 0～20 | 21～40 | 41～60 | 61～80 | 81～100 |
|-----|------|-------|-------|-------|--------|
| 比率  | 2%   | 5%    | 11%   | 52%   | 29%    |

## 4. 達成度指標とスキル熟達度

### 4.1 ITスキル標準の達成度指標

ITスキル標準では、職種と専門分野ごとに、達成度指標とスキル熟達度が定義されている。どちらもレベル1～レベル7で表されるので違いがわかりにくい。

達成度指標は実務能力を客観的に評価する指標であり、専門領域でのスキルの熟達を前提としている。達成度指標では、個人の直接的なビジネスへの貢献と、社内あるいは情報サービス産業への貢献の度合い（プロフェッショナル貢献）を定義している。プロフェッショナルの評価は、あくまでも経験と実績の指標である「達成度指標」を用いて行うという考え方に立っているため、経験と実績がない人は、たとえスキルがあったとしても低いレベルで表現される。

本学ではプロフェッショナル人材の養成を目的としているが、この教育期間内に、達成度指標で定義している経験と実績を積むことは困難である。

### 4.2 ITスキル標準のスキル熟達度

一方、スキルの熟達という指針は、ITのプロフェッショナルを目指そうとする人材に、早い段階から目標と選択肢を示すものである。スキル項目ごとにビジネス遂行に必要な熟達度合いを定義している。スキル熟達度は、すべて「～できる」という基準によってスキルの有無を問うもので、ある職種の達成度レベルに達していることの裏づけとなる要素として捉えられる。

職種、専門分野、スキル項目ごとにレベル1～レベル7が定義されている。スキル熟達度が定義されているスキル項目を末尾資料2に挙げる。スキル熟達度定義はスキル項目ごとであるため膨大であり、極めて一覧性に乏しい。スキル項目は職種共通スキル項目、専門分野固有スキル項目に分かれているが、実は、複数の職種で共通に現われるスキル項目も多い。

本学で対象にする6職種について調べると、共通に現れるスキル項目は次のようである。

《6職種に共通》

- リーダーシップ
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

《5職種に共通》

- プロジェクトマネジメント
- 知的資産管理と活用

《4職種に共通》

- コンサルティング技法の活用

《3職種に共通》

- テクノロジー
- デザイン
- ソフトウェアエンジニアリング
- 業務分析

スキル熟達度の一覧性を高めるため、スキル項目ごとの違いがない共通部分をくりだしてまとめたのが末尾資料2である。スキル熟達度は「～できる」という表現になっているが、レベル定義にプロジェクト・サイズの規定が含まれる。資料2を見ると、量、質的職務条件がレベル定義の前提になっていることがはっきりする。スキル熟達度定義での量、質的職務条件は達成度指標の定義から来たものである。

### 4.3 ITSS-DSのスキル熟達度診断

ITSS-DSには質問カテゴリーに達成度指標診断があり、受診者の経験と実績を約20問で回答する。この質問はITスキル標準のレベルごとの達成度指標を忠実に反映したものになっている。

達成度指標診断の回答とコアスキル診断、テクニカルスキル診断の回答結果を合わせて、スキル熟達度が計算される。スキル熟達度は職種ごとに定義されたスキル項目ごとに、0.0～7.9で評価される。

### 4.4 本学におけるスキル熟達度診断結果の扱い

4.1節で述べたように、レベル1～レベル7は経験と実績の指標であり、それはスキル熟達度定義にも引き継がれている。本来、スキルは「～できる」という基準であるが、ITSS-DSでは「経験と実績があるか」という判定でレベル付けが行われる。これは、末尾資料3を見てもらえば理解できると思う。

企業であれば、社員教育として、経験が積めるように仕事を割り当てることが可能であるが、大学ではそれはできない。経験と実績が重要な役割を占めるスキルレベルの数値（レベル1～レベル7）は、大学での教育が学生の業務遂行能力向上、スキル向上に役立ったかどうかを計るには不向きである。そのため、ITSS-DSの診断結果として得られる、スキルレベルとスキル熟達度は参考にしないようにとガイドしている。

例えば、コアスキル診断と共通テクニカルスキル診断の回答から 0~100 の数値で、 $\alpha$  : リーダーシップ、 $\beta$  : コミュニケーション、 $\gamma$  : ネゴシエーションのビジネススキルが計算される。一方、6 職種すべてのスキル熟達度のスキル項目にリーダーシップ、コミュニケーション、ネゴシエーションが定義されている。ビジネススキルの計算では経験や実績は考慮しないが、スキル熟達度では経験や実績に依存してレベルが上下する。本学においてはスキルレベルの数値を参考にしないようにするのは正しい判断だと考えている。

## 5. 考察

### 5.1 本学学生のスキル分布

図 4 に本学平均と全国平均が示されている。実務経験値(右端)の数字は、本学平均と全国平均は同じである。実務経験値は職種ごとの専門テクニカルスキル質問から計算されるものであり、IT 業務経験はほぼ同じと考えてよい。図 4 のそれ以外の項目を見ると、ほとんどの項目で全国平均を上回っている。同じ業務経験でありながら、より多くの基本スキルを身に付けていると解釈できる。

全国平均より低くなっているのは、ソリューション開発・構築とソリューション運用・保守である。この 2 つは、IT 系職種であれば必ずどこかで経験するものである。学生が本学で学びたいと思っていることが、ソリューション開発・運用・保守とは別の部分にあることは想定される。例えば、プロジェクトマネジメント、上流工程の仕事やセキュリティなどである。それらのこととこの結果とが関連あるかどうかは定かではない。しかし、講義をしてみるとこの結果には納得できるものがある。

### 5.2 ITSS-DS の副次的なメリット

ITSS-DS を実施してみて非常によかったことに、個々の学生が取得している IT 系資格の情報が収集できたことがある。IT 系資格は非常に種類が多く、本学ではそれらを把握できていないし、ひとりで多数の資格を持っている人にとっては、それを報告するのは面倒である。ITSS-DS は IT 系資格を網羅しており、受診者がそれを登録する操作は極めて簡単になっている。その結果、誰がどの資格を持っているかがわかるようになり、大変ありがたかった。

ITSS-DS を大学で活用するケースはほとんどないと聞いている。確かに、学生のスキルレベルを 1~7 で評価しようとするのは無理がある。ITSS-DS が計算する数値の絶対値に意味を持たせようとするアプローチはあまり得策とは思えない。しかし、ITSS-DS は統計値として、比較対象にできる数値を提供してくれる。単独の数値で

は意味を持たなくても、比較により意味が生まれてくる。

本学では、学生のほとんどが社会人であること、業務遂行能力を教育するために PBL を導入しているなど、通常の大学と大きく異なった部分がある。その中で教育効果を確認する手段として、同一学生のスキル値の変化は非常に重要だと思っている。今回は 1 回目だが、毎年継続してスキル診断を行うことにより、数値の比較ができるようになる。

比較に意味を持たせるという使い方は、ITSS-DS の開発意図からははずれているかもしれない。しかし、ITSS-DS の質問体系から、どのスキルを向上させたいかにより、資料 1 で示したマークを参考にしながら日頃の行動パターンを変えていくことによりスキル向上につなげることが可能である。

ITSS-DS を実施してみて、当初もくろんでいた学生の知識レベルを把握したいという目的は達成できなかったが、充分活用できるデータが収集できたと考えている。

## 参考文献

- [1] 産業技術大学院大学: 学長からのメッセージ  
<http://aiit.ac.jp/message.html>
- [2] IT スキル標準センター  
<http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/download.html>
- [3] 産業技術大学院大学: 専攻紹介  
<http://aiit.ac.jp/message.html>
- [4] 産業技術大学院大学: 本学の特徴  
<http://aiit.ac.jp/characteristic.html>
- [5] IT スキル研究フォーラム (iSRF)  
<http://www.isrf.jp/home/index.html>

## 《資料 1: 診断質問》

### コアスキル診断 (72 問)

#### 診断されるスキル項目

- ①イノベティブ・アクション  
【革新性と創造性をもって物事にあたり、周囲を巻き込みながら変革を実現する】
- ②ロジカル・アプローチ  
【現状を整理・把握し、課題を抽出して解決に繋げる】
- ③リスクマネジメント  
【目標達成に向け計画を立て、不測の事態にも対応しながら、着実に実行する】
- ④パートナーシップ  
【人との対話を通じて相手を理解し、要望に応えながら人脈を形成する】
- ⑤セルフコントロール  
【本質を見失わず、冷静さと学習する謙虚さをもって自己を律する】
- ⑥チームデベロップメント  
【メンバーを支援・指導し、前向きに動機づけ、チーム/組織力を向上する】

(この質問の回答は共通テクニカルスキル診断の工程別スキルとビジネススキルへも影響します)

#### 回答方法

No. あなたの普段の考えや行動に近いものを選択してください。

#### 選択肢 (5 つから一つを選ぶ)

- ・ぴったりあてはまる
- ・ある程度あてはまる
- ・どちらともいえない
- ・あまりあてはまらない
- ・まったくあてはまらない

- 1 自分とは違う考えの人とも、分け隔てなく付き合う(↑④)
- 2 仕事に悩む人材とはとことん話し合い、力になる(↑⑥)(α)
- 3 論理的で説得力にあふれた説明を行なう(↑)(VI)(β)
- 4 部下や同僚のやる気と適性を考えて、仕事を頼む(↑⑥)(V)

- 5 誰も気付かない中、将来予測されるリスクを回避する(↑③)(IV V)
- 6 所属する組織の役割分担には、あまり関心がない(↓⑥)(V)
- 7 初対面の人と打ち解けるには、少し時間を必要とする
- 8 よく、話が分かりやすいと言われる(↑)(VI)(β)
- 9 ビジョンや将来像を、周囲に説明するのが苦痛である(↓①)(II)(α)
- 10 相手が本当に必要な助言を与え、人材を育てる(↑⑥)(VI)
- 11 多少相手の話が長くなっても、最後までじっくり聞く(↑④)(VI)(β)
- 12 予期せぬ問題が発生した時、自分だけでは判断に迷う(↓③)(IV V)
- 13 アイデアを図示したり、説明したりするのは苦手である(↓①)(II)
- 14 自分を取り巻く状況変化を、常に観察している(↑⑤)
- 15 人の話を聞くことが苦手で、何度か聞き返してしまう(↓④)(VI)(β)
- 16 難しい課題も、他に先んじて解決の糸口を探る(↑②)(I III)
- 17 人からの助言は、参考程度にとどめておく
- 18 自分の考えをまとめ、人前で発表するのは苦手である(↓)
- 19 目標達成に向けた行動を、具体的に計画する(↑③)(V)
- 20 計画の完遂と目標達成に向け、リソースを確保する(↑③)(V)
- 21 自ら進んで外部との困難な折衝に臨む(↑)(γ)
- 22 集めた情報から重要な要因をたどり、分析する(↑②)(I III IV)
- 23 自分の力で、大抵の問題には対処していける(↑⑤)
- 24 現状に満足せず、これまでにない発想を示す(↑①)(II)(α)
- 25 ありたい姿を実現するため、周囲を粘り強く説得する(↑①)(II)(α)
- 26 忙しさの中で、仕事の途中経過を確認しきれない(↓③)(V)
- 27 手間がかかりそうな情報収集は、得意な人に頼む
- 28 社内外に人脈を持ち、定期的に情報を交換する(↑④)
- 29 計画と現状のギャップを常にチェックしている(↑③)(V)
- 30 予測していない逆境では、強いストレスを感じる(↓⑤)
- 31 部下や同僚に仕事でアドバイスすることはほとんどない(↓⑥)(VI)
- 32 会議等で、流れを変える影響力ある発言をする(↑)

- ①)(II)(α)
- 33 現状の分析と自らの仮説から、課題を特定する(↑  
②)(I III)
- 34 交渉やクレーム対処はいつも上位者に任せる(↓)(γ)
- 35 冷静な判断と行動により、逆境を乗り越える(↑⑤)
- 36 自分のために、時に厳しく鍛えられることを求める  
(↑⑤)
- 37 失敗すると、長い間スランプに陥ることがある(↓⑤)
- 38 皆を巻き込む、というよりは一人で頑張ることが多  
い
- 39 相手の話を理解してから、自分の意見を述べる(↑  
④)(VI)(β)
- 40 人の喜びを、まるで自分自身のことのように喜べる  
(↑④)(VI)
- 41 目標達成に向け、皆で意識を高めあう機会を作る(↑  
⑥)(α)
- 42 どちらかというと凝り性である
- 43 情報が足りなかったり、集めすぎたりして時々悩む  
(↓②)(I IIIIV)
- 44 オフィスで椅子にじっと腰掛けていると落ち着かない
- 45 誰か指示してくれる人がいないと不安である(↓)
- 46 初めて会った人は、しばらく距離をおき様子を見る  
(↓④)
- 47 冒険するよりも確実な道をとるほうを好む
- 48 行動優先のため、時に問題への対応が後手にまわる  
(↓③)(V)
- 49 変化を読み取り、常に先手で目標を達成に導く(↑  
③)(V)
- 50 必要な情報を定め、集めるプロセスを考え出す(↑  
②)(I IIIIV)
- 51 部下や同僚の持ち味を考え、アドバイスをする(↑  
⑥)(VI)
- 52 日々発生する問題の対応に追われることが多い
- 53 人からの指導・注意を受けても、なかなか受け容れ  
ない(↓⑤)
- 54 相手の事情よりも、自分の都合を優先しがちである  
(↓④)(VI)
- 55 変えるというよりは、現状維持を優先しようとする  
(↓①)(II)(α)
- 56 仕事の割り振りは、手が空いている人から順に行う
- 57 むげに自分を卑下せず、自信をもって行動する(↑⑤)
- 58 物事を順序だてて話すのは苦手である(↓)(VI)(β)
- 59 何が問題なのかが見える形で、現状を整理する(↑  
②)(I III)
- 60 何を課題として取組むべきか、分からなくなること  
がある(↓②)(I III)
- 61 決裂が予測される交渉事を成立させる(↑)(γ)
- 62 常に、現状がどうなっているかの整理から始める(↑  
②)(I III)
- 63 魅力的な未来を語り、周囲の賛同・協力を得る(↑  
①)(II)(α)
- 64 斬新なアイデアも、相手が分かるように説明する(↑  
①)(II)
- 65 部下や同僚がやる気をなくしていても本人努力に任  
せる(↓⑥)(α)
- 66 現状把握と言われても、何から手をつけるか判らな  
い(↓②)(I III)
- 67 人との対話から、大切な気付きを得ようとする(↑⑤)
- 68 予期せぬ事態に備え、常に選択肢を複数用意する(↑  
③)(IV V)
- 69 人と対話することを通じ、いろいろなことを学んで  
いる(↑)
- 70 考えをよく整理し、質問にも明確に回答する(↑  
①)(II)
- 71 悩みの相談相手として、じっくり話を聞いてあげる  
(↑④)(VI)
- 72 皆の持ち味が活かされる、役割分担を提案する(↑  
⑥)(V)

---

全職種共通テクニカルスキル診断 (40 問)

---

診断されるスキル項目

---

●工程別スキル

- I : ビジネスプランニング【市場や顧客ニーズを把握・  
分析し、ビジネスの戦略を策定する】
- II : ソリューション企画【顧客の課題やニーズに基づ  
き、これらを解決する各種情報システム、ソフトウ  
ェア等を提案・設計する】
- III : ソリューション開発・構築【仕様を受けて I T ソリ  
ューションを開発・構築する (主にコンポーネント  
のセットアップやプログラム作成)】
- IV : ソリューション運用・保守【開発済みソリューショ  
ンを顧客に定着させる。システムの管理や障害対応  
も行う】
- V : プロジェクトマネジメント【プロジェクト運営に関  
する知識、経験】
- VI : インストラクション【教育・研修に関する知識・経  
験】
- 

●ビジネススキル

- α : リーダーシップ【メンバーを統率し、チームの目標

に向かってリードする】

$\beta$  : コミュニケーション【必要な情報を手に入れる. 相手に分かりやすく伝える】

$\gamma$  : ネゴシエーション【利害を調整し, 合意に導く】

## 回答方法

No. あなたの経験や知見について近いものを選択してください.

選択肢 (5 つから一つを選ぶ)

### ●できない/未経験

業務の内容や段取りを知識として多少知っている程度で, 実際に業務をこなすことはできない. あるいは, 未だその業務に携わったことがない.

### ●サポートを受けてできる

基本的な知識・経験があり, 上位者のサポートを受けた範囲内では支障なく業務を全うできる.

### ●独力できる

今までの知識・経験により, 通常業務をほぼ全うすることができる. また, 不明点があってもなんとか自らの調査および人的ネットワークで解決することができる.

### ●得意/自信がある

その技術・業務について十分な経験を積み, 通常業務はもとより, 想定外のケースでも対応できる. また, 下位者に有効な指示を与えることができる.

### ●達人/指導できる

その技術・業務について相当な経験を積み, かなり精通している (周囲にも認められている). また, 先進的な方法論や技術を提示することができ, その分野で全社的または業界的にリード・貢献できる.

## 1 市場を分析する(I)

(自社または顧客が属する業界動向について, 複数の手法を用いて分析すること)

## 2 ニーズを抽出する(I)

(業界動向から潜在ニーズを抽出し, ソリューションの企画や, 要件の設定を行うこと)

## 3 事業戦略をイメージする(I)

(自社または顧客が属する業界で, どこをターゲットに何をいくら売ればよいかをイメージすること)

## 4 事業戦略を策定する(I)

(自社または顧客企業の事業戦略や販売戦略を実際に描くこと)

## 5 利益創出をイメージする(I)

(商品が利益を生み出す仕組みをイメージすること. 儲

かる仕組みをイメージすること)

## 6 ビジネススキームを作成する(I)

(自分の得意な商品やソリューションを用いて自社または顧客のビジネススキームを描くこと)

## 7 技術, 製品知識を蓄える(I II III)

(定期的に新技術, 新製品, システム導入事例, 等をウォッチし吸収すること)

## 8 コンサルティングを実践する(I II)

(顧客のビジネス戦略や課題に対し, 自らの専門知識や見解に照らしてアドバイスや意見を述べること)

## 9 課題を抽出し分析する(I II)

(顧客とコミュニケーションをとりながら課題を明確化し, ソリューションの企画立案につなげること)

## 10 業界トレンドを把握する(I II)

(自社または顧客が属する業界のトレンド, 課題を把握すること)

## 11 業務プロセスを把握する(I II)

(顧客の業務プロセスを理解し, 改善策を提案すること)

## 12 業務を分析する(II)

(システム化の観点から顧客の業務を分析し, どこがどのようにシステム化できそうか, イメージ・計画を立案すること)

## 13 ソリューション案を作成する(II)

(顧客とコミュニケーションをとりながら, ソリューションのアウトラインを描くこと)

## 14 開発プロセスを選定する(III)

(システムやソフトの開発に際し, 顧客の要望や投入が可能な資源を考慮し, 最適な開発プロセスを選択すること)

## 15 IT手法を選択する(III)

(顧客の持つ業務プロセスにITを適用する際, 自ら必要な判断材料を入手し, 最適なIT手法を選択すること)

## 16 コンポーネントを選定し詳細仕様を描く(III)

(システム仕様を受けて, システムを構成するコンポーネントを選択し, 詳細仕様を描くこと)

## 17 コンポーネントを構築する(III)

(詳細仕様に基づき, 担当分野のコンポーネントの選定, 構築を行なうこと)

## 18 ソリューション仕様を作成する(III)

(ソリューションの開発にあたり, サブシステム, コンポーネント, アプリケーションを含めたシステムの全体の仕様を描くこと)

## 19 サブシステム結合を行なう(III)

(個々のアプリケーションやコンポーネントをひとつのサブシステムに結合し, 動作テストを行なうこと)

- 20 システム結合を行なう(III)  
(複数のサブシステムを結合して全体システムを構築し、動作テストを行なうこと)
- 21 アプリケーションの詳細仕様を作成する(III)  
(顧客の要求事項と、想定される環境[ハード、ソフト]に合わせ、担当分野のソフトやアプリケーションの詳細仕様を描くこと)
- 22 アプリケーションの開発方式、計画を策定する(III)  
(担当分野のソフトやアプリケーションの開発方式を設計し、開発計画を作成すること)
- 23 アプリケーションを構築する(III)  
(詳細仕様に基づき、担当分野のソフトやアプリケーションを構築(コーディング)して動作テストを行ない、問題があれば修正を行なうこと)
- 24 アプリケーションを結合する(III)  
(複数のソフトやアプリケーションを結合して動作テストを行ない、問題があれば修正を施すこと)
- 25 運用計画を作成する(IV)  
(顧客に納入したソリューション[ハードやソフト]を定着させるための運用計画を作成すること)
- 26 障害に対応する(IV)  
(顧客とコミュニケーションをとりながら、障害に適切に対応すること)
- 27 機能改善提案を行なう(IV)  
(納入済みソリューションについて、障害対応履歴やハード・ソフトの環境変化を踏まえて、機能改善・バージョンアップ仕様をまとめること)
- 28 プロジェクトの工程を把握をする(V)  
(自分が参加するプロジェクトの全プロセスを具体的にイメージし、流れ図にまとめること)
- 29 プロジェクトマネジメントを実践する(V)  
(実際にプロジェクトを立上げ、管理、統制を行なうこと)
- 30 プロジェクトの状況を把握する(V)  
(作業範囲、納期、リソース、予算、リスク等を意識しながら作業を行なうこと)
- 31 研修を企画し教材を選定する(VI)  
(社内や社外スタッフの教育・研修を企画し、教材を選定すること)
- 32 インストラクタを務める(VI)  
(自分がインストラクタとなり、社内または社外で研修を実施すること)
- 33 ビジョンを理解し目標を設定する(a)  
(チームのビジョンを理解し、メンバーに対し、自分の言葉として目標を提示すること)
- 34 メンバーを統率しリードする(a)  
(成果を上げるべくメンバーを統率し、リードするこ

と)

- 35 状況にふさわしい決断をする(a)  
(時、場所、場合に応じた意思決定を行なうこと)
- 36 効果的なヒアリングを行なう(b)  
(相手を不愉快にさせずスムーズに話してもらえるコツを知っており実践すること。さらに、隠れた意図やニーズを掘り起こせること。)
- 37 分かりやすく話す(b)  
(資料や構成等を十分吟味し、相手に納得・理解してもらえる話し方を実践すること)
- 38 分かりやすい文書を作る(b)  
(込み入った話でも文章と図表を適度に織り交ぜ、分かりやすい文書を作成すること)
- 39 利害関係を調整する(y)  
(相反する利害を調整し、最終的な着地点に相手を誘導すること)
- 40 交渉プロセスを把握し実践する(y)  
(「事前準備→双方の問題(相違点)の共有→解決策の合意・取決め→実行」のプロセスを把握し実践すること)

=====  
職種別：専門テクニカルスキル診断

=====  
回答方法

-----  
No. あなたの経験や知見について近いものを選択してください。

-----  
選択肢 (5つから一つを選ぶ)

- ・達人/指導できる
- ・得意/自信がある
- ・独力でできる
- ・サポートを受けてできる
- ・できない/未経験

=====  
職種：コンサルタント (42 問)

-----  
診断されるスキル項目

-----  
実務経験値

- ①戦略立案【顧客の業界情報を収集し、情報収集や戦略策定を行なう】
- ②顧客対応【顧客のビジネス上の課題を的確に把握し、分析する】
- ③改革推進【改革に向けて、現状とあるべき姿の双方を明確にする】



- ④IT 活用【IT 戦略を立案し、課題解決に必要な情報システムを構想する】
- ⑤パッケージ適用【パッケージ適用した解決策を提示し、導入の提言と合同検討を行なう】

- 
- 1 顧客の疑問や質問に対して的確に答える(②)
  - 2 顧客が面談で示す表情から、商談に臨む上での考え方や心情を読み取る(②)
  - 3 自社の立場だけでなく、必ず顧客の立場に立って商談を進める(②)
  - 4 周到な準備と本番の工夫により、相手を「その気」にさせるプレゼンテーションを行う(②)
  - 5 顧客に高く評価頂けるような分析と提案を行い、有償でのコンサルティング契約を勝ち取る(②)
  - 6 サービスの必要機能を抽出する(②)
  - 7 顧客に提示するソリューションの、顧客の立場からの価値（バリュー）、投資対効果（メリット）を、可能な限り定量的に示す(②)
  - 8 顧客が属する業界・市場での課題から、重要性に基づく絞り込みを行い、提案する(②)
  - 9 顧客の業務改革（BPR）の課題と解決のシナリオを多面的な分析とすり合わせにより提案する(①)
  - 10 顧客が属する業界や、事業を行う市場とその動向に絡め、顧客の課題を分析する(①)
  - 11 ビジネススキーム（効果的に成果を上げるために必要な、登場人物【企業】関係図）を描く(①)
  - 12 ビジネスモデル特許の検討、および出願を行う(①)
  - 13 意図する情報を引き出すための外部インタビューをする(②)
  - 14 課題を解決するソリューションを、十分な分析と技術的な選択肢の中から導き出す(②)
  - 15 販売方針・戦略を共有できる、最適な販売パートナーを選定する(①)
  - 16 ERPパッケージを導入する(⑤)
  - 17 現行業務フローを分析する（As Is モデル）(③)
  - 18 顧客にとっての、あるべき業務プロセスを検討し提案する（To Be モデル）(③)
  - 19 顧客の経営戦略を踏まえ、それを確実に促進する情報システムを立案し提案する(④)
  - 20 IT トレンドの把握と市場動向を分析する(④)
  - 21 顧客の業務環境を分析する(①)
  - 22 顧客の経営戦略／事業戦略を理解し、意味することを十分に踏まえた提案準備を行う(①)
  - 23 顧客の経営／事業の重要課題を抽出し、その解決にむけた戦略の策定を支援する(①)
  - 24 顧客の業務分析に基づき、その改革計画を策定する(①)

- 25 顧客のビジネス動向を把握し分析する(①)
- 26 顧客の経営戦略課題から、具体的なシステム化へのニーズ&ウォンツを把握する(①)
- 27 事業戦略のビジネスモデルの検討と構築をする(①)
- 28 情報システム構想を策定する(④)
- 29 情報システム構築に向けた基本計画書を策定する(④)
- 30 情報システム構築における将来の方向性について有用な意見を述べる(④)
- 31 経営戦略の重要な構成要素としての、IT 戦略を策定する(④)
- 32 システム監査を行う(①)
- 33 パッケージ導入の提言・合同検討を行う(⑤)
- 34 パッケージ概念とコンセプトを把握する(⑤)
- 35 顧客の業務プロセス上の課題に対応する、パッケージ適用の選択肢に関して説明する(⑤)
- 36 経営／事業／業務の重要課題に対して、パッケージを適用した解決策を提示する(⑤)
- 37 顧客の課題抽出を行い解決策の策定を行う(③)
- 38 顧客意思決定者に成功要件提供を行い改革合意形成を行う(③)
- 39 SWOT、7S モデルなどの分析を実施し、業務改善計画の策定・提案を行う(③)
- 40 コンサルタントの実施から知的財産の管理・活用を主導できる(④)
- 41 業務改革の課題抽出を行い、解決策の実行計画を策定する(③)
- 42 改革合意形成を行うために業務改革の課題に対する成功事例の提供をする(③)

=====  
職種：IT アーキテクト（45 問）  
=====

**診断されるスキル項目**

-----  
実務経験値

- ①業務企画【業務課題に基づき、ビジネススキームの立案やシステム要件をとりまとめる】
- ②システム企画【技術や費用など複合的な要件を満たしながら、最適なシステムを構想、設計する】
- ③基盤設計【情報ネットワーク基盤にフォーカスしたシステム方式設計、セキュリティ計画を行なう】
- ④運用計画【情報システムの移行・運用計画を策定する】
- ⑤要素技術【情報システムのプラットフォーム構成要素を評価・選定する】

- 
- 1 サービスの必要機能を抽出する(①)
  - 2 顧客に提示するソリューションの、顧客の立場からの

- 価値（バリュー）、投資対効果（メリット）を、可能な限り定量的に示す(①)
- 3 ビジネススキーム（効果的に成果を上げるために必要な、登場人物 [企業] 関係図）を描く(①)
  - 4 課題を解決するソリューションを、十分な分析と技術的な選択肢の中から導き出す(①)
  - 5 現行業務フローを分析する（As Is モデル）(①)
  - 6 システム全体のセキュリティ対策について、立案または要件定義をする(③)
  - 7 プラットフォーム（OS, RDB, ネットワーク, セキュリティのいずれか）の環境を構築する(⑤)
  - 8 システムの構成要素として候補に挙げた、複数の技術・製品について評価、選定する(⑤)
  - 9 データウェアハウスを構築する(②)
  - 10 ソリューションシステムあるいはコンポーネントシステムのデータベースを設計する(②)
  - 11 旧→新システムの切替に伴い、データを移行する(④)
  - 12 意思決定支援や経営情報、顧客情報に関する分析システムを要件定義する(②)
  - 13 システムテスト計画を作成する(④)
  - 14 システム移行計画を作成する(④)
  - 15 システム運用方式を設計する(④)
  - 16 顧客の経営戦略を受け、情報システムを立案する(①)
  - 17 システム監査をする(③)
  - 18 システムの要求仕様を受け、具体的なユーザーインターフェイス（画面、帳票、RDB など）を設計する(②)
  - 19 顧客の要求仕様を受け、システム方式（ハード、ソフト、手作業の範囲など）を設計する(②)
  - 20 マルチベンダの製品（OS, パッケージソフト）が混在するシステムについて計画・設計する(②)
  - 21 先進的であるが使用実績の少ない技術を使用したシステムについて計画・設計する(②)
  - 22 非常に広範囲な業務・機能を対象とする複雑なシステムについて計画・設計する(②)
  - 23 業務形態に合せ、適切な業務パッケージを選定する(②)
  - 24 各種設計の審査・レビューをする(②)
  - 25 大規模なデータ、複雑なデータ構造のシステムについて計画・設計する(②)
  - 26 データベース・ファイルの整合性や更新タイミングが非常に複雑なシステムについて計画・設計する(②)
  - 27 キャパシティ、ストレージ管理計画を策定する(②)
  - 28 データモデリング技術を活用する(②)
  - 29 拠点の数が多し複雑なネットワーク構造について計画・設計する(③)
  - 30 マルチベンダのネットワーク機器が混在するネットワークについて計画・設計する(③)
  - 31 ネットワークに対する負荷分散、セキュリティを確保する(③)
  - 32 高トラフィックなネットワークのソリューションを設計する(③)
  - 33 中・大規模の WAN/LAN を設計する(③)
  - 34 インターネットと接続されており外部からの脅威にさらされる危険が大きい、かつ高度なプライバシーが要求されるシステムのセキュリティについて計画・設計する(③)
  - 35 複雑・高度なアクセスコントロールが必要なシステムのセキュリティについて計画・設計する(③)
  - 36 オペレーショナル・セキュリティを定義する(③)
  - 37 セキュリティ上の脆弱性が企業に多大な損害を与えるシステムについて計画・設計する(③)
  - 38 新旧のアーキテクチャを融合させる設計をする(③)
  - 39 複雑な運用方法・処理ロジック・タイミング・ファイル整合性のあるシステムの設計をする(②)
  - 40 システムの問題管理・変更履歴管理・復旧管理をする(②)
  - 41 システム運用管理におけるセキュリティ問題を解決する設計をする(③)
  - 42 インダストリアプリケーションに関する助言を行う(⑤)
  - 43 情報企画における課題整理と分析の技術的指針の提示を行う(⑤)
  - 44 顧客要求に対する要件分析を行い、最適なメソッドロジックを選択・適用する(⑤)
  - 45 既存システムの必要キャパシティ検証、問題点について改善計画を立案する(④)
- =====  
 職種：IT スペシャリスト （48 問）  
 =====  
 診断されるスキル項目  
 -----  
 実務経験値
- ①システム設計【システム上の課題解決に関わる設計、構築、導入およびテストを企画、設計する】
  - ②データ管理【データに関する論理設計や DBMS, ストレージの設計、構築および導入を行なう】
  - ③実装設計【様々な情報技術/製品を理解し、業務からの要求に応じたシステム設計を行なう】
  - ④基盤設計【非機能要件に基づき、それを満足するシステム基盤を設計・構築する】
  - ⑤セキュリティ構築【必要とされるセキュリティ機能、セキュリティのためのコンポーネントなどの設計、構築を行なう】

- 
- 1 IT 関連の最新技術動向を把握し、関係者に情報発信する(④)
  - 2 旧→新システムの切替に伴い、データを移行する(④)
  - 3 大量アクセスを想定したインターネットサイトを設計する(①)
  - 4 データベースへアクセスするアプリケーションを開発する(③)
  - 5 Web 関連のプログラミングをする(③)
  - 6 システム要件定義を受け、サーバー関連のオンライン処理・バッチ処理の切り分けなど、ソフトウェア構造を設計する(③)
  - 7 サブシステム間のインターフェイスを決定する(③)
  - 8 顧客の要求仕様を受け、システム方式（ハード、ソフト、手作業の範囲など）を設計する(③)
  - 9 複数のサブシステムからなる中・大規模のシステムおよびサブシステムの結合テストをする(③)
  - 10 システムの構成要素として候補に挙げた、複数の技術・製品について評価、選定する(④)
  - 11 クライアントサーバーシステムを設計する(③)
  - 12 システムの要求仕様を受け、具体的なユーザーインターフェイス（画面、帳票、RDB など）を設計する(③)
  - 13 サーバ構築をする（DNS、メール、Web 等）(④)
  - 14 技術的な問題に関し、技術チームをリードして、解決に導いている(④)
  - 15 システムのリカバリー、トラブルシューティング、バージョンアップ、リソース管理をする(④)
  - 16 システムのパフォーマンス管理、キャパシティ管理をする(④)
  - 17 ネットワークやシステム管理においてダウンタイムなどを少なくするための設計をする(④)
  - 18 基盤ハードウェア・ソフトウェアの選定と導入をする(④)
  - 19 ミドルウェアの選定と導入を主導する(④)
  - 20 プラットフォーム（OS、RDB、ネットワーク、セキュリティのいずれか）の環境を構築する(④)
  - 21 システムの必要キャパシティを検証する(④)
  - 22 ネットワーク管理ツール、モニタリングツール、セキュリティ管理ツールなどを利用する(①)
  - 23 ライブラリを管理する(②)
  - 24 システムにおけるデータの共有と再利用について基本設計する(②)
  - 25 システムにおけるデータベースのキャパシティー計画について基本設計する(②)
  - 26 システムにおけるデータベースのストレージ管理計画について基本設計する(②)
  - 27 データベースバックアップ/回復管理/リスタート運用手順について基本設計する(②)
  - 28 顧客ニーズを満たすデータベースを設計する(②)
  - 29 データベースアクセスに対するパフォーマンスを評価する(②)
  - 30 既存ネットワーク環境をアセスメントする(①)
  - 31 複数ベンダ、複数プロトコル、複数プラットフォーム等のパフォーマンスを検証する(①)
  - 32 代替経路、障害回避、運用など含めたネットワークを設計・構築・導入する(①)
  - 33 セキュリティプロトコルを説明する(①)
  - 34 ネットワークセキュリティ設計をする(①)
  - 35 代表的なネットワークプロトコルに関して説明をする(①)
  - 36 ミドルウェア、データベースシステム管理などのソフトウェアの選定および設計をする(②)
  - 37 クライアントサーバーの環境を導入・構築する(④)
  - 38 分散データベースを設計する(②)
  - 39 データセキュリティを設計する(①)
  - 40 オペレーショナル・セキュリティを定義する(⑤)
  - 41 セキュリティソリューションを検定する(⑤)
  - 42 セキュリティメカニズムを設計・構築・導入する(⑤)
  - 43 システム全体のセキュリティ対策について、立案または要件定義をする(⑤)
  - 44 セキュリティのためのコンポーネントなどの設計、構築及び導入を行う(⑤)
  - 45 プロジェクト関係者と分散システム各部のセキュリティレベルの合意を形成し実装を行う(⑤)
  - 46 既存ソフトウェア機能（セミパッケージ含む）の有効利用（流用）の指導あるいは活用を行う(④)
  - 47 セキュリティ・ソリューション設計について、知財データベースから事例適合を計画する(④)
  - 48 特許の活用・登録および知的資産を管理する(④)
- 
- 職種：ソフトウェア開発（36 問）
- 
- 診断されるスキル項目
- 
- 実務経験値
- ①パッケージ設計【業務パッケージなどの実現方法、処理方法の設計および開発を行なう】
  - ②ミドルウェア設計【製品の処理方式設計、プラットフォームに非依存なシステムの設計・開発を行なう】
  - ③技術開発【製品開発に必要な知見を有し、用いる技術の評価・選定や設計・開発を行なう】
  - ④実装技術【アーキテクチャ設計に基づくプログラム実装設計開発を行なう】

⑤プラットフォーム技術【製品開発に必要なハードウェア、基本ソフトなどの技術を有している】

- 
- 1 プログラム製造、評価、性能チューニングを主導する(②)
  - 2 TCP/IP の基礎を説明する(⑤)
  - 3 独力でプラットフォーム (OS, RDB, ネットワーク, セキュリティのいずれか) の環境を構築する(③)
  - 4 システムの構成要素として候補に挙げた、複数の技術・製品について評価、選定する(③)
  - 5 市場ニーズに基づくソフトウェア製品に対するデータベースを設計する(③)
  - 6 旧→新システムの切替に伴い、データを移行する(③)
  - 7 データベースへアクセスするアプリケーションを開発する(③)
  - 8 Web 関連システムを開発する(③)
  - 9 大量アクセスを想定したインターネットサイトを開發する(③)
  - 10 オブジェクト指向設計手法について説明する(③)
  - 11 オブジェクト指向のクラス設計をする(④)
  - 12 システムテストを実施する(④)
  - 13 要求仕様を受け、具体的なユーザーインターフェイス (画面、帳票、RDB など) を設計する(④)
  - 14 サブシステム間のインターフェイスを決定する(④)
  - 15 要求仕様を受け、システム方式 (ハード、ソフト、手作業の範囲を明確にする) を設計する(④)
  - 16 プログラム仕様、テスト仕様を作成する(④)
  - 17 サーバ構築をする (DNS, メール, Web 等) (③)
  - 18 精通している OS が 1 つ以上ある(⑤)
  - 19 プログラミング (C, Cobol, Java, VB, SQL, 等) を行う(④)
  - 20 ハードウェアのアーキテクチャを説明する(⑤)
  - 21 物理層に近い基本ソフトウェアのアーキテクチャを説明する(⑤)
  - 22 基本ソフトアーキテクチャに基づく、基本ソフトの実現方式、処理方式を設計する(⑤)
  - 23 OS, 言語, ネットワークなど、ハードウェアの特性を活かした基本ソフトウェアを開発する(⑤)
  - 24 ミドルソフトアーキテクチャを活用する(②)
  - 25 ミドルソフトの実現方式、処理方式を設計する(②)
  - 26 データベース管理, トランザクション処理機能, 分散オブジェクト環境に関する機能などを開發する(②)
  - 27 プラットフォームに非依存なソフトウェアに関する設計, 開發, カスタマイズおよび支援をする(②)
  - 28 業務パッケージ (ERP, CRM など) の実現方式, 処理方式の設計をする(①)

- 29 業務パッケージ (ERP, CRM など) を開發, 構築する(①)
- 30 ソフトウェアパッケージ (オフィススイートなど) を設計する(①)
- 31 ソフトウェアパッケージ (オフィススイートなど) を開發, 構築する(①)
- 32 基本ソフトアーキテクチャを活用した処理方式の設計とプロトタイピング等による検証を行う(①)
- 33 ソフトウェア製品のプログラム製造, 評価, 性能チューニングを行う(①)
- 34 ハードウェアのアーキテクチャーを理解し基本ソフトパッケージを設計する(①)
- 35 複数環境下からアクセスされる処理に対し基本ソフトアーキテクチャーを活用して共通化を計画する(①)
- 36 モデリング技法を活用して応用ソフトが適用しやすいミドルウェアを設計する(②)

---

職種：アプリケーションスペシャリスト (41 問)

---

診断されるスキル項目

---

実務経験値

- ①システム立案【特定業務あるいは業務の課題解決に係る適用業務システムの企画策定を行なう】
  - ②アプリケーション設計【ITに関する知識・経験を持ち、顧客ニーズに基づき業務システムの設計・開発を行なう】
  - ③アプリケーション開発【インターフェイス、データベースなど業務システムの開発・実装を行なう】
  - ④パッケージ適用【業務パッケージのカスタマイズや機能追加、導入、保守を行なう】
  - ⑤業務知識【業種や業務に関する知識を持ち、要件定義や設計、導入、保守を行なう】
- 

- 1 ソフトウェア商品 (パッケージ) の開發プロセスにおいて、開發手法・開發ツールの最適な選定をする(②)
- 2 経験のない業務内容でも適宜勉強しつつ、顧客の要望を聞き取り、システム立案に繋げる(①)
- 3 得意とする業務知識を持ち、その活用により付加価値の高い開發業務を実行する(①)
- 4 システム開發における業務テスト計画を策定する(①)
- 5 現行業務フローを分析する (As Is モデル) (⑤)
- 6 業務プロセスを策定する (To Be モデル) (⑤)
- 7 旧→新にシステム移行するにあたっての、業務移行計画を策定する(①)
- 8 システム開發に対する業務要件定義を記述・作成する

- (1)
- 9 個々の業務の関係性を明確にした仕様（フロー）を作成する(1)
- 10 ネットビジネス関係の設計業務を担当する(2)
- 11 プラットフォーム環境（OS, RDB, ネットワーク, セキュリティのいずれか）を構築する(2)
- 12 システムの構成要素として候補に挙げた, 複数の技術・製品について評価, 選定する(2)
- 13 データベースへアクセスするアプリケーションを開発する(3)
- 14 プログラミング（C, Cobol, Java, VB, SQL 等）をする(3)
- 15 大量アクセスを想定したインターネットサイトを開發する(2)
- 16 旧→新のシステム切替に伴うデータ移行を主導する(1)
- 17 e コマース関係の設計業務をする(2)
- 18 システムテスト計画の実施とレビューを主導する(1)
- 19 顧客の経営戦略を反映した, 情報システムのあるべき方向性を企画・立案する(1)
- 20 システムの要求仕様を受け, 具体的なユーザーインターフェイス（画面, 帳票, RDB など）を設計する(3)
- 21 サブシステム間のインターフェイスを決定する(3)
- 22 顧客の要求仕様を受け, システム方式（ハード, ソフト, 手作業の範囲を明確にする）を設計する(1)
- 23 複数のサブシステムからなる中・大規模のシステムおよびサブシステムの結合テストを主導する(1)
- 24 いずれかの業界・業務に適用する業務システムの最新事例を説明する(2)
- 25 いずれかの業界・業務に適用する IT 技術の最新動向を説明する(2)
- 26 汎用業務（人事・会計・総務等）, または特定業務におけるシステム要件定義をする(5)
- 27 汎用業務（人事・会計・総務等）, または特定業務におけるシステム外部設計をする(5)
- 28 業務システムの要件定義, 外部設計をする(3)
- 29 システム仕様を受け, プログラムモジュール設計, プログラミング, テストをする(3)
- 30 業務システムのシステムテスト, 導入, 保守を実施する(3)
- 31 汎用業務（人事・会計・総務等）, または業界固有の業務システムにおける導入・移行をする(5)
- 32 汎用業務（人事・会計・総務等）, または業界固有の業務システムにおける保守をする(5)
- 33 業務パッケージの販促・導入時, 技術的な側面から

- 営業および顧客に対する確かなサポートを行なう(4)
- 34 業務パッケージのカスタマイズを行なう(4)
- 35 業務パッケージの機能追加を行なう(4)
- 36 業務パッケージの導入及び保守を行なう(4)
- 37 業務パッケージのカスタマイズ/機能追加/導入・保守におけるプロジェクトマネジメントを行なう(4)
- 38 顧客との業務システムの機能仕様合意を主導する(5)
- 39 既存ソフトウェア機能（セミパッケージ含む）の有効利用（流用）の指導あるいは活用を行う(5)
- 40 セキュリティ・ソリューション設計について, 知財データベースから事例適合を計画する(5)
- 41 特許の活用・登録および知的資産を管理する(5)

=====  
 職種：プロジェクトマネジメント（44 問）  
 =====

診断されるスキル項目

-----  
 実務経験値

- ①統括管理【プロジェクトの状況を把握し, 顧客対応や管理を適切に行なう】
- ②技術管理【技術情報を収集し, IT 知識を活用した提案および設計管理を行なう】
- ③進行管理【高品質のシステムの開発を, すべての工程にわたって適切に管理する】
- ④知財管理【社会適合のために必要な法的知識を有し, プロジェクトにおいて実施する】
- ⑤業務実行【プロジェクト目標達成のために計画策定, 実践の中で統制管理を行なう】

- 
- 1 顧客組織の中で, 誰が予算を握っているかを見分ける(1)
  - 2 顧客との折衝において, 前面に出て責任を果す(1)
  - 3 相手に安心感・信頼感を与える姿勢で, 十分に傾聴し, わかりやすい話しをする(1)
  - 4 販売方針・戦略を共有できる, 最適な販売パートナーを選定する(1)
  - 5 開発活動における方針と戦略を共有できる, 最適なパートナーを選定する(1)
  - 6 プロジェクトに関連する見積を, 関連部門と調整しつつ, まとめあげる(1)
  - 7 進捗状況を把握し, 変動要素を見極めコスト管理する(1)
  - 8 外部（提携先・協力会社）との良好な関係性を保持する(1)
  - 9 社内・社外の手続きおよび段取りを手際よく行う(1)

- 10 システムテストの計画を立案し、問題なきよう管理する(①)
- 11 メンバーの年齢高低があってもそれにこだわらず、適切な指示をだす(①)
- 12 チーム責任者としてメンバーを理解し、まとめ、成果をだす適正なマネジメントを実践する(①)
- 13 将来自社に利益をもたらす潜在顧客を見分ける(①)
- 14 責任者としてプロジェクトを成功裡に遂行させるためのあらゆる手立てを考え、実行に移す(⑤)
- 15 プロジェクトに期待される QCD を達成するべく管理する(⑤)
- 16 プロジェクトを成功裡に導く為に、きちんとしたプロジェクトマネジメント手法を修得し実践する(⑤)
- 17 プロジェクト運営上の課題に対して、最適解を構想し現実的に解決する(⑤)
- 18 複数の組織で、利害が複雑に絡み合うプロジェクト体制を全体最適に管理する(⑤)
- 19 セキュリティ等、複雑な要件が絡み合うプロジェクトを管理する(①)
- 20 開発量に対して短納期なプロジェクトであっても、工夫しながら管理を進めていく(⑤)
- 21 システム要件定義および設計フェーズのあるべき姿を知り、問題なきよう管理する(③)
- 22 ソフトウェア開発フェーズのあるべき姿を知り、問題なきよう管理する(③)
- 23 システム評価（テスト）フェーズのあるべき姿を知り、問題なきよう管理する(③)
- 24 プロジェクトの収支について計画し管理する(①)
- 25 ソフトウェアバージョン、ネットワークアカウントなどの環境管理およびシステム利用上のルール策定を主導する(②)
- 26 システム移行／変更計画部分を明確化し管理する(③)
- 27 顧客（社内）情報システムの適正な運用を管理する(③)
- 28 ネットワークのサービス体系、技術動向などを知っている(②)
- 29 基本的なネットワーク技術を知り、仕事に活かしている(②)
- 30 代表的なネットワーク機器の製品仕様を知り、説明することができる(②)
- 31 ネットワーク設計フェーズにつき、効果的な管理をする(②)
- 32 顧客（社内）ネットワークの適正な運用を管理する(②)
- 33 セキュリティ・ソリューション設計について、あるべき姿に向けて主導または管理する(④)
- 34 世界的（グローバル）視野でのシステム提案と構築を主導し、知的資産を蓄積管理する(④)
- 35 インターネットテクノロジーを活用した業務システムの設計・開発管理を行う(②)
- 36 ソフトウェア製品開発フェーズのあるべき姿を知り、問題なきよう管理する(③)
- 37 特許の活用・登録などの知的資産管理活動を主導する(④)
- 38 ソフトウェア導入・保守フェーズのあるべき姿を知り、問題なきよう管理する(③)
- 39 ISV ソフトの選択・評価を行い、適切な業務パッケージを選定する(④)
- 40 既存ソフトウェア機能（セミパッケージ含む）の有効利用（流用）の指導、あるいは活用を行う(④)
- 41 基本的な情報技術（情報システム、ネットワーク etc）に関して説明をする(②)
- 42 ソリューション技術動向を把握し、システムに結びつけた技術提案をする(②)
- 43 開発システムの設計フェーズにおける品質管理を主導する(②)
- 44 セキュリティ・ソリューション設計について、知財データベースから事例適合を計画する(④)

#### 《資料2:スキル熟達度が定義されているスキル項目》

##### コンサルタント

##### 職種共通スキル項目

- コンサルティングメソッドの活用
- 知的資産管理と活用
- コンサルティングの実施
- 情報システムの評価
- IT ソリューション提案
- プロジェクトマネジメント
- リーダーシップ
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

##### 専門分野固有スキル項目

- 業務改革計画の策定
- IT 戦略の策定
- パッケージの適合性評価と適用

##### IT アーキテクト

##### 職種共通スキル項目

- アーキテクチャ設計
- 設計技法
- 標準化と再利用
- コンサルティング技法の活用

- 知的資産管理と活用
  - テクノロジー
  - インダストリ（ビジネス）
  - プロジェクトマネジメント
  - リーダーシップ
  - コミュニケーション
  - ネゴシエーション
- 専門分野固有スキル項目
- アプリケーションアーキテクチャ設計
  - インテグレーションアーキテクチャ設計
  - インフラストラクチャアーキテクチャ設計

---

#### IT スペシャリスト

---

##### 職種共通スキル項目

- テクノロジー
- デザイン
- ソフトウェアエンジニアリング
- 業務分析
- コンサルティング技法の活用
- 知的資産管理と活用
- プロジェクトマネジメント
- リーダーシップ
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

##### 専門分野固有スキル項目

- システムプラットフォーム構築
- システム運用管理機能構築
- データベース構築
- ネットワーク構築
- 分散コンピューティングシステム構築
- セキュリティ機能構築

---

#### ソフトウェア開発

---

##### 職種共通スキル項目

- ソフトウェアエンジニアリング
- テクノロジー
- デザイン
- 開発方式設計
- 分析・要求定義
- プロジェクトマネジメント
- リーダーシップ
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

##### 専門分野固有スキル項目

- ハードウェア適合設計
- プラットフォーム非依存設計
- 業務適用設計

---

#### アプリケーションスペシャリスト

---

##### 職種共通スキル項目

- 業務分析
- テクノロジー
- デザイン
- ソフトウェアエンジニアリング
- コンサルティング技法の活用
- 知的資産管理と活用
- プロジェクトマネジメント
- リーダーシップ
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

##### 専門分野固有スキル項目

- 汎用業務システム構築(人事・会計・総務等)
- インダストリ固有業務システム構築
- 業務パッケージを活用した業務システム構築

---

#### プロジェクトマネジメント

---

##### 職種共通スキル項目

- プロジェクト統合マネジメント
- プロジェクト・スコープ・マネジメント
- プロジェクト・タイム・マネジメント
- プロジェクト・コスト・マネジメント
- プロジェクト品質マネジメント
- プロジェクト人的資源マネジメント
- プロジェクト・コミュニケーション・マネジメント
- プロジェクト・リスク・マネジメント
- プロジェクト調達マネジメント
- 業務分析
- コンサルティング技法の活用
- 知的資産管理と活用
- リーダーシップ
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

##### 専門分野固有スキル項目

- ITソリューション設計・開発管理
- 情報システム管理
- 通信環境設計・運用管理
- 新規ソフトウェア開発・既存ソフトウェア改良

---

#### 《資料3:スキル熟達度のレベル定義》

スキル熟達度は達成度指標に示す経験と実績を遂行するために必要な能力を整理したものであり、「<量, 質的職務条件>において, <責任>として, <行為内容>を行い, <行為程度>できる」と表現される。

以下に<量, 質的職務条件>部分が ITSS でどのよう

に規定されているかを示す。

=====

●コンサルタント 専門分野：BT/IT 共通

レベル 7★年間売上金額 2 億円以上または、5 名以上のコンサルタントが参画する(BT/IT)コンサルティングプロジェクトの責任者として、・・・

レベル 6★年間売上金額 1 億円以上または、3 名以上のコンサルタントが参画する(BT/IT)コンサルティングプロジェクトの責任者として、・・・

レベル 5★年間売上金額 3 千万円以上または、単独または 2 名以上のコンサルタントが参画する(BT/IT)コンサルティングプロジェクトの責任者として、・・・

レベル 4★年間売上金額 1 千万円以上または、単独または 2 名以上のコンサルタントが参画する業務改革(BT/IT)コンサルティングプロジェクトのコンサルティングチームのリーダーとして、・・・

●コンサルタント 専門分野：パッケージ適用

レベル 6★年間売上金額 3 億円以上または、10 名以上のコンサルタントが参画するパッケージ適用コンサルティングプロジェクトの責任者として、・・・

レベル 5★年間売上金額 1 億円以上または、5 名以上のコンサルタントが参画するパッケージ適用コンサルティングプロジェクトの責任者として、・・・

レベル 4★年間売上金額 3 千万円以上または、3 名以上のコンサルタントが参画するパッケージ適用コンサルティングプロジェクトのコンサルティングチームのリーダーとして、・・・

=====

●IT アーキテクト

専門分野：アプリケーションアーキテクトチャ/インテグレーションアーキテクトチャ/インフラストラクチャアーキテクトチャ 共通

レベル 7★ピーク時の要員数 500 人以上で複数のアーキテクトが参画するプロジェクトにおいて、ソリューション設計の責任者として、・・・  
また当該テーマに関して、学会、テクニカルコミュニティ、講演等で発表することができる

レベル 6★ピーク時の要員数 50 人以上 500 人未満で複数のアーキテクトが参画するプロジェクトにおいて、ソリューション設計の責任者

として、・・・

レベル 5★ピーク時の要員数 10 人以上 50 人未満のプロジェクトにおいて、ソリューション設計の責任者として、・・・

レベル 4★ピーク時の要員数 10 人未満のプロジェクトにおいて、ソリューション設計の責任者として、・・・

=====

●IT スペシャリスト

専門分野：プラットフォーム/システム管理/データベース/分散コンピューティング/セキュリティ 共通

レベル 6★ピーク時の要員数 50 人以上のプロジェクトにて、技術チーム責任者として、・・・

レベル 5★ピーク時の要員数 10 人以上 50 人未満のプロジェクトにて技術チーム責任者として、・・・

レベル 4★ピーク時の要員数 10 人未満のプロジェクトにて、技術チームリーダーとして、・・・

レベル 3★技術チームメンバとして、・・・

●IT スペシャリスト 専門分野：ネットワーク

レベル 6★300 ノード以上の大規模ネットワークプロジェクトにて技術チーム責任者として、・・・

レベル 5★100 ノード以上 300 ノード未満の中規模ネットワークプロジェクトにて技術チーム責任者として、・・・

レベル 4★100 ノード未満の小規模ネットワークプロジェクトにて技術チームリーダーとして、・・・

レベル 3★技術チームメンバとして、・・・

=====

●ソフトウェア開発

専門分野：基本ソフト/ミドルソフト/応用ソフト

レベル 6★管理する要員数がピーク時 15 名以上で構成される(基本ソフト/ミドルソフト/応用ソフト)開発プロジェクトの開発責任者として、・・・

レベル 5★管理する要員数がピーク時 5 名以上 15 名未満で構成される(基本ソフト/ミドルソフト/応用ソフト)開発プロジェクトの開発責任者として、・・・

レベル 4★プロジェクトに参画する要員数がピーク時 5 名以上 15 名未満で構成される(基本ソフト/ミドルソフト/応用ソフト)開発プロジェクトの開発チームリーダーとして、・・・

レベル 3★(基本ソフト/ミドルソフト/応用ソフト)開発プロジェクトの開発チームメンバとして、・・・



---

**●アプリケーションスペシャリスト**

専門分野：業務システム/業務パッケージ 共通

レベル 6★ピーク時の要員数 50 人以上の(業務パッケージを活用する)アプリケーション開発プロジェクトにおいて、開発チーム責任者として、・・・

レベル 5★ピーク時の要員数 10 人以上 50 人未満の(業務パッケージを活用する)アプリケーション開発プロジェクトにおいて、開発チーム責任者として、・・・

レベル 4★ピーク時の要員数 3 人以上の(業務パッケージを活用する)アプリケーション開発プロジェクトにおいて、開発チームリーダーとして、・・・

レベル 3★(業務パッケージを活用する)アプリケーション開発プロジェクトの開発チームメンバーとして、・・・

---

**●PM 専門分野：IT アウトソーシング**

レベル 7★契約金額 100 億円規模、または契約期間 10 年超の長期契約プロジェクト責任者として、・・・

レベル 6★契約金額数 10 億円規模または契約期間 5 年超の中期契約プロジェクト責任者として、・・・

**●PM 専門分野：システム開発**

レベル 7★ピーク時の要員数 500 人以上、または年間契約金額 10 億円以上規模のプロジェクト責任者として、・・・

レベル 6★ピーク時の要員数 50 人以上 500 人未満、または年間契約金額 5 億円以上規模のプロジェクト責任者として、・・・

レベル 5★ピーク時の要員数 10 人以上 50 人未満、または年間契約金額 1 億円以上のプロジェクト責任者として、・・・

レベル 4★ピーク時の要員数 10 人未満、または年間契約金額 1 億円未満のプロジェクト責任者として、・・・

レベル 3★プロジェクトメンバーとして、プロジェクトマネージャー(または、リーダー)のもとで・・・

**●PM 専門分野：ソフトウェア製品開発**

レベル 7★ピーク時の要員数 500 人以上のプロジェクト責任者として、・・・

レベル 6★ピーク時の要員数 50 人以上のプロジェクト責任者として、・・・

レベル 5★ピーク時の要員数 10 人以上 50 人未満のプ

ロジェクト責任者として、・・・

レベル 4★ピーク時の要員数 10 人未満のプロジェクト責任者として、・・・

**●PM 専門分野：ネットワークサービス**

レベル 6★管理する要員がピーク時 50 人以上または導入作業拠点が 300 拠点以上の大規模ネットワークプロジェクト責任者として、・・・

レベル 5★管理する要員がピーク時 10 人以上または導入作業拠点が 100 拠点以上の中規模ネットワークプロジェクト責任者として、・・・

レベル 4★管理する要員がピーク時 10 人未満または導入作業拠点が 100 拠点未満の小規模ネットワークプロジェクト責任者として、・・・

---

**《資料4:職種の説明(本学が対象とする6職種)》**


---

**【職種】コンサルタント**

顧客の経営・業務上の課題を分析し、それを解決する事業戦略やシステム戦略の立案、カウンセル、パッケージ導入の提言等を行なう。

**● BT (Business Transformation)**

経営・業務の課題に対して、ビジネスプロセスのリエンジニアリングによる解決策を提示する。

**● IT**

経営・業務の課題に対して、情報技術を活用した解決策を提示する。

**● パッケージ適用**

経営・業務の課題に対して、パッケージを適用した解決策を提示し、パッケージ導入の提言・支援を行なう。

---

**【職種】IT アーキテクト**


---

顧客のシステム戦略やビジネス/IT 上の課題を分析してソリューションの枠組みを策定し、システム方式を設計する。開発に関しては、必要に応じコンポーネント設計の助言も行なう。

**● アプリケーションアーキテクチャ**

機能要件の機能属性、仕様を明らかにし、アプリケーションアーキテクチャ(アプリケーションコンポーネント構造、論理データ構造等)を設計する。

**● インテグレーションアーキテクチャ**

異種あるいは複数の情報システム間の統合及び連携仕様を明らかにし、インテグレーションアーキテクチャ(フレームワーク構造およびインタオペラビリティ)を設計する。

**● インフラストラクチャアーキテクチャ**

システム基盤要件としてのシステム属性、仕様を明らかにし、インフラストラクチャアーキテクチャ(システム

マネジメント、セキュリティ、ネットワーク、プラットフォーム等)を設計する。

---

#### 【職種】IT スペシャリスト

---

システム上の課題を解決するために必要なコンポーネントの設計、構築および導入を行なう。(コンポーネントとは、プラットフォーム、データベース、ネットワーク、分散コンピューティング、セキュリティなどのシステム構成要素)

##### ● プラットフォーム

ソリューションおよびソリューション・コンポーネントの基盤となるシステムプラットフォームの設計、構築および導入を行なう。(プラットフォームとは、システム/サーバをサポートしているオペレーティング・システムおよび関連するシステムソフトウェアやミドルウェアであり、システム開発/アプリケーション開発の前提となる基盤システムである。)

##### ● システム管理

ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーションを含めたシステム運用・管理の設計、構築および導入を行なう。

##### ● データベース

データベースの物理/論理設計、回復管理などの設計、構築および導入を行なう。

##### ● ネットワーク

ネットワークの構成要素、ネットワーク網、キャパシティ、障害回避手段などの、設計、構築および導入を行なう。

##### ● 分散コンピューティング

Model View Control(MVC)モデルにおける コントロールのレイヤ、機能などの設計、構築および導入を行なう。

##### ● セキュリティ

企業内、企業間で必要とされるセキュリティ機能、セキュリティのためのコンポーネントなどの設計、構築および導入を行なう。

---

#### 【職種】ソフトウェア開発

---

市場ニーズに基づき、OS やミドルウェア、業務パッケージ、パソコン用ソフトなどのソフトウェア製品を企画し、設計、開発を行なう。上位レベルではソフトウェア製品に関連したビジネス戦略の立案やコンサルテーションも行なう。

##### ● 基本ソフト

OS、言語、ネットワークなど、ハードウェアの特性を活かした基本的な機能を提供し、コンピュータシステム全体を管理する基本ソフトウェアに関する設計、開発、カスタマイズおよび技術支援を行なう。

##### ● ミドルソフト

データベース管理、トランザクション処理機能、分散オブジェクト環境などの機能を提供するプラットフォームに非依存なソフトウェアに関する設計、開発、カスタマイズおよび技術支援を行なう。

##### ● 応用ソフト

業務パッケージ (ERP, CRM などを含む)、オフィススイートなど、特定の目的または領域で、情報システムを利用した業務改革、ビジネスプロセス改善および作業の効率化などを支援するソフトウェアに関する設計、開発および技術支援を行なう。

---

#### 【職種】アプリケーションスペシャリスト

---

業務に関するユーザーの要望を分析し、会計や顧客管理、製造や販売など適用業務アプリケーションの設計、構築、導入、テストを行なう。また、業務パッケージのカスタマイズ、機能追加、導入および保守を行なう。

##### ● 業務システム

業務に関するユーザーの要望を分析し、適用業務の設計、開発および導入を行なう。

##### ● 業務パッケージ

業務に関するユーザーの要望を分析し、業務パッケージのカスタマイズ、機能追加、導入および保守を行なう。

---

#### 【職種】プロジェクトマネジメント

---

プロジェクトの責任者として、プロジェクトの立上げ、計画策定、遂行・進捗管理を行ない、契約上の納入物にも責任を持つ。

##### ● システム開発

IT ソリューションの設計、開発に関わるプロジェクトマネジメントを行なう。

##### ● IT アウトソーシング

情報システムの効果的な運用に係るプロジェクトマネジメントを行なう。管理対象としてアプリケーション開発/保守、システム運用、サポートデスク運用、業務運用などが含まれる。

##### ● ネットワークサービス

データ (LAN/WAN)、画像、映像等の通信環境の設計、導入および管理に係るプロジェクトマネジメントを行なう。

##### ● ソフトウェア製品開発

ソフトウェア製品の設計、開発、改良および保守に係るプロジェクトマネジメントを行なう。



# A Trial for Education on the Upper Portion of the Design Process for Information Systems

Yukio Namba and Yuka Kato\*

## Abstract

In the field of information systems (IS) design, the upper portion of the design process (upper process), which maps business structures into information systems, is growing in importance. In spite of that situation, it is difficult to develop human resources to design the upper process. One reason might be that this field requires the capabilities of abstraction and modeling, abilities that may be difficult to learn through traditional lecture-type education. On the other hand, applying PBL (Project-based Learning) to the field of information systems educations is attracting attention, though it is a relatively new and challenging methodology. PBL is a teaching technique that lets students internalize competencies in problem solving through doing actual projects of related activities. In this report, we try to incorporate the concepts and methodologies included in PBL into the course of advanced exercises in a professional school, to clarify the major issues. We can get some idea of the way PBL works through the course.

