

ISSN 1882-4021

産業技術大学院大学

紀 要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第9号

2015年12月

産業技術大学院大学

目 次

論 文

グローバル航空都市ネットワーク

— 21世紀南部アフリカ地域のリープ・フロッグ型発展戦略……………	石 島 辰太郎 前 田 充 浩	1
-----------------------------------	--------------------	---

録画視聴型の授業の取り組み及び評価……………	小 山 裕 司	13
------------------------	---------	----

専門職大学院における CAD 入門講座の実践報告

～技能の学習における問題と取り組み～……………	網 代 剛 村 田 桂 太	21
-------------------------	------------------	----

e-Learning システムのための非構造データ設計……………	慎 祥 揆	27
----------------------------------	-------	----

超高温焼成による木質廃材の再資源化とその特性評価……………	石 坂 慶 水 越 義 倫 管 野 善 則	33
-------------------------------	-----------------------------	----

特定個人情報保護評価におけるリスク項目分析とガイドライン……………	慎 祥 揆 瀬 戸 洋 一	43
-----------------------------------	------------------	----

中小企業における金属材料 3D プリンタ活用に向けた試作試験 …………	館 野 寿 丈	49
-------------------------------------	---------	----

アジャイル教材製作スタジオの構築とその有用性……………	中 鉢 欣 秀	55
-----------------------------	---------	----

飼育者の負担を軽減するペット用バイオ型自動トイレの開発

— 2014 年度イノベーションデザイン特別演習 村越 PT —……………	村 井 貴 福 富 隼 也 茗 荷 谷 章 圭 崔 烘 銀 夏 井 俊 明 陳 俊 甫 村 越 英 樹	61
---------------------------------------	---	----

物質特性の時間依存性に着目した材料設計……………	稻 田 穎 一 高 橋 里 司 松 尾 徳 朗	69
--------------------------	-------------------------------	----

使い手視点による建築の特性把握手法の開発

— 建築創造における機能面の基礎的考察による手法開発 —……………	吉 田 敏 佐々木 一 晋	75
-----------------------------------	------------------	----

総 説

- 産業技術大学院大学における
プロジェクト型演習によるサービス設計教育 川 田 誠 一 83

- PBL によるエンタープライズアジャイルプロジェクトの
プロジェクトマネジャー教育 酒 森 潔 87

- 専門職大学院が地域と連携して実施する創業支援プログラムの開発 片 野 俊 行
小 苗 道 哉
鄭 瑞 芬
高 橋 宏 和
國 澤 好 衛 93

- 概説：システムズエンジニアリング
— グローバルな実践力のある人材輩出に向けて — 嶋 津 恵 子 97

- フルサイズ（実物大）デザインの開発及び設備レスの下での
フルサイズクレイモデルの製作手法研究 小 山 登
村 田 桂 太
島 崎 佑 介
須 藤 定
大 林 弘 明
田 中 振 一
孟 楠 105

- ビッグデータ時代のバイオメトリクスにおけるプライバシー保護瀬 戸 洋 一 111

- 新しく改訂されたビジネス・アナリシス知識体系 第3版 戸 沢 義 夫 119

- 情報技術者教育に於けるハードウェア教材の活用 成 田 雅 彦 127

研究速報

- 国際共同開発 PBL によるロボットサービス”BuddyBot” の開発 土 屋 陽 介
Liyanage C De Silva
Muhammad Saifullah Abu Bakar
中 鈴 欣 秀
成 田 雅 彦 135

- テキストマイニングを用いた授業評価データの分析と
その応用に関する一考察 井ノ上 寛 人
中 島 瑞 季 141

- Projection Unit to Enhance Video Games Hiroaki Tobita 145

スマートフォンを用いた路面性状の簡易計測と快適性評価	越 水 重 臣 伊 藤 寿 史 竹 川 恭 平 板 井 聖 治 沈 程 劉 夕 銘 井ノ上 寛 人	149
Representation of Lists by Partial Functions	Take-Yuki Nagao	155
AIIT型ブレンディッドラーニング法の考察と開発 — 第2報 —	橋 本 洋 志 井ノ上 寛 人 慎 祥 揆	159
屋内空間の色温度の印象に照射位置と日の入りが与える影響	中 島 瑞 季 横 井 聖 宏	165

CONTENTS

Regular Papers

The Global Aerotropolis Network (GAN) : A proposal of the Leapfrog type Developmental Strategy for Southern Africa	Shintaro Ishijima Mitsuhiko Maeda	1
An Approach to Teaching using Online Lecture Videos	Hiroshi Koyama	13
The Report of Practicing Entry class of CAD at Professional school — the issues and practice of learning skills —	Tsuyoshi Aziro Keita Murata	21
The Non-Structure Data Architecture for the e-Learning System	Sanggyu Shin	27
Recycling of Waste Wood by Ultra-High-Temperature-Firing and it's Characterization	Kei Ishizaka Yoshimichi Mizukoshi Yoshinori Kanno	33
Guideline and Analysis of Risk Items in Specific Personal Information Protection Assessment	Sanggyu Shin Yoichi Seto	43
Prototyping Experiments toward Practical Use of Metal Material 3D-Printers in Small- and Medium-Sized Enterprises	Toshitake Tateno	49
Agile Learning Material Development Studio and its Evaluation	Yoshihide Chubachi	65
Development of Automatic Bio-toilet for Pets to Reduce Owners' Burden — Murakoshi-PT 2014 (Advanced Exercises: Innovation for Design and Engineering) —	Takashi Murai Shunya Fukutomi Akiyoshi Myogadani Hongyin Cui Toshiaki Natsui Junfu Chen Hideki Murakoshi	61
Material Design Techniques based on Time Dependence on Properties	Teiichi Inada Satoshi Takahashi Tokuro Matsuo	69

Development of a Method for Understanding of Architecture Characteristics from Viewpoint of Users — Fundamental Study of Function of Architecture for Creation — ···· Satoshi Yoshida		
	Isshin Sasaki	75

Review Papers

A Service Design Education by Project Based Learning in Advanced Institute of Industrial Technology ······ Seiichi Kawata	83
--	----

Project manager education of enterprise agile project by PBL ······ Kiyoshi Sakamori	87
--	----

A Program to Support Startups Developed by Collaboration between Local Community and Professional Graduate School ······ Toshiyuki Katano Michiya Konae Zheng Ruifen Hirokazu Takahashi Yoshie Kunisawa	93
--	----

Systems Engineering Overview — For Global Practical Engineering Education — ······ Keiko Shimazu	97
---	----

Design Development of Full Size Design and Developing Full Size Clay Model without Facilities and Equipment for Full Size Model ······ Noboru Koyama Keita Murata Yusuke Shimazaki Sadamu Sudo Hiroaki Oobayashi Shinichi Tanaka Nan Mou	105
---	-----

The privacy protection of biometrics in big data era ······ Yoichi Seto	111
---	-----

Newly Revised BABOK® version 3 ······ Yoshio Tozawa	119
---	-----

Leverage in the information technology education by using hardware teaching materials ······ Masahiko Narita	127
---	-----

Short Notes

Development of Robot Service “BuddyBot” by International Collaborative PBL ······ Yosuke Tsuchiya Liyanage C De Silva Muhammad Saifullah Abu Bakar Yoshihide Chubachi Masahiko Narita	135
--	-----

An Analysis of Class Evaluation Data Using Text Mining and Its Application ······ Hiroto Inoue Mizuki Nakajima	141
--	-----

Projection Unit to Enhance Video Games	Hiroaki Tobita	145
Simplified Measurements of Road Surface Conditions and Comfort Evaluation using Smartphone	Shigeomi Koshimizu Hisashi Ito Kyohei Takekawa Seiji Itai Shen Cheng Liu Ximing Hiroto Inoue	149
Representation of Lists by Partial Functions	Take-Yuki Nagao	155
Development of Blended Learning Method in AIIT Style — Second Version —	Hiroshi Hashimoto Hiroto Inoue Sanggyu Shin	159
The Sundown and Irradiation Position Influences an Impression of Color Temperature in Indoor Space	Mizuki Nakajima Takahiro Yokoi	165

グローバル航空都市ネットワーク —21世紀南部アフリカ地域のリープ・フロッグ型発展戦略

石島辰太郎*・前田充浩*

The Global Aerotropolis Network (GAN)
: A proposal of the Leapfrog type Developmental Strategy for Southern Africa

Shintaro Ishijima* and Mitsuhiro Maeda*

Abstract

A Second Unbundling type production network has been developed in South-East Asia. Some embryos of industrial communities can be seen in industrial agglomerations there. GIN (the Global Industrial Network) is a concept of networking those industrial communities.

Based on the Global Production Network Analysis, we conclude that the SADC (Southern African Development Community) Member States need a new developmental strategy enhancing the latest model of a production network, namely GIN, for a leapfrog type development.

An effective strategy is to build a new type of an aerotropolis, specialized in SMEs producing high added value commodities, and to globally connect them. The network (the Global Aerotropolis Network: GAN) will develop advanced industrial agglomerations in Southern Africa. Industrial community building by ICBM (Industrial Community Building Measures) will also play a complementary role.

Keywords: developmental strategies, Second Unbundling, Global Industrial Network (GIN), aerotropolis, ICBM (Industrial Community Building Measures), ASEAN, SADC,

1 問題の所在

本研究の目的は、21世紀の南部アフリカ地域において最適な発展戦略を検討することである。それを、東／東南アジア(以下、単に、東アジア、とする。)の成功体験を参考にして考える。

筆者等は、発展途上国が経済成長を進める上で依拠すべき発展戦略の内容を検討する枠組みとして、グローバル生産ネットワーク史観を提唱してきている。すなわち、発展戦略の効果は、20世紀後半以来の世界の主導産業(Leading Industry)であるアセンブリー系製造業に関するグローバル生産ネットワークの態様が大きな影響を及ぼすと考える。グローバル生産ネットワークの態様に適合的な発展戦略は大きな効果を發揮し、一旦効果を発揮した発展戦略も、グローバル生産ネットワークの態様が変化すればその効果を失う、というものである。この考え方に基づき、今後のグローバル生産ネットワークの態様を予測し、それに適合的な発展戦略のあり方を検討している(注1)。

Received on September 30, 2015

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

注1: 石島辰太郎+前田充浩、「グローバル生産ネットワークと発展戦略—産業コミュニティのネットワークとしてのグローバリゼーション2.0」, 産業技術大学院大学紀要第8号, 産業技術大学院大学,

このグローバル生産ネットワーク史観に基づき、今後の南部アフリカ地域において適切な発展戦略の内容を検討するのが本研究である。

南部アフリカ地域は、ミレニアム開発目標に基づく貧困削減の取り組みにおいて、特に注目される地域に含まれる。

国際連合は、2015年7月6日、ミレニアム開発目標の最終報告書を発表した。2015年の世界の貧困人口(1日1ドル25セント未満で生活する者)を1990年に比べて半減するという目標については、1990年には世界人口の47%(19億2,600万人)だったものが2015年には14%(8億3,600万人)となり、超過達成した(注2)。

国際連合自身をはじめ、多くの関係者が認めているように、世界の貧困問題は解決したわけではなく、引き続き多くの重要な課題が残っていとは言え、21世紀の今日では、一部の例外的地域を除いて地球全体が、全面的な経済成長のダイナミズムに取り込まれつつあることは疑いがない。すなわち発展途上国を巡る今日の課題は、貧困削減という課題に関する相当程度の成功の上に、適切な発展戦略に基づくサステイナブルな経済成長を実現することであると言える。

貧困削減への取り組みにおいて、特に注目を集めたのが、サブ・サハラのアフリカであった。21世紀初頭においては、

2014年12月。

注2: 毎日新聞 2015年7月7日報道。

中国とインドにおける貧困削減が急速に進み、結果として世界全体の貧困人口が急減していく中で、サブ・サハラのアフリカにおける貧困削減の遅れが強く懸念された。一方近年では、サブ・サハラの中でも特に南部アフリカ地域においては、順調な経済成長が見られる国が多くなってきており、南部アフリカ地域においては、貧困削減という課題に関する相当程度の成功の上に、適切な発展戦略に基づくサステナブルな経済成長を実現する、という課題は、まさに時宜を得たものになっていると言える。

さらに南部アフリカ地域においては、14か国をメンバーとする SADC(南部アフリカ開発共同体: Southern African Development Community)という地域機構(国際機関)が、さらに同地域を対象にした金融面での実務部隊(多国籍開発金融機関: MDB) : Multilateral Development Bank)として DBSA(南部アフリカ開発銀行: Development Bank of Southern Africa)が存在することが、地域全体の発展戦略を考える上で重要な意味を持つ。

筆者等は、「東アジアの成功体験」を基に、当該地域の新たな発展戦略を検討する、という手法を探る。因みに、「東アジアの成功体験」のアフリカへの移転、というのは、TICAD(注3)が2003年会議以来テーマとして掲げているものである。

TICADにおいて述べられている「東アジアの成功体験」の内容は、必ずしも特定されていない。大方のコンセンサスとしては、アセンブリー系製造業部門を中心に、多国籍企業の外資導入が進み、工業化が進展したことを指すものであると言える。それと同様のプロセスをアフリカの地においても実現しようというものである。

筆者等は、後に見ていくように、「東アジアの成功体験」をもたらした重要な要因として、ASEANという地域機構の存在を考える。TICADにおける認識とは必ずしも一致しないものの、筆者等は、「東アジアの成功体験」をもたらした大きな要因は、ASEANという地域機構が独自の発展戦略の構築、及びそれに基づく多くの制度の構築に重要な役割を担ったことであると考える。このため南部アフリカ地域においても、検討対象とするのは、そのような役割を担う可能性のある地域機構が所掌する地域になる。すなわち、本研究では、南部アフリカ諸国とは、南部アフリカ開発共同体(Southern African Development Community: SADC)加盟の14か国(タンザニア、ザンビア、ボツワナ、モザンビーク、アンゴラ、ジンバブエ、レソト、スワジランド、マラウイ、ナミビア、南アフリカ、モーリシャス、コンゴ民主共和国及びセーシェル。資格停止中のマダガスカルは除く。)を指すこととする。

SADCの特徴は、加盟国間の経済的な格差が大きいことである。この格差は、ASEANにも共通する特徴である。

注3: アフリカ開発会議: Tokyo International Conference on African Development.

2014年の1人当たりGDP(注4)を見ると、上位には、セイシェル(15,115ドル)、モーリシャス(10,517ドル)のように、OECDの定義上援助対象国の卒業国かそれに近い水準に国がある一方、低位には、マラウイ(242ドル)、コンゴ民主共和国(437ドル)、モザンビーク(630ドル)、タンザニア(1,006ドル)、ジンバブエ(1,031ドル)、レソト(1,130ドル)、ザンビア(1,781ドル)が並ぶ。その間に、ボツワナ(7,505ドル)、南アフリカ(6,483ドル)、ナミビア(6,095ドル)、アンゴラ(5,273ドル)、スワジランド(3,484ドル)が位置する。

同年のASEANを見ると、上位にシンガポール(56,319ドル)及びブルネイ(36,332ドル)、低位にカンボジア(1,081ドル)、ミャンマー(1,221ドル)及びラオス(1,693ドル)があり、その間にマレーシア(10,804ドル)、タイ(5,445ドル)、インドネシア(3,534ドル)、フィリピン(2,865ドル)及びベトナム(2,053ドル)が位置し、同様の多様性が見られる。

ASEANが、既に1995年の加盟が決定していたベトナムを除くカンボジア、ラオス及びミャンマーの加盟を承認した1994年7月のAMM(ASEAN Ministerial Meeting: ASEAN外相会合)の時点では、その時点で経済面で成果を生んでいる地域機構の代表としては、1993年のマーストリヒト条約発効直後のEU(European Union: 欧州連合)及び1994年1月1日発効直後のNAFTA(North American Free Trade Agreement: 北米自由貿易協定)であり、それらにおいては相対的に加盟国間の経済発展レベルの違いが小さかった。それらに比べて、CLMV諸国を含めたASEAN内の多様性は極めて大きく、さらに、CLMV諸国が移行経済圏諸国であるため、制度面の違いも大きかった。

しかしながら、歴史的経緯を振り返るならば、多様性は、域内の経済成長の障害ではなく、大きなチャンスをもたらす源泉もあると考えられる。20世紀末以降のICTの発達(インターネット)と、高速道路網を中心とするロジスティック・インフラの整備が進んだ結果、多様性の大きな地域を高度に洗練されたサービス・リンクが覆うことにより、セカンド・アンバンドリングと呼ばれる新しいグローバル生産ネットワークが生まれることとなったのがASEANの実例の示すところである。

2 ガバナンス問題としての発展戦略

2.1 発展戦略に関するグローバル生産ネットワーク史観

発展戦略とは、国際社会における主体が、所管地域の経済成長のために採用する数々の経済政策の基盤となるものの考え方のことである。個別の経済政策は、その全てが、この発展戦略と理論的に整合的(coherent)であることが求められる。国際社会における主体とは、基本的に国民国家政府を念頭に置いているものの、それには限られず、国際機関、特に地域機構が重要な役割を果たす場合もある。

注4: IMF World Economic Outlook Databases 2015.

発展戦略に関するグローバル生産ネットワーク史観とは、ある地域において適切な経済成長が実現されるためには、政府(国民国家または国際機関)が適切な発展戦略を採用しなくてはならず、さらにその発展戦略の適切性を決定する重要な要因は、その時点におけるグローバル生産ネットワークの態様である、というものである。

なお、政府が採用する発展戦略が経済成長に重要な役割を果たす、という考え方とは、標準的な新古典派成長会計のモデルとは必ずしも親和的ではない。新古典派成長会計との関係については、筆者等は、以下のように考える。

新古典派成長会計の基本モデルは、

$$Y=(L,K) \quad L \text{ は労働, } K \text{ は資本}$$

と示される。すなわち、生産活動に投入する労働量と資本量を増大することによって経済成長は達成されるのであり、生産活動に投入する労働量と資本量を決定するのは企業であることから、経済成長は基本的に企業の行動によって実現されることになる。

一方、開発経済学の研究においても1990年代よりガバナンスの問題が重視されるようになってきた。ガバナンスを行う主体は政府(開発経済学においては、基本的に国民国家政府)である。政府が経済成長のために行う嘗為には、腐敗の排除、私的所有権の保護、秩序の維持等様々な内容がある。適切な発展戦略の採用も、それらの内容の1つとして捉えることができる。

政府がある発展戦略を採用するのみならず、それに基づいて多くの経済政策を展開することは、その時点において企業の行動のみによって決定する市場の均衡状態を変更することになる。この場合、企業の行動のみによって決定する均衡状態を M^* 、政府による経済政策の実施によって実現する新たな均衡状態を M^{**} と呼ぶことにする。

経済成長を実現する、という長期的観点に立脚すると、 M^* を M^{**} に変更することは正当化され得る。個別企業のインセンティブは利潤の拡大であり、それは、国民経済、または複数の国々を覆う地域経済の長期的な成長と一致する場合もあれば、一致しない場合もある。一致しない場合は、市場の失敗、と呼ばれることになる。

政府は、独自の政策目的を有する。所管する地域の経済成長の実現は、高い優先度を持って取り組まれる政策目的である。 M^* が長期的な経済成長の実現という政策目的にとって市場の失敗を起こしている場合、または市場の失敗とは言えないものの、 M^* よりは効率的に経済成長を実現できる均衡状態を想定し得る場合(高度化)、政府が各般の経済政策を実施して M^* を M^{**} に変更することは合理的である。

第2の問題は、 M^{**} が長期的な経済成長のために合理的なものであることを保証する要因である。定義上、 M^{**} は、政府による各般の経済政策の実施によって M^* から変更された均衡点であるに過ぎず、それが長期的な経済成長のために合理的である保証はない。場合によっては、 M^* よりも悪い状

態になり得る。

実際に、20世紀以降の歴史を紐解けば、そのような実例を数多く見つけることができる。政府は、国民の数多くが貧困に喘いでいる悲惨な状態 M^* を、政府が期待する長期的な経済成長を実現する状態からはかけ離れた状態であり、市場の失敗が起きていると断定する。そこで政府は、特定の発展戦略に基づき、各般の経済政策を実施することを決意する。国民は、現状が悲惨なので、それが良くなると信じて、政府による経済政策の実施を支持する。しかしながら、結果は、さらに悲惨な状態 M^{**} が出現してしまうというものである。20世紀における社会主義の多くの実例は、そのような失敗例として捉えることが可能である。

グローバル生産ネットワーク史観とは、発展戦略の適切性を決定する重要な要因として、その時点におけるグローバル生産ネットワークの態様を探り上げるものである。ある時点におけるグローバル生産ネットワークの態様と適合的で、それゆえに長期的な経済成長を可能にする均衡状態を N (ネットワーク)*とする。現状で M^* が N^* と一致している場合には問題はないものの、そのような幸運は稀有である。したがって政府が経済政策を実施することにより、 N^* と一致する M^{**} を実現する、というものである。

すなわち、政府が経済政策の実施により実現すべき M^{**} の状態が、予め N^* として設定されている、と考えるものである。

このような考え方とは、経済政策を実施する主体について、以下の示唆をもたらす。

一般的には、特定の発展戦略を採用し、それに基づき経済政策を実施するというガバナンスの主体としては、国民国家が念頭に置かれている。一方グローバル生産ネットワーク史観に立つならば、求められるガバナンスの内容は、グローバル生産ネットワークの態様によって決定される N^* を適切に察知し、かつ M^* を N^* (M^{**}) に適切に誘導できる経済政策を実施することである。グローバル生産ネットワークは、「グローバル」生産ネットワークであるため、定義上個別の国民国家の範囲を超えるものである。したがって、相当程度は国民国家により適切なガバナンスが実施されるにしても、国民国家の能力だけで十分である保証はない。このため、グローバル生産ネットワーク史観においては、地域機構の役割を重視する。「東アジアの成功体験」の分析においては地域機構 ASEAN が果たした役割に大きく着目し、また南部アフリカ地域の今後の発展については地域機構 SADC の役割に大きく期待する。

2.2 グローバル生産ネットワークの態様と発展戦略の推移

グローバル生産ネットワーク史観においては、ボールドウェイン(Baldwin, Richard)の分析に依拠し、20世紀後半以降のグローバル生産ネットワークの態様を、以下の4段階で整理している。

第1段階が、元型段階、すなわち「生産と消費の分離」が発生しておらず、主要な製造業企業が出自の国民国家内に工場を設置し、生産活動を行っている状態である。アセンブリー系製造業が世界の主導産業となった20世紀半ばから1960年代位までの時期である。

第2段階が、ボールドウインの言う、ファースト・アンバンドリング段階で、「生産と消費の分離」が進展する、多国籍企業の時代である。主要な製造業企業は、生産コストの安い発展途上国等外国への直接投資を進め、多国籍企業化する。1960年代から1990年代初頭位の時期である。

第3段階が、ボールドウインの言う、セカンド・アンバンドリング段階である。国境を跨る物理的、制度的なサービス・リンクの発達により、企業内の機能ユニットが企業から分離し、それぞれが最適立地点に投資し、活動を行うようになるものである。この結果、数か国を覆う広い地域で「分散と集積(fragmentation and agglomeration)」が発生する。東アジア、特にASEANの地において、1990年代以降発展が進んでいるものである。

第4段階は、筆者等が提案する、新しい概念であり、グローバル産業ネットワーク(GIN: Global Industrial Network)段階と呼んでいる。セカンド・アンバンドリングによって発生した産業集積内部において、金融を含めた独自の中小企業振興のダイナミズムが自律的に機能することにより、産業コミュニティが成立し、それら産業コミュニティが国境を跨って、受発注等取引関係によって連結するものである。

セカンド・アンバンドリング段階では、それぞれの産業集積に存在する工場は、経緯を辿れば先進国出自の大企業(それが多国籍企業化して発展途上国に投資)であるのに対して、GINでは、その地において成長した独立した中小企業(注5)であることが両者の大きな違いである。GINは現在東アジア、特にASEANの地においてその萌芽が見られつつある。

グローバル生産ネットワークの態様の変化は、それ以前において有効であった発展戦略の有効性に決定的な影響を及ぼす。グローバル生産ネットワークの態様が変化した暁には、従来の発展戦略を捨て、新しいグローバル生産ネットワークの態様に即応した発展戦略を構築しなければならない。

発展戦略の変更は、政治的には大きな困難を伴う。政府が、最早現行の発展戦略は長期的な経済成長には有効ではないと認識したとしても、既得権益による制度の慣性(inertia)により、それを放棄するためには長い時間と政治的抗争が必要とされることが多い。社会を構成する多くの主体が、国民経済の長期的な発展よりも、当面の既得権益の確保を追及する状態がナッシュ均衡となっているためである。

筆者等の分析によると、東アジアの政府は、20世紀後半

注5: 筆者等は、そのような中小企業を、地域企業(RE:Regional Enterprise)と呼ぶ。

以降、少なくとも3回、グローバル生産ネットワークの態様の変化に対応して独自の発展戦略を構築し、それに基づく経済政策を実施し、経済成長を成功に導いたと見られる。

第1回は、日本が1950年代に独自に構築した、開発主義という発展戦略である。第2回は、ASEANの先発国(シンガポール、タイ、マレーシア、フィリピン、ブルネイ及びインドネシア)が1990年代初頭に、地域機構 ASEAN をプラットフォームとして構築した、市場統合主義という発展戦略である。第3回は、ASEANの新規加盟国で移行経済圏諸国であるCLMV(カンボジア、ラオス、ミャンマー及びベトナム)、特にカンボジアが1991年のカンボジア和平成立直後に構築した、メタ法治主義主義である。

3 「東アジアの成功体験」

3.1 先行例としての「東アジアの成功体験」①開発主義

開発主義は、1950年代から1960年代にかけて、日本、特に通商産業省によって構築されたものである。

開発主義とは、アセンブリー系製造業に典型的に見られる費用削減局面下での市場の失敗を克服するために、政府による市場への強力な介入を許容する発展戦略である。

アセンブリー系製造業のように費用削減局面が長い場合には、沢山造れば造るほど1製品当たりの費用が削減するため、個別企業にとっての最適な戦略は、投資を拡大し、生産量を拡大することになる。全ての企業がこのような戦略を採った場合、国民経済全体としての供給量は需要量を大きく上回ることになり、過当競争が発生し、結果として、大半の企業の倒産、独占または寡占が発生し、国民経済の長期的な発展が損なわれることになる。市場の失敗、ということになる。

この市場の失敗を回避し、国民経済の長期的な発展を進めるための有効な方法が、適正競争の導入である。すなわち、少数(5から10程度)の企業が、過当競争の危険からは守られ、研究開発等長期的に視野に立った投資を適切に行いつつ、かつ相互に「適正な」競争を展開する、というものである。この適正競争を実現するために、護送船団方式と呼ばれる、政府による強力な介入が正当化されるのである。

護送船団方式は、法律上の根拠がない行政指導という手法により、新規参入を規制し、各企業の投資活動を大きく規制するものである。中央官庁の権限が極めて大きなものとなるものの、過当競争を排して適正競争を導入する、という目的の下に、社会はそれを許容する。日本においては、主として通商産業省によるこの政策の実施により、1950年代から1980年代後半にかけて、製造業が著しく発展した。

3.2 先行例としての「東アジアの成功体験」:②市場統合主義

1980年代後半、世界のグローバル生産ネットワークの態様は、ファースト・アンバンドリング段階となっていた。1989年、東西冷戦が集結し、旧計画経済圏を含めた膨大な発展

途上国が(西側)先進国の多国籍企業にとっての投資先となることを目指して、投資環境整備の競争を展開することになった。

1989年、国際経済研究所のウィリアムソン(Williamson, John)が、多国籍企業にとっての投資環境整備のあり方に関する「教科書」と言うべきワシントン・コンセンサスを発表した。その内容の中心は、グッド・ガバナンスと市場メカニズムの強調である。政府に対して、外資規制を含む市場への介入を排除し、法律に基づいた透明なルールに基づいて経済政策を進めることを止めるものである。

1990年代以降、世界銀行等のMDBs及び主要ドナー諸国等のまとめ、いわゆるドナー・コミュニティは、歩調を合わせてこのワシントン・コンセンサスに立脚する発展戦略の採用を発展途上国に強く推奨していった。発展途上国政府側は、ワシントン・コンセンサスの順守の程度が先進国の多国籍企業の誘致を決定する重要な要因であると認識したため、この発展戦略は広く普及し、発展戦略の「世界の潮流」となった。この発展戦略を、ワシントン・コンセンサス型、と呼ぶことができる。

ワシントン・コンセンサス型の発展戦略は、1990年代以降の発展途上国の発展戦略の基本となり、事実上大半の発展途上国はこれを採用し、アジア諸国もその例外ではなく、程度の差はある、それに基づく政策を採用した。ワシントン・コンセンサス型の発展戦略の推奨は、基本的には、ドナー・コミュニティと、個別の発展途上国の2国間(バイ)の関係で進められた。

そのような中でASEANは、ファースト・アンバンドリング段階からセカンド・アンバンドリング段階へと変遷しつつあるグローバル生産ネットワークの態様の変化を適切に捉え、かつ、ドナー・コミュニティがそれまで着目していなかった地域機構という組織に着目した、独自の発展戦略を構築した、と見ることができる。すなわち、地域機構ASEANのプラットフォームを活用して急速に進めるというものである。本研究では、そのような発展戦略を、市場統合主義、と呼ぶ。

具体的には、ASEANでは、1984年のASEAN経済閣僚会合の設置以来、1988年のBBC(Brand-to-Brand Complementation)等、個別分野における市場統合を進め、1992年にはAFTA-CEPT(ASEAN Free Trade Area - Common Effective Preferential Tariff)合意により、包括的な市場統合を進めることとなり、2015年のAEC(ASEAN Economic Community)2015設立に至る。

この発展戦略の特徴は、個別の国民国家による投資環境整備ではなく、ASEANという地域機構のプラットフォームを活用して進められたことである。このASEANによる事例以前には、発展戦略の構築、推進の主体としては国民国家政府のみが念頭に置かれており、地域機構の役割についてはあまり注目されていなかったと言える。一方で、グローバル生産ネットワーク史観の観点からは、それは「グローバル」な生

産ネットワークであることから、地域機構の役割が重要になることは必然であるとも言える。

3.3 先行例としての「東アジアの成功体験」:③メタ法治主義

1989年12月マルタ会談による東西冷戦終結により、それまで計画経済制度を採用していた「東側」諸国は、計画経済制度とは全く異なる新たな発展戦略を採用することが必要になった。それら諸国は、総じて、移行経済圏諸国、と呼ばれる。

移行経済圏諸国の中でも特別な状態に置かれたのが、インドシナ半島に所在する移行経済圏諸国、すなわちカンボジア、ラオス、ミャンマー及びベトナムという、いわゆるCLMV諸国である。それら諸国は、地理的に、当時経済成長を順調に進めていたASEAN諸国と隣接していることが、特別な状態である。

1990年代前半に、CLMV諸国はASEANへの加盟を決定した。ベトナムは1995年7月に、ラオス及びミャンマーは1997年7月に、カンボジアは1999年4月にそれぞれASEANへ加盟した。

ASEANへの加盟を決定した時点では、これら諸国は、他の移行経済圏諸国同様に市場経済化を進めなくてはならず、かつ市場統合の進むASEANへ加盟するため、ASEAN先発諸国との競争に晒されることとなった。市場統合主義により順調な経済成長を進めるASEAN先発諸国との競争に対処しつつ市場経済化を進めるという「離れ業」が要求されたのである。

このような課題に対処するために、CLMV諸国はそれぞれ新たな発展戦略を独自に構築する必要性に迫られることとなった。ベトナムは、ソ連ゴルバチョフ政権下におけるペレストロイカに範を取ったドミオイ政策を推進した。

これらの中で筆者等が「東アジアの成功体験」として特に注目するのが、カンボジアの例である。

カンボジアが採用した手法は、経済的な必要性に対応して、新しい法制度の仕組みを構築する、というものである。経済、安全保障等社会の必要性に対応するために新しい法制度の仕組みを構築することを、情報社会学ではメタ法治と呼ぶことから、このカンボジアの取り組みをメタ法治主義と呼ぶことにする。

カンボジアのメタ法治主義とは、以下のようなものである。

法制度は、それが構築された時点では社会的な要請に適切に応えるものになっているとしても、時間の経過とともに、社会の実情からは離れることが少なくはない。しかしながら、法制度の変更は特別の手続きを踏まなくてはならないため、社会の実情の変更に応じて、複数の法律を含む法制度全体を改編することは、一般的には極めて困難である。

移行経済圏諸国では、多くの法律は計画経済制度時代に作られたものであるため、さらに深刻な問題が発生する。

このような状況下、カンボジアが 1994 年に開始した独特の制度が、限定された分野において、個別の法律をオーバーライドする法的効力を有する上級の機関を設立する、というものである。外国企業の投資の受け入れに関するカンボジア開発評議会(CDC: The Council for the Development of Cambodia)がその典型である。

CDC が外国企業の投資の操業を認可すれば、個別の労働関係法、環境関係法等様々な規制法上の手続きが集結していくなくとも、外国企業は直ちにカンボジア国内における操業が可能になる。

一般的に外国企業にとっては、発展途上国において、数多くの法律上の手続きを終結することは大変な困難を伴う業務となり、官僚から賄賂を要求されることも少なくなく、投資を逡巡させる重要な要因となっている。一方カンボジアでは、CDC の認可だけを取ればよいため、この問題は極めて限定的なものとなる。これは、投資環境として極めて大きな優位性を持つこととなる。

筆者等がインタビューした幾つかのカンボジアで操業中の日本企業関係者は、カンボジアの投資環境上の魅力について、「(法制度に関して)自由なところが良い。」と表現した。上記のように、幾つかの規正法上の手続きが集結していくなくとも操業が可能な状態を指したものと考えられる。

筆者等の関心は、このような「自由」さが、インドシナ和平成立後の政治的混乱ゆえに法制度上のさまざまな手続きが未整備であったという偶然よりもたらされたものなのか、それとも、ASEANへの加盟を目前に控え、ASEAN 原加盟国との外国企業誘致競争に勝利するために、政府が意図的に構築した制度によりもたらされたものなのかを判定することであった。その判定のために、筆者等は、APEN (Asia Professional Education Network) の機会を通じて、カンボジア政府関係者へのインタビューを繰り返している。

2013 年 1 月 15 日には、CDCにおいて、CDC 創設直後から CDC のトップを務めるソク・チェンダ(H.E. Mr. Sok Chenda) 首相府大臣に面会し、CDC 制度創設の意図に関する説明を受けた。大臣はそれについて、明確に、カンボジアへの投資を考える外国企業に対して、他の発展途上国において直面するであろう煩雑な法律上の手続きを免除し、自分(ソク・チェンダ大臣)の認可だけを取れば直ちに操業できるという利便を提供し、カンボジアの投資環境としての魅力を世界トップ・レベルのものとすることを目的とした、と語った。

2015 年 7 月 29 日は、カンボジア工業手工芸品省において、CDC 創設から長らく CDC において勤務した、ブンナ(Yea Bunna) 工業手工芸品省中小企業総局次長にインター ビューし、同様的回答を得た。

これらのインター ビュー結果から判断すると、カンボジア政府は、他の発展途上国には見られない法律手続き上の利便を外資に提供することを明確に企図して CDC 等の制度を構築したものであると判断できる。そのような発展戦略を、メタ法

治主義、と呼ぶことができる。

3.4 グローバル生産ネットワーク史観

グローバル生産ネットワーク史観の重要な示唆は、各発展戦略の有効性は、その時点におけるグローバル生産ネットワークの態様との適合性によって決定する、ということである。東アジアの政府が独自に構築した 3 つの発展戦略、及びワシントン・コンセンサス型の発展戦略について、その有効性をグローバル生産ネットワークの態様との関係で整理すると、以下のようなになる。

①開発主義(元型段階+ファースト・アンバンドリング段階(投資側))

グローバル生産ネットワークの態様が、元型段階、及びファースト・アンバンドリング段階における投資側諸国においては、開発主義という発展戦略は有効であったと見ることができる。

元型段階では、生産活動を行うのは国内の企業であり、市場規模も国内市場の規模を捉えればよかつたため、開発主義により適正競争を進め、国内に強靭な大企業を育成することは合理的であった。

ファースト・アンバンドリング段階における投資側諸国(先進国)においては、国内の企業を多国籍企業化させ、発展途上国への投資を拡大させ、それら企業に「中心一周辺」型の国際分業による利益をもたらすことは国民経済において重要な課題となつたため、開発主義により国内の有力企業に対する支援を継続することは、引き続き有効であったと言える。

一方、開発主義は、グローバル生産ネットワークの態様が元型段階にある諸国と、ファースト・アンバンドリング段階における投資側(先進国側)の諸国において「のみ」有効であり、ファースト・アンバンドリング段階の投資受入諸国側、さらにはセカンド・アンバンドリング段階においては、開発主義は有効ではない可能性が高い。

開発主義の最大の効力は、過当競争という市場の失敗を排し、適正競争を推進することにより、国内に国際競争力を有する企業を育成することにある。実際に、日本、韓国等においては、世界的な多国籍企業が幾つも育成され、それらはファースト・アンバンドリング段階で世界中の発展途上国へ投資を行った。

一方、ファースト・アンバンドリング段階の投資受入側(発展途上国側)、及びセカンド・アンバンドリング段階においては、最重要の課題は先進国の多国籍企業の誘致である。自国内に多国籍企業を新規に育成することは、優先度の低い課題となる。

ある発展途上国が開発主義を採用していることは、多国籍企業の投資環境としてはマイナスの要因となる。開発主義は、自国資本の企業を対象とする護送船団方式を進めるた

めに、新規参入を強く規制するためである。さらに、政府による法律に基づかない行政指導が大規模に展開されているため、政府の内情に精通せず、行政指導への対処方法を知らない外国の多国籍企業にとっては著しく不利な状態が発生する。

すなわち、グローバル生産ネットワークの態様がファースト・アンバウンドリング段階に入った段階では、発展途上国での発展戦略に求められる最重要の課題は先進国の多国籍企業の誘致になるため、開発主義はその課題には有効ではないことになる。

②ワシントン・コンセンサス型(ファースト・アンバウンドリング段階)

東西冷戦が1991年に終結すると、ドナー・コミュニティは連帶してワシントン・コンセンサス主義を発展途上国に推奨した。当時の世界のグローバル生産ネットワークの態様は、基本的にはファースト・アンバウンドリング段階であり、その段階ではワシントン・コンセンサス型は有効な発展戦略であったと見ることができる。

経済成長は国内における工業生産が拡大することによってもたらされる。工業生産を行うのは企業である。したがって、国内に、優れた企業が存在し、工場を建設して労働者を雇用して、工業生産を行ってくれればよいのである。

元型段階では、国内に、自国資本の優れた企業を育て上げる以外には方法がなかったため、開発主義により、過当競争による市場の失敗を排することは合理的であった。

ファースト・アンバウンドリング段階では、国境の外に、先進国の優れた多国籍企業が多数存在しているため、それらの投資を受け入れることが合理的である。このため、この段階では投資環境整備が重要な課題となる。ワシントン・コンセンサスは、投資環境整備の「教科書」であったため、それに基づく発展戦略は有効であった。

③市場統合主義(セカンド・アンバウンドリング段階)

1990年代には、世界の発展途上国においてはワシントン・コンセンサス型の発展戦略が広く支持されていた。一方この時期に、ASEAN諸国は、地域機構 ASEAN をプラットフォームとして、市場統合主義と呼ぶことのできる新しい発展戦略を独自に構築しつつあった。

ワシントン・コンセンサス型の発展戦略は、地域機構の存在を必須の条件としていない。発展途上国はワシントン・コンセンサスに基づき投資環境整備を進め、地域機構を介在させることなく、様々な先進国に対して、それぞれを出自とする多国籍企業の投資をバイの関係で呼びかける。

これに対して、1980年代以降、地域機構 ASEAN をプラットフォームとして ASEAN 諸国が市場統合を進めた結果、ASEAN の地においては、セカンド・アンバウンドリングとして捉えられる高度なグローバル生産ネットワークが成立した。

セカンド・アンバウンドリング段階のグローバル生産ネットワークを生み出すためには、複数の国民国家の、一致した、強い意志が必要になる。地域機構こそが、そのような意思を生み出し、かつそれに基づく政策を実施するためのプラットフォームとなる。地域機構を欠いて、発展途上国が個別にワシントン・コンセンサス型の発展戦略による投資環境整備に邁進している状態では、たとえ近接する発展途上国同志であっても、そこに高度なグローバル生産ネットワークが生まれることはない。制度的連結性及び物理的連結性が整備されないためである。

地域機構をプラットフォームとして市場統合を進める、という ASEAN の市場統合主義は、制度的コネクティビティ及び物理的コネクティビティというセカンド・アンバウンドリング段階のグローバル生産ネットワークの発展にとって決定的に重要な課題を解決するために有効であり、またこの課題に対して有効な発展戦略を構築することができたのが ASEAN のみであったことから、現在世界の中でセカンド・アンバウンドリング型のグローバル生産ネットワークを発展させているのが ASEAN 地域のみである、と見ることができる。

④メタ法治主義(GIN 段階)

一方今日では、セカンド・アンバウンドリング段階で構築された各地の産業集積の中の幾つかは、先進国出自の多国籍企業の下請けを担う存在から発展して、独自の中小企業振興メカニズムを備えた産業コミュニティへと発展しつつあると見ることができる。産業集積が産業コミュニティへと発展し、外国の産業コミュニティと受発注等の取引関係のネットワークを構築したものが、GIN である。

GIN 段階では、最重要の課題は、産業コミュニティ振興になる。

産業コミュニティ振興のための政策は、ICBM (Industrial Community Building Measures: 産業コミュニティ醸成措置)と呼ばれる。ICBM の具体的な内容については、前述論文で詳細に述べたところであり、要約すると、以下のようになる。

第2次世界大戦直後から高度経済成長期にかけて、日本では、特に産業人材育成と中小企業振興策の分野において、独創的な政策及び制度が数多く構築されてきた。筆者等が分析したところでは、それらの幾つかは、産業コミュニティ構築において決定的に重要な役割を果たしてきた。それらの日本の政策及び制度が有していた産業コミュニティ構築のメカニズムを抽出し、21世紀の世界の各国において適用可能のように、言わばグローバルな仕様に仕立て直したもののが ICBM である。

筆者等が注目している ICBM には、日本が独自に構築した高等専門学校、実務系大学院等による高度産業人材育成のための特別な教育制度、コミュニティ型の中小企業金融制度等がある。中小企業金融は、情報探索コストの高さ(情

報の非対称性)及び取引金額が少額であることから市場の失敗を起こすために、民間金融機関が参入し難い分野である。このため、多くの国では政府系の金融機関が大きな役割を担うこととなっている。一方日本には、信用金庫方式に代表されるように、コミュニティ・ファイナンスの手法に立脚することにより、民間金融機関として中小企業金融を大規模に実施し、成功を収めている例がある。このコミュニティ・ファイナンス方式をグローバル仕様に整備することにより、この分野における ICBM を考えることができる。

問題は、それらの新しい制度を構築するためには、一般的には新規立法が必要になることである。しかも、それらの新規立法が対象とする分野には、既存の法律が存在していることが多い。それらの既存の法律との関係を調整しつつ、新規立法を行い、新しい制度を構築していくことが必要になる。

日本の場合には、高度産業人材育成のために、新規立法(高専法)を行って高等専門学校(高専)制度を構築した。この新規立法の過程では、既存の学校教育法との調整が大きな問題になり、実際に高専法は、国会で数回廃案になった後に、やっと可決された。

日本の中小企業振興に大きな役割を果たした日本独自の中小企業ファイナンス制度には、信用金庫(信金)がある。これも、銀行法に基づく銀行とは別の制度であるとして、信金法を立法している。このように、ICBM 構築のためには既存の法律との困難な調整を効率的に済ませて新規立法を次々に行うことが必要となる。

メタ法治主義は、メタ法治制度を導入することにより、既存の法制度との困難な調整を一気に解決するものである。現在のところ、それが典型的に導入された実例は、カンボジアの CDC による外国投資受入の分野のみであるものの、この手法自体は、ICBM 構築においても効果を発揮する可能性がある。仮にこの手法により、効率的に ICBM 構築が進められるとすれば、それを採用する国民国家において、産業コミュニティ構築が加速され、GIN のハブとなる可能性がある。

4 南部アフリカ諸国とリープ・フロッギ戦略

4.1 リープ・フロッギ戦略

以上見てきたグローバル生産ネットワーク史観に立脚し、「東アジアの成功体験」の分析から得られた教訓を基に、21世紀南部アフリカ諸国において有効な発展戦略を考えてみる。

グローバル生産ネットワーク史観に基づくと、グローバル生産ネットワークの態様の変遷は止めることができないため、最先端の態様に対応する発展戦略を構築し、各種の制度構築に成功した発展途上国が経済成長を成功させることができることになる。ASEAN が20世紀末以降急速に発展しているのは、セカンド・アンバンドリング段階という最先端の態様

のグローバル生産ネットワークを発展させるために適切な発展戦略(市場統合主義)を採用し、そのための各種の制度構築に成功したためである。さらに、移行経済圏諸国であるカンボジア、ラオス、ミャンマー及びベトナムが 1990 年代後半に ASEAN に新規加盟し、加盟時点では原加盟国と大きな経済上の格差があったにも関わらず、ASEAN 域内の経済植民地の立場に従属するのではなく、順調な経済成長を遂げている背景には、セカンド・アンバンドリング段階がさらに進化した GIN 段階に対応する発展戦略(メタ法治主義)を構築し、それに基づく各種の制度構築に成功したことが一因として考えられる。

このような「東アジアの成功体験」を踏まえると、今後の南部アフリカ諸国の発展戦略については、最先端の態様である GIN 段階のグローバル生産ネットワークに適切に対応するものであることが望ましいと考えられる。そのような発展戦略に基づく各種の制度構築により、南部アフリカ地域において、GIN 段階のグローバル生産ネットワークを構築していくことができる。

南部アフリカ地域において GIN 段階のグローバル生産ネットワークを構築するための発展戦略について検討する場合に問題となるのは、発展経路の問題である。すなわち、過去有効であった発展戦略を順番に成功させた後でなければ新しい発展戦略による経済成長を遂げることは不可能と考えるか、それとも、過去有効であった発展戦略を実践することなく、いきなり最先端の発展戦略を採用して成功させることが可能と考えるか、である。前者の考え方を、ここでは逐次主義、後者の考え方を再帰(reflexive)主義、または通例に従って、リープ・フロッギ、と呼ぶことにする。

GIN の構築を逐次主義的に考えるならば、南部アフリカ地域で GIN を構築するためには、まず南部アフリカ諸国はファースト・アンバンドリング段階の成功、すなわち多国籍企業の外資導入に成功しなければならず、次いでセカンド・アンバンドリング段階のグローバル生産ネットワークを構築しなければならず、GIN の構築はその先の課題ということになる。

現下、ドナー・コミュニティの大勢は、逐次主義的な発想に基づいていると見ることができる。ドナー・コミュニティの多くは、発展途上国への開発援助の実施に際して、ワシントン・コンセンサス等に基づき、発展途上国に対して投資環境整備を要請する開発援助政策を探っている。このような開発援助政策は、基本的にファースト・アンバンドリング段階と同様のものである。

日本政府も、2003年以降の TICAD では、「東アジアの成功体験」のアフリカへの移植をテーマとして掲げている。ASEAN について考えるならば、その成功は、1970 年代から 1980 年代にかけて、ファースト・アンバンドリング段階において外資導入に成功し、1990 年代以降、域内でセカンド・アンバンドリング段階のグローバル生産ネットワークを発達させ

ことによってもたらされた。TICAD で展開されている議論では、アフリカにおいても逐次的なプロセス、すなわちファースト・アンバーディング段階の外資導入を契機とする経済成長を成功させることに重点が置かれており、セカンド・アンバーディング段階のグローバル生産ネットワークの構築は、その後の課題であるとされていると見ることができる。GIN の構築は、議論の射程にすら入っていない。

筆者等は、このようなドナー・コミュニティによる逐次主義的、特にファースト・アンバーディング段階における成功をもたらす投資環境整備を南部アフリカ諸国に推奨するという開発援助政策は、開発経済学の多くの研究成果を踏まえるならば、適切なものであると考えている。

一方で、グローバル生産ネットワーク史観に立脚すれば、今日、南部アフリカ諸国に対してそのような開発援助政策「のみ」を展開するとすれば、現実的には、南部アフリカ諸国の今後の経済成長の可能性を極めて限定的なものになると危惧する。ファースト・アンバーディング段階の多国籍企業の外資導入に成功した後でなければセカンド・アンバーディング段階のグローバル生産ネットワークは構築できず、GIN の構築はさらにその後であると考えるならば、事実上 GIN の構築は不可能である、と言っているに近い。

逐次主義に基づき南部アフリカ地域における GIN 構築のシナリオを考えると、以下のようなになる。

第1の課題は、南部アフリカ諸国は、ファースト・アンバーディング段階における成功を認めなくてはならない。南部アフリカ諸国は、それぞれ単独に、投資環境整備を進め、東アジア、特に ASEAN 諸国と同程度の外国投資を呼び寄せなくてはならない。そのためには、ワシントン・コンセンサスに則って、法制度を含む、国内の経済関係諸制度の整備を進めることと並行して、インフラの整備を急速に進めていかなくてはならない。

現実的に考えると、南部アフリカ諸国が今後直ちに東アジア諸国を凌ぐ魅力を有する投資環境整備を進め、これまで東アジア諸国に投資していた多国籍企業が投資先を南部アフリカ諸国に変更することを期待することは極めて困難である。TICAD においても、毎回日本とアフリカ諸国は、日本企業のアフリカへの投資拡大方策について議論を重ねているものの、日本企業のアフリカへの投資は、資源関連を除けば、活発とは言い難い状況にある。さらに南部アフリカ諸国においては、人口密度の低さから来るコスト高等の問題もあり、内陸国については、東アジア諸国において多く建設された輸出加工区を海岸に設置することはできないという問題もある。

仮にそのような投資環境整備に成功し、多国籍企業の外資導入に相当程度成功したとして、第2の課題は、セカンド・アンバーディング段階のグローバル生産ネットワークを構築するための、物理的コネクティビティ及び制度的コネクティビティを進めることである。

このうち制度的コネクティビティは、各国政府関係者の熱

意によって短期間に成し遂げることが可能であるためそれに期待することとして、問題は物理的コネクティビティ、すなわちロジスティック・インフラの整備である。これには、数十から数百兆円という巨額の資金が必要になり、また時間もかかる。

現在、中国を含めた主要ドナー国及び MDBs 等において、アフリカにおけるロジスティック・インフラ整備のための巨額の資金手当ての方法に関する検討が数多く進められている。また、21世紀に入ってから、中国は莫大な開発援助資金を投入し、アフリカの地における道路網及び鉄道網の整備を進めていることは注目に値する。

それらの進展には大きく期待するところである。一方で、今後短期間に南部アフリカ地域において GIN を構築する、という本研究の目的に照らし合わせると、現実性に大きな問題があることは否定できない。

一方で、グローバル生産ネットワーク史観に基づく分析は、リープ・フロッギング的な発想を強く支持するものとなる。

既に見たように、20世紀後半以降、東アジア諸国は、3度、開発主義、市場統合主義及びメタ法治主義という新しい発展戦略を構築し、それに基づき高い経済成長を成功させたと見ることができる。それぞれが、当時の最先端のグローバル生産ネットワークの態様に適切に対応したものであった。

これらの発展戦略による制度構築、及びそれによる経済成長の成功が逐次主義的に行われたのか、リープ・フロッギングで行われたのかを検討すると、以下のようにまとめられる。

日本の開発主義に基づく経済成長については、日本は第二次世界大戦に敗北したとはいえ、19世紀末以降、国民国家中央政府の強いイニシアティブにより工業化を相当程度進めていたため、それが逐次的な発展かリープ・フロッギングな発展かについては判然とは言えない。

ASEAN 諸国による市場統合主義に基づく経済成長については、1990年代初頭の時点ではそれら諸国が相当程度に開発主義に基づく経済成長を成功させていたかどうかが問題になる。

開発主義は、日本の大成功に触発され、また日本政府自らによる「政策協力」としてのノウハウの提供により、東アジア諸国が多く伝授され、1970年代以降、アジア NIEs(韓国、台湾、香港及びシンガポール)、中国等において広範に採用され、成果を生んでいた。ASEAN 諸国に対して、日本政府は、1987年に「New AID Plan」を開始し、技術協力のスキーム等を活用し、開発主義のノウハウを伝授しつつあった。

しかしながら、日本政府が ASEAN 諸国に対して、サポート・インダストリー育成、産業技術振興等の個別の政策分野のレベルでの開発主義的政策形成のノウハウの伝授の体制を整えたのは、1994年、AEM-METI(日 ASEAN 経済閣僚会合)決定により CLM-WG(カンボジア・ラオス・ミャンマー産業協力ワーキング・グループ)を設置した時のことである。

あることから判断すると、ASEAN 諸国が 1990 年代当初の時点では開発主義に基づく政策形成を本格的に推進していたとは考え難い。

メタ法治主義については、事態は明確である。カンボジア和平は 1991 年 10 月のパリ和平協定締結により成立し、CDC は 1994 年に設立された。カンボジア和平成立前のカンボジアに対して日本が開発主義を伝授した痕跡はなく、また市場統合を進める ASEANへの加盟は 1999 年 4 月のことである。したがって、現下のメタ法治主義に基づく経済成長を逐次主義によって捉えることは不可能である。

以上のことから判断すると、21 世紀南部アフリカ諸国における発展戦略を検討する場合に、リープ・フロッギング的に GIN の構築を最重要の課題として設定していくことは可能であると考えられる。

以上のことから、今後、南部アフリカ地域において、GIN の構築をリープ・フロッギング的に進めることを検討することにする。

まずは GIN の内容について整理する。

GIN という概念で捉えられる態様のグローバル生産ネットワークが世界で最初に検出されたのは、21 世紀の ASEAN である。すなわち、セカンド・アンバウンドリング段階のグローバル生産ネットワークにおける産業集積内に構築されつつある産業コミュニティのグローバルな連結を指す概念である。

一方、現在 ASEAN において展開されつつあるグローバル生産ネットワークの態様が世界で最先端の態様である保証はない。ASEAN は、それ以前の段階のグローバル生産ネットワークを高度に発展させた地域であり、古い段階の「慣性」が強く影響している可能性がある。

グローバル生産ネットワーク史観は、クリステンセン(Christensen, Clayton M.)の言う破壊的(disruptive)テクノロジー的な考え方と親和性を持つ。すなわち、旧パラダイムの技術を大きく発展させた主体は、新しいパラダイムの技術の採用に遅れる。旧パラダイムの技術を殆ど有しなかつた主体は、新しいパラダイムの技術の採用に先んじる可能性を有する。

南部アフリカ地域は、ASEAN のように古い段階のグローバル生産ネットワークを高度に発達させた経験がないため、それによる「慣性」の影響を受けることなく、先鋭的な、最先端の態様のグローバル生産ネットワークを実現する可能性があることになる。

GIN に関する ASEAN における「慣性」を検証するため、ASEAN における GIN の発展の経緯をまとめると、以下のようにになる。

グローバル生産ネットワークの態様がファースト・アンバウンドリング型からセカンド・アンバウンドリング型へと発展していく過程において、ASEAN の地においては、生産ユニット(工場)の「分散と集中」が進む。この結果、ASEAN 内の幾つかの地域に大規模な産業集積が成立してきている。

自動車及び自動車部品産業を例に取ると、現時点の ASEAN では、バンコク周辺(タイ)、セランゴール周辺(マレーシア)、ジャカルタ周辺(インドネシア)がフルセット型、すなわち殆ど全ての部品の生産ユニットを域内に擁する産業集積として知られており、さらに非フルセット型として、ハノイ及びホーチミン周辺(ベトナム)及びマニラ周辺(フィリピン)が知られている。プノンペン周辺(カンボジア)ティラワ周辺(ミャンマー)等においても、産業集積の萌芽が見られるところである。

これらの産業集積を構成する生産ユニットの中核は、経緯を辿ると、先進国から投資してきた多国籍企業の生産ユニットである。それら生産ユニットを企業として見ると、多国籍企業の資本系列にある場合もあれば、現地資本 100%の場合もあるものの、共通するのは、セカンド・アンバウンドリング型のグローバル生産ネットワークが発展する以前においては、多国籍企業の内部において行われた生産を担当していることである。

一方、幾つかの産業集積の内部では、自らのイニシアティブによって複数の取引先を開拓していくことのできる、独立した中小企業(地域企業)を育成するメカニズムが成立しつつある。そのようなメカニズムが発達した産業集積が産業コミュニティである。産業コミュニティがグローバルに受発注等取引関係によって連結したネットワークが GIN である。

以上のことから、ASEAN における GIN の発展は、制度面、物理面で以下の特徴があることになる。

制度面については、産業コミュニティの構築が、後回しになったと言える。それぞれの地において十分に産業コミュニティを構築するという手間を省いたまま、ファースト・アンバウンドリング段階の投資環境整備を短期間に進め、その後、投資した多国籍企業がセカンド・アンバウンドリングされることにより産業集積が構築され、その産業集積の中に、産業コミュニティが構築されつつある、という経緯である。

物理面については、ファースト・アンバウンドリング段階以来の中核産業である自動車・自動車部品、家電産業等の生産に適合的な、高速道路と海運を中心とするロジスティック・インフラが構築されてきたと言える。これにより、例えばトヨタが愛知県で行っているようなジャスト・イン・タイム方式の生産ネットワークが、国境を跨って可能になった。

南部アフリカ諸国においてこれから新規に GIN を構築するすれば、このような ASEAN の経緯に拘泥する必要はなく、現下で最先端のグローバル生産ネットワークを産業コミュニティの連結によって実現する、という目的に最も合理的な内容を考えることが適切である。

以上のことから筆者等は、現在 ASEAN においてその萌芽が見られつつある GIN とは別の内容の GIN を南部アフリカ地域において構築することを提案する。

4.2 グローバル航空都市ネットワーク

ASEAN 型 GIN の特徴は、制度面では産業集積の形成

に比べて産業コミュニティの構築が後回しになったこと、物理面では自動車・自動車部品及び家電産業等に適合的なロジスティック・インフラを基盤としていること、という2点である。この2点の特徴は、ASEANの経緯に起因するものであり、GINとして合理的であるとは言えない。したがって、新しいGINの内容については、この2点の特徴に拘泥する必要はない。

筆者等が考える、南部アフリカ地域における新たなGIN構築の骨格は、以下のようなものである。

第1に、制度面については、産業コミュニティの構築と産業集積の形成を最初から同時に推進すべきである。

今後、南部アフリカ諸国の実情を分析し、ICBMを南部アフリカ諸国とのそれぞれの制度に適合的な形に調整するとともに、新たな分野についても検討を進めていき、各般のICBMを一体として展開することにより、南部アフリカ諸国における産業コミュニティ構築を進めることができると考える。

第2に、物理面については、今後想定される最先端のグローバル生産ネットワークの態様に適切に対応したロジスティック・インフラを整備すべきである。

すなわちロジスティック・インフラの態様は、各産業集積における中心的な産業の内容に依ることになる。ASEANの場合には、中心的な産業がアセンブリー系製造業、特に自動車・自動車部品及び家電産業等であったため、高速道路網等を中心とするロジスティック・インフラが整備された。

一方で、今後の南部アフリカ地域における中心的な産業をリープ・フロッギング的に考えるならば、今後世界で期待される最も付加価値の高い産業群を想定すべきである。「東アジアの成功体験」においては繊維産業、アセンブリー系製造業が主導産業であったとしても、今後新規に産業集積を構築する場合には、それらとは別の、高付加価値産業を最初からターゲティングすることが合理的である。具体的には、高付加価値の電子部品、機械部品、医薬品等を考えられる。それらを総称して、高付加価値産業、生産される製品を高付加価値製品、と呼ぶことができる。

高付加価値産業の産業集積のネットワークを考えるならば、ASEANとは異なる態様のグローバル生産ネットワークを想定することが適切である。

ロジスティック・インフラについては、高速道路網とは規模が異なる距離をジャスト・イン・タイム方式で接続するものが必要となる。高速道路網によるジャスト・イン・タイム方式のグローバル生産ネットワークが覆う範囲は、日本国内の例、ASEANの例等を勘案すると、数百キロが限度であると言える。一方、高付加価値産業の場合には、受発注関係を持つ取引企業は、多くの場合、世界で数社しかないことになり、しかもその所在地の大半は先進諸国であることが考えられる。すなわち南部アフリカ地域を、欧州、アジア、米国の先進諸国と直接ジャスト・イン・タイム方式で連結することが求められることになる。

そのような連結を可能にする輸送手段は、航空機しか存在しない。

従来は、航空機の役割は、地上の物流に比べれば、限定的なものに留まるとされていた。一方で、近年の貨物輸送機の性能向上及び航空路のマネジメント能力の向上等により、高付加価値製品については、航空機を中心にグローバル生産ネットワークの物流を考えることは十分可能になりつつあると考えられる。

輸送手段として航空機を前提にすると、産業集積は空港に近接していなければならない。産業集積に近接した空港を考えるとすると、既存の、大都市近接の旅客中心の空港ではなく、新たな発想に基づく空港建設を考えなければならない。建設場所は、産業集積の建設を可能にする十分な広さを有する地域になるであろう。そのような場所に、産業集積と関係者の居住機能を担う、新たな空港を建設していくことになる。産業集積(産業コミュニティ)の建設という目的に合わせて、新たな形態の空港を建設することが求められる。

特定の経済上の目的に合わせて新たに建設される空港については、すでに幾つかの概念が出されてきている。

空港の近隣に居住地、オフィス等を新規に建設することにより構築される空港を中心としたビジネスと居住の都市については、エアポート・シティ、と呼ばれている。ノースカロライナ大学のカサルダ(Kasarda, John)教授は、そのようなエアポート・シティに関して、エアロトロポリス(Aerotropolis)という名称を付している。ここではエアロトロポリスを、航空都市、と訳すことにする。

現在、一般的に航空都市において念頭に置かれているビジネスとは、オフィス・ワークのビジネスであると言える。これに、ショッピング等各種のエンターテインメント、国際会議、ホテル等が加わる。一方筆者等は、中核的な機能として、高付加価値産業の産業集積を考えるべきであると主張する。

空港の近隣に、高付加価値産業の生産ユニット(その大半は中小企業である)専門の工業団地を建設し、その工業団地と空港はアクセス道路で結ばれ、製品は短期間に貨物輸送機に乗せられ、別の航空都市の空港に運ばれる。そこでは、運ばれた部品は直ちにアクセス道路を経由して、その空港近隣に建設された生産ユニット専門の工業団地に運ばれ、加工され、またアクセス道路を経由して空港に運ばれ、別の航空都市の空港へ運ばれる、という形でグローバル生産ネットワークを構築することが考えられる。

この場合、それら産業集積ではICBMが全面的に展開されることにより、生産の中核を担うのは、独立性の高い中小企業(地域企業)であることになる。すなわち、空港に近接して、産業コミュニティが構築され、それらが航空路網によって受発注等の取引関係で結ばれる。

筆者等はこのような態様のグローバル生産ネットワークを、グローバル航空都市ネットワーク(Global Aerotropolis Network:GAN)と呼び、GINの進化形態として捉える。

グローバル航空都市ネットワークの特徴は、以下の点にある。

第1点は、各航空都市において構築される産業集積は、先進国起源の多国籍企業の生産ユニットの物理的集積ではなく、産業コミュニティとして構築されることである。したがって航空都市連結は、ASEANにおいて今日見られているものとは別の内容の GIN となる。区別が必要な場合には、ASEAN のものを ASEAN 型 GIN(GIN-ASEAN)、グローバル航空都市ネットワークをサイバー・フィジカル・システム型 GIN(GIN-CPS)と呼ぶことにする。

第2点は、各航空都市の産業集積における中心的な産業は、基本的に高付加価値産業であることである。

第3点は、中心的な産業が高付加価値産業であることにより、グローバル生産ネットワークによって連結される範囲が数千キロとなり、文字通り「グローバル」生産ネットワークとなることである。

このような特徴のあるグローバル航空都市ネットワークを整備していくことは、南部アフリカ地域において、高付加価値産業という新産業を振興することになる。さらに、航空路網によって先進諸国と連結する新たなグローバル生産「システム」の発達にも寄与することが期待される。

筆者等は、ドイツの主張するIndustrie4.0(注6)をグローバルに展開するという概念を提案し、それをIndustrie4.0plusと呼んでいる(注7)。すなわち、Industrie4.0は1国内におけるサイバー・フィジカル・システムの構築であるのに対して、地域機構を基盤として複数の国を覆う形で構築するサイバー・フィジカル・システムがIndustrie4.0plusである。

無論、今後の南部アフリカ諸国の経済成長を、このような超最先端のグローバル生産ネットワークの構築のみで実現することは不可能であり、実際には、現在進められているファースト・アンバンドリング段階に対応したワシントン・コンセンサス型の投資環境整備、セカンド・アンバンドリング段階のグローバル生産ネットワーク構築を可能にする高速道路網等の整備等を着実に進めていく必要がある。GIN-CPSはあくまでそれらを補完する役割を担うものと考えられる。

一方で、現時点ではASEANに比べると大きな水をあけられている南部アフリカ地域では、多くの試みを同時に、重畳的に推進することが必要であると考えられる。

GIN-CPSの構築は、最先端の新産業振興、産業コミュニティ構築、先進諸国と直結する新たなグローバル生産ネットワークの構築等、多くの新しいダイナミズムを南部アフリカ地

域に導入するものであり、今後の南部アフリカ諸国の発展戦略のポートフォリオの1つとして、起爆剤的な効果を發揮することが期待される。

注6：“Final Report of the Industrie 4.0 Working Group”，Forschungsunion, National Academy of Science and Engineering, Germany, April 2013.

注7：Hanoi International Seminar : Industrial Community Building - the Asian Developmental Strategy under the Globalization 2.0 and the implication to Vietnam, ハノイ, 2015年7月28日において発表。

録画視聴型の授業の取り組み及び評価

小山 裕司*

An Approach to Teaching using Online Lecture Videos

Hiroshi Koyama*

Abstract

The Advanced Institute of Industrial Technology, AIIT is a graduate school of advanced professional education. It has built an environment of relearning for the busy adult students since its establishment in 2006. From 2014, to reduce their school burden and to heighten their learning effort, it has started a new approach, called blended learning, to teaching using online lecture videos. This paper summarizes the teaching using online lecture videos, presents the improvement of class schedule, the rule of watching quiz and the attempts of creating teaching materials, and discusses the current issues and the future improvements which are obtained from the actual operations.

Keywords: Blended Learning, Online Lecture Video, Flipped Classroom, Watching Quiz

1 はじめに

日本のほとんどの大学院が学部を卒業した直後の 20 代前半の新卒者が学生の大半を占めることに対して、産業技術大学院大学(以下、本学)は 2006 年の開学当初から現在まで、情報アーキテクチャ及び創造技術両専攻平均で 8 割以上の学生が社会人学生であり、30 代の学生を中心に、20 代後半から 40 代の学生が大半を占め、欧米の大学院生の年齢構成に近い(図 1)。我が国での社会人の大学院での学び直しが限定的である理由として、業務多忙と経済的負担があげられている(東京大学 CRUMP 等の調査)。社会人の修学に対する職場等の環境は厳しく、本学での大学院説明会でのアンケート及び修了時のアンケート等でも同様の結果が得られている。

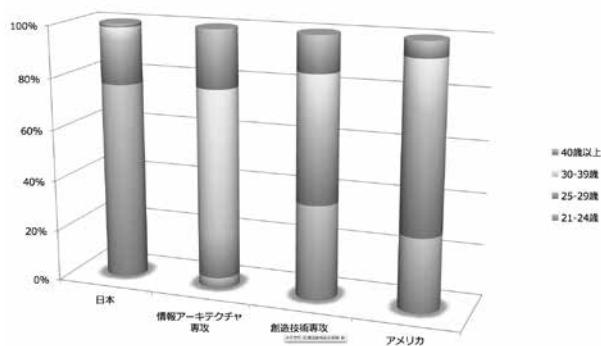


図 1: 大学院生の年齢構成

本学では、開学当初から平日夜間・週末の授業開講、長期履修制度、科目等履修制度等の社会人の仕事との両立に配慮した修学環境を整備し、また、学生・社会からの要望と、運営諮問会議等からの答申等を継続的に反映し、社会人の学び直しのための環境の改善を行っている。

本学は、2014 年度から新規に「ブレンデッドラーニング」という概念を定義した。この新しい概念は、社会人の学び直しのための環境を実現する、既存の各種の仕組みに追加し、新しい試みである録画授業(録画視聴型の授業)を仕組みは提供することによって、従来に増して社会人学生の通学負担を軽減することで修学機会を改善すると同時に、(反転教育類似)録画視聴の繰り返し及び教材の改善によって学生の理解度を高める効果から高度専門職育成の教育の質の改善に寄与することの効果が期待されている。

本稿の第 2 章では、本学の既存の仕組み及び新しい取り組みである録画授業の取り組みを整理する。第 3 章では、録画授業の実現するにあたっての時間割の工夫、視聴確認テストの設定、教材の作成に関する取り組みを示す。最後の第 4 章では、約 1 年間に渡る実際の運用の現状調査から、現状の課題及び今後の改善を列挙し、本稿をまとめる。

2 本学の「ブレンデッドラーニング」の概念

以下に、本学の既存の仕組み及び新しい取り組みである録画授業の取り組みを整理する。

2.1 本学の社会人の学び直しのための環境

社会人の大学院での学び直しが限定的である理由として、時間的及び場所的制約、経済的制約があげられている。これらの問題に対する本学の取り組みをまとめる[11], [13]。

2.1.1 〈時間的及び場所的制約〉

- ・ 《平日夜間・土曜昼間の授業開講》

平日夜間(18:30-21:40 の 90 分×2回), 土曜昼間(9:00-18:00 の 90 分×5 回)に授業を開講している。

- ・ 《科目等履修生・AIIT 単位バンク制度》

科目等履修生として, 1 科目単位で履修することができる。取得した科目の単位は既修得単位として認定され, 正規入学後に, 入学前に取得した認定単位数分の科目等履修生授業料は返還される(1 科目 2 単位を修得済みの場合の 1 年目の授業料は 520,800 円から 14,400 円×2 単位=28,800 円を差し引いた 492,000 円). 科目等履修生として修得した単位は 5 年間有効である。

- ・ 《長期履修生制度》

仕事・育児等の事情で, 標準修業年の 2 年間での修了が難しい場合は, 2 年間相当の授業料で, 最長 3 年間の修業年限で計画的に履修スケジュールを立てることができる。また, AIIT 単位バンク制度を利用すれば, さらに時間をかけて修学することもできる。

- ・ 《修学年限通算(早期修了)制度》

AIIT 単位バンクであらかじめ所定の単位数(28 単位)を取得する等の条件を満たした学生は, 修学年限を加算することで, 入学後 1 年間で修了することができる。

- ・ 《4 学期制》

従来の大学院では, 通常 1 学期制(通期)あるいは 2 学期制(前期・後期)であるが, 本学では, 4 学期制(クオータ制)を取っている。各授業科目は, 各週に 2 回授業が行われ, 約 2 カ月・8 週間で履修する(計 15-16 回)。4 学期制は適度に短い期間に集中して修学し, 学修効果を高め, また修士課程の 2 年間のうちに相互関係を持った各科目が相互関係を順番通り体系的に学修できるようにするための仕組みであるが, 科目等履修生制度・長期履修生制度を活用すれば, 社会人学生が時間に余裕がある時期を選んで修学することもできる。

- ・ 《遠隔授業・秋葉原サテライトキャンパス》

第 2.2.3 項参照。

- ・ 《授業動画のオンライン視聴》

第 2.2.2 項参照。

- ・ 《IT 環境》

本学ではできるだけインターネット経由で学業処理ができるよう環境を整備している(例: 履修申請, 課題レポート提出, 授業資料の入手, 授業評価アンケート, PBL 配属希望, PBL 活動, 図書検索, 揭示, 施設予約等)[1], [2], [5]。自習室には PC が設置され, 教室・演習室等では, 無線 LAN, 電源が準備されている。

2.1.2 〈経済的負担〉

- ・ 《科目等履修生・AIIT 単位バンク制度》
(再掲)

- ・ 《奨学金・授業料減免等》

日本学生支援機構の奨学金(貸与)等のほかに, 法人独自の奨学金(産業技術大学院大学 大学院教育研究支援奨学金・返済義務無し), 授業料減免・分納の制度がある。

- ・ 《教育訓練給付金制度》

本学情報アーキテクチャ専攻(以下, 当専攻)及び創造技術専攻は, 厚生労働省の専門実践教育訓練給付金の指定講座である。本学の入学金, 2 年間の授業料の総額は 1,182,600 円(東京都民の場合)であるが, 一定の条件を満たしている場合, 最大 709,560 円の給付が受けられ, 実質負担額は 473,040 円である。

- ・ 《修学年限通算(早期修了)制度》
(再掲)

2.1.3 〈学習成果の評価〉

- ・ 《修得知識の確認》

授業科目の履修によって修得できる知識単位及びレベルが明確に設定されている。当専攻の知識体系・知識単位は経済産業省の CCSF(共通キャリア・スキルフレーム)の 3 段階約 120 の知識単位を基準にして, 大学院のレベルに相当するレベル 2 (概ね経験年数 4-5 年)からレベル 4 (概ね経験年数 10 年)に設定している。学生は, オーダーメイドの履修計画を作成する段階, 實際の授業科目の履修の段階等, 当専攻が提供する知識体系の中で, 各自分が修得する必要がある知識単位がどの程度修得できているかという達成度を常時確認することができる。

- ・ 《ディプロマサプリメント・エキスパート制度》

修了時には, 個々の学生が取得した学位・資格の学修内容を証明するディプロマサプリメントを発行する。本学のディプロマサプリメントは, 欧州委員会・欧州評議会・ユネスコ等が開発したディプロマサプリメントに準拠したもので, 修了生が自らの知識・スキルを公平・透明に証明でき, 就職・転職活

動あるいはキャリアアップに活かすことができる。また、当専攻では修得した科目及び成績評価から算出された達成度が特に優れた学生には「最上級（Superior）」、優れた学生には「上級（Advanced）」として表彰する。これらの仕組みによって、学生自らの高い達成度への目標設定と、学生間の競争が生じることを期待している。

2.1.4 〈ほか〉

- 《社会人のための教育手法》

社会経験・職業経験を有した社会人学生を対象にした成人教育理論に従って授業及び教材の設計を行う等、社会人のための教育手法を積極的に活用している。

- 《専門職コミュニティ・授業外の勉強会・懇親会》

本学の学生、及び広く一般の技術者・経営者が、一流の技術者・経営者らと直に接し、学ぶ機会として、授業外の勉強会・懇親会を年20回程度開催している。これらは外部に開かれた勉強会で、誰でも参加できるので、本学の関係者以外の技術者・経営者も多数参加している。これらは在学生・修了生・教員・学外の技術者間の本学を中心とした専門職コミュニティを構成し、情報交換及び交流の機会としても機能している。また、本学附属の図書館は、東京都及び京浜地区等の企業で働く技術者にも広く開放され、本学で開催されている各種のイベントとの相乗効果から、現在では本学を中心として専門職コミュニティが構成され、「知の連携」が実現できる空間として機能している。

- 《図書館・演習室等》

図書館は、社会人学生の活用を考慮し、平日は授業終了の21:40以降の23時まで、土曜は授業終了の18時以降の19時まで開館している。演習室等は平日22時まで、土曜19時まで利用でき、また時間外利用届けを提出すれば、PBL活動等の授業に準じる目的であれば、平日・土曜・日曜・祝祭日でも23時まで利用できる。

- 《キャリア開発支援》

社会人学生を対象としたキャリア開発として、AIITキャリアクラブが(公財)東京都中小企業振興公社TOKYO起業塾、AIIT社長会等と連携し、起業・就職等のキャリア開発支援を行う。

- 《説明会》

本学の説明会を月2回程度の頻度で開催している。説明会は、個別相談、カリキュラムの内容の確認、修了生の講演会、体験授業、在校生・教員等からの情報提供、施設見学等から構成される。

- 《既単位取得授業科目の再履修》

既に単位を取得した授業科目であっても、成績及び理解度を高めたい学生は、再履修することができる。

- 《社会人特別入試・企業推薦入試》

社会人を対象とした社会人特別入試及び企業推薦入試を行う。

2.2 本学の「ブレンデッドラーニング」の構成

本学の広義の「ブレンデッドラーニング」は、以下の仕組みから構成される。第2.2.1項から第2.2.3項までは従来からの仕組みであり、第2.2.4項が2014年度からの新しい仕組みである。

2.2.1 《本学独自の社会人学び直しのための仕組み》

第2.1.1項で示した平日夜間・土曜昼間開講、長期履修、AIIT単位バンク、4学期制、4月・10月入学、修学支援のIT環境等の各種の仕組みが本学の広義の「ブレンデッドラーニング」の基盤である。

2.2.2 《授業動画のオンライン視聴》

本学では、2006年の開学以来、演習等の一部を除く、すべての講義を録画し、在学生、修了生及び教職員がインターネット経由で学内外から、いつでも、どこでも(Anytime, Anywhere) 視聴できる環境を提供している[1-3], [5], [14-15]。

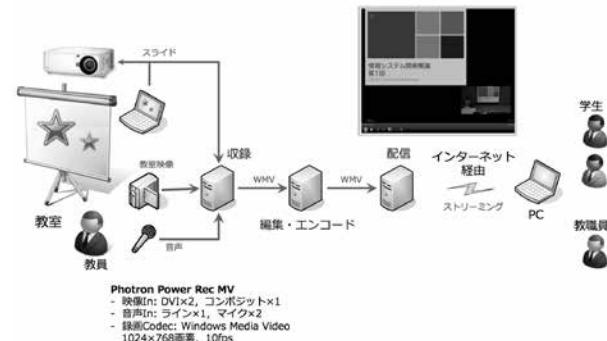


図2: 本学の授業収録及び配信の構成

授業動画の視聴は、授業内容の復習をするための活用が第一の目的であり、理解が不足する箇所の確認をしたり、試験、課題のための勉強をしたりするのに使われることが多い、以下に挙げる目的でも使われている。

- 欠席時の補習

社会人学生は業務のため遅刻・欠席することがある。

- 未履修科目の聽講

- 履修登録前の参考

- 修了生の継続学修(Knowledge Home Port 制度)
修了後 10 年間、無料で最新の授業を視聴できる。
- 教員間の相互参観

当初は Windows のみであったが、2012 年度からは MacOS, 2013 年度からは iOS(iPhone・iPad)でも視聴できる[4-6], [7-8]。

また、2013 年度までは、録画された授業動画を視聴しても欠席扱いであった。

2.2.3 《遠隔授業（秋葉原サテライトキャンパス）》

本学の品川シーサイドキャンパスは JR 新宿駅から 20 分弱の品川シーサイド駅から徒歩 3 分に位置しているが、昼間人口の分布を考慮し、遠隔授業でも教育の質を維持できる約半数の授業科目は JR 秋葉原駅に隣接する秋葉原サテライトキャンパスでも受講することができる。本学の品川シーサイドキャンパスと、秋葉原サテライトキャンパスの両キャンパスの教室は専用回線で結ばれ、講義資料、教員及び学生の映像が双方向で配信され、また対話的に質問、議論等のコミュニケーションも可能である。

当専攻では、2013 年度から土曜日以外の原則、すべての曜日時間のいずれかの科目が遠隔授業で受講できるようにしている。

2.2.4 《録画視聴型の授業（録画授業）》

第 2.2.2 項の《授業動画のオンライン視聴》の仕組みを活用し、週 2 回の授業を講義(対面あるいは録画視聴)及び演習(対面)の組から構成し、講義の回の対面授業を欠席した場合でも、次の授業までに録画された授業動画を視聴すれば出席扱いにした(第 2.2.2 項の仕組みでは欠席扱い)。これがいわゆる狭義のブレンデッドラーニングである。これによって、社会人学生の通学負担を軽減し、また録画視聴の繰り返し及び教材の改善によって理解度を高める仕組みである。また、録画授業は、通常の授業を録画したものが大半を占めるが、あらかじめ事前に録画した動画及び教材を準備するものもあった。当専攻では、時間割を工夫する等の取り組みを行い、2014 年度は約 9/10 にあたる 45 科目以上がこの仕組みに対応した。

2.3 3 種類の授業

第 2.2.2 項の《授業動画のオンライン視聴》では、講義の回の対面授業を欠席した場合、録画を視聴された授業動画を視聴しても、従来は欠席扱いだったものを、第 2.2.4 項の「録画授業」では、特定の条件下では出席扱いにするところが新しい試みである。本学の各授業科目は各週に 2 回授業が行われるが、このうち、学修効果の高まりや教育の質の維持が確認できる授業は、動画視聴であっても視聴確認テスト

に合格すれば出席扱いとしている。録画授業(録画視聴が許可された授業)と対面授業(演習・グループワーク等、教室での受講が義務付けられた授業)を交互に配置することで、特定の曜日に集中して通学することができ、社会人学生にとって通学負担が大幅に軽減するだけではなく、録画授業は理解できるまで授業動画を繰り返して視聴し、知識を獲得した上で、対面授業に臨み、高い理解と学修効果を実現する。また、本学の授業は、録画授業によって、以下の 3 種類に整理できる。枠付きの授業が出席必須であり、枠無しの授業は授業に出席してもよいし、次の授業までに授業動画を視聴してもよい。

- 通常授業(通称: A 型)

対面授業 要出席
+ 対面授業 要出席

当専攻では、原則、演習メインの科目等で、2 時限連続の科目のみ通称 A 型で開講した。
- 録画授業・授業録画(通称: B 型)

対面授業 録画視聴可
+ 対面授業 要出席

 - 月曜・木曜・金曜の授業:
 対面授業(講義、通常の対面授業の録画) →
 欠席時は視聴確認テスト
 学生は授業に出席してもよいし、録画授業を視聴してもよい。
 - 土曜・火曜・水曜の授業:
 対面授業(演習・グループワーク・発表・試験)
 → 要出席
 当専攻では、2014 年度は時間割を工夫する等の取り組みを行い、約 4/5 にあたる 40 科目以上が B 型で開講した。
- 録画授業・事前録画(通称: C 型)

事前録画 録画視聴のみ
+ 対面授業 要出席

 - 事前録画の授業: 録画視聴のみ(講義、あらかじめ準備した授業動画) → 視聴確認テスト
 学生は次回の授業(偶数回)までに事前録画の動画を視聴する必要がある。
 - 土曜の授業: 対面授業(演習・グループワーク・発表・試験) → 要出席
 第 2.2.4 項の《録画視聴型の授業》の発展型で、週 2 回の授業のうち講義の回を事前に録画のみにすることで、土曜の開講科目数を増やし、第 2.2.4 項の仕組み以上に通学負担を軽減し、また事前録画の強みを活かして教材を工夫することで、理解度を高める仕組みである。当専攻では、2014 年度は土曜午前(1, 2 限)に配当する 6 科目が C 型で開講した。

3 録画授業の実現

以下では、録画授業の実現するにあたっての時間割の工夫、視聴確認テストの設定、教材の作成に関する取り組みを示す。

3.1

3.2 時間割

表 1 に、当専攻の 2013 年度までの時間割を示す。

表 1: 2013 年度までの時間割

時限	月	火	水	木	金	土
1 (10:30-12:00)						E2
2 (13:00-14:30)						F2
3 (14:45-16:15)						G1
4 (16:30-18:00)						G2
5 (18:30-20:00)	A1	C1	E1	A2	C2	
6 (20:10-21:40)	B1	D1	F1	B2	D2	

第 2.2.4 項に示したように、録画授業では、第 2.2.2 項の《授業動画のオンライン視聴》の仕組みを活用し、週 2 回の授業を講義(対面あるいは録画視聴)及び演習(対面)の組から構成し、講義の回の対面授業を欠席した場合でも、次の授業までに録画された授業動画を視聴すれば出席扱いにした(従来の第 2.2.2 項の仕組みでは欠席扱い)。これを実際に行うにあたっての課題は、録画された授業動画を視聴する時間の確保である。録画された授業動画は、編集作業の後、公開される。公開は翌々日を基準に、実際には翌日に公開されることが多いが、何かの障害が生じると、遅れてしまうこと恐れがある。週 2 回の授業は、月木、火金、水土の組みの構成で、授業と授業の間は中 2 日(平日)及び中 3(週末)であるため(土曜の 3 限、4 限は連続)、A1 では授業動画は火曜か水曜に公開されるので視聴のための時間は 1-2 日間、A2 では週末込みの 2-3 日間である。

当専攻では、録画授業を本格的に実行するため、2014 年度から時間割を表 2 のように改変し、週 2 回の授業を月土、木火、金水の組みで構成するようにした(土曜の 3 限、4 限は連続)[12]。

表 2: 2014 年度からの時間割

時限	月	火	水	木	金	土
1 (09:00-10:30)						H2
2 (10:40-12:10)						A2
3 (13:00-14:30)						B2
4 (14:45-16:15)						G1
5 (16:30-18:00)						G2
6 (18:30-20:00)	A1	C2	E2	C1	E1	
7 (20:10-21:40)	B1	D2	F2	D1	F1	

月土の組は中 4 日(平日)及び中 1 日(週末)、木火の組及び金水の組は中 4 日(週末)である。

枠付きの授業が出席必須であり、枠無しの授業は授業に出席してもよいし、次の授業までに授業動画を視聴してもよい。時間割の授業の曜日を移動し、録画授業を月木金に固定することで、視聴のための時間を常に原則 3 日間以上確保した。

また、土曜 1 限は事前録画の録画授業(C 型)であり、週 2 回の授業のうち講義の回を事前に録画のみで対面授業の開講は無い。土曜の通学だけでも 4 科目履修することができ、理論上は年間 16 科目、32 単位の取得が可能である。実際には、各学生のキャリアに従って履修すべき推奨科目が指定されているため、土曜だけの通学では必要とする単位数を確保することは難しいが、しかし学生の通学負担を大幅に軽減している。このように、時間割改変は概ね成功しているが、しかし、短いほうの授業間隔が中 1 日と短いことによる弊害も指摘されている。

本学の録画授業類似の取組みである、芝浦工業大学 大学院 工学マネジメント研究科の「ハイブリッド講義®」の時間割を表 3 に示す[10]。月火の授業を欠席した場合は次の授業(土曜)までに授業動画を視聴することで(メディア授業)で出席扱いにする。水木金及び土曜の 4 限以降は通常の授業である。

表 3: 芝浦工業大学「ハイブリッド講義®」の時間割

時限	月	火	水	木	金	土
1 (09:00-10:30)						A1
2 (10:40-12:10)						B1
3 (13:00-14:30)						C1
4 (14:45-16:15)						G1
5 (16:30-18:00)						G2
6 (18:30-20:00)	A1		D1	E1	F1	
7 (20:10-21:40)	B1	C1	D2	E2	F2	

3.3 視聴確認テスト

録画授業では、週 2 回の授業を講義(対面あるいは録画視聴)及び演習(対面)の組から構成し、講義の回の対面授業を欠席した場合でも、次の授業までに録画された授業動画を視聴すれば出席扱いにしたが、次の課題は録画された授業動画を視聴したことを確認する手段である。

当専攻では、授業動画を視聴したことを確認するため、原則、次回の授業までに視聴確認テストを課すことを推奨している。著者の授業の視聴確認テストでは以下の基準を原則とした。

- ・ 次回の授業開始が提出締め切り
- ・ 授業支援システム(manaba)のレポート機能
- ・ 5 問 = 単一選択 2 問、複数選択 3 問

- 80 点以上が合格(出席扱い)

視聴確認テストの設問上の配慮を以下に列挙する。

- 授業録画の視聴による理解のみで解ける問題
- 平均 90 点を設問の目安に設定した。
- まじめに視聴すれば、合格では無く、満点が取れるが、油断すれば合格出来無い。
- Wikipedia 等のインターネット検索では容易に回答を発見出来無い。
- 勉強上、意味が無い設問は避ける。
- 明らかに誤っている選択肢(正答の「Unix」に対して「SHIDAX」等)、スライドの何枚目の先頭文字等
- 視聴確認テストであろうが、勉強の一部であるため、できるだけ理解すべき知識(要点)が確認できることが望ましい。
- 視聴確認テストの結果は、視聴の確認(出席扱い)のみに使い、成績評価には関係無い。

これに対して、成績評価に関係ある課題・レポートでは、以下を問う設問にした。

- 時間をかけた調査
- 考察、意見
- プログラミング等の演習成果の報告

以下に、視聴確認テストの例を示す。

例 1: TDD の特徴として正しいものはどれか(複数選択)。

- red・blue・refactor という 3 つの状態がある。
- Python の unittest を使う。
- テストは本体のコードの数倍以上の量であることが望ましい。
- リファクタリングの段階で新しい機能を書き足してもよい。
- 最初にテストを作成する。
- 複数の実行環境でのテストを作成する。

例 2: Linux カーネル等の開発がバザールと呼ばれる理由として最も適しているものはどれか(単一選択)。

- GNU プロジェクトには強い思想があるから。
- Linux カーネルには開発版と安定版があるから。
- たくさんの参加者で混雑したバザールの如く開発が行われるから。
- たくさんの利用者が活用するから。
- 大聖堂・伽藍で行われる儀式の如く開発が行われるから。

2014 年度開講の 4 科目の視聴確認テストの結果を図に示す。難易度等(平均点は 90 点、最高点は 100 点、不合格あり)が概ね狙い通りに設定できていることがわかる[9]。

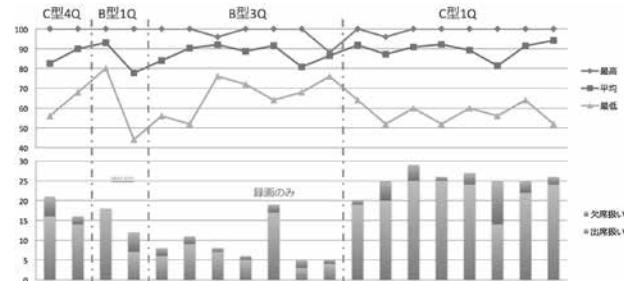


図 3: 視聴確認テストの結果

3.4 授業開発コスト

授業録画の録画授業(B 型)は、第 2.2.2 項の《授業動画のオンライン視聴》の仕組みを流用しているので、通常の授業を行うだけで、図 1 に示す授業収録の仕組みによって授業が録画され、公開されるため、教員の授業開発コストは視聴確認テストの作成及び評価だけが増加する。

しかし、事前録画の録画授業(C 型)では、教員の授業開発コストの増加は以下に列挙する各種の取り組みによって様々である。

- (1) 無人の教室で、本学の授業収録の環境を使って、従来通りの授業を行う。
- (2) 研究室等で、自前の録画装置を使って、通常通りの授業を行う。
- (3) 事前録画の授業のために専用の動画教材を作成する。

著者は(3)の専用の動画教材を、通常の授業のように、PowerPoint でスライドを作成し、iMovie で音声を付け、余裕があれば、各種のエフェクトを付けることで行った。



図 4: PowerPoint 及び iMovie(授業動画・教材の作成)

今回は、動画作成の機材・ソフトウェア等には、通常使っ

ている MacBook Pro, PowerPoint (スライド作成), (MacOS 同梱の) iMovie (編集), Quick Time (画面動画キャプチャ) のほか, 新規に専用の集音マイクを準備した.

