

ISSN 0919-5440

静岡理工科大学紀要

第22卷

The Bulletin of the Shizuoka
Institute of Science and Technology

Vol.22

2014

目 次

巻頭「紀要の発刊に寄せて」

学長 野口 博

論 文

- リチウムイオンバッテリーの経時特性の測定結果 袴田吉朗、加藤大貴、恩田 一 1
- MIDI シーケンサおよび3音源に対応したDDSによる自動演奏システムの設計と試作
..... 袴田吉朗、萩山友皓、大橋龍馬 11
- スマホを用いたスマートオンデマンドバスの研究 - スマートウォーカーアシストシステム - 郡 武治 21
- 赤外線リモコン送受信器を題材にした組込みプログラム用電子教材の開発(2) 玉真昭男 27
- Strassenのアルゴリズムによる倍精度・多倍長正方行列積の高速化 幸谷智紀 35
- 非負値行列因子分解のアフィン代数多様体としての次元について 松田 健 41
- 幼児の運動能力と保育者が実施する運動プログラムおよび評価との関係
..... 富田寿人、松島亜紀、音淵理江 45
- リズム運動を含んだ運動プログラムがおよぼす幼児のリズム感および体力への影響
..... 富田寿人、音淵理江、松島亜紀 51
- 用行義塾と福沢諭吉 小栗勝也 57
- サプライチェーンの機能連鎖モデル化による製品利用サービス設計
-モノづくり視点のサービスイノベーション- 三原康司 65
- 日本人EFL学習者のL2自己と英語学習の関係性 今野勝幸 71

研究ノート

- 量子力学の数学形式は経験世界のいかなる原理に由来するのか 榛葉 豊 79

技術報告及び資料

- 3次元煙風洞の製作 安 昭八 85
- 用行義塾の基礎的研究資料(その1) 小栗勝也 89

教育関連報告

- 材料加工教育のための卓上加工機の試作 吉田昌史、内海能亜、野崎孝志 99
- 平成25年度インターンシップ実施報告 - より多くの学生のためのキャリア教育を目指して -
..... 奥村 哲、花田佳彦、郡 武治、齋藤明広、森隆比古、友次克子、青島偉夫、吉國博昭 105

- 大学院理工学研究科修士論文概要 121

Contents

Preface

President Hiroshi NOGUCHI

Original Papers

Measured Results of Lithium Ion Batteries Time Elapsed Characteristics	Yoshiro HAKAMATA, Daiki KATOH and Hajime ONDA	1
Design and Trial Manufacture of a MIDI Playing System with a MIDI Sequencer and a DDS	Yoshiro HAKAMATA, Tomohiro HAGIYAMA and Ryoma OHASHI	11
Demand Responsive Transport System with Smartphone – Smart Walker Assist System –	Takeharu KOHRI	21
Development of New Electronic Study Materials for Built-in-System Programming Education Based on Infra-Red Remote-Control Transceiver : Part2	Teruo TAMAMA	27
Acceleration of Double and Multiple Precision Square Matrix Multiplications by using Strassen's Algorithm	Tomonori KOUYA	35
On the Dimension of Affine Algebraic Variety of Non-negative Matrix Factorization	Takeshi MATSUDA	41
The relationships between athletic ability of young children and activity or evaluation exercise program by the caregiver	Hisato TOMITA, Aki MATSUSHIMA and Rie OTOBUCHI	45
The effect of an exercise program that includes rhythmic motion on the sense of rhythm and physical fitness of young children	Hisato TOMITA, Rie OTOBUCHI and Aki MATSUSHIMA	51
YOHKOH-GIJYUKU, the first elementary school in Fukuroi in the Meiji era, and Yukichi FUKUZAWA	Katsuya OGURI	57
Designing a service utilizing product by the modeling of Function Supply Chain – The service innovation of Goods Design and Manufacturing view point –	Koji MIHARA	65
Examining Relationships Between Japanese EFL learners' L2 Self and English Learning	Katsuyuki KONNO	71

Research notes

From Which Empirical Principle, Mathematical Structure of Quantum Mechanics Originated	Yutaka SHINBA	79
---	---------------	----

Technical Report and Materials

Manufacturing of smoke tunnel for flow visualization around a vehicle	Shohachi YASU	85
The basic research information of YOHKOH-GIJYUKU, the first elementary school in Fukuroi in the Meiji era ; vol.1	Katsuya OGURI	89

Education –related Reports

Production of Tabletop Machine for Material Processing Education	Masashi YOSHIDA, Noah UTSUMI and Takashi NOZAKI	99
The Internship Program in 2013: Increasing Student Numbers in Career Education	Tetsu OKUMURA, Yoshihiko HANADA, Takeharu KOHRI, Akihiro SAITO, Takahiko MORI, Katsuko TOMOTSUGU, Hideo AOSHIMA and Hiroaki YOSHIKUNI	105

Graduate Student Thesis Abstracts	121
---	-----

紀要の発刊に寄せて

学長 野口 博

静岡理工科大学は、大学としての基本的な役割である「教育」、「研究」、「地域・国際貢献」についての理念を具現化するための活動を日常的に行っています。また、本学の歴史や置かれている立場に基づいた特徴ある活動も行っています。このような活動の成果を一定期間毎に大学としてまとめて広く公表し、社会から評価を受けることは、大学として重要な業務となっています。このことは、近年、社会の中の公共的な組織としての義務であるとの位置づけが強まっています。この場合、大学が公表する方法や手段、さらには評価の受け方には、目的に応じて色々な種類があり、効果的に対応する必要があります。

静岡理工科大学紀要は、教員の研究成果の発表の場として、本学が開学した年度の1992年3月に創刊準備号として発刊されました。続いて、次の年の創刊号から毎年発行され、今回の2014年版で、22巻目となりました。当初は、主として、人文・社会・外国語・保健体育部門の論文を掲載し、理系教員の研究成果は、それぞれの学会誌に発表することを期待していたようです。その後、内容に検討が加えられ、理系・文系の区別なく研究成果を掲載するようにし、論文、研究ノート、技術報告・資料、レビューなどの貴重な資料をまとめて公表する場としました。さらには、大学院理工学研究科を修了した大学院生の修士論文概要を全員分掲載し、第8巻からは、教育関連報告と言うジャンルを新たに設け、教育を重視する大学の姿勢を表すものとなりました。

さらに、2010年度に、大学からの発刊物における重複掲載などの整理をしました。その結果、それまで本紀要に掲載されてきた教員の研究活動記録（学会誌に採択された論文の抄録、学会発表の記録、発刊した著書等のリストなど）の部分は、別に発行される「教育・研究活動一覧」に統一することとしました。それぞれの役割を持つ刊行物の充実を図るものとしてご理解いただきますようお願い致します。

豊かな人間性を基に、「やрмаいか精神と創造性で地域社会に貢献する技術者を育成する」ことが、本学の理念であり、研究成果を地域社会に還元していくことが本学の使命の一つになっています。そのような使命を遂行するために、本紀要が、本学の教職員はもとより、地域の方々にとっても、大いに役に立つ存在であることを願っております。

2014年4月

論

文

リチウムイオンバッテリーの経時特性の測定結果

Measured Results of Lithium Ion Batteries Time Elapsed Characteristics

袴田 吉朗*

加藤 大貴**

恩田 一***

Yoshiro HAKAMATA

Daiki KATOH

Hajime ONDA

Abstract: The paper describes the time elapsed characteristics of Lithium Ion batteries that are built and used in the Battery Management System (BMS). The BMS consists of series connected fourteen batteries that are charged from or discharged to a solar system constructed in the SIST campus. A program was newly developed and used to measure and record the time elapsed characteristics, including cell's voltage, current and temperature. The program has measured Lithium Ion batteries voltages and temperature of the batteries every two minutes through this year. In this paper, the measured and recorded data are reported.

1. はじめに

静岡理工科大学では、開学20周年記念事業の一環としてH23年度に太陽光発電を主体とした蓄電型太陽光発電式電気自動車(PV/EV)充電システムの構築が行われ、その後落雷の被害に遭うなどの不測の事態も経験したが、H25年の2月以降になってから正式に稼働を始めてきたところである [1]。

太陽光や風力などの自然エネルギーは不安定であり、その出力電圧を平準化するためにバッテリーフローティングの手法が採用されるのが通常である。PV/EV充電システムにおいてもその目的を果たすべく、鉛電池およびリチウム電池が使用されている。

本報告で述べるバッテリーマネジメントシステム(以下BMS)は太陽光発電システムにおけるリチウム電池に関するものである。BMSの目的は第一にバッテリーフローティングを実行すること、第二にハイブリッドカーなどに使用して不要になったリチウムイオンバッテリーを再利用することにある。

しかしながら現状では中古のリチウムイオンバッテリーが市場に出回っている訳ではなく、今回は新品のリチウムイオンバッテリーを14個直列接続して構成されたBMSを測定対象に用いた[2]。このBMSを前記の太陽光発電システムに接続し、太陽光により充放電する構成を取っている。なおシステムの構築に併せてBMSを構成する各バッテリーセルの電圧値、電流値および温度を2分毎に測定しデータを記録、収集するプログラムを開発した[3]。本プログラムを用いて H25年2月以降データの記録、収集を行うとともに、異常な高電圧あるいは低電圧を示すセルの有無を1年間に亘って監視してきた。

本報告ではH25年度に測定、収集したBMSにおけるセル電圧、電流およびセル温度のデータ等について報告する。今回の測定結果からは、セル電圧の経時特性における最大電圧と最小電圧のバラツキは非常に小さく、特別に大きい場合でも0.13V程度であることが分かった。通常は、バラツキの値は測定器の分解能

に相当する10mV程度の値であることも分かった。またセル電圧の最大値は4.0Vを超えることはなく、バラツキを行う必要もなかった。これらの理由は、新品で、しかも非常に特性の揃ったリチウムイオンバッテリーがシステムに使用されていたからであると思われる。

以下本報告では測定結果の詳細について述べる。

2. バッテリーマネジメントシステムの概要

(1) システムの概要

図2.1にPV/EV充電システムの構成図を示す。BMSはこの全システムの内○で囲った部分である。BMSのシステム構成図の詳細を図2.2示す。

- 被測定対象は直列接続された14個のリチウムイオンバッテリーである。これらのバッテリーは双方向性DC/DCコンバータを介してHVDCに接続されており、太陽光発電システムから充放電される。なお負荷は時々刻々変動しており、一定ではない。
- この回路に放電用のリレー14個、メインリレーおよび電流検出用の0.1Ω抵抗を直列接続して制御に用いている。なお正の電流値はBMSへの充電、負の電流値はBMSからの放電を意味する。
- 制御部分は、データロガーGL820(AD/DA変換器)、8ポートミニリレー(2台)、放電用の4.7Ω抵抗(14個)、K熱電対(7個)、3ポートハブ、端子台、回転灯およびPCなどからなる。
- なお低電圧アラームを含む各種のアラームが発生した場合に、保守者に対して異常を連絡するためのメーラーボードを今年度新たに取り付けた。

(2) 使用したリチウムイオン電池の仕様

型式: LEV50 (GS ユアサ製), 定格容量: 50 Ah
 定格電圧: 3.7 V, 重量: 1.7 kg
 重量エネルギー密度: 109 Wh/kg
 体積エネルギー密度: 218 Wh/L

2014年2月28日受理

*理工学部 電気電子工学科

**理工学部 電気電子工学科4年生

***総合技術研究所 客員教授

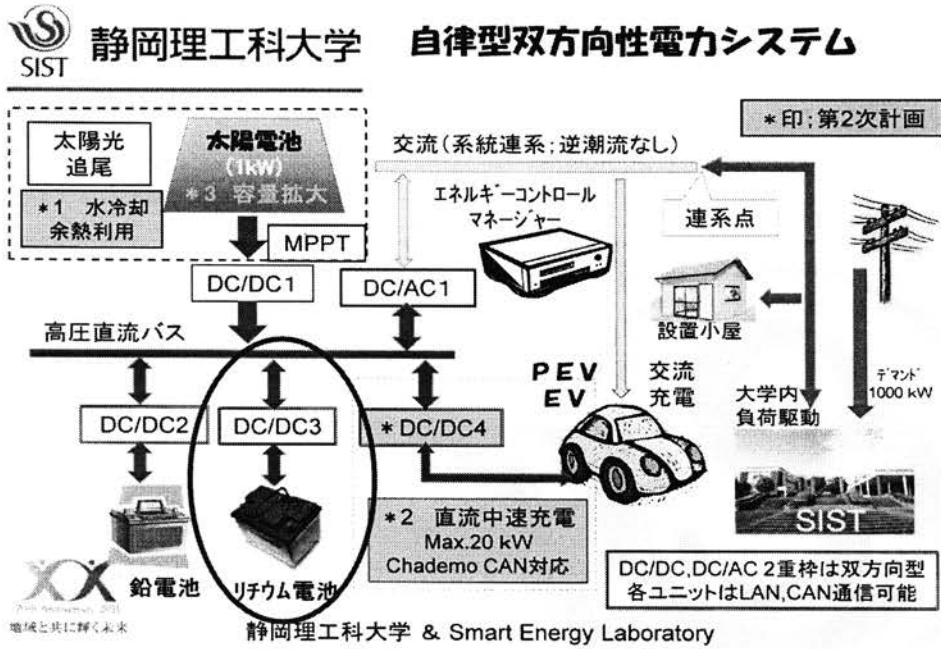


図2.1 SIST 蓄電型PV/EV 充電システム 端子台

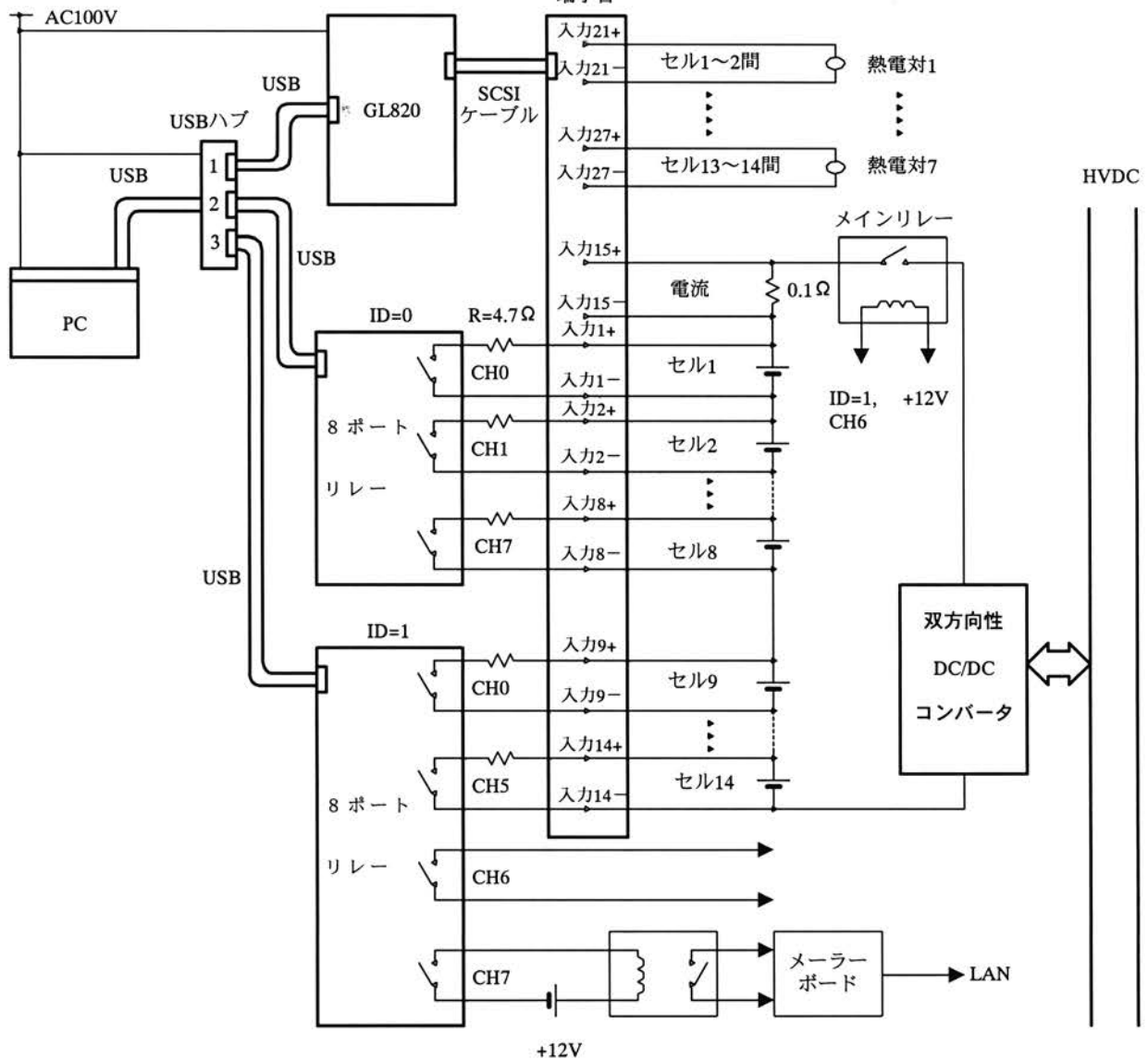


図2.2 バッテリーマネジメントシステムのハードウェア構成

3. 測定結果

(1) セル電圧, 電流の日間変動

典型的な測定例を図 3.1 に示す。太い線は 14 個のセル電圧を重ね書きしたものである。横軸は 2 分毎の測定時刻であり、最大で 1 日当たり 720 個のデータがある。午前 6 時頃から充電に伴う電圧上昇が始まり、午後 3 時過ぎ頃から逆に放電が起こり電圧は徐々に低下している。電圧の低下は翌日の午前 6 時頃まで続いている。電圧の最大値と最小値の差は、図 3.1 の場合には 90mV であった。

破線はリチウムイオンバッテリーへの充電電流の測定結果である。+が充電電流、-が放電電流である。電流は、電圧の挙動と整合性のある挙動になっている。すなわち充電が始まると電流は急速に最大値に到達し、その後バッテリー電圧の上昇とともに漸減している。午後 3 時過ぎになって、電圧が低下を始めるとともに電流の向きも変わり HVDC 側に電流を供給する動きになっている。

図 3.2 は別の日のデータにおける平均電圧と、偏差 (バラツキ) を示したものである。

(2) セル電圧の経時特性におけるバラツキ

図 3.1 および図 3.2 に示した日間変動の典型的な例においては、同一時刻においてセルを変えた場合の最大電圧と最小電圧の差は 10mV であった。この値は測定に使用したデータロガー (GL820) における測定分解能と同等である。

最も大きなバラツキが生じたのは、盛夏の渦中であった 8/13~8/16 のデータである。図 3.3~図 3.4 にこの間の測定結果を示す。8/14 に最大のバラツキが生じており、その値は 130mV であった。電圧の値は 8/13 から 8/14 にかけて 3.1V 程度にまで低下していた。電流の値はほ

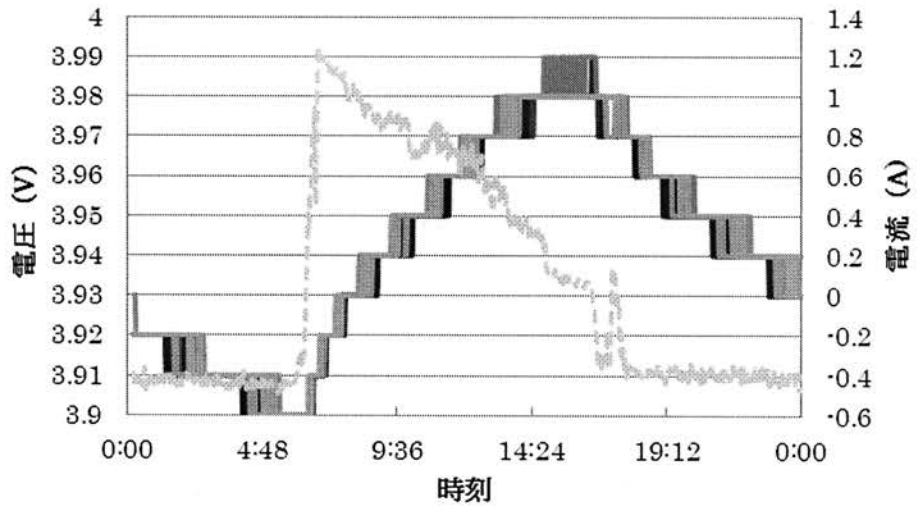


図3.1 2013/4/1 (晴 17℃/11℃)

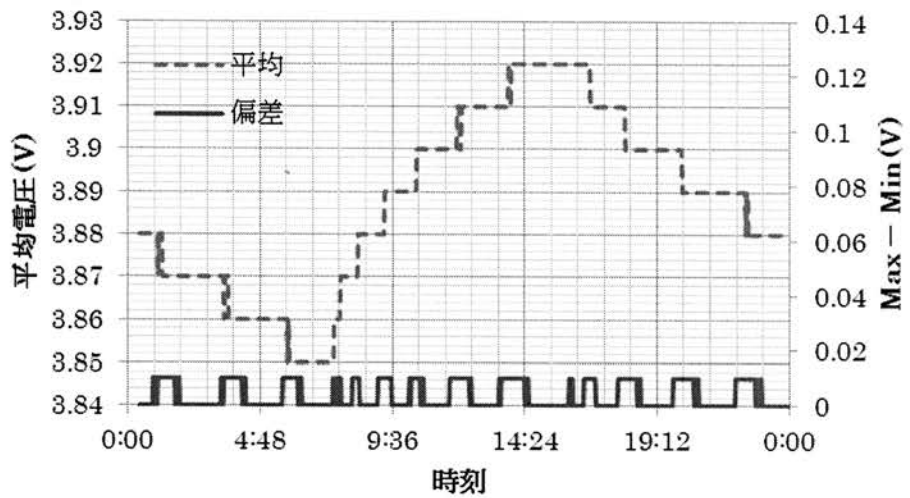


図3.2 2013_12_01 (晴 14℃/4℃)

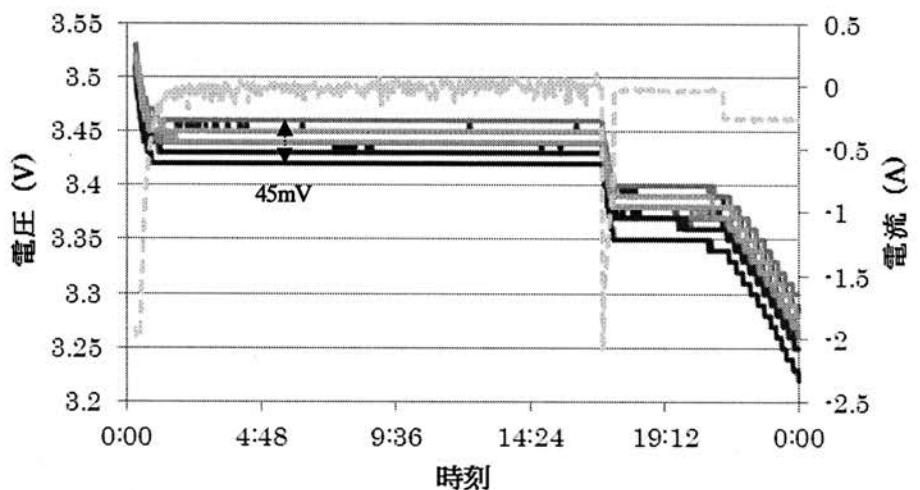


図3.3 2013/8/13 (晴 33℃/27℃)

ぼ 0 に近い値であった。

8/16 もほぼ同様な傾向が続いていた。8/17 から月末までは残念ながらデータを取得できなかった。

図3.5は9/19における測定結果である。バラツキの大きさは120mVと大きい。その特性は図3.4の特性と酷似しており、電圧の値は3V程度にまで低下している。

他のバラツキの大きいデータもセル電圧が低下してきた時に発生しており、バラツキ大は低セル電圧時に発生し易い傾向が見取れる。

一方図3.1や図3.2に示した典型的な例においては、電圧そのものの値は高く、バラツキは10mV程度と小さい傾向が見られる。

(3) 最大電圧の推移

BMSプログラム開発時に最も苦労したのはセル電圧がアラーム発出電圧を超えた場合に対する処置である。アラーム発出電圧とPCへの表示を以下に示す。

- ・電圧 < 3.0V・・・低電圧アラーム、青色を点灯
- ・電圧 ≥ 3.0V・・・正常状態、緑色を点灯
- ・電圧 ≥ 4.0V・・・アラーム発出、黄色を点灯
- ・電圧 ≥ 4.1V・・・放電開始電圧、3段の保護動作中は黄色と赤色を1s毎に点滅、その後赤色の点灯に移行

ログによれば、電圧が4.1V以上となり放電が開始される状況になることはなかった。

図3.6は1日における最大電圧を集計し、まとめたものである。最大値は4.01V程度であり、月別に見た場合に最大値を記録したのは、5月である。4月も4.0Vを記録した。8月は幾分低く、3.9V程度であった。なお○の中の数字は月を表す。

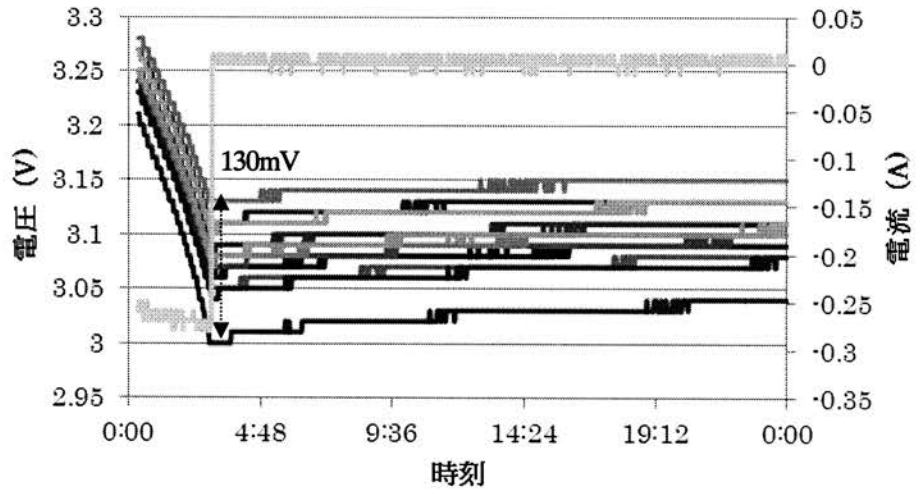


図3.4 2013/8/14(晴 33°C/27°C)

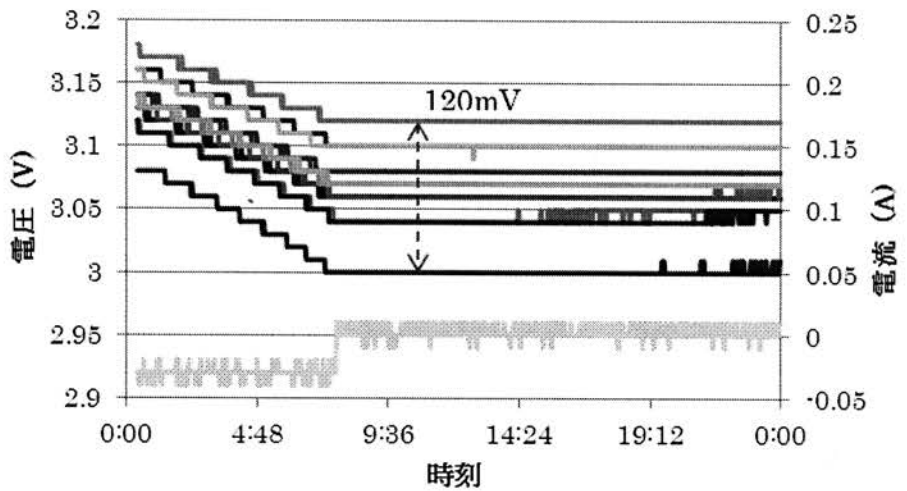


図3.5 2013/9/19(晴 28°C/19°C)

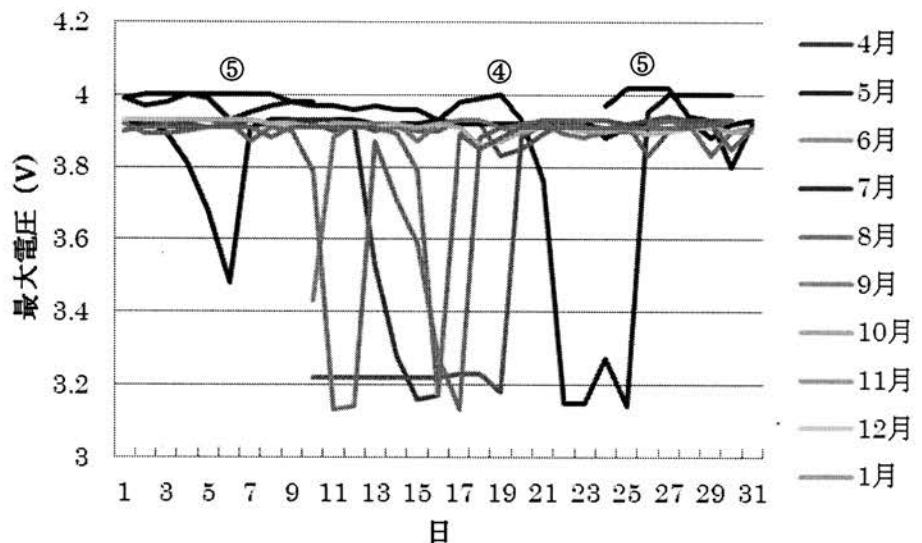


図3.6 1日における最大電圧の推移

(4) 最小電圧の推移

図 3.7 に 1 日における最小電圧の推移を示す。これによるとアラーム発出電圧である 3.0V 未満に到達したのは以下の 8 日である。
4/21, 8/14, 9/19, 11/10, 11/11, 11/13, 1/15, 1/16

最初のうちは低電圧に関する関心が低く、装置が設置してある自転車駐輪場横のミニハウスに出かけていった時に、システムが異常になっていた場合のみ対処していた。ログにも記録を取っていなかった。しかしながらこれでは不味いため、プログラムを修正して 2013/11/20 以降ログに記録を残すようにした。なお○の中の数字は月を表す。

ログで低電圧アラームが確認できるのは 1/15, 1/16 の 2 回だけである。

図 3.8 に 1/15 におけるログの抜粋を示す。

		23:33
		23:35
2014/1/15	23:37	低電圧
	23:39	低電圧
	23:41	低電圧
	23:43	低電圧
	23:45	低電圧
	23:47	低電圧
	23:49	低電圧

図 3.8 1/15 の低電圧発生時におけるログ

なお卒業研究の一環としてアラーム発生時に異常があった旨を、メールを通じて保守者に知らせるためのメーラーボードを加藤が製作した。2013/12/23 にこの装置を実際に設置した。1/16 に受信したメーラーボードからのメッセージを図 3.9 に示す。