Keywords: Project-based Learning, Upper Process of Information Systems, Conceptual Data Modeling Method, Tacit Knowledge, Human Resources

## 1. Introduction

The upper portion of the design process (upper process) of an information system, including conceptual data modeling, is growing in importance and value. Conceptual data modeling aims to map the structure of a business (business architecture) to the information systems as an abstracted data model. On that account, demand for development of human resources in advanced information and communication technologies (ICT) is increasing. Both public and private sectors have started to promote comprehensive measures.

The Nippon Keidanren (Japanese Federation of Economic Organizations) advocated the proposal[1], "Towards Strengthening Development of Human Resources in Advanced Information and Communications Technology (ICT) by Industry - Academia - Government Collaboration." In this proposal, the Nippon Keidanren emphasized, "The focal point of Japanese ICT policy is to bring about tangible results in the future, such as improvements in the quality of people's lives and enhanced industrial competitiveness, through promoting utilization of ICT. In order to realize this idea, the key success factor is the development of human resources." The federation

established a specific structural plan consisting of two center schools and several collaborating schools and institutes; in addition, it distributes teaching materials and dispatches teaching staff. Although the IT Strategy Headquarters and Ministry of Internal Affairs and Communications focus on the importance of human resources development, these programs do not seem to accomplish the objectives.

Especially in the field of information systems, the number of technical experts who can manage or design upper process is insufficient, and development of these human resources is an issue of burning concern. Ura et al. defined an information system as "a scheme to collect, process, communicate, and utilize information necessary for the activities of an organization (or society). An IS consists of schemes of both human and mechanical features in the extended meaning[2]." According to this definition, an information system is a concept to combine the entire scope of a business, or the activities of an organization or society. In this respect, the perspective of information systems differs from that of software engineering, which aims, in short, to build good software. Thus, to build an information system requires grasping the structure of a business in the objective domain. These processes correspond to what

is called the “upper process.”

Developing human resources to design the upper process of information systems requires experience and thorough knowledge of business. In addition, and more importantly, it requires knowing how to transfer the skills of business modeling. In other words, transferring the expert’s “tacit knowledge” is a key issue in the education. Accordingly, delivering traditional types of lectures would not be an effective means to bring about this knowledge transfer; so finding viable educational methods for this purpose becomes the real issue.

Very few cases of effective education in the upper process of information systems have been performed in universities or graduate schools, due to the lack of suitable educational methodologies and instructors with firsthand experience. Even for an enterprise’s in-house training, almost no systematic educational method has been introduced. Most cases have been handled in the name of OJT (on-the-job training) and depend on the instructor’s personal experience, which is delivered in an impromptu manner. However, this teaching method may not be effective except when they can get proper instructor.

PBL (project-based learning) has attracted attention as a learning method that can complement or alternate with traditional coursework, case studies, or OJT. The Ministry of Internal Affairs and Communications mentioned PBL in the “Development of Practical Program Course Materials to Foster Advanced Human Resources for Information and Communication.” It said that “PBL is a developing method for acquiring the ability of problem solving through letting the learner experience actual or pseudo projects. Usually, learners form teams and participate in actual or pseudo projects; they realize the methods and abilities for problem solving through the projects.”

In the world’s leading countries, many educational institutions have introduced PBL or learning methods with similar concepts instead of using the traditional educational system. For instance, The Eindhoven University of Technology has formulated its teaching system to include all knowledge-based education as part of PBL, and the school does not deliver any lecture-type education. As Eindhoven also implements other mechanisms to support PBL, this example

serves as a useful reference. Many other educational institutes, such as Stanford and Carnegie Melon University, have already adopted PBL, with encouraging results.

In Japan, some trials on PBL, or experience-based education, have been reported. Ohiwa et al.[3] conducted collaborative management-type information systems education, with the sponsorship of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology. According to Ohiwa and his teaching staff, the group consists of a project manager (PM) and two or three students. Project managers, who have almost no experience, are invited mainly from software companies. The themes solicited from the neighboring society are allocated to the PM, who then selects the project members from among the students. The characteristics of this method involve two kinds of education, one for the PM and the other for software engineers.

The Future University of Hakodate (FUN) also provides third-year students with project learning opportunities[4]. According to their website and an interview with a key member, who promoted this program at FUN, the aim of project-based learning focused on how to nurture the ability to think independently. The program was started in 2002 but faced a lot of problems, such as the burden of instructors or dissatisfaction with the grouping of students. However, after 2004, the program got back on track. The decisive factors were:

- Adopting a system in which multiple instructors manage the project team; and
- Respecting the independence of the students.

Now FUN has succeeded in establishing a collaborative relationship with local businesses.

These illustrations of learning through experience show interesting distinctions and advantages over traditional methods. In most cases, however, the objective domains are treated as fields to develop individual software and project management involved in the program process. Totally adapting PBL to comprehensive education on information systems, especially to the upper process, still seems to be in the stage of trial and error. Moreover, its applications are only a part of the annual curriculum, used to complement traditional lectures.

As mentioned above, cases in which PBL has been

applied to the field of information systems education have gradually become popular. But PBL, as applied to the upper process, has not yet been implemented in Japan. Therefore, specific instructional designs in this field remain unclear. Some teaching materials for a part of project management have already been prepared, but not for the major part of information systems, such as software, infrastructure, and architecture design. Even the effectiveness of the prepared materials remains uncertain, because teachers have almost no experience in adapting them for actual classes.

Applying PBL to education on the upper process of information systems might be effective, but unknown factors for full-scale implementation still remain. With that in mind, the authors of this study applied PBL to a course of advanced exercises in an attempt to learn a conceptual data modeling method. The aim was to clear potential issues that may emerge when PBL is used in teaching the upper process in professional schools. This course aimed to develop the ability of problem solving through projects. In addition, as a secondary purpose, the authors aimed to clarify the issues that may arise in the full-scale implementation of PBL for the upper process.

## 2. Issues and solutions on education of the upper process for information systems

### 2.1 Conceptual data modeling method

Conceptual data modeling originated from the ANSI/SPARC three-level schema concept of to describe the structure of the real world (Universe of Discourse). Teshima and The MASP (Manufacturing Architecture for Series Production) Association applied this concept to analyze the business structure and describe it as a data model[5]. They have refined this methodology and named it the conceptual data modeling method (CDM). Many companies have applied this method to rebuild their information systems. The structure and characteristics of the objective world, in which people are commonly interested, can be described as a conceptual data model.

When we describe the structure of a business in a conceptual data model, we use three types of models: the static, dynamic, and coalition models. The static

model describes the relationship among entities and uses the ERD (entity relationship diagram). The dynamic model shows states of transitions of entities by the behavior of events. The coalition model represents the relationship between entities and events generated in the logical organization.

### 2.2 Education in CDM

Education in software engineering, which belongs to the neighboring domain of information systems, has been developed systematically, in some measure. In the field of information systems, however, the modeling of business architecture has not been addressed. Education in CDM involves transferring tacit knowledge. Extracting the key entities and events from the real world requires the ability of abstraction.

In thinking about a model to boil water, for instance, the key entity is water, and the key event is heating. The essence of this model is that room temperature water is heated and transitioned to the boiling point. A kettle and stove, which are usually used to heat water, are accidental entities or events, and are not always necessary; another apparatus, like a pan or microwave, could be used. In this manner, CDM involves abstracting the key entity and event—such as water or heating—from the real world (universe of discourse). The methodology lets students experience an “aha!” moment, which is preferable in teaching this kind of objective domain, rather than the one-way delivery of traditional lectures.

### 2.3 Issues

When we give instruction on CDM at user companies, we ask the businesses to gather a group of key people with a deep knowledge of their business processes. Then we lead discussions to extract the key entities and events from their well-known business domains; we also teach them how to model. In these situations, the information systems department staff acts as group facilitators, to lead the discussions and illustrate how to model. Although the personnel of the information systems usually understand the outline of business processes in the objective domain, they often don't grasp the concepts on a detailed level. Thus, it is much more effective to let user members model their business architecture by themselves, if they

understand the concept and method of CDM.

When we conduct the course on CDM in a school, learning members are students whose role should be to act as facilitators. Accordingly, the students serve as both facilitators and users, even when they barely know the actual processes. This is the major reason why we need cooperation from the outside business world.

### 3. Issues in PBL

#### 3.1 PBL in a professional school

The subjects of this study are enrolled in graduate school, working on master’s degrees in the professional school for information systems. Most of the students have jobs during the daytime; the majority has around ten years of business experience. Almost half of the students work for information systems departments of user companies, and the other half work for vendor companies of information systems. Students typically entered the school because they had little systematic understanding of this field, despite their years of experience.

Some members came from academic backgrounds, but the majority worked as practitioners. Practitioner professors were newly hired when the institute was founded. Most of them have enough knowledge and experience in business practice and information systems; however, they do not have the experience of a graduate school education. If the practitioners and academics can collaborate with each other and complement their merits, this mixed teaching team can create unique educational opportunities for aspiring specialists. One distinctive point of this institute is to introduce PBL into information systems education prior to other graduate or professional schools. For second-year students, especially, the institute provides only PBL and no lecture-type lessons.

#### 3.2 Issues of teaching materials for PBL

Two kinds of teaching materials for PBL are possible: scenarios and actual cases. The scenario type covers possible progress of a project, treating its variance within the realm of assumption as the fluctuation of the project. The actual case type treats a case from the real world as the project’s theme. In this

case, it is impossible to predict what will happen for the project in an extreme case. The characteristics of each type are shown in Table 1.

Table 1 Comparison of Course Material between Scenario Type and Actual Case Type.

|                 | Scenario Type  | Actual Case Type  |
|-----------------|--|---|
| Description     | Prepare scenario in which possible factors are incorporated in advance, and proceed with PBL along the scenario. | Set an actual case as a project theme, and proceed with PBL along with its progress.  |
| Characteristics | Instructors who have a certain level of experience can teach this type, as long as they follow the scenario.     | Unpredictable problems may occur because of the actual case. The instructor must have the capability to handle the problem. Schedule cannot be guaranteed due to the non-predictability of the actual case. |

Each type of material has its own merits and detriments toward applying PBL in teaching information systems in professional schools. The scenario type requires making comprehensive surveys and analyses of many cases. Fluctuation factors of projects need to be on the same level as actual occurrences in real business processes. The actual case type of material satisfies the controversial points of the scenario type, but other issues remain unclear. These are:

- Can we select themes to anticipate some level of achievement for the students?
- Can we guarantee the some extent of achievement for the collaborators who offer the theme?

These two types of materials are not necessarily conflicting concepts; nor are they alternatives. Some institutes use the scenario type for their first 3 months and the actual case type for the following 9 months. Their rationale is to focus on understanding PBL itself for the first 3 months, and then execute practical education for the next 9 months.

#### 3.3 Issues about students

The skills and competency levels of students are distributed widely. Some have already fulfilled decisive roles or have had experience with big projects, while others are recent college graduates. Concerning business experience, some students are IT experts, while others are inexperienced or engage in business

services. This issue poses the problem of how to set educational goals and levels. As most of the students have daytime jobs, the course has a temporal constraint. For instance:

- Working times for the course are restricted to the evenings for weekdays and Saturdays;
- Times to interview the users during the day are difficult to find; and
- Interview arrangements at users' offices are difficult to set up because the students' working places are distributed.

#### 4. The course of advanced exercises in information systems architecture

##### 4.1 Overview and objectives

We planned CDM exercises into the course of "advanced exercises in information systems architecture" for first-year students in order to examine the influence of the above-mentioned issues and solutions. As CDM is the first step in designing information systems, it must use suitable themes for teaching the upper process. We conducted CDM exercises as a project form with a specific theme. The course consisted of 15 time-units of 90 minutes each. The overview and the purpose of this course are:

- To understand the idea of the conceptual data modeling and learn how to model the real world; and
- To learn the techniques of communication, search and project management as subsidiary purposes throughout the project.

The objective of this study is to learn how to model the real world, although knowing how to make a good model is also important.

As this study is a compulsory subject, all first-year students must take this course. The key point would be for students to understand the users' business processes as the course requires the students in their roles as facilitators to behave as customers (users). Therefore, we set the issue of the course as learning how to get effective or valuable information from users within the restricted interview time.

##### 4.2 Theme of the course

Most participating students do not understand their specific businesses in detail, though they engage in

information systems and can understand the business outlines. In addition, common business domains that allow all of them to share the image are lacking. Accordingly, the theme must be selected from objectives that all students can understand, on a certain level, and about which they can interview people who have knowledge on business. The themes of the actual case-type PBL should be considered within the following constraints:

- We can show a certain level of product within 15 time-units.
- The students can interview users in the evening or on Saturdays.

Considering these conditions, we set the theme as "major business of institution's administration office." We thought the students could easily understand this work, because they usually have contact with this office. In addition, the people in charge would always be available in the office during class hours, so interviews with them could be arranged easily.

##### 4.3 Process of the course

We scheduled the course as shown in Figure 1. The numbers in parentheses in the figure represent the number of time-units. At the first class, we explained the general aspects of the course and divided the participants into six groups, with seven or eight members each, by drawing lots. As the first phase aimed for students to experience the big picture of modeling, the instructors gave scant comments or explicit advice, except on how to model. As explained earlier, this kind of modeling education requires awareness and abstraction capability regarding the objective world, but not technique; and this process needs some length of time.

At the end of the first phase, we set a review meeting. Each group gave presentations on their activities and products to the other group members and instructors. The instructors made comments and gave advice from the perspectives of

- grasping concepts properly; and
- abstracting the object.

We also set a final review at the end of the second phase. In this review, we invited experts in this field to comment on the students' presentations and final products.



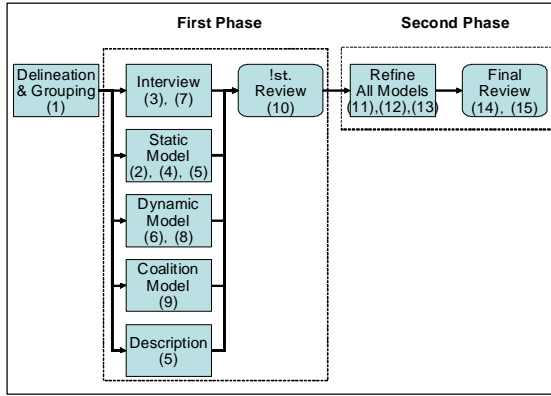


Figure 1 Schedule.

#### 4.4 Role of instructors

The role of the instructor is usually to figure out how to transform the participant's tacit knowledge into explicit knowledge, as shown in a model. However, for this course, the instructor must give support in collecting knowledge of the targeted business domain, because the participants (students) do not have enough knowledge in this field. Therefore, instructors must behave as facilitators of the exercises with students, who will be facilitators in the future.

#### 4.5 Method of education

Three instructors led the class. At the beginning stage of the class, the instructor illustrated CDM and explained how to proceed with the project. Then each teacher took partial charge of the instruction. At first, we had students make a model with adhesive Post-It notes, by writing the selected entity or event onto a square of paper. We considered that keeping the work simple would make participation and understanding easier. According to the progress of each group's work, we allowed participants to use electronic media, such as PC software and video projectors. We asked students to deliver the final product in digital form. We did not give any special instructions about schedule control or sharing work in the group. We left it up to the students to work out these details, to encourage their independence. Figure 2 shows one scene of the class.

Students prepared interviews in the previous class concurrently with the work of the day. In the interviews with users, each group strictly adhered to a 15-minute time slot. All members were allowed to

hear the interviews conducted by other groups, to let them experience various interview techniques. Figure 3 shows the setting of the interview.



Figure 2 The exercises.



Figure 3 User interview.

## 5. Evaluation

To measure the effectiveness of the course, we assessed the group documents based on evaluation metrics. This section illustrates the results.

### 5.1 Evaluation metrics

The goal of education about the upper process is to develop faculties for designing good conceptual data models. Therefore, we examined whether the students learned methods for designing a data model and acquired competent design skills through the course. There are various ways of approaching "good design," and it is difficult to define concrete evaluation metrics for such matters. In this paper, we defined the

following metrics by which we could measure the group documents.

- (1) Is a fixed viewpoint defined?
- (2) Has a good conceptual data model been designed from the viewpoint?
- (3) Are “key entities” and “key events” extracted?
- (4) Are “entities” definitely distinguished from “event?”
- (5) Are all of the modes consistent?

### 5.2 Evaluation method

For the evaluation, three course instructors assessed the group documents using the metrics according to a five-grade system. We explained the method of designing the data model in the first class of the course, so that the students had acquired knowledge of the method before the modeling process took place. Therefore, we could measure the effectiveness of the course by comparing the modeling results just after acquiring the knowledge (the documents at the first review) with the results after terminating the course (the documents at the final review).

### 5.3 Evaluation results

Figure 4 shows the averages of the assessment results for each metric, and Figure 5 shows the average of all assessment results for each group. Blue lines (marked with triangles) indicate the grades of the documents at the first review, and purple lines (marked with squares) indicate those of the documents at the final review.

Figures 4 and 5 show that all of the grades increased for all of the groups in the time between the

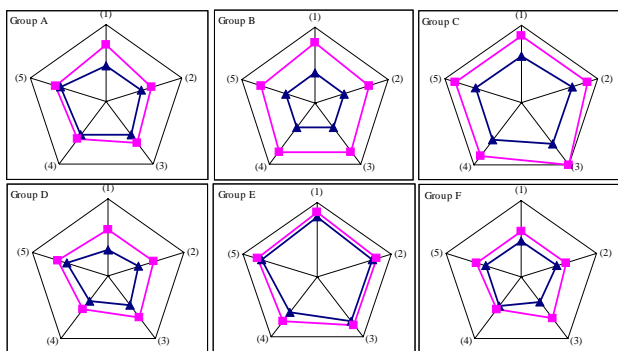


Figure 4 The average of the assessment results for each metric.

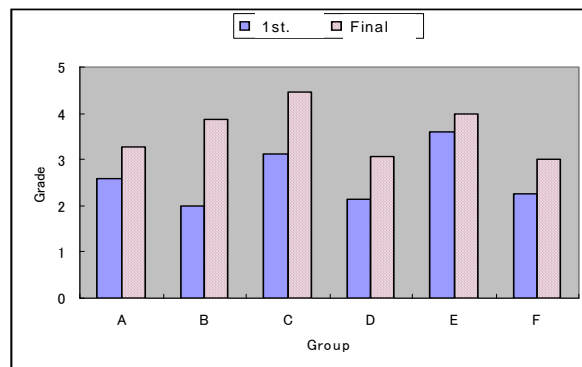


Figure 5 The average of all assessment results for each group.

first and final reviews. We can consider that this progress is a positive effect of the course. The averages of all assessment results increased by an average of a grade of 1.0 (from 0.4 to 1.9), and the average of those at the final review is a grade of 3.6 (from 3.0 to 4.5). In this case, however, an obvious difference in the effectiveness of the instruction among the groups exists. More detailed investigation into these factors is needed.

## 6. Evaluation

### 6.1 Effectiveness of the course

From the evaluation results mentioned in the previous section, we can conclude that PBL is an effective method for education about the upper process of information systems. Here, we compared the assessment results at the final review with those at the first review. It means that a basic difference exists between acquiring knowledge of the design method and acquiring good designing skills. We summarize the results obtained from the course as follows:

- Group work is a suitable form for the course. Though there are some differences in ability to design data models among group members, according to their basic knowledge or experience, these matters did not directly affect the project work. A leader naturally appeared in each group, and all group members performed their parts effectively under the leadership.
- PBL has an important feature, in that students can refer to the project products of other groups

during the review processes. This creates a positive result for education. No fixed correct answer to a conceptual data model exists, and students have a tendency to doubt their acquisition of design skills if they have experience in just a single project. In this course, students realize the existence of various viewpoints for the same target, and they also recognize differences between good and bad models through review processes.

- The interviews with the administration office staff in our university were very effective. At that time, we did not guide the students on interview methodology, with the exception of time management. As a result, some groups prepared adequate questions and selected a suitable member as a questioner; other groups were poorly prepared for the interview and did not know what to ask. However, the interviews were held twice, and all of the groups improved their communication skills by referring to other group interviews.

## 6.2 Factors affecting the educational effect

From the evaluation results, we can also see the differences of the effectiveness of education among the groups. To investigate these factors, we made 47 students (all registered for the course) answer signed questionnaires after terminating the course, and we later collected the surveys and analyzed the results. Below is the content of the questionnaire.

- Experience: Have you ever had experience in business analysis? (Yes/No)
- Document: Was the course document helpful for your work? (Yes/No/Neither)
- Content: Did you understand the purpose of the course? (5 grades)
- Number: Is the number of group members adequate? (5 grades)
- Grouping: Is the way of grouping reasonable? (5 grades)
- Members: Were you dissatisfied with group members? (5 grades)

Figure 6 shows the normalized average values of the assessment results.

The results of the comparison between Figures 5 and 6 indicated that some factors caused the

differences in the effectiveness of the course. For example, Group 6 felt a deep dissatisfaction with group members. The educational effect in this group was relatively low, and problems among group members possibly affected it. For other examples, we can see an interesting feature in Group 2. In this group, many members have experience in business analysis, such as UML, but the assessment result at the first review was low when compared with other groups. Here, analysis experience might have raised barriers to understanding CDM. However, the difference between the assessment results at the first review and those at the final review was the greatest of the six groups. This might be interpreted as meaning that the growth rate was high after students became convinced of the concept, even though their understanding was restricted at the beginning.

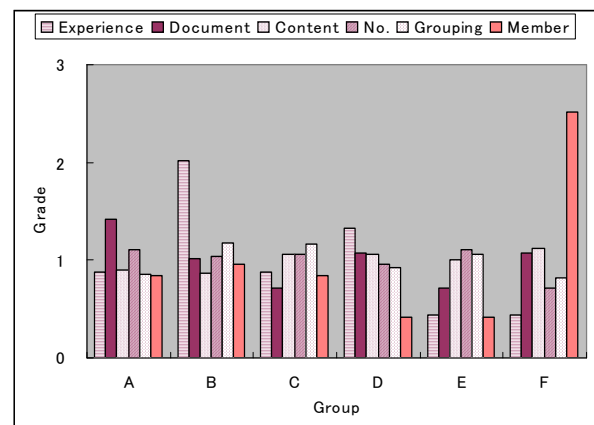


Figure 6 The analysis results of the questionnaire.

## 6.3 Issues of education on the upper process

From the results of the questionnaires mentioned in the previous section, we also recognized some issues of PBL. In this section, we summarize them as follows:

- Adequate number of group members: The comments on the questionnaires said, “The number of group members is too large;” “A lot of work is concentrated in a very few members;” “Four or five is an adequate number of members;” and “It was very difficult to reach agreement in our group because of the number of members.” More detailed investigation is needed on this issue in the future.
- Preparing textbooks: To achieve group work efficiently within a limited time, instructors

need to prepare sufficiently for their courses. In the beginning, we prepared a small brochure for the designing process. However, comments on the questionnaires said, “I want the instructors to add actual examples of data models to the brochure;” and “The contents of the brochure are abstract, and more explanations are needed.” In the future, it will be necessary to prepare a more systematic course design, such as editing textbooks.

## 7. Conclusion

We conducted the course of advanced exercises on CDM as a part of an educational program on the upper process of information systems in a professional school. We evaluated the efficiency and purpose of the course as follows:

- The groups that succeeded in collaborating and sharing the work achieved results.
- We acquired the know-how for presenting effective education about CDM, in spite of constraints of time or place.

With regard to the secondary purpose, we also understood the actual issues and solutions to the next step of full-scale implementation of PBL, as follows:

- Project management is necessary. Collaboration with the group, in which the theme includes project management, might be the solution.
- The configuration of the group affected the performance and products.
- Evaluation of the students’ activities and products throughout the course should be done objectively, analyzing questionnaires and follow-up interviews after the course, as well as the results.
- More quantitative metrics should be developed to assess the effectiveness of the course.
- Implementation of proper digital facilities is necessary to break through the constraints.

Only actual case types have been selected for use in the current teaching materials. We need to collaborate with enterprises and organizations on the following points in order to make these materials effective:

- Offering proper themes;
- Disclosing related information, including inside information;

- Participating in interviews out of due time; and
- Participating in the review meeting, giving comments and advice.

In either case, in order to implement this form of learning effectively, we have to establish a system to collaborate among universities, institutes, and enterprises based on relationships of mutual trust.

## References

- [1] The Nippon Keidanren, “Towards Strengthening Development of Human Resources in Advanced Information and Communication Technology by Industry-Academia-Government Collaboration,” <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2005/039/honbun.pdf>. (in Japanese)
- [2] Ura, S., et al., “Introduction to Information Systems,” Baifu-kan, 1998. (in Japanese)
- [3] Keio University, “Education for Information Systems by Collaborative Management,” <http://crew-lectures.sfc.keio.ac.jp/gp/>, 2006.
- [4] Future University – Hakodate: <http://www.fun.ac.jp/>.
- [5] The MASP Association: <http://www.masp-assoc.org/>.



# City Planning Approach for Enterprise Information Systems

Yukio Namba\*

## Abstract

This paper proposes an EIS city planning approach, which is comprised of an EIS architecture and an EIS scenario. To provide a framework for portraying an EIS, we employ the concept and methodology of city planning in civil engineering. We use the case of the KDDI Corporation to discuss the applicability and effectiveness of our framework. Our framework is intended to offer management and CIOs a useful methodology for designing and implementing EIS architectures from a top-level view of the enterprise, which takes into consideration several stakeholder viewpoints.

Keywords: EIS City Planning Approach, Enterprise Information System, EIS Architecture, EIS Scenario

## 1. Introduction

To date, many studies have attempted to describe an architectural view of an Enterprise Information System (EIS) that is an organic aggregate of disparate information systems. Zachman [27] proposed his well-known IT architecture framework for enterprise systems in his study. Sowa and Zachman [23] enhanced Zachman's framework in order to apply it to larger-scale systems. While this structure has been successfully applied, it focuses on the development of large-scale systems rather than providing a comprehensive view of enterprise information systems (EIS). Following Zachman's framework, for instance, the RM-ODP standard of ISO [16] and the Open Group Architecture Framework (TOGAF) were proposed.

The Federal CIO Council [25] proposed a Federal Enterprise Architecture Framework intended to help architects, the Agency Head, and the Chief Information Officer (CIO) to develop, maintain, and facilitate the implementation of top-level enterprise architecture for federal enterprise systems. In Japan, the IT Associate Council, sponsored by the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), published an interim report on enterprise architecture (EA) in November, 2002, which was based on the Federal Enterprise Architecture. After then, METI prepared various related documents [9] such as a design guideline, texts, reference models and so on.

With these activities in the background, firms have

become increasingly interested in EA. Since most large-scale enterprise information systems are composed of independent, heterogeneous systems developed at different times by independent teams, they often have a complicated structure of disparate architectures. Planning the architecture for such aggregate information systems thus requires a comprehensive approach different from that taken when planning the architecture for individual systems.

In a report that argued that "the failure to distinguish between architectural 'blueprint' level issues and macrocosmic 'city planning' issues" is the primary reason that IT architecture has not worked in the past," the Gartner Group [18] advocated a city planning concept meant to present an entire picture of EIS. According to the report, "The design of a building or an application system is an architectural issue; one set of blueprints can describe the structure in detail because there is one developer." This concept has become known as the city planning concept of IT architecture, in which an analogy is drawn between EIS and cities. Other groups, for instance IBM [7], have proposed similar city planning concepts using the same analogies.

In an article discussing her four IT architecture stages model, Ross [17] argued that although "the city plan concept has given birth to a breed of IT architecture," it often provides "only the technologist's perspective of the relationship between IT and business processes." Ross's criticism of IT city

planning models focuses on the idea that they have not fully exploited IT capabilities. “Accordingly, the city plan metaphor has failed to capture the strategic potentials of enterprise IT architecture.” Rightly, Ross calls attention to “the objectives of the IT architecture, specifying what the architecture enables the business to do.”

Moreover, such city planning concepts focus on giving stakeholders a concrete image of EIS architecture with a metaphor, because the architecture is highly conceptual and abstract with no immediate visible attributes. As Meta Group [2] stated, “City planning is an easily understood metaphor that architects can employ to communicate more effectively the nature and value of architecture by relating unseen enterprise architecture to real-world concepts that are well understood.” Surely, metaphor is helpful in communication between architects and their clients.

However, as long as one adheres to merely a technologist’s perspective or a metaphor as stated above, these kinds of city planning concepts will lose their usefulness in time. Instead, we have proposed the framework of the EIS City Planning Approach [12]; [13]; [14] and other relevant approaches [10]; [11]. Our framework differs from the city planning concept that Ross criticized insofar as:

- It defines the conceptual model of EIS architecture based on the IEEE architecture model.
- It exploits the concept and the methodology of physical city planning that have been cultivated in the long history of the field of civil engineering for the framework of EIS city planning.
- It introduces an “EIS scenario” that stipulates the migration plan.
- It provides classified viewpoints to describe the EIS architectures, rather than discussing architecture in general. The purpose of our classifications is to clarify the necessity of including all stakeholders’ concerns, and describes EIS architecture with views that correspond to each vantage point.

In this paper, we aim to describe an EIS architecture framework using the similarity between cities and EISs. Our EIS City Planning Approach is comprised of both an EIS architecture and an EIS

scenario. First, we illustrate an EIS architecture with reference to the architectural description provided by IEEE Computer Society. We then discuss an EIS scenario that includes a migration plan in terms of a mechanism of program management to achieve an aggregation of each project included in an EIS. The term “program management” comes from a key concept in Project and Program Management (P2M). “Program,” in this context, means an organic combination of projects that focuses on a specific mission, and it is distinguished from the term “multiple project,” in which the interdependency of each project is low or none. Finally, we discuss the applicability and effectiveness of our framework by applying it to the KDDI Corporation, and demonstrate that it is both a workable approach and an example of an EIS city planning approach.

## 2. EIS City Planning Approach

In this and the following section, we describe the concept and the outline of the EIS city planning approach with references to the precedent paper by Namba and Iijima [14].

### 2.1 EIS architecture

Both Federal Enterprise Architecture Framework [24],[25]and EA Guideline [9] have defined an “enterprise” as “an organization (or cross-organizational entity) supporting a defined business scope and mission.” This definition, however, seems a bit ambiguous for the firm that adopts the business unit system, since the definition is applicable to the whole company or to a single business unit. We instead define enterprise as the highest level of business domain governed by unified policy. When the lower business domains are highly independent and the business relationship to upper level is weak, we can also define the independent business unit as, substantively, an enterprise. Enterprise includes not only business enterprise but also non-business enterprise, such as governmental ones.

For the term “architecture”, we have referred to IEEE Std 1471-2000 [8], which illustrates an architectural description using a class diagram showing the relationship between stakeholders, concerns, viewpoints, views, etc. We modified the

IEEE diagram to describe EIS architecture by arranging some elements in line with the nature of EIS, changing the definition of terms, simplifying the architectural description, and describing the class diagram (shown in Figure 1).

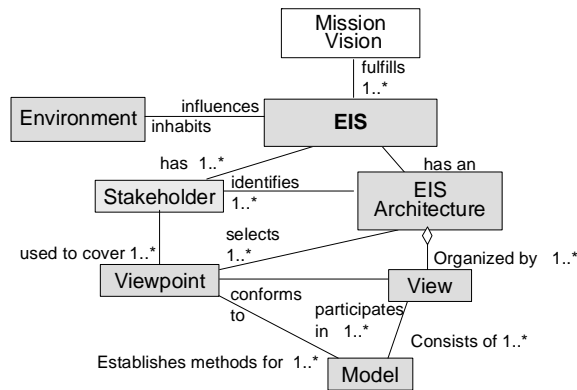


Figure 1. Conceptual Model of EIS Architecture

An EIS that fulfills the vision or mission of a firm takes into account both EIS architecture and stakeholders. Planning EIS architecture, in other words, requires identifying stakeholders, selecting one or more viewpoints, and organizing the plan by views. A view conforms to a viewpoint and may consist of one or more models. Each model is established with a method defined by the corresponding viewpoints. A viewpoint, in turn, determines the associated modeling method and analysis techniques. The architect's role is to design EISs comprehensively from viewpoints defined according to the concerns of stakeholders.

Generally, stakeholders of information systems include IS staff, end users, the owner(s), the systems developer, management, etc. [4]; [8]; [16]. In the context of EIS, stakeholders include management members, CIOs, local management, EIS architects, and other persons who have an architectural concern in the outcome of EIS. Insofar as an EIS must connect customers (business to customer electronic business: BtoC) and/or aligned or partner companies (business to business electronic business: BtoB), the definition of stakeholders can be extended to include persons or parties of the relevant information systems, such as customers, allied companies, and business partners. But generally they may not have any concern in designing EIS architecture. Usually the social

environment, corporate social responsibility (CSR), or competent authorities exert influence on an EIS, but these do not have the same level of concern in it. Because of this, all of these factors are not included in stakeholders of EIS but in the “environment”, and they have a direct or indirect effect on each stakeholder through the EIS.

An EIS must meet the vision and/or mission of the enterprise, as shown in the top box of the class diagram in Figure 1. When a firm plans an EIS, the architect must map out the vision of the to-be EIS architecture, which becomes a blueprint to portray the future enterprise system. Generally, it may be difficult to migrate from an existing EIS architecture (as-is EIS architecture) to this ideal architecture (to-be EIS architecture) directly because of such constraints as human resources, technological capabilities, the current status of affected information systems, the social environment of a firm, and CSRs. With these constraints, a firm must set the actual target outcome for EIS architecture (live-to-be EIS architecture). Since the nature of a live-to-be EIS architecture varies with time, the architect has to periodically review and modify, if necessary, in accordance with actual performance, degree of environmental change, and the progress of technologies.

## 2.2 EIS Scenario

“Development plan” and “zoning” are fundamental rules for concrete land utilization in realizing a physical city plan [5]. Since city planning is closely related to the law and/or regulation systems of a country, usage of terms are different to some extent among countries. In the United States, for instance, a development plan is called a comprehensive plan, a regional plan, or the master plan [3], [6]. “Traditional zoning ordinances deal with this aspect of physical form by setting specifics of height, setbacks, and coverage. There are also more elaborate and involved regulations...” [22]. Zoning, however, has various meanings, such as “incentive zoning” or “performance zoning”, since it is closely related to the relevant law and regulation in each country. Thus the meanings of the terms are subtly different and vary as time goes on. In this paper, we follow Fukukawa’s work [5] that aims to compare the systems of city planning between the US and Japan.



A development plan is a long-range master plan project that shows a target feature of a city's structural fabric and directionality for urban policy. In this sense, a development plan is a measure intended to solve issues proactively. Zoning is a rule or regulation enacted to control land utilization, which classifies an area, delineates usage of land, or prohibits a particular land usage. Typically, zoning aims at harmonizing land utilization in accordance with the characteristics of an area. Thus, zoning may be characterized as a passive planning technique.

Applying the analogy to EIS, a development plan corresponds to a mid- to long-range plan focused on realizing a live-to-be EIS architecture, while zoning corresponds to a migration plan with daily governance intended to achieve a live-to-be EIS architecture iteratively. Zoning formulates the EIS service portfolio with the aim of creating an integrated information infrastructure and executes this portfolio in accordance with regulations or pre-existing standards, which are analogous to a land utilization program or a building code.

City planning includes two methods of execution: new development, which may develop, for instance, a neighborhood or shopping center on vacant parcels; and redevelopment, which develops on land that houses old buildings and old infrastructures. Redevelopment applies to, for instance, slum clearance, and includes scrap-and-build, rehabilitation, and conservation approaches. The goal of rehabilitation is to repair a building or infrastructure while maintaining an existing community, while conservation aims at inhibiting deterioration. Redevelopment methods are characterized by the utilization of present infrastructures and assets, which are converted iteratively. Just as an EIS city planning approach necessitates consideration of cost, time, and risk, firms have to select a suitable method within the given situation and promote the project appropriately.

An EIS scenario implies a program management technique that manages an aggregate of projects concurrently at the level of the whole firm rather than a project management that targets each independent project. It includes both a long-range and short-range perspective while it envisages both the impact of the architecture of each information system and the likely

lifecycle phases of each project with an emphasis on future optimization. On this account, a combination approach of an iterative that has the zoning-like idea and a small-sized big-bang is applicable. In the words of Ewusi-Mensah [4], "the most obvious advantage of using the phased-lifecycle approach is to help the project team realize what the deliverables for each stage are and to know if they have been satisfied. The iterative nature of systems development notwithstanding, the phased-lifecycle approach has been instrumental in helping to manage and control the development of large, complex systems successfully."

Further, an EIS scenario includes a migration plan that delineates EIS strategy based on the given enterprise business strategy. The target migration is to a live-to-be EIS architecture that maintains consistency among all information systems in the enterprise. An EIS scenario also takes into account program management, which includes EIS activities such as maintenance, systems monitoring, and operation tasks. As a framework, an EIS scenario includes processes, activities, and tasks of software products. Further, it has to cover the entire lifecycle-model, from the design phase to the disposal phase.

### 2.3 EIS City Planning Approach

Our EIS City Planning Approach provides a methodology for designing an EIS architecture as a meta-architecture, for planning an EIS scenario, and for executing the migration required to realize this scenario.

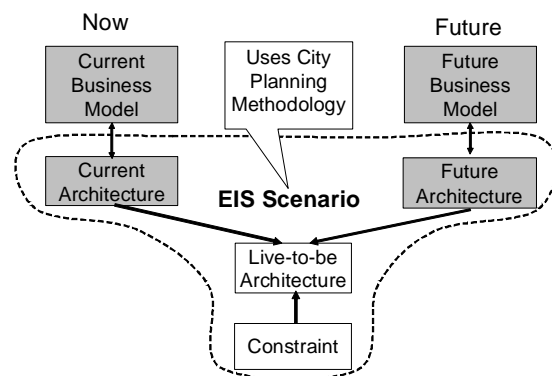


Figure 2. Framework of EIS City Planning Approach

Figure 2 shows the relationship between the firm's

business model, EIS architecture, and the EIS scenario. Live-to-be architecture is the target architecture (from both the current and future perspectives) that takes into consideration various constraints surrounding the actual EIS.

### 3. Three Viewpoints of EIS Architecture

#### 3.1 Selecting Viewpoints

As shown in Figure 1, architecture selects viewpoints. Since viewpoints determine associated modeling methods or analysis techniques, it is necessary to select a proper viewpoint for describing a projected EIS architecture. Every architectural viewpoint is a description intended to capture aspects of the planned objects (e.g., the drawing of a plane view, side view, and plumbing in the field of physical architecture).

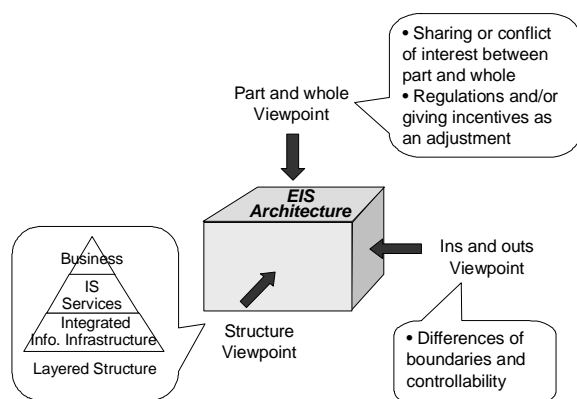


Figure 3. Three Viewpoint Describing EIS Architecture

Correspondingly, in EIS architecture, a viewpoint describes the structure of EIS, and includes such modeling techniques as an entity relationship diagram (ERD), a class diagram, etc. Accordingly, viewpoints focus on each aspect of the system and are orthogonal with each other. A view, meanwhile, is an actual figure based on a viewpoint. Consequently, architecture is described as an integration of views. We portray EIS architecture from three viewpoints, “structure”, “part and whole”, and “ins and outs” shown in Figure 3, based on the concerns of stakeholders. These viewpoints are in dependence upon the analogy to physical city planning.

#### 3.2 Structure Viewpoint

In physical city planning, there are layers; one is an

infrastructure layer that includes, for instance, road, water supply, sewage, communication lines, railroad, etc.; another is an architectural structure layered that includes buildings, houses, shopping malls, and other facilities. Moreover, there is another layer, the social environment, over both layers. Thus city planning has a layer structure. Similarly, EIS architecture also has a layer structure, which corresponds to the structural viewpoint.

The structural viewpoint consists of three layers. The top layer is the business layer, which is followed by the information systems services layer, and the final layer is the integrated infrastructure layer. These layers have a relationship such that the upper layer drives the lower layer and the lower layer enables the upper layer. Since a business structure (a business model) of a firm is generally complex in nature, it is often difficult to describe it in a business layer. The viewpoint from the stakeholders’ concern, however, can be rendered by a modeling technique such as conceptual data modeling or business process modeling. The information systems services layer is an information systems service portfolio composed of an aggregation of applications that consists of data and process specifications and/or an information systems service. In this definition, the term “service” is the same meaning as used in the context of a service oriented architecture (SOA), what described the functional unit of a system logically. The integrated infrastructure layer includes shared service and maintenance, monitoring and systems operations on the systems platform, middleware, DBMS, common interfaces for both intra- and inter-enterprise connections, and gateways [10]; [11]. In this sense, the stakeholder of this viewpoint is a person or party who has a strong interest or concern in designing and implementing EIS structure (architecture).

#### 3.3 Part and whole viewpoint

A city plan serves to mediate between the concerns of an individual or a particular area (the “part”) and the public (the “whole”). Specifically, a city must solve such problems as a development that does not profit the whole, or of a Not-In-My-Back-Yard (NIMBY) type public facility, such as a garbage incineration facility or a highway in a residential area. Both are common

at the point of conflict of interest between a part and a whole.

Part and whole viewpoint in EIS architecture is related to the ability to accommodate an interest (such as governance) or the responsibility of sharing between a part and a whole of a firm. In analogy with a physical city planning, an EIS architecture, if a firm employs a business unit system under a decentralization policy, serves to regulate the relationship between a business unit and the corporate whole. When a NIMBY-type application or information infrastructure is implemented in a part for the benefit of the whole, a conflict of interest between the part and the whole occurs. For instance, when a firm introduces a security policy and enhances its security infrastructure in line with the policy, this measure may give little benefit to a particular business unit as viewed through a cost benefit analysis from that unit's perspective. In such cases, firms may have a fund—corresponding to a city planning tax—from which the whole can draw to benefit the part. The stakeholders in this context are the people who have a responsibility to control the conflict of interest between part and whole, such as CIOs or management members.

### 3.4 Ins and outs viewpoint

Most cities are divided by national or interstate highways, and must have a close relationship with the neighboring cities and an upper structure like a prefecture or a state government. In this manner, city planning extends within a boundary of the city, but it must also maintain a relationship with structures outside of the city. Similarly, EIS city planning involves those inside the enterprise, but at the same time it must include those outside of the enterprise—customers, vendors, partner companies, etc.—through private or public networks and the internet. Figure 4 illustrates the relationship between physical city planning [22] and the EIS city planning.

Physical city planning involves various granularities from an object level to a nation level. Shivrani pointed out that a policy-oriented attitude becomes more dominant for bigger granularity, and a product-oriented attitude becomes more dominant for smaller granularity. On the right side of Figure 4 is the corresponding unit in EIS city planning. We have to

define the boundary of EIS, in other words, as that of enterprise.

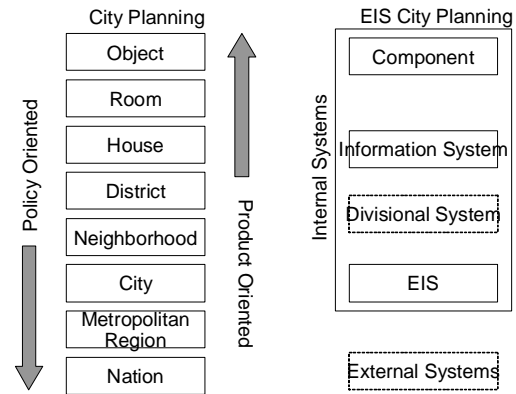


Figure 4 Planning levels

Thus, the ins and outs viewpoint is concerned with how to control boundaries between the inside and outside of the enterprise. Boundaries do not coincide among legal, business operations, and information systems in a firm. The requirement for collaboration and alliance between firms accelerates the expansion of operational boundaries beyond the original boundaries of the enterprise as a legal entity. Simultaneously, the boundaries of an EIS also expand. Outside of or on these boundaries, for instance, competent authorities regulate the activity of firms, while the community and/or society require corporate social responsibility (CSR). Customers, business partners, customer companies, and vendors are connected with some business activity through BtoC or BtoB. The boundaries of business activity and information systems cover a wider area than that of a legal entity, and do not coincide with each other because of their different natures and responsibilities. Even within firms, the necessity to collaborate beyond the boundaries of each individual application or information system is rapidly spreading. In this context, this viewpoint is deeply involved in the definition of an enterprise. Thus the stakeholder of this viewpoint is a person or a party who has a concern regarding a boundary of a firm. For the IS concerns, they are architects or persons who have to design or be responsible for the system's operation, as well as the maintenance required to connect information systems among those inside of the firm and those outside of it.

### 3.5 Summary of viewpoint

In such a case, each structural layer can have a different boundary, too. For instance, in an integrated information infrastructure, the boundary of an information infrastructure as a firm's asset may differ from the range of operational responsibility. The architect therefore has to design an intra- and inter-enterprise structure of systems in collaboration and decide whether it should be implemented in the information systems services layer or the shared information infrastructure layer. This decision should take into account role-sharing between the part and the whole, as well as Ins and outs. Such factors are closely related to the organizational architecture of the firm.

While the Ins and outs viewpoint may be seen as an extension of the Parts & Whole viewpoint, they do address different concerns related to controllability. Within an enterprise, a whole can manage a part while offering incentives or giving orders under the authority of headquarters when vigorous action is instituted. Such incentives etc., however, are not effective when the affected entity is outside the enterprise's immediate authority. For this reason, a public works project analogy is not valid when taking into consideration affected entities outside the enterprise. Rather, the Ins and outs perspective applies in those instances where the entities communicate with a common data interchange protocol or through a common interface. When the activities of a business unit are independent from that of a corporate headquarters, the business unit should be considered an enterprise and a headquarters as an entity of Outs.

Table 1 shows a summary of viewpoints to describe EIS architecture. Each viewpoint participates in a view with the concern of the stakeholders.

### 4. Case

In this section, we illustrate a case of information systems of KDDI Corporation (KDDI) to verify applicability and effectiveness of the EIS city planning approach mentioned above. This case is based on the information from the presentation materials [20]; [21]; [26] in the special interest group (SIG) or the symposium in the academies that we belong to, articles in magazines, and an intensive interview with the key person of KDDI information systems department.

KDDI is doing business in the fields of mobile phone service, domestic and international calling, ISP service, and services for business use, which included ¥2,848 billion in sales, ¥267 billion in pre-tax profit, and ¥142 billion in capital in its 2003 fiscal year (which ended March, 2004). KDDI has undertaken several mergers and acquisitions since 1998 in order to keep the scale of the firm competitive with the Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) group, who is the number one communication and networking company in Japan. Accordingly, the information systems of KDDI have grown large, complex, and rigid, which has resulted in increasing a systems cost for both new development and maintenance, and a systems failure with the systems integration [21]. Recognizing that the essential issue is an aging effect of the applications caused by uncontrollable expansion, they have designed,

| Viewpoint                | Stakeholder                                     | Concern   | View or Output   |
|--------------------------|---|---|--|
| Structural Viewpoint     | - EIS Architect<br>- CIO                        | - Business Driven & Technology Enabled            | - Conceptual Data Model<br>- Service Portfolio<br>- In3 Map [11]                                     |
| Part and whole Viewpoint | - Top Management<br>- CIO<br>- Local Management | - Distributed IT Governance<br>- Consensus Making | - IT Regulation<br>- IT Standard<br>- Incentives (Funding)   |
| Ins and outs Viewpoint   | - Line of Business<br>- Info. Infra. Designer   | - Interface<br>- Controllability                  | - Data Interchange Standard<br>- Operation Design<br>- Service Level Management<br>- Security Policy |

developed, and implemented the information systems that can adapt to a changing business environment of the future while continuing to grow. Consequently, KDDI has introduced the idea of object orientation, designed the information systems based on the conceptual data model, and rebuilt their backbone systems as a part of structural reformation for the enterprise information system. This concept and methodology incorporate the idea that the enterprise information system is a simulator of the real world as a “universe of discourse” [21].

KDDI has divided elements of information systems into “variant” and “invariant” in order to implement their idea. Actually, they layer their information systems into three types: presentation systems, backbone systems, and informational systems. On that basis, they design the conceptual data model in the backbone systems that control data directly as an invariant element based on their business model, and build subsystems along with the data model. With these structures, they can modify and enhance their information systems per subsystem, adapting to change within the business environment. Consolidating user-interfaces as presentation systems can accommodate the detailed change requirement for screens and allow users to print forms promptly. In addition, the informational systems include data-warehouse and data-mart systems that reorganize data in order to exploit it effectively.

Figure 5 shows the procedure they use to develop their information systems from the conceptual data model to the implementation [26].

Major points for designing the conceptual data are as follows:

- An outline of the business model is described.
- A conceptual data model—which consist of a static model, a dynamic model, and an interaction model—is described, taking various entities and activities into consideration.
- The static model is portrayed in the entity

- relationship diagram. This model is based on entities, defining identifiers, major attributes, and relationship data abstracted at the EIS level.
- The dynamic model is described as the lifecycle of the static model from its generation to its dissolution.

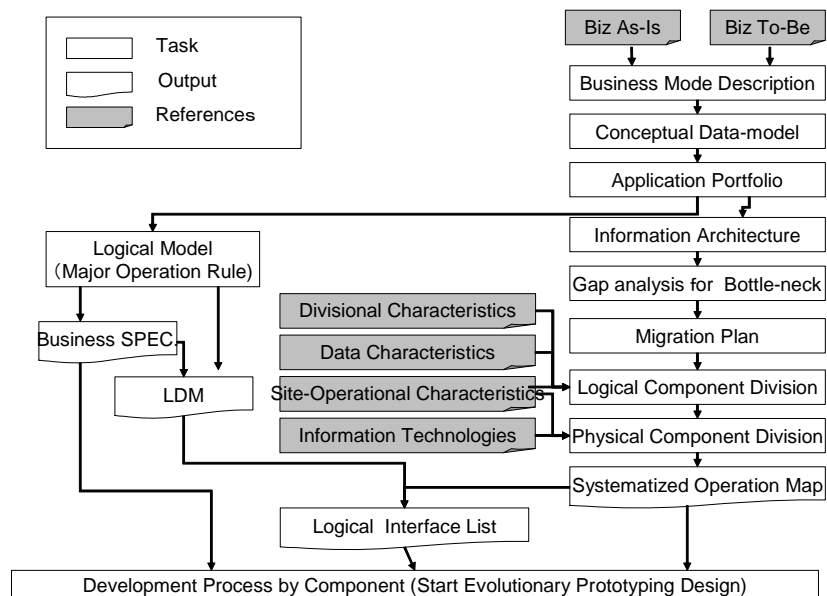


Figure 5 Flow from designing CDM to implementing the system

In order to design an application portfolio, the conceptual data model is divided and partitioned after clarifying the responsibilities of administration for each part of the static model and after clarifying the transition of responsibility based on the state transition. Actually, the entities that have a close relationship with the conceptual data model are grouped and corresponding components are defined. Then these components are mapped on the application portfolio that is defined by business characteristics and future technology trends. On that basis, the relationships between components are defined, collaboration functions between components are deployed as collaboration middleware, and the information systems architecture is defined.

The gap in the figure between the information systems architecture (future EIS) and the bottlenecks in the actual condition are analyzed and organized, and then the specific migration plan is made. KDDI selects not a big-bang approach but an iterative one and integrates whole functions with a loose coupled

technique. This is because they can avoid concentration of risks, proceed with their structural reformation in the ordinary operation, and maintain and enhance the systems per subsystem. When partitioning components logically, optimal condition is defined by considering the requirements from divisional (organizational) characteristics and data requirements. After defining the logical components, physical partitioning is executed by considering the requirement of operation and monitoring current trends in technology.

KDDI defines subsystems from an adaptation-centric rather than a function-centric perspective by assuring independency in exploiting the fundamental concept of object orientation (information hiding and encapsulation). Thus they cogitate and use everything they can imagine:

- Hiding entity that backbone system controls from user-front systems,
- Hiding the physical configuration of the backbone system by using the hub,
- Hiding physical implementation by designing systems interfaces based on the conceptual data model, and
- Prohibiting direct data referring and updating between subsystems in the backbone system.

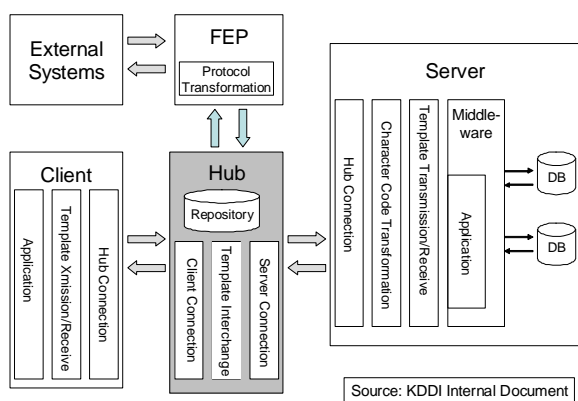
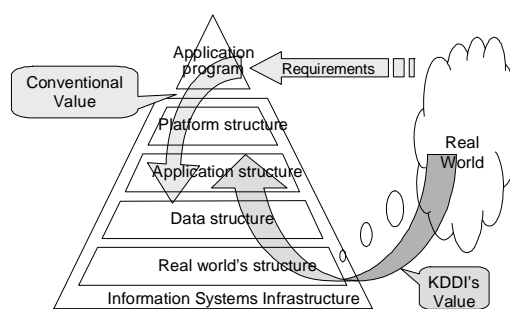


Figure 6 Message Hub of KDDI

KDDI has implemented a “hub and spokes”-type integrated message-interchange infrastructure (message hub). As Figure 6 illustrates, a basic structure of the message hub is its role in connecting each subsystem in the peer-to-peer base as a shared information infrastructure. Repository in the figure involves common processing methods and rules. KDDI

deploys both internal and external hubs; the former is for internal applications and the latter is for external applications, including such systems as customer connection or settlement. Since Figure 6 is a logical structure, we illustrate it using one box in the figure. But in reality, they have developed it of several processes based on considerations of performance and ease of systems operation. The external hub includes a physically independent front-end processor (FEP) that transforms protocols between internal systems and external systems outside of fundamental hub functions.

The role of the hub, as an integrated information infrastructure, basically involves interchanging data between each subsystem. Moreover, it ensures the independence of each subsystem, since the subsystems are used only to interface to hubs. KDDI’s hub has a standard message form for transmission as a data interchange standard. The standard message is composed of a header part, a common message part, and a template. The hub routes messages and transmits them to each destination application. This template function corresponds to a building code in the physical city planning, and is one of the basic functions of zoning. As these procedures mean that infrastructure is developed first and then buildings are developed in connection with the infrastructure, the procedure assures interoperability in the enterprise, too.



Source: KDDI internal document

Figure 7 KDDI's value of systems development

KDDI’s system is characterized by taking the path shown in Figure 7, which is different from ordinary procedure designing and implementing applications. Instead, KDDI first makes the conceptual data model that can describe the business model of the firm to

simulate a structure of the real world. Second, they develop the backbone part of the systems based on the data model. Third, application program as a variant element is built as a prerequisite for the existence of the backbone system. Partitioning subsystems and interchanging messages only through the fixed interfaces (hubs) enables not only scalability but the capability to delete, which assures the deletion of unnecessary applications and/or components from the systems [15].

## 5. Discussion

### 5.1 Structural Viewpoint

“All software construction involves essential tasks, the fashioning of the complex conceptual structures that compose the abstract software entity, and accidental tasks, the representation of these abstract entities in programming language...” [1]. In the context of EIS, the essence is how to describe or realize business architecture of the firm in EIS, since EIS is abstracted from individual information systems as an organic aggregate at the level of enterprise. This may correspond to mapping business architecture in the business layer of the structural viewpoint. Then the information systems services layer that is composed of an application portfolio and an information systems service is developed under the business layer. Moreover, the integrated information infrastructure layer is built. At this juncture, trade-offs in how to realize the given conditions whether in the business layer or the integrated information infrastructure layer as a common function should be considered.

KDDI creates the conceptual data model as a core of their information systems from the described business model under the recognition that information systems simulate the real world. Then the application portfolio, the information systems architecture, and the migration plan are created based on this conceptual data model, and the component partitioning is performed. In this process, the relationship between KDDI's process and our structural viewpoint may be considered as below:

```
conceptual data model
    -- business layer
application portfolio
```

```
-- information systems services layer
infrastructure in the IS architecture
    -- integrated infrastructure layer.
    -- information systems services layer
infrastructure in the IS architecture
    -- integrated infrastructure layer.
```

### 5.2 Part and Whole Viewpoint

KDDI partitions the information system for the implementation using the following steps (shown in Figure 5): First, they design the architecture from the whole viewpoint. Second, they develop the migration plan. Finally, they partition it logically drawing upon the characteristics of divisions, and do it physically thinking with the applicable information technologies. The basic idea of this procedure is to determine fundamental elements of the whole, to assure the interoperability, and then to optimize from the enterprise perspective considering individual conditions. Moreover, from the perspective of the IT governance to maintain systems, KDDI have established a corporate organization for data administration. They have the authority to examine every activity for building new applications or maintaining or enhancing existing applications from the perspective of data management. This system assures the consistency and the interoperability of each application in the whole system. The reason why the mechanism to collaborate between applications is used not with peer-to-peer basis but via messaging hub as a common infrastructure of the firm might be seen as the same philosophy as the Part and whole viewpoint.

### 5.3 Ins and Outs Viewpoint

KDDI separated to deploy two kinds of message hubs, an internal hub and an external hub. The internal hub connects between the front systems for intra-enterprise and the backbone systems. The external hub goes between the front systems for outside of the enterprise such as customer portal, net-banking system, etc., and the backbone systems. The reasons to separate are not functional issues, but administrative and interface ones. Administrative issues include systems monitoring and operation, systems maintenance, service level management for performance, availability, security, and so on. Having

an interface issue means that they cannot use their own specification but should adjust to an agreed or common/standard one. On this occasion, they should fit to the semantics level of data as well as the syntax level. For the information infrastructure, they should adapt it from the physical layer, like network line and devices, to the systems monitoring and operation. The operation affairs should extend beyond the legal or business boundaries, and also consider the escalation system collaborating with the connection party for incurring a failure or a trouble. The customer portal that must cover several million customers, for instance, requires intense availability and performance that are completely different levels from those for intra-enterprise systems. Thus different levels of service and organization for external service are required, because of its service time or maintaining service level. Thus, an Ins and outs viewpoint is related to the controllability and interface to the connection party, on the assumption of setting proper boundaries.

#### 5.4 EIS Scenario

In order to realize the above-mentioned architecture, KDDI seems to execute its plans using the same idea as an EIS scenario. For example, when they analyze the gap between the present and future information systems and make a feasible migration plan, this is the same thinking as an EIS scenario that sets up live-to-be and makes a migration plan in our city planning approach. Avoiding a big-bang approach and proceeding iterative reformation in the ordinary operation corresponds to the combination of small- and mid-size development planning and zoning, and this might mean steadily putting forward the redevelopment in the context of the EIS scenario.

#### 5.5 Summary of the Discussion

In KDDI, what makes it possible to develop

information systems with an almost identical concept as the EIS city planning approach is the ability to change and the rust-free information systems based on the concept of the object orientation. In order to deploy these structures, subsystems should be defined along with the conceptual data model (ensuring independency of subsystems), and then the rules for implementation (such as the implementation of hubs) and the managing organization should be introduced. With respect to building adaptive information systems in a changing business environment, this case illustrates that the conceptual data model as an invariant element is designed adequately, and the subsystems are divided and deployed in a manageable size. Furthermore, it is an organized information system that effectively maintains its independence. According to the interview with Shigeno, CIO of KDDI, KDDI does not feel the necessity to change this model, though it has been more than ten years since the first application system based on this idea was developed.

Table 2 shows realization of viewpoint and EIS scenario of the KDDI's case based on the relationship in Table 1.

#### 6. Conclusion

After stating the applicability of the building metaphor to the construction of software, Brooks [1] mentioned, "The building metaphor has outlived its usefulness. It is time to change again. If, as I believe, the conceptual structures we construct today are too complicated to be accurately specified in advance, and too complex to be built faultlessly, then we must take a radically different approach." He continued, "Let us turn to nature and study complexity in living things." On the other hand, Sewell and Sewell commented, "With the analogy in mind, it swiftly becomes clear that an entire branch of knowledge has been missing from software construction [18]." They pointed out the

Table 2 Realization or Implementation of Viewpoint and EIS Scenario

|                        |   |
|------------------------|---|
| Structural Viewpoint   | - The conceptual data model centric systems design, development and implementation                            |
| Part & Whole Viewpoint | - Corporate data administration department  |
| Ins & Outs Viewpoint   | - Separately implementation of internal and external hub  |
| EIS Scenario           | - Make migration plan targeted to Live-To-Be Architecture<br>- Not taking big-bang approach but iterative one |



effectiveness of the analogy and the significance of leveraging the know-how of physical architecture.

After all, the biological analogy may be effective in describing each information system, insofar as discussing a complex and complicated conceptual structure. It requires, however, different granularity or degree of abstraction issues to grasp EIS structure with the framework of city planning and apply the methodology for EIS as a meta-structure of each information system. Moreover, it is also an issue of what to be described in the EIS context. For this purpose, an EIS city planning approach that uses the concept and methodology of physical city planning would be an effective measure for CIOs and EIS architects who are required to envisage EIS architecture and execute it while ensuring interoperability and consistency among EIS.

In this paper, we have illustrated the concept and the framework of our EIS city planning approach, and have studied and discussed its applicability and effectiveness with the case of KDDI. KDDI has adopted the idea of the object orientation to develop an “ageless” (rust-free) information system, and have started from the construction of the conceptual data model that can simulate the real world. This approach is based on the similar idea of the framework of our EIS city planning approach, which can adapt to a change in business environment with agility and can develop EIS as an enabler of business. Thus, designing EIS architecture centering on three viewpoints—structure, Part and whole, and Ins and outs—is effective in pointing out what needs to be considered before implementation, in positioning in the whole, and for designing interoperability.

It is predicted that service oriented architecture (SOA), including web service technology, will be popular in the near future. These situations will force the EIS to select and utilize various information systems services from both inside and outside of the firms. In this situation, firms have consider what the core competence of the firm’s business is, how to realize the competence in EIS (in other words, in the area of the three viewpoints), and select and implement applicable technologies. In particular, it is important that firms define and design boundaries of both business operations and information systems beyond that of the firms as legal entities in order to

integrate each information systems service or application and to implement proper systems operation management. For this purpose, it is necessary to consider the viewpoint of Ins and outs.

Future work on this topic could include applying this framework to assorted cases, including M&A, ERP implementation as a tool to rebuild EIS, and EIS integration with e-business systems, etc. Through such applications we could evaluate the benefit and significance of our framework. We also hope to provide reference models in the future that will further help to visualize our EIS City Planning Approach. Moreover, we have to propose a structure and an organization for EIS governance that can cover the lifetime cycle as zoning and can execute an EIS scenario.