通常の授業でも使う PowerPoint スライド (授業資料) 等の教材作成以外に, 収録, 編集等の開発に要する時間は, 最初 (4月頃) は 90 分の動画を作成するのに, 約 1 週間 (約 60 時間の試行錯誤) かかったが, 2014 年度終盤 (12 月頃) は約 3 時間から 10 時間に短縮できた. 内訳は以下の通りである. このほかに, 最終動画の生成 (動画のエンコーディング), ファイルストレージへの登録 (アップロード) の時間がかかり, 相当の負担である.

- 授業の収録 (90 分から 180 分)
90 分の授業であるため, 最低でも 90 分かかり, 摄り直したり, 編集時にトリミングすることを考慮して多めに修得したりすると, 3, 4 時間かかる.
- 動画編集 (90 分から 180 分)
無音部分等の削除したり, 文字テロップを付加したり, 各種のエフェクトを行ったりする程度に依るが 2, 3 時間かかる.
- 出来上がった授業動画の確認 (90 分)
90 分の授業であるため, 最低でも 90 分かかる. 必要に応じて, 再度収録, 編集を要することがある.

以下に, 授業動画作成の懸案事項を列挙する.

- PC (MacBook Pro) の制約
PC の冷却ファンが五月蠅いため, MacPro 等の高性能マシンあるいは防音箱等の対処を検討する必要がある.
- iMovie の制約
iMovie は無料ではあるが, ある意味簡易版であるため, 以下の制約があるため, Final Cut Pro X, Adobe Premiere Pro CC, BoinxTV 等の動画編集ソフトウェアを試用検討する必要がある.
 - 縦横比が 16:9 から変更出来無い.
 - テロップの自由度 (フォント, 位置) が無い.
 - マーカー・ポインタ等の機能が無い.
 - mp4 以外の動画フォーマットを生成出来無い.

4 おわりに

本稿では, 本学が開学当初から整備してきた, 社会人の学び直しのための環境 (広義のブレンデッドラーニング) の取り組みを整理した後, 2014 年度から開始した録画授業 (狭義のブレンデッドラーニング) の取り組みを示した.

社会人の大学院での学び直しが限定的である理由として, 時間的及び場所的制約, 経済的制約があげられているが,

前者では, これらの問題に対する本学の取り組みをまとめ, 社会人の修学環境が整備されていることを示し, 後者では, 社会人の修学環境を一層改善するための新しい取り組みの現状を示した.

以下では, 現状の取り組みに関する考察, 今後の課題の検討を行う.

4.1 学びの質及び量

以下に列挙するように, 著者の録画授業の取り組みでは, 学びの質及び量は概ね向上している.

- 学生のコストが減る (修学時間帯概ね自由, 通学時間無し).
- 学生の理解度あがっている.
 - 今まであれば最悪着席していれば, また遅刻であっても出席扱いであったが, 視聴確認テストの関係で, ある程度集中して聞く必要がある. 実際, 視聴及び確認テストに要する時間は 1.5 時間以上かかる学生が多い.
 - ある程度理解できている状態で対面の演習を始めることが出来る.
- 無駄を削除でき, 速度エディタ (再生速度 150% 等) を活用すれば, 概ね 1.5 から 2 倍の内容を収録できる. しかし, あまり内容が多すぎる場合は理解度が下がる.
 - 無音・準備・操作ミス等の部分
 - 繰り返しの部分 (ただし, 繰り返しは教育上の効果がある)
- 計画通り授業を進行できる (内容・時間等).
 - しっかり準備できる.
 - 手抜きが減る.
 - 必要に応じて修正できる.

4.2 今後の課題

現在の録画授業は組織的に構築されているものの, 実際の取り組み及び運用は各教員に依存しているところが大きい. 今後は組織的に, 経験を蓄積し, 改善のための議論を行っていく必要がある.

以下に, 著者の取り組みで判明した, 今後の課題及び整備すべき環境等を列挙する.

- 動画, 写真, 音楽等の各種コンテンツ利用権
- 収録部屋 (2015 年 9 月, 整備済み)
- mp4 での受け取り (現在は wmv のみ)
- 動画データの受け渡しのためのクラウドストレージ (Google Drive 等)
- 授業動画の洗練
 - エフェクト (動画, ズーム等) の活用

- マーカー・ポインタ、縦横比等の改善
- 授業動画の公開時期
 - 公開作業の改善(稀に時間がかかって遅れることがある)
 - 現在は 3 日前(土曜の場合は水曜)
 - 次回の授業の 5 日前(土曜の場合は月曜に公開する)
 - 1 週間以上前は早すぎる感がある。
- 授業内容の改善
 - 講義・演習のバランス及び関連の調整
 - 対面の演習の内容の改善

4.3 遠隔地の社会人学生に対する配慮

録画授業は、週末だけの通学での修学を実現する可能性があるが、しかし、これだけでは物理的に通学が難しい遠隔地の社会人学生の修学が難しい。今後、録画授業(狭義のブレンディッドラーニング)、オンライン指導、スクーリングの環境を整備することで、教育の量と質を維持したまま、物理的に通学が難しい遠隔地の社会人学生の修学環境を構築できるかどうかを議論する必要がある。また、社会人学生にとって負担の大きい PBL 型科目に関しては、短期集中的に PBL を実施する PBL キャンプ等を活用し、集中・分散的に履修できるようにすることが課題である。

参考文献

- [1] Shintaro Ishijima, Hiroshi Koyama, Yoshihide Chubachi, Fumio Harashima: ICT based Learning System of AIIT for Professional Education in Japan, IEEE ITHET 2010, 2010 年
- [2] 中鉢欣秀・小山裕司・石島辰太郎, ICT を基盤とした高度専門職教育, 情報処理学会 コンピュータと教育研究会 情報教育シンポジウム(SSS 2010), 2010 年
- [3] 土屋陽介・小山裕司・中鉢欣秀, 授業配信システムの設計と開発, 情報処理学会 第 112 回コンピュータと教育研究会(CE112), 2011 年
- [4] 小山裕司・中鉢欣秀, 「外部アカウント認証を使った本人確認付き利用者認証の試み」, 産業技術大学院大学 紀要 第 3 号, 2012 年
- [5] 中鉢欣秀・小山裕司・石島辰太郎, 「産業技術大学院大学の ICT 環境の運用と課題」, 情報処理学会 インターネットと運用技術(IOT16), 2012 年
- [6] 小山裕司・中鉢欣秀・香取徹, 「権限認証付きのダウンロード型動画視聴アプリケーションの開発」, PC カンファレンス北海道 2013, 2013 年
- [7] 高安伯武・姜書華・梁仁駿・劉恒・浅香靖浩・小山裕司, 「動画再生時間に対するマーキングによる効率的な動画学習システム」, 日本ソフトウェア科学会 第 20 回 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE 2013), 2013 年
- [8] 小山裕司, 「高度専門職教育支援ソフトウェアの開発」, 産業技術大学院大学 紀要 第 8 号, 2014 年
- [9] 小山裕司, 「録画授業の取り組み報告」, 産業技術大学院大学 第 17 回 FD フォーラム, 2014 年
- [10] 田中 秀穂, 「メディア事業の社会人本格的学び直しへの活用」, 高度人材養成のための社会人教育ワークショップ, 2015 年
- [11] 小山 裕司, 「次世代成長産業分野での事業開発・事業改革のための高度人材養成プログラム 事業成果報告」, 高度人材養成のための社会人教育ワークショップ, 2015 年
- [12] 石島 辰太郎, 小山 裕司, 「Professional 人材育成と e-Learning: 産業技術大学院大学での実践と課題」, 第 17 回日本 e-Learning 学会学術講演会, 2015 年
- [13] 平成 26 年度 文部科学省 委託事業「高度人材養成のための社会人学び直し大学院プログラム」「次世代成長産業分野での事業開発・事業改革のための高度人材養成プログラム」事業成果報告書, 2015 年
- [14] Power Rec MV,
<http://www.photron.co.jp/products/e-solution/recmv/index.html>
- [15] Power Contents Server,
<http://www.photron.co.jp/products/e-solution/pcs/spec.html>

専門職大学院における CAD 入門講座の実践報告 ～技能の学習における問題と取り組み～

網代 剛*・村田 桂太*

The Report of Practicing Entry class of CAD at Professional school
-the issues and practice of learning skills-

Tsuyoshi Aziro* and Keita Murata*

Abstract

This paper reports a practice of entry class of CAD software, named “Digital Design practice” at Advanced Institute of Industrial Technology. The difficulty of learn CAD skills are that neither instructivist nor constructivist would be inefficient. The integration of them is effective. So the task with minutely defined learning objectives and feedbacks is performed. Then a clear difference of pattern is observed between two groups, plenty achieving objectives and the other. Yet the pattern find is not so important. The learner’s cognition of the difference of strategies and updating them, meta-cognition skill are important.

Keywords: CAD, professional school, education, product design problem solving

1 背景

今日、デジタルファブリケーション[1]は広く社会に浸透しており、ものづくりの実務において、これらと無関係でいることは難しいと思われる。このため、ものづくりを主たる領域とする専門職大学院においても、デジタルファブリケーションに関する教育の拡充は必須である。筆者らは、産業技術大学院大学において、意匠的な造形を主な領域とするサーフェスモデルーに分類される CAD (Computer Aided Design) ソフトの入門講座を 2013 年度より実施している。本稿では、講座を実践するなかで、見えてきた問題点と対策、および今後取り組んでゆくべき課題を整理し、実践報告とする。

- ・科目名: デジタルデザイン実習(産業示術大学院大学)
- ・受講者: 平均年齢 34 歳の実務家および大学新卒者
- ・内容: 未経験者を対象としたサーフェスモデルー (Rhinoceros) の入門
- ・期間: 90 分 × 16 回(1 単位)

1.1 サーフェスモデルー

現在の三次元 CAD は、大きくソリッド系とサーフェス系に分類される。前者は、立体を中身の詰まった塊として捉えており、造形においては、構造物の強度や機械的な動作を検証できるという特徴がある。後者は、立体を中身のない面で構成されたものと捉えており、造形においては、曲面の形状や組み合わせなど意匠的な領域で自由度が高いという特徴

がある。その他には、産業用の上位機種として両者の特徴を兼ね備えたものや、映画やアニメーションの制作に適したものなどが存在する。本稿で対象とするサーフェスモデルー (Rhinoceros) は、サーフェスモデルーの中位機種に相当しており、次のような特徴がある。

- ・(イ) 使いやすい(比較的手ごろな価格、市販のノート PC で十分な動作環境などから、学習者が自学自習する機会を得やすい)
- ・(ロ) 実務に直結(ものづくりの実務でも使用されており、学習内容が実務に直結すると期待できる)
- ・(ハ) 意匠造形への誘い(これまで、意匠造形に関わりのなかった実務家が、CAD の技法修得の過程で、意匠造形の知識を獲得することで、職能が拡がる可能性がある)

筆者らが、もっとも重視するのは(ハ)である。実務家を取り巻く環境を鑑みると、技術の面では、CAD だけではない新たな情報技術の発展と普及、領域の面では、防災・観光など新たな領域の台頭、そして企業活動だけでなく NPO、ボランティア活動など活動の面でも、実務家を取り巻く環境は大きく変わりつつあり、これをうけて伝統的な職能の定義もまた、変容しつつある。こうしたなかで、より多くの実務家が、必ずしも伝統的な職能としてのプロダクトデザイナとしてではなくとも、ものづくりの様々な場面、たとえば、これまで電子部品の設計を専門としていた実務家が、外装部品を手掛ける他部署と積極的な意見交換ができるようになるなど、CAD および意匠

造形の知識を生かしてプロジェクトに貢献できるようになることを期待しているためである。

1.2 ものづくり

筆者らが想定するものづくりとは、たとえば「高級」な乗用車、「おいしく」炊ける炊飯器、「浣剤とした」女性に似合う腕時計、地域を「活性化」する取り組みなどのように、「高級」「おいしい」「浣剤」「活性化」といった多義性を排除しきれない概念を、ある種の論理的な飛躍を含みつつ、科学・技術・倫理の知識を用いて制御可能な現象と定義づけたうえで、各要素を制御することで具現化することである。たとえば、1990年代初頭において乗用車の「高級」という概念について、A社は、静かであると定義づけ、振動(現象)を低減(制御)するべく、全ての部品(要素)の設計を見直しており、B社は、個性的であることと定義づけ、外観において日本が感じられる造形を模索している[2]。このようなものづくりは、単なる唐突な思いつきや、教科書の復唱のように既存の情報の複製だけでは、実現は困難である。科学・技術・倫理の知識を用いて、仮説の構築と検証をくりかえしつつ解を探索する、ヒューリスティックな推論[3]という意味での問題解決であるともいえるものである(図1参照)。

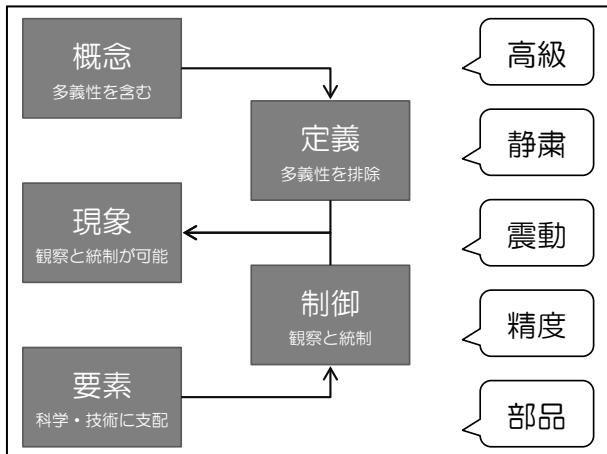


図1:ものづくりのモデル

図1で教えるべきは、「吹き出し」部分である静肅、振動といった結果ではなく、高級から静肅を導き出すといった、概念と定義をつなぐ「線」に相当する部分である。これは情報を変換する過程[4]であり、ブルームの教育目標の分類学[5]における分析、総合、評価といった上位の段階、近年提唱されるOECDによるキー・コンピテンシー[6]、文部科学省による高度知識基盤社会における生きる力[7]と符合するものである。

2 問題

筆者らは、CAD入門講座において、図1の(線に相当する)能力を下支えし、表現の語彙を豊富にする技能を定義づけ、学習は両者の相互作用で進行し、授業にあたっては、

両者のバランスを明確に意識するべきものとして「分数モデル」を構築し、授業設計の基本としている(図2参照)。

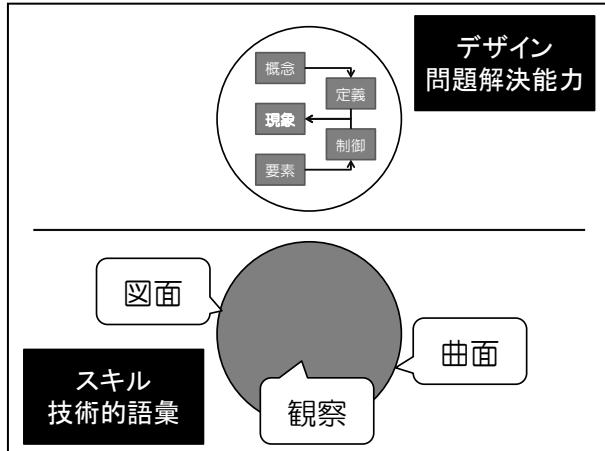


図2:分数モデル

図2は「分数モデル」である。図中上半分(分子に相当)は、図1における能力である。筆者らはこれを「デザイン」と呼んでいる(以下「デザイン」)。「デザイン」はCADおよび意匠設計における技能との相互作用で改善が期待できるものである。筆者らはこれを「スキル」と呼んでいる(以下「スキル」)。CAD入門講座では、能力としての「デザイン」(分子)、技能としての「スキル」(分母)を共に「経験なし」を想定している。この点が教育に携わる者として挑み甲斐のあるところでもあるが、大変に悩ましいところでもある。たとえば、「スキル」が不十分な段階で、問題解決的である「デザイン」の課題を扱っても、あたかもバスもシートもできない児童をいきなりサッカーの試合に出すようなものであり、効率的な能力の改善は期待できないばかりか、むしろ「嫌に」なってしまうような印象を学習者に与えかねない。また、たとえば「スキル」だけを繰り返し扱っても、「デザイン」の能力がなければ、図1のようなものづくりは、困難であり、カリキュラムにおいて「デザイン」「スキル」のバランスをどのように取ってゆくかが大きな問題である。

本年度は、「スキル」に重点を置くこととし、「スキル」を次のように定義づけた。

- ・曲面:サーフェスマデラーならではの造形である。曲面は線から構成され、線は正確な点で制御されていることを理解し、点と線で面を制御する技能を身につける。

- ・観察:やや「デザイン」的な要素を含む技能である。物体(ティーカップ、マウスなど)を観察し、モデルと寸分たがわぬ形状をCADソフトの中に構築することで、視覚的な物体の特徴を、点・線・面のCADの情報に変換する技能を身につける。

- ・図面:立体を平面に、平面を立体に変換する技能である。複雑な点・線・面を正確に制御するための技能を身につける。

図2における「スキル」(技能)は、ただ教えただけでは獲

得が困難である。このことについて、筆者らはよく「少年サッカーのコーチング」を題材に話し合った。サッカーは、パスワークやフォーメーション、ボールさばきなどの技能の上になりたっているが、これらの技能はただ教えただけでは獲得が困難である。一方で、少年サッカーチームの児童の中には、いちいち教えなくても、自然に技能を身につけてゆく児童があり、こうした児童は、上達も早い場合が多いことから、つい、経験さえさせておけば、自然に伸びてくるし、試合に勝つためには、そうして自然に伸びてきた児童を試合に使えばよいという考え方になりがちである。これは、少数精鋭を選抜するには適した方略であるが、より多くの児童がより良くサッカーを楽しむためには相応しくない。坂元[7]は、教育工学の核心は、名人と言われる先生の技を、詳細に観察し、分解・再構成することで、名人でなくとも名人の技が使えるようにすることであるといっている。同様に、サッカーにおいても、自然にできるようになった技能、たとえばフリーキックについて、軸足の踏み込み方、重心の移動のさせ方、蹴り足の振り上げ方、キック時の足の甲とボールのなす角度、キック後の足の振りぬき方というように、要素に分解してインストラクションし、児童の実践に適切なフィードバックを返すという手順をふみ、結果として、教えることが困難であった部分について、児童がフリーキックの「やり方」を改善することで、技能を獲得するという教授方略を用いることで、より多くの児童がより確実に技能を獲得することができると期待できる。このことは、インストラクショナルデザインにおける、教示(知識を教え込む)と構成(学習者が自発的に気づく)の統合[4][8]として、教示のみでは達成が困難な学習課題について、目標設定において詳細化した学習目標を設定すること、教授法において試行とフィードバックを適切に組み合わせること、結果において学習者が方略を更新できることとして議論されていることと符合する(図3参照)。

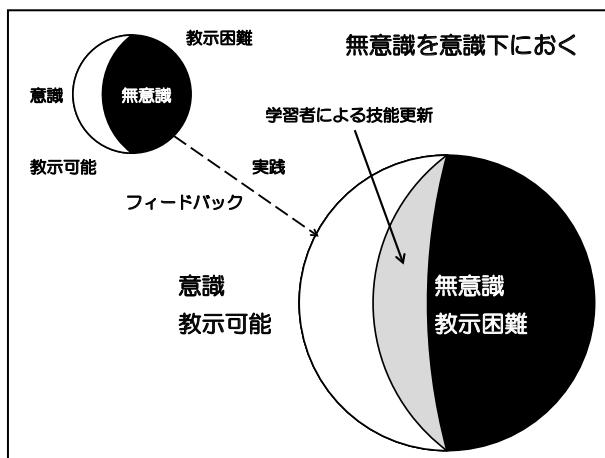


図3:無意識を意識下におく

3 実践

3.1 概要

本年度は、図2「スキル」のうち、製図について、学習目標の詳細化と、個別フィードバックをじっししたところ、一定の成果が確認できたので報告する。学習の概要は次のとおりである。

- ・単元:キャラメル箱(立体)をモデルとした三面図の作成

- ・課題:正確な三面図を作成する(図4参照)

- ・詳細化した項目:21項目(□印)

全景

3本の直線

□X軸

□Y軸

□Z軸

□グリッドのマップをはみだす.

□レイヤ「中心線」に格納

拡大

□3本の直線が正確に【座標(0,0,0)=原点】で交差

TOP図

TOPビュー:2組の平行線がある

□ 中心線(水平:X軸)で対象な1組がある

□ X軸からの距離=採寸シートYに一致

□ 中心線(垂直:Y軸)で対称な1組がある

□ Y軸からの距離=採寸シートXに一致

各ビューポートで確認(次のように見える)

□ TOPビュー:長方形(交点が4つ)

□ PERSPECTIVEビュー:長方形

□ FRONTビュー:原点を通る1本の直線

□ RIGHTビュー:原点を通る1本の直線

(TOP図はXY平面(Z=0)上にある)

レイヤ管理

□ 定義線-TOPに格納

FRONT図

FRONTビュー:2組の平行線がある

□ 中心線(水平:X軸)で対象な1組がある

□ X軸からの距離=採寸シートZに一致

□ 中心線(垂直:Z軸)で対称な1組がある

□ Z軸からの距離=採寸シートXに一致

各ビューポートで確認(次のように見える)

□ TOPビュー:原点を通る1本の直線

□ PERSPECTIVEビュー:長方形

□ FRONTビュー:長方形(交点が4つ)

□ RIGHTビュー:原点を通る1本の直線

(FRONT図はXZ平面(Y=0)上にある)

レイヤ管理

□ 定義線-FRONTに格納

RIGHT図

RIGHTビュー:2組の平行線がある

- 中心線(水平:Y 軸)で対象な 1 組がある
- Y 軸からの距離=採寸シート Z に一致
- 中心線(垂直:Z 軸)で対称な 1 組がある
- Z 軸からの距離=採寸シート Y に一致
- 各ビューポートで確認(次のように見える)
- TOP ビュー: 原点を通る 1 本の直線
- PERSPECTIVE ビュー:長方形
- FRONT ビュー:原点を通る 1 本の直線
- RIGHT ビュー:長方形(交点が 4 つ)
- (RIGHT 図は YZ 平面(X=0) 上にある)

レイヤ管理

□ 定義線—Right に格納

・実践のシーケンス

- ・実践(1回目):21 項目を明記したセルフチェックシートを配布したうえで実施
- ・フィードバック:実践(1回目)に対して項目の可否を記した個別フィードバック、および全体の分析結果を解説
- ・実践(2回目):フィードバック後、同内容の課題を再度実施

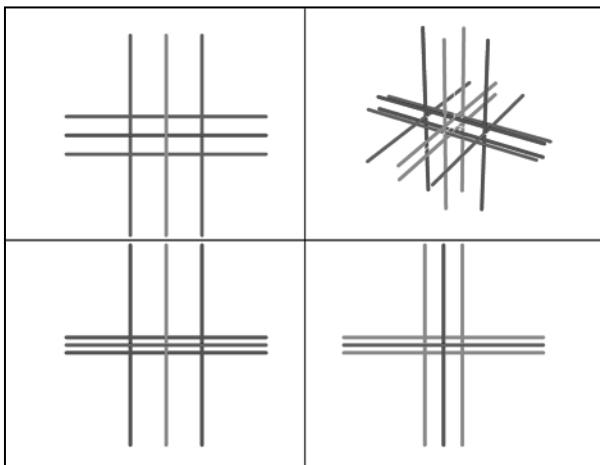


図 4:課題(正確な三面図)

3.2 結果

フィードバックにおいて、提出された課題を分析したところ、レイヤ操作の項目を満たしているもの(レイヤ成功グループ)とレイヤ操作の項目を満たしていないもの(レイヤ失敗グループ)との間に明確な差異が確認できた(図 4 参照)。このことを、学習者に分析結果として解説したところ、実践(2回目)の項目達成率はほぼ 100% であった。

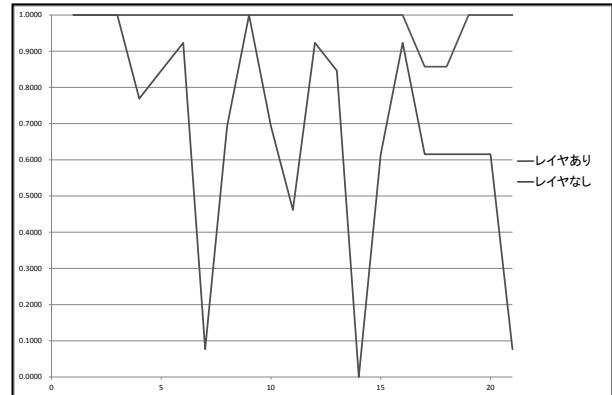


図 5:実践(1回目)の分析結果

図 4 は、実践(1回目)の分析結果である。横軸は項目、縦軸は達成率である。 χ^2 (適合度)検定を実施したところ次の結果が得られた。

仮説 $H_0 = P(A_{-1}) = p_{-1}, \dots, P(A_k) = p_k$
 $P(A_k)$ レイヤあり(理論確率), p_k レイヤなし(正答率), $k=21$
 $\chi^2 = 50.2119\dots$, $\chi_{0.95}^2 = 10.8508\dots$
 よって 両者は 95% 水準で有意差あり。

4 考察

図 4 の分析結果は、大変に明瞭なものであったが、これは、フィードバックを実施すれば必ず得られるものではない。本年度においては、同様の課題—フィードバックを計 12 回実施したが、全体の集計結果の分析により失敗の原因が明らかになったものは、1 例だけであった。今回の分析結果は、次年度以降の講座に有効ではあるけれども、学習の設計の文脈においては、分析の結果自体は図 1 の吹き出し部に相当する分析の結果でしかない。重要なことは、学習目標を詳細化し、実践とフィードバックを実施することで、学習者に失敗の原因を認知させることである。集計結果全体の傾向としては顕在化しないが、個別のフィードバックにおいては、学習者が曲面のはりあわせが上手くゆかずに試行錯誤しているようす、複雑で難易度の高い曲面の構成に挑戦しているようす、場合によっては基本的なところで躊躇しているようすなど、一斉授業では、教授者がほとんど認知できない豊富な情報に接觸することができた。おそらく、これが一番の収穫である。

個別フィードバックは、大変に手間のかかる作業ではあるが、試してみる価値はあると考える。参考までに、本年度の個別のフィードバックは、課題の複雑さにもよるが平均して一人当たりおおよそ 1 時間を要した。本年度の受講者は 27 名であったが、現在の方式で対応できるのは、人数的にこのあたりが限界となりそうである。

5 その他の取り組み

本年度は、この他に次の取り組みを行ったので、その他の実践として、概要を記す。

- ・コマンド操作への対応
- ・領域横断的な問題解決法の扱い方
- ・実物モデルの効果

5.1 コマンド操作への対応

現在の CAD ソフトは、コマンドの数が大変に多い。このことが、特に初学者である学習者にとっては認知的負荷になっているのは明らかである。ただし、このコマンド群への対応は注意が必要である。CAD ソフトでは目的を達成するために通常複数のコマンド組み合わせる。かつそのコマンドの組み合わせも唯一ではない。CAD の操作に習熟するとは、あたかも図 2 のように、目的達成のためにコマンドを選択し組み合わせる能力と、組み合わせの語彙としてコマンドの特性や機能をよく理解しておく必要がある。両者は相互作用をもつ。一方で、人間の作業記憶には限度があり、一時に処理できる情報はそう多くない[9]。あわせて、学習者が「どのコマンドをつかうべきか」について悩んでいる場合もあるが、特に初学者では、そもそも「コマンドがどこにあるのかわからない」「コマンドの語彙が少ない」ことで躊躇している場合も十分に考えられる。この場合には適切な支援が必要である。本年度は、後者に対する支援として、作業手順を詳細に記述した紙媒体資料を用意し使用した。これは、学習者の認知負荷を軽減し、本文である「目的を達成するためのコマンドの選択と組み合わせ」に集中できることを期待したものであった。しかし一方で、学習者がマニュアル通りの操作をするだけになってしまふ懸念(実際に授業の感想で「簡単すぎる」などの記述がみられた)、資料自体の情報量の多さ(1 課題あたり平均 50 ページを超える)から、かえって混乱してしまう懸念(学習者との口頭での会話)などがあり、設計・運用については、さらなる工夫が必要である。

しかしながら、近年急速に発達している情報技術により、多くの情報は電子データなどの外部記憶で代替できるようになっている。最近な例では、ネットからのコピー＆ペーストなどもあるが、学習という行為において「覚える」ことの比重が小さくなり、「覚える」ことの比重は大きくなつてゆくようと思われる。たとえば、覚えてそれほど価値のない情報(簡単に複製できる)、覚えることで多くの価値を生み出す情報(能力の改善に寄与ある)の選別は、これまで以上に厳しく行う必要があるのかも知れない。こうした意味の先行研究として、CAD におけるコマンド操作の情報提供方法の研究を継続してゆきたい。

5.2 領域横断的な問題解決法の扱い方

図 2 に示したように「デザイン」の能力は、CAD や意匠造形以外の領域にも転移可能な領域横断的な性質を強く持つている。ただし、講座はあくまで CAD 入門講座である。この文脈の中で、あまり「領域横断」や教育工学の話題をもちだ

しても、学習者を混乱させてしまう懸念が大きく、やはり注意が必要である。本年度は、CAD の学習内容とブルーム・タキソノミー[4]による認知の 6 段階を対応づけた資料を用意し解説する、学習のプロセスにおけるアトキンソン・シフィリンモデル[10]を解説する、といった試みを実施したが、あくまで口頭の会話などの印象ではあるが、これらを歓迎する学習者と歓迎しない学習者が双方共に存在するのは確かなようである。

また、CAD の学習と言いつつ、領域横断的な問題解決をもちだしても、学習者の関心は、結果やいわゆる正解(図 1 における吹き出しに相当)に行きがちなことも否めないだろう。おそらくこの問題は、○○の学習のように、固有の領域で定義された学習という文脈とは、異なる文脈が必要なのかも知れない。

5.3 実物モデルの効果

ゲーム設計の基本的な考え方(グリーンブレッド)のひとつであるが、眼に見えにくいものを目の前に具体的な形として提供することで、人の認知を支援する効果が期待できる。本年度は図 2 におけるスキル(観察)の実習において、スクリュードライバ、ティーカップ、マウス、キャラメル箱など、すべて実物を人数分用意した。特に講座の最終課題である「マウス」のモデリングにおいては、マウスの形状の特徴を CAD で再現するためにこれまでの技能を用いて試行錯誤するようですが、フィードバックを通じて確認できた。この実物を目の前に置くことの効果についても、今後の研究課題としたい。

6 今後の展望

筆者らにとって、CAD 入門講座は、解決すべき問題が山積しており、困難は伴うが、知的刺激に富んだ挑戦しがいのある課題である。教育は変わりつつあり、その時のキーワードは「無意識の意識化」であるように思う。多くの実務家・学習者は、それまで「知らず、知らずのうちに」多くの技能をみにつけてきたはずである。「知らず、知らずのうちに」でも技能が身につけば、それで良いのかもしれないが、「知らず、知らずのうちに」では、自分の意思で変えてゆく事は困難であり、それは変化や未知の環境の中で主体的にふるまうことは難しくなるよう思う。本年度の実践を踏まえて、研究・教育に取り組んでゆきたい。

参考文献

- [1] ク里斯・アンダーソン(関美和 訳), メイカーズ, NHK 出版, 2012.
- [2] 大久保敦彦, “高級車にひつような人間を尊重する技術”, “モータファン別冊”, 1989.
- [3] 市川伸一, 認知心理学 4 思考, 東京大学出版会, 1996.

- [4] 松田稔樹・多胡賢太郎・坂元昂, 教授活動の計算機シミュレーションに向けたモデルの提案, 日本教育工学雑誌, 15(4), 1992.
- [5] 石井英真, 現代アメリカにおける学力形成論の展開, 東信堂, 2015.
- [6] ドミニク. S. ライчен・ローラ. H. サルガニク(立田慶裕訳), キー・コンピテンシー, 明石書店, 2006.
- [7] 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説・総則編, 2009, 東山書房.
- [8] 坂元昂, 教育工学の原理と方法, 1984, 明治図書
- [9] R.M.ガニエ, W.W.ウェイジャー, K.C.ゴラス, J.M.ケラー(鈴木克昭, 岩崎信訳), インストラクショナルデザインの原理, 北大路書房, 2007
- [10] R. M. Ganie, M.P.Driscoll Essentials of Learning for Instruction, Holt,Rinehart, and Winston, 1989.

e-Learning システムのための非構造データ設計

慎 祥 揆*

The Non-Structure Data Architecture for the e-Learning System

Sanggyu Shin*

Abstract

We describe the non-structure data architecture for e-learning system. Our proposed data structure based on non-structure data architecture for suppose that create test questions appropriate for each user's level at low cost. In particular, when a user review their lesson, our system provides new test questions which are assembled based on their previous test results and past mistakes, rather than a completely random selection. By providing test question of the appropriate level, we hope to enhance the user's learning.

Keywords: Non-structure data architecture, e-Learning, automatic assembly, database

1はじめに

情報通信技術（Information & Communication Technology, ICT）は産業化以降、知識情報化社会に変化する過程で最も重要な役割をし、情報の収集、生産、加工、保存、伝達、活用などを可能にするすべての情報技術と通信技術を意味する。

情報通信技術の発展は社会全体的に大きい影響を与えており、教育分野も例外ではない。「教育の情報化」の流れの中で、情報通信技術の教育的な活用のための理論と実験は活発に行われている。

情報通信技術の教育的な活用あるいはICT活用教育は学校教育での教科教育や一般教育を実施する際、各種情報通信技術を活用する教育を意味する。

情報通信技術の変化は社会的な面の変化を与えているが、教育の例外ではなく、教育情報化に対する期待が続いている。デジタル型の資料が情報通信技術によって普遍的される時、学校でもこのような資料の活用が期待されることである。

しかし、ICT活用教育には何らかの問題点が挙げられており、効率的な学習手法について様々な提案がされている。

本稿では、e-Learningシステムを開発で、学習者のデータ保存と再利用を重点的にし、各学習者のデータの個人化格納手法について議論する。

特に本稿では、学習者のテスト結果の自動生成やその結果の格納、効率的な再利用を支援するデータ構造の設計を提案する。

構築するe-Learningシステムのテスト問題の自動的組み立てシステムを開発も目指す際、テスト問題を自動的に組み

立てる為のデータ設計手法として、従来の関係データベースシステムでは多様な問題パターンに対応できるスキーマを設計するには不可能であり、本提案では非構造データベースを活用する手法を目を向けて了。

例えば大学での学習では、同じクラスで集まつた学生であっても各学生の実力は学習レベルや、興味度、授業に取り組む積極性など様々な要因によって異なってくる。通常、大学での外国語の授業のように学生のレベルによって、初級、中級、高級に分けられた授業であっても授業が進めば進むほど各学生の実力の差は出てくる。1人の教員がこのように普通に一つのクラスと一緒に学習してもレベル差が出る学生に対し、それぞれのレベルに合わせたコンテンツやテスト問題を一人一人向けに作成する事は、不可能であり[1-3]、そのような問題に対する個人化データベースの構築も複雑な問題を持つ。

本提案では、そのような学生一人一人に合わせたテストコンテンツを作成するためのデータ構造を提案する際、最も重要なデータ処理に関して議論している。様々なデータを扱うため、もっとドキュメント指向で柔軟性を持つ非構造データベースを提案する事で、学生一人一人に対するデータを効率的に管理する手法を提案している。

本稿で議論しているデータ設計手法を利用する事で、提案するe-Learningシステムで各学習者に合わせたレベルの問題が個人向けに低コストで作成できることが期待される。特に復習の際、前の学習で間違った問題を再構成し、新たな問題を提供することによって学習効果を高める手法を提案する。新たな問題の提供によって学習者の学習効果を高めたり、自分が弱い部分を自動的に復習できる事で、学習の

効率を向上くデータ構造を議論する。

2 情報技術と教育

ICT とは情報技術と通信技術を統合したもので、情報機器のハードウェア、ソフトウェアとこれらの記述を利用し、情報を収集、生産、加工、保存、伝達、活用するすべての方法を言う。ICT 教育とはこのような ICT を教育に適用する事で、報通信技術を道具やメディアとして活用し、各教科の目標を情効率的に達成する教育活動である。

つまり、報通信技術を道具やメディアとして活用し、学生の学習動機を誘発・自己主導的な学習能力を高める教育活動である。それでは、我々は ICT を活用した教育、狭く言うと e-Learning システムに何を望んでいるのか。

短期的には教育の拡大に大きな効用があり、中・長期的には新しい教育スタイルの具現にその効用があると考えられる。短期的には効果の代表的なのが、サイバーユニバーサルのような e-Learning を活用した教育提供の量的な増大を通じた教育機会の拡大である。もっと重要なのは e-Learning の長期的な効果である。e-Learning は現行教育制度および教育方式の改善および補間策として有効性以外にも国家的に必要不可欠的な事業である。

e-Learning の発展により、新しい社会での個人は一生個別的に合わせた教育過程を通じて学習する存在になるのでしょうか。他に通信を通じてお互い協力や相互依存を通じ、知識を学び、新しい知識を作っていく存在になると期待される。このような社会での教育は各個人個別に対する適切な診断、各学習者のレベルに合わせた教育方式、適切な教育コンテンツと活用、最適の学習過程の考案および進行、時・空間的な制約がない集まり、議論、研究などはもちろん長期的な学習履歴管理などを支援しなければならない。

また、各教育機関を中心に行われた個別性の限界を乗り越え、社会と個人の必要と要求を適時に充足させるように連携され統合的に運営できる教育体制の構築が必要である。

しかし、e-Learning を通じた知識伝達中心の講義式教育が無批判的に拡大・提供されると教育の品質向上が教育の量的拡大に相応して行われないなどの問題点が出る可能性もある。

つまり、e-Learning の重要なポイントはコンテンツの持続的な品質管理を通じた学習効果を高めるための努力である。単純に教室の講義をオンラインに置き換える方式ではなく、学習者が学習に集中できるように設計、実際の学習成果と連結できる必要がある。このため、本提案する e-Learning システムでは様々な e-Learning の学習問題から、学習者の自己主導的な学習手法を提供する方法として、学習者個人に合わせたテスト問題の提供に注目した。学習者個人が自分で合わせられた問題を提供されることで、自分の学習レベルをチェックでき、自習での意欲を高めることができると期待

できる。

3 NoSQL データベースシステム

多様な定型・非定型データを格納するための分散構造の NoSQL データベース技術が登場した。NoSQL データベースシステムはスキーマがない、たやすく複製を支援し、簡単な API を使用し、eventually consistent と BASE 属性などの特徴を持つ。

表 1 ACID と BASE 属性の比較

ACID	BASE
Atomic(原子性)	Basically Available
Consistent(一貫性)	Soft-State
Isolated(独立性)	Eventual Consistency
Durable(永続性)	

NoSQL データベースをデータ格納方式によって分類すると、Key-Value Stores、Wide Column Stores、Document Stores と Graph Databases に分類できる[5]。



図 1 NoSQL データベースの分類

最近の NoSQL データベースの人気は持続的に上がっており、以下に NoSQL データベースについて簡単に述べる。

1) Key-Value Stores

一番基本的な貯蔵形式で、大部分の NoSQL が支援する貯蔵概念であるキー値(Key Value)ペアを支援する。この貯蔵モデルは唯一なキー(Key)に一つの値(Value)を格納する方式である。Memchahed, Redis, Amazon の Dynamo とそのオープンソースバージョンの Voldemort, Oracle の Backly DB などがある。

2) Wide Column Stores

Key-Value Stores の拡張概念で、値に Column family 形態を使用する。列を構造化したもので、よくアクセスする column を一つの値に格納する仕組みを持つ。Cassandra, Hbase, Hypertable, Accumulo などのオープンソースが存在する。

3) Document Stores

Key-Value Stores の拡張した形態で、一つのキーに一つの値を格納するが、値の形態で文書(Document)タイプを使用する。ML と SON 形態の文書を使用して、複雑な階層構造を表現する。MongoDB, CouchDB, Couchbase, Amazon DyanmoDB, OrientDB などのソリューションがある。

4) Graph Databases

グラフ形態のデータを貯蔵するための専用のストアリッジである。テーブル間の JOIN 演算ではなく、グラフでの経路探索形態の演算が多く使用されるソシャルネットワーク分析のようなグラフ応用プログラムによく使用される。Neo4, Infinite raph, Titan, ArangoDB, Trinity などのソリューションがある。

私が提案する e-Learning システムでは各学習者のテストデータの構造化を提案している。テストは一般的に文書のように作成されているため、提案システムではドキュメント指向データベースである MongoDB[4]の機能を活用したデータ設計を行った。

4 ドキュメント指向データ設計の目的

本データ構造の設計は大学の講座のような組織内で小規模で行うコンテンツの作成、特に授業の内容の一貫性を維持しながら学習者それぞれの実力に合わせたコンテンツの作成を支援するシステムに適応するためのデータ構成の設計である。

本研究で言う「内容の一貫性」とは、本システムの支援対象は、大学講座のようなクラス単位での学習を対象にしているため、そのクラスで利用する共通のコンテンツの内容、すなわち、同じ授業内容をベースにした異なるレベル(各学生に合わせたレベル)のテスト問題の作成を意味する。

コンテンツの個人化は、まず各学習者の学習データの分析を要求する。本研究では、従来の e-Learning システムがコンテンツの管理、提供、ユーザー分析の観点から情報を扱ったこと(データベースの観点)に比べて、実データ、すなわち情報を利用するユーザー側の観点から考えた効率で有効な情報獲得手法を重心に議論する。その上、コンテンツの授業内での柔軟な利用手法、再学習率を向上するための教育学的なアプローチを用いて情報融合的な情報要求に対するシステムを利用する学修者データ分析とその分析に基づく学修支援システムの開発に関する研究を行っているため、データベースもこれに従って柔軟に対応しなければならない。

一般的な大学の講義支援システムにみられるように、様々な講義をビデオ撮影し、ビデオ教材として配信を行っている。教材が多数蓄積された環境において、学習者が効率良く学

ぶためには、自分はどの教材から勉強を始めれば良いかが判断しやすく、ある教材を学修した後にどの教材を学ぶべきかが提示される仕組みが求められる。また、スマートフォン等の各種携帯端末が普及し、通勤時間などの限られた時間の有効活用のためにビデオ教材が使われる場面も増えている。このように、蓄積されているコンテンツを活用する手法は多様化されているが、このコンテンツ自体を個人向けに作成したり、提供させたりすることは低予算や個人の講師一人ではまだ難しいのが現実である。それと、コンテンツの蓄積の観点から見ると、自分の授業に対するデータの蓄積はあるが、そのデータの共有する方法などはまだ考えられていない。

同じ授業内で同じ内容をベースに学習者別に合わせた複数の例文や問題を作成するのはコストが高くなる問題から、大規模な作業で多くの人的資源を必要とすることになり、一つの学科や個人の教員が対応することは不可能である。しかし、学習環境のモバイル化やコンテンツの電子化と共に、学習内容も学習者に合わせることによって、より効率的な学習が可能になることは明らかである。このような状況下において、個々の学習者に最適化された内容を提示する仕組みでありながら、一つの学科や個人の教員で使われるシステムの開発が求められている。こうした課題に対して、内容の依存関係や学習者の学習可能時間、問題文の回答からの分析による復習状態及び理解度、反復して学習した内容の範囲とその内容やレベル、回数の分析による学習者のレベルを分析した結果を基に、閲覧する教材の内容を学習者のレベルにあわせて適切に提供するシステムを、教材内容候補を決定するためのデータモデルとデータの再構成アルゴリズムを検討することを最終目標として研究を進めている。しかし、今回は、全体的なシステムの中から、個人化データ設計を中心とする。

5 MongoDB

MongoDB は既存の関係型データベースは違つて(表 2)、ドキュメントタイプのデータベースである。データを表見する形式が JSON 形式である。従つて SQL 問合せ文とは異なる JSON(図 4)を基にする問合せ文を使用する(図 3)。JOIN がないので、JOIN が必要な内容に設計する必要がある。特にドキュメント指向なので、学習者のテスト問題とその結果の集め、削除や変更がない場合に適切である。

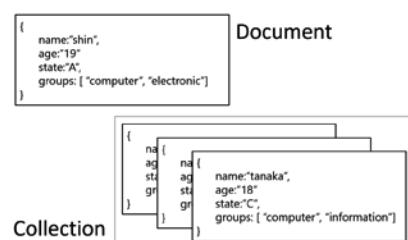


図 2 MongoDB 文書とコレクション

表 2 RDB と MongoDB の比較

RDB	MongoDB
関係型 DB	ドキュメント指向 DB
データベース	データベース：コレクションのためのコンテナ
テーブル	コレクション：文書の集まり
行	文書；キーと値のペアの集合
カラム	フィールド
oracle/mysql	mongod : MongoDB デモン
Sqlplus/mysql	mongo : MongoDB の shell プログラム

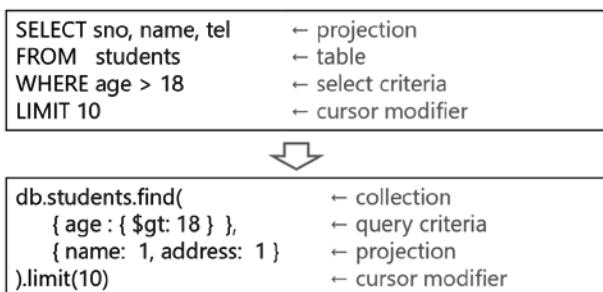


図 3 MongoDB の問合せ文

XML	JSON
...> <name>shin</name> <phone>1234-5678</phone> <street>1234 Shinagawa</street> <city>Tokyo</city> <postalcode>1234</postalcode> <country>Japan</country> <...	{ "name" : "shin", "phone" : "1234-5678", "street" : "1234 Shinagawa", "city" : "Tokyo", "postalcode" : "1234", "country" : "Japan" }

図 4 JSON (JavaScript Object notation)

6 データ構造設計

私が提案するデータ構造は、テスト問題の中でも選択式を対象にする。テスト問題は様々な形式で作成可能であり、まず、選択式はその問題と選択肢を分離可能であり、ある一つの問題に複数の候補選択肢が提供可能である。

図 5 のような質問文には様々な選択肢が作成可能であり、そのそれぞれの選択肢の難しさは異なる。その選択肢の組立てに依存して、問題の難易度のレベルも変わってくる。つまり、難しい選択肢で組み立てた問題は簡単な選択肢で組み立てられた問題より難易度は低い、同じ問題で学生のレベルに合わせた個別な問題が作成可能である。

本稿では、それぞれの例の回答または質問を「断片データ」と定義し、問題と選択肢を分離して管理するデータベース設計を提案する。問題と選択肢がペアで固定されるとクラス全体に一つの問題として提供されるが、それを分離し、各学生のレベルに合わせた選択肢を自動的に組立てて各学生に提供すると、同じ問題であっても選択肢のレベルによっ

て学生の学習能力に個人化された新たな問題が作成できる。

従って、問題とその選択肢を関連付け、分離し、効率的にデータベースに格納できるようにデータベースを設計しなければならない。

全体的なデータ構造は、各要素(問題と選択肢)が断片化された例文は例文それぞれ異なる正答率(難易度)を持つ(図 5)。この正答率は、最初コンテンツを作成する側から決定するが、学習者からのフィードバックを受けて、学習者が復習を行い場合反映されるように学習データは収集、格納される。

各例文はそれが提案数理モデルによる正答率を持っているため、その組立によるコンテンツ(問題)はどの例文による組立かによって異なる正答率の問題が作成できるので学習者のレベルに合わせた問題を提供できるようになる。正答率は学習者のテスト結果によって変更されるように設計した。

ある内容を学習した学習者の答えを分析して、学習者が弱い部分や学習レベルをチェックすることが可能となり、学習者個人向けの復習コンテンツの自動生成を目指す。このようなコンテンツの作成は、一つの大学内に留まらず、他の大学と連結することによって作成コストの削減とコンテンツ利用の拡大化を高める。システムの使用者参加型で問題の数を増やすことを目指し、コスト削減や多様な問題作成を可能にすることを目指している。

また、他の大学にある同じ授業のコンテンツを共有することにより、学習者の実力評価がより広い範囲で可能となる。学習効果の評価がもっと適切になると考えられる。

7 終わりに

今回のドキュメント指向のデータベースを用いたデータベース設計によって期待される効果は次のように挙げられる。一つ目は、小規模の組織であっても授業に適応したコンテンツの作成が可能になる。二つ目は、個人化されたコンテンツが提供できる。特に大学のような小規模の組織に、低コストで、データベースの知識や統計的な知識がない講師であっても使いやすいシステムを提供できる。更に、他の大学の協力を得ることで、問題や例文が共有され、より完成度が高いコンテンツや多様なコンテンツの作成が可能になると共に、学習者の評価にも幅広い範囲で可能になると考えられる。

参考文献

- [1] Kanade, A., Gopal, A., Kanade, S., “A study of normalization and embedding in MongoDB,” Advance Computing Conference (IACC), 2014 IEEE International, pp.416 – 421.

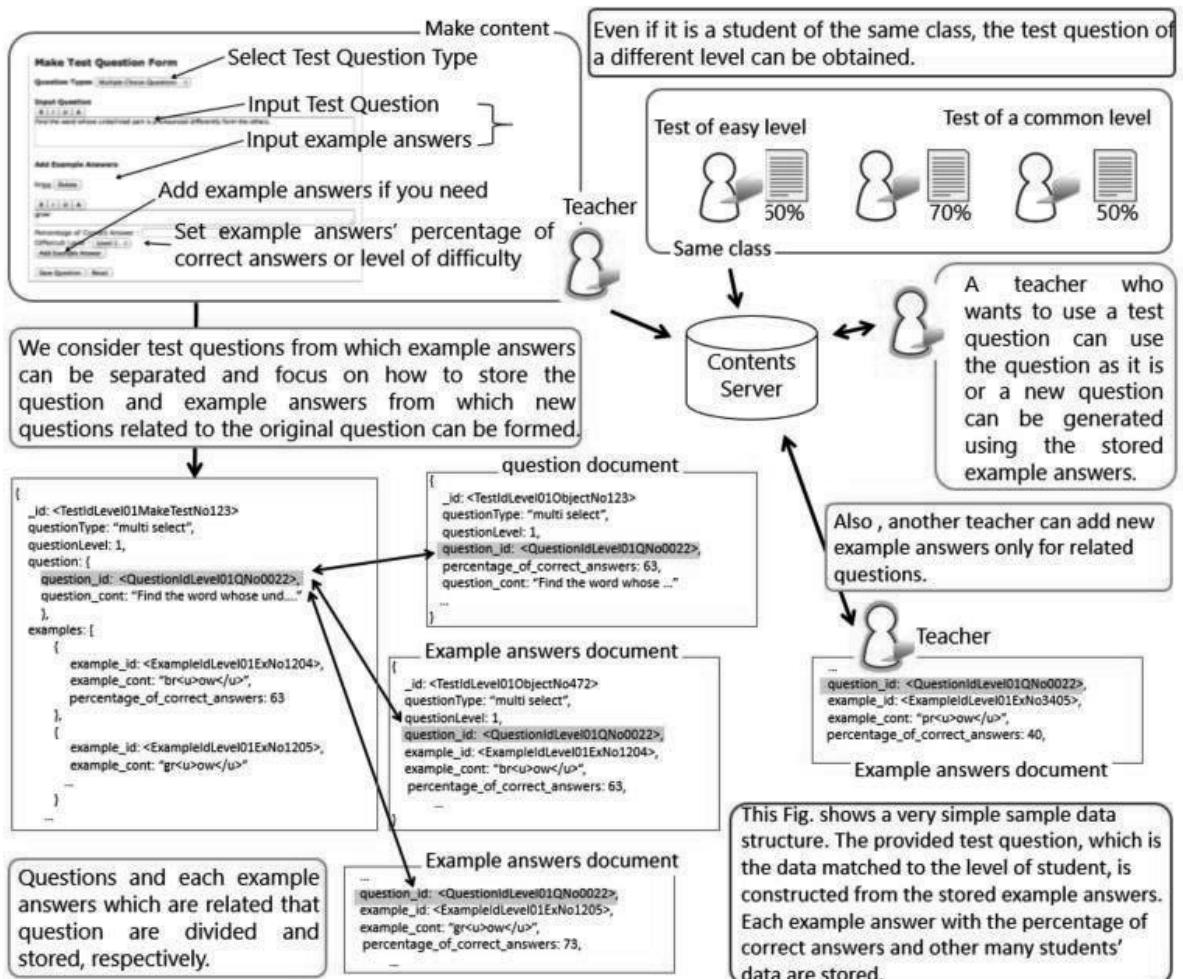


図 5 設計したデータ構造

- [2] Hongxia Xia, Sheng Zhou, Youngjian Liu, “Application and evaluation of NoSQL in course group system,” WIT Transactions on Information and Communication Technologies, Vol. 51, pp.197-203.
- [3] Dennis Kundisch, Philipp Herrmann, Michael Whittaker, Jürgen Neumann, Johannes Magenheim, Wolfgang Reinhardt, Marc Beutner, Andrea Zoyke, “Designing a Web-Based Classroom Response System,” 8th International Conference, DESRIST 2013, pp.425-431.
- [4] MongoDB, <http://www.mongodb.org/> (visited on 2015)
- [5] Jun-Ho, Kwon, “NoSQL データベースの最新動向”, Korea Information Processing Society Review, Vol. 22, No. 4, 2015.

超高温焼成による木質廃材の再資源化とその特性評価

石坂慶¹⁾ 水越義倫²⁾ 管野善則^{3),*}

Recycling of Waste Wood by Ultra-High-Temperature-Firing and it's Characterization

Kei Ishizaka¹⁾ Yoshimichi Mizukoshi²⁾ Yoshinori Kanno^{3),*}

Abstract

We investigated into the recycling method of waste wood via ultra-high-temperature-firing performed by originally refined kiln and the adsorption properties of the products were measured. The resultant activated carbon was characterized by SEM observation and specific surface area measurement by nitrogen adsorption method. The evaluation of adsorption property was carried out by using toluene, formaldehyde, and ammonium gases. Our activated carbon was composed of homogeneous pore size being 10~20μm, and well-developed honey-comb-like microstructure.

Keywords: Activated Carbon, Waste Wood, Specific Surface Area, Honey-comb type structure, SEM microstructure, Adsorption property, toluene, formaldehyde, ammonium.

1 はじめに

日本では地方において森林荒廃が騒がれている。この森林荒廃の元になっているのは木質材料であり、これは、高温多湿の我が国における数少ない有望な資源の一つでもある。地球温暖化により大気構成分子の全ポテンシャルエネルギーの著しい増加によりエネルギー分布の不均一化が生じ、気候変動、風水害による甚大な被害が世界的に拡大している。我々は荒廃した地方山間部の生き残り策として廃木の高性能化を試みた。本報告では、山間部でも製造可能な土窯方式である小松式かぶと窯を作製し、従来よりも高温焼成が可能な型式に改良を加え、1200°Cでの焼成プロセスを試みた。活性炭あるいは木炭とは木材などの植物組織を半ば密閉した状態で加熱し、炭化させて得られた炭である。主成分

は炭素であり極微量のアルカリ塩を含む。

活性炭、木炭は炭化させる素材はもとより雰囲気、炭化温度や焼成時間などの諸々の焼成プロセス因子によって吸着特性、遠赤外線放射特性等が様々に変化する。[1]

図1に活性炭の細孔構造のモデルを示す。

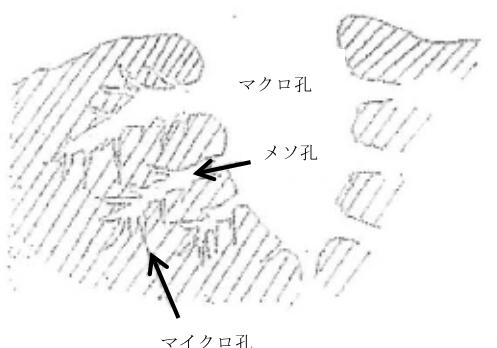


図1 活性炭の細孔構造モデル

Received on 2015-9-30

1)(株)ムジカ企画

Musica Project Co.

2)(株)炭香

Sumikou Co.

3)産業技術大学院大学

Advanced Institute of Industrial Technology

2 実験

2.1 市販炭のガス吸着性能試験

○ガス吸着性能試験

10L テドラーーバックに濃度調節した試験ガスを封入し試験体を入れてガス濃度の経時変化を測定した。

○試験体

雑貨店で市販されている備長炭、木炭、竹炭をおおよその大きさ、約 10mm × 10mm × 40mm にカットして使用した。

○試験ガスと測定器

・ホルムアルデヒド (Formaldemeter 400 [JMS])

・トルエン

(北川式ガス検知管 124SB [光明理化学工業])

・アンモニア

(北川式ガス検知管 105SC 及び SD [光明理化学工業])

2.2 高温吸着性能試験

本研究では様々な環境で使用可能な活性炭の製造法という観点から、めったに行われない高温環境下での有害ガスの除去特性について実験した。さらに試験体として用いたサンプルは 200°C の超高温処理した活性炭と低温処理した活性炭を一定比率にブレンドし、特殊プレス工法で仕上げた 3 尺 × 3 尺からなる合板である。本研究では、これをサイエンスボードと名称する。

○高温吸着性能試験

10L テドラーーバックに濃度調節した試験ガスを封入し試験体を入れた。恒温槽を用いて、各温度に対してのガス濃度の経時変化を測定した。

○試験体

サイエンスボードを 10mm × 10mm × 50mm にカットして使用した。

○試験ガスと測定器

・ホルムアルデヒド (Formaldemeter 400 [JMS])

・トルエン

(北川式ガス検知管 124SB [光明理化学工業])

・アンモニア

(北川式ガス検知管 105SD [光明理化学工業])

○試験温度

室温, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C

2.3 SEM 観察

種々のガス吸着特性に大きく影響するため、ここでは試験体の微構造を SEM により観察した。

3 実験結果および考察

3.1 市販炭のガス吸着性試験の結果

表 1~4、および図 2~4 に市販炭の吸着性能試験の結果を整理して示した。

一般木炭(黒炭、竹炭)にはベンゼン、トルエン等の有機溶剤系 VOCs ガスについての吸着性能はない。これは、一般的の木炭が 550°C 以下で焼成されているからである。ただ、アンモニアのような一般生活臭は除去する能力を有していた。

同じく高温で焼いている備長炭(白炭)の有機溶剤系 VOCs ガスに対する吸着性能は、せいぜい 50%くらいを吸着させるのが精一杯である。同じ高温炭で、この様に差が生じる理由として以下の 2 つが考えられる。

A) 広葉樹にはシリカ分が多く含まれており、それが熱で溶出し、吸着に作用する微細孔を塞いでしまう。

B) 1000~1200°C という高熱が加わるとかなりの熱収縮を引き起こし、これにより、吸着に作用する微細孔が塞がれてしまう。

総じて、一般的市販炭はナラ炭(黒炭)・竹炭・備長炭を含め、ベンゼン、トルエン、キシレン等の有機溶剤系のガス吸着性能はかなり低いレベルにある。

表 1 試験体の重量 (単位:g)

	1	2	3	4
備長炭	7.83	5.66	6.81	6.77
木炭	3.45	3.24	3.09	3.26
竹炭	2.17	2.99	2.29	2.62
忍野炭	2.54	2.96	2.68	2.73

※参考に忍野炭の数値も掲載

表 2 ホルムアルデヒド吸着濃度の経時変化

時間[h]	忍野炭	備長炭	木炭	竹炭
0	3.48	4.2	4.5	3.5
1	0.86	1.87	1.82	2.46
3	0.25	1.15	1.05	1.82
5	0.15	0.95	0.82	1.46
7	0.09	0.71	0.53	1.23
24	0.02	0.34	0.19	0.4

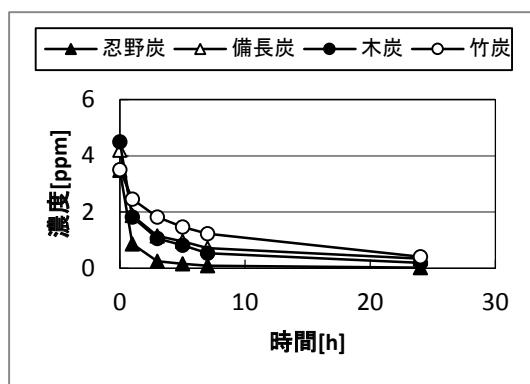


図 2 市販されている炭へのホルムアルデヒド吸着濃度の経時変化

表 3 トルエン吸着濃度の経時変化

時間[h]	忍野炭	備長炭	木炭	竹炭
0	75	60	65	80
1	40	38	70	80
3	20	35	80	83
5	10	28	80	80
7	3	25	60	80
24	1	17	65	65

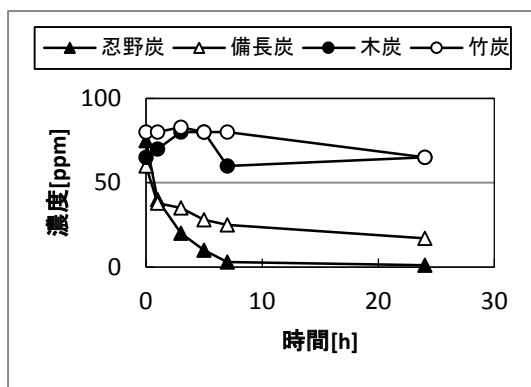


図 3 市販されている炭へのトルエン吸着濃度の経時変化

表 4 アンモニア吸着濃度の経時変化

時間[h]	忍野炭	備長炭	木炭	竹炭
0	55	70	60	60
1	20	60	35	42
3	8	53	20	33
5	7	43	15	23
7	6	40	10	19
24	2.5	18	3	3

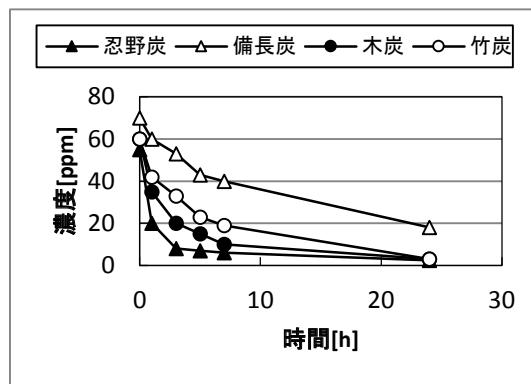


図 4 市販されている炭へのアンモニア吸着濃度の経時変化

3.2 高温吸着性能試験の結果

本研究で開発した特殊土窯で作製した炭に関する性能試験の結果を表5～12、および図5～18まで、まとめて示した。

トルエンとホルムアルデヒドは高温になるにつれて、減少率が低下する傾向にあり、またアンモニアは高温になると、減少率が高くなっていく傾向にある。

本手法で製造した超高温焼成炭は他の炭と異なり、トルエンに対しても優れた吸着性能特性を有していた。その差が生じた理由として、土窯炉での焼成手法のコントロールがポイントと推察される。要するに精錬状態に入るまでの水蒸気賦活処理、仕上げ時における空気賦活プロセスのコントロールをバランス良く機能させることが重要であろう。

表5 試験体の重量

温度[°C]	室温(23)	40	50	60	70	80	90	
重量[mg]	トルエン	4524	4180	3887	4098	4122	3608	4888
	ホルムアルデヒド	4873	4497	3892	4198	4087	4170	4471
	アンモニア	4699	4586	4658	4308	3735	3951	4717

表6 室温でのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]	0	1	3	5	24	
濃度[ppm]	トルエン	42	29	15	10	0.3
	ホルムアルデヒド	2.5	1	0.3	0.2	0.01
	アンモニア	20	9	4.2	2.5	1.5

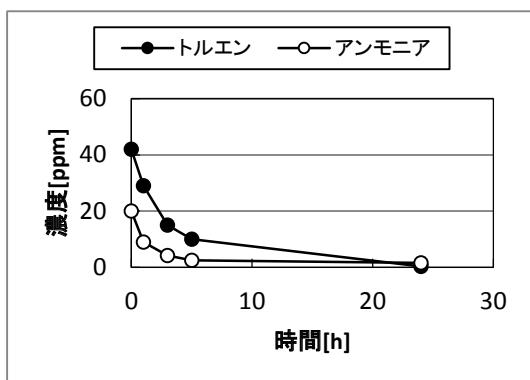


図5 ガス吸着濃度の経時変化 その1 (室温)

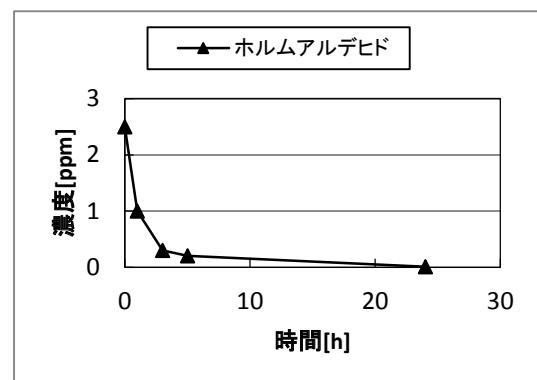


図6 ガス吸着濃度の経時変化 その2 (室温)

表 7 40℃でのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]	0	1	3	5	24	
濃度[ppm]	トルエン	40	20	7	3	0.4
	ホルムアルデヒド	3	1	0.4	0.2	0.02
	アンモニア	17	5.5	2	1.1	0.23

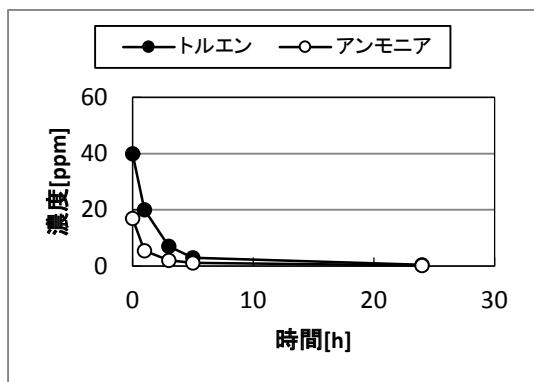


図 7 ガス吸着濃度の経時変化 その 1 (40℃)

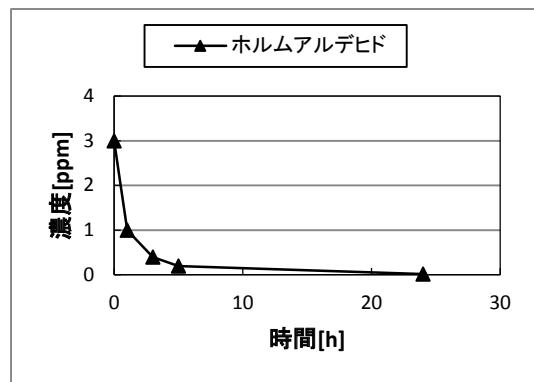


図 8 ガス吸着濃度の経時変化 その 2 (40℃)

表 8 50℃でのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]	0	1	3	5	24	
濃度[ppm]	トルエン	42	23	10	6	0.7
	ホルムアルデヒド	2.5	2	0.7	0.3	0.05
	アンモニア	21	11	6	4	1

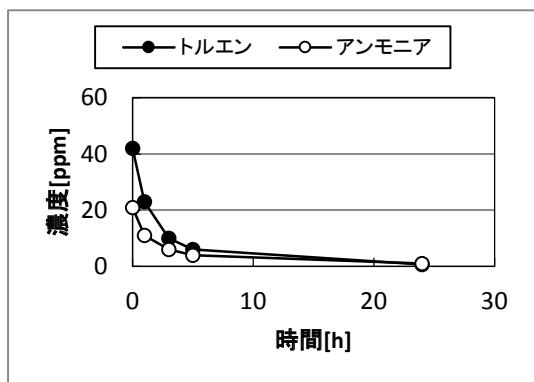


図 9 ガス吸着濃度の経時変化 その 1 (50℃)

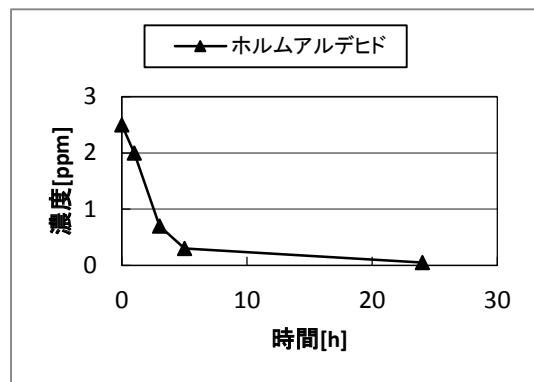


図 10 ガス吸着濃度の経時変化 その 2 (50℃)

表 9 60°Cでのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]		0	1	3	5	24
濃度[ppm]	トルエン	40	25	15	10	2.5
	ホルムアルデヒド	3	2	0.7	0.4	0.1
	アンモニア	23	14	9	6	2

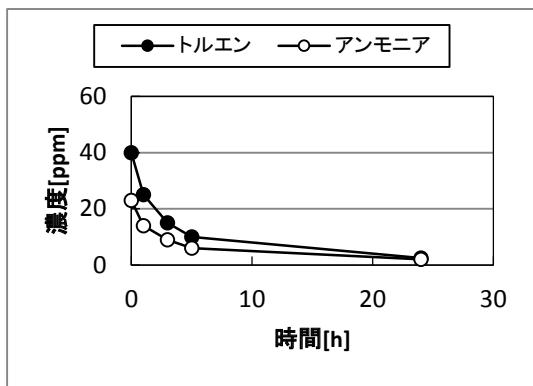


図 11 ガス吸着濃度の経時変化 その 1 (60°C)

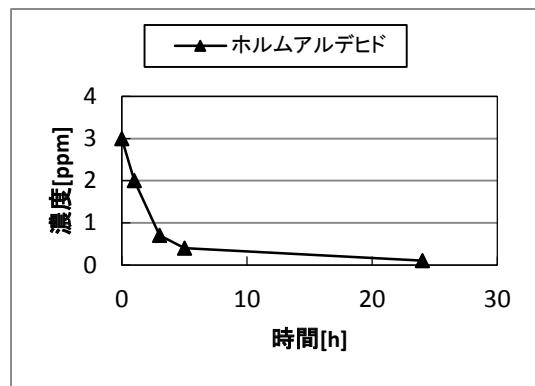


図 12 ガス吸着濃度の経時変化 その 2 (60°C)

表 10 70°Cでのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]		0	1	3	5	24
濃度[ppm]	トルエン	55	30	15	8	1
	ホルムアルデヒド	3	1.7	0.5	0.4	0.3
	アンモニア	24	12	6.8	5.4	0.8

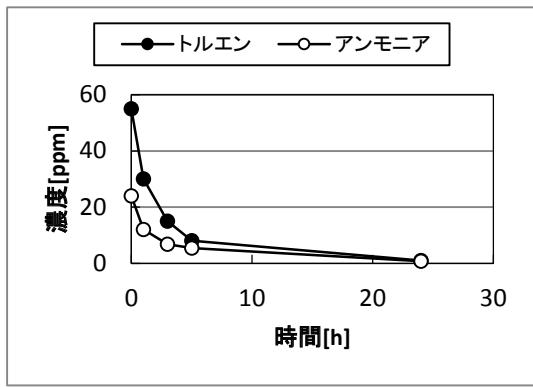


図 13 ガス吸着濃度の経時変化 その 1 (70°C)

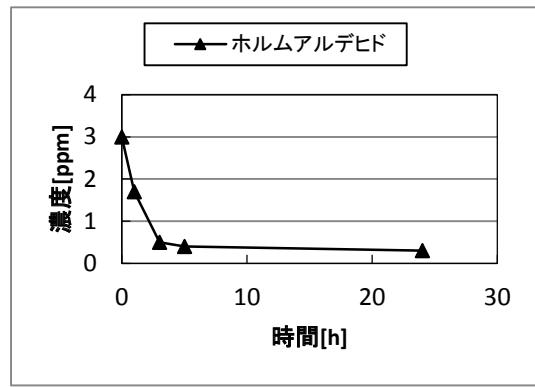


図 14 ガス吸着濃度の経時変化 その 2 (70°C)

表 11 80°Cでのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]	0	1	3	5	24	
濃度[ppm]	トルエン	35	20	10	7	1.4
	ホルムアルデヒド	2.7	1.5	1.2	1	0.9
	アンモニア	15	7.5	5.5	3.5	0.25

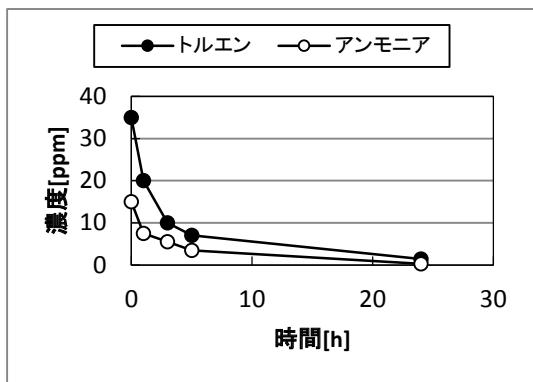


図 15 ガス吸着濃度の経時変化 その 1 (80°C)

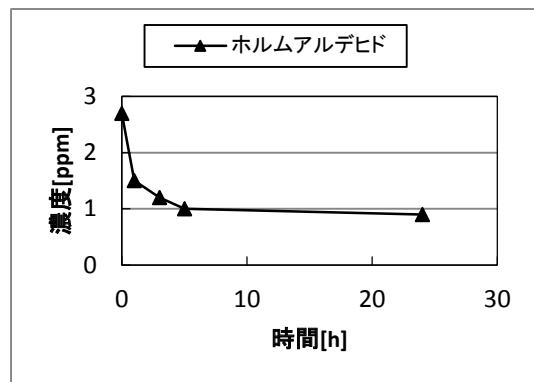


図 16 ガス吸着濃度の経時変化 その 2 (80°C)

表 12 90°Cでのガス吸着濃度の経時変化

時間[h]	0	1	3	5	24	
濃度[ppm]	トルエン	40	32	11	5	1
	ホルムアルデヒド	2.5	2	1.9	1.7	1.3
	アンモニア	19.5	14	2	1.5	0.001

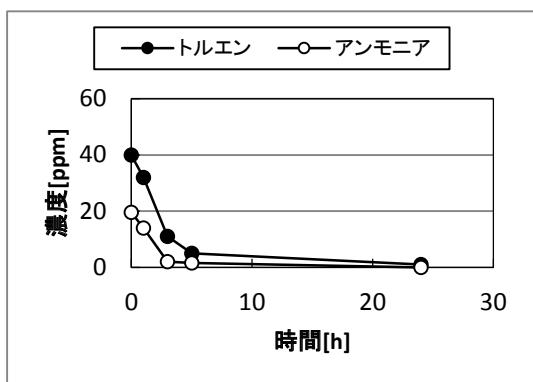


図 17 ガス吸着濃度の経時変化 その 1 (90°C)

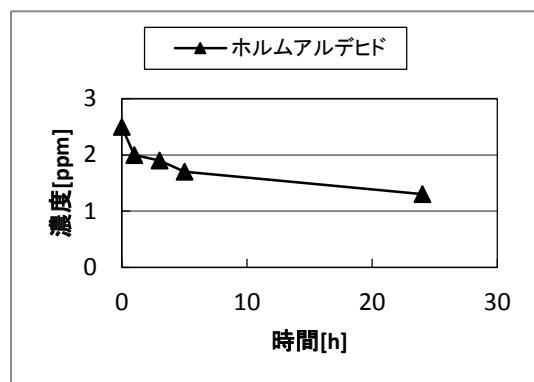


図 18 ガス吸着濃度の経時変化 その 2 (90°C)

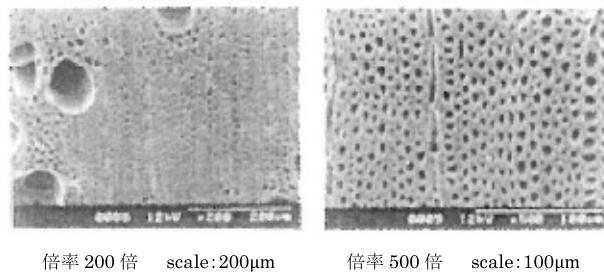
3.3 SEM 観察の結果

特殊な吸着性能を示す理由の解明には炭の微構造が及ぼす効果を探る必要がある。図 19~22 に、その興味深い微構造を示す。

高温炭と低温炭との差は、まさに微構造の数であり、断面に対して垂直に割った劈開面には、微細孔が見られる。高温炭・低温炭で、その数とサイズに大きな差が見られ、この

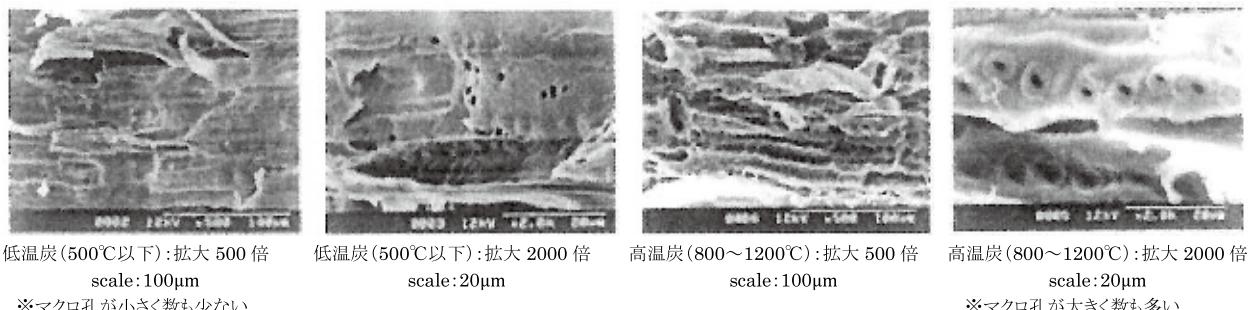
差こそが本手法により得られた活性炭の特徴である。

市販活性炭は、吸着する対象ガスが明白になっているので、酸処理や金属担持処理をするのが一般的である。しかし、本報告における活性炭は、酸処理や金属担持処理を施していないので、半導体工場等のような多種多様な排ガスにも適用可能と考えている。



倍率 200 倍 scale:200μm 倍率 500 倍 scale:100μm

図 19 ナラ炭の横断面拡大写真



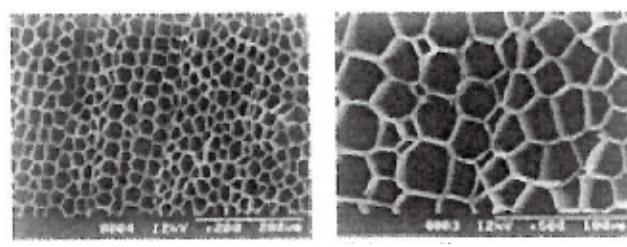
低温炭(500°C以下):拡大 500 倍
scale:100μm
※マクロ孔が小さく数も少ない

低温炭(500°C以下):拡大 2000 倍
scale:20μm

高温炭(800~1200°C):拡大 500 倍
scale:100μm

高温炭(800~1200°C):拡大 2000 倍
scale:20μm
※マクロ孔が大きく数も多い

図 20 ナラ炭の縦断面(隔壁部分)拡大写真



倍率 200 倍 scale:200μm 倍率 500 倍 scale:100μm
※横断面では、高温炭と低温炭についての形状からの有意差は見て取れない

図 21 杉炭の横断面拡大写真

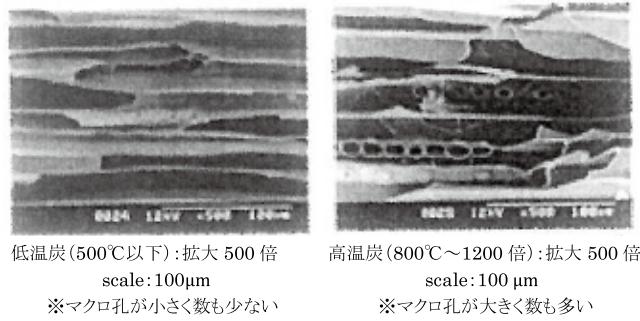


図 22 杉炭の縦断面(隔壁部分)拡大写真

微構造のなす現象をより明確にするためには、吸着分子、アダムに及ぼす、吸着サイトの turn over frequency の概念、特に高温においては、サイトの遠赤外効果、その他、諸々の物理的パラメーターを考慮する必要があり、本報告では、主に実験結果の取りまとめを中心に行った。

4 まとめ

従来の土窯に改良を施し、より高温での焼成が可能な窯炉を作製し、超高温炭の製造を試みた。水蒸気賦活、仕上げの空気賦活工程のベストミックスにより、高温排ガス中に含まれる有害ガスの吸着特性に優れた活性炭を製造することが可能となった。

なお、本実験は株式会社炭香で行われたものである。

参考文献

- [1]富士山を望む山梨の間伐材を炭に再利用した究極のエコ素材. 豊受・炭香(私信)

特定個人情報保護評価におけるリスク項目分析とガイドライン

慎 祥 揆*・瀬戸 洋一**

Guideline and Analysis of Risk Items in Specific Personal Information Protection Assessment

Sanggyu Shin* and Yoichi Seto**

Abstract

The national ID numbers enacted in 2013, the implementation of specific personal information protection rating as defined in the subject such as government agencies that deal with specific personal information. Although the published assessment report format has been described, such as risk assessment item, established the basis for risk assessment items are not clear. So, I have created in the working examples of personal information impact assessment of Japan for hospital and assessment sheet, compares the risk items that have been shown in all the items assessment report of specific personal information protection assessment, completeness of risk items, the analysis of such validity were carried out. As a result, although has completeness, the risks related to system and at management are mixed. It has been found that the risk assessment not be carried out properly.