送信者：メーラーボード
日時：2014年1月16日 20:01
宛先：加藤; 袴田; 恩田; 中田
件名：メーラーボードからのお知らせ

太陽光発電システムです。
何か異常が発生しています
至急確認をしてください。

図 3.9 メーラーボードの受信結果

4. 温度依存性

図 4.1 にセル電圧のセル温度に対する依存性の測定例を示す。データ数は 14708 個である。セル温度が高くなるとセル電圧も

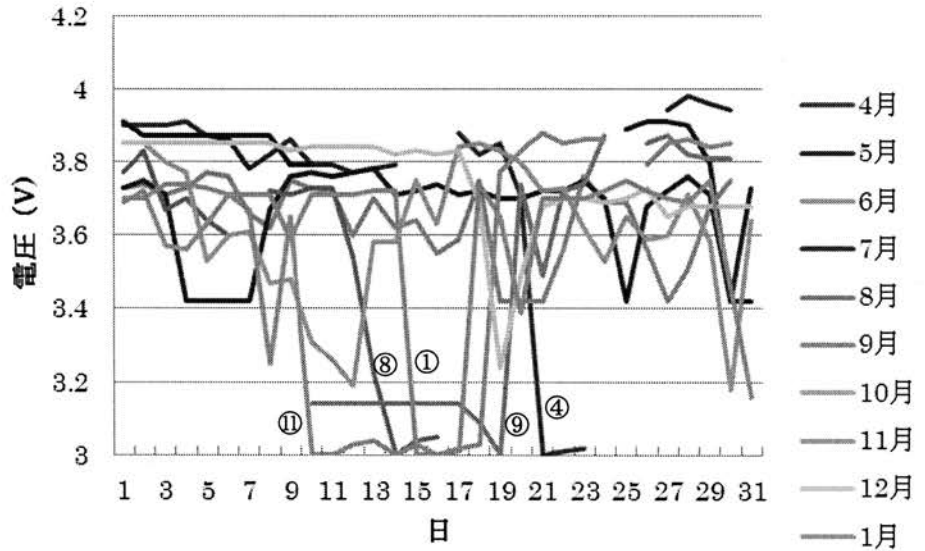


図 3.7 1 日における最小電圧の推移

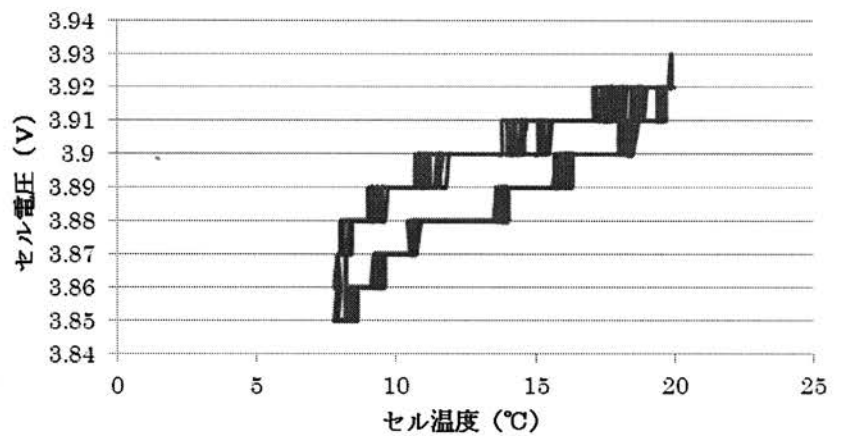


図 4.1 2013/12/01

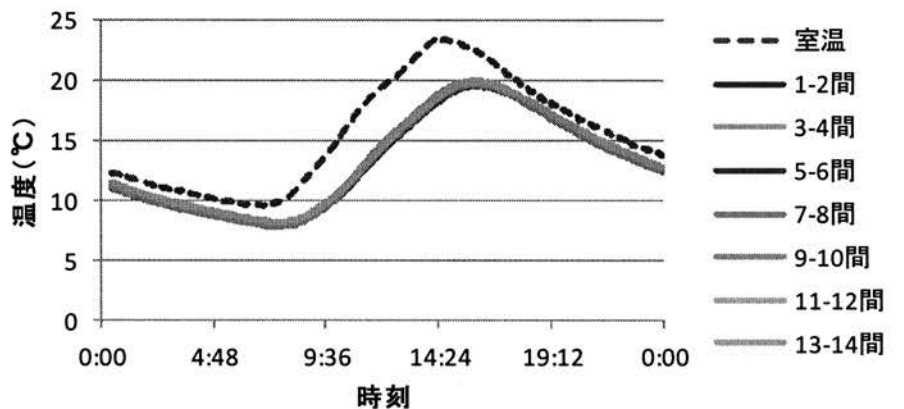


図 4.2 セル平均温度と室温の関係 (2013/12/1)

高くなるという正の相関に近い関係が得られている。

図 4.2 は室温とセル温度の測定例である。セル温度は室温よりも幾分低めであるという結果が得られている。

図 4.3 は室温とセル平均電圧との相関の測定例である。セルのバラツキの程度は非常に小さいので、平均電圧はほぼセル電圧を表しているものと考えて良い。また室温とセル平均温度の

相関も良好であることを考えると、図4.3の特性はセル電圧の温度依存性を示していると考えられる。

図4.3の場合には、15℃以上の温度では電圧と温度の関係は1次式を呈していると言える。但しこの関係は各データによって非常に異なっているので一般性はない。

図4.4は日射量および積算電力の時刻依存性の測定例である。午前7時頃から日射量が増大し、変動はあるものの日中はほぼ0.5kW前後の値を示していた。また午後1時頃から日射量が低下を始め午後4時頃になるとほぼ日射量が0となる特性を示していた。破線は積算電力である。日射のある間の積算電力はほぼ直線的に増大し、この特性は図3.1の特性と対照すると良好な相関を示している。日射がなくなると積算電力は増加しなくなり、HVDC側に放電が始まりセル電圧は低下している。

付図2.3に日間変動の測定結果を示した10/30のデータでは、日の出から日中における電圧の上昇が0.7Vと非常に大きかった。なおこのときの積算電力は5kWhであり、図4.4に示した12/1のデータに比べて約1.4倍になっていた。

図4.5は12/18における測定例である。この日は曇天であり、積算電力は0.39kWhと図4.4における12/1のデータに比べて約1/10の値であった。積算電力の時間依存性は図4.4とほぼ同様の傾向を示していた。またセル電圧(付図2.4)は、日射量はあるものの漸減する傾向を示していた。

図4.6は横軸に積算電力をとり、縦軸にセル平均電圧における最大値と最小値の差をとったグラフであり2013/12に測定したデータである。積算電力は4.3kWh~0.5kWhとばらついている。積算電力とセル平均電圧の最大と最小の偏差の間には、有意な相関関係は見られない。

図4.7は2014/1における測定例である。ほぼ図4.6の場合と同様な特性を示している。

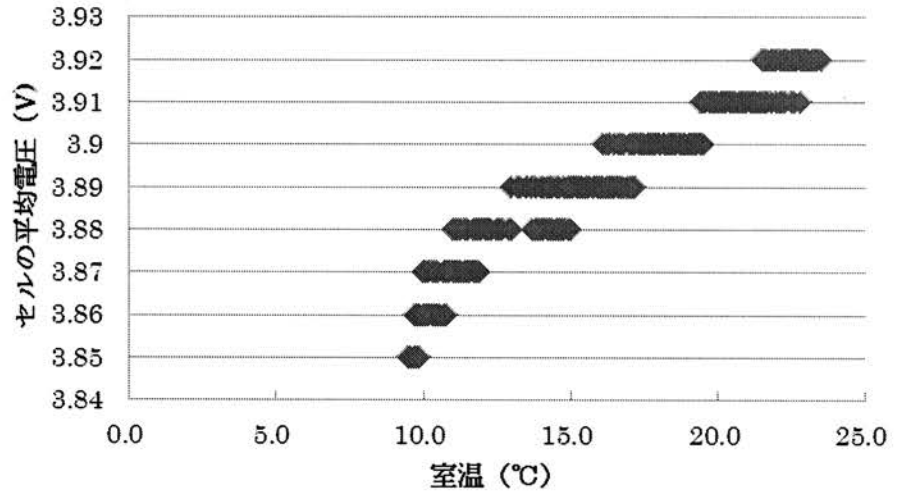


図4.3 2013_12_01

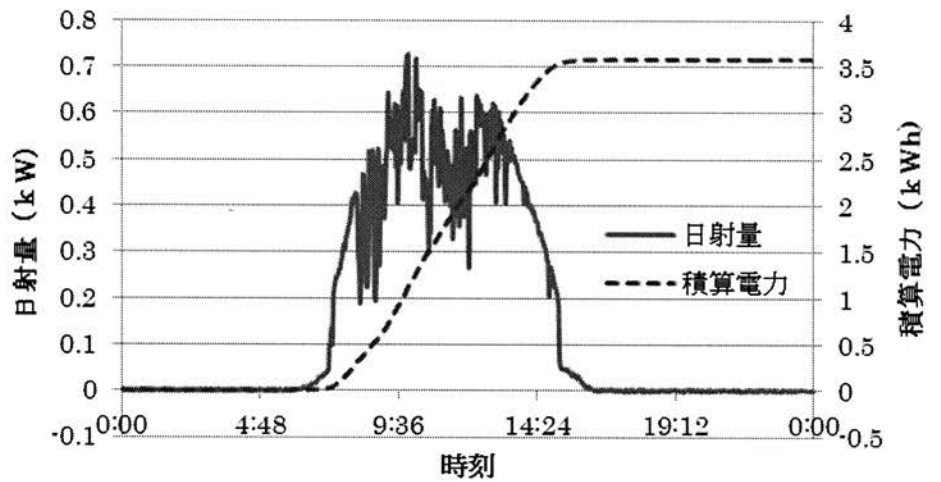


図4.4 日射量の時刻依存性(2013/12/1)

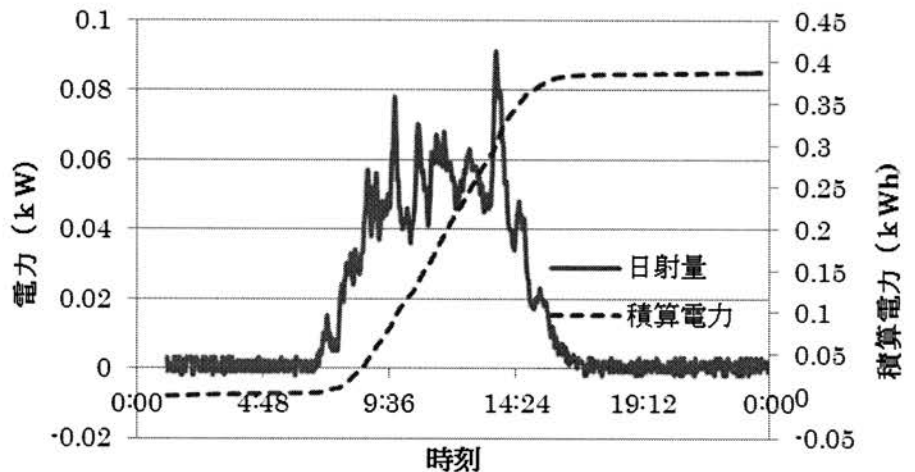


図4.5 日射量の時刻依存性(2013/12/18)

5. むすび

昨年度に開発した BMS の経時特性を測定するプログラムを連続稼働させて、2 分毎にリチウムイオンバッテリーの電圧、電流および温度の経時特性を測定して、約 1 年間に亘って BMS のデータの収集を行ってきた。本報告ではその測定結果について述べた。

1) 今回使用したリチウムイオンバッテリーに関しては、セル電圧のセルに対する依存性は、通常時は非常に小さく測定器の分解能に相当する 10mV 程度であった。

2) 最大のバラツキは、盛夏の 8/14 に記録され 130mV であった。低電圧時にバラツキが大きくなる傾向が見られた。

3) セルの最大電圧は 4.01V であり、アラーム発出電圧 4.1V を超えることはなかった。

4) ログによるとセル電圧が 3.0V 未満となった低電圧アラームは計 8 回記録されており、その内 2 回はメーカーボードを用いて保守者に対して異常を通知することができた。

5) 温度や日射量に対する測定結果も示した。

6) 本文には得られたデータのうち典型的な例を載せたが、それとは異なる特性例については付録 2 に掲載した。

今年度はデータの測定を始めた元年と言うことであり慣れない点もあったが、この経験を踏まえて H26 年度もデータの測定を継続し積み上げていく予定である。

【参考文献】

- 1) 恩田 一, “蓄電型太陽光発電システム用リチウムイオン蓄電池の調査”, 静岡理工科大学紀要, Vol.20, pp.37-40, (2012)
- 2) 恩田 一, 袴田吉朗, 中田篤史, “蓄電型 PV/EV 充電システム用バッテリーマネジメントシステムの開発”, 静岡理工科大学紀要, Vol.21, pp.23-26, (2013)
- 3) 袴田吉朗, 恩田 一, “リチウムイオンバッテリーの経時特性測定用プログラムの開発”, 静岡理工科大学紀要, Vol.21, pp.7-16, (2013)

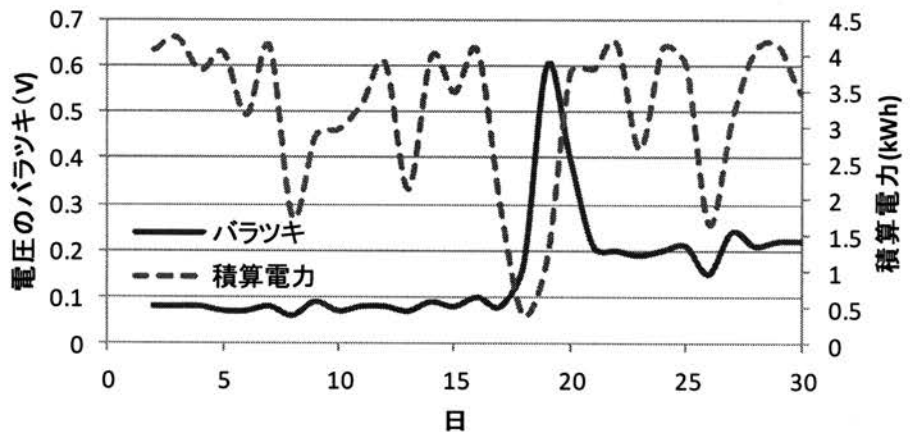


図 4.6 積算電力と電圧のバラツキ(2013/12)

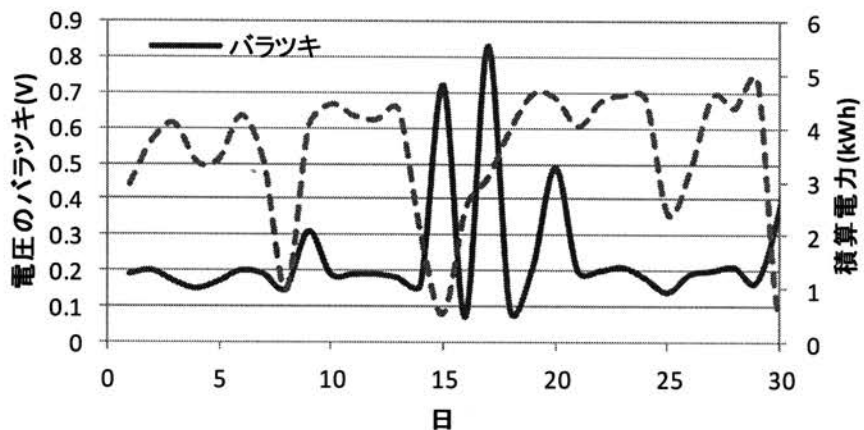


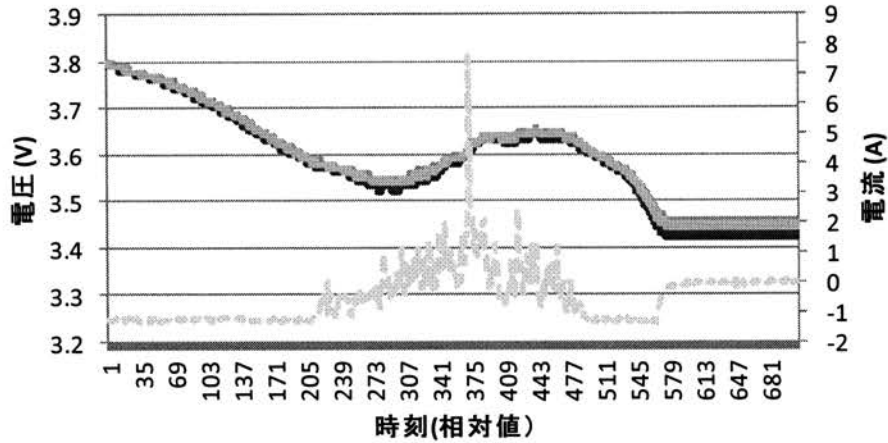
図 4.7 積算電力と電圧のバラツキ(2014/1)

【付録 1】 最終的なプログラムの所在

本資料に使用した BMS プログラムは、改修を進めてきた結果、2014/2/26 にデバッグを完了したプロジェクト GLSample122 に基づいている。

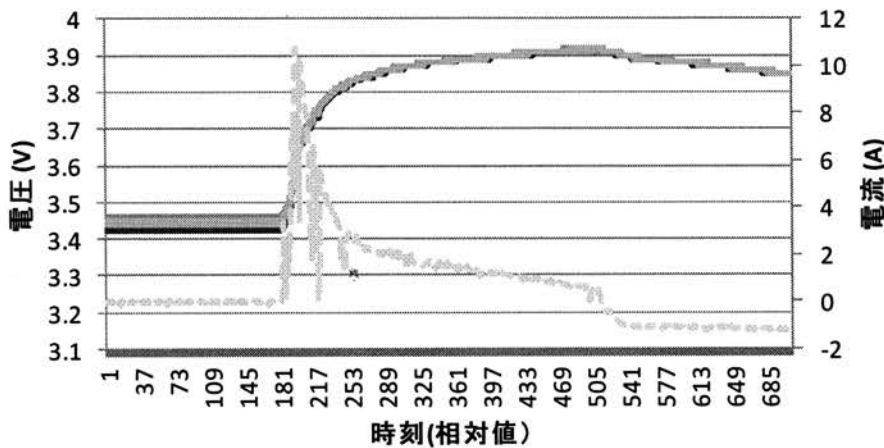
【付録 2】 図 3.1 の特性と異なる特性の測定例

セル電圧の日間変動の典型的な例を図 3.1 に示したが、ここではそれ以外の特徴的な状況を示した例を示す。



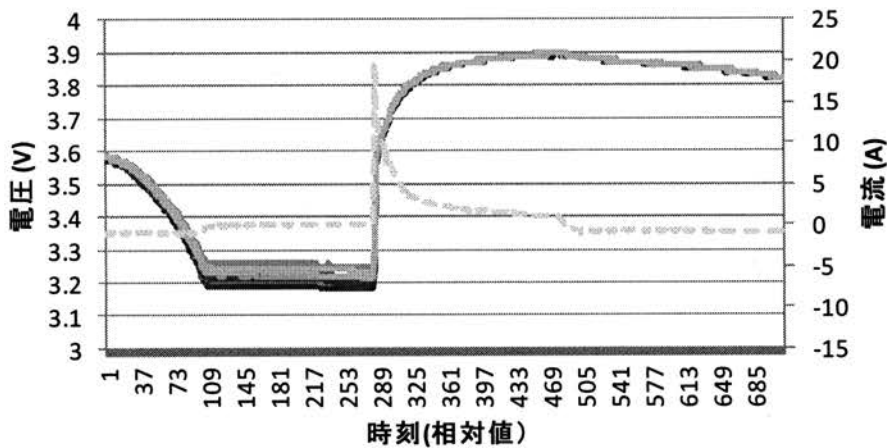
付図2.1 2013_05_30(雨 22°C/18°C)

1日の電圧低下量が0.45Vと大きい。また電圧が一旦低下し、その後上昇してからまた低下している例



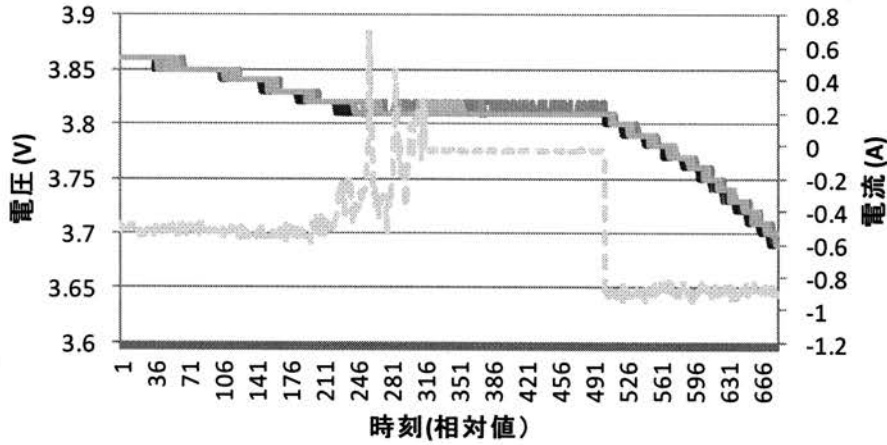
付図2.2 2013_05_31(晴 27°C/21°C)

1日の電圧増加量が0.45Vと大きい例。低電圧時にバラツキが生じている



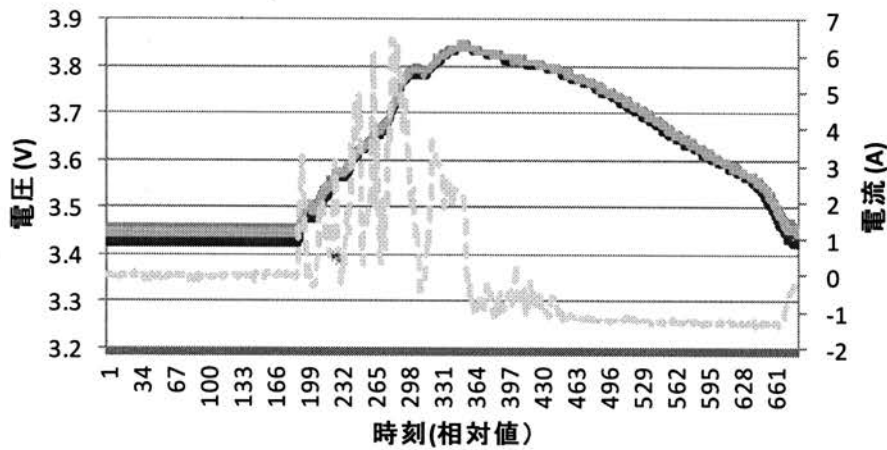
付図2.3 2013_10_30(晴 23°C/14°C)

1日の電圧増加量が0.7Vと大きい例、付図2.2よりもさらに増加量が多い。低電圧時にバラツキが生じている。



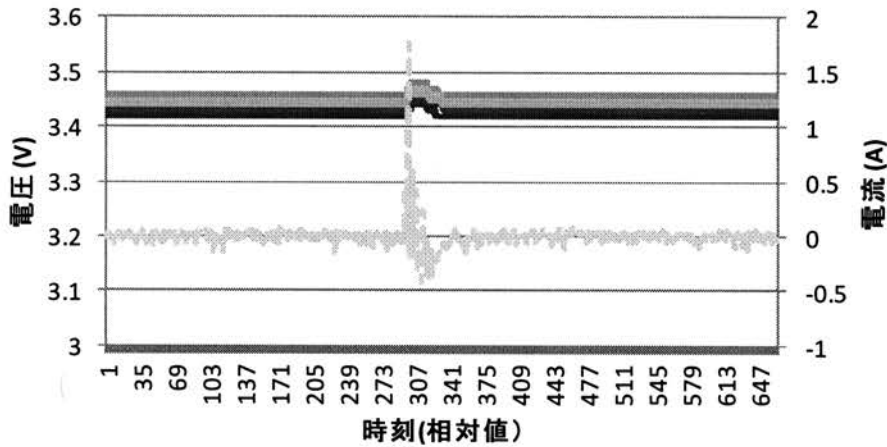
1日の電圧低下量は0.2Vであり大きくないが、電圧が漸減している例

付図2.4 2013_12_18 (曇 10°C/6°C)



電圧が0.35Vと大きく増加し、また同じ程度減少している例

付図2.5 2013_06_20 (雨 23°C/20°C)



電圧の値が3.45Vと低く、また殆ど変化していない例

付図2.6 2013_07_06 (曇 29°C/26°C)

MIDI シーケンサおよび3音源に対応した DDS による自動演奏システムの設計と試作

Design and Trial Manufacture of a MIDI Playing System with a MIDI Sequencer and a DDS

袴田 吉朗*

萩山 友皓**

大橋 龍馬**

Yoshiro HAKAMATA

Tomohiro HAGIYAMA

Ryoma OHASHI

Abstract: The paper describes a MIDI sequencer program using a PIC 16F877 micro computer. The sequencer reads and analyzes MIDI data stored in an I²C-EEPROM, and it sends MIDI messages to a Direct Digital Synthesizer (DDS). The DDS includes three sonic sources and was designed with VHDL. The operation of the DDS was simulated with the ModelSim simulator. The DDS was fabricated using a Cyclone IV FPGA. A trial MIDI music player system was made, and it confirmed to perform "Entertainer" well.

1. はじめに

高校生に電気電子に興味を持って貰うことを目的にしてこれまでに“動く”, “光る”, “音が出る”などの直感的な要素を取り込んだ電子回路を作り, 報告してきた [1][2]. その一貫として“音が出る”要素を含む回路, 装置に関しては, H23年度の卒業研究において「PIC マイコンを用いた MIDI シーケンサ」を完成させ単音源の DDS と組み合わせて「G 線上のアリア」の演奏ができる自動演奏システムの構築について報告した[3].

本報告は[3]の報告を発展させ多音源化を実現することによって自動演奏システムの汎用性を高めることを目的に行った検討結果をまとめたものである。MIDI の楽譜には3音源から構成されている「エンターテイナー」を選んだ。これは音源数として手頃な数であること, 軽快なリズムで構成されており聞いていて楽しい楽曲であると独善的に判断したことがこの楽曲を選定した理由である。

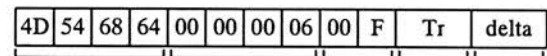
MIDI シーケンサは PIC16F877 を, DDS は CycloneIV を搭載した FPGA ボードを使用して開発を行った。卒業研究発表会における時点で「エンターテイナー」を自動演奏できるシステムに出来上がっていることを確認できたので, 一定の区切りを付けるために資料にまとめておくことにした。本資料における構成は以下のようになっている。まず MIDI についてシステムを試作する上で必要不可欠となる部分に絞ってその概要を述べる。次に PIC マイコンを使用した MIDI シーケンサのプログラム構成, 処理について説明する。最後に VHDL を用いて設計し, FPGA を用いて試作した3音源 DDS について述べる。

なお, 本研究は卒業研究の一環として行ったものであり袴田がシステム全体の取りまとめ及びPICマイコンのプログラムを, 萩山がPICマイコンのプログラムのデバッグおよびPICマイコンに関する回路の製作を, 大橋が3音源 DDS の設計, シミュレーションおよびFPGAによる実現を担当した。システムのデバッグは全員で行った。

2. MIDI の概要[4][5][6]

SMF (Standard MIDI Format) の全体構造を図 2.1 に示す。ヘッダチャンクと複数のトラックチャンクからなる。本検討ではフォーマット 0 (ヘッダチャンクと1つのトラックチャンクからなる) を取り扱っている。

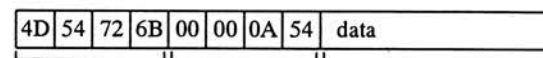
図 2.2 にヘッダチャンクのフレーム構成 (14 バイト) を示す。フォーマット 0 の場合には F=0 であり, またトラック数 Tr=1 である。時間単位は4分音符当たりのデルタタイム・チック数を表す値である。本検討で用いた「エンターテイナー」の楽譜では delta=0x1E0 (480) になっている。



チャンクタイプ データ長 フォートラッ 時間
"MThd" 常に6 マットク数 単位

図 2.2 ヘッダチャンクのフレーム構成

図 2.3 にトラックチャンクのフレーム構成を示す。



チャンクタイプ データ長 演奏データ
"MTrk"

図 2.3 トラックチャンクのフレーム構成

演奏データは, MIDI メッセージにデルタタイムが後置された構成になっている。デルタタイムは図 2.4 に示すように可変長数値によって表現されており, 各バイトにおけるビット 7 が 1 のときは後続する下位バイトがあることを示し, 0 の場合には最下位バイトを表す。

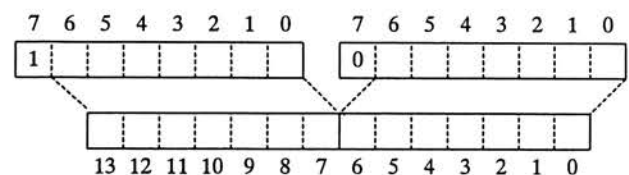


図 2.4 デルタタイムやデータ長を表す可変長数値

2014年2月26日受理

*理工学部 電気電子工学科

**理工学部 電気電子工学科4年生

MIDI メッセージの構成を図 2.5 に示す。第 1 バイトはステータスバイト、第 2 および第 3 バイトはデータバイトである。両者はビット 7 により区別され、ビット 7 が 1 であるバイトがステータスバイト、0 であるバイトがデータバイトである。

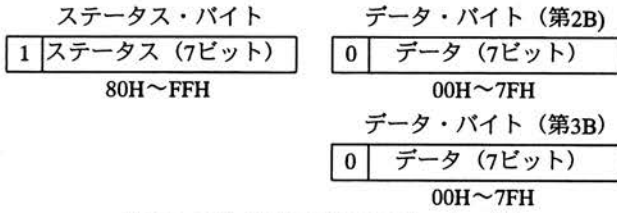


図 2.5 3バイト構成のMIDIメッセージ

ステータスには複数の種類があるが、本検討ではノートオンメッセージおよびノートオフメッセージだけを使用している。この場合のフレーム構成を図 2.6 に示す。第 2 バイトは「ノート番号」、第 3 バイトは音量に関連する「ベロシティ」である。n はチャンネルであり、「エンターテイナー」では n=0, 3 および A (16 進数) が用いられている。

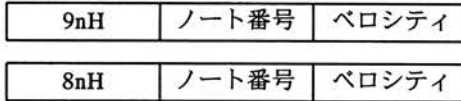


図 2.6 ノートオンおよびノートオフメッセージの構成

ADDRESS	00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
00000000	4D 54 68 64 00 00 00 06 00 00 00 01 01 E0 4D 54
00000100	72 6B 00 00 45 DF 00 F0 07 7F 7F 04 01 00 7F F7
00000200	00 BA 00 00 00 B0 00 00 00 B3 00 00 00 F0 05 7E
00000300	7F 09 01 F7 00 F0 07 7F 7F 04 01 00 7F F7 00 CA
00000400	01 00 C0 01 00 C3 01 00 FF 58 04 04 02 12 08 00
00000500	BA 07 73 00 B0 07 73 00 B3 07 5F 00 FF 59 02 00
00000600	00 00 BA 5B 64 00 B0 5B 64 00 B3 5B 6E 00 FF 51
00000700	03 09 3F 30 00 BA 5D 3C 00 B0 5D 3C 00 B3 5D 3C
00000800	00 BA 4A 78 00 B0 4A 78 00 B3 4A 64 00 BA 65 00
00000900	00 B0 65 00 00 B3 65 00 00 BA 64 00 00 B0 64 00
00000A00	00 B3 64 00 00 BA 06 0C 00 B0 06 0C 00 B3 06 0C
00000B00	00 BA 0A 18 00 B0 0A 68 00 B3 0A 40 00 BA 65 00
00000C00	00 90 56 40 00 93 24 40 00 BA 64 01 00 BA 06 38
00000D00	00 BA 26 00 3C 9A 56 40 2D 80 56 40 0F 90 58 40
00000E00	2D 8A 56 40 0F 9A 58 40 2D 80 58 40 0F 90 54 40
00000F00	2D 8A 58 40 0F 9A 54 40 2D 80 54 40 0F 90 51 40

図 2.7 エンターテイナーのバイナリモニタによる表示

図 2.7 にバイナリモニタにより「エンターテイナー」の楽譜の冒頭部分を表示した結果を示す。先頭部分のヘッダチャンク (14B) から以下が分かる。

- ・ フォーマット： フォーマット 0
- ・トラック数： 1
- ・ 4分音符当たりのデルタタイム・チック数：0x1E0(480)

また後続するトラックチャンクのヘッダからデータ数が 0x45DF=17887 バイトであることが分かる。

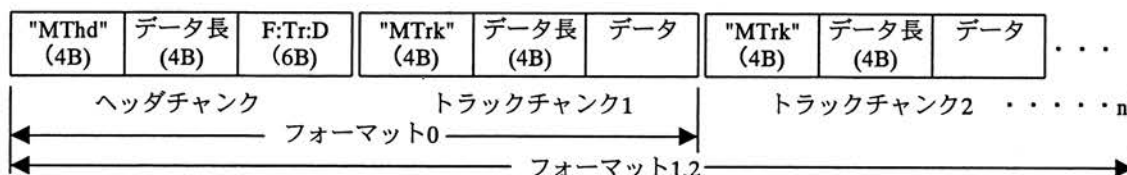


図 2.1 SMFの全体構造

演奏データはアドレス 0xC1 におけるノートオンメッセージ 90H から始まっている。引き続きノート番号、ベロシティを出力している。続いてデルタタイム=0 でノートオンメッセージ 93H が発音している。最初のノートオンメッセージ 90H が消音するのはアドレス 0xD9 における 80H においてである。2 番目の 93H に対するノートオフは、図 2.7 の中には表示されていない。このように個々の音のノートオン-ノートオフが「入れ子構造」になった複雑な楽譜データになっており、これは「G 線上のアリア」の楽譜とは著しく異なるところである。

アドレス 0x17~0xD7 において FF で始まる 3 個のメタメッセージがあり、さらに図 2.7 には表示されていないが最後尾にトラックマーカを示すメタメッセージがある。メタメッセージのフレーム構成を図 2.8 に示す。

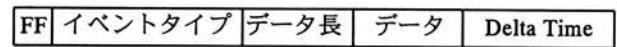


図 2.8 メタメッセージのフレーム構成

「エンターテイナー」の楽譜では、以下のメタメッセージが使用されているので、これを読み出すようにプログラムを作成した。

- ・ タイムシグナチャー (0x58) ・ ・ 2 / 4 拍子
- ・ キーシグナチャー (0x59) ・ ・ ハ長調
- ・ テンポ (0x51) ・ ・ 606 μs / 四分音符
- ・ トラックマーカ (0x2F)

なお実際に処理を行っているのはトラックマーカだけであり、他は単に読み出しているだけである。

F0 で始まる 3 個のシステム・エクスクルーシブも見られるが、これも単に読み出す処理を行っているだけである。

アドレス 0x3F から 0x47 まではプログラム・チェンジの指定である。この内容は各音源とも「ピアノ」とする指定である。

以上のメッセージ以外に BnH (n=0,3,A) で示されるコントロールチェンジが多数見られる。これらは 3 個の音源に対して同一の値が設定されており、以下に示す内容が指定されている。