## References

- [1] F.P. Brooks, Jr., “The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, Anniversary edition,” Addison-Wesley, 1995.
- [2] B. Burke, “Enterprise Architecture or City Planning,” 2003.  
URL: <http://www.metagroup.com/>.
- [3] A.J. Catanese, J.C. Snyder, “Urban Planning,” McGraw-Hill, Inc., 1988.
- [4] K. Ewusi-Mensah, “Critical Issues in Abandoned Information Systems Development Projects,” *Communication of the ACM*, 40 9 (1997), pp.74–80.
- [5] Y. Fukukawa, “Zoning and Master Plan: Planning and Control of Land-Use in the United States,” Gakugei-Shuppan, 1997 (In Japanese).
- [6] P. Hall, “Cities of Tomorrow,” Blackwell, 1988.
- [7] IBM, “IT Architecture: Building Your IT City Plan,” 1999.  
<http://www-1.ibm.com/service/its/us/source/cwp-it-cityplan.pdf/>.
- [8] IEEE-Computer Society, “IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems, IEEE Std 1471-2000,” 2000.
- [9] METI  
[http://www.meti.go.jp/policy/it\\_policy/ea/data/report/index.html](http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/ea/data/report/index.html)
- [10] Y. Namba, J. Iijima, “Proposal of ‘EII Meta-model’ as Integration Framework for Enterprise Information Systems,” *Journal of the Japan Society for Management Information*, Vol.12 1 (2003), pp.15–32.
- [11] Y. Namba, J. Iijima, “EII Meta-Model on Integration Framework for Viable Enterprise Systems, *Journal of Systems Science and Systems Engineering*,” Vol.12 No.1 (2003), pp.111–126.
- [12] Y. Namba, J. Iijima, “A Study on IT City Planning Approach for Enterprise Information Systems,”

- in: Proceedings of the Japan Society for Management Information, Spring 2003, pp.268–271.
- [13] Y. Namba, J. Iijima, “Evaluating Enterprise Resource Planning Implementation to Enterprise Information System through City Planning Approach,” in: Proceedings of the Japan Society for Management Information, Spring 2004, pp.98–101.
- [14] Y. Namba, J. Iijima, “City Planning Approach for Enterprise Information Systems,” in: Proceedings of the Eighth Pacific Asia Conference on Information Systems, Shanghai, China, 2004, pp.169–180.
- [15] Nikkei Computer Editorial Desk, “Never Rust Systems Anymore,” Nikkei Computer, 2004.7.12, (2004), pp.61–63 (In Japanese).
- [16] J. Putman, “Architecting with RM-ODP,” Prentice Hall, 2001.
- [17] J.W. Ross, “Creating a Strategic IT Architecture Competency: Learning in Stage,” CISR Working Paper, No.334, Slone School of Management, MIT, 2003.
- [18] R. Schulte, “Architecture and Planning for Modern Application Styles,” Strategic Analysis Report, Gartner Group, April 1997.
- [19] M.T. Sewell, L.M. Sewell, “The Software Architect’s Profession: An Introduction,” Prentice Hall PTR, 2001.
- [20] T. Shigeno, in: Presentation Material of System Integration SIG, Japan Society for Management Information, 2003 (In Japanese).
- [21] T. Shigeno, “System Integration for Time of Change,” in: Proceedings of Systems Integration SIG, Japan Society for Management Information, 2003 (In Japanese).
- [22] H. Shirvani, “The Urban Design Process,” Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1985.
- [23] Sowa, J.F., Zachman, J. F., “Extending and formalizing the framework for information systems architecture” IBM Systems Journal, Vol.31, (1992), pp.590-616.
- [24] The Chief Information Officers Council, “A Practical Guide to Federal Enterprise Architecture Ver 1.0”, February 2001.
- [25] The Chief Information Officers Council, Federal Enterprise Architecture Framework, September 1999.
- [26] A. Umeda, “KDDI Case”, in: Presentation Material of Modeling SIG, IS, IPSJ, 2003, (In Japanese).
- [27] Zachman, J.A., “A Framework for Information Systems Architecture”, IBM Systems Journal, Vol.26, (1987), pp.276–292.



# 場面遷移ネットを用いたサービス工学に関する研究

川田 誠一\*・下村 芳樹\*\*・新井 民夫\*\*\*  
梅田 靖\*\*\*\*・久保 田 直 行\*\*

## A study of Service Engineering by using the Scene Transition Nets

Seiichi Kawata\*, Yoshiki Shimomura\*\*, Tamio Arai\*\*\*  
Yasushi Umeda\*\*\*\* and Naoyuki Kubota\*\*

### Abstract

In this paper, we explain the research program about the computer aided design in service engineering. Especially, it is shown how a service explorer, which is the computer aided service design system, can handle the service design and how to integrate the service explorer and the scene transition nets which can describe and simulate the discrete/continuous hybrid system.

Keywords: Service engineering, Computer aided service design, Discrete/Continuous hybrid system, Service Simulation

### 1. はじめに

総務省統計局が「サービス業」として捉えているものは、『情報通信業、不動産業、飲食店、宿泊業、医療、福祉、教育、学習支援業、複合サービス事業、その他』であり、広範な分野でサービスが提供されていることから重要な産業分野であることは明らかである。しかし、従来「サービス」という概念は経営学で取り扱われることはあっても、工学で正面から取り扱われることは少なく学問的にも軽視されてきた。特に、サービスを工学的に創出することに関する研究は極めて少ない。これは、次に述べるように「サービス」の特性がいわゆる製造業が作り出す製品と大きく異なる特性を有することによるものと考えられる [1]。

- 提供されるサービスの品質評価が個人的主観に強く支配されるため、顧客を特定しサービスに対する要求仕様を明確にする必要がある
- タイムリーなサービスに価値があることからサービスの品質が時間的変動を受ける
- 生産と消費を分離することができない
- それ故在庫を蓄えることが不可能に近い

従って、サービスを工学的に取り扱うには、サービスの特徴を踏まえた新しいアプローチが必要となる。

本報告では、『科研費平成 18 年度基盤 B「サービス評

価をするために連続数値表現を導入したサービス設計支援システム」研究代表者：川田誠一』の研究計画に沿って、研究の目的、研究体制、平成 18 年度に得られた成果などについて述べる。

### 2. 研究目的

本研究では、対象とするサービスを、レストラン、旅行代理店などのいわゆる第 3 次産業によって提供されるものに限らず製品の製造、製品に付随したメンテナンスなども含め提供者が顧客から対価を得て供給する無形の価値であると定義している [2]。

このようなサービスを表現する上で、人の活動を考えると、人の活動は、その合理的経済活動ならびに、その個人が遭遇するイベントへの反応活動として表現され、かつ、その反応は一定時間、継続するものである。それ故、市場において求められる価値に合致し、高い付加価値を有するサービス設計を可能とするサービス CAD [3], [4] を実現するためには、離散表現に加え、時間的に変化する価値と環境のモデルを合理的な連続システムとしての表現を導入することが不可欠である。そこで本研究では、サービスを合理的に評価できるようにするため、顧客の要求とその充足方法との関係を数理的に記述することを試みる。

次に、この数値表現を研究代表者（川田）が先行研究で開発した離散事象システムと連続システムを混在して

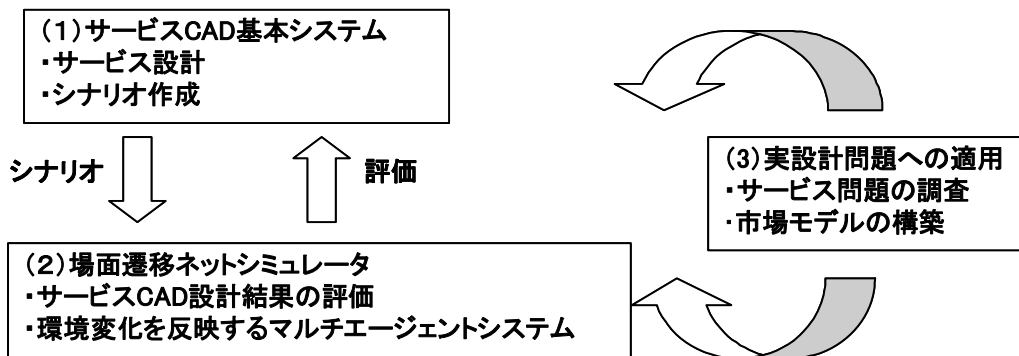


Figure 1 Architecture of this Research.

Table 1 Research Schedule.

| タスク                          | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| (1) サービスCADの構築               |        |        |        |
| サービスのモデリング手法の開発              | ■      |        |        |
| サービスの評価手法の開発                 |        | ■      |        |
| サービスCADの構築                   |        |        | ■      |
| (2) 場面遷移ネットを用いたサービスシミュレータの開発 |        |        |        |
| サービス用オブジェクト構造の構築             | ■      |        |        |
| GUIを用いた場面遷移ネットの拡張            |        | ■      |        |
| マルチエージェントシステムの構築             |        | ■      |        |
| (3) サービスCADの実設計問題への適用        |        |        |        |
| サービスCADの要求仕様調査               | ■      |        |        |
| サービス問題のシナリオ作成                |        | ■      |        |
| サービスCADの適用性評価と検証             |        |        | ■      |
| 報告書作成                        |        |        | ■      |

表現できるハイブリッドシステム「場面遷移ネット (Scene Transition Nets)」<sup>4)</sup> に導入する。そして、サービス CAD で設計した具体的なサービスを離散・連続混合モデルを用いてシミュレーションし評価する。

本研究の目的を次のようにまとめる。

- 既存のサービスの開発事例を調査分析することにより、サービスに対する評価を計算可能とする表現方法を確立する。
- 市場ニーズを解析し、ニーズに対応して提供されたサービスが本当に要求充足をしているかを測定することで、ニーズと要求充足方法の間の写像関係を数理的にモデル化する。
- 以上の数理モデルを導入したサービス設計支援システムを構築する。

### 3. 研究の構成と計画

本研究では、下村、新井等のサービス CAD に関する先行研究成果[3], [4]と川田等の離散・連続ハイブリッドシステムモデリングに関する先行研究成果[5], [6]を基礎として、新しいサービス設計支援システムを開発する。

Figure 1 に示すように本研究では

- (1) サービス CAD の基本システム
- (2) 場面遷移ネットシミュレータ

とを結合したシステムを構築する。すなわち、サービス CAD が出力するサービスの実行シナリオを用いて、場面遷移ネットシミュレータを用いてシミュレーションを実施し、市場の求めているニーズにマッチしているかどうかの観点で、そのシナリオを評価する。そして、その評価結果をサービス CAD システムにフィードバックすることで、設計の一連のループが市場評価と閉じた構造を有するサービス支援システムを構築する。その結果、シ

ナリオと評価が明示的に表現されることになり、サービスの定量評価の問題を解決しようとする試みとしての本研究の意義も明確になる。

さらに、本研究で開発するサービス設計支援システムを用いて

(3) 実設計問題への適用

を実施する。このことによりサービス設計問題の具体的な事例調査とそのモデリングを同時に実施し、サービス工学が真に有用な工学の一分野であることを実証する。

以上 (1) から (3) までのタスクを、3 年度に渡るサブタスクに展開し、Table 1 に示すような研究計画に従って、創造的かつ実践的なアプローチにより研究を遂行する。

4. 研究対象の構造

本研究では、サービスの定義を拡大し「サービスの供給者であるプロバイダが、対価を伴って受給者であるレシーバが望む状態変化を引き起こす行為」とする。提供される具体的なサービスの内容をサービス・コンテンツと呼び、サービス・コンテンツをプロバイダからレシーバに提供する手段（ハードウェア、ソフトウェア、人間の行為を含む）をサービス・チャンネルと呼ぶ。ここでサービスの目的はレシーバが要求する状態変化を実現することであり、サービス・コンテンツおよびサービス・チャンネルはその具体的手段である。

この目的（レシーバの状態変化）の実現手段（コンテンツおよびチャンネルの組合せ）を決定するという問題解決の構造は、従来の設計行為の自然な拡張であり、本研究ではサービスの設計支援手法の構築にあたり、設計分野の研究で得られた知見を適用する。

下村、新井などは、準備研究として開発したサービスのモデリング・ツールである Service Explorer によって、これらサービス構造の機能表現をすでに実現している[3]。

5. サービス CAD の構築

(1-A) サービスのモデリング手法の開発

サービスは、その受け手であるレシーバや供給者であるプロバイダの主観により多様な見方が存在するという性質を有する。ここで、サービスに対する主観性が生み出される原因の一つは、レシーバ、プロバイダ毎に、注目するサービスにより引き起こされる状態変化に対する認識が異なることであると考えられる。すなわち、レシーバ、プロバイダの認識する状態変化に主観性による違いが存在すれば、これを実現する要素であるサービス・

コンテンツとサービス・チャンネルの区分もまたレシーバ、プロバイダにより異なるということになる。サービスを構成する要素、人工物が、それを見る人によって、ある人にはコンテンツに、ある人にはチャンネルに見えるという現象はこの仮説によって説明が可能である。本課題では、サービスモデルを構成する要素や人工物からなる複数のサブモデルの結合により、「どのようにサービスを見るのか」という視野・視点に関する情報を含む形でサービスの表現を可能とする統合的なサービスのモデル化手法を研究し提案する。

6. 場面遷移ネットを用いたサービスシミュレータの開発

(1-B) 場面遷移ネットシミュレータのサービス用オブジェクト構造の構築

本研究で開発する場面遷移ネットシミュレータの仕様を抽出する。上記のサービスの基本要素であるプロバイダ、コンテンツ、チャンネル、レシーバからなるサービスモデルを場面遷移ネット (Figure.2) の基本構成要素である場面、アクタ、アーク、トランジションなどに対応させる。また必要なデータ構造、状態遷移アルゴリズム、ダイナミクスを新たに定義する。

本課題では、特にサービスをレシーバの状態変化として捉えた関数関係を場面遷移ネットにおける時間変化システムとして記述する方法を研究し提案する。さらに、以上で定義した基本仕様と基本的なオブジェクトをシミュレータ開発用コンピュータ上に実装し、基本仕様の問題点を検証する。

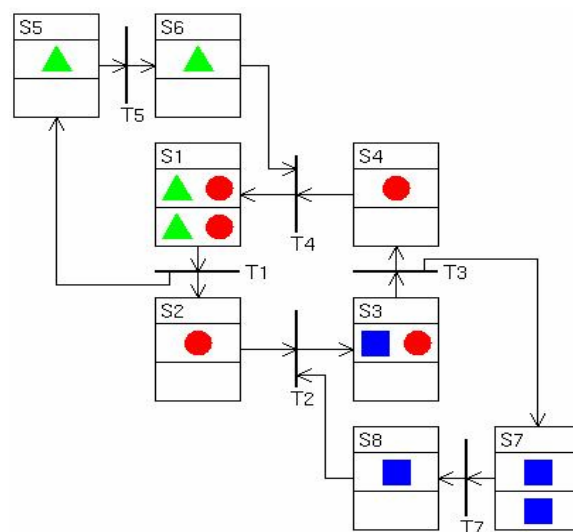


Figure 2 Scene Transition Nets.

## 7. サービス CAD の実設計問題への適用

### (3-A) サービス CAD の要求仕様調査

環境問題を解決し持続可能性を実現するために、欧州を中心として、製品提供に加え付加価値を増大し、脱物質化を実現する「Product & Service System (PSS)」という概念が提案されているが、その実現方法論ははまだ明らかでない。本研究で提案するサービス CAD システムをこのような問題を解決できる具体的な実現方法論とするためには、現実に存在するサービス問題の調査が不可欠である。本課題では、まず、PSS を取り上げその構成方法論、および、マネジメント方法論を工学的に明らかにする。さらに、申請者らが提案しているサービスモデルを拡張し、体系的に整理するための実例となるサービス問題について広く調査し、平成 19 年度以降のサービスモデル構築に関する研究の基礎とする。

## 8. サービス CAD の基本構築

### (1-B) サービスの評価手法の確立

### (1-C) サービス CAD の構築

本研究では、(3-A) のサービス事例の調査、分析の結果に基づき、サービス設計上の重要因子を明らかにした上で、計算可能なサービスの表現形式を提案する。さらにサービス設計において存在が仮定される設計規則の形式化を行う。以上の結果として構築されるサービスの事例データベースを用い、新たなサービスを創造する手法を提案し、提案手法に基づく計算機を用いたサービス設計の支援システムであるサービス CAD を試作する。

このサービス CAD は、以下の機能を内包する。

- 過去のサービス設計事例を計算機上に表現し、再利用可能な形式で格納するサービスデータベース機能
- サービス設計事例に対して多様な類推を適用し、現在の設計課題に対する部分解を提示する推論機構
- サービスを設計する上で適用可能な演算規則を予め整理し、効果的に適用するための設計ルールベース
- サービスデータベースへの入力を支援するとともに、サービスを視覚的に理解することを手助けするためのユーザインタフェース

これらの機能を統合し、計算機上に実装するサービス CAD の構成イメージを Figure. 3 に示す。

上記の(a)~(d)の機能中、サービス設計事例を計算機上に表現し、再利用可能な形式で格納する機能に関しては、

既にサービス・モデリングツールである Service Explorer 上に試作されている。

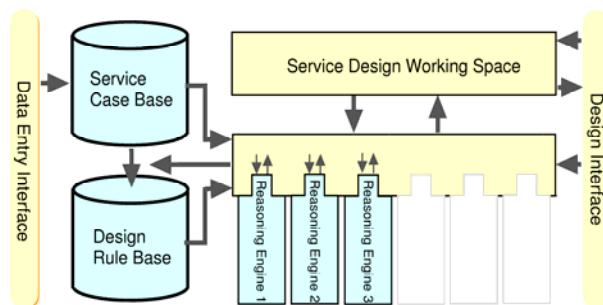


Figure 3 Service CAD.

## 9. サービス CAD 設計結果を評価するためのシミュレータとしての場面遷移ネットの開発

### (2-B) GUI を用いた場面遷移ネットの拡張

### (2-C) マルチエージェント場面遷移ネットの構築とサービス CAD への適用

まず、サービス CAD との統合を踏まえ場面遷移ネットシミュレータの GUI 環境を整備する。異なった環境で構築されている研究成果を有機的に結合するには操作しやすいシステムとして場面遷移ネットを再構築する必要がある。次に、(1-C) で構築したサービス CAD において設計解操作のための機構として、場面遷移ネットシミュレータを導入することにより、設計解としてのサービスを視覚的に理解し、操作することを支援する。すなわち、サービス CAD が設計したサービスのシナリオ結果を用いて、場面遷移ネットシミュレータが市場の求めているニーズにマッチしているかどうか、そのシナリオを評価する。そして、その評価結果をサービス CAD システムにフィードバックすることで、一連の設計過程と市場評価と閉じたループ構造を有するサービス支援システムを構築する。その結果、シナリオと評価が明示的に表現されることになり、サービスの定量評価の問題を解決しようとする試みとしての本研究の意義もより明確となる。

さらに、市場ニーズの時間的変化やコンテンツの変化をユーザ間のコミュニケーションのルーズな結合構造により表現し、マルチエージェントシステム概念を場面遷移ネットで実現することで、市場ニーズの創発や、他のユーザの嗜好動向の適切な情報収集ができるようになる。

## 10. 設計問題への適用を通じた検証と応用可能性の検討

(3-B) サービス問題のシナリオ作成

(3-C) サービス CAD の適用性評価と検証

試作するサービス CAD を実際のサービス設計に適用し、その有効性を検証する。まず、「(3-A) サービス CAD の要求仕様調査」の結果に基づき、サービス CAD の応用可能性について、サービス設計支援システム、ビジネスプランニングシステム、サービス評価システム、設計知識体系化支援ツールなど様々な観点から総合的に検討し、サービス工学が真に有用な工学の一分野であることを実証する。

## 11. 場面遷移ネット [5], [6]

### 11.1 場面遷移ネット (STN) の概念的定義

場面遷移ネットは離散事象システムのモデリングによく使われるペトリネットのコンセプトを基に、各状態における連続適な変化を表現するツールを付加したものである。ペトリネットにおけるトークンに状態変数という情報を付加したアクタという概念を用いて、システムの場面遷移の様子とともにその状態を記述できるようにしたものである。場面遷移ネットの特徴は

- システムをグラフィカルに表現できる。
- ペトリネットでは失われてしまう、各状態における連続的な変数の変化が表記される。
- 場面遷移ネットを参考にすることにより、プログラミング上での状態の分割・分類が可能。

などである。

場面遷移ネットでは状態を示す場面 (Scene)、システム構成要素がどのような状態にあるかを表現するアクタ (Actor)、および状態が切り替わる遷移境界を示すトランジション (Transition) がおもな要素となる。これらはそれぞれペトリネットにおける、プレースとトークンおよびトランジションに相当する。

まず、STN を以下のように概念的に定義する。

<被観測システム (Observed System) >

観測者がなんらかの観測  $Ob$  を行うとき、その観測対象となるシステム  $S$  を観測  $Ob$  における被観測システムという。

<アクタ (Actor) >

観測  $Ob$  が  $S$  のサブシステム  $A_1, A_2, \dots, A_n$  を対象とした観測  $Ob_1, Ob_2, \dots, Ob_n$  を組み合わせたものであるとき、

$A_1, A_2, \dots, A_n$  を観測  $Ob$  におけるアクタという。

<アクタクラス (Actor Class) >

概念的共通性があるため、同一のデータ構造を持つアクタの集合をアクタクラスという。したがって、同一のアクタクラスに属するアクタは同一のデータ構造を持つ。

<場面 (Scene) >

あるアクタ  $A$  の活動  $a_1, a_2, \dots, a_n$  が定義されたとする。活動  $a_i$  における  $A$  のダイナミクスを  $d_i$  としたとき ( $i=1, 2, \dots, n$ )、活動  $a_i$  とダイナミクス  $d_i$  を組み合わせたものをアクタ  $A$  の場面  $\Theta_i$  と呼ぶ。

<キャスティング (Casting) >

アクタ  $A$  のアクタクラスを場面  $\Theta_i$  のキャスティングという。

<現行場面 (Current Scene), パフォーマ (Performer) >

あるアクタ  $A$  について場面  $\Theta_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) を定義する。ある時刻  $t$  においてアクタ  $A$  が場面  $\Theta_k$  ( $k \in (1, 2, \dots, n)$ ) にあるとする。このとき場面  $\Theta_k$  を時刻  $t$  におけるアクタ  $A$  の現行場面という。逆にアクタ  $A$  を時刻  $t$  における場面  $\Theta_k$  のパフォーマという。

<場面遷移, 場面遷移境界 >

あるシステム  $S$  について場面  $\Theta_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) が定義されたとする。ここで  $\alpha \neq \beta$  かつ  $\alpha, \beta \in (1, 2, \dots, n)$  となる  $\alpha, \beta$  を考える。時刻  $t_0-0$  における現行場面が  $\Theta_\alpha$  であり、時刻  $t_0$  においてある事象  $E$  が起り、その結果時刻  $t_0+0$  における  $S$  の現行場面が  $\Theta_\beta$  となったとする。このとき事象  $E$  をシステム  $S$  の場面  $\Theta_\alpha$  から場面  $\Theta_\beta$  への場面遷移境界と呼ぶ。またこのときの  $S$  の現行場面の变化を場面遷移という。

### 11.2 場面遷移ネット (STN) の数理表現

次に STN の形式的な定義を示す。

#### 定義 1 場面遷移ネット (STN)

STN =  $(A, S, T, F, IP)$  は場面遷移ネットである。

ただし

$A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  はアクタの有限集合、

$S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$  は場面の有限集合、

$T = (t_1, t_2, \dots, t_k)$  はトランジションの有限集合、

$F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$  はアークの有限集合、

$IP: S \rightarrow \{a\}$ , ただし  $a \in A$  は初期パフォーマの有限集合。



アクタ, 場面, トランジションは次のように定義する.

### 定義 2 アクタ

$a = (X, U, Y, O, D, C)$  はアクタである.

ただし

$X = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$  は状態ベクトル,

$U = (u_1, u_2, \dots, u_q)^T$  は入力ベクトル,

$O: X \rightarrow Y$  は出力関数,

$D: (X, U, \Delta t) \rightarrow X$  はアクタダイナミクス.

### 定義 3 場面

$s = (CAS, L)$  は場面である.

ただし

$CAS = \{c\}$  はキャストイング,

$C$  はアクタクラス,

$L$  はリンク.

### 定義 4 トランジション

$t = (B, f)$  はトランジションである.

ただし

$B$  は場面遷移境界,

$f$  は場面遷移則.

アクタおよび場面の概念を用いて実世界のシステムを記述するには次の手順を踏む.

1. アクタを定義する
2. 場면을定義する
3. アクタおよび場面の間の関係を定義する

## 12. サービス・マーケティング手法と場面遷移ネットに基づくサービスフロー・シミュレーション

### 12.1 サービス・マーケティング分野におけるサービス

Rathmell は, サービスを「人間の行為であり, 演技であり, 何かを成し遂げようとする努力である」と定義している[7]. 以上の定義においては, サービス全体の流れの中で, サービス提供者が顧客に対し直接的に「行為し, 演技する期間」が存在するとされ, この期間をサービスエンカウンターと呼んでいる. サービスエンカウンターは, 顧客とプロバイダの相互作用が実際に行われるという点で, サービス活動を特徴付ける重要な一要素である.

サービスエンカウンターでは, サービスが生産される際にはサービスの供給者と受給者が同時に存在する必要があるという性質 (サービスの同時性) により, プロバイダと顧客が同じ場に存在する必要がある. またサービスエンカウンターでは, 例えば気温など, その場の環境

が顧客の状態に影響を与えると言われる[2].

### 12.2 提案手法[8]

<場面遷移ネットの作成手順>

サービスの流れを表現する場面遷移ネットの作成手順は, 大まかに①顧客の行動遷移を場面遷移ネットで表現する手順と, ②プロバイダの行動遷移を場面遷移ネットに表現する手順の2段階より成る. そして, それぞれのネットのサービスエンカウンターを重ね合わせ一枚のネットに統合することにより, サービス全体の流れを表現する. 以下で, 本研究で提案する場面遷移ネットの作成手順を説明する.

#### ①顧客の場面遷移ネット作成手順

**Step 1** サービスを構成するイベントをその時間的推移で表したサービススクリプト[3]と呼ばれる概念を用いて, 顧客のサービス受給過程を場面遷移ネットに表現する.

**Step 2** プロバイダと直接的な相互関係が生まれているイベントを選出し, サービスエンカウンターとする.

**Step 3** 初期シーンと終了シーンを作成し, シーンを接続することにより一枚のネットとする.

#### ②プロバイダの場面遷移ネット作成手順

**Step 4** 顧客のエンカウンターに対応するシーンを作成する.

**Step 5** 抽出したサービスエンカウンター間の遷移を実現するためのシーンを作成し, 初期シーンと終了シーンを設定する.

**Step 6** 時間経過による属性値の変化を表現するシーンを選ぶ.

**Step 7** 自身のイベントから自身がレシーバとなるエンカウンターを抽出し, 作成したシーンをつないで1枚のネットとする

**Step 8** 顧客のネットとプロバイダのネットを, サービスエンカウンターを重ねることにより1枚のネットに統合する.

上記手順で構築した場面遷移ネットにおいて, 各シーンに設定したダイナミクスに従ってプロバイダが保持する設計変数, 並びに顧客の状態変化を表現する変数を変化させることによりサービスの評価を行うことが可能となる.

<サービスが受ける種々の影響表現>

#### (1) サービス供給のタイミング

サービス活動において, 時間の経過によるプロバイダのサービス提供内容の変化が顧客の状態に影響を及ぼす

場合が多々存在する。例えば、コーヒーショップで提供するコーヒーの温度が提供されるタイミングによって変化し、それが顧客の状態変化に影響を及ぼす。

このようなサービス提供のタイミングによる影響を、前節 Step6 で抽出したシーンにおいて、シーンに設定したダイナミクスで属性値を変化させることにより表現する。

(2) 場の影響

サービス活動が行われる場において顧客の状態は場の影響を受ける場合がある。例えば、冷菓を提供する際、同一の冷菓であってもその場の気温が高い場合の方が顧客の満足度は上がりやすいと考えられる。これは、サービス活動において顧客の状態が場によって変化する一例と考えられる。このように、サービス活動が行われている場に特有で顧客に影響を与えるような属性値を、本手法ではシーンに特有の変数であるシーン変数として設定し、この値により顧客の状態を表現する変数を変化させるダイナミクスの形状を切り替えることで場の影響を踏まえたサービス評価を行う。

(3) 外部環境からの影響

サービス活動が行われる場において、レシーバのサービスに対する満足度はプロバイダが操作不可能な外部環境（社会レベルのインフラ普及率など）の影響を受ける場合がある。本手法では、外部環境を表す変数を全てのシーンから参照可能とすることにより、外部環境からの影響を踏まえた評価を可能とする。

12.3 例題

＜場面遷移ネットの作成＞

前章で述べた手法を計算機上に実装するために場面遷移ネットシミュレータを開発した。本シミュレータは開発言語として Java を採用し、eclipse3.2 のプラグインとして開発を行った。コアとなるモデルの構成に Eclipse Modeling Framework (EMF) と呼ばれる汎用記述フレームワークを、GUI ベースのエディタの作製に Graphical Editing Framework (GEF) と呼ばれる汎用記述フレームワークをそれぞれ採用した。開発したシミュレータを用いて CD・DVD 配送サービスについて検証を行った。

3.1 に述べた手順により作成したサービスの流れを表現する場面遷移ネットの一部を Figure 4 に示す。

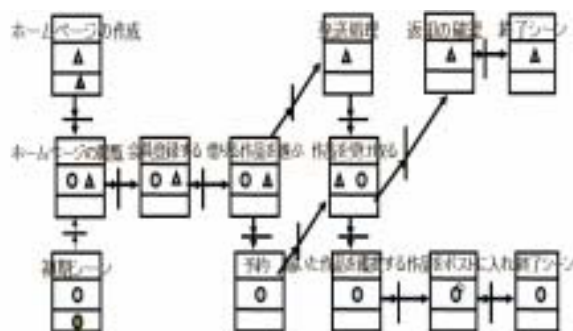


Figure 4 STN of the DVD delivery Service (in part).

＜シミュレーション結果＞

ケース1 サービス供給のタイミングに関する評価

Figure 5 に、プロバイダの行動である「DVD の配送処理」シーンにおいて DVD の内包する属性値「作品の鮮度」が変化し、その影響を受けて作品を受け取った際の顧客の状態（満足度）が変化の様子を示す。発送処理に手間取った場合と発送処理が素早く行われた場合のそれぞれにおける顧客の満足度を示している。両者の比較から、時間経過による属性値の変化が顧客の状態変化に影響を及ぼす様子が読み取れる。

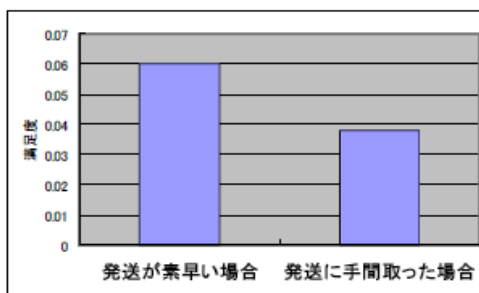


Figure 5 Satiability versus Attribute Values.

ケース2 場の影響を踏まえた評価

次に顧客と CD・DVD 配送業者とのエンカウンターに相当するシーン「ホームページを閲覧する」において、外部変数として設定した「ネットの普及率」に応じて、「ホームページを閲覧する」場におけるシーン変数が決定され、この値によって顧客の満足度を決定する関数の形状が決定されると仮定する。例えば、「ネットの普及率」が低い場合は「ホームページを閲覧する」シーンにおいて顧客の満足度の上昇を妨げ、高い場合には「ホームページを閲覧する」シーンにおける顧客の満足度上昇を加速とする。これらに対する評価の結果を Figure 6 に示す。

両者の比較より、外部環境の影響を受けて場に特有の

変数が変化した結果, 顧客の満足度に差を生じる様子が確認できる.

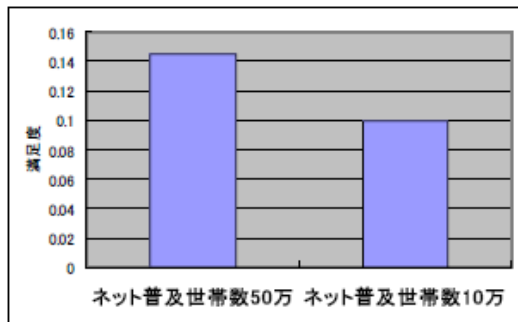


Figure 6 Satiability versus Diffusion rates of Internet.

### 13. おわりに

本報告では, サービスを工学的に捉え, 工業製品と同様にサービスを設計する対象として設計支援するシステムの構築について述べた. 特に, 離散・連続ハイブリッドモデルを導入することで製品の疲労, 劣化, ニーズ変化, 保守技術の向上やサプライ・チェーン・マネジメントのボトルネックの発見につながる柔軟なシステムの構築が期待される.

なお, 本研究は科研費平成 18 年度基盤研究 (B) (一般)「サービス評価をするために連続数値表現を導入したサービス設計支援システム」(研究代表者: 川田誠一) の支援を得ている.

### 参考文献

- [1] R. P. Fisk, et al: 「サービスマーケティング入門」, 法政大学出版局, 2005.
- [2] 下村芳樹, 富山哲男: 人工物工学の方法論 (第 21 報) -サービス工学のためのサービス・モデリング-, 日本機械学会第 12 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.02-31, pp.271-274, 2002.
- [3] 下村芳樹, 原辰徳, 渡辺健太郎, 坂尾知彦, 新井民夫, 富山哲男: サービス工学の提案 - 第 1 報, サービス工学のためのサービスのモデル化技法-. 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 702, pp. 315-322, 2005.
- [4] 坂尾知彦, 原辰徳, 渡辺健太郎, 下村芳樹: サービス工学の提案 - 第 2 報, サービス工学のためのサービスの設計手法-. 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 708, pp. 2614-2621, 2005.
- [5] 川田誠一, 川田尚吾: 「場面の概念を用いた離散・連

続混合システムのシミュレーションモデル」, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.59, No.563, pp.10-16, 1993.

- [6] 村山昇, 川田誠一, 小口俊樹: 分散環境における場面遷移ネットシミュレーション, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.71, No.703, pp.1054-1061, 2005.
- [7] John M. Rathmell, "What Is Meant by Services?", *Journal of Marketing*, Vol. 30, No. 4, pp. 32-36, 1966.
- [8] 佐藤友亮, サービス・マーケティング手法と場面遷移ネットに基づくサービスフロー・シミュレーション, 平成 18 年度東京都立大学特別研究論文, 3 月, 2007.

# 自治体システムに適用できる Web サービスの相互運用の検証

成田 雅彦\*・島村 真己\*\*

## Verification for the Interoperability of Web Services for Municipality Systems

Masahiko Narita\* and Makiko Shimamura\*\*

### Abstract

Web Service is the key platform technology for various Internet based services. Also Web Service is considered, by APPLIC (Association for Promotion of Public Local Information and Communication), as the common platform for the local government service in Japan. In these systems, the open standard and the interoperability are mandatory. This paper describes requirements for the conformance and interoperability verification of Web Services, such as transparency, and automated verification. It reports the verification suite which authors have developed, WS-VS (Web Service Verification Suite), satisfying the requirements. And it also reports the conformation result on a reliable message implementation, one of key components in developing such systems, by WS-VS. Moreover, it covers the proof of concept verification for a Web Service based local government applications by WS-VS.

Keywords: 自治体システム, 地域情報化, 標準化, Web サービス, 相互運用, リライアブルメッセージ

### 1. はじめに

Web サービスは、インターネット上の各種サービス提供のインフラとして発展しつつある。Web サービスは、SOAPに代表される下位の通信層から、リライアブルメッセージ、ワークフロー機能などの上位層から構成されており、2001年以來多くの技術が提案されてきた。現在、主要部分の標準化が完了しつつあり、製品も揃い始め、普及期に入ろうとしている[1]。Web サービスの利用分野は、企業内のシステム統合、企業間取引の分野だけでなく、自治体システムをはじめとして、インターネットを介した様々なサービスの提供や、デジタル情報機器サービスなど、広く分野に渡っている。Web サービスは、このように広く使われ、複数ユーザ・複数ベンダ・複数実装によるシステム構築が必然である。したがって、そこで用いられる Web サービスの仕様の標準化と相互接続の必要性は、企業内・企業間の大規模システムに比べて極めて高いといえる。

### 2. Web サービスの適用と相互接続検証

Web サービスの適用が進む自治体システムと、Web

サービスを適用したシステムを構築するために必要となる相互接続検証について述べる。

#### 2.1 Web サービスの自治体システムへの適用

Web サービスの実システムへの適用の試みとして、総務省及び全国地域情報化推進協議会が 2005 年から検討している全国の自治体向け情報システム向けの地域情報プラットフォームがある[2]。

##### (1) 地域情報プラットフォーム概要

地域情報プラットフォームは、行政・民間を問わず地域の各種サービスを統合・連携して提供する共通基盤の仕様である。従来、自治体では、電子申請、人事給与、国保、福祉、税等の部門ごとにシステム導入されており、データ連携が必要な場合は手作業あるいは紙媒体を用いてデータを交換することが多い。そこで、共通のシステム連携プラットフォームを介して、これらの業務アプリケーションを Web サービス等の標準技術を活用して接続することにより、データ連携や業務連携を可能にしようとしている。この仕組みを用いることで、サービスや業務の共用が可能になる。

例えば、引越しの場合は、転居届、国民健康保険・国

民年金の申請, 軽自動車定置場変更の申請, 児童手当申請, 課税証明交付申請などが必要になる. それぞれを管理している住民基本台帳システム, 軽自動車税システム, 児童手当システム, 介護福祉システム, 電子申請システムなどが地域情報プラットフォームのもとで連携すれば, これらのすべての申請をワンストップサービスとして実現することができるようになる.

## (2) 地域情報プラットフォームで得られるもの

地域情報プラットフォームの狙いは, ①自治体内・自治体間, 民間を連携したサービスを実現することで, 住民への行政サービスの便宜性を向上させ, また新たなビジネス機会を創出すること, ②Web サービスなどオープン技術の採用により多方面からの調達をめざし, その結果, システムコストの低減を実現すること, ③自治体の業務システムを個々に整備せずとも, 既存の自治体システムを連携して共用利用を実現するというものである. したがって, サービスの標準化および標準技術を採用したプラットフォームと相互接続の実現が必須のシステム要件である.

## (3) 業務インタフェースと利用される Web サービス

地域情報プラットフォームの仕様では, 住民基本台帳, 国民健康保険, 児童手当, 印鑑登録, 固定資産税, 住民税, 法人税, 国民年金, 高齢者福祉, 介護保険, 就学, 戸籍, 人事給与, 文書管理など, 広範囲な自治体業務に関連する共通語彙・業務伝票・業務手続の標準化が検討されている.

また, 異機種環境を前提とする地域情報プラットフォームでは, 標準化された Web サービスの利用が定められている. 例えば, 効率的にデータを転送するだけでなく, メッセージの到達保証と重複排除, 到達順序保証を行うことができ, Web サービスを用いた実際のビジネスシステムを構築するために極めて重要な機能であるリライアブルメッセージングやセキュリティを含むプラットフォームの通信機能, 業務プロセスの実行と管理, サービス連携時の認証, システム監視などで利用する仕様が定められている[3].

## 2.2 コンフォーマンスと相互接続の検証

仕様の準拠を検証するコンフォーマンス検証と, 相互接続を検証する相互接続検証は, 複数ベンダ・複数実装の実現に必須な技術であり, 以下のように SOAP ベースのシステムにおいても幾つかの試みがなされている.

電子商取引関連では, ebXML (Electronic Business using XML) [4] の通信レイヤとして標準化された ebXML メッセージングサービス[5]のための OASIS IIC

TC (Implementation, Interoperability and Conformance Technical Committee) によるテストフレームワークの策定[6][7], これに基づく ECOM (電子商取引推進協議会 (当時)) によるテスト仕様の策定[8]と相互接続検証, アジア諸国による相互接続検証とコンフォーマンス認定がある.

Web サービスについては, WS-I (Web Services Initiative) による Basic Profile[9], Basic Security Profile[10]等のプロファイル策定が著名である. 国内では, DOPG が製品間の Web サービス機能の相互接続検証を行っている[11].

しかしながら, 実際のビジネスシステムを構築するためには必須ではあるが, 比較的最近になって標準化された Web サービスのリライアブルメッセージに関するコンフォーマンス検証および相互接続検証や, アプリケーションレベルの相互接続検証の仕組みは未だ確立されていない.

## 3. Web サービスの相互接続検証のための要件

Web サービスを適用したプラットフォームやアプリケーションを複数ユーザ・複数ベンダ・複数実装で構築するために必要となる検証の要件を以下に示す.

### (1) コンフォーマンス検証と相互接続検証

ベンダ・インプリメンタにとっては, 自社が利用・提供する Web サービスの仕様準拠を検証できることが必須である. 一方, ユーザ・SIer にとっては, アプリケーションシステムの構築の際に相互接続の検証を行い, 複数の選択枝を生かし, オープンな選択ができることが重要である. したがって, ベンダ・インプリメンタだけでなくユーザ・SIer も利用可能な検証の仕組み, すなわち, コンフォーマンスと相互接続の両方の検証機能を併せ持つことが必要である.

### (2) 検証の網羅性と透明性

検証対象となるアプリケーションや Web サービスの仕様の全ての機能を, 漏れなく網羅的に検証できること. このためには, 十分な検証項目, 多様なエラーケースを用意する必要がある. また, 相互運用検証の正当性を第三者がチェックできるように, 検証ルールの透明性を確保することも必要である.

### (3) 自動検証

障害時における相互運用の検証は, 特に, ビジネスで利用するための必須技術であるリライアブルメッセージングが持っている到達保証, 重複排除などの機能を検証

するために必要である。一般に障害発生時の検証は複雑で手間が掛かるが、ユーザ・Sier による検証を前提にすると、これらが自動で検証できることは重要である。

(4) 容易な検証

Web サービスはプロトコルを規定しているが、API は規定しない。このため、一般的に、検証時には実システムに合わせて検証プログラムを手直ししなければならず、この手間が大きい。この問題を解決するため、実システムが行っている通信をそのまま検証対象にできるように考慮するべきである。この他、検証項目の容易な作成・分析しやすい結果の提示などの工夫が求められている。

4. 検証ツールを用いた相互運用検証

本章では、3章で述べた要件を満たす Web サービスの相互運用検証の実現を目指し、筆者らの開発した検証ツール (WS-VS: Web Service Verification Suite) を用いた試みについて述べる。

4.1 WS-VS の概要

WS-VS は、送信側および受信側の Web サービスプラットフォーム間に配置し、両プラットフォームの間を流れる SOAP メッセージをモニターする。WS-VS の機能構成を図 1 に示す。WS-VS は、検証する仕様とは独立した共通部と検証する仕様に依存した検証セット・検証ルールから構成されている。

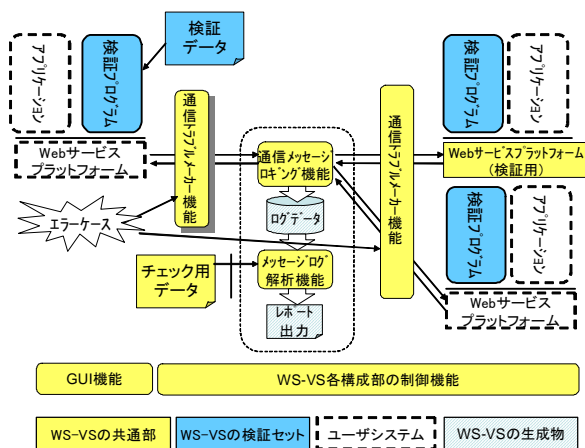


図 1 WS-VS(Web Service Verification Suite)の構成図

それぞれの機能について簡単に述べる。

(1) WS-VS の共通部

WS-VS の共通部は次の 6 つの機能から構成されてい

る。

- 通信メッセージロギング機能  
送信側アプリケーションと受信側アプリケーションの間に割り込み、インターセプトしたメッセージをファイルに書き出す機能。
- メッセージログ解析機能  
ログファイルを解析し、アプリケーション間での通信が仕様に準拠して行われているかどうかについてチェック用データを基にチェックし、結果を出力する機能。
- 通信トラブルメーカー機能  
メッセージの欠落などのエラーを意図的に発生させる機能。
- WS-VS の制御機能  
WS-VS を構成する各機能を統合/制御する機能。検証の自動化を行う。
- GUI 機能  
WS-VS の設定、検証機能の実行指示を行う GUI 機能。
- 検証用の Web サービスプラットフォーム  
仕様に準拠したメッセージを配送する機能。

通信トラブルメーカー機能は、検証プログラムやコマンドにより異常発生レートを変更したり、異常発生箇所を指定できる。したがって、検証用にミドルウェア自身に異常発生機能を入れることなく、障害時における相互運用の検証ができる。

(2) WS-VS の検証セット

アプリケーション間の通信が仕様に準拠しているかどうかを検証するための検証セットである。検証プログラムと検証データで構成する。詳細は 4.3 で述べる。

4.2 コンFORMANCE検証と相互接続検証

WS-VS は、送信側および受信側の Web サービスプラットフォーム間を流れる SOAP メッセージのフォーマットに関する内容を検証する。また、送信側および受信側の上位アプリケーションの動作検証時に WS-VS を同時に動作させれば、アプリケーション間の SOAP レベルでの相互接続性を検証することもできる。

WS-VS の検証対象およびサポートする検証形態は下記の 3 つである。

- ① Web サービスプラットフォームの仕様準拠の検証  
WS-VS が提供する検証用エンジンを利用し、検証対象の Web サービスプラットフォームが仕様に準拠したメ

ッセージを生成しているかどうかを判定する(図2参照).

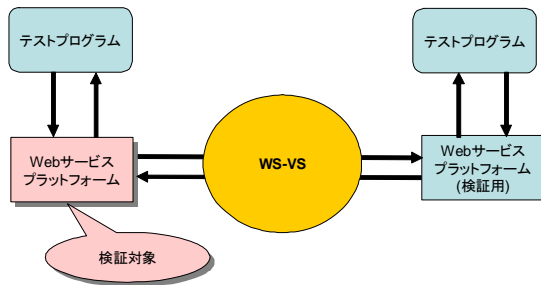


図2 Web サービスプラットフォームの  
パフォーマンス検証の形態

### ② 異なる Web サービスプラットフォーム間の相互接続性の検証

ネットワーク上を流れるメッセージを検証し、それぞれの Web サービスプラットフォームが生成するメッセージが仕様に準拠しているかどうかを判定する(図3参照).

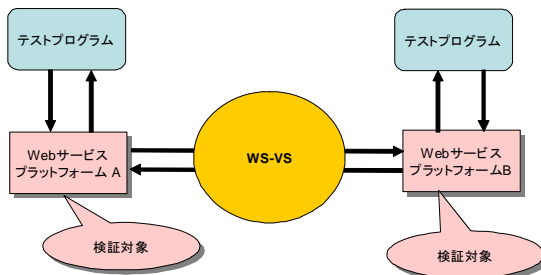


図3 Web サービスプラットフォーム間の  
相互接続検証の形態

### ③ 異なるアプリケーション間の相互接続性の検証

ネットワーク上を流れる SOAP メッセージのフォーマットを検証し、各メッセージが仕様に準拠しているかどうかを判定する(図4参照). この場合、アプリケーションが用いるデータ(伝票等)のフォーマット検証用のルールをユーザが作成する必要がある.

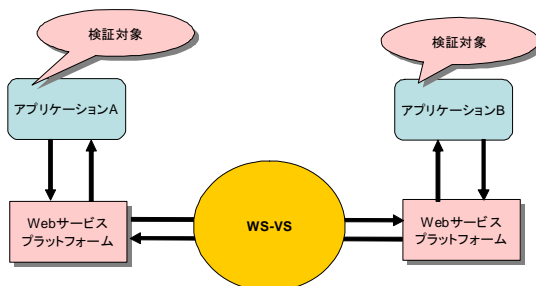


図4 アプリケーション間の相互接続検証の形態

## 4.3 検証項目と透明性

WS-VS は、下記の検証を行うことができ、これらの検証ルールを外部から容易にアクセスできるようにすることによって透明性を確保している.

### (1) 検証項目

検証項目は、ECOM で行われた ebXML メッセージングサービスの検証項目の分類に基づき、検証の方式の違いから次の3種類に分類した.

#### ① フォーマット検証

ネットワーク上を流れるメッセージのフォーマットに関する検証を行う. 各メッセージが仕様に準拠しているかどうかを検証する.

#### ② HTTP Binding 検証

下位層プロトコルにバイディングされたメッセージの組み合わせに関する検証を行う. 仕様書で規定されている下位プロトコルバイディングに準拠しているかどうかを検証する.

#### ③ プロトコルシーケンス検証

メッセージの配送保証・重複排除保証・順序保証に関する検証を行う. 仕様書で規定されている機能が適切に実装されているかどうかを検証する.

### (2) 検証ルール

上記の検証項目は、対応する検証ルールを実行することで行われる. 各検証項目は、検証項目 ID、前提となる検証項目 ID へのリンク、検証項目の概要、検証結果のレポートへの表示するメッセージ等の管理情報、検証項目を実施するかどうか前提条件の判定方法、検証ルールの判定表示の方法が含まれている. さらに、第三者から検証の正当性が容易に検証できるように、上記①と②では検証ルールは簡易表記を用いて表現されている. また、③は Java のソースプログラムが提供されている.

例えば、①のフォーマット検証では、以下の検証を全てのログメッセージに対して実施することができる. ただし、\*1 WS-Reliability に依存した項目である.

- 要素/属性の存在チェック
- 要素に属する属性/要素(子要素)の存在チェック
- 要素/属性の型チェック
- 要素/属性の日付値の比較チェック
- 要素/属性の数値の範囲チェック
- 要素/属性間での数値の大小チェック
- 要素/属性の値チェック

- SOAP バージョンチェック
- 要素/属性が Message-ID Scheme を使用した実装を行っているかのチェック \*1
- xsd:duration 型の値チェック \*1

図 5 にフォーマット検証の検証項目例を示す。

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <test id="FA-1-2-R1" testType="request">  |                             |
| <context><br>Value of "Value" element is "Response".<br></context>  | <b>前提条件の説明</b>              |
| <testDescription><br>validates that the "ReplyPattern" element does not have "ReplyTo" element.<br></testDescription>   | <b>テスト内容の説明</b>             |
| <failureMessage><br>The "ReplyPattern" element has one "ReplyTo" element or more.<br></failureMessage>  | <b>テスト項目の失敗時に表示されるメッセージ</b> |
| <preReqList><br><testId>FA-1-1-5</testId><br></preReqList>  | <b>前提となるテスト項目</b>           |
| <preTestEvaluation><br><expression>IF 1 THEN true ELSE false</expression><br></preTestEvaluation>   | <b>前提条件の評価</b>              |
| <evaluation true="passed" false="failed"><br><expression>IF 1 THEN true ELSE false</expression><br></evaluation>  | <b>検証(本文)の評価</b>            |
| <preTest><br><condition id="1"><br><valueCheck mode="inCandidate"><br><path><br>soapenv:Envelope/soapenv:Header/wsm:Request/wsm:ReplyPattern/wsm:Value<br></path><br><candidate>Response</candidate><br></valueCheck><br></condition><br></preTest> | <b>前提条件の検証項目</b>            |
| <body><br><condition id="1"><br><isExist minOccurs="0" maxOccurs="0"><br><path><br>soapenv:Envelope/soapenv:Header/wsm:Request/wsm:ReplyPattern/wsm:ReplyTo<br></path><br></isExist><br></condition><br></body>                                     | <b>検証(本文)の検証項目</b>          |
| </test>   |                             |

図 5 フォーマット検証の検証項目例

#### 4.4 検証レポート

WS-VS で検証した結果は、XML 形式のレポートファイルとして出力される。例えば、メッセージのフォーマットに関する検証を行った場合、検証結果は Request/Response の組み合わせ単位で出力され、メッセージごとに検証項目と結果を表示する。このレポートファイルの画面イメージを図 6 に示す。

また、レポートファイルのヘッダには、検証結果の統計情報が表示される(図 7)。検証レポートは、利用者固有のフォーマットや、日本語以外の表示に切り替えられるよう、スタイルシートを用いて表示している。

| フォーマットテスト結果                                  |   |
|--|---|
| カンパセーションID: '0'                              |   |
| 送信メッセージID: '0'                               |   |
| メッセージ内容:<br>下位層プロトコルのRequestとして取得したSOAPメッセージ |   |
| ヘッダ情報:<br>下位層プロトコルのHeaderメッセージ               |   |
| テスト結果:                                       |   |
| ○ テスト番号: FA-1                                | 結果情報: passed                                    |
|  | 前提条件: soap:Headerの子要素に、Request要素がある。            |
|  | テスト記述: soap:Headerの子要素に、Request要素が1個あることを検証する。  |
| ○ テスト番号: FA-1-1                              | 結果情報: passed                                    |
|  | 前提となるテスト番号: FA-2                                |
|  | 前提条件: 前提となる条件はありません。                            |
|  | テスト記述: Request要素の子要素に、ReplyPattern要素があることを検証する。 |
| ○ テスト番号: FA-1-1-1                            | 結果情報: passed                                    |
|  | 前提となるテスト番号: FA-1-3                              |
|  | 前提条件: 前提となる条件はありません。                            |
|  | テスト記述: ReplyPattern要素の子要素に、Value要素があることを検証する。   |
| ○ テスト番号: FA-1-1-2                            | 結果情報: passed                                    |
|  | 前提となるテスト番号: FA-1-1-1                            |
|  | 前提条件: 前提となる条件はありません。                            |
|  | テスト記述: Value要素の型が正しいことを検証する。                    |
| ○ テスト番号: FA-1-1-3                            | 結果情報: passed                                    |
|  | 前提となるテスト番号: FA-1-1-2                            |
|  | 前提条件: 前提となる条件はありません。                            |

図 6 フォーマット検証の検証結果の画面イメージ

| 統計情報    |  |
|---------|--|
| テスト結果概要 |  |
| フォーマット: | メッセージ件数項目件数通過失敗警告対象外前提失敗                 |
|         | 68 12648 1186 0 21 11441 0               |
| テスト結果表示 |  |
| フォーマット: | カンパセーションIDメッセージIDテストタイプ項目件数通過失敗警告対象外前提失敗 |
|         | Request 133 43 0 1 89 0                  |
|         | Response 28 0 0 0 28 0                   |
|         | PollRequest 25 0 0 0 25 0                |
| 0       | Request 133 0 0 0 133 0                  |
|         | Response 28 0 0 0 28 0                   |
|         | PollRequest 25 0 0 0 25 0                |
|         | Request 133 43 0 1 89 0                  |
|         | Response 28 0 0 0 28 0                   |
|         | PollRequest 25 0 0 0 25 0                |
| 1       | Request 133 0 0 0 133 0                  |
|         | Response 28 0 0 0 28 0                   |
|         | PollRequest 25 0 0 0 25 0                |
| 3       | Request 133 0 0 0 133 0                  |
|         | Response 28 0 0 0 28 0                   |
|         | PollRequest 25 0 0 0 25 0                |
|         | Request 133 43 0 1 89 0                  |
| 4       | Response 28 0 0 0 28 0                   |

図 7 フォーマット検証の統計情報の画面イメージ

#### 4.5 容易な検証

容易な検証の要件には、4.2 ③で述べた検証プログラムを用いずに実アプリケーション間の通信を分析することで検証する手法や、4.3 (2)で述べたフォーマット検証の検証項目を容易作成できる簡易表現の導入、4.4 での述べた見やすい検証レポートで応えている。

#### 4.6 既存の検証ツールとの比較

WS-VS と既存の検証ツールを比較する。Web サービスに関して、Basic Profile のための WS-I の検証ツールがある。これは、アプリケーション間の通信ログの採取



し, 分析することでアプリケーション間の接続性を検証するものである. ebXML メッセージングサービスに関して, OASIS IIC TC のテストフレームワークをもとに NIST(National Institute of Standards and Technology)が開発した検証ツールがある[12][13].

前章の要件により WS-VS および既存の検証ツールの充足を評価すると表 1 のようになる. この結果から, WS-VS が他の既存ツールに比べ前章の要件をよく満たしていることが分かる.

表 1 WS-VS と既存の検証ツールの比較

|                   | WS-VS  | WS-I             | NIST                           |
|-------------------|--|------------------|--------------------------------|
| 検証対象              | Web サービス<br>プラットフォーム<br>(WS-Reliability)<br>アプリケーション | Basic<br>Profile | ebXML<br>Message<br>Service2.0 |
| パフォーマンスと<br>相互接続検 | ○  | N/A              | N/A                            |
| 透明性               | ○  | ○                | (*)                            |
| 自動検証              | ○  | N/A              | N/A                            |

(\*) ソースは公開されているが, 検証項目の入手は難しい

## 5. WS-VS による検証

3 章の要件を満たす Web サービスの検証ツール WS-VS を用いて, Web サービスプラットフォームで用いられるリライアブルメッセージング機能のコンFORMANCE検証を実施した. さらに, プラットフォーム層だけでなく, 自治体プラットフォームでの相互運用検証のために, 自治体サービスで用いられるであろう申請伝票を用いて, アプリケーションレベルでの相互運用性の検証の技術検討を行った.

### 5.1 プラットフォームのコンFORMANCE検証

WS-VS のコンFORMANCE検証機能を用いて, Web サービスプラットフォームのキーコンポーネントの一つであるリライアブルメッセージング機能の OASIS 標準仕様 Web Services Reliability (WS-Reliability) 1.1[14] を実装したオープンソースである RM4GS ((Reliable Messaging for Grid Services)) 1.1[15]のコンFORMANCE検証を実施した. RM4GS 1.1 は, 到達保証, 重複排除保証, 到達順序保証の機能を持ち, WS-Reliability

1.1 が規定する 3 種類の RM-Reply Pattern (Response, Callback, Poll) の全てをサポートしている.

網羅的に WS-Reliability 1.1 の機能を検証できるように, フォーマット検証に 186 項目, HTTP Binding 検証に 11 項目, プロトコルシーケンス検証に 15 項目の検証項目を用意した. フォーマット検証項目は, 4.3 の②で述べた簡易表記で全て記述されている.

この検証の結果を表 2 に示す. この結果により, RM4GS 1.1 は WS-Reliability 1.1 を正しく実装したエンジンであるといえる.

表 2 RM4GS1.1 のコンFORMANCE検証の結果

| 検証項目の分類               |                                   | 検証<br>項目数 | 検証結果<br>成功/失敗/警告 |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------|------------------|
| フォーマット<br>検証 *1       | WS-Request                        | 120       | 117/0/3          |
|                       | WS-R Response                     | 19        | 19/0/0           |
|                       | WS-R Poll<br>Request              | 19        | 19/0/0           |
| HTTP<br>Binding<br>検証 | Common                            | 1         | 1/0/0            |
|                       | HTTP Binding                      | 7         | 7/0/0            |
| プロトコル<br>シーケンス<br>検証  | Common                            | 3         | 3/0/0            |
|                       | Guaranteed<br>Delivery            | 6         | 6/0/0            |
|                       | Duplicate<br>Elimination          | 2         | 2/0/0            |
|                       | Guaranteed<br>Message<br>Ordering | 3         | 3/0/0            |

### 5.2 アプリケーションレベル検証

自治体プラットフォームでの相互運用の検証のために, 自治体サービスで用いられるであろう申請伝票を用い, 検証項目を簡易表記を用いて作成し, アプリケーションレベルでの相互運用性の検証の技術検討を行った.

#### (1) 想定したシステムと検証の方法

2.1 で述べた, 引越しの場合に必要な自治体関連の申請と民間サービス関連の申請を一括して申請するワンストップで行う自治体窓口サービスを想定した. 伝票は SOAP により document/literal 形式で呼び出でやり取りするとし, クライアント・サーバ型の検証システムを作成した. 検証は, 伝票検証のための検証項目をフォーマット検証 (4.3 (1)の①) により作成し, クライアント・サーバ間を流れる伝票を WS-VS を使って「アプリケーション間の相互接続検証の形態 (4.2 の③) で検証した.

#### (2) 想定した申請伝票

引越しのワンストップサービスで扱う伝票は、自治体関連と民間サービス関連の 6 種類の伝票と、これらを 1 つにまとめて扱う統合伝票の合計 7 種類とした。伝票は XML 形式とし、XML スキーマにより定義されることを想定した。

### (3) 検証項目の作成

(2)で示した伝票のうち、ワンストップサービスに特徴的な統合伝票を検証することとし、これに含まれる 6 種類の伝票・制御情報の有無と各伝票定義の XML スキーマへの準拠の検証と各伝票先頭の小項目の検証を行った。このため、フォーマット検証の簡易表記を用いて記述した 28 項目の検証項目を作成した。

### (4) 実証結果と考察

(1)で示す検証システムにて(2)で示す伝票を用い、WS-VS によりアプリケーションレベルの相互運用の検証を行った。結果、(3)で設定した 28 の検証項目の全てを検証できた。今回は、個々の伝票の要素の値の検証は、1 項目のみ行ったが、WS-VS が提供するフォーマット検証の簡易表記を用いて、ユーザが値のチェックなど用意に追加・拡張していくことができる。本手法は、Web サービスベースの自治体システムの検証に有効であると言える。

本手法は、伝票が XML スキーマにより定義され、document/literal 形式で転送されることを想定したが、一般的に、Web サービスが RPC 呼び出で行われる場合や、WSDL のみで定義されている場合もありうるので、これらのアプリケーションへの対応は、各々のシステム開発の実態を調査し、必要なら今後検討していくべきである。

## 6. まとめ

検証性の透明性、検証の自動化等、Web サービスにおける相互運用検証の要件を検討し、要件を満たす相互接続性検証環境を開発した。また、これを用いて、未だ実現していなかった Web サービスのキーコンポーネントであるリライアブルメッセージング機能の実装のコンFORMANCE検証を実施した。さらに、プラットフォーム層だけでなく、自治体プラットフォームでの相互運用検証のために、自治体サービスで用いられるであろう申請伝票を用いて、アプリケーションレベルでの相互運用性モデルを用いた自治体サービスプラットフォームの相互運用検証の可能性を示した。

今後、本検証ツールを公開・改善により利用促進を図り、オープンな Web サービスの普及に貢献していく。

## 7. 謝辞

本研究の一部は、NEDO（新エネルギー工業技術開発機構）のデジタル情報機器相互運用技術プロジェクト（情報機器リモート管理基盤の開発）によって行われた。

### 参考文献

- [1] 成田雅彦, “Web サービス技術の動向と日本企業の取り組み”, INTAP ジャーナル No.65, 情報処理相互運用技術協会(INTAP), January/2004, p23-26
- [2] 河合正人, “地域情報プラットフォーム 技術標準化 WG 報告”, 2007年3月, 地域情報プラットフォームフォーラム(主催:総務省, (独)情報通信研究機構, (財)全国地域情報化推進協会)  
<http://www.applic.or.jp/seminar/pfforum2006/0101.pdf>
- [3] 「地域情報プラットフォーム基本説明書」 2007年3月 第2.0版 全国地域情報化推進協議会  
<http://www.applic.or.jp/APPLIC/2007/APPLIC-0001-2007.pdf>
- [4] 菅又久直, 森田勝弘, “ebXML 技術解説”, ソフトリサーチセンター, 東京, 2001年12月
- [5] ebXML Message Service Specification v2.0, August/2002,  
[http://www.oasis-open.org/committees/ebxml-msg/documents/ebMS\\_v2\\_0.pdf](http://www.oasis-open.org/committees/ebxml-msg/documents/ebMS_v2_0.pdf)
- [6] OASIS ebXML Test Framework Committee Specification Version 1.1 DRAFT,  
[http://www.oasis-open.org/committees/download.php/10896/IIC\\_ebXMLTestFramework\\_v1.1\\_10\\_11\\_04\\_final\\_draft.zip](http://www.oasis-open.org/committees/download.php/10896/IIC_ebXMLTestFramework_v1.1_10_11_04_final_draft.zip)
- [7] Jacques Durand , Michael Kass, Pete Wenzel “The ebXML Test Framework And the Challenges of B2B Testing” , XML Europe 2003, London England, May 6, 2003
- [8] 電子商取引推進協議会, “ebXML Interoperability Test Specification Part I: ebXML Messaging Service Version 1.1”, May/2003,  
[http://www.ecom.jp/ecom\\_e/press/20020930/ebXML\\_InteropTestPartI\\_v1\\_1\\_EnglishX.pdf](http://www.ecom.jp/ecom_e/press/20020930/ebXML_InteropTestPartI_v1_1_EnglishX.pdf)
- [9] Basic Profile V1.2, Board Approval Draft, March/2007,  
<http://www.ws-i.org/Profiles/BasicProfile-1.2.html>
- [10] Basic Security Profile V1.0, March/2007,  
<http://www.ws-i.org/Profiles/BasicSecurityProfile>

-1.0.html

- [11] 藤田悟, 成田雅彦, 大場みち子, 鈴木俊宏, “Web サービスの標準化と相互接続性”, 情報処理 Vol.45, No.12, 情報処理学会 (IPSJ), December/2004, p1272-1277
- [12] Software Diagnostics and Conformance Testing Division, Information Technology Laboratory, NIST (National Institute of Standards and Technology), ” ebXML Technologies”, [http://ebxmltesting.nist.gov/ebxml\\_technologies.html](http://ebxmltesting.nist.gov/ebxml_technologies.html)
- [13] James D. Kindrick, John A. Sauter, Robert S. Matthews, “Improving Conformance and Interoperability Testing” StandardView Vol.4, No.1, March/1996
- [14] OASIS Web Services Reliability V1.1, November/2004, [http://docs.oasis-open.org/wsrn/ws-reliability/v1.1/wsrn-ws\\_reliability-1.1-spec-os.pdf](http://docs.oasis-open.org/wsrn/ws-reliability/v1.1/wsrn-ws_reliability-1.1-spec-os.pdf)
- [15] RM4GS (Reliable Messaging for Grid Services) 1.1, Information-technology Promotion Agency, Japan, <http://businessgrid.ipa.go.jp/rm4gs/index-en.htm>

# 行政情報システムへの適用を考慮した プライバシー影響評価手法の開発

瀬戸 洋一\*

## Development of Privacy Impact Assessment techniques for considering application to government information systems

Yoichi Seto\*

### Abstract

The Ministry of Foreign Affairs of Japan issued an electronic passport in the spring of 2006. Biometrics (face image) is stored in an e-passport. When the system is constructed and operated to treat biometric information called ultimate individual information, the Privacy Impact Assessment (PIA) concerning the protection of personal information in foreign countries is executed. However, Similar consideration in an e-government and the municipality system is done. Also in Japan, In the development and operation of the public administrative information systems or a non-government enterprise systems, the development of assessment framework that securing and the stake-holder (taxpayer and user) of safety in personal information management obtain mutual agreement is a pressing need. In this paper, the idea of the guideline and the privacy policy that executes PIA for the problems and measures when executing it in the outline of PIA, the execution framework in Japan is described.