Keywords: ISO22307, national ID numbers, Personal information Impact Assessment, Risk assessment, Specific Personal Information Protection Assessment

1 はじめに

IT技術の進歩により、電子化された個人情報の蓄積・利用が進み、市民生活や企業活動に利便性をもたらす一方、個人情報漏えい・プライバシー侵害のリスクが増えた。しかし、ネットワーク上に一度漏洩した個人情報を取り戻すことは不可能である。

運用面から個人情報保護を行う内部統制的な対策は、Pマーク（JISQ15001）が実施されていたが、システムが適正に構築されていなければ、運用面での対策はコストがかかるうえ、本質的な問題解決にならない。個人情報を扱うシステムを構築する際、個人情報の保護を考慮する個人情報保護影響評価（Personal information Impact Assessment, 欧米ではプライバシー影響評価と呼ばれる）の実施が北米、豪州を中心に実施してきた[1-2], [10]。

日本では民間分野が先行して、ISO22307（PIAに関する国際標準規格）試験的にPIAを実施している[2-3]。PIAの評価基準は、評価対象システムに関する規則やガイドラインに従い、リスク評価項目を抽出し、評価シートの形にまとめる。評価シートに基づき対象システムについて影響評価を実施する。

日本では、2013年5月に成立した番号法により特定個人情報を扱う行政システムへ特定個人情報保護評価の

実施が義務づけられた。特定保護評価においては、リスク評価項目が設定された評価書が公開されている[4-5]。特定個人情報保護評価は、評価書に指示された内容を記述する形で評価を実施する[6]。

評価書にはリスク項目が掲載されているが、リスク項目は対象システム毎に作成するのではなく、行政で使用されるすべてのシステムで共通に利用される。また、その作成方法について提示されていない。このため、リスク項目の妥当性が不明確である。

本発表では、全項目評価書（以下、評価書）におけるリスク評価項目の妥当性について、個人情報影響評価で作成した評価シートと評価書におけるリスク評価項目と比較することにより分析した。

2 個人情報影響評価と特定個人情報保護評価の概要

2.1 個人情報影響評価

個人情報影響評価 PIA は、「プライバシーに関するリスクアセスメント手法である。その定義は、個人情報の収集を伴う情報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[1-2]。

米国では、電子政府法第 208 条により、個人情報を扱

Received on September 30, 2015

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

う行政システムの構築において、PIA の実施が義務づけられている[10]。

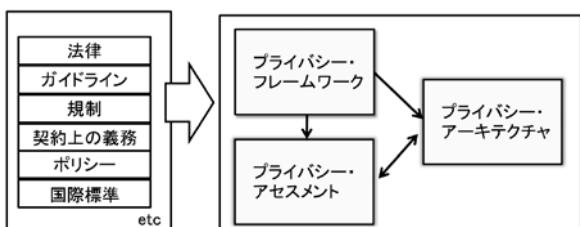
日本においては PIA の実施対象を「公的分野」「公共性の高い民間分野」「一般的な民間分野」に分け、実施体制を構築することが適切である。行政機関など公的分野では、対象情報システムが要件を満たしているかを判断する監査的要素が強い。一方民間分野では、PIA 実施過程において、PIA 評価者の助言を得て PIA 実施依頼組織が個人情報保護対策を図っていくコンサルテーション的な要素が強い。PIA は、実施依頼組織のシステム開発プロジェクトチームの協力の下、評価組織により実施される。

まず、予備 PIA（以下、予備評価）では、情報システムで取り扱う個人情報の有無により、PIA 本評価実施の要否を判定し報告書にまとめる。主に公的機関において実施される。例えば、番号法における特定個人情報保護評価では、しきい値判断に相当する。一方、情報システムが個人情報を取り扱わない場合には、PIA は実施不要と判定される。

予備評価の結果が PIA 要実施の場合、実施スケジュールおよび体制（人員）確保、実施形態の決定、予算、対象範囲など、PIA を効率よく行うための情報を実施計画書に記載する。

PIA の実施結果を踏まえ、必要に応じて、システムの運用的および技術的ながら構築するシステムの仕様の変更を促すものである[1]。PIA を実施し、システム稼働前には正を行うことにより、システム稼働後にプライバシー問題が発生しシステムの稼動停止や、それに伴い発生するビジネス上のリスク、システム改修に伴う費用負荷を軽減することができる。

PIA は、プライバシーフレームワーク、プライバシー・アセスメントとプライバシー・アーキテクチャ 3 つの機能で構成される[1]。



特に重要なのが、プライバシーフレームワークであり、図 2 に示すように、対象システム毎に、評価のための評価基準を作成する。

法律、ガイドライン、規則、契約上の義務、既存のポ

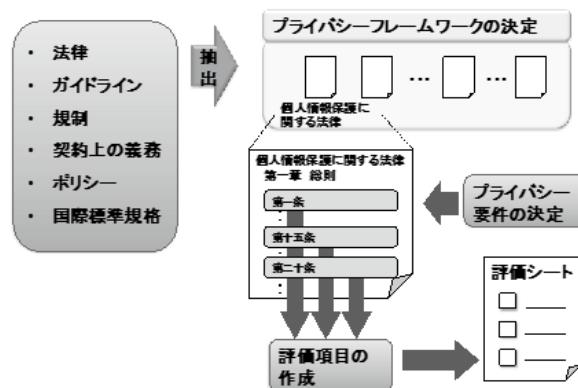


図 2 評価シート作成フロー

リシーなどを元に、対象システムに必要となるプライバシー要件の抽出や評価シートなどを定める。

評価シートは、評価基準として参照すべき法令や規格、参照規定文書から導出した要求事項を評価項目として一覧にし、チェックリスト形式でまとめたものである。

作成手順は、以下の通りである。

(1) 評価項目の収集

評価チームは、PIA の評価基準として使用する参考規定文書を、組織内規定文書（社内規定、契約書）と組織外規定文書（法令や規格、ガイドライン）に分けて収集する。入手文書より評価項目作成に必要な情報を特定する。

特定した参考規定文書をリスト化し、実施・入手文書より評価項目作成に必要な情報を特定する。

特定した参考規定文書をリスト化し、実施依頼組織に対し、評価基準とすることを説明する。

評価シートを参照規定文書から導出した個人情報に関連した要求事項を評価項目として一覧にし、チェックリスト形式でまとめる。

(2) 要求事項の抽出

参考規定文書から、要求事項を抽出する。複数の参考規定文書から同一または類似の評価項目を抽出した場合には、1 項目に集約する。

(3) 項目の分類

評価項目の分類は、OECD 8 原則に従った大分類、項目をグループ化した中分類といった階層的な構成とした。

(4) 評価シートの作成

分類した評価項目に対し評価シートとして、表 1 に示すように作成する。評価シートには「評価項目」、「根拠規程」、「評価結果」、「指摘・推奨事項」、「査閲資料」の 5 項目を記載する。

評価シート作成時に記入するのは、評価対象のシステムに対する要求事項（契約や運用に関する非技術的な要求事項は含まない）を質問形式で表した「評価項目」、および参考規定文書名、条項番号などを表した「根拠規程」の 2 点である。

2.2 特定個人情報保護評価

特定個人情報保護評価は、番号法により特定個人情報を扱う事務システムにおいて実施を義務つけられた。特定個人情報とは、個人番号を含む個人情報であり、特定個人情報ファイルとは特定個人情報を含むファイルのことである[7-8][9]。

特定個人情報保護評価とは、「特定個人情報ファイルが適切に取り扱われるか確認するために行う評価であり、特定個人情報ファイルについて、プライバシー等に配慮した取扱いを確立するための仕組み」である。

保護評価を実施するための特定個人情報保護評価指針が発行されている。

特定個人情報保護評価指針には、評価対象とするデータ数、扱う職員数などから基本項目、重点項目、全項目評価が決定される。

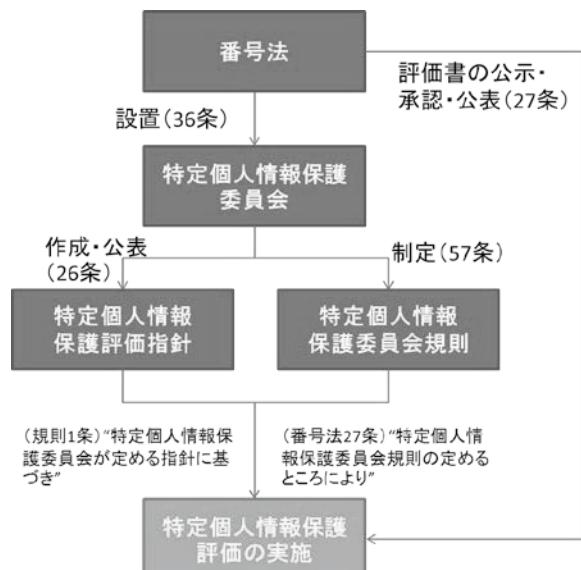


図 3 番号法と特定個人情報保護評価

特定個人情報保護評価は、次に掲げることを目的として実施するものである（表 1）。

特定個人情報保護評価（全項目評価）におけるプライバシーリスクの評価はリスク対策の有無の記述が中心であり、リスク評価基準および基準の作成根拠・分析手順が明記されていない。

3 リスク評価項目の分析

リスク評価項目（個人情報影響評価においては評価シート）は、対象システム毎に必要な書類（法律、ガイドラインなど）を用い作成する必要がある。特定個人情報保護評価においては、全項目評価書テンプレートにリスク評価項目が提示されているが、どのような手順で作成したのかその根拠の説明がない。提示されたリスク評価項目について妥当性を確認する必要がある。このため、明確な手順に従い作成した評価シートと比較することで妥当性の評価を行った。

3.1 個人情報影響評価で作成した評価シート

産業技術大学院大学では、2007 年より 2013 年まで 5 つのシステムに対し、個人情報影響評価を実施した[3]。

● 評価シートの作成

評価シートは、リスク評価の基準となるものであり、参照規程文書から導出した要求事項を評価項目として一覧にし、チェックリスト形式でまとめたものである。評価シートは一部対象システムに依存する項目もあるが、約 80% 程度の項目は共通に利用できる。

表 2 に医療関係の個人情報影響評価において作成したリスク評価項目（大項目および項目数は小項目数）の概要を示す。詳細は参考文献を参照[3]。

評価シートは、2.1 節で述べた方法で作成した。

表 1 特定個人情報保護評価の目的

目的	概要
事前対応による個人のプライバシー等の権利利益の侵害の未然防止	事前に特定個人情報ファイルの取り扱いに伴う特定個人情報の漏えいその他の事態を発生させるリスクを分析し、このようなリスクを軽減するための措置を講ずるとともに、事前対応を行うことで、事後の大規模なシステムの仕様変更を防ぎ、不必要的支出を防ぐことを期待する
住民の信頼の確保	評価実施機関（行政機関、地方公共団体等）が、特定個人情報ファイルの取り扱いにおいて個人のプライバシー等の権利利益の保護に取り組んでいることを自ら宣言し、どのような措置を講じているかを具体的に説明することにより、住民等の信頼を確保する

表 2 医療関係の評価シートのリスク項目概要

リスク項目	
1.	目的明確化の原則(利用目的の特定)
2.	利用制限の原則(第三者提供)
3.	収集の原則
4.	データ内容の原則
5.	対安全保護の原則 - 通信の保護、責任分界点 - データの外部保存(附加保管) - システム開発委託先の管理 - 従業者の監督
6.	公開の原則
7.	個人参加の原則

4 特定個人情報保護評価におけるリスク評価項目

特定個人情報保護評価報告書にはリスク評価の項目がある。リスク評価項目をまとめたものが表4である。ただし、リスク項目の策定方法は公開されていない。このリスク評価項目はすべての行政システムで共通に利用することを義務つけられている。

4.1 比較評価

個人情報影響評価における評価シートに記載された項目と特定個人情報保護評価報告書に記載されたリスク評価項目（特定個人情報保護評価項目と呼ぶ）と比較することにより、網羅性を分析した。

(1) 特定個人情報保護評価のリスク項目の十分性

医療システム向け評価シートを基準に特定個人情報保護評価のリスク評価項目の該当性を確認した。

表 4 特定個人情報保護評価におけるリスク項目

リスク項目(カッコ内は項目数)	
III-2	特定個人情報の入手（10） （情報提供ネットワークシステムを通じた入手を除く）
III-3	特定個人情報の使用（11）
III-4	特定個人情報ファイルの取扱いの委託（10）
III-5	特定個人情報の提供・移転（6） （委託や情報提供ネットワークシステムを通じた提供を除く）
III-6	情報提供ネットワークシステムとの接続（8）
III-7	特定個人情報の保管・消去（15）
IV-1	監査（4）

特定個人情報保護評価の全項目評価に掲載されたリスク評価項目は、番号法特有な部分に齟齬があるが、概ね網羅しており、一部追記すれば問題はない（表4）。

(2) 特定個人情報保護評価に独自なリスク評価項目

医療システム向け評価シートを基準に特定個人情報保護評価のリスク評価項目の該当性を確認した。

- 運用とシステムへのリスク評価が混在している。後者のみに特化すべきである。
 - 評価項目の記載が抽象的である。具体的に記述必要
 - 運用におけるリスク低減策は、別途ガイドラインを策定し、それを職務規程などにする必要がある。職務規程がまもられているか否かを適正に行ないたければ、Pマークを導入すべきである。
 - その他のリスクに関する項目に関しては、評価基準であり、基準が明記されていないのは問題である。対象システム毎に固有の項目をその他のリスク評価項目として明記すべきである。

表 3 評価シートの例

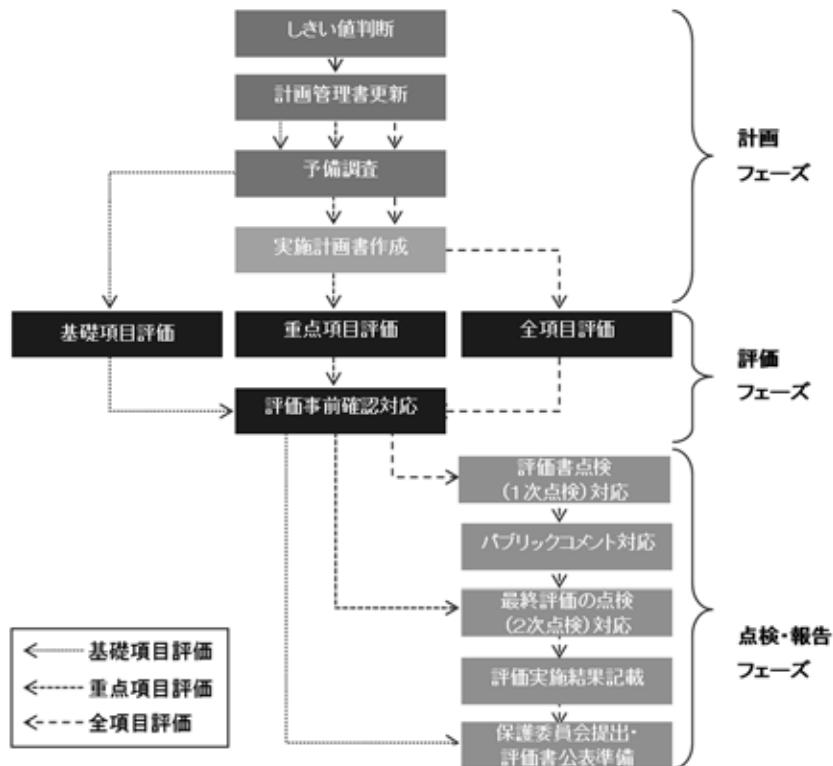


図 5 評価実施機関における評価作業実施フロー

- ・ リスク項目の作成根拠（法など）、作成方法を公開するべきである。
- ・ PIA には詳細、簡易評価があるが、特定個人情報保護評価は、簡易評価に相当する。簡易評価は、リスク分析手順を明確にしなければならない。

5 特定個人情報保護評価ガイドラインへの展開のポイント

特定個人情報保護評価指針は、報告書のフォーマットは定義されているが、影響評価に関する具体的な実施手順が明記されていない。

今回開発した民間対応 PIA ガイドラインは、特定個人情報保護評価（全項目評価）におけるプライバシーリスクの評価にも基本的に利用可能である[11]。

図 5 に評価の実施フローを示す。ハッティング部分が個人情報影響評価のプロセス、白抜きボックスが特定個人情報保護評価指針で示されたプロセスである。

全項目評価はテンプレート化したリスク評価を記述するだけで、実質的なリスク分析が実施されていない。このため、個人情報影響評価報告書を作成した上で、全項目評価報告書などを作成することが適切である。

将来、民間組織、例えば金融機関などへの接続を考慮

すると、国際標準に準拠した影響評価を実施することが重要であり、ガイドラインをベースに特定個人情報保護評価を実施することが重要と考える。

6 おわりに

番号法により、個人番号を扱うシステムに対し特定個人情報保護評価の実施も義務づけられた。本稿では、全項目評価書などで規定されたリスク評価項目の分析を行った。

分析は、公共性ある民間対応で作成したリスク評価項目と比較することで行った。

その結果、リスク項目に網羅性はあるが、システムに関するリスクと運用時におけるリスクが混在していることがわかった。セキュリティの脅威と脆弱性は、システムと運用で別々に規定される。このため、リスク評価はシステムと運用を分けて行う必要がある。

また、アセント(影響評価)という観点から、基準に対し適合しているか否かの判断が必要であるが、特定個人情報保護評価では、その他のリスクなど曖昧な項目があり評価結果の選択肢が適切でない。

以上より、評価時の手順などを具体的に示すガイドラインが必要である。

参考文献

- [1] 濑戸洋一:実践的プライバシーリスク評価技法—プライバシーバイデザインと個人情報影響評価, 近代科学社, 2014.
- [2] ISO22307 Financial services – Privacy impact assessment, 2008.
- [3] 産業技術大学院大学: 個人情報影響評価 事例集, 2013 年, および産業技術大学院大学: 医療分野個人情報ガイドライン,
http://aiit.ac.jp/master_program/isa/professor/y_seto.html, 2013 (参照 2014-04-01) (visited on 2015/9) .
- [4] 内閣府 特定個人情報保護委員会
<http://www.cao.go.jp/bangouseido/ppc/>
(visited on 2015/9)
- [5] 行政手続きにおける個人を識別するための利用等に関する法律, 平成 25 年 5 月 31 日公布
- [6] 特定個人情報保護評価指針(全項目評価書)
<http://www.cao.go.jp/bangouseido/ppc/pia/260319/pdf/12zenkoumokuyouryo.pdf>
(visited on 2015/9)
- [7] 特定個人情報保護評価に関する規則(平成 26 年 4 月 18 日 特定個人情報保護委員会規則第 1 号)
- [8] 特定個人情報保護評価指針(平成 26 年 4 月 18 日 特定個人情報保護委員会告示第 4 号)
- [9] 特定個人情報保護評価指針の解説(平成 26 年 4 月 20 日 特定個人情報保護委員会)
<http://www.cao.go.jp/bangouseido/ppc/pia/kaisetsu/kaisetsu.html>(visited on 2015/9)
- [10] 濑戸 洋一他: プライバシー影響評価 PIA と個人情報保護, 中央経済社, 2010.
- [11] 産業技術大学院大学: プライバシー影響評価ハンドブック, 2013.

中小企業における金属材料 3D プリンタ活用に向けた試作試験

館 野 寿 丈*

Prototyping Experiments toward Practical Use of Metal Material 3D-Printers in Small- and Medium-Sized Enterprises

Toshitake Tateno*

Abstract

3D printers are expected to create a new design and development processes. Because 3D printers have different principle from conventional shaping methods, it can fabricate complex shape, which has never been realized. However, there are many problems for practical use. The critical point is the fabrication cost. Especially, metal material 3D-printers cost many times more than conventional fabrication machines. Therefore, it is difficult for most small- and medium- sized enterprises to test the possibility to use. As a start point of discussion on using them in small- and medium- sized enterprises, researches on current situations are needed. In this paper, two metal parts, which are practical examples in the enterprises and have relatively advantages for 3D printing, are selected and fabricated. Then, the cost and manufacturability are discussed.

Keywords: 3D-printers, Additive manufacturing, Metal, Small- and medium- sized enterprise, Cost

1 はじめに

コンピュータ内に作られた3次元形状に基づいて、薄い層を重ねることで立体を造形する3Dプリンタは、工業的にはアディティブ・マニュファクチャリング(以降 AM)と名づけられており、様々な分野で注目されている。例えば、個人向けのAM装置が低価格で販売され、企業に限られていたモノづくりが、販売を含めて一般の個人でも可能になったことから、新産業革命とも呼ばれている。しかしながら、現在のところAMで作製される実用部品は限られている。以前には加工後の材料の不均一性が課題となっていた時があったが、現在ではほとんどの用途に見合うだけの性能が得られている。現時点での課題は製造コストである。同じ材料の造形物が、従来の除去加工もしくは変形加工によって可能であるとすれば、AMのコストは数十倍になる場合もある。したがって、AMの用途は、試作物や一品物のような個別生産の対象となる部品や、従来の加工ではなし得ない難加工の部品が対象となる。実際、少量の生産でかつ高い付加価値を持つ航空機用の部品や医療用インプラント等には実用されている。しかし、一般にコストは時を経るに従い下落するので、将来的に見れば、AMの用途は拡大の一途をたどることが予想される。AMは、従来に無い加工上の特長を有することから、有効に活用すれば従来に無い製品を作ることに直結する。すなわち、AMの用途を開拓することは、先進的なモノづくりで利益を上げようとする企業にとっては、期待される重要な技術である。

そこで、本研究では、現在の中小企業で作製されている一部の部品を対象に、実際にAMによって部品を作製し、その性能とコストについて、従来の加工と比較する。対象部品の材料は金属材料とする。この理由は、金属材料 AM の装置(金属材料 3D プリンタ)は非常に高額であり、現在の中小企業で導入することが困難であるため、企業内の試作試験などが十分に行われていない例が多いからである。本研究では、この試作試験を通して、中小企業での金属材料 AM の用途について議論する。

2 価値とコストに関する考え方

2.1 製品の価値とコスト

多くの場合、製品の価格は、製造コストではなく製品価値によって決まる。そのため、製造コストが高額になつても、価値ある製品であれば商品となる。AMは、従来の加工では困難な加工が可能になることから、その特長を活かして製造コストを上回る価値を生み出すことで意義を持つ。そこで、まず、AMに関わる製造品の価値とコストに関する一般的な考え方について、整理する。

2.2 個別生産

従来の多くの加工は、刃物で素材を切り出す除去加工と、型に材料を流し込んで固めたり、押し付けたりして成形する変形加工によるものがほとんどである。AMによる個別生産における価値は、主に変形加工との比較において語られる。

Received on September 30, 2015

*明治大学, Meiji University

変形加工では、対象部品を作製するためには、まず型を作製しなければならない。型には、鋳造のための砂型の原形となる木型や、樹脂成形のための金型、曲げ加工のプレス金型などがある。これらの型は、一度作れば、大量の製造品を早く低成本で作製することが可能となる。しかし、型を作るためには試行錯誤が必要となり、時間とコストを要する。したがって、同じものを大量につくることで、製造品の単価を下げることができる。一方で、AMは型を使わずに製造品を直接作製するので、型を作るための時間とコストを省略できる。しかし、AMでは薄い層を積み重ねて3次元の形状を製作するという加工原理であるため、精度を高くすればするほど製造時間を必要とする。すなわち、変形加工とAMとのコストの比較は、製造数に依存する。図1は、この概念をグラフとして示している。横軸は製作にかかる時間またはコスト(以降、負荷と示す)を示している。変形加工では型を作るという生産準備に多くの時間がかかるが、その後の製作品の加工にはあまり負荷は必要としない。これに対し、AMは、3Dデータを作成する生産準備は必要ではあるが、型をつくるほどの負荷ではない。しかし、個々の製作品をつくりていく上での負荷が大きい。つまり、製作数が多くなるほど従来の変形加工が有利であり、製作数が少なければAMが有利である。その程度は製品に依存する。例えば、1cm程度の医療器具部品で12万個程度、6cm程度のカメラ部品で8,000個程度、45cm程度の外装部品で430個程度との報告[1]がある。

2.3 複雑形状加工

AMにおける加工上の利点については、主に除去加工との比較で語られる。

除去加工では素材を切り出すために多くの場合工具を用いる。工具の形状は様々であるが、工具先端の位置は目標とする加工点になければならないので、その工具位置を決定する本体に取り付けられる必要がある。このとき、切削物と本体との間に工具という物体が存在することになる。図2は、切削物、工具、本体との関係をイメージで示している。工具は切削物の内側に入り込むことはできないので加工できない場所が発生する。これが、除去加工に存在する加工上の制限である。この問題に対して、通常は一つの部品を複数の部品に分けて製造し、後で組み立てをする処置がとられる。一方、AMでは、このような加工形状における制限を持たない。そのため、複雑な形状をも複数の部品に分割せずに、造形できる。例えば、最低限の材料で必要強度を持たせた最適化形状の部品を製造しようとする場合、部品の分割は接合面の特性が変わるのでできない。そのため、従来は加工上の問題で最適化形状の採用を見送る例が多かった。これに対し、AMを用いることで、最適化形状の実用が可能となる。例えば、航空機用部品での利用などの例[2]がある。

このようにAMは、加工の観点から見れば、コストでは比較できない価値を持つ。

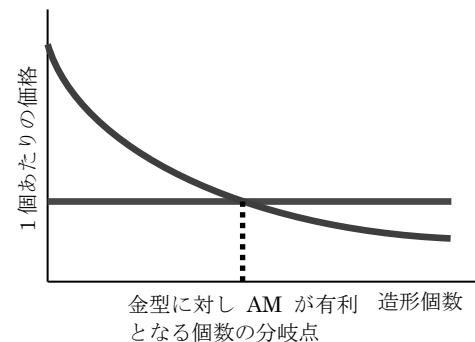


図1：造形個数と1個当たりの価格との関係

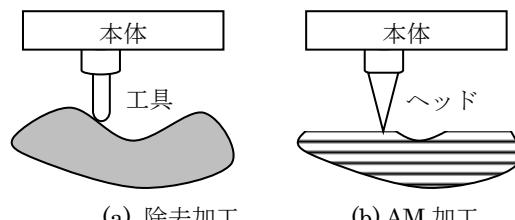


図2：除去加工とAM加工との比較

3 試作実験

3.1 試作対象の選択

前章で示したように、価値対コストにおいてAMに有利となる条件は、少量生産であることと、複雑形状であることである。複雑形状の加工は、現在の中小企業で行われている加工にはほとんど見当たらないので、少量生産である部品を対象として選択した。一つは除去加工との比較として、金属加工メーカーにおける少量生産部品であり、もう一つは、変形加工との比較として、装具メーカーにおける装具部品を選択した。

3.2 金属加工メーカーでの少量生産部品

対象とする部品は、レーシングカーに使用される金属部品である。材料は、チタン合金(Ti6Al4V)である。

加工は2段階により行う。第一段階は、AMによる荒どりの加工であり、第二段階は従来と同様の切削加工である。また、AM製造品の加工上の特性を評価する上で、熱処理および溶接も行った。

この部品での従来の加工プロセスでは、対象形状を切り出せる大きさの直方体を購入し、そこから切り出すので、切れ端は無駄になる。また、チタン合金は難削材であるので、切り出しの時間やコストは通常の鋼材に比較して高くなる。これに対し、AMでは、目標形状および造形サポートに必要なだけの材料を使用する。この点で、少量生産であることがAMに有利に働くが、今回の対象部品は型を使用した加工を含まないので、型を作らないことによる利点は含まれない。

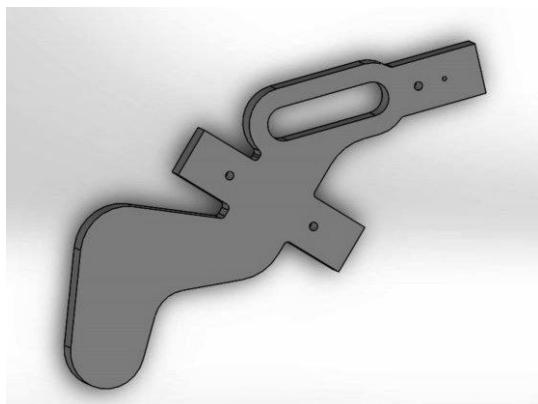


図3: レースカー部品 AM 造形形状の 3D-CAD モデル



図4: AM 造形後の対象部品

図3に 3D-CAD でモデリングした形状を示す。これを、電子ビーム方式の金属材料 3D プリンタを所有する委託造形会社に委託し、2個同時に作製した。

図4に AM 作製後の部品の写真を示す。全体的には 3D モデルに対して $\pm 100 \mu\text{m}$ 程度の誤差に収まっており、ひずみに関しても問題となりそうな箇所は見当たらなかった。

表1に、造形時間およびコスト内訳の概算を示す。ほとんどが加工費となっている。これは、造形装置が非常に高額であり、その減価償却費が加工費となって現れるためである。加工費は一般に加工時間に比例する。また、AM の加工時間は造形物の高さに依存するので、今回の対象形状は、比較的 AM に向いているが、それでも従来の加工費用に比べて非常に高額となった。ただし、加工費用については、原価償却が済めば下落することが予想される。

材料代については、従来の加工で発生する切れ端の無駄が無いとしてもまだ高額となった。これは、この装置は AM 粉末材料を使用しており、その作製が高コストなためである。現在の金属材料 AM は、粉末タイプ(Powder Bed Fusion) 方式を採用しているが、この方式においての材料代は下がりにくいと予測される。

表1: 造形時間およびコスト内訳(レーシングカーパー品、2 個)

造形時間	10 時間	
	造形用データ作成費	32 千円
AM 造形 費用	材料費 Ti6Al4V	17 千円
	造形費	150 千円
	その他	37 千円

表2: 加工試験の内容

加工内容
$\phi 4.3$ スタブドリル 深さ 4.0mm(貫通)
$\phi 10.0 * 90^\circ$ 面取りカッター 口元 $\phi 5.0$ に加工
$\phi 4.5$ 超硬リーマ 深さ 4.0mm (貫通)
M5*0.8 タップ 深さ 4.0mm(貫通)
$\phi 6.0$ 超硬エンドミル 幅 10.0*ピッチ 22.0 長孔加工
$\phi 8.0 * R0.5$ 超硬エンドミル 上面加工(1.0 mm切削)

表3: 加工結果の評価

評価項目	評価結果
刃物のもち・工具磨耗	通常の Ti 合金より摩耗が少ないように感じる。ドリルにおいても肩部分の摩耗が少なく良好。
切削面(面粗さ)	面粗度的には問題なし。エンドミルで加工した面の面粗さは良好
ピンホールチェック	加工面をルーペにて確認したところ、微細なピンホールは存在するものの品質に影響を与えるレベル
切粉の出方	通常の Ti 合金と比較しても特に大きな差異なし。
リーマ孔加工及び精度	切削時に特に鳴く様なこともなく、切削性に問題なし。食付き、抜け際共に欠け等もなく良好な状態。加工径は多少大き目だが面粗度、真円度、径、共に安定。
ドリル孔加工及び精度	切粉にむしれなどなく、特に差異は感じられない。工具磨耗が通常よりも若干少ないような感じ。
タップ加工及び精度	加工はチタン加工用タップにて問題なく加工可能。ネジゲージによる検査では精度的に問題なし。
エンドミルによる側面・底面切削及び精度	底面切削、側面切削共に切削性に差異は感じられない。切込み量が少ないこともあるが、加工負荷も特に大きくない。工具磨耗に関しても特に差異は感じられない。加工硬化が少ないと感じる。



図5：仕上げ加工および加工試験後の部品

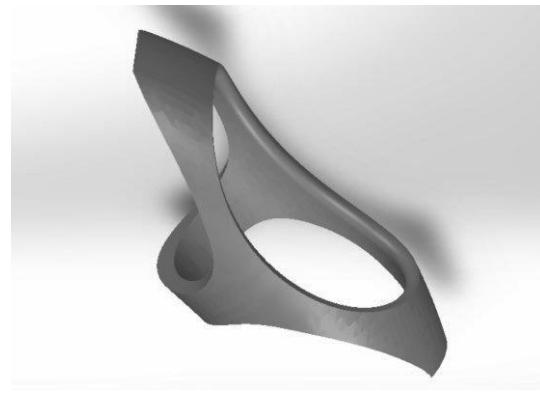


図6：対象指装具の3D-CADモデル

表2に加工内容、表2に熟練者の感覚から得られた加工の評価結果を整理する。この結果、AM 製作物の加工特性は、素材から切り出した製作物と比較して、熟練者の感覚レベルにおいてもほとんど変わらないことが確認できた。仕上げ加工完了後の部品の写真を図5に示す。

3.3 装具メーカーでの個別生産

装具の一部は、個別の体形や症状に合わせて形状を決めるため特注生産となることがある。医療器具については、インプラントなどで実用の事例が多い。このように AM で個別生産をするのは、代替の方法が無く、それだけの価値を有する場合である。しかし、まず価値については考慮せず、純粹にコストと加工性について、どの程度の違いになるか、比較することは有意義である。そこで、本研究では、従来の金属製の装具を例に、AM によって製作し、コスト評価をする。また、個別製作をする上での加工上における評価も行う。

対象とする装具は、指の変形を抑える指装具とした。材料は純チタンである。加工は 2 段階により行う。第一段階は、AM による荒どり加工であり、第二段階は従来と同様の研磨による仕上げ加工である。

図6に 3D-CAD モデルを示す。これを、電子ビーム方式の金属材料 3D プリンタを所有する委託造形会社に委託し、2 個同時に作製した。

この造形物に関しては、全体形状が橿円形に近いので、造形時間が長くなりやすい形状である。このため、通常よりも造形ピッチ大きい設定で造形した。こうすることで、加工後の材料の均一性が劣る可能性はあるが、造形時間を短縮できる。本部品の利用用途から工業製品ほどの加工特性は必要ないと判断し、そのような設定とした。

図7に AM 作製後の部品の写真を示す。自由形状であるため精度評価はしていないが、形状誤差に関して問題となりそうな箇所は見当たらなかった。ただし、表面の粗さに関しては前章での例に比較して粗さが見られた。これは、造形ピッチを通常よりも大きく設定したためと思われる。



図7：AM 作成後の指装具

表4：造形時間およびコスト内訳(指装具、2 個)

造形時間	6 時間	
AM 造形 費用	造形用データ作成費	32 千円
	材料費 Ti	20 千円
	造形費	90 千円
	その他	27 千円

表4に造形時間およびコスト内訳の概算を示す。前章での例と同様に、加工費が大きな割合となった。

この造形物に対し、手作業による研磨加工を行って、仕上げ加工を行った。加工は、番手 80 ヤスリの先端ビットを装着したルータで粗めの研磨を行ったのち、番手 120 ヤスリの先端ビットで細かく研磨し、最後に純毛バフを用いて磨き上げた。



図8：対象とした指装具と追加工完了後の写真

図8に仕上げ加工された指装具の写真を示す。従来の装具とほぼ同じように作製できた。加工した熟練者の感想では、特に従来のチタン素材と大きな違いは感じられないとのことだった。

ただし、従来の金属素材は、恐らく、型を使用して量産している。型の製作には大きなコストと時間を要しているはずなので、このような装具の個別生産として比較すれば、それほど大きな違いは無いように思われる。

指装具に限定して言えば、今回のような製品を直接出力する方法に加えて、ワックス材料 3D プリンタでワックス原形を作り、それを使った砂型によりロストワックス鋳造する方法が適用できる。この方法は、コストも金属造形 AM に比べて安いので、個別生産の価値が高い指輪の製作などで既に実用されている。

4 考察

2件の試作試験を通じ、金属材料 AM の製作コストは高額であり、内訳としては加工費が大きいことがわかる。加工費は、将来下落する可能性はあるが、従来の除去加工や変形加工よりも下回るようになるとは考えにくい。このため、従来の加工で可能な部品の製作の多くを AM が取って代わることは考えにくい。

今回の試作試験では、いずれの場合も AM に有利な少量生産・個別生産を対象とした例ではあったが、AM ならではの価値をもたらす複雑形状の例ではなかった。そもそも既存の製品部品は、既存の加工で可能になるよう設計されているため当然のことといえる。複雑形状の活用は設計と製造の両方を一度に変更する必要があり、部署間の垣根の無い組織のみが着手できることである。この点で、大企業よりむしろ新規開発能力を持つ中小企業において、高い可能性を持つと考えられる。そのような企業において容易に試作試験ができる仕組み作りが求められる。

5 結論

- (1) AM による製作における課題として製造コストを取り上げ、AM の観点からの製品価値とコストとの関係について一般的な考え方を整理した。
- (2) 中小企業での加工対象となっている部品を例にとり、金属造形 AM により試作を行い、試作における AM の費用について考察した。
- (3) AM による加工品に対して従来の加工方法による追加工を行い、加工性を評価した。この結果、一般の素材と変わらない加工性が得られることを確認した。
- (4) 試験結果に基づいて、中小企業での金属材料 AM 活用のポイントとして、複雑形状を持つ製品・部品の設計・加工であることを述べた。

6 謝辞

本研究では、少量生産される金属部品に関する情報提供ならびに加工性の評価について、タマチ工業㈱に御協力いただいた。また、個別生産される装具に関する情報提供ならびに加工性の評価について、㈱トコトに御協力いただいた。

また、同プロジェクトの共同研究者である橋本洋志 教授、陳 俊甫 助教には、プロジェクト推進のための様々な便宜を図っていただいた。佐々木信夫 特任教授からは、金属材料 AM や中小企業に関する様々な情報提供をいただいた。

最後に、本研究の一部は、平成 26 年度傾斜的研究費（全学分）「中小企業における金属材料 3D プリンタの用途調査および試作試験」によって行われたことを記す。

本プロジェクトにご協力いただいた皆様に対して、感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 経済産業省、新ものづくり研究会 報告書 3D プリンタが生み出す付加価値と 2 つのものづくり－「データ総合力」と「ものづくりネットワーク」，
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/new_mono/pdf/report01_02.pdf(visited on 2015)
- [2] EADS 社，
<http://altairenlighten.com/wp-content/uploads/2011/12/Topology-Optimization-of-an-Additive-Layer-Manufactured-Aerospace-Part.pdf>(visited on 2015)

アジャイル教材製作スタジオの構築とその有用性

中 鈎 欣 秀*

Agile Learning Material Development Studio and Its Evaluation

Yoshihide Chubachi*

Abstract

In this paper, we propose a novel video studio in order to develop learning materials for using blended learning. It supports teachers to make video materials with high agility.

Keywords: blended learning, Video studio, Agile learning material developments

1 はじめに

大学においても, e-Learning と対面授業を混合させたブレンデッドラーニング(反転学習)や, 学生の積極的な授業参加を促すアクティブラーニングなどの新しい授業形態が求められるようになった。

これらは, 従来の講義主体の授業より, 高い教育効果が見込まれる教育手法として注目されている。産業技術大学院大学(以下, AIIT)においても 2014 年度から, 本格的なブレンデッドラーニングを導入した。

現在, IT 教育の分野では, 知識習得のためのオンライン教育が豊富である。プログラミングやツールの使い方といった基礎的な内容は, 公開の e-Learning 教材やスクリーンキャストを用いた動画教材などで学習できるようになっている。これらは, 従来大学で初等レベルの技術者教育として座学で行ってきた内容をほぼ代替できる状況である。

特に, MOOC はインターネットで誰もが無料で受講できる大規模な講義として, アメリカを中心に多くの大学が参加し, 教育を展開している。我が国においても, 既に多くの大学生は, インターネットで公開されている動画コンテンツやテレビの教育番組等に親しんでいる。公開されているオンライン教材には相当クオリティの高いものもあり, 学生の目は肥えている。

このような状況の中, 大学の教員が動画によるオリジナルの教育コンテンツを作成してオンラインで公開することが求められるようになってきた。しかしながら, 品質の高いビデオ教材を作成することは難しい。高品質のビデオ教材を作成するためには, 収録や編集の方法にも高度なレベルが要求され, 教材製作のコストも高くなる。

そこで, 本研究では, 高品質のビデオ教材をできるだけ少ない労力で製作できるようになることを目指し, 「アジャイル教材製作スタジオ」を開発し, 実際に教材作成に使用した。こ

こで, 「アジャイル」とは, 迅速にという意味であり, ソフトウェア開発方法論であるアジャイル開発にヒントを得ている。

学習者が求めるビデオ教材を短期間に開発できるために必要なビデオ収録システムとビデオの編集作業に関して最適化を行い, 従来よりもアグリティ高くビデオ教材を制作できるシステムを構築した。

以下, 2.では研究の方法について述べ, 3.ではその結果について記す。4.でその内容について考察し, 5.でまとめを行う。なお, 本稿は日本 e-Learning 学会第17回学術講演会での発表予稿をもとに再構成したものである。

2 研究の方法

2.1 ビデオのプロダクション工程の最適化

まず始めに, 一般的な動画の製作工程を下図に示す。

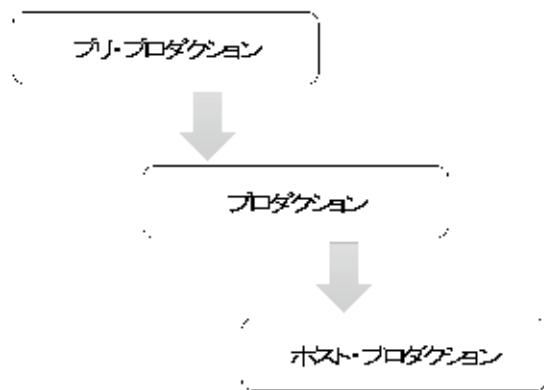


図 1: 動画編集の工程

図中, プリプロダクションとは, 企画や構成等の準備作業を行うことであり, 講義ビデオの場合は, スライド等の資料を作成する工程に相当する。プロダクションの工程では, 実際にカメラで撮影をする。最後のポストプロダクションでは, 画

Received on September 30, 2015

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

像や音声の編集を行う。

これらの工程のうち、本研究ではポストプロダクションの工程を少なくすることを目指した。クオリティの高い動画教材では効果的な編集を行う必要がある。これに要する時間を短縮できれば、高品質のビデオ教材を短時間で制作できるようになる。

2.2 画面のレイアウト

ビデオ教材で用いられる画面のレイアウトは数多くある。よく見かける例は、画面の左上に大きくスライド資料を表示し、右下に講師の顔を写したものである。このような画面レイアウトを自動で構成してくれるツールも数多く販売されている。しかし、90分の講義をビデオに収録する際、同じレイアウトの画面が続くと視聴者が飽きてしまうことが懸念される。

そこで、このスタジオでは、次図に示す2つのレイアウトを適宜切り替えられるようにした。

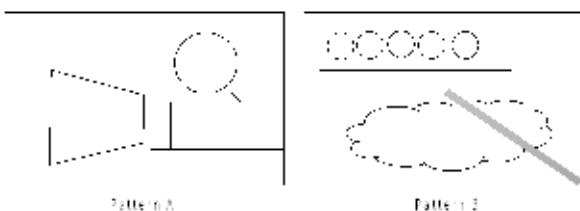


図 2: 画面レイアウトの絵コンテ

図2の左側に記した「Pattern A」は、講師とスライド資料を表示するモニターを撮影した全体画面である。背景はクロマキー合成(後述)により、任意の静止画や動画を映すことができるようとする。

同じ図の右側に示した「Pattern B」は、スライド資料と指

し棒である。講師はスライドの任意の箇所を指し棒で示しながら解説を行う。

これら2つの基本パターンをシーン毎に切り替えながら、ビデオ全体を構成できるようにする。

2.3 収録のオペレーション

ポストプロダクションの工程を短くするために、本研究ではプロダクション工程において画面レイアウトの切り替え、及び、クロマキー合成のための編集も同時に実施する。この作業のために、「ビデオスイッチャー」を用意した。

なお、クロマキー合成とは、緑ないしは青のバックを用意してその前に人物等を配置して撮影することで、背景の部分を別な画像と合成する編集作業である。本スタジオではこの編集を行うことのできるビデオスイッチャーを用いる。

この際、背景となる画像はPCで表示したものをスイッチャーの1つのチャンネルに送信する。PC側で必要な操作は画像を全画面表示することのみである。

前述のPattern A/Bという2つの画面レイアウトの切り替えもこのスイッチャーで行う。この時、Pattern A/Bのそれぞれを撮影するためにビデオカメラを2台用意した。これらもまた、スイッチャーの各チャンネルに接続する。

2.4 照明について

クロマキー合成を行う場合、人物等に適切に照明を当てることが望ましい。背景と人物の協会を明瞭にして、合成時に綺麗に不要な背景が抜けるようになる。

このスタジオでは一般的な3灯照明を用意した。これは、キーライト、フィルライト、バックライトの3つの照明を組み合わせることで実現する。

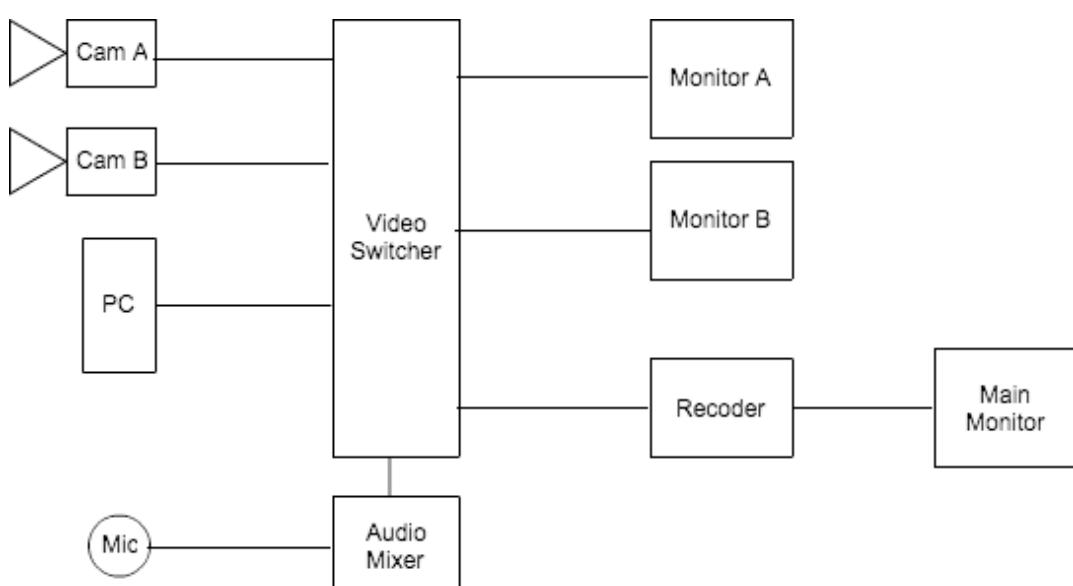


図 3 ビデオ収録用配線図

2.5 モニターとレコーダ

スタジオには 3 台のビデオモニターを設置する。この内、2 台はスイッチャーのオペレータ用であり、収録中の画面と、次に切り替える画面を確認するために用いる。

もう 1 台のモニターは、講師が収録時に画面を確認したり、収録した動画をプレビューしたりするために利用する。

また、ハイビジョン画質で記録できるビデオレコーダーをスイッチャーからの出力に接続して、録画できるようした。前述のプレビュー用モニターはスイッチャーではなく、レコーダに接続する。

2.6 音声の収録

音声は、ピンマイクを用いて on (口とマイクを近づけて設置)で集音できるようにした。ビデオのカメラのマイクだけでは、明瞭に音声を収録できない。ビデオ教材の品質という点から見ても、音声をクリアに記録することは重要だ。学習者は、その理解を音声から得ることが多いためである。

2.7 有用性評価のための比較実験

以上の通り実装した「アジャイル教材開発スタジオ」の有用性を評価するために、ポストプロダクションを動画編集ソフトで行うことで、必要となる作業量の違いを明らかにする。

比較実験として、クロマキー合成、及び、画面切り替えを、Adobe Premier CC のマルチカメラ機能で行う。

この際の手順は、2 台のビデオカメラでそれぞれ録画を行う。収録後、ポストプロダクションを開始する。

まず、Premier で作製したプロジェクトを取り込む。次に、マルチカメラ機能で 2 つのビデオで同期を取る。その後、収録した動画を再生しながらキーボードまたはマウス操作で画面を切り替えると、その操作が記録される。

3 結果

3.1 スタジオの設計と実現

図 3 に、今回、実際に構築したスタジオのビデオ収録のための配線図を示す。この他に照明を 3 灯設置している。

また、図 4、5 に、このスタジオを用いてビデオ教材を収録



図 4 収録の様子(1)



図 5 収録の様子(2)

している様子を示す。なお、実際の収録においては、ビデオスイッチャーを操作するアシスタントが画面の切り替え作業等を行う。

3.2 画面の構成

このスタジオで実際に撮影した講義ビデオの一部をスクリーンショットで紹介する。

図 6 では、背景のグリーンバックの部分が、クロマキー合成により、別の画像に置き換わっていることがわかる。

また、図 7 は、講師が指し棒を用いてスライド資料を解説している画面である。説明している内容の箇所を明確に示すことができる。

以上の編集作業は、従来手法ではポストプロダクションの工程において行う内容である。しかしながら、本スタジオを利用することで、この作業は一切不要になった。

用することで、この作業は一切不要になった。

3.3 アシスタントが行う操作

収録にはアシスタントが画面の切り替えを担当する。スイッチャーに予め設定を行っておく必要があるものの、それ以降は簡単なスイッチ操作で画面を切り替えることができる。

3.4 比較実験の結果

このスタジオの有用性を示すため、全く同じ構成の画面をポストプロダクションにより作製した。Premier CC を用いて、90 分のビデオをマルチカメラ編集で編集した。この方法では、90 分の動画を編集するためには、2 時間半から 3 時間程度の時間を要することが分かった。クロマキー合成自体は問題なく編集ソフトで行うことができる。



図 6 画面のスクリーンショット(全体)

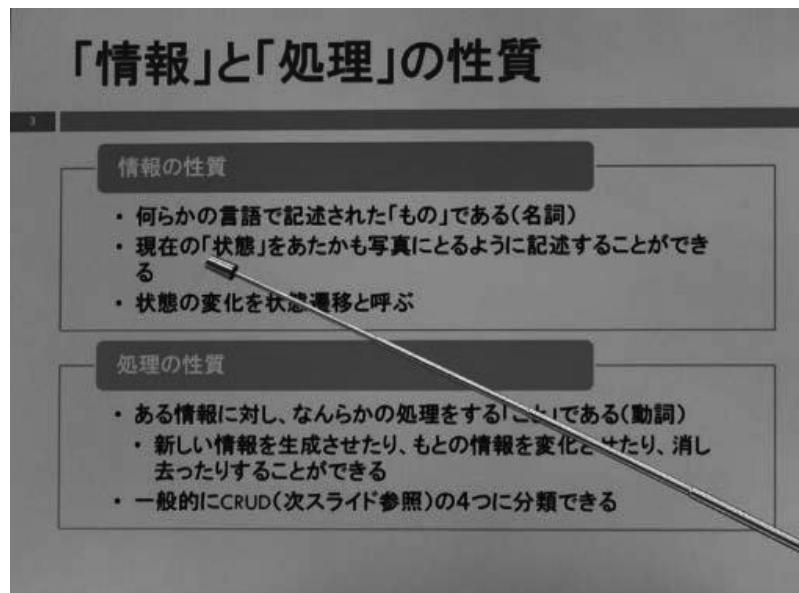


図 7 モニターのズームアップ

ただし、画面の切り替え箇所を編集ソフトに入力する作業に手間がかかる。動画を 1.5 倍速程度で早送りをしながら、若干、作業効率が上がる。しかしながら、実感としては、どんなに作業に習熟しても 90 分の動画を 2 時間で編集できるようになることはないだろう。

4 考察

4.1 ポストプロダクション工程の短縮

本スタジオにより、ビデオ教材を作成する工程の内、ポストプロダクションにかかる労力は不要となった。このことは、本研究で目指す、アジャイルに教材を開発できるようにする技術を開発するという目標をある程度クリアできた。ただし、このスタジオでは、収録時にスイッチャーを操作するためのアシスタントが必要である。アシスタントを手配するための労力が増えているため、何らかの改善が必要である。

将来的には、フットスイッチ等により講師が自分でスイッチャーを操作できるようにする等の工夫を行い、アシスタントなしでも収録できるようにする。

なお、ビデオを撮影後、動画ファイルをレンダリングするために、相当な時間を要することが分かった。この作業自体は自動的にレンダリング用のツールが行ってくれるが、90 分の動画のレンダリングに 6 時間程度かかっている。この点は、編集用に用いている PC の処理速度を向上させることで改善可能かどうか、今後検討したい。

4.2 将来の発展

このスタジオでは本論文に記した画面レイアウト以外にも多様なレイアウトが構成できる。その例を図 8, 9 に示す。今後、このスタジオを活用してよりバリエーション豊富なビデオ教材を制作していきたい。

5 おわりに

本論文では、ブレンデッドラーニングなどでの使用を想定し、ビデオ教材を迅速に制作できるためのスタジオ構築について述べた。

通常のビデオ製作に必要となるポストプロダクションの工程をなくすことができる、教材作成の手間を低減させることに成功した。

しかしながら、収録時に画面の切り替え作業を行うためのアシスタントが必要であり、この点についての改善は必要である。

今後は、更に効率よく収録できるようになるための工夫を行い、改良していきたい。



図 8 他のレイアウト(1)

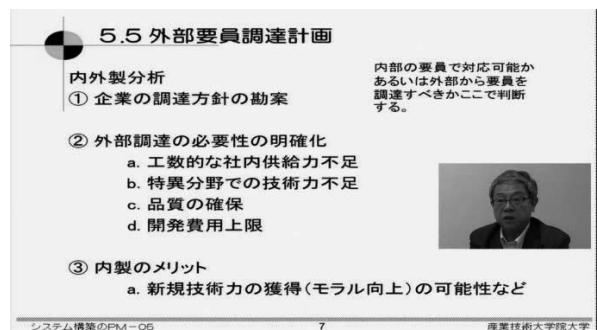


図 9 他のレイアウト(2)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25330411 の助成を受けたものである。

飼育者の負担を軽減するペット用バイオ型自動トイレの開発 — 2014 年度イノベーションデザイン特別演習 村越 PT —

村井 貴*・福富隼也*・茗荷谷 章圭*・崔烘銀*・
夏井俊明*・陳俊甫*・村越英樹*

Development of Automatic Bio-toilet for Pets to Reduce Owners' Burden — Murakoshi-PT 2014 (Advanced Exercises: Innovation for Design and Engineering) —

Takashi Murai* Shunya Fukutomi* Akiyoshi Myogadani* Hongyin Cui*
Toshiaki Natsui* Junfu Chen* and Hideki Murakoshi*

Abstract

The pet market has entered a period of maturity, with the amount of sales flattening out year after year. However, toilet care products are expected to continue in a steady transition into the future, as the number of small dogs kept indoors grows, and as the pet ages increase with the advancement of medical technologies. Our project proposes the "Automatic Bio-toilet for Pets" as a new product that offers superior absorbency, high safety, and deodorizing effects, while reducing this burden for pet owners.

Keywords: bio-toilet, automatic toilet, automatic lid, alleviate pet owner's burden, mbed, aerobic microorganism, biochip.

1 はじめに

ペットを単なる愛玩目的ではなく、家族の一員として育てる傾向が年々強まる中、問題となるのは飼育者の負担である。特に家族と寄り添って暮らせるように室内で飼育したり、或いは寿命を全うするまでペットの“老い”や“病気”と真剣に向き合ったりする場合には重い負担が継続的にかかり、飼育者の心身の疲労は相当なものになることが予想される。

ペット飼育における負担の中でも排泄物処理は、室内飼育では必ず直面する重要な課題であり、多くの飼育者が負担に感じているのではないかと考えた。そこで我々は、トイレケアの分野における、飼育者とペットを取り巻く環境について、文献調査とフィールド調査を行った。その結果、飼育者はペットの排泄に関して、やはり負担を感じているということが判明した。具体的には、既存のペット用トイレシートやおむつといったトイレケア製品に“清掃の手間”，“臭い漏れ”，“身体に有害”という 3 つの問題点があることが明らかになった。そこで、これらの問題点を解決すべく、我々は「ペット用バイオ型自動トイレの製品開発」に着手した。

自動トイレというのは読んで字の如くペットの排泄物を自動で処理する機構を備えたものであり、猫砂を自動で交換する“キャットロボット”[1]や水洗処理する“ベル&ミー”[2]と

いった既存製品が存在する。これらの製品は利便性が高い一方、構造が複雑になるあまり高価格であったり、設置コストが高額になったりするため、一般的に普及しているとは言い難い。そこで、我々は構造を簡素化し、コストを抑えた製品を提案すべく、バイオ型トイレの要素を取り入れた。

バイオ型トイレは登山客向けの山小屋などで採用されているもので、環境負荷が極めて少なく、水洗式に比べ構造はシンプルでコストは低い。ペット用自動トイレをバイオ型とすることで、既存製品で問題となっていた点をクリアし、飼育者の負担を軽減できる製品が実現可能となる。バイオ型トイレで使用されるバイオチップは“おがくず”が原料であり、ペットの身体に付着したり、あるいは口に入れたりしても安全性は高い。バイオチップは1ヶ月に1度の割合で補充すればよいため、これまでのトイレケア製品のように排泄するたびに交換するといった手間を大幅に軽減することが可能である。また、ペットが近づくと自動的に開閉する蓋の仕組みを実装することにより、消臭性も確保している。以上の特徴を備える、ペット用バイオ型自動トイレは文献調査とフィールド調査から得られた“清掃の手間”，“臭い漏れ”，“身体に有害”的 3 つの問題点を解決できる製品であると考えられる。

以下、第 2 章ではペット用バイオ型自動トイレを開発するにいたった背景について述べる。第 3 章ではペット用バイオ

型自動トイレの設計について述べる。第4章ではバイオチップの分解処理性能の実験について報告する。第5章は本稿のまとめである。

2 製品開発に至る背景

村越PTでは研究テーマを選定するにあたり、ブレインストーミングの機会を複数回設け、製品開発のアイデア出しを行った。当初はマグネシウム空気電池を応用した新製品を想定してアイデア出しを行ったが、PTメンバから提案されたアイデア64案から、KJ法を用いた絞り込みのプロセスを経て、ペット用トイレケア製品を選定するに至った。開発に先立ち、まずはどのような製品が潜在的に求められているのかニーズを探るために、ペット市場の動向及び飼育頭数の把握を目的とした文献調査と、ペットを飼育している人たちから現場の意見を聞くことを目的としたフィールド調査を行った。その後、2種類の調査から得られたニーズを基に製品コンセプトを導いた。

2.1 アイデアのマッピング

ブレインストーミングによって得られたアイデア64案から有用なものを取捨選択するために、KJ法を活用した。付箋紙にアイデアと簡易的な解説を書き込み、そのアイデアを実現することによって得られる“価値”に注目し、価値が似通っているものをマッピングしていった。図1がその結果である。

大分類は、マグネシウム空気電池をバッテリーとして活用するもの(38案)、センサとして活用するもの(15案)、生物に関連するもの(7案)、その他(4案)という結果になった。中分類はバッテリーとして活用するものに、緊急時に役立つ価値、非日常に役立つ価値、生活の便利さが向上する価値、ラクできる価値、エンターテイメントに役立つ価値があり、センサとして活用するものに、緊急時に役立つ価値、日常を豊かにする価値があり、生物に関連するものに生物を駆除する価値と生物を守る価値があった。この結果から、ペットのトイレ交換時期を知らせるアイデアに我々は注目した。そういった製

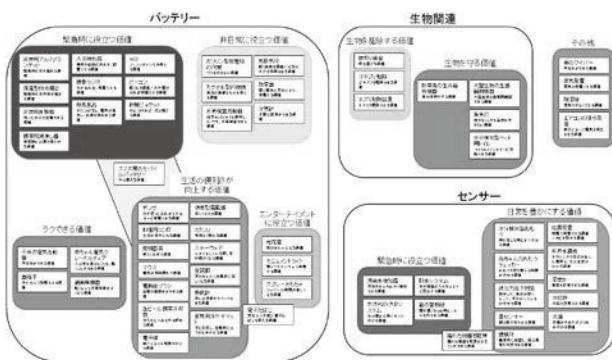


図 1: KJ法によるアイデアのマッピング

品があれば、有用な価値が提供でき、広く普及する可能性が高いと考えたためである。

2.2 文献調査

株式会社富士経済発行の「2013年 ペット関連市場マーケティング総覧」[3]によると、2012年まで犬や猫の飼育頭数は横ばいであるにも関わらず(図2)、ペットケア製品の市場規模は増加傾向にあることが分かった(図3)。これは1頭あたりにかける金額が年々高まっていることを示しており、高価格の製品に対価を支払ってもよいという価値観が広まっているためと考えられる。それはすなわち、高価格のものであってもそれに見合うだけの高付加価値があれば、普及しやすい状況が整っているといえる。

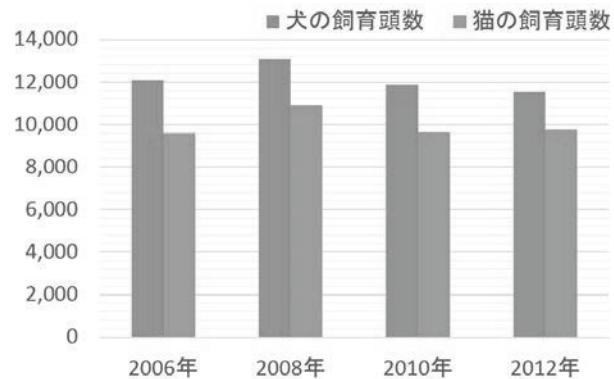


図 2: 犬・猫の飼育頭数

文献[3]より引用

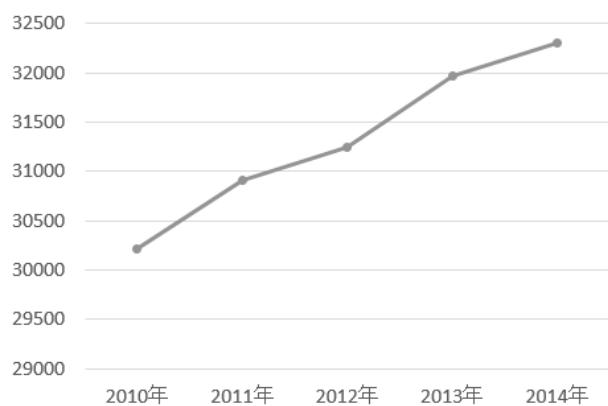


図 3: ペットケア製品の市場規模(百万円)

文献[3]より引用

次に、一般社団法人ジャパンケネルクラブが公開している国内における人気犬種のデータ[4]を調べた(図4)。その結果、プードルを筆頭に10位までが小型犬であることが明らかとなった。ここから導けるのは、大型犬を含めた製品を目指すよりも小型犬向けにターゲットを絞って開発を進めることができることである。

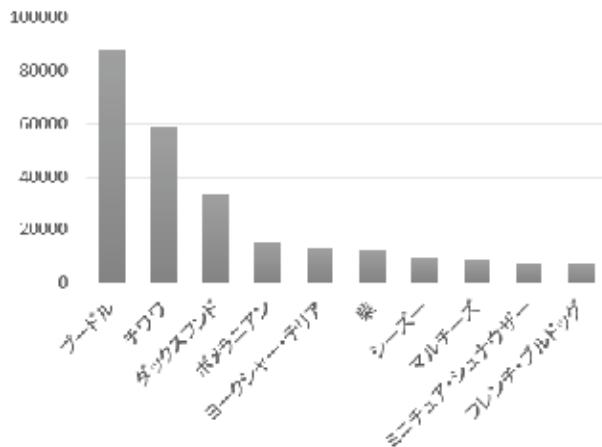


図 4: 2013 年 犬の飼育頭数ランキング
文献[4]より引用

2.3 フィールド調査

ペットケア製品を頻繁に取り扱っているペットショップ、ペットホテル、ペット向け介護施設及びペットを飼育している個人にインタビューを行いながら予め用意した質問項目に回答していただいた。訪問先を選定するにあたり、専門的な見地に立つ人たちの意見を伺う必要があると考えたため、家庭の中で飼育している人を主な対象にするのではなく、業務として長くペットと接する可能性が高い人を中心に構成することとした。以下、訪問先の内訳である。

・ペットショップ

Coo&RIKU
ペットフォレスト町田多摩境店
ヴィーナスフォート ペットパラダイス

・ペットホテル

羽田空港ペットホテル国内線第二ターミナル店
マイルドポケット世田谷店

・老犬介護施設

ペットケアサービス Let's

・自宅で飼育している個人

産業技術大学院大学在籍の学生 1 名

質問項目は既存のペット用トイレケア製品に関して、普段から感じていることを率直に答えてもらえる内容とした。文献調査では高価格の製品に対価を支払ってもよいという価値観について明らかにすることができたが、それを踏まえ、既存製品にはない付加価値を実現する機能を模索できるような質問をいくつか散りばめている。以下、質問項目である。

- ・機能的な面で求めるものは何ですか？
- ・排尿のタイミングが分かる製品があつたらしいですか？
- ・使っていて不具合を感じたことはありますか？
- ・使っていて困っていることは何かありますか？

- ・どんな付加価値の製品があつたらしいですか？
- ・どのような状況でつかっていますか？
- ・飼育している犬、猫の種類は何ですか？
- ・訓練はどのように行っていますか？
- ・かぶれまたはアレルギーなどは起こりましたか？

回答を集計した結果、3 つの問題点が導き出された。1 つ目は“清掃の手間”である。既存のトイレケア製品は交換式であり、ペットが排泄をするたびに随時交換する必要があるため、飼育者の負担となっていた。この結果は、飼育者の負担軽減のためには、我々が KJ 法で導いたトイレの交換時期を知らせるだけでは不十分であることを意味する。2 つ目は“臭い漏れ”である。トイレケア製品は排泄物を吸収する素材でできているものの、素材自体は外気に触れる構造となっているため、どれだけ吸収力が高かったとしても、臭い漏れの問題は常に懸念される。3 つ目は“身体に有害”だということである。トイレケア製品に用いられている吸水剤というのは高分子ポリマーで作られている。ペットがトイレケア製品を噛んだり引っ搔いたりした際に露出すると、高分子ポリマーが身体に付着したり誤飲したりする可能性があり、ペットの健康を損ないかねない。以上の 3 つの問題点から我々は“交換頻度の低減”，“消臭性改善”，“安全性向上”というニーズを導いた。

2.4 調査結果のまとめと製品コンセプト

文献調査及びフィールド調査の結果から、我々が導いた製品案はペット用自動トイレである。ペット用自動トイレというのはその名のごとく自動で排泄物を処理する仕組みを備えた製品のことである。ペット用のトイレシートやおむつといった簡素なトイレケア製品とは違い、比較的高額になりやすく、電力を使用する。そのため、マグネシウム空気電池による発電だけでは賄えず、屋内でコンセントに接続して使用することになる。文献調査では“1 頭あたりにかける金額の上昇”と“小型犬向け”という 2 つの要素が得られたが、ペット用自動トイレであれば、高額であったとしても高付加価値をつけることにより、消費者に受け入れられる可能性が高い。また、小型犬は屋内の飼育を前提として飼われているケースが多いため、ペット用自動トイレとの親和性は高い。

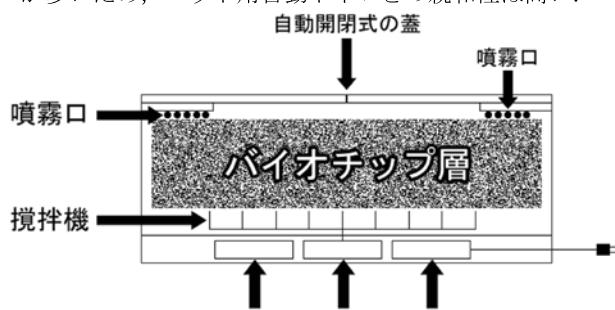


図 5: 製品コンセプト

次に、フィールド調査から得られた3つのニーズを満たすべく、図5のような自動開閉蓋とバイオトイレの仕組みを取り入れることとした。ペットが近づくと開き、離れると閉じるよう設計された自動開閉蓋を実装することで、臭いが漏れるのを防ぐことができるので、“消臭性改善”を実現できる。バイオトイレはバイオチップと呼ばれる自然由来のおがくずを使用することから“安全性向上”につながるし、バイオチップ自体は月に一度補充するだけでよいので、“交換頻度の低減”にもなりうる。

3 ペット用バイオ型自動トイレの設計

一般的なバイオ型トイレというのは、好気性微生物を含んだバイオチップによって排泄物を分解処理することができ、その処理を効率化させるために攪拌による送気や保温といった機能を有している。

本製品ではそれらの機能を踏襲した上で、ペットとりわけ小型犬を対象に設計を行った。人間用と特に大きく異なる点は製品の寸法である。小型犬は室内飼育を前提としているため、室内で邪魔にならず、なおかつ十分な分解処理能力を発揮するものでなくてはならない。加えて、ペットの乗降を容易にするために、スロープを設置する必要がある。製品の上部には自動開閉蓋を実装し、臭い漏れを防止する構造にしている。

本章では製品の寸法、バイオ型トイレの核となる攪拌槽、自動開閉蓋の設計について述べる。

3.1 製品の寸法

小型犬が排泄を行えるスペース（表1）を確保しつつ、内部にバイオ型トイレの構造一式を配置できる寸法とした。表2と図6に記載の値が外装部分の寸法である。寸法は攪拌槽と自動開閉蓋を有する本体部とスロープに分けている。

表 1: 小型犬のサイズ

文献[5]より引用

犬種	体高	体重
プードル	24~28cm	3~4kg
チワワ	15~23cm	1~3kg
ダックスフンド	31~35cm	5kg 前後
ポメラニアン	18~22cm	1.5~3kg

表 2: 外装の寸法

	横幅	奥行	高さ
本体	48cm	47cm	30.4cm
スロープ部	48cm	40cm	30.4cm

*スロープ部の傾斜は37度に設定。

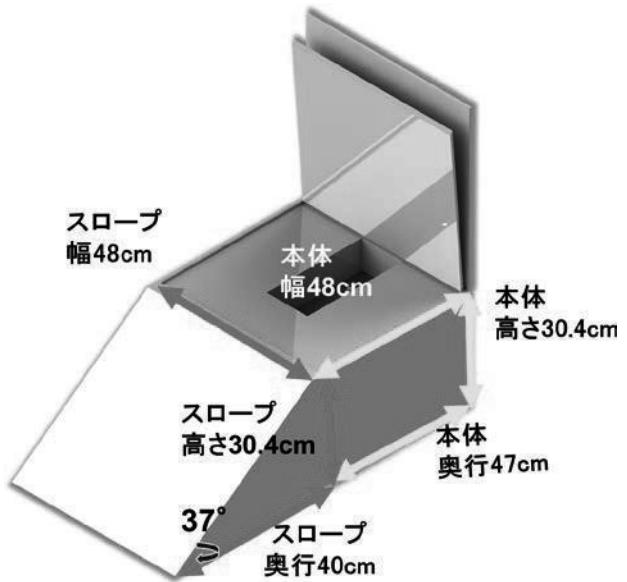


図 6: 外装の寸法

3.2 自動開閉蓋の機構

本節では、臭い漏れを防ぐための自動開閉蓋の機構について述べる。図7の動作を実現するために必要なものとして、マイコンボード・測距センサ・サーボモーターがあるが、それらの動作フローと選定について報告する。