- ・ バンクセレクト 音色の選択
- ・ 音量の指定 音量の設定
- ・ エフェクトデプス 1 リバーブセンドレベル設定
- ・ エフェクトデプス 3 コーラスセンドレベル設定
- ・ ブライトネス 音の明るさの設定
- ・ データエントリ

最後のコントロールチェンジは、最初の発音後に食い込んでいる。これらのメッセージも今回の検討では単に読み出しているだけである。

3. MIDI シーケンサ

3.1 PIC16F877 を用いた MIDI シーケンサの構成

MIDI シーケンサを PIC16F877 と I²C-EEPROM (24LC256) を用いて構成した。以下に諸元を示す。

- ・ クロック周波数 10MHz
- ・ RD0~RD7 ノート番号/ペロシティ出力
- ・ RE0 ノート番号用 SET 信号
- ・ RE1 ペロシティ用 SET 信号
- ・ RC3 SCL (I²C のクロック)
- ・ RC4 SDA (I²C のデータ)
- ・ RC5 DDS0 (DDS0 選択信号)
- ・ RC6 DDS1 (DDS1 選択信号)
- ・ RC7 DDS2 (DDS2 選択信号)
- ・ RB0 演奏速度低下スイッチ
- ・ RB1 演奏速度増大スイッチ
- ・ RB3 演奏停止スイッチ
- ・ RB4 I²C-EEPROM/Prog メモリ切り替え用
- ・ RB7, RB6 ICSP (インサーキット・シリアル・プログラミング用に使用)
- ・ RA1~RA3 LED 接続用

3.2 MIDI シーケンサにおける概略フローチャート

図 3.1 にメインプログラムのフローチャートを示す。メインプログラムでは、MIDI データの EEPROM からの読み出しと、ノート番号、ペロシティの解析および DDS への出力を主にやっている。

図 3.2 はデルタタイムを処理するサブルーチンのフローチャートである。ノートオンメッセージ毎に可変長数値で表されるデルタタイムを解析し、通常の数値に変換して初期値を設定し、ISR において消費されるデルタタイムが 0 になるまで待つようになっている。

図 3.3 は割り込みサービ斯拉ーチン (ISR) のフローチャートである。ISR では 32μs 毎に生起するタイマ 0 割り込みを用いてメインプログラムにおいて設定したデルタタイムの初期値を消費する処理を行っている。

以下各部分の処理の詳細について説明する。

3.3 MIDI データの I²C-EEPROM への格納と読み出し

シリアル I²C-EEPROM に書き込んだ MIDI の楽譜データを、PIC マイコンを用いて読み出して解析し、DDS に対してノート番号およびペロシティを出力するのが MIDI シーケンサの基本動作である。EEPROM には 256K ビット (32K バイト) の I²C-EEPROM である 24LC256 を用いた。書き込みは、文献[7]で検討した I²C シリアル EEPROM ライターを使用して行った。後から ROM の内容を見たときの便宜を考慮して、先頭の 32B にコメントを付け加えている。このため PIC マイコンで読み出すヘッダチャンクの開始アドレスを 0x20 に設定した。

PIC マイコン 16F877 による EEPROM の読み出しは、マイコ

ンを I²C ハードウェアマスターに設定して行っている。読み出し速度は 10kbaud である。なお、読み出しプログラムは、文献 [8] に掲載されているプログラムを使用した。このプログラムがリロケートブル形式になっているので、MIDI シーケンサ本体のプログラムもリロケートブル形式で作成した。

EEPROM から読み出した 16B のデータを、PIC マイコンの 0x50~0x6F 番地に設定した 32B のリングバッファに書き込み、このバッファから 1B ずつ読み出して処理を行っている。リングバッファの構成を図 3.4 に示す。

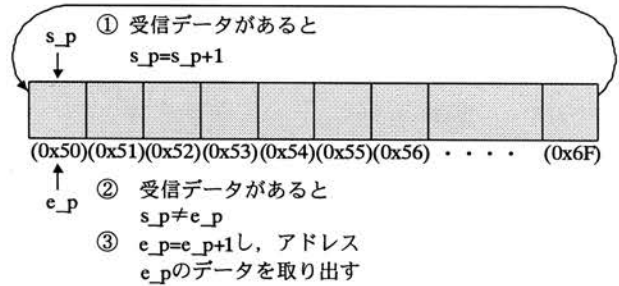


図3.4 受信リングバッファ

3.4 デルタタイムの処理

(1) デルタタイムにおける初期値の設定

デルタタイムの初期値の設定は図 3.1 におけるメインプログラムのフローチャートにおいて、サブルーチン「デルタタイムの処理」において行っている。その詳細を図 3.2 に示す。なおこのフローチャートでは、各デルタタイムは時間的に重複することなく時間消費が行われることを前提にしている。

具体的にはデルタタイムの長さが 2 バイトであり、可変長数値であることを考慮して、以下のように処理している。

- ① 読み出したデータ (MIDI_1st) のビット 7 を検査する。
- ② 1 であれば、2 バイト目を読み出しこれを MIDI_2nd に格納
- ③ MIDI_1st を右に 1 ビットシフトし、上位 2 ビットを 0 にマスクして結果を変数 DT に格納
- ④ キャリービット C の値を考慮して MIDI_2nd を処理し、結果を変数 DT+1 に格納
- ⑤ ①の結果ビット 7 が 0 の場合には DT=0 とし DT+1 に MIDI_1st を格納する。
- ⑥ flags_delta ビットの処理はフローチャートに示すとおりである。
- ⑦ 3 音源を制御する変数 DDS0~DDS2 の初期化を行う。

(2) デルタタイムに相当する時間の消費

デルタタイムに相当する時間の消費は、ISR において以下のように行っている。

- ① タイマ割り込みの周期は MIDI 規格に合わせて 32μs にしている。

図 3.3 のフローチャートに示したように、dtcnt→DT+1→DT の全変数が 0 になるまでの時間を待つ。変数 dtcnt の初期値 (play_dt) は現時点で 20 であり、スイッチ制御により最小 10

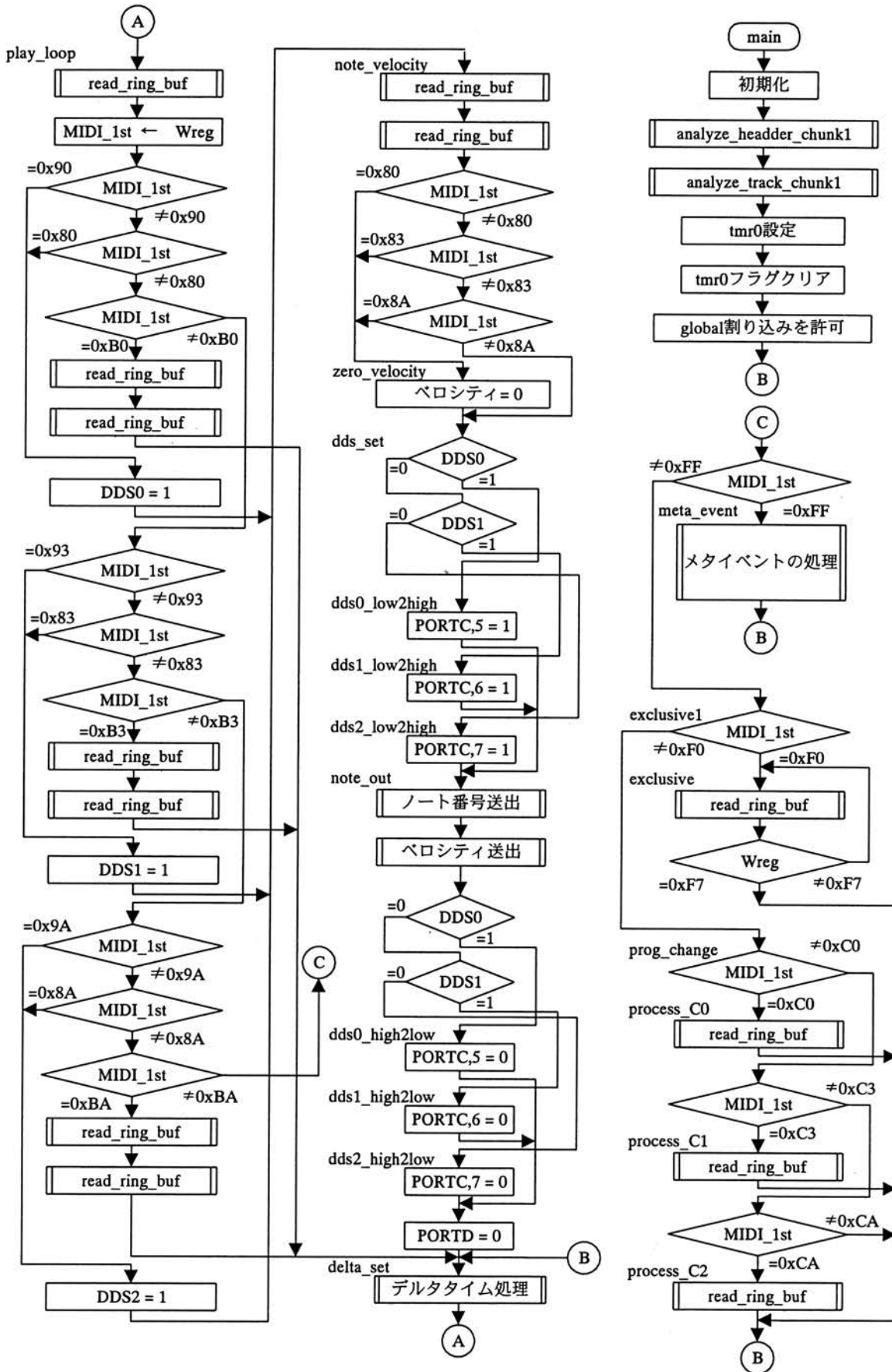


図3.1 メインプログラムのフローチャート

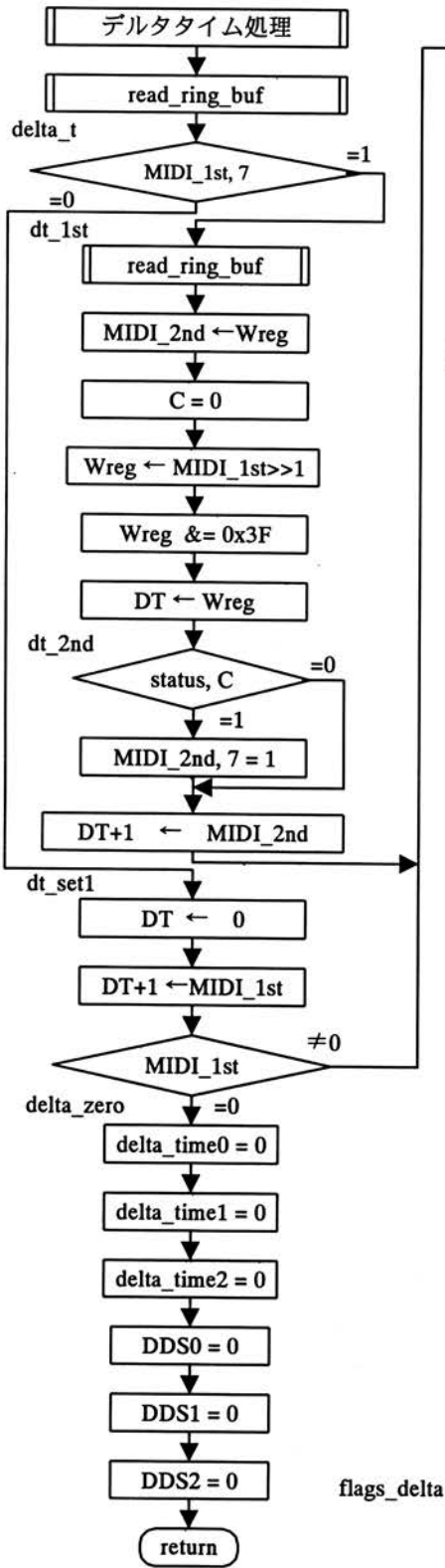


図 3.2 デルタタイムの処理フローチャート

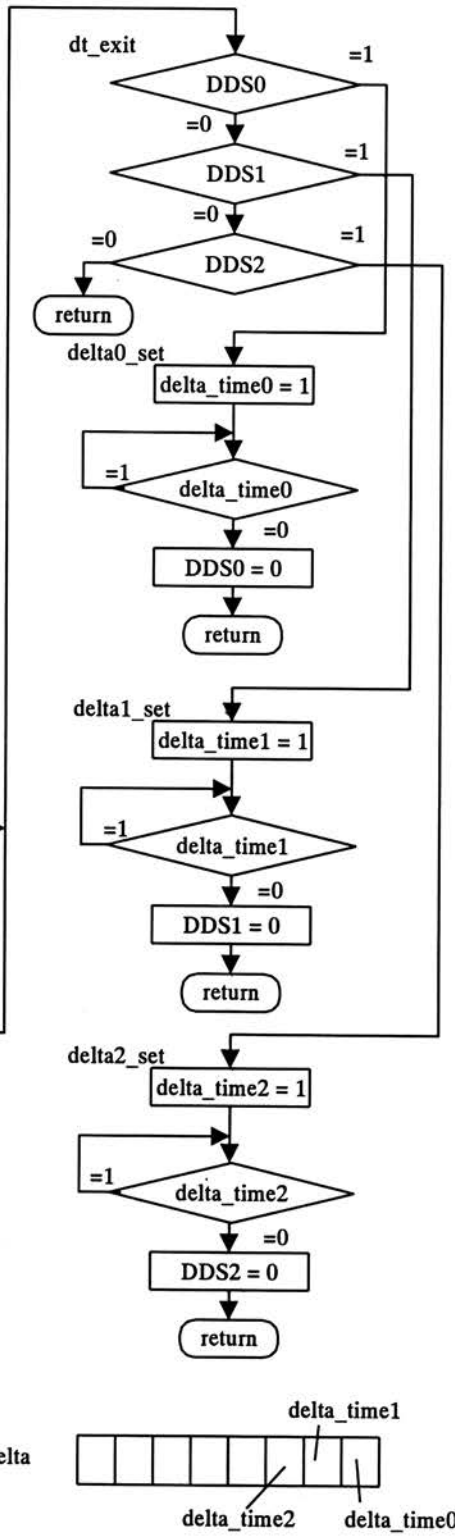


図 3.3 割り込みサービスプログラムのフローチャート

から最大 40 の間で変えられるようにしている。

- ② デルタタイムに相当する待ち時間は以下ようになる。
 $32 \times \text{play_dt} \times \text{デルタタイム} (\mu\text{s})$

(3) flags_delta の処理

図 3.2～図 3.3 のフローチャートでは、図 3.5 に示す 3 ビットのフラグを用いてデルタタイムに関する流れを制御している。

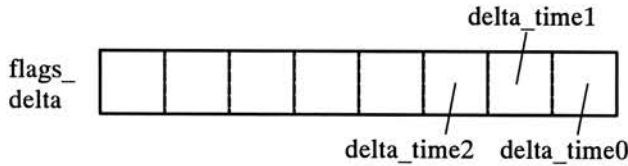


図 3.5 変数 flags_delta によるフロー制御

デルタタイムを検出し、ISR において時間消費に入るときに各ビット delta_time0～delta_time2 を 1 にする。これらのビットが 0 になると、次の処理に移行する。

3.5 メタイベントの処理

「エンターテイナー」の楽譜における最後尾のデータを図 3.6 に示す。FF 2F 00 がトラックマーカである。

ADDRESS	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
00004810	00	00	06	88	F4	00	FF	2F	00							

図 3.6 トラックマーカの構成

演奏をエンドレスで行うためにトラックマーカ検出時に、メインプログラムの先頭に戻るようになっている。

トラックマーカ以外のメタイベントは、単に読み出しているだけである。

3.6 ノート番号およびベロシティの処理

図 3.1 および図 3.2 に示したフローチャートにおいて「dds_set～デルタタイムの処理」におけるタイミングチャートを図 3.7 に示す。簡略化するために音源が 2 チャンネルの場合を例示している。

ノートオンの手順は以下になっている。

- (1) MIDI データは MIDI イベント+デルタタイムの構成になっており、デルタタイムの値がその都度変わるので到着時刻は不規則になる。プログラムではノートオンメッセージを検出すると該当の DDS を選択するための信号（図では DDS0 あるいは DDS1）を H にする。

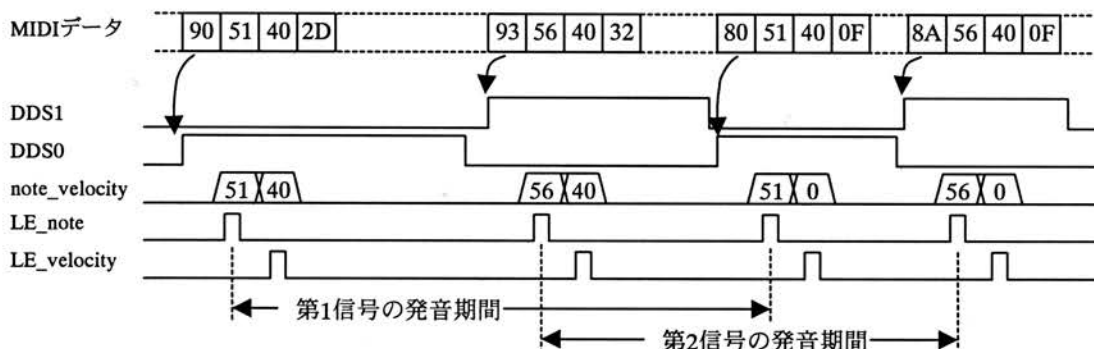


図 3.7 ノート番号およびベロシティに関するタイミングチャート

- (2) その後、PIC のポート D 端子にノートオンメッセージ、ベロシティの順番に 8 ビット並列に出力する (note_velocity 信号)。
- (3) さらに DDS 側で note_velocity 信号を分離できるようにラッチイネーブル信号 LE_note および LE_velocity を出力する。この信号を DDS 側においてクロック (0.24 μs 幅) の立ち上がりでタイミングをとってフリップ/フロップに読み込んでいる。パルス幅は 0.4 μs である。
- (4) DDS 選択信号はデルタタイムに相当する時間消費が終了してから L としている。しかしこの処理は note_velocity 信号送出直後に行うことも可能である。
- (5) 以上の結果として発音が行われる。

ノートオフの処理は、殆どノートオンの処理と同じである。

しかし「G 線上のアリア」の楽譜のようにベロシティ 0 によってノートオフを行うものもあるため、互換性を考慮して以下のように処理している。

- (6) 8nH (n はチャンネル) で始まるノートオフメッセージを検出すると、ベロシティを 0 にする。DDS では 0 のベロシティを検出するとノートオフの処理を行うようにする。

ロジックアナライザを用いて測定した出力波形を図 3.8 に示す。この波形は図 2.7 の楽譜データにおいて、先頭のノート番号であるアドレス 0xC1～0xC3 の部分である。①で示す 0x56 はノート番号であり、音の高さを表す。②で示す 0x40 はベロシティであり、音量データを表している。③で示す信号は、DDS 選択信号 DDS0～2 である。④で示す信号は、LE_NOTE および LE_VELOCITY である。いずれの信号も図 3.7 に示した通りのタイミングチャートになっていることが確認できる。

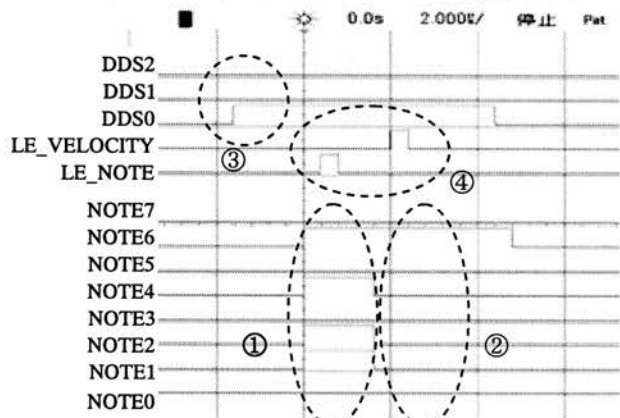


図 3.8 タイミングチャートの実測結果

4. G線上のアリアの演奏に用いた単音源 DDS の回路構成

4.1 単音源 DDS の回路構成

図 4.1 に G 線上のアリアの演奏に使用した単音源 DDS の構成を示す。DA 変換器および LPF は外付けの回路である。それ以外はアルテラ社の Max II Micro Board (EPM2210F324 CPLD デバイス) に実装した回路である。

図示されていない PIC マイコンからノート番号/ベロシティ (note_velocity) が 8 ビット並列データとしてフリップ/フロップ (実際には各々 8 個ずつあるが、略記している) に入力され、これを選択する LE_NOTE および LE_VELOCITY 信号によってラッチされてノート番号 (7 ビット) およびベロシティ (7 ビット) に分離され保持される。クロック信号とのタイミングは取っていない。

ノート番号は後述する式(1)を用いて 14 ビットの周波数データに変換している。ベロシティは音の強弱を表す量であり、DDS 出力との積を計算し音量を調整している。ベロシティ=0 を検出したときノートオフの処理を行うようにしている。

4.2 ノート番号から周波数への変換

ノート番号から周波数への変換は、ノート番号 69 番における周波数を 440Hz とする平均律を式(1)により計算して求めた。この周波数を VHDL プログラムにおいて ROM にテーブル化し、CONV_INTEGER 関数を用いて std_logi_vector を INTEGER に変換して処理に使用している。

$$\text{周波数} = 440 \times 2^{\frac{\text{NOTE_NO} - 69}{12}} \text{ (Hz)} \quad (1)$$

ノート番号は 0~127, 周波数に直すと 0Hz~12543Hz である。

4.3 DDS の原理およびクロック周波数の選択

DDS は 1 波形分を記憶している波形メモリのデータを読み出すとき、発生しようとする周波数に応じて読み出し周期を変え、元の波形と相似でかつ周波数の異なる信号を生成する回路である。波形メモリの読み出し周期は、周波数データを累積加算することにより決定する。

n ビットのアダーを用いて 1Hz の周波数データを累積加算することを考えると、クロックを 2^n 個カウントしたときに 1s になる。すなわちクロック周波数は 2^n Hz となる。MIDI の場合には周波数データの最大値は 12543Hz であり、これを Hz 単位の

16 進数で表すと 0x30FF となる。すなわち n は少なくとも 14 ビット必要である。1 波形を 256 分割するものとすればさらに 8 ビットが必要であり、これよりアダーのビット数 n を 22 ビットとした。したがってクロック周波数は 4.194304MHz になる。

以上よりビット数を以下のように設定した。

- ・ 周波数データビット数 14 ビット
- ・ DDS 出力 (波形メモリ) の分割数 8 ビット
- ・ アダーのビット数 22 ビット

4.4 アッテネータによるベロシティの処理

MIDI メッセージの 3 バイト目であるベロシティは音の強弱を表す量であり、図 2.5 に示すように 7 ビットのデータ (0~127 の値) である。これを小数点以下の値が 7 桁である 8 ビット固定小数点数 (Q7 フォーマット数) と考えて DDS 出力 (8 ビット) との積を計算し、得られた結果 (14 ビット) における上位 8 ビットを取り出すことによってデジタル・アッテネータを実現している。

アッテネータ入力である DDS 出力は、8 ビットのオフセットバイナリ形式で出力される。このため DDS 出力の最上位ビットを反転して 2 の補数表示に変換し、Q7 フォーマットであるベロシティとの積を作り、その結果を再度オフセットバイナリに変換して出力した。なお乗算あるいは加算は、ともに演算子 * あるいは + を使用して記述した。

4.5 その他の回路

外付けの回路として R-2R ラダー型 DA 変換回路、2 次アクティブローパスフィルタ (入力にボルテージフォロワを前置)、コルピッツ型クロック発振回路、負電源生成回路などを使用している。

5. 3 音源 DDS の設計

5.1 3 音源 DDS の回路構成

4 で述べた単音源 DDS を 3 個使用し、その出力を加算して 3 音源 DDS を構成した。図 5.1 にブロック構成を示す。

点線の四角形で囲った部分が単音源 DDS であるが、5.2 および 5.3 に示す変更を加えている。

5.2 入力インタフェースの変更

入力インタフェース回路のブロック構成を図 5.2 に示す。

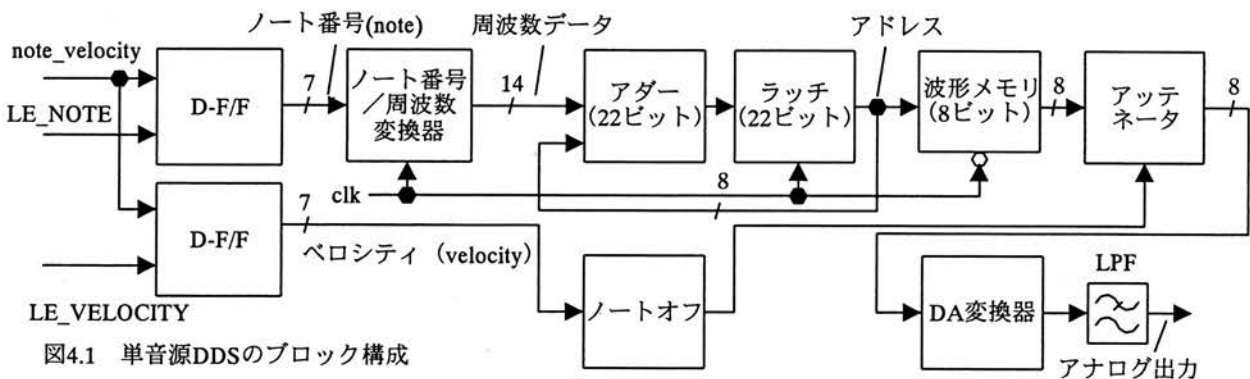


図4.1 単音源DDSのブロック構成

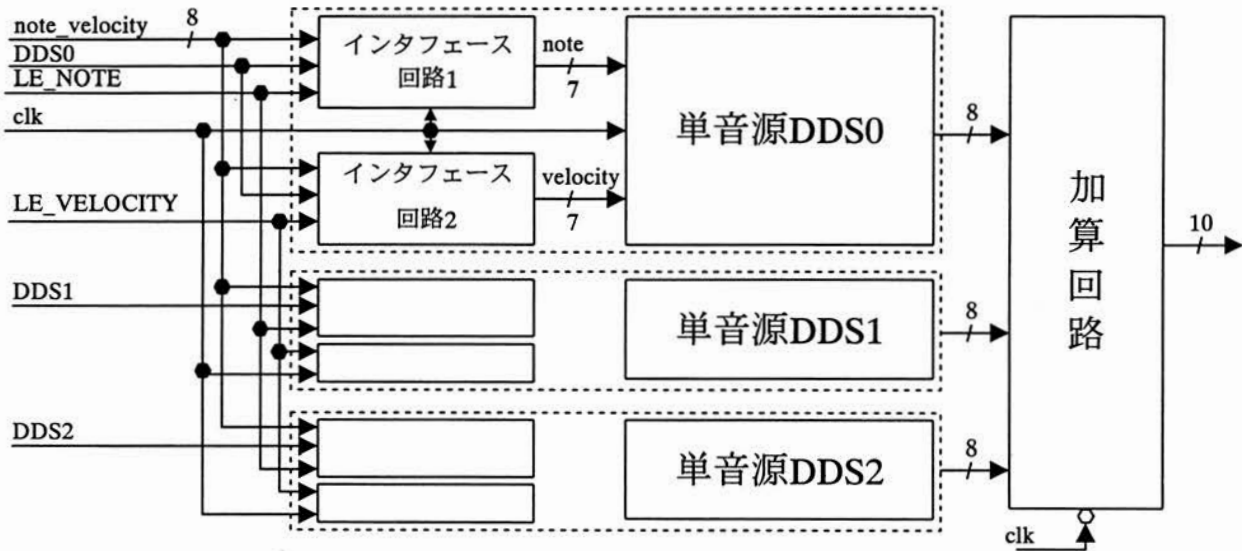


図5.1 3音源DDSのブロック構成

1 個の DDS に対する回路である。図 4.1 からの変更点は

- ・ ノート番号/ベロシティ (note velocity) をクロックとタイミングをとってフリップ/フロップに入力するようにした
 - ・ DDS 選択信号を追加した
- ことである。

当初は図 4.1 に示すようにノート番号/ベロシティを LE_NOTE および LE_VELOCITY 信号の立ち上がりにおいてラッチし、フリップフロップに入力していた。クロックとのタイミングはとっていなかった。しかし開発段階においてエンターテイナーの演奏を聴取してみたところ異音が発生することがあった。このため DDS 選択信号と LE_NOTE あるいは LE_VELOCITY 信号との AND をとり、この信号をイネーブル信号としてクロックの立ち上がりにおいてタイミングを取り、フリップフロップに入力するように変更した。これにより異音が減少する効果が得られた。

5.3 入力インタフェース及びマニュアル入力用スイッチ回路

DDS 単体の試験を行うためにディップスイッチ入力によってノート番号/ベロシティを設定できるようにした。2:1 セレクタにおいて、MIDI 出力 (フリップ/フロップ出力) とディップスイッチからの入力信号である note_man あるいは velocity_man を切り替えて、各々 7 ビットの出力である note あ

るいは velocity を出力している。

MIDI 出力あるいはマニュアル出力の切り替えは、未使用である note_man 信号のビット 7 にスイッチを接続して行っている。ノート番号およびベロシティは、同時に MIDI かあるいはマニュアルに切り替わるようになる。

- ・ note_man(7)=1 のとき・・・MIDI からのデータを選択
 - ・ note_man(7)=0 のとき・・・マニュアルデータを選択
- マニュアルデータ選択時には、以下の信号により DDS 出力を切り替えている。

- ・ dds_set0_man=1・・・DDS0 の設定変更
- ・ dds_set1_man=1・・・DDS1 の設定変更
- ・ dds_set2_man=1・・・DDS2 の設定変更

ノート番号およびベロシティは専用のディップスイッチにより独立に設定できる。上記の各信号が 0 の場合にはその DDS の出力を停止する。

5.4 出力インタフェースの変更と DDS 出力の加算回路

4.1 で示した単音源 DDS におけるアッテネータは、内部の計算は 2 の補数表示に基づいて行っているが、出力時にはオフセットバイナリ形式に変換している。このためオフセットバイナリ形式への変換をコメントアウトして 2 の補数表示に戻し、8 ビットの DDS 出力を 10 ビットに符号拡張してから 3 個加算し、

その後改めてオフセットバイナリ形式に変換するようにした。3 個の DDS 出力を加算するために加算回路を使用した。VHDL での記述は単に + 演算子を使用しているだけである。

図 5.3 にシミュレーション結果を示す。中程にある a, b, c が DDS 出力である。DDS が動作した直後の波形であり、2 の補数表示の 0 を表示している。また x が加算回路の出力であり、オフセットバイナリ形式に正しく変換されて 0x200 になっている。