Keywords: biometrics, Privacy Impact Assessment, government information systems, Privacy Enhancing Techniques, information security, personal information protection

### 1. 緒言

2001年9月11日の米国同時多発テロを契機に、安全対策強化の一環で、国境を移動する人間を確実に把握するシステムが、各国で整備されている。例えば、2006年春、日本の外務省は、電子パスポートを発行した。電子パスポートにはバイオメトリクス（顔画像）が格納されている。また、現在開発中の外国人の入出国対応個人識別情報（生体情報）システムでは、指紋画像および顔画像の採取が計画されている。

究極の個人情報と言われるバイオメトリック情報を扱うため、システムの構築および運用に当たって、海外では個人情報の保護に関する影響評価が一部の国で実施されている。日本でも同様のシステムの構築を行い、個人情報の安全性の確保とステークホルダー（各国政府、出入国する旅行者、日本国民など）に対する説明責任から、国内外で合意が得られる評価体制の整備が急務である。

本研究は、法務省入国管理局からの委託を受け、出入国管理および難民認定法の一部改正により2007年11月までにバイオメトリクスを活用した出入国審査体制が構

築されることになっていることに伴い、特に情報セキュリティの観点から、米国などにおけるプライバシー影響評価PIA（Privacy Impact Assessment）制度および実情について調査研究を実施した[1]。

本研究の結果は、出入国管理業務における生体情報システムのみならず、電子パスポート、SPT（Simplifying Passenger Travel）などのシステム、電子政府、電子自治体あるいは民間企業で構築する個人情報を扱う関連システムに適用できる。

本稿の構成は、以下のとおりである。

2章でバイオメトリクスの概要およびプライバシーの課題の検討、3章で海外で実施されているプライバシー影響評価PIAの考え方および実施の状況調査、4章で米国US-VISITシステムで実施されているPIAの状況調査、5章でPIAを日本に導入する場合の課題分析とプライバシーポリシーおよびガイドラインの案を示す。

### 2. バイオメトリクスを利用するシステムにおける課題

#### 2.1 バイオメトリクスとはなにか

バイオメトリクス（生体情報）は、行動的あるいは身

体的な特徴を用い、個人を自動的に同定する技術である。バイオメトリクスには身体的な特徴と行動的な特徴の二種類ある。前者は、顔、指紋、静脈、虹彩などが相当し、後者は、声紋、署名が相当する。現在、顔、指紋、静脈、虹彩などのバイオメトリクスが社会システムでのデファクトとなっている[2]-[4]。

## 2.2 バイオメトリクスに関するプライバシーの課題

プライバシーと個人情報とは混同し用いられることがある。一般に個人情報は個人を識別できる属性を指す。例えば、氏名、生年月日、性別などが該当し、個人情報保護法などで定義されている。一方、プライバシーは、イメージで捉えられることが多い。

これは個人情報の取扱い手続きは、法律の定めに従うことで解決するのに対し、プライバシーの権利をめぐる問題は個人情報における法律の規定にみられるような基準が必ずしも存在しない。また、プライバシーに対する価値感が個人々異なることから、その判断基準も主観的な要素に影響される。したがって、現実的な社会システムを構築する場合、ステークホルダーの同意を得られる客観的な評価体系が必要である。

バイオメトリクスをプライバシーとして扱うか否かの問題点を明確にするために、出入国管理業務での利用が考えられるバイオメトリクスについて、バイオメトリクスの性質、個人情報該当性、プライバシー該当性、採取される副次情報を表1にまとめた。

表1 バイオメトリクスとプライバシー

| モダリティ | 性質   | 個人情報   | プライバシーに該当するかの判断   |
|-------|--|--|---|
| 顔     | <ul style="list-style-type: none"> <li>•外界に露出(公知)</li> <li>•撮影容易</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>•単体で個人識別可能(個人情報)</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>•公知性に着目→非プライバシー</li> <li>•肖像権に着目→プライバシー</li> </ul> |
| 指紋    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•外界に露出</li> <li>•遺留、取得容易</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•他の情報と照合して個人識別可能(個人情報)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•非公知</li> <li>•非プライバシー</li> </ul>                  |
| 虹彩    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•外界に露出</li> <li>•機器を使用すれば本人に知られずに採取可能</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•他の情報と照合して個人識別可能(個人情報)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•非公知</li> <li>•非プライバシー</li> </ul>                  |
| 静脈    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•体内に隠れる</li> <li>•本人が意識して入力装置に接しなければ採取困難</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•他の情報と照合して個人識別可能(個人情報)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•非公知</li> <li>•非プライバシー</li> </ul>                  |

顔以外の指紋などのバイオメトリクスは、属性情報とリンクを取らない限り、個人情報ではないという解釈がある。バイオメトリクスと属性情報とのリンクについては以下のように考えられている[5][6]。

身体的特徴に関するバイオメトリック情報は、顔のように、それ自体で特定の個人を識別できる場合を除き、その他の身体的特徴は体の部位の一部に過ぎないこと

から、それ自体では特定の個人を識別することはできないため個人情報とはならないと言われている。ただし、身体的特徴が他の情報と容易に照合でき、それによって特定の個人を識別することができれば、その情報とあわせて全体として個人情報に該当することはありうる。一方、他の情報と容易に照合できる場合であっても、特定の個人を識別できないバイオメトリック情報は個人情報には当たらない。例えば、指紋のサンプルがデータベースに登録されているID情報と容易に照合できたとしても、特定個人を識別する情報がデータベースに登録されていない場合、つまりデータベースに登録されている本人情報が匿名化されているような場合には個人情報とはならない。

しかし、バイオメトリックデータを採取する際、多くの応用システムでは、本人識別情報も収集し、関連付けをして管理する。実際にシステムで使用する場合に、インシデント発生時の被害を最小化しようとするのであれば、全てのバイオメトリックデータは、個人情報として厳密に管理を行うことが必要であると考えられる。

## 2.3 プライバシー保護の必要性

### 2.3.1 行政と民間の相違

民間の取引は、よほど特殊な商品、役務でない限り複数の候補から条件に応じた取引相手を選択することができ、不都合があった場合には別の取引先に切り替えることも可能である。つまり、プライバシーに関し、不適切な扱いが行われたと考える場合、法的な処置に頼らず、利用者が取引先を変更できる。

一方、行政が提供する役務(行政サービス)のほとんどは代替提供者、代替手段が存在しない。個人にできるのは提供を受けるか受けないかの二者択一である。公的手続きによっては、海外渡航時の旅券発行のように必要条件として提供を受けざるを得ないものが多い。

プライバシーの保護は、「個人情報個人個人の人格と密接な関連を有するものであり、個人が個人として尊重されることを定めた憲法第13条の下、慎重に取り扱われるべきこと」と個人情報の保護に関する基本方針(平成16年4月2日閣議決定)にあるように、基本的人権として国内外で認識されている[7]。公共の利益のために行政機関は個人情報を収集する。しかし、目的が公共の利益であっても個人の権利に干渉する行為であれば、必要最小限に留め、しかも細心の注意を払う必要がある。

### 2.3.2 データの国際的な移動

人と物の移動のグローバル化が進み、安全保障がもはやひとつの国の問題ではなくなっている今日、プライバシーの取り扱いについて我が国としてもデータの国際的な移動に対応した法制の整備と運用が求められている。

EU データ保護指令は、EU 域外の諸国に個人情報を移動させる場合は対象国に個人のプライバシーを保護する適切な法律が存在しない限り、その移動を禁止している[8].

行政がプライバシーの保護に注力していることを内外に示すことで、国内においては体制の安定、国外においては国家としての発言力、競争力を確保することにつながる。プライバシー保護の内容を明確に示すための1つの手段としてアセスメントを行うことが考えられる。プライバシー保護に対する対策が正しく講じられていることをチェックし、その結果を社会に説明することは、行政に対する理解を得るために有益である。次章で述べるプライバシー影響評価 PIA (Privacy Impact Assessment) は、システムがプライバシーに及ぼす影響のチェックと公表に有効な手法である。

PIA は、米国で 1970 年代から公的機関で実施されてきた技術評価が元になっている。2002 年施行の電子政府法により実施が義務付けられている。このため、米国の出入国管理システム US-VISIT では PIA が実施されている。

### 3. プライバシー影響評価 PIA

#### 3.1 プライバシー影響評価 PIA とはなにか

##### 3.1.1 背景と目的

プライバシー影響評価 PIA (Privacy Impact Assessment) は、個人情報の収集を伴う IT システムの導入または改修にあたり、プライバシーへの影響を「事前」に評価し、問題回避または緩和のための運用的・技術的な変更を促す一連のプロセスである。設計段階からプライバシー保護策を織り込み、導入後にも運用状態を把握することにより、電子的サービス提供という公共の福利とプライバシー保護を両立させることを目的として実施されている。PIA を実施することにより IT システム稼働後のプライバシーリスクを最小限に抑えることができ、稼働停止やセキュリティ・リスクによる改修と費用の発生の予防にもつながる。

PIA の実施例が多いカナダでは、1990 年代から PIA が実施されている。米国においても 2002 年施行の電子政府法により PIA の実施が義務付けられている。

PIA を直感的に理解するには、環境影響評価との対比で考えると分かりやすい。表 2 に日本の環境影響評価法による環境影響評価とカナダの PIA の対比を示す[8] [9].

環境影響調査とプライバシー影響調査、どちらも事業実行前の実施により計画改善を図ることを目的とし、事業を行うものは、実行主体であり、複数のステークホルダーが存在し、ステークホルダー間の調整を行う点が似

ている。

表 2 環境影響評価とプライバシー影響評価の対比

|        | 環境影響評価(日本)   | PIA(カナダ)   |
|--------|--|--|
| 実施主体   | ・ 環境影響評価法に定められた事業主   | ・ 個人情報を取り扱うITシステムを導入・改修する行政組織  |
| 実施の目的  | ・ アセスメント結果を許認可(建築確認、補助金の交付等)に反映させることにより、事業が環境の保全に配慮して行う。<br>・ ステークホルダー間の意思疎通を図る。 | ・ アセスメント結果をシステム構築・運用に反映させることにより、電子的サービス提供の向上とプライバシーの保護を両立させる。<br>・ アセスメント結果を公表することにより、国民に対し説明責任を果たす。   |
| 実施の契機  | ・ 事業概要の届出を受けた許認可権者の実施判定  | ・ 調査した範囲では明文規定を発見できなかった。ただしカナダ政府Webサイトのe-Learningツール等では導入・改修前の実施を“must”であると記載している。   |
| 関係法令等  | ・ 環境影響評価法<br>・ 各自治体の環境影響評価条例他  | ・ Privacy Act<br>・ Personal Information Protection and Electronic Documents Act 他  |
| 報告の提出先 | ・ 許認可権者<br>・ 補助金(国)交付決定権者<br>・ 国が行う事業の実施に関する事務を所掌する主任の大臣他                        | ・ 調査した範囲では明文規定を発見できなかった。ただしe-Learningツール等では“Deputy Heads of Institutions”が報告書に署名し承認するとしている。また、Privacy Commissioner, Treasury Board(国家財政委員会)がsurveyするとある。 |
| 主要関係者  | ・ 国<br>・ 地方公共団体<br>・ 事業者<br>・ 国民   | ・ 実施主体である行政組織<br>・ Privacy Commissioner<br>・ Treasury Board<br>・ 国民  |

表 3 各国の PIA 導入状況

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

PIA を実施し報告書を公表することで、システム稼働により影響を受ける個人とシステムを管理する行政の間に共通の認識が培われ、世論やメディアと行政の間の議論と対話が促進される。行政、個人、メディアの三者が議論するための共通の土俵が PIA 報告書という形で提供される。PIA を実施することで、IT システム運用のリスク回避とともに、個人の権利保護、公共の利益に行政が留意している姿勢をステークホルダーに示し、説明責任を果たすことができる。

##### 3.1.2 各国の状況

PIA について複数の国で通用する一般的な標準は調査した範囲では確認できなかった(2007 年 3 月時点で、金融分野の国際標準を扱う ISO TC68 で PIA を標準にす

る動きがある[11]).

これまでに行なわれてきた標準化の取り組みは、前述した OECD ガイドライン、EU 個人データ保護指令、欧州評議会の条約のようにプライバシー指針や公正な情報の取り扱いを求める声明の形で、PIA に使用される素材を提供するものであった。

諸外国における PIA の導入状況については表 3 に示す通りである[10].

## 3.2 プライバシー影響評価 PIA のフレームワーク

### 3.2.1 プライバシー影響評価 PIA の概要

カナダの Privacy Impact Assessment Guidelines では“A PIA is a process that helps departments and agencies determine whether new Technology, information systems and initiatives or proposed programs and policies meet basic privacy requirements.” 「PIA は省庁や部局において新しい技術、情報システムで企画・提案されたプログラムやポリシーが基本的なプライバシー要件に適合しているかどうかの判断を援助するプロセスである。」と定義されている[12]-[15].

図 1 に Tindall レポートに基づく PIA の全体像を示す[9]. PIA はプライバシー・フレームワーク (Privacy Framework) とプライバシー・アセスメント (Privacy Assessment), プライバシー・アーキテクチャ (Privacy Architecture) から構成される. PIA プロセスにおいてプライバシー・フレームワークは法的側面, プライバシー・アセスメントは運用上の側面, プライバシー・アーキテクチャは技術的な側面を表す.

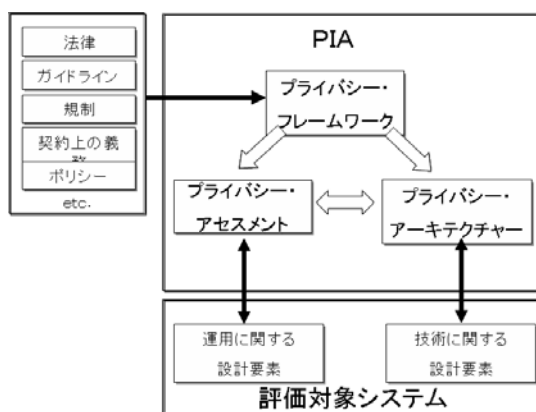


図 1 PIA の全体像

法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、既存のポリシー等は PIA の外部にあって、プライバシー・フレームワークの構成要素となる。

### 3.2.2 PIA 機能の概要

(1) プライバシー・フレームワーク：プライバシー・フレームワークは、法制度、ガイドライン、規制、契約上の義務、ポリシー等を基礎として、当該 IT システムに必要となる条項等を根拠とするプライバシー要件を抽出する。つまり評価対象システムで使用されるデータの何をどの程度守るべきかを定める。

また、一定の形式に則ったプライバシー測定基準、つまり要求された水準で守られていることを検証するための方法、例えば、システムのハードウェア構築が、ガイドライン等で定められたセキュリティ標準を満たすかどうかの検証等を定める。

プライバシー・フレームワークは、プライバシー・アセスメントやプライバシー・アーキテクチャにとってのプライバシー保護の基準となる。

(2) プライバシー・アセスメント：プライバシー・アセスメントはプライバシー・フレームワークに則り、評価対象システムに関し、適用業務が、個人情報をどのように収集、利用、管理するかについて設計仕様を評価する。

データフローやチェックリスト等を用いた影響分析などにより、詳細な分析を行い、運用に関する IT システム設計の要素としてポリシーの策定やトレーニング計画等、具体的な提案や問題の抽出が行われる。ここで確認された問題はプライバシー・アーキテクチャに伝達され、技術的な解決策が検討される。

アセスメント報告書は、プライバシー・アーキテクチャに織り込まれた技術的な設計要素の影響を記述するほか、当該 IT システムの詳細な検討、データフローおよび影響分析などをステークホルダーに詳しく知らせるものである。確認された問題は、プライバシー・アーキテクチャと連携し、対策がとられる。

(3) プライバシー・アーキテクチャ：プライバシー・アーキテクチャは、プライバシー・フレームワークで提示されたプライバシー保護の基準を満たすための手段を組み込む仕組みである。プライバシー・アーキテクチャは評価対象の技術的な設計要素について、具体的な提案や問題の抽出を行う。

プライバシー・アセスメントで確認された問題の技術的な対策を図ると同時に、プライバシー・アーキテクチャで確認された問題をアセスメントにフィードバックして、妥当であるならば技術的手段によらない解決策を検討する。

プライバシー・アーキテクチャは、プライバシー保護の弱点が発見されてから修復するのではなく、弱点を予防すること、また、要件の変化に柔軟に対応できることが重要である。

プライバシー強化要素の導入が求められている場合には、積極的対処を求められる。一方、設計段階において、プライバシー・アセスメントや基本的なポリシー決定から提起された問題に対応して、設計に対して技術的な要素が補完される場合には、設計の変化に柔軟に対応することが求められる。

プライバシー・アーキテクチャで使用される技術をプライバシー強化技術 PET (Privacy Enhancing Technology) と呼ぶ。

### 3.3 プライバシー影響評価 PIA プロセスの実施手順

PIA プロセスは以下の 7 つから構成される。

- (1) プロジェクトの立ち上げ
- (2) プライバシー要件の検討
- (3) 分析
- (4) チェックリストによるアセスメント
- (5) 提案
- (6) 報告書の作成と提示・意見聴取・承認
- (7) フィードバック

手順(2)から(5)は繰り返され、フィードバックを受けてプライバシー保護の改善が図られる。

## 4. US-VISIT の手続きとプライバシー保護

### 4.1 US-VISIT の概要

米国出入国管理システム US-VISIT は、すべての訪問者に適用される。2004 年 9 月 30 日に VWP 国 (VISA Waiver Pilot Program; ビザ免除国) の訪問者に対しても適用されるように拡大された。訪問者は POE (Port Of Entry; 通関港) で左右の人さし指の指紋と顔画像を取得され、渡航文書との照合、本人認証が行われる。このバイオメトリクスを用いた入国手続きは、2007 年 3 月の時点で、116 の空港、15 の海港で実施中、154 の陸港 POE で二次検査として運用中である。出国手続きは 12 の空港、2 の海港で運用中である。

US-VISIT の手続きは次の 4 段階からなる。

#### (1) 入国前

- ・米国領事館ビザ発行局において本人情報を登録し、ウォッチリストとのマッチングが行われる。
- ・旅行者は左右の人さし指を指紋読み取り機にのせる。
- ・顔画像をシステムにスキャンさせる。
- ・指紋画像と渡航文書との関連付けを行う。

#### (2) 入国時

- ・入国審査官が入国者のビザに記録されている情報を専用装置で読み取る。
- ・スキャナで左右の人さし指の画像を読み取り、税

関職員がビザをもつ入国者の顔画像を撮影する。

- ・ビザから読み取った情報をもとにビザ申請時に申請者から採取した指紋と顔画像のデータが保管されているデータベースにアクセスし、入国者の照会を行う。

- ・指紋画像と顔画像が既知および容疑中のテロリスト、犯罪者の情報を含む政府データベースと照合される。

#### (3) 状況管理

- ・旅行者が状況を変更、調整したい場合には、新しい US-VISIT 情報に更新される。

- ・到着、出発記録を照らし合わせ、矛盾がある場合は訪問者が不法滞在したと判断される。

#### (4) 出国時

- ・旅行者の手続きは入国時と同様である。ビザまたはパスポートを読み取り機 (キオスクまたはモバイル装置) に挿入し、左右の人さし指をスキャンし、顔画像を撮影し、最後に読み取り機から排出されたレシートを受け取る。

上記の手続きを通じて US-VISIT で取得されるデータのプライバシー保護に関して、DHS (Department of Homeland Security) は、訪問者により提供されたバイオメトリクスおよび経歴情報の安全な保護と訪問者のプライバシー事項が侵害されないことを次のような方針で保証している。

- ・US-VISIT に関する記録は、すべての適用可能なプライバシーに関する法、規則と矛盾のない方法により保護される。
- ・個人情報には安全に秘匿され、法に権威づけられた、または公的義務の実行に必要な場合を除いては、US-VISIT プログラムの内部または外部で任意の人と議論されたり、開示されたりすることはない。
- ・適切なセキュリティ制御を含む入念な安全保護策により、データが不適切に使用またはアクセスされないことを保証する。

US-VISIT は、プライバシーポリシーを公開しており、概要を後述する。US-VISIT はバイオメトリクスを含む多くの個人情報を収集し、また DHS 内部および外部とそれらの個人情報を共有するため、米国電子政府法第 208 条によりプライバシー影響評価 PIA の実施が義務付けられている。

以下では、米国における PIA の法的な根拠、DHS が発行している PIA 実施のためのガイドライン、US-VISIT プライバシーポリシー、US-VISIT PIA 報告書について順に紹介し、US-VISIT における PIA の実施状況を概観する。なお、機微な個人情報を扱うシステムの構築に対しては、国際的なセキュリティ評価基準であ



る ISO/IEC 15408 認証を取得していることが望ましいが、調査した範囲では US-VISIT の ISO/IEC 15408 認証取得についての情報は見当たらなかった。

#### 4.2 米国における PIA の法的な根拠

米国に PIA に関する主な法的根拠としては、電子政府法第 208 条と国土安全保障法第 222 条が挙げられる[16][17].

米国は 2002 年電子政府法第 208 条でプライバシー規定を定めている。この条項では、各行政機関が個人情報を直接的または間接的に推定可能な方法（識別可能な形態）で収集する場合、または配信するための情報技術を開発または調達する場合、事前にプライバシー影響評価を実施することを義務付けている[18][19].

また、行政機関の長が決定したときは、最高情報責任者 CIO (Chief Information Officer) または同等の上級職員によるプライバシー影響評価の再審査が確保されている。各行政機関は予算を要求するシステムに対する PIA 報告書の写しを行政管理予算局 OMB (Office of Management and Budget) 長官に提出しなければならない。

行政管理予算局長官は、プライバシー影響評価に必要な内容を明記したガイダンスを作成し、政府全体に渡って PIA プロセスの実施を監督し、行政管理予算局長官が適当と判断した場合には、識別可能な形態の情報が存在する既存のシステムまたは継続中の情報収集に関しても、各行政機関にプライバシー影響評価の実施を要請することができる。

ガイダンスは対象となる情報システムの規模、システム内に存在する機微情報、情報が不正に開示されたことによる被害のリスクに見合うものでなければならず、以下のことを明らかにすることが求められている。

- (1) どのような情報を収集するのか。
- (2) なぜその情報を収集するのか。
- (3) 当該行政機関による情報の使用目的は何か。
- (4) 誰と情報を共有するのか。
- (5) 収集される情報および情報共有の方法に関し、本人の同意を得るためにどのような機会が与えられているか。
- (6) 情報はどのように安全に守られるのか。
- (7) 記録システムは合衆国法典第 5 編第 552a 条 (プライバシー法) に基づき開発されているか。

また、行政管理予算局長官は合衆国法典第 5 編第 552a 条に従ったプライバシーポリシーの通知を行うためのガイドラインを作成することが要求されている。

#### 4.3 プライバシーオフィスによる PIA ガイドライン

DHS プライバシーオフィスが公開している PIA ガイドラインの概要を以下に述べる。

PIA の目的は、システム所有者および開発者がシステムのライフサイクル全体を通じてプライバシー保護を意識的に組み込んだことを証明することである。これはプライバシー保護が、更にコストがかかり、プロジェクトの妥当性に影響を与えるようになるシステムの構築後ではなく、システムの構築前に組み込まれていることを保証するものである。

PIA 報告書とは、行政機関がどのような情報を収集するのか、なぜ情報が収集されるのか、どのように情報が使用され、共有されるのか、どのように情報がアクセスされるのか、どのように安全に格納されるのかを公に対して説明するための文書である。PIA プロセスと PIA 報告書を通じてプライバシー問題を解決することにより、市民から DHS の運用に対する信頼を得ることができる。PIA は、プログラムやシステムが開発されたときに定期的に更新される必要がある。

PIA が対象とする「個人を識別可能な情報」とは、個人を直接的に特定可能な(名前、住所、社会保障番号等)、または当該機関が他のデータと組み合わせると個人を特定できるような、システム内、収集、技術中に存在する情報のことである。

RFID、バイオメトリックスキャン、データマイニング、地理空間追跡等の一時的に収集される情報もこれに含まれる。PIA は収集する情報が同じであっても、情報収集に対して新技術(監視カメラ等)が採用される場合や新しい情報源(商用の情報集約等)を利用する場合にも実施が求められる。また、パイロット試験に対しても PIA の実施が要求される。

PIA は、以下のいずれかを組織が行うときに実施される。

- ・ 個人情報を扱うまたは収集する新技術またはシステムを構築、調達するとき。PIA は OMB へのすべての予算要求に対して必要とされる。
- ・ システムの改訂を行うとき。例えば、プログラムが他の機関と新たに情報共有を開始するときや外部データ集約から商用データを取り込む場合は PIA が必要である。
- ・ 個人情報に影響を与える新規立法または改正を提案するとき。

一方、完全な PIA の実施を必要としない情報システムもある。システム所有者またはプログラム管理者が完全な PIA の実施が必要かどうかを効率良く判断するために、プライバシー閾値分析 PTA (Privacy Threshold Analysis) が行われる。PTA は、システムの開発時期や

収集する情報、収集方法等に関する6つのシステムに関する基本的な質問からなる。プライバシー閾値分析は現在C&A (Certification & Accreditation, 評価と運用認可) プロセスに取り込まれており、C&A プロセスを通じてプライバシーオフィスがPTAを審査する。

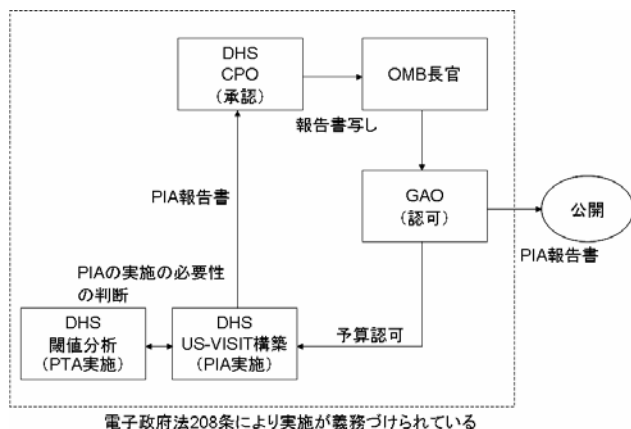


図2 US-VISITにおけるPIA承認フロー

#### 4.4 PIA テンプレートの記入方法

前述のように、すべてのPIA報告書はPIAテンプレートのフォーマットに従う必要がある。PIAテンプレートは以下で述べるトップレベルの質問のみを含む。これらの質問にはPIA報告書の中ですべて答える必要がある。更に、副レベルの質問と例がトップレベルの質問に答えるための付加的なガイダンスとして提供されている。

序章では以下を記述する。

- ・システム名、システム番号、システムを所有するDHS部署名
- ・新プログラム、技術、システムの目的と、どのように部署またはDHSのミッションに関係するか
- ・システムに存在する情報と部署またはDHSのミッションにとって重要なシステムの機能に関する記述
- ・モジュールとサブシステム、およびそれらの機能に関する記述

次に、各章で以下のような項目について記述する。

##### (1) 収集、維持される情報

- ・どのような情報が収集されるか
- ・誰から情報が収集されるか
- ・なぜ情報が収集されるか
- ・どのように情報が収集されるか
- ・どのような法的権威、協定、協約が情報の収集を定義しているか
- ・プライバシー影響分析：ここでは、収集される情報の範囲、収集された情報の情報源、収集の理由に関連したプライバシーリスクを識別し、収集される情報の

量を減らすこと、個人から直接情報を収集すること、不正確な情報を識別するための手続きおよびプロセスの構築等に関して、可能な緩和策を議論する

##### (2) システムと情報の使用

- ・情報のすべての使用方法について記述する
- ・ユーザーの未知の興味、関心、パターンを識別を支援するために、システムがデータ解析（データマイニング）を行うか
- ・どのように個人から収集した、またはシステムから得られた情報の正確性を検証するか
- ・プライバシー影響分析：ここでのプライバシーリスクとしては、開示されていない目的での情報の使用、情報の不適切な使用、人が介さないデータマイニング情報による自動的な属性付け、不正確な情報が挙げられる。一方、緩和策としては、文書の公開・非公開レビュー、セキュリティとアクセス制御、個人情報の取り扱いに関する教育、データマイニングの結果に対する人によるレビュー、情報の直接的な収集が挙げられる。

##### (3) 情報の保管

- ・システム内でのデータの保管期間はどの程度か
- ・保管スケジュールが公文書館NARA (National Archives and Records Administration) によって承認されたか
- ・プライバシー影響分析：情報を保管する目的に対して、なぜその情報をその期間保管しておく必要があるかを説明する

##### (4) 内部組織との情報の共有と開示

- ・どの内部組織と情報を共有するか
- ・各組織に対して、どの情報をどのような目的で共有するか
- ・どのように情報が伝達または開示されるか
- ・プライバシー影響分析：ここでのプライバシーリスクとしては、開示されていない目的での情報の使用、不適切な情報の使用、誤って構築された情報が挙げられる。一方、緩和策としては、透明性を確保するための文書の公開・非公開レビュー、セキュリティとアクセス制御、教育が挙げられる。

##### (5) 外部組織との情報の共有と開示

- ・どの外部組織と情報を共有するか
- ・どの情報がどのような目的で共有されるか
- ・どのように情報が伝達または開示されるか
- ・情報を共有する外部組織との適切な覚書、契約、協約があるか。協約が現在共有されている情報の範囲を反映しているか。
- ・情報の受け取り手によってどのように情報が安全に守られているか

- ・情報へのアクセス権を受け取る前に、DHS 外部の機関により、どのようなユーザー教育が要求されるか
- ・プライバシー影響分析：ここでのプライバシーリスクとしては、外部組織によって安全に守られていない情報、外部組織によって他の目的で使用される情報、外部組織による不適切な情報の使用が挙げられる。緩和策としては、情報が連邦政府情報セキュリティ管理法 FISMA (Federal Information Security Management Act) に従って安全に守られていることを文書化して保証すること、情報が問合せ後に外部組織によって保管されないようにすること、どのように情報を収集、使用、保管するかを文書化して同意することが挙げられる。

#### (6) 通知

- ・情報の収集前に個人に通知が行われたか。そうであれば、通知のコピーを付録に添付する。そうでなければ、なぜ通知しなかったかを明記する。
- ・個人が情報の提供を拒否する機会または権利が与えられているか
- ・個人が情報の特定の使用に同意する権利が与えられているか。そうであれば、どのようにその権利を行使するか。
- ・プライバシー影響分析

#### (7) 個人によるアクセスと訂正

- ・個人が自身の情報へアクセスすることを許可する手続きはどのようなものか
- ・間違った情報を訂正する手続きはどのようなものか
- ・個人は情報を訂正する手続きをどのように通知されるか
- ・もし訂正手段が提供されていない場合は他の利用可能な代替案は何か
- ・プライバシー影響分析：1974年のプライバシー法で提供されているアクセスとその他の手続き的権利に対して、当該プロジェクトで提供されている手続き的権利について説明する。もしアクセス、訂正権利が提供されていないならば、なぜそうなのかを説明する。

#### (8) 技術的なアクセスとセキュリティ

- ・どのユーザーグループがシステムにアクセスするか
- ・DHS の契約者はシステムにアクセスするか
- ・システムのユーザーに権限を割り当てるためにロール（ユーザーに対して実行できる権限を一つ一つ割り当てるのではなく、権限のセットに対して名前（ロール名）を付けて、ユーザーにはロールを使って権限を割り当てるという意味）を使用するか
- ・どのユーザーがシステムにアクセスするかを決定するために、どのような手続きがあるか。またそれらは文書化されているか。

- ・確立されたセキュリティおよび監査手続きに従って、どのように役割と規則の割当てが行われているか
- ・データの誤使用を防ぐために、どのような監査基準および技術的安全保護策が用いられているか
- ・プログラムまたはシステムの機能に一般的または特別に関連した、どのようなプライバシー教育がユーザーに提供されているか
- ・データは FISMA 要求に従って安全に守られているか。そうであれば、最後にいつ C&A を完了したか
- ・プライバシー影響分析

#### (9) 技術

- ・システムはゼロから構築されたか、または購入後にインストールされたものであるか
- ・システムに対してなされた決定の一部として、どのようにデータ一貫性、プライバシー、セキュリティが分析されたか
- ・プライバシー保護に照らし合わせて、どのように技術決定を行ったか

### 4.5 US-VISIT プライバシーポリシー

US-VISIT の Web サイトでは、プライバシー法の遵守と、個人情報の公正な運用についての原則 (Fair Information Practices) [16]に従って個人のプライバシーを守ることが宣言され、US-VISIT のプライバシー原理とプライバシーポリシーが公開されている[17]。個人情報の公正な運用についての原則はプライバシー保護に関する 5 つの核となる原則 (通知、選択、アクセス、セキュリティ、訂正) を規定したものであり、米国におけるプライバシー保護の基礎となっている。

US-VISIT のプライバシー原理には、個人情報保護を含むプライバシー原理の遵守に対する US-VISIT プライバシーオフィスの説明責任等、計 10 項目が記載されている。

プライバシーポリシーには、以下のような項目が記載されている。

- (1) US-VISIT プログラムの目的
- (2) プログラムによって影響を受ける人は誰か
- (3) どのような情報が収集されるか
- (4) どのように情報が使用されるか
- (5) 誰が情報にアクセスするか
- (6) どのように情報が保護されるか。DHS 職員、US-VISIT システム所有者または管理者、第三者機関の役割と責任は何か
- (7) どの程度の期間、情報が保管されるか
- (8) US-VISIT プログラムについての更なる情報は、誰に連絡すればよいか

また、個人は US-VISIT により提供されているデータ

の誤り、または訂正されるべき他の問題を通知するための是正プロセスを通じて、US-VISIT プライバシーオフィスに連絡を取ることができる。

US-VISIT 是正ポリシーには、US-VISIT への是正要求の提出方法、是正要求の提出先、回答期限、回答が十分でない場合にはどうするか、等について記されている。

DHS PIA ガイドラインによれば、PIA 報告書を作成する時期は、個人情報を取り扱うシステムまたは技術を新規に開発するとき、システムの改訂時、個人情報に影響する立法の提案時のいずれかであり、PIA プロセスは US-VISIT システム構築前に実施されたものである。これに対し、システム運用時についても個人情報が安全に管理されているか等のセキュリティ評価を実施していることが望ましいが、US-VISIT に対して運用時の評価を行っているかどうかについては調査した範囲では不明であった[19][20]。

## 5. 日本の行政情報システムへの PIA 適用検討

### 5.1 出入国管理システムにおける PIA

本項では、日本の行政情報システムに適用する場合の提言を法務省出入国管理システムを例に PIA について検討した。日本における PIA フレームワークを図 3 に示す。

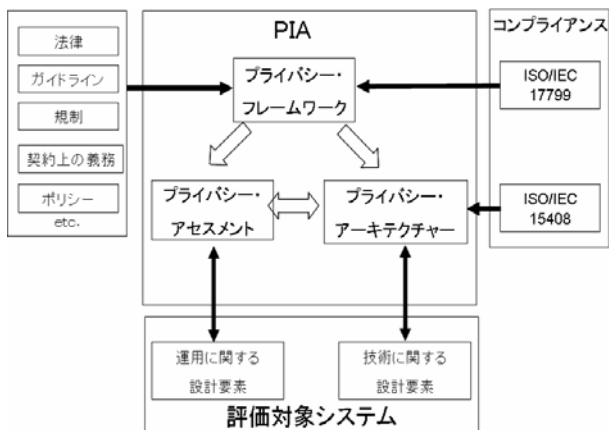


図 3 日本で PIA を実施する場合のフレームワーク

#### (1) 日本の出入国管理システムにおける PIA のポイント

##### ① プライバシー・フレームワーク

プライバシー・フレームワークとは、評価対象の IT システムに対する法律、ガイドライン、規制、ポリシー、対象分野等から守られるべきプライバシー（プライバシー要件）を抽出し、一定の形式に則ったプライバシーの測定基準を定めることにより、アセスメントやプライバシー・アーキテクチャが遵守すべきプライバシーの基本原則を作成することである。アセスメントの基準となる

手順、チェックリストなどの元になる情報である。

PIA に効力を持たせるため、コンプライアンスとして国際標準規格を用い、第三者認証を実施することが日本の特徴である。

##### ② プライバシー・アーキテクチャ

プライバシー・アーキテクチャは設計にプライバシー・フレームワークで提示されたプライバシー保護の基準を充足するための手段を組み込む仕組みである。

プライバシー強化技術 PET (Privacy Enhancing Technology) は、個人情報データを保護する手法で、プライバシー・アーキテクチャの大きな部分を占めるが、設計段階で使用できるもう一つの手法が ISO/IEC15408 である。

##### ③ プライバシー・アセスメント

PIA におけるプライバシー・アセスメントはプライバシー・フレームワークに則り、構築および運用を評価する。PIA プロセスにおいては分析とチェックリストによるプライバシー・アセスメントが重要になる。

分析ではシステムの業務プロセスとデータフローを洗い出し、プライバシー保護の弱点になる可能性のある箇所を見つけ出す。チェックリストによるアセスメントで国内法規やプライバシーポリシーに関するリスクを評価するが、分析時に発見された弱点となりうる箇所の確認をあわせて行い、双方の結果を分析にフィードバックすることで、アーキテクチャによる解決、運用による解決を模索していくことになる。

プライバシーポリシーが明確でないと、アセスメントのフレームワークが決まらない。例えば、行政手続きが影響を及ぼす対象とは何か、どのような影響がその対象に及ぶのかといった点を明らかにすることが、プライバシーリスクを発見する第一歩になると考える。

また、データフローにおいては使用データとそのフローの洗い出しに注力し、システム内のデータのやり取りがどこで発生するのか把握することが重要である。やり取りされる場所、タイミングと内容が同様にプライバシーリスク発見の鍵となる。

#### (2) 行政情報システムにおけるプライバシーポリシー案

4章で米国 US-VISIT における PIA 実施を述べた。その中で言及されている電子政府法第 208 条では OMB 長官は、行政機関の公衆用 Web サイト上でプライバシーの告知を行うため、合衆国法典第 5 編第 552 条 a 条に従ったガイダンスを作成しなければならないとされている。

日本の行政機関でも Web サイトのプライバシーポリシーはサイト内で開示されていることがある。総務省が開設している「電子政府の総合窓口」Web サイトではプライバシーポリシーが開示されている。

US-VISIT プログラムのような形でプライバシーポリ

シーを整備するのであれば、個人の権利内容とその根拠条文、本人同意についての検討は特に重要であると考えらる。

個人の権利内容等は出入国管理システムの場合、個人情報収集する相手が日本国籍を有しないものであるため、個人情報保護法や行政機関個人情報保護法上で主張する権利が日本国民と全て同じかどうか、特に情報の提供を拒んで入国できなかった場合の記録の開示と異議申立はどうか等、システム固有の問題が存在する。

入国に当たっての電子的な個人情報提供は例外を除いて必須である。よって同意しない場合には日本に入国できないということになる。出入国管理システムのプライバシーポリシーでは本人同意についての記述には、同意しない場合の不利益について明示するのが適当であると考えらる。またプラ

イバシーポリシーは日本語だけでなく、ほかの言語でも用意し、入国を申請する者全てに、できるだけ多様な手段で、開示することが必要であると考えらる。

以下に US-VISIT プライバシーポリシーを参考に作成した日本の出入国管理システムのプライバシーポリシー案を提示する。

## 5.2 個人識別情報システムにおめるプライバシーポリシー案

### ① 出入国管理システムの目的

- ・ 出入国管理システムはテロの未然防止と出入国管理の一層の円滑化を目的とする。

### ② システムにより影響を受けるステークホルダー

- ・ 出入国管理システムの要求と処理に影響を受ける個人（被個人）は日本への入国を申請する外国人である。特別永住者、16歳に満たないもの、外交関係者等の例外を除く。

- ・ 被個人は入国申請時に電磁的方式による個人識別情報の提供を必須とされる。出入国管理システムは当該個人識別情報の処理を行う。

- ・ 被個人に与えられた入国の許可は証印に代わる電算ファイルとして法務省令で定める電子計算機に電子的ファイルとして記録される。

### ③ 情報の収集

- ・ 出入国管理システムは被個人に関する券面画像や IC 旅券の IC チップ内に格納されている情報、顔画像・指紋画像を収集する。個人が識別可能な情報は出入国管理システムの目的のために必要なもの、関連のあるもの意外は収集されない。

### ④ 情報の利用

- ・ 被個人の MRZ2（パスポートの1ページ目の下にある「機械読み取り領域(MRZ: Machine Readable Zone)」

行情報による旅券の名義人に係る身分事項等の読み出し及び有効性確認、並びに PKI 認証による旅券の真偽性確認を行うとともに、バイオメトリクス照合による同一人性の確認、及び要注意人物かどうかの確認を行う。これによりテロの未然防止と出入国管理の一層の円滑化を図ることができる。

- ・ 出入国管理システムによって収集された個人情報は法令に基づく場合を除き、収集した目的でのみ使用される。

### ⑤ 情報へのアクセス権限者

- ・ 出入国管理システムによって収集、保持されている個人情報は、法令に基づく場合を除き、法務省入国管理局職員によりアクセスされる。

### ⑥ 情報の保護の方法

- ・ 個人情報は安全に秘匿され、法令に基づく場合を除き、出入国管理システムの内部または外部で任意の人物と議論されたり、開示されたりすることはない。適切なセキュリティ対策、監査、法務省外の行政機関等への法令に基づく個人情報提供時において適切な管理を求めること等により、データが不適切に使用またはアクセスされないことを保障する。

### ⑦ 情報の保管期間

- ・ 出入国管理システムにより収集された個人情報は、別途指定する法、規制の要求に従って保持、破棄される。

### ⑧ 情報の請求先

- ・ 出入国管理システムにより個人情報が収集、使用される個人は行政機関個人情報保護法ほかの法により許可された程度まで、情報を調べ、不正確さの訂正を要求することができる。

## 5.3 日本の出入国管理システムの PIA ガイドライン案

本項では、日本の出入国管理システムに対する PIA ガイドライン案と PIA プロセスで使用される PIA チェックリストの案を示す。提案する PIA ガイドラインは、システムの構築前における PIA の実施と、システムの運用開始後における ISMS 適合性評価の実施からなる。

PIA ガイドライン案の概要を図4に示す。以下、図中の番号に従って各ステップを説明する。

### (1) プロジェクト立ち上げ

PIA アセスメントを行う範囲を決定し、PIA の実施に必要なスキルをもったメンバから構成される PIA チームを編成する。

例えば、出入国管理システムの場合、PIA チームメンバには、法律の専門家、プライバシーの専門家、出入国管理プログラムの業務設計者、システムの専門家（サーバ、ネットワーク、セキュリティ、バイオメトリクス取

得装置や電子パスポート読み取り機等の端末装置), 出入国記録等のデータ管理者を含めることが望ましい。また, 本プロジェクトに関わるステークホルダーを特定する。

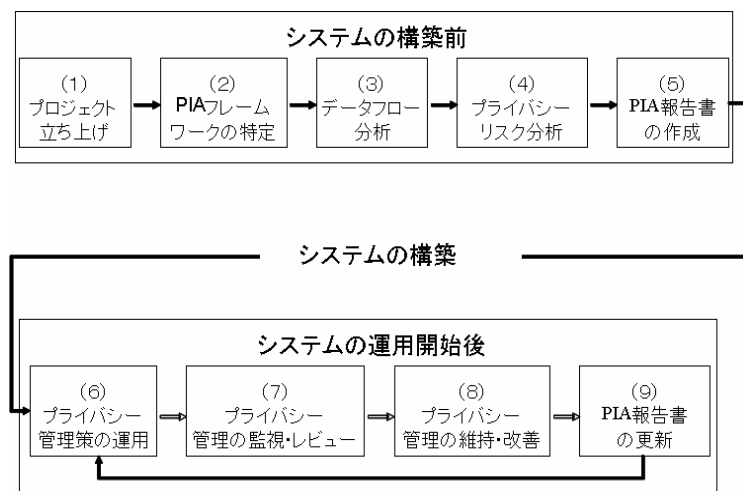


図4 日本の個人識別情報システムのPIAガイドライン案

## (2) PIA フレームワークの特定

出入国管理システムに対する PIA フレームワークとなる法律やガイドライン, プライバシーポリシー等を決定する。

## (3) データフロー分析

出入国管理の業務プロセス, システムアーキテクチャ, データフローを図表にて説明する。業務プロセス図を用いて, 主要な業務プロセスを通じてどのように個人情報収集, 使用, 開示, 保管されるかを明確にする。データフロー図には, 外部システムとのインターフェースも含めて, システム内部および外部システムとの間でどのようなデータが送受信されるかを記述する。

## (4) プライバシーリスク分析

データフロー分析の結果をもとにプライバシーリスクを識別する。プライバシーリスク分析は個人情報の収集から使用, 保管, 処理, 開示, 廃棄までのすべての情報のライフサイクルに対して行う。主要なプライバシーリスクや脆弱性の識別を助けるための手段として, PIA チェックリストが使用される。チェックリスト中のすべての質問に対して適切な回答を与えることで, プライバシーリスク分析の網羅性を保証する。

上記で識別された各プライバシーリスクに対して, 適用可能な管理策を与える。プライバシー保護のための管理策として, 暗号化等の技術的な対策, 入退室管理等の物理的な対策, 手続きや教育等の管理的な対策が挙げられる。

技術的な対策法としては, PET や ISO/IEC 15408 機能クラスの利用が考えられる。ISO/IEC 15408 機能ファミリーやコンポーネントを用いて技術的な対策法を特定することで, システムに実装されるべきセキュリティ機能が

明確になる。管理的な対策には, JIS Q 27002 における情報セキュリティ管理策の適用が考えられる。また, 残余リスクがある場合には, それを明記する[20]。

## (5) PIA 報告書の作成

(3), (4)の結果をまとめた PIA 報告書を作成し, PIA の責任者の承認を得る。その後, 本 PIA で決定されたシステム設計 (プライバシーアーキテクチャ) に基づきシステム構築を行う。

## (6) プライバシー管理策の運用

システムの運用が開始された以降, (4) で定められたプライバシー管理策を導入・運用する。

## (7) プライバシー管理の監視・レビュー

PIA フレームワークと運用時の経験を照らし合わせ, PIA アセスメントの結果のレビューを行う。このステップは定期的な間隔で行う。

## (8) プライバシー管理の維持・改善

プライバシー管理の継続的な改善を達成するために, 監査・レビューおよびその他の関連情報に基づいた是正・予防処置を実施する。是正処置は PIA フレームワークに対する不適合の原因を除去する処置を, その再発防止のために行う。予防処置は PIA フレームワークに対する不適合の発生を防止するために, 起こり得る不適合の原因の除去を行う。

## (9) PIA 報告書の更新

(8)の結果をもとに PIA 報告書を更新する。

以降, (6)から(9)までのステップを継続的に繰り返す。これらのステップは ISMS (情報セキュリティマネジメントシステム, ISO/IEC17799) における PDCA サイクルに相当する。ガイドライン策定時の課題としては, 以下の項目が挙げられる。

### (a) PIA の実施時期に関する方針

米国では電子政府法第 208 条により機微情報を扱うシステムの構築前の段階での PIA 実施が義務付けられているが, 日本には PIA や ISMS の実施を義務付ける法的な根拠はない。このため, いつ PIA を実施すればよいかを曖昧性のないように定め, ガイドラインに記述する必要がある。

### (b) 出入国管理システムに対する PIA フレームワーク

法律, ガイドライン, ポリシーを特定する。加え

て、PIA ガイドラインおよびチェックリストは全体を通じて、フレームワークを遵守するように構成する必要があります。

(c) PIA 報告書の再審査と公表に関する方針

米国では電子政府法第 208 条により、行政機関の長官が決定したときに CIO (Chief Privacy Officer) または同等の上級職員による PIA の再審査が確保されている。また、当該

行政機関の Web サイトや官報、その他の方法での PIA 報告書の公表が義務付けられている。日本にはこれに相当する法的な根拠はないため、ガイドラインで方針を定める必要がある。

(d) PIA 報告書の承認を行う責任者の選定

US-VISIT では DHS に設置された CPO が報告書の承認を行う。

(e) プライバシー管理策を継続的かつ安全に運用するための手順の詳細化

これは ISMS の PDCA サイクルに基づく。

表 4 に示すチェックリストの分類項目は DHS の PIA チェックリスト、および ISO/IEC17799 の情報セキュリティ管理策をもとに作成した。前述のように、個人情報の扱いに関する法律等は日本と米国で異なる項目がある可能性があり、日本の出入国管理システムに対する PIA フレームワークに合わせた完全なチェックリストの作成を行う必要がある。

6. 結言

本調査研究では、各国の状況を調査した上で、ISO/IEC 17799 ベースとした情報セキュリティマネジメント適合性評価基準 ISMS で PIA を実施する手順、プライバシーポリシー、PIA ガイドラインなどの案を示した。

PIA を厳密に実施している国はまだ少ないが、「公共の利益」と「利用者の保護の観点」から、個人情報を扱う情報システムにおいて PIA を導入することは、有益と考える。

日本の場合は、PIA を実施するための法律が未整備で

表 4 日本の出入国管理システムの PIA チェックリスト案

| 分類                | 質問内容   | 関連する法律、標準等                               |
|-------------------|--|--|
| 収集および保管される情報      | 誰から、どのような情報が、何の目的で、どのように収集されるか。  | 行政機関個人情報保護法第三章(個人情報ファイル)等                |
| 情報の使用             | 情報のすべての使用方法が列挙されているか、データマイニングによる解析を行うか。  | 行政機関個人情報保護法第二章(行政機関における個人情報の取扱い)等        |
| 保管                | システム内にデータを保管する期間ほどの程度か。  | 公文書の保存年限に関する規定等                          |
| 組織内部での情報の共有と開示    | どの内部組織と、どのような目的で、どの情報を共有するか。どのような方法で情報が伝達または開示されるか。  | 行政機関個人情報保護法第二章(行政機関における個人情報の取扱い)等        |
| 組織外部との共有と開示       | どの外部組織と、どのような目的で、どの情報を共有するか。どのような方法で情報が伝達または開示されるか。この共有に関して、適切な覚書や契約があるか。  | 法務省管理規定第7章(保有個人情報の提供及び業務の委託等)等           |
| 通知                | 情報の収集前に個人に通知が行われたか。個人が情報の提供に同意、または拒否する機会が与えられているか。   |  |
| 個人によるアクセスと訂正      | 個人が自身の情報へアクセスする手続きはどのように行うか。不正確な情報を訂正するための手続きはどのように行うか。また、その手続きをどのように通知されるか。   | 行政機関個人情報保護法第四章(開示、訂正及び利用停止)等             |
| 技術的なアクセスとセキュリティ   | どのようなユーザが情報にアクセスするか。また、それを決定する手続きはどのように行うか。データの誤使用を防ぐためにどのような監査基準および技術的安全保護策が用いられているか。どのようなプライバシー教育プログラムがユーザに提供されているか。 | ISO/IEC 15408機能要件、JIS Q 27002情報セキュリティ管理策 |
| 技術選択              | 個人情報保護を目的としてどのような技術選択がなされたか。   |  |
| 情報セキュリティインシデントの管理 | プライバシーに関わるインシデントに対して、適切な是正プロセスが規定されているか。予想されるインシデントに対して一時的対応の手順書等が作成されているか。  | JIS Q 27002情報セキュリティ管理策                   |
| 人的資源のセキュリティ       | 雇用の条件や、雇用中の教育・訓練、雇用後の情報資産の返却等についての規定があるか。  | JIS Q 27002情報セキュリティ管理策                   |
| 遵守                | 個人情報保護法等のPIAフレームワークが要求する事項の遵守や監査についての規定があるか。   | JIS Q 27002情報セキュリティ管理策                   |

ある。このため、何らかのコンプライアンスに乗せる必要がある。1つは、システムを構築する場合の国際標準規格 ISO/IEC15408 である。もうひとつは、ISO/IEC17799(27001)である。ただし、ISO/IEC17799 は、内部統制的な意味をもち、必ずしも利用者のプライバシーへの説明責任を果たさないが、管理策を工夫し、PIA 報告書を適用宣言書として公開すれば、実効的な効果が望めると判断する。

(註)本研究は法務省入国管理局からの依頼で行った。このため、一部政策提案に抵触する部分の成果は掲載からはずした。

参考文献

- [1] 瀬戸洋一, “プライバシー影響評価手法 (PIA) の出入国管理システムへの適用検討,” 法務省受託研究報告書, 2007年3月.
- [2] 瀬戸洋一, “サイバーセキュリティにおける生体認証技術,” 共立出版, 2002年.
- [3] 瀬戸洋一, “バイOMETリックセキュリティ入門,” ソフトリサーチセンター, 2004年.
- [4] バイOMETリックセキュリティコンソーシアム編, “バイOMETリックセキュリティ・ハンドブック,” オーム社, 2006年.
- [5] 新保史生, “個人情報保護法に基づくバイOMETリックの利用,” 情報メディア研究第4巻, 第1号, 2006年.

[http://www.jstage.jst.go.jp/article/jims/4/1/55\\_pd](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jims/4/1/55_pd)

- f/-char/ja/
- [6] バイオメトリクスセキュリティコンソーシアムリーガルWG 翻訳, “BIOVISION, Privacy Best Practice in Deployment of Biometric Systems.”
- [7] 平成16年4月2日閣議決定, “個人情報保護に関する基本方針,”  
<http://www5.cao.go.jp/seikatsu/kojin/kihonhoushin-kakugikettei.pdf>
- [8] 電子商取引実証推進協議会プライバシー問題検討ワーキング・グループ翻訳, “個人データ処理に係る個人の保護および当該データの自由な移動に関する欧州議会および理事会の指令,”  
<http://www.jca.apc.org/~nisimura/juki/Documents/EU-Directive-95-46-EC.pdf>
- [9] Peter Hope-Tindall, “電子政府・電子自治体のためのプライバシー影響評価,” 総務省「住民のプライバシーの保護に関する新しい考え方と電子自治体におけるそのシステム的な担保の仕組みについての研究会」報告書資料II  
[http://www.soumu.go.jp/denshijiti/pdf/jyumin\\_p\\_s2.pdf](http://www.soumu.go.jp/denshijiti/pdf/jyumin_p_s2.pdf)
- [10] 環境影響評価法,  
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H09/H09HO081.html>
- [11] TC68 国際標準化委員会,  
[www.imes.boj.or.jp/iso/gijiroku/h18/gi060713.PDF](http://www.imes.boj.or.jp/iso/gijiroku/h18/gi060713.PDF)
- [12] Privacy Acts (カナダ),  
<http://laws.justice.gc.ca/en/ShowDoc/cs/P-21/en?page=1&isprinting=true>
- [13] 総務省, “住民のプライバシーの保護に関する新しい考え方と電子自治体におけるそのシステム的な担保の仕組みについての研究会,” 報告書第4章  
[http://www.soumu.go.jp/denshijiti/pdf/jyumin\\_p\\_4.pdf](http://www.soumu.go.jp/denshijiti/pdf/jyumin_p_4.pdf)
- [14] カナダ, “Privacy Impact Assessment Guidelines : A Framework to Manage Privacy Risks,”  
[http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs\\_pol/ciopubs/PIA-pefr/paipg-pefrld-PR\\_e.asp](http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs_pol/ciopubs/PIA-pefr/paipg-pefrld-PR_e.asp)
- [15] カナダ, “Privacy Impact Assessment Policy,”  
[http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs\\_pol/ciopubs/PIA-pefr/paip-pefr-PR\\_e.asp](http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs_pol/ciopubs/PIA-pefr/paip-pefr-PR_e.asp)
- [16] 平野美恵子, “米国の電子政府法,” 外国の立法, (217), 2003, 1-74.
- [17] M. Rotenberg, “The Privacy Law Sourcebook 2004 United States Law, International Law, and Recent Developments,” Electronic Privacy Information Center, 2004.
- [18] Office of Management and Budget, M-03-22  
<http://www.whitehouse.gov/omb/memoranda/m03-22.html>
- [19] DHS Privacy Office, “Privacy Impact Assessments Official Guidance,”  
[http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/privacy/privacy\\_pia\\_guidance\\_march\\_v5.pdf](http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/privacy/privacy_pia_guidance_march_v5.pdf)
- [20] DHS, “US-VISIT Privacy Policy,”  
[http://www.dhs.gov/xtrvlsec/programs/editorial\\_0693.shtm](http://www.dhs.gov/xtrvlsec/programs/editorial_0693.shtm)
- [21] DHS Privacy Office, “Privacy Impact Assessments (PIA),”  
[http://www.dhs.gov/xinfo/share/publications/editorial\\_0511.shtm](http://www.dhs.gov/xinfo/share/publications/editorial_0511.shtm)
- [22] Electronic Privacy Information Center and Privacy International, “Privacy & Human Rights 2005,” An international survey of privacy laws and developments, 2006.
- [23] 宇賀村直紀, “ISO15408 セキュリティ実践解説,” ソフトリサーチ・センター, 2006.
- [24] 志村満, “情報セキュリティマネジメントシステム ISMS 構築読本,” 日本コンサルタントグループ, 2006.





# 国際標準化に向けたテンプレート保護技術の体系化

清水 将吾・瀬戸 洋一\*

## Categorization of Template Protection Technologies for International Standards

Shogo Shimizu and Yoichi Seto\*

### Abstract

As biometric authentication has become popular, systems have become large-scale and open, and a number of similar application systems have occurred. Such situation requires the sharing of templates used in biometric authentication. We have surveyed and analyzed the validity of template protection technologies in terms of international standardization. The purpose of this work is to categorize template protection technologies, clarify the position of technologies, and list the issues in advancing a proposal for international standards. The scope of this survey is primarily technologies developed in Japan, excepting for fundamental ones, because the goal of this work is to develop Japanese strategies for international standardization.

**Keywords:** template protection, biometric authentication, cancelable biometrics, PET, international standard

### 1. まえがき

バイオメトリック認証を行う場合、基準となるバイオメトリック情報（以下、テンプレートと呼ぶ）を安全な蓄積媒体に格納する。バイオメトリック認証の普及に伴い、システムの大規模化・オープン化が進み、また類似した応用システムが多数存在するようになると、バイオメトリック認証に使用するテンプレートの共有化の必要性が出てきた。テンプレートの共有化により、以下のことが可能になる。

- 組織間での信用の共有化・継承：例えば、パスポート等で、日本政府が発行して保証する本人認証のテンプレートを米国政府も信用して利用することができる。別の例では、ある銀行で発行された銀行カードの信用を他の銀行でも利用することができる。
- 複数アプリケーションでの同じテンプレートの使用：これにより、システム開発・運用の安定性とコストの低減が図れる。

上記を背景として、2005年の経済産業省産業技術研究開発委託事業において、個人のテンプレートがシステム上で盗まれないことを目的とした画像処理に基づく復元不可能方式が議論された[10]。この結果を踏まえ、バイオメトリクスに関する標準化を行う ISO/IEC JTC1/SC37 では、テンプレート保護技術の標準化の推進の必要性について検討を行っている。

しかし、現在は各種の原理に基づくテンプレート保護技術が乱立している状態であり、どの方式にどのような長所、短所があるのかが明確にされておらず、また、テンプレート保護技術自体の有効性について体系的な議論がなされていないため、標準化のためにはまずこれらの面から検討を行う必要がある。我々は、2006年の経済産業省産業技術研究開発委託事業において、日本の SC37 としての国際標準提案の効率的なシナリオを作成することを目的として、国際標準化組織でのテンプレート保護技術の妥当性について調査分析を行った[11]。本研究の目的は、技術的観点で分類を行い、テンプレート保護技術の位置付けを明確にし、国際標準化提案を進める上での課題を洗い出すことである。技術調査の範囲は、日本の国際標準化提案の戦略を立案することが目的であるため、基本となる技術を除き、日本で開発が行われている技術を中心とした。

本稿の構成は以下の通りである。2節で、バイオメトリック認証システムにおけるテンプレート保護技術の位置付けを述べる。3節でテンプレート保護技術の分類と各技術の詳細について述べる。最後に、4節でまとめと今後の課題について述べる。

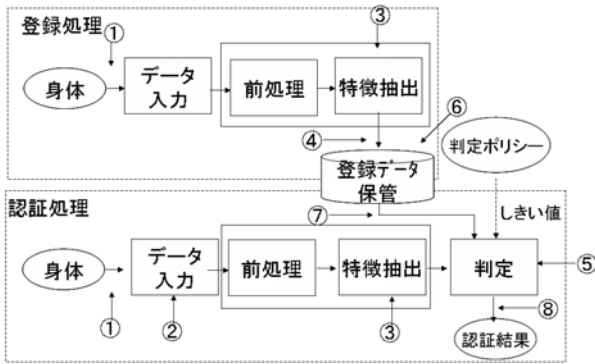


図1 バイオメトリック認証システムの構成と脅威

## 2. テンプレート保護技術の位置付け

### 2.1 バイオメトリック認証システムの脅威モデル

典型的なバイオメトリック認証システムの処理フローを図1に示す[13].