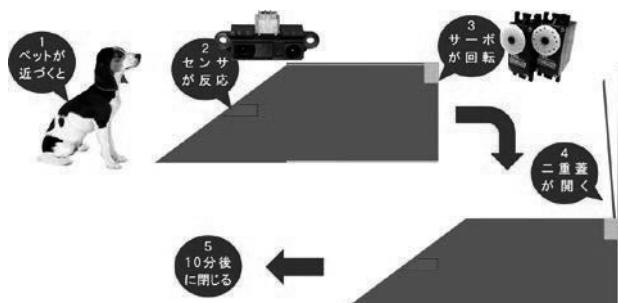


図 7: 自動開閉蓋の動作フロー

・動作フロー

ペットが排泄を行うためにトイレに近づいてくると、スロープ上に設置された測距センサが赤外線によって接近を自動的に検知し、蓋の左右のヒンジ部に取り付けられたサーボモーターが90度回転して、二重構造となっている蓋を持ち上げる。蓋は10分後に自動的に閉まるように予め設定されているが、この時サーボモーターは持ち上げた時とは逆向きに90度回転する。蓋が完全に閉まることで密閉性が高まり、トイレ内部の臭いが外気に漏れ出にくくなる構造となっている。こうすることで、トイレケア製品のニーズのひとつである“消臭性改善”につながる。測距センサ、サーボモーター及び時間のカウントといった細かい制御は全てマイコンボード上のプログラムで行っている。

・マイコンボード

自動開閉蓋を制御するプログラムを動作させるために、マイコンボードを要するが、本研究では mbed[6] の NXP LPC1768 というマイコンボードを選定した。mbed は ARM 社が開発したプロトタイピング用のマイコンボードで、ブラウザ内で完結する開発環境を提供している。開発言語は C++ 言語であり、比較的容易に自動開閉蓋の機構を実装でき、なおかつ NXP LPC1768 は安価で入手しやすいことから選定するにいたった。

・測距センサ

図 7 にあるように、ペットが近づいたことを検知するために測距センサを採用した。今回はシャープ製の測距モジュール GP2Y0A21YK という測距センサを選定した。測距範囲が 10~80cm となっており、プログラム上で範囲の設定が任意で行えることから、ペット用バイオ型自動トイレで想定される検知距離としては十分なものであることが選定の理由である。

・サーボモーター

蓋を持ち上げるために、蓋の軸となる部分の左右にサーボモーターを一機ずつ設置するため、GWS 社の S03T/2BBMG/JR タイプというサーボモーターを選定した。トルクが 7.4kg/cm と小型サーボモーターとしては比較的強力であり、製品の蓋部分の自重およそ 1kg を持ち上げる実験を行った結果、十分に持ち上げられることが判明したため、採用するにいたった。

3.3 搅拌槽

後述する第 4 章の実験結果から本研究に必要なバイオチップ量は 4.5kg と算出された。それだけの量のバイオチップを溜めておくために、搅拌槽の寸法は横幅 28cm、奥行 25cm、高さ 28cm とした（図 8）、バイオチップの効率的な分解処理を促すための搅拌棒は軸の長さ 23.6cm、

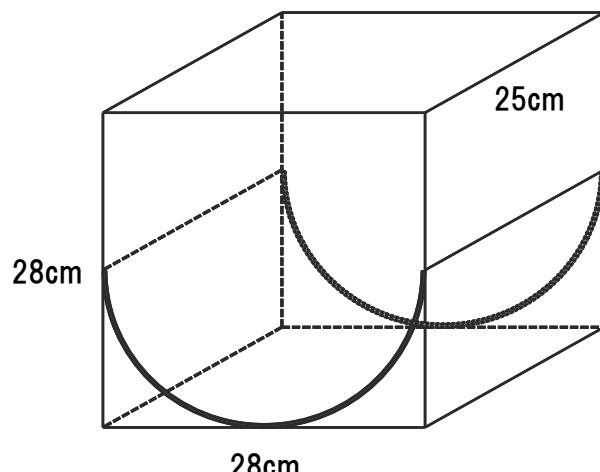


図 8: 搅拌槽の形状

羽の長さ 12cm とした（図 9）。また、搅拌をより効率良く行うために、搅拌槽の底は半円形となっている。この構造により、バイオチップに空気を送り込み、微生物を活性化することが可能になる。

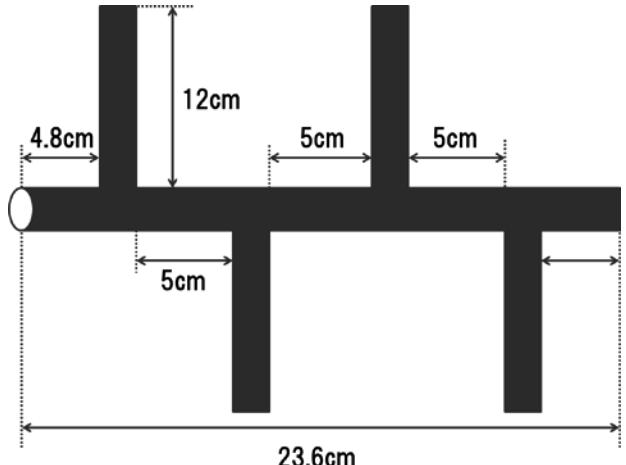


図 9: 搅拌棒の形状

バイオチップに常在する好気性微生物はおよそ 50 度の温度時に最も効率的に分解処理することから、搅拌槽に保温機能を持たせた（図 10）。使用したのは Adafruit 社のエレクトリックヒーティングパッド ID-1481 というヒーターである。ID-1481 を搅拌槽の横壁面に 1 個ずつ、底面に 4 個貼り付け、TI 社の高精度 IC 温度センサー LM35DZ を使って、搅拌槽の温度を測定し、50 度になるよう調整する予定であったが、今回は時間的制約のために、LM35DZ が 50 度になると、ID-1481 一機分をオフにする機能を実装するに留まった。

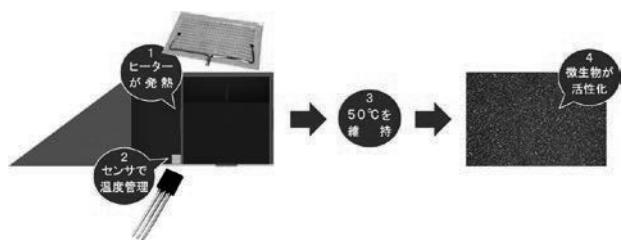


図 10: 保温機能の動作フロー

3.4 製品全体の動作の仕組み

製品の動作はアクティビティ図（図 11）の流れを想定している。通電しない状態を起点とし、バイオチップに必要な水を補充した後に通電を行う。誤作動を防ぐため、水の補充は通電しない状態で行うものとする。通電後は通常時、排泄時、バイオチップ補充の 3 系統に分かれて動作する流れになっている。

・通常時

ヒーターで 50 度前後を維持しながら、8 時間おきに搅拌と水分の噴霧を 3 分間行い続ける。バイオチップ用の

水が切れると、空焚きによる事故の危険性が高くなるため、自動的に保温機能を停止させ、通電しない状態へ戻す。

・排泄時

ペットが近づくと、測距センサが反応し、蓋が自動的に開く。ペットが排泄を行うと、排泄物がバイオチップ上に落下する。蓋が開いてから 10 分後に自動的に蓋は閉まり、その後、搅拌槽において搅拌と水分の噴霧を 3 分間行う。搅拌と噴霧により、バイオチップ上に含まれる微生物が活性化され、分解処理が促進される。

・バイオチップ補充

蓋に取り付けた開口ボタンを押して、蓋を開ける。蓋が開いたのを確認してから、バイオチップを補充する。その後、再度、開口ボタンを押すことで、蓋が閉まる。

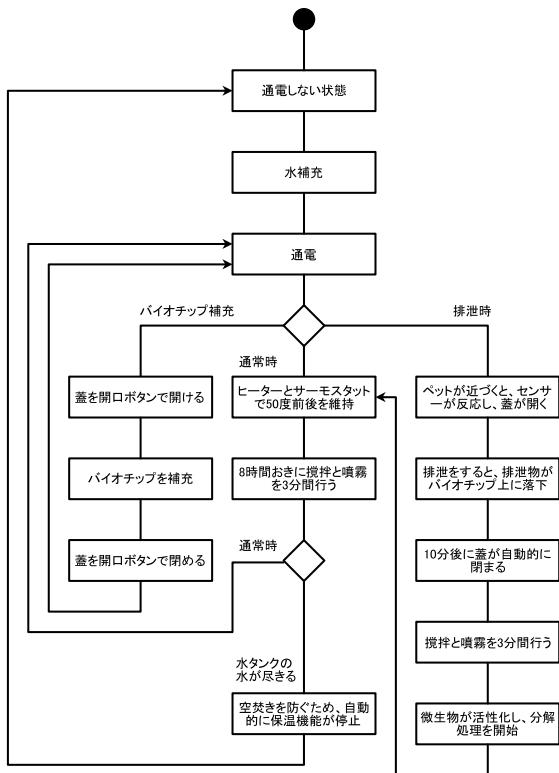


図 11: 製品のアクティビティ図

4 バイオチップの分解処理性能の実験

本章では製品の寸法を決めるにあたり重要な搅拌槽の容量を求めるべく、バイオチップの分解処理性能の実験を行った過程を報告する。

4.1 バイオチップの量

ペットの日々の排泄量を十分に処理できるバイオチップの量を把握できれば、それに見合う容量を備えた搅拌槽が設計可能となる。搅拌槽は本研究で開発するペッ

ト用バイオ型自動トイレの肝となる箇所のため、搅拌槽の寸法が定まれば全体の寸法を確定しやすくなる。

すでに市場に出回っている一般的なバイオ型生ゴミ処理機が生ゴミやペットの排泄物を分解処理する性能はバイオチップ 1kgあたり 70g である[7][8]。一方、小型犬は平均して一日あたり約 110g の粪と、205ml の尿の排泄を行う[8][9]。これらの数値から、4.5kg のバイオチップを使用することによって、小型犬の一日分の排泄物をコンスタントに分解処理することができるものと推察される。

4.2 実験

尿を清涼飲料水、糞を乾燥ペットフードと水を 50% の割合にした混合物で代用し、バイオチップ 10kg（実験機の仕様のため[9]）を用いて実験を行った（図 12）。バイオチップ量に対応させた清涼飲料水 456ml、混合物 244g を一日一回投入することで、それらを分解処理できるだけの性能を有しているか、連日の使用でも性能に衰えがないかを検証した。



図 12: バイオチップの分解処理実験の様子

実験は 2015 年 1 月 19 日から 24 日まで 6 日間を行い、合計 5 回投入した。実験最終日に肥料に似た臭いが少し発生していたものの、分解処理は滞りなく終わっており、前節で算出した 4.5kg のバイオチップ量で十分に対応できることが裏付けられる結果となった。

前章の 3.3 で搅拌槽の寸法を横幅 28cm、奥行 25cm、高さ 28cm としているが、これは本節によって、バイオチップ 4.5kg で十分機能することが明らかになったことを根拠としている。ペット用バイオ型自動トイレは室内に設置して使うことを想定しているため、日本の住宅環境を考慮すると、コンパクトさは重要な要素である。一方でコンパクトさを追求するあまり、ペットの一日の排泄量を適切に処理できるだけのバイオチップ量がなければ、当初の目的である 3 つのニーズのうち、“交換頻度の低減”と“消臭性改善”を満たすことができない。



図 13：試作機 前面

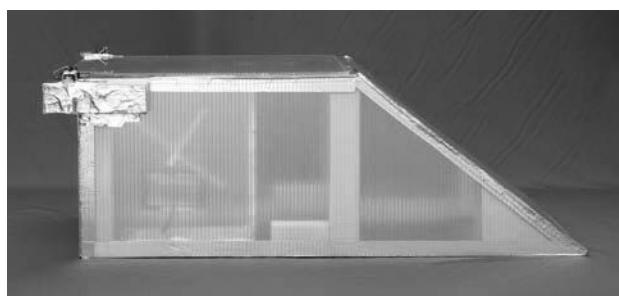


図 14：試作機 側面



図 15：試作機 搅拌槽



図 16：試作機 搅拌槽上面

今回の実験ではバイオチップの適正量を導き出し、そこから搅拌槽として必要十分な寸法を割りり出すことへつなげた。その結果、“交換頻度の低減”と“消臭性改善”を実現しながら、コンパクトさを確保することが可能になった。

5まとめ

2014度イノベーションデザイン特別演習村越PTでは、『飼育者の負担を軽減するペット用バイオ型自動トイレの開発』に取り組んだ。

最初に文献調査を実施し、1頭あたりにかけるコストの上昇と小型犬の人気の高さを明らかにした。次にフィールド調査を実施し、ペット用トイレケア製品の潜在的なニーズとして、“交換頻度の軽減”，“消臭性改善”，“安全性向上”を導き出した。これらを満たしうる製品コンセプトとして「ペット用バイオ型自動トイレ」を考案した。

製品案の設計段階において、小型犬の排泄物を処理できるバイオチップの量とそれを投入する搅拌槽の寸法を決めるため、バイオチップの分解処理性能の実験を行った。実験の結果、4.5kgのバイオチップを使用すれば、処理性能を維持しつつ、コンパクトな搅拌槽を設計できるということが分かり、それを基に全体の寸法を設計し、試作を行った（図13、図14、図15、図16）。バイオトイレの機能を実装することで、“交換頻度の軽減”と“安全性向上”を実現することが可能になった。“消臭性改善”的ニーズに関しては自動開閉蓋を測距センサとサーボモーターを連動させて実現することができた。

本研究は1年間という時間的制約がある都合上、ペットを使っての実験まで踏み込めなかった。本来であれば、フィールド調査で協力していただいた方々に試作機を実際に使ってもらい、ペットがスロープを見るのか、実際に搅拌槽に向けて排泄を行うのかといった点をつぶさに観察し、その結果を基に改良を加えるというPDCAのサイクルを複数回繰り返すべきであった。

課題は少なからず残る結果とはなったものの、社会人学生や留学生といった多様なバックグラウンドを持つメンバーで構成されたプロジェクトを進める中で、既存製品にはないイノベーションの萌芽を見出だすことができた。

参考文献

- [1] <http://linkdenet.com/pet-cat-robot.html>. (visited on 2015-08-12)
- [2] <http://www.bell-mie.net/>. (visited on 2015-08-12)
- [3] 2013年ペット関連市場マーケティング総覧、2013、株式会社富士経済

- [4] [http://www.jkc.or.jp/modules/publicdata/index.php
?content_id=16](http://www.jkc.or.jp/modules/publicdata/index.php?content_id=16). (visited on 2015-08-12)
- [5] <http://inu-bag.net/category5/>. (visited on
2015-09-07)
- [6] <http://www.mbed.org/>. (visited on 2015-08-12)
- [7] <http://www.bisou-clean.com/eco.html>. (visited on
2015-09-06)
- [8] <http://sakuraeco.jp/images/torisetu2.pdf>. (visited
on 2015-09-06)
- [9] https://www.peppynet.com/shop/szhtml/petsheet_hikaku.html. (visited on 2015-09-06)

物質特性の時間依存性に着目した材料設計

稻田禎一*, 高橋里司**, 松尾徳朗***

Material Design Techniques based on Time Dependence on Properties

Abstract

To satisfy the target properties of adhesives, we had developed a new material design system (weak conditioned combinatorial linear programming (WCCLP) and user friendly software) which is effective and useful to search the combination of a well-balanced material. We have also proposed an algorithm of risk evaluation by the WCCLP to optimize the material supply. In this report, we applied this algorithm to the time-series properties. The algorithm is effective and useful to design and optimization of time-series properties.

Keywords: Linear programming, Combinatorial optimization, Material design, Series data, Time-series property.

1 はじめに

筆者らは従来の数理的最適化手法をベースに、材料設計に適した設計手法について検討してきた†. ある種の材料の特性は、使用する素材の量に対して線形あるいは準線形結合になる。そこで我々は線形計画法を応用して、複数の目標値を満たす組み合わせを算出する材料開発システム(弱条件組合せ線形計画法)を開発した。また、ユーチューブリードなソフトウェアを開発し[1-3]、実際の材料開発に適用し有効性を確認した。

ところで、近年、厳しい長期信頼性とコスト、製造しやすさなど多数の目標値を満足する材料が求められており、時系列で変化する特性の予測は非常に重要になっている。筆者らが開発したシステムは、静的な特性を対象としているが、経時時間後の必要特性を目標値に設定することにより、劣化後も必要特性を満たす材料の設計は可能である。しかし、材料のどの成分が劣化に影響を及ぼすのか、どの成分は劣化を改善できるのかなどの情報を得ることはできなかった。これらの情報が得られれば、材料を設計する上で、初期特性は高いが劣化しやすい材料、初期特性は低いが徐々に特性が向上する材料などを組み合わせて経時変化までを最適化することができる。そこで、材料設計システムの時間依存性を持つ系への適用について検討した。

なお、本手法は材料のみならず食品の劣化、建築物の老朽化、人間の体脂肪率などの各種指標と疾病発症の関係などの解析にも応用が可能であると考える。すなわち、

異なるパラメータをもつ対象物が異なる変化を示す場合に、パラメータの中のいずれの成分が変化に寄与しているかを判定できる。

本稿では、上記の応用に寄与する一般的な解析手法について述べると共に、筆者の関わる材料開発への応用例について報告する。

2 弱条件組合せ線形計画法の概略

弱条件組合せ線形計画法の一般式を以下に示す。配合から配合/特性行列により線形写像された値が特性になる。例えば、 a_{mn} はあるエポキシ樹脂の配合量と接着強度の関係を示す。 a_{mn} からなる行例は特性/配合行列、 $(c_1 \cdots c_n)$ は配合量ベクトル、 $(p_1 \cdots p_m)$ は特性ベクトル、 \otimes は Hadamard 積である。

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & \ddots & a_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \left(\begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_n \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \right) \quad (1)$$

材料の組合せパラメータ k_n は材料 n を使用する場合には 1、使用しない場合には 0 とした。また、 $(k_1 \cdots k_n)$ を組合せベクトルと呼ぶ。素材の組合せベクトルは、組合せインデックス(以下 Z と記す)と 1 対 1 対応する。例えば n 種類の材料から $0 \sim n$ 種類を選んで配合を検討する場合、 2^n 通りの組合せが考えられる。組合せの表示を 010101…などのように表す

Received on September 30, 2015

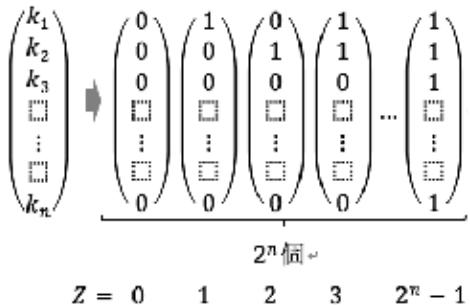
*日立化成株式会社

** 電気通信大学

*** 産業技術大学院大学

† 本原稿は、パソコン用技術学会 Vol. 9 1/2 に掲載された論文を学術紀要として再発表するものである。

と材料の種類が多い場合に煩雑になることから、この数字の並びを二進数であるとして、十進数の Z に 1 対 1 対応させた。それぞれについて対応する組成パラメータ C_n 量を変更し、目標とする物性値を満たす範囲があるかどうかを調べることで、目標値を満たす配合範囲を調べることが可能である。



従来の線形計画法が評価関数の最大あるいは最小の値を探索するのに対して、目標値を満たす解すべてを解集合として扱うことから、“弱条件”と名づけている。筆者らが開発した弱条件組合せ線形計画ソフトウェア M-Designer[2-4]により、 Z 每に、目標を満たす配合(解集合)があるか否か[2]、またその場合の製品供給リスク[5,6]が計算できる。

3 時間依存性のある場合への応用

(1)において、特性/配合行列、特性ベクトルなど、様々な部分が、時間依存性を有する場合を考えられる。それらは以下のように分類される。

- 1) 特性/配合行列が時間依存性を有する場合。例えば、材料の劣化などにより特性が時系列で変化する場合、天然由来素材などで採取した季節により特性が異なる場合などがある。
- 2) 得られた特性が時系列で変化する場合。例えば Boltzmann の重畠定理で記述される過去の刺激により応答が生じる場合、ある時間での応答は過去の刺激に対する応答の総和となる。この系については、既報[7]において材料設計の手法を示した。
- 3) 目標値が時系列で変化する場合。例えば、保管期間が長くなるに従い、保管費用がかさむため、販売価格は高くなる。その価格に見合う特性は当初の特性より、高レベルになる。また、半導体パッケージの小型化により、材料の目標特性がより厳しくなる場合などがある。
- 4) 配合量が時系列で変化する場合。例えば配合したある化合物が揮発などにより量が低下する場合。乾燥などにより意図的にある成分のみ量を低減することもある。
- 5) 上記の量から算出される材料供給リスクなどの評価関数が時間依存性を有する場合。

以上のように、一般的にはすべての量が時間依存性を

有する。また、それぞれの時間の原点は異なる。一般に時間依存性もつ量 y は $y = f(t_0, t_1, t_2, \dots)$ と表される。ここで、 t_0 は標準時間であり、適切な原点を持つ時間をとれば良い。 t_1, t_2, \dots は様々な原点を持つ時間であり、 $t_1 = t_0 - \alpha$ ($t_0 \geq \alpha$) などとおける。例えば、強度の季節変化がある天然由来素材をある時点 α から高温環境に置き劣化させる場合、時間 t_0 を日数とすると、強度 y は $y = (5 + \sin 2\pi t_0/365) \cdot e^{-(t_0-\alpha)/\tau}$ などと記すことができる。ただし τ は緩和時間である。

半導体用途の高信頼性材料を開発する場合、配合した素材の量の変化は考慮する必要はない。また、目標特性の変化は市場ニーズなどの外的要因が大きい。そこで、本稿では上記の分類の内、1) 特性/配合行列の時間依存性について論じる。

4 特性/配合行列の時間依存性

特性/配合行列の各要素の時間依存性が(2)のように得られている場合には、その関数を用いて特性を算出すれば良い。しかし、実際には時間依存性が分かっている場合は少なく、実験データから関数を得ることが必要があるので、その手法について述べる。

$$\begin{pmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ \vdots \\ p_m(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & \cdots & a_{1n}(t) \\ a_{21}(t) & \ddots & a_{2n}(t) \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1}(t) & \cdots & a_{mn}(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

まず、ある時点 t_0 と t_1 で生産時期が異なる同種の素材を同量(c_1)用いた場合に、得られた特性が異なる場合を考える。素材単体で要素の値が得られる場合もあるが、他素材と反応する場合には、実際に他素材と配合し、特性を評価する必要がある。なお、そのほかの素材は全く同じ特性を示す。

$$\begin{pmatrix} p_1(t_0) \\ p_2(t_0) \\ \vdots \\ p_m(t_0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}(t_0) & \cdots & a_{1n}(t_0) \\ a_{21}(t_0) & \ddots & a_{2n}(t_0) \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1}(t_0) & \cdots & a_{mn}(t_0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} p_1(t_1) \\ p_2(t_1) \\ \vdots \\ p_m(t_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}(t_1) & \cdots & a_{1n}(t_1) \\ a_{21}(t_1) & \ddots & a_{2n}(t_1) \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1}(t_1) & \cdots & a_{mn}(t_1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

(4)から、(3)を引くことにより、下式が得られる。

$$\begin{pmatrix} p_1(t_1) \\ p_2(t_1) \\ \vdots \\ p_m(t_1) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} p_1(t_0) \\ p_2(t_0) \\ \vdots \\ p_m(t_0) \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} a_{11}(t_1) - a_{11}(t_0) \\ a_{21}(t_1) - a_{21}(t_0) \\ \vdots \\ a_{m1}(t_1) - a_{m1}(t_0) \end{pmatrix} \quad (5)$$

$a_{m1}(t_0)$ などが得られているならば、 $a_{m1}(t_1)$ を得ることができる。

$$a_{m1}(t_1) = \frac{p_m(t_1) - p_m(t_0)}{c_1} + a_{m1}(t_0) \quad (6)$$

このように、生産時期が異なる場合、特性/配合行列の要素は常に等しいとは限らないが、従来の結果と比較することで、要素を算出することができる。なお、(4)のみからも、要素を算出することができるが、従来素材との比較によるほうがわずかな差異を分析しやすい。

次に、材料が長期間、過酷な条件で使用される場合、長期間試験するかわりに加速試験により、特性が時系列で変化する場合を考える。この場合、配合は同等であるが、特性が変化するため、その結果、特性/配合行列の値が変化する。

$$\begin{pmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ \vdots \\ p_m(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & \cdots & a_{1n}(t) \\ a_{21}(t) & \ddots & a_{2n}(t) \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1}(t) & \cdots & a_{mn}(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

いくつかの配合について、初期特性、加速試験後の特性測定し、特性/配合行列を得た場合を考える。特性/配合行列を求める方法としては、Hounsfieldによる画像復元のアルゴリズムを応用し、実際には解のない連立一次方程式について、最小2乗解を求めるという手法がある[8]。経過時間毎にいくつかの関係式が得られる。加速試験時間を変更したいいくつかの実験結果から、特性/配合行列の要素 $a_{mn}(t)$ についての経時変化関数を得ることができる。この結果から、さらに長時間の試験を行った場合の $a_{mn}(t)$ を外挿して得ることも可能である。

ある特性 $p_1(t)$ に注目するならば、経時変化、あるいは測定条件の違いなど、同一の配合で異なる特性を示す $p_1(t_0) \cdots p_1(t_k)$ であれば良い。

さらに、その行列の要素から特に経時変化が大きい要素を抜き出すことができる。関数 $a_{mn}(t)$ を得ることは、多くの実験数を要するが、簡易的には以下の手法で経時変化の要素を得ることができる。初期の関係式及び、所定時間(例えば1000 hなど)経過後の関係式が次式で与えられるとする。この際、 n 個の素材からなる材料の場合、最小2乗解を満たす行列を算出する場合、最小で n 個の実験と初期特性、経時特性のデータから d_{mn} を得ることができる。

<初期>

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p'_1 \\ p'_2 \\ \vdots \\ p'_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & \ddots & a_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (8)$$

<経時後>

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q'_1 \\ q'_2 \\ \vdots \\ q'_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & \ddots & b_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (9)$$

ここで、特性ベクトル $\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_m \end{pmatrix}$ は本来の特性 $\begin{pmatrix} p'_1 \\ p'_2 \\ \vdots \\ p'_m \end{pmatrix}$ から切片の定数ベクトル $\begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_m \end{pmatrix}$ を引いた値であり、 $\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_m \end{pmatrix}$ についても同様である。対応する行列の要素の差 s_{mn} をとる。

$$\begin{pmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & \cdots & s_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} - a_{11} & \cdots & b_{1n} - a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{m1} - a_{m1} & \cdots & b_{mn} - a_{mn} \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p'_1 \\ p'_2 \\ \vdots \\ p'_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} q'_1 \\ q'_2 \\ \vdots \\ q'_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & \cdots & s_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (11)$$

(11)から、 $s_{mn} \cdot c_n$ が大きいほど、劣化に及ぼす影響が大きいことが分かる。従来、加速試験の結果から材料の劣化の速度は得られるが、どの素材が劣化を早めているかは判別できなかったが、 $s_{mn} \cdot c_n$ の値から、信頼性の改善のためには、どの材料を置換するあるいは改善すべきかが判別できようになった。

s_{ij} が1の場合は経時劣化が全くない。経時により、強度などの物性が低下する場合には s_{ij} は低下する。経時により、材料が固くなる場合には、逆に s_{ij} は増大する。従って特性毎に s_{ij} の変化を考慮して素材の選定を行う必要がある。さらには、異なる加速試験モード(加熱、加湿、振動、熱衝撃等)毎にこの行列が得られれば、必要な信頼性の種類に応じて素材の選定に活かせると考えら

れる。

なお、 $-\begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{pmatrix}$ の値は特定の素材に限定されない劣化の度合い示す要素であり、 $s_{ij} \cdot c_i$ の値と併せて検討する必要がある。

$$\begin{pmatrix} p_1(t_0) \\ p_1(t_1) \\ \vdots \\ p_1(t_k) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}(t_0) & \cdots & a_{1n}(t_0) \\ a_{11}(t_1) & \ddots & a_{1n}(t_1) \\ \vdots & & \vdots \\ a_{11}(t_k) & \cdots & a_{1n}(t_k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (12)$$

上記の手法は、時系列だけではなく様々な系列データに応用可能である。その例として、タック強度の温度依存性の例を挙げる。

ゴム、フィラー、エポキシ樹脂を主成分とする接着フィルムの開発例を挙げる。このフィルムは未硬化状態では、温度が上昇するにつれタック強度(べたつきの度合い)が高くなる傾向にある。ゴム、フィラー、エポキシ樹脂量を変更したいくつかのフィルムについて、25, 40, 60, 80 °Cにおけるタック強度(p_1)を測定し、その結果から、フィラー量(フィルム中の体積%) : c_1 、ゴム量(ゴム及びエポキシ樹脂をあわせて 100 とした場合の%) : c_2 とタック強度 : p_1 との関係を下式に示す。

$$\begin{pmatrix} p_1(25) \\ p_1(40) \\ p_1(60) \\ p_1(80) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 23 \\ 93 \\ 276 \\ 845 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.4 & -0.2 \\ -2.5 & -1.5 \\ -3.9 & -3.0 \\ -9.9 & -14.1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} \quad (13)$$

また、各列の要素と温度との関係を図1に示す。

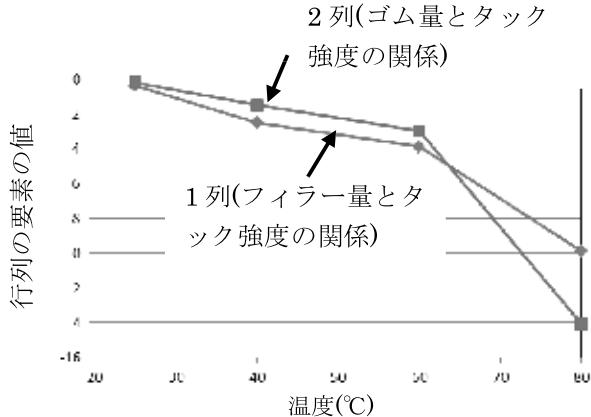


図1 行列の要素の値と温度との関係

80 °Cにおけるゴム量が増大した場合のタックの増大が大きくなっている。これは、ゴム量が減少し、エポキシ樹脂の比率が増大し、かつエポキシ樹脂の軟化温度(本例では 80 °C 付近)付近でタック増大への寄与が大きくなるためと考えられ

る。

5 特性の経時変化と目標を満たす期間

特性の経時変化がある場合には、ある材料が特性を満たす期間を明確にする必要がある。この場合は、配合が決定されているので、行列の各要素の経時関数は不要であり、特性の経時変化の関数が求められていれば良い。以下にいくつかの例について述べる。

簡単なモデルで経時変化を含む近似適化を試みる。本例では、接着力 $\alpha(t)$ がロジスティック曲線に従い初期の 10 倍まで増加し平衡に達することを考える。このように経時により特性は必ずしも低下するばかりではなく、接着力、充填性など経時で特性向上がある場合も多い。接着力を $\alpha(t)$ (任意単位)、膜厚を $V(\mu\text{m})$ (膜厚の制約条件は 20~60 μm とする)、ガラス転移温度を $Tg_0(\text{K})$ 、充填性を p_2 (任意単位)、屈曲性を p_3 (任意単位)として、それらが、下式の関係にあるとする。

$$\begin{pmatrix} \alpha(t) \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.08 & 0.3 \\ 0 & 0.12 & -0.6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha(t) \\ Tg_0 \\ V \end{pmatrix} \quad (14)$$

この際、 $\alpha(t)$ は Tg_0 が低いほど、また初期膜厚 V が厚いほど早く上昇するので、下式の関係式を持つと仮定する。

$$\alpha(t) = \frac{10}{1 + 9e^{-tV/Tg_0}} \quad (15)$$

また、接着後保持時間 20 h 以内に接着力が 5 以上になる必要があるとする。 $(Tg_0(\text{K}), V(\mu\text{m}))$ を種々変更した場合の接着力の経時変化を図 2 に示す。

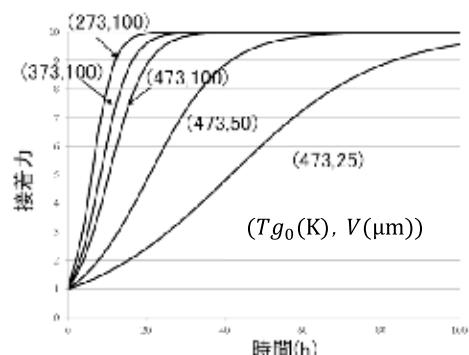
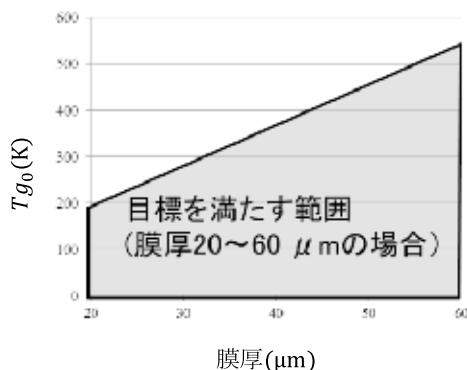
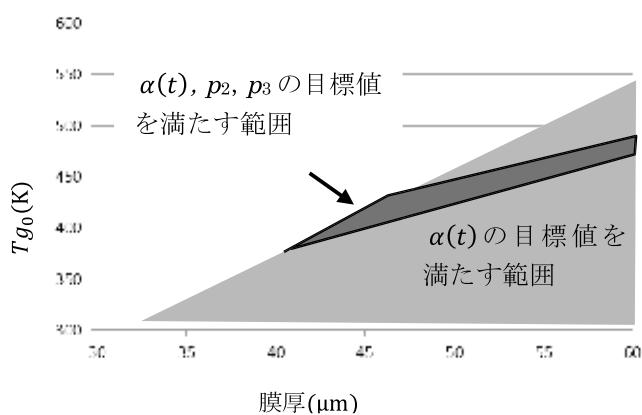


図2 接着力の経時変化の例

図3 目標を満たす膜厚, Tg_0 の範囲

膜厚 100μm で Tg_0 が 273~473 K の場合には、20 時間以内で $\alpha \geq 5$ になっているが、 Tg_0 が 473 K で膜厚が 25, 50μm の場合は目標に到達していない。図3 のように接着力の経時変化の目標値を満足する膜厚, Tg_0 の範囲を求めることができる。なお、ここでは p_2 , p_3 は目標値を設定しておらず、任意の値が許される。

図4 $\alpha(t)$, p_2 , p_3 の目標値を満たす範囲

さらに、 p_2 の目標値が -20~ -10, p_3 の目標値が 20~30 であるとの条件を加えた場合、目標を満たす範囲はさらに狭まり、図4 に示す範囲となる。

経時変化を伴う系では、目標を満たす範囲も時間の制約を受ける。保持時間を 5 h~25 h に変更した場合、 $\alpha(t)$ 及び p_2 , p_3 の目標値を満たす Tg_0 , V の範囲は図5 に示すように変化する。

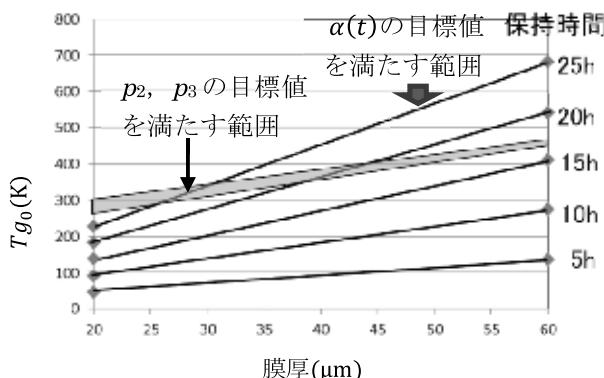


図5 保持時間と目標値を満たす範囲

この結果から、15 h 以下では目標値を満たす条件は存在しないことが分かる。このように接着力の経時変化の関数、パラメータ(速度係数等)と配合ベクトル要素との関係が分かれれば、材料設計が容易になると考えられる。現在は必ずしも十分なデータがあるわけではないが、今後、初期特性だけでなく経時変化の関数、パラメータの把握を進めてゆくことが重要である。

6 おわりに

本稿は、パソコンコンピュータ利用技術学会 Vol. 9 1/2 に掲載された論文を学術紀要として再発表するものである[9]。

本稿では、材料設計支援システムを特性の時間依存性を持つ系に適用できるように拡張した。これらの結果から、信頼性に及ぼす各素材の要因を解析可能である。また、本手法は材料のみならず異なるパラメータをもつ対象物が異なる変化を示す場合に、パラメータの中のいずれの成分が変化に寄与しているかを定量的に判定できる手法である。劣化後の化学的解析などを行う必要がない点、少ない試料数で判定できる点などメリットは大きい。

今後は、本手法を用いた長期信頼性を十分考慮した材料設計並びに他分野への応用、人間の体脂肪率などの各種指標と疾病発症の関係などの解析にも応用などへの適用を検討してゆきたい。

参考文献

- [1] 稲田禎一, 松尾徳朗:弱条件組合せ線形計画法による熱硬化系接着フィルムの特性予測:ネットワークポリマー, 36, pp. 2-10(2010)
- [2] 稲田禎一, 村形晃規, 松尾徳朗:弱条件組合せ線形計画に基づく材料設計支援システム, パソコン利用技術学会論文誌 6, 1, pp.30-35(2012)
- [3] T. Inada, T. Matsuo: Intelligent Material Design System based on Weak Conditioned Linear Programming, International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, Vol.7, No.4, pp.45-58(2012)
- [4] 松尾徳朗, 稲田禎一:弱条件組合せに基づく半導体ダイボンディングフィルム材料設計システム, 情報処理学会第 72 回全国大会(2010/3/9)
- [5] 稲田禎一, 松尾徳朗:材料供給リスク評価アルゴリズム, パソコン利用技術学会論文誌, 7, 1, pp. 1-7(2013)
- [6] 稲田禎一, 松尾徳朗:弱条件組合せ線形計画法による材料の配合設計と供給リスクマッピング, パソコン

- ンピュータ利用技術学会論文誌, 8, 1, pp.7-15(2013)
- [7] 稲田禎一, 松尾徳朗:弱条件組合せ線形計画法による
材料の時系列特性の最適化, ネットワークポリマー, 35, 1,
pp.38-45 (2014)
- [8] 滝口孝志 : CT と線形代数, 数学のたのしみ, 2007 春・
夏 逆問題の広がり, 日本評論社(2007)
- [9] 稲田禎一, 高橋里司, 松尾徳朗, "配合と特性の線形関
係の次元解析", パーソナルコンピュータ利用技術学会
論文誌, Vol. 9, No. 1/2, pp.34-39 (2015)

使い手視点による建築の特性把握手法の開発 — 建築創造における機能面の基礎的考察による手法開発 —

吉田 敏* 佐々木 一晋*

Development of a Method for Understanding of Architecture Characteristics from Viewpoint of Users - Fundamental Study of Function of Architecture for Creation -

Satoshi Yoshida*and Isshin Sasaki*

Abstract

It is not so difficult to find discussions about the logic of creation of products and services from viewpoint of users in many industrial fields in these days. But it is not so easy find the discussions like those ones in the field of architecture. This paper analyzes the most fundamental ideas to understand the meaning of creation of architecture, so tries to focus on the functions of architecture. This idea comes from the other academic fields and can make clear the fundamental purpose of creation. This paper proposes to 4 kinds of diagrams that base upon the axes with function of architecture, demand of user or uncertainty of development. These ones show us the new viewpoints to understand the direction of development of architecture, and the fundamental understanding of development of products with today's situation.

Keywords: Function Design, Users' Demand, Uncertainty, Complexity, Product Function

1 はじめに

今日、演算処理技術や通信技術などの様々な基盤的技術の飛躍的な発展により、多くの産業分野で製品の仕様や機能が変化し、人々の生活や活動の内容も変化してきていると考えられる。一方、建築は人々の生活や活動の場を提供する面があるため、求められることも絶え間なく変化している可能性が高いと考えられる。これまでも、建築の使い手の要望の把握に関する研究や議論は多く行われてきたが、このような基盤技術の変化による影響を中心とした外的な環境の変化の中、使い手の要望をどのように捉えるかについての議論は、決して十分ではなかった面があるといえる。その反面、マーケティング学や経営学などの学術分野では、ユーザー要望に関する厚めの議論が進められているといえる[1,4]。

また、建築産業以外の他産業を見ると、基本的な「ものを創造する」ことについて、できるだけ慣行などによる思い込みを捨て、一般化しながら論理的・総括的に考える方向性がものづくり理論として認められる[1,2]。ここでは、ものを創ることに際し、最も基本的なことから考えていく。まず、ものを創るということは、基本的に目的を有するが、その目的の内容を一般化すると、使い手の要望を実現することとなる。また、経営学などの代表的な知見からは、使い手は創られたものを操作して機能を取り出す、という解釈がなされている。

本稿では、このような根本的な論理をはじめ、建築学以外の先行研究にも学びながら、今日の建築の状況を前提とし、使い手視点による建築特性の把握を試考する。特に、経営学の知見にヒントを得つつ、建築分野では薄目であったと考えられる機能面の特性から、使い手の要望との関係性を考えていく。このような機能面の考察から、各建築の特性の理解によって、設計行為を中心とした創造プロセスにおける必要な方向性を得ることに努める。

本稿の目的は、創られるものとして客観的に建築を捉え、その特性を把握する手法を開発することである。これにより、建築のものづくりの考え方をしっかりと確立する基礎となることを視野に入れたものである。

2 使い手の要望と生産物機能

2.1 使い手の要望に関する把握の難しさ

まず、使い手の要望に関し、どのように理解していくべきかを考えていく。使い手側の関与者の範囲を考えてみると、どのような用途の建築の場合を考えても基本的に、広い範囲となる。例えば、特定多数、不特定多数で使用する建築では、使用者が多数であるわけであり、それだけで関与者が多いといえることになる。逆に、住宅や小規模事務所や小規模集合住宅では、使用者は特定少数にとどまる可能性もある。し

かし、訪問者、近隣住民、修繕担当者、メンテナンス担当者、清掃担当者、改修業者、各種機器の関連会社など、使用者以外に多くの関与者が存在することになる。場合によっては、建物オーナーや建築事業投資者が使用者と別に存在する場合も考えらえる。

ここでは、直接の使用者を含む関与者全員を対象に「使い手側」とし、それら関与者の要望を「使い手の要望」と置くものとする。ただし、もちろん主要な使用者の要望を中心とする優先的事項と、それ以外の副次的事項があることは明らかであり、それらは階層化されながら全体像が構築されていることには注意する必要がある[1]。なお、このように使い手側の関与者の範囲が、建築の種類によって変わる点は、建築の全体像を把握する上で重要であることが理解できる。

まず、このようなそれぞれの建築の特性によっても変化しそうな使い手側の関与者の把握に関する議論を進める前に、特定の使い手がどのように要望を持つのかについて考えていただきたい。使い手側の要望の把握は、もちろん建築に限ることではなく、多くの有形、無形の製品に関して重要なものである。そのため、多くの他産業を対象とした議論が、複数の学術分野で散見される。その中でも、前述のように、マーケティング分野や経営学分野の議論は、極めて真摯にユーザー要望に関する深い内容となっていると考えられるため、それらの分野の先行研究を見ていく。

マーケティング分野では、ユーザーが自分の要望を言い表しきれない可能性について、また、その可能性が拭い去れないことからユーザーの創造性をつくり手が活用しきれない面があることについて、以下のように主に三つの点に着目しながら議論を展開している[4]。

一つ目は、使い手側にとって、製品やサービスは、供給側によって与えられたものの中からの選択に過ぎないため、そこには使い手側の創造性が反映される余地が小さい、ということである。これは、次世代の製品やサービスをこれから創りだすとき、つくり手側には極めて多くの情報があるが、使い手には専門性の高い情報等についてはわずかなものしかないことに拘るものである。既存の技術が可能な範囲はどこまでか、今起りつつある技術は何か、高価だけれど使えそうな素材や技術は何かなど、製品やサービスに関する開発を行うときに有意な情報はつくり手が極めて多く持っている。使い手にこのような情報が希薄である限り、その創造性が反映される可能性は低いと言えるというものである。

二つ目は、ある時点での多数決によるメカニズムが存在していることである。ある財を望む人が一定数を越えなければ損益分岐点に達せず、当該分野において、その財は供給されないことになる。多数が望むものに価値があるという発想はベンサムの功利主義に基づくものだが、人間の認知能力からみると肯定しきれないと言える。失敗したアイデアはどのようなもので、その理由は何か、可能性のある他社からの提案はどのようなものか、議論されている未来の製品について

の概念はどのようなものかなど、つくり手が持っている情報の中にも有意なものはある。しかし、使い手は想像することができないものが多い。要するに、全く見たこともない範疇のものは想像できない、ということである。

三つ目は、使い手は短期的にしか効用を判断できず、また認知限界を有するため、長期的にみて最良の選択をしていないということである。例えば、スナップ用のデジタルカメラを初めて購入する人は、おそらく記念の集合写真や旅行先の思い出を残すことなどを思い描いている場合があると考えられそうである。しかし、その後、レストランで食事をするたびに料理を撮り日記代わりのような利用をするかもしれないし、親子の伝言を残す簡易録音機として利用し始めるかもしれない。逆に、少し重く感じたり、少し大きく感じたりすることにより、決して携行することなく、写真是携帯電話で撮るようになるかもしれない。いずれにしても、初めて小型デジタルカメラを買うとき、自分がどのような感覚でこのツールに頼るようになるか、どのような価値や機能を見出すのかは想像できない。このような使用の経験を通して徐々に感じることが変わっていくことは、カメラに限らず、住宅などの建築から、自家用車などの有形の製品、旅行商品やコンサルティングなどの無形の製品の多くのものに含まる側面である。

このような点が存在する中、それらを克服する可能性を追い、市場メカニズムを極力回避し、顧客との関係性を構築し、その関係性のなかで価値を創造する、という考え方をマーケティング分野が取るようになってきたといえる。これは、情報操作によって買い手をコントロールするということを基本としたマーケティング手法に限界が生じたことに起因している[4]。

人間は入ってきた情報に対し、均一の反応をするのではなく、それぞれが独自の判断をし、新たな情報を創っているのだと考えられる。それによって、与えられた情報や新しい製品に対して、それぞれが異なる反応をしているということになる。この独自の判断がなぜ起こるのかという点については、それぞれの人間が持っている記憶の構成や判断の拠り所が異なるためということが言えよう。人間は情報などのある刺激を受けると、自分の中にある座標空間を用い、独自の解釈をしながらその刺激をいざれかの座標に整理しておく思考をとると考えられる。刺激は次から次へと入って来て、消えていく刺激もあるだろうが、さまざまな刺激がさまざまな座標に残り、その座標空間の独自性は高まってくることになる。そして、このような独自の座標空間を用いて、記憶の束を整理しながら、次に入ってくる情報に対処していくことになる。この対処とは、新しい情報を判断し、取捨選択し、必要なものはある座標に置いておくわけであるが、これは新しい情報の創造とも言える。つまり、新しい独自の解釈を含めた情報が生成されていくわけであり、この新しい情報に基づき、購買などの行動に出ることになる。

このような考え方則り、マーケティングは、市場の多くの

人々を操作しようとする操作型から、買い物と協力しながら答えを得ようとする協働型へ議論を移行させている[4]。

このような議論では、ユーザー自身、これから創るプロダクトに対する自分の要望が何であるかということについて、明確に答えることが困難な面があることが示されている。つまり、使い手側が明確に自分の要望を把握することが困難であるということである。

2.2 使い手要望の認識のための視点

前項では、使い手の要望を把握するには、困難な面があることを考察してきたが、ここでは、その把握することが難しい面がある使い手の要望に対し、どのような考え方で対処していくべきかを考えていく。

この問題は、当然多くの製品分野、サービス分野でも共通のものであり、複数の学問領域においても盛んに議論が行われている。基盤技術の変化などによる外的な環境の変化の影響を受ける中、使い手の要望を理解するには、そのような影響を直接受けにくい基礎的な考察が必要であると考えられる。その中で、ものづくり理論の代表的な研究者である藤本隆宏は、一般的に製品やサービスに対し、「ユーザーによって操作され機能が取り出される」ものであるという考え方を示している 1)。この考え方に基づくと、製品やサービスの設計者は、ユーザーが望む機能を理解し、その実現に結びつくものを設計していくことになる。つまり、設計者は単に形や性能や使いやすさなどを追うわけではなく、それらによって、使い手が何らかの動詞で表現されるような機能を創りだすことまでが求められることになる。この考え方は、意匠性が優れたプロダクトを創り、専門家の中で評価されたとしても、広く社会の中で役割が不明瞭で、確立する機能が明確に認められなかつた場合、単なるつくり手の自己満足になりかねない危険性があることも示唆している。ユーザビリティを極限まで高めたプロダクトも、社会の中で欲せられる機能面を持ち合わせていなかつたなら、生産物としての目的を果たしているとは言い切れない面を否定できることを捉えている。

また、意匠性や審美性は、プロダクトを社会に浸透させるための一つの重要な要因になる可能性を持っていることは否定されるものではないものの、その価値評価は時間と共に変化する可能性が内包され、それらに対する個人差も含まれ、一概に固定化した結論を出すのは難しい。同様に、様々な局面で、ユーザビリティに関する検討に関しても、使いやすさが求められる結果の実現に関する重要な要因となっていることが絶対であると言いつることは難しい。

3 使い手視点による建築の特性の記述

3.1 創造プロセスの機能面による特性把握の可能性

本稿では、前述の藤本の考え方を引用し、建築を含む対象に対し、「ユーザー側によって操作されて機能を取り出さ

れる」という側面があるとして考察を加えていくものである[1]。そのため、ここでは、主にプロダクトの機能面に着目しながら、建築のつくり方の特性に関する記述を試みるものである。ここで重要なのが、どのようなパラメーターで対象の建築を理解していくか、ということである。ここまででの考察より、対象となる建築の機能面の特性に注目しながらパラメーターを抽出していく。

一方、プロダクトの設計者はユーザーの要望を実現させるために設計行為を行っていくことになる。通常、設計者は、ユーザー側の要望を理解できなくとも、対象の人工物を設計するために、何らかの目的を掲げる必要性に迫られる面がある。その場合、設計者が、ユーザーが望む要望とは何か、そしてどのような機能を得ることを望むのか、といった創造の基礎となる点について、感覚的、経験的に、自分で答えを想定している可能性を否定できない。しかし、感覚や経験だけでなく、論理的に正確性を上げる必要があることは明らかであろう。そのため、プロダクト創造の基礎的な視点の一つである機能面の論理的検討を試験していきたい。

また、各パラメーターの有効性を認識しやすいようにするために、具体的な建築を取り上げ、その特性を記述することが考えられる。しかし、基本的には全ての建築プロジェクトが異なる内的環境を含んでいるため、一般的な傾向や、その有効性を正確に書き表すのは困難な面がある。ここでは、パラメーターの有効性を理解するという目的のために、基本的に対象者の主観を捉えたリカートスケールを否定せず、典型的なビルディングタイプをプロットしていく手法をとる。具体的な手法としては、建築意匠設計、建築施工の実務経験を 10 年以上持つ専門家複数名、大学に所属する当該分野の研究者複数名に議論に基づく原案を作成してもらい、出来上がったプロットの内容に違和感が無いというコンセンサスが取れることを基本としたものである。この手法は、すでに多くの他学術領域分野で進められているものであるが、複数の知見者による建築特性の素描であると考えられるものである。また、プロットするビルディングタイプは、理解を助けるためだけに用いられる試行ではあるものの、できるだけ様々なタイプを取り上げるべく、ユーザー側の関与者、用途、機能、不確実性、規模、設計プロセスなどについて多くの可能性を含むことを考え、上記の専門家・研究者にヒヤリングしながら、戸建住宅、空港、倉庫など、10 のタイプを抽出している。

以下、前章の考え方から、ここでは、対象は何らかの使い手の要望を実現するために創られるという視点と、使い手は対象を操作して機能を取り出すという視点との、二つの視点から考察を加えていく。

3.2 使い手の要望に関する特性の記述

ここでは、ものをつくる基本的な視点となる、使い手の要望について記述を試みる。建築には、使い手の要望についていくつかの主要なパラメーターが存在していると考えられる。



図1 「要望」の特徴から見る分類



図2 「創られるもの」の主要機能から見る分類

まず、ユーザーの要望の特性として考えられるのが、多くの意味合いを含んでいるかどうかである。つまり、一つの要望が、多くの内容によってかなえられるのか、それとも極少数の内容によって的確にかなえられるのか、という視点である。ユーザー側の要望の多義性が大きいということは、単純な快適性や品質だけでなく、感覚的側面や各個人の持つ嗜好性などの影響も強く、それらが多層的に求められることを示すことになる。

また、使い手の要望に含まれる不確実性の度合いをパラメーターにとることが考えられる。特に、未来にしか明確化されないことが含まれているときは、必然的に不確実性が内包されることになる。例えば、創った建築の使用によって、何らかの有効な機能が取り出されるかどうかについては、その建築ができた時点では知り得ず、未来にしか知ることができないということである。この場合、ブリーフィングなどによって書き表すことが不可能な部分が含まれることになる。つくり手は、真摯にこの特性に向い合い、時間的な経過を追いつながら、ユーザーが、独自の建築や空間に対する使い方や思いを創出し、機能を創り出すことができるため、つくり手は継続的に努力する必要がある。

このような要望の特性を表す基本的な二つのパラメーターを取り出し、記述することを試みる。図1はユーザーの持っている要望に関する特性を整理した図である。試行として配した10のビルディングタイプを見ても、ユーザーの要望について、多義性、不確実性共に、かなり広範囲な分布となっていることがわかる。基本的には、横軸の多義性は、ユーザー側が多くの種類の機能を求めているのかどうかを推し量るものであり、縦軸の不確実性は、ユーザー側の対象建築物の使用という経験を通して事前の想定が難しい機能群を得るかどうかを推し量るものである。

要望の多義性について、図の内容を検討する。図1の右半分の二つのセルに来るもの、つまり多義性の高いものとして、二つの傾向があると考えられる。一つは、戸建住宅や集合住宅が該当する、基盤的な生活の場であるために非常

に多くの機能や要望が含まれるものである。そのために、要望そのものに矛盾や異なる方向性が含まれることになる。もう一つは、ある限定された目的や時間が前提とされているものの、多くのユーザーが利用するために、要望の多義性が高まるものであり、学校や空港、駅舎などを事例として挙げることができる。

要望の不確実性についても内容を検討していくが、これは、施主や使い手の要望に不確実な側面があるということである。例えば、慣行的な設計プロセスでは、住宅の使い手は、設計前のある時点に、主要な要望を言い尽くすことになる。また、つくり手は、やはり設計前のある時点に、主要な要望を整理する必要がある。しかし、根本的なことを考えると、使い手は、何のために住宅を欲するのだろうか。おそらく多くの場合、「1年後、2年後、10年後、それ以後も、継続的な未来において、家族の心の拠り所となり、安心して快適に過ごすことが出来る」空間を得るということが目的であると考えられる。もしそうなら、未来の長い時間を継続的に考えていくことが前提となるわけであるが、多くの事柄が将来継続的に変化していくことになる。

住宅の発注者の真の要望を実現することは、大変に困難なことだということが理解できる。要するに、角度の高いブリーフィングを作成することは、論理的に難しいということになる。おそらく、設計者が設計段階でできることは、求められる機能を誘発する可能性を高めるような空間を提案することまでであろう。つまり、要望に未来時点の要素の変化が含まれている場合、当然不確実性が含まれ、ターゲットを完全に固定することは困難となる。

また、ターゲットを定めても、そのターゲットの実現について、不確実性が含まれる。そして、ある時点でターゲットの実現ができても、不確実性が存在することによって結果の全体像がつかみ難いところがあることになる。つまり、与条件を満たす設計内容が完全にできるかどうかという原因不確実性、創った内容が引き起こす結果の全容が把握できるかどうかという結果不確実性なども対象となるということである。この二

つの不確実性については、次章で産業間比較をしながら検討していく。

3.3 対象建築の主要機能に関する特性の記述

前章の基礎考察の内容の中で、もう一つの視点である、対象の機能に着目していく。これは、創られる対象そのものの特徴を考えていぐものである。

前述のように、建築物は、本来、つくり手と使い手が共有している目的があるはずである。その目的に沿って、概念が創られ、機能が設計されていく。この機能設計の段階では、関与者の要望に加え、様々な諸条件が加えられ、創り上げる建築が持つべき機能群が明示されていくことになる。この機能群の中で、最も重要な機能が、多くの他の様相に強い影響を及ぼすことになる。そのため、既存の各ビルディングタイプの主要機能を捉え、以下の二つのパラメーターとして抽出する。

一つ目は、主要機能の複雑性である。このときの複雑性とは、主に、求められる機能数と、それらの間のインターフェイスの標準化に基づくものである。主要機能の複雑性が抑えられている場合、その内容を達成するのに矛盾が生じにくく、複雑な場合、内容を達成するのに矛盾や混乱が生じやすい。例えば、倉庫のように「ものを収納する」ことのみが主要な機能の建築と、住宅のように「これから先の長い期間、家族の心の拠り所となり、安心して快適に過ごすことが出来る」という重層的な機能を求められる建築とを、相違点を理解しながら比較していくものである。

二つ目は、主要機能に関し、構造体である建築そのものに依存するものと、構造体の中の空間に依存するものとがあることに注目する。建築そのものは、歴史的に見ても、構造体そのものを創ることが目的だったこともあれば、空間を生み出すためにつくられるものもあった。もちろん、多かれ少なかれ両面が求められるものが多いわけであるが、その偏りに注目していくものである。

図2が、建築の主要機能の特徴の二つのパラメーターによる考察内容である。この図を見ると、図の右半分の二つのセルでは縦軸の中間部分に集まる傾向がある。その反面、主要機能の複雑性が抑えられている場合、つまり、図の左側の二つのセルでは、縦軸において上から下まで広く分布している。

ここから理解できることは、まず、基本的なこととして、主要な機能を内部の空間に求めるものと、構造体としての建築そのものに求めるものが、同じ建築の概念の中に混在していることである。そして、その分布が広いのが、主要機能の比較的単純なものであり、一つ一つのビルディングタイプを精査する必要があると共に、設計していく上での技術的知見とプロセスが、比較的大きく異なる場合が含まれるということが考えられる。

各セルを見ていく。右上、右下のセルは、縦軸で見ると中

央部に集まっている、建築物と内分の空間の両方に、主要機能を依存する傾向があるものである。主要機能は複雑なものであり、要求される機能の数が多く、それらの間に矛盾やズレが存在する可能性を含んであるものである。建築にどのような形態や機能を用いて創っても、使い手が合理性や感覚など様々な点から使い方を取捨選択し、ある傾向が生まれてくることが考えられる。結果として、使い手が使用下に発生させる機能が重要であるという面があり、設計者を中心に、使い手がどのように機能を生み出しているのか、何が機能創出に阻害要因となっているのかを継続的に注視する必要性があると考えられる。左上のセルは、主要機能が単純で空間依存の傾向が強いものである。竣工後、つくり手は、使い手が主要機能を達成することに問題が無いかを確認する必要がある。ただし、主要機能が単純な傾向があるため、大きな主要機能の変更が将来に無い限り、当初の機能創出の状況が持続される可能性が低くないと考えられる。左下のセルは、建築構築物に依存し、主要機能が単純である対象である。これは、つくり手の持っている基準によって建築構築物の良し悪しを問うという既存の考え方が、働きやすい面を持つことになる。

3.4 市場ニーズの多義性と製品の複雑性による製品分野間比較

先行研究に、製品の設計段階における特性を取り上げ、製品分野間比較したものがある²⁾。対象は、プロトタイプによる大量生産を前提にした複数の製品分野である。各領域において、全ての製品の傾向を一つのものとして捉えられるという認識を持ってまとめられている。これは、前の2例と同様に、主観をとらえたりカートスケールを否定せずダイヤグラムを表現したものであり、複数の専門家による製品特性の粉本であると考えられているものである。

図3は、参考文献²⁾よりの引用で、市場ニーズの多義性を横軸に、製品の複雑性を縦軸に取り、各製品をプロットしたものである。この場合、市場ニーズの多義性とは、市場全体において対象となる製品に求められる使い手側のニーズが単純なものか、または、多くの意味を同時に含むものかを検討したものである。図1のユーザー要望の多義性との違いは、物件ごとの平均ではなく、市場全体を俯瞰したものを前提としている点である。また、製品の複雑性とは、主に2つの主要な要因に着目して理解することができる。要素数の多さとモジュラー性である。要素数が多くなるということは、少ないときより複雑性が上がる傾向があることは明らかである。また、構成要素間相互依存性が比較的大きく、階層化したときのクラスターが明確となる傾向を持つモジュラー化が進む場合、同じ要素数でも複雑性は抑えられると考えられる。

図4は、このダイヤグラムの上に、建築の代表的なビルディングタイプを配したものである。まず、縦軸に着目した場合、建築は基本的に部品点数が多い生産物であるということが



図3 市場ニーズの多義性と製品複雑性の製品間比較(1)
(参考文献[2]の内容を基に作図)

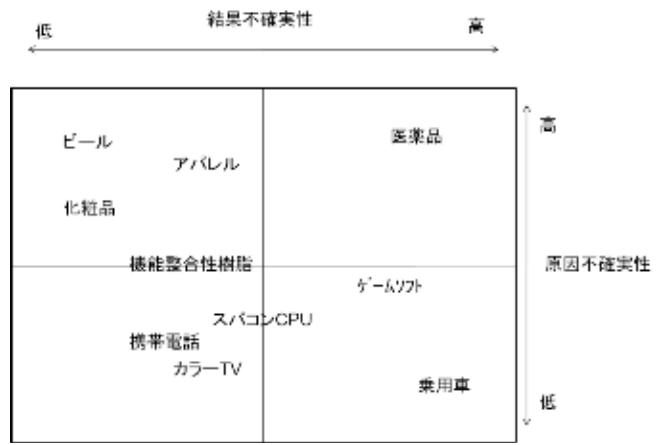


図5 原因不確実性と結果不確実性の製品間比較(1)
(参考文献[2]の内容を基に作図)

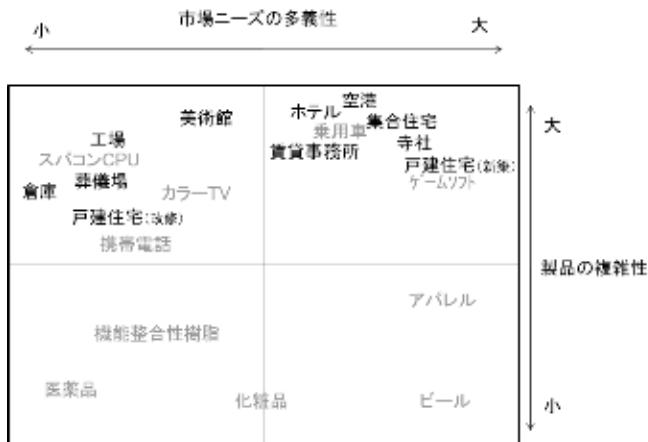


図4 市場ニーズの多義性と製品複雑性の製品間比較(2)



図6 原因不確実性と結果不確実性の製品間比較(2)

でき、複雑性が高い上の二つのセルに集中することになる。これについては、概念的には理解できていることではあるものの、客観的に把握することの重要さを再確認できると考えられる。それに対し、横軸に関する配置に注目すると、極めて広い範囲に配されている。これは、製品分野間比較によって、建築の求められるニーズがビルディングタイプごとに大きく異なり、多様であることが表されていると考えることができる。例えば、新築の住宅などは、極めて多くの生活活動の場として、ニーズの多義性はかなり大きいと考えられる。一方、工場は、通常、企業の生産活動の場として、特定の製品を生産するために必要な環境を整えることが目的であり、ニーズが絞られており、その点において明確である。

これらの産業間比較から理解できることは、建築に求められるニーズの多義性が、他産業から見ると異例なほど多様な状況であることである。建築だけを注目しただけでは理解できないが、この点について、多く製品と比較することによって特性が理解できる。

3.5 原因不確実性と結果不確実性による産業間比較分析

次に、設計や生産を通して生じる不確実性について考えていく。先行研究では、原因不確実性と結果不確実性という二つの不確実性に特化して議論したものがある²⁾。この参考文献を引用すると、原因不確実性は、「ねらった成果(製品機能)をもたらす製品設計を見つけにくい」という意味から導かれる不確実性であり、結果不確実性は、「所与の製品設計(製品構造)がもたらす結果の全貌を予測しにくい」という意味から導かれる不確実性ということである。図5は、前例と同様の引用により、この二つの不確実性を縦横の軸に取り、10の製品分野をプロットしたものとなっている。医薬品のように、開発当初はねらった成果をもたらす製品を見つけにくく、また、製品ができても副作用などを含めた製品のもたらす全体像を予期しにくいものもある。一方、左下のセルのように、製品開発に関する考え方が熟成しているため、要素技術に大きな新規開発でもなければ、開発当初よりねらった成果を出す内容を把握しやすいし、出来上がった製品がもたらす概

要も予測しやすいと考えられる。

図6は、この考え方方に即し、建築のビルディングタイプをプロットしたものである。まず気づくのは、建築は、左上のセルのタイプが少ないとことである。これは、下半分と右半分に配されるタイプが多いことを表している。下半分のタイプが多いということは、乗用車やカラーTVなどのように、原因不確実性が少ないとことを表し、設計目標を満たす設計内容が作成しやすいことを意味している。これは、対象の熟成によってつくり込み方が理解していることにつながると考えられる。また、右半分が多いというのは、つくった設計内容が、最終的にどのような結果を引き起こすのかということの全体像がつかみにくいことを表している。これは、建築が、医薬品のように副作用のような科学的に理解できていない範囲を残すタイプというより、乗用車のように、遮音性や高速安定性のように、多くの部位によって一つの機能を創り出す面や、使い手の感覚による評価も含めるような面があるためであることが理解できる。また、右下のセルのホテルや事務所などについては、乗用車の設計メカニズムから学ぶ可能性、また、影響を及ぼす可能性があることを示唆していることに気づくことになる。

3.6 建築特性の把握と使い手視点の持つ可能性

経営学、マーケティングなどの他の学問領域における洗練された先行研究の考え方を参考にして、ものを創る最も基礎的なところから議論を展開し、建築の特性に関する把握手法を論じてきた。

まず、この考察から気づくのが、建築分野における使い手視点の重要性である。機能面を中心に考える手法を建築分野に当てはめたが、建築を通して生み出される機能は、基本的に使い手に建築が引き渡された後に生ずる可能性があることが理解できた。これは、図1のユーザーの要望の多義性や、図2の主要機能の複雑さが、対象となる建築によって大きく異なることが明示され、そこから、設計段階を中心にこれらの指標に関する検討が重要であることが理解できた。特に、図4を参照すると、他産業を対象とした産業間比較研究で用いられたパラメーターにおいて、市場ニーズの多義性について、建築がかなり広い範囲に点在することが理解できた。これは、対象によって全く異なる製品分野のように違う特性を持つものが建築に含まれており、それらを殆ど理論的に認識しないまま企画、設計、施工などの全ての生産プロセスを進めている慣行の存在についての危険性が示唆されたものとなっている。また、図6では、つくり手視点とも考えられる不確実性の検討の中、結果不確実性に使い手の使用によって生まれる機能によって左右される範囲が理解され、これが様々な活動の場を創っている建築で重要なことを認識できた面がある。

これらの内容がこれまで建築で議論されなかったのは、学術分野の境を越える試行が少なかったこともあるが、使い手視点が強く意識されてこなかった可能性があると考えられる。

これらの考察を進めた後、建築設計の評価が、竣工時、つまり使い手が使う前を中心に行われるこの問題点などが論理的に浮かび上がる。これは、建築も他製品分野と同様に、使い手が望むことを実現させるために創られているはずであり、その使い手が望むことは使用を通して有意義な機能を取り出すことといえる。この点からは、ここで挙げた建築の評価方法の偏りに課題があることは否めないと考えられる。

また、図4と図6において、新築と改修のケースで、配される位置が大きく異なることが理解できる。図中では、戸建住宅を取り上げて、その二つの差異をプロットしている。これは、使い手が、新築の場合は、2章で挙げた理由などにより、設計前に自分の要望を明確にまとめることが困難なことに悩るものであり、改修の場合は、使用を通して自分の要望を明確に出来ることに悩む差異である。このような論理的試行によって、現在の設計プロセスの課題や、取り組むべき対象の一部を理解していくことができるが示唆されたと考えられる。

一方、このような製品間比較、産業間比較を行うことにより、建築の特性が理解できる範囲が広がると考えられる。図4、図6で近似的な位置に配されたもの同士は、その指標において重なる特性を持っているものであると理解できる。その意味合いを把握しながら、近似的側面を持つ対象から情報を得て、学び、自分の分野を発展させる可能性を持つことができると考えられる。また、自分の分野の知見によって、他領域に対して影響を及ぼすことができる可能性も持つことになる。この場合、特に図4の横軸、図6の縦軸と横軸のようなパラメーターを見出すことが、建築分野には有効性が高いと気づくことができる。

4 まとめ

本稿は、ものが創られる基本的な原則から端を発し、創られるものとして客観的に建築を捉え、その特性を把握する手法を開発した。特に、使い手視点の必要性、そしてその有効性を認識することができたと考えている。

また、建築を創るのにあたって、何を重視しなければならないのか、どのように考えればよいのか、どのような特性を踏まえて対応しなければならないのか等の方向性を見出す可能性を得たと考えられる。そして、これらにより、建築のものづくりの考え方を明確化するための基盤的考察の一部が得られたと考えている。

ただし、これらの考察には、今後の課題も少なからず含まれている。本稿では、最も根本的なものづくりの視点からの考察にとどまっているが、今後は建築の独自性を考えた方向を踏まえ、より実際の生産活動に近い知見を得る論理展開が必要である。また、今回はサンプルとして既存のいくつかのビルディングタイプをプロットに使ったが、一物件ごとの考察を進める方向性と、建築全体について適切な類型化の考え方を議論しながら各類型の特性を分析する方向性が必

要であると考えられる。また、製品間比較の可能性を示唆したが、基礎理論だけでなく、具体的な対象を取り上げて考察を進めることによって、より現実の生産活動に即した成果を得ることとなるため、その実践が必要である。

本研究は、始まったばかりであり、今後、更なる努力をしていくことが必要であると考えられる。

参考文献

- [1] 藤本隆宏、『日本のもの造り哲学』、日本建材新聞社、
2004 年
- [2] 藤本隆宏、安本雅典編著、『成功する製品開発』、有斐
閣、2000 年
- [3] 藤本隆宏、武石彰、青島矢一編、『ビジネス・アーキテク
チャ』有斐閣、2001 年
- [4] 上原征彦、『マーケティング戦略論 実践パラダイムの再
構築』、有斐閣、1999 年
- [5] 前田正史、柘植綾夫、北澤宏一、吉田敏 他、『Beyond
Innovation:「イノベーションの議論」を超えて』、丸善ブ
ラネット株式会社、2009 年
- [6] 内田祥哉、『建築生産のオープンシステム』、彰国社、
1977 年
- [7] 野城智也、『サービス・プロバイダー:都市再生の新産業
論』、彰国社、2003 年
- [8] 古阪秀三編著、『建築生産』、理工図書、2009 年
- [9] 松村秀一編著、『建築生産:Management and
Organization of the Building Process』、市ヶ谷出版
社、2004 年
- [10] 吉田敏、「建築ものづくりにおける「設計情報」に
関する一考察」、日本建築学会総合論文誌 No.5
pp84-89、2007 年
- [11] 吉田敏、野城智也、「構成要素の特性の変化に
伴う建築生産技術と生産組織の動態的な適合関係」、日
本建築学会計画系論文集 第 598 号 pp189-196、
2005 年
- [12] 吉田敏、「国内生産組織における建築の技術發
展傾向についての考察」、特定領域研究「日本の技術革
新－経験蓄積と知識基盤化－」第 4 回国際シンポジウム研
究発表会論文集 pp53-60、2008 年
- [13] 吉田敏編著、『技術経営:MOT の体系と実践』、
理工図書、2012 年
- [14] 吉田敏「製品機能創出に関する基礎的考察 ～つ
くり手による機能設計と使い手の使用によって発生する
「発生機能」の相違～」、日本感性工学会論文誌、第 14
卷 2 号、pp325-333、2015 年

産業技術大学院大学における プロジェクト型演習によるサービス設計教育

川 田 誠 一*

A Service Design Education by Project Based Learning in Advanced Institute of Industrial Technology

Seiichi Kawata*

Abstract

Abstract in English. A service design education program by project based learning in Advanced Institute of Industrial Technology is introduced. Our institute started in 2006 and the master program of innovation for design and engineering started in 2008. In this paper, we explains some experiences of our PBL education system and our project results related to the service design education.

Keywords: PBL, Service Design Education, Service Engineering, Service Science

1 はじめに

平成 18 年 4 月に開学した産業技術大学院大学では、平成 20 年 4 月に創造技術専攻が設置され、平成 21 年から創造技術専攻の 2 年次学生を対象として PBL 型教育が開始された。この間、サービス科学ならびにサービス工学の重要性に鑑み、サービス設計をテーマにしたプロジェクトを実施してきた。本稿では、本学開学 10 年の節目にあたり、これまでの教育を振り返り、その考え方やプロセスならびに成果などについて概観する。

以下、第 2 章ではサービスに関する工学的アプローチについて述べる。第 3 章では PBL 型演習の実施方法について述べる。第 4 章では、現在までに実施してきた教育事例から特徴的なものについて説明する。

2 サービスに関する工学的アプローチ

サービスの生産性の低さや、サービス固有の性質から適正なサービスの対する対価の決定が困難である。このことからサービスを対象としたサイエンスや工学という研究分野の必要性が議論され、サービスサイエンスやサービス工学[1]という研究分野が立ち上がった。そして、製造業においても「ものづくり」からサービスを中心とした「コトつくり」へのシフトが課題となっている。

このようなサービスの高度化に関する研究は、日本、米国、ヨーロッパにおいてそれぞれの地域性や企業文化に根差した独特的のアプローチでなされてきたが、2012 年に国際学会としてのサービス学会 (Serviceology) [2] が日本で発足し

た。

そして、様々なアプローチでサービスに関する研究が実施されてきたが、新規にサービス設計を実施する場合や、既存のサービスを改善する場合において、どのような手順で実施し、評価すべきかなどの、サービス設計手法を提案したものは少なく、設計手法と、その手法に基づく課題解決事例に関する研究が期待されている。

ここで、サービスを設計する際に考慮すべきサービス固有の特性として次のようなことが知られている。

- 提供されるサービスの品質評価が主觀に依存する
- サービスに対する要求仕様を顧客ごとに明確にする必要がある
- サービスの品質が時間や人により変動する
- サービスの生産と消費を分離することができない

このようなサービスの特性を踏まえた工学的アプローチを研究対象として、『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理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』ではサービスの設計に関する一連の成果を得たところである。そして、このような研究を通じて得られた知見に基づいて本学の PBL 型教育においてサービスに関連するテーマを実施することを開始したのである。

初年度のプロジェクトではサービス設計の方法論の構築を課題とし、その後様々な新規サービスの設計を課題として PBL を実施した。その概要を以下に述べる。

Received on September 30, 2015

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

**首都大学東京, システムデザイン研究科, Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

3 PBL 型演習の実施方法

3.1 PBL 型演習の運営体制

産業技術大学院大学の PBL 型教育は PBL 企画会議, PBL 運営委員会でその運営を統括している。そして、情報アーキテクチャ専攻と創造技術専攻のそれぞれの専攻が各専攻の PBL 型教育の実施に責任を持ち、学生の配属からプロジェクトの運営、成績判定までの一連の教育プロセスを管理運営している。

PBL 企画会議は産業技術研究科長が座長となり産業界から招聘した委員で構成される会議であり、主として本学 PBL 型教育のテーマの在り方について本学教員と意見交換し、その議論を踏まえて新年度のプロジェクトテーマの決定を目的とした委員会である。また、PBL 運営委員会は両選考から選出された委員と両専攻長から構成された委員会であり、PBL 企画会議の決定と連動して本学 PBL 型教育の実施に必要なことを審議し決定する委員会である。

3.2 PBL 型演習のテーマ説明資料

主担当教員が提示するプロジェクト課題を統一的な形式で作成し学生に提示する資料として PBL 説明資料がある。その事例として、サービス工学に関するテーマの説明資料の概略を以下に示す。

① 課題・特徴

まず、対象とするビジネスを特定することから始める。そして、特定したビジネスにおけるサービスに関わる要素を抽出し、静的にモデル化する。次に、静的モデルから動的モデルを構築し、シミュレーション可能なモデルを求める。さらに、サービスプロセスの全体最適化を図る。顧客との価値共創の視点を重視してプロジェクトを進める。

② 目的・狙い

- サービスの本質が理解できる
- 顧客のモデリング手法を理解する
- サービスを構成するリソースを理解する
- 調査する力を身につける
- システムモデリング力を身につける
- チーム学習力を身につける
- ドキュメンテーション力を身につける
- 離散事象シミュレーションの応用力を身につける
- 顧客価値について見識を持つ
- ③ プロジェクトメンバーになるための前提条件
 - 新しいことにチャレンジする意欲を持った学生
 - 与えられた課題を解決するだけではなく、自ら主体的に行動したいという学生
 - チームで活動するために、コアタイム、サブタイムに会議出席ができること
- ④ プロジェクト実施により身に付けるべき達成目標、到達目標
 - 調査する力を身につける

- システムモデリング力を身につける
- チーム学習力を身につける
- ドキュメンテーション力を身につける
- 離散事象シミュレーションを応用する力を身につける
- 顧客価値と共に創について見識を持つ

4 サービス設計の事例

4.1 方法論の構築演習(平成 21 年度)[3]

本学最初のサービスに関するプロジェクトのテーマはサービス設計方法論の構築であった。方法論を構築することはレベルの高い研究課題である。それをテーマにすることでチームメンバーは様々な情報収集と意見交換からプロジェクトを開始した。そして、設計プロセスそのものを PDCA サイクルで構成するということでプロジェクトを計画した。その成果は PLAN という設計プロセスとして取りまとめられた。

以下にプロジェクト成果である PLAN について説明する。

① サービス設計方法論 PLAN

本研究で提案された設計方法論が、「Philosophical design」、「Logical approach」、「Analysis on service」、「Next best policy」の 4 つのプロセスから構成されることから、その頭文字を並べて方法論の名前を PLAN とした。PLAN は PDCA サイクルの考え方を用いて開発されたことから、単に一度だけ PLAN を用いるのではなく、得られたサービスをさらに改善するために PLAN という一連のプロセスを、要求されるレベルのサービスが得られるまで、何度もサイクル的に実行する。

各フェーズの概要は次のとおりである。

1) Philosophical design

- ① 発想法などの思考法を用いた議論
- ② ペルソナの作成
- ③ ペルソナを活用した価値の創出
- ④ プリミティブサービス例[2]を用いた分析・検討

2) Logical approach

- ① サービス・ブループリントの作成、RSP の設定[3]
- ② Philosophy design で得た情報から価値関数を選定
- ③ シミュレーションモデル作成
- ④ シミュレーション実行

3) Analysis on service

- ① 線形計画法等による分析
- ② 待ち行列等各種分析
- ③ 日程計画(CPM 法)
- ④ 在庫管理(指標平滑化法)

最適値の選定が終わった状態でサービス設計が完了する。

4) Next best policy

- ① サービスを提供する現場からの情報収集
- ② アンケートなどによる情報収集
- ③ 改善すべきサービスの特定と改善方法を検討

4.2 SysML の導入(平成 23 年度)[4]

平成 23 年度のプロジェクトからサービスのモデリング手法として SysML(System Modeling Language)を導入した[5]。これは、サービスの要求仕様からスタートして、サービスの機能、構造、様態をモデル化することが設計工学的に重要であると判断し、Model Based System Engineering の手法として開発された SysML を導入したのである。

平成 23 年度に設計したサービスは 2011 年の東日本大震災の経験から、家庭版 BCP といえる家庭生活継続計画(Home Continuity Plan, 以下 HCP と略す)の策定を考えたものである。企業などで、事業継続計画(Business Continuity Plan, 以下 BCP と略す)の重要性が指摘されできたが、家庭版 BCP といえる HCP サービスを構築したのである。

HCP サービスの概要モデルとして、顧客から見たサービスの価値と提供機能の関係、さらに顧客やサービス提供のパートナーである HCP サービスのステークホルダとサービスの関係を、Use Case 図を用いて定義した。その図を Figure 1 に示す。

サービス要件定義では、機能が満たさなければいけない品質特性を明確にした。

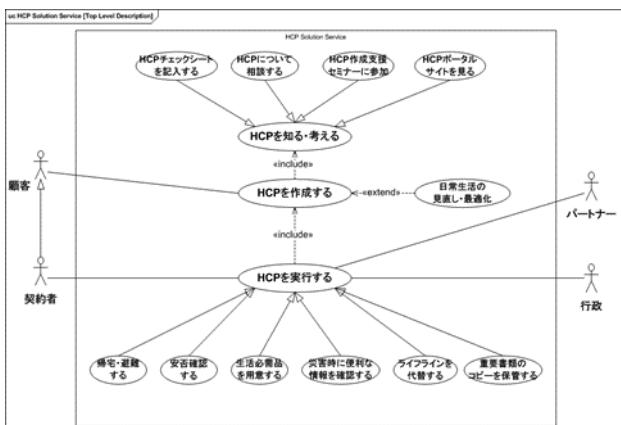


Figure 1 Top Level Use Case Diagram

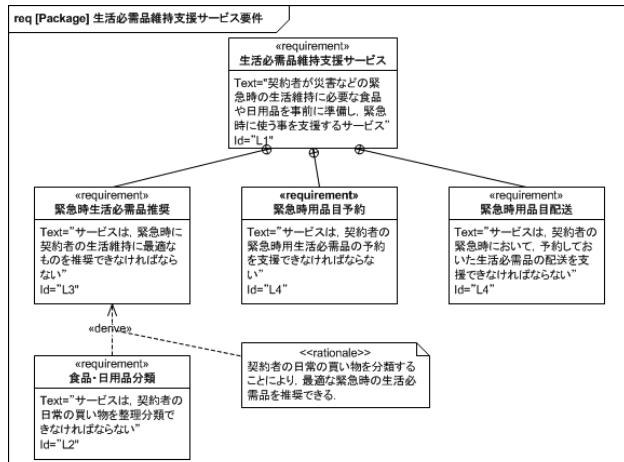


Figure 2 Requirement Diagram of a HCP Service

ここで、「HCPを実行する」ための機能の一つである「生活必需品を用意する」機能の要件定義の事例を以下に示す。

「生活必需品を用意する」機能は、「生活必需品維持支援サービス」と命名し、機能要件を「食品・日用品分類」「緊急時生活必需品推奨」「緊急時品目予約」「緊急時用品目配達」に分類した。この分類を Package として記述したものが Figure 2 の Requirement 図である。

HCP シミュレータは離散事象システムシミュレータとして広く用いられている Arena[6]を用いて構築した。その構成は次の通りである。

1) 入力と出力

- ① サービスに対する期待値の入力
- ② 想定する顧客が、HCP サービスに対し事前に期待する度合いを数値化し、パラメータとして入力する
- ③ 予測契約率の出力
- ④ 想定する顧客が持つ期待の度合いと、HCP サービスの条件に応じて、予測契約率が出力される。

2) シミュレータの構成

HCP サービスの内容や価格が顧客の知覚にどう影響するかを数式化し組込む。

- ① HCP サービスに対して、内容が期待通りだったか (Function)
- ② 信頼感があつたか(Reliability)
- ③ 値ごろ感があるか(Price)

などを定義する。

契約するかどうかの閾値 val_threshold として定義する。

- ④ 契約する、しないの判定

HCP サービスシミュレータへの顧客に関する関数の組込みについては、HCP サービスの内容や価格が顧客の知覚にどう影響するかを数式化し組んでいる。

Figure 3 にシミュレータのスナップショットを示す。

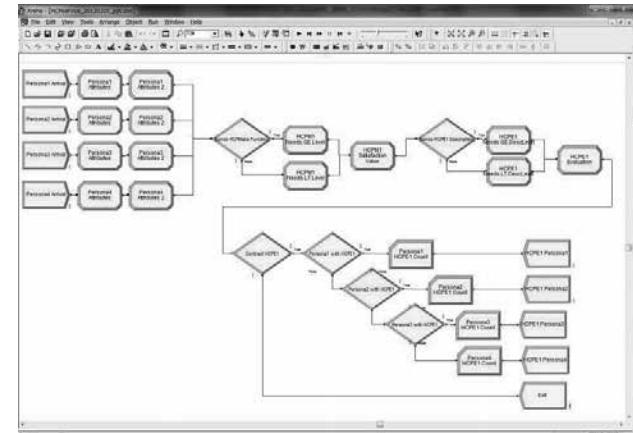


Figure 3 Snapshot of the Simulator

4.3 サービス設計の実装(平成 25 年度)[7]

平成 25 年度のプロジェクトでは設計したサービスを実装することまで視野に入れたプロジェクトを実施した。プロジェ

クトのテーマは「指示と確認による外国人向け実時間誘導システム」である。その実現方法として、できるだけ地図を理解したり、交通網を理解したりするなどの理解力を顧客に求めることをしない案内サービスシステムを提案することを考えた。すなわち理解を求めるのではなく、指示と確認によるナビゲーションに基づく案内を実現するというものであり、拡張現実(Augmented Reality, ARと略す)を用いたサービスを構築することを成果物として定義した。また、拡張現実に用いる情報としては、指示に対応しては聴覚情報を拡張し、確認に対応して聴覚情報を拡張することを考えた。

1)聴覚情報の拡張

開発に用いた機器の仕様は次のとおりである。

Bluetooth ヘッドセット:

LBT-HS500(Logitec 社製)

Bluetooth 性能:Bluetoothv2.1+EDR 準拠 Class II

接続距離:最大半径 10m(障害物のない場合)

外形(幅×奥行×高さ):15.6×10.0×64.2mm(折り畳み時突起部含まず)

重量:約 8.7g

連続待受時間:約 100 時間

連続通話時間:約 4 時間

音声データ:

Weblio 翻訳(<http://ejje.weblio.jp/>)



Fig.4 An image of augmented visual information

2)視覚情報の拡張

AR による視覚情報確認システムの実装について述べる。本システムでは音声ガイダンスに従って移動する顧客が必要な確認ポイントにおいてタブレット端末に搭載されたカメラにより環境に配置されたターゲット情報を認識し、ディスプレイに移動方向などを提示するようなシステムである。

実装のイメージを Fig.4 に示す。また、開発環境は、次の通りである。

統合開発環境:

Visual studio C++2008(Microsoft 社製)

ライブラリ: AR toolkit

(<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>)

ライセンス: GNU GPL

Windows8 タブレット端末

5 おわりに

本報告では、創造技術専攻で実施してきた PBL 型学習によるサービス設計に関する教育について概説した。設計方法論の構築に始まり、サービスシナリオの作成、ペルソナモデルの作成、SysML によるモデリング、離散事象シミュレータによる設計結果の評価など一連のサービス設計の方法を学生が獲得できるような教育プログラムを開発することができた。その成果の中には国際学会[8]で評価されたものもある。今後は、サービス共創やサービスドミナントロジックなどサービスサイエンスの最新の知見を導入した新しいプロジェクトテーマを開発したいと考えている。

6 参考文献

- [1] 下村芳樹,原辰徳,渡辺健太郎,坂尾知彦,新井民夫,富山哲夫:サービス工学の提案(第 1 報)-サービス工学のためのサービスのモデル化技法-,日本機械学会論文集 C 編, Vol.71, No.702, pp.315-322, 2005.
- [2] <http://ja.serviceology.org/>
- [3] 川田誠一, 佐田國晴信, 杉田千夏, 天間要介:離散事象シミュレーションを用いたサービス設計手法 PLAN の提案, 産業技術大学院大学紀要, 第 4 号, pp.35-40, 2010
- [4] 川田誠一, 田村百合子, 西垣勇人, 三好きよみ, 黄海, 加府藤茂:Home Continuity Plan サービスに関する平成 23 年度 AIIT-PBL の成果から, 産業技術大学院大学紀要, No.6, pp.101-106, 2012
- [5] OMG Systems Modeling Language, Version 1.2
- [6] W. D. Kelton など:シミュレーション—ARENA 活用した総合的アプローチ, コロナ社; 第 4 版 (2007/12)
- [7] 川田誠一, 木村睦, 奥村治, 黄克強, 宮瀬阿妻, 陳俊甫:指示と確認による実時間交通誘導サービスに関する提案と設計—平成 25 年度 PBL 型学修によるサービス設計プロジェクト—, 産業技術大学院大学紀要, No.8, pp.159-166, 2014
- [8] S. Kawata, J. Chen, K. Hirasawa, K. Koyama, S. Ogawa and B. Huang: Proposal of a New Mutual-Aid Service to Support Resilient Society: Simulation-Based Service Design Approach, Serviceology for Service, Selected papers of the 1st International Conference of Serviceology, Springer Japan, pp.301-307, (2014)

PBLによるエンタープライズアジャイルプロジェクトの プロジェクトマネジャー教育

酒 森 潔*

Project manager education of enterprise agile project by PBL

Kiyoshi Sakamori*

Abstract

The reason for agile development is not penetrated in Japan, it is in the education system and the large-scale contract that guaranteed deliverables. An enterprise agile As a method for solving such problems. Enterprise Agile, is a combination of the corresponding to the strong waterfall development of upstream business analysis and contract type contract, the agile development highly flexible and development efficiency to change. In AIIT, We have developed a PBL teaching materials of scenario type to perform a simulated practice of enterprise agile, to introduce its advantages.