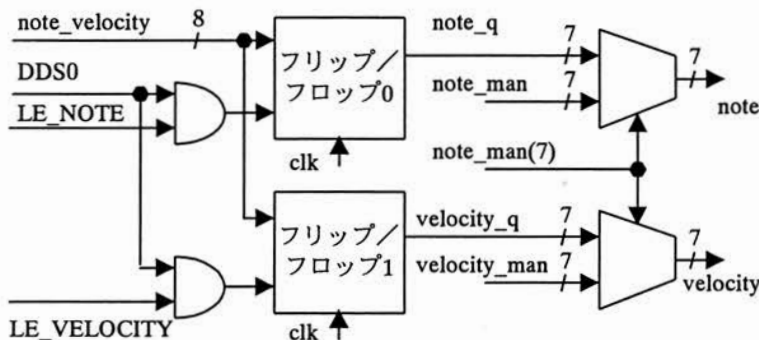


図5.2 入力インタフェース回路のブロック構成

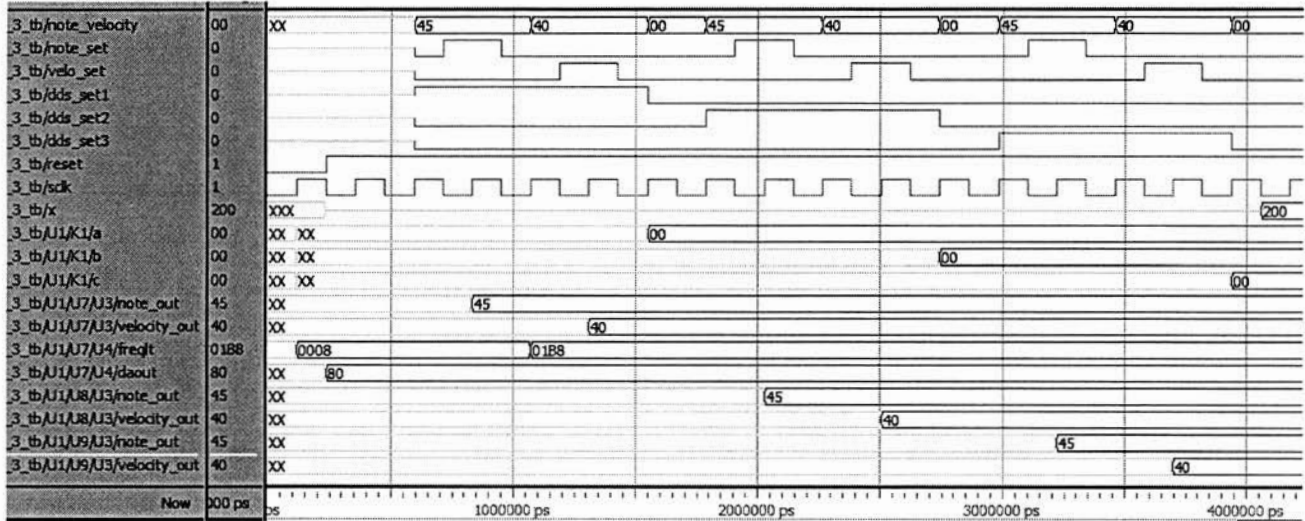


図 5.3 ModelSim によるシミュレーション結果

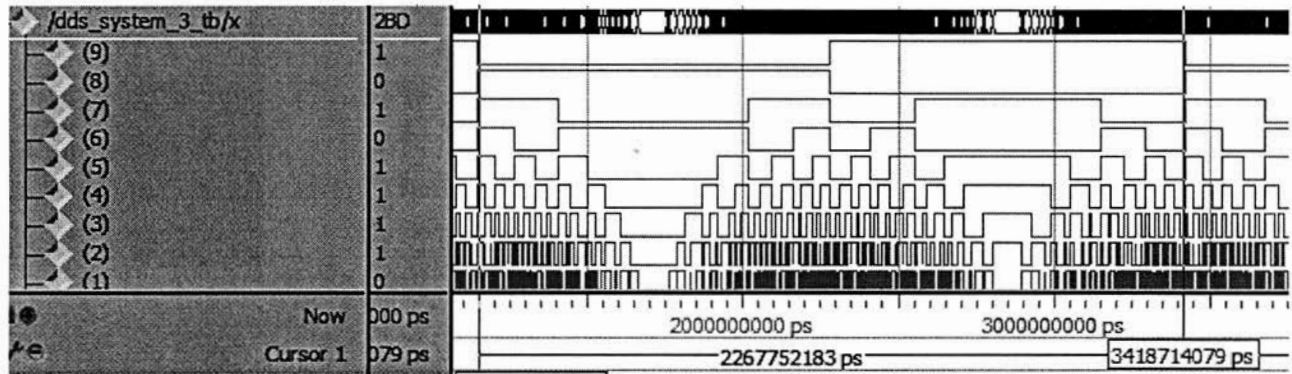


図 5.4 ModelSim によるシミュレーション結果 (その2)

5.5 シミュレーション結果とクロックエッジの確認

各所でクロックとのタイミングをとっており、エッジの確認を行っておく。

- ① MIDI シーケンサ出力では、図 3.8 に示したようにパルス幅 $0.4\mu s$ の LE_NOTE, LE_VELOCITY を出力している。この信号をイネーブル信号として、図 5.2 に示すフリップ/フロップの立ち上がりにおいてノート番号/ベロシティを読み込み出力している (図 5.3 における note_out, velocity_out)。
- ② ノート番号→周波数変換器では、ノート番号を入力し、クロックの立ち上がりエッジにおいて周波数データを出力している (図 5.3 における freqdt, $0x1B8 = 440Hz$ になっている)。
- ③ アダー (図 4.1) は組み合わせ論理回路である。
- ④ ラッチはクロックの立ち上がりエッジにおいてアダー出力を読み込み、出力している。
- ⑤ したがって波形メモリの読み出しは、クロックの立ち下がりエッジにおいて行っている (図 5.3 の daout が出力)。
- ⑥ アッテネータはクロックの立ち上がりでタイミングを取っている (図 5.3 における a, b および c がアッテネータ出力)。
- ⑦ したがって加算回路はクロックの立ち下がり端で読み込んでいる (図 5.3 における x が加算回路出力)。

図 5.3 からデータとクロックのエッジに関しては問題のない

ことが確認できた。

図 5.4 は、図 5.3 に続く時間の加算回路出力 x のシミュレーション結果であり時間を拡大して示している。ノート番号は $0x45$ であり、これは周波数に直すと前述したように $440Hz$ になる。x(9)の周期から発生周波数は $440.965Hz$ であり、ほぼ正しい値を出力できている。

6. CycloneIV FPGA を使用した 3 音源 DDS の試作結果

アルテラ社の VHDL シミュレータ Quartus II を用いて設計を行い、ModelSim を用いてシミュレーションを行った。回路の実現は CycloneIV FPGA を搭載したアルテラ社の FPGA ボード (EP4CE22F17C6) を使用した。

6.1 DDS の出力波形

3 個の DDS から単独で信号を発生させた場合の出力波形を図 6.1(a)~(c) に示す。横軸は $2ms/div$ であり、縦軸は $500mV/div$ である。また(a)は C4 (ド, $262Hz$) , (b)は E4 (ミ, $330Hz$) , (c)は G4 (ソ, $390Hz$) である。また図 6.1(d)に合成波形を示す。

6.2 ノートオフに対する処理

ノートオフメッセージとして $8XXXXXXH$ のようなメッセー

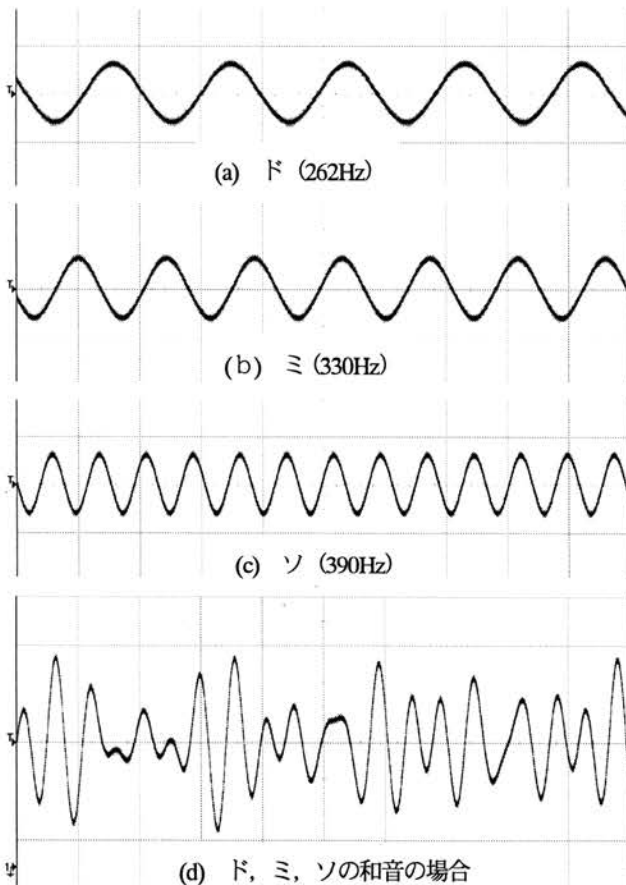


図6.1 DDSの出力波形

ジと、9XXX00Hの2種類を想定している。このためPICにおいて80Hから始まるノートオフメッセージを受信すると、図3.1の真ん中、上側の部分に示したようにベロシティを0に設定し直してDDSに出力するようにしている。これにより後者のメッセージとの互換性を保っている。

一昨年度に試作したG線上のアリアを演奏する自動演奏システムでは、ノートオフ時にスピーカから耳障りな「ポコ」と言うような音が出ており非常に気になった。そこで今回はノートオフ時に完全に音を止めるのではなく、ノートオフ検出時にはベロシティを25に低下させるようなプロセスを組み込んでみた。これはDDSの出力電圧振幅を最大振幅の約0.2倍に相当する値に低下させる値である。比較的良好な結果が得られたものと考えているが、今後更に検討していく必要がある。なお周波数は変えていない。

6.3 聴取結果

最終的なプログラムが完成した段階で研究室のメンバーに協力して貰い「エンターテイナー」の聴取試験を行った。被験者は8名であり、以下の2点を評価項目とした。

- ① 1回の演奏中に異音が何回聞こえたか。
- ② スピーカに接近したときに、気になる雑音が聞こえるか。

またノートオフ検出時に低下させるベロシティの値を25、8および0の3水準に変えて試験を行ってみた。その結果上記ベロシティの値を小さくするほど、音が切り変わるときに発生す

る異音がより気になることが分かった。異音の聞こえた回数は、どの被験者でも概ね10回/曲であった。またスピーカに接近して音を聞いた場合には、始終雑音が発生している状況があり、改善の余地が十分にあることが分かった。

7. むすび

高校生に電気電子に関心を持って貰う手段としての“音が出る”要素を含む回路としてMIDI自動演奏システムについて検討した。演奏するMIDIの曲については3音源からなる「エンターテイナー」を選んだ。この曲を演奏するためにPICマイコン16F877をコントローラとするMIDI (Musical Instrument Data Interface) シーケンサを試作し、プログラムの詳細を示した。また音源をDDS (Direct Digital Synthesizer) により実現するためにVHDLにより設計し、FPGAを用いて3音源DDSを試作しその結果を示した。

これらの要素を組み合わせてMIDI自動演奏システムを構成し、 2 C-EEPROMに書き込んだ「エンターテイナー」を読み出して自動演奏ができることを確認した。しかしながら音質の点でまだまだ改善の余地が十分にあることが分かった。

今後音質の改善についての検討を行っていく。また今回はMIDIシーケンサを3チャンネルに特化して作成したが、フローの見直しにより16チャンネルまで増大させることが可能であり今後検討を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 袴田吉朗, “PICマイコンと16x16LEDを用いた漢字表示電光掲示板の設計と試作”, 静岡理科大学紀要, Vol.17, pp.133-142, (2009)
- 2) 袴田吉朗, “展示用波長多重光通信システムの設計と構築”, 静岡理科大学紀要, Vol.18, pp.21-30, (2010)
- 3) 袴田吉朗, 松永康寛, 栗田貴史, “MIDIシーケンサとDDSによる自動演奏システムの設計と試作”, 静岡理科大学紀要, Vol.20, pp.11-20, (2012)
- 4) 中島安貴彦, “MIDIバイブルI MIDI1.0規格基礎編”
- 5) “詳説MIDI規格”,
<http://www.pluto.dti.ne.jp/~daiki/midi/midi.html>
- 6) “SMFの基礎知識”,
<http://www.hikari-ongaku.com/study/smf.html>
- 7) 袴田吉朗, “ 2 C EEPROMライターの設計と漢字ディスプレイへの応用”, 静岡理科大学紀要, Vol.18, pp.21-30, (2010)
- 8) “マイコンの1線, 2線, 3線インタフェース”, CQ出版社 (2008)

【付録】最終的なプログラムの所在

本資料におけるPICプログラムは2014.2.16にデバッグを完了したプロジェクトmidirec20140216に基づいている。またDDSに関するVHDLプログラムは2014.2.15作成のdds_system_33プロジェクトに基づいている。

スマホを用いたスマートオンデマンドバスの研究

—スマートウォーカーアシストシステム—

Demand Responsive Transport System with Smartphone

— Smart Walker Assist System —

郡 武治*

Takeharu KOHRI

Abstract: I have proposed a novel demand responsive transport system with the smart phone. As a means of transportation efficient in many municipalities suffering from depopulation, on-demand bus, is being realized. However, it appears from being appointment vans taxi essentially, in convenience, there is a problem.

On the other hand, Smart phone, is equipped with a sensor function of many position detection function by GPS, vibration sensors, and tilt sensors. Also, add functionality by application software has a feature that cloud computing by communication can be easily.

Without having to remind the user, the mobile network and application software, the proposed system is to realize the advanced network communication control of people and vehicles. It can be used like a cruising taxi at any time. It can realize an energy-saving society.

1. まえがき

オンデマンドバスは、過疎に悩む多くの市町村における効率的な交通手段として、検討され、実現されつつある⁽¹⁾。現在検討されているシステムは、予約制乗り合いタクシーとして実現された例が多い。必要な時だけ使われ、従来の定期運行バスに比べ効率の良い交通システムである。しかしながら、予約を基本としているため、時間的に冗長な設計になり、一元管理による効率化など図られつつあるが、交通状況にリアル適応でき、利便性を上げることのできる地域は限られ、普及に問題があった。

一方、スマートフォンは、通話機能以外にGPSによる位置検出機能、振動センサー、傾斜センサーなど多くのセンサー機能を搭載している。さらに、スマートフォンは、アプリケーションソフトによる機能の追加、通信によるクラウドコンピューティング等通信による外部とのリンクが容易にできる特徴がある。個人が持運び自由であることから位置情報を用いたさまざまなアプリケーションが開発され使われている。

このようなことから、筆者は、多くの個人が持っている⁽²⁾スマートフォンと行き交う車をリンクさせた、利便性に優れた新たなスマートオンデマンドバスシステムを考えた。提案するシステムは、利

用者に意識させることなく、スマートフォンのアプリケーションソフトとモバイルネットワークにより、人、車、道路間に高度なネットワーク通信制御を実現させる。道路状況にリアルに合わせた省エネで低コストな運行システムを実現するものである。利用者は、いつでも来てくれる流しのタクシー感覚で使うことができ、社会全体として省エネが可能になる。

最初に、本提案を実現するスマートウォーカーアシストシステムの概要を述べ、3種類の交通ネットワークとして系統的にまとめる。次に要素となるルーティング技術、最適予測技術、通信技術について述べる。最後に、実現例として、アバターを用いた予測ルーティングによるスマートウォーカーアシストシステムを示す。

2. スマートウォーカーアシストシステムの構成

提案するスマートウォーカーアシストシステムの構成を図1に示す。スマートフォンと車載ナビの画面を同時に示す。

利用者である歩行者から見た基本的動作を次に示す。

- ① スマートフォンに行き先を登録し、ナビを開始する。
- ② 画面には現在位置と歩く方向が明示される。

- ③ 画面に従って歩いて行くと突然車への乗り換えポイントが現れ、短縮された経路も同時に表示される。
- ④ 確認と承認を意味する OK を押すと、車番が表示され、やがてその車番の車が現れる。
- ⑤ 次のポイントまで車に乗り、降車する。
- ⑥ 再びナビに従い歩行する。
- ⑦ このような事を繰り返し、次第に目標に近づき、ゴールする。

次に車からみた基本的動作を次に示す。

(自家用車の場合)

- ① 通常ナビで目的地まで走行している。
- ② 停車ポイントが追加され、ルートも少し変更されるが、到着時刻に変化はない。
- ③ 停車ポイントで人を乗せるか、搭乗者を降車させる。
- ④ 目的地に到着し、インセンティブを受け取る。
(インセンティブはガソリンの支払い又は税金の減額により受け取る)

(公用車の場合)

基本的に、自家用車と同じ、行動をとる。異なる所は、インセンティブの授受がないことである。

スマートフォンのアプリケーションソフトとモバイルネットワークにより、人、車、道路間に高度なネットワーク通信制御を実現させ、交通の状態に応じ、常に最適なルーティングでオンデマンドバスが実行される。

3. システム構成の検討

実現するためには次の3つのネットワークを含むシステム構成が考えられる。

(1) クラウドコンピューティングによる一元管理

唯一のコントローラーであるクラウドコンピュータは、次の3つの情報をから最適なルーティングを算出し、人と車に伝え運航する。図2(a)にシステム構成を示す。

- ・モバイルネットワークを介して、スマートフォンから出される現在位置、目的地情報、ルーティング情報
- ・車ナビから出される現在位置、目的地情報、ルーティング情報
- ・交通機関から交通状況情報

従来から行われているオンデマンドバスはこの構成を用いている。

実現するためには、複雑な予測計算と大容量の通信処理を一手に引き受ける必要があり、適用地域の交通状況、適用規模など、多くの制限がある

と予測される。

(2) 独立した分散処理

スマートフォンと車搭載ナビとのモバイルネットワークを介したローカル的な情報処理により実現するもので、システム構成を図2(b)に示す。交通状況はインターネットを介して、収集する。

スマートフォンと車搭載ナビの持つ情報処理能力で十分対応可能であると考えられる。

欠点としては、各所において独立に動くことから、自動車の定員オーバーなど、交通密度の影響を受け、利用者を車でアシストする頻度の低下が考えられる。

しかしながら、初期コストが低く、即時設置が可能であることから、実現性は高いと考えられる。

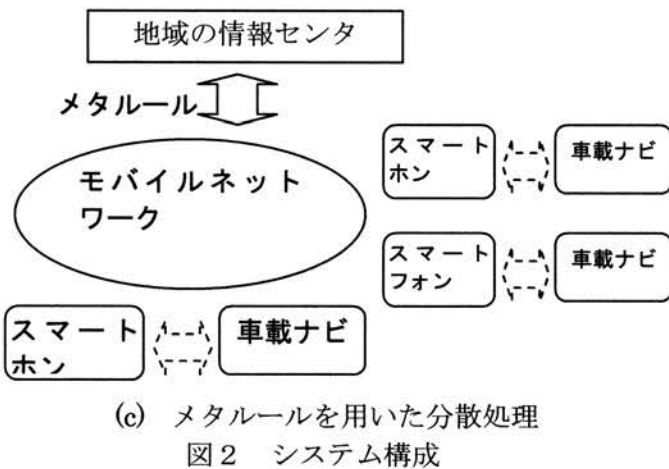
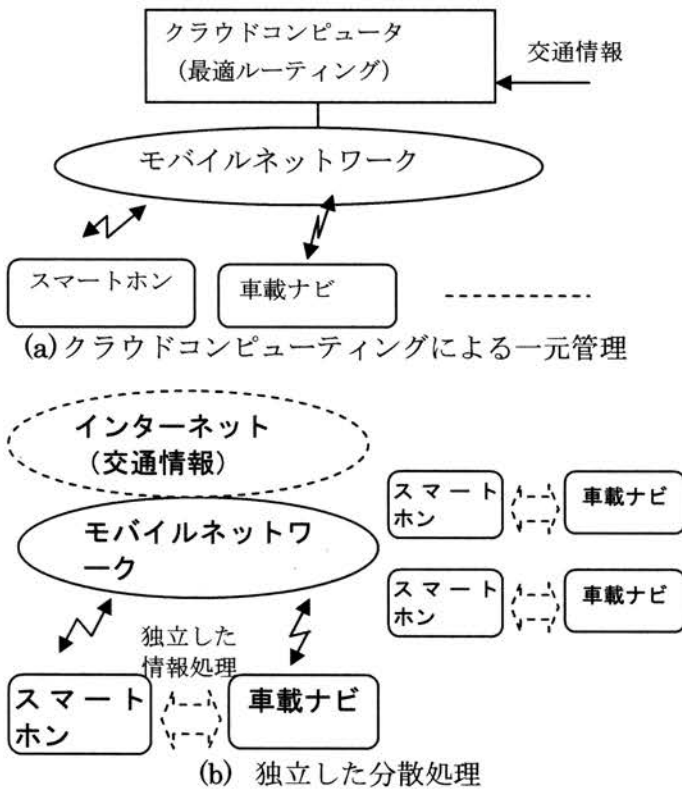


図1 スマートウォーカーアシストシステムの構成

(3) メタルールを用いた分散処理

基本は分散処理であるが、地域全体の環境情報(時間帯による交通整理、病院等公共設備の運用を円滑化するための制限情報)をメタルールで流し、全体をコントロールする。また、必要のある場合はセンターから指令を出しコントロールする。システム構成を図2(c)に示す。

完全独立な分散処理システムの欠点を補うことになり、本システム構成も実現性は高いと考えられる。さらに、分散システム導入後、後からバージョンアップすることにより、本システム構成に移行することも可能である。



4. システム構成のための要素技術

4.1 ルーティング方法

(1) モデル化

簡単なモデリングとして、碁盤の目の上を移動するモデルを考えた。図3に構成と動作原理を示す。

図から分かるように、出発点と目的地までのルートは多くあるが、途中で引き返さない限り、総合距離は同じになり、所要時間も同じである。つまり、採り得る35ルート全ての所要時間は同じになる。

このことは、この範囲内において、走行中の途中で歩行者を乗せても、乗り降りする時間を除き、

車の目的地までの所要時間は変わらないことを示している。

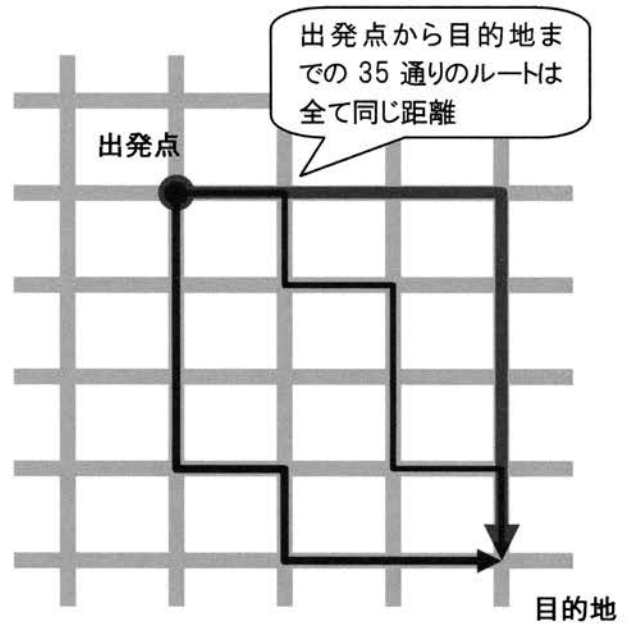


図3 碁盤の目状にモデル化した路面におけるルーティング

(2) 予測法

アバター*1を用いて仮想空間を歩かせることにより、最適ルートを算出する方法が考えられる。

図4に動作イメージを示す。10分後、20分後の仮想空間を複数作り、アバターを歩かせることにより、常に最適なルートを選択する方法である。リアルタイムに入る交通情報を取り入れ、即時にルーティングするためには、起こり得る全パターンを演算することは不可能である。

一部を演算し、最適ルートを選ぶ方法の一つとしてこのようなアバターを用いる方法を考えることができる。

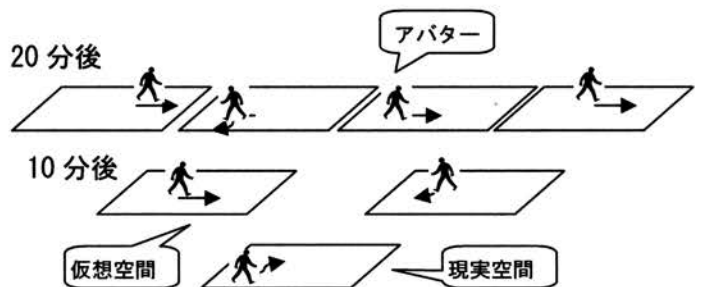


図4 アバターによる仮想空間処理により、最適ルーティング

4.2 情報処理

分散処理により実現する場合、利用者の持つスマートフォンと車載ナビの協業により、最適ルーティングを行う必要がある。このためには、両者のナビ情報を交換し、最適値を割り出し、最終的には両者のナビ情報を最適ルーティングに同時変更する必要がある。

ルートに関する全情報を収集し、演算することは難しいと考えられ、シミュレーションにより、最適値を見つける方法が現実的と考えられる。

4.3 安全性と利便性

歩行者、車を全て登録制にし、さらに乗り降り時に、車番と歩行者番号の情報交換を行うことにより、安全性を確保する。

また、利便性と利用頻度を向上させるためには、車所有者にインセンティブを与えることが不可欠である。

インセンティブとしては、利用者の人数と回数に応じ、給油における補助、税金の軽減などが考えられる。

5. 実現例

実現例として、アバターを用いた予測ルーティングによるスマートウォーカーアシストシステムを示す。図5に動作原理図を示す。

基本的動作は次のようになる。

STEP1

- ① スマートフォンに行き先を登録し、ナビを開始する。
- ② 近辺を通行する車両ナビと情報交換する。
- ③ 10分後、20分後の仮想空間にアバターが移動するシミュレーションを行う。
- ④ 最も、短時間で行くことのできたアバターの選択した車を呼び出す。

STEP2

- ① 車の経路変更が可能であれば、スマートフォンに車番を通知し、車にはスマートフォン番号が通知される。

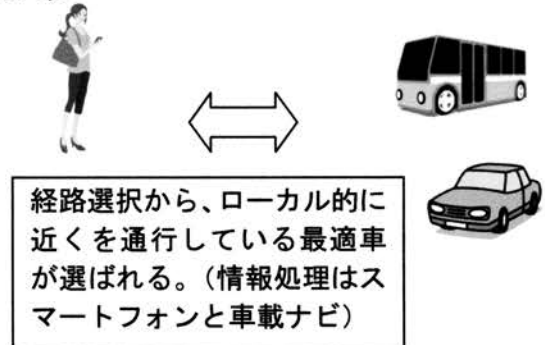
STEP3

- ① 次のポイントまで車に乗り、降車する。
- ② 車はインセンティブを受け取る。(インセンティブはガソリンの支払い又は税金の減額により受け取る)

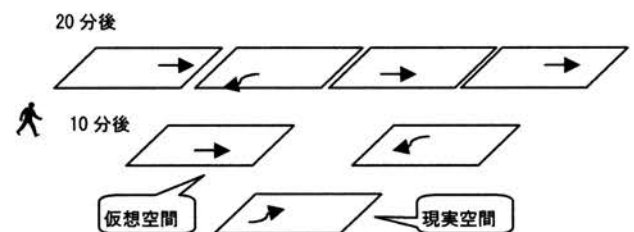
STEP4

- ① 再びナビに従い歩行する。
- ② このような事を繰り返し、次第に目標に近づき、目的地にゴールする。

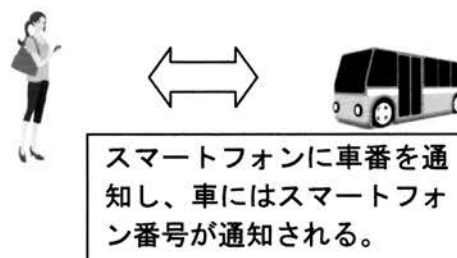
<STEP1>



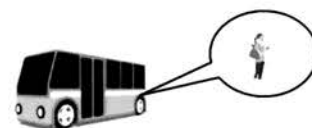
アバターが仮想空間で移動し、最も時間のかからない空間が選択される。



<STEP2>



<STEP3>



<STEP4>



図5 アバターを用いた予測ルーティングによるスマートウォーカーアシストシステムの動作原理

6. まとめ

現在の法制度では、既存の事業者を無視したこのようなシステムは許されない。しかしながら、省エネが推奨される時代において、乗用車の平均乗車人数は1台あたり1.32人である⁽³⁾。

本論文では、法制度等をあえて無視し、技術的な面だけでシステムを考えた。

今後、法制度が整えば、リアルタイム性があり、省エネで低コストな運行システムである提案するスマートウォーカーアシストシステムは十分実現性があると考えられる。

今後は、シミュレーション等により精度を高め、必要とする自治体に提案し、実現する予定である。

文 献

- [1] 大和裕幸、坪内孝太, “オンデマンドバスシステム : 利用者の需要に対応した新しい公共交通機関(<特集>高度化する交通システム-利用者のニーズに即した交通サービスを目指して)” システム制御情報学会誌 54(9), 342-347, 2010-09-15
- [2] 総務省情報通信統計データ
携帯電話・PHSの加入契約数の推移
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/new/index.html>
- [3] 「道路交通センサスからみた道路交通の現状、推移(データ集)」(国土交通省)

*1 アバター (avatar)

チャットなどのコミュニケーションツールで、自分の分身として画面上に登場するキャラクター。(IT用語辞典 e-word.jp)

赤外線リモコン送受信器を題材にした 組込みプログラム用電子教材の開発 (2)

Development of New Electronic Study Materials for Built-in-System Programming Education
Based on Infra-Red Remote-Control Transceiver : Part 2

玉真昭男*

Teruo TAMAMA*

Abstract: Recently programmers for built-in-systems are badly off. Thus, fostering of those human resources at universities is urgent. New electronic study materials have been developed for built-in-system programming education based on an IR remote-control transceiver. Using those materials, students are able to learn microcomputer programming as well as soldering technique and oscilloscope operation.