最初に、利用者から身体情報を取得する。指紋は電子的なスキャナ、顔はカメラ、声紋はマイクロフォンによって取得される。入力される身体情報は、身体的な変動または装置側の変動によって条件が毎回異なるため、変動したものである。これらの変動条件の補正も含め、入力された身体情報から個人特有の特徴を抽出する処理を次に行う。登録処理においては、個人特有の特徴量をテンプレートデータとしてデータベースに保管する。認証処理においては、利用者を特定する利用者識別子を入力し、相当するテンプレートをデータベースから選定し、2つの特徴量の類似度を求め、類似度がある決められた数値以上の場合には認証が成功したとして、アプリケーションの利用権限が与えられる。

図1中の数字はバイオメトリック認証システムにおける攻撃、つまり不正利用のアプローチを受ける場所を示している。

- ① センサへの偽の身体情報の提示: この攻撃は、偽の身体情報がシステムへ入力される成りすまし攻撃である。例えば、偽造の指、偽の署名、顔写真を貼った覆面等が使用される。
- ② 蓄積された身体情報の再入力: この攻撃は、センサを介さずに、以前に入力された身体情報が入力されるリプレイ攻撃である。例えば、以前使われた指紋情報の再使用、または、音声の再生等による攻撃である。
- ③ 特徴抽出処理の置換え: 特徴抽出処理に対してトロイの木馬等による攻撃を行い、侵入者の意のままの特徴を設定する。
- ④ 身体の特徴を示す情報の不正変換: 入力信号から抽出された身体の特徴を示す情報を偽造した情報に置き換え

る。特徴抽出処理と照合処理は同じ場所で行われる場合が多いので、この攻撃は非常に困難である場合が多い。しかし、例えば、抽出した指紋特徴点の情報がインターネット経由で照合処理が行われる場所へ転送される場合は、この攻撃が可能となる。攻撃者はTCP/IP上のスニッファリングを行い特定の packets をすり替えることによりこの攻撃が可能である。

⑤ 照合処理への攻撃: 照合処理が行われる場所を攻撃し、実際の照合処理の結果を、生成されたスコアではなく攻撃者が設定するスコアに置き換える。

⑥ 蓄積されたテンプレートの改ざん: 認証用のテンプレートを格納したデータベースは、ローカルに設置されているか、あるいは遠隔地に設置されている。また、複数箇所に分散配置されていることもある。このデータベースを攻撃対象として、攻撃者がデータベース中に蓄えられた認証用のテンプレートを改ざんする可能性がある。改ざんが行われると、不正な利用者に認証を与える可能性、もしくは正規のユーザを否認する可能性が生じる。ICカードを利用した認証方式等、カード内にテンプレートを保持し、認証システムに対してテンプレートを提示するシステムは、この主の攻撃に非常に弱い。

⑦ テンプレート格納機器から照合処理への転送部分に対する攻撃: データベース上に保存されたテンプレート情報が通信チャネルを経由して照合処理に送られる。この部分で不正に変更される可能性がある。

⑧ 最終決定のすり替え: 攻撃者が最終決定した結果をすり替えることができると、パターン認識がいかに高性能であっても、認証システムの能力は無に帰してしまう。

以上に述べた攻撃を防ぐには、例えば、以下のような方法がある。

- ① センサ部分: 指の静電容量を測る、または、脈拍の存在を検出することは偽の指に対して効果的である。これらは生体検知技術と呼ばれる。
- ④ ネットワーク部分: 通信を暗号化することにより、少なくとも遠隔地からの指紋特徴点の転送時の攻撃を防止できる。
- ⑤, ⑥, ⑦の攻撃: 照合処理を行うホストとテンプレートを保管しているデータベースを安全な場所に置くことで攻撃を防止できる。但し、共謀者がいる場合の内部犯行までは防止できない可能性もある。
- ⑧ 最終決定部分: 最終決定出力の暗号化を行うことにより、この部分に対する攻撃は防止できる。

本稿において、テンプレート保護技術とは、通信路あるいはデータベースからテンプレートが盗難される問題(④, ⑥, ⑦)への対処のことを言う。但し、多くのバイオメトリクスは露出しており、本人の許可なく第三者により取得される可能性は多々あるため、盗難よりも再

利用への対策の方が重要である。また、通信路におけるデータ保護に関しては、標準化された暗号ベース技術を適用する方が安全性およびコスト的なメリットは大きい。一方生体検知に関しては、センサから身体情報を取得するときに行わなければならない、画像処理技術等を用いた対策が必須となり、代替する技術は存在しない。従って実用的な技術として、生体検知技術の開発は画像処理ベースのデータ保護技術より優先度の高い課題であると考えられる。また、諸外国では、プライバシーデータ漏洩に関して、プライバシー影響評価 (Privacy Impact Assessment) の実施が法的に義務付けられている。この影響評価の実施により、システム運用面・技術面での実効的な対策がとられる。

## 2.2 バイオメトリック認証システムの不正防止技術

技術的な対策が重要な問題として、バイオメトリックデータを採取する際の偽造利用 (成りすまし) の問題と認証等に用いられるテンプレートデータの盗難の問題がある。例えば、成りすましに関しては、一般に手に入る数百円の材料とわずかな時間で作成可能なゼラチン等による偽造指紋の製造の研究が行われており、この対策技術も今後重要となる。テンプレート保護の研究は、キャンセルラブルバイオメトリクスとして米国 IBM の Ratha により提案された[12]。本技術の詳細は 3 節で述べる。また、バイオメトリック認証に対する辞書攻撃は、大変な労力を必要とするもののバイオメトリック認証に対する固有の攻撃が存在する。バイオメトリック認証が監視された環境で行われるのであればそのような危険は考えなくてよいが、Web を使用した電子商取引等において遠隔地から監視されない環境で認証が行われる場合、クラッカーはさまざまな攻撃をしかける機会と時間を十分に持っている。他の問題は、バイオメトリック認証に使われるデータが信頼性を失ったときの対処の方法である。物理的な物を用いた認証方法、例えば、鍵、トークン、パスワード等では、信頼性が失われたとき、これらの認証装置を簡単に無効化でき、新しい物を何度でも再発行することができる。しかし、バイオメトリクスの場合、例えば、顔は 1 つ、指は 10 本であり、数は限られている。

上記の問題に対し、いくつかの対策が提案されている。

### (1) 可変認証文字の電子透かし埋め込み

センサで入力された画像は送信容量の問題から圧縮してサーバ等に送られる。圧縮画像は悪意のある第三者に入手された場合、解凍され不正使用される可能性がある。この問題に対処するために、圧縮画像に直接電子透かしを挿入する方式が提案されている。認証毎に認証サーバから異なる認証用の文字列を準備し、指紋画像を送

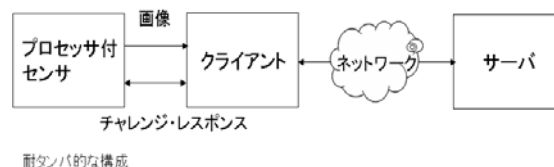


図2 チャレンジレスポンス方式による  
バイオメトリック認証

信する際に電子透かしにより圧縮画像に埋め込まれる。

### (2) 画像に対するチャレンジレスポンス方式

認証システムにおいて盗聴等が行われ、その情報を元にリプレイ攻撃を仕掛けられることが考えられる。この攻撃を防ぐために、チャレンジレスポンス方式に準拠した方式が提案されている。図2に示すように、センサはチャレンジ (質問) があった場合、レスポンス (回答) を行う機能を有する。クライアントは乱数 (チャレンジコード) を生成し、サーバとセンサに送る。センサはバイオメトリックデータを入力し、チャレンジコードとバイオメトリックデータに依存するレスポンスを計算する。レスポンスを計算するプロセッサはセンサと一体化した耐タンパな構成である必要がある。レスポンスを計算する例としては、例えばチャレンジコードが [3, 10, 50] とする。センサに付いたプロセッサがスキャン毎の 3 番目、10 番目、50 番目のピクセル値を計算し、この順番で各々のピクセル値、例えば、[133, 92, 176] という値をレスポンスとして画像とともにクライアントに送信する。クライアント側では、画像とこのレスポンスをサーバに送り、画像が入力された直後であることを認識し、認証処理を行う。

### (3) キャンセラブルバイオメトリクス

バイオメトリクスは、それ自身で個体に識別を確実に行えると同時に、身体の一部であり、変更ができないという事実がある。これは個人認証における長所であるが、運用においては避けることのできない欠点となる場合もある。この欠点を軽減するための方式として、Ratha により取消し可能なバイオメトリック認証技術が提案されている。この方式は、バイオメトリックデータの登録または認証時に、意図的に反復可能な形で選択した変換方式によりバイオメトリックデータを歪ませる。バイオメトリック情報は登録毎に異なる歪を生じるようにするため、バイオメトリック情報の信頼性が失われた場合はそのとき使用された歪曲方式を変更し、新しい方式に基づいて再登録を行えばよい。変換方式としては、入力データに対する歪曲変換方式と特徴量に対する歪曲変換方式の2つがある。入力データに対する歪曲変換方式のイメージを図3に示す。

まとめとして、バイオメトリック認証システムのセキ



図3 指紋によるキャンセルバイオメトリクス

セキュリティ要件において、テンプレート保護技術は唯一ではなく、対策技術の1つという位置付けである。盗まれたテンプレート情報が再利用される実際の場面は、成りすまし等の生体検知技術の有効性は高いと考えられる。

次に、テンプレート漏洩の問題はプライバシーとデータの再利用の2つあるが、プライバシーに関してはバイオメトリクス自身が本来露出したものであり、リンク情報があれば個人を特定できるため、有意義な効果をもたらさないと考えられる。同様に、再利用の問題に関しても、リンク情報で個人を特定できるならば、無効化や元のデータの秘匿化より再利用する場合の防御、つまり生体検知技術の方が有効であると考えられる。更に、暗号等の競合する対策技術と比較した有効性の検討が必要である。

### 3. テンプレート保護技術の分類

バイオメトリック個人認証において、テンプレートから元のバイオメトリック情報を復元できないように不可視化し、テンプレートが漏洩した場合にそれを無効化するテンプレート保護技術が求められている。テンプレートには、センサより入力した画像（信号）データの場合と、処理を施した特徴量データの場合の2種類の形態がある。無効化の方法としては、秘匿や署名等の暗号ベースの方法と画像処理技術で実現する画像処理ベースの方法の2種類がある。以下、これまでに提案されている画像処理ベースのテンプレート保護技術を紹介する。

現在開発されている技術は、PET (Privacy Enhancing Technologies) の技術体系[16]を参考にすれば、4つに分類（カテゴリ A から D）できる（表 1 参照）。空欄となっている部分には、今後、新たなテンプレート保護技術が提案される可能性がある。

#### 3.1 カテゴリ A：非可逆関数による方式

##### (A.1) 画像変換方式

##### (A.1a) キャンセルバイオメトリクス

2001年、米国 IBM の Ratha らによってキャンセルバイオメトリクス (Cancelable Biometrics) と呼ばれる概念が提案された[12]。1つの方式はバイオメトリック信号を与えられた変換方法に従って意図的に歪みを加えて変形する。もし変形されたバイオメトリックデータ

を紛失した場合には、変換関数を変えることにより再登録のための新たな変形されたバイオメトリックデータを生成できる。変換関数には一方向性関数が利用される。

このため、変換関数と変形されたバイオメトリックデータが既知の場合でも元のバイオメトリクスを復元することはできない。

変換は画像（信号）領域と特徴領域のいずれにおいても適用可能である。画像（信号）領域での変換の例として、モーフィングとブロック置換が挙げられる。例えば、ブロック置換では元の画像領域の特徴的な点に沿ってブロック構造が割り当てられ、ブロック毎に配置がランダムに繰り返しスクランブルされる。この場合は必ずしも

表 1 プライバシー強化技術

| PET             | 概要   | バイオメトリック技術の分類               |
|-----------------|--|-----------------------------|
| 一方向関数           | 情報を暗号化する。結果から逆に元の情報を導き出す既知の方法は存在しない。ハッカーによる解読が不可能なため、プライバシー保護手段として活用できる。 | A.1 画像の非可逆変換[8][12]         |
|                 |  | A.2 テンプレート非可逆変換[14][15][18] |
|                 |  | B.画像歪ませ変換[12]               |
| 暗号化関数           | 標準的な暗号アルゴリズムでも、一方向関数と同様の働きが可能。   | D.1 [4]                     |
| 落とし戸関数          | 暗号化をかけるための鍵と暗号化を解除するための鍵の2種類の鍵を使用する。                                     | D.2 [7][14]                 |
| 秘密分散関数          | 情報の管理権限を複数のグループに分割する。複数のグループが揃わなければ情報を再現できない。                            |                             |
| ゼロ知識証明プロトコル     | 秘密の内容を明かすことなく、自分がその秘密を知っている事実を証明する。                                      | D.3 [6]                     |
| ブラインド署名         | 文書の詳細を見ることなく、その文書を承認し、文書に署名するプロトコル。                                      |                             |
| プロキシネットワーク      | 情報を追跡されずに送信する手法。   |                             |
| 偽の情報            | データベースに真のデータと偽のデータの両方が含まれていて、攻撃者が両者を区別することができないならば、真のデータが濫用されるのを阻止できる。   | C.1 Fuzzy Vault[1]          |
|                 |  | C.2 ランダムパターン畳み込み[2][9][17]  |
| 機械可読形式のプライバシー言語 | プライバシーポリシーを確認する手段としての言語 (P3P 等)  |                             |

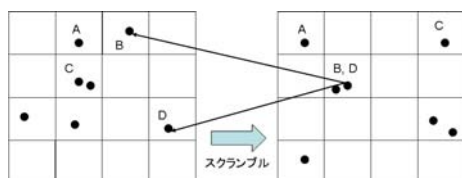


図4 特徴点のスクランブル

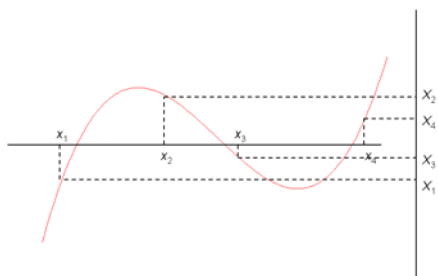


図5 非可逆特徴変換

非可逆変換でなく、元の画像を可逆的に求めることが可能な場合が多い。このため、画像（信号）領域の変換は、カテゴリ B に分類する。

特徴領域での変換の例としては、特徴点をランダムに繰り返しスクランブルする方法が挙げられる。このような変換の例を図4に示す。ここで、元の特徴点のブロックがランダムに別のブロックに対応付けられ、また複数のブロックが1つの同じブロックに対応付けられることもある。このため変換は非可逆的であり、歪んだ特徴点集合から元の特徴点集合を復元することはできない。

次に、点パターンの非可逆変換の例を以下に述べる。指紋の場合、点パターンはマニューシャの集合である。マニューシャは  $x$  座標、 $y$  座標と方向角からなる。非可逆変換はこの点集合を別の点集合に、元の点集合が復元できないように変換する。図5に  $x$  座標を関数  $F$  により変換する様子を示す。この関数  $F$  は、例えば、高次の多項式である。  $k$  元の  $x$  座標から新たな  $x$  座標への変換は 1対1 であるが、逆は 1対多 である。例えば、 $X_1$  は 3つの異なる  $x$  から生成可能である。この変換は非可逆であり、元の特徴  $x$  は  $X$  の値から復元できない。 $y$  座標と方向角についても同様である。

しかし、登録用画像と照合用画像間で指紋の位置ずれや回転ずれが生じた場合に正しく復元できず、ブロック境界に存在するデータがどちらに配置されるかによって精度が大きく劣化する場合がある。このような個人内変動を考慮するとブロックの大きさはあまり小さくできず、結果として置換の組合せが限られてしまいセキュリティ強度として強くない。また、マニューシャ非線形変換はマニューシャ間の距離を変えるため、まったく異なる特徴点同士が変換後には一致すると判断される可能性がある。このために精度の劣化が生じる可能性がある[10]。

この方式の長所は、テンプレート保護を行わない従来

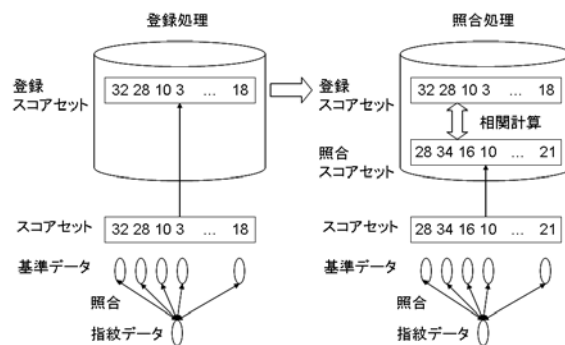


図6 相関照合方式の概要

方式との互換性が確保できる点にある。このため、特徴抽出やマッチングアルゴリズムがそのまま流用でき、従来方式からの移行がスムーズに行える。

(A.1b) 複数の基準データとの相関照合方式

三菱電機は、基準データとの相関を用いた指紋照合方式を提案している[8]。この方法では、用意された複数の基準データと照合データを順に照合し、得られた照合スコアのセットを入力データに対する特徴データとしてスコアセット間の相関を求めることで入力データの照合判定を行う。同じ組合せの他人同士で何度も照合を行う場合、各人のデータは毎回ほぼ同じであるから、他人データ間の照合スコアも毎回同じような値になることを利用している。本手法の概要を図6に示す。登録時には、ユーザが入力したデータと複数用意された基準となる他人の指紋データとの照合スコアを求め、得られたスコアセットを登録スコアセットとしてシステムに登録する。照合時には、入力された指紋データと基準データとの照合スコアセットを求め、これと登録スコアセットとの相関を求めることで本人判定を行う。

この方式では、登録されているデータは  $N$  個の基準データとの照合スコアを表す特徴ベクトルのみであり、また特徴ベクトルが紛失した場合でも基準データを変更することで同じ指紋から異なる特徴ベクトルが得られる。ただし、相対距離から元の特徴ベクトルを復元する難しさについては定量的な評価が必要であり、スコア空間へ変換したデータの衝突困難性の証明ができていない。

(A.2) テンプレート変換方式

(A.2a) キャンセラブル指紋照合方式

2005年に日立はキャンセラブル指紋照合方式を提案している[18]。この方式は、Rathaらのマニューシャ非線形変換によるキャンセラブル指紋照合方式において認証精度が劣化する問題に対して、マニューシャ間の距離を不変とするマニューシャ等長変換と呼ばれる変換方法で精度劣化のない認証を実現する。

マニューシャは座標  $(x, y)$ 、方向  $\phi$ 、端点か分岐点かを示す種別  $t$  で表される。マニューシャ等長変換は特徴

点の対称変換, 座標回転, 方向回転, 種別回転の4つの変換を合成したものとして定義される.

- 対称変換:  $(x, y, \phi, t) \rightarrow (x, Sy, S\phi, t)$  ( $S \in \{-1, 1\}$ )
  - 座標回転:  $(x, y, \phi, t) \rightarrow (R_\alpha(x, y)^t, S, t)$  ( $R_\alpha$ は各  $\alpha$  の回転行列)
  - 方向回転:  $(x, y, \phi, t) \rightarrow (x, y, \phi + \beta, t)$  ( $\beta \in [0, 2\pi]$ )
  - 種別反転:  $(x, y, \phi, t) \rightarrow (x, y, \phi, (t+M) \bmod 2)$
- このため, 任意の二特徴点間のユークリッド距離, 方向の差, 種別の同異が保存され, 結果としてマッチングの類似度が保存される. 復元困難性はこの変換を無条件で言い当てられる確率として見積もることができる.

(A.2b) 統計的 AD 変換による鍵生成方式

静岡大は, 統計的 AD 変換と呼ばれる指紋から常に一意の秘密鍵を生成する手法を提案している[15]. 身体情報をしきい値で量子化する場合, 量子化誤差未満の読み取り誤差は除去できるが, しきい値付近のデータが変動してしまうと量子化の結果が異なってしまうため, 身体情報を常に一意な値に変換することは難しい. これに対し, 統計的 AD 変換では, 「正規ユーザの身体情報の特徴量の平均や標準偏差が不特定多数の生体情報の特徴量の平均や標準偏差と異なる」という統計的な性質に基づき, 読み取り誤差を許容し, ユーザの身体情報をリアルタイムで一意な ID に変換する.

指紋の登録手順を以下に示す.

- 正規ユーザの指紋を複数回読み取る. 複数個の指紋データの各々の特徴量を算出する.
- 算出特徴量の統計を求め, 正規ユーザの指紋特徴量の平均  $\mu$  と分散  $\sigma$  を計算する.
- 特徴量の誤差が正規分布に従っていると仮定した場合, 正規ユーザであれば区間  $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$  の中に約 99.7% の確率で収まることが期待されるため, この区間を正規ユーザの特徴量の許可範囲とし, 特徴量空間における他の区間をこの許可範囲と同じ大きさに分割する.
- 上記で分割されたすべての区間に対して, 乱数を割り当てる. デバイスには各区の境界と乱数のみを記憶する.

指紋から ID を抽出する際には, 指紋から特徴量を算出し, その特徴量が含まれる区間に割り当てられた乱数が ID となる. ある 1 つの特徴量が許可範囲の中に入るユーザは多数存在するが, 抽出する特徴量の数を充分増やすことで他人受入率を減らすことができる. ID から鍵を生成する際には, 鍵の失効および再発行に対応するため, ID に乱数を結合したデータのハッシュ値を生成する.

文献[15]では統計的 AD 変換を用いたチャレンジレスポンス型ネットワーク認証の方式, 文献[14]ではメカニズムベース PKI と呼ばれる, 秘密鍵そのものではなく,

秘密鍵を生成するメカニズムのみをデバイスに実装する PKI 方式を提案している.

3.2 カテゴリ B: 幾何学変換による方式

カテゴリ A でも説明したが, キャンセラブルバイオメトリクス の 1 つの実現方式である[12]. 例えば, 図 3 に示すように, ブロック置換では元の画像の特徴的な点に沿ってブロック構造が割り当てられ, ブロック毎に配置がランダムに繰り返しスクランブルされる. 幾何学変換による方法は, カテゴリ A に比べ非可逆性の保証が低い. 例えば, 指紋画像に対するブロック置換では指紋隆線の連続性から容易に元画像を復元できる. したがって, セキュリティ強度は低いと判断する.

3.3 カテゴリ C: 偽情報を利用する方式

(C.1) Fuzzy Vault

偽情報を利用する代表的な方式である. Fuzzy Vault の概念は 2002 年に Juels らによって提案され[5], その指紋への応用である Fingerprint Vault と呼ばれる方式が 2003 年に Clancy らによって提案された[1]. Fuzzy Vault は, Alice が秘密  $K$  を vault 中に配置して非順序集合  $A$  を用いてロックしたとき, Bob が非順序集合  $B$  を用いて vault を解除できる ( $K$  にアクセスできる) のは  $B$  と  $A$  が十分重複するときかつそのときのみである, という概念である. Fingerprint Vault ではマニューシャの座標を用いて鍵等の秘密情報をロックする. エンコード時のブロック図を図 7 に示す. 手順は以下のとおりである.

- 秘密  $S$  にエラー訂正符号を追加し (SC), SC から多項式  $P=f(SC)$  を構築する.
- マニューシャ  $T$  を多項式  $P$  を用いて二次元点集合  $V$  に変換する.
- $M$  個の chaff と呼ばれる「偽の」( $P$  上にない) 点集合を  $V$  に追加する.
- $V$  をスクランブルする.

デコードは  $D+1$  個の点を与えられたときに次数  $D$  の多項式  $P$  を再構築する問題と等価である. 本物の指紋であれば,  $D+1$  個の本物の点と chaff の点を見分けること

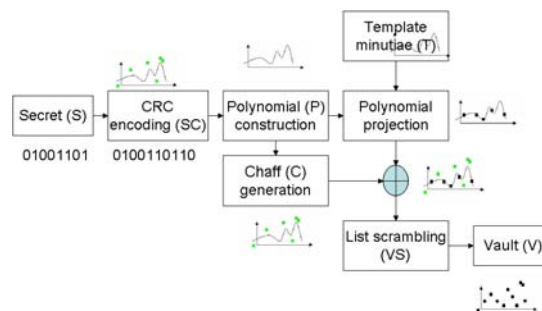


図 7 Fingerprint Vault におけるロック

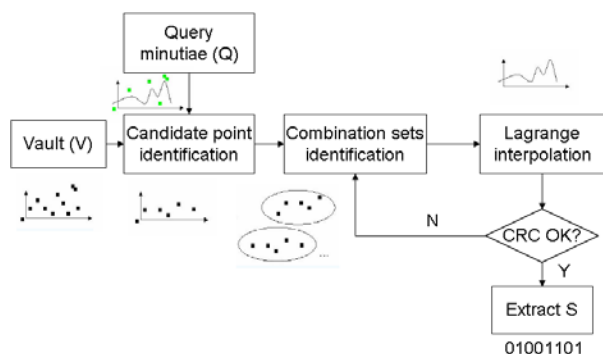


図8 Fingerprint Vault における解除

ができ、多項式  $P$  を再構築でき、 $S$  にアクセスできる。 $P$  の復元にはラグランジェ補間法が使われる。一方、攻撃者は  $P$  の再構築のために必要な  $D+1$  個の本物の点を見極めることができないため、 $S$  にアクセスできない。デコード時のブロック図を図8に示す。

この方式の安全性は真の特徴点と chaff の集合から真の特徴点だけを復元することが困難であることに依存する。また、特徴点座標の揺らぎを許すことができる。一方、この方式の欠点としては、あらかじめ位置合わせが必要であることと、エラー訂正能力と Vault の広がりという2つのパラメータがあるため、本人内データの揺らぎの吸収と他人受け入れ率の悪化のトレードオフをとることが難しいことが挙げられる。また、しきい値の変更の際はパラメータの再設定ではなく、テンプレートの再登録が必要になる。

位置合わせの問題に対しては、特徴量間の相対距離を用いてこの機能を実現した以下の2つの方式が提案されている。Uludagらは特徴点をペアで用いる Fingerprint Vault を提案している[19]。この方式では、多項式の入力となるのは特徴点の座標とその間の距離である。また、Yang[21]は隆線方向に対する特徴点ペア間の線分のなす角と線分の長さを特徴として用いており、この方式により大きな回転に対しても対処できる。しかし、二次的な特徴量に変換した際に情報の縮退が生じているため性能低下が起こる可能性があり、実用的な場面を想定した定量的な評価が必要である。

(C.2) ランダムパターンによる畳み込み方式

(C.2a) Bioscrypt

Bioscrypt社は生体情報を用いた鍵管理方式を実現している[17]。登録プロセスの概要を図9に示す。ここでは、任意の  $N$  ビット鍵をユーザの指紋と関連付け、Bioscryptと呼ばれるユーザの登録情報を生成する。手順は以下の通りである。

- 指紋画像と乱数配列を結合してフィルタ関数  $H_s(u)$  と次のステップに渡すパターン  $c_0(x)$  を生成する。 $H_s(u)$  は「Bioscrypt」に格納される。フィルタ関数

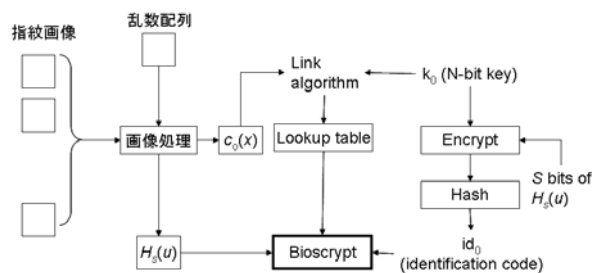


図9 Biometric Encryption における登録

$H_s(u)$  は入力画像の周波数空間表現での虚数部の平均値に対してランダムな信号を畳み込んだものであり、入力の揺らぎを訂正する能力をもつ。 $c_0(x)$  は  $H_s(u)$  の逆フーリエ変換である。

- リンクアルゴリズムにより鍵  $k_0$  とパターン  $c_0(x)$  を結合し、ルックアップテーブルを生成する。ルックアップテーブルは Bioscrypt に格納され、鍵検索の際に使用される。ここで、登録の際に得られるパターン  $c_0(x)$  と検証の際に得られるパターン  $c_1(x)$  は揺らぎによって若干異なるため、これらの差異を許容するためにいくらかの冗長性をもたせている。このようなエラー訂正機能を含むリンクアルゴリズムの例として、文献[17]の方法を図10に示す。 $N=128$  とする。まず、 $c_0(x)$  の中央の  $64 \times 64$  ビットを選択し、これを実数部と虚数部に分け  $128 \times 64$  の登録用テンプレートを生成し、各値をしきい値によって2値化する。次に、 $k_0$  の最初のビットが0であれば、2値化した登録用テンプレートから値が0であるような  $L$  個の場所を任意に選択し、その位置情報をルックアップテーブルに格納する。この操作を  $k_0$  のすべてのビットに対して行う。
  - 検証時に検索した鍵の正当性の検証を行うための識別コードを生成する。まず、 $N$  ビット鍵  $k_0$  を暗号化鍵として使用してデータの  $S$  ビットを暗号化する。この  $S$  ビットはセキュリティ上個人ごとに異なっているべきであるが、ここでは  $H_s(u)$  の最初の  $S$  ビットを使用する。 $H_s(u)$  は登録時と検証時の両方で利用でき、かつ指紋画像と乱数から生成されているために個人ごとに異なると考えられる。次に、この暗号化されたテキストを一方方向性関数でハッシュ化し、識別コード  $id_0$  を生成する。これを「Bioscrypt」に格納する。
- 検証の手順を図11に示す。検証時には、まず「Bioscrypt」に格納されているフィルタ関数  $H_s(u)$  を用いて登録時と同様の画像処理を行い、生成されたパターン  $c_1(x)$  から生成された検証用テンプレートとルックアップテーブルを用いてビット毎に鍵の復元を行う。具体的には、 $k_1$  の  $i$  番目のビットを決定する際には、検証用



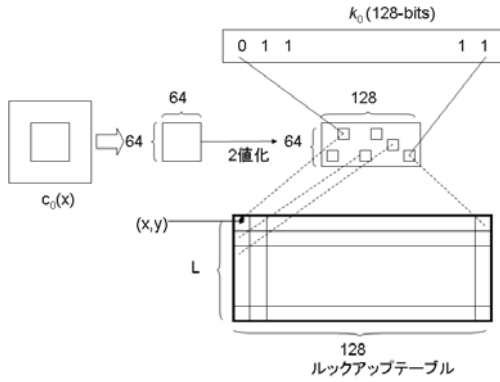


図 10 ルックアップテーブル

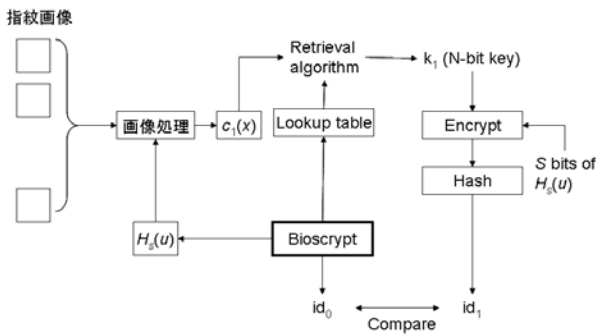


図 11 Biometric Encryption における検証

テンプレートにおいて、ルックアップテーブルの第  $i$  列の各要素が示す位置の値が 0 か 1 かを調べ、 $L$  個の値の多数決により 0 か 1 を決定する。最後に、登録時と同様のハッシュ化を行い、検索された鍵の正当性を検証する。もし  $k_1$  が  $k_0$  と等しければ、鍵を開放する。

「Bioscript」に格納されている情報から元の指紋画像を復元することは難しい。また、テンプレートが漏洩した場合には乱数配列または鍵を変更することで新しいテンプレートを生成でき、漏洩したテンプレートを無効化することができる。しかし、この方式ではデータの揺らぎは相関フィルタによってのみ吸収されており、データが大きく揺らぐと鍵の復元に失敗する。また、バイオメトリックデータがあらかじめ位置合わせされていることが前提となっている。

(C.2b) キー画像との相関演算によるキャンセルラブルバイオメトリクス

東工大は、画像の相関演算を利用して身体情報を鍵とするチャレンジレスポンス認証を実現する方式を提案した[9]。この方式では、キャンセルラブルバイオメトリクスの一手法として、身体情報の他に、個人を識別する別の情報をキー画像として用いた相関演算を利用する。提案手法の概要を図 12 に示す。登録時には、生体情報とキー画像の POC (Phase Only Correlation) 画像をテンプレートとして登録する。照合時には、生体情報とキー画像から生成した POC 画像と登録テンプレートとの畳み

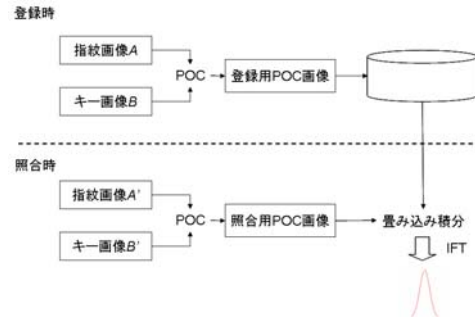


図 12 POC による個人認証

込み積分を行う。ここで、 $A(x, y)$ を登録用指紋画像、 $A'(x, y)$ を照合用指紋画像、 $B(x, y)$ を登録用キー画像、 $B'(x, y)$ を照合用キー画像とすると、畳み込み積分画像  $X$  は次のように表せる。

$$X = (A(x, y) \star B(x, y)) * (A'(x, y) \star B'(x, y))$$

ここで、 $\star$ は POC、 $*$ は畳み込み積分である。POC と畳み込み積分の結合則、交換則により、上式は次のように変形できる。

$$X = (A(x, y) \star A'(x, y)) * (B(x, y) \star B'(x, y))$$

これはピーク画像同士の畳み込み積分であるため、本人同士の照合であれば鋭いピークが現れる。これにより、本人判定が可能である。

登録および照合用画像からは元の生体情報およびキー画像を復元することは困難であり、また、登録用 POC 画像が漏洩した場合にはキー画像を変更することで再登録を行える。

(C.3c) 相関不変ランダムフィルタリング

2006年に日立は、相関不変ランダムフィルタリングと呼ばれる画像マッチングに基づくキャンセルラブルバイオメトリクスの実現方式を提案した[2]。この方式では、認証精度を向上させるため、各ピクセルが背景部分と特徴部分とあいまい部分の3値をとる3値画像による照合を行う。キーとなるアイデアは登録用画像と照合用画像の照合値の計算を相互相関関数の計算に帰着させることである。ここで、2つの画像を秘匿したまま相互相関関

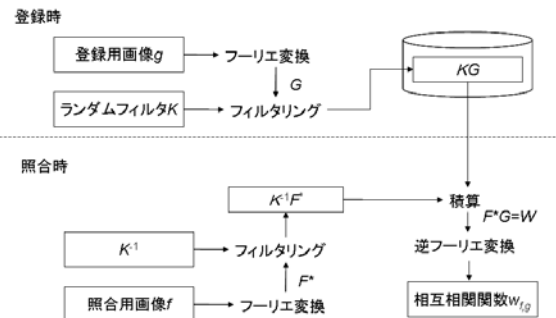


図 13 相関不変ランダムフィルタリング

数の計算を行うためにフーリエ変換の畳み込みの性質を利用する。畳み込みの性質によれば 2 つの画像の相互相関関数の計算は周波数空間上での掛け算に対応するため、一方の画像にはランダムフィルタ  $R(u, v)$  を掛け、もう一方の画像には  $R^{-1}(u, v)$  を掛けて掛け算を行うことでランダムフィルタの影響は取り除かれ、元画像を秘匿したまま照合値の計算を行うことができる。

この手法に基づく相関不変ランダムフィルタリングの概要を図 13 に示す。登録時には、登録用画像のフーリエ変換  $G(u, v)$  に対してランダムフィルタ  $K(u, v)$  を掛け、この結果  $K(u, v) G(u, v)$  をサーバに登録する。照合時には、照合用画像のフーリエ変換  $F^*(u, v)$  に対して  $K^{-1}(u, v)$  を掛け、この結果を  $K(u, v) G(u, v)$  と積算し、 $F^*(u, v) G(u, v)$  を得る。これを逆フーリエ変換すると、 $g(x, y)$  と  $f(x, y)$  の相互相関関数  $w_{f, g}$  を求めることができる。

更に、2007 年 1 月に発表されたフーリエ変換を用いた手法[3]では、 $K(u, v) G(u, v)$  の値の分布から  $G(u, v)$  の値の分布に関する部分的な情報が知られてしまうという脆弱性を指摘し、フーリエ変換を有限体上のフーリエ変換である数論変換に置き換えた手法を提案している。数論変換もフーリエ変換と同様に畳み込みの性質をもつため、これを利用して元画像を秘匿したまま照合値の計算を行うことができる。数論変換を用いる場合は  $K(u, v)$ 、 $G(u, v)$  は  $GF(p)$  上の元として扱われる。 $GF(p)$  上の 0 を除く元は乗法に関して群であることから、 $K(u, v)$  が一様乱数であれば  $K(u, v)G(u, v)$  も一様乱数である。このため、数論変換を用いれば  $K(u, v)G(u, v)$  の情報から  $G(u, v)$  の情報が漏れることがなくなる。一方で、精度劣化は従来方式と比較して十分小さいことを指静脈画像により実証している。

本方式は、復元困難性、精度保存性、脆弱分析等が行われており、他の方式に比べ、評価の信頼度は高い。

### 3.4 カテゴリ D：その他の方式

#### (D.1) 暗号化

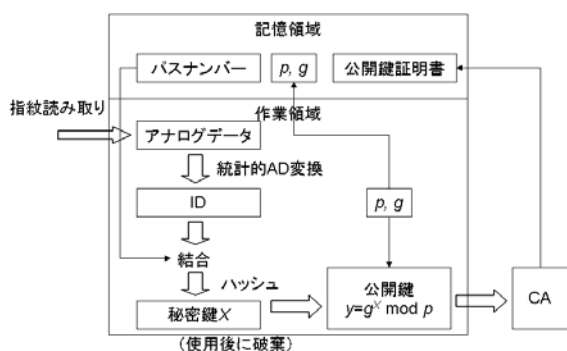


図 14 メカニズムベース PKI における公開鍵の生成

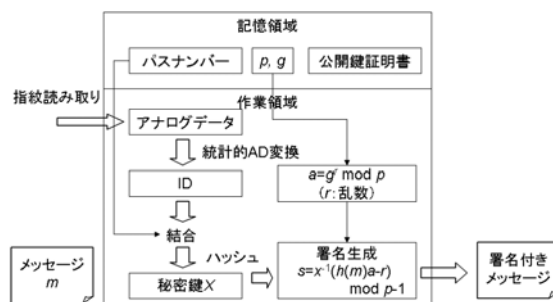


図 15 メカニズムベース PKI における署名生成

金融サービスを対象とする国際規格を策定している ISO TC68 では、一般的な暗号プロトコルを用いたデータ保護（秘匿、署名）方法を提案している[4]。

#### (D.2) 公開鍵との連携方式

##### (D.2a) メカニズムベース PKI

静岡大は、統計的 AD 変換方式を展開した、メカニズムベース PKI における公開鍵の生成方式を提案している[14]。図 14 および図 15 に、メカニズムベース PKI における公開鍵の生成と登録および署名の生成手順を示す。この方式では、デバイスには公開鍵とパスナンバーしか格納されていないため、デバイスを紛失しても問題ない。また、パスナンバーを変えることにより、秘密鍵を再発行できる。

一方で、この方式で生成される公開鍵対には生成アルゴリズムに固有のゆがみが生じる可能性があり、鍵空間上に一様に分布しないことを利用した鍵解読の危険性が生じることが指摘されている[10]。また、事前に位置合わせされていることを前提としている。但し、位置合わせの問題に関しては相対的特徴量を用いることで解決できる可能性がある。

##### (D.2b) バイオメトリクスを用いた署名方式

ISO/IEC JTC1/SC27 WG2 ではテンプレート保護技術の検討を行っている。具体的なメカニズムとして、キャンセル可能なバイオメトリクス[12]、鍵生成[17]、署名生成[7]を参照している。以下、韓国の National Body からの提案方式[7]の概要を述べる。この方式は、Kwon らによって 2004 年に提案された、バイオメトリクスを用いて 2 ファクタ認証（バイオメトリクスと所有）を行い署名を生成する手法である。テンプレート保護手法は Bioscrypt[17]に基づいている。

鍵の登録手順を図 16 に示す。まず公開鍵対  $\langle e, N \rangle$ （公開鍵）と  $\langle d, N \rangle$ （秘密鍵）を生成し、 $d_1$  を  $\phi(N)$ （ $\phi$  はオイラー関数）と互いに素になるようにランダムに選んだ整数、 $d_2$  を

$$d_2 = dd_1^{-1} \text{mod } \phi(N) + k\phi(N)$$

とし、秘密鍵を  $d_1$  と  $d_2$  に分割する。この分割は Wiener の攻撃を防ぐものである[20]。次に、スキャンした指紋

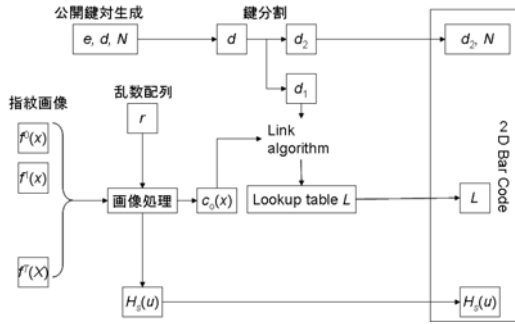


図 16 鍵生成

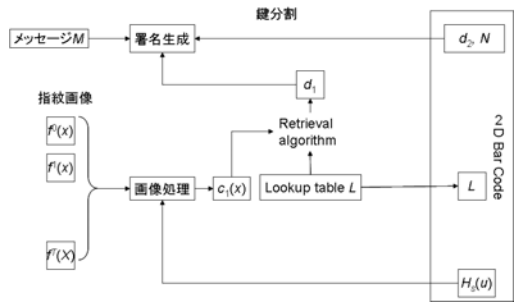


図 17 署名生成

画像からフィルタ関数  $H_s(u)$  およびパターン  $c_0(x)$  を生成し,  $d_1$  を Bioscrypt 方式と同様の方法でルックアップテーブル  $L$  に変換する.  $H_s(u)$ ,  $L$  および  $d_2, N$  を QR コード等の二次元バーコードに変換して本人が所有する.

署名生成時の手順を図 17 に示す. 入力指紋画像とフィルタ関数からパターン  $c_0(x)$  を生成し, ルックアップテーブル  $L$  から  $d_1$  を復元する. 与えられたメッセージ  $M$  に対して,  $d_1, d_2$  を順に適用することで署名を生成する. このとき,

$$M^{d_2} \equiv (M^{d_1})^{d_2} \pmod{N}$$

が成り立つ. 鍵分割方法は Wiener の攻撃に対して安全であり, もし  $d_2$  を紛失した場合でも,  $d_1$  および署名  $M^{d_2}$  を推定することはできないと主張している.

(D.3) ゼロ知識証明プロトコル

東海大が 2006 年にニューラルネットワークとゼロ知識証明を用いた, 身体情報をもつ証明者と本人確認を行う検証者の管理する情報が異なる非対称の生体認証方式を提案した[6]. この方式では, 登録時には, 身体情報を複数回取得して本人だけを識別するニューラルネットワークの重みを学習する. 学習した重みベクトルを公開鍵暗号で暗号化して, 信頼できる第三者に登録する. 証明時には, 認証された暗号化重みに対して, 取得した生体情報に対するニューラルネットワークの出力が 1 であることをゼロ知識証明する.

4. まとめと国際標準化に向けた今後の課題

本稿では, バイOMETリック認証システムにおけるテンプレート保護技術の位置付けを明確にし, 既存のテンプレート保護技術を PET の技術体系により 4 つのカテゴリに分類した. 表 1 には空欄の部分があるが, 今後, 新たなテンプレート保護技術が提案される可能性が高い.

以下, テンプレート保護技術の国際標準化に向けての課題を整理する. 暗号技術を用い, テンプレートデータの秘匿, 認証を行う方式を暗号ベース, 一方, キャンセラブル等画像処理を用いる方式を画像処理ベースのテンプレート保護技術と呼ぶ. 暗号ベースのテンプレート保護技術は一般にコアとなる暗号技術, プロトコルが公開され, セキュリティ強度の第三者評価も行われ, 実装レベルの安全性基準 (例えば, FIPS140-2 等) も整備されている. 一方, 画像処理ベースのテンプレート保護方式は, 技術的な観点から以下に示す問題がある.

- (1) テンプレート保護技術の適正評価が不十分である.
  - アルゴリズム, インタフェースが公開されていないため, 第三者評価が行えない.
  - セキュリティ強度評価体系が未確立で, 評価が行われていない文献が多い (復元困難性).
  - 精度の保存性等の評価が行われていない文献が多い (精度保存性).
  - 処理負荷に関する評価が行われていない文献が多い (処理性能).
- (2) 技術的に未成熟であり, 更に有効な方式が開発される可能性がある.
- (3) 適切な応用事例がない. バイOMETリクス等の情報はデータベースではなく, IC カードで保管するモデルが一般的である. キャンセラブルバイOMETリクス等の技術はデータベースへの保管を想定した技術であり, 有力な応用が提示されていない. 但し, 技術が製品として提供されれば, 新たに有力な応用が生まれる可能性はある.
- (4) セキュリティリスクの観点で優先順が低い. バイOMETリックデータはもともと完全に秘密にしておくことは不可能である. テンプレートデータが盗難にあり再利用されるには, そのテンプレートデータが誰のものか識別できなければならない. また, テンプレートデータの再利用は, 偽造のバイOMETリクスを提示される場合と, ハッキングされ成りすましが生じる場合があり, 前者は生体検知機能, 後者は処理とデータ転送における安全性の確保が必要である. 従って, テンプレートデータの保護のみに着目してシステムの安全性を議論するだけでは不十分である.

また、標準化の観点からは、テンプレートをデータベースに格納する形態で国境を越えて運用されるような応用が存在しない、方式がモダリティに依存しており、汎用的でない、という問題もある。

以上のように、暗号ベースの技術に比べ、画像処理ベースのテンプレート保護技術は、現時点では、技術的にも実利用的にも適正に評価できる段階ではない。今後は、これらの問題を解決した新しい技術の開発、セキュリティ評価手法の確立、および、適切な応用事例が望まれる。

本研究は、経済産業省の委託研究「平成 17 年度基準認証研究開発委託事業-2 生体情報による個人識別技術（バイオメトリクス）を利用した社会基盤構築に関する標準化」として（社）日本自動認識システム協会との契約のもと進めた。

#### 参考文献

- [1] T. Clancy, N. Kiyavash, and D. Lin, "Secure smartcardbased fingerprint authentication," Proc. of the 2003 ACM SIGMM workshop on Biometrics Methods and Applications, pp.45-52, 2003.
- [2] 比良田真史, 高橋健太, 三村昌弘, "画像マッチングに基づく生体認証に適用可能なキャンセルラブルバイオメトリクスの提案," 信学技法, CSEC, Vol. 2006, No. 81, pp.435-440, 2006.
- [3] 比良田真史, 高橋健太, 三村昌弘, "画像マッチングに適用可能なキャンセルラブル生体認証方式の脆弱性分析と安全性向上," 電子情報通信学会, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2007), 3C1-2, 2007.
- [4] ISO/DIS 19092-1, "Financial Services – Biometrics – Part1: Security Framework," ISO TC68/SC2, 2006.
- [5] A. Juels and M. Sudan, "A fuzzy vault scheme," Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory, pp.408, 2002.
- [6] 菊池浩明, "非対称バイオメトリクス認証プロトコルの安全性について," 暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2006), 2D3-2, 2006 (1).
- [7] T. Kwon and J. Lee, "Practical digital signature generation using biometrics," Computer Science and Its Applications, LNCS (Lecture Notes in Computer Science) Vol. 3043, Springer-Verlag, pp.728-737, 2004 (5).
- [8] 松下雅仁, 前田卓志, 笹川耕一, "基準データとの相関を用いたバイオメトリクス個人識別方法," 信学技法, PRMU2000-78, pp.21-26, 2000 (9).
- [9] 森 浩典, 鈴木裕之, 小尾高史, 山口雅浩, 大山永昭, "生体情報を鍵とするチャレンジ&レスポンス型認証," FIT2006, M-048, 2006 (9).
- [10] (社)日本自動認識システム協会, "生体情報による個人識別技術(バイオメトリクス)を利用した社会基盤構築に関する標準化," 平成 17 年度経済産業省産業技術研究開発委託事業報告書-2, 2006.
- [11] (社)日本自動認識システム協会, "生体情報による個人識別技術(バイオメトリクス)を利用した社会基盤構築に関する標準化," 平成 18 年度経済産業省産業技術研究開発委託事業報告書-3, 2007.
- [12] N. Ratha, J. Connell, and R. Bolle, "Enhancing security and privacy in biometrics-based authentication systems," IBM systems J., Vol.40, No.3, pp.614-634, 2001.
- [13] 瀬戸洋一, "バイオメトリックセキュリティ入門," SRC, 2004.
- [14] 柴田陽一, 三村昌弘, 高橋健太, 中村逸一, 曾我正和, 西垣正勝, "メカニズムベース PKI-指紋からの秘密鍵動的生成," 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No.8, pp.1833-1844, 2004 (8).
- [15] 柴田陽一, 中村逸一, 三村昌弘, 高橋健太, 西垣正勝, "統計的 AD 変換による生体情報を用いた Challenge&Response 型ネットワーク認証の提案," 情報処理学会研究報告, 2004-CSEC-26-27, pp.179-186, 2004 (7).
- [16] 総務省, "「住民のプライバシーの保護に関する新しい考え方と電子自治体におけるそのシステム的な担保の仕組みについての研究会」報告書," [http://www.soumu.go.jp/denshijiti/jyumin\\_p.html](http://www.soumu.go.jp/denshijiti/jyumin_p.html)
- [17] C. Soutar, D. Roberg, A. Stoianov, R. Gilroy, and V. Kumar, "Biometric encryption," [http://www.bioscrypt.com/assets/Biometric\\_Encryption.pdf](http://www.bioscrypt.com/assets/Biometric_Encryption.pdf)
- [18] 高橋健太, 三村昌弘, "キャンセルラブル指紋照合方式の提案," コンピュータセキュリティシンポジウム(CSS2005), 5C-2, 2005 (10).
- [19] U. Uludag, S. Pankanti, and A. Jain, "Fuzzy vault for fingerprints," Proc. of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (AVBPA 2005), pp.310-319, July 2006.
- [20] M. Wiener, "Cryptanalysis of short RSA secret exponents," IEEE Transactions on Information Theory, Vol.36, No.3, 1990 (5).
- [21] S. Yang and I. Verbauwhede, "Automatic secure

fingerprint verification system based on fuzzy vault scheme,” IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2005), pp.609-612, 2005.

## ソフトウェア開発工程における支援研究と実用化への課題

森本 祥一\*

## Researches Supporting Software Development and their Problems in Practical Application

Shoichi Morimoto\*

## Abstract

We have proposed researches supporting software development; a systematic methodology to elicit software requirements from a visualized problem domain, a database supporting analysis of security requirements, a CASE tool which has rule-based and knowledge-based engines for automatic software design in imitation of expert designers, a security design method using UML patterns based on Common Criteria, and a formal verification method of security specifications based on Common Criteria. In this paper, we summarize the researches and discuss future works for supporting further the development.

Keywords: Requirements analysis, Design knowledge, Common Criteria, Design patterns, Security Verification, Formal methods

## 1. はじめに

ソフトウェアの開発には様々な課題が伴う。ソフトウェア品質にまつわる諸問題や、人的・時間的・金銭的コスト面の課題、要求定義の困難性、プロセスの改善等、解決しなければならない課題は多い。著者らはこれまで、ソフトウェア開発プロセスにおいて、これらの課題を解決すべく研究を行ってきた。本稿では、これらの成果について述べる。これらの研究の最終的なゴールは、工学研究としての成果をソフトウェア開発の現場での課題解決・支援に直結できるようにすることである。このための今後の課題についても議論する。

## 2. 研究経過

図1は、著者らがこれまでに行ってきた各研究と、それらのソフトウェア開発工程における位置付けを示している。近年、必ずしも単純に『要求分析→設計→プログラミング→テスト』という流れでソフトウェアライフサイクルを定義すべきではないという活動もある[24]が、ここでは従来から一般的にソフトウェア工学で用いられているライフサイクルにおける位置付けを示した。

以下で各研究の詳細について順に述べる。

## 2.1 シナリオの図解化による要求定義

SBVA (Scenario-Based Visual Analysis) 法は、シス

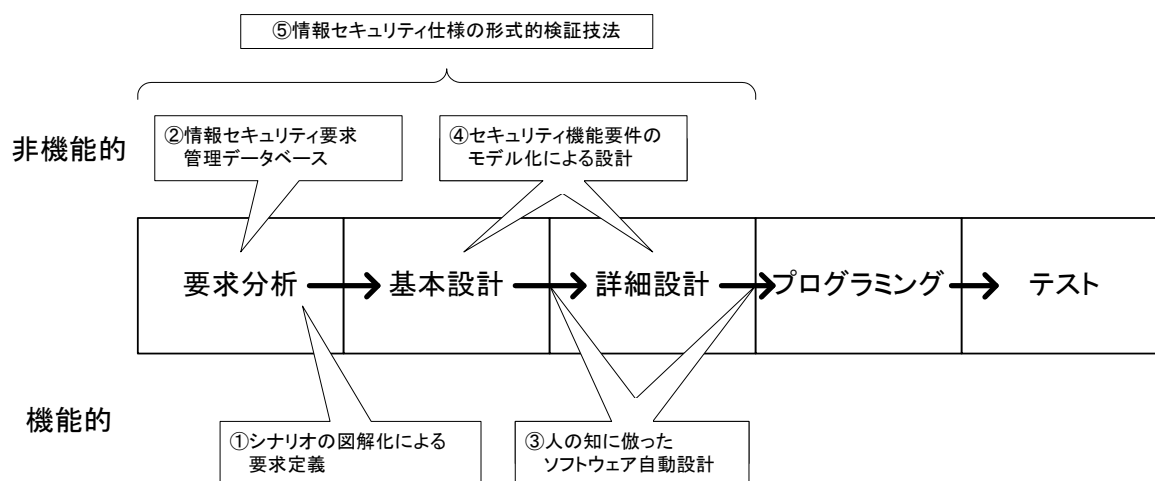


図1 ソフトウェアライフサイクルと各工程における支援研究

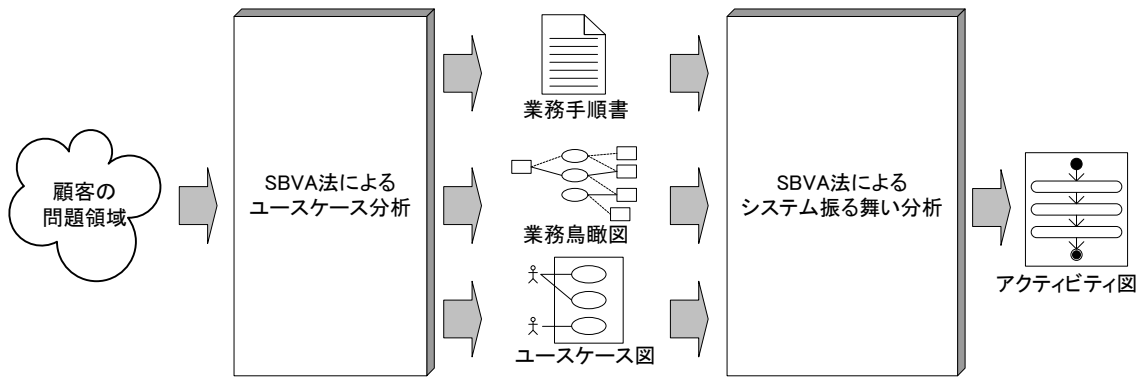


図2 SBVA法による分析プロセス

システムの発注者である顧客の問題領域（ドメイン）を自然言語によるシナリオでモデル化し、そこから機能的要求を体系的に分析できる手法である[14]。SBVA法では、まず顧客のAs-Isの業務フローをシナリオで記述し、更に図解化することにより、ソフトウェアの開発側である要求分析者と発注者である顧客が相互理解を深めつつ問題領域を整理していく。その問題領域の整理の過程において、システム化の範囲決定とソフトウェアが提供する機能をユースケースとして抽出できる。SBVA法で定めたルールで記述したシナリオのことを業務手順書、業務手順書を図解化したものを業務鳥瞰図と呼ぶ（図3）。

著者らは、更にこのSBVA法によるユースケース分析の成果物である業務手順書、業務鳥瞰図、ユースケース図からシステムの振る舞いとしてのアクティビティを分析できるよう拡張した[19]。これにより、顧客の問題領域からシステム境界、システムの振る舞いまでを一括して体系的に分析でき、ソフトウェアを実装するための設計に繋げることができるようになった（図2）。

SBVA法を用いることにより、ソフトウェアへの要求を恣意的に定義するのではなく、明確に定義されたプロセスに従って体系的に定義できる。また、ソフトウェアの発注者側と開発者側の双方が問題領域とシステム化に対する合意を形成するためのコミュニケーションツールとして有効である。

1. 学生は、学生証を受付係に提示する。
2. 受付係は、学生に用件を聞く。
3. 受付係は、用件から担当窓口を決める。
9. 学生は、担当窓口に移動する。
4. 学生課担当は、履修申込書を学生に記入させる。
5. 学生課担当は、履修申込書 [と学生証] から成績原簿を作成する。
- 5-6. [学生課担当は、成績原簿から履修者一覧を作成する。]
7. 学生課担当は、履修者一覧を教員に渡す。
8. 教員は、履修者一覧の学生に講義開催を通知する。
9. 教員は、学生に講義する。
10. 教員は、学生を評価する。
11. 教員は、履修者一覧から成績表を作成する。
12. 教員は、成績表に成績を記入する。
13. 教員は、成績表を学生課担当に渡す。
14. 学生課担当は、成績表の内容から成績を判定する。
15. 学生課担当は、成績を成績原簿に記入する。
16. 学生課担当は、[成績原簿の内容から] 成績証明書を作成する。
17. 学生課担当は、学生に手数料を請求する。
18. 学生は、学生課担当に手数料を払う。
19. 学生担当係は、学生に成績証明書 [と学生証] を渡す。
20. 学生担当係は、成績原簿を棚に収納する。

## 2.2 情報セキュリティ要求管理データベース

従来、暗号技術や暗号プロトコルといったセキュリティ基盤技術や、侵入検知や鍵交換、なりすまし防止といった個々のセキュリティ対策技術に関する研究は多数報告されていたが、ソフトウェアが備えるべき非機能的要件としてのセキュリティ要求を体系的に分析・定義する手法はなかった。

そこで著者らは、情報関連システムや情報関連製品に対するセキュリティの評価・認証が Common Criteria (CC) として標準化されていることに着目した[7]。CCは、情報技術を用いた製品やシステムが備えるべきセキュリティ機能に関する要件と、設計から製品化に至る過程でセキュリティ機能が実現されていることを確認する要件を網羅した要件集である。この認証を受けるためには、申請者は Security Target (ST) と呼ばれるセキュリティ基本設計書を作成しなければならない。このSTの作成過程においては、システム内の保護すべき対象範囲、その範囲内で想定される脅威、これらの脅威に対するセキュリティ対策方針、セキュリティ対策方針を実装するための具体的なセキュリティ機能を定義し、記述する。更にセキュリティ機能を実装したという根拠を示すために、

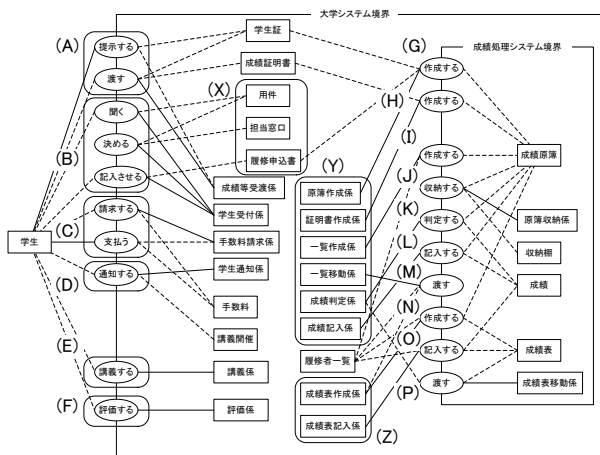


図3 業務手順書と業務鳥瞰図の例

実装した機能要件とその実装に対する保証要件を前述の要件集から引用し明記する。つまり、ST 作成においてはトップダウンでセキュリティ要求を定義している。

著者らは、この公開されている全ての ST の事例と、要件集における全ての要件をデータベース化し、情報セキュリティ要求管理データベース (ISEDS: Information Security Engineering Database System) と名付けた [11],[22]。更に、いつでも誰でも ISEDS を利用できるような Web 上で公開している [6]。

ISEDS は図 4 に示すスキーマで構成される。利用者は、システムの種類・分野、脅威・セキュリティ対策・セキュリティ機能の名前や定義といった検索キーを用いて、これから開発しようとするシステムに類似した過去の事例において適用されたセキュリティ対策・機能や、想定される脅威を検索し参照することができる。また、利用者自身がデータベースを更新することもでき、セキュリティに関するシステム開発におけるノウハウを構造化して管理することができる。この ISEDS を応用した仕様書の自動添削機能や自動生成機能も提案されている [16]。

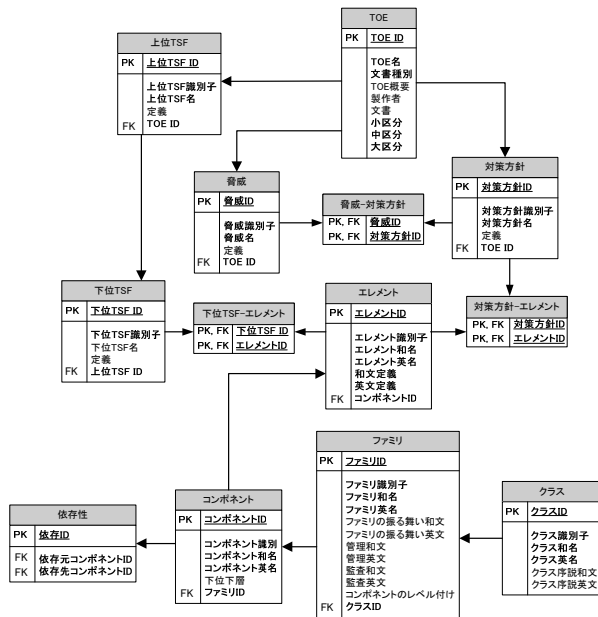


図 4 ISEDS のスキーマ

更に、CC のみでなくセキュリティに関するあらゆる基準や事例を柔軟に管理できるようにするために、構造の変化に強い XML ネイティブなデータベースを用いて ISEDS を再実装したセキュリティ仕様書ライブラリを提案した [8],[21]。このライブラリでは、セキュリティに関する基準や事例の文書をドキュメントファイルのまま格納しておき、これらの文書から直接前述の検索や管理を行うことが可能である (図 5)。また、図 4 に示すような特定の構造を持つ必要がないため、異なる構造を持つ基準や事例を容易に追加できる。

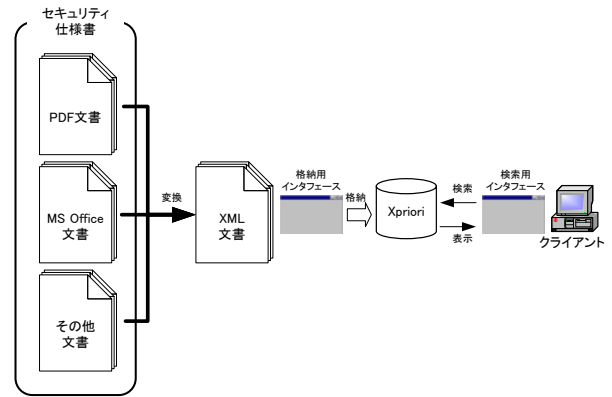


図 5 セキュリティ仕様書ライブラリの構成

### 2.3 人の知に倣ったソフトウェア自動設計

ソフトウェアの品質は、不完全な設計による設計上の大きな不良や、プログラミングにおけるバグといった人的要因に依存するところが大きい。極端に言えば、ソフトウェアの設計やプログラミングにおいて人手の介入を極力減らすことができれば、ソフトウェアの品質を高めることができる。一方で、ソフトウェア設計者が明確な設計を段階的に検討しながら行っていくことによって誤りを減らすことができる。このためには、フローチャートやデータフロー図、ER 図、UML といった図的表現によるいわゆる“ソフトウェアの可視化”が有効である。

このような考えに基づき、著者らはソフトウェア自動設計を行う統合的 CASE (IICASE: Integrated Intelligent Computer Aided Software Engineering) ツールを開発した [15]。本研究では、『設計』とはある概念(機能)を階層的に展開して幾つかの下位概念にすることと考える。この親概念と子概念の対を、人間がソフトウェアを設計する際の知の単位として「設計ルール」と名付け、ソフトウェア設計図面から抽出しデータベースへ蓄えていく (図 6)。IICASE ツールは、この蓄えた設計ルールを再利用するルールベースの自動設計エンジン (図 7) と、ツールのユーザ自身が定義したデータ構造辞書・動詞辞書や Cliché と呼ばれる人間の知に倣ったメカニズムを用いて設計ルール自体を生成する知識レベルの自動設計の 2 つのエンジンを持つ [1],[2]。

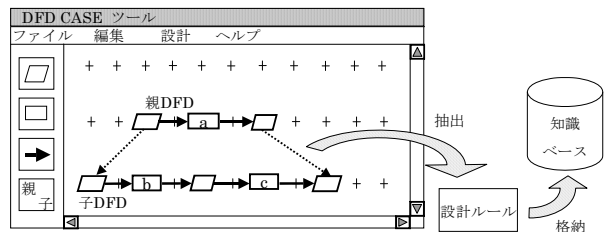


図 6 IICASE ツールにおける設計ルール抽出



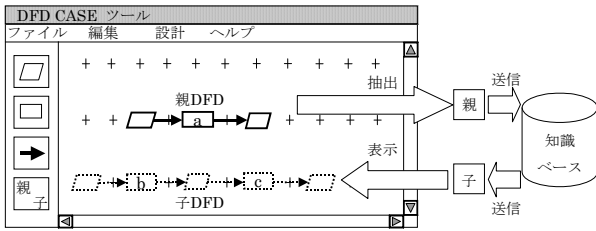


図7 IICASE ツールにおける自動設計

IICASE ツールでは、構造化分析・設計で用いられるデータフロー図 (DFD : Data Flow Diagram) と構造化フローチャート (PAD : Problem Analysis Diagram) を扱う。DFD, PAD 単体での自動設計はもちろん、DFD から PAD を、PAD から C 言語のソースプログラムを、それぞれ自動で出力することができる[3]。IICASE ツールでは、設計ルールの抽出や生成、自動設計といった全ての処理を、図面のデータ構造を利用して行う[23]。

### 2.4 セキュリティ機能要件のモデル化

前述の CC で定義されている情報システムが備えるべきセキュリティ機能要件は、単なる要件であり、実際にどのようなシステムのどのようなケースにどの要件を用いるべきかについては CC 自体には詳しく述べられていない。このため、要件の選択の指標として Protection Profile (PP) と呼ばれる要件のセットが定義されている。PP は ST 作成のためのテンプレートとなる。しかしながら、PP はある特定のシステムカテゴリ (例えば OS, DBMS, ファイアウォール等) に必要な要件のセットという大きな枠で定義されており、使い所が難しい。

そこで著者らは、この PP で定義された要件のセット

を利用しやすい単位に分解しモデル化する方法論を提案した[9],[10],[20]。モデル化の方法論は、GoF のデザインパターンの理念に倣っている[5]。図9に示す例のように、PP で定義されている要件のセットを一つの脅威に対抗するための単位機能ごとの要件のセットに切り分け、これらを UML パターンとしてモデル化する (図8)。これにより、ある脅威に対抗するために必要な単位機能を一つの UML パターンとして適用することができ、利用しやすくなる。また、このパターンを設計に適用することにより、パターンに含まれる要件のセットを実装したことになる。

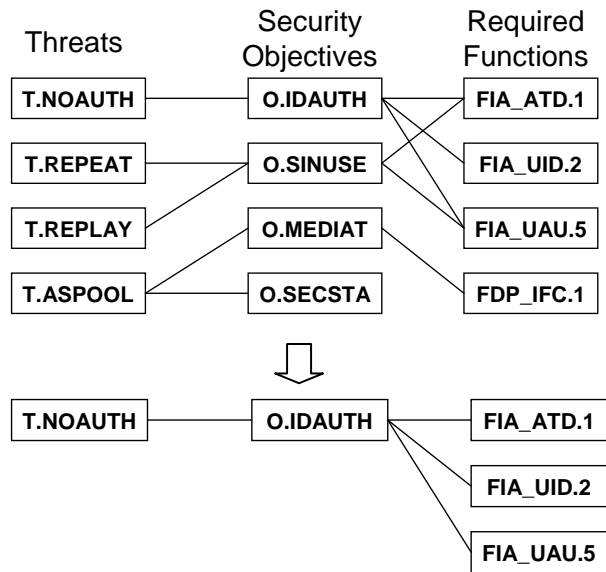


図9 セキュリティ機能要件セットの分解

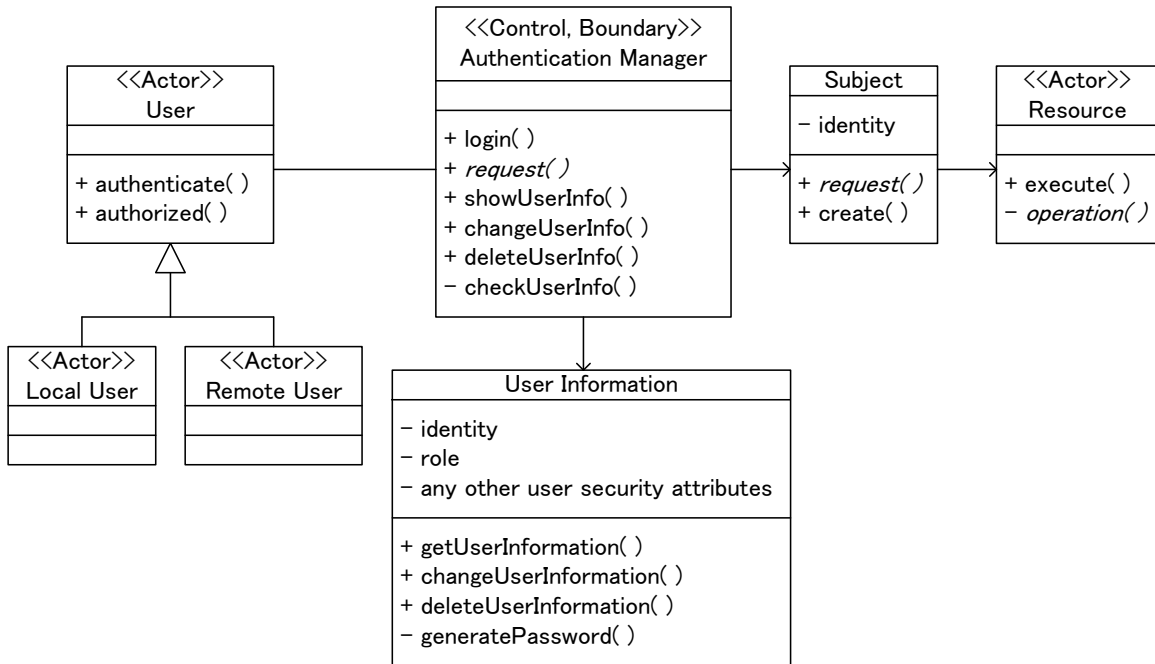


図8 パターンの例

## 2.5 情報セキュリティ仕様の形式的検証技法

情報システムの仕様や設計を数学的に厳密に検証する手法として、形式手法 (Formal Methods) がある [13]. 同様に情報セキュリティ分野においても、暗号化を始め数理的なアプローチは切り離せない。しかしながら、情報システムの仕様や設計が必要なセキュリティ要求を満たしているか、セキュリティ機能を十分に備えているかを形式的に検証する実用的な手法は提案されていなかった。情報システムの仕様のセキュリティという抽象的な対象をどういった手順で形式的に記述し検証すべきか、何をもちいて情報システムのセキュリティが十分であるかを定義することが非常に困難なためである。

この問題を解決するため、著者らは、前述の CC を情報システムが備えるべきセキュリティの基準として採用し、CC で定義されているセキュリティ機能要件を仕様を満たしているかどうかを形式的に検証する技法を提案した [12],[18]. 本技法では、著者らがあらかじめ全ての機能要件を Z 記法と時相論理で形式化したテンプレートを利用する。利用者は必要なテンプレートを選択し検証対象に合わせて具体化した上で、一般的な定理証明やモデル検査ツールを使って検証することができる (図 10). 更に、自然言語による仕様のみでなく、UML モデルも本技法により検証できることを示した [9],[10],[20].