Keywords: Enterprise Agile, PM training, PBL, Project management

1 背景

近年システム開発の技法としてアジャイル開発が浸透し始めてきた。この開発技法はプログラミング作業においてドキュメントなどの無駄を省きその分コーディングに専念する時間を増やせば、品質の高いプログラムをより多く開発できるというところから始まったものである。中でもSCRUMというアジャイル開発技法が最も着目されている。

この手法は5人程度のチームで2週間程度のスプリントという期間を繰り返しながら開発を進めていく方法である。少ないチームでプロジェクトを実行することで、無駄な作業を省き効率よくユーザが求める高い品質の成果物を作成することができると言われている。またリスクの高い要件や重要な要件を先に行い、スプリントの終了のたびに成果物に対するユーザの反応を確認ができるので、ユーザの要求をきめ細かく対応できるという特徴がある。

欧米ではこの手法の効果が認められ、多くの企業が取り入れているが、日本ではまだ普及率が低い。(図1、図2)

この理由は日本の請負型の開発形態に起因している。アジャイル開発は最初に最終成果物をコミットしないため、成果物を約束する請負型の契約にはなじみにくいのである。また企業レベルの大規模なプロジェクトでは、5人のスクラムチームをいつもコントロールすることになり、全体の統制が困難とも言われている。これが日本ではアジャイル開発がなかなか普及しない理由である。

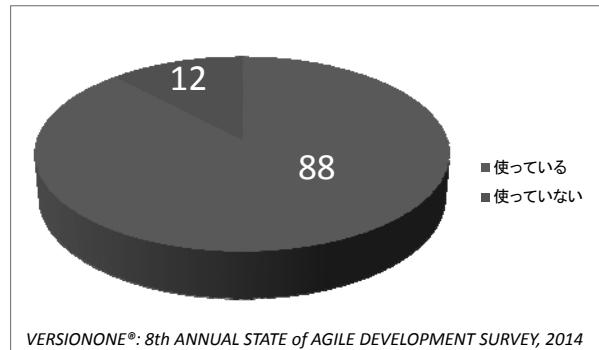


図1 欧米での Agile 開発の普及状況

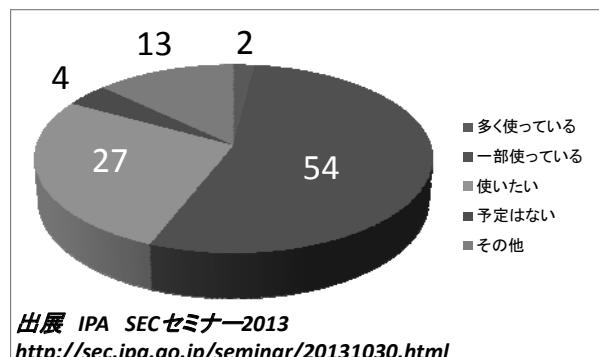


図2 日本での Agile 開発の普及状況

そこで産業技術大学院では、大規模請負型のプロジェクトにおいてどのようにアジャイル開発を使いこなすかを研究し、大規模アジャイル開発のPM育成パッケージを構築した。ここに、その概要を解説する。

2 アジャイル開発の特徴と課題

2.1 プロジェクトの3要素と開発技法のかかわり

プロジェクトマネジメントの基本は、スコープ、スケジュール、コストの3要素をいかにバランスしてコントロールするかということである。そして、これまでの予測可能型のプロジェクトにおいては、これらの3つ要素をきちんと予測して計画どおりに実行することを管理した。そして3つの管理要素のうち最も重要視されたのはスコープであり、コストやスケジュールを犠牲にしてでも計画したスコープを満たすことが重要とされた。

これに対して、将来の予測が難しい要求に対して、スコープは二の次でコストとスケジュールを最優先させるといいわゆるアジャイル開発型のプロジェクトが浸透してきた。このタイプのプロジェクトは、最初に決めたスコープにこだわらず、実際に作ってみたものを評価しスコープ変化させていくところが大きな特徴である。その進め方としては少人数のチームで開発を短期間で繰返しながら進めていくというスクラムという手法が最も浸透している。

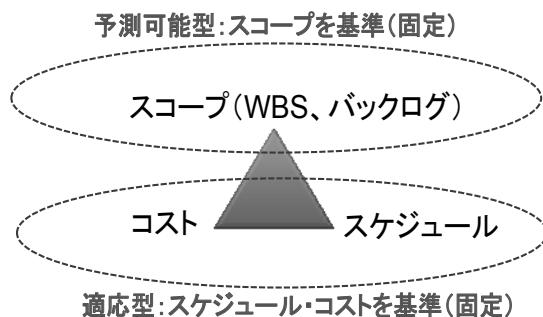


図3 プロジェクト3要素と開発手法の関係

2.2 アジャイル開発の課題

このように管理すべき3要素の優先度がコストやスケジュールに置かれただけのアジャイル開発であり、多くの企業などのチャレンジが始まっている。アジャイル開発プロセスの標準化も進み、開発の技術者も育ってきてている。しかし、日本国内でこれを大きく発展させるには課題も多く、その普及が足踏みをしているようである。課題の一つは、日本の請負型の契約形態である。アジャイル開発では最終の成果物をコミットしないので、発注者と受注者の間の契約が難しいのである。欧米でアジャイルが浸透易いのは、欧米では発注者側にプロジェクトマネジャーが存在しスコープの変動に柔軟性があるためである。無駄なドキュメントを嫌い少人数で進めるアジャイル方式は、また、大規模な開発において複数チーム間のインターフェースが複雑になると対応が難しくなる。

また、アジャイル開発を進めるうえでのもう一つの課題は、ベテランのプロジェクトマネジャーのアジャイル開発に対する理解不足もあげられる。若い技術者が開発技法を理解して使おうとしても、ベテランのマネジメントがその理解できていないために、その効果を十分に生かし切れていないといえる。

3 大規模請負開発へのアジャイル開発適用

3.1 エンタープライズアジャイル開発

大規模請負開発に対してアジャイル開発を適用する方法として、従来のウォータフォール型開発とアジャイル開発を組み合わせたエンタープライズアジャイル開発が有効である。

エンタープライズアジャイル開発は、ウォータフォール型開発の強みといえる大規模開発の要件定義や、成果物責任を伴う請負契約に対応し、アジャイル開発の強みである要件の変化への対応が柔軟であることや、高い開発効率や品質を活かすものである。

図4はエンタープライズアジャイル開発のイメージであるが、プロジェクト全体は、ウォータフォール型で管理し開発部分をアジャイル開発で実施するものである。これによって成果物を確定して上流の業務モデルの設計を行うことができ、開発作業の実施中はイテレーションを繰り返すアジャイル開発で、変化へ柔軟に対応しながら、効率的な開発を実現するものである。

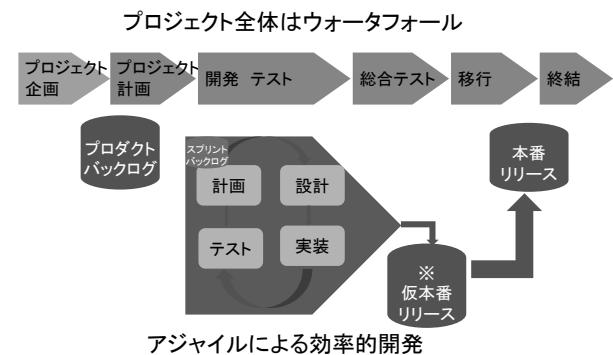


図4 エンタープライズアジャイル開発のイメージ

3.2 エンタープライズアジャイル開発の工夫点

ウォータフォールとアジャイルを組みわせるための工夫としては、アジャイル開発はシステム設計から結合テストまでを分担すること、仮本番環境にリリースしながらアジャイル開発を実施することで、ユーザに細かく仮の完成品を提供しフィードバックを得ること、アジャイル開発部分の最後のイテレーションで、当初予定と最終完成物のギャップを調整するように計画することなどがある。

これらの工夫をおこなうことで、ウォータフォールとアジャイルの融合型の開発プロジェクトを実現することが可能になる。

4 アジャイル開発を使いこなすための教育

4.1 エンタープライズアジャイルの教育の必要性

日本の環境下においてもアジャイル開発の良いところを取り入れたプロジェクトを実践するには、エンタープライズアジャイルのようなプロジェクト体系を確立するとともに、その人材の教育が重要である。教育対象はアジャイル開発の実施を

行うエンジニアではなく、その開発を管理しコントロールできるマネジメントである。受注企業が請負契約で実施するプロジェクトに対しても、エンタープライズアジャイルが使えることを教育することで、企業におけるアジャイル開発がさらに活性化することが期待される。

4.2 産業技術大学院大学でのPBLを利用したエンタープライズアジャイルの訓練

産業技術大学院大学では従来より大規模プロジェクトを仮想のプロジェクトで実践する PBL(Project Based Learning)型の教育を行ってきた。この仮想プロジェクトは予測が可能なシステムで計画を立て実施するものであるが、このプロジェクトマネジメントのシミュレーターにアジャイル開発のプロセスを取り込んだ教育パッケージを完成させた。この教材の特徴は、大規模システムの開発をベンダーとして請負う契約の中でアジャイル開発手法で実施するケースを実践するものである。

その特徴は、以下のようなところにある。

- (1) 大規模プロジェクトを仮想環境で実施できる
- (2) シナリオに従って実施するので初学者が容易にプロジェクトを進めることができる
- (3) 少ない期間で多くのコンテンツを実践できる
- (4) 失敗しても問題ないのでいろいろなことを試すことができる
- (5) ウォータフォールとアジャイルというタイプの異なるプロジェクトのマネジメントを実施できる
- (6) 大規模開発でアジャイルをどのように管理するかというマネジメントの視点を学ぶことが出来る

5 エンタープライズアジャイル開発 PBL 実践シナリオ

5.1 エンタープライズアジャイル開発 PBL の概要

「エンタープライズアジャイル開発 PBL」は、これからIT業界においてプロジェクトマネジャーを目指す3~5年の実務経験者向けに、模擬プロジェクトを実施するものである。パイナップル社というITベンダーがシリウス社というコーヒー飲料の製造販売会社のシステム構築を請負契約で受注しプロジェクトを実施するというシナリオである。その際開発はアジャイル開発で行うことにしてチャレンジしている。契約は請負型でながら、アジャイル開発の利点をうまく使いこなすプロジェクトである。

PBL の基本的な流れは、プロジェクトの立ち上げをシステムの発注する立場(シリウス社)から開始し、システムの受注者(パイナップル社)を中心シナリオを開拓していく、プロジェクトの終結へと進んでいく。その際、アジャイル開発手法を採用したシステム構築プロジェクトを題材に受注者側のプロジェクト計画、実行、発注者側でのプロジェクト立上げから開発プロジェクトへの関わり方についての実践体験が可能で

ある。

今後ますます増えていくと考えられるアジャイル開発手法でのシステム構築プロジェクトに対して発注者側、受注者側双方がどのようにプロジェクトへ関わり、どのような契約でプロジェクトを推進するのか、それらの一形態を体験することができる。

5.2 シナリオの構成

シナリオは、コーヒー飲料メーカーのポータルシステムの開発プロジェクトが完了した後という状況設定である。前プロジェクトもパイナップル社が請け負て完成させたものであるが、今回未開発であつたいくつかの機能をアジャイル開発で構築するものである。

シナリオは全部で4週(90分x7コマ)から構成され、アジャイル開発手法を採用したシステム構築プロジェクトのプロジェクトマネジメントを疑似経験し習得すること狙っている。Step1は、発注者側が主体に実施する授業で、Step2~4は、受注者側のPMが主体に実施するようにデザインされている。(図5)

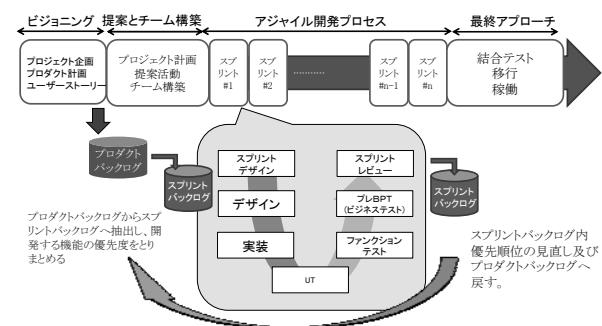


図5 エンタープライズアジャイル開発のシナリオ

6 エンタープライズアジャイルのPBL実践教材

6.1 Step1 ビジョンング

(1) 全体

コーヒー飲料メーカー シリウス社のポータルシステムの開発プロジェクトが完了して約半年が経過した。ポータルサイトはその後大きな問題も起こらず順調に運用されている。

STEP1 では前回のプロジェクトにおいて未開発であった機能の開発を依頼される。

(2) シリウス社

ポータルサイト構築プロジェクトの成功により、顧客からのクレーム減少やお客様のニーズを商品開発に反映できるなど業務の改善がみられ、徐々にではあるが業績にも良い影響が出始めている。

今回、ポータルサイトのプラットフォームを利用し、前回のプロジェクトにおいて開発が見送りになった機能の開発を行う企画が持ち上がる。

(3) パイナップル社

前回のポータルサイト構築プロジェクトを関連会社と協力会社とともに実施しており、シリウス社からの信頼も厚く、ポータルサイトのシステム運用についても請け負っている。

今回の機能追加の話についても企画段階からシリウス社の担当者から聞いており、パイナップル社としてもプロジェクトの企画段階から参加してプロジェクトを受注したいと考えている。

(4)達成目標

- ・プロジェクトの起案内容に関して、背景、目的などを理解し、企業活動におけるプロジェクトの立ち上げとは何かを議論し、プロジェクトを推進するための計画を立案する
- ・大半を一括請負形式で発注する IT プロジェクトにおいて、アジャイルにて開発する場合の必要となるプロセスについて理解させ、プロジェクト計画書に必要な項目を抽出できるようになる
- ・アジャイル開発におけるマネジメントで注意すべき点やキーになるポイントなどを整理できるようになる。

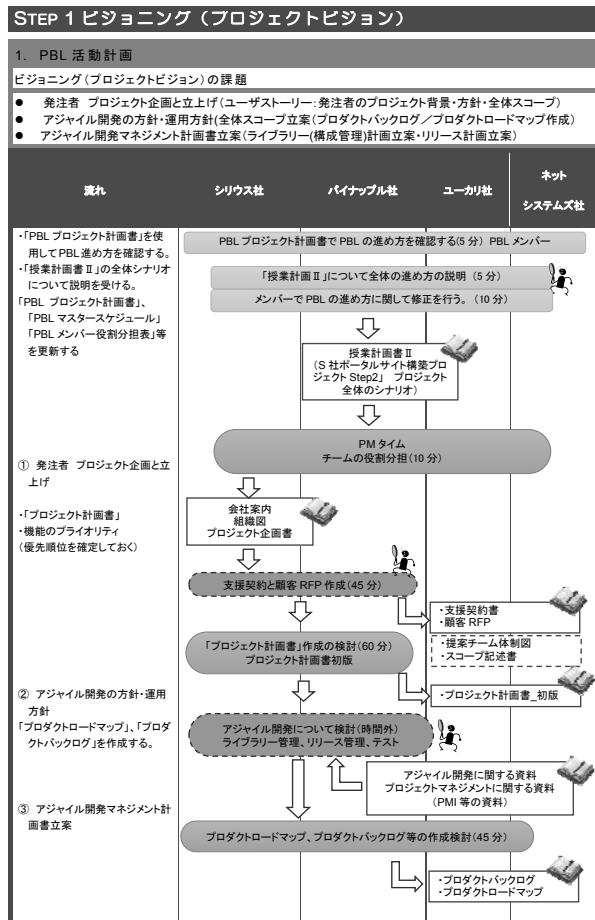


図6 ステップ1 ビジョンングのシナリオ

6.2 ステップ2 提案とチーム構築

(1)全体シナリオ

ポータルシステムの機能追加プロジェクトをシリウス社の企

画支援という形でパイナップル社も企画段階から参入することができた。顧客企業としては要求する機能が運用中のシステムへ無事に追加できれば良いと考えている。一方、シリウス社ではアジャイル開発手法を取り入れた一括請負でこの開発プロジェクトを行いたいと考えている。STEP2 では最終的な提案書の提出と契約書を取り交わしプロジェクトを受注する。

(2)シリウス社

これまでパイナップル社とは開発や運用などで個別に契約していたが、今回のプロジェクトを機に契約形態を見直し基本契約を結ぶ。

パイナップル社からの提案を受け、プロジェクトをアジャイル開発で行うことを決める。また、開発の体制で必要な社員のアサインをプロジェクトマネジャー主導のもとで実施する。

(3)パイナップル社

本開発プロジェクトを従来のウォーターフォールモデルではなく、アジャイルでの開発で提案を行う。また、企画段階から参入していることもあり、シリウス社の予算についても把握済み。提案に際して、開発チームの体制の構築やアジャイル開発での利点をアピールする。

(4)達成目標

□作業の大半を受注者側の請負形式で調達する事を前提としたアジャイル開発における RFP は何かを理解し、提案活動において注意すべき点やキーになるポイントなどを整理できるようになる

□QCD を理解し顧客が重要視しているポイントを導き出しプロジェクト計画書へ反映することができる

□顧客提案を行うためにどのような人材が必要とされるか考えることができ、顧客、自社および協力会社の要員を確保しプロジェクトにかかる人員の体制図を作成できるようになる

□顧客へ新しい要素(技術、開発手法)を盛り込んだ提案を行う上で、採用されたための提案書を作成することができる

□利益を加味したコスト見積、コンテンジエンシープランをまとめた提案書を作成できるようになる

□契約書に記載している内容を理解し、契約を結ぶ流れを理解する

□プロジェクトの準備から実施までのプロセスを理解する

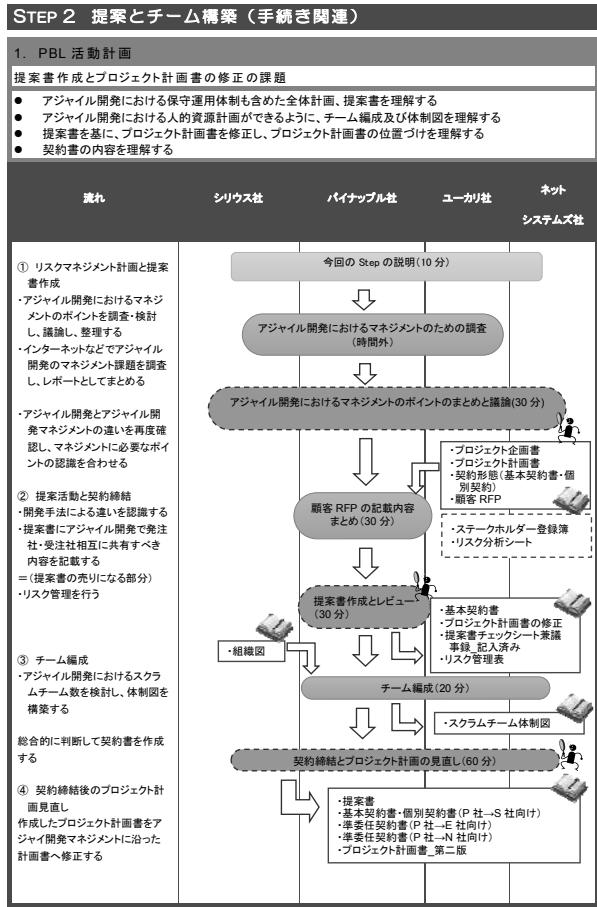


図7 ステップ2 提案とチーム構築

6.3 ステップ3 アジャイル開発プロセス

(1)全体シナリオ

アジャイル開発手法を用いた一括請負という提案で、ポータルシステム機能追加プロジェクトをパイナップル社が無事受注できた。STEP3では提案時に作成したプロジェクト計画書、プロダクトロードマップ、プロダクトバックログを見直し、実際に開発工程へ入る。

(2)シリウス社

提案時にパイナップル社からのヒアリングによって、プロダクトバックログの作成はできている。プロダクトオーナーが開発に参加しレビューを行いつつ開発が進んで行くが、一部機能でプロダクトバックログに記載されていない機能要件の追加要望が出てくる。アジャイル開発期間が終了する前に追加要件を盛り込んだものにしたい。

(3)パイナップル社

受注プロジェクトについて関係者を集めキックオフを行う。アジャイル開発期間でのプロダクトバックログの消化状況のモニタリング、プロダクトロードマップのスケジュール管理、リスク管理を行う。

また、アジャイル開発期間中にシリウス社から機能要件の追加要望を受ける。

(4)達成目標

□受注した開発案件において人員を確保し、キックオフミーティングにおいてプロジェクトの説明を行えるようになる

□提案時に計画したプロダクトロードマップの見直しを行い、計画に従って開発を進めることができ、開発状況およびリリース状況のモニタリングができる

□スクラム開発チームの生産性をモニタリングすることができ、現在の進捗状況と今後の予測を立てることができる

□開発期間中の顧客要件の変更に対して柔軟に対応することができる

□変更要求があった場合にはプロジェクト計画書、プロダクトロードマップ、プロダクトバックログ、見積もり、顧客との契約に立ち返って考えることができる

□プロジェクトの状況からリスクを分析することができる。

STEP 3 アジャイル開発プロセス

1. PBL 活動計画

アジャイル開発プロセスの課題

図8 ステップ3 アジャイル開発プロセス

6.4 ステップ4 アジャイル開発プロセス

(1)全体シナリオ

開発期間が満了し、システム仕様の確定を行い、その後、本番環境への移行と各種テストを実施する。最後にプロジェクトの終結フェーズへ移り、プロジェクトマネジャーはプロジェクトの完了報告を行う必要がある。

STEP4 では前 STEP の結果からシリウス社とパイナップル社との間で仕様の確定を行う必要がある。また、プロジェクトの完了報告を行なう。

(2)シリウス社

開発期間が終了したことで、システム仕様の確認を行う。
移行・テスト期間での受入検収作業を実施する。

(3)パイナップル社

パイナップル社はシリウス社に対し、移行・テスト期間での機能追加に対する対応を求められないよう、また、円滑に移行・テストを実施する必要がある。開発期間中に単体テスト・結合テストは行われているため、移行作業の後のシステムテスト、受入検収テストについてはシリウス社が主体となり、パイナップル社は支援契約にて対応することとする。

プロジェクト完了に伴い、プロジェクト完了報告を実施する必要がある。

(4)目標

□開発期間終了に伴う、システムの仕様について顧客の合意を得ることができる

□本番システム環境への移行計画を立案し、実施することができる

□移行が完了したシステムに対し、システムテスト計画を立案、実施することができる

□受入検収テスト計画を立案、実施することでシステムの運用段階に遅滞無く移行することができる

□開発プロジェクトの完了報告を実施し、プロジェクトから得られた教訓をまとめることができる

7 おわりに

このシナリオは2014年のPBL活動において検討され、これまでのシナリオ型の模擬プロジェクトに追加されたものである。2015年には大学院で学ぶ社会人学生によって実践され、その効果が実証され、その内容をPMAJプロジェクトフォーラム2015で発表し良い評価を得た。

さらに、大手企業と共同研究でその企業のアジャイル開発のマネジメント教育を行うようなカスタマイズをして行く予定でもある。

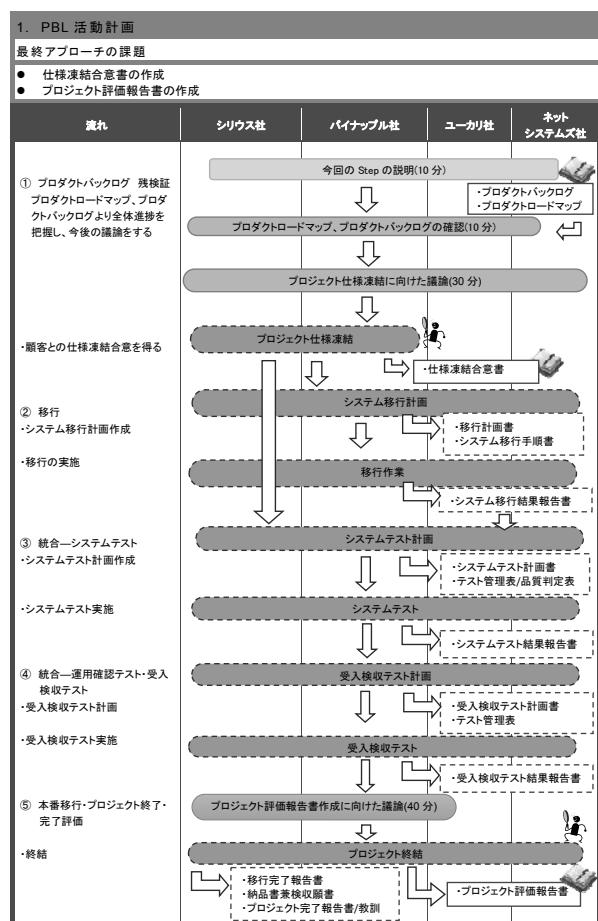


図9 ステップ4 最終アプローチ

参考文献

- [1] 永瀬嘉秀 今野睦, アジャイルソフトウェア開発スクラム, ピアソン・エディケーション
- [2] 平鍋健児 野中郁次郎, アジャイル開発とスクラム, 翔泳社.
- [3] エンタープライズ開発新潮流, 日経BP.

専門職大学院が地域と連携して実施する創業支援プログラムの開発

片野俊行*・小苗道哉*・鄭瑞芬*・高橋宏和*・國澤好衛*

A Program to Support Startups Developed by Collaboration between Local Community and Professional Graduate School

Toshiyuki Katano, Michiya Konae, Zheng Ruifen, Hirokazu Takahashi, Yoshie Kunisawa

Abstract

Startups give great impacts to strengthening the international competitiveness of industry. However, the state has still small growth in Japan. Our purpose is to promote city development by industry-university collaborations of Shinagawa city and us. We focus on two issues of support system: a mismatch caused by difficult and various problems, and needs of practical experiences.

Therefore we constituted “Shinagawa Monozukuri Design Jukku”. After the approval by Shinagawa city, our first approach was some sessions conducted as “AIIT Kigyou Jukku”. In conclusion, it illustrates schools are required to be a great mediator between government-society to promote industrial competitiveness.

Keywords: Entrepreneur, Professional, School, PBL, industry, government-academia

1 はじめに

産業技術大学院創造技術専攻の正規カリキュラムであるPBL型教育において、毎年、デザイン資源を活用した地域の課題解決というテーマを掲げ、地域と連携しながら様々な課題を解決している。本総説は、2014年度に本学の所在地である品川区と連携し、まちづくりの発展に寄与することを目的として実施された「専門職大学院が地域と連携して実施する創業支援プログラムの開発」について報告するものである。

近年のグローバル化やそれに伴う製品・サービスのコモディティ化の加速等、企業間の競争はより激化し、コストでリダーシップをとることや機能による差別化が難しくなっており、製造業を中心に多くの企業が苦戦を強いられている。日本が将来において産業競争力を強化し、稼ぐ力を取り戻すためには、新陳代謝を促進し、収益性・生産性の高い分野に、投資や雇用をシフトさせていくことが、重要であるといわれている。[1]その一つの起爆剤として起業が注目されているが、我が国の現状は先進国の中でも極めて起業が低調な状態であり、さらに近年は減少傾向にある。

そこで、起業を促進するために、公的なものだけでなく民間も含めて、多種多様な支援策が打ち出されている。しかしながら、これら創業支援の多くは、主に起業後を想定した支援となっている。製造業が多い品川区においても、一般的の起業支援施策に加えて、ものづくり専門のインキュベーターオフィスを運営するなど特徴的な支援も実施しているが、起業後の

支援に比べて起業前の特にソフト部分の支援はあまり行われていない。ここで言うソフトとは、施設などのハードに対比し人材育成やマッチングなどを位置付けている。

一方で、製造業においては、付加価値の高い製品開発、また3Dプリンタなど新たなデジタル技術への対応等、起業前の人、モノ、金、情報についての知見・支援はとても重要なものとなる。

本プロジェクトは、製造業支援にも力を入れている品川区と、最新の知が集積された専門職大学院である本校が連携し、产学公の共創環境を作りだすことでの既存の創業支援をさらに強化し、起業を活発化させ、地域の発展に寄与することを目的とするものである。

そのため、最新のデジタル技術等にも対応できるものづくり人材を育成するなどの起業前のソフト部分に特化したものづくり起業支援として教育、マッチングを実施する「品川ものづくりデザイン塾」の開発について報告するものである。

なお、本プロジェクトは小苗、鄭、高橋、片野の4名のメンバーと、國澤教授、村越教授、中島助教の指導で行われたものである。

2 創業支援プログラムの動向と検討の方向付け

創業支援について、現状何が実施され、どこが課題なのか、その解決のために何ができるのかを探るため、本プロジェクトでは、始めに、フィールドワークやインタビューを通じ

Received on September 28, 2015

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

て創業支援プログラムの動向を探った。

2.1 前提

創業の現状であるが、中小企業白書 2013 によれば、起業希望者は 1997 年の半分程度、起業環境は OECD 加盟国で 120 位 (OECD 諸国中後ろから 4 番目) など、中長期的な産業競争力の強化の視点からは危機的な状況であることが理解できる。[2]

これに対し、創業を促進するための支援については、近年、民間事業者の参入などにより支援事業者は多様化し、充実してきている。従来のベンチャーキャピタルや公的機関の創業支援施設などの創業期に特化して投資する支援に加えて、アクセラレーターと呼ばれる数か月のトレーニングを行うベンチャーキャピタルや登記や各種支援サービスを備えたコワーキングスペース運営する事業者などが登場している。

さらに、少額の資金調達手法として注目されるクラウドファンディングや、だれでも安価に外注サービスが利用できるクラウドソーシングなどのサービスが充実してきている。

一方、品川区は、第3次総合実施計画の中で、課題として創業支援をかかげ、ものづくりや女性中心の支援施設など特色がある創業支援を行っている。そして、2014 年度に産業競争力強化法に基づく認定を受け、2015 年6月品川区大崎にベンチャー企業の支援を行うオフィススペースや3D プリンタによる試作が可能な工房等を備えた品川産業交流支援施設 SHIP が開業した。

他方、産業技術大学院大学では、2014 年度に文部科学省の「高度人材養成のための社会人学び直し大学院プログラム」に採択され、2015 年度に次世代成長産業分野での事業開発・事業改革のための高度人材養成プログラムである事業アーキテクトコースを創設した。

起業をキーワードに、産官学でそれぞれ支援策が実施されている。

2.2 フィールドワークとインタビュー

創業支援プログラムの動向を探るために、今注目されている創業支援施設を訪問した。

多くの創業支援施設には、コワーキングスペース、会議室、カフェスペースなどのハード施設が整備され、さらにインキュベーション・マネージャが常駐し専門家の紹介などソフト面での機能も充実している。また、施設内でワークショップなどをはじめとした各種イベント等入居者に対して様々なサービスが実施されている。

※2015 年7月に KOIL(柏の葉) PoRTAL(渋谷) MONO(お台場・テレコムセンター)などを訪問

次に、表 1 に挙げた今回のプロジェクトで関連する公的機関等を訪問しインタビューを実施し、課題の解決の糸口を探った。

表 1: インタビュー実施実績

	日時	インタビュー訪問の概要
品川区(1回目)	7月7日	区の創業支援体制、大崎を中心とした創業支援施設の状況
東京都中小企業振興公社	7月8日	都の創業支援体制や創業支援施設の状況、詳細
品川ビジネスクラブ	7月16日	産業交流施設(大崎)に関する現況と協力是非の確認
東京都立産業技術研究センター	7月17日	中小企業支援・技術支援状況の聞き取り、設備、施設見学
品川区(2回目)	7月24日	大崎などの創業支援施設について不明点等を再度聞き取り

2.3 可能性の検討

これらの調査を手掛かりとして、さらに起業活動に影響を与える要因の国際比較分析[3]や前述の中小企業白書 2013[2]を参照しながら考察すると、すでに現状で実施されている代表的な創業支援を整理することができた。

図1にあるように、一般的な創業支援施設は、起業後の支援が中心であり、シードアクセラレーターは、ソフト・ハード様々な支援を実施するが支援期間が短い。また、コワーキングスペースは、スペースのシェアの支援が中心であり、ハッカソンなどのイベントは、起業に向けての継続的な支援ではない。その結果、創業支援において足りない部分・強化すべき部分は起業前のハード・ソフトのソフト部分であることが浮かび上がった。

そこで、品川区における製造業が多いという特質を前提に、専門職大学院としてのリソースを活用し提供可能な具体的プログラムの検討を行った。

その結果、本プロジェクトでは「ものづくりデザイナー(後述)」を対象に、既存の創業支援施設で十分に対応できていない2つの課題の解決に焦点を当てるとした。

一つは「起業家が抱える課題が多様で高度なため、創業支援側が相談に十分に応えられない」という点、二つに「技術や知識だけでなく実践経験が必要」という点である。

そして、この2つの課題を解決する創業支援の場として、次章で述べる「品川ものづくりデザイン塾」を開発した。

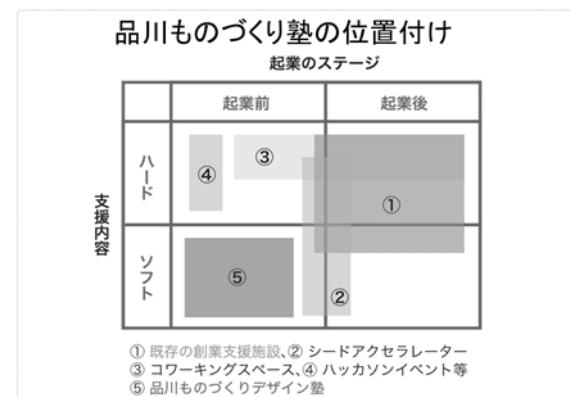


図 1: 位置づけ(起業のステージ)

3 品川ものづくりデザイン塾の開発

3.1 ものづくりデザイナーとは

IT 化・グローバル化といった産業構造の変化によって、デザインという職能のあり方が大きく変化してきている。デザイナーはプロダクト、グラフィックといった既存の分類にとらわれない新たな活躍の場を模索することが求められている。

この拡張するデザイン領域の中で、ものづくりの企画段階からサービスの提供までに至る開発プロセスの全てに関わるデザイナーを「ものづくりデザイナー」と名付けた。さらに、「ものづくりデザイナー」の成功像を、これまでの成功例を基に「製品のアイデア段階から販売までにコミットし創造的で高附加值な製品・サービスを創出し、ローカル・グローバルに継続的にビジネスを続けることができる」と位置付け、「ものづくりデザイナー」を本プロジェクトでの支援対象とした。

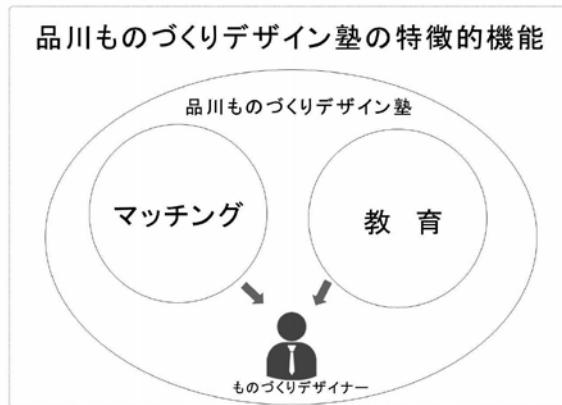
ものづくりデザイナーを支援対象とした理由としては、次の 3つを挙げることができる。第 1 には、ものづくりにおける敷居の低下がある。ものづくりの創業は、多様な技術、設備が必要で、資金や人材が必要であることから、パソコン一台あれば一人でも自宅で創業が可能である IT 分野と比較して、一般的に創業の敷居が高いと考えられていた。しかし、昨今、ものづくりにおいても、3D プリンタ等のデジタルファブリケーションの普及がものづくりの敷居を下げ、小ロット対応の EMS 業者の登場、部品コストの低下、クラウドファンディングの登場等もあり、少なくとも開発段階まではものづくり起業、創業の敷居は下がってきている。第 2 に、日本の既存のものづくり産業への危機感がある。ものづくりには、平成 27 年度経済産業政策の重点の中でも、革新的ものづくり産業創出連携促進事業に 112.0 億円の新規予算がつくなど国も大きく力を入れはじめている。第 3 に、品川区の土地柄を考慮したからである。品川区は、古くからものづくり企業が集積する街として発展し、現在は製造業の本社、またはファブレス企業が多く所在している町である。そして、まさに品川区に位置する産業技術大学院大学のリソースで品川区と連携を図る場として「ものづくりデザイン塾」を運営し、「ものづくりデザイナー」を支援することで、品川区の活性化につなげていきたいと考えたからである。

3.2 品川ものづくりデザイン塾

品川ものづくりデザイン塾は、ものづくりの起業において、起業前の早い段階における既存の創業支援では弱いといわれるソフト支援に特化した、これまでにない新しい創業支援サービスを提供するものである。

対象は、起業アイデアを持つ「ものづくりデザイナー」とし、ものづくりの起業の課題を解決する為の知識・能力を学ぶだけでなく、学びを通じて、起業に対する不安を解消し、創業のスタートラインに立つ事を目的としている。図 2 にあるように、マッチング機能と教育機能の2つの点が大きな特徴的機能

である。



3.2.1 マッチング機能

マッチング機能は、ものづくりデザイナーと品川区、品川ビジネスクラブ、産業技術大学院大学、様々な企業などを結び付けるサービスである。マッチング機能については、ビジネスエクスプローラーという存在を、ものづくりデザイナーの相談役として設置することが大きな特徴である。ビジネスエクスプローラーとは、特定の分野に高い専門性を持ち、重要な関係各所の情報に精通し、デザイン、技術、経営等多種の専門領域にフックをもち、ものづくりデザイナーの相談にきめ細やかにファシリテートできる人達で、チームとして位置づけている。したがって、インキュベーターオフィスにおけるインキュベーション・マネージャとは専門性及びチームで動くという点から大きく異なる存在である。課題が多様で高度なため、インキュベーション・マネージャが相談に十分に応えられないという課題を、この特徴的なマッチングサービスで解決していくことになる。ビジネスエクスプローラーについての想定される人材像は、デビッドマイスターの位置づける「高い専門性と、関係各所の情報に精通する存在」[4]であり、フィリップコトナーの位置づける「イノベーションを起こす A-F モデルによるプラウザリテーター」[5]に近い人材をさす。

なお、ビジネスエクスプローラーには本学の修了生を想定している。本学の修了生像は、ものづくりに関する普遍的な知見に精通し、技術マネジメント能力と、デザインマネジメント能力を融合し、新しい製品やサービスを創造できる高度なデジタルデザインスキルを持ったプロデューサ型人材であり、私たちの考えるビジネスエクスプローラーに近い人材といえる。

3.2.2 教育機能

教育機能としての大きな特徴は 2 つある。1 つは、インタラクティブな教育である。ものづくり起業という明確な目標を持って集まるものづくりデザイナーに対し、多様で高度な課題に対応するため PBL 形式の学びと、協同学修による社会

人に最適な生産性の高い学びを提供する。もう一つは、多様な人材による協創環境である。多様な経験、知識、能力を持つ人材を集めることで、ブレークスルーを誘発する環境とよりイノベーティブな解を提供する。これまでの創業支援はどうちらかというと起業セミナーなど知識や技能の一方通行の移転となっている。ところが、ものづくり起業においては、課題が多様で高度であり、実践経験が必要なことから、支援側が起業家のニーズを満たせなくなっているのではないかと考えている。協同学修等の先行研究などから参加者同士によるインタラクティブな教育で解決が可能でありコミュニティベースの「品川ものづくり塾」の支援が重要である。

4 結果

私たちは本プロジェクトで品川区における「ものづくりデザイナー」を起業前のソフト部分で支援する「品川ものづくり塾」を開発した。今回のプロジェクトでは、「品川ものづくり塾」の運営まではいかなかったものの今後、本学と品川区・品川区の中小企業・品川ビジネスクラブ・の教職員及び AIIT 社長会などと連携を図りつつ取り組んでいくべきであると考える。なお、AIIT 社長会は会員相互の親睦、本学の発展への寄与を目的として本学の在学生・修了生のうち企業経営者等で構成された組織であり、会員相互のビジネス交流、本学学生のキャリア開発・起業支援等などの活動を行っている。

なお、本学と品川区の連携の一つとして 2015 年 1 月品川区ものづくり・経営支援課を訪問し、今回の取組は、品川区は製造業が多いことからも総論では御賛成いただいた。「品川ものづくり塾」の具体的な第一歩として、起業についての講演会・マッチングの実施と提案を行った。そして、2015 年 7 月 12 日、品川産業支援交流施設 SHIP において AIIT 起業塾として起業家の講演およびパネルディスカッション等を実施することができた。

5 考察

既存の創業支援の多くは、起業後を想定したものであり、一部行われている起業前の支援においては、起業セミナーのような一般的なものが多い。このような状況の要因の一つは、創業支援側に専門的な知識が集積された場や人材がほとんどないということにある。しかしながら、多種多様な知見の吸収、共創環境、専門家や協力企業のマッチングなど起業前の支援環境が整備されていれば、厳しい競争環境の下で、起業に結び付きやすくなる。これらの環境を整備できる多様な人材等のリソースを保有しているのが、専門職大学院である。本学は、創造技術専攻といふものづくりの学科をもつ大学院であり、品川区において製造業が多いことなどの要因から「ものづくりデザイナー」の支援としての「ものづくりデザイン塾」を開発することができた。日本の産業競争力強化のた

めにも専門職大学院が積極的に官民をつなげていく役割を果たしていくことが必要ではないかと考える。

6 おわりに

最後に本プロジェクトを実施するにあたり、品川区、品川ビジネスクラブ、東京都中小企業公社をはじめ多くの方にご協力をいただいた。ご協力いただいた方々に感謝を申し上げる。

参考文献

- [1] 「日本再興戦略」改訂 2014 首相官邸 日本経済再生総合事務局 p.p5-6 (visited on 2015) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/honbunJP.pdf>
- [2] 中小企業白書 2013 P.P186-190
- [3] 起業活動に影響を与える要因の国際比較分析 独立行政法人経済産業研究所 P.P1-9 (visited on 2015) <http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/13j015.pdf>
- [4] David H. Maister, True Professionalism, Free Press, P.120,2000
- [5] Philip Kotler and Fernando Trias de Bes ,コトラーのイノベーション・マーケティング,翔泳社,PP.74-78,2011

概説:システムズエンジニアリング —グローバルな実践力のある人材輩出に向けて—

嶋 津 恵 子*

Systems Engineering Overview - For Global Practical Engineering Education-

Keiko Shimazu*

Abstract

This paper gives an outline about Systems Engineering, based on ISO/IEC15288. The systems engineering is considered as concurrent engineering and/or synthesis engineering. In this paper, we provide comprehensive and concise explanation about the essences of systems engineering for getting readers' intuitive understanding, as well as we introduce "systems engineering handbook" published by INCOSE (the International Council on Systems Engineering), Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) and Systems Engineering competency guide book. Furthermore, this paper reports a result of systems engineering hands-on education executed for graduate students during 4 years, 8 semesters.

Keywords: Vee model, Systems Architecture, Systems Design, Systems Life Cycle Model, Integration and Verification

1 はじめに

現在の日本には、原子力や地震学・気象学等の研究だけでなく社会政策の分野でも、一流の専門家が揃っている。それでも拘わらず、2011年3月11日に発生した未曾有の大震災とそれによって引き起こされた大津波による甚大な被害から、まだ完全には復興できていない状態だと言える。また、産業界に目を転じると、バブル期まで世界規模で市場を席巻していた領域でもその趨勢は消え、産業の牽引役である通信機器に至ってはガラパゴス化が指摘され、慌てて世界の流れに揃えようとしている。

さらに広い視野で世界を眺めると、現在、地球上で発生している多くの問題が、同じ特徴を持っていることに注目する必要がある。すなわち、大規模化・複雑化・ネットワーク化であり、これにより問題が複合的になり、解決を困難にしていると言える。このことが、単一の高度な専門性を有している我々が、いくら長い時間を費やしても解決に到達できない最大の理由だと考えられる。

このようなグローバル環境の中で、日本は、今、何によって

世界に貢献すべきなのか、問い合わせている。そして高等教育機関は、この問い合わせに実践力で応えることのできる高度な知識とスキルを持った人材の輩出が求められていると言える。

2 システムズエンジニアリング概観

前章で述べた課題に対し、我々は、INCOSE (The International Council on Systems Engineering)が提唱するISO/IEC 12588 のシステムズエンジニアリング・ライフサイクル・プロセス標準に準拠した、工学フレーワークの知識と実践的利用技術の体系的教育提供を提案する[1]。

ISO/IEC 15288 は、システムのライフサイクルの全フェーズに渡り、米国国防省や欧米の航空宇宙局からベストプラクティスを収集し、それらに産業界に展開した結果を反映し、一般に利用できるモデルとフレームワークとして整理したシステム構築手法である。1959年に軍事産業標準として用意され、1990年代に一般産業用標準に拡張された。これ以降、これを基盤としたソフトウェア工学標準(ISO/IEC 12207)や要求工学標準(ISO/IEC 29148)など、システムを成功裏に開発するための標準が網羅的に提供されている[2,3]。特に、シス

Received on September 30, 2015

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

テム・アーキテクチャの基本的なデザイン方法となる ISO/IEC 42010 (architecture description) は、システムの基盤構造特定の際に、欧米豪の産業界で広く活用されている。

ISO/IEC 15288 が提供する工学フレームワークの本質は、対象とする問題をシステムの構築と導入によって解決することを遺漏なく進めることにある。これを実現するために、ライフサイクルの初期から終焉まで、(部分最適化だけでなく)全体最適化を意識して工学的作業を行うよう、コンカレントエンジニアリングの実践を前提としている(5 章)。視点や粒度の異なる作業プロセス群を同時に実施しながら、それらの最適な関係性を保つ(全体最適化の実現)ことで、合理的なシステム設計と実装を実現することを目指している。これが、工学に限らず複雑な要素が絡み合う社会の問題解決に適応可能ではないかと考えられる理由である。

3 SEP 資格取得数によるシステムズエンジニアリングの国際的広がり

CSEP (Certified Systems Engineering Professionals) は、SE の実務家としての一定レベルの知識と経験を持つことを、国際的に公式承認することを目的に、INCOSE が制定した認定制度である。国内や地域の資格や認定制度は、その範囲内での転職や異動の際に、有効な経歴証明になる。一方、その範囲を超えると保有資格が効果を発揮しないことがある。これに対し、CSEP は、国と地域を超えて SE 実践力があることを認定する制度である。

INCOSE は、1995 年に世界共通の SE 標準を提案し、2004 年 8 月にシステムエンジニア認定要件を制定した。この要件を SE に必要な知識として整理し体系化したものが、INCOSE Systems Engineering handbook であり、CSEP 受験者の教材としても使われている[4]。

3.1 認証タイプ

CSEP には 3 種類あり、それぞれに対しアメリカ国防省専用 SE 知識を認定する特種タイプがある。前者は、ASEP (Associate Systems Engineering Professionals) と CSEP と、そして ESEP (Expert Systems Engineering Professionals) であり、後者はそれぞれの名称に-Acq が付加される。すべてに共通した受験に必要な要件は、4 年生大学の卒業である。

CSEP と ESEP は、実務家を対象としており実践経験が必須である。一方 ASEP は、段階的に認定を受けたい技術者のために用意されているものであり、実務経験は問われない。書類試験は CSEP と同一であり、ASEP 認定後、必要な SE 実務経験を提出することで CSEP に昇格することができる。

CSEP の認定を獲得するには、5 年以上の何等かの SE 実務経験を有し、うち 3 年以上の経験に関する事実が証

明されることが求められる。また、INCOSE が承認した SE 教育コース受講による UDP (Professional Development Unit) 単位の取得も求められる。その上で、システムズエンジニアリングの実践経験を証する書類審査に合格すると認定証が発行される。必要な実務経験は、要求工学やリスク・マネジメント、ベースライン・マネジメントなど SE 活動に重要な領域のいずれかであり、ソフトウェア作成などのコンポーネント・エンジニアリングもその中の一つとして挙げられている。

ESEP は、国際的な SE 業務を先導するに値する SE 知識と実務経験を認定するものである。25 年 (CSEP 有資格者は 20 年) 以上の SE 実務経験と、そのうち 5 年以上が事実であることが証明される必要がある。書類試験は課されず、複数試験官による口頭試問の結果で判定される。

3.2 認証保有者の傾向

INCOSE が発行する SE 認証の全保有者は、インターネット上の CSEP 情報専用ページに 2012 年まで掲載されていた。我々は、この情報を元に国籍別、また認定タイプ別に集計を行った。対象情報は、日本時間の 2011 年 9 月 17 日現在のものである。

図 1 に示した 3 つの表は、ASEP、CSEP そして ESEP の国籍別の認定者の集計結果である。いずれも米国籍が最多になっている。CSEP 認定保有者は、EU 諸国で合計しても 110 人であり、米国籍保有者のおよそ 3 分の 1 である。アジアでは、3 つの認定ともインド国籍の保有者が最も多く、2005 年 1 名、2008 年 4 名、2009 年 2 名、2010 年 32 名、2011 年 1 名と推移している。日本人の認定者は、ASEP と ESEP にそれぞれ 1 名ずつである。韓国とイスラエルは、ACEP と ESEP の保有者はいないが、CSEP は一人ずつ存在する。

次に、認定者の国籍を、“米国・カナダ”、“EU”、“その他”に分け、認定者数の増加傾向を概観した(図 2)。“その他”には、米国、カナダ、EU 諸国以外の、アジアのすべての国と中東とアフリカ諸国、それにオーストラリアを含めた。図 2 は認定者の累積人数で、図 3 は増加率である。“米国・カナダ”的認定者数は、2004 年以降、一様に増加している。“EU”と“その他”的認定数は、2009 年以降それまでとは異なる伸び方を示している。

一方、増加率は、2006 年以降“米国・カナダ”は下降している。“EU”的認定者の増加率は 2007 年から急増し、2009 年には伸び率 450% に達している。“その他”的認定者は、増加率の一貫した傾向はみられないが、2008 年と 2010 年に、急激な伸びを示している。

また、“米国・カナダ”的認定者で、軍専用の資格タイプ (-Acq) の認定の割合を経年で追うと、2008 年の 23.9% をピークに下降し 2011 年は 5.9% であった(図 4 の破線)。

また、CSEP 認定者のうち、“EU”と“その他”的合計人数が占める割合を年ごとに集計し、全取得者に占める割合を求める図 4 の実線のとおりになる。2006 年以降、2010 年まで増加し、2011 年の集計時点では 2009 年とほぼ同じ割合を示した。

3.3 インドと韓国の特徴的な動向

アジアで最も認定数の多いインドの傾向は、注目に値する。特に IT 業界では、これまで日本が指導的役割を担ってきた分野への、インド系の技術者の進出が目立つ。CSEP 認定取得に注力している様子は、彼らの国際競争力向上への期待の現れだと推察できる。

また韓国は CSEP 認定者数こそほとんどないが、INCOSE に準拠した韓国版システムエンジニアリング標準(KCOSE)をすでに制定している[5]。INCOSE が発行する標準手法解説書である SE Handbook を世界に先駆け母国語に翻訳したのも韓国の IT 技術者集団だと言われている。アジア版システムエンジニアリング国際会議(APCOSE: Asia-Pacific Conference on Systems Engineering)は、2012 年に続き 2016 年も韓国で開催される。

この両国は、IT 産業においてこれまで日本が優位を誇っていた分野に急速に勢力を伸ばしてきており、SCEP 認定の動向は、今後も注目すべきであろう。

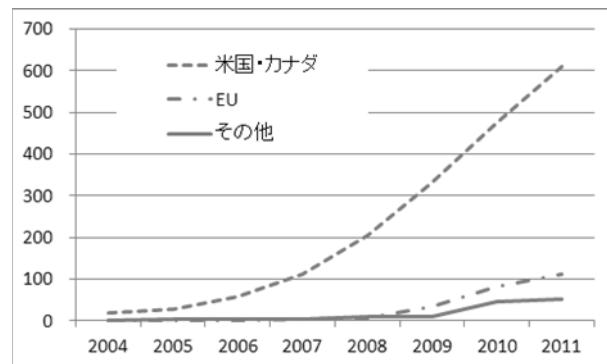


図 2 地域別 CSEP 認定者累積数

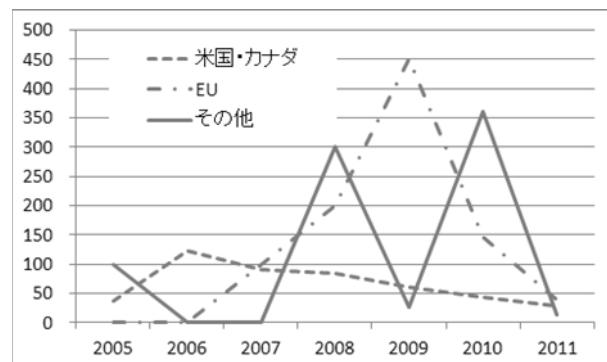


図 3 地域別 CSEP 認定者増加率

ACEP		CSEP		ESEP	
国籍	人数	国籍	人数	国籍	人数
AUSTRALIA	1	FINLAND	1	AUSTRALIA	1
CANADA	1	ISRAEL	1	FRANCE	1
FRANCE	1	KOREA	1	JAPAN	1
JAPAN	1	NORWAY	1	NORWAY	1
MEXICO	1	VIET NAM	1	UNITED KINGDOM	1
NORWAY	1	AUSTRALIA	3	USA	54
TURKEY	1	NETHERLANDS	3	うち-Acq- 7	
UNITED KINGDOM	1	SOUTH AFRICA	5		
SWEDEN	2	CANADA	6		
SOUTH AFRICA	3	SPAIN	12		
GERMANY	5	UNITED KINGDOM	12		
INDIA	21	SWEDEN	15		
USA	97	FRANCE	22		
うち-Acq 2		INDIA	41		
		GERMANY	44		
		USA	605		
		うち-Acq 87			

*うち-Acq*は、
国籍USAの認定者の中で
米国国防省用の試験を受け、
承認された数

図 1 SEP 認定国別保有者 (2011 年)

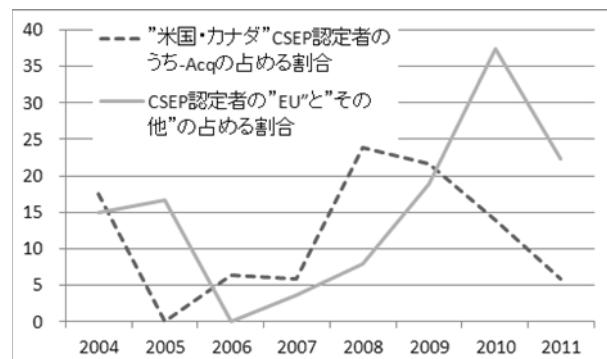


図 4 軍専用認定(-Acq)の割合と
“米国・カナダ”以外の認定者の割合

4 認定保有者のアドバンテージ

2013 年に開催された INCOSE 世界大会のチュートリアルでの説明によると、CSEP の認定を持つと、国や地域、また異なる産業界を横断しても、SE に関する一定の能力を有することが証明されてきている[6]。また、国を横断して人材が収集されたプロジェクトにおいて、互いに知識領域を推定するのに役立つ。さらに、SE 作業の作業範囲や名称が共通化され

るため、チームメンバー間での準備作業(特にアクティビティ配置や用語統一)に要する時間を短縮することもできる。

特に欧米では、国防省ソフトウェア・エンジニアリング部門、国土安全保障省、連邦航空局、空軍、ロッキード・マーティン、カルフォルニア交通局、ブーズ・アレン・ハミルトン、マイター、欧州航空宇宙防衛会社らが、CSEP の認定取得を奨励している。また CNN や資格取得に関するジャーナル”Certification Magazine”は、注目すべき認定として記事を取り上げている。さらに SE 学科で名高いスティーブン工科大学とテキサス大学と、DAU (Defense Acquisition University) では、認証付与プログラムを開始し、OMG (The Object Management Group) と IES (the institute of engineers, Singapore) も同様のプログラム提供に動き出している。

5 システムズエンジニアリングの本質

5.1 コンカレントエンジニアリングの側面

システムエンジニアリングは、その知識体系 (SEBoK: systems Engineering Body of Knowledge), で説明されているように、領域や担当の異なる専門家たちが、それぞれの英知を最大限活用し、成功裏にシステムを構築する方法論であり、その本質は、対象とする問題をシステムの構築と導入によって解決することを遺漏なく進めることにある。これを実現するために、ライフサイクルの初期から終焉まで、(部分最適化だけでなく)全体的視点による最適化(holistically)を意識して工学的作業を行うよう、並列作業(concurrently)の実践を前提としている。一般に、コンカレントエンジニアリングと称する手法であるが、システムズエンジニアリングでは、これを実施するシステム構築モデルとして V 字型モデル(以降“V モデル”と表記)を採用している。これは、直感的には、滝型モデルとスパイラルアップモデルの利点を組み合わせたシステム構築方法である[7]。

滝型モデルに代表されるシステム開発は、利用者や出資者の意図や期待に詳しい担当者(所謂「上流担当者」)が、ステークホルダのニーズを取りまとめ、それを受け取った外部仕様設計者がシステムのアウトラインをデザインし、さらに詳細設計者がその内側を構成する各要素の構造を検討し、最終的に実装方法を特定する。この方法は、マネジメントしやすい一方で、より前段階で不備が発生し、より後段階での事実が発見させると、修復に計画を大きく超えるリソースが必要になる課題がある。そこで、これを回避するために、スパイラルアップモデルでは、滝型モデルの全段階を 4 回繰り返す(recursion)ことで、当初から修正リソースを組み込もうとした。ところが、4 回繰り返してもなお、全体最適化が実現されないことが多発した。

システムズエンジニアリングでは、V モデル型開発を導入

し、先行するこれら 2 つのモデルの利点を踏襲し、かつ全体最適化を合理的に実現することを目指している。具体的には、領域や担当の異なる作業を同時に開始し、重要なマイルポスト(D.G.: Decision Gate)をライフサイクル中のフェーズ移行時ごとに用意し、並行して進められている作業間における全体最適性を確認する。このとき、全体最適性を確認する視点が、一般には、上位概念から始まり、時系列に従い、回数を重ねるごとに最小構成物の作成方法の視点へと粒度が下がる。この並びが V 字型になることから、モデルの名称として使われている(図 5)。V 字型に並ぶマイルポストでの作業をシステムズエンジニアリングのコア(core)と呼び、これを横断・並行して進行する各プロセス群での作業をオフ・コア(off core)と呼ぶ[8]。

V 字型の左側に相当する期間の各プロセス群の作業は、専門や担当による視点は異なるが、いずれも、対象システムお実現するための必要な構成物の特定である。より具体的には、システムを構成するのに最適な構成要素(コンポネントとインターフェースとコンポネント同士の関係)の検討と考案の作業である。視点の異なるプロセス群が、それぞれこの作業を同時に実施し、相互に矛盾なく整備できた最上位の構造をアーキテクチャとして定めている。つまり、システムズ・アーキテクチャは、特定の視点に従った 1 種類(たとえば機能や物理等)を作成するものではなく、複数の異なる視点からデザインされ、なおかつそれらの間で過不足などの矛盾が発生しない状態を指す。

以上が、システムズエンジニアリングの目指す全体最適化の本質であり、コンカレントエンジニアリングが必要な理由でもある。図 5 に示す V 字の左側に相当する期間に、それぞれのプロセス群は、アーキテクチャ決定後、D.G.で全体最適化状況を審査しながら、実装直前の最小単位(LCI: Lowest Configuration Items)のレベルに到達するまで、構成要素の分解を繰り返す(iteration)。こうして、最小単位に分解された結果が、所謂システム仕様として実装(システムズエンジニアリングでは”統合”)作業に用いられる。

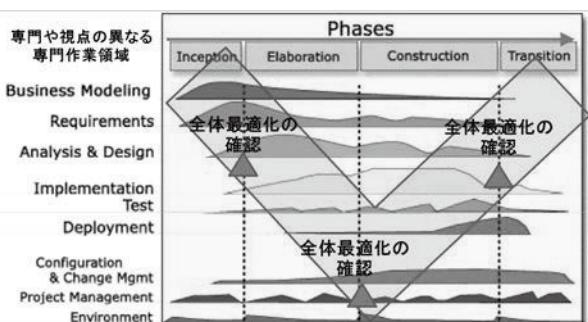


図5 並列に進む各領域の作業とその統合

5.2 統合工学の側面

一方、図 5 に示す V 字の右側に相当する期間では、各プ

ロセス群の作業で特定された、分解結果に正確に従って、それらを順に統合していく。部分最適と全体最適が実現されることは、すでに V 字の左側のフェーズ移行ごとに確認されているので、右側の期間はこの決定(仕様)どおりに正しく統合することが主たる作業となる。従って、システムズエンジニアリングでは、この作業を“integration and verification”とし、徹底した検証のもとに進めるフレームワークが紹介されている。

本章の続く節で示すシステムズエンジニアリング・ハンドブック(systems engineering handbook)と、知識体系(SEBoK: Systems Engineering Body of Knowledge)は、すべての ISO/IEC15288 を実践導入する目的で制作されており、コンカレントエンジニアリングと統合工学を前提とした説明が展開されている。

5.3 システムズエンジニアリング・ハンドブック

システムズエンジニアリング・ハンドブック(SEハンドブック)は、ISO/IEC15288 で示される全ライフサイクルに渡るシステムズエンジニアリング・プロセス群ごとに、十分な実施に必要な工学作業(activity)を解説するものであり、INCOSE が発行している。

2015 年の ISO/IEC15288 改訂の内容に合わせて、第 4 版が公開されている[4]。

これによるシステムのライフサイクルを構成する標準的な段階(フェーズの集合)は、Concept, Development, Production, Utilization, Support そして Retirement である。このうち Utilization, Support の stage は同じ期間に並行して実施される。また、ライフサイクルをとおして並行して実施される作業プロセス群の中で特に技術プロセス群(Technical Processes)として、14 のプロセスが示されている(図 6)。このうち、4 つ目の Architecture Definition Process と 5 つ目の Design Definition Process が、5.1 節で述べた アーキテクチャの特定と、最小構成単位のレベルまでの分解を指す。そして、8 つ目の Integration Process と 9 つ目の Verification Process が、5.2 節で述べた“integration and verification”的作業に相当する。

- 1 Business or Mission Analysis Process
- 2 Stakeholder Needs and Requirements Definition Process
- 3 System Requirements Definition Process
- 4 Architecture Definition Process
- 5 Design Definition Process
- 6 System Analysis Process
- 7 Implementation Process
- 8 Integration Process
- 9 Verification Process
- 10 Transition Process
- 11 Validation Process
- 12 Operation Process
- 13 Maintenance Process
- 14 Disposal Process

図 6 システムズエンジニアリング標準で示されている
技術プロセス群

5.4 システムズエンジニアリングの知識体系とコンピテンシ

システムズエンジニアリングの知識体系(SEBoK: Systems Engineering Body of Knowledge)は、7 つのパートで構成される(表 1)[9]。またコンピテンシは、17 の知識領域(表 2)で、4 段階でアセス(表 3)する[10]。

特に、SEBoK の第 7 パートのシステムズエンジニアリングの導入事例紹介は注目に値する。30 の知識項目を取り上げ、NASA をはじめ GPS(Global Positioning system)開発、および医療工学分野などの導入方法と実施経過と結果が紹介されている。これらから、欧米豪の各産業界で広く導入されていることを読み解くことができる。

表 1 SEBoK 構成内容

第 1 パート	SEBoK's scope and structure, including its hierarchy of parts, knowledge areas, and topics
第 2 パート	Foundations of Systems Engineering
第 3 パート	Systems Engineering and Management
第 4 パート	Applications of Systems Engineering
第 5 パート	Enabling Systems Engineering
第 6 パート	Related Disciplines
第 7 パート	SE Implementation Examples

表 2 システムズエンジニアリング・コンピテンシ一覧

知識領域 1	Systems Concept
知識領域 2	Super-system capability issues
知識領域 3	Enterprise and technology environment
知識領域 4	Determine and manage

	stakeholder requirements
知識領域 5	Architectural design
知識領域 6	Concept generation
知識領域 7	Design for
知識領域 8	Functional analysis
知識領域 9	Interface Management
知識領域 10	Maintaining Design Integrity
知識領域 11	Modelling and Simulation
知識領域 12	Select Preferred Solution
知識領域 13	System Robustness
知識領域 14	Systems Integration and Verification
知識領域 15	Validation
知識領域 16	Transition to Operation
知識領域 17	Enterprise Integration
知識領域 18	Integration of specialisms
知識領域 19	Lifecycle process definition
知識領域 20	Planning, monitoring and controlling

表 3 システムズエンジニアリング・コンピテンシの4レベル

コンピテンシのレベル	実証されるべきこと
Awareness	Learning and Development Tell me about it (overview)
Supervised Practitioner	Certified Education Tell me about it (can explain and understands why) Experience of doing (on an training course or as part of a team)
Practitioner	Experience of doing – Relevant and Recent (last 5 years) Objective Evidence
Expert	Experience of doing – Relevant and Recent (last 5 years) Objective Evidence Peer References /Assessment

6 日本での実践と教育

前章までに示したとおり、欧米豪をシステムズエンジニアリング先導国とし、アジアでもその実践導入と教育が広がりつつあるシステムズエンジニアリングであるが、国内の状況は、同様の傾向はまだ見えていない。

特に教育の現場では、ISO/IEC 15288 を表明した教育と

研究を行う学科や研究科はほとんど存在しない。このため、アジアや南太平洋諸国のシステムズエンジニアリングを志す学生達は、現在、欧米豪(もしくはシンガポール国立大学)に入学を希望する

これに対し、システムズエンジニアリングは、日本人の気質に適合しにくいという指摘もある。一方、我々の教育実績から別の結果が獲得されている[11]。2009年から2011年に渡り、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科で、ISO/IEC 15288 の実習の授業を行った。この初回と最終回に、習得コンピテンシを特定し、レーダーチャート上に示したのが図 7 である。中央に集まっている点線群は実習の授業の初回のそれであり、これは座学によるシステムズエンジニアリングの授業を履修した直後の状態を示している。そして、外側に広がっている実線によるものは実習の授業の最終回のものある。中央に集まっているチャートが、2種類(より中央に集まっているものと、そうでないもの)に分かれていることに注目されたい。前者が日本人のみで構成された春学期の座学授業終了直後(実習授業初回)であり、後者は外国人に対して英語で開講した秋学期の同じタイミングのものを指す。

座学授業受講終了時点で、獲得コンピテンシに差が出るのは、留学生らが出身国の大工系大学で、すでに学習をしていることによるものだと推察した。日本人履修生にとって、未経験の分野であり、座学授業の履修だけでは高いコンピテンシを目指すのは困難であると推察した。一方、実習授業の最終回には、日本人履修生のコンピテンシが飛躍的に躍進している。そして、外国人履修生と日本人履修生のコンピテンシに、座学授業履修後(実習授業初回)に認められた大きな開きは見られない。これらのことから、決して日本人工学系学生が、この学問に対する資質が低いのではなく、体系的な学習の場が与えられることで、着実にこの領域の知識と実践力を見つけさせることができると見える。

図 7 システムズエンジニアリング教育によるコンピテンシの変化¹

¹ コンピテンシの変化を測ることが目的であったため、知識領域名は、2008年のものを継続して利用した。

7 まとめにかえて

2012年に、米国工学部系大学が重点的に取り組んできた学問領域の変遷を過去100年に渡り整理した興味深い論文がIEEEから発表された。第二次世界大戦の経験を反映した科学重視を最初の転換点とし、工学教育の主流に5回の変化があったとしている。特に、最近の転換が、社会学的視点へのあり、社会学と工学分野の融合が必要であると主張されていた。

ISO/IEC15288は、2015年に改訂され、思考法やビジネス分析手法を含し、まさしく社会学の視点を融合させた標準となっている。講義方式と実習方式のシステムズエンジニアリングを教育する体制を整備することで、実践力醸成を伴ったISO/IEC 15288の教育提供となると考える。そして、これにより、世界中の産業の現場で活躍するに人材を輩出するアジアの工学系高等教育機関整備の一翼を担うことに貢献すると確信する。

参考文献

- [1] INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC/IEEE 15288, 2015-01-15, Systems and software engineering – System life cycle processes, 2015
- [2] INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC/IEEE 12207, 2008-02-11, Systems and software engineering – Software life cycle processes, 2008
- [3] INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC/IEEE 29148, 2011-12-01, Systems and software engineering – Requirement engineering, 2011
- [4] D. Walden etc., “Systems Engineering Handbook, A guide for system life cycle processes and activities,” Fourth Edition
INCOSE-TP-2003-02-04, 2015 (2010).
- [5] Korean Council on Systems Engineering,
http://kcose.org/certification/certi_02.htm
- [6] The International Professional Practice Partnership (IP3), Interview, Dr. Art Pyster
Distinguished Research Professor Stevens Institute,
<http://www.ipthree.org/interviews/135-artpyster>
- [7] K. Forsberg etc., Visualizing Project Management, Charts and Frameworks for Mastering Complex Systems, Third Edition, pp. 245-246, John Wiley & Sons. 2005.
- [8] K. Forsberg etc., Visualizing Project Management, Charts and Frameworks for Mastering Complex Systems , Third Edition, pp. 243-244, John Wiley & Sons. 2005.
- [9] R. Adcock etc., Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v1.4, June 29, 2015
- [10] INCOSE UK Systems Engineering Competencies Working Group, Systems Engineering Competencies Framework, INCOSE-TP-2010-003, Version/Revision:3, January 2010
- [11] Shimazu, Keiko; Ohkami, Yoshiaki. “Systems Engineering Education for Inexperienced Students by Providing Hand-on Practices”, Science Publishing Group, Science Journal of Education and Technology, pp.64-71, 2013

フルサイズ(実物大)デザインの開発及び設備レスの下での フルサイズクレイモデルの製作手法研究

小山 登*・村田桂太*・島崎佑介*・須藤定*・大林弘明*
田中振一*・孟楠*

Design Development of Full Size Design and Developing Full Size Clay Model without Facilities and Equipment for Full Size Model

Noboru Koyama*, Keita Murata*, Yusuke Shimazaki*, Sadamu Sudo*
Hiroaki Oobayashi*, Shinichi Tanaka* and Nan Mou*

Abstract

This paper summarizes the results of a project by research funds, which was given at the Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT) in the academic year of 2014. The project theme is based on the development of full size design for “Omotenashi (Hospitality) vehicle for Tokyo Olimpic 2020” of PBL outcome. It called that the study for developing full size design process through making of full size clay model without facilities and equipment. And also, it is trial for students to learning a professional skill process through making full size clay model.