1. はじめに

近年、マイコンはデジタル家電、携帯電話、自動車などに数多く組み込まれているが、マイコンを動かすプログラムを開発できる組込みプログラマの不足が深刻な問題となっており、その育成が急務となっている。

本学コンピュータシステム学科ではそれを受けて2010年度より「コンピュータシステム実験」の中で15週×3コマを掛けて集中的に組込みプログラムを教えることにした。著者は赤外線リモコン送受信器の制御プログラム作成をメインテーマとした。

赤外線リモコン送受信器を教材にした「組込みプログラム」教育は他所では行われていない。しかし、このテーマは、本稿に示すように、単にマイコンプログラムの演習になるだけでなく、ハンダ付けやオシロスコープの操作法を必然的にじっくりと学習することにもなるので、組込みプログラム教材として好適と考えている。

今回、マイコンをH8-Tiny 300Hシリーズから、新しい高性能な「SAKURA BOARD」に変え、新たに「完全万能学習リモコン」を製作する実験項目を追加して、高

度な組込み実験用電子教材に発展させたので報告する。

2. 使用マイコン

前回使用していたルネサスエレクトロニクス(株)製16ビットマイコンH8/300H Tinyシリーズ3687Fを、より高性能な同社32ビットマイコンRX63NシリーズR5F563Nを搭載したGR-SAKURA-FULLボードに変更した。GR-SAKURA-FULLは(株)若松通商がルネサス社と共同で開発した学習教材用マイコンボードである。GR-SAKURA-FULLボードの主な仕様をTable 1に示す。本ボードの写真はFig. 2に示すので参照して頂きたい。

Table 1 GR-SAKURA-FULL ボードの主な仕様

ルネサス製 RX63N マイコン (R5F563NBDDFP) 搭載
動作電圧 : 3.3V 動作周波数 : 96MHz
Flash メモリ : 1MB
RAM : 128KB
FPU 内蔵 (float)
イーサネットコントローラ内蔵
USB ホスト/ファンクション内蔵
デジタル I/O ピン : 51
アナログ入力ピン : 6

2014年2月28日受理

* 総合情報学部 コンピュータシステム学科

3. 実験環境の整備

3.1 ハンダ付けの指導

本実験では、試作した赤外線リモコン送受信器のペーパーボードを学生に組み立てさせる。ハンダ付け未経験の学生に部品点数 26、総ピン数 100 のプリント基板一個のハンダ付けを 2 人一組でやらせて時間内に完成させさせるには、最初にコツを教え、また丁寧なマニュアルを用意するのが大切と考えた。

自作したプリント基板に 26 点の部品をハンダ付けして組み立てた赤外線リモコンボードの写真を Fig. 1 に示す。また、Fig. 2 は、GR-SAKURA ボードと結合した様子を示したものである。

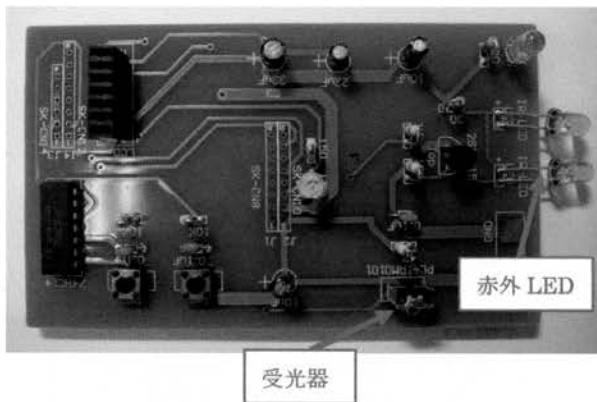


Fig. 1 試作赤外線リモコン送受信器ボード

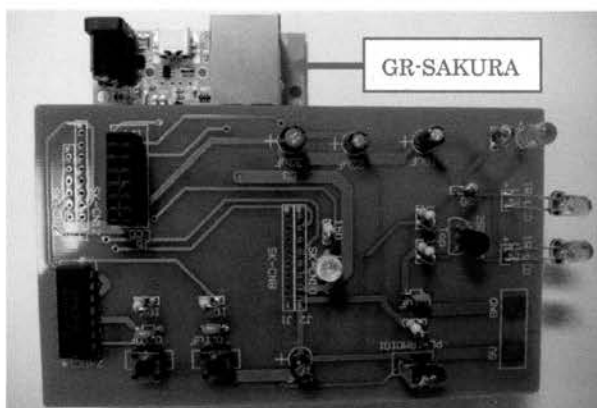


Fig. 2 使用したマイコンボードと結合

ハンダ付けは未経験の学生がほとんどであったため、丁寧な手順書を作って渡した。その甲斐あって、初年

度、次年度とも受講生全員 (30, 25 名) がミス無くハンダ付けを完成させることが出来た。

実験前は、ハンダ付け未経験の学生にはこのレベルのボードの組立でも荷が重く、「面倒くさい」、「嫌だ」という感想を予想していた。しかし、実験後は、「非常に面白かった」、「モノを作っている実感があり、楽しかった」という意見がほとんどで、むしろ驚いた。

実験後のアンケートに次の項目を入れた。

【①】ハンダ付けのコツは理解出来ましたか？

【②】部品点数 26、総ピン数 100 の赤外線リモコン送受信器のハンダ付けは面白かったですか？

平均値は 5 段階評価でそれぞれ 4.4、4.0 と高かった。

ハンダ付けをきちんと教えておくことは、将来卒業研究で組み込みシステムをテーマにするとき非常に役に立つ。市販の機材だけでは機能や性能が足りないとき、抵抗無く、他の回路を追加しようという気になるからである。

3.2 オシロスコープの操作法指導

電子計測器類をほとんど触ったことの無い情報学科の学生達にオシロスコープの詳細な使い方を教えるのは厄介である。しかも、赤外線リモコンの波形を計測するためには、繰り返し現象ではなく、単発現象の計測が出来、しかもパルス幅を正確に測定できなければならない。そのため、オシロスコープの操作方法に関しても丁寧なマニュアルを用意した。なお、実験で使用したのはアジレント・テクノロジー社の DS01002A (60MHz, 2 チャンネル) である。

3.2.1 基本設定

オシロスコープは時間的に変化する電子信号(電圧波形)を計測するための装置であり、これを使用するためには次の 3 つの設定をする必要がある。

- 垂直軸(電圧レベル)設定、水平軸(時間単位)設定、トリガー設定(波形をどこで捕えるか) (Fig. 3 参照)

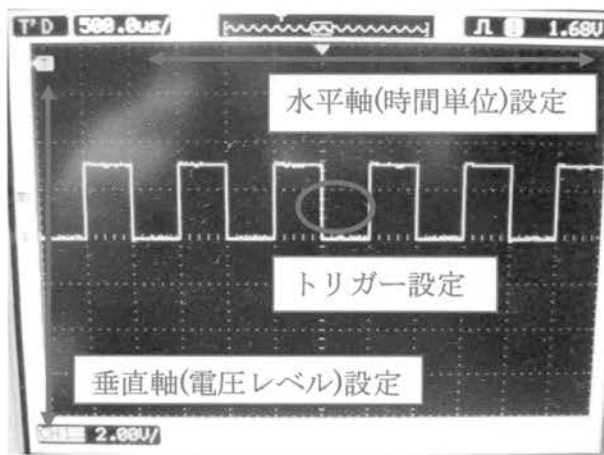


Fig. 3 オシロスコープ画面

3. 2. 2 単発波形の測定

マイコンの動作波形は1度しか発生しない信号がほとんどである。このときはSingleモードで測定する。小型TV用リモコンの信号を受信器で受けると、ボタン1(CH1)の場合、Fig. 4のような波形が観測される。

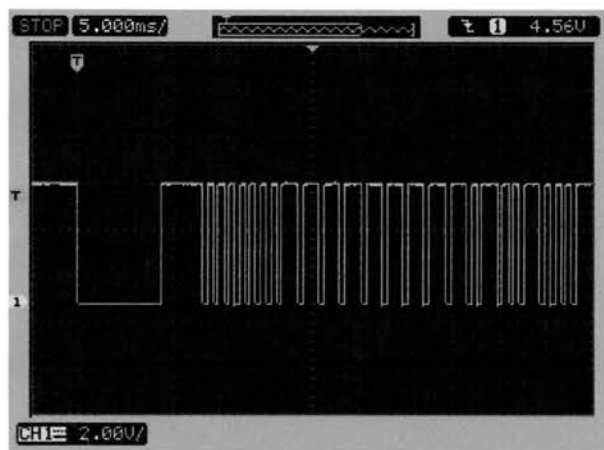


Fig. 4 CH1のNEC送信フォーマット

4. 2節で述べる「赤外線リモコン送信機プログラム」のベースプログラムの場合 Fig. 5のような波形が観測される。

この課題では、プログラムをいじりながら、この波形のパルス幅を何度も何度も測定することになる。完成まで、少なくとも数時間はプログラム開発環境「クラウドWebコンパイラ」を使ったプログラムの変更・ビルドと、オシロスコープを使った単発波形計測、パ

ルス幅測定と格闘することになる。クラウドWebコンパイラとオシロスコープという、2つのツールの使い方がいつの間にか身に付く課題になっている。

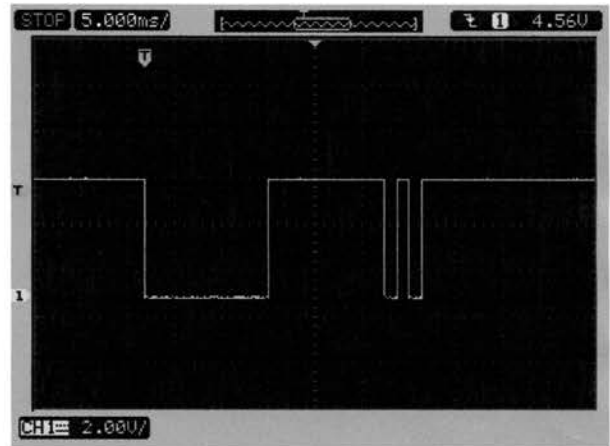


Fig. 5 サンプルプログラムの出力波形

4. 赤外線リモコン送受信器

4. 1 赤外線リモコンのデータ・フォーマット

よく使われている赤外線リモコンのデータ・フォーマットはNEC送信フォーマットと家電製品協会フォーマットである。本実験では赤外線リモコンの例としてAVOX社の7型ポータブルTV用リモコンを採用した (Fig. 6)。TV本体が小型軽量で持ち運びに便利なので実験向きであること、価格が安いこと、などがその理由である。



Fig. 6 7型ポータブルTV (AVOX社)

このTVはNEC送信フォーマットを使用しているので、これについて説明する。Fig. 7のように、リーダー部とデータ部からなる¹⁾。データ部はカスタムコ

ードとデータコードから構成されている。前者は会社ごとに違った番号を使用している。後者は、制御対象機器がTVならチャンネル番号などになる。

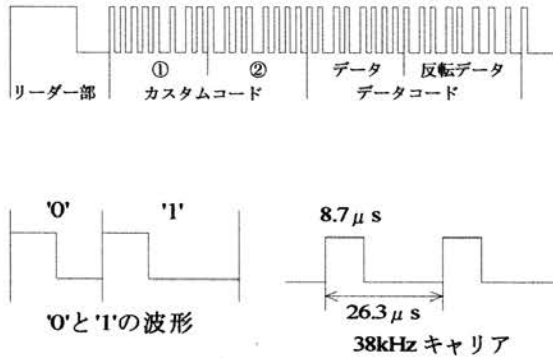


Fig. 7 NEC送信フォーマット

(Fig. 4は受光器を通した波形のため上下反転)

赤外線リモコンは38kHzで変調された光パルスを赤外線LEDから発することで通信している。この38kHzで変調された光パルスはキャリアと呼ばれるが、消費電力を抑えるため、図のようにデューティ比は1:3に設定されている。

リーダー部は、本機の場合、High Level 9ms、Low Level 4.5msとなっており、High Level 時間中のみ38kHzのキャリアが送出される。

データ部は2進数0、1の組合せで構成されており、図のようにパルス‘0’と‘1’は次のようなHigh Level (キャリアON)、Low Level (キャリアOFF) 時間の組合せとなっている。

パルス‘0’ : High 0.56ms Low 0.56ms
(計 1.12ms)

パルス‘1’ : High 0.56ms Low 1.69ms
(計 2.25ms)

3. 2節で示したFig. 4は、本機のリモコンでCH1を送った時のオシロスコープ波形(長いため全ビットは表示されていない)である。この写真からデータ部を解析すると次のようになっていることが分かる。

カスタムコード : 0000 0001 1111 1111
データコード : 1000 0000 0111 1111+0

(16ビット+ストップビット)

データコードは、チャンネル番号1(10進値)を2進数8ビットで表したものをLSB→MSBの順に並べたもの、及びその反転データになっていることが分かる。他のチャンネル制御信号もまさにこのルールになっていることが分かった。

4. 2 赤外線リモコン送信機のプログラミング

プログラミング開発環境「クラウドWebコンパイラ」の操作方法に従って新規プロジェクトを作る²⁾。CPUをR5F563に設定する。実験資料の1つとして用意したベースプログラムを参照してmain.cのプログラムを入力し、改良して行く。

プログラムのポイントは、

- (1) 38kHzのキャリアパルス波形はマイコンのタイマーZ1割込みを用いて生成する。
- (2) リーダー部やパルス‘0’、‘1’の波形は、ダミーループによりwait時間を発生させ、その長さにより生成する。

完成後、そのプログラムをビルド、実行する。

◎オシロスコープと赤外線受信機の準備

- 上のプログラムが正しく出来ていれば、スイッチSW0を押したとき、リーダー部のような波形がオシロスコープで観測される。
- その後ろに、‘0’の波形とストップビットも入れてある。(但し、パルス幅は仮の値)
- 関数 RederCode()内の待ち時間発生用繰返しルーチン(for文)を修正して、赤外線リモコンのリーダー部と同じ波形が出るように調整する。
- 関数 Send_0()の中の待ち時間発生用繰返しルーチン(for文)を修正して、‘0’の波形が正しく出力されるようにする。
- 関数 Send_0()にならって、関数 Send_1()の中にコードを追加し、‘1’の波形が正しく出力されるようにする。

- ・ オシロスコープで読み取った「7インチTVリモコン」のボタン1の波形に従って、カスタムコード、データコードを関数 OnPressButtonSW1(void)の中に追加する。
- ・ 例えば、カスタムコードは00000001・・・、データコードは1000・・・とする

これらの波形が正しく生成されれば、スイッチ SW0 を押したときにTVのチャンネルが1に変わる。同様に、CH2、CH3、・・・の波形も作り、TVのチャンネルが正しく切り替われば、赤外線リモコン送信器が完成したことが分かる。

5. 学習リモコンのプログラミング

5.1 小型液晶TVの赤外線リモコン

NEC フォーマットの赤外線リモコンの送信コードを本ボードの受光器 (Fig. 1) で受け、その波形を自動認識し、同じ信号波形を発生させる「学習リモコン」を作る。

◎プログラミングのポイント

- ・ タイマーZ0 割込みを使い、 $0.1\text{ms}=100\mu\text{s}$ ごとに受光器からの入力信号(PDR6)をチェックする。
 - OnTimer()関数を使用
- ・ リーダー部では、Low Level が約90回(9.0ms)続き、次にHigh Level が約45回(4.5ms)続くはず。
 - $100\mu\text{s}$ ごとにLow Level とHigh Level の連続回数を数え、それぞれ85回以上、44回以上続いたら、リーダー部が来たと判定
- ・ カスタムコード部、データ部でも、 $100\mu\text{s}$ ごとにLow Level とHigh Level の連続回数を数え、ビットコードの判定を行う。

◎使用法

- スイッチ SW0 →パラメータリセット
- リモコンのLEDをIrCOMボードの受光器に向け、どれかのCHボタンを押す。

- 赤外線LEDをTVに向け、スイッチ SW1 を押す。

→これでチャンネルが正しく変われば完成

5.2 大型液晶TVの赤外線リモコン

ここでは、Panasonic 社の液晶テレビ TH-P42ST3 を取り上げた。このリモコンでは家電製品協会フォーマットが使われている。

赤外線リモコンを使用する家電製品が増えたことに伴い、一部の家電製品が誤動作を生ずる可能性が指摘され、今後の普及拡大に伴う製品相互間の誤動作を未然に防ぐために、一般財団法人家電製品協会の家電製品協会フォーマットが作られた。このフォーマットはNEC フォーマットと同じく、リーダー部、カスタムコード、データコードで構成されるが、ビット長が異なり、カスタムコード、データコードはそれぞれ24ビットとNECフォーマットより長い。データコードを長く設定することでより多くの機能をボタンひとつで呼び出すことができている。

Fig. 8 にCH1を押したときの出力波形を記す(長いため全ビットは表示されていない)。

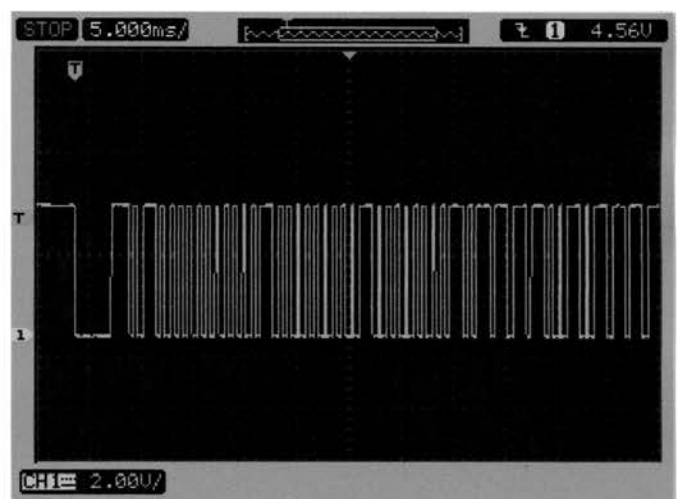


Fig. 8 CH1の出力波形

リーダーコード、及び論理値‘0’、‘1’のそれぞれのパルス幅をTable 2に記す。

Table 2 パルス幅の計測結果

	パルス幅 (ms)	
	High	Low
リーダー部	3.48	1.72
'0'	0.44	0.44
'1'	0.44	1.30

リーダー部では、Low Level が約 34 回、次に High Level が約 16 回続くはずである。

- ▶ 100 μ s ごとに Low Level と High Level の連続回数を数え、それぞれ 32 回以上、15 回以上続いたら、リーダー部が来たと判定する。

データ部でも 100 μ s ごとに Low Level と High Level の連続回数を数え、ビットコードの判定を行う。

5. 3 掃除ロボットの赤外線リモコン

ここでは、掃除ロボットの例として、(株)マミロボット・ジャパンの MamiRobot KF-501 を取り上げた。Fig. 9 は、赤外線リモコンの「前進」ボタンの波形である。

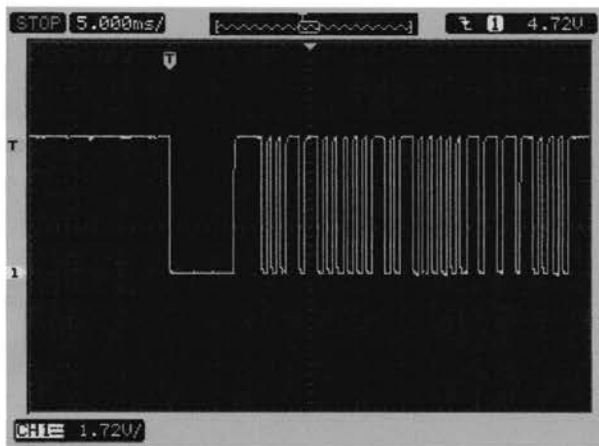


Fig. 9 「前進」ボタンのリモコン波形

リーダー部と 24 ビットからなるデータコードで構成されており、本機は独自フォーマットを用いていることが分かる。リーダー部のパルス幅は Low Level が 6.8ms、High Level が 3.0ms であった。

- ▶ 100 μ s ごとに Low Level と High Level の連続回

数を数え、それぞれ 65 回以上、28 回以上続いたら、リーダー部が来たと判定する。

5. 4 学習リモコンの製作

これら 3 種の家電製品は、製造会社も形態も赤外線リモコンのフォーマットも異なるが、全てリーダー部を持っており、そのパルス幅が異なるため、リーダー部を検知した段階で場合分けが可能である。それに対応してカスタムコード/データコードの認識を行い、同じ波形を生成・出力出来れば学習リモコンが完成する。

前回の実験教材ではこれを最終課題としていた。

6. 完全万能学習リモコンへの拡張

前節の学習リモコンは、送信波形をオシロスコープで確認し、波形フォーマットの特徴を理解した上で、リーダー部に対応した判定処理をプログラムに付け加えることでどのリモコンかの認識を行うものであった。どのリモコンかが分かれば、解析済みデータに基づいて、そのリモコンの仕様に合った波形を生成していた。

しかし、その後、更にいろいろな赤外線リモコンの波形を調べて行くうちに、前もって解析していない、未知のリモコンでも波形を認識し、同じ波形を出力できる方法があることに気が付いた。考え方を以下に述べる。

新たに対象としたリモコンは次の 3 機種である。

- ① DVD レコーダー Panasonic 社 NV-VP30 用
- ② 二足歩行ロボット Hitec 社 ROBONOVA 用
- ③ MD プレーヤー Panasonic 社 RX-MDX61 用

これらの波形の特徴を Table 3 に示す。前の 3 機種+このデータから分かる通り、少なくとも日本で使われているほとんどの赤外線リモコンの波形は 0.4~10.0ms の幅のパルスの組合せで作られていると仮定して良い、と考えることが出来る。

Table 3 新たな3機種 of 赤外線リモコン波形

リモコン	フォーマット	波形	パルス幅(ms)		ビット数
			High	Low	
①	家電協	リーダー部	3.6	1.6	24+24 =48
		'0'	0.6	0.4	
		'1'	0.6	1.1	
②	独自	リーダー部	5.0	1.0	6+6 =12
		'0'	0.6	0.4	
		'1'	0.6	0.8	
③	家電協	リーダー部	3.6	1.6	24+24 =48
		'0'	0.6	0.4	
		'1'	0.6	1.1	

従って、未知のリモコンにも対応する、完全万能リモコンを作るヒントとして、次の手順が考えられる。

- (1) 受信波形はHighとLowのパルス約100個以下からなる。
- (2) 受信波形を0.1ms(もしくは0.05ms)間隔でサンプリングし、それぞれのHighとLowのパルス幅をHighが連続した個数、Lowが連続した個数として記録する。→例えば、HighとLowが9ms、4.5msだった場合はそれぞれ90、45として記録。
- (3) 大きさ200の整数配列を用意し、上の個数を順次この配列に記録する。
- (4) 送信波形は、この配列の値に従った幅のHighとLowのパルスを生成していく。

この手順をヒントとして提示するだけで、完全万能リモコンの製作が比較的簡単な演習問題になることが分かったので、これを本実験の最終課題とする。

7. まとめ

前回報告した赤外線リモコン送受信器を題材にした組込みプログラム用電子教材を更に発展させ、新しい

高度なマイコンを使用した教材に変えただけで無く、学生がより興味を持つと考えられる「完全万能学習リモコン」を製作できる組み込み教材を開発した。本教材は、身の回りで多く用いられている赤外線リモコンの原理やそのための組み込みマイコンのプログラムを学ぶことが出来るだけでなく、ハンダ付けやオシロスコープの操作法を必然的にじっくりと学習することにもなるので、「組込みプログラム」教材として好適であると考えている。

進度の速い受講者は、機器の形態もフォーマットも問わない、未知の赤外線リモコンの波形を自動認識し、同じ波形を出力してそれぞれの機器をコントロール出来る「完全万能リモコン」の作り方を学ぶことが出来る。ますます挑戦しがいのある教材に仕上がったと考えている。

今回使用したGR-SAKURA-FULLボードはイーサネットコントローラを内蔵しているので、通信機能を利用し、スマートフォン等からメールを送って自宅の家電製品をコントロール出来る、通信機能付き学習リモコンの開発が今後の課題である。

例えば、本機に自宅のエアコンのリモコン波形を学習させる。帰宅途中でスマートフォンから制御メールを送ると、自宅のエアコンの電源を遠隔操作でオンにすることが出来る、と言った使い方が可能になる。

参考 Web サイト

- 1) <http://www5b.biglobe.ne.jp/~YAUSI/gallery/electronics/041219/041219.htm>
- 2) <http://tool-cloud.renesas.com/>

Strassen のアルゴリズムによる倍精度・多倍長正方形行列積の高速化

Acceleration of Double and Multiple Precision Square Matrix Multiplications by using Strassen's Algorithm

幸谷智紀*

Tomonori KOUYA*

Abstract: Strassen's algorithm is to accelerate matrix multiplication with the less numbers of arithmetics than usual one. Although we can find many related studies to accelerate sigle or double precision matrix multiplicaiton by using Strassen's algorithm, papers to accelerate multiple precision matrix multiplication are not found. In this paper, we estimate the performance of our implemented matrix multiplication program for any sizes of square matrixces, and then unveil the special properties in case of multiple precision as compared with double precision.

1. 初めに

科学技術計算が大規模化する昨今、高精度な数値解を得るために倍精度計算を超える演算精度が要求されるケースが増えている。しかし、一般にはソフトウェアで実装される高精度な多倍長浮動小数点演算（多倍長計算）は、ハードウェアが直接処理する単精度・倍精度に比べて多大な計算時間を要する。そのため、多倍長計算にはアルゴリズムやコンピューターアーキテクチャによる高速化支援が不可欠である。本稿では Strassen のアルゴリズムを用いた、特に多倍長行列積の高速化について、倍精度計算の結果と比較しながら議論する。

Strassen のアルゴリズムについては Higham のサーベイ³⁾が詳しい。それによると、1968 年の論文¹⁰⁾において Winograd が次のような提案を行ったことが発端のようである、

偶数次 n の正方形行列 $A, B \in \mathbb{R}^{n \times n}$ の積 $C := AB$ を求めるとする。この時、 $C = [c_{ij}] \in \mathbb{R}^{n \times n}$ の一要素を

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} = \sum_{k=1}^{n/2} (a_{i,2k-1} + b_{2k,j})(a_{i,2k} + b_{2k-1,j}) - \underbrace{\sum_{k=1}^{n/2} a_{i,2k-1} a_{i,2k}}_{(*)} - \underbrace{\sum_{k=1}^{n/2} b_{2k,j} b_{2k-1,j}}_{(**)} \quad (1)$$

と計算することにより、2 項目 (*) は C の i 行目の要素の計算、3 項目 (**) は j 列目の要素の計算においてはそれぞれ共通しているため、結果として C の計算全体としては乗算の回数を減らすことが出来る。このアルゴリズムの延長上に、Strassen のアルゴリズム⁹⁾が提案されることになる。

このようなアルゴリズムを Winograd が考案した理由を Higham は次のように解説する。

「Winograd の論文は即座に実用化できるアルゴリズムを提案している。というのも、1960 年代のコンピュータは浮動小数点演算の乗算が加算に比べて 2~3 倍低速なのが普通だったからである」。続けて、「現代のマシンでは両者の計算時間の差はなくなっている」としている。

ハードウェアで実行される倍精度演算においては確かに Higham が指摘する通り乗算だけ減らすことはあまり意味がなく、後に Strassen のアルゴリズムを倍精度行列積計算の高速化に適用する際には、乗算と加算の両方あわせたトータルの

演算量が減っていることに着目するようになる。現在は GPU 上における倍精度行列積の高速化も行われるようになっており⁶⁾、LU 分解¹¹⁾、QR 分解への応用⁴⁾も提案されている。

しかし、ソフトウェアによる実装がなされる多倍長計算では、計算桁数が伸びれば伸びるほど乗算が加算より低速になっていく。従って、Winograd による最初の式 (1)、つまり乗算の削減効果を期待しての提案が、多倍長行列積計算の高速化に生きてくる。倍精度計算の結果と比較することによって更にその効果が分かりやすく提示できる。

本稿ではまず、Strassen のアルゴリズムと、その変種である Winograd の改良アルゴリズムを述べ、任意次数の行列積計算に適応させるための主要である動的パディング (dynamic padding) と動的ピーリング (dynamic peeling) について説明する。次に、ベンチマークテストによって倍精度・多倍長精度の正方形行列積の高速化が達成できることを示し、両者の差を分析する。最後にまとめと今後の課題を述べる。

2. Strassen のアルゴリズムについて

我々が実装した倍精度・多倍長精度の行列積計算プログラムは、偶数次数の際には以下で述べる Strassen のアルゴリズム、もしくは Winograd の改良アルゴリズムをベースにした計算を行い、奇数次の際には動的パディングと動的ピーリングを適用して計算を行うようになっている。それぞれのアルゴリズムをここで解説する。

2.1 Strassen のアルゴリズム

偶数次数 n の正方形行列 A, B に対して、行列積 $C := AB$ を計算するに際し、Strassen のアルゴリズムは次のように行列を 4 等分割してブロック化して計算を行う。

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

この時、 $A_{ij}, B_{ij} \in \mathbb{R}^{n/2 \times n/2}$ である。このようにブロック化した A, B を用いて、まず次の $P_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ の計算を行う。

$$P_1 := (A_{11} + A_{22})(B_{11} + B_{22})$$

$$P_2 := (A_{21} + A_{22})B_{11}$$

$$P_3 := A_{11}(B_{12} - B_{22})$$

$$P_4 := A_{22}(B_{21} - B_{11})$$

$$P_5 := (A_{11} + A_{12})B_{22}$$

$$P_6 := (A_{21} - A_{11})(B_{11} + B_{12})$$

$$P_7 := (A_{12} - A_{22})(B_{21} + B_{22})$$

これらを用いて、 C の計算を次のように行う。

$$C := \begin{bmatrix} P_1 + P_4 - P_5 + P_7 & P_3 + P_5 \\ P_2 + P_4 & P_1 + P_3 - P_2 + P_6 \end{bmatrix} \quad (4)$$

このアルゴリズムを適用することにより、 n 次正方行列の行列積に必要な乗算量 $M(n)$ と加減算 $A(n)$ とすると、

$$M(n) = 7M(n/2), A(n) = 18A(n/2)$$

となる。これを再帰的に適用していくことにより、結果として演算量が通常の行列積アルゴリズムより減らすことができる。

2.2 Winograd の改良法

Winograd の改良アルゴリズムは、偶数次数の行列 A, B を (2) のようにブロック化した後、次のように 3 段階で計算を行う。

$$S_1 := A_{21} + A_{22}$$

$$S_2 := S_1 - A_{11}$$

$$S_3 := A_{11} - A_{21}$$

$$S_4 := A_{12} - S_2$$

$$S_5 := B_{12} - B_{11}$$

$$S_6 := B_{22} - S_5$$

$$S_7 := B_{22} - B_{12}$$

$$S_8 := S_6 - B_{21}$$

$$M_1 := S_2 S_6$$

$$M_2 := A_{11} B_{11}$$

$$M_3 := A_{12} B_{21}$$

$$M_4 := S_3 S_7$$

$$M_5 := S_1 S_5$$

$$M_6 := S_4 B_{22}$$

$$M_7 := A_{22} S_8$$

$$T_1 := M_1 + M_2$$

$$T_2 := T_1 + M_4$$

(5) → (6) → (7) の順に計算した後、 C の計算を次のように行う。

$$C := \begin{bmatrix} M_2 + M_3 & T_1 + M_5 + M_6 \\ T_2 - M_7 & T_2 + M_5 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Winograd の改良アルゴリズムの演算量は

$$M(n) = 7M(n/2), A(n) = 15A(n/2)$$

となり、Strassen のアルゴリズムに比べ、3 回分、行列の加減算が少なくなっていることが分かる。

2.3 動的パディングと動的ピーリング

次元数 n が奇数時の時には、行列サイズを増やして偶数次にする (パディング) か、行列サイズを減らして偶数部分と奇数部分のブロック化を行うか (ピーリング) するかのどちらかの方法を使う必要がある。

パディングのする際には、例えば適当な奇数次 d を用いて $n+d$ 次の行列 \tilde{A}, \tilde{B} を次のように作って $\tilde{C} := \tilde{A}\tilde{B}$ の計算を行えばよい。

$$\tilde{A} := \left[\begin{array}{c|c} A & 0 \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right], \tilde{B} := \left[\begin{array}{c|c} B & 0 \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right]$$

$$\Rightarrow \tilde{C} := \tilde{A}\tilde{B} = \left[\begin{array}{c|c} C & 0 \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right]$$

$C := AB$ であるから、この部分に Strassen のアルゴリズム、もしくは Winograd の改良アルゴリズムを使用することになる。

ピーリングは行列をそれぞれ偶数次数になるように奇数次 $d (< n)$ を決め、 $n-d$ 次と d 次に不均等にブロック化して計算を行う。

$$A := \left[\begin{array}{c|c} A_{11} & A_{12} \\ \hline A_{21} & A_{22} \end{array} \right], B := \left[\begin{array}{c|c} B_{11} & B_{12} \\ \hline B_{21} & B_{22} \end{array} \right]$$

この結果、行列 C は

$$\Rightarrow C := AB = \left[\begin{array}{c|c} C_{11} & C_{12} \\ \hline C_{21} & C_{22} \end{array} \right]$$

となる。ここで各ブロック $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$ は

$$C_{11} := A_{11}B_{11} + A_{12}B_{21}$$

$$C_{12} := A_{11}B_{12} + A_{12}B_{22}$$

$$C_{21} := A_{21}B_{11} + A_{22}B_{21}$$

$$C_{22} := A_{21}B_{12} + A_{22}B_{22}$$

となる。基本的には下線部の行列積の計算のみに Strassen のアルゴリズム、もしくは Winograd の改良アルゴリズムを用いる。

3. ベンチマークテスト

以上のアルゴリズムを用いて倍精度・多倍長精度の正方行列積のベンチマークテストを行う。計算は全て下記の環境を用いている。4 コアマシンではあるが、今回は並列化を行わず、全てシングルスレッド実行である。

H/W Intel Core i7 3850 (3.6GHz), 64GB RAM

S/W Scientific Linux 6.3 x86_64, Intel C Compiler Ver.13.0.1, BNCpack 0.8⁵⁾/MPFR 3.1.2⁸⁾/GMP 5.1.3¹⁾

倍精度計算, 多倍長計算の行列積 $C := AB$ において使用した正方行列 $A, B \in \mathbb{R}^{n \times n}$ は下記の通りである.

$$A = [\sqrt{5}(i+j-1)]_{i,j=1}^n, B = [\sqrt{3}(n-i)]_{i,j=1}^n$$

ベンチマークテストは複数回実施し, 計算時間及び計算誤差の再現性があることを確認してある. また, 2秒以内の計算時間の場合は2秒以上になるまで計算回数を増やして平均値を算出している. 計算時間計測は times 関数を利用し, システム時間を算出し, それを計算時間としている.

3.1 倍精度正方行列積

近年は CPU の性能向上のスピードにメモリアクセスの性能が追い付いていないため, 演算コアに近い所に高性能なキャッシュメモリが2階層以上設けるアーキテクチャが主流となっている. メインメモリから転送されたデータはキャッシュメモリに一時的に置かれるため, 一度キャッシュメモリに入ったデータを再利用する頻度が高ければ高いほど, メモリアクセスに要する時間は軽減されることになる. ことに演算に要する時間が短い低精度計算の場合はこの影響が非常に大きくなる.

加えて倍精度演算は並列性能を上げるための SIMD(Single Instruction Multiple Data) 命令を利用することによって, 高速な計算が可能になることが多い. ことに行列積計算のような単純なアルゴリズムに対してはその効果は極めて高い.

メモリアクセスの最適化と, SIMD 命令の両方を用いて, 徹底的に高速化を図った高性能数値計算ライブラリが Intel Math Kernel Library(IMKL)⁷⁾ である. この中には BLAS²⁾ ベースの API を備えており, 基本線型計算機能, 特に行列演算 (BLAS Level 3) の計算の高速性には定評がある.

我々は倍精度の行列積計算には全てこの IMKL を使用して実装を行い, Strassen や Winograd のアルゴリズムを用いてどの程度の高速性を達成できるかを追求することにした. その結果を Table 1 に示す. ブロックサイズは 1024 次とし, これを下回るサイズの行列積は Intel Math Kernel の cblas_dgemm 関数を使用して計算を行っている.

メインメモリに収まる行列サイズの計算に留めるため, 16385 次までの計算まで実行し, 次のことが判明した.

1. 4097 次以下の行列積計算では, IMKL の方がおおむね高速である.
2. 8192, 16383, 16384 次の行列積計算では, Strassen, Winograd のアルゴリズムが高速になっている. 但し, 動的ピーリングを行う $2^n + 1$ 次の計算時間が悪化している.
3. 要素ごとの最大相対差異 (IMKL の結果を真値とした相対誤差) は, Strassen のアルゴリズムの方が若干大きくなっている.

動的ピーリングの性能悪化の原因は, 余剰部分の計算に時間を要しているためと思われる.

3.2 多倍長正方行列積

多倍長計算の場合, 前述したように, 加算と乗算の計算時間の差が, 計算桁数=仮数部の桁数が長くなるにつれて広がる. ベンチマークテストを行った環境では, Fig.1 に示す通り, 約 1.7 倍から約 8.6 倍まで差が開く.

従って, 乗算の計算回数が少なくなる Winograd の改良アルゴリズムの方が, Strassen のアルゴリズムに比べて計算時間が短くなることが期待される. 加えて, 前述したように階層化

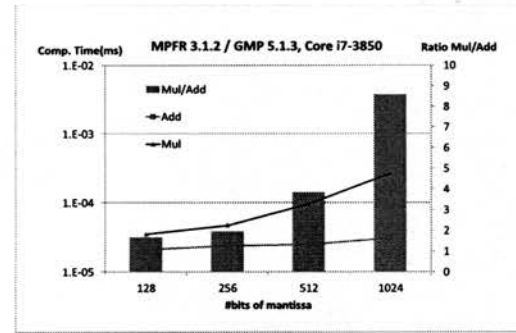


Fig. 1: 多倍長浮動小数点乗算 (Mul) と加算 (Add) の計算時間と比

されたメモリアクセスのコストが多倍長計算においても問題になってくる.