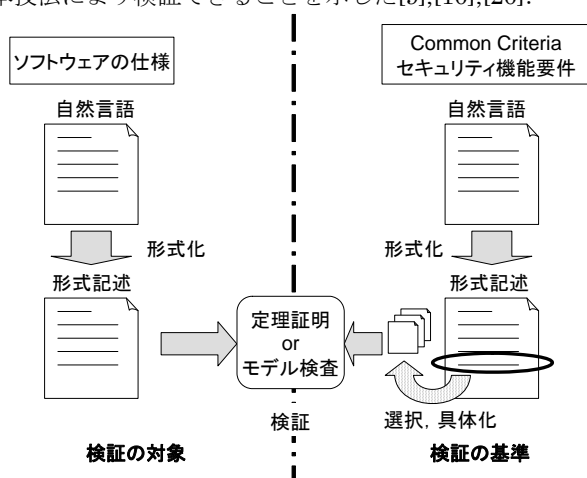


図 10 情報セキュリティ仕様の検証手順

## 3. 考察

SBVA 法の問題点は、手法による効果を定量的に測定し客観的に評価することが難しい点、手法を実践するためのツールがない点である。ISEDS、セキュリティ機能要件のモデル化、検証技法の問題点も同様で、その効果を評価することが難しい。ISEDS を用いて作成した仕様書、セキュリティ機能要件をモデル化した UML パターンを用いて作成した仕様書、検証技法を用いて検証した仕様書を実際に評価機関で評価する等、提案手法を用い

てその効果を実証することが必要である。一般的にソフトウェア工学の研究は評価が難しいとされ、大半の研究が評価なし、またはアサーションのみである [4]. ソフトウェア工学分野の研究成果を現場での問題解決へ直結させるためにも、産学の迅速な連携が求められる。

一方 IICASE ツールは、詳細に定量的な評価を行っている [15]. IICASE ツールの問題点は、データフロー図やフローチャートを用いた構造化分析・設計のみを対象としており、オブジェクト指向分析・設計といったその他の方法論に対応していない点である。DFD や PAD における設計ルールや Cliché の概念を応用し、UML 等のその他の方法論における図的表現へ適用できるか検討する必要がある。また、ツールの中核を成す自動設計エンジンが帰納的・エンピリカルな前提に基づいているため、理論的な側面からの評価も必要である。

またこれらの研究を応用し、要求仕様書から設計書、プログラム仕様書、テスト仕様書、テスト報告書といった上流から下流までの全ての工程において作成されるあらゆるドキュメントを蓄積してエンピリカル・ロジカル双方のアプローチで利用する方法論を検討中である [17].

## 4. おわりに

本稿では、ソフトウェア開発における各種課題を解決するための研究について、現在までの成果とそれにより得られる効果について述べた。今後は、機能要件の分析は SBVA 法を、非機能要件の分析は ISEDS を、設計は IICASE ツールやセキュリティ機能要件パターンをそれぞれ使い、システム全体の検証は提案手法で行う、といった各研究を連携させ上流から下流までを一括して支援するツールを開発する予定である。これに向けて、産学連携による各研究の評価やリファインを行っていく。

## 参考文献

- [1] Abolhassani, H., Chen, H., Far, B. H., and Koono, Z., "Software Creation: A Study on the Inside of Human Design Knowledge," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E83-D, No. 4, pp.648-658, 2000.
- [2] Abolhassani, H., Chen, H., and Koono, Z., "Software Creation: Cliché as Intermediate Knowledge in Software Design," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E85-D, No. 1, pp.221-232, 2002.
- [3] Chen, H., Tsutsumi, N., Takano, H., and Koono, Z., "Software Creation: An Intelligent CASE Tool Featuring Automatic Design for Structured Programming," *IEICE Transactions on Information and Systems*,

- Vol. E81-D, No.12, pp.1439-1449, 1998.
- [4] EASE Project, <http://www.empirical.jp/>
- [5] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., and Vlissides, J., "Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software," Addison-Wesley, 1995.
- [6] Horie, D., Morimoto, S., and Cheng, J., "A Web User Interface of the Security Requirement Management Database Based on ISO/IEC 15408," Proceedings of the 6th International Conference on Computational Science (ICCS 2006), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3994, pp. 797-804, Springer-Verlag, 2006.
- [7] ISO/IEC 15408 standard, "Information Technology - Security Techniques - Evaluation Criteria for IT Security," 1999.
- [8] Morimoto, S., and Cheng, J., "A Security Specification Library with a Schemaless Database," Proceedings of the 7th International Conference on Computational Science (ICCS 2007), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4489, pp. 890-893, Springer-Verlag, 2007.
- [9] Morimoto, S., and Cheng, J., "Modeling Protection Profiles by UML and their Formal Verification," Systems and Computers in Japan, Wiley, 2007.
- [10] Morimoto, S., and Cheng, J., "Patterning Protection Profiles by UML for Security Specifications," Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation (CIMCA 2005) & International Conference on Intelligent Agents, Web Technology and Internet Commerce (IAWTIC 2005), Vol. II, pp. 946-951, IEEE Computer Society, 2005.
- [11] Morimoto, S., Horie, D., and Cheng, J., "A Security Requirement Management Database Based on ISO/IEC 15408," Proceedings of the International Conference on Computational Science and its Applications (ICCSA 2006), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3982, pp. 1-10, Springer-Verlag, 2006.
- [12] Morimoto, S., Shigematsu, S., Goto, Y., and Cheng, J., "Formal Verification of Security Specifications with Common Criteria," Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2007), pp. 1506-1512, 2007.
- [13] Wing, J.M., "A Specifier's Introduction to Formal Methods," IEEE Computer, Vol. 23, No. 9, pp. 8, 10-22, 24, 1990.
- [14] 中鉢 欣秀, 小林 孝弘, 松澤 芳昭, 大岩 元, "シナリオの図解化によるユースケースモデリング," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D1, No. 4, pp. 813-828, 2005.
- [15] Hassan Abolhassani, 河野 善彌, 陳 慧, "ソフトウェアクリエーション:ルールによる自動設計と知識による自動設計," 情報処理学会 研究報告 - ソフトウェア工学 (2002-SE-138), Vol. 2002, No. 64, pp. 105-112, 2002.
- [16] 堀江 大輔, 森本 祥一, 後藤 祐一, 程 京徳, "情報セキュリティ工学データベースシステム ISEDS の開発と応用," 満田 成紀・羽生田 栄一 編, ソフトウェアエンジニアリング最前線 2006, pp. 59-66, 近代科学社, 2006.
- [17] 森本 祥一, "データベースを用いた実用的な形式的検証環境の実現," 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ 第 5 回日本データベース学会年次大会 (DEWS 2007) 論文集, C8-2, 2007.
- [18] 森本 祥一, 重松 真二郎, 後藤 祐一, 程 京徳, "ISO/IEC 15408 に基づく定理証明とモデル検査による情報セキュリティ仕様の検証技法," 日本ソフトウェア科学会論文誌「コンピュータソフトウェア」, Vol. 23, No. 3, pp. 117-133, 2006.
- [19] 森本 祥一, 中鉢 欣秀, "シナリオの図解化によるシステム振る舞い分析," 満田 成紀・羽生田 栄一 編, ソフトウェアエンジニアリング最前線 2006, pp. 169-176, 近代科学社, 2006.
- [20] 森本 祥一, 程 京徳, "UML によるプロテクションプロファイルのモデル化とその形式的検証," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J89-D, No. 4, pp. 726-742, 2006.
- [21] 森本 祥一, 程 京徳, "ネイティブ XML データベースによるセキュリティ仕様書ライブラリ," 情報処理学会 データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム 2006 (DBWeb 2006) 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2006, No. 16, pp. 193-200, 2006.
- [22] 森本 祥一, 堀江 大輔, 程 京徳, "ISO/IEC 15408 に基づく情報セキュリティ要求管理データベース," 日本データベース学会論文誌「DBSJ Letters」, Vol. 4, No. 3, pp. 13-16, 2005.
- [23] 森本 祥一, 吉田 真人, 陳 慧, 河野 善彌, "ソフトウェアクリエーション:統合的 CASE ツールの図面情報処理," 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 人工知能と知識処理研究会 (AI2000-72, KBSE80), 電子情報通信学会信学技報, Vol. 100, No. 709, pp. 25-28, 2001.
- [24] 山岸 耕二, 安井 昌男, 萩本 順三, 河野 正幸, 野田 伊佐夫, 平鍋 健児, 細川 努, 依田 智夫, "要求開発," 日経 BP 社, 2006.

# 教育用ソフトウェア開発環境基盤の試作

秋 口 忠 三\*

## Experimental Development of an Educational Software Development Environment Platform

Chuzo Akiguchi\*

### Abstract

In this article, we study educationally desirable software development environment (SDE) from the viewpoints of software construction and development process, and propose an educational Java SDE platform "Ash" which is an experimental environment with pipe&filter architecture and unix-like commands. First, we examine what kind of course material we should prepare and what methodology or approach we should adopt, for the effective education of practical software construction. Next, we study what support facilities are required for effective PSP/TSP education, where Personal Software Process (PSP) and Team Software Process (TSP), advocated by Watts Humphrey, provide an educational approach of software development focusing on the development process. With these considerations in mind, we develop "Ash" both to provide the baseline for the practical software construction and to support PSP/TSP approach. In the latter part of the article, we describe the goals of Ash development, the functional outline, the software architecture, and an example of use.

**Keywords:** Software Development Environment, Software Construction, Software Development Process, Educational Software Development

### 1. はじめに

本稿では、実践的なソフトウェア開発の教育で望まれるソフトウェア開発環境について考察し、そのベースラインとなる教育用ソフトウェア開発環境 Ash の概要を述べる。

実務としてのソフトウェア開発では、企画書、見積書、計画書、要求定義書、概要レベル設計書、詳細レベル設計書、ソースプログラム、テスト計画書、品質計画書、課題管理、ユーザドキュメント、等の各種ドキュメントの作成が、一連の開発プロセスに従い、段階的に作成、維持、管理されていく。一般にソフトウェア開発環境は、これらのドキュメントからなる成果物を体系的に管理する仕組み、それぞれの開発プロセスのユーザアクティビティを効率化するための支援ツール、定型的な作業を自動化する仕組みなどから構成される。

本稿では、まず始めにソフトウェア開発の中心的アクティビティであるコンストラクションを中心に、実践的なソフトウェア開発の教育を効率的に行うために、どのような教材を用意し、どのような方法論やアプローチで、教育していくのが良いかを考察する。ソフトウェアコンストラクションに焦点を当てる理由は、文献[1]で主張しているように、高品質のソフトウェアを高い生産性で開

発するために、コンストラクションが重要な鍵を握っていると考えられるからである。

ソフトウェア開発は個々の技術者の能力に大きく依存する。さらに、実用レベルのソフトウェアの開発ではチームによる開発が不可欠である。個人の能力を高め、さらにその上に立ってチーム開発力を向上させることをねらった実践的なソフトウェア開発の教育を、開発プロセスを中心に体系化した方法論として、Watts Humphrey が提唱したパーソナルソフトウェアプロセス (PSP) とチームソフトウェアプロセス(TSP)がある[2][3]。PSP と TSP を効果的に実施するためには適切な支援機能が不可欠である。本稿では、PSP と TSP の手法によるソフトウェア開発の教育・訓練でどのような支援機能が必要であるかを考察する。

次に、以上の考察を踏まえ、教育用のソフトウェア開発環境の要件を検討し、ソフトウェア開発環境のベースラインとすることを目的に開発した教育用ソフトウェア開発環境基盤 Ash について概要を説明する。Ash は、教育用ソフトウェア開発環境を効率良く開発するための基盤であると同時に、開発対象ソフトウェアの開発事例として活用することを考えている。

## 2. ソフトウェア開発の教育をいかに支援するか

### 2.1 ソフトウェアコンストラクションの重要性

ソフトウェアコンストラクションは、一般にはプログラミングと呼ばれ、コーディングとデバッグを中心としたソフトウェア開発のアクティビティである[1]。ソフトウェアコンストラクションの重要性に関する以下の指摘は強い説得力がある。

- ・ コンストラクションはソフトウェア開発の大部分を占める(一般にプロジェクト全体の 30%~80%)。
- ・ コンストラクションの成果物であるソースコードは、多くの場合、ソフトウェアを正確に書き表した唯一のドキュメントである。
- ・ コンストラクションは必ず実行される唯一のアクティビティである。
- ・ コンストラクションに専念することで、個々のプログラマの生産性は驚くほど向上する。

コンストラクションに焦点を合わせることによって、要求分析、コンストラクション計画、概要設計、詳細設計などの上流工程のアクティビティ、単体テスト、統合、保守などの下流工程のアクティビティも明確になる。コンストラクションが軽視される傾向が一部にある状況に鑑み、コンストラクションの重要性を再認識し、コンストラクションの改善を絶えず心がける姿勢を養うことが、ソフトウェア開発の教育のなかで重要であると考えられる。

以下で、コンストラクションを中心に関連するソフトウェア開発スキルを概観し、実践的なソフトウェア開発の教育を効率的に行うために、どのような教材を用意し、どのような方法論やアプローチで、教育していくのが良いかを考察する。

### 2.2 コンストラクション中心のソフトウェア開発

コンストラクションは、コーディングとデバッグを作業の中心におくが、その上流工程にある計画や設計、下流工程にあるテストや保守にも目を向けなければならない。コンストラクションを中心とした開発プロセスを以下に示す。

- ・ 要求定義
- ・ コンストラクション計画
- ・ 概要設計 (アーキテクチャ設計)
- ・ 詳細設計
- ・ コンストラクション (コーディングとデバッグ)
- ・ 単体テスト
- ・ 統合テスト
- ・ システムテスト
- ・ 運用・保守

ソフトウェア技術者のキャリアは、コンストラクションから始まり、上流方向および下流方向に向かうのが一般的な流れである。コンストラクションの基礎スキルは、すべてのソフトウェア開発者に求められる基本能力と考えられる。

ソフトウェア開発の現場では、新しい技術が目まぐるしく登場し消えていく。その中で普遍的な技術は何かを見極め、教育していかなければならない。以下に、今日のソフトウェア開発において必要とされる開発スキルを以下にあげる。

#### ①ソフトウェア開発用言語とプログラミング能力

C/C++や Java 等のプログラミング言語について深い理解が必要である。また JavaScript や Perl, Ruby, Phison などのスクリプト言語を活用し、ソフトウェア開発に係わるもろもろの作業の自動化を行える能力があると望ましい。データベーススキーマやソフトウェアアーキテクチャを記述するための抽象度の高い仕様記述言語として UML を利用できることは、これからのソフトウェア技術者の必須能力といえるだろう。

#### ②詳細設計とアーキテクチャ設計

詳細設計からコーディング・デバッグに至るコンストラクションの中心作業はこれまでのプログラミング教育の中心的なテーマであった。文献[1][9]は、プログラミング例を多く含み、この領域での優れた教科書となる。

より上流のアーキテクチャ設計やクラス設計のレベルでも、多くの手法や方法論が提案されている[6]。オブジェクト指向によるソフトウェア開発に絞り、普遍性の高い技術として教育の場で扱うテーマとしては、統一プロセスによる開発方法論[14]やデザインパターン[10]の考え方を取り入れたい。統一プロセスにおけるアーキテクチャベースラインの確立と、反復的なコンポーネント開発の考え方は、高い普遍性を持っていると考えられ、またデザインパターンはソフトウェアの設計概念の再利用の具体的な方法論を示しているからである。

#### ③単体テストと統合テスト

ソフトウェア・テストの技法については、古典的な名著[8]にテスト技法の普遍的な知識が凝縮されている。XP(エクストリームプログラミング)[5]などのアジャイル開発プロセス[4]で提唱されたテストファーストの考え方の解説も含まれている。テストファーストを実践するためにJUnit等の自動テスト作成支援ツールの活用技術が必要である。

#### ④工程横断的なアクティビティ

ソフトウェア開発では、工程ごとのアクティビティ

の他に、工程に対して横断的なアクティビティがある。これらの多くは成果物管理、品質管理、進捗管理等のプロジェクト管理に関わる活動である。コンストラクションとの関係でいえば、ソフトウェアの構成管理・版管理の技術が重要である。

文献[11]では、構成管理、単体テスト、自動化に関する実践的な基礎知識が解説されている。このような基礎知識と応用力は、チームによるソフトウェア開発の演習や実際のソフトウェア開発の経験の中で体得していきたい基本的な技術である。

### 2.3 ソフトウェア開発プロセスの支援

ソフトウェア開発には、ソフトウェアコンストラクション以外にも重要なアクティビティがある。それは、プロジェクト管理、要求開発、アーキテクチャ設計、ユーザインタフェース設計、システムテスト、保守などである。プロジェクト管理以外は、ソフトウェアプロダクトそのものを対象とするアクティビティであり、ソフトウェアコンストラクションの教育の中で関連付けて学習することができる。

それに対して、プロジェクト管理のアクティビティは、プロダクトに加えて、組織と開発プロセスを扱う必要があり、必然的にチームでの活動となる。ソフトウェア開発のプロジェクト管理は、他のプロジェクトの管理手法の学習と同様、チームによる体験型学習が効果的である。それに加えて、ソフトウェア開発のプロジェクトでは、高度な専門性を要すること、個人の能力差が大きく見

積もりが困難であること、対象とする成果物の複雑さが極めて大きいこと、などの理由で、独自の教育の枠組みが必要である。

実務としてのソフトウェア開発においては、技術者一人ひとりが時間管理、スケジュール管理、品質管理などの管理的な側面の重要性を理解し、自己管理の能力とチーム管理の能力を獲得することが必要である。PSPとTSPは、このようなソフトウェア開発の教育を行う枠組みとして定評がある。PSP[2]は、ソフトウェアコンストラクションを計画的に進めるための個人の能力獲得のための枠組みであり、作業の見積りと計画立案の方法、計画と実績の管理、および品質を向上させる方法を示している。目標設定、製品品質の測定、計画と実績のデータ分析とプロセスの改善——これらを繰り返すことによりソフトウェアの品質を向上させるプロセスを体系化したものである。

TSP[3]は、PSPをチームによるソフトウェア開発の教育に発展させたものであり、チームの編成から、開発計画の立案、要件定義、設計、実装、テスト、統合、など

の一連のソフトウェア開発のプロセスを、チームのアクティビティとして経験させる教育の枠組みを提供している。チームのメンバーには、リーダー、開発管理者、計画立案管理者、品質/プロセス管理者、サポート管理者のいずれかの役割が課せられ、ソフトウェア開発のアクティビティの様々な局面を学習できる仕組みとなっている。

PSP/TSPは規範的な開発プロセスを学習する方法として優れているが、開発の過程で記録すべきデータの収集と入力への負担が大きく、これが演習などを行う際の障害となる場合がある。演習課題によっては記録を簡略化できる場合もあるし、各作業ごとの時間配分、各作業者ごとの時間配分等、試行錯誤による計画策定を効率化できる余地もある。PSPによる個人の記録とTSPによるチームの記録を統合管理する仕組みがあれば、演習の効率を改善することが期待できる。

TSPの入門コースであるTSPiには、サポートツールがあるが、機能や操作性の面で、演習作業を効率化するために十分役立っているとはいえない。PSPとTSPを、ソフトウェアコンストラクションのアクティビティと関連づけ、各作業の記録を、できるだけ自動的に収集する仕組みが望まれるところである。

このような仕組みは、統一プロセス[14]やXP[5]等のアジャイル開発プロセスでも役に立つと思われる。どのような開発プロセスを採用するにしろ、ソフトウェア開発者の能力改善のためには、過去のデータに基づいて計画を立て、個々の作業の記録を残し、計画と実績に対して事後分析を行うというPlan-Do-Seeのサイクルを回す必要があるからである。

### 2.4 教育用ソフトウェア開発環境の構想

本稿で提案する教育用ソフトウェア開発環境基盤は、ソフトウェアコンストラクションを中心としたソフトウェア開発の教育と、ある開発プロセスに沿ったチームによるソフトウェア開発の教育を効果的に行うことを目標にしている。本節では、この2つの観点から教育用ソフトウェア開発環境を考える。

#### ①ソフトウェアコンストラクションの教材

ソフトウェアコンストラクションは、どのような開発手法、開発プロセス、開発環境、言語を採用するかに関わらず利用できる実践的な能力（プラクティス）として習得すべき能力であるが、具体的な方法論としては事例ベースで行うのが良いと考える。抽象論では技術の本質を理解するのが困難だからである。

ソフトウェア開発に必要な能力・スキルを学習するための書籍や情報は多く存在し、選択に苦勞するほどである。コンストラクションに関わる様々な課題を効率良く学習するためには、開発の上流から下流まで

を一貫したテーマで、具体的な事例をベースにした教材を用意することが望ましい。本稿では、Java 言語によるオブジェクト指向でのソフトウェア開発を教育することにターゲットを絞り、ソフトウェア開発環境を教材とすることを提案する。上流工程の中でも、要求分析や要求定義に関しては、他の教育コースに任せ、コンストラクションに重点を置く。

ソフトウェア開発環境を教材にすれば、ソフトウェア開発環境自体の分析と開発作業の改善提案が要求分析フェーズの主たるアクティビティとなり、要求分析のアウトプットを比較的定義しやすくなる。設計以降の作業の比重が高く、性能や機能強化の改善課題も多く、コンストラクションの教育に適した教材であると考えられる。

## ②ソフトウェア開発プロセスを支援する開発基盤

チームによるソフトウェア開発を教育する枠組みとして PSP/TSP が有力な候補ではあるが、何らかのサポートツールが必要であることを前節で述べた。PSP/TSP サポートツールは、コンストラクションの一連の作業と関連付けて、データを記録し、それらを集計して分析できる機能が中心となる。これらのデータ収集の仕組みが教育用ソフトウェア開発環境の重要な要素になると考えられる。

ソフトウェア開発プロジェクトを構成する 3 大要素である組織とプロダクト、プロセスを、データ収集の観点で見直し、PSP/TSP 支援機能を実現するのが理想である。そのような支援機能の実現基盤として教育用ソフトウェア開発環境基盤を位置づけたい。

## 3. 教育用ソフトウェア開発環境基盤 Ash の概要

### 3.1 Ash の開発目的

Ash は Java 言語によるソフトウェア開発の教育用のソフトウェア開発環境である。Ash 開発の目的を以下に示す。

#### ①それ自身をソフトウェア開発の教材とする。

アーキテクチャレベルの設計（システムのモジュール分割）の教材として適度なサイズとする。またプログラミングレベルの教材としても利用できるものとする。

#### ②ソフトウェア開発プロセスの学習教材とする。

要求仕様の策定から上流設計、詳細設計、コーディング、テスト、出荷までの、一連のソフトウェア開発プロセスを経験できるものとする。また開発プロセスの中で開発の効率改善や自動化・半自動化を支援するツールの開発を経験できるようにする。

#### ③PSP と TSP の支援の実現基盤とする。

パーソナルソフトウェア開発プロセス（PSP）の方法論に基づき、開発者個人の各開発フェーズにおける作業記録を、作業時間と成果物の規模、成果物の品質と関連付けて、可能な限り自動的に収集できる仕組みを提供する。またチームソフトウェア開発プロセス（TSP）の支援機能を提供できる枠組みも視野に入れる。

#### ④高品質のソフトウェア開発の実例とする。

開発の上流である設計の初期段階から、品質を高めるためにどのような配慮が必要かを実例を通じて学べるものとする。またテストファーストによる、設計・コーディング・テストの下流工程の、作業を実体験できるものとする。

#### ⑤実用的にも十分利用できるものとする。

ソフトウェア開発の基本アクティビティを、既存のツールを利用しつつ、開発対象のソフトウェア特性に応じた支援ツールの新規開発が、比較的容易に行えるようにする。

## 3.2 Ash の機能構成

Ash の機能構成を表 1 に示し、概要を以下に述べる。

### ①コマンドラインインタフェース

コマンドラインから利用する Java の開発環境として、ファイル操作、テキスト処理、その他ソフトウェア開発で有効性が実証されている Unix ライクなコマンド群を提供し、これらコマンドを連結して拡張する機能を提供する。また Java 以外の言語で作成されたアプリケーションをコマンドとして利用できる仕組みを備える。

### ②GUI インタフェースをもつ開発ツール

他のツールに依存することなく、独立に開発をするために必要な基本機能として、コマンド実行用コンソール画面や、ビジュアルなテキストエディタを提供する。

### ③Java 用の開発ツール

Java によるソフトウェア開発をサポートする構成管理ツールやソースコード解析ツールを提供する。

### ④作業履歴の管理

コマンド実行の作業履歴を時間と共に管理する仕組みを提供する。

### ⑤リポジトリ管理

各種ドキュメントやソースファイルなどの成果物を階層的に管理する仕組みを提供する。

### ⑥スクリプト言語

コマンド拡張用の簡易言語を提供する。

表 1 Ash 機能構成

| ◆1 基本機能               |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| 1.1 コマンドラインインタフェース    |                              |
| • シェル言語               | command.ash param...         |
| • パイプ&フィルタによるコマンドの連結実 | cmd1 < file1   cmd2 > file2  |
| • リダイレクション            | < > >> >! >% >>% >!%         |
| • コマンドログの生成とコマンド履歴機能  |                              |
| 1.2 GUIインタフェース        |                              |
| • コンソール画面             | AshConsole                   |
| • コマンドラインツールのGUI化     | AshGUIGrep                   |
| • ビジュアルテキストエディタ       | ved                          |
| ◆2 コマンド実行             |                              |
| 2.1 組込みコマンド           |                              |
| • 実行環境情報の表示           |                              |
| 環境変数の表示               | printenv                     |
| プロパティの表示              | printprop                    |
| コマンドの実行履歴の表示          | history                      |
| • ファイルシステム関連操作        |                              |
| カレントディレクトリの移動または表示    | cd                           |
| ホームディレクトリの変更          | sethome                      |
| ディレクトリの作成             | mkdir                        |
| ファイルの移動と名前の変更         | mv                           |
| ファイルのコピー              | cp                           |
| ファイルの削除               | rm                           |
| • その他の組込みコマンド         |                              |
| 日時の表示                 | date                         |
| 時間の計測                 | time                         |
| 実行の休止                 | sleep                        |
| GCの実行                 | gc                           |
| 2.2 コマンドフレームを拡張したコマンド |                              |
| • ファイルシステム関連操作        |                              |
| ファイル一覧の表示             | ls                           |
| ディレクトリの木構造の表示         | tree                         |
| ファイルの最終更新日時を変更        | touch                        |
| ファイル・ディレクトリの検索        | find                         |
| • テキストファイルの操作         |                              |
| ファイルの連結と行番号表示         | cat                          |
| 正規表現による文字列検索          | grep                         |
| ワードカウント               | wc                           |
| 依存情報に基づくコマンドの自動実行     | make                         |
| 2つのファイルの差分出力          | diff                         |
| ラインエディタ               | ed                           |
| 文字列の置換                | gsub                         |
| 漢字コードの変換              | nkf                          |
| ビジュアルテキストエディタ         | ved                          |
| テキストファイルの印刷           | print                        |
| グラフ構造の処理              | gtool                        |
| • インターネットアクセス         |                              |
| HTMLファイルの取得           | getur                        |
| JPEGファイルの取得と表示        | jpeg                         |
| • OSコマンドの呼び出し         |                              |
| OSアプリの実行              | java, javac, javap, javadoc, |
|                       | gawk                         |
| • その他                 |                              |
| 文字列の表示                | echo                         |
| 標準入力ファイルへの保存          | tee                          |
| トークンの切り出し             | token                        |
| ファイルの圧縮・解凍            | gzip, zip                    |
| 2.3 Javaアプリケーション      |                              |
| • Javaアプリケーションの起動     | invoke                       |
| • シェルスクリプトの実行         | source                       |
| • OS提供のアプリケーションの起動    | exec, :                      |
| • ファイル同期ツール           | filesync                     |

### 3.3 Ash のアーキテクチャ

Ash のアーキテクチャ設計の目標を以下に示す。

- ① コマンドを柔軟に組み合わせることで拡張したコマンドを実現できる。
- ② Java 言語による独自のツール (コマンド) の開発が容易に行える。
- ③ 異なるプログラミング言語やオペレーティングシステム (OS) 環境で提供される既存のツールを柔軟に連結できる。

- ④ コマンドラインの文字インタフェース (CUI) とグラフィカルユーザインタフェース (GUI) の共存が無理なく行える。
- ⑤ 資産管理機能のベースとなるファイル操作機能を充実させる。

これらの設計目標を達成するためのアーキテクチャとして、以下の構成をとることとした。

#### ① パイプ&フィルタアーキテクチャ

Unix ライクなパイプ&フィルタアーキテクチャを基本構造とする。パイプ&フィルタアーキテクチャのユーザ終端インタフェースとして、既存の端末画面の他に、独自のコンソール画面を提供する。

#### ② コマンド実現のためのフレームワークの提供

フィルタ系のコマンドの開発を容易化するためのフレームワークを提供する。このフレームワークは、デザインパターンにおけるテンプレートパターンを階層的に適用し、コマンドオプションの処理や、ファイル入出力・標準入出力の処理を行うものである。ディレクトリツリーの操作機能としてワイルドカード文字や正規表現によるパス指定もこのフレームワークの中で処理する。

#### ③ OS コマンドを呼び出す汎用的な仕組みの提供

OS 上で実行する各種コマンドアプリケーションを一つのコマンドとして抽象化する仕組みとして、上記のコマンド・フレームワークの中に、OS のプロセスを実行するクラスを提供する。

#### ④ 動的なコマンド呼び出し

Java のリフレクション機能を利用して、動的なコマンド呼び出しの仕組みを提供する。

#### ⑤ GUI 系のコマンドとの連携

GUI 系のコマンドもコマンド・フレームワークの枠組みで実装できるようにした。実装例として簡易なテキストエディタを示した。コマンドラインから実行するコマンドに対して GUI でオプションを指定する実装例を示し、簡易な実現が可能であることを例示した。

このアーキテクチャを実現するためのフレームワークのクラス階層を図 1 に示す。図 1 には、表 1 に示した各機能がどのクラスで実現されているかも示している。

この中で、アーキテクチャの特徴を示すクラス間関係を UML のクラス図で表したものを図 2 に示す。図 2 において、大部分のクラスは framework パッケージに含まれる。



個々のコマンドは、AshCommand, AshFilter, または AshConverter のいずれかのクラスを拡張して実現される。これら3つのクラスはデザインパターンにおけるテンプレートパターンを適用している。この図には、AshConverter を拡張した AshSubstitute クラスと AshFilter を拡張した AshTEdit クラスが含まれているが、これらのクラスは、それぞれ command パッケージと gui パッケージに含まれるクラスである。

アーキテクチャの要のクラスは、図の中央左上の AshPrimitive クラスである。これは、クラス図において AshPrimitive が他のクラスとの依存関係を最も多くもっていることから分かる。AshPrimitive は、種々の形態のコマンドの実装方法を抽象化する仕組みを提供している。サポートしている実装方法は、OS プロセス、Java アプリケーション、Ash スクリプト、Java クラスのメソッド、および AshCommand の派生クラスとして実現されたコマンドである。これら多様な実装形態をもつコマンドを、AshExec, AshMethod, AshInvoke, AshScript, AshPipe の各クラスを使って、実行を制御しているのである。



図1 Ash フレームワークを構成する主要クラス

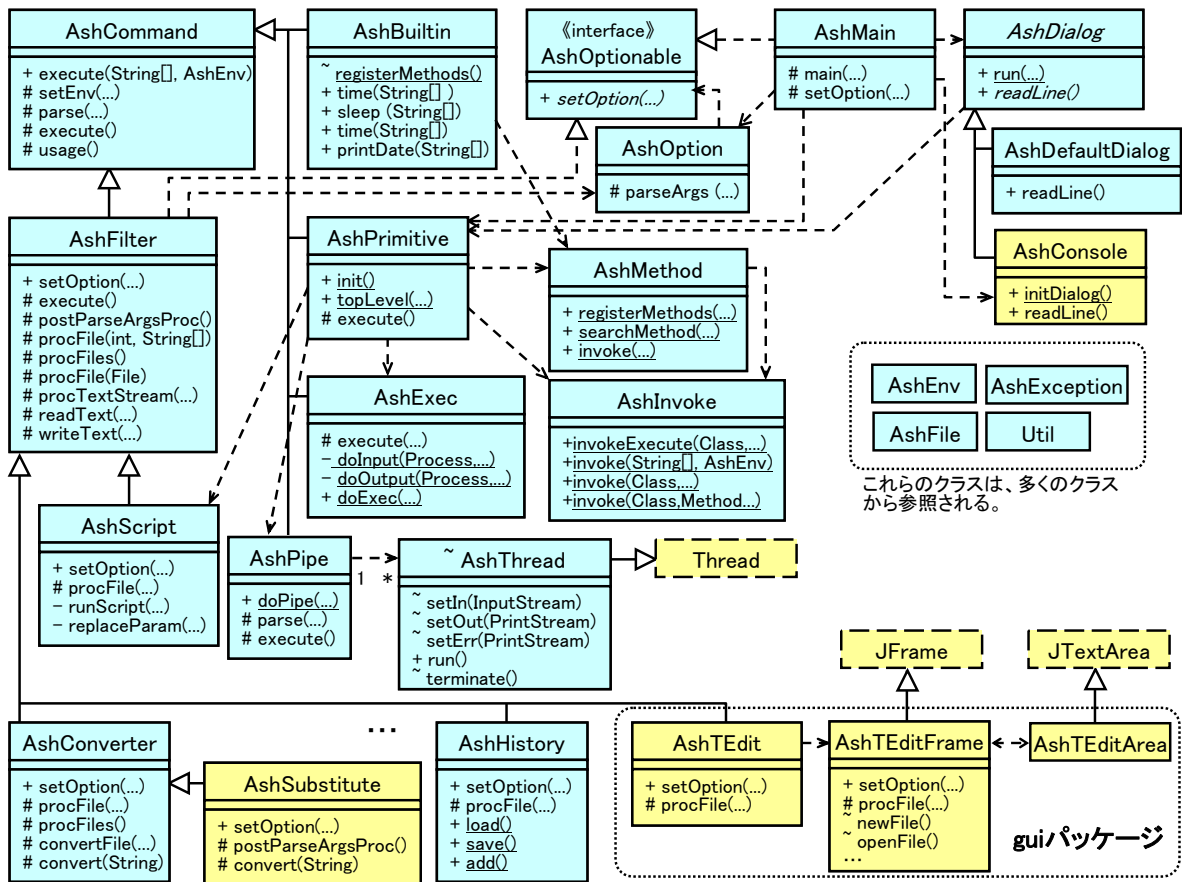


図2 Ash アーキテクチャの特徴を表すクラス図

いくつかのクラスについて、内部処理の概要を述べる。

①パイプの実装

パイプの処理は、AshPipe クラスと AshThread クラスで行う。オブジェクト間関係と動作の概要を図3に示す。AshPipe は AshCommand の拡張クラスであり、動作環境として標準入出力をもつ。パイプで連結された先頭のコマンドに標準入力を与え、最後のコマンドから標準出力を得る。AshPipe は、リダイレクション(標準入出力の処理をファイルに振り向ける処理)も行っている。

"command-1 | command-2 | ... | command-n" の各コマンドは、それぞれ異なるスレッド th1, th2, ... thn により実行される。AshPipe#parse(String[] args)メソッドが各コマンドの処理を行う AshThread オブジェクトを生成し、AshPipe#execute()メソッドが、各スレッドの起動と終了の待ち合わせ処理を行う。

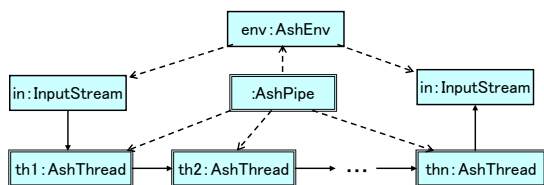


図3 AshPipe クラスによるパイプの実現

②外部プロセスの実行

OS のプロセスの実行は AshExec クラスが行う。AshExec クラス内での実現方式を図4に示す。AshExec も AshCommand の拡張クラスであり、動作環境として標準入出力をもつ。AshExec の execute()メソッドは、OS プロセスを生成し、このプロセスに標準入力を与え、かつこのプロセスから標準出力を受け取る処理を行う。

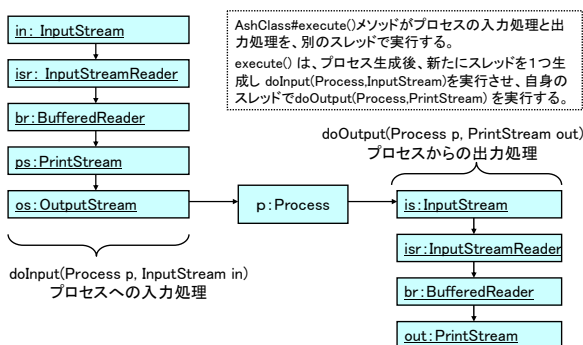


図4 AshExec クラスによる外部プロセスの実行

3.4 使用例

Ash の実行形式は、jar 形式にまとめている。Windows 環境では、該当する jar ファイルをクリックすることにより、コンソール画面が立ち上がる。コンソール画面から、画面左下に、ソースプログラムをビジュアルテキス

トエディタ(ved)で開き、さらに Grep を実行する GUI 画面から、Grep の結果を ved で画面右下に表示した際のウィンドウ状態を図5に示す。

コンソール画面の上部には各種コマンドを実行するボタンが配置されている。その下方部分に、コマンド入力用のテキストフィールドと、コマンドラインからのコマンド入力、実行、結果表示を行うためのテキストエリアがある。

現状では、それぞれが別々のウィンドウに分かれているが、これらを統合する、仕組みを今後検討していきたい。

GUI 画面から Grep を実行するプログラムは、CUI ベースのコマンドを GUI 化する例として示した。このプログラムのソースコードは 86 行であった。コマンド仕様から、ほぼ機械的にコーディングできるプログラムであり、簡易な記述方式を今後検討していきたい。

4. おわりに

本稿では、実践的なソフトウェア開発の教育用のソフトウェア開発環境について考察し、そのベースラインとなるソフトウェア開発環境基盤 Ash の概要を示した。

報告時点の Ash のパッケージ構成とファイルおよび行数のデータを表2に示す。全体の規模は、フレームワーク部分が約 2KL, コマンド系が約 3KL, コンソール画面とビジュアルテキストエディタなどの GUI ツール系が、約 1.5KL, GUI をもつファイル管理ツールその他で約 1.5KL, 全体で 8KL (いずれもコメント, 空白行を含まない行数) 程度である。

表2 Ash のパッケージ構成とソフトウェア規模

| No. | 行数    | 有効行   | 空白行 | コメント  | ファイル数 | ディレクトリ名              |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|----------------------|
| 1   | 22    | 22    | 0   | 0     | 1     | src                  |
| 2   | 51    | 47    | 1   | 3     | 1     | src/ash              |
| 3   | 1,980 | 1,773 | 53  | 154   | 21    | src/ash/command      |
| 4   | 868   | 788   | 34  | 46    | 3     | src/ash/command/diff |
| 5   | 646   | 546   | 18  | 82    | 3     | src/ash/command/make |
| 6   | 2,830 | 2,181 | 101 | 548   | 22    | src/ash/framework    |
| 7   | 509   | 406   | 30  | 73    | 3     | src/ash/gui          |
| 8   | 1,257 | 1,095 | 53  | 109   | 5     | src/ash/gui/editor   |
| 9   | 533   | 469   | 15  | 49    | 4     | src/ash/util         |
| 10  | 836   | 747   | 54  | 35    | 3     | src/filesync         |
|     | 9,532 | 8,074 | 359 | 1,099 | 66    | SYSTEM TOTAL         |

これはソースリーディングの教材としても適度なサイズと考えられる。これまでのソフトウェア開発の教育において、ある程度の規模のプログラムを読む訓練を体系的に行うことはあまりなかったように思われる。1つの言語を使いこなし、実践的なソフトウェア開発のスキルを体得するために、ソースリーディングは最も基本的な素養として認識され、ソースリーディングに関する書籍も出版されるようになった[12][13]。Java プログラミン

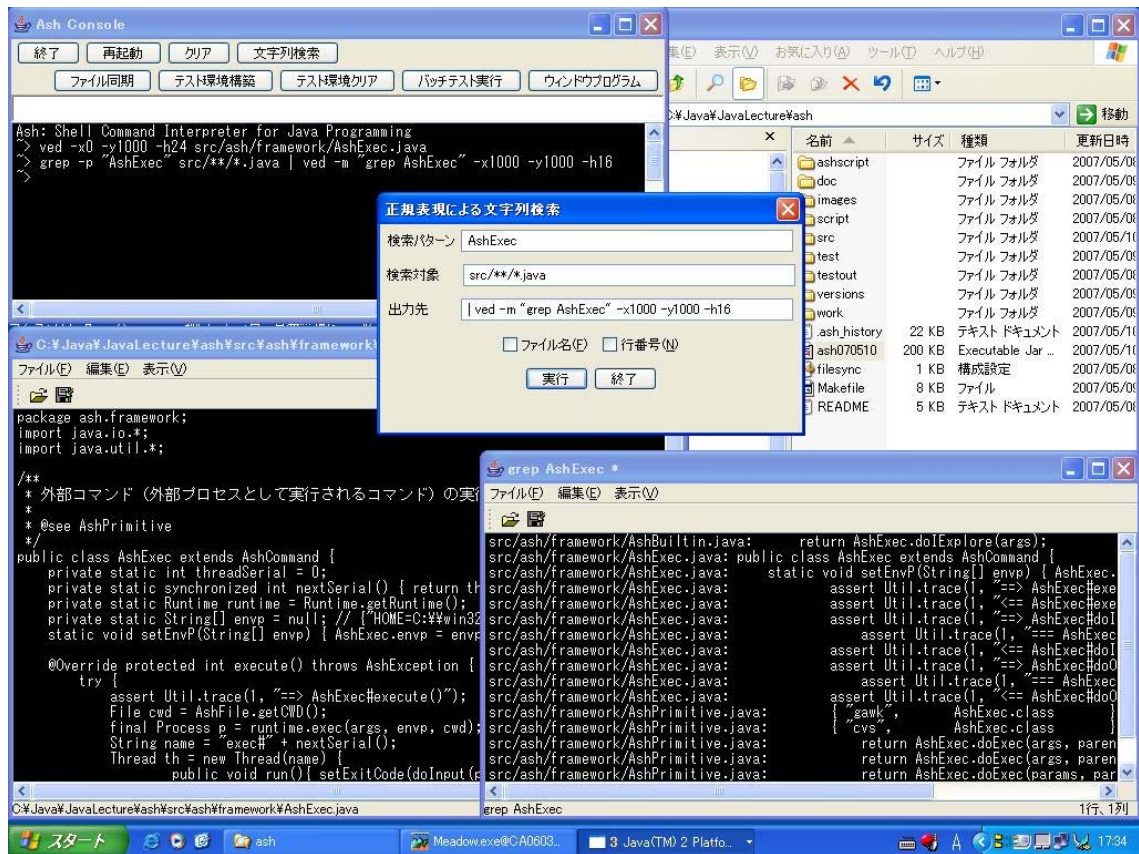


図 5 Ash 実行時の画面例

の学習用として、様々な言語機能とクラスライブラリの使用例を多く含む、適度なサイズのソフトウェアシステムはソフトウェア開発の生きた教材として、有用である。Ash のフレームワークと、いくつかのコマンドのプログラムは、ソースリーディングの教材として、またアーキテクチャ設計やクラス設計レベルのオブジェクト指向開発の事例として利用できると考えている。

本稿では、チームソフトウェア開発を教育するための支援ツールとして PSP/TSP サポートツールの必要性について述べた。現在の Ash はソフトウェアコンストラクションの教材として利用できるレベルにはあるが、PSP/TSP サポートツールの実現基盤とするためには、チーム編成、成果物管理、開発プロセスの編成管理等の枠組みを提供する必要がある。また、開発における作業時間の記録と集計、および開発成果物の規模の集計を、作業員・成果物・作業項目と関連付けて、作業員に負担を感じさせることなく行える仕組みが必要であろう。

本稿で説明したソフトウェア開発環境基盤が、上流から下流にかけてのソフトウェアコンストラクション、開発プロジェクトの特性に応じて設計すべき開発プロセス、チームによるソフトウェア開発など、様々な観点からソフトウェア開発の教育を行う際の教材として有効に活用できるものにするために、継続的に改善していきたい。

## 参考文献

- [1] Steve McConnell, "CODE COMPLETE -完全なプログラミングを目指して- 第2版 (上/下)," (株) クイープ訳, 日経 BP ソフトプレス, 2005.
- [2] ワッツ S. ハンフリー, "パーソナルソフトウェアプロセス入門," PSP ネットワーク訳, 共立出版, 2001.
- [3] ワッツ S. ハンフリー, "チームソフトウェア開発ガイド," 岡真由美訳, コンピュータエージ社, 2002.
- [4] アリスター・コバーン, "アジャイルソフトウェア開発," 長瀬嘉秀, 今野睦監訳, テクノロジックアート訳, ピアノン・エデュケーション社, 2002.
- [5] ケント・ベック, "XP エクストリーム・プログラミング入門 : ソフトウェア開発の究極の手法," 長瀬嘉秀監訳, 永田渉・飯塚麻里香訳, ピアノン・エデュケーション社, 2000.
- [6] Roger S. Pressman, "実践ソフトウェア工学," 飯塚悦功他監訳, 東芝 S&S 研究会訳, 日科技連, 2000.
- [7] ハリー・ベーム/リチャード・ターナー, "アジャイルと規律 ソフトウェア開発を成功させる2つの鍵のバランス," 河野正幸他訳, 日経 BP 社, 2004.

- [8] J.マイヤー他, "ソフトウェア・テストの技法 第2版," 長尾 真 監訳, 松尾 正信 訳, 近代科学社, 2006.
- [9] Brian W.Kernighan and Rob Pike, "プログラミング作法," 福崎 俊博 訳, 株式会社アスキー, 2000.
- [10] Erich Gamma 他, "オブジェクト指向における再利用のためのデザインパターン," 本位田真一他監訳, ソフトバンク (株) , 1995.
- [11] デビット・トーマス他, "達人プログラマー," 長瀬 嘉秀 訳, 株式会社アスキー, 2005.
- [12] Diomidis Spinellis, "コード・リーディング, オープンソースから学ぶソフトウェア開発技法," トップスタジオ訳, 鶺鴒, 他監訳, 毎日コミュニケーションズ, 2004.
- [13] 佐藤匡剛, "ソースコードリーディングから学ぶ Java の設計と実装," 技術評論社, 2006.
- [14] Ivar Jacobson 他 , "The Unified Software Development Process," Addison-Wesley, 1999.



# 疎結合プログラム開発環境の通信路に関する一検討

長尾 雄行\*・小山 裕司\*\*

## An Investigation of the Transport Layer of Loosely Coupled Program Development Environment

Takeyuki Nagao\* and Hiroshi Koyama\*\*

### Abstract

LC-IDE (Loosely Coupled Integrated Development Environment) is a distributed program development environment where programmers can connect many editors, compilers, and/or test-applications on different machines over the Internet to build high-quality software. It has the advantage that a single programmer can execute many tests on different machines all at once. When the file-alteration-monitor agent of LC-IDE detects a change in the source file repository, it emits a signal to the test agents, and the agents execute tests on the host where they are running. In our former work, we proposed and gave an implementation of LC-IDE by using P2P network. In this paper, we focus on the signaling mechanism of LC-IDE and design a new one-to-many signaling mechanism over HTTP requests where a client periodically sends an HTTP polling request to a "core agent," who manages signals and delivers them to all the interested client agents. Wait-free implementation of the signaling machinery is given by using compare-and-store technique.