Keywords: Full size design development, Full size clay model, Tokyo Olympic 2020

1 はじめに

今回の研究テーマは、平成 26 年度の PBL プロジェクトとして、実在感と、よりアピール性の高いモビリティのデザインを提案するために、フルサイズ(実物大)デザイン開発に取り組み、フルサイズモデルの製作用設備の無い(設備レス)状況下で、フルサイズのクレイモデルの製作を実現したモデル製作プロセスの手法を研究成果として取りまとめたものであり、簡易にアピール性の高いフルサイズモデル化の新しい手法としての意義は高い。

実際、日本をはじめ世界中のデザイン学校(大学や専門学校など)でフルサイズの設備を持つ学校はわずかで、しかも設備のある学校さえ、フルサイズのモデルを製作できる環境(指導者や費用面)の学校はほとんどない現状があるが、この状況で、以下の学生たちと共に、フルサイズモデルの製作をすることを決め完成させた。

研究代表者： 小山登(プロデュース&デザイン担当)

研究協力者： 村田桂太(設計担当)

学生協力者： 島崎佑介(デザイン担当)

須藤定(デザイン映像・動画担当)

大林弘明(設計・製作担当)

田中振一(設計・写真・動画担当)

孟楠(デザイン・設計・製作担当)

次に、フルサイズデザインの開発として「東京オリンピック 2020 のスタッフ用モビリティ開発」を実施したが、詳しくは2章で紹介する。

2 プロジェクトの概要

2.1 おもてなしモビリティ in 東京オリンピック 2020

今回、フルサイズデザインとして開発したのは、2020 年の東京オリンピックで世界各国から来日する観客・選手に対し「おもてなしの心」を体感して戴く小型モビリティ「おもてなしモビリティ in 東京オリンピック 2020」のデザイン開発を実施した。開発を始める前に東京都の担当者にヒヤリングを実施した結果、主に以下の二つがポイントとなることが分かった。一つ目は ITS やデジタルサイネージを活用した情報提供、二つ目はオリンピックの為に新たな道路インフラなどは建設せずに「専用車線」等での対応とのことでした。

これをもとに、オリンピック会場が予定されているヘリテージゾーン(代々木周辺)と東京ベイゾーン(お台場)の内、後者である東京ベイゾーンの現地調査を実施した。その結果、会場が海に囲まれているために橋の活用が重要になること。また、会場内はフラットな地形であるため見通しが良いこととコンパクトに動き回れるモビリティが有効であるということが挙

Received on September 30, 2015

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

げられた。(参照:図1,2)



図1: 東京ベイゾーン風景



図2: 現状のブリッジ

そしてチーム全員で議論した結果、次の二つの方向のデザインをすることに決定した。

① 移動支援モビリティ[T(Transport)型モビリティ]

競技会場間の選手及び関係者に対するスムーズな移動をサポートするモビリティで橋の側面を走行することができる。オリンピック関係者をスムーズに移動させるための4人乗りで、サイズは全長3400mm、全幅1480mm、全高2000mm以下となっている。(参照: 図3)



図3: T型モビリティ

② サービス支援モビリティ[S(Service)型モビリティ]

競技会場周辺での観客に対するヘルプデスク的サポートをするモビリティで、会場周辺での支援を考慮した二人乗りとなっている。サイドウインドウの全面に交通情報や会場案内などの情報を表示し走行することができ、駐車時には、視認性を高めるために車高を上げ

視認性を高める変形もする。車両サイズは、全長2580mm、全幅1300mm、全高1580mmとなっている。(参照: 図4~7)

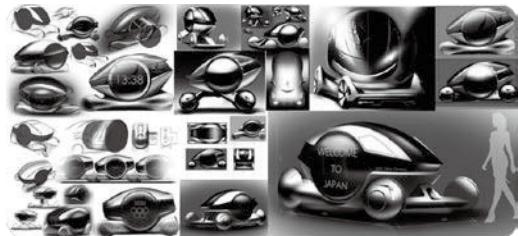


図4: S型のアイデア展開



図5: S型モビリティのスケッチ



図6: S型モビリティの走行時車高(CG)

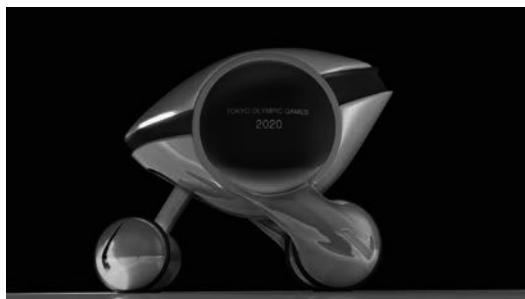


図7: S型モビリティ駐車時車高(CG)

次に、この二つもモビリティのフルサイズのモデル化については、学内の設備や製作日程などを考慮しS型のモビリティをフルサイズモデルとして製作することにした。

設備レスでのフルサイズモデル製作については、3章にて詳しく紹介する。

3 設備レスでのモデル開発

3.1 フルサイズモデル製作用の設備と期間について

本学をはじめ多くのデザイン学校に設置されているモデル製作用の設備やツールは、図8にあるようなスケールモデル用の簡易定盤とX-Y-Z軸の点で座標を特定する簡易レイアウトマシンなどからなるもので、比較的安価で操作もある程度の訓練があればデザイナーでも十分活用でき、比較的品質の高いスケールモデルの製作に寄与できるものである。



図 8: スケールモデルの製作用設備

一方、自動車メーカーなどに装備されているものが図9のようなフルサイズモデル製作用の4m×8mの定盤とレイアウトマシン複数台であり、(これはあくまでも基本的な設備で、実際にはフルサイズの3次元測定機や加工機などたくさんの設備を有している)これらの設備を使い約3ヶ月の開発期間で仕上げている。



図 9: フルサイズモデルの製作用設備

3.2 フルサイズ設備レスでのフルサイズモデル製作

本来、フルサイズモデルを制作するためには、フルサイズモデル製作用の設備が必要であるが、学内にはない。しかし、よりアピール性の高い提案にするためには、本来、モビリティと言うものは、実物大での提案がふさわしい。今回の研究では、設備レスでのフルサイズクレイモデルを創り方の工夫とモデルの簡素化、軽量化などにより製作することとした。

3.3 プロセス(Step 1)

まず始めに、製作するデザインができるだけシンプルかつ魅力的な形状へと練り上げることから始めた。

次に、クレイの量を減らし軽量化するため、通常は、形状修正も見込んで50mm以上クレイを盛るが、今回は5mm程度とするため芯となるスタイロフォームの形状をCAD上で出来る限り正確に設計することにした。(参照: 図10~13)

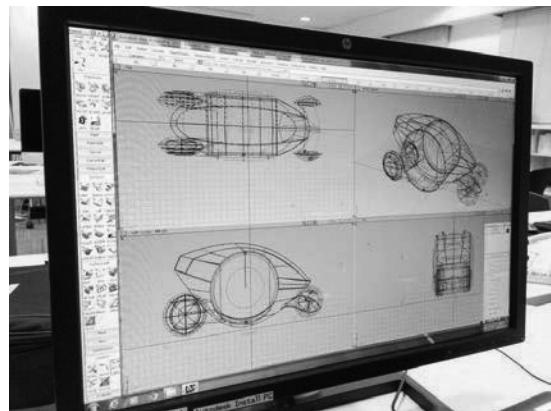


図 10: 最終形状にできるだけ近づけた CAD データ

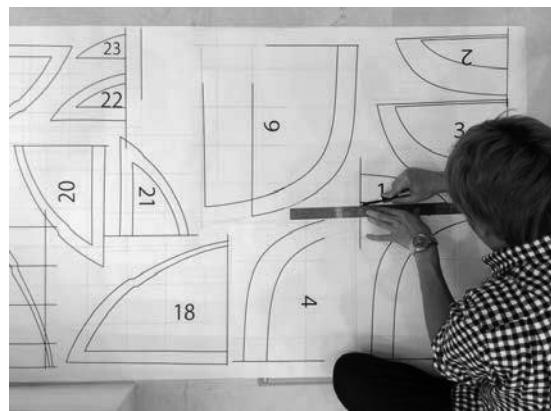


図 11: 芯となるスタイロフォームの木取り



図 12: 100mmピッチの断面形状の貼り合せ

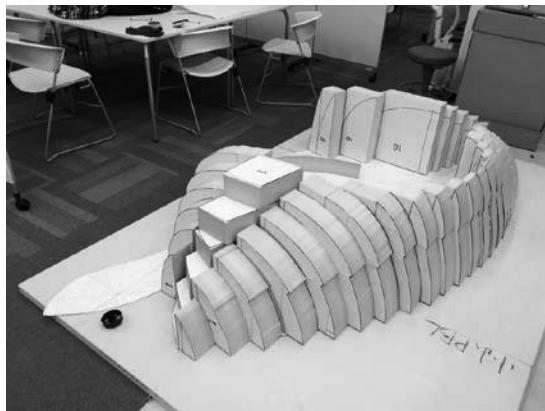


図 13: 完成したスタイロフォームの芯

3.4 プロセス(Step 2)

モデルの芯の中心部に、定盤による座標特定の役割を担う木製の寸法出しのための木製中枠を作製し、かつ、中心部を空洞化して軽量化も図った。同時に、車両姿勢の確認等が出来るようになり、車両姿勢の調整も出来るようにした。その結果、予想より軽量化されたスタイロフォームのクレイ芯が完成した。(参照: 図 14~18)

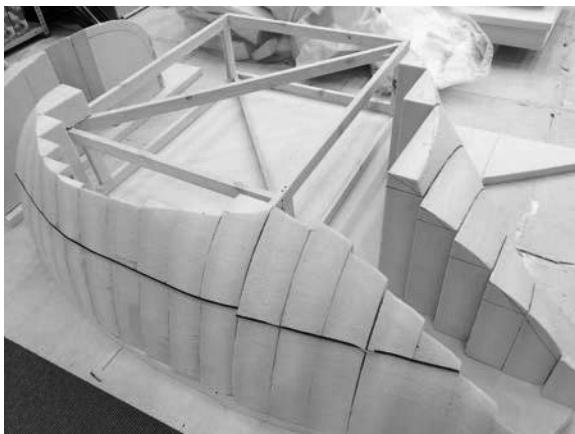


図 14: スタイロフォーム芯に木製中枠装着

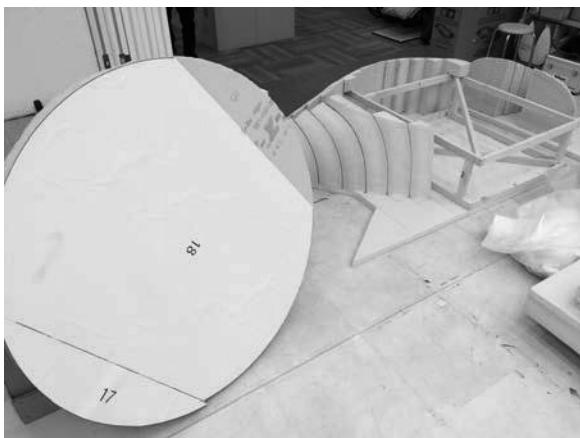


図 15: クレイ芯の構成部品



図 16: 組上げたクレイ芯



図 17: クレイの盛り付け前に車両姿勢検討

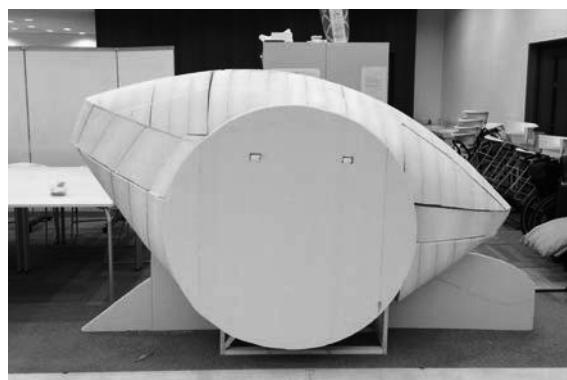


図 18: 完成したクレイモデルの芯

3.5 プロセス(Step 3)

この段階でスタイロフォームの芯にクレイを盛り付けるが、通常50mm以上盛るところを軽量化の為出来る限り薄く(5mm程度)盛り付ける。付随効果として、均一に盛り付けることができ、完成時のひび割れ防止にもつながった。

(参照: 図 19~21)



図 19: クレイの盛り付け作業



図 22: 塗装されたクレイモデル



図 20: クレイ盛り付け作業風景



図 23: ミラーリングによるフルモデル完成



図 21: 完成したクレイ盛り付け

3.6 プロセス(Step 4)

完成したクレイモデルを塗装するプロセスだが、写真のように、このモデルは片側半分だけで出来ている。これは、両側のフルボディーだと学内の塗装ブースの扉に入らないため、あらかじめ片面だけ製作し、最終的にミラーを使ってモデルとして完成させる方法を取った。(ミラーリング)

その後、塗装が塗り終わったモデルを、テープなどを使い、艤装して、最終の完成モデルとなる。(参照：図 22～24)



図 24: 艤装が施されて完成したフルサイズモデル

4 成果のまとめ

今回のプロジェクトは、コンセプト決定後、アイデアスケッチをスタートさせフルサイズモデルを完成するまで、約6ヶ月で開発できた。特に、フルサイズクレイモデルは約2ヶ月弱の期間で完成させることができた。

また、プレゼンテーションや展示に於いても、当初予想した通り、実物大モデルという事で大きなインパクトを与えることができ、予想をはるかに上回るモデル効果であった。

このことからも、クルマは本来、人が乗って移動するという製品であるので、そのデザインの検討には、スケール(縮尺)ではなくフルサイズ(実物大)で実施されるべきであるということを改めて痛感した。

本研究では、フルサイズモデルを製作する設備が無い条件下で、その製作方法や表現の工夫等でフルサイズクレイモデルを製作したことに大きな意義がある。これから、いろいろな場面を通じてこの成果を発表していきたい。

今後は、実寸での室内モデル製作などにも展開していくことができればと考える。また、将来的には、内外一体モデルまで発展出来たらとも考えている。

5 おわりに

本研究は、PBL メンバーだけでなく、多くの方々に支えられ完成することができた。おわりに、このプロジェクトに関られたすべての方々に感謝致したい。

参考文献

- [1] 小山登、村尾俊幸、村田桂太、相馬利昭、大屋周、今城孝文、松本和也、ランニングプロタイプ“Super Cell”のモデル製作及び開発プロセスの研究報告、産業技術大学院大学紀要 No.7, 2013年12月

ビッグデータ時代のバイオメトリクスにおけるプライバシー保護

瀬 戸 洋 一*

The privacy protection of biometrics in big data era

Yoichi Seto*

Abstract

The biometrics product market in Japan has been sluggish, because the new field of large-scale has not been pioneered. One of the reason, it is that the privacy issues of biometrics is not clear. For market development and enlargement is considered to be a clear privacy of biometric become help solve. We introduce the laws and international standards of privacy of correspondence in each countries, and Privacy Impact Assessment, in addition, the trends of the latest developments of the biometric authentication technology.

Keywords: Big data, Biometrics, Identification, Privacy Impact Assessment, Privacy Protection, Tracking, Verification

1 はじめに

バイオメトリクスは、指紋、顔、静脈など個人に固有の属性を用い識別や認証を行う技術である[1]。2001年9月11日の米国の同時多発テロをきっかけに社会ID, e-passportなどのバイオメトリック応用が立ち上がった。現在はポスト9.11として民間利用への期待が大きい[2]。

社会基盤における適切なバイオメトリクス利用は、社会の安全確保に寄与する一方、身体そのものを情報源として扱うため、プライバシー侵害や監視社会に対する懸念を生ずる。

今後、バイオメトリクスは、ライフログ、モバイル端末利用、ビッグデータ処理によるマーケティング市場での活用が期待されている[3]。この場合、従来にも増してプライバシーへの配慮が必要となる。

日本では、個人情報保護法の改正に向けたパーソナルデータに関する検討会で、個人情報の取扱い等が議論され、報告書が公開されている[4][5]。この検討会では、バイオメトリックデータの取り扱いも検討している。

バイオメトリック技術は、識別、認証などの用途が主であったが、今後、ビッグデータ利用目的に追跡用途の立ち上がりが期待できる。性別、世代情報などの統計データをバイオメトリック技術により収集し、健康管理、ターゲットマーケティングへの事例もでてきた[3]。追跡用途においてはバイオメトリクスのプライバシー性が問題になる。技術的な安全対策だけではなく情報を収集されるデータ提供者の安心感を得ることが重要である。

バイオメトリック市場の創出および拡大のためには、バイオメトリクスのプライバシー性を明確にし、ステークホルダー間

でデータ利用に関する合意形成が重要となる[6][7]。

以下、プライバシーに関する各法制度、バイオメトリクスの新しい応用、バイオメトリクスにおけるプライバシー保護に関する考察、国際標準の状況について紹介する。最後にバイオメトリクスの新しい認証フレームワークの動きについて紹介する。

2. ビッグデータ時代のバイオメトリクス

2.1 新しい市場の動き

バイオメトリクスの利用分野は、犯罪捜査などの Forensic 用途(犯罪者の識別)からはじまり、パスポートや国民カードなどの社会ID、入退出管理、金融 ATM における本人確認などの広がりがでてきた。つまり、識別、認証における利用分野を中心に市場が立ち上がった[6]。

現在、いわゆるビッグデータ対応の利用がでてきた。識別した個体を追跡する顔認証技術の新しい市場が立ち上がりつつある。バイオメトリクスの識別性に着目した行動ターゲティング広告、ヘルスケアなどの新しい活用分野がでてきた。行動ターゲティング広告とは、広告の対象となる顧客の行動履歴を元に、顧客の興味関心を推測し、ターゲットを絞ってインターネット広告配信や顧客の行動履歴分析を行う手法である。行動ターゲッティング広告は、追跡型広告とも呼ばれる。

例えば、図1に示すように、デパートなどの小売業において、来訪する多数の顧客の性別、年齢、サービスへのリピートなどを効率よく数値化することにより、実際の来場者にあつた店舗展開や商品の品揃え、展示方法に関する戦略を立案できる[3]。

立案した店舗戦略を試行し、来場者層の変化を定量的なデータとして、素早く正確に把握することで、店舗戦略継続の判断ができる。さらに、購買情報・会員情報などの従来情報と、気象・交通・位置などのビッグデータと組み合わせて分析を行うことで、顧客向け新サービスの立ち上げや売り上げ拡大につながるマーケティングが可能となる。

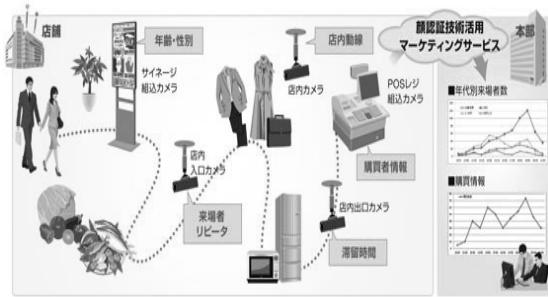


図1 ビッグデータとバイオメトリック技術

追跡機能の基本的な技術は識別技術であるが、個人を特定せず、性別、年齢などの情報を抽出し、その行動特性を分析するものである。個人を特定しないため、個人情報保護法の範疇外、プライバシーの問題もないと言われているが、明確な見解が出されていないため、本格的な利用が立ち上がっていない。

2.2 識別、認証そして追跡

従来、バイオメトリクスの機能として、以下の2つが挙げられた[1]。

- ・識別(Identification)
- ・認証(Verification)

今後は、図2に示すように、下記の機能が追加される[7]。

- ・追跡(Tracking)

追跡はバイオメトリクスの新たな機能として注目されている。追跡利用として2.1節で述べたように、店舗情報におけるマーケティング分析事例、店舗に設置したカメラの情報から取得した来場者情報とPOS(Point Of sale System)などで取得した購買情報を元に、購買者の傾向分析ができる。さらに、複数のカメラを活用することにより、店舗動線、店内滞留時間、非購買者情報の採取も可能となり、マーケティング分析に活用できる。取得した来場者情報と他のデータ（気象、広告、交通、SNSなど）とを組み合わせることで、店舗内では把握できなかった顧客の来場に至る背景を把握できる[8]。

追跡利用においては多数の個人情報を収集する。統計データや個人の非特定のデータを利用するが、バイオメトリクスデータに対するプライバシー性の見解を明確にしておく必要がある。

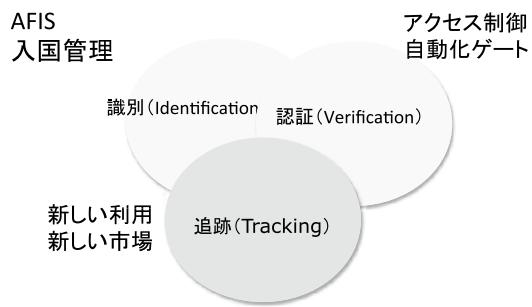


図2 識別・認証から追跡用途へ

3. バイオメトリクスのプライバシー性

3.1 各国におけるプライバシー法制度

(1) OECD

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) が 1980 年に採択した「プライバシー保護と個人データの国際流通についてのガイドラインに関する理事会勧告」は、個人データ収集の目的の明確化など 8 原則から構成されている。本勧告は、各国におけるプライバシー保護の法的根拠の拠り所となっているものであり、バイオメトリクスに関する各種規約に対するベースになっている [9]。

(2) 欧州

・ARTICLE29 Data Protection Working Party

2013 年、EU データ保護指令が改定され、新たに EU データ保護規則（「個人データ取扱いに係る個人の保護及び当該データの自由な移動に関する欧州議会及び理事会の規則」）として採択される見込みである [10]。

今回の改定は、従来の指令の採択から 15 年以上が経ち、インターネットを始めとする急速な技術的進歩やグローバル化の進展によって発生してきた新たな課題に対処するためのものである。具体的には、クラウドコンピューティング（EU 域外へのアウトソーシング）やソーシャルネットワーキングサービスにおけるデータ保護のあり方、多国籍企業のビジネスに過度な負担をかけるような非効率・非整合的な規制の改善等が課題となっていた。EU データ保護規則では、RFID やバイオメトリクスなどの個人情報を扱うシステムの構築の際、プライバシー影響評価を実施することになった。

(3) 米国

・消費者プライバシー権利章典

ネット上などにある様々なプライバシー情報を活用したビジネスの産業振興を狙う姿勢がより鮮明になりました。2013 年 3 月、大統領名で発表した「消費者プライバシー権利章典」(A Consumer Privacy Bill of Rights) の草案は、プライバシービジネスの構造化を目指して、米国が官民一体で打ち出したものである [11]。消費者プ

ライバシー権利章典草案の目的は、「ネット上のプライバシーデータの扱いについて個人（消費者）の権利を確立すること」である。消費者が自身のプライバシー情報をコントロールできること、民間事業者（企業）によるプライバシー情報取り扱いの透明性が確保されること、データがセキュアに取り扱われることなどが、権利として確立されるべきだとしている。バイオメトリクス情報の扱いは不明である。

・米国憲法修正 4 条

米国でバイオメトリクスに対するプライバシー保護に関し実効性あるのは米国憲法修正 4 条である。修正 4 条とは、「不合理な逮捕捜査、もしくは押収に対し、住居、書類および所有物の安全を保障される人民の権利はこれを侵害してはならない」である [12]。つまり、修正 4 条は、所有物原則（当該技術が人間やその所有物に物理的に侵入しない）を明示的に示している。

例えば、監視カメラに関し、米国ではナンバープレートは公共情報であり、「公衆の眼の原則」により保護されないと考えられている。一方、欧州は、ナンバープレートはプライバシー保護の対象としている。監視カメラは公衆の眼の及ぶ範囲において運用され、監視は公知の事実となっている場合、修正 4 条の保護対象にならない。ただし、画像処理し DB と連結し、人名を特定でき、人名などをキーにして他の DB へのリンクも可能（当人の全体像の把握が可能）となる場合は、修正 4 条の対象となり、プライバシーは保護される。

（4）日本

政府は 2015 年の個人情報保護法の改正に向けて、骨格となる原案を明らかにした。ポイントは 3 点ある。

1 つ目は、政府が独立したプライバシー保護の専門機関を設置し、保護制度を国際的水準に合わせる。2 つ目は、組織の自主規制ルールを後押しし、技術進化に伴い拡大した個人情報のグレーゾーンを解消する。3 つ目は、個人を特定しにくくしたデータを他の組織に委譲できるように規制を緩和することである [4]。

インターネット上にある「ビッグ データ」をビジネスに活用する企業が増えるなか、個人情報をどこまで利用できるのか、匿名化の定義が争点となっている。究極の個人情報であるバイオメトリクスデータの取り扱いに関する検討されている。バイオメトリクスは識別可能なデータであるが、データそのものだけでは個人を特定することは困難なデータである。

識別非特定情報は法律で定義できるか否かが問題である。また、非特定情報であるが、個人から採取した究極個人情報を本人の把握できない状況での利活用に対する感情的な問題もある。法律ではない別の手段で利用の適正性に関し判断する必要がある。

3.2 バイオメトリクスのプライバシー性

パーソナルデータ検討会で匿名化データについて検討を行っている[4]。例えば、登録する時に個人の属性情報（個人名あるいは個人 ID など）とともに取得したモダリティの情報（バイオメトリクスデータ）を個人情報といい、本人認証分野で利用される。本人認証利用では、登録された本人と同一性を確認するため個人名を特定できなくてはならないため、識別性・特定性の高いデータを使うことになる。

図 3 に示すように、指紋、静脈などの一部のモダリティデータが、識別・非特定情報である。モダリティデータだけでは、誰のデータか特定は困難である。特微量になった場合はさらに個人の特定が困難となる。識別・非特定情報はホワイトリストによるチェック（識別処理）などの応用がある。顔はデータのみで個人を特定できる場合が多く、完全な非特定データとは言えない。特微量などに変換することにより、さらに非識別化を図った情報を匿名情報という。

例えば、バイオメトリクスデータ（特に顔）から性別、年齢などの情報のみ抽出したものを非識別・非特定情報、つまり匿名情報と呼ぶ。匿名性が高いということは、識別性、特定性ともに低い状態をいう。つまり、個人情報保護法の第三者提供にあたらないため、情報提供者の同意なくデータの利活用が可能となる。個人情報（識別・特定）の場合、個人情報保護法に基づきデータを取り扱う必要がある。一方、完全に個人を特定できない匿名情報（非識別・非特定）の場合は、データの第三者提供など個人情報保護法の範疇外となる。

一度匿名情報にした場合、識別も特定もできない不可逆変換であることが必要である。ただし、個人情報保護法に観点で合法であっても適正な説明責任を果たさない場合、他の法律（例えば、憲法 13 条（個人の尊重）、民法 709 条（不法行為）、民法 235 条（目隠し権）など）で訴訟される恐れもあり、何らかの説明責任を実施する必要がある。

一方、識別・非特定情報の場合、特定化が可逆的にできることもあり、個人情報保護法の範疇になり、データ利用に制限が加えられる場合がある。

このため、利活用のためには個人情報保護法の改正が必要となるが、法律で明確に定義することには限界があり、別の手段、例えば、専門的中立的な第三者機関で判断するとか、説明責任のための新しいフレームワークであるプライバシー影響評価実施などが有効である。

3.3 データ収集（登録）と利用における見解

バイオメトリクスの場合、データを収集する時点でプライバシー侵害する場合と、収集に問題はなくともその後の処理で問題を発生する場合がある。したがって、この 2 つ観点の検討が必要である。

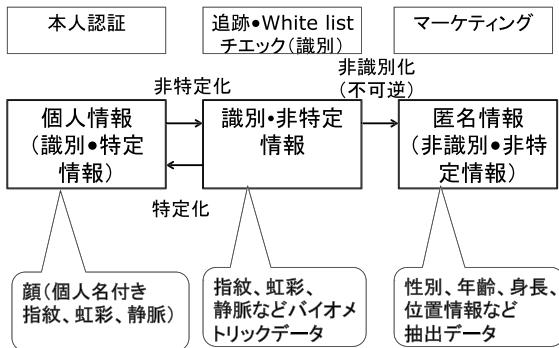


図3 バイオメトリクス利用分野と識別性・特定性

(1)データ収集(登録)

バイオメトリクスは、プライバシー性を検討する上で、どのような条件でデータを収集(登録)したか、検討が必要である。つまり、データは統計データのように匿名化処理されても、侵襲性をもって収集したバイオメトリクスは、プライバシーを侵害していると言える。

バイオメトリクスデータの収集における侵襲性に関しては、下記に示す米国憲法修正4条の解釈が参考になる[12]。

- ・顔、歩行：公衆の眼の中にあり、本人自身、プライバシー保護を期待していない。公衆による観察は本人の物理的な侵入は伴わないので、修正4条の保護は受けない。非公共の場では、この限りでなく、プライバシー性を問われる。
 - ・指紋：人は日常生活のなかで、指紋をあらゆるところへ残していく。茶碗に、扉の把手に、これは公衆の眼に触れる。一方、その採取にあたっては、本人を拘束しなければならないが、人体への物理的な侵入はない。そのため、修正4条の保護は受けない。
 - ・声紋：修正4条の保護を受けないという米国最高裁の判決が1973年にでている。
 - ・網膜血管パターンや虹彩：データの採取にあたって、当人への物理的な拘束、直視、瞬きさせないなどが不可欠である。従って修正4条の保護の対象である。
- 上記は、米国での判断であるが、日本でも参考になると考える。手のひら及び指静脈について類推すると、データの収集にあたっては、指紋や網膜血管パターンほどではないが、当人への若干の物理的な拘束などが必要である。しかし、人体への物理的な侵入はない。このため、修正4条の保護は受けないと判断する。
- つまり、データ収集においては、プライバシーの侵害性は下記の順と言える(高い>低い)。

網膜、虹彩、顔(非公共の場)>指紋、声紋>手のひらおよび指静脈>顔(公共の場)

(2)データ利用

公共的空間では、多くの個人はプライバシーを期待していない。公衆の場による観察(例えば、商店街の防犯カメラ)は、本人の物理的な侵入は伴わないので、個人は公的

空間での顔や歩行動作のカメラ撮影に対してプライバシーの侵害と受け取ることは基本的ないと言える。つまり、個人は、公的空間でのセキュリティ確保(公共の場における監視)のために、プライバシーのある程度の侵害は許容している。

しかし、その撮影されたデータが、合意していない目的、例えば、警察への提供、マーケティング分析に用いることは、匿名化されても問題と感じる人は多い[8][13]-[15]。つまり、データ収集の方法に問題なくとも、利用の方法で、プライバシー侵害を感じるということである。

利用においては、データがどの程度の匿名性をもつかがポイントになる。図4を用いて説明する。現状の個人情報保護法における第三者データ提供の観点から検討する(第23条個人情報取扱事業者は、次に掲げる場合を除くほか、あらかじめ本人の同意を得ないで、個人データを第三者に提供してはならない)。

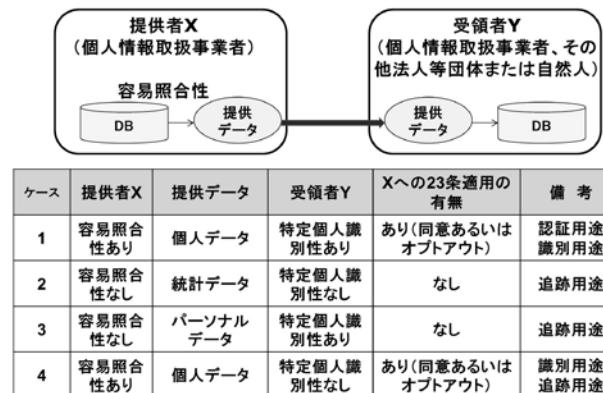


図4 バイオメトリクス利用分野と識別性・特定性の関係

認証・識別用途は、登録し認証(識別)処理から成り立つ。追跡用途は登録と処理が同時に行われる[7]。

ケース1：認証(識別)用途の場合、個人名(個人ID)とバイオメトリック情報を登録する。登録(提供者X)と異なる場所で認証(受領者Y)を行う場合、認証のためのデータ(テンプレートデータ)を認証システム(受領者Y)へ渡す。この場合、認証のためには個人名など特定できるデータとバイオメトリック情報を渡す必要があるため、識別可能、特定可能な情報を引き渡すことになり、個人情報保護法に抵触し第三者提供の制限に相当する。第三者提供することに対する本人事前同意あるいはオプアウト処置が必要である。

ケース2：追跡用途の場合、データを採取したのちデータ収集サイトで、統計データ処理をし、データを提供する。この場合は、統計データのため、個人的も識別も不可能なため、23条へは抵触しない。ただし、第三者提供する旨に関しデータ採取時に説明責任がある。

ケース3：追跡用途の場合、収集したデータ(特定の個人を類推できる年齢、位置情報などの複数のデータ)を利用

者側(受領者 Y)に移転する。例えば、撮影する防犯カメラの位置によっては、複数のデータから個人を特定できることもある。この場合、個人情報保護法の範疇外か否かの判断が微妙であり、法律で利用に関する規定を明確に行う必要がある。あるいは、情報の提供者が納得する説明責任が必要である。

ケース 4: 識別用途の場合、個人名とバイオメトリック情報を登録する。登録(提供者 X)と異なる場所で認証(受領者 Y)を行う場合、例えば、ブラックリストとして識別を行うシステム(図では受領者 Y)へ渡す。ホワイトリストは、識別可能であるが個人を特定できない形式のデータである。この場合、提供者側では個人特定可能であるので、第三者提供することに対する本人事前同意あるいはオプトアウト処置が必要である。

4. プライバシーに関する国際標準

4.1 国際標準委員会の状況

表 1 に示すように、バイオメトリクスのプライバシーに関する国際標準も開発されているが、プライバシーの定義が法的に難しく、社会通念上の保護を記述したものが多く、国際標準への適合性まで踏み込んだものはない。(2014 年 7 月時点) [16]。

表 1 バイオメトリクスに関する国際標準

規格	タイトル	内容
ISO/IEC TR24714:2007 SC37 Biometric tutorial	バイオメトリックチュートリアル	バイオメトリック技術に關し、モデル、用語など解説した。プライバシー、アクセシビリティ、安全性などの考慮に關しても記述あり。
WD30124 SC37 Code of practice for the implementation of a biometric system	バイオメトリクンシステムの実装における実践のための規範	バイオメトリクンシステムの導入について、バイオメトリクスの必須評価基準から構築、運用における留意事項(モダリティの選択基準、利便性、プライバシーなど)まで考慮した規範。小・中規模のシステムをターゲットに、詳細な規格を規定するものではなく、考慮すべき事項を網羅的にカバーした実践規範である。
WD29194 SC37 Guidance on the inclusive design and operation of biometric systems	生体認証システムの包括的な設計と操作に関するガイドライン	バイオメトリクンシステムの設計と調達におけるアクセシビリティとユーザビリティの問題に対するガイドライン。体の不自由な人がバイオメトリクスを利用するまでの考慮点を始めたTRである。
ISO22307:2008 TC68 Financial services- Privacy impact assessment	プライバシー影響評価	プライバシー影響評価の6つの要求事項を規定した。
WD29134 SC27 Privacy Impact Assessment - Methodology	プライバシー影響評価一方論	プライバシー影響評価の方法論について規定する目的で開発が進むが、まだ内容が不明瞭。
ISO/IEC 29100:2011 Privacy framework	プライバシーフレームワーク	一般的なプライバシーの用語を規定する。個人を特定できる情報(PII)を処理する際に役者とその役割を定義する。プライバシーの保護する考慮事項について説明する。

(1) ISO/IEC TR24714:2007 SC 37 Biometric tutorial

2007 年に国際標準規格 TR として発行された。バイオメトリック技術に關し、モデル、用語など解説した。プライバシー、アクセシビリティ、安全性などの考慮に關しても記述がある。もともと、SC 37 の委員会内部でのモデルや用語の共通認識を持たせる目的で開発されたもので、具体的な技術的な内容は記載されていない。

(2) WD30124 SC37 Code of practice for the implementation of a biometric system

英国の PAS 規格(PAS92)をベースに開発中の案件である。バイオメトリクンシステムの導入について、バイオメトリクスの必要性評価から構築、運用における留意事項(モダリティの選択基準、利便性、プライバシーなど)まで考慮した規範。小・中規

模のシステムをターゲットにし、詳細な規格を規定するものでなく、考慮すべき事項を網羅的にカバーした実践規範である。

以下の 2 つは、直接プライバシーに関するリスク評価の規格である。

(3) ISO 22307:2008 TC68 Financial services- Privacy impact assessment

金融関係を扱う委員会 TC68 で開発され、2008 年に発行された国際標準である。プライバシー影響評価の 6 つの要求事項(手順と実施体制)を規定した国際標準化規格である。具体的なリスク評価手法などの規定はない[17]。

(4) WD29134 SC27 Privacy Impact Assessment - Methodology

プライバシー影響評価の方法論について規定する目的で、WC27WG5 で開発が進むが、まだ内容が十分に確定していない。

(5) ISO/IEC 29100:2011 Privacy framework

一般的なプライバシーの用語を規定する。個人を特定できる情報(PII)を処理する際に役者とその役割を定義する。プライバシーの保護する考慮事項について説明する。

個人情報やプライバシーは法的あるいは社会的制度に基づいて対処されるため、標準化で扱うには難しい。ただし、個人情報がネットワークを介し国境を越えて流通するため、法的な依存性のない対応の方法に関する国際標準は必要と考える。

4.2 プライバシー影響評価

(1) プライバシー影響評価の概要

特に留意する規格は「ISO 22307:2008 Privacy impact assessment」である[17][18]。プライバシー性の判定は、多様性があり、法律ですべてを規定することが難しい。今後ビッグデータビジネスなどで、プライバシー性のあるデータを利活用する場合も、法律ですべてを規定した場合、その利用にかなりの制限が加えられるため、法律での規定範囲は限定し、ある程度のグレーゾーンを残してもよいと判断する。

グレーゾーンの対応は、情報提供者に安心感をもたらす施策が必要と考える。

① 中立的専門的な機関の設置

② 分野毎にガイドラインの整備

③ プライバシー影響評価によるプライバシーリスク

の透明化および情報公開

特にプライバシー影響評価は、情報提供者に安心を与える有効なツールと考える。欧米では、関係者にセキュリティとプライバシーのトレードオフを明確に理解させるため、防犯カメラの設置に關しプライバシー影響評価の実施が義務づけられている。

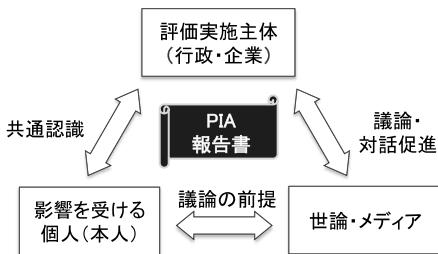


図 5 プライバシー影響評価の概要

(2) プライバシー影響評価の事例

プライバシー性の判定は、多様性があり、法律ですべてを規定することが難しい。今後ビッグデータビジネスなどで、プライバシー性のあるデータを利活用する場合も、法律ですべてを規定した場合、その利用にかなりの制限が加えられるため、法律での規定範囲は限定し、ある程度のグレーゾーンを残してもよいと判断する。グレーゾーンの対応は、情報提供者に安心感をもたらす施策が必要であり、

- ① 中立的専門的な機関の設置
- ② 分野毎にガイドラインの整備
- ③ プライバシー影響評価によるプライバシーリスクの透明化および情報公開

が必要と考える。

特にプライバシー影響評価は、図 5 に示すように、情報提供者に安心を与える有効なツールと考える。表 2 に監視カメラでの実施事例を示す [19]。

表 2 監視カメラにおけるプライバシー評価の実施事例

	背景	法・ガイドライン	体制	実施例
米国	・9.11同時多発テロ以降、社会に対する警戒が高まり始めた。 ・「07年の規制による一般市民(回答者の)のプライバーセントが監視カメラ増設に賛成	・PIAの構成となる法律は電子政府法の20章および国土安全保障法の第222条	・国土安全保障省DHS内にDHSプライバシーフィックスという連邦政府および各州に隸するプライバシー保護のための機関が存在	・Liverwark CCTVシステムに対して「20年9ヶ月にPIAを実施」 ・連邦政府がPS職員の安全、犯罪阻止、被虐動物内で犯行の抑止、不法侵入の抑止するために、8800万所の政府関連施設に設置
英国	・'98年の規制・秩序違反法およびCCTVイニシアチブが、防犯カメラ設置拡大の要因 ・'05年のロンドンの地下鉄爆発事件の際にも、CCTVの重要性が再認識され、一般市民は、犯罪に有効な手段であるとCCTVの設置を容認	・2000年施行のデータ保護法は公共部門と民間部門とを等しく規制する ・同法は、第一に個人情報の電子的な処理に関するものであるが、手動で扱われる個人データ登録にも適用	・情報コミッショナーは政府から独立した情報自由法の執行・推進について中心的な役割	・監視カメラの運用規定CCTV Code of Practiceに「大規模な監視カメラシステムを構築する場合や、カメラの利用が重大なプライバシー問題を引き起こす可能性がある場合は情報コミッショナー事務局の作成したPrivacy Impact Assessment(PIA)ドックumentを用いること」という記述
カナダ	・'90年代からPIAを実施したPIA先進国 ・連邦政府の行政機関はPrivacy Actの順守を義務	・プライバシー保護法は連邦法と州法に大別 ・CCTVの設置については連邦、州、市の各レベルでガイドラインが存在 ・ガイドラインではPIAの実施を要請	・Privacy CommissionerはPrivacy Actで地位と任務を規定 ・Office of the Privacy Commissionerは政府から独立して第三者機関、各州にも州法に規定された独立第三者機関が存在	・アルベータ州雇用・移民部門(Employment and Immigration)の防犯カメラでPIAを実施

例えば、プライバシー影響評価を実施して、設置した監視カメラと実施していない場合の監視カメラでは図 6 のような相違がある。

欧米では、関係者にセキュリティとプライバシーのトレードオフを明確に理解させるため、監視カメラを設置する場合、プライバシー影響評価の実施が義務づけられている。

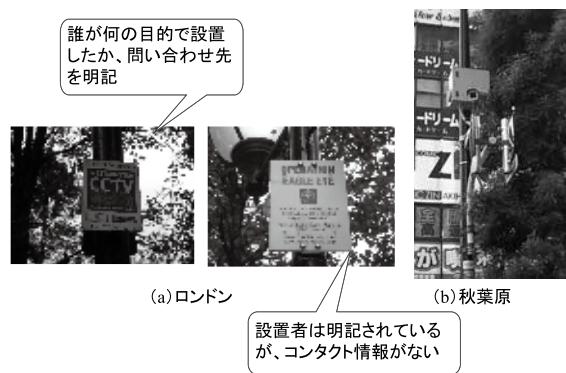


図 6 ロンドンと東京における監視カメラの設置の例

ロンドンの監視カメラの場合は、プライバシー影響評価が実施されている。したがって、「誰が」「何の目的」で設置をしているのか、「問い合わせ先(電話、アドレス)」がカメラに明記されている。一方、日本の監視カメラの場合は、プライバシー影響評価が実施されていないため、目的や問い合わせ先が不明確であり、市民のプライバシーがどのように保護されているか、十分な説明責任が果たされていない。

以上のように、海外ではバイオメトリクスを扱うシステムに関しては、プライバシー影響評価が実施され、システム構築の適正性を、設置責任者およびデータ提供主体が、客観的に把握している。

5.バイオメトリクスを用いた新しい認証基盤 FIDO

5.1 本人認証における問題

インターネットユーザーが「確実に記憶することができる」と考える ID とパスワードの組み合わせの数は、平均で 3.1 個だという。ID とパスワードによる認証は、個々のサービスの認証強度としては必要十分かもしれないが、利用者の立場で考えれば、人間の記憶力を超えた数のパスワードを押しつけられた結果、セキュリティに穴が空いた状態が放置されている。

Facebook や Twitter、ヤフーなどの ID とパスワードで他社のサービスにログインする認証連携も、現状では個人情報の登録が要らない軽量なサービスでの利用にとどまっている。確定申告などに利用する公的認証基盤の PW など年に1度しか利用しない。複数および年に数回しか利用しない ID と PW など、利用者にとって、ID および PW による認証方式は、破綻していると言つていい。認証方式に問題があるにもかかわらず、利用者に対し、非現実的な ID と PW の管理責任を転嫁されているのが現状である。

バイオメトリック認証は、この問題を回避する対策の一つと考えられていたが、携帯電話、モバイル PC などに各社個別的方式で実装されていたため、また、プライバシー保護の観点での課題がクリアされていなかったため、大きな市場にならなかった。下記に紹介する FIDO (First IDentity Online

の略称、以下、FIDO Alliance の動きは、バイオメトリック市場を拡大する契機となると期待されている[20]。

FIDO は、オンライン認証の強化を目的とした標準化(デファクト)を進めている。バイオメトリック認証技術等が従来のパスワードやユーザー名による認証に取って替わるとの提言している。

FIDO は、2012 年に e コマース大手 PayPal や米指紋認証ベンダー Validity Sensors、パソコン大手 Lenovo 等などの 6 企業の参加で発足した。その後、Google、Microsoft、RSA に加え、主要カードネットワーク各社、Bank of America 等の主要金融機関、SamSung 等のデバイスマーカーなど、加盟する会社は 120 を超えている。ここで開発された方式が、デファクト標準となる可能性がある。

5.2 新しい認証標準

FIDO は、Web サイトへのログインといった、オンラインでの利用者認証手順(プロトコル)を定めた仕様である。特徴は、正規の利用者だと判断するための認証情報を、サーバー側に置かないこと。つまり、サーバーでは利用者認証を実施しない代わりに、PC やスマートフォンといった利用者のクライアント側で実施する。

クライアント側には、利用者を認証するためのプログラムあるいはモジュールを用意しておく。プログラムやモジュールは、「FIDO オーセンティケーター」と呼ばれる。ユーザー認証に使う情報は、FIDO オーセンティケーター内でのみ使われ、サーバー(FIDO サーバー)に送信しない。

FIDO では、指紋や顔、音声などによるバイオメトリック認証や、PIN(暗証番号)、USB デバイスなど、様々な認証方式に対応し、それぞれのデバイスや通信方法などについて規定している。どのような認証方式を許可するのかといったポリシーは、サービス提供者側で決定する。

図 11 に FIDO を使ったユーザー認証の概略を示す。基本的には公開鍵暗号を利用する。

- ①利用者は、まず、最初に利用したい Web サイトに自分の端末を登録する。
- ②PC やスマートフォンなどにインストールした FIDO オーセンティケーターを起動し、対象 Web サイトが許可しているユーザー認証方式(例えば指紋)を選択する
- ③端末の読み取り装置に指紋を当てるなどして、正規のユーザーであることを FIDO オーセンティケーターに認証させる。
- ④FIDO オーセンティケーターは新しい公開鍵と秘密鍵を生成し、公開鍵を Web サイトに送信し登録させる。
- ⑤秘密鍵やユーザー認証に必要な情報(指紋情報や PIN など)は、ユーザーの端末から外に出ない仕組みである。

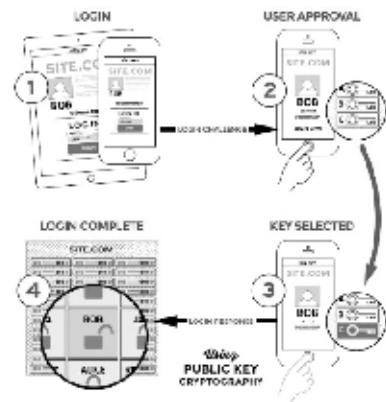


図 7 FIDO でのユーザー登録手順

FIDO は 2 種類の認証プロトコルの標準化を目指す。それぞれ、UAF Standard, U2F Standard と名づけられている。UAF とは Universal Authentication Framework の略であり、FIDO 対応のデバイスを用いてパスワードを使わずに認証のことをしている。一方、U2F とは Universal Second Factor の略であり、現在の 2 要素認証の技術を進化させた認証である。

UAF は、デバイス側で個人を認証し、ネットに個人認証情報を流さない。デバイスに自分を認証させる情報を登録し、そのデバイスをオンラインサーバで登録する。認証は個人の認証とデバイスの認証に分解して実施する。バイオメトリック認証に対応したデバイスを用いた個人認証は、バイオメトリクスを利用することを基本としているため、パスワードは利用しない。FIDO プロトコルでは、認証デバイスをサーバに登録し、デバイス側で認証キーを発行する。

一方、U2F は、現行のオンライン認証に USB メモリなどの第 2 要素による認証を追加した 2 段階認証である。例えば、Google アカウントで言えば、ID(Gmail アドレス) & パスワードの他に電話番号も登録し、Google 管理コンソールから有効にすれば利用することができる 2 段階認証を改善したものである。U2F では、2 要素目のキーとして用いているデバイスから公開鍵と秘密鍵のペアを生成し、その公開鍵を事前にサーバに登録する方式をとっている。認証の際には USB キーから生成した秘密鍵でサインした情報を、サーバに事前登録された鍵と照合して認証する。

FIDO Alliance は、パスワードとユーザー名を利用した従来の認証では十分にサイバー攻撃を防げないため、強固なセキュリティと利用者の使いやすさという両面を備えた認証標準を確立する必要があると考えている。

FIDO が策定する認証標準は、顔や音声、指紋等によるバイオメトリック認証技術だけでなく、既存の標準である TPM (Trusted Platform Module:セキュリティチップ) や NFC(Near Field Communication:近距離無線通信)にも対応する。また、デバイスやブラウザプラグインにも対応していることから、さまざまなウェブサイト やクラウドアプリも FIDO 標準に対応した

デバイスにより、セキュアなオンライン認証が可能になり、バイオメトリック認証技術のモバイル端末利用が本格的に立ち上ると期待される。

6. まとめ

今後、バイオメトリクスは、識別、認証に加え、追跡という新しい分野が立ち上がりつつある。追跡とは、例えば、自動販売機やコンビニ、デパートの商品エリアに顔認証装置が設置され、顧客の属性と好みなどを収集するための重要な技術となることが期待される。どの商品に一番注視したか、どのような年齢層、性別の者が、特定の商品に興味をもって購入したかなどのマーケット情報の収集が可能となる。

今回顔認証で紹介したが、他のバイオメトリクスでも追跡利用は可能と考える。今回紹介しなかったが、長崎大学熱帯医学研究所では、指静脈認証装置を用いて住民の把握を行っている。病歴などの追跡に利用している。

バイオメトリクスの利用には、データの収集および処理におけるプライバシー性の検討が必要である。多くは個人情報保護法の範囲であるが、利用によっては検討が必要な場合もある。個人を識別可能で特定できるか、データを収集する場合、侵襲性があるかなどの観点で、法的遵守、説明責任は十分か、業界のガイドラインに適合しているか、などの検討が必要である。特に、説明責任やプライバシーリスクの可視化のためにプライバシー影響評価の活用が有効である。

一方、ID/PW を用いる認証方式も、安全性、利便性の観点から限界にきており、今後のタブレットやスマートフォンにおける payment などの利用においてバイオメトリック認証技術は注目されている。FIDO というアライアンスにより認証標準が開発された。

一時期、バイオメトリクス市場は停滞していたが、マーケティング市場、モバイル認証、マイナンバー制度における特定個人情報の管理あるいはオリンピックにおける監視カメラ、入退室管理などに新たな市場が立ち上がろうとしている。これらの市場の適正化のためには法的な解釈やプライバシー保護が重要となる。

本解説は、科研費 JSPS Grant Number 25240017 より助成をうけ実施された研究成果をもとにまとめた。

参考文献

- [1]瀬戸洋一:バイオメトリックセキュリティ入門、ソフトリサーチセンター、2004年8月
- [2]瀬戸洋一、溝口正典、赤羽雅之、森原隆:バイオメトリクス、自動認識増刊号、日本工業出版、2013年9月
- [3]坂本静生:バイオメトリクス製品とソリューションの現状と展望、NEC技報 2010年 Vol.63, No.3, pp14-20, <http://www.nec.co.jp/techrep/ja/journal/g10/n03/g1003mo.html>
- [4]高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部:パーソナルデータの利活用に関する制度改正大綱 平成26年6月24日
- [5]個人データはもう怖くない、日経コンピュータ、pp.28-41, 2014年6月26日
- [6]瀬戸洋一:バイオメトリック製品の市場の俯瞰、自動認識、2014年4月
- [7]瀬戸洋一:TK4-5 ビッグデータ時代のバイオメトリクスにおけるプライバシー保護、信学会伝国大会、2015年3月
- [8]毎日新聞 2014年5月25日朝刊 移動、購買データ集積-ビジネス活用、浮遊する個人情報、政府近く大綱
- [9] <http://www.jeita.or.jp/japanese/letter/pdf/vol0502.pdf>
- [10]高間剛典:パーソナルデータ保護の課題と国際情勢 2013, EU, USAと日本、2013年10月
- [11]http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/ibia_statement_to_ntia_-best_practice_recommendations_6-17-2014.pdf
- [12]名和小太郎:個人データ保護、みすず書房、2008年
- [13]鈴木正朝: ビッグデータ時代の個人情報保護法改正のあり方、2014年7月
- [14]小林慎太郎: パーソナルデータの教科書、日経BP社、2014/08/04
- [15]平成25年版 情報通信白書 第3章 安心・安全なICT活用環境の実現と研究開発戦略、pp.259-284
- [16]情報規格調査会<https://www.itscj.ipsj.or.jp>
- [17]ISO22307 Financial services Privacy impact assessment, 2008年
- [18]瀬戸洋一:実践的プライバシーリスク評価技法、近代科学社、2014年4月
- [19]瀬戸洋一:防犯カメラとプライバシー影響評価、BAN番、pp.21-26、教育システム、2010年9月号
- [20]<http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/column/14/346926/021300167/?SS=imgview&FD=-927835360&ST=securit>

新しく改訂されたビジネス・アナリシス知識体系 第3版

戸 沢 義 夫*

Newly Revised BABOK® version 3

Yoshio Tozawa*

Abstract

New body of knowledge on the business analysis was published, as BABOK® version 3, on April 15, 2015. This is the major revision of "A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge®". The business analysis is a profession which defines the change to develop new business values. Technology advancement makes it possible to do the work which has been impossible to do before. This enables the change of the way of work, leading new business values. This paper discusses what BABOK® version 3 focuses on.

Keywords: business analysis, business analyst, BABOK, business value

1 はじめに

サービス系のプロフェッショナルの知識体系はいろいろ出されているが、それらの中で国際標準として広く認められるようになっているものを図1に挙げる。

ITIL®[†] [1] は 2007 年に第3版が出た後、サービス・ストラテジの部分を中心に大幅に改定され、2011 年から ITIL® 2011 年版となって現在に至っている。IT サービス・マネジメントの知識体系として国際的に認められている。

PMBOK®[2] はプロジェクト・マネジメントの知識体系として定着し、2012 年に第5版が出されている。主な改定部分は「ステークホルダ・マネジメント」が新しい知識エリアとして追加された点である。日本でもいくつかの大学や大学院でプロジェクト・マネジメントの教育が行われるようになってきている。

BABOK®[3] は ITIL® や PMBOK® に比べると歴史は浅いが、2015 年 4 月に全面的な改訂が行われ、第3版が出版された。ビジネス・アナリシスの知識体系 (A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge®) は、通称 BABOK® Version 3 と呼ばれ、IIBA® (International Institute of Business Analysis)[4] がまとめたもので、ビジネス・アナリシスの世界標準と認められている。ただし、日本の大学でビジネス・アナリシスを教育しているのは、本学（産業技術大学院大学）だけではないかと思われる。ビジネス・アナリシスの資格には CCBA® (Certified Business Analysis Professional) と CBAP®

ITIL :	IT Service Management 改訂 2011 年 itSMF 資格 ITIL Master, ITIL Expert など
PMBOK :	Project Management 改訂 2012 年 PMI 資格 PMP
BABOK :	Business Analysis 改訂 2015 年 4 月 15 日 IIBA 資格 CBAP, CCBA

図1 サービス系プロフェッショナル知識体系

(Certification of Competency in Business Analysis) [5] がある。

ITIL®, PMBOK®, BABOK® とともに、国際的に通用するプロフェッショナルを認定する資格制度を持っている。知識体系と資格制度を合わせて、サービス系プロフェッショナルの地位を確立するのに役立っている。

ビジネスに貢献する（新しいビジネス価値を生む）ことを目的とした専門職として「ビジネス・アナリシス」が認知されており、本論文では BABOK V3 で示されているビジネス・アナリシスの考え方について論じる。

2 知識体系の背景

ITIL® や PMBOK® が知識体系としてまとめられるようになった背景を考えて見る。

Received on September 30, 2015

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

†ITIL® is a Registered Trade Mark of AXELOS Limited

ITIL®は、大型コンピュータの時代から情報システム部門が抱える大きな課題がきっかけとなって体系化されてきた知恵の集まりである。情報システム部門にとって、システムの運用をどのように行うか、コンピュータを止めないようにすること、コンピュータの異常が業務に悪い影響を与えないようになることが大きな課題になっていた。そのためにいろいろな人たちが工夫をしており、その知恵を文書化し、知識の集大成としてまとめることに多くの意味があった。

運用担当者の良し悪しに左右されないように、組織としてITサービスを継続的に提供していくためにどうするかが情報システム部門にとって極めて重要なことであった。担当者に知恵をつけてもらうのではなく、組織が知恵を活かすようにすることが大事である。そのためには、誰がやっても同じ品質を維持できるアプローチとして、プロセスを整理することが行われた。

ITIL®の知識体系は、誰がやっても同じ品質になるように、プロセスが記述されている。情報システム部門の課題を解決するには、組織で行う仕事のやり方が、プロセスとして明確になることが大事だというアプローチである。情報システム部門の仕事をITサービスの提供と位置づけ、ITサービス・マネジメントの知識体系としてITIL®は形成された。

背景には、情報システム部門が継続的にITサービスの品質を維持するのに失敗した苦い経験がある。

PMBOK®はプロジェクト・マネジメントがうまくいかないために、プロジェクトが失敗した経験が多数あり、そのような失敗をしないようにするにはどうしたらよいかが原点である。日本ではソフトウェア開発プロジェクトでプロジェクトの失敗が相次ぎ、プロジェクト・マネジメントの重要性が大きく認識されるようになった。

プロジェクトの成功や失敗が、誰がプロジェクト・マネージャになるか、人に依存するのは具合が悪いので、組織としてプロジェクト管理をするにはどうするのがよいかが課題である。そのアプローチは、ITIL®と同様に、プロセスでものごとをとらえることである。PMBOK®はプロジェクト・マネジメントを誰がやってもきちんと行えるように、プロジェクト・マネジメントで必要な知恵をプロセスとしてまとめている。

背景には、プロジェクト管理で失敗し、数百億の損失を出した苦い経験がある。

ITIL®やPMBOK®では、過去の失敗経験から、それを回避するためにどのようなアプローチが良いかを考え、その結果、プロセスに焦点を当てるようになり知識体系がまとめられている。それに対し、BABOK®では過去に失敗した苦い経験から知識体系を必要としたのではなく、ビジネス・アナリシスというプロフェッショナル（専門家）がどのような仕事をするのか、それをわかりやすくまとめることが目的である。

従って、BABOK®はだれがやっても同じ品質が得られるようになるのが目的ではないので、プロセスは書かれていません。

ビジネス・アナリシスの専門家は何をするかを明確にするのが目的なので、タスクとしてまとめられている。

ところが、BABOK®が日本に紹介される際に、大きな誤解を招く事態が発生した。それは、ITIL®も PMBOK®も失敗に基づいて知識体系が整理されてきたのだから、BABOK®もそうだろうと勘違いした点である。ビジネス・アナリシスの扱う領域が「IT 屋」から見て“上流”なので、“上流”で起こる失敗をしなくて済むための知識体系が BABOK®だと早合点してしまった。IT 屋からみると、要件定義がうまくできずシステム開発に失敗する事例は多発している。BABOK は要件定義をうまくやるために知識体系として日本に紹介されることになってしまった。確かに、BABOK には要求を扱う際の知恵がいくつか書かれている。しかし、それは要件定義を失敗しないようになるためのものではない。誤解の原因是、BABOK を普及しようとした人たちが、BABOK を正しく理解しないまま、勝手に BABOK の有りがたみのストーリーを作ったことにある。これは、ビジネス・アナリシスを正しく理解してもらう上で大きな障害になっている。

3 ビジネス・アナリシス

「ビジネス・アナリシス」の用語は以前から使われてはいたものの、明確な定義があったわけではなく、日本ではそれがプロフェッショナルの仕事であるとの認知はほとんどされていない。IPA が実施している、高度情報処理技術者試験の IT ストラテジスト試験（旧システムアナリスト試験）が対象にしている人たちの仕事が、ビジネス・アナリシスにかなり近いが同じではない。ビジネス・アナリシスは、IT のバックグラウンドを必要としていないし、BABOK には IT を意識した記述はないのだが、暗黙的に IT と関連付けて捉える人が日本には多いのは事実である。

欧米（特に北米）では、ビジネス・アナリシスはかなり浸透しており、非営利の専門家協会 IIBA®会員数は全世界で約 3 万人である。IIBA は The voice of the Business Analysis Profession と称しており、ビジネス・アナリシスのプロの集まりである。

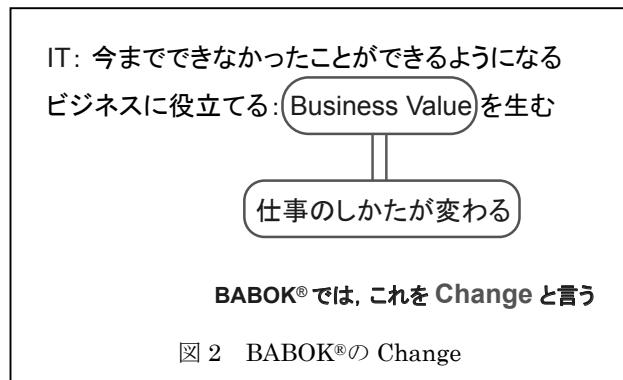
3.1 BABOK V3 によるビジネス・アナリシスの定義

BABOK でのビジネス・アナリシスの定義は次のように改められた。

Business analysis is the practice of enabling change in an enterprise by defining needs and recommending solutions that deliver value to stakeholders.

ビジネス・アナリシスとは、企業が変更できるようにする専門職で、ステークホルダのニーズを見極め、ステークホルダにビジネス価値を提供できるソリューションを推奨する。

この定義の中の enterprise は、BABOK®では、an enterprise is a system of one or more organizations and



the solutions they use to pursue a shared set of common goals とされ、単に組織を指すのではなく、組織が利用している solution (仕事のやり方)を含んでいる。

ビジネス・アナリシスの定義にある **Change** の考え方を図2に示す。ねらいは新しいビジネス価値を生み出すことである。今と同じ仕事のやり方を続けていては新たなビジネス価値は生まれない。従って、仕事のやり方を変える必要がある(チェンジ)。新しい仕事のやり方がソリューションである。ソリューションは業務プロセスだったり、業務そのものだったりするが、人間による作業とそれを支援するITシステムから成るのが一般的である。

仕事のやり方を変えることを可能にするのはテクノロジーである(図3)。テクノロジー(の進歩)は今までできなかつたことをできるようにしてくれる。目的(アウトプットや品質)は同じでも、テクノロジーは、より効果的、効率的な仕事のやり方のイネーブラーになる。仕事のやり方のチェンジが新たなビジネス価値につながる。

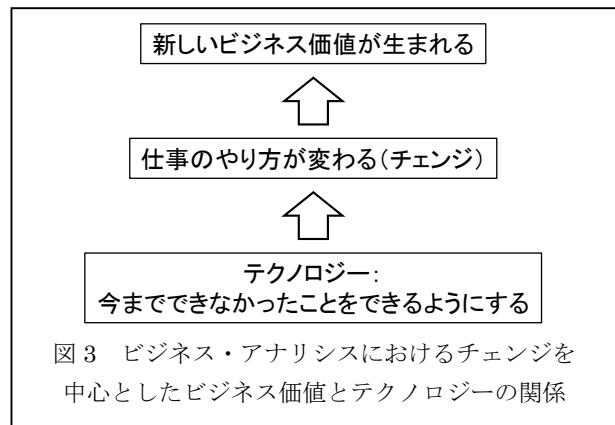
3.2 典型的なビジネス・アナリシスの仕事

ビジネス・アナリシスでは、今やっている仕事のやり方を新しい仕事のやり方(ソリューション)に変える(チェンジ)提案を行う。新しい仕事のやり方により、今まで得られていなかったビジネス価値が得られるようになるからである。ビジネス価値はステークホルダのニーズを満たすことにより得られる。ビジネス・アナリストはステークホルダのニーズを正しく把握し、そのニーズを満たすための新しい仕事のやり方を考える。

仕事のやり方を変えるのは、それによりメリットを享受できるステークホルダにとっては歓迎だが、そうではないステークホルダにとっては迷惑な話である。今でも仕事はまわっているのに、なぜ仕事のやり方を変える必要があるのか、今のま

- ビジネス・アナリストは業務知識がないと仕事ができない
→ 業務知識は elicitation タスクで引き出すもの
- ビジネス・アナリストは要求定義(要件定義)が仕事である
→ ステークホルダのニーズを正しく把握し
→ ニーズを満たすための新しい仕事のしかたを提案する
- ビジネス・アナリストはソリューションを開発する
- ビジネス・アナリストはチェンジを実施し実現する

図4 ビジネス・アナリストに対する誤解



までいいではないか、という反発は必ず生じる。ステークホルダにはいろいろな人がいて、仕事のやり方を変えるというと、賛成する人もいるが、反対し、抵抗勢力になる人たちがいるのが普通である。

ビジネス・アナリシスではこのような状況が起こりえることを想定しながら、チェンジが実現するようにさまざまな対策をする。ビジネス・アナリスト(ビジネス・アナリシスを実施する人)は仕事のやり方を変えなさいと指令する権限を持っていない場合が多い。ビジネス・アナリストは自分で仕事のやり方を変えるのではない。ステークホルダたちが、自ら仕事のやり方を変えた方がいいと認識し、そうなるように導くのがビジネス・アナリストの仕事である。

ビジネス・アナリストはマネジメントの権限を与えられて仕事をするのではなく、リーダーシップを發揮することで仕事をする。ステークホルダがビジネス・アナリストを信頼し、ビジネス・アナリストの目指していることに共感を得られるようになり、ビジネス・アナリストに協力できるようになって、はじめてビジネス・アナリシスの仕事が成功する。

ビジネス・アナリストにそうしなさいと言われたから、リアクティブにステークホルダが仕事のやり方を変えるのは望ましい状態ではない。ステークホルダが仕事のやり方を変えた方がいいと自ら意志決定したから仕事のやり方を変えるのがビジネス・アナリシスの理想的な状態である。

3.3 ビジネス・アナリスト

ビジネス・アナリストとは、ビジネス・アナリシスを実施する人である。BABOK®でのビジネス・アナリストの定義は、ビジネス・アナリシスのタスクのどれかを行うひとのことである。肩書は何でもよい。従って、非常に広い範囲の人が(自分はビジネス・アナリシスをやっていると思っていなくても)ビジネス・アナリストの範疇に入る。

図4にビジネス・アナリストに対する主な誤解を挙げた。最初は、ビジネス・アナリシスはビジネスを扱うのだから、ビジネス・アナリストは業務知識がなければ仕事はできないという思い込みである。逆に、ビジネス・アナリシス(BABOK®)を勉強すれば業務知識が身に付くと思っている人もいる。しかし、これは間違いである。ビジネス・アナリシスには elicitation(引き出

出し)というタスクがあり、業務知識はステークホルダから引き出すもので、あらかじめビジネス・アナリストが身に付けておかなければならないものではない。

次に、ビジネス・アナリストの仕事は「要件定義」だと誤解である。これは日本で最初にBABOKを普及させようとした人たちの認識の誤りから来ている。

ビジネス・アナリストはソリューションを開発したり、プロジェクト・マネジメントをしたり、チェンジ・マネジメントしたりすることは通常はない。ビジネス・アナリシスのスコープはあいまいなので、人によってはこのような仕事をやる場合もあるが、本来はスコープ外である。

ビジネス・アナリストの基本的な仕事は、ステークホルダに意志決定させることにある。その意志決定が企業のあるべき姿に向かうようにするのが最も大事な点で、難しいことであるがやりがいのある部分でもある。

4 BABOK V3

BABOKに記載されていることは、

- ① 知識エリア
- ② タスク
- ③ 基礎コンピテンシー
- ④ テクニック
- ⑤ 専門分野

である。BABOKはプロセスではなく、タスクの記述が中心である。

タスクの記述はすべてのタスクについて次のように統一されている。

- ① タスクの目的

- ② 説明
- ③ タスクへの入力、
- ④ タスクに含まれる活動要素
- ⑤ タスクを実施する際に使用するガイドラインとツール
- ⑥ タスクを実施する際に活用できるテクニック
- ⑦ そのタスクに関わるステークホルダ
- ⑧ タスクが終わった時に得られる成果

ビジネス・アナリストは常にステークホルダを意識しながら仕事をするので、⑦にステークホルダが入っている。

4.1 コア・コンテンツ

ビジネス・アナリストが行うタスクは次の6つの知識エリアに整理されている。この部分がBABOKのコア・コンテンツである。

- Business Analysis Planning and Monitoring(3章)
- Elicitation and Collaboration(4章)
- Requirements Life Cycle Management(5章)
- Strategy Analysis(6章)
- Requirements Analysis and Design Definition(7章)
- Solution Evaluation(8章)

これらの知識エリアの関係を図示すると図5になる。

図6に知識エリアごとにまとめられたタスクの一覧を示す。

4.2 BABOKの目的

BABOKは読んだ人が次のことを理解できることを目的として書かれている。

- 専門職としてのビジネス・アナリシス
- ビジネス・アナリシスで一般に受け入れられている仕事の

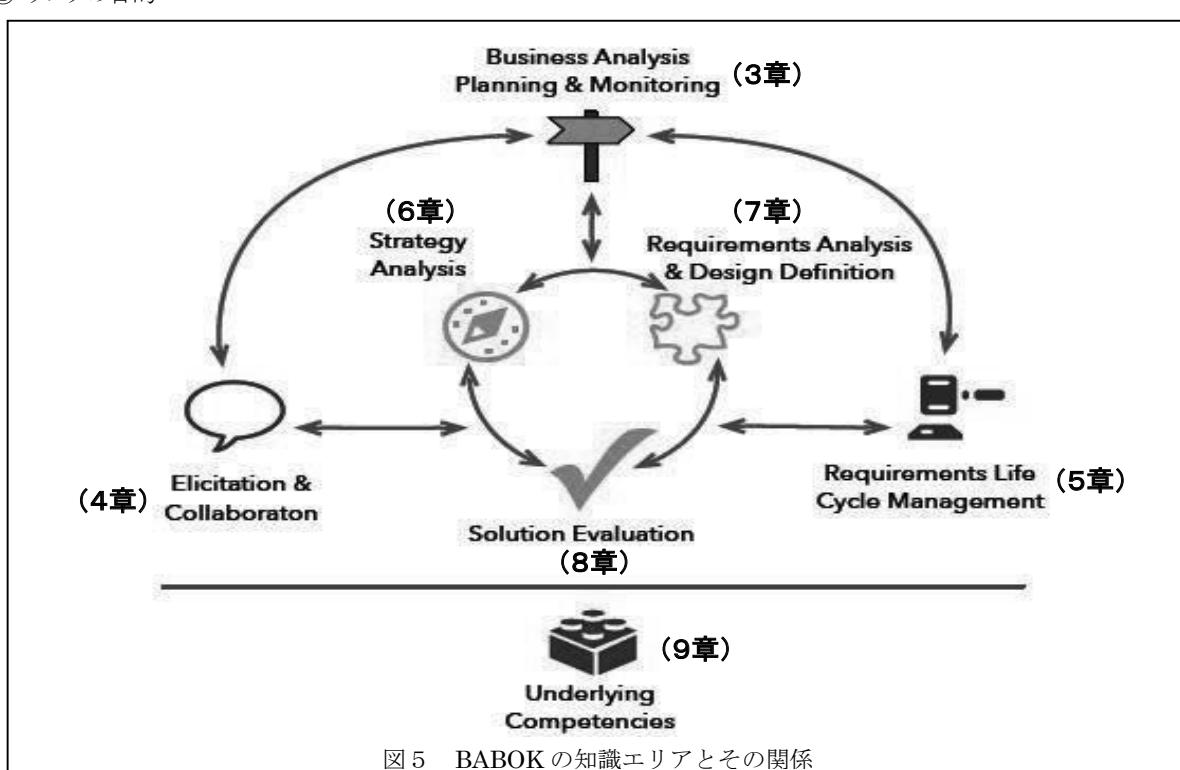


図5 BABOKの知識エリアとその関係

Business Analysis Planning and Monitoring 知識エリア
3.1 Plan Business Analysis Approach
3.2 Plan Stakeholder Engagement
3.3 Plan Business Analysis Governance
3.4 Plan Business Analysis Information Management
3.5 Identify Business Analysis Performance Improvements
Elicitation and Collaboration 知識エリア
4.1 Prepare for Elicitation
4.2 Conduct Elicitation
4.3 Confirm Elicitation Results
4.4 Communicate Business Analysis Information
4.5 Manage Stakeholder Collaboration
Requirements Life Cycle Management 知識エリア
5.1 Trace Requirements
5.2 Maintain Requirements
5.3 Prioritize Requirements
5.4 Assess Requirements Changes
5.5 Approve Requirements
Strategy Analysis 知識エリア
6.1 Analyze Current State
6.2 Define Future State
6.3 Assess Risks
6.4 Define Change Strategy
Requirements Analysis and Design Definition 知識エリア
7.1 Specify and Model Requirements
7.2 Verify Requirements
7.3 Validate Requirements
7.4 Define Requirements Architecture
7.5 Define Design Options
7.6 Analyze Potential Value and Recommend Solution
Solution Evaluation 知識エリア
8.1 Measure Solution Performance
8.2 Analyze Performance Measures
8.3 Assess Solution Limitations
8.4 Assess Enterprise Limitations
8.5 Recommend Actions to Increase Solution Value

図6 BABOK で扱っているタスク一覧

仕方

- ・ビジネス・アナリストと一緒に仕事をする人や、ビジネス・アナリストを雇う人がビジネス・アナリストに期待してよいスキルと知識
- ・ビジネス・アナリシスのすべての専門分野で共通に使われるフレームワーク
- ・チェンジの必要性を評価し、適切なチェンジを提案するために行うタスク

BABOK はビジネス・アナリストが行うタスクについて書かれているが、そのタスクをどのように実施するかは書かれていない。BABOK を勉強するとビジネス・アナリストのプロになれるかというと、具体的な仕事の進め方が書かれていないので、難しいと思われる。実践を経験するトレーニングの場があって、初めてビジネス・アナリストのプロが育成可能である。これは医者や弁護士が国家試験に合格しただけではプロになれず、現場で数年の実務経験を経てプロになるのと同じである。

5 主な知識エリア

5.1 引き出しとコラボレーション

Elicitation and Collaboration(4章)

BABOK が他の知識体系と比べて最も特徴的なのは、引き出し(Elicitation)タスクがある点である。引き出し(Elicitation)とは、企業(または組織)の現状、ステークホルダのニーズを把握するためにビジネス・アナリストが行うさまざまな活動を指す。新聞・雑誌記事、各種報告書、Web での記録・評判、ステークホルダへのインタビューなどあらゆる情報ソースが対象になる。情報ソースの中で最も重要なのはステークホルダである。

BABOK version 2 では、この知識エリアの名前は Elicitation であった。Version 3 になって Collaboration が追加された。ステークホルダの協力なしには、タイムリーで正確な情報を入手し続けるのが困難だからである。ビジネス・アナリシスの仕事でステークホルダがいかに重要な役割を果たすかを象徴している。

ほとんどの BABOK タスクは引き出し結果をインプットしているので、引き出しがきちんとできないとビジネス・アナリシスは失敗する。引き出しは最も重要なタスクのひとつである。

5.2 要求アナリシスとデザイン定義

Requirements Analysis and Design Definition (7章)

BABOK では **design** はソリューションデザイン(仕事のやり方)を指す。仕事のやり方に IT システムも含まれるが、IT システムの設計だけを指すのではなく、仕事のやり方全体の設計である。BABOK では、要求とデザインは明確に区別できるものではなく、同じものの異なった見方にすぎないとされる。ステークホルダのニーズを満たすために、何を(What)するかが要求であり、どのように(How)するかがデザインである。要求とデザインは常にセットで見直しの対象になる。

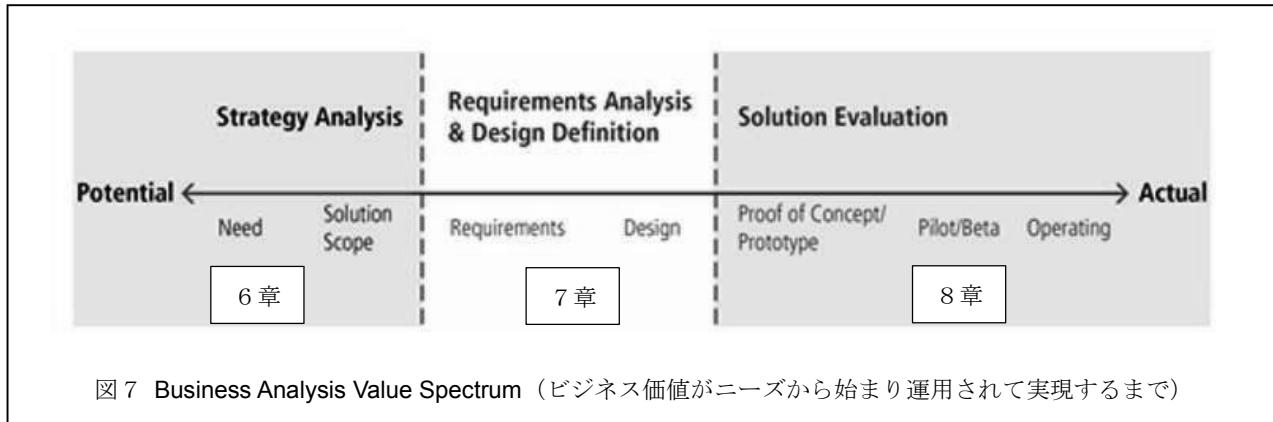
ウォーターフォール開発の考え方(要求定義が先にありその後に設計して後戻りしない)は完全に捨てられている。

5.3 Business Analysis Value Spectrum (6~8章)

図7は6~8章に繰り返して(3回)現れる図で、価値を軸にした価値スペクトルである(図7)。価値が得られるのはステークホルダのニーズを満たすことによるが、ニーズを満たすソリューション(仕事のやり方)が実現し、運用(Operation)に至って価値が現実のものになる。価値スペクトラムは、始めは潜在状態(左)から実現するまで(右)を表している。

最初はニーズからソリューション・スコープを決めるまで、戦略アナリシス(6章)に相当する。ニーズを要求として明示的に表現し、ソリューションの設計を決めるまでが要求アナリシスとデザイン設計(7章)である。ソリューションを実際に運用し、当初得られると想定した(6章)価値が実際に得られているかどうかを評価するのがソリューション評価(8章)である。

知識エリアとしては、6章、7章、8章に分かれているが、ビジネス価値の軸で見ると、これらの活動は、ニーズで決まる



潜在価値を運用までつなげて、どう実現していくかを表している。この活動は一方向ではなく、繰り返しや反復により徐々に良くしていくのが普通であると述べられている。

5.4 Define Change Strategy タスク(6章)

ビジネス・アナリシスでは現在行っている仕事のやり方のどこを変えるか(チェンジ)を決めるのが最も重要な部分になる。それを行うのが Define Change Strategy タスクである。現状がどうであるかを把握し、あるべき将来状態はどうかを見極め、現状から将来状態へ向かうために何をするかを決める。どのように仕事のやり方を変えるか(チェンジ)がこのタスクのアウトプットになる。

チェンジは実現可能でなければならない。チェンジの実施主体はステークホルダであり、ビジネス・アナリストではない。チェンジにより影響を受けるステークホルダの同意が得られなければチェンジは実行可能でない。チェンジが実現可能であるようにするにはいろいろな努力が必要である。残念ながら BABOK にはそのために何をすればいいかは書かれていない。この部分はビジネス・アナリストが持つ基礎コンピテンシーに委ねられている。

5.5 Plan Stakeholder Engagement タスク(3章)

このタスクの目的は、チェンジに関係するステークホルダ達と一緒にやっていく関係をどうやって築くかを考えることである。いろいろなステークホルダがいる中で、それらすべてのステークホルダと良好な関係を築き、協力を得られるように、ビジネス・アナリシスをどのように進めるかを計画する段階できちんと考える。チェンジが実現できるようにするために極めて重要なことである。このタスクが独立して取り上げられているのはビジネス・アナリシスの特徴と言える。

6 基礎コンピテンシー

BABOK(9章)にはビジネス・アナリストが持つべき基礎コンピテンシーがまとめられている。

ビジネス・アナリストはプロ(専門家)であるが、「あなたにできて、普通の人にはできないこと、専門性は何ですか」と質問されると答えるのが難しい。それは、ビジネス・アナリストの専門性は知識やスキルにあると言うよりは、コンピテンシーに

あるからである。コンピテンシーは次の6つに分けられており、重要と考えられる順に並べられている。

- Analytical Thinking and Problem Solving
- Behavioral Characteristics
- Business Knowledge
- Communication Skills
- Interaction Skills
- Business Analysis Tools and Technology

6.1 Analytical Thinking and Problem Solving

ビジネス・アナリストに求められるこのコンピテンシーは、自分が analytical thinking や problem solving ができるというだけでなく、ステークホルダへの働きかけにより、ステークホルダができるようにすることが含まれている。ステークホルダがどのように学習するか、どのような思考スタイルを持っているかを、ビジネス・アナリストが把握する上でこのコンピテンシーは重要である。

Creative thinking では、自分が創造的に思考するというだけでなく、他人(ステークホルダ)が創造的思考をするように助けることが含まれる。

Decision making は、ステークホルダが意志決定する場合に、それがステークホルダの自由意志による意志決定であっても、結果として企業にとって最適な意志決定になるようになることである。

Problem solving はビジネス・アナリストが問題を特定し解決する。ここまでは普通である。更にビジネス・アナリシスではこれに加えて、①すべてのステークホルダが問題の根本原因が何であるかをわかるようにする、②ソリューションが根本原因への対策になっていることをステークホルダが理解する、ことが含まれる。

ステークホルダが理解できるようにする、ステークホルダがアイデアを出せるようにする、ステークホルダが適切な意志決定ができるようにするなど、ビジネス・アナリストにはステークホルダへの働きかけが要請される。この部分のコンピテンシーがプロのビジネス・アナリストかどうかの分かれ目になる。

6.2 Behavioral Characteristics

このコンピテンシーは知識やスキルではなく、誰もが身

に付けた方がよい行動特性である。しかし、ビジネス・アナリシスに於いてはステークホルダの信頼、信用、尊敬を勝ち得ることが極めて重要であるため、コア・コンピテンシーである。

6.3 Business Knowledge

ビジネス・アナリストは豊富な業務知識を持ち、それをベースにビジネス・アナリシスを行うことがあるが、それは必ずしも正しくない。ビジネス・アナリシスでは、業務知識はステークホルダの方がビジネス・アナリストより詳しいのが普通である。業務知識は Elicitation タスクで引き出すことが可能であり、最初から身に付けていなければならぬものではない。ただ、あらかじめ業務知識があると、引き出す際に的確な活動を行えるので、ビジネス・アナリシス活動の品質が担保され、効率的、効果的というメリットがある。従って、業務知識は必須ではないが、無いよりはあった方が良い。BABOK には具体的な業務知識は書かれていないので、BABOK を勉強しても業務知識は身に付かない。

7 おわりに

ビジネス・アナリシスはプロフェッショナルが行う仕事である。ビジネス・アナリシスが対象にする領域は、新たなビジネス価値を生み出すチェンジが起こりうる場すべてになるので、非常に広い。例えば、ビジネス・アナリシスを医者だとすると、その専門性は内科、外科、放射線科のように細かく分かれいく。BABOK では、この専門性を Perspective(専門視点)と呼んでいる。ビジネス・アナリシスの専門視点の例が11章に5つ挙げられている。

- ・アジャイル
- ・ビジネス・インテリジェンス(BI:Business Intelligence)
- ・情報技術(IT:Information Technology)
- ・ビジネス・アーキテクチャー
- ・ビジネス・プロセス・マネジメント

ビジネス・アナリストの専門視点は上記だけに限らないし、新しいものがどんどん生まれていく可能性がある。

BABOK にはビジネス・アナリシスのタスクをどのように行うかは書かれていないものが多いが、タスクを行うためにどのようなテクニックが適用できるかは書かれている。これらのテクニックは 10 章にまとめて紹介されている。ビジネス・アナリストが使用するテクニックはこれだけに限らないが、BABOK で紹介されているのは図8に挙げた 50 のテクニックである。

BABOK は Version 3 になって大幅に改訂され、ビジネス・アナリシスがどのような仕事なのか、ビジネス・アナリシスではどのようなタスクを行うのかが明確に示された。BABOK は IT 系の人に向けてまとめられたものではなく、ビジネスをもっと良くしたいと考えている人たちのためのものである。“IT 屋”が上流、超上流と BABOK を位置づけているのは間違いだし、ビジネス・アナリストのプロにとって迷惑な話である。

第 10 章 テクニック

- 1 Acceptance and Evaluation Criteria
- 2 Backlog Management
- 3 Balanced Scorecard
- 4 Benchmarking and Market Analysis
- 5 Brainstorming
- 6 Business Capability Analysis
- 7 Business Cases
- 8 Business Model Canvas
- 9 Business Rules Analysis
- 10 Collaborative Games
- 11 Concept Modelling
- 12 Data Dictionary
- 13 Data Flow Diagrams
- 14 Data Mining
- 15 Data Modelling
- 16 Decision Analysis
- 17 Decision Modelling
- 18 Document Analysis
- 19 Estimation
- 20 Financial Analysis
- 21 Focus Groups
- 22 Functional Decomposition
- 23 Glossary
- 24 Interface Analysis
- 25 Interviews
- 26 Item Tracking
- 27 Lessons Learned
- 28 Metrics and Key Performance Indicators (KPIs)
- 29 Mind Mapping
- 30 Non-Functional Requirements Analysis
- 31 Observation
- 32 Organizational Modelling
- 33 Prioritization
- 34 Process Analysis
- 35 Process Modelling
- 36 Prototyping
- 37 Reviews
- 38 Risk Analysis and Management
- 39 Roles and Permissions Matrix
- 40 Root Cause Analysis
- 41 Scope Modelling
- 42 Sequence Diagrams
- 43 Stakeholder List, Map, or Personas
- 44 State Modelling
- 45 Survey or Questionnaire
- 46 SWOT Analysis
- 47 Use Cases and Scenarios
- 48 User Stories
- 49 Vendor Assessment
- 50 Workshops

図 8 BABOK で紹介されているテクニック一覧

参考文献

- [1] TSO 発行: ITIL® 2011 edition, 5 冊セット[日本語書籍], ISBN: 978-0-11-331409-6
- [2] PMI: プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK®ガイド) 第 5 版 日本語版
- [3] IIBA®: A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge® (BABOK® Guide) (2015)
- [4] IIBA® (International Institute of Business Analysis)
<https://www.iiba.org/>
- [5] Certification of Competency in Business Analysis(CCBA®)
[http://www.iiba.org/Certification-Certified-Business-Analysis-Professional-\(CBAP®\)](http://www.iiba.org/Certification-Certified-Business-Analysis-Professional-(CBAP®))
[http://www.iiba.org/Certification-Certified-Business-Analysis-Professional-\(CBAP®\)](http://www.iiba.org/Certification-Certified-Business-Analysis-Professional-(CBAP®))

情報技術者教育に於けるハードウェア教材の活用

成田 雅彦 *

Leverage in the information technology education

by using hardware teaching materials

Narita Masahiko *

Abstract

Embedded system areas, including mobile systems represented by smartphones, have begun an important corner of the software industry. In IT product areas, rather than using existing PC hardware, the cases where constructing a system product using newly created hardware, are increasing. In addition, hardware prototyping environments are becoming low cost. In this paper, we introduce information technology lecture courses, considering the above situations. And we will make some recommendations to take advantages on these situations for Information technology education.