上記2点のことを考慮し, 我々のベンチマークテストでは次の4タイプの正方行列積計算を行った.

Simple 単純な3重ループによる実装

Block 正方行列を均等なサイズ (16, 32, 64 次) にブロック化 (+パディング) して行列積計算を行う実装

Strassen Strassen のアルゴリズムを使用した実装

Winograd Winograd の改良アルゴリズムを使用した実装

これらのベンチマーク結果を, 2進128桁 (10進約38桁) 計算の場合 (Table 2) と, 2進1024桁 (10進約308桁) 計算の場合 (Table 3) に示す.

Table 2, 3 を比較することにより, 次のことが判明した.

1. 単純3重ループ (Simple) の場合, 2進128桁計算における計算時間の振幅が激しい. これはキャッシュメモリアクセスのミスが頻発していることが関係していると思われる. 2進1024桁計算になるとその差は少なくなっており, キャッシュミスより演算量の増大の影響が大きいためと思われる.
2. ブロック化 (Block) したアルゴリズムでは, 安定した計算時間を得られている. また, 行列サイズが大きくなった時には安定的に単純3重ループ計算より高精度な結果が得られている.
3. Strassen のアルゴリズムより, Winograd の改良アルゴリズムの方が全般的に高速であり, ことに行列サイズと計算桁数が大きいほどのその傾向が強い. 行列の加減算の低減効果が大きいものと思われる.

それぞれの計算桁数における成分の相対誤差の最大値を Table 4, 5 に示す.

128bit 計算, 1024bits 計算どちらも次元数が高くなるにつれて Strassen, Winograd のどちらも他の計算法に比べて相対誤差が大きくなるのが分かる. この例では10進約1~3桁程度悪くなることもあり, 特に Winograd にワーストケースが多く見受けられる.

Table 1: 倍精度正方行列積の計算時間(秒)と最大相対差異(対IMKL)

$n \times n$	Computational Time (Unit: seconds)			Max. Relative Differences	
	IMKL	Strassen	Winograd	Strassen	Winograd
1023 x 1023	0.08438	0.08313	0.08531	0.00E+00	0.00E+00
1024 x 1024	0.08281	0.08219	0.08437	0.00E+00	0.00E+00
1025 x 1025	0.08719	0.13875	0.14	6.42E-15	2.68E-15
2047 x 2047	0.6575	0.785	0.785	2.99E-15	1.49E-15
2048 x 2048	0.6525	0.71	0.7125	2.88E-15	1.53E-15
2049 x 2049	0.675	1.135	1.185	1.29E-14	4.66E-15
4095 x 4095	5.2	5.77	5.69	8.55E-15	1.57E-15
4096 x 4096	5.22	5.51	5.46	8.83E-15	1.57E-15
4097 x 4097	5.32	9.1	9.02	2.50E-14	2.39E-15
8191 x 8191	41.63	41.73	41.32	2.06E-14	1.76E-15
8192 x 8192	41.54	40.73	40.03	2.03E-14	1.69E-15
8193 x 8193	42.4	66.68	66.42	8.36E-14	4.86E-15
16383 x 16383	354.89	297.31	307.04	5.30E-14	2.18E-15
16384 x 16384	329.74	291.66	280.72	4.08E-14	1.79E-15
16385 x 16385	344.41	479.86	480.21	1.68E-13	5.12E-15

Table 2: 多倍長正方行列積のベンチマークテスト(2進128桁, 単位: 秒)

$n \times n$	Simple	Block(16)	Block(32)	Block(64)	min(Simple, Block)	Strassen	Winograd
31 x 31	0.00161	0.00227	0.00155		0.00155	0.00157	0.00161
32 x 32	0.00175	0.00244	0.00173		0.00173	0.00175	0.00175
33 x 33	0.00189	0.00328	0.00443		0.00189	0.00217	0.00219
63 x 63	0.01414	0.01828	0.01844	0.0134	0.0134	0.01473	0.01484
64 x 64	0.01633	0.01898	0.01922	0.01527	0.01527	0.01395	0.01277
65 x 65	0.01523	0.02187	0.02438	0.03359	0.01523	0.01602	0.01477
127 x 127	0.12094	0.14938	0.14875	0.1625	0.12094	0.10531	0.09813
128 x 128	0.1425	0.15187	0.1525	0.17125	0.1425	0.10094	0.08625
129 x 129	0.12406	0.16188	0.16813	0.20312	0.12406	0.11	0.095
255 x 255	1.06	1.2	1.215	1.235	1.06	0.7175	0.63
256 x 256	1.245	1.215	1.22	1.25	1.215	0.7	0.57
257 x 257	1.04	1.25	1.28	1.365	1.04	0.735	0.6025
511 x 511	9.6	9.71	9.61	10.02	9.6	4.84	4.06
512 x 512	10.83	9.7	9.68	9.96	9.68	4.77	3.73
513 x 513	10.02	9.89	9.97	10.44	9.89	4.92	3.88
1023 x 1023	107.78	77.63	77.8	79.36	77.63	32.02	25.57
1024 x 1024	213.09	77.77	77.72	79.51	77.72	31.53	24.1
1025 x 1025	94.62	78.92	78.41	81.48	78.41	32.21	24.77
2047 x 2047	756.81	627.75	619.21	648.31	619.21	211.8	163.87
2048 x 2048	1679.04	624.86	618.87	639.71	618.87	211.19	155.67
2049 x 2049	632.74	623.24	625.69	640.84	623.24	212.79	157.52

Table 3: 多倍長正方行列積のベンチマークテスト (2進 1024 桁)

$n \times n$	Simple	Block(16)	Block(32)	Block(64)	min(Simple, Block)	Strassen	Winograd
31 x 31	0.00777	0.00992	0.00777		0.00777	0.00766	0.00773
32 x 32	0.00852	0.01086	0.00875		0.00852	0.00844	0.00852
33 x 33	0.00934	0.01258	0.01375		0.00934	0.00965	0.00969
63 x 63	0.06906	0.08313	0.08281	0.06594	0.06594	0.06125	0.06219
64 x 64	0.0725	0.08688	0.08688	0.06969	0.06969	0.06156	0.05453
65 x 65	0.07656	0.09156	0.09625	0.105	0.07656	0.0675	0.06078
127 x 127	0.615	0.6725	0.6775	0.6875	0.615	0.39875	0.365
128 x 128	0.665	0.6875	0.69	0.7025	0.665	0.39375	0.31125
129 x 129	0.6275	0.72	0.7275	0.7525	0.6275	0.4175	0.33375
255 x 255	5.5	5.46	5.47	5.54	5.46	2.33	1.95
256 x 256	5.77	5.53	5.53	5.64	5.53	2.31	1.72
257 x 257	5.68	5.61	5.72	5.8	5.61	2.41	1.81
511 x 511	45.73	43.81	43.96	44.51	43.81	13.4	10.57
512 x 512	49.71	44.37	44.31	44.2	44.2	13.02	9.44
513 x 513	46.58	44.37	44.77	45.12	44.37	13.38	9.81
1023 x 1023	372.1	352.79	354.37	353.15	352.79	76.93	57.98
1024 x 1024	463.79	356.1	356.85	355.99	355.99	74.58	52.47
1025 x 1025	385.24	356.58	357.17	361.24	356.58	76.36	54.22
2047 x 2047	3122.48	2829.43	2820.16	2833.66	2820.16	454.02	329.41
2048 x 2048	3754.89	2845.7	2824.34	2859.24	2824.34	446.87	302.56
2049 x 2049	2933.26	2829.95	2835.54	2859.66	2829.95	456.08	307.05

Table 4: 多倍長正方行列積の成分ごとの最大相対誤差 (2進 128 桁)

$n \times n$	Simple	Block(16)	Block(32)	Block(64)	Strassen	Winograd
31 x 31	1.02E-38	5.75E-39	1.02E-38		1.02E-38	1.02E-38
32 x 32	1.29E-38	7.00E-39	1.29E-38		1.29E-38	1.29E-38
33 x 33	1.31E-38	6.48E-39	1.35E-38		1.35E-38	1.35E-38
63 x 63	1.88E-38	5.23E-39	1.04E-38	1.88E-38	3.97E-38	3.97E-38
64 x 64	1.81E-38	7.58E-39	9.59E-39	1.81E-38	4.55E-38	1.59E-38
65 x 65	1.93E-38	8.69E-39	1.34E-38	1.93E-38	3.24E-38	1.93E-38
127 x 127	2.75E-38	7.47E-39	8.46E-39	1.16E-38	1.21E-37	3.58E-37
128 x 128	2.13E-38	7.57E-39	8.36E-39	1.04E-38	1.13E-37	1.70E-38
129 x 129	2.67E-38	7.80E-39	1.02E-38	1.16E-38	9.11E-38	2.45E-38
255 x 255	4.56E-38	1.09E-38	1.03E-38	1.18E-38	3.32E-37	2.35E-37
256 x 256	4.28E-38	1.06E-38	7.39E-39	1.23E-38	2.55E-37	1.95E-38
257 x 257	3.68E-38	1.25E-38	9.48E-39	1.31E-38	2.73E-37	3.68E-38
511 x 511	6.12E-38	2.02E-38	1.43E-38	1.19E-38	5.83E-37	7.48E-37
512 x 512	5.46E-38	1.74E-38	1.44E-38	1.26E-38	6.18E-37	2.19E-38
513 x 513	5.54E-38	1.77E-38	1.52E-38	1.16E-38	5.56E-37	5.81E-38
1023 x 1023	8.42E-38	2.12E-38	1.98E-38	1.55E-38	1.46E-36	4.58E-36
1024 x 1024	8.05E-38	2.12E-38	1.70E-38	1.22E-38	1.44E-36	1.85E-38
1025 x 1025	7.91E-38	1.94E-38	1.77E-38	1.63E-38	1.16E-36	7.91E-38
2047 x 2047	1.34E-37	4.33E-38	2.38E-38	1.85E-38	3.20E-36	2.25E-35
2048 x 2048	1.33E-37	3.59E-38	2.32E-38	1.83E-38	2.99E-36	2.12E-38
2049 x 2049	1.31E-37	3.31E-38	2.13E-38	2.16E-38	2.86E-36	1.31E-37

Table 5: 多倍長正方行列積の成分ごとの最大相対誤差 (2進1024桁)

$n \times n$	Simple	Block(16)	Block(32)	Block(64)	Strassen	Winograd
31 x 31	2.39E-308	7.80E-309	2.39E-308		2.39E-308	2.39E-308
32 x 32	2.42E-308	1.30E-308	2.42E-308		2.42E-308	2.42E-308
33 x 33	2.28E-308	1.62E-308	2.28E-308		2.28E-308	2.28E-308
63 x 63	3.30E-308	1.34E-308	1.55E-308	3.30E-308	8.06E-308	8.06E-308
64 x 64	3.53E-308	1.32E-308	1.57E-308	3.53E-308	9.52E-308	3.26E-308
65 x 65	3.24E-308	1.34E-308	1.28E-308	4.19E-308	7.48E-308	4.19E-308
127 x 127	3.64E-308	1.29E-308	1.61E-308	3.04E-308	2.12E-307	1.75E-307
128 x 128	4.20E-308	1.35E-308	1.55E-308	3.14E-308	1.83E-307	2.84E-308
129 x 129	4.69E-308	1.28E-308	1.65E-308	2.71E-308	2.03E-307	3.93E-308
255 x 255	5.66E-308	1.62E-308	2.59E-308	1.77E-308	6.88E-307	6.77E-307
256 x 256	5.49E-308	1.56E-308	1.81E-308	1.96E-308	7.60E-307	3.42E-308
257 x 257	5.50E-308	1.63E-308	1.97E-308	2.03E-308	5.98E-307	5.50E-308
511 x 511	9.73E-308	2.06E-308	2.04E-308	1.77E-308	1.26E-306	1.44E-306
512 x 512	9.65E-308	1.70E-308	1.86E-308	1.72E-308	1.28E-306	3.14E-308
513 x 513	1.01E-307	2.08E-308	2.03E-308	2.32E-308	1.53E-306	1.01E-307
1023 x 1023	1.61E-307	2.87E-308	3.22E-308	2.46E-308	2.65E-306	1.96E-305
1024 x 1024	1.61E-307	3.55E-308	3.83E-308	2.98E-308	2.67E-306	3.72E-308
1025 x 1025	1.65E-307	3.40E-308	3.47E-308	2.32E-308	2.55E-306	1.73E-307
2047 x 2047	2.06E-307	4.05E-308	4.39E-308	3.09E-308	6.56E-306	7.46E-305
2048 x 2048	2.17E-307	4.25E-308	4.54E-308	4.19E-308	6.30E-306	3.64E-308
2049 x 2049	2.15E-307	4.39E-308	4.39E-308	3.27E-308	5.79E-306	2.05E-307

4. 結論と今後の課題

以上のベンチマークテストの結果、次のことが分かった。

- 倍精度計算においては動的パディングより動的ピーリングの非効率性が明らかとなった。また、かなり大規模な行列サイズでなければ Strassen のアルゴリズムの効果が発揮できないことも判明した。
- 多倍長計算においては、下記のことを明らかとなった。
 - 計算桁数が比較的小さい時は、ブロック化アルゴリズムが効果的である。
 - Strassen のアルゴリズムより Winograd の改良アルゴリズムの方が計算時間の点で有利である。
 - 演算誤差についてはどちらも通常の方法より 1~3 桁程度悪化する。

今後の課題としては、次のことが挙げられる。

- 動的パディングと動的ピーリングの混在アルゴリズムの最適化。
- 誤差と計算時間の最適化を自動的に行うチューニング機構の検討。
- GPU, Intel MIC 等のハードウェアアクセラレータへの適用。

参考文献

- 1) Swox AB. The GNU Multiple Precision arithmetic library. <http://gmplib.org/>.
- 2) BLAS. <http://www.netlib.org/blas/>.
- 3) Nicholas J. Higham. *Accuracy and Stability of Numerical Algorithms*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, USA, second edition, 2002.

- 4) Philip A. Knight. Fast rectangular matrix multiplication and QR decomposition. *Linear Algebra and its Applications*, Vol. 221, No. 0, pp. 69–81, 1995.
- 5) Tomonori Kouya. BNCpack. <http://na-inet.jp/na/bnc/>.
- 6) Junjie Li, Sanjay Ranka, and Sartaj Sahni. Strassen's matrix multiplication on gpus. In *Proceedings of the 2011 IEEE 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems, ICPADS '11*, pp. 157–164, Washington, DC, USA, 2011. IEEE Computer Society.
- 7) Intel Math Kernel Library. <http://www.intel.com/software/products/mkl/>.
- 8) MPFR Project. The MPFR library. <http://www.mpfr.org/>.
- 9) Volker Strassen. Gaussian elimination is not optimal. *Numerische Mathematik*, Vol. 13, No. 4, pp. 354–356, 1969.
- 10) S. Winograd. A new algorithm for inner product. *IEEE Trans. Comput.*, Vol. 17, No. 7, pp. 693–694, July 1968.
- 11) 古井充, 鈴木健二, 後保範. 拡張ストラッセン法の連立一次方程式への応用. 京大数理研講義録, Vol. 1362, pp. 38–46, 2004.

非負値行列因子分解のアフィン代数多様体としての次元について

On the Dimension of Affine Algebraic Variety of Non-negative Matrix Factorization

松田 健*

Takeshi MATSUDA

Abstract: The purpose of this paper is to investigate the solution space of non-negative matrix factorization. In this paper, we will deal with simple case of non-negative matrix factorization and survey the property of an ideal in non-negative matrix factorization.

1. はじめに

非負値行列因子分解とは、与えられた非負値の要素をもつ行列 T を、以下のように非負値の要素をもつ2つの行列 A, B の積に分解することをいう。

$$T = AB \quad (1)$$

ここで、 T, A, B はそれぞれ以下のような $n \times m$ 行列、 $n \times p$ 行列、 $p \times m$ 行列であるとする。

$$T = (t_{i,j_1})_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j_1 \leq m}, \quad t_{i,j_1} \geq 0$$

$$A = (a_{i_2,j_2})_{1 \leq i_2 \leq n, 1 \leq j_2 \leq p}, \quad a_{i_2,j_2} \geq 0$$

$$B = (b_{i_3,j_3})_{1 \leq i_3 \leq p, 1 \leq j_3 \leq m}, \quad b_{i_3,j_3} \geq 0$$

非負値行列因子分解は、以下の例が示す通り一意的でない。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

しかしながら、このような分解の一意性が成り立たないにも関わらず、非負値行列因子分解は非負値で表現されるデータを扱う、例えば、音響信号処理¹⁾や画像解析²⁾といった分野で応用されており、その有用性が知られている。非負値因子行列分解を実現するアルゴリズムは Lee³⁾ らによって与えられており、このアルゴリズムを改良する多くの研究が行われている。

本研究では、非負値行列因子分解をパラメータ付きの連立多項式の解を求める問題と捉え、それから得られるアフィン代数多様体とその定義イデアルがもつ性質について調べる。本稿の構成は以下の通りである。2章では非負値行列因子分解を実現する際にあるアフィン代数多様体を考えていることを示し、非負値行列因子分解を実現する

Lee³⁾ らのアルゴリズムを紹介する。3章では単純な場合の非負値行列因子分解を実現するアフィン代数多様体の不変量がもつ性質について調べ、4章でまとめを行う。

2. 非負値行列因子分解のアルゴリズム

(1) 式は、以下の連立多項式を表現するものである。

$$f_{ij}(a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_p}, b_{1_j}, b_{2_j}, \dots, b_{p_j}) = t_{ij} \quad (2)$$

ただし、 $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$ であり、

$$f_{ij}(a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_p}, b_{1_j}, b_{2_j}, \dots, b_{p_j}) = \sum_{k=1}^p a_{ik} b_{kj}$$

とおいた。 $t_{ij} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$ は与えられるデータであるため、非負値因子行列の目標は (2) 式を満足する $a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_p}, b_{1_j}, b_{2_j}, \dots, b_{p_j} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$ を求めることになる。したがって、非負値行列因子分解を求めることは座標の値がすべて非負であるという制約をもつ実アフィン代数多様体

$$V(f_{ij}) = \{(a_{i_2}, b_{i_3}) \mid f_{ij} = t_{ij}, a_{i_2,j_2} \geq 0, b_{i_3,j_3} \geq 0\} \quad (3)$$

について考えていることに他ならない。本稿ではこれを、非負値行列因子分解を実現するアフィン代数多様体と呼ぶことにする。非負値行列因子分解を実現するアルゴリズムは、Lee³⁾ らや他の研究者によって与えられているが、それらは (3) 式で与えられるアフィン代数多様体 $V(f_{ij})$ を考えるのではなく、以下のようにして定義される関数を制約条件

$$a_{i_2, j_2} \geq 0, b_{i_3, j_3} \geq 0$$

のもとで最小にする行列 A, B を求めている。したがって、後者の方法で求めた非負値行列因子分解では、厳密には

(1) 式は成立しない。

$$d_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (f_{ij} - t_{ij})^2 \quad (4)$$

$$d_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(t_{ij} - \log \frac{t_{ij}}{f_{ij}} - t_{ij} + f_{ij} \right) \quad (5)$$

$$d_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{t_{ij}}{f_{ij}} - \log \frac{t_{ij}}{f_{ij}} - 1 \right) \quad (6)$$

以下、Lee³⁾ らによる (4) 式の最適化に対応する Multiplicative update rules と呼ばれるアルゴリズムを紹介する。

[Multiplicative update rules]

まず 0 でない初期値 $a_{ik}^{(0)}, b_{kj}^{(0)}$ を用意し、以下の式を用いて

a_{ik}, b_{kj} の値を更新する。

$$a_{ik}^{(t+1)} = a_{ik}^{(t)} \frac{\sum_{j=1}^m t_{ij} b_{kj}^{(t)}}{\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p (a_{il}^{(t)} b_{lj}^{(t)}) b_{kj}^{(t)}} \quad (7)$$

$$b_{kj}^{(t+1)} = b_{kj}^{(t)} \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij} a_{ik}^{(t+1)}}{\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^p (a_{il}^{(t)} b_{lj}^{(t)}) a_{ik}^{(t+1)}} \quad (8)$$

以下、Multiplicative update rules の計算例を与える。Multiplicative update rules はすべて 50 回繰り返すことにする。

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}$$

とにおいて、 $T = AB$ を満たす行列 A, B を求める。

(1) 初期値を

$$a_{11}^{(0)} = a_{12}^{(0)} = a_{21}^{(0)} = a_{22}^{(0)} = 1$$

$$b_{11}^{(0)} = b_{12}^{(0)} = b_{21}^{(0)} = b_{22}^{(0)} = 1$$

とする。このときの結果は以下の通りである。

$$T \approx \begin{pmatrix} 0.00 & 0.56 \\ 1.56 & 0.75 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.42 & 1.85 \\ 1.79 & 0.14 \end{pmatrix}$$

(2) 初期値を

$$a_{11}^{(0)} = a_{12}^{(0)} = a_{21}^{(0)} = a_{22}^{(0)} = 0.5$$

$$b_{11}^{(0)} = b_{12}^{(0)} = b_{21}^{(0)} = b_{22}^{(0)} = 0.5$$

とする。このときの結果は以下の通りである。

$$T \approx \begin{pmatrix} 0.00 & 0.93 \\ 2.90 & 0.68 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.44 & 1.02 \\ 1.07 & 0.04 \end{pmatrix}$$

(3) 初期値を

$$\begin{pmatrix} a_{11}^{(0)} & a_{12}^{(0)} \\ a_{21}^{(0)} & a_{22}^{(0)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.01 \\ 0.001 & 0.0001 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} b_{11}^{(0)} & b_{12}^{(0)} \\ b_{21}^{(0)} & b_{22}^{(0)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 100 \\ 1000 & 10000 \end{pmatrix}$$

とする。このときの結果は以下の通りである。

$$T \approx \begin{pmatrix} 0.0040 & 0.0000 \\ 0.0030 & 0.0002 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 245.82 & 10.03 \\ 4699.24 & 11119.31 \end{pmatrix}$$

上述の計算例のように非負値行列因子分解は、その初期値の置き方によってまったく傾向のことなる計算結果が得られることが分かる。これはこの章の冒頭部分で与えた非負値行列因子分解を実現するための連立多項式の解空間に自由度が存在することに起因する。そこで本研究では、単純な場合の非負値行列因子分解を実現するアフィン代

数多様体 $V(f_j)$ のイデアルのグレブナー基底⁴⁾を調べ、非負値行列因子分解を実現する連立多項式のもつ性質を明らかにする。

3. 非負値行列因子分解のグレブナー基底

3.1 問題設定

非負値行列因子分解の計算は一般的に実数体上で行われるが、実際の計算はコンピュータ上で行うため、以下、非負有理数を係数とする多項式環

$$S = \mathbb{Q}_{\geq 0}[a_{11}, \dots, a_{1m}, b_{11}, b_{21}, \dots, b_{m1}, b_{m2}]$$

について考えることとする。

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} \end{pmatrix}$$

とし、非負値行列因子分解 $T = AB$ を考える。このとき、非負値行列因子分解は以下の連立多項式によって得られる。

$$f_1 = \sum_{k=1}^m a_{1k} b_{k1} - t_{11}$$

$$f_2 = \sum_{k=1}^m a_{1k} b_{k2} - t_{12}$$

ただし、行列 A, B の成分は非負有理数である。非負値因子行列を実現するアフィン代数多様体 $V(f_1, f_2)$ に対応する定義イデアル

$$I(V(f_1, f_2)) = \{f \in S \mid f(P) = 0, P \in V(f_1, f_2)\}$$

については、 $\langle f_1, f_2 \rangle \neq I(V(f_1, f_2))$ となることから、一般の定義イデアルがもつ性質と同様に以下の結論が得られる。

[命題 1] 非負値行列因子分解を実現するアフィン代数多様体において $\langle f_{11}, \dots, f_{nm} \rangle = I(V(f_{11}, \dots, f_{nm}))$ は一般的に成り立たない。■

これから、非負値行列因子分解を実現する際に必要となる連立多項式の解空間について調べるために、アフィン代数多様体 $V(f_1, f_2)$ に対応する定義イデアル $I(V(f_1, f_2))$ について計算する。そのために、イデアル $\langle f_1, f_2 \rangle$ のグレブナー基底を考える。

3.2 グレブナー基底の定義と主結果

多項式環 S における単項式を、多重指数を用いて

$$a^\alpha = a_{11}^{\alpha_1} a_{12}^{\alpha_2} \dots a_{m2}^{\alpha_{3m}}$$

と表す。多重指数 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{3m})$ は非負

整数であるから、単項式全体の集合は $Z_{\geq 0}^{3m}$ と同一視することができる。ただし、 $Z_{\geq 0}$ は非負整数全体の集合である。

いま、 $\alpha, \beta \in Z_{\geq 0}^{3m}$ に対して、ある $i (1 \leq i \leq 3m)$ が存在して、 $\alpha_1 = \beta_1, \dots, \alpha_{i-1} = \beta_{i-1}$ かつである $\alpha_i = \beta_i$ と

なるときに限り $\alpha > \beta$ と定義することにする。このようにして定義される順序のことを多項式順序といい、以下の性質をもつことが知られている。

- $Z_{\geq 0}^{3m}$ の任意の部分集合に最小元が存在する
- $\alpha, \beta \in Z_{\geq 0}^{3m}$ に対して、 $\alpha > \beta, \alpha = \beta, \alpha < \beta$ のいずれかが成り立つ
- 任意の $\gamma \in Z_{\geq 0}^{3m}$ に対して $\alpha > \beta$ なら、 $\alpha + \gamma > \beta + \gamma$ が成り立つ

ここで、 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{3m}), \gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{3m})$ とすると、 $\alpha + \gamma = (\alpha_1 + \gamma_1, \alpha_2 + \gamma_2, \dots, \alpha_{3m} + \gamma_{3m})$ と定義

する. また, $\alpha = (0, 0, \dots, 0)$ のときは $a^\alpha = 1$ とする.
本稿では以下のように順序を定義することとする.

$$a_{11} > a_{12} > \dots > a_{1m} > b_{11} > b_{12} > \dots > b_{m1} > b_{m2}$$

多項式 $f = \sum_{\alpha} c_{\alpha} a^{\alpha}$ において辞書式順序で最大となる単項式を先頭項といい, $LT(f)$ で表すことにする. また,

S のイデアル I に対して, $LT(I) = \{LT(g) | g \in I\}$ と定義する. このとき, グレブナー基底は以下のように定義される.

[定義 1]

S のイデアル I の生成元の集合 $\{h_1, h_2, \dots, h_k\}$ に対して

$$LT(I) = \langle LT(h_1), LT(h_2), \dots, LT(h_k) \rangle$$

が成り立つとき, $\{h_1, h_2, \dots, h_k\}$ を I のグレブナー基底という.

一般的に, イデアル I の生成元の集合 $H = \{h_1, h_2, \dots, h_k\}$ がグレブナー基底になるとは限らない. しかし, $LT(h_i)$ と $LT(h_j)$ の最小公倍数を

$LCM(h_i, h_j)$ としたとき,

$$S(h_i, h_j) = \frac{LCM(h_i, h_j)}{LT(h_i)} h_i - \frac{LCM(h_i, h_j)}{LT(h_j)} h_j$$

を計算し, $S(h_i, h_j)$ を H で割った余りを h_k とし, これを集合 H に加え, $i < j$ に対して上記の作業を繰り返すことでグレブナー基底が得られることが知られている. 本研究では, 3.1 で与えた非負値行列因子分解を実現するアフィン代数多様体 $V(f_1, f_2)$ の性質が, 行列 A の列の個数 (または行列 B の行の個数) m の値から受ける影響を, アフィン代数多様体の不変量である次元を用いて調べ

た. アフィン代数多様体の次元を, 定義イデアルのアフィンヒルベルト多項式の次数として定義するとき, 以下の定理が得られる.

[定理 1]

T, A, B をそれぞれ 1×2 型, $1 \times m$ 型, $m \times 2$ 型の非負値行列とする. このとき, 非負値行列因子分解を実現するアフィン代数多様体の次元は $2m - 2$ である. ■

定理 1 の略証を以下に与える. $f_3 = S(f_1, f_2)$ とおくと,

$$S(f_1, f_3) \in \langle f_2, f_3 \rangle, S(f_2, f_3) \in \langle f_1, f_2 \rangle$$

となり, 多項式の集合 $\{f_1, f_2, f_3\}$ はイデアル I のグレブナー基底である

ことが分かる. また, $\langle f_1, f_2, f_3 \rangle = I(V(f_1, f_2))$ となるから, $V(f_1, f_2)$ の次元が $2m - 2$ であることを導くことができる.

4. まとめ

本研究では, 非負値行列因子分解を実現するアフィン代数多様体の次元の性質を調べた. これを一般の場合に拡張することや, 応用との関連について調べるのが今後の課題である.

参考文献

- 1) 亀岡弘和, “非負値行列因子分解とその音響信号処理応用”, 電子情報通信学会技術研究報告: 信学技報 112, 347, (2012), pp. 53-58
- 2) D. D. Lee and H. S. Seung, “Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization”, Nature, Vol. 401, No. 6755, (1999), pp. 788-791
- 3) D. D. Lee and H. S. Seung, “Algorithms for Non-negative Matrix Factorization”, In NIPS, Vol. 13, (2000), pp. 556-562
- 4) D. Cox, J. Little, and D. O’Shea, “Ideals, Varieties, and Algorithms”, An Introduction to Computational Algebraic Geometry and Commutative Algebra. Springer (1997)

幼児の運動能力と保育者が実施する運動プログラムおよび評価との関係

The relationships between athletic ability of young children and activity or evaluation exercise program by the caregiver.

富田寿人¹⁾, 松島亜紀²⁾, 音淵理江²⁾

Hisato TOMITA, Aki MATSUSHIMA, Rie OTOBUCHI

Abstract: The purpose of this research was to verify the effectiveness of an exercise program that caregivers have created for the athletic ability of children. We examined the relationship of athletic ability of young children and the evaluation of the activity of the children by the caregiver. The subjects were 179 children at three nursery schools. The exercise program developed by the caregivers was carried out over three months. We measured athletic ability before and after the exercise program. Also, we gave caregivers a questionnaire at the same time. The exercise program significantly enhanced the athletic ability of the three-year-olds and four-year-olds. However, there was no change in the athletic ability of five-year-olds. This result suggests an appropriate quantity and quality of exercise for the developmental stage of children, is essential in order to improve athletic ability. Also, the evaluation of the children's activity by the caregiver, was closely related to the changes in the children's athletic ability. Therefore, the items used in the questionnaire are effective to enable caregivers to assess the changes in the athletic ability and activities of children.