Keywords: Distributed Systems, Integrated Development Environment, Web Services, Concurrent Systems, Wait-Free

### 1. はじめに

ソフトウェア開発の現場では、統合開発環境 (Integrated Development Environment, IDE) を利用してソフトウェアのコーディングを行い、プログラムのテスト・デバッグ・ドキュメントの作成などを行う。オープンソースのものから商用のものまで、さまざまなプログラミング言語に対応した IDE が開発され、実用化されている。

筆者たちは[1]において IDE の構成要素をエージェント化して P2P オーバーレイネットワークを利用して接続するという、疎結合化手法を提案した。この手法により、IDE の構成要素の分散化が容易となり、複数のテスト工程を多数のホストで自動実行できるため、プログラマー一人当たりの生産性を向上させる効果がある、という成果を得た。

本稿では、[1]においては取り扱いが不十分であった、エージェント間の通信に関して、P2P ネットワークではなく、HTTP によるプル型の情報送信によってエージェント間を効率よく接続する方法について考察する。

### 2. LC-IDE とその概要

本稿では、[1]によって得られた疎結合の統合環境を LC-IDE (Loosely Coupled Integrated Development Environment, LC-IDE) と呼ぶことにする。LC-IDE の設計思想は、IDE をできるだけ単純な構成要素に分割して、構成要素間を可能な限り単純な通信路によって結ぶことでスケーラビリティの高い IDE を設計するという点にある。

LC-IDE と従来の IDE とでは設計思想に起因して、以下の点が異なっている。

- (A1) LC-IDE では構成要素をネットワーク上に分散配置することが簡単
- (A2) 各構成要素は単純化されているため、実装が容易
- (A3) 新しい処理系を追加するための敷居が低い
- (A4) 複数のテストを複数のホストで同時に実施して、実行結果を単一のソフトウェア (情報表示エージェント) で確認できる

#### 2.1 LC-IDE の構成要素

LC-IDE は以下の構成要素から成り立つ。本稿ではエージェント間の仲介とシグナル送受信を担当する(B6)の

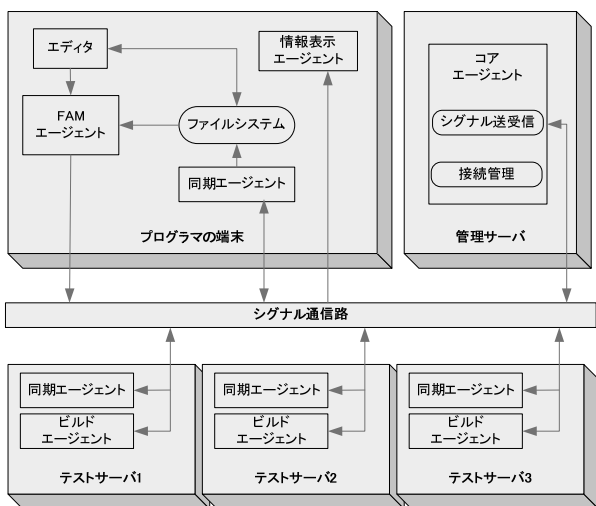


図1 LC-IDEにおけるエージェント間の接続概念図

コアエージェントを追加した。

#### (B1) エディタ

プログラマがソースコードの編集を行う通常のエディタに LC-IDE 用のフックを搭載したもの。フックは、ファイルの保存完了を検出して FAM エージェントにシグナルを送信するために利用する。

#### (B2) FAM エージェント

FAM とは File-Alteration-Monitor の略である。(OS の FAM 機能などを元に) ファイルシステムを監視して変化があった場合に他のエージェントに変更状況をシグナルにより通知する。

#### (B3) 情報表示エージェント

プログラマが作業中に必要とする情報を表示するエージェントである。現在の設計で表示される情報は、他のエージェントからのログメッセージである。

#### (B4) ビルドエージェント

他のエージェントからのシグナルを契機として、ソースコードのコンパイルおよびテストを実施する。実行の結果(成功・失敗)をシグナルとして通信路に送信する。実行の途中経過などをログ情報として情報収集エージェントに送信する。

#### (B5) 同期エージェント

複数のホストでソースコードの同期を行うエージェント。他のエージェントからのシグナルを契機としてソースツリーの同期を実施する。

#### (B6) コアエージェント

エージェントを識別するための ID 管理とエージェント間での 1 対多のメッセージ交換を実現するためのエージェント。LC-IDE 上に一つだけ存在する。HTTP サーバ機能を有する。他のエージェントから定期的にポーリング用の HTTP リクエストを受け付ける。コアエージェ

ントから他のエージェントへの情報配信はこのポーリングを利用したプッシュ型とする。

## 2.2 LC-IDE の接続概念図

LC-IDE でのエージェントの接続の様子を図 1 に示す。この図でのシグナル通信路は、[1]においては JXTA を利用した P2P ネットワークであったが、今回はこの部分を HTTP に変更することを検討する。そのために、(B6) のコアエージェントを導入する。

## 3. エージェント間の通信

LC-IDE でのエージェント間通信を次の 3 種類に大別して議論を進める。特に、本稿で取り扱うのは(C1)に限定する。(C2)や(C3)については今後の研究課題とする。

### (C1) イベント通知用の短いメッセージの交換

たとえば、FAM エージェントがファイルの変更を検出した際に、他のエージェントにソースツリーが変更されたという事実を伝える際に利用するシグナル。

### (C2) ホスト間でのログ出力の交換・共有

LC-IDE では複数のホストで多数のエージェントが稼動する。それらのエージェントのログ出力を管理・共有する仕組みが必要である。

### (C3) ファイルなど、その他のデータ交換

ソースツリーの同期やバージョン管理にかかわるデータの交換などが本項目に該当する。本稿でも[1]にしたがって、rsync や svn などの既存のソフトウェアを利用して本項目に該当するデータを交換する。

### 3.1 インターネット経由でのシグナル交換

LC-IDE では、インターネットを介して複数のホストを接続し、一人のプログラマが複数のホストで同時に多数のビルドエージェントを稼動させ、多数のテストを同時に実施する。情報収集エージェントはそれらのテストのログ出力を集約し、集約結果をプログラマの作業端末上にリアルタイムに表示する。

そのためには、複数のホストをインターネット経由で接続して前述の(C1)―(C3)の情報交換を行う必要がある。本稿では、議論を(C1)に限定し、インターネットインフラとして最も普及している HTTP を利用する。

### 3.2 LC-IDE でのシグナル

以下では(C1)に該当するメッセージをシグナルと呼ぶことにする。シグナルとは次の仕様を満たすオブジェクトである。

(D1) コアエージェントがライフサイクルを管理する

(D2) シグナルの識別は URI (識別 URI) で行う

```

struct {
  int32_t state;
  int32_t atime;
  char uri [MAX_URI_LEN+1];
} agents[MAX_AGENTS];

struct {
  int32_t state;
  int32_t owner_agent_id;
  char uri [MAX_URI_LEN+1];
  int32_t dirty_flags[MAX_SIGNALS];
} signals[MAX_SIGNALS];

```

図 2 agents[] と signals[] の定義

- (D3) エージェントは任意の識別 URI を指定してシグナルの登録を行うことができる (URI の重複は許さない)
- (D4) シグナルの状態は ON と OFF の 2 値
- (D5) シグナルの状態を操作できるのはシグナルを生成したエージェントのみ
- (D6) すべてのエージェントは識別 URI を指定して、当該識別 URI を持つシグナルの状態を読み出すことができる

### 3.2 HTTP 経由のシグナル管理

コアエージェントは HTTP サーバの機能を持つものとする。シグナルの登録・状態変更・状態照会を行うエージェントは、コアエージェントに対して適切な HTTP リクエストを生成してこれらの操作を実行する。特に、各エージェントはシグナルの状態変更を検出するために、定期的にコアエージェントに対して HTTP リクエストを生成してポーリングを行う。

非常に多数のエージェントが同時に一つのシグナルに対する操作を行うことを想定し、HTTP サーバでのリクエスト処理は排他処理のためのロック (スピンロックなど) を行わず、wait-free [2, 3] であることが望ましい。また、頻繁にポーリングを実施すると TCP のハンドシェイクとポート・ソケットの open・close に無駄が多いため、HTTP/1.1 [4] の Keep-Alive を利用するのがよい。

### 3.3 ポーリングによる負荷の解決策

定期的に HTTP によるポーリングを行うと、コアエージェントへの負荷が大きくなるのが当然予想される。現在のさまざまな HTTP サーバの性能を総合して考えると、秒間数万回のポーリングに耐えうるシグナル処理機構を備えたコアエージェントを実装することが可能であると予想する。事実、Linux カーネルのサブシステムとして開発されている RedHat Content Accelerator

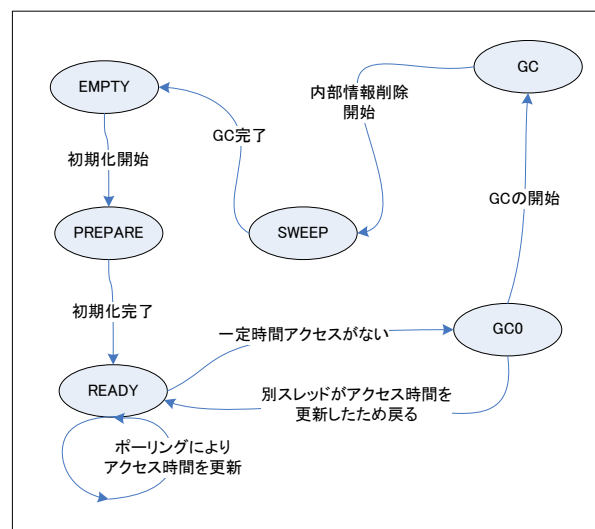


図 3 エージェントの状態遷移

(RHCA) [5] を利用することで、単一のサーバで単純な動的コンテンツを Keep-Alive なしで秒間数万回配信することが比較的容易に実現可能である。RHCA を利用することで、1,000 程度のエージェントが秒間 10 回程度のポーリングを定期的に行っても問題なく動作するコアエージェントを実装することが可能であると予想する。

### 3.4 wait-free のリクエスト処理

HTTP 接続で複数のエージェントからの処理を同時並行に実施するためには、リクエスト処理が wait-free であることが望ましい。本稿では、処理系に用意されている Compare-And-Store (CAS) を活用して wait-free の実装を実現する。

wait-free はスピンロックなどのロックを利用せず、一定回数の演算で処理が完了することを意味する。コアエージェントに HTTP で接続してきた別のエージェントがコアエージェント上でスピンロックなどを取得するのは現実的な方法とは言えない。たとえば、ロックの取得中にコネクションが切断された場合などに対処することが難しい。そこで我々は CAS を利用した wait-free の設計と実装を行う。

## 4. コアエージェントの設計

本節ではコアエージェントの設計について考察する。コアエージェントはシグナル管理とエージェントの接続管理を行う。コアエージェントが一つのエージェントからのシグナル送信を保存して複数のエージェントに送信する点が重要である。HTTP を利用するので、コアエージェントから他のエージェントへと情報を送信する方法



はプル型であることに留意する。

#### 4.1 HTTPによるポーリングを利用した接続管理

コアエージェントは、以下の仕様でエージェント間通信の接続管理を行う。

- (E1) (HTTPD 機能) コアエージェントは HTTP サーバ機能を持つ。
- (E2) (接続) コアエージェント以外のエージェント (以下, コアエージェント以外のエージェントを単にエージェントと呼ぶ) は初期化時にコアエージェントに対して HTTP リクエストを行い, エージェント ID の割当を受ける。
- (E3) (ポーリング) エージェントは一定間隔でコアエージェントに対してポーリングを行う。ポーリングは HTTP リクエストによって行う。
- (E4) (切断) コアエージェントは一定期間ポーリングを行わないエージェントのエージェント ID を無効化する。エージェント ID が無効となったエージェントは(E2)の接続を再度行うまでコアエージェントには接続できない。

#### 4.2 シグナル管理

コアエージェントでのシグナル管理の仕様を以下に示す。

- (F1) コアエージェントは共有メモリ上に配列 `agents[]` と `signals[]` を持つ。その定義を図 2 に示す。
- (F2) `int32_t` は 32bit の符号付整数で, コアエージェントを記述する処理系において, 原子的 CAS (Compare and Store), 原子的代入, 原子的加算・減算が可能であると仮定する。
- (F3) エージェント ID を配列 `agents[]` の添字として管理する。エージェント ID が利用中かどうかの判定はエージェントの状態を保持する `state` 要素で判別する。
- (F4) エージェントの状態とその遷移の様子を図 3 に示す。詳細については後述する。エージェントの状態は `int32_t` として実装する。状態を保持する変数は `state` である。 `state` 変数が `int32_t` 型であり, (F2) の CAS が利用できる点が重要である。
- (F5) エージェントの状態遷移の際に CAS を利用する。CAS で状態遷移が行えない場合は, 別スレッドがすでに状態遷移を実施したことを意味する。したがって, 状態遷移が行えない場合には直ちに処理を中断して, 残りの HTTP レスポンスを生成する処理に移る。CAS を利用することで `wait-free` な実装が可能である。

```
void update_timestamp(int32_t aid)
{
    atomic_set32
        (&agents[aid].atime, now());
}

int agent_timeout(int32_t aid)
{
    int32_t t = atomic_get32
        (&agents[aid].atime);
    if (now() > t + TIMER1)
        return 1;
    return 0;
}
```

図 4 エージェントのタイムスタンプ管理

#### 4.3 エージェントの状態と状態遷移

- (G1) 《EMPTY》当該エージェント ID のエージェントは存在しないことを表す。これが初期状態である。コアエージェントは, EMPTY 状態のエージェントを見つけることでエージェント ID の割当を行う。エージェントは GC (Garbage Collection) により開放された場合に, EMPTY 状態へと遷移して再び割当可能な状態となる。
- (G2) 《PREPARE》当該エージェントが初期化中であることを示す。初期化の開始時に他のスレッドからの同時書き込みを隔離するために利用。
- (G3) 《READY》当該エージェントが有効な状態にあることを示す。エージェントの初期化が完了した時点でこの状態に遷移する。コアエージェントがクライアントからのポーリングを受け付けるのはこの状態のみである。クライアントからのポーリングの度に, 図 3 の `update_timestamp()` 関数により当該エージェントのタイムスタンプを最新のものに更新する。なお, タイムスタンプの原点は, コアエージェントの開始時間とし, その精度は秒単位とし, `int32_t` 型で実装する。 `now()` はこの原点補正を行った現在時刻を取得する関数である。コアエージェントは一定時間アクセスがないエージェントに対して GC を行う。GC の契機となる条件を図 4 の `agent_timeout()` 関数に示す。
- (G4) 《GC0》当該エージェントが GC のためにタイムスタンプを確認中であることを示す。他のスレッドから `atime` 要素へのアクセスを隔離する目的で利用する。READY 状態にあるエージェントは一定時間アクセスがないとこの状態に遷移する。コアエージェントはクライアントを GC0 に移すと速やかに `agent_timeout()` を利用してタイムアウトを再確認する。結果が 1 であれば直ちに当該クライアント

```

void delete_signal (int32_t sid)
{
    atomic_set32(&signals[sid].state,
                STATE_GC);
}

void start_gc(int32_t aid)
{
    int i;
    for (i=0; i<MAX_SIGNALS; i++) {
        int32_t a = atomic_get32
            (&signals[i].agent_id);
        if (a == aid)
            delete_signal (i);
    }
}

```

図5 GCの際に実行される処理

をGC状態へと遷移させる。

(G5) 《GC》当該エージェントがGCの対象になっていることを示す。コアエージェントは定期的にagents配列を走査して、GC状態にあるクライアントに対してGCを行う。GCでは、signals[]のシグナルのうち、agent\_idが当該エージェントIDに等しいものを見つけ、当該signalをGC状態に遷移させる。

(G6) 《SWEEP》当該エージェントがGC処理中であり、signals[]配列の中身が消去中であることを表す。当該エージェントのGCが完了すると速やかにEMPTY状態へと遷移する。

#### 4.4 シグナルの状態

シグナルの状態はエージェントの状態のうちGC0を省略したものとする。シグナルに関してはタイムアウト処理を行わないので、GC0は必要ない。また、シグナルのGCの契機となるのは(G5)におけるエージェントのGCである。

### 5. プロトコル

本節では、エージェントの初期化とシグナルの登録・送信・受信の際のプロトコルを定義する。HTTPを利用するため、コアエージェントからエージェントへの情報送信はプル型であることに注意する。

#### 5.1 エージェントの初期化

エージェントは初期化の際にコアエージェントにHELOメッセージを送信する。エージェントからコアエージェントに渡されるパラメータはなし。応答の際に、エージェントはエージェントIDを受け取る(図6を参照)。

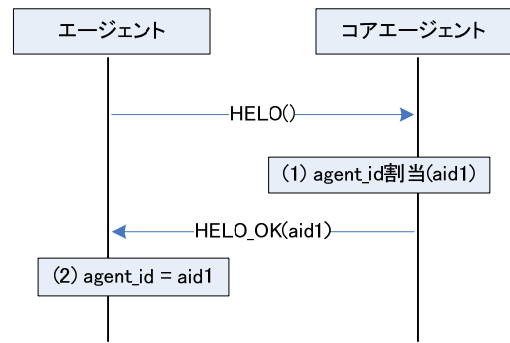


図6 初期化シーケンス

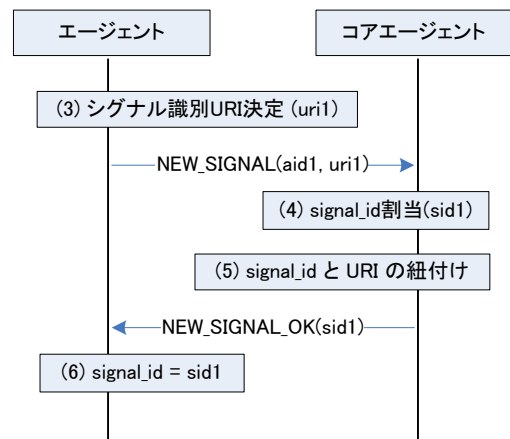


図7 シグナル登録シーケンス

#### 5.2 シグナルの登録

シグナルの登録前に、当該シグナルを識別するユニークな識別URIを何かしらの方法で決定しておく。エージェントはコアエージェントにNEW\_SIGNALメッセージを送信することでシグナルの作成を行う。NEW\_SIGNALは引数としてエージェントIDと新たに生成するシグナルにつける識別URIをとる。識別URIが他のシグナルで使われている場合にはエラーとし、応答メッセージNEW\_SIGNAL\_ERRを返す。エラーでない場合には、コアエージェントは新たにシグナルIDを割当て当該識別URIとの紐付けを行い、応答メッセージNEW\_SIGNAL\_OKを返す。NEW\_SIGNAL\_OKの引数として割り当てられたシグナルIDを送信する。

#### 5.3 シグナルの送信

シグナルの送信は当該シグナルを作成したエージェントのみから行える。シグナルの送信は、エージェントがFIREメッセージを送信することで行う。FIREメッセージの引数はエージェントID・シグナル識別URI・シグナル作成時に割り当てられたシグナルIDの3つである。コアエージェントはFIREメッセージを受信する

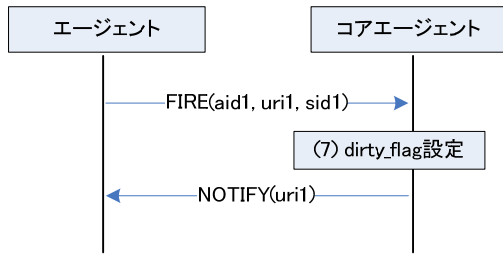


図 8 シグナル登録シーケンス

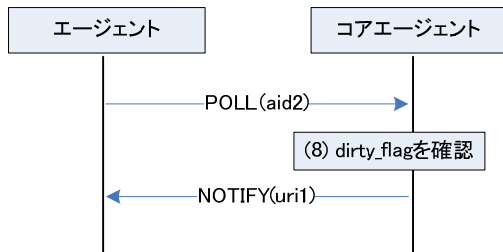


図 9 ポーリングのシーケンス

と、引数を元に送信者の認証を行う。認証に失敗した場合には `FIRE_ERR` メッセージを応答として返す。成功した場合には、`signals[]` 配列の当該シグナルに該当する要素について、`dirty_flag[i]` をすべて 1 で埋める。`dirty_flag[i]` は  $i$  番目のエージェントがシグナルをまだ受け取っていないとき 1、受け取ったとき 0 である。`dirty_flag` の操作は原子的代入演算で行う。引き続き、コアエージェントは `NOTIFY` メッセージを応答として返す。その引数は当該シグナルの識別 URI である。`NOTIFY` はコアエージェントからエージェントへのシグナルの通知を実装したものである。あるエージェントに `NOTIFY` 送る際に、原子的 CAS を利用して `dirty_flag` を 1 から 0 に変更する。変更失敗した場合には `NOTIFY` は行わず、`NOP` メッセージを返す。`NOP` メッセージは引数を取らない。エージェントは `NOP` メッセージを無視する。原子的 CAS に成功した場合には `NOTIFY` メッセージを返す。

#### 5.4 定期的ポーリング

エージェントはコアエージェントに対して定期的なポーリングを行う。ポーリングは `POLL` メッセージによって行う。`POLL` の引数はエージェント ID である。コアエージェントは `POLL` を受け取ると、`signal[]` 配列を走査して、当該エージェントに対して未配信のシグナルを探索する。シグナルの探索の際には 6.2 と同じ手順で原子的 CAS を利用して `dirty_flag` を変更する。`dirty_flag` の値が 1 から 0 にできた場合には 6.2 と同じく `NOTIFY` メッセージを送信する。そうでない場

合には `NOP` を返す。

## 6. おわりに

本稿では、コアエージェントとシグナルの設計とシグナル処理のためのプロトコルを与えた。本稿の結果により HTTP プロトコル上で 1 対多のシグナル送信を効率よく行うことができるようになると思われる。しかし、これらの結果はまだ設計段階にあり、実装と動作検証については今後の課題である。主な課題を挙げておく。

- (H1) RHCA と CAS を利用してマルチスレッドで wait-free なシグナル処理機構が本当に実現できるかどうかを検証する必要がある。
- (H2) 本稿で与えたシグナル処理機構がどのような転送速度・処理能力が得られるかを実験により評価する。
- (H3) エージェントとシグナルの管理に利用するデータ構造の最適化（配列を使うと `MAX_AGENTS` と `MAX_SIGNALS` が大きくなると負荷が高くなりすぎる）。
- (H4) 現在は、シグナルはすべてのエージェントに通知するモデルを採っているが、IP マルチキャストのように送信先のグループを作成できるようにすべき。
- (H5) コアエージェントを複数利用して高可用性とスケラビリティを実現する方法を考える。
- (H6) プロトコルの認証に関する検討を実施する。HTTP クッキーによる認証などを検討する。
- (H7) ログの収集方法について検討を行う。HTTP を利用してログを収集する方法を検討する。

## 参考文献

- [1] 長尾雄行, 小山裕司 “JXTA を利用した P2P による分散開発環境,” 実践女子大学人間社会学部紀要, No. 3, pp. 69—378, 2007.
- [2] Herlihy, M., “Wait-Free Synchronization,” ACM Transactions on Programming Languages and Systems, Vol. 13, Issue 1, pp.124—149, 1991.
- [3] M.P. Herlihy, J.E.B. Moss, “Lock-Free Garbage Collection for Multiprocessors,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 03, no. 3, pp. 304-311, May, 1992.
- [4] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach, T. Berners-Lee, Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1, RFC Editor, 1999
- [5] Red Hat Content Accelerator, <http://www.redhat.com/docs/manuals/tux/>.

# UML 表記からの RTOS カーネル機能の抽出と FPGA による実現

村越英樹\*・武田有志\*\*・片桐寛\*\*\*

## Extraction of RTOS Kernel Functions from UML and Implementation by FPGA

Hideki Murakoshi\*, Yuji Takeda\*\* and Hiroshi Katagiri\*\*\*

### Abstract

We propose a control unit generation system for embedded systems. The control unit generation system consists of Processor-Generator and Kernel-Generator, and generates HDL code for FPGA from application programs written in UML and C language. In this paper, we report the implementation of Kernel-Generator.

Keywords: Embedded System, Real Time Kernel, UML, FPGA

### 1. はじめに

私たちの身の回りでは、急速に情報技術化が進み、コンピュータ機器の普及率は年々増加している。中でも組込みシステムの需要は飛躍的に高まってきている。携帯型情報端末機器に始まり、家電製品、車載機器など私たちの普段の日常生活に欠かせない様々な製品に組込みシステムは用いられている。新しい製品は周期的に次々と発売されており、この製品サイクルの短縮化によって、開発者側には開発期間の短縮が求められている。しかしながら、技術革新、応用分野拡大に伴い、組込みシステムの制御プログラムのサイズは大規模化、複雑化してきており、開発期間の短縮が困難と言える。

この問題を解決するには、制御プログラムの再利用性を向上させることが1つの対処法として挙げられる。オブジェクト指向によるプログラミング手法によって、再利用性が高まると考えられる。しかしながら、組込みシステムの制御プログラムには、時間制約やOSごとに仕様の異なるシステムコールの記述が多く含まれるため、オブジェクト指向によるプログラミング手法による組込みシステムの制御プログラムの再利用性の向上は、開発途上である。

従来の開発手法では、図1(青線)のように既存のプロセッサを選定し、制御するリアルタイムOSを選定し、その上に制御プログラムを開発することで、組込みシステムの制御を実現してきた。この制御プログラムには、

OSの提供するシステムコールを記述しており、それはプラットフォームに依存した記述である。システムコールはプログラム内に多く記述されており、またそれはOSの仕様ごとに異なっているため、制御プログラムを流用する際にそれらの依存するコードのコーディング作業が必要となり、再利用することが困難であった。

そこで本研究では、アプリケーションプログラム(制御プログラム)をベースとして、OSの基本機能であるカーネルと、アプリケーションを実行するCPUをFPGA(Field Programmable Gate Array)上に生成することで、組込みシステムの制御ユニット生成することを試みる(図1赤線)。ここで提案するシステムは、カーネルジェネレータとプロセッサジェネレータから構成される。カーネルジェネレータは、UML表記とC言語で記述された制御プログラムを入力として、各タスク間での同期や排他制御のためのシステムコールを抽出し、FPGAに実装する。一方、プロセッサジェネレータは、制御プログラムをタスクへ分割し、各タスクを実現するためのCPUをFPGAに実装する[1]。

本稿では、UML表記とC言語で記述された制御プログラムを読み取り、RTOSの基本的な機能を抽出して、FPGA上に実現するカーネルジェネレータの実装について報告する。

Received on May 10, 2007

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

\*\*東京都立産業技術研究センター, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute

\*\*\*首都大学東京, Tokyo Metropolitan University

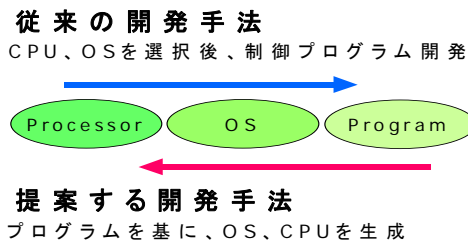


図1 制御プログラムの生成手順

## 2. カーネルジェネレータ概要

本研究で提案するシステムでは、制御プログラムと要求される応答性能に応じて最適な CPU およびカーネルの生成を行うため、制御プログラムに応じて自由にカスタマイズできる必要がある。そこで、柔軟性に優れ、再構成可能な FPGA を用いる。また、制御プログラムには特定のアーキテクチャに依存しないプログラム方法が求められる。そのため、制御プログラムは C 言語で記述した純粋なアルゴリズムと UML (Unified Modeling Language) [2][3]により記述する制約条件を分けて記述する。

カーネルジェネレータは、制御プログラムの制約、振る舞いを記述した UML を入力として、その制御プログラムを実現するための通信・同期機能を持ち、かつ、規模の小さいカーネルを生成するためのシステムである。ただし、UML はグラフィカルな言語であるため、そのままでは読み込んで解析することは困難である。そこで、UML を XML で表記することによってテキストベースの言語に変換する。この UML には、プラットフォームに依存した記述は含まれないため、他のシステムに流用する際に依存部分の書き換えが無いことから、制御プログラムを再利用することが容易になる。また、カーネルをハードウェアで実現することにより、カーネルを CPU と並列に動作させることが可能なためオーバーヘッドの削減に繋がる。

入力に用いる UML はシーケンス図、状態図、クラス図を使用する。状態図には、システム全体の状態、システムを構成するタスクごとの状態を記述する。シーケンス図には、システムの各状態に応じたタスク間の通信および時間制約を記述する。また、クラス図には、クラス同士の関係を記述する。一方、出力されるカーネルは HDL にて表されたハードウェアコードである。生成されたカーネルは FPGA 上に実装し、制御を実現する。

## 3. UML による制約条件の表記

組込みシステムにおける制約条件は、主に以下の 3 つであり、本システムにおいても以下の 3 つの制約条件を

取り扱うものとし、UML による記述方法を決定する。

### 1) 時間制約

ハードウェアの処理待ち等による時間制約。ただし、この時間制約は実行前に静的に求められるものを対象としている。

### 2) タスクの優先度

複数のタスクから同一のカーネルリソースに対してシステムコールが発行された場合に優先するタスクを決定するための優先度を設定する。

### 3) 同期・通信機能

タスク間のメッセージの送受信のための機能。これらの制約条件は、状態図およびシーケンス図を用いて表記する。

状態図 (図 2 参照) には、取りうるそれぞれの状態とその状態にあるときの振る舞い、状態遷移が起こる場合のイベントを記述する。状態図は制御プログラムを構成するタスクごとに記述し、またシステム全体を表した状態図を 1 つ記述する。

シーケンス図 (図 3 参照) は、システム全体を表した状態図における各状態ごとに記述する。シーケンス図のオブジェクト名はタスク名と統一し、クラス間でやり取りするメッセージ名は、状態図で表記されているイベント名と統一する。また、メッセージ送信後の待ち時間などの時間制約を記述する。

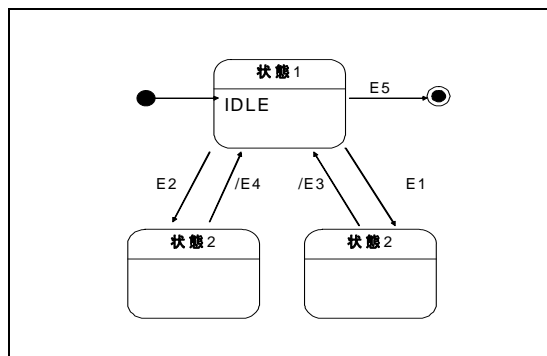


図2 状態図記述例

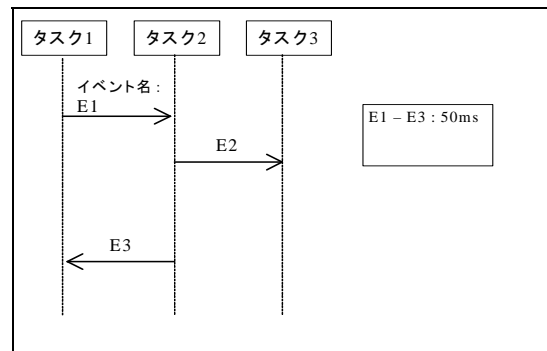


図3 シーケンス図記述例

#### 4. UML による制約条件の表記

カーネルジェネレータでは、入力された UML から、イベントフラグ、セマフォ、メッセージキューを抽出する。各機能の抽出方法を以下に示す。

##### 1) イベントフラグ

イベントフラグは、タスク間においてイベントの通知を行うために使用される。イベントフラグは、数ビットの幅を持ち、各ビットが1つのイベントに対応している。イベントを通知する側のタスクは、決められたビットに1をセットし、イベントの発生を通知される側のタスクは、決められたビットが1かどうかを確認する。生成されるカーネルにおけるイベントフラグは、複数タスクの待ち行列を持たない。この代わりとして、タスクの数だけイベントフラグを生成する。

図4では、タスク2はイベント1, 3, 4によって状態遷移が起きる。また、状態2においてイベント2を発信している。さらに、シーケンス図からタスク2のイベント3は外部から発信され、イベント2は外部へ発信していることがわかる。このような場合に、イベントフラグが必要と判断する。この例では、イベント3の受信、イベント2の送信にイベントフラグが必要となる。

##### 2) メッセージキュー

メッセージキューはタスク間でデータのやり取りを行うために使われる。イベントフラグでは、データの送

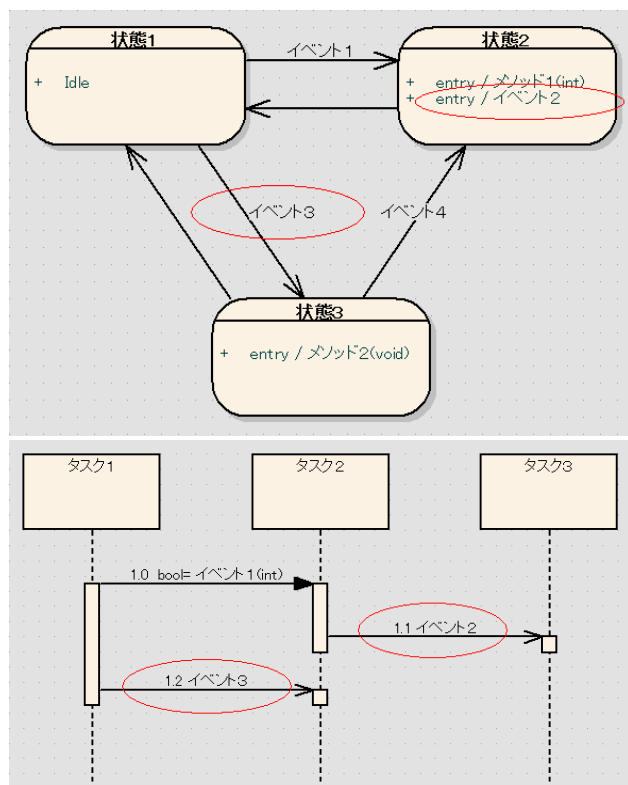


図4 イベントフラグの抽出

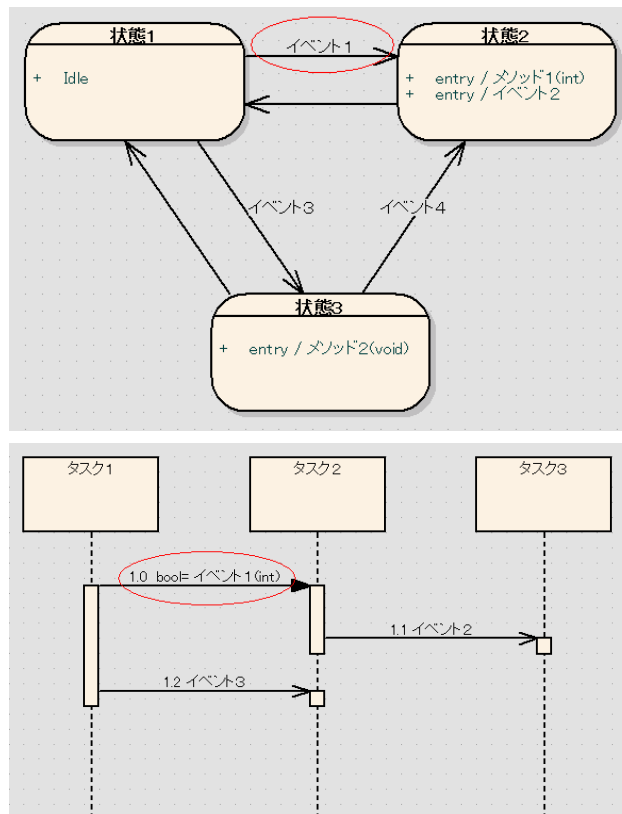


図5 メッセージキューの抽出

受信が行えないため、データを伴う通信の場合はメッセージキューが必要となる。メッセージキューを使用することで送信側のタスクと受信側タスクの独立性を保ったままデータの共有が可能となり、並列処理を行う場合には有効な手段といえる。

図5では、状態図からタスク2はイベント1が発生すると状態遷移が起こる。また、シーケンス図からイベント1は引数があるため、データが伴うイベントだとわかる。この場合、イベントフラグでは対応できないためメッセージキューが必要であると判断する。

##### 3) セマフォ

セマフォは、共有リソースへのアクセスを排他的に制限するために使用される。共有リソースへのアクセスに制限をかけないと、データの整合性が保たれなくなる危険性があるため、共有リソースへのアクセスが複数のタスクと重なる場合はセマフォによるアクセス制限は重要と言える。セマフォは中にカウント値を持っており、その値が0になるとタスクは共有リソースへのアクセスを制限される。共有リソース管理を行うタスクは、処理名の最初の文字列に明示的に書き込みの場合は”set\_”、読み込みの場合は”get\_”を明記する。

図6では、状態図からイベント2が発生するとデータの書き込みが、イベント3が発生するとデータの読み込みが要求される。このように、隣りあったメッセージが、

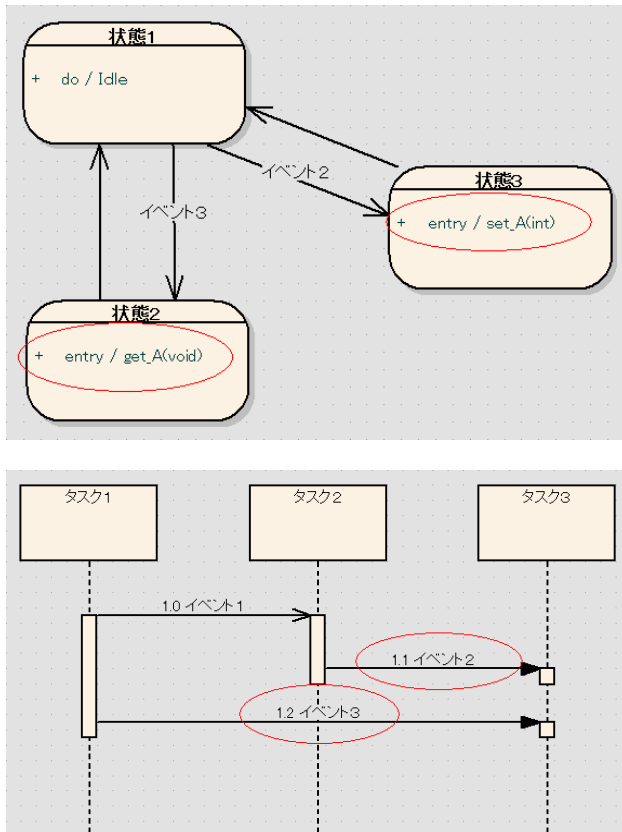


図6 セマフォの抽出

共有リソースへアクセスし、なおかつ重なるアクセスが書き込みと読み込みであった場合、セマフォが必要であると判断する。

カーネルジェネレータでは、カーネル機能の実現とともに、以下のような CPU 作成に必要な情報をプロセッサジェネレータに提供している。

1) 時間制約情報

時間制約はシーケンス図に表記される。時間制約を求められた区間におけるカーネルが処理を行う時間を計算し、与えられた時間制約からカーネルの処理に掛かる時間を引いた値をプロセッサジェネレータに提供する。

2) タスクの結合

シーケンス図をメッセージが発生した時点ごとに分割し、その分割された区間ごとに各タスクの状態を状態図から求める。全てのシーケンス図において、互いに実行状態の重ならないタスクがある場合、そのタスクは結合可能であると判断し、プロセッサジェネレータに伝える。

5. 実装と評価

カーネルの記述には verilog-HDL を用いた。また、実装する FPGA は安価で比較的容量の大きい ALTERA 社

の Cyclone とし、使用頻度の高いシステムコールの応答時間について結線時の遅延を考慮したシミュレーションを行った。遅延時間の評価は、今後プロセッサジェネレータと結合し、最適な制御ユニットを構成するために必要となる指標であり、タスクの結合や時間制約の計算に用いるものである。遅延時間シミュレーションの結果を表 1 にまとめる。表の数値は、クロック周波数 50MHz でシステムコールに要した時間である。

表 1 システムコールの処理時間

| 使用頻度の高いシステムコール        | 費やした時間(nsec) | 仕様            |
|-----------------------|--------------|---------------|
| wai_sem<br>セマフォ資源獲得   | 77.097       |               |
| sig_sem<br>セマフォ資源返却   | 77.097       |               |
| wai_flg<br>イベントフラグ待ち  | 80.827       | 1フラグ<br>8bit  |
| set_flg<br>イベントフラグセット | 73.374       | 1フラグ<br>8bit  |
| rcv_msg<br>キューからデータ受取 | 131.636      | 1データ<br>32bit |
| snd_msg<br>キューへデータ送信  | 123.756      | 1データ<br>32bit |

6. むすび

本稿では、制御プログラムをベースに最適なアーキテクチャを生成する開発手法、および統合開発環境を提案し、このシステムで利用するカーネルジェネレータを実装し、その応答性能の報告を行った。この開発手法により、従来型の開発手法を用いる場合よりも、ソフトウェアの再利用性の向上、開発工程の削減し開発期間の短縮化が見込まれる。

今後の課題としては、カーネルジェネレータでは、入力されたプログラムをより詳細な解析を行うことで共有可能なカーネルリソースを発見し、多くのハードウェアの削減を目指す。また、システム全体として、カーネルジェネレータとプロセッサジェネレータを連携して、アプリケーションプログラムから制御ユニットを生成し、評価することである。

参考文献

[1] 武田有志, 坂巻佳壽美, 乾剛, 村越英樹, ”制御プログラムからのリアルタイムプロセッサ生成方式,” 東京都立産業技術研究所研究報告, 第 8 号, pp.59-62, 2005.

[2] Unified Modeling Language: Object Management Group, <http://www.uml.org/>.

[3] B.P.Douglass 著, 渡辺博之訳: オブジェクト指向による組込みシステム開発入門, 翔泳社, 2001.

# 映像のコンテンツと主観品質の関係を考慮した 映像配信システム

加藤 由花\*

## A Streaming Video System with Reference to the Relationship between Video Contents and Subjective Video Quality

Yuka Kato\*

### Abstract

This paper analyzes relationship between video contents and subjective video quality, and applies the results to rate control methods for streaming video systems. In this analysis, we classify video programs into some groups in which a large majority of users feel the same video quality. We determine the relationship by conducting an experiment with method of paired comparisons, and express that as equations by multiple linear regression analysis. Moreover, we apply the results to the cases that sending rate is fixed and that frame size is fixed. As results, we found out that the proposed scheme makes it possible to provide high-quality streaming services under various system conditions.

**Keywords:** streaming video systems, user perceptible video quality, the Internet, subjective assessment, rate control, network services

### 1. はじめに

近年、アクセスネットワークのブロードバンド化に伴い、インターネット上で映像配信サービスを実現したいという要求が高まってきている。ここでは、ユーザが多様な環境からサービスにアクセスしてくることで、映像の伝送されるネットワーク資源を多くのユーザが共有することから、高品質なストリーミングサービスを実現するためには、ネットワーク環境に適したサービス品質 (Quality of Service: QoS) の制御が不可欠である。

ネットワークサービスにおける QoS 制御はレイヤ毎に考察されることが多く、ストリーミングサービスにおいても、ネットワークレベル、アプリケーションレベル、ユーザレベルにおいて、様々な研究が行われてきた。ネットワークレベルの研究としては、ストリーム通信を対象とした遺伝的アルゴリズムによる帯域割り当て手法 [1] や、アプリケーションに付与されたメタデータを用いて QoS を制御する手法 [2] 等が提案されている。アプリケーションレベルの研究としては、ストリーミングビデオの品質において量子化レベルとフレームレートとの関係を調査した研究 [3]、DiffServ ネットワーク [4] 上のポリシー制御やレート制御がアプリケーションレベルのビデオ品質に与える影響を調査した研究 [5]、インターネットストリーミングにおいてバッファやパケットのふるまい

がビデオ品質に与える影響を調査した研究 [6]、TCP-Friendly レート制御手法を用いてアプリケーションレベルの QoS を制御する動画像通信システムの研究 [7] 等が行われている。しかし、ネットワークレベル QoS の向上は必ずしもアプリケーションレベル QoS の向上にはつながらず、またアプリケーションレベル QoS の向上は必ずしもユーザの体感するユーザレベル QoS の向上にはつながらない。映像に対する主観品質は、視聴しているコンテンツやユーザの品質に対する嗜好によって大きく異なると言われているためである [8]。

そのため、映像の主観品質を向上させるためには映像のコンテンツを考慮した制御が必要であり、これまででもこのような観点から様々な研究が行われてきた。例えば、コンテンツ制作者が映像の意味的重要度をメタデータとしてあらかじめ与えておくことにより、レート配分における優先制御を実現する方式が提案されている。MPEG-4 コンテンツを対象に、コンテンツ内のオブジェクト毎に重要度の記述を行う手法 [9] や、コンテンツ制作者の主観に基づいて設定された意味的重要度を利用して空間方向と時間方向のレート制御を行う手法 [10] 等がある。これらのメタデータ記述には MPEG-7 [11] 等が利用される。また、シーンチェンジや映像の動きの激しさ等をシステムが自動で抽出し、その特徴に適したレート制御を行う方式が提案されており、例えば、H.263+ を対象



としたトランスコーディング手法[12]等がある。前者の方式では、コンテンツの製作者によって映像の意味的 중요度を指定することができるため、ユーザの主観品質の向上が期待できる。しかし、メタデータ記述にかかる手間は大きく、ライブ放送に対応できない等の問題が存在する。一方、後者の方式では、システムが自動でコンテンツの特徴を抽出するため、メタデータ記述の困難さを克服することができる。しかし、ここで対象としているコンテンツの特徴は、動きの激しさ等の視覚的要因であり、これらのコンテンツの意味的 중요度を表現しているわけではない。

このような背景から、本稿では、映像のコンテンツと人間の体感する主観品質の関係を明らかにすることにより、映像の意味的内容を考慮した映像配信システムを提案する。ここでは、様々な種類の映像を用いた主観品質実験を行い、人間が共通に持っている品質に対する感覚を明らかにする。さらにこの結果を利用し、様々な映像を主観品質値の似ているグループに分類する。このグループを利用すると、グループ毎にレート制御の方法を変えることによる、メタデータ記述を行わなくてもユーザ満足度の高い制御が可能になる。本稿では、このグループ毎に定義される制御ルールを制御プロファイルとして実装することにより、様々なシステム環境に適応可能な映像配信システムを実現する。

以下、2章で提案するシステムの概要を説明した後、3章と4章でシステムを構成する各モジュールについて詳述する。その後、5章で提案システムの有効性を評価し、6章で本稿をまとめる。

## 2. システムの概要

本稿の目的は、映像のコンテンツを考慮することにより、メタデータ記述を行わなくても、様々なシステム環境下において、ユーザ満足度の高い映像配信を可能とする映像配信システムを構築することである。そのために、以下の2つのモジュールから成るシステムを提案する。

- (1) 制御プロファイル選択モジュール
- (2) 映像品質制御モジュール

本稿では、様々な特徴を持つ映像を、ユーザの主観品質という観点から分類する。このとき、映像の特徴をいくつかのパラメータにより記述しておき、このパラメータ値に従ってグループ化を行う。本稿では映像の内容を考慮した制御への通信が目的であるため、一般に映像の特徴を表現する視覚的なパラメータに加えて、映像の内容を表現するパラメータを定義する。これらのグループの特徴は、映像プロファイルとして定義され、制御の対象となる映像は(1)のモジュールによって、所属する

グループが決定される。分類された番組は、(2)のモジュールによって、グループ毎に同じ制御が適用されるが、このとき、プロファイルを利用して、様々なシステム環境を制約条件とした適切な制御が実現される。システムの構成を図1に示す。

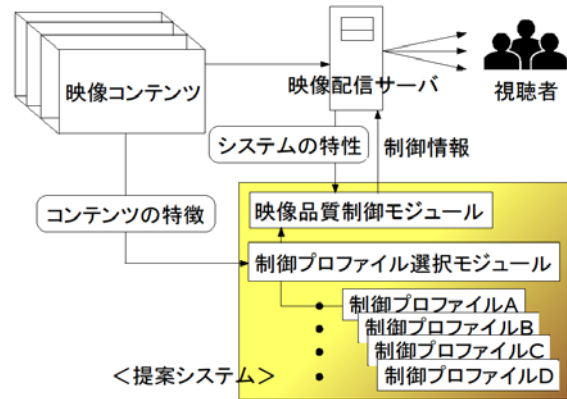


図1 システムの構成

### 2.1 制御プロファイル選択モジュール

本モジュールの実現にあたっては、映像の主観品質に影響を与える要因を抽出し、その特徴をまとめたプロファイルを作成する必要がある。本稿では、映像のコンテンツと主観品質の関係を分析し、このプロファイルを作成する。ここでのプロファイルは、品質パラメータと主観品質の関係を定式化したものであり、制御プロファイル選択モジュールは、映像の特徴によってどのプロファイルを用いるかを決定するルールを保持する。本稿における制御プロファイルの作成手順を図2に示す。分析結果については3章で示す。

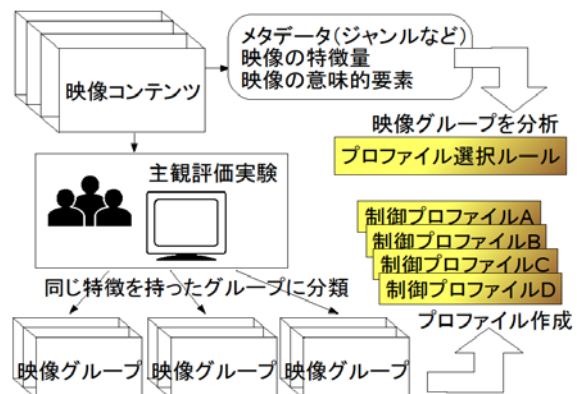


図2 制御プロファイルの作成方法

## 2.2 映像品質制御モジュール

映像品質制御モジュールでは、システム環境によって異なる制約条件のもとで、主観品質を最大化する品質パラメータの組を求める。品質パラメータと主観品質の関係については制御プロファイルによって定式化されているため、システム環境によって決まる制約条件の下で最適化問題を解くことになる。制御の流れを図 3 に示す。制御モジュールの構成と制御の例については 4 章で詳述する。

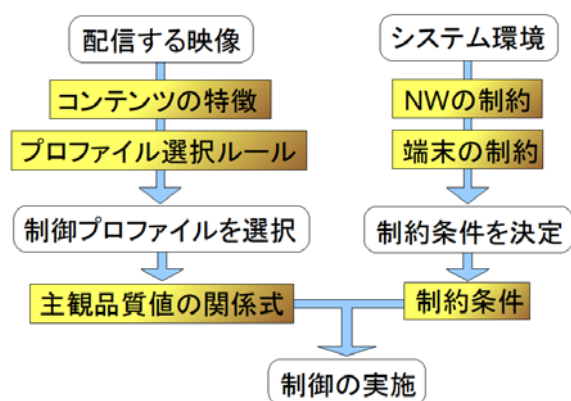


図 3 制御の流れ

## 3. 制御プロファイル選択モジュール

制御プロファイル選択モジュールにおける制御ルールは、様々な映像を用いた主観評価実験の結果から作成する。作成手順は「制御プロファイルの作成」および「プロファイル選択ルールの作成」の 2 つのステップに分類される。それぞれについて、以下に説明する。

### 3.1 制御プロファイルの作成

本節では、心理学的測定法の一つである一対比較法 [13] [14] を使い、それぞれの映像の主観品質に対する品質パラメータの影響度合いを明らかにする。一般に、ストリーミングサービスにおけるレート制御では、空間方向の情報量 (1 フレーム当たりのビット量) と時間方向の情報量 (フレームレート) のどちらか、または両方を変化させることにより制御を実現する。ここで、ある一定の伝送帯域の下で情報量の削減を行う場合、この空間方向の情報量と時間方向の情報量はトレードオフの関係にある。そのため、ユーザの視聴に対する主観評価が最大になるようにこれらの削減量を決定する必要がある。本稿では、ユーザの体感し得るパラメータとして、映像の画質、フレームサイズ (空間方向の情報量)、フレームレート (時間方向の情報量) の 3 種類を品質パラメータ

として規定することにした。これらのパラメータは、ストリームのコーディング方式に依存しない一般的なパラメータとして規定する。

### (1) 実験の方法

サービス品質に対するユーザの満足度を評価する方法としては、これまで SD 法を用いた研究 [15] などが行われてきた。しかし、音声や映像を対象としたサービスでは、これらの評点をどのように付けるかという判断が容易ではなく、評価の精度が低くなるという問題点があった。このような事象の評価に対して信頼度の高いデータを得るためには、一対比較法が有効であることが確認されている [16]。そのため本稿でも、一対比較法を用いて主観評価実験を行うことにした。ここで、一対比較法とは、 $n$  個の対象を評定するとしてとき、 $(S_1, S_2)$ ,  $(S_1, S_3)$ , ...,  $(S_2, S_n)$ , ... のように 2 つの刺激の組み合わせを作り、この  ${}_nC_2$  通りの対に対して、どちらがどれだけ優れているかを被験者に評価させる方法である。適切に統計処理を行うことにより、ある刺激が他の全ての刺激に対してどの程度優れているかを決定することができる。比較判断の結果を順位で表すブラッドレーの方法やサーストンの方法と、結果を評点で表すシェッフェの方法の 2 種類の方法がある [14]。本稿では、比較の結果を点数で表し、その評点に適当な構造を仮定して分析を行うため、シェッフェの一対比較法を用いることにした。

具体的な実験手順を以下に示す。まず、テーマやスタイル等の番組の特性が異なる映像を 30 種類用意した。映像コンテンツの一覧を表 1 に示す。これらの映像は地上波テレビの様々な番組であり、それぞれ映像の長さが異なる。また、これらの映像を始めから終わりまで視聴し評価することは、被験者の大きな負担となる。そのため、本実験では、それぞれの映像の最も特徴的なシーン (ニュース番組ではアナウンサーが一つのニュースを読み終わるまで等) を 10 秒から 20 秒程度の映像シーケンスとして切り出し、試験映像を作成した。次に、各々の映像において、前節で規定した 3 種類の品質パラメータをそれぞれ 3 段階に変化させた映像を用意した。実験で用いた映像の品質パラメータ値を表 2 に示す。表中の画質は PSNR 値を示す。

このようにして作成された試験映像の数は、各番組につきそれぞれ 10 種類となる。本実験では、ある 1 つのパラメータのみを変化させた 2 つの映像を一組とし、映像の主観品質としてどちらがどの程度望ましいかを被験者に評価させる。評価は  $-3 \sim +3$  の 7 段階で (評点が低いほど主観評価値も低い)、30 種類の番組毎に 45 組の映像に対して行われる。視聴条件は ITU-R 勧告 BT.500 [17] に準拠するように整え、被験者とモニタの距離は 60cm、

表 1 実験に用いた試験映像の特徴

| 番組 ID | ジャンル    | 映像の特徴                                 |
|-------|---------|---------------------------------------|
| 番組 1  | バラエティ   | スタジオで司会者が話した後、その説明のための映像が映る。          |
| 番組 2  | 音楽      | クラシック音楽の演奏。指揮者がオーケストラの指揮をとり、演奏者が演奏する。 |
| 番組 3  | スポーツ    | ボクシング。2人がリング上で戦っている。                  |
| 番組 4  | 音楽      | 女性シンガーが舞台上で踊りながら歌う。                   |
| 番組 5  | ドラマ     | 海外ドラマ。2人の女優が身振り手振りを入れ会話する。            |
| 番組 6  | 音楽      | 音楽番組。女性が舞台上で演歌を歌っている。                 |
| 番組 7  | スポーツ    | 野球の実況中継。バッターがバットを振った後、ランナーが走る。        |
| 番組 8  | 映画      | ミステリー映画。室内で儀式が行われ、女性が宙に浮く。            |
| 番組 9  | アニメーション | ロボットが少年に道具の使い方を教える。                   |
| 番組 10 | 情報      | 司会者がパネルを用いて病気の説明を行う。                  |
| 番組 11 | 情報      | 料理番組。スタジオで調理が行われ、料理の分量が表示される。         |
| 番組 12 | アニメーション | 少年の声にあわせ怪獣が飛びはね、攻撃する。                 |
| 番組 13 | ドキュメンタリ | 古代遺跡の壁画が映りナレーションが流れる。                 |
| 番組 14 | バラエティ   | トーク番組。2人が笑いながら会話をする。                  |
| 番組 15 | 教育      | 英会話番組。教師が英語をしゃべり、英語の字幕が表示される。         |
| 番組 16 | ドラマ     | 医療ドラマ。屋上で看護師と医師が話す。                   |
| 番組 17 | スポーツ    | マラソンの実況中継。道路を走っている。                   |
| 番組 18 | ドラマ     | ホームドラマ。                               |
| 番組 19 | ニュース    | スポーツニュース。野球の試合風景が映り。試合結果のナレーションが流れる。  |
| 番組 20 | バラエティ   | クイズ番組。タレントが正解し、喜んでいる。                 |
| 番組 21 | ニュース    | スタジオでアナウンサーが経済ニュースを読み上げている。           |
| 番組 22 | バラエティ   | コント番組。漫才。                             |
| 番組 23 | 映画      | 戦争映画。ヘリコプターが飛び、乗り込んだ兵士たちが映る。          |
| 番組 24 | 音楽      | ビデオクリップ。女性が激しく踊り、歌う。                  |
| 番組 25 | ニュース    | 天気予報。全国の天気や予想気温を表示。                   |
| 番組 26 | ニュース    | 事件のニュース。事件現場が映り、事件内容についてのナレーションが流れる。  |
| 番組 27 | スポーツ    | ラリー。車が砂埃を上げ、走り去る。                     |
| 番組 28 | 映画      | アクション映画。主人公を背後から銃で狙いつけた敵が撃たれ、転落する。    |
| 番組 29 | ドラマ     | 時代劇。敵たちが主人公にきりかかる場面。                  |
| 番組 30 | 映画      | ミュージカル映画。女優がダンスを踊りながら歌っている。           |

表 2 実験で用いた映像品質パラメータ値

|     | 画質    | フレームレート | フレームサイズ |
|-----|-------|---------|---------|
| 基準値 | —     | 30 fps  | 720×480 |
| 高品質 | 35 dB | 10 fps  | 384×256 |
| 中品質 | 30 dB | 3 fps   | 192×128 |
| 低品質 | 25 dB | 1 fps   | 96×64   |

実験室内の光源は1つ、視聴ポイントの照度は20LUXとした。被験者はPCに接続された19インチ液晶モニター上で映像を視聴する。各映像はあらかじめ作成してお

いた同一の映像を利用し、比較を行う映像シーケンスをA、Bとして、図4に示すように比較を行う。AB間には灰色のスクリーンを1秒間挿入し、映像の最後にも3秒間の灰色のスクリーンを挿入する。本実験では、20代の男性26名、女性1名、30代の女性1名の計28名の被験者から、合計75180組のデータを取得した。

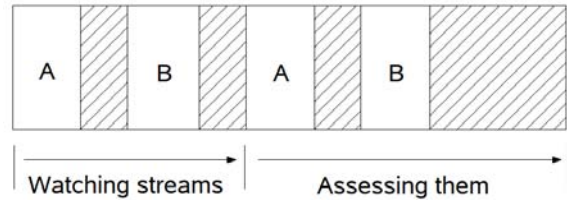


図 4 比較の手順

(2) 実験の結果

実験結果は、10種類の品質パラメータを縦軸と横軸に取り、評点を要素に持つ表の形式にまとめることができる。一例として、ある被験者の番組26に対する評価結果を表3に示す。例えば(S2, Q1)の評点が3であるということは、Q1の映像の方がS2の映像より評点3分だけ良いということを意味している。そのため、Q1の列の合計値によって、Q1の映像が他の映像より評点の合計でどれほど良いと判断されているかを数値化することができる。この例の場合、Q1の映像の評点の合計値は9である。これは相対的な値であるが、オリジナル映像における値を基準値(0)とすることで、絶対的な品質値を規定することができる。

表 3 ある被験者の評価結果の例(番組26)

|    | O | S1 | S2  | S3  | F1 | F2 | F3 | Q1 | Q2 | Q3 |
|----|---|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| O  | — | -2 | -3  | -3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 |
| S1 | 2 | —  | -2  | -3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  |
| S2 | 3 | 2  | —   | -1  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| S3 | 3 | 3  | 1   | —   | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| F1 | 0 | -2 | -3  | -3  | —  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 |
| F2 | 0 | -2 | -3  | -3  | 0  | —  | 0  | 0  | 0  | -1 |
| F3 | 0 | -2 | -3  | -3  | 0  | 0  | —  | 0  | 0  | -1 |
| Q1 | 0 | -2 | -3  | -3  | 0  | 0  | 0  | —  | 0  | -1 |
| Q2 | 0 | -2 | -3  | -3  | 0  | 0  | 0  | 0  | —  | 0  |
| Q3 | 1 | -1 | -3  | -3  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | —  |
| 合計 | 9 | -8 | -22 | -25 | 9  | 9  | 9  | 9  | 8  | 2  |

O: オリジナル映像  
 S1: サイズ高, S2: サイズ中, S3: サイズ低  
 F1: レート高, F2: レート中, F3: レート低  
 Q1: 画質高, Q2: 画質中, Q3: 画質低

このように番組毎に各パラメータに対する評点を算出した。算出された番組毎の主観品質値を表4に示す。

表4 番組毎の主観品質値

| 番組ID | O | S1 | S2  | S3  | F1  | F2  | F3  | Q1 | Q2  | Q3  |
|------|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 1    | 0 | -8 | -23 | -36 | -2  | -11 | -23 | -5 | -24 | -34 |
| 2    | 0 | -4 | -12 | -28 | -11 | -23 | -32 | -2 | -16 | -26 |
| 3    | 0 | -2 | -11 | -29 | -11 | -28 | -40 | 1  | -11 | -21 |
| 4    | 0 | -5 | -20 | -33 | -4  | -16 | -29 | -4 | -21 | -27 |
| 5    | 0 | -6 | -16 | -28 | -4  | -19 | -32 | -3 | -15 | -29 |
| 6    | 0 | -6 | -19 | -27 | -4  | -12 | -18 | -2 | -20 | -31 |
| 7    | 0 | -6 | -18 | -27 | -9  | -21 | -30 | -3 | -19 | -30 |
| 8    | 0 | -6 | -15 | -23 | -3  | -15 | -25 | -2 | -15 | -28 |
| 9    | 0 | -3 | -8  | -16 | -1  | -7  | -14 | 3  | -14 | -25 |
| 10   | 0 | -5 | -15 | -20 | -1  | -4  | -8  | 1  | -22 | -25 |
| 11   | 0 | -5 | -26 | -35 | -2  | -8  | -16 | -3 | -24 | -32 |
| 12   | 0 | -3 | -13 | -27 | 0   | -13 | -26 | -2 | -15 | -27 |
| 13   | 0 | -1 | -12 | -28 | -7  | -11 | -15 | -2 | -12 | -27 |
| 14   | 0 | -6 | -15 | -26 | -2  | -16 | -29 | 0  | -18 | -22 |
| 15   | 0 | -6 | -25 | -33 | -3  | -14 | -21 | -3 | -21 | -32 |
| 16   | 0 | -5 | -16 | -28 | 0   | -13 | -29 | -2 | -16 | -29 |
| 17   | 0 | -7 | -17 | -29 | -8  | -18 | -27 | -3 | -19 | -30 |
| 18   | 0 | -7 | -17 | -32 | -3  | -17 | -30 | -4 | -19 | -30 |
| 19   | 0 | -5 | -16 | -25 | -7  | -16 | -23 | 0  | -20 | -30 |
| 20   | 0 | -6 | -17 | -25 | -1  | -7  | -14 | 1  | -24 | -29 |
| 21   | 0 | -7 | -20 | -39 | 1   | -8  | -17 | -4 | -22 | -33 |
| 22   | 0 | -4 | -12 | -24 | -6  | -20 | -32 | -1 | -16 | -28 |
| 23   | 0 | -8 | -17 | -30 | -8  | -21 | -32 | -1 | -16 | -23 |
| 24   | 0 | -7 | -21 | -34 | 0   | -16 | -32 | -5 | -21 | -27 |
| 25   | 0 | -9 | -18 | -29 | 1   | -1  | -4  | -7 | -21 | -30 |
| 26   | 0 | -8 | -18 | -28 | 0   | -2  | -5  | -4 | -25 | -29 |
| 27   | 0 | -5 | -12 | -21 | -8  | -20 | -31 | -4 | -18 | -29 |
| 28   | 0 | -7 | -15 | -24 | -6  | -21 | -30 | -3 | -13 | -28 |
| 29   | 0 | -4 | -9  | -16 | -2  | -13 | -19 | 6  | -5  | -20 |
| 30   | 0 | -5 | -15 | -22 | -3  | -13 | -21 | 0  | -17 | -27 |

(3) 映像のグループ化

次に、前節で算出した主観評価ベクトル(表4に示される各評価値を要素に持つベクトル)の要素を座標軸として10次元空間のユークリッド距離を求め、クラスタ分析によりサンプル映像のグループ化を行う。ここでクラスタ分析とは、いくつかのサンプルの中から、それらの間にある何らかの類似度を手がかりに似たものを集め、いくつかの均質な集落(クラスタ)に分類する手法である。大別すると、結果として樹形図が得られる階層的方法と、あらかじめ決められたグループ数に各サンプルを分ける非階層的方法に分けられる。本稿では、最終的なグループ数が不明であるため、階層的方法を利用した。階層的方法では、N個の対象からなるデータが与えられたとき、1個の対象だけを含むN個のクラスタがある初期状態をまず作り、対象x1とx2の間の距離D(x1, x2)か

らクラスタ間の距離D(C1, C2)を計算し、この距離が最も近い二つのクラスタを逐次的に併合していく。距離関数の違いにより、最短距離法、群平均法、ウォード法等が存在するが、本稿では、比較的まとまりの良いクラスタが幾つか得られるウォード法(各対象から、その対象を含むクラスタのセントロイドまでの距離の二乗の総和を最小化する方法)を利用する。

クラスタ数は多く取るほど細かい分析が可能になるが、クラスタ内の要素が少なくなるため要因の抽出が難しくなる。ここでは、スタージェスの経験公式  $k = 1 + 3.3 \log N = 5.87$  を利用し、クラスタ数は6とした。得られたグループをグループA~Fとし、各グループに含まれるサンプル映像を以下に示す。

グループA: 10, 20, 25, 26

グループB: 2, 3, 5, 7, 17, 18, 22, 23, 27, 28

グループC: 9, 13, 29

グループD: 8, 12, 14, 16, 30

グループE: 4, 6, 15, 19, 24

グループF: 1, 11, 21

(4) 制御プロファイルの作成

クラスタ分析の結果より、本稿では、グループA~Fに対応する6種類の制御プロファイルを作成する。ここでは、表4の結果から、グループ毎に重回帰分析を行い、品質パラメータと主観品質の関係を定式化する。まず、実験に用いた各品質パラメータを実験映像の平均値(主観品質値:13.8, フレームサイズ(縦ピクセルを用いる):380, フレームレート:22.4, 画質:37)で除算し、正規化を行った。重回帰分析の結果を以下に示す。yは主観品質値, x1はフレームサイズの縦ピクセル値, x2はフレームレート, x3は画質である。自由度修正済み決定係数を合わせて示す。

グループA:  $y = -1.9x_1^2 + 4.7x_1 - 0.7x_2^2 + 1.5x_2 + 5.7x_3 - 12.0$ . (決定係数: 0.9050)

グループB:  $y = -2.2x_1^2 + 4.9x_1 - 2.1x_2^2 + 4.5x_2 - 8.7x_3^2 + 20.5x_3 - 16.8$ . (決定係数: 0.9053)

グループC:  $y = -2.5x_1^2 + 5x_1 + 32.6x_2^2 + 2.8x_2 + 16x_3^2 - 16x_3 - 20.2$ . (決定係数: 0.8457)

グループD:  $y = -2.3x_1^2 + 5.1x_1 - 2.5x_2^2 + 4.7x_2 - 9.1x_3^2 + 21x_3 - 16.6$ . (決定係数: 0.9542)

グループE:  $y = -2.3x_1^2 + 5.2x_1 - 1.7x_2^2 + 3.6x_2 - 5.6x_3^2 + 15.4x_3 - 14.9$ . (決定係数: 0.9476)

グループF:  $y = -2.3x_1^2 + 5.3x_1 - 1.8x_2^2 + 3.5x_2 - 5.3x_3^2 + 15.7x_3 - 15.2$ . (決定係数: 0.9497)

ここで、各品質パラメータ値と評価値の関係は線形ではないため、二乗の項を追加し、より精度の高い分析結果が得られるようにした。決定係数は0.9前後であり、

高い精度で推定が行われている。実際のストリーミング環境では、提供可能な品質パラメータに対する制約など、品質制御において様々な制約条件が存在する。この制約条件の下で、主観品質値  $y$  を最大にするパラメータ値を選択することにより、効率的な制御が実現可能になる。

### 3.2 プロファイル選択ルールの作成

次に、プロファイル選択ルールを作成する。クラスタ分析は、主観評価実験に用いた 30 個のサンプル映像をグループ分けした結果であるが、未知の映像に対して制御プロファイルを決断するためには、どのような特徴を持った映像をどのグループに分類するかを決定する必要がある。そのために各グループの映像を分析し、映像の特徴量に従って制御プロファイルを選択できるルールを作成する。ここでは、各映像グループの特徴を明確にするために、視覚的要素と意味的要素の二つの要素を定義し、分析を行う。

- ・ 視覚的要素：本稿では、映像の動きの激しさを視覚的要素として定義する。主観評価実験では、各サンプル映像に劣化処理を施した後、固定品質で圧縮を行っている。そのため、平均ビットレートが映像自体の情報量の大きさを反映しており、動きの激しい映像ほど平均ビットレートが大きくなっている。そこで、オリジナル映像の平均ビットレートを  $B_o$ 、Q1 の平均ビットレートを  $B_q$ 、F1 の平均ビットレートを  $B_f$  とし、以下の  $S_x, S_y$  を視覚的要素として定義する。

$$S_x = B_o / B_q, \quad S_y = B_o / B_f.$$

- ・ 意味的要素：ユーザが映像視聴時に得る意味情報を 5 ポイントとし、そのポイントを静的情報（文字情報など）、動的情報（オブジェクトの動きなど）、音声情報に割り振ることにより、意味的要素を定義する。それぞれの情報に割り振られたポイントを、静的意味要素  $M_x$ 、動的意味要素  $M_y$ 、音声意味要素  $M_z$  とする。

実験で用いたサンプル映像の特徴量を表 5 に示す。これらの映像の特徴量を用いて、制御プロファイル選択ルールを作成した。結果を図 5 に示す。

### 4. 映像品質制御モジュール

品質制御モジュールでは、前章で作成された制御プロファイルを利用し、様々なシステム環境に適した品質制御を実施する。品質制御モジュールは、プロファイル選択モジュールから映像コンテンツの特徴に従ったプロファイルを受け取り、配信システム的环境と、映像コンテンツの特徴の両方を考慮した品質制御を行う。この制御のためには、以下の 3 つの情報が必要になる。

表 5 サンプル映像の特徴量

| 番組 ID | $S_x$ | $S_y$ | $M_x$ | $M_y$ | $M_z$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 2.15  | 1.34  | 3     | 1     | -1    |
| 2     | 2.17  | 1.82  | 0     | 3     | 2     |
| 3     | 1.60  | 1.52  | 0     | 4     | 1     |
| 4     | 1.98  | 1.54  | 0     | 2     | 3     |
| 5     | 2.05  | 1.65  | 1     | 3     | 1     |
| 6     | 2.02  | 1.56  | 0     | 2     | 3     |
| 7     | 1.96  | 1.45  | 0     | 4     | 1     |
| 8     | 3.02  | 1.93  | 2     | 2     | 1     |
| 9     | 2.30  | 1.60  | 2     | 1     | 2     |
| 10    | 2.34  | 1.37  | 3     | 0     | 1     |
| 11    | 2.17  | 1.51  | 3     | 1     | 1     |
| 12    | 2.32  | 1.67  | 2     | 2     | 1     |
| 13    | 1.55  | 1.19  | 2     | 1     | 2     |
| 14    | 2.31  | 1.83  | 2     | 2     | 1     |
| 15    | 2.51  | 1.75  | 1     | 1     | 3     |
| 16    | 2.75  | 1.74  | 2     | 2     | 1     |
| 17    | 1.47  | 1.28  | 0     | 4     | 1     |
| 18    | 2.53  | 1.63  | 2     | 2     | 1     |
| 19    | 1.87  | 1.46  | 2     | 2     | 1     |
| 20    | 2.29  | 1.37  | 3     | 1     | 1     |
| 21    | 2.72  | 1.55  | 3     | 0     | 2     |
| 22    | 1.68  | 1.24  | 1     | 3     | 1     |
| 23    | 1.80  | 1.51  | 0     | 4     | 1     |
| 24    | 1.65  | 1.41  | 0     | 2     | 3     |
| 25    | 3.11  | 1.68  | 3     | 0     | 2     |
| 26    | 3.22  | 1.72  | 3     | 0     | 2     |
| 27    | 1.87  | 1.55  | 0     | 4     | 1     |
| 28    | 2.61  | 1.70  | 0     | 4     | 1     |
| 29    | 1.64  | 1.42  | 1     | 3     | 1     |
| 30    | 2.52  | 1.97  | 1     | 2     | 2     |