Keywords: Information Technology Education, 3D Printer, Robotics, Raspberry Pi, Arduino

1 はじめに

大規模システムや基幹システムの開発分野と同等に、スマートフォンに代表されるモバイルシステムを初めとした組込システム分野は、ソフトウェア産業の重要な一角を占め、従事する情報処理技術者も増えている。また、IoT、ウェラブルコンピュータ、ロボットや自動運転なども注目され、ウェラブルコンピュータ等、既存のPCハードウェアではなく、ハードウェアを創作したうえでシステムを構築する例が増えている。また、3Dプリンターや、Arduino[1]、Raspberry Pi[2]などの組み込みcpuボードなどハードウェアを安価に、容易に試作できる環境も整いつつある。従って、情報処理技術者は、従来の企業システムやWebシステムだけでなく、ハードウェアを含めた製品／システムに積極的に関与する必然性がある。

筆者は、2004年からロボットサービスイニシアチブ(RSi)[3]においてロボットとインターネットとの連携したサービスやその規約RSNP(Robot Network Service Protocol)[4]を提唱しており、本学においては、講義科目において「ユビキタスプラットフォーム特論」[5]、「情報アーキテクチャ特論1」の一部[6]、また、情報システム学特別演習「インターネット上のサービス・プラットフォームの企画/戦略立案」[7]においてハードウェアを用いて、主に情報処理産業に従事している技術者に対して教育を実施してきた。また、ロボット学会、各地の産業技術セン

ターなどで一般技術者を対象にソフトウェア教育を実施してきた。本稿では、情報教育の視点でこれらを紹介し、ハードウェア教材の活用の課題と展開を考察する。

2 ハードウェア教材の活用の概要

筆者が担当している講義・演習科目でのハードウェア教材の活用、および、現在利用できるハード教材の概要とそこで得られた要件を述べる。

2.1 講義・演習と受講者、ハードウェア教材活用の目的

筆者が担当している講義・演習に於ける、利用目的、受講生の特徴、ハードウェア教材の利用目的について述べる。

(1) ユビキタスプラットフォーム特論

モバイル、組み込みシステムに興味を持っている、あるいは対象の業界に従事している情報処理技術者に対して、組込分野で用いられるソフトウェアプラットフォーム技術、背景となる要件、実システム例、業界動向を論じる。具体的には、Linuxをはじめ組込各種OS、周辺機器技術、スマートフォンのアプリケーション技術や携帯電話やロボット等と、業界動向を学び、本分野に深い理解と応用力を身につけた技術者を育成することを目的としている。形態は講義とグループ演習に分かれている。2014年からマイクロプロセッサ技術の講義で、Arduino、Raspberry Piなどのcpuボード(2.2参照)を用いた簡単なデモや、小規模なシステムのデモを行い受講生の理解向上を狙っている。3～4名に分かれたグループ演習では、関連の複数のテーマ

Received on September 30, 2010

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

から 1 つを選択し、技術動向調査やcpu ボードを用いた簡単なシステムの構築を行い、受講生のスキルの向上につとめている。講義期間中,cpu ボードを 2~3 台貸し出しているが、Linux が搭載されている Raspberry Pi は、講義で得た知識がそのまま試せることがあり人気がある。個人的にシステムを試作し、また、cpu ボードを自費で購入する受講生もいる。これらについては次章で詳述する。

(2) 情報アーキテクチャ特論 1

IT 関連の基礎知識の整理・定着が必要な受講生を対象に、当専攻の履修に必要とされる基礎知識の整理・定着のため、基礎理論、システム構成(ハードウェア、情報機器の構成要素、システムの構成)、情報技術の活用・展開について学ぶものである。2014 年からハードウェアの講義で、論理回路の説明に於いて、図 1 のように、ブレッドボード上に組み立てたディスクリートの IC やトランジスタを使い論理回路を構築し動作のデモを行っている。IT 関連の技術者には文系出身も多く、ハード部品の知識が不足しているからである。更に、半田付けすることなく、電子部品を接続できるツールを提示することで、これらを使ったハード工作に興味を感じられるようにとの試みである。結果、受講生の理解向上を期待している。

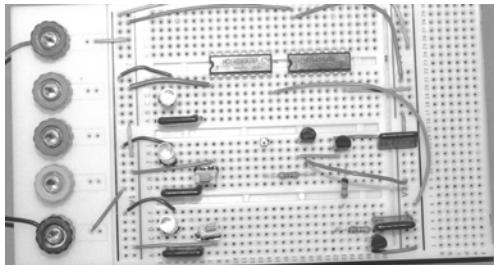


図 1 ブレッドボード上に組み立てたディスクリートの IC やトランジスタを使った論理回路のデモ

(3) インターネット上のサービス・プラットフォームの企画/戦略立案(情報システム学特別演習)

ビジネスの仕組みを理解し、企画に必要な能力を獲得することを願う技術者を対象に、デバイスとネットワークを連携した有望なサービスを企画し、普及の戦略立案を行い、試作・評価を行うものである。具体的なテーマは、「個人にかかる情報の活用と運用」(2009 年度)[8]、「音声通信ロボットの実現とサービスロボットビジネスへのアプローチ」(2013 年度)[9]など、有望な企画を提案した。結果、2 件は論文誌に採録され、学会や業界団体主催の各種コンテストに合計 5 回受賞した。2015 年度は、「サービスロボットとスマートデバイスの連携によるマーケティングプラットフォーム構築の試み」として、デジタルサイネージ風のロボットを作成しイベント会場や観光業の顧客の行動から嗜

好を把握する可能性を検討している[10]。このプロジェクトを通して、使用したデバイスは Kinect を 3 回、顔認識ソフト 3 回、ステレオビジョンカメラ 1 回、スマートフォン (Android 1 回、iPhone 2 回)、3D プリンター 1 回、Mini PC(HP Stream Mini) 予定である。Arduino、Raspberry Pi の利用が見当たらないのは、企画/戦略立案がテーマなので、システム開発を狙うテーマが多く、利用するデバイスの粒度が大きいことが理由である。今後、Raspberry Pi の処理能力が上がれば組み込みボード系の利用が増えると考えられる。3D プリンターの利用については 3 章で述べるように、学生は大変興味を持っているにもかかわらず、利用環境が不十分のため調査にとどまった。今後、整備されれば、利用頻度が増えてくると思われる。

2.2 利用できるハード教材と要件

現在利用できるハード教材の主な物として、安価なコンピュータボードである Arduino、RaspberryPi について情報技術者教育に於けるハードウェア教材という視点で、概説、利用例、どこまで使えるかに関する評価を行う。また、3D プリンターについては、今後利用したいハード教材ではあるが、直ちに利用できないという課題があるこの点を含めて 3 章にて、今後の展開として論じる。

(1) Arduino

2005 年 イタリア・イブレア発祥のオープンソースハードウェアであり、CPU は、アトメル社の AVR を使っている。当初ロボット向けに開発されたが、教育用や DIY に広く使われている。また、3D プリンターの RepRap で標準ハードとして使われている。モータなどに接続する IO ポートが多く、種類も PWM や AD コンバータなど多彩で、模型用サーボモータ、センサーや液晶パネルの接続の接続が容易である。また、拡張基板(シールド)の販売されている。しかし、Linux のような標準 OS が搭載されていない。

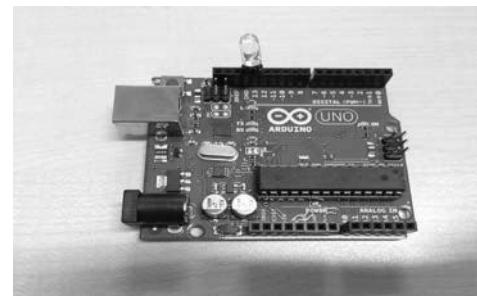


図 2 Arduino ボードの LED を点滅させるのデモ

Arduino の開発環境は、PC 上の「Arduino IDE」がある。これは、gcc を利用したメインループなどを隠蔽した C ベースのスケッチを使用してプログラムする。完成したプログラムは、アップロード機能を用いて、Arduino ボードに書き込む。このとき、特殊な装置や電源は不要である。

一方、PC 上には、Java を単純化し、グラフィック機能に特化した、オープンソースの統合開発環境「Processing」があり、Arduino ボードとは、TCP/UDP 通信ライブラリである oscp5, netp5, シリアル通信ライブラリである processing.serial を使って通信できる。

ユビキタスプラットフォーム特論では、典型的な例として Arduino IDE を取り上げ、クロス開発の説明と Arduino ボードの LED を点滅させる（通称 Lチカ）実演を行っている（図 2）。これは、LED のリード線 2 本を Arduino ボードにつなぎ、5行のプログラムを書くだけで動作し仕組みが分かり易い。

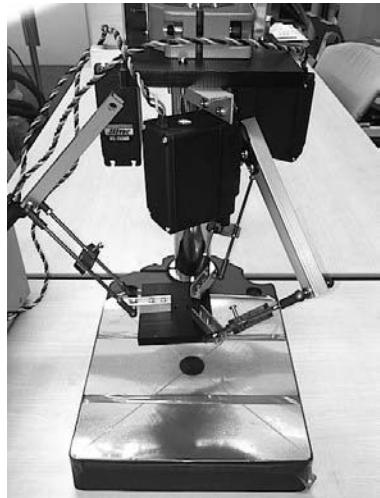


図 3 Arduino ボードと模型サーボモータを使った
デルタロボット

また、ロボット業界動向の解説では、2013 年より Arduino ボードと模型サーボモータを利用して手作りした、30cm 程度のデルタロボットをデモしている（図 3）。デルタロボットは、動作が高速で、多軸ロボットに比べて誤差が累積せず精度がよく、重い物をハンドリングでき、コストが安いという特徴がある。近年特許切れになり、3D プリンターにも技術が応用されつつある。このロボットは材料費が 1 万円程度だが強力である。20 万円以上のシリアルアームの教育用の市販品でも 50g 程度しか持ち上げられないが、これは 450g を持ち上げることができる。迫力があつてこの解説は学生にインパクトがあり好評である。このロボットアームは、腕の支柱にはネジ切りした真鍮棒でピロボールとアジャスターでつなぎ、アルミアングルで固定し、それを、POM (polyoxymethylene) の台に固定している。3 つの腕にある 6 本の支柱の位置が重要であるので、このフライス盤にて位置決めを行っている。従つて、十分な工具がないと再現できないし、作成に時間がかかる。このロボットを 3D プリンターで容易に再現できるようにし、設計データを配布すれば、より身近になり興味をもたれるとと思うが今後の課題である。

グループ演習においては、2014 年に、Arduino の調査、及び、動作の演習を行なった。また、2015 年には 2 つの Arduino ボードと Raspberry Pi のボードの貸与を行ったが、Arduino ボードの希望者は無く、raspberry ボードの希望者が多かった。これは、Arduino が Raspberry と比較して、汎用の OS がなく、通信の WiFi がなく、Bluetooth が外付であり、馴染みのミドルウェアが使えないなど敷居が高いと思われる。

(2) Raspberry Pi

Raspberry Pi (図 4)は、ケンブリッジ大学のエベン・アプトンが、減少していく学生の数とプログラミングを専攻する学生達のスキル水準の低さに失望し、子供達が自由な発想でプログラミングができるよう、プロジェクトを立ち上げ、2012 年から出荷されているワンボードコンピュータである。日本では 5 千円程度と低価格で、2015 年 2 月 18 日までにワールドワイドで累計 500 万台出荷したとされ、注目されている。これは、iPhone や Android の CPU と同じアーキテクチャの ARM(4 core, クロック周波数 900MHz) を用いており、OS は Linux が動作する。さらに、教育だけでなく、3 章で述べるようにセンサーを接続しインターネット経由でデータを収集し分析する IoT への利用なども考えられている。



図 4 Raspberry Pi2 ボード

ユビキタスプラットフォーム特論のグループ演習では、2015 年に、Alljoin Service のデモンストレーションとして、USB 温度計をつなぎ Raspberry Pi を使って実行し、PC と通信し、温度を表示するシステムを試作した。2014 度は、Raspberry Pi を使い、Motion(Linux 用の動画配信ソフト)を用い、UVC 互換の Web カメラ User から取得した画像を配信し、AquesTalk Pi(Raspberry Pi で音声合成を行うためのプログラム)を使い音声合成を行い、無線 LAN を使って通信するシステムを試作した。このように受講生は Arduino に比べて積極的に取り組んでいるよう見える。

このように Raspberry Pi が好意的に受け取られるのは、Raspberry Pi で Linux が動作し、WiFi で通信ができ、

Java をはじめミドルウェアが動作するのでソフトウェア開発者として違和感がなく使えることが起因していると考えられる。一方、近年、Windows ベースの HP Stream Mini やスティック型 PC が発表され、Raspberry Pi のような利用も可能になりつつあり、低価格の windows tablet も増えているので、この分野での講義等での選択肢は広がっていると言える。一方、スマートフォンも類似の目的に使える可能性はあるが、現状、Android 製品はアーキテクチャの寿命が短く、iPhone では IO の制限が強く、使えるミドルウェアが制限されているという問題点がある。

ここで述べたことをまとめると、情報技術者教育で利用できるハード教材で要求される、あるいは望まし要件は、
a. 容易に直ちに使える、b. 安価に受講生が試られる、c. 新しい技術、d. 動きなどで迫力のあり驚きのあるものと、言える。a には、今まで蓄積してきた IT 技術が利用できることも対応し、比重が大きいと思われる。また、情報処理の学習が主であることがら、それ以上の環境整備に時間できることは敬遠される。現状のハードウェア素材は、こうした要件を満たしつつあるものも多く、また、少しの工夫でこうした要件を満たす事もできる。

3 予備検証と展開

本章では 2 章で述べた用件を満たすべく、Raspberry Pi を使った更なる展開や、工夫によって 3D プリンターの容易性を向上させた例を示し、講義等への導入の可能性について考察する。

3.1 Raspberry Pi の利用

(1) IoT(Internet of Things)への利用

ロボットサービスイニシアチブで策定しているロボットサービス向け仕様 RSNP のライブラリを使ってセンサーディバイスからデータを RSNP サーバに長時間送信する IOT ロボットシステムを実装した(図 5)[11]。これは、3 線で接続できる温度センサー DS18B20+ を接続した Raspberry Pi 上に RSNP のクライアントを実装し、RSNP のモジュールである multimedia sensor profile を用いて温度情報を定期的にサーバへ送信するものである。

Java で書かれている、規模の大きい仕様である RSNP の実装ライブラリは、Arduino では動作しない。しかし、Raspberry では Java が実用レベルの速度で動作するために、ワンボードのマシンに実装できたことが特徴である。今後、小型で安いロボット等に展開できる。他の特徴は、市販のボックス(内外電機製フリープラボックス)に格納しステンレスバンドで支柱に設置、屋外用電源コードで防雨コンセントにつなぐ事で、一般的の機器と同様に屋外に置く事ができる。



図 5 RSNP を用いた IoT ロボットシステム

(2) T 型ロボットとの連携[12]

都立産業技術研究センターで開発された T 型ロボット(図 6)に、Raspberry Pi を搭載し、その上に RSNP ロボットと、T 型ロボット制御用の RTM[13]ベースのコンポーネント(TRobotRTC)を搭載し連携させた。このために、連携モジュールを python で開発し、これらを RSNP ロボットとは named pipe[14]で、TRobotRTC とは、CORBA ベースの RTM で連携した。これにより、RSNP を用いて実ロボット環境との互換性を実現するベースとできることが確認できた。これは、Linux が動作し、WiFi で通信ができ、Java だけでなく、CORBA というミドルウェアが動作するという Raspberry Pi の特性を生かすことでも実現した。このシステムは既に ROBOMECH2015 など幾つかの講習会で利用しており参加者に興味を持っていただいている。このように Raspberry Pi は汎用の OS をもちパワーはある組み込みボードであることから、今まで蓄積してきた IT 技術が利用できることになり、情報技術者むけの教育ではたいへん使い勝手が良いく広く使っていけると思われる。

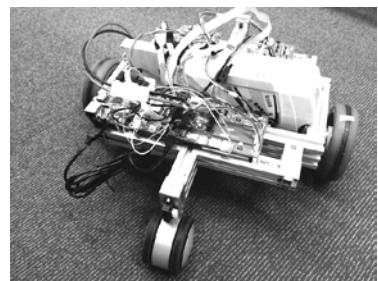


図 6 T 型ロボット
手前左側にあるのが Raspberry Pi のボード

3.2 3D プリンターの活用

本節では、活用したいハードウェア教材の一つである 3D プリンターについて、情報システム学特別演習への導入のフィージビリティスタディ、課題、課題の検討と解決について考察する。本分野は発展途上で様々な製品が継続

的に発表されているが、ここでは、現行のものをどう使っていくかという視点で考える。

(1) 情報システム学特別演習でフィージビリティスタディ

「インターネット上のサービス・プラットフォームの企画/戦略立案」(情報システム学特別演習)では、3Dプリンターのための造形データの販売サイトがテーマにあがり、短期間にフィージビリティスタディを行なった。造形の対象物は手に持って移動できる程度の大きさで、品質は現状の技術レベルで実現できるものを想定した。一般向け3Dプリンターは新しい分野であり、当時は低価格でしっかりと完成品は販売されていなかった。したがって、3Dプリンターに詳しい創造専攻の教員に相談し、教育目的に使える、FDM(Fused Deposition Modeling)方式のオープンソースコミュニティで開発されているRepRap型のPrusa2キット(図7右)[15]を購入し、プロジェクトで組み立てることとした。このキットは相談先の研究室では組み立て、動作したものと同等品である。

フィージビリティスタディは、ボランティアの学生がハード部分の組み立てを行い、プロジェクトの学生が調整とソフトを担当し、数回のプロジェクト活動を使い予想以上手間取った。結果、ハードの組み立てとソフトウェアの設定が完了しフィラメント(造形材)を溶融するまでの動作を確認した。それ以降は、造形部品が弱さから、調整、造形データの収集、造形などを残して終了とした。

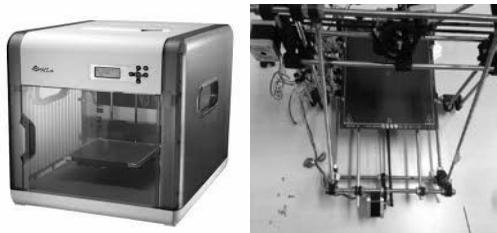


図7 利用した3Dプリンター Da Vinci1.0(左)と Prusa2.0キット(右)

(2) 完成品の低価格プリンター

2014年に台湾のXYZprinting社の製品(完成品)であるFDM方式のDa Vinci 1.0[16](図7左)を前出のキットとほぼ同額で入手した。これもオープンソースRepRapプロジェクトを基にしたものである。この製品のセールストークは、購入時から素人でも直ぐ造形ができることがある。しかしながら、フィラメントの設定にあたり、フィラメントを長さ数センチにわたってヘッドに入れないといけないのだが、記載が不十分で、サポートに電話を書ける事になった。これ以外には大きな問題は生じなかった。他の特徴は(3)のPrusa2キットとの比較の中で述べる。使い

込むと、ヘッドと造形物の支持台であるプラットフォームの平行性の調整(キャリブレーション)が必要になる。原理的に難しいことではないが、半自動の上に調整の見通しが悪く2時間もかかるので、一時放棄してしまった。その後、ダイヤルゲージをヘッドにつけて調整する方法を見つけ、1~2分程度でできるようになり、この問題は解決した。このキャリブレーションは後続の機種では改善された。また他社製品でも自動キャリブレーションは売りになっていたので、この問題が極めて大きいものであることがわかる。

(3) 課題

(1)で用いたPrusa2プリンターキットは、Da Vinciを入手後、改めて、組み立て、調整、造形データの収集、造形を行い、両者を比較した。この結果、プリンターキットの課題だけでなく、Da Vinciが製品化したときの思想、共通の課題などを知る事ができたのでこれを含めて述べる。Prusa2プリンターキットの再組み立てだが、キットで用いられている3Dプリンターで造形したABSプラスチック部品の多くは経年劣化で破損しており、再構築が必要だった。その他、オープンソースのために発生するソフトとボードのバージョンの不一致、マニュアル不備から来る組み立てミス、mac上のVirtualBoxでWindows上でUSBを使ったときの障害、原因不明の造形中断などの問題が発生して手間取った。また、マニュアルには、オープンソースの印刷用の2つのソフトウェアの使い方についての記載がなく、機種依存の細かいストップが必要で、使い勝手は悪く、初心者指向でないことが分かった。特に、フィラメントの入れ方がわからず時間をとられてしまったが、Da Vinciでの経験で解決できた。同時期、日経ビジネス誌で記者が同じキットの組み立てに挑戦した記事が連載されたのだが、記者はここで、失敗して放棄している。これからも分かるがフィラメントを入れる(ローディング)際の問題は一般的と思われる。造形を始めると、フィラメントのスプーラの支えが必須であるが、キットにはなく、自作の必要がある。しかし、造形を始めると、Da Vinciにやや劣るものの同じ程度の精度が出た。

一方、Da Vinciが優れている点は、上で述べたオープンソースRepRap型の課題を、初心者向けに製品化することで解決している。即ち、機種固有の設定が不用となるように印刷のプロセス設定を割り切って、ソフトウェアの設定を最小限としている。また、大きな課題のフィラメントのローディング、アンローディングにはレバーを用意し、容易にできるようにしてある。また、フィラメントの支えは設置済みだし、原因不明の印刷の中止は、起きない懐くするために、リアルタイムのデータ転送をやめ、一括送信に変更してある。さらに、造形素材にABS樹脂が、冷却によるそりかえりを防ぐためにヒータや密閉箱が備えてある。

言い換れば、Prusa2 プリンターキットはコミュニティ向けの安価なキットであり、ここで課題としたものはコミュニティという観点では課題でなくなる。一方、Da Vinci は、精度は、コミュニティ向けと同じで高い訳ではないが、操作、設備、価格の点で、誰でも使えるよう製品化した所に強みがある。原理の発明やアイディアは遅れるものの製品化は日本の得意分野と記憶しているが、現在の 3D プリンターでの日本製のセールストークは品質しか残っていないのが気にかかる。

ところで、当初の利用の目的に沿った Prusa2, Da Vinci 共通の課題は、造形物の大きさである。両者ともおよそ 20cm x 20cm 程度のものは作れるのだが、10 インチディスプレイの PC 程度の大きさのものを作るとぎりぎりとなる。ありきたりの課題ではあるが、a. 造形時間が長い、b. 大きいものを分割して造形すると組み合わせ精度の確保が問題になる。

(4) 組み合わせ精度の課題と解決

上記の課題を解決し、2015 年度の情報システム学特別演習の準備作業として、10 インチタブレット PC(iPad)を展示用に市販のディスプレイアームに固定する展示用タブレットフレーム（図 8）を試作した。



図 8 3D プリンター Da Vinci 1.0 で試作した

この展示用フレームは、タブレットの筐体全体をフレームで覆っており、フレームはネジ止めてあるので、展示会場で、チェーンでつながなくとも持つてかれにくくなっている。支柱への取り付けは VESA FPM PMI 規格に準拠しているので、他の支柱へ載せることも容易である。IPAD 用で Doc コネクタを挿せ、電源ボタンも使えるという特徴がある。この手のものは市販されていない。一方、設計は OpenSCAD で行ない、そこから 3D プリンター用の stl ファイルを生成する。設計データは OpenSCAD のソースプログラムとして保存されるので、3D プリンターの特徴を生かして、パラメタの修正だけで他のタブレット用のフレームを作成することも容易である。また、後述する補正パラメタを変更することにより異なる 3D プリンターでも造形することができる。

次に組み合わせと精度について述べる。作成対処が、10 インチディスプレイのサイズのため、使用した 2 台の

プリンターの印字サイズの制限から分割する必要がある。そのために、全体を 12 個の部品に分割して作成した。組み合わせ部分は臍の構造を用いた（図 9）。ここで問題になるのが、分割した部品を組み合わせたときに起こる、狂いである。具体的には部品を造形した際に起こる設計値との差（狂い）と、反りである。前者の積層の際にフィラメントが僅かながら広がることで発生したり、積層の僅かなズレから生じる。反りは、高温であったフィラメントが冷える際のムラかた生じる。軽微なものは、造形終了後にヤスリで削って形を整えることで解消するが、修正が大きいと狂いの元凶になる。今回は、設計値と異なる「狂い」についてのみ補正した。具体的には、設計データである OpenSCAD のソースプログラムを、図 10 のように、補正前の図形（灰色部分）に対して、補正值の分だけ凸領域は小さく、凹領域は大きく変更した（薄い灰色）。また、不足分にスペーサーを追加した（黒）。補正值は、3D プリンターによって異なるが、積層間隔は 0.3 mm の場合、Da Vinci では、0.15 mm, Prusa2 では 0.23 mm とした。この値は、何度か造形し、測定結果に基づいて決めている。



図 9 展示用タブレットフレームの OpenSCAD の表示。色が変わっている部分が分割した部品



図 10 補正前と補正後の比較

結果、Da Vinci では、積層の異常点（殆どないが）をヤスリで削除、ネジ穴はトリマで補正（軽く回す）のみで組み立てられる。表面は積層痕が残る物の、用途を限定すれば、殆ど後処理無しに、試作に利用可能なものが得られる。ABS 樹脂を利用した。Da Vinci はプリンター全体が筐体で回りが囲われており、反り返りは起こらない。Prusa2 では、積層の異常点（かなりある）をヤスリで削除、ネジ

穴はトリマで補正のみで組み立てられる。素材は PLA(polylactic acid)を使用した。やや反りがあった。素材としては、ヤスリがけをすると毛羽立ったり塗装が困難なので、最終的な仕上がりは綺麗ではない。

(5)まとめ

以上のように、完成品の低価格プリンターを用いて組み合わせ精度の課題を解決でき、やや大きめの展示用 10 インチタブレットフレームを試作することができた。これらの工夫により、完成品の低価格な 3D プリンターを用いて容易に小規模な造形ができることが検証できた。

補正には改良の余地はあるが、設計には OpenSCAD を使い、設計データはプログラムとして保持してあるので、短時間で繰り返しの修正、他への適用、拡張が容易である。印字速度については、FDM 方式は、原理的に遅い。これは造形前にシミュレータで検証するのが原則だが、この使い勝手の向上は時間短縮の鍵になると思われる。今後、講義あるいは演習で新しい技術としての 3D プリンターをより効果的に活用していく。

4. まとめ

スマートフォンに代表されるモバイルシステムを初めとした組込システム分野は、ソフトウェア産業の重要な一角を占め、また、既存の PC ハードウェアではなく、ハードウェアを創作したうえでシステムを構築する例が増えていている。また、安価にハードウェアを試作できる環境も整いつつある。こうした環境を生かせる情報処理技術者となるべく、筆者の携わっている講義科目、演習科目において行っている、低価格ワンボード、3D プリンターなどハードウェアを用いた教育の試みについて、情報教育の視点で紹介し、ハードウェア教材の活用の課題と展開を考察した。

謝辞

本研究は一部 JSPS 科研費 26330299 の助成を受けています。

参考文献

- [1] Arduino, <https://www.arduino.cc>, 2015, ONLINE
- [2] Raspberry Pi,
https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi, 2015,
ONLINE
- [3] RSi Robot Service initiative,
<http://robotservices.org/>
- [4] 成田雅彦他、インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi (Robot Service initiative) の取り組み、日本ロボット学会誌, Vol.28, No.7, pp.829-840, 2010.
- [5] 成田雅彦、ユビキタスプラットフォーム特論、平成 27 年度 産業技術大学院大学 シラバス, p14-p15, 2015
- [6] 専攻全教員、情報アーキテクチャ特論 1, 平成 27 年度 産業技術大学院大学 シラバス, p24-p25, 2015
- [7] 成田雅彦、インターネット上のサービス・プラットフォームの企画/戦略立案、H27 年度 PBL プロジェクト説明書, 2015
- [8] 中川優里、泉井透、伊勢川暁、荒井健太郎、其田雅徳、成田雅彦、小木哲朗、個人に関わる情報の取得と運用方法の提案-家計簿システムによる購買情報の自動取得と運用方法について-, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J95-D No.4, 2012 年 4 月 1 日, pp.825-833
- [9] 大澤秀也、朝倉健介、小原範子、藤田尚宏、佐藤健、中川幸子、成田雅彦、RSNP 拡張によるロボット制御と音声通信の統合のためのロボットサービスプラットフォーム、日本ロボット学会誌 Vol.33 No.2, 2015-3
- [10] 中川大助、サービスロボットとスマートデバイスの連携によるマーケティングプラットフォーム構築の試み、日本ロボット学会学術講演会 2015, 3N3-01, 2015
- [11] 成田雅彦、中川幸子、土屋陽介、松日楽信人、非専門家向け開発フレームワークを活用したロボットサービスのマーケッティングへの展開の提案、日本ロボット学会学術講演会 2015, 3L1-01, 2015
- [12] 佐々木智典、成田雅彦、RSNP と RT ミドルウェアを利用した移動ロボット遠隔操作システムのシングルボードコンピュータ上での構築、日本ロボット学会学術講演会 2015, 3L1-04, 2015
- [13] N. Ando et al., "RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2005 (IROS 2005), pp. 3933-3938, 2005
- [14] 成田雅彦、異なるフレームワーク間のプロセス間通信 - RNSP を中心としたシステム間連携の手法 -, 産業技術大学院大学紀要, Vol 8. pp. 245-251, 2014.
- [15] Prusa2, <http://blog.reprap.org/2011/11/prusa-iteration-2.html>, 2015, ONLINE
- [16] Da Vinci, <http://us.xyzprinting.com>, 2015, ONLINE
- [17] OpenSCAD, <http://www.openscad.org>, ONLINE

国際共同開発 PBL によるロボットサービス“BuddyBot”の開発

土屋 陽介* · Liyanage C De Silva** · Muhammad Saifullah Abu Bakar ** ·
中鉢 欣秀* · 成田 雅彦*

Development of Robot Service “BuddyBot” by International Collaborative PBL

Yosuke Tsuchiya*, Liyanage C De Silva**, Muhammad Saifullah Abu Bakar**,
Yoshihide Chubachi*, and Masahiko Narita*

Abstract

In Advanced Institute of Industrial Technology (Japan), we have been carrying out the global PBL (Project Based Learning) for developing a robot service in collaboration with foreign universities from 2008. Universiti Brunei Darussalam (Brunei Darussalam) and Unitec Institute of Technology (New Zealand) participated in this global PBL last year. Then, we carried out a collaborative project by the universities in these three countries as a new trial. We made a support robot called "Buddy-bot" for a chronic infant patient by this PBL. In this paper, we report about the summary of the global PBL for 2014, and results of developments of the robot services.

Keywords: Global PBL, Robot Service, Collaborative Development

1 はじめに

産業技術大学院大学(以下、本学)では 2008 年度からグローバル PBL の取り組みを実施している[1-2]。この PBL は海外の大学と共同でソフトウェアを開発する PBL 教育として始まった。2008 年度からは Vietnam National University, Hanoi – University of Engineering and Technology(以下, VNU)とグローバル PBL を実施している。2013 年度からは Universiti Brunei Darussalam(以下, UBD)がこのグローバル PBL の取り組みに参加し、2 か国の大学とロボットサービスアプリケーションを共同で開発するグローバル PBL を実施した[3]。2014 年度からはさらにニュージーランドの Unitec Institute of Technology(以下, UNITEC)がこのグローバル PBL の取り組みに参加し、日本、ブルネイ、ニュージーランドの 3 か国の大学による共同開発 PBL を実施した。2013 年度は日本とベトナム、日本とブルネイという 1 体 1 のプロジェクトを 2 組が並列で同じテーマの PBL を実施していたが、2014 年度のグローバル PBL では、これまでの日本とベトナムの組に加え、日本、ブルネイ、ニュージーランドの組の計 2 組で別々のテーマで PBL を実施した。テーマとしては、日本、ベトナムチームが「新しい Web アプリケーションの開発」、日本、ブルネイ、ニュージーランドのチームが「RSNP を利用した新しいロボットサービスの開発」というテーマで PBL を実施した。なお、本グローバル PBL は 2013 年度から enPiT(分野・地域を越えた実践的情報教育協働

ネットワーク)[4]におけるグローバルサービスアプリケーション開発コースとして実施している。そのため、enPiT のカリキュラムに合わせて 2 週間のミニ PBL(短期集中合宿)と約 3 ヶ月の分散 PBL に実施期間を分けて PBL を実施した。

本論文では、2014 年度に実施した日本、ブルネイ、ニュージーランドの 3 カ国の大学による PBL の成果について報告する。

2 本学でのグローバル PBL の取り組み

2.1 グローバル PBL の目的

日本企業において海外展開はさらなる成長のための 1 つの大きなポイントであり、中小企業の海外展開も増えている[5]。その課題としてあげられるのがグローバル化を推進する人材の確保・育成である[6]。そこで我々は日本の企業に求められるグローバル人材の育成を目的とし海外に出て活躍する人材の育成ではなく、日本において海外の人や企業と仕事ができるスキルを身につけることを目標としている。具体的には以下の経験・スキルを身につける。

- 英語によるオンラインコミュニケーションスキル
- 海外拠点との共同開発の経験
- 海外拠点のマネジメントスキル
- 海外の文化・特徴の理解

2.2 これまでの取り組み

2012 年度までのグローバル PBL では、主に海外拠点が開発を行うオフショア開発型で PBL を実施してきた[7]。これ

Received on September 30, 2015

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

**Universiti Brunei Darussalam

は、2012 年度くらいまでは日本企業が海外展開する際、低コストな生産拠点の確保のための海外展開がメインであったためである。しかし、近年の日本および世界の情勢の変化により、日本の製品・サービスの新しい受注先の確保のための展開へと変化してきている。よって、2013 年度からは新たな試みとして、海外から要求を引き出し、日本側で開発をする受注型で PBL を実施した[8]。これにより、獲得できる主なコンピテンシーも海外拠点の開発をマネジメントする能力から海外拠点から要求を引き出す能力に変わっている。

このように、2013 年度のグローバル PBL では、開発のスタイルを変更して実施したが、そのグローバル PBL 終了後に海外の協力大学の参加学生から意見を聞いた結果、海外の学生ももっと開発に参加したいとの意見が多かったため、2014 年度からは開発には日本側だけでなく海外側とも共同で携わっていく形にした。

3 2014 年度のグローバル PBL

3.1 グローバル PBL の概要

2014 年度のグローバル PBL ではニュージーランドの UNITEC が協力大学として加わった。そこで 2014 年度のグローバル PBL では 2013 年度から引き続きの日本、ベトナムチームに加え、新たな試みとして日本、ブルネイ、ニュージーランドの 3 か国の大学によるプロジェクトチームを結成し、3 カ国による共同開発 PBL を実施することにした。3 か国による共同開発 PBL はこれまで本学では実施しておらず、これが初めての試みとなる。本論文では、2014 年度に実施した 2 つのグローバル PBL のチームのうち、3 か国による共同開発プロジェクトチームの詳細について述べる。

3.2 グローバル PBL のテーマ

3 カ国の大学による共同開発 PBL のテーマとして、「RSNP を利用した新しいロボットサービスの開発」を設定した。これは 3 カ国のによる共同 PBL がなるべく円滑に進むよう、昨年度から 2013 年度から参加している UBD にとって実施経験のあるテーマに設定したためである。

新しく本学のグローバル PBL に参加するにあたり、本グローバル PBL の進め方および学生への指導方法などを、これまで毎回本学の教員が現地の教員に対し実際にグローバル PBL を体験してもらいながら説明してきた、これは今後も継続的にグローバル PBL を実施していくために必要なことだと考えている。

今回、2013 年度と同じテーマで実施することで、2013 年度に実施経験のある UBD 側が日本の教員のサポートを必要とせず、現地の教員だけで現地学生のサポートができるようになる。そして、2014 年度から新しく参加した UNITEC に対し、日本からではなく、UBD 側がからも様々なサポートや提案ができるようになるため、日本側だけでなく UBD 側にとても教育効果の向上につながる。

テーマの詳細としては、近年新しいロボットが続々と発表さ

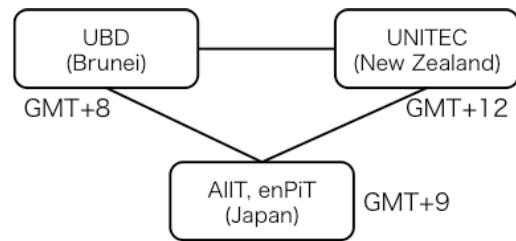


図 1 プロジェクトのチーム体制および時差

れる中、そのロボットを利用したサービスアプリケーションの開発が急務となっている。一般のユーザーにとってはハードの性能向上だけではそのロボットの価値は認めてもらえずロボットの購入につながらない。ソフトウェアが充実してようやく購入の意欲が湧いてくるものである。よって、ロボットのソフトウェアの面に注目し、ロボットのサービスアプリケーションの開発をテーマとした。

ロボットサービスの開発にあたっては、インターネットとロボットを接続する標準プロトコルである RSNP を利用する。これにより、Web サービスとしてのロボットアプリケーションを提供できるようになり、サービスの範囲が拡大するとともに、海外拠点とつながりを持ちながら開発ができるようになる。

開発対象のロボットには、LEGO MINDSTORMS EV3 を利用することにした。これは世界中で比較的容易に手に入れることができ、様々なセンサーヤモーターも用意されている点と、考案したサービスに合わせて自由に組み立てられる点、またインターネットへの接続性が高いという点によりこれを選定した。

以上により、2014 年度の PBL テーマではこの LEGO MINDSTORMS EV3 を、RSNP を用いてインターネットに接続して提供できる新しいサービスアプリケーションを開発することとした。

3.3 グローバル PBL の狙い

2014 年度のグローバル PBL では新しい取り組みとして 3 か国の大学によるプロジェクトチームを結成した。これまでの本学のグローバル PBL では日本と海外大学との 1 対 1 の関係でチームを組んでいたが、今年度は日本と海外 2 拠点による連携チームを初めて結成した。これにより文化や環境違うメンバーをまとめなければならない、1 対 1 のプロジェクトよりもさらにレベルの高いマネジメント能力が要求されることになる。特に、図 1 に示すようにそれぞれの国で時差がある中、同時に遠隔で TV 会議をするにはより難しい調整が必要となる。

しかし、同時に複数の国とプロジェクトを実施することで得られるメリットも存在する。1 つ目のメリットとしては、複数の国とプロジェクトを実施していくことで、より多様性のあるアイデアが生まれるということである。文化や環境がまったく違う場所で生活しているメンバーが議論し合うことで国内だけの活動では得られない新たな気付きや学びが期待できる。2 つ目のメリットとしては、成果物の質が向上するということである。複数の国の大が共同でプロジェクトを実施することで、その大学が得意とする分野でタスクを割り振ることができるよう

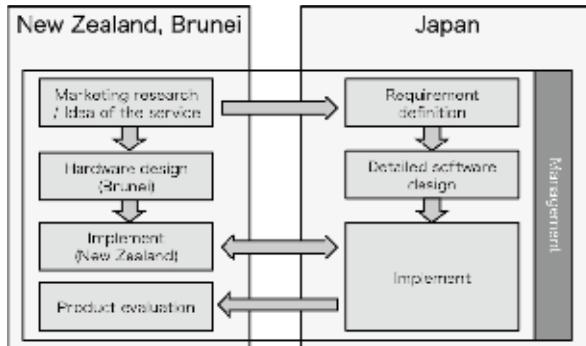


図 2 開発の役割分担

になるためである。2014 年度の例をあげると、マネージメントの勉強をしてきている日本側が全体のマネージメントを行い、デザインや機械工学を勉強してきているブルネイ側がハードウェア周りの設計・開発を行う。また他のロボットコンテストなどに出場経験がありロボットのソフトウェア開発に慣れているニュージーランド側がソフトウェア周りの開発を行うという体制にした。これにより成果物の質の向上が期待できる。

4 2014 年度グローバル PBL の活動成果

本章では、2014 年度に実施したグローバル PBL の成果である "BuddyBot" について述べる。以下でその開発の体制、スケジュール、システムの背景、およびシステムの概要を述べる。

4.1 開発体制

2014 年度の開発の役割分担について図 2 に示す。役割分担については日本側が全体のマネージメントおよび、要求の決定、システムの詳細設計、メインシステムの開発を主に担当する。UBD はアイデア出し、ロボットの組み立てを主に担当する。UNITEC は市場調査、アイデア出し、サブシステムの開発、製品評価を主に担当する。

参加学生は、日本側の学生は enPiT のグローバルサービスアプリケーション開発コースに参加している学生であり、8 人が本グローバル PBL に参加した。その内訳としては、本学学生が 3 人、その他が 5 人という構成であった。UBD からの参加人数は 10 人であり、その内訳としては、9 人が学部生で 1 人が博士課程の学生であった。UNITEC からは 2 名の学部学生が参加した。以上、合計 20 人が本グローバル PBL に参加したことになる。

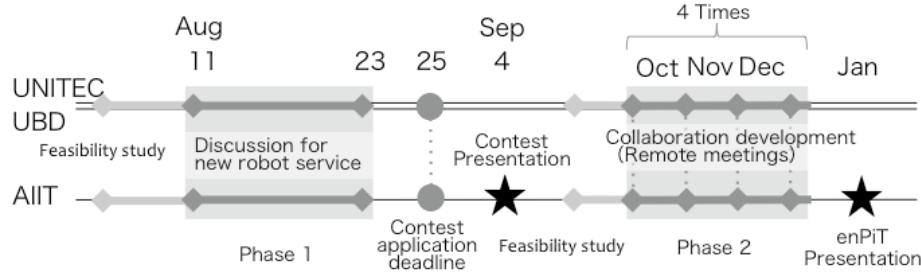


図 3 全体スケジュール

4.2 スケジュール

2014 年度のグローバル PBL は 2013 年度と同様に 2 つの Phase に分けて実施した。これは enPiT のカリキュラムに

合わせたためである。図 3 に今年度の全体スケジュールを示す。8 月中旬に 2 週間かけて Phase1 を実施し、その成果を 9 月 4 日の RSNP コンテスト[9]に応募した。10 月からは 3 か月間かけて Phase2 を実施し、翌年の 1 月に成果発表会を行った。

4.3 システムの背景

UNITEC 学生の調査によると、ニュージーランドでは現在約 11 万人もの子どもたちが何らかの慢性的な病気を持っているとのことで、この子どもたちをサポートするシステムを開発することにした。慢性的な病気を持つ子どもたちが抱える問題点として、以下の 3 点が考えられる。

- (1) 日常的に薬を服用する必要がある。
- (2) 定期的に病院へ通う必要がある。
- (3) 自らの病気に対して理解をする必要がある。

(1), (2)の問題点としては、小さい子どものうちには薬の服用を嫌がったり、病院に通うことを嫌がったりする子どももおり、子どもたちをケアする両親や医者に負担がかかってしまうことが考えられる。(3)では、たとえば食事に制限がある子どもたちにおいては、保護者ののもとでは問題のある食事は避けられるが、保護者の目の届かないところに出たときには自分でその食事を避けるしかない。その時に何が良くて何が悪いのかを子ども自らが学習しておく必要がある。

これらの問題点に対して、LEGO MINDSTORMS を利用して慢性的な病気を持つ子どもたちをサポートする BuddyBot システムを開発した。利用者のイメージとしては下記を想定した。

- 子供
 - 年齢: 6~14 歳
 - 病気: 慢性的な病気を持っている
 - 趣味: LEGO ブロックで遊ぶのが好き
- 親
 - ライフスタイル:
 - ◆ 共働き
 - ◆ 労働時間が長い
 - ◆ スマートフォンを利用している

4.4 サービスのアイデア

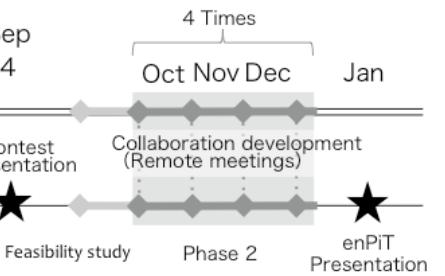


図 4 に考案したサービスサイクルを示す。本サービスは、ロボットを通して子どもたちに様々なミッションを与え、それをクリアしていくことで、そのロボット自体が成長・機能拡張して



図4 サービスサイクル

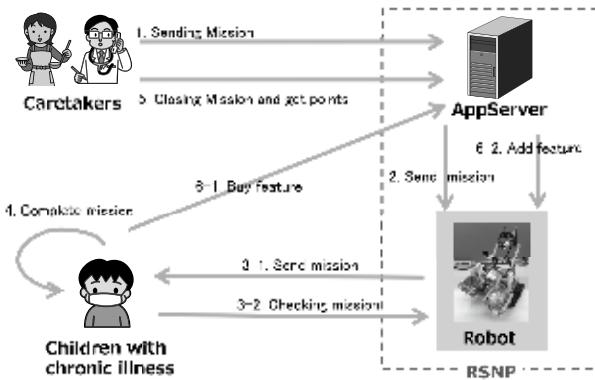


図5 BuddyBot システムの概要

いくシステムである。ミッションとしては、たとえば「薬を服用する」や「病院に通院する」さらに「病気に関するクイズ」などの課題を与える。このミッションをクリアすることで、子どもにポイントを与える。たまたまポイントは専用の Web サイトでロボットのパーツや機能と交換できるようになっており、ロボットを成長させることができる。これにより子どもたちは楽しみながら病気と闘っていくことができる。

4.5 システムの概要

図 5 に BuddyBot システムの概要を示す。以下に本システムの流れについて説明する。

- (1) まず初めに、ケアティマーである親や医者 LEGO MINDSTORMS の本体だけを子供に渡しておく。
- (2) ケアティマーから Web サイトを通して子ども宛にミッションを発行する。(図 9 参照)
- (3) 発行されたミッションは LEGO MINDSTORMS のディスプレイに表示される。(図 10 参照)
- (4) 子どもがミッションを確認し、そのミッションをクリアしたかどうかはロボットが確認する。(図 11 参照)
- (5) 子どもは与えられたミッションを実行する。(図 12 参照)
- (6) もし子どもがそのミッションをクリアしていたら、ケアティマーはそのミッションをクローズし、ミッションにあらかじめ設定してあるポイントを子ども宛に発行する。(図 13 参照)
- (7) 子どもは獲得したポイントを利用し、BuddyBot の専用 Web サイトからロボットの追加機能や追加バー



図6 ミッションの発行

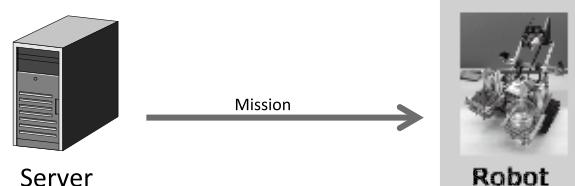


図7 ミッションの表示

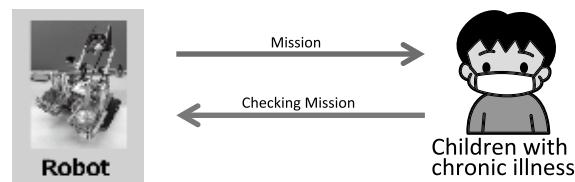


図8 子どもとロボットのインタラクション

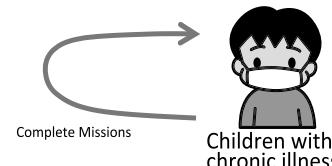


図9 ミッションの完了

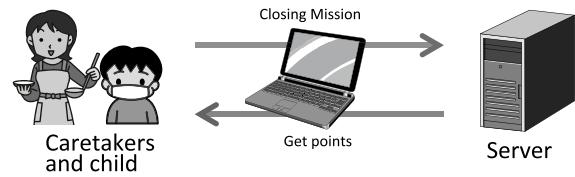


図10 ミッションのクローズとポイント発行

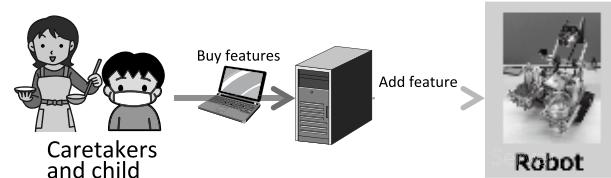


図11 追加機能の購入

ツを購入する。(図 14 参照)

- (8) 子どもは購入した追加機能や追加パーツを使ってロボットを成長させていく。

おわりに

本システムは、日本、ブルネイ、ニュージーランドの 3 カ国の大学による国際協同 PBL にて作成されたものであり、ニュージーランドで問題となっている事案からロボットサービスを企画し開発したものである。これまででも病気を持つ子どもたち向けのアプリケーションは存在していたが、ロボットを利用したサポートシステムは新しい試みとなる。ロボットを利用することで、親や医者から薬の服用や通院などを直接指示されるよりも行動に移しやすくなると期待できる。今後は、このシステムを実際に使いたいと思えるか、また想定している子ども

たちに対しどれくらいの効果があるかを検討することが必要である。

PBLの観点では、3 か国の大学による国際協同PBLは、これまで実施してきた 1 対 1 の協同 PBL より難易度は高くなつた。しかし、連携の国数が増えたことにより、様々な文化によるユニークなアイデアが集まり、得られたコンピテンシーもその分高くなつたと考えている。これにより、難易度の異なる 1 対 1 で実施するベトナムとのグローバル PBL と合わせ、参加者の希望レベルによって選べるシステムが構築できた。

謝辞

本グローバル PBL にご協力いただいた、UBD および UNITEC の先生方、ならびに参加いただいたすべてのメンバーに感謝いたします。

参考文献

- [1] 戸沢義夫、成田雅彦、中鉢欣秀、土屋陽介: Global PBL Feasibility Studyの実践と得られた知見、情報処理学会 情報教育シンポジウム論文集, pp.167-174, 2009.
- [2] 中鉢欣秀、成田 雅彦、戸沢 義夫: 加藤由花、戸沢義夫: ベトナム国家大学とのグローバル PBL から得た知見、産業技術大学院大学紀要, No.4, pp.1-4, 2010.
- [3] 土屋陽介、加藤由花、成田雅彦: ベトナム国家大学とブルネイ大学とのグローバルPBL、産業技術大学院大学紀要, pp. 161-164, 2013.
- [4] enPiT: 分野・地域を越えた実践的情報教育協働ネットワーク, <http://www.enpit.jp> (visited on 2015-9-30)
- [5] 2012 年 版 中 小 企 業 白 書 , 中 小 企 業 庁 , <http://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/H24/H24/> (visited on 2015-9-25)
- [6] 通 商 白 書 2012, 経 済 产 業 省 , http://www.meti.go.jp/report/tsuhaku2012/2012honbun_p/index.html (visited on 2015-9-25)
- [7] 酒瀬川泰孝、木崎悟、川木富美子、須澤秀人、Truong Anh Hoang, Thi-Minh-Chau Tran, 土屋陽介、加藤由花、中鉢欣秀: ロボットサービスの国際開発プロジェクトモデルにおけるアジャイル型ソフトウェア開発プロセスScrumの適用、産業技術大学院大学紀要, No. 7, pp. 59-66, 2013.
- [8] 村上陽子、大橋修、成田雅彦、加藤由花、土屋陽介: 海外大学との国際遠隔PBL、日本e-Learning学会 学会誌, Vol. 14, pp. 103-110, 2014.
- [9] RSNP コンテスト : <http://robotservices.org/contest/2014/> (visited on 2015-9-25)

テキストマイニングを用いた授業評価データの分析と その応用に関する一考察

井ノ上 寛人*・中島瑞季*

An Analysis of Class Evaluation Data Using Text Mining and Its Application

Hiroto Inoue* and Mizuki Nakajima*

Abstract

The purpose of this paper is to clarify characteristics of non-degree students' class evaluation in course certification programs. In this study, 30 adult learners evaluated the lecture of "design analysis" in the course certification program of human centered design of AIIT. The adult learners entered the course without taking an entrance examination, and most of the learners were responded that "design analysis" had been difficult. As a result of text mining, we found that the adult learners who felt difficulty had two comments; "I were able to understand the utility of the data analysis, but I felt difficulty to apply data analysis in my work."

Keywords: Class Evaluation, Faculty Development, Text mining, Correspondence Analysis.

1 はじめに

教育の質を保証することは、教育機関にとって重大な責務である。産業技術大学院大学(以下、本学)は、教育の質の維持、向上を目的とした FD(Faculty Development)活動の一環として、各科目の試験後に「学生による授業評価」を実施している。この調査における質問票は、講義の難易度などを 5 段階評価してもらう質問と、講義の改善点などを自由記述してもらう質問から構成されており、本学の教員は、この調査で得たデータを参考に、次年度の行動計画(アクションプラン)を策定している[1]。

学生からの評価は、講義の内容を多面的に見直す上で有用な情報となり得るが、その活用にあたっては、いくつか留意すべき点が挙げられる。例えば、関連研究[2]では、良好な成績を修める学生ほど評価が厳しい、といったことが報告されている。そのため、講義が難しいと評価された場合は、「次年度は高度な内容をやや削減する」といったアクションプランが一概に正しいとはいせず、難しいと評価した学生の成績が良好か、それとも不良かを確認した上でアクションプランを策定するといった検討が必要となる。また、大学で実施する講義であったとしても、受講生の知識量や能力が、常にある一定の水準にあるとは限らない。例えば、本学で実施している履修証明プログラムは、学位プログラムとは異なった多様な学修機会の提供を目的しており、受講にあたって知識を問う筆記試験を課していないため、理工系の専門教育を受けていない社会人が、統計とデータ解析を学びに来ると

いったことも多々ある。このような学生からの評価を、教育の質の維持や向上に活用するには、その受講生が有する元々の知識量や能力と照らし合わせながら慎重に検討しなければならない。しかし、受講生が有する元々の知識量や能力を加味した授業評価の方法、特に、履修証明プログラムなどで実施される授業評価の方法は、前述した関連研究などにおいて十分に検討されていないのが現状である。

本研究は、「学生による授業評価」をより効果的に活用していくための基礎的検討として、知識を問う筆記試験を課さないで募った社会人学生が感じる難易度の傾向、講義を難しく感じる要因、および授業評価の観点の解明を目的とする。評価の対象とした科目は、本学の履修証明プログラムで 2014 年度に著者ら担当した「デザイン解析論」とし、授業評価データは、対応分析法[3–5]を応用したテキストマイニングによって分析する。本研究では、まず、「デザイン解析論」の概要について述べる。次に、授業評価データの分析方法について述べる。最後に、分析結果に基づいた「学生による授業評価」に対する提案と、今後の展望について述べる。

2 評価の対象とした「デザイン解析論」の概要

「デザイン解析論」は、本学で実施している履修証明プログラム「人間中心デザイン」に設置された科目であり、著者は 2014 年度から本科目を担当している。2014 年度の「デザイン解析論」は、(A)さぐるデザイン解析と、(B)つくるデザイン解析の 2 部構成となっており、講義時間はそれぞれ 9 時間

Received on September 30 2015

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

と 7.5 時間の計 16.5 時間であった。本研究では、さぐるデザイン解析で取得した授業評価データを分析の対象としたため、これ以降は、さぐるデザイン解析の内容(9 時間分)のみを指して「デザイン解析論」と記す。2014 年度の「デザイン解析論」の受講生は 35 名であった。

「デザイン解析論」では、受講生を最大 6 名のグループに分け、グループごとに香料の香りを主観評価する実験と、この実験で取得したデータを統計解析ソフトウェア R で分析する演習に取り組んでもらった。具体的には、主観評価実験に用いる質問票を受講生が設計し、その後のデータ集計、ソフトウェアを用いた解析、結果のプレゼンテーションを一通り経験できるように講義を進めた。これらの内容は、シラバスを通じて受講生に事前に通知した。なお、「デザイン解析論」は、履修証明プログラムに属する科目であるため、その受講にあたって知識を問う筆記試験は課していないかった。また、受講生は、理工系の専門教育を受けていない社会人が多い傾向にあった。そのため、「デザイン解析論」の初回は、実験概要の説明とともに、検定統計量や p 値、三角図、散布図、対応分析法の考え方について講義する形式とした。R については、実行ファイルの使い方と結果の読み取り方について主に教示し、コーディングの方法については説明しなかった。

3 授業評価と分析の方法

受講生には、プレゼンテーションの後に、グループで取り組んだ内容を各自でまとめるレポート課題を課した。このレポートの電子フォーマットには、授業評価用の質問票を添付し、レポートとともに回収した。レポートおよび質問票の回収率は 85.7%(30 名) であった。

授業評価の実施にあたっては、『今後、担当講師が講義の内容を改善していくために、デザイン解析論に対する評価、感想、意見などについてお聞きします。選択肢のいずれを選んでも、レポートの採点等には関係しません。なお、アンケートの内容については、個人が特定されない範囲で統計処理させて頂くことがございます』といった断りを入れた。質問と回答形式の例を以下に示す。

- 講義の内容(グループワークを除く)は難しかったですか？下記の選択肢のうち、最も該当するものを一つ選び、空欄に丸を付けることでご回答下さい。

1. 難しいと思った。
2. やや難しいと思った。
3. 適度な難易度であった。
4. やや簡単だと思った。
5. 簡単だと思った。

このほかに、グループワークの難易度や質疑応答の丁寧さについて同様に 5 段階評価してもらった。また、受講生には、自由記述の形式で次の質問にも回答してもらった。

- 本講義を通じて、参考になったこと、興味を持ったこと、

更に詳しく解説して欲しかったこと、その他、要望、意見、感想について自由ご回答下さい。

5 段階評価データは、回答を集計し、その頻度分布を求めた。自由記述データは、形態素解析を適用した後に、行を受講生、列を自由記述に含まれる名詞とした行列型のデータに構造化し、これを \mathbf{X} とした。名詞は、全受講生の自由記述データにおいて 2 回以上含まれていたものとし、受講生 i の自由記述に名詞 j が含まれていたときに、 \mathbf{X} の要素 x_{ij} を 1、そうでないときに 0 とした。また、難易度に関する回答 k を選択した受講生の自由記述に名詞 j が含まれていた頻度を f_{kj} とし、 f_{kj} を要素を持つ行列 \mathbf{F} に対応分析法を適用した。対応分析法で数量化したデータには、最長距離法によるクラスタリングを適用した。これらの分析には、MeCab(Ver.0.996)、RMeCab(Ver.0.9999)、R(Ver.3.2.1)を用いた。

4 回答の頻度分布とテキストマイニングによる分析

本稿では、5 段階評価してもらった講義の難易度と自由記述の傾向について分析した結果を報告する。

難易度に関する回答の頻度分布は、「1. 難しいと思った」が全体の 30.0%(9 名)、「2. やや難しいと思った」が全体の 33.3%(10 名)、「3. 適度な難易度であった」が全体の 36.7%(11 名)となり、「4. やや簡単だと思った」もしくは「5. 簡単だと思った」と回答した受講者はいなかった。したがって、「デザイン解析論」の受講生は、「難しい」から「適度」と感じる尺度上に一様に分布しており、講義の内容を「簡単」には感じない傾向にあったといえる。難易度に関する回答の頻度分布が、尺度上のどこかの段階をピークとした正規分布にならなかつた理由としては、前述したように、本科目を受講するにあたって知識を問う筆記試験は課していないこと、そして、理工系の専門教育を受けていない社会人が多数受講していたことが挙げられる。

難易度に関する質問において、実際に選ばれた回答の選択肢が三つであったため、行列 \mathbf{F} の行数は 3 となった。また、形態素解析の結果、行列 \mathbf{F} の列とする名詞 j は 140 語となつた。対応分析法によって求められる数量得点の次元は、分析の対象とする行列の行の自由度と列の自由度の小さい方と一致するため、行列 \mathbf{F} を分析して得られる行と列の同時布置図(Biplot)は、行数から 1 を引いた次元数、すなわち 2 次元で求められる。図 1 に、難易度に関する回答と、自由記述に含まれていた名詞の同時布置図を示す。なお、図 1 における第 1 成分の固有値は 0.301、第 2 成分の固有値は 0.253 と求められ、寄与率はそれぞれ 54.4%、45.6% となつた。名詞のプロット点は、クラスタリングの結果に基づいて三つに種別し、それぞれ Cluster A, B, C とした。

図 1 より、難易度に関する質問に「3. 適度な難易度であった」と回答した受講生は、自由記述において、「内容」、「R」、「質問」、「調査」、「データ」などと記述する傾向が示さ

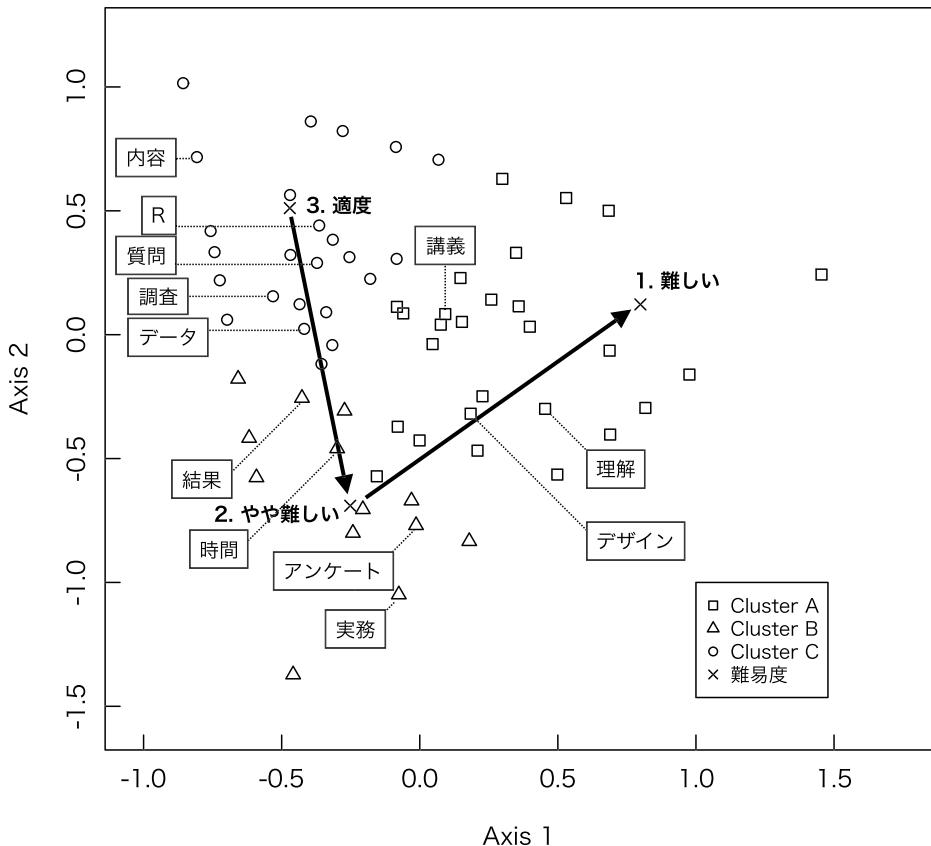


図 1: 自由記述データから抽出された名詞と難易度の同時布置図

れ、これらの名詞は Cluster C としてまとめられた。Cluster C に含まれた名詞に着目しながら自由記述の内容を確認すると、『復習を兼ねて R を手元にインストールし、検証してみたいと考えている』といったように、今後の学習計画を具体的に述べる事例が見受けられた。

一方、難易度に関する質問に「2. やや難しいと思った」と回答した受講生は、自由記述において、「結果」、「時間」、「アンケート」、「実務」などと記述する傾向が示され、これらの名詞は Cluster B としてまとめられた。Cluster B に含まれた名詞に着目しながら自由記述の内容を確認すると、『いつかは実務でも使えるくらいになれたらいなと思います』といったように、実務に応用したいといった願望を述べているものの、今後の学習計画を具体的に述べる事例はあまり見受けられなかった。

また、難易度に関する質問に「3. 難しいと思った」と回答した受講生は、自由記述において、「理解」、「デザイン」などと記述する傾向が示されており、これらの名詞は Cluster A としてまとめられた。Cluster A に含まれた名詞に着目しながら自由記述の内容を確認すると、『どの様な分析方法があるのか、イメージとして理解できましたが、現場において自身での工夫が必要となった場合に対応に困りそうです』といったように、十分に理解できなかった点を挙げ、実務での応用や継

続的な学習を進める上で不安な気持ちを表現している事例が見受けられた。なお、「講義」や「先生」などの名詞は、図 1 の原点付近に布置されていたことから、自由記述において難易度とは関係なく、多数の受講生から平均的に言及されたと考えられる。

以上のことから、難易度を「適度」と回答した受講生は、講義の内容を概ね理解した上で、学修した内容を実務に応用する具体的なイメージを持ち、継続的な学習に向けた明確な課題を見出すことができており、「難しい」と回答した受講生は、講義の内容の有用性は理解できたものの、実務への応用や継続的な学習に難しさを感じたといえる。

5 おわりに

本研究は、「学生による授業評価」をより有効に活用していくための基礎的検討として、知識を問う筆記試験を課さないで募った社会人学生が感じる難易度の傾向、講義を難しく感じる要因、および授業評価の観点の解明を目的に、履修証明プログラムで実施した科目の授業評価データを分析した。分析結果の速報は、次のようにまとめられる。

- 知識を問う筆記試験を課さないで理工系の専門科目の受講生を募った場合、受講生は、講義の内容を「簡

単」には感じず、「適度」から「難しい」と感じる尺度上に一様に分布する傾向にある。

- 知識を問う筆記試験を課さないで理工系の専門科目の受講生を募り、受講生が講義の難易度を「適度」と評価した場合、その受講生は、学修した内容を実務に応用する具体的なイメージを持ち、継続的な学習に向けた明確な課題を見出していることがある。
- 知識を問う筆記試験を課さないで理工系の専門科目の受講生を募り、受講生が講義の難易度を「難しい」と評価した場合、その受講生は、内容の有用性について理解できた一方で、実務への応用や継続的な学習に難しさを感じていることがある。

したがって、履修証明プログラムなどで用いる授業評価には、難易度とともに実用性と継続的学習性について尋ねる質問を入れると、受講生の特徴を捉え易くなる可能性がある。

今後の課題として、継続的に授業評価データを蓄積していくとともに、履修証明プログラムなどに特化した質問票を開発することが挙げられる。

本稿を執筆するにあたって、本学の教務学生入試係 松村綾音 主事からデータ整理などの助力を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 産業技術大学院大学 FD 委員会, “AIIT FD レポート,” Vol. 18, 2015.
- [2] M. Braga, M. Paccagnella and M. Pellizzari, “Evaluating students’ evaluations of professors,” Economics of Education Review, Vol. 41, pp. 71–88, 2014.
- [3] M. J. Greenacre, “Theory and Applications of Correspondence Analysis,” London: Academic Press, 1984.
- [4] 大隅昇, “統計的データ解析とソフトウェア,” 放送大学教育振興会, 1989.
- [5] 西里静彦, “行動科学のためのデータ解析:情報把握に適した方法の利用,” 培風館, 2010.

Projection Unit to Enhance Video Games

Hiroaki Tobita*

Abstract

We describe unique augmented reality (AR) system that projects visual effects onto the environment and player's body to enhance a video game. We achieve our concept with compact pan-tilt units that contain a projector and stereo camera. The camera works to recognize both the player and background, and the projector projects visual effects onto them. By using pan-tilt motions the system provides a wide variety of visual effects. Also, our pan-tilt unit is really simple and compact, so users can set multiple units and arrange their position and angle to project more complex visual effects. In this paper, we describe our projection system, focusing on the implementation and applications through the system demonstrations.

Keywords: Augmented Reality, Virtual Reality Visual Effects, Video Games

1 INTRODUCTION

With the development of both hardware and software technologies, we can enjoy playing a wide variety of video games in our living room [1, 2, 3]. With computer graphics technologies, many video games provide high quality visual expressions that are similar to the real world. With network technologies people can share the same game field from a distance. However, the elements and styles of video games have been almost the same since they first appeared. People generally play video games with a TV screen, gaming device, and sensor like camera. TV screen has simply changed the size even if it is really important to represent the game world. To enjoy video games more effectively, visual techniques that help players feel the virtual game world more closely are necessary.

There are some systems that enhance the screen among human-computer interaction researches. Most Augmented Reality (AR) systems contain a camera and projector to enhance the environment, such as walls, floors, roofs, and entire rooms [4, 5, 6, 7]. CAVE [8] is a virtual reality system that enhances the entire room by using several projectors that project virtual information to each surface of the room. With AR, users and the environment are enhanced by visual elements and interaction techniques, so the approach is useful for video games. Some AR systems focusing on video games have been introduced. IllumiRoom [9]

is an AR system that enhances the peripheral TV screen for playing video games. The system sets projector and camera units in an anterior direction of the TV screen, so visual effects are projected to the peripheral TV screen. However, the camera and projector are fixed, so the system projects virtual information in only a fixed direction. Also, RoomAlive [10] is an AR system that enhances the entire living room. However, as the system is really large-scale, which makes it unsuitable for casual use, like playing video games in a living room. It is not automatic, so it is limited in setup. In addition, IllminAR [11] is a compact AR system to enhance the user's desk. The system has an arm-type unit that contains a camera and projector, so the user can move the projector and camera position manually.

Conversely, pico-projector based systems have been introduced [12, 13, 14]. The projector is really compact, so a handheld system is possible. Users of such systems hold it in their hand, so they can control projected information by changing the position and angle manually. Through a camera mounted onto the projector, the system recognizes the AR marker and surface conditions in the real world. Although the system is really simple, it is useful to show virtual information casually, like showing presentation slides and multimedia content. However, users have to hold the system to project virtual information. Thus, the interaction between users and the system is really limited comparing with conventional AR systems,

Received on September 30, 2015

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

because both users and the system move simultaneously.

Therefore, we consider our projection system, which is a pan-tilt camera and projector unit to enhance the video game environment with pan-tilt motions (Fig. 1). Our system can recognize players and surfaces in the environment and project visual effects depending on the game contents. Our focus is divided into two parts. The first is to provide game effects (e.g., magic and light) that are projected to both the player and environment (e.g., the roof, floor, and wall in a living room). The second is to design a simple and compact system. Unlike conventional approaches [6, 7, 8], players can set it up easily and use it casually. Also, the system allows users to set multiple projection units, so the users project more complex visual information by arranging the positions. In this paper, we describe our projection system to enhance the video game environment.

2 IMPLEMENTATION

Figure 1 shows our current prototype of the projection unit. Our projection unit contains a projector, camera, and two servomotors (Fig. 1 (top)). Both the camera and projector are set in the same direction. To control servomotors, we use Arduino that is a micro controller and is connected to a PC. We use a stereo camera (Xtion Pro) supported by OpenNI libraries to detect both people and background at the same time. To project game effects, we use a pico-projector (QUMI Q5), which provides 500-lumen light. We use Unity to create game content.

Our system uses two servomotors to achieve the pan-tilt motion of both the camera and projector (Fig. 1 (bottom)). With pan-tilt motion, the system can chase a player and project effects onto his/her body even if he/she moves. In conventional approaches to enhance video games, the camera position is fixed, so the system cannot recognize a player's position if the player is out of occlusion. Figure 2 shows how the system recognizes a player's position. With OpenNI libraries, the camera retrieves in-depth information from the angle of view (Fig. 2 (1)). Also, the system can recognize a player (red area) (Fig. 2 (2)). If the player moves, the camera chases him/her and sets the user's position to the center of the camera angle (Fig. 2 (3)).

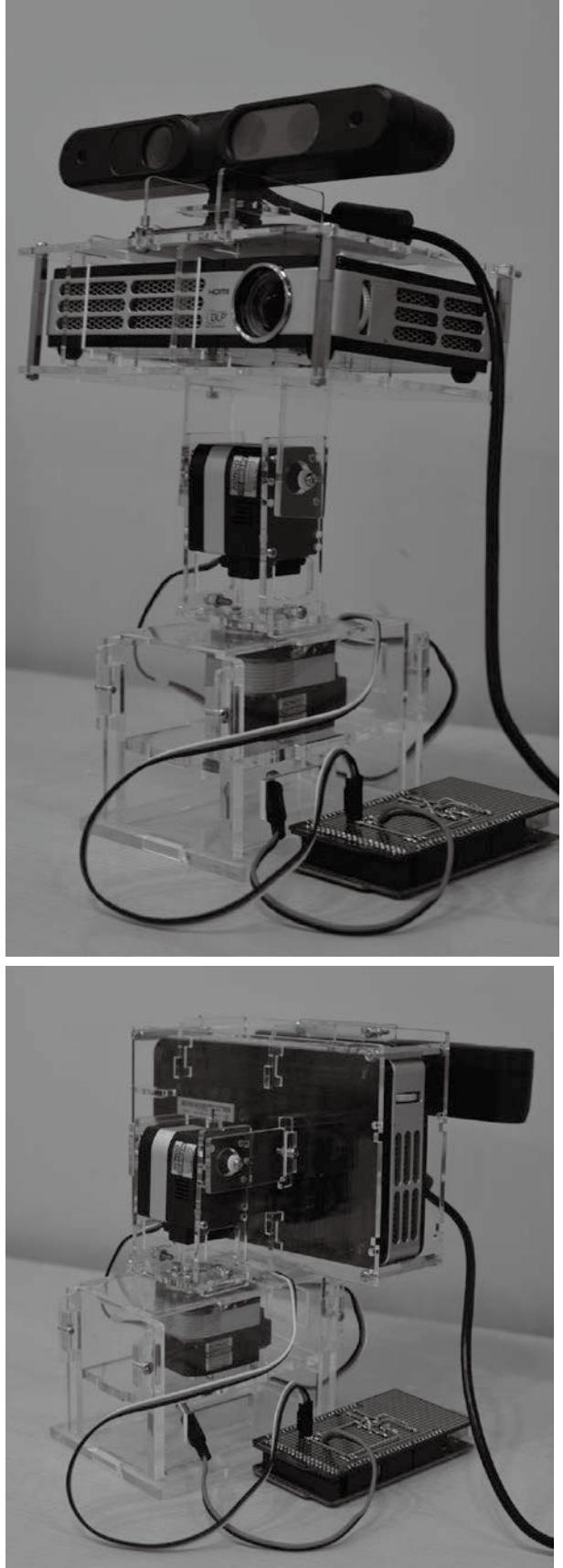


Figure 1. Projection unit: Contains a stereo camera and projector (top) and supports pan-tilt motion with two servomotors (bottom).

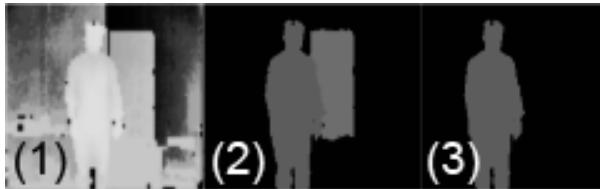


Figure 2. Recognition of user and background.

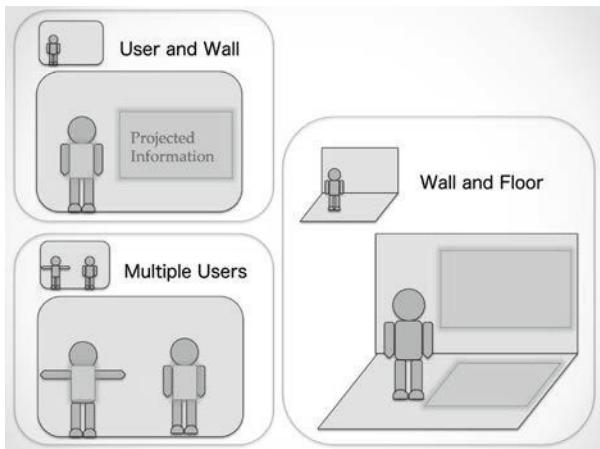


Figure 3. Example of Multiple Units

Figure 3 shows examples of the layout with two projection units. By using multiple units we can choose projection surfaces depending on the game content. For example, if one player plays a video game, visual effects are projected onto both the player's body and the background wall. If two players play a video game, the visual effects are projected onto each player's body. Also, it is possible to enhance only the environment, so the system projects visual effects onto the wall and floor simultaneously by using two units.



Figure 4. Layout of Multiple Units

Our system overview is shown in Figure 4. In this case, we use two projection units, a server camera, and a TV screen. The server camera and TV screen are connected to a server PC, and each projection unit

is connected to a different client PC. The server PC communicates with the clients through network. Players mainly use the TV screen to play video games. When a character in the game uses special weapons, each unit starts projecting visual effects. Although there are many visual effects in video games, we mainly focus on projecting visual effects to enhance the character's actions. For instance, if a player uses a magician in a video game, a magic circle is projected around the player when the magician uses magic. Also, car lights move outside the TV screen if the car in a video game turns.

3 LIMITATIONS AND FUTURE WORKS

We observed that the projected effects were sometimes out of position, so the system needs more precise camera recognition before projecting the effects. Our system estimates a player's position with a depth camera and projects virtual effects with a projector. Even if camera recognition is a bit out of position, projected effects are widely out of position. In addition, in our current prototype there is no method to distinguish multiple players in front of a camera. We are planning to combine with sensor technologies like iBeacon. If each controller contains an iBeacon, the system will detect the position of the controller and recognizes each player's position.

4 CONCLUSION

We described our projection unit, which provides visual effects onto the player and environment to enhance video games. We mentioned our design concepts and implementation. Also, we demonstrated our system by showing several examples of visual effects.

REFERENCES

1. PlayStation
<http://www.jp.playstation.com/ps4/index.html>
(visited 2015)
2. X-Box
<http://www.xbox.com/ja-jp/> (visited 2015)
3. Nintendo
<http://www.nintendo.co.jp/wiiu/amaj/index.html>
(visited 2015)

4. H. Koike, Y. Sato, Y. Kobayashi, H. Tobita, and M. Kobayashi. Interactive textbook and interactive Venn diagram: natural interfaces on augmented desk system, *In Proceedings of ACM CHI '00*, pp. 121-128, 2000.
5. B. Ullmer and H. Ishii. The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces, *In Proceedings of ACM UIST '97*, pp. 223-232, 1997.
6. N. Matsushita and J. Rekimoto. HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall, *In Proceedings of ACM UIST '97*, pp. 209-210, 1997.
7. H. Tobita and T. Sato. Bubble-Click, *In Proceedings of VRIC 2010 (ReVolusion)*, 2010.
8. C. Curz-Neira, D. J. Sandin, T. A. Defanti, R. V. Kenyon, and J.C. Hart. The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment, *In Magazine of Communications of the ACM*, Volume 35 Issue 6, pp. 64-72, 1992.
9. B. R. Jones, H. Benko, E. Ofek, and A. D. Wilson. IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences, *In Proceedings of ACM CHI '13*, pp. 869-878, 2013.
10. B. Jones, R. Sodhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. D. Wilson, E. Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, and L. Shapira. RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-Camera Units, *In Proceedings of ACM UIST '14*, pp. 637-644, 2014.
11. N. Linder and P. Maes. LuminAR: portable robotic augmented reality interface design and prototype, *In Proceedings of ACM UIST '10*, pp. 395-396, 2010.
12. K. D. D. Willis, I. Poupyrev, S. E. Hudson, and M. Mahier. SideBySide: ad-hoc multi-user interaction with handheld projectors, *In Proceeding of ACM UIST '11*, pp. 431-440, 2011.
13. D. Molyneaux, S. Izadi, D. Kim, O. Hilliges, S. Hodges, X. Cao, A. Butler, and H. Gellersen. Interactive Environment-Aware Handheld Projectors for Pervasive Computing Space, *In Proceedings of Pervasive Computing '12*, pp. 197-215, 2012.
14. Cao, X., Forlines, C., and Balakrishnan, R. Multi-user interaction using handheld projectors. *In Proceedings of ACM UIST '07*, pp. 43-52, 2007.