1. はじめに

幼児の運動能力が低下している現在、健康・体力づくりに対する意識は、ほとんどすべての園で高く持っており、戸外遊びや運動遊びなどを心がけた指導が行われている。

しかし、吉田¹⁾によって行われた2002年の全国的規模での幼児運動能力検査では、保育の一環として運動を多く取り入れている園よりも、全く特別なことを行っていない園の運動能力が高いことが明らかになった。また、柳田²⁾は、運動指導を行っている園の多くが保育者ではなく、外部の運動専門講師によって行われており、その指導の内容は幼児の発育発達特性を考慮した指導ではない可能性を示唆している。

これらの先行研究から、運動指導の多くが外部の運動専門講師によって行われており、その指導は技術指導が中心で、そのような指導内容では、子ども達の運動能力が向上しにくいことが示された。

一方、神奈川県立体育センター³⁾の報告から、運動専門講師の指導であっても、5ヶ月のプログラムで子ども達の運動能力が向上することが明らかとなった。つまり、運動専門講師の力量によって、その指導は左右されるとも考えられる。これらの研究結果をふまえたとき、園外部の運動専門講師ではなく、普段から子ども達と関わり、幼児の運動発達特性および個の心身の発達を理解していると考えられる園の保育者が運動指導を行えば、より大きな効果がもたらされると考えられる。

2. 目的

本研究の目的は、幼児期の子ども達に現場の保育者が考えた運動プログラムを自ら実践し、その期間中に子ども達の運動能力がどのように変化するのかについて明らかにすることであった。

また、保育者へのアンケート調査を行い、運動プログラム実施による子ども達の園内活動での変化を評価し、幼児の運動能力の変化との関係を検討することであっ

1)静岡理工科大学 総合情報学部 人間情報デザイン学科

2)静岡大学 教育学部 発達教育学専攻 幼児教育専修

た。

3. 方法

運動能力測定の対象者は、袋井市内の明和保育園(明和可睡保育園；M 保育園、明和第一保育園；M1 保育園、明和第二保育園；M2 保育園)に所属する3歳児・4歳児・5歳児179人で、全体の内訳は以下の通りである。

表1 運動能力測定の調査対象(園児の人数)

	3歳児		4歳児		5歳児		合計	
	男	女	男	女	男	女	男	女
M 保育園	19		19		20		58	
	11	8	7	12	9	11	27	31
M1 保育園	18		20		23		61	
	15	3	6	14	11	12	32	29
M2 保育園	20		20		20		60	
	13	7	13	7	16	4	42	18
合計	57		59		63		179	
	39	18	26	33	36	27	101	78

また、アンケート調査の対象者は、3つの保育園の保育士60人であった(女性保育士58人、男性保育士2人)。

クラス担任の保育者が考えた運動プログラムを約3ヶ月間(2013年7月～2013年10月)実施した。その運動プログラムの実施前と実施後の2回、運動能力測定を行った。また、運動プログラム実施によって子ども達にどのような変化がみられたのかを明らかにするため、運動プログラム実施後に園の保育者にアンケート調査を行った。

(1)運動プログラム

運動プログラムを保育者が考えるにあたって、運動内容が偏ることなく様々な動きをバランスよく園児が経験できるように、動作の種類を「走る」「投げる」「跳ぶ」「支える・ぶら下がる」「引っ張る・押す」「くぐる」「運ぶ」「蹴る」の8つの項目に分け、計画・実施するよう園の保育者にはたらきかけた。作成されたプログラムは、通常の園活動の中で実施され、1日に1～2回の頻度で展開された。

(2)運動能力測定

測定項目は25m走、ソフトボール投げ、立ち幅跳びの3種目であった。M 保育園の実施前の測定は7月10

日、実施後の測定は10月4日に行った。M1 保育園では実施前が6月19日、実施後が10月18日に、M2 保育園の実施前が6月28日、実施後は10月8日に行った。測定は、いずれの園も午前中に行い、園庭および遊戯室、保育室において実施した。測定者については、できるだけ同じ者が同じ種目の測定を担当するよう配慮した。

(3) アンケート

アンケート調査は保育者に対して実施し、運動プログラム実施によって保育者の運動指導に関する意識やクラスの子どもの様子にどのような変化が見られたのかを調査した。回答は、選択式と記述式で行った。

その中でも、「運動プログラムの実施により子ども達の園内での活動に変化は見られましたか」という質問から、運動プログラム実施による保育者から見た子ども達の園内活動の変化を10項目にわたって評価をしてもらった。この10項目については、神奈川県立体育センター³⁾のアンケート項目を改変して作成した(表2)。設問毎に、(5 そう思う 4 やや思う 3 変わらない 2 あまり思わない 1 思わない)の中から選択させ、その回答番号を合計して、クラスの子どもの活動状態を評価した。

表2 園内活動評価に関する質問10項目

- | | |
|-----|---------------------------|
| 1. | よく外で遊ぶようになった |
| 2. | 遊びの種類が増えた |
| 3. | 遊びに集中して取り組むようになった |
| 4. | 遊んでいる時の表情が変わった |
| 5. | 積極的に遊びに参加する子が増えた |
| 6. | 工夫して遊ぶようになった |
| 7. | 集団で遊ぶようになった |
| 8. | ルールを守って遊ぶことができるようになった |
| 9. | 走る、投げるなどのさまざまな動きがスムーズになった |
| 10. | けが、転ぶことが減った |

(4)統計処理

運動能力測定の数値については、3園のトータル・園別・クラス別・男女別の平均値と標準偏差を求めた。各年齢や各項目の平均値の差の検定には、t検定を用いた。

アンケートの集計は、選択式の問では記入された選択番号を入力し、各回答数を求め、無回答を含めた全回答数に対してそれぞれの回答の割合を求めた。記述式の回答はその内容毎に系統化し、回答内容を分類した上で、その回答数を求めた。時間に関しては、平均値を求めた。

4. 結果

(1)運動能力測定結果

運動能力測定の結果処理については、運動プログラム実施前の測定結果および実施後の測定結果の両方がそろっている者についてのみ実施した(回収率 97.8%)。

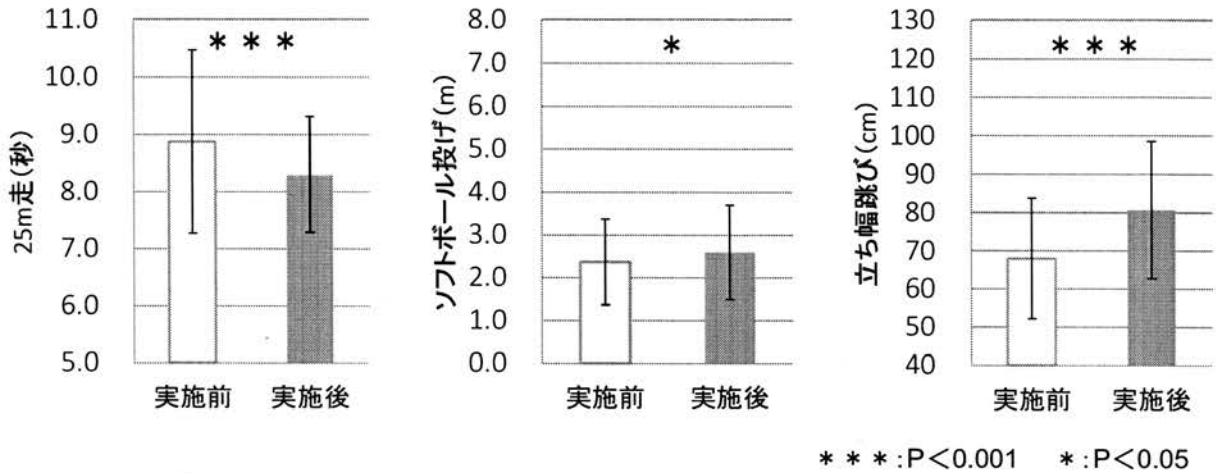


図1 3歳児の25m走、ソフトボール投げ、立ち幅跳びの運動プログラム実施前後の比較

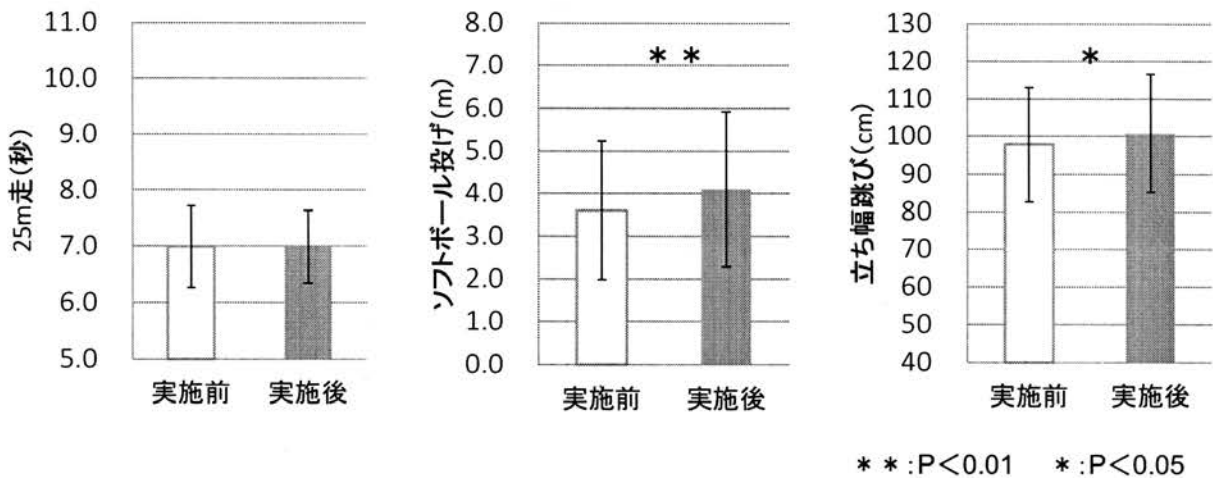


図2 4歳児の25m走、ソフトボール投げ、立ち幅跳びの運動プログラム実施前後の比較

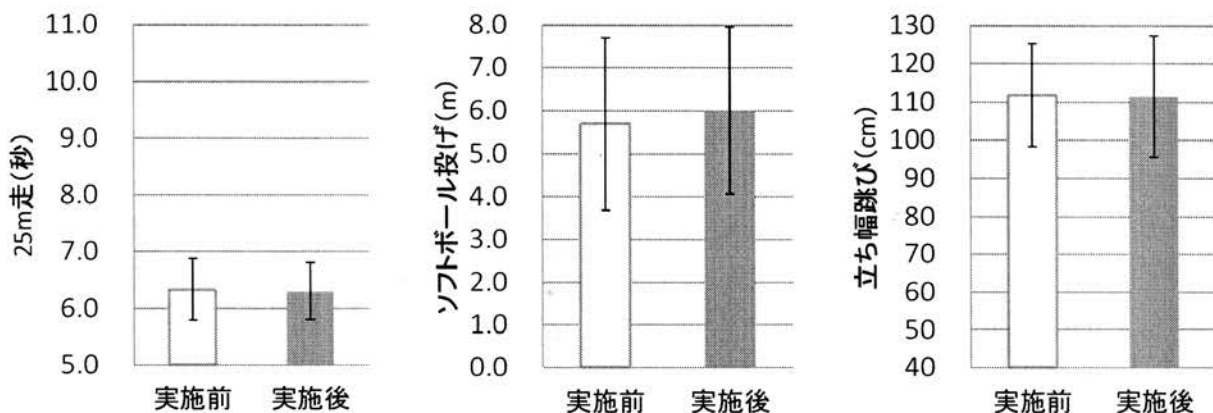


図3 5歳児の25m走、ソフトボール投げ、立ち幅跳びの運動プログラム実施前後の比較

年齢別に実施前と実施後の値を比較したところ、3歳児の25m走の平均は、実施前で8.9±1.6秒であったのに対して、実施後は8.3±1.0秒と有意(p<0.001)にタイムは短縮した。ソフトボール投げの平均は、実施前で2.4±1.0mであったのに対して、実施後は2.6±1.1mと、有意(p<0.05)に記録が伸びた。立ち幅跳びの平均は、実施前で68.0±15.7cmであったのに対して、実施後は80.7±17.9cmと、有意(p<0.001)に記録が伸びた、3歳児では3種目全てにおいて有意な改善がみられた。

4歳児の25m走の平均は、実施前は7.0±0.7秒、実施後は7.0±0.6秒であった。ソフトボール投げの平均は、実施前で3.6±1.6mであったのに対して、実施後は4.1±1.8mと、有意(p<0.01)に記録が伸びた。立ち幅跳びの平均が実施前で97.8±15.3cm、実施後は100.8±15.8cmと、有意(p<0.05)に記録が伸びた。4歳児ではソフトボール投げ、立ち幅跳びの2種目において有意な改善がみられた。

5歳児の25m走の平均が実施前は6.3±0.5秒、実施後も6.3±0.5秒であった。ソフトボール投げの平均は、実施前は5.7±2.0m、実施後は6.0±1.9m、立ち幅跳びの平均が実施前は111.8±13.5cm、実施後測定は111.4±15.9cmであった。3歳児・4歳児で有意な改善がみられた一方で、5歳児では一つも有意な改善が認められなかった。

(2)運動能力の変化と保育者の評価の関係について

保育者による子ども達の園内活動の変化の評価について

では、前述したように、10項目の設問毎に5段階の選択肢から重み付けをした。その合計から、クラスの子どもの活動状態を評価した。

高得点になるほど、子ども達の園内での様子がより活発化したと評価されたこととなる。園内活動評価の合計点は表3の通りである。

表3 園内活動評価の合計点

	M保育園	M1保育園	M2保育園
3歳児担任		41	37
4歳児担任	34	42	45
5歳児担任	39	34	35

3園すべての保育者の回答がそろっている4歳児と5歳児において、保育者による園児の園内活動評価と各園の各種目の前値と後値の平均変化量の相関関係について明らかにした(図4, 図5)。

4歳児の保育者による園児の園内活動評価と25m走の平均変化量では、相関係数 $r = -0.479$ と決して高いとは言えないが、両者の間には活動評価が高い園児ほどタイムの短縮が大きいと言える関係が示された。ソフトボール投げの平均変化量との間には、 $r = 0.977$ 、立ち幅跳びの平均変化量との間には $r = 0.992$ と極めて高い正の相関関係がみられた。これは、保育者の評価が高いほど、運動能力測定の改善が大きいことを示しており、わずか3園の結果とはいえ、保育者の子どもの活動評価が運動能力向上を的確に評価していることを示している。

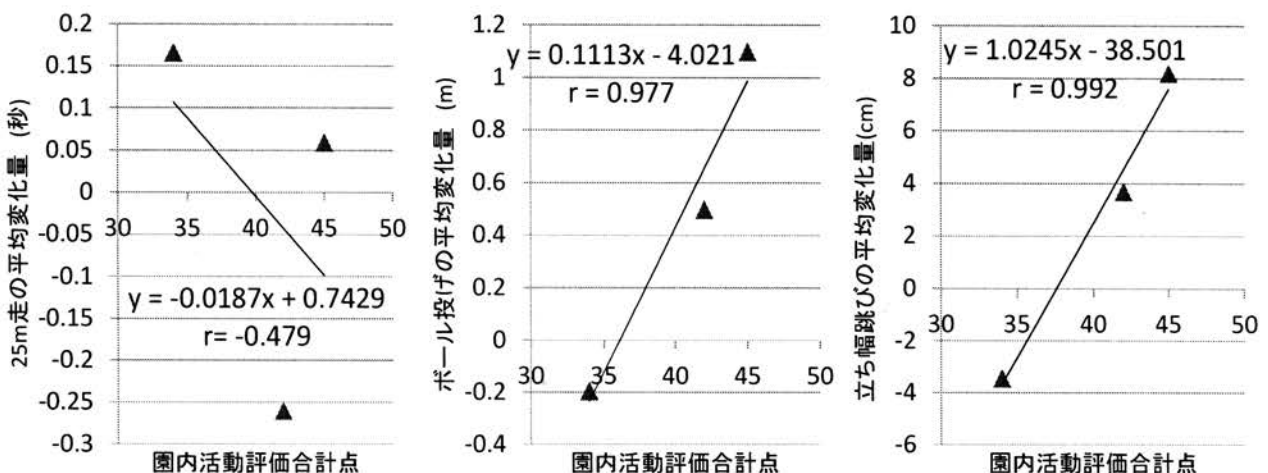


図4 4歳児の25m走、ソフトボール投げ、立ち幅跳びの平均変化量と園内活動評価の関係

5歳児の保育者による園児の園内活動評価と25m走の平均変化量の間には、相関係数 $r = -0.992$ と、極めて高い相関関係がみられた。しかし、ソフトボール投げの平均変化量と保育者による園児の園内活動評価の間には、保育者の活動評価とソフトボールの結果が一致していない結果が示された。しかし、立ち幅跳びの平均変化量との間には、 $r = 0.965$ と高い正の相関関係がみられた。

保育者による園児の園内活動評価と体力測定の結果が一致しなかったのは、5歳児ソフトボール投げのみで、4歳児および5歳児あわせて6項目中5項目で保育者による活動評価と運動能力の変化が一致するという結果になった。

数は、3歳児では 3.0 ± 1.3 (日/週)、4歳児では 2.6 ± 1.3 (日/週)、5歳児では 3.0 ± 1.2 (日/週)であった。運動の種目数は3歳児では 4.2 ± 2.7 、4歳児では 3.4 ± 2.1 、5歳児では 4.2 ± 1.8 であった。ほぼ同様のプログラムが行われたにもかかわらず、3歳児や4歳児では運動能力の改善がみられ、5歳児では一つも改善がみられなかった。これは今回行われた運動プログラムが3歳児や4歳児にとっては運動能力を伸ばす十分な運動刺激となったが、5歳児にとっては十分な運動刺激となっていなかった、つまり運動量(時間、強度)や種目が確保されていなかったためではないかと考えられる。このことから、子ども達の運動能力を伸ばすためには、発育に応じた運動

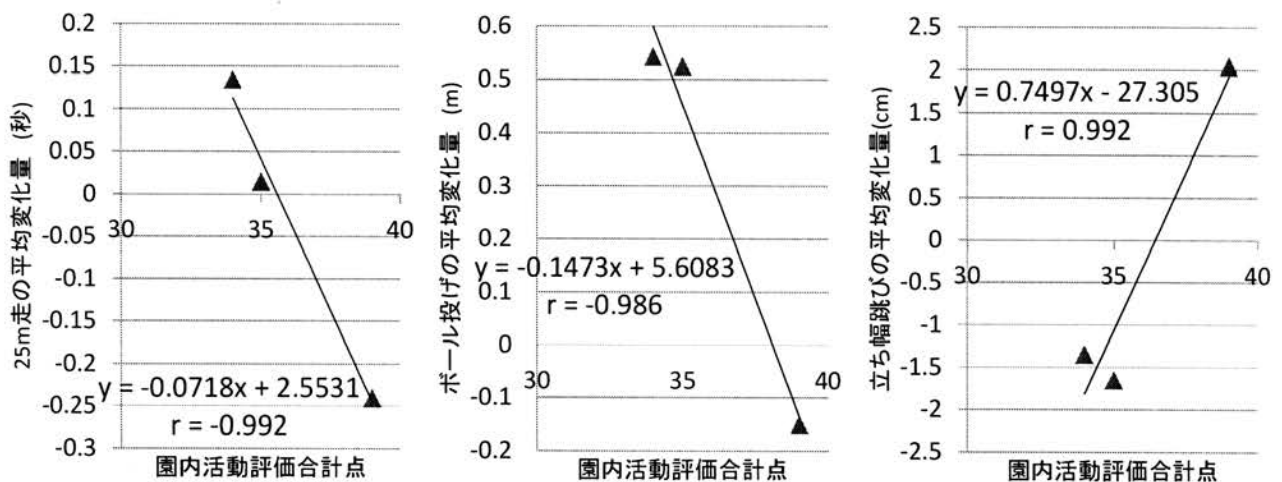


図5 5歳児の25m走、ソフトボール投げ、立ち幅跳びの平均変化量と園内活動評価の関係

5. 考察

(1)運動能力測定結果について

運動プログラムの実施によって、3歳児では全種目、4歳児ではソフトボール投げと立ち幅跳びで、有意な改善がみられた。しかし、5歳児で有意な改善がみられたのはM保育園の25m走のみで、その他の園の5歳児には変化がみられなかった。その背景には、発育発達段階による運動刺激の違いが原因していると思われる。実際に行われた運動プログラムの実施内容を検討してみると、改善がみられた3歳児では、プログラムの内容(運動の種目)が4歳児や5歳児とは違いがみられ、3歳児の発達段階に適していると思われるプログラムが行われていた。しかし、3~5歳児では、実施日数および運動の種目数が大きく変わらないということが明らかとなった。実施日

の質と量を十分に考慮する必要があると思われる。

また、先行研究¹⁾では、運動指導が運動能力の発達を阻害している原因の一つとして、幼児の運動発達の特徴との関係を示唆している。幼児期は多様な基礎的運動パターンとそのバリエーションを経験することによって運動コントロール能力を中心とした運動能力が発達する時期であるにもかかわらず、実際に行われている運動指導では同じような運動の繰り返しが中心で、運動能力の発達にはほとんど貢献していないことが指摘されている。本研究の運動プログラムでは、一つの動きに偏ること無く、運動動作の項目を8つに分け、多様な動きをバランス良く取り組めるようにはたらきかけたことも、運動能力が有意に高まった一因と考えられる。

(2)運動能力の変化と保育者の評価の関係について

4歳児と5歳児において、各園の保育者による園児の

園内活動評価と運動能力測定項目の平均変化量の相関関係について明らかにしたところ、6項目中5項目で園児の活動状態を評価した結果と運動能力の向上に密接な関係がみられるという結果になった。

これは、客観的な運動能力測定の変化と保育者の主観的評価が一致したことを意味している。子ども達の様子を普段からよくとらえている保育者であるからこそ、子ども達の園内における活動の変化を、保育者が正しく評価することができたのではないかと考えられる。子ども達の運動能力の変化は、運動能力測定で評価するのが順当であるが、運動能力測定をどの園でも手軽にできる訳ではない。このような点を考慮すれば、本研究の事後アンケートで保育者に質問した項目は、保育者が子ども達の運動能力の変化をとらえる視点として有効な内容であったのではないかと考えられる。子ども達の様子をみたときに、今回の項目のような視点をもっていることで、その時々の子どもの実態を正確に把握し、その時の子ども達に必要な運動活動を提供できるようになるのではと考えられる。それが、子ども達の運動能力を伸ばすことにも繋がっていくのではないだろうか。

6. 結論

現場の保育者が考えた運動プログラムを保育者が実践することで、その実施期間中の子ども達の運動能力が有意に高まることが示された。このような、運動能力向上のためには、発育状況に合った運動の量と質に考慮したプログラムを提供する事が大切であると思われる。

また、保育者は、子ども達の運動能力の変化を、園内での子ども達の様子から評価できるという可能性が示唆された。今回の事後アンケートで用いた評価項目は、保育者が子ども達の活動状況や運動能力の変化をとらえる視点として有効であったと考えられた。このような観点から、子ども達の活動の実態を正確に把握し、子ども達に効果的な運動を提供することが必要と思われる。

7. 謝辞

本研究の申し出に、快諾していただいたばかりでなく、様々なご協力をいただいた明和可睡保育園、明和第一保育園、明和第二保育園の園長をはじめとする職員お

よび園児の皆さんに心から感謝いたします。

8. 参考文献

- 1)杉原隆・吉田伊津美・森司朗・筒井清次郎・鈴木康弘・中本浩揮・近藤充夫(2010)幼児の運動能力と運動指導ならびに性格との関係.体育の科学,60(5):341-347.
- 2)柳田信也(2008)幼稚園教師の運動遊びに関する指導理念の調査研究.国際学院埼玉短期大学研究紀要,29:21-26.
- 3)神奈川県立体育センター(2009)子どもの体力及び運動能力の向上に関する研究.

<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/2355.pdf>

リズム運動を含んだ運動プログラムがおよぼす

幼児のリズム感および体力への影響

The effect of an exercise program that includes rhythmic motion on the sense of rhythm and physical fitness of young children.

富田寿人¹⁾, 音淵理江²⁾, 松島亜紀²⁾

Hisato TOMITA, Rie OTOBUCHI, Aki MATSUSHIMA

Rhythmic exercise is generally performed in early childhood education, but the sense of rhythm is rarely evaluated objectively in young children in kindergarten. The purpose of this study was to clarify the effect of the exercise program that includes rhythmic motion on the sense of rhythm and physical fitness of young children. The participants were 44 five-year-old children. In kindergarten, they performed an exercise program that included a rhythmic motion over four months. Physical Fitness Test of 6 events were conducted before and after the exercise program. Due to the exercise program, the record of physical fitness measurement of five events increased significantly. The time of the jump of both feet in a constant rhythm was shortened significantly. However, with both feet jumping irregular rhythms, it was not possible to observe significant effects. This result suggests that the exercise program of this study was to improve the physical fitness and sense of rhythm of young children.

1. はじめに

幼児期の音楽教育については様々な研究が存在する。北村¹⁾は、「幼児期は、他の時期に比べ最も鋭敏に音の刺激に反応し、又自ら外界へ働きかけることによって音楽的な基礎が形成され、未来の音楽生活を豊かにする為の源となる時期である」とし、「故に聴覚の発達する幼児期には音楽リズム活動が最も適しているもの」としている。また彼は、「幼児にとっては動きのリズムと音楽とは切り離せないもので、両者が一体となってリズムカルな音楽表現、身体表現がな

される」とも言い、幼児のリズム教育には、音楽要素と、身体活動の共存が必要であることを強調している。幼児期の音楽・リズム教育についての研究の多くは、幼児期からの音楽・リズム教育を重要視するとともに、なかでもとりわけ、リズムに注目し、音楽に合わせたリズムカルな身体活動を行うことの必要性を示唆している。

日野ら²⁾は小学生を対象にリズム体操がどのような効果があるのかを検討したが、リズム体操によるリズム感の向上については触れてはいなく、また、子どもたちの体力についての関心も、あくまで主観的なものであった。

竹縄ら³⁾らは、独自のエアロビック指導プログラムを実施し、エアロビックにより他のスポーツでも通じる基礎的

1) 静岡理工科大学 総合情報学部 人間情報デザイン学科

2) 静岡大学 教育学部 発達教育学専攻 幼児教育専攻

な運動能力を楽しく身につけることができるのかを検証したが、実際の子どもの運動能力の習慣、および体力の客観的な評価を行ってないばかりか、リズム感の向上の部分には触れていない。

リズムという言葉は、日常的に使われている言葉であるが、音楽的なリズム、スポーツの中に存在するリズムなど、その言葉が使われる場面毎に違った意味を持つと考えられる。池上ら⁴⁾はリズムに関して以下のように表現している。

- ① 力のリズム
- ② 時間のリズム
- ③ 早さのリズム
- ④ 位置のリズム

そこで本研究では、これを元にリズム感を次のような能力と定義し、研究を進めることとした。

- ① 与えられたテンポやリズムに自分の体をあわせられる能力
- ② 自分でリズムやタイミングが作り出せる能力
- ③ 自分の想像したリズムやタイミングを体で表現できる能力
- ④ 体での表現をよりスムーズに行える能力

本研究では、エアロビックを含む園活動によって、園児達のリズム感、及び体力がどのように変化するかを客観的な指標を元に調査することで、先行研究にない評価を行えるものと考えた。また、前述したようにリズム感のとらえ方には多面的なものがある。しかし、幼児のリズム感を評価できる多面的な体力測定項目は存在しない。したがって、一側面からだけでなくリズム感の評価をしたいと考え、新たな幼児のリズム感を測定することができる体力測定項目を提案したい。これによって今までの体力測定項目では、判断することが出来なかったリズム感を評価できるのではないだろうか。

幼児のリズム感を測ることができる体力測定項目として、従来から行われている一つに、両足連続跳びが挙げられるが、これは一定間隔に置かれた障害物をより速く飛び越えられるかを評価するものである。本研究では、これに加えて一定間隔でない、つまり変則的な間隔で置かれた障害物を飛び越える両足連続跳び(応用)を行うこととした。幼児の遊びや、活動の中には、一定のリズムだけでなく、多様な

リズムが含まれている。その多様なリズムに対応する応用的なリズム感こそ、幼児期以降の子どもの運動発達や、スポーツにおける動作獲得などにも深く関わる重要な能力であり、幼児期のうちに獲得することが重要であると思われる。したがって、両足連続跳び(応用)により、応用的なリズムに対して、動きをコントロールする能力を評価できるものと考えた。また、両足連続跳び(一般・応用)のような、比較的簡単にそして客観的・多面的にリズム感を判断することができれば、幼児期のリズム教育、音楽教育の成果をより明確に示す事ができると考えた。

2. 目的

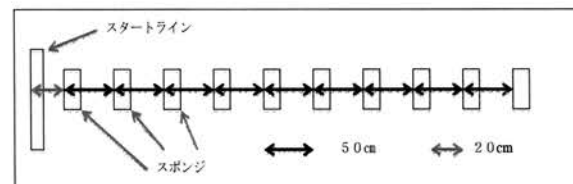
本研究の目的は、エアロビックを含む園活動によって園児たちのリズム感および体力がどのように変化するかを体力測定を元に調査することである。また、リズム感を評価する指標として、一般的な両足連続跳びとともに、変則的なリズムでの両足連続跳び(応用)を行い、この二つの項目から幼児のリズム感を評価することが可能であるかを調査することであった。

3. 方法

(1) 対象園児と体力測定

エアロビックを保育の一環として行う袋井市立袋井南幼稚園の年長児男児26名、女児18名、計44名を対象に、6月と10月に2回体力測定を行った。種目は、25m走、テニスボール投げ、立ち幅跳び、長座体前屈、両足連続跳び(一般)、両足連続跳び(応用)の6種類であった。

両足連続跳び(一般)



両足連続跳び(応用)

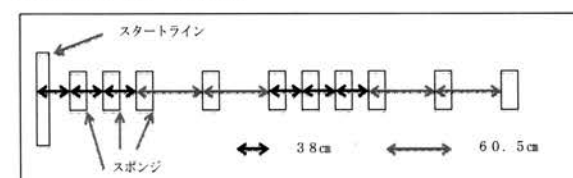


図1、両足連続跳び 一般と応用のコース図

体力測定は、幼稚園の園庭および遊戯室で行われ、9時～9時30分を目安に開始し、終わり次第終了した（遅くても12時までには終了）。本研究において提案する両足連続跳び（応用）については、図1に従来行われている両足連続跳び（一般）とともにコース図を示した。

(2) 運動プログラム

袋井南幼稚園では、特色ある活動が保育に取り入れられており、その一つが文部科学省によって策定された幼児期運動指針を参考に考えられた運動プログラムである。より多くの動きや遊びを経験する事を目的とし、子どもの発達に合わせて、マット運動やロープ遊びなどを週に数回程度取り入れていた。

二つ目の特色として、エコパアリーナで行われる「平成25年度JOCジュニアオリンピックカップ 全国エアロビック選手権大会」において、袋井南幼稚園が担当園として演技することである。今年度は、1月26日の発表に向けて、月に1回程度エアロビックの外部講師を招き指導を受けている。したがって、6月から10月にかけても園活動以外にこのような運動プログラムが行われていた。講師を招いて行うエアロビックは、各回1時間程度で、子どもたちは、曲にあわせて決められた振り付けを踊る。振り付けの中には、ツーステップやジャンプなど、エアロビックの基本的な動作や動きが含まれている。講師によるエアロビック指導のあとは、同じ講師の指導のもと、集団遊びの指導も行われる。発表会で踊るエアロビックダンスは、12月に行われるマラソン大会の準備体操としても用いられていた。

また、袋井南幼稚園では、エアロビックとは異なるリズム教育として、園独自のリズム運動を行っている。このリズム運動では、筋力や柔軟性を高めることを目的として、リズムに合わせて、つま先立ちや、ギャロップ、ブリッジなどの動きを行う。リズム運動は、月に1、2回の頻度で1回1時間程度行われている。

このように袋井南幼稚園では、幼児期運動指針に基づく運動プログラムだけでなく、エアロビックや園独自のリズム運動といったリズム教育が行われており、保育の中で園児たちが多くの動きを経験できる環境にあった。

(3) 統計処理

体力測定項目毎に平均値と標準偏差を求め、前値と後値の平均値の差の検定には、対応のあるt検定（両側検定）を使用した。有意水準は、危険率5%以下（ $P < 0.05$ ）とした。

4. 結果

(1) 形態

4月および9月に園で行われた身体測定の結果を使用し、身長と体重からカウプ指数を求め、対象者の形態を調査した。

身長、体重およびカウプ指数の平均は、4月と9月のいずれにおいても男女とも標準的な値であり、その変化も一般的なものであった。また、形態における男女差も見られなかった。

表1、身長、体重、カウプ指数の平均と標準偏差

		4月		9月	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
身長 (cm)	全体	109.0	5.9	111.7	6.1
	男児	109.2	5.8	111.9	5.9
	女児	108.6	6.4	111.5	6.7
体重 (kg)	全体	18.0	2.5	19.0	3.0
	男児	18.1	2.6	19.1	3.0
	女児	17.8	2.5	18.8	3.1
カウプ指数	全体	15.1	0.9	15.2	1.5
	男児	15.1	1.0	15.2	1.2
	女児	15.1	0.7	15.1	1.2

2) 体力測定結果

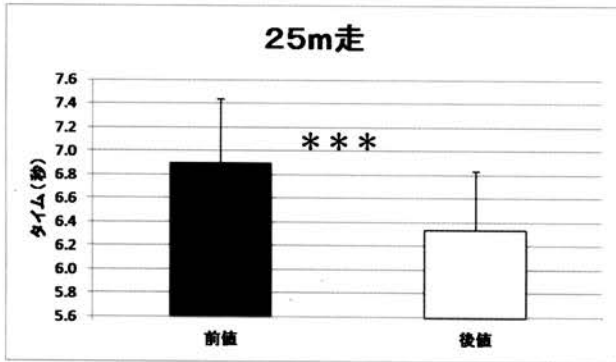
体力測定は、袋井南幼稚園年長男児26名、女児18名、合計44名について行われた。運動能力測定の結果処理については、前後2回行われた体力測定結果の両方がすべてそろっている者についてのみ実施し、その割合は全体の79.0%であった。

25m走において、記録の平均は、前値が 6.9 ± 0.5 秒、後値が 6.3 ± 0.5 秒であり、後値は前値に対して有意（ $P < 0.001$ ）に低下したことが認められた。変化率の平均は $-7.9 \pm 3.9\%$ であった。

テニスボール投げについては、前値が 5.9 ± 2.5 m、後値が 7.3 ± 2.8 mであり、後値は前値に対して有意（ $P <$

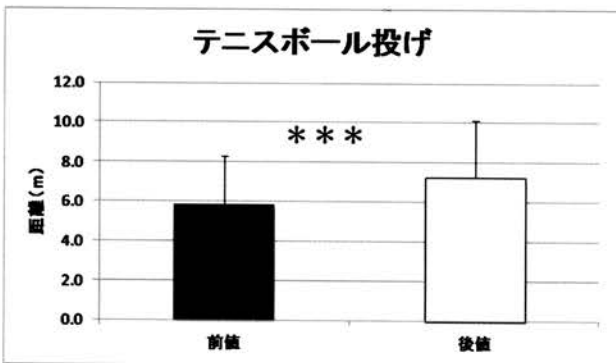
0.001) に記録が増加したことが認められた。変化率の平均は $33.8 \pm 50.7\%$ であった。