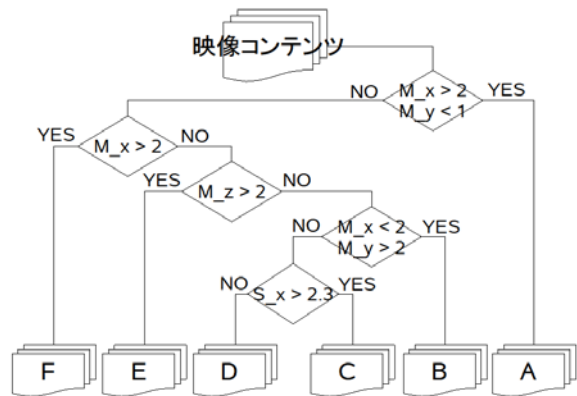


図 5 制御プロファイル選択ルール

- ・ 制御プロファイル：映像コンテンツの特徴を考慮した制御を行うために用いる。制御プロファイル選択モジュールにより決定される。
- ・ システム環境：ユーザー一人当たりの帯域幅やアクセス帯域幅などを用いる。これが映像視聴環境におけ

る制約条件となる。

- ・コーデックにおける送出ビットレートと品質パラメータの関係：一般に、映像配信を行う際には、送出レート、解像度、フレームレートを指定して圧縮符号化が行われる。この関係式により、品質パラメータ値から送出ビットレートを算出する。

具体的には、以下の手順によって制御が実施される。まず、本稿における品質制御の目的は、前章で定義された制御プロファイルから算出される主観品質値を最大にすることである。これは、

$$y = F(x_1, x_2, x_3) \tag{1}$$

において、 $y$  を最大にする  $(x_1, x_2, x_3)$  の組を算出することを意味する。品質パラメータと送出レート間の関係は、コーデックや配信システムによって異なる形を取るが、

$$B = G(x_1, x_2, x_3) \tag{2}$$

と書けたとすると、システム環境によって与えられた帯域幅  $B$  において、式 (2) の条件の下で式 (1) を最大化する品質パラメータ値の組を求めることになる。式 (1) は前節において既に与えられているので、式 (2) を決定する必要があるが、これはコーデック、利用環境によって異なる形を取るため、一般形を与えることはできない。本稿では、システムの実運用前にこの関数の形を実験より求めておくこととする。

## 5. 評価

提案システムの評価として、様々なシステム環境下においても、コンテンツを考慮した制御を行うことにより、主観品質値が高まることを示す。ここでは、3 章での実験で用いた MPEG エンコーダ TMPGEnc を対象に、帯域に制約がある場合、および画面サイズに制約がある場合（端末に制約がある場合）の 2 種類について、提案システムの有効性を示す。

まず、3 章での実験に用いた 30 のサンプル映像を対象に、品質パラメータ値と送出レートの関係を重回帰分析によって定式化したところ、

$$B = -25x_1^{1.2}x_2^{0.5}x_3^{7.0} \tag{3}$$

という関係式が導かれた。このときの自由度修正済み決定係数は 0.76 であった。本章では、この関係式を制約条件として、評価を行う。ここで、それぞれの品質パラメータ値は 3 章と同様に正規化されている。

### 5.1 帯域に制約がある場合

コンテンツを考慮した場合（制御プロファイルを用いた場合）と、考慮しなかった場合（全ての映像に対してフレームレートを 30 fps に固定して制御を行う）の、主観品質値を評価する。このときの送出レートごとの主観品質

値の差（コンテンツを考慮した場合の制御後の品質値 - 考慮しない場合の制御の品質値）を図 6 に示す。ここでは、各映像グループから 1 つずつ映像を選択し、主観品質値を算出した。

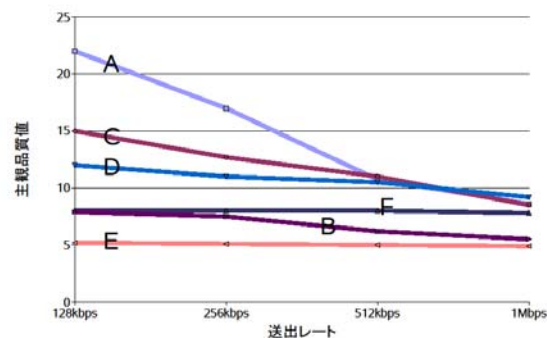


図 6 主観品質値の差

全ての映像グループ、ビットレートにおいて、主観品質値が上昇していることがわかる。品質値は、9 つの要因における評価値を合計した値であるので、主観評価実験で用いた 7 段階の評価における 1 ポイントの差分が、主観評価値としてのおおよそ 9 ポイントの差分に相当すると考えられる。全体として、ユーザの体感する品質において 1~2 ポイント分の違い（「やや悪い」と「悪い」の差等）があることがわかる。主観品質値の差は低ビットレートほど大きく、特に動きの少ないグループ A で評価値の上昇が大きくなっている。これは、コンテンツを考慮しなかった場合にフレームレートを固定しているためだが、フレームレートを変化させる制御にした場合は、グループ A 以外の他のグループの制御に有効に働くことが考えられ、全体としての傾向は変わらないと考えられる。

本手法を適用すると主観品質値は上昇する。このとき、各映像コンテンツを考慮した結果、どのように品質パラメータの制御が行われているかを確認する。図 7 に送出レートを 512 kbps、フレームサイズ（解像度）を QVGA とした時の、映像グループ毎のフレームレートと主観品質値の関係を示す。送出レートとフレームサイズが固定されているので、フレームレートを上昇させるとその他の品質（この場合は画質）が劣化する。この関係の中で、それぞれの映像グループの品質値が最も高くなるように制御を行う。そうすると、グループ A は 1 fps のときに最も品質値が高くなり、グループ C では 21 fps のときに最も品質値が高くなる。このように、同じ送出レートでも、コンテンツによってユーザの体感する品質には差が出ていることがわかる。

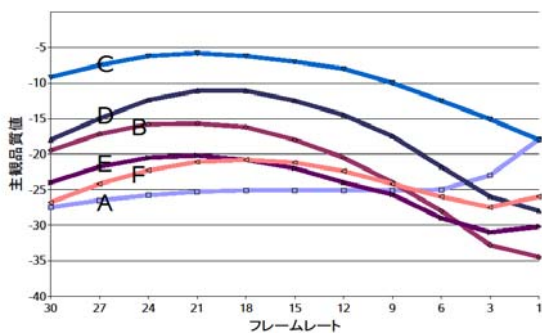


図7 フレームレートと主観品質値の関係 (512 kbps, QVGA)

5.2 画面サイズに制約がある場合

次に画面サイズに制約がある場合について、評価を行う。ここでは、携帯情報通信端末を考察の対象とする。携帯情報通信端末に映像配信を行う場合、ハードウェアの処理能力、画面の大きさなどにより様々な制約を受けることから、様々な種類の端末を考慮して配信を行うことは困難である。本手法では、コンテンツを考慮することにより、効率的で高品質な配信を可能とする。

ここでは、映像コンテンツとしてグループ A, グループ B, グループ D に含まれる映像を用い、情報通信端末として、デジタルプレイヤー (フレームサイズ: 320 × 240, フレームレート: 30 fps, ビットレート: 512 kbps), 携帯電話 (フレームサイズ: 176 × 144, フレームレート: 15 fps, ビットレート: 64 kbps) の二種類と考える。これらの端末は画面の大きさが固定されており、これが制約条件となっている。コンテンツを考慮しない場合の制御として、前節と同様にフレームレートを固定した制御を考える。コンテンツを考慮した場合としない場合の主観品質値とその差を表 6 に示す。

表 6 画面サイズに制約がある場合の主観品質値

| 番組 | 端末    | コンテンツ考慮なし |          | コンテンツ考慮 |          | 品質の差 |
|----|-------|-----------|----------|---------|----------|------|
|    |       | レート       | 画質 品質値   | レート     | 画質 品質値   |      |
| A  | プレイヤー | 30fps     | 31dB -27 | 1fps    | 39dB -18 | 9    |
|    | 携帯電話  | 15fps     | 25dB -48 | 1fps    | 32dB -44 | 4    |
| B  | プレイヤー | 30fps     | 31dB -20 | 21fps   | 31dB -16 | 4    |
|    | 携帯電話  | 15fps     | 26dB -43 | 15fps   | 26dB -43 | 0    |
| D  | プレイヤー | 30fps     | 31dB -18 | 21fps   | 32dB -11 | 7    |
|    | 携帯電話  | 15fps     | 26dB -37 | 15fps   | 26dB -37 | 0    |

このように、映像のコンテンツに従って制御方法を変えることにより、主観品質の高い制御が実現することが

わかった。携帯電話の場合、もともとのフレームレートが低く、制御によって品質値を上げることが困難であったと考えられるが、このような場合でも、機器の違いとして制御の仕方を変えるのではなく、制約条件としてこれらの違いを表現することができるため、単一のフレームワークで、様々なシステム環境への適用が可能になっている。

以上より、本システムでは環境に合わせて制御方法を柔軟に変更することが可能であり、様々な環境に対して、品質の高いサービスの実現が可能になることがわかった。

6. まとめ

本稿では、映像のコンテンツと人間の体感する主観品質の関係を明らかにすることにより、映像の意味的内容を考慮した映像配信システムを提案した。ここでは、様々な種類の映像を用いた主観評価実験を行い、人間が共通に持っている品質に対する感覚を明らかにした。さらにこの結果を利用し、様々な映像の主観評価値の似ているグループに分類した。このグループを利用すると、グループ毎にレート制御の方法を変えることにより、メタデータ記述を行わなくてもユーザ満足度の高い制御が可能になる。本稿では、このグループ毎に定義される制御ルールを制御プロファイルとして実装することにより、様々なシステム環境に適応可能な映像配信システムを実現した。さらに、帯域に制約がある場合と画面サイズに制約がある場合を取り上げ、コンテンツを考慮することにより、様々なシステム環境に対して、柔軟に品質の高い映像配信サービスの提供が可能になることを明らかにした。

今回作成した制御プロファイルは、コーディング方式に依存しない、我々の規定した品質パラメータ値と主観品質値との関係であった。これを実際のレート制御方式やコーディング方式に適用するためには、これらの品質パラメータとコーデックにおける制御パラメータ間でのマッピング処理が必要である。このとき、目的関数として、送出レートの他にコーディングコスト等を考慮する必要がある。今後、これらの関係を明らかにすることにより、本手法の様々なシステムへの適用方法を検討していく予定である。

参考文献

[1] 小林英博, 棟朝雅晴, 赤間博, 佐藤義治, “遺伝的アルゴリズムによる帯域割り当てのための分散アルゴリズムの設計,” 信学論 (D-D), Vol. J85-D-I, No. 5, pp. 445-452, 2002 (5).

- [2] Atarashi, R., Miyake, S., Weibel, S. and Baker, F., "QoS Policy Control by Application on the Next Generation Internet Technology," *IEICE Trans. Inf. And Sys.*, Vol. E85-D, No. 8, pp. 1188-1194, 2002 (8).
- [3] McCarthy, J. D., Sasse, M. A. and Miras, D., "Sharp or Smooth?: Comparing the effects of quantization vs. frame rate for streamed video," *CHI 2004*, Vienna, Austria, pp. 535-542, 2004 (4).
- [4] IETF RFC2475, "Architecture for Differentiated Services," 1998 (12).
- [5] Ashmawi, W., Guerin, R., Wolf, S. and Pinson, M. H., "On the Impact of Policing and Rate Guarantees in DiffServ Networks: A Video Streaming Application Perspective," *ACM SIGCOMM 2001*, San Diego, CA, pp. 83-95, 2001 (8).
- [6] Reibman, A., Sen, S. and Merwe, J. V., "Video Quality Estimation for Internet Streaming," *WWW'05*, Chiba, Japan, pp. 1168-1169, 2005 (5).
- [7] 若宮直紀, 村田正幸, 宮原秀夫, "アプリケーションレベル QoS を考慮した TCP と公平な動画像通信," *信学技報*, Vol. CQ99-61, pp. 37-42, 1999 (12).
- [8] 福田良彦, 伊藤嘉広, 田坂修二, "コンテンツの違いがユーザレベル QoS に及ぼす影響," *信学会ソ大*, p. B-11-26, 2002 (9).
- [9] 森亮憲, 勝本道哲, "MPEG-4 配信 QoS プロトコルの提案," *情報処理学会 DPS ワークショップ論文集*, pp. 13-18, 2003 (12).
- [10] 村田嘉利, 増田彰久, 太田賢, 石原進, 水野忠則, "モバイルマルチメディアストリーミングサービスのためのコンテンツ指向時空間的解像度制御方式," *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 12, pp. 3838-3847, 2002 (12).
- [11] ISO/IEC 15938, "MPEG-7: Multimedia content description interface," 2002.
- [12] Lei, Z. and Georganas, N., "Rate Adaptation Transcoding for Pre-coded Video Streams," *ACM Multimedia'02*, Juan-les-Pins, France, pp. 127-136, 2002 (12).
- [13] 田中良久, "心理学的測定法," 東京大学出版会, 1977.
- [14] 日科技連官能検査委員会 (編), "官能検査ハンドブック," 日科技連出版社, 1973.
- [15] 山本健司, 伊藤嘉広, 田坂修二, "コンテンツがユーザレベル QoS に及ぼす影響の多次元評価," *信学技報*, Vol. CQ2003-12, pp. 13-18, 2003 (12).
- [16] 伊藤嘉広, 田坂修二, "音声・ビデオ伝送におけるメディア同期を対象としたユーザレベル QoS の定量的評価及びマッピング," *信学論 (B)*, Vol. J86-B, No. 3, pp. 485-498, 2003 (3).
- [17] ITU-R Recommendation BT.500, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures," 1998.





# 受動性に基づく可動カメラ構造の視覚フィードバック制御

村尾俊幸\*・河合宏之\*\*・藤田政之\*\*\*

## Passivity-based Control of Visual Feedback Systems with Movable Camera Configuration

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

### Abstract

This paper deals with control of visual feedback systems with a movable camera configuration. This configuration consists of a robot manipulator and a camera that is attached to the end-effector of another robot manipulator. This system which can be interpreted the visual feedback system with an eye-in-hand configuration and a fixed camera one as a special case, can enlarge the field of view. Firstly the visual feedback system with an eye-to-hand configuration is given with the fundamental representation of a relative rigid body motion. Next, we construct the visual feedback system with a movable camera configuration by combining the camera control error system. Finally, we derive the passivity of the visual feedback system. Based on the passivity, stability and  $L_2$  gain performance analysis are discussed.

Keywords: Visual feedback control, Robot control, Passivity, Lyapunov stability,  $L_2$  gain performance

### 1. はじめに

近年、視覚フィードバック制御は、工場だけでなく医療分野などへも応用され始めており、より複雑なシステムや幅広い分野へ適用されるようになってきている。この視覚フィードバック制御は、よく知られているように二つの制御方法と二つのカメラ構造に大別できる。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、カメラとハンドが別々に配置された固定カメラ構造である[1][2]。

さらに、Eye-in-Hand 構造では作業スペースを全て観察するにはカメラ視野が限定され、固定カメラ構造では作業スペースを探索するには不十分であるという理由から、二つのカメラ構造を発展させたシステムが研究され始めている。その中の一つに、固定カメラ構造のようにカメラとハンドが別々に配置されているが、カメラが固定されているとは限らない Eye-to-Hand 構造が挙げられる（固定カメラ構造はこの特殊ケースとなる）。実際、工場では溶接作業や車の塗装のような散乱した場所における繰り返しの多い作業が頻繁に行われており、可動カ

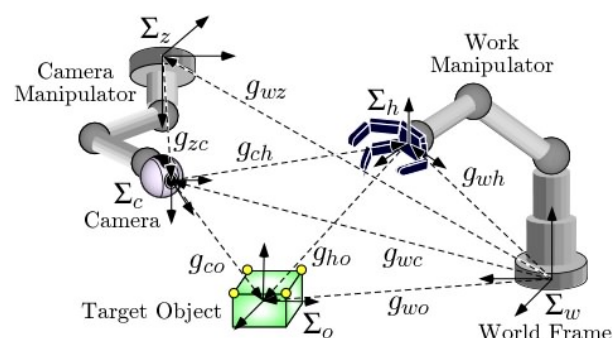


図1 可動カメラ構造の視覚フィードバックシステム

メラを用いた Eye-to-Hand 構造により積極的に視野を得る手法が効果的となる[3]。また、医療分野では穿刺手術マニピュレータなどのメディカルロボットの開発が近年特に望まれており、作業するマニピュレータの位置制御を行いながら、視野を確保するために腹腔鏡などを用いて広範囲をモニタリングする必要が出てくる[4]。このような可動カメラを用いた研究としては、可視度を用いた可動カメラの位置決め[3]、カメラ視野などの指標を用いた制御[5]、リアルタイム性を強く意識した手法[6]などが挙げられる。しかし、これらの論文は安定性や観測対

Received on May 10, 2007

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

\*\*金沢工業大学, 工学部, College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

\*\*\*東京工業大学, 理工学研究科, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

象が運動する場合における議論も十分になされていない。

そこで本研究では, 図 1 に示すような可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムに対して, 手先にカメラを取り付けたマニピュレータ (カメラマニピュレータ) と, 作業を行うマニピュレータ (作業マニピュレータ) を一つのシステムとして捉え, 我々が提案している Eye-in-Hand 構造[7]と固定カメラ構造[8]の視覚フィードバックシステム同様, 受動性に基づくことで安定性や制御性能解析について議論する。

本論文の構成は以下のとおりである。2 節では固定カメラ構造も含まれる Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステムについて述べる。3 節では, カメラ制御偏差システムを組み合わせることにより可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムを構成した後に, 制御則を提案し安定性と  $L_2$  ゲイン制御性能解析を行う。最後に 4 節でまとめを行う。

## 2. Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステム

### 2.1 視覚フィードバックシステムにおける剛体運動の表現

本論文では, 図 1 に示すような, カメラマニピュレータと作業マニピュレータの二台のマニピュレータを有し, 五つの座標系によって表される視覚フィードバックシステムについて考える。図中の五つの座標系をそれぞれ作業マニピュレータの台座に基準座標系  $\Sigma_w$ , 手先に手先座標系  $\Sigma_h$ , カメラマニピュレータの台座に台座座標系  $\Sigma_c$ , 手先にカメラ座標系  $\Sigma_e$  また観測対象に観測対象座標系  $\Sigma_o$  を定義する。ここで,  $g_{ab}$  は同次表現と呼ばれ, 任意の二つの座標系  $\Sigma_a$  から  $\Sigma_b$  の位置  $p_{ab}$  と姿勢を表す回転行列  $e^{\hat{\xi}\theta_{ab}}$  から構成され,  $4 \times 4$  行列として以下のように定義される。

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

例えば, 基準座標系  $\Sigma_w$  からみた手先座標系  $\Sigma_h$  の位置姿勢は  $g_{wh}$  となる。

本システムにおいて,  $g_{wh}$ ,  $g_{zc}$  は各マニピュレータの関節角度などから得られるとする。また各マニピュレータの台座は動かないことから  $g_{wz}$  が同定可能である。さらに, 同次表現の合成則から  $g_{wc}$ ,  $g_{ch}$  を求めることが可能であり, 以上の五つの位置姿勢が既知情報となる。逆

に, 観測対象が未知な運動をするために,  $g_{wo}$ ,  $g_{ho}$ ,  $g_{co}$  は未知情報となる。

本節では準備として Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステムについて議論する。Eye-to-Hand 構造の制御目的は手先座標系からみた観測対象の相対位置姿勢  $g_{ho}$  をその目標位置姿勢  $g_{hd}$  に常に一致させておくことである。しかし前述したように, 手先座標系からみた観測対象の相対位置姿勢  $g_{ho}$  を直接観測することはできない。そこでまずはカメラからみた観測対象  $g_{co}$  の運動について考える。

カメラ座標系からみた観測対象の相対位置姿勢  $g_{co}$  は

$$g_{co} = g_{wc}^{-1} g_{wo} \quad (2)$$

で表される。また, カメラ座標系からみた観測対象の相対速度は(2)式を時間微分することで,  $g_{co}$  の基本式として

$$\dot{V}_{co}^b = -Ad_{(g_{co}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b \quad (3)$$

のように導かれる。ここで,  $V_{ab}^b$  は剛体運動のボディ速度を表しており,  $Ad_{(g_{ab})}$  は同次表現  $g_{ab}$  の随伴写像である[9]。この(3)式は厳密ではないが, カメラ座標系からみた観測対象の相対速度  $V_{co}^b$  がカメラの速度  $V_{wc}^b$  と観測対象の速度  $V_{wo}^b$  の差で表されることを意味している。(3)式において,  $V_{wc}^b = 0$  と考えると固定カメラ構造となる。導出の詳細は文献[8]を参照。

### 2.2 非線形オブザーバと推定偏差システム

本節は推定偏差システムについて述べる。本システムでは一台のピンホールカメラから画像特徴量を得ることを考えている。しかし, カメラから得られる視覚情報  $f$  は相対位置姿勢  $g_{co}$  を含んではいないが, 二次元情報であるため直接  $g_{co}$  を得ることはできない。そこで, 相対位置姿勢の推定値  $\bar{g}_{co}$  を得るために, 非線形オブザーバを構成する。(3)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。

$$\dot{\bar{V}}_{co}^b = -Ad_{(\bar{g}_{co}^{-1})} V_{wc}^b + u_e \quad (4)$$

$u_e$  は推定偏差の振舞いを安定にするために加えられる入力であり, 後に制御則の一部として提案する。

ここで, 相対位置姿勢の真値と推定値の偏差  $g_{ee}$  を

$$g_{ee} := \bar{g}_{co}^{-1} g_{co} \quad (5)$$

と定義する。さらに, この推定偏差に対する推定偏差ベ

クトルを  $e_e := [p_{ee}^T \ e_R^T(e^{\hat{\xi}_{ee}})]^T$  と定義する. ただし  $e_R(e^{\hat{\xi}_{ee}}) := sk(e^{\hat{\xi}_{ee}})^\vee$ ,  $sk(e^{\hat{\xi}_{ee}}) := \frac{1}{2}(e^{\hat{\xi}_{ee}} - e^{-\hat{\xi}_{ee}})$  である. この推定偏差ベクトル  $e_e$  は, カメラから得られる視覚情報  $f$  と推定モデルにより得られる視覚情報  $\bar{f}$ , さらに画像ヤコビアン<sup>2</sup>の擬似逆行列  $J^\dagger(\bar{g}_{co})$  を用いることで

$$e_e = J^\dagger(\bar{g}_{co})(f - \bar{f}) \quad (6)$$

として導かれる[8]. この推定偏差ベクトル  $e_e$  が 0 になれば, 相対位置姿勢の真値と推定値が一致することとなる.

剛体運動の基本式(3)と相対位置姿勢の推定モデル(4)を用いて, 推定偏差システムを構成する. (5)式を時間微分し (3), (4)式を用いることで, 推定偏差システムとして

$$\dot{V}_{ee}^b = -Ad_{(g_{ee}^{-1})} u_e + V_{wo}^b \quad (7)$$

が導出される.

### 2.3 手先制御偏差システム

つぎに実際に制御目的を達成するための手先制御偏差について述べる. 手先座標系からみた観測対象の相対位置姿勢  $g_{ho}$  も,  $g_{co}$  が直接求められないために得ることができない. したがって, その推定値  $\bar{g}_{ho}$  を求めることを考え,  $\bar{g}_{co}$  を用いてつぎのように表す.

$$\bar{g}_{ho} := g_{ch}^{-1} \bar{g}_{co} \quad (8)$$

相対位置姿勢  $\bar{g}_{ho}$  の基本式は, 手先の速度を  $V_{wh}^b$  とすると, (8)式より以下の式のように導かれる.

$$\dot{\bar{V}}_{ho}^b = -Ad_{(\bar{g}_{ho}^{-1})} V_{wh}^b + u_e \quad (9)$$

ここで, 相対位置姿勢の推定値  $\bar{g}_{ho}$  と手先座標系からみた観測対象の相対位置姿勢の目標値  $g_{hd}$  との偏差を手先制御偏差  $g_{eh}$  として

$$g_{eh} := g_{hd}^{-1} \bar{g}_{ho} \quad (10)$$

で定義する. また, 推定偏差ベクトルと同様に, 手先制御偏差ベクトルを  $e_h := [p_{eh}^T \ e_R^T(e^{\hat{\xi}_{eh}})]^T$  と定義する.

導出した相対位置姿勢  $\bar{g}_{ho}$  の運動モデルおよび相対位置姿勢の目標値を用いて, 手先制御偏差システムを構成する. (7)式の推定偏差システムの導出と同様に, (10)式を時間微分することで, 手先制御偏差システムは

$$\dot{V}_{eh}^b = -Ad_{(\bar{g}_{ho}^{-1})} V_{wh}^b + u_e - Ad_{(g_{eh}^{-1})} V_{hd}^b \quad (11)$$

と導出される. ここで  $V_{hd}^b$  は手先座標系からみた観測対

象の相対位置姿勢  $g_{ho}$  の目標速度である.

### 2.4 Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステム

(7)式の推定偏差システムと(11)式の手先制御偏差システムを組み合わせることで, Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステムは次のように表すことができる.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{eh}^b \\ \dot{V}_{ee}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Ad_{(g_{eh}^{-1})} & I \\ 0 & -Ad_{(g_{ee}^{-1})} \end{bmatrix} u_{he} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} V_{wo}^b \quad (12)$$

で表される. ただし,

$$u_{he} := \begin{bmatrix} Ad_{(g_{hd}^{-1})} V_{wh}^b + V_{hd}^b \\ u_e \end{bmatrix} \quad (13)$$

で定義される. Eye-to-Hand 構造の動的視覚フィードバックシステムにおける制御目的は, 運動する観測対象に作業マニピュレータの手先を追従させることであり, 状態  $e_h$  および  $e_e$  を 0 にとどめておくことで制御目的が達成される.

(注意) 本節ではカメラの動きについては議論していない. カメラの動きを考えない場合, Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステム(12)は, 文献[8]の固定カメラ構造の視覚フィードバックシステムと一致する.

## 3. 可動カメラ構造の視覚フィードバック制御

前節では Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバック制御について述べてきた. しかし前節のシステムでは, カメラ速度  $V_{wc}^b$  を入力として考慮していなかったため, 観測対象が視野から外れてしまう可能性がある. 例えば文献[8]では  $V_{wc}^b = 0$  とした Eye-to-Hand 構造の特殊ケースである固定カメラ構造に対して議論した. 一般的に固定カメラ構造は Eye-in-Hand 構造に比べて大域的な視野を得ることができるとされているものの, 観測対象が大きく動くようなシステムにおいてはより広いカメラ視野が必要となる.

本節では可動カメラの利点を活かし, カメラ速度  $V_{wc}^b$  を決め, システムの入力とすることでカメラが観測対象を視野から外さないようにする. そこで図1に示すように, カメラをマニピュレータの手先に取り付け制御することを考える.

### 3.1 カメラ制御偏差システム

本論文の制御目的は前述の  $g_{ho}$  を  $g_{hd}$  に常に一致させ

ておくことに加え, カメラが観測対象を外さないように, カメラ座標系からみた観測対象の相対位置姿勢  $g_{co}$  をその目標位置姿勢  $g_{cd}$  に常に一致させておくことである. しかし, 前節で述べたように  $g_{co}$  を直接得ることはできないため, 制御目的を達成するためにその推定値  $\bar{g}_{co}$  を用いる. 相対位置姿勢の推定値  $\bar{g}_{co}$  とカメラ座標系からみた観測対象の相対位置姿勢の目標値  $g_{cd}$  との偏差をカメラ制御偏差  $g_{ec}$  として

$$g_{ec} := g_{cd}^{-1} \bar{g}_{co} \quad (14)$$

で定義する. また, カメラ制御偏差ベクトルを  $e_c := [p_{ec}^T \quad e_R^T(e^{\hat{\xi}\theta_{ec}})]^T$  と定義する. (11)式の手先制御偏差システムの導出と同様に, (14)式を時間微分することで, カメラ制御偏差システムは

$$\dot{V}_{ec}^b = -Ad_{(\bar{g}_{co}^{-1})} V_{wc}^b + u_e - Ad_{(g_{ec}^{-1})} V_{cd}^b \quad (15)$$

と導出される. ここで  $V_{cd}^b$  はカメラ座標系からみた観測対象の相対位置姿勢  $g_{co}$  の目標速度である.

### 3.2 可動カメラ構造の視覚フィードバックシステム

(12)式の Eye-to-Hand 構造の視覚フィードバックシステムと(15)式のカメラ制御偏差システムを組み合わせることで, 可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムは次のように表すことができる.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{eh}^b \\ \dot{V}_{ec}^b \\ \dot{V}_{ee}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Ad_{(g_{cd}^{-1})} & 0 & I \\ 0 & -Ad_{(g_{ec}^{-1})} & I \\ 0 & 0 & -Ad_{(g_{cd}^{-1})} \end{bmatrix} u_{hce} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} V_{wo}^b \quad (16)$$

で表される. ただし,

$$u_{hce} := \begin{bmatrix} Ad_{(g_{hd}^{-1})} V_{wh}^b + V_{hd}^b \\ Ad_{(g_{cd}^{-1})} V_{wc}^b + V_{cd}^b \\ u_e \end{bmatrix} \quad (17)$$

で定義される. 可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムにおける制御目的は, カメラから観測対象への相対位置姿勢と手先から観測対象への相対位置姿勢を常にそれぞれの目標位置姿勢に一致させておくことであり, 状態  $e := [e_h^T \quad e_c^T \quad e_e^T]^T$  を 0 に留めておくことで制御目的が達成される.

本システムはカメラが可動式であるために, 固定カメラ構造に比べてカメラ視野を広くすることが可能であり, それによりロボットの作業スペースをより広げることが

できる. 図2に可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムのブロック図を示す.

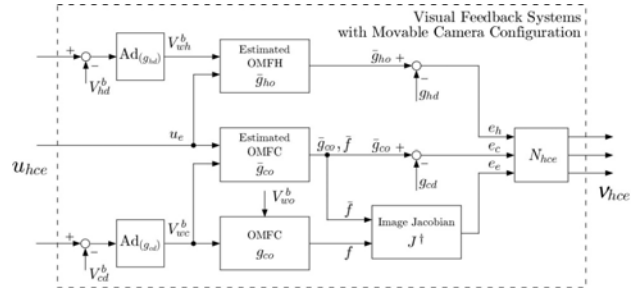


図2 可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムのブロック図

### 3.3 視覚フィードバックシステムの入出力間の関係

制御則を提案するために, 視覚フィードバックシステムの有する性質を示す.

**補題 1** 観測対象が静止している (すなわち  $V_{wo}^b = 0$ ) とする. このとき, 出力を

$$v_{hce} := N_{hce} e \quad (18)$$

$$N_{hce} := \begin{bmatrix} -I & 0 & 0 \\ 0 & -I & 0 \\ Ad_{(e^{-\hat{\xi}\theta_{eh}})} & Ad_{(e^{-\hat{\xi}\theta_{ec}})} & -I \end{bmatrix} \quad (19)$$

とするとき, (16)式の視覚フィードバックシステムの入出力間に

$$\int_0^T u_{hce}^T v_{hce} d\tau \geq -\beta_{hce}, \quad \forall T > 0 \quad (20)$$

が成り立つ. ただし  $\beta_{hce}$  はある非負の定数である.

(証明) エネルギー関数として

$$V_{hce} = E(g_{eh}) + E(g_{ec}) + E(g_{ee}) \quad (21)$$

を考える. ここで  $E(g_{ab}) := \frac{1}{2} \|p_{ab}\|^2 + \phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}})$  であり,

関数  $\phi(e^{\hat{\xi}\theta_{ab}})$  は回転行列に対する誤差関数を表す正定関数である. 視覚フィードバックシステムのもつ歪対称性から, エネルギー関数  $V_{hce}$  の時間微分は

$$\dot{V}_{hce} = e^T N_{hce}^T u_{hce} = u_{hce}^T v_{hce} \quad (22)$$

となる. (22)式の両辺を積分することで

$$\int_0^T u_{hce}^T v_{hce} d\tau = V_{hce}(T) - V_{hce}(0) \geq -V_{hce}(0) := -\beta_{hce} \quad (23)$$

が成り立つ.  $\beta_{hce}$  は初期状態のみに依存するある非負の定数である.  $\square$

この補題は、(16)式の視覚フィードバックシステムが受動性を有していることを示唆している。この可動カメラ構造の視覚フィードバックシステム(16)は、作業マニピュレータを考慮しないとき、Eye-in-Hand 構造の視覚フィードバックシステムとみなすことができる。具体的には、手先速度  $V_{wh}^b = 0$ 、基準座標系からみた台座の相対位置姿勢  $g_{wz} = I$ 、さらに手先制御偏差  $e_h$  と作業マニピュレータを考慮しない特別な場合が、文献[7]で示した Eye-in-Hand 構造の視覚フィードバックシステムとなる。また 2 節より固定カメラ構造の視覚フィードバックシステム[8]が含まれていることは明らかである。したがって可動カメラ構造の視覚フィードバックシステム(16)は Eye-in-Hand 構造と固定カメラ構造という一般的によく知られている二つのカメラ構造の視覚フィードバックシステムを特殊な場合として含んだ形となる。

### 3.4 視覚フィードバック制御則と安定性

視覚フィードバックシステム(16)に対し、観測対象が静止している(すなわち  $V_{wo}^b = 0$ )場合に平衡点  $e = 0$  を安定とする制御則として次式を提案する。

$$u_{hce} = -K_{hce} v_{hce}, \quad K_{hce} := \text{diag}\{K_h, K_c, K_e\} \quad (24)$$

$K_h := \text{diag}\{k_{h1}, \dots, k_{h6}\}$ 、 $K_c := \text{diag}\{k_{c1}, \dots, k_{c6}\}$  と  $K_e := \text{diag}\{k_{e1}, \dots, k_{e6}\}$  は  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸の並進と回転における手先制御偏差とカメラ制御偏差と推定偏差に対するゲインである。ただし、ゲインにおける各要素はすべて正とする。

このとき、補題 1 で示した視覚フィードバックシステムの受動性に基づくことで、安定性に関してつぎの定理が導かれる。

**定理 1** 観測対象が静止している (すなわち  $V_{wo}^b = 0$ ) とし視覚フィードバックシステム(16)と(24)式の入力で構成される閉ループ系の平衡点  $e = 0$  は漸近安定である。(証明) (21)式のエネルギ関数を Lyapunov 関数候補とすると、(16)、(24)式の解軌道に沿った時間微分は(22)式より

$$\dot{V}_{hce} = u_{hce}^T v_{hce} = -e^T N_{hce}^T K_{hce} N_{hce} e \quad (25)$$

と導かれる。ゲイン  $K_h$ 、 $K_c$ 、 $K_e$  の正定性より行列  $K_{hce}$  が正定であり、 $N_{hce}$  が正則であるため、システムの平衡点  $e = 0$  は漸近安定となる。□

定理 1 では、カメラマニピュレータと作業マニピュレ

ータを一つのシステムとして含めた可動カメラ構造の視覚フィードバックシステムに対し、Lyapunov の安定定理によりその安定性を示した。この安定性解析は補題 1 で示した受動性に基づいて行われている。

### 3.5 $L_2$ ゲイン制御性能解析

本節では観測対象が運動している場合に、観測対象の動きを外乱とみなし、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  $k_c$  と  $k_e$  を用いることにより、 $K_c = k_c I$ 、 $K_e = k_e I$  とゲインを定義しなおす。また、ある正の数  $\gamma$  を用いてつぎの条件を与える。

$$K_h - \frac{1}{2}I - \frac{(2k_c - 1)l}{2k_c - 1 - 2l}I > 0 \quad (26)$$

$$k_c - \frac{1}{2} - l > 0 \quad (27)$$

$$k_e - \frac{1}{2\gamma^2} - \frac{1}{2} > 0 \quad (28)$$

ただし

$$l = \frac{k_e(\gamma^2 + 1)}{\gamma^2(2k_e - 1) - 1} \quad (29)$$

とする。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  $\gamma$  に対して、(26)~(28)式を満たすようにゲイン  $K_h$ 、 $k_c$ 、 $k_e$  を選ぶとき、(16)、(24)式で構成される視覚フィードバックシステムは  $\gamma$  以下の  $L_2$  ゲインを有する。

紙面の都合上証明は省略するが、(21)式のエネルギ関数を蓄積関数としてみなすことで、定理 2 は証明される。

この制御性能解析では観測対象の運動を外乱としてとらえているために、 $\gamma$  が小さいコントローラであれば観測対象の運動が状態に与える影響がより少ないことを示している。本論文では、 $H_\infty$  制御における最も基本となる外乱抑制問題を考えたが、適切な一般化プラントを構成することで、外乱抑制問題以外にも拡張可能である。

## 4. おわりに

本論文では、二台のマニピュレータを用いた可動カメラ構造の 3 次元視覚フィードバックシステムを構成し

た. ロボットの作業スペースをより広げるために, カメラを固定させずに可動カメラを用いた本システムは, Eye-in-Hand 構造と固定カメラ構造の両構造を特殊な場合として含んでいる. 視覚フィードバックシステムが有する受動性に基づいて制御則を提案し, Lyapunov の安定定理により安定性解析を行った. また, 観測対象が運動する場合に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った.

#### 参考文献

- [1] S. Hutchinson, G. D. Hager and P. I. Corke, "A Tutorial on Visual Servo Control," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 5, pp. 651-670, 1996 (10).
- [2] F. Chaumette and S. Hutchinson, "Visual Servo Control, Part I: Basic Approaches," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 13, No. 4, pp. 82-90, 2006 (12).
- [3] R. Sharma and S. Hutchinson, "Motion Perceptibility and its Application to Active Vision-based Servo Control," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 5, pp. 651-670, 1996 (10).
- [4] 下山 勲ら, "ロボットフロンティア," 岩波書店, 2005 .
- [5] B. J. Nelson and P. K. Khosla, "Visually Guided Manipulation using Active Camera-Lens Systems," *Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 437-442, 1997 (4).
- [6] A. Muis and K. Ohnishi, "Eye-to-Hand Approach on Eye-in-Hand Configuration within Real-Time Visual Servoing," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, Vol. 10, No. 4, pp. 404-410, 2005 (12).
- [7] 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 (1).
- [8] 河合宏之, 村尾俊幸, 東 剛人, 藤田政之, "受動性に基づく 3 次元動的視覚フィードバック制御の固定カメラ構造への展開," システム制御情報学会論文誌, Vol. 18, No. 4, pp. 127-135, 2005 (4).
- [9] R. Murray, Z. Li and S. S. Sastry, "A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation," CRC Press, 1994.

# 因果律に基づく新たな信号処理法を用いた 遅延時間推定法

土屋 陽 介\*

## Delay Time Estimation using New Signal Processing Method based on the Causality

Yosuke Tsuchiya\*

### Abstract

We present a new method for measuring delay time and acoustical properties of sound reflection systems. In this method, the system is assumed as a minimum-phase system with delay, and is described as a discrete causal system. Since the causality of the system is defined differently between the real system and the discrete system, we must transform the frequency characteristics of the former to those of the latter. To do this properly, we propose a new extrapolation technique. The total frequency characteristics are extrapolated from the band limited measured data so as to satisfy the causality described in a discrete way. Thus, we can use the discrete Hilbert transform relation between real and imaginary parts, and also between the log magnitude and the phase, of the frequency characteristics of the sound reflection system. Using this method, we can estimate the frequency characteristics of the sound reflecting material as well as the delay time of sound reflection.

Keywords: acoustic impedance, Hilbert transform, extrapolation, causal system

### 1. はじめに

音響信号を用いて試料の反射特性を測定する際、図 1 に示すシステムのように、スピーカーからパルス信号を反射面に対して垂直に出力し、その直接波成分と試料からの反射波成分をマイクによって観測をする。反射特性はこれら 2 つの成分の比によって求めることができるが、このとき重要な問題となるのが試料の境界面から観測点までの正確な距離である。しかしながら、草地や砂利地などの境界面自体が不明確な場合には、視覚的にこの距離を決定することはきわめて困難である。このような境界面の位置決め問題に対して本研究では音響的境界面は音響的に決定するという立場に立ち、音響信号によるむだ時間(最小位相系におけるインパルス応答の時間原点)を推定することを目的とする。

反射波の遅延時間を推定する一般的な手法として相互相関関数があるが、相互相関関数の場合、そのピークが現れた位置により遅延時間が決まる。しかしながら、境界面自体が不明確な試料に対してそのインパルス応答を観測した場合には、試料の反射特性に伴うひずみの影響により、図 1 のようになだらかな応答が観測され、相互相関関数のピークの位置とインパルス応答の時間原点にずれが生じてしまう。このような音響反射システムをむだ

時間プラス最小位相系と表し、反射特性を最小位相系の部分にあてはめることができれば、むだ時間を推定することで信号の純粋な遅延時間を求めることができる [1][2].

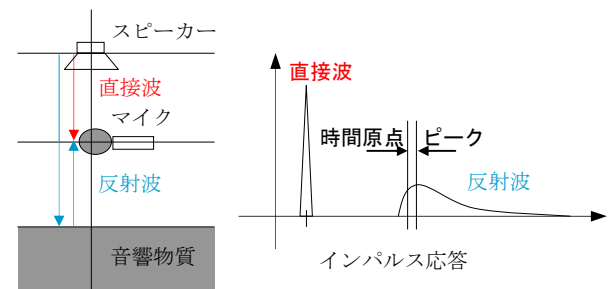


図 1 反射特性の測定システム

### 2. 遅延時間推定の基本原理

遅延時間推定の基本的な考え方は、システムが最小位相系である場合、その周波数特性の対数振幅と位相との間に成立するヒルベルト変換の関係を利用するものであり、システムが因果性を満足している必要がある [3][4]. しかしながら図 2 で示されるように実際にわれわれが得られるデータは離散データであり、それから算出される周波数特性は有限個に制限される。



一般的に実数部, 虚数部ともに帯域が制限された周波数特性は因果律を満たさない. よって本手法の中心的課題は, 帯域制限された観測データからいかにして因果性システムの周波数特性を離散系として表現するかにあり, その信号論的根拠は, 離散因果性システムの周波数特性は2分の1の情報から残りのすべてが一意に決定されるという事実に基づいている[3]. たとえば全周波数特性における虚数部が実数部のヒルベルト変換によって求まるのと同様に, 全周波数特性における高周波成分(実数部および虚数部)もまた低周波成分から求まる.

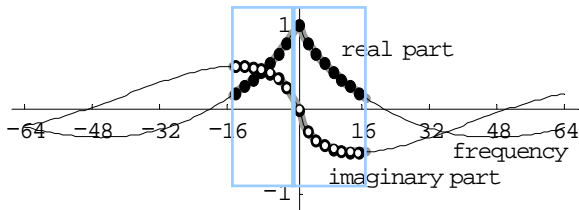


図2 連続系における周波数

3. 離散因果性システム構築のための周波数特性の外挿

連続系での信号の帯域幅は無限大であるが, 図2の丸で示すように現実にわれわれが観測しうる帯域は離散系における制限を受けるため有限である. 離散系において因果性を満足させるために帯域制限された信号から未知の周波数特性の外挿を行なう.

3.1 外挿手順

離散系での周波数の範囲は, 測定によって得られる周波数の範囲の2倍に設定する. 超音波領域などの音響計測では通常, 観測データが狭帯域のバンドパス的なデータとなるため, 測定により得られた中間の周波数領域から外挿によってその上下両方向を推定する. 以下にその手順について述べる.

測定範囲の2倍に設定した周波数特性において, 実数部を  $X(k)$ , 虚数部を  $Y(k)$  とし, 周波数特性を

$$Z(k) = X(k) + jY(k) \quad (k = 0, 1, \dots, K-1) \quad (1)$$

とおく. ここで,  $K$ は周波数特性の範囲を現し, 測定により得られる周波数特性は,  $Z(k)$  ( $k = K/8+1, K/8+2, \dots, 3K/8$ ) である. このとき, 負の周波数特性は複素共役接続するものとする.

$$Z(k-k) = Z^*(k) \quad (2)$$

この初期状態から, 未知の周波数領域である上下両方向の周波数特性  $Z(k)$  ( $k = 0, 1, \dots, K/8; k = 3K/8+1, 3K/8+2, \dots, K/2$ ) を外挿によって求める.

- (1) 外挿したい未知の周波数の部分を

$$X(k) = x_k \quad (k = 0, 1, \dots, K/8; k = 3K/8+1, 3K/8+2, \dots, K/2) \quad (3)$$

とおき, 外挿することにより  $x_k$  の値を得る.

- (2) 周波数特性の実数部  $X(k)$  の DHT  $H[X(k)]$  を計算する.
- (3) 観測された範囲内  $k = K/8+1, K/8+2, \dots, 3K/8$  において  $X(k)$  の DHT である  $H[X(k)]$  と測定された虚数部  $Y(k)$  の二乗誤差を次式のように定義する.

$$E = \sum_{k=0}^{K/8} W^2(k) + \sum_{k=K/8+1}^{3K/8} (H[X(k)] - Y(k))^2 + \sum_{k=3K/8+1}^{K/2} W^2(k) \quad (4)$$

このとき,  $W(k)$  は外挿結果を安定化させるため項で以下の式で与えられる.

$$W(k) = \frac{1}{M} [(X(k) - Z(k-1)) + j(H[X(k)] - H[X(k-1)])] \quad (5)$$

ここで,  $M$  はあらかじめ決められた定数である.

- (4) 二乗誤差  $E$  が最小になるような変数  $x_k$  ( $k = 0, 1, \dots, K/8; k = 3K/8+1, 3K/8+2, \dots, K/2$ ) を決定する.

3.2 外挿結果

実際の外挿の様子を図3に示す. データ数は  $K=64$  である. 図3(a)に外挿前の初期状態で青枠が測定された周波数特性を示す. この状態では実数部のヒルベルト変換によって求めた虚数部(細線)と測定によって得られた虚数部(白丸)との間に差異が生じていることがわかる. ここで両者にわずかでも誤差がある場合, 観測された実数部と虚数部の間にはヒルベルト変換の関係が成立しないことを栗原氏, 離散因果性を満足していないことになる. 図3(b)は外挿結果であり, 外挿された実数部の

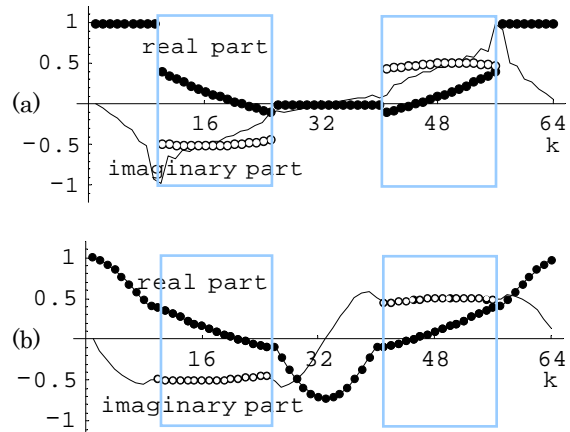


図3 双方向外挿法での外挿結果

- (a) 初期状態
- (b) 外挿結果

ヒルベルト変換によって求められた虚数部（細線）が測定により得られた周波数特性と一致しており、これにより離散因果性が満たされたことになる。

#### 4. 離散因果性システムでの遅延時間推定法

前章で述べた外挿法を用いて外挿された結果から周波数特性の対数伝達関数を計算することにより、遅延時間の推定を行なう。

遅延時間推定の基本的な原理は音響反射システムをむだ時間プラス最小位相系と表すことにある。外挿された周波数特性を対数振幅と位相で表したとき、時間原点にずれがあることで、その影響が位相に含まれ対数振幅と位相はヒルベルト変換の関係を満足せず、システムが最小位相系にはならない。そこで、本手法では両者がヒルベルト変換の関係を満足するように時間原点の補正量を決定し、これをむだ時間とおくことで、むだ時間プラス最小位相系と表す。このときのむだ時間が遅延時間に対応する。

##### 4.1 遅延時間の推定手順

遅延時間の推定は外挿により離散因果性を満たしたシステムにおいて対数振幅と位相との間に成立するヒルベルト変換の関係を利用する。以下に遅延時間を推定する実際の手順について述べる。

- (1) 外挿された周波数特性  $Z(k)$  の複素対数

$$\tilde{Z}(k) = \tilde{X}(k) + j\tilde{Y}(k) \quad (6)$$

をとる。このとき

$$\tilde{X}(k) = \log |Z(k)|, \quad \tilde{Y}(k) = \arg Z(k) \quad (7)$$

である

- (2) 対数振幅  $\tilde{X}(k)$  の DHT  $H[\tilde{X}(k)]$  を計算する
- (3) 対数振幅の DHT と観測された位相の二乗誤差を次式のように定義する。

$$E' = \sum_{k=0}^{K'} (H[\tilde{X}(k)] - \tilde{Y}(k) - k\Delta)^2 \quad (8)$$

- (4) 二乗誤差  $E'$  が最小になるような  $\Delta$  を決定する。  
この  $\Delta$  が推定された遅延時間を与える。

##### 4.2 遅延時間の推定結果

図 4 に遅延を含んだ最小位相系での遅延時間の推定結果を示す。図 4(a) は図 3(b) の外挿された周波数特性の対数振幅を示し、図 4(b) は図 4(a) のヒルベルト変換（細線）、測定により得られた位相（黒丸）、補正された後の位相（太

線）をそれぞれ示す。この両者の位相差が遅延時間に対応する。

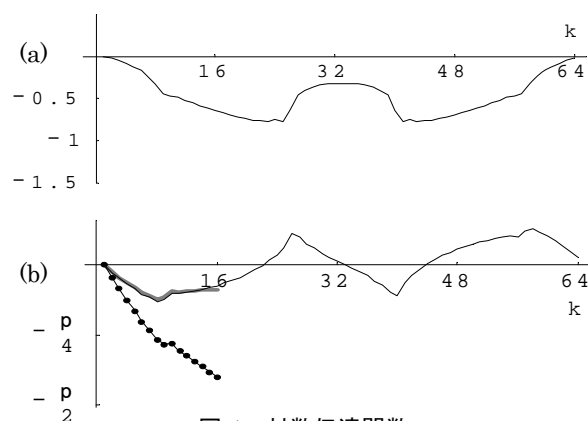


図 4 対数伝達関数

- (a) 外挿された周波数特性の対数振幅
- (b) 対数振幅の DHT により求められた位相

#### 5. 遅延時間推定法の検証および考察

本手法を用いた遅延時間の推定結果を検証するために、あらかじめ故意に遅延を与え、その遅延時間を推定する。このとき音響反射システムとして、境界面が不明確な物体を想定し、多孔質材料のインピーダンスモデル [5][6] を使用した。

##### 5.1 多孔質材料のインピーダンスモデル

境界面が不明確な音響反射面として多孔質材料のインピーダンスモデルを用い、遅延時間推定の検証を行う。多孔質材料とは、たとえばスポンジのように穴がたくさん空いている物質のことをいう。この多孔質材料のインピーダンスモデルは以下のように与えられる。

$$Z(f) = R(f) + jX(f), \quad (9)$$

$$R(f) = \frac{q}{\Omega} \left[ 1 + 0.070 \left( \frac{f}{\sigma_e} \right)^{-0.632} \right], \quad (10)$$

$$X(f) = -0.107 \frac{q}{\Omega} \left( \frac{f}{\sigma_e} \right)^{-0.632}. \quad (11)$$

ここで  $q$  および  $\Omega$  は、それぞれ多孔質材料の屈曲率と有孔率を表し、本論文では単純化のため  $q = \Omega = 1$  とする。この多孔質材料のインピーダンスモデルにおいて  $\sigma_e$  はモデル試料の流れ抵抗を表し、この値を変えることによりさまざまな試料のインピーダンスに対応させることができる。たとえば、 $\sigma_e = 10 \times 10^3$  (SI 単位) 程度でガラスウール面に、 $\sigma_e = 300 \times 10^3$  程度で草地面に、 $\sigma_e = 2000 \times 10^3$  程度でアスファルト面に対応すると考えられている [7]。

反射特性として図 5 に示す流れ抵抗  $\sigma_e=300 \times 10^3$ (SI 単位)の多孔質材料モデルを用いた。ここで流れ抵抗  $\sigma_e=300 \times 10^3$  の多孔質材料は草地面に対応する。ここで(1)式の周波数特性の範囲を与える  $K$  の値を 64 として推定を行う。このときの中間の周波数特性 ( $k=10 \sim 25$ ) を測定によって得られる部分と想定する。しかし、このままでは離散因果性を満足しないため、その上下両方向の周波数特性 ( $k=1 \sim 9, 26 \sim 32$ ) を外挿によって求める。この周波数特性の測定においてサンプリング周波数を 20kHz と想定することで、 $k=10 \sim 25$  の範囲では 2.5 ~ 7.5kHz に、 $k=1 \sim 9, 26 \sim 32$  では 0 ~ 2.5, 7.5 ~ 10kHz に対応する。

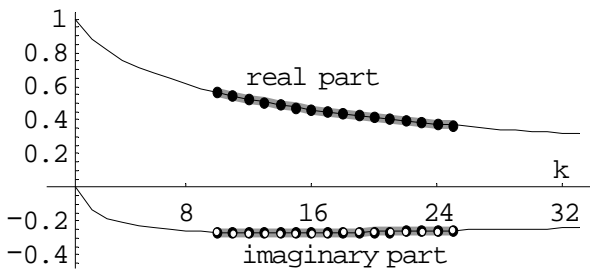


図 5 多孔質材料モデル ( $\sigma_e=300 \times 10^3$ ) の反射特性

●印：測定により得られた実数部  
○印：測定により得られた虚数部

### 5.2 推定結果の検証

本手法での推定結果の検証のために、前節で述べた多孔質材料モデルの反射特性にあらかじめ遅延時間を与える、それを推定対象とする。次式にあらかじめ遅延を与えた反射特性  $Z_n(k)$  を示す。ここで  $Z(k)$  は多孔質材料モデルの反射特性を示し、この  $Z(k)$  に遅延成分  $e^{-j2\pi kn\Delta/N}$  をかけることで遅延を与える。

$$Z_n(k) = Z(k)e^{-j2\pi kn\Delta/N} \quad (12)$$

ここで  $N = 64$ ,  $\Delta = 1/16$  とすることにより、 $T_s/16$  刻みで  $0 \sim 4T_s$  の範囲の遅延時間を与える。この  $T_s$  はサンプリング周期を示し、サンプリング周波数を 20kHz と想定しているため  $T_s = 50 \mu s$  となる。

(12)式で与えた  $0 \sim 4 T_s$  の全ての遅延に対して本手法で推定を行ったときの外挿結果の実数部と対数振幅を図 6 に示す。ここで  $k$  は周波数を表し、 $k = 32$  の点では 10kHz に、 $k = 16$  の点では 5kHz に対応する。また  $n$  は  $T_s/16$  刻みで与えた遅延を表し、 $n = 16$  で  $1T_s$  に  $n = 32$  で  $2T_s$  に対応する。図 6(b)に示す対数振幅において、折り返し周波数の点 ( $k = 32$ ) が約  $2 T_s$  の周期で  $-\infty$  になる周期的な変動が見られる。変動が起きる原因は、図 6(a) に示す外挿結果の実数部において折り返し周波数の点 ( $k = 32$ ) で 0 の値をとるためである。

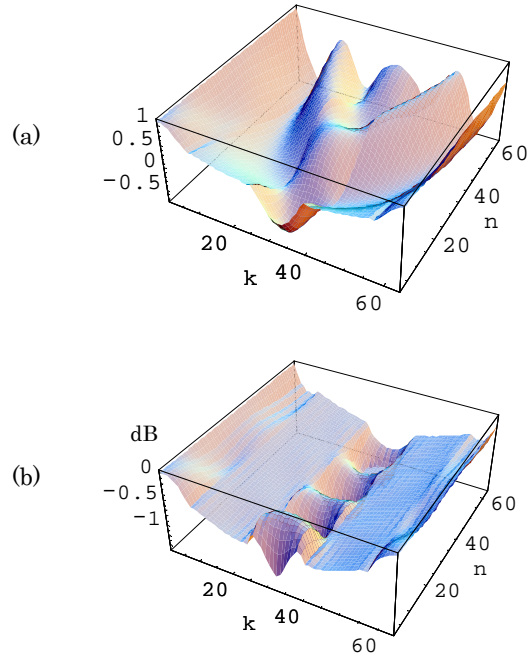


図 6 遅延を与えたときの外挿結果および対数伝達関数

(a) 外挿結果の実数部  
(b) 対数振幅  
 $k$  : 周波数 ( $\times 312.5\text{Hz}$ )  
 $n$  : 与えた遅延 ( $\times T_s / 16$ )

### 5.3 時間原点推定

あらかじめ与えた全ての遅延に対し、遅延時間を推定した結果を図 7 に示す。この図では横軸にあらかじめ与えた遅延を、縦軸に推定した遅延時間を示し、単位はいずれも  $T_s$  である。ここで、与えられた遅延によって本来の遅延時間と推定された遅延時間に図 6(b)と同じ周期で変動する誤差が生じてしまう。この与えられた遅延による周期的な変動誤差の影響を軽減するために、推定結果 (太線) の回帰直線 (細線) を求めた。次式にその回帰直線を示す。

$$y = 0.145644 + 0.998782x \quad (13)$$

本来であれば図 7 の破線で示す  $y = x$  が正しい遅延時間となるのだが、本手法の推定結果では与える遅延時間が大きいほど誤差が増してしまう。しかしながら、回帰直線を求めることにより、変動誤差の影響や、与えられる遅延時間による誤差の増加を軽減することができる。

(13)式で  $x = 0$  としたときの  $y$  の値が推定された時間原点を与える。この結果から時間原点では約  $0.14T_s$  の誤差となる。最大で  $0.2T_s$  程度の変動誤差が回帰直線を求めることにより約半分抑えられる。ここでサンプリング周期  $T_s$  は  $50 \mu s$  であるから、時間原点での誤差を時間になおすと約  $7.3 \mu s$  の誤差を持っていることになる。

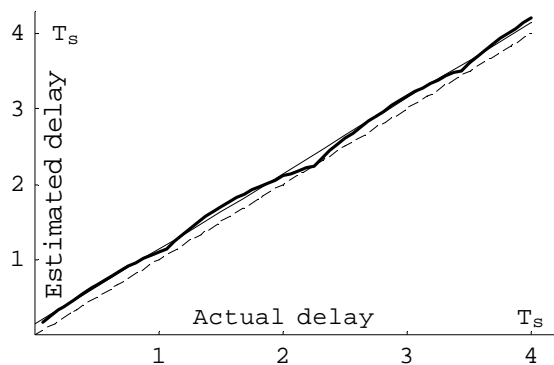


図7 遅延時間と推定結果との関係 ( $\sigma_e=300 \times 10^3$ )

太線：遅延時間の推定結果  
 細線：回帰直線  
 破線：本来の遅延時間

### 5.4 流れ抵抗による推定誤差の検証

図8に多孔質材料のインピーダンスモデルを用い流れ抵抗  $\sigma_e$  を  $100 \times 10^3$  から  $3000 \times 10^3$  まで変化させたときの時間原点の誤差を示す。この結果から本手法では推定誤差は一定の減衰率を持ち、流れ抵抗が高くなるほど推定誤差が減少し、推定精度が高くなる。

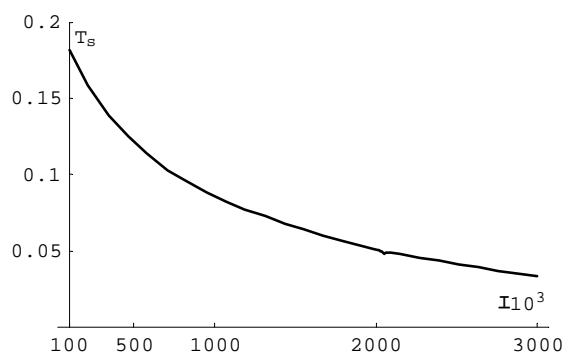


図8 流れ抵抗による推定誤差の関係

### 5.5 相互相関関数との比較

遅延時間を推定する一般的な手法として相互相関関数がある。本章では本手法で遅延時間を推定した結果と相互相関関数で遅延時間を推定した結果の比較をする。図9に相互相関関数を用いて時間原点推定を行った場合のシミュレーション結果を示す。本手法との比較のために、反射特性に流れ抵抗  $\sigma_e=300 \times 10^3$  の多孔質材料のインピーダンスモデルを用い、測定信号として遮断周波数 5kHz の低域フィルタを通過させた信号を想定している。

図9は境界面上における入射波と反射波の相互相関関数であるため、本来ならば遅れ0のところピークが現れるべきであるが、反射特性が有する固有の位相遅れの影響で、矢印で示すように相関関数のピークに  $36 \mu s$  の遅延が生じてしまう。これが時間原点での推定誤差となり、前節の結果と比較すると、本手法を用いることにより、約5倍程度高い精度で推定ができることになる。

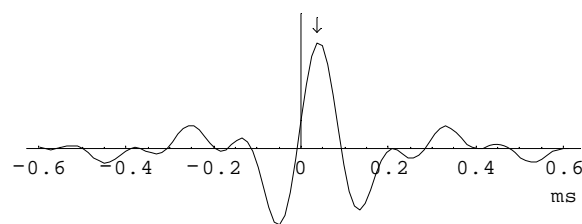


図9 相互相関関数による時間原点推定

## 6. おわりに

ヒルベルト変換を利用して信号の遅延時間を推定する手法について述べた。音響反射システムをむだ時間プラス最小位相系と記述したときに、最小位相系の対数伝達関数の対数振幅と位相の間に成立するヒルベルト変換の関係を用いて時間原点推定することにより、むだ時間を求めるものである。このとき帯域が制限された離散値系の観測データに対し、帯域外の特性を外挿することにより離散因果性を満足させる。本稿では離散因果性システム実現のためのアルゴリズムを明確にし、さらに外挿結果の安定化を行なった。

遅延時間の推定結果の検証のために、多孔質材料モデルを用い遅延時間を推定する一般的な手法である相互相関関数と推定誤差の比較をした結果、 $\sigma_e=300 \times 10^3$  の流れ抵抗では5倍程度高い精度で推定できることが確認できた。

### 参考文献

- [1] Y. Miki, Y. Tsuchiya: "New method for measuring sound reflection characteristics based on the causality and the minimum-phase property of the system," Inter-Noise 2006 (2006.12)
- [2] 土屋 陽介, 幹 康: "ヒルベルト変換と新たな外挿法を利用した遅延時間推定法," 計測自動制御学会論文集, Vol.40, No.10, pp. 988/993 (2004)
- [3] 幹 康: "ヒルベルト変換を利用した遅延時間推定法," 計測自動制御学会論文集, pp. 678/684 (1988)
- [4] Y. Miki: "Determination of a reflecting surface by Hilbert transform method," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 11, pp. 287/290 (1990)
- [5] Y. Miki: "Acoustical properties of porous materials -modifications of Delany-Bazley models-," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 11, 19/24 (1990)
- [6] Y. Miki: "Acoustical properties of porous materials -Generalizations of empirical models-," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 11, 25/28 (1990)
- [7] 井清 武弘: "騒音伝搬に与える地表面の影響," 日本音響学会誌, 38-5, 270/276 (1982)