スマートフォンを用いた路面性状の簡易計測と快適性評価

越水重臣*・伊藤寿史*・竹川恭平*・板井聖治*
沈程*・劉夕銘*・井ノ上寛人*

Simplified Measurements of Road Surface Conditions and Comfort Evaluation using Smartphone

Shigeomi Koshimizu*, Hisashi Ito*, Kyohei Takekawa*, Seiji Itai*
Shen Cheng*, Liu Ximing* and Hiroto Inoue*

Abstract

Currently, no regular or proper measurements of road surface conditions are conducted for the sidewalks and narrow roads in communities. As a result, no efficient maintenance and repairs are performed, leaving the road surfaces uneven and uncomfortable. In this study, we compared the data obtained using conventional instruments for measuring road surfaces and the data obtained through the use of a smartphone with a built-in sensor, and then sought to verify the effectiveness of simplified measurements using a smartphone. In addition, we conducted a questionnaire survey on the comfort of the road surface when traveling and found a correlation between the results of the questionnaire on comfort and the coefficient of variation of the resultant acceleration measured by smartphone. This correlation makes it possible to estimate the level of road surface comfort felt by users based on the data of acceleration measured by the smartphone. In addition, we used these results and developed a smartphone application that can search for more comfortable routes.

Keywords: Road surface conditions, Comfort evaluation, Smartphone, Acceleration measurement

1 はじめに

幹線道路については、その路面性状が専用の路面性状測定車を用いて定期的に計測されている。しかし生活道路は、総延長が長く、一般的に交通量が少ないことから、舗装の劣化速度が遅く、幹線道路のように専用の路面性状測定車を用いて舗装の現状を把握する方法は、経済性の面で必ずしも適切とは言い難い。一方、路面性状を簡単に測定する車両の開発は進んでいるもののまだ普及はしていない[1–2]。そのため、生活道路(歩道を含む)では、道路管理者による目視点検や、住民からの苦情等を取り込んだ方法等が実施されているのが現状である。筆者らは、このような現状を踏まえ、舗装路面の現状を客観的に評価し、かつ簡単に計測する試みの一つとしてスマートフォンによる計測を検討している。さらに本研究では、スマートフォンで計測された加速度データから、ユーザーが路面を走行した際の快適性を評価することを目指している。

本報では、生活道路の中でも自転車、車いすなどの利用者が比較的多い商店街や歩道を対象にして、スマートフォンで得られた計測結果と、走行時の主観的評価である快適性の結果に相関性のあるデータが得られたので報告する。

2 スマートフォンによる路面性状の簡易計測

2.1 簡易計測の必要性

現在、国道、県道、市道等における点検・調査・診断・評価等を行うに当たり、路面性状測定車が数多く使用され、ひび割れ、平坦性、轍ぼれの3要素を調査し、道路維持補修計画の基本としている。しかし、調査に当たり多額の費用が掛かり、解析に多くの時間が費やされているという現状がある。

そこで本研究では、世界中で広く普及しているスマートフォンの機能を利用して、簡単に路面性状を把握できないものかと考え、また、狭小な生活道路や歩道においてもデータ集積ができる仕組みを検討することにした。

2.2 スマートフォンによる簡易計測の有効性確認

1) 実験方法

路面性状測定車(図1)とスマートフォン(Nexus5)を装着した車両(ライトバン、軽自動車、自転車)について、同一路面における各測定車両のデータを取得し、スマートフォンによる簡易計測の有効性を検証することが目的である。

実験は、国立研究開発法人 土木研究所の試験走路(1周約630mのオーバルコース)で行った。実験は、路面性状

Received on September 30, 2015

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

測定車を用いて路面画像と段差の精密なデータを取得する。また、ライトバン、軽自動車、自転車にスマートフォンを装着し、位置情報や加速度値、傾斜値を取得する。

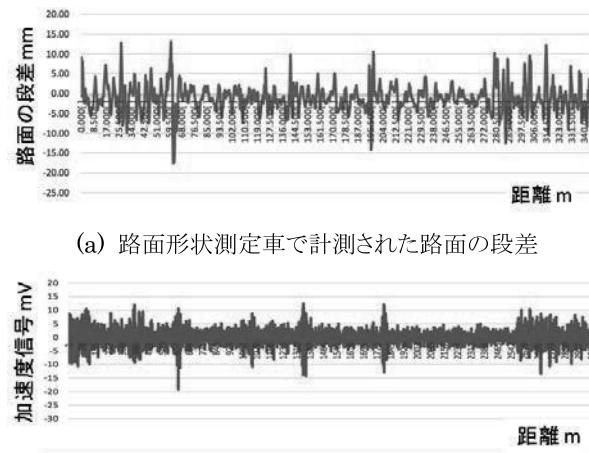


図 1: 路面性状測定車

2) 実験結果

実験結果の代表例を図 2 に示す。図 2 のうちの上図は、路面性状計測車で計測した路面における段差の結果であり、下図は自転車に装着されたスマートフォンで計測された、路面に対して垂直方向の加速度データである。

路面性状計測車で段差が大きく表示された箇所については、スマートフォンで取得した加速度もそれぞれ大きく表示されている。上記の結果から、路面の段差とスマートフォンの加速度の間に相関があることが認められる。



(a) 路面形状測定車で計測された路面の段差

(b) 自転車のスマートフォンで計測された加速度信号

図 2: 路面段差と加速度信号の関係

2.3 生活道路における路面性状の簡易計測

1) 実験の概要

生活道路の同一路面において、小型・手動式の路面性状測定装置であるマルチロードプロファイラ(以下、MRP)とスマートフォンを装着した乗り物(ベビーカー、車椅子、自転車)において各種のデータを取得する実験を行った。MRP で得られる国際ラフネス指標(IRI)とスマートフォンで計測さ

れる加速度値を比較することが目的である。ちなみに、国際ラフネス指標(IRI)とは路面の平坦性を表す評価指標のことである、[3-4]。

生活道路として、東京都品川区内の戸越銀座商店街を選定した。選定理由は、自転車利用者、車いす利用者、ベビーカー利用者などの利用者が多いことが挙げられる。

2) 実験結果

図 3 は IRI とスマートフォンによる加速度測定との比較結果である。IRI は道路の平坦性を示しており、その値が大きいことは、路面に凸凹や段差があることを示している。また、スマートフォンによる簡易計測で計測された加速度データは、地図上に進行方向を三角形で、加速度の大きさを色で示したものである。加速度の大小は、赤色に近いほど加速度が大きく、緑色に近いほど小さいことを示している。

図 3 に示すように、IRI と加速度の大きさは関係性があることから、一般的な生活道路における路面性状の IRI 計測の代用特性として、スマートフォンにより簡易測定された加速度データが有効であるといえる。今後、生活道路の維持補修を目的とした簡易計測による現状路面の把握として役立てられるか検証を続けたい。

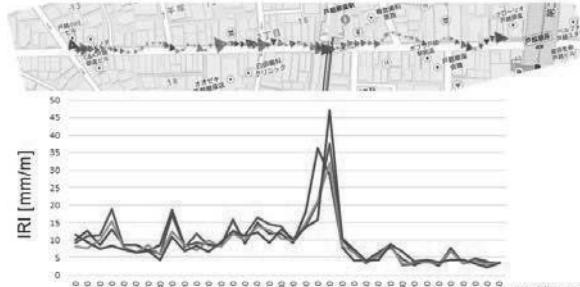


図 3: スマートフォンで計測された加速度の地図上表示
(上段)と MRP で計測された路面 IRI(下段)との比較

3 スマートフォンによる路面の快適性評価

3.1 路面快適性評価の意義

工業製品には、KANO Model と呼ばれる「当たり前品質」と「魅力的品質」があるとされる[5]。これを道路(路面)の品質に照らし合わせて考えてみると、当たり前品質は平坦性であり、魅力的品質は快適性ということになろう。そして、現在の道路を利用するユーザーにとって、道路が平坦であることは、もはや当たり前であり、さらに付加価値を上げるために、道路の快適性といった心理的評価が重要視されるものと予想する。

しかしながら、従来研究を調べてみると、路面快適性を調べた研究は少ないのが現状である。例えば、車両の乗り心地から路面プロファイルを評価する研究[6]や路面の状態が走行快適性に及ぼす影響を調べた研究[7]はあるが、路面

走行時に得られる加速度データから路面の快適性を推定しようとする研究はこれまでに見当たらない。そこで、本研究では、前章と同じく、車両に搭載したスマートフォンを活用し、計測された加速度データから路面の快適性を推定することを試みる。

3.2 路面快適性の評価方法

車両にスマートフォンを搭載し、路面走行時の加速度データを取得する。路面を走行した際の快適性は、アンケート評価から明らかにする。すなわち、本研究では、アンケートによって得られた快適性の主観評価値をスマートフォンで計測された加速度という客観的・物理的なデータから推定することを試みる。

3.3 路面性状の計測実験とアンケート

対象の生活道路には、東京都品川区内の戸越銀座商店街を選定した。選定理由は、自転車、車いす、ベビーカーなどの利用者が多いためである。そこで、車いす、ベビーカー、自転車といった車両にスマートフォン(Nexus5)を装着し、内蔵の加速度センサにより路面から車両が受ける3軸方向の加速度を計測した。加えて、戸越銀座商店街を4つの区間に分けて、その区間ごとに快適性を質問するアンケートを行った。アンケートは5段階評価で実施し、5点に近いほど不快、1点に近いほど快適とした。ちなみに、区間1は埋設物の仮復旧箇所が、区間2は途中に踏切が存在し、区間3及び区間4は埋設物の本復旧も完了し、舗装が整備された区間である。

3.4 路面快適性の評価結果

図4に3軸の加速度から合成された加速度の変動係数(以下、合成加速度変動係数)を、図5に各区間のアンケート評点の平均値を示す。得られた合成加速度変動係数とアンケート評点との相関を調べたところ、図6に示すように、両者の間には相関関係があることを見出した。ちなみに、路面快適性 y と合成加速度変動係数 Cv の関係は、次式に示す通りである。

$$\text{路面快適性 } y = f(Cv) = \beta_0 + \beta_1 Cv$$

$$\text{3軸加速度から合成された加速度 } A_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2}$$

$$\text{加速度標準偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A}_i)^2}$$

$$\text{加速度変動係数 } Cv = \frac{\sigma}{A_i}$$

以上の結果により、スマートフォンで計測された合成加速度の変動係数 Cv を調べることでユーザーが感じる路面の快適性 y が推定可能になる。戸越銀座商店街での実験における快適性の推定結果を図7に示す。快適性をマーカーの大きさと色で表示している。

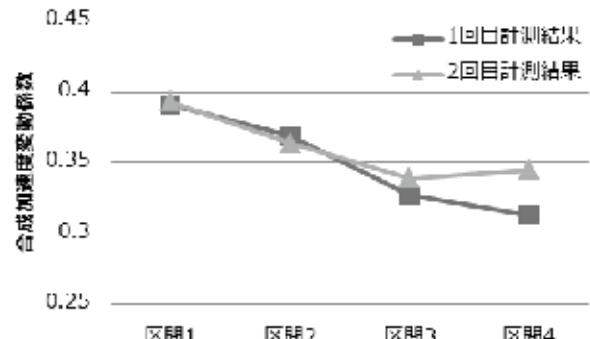


図4：各区間における合成加速度変動係数

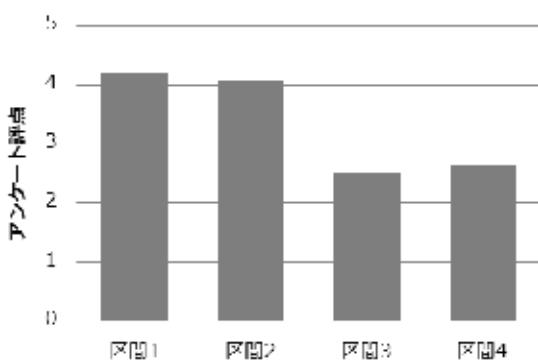


図5：各区間における快適性のアンケート評点

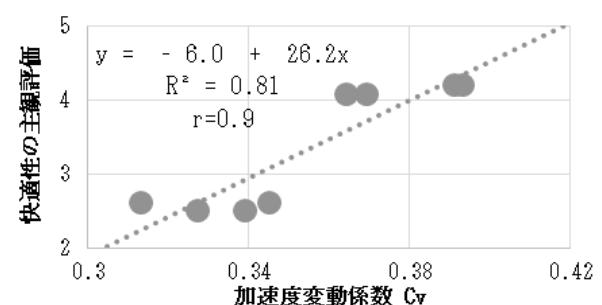


図6：合成加速度変動係数と快適性の相関関係



図7：戸越銀座商店街における路面快適性の評価結果

4 スマートフォン用の計測アプリ開発と路面快適性の地図表示

4.1 スマートフォンの計測アプリ

図 9 中の左図に示すように路面性状を計測するスマートフォン用アプリを製作した。アプリでは、合成加速度、ロール、ピッチ、さらには快適性推定値の時間変化がグラフ表示される。これらデータをサーバーにアップロードすると、図 9 の右図のように、地図上に快適性の推定値が色表示される。実際に、前述した戸越銀座商店街の走行路面を調査してみると、不快な路面には埋設物の仮復旧箇所や踏切が存在し、快適な路面は舗装が整備され、良好な平坦性が確保されていることを示している。このように地図上にデータを集積していくことで現状路面の把握ができるため、道路の維持補修に役立つものと考える。

4.2 路面快適性の評価実験

前述の結果を踏まえ、学生の被験者が自宅から大学までの通学路を 3 ルート設定し、その 3 ルートについてスマートフォンを装着した自転車で走行することにより、路面の快適性を評価する実験を行った。今回の通学路は、生活道路と歩道が混在したルートである。本報告では、紙面の都合でルート 1 とルート 3 の結果について以下に示す。路面の快適性はスマートフォンのアプリで計測され、サーバーにアップロードされた後に、地図上に快適性の度合い(快適度)が色表示される(図 10)。ルート 1 に示されるような快適度の低い路面には段差やマンホール蓋が存在しており、ルート 3 に示されるような快適度の高い路面はきれいに舗装されていることが確認された(図 11)。



図 9：スマートフォンの計測アプリ画面（左）と路面快適性の地図表示（右）



(a) ルート 1 における快適度



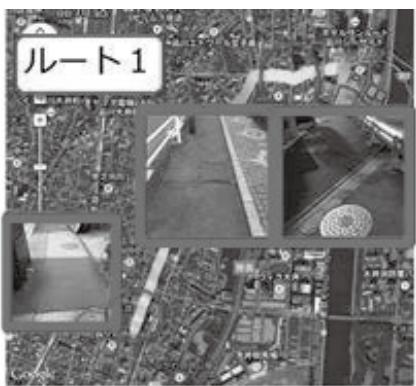
(b) ルート 3 における快適度

図 10: 各ルートにおける快適度の表示結果

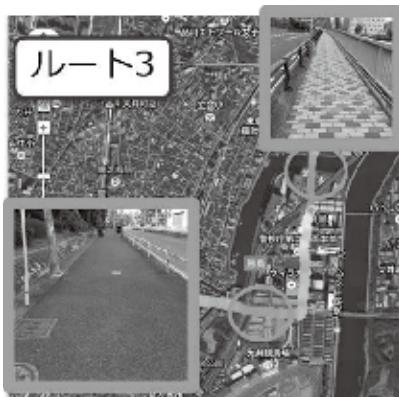
謝辞

実験にご協力いただきました、国立研究開発法人土木研究所様、戸越銀座商店街様、アールテックコンサルタント株式会社様に感謝を申し上げます。また、スマートフォンのアプリ製作におきまして、ご協力をいただきました、株式会社リトルソフトウェアの川原達夫氏に感謝申し上げます。

参考文献



(a) ルート 1 の路面性状



(b) ルート 3 の路面性状

図 11: 各ルートに見られた快適度と路面状態の関係

5 おわりに

現状、狭小な生活道路や歩道では、路面性状計測が定期的かつ適切に実施されていない。そのため、効率的な補修が行われず、不快な路面が存在する。本研究では、従来の路面性状計測機器とスマートフォン内蔵センサで簡単に取得したデータを比較し、スマートフォンによる簡易計測の有効性を確認した。さらに路面走行時の快適性についてアンケートを行い、その快適性に関するアンケート結果とスマートフォンで計測された合成加速度の変動係数との間に相関を見出すことができた。これにより、スマートフォンで計測された加速度のデータからユーザーが感じる路面快適性を推定できることになる。さらに、この成果を利用した、快適ルート探索のためのスマートフォンアプリを開発した。

最後に、本報告は産業技術大学院大学創造技術専攻のPBL(Project Based Learning)型学修において、平成 26 年度に行われたプロジェクトの成果を取りまとめたものであることを付記しておく。

- [1] 遠藤哲雄ほか 2 名, 多機能路面測定システムについて, 建設機械, pp. 26-29, 2011.2.
- [2] 白川龍生ほか 3 名, 車両の振動加速度を利用した路面プロファイル推定システムについて, 交通工学, Vol. 38, No. 6, pp. 32-41, 2003.
- [3] 國分修一ほか 2 名, 車両振動加速度によるIRIと舗装の評価, 舗装, Vol. 45, No. 9, pp. 8-15, 2010.
- [4] 平俊勝ほか 2 名, 高速道路のIRIと乗り心地に関する一考察, 第 12 回北陸道路舗装会議報文集, D-9, 2012.
- [5] 犬野紀昭ほか 3 名, 魅力的品質と当たり前品質, 品質, Vol. 14, No. 2, pp. 39-48, 1984.
- [6] 滑川達ほか 1 名, 車いす・自転車の走行時体感からみた路面プロファイル評価, 第 25 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 225-228, 2005 年 10 月
- [7] 田中孝典ほか 1 名, 車いすの走行快適性に影響を及ぼす歩道路面の一考察, 環境情報学論文集, Vol. 24, pp. 315-320, 2010.

Representation of Lists by Partial Functions

Take-Yuki Nagao*

Abstract

A list is an important data type in programming languages to represent a sequence of data indexed by integers. The purpose of this paper is to propose hyperlist, which is a mathematical generalisation of list to allow arbitrary totally ordered as the index set. Hyperlist is formulated as an equivalence class of functions on totally ordered sets. Primitive list operations such as list comprehension and indexing operator are extended to hyperlist. Theorems are proved regarding the indexing operators.

Keywords: List, Partial Functions, Set Theory, Type Theory, Data Type

1 Introduction

The purpose of this article is to contribute a natural extension of the notion of list, hyperlist, that allows arbitrary totally ordered set as an index set. Hyperlist given below is designed to open up a new theoretical possibility of data modeling in computer science by simplifying the representation of complicated data that are hard to be described by lists, and also to facilitate contributions of mathematicians of various fields to computer science by providing a formalism that is easily acceptable by the experts of various fields, including mathematical analysis.

List is a common data structure utilised in programming languages like Haskell [1] or LISP [2] to represent a sequence of data like $[3; 1; 4]$ or $[0; 1; 2; 3; \dots]$. Such data can be constructed by prepending elements one by one to the empty list $[]$. For example, if we write $e : a$ to mean the list obtained by adding an element e to the list a then we have

$$[3; 1; 4] = (3 : (1 : (4 : []))).$$

A general form of (finite) list is

$$[a_0; a_1; \dots; a_N] = (a_0 : (a_1 : (a_2 : \dots (a_N : [])))).$$

One possible way to represent such data in mathematics is to utilise sequences, viz., one chooses properly the index set J (which should be totally ordered) and sets the value f_j for each $j \in J$ so that a given list, say $[0; 2; 4; 6; \dots]$, has the same elements as the sequence $\{f_j\}_{j \in J}$ including the order. We refer to $\{f_j\}_{j \in J}$ as a sequence representation of the list.

Various kinds of lists can be created with sequence representation by choosing the index set J properly. To

build a sequence representation $\{f_j\}_{j \in J}$ of a finite list, one could choose a finite subset of natural numbers as J . For infinite lists there are many theoretical possibilities and the property of lists depends heavily on the choice of J . One may choose a countable/uncountable set for J .

If J is the set of all natural numbers \mathbb{N} then one could enumerate all the elements starting from the initial element (the one with index zero). In this case, any elements of $\{f_j\}_{j \in J}$ is reachable from the initial element by a finite iteration of successor operation (viz. after investigating each element f_j one jumps to f_{j+1} by incrementing the index).

More complicated data structure like list of lists can also be represented by a single sequence $\{f_j\}_{j \in J}$, when we choose J larger than \mathbb{N} . Let ω be the first limit ordinal (which can be identified with \mathbb{N}) and consider the ordinal $\omega \cdot 2 = \omega + \omega$ as the index set. The sequence $\{f_j\}_{j \in \omega \cdot 2}$ represents a pair of two lists. The first list is the one starting from the index zero, viz. $\{f_j\}_{j \in \omega}$, and the second one is $\{f_{\omega+j}\}_{j \in \omega}$, which has f_ω as the initial element. Therefore the sequence $\{f_j\}_{j \in \omega \cdot 2}$ can be regarded as a “list” of two lists: $[\{f_j\}_{j \in \omega}; \{f_{\omega+j}\}_{j \in \omega}]$. The limit ordinal ω has a role as a “boundary” in the sense that elements f_j with $j \geq \omega$ are not reachable from the initial element by a finite iteration of successor operation.

The above arguments suggest that a larger J leads to a broader way to represent data, so our strategy is to relax conditions on J . When formulating hyperlist below, we take into account the case where J is totally ordered but not well-ordered (for instance the set of all integers). This means that we could also deal with the “lists” without an initial element.

Hyperlist given below solves the problem of redund-

Received on September 30, 2015.

* Advanced Institute of Industrial Technology

dancy in sequence representation: another sequence $\{g_k\}_{k \in K}$ may equally well represent the same list as $\{f_j\}_{j \in J}$. This is the case where there is an order isomorphism $\varphi : K \rightarrow J$ such that $g_k = f_{\varphi(k)}$ for all $k \in K$. It is thus natural to realise a list as an equivalence class of sequences with respect to order isomorphisms of indices. This is the strategy we have chosen to design the formalism of hyperlist.

This article is organized as follows. Notations are collected in Section 2. The definition of hyperlist is given in Section 3 and a comparison to the sequence representation is in Section 4. Basic operations and constructs including sublists, list comprehension, addition, and indexing operators are discussed in Sections 4 to 8. Section 9 concludes the paper.

2 Preliminaries

We begin our theory by collecting notations and definitions utilised throughout the paper. Let \mathbb{N} be the set of all non-negative integers, \mathbb{Z} all integers, \mathbb{Q} all rational numbers, \mathbb{R} all real numbers, and \mathbb{C} all complex numbers. These sets, except \mathbb{C} , are endowed with the trivial total orderings. We assume the axiom of choice.

The statement that f is a partial function from a set A into another set B is written as $f : A \rightharpoonup B$. The domain of f is denoted by $\mathcal{D}(f)$ and the range (or image) of f by $\mathcal{R}(f)$, viz. $\mathcal{R}(f) = \{f(a) | a \in \mathcal{D}(f)\}$. A partial function may be undefined on a subset of A (in this case $\mathcal{D}(f)$ is a proper subset of A). We say that f is total (or everywhere defined) if $\mathcal{D}(f) = A$ and write $f : A \rightarrow B$. To simplify notations we sometimes write fa or f_a to mean $f(a)$. A sequence $\{f_j\}_{j \in J}$ of elements of Y can be identified with a function $f : X \rightharpoonup Y$ with $\mathcal{D}(f) = J$, provided $J \subset X$. Two functions f and g are said to be identical if $\mathcal{D}(f) = \mathcal{D}(g)$ and $f(x) = g(x)$ for all $x \in \mathcal{D}(f)$. In this case we write $f = g$. Remark that functions with different domains are considered different. The restriction of $f : A \rightharpoonup B$ to a subset $C \subset \mathcal{D}(f)$ is denoted by $f \upharpoonright C$. The set of all partial functions from A into B is written as $A \rightharpoonup B$ and all total functions as $A \rightarrow B$, which is a subset of $A \rightharpoonup B$. The statement $f : A \rightarrow B$ is thus equivalent to $f \in (A \rightharpoonup B)$. The operators \rightharpoonup and \rightarrow associate to right, so that $A \rightharpoonup B \rightharpoonup C = A \rightharpoonup (B \rightharpoonup C)$.

In the sequel the symbol X is utilised to mean a totally ordered nonempty set (X, \leq) . The ordering \leq is often omitted when there is no possibility of confusion. We mean by \hat{X} the set X with the reverse ordering. Two to-

tally ordered sets $(X_j, \leq_j), j = 1, 2$ are said to be isomorphic if there is a bijective function $\varphi : X_1 \rightarrow X_2$ such that $\varphi(x) <_2 \varphi(y)$ if $x <_1 y$. Such function φ is called an order-preserving isomorphism (or order isomorphism) and we write $X_1 \cong X_2$ to mean this situation.

3 Hyperlist

We now formulate hyperlist as an equivalence class of functions from a totally ordered set into some other set (lists will be included as a special case of hyperlist where the initial set is a subset of \mathbb{N}). Given a totally ordered set X and a set Y , we define the quotient set $[Y]_X$ by

$$[Y]_X = (X \rightharpoonup Y) / \sim,$$

where the equivalence relation \sim in $X \rightharpoonup Y$ is defined by

$$f \sim g \text{ if and only if } f = g \circ \varphi$$

for some order-preserving injection $\varphi : \mathcal{D}(f) \rightarrow X$ with $\mathcal{R}(\varphi) = \mathcal{D}(g)$. The equivalence class of $f \in (X \rightharpoonup Y)$ in $[Y]_X$ is written as f/X or $[f(x) | x \in \mathcal{D}(f)]_X$. We denote the quotient map by $\pi = \pi_X = \pi_X^Y$, viz.

$$\pi_X : (X \rightharpoonup Y) \rightarrow [Y]_X, \quad \pi_X f = f/X.$$

An element $a \in [Y]_X$ is referred to as a hyperlist, and the set $[Y]_X$ hyperlists (with initial set X and final set Y).

If two totally ordered sets X_1 and X_2 satisfy $X_1 \subset X_2$ and the restriction of the ordering of X_2 to X_1 is identical to that of X_1 , then we regard $[Y]_{X_1}$ as a subset of $[Y]_{X_2}$. Similarly, we consider $[Y_1]_X$ as a subset of $[Y_2]_X$ if $Y_1 \subset Y_2$. We set $[Y] = [Y]_{\mathbb{N}}$ (which is the set of lists for programming languages). We have the following inclusions

$$[Y]_{\emptyset} \subset [Y]_{\alpha} \subset [Y]_{\omega} = [Y] = [Y]_{\mathbb{N}} \subset [Y]_{\mathbb{Z}} \subset [Y]_{\mathbb{Q}} \subset [Y]_{\mathbb{R}},$$

where α is any natural number $\alpha \in \mathbb{N}$. Obviously all the above inclusions are proper unless $Y = \emptyset$. The equivalence class of the empty function on X (i.e. the function with empty domain) is called an empty list and denoted by $[\emptyset]_X$. Note that $[Y]_{\emptyset} = \{[\emptyset]_X\} = [\emptyset]_X$.

4 Sequence Representation

It is quite easy to translate a list given by sequence representation into a hyperlist. Given a sequence $\{f_j\}_{j \in \mathbb{N}}$ of complex numbers, the hyperlist f/\mathbb{N} is the realization of the list $[f_0; f_1; f_2; \dots]$ and $(f \upharpoonright 2\mathbb{N})/\mathbb{N} = [f_0; f_2; f_4; \dots]$ is the sublist of f/\mathbb{N} with even indices. The

above two hyperlists are examples of the elements of $[C]$ with infinite length, but not all hyperlists in $[C]$ have infinite length. For instance, $g/\mathbb{N} \in [C]$ for any $g : \mathbb{N} \rightarrow C$ with finite domain.

As we have seen above, the set of hyperlists $[Y]_X$ contains lists of various length. If $X = \mathbb{N}$, then the length of $a \in [Y]_X$ takes values in $\mathbb{N} \cup \{\infty\}$. In a general case, one defines the length, $|f/X|$ of $f/X \in [Y]_X$ to be the cardinality of $\text{dom}(f)$.

5 Sublists

We equip the set of hyperlists with a natural partial ordering induced by inclusion of domains. More precisely, $[Y]_X$ is endowed with a partial ordering \leq , defined as $a_1 \leq a_2$ if and only if for any f_1 and f_2 with $a_1 = f_1/X$ and $a_2 = f_2/X$, there exists an order-preserving injection $\varphi : \mathcal{D}(f_1) \rightarrow \mathcal{D}(f_2)$ such that $f_1 = f_2 \circ \varphi$. Clearly, the partial ordering does not depend on the choice of f_1 and f_2 . The list a_1 is called a sublist of a_2 and a_2 a superlist of a_1 . We can write

$$a_1 = (f_2 \upharpoonright \varphi(\mathcal{D}(f_1))) / X.$$

This means that any sublist can be represented by restriction of the domain of the original hyperlist.

For fixed X and Y , the emptylist is the minimum element of $[Y]_X$ and a maximal element is given by $a = f/X$ for any total function f . The important point is that the cardinality of $[Y]_X$ is limited by that of X and Y . In other words, we are restricting ourselves to an initial set X that is large enough when talking about a given hyperlist, and similarly for Y . This is required to keep the collection of lists small enough to be realised as a set to avoid the Burali-Forti paradox (i.e. there is no set containing all ordinals).

6 List comprehension

We now introduce a notation to build an element of $[Y]_X$ using functions that have initial set different from X but embeddable to X . Namely, given totally ordered sets X, Z , a partial function $f : Z \rightarrow Y$ and an order-preserving injection $\psi : X \rightarrow Z$ such that $\mathcal{R}(\psi) = \mathcal{D}(f)$, we write $[f(z) | z \in \mathcal{D}(f)]_X$ to mean the hyperlist

$$[(f \circ \psi)(x) | x \in \mathcal{D}(\psi)]_X. \quad (1)$$

It is easy to see that the hyperlist (1) is independent of the choice of ψ . For any predicate $P(z)$ on Z , we define $[f(z) | P(z)]_X$ to be g/X , where $\mathcal{D}(g) = \{x \in$

$X | P(\psi(x))\}$ and $g(x) = (f \circ \psi)(x)$ for $x \in \mathcal{D}(g)$. The construct $[f(z) | P(z)]_X$ is the list comprehension, which is commonly implemented in functional programming languages.

7 Addition

In this section we discuss how to define the addition of an element $e \in Y$ to a hyperlist $a \in [Y]_X$. More precisely, we would like to build the new hyperlist $e : a$ that has e as the leading element prepended to a . First of all, we have to add an additional index to X for the new element. To this end, we set $X' = \{\emptyset\} \sqcup X$, where \sqcup denotes the disjoint union — the empty set means the new index here but any other symbol will work instead of \emptyset . We equip X' with the total ordering \leq' such that $\emptyset \leq' x$ for all $x \in X$ and $x_1 \leq' x_2$ if and only if $x_1 \leq x_2$ for any $x_1, x_2 \in X$. The new set X' is seemingly “longer” by one element, but one can identify it with X if we work under certain conditions:

Lemma 1. *We have $X \cong X'$ if X is a well-ordered infinite set.*

Let us write $a = f/X$ and consider $f' : X' \rightarrow Y$ with domain $\text{dom}(f') = \{\emptyset\} \sqcup \text{dom}(f)$, defined by $f'\emptyset = e$ and $f'x = fx$ for $x \in \text{dom}(f)$. We define the addition $e : a \in [Y]_{X'}$ as $e : a = f'/X'$.

Lemma 1 suggests that one should work under X such that $X \cong X'$ in order to avoid complication about the index set — otherwise one has to switch to a larger index set on every addition. For instance, $X = \mathbb{N}$ is a good choice and we have $e : a \in [Y]_{\mathbb{N}}$ whenever $a \in [Y]_{\mathbb{N}}$. This is not the case if one chooses $X = \mathbb{Z}$.

8 Indexing Operator

8.1 Well-ordered Case

The hyperlists we have developed so far can be classified into two kinds. The first kind of hyperlists is the ones that has an initial element, and the second kind is the ones that has no initial elements. A typical example of the former is the elements of $[Y]_{\mathbb{N}}$ and the latter is of $[Y]_{\mathbb{Z}}$. The difference boils down to the well-orderedness of the index sets. Namely, any hyperlist of $[Y]_{\mathbb{N}}$ has an initial element because \mathbb{N} is well-ordered, and this is not the case for $[Y]_{\mathbb{Z}}$ because \mathbb{Z} is not well-ordered. This means that the well-orderedness of the index set X is an important property of $[Y]_X$.

Let us now define the well-orderedness or finiteness of hyperlists as follows:

Definition 1. A hyperlist $a = f/X \in [Y]_X$ is called well-ordered (resp. finite) if so is $\mathcal{D}(f)$. The set of all well-ordered (resp. finite) hyperlists in $[Y]_X$ is denoted by $\mathcal{W}[Y]_X$ (resp. $\mathcal{F}[Y]_X$). The ordinal of $\mathcal{D}(f)$ is called the domain of a and denoted by $\mathcal{D}(a)$.

By the ordinal of $\mathcal{D}(f)$ we have meant the unique ordinal α such that $\mathcal{D}(f) \cong \alpha$ (the existence of such α can easily be verified). Observe that the above definition of $\mathcal{D}(a)$ is independent of the choice of f . Clearly, we have $\mathcal{F}[Y]_X \subset \mathcal{W}[Y]_X$. Since any subset of a well-ordered set is also well-ordered, we have $\mathcal{W}[Y]_X = [Y]_X$ if X is well-ordered.

Not all hyperlists are well-ordered, however. Examples can be created by reversing a well-ordered infinite hyperlist. Given a hyperlist $a = f/X \in [Y]_X$, we define the reversed hyperlist $\hat{a} \in [Y]_{\hat{X}}$ by $\hat{a} = \hat{f}/\hat{X}$, where $\hat{f} \in (\hat{X} \rightarrow Y)$, $\mathcal{D}(\hat{f}) = \mathcal{D}(f)$ and $\hat{f}(x) = f(x)$. It is easy to see that both \hat{a} and a are well-ordered if and only if a is finite. This means that if a is an infinite hyperlist, either a or \hat{a} is not well-ordered, and also that the list reversal is closed in $\mathcal{F}[Y]_X$ but not in $\mathcal{W}[Y]_X$.

Given a well-ordered hyperlist $a = f/X \in [Y]_X$, we take an order isomorphism $\varphi : \mathcal{D}(a) \rightarrow \mathcal{D}(f)$ (depending on f), and define $a[j] = (f \circ \varphi)(j)$ for $j \in \mathcal{D}(a)$. It is readily verified using transfinite induction that the function $\mathcal{D}(a) \ni j \mapsto a[j] \in Y$ is well-defined. This and the convention (1) prove the following

Theorem 1 (Canonical representation of well-ordered hyperlist). *Let X be a totally ordered set and Y a set. Suppose that $a \in \mathcal{W}[Y]_X$. Then the following identity holds.*

$$a = [a[j] \mid j \in \mathcal{D}(a)]_X \quad (2)$$

Theorem 1 means that a well-ordered hyperlist is essentially a sequence representation indexed by an ordinal, disregarding the indices but keeping the ordering. The equation (2) indicates that such a hyperlist has canonical indexing operator $[.]$ (which actually depends on the set X but the dependency is omitted).

8.2 General case

Regarding hyperlists that are not well-ordered, the canonical form of Theorem 1 is not available. We can, however, show that any right inverse of π can be regarded as an indexing operator:

Theorem 2. *Let X be a totally ordered set and Y a set. Then there exists a function γ with the following property:*

$$\gamma : [Y]_X \rightarrow X \rightarrow Y, \quad a = (\pi \circ \gamma)(a), \quad a \in [Y]_X.$$

Proof. We equip the set $X \rightarrow Y$ with a well-ordering (existence of such ordering is guaranteed by the well-ordering theorem). For each $f \in X \rightarrow Y$ we define $g \in X \rightarrow Y$ by $g = \min\{h \in X \rightarrow Y \mid \pi f = \pi h\}$. It is easy to see that $\gamma = \pi f \mapsto g$ is well-defined as a total function. We have $\pi(\gamma(\pi f)) = \pi g = \pi f$. This completes the proof. \square

The function γ can be regarded as a generalisation of the indexing operator, which we have seen in (2). Indeed if we write $a[x]_\gamma$ for $(\gamma a)(x)$ then we have

$$a = [a[x]_\gamma \mid x \in \mathcal{D}(\gamma a)]_X.$$

Note that a is well-ordered if and only if so is $\mathcal{D}(\gamma a)$. We also remark that γ is not unique in general.

9 Concluding Remarks

In this article, we have formulated the notion of hyperlists that generalises the lists by extending the class of index sets to any totally ordered sets. While we have borrowed the concept of lists from computer science, the development presented here closely follow the formalism that mathematicians use in mathematical analysis. This means that the hyperlist is a good theme for collaborative work for mathematicians and computer scientists.

It is an interesting problem to extend the development of this article to other concepts of computer science such as association lists (that deal with key-value pairs) or more general unstructured objects.

Acknowledgements

The author is grateful to Antoine Bossard, Ryuichi Ueda and Sanggyu Shin for various discussions and continuous encouragement.

References

- [1] Paul Hudak, Simon Peyton Jones, Philip Wadler, Brian Boutel, Jon Fairbairn, Joseph Fasel, María M. Guzmán, Kevin Hammond, John Hughes, Thomas Johnsson, Dick Kieburz, Rishiyur Nikhil, Will Partain, and John Peterson. Report on the programming language haskell: A non-strict, purely functional language version 1.2. *SIGPLAN Not.*, 27(5):1–164, May 1992.
- [2] John McCarthy. Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine, part i. *Commun. ACM*, 3(4):184–195, April 1960.

AIIT型ブレンディッドラーニング法の考察と開発

— 第2報 —

橋本 洋志¹⁾ 井ノ上 寛人¹⁾ 慎 祥揆¹⁾

Development of Blended Learning Method in AIIT Style

— Second Version —

Hiroshi Hashimoto¹⁾, Hiroto Inoue¹⁾ and Sanggyu Shin¹⁾

Abstract

This paper proposes a novel eLearning system (AIIT type BL system), which is a type of blended learning, to be suitable to feature of AIIT. Considering the features of previous eLearning system, Free-site on eLearning systems and some introduction example of eLearning systems, the useful terms are extracted. Furthermore, considering the specified issue to get credit according to the MEXT regulation, the required specifications of the system is defined.

Keywords: blended learning, eLearning, AIIT, specifications

1 はじめに

本稿は産業技術大学院大学（AIIT）型のブレンディッドラーニング（BL: Blended Learning）のあり方を考察して、それに基づき必要な機能を有する AIIT 型 BL システムの開発し、これを適用した結果の速報である。初めに、改めて BL に対する先行研究、定義などを述べ、どのような考え方に基づいて、筆者らによる BL の設計、およびその成果について述べる。

BL は、e ラーニングの一種であり、多数あるコンテンツをどのように上手にブレンドするかで表現されるものである。そのインストラクショナルデザインは、コンテンツそのものの質や組み合わせを考えるだけでなく、ラーニングである以上、当然、対象者の属性を考え、その属性に適するものにしなければならない[1]-[4]。

ここで、AIIT 型 BL システムを開発するため、考えるべき課題点を明らかにしておこう。e ラーニング一般の課題点として次がある。

【課題 1】学習の継続性

これは、一人で行うこと前提とした e ラーニングでは、学習の継続を維持するためのインセンティブ、刺激が経時的

に減少する傾向が強い。また、対面学習ならば、インストラクターによるある程度の強制力やコーチング・メンター能力を発揮することで、学習継続性を維持できることは十分に可能である。しかしながら、一人での学習ではこの効果は期待できず、大抵は“忙しかった”という理由で学習を回避する事例が多数ある。さらに、この課題 1 は、教育品質を維持・向上することにも強く関係する。したがって、本稿では、教育システムで考えるべき教育品質の維持・向上をこの課題 1 に含ませるという立場に立つ。

次に BL そのものの問題として、次が挙げられる。

【課題 2】複数あるコンテンツのブレンド法

この課題がなぜ提起されたかは、2 章で詳細に述べる。簡単に述べると、e ラーニングの特徴である、ライブ型授業と自己学習型授業形態（2 章参照）を混在することで、AIIT に多い社会人に課せられている時間・空間の制約を緩和し、授業の質を保つことにある。

最後の課題点として、AIIT 型 BL システムは、これを使用したとき大学としての単位を認定できる条件を備えていることが必須である。そのため、次の課題をあげる。

【課題 3】単位認定を可能とするシステム要件

これらの課題を考察して、AIIT 型 BL システムの要件定義するには、e ラーニング全般の背景を見て、そこにある特徴を整理し、良い点を採用すべきである。そのため、2 章では従来のブレンディッドラーニングについて示し、これを参考にしながら、AIIT 型 BL の要件を述べ、これを 2014 年度に適用した結果について報告する。

Received on September 20, 2015

1) 産業技術大学院大学

Advanced Institute of Industrial Technology

2) 公立大学法人首都大学東京

Tokyo Metropolitan University

2 従来のブレンディッドラーニング

2.1 従来の定義

文献[1]は次のように定義している。

ブレンディッドラーニングとは、特定の顧客に対して最適のトレーニングプログラムを作り出すために、異なるトレーニングの「メディア」（技術、活動、事象の種類）を組み合わせることである。「ブレンディッド」という用語は、伝統的なインストラクター主導のトレーニングが電子的方式で補完されることを意味している。ブレンディッドラーニング・プログラムは多くの異なる形態のeラーニングを用い、インストラクター主導のトレーニングとそのほかのライブの形態によって補完されることもある。

この定義が述べていることに注釈を加えると、

- 複数のコンテンツを活用すること
- このブレンディッド法を顧客（学習者に相当）に依存した最適化論を見出すことが重要

であることを述べている。もちろん、eラーニングが進化している以上、ブレンディッドラーニングが未来永劫的にこの定義に縛られる必要はないと思うが、この定義は良い教育を提供するための普遍的な定義であると考えられるため、この定義を本稿は採用する。

2.2 コンテンツの例

次に、文献[1]は、コンテンツとして16種を挙げている。しかし、時代遅れのものもあるので、適当に集約して紹介する。ここに、ライブはある定められた時間に学ぶこと、自己学習は好きな時間に自分一人で学ぶ形態を意味する。また、双方向性はインストラクターと学習者の間で何らかのやり取り（実時間とは限らない）ができることで、eラーニングで重要視される項目である。

- ◆ インストラクター主導のトレーニング（ライブ）：通常の教室における授業。学習者とインストラクターの双方向性が最もある。
- ◆ オンラインセミナー（ライブ）：ライブ型のインターネットを利用した教育。インストラクションはWebブラウザを通して行われる。双方向性は、Q&A形式となる。
- ◆ コースウェア（自己学習）：映像、テキスト、音声などを用いて、学習コンテンツと学習コースを提供し、試験や演習問題により双方向性を確保する。
- ◆ シミュレーション（自己学習）：シナリオを利用したコースウェアで、アプリケーション、ビジネス、プロセス分野で用いられることが多い。学習者は状況変化に対して、自らの意思決定の結果を知ることができる。
- ◆ ビデオ配信（自己学習）：ダウンロード、ストリーミング型がある。このメディアを効率的に使うには、質

の良い解像度が必要なため広帯域インターネット環境を必要とする。また、ビデオカンファレンスの形態にすれば、教室環境を拡大できる最も有効な方法の一つとして認識されている。

- ◆ 協調システム（ライブ・自己学習）：チャット、掲示板などを用いて、インストラクターと学習者のやりとり、学習者同士の意見・知識の交換が行える。このログを取ることでQ&AやFAQというデータベース化が作成でき、疑問解消ツール作成にもなりえる。
- ◆ 職務補助システム（自己学習）：これは、チェックリスト、パンフレット、テントカード（卓上カード）といった学習者の活動支援のための資料を指す。主に、インストラクションに必要な項目を記した本システムを学習者が携帯し、いつでも、目に触れる機会を設けるものである。現在では、スマホやタブレットで本システムを表現しているものもある。
- ◆ ワークブック（自己学習）：これは、学習または学習プロセス支援のために設計された補助システムで、その多くはチェックリスト、空欄補充問題、学習プロセスをステップアップしていくための説明が記述されている。
- ◆ 書籍（自己学習）：古典的で最も代表的なコンテンツ。
- ◆ OJTによる練習（ライブ）：OJTでコーチングやテストの実施と評価は大変重要と考えられており、BLプログラムでは重要な項目として考えるべきとされている。

これらのコンテンツを見ると、知識の教示は自己学習型コンテンツを活用することで十分に対応できるといえる。次に、知識を涵養し、知識の応用性を高めるには、反復練習、演習、協調システム、知識レベルの変化を見ることのできる工夫、などが必要といえる。紹介したコンテンツの特徴を上手に扱うことで、効果的なBLシステムの設計がなされるものと考える。この点を本稿の後半で報告する。

3 AIIT型BLの要件

本節では、AIITがBLの要件について述べる。従来のeラーニングの良い点を取り入れながら、AIIT必須の項目を取り入れ、かつ、良い授業となる工夫を施す必要がある。初めにAIIT必須の項目として、単位認定要件を示す。次に、本学が受け入れている社会人学生が受けやすい授業の在り方について述べる。

3.1 単位認定要件

文部科学省による大学院における単位認定要件は幾つかあるが、本稿に関連する項目だけを抽出し、紹介する[5][6][7]。

ポイントは、

- 平成 10 年より、メディアを利用して行う授業によってすべての授業単位を修得できるようになった。
- 平成 13 年、さらに改正があり、同時性が確保されなくともメディアを利用し、かつ、対面授業なしでインターネットだけで単位を取得できる。

ただし、以下の要件は必須である。

【要件 A】大学設置基準第二十五条第一項に規定する面接授業に相当する教育効果を有すると認めたものであること。

この要件は次のことを含むと書いてある。

【要件 B】毎回の授業の実施に当たって設問解答、添削指導、質疑応答等による指導を併せ行うものであって、かつ、当該授業に関する学生の意見の交換の機会が確保されているもの

【要件 A】は、概念的でわかりづらいので、【要件 B】から本学の BL に当てはめて、必要なことを列挙すると、

【要件 1】ビデオ型講義や WB (Web Based) 型講義は可である。

【要件 2】対面講義、ビデオ講義に関わらず、毎回の授業において適切な指導ができるよう、演習（レポート含む）、添削指導、質疑応答などのいずれかが行われなければならない。

【要件 3】また、授業内容に関する学生の意見交換の場を設けなければならない。ただし、毎回でなくてよいと解釈される。

これらの要件の組み合わせは様々にあるが、本稿では、上記の要件を満足する範囲で、次のように定める。

- ビデオ講義の次の授業は対面授業として、このペアで 1 セットとし、下記のようにして、要件を満足するようとする。
- ビデオ講義の場合には、授業理解度レポートを課す。これは要件 2 の演習に相当する。
- さらに、ビデオ講義の場合、次回の対面授業のための予習内容を示し、予習を必須とする。これは、講義単位認定要件（復習、予習を含めて 15 回授業は 2 単位）に適合させ、教育の質の保証を行う。
- 対面授業では、事前に予習がなされているという前提で、一方講義はせず、直ちに演習を実施し、その内容を学生同士で議論する。これは、【要件 2】の演習、添削指導、質疑応答、および、【要件 3】の学生の意見交換の場を設けることになる。
- 上記の学生間同志の議論は、授業時間内だけで行うには時間の制約があり、十分な議論活動は難しいと考え、Web 上に意見交換できるサイトを設け、ここに、授業内容に対する意見交換を行うことを課す。これは、【要件 3】の学生に意見交換の場を設けることになる。

以上のこととは、当該授業の単位認定要件を満足するだけでなく、当然のことながら、深い知識の修得とその応用力を涵養することつながる、と考えている。この立証は、次の BL システムが稼働し、その結果を分析することで示す予定である。

3.2 社会人学生が受けやすい授業

先に述べた単位認定要件の下、社会人学生が受けやすい授業の在り方を考える。社会人学生が最も苦労している点は、時間の制約があることである。業務の都合上、突然的な仕事をこなすことがあるため、会社での拘束のみならず、出張があって、東京を離れることも度々ある。このため、毎週同じ時間に大学に来校して授業を受ける、という通常の大学生と同じような時間の使い方は困難である。

この時間の制約を緩和する有効な手段として、ビデオ型講義がある。本学では、ビデオ型講義に次の種類がある。

タイプ I ライブ授業を実施。この授業をビデオ録画して、これを見る。

タイプ II 事前にビデオ録画したものを、適当な日に視聴可とする。

どちらのタイプも、見たことを何らかの方法で証明し、また、予習復習があることは単位認定要件より当然行われるものである。それぞれに特徴はあるが、ここではタイプ II を採用した。この理由は、事前にビデオ録画するため、その準備として、スクリプト、コンテンツの出し方などを考え、収録のための話す準備も必要である。この点での労力は多大であるが、上手に授業収録ができれば、90 分間を滞りなく進めることができ、かつ、課題を文字で提示すれば、一時停止がいつでも可能なため、読むための時間を省くことができる。この時間効率性の特長があるため、従来のライブ講義よりも密度の高い授業内容の伝達、かつ、予習復習の指示が行えるためである。

4 BL システム

前章までの各背景や考察を通して、筆者は授業「システムインテグレーション特論」（創造技術専攻、3Q 開講）に対して AIIT 型 BL システムを開発した。本授業は、ものづくり系分野をメインとするもので、産業プラント、家電、ロボットの説明から、それらを構成する要素技術の説明、さらに、大規模システムの故障診断、ヒューマンエラーとその防止法などを教授するものである。

この授業に対して、冒頭で述べた e ラーニングの課題

【課題 1】学習の継続性

【課題 2】複数あるコンテンツのブレンド法

【課題 3】単位認定を可能とするシステム要件

これらに関して、2~4 章の考察を通し、次のような設計論を導入した。

【課題 1】に対応するため、次の複数の機能を導入する。

<機能 1> 逐次レポート提出方式

これは、予習・復習を必要とする課題を継続的に与えて、連続的にそのレポートを提出させる方法である。これを導入した最大の理由は、深く複雑な知識修得の初段階では、学習者は少しばかりの労力を払わなければならないことがある。しかも、授業は学習者が単独ではなく複数人を対象としていることから、学習者の異なる性格を吸収する形態で授業を進めいかなければならない。このために、本方式を導入した。

<機能 2> 興味を引くメディアコンテンツ

実施する授業”システムインテグレーション特論”は、幅広い分野を網羅しており、科学・工学の要素技術、複雑または大規模システム、人間を説明する各種心理学や認知科学などを含み、これらの基盤となる基礎知識を学生が初めから有していることはまずありえない。そのため、初めて触れる知識や問題背景であっても、視角認知がしやすいことで導入がスムーズになるよう、画像、動画、音声を組み合わせたコンテンツを豊富に提供することとする。

<機能 3> 学生間議論の場

ある問題に対して、学生間で意見を述べ合う、解答を検討することは、他人の考え方や知識を吸収できるだけでなく、自他者との差異を通して、自分の考え方を認識することで自分のアイデンティティを形成でき、自信を持てることがある。このことが生じれば、自分の学習プロセスの方法に自信を持つことになり、課題 1 に対応できると考える。

<機能 4> 教員によるコーチングとメンター

これは、機能の面で見ると機能 3 と類似しているが、教員と学生の 1 対 1、教員から多数の学生への 1 対多の二つの場面がある。1 対 1 は主にメンターのためで、1 対多は主に学生間議論をコントロールして安定なものにするためのコーチングとして機能させるものである。

【課題 2】に対応するため次の複数の機能を導入する。

<機能 5> ビデオ講義の一部導入

これは、社会人学生の時間・空間の制約性を低減させるためのものである。講義回数全てをビデオに置き換えたとき、本学のような専門職大学院大学では【課題 3】に対応できない。このため、一部の回数にビデオ講義を導入し、【課題 3】に対応すべく次の機能を導入する。

<機能 6> 復習用レポート提出システム

ビデオ講義において、復習用レポート課題が提出される。これにより、指定された回の講義を見て、かつ、単位要件にある復習を実施したことの証明がなされる。

<機能 7> 議論コミュニケーションスペース

これは、ビデオ講義において、議論用課題を提出し、学生全員は本スペースで意見を述べ、他の意見を参考にできるようにする。さらに、意見全体に対する集約やコメントは教員が行う。これにより、ビデオ講義であっても【課題 3】単

位認定要件に適合できる。

<機能 8> 実践的演習

本演習を全てのビデオ講義に対応して設ける。このとき、ビデオ講義内では、演習に直ちに入れるよう予習課題が提出される。これにより、指定された回の講義を見て、かつ、単位要件にある予習の実施がなされ、さらに、2 章で説明した、演習では知識の応用性を高めるためのコースウェア、シミュレーションなどを実施でき、その状況は、教員により実時間で観察されるので、教員によるコーチングやメンターが実施されやすくなる。

5 実施結果

2014 年 3Q、システムインテグレーション特論で設計した BL を適用した。

ビデオ型講義は 5 回、それに対応する演習に特化した演習型講義を 5 回、すなわち、ビデオ型講義と演習型講義を対とした 5 つのペアを設けた。ビデオ型講義は前回の講義が終了したら直ちに視聴可とした。これは、予習復習の時間枠をできるだけ長くとるためである。この中で、ペアとなる演習型講義の課題も述べている。そのため、演習型講義では、何ら振返りや解説なしに、直ちに演習に入り、その評価と議論を行い、時間の効率性を大きく高めた。

ペアとなる授業のテーマを次に示す。

- a) ロボットシステム
- b) センサ・アクチュエータ
- c) 画像計測
- d) ヒューマンファクタ
- e) 失敗事例と故障診断

授業のスケジュールは次である。

第 1, 2 回 (タイプ I) システムインテグレーション

概要、演習

第 3 回 (タイプ II) a), 第 4 回 (演習型講義) a)

第 5 回 (タイプ II) b), 第 6 回 (演習型講義) b)

第 7 回 (タイプ II) c), 第 8 回 (演習型講義) c)

第 9 回 (タイプ II) d), 第 10 回 (演習型講義) d)

第 11 回 (タイプ II) e), 第 12 回 (演習型講義) e)

第 13 回 (タイプ I) ケーススタディ分析

第 14, 15 回 (タイプ I) SI 設計・製作・評価演習

タイプ II の授業は前回の授業が終了次第に視聴可とし、ここで、復習のレポート、さらに、次回の演習型講義のための予習レポート、さらに演習型講義で行う内容と課題を提示している。

各授業テーマには、動画視聴やシミュレーション実験実施のいずれかがあり、これは授業時間内に含めず、復習時間で

行うように指示をして時間効率性を上げている。例えば、ヒューマンファクタでは、インターフェース論、認知科学が述べられており、その中のインターフェース論の例として、5つほどの人間と人工物のインターフェース例が紹介される。その一つにトラクターのインターフェースがあり、次の動画を見るなどを課している。



図 1: インターフェース論の一つの例として紹介されるトラクターのインターフェース

学生はこの動画を見て、インターフェースの機構、工夫点、ユーザビリティについて考察した内容をレポートとして提出する。

このような動画が、システムインテグレーション特論内で、20個程度ある。これと別に、ロボットマニピュレータをシミュレータで操作し、その自由度に関する考察を行うものもある。

さらに、本BLでは、各ペアにそれぞれフォーラムを設け、学生全員は各フォーラムで必ず1回は意見を記述するように指示した。学生は他の学生の意見を見る能够性を高め、他者の考え方と自分の考え方の違いを比較できる。

このように、1回90分の授業が、従来の内容よりも非常に密度を高くしているため、社会人学生の時間制約を低減したにも関わらず、内容をこなす時間がむしろ増大したのではという危惧があった。そこで、授業中に、大学が実施している授業評価アンケートでは、本授業の内容、良い点悪い点という通例の質問以外に、負担感も記述するように指示を出した。

履修者数は9名、その内、社会人学生は7名であった。学生評価は全員より得た。その評価結果を要約すると、

- 授業内容は大変興味深く、内容が深かった。
- 負担感は他の授業に比べて少し重かったが、内容を理解するにはこれだけのボリュームをこなす必要があることがわかった。

この評価で、注目したのが、授業内容を理解するには、適切な演習量が必要であり、2014年度に設定したタイプIIでの予習・復習レポート、および演習型講義での演習の量は適切であったと認められる。

ニングシステムの問題点とそのフィードバック、さらに単位認定要件を考慮したシステム要件について考察し、2014年度3Qにおいてシステムインテグレーション特論に適用した結果を述べた。学生評価やフォーラムの内容は、個人情報保護の観点から、本稿では詳細に述べることはしなかったが、別の機会に整理して、本BLシステムが授業の高い質を維持したという結果を得た。この取り組みが2015年度の実施でも有効か否かの検証は引き続き行う。

なお、本稿に示すBLシステムの開発は、平成26年度傾斜的研究費部局分によって行われている。

参考文献

- [1] ジョシュ バーシン, ブレンディッドラーニングの戦略—e ラーニングを活用した人材育成, 東京電機大学出版局, 2006.
- [2] ラーニング白書〈2008/2009年版〉, 東京電機大学出版局, 2008.
- [3] Newman, D. R. and so on, An Experiment in Group Learning Technology: Evaluating Critical Thinking in Face-to-Face and Computer-Supported Seminars, Interpersonal Computing and Technology, v4, n1, p.57-74, 1996.
- [4] Janice Paskey, A Survey Compares 2 Canadian MBA Programs, One Online and One Traditional, College Degrees, 2001.
- [5] http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/gijiroku/04051801.htm.
- [6] http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/004/gijiroku/021101c.htm.
- [7] http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/k20010330001/k20010330001.html.

6 おわりに

本稿はAIIT型BLシステムの在り方の考察、従来のeラーニ

屋内空間の色温度の印象に照射位置と日の入りが与える影響

中島瑞季*・横井聖宏**

The Sundown and Irradiation Position Influences an Impression of Color Temperature in Indoor Space

Mizuki NAKAJIMA* and Takahiro YOKOI**

Abstract

To test Influences of surrounding residential environments at sundown to impression of color temperature and irradiation position, We investigated two times before and after sundown to take the impression of color temperature and irradiation position of the space that were multi-combined. As a result, evaluation of a feeling of obstruction, airiness and coolness affects the difference of the impression of each space especially. And suggested that impressions of space have difference between before and after sundown is caused by moving superiority on the influence of evaluation of a color temperature and an irradiation position.

Keywords: Color temperature, Irradiation position, Indoor space, Sundown.

1 はじめに

本報は、著者らの先行研究[1]の続報として研究を進めたものである。本研究の目的は屋内空間の雰囲気形成により影響を与えると考えられる色温度と照射位置の印象に周辺環境である日の入りが与える影響を検討することが目的であり、前報では主成分分析と多変量の分散分析を用い、空間それぞれの印象の関係とその印象の形成に影響を与えたと考える評価項目について検討した。本報では、空間それぞれの印象の近さと、色温度と照射位置が評価項目に与える影響の関係を日の入り前後で比較することを追加して検討を進める。

2 実験

2.1 実験目的

一般住宅のダイニングを想定した屋内空間の照明の色温度の印象へ、照射位置と日の入りが与える影響にどのような相互関係があるのか、色温度2種類と照射位置 2 種類を組み合わせた 4 つの空間模型を撮影した写真を準備し、日の入り前後にそれぞれの空間について 14 項目の形容詞から印象を評価してもらい、比較検討する。

2.2 評価対象

2.2.1 色温度

本実験では屋内空間を一般的な家庭のダイニングに設定した。そのためダイニングの色温度として見慣れない光色から特別な印象を取得することは目的と合致しない。そのため照明学会の住宅照明設計技術指針[2]において、色温度は暖(3.300K 以下)、中間(3.300–5.300K)、涼(5.300K 以上)の 3

種類にわけられる中でも特に視覚的に差が明瞭に判断できる、暖(3.300K 以下)と涼(5.300K 以上)を採用した。一般的に販売している光源では、暖は電球色とも言われ赤みのある光色で、涼は昼光色とも言われ青白い光色である。光源は LED 電球 (Panasonic LDA10LGZ60W[電球色相当]/LDA10DGZ60W[昼光色相当]) を使用した。

2.2.2 照射位置

照射位置に関しても、色温度と同様に一般的な家庭のダイニングで使用される照明の照射位置を条件が望ましい。そのため、シーリングライトやペンダントライトのように天井付近から照射したように見える条件と、フロアスタンドのように、椅子等に着座した際の頭より少し上位置の斜め方向から照射したように見える条件を採用した。本実験は写真で空間を提示するため、写真上で以上の照射条件が再現出来、さらに照射位置が異なることによって影が変わった事が明瞭に判断できなければならない。以上を模型上で検討した結果、90 度から照射すると天井付近から照射したように見え、45 度から照射すると、着座時の頭より少し上の斜めから照射しているように見えることを確認したため、45 度と 90 度の条件を設定した。

2.2.1 構成した屋内空間

空間内にはダイニングを想定させる対象物として椅子 2 脚とテーブルで構成するダイニングセットの模型を配置した。壁や天井は、色温度と照射位置の印象に影響を与えないように、白地の目立つテクスチャーがない素材とした。以上に色温度 2 条件と照射位置 2 条件を組み合わせた計 4 つの空

Received on September 30, 2015

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

**長崎総合科学大学, NAGASAKI INSTITUTE OF APPLIED SCIENCE

間を屋内空間条件と設定し模型を作成した。各空間の構成要素の詳細を表1に示し、実際に実験で使用した空間条件の写真を図1に示す。

表1 各空間における色温度と照射位置の組み合わせ表

空間	色温度	照射位置	空間	色温度	照射位置
空間A(L45)	2700k	L 45° .45	空間C(C45)	6700k	D 45° .45
空間B(L90)	2700k	L 90° .90	空間D(C90)	6700k	D 90° .90

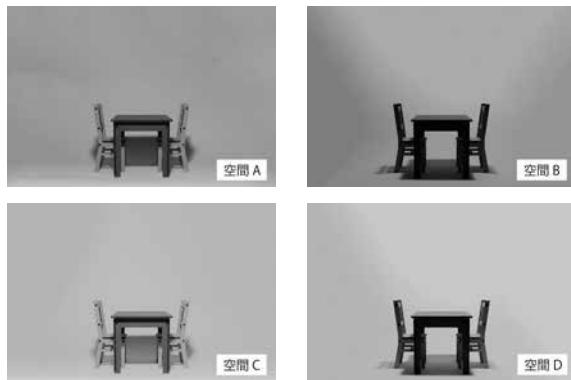


図1: 実際の実験で使用した写真

(実験時には、写真上のキャプションは表示していない)

2.3 評価内容

主観評価は、照明と室内環境評価を対象とした既往研究[3]と、著者らの先行研究[4]から、照明から影響を受けた屋内空間の印象を評価しやすいと考えられる評価語14語を用いた。詳細を表2に示す。

表2: 主観評価で使用した評価語14語

明るさ	閉鎖感	快適感	暗さ
陰気さ	涼しさ	沈静的	解放感
好ましさ	暖かさ	軽快さ	不快感
活動的	陽気さ		

評価は図2に示すとおり、[まったく感じない]から[とても感じる]の5段階評価で求めた。

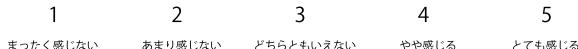


図2: 段階評価の尺度

2.4 評価時刻

本実験期間は2014年1月20日前後で、実験を行った地域の日の入りは16時30分前後であった[5]。そのため評価時刻は日の入り前の被験者は13時台で、日の入り後の被験者は16時台に設定した。

2.5 評価方法および実験手順

本実験は、開始前に被験者へ実験内容の説明を行い、同意を得た後に行っている。評価はテーブルの上に用意し

たタブレットPC(Apple社製iPad mini Retina display画面輝度:最大)上に空間写真を全画面表示し、被験者がその写真を見ながら質問紙に回答を記入することで行った。写真の表示順とアンケート用紙上の評価語の提示順は、カウンターバランスを取るため被験者によって異なる。

2.6 被験者

20代の男子学生15名(平均年齢21.4歳)を被験者とした。13時台の被験者は8名(平均年齢21.7歳)で16時台の被験者は7名(平均年齢21.1歳)であった。

3 結果と分析

3.1 結果

主観評価の評価値平均と標準偏差から、評価結果の傾向を表3と4に示す。大きく外れた値は認められなかったため、すべての質問項目を分析対象とした。

表3: 13時台における実験の各空間に対する評価語の評価値平均と標準偏差

13時台	空間A		空間B		空間C		空間D	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
明るさ	3.63	0.74	2.50	1.07	4.63	0.74	3.63	1.19
閉鎖感	3.00	1.07	3.75	1.16	2.00	0.93	2.38	1.41
快適感	3.25	1.16	2.50	1.07	4.13	0.99	3.50	1.31
くらさ	2.75	1.04	3.63	1.19	1.38	0.74	2.63	1.30
活動的	2.63	0.92	2.00	0.93	3.25	0.89	3.00	0.93
陰気さ	2.38	1.06	3.25	1.16	1.75	0.71	2.88	1.25
涼しさ	1.50	0.53	1.50	0.53	4.00	0.93	4.00	0.76
沈静的	3.50	0.93	4.00	0.93	3.00	1.20	4.38	0.52
開放感	2.75	0.89	2.38	1.19	4.00	0.93	3.38	1.30
陽気さ	3.13	0.99	2.13	0.99	2.88	0.99	2.13	0.83
好ましさ	4.00	0.93	3.63	0.74	3.88	0.99	3.75	0.89
暖かさ	4.38	0.52	4.00	0.76	2.25	0.71	2.13	0.64
軽快さ	2.63	0.74	2.00	1.31	4.13	0.35	3.50	0.76
不快感	1.88	0.83	2.25	0.71	1.38	0.74	2.00	0.53

表4: 16時台における実験の各空間に対する評価語の評価値平均と標準偏差

16時台	空間A		空間B		空間C		空間D	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
明るさ	3.57	1.13	2.14	0.90	4.29	1.11	3.29	1.89
閉鎖感	1.43	0.53	3.14	1.21	2.57	1.13	3.43	1.40
快適感	3.86	0.90	2.57	1.13	3.57	0.79	2.57	1.40
くらさ	2.29	1.11	4.29	0.49	1.86	1.46	3.00	1.63
活動的	3.57	0.98	1.71	0.49	3.57	0.98	2.43	1.27
陰気さ	1.71	0.49	3.86	0.69	1.71	1.50	2.71	1.60
涼しさ	2.00	1.00	2.43	1.27	3.43	1.13	2.66	1.21
沈静的	2.86	1.46	4.14	0.38	3.43	1.13	3.43	1.27
開放感	3.57	1.27	2.14	0.38	3.57	1.62	2.86	1.46
陽気さ	3.57	1.13	2.43	1.51	3.00	1.41	2.29	1.60
好ましさ	4.00	1.00	2.86	1.46	3.43	0.79	3.14	1.21
暖かさ	4.29	0.49	3.57	1.51	2.29	1.25	2.00	1.15
軽快さ	3.43	1.13	1.86	0.69	3.71	0.95	2.14	0.90
不快感	1.14	0.38	2.29	1.25	1.43	0.79	2.43	1.51

3.2 分析

3.2.1 屋内空間と印象の関係

日の入りと屋内空間の印象にどのような関係にあったのか検討するため、評価語14語を変数に各空間の日の入り前後を要因として主成分分析を行った。固有値が1以上、累積寄与率80%を条件に第2主成分までを有効な主成分とし、第

1,2 主成分ともに絶対値が 0.8 以上の因子負荷量を持つ評価項目を特徴と考え、解釈を行った。主成分分析の結果を表 5 から 6 に示す。

表 5: 各主成分における固有値と累積寄与率

および評価語の因子負荷量

(有効とした負荷量 + = グレー / - = 黒)

	第1主成分	第2主成分
固有値	9.60	2.64
累積寄与率	68.60	87.46
明るさ	0.92	0.24
閉鎖感	-0.86	0.12
快適感	0.96	0.00
暗さ	-0.96	-0.16
活動的	0.96	0.03
陰気さ	-0.94	0.13
涼しさ	0.47	0.86
沈静的	-0.71	0.39
開放感	0.96	0.24
陽気さ	0.69	-0.63
好ましさ	0.66	-0.41
暖かさ	-0.23	-0.94
軽快さ	0.95	0.23
不快感	-0.92	0.28

表 6: 各空間の主成分得点

	日の入り前		日の入り後	
	第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分
空間A	-0.05	-1.24	1.02	-1.49
空間B	-1.14	-0.50	-1.40	0.00
空間C	1.28	0.62	0.81	0.53
空間D	0.11	1.31	-0.62	0.77

以上の結果から各主成分の解釈を行う。第 1 主成分は明るさ、快適感、活動的、開放感、閉鎖感、暗さ、陰気さ、不快感で表すことができる。これらから快活で快適な印象と陰鬱で不快な印象を表していると考えられたため、空間形状の印象と解釈した。第 2 主成分は涼しさ、暖かさで表すことができる。これらは寒暖を表す言葉であるため、空間の温度と解釈した。以上から、横軸を空間形状の印象、縦軸を空間の温度と設定し、各空間における主成分得点から散布図を作成した。その結果を図 3 に表す。

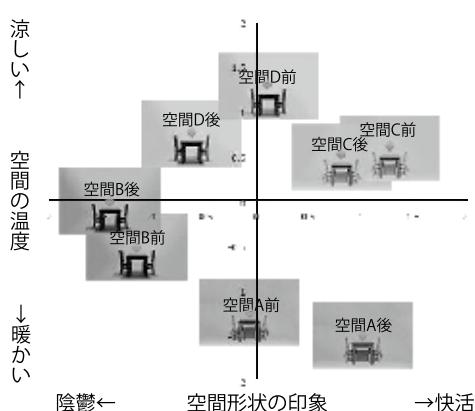


図 3: 各空間の第 1,2 主成分得点から作図した散布図

以上より、日の入りの影響をうけて同じ空間の印象は他の空間と比べて近くなることがわかる。第 1 主成分の空間形状の印象では、空間 A(L45)と空間 D(D90)が日の入り前後でより印象が異なる傾向にあることから、色温度と照射位置それぞれではなく、組み合わせによって影響の受けやすさが決まっていたと考えられる。また空間 A(L45)のみ日の入り後に快活が高いが、昼光色の空間で 45 度の条件のほうがおおむね快活が高いことがわかる。第 2 主成分の空間の温度は、空間 B(L90)と空間 D(D90)が日の入り前後で印象が異なる傾向にあることから、特に 90 度の照射角度が日の入りの影響を受けやすいことが考えられる。空間 B(L90)のみ日の入り前のほうが暖かいが、電球色は暖かく、昼光色は涼しく感じる傾向にあることがわかる。

3.2.2 屋内空間と印象の近さの関係

主成分分析の結果、屋内空間の印象へ日の入りが与える影響が、色温度と照射位置の組み合わせによって異なる可能性が示された。そこで各空間の主成分得点を使用して、印象の近さを検討するためにクラスター分析を行った。その結果を図 4 に示す。併合距離の差が大きいことから横軸の 10 を基準に 3 つのクラスターを採用した。その結果、空間 C の日没前後と空間 D の日没前後が 1 つクラスターになった。また、空間 B の日没前後と空間 A の日没前後は別のクラスターになった。

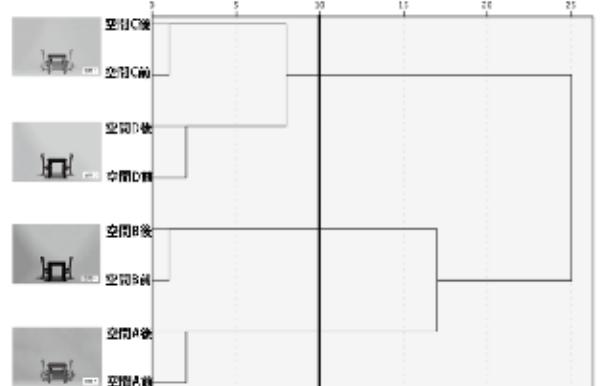


図 4: 各空間の第 1,2 主成分得点を使用した
クラスター分析結果

以上の結果から、昼光色の空間は照射位置が 90 度の場合に、電球色の空間は 45 度の場合に日の入りの影響を受けやすいことがわかる。主成分分析の結果同様に、組み合わせによって日の入りの影響は異なることが考えられる。また電球色の空間のほうが、照射位置が異なることで印象も異なることがわかる。

3.2.3 評価項目の差と屋内空間の関係

次に、特に各空間の印象の差を特徴づけた質問項目を確認するために、各質問項目の平均の差が統計的に有意であるか、5パーセント水準で多変量の分散分析を行った。要因は日の入りと屋内空間の 2 要因で、日の入りは日の入り前と

後の2水準。屋内空間は空間A～Dの4水準であった。その結果、閉鎖感($F=3,52$)=4.03, $P<0.05$, 涼しさ($F=3,52$)=3.80, $P<0.05$, 軽快さ($F=3,52$)=3.68, $P<0.05$ において空間条件*日の入りに有意な交互作用が認められた。そこでどの組み合わせの変動が大きかったのか確認するために、単純主効果の検定(Bonferroni法)を行った。その結果を表7に示す。

表7: 単純主効果の検定で有意差の認められた組み合わせ

	日の入り		空間		日の入り		空間	
	前		後		前		後	
	A	D	A	D	A	B	C	D
閉鎖感	B > C	A < B	前 > 後		A < C	A > B	前 > 後	
	A < D					B < C	A > D	
涼しさ	A < C	A < C	前 > 後		B < D	B < C	C > D	
	A < D							
	B < C							
	B < D							

主成分分析の結果において空間の形状と空間の温度が有効な主成分として考えられたが、その結果は、特に閉鎖感、軽快さ、涼しさの評価に対する各空間の差が影響を与えたのではないかと考えられる。空間を基準として結果を見ると、空間A(L45)は日の入り前後で閉鎖感の評価に差があり、日の入り前のほうがより感じることがわかる。また空間D(D90)は涼しさと軽快さの印象に差があり、日の入り前のほうが涼しく、軽快に感じることがわかる。これらの結果はクラスター分析の結果において、同じ色温度の空間でも空間A(L45)と空間D(D90)は日の入りの影響を受けやすかった一因ではないかと考えられる。次に日の入りを基準として結果を見ると、90度のほうがより閉鎖感を感じることがわかる。また日の入り前は昼光色のほうが閉鎖感を感じず、日の入り後は電球色のほうが閉鎖感を感じないことがわかる。軽快さは、日の入り前は色温度の影響が明瞭になり、日の入り後は照射位置の影響が明瞭になることがわかる。日の入り前は昼光色のほうが軽快で、日の入り後は45度のほうが軽快に感じる。また涼しさは、昼光色のほうが涼しく感じるが、日の入り後は90度の照射位置に対する影響が弱くなることがわかる。

3.2.4 評価項目と構成要素の関係

多変量の分散分析の結果、印象に対して特に影響を与える構成要素が日の入りによって異なる可能性が考えられた。そこで、多変量の分散分析の結果において有意な交互作用が認められた、閉鎖感、軽快さ、涼しさを対象にコンジョイント分析を用いて、日の入り前後における各構成要素の影響力の違いを検討する。説明変数は色温度と照射位置でそれぞれ2水準を設定し、目的変数として閉鎖感、軽快さ、涼しさの結果を用いた、結果を表8に示す。

表8: コンジョイント分析の結果

(寄与率の高い構成要素と部分効用値=グレー)

		寄与率		部分効用値	
		色温度	81.48	電球色	1.28
閉鎖感	13時台	照射位置	18.52	45度	-0.61
		色温度	23.64	90度	0.61
	16時台	照射位置	76.36	電球色	-0.69
		色温度	85.01	昼光色	0.69
軽快さ	13時台	照射位置	14.99	45度	-1.24
		色温度	3.08	90度	1.24
	16時台	照射位置	96.92	電球色	-1.30
		色温度	100.00	昼光色	1.30
涼しさ	13時台	照射位置	0.00	45度	0.55
		色温度	100.00	90度	-0.55
	16時台	照射位置	0.00	電球色	-0.25
		色温度	100.00	昼光色	0.25

以上の結果では、閉鎖感は13時台の評価では色温度の寄与率が高く、特に電球色の空間から感じることがわかる。また16時台は照射位置の寄与率が高く、90度の場合により閉鎖感を感じることがわかる。また軽快さの評価では13時台は色温度の寄与率が高く、特に昼光色の空間から感じることがわかる。また16時台は照射位置の寄与率が高く、45度の場合により感じることがわかる。以上より、これまでの分析結果において組み合わせの違いがとくに空間の形状や閉鎖感、軽快さに影響をあたえていたのは、日の入りによって、評価に影響を与える構成要素が変わっていたことが一因であることがわかった。また、涼しさは13時台と16時台ともに、色温度の寄与率が高く、昼光色の場合により感じことから、昼光色の影響力の強さがわかる。

4まとめ

以上の分析結果をまとめると、色温度と照射位置で組み合わせた屋内空間の印象は、快活、陰鬱といった空間形状的印象と、暖かさ、涼しさといった空間の温度から決まる傾向にあることがわかる。またその印象へ特に閉鎖感、軽快さ、涼しさの評価が影響を与える。閉鎖感と軽快さは、日の入り前は色温度から感じやすく、日の入り後は照射位置から感じることがわかった。これは、人は色から重さを感じ、とくに色の明

度に対応して明るいほど軽くなる[6]と言われているが、日の入り前は空間全体の色温度の明度差が印象に影響を与えていたことに対して、テーブルセットの影が下方向に生じることで空間内の垂直方向の明度差が際立ち、床面から感じる重さが、日の入り後に外が暗くなることで強調されたことから、照射位置が特に影響を与える結果になったのではないかと考える。涼しさに関しては日の入り前後ともに色温度から感じやすい。これは色温度の性質として人に温冷感を与えることが原因だと考える[7]。このように、日の入り前後で空間の印象が異なるのは、より影響を与える構成要素が変わることが一因であることがわかった。

さらに、今回の結果では特に空間 A(L45)と空間 D(D90)の印象が日の入りの影響を受けやすく、特に空間 A(L45)に顕著に確認できた。これは評価時間に空間の印象へより影響を与える構成要素が際立つ組み合わせであったことが考えられる。また今回の実験は模型上にダイニングセットを配置したことから、被験者は団欒をする空間をイメージした可能性がある。団欒には低色温度で低照度がふさわしいが、くつろぎよりもお互いの顔が見えるくらいの照度が好まれる[8][9]という報告がある。また、団欒は夕食のイメージが強いと考えられるため、日の入り後の空間 A の印象は、ほかの空間に比べて共通のイメージが決まりやすかったと考える。

以上より、色温度と照射位置の印象に日の入りが与える影響は相互関係があることがわかった。また空間内で行われる行為は時間帯によって異なり、その印象が評価に影響を与える可能性が示唆された。そのため今後は屋内空間での行為の設定を増やして、色温度と照射位置に日の入りが与える影響を検討することが必要であると考える。

参考文献

- [1] 中島瑞季 横井聖宏 永盛祐介 “屋内空間の色温度と照射位置の印象に周辺環境が与える影響” 日本デザイン学会 第 62 回日本デザイン学会春季研究発表大会概要集 pp.144-145, 2015
- [2] 照明学会編. 住宅照明設計技術指針 第 2 版. 照明学会, 2007
- [3] 高橋啓介, “照明の色温度と照度とが室内環境に及ぼす効果” 医療福祉研究, 第 2 号, pp.30-36, 2006
- [4] 中島瑞季 横井聖宏 山中敏正, “空間の構成要素及び、評価方法と評価結果の依存性・壁紙と照明を構成要素として” 日本感性工学会論文誌, 第 11 卷, 2 号, pp.339- 348, 2012
- [5] 室蘭市 HP 室蘭の日の出入り情報
<http://www.city.muroran.lg.jp/main/org6400/hinode.html>
- [6] 大山正 色彩心理学入門-ニュートンヒゲーテの流れを追って- 中公新書 1994
- [7] 照明学会編 コンパクト版照明ハンドブック 社団法人照明学会 2003
- [8] 大井尚行, 笠尾円, 高橋浩伸. “生活行為を想定した室内 照度・色温度の好ましさに関する模型実験” 日本建築学会環境系論文集, 第 614 号, pp.87-92, 2007
- [9] 中村肇. “Kruithof (クルイトフ)のカーブは正しいか?” 照明学会誌, 85, 9, pp.793-795, 2001
- [10] 澤田忠正他, “陰影における空間形状知覚に影響を与える複数の要因の空間特性” 映像情報メディア学会誌, Vol. 57, No.5, pp.597-602, 2003

紀要編集委員会

編集委員長	吉田 敏	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	戸沢 義夫	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 教授
	村越 英樹	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	飛田 博章	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 准教授
	上田 隆一	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 助教
	佐々木 一晋	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 助教
	柴田 淳司	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 助教

2015年度 産業技術大学院大学紀要

2015年12月 発行

編集・発行 産業技術大学院大学

東京都品川区東大井1-10-40
電話 03(3472)7834
URL <http://aiit.ac.jp/>