立ち幅跳びについては、前値が 103.6 ± 14.5 cm、後値が 110.5 ± 13.8 cm であり、後値は前値に対して有意 ($P < 0.001$) に記録が増加したことが認められた。変化率の平均は $7.3 \pm 9.5\%$ であった。



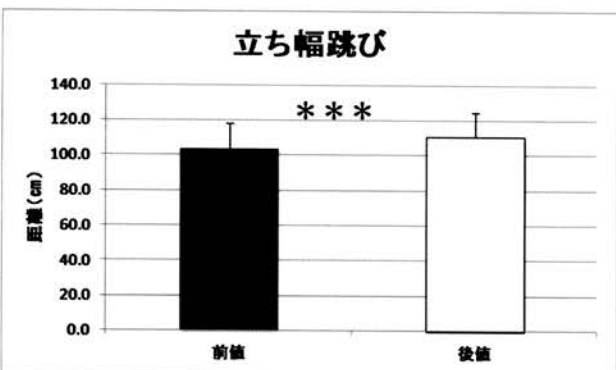
*** : $P < 0.001$

図2、25m走の前後値比較



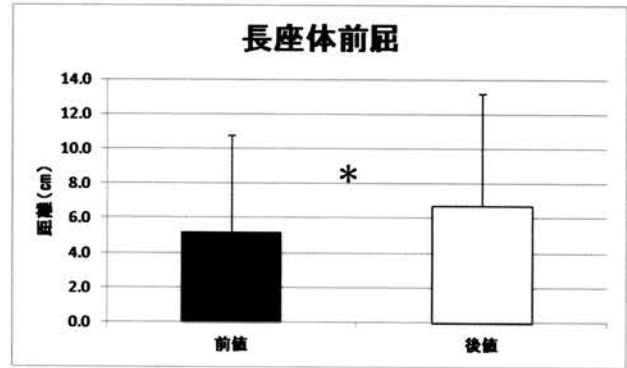
*** : $P < 0.001$

図3、テニスボール投げの前後値比較



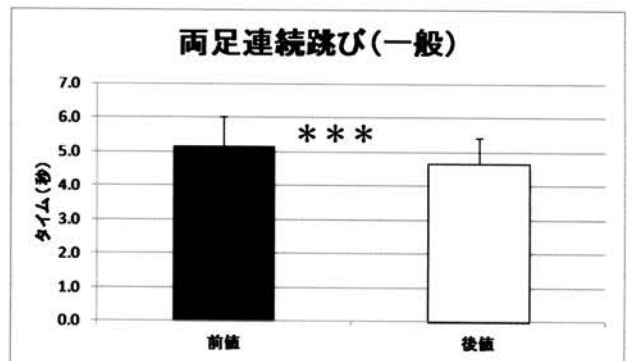
*** : $P < 0.001$

図4、立ち幅跳びの前後値比較



* : $P < 0.05$

図5、長座体前屈の前後値比較



*** : $P < 0.001$

図6、両足連続跳び(一般)の前後値比較

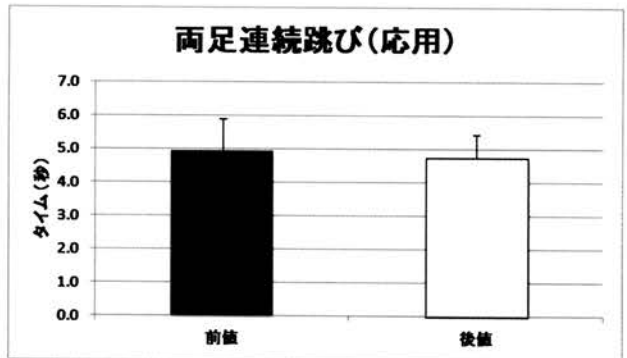


図7、両足連続跳び(応用)の前後値比較

長座体前屈の平均は、前値が 5.2 ± 5.6 cm、後値が 6.7 ± 6.5 cm であり、有意 ($P < 0.05$) な差が認められた。変化率の平均は $31.6 \pm 140.8\%$ であった。

両足連続跳び(一般)の平均は、前値が 5.2 ± 0.9 秒、後値が 4.6 ± 0.8 秒であり、後値は前値に対して有意 ($P < 0.001$) に低下したことが認められた。変化率の平均は $-8.6 \pm 13.5\%$ であった。

両足連続跳び（応用）の平均は、前値が 4.9 ± 1.0 秒、後値が 4.7 ± 0.7 秒であり、僅かにタイムは改善されているものの、有意な差が認められなかった。変化率の平均は $-2.2 \pm 14.2\%$ であった。この結果から分かるように、リズム運動を含む運動プログラムの前後に行われた体力測定では、両足連続跳び（応用）を除く全ての種目で記録が有意に改善した。

5. 考察

（1）体力への効果

年長児全体で2回の体力測定結果を比較したところ、両足連続跳び（応用）を除く全ての測定項目で有意差が認められた。特に、25m 走、テニスボール投げ、立ち幅跳びおよび両足連続跳び（一般）では0.1%水準で有意な改善がみられた。このことから、今回袋井南幼稚園で行われたリズム運動を含む運動プログラムは、運動の三大要素である走・跳・投の能力や一定のリズムで運動する能力を高めるものと考えられる。

2008年に川田⁵⁾が行った研究では、エアロビックを特別プログラムとして保育に取り入れた袋井市立の今井幼稚園と、普段通りの園の生活プログラム運動を行った袋井市立の若葉幼稚園を対象に体力測定を行い、エアロビックを取り入れた運動プログラムの効果を明らかにしようとした。測定種目は、25m 走、テニスボール投げ、立ち幅跳び、両足連続跳び、体支持持続時間、開眼片足立ちであった。その結果、今井幼稚園の年長児において、体力測定の記録が有意に改善した測定項目は、25m 走と立ち幅跳びのみであったことを報告している。一方、特別な運動プログラムを実施していない若葉幼稚園でも、この2種目だけに有意な改善が見られたことから、エアロビックを含んだ特別な運動プログラムによる効果は無かったとしている。

本研究の結果では、川田の報告以外の測定項目でも有意な改善が見られたことから、エアロビックだけでなく、園独自のリズム運動や幼児期運動指針に基づく運動プログラムを実施することによって、より多くの動きを経験し運動量も確保されたことから、幼児の体力やリズム感の向上に効果的であったものと考えられる。

（2）リズム感への効果

両足連続跳び（一般）では有意な改善が見られたが、両足連続跳び（応用）においては、有意な差は認められなかった。そこで、両足連続跳びについて男女別にデータ処理を行ったところ、両足連続跳び（一般）の男児平均は、前値 5.1 ± 1.0 秒に対して、後値は 4.7 ± 0.9 秒と有意 ($P < 0.05$) にタイムが短縮していた。また女児においても、前値が 5.2 ± 0.7 秒、後値が 4.5 ± 0.4 秒であり、有意 ($P < 0.01$) に改善した。一方、両足連続跳び（応用）の男児平均は、前値が 4.7 ± 0.9 秒、後値が 4.8 ± 0.8 秒であり、有意な差が認められなかった。しかし女児においては、前値が 5.3 ± 1.0 秒であるのに対して、後値は 4.6 ± 0.5 秒と有意 ($P < 0.05$) にタイムが短縮していた。

岩崎ら⁶⁾は、幼児期における調整力の発達と性差の関連について報告しており、幼児期の調整力の評価において、年齢が低い時はエネルギー出力の大きさが密接に関係するとしている。しかし、男児6歳後半、女児5歳後半より、エネルギー出力とは関係なく、神経支配による身体のコントロールが優勢となり、調整力の評価が決まってくることを示唆している。

本研究の両足連続跳び（応用）において重要なことは、スピードだけでなく、変則的な障害物に対して自分の身体をコントロールし、いかにリズムカルに障害物を飛び越えるかという能力である。調整力とエネルギー発現の分離が女児では5歳後半に起こるということは、女児の方が男児より早い時期に視覚からの情報を脳で処理し適切な運動におこす、つまり中枢による運動支配が円滑にできているということである。そのため、両足連続跳び（応用）において年長の女児にのみ有意な改善が認められたものと考えられる。

このような理由から、本研究で提案した両足連続跳び（応用）は、変化のある障害物に対応する調整力を評価する点においては、両足連続跳び（一般）より優れていると思われる。しかし、岩崎らが示した男児6歳、女児5歳後半から各運動能力が分化しはじめることを考慮すると、この年齢より以前ではリズム感を正しく評価できない可能性がある。

6. まとめ

本研究では、リズム運動含む運動プログラムを行うことによって、ほとんどの体力測定項目の記録が改善する結果となり、エアロビックのようなリズム運動や、幼児期運動指針に基づく運動プログラムを保育に取り入れることは、体力向上の観点から効果的であることが明らかとなった。

リズム感の向上については、一定のリズムでジャンプする能力においては、運動プログラムによって改善することが明らかとなった。一方、変則的なリズムでの両足連続跳びに関しては、性差が生じる可能性が示唆された。しかし、本研究での結果は、1園を対象にした研究であるため、さらなる調査が必要と思われる。

7. 謝辞

本研究の申し出に、快諾していただいたばかりでなく、様々なご協力をいただいた袋井市立袋井南幼稚園の澤田園長をはじめとする職員および園児の皆さんに心から感謝いたします。

引用文献

- 1) 北村恵子「幼児の音楽リズム指導について」上田女子短期大学紀要 第2号, pp. 25-43 1974
- 2) 日野慶一・滝澤かほる「リズム体操を取り入れた体力向上プログラムの効果」新潟体育学研究第27号, pp. 51-57 2010
- 3) 竹縄愛美・竹田唯史・菊池はるひ・中川功哉「キッズを対象としたエアロビックの指導について」北海道浅井学園大学生涯学習研究所研究紀要 第11号, pp. 213-227 2008
- 4) 池上至博 池田裕恵 加藤千代子 野中寿子「子どもと運動遊び」不味堂出版 pp. 133-134 1991
- 5) 川田嗣也「幼児の体力に及ぼすエアロビックを取り入れた運動プログラムの効果」静岡理工科大学卒業論文 2008
- 6) 岩崎洋子・上村映雄・大橋芳子「幼児期における調整力の発達について：特に性差と他の要因の関連」日本保育学会大会研究論文集 第37号, pp. 134-135 1984

用行義塾と福沢諭吉

YOHKOH-GIJYUKU, the first elementary school in Fukuroi in the Meiji era, and Yukichi FUKUZAWA

小栗 勝也*

Katsuya OGURI

1. はじめに

用行義塾は明治の初めに、現在の袋井地域に初めて出来た小学校である。この学校は、明治政府が「学制」によって義務教育を開始する直前に作られ、また、地元の人々の共同出資によって作られた点に特徴がある。しかも、学制の内容にも近いものを教育し、教科書も学制のそれと似ていた。明らかに、江戸時代までの寺小屋や私塾の教育内容とは異なっているので、近代的な教育機関として当該地域に初めて成立したものとして注目される学校である。それゆえ袋井市教育委員会が「袋井近代教育発祥之地」と記した案内板を立てて紹介している程である。

まずは、この学校について記している次の3つの文章を見て頂きたい。

①「袋井近代教育発祥之地／用行義塾」と書かれた高札のような木製の碑が、現在の袋井東小学校の近くに設置されている。袋井市教育委員会によるもので、平成6年11月30日に立てられたものである。その説明書きとして次のような文章が記されている。

用行義塾は、「学制」が発布される一年前⁽¹⁾、明治五年（一八七二）に民間の有志が共同出資して設立した、袋井で最初の近代教育を行う郷学校と言われた学校です。

袋井東小学校に残る用行義塾版木に刻まれた設立趣意書には、福沢諭吉の「学問ノススメ」に強く影響され、広く世界に目を見開き、教育の重要性を認識していたことが記されています。

②この碑を紹介する某Webサイト⁽²⁾には、上の袋井市教育委員会による看板の文章を紹介するだけでなく、次のような文章も記されている。

福沢諭吉が慶応義塾を創設した後、慶応義塾は地方学生の就学意欲に応えるために、大阪・京都・徳島などに相次いで分校を置いた時期があった。また一般の私塾においても“義塾”の名称を使うものが多く、明治期全国に80を超える“義塾”があったことが知られており、「用行義塾」もその一つである。

③『袋井市史 通史編』（以下『市史』と略す）には次のような記述がある。すなわち、用行義塾の設立趣意書の「論法」は福沢諭吉の『学問のすゝめ』と「同じ」であり、用行義塾の学科目と福沢が実学として挙げた、いろは四七文字や手紙の書き方などから始まって、地理学、物理学、歴史学、経済学などに至る内容は「同じ」である。しかし、そのような用行義塾の「教育観が福沢の思想を借りているのか、それとも義塾社中の独自の見解なのかは判然としない」。それでも、明らかに「欧米の学問体系に範をとって構成されており、寺小屋の読書算術の水準を超えている。用行義塾は、新しい教育が出發したことを物語っている」、と⁽³⁾。

これらの文章は何も考えずに一読すると、用行義塾が福沢諭吉の慶応義塾を真似て作られたものであるかのように見えるのではないだろうか。しかし注意して読むと、用行義塾と慶応義塾は決してイコールであると断言していないことが分かる。その点、『市史』はイコールであることは「判然としない」とわざわざ記しているから正直である。しかし、それでも『市史』は、「同じ」という言葉を2度も使っているから、両者の関連性を強く示唆したいと考えているようにも見える。この『市史』の表現を、袋井市教育委員会による看板の短文は援用したのではないかと想像する。

ともかく、3つの文章に共通していることは、用行義塾を語る際には必ず福沢諭吉ないし慶応義塾が併記され、

2014年2月28日受理

* 総合情報学部人間情報デザイン学科

何らかの関係性があるかのような書き方がされていることである。しかしながら、用行義塾と福沢・慶応義塾が具体的にどのような関わりがあったのかについては常に曖昧さがつきまとっている。

2. 用行義塾とその先生

そもそも、用行義塾自体の実態が、実はよく分かっていないのが現状である。今日までの所、用行義塾についてもっとも詳しい資料は『市史』の記述である。昭和58年の刊であるから、いま(2013年)からちょうど30年前である。それ以降、用行義塾についてのまとまった記録を見ることがないので、『市史』編纂時に研究されて以来、その時以上に研究した者は誰もいないと思われる。

だが、『市史』が最も詳しいとはいえ、そこでの記述は1034頁に「用行義塾」の小見出しが立てられ、1037頁までの足掛け4頁足らずの分量に過ぎない。この記述を含む通史編第六編は当時静岡大学助教授の花井信氏の執筆によるものである⁽⁴⁾。

しかも、その中で用行義塾の「具体的な姿」について考えてみよう、との前置きの後に記された部分は僅か11行しかない。具体的な姿の根拠となっているものは、明記はされていないものの、『市史』の編纂活動の中で収集された用行義塾に関連する史料である。『袋井市史 史料編四 近代現代』(以下『市史・史料編』と略す)に収められた5つの史料がそれである。現在、用行義塾について記録された一次史料として知られているのは、これらだけであるから貴重な史料である。しかし、『市史』では、それらを概観して得られた幾つかの事柄が若干11行で略記されているのみである。このように、今日までの間に用行義塾について提供されてきた情報は乏しかった。

用行義塾の実態が分からないので、福沢・慶応義塾との関連も分からないのは当然かもしれない。

しかし、本当に『市史』以上のことは分からないのだろうか。この疑問から筆者はスタートし、用行義塾について調べてみようと思いついた。元々福沢諭吉に関心がある筆者は、既述のように、用行義塾が福沢の影響を受けているとする文章があることを知っていたので、この学校のことを詳しく知りたかった。福沢との関係が本当にあるのか、あるとしたらどのような関係であるのかを明らかにすることを最終目標として、取り急ぎ、現状で筆者が探し出せる資料から順に目を通す作業を始めることにした。

用行義塾の概要について、『市史』及び、それとセットの資料と言える『市史・史料編』、『目でみる袋井市史』⁽⁵⁾から分かる事柄を略記すると次のようになる。

- ・設立時期：明治5年6月25日発校⁽⁶⁾。明治に作られ

た学校として袋井地域で最も古い学校である。

- ・授業開始：7月1日(入学も7月1日から開始)
- ・設立場所：山名郡久津部邑、遠州第三拾区久津部邑⁽⁷⁾
- ・設立形態：地元民の共同出資による。
- ・終焉時期：明治6年6月の公立の久津部学校誕生に伴い解散⁽⁸⁾。
- ・義塾のスタッフ：岡田直(掛川の人)、高田省一郎(または彰一郎、緑雲。久津部の人)、高田が離れたため後任として国府田(名は不詳。掛川の人)、日向謹作(または僅作郎。世話係)
- ・入学他の規定：入学は8歳以上。8等に入学。月末試験で進級し1等で終了。入学金百疋(1分)、授業料月50疋(2朱)。寄宿生は月俸米持参または現金払。
- ・塾生概要：入塾した者の総数は50名にのぼる。年齢は8歳から14歳(但し判明分)。
- ・学課概要：1日に素読・運動・習字・算術・暗誦・独見。朝8時から夜10時まで。
- ・一次史料として、用行義塾の設立趣旨を記した文書や出席簿など『市史・史料編』に収められた5点がある。

確かに、ここに箇条書きにしたような事柄は既に分かっている。しかし、それ以上の詳細は『市史』からは分からない。とりわけ、福沢諭吉・慶応義塾との関連については、用行義塾の設立趣意書の思想と福沢のそれが似ているという指摘だけに留まっている。

そこで筆者が考えたことは、この学校を作った人物が誰であるかを特定したいということであった。その人物が慶応義塾とゆかりのある人物であれば、そこから手掛かりが得られると思ったからである。

設立者に関しては、『市史』には「民衆の共同出資」によるとしか記されていない。地元の人々が作ったということは分かるが、地元の誰が中心であったのかは分からない。創設者に関する個人名が一切出ていないからである。『市史』において、用行義塾側の個人名が出てくるのは塾の「スタッフ」として名が挙がっている4名だけである。該当箇所を引用しよう⁽⁹⁾。

義塾のスタッフは掛川の岡田直と久津部の高田省一郎(または彰一郎、緑雲と号したようである)の二名で出発し、高田が九月二日東京に出府するに及んで、その後任として掛川から国府田某が九月二〇日より着任した。ほかに学校の世話係として日向謹作(郎)がかかわっていた。彼らの経歴はいま明らかにすることができない。

経歴が明らかでないということは、何も分からないということと同じである。そもそも『市史』は、なぜこれらの人物を用行義塾のスタッフとして紹介することがで

きるのかについても丁寧には書いていない。『市史・史料編』を見ると、確かにこれらの人名が散見される。根拠はそこにありそうなことは分かる。しかし、この史料のどこをどう見たら、4名に関する上述のような紹介が可能なのかは、史料を一瞥しただけでは簡単には分からない。なぜなら、史料の大部分は教員と塾生の出勤出席状況他を記したメモの類で、そこには日付ごとに人物名と多少のメモ書きが列挙され続けているだけなのである。この史料全体から何らかの情報を取り出そうと考えたら、少し骨の折れる史料である。

そこで、まずはこの史料を丁寧に分析してみようと考えた。筆者自身の便宜のために、より簡便に情報を理解できるように、1日単位で人名とその人について記された情報を整理し直してみた。個人名は教員だけでなく、塾生のそれも多数あるので、同じ整理をするのなら全ての人物について整理をした方が漏れがないし、他に何らかの情報が得られかもしれないと考え、教員だけの情報をピックアップすることは避けた。その結果、多数の情報をまとめることができた。その成果が、「用行義塾の基礎的研究資料」と題して、本稿と同時に本誌に掲載する一連の資料である。筆者による「基礎的研究資料」の内容は以下の通りである。

「用行義塾の基礎的研究資料（その1）」

→「表1 用行義塾教員の出勤状況及び日別情報の一覧」

を収録。本誌本巻に掲載。

「用行義塾の基礎的研究資料（その2）」

→「表2 用行義塾塾生の出席状況及び日別情報の一覧～特別の塾生・用務員」、

「表3 用行義塾塾生の出席状況及び日別情報の一覧～普通の塾生①」

の2つを収録。本誌次巻に掲載予定。

「用行義塾の基礎的研究資料（その3）」

→「表4 用行義塾塾生の出席状況及び日別情報の一覧～普通の塾生②」

「表5 用行義塾塾生の出席状況集計」

「表6 用行義塾塾生の時間別出席状況」

の3つを収録。本誌次巻に掲載予定。

これらの資料の詳細については、掲載稿に付した解説及び資料本体を参照頂きたい。

上記資料のうち、今回同時に発表する「基礎的研究資料（その1）」に収めた「表1」（以下、鍵括弧付の表番号は、全て筆者による上記の「基礎的研究資料」に収録され表を指す）は、用行義塾の4名のスタッフのうち、「世話係」とされている日向を除いた、教師3名に関する情報をまとめたものである。

この整理を通して、確かに、岡田、高田、国府田の3

名のみが、「先生」という肩書きで一連の史料に記載されていることを確認できたので、この3名が用行義塾の先生であったことは間違いないと断定できる。

これらの人物について詳しく知りたいのであるが、『市史』では既述の通り、分からないと正直に告白している。確かに今でも分からないことばかりである。それでも僅かながら、新しく分かったことがある。

3. 高田先生のこと

高田については、筆者は既に別の原稿にまとめ、別の場所に提出済みであり、近く公刊されるはずである⁽¹⁰⁾。詳細はそちらを参照頂きたい。

概略だけ記すと、この人は、『市史』やその他でもまったく触れられていないが、明治期日本の篆刻界で名を馳せた人物なのである。明治期だけでなく、高田の死後も、高田の弟子や孫弟子の多くが、今日に至るまでの日本の篆刻をリードしてきている。従って、篆刻の世界では師と崇められた人物の一人なのである。ただし、高田が篆刻の道に入るのは、高田が用行義塾に関わった時期よりも、もっと後のことである。

彼は、もともとは画家を志したのだが挫折し、漢学に転身して再び挫折し、更にまた書家に転身して、江戸から京都まで書をものしながら漫遊の旅をしたという人物である。ところが京都で自分よりも優れた書に出会った途端に失意を感じて江戸へ戻ることになる。どうやら、その帰途の一時期に袋井地域に滞在していたものと考えられる。用行義塾に関わるのは、その一時期に当たると想像される。

用行義塾を離れ江戸に戻ったあと、書では食べていけなかったので、請われて印を彫っているうちに、ようやく印人として大成することが出来た。これが高田という人物の略歴である。筋骨逞しく、赤銅色の肌に、あばた、片目という「恐るべき風貌の人」であったと篆刻の弟子の一人が後に述懐している。晩年の高田の姿である。実に異様な風貌である。用行義塾の頃も同じであったかどうかは定かではない。

市史では、高田は久津部の人と扱われているが、生まれは上州（群馬県）勢多郡のようである。単に「静岡」生まれと記す情報もある。生誕の地については上州勢多と静岡（「静岡」のどこかは情報がない）の二説があり、判然としない。「表1」の出勤記録には、例えば7月3日の箇所がそうであるように、高田の名前の脇に「久津ベ」と付記されているから、久津部村に住んでいたことは間違いがない。おそらくは、高田が偶々袋井地域に居た時期の逗留先が久津部であったということなのであろう。

そのため、その地に新しい学校が作られる際に、漢学や書に造詣があり、しかも江戸や京都でも仕事をしたこ

ともあるので、田舎にとっては得がたい知識人として、教師役をお願いされたのではないだろうか。但し、以上は筆者の推測に過ぎず、証拠はなにもない。

高田は文政9年(1826年)に生まれ、明治31年(1897年)に亡くなっているから、用行義塾が出来た明治5年頃は46歳である。教師としては申し分のない年齢である。

「表1」から明らかな通り、高田は明治5年7月3日に初めて用行義塾で教鞭をとり、9月2日に東京へ出立し、ここを去っている。この間、塾への出勤が確認できるのは、敬称抜きの「省一郎」の分を含めても全部で10回だけである⁽¹¹⁾。

期間にして僅か2か月、出勤回数も岡田や国府田と比べて僅かでしかない。いかにも、失意のうちに京都から落ちてきた人物の関わり方であるように思えてならない。もしかすると、嫌々教えていたのかもしれない。

これに比べると、「表1」から明らかなように、岡田や国府田は、遠方の掛川からわざわざ出向いてきて、時には何日も泊り込みで用行義塾で教えていたから、高田よりは余ほど心血を注いでくれていたと言える。

4. 岡田先生のこと

次に岡田についてだが、当時の掛川で岡田と言えば、すぐに岡田佐平次、岡田良一郎の親子の名が浮かぶ。掛川藩倉真村の庄屋を務めた地元の名家が岡田家である。父子は共に二宮尊徳に直接教養を受けたことがあり、報徳思想による地域再興に力を入れた人物である。とりわけ良一郎は、学制を受けて倉真村に小学校を作ったり(但し用行義塾よりも後のこと)、更に後には英語と漢学を教える私塾(のちに冀北学舎と命名。現在の関連舎屋が掛川市に残存)を設立するなど教育にも熱心であった⁽¹²⁾。

用行義塾の教師を務めていた岡田直なる人物は、岡田家と関係する人間ではないかと直ぐに想像したが、残念ながらそれを裏付ける証拠は未だ発見できていない。

現在、掛川市にお住まいの郷土史研究家で、大日本報徳社講師、ほうとく大使、の肩書きを持つ石野茂子さんと筆者は面識がある。筆者よりも掛川地域と岡田家に詳しい方である。ある時、石野さんに、岡田直という人物のことが分からずに困っていることを話したことがある。石野さんも、岡田家と関連があるのではと想像され、心当たりを調べてみましょうと言って下さった。しかし、それから数か月後、やはり何も分からないとの返事があった。

そのような次第で、岡田直については現在も何も分からない。はっきりしていることは、掛川から教えに来ていたことだけである。日帰りの場合もあれば、宿泊してから掛川に帰ることも度々あった⁽¹³⁾。

掛川といっても広いので、どこから来ていたのかが分

からない現状では正確なことは言えないのだが、現在でも掛川市の中心部から用行義塾があったと思われる袋井東小学校近辺までは、直線距離にして約7km弱の距離がある。1kmを10分で歩いて70分、15分なら105分ほど掛かる。徒歩で2時間弱の距離である。用行義塾で教えて日帰りだと、1日のうちに往復3~4時間は歩かなければならない。不可能な距離ではないが、老体の身では難しいであろう。現在の掛川市中心部以外の郊外から来ていたとなれば、更に時間を要したはずである。

その往復が出来たことから想像すると、恐らくは岡田も高田の年齢に近いか、もっと若い年齢であったのではないかと思われる。これが「表1」の出勤状況から唯一想像できる岡田の姿である。もっとも、もし馬を使っていたとしたら、また別の姿を想像する必要がある。

5. 国府田先生のこと

最後に、国府田についてである。彼については名が分かっている。高田の後任として掛川から招かれた人であるが、「表1」から明らかなように、最初に用行義塾に来たのは9月20日である。

高田が用行義塾を去ったのが9月2日であったから、18日後のことである。高田が抜けても塾の教育に支障が出ないように、例えばあらかじめ後任を探して十分な引継ぎをしておくといった準備を整えていたとは思えないような空白時間の長さである。もしかすると、高田が去ることは急に決まった話であったのかもしれない。

急な代役であったかもしれない国府田であるが、それでも彼の働きぶりは、高田や岡田よりも優れていたと言えようである。

「表1」を作り直ぐにわかったことがある。彼も掛川から教えに来ていたのだが、同じ掛川から来ていた岡田と比べると、行動パターンが非常にパワフルなのである。

例えば、用行義塾に夜の8時にやって来るのである。「表1」の10月11日の箇所がそれにあたる。夜8時といえば、用行義塾の時間割上では「独見」、そなわち、自分で本を読む自習の時間帯(7時~10時)である⁽¹⁴⁾。この日は、出席簿の史料は「欠」となっていて塾生に関する記録がない(次回発表の「表2」以下を参照のこと)。塾生がいたかどうかははっきりしない日である。8月も9月も11日は、用行義塾は休日であったから、この日も休日であった可能性はある⁽¹⁵⁾。仮に塾生が誰もいなかったとしたら、国府田は翌日の授業のために前泊したことになる。それが事実なら、意気込みの高さを感じられる。

さらに、この日以降、国府田の記録が出てくるのは、10月16日に「御宅へ御帰」りになったというものである(「表1」参照)。もしかすると、11日の夜に掛川から来て、そのまま16日まで滞在し続けて教えていたのかもしれない。

れない。但し、この間ずっと滞在していたという確証はないので、あくまでその可能性があるかもしれないというレベルの想像である。しかし、もしそうであるとしたら、この長期滞在型教授法も彼の熱心さを示す好材料となろう。しかも、このような長期滞在が想像できる箇所はこの時だけではなく、何回もあるのである（「表1」参照）。もっとも、これも想像の域を出ない話ではあるのだが。

不確かな話ではなく、確実に言えることで、更に驚くことがある。それは、国府田が掛川の家に戻った同じ10月16日の夕方に、再び塾に来ている事実である（「表1」参照）。用行義塾から掛川の家に戻って、すぐにトンボ帰りで用行義塾に戻っているのである。自宅に滞在するよりも用行義塾にいる方が長いのではないと思われる。このような行動は岡田には一度も見られない。

しかもこの日帰り帰宅も、この一度だけではない。「表1」の11月16日の箇所でも用行義塾から朝、掛川に行き、同日夕方に再び塾に戻っている記録がある。

このようなパワフルな行動から想像できることは、国府田は岡田よりも年齢が若かったに違いないということである。

いまひとつ国府田に特徴的なことは、息子を川行義塾に連れて来ていることである。詳しいことは別稿「基礎的研究資料（その1）」に記したので、それを参照頂きたい。この国府田の子は、単に親に付き添って来ていただけの童子である可能性もあるし、青少年であった可能性もある。或いは、この息子も先生であった可能性さえある。いずれもすべて不確かなままの推測に過ぎないのが残念であるが、万が一、この息子も先生であった場合には川行義塾には2人の国府田先生がいたことになり、先生は合計で4名になるかもしれない。その可能性は低いか高いか、それも分からない。

6. 先生の記録から分かること

以上、僅かではあるが川行義塾の先生に関して判明している情報から、現時点で分かることをまとめておきたい。

第1に、川行義塾を作った人々は、教師を地元久津部村の中からは出すことができなかった、という事が分かる。確かに高田は久津部にいたのは事実であるかもしれないが、元々その土地の人間ではなく、外から流れ着いて一時的に滞在していただけの人物である。しかも少し癖のある、特異な人物のようである。だから、すぐに川行義塾からも離れて東京に行ってしまった。

久津部村には、川行義塾を自らの手で作ろうというような野心的で積極的な実践家がいたことは間違いないが、しかし、実際の教育ができる知識人は地元にはいなかった

ことになる。そこで白羽の矢が立ったのが、高田と、掛川の岡田直であった。

第2に、高田の経歴から容易に推測できることだが、彼の専門分野は漢学または書画であり、せいぜい、それらを土台とした一般教養を教えることしかできなかったであろうと思われる。それで十分なレベルのカリキュラムが川行義塾の教育内容であったということになる。岡田や国府田の経歴や専門は不明だが、同じ教師の高田がそのような人物であったのだから、岡田や国府田も同レベルの人であったとしても不思議ではない。とりわけ国府田は高田の後任として選ばれたのであるから、高田と同じような教養があればよかつたはずである。

ここから何が言えるかということだが、これらの教師では決して慶応義塾の教育はできない、と断言することができるのである。なぜなら、当時の慶応義塾は英語のテキストを輪読して解釈をするという授業内容であったから、英語ができなければ慶応義塾の授業はできないのである。慶応義塾は純粋な英語塾である。しかし、高田、岡田、国府田に英語を教えるだけの力があつたと想像することは難しいのではないか。

川行義塾のカリキュラムから既に明らかなことではあるが、川行義塾では英語で何かを教える、英語で何かを学ぶ、というスタイルの授業は全く行われていない。それに類するものを探すとしたら、わずかに「洋字」及び「洋数字」を習う時間が、「五等」の「習字」の時間に組み込まれているだけである⁽¹⁶⁾。その他に英語または英書を用いて教える時間は見当たらない。それどころか、『大学』、『論語』、『左氏伝』など、江戸時代の漢学塾でも馴染みの文献の素読がある。

もちろんそれ以外に、福沢諭吉の著した『世界国尽』、『西洋事情』など、漢学塾では教えない文献も用いている。その上、多少アルファベットも覚えさせるのであるから、教育レベルは江戸時代の寺小屋や漢学塾とは異なっている。

しかし、そうであったとしても、当時の慶応義塾では川行義塾で扱ったような『論語』や『左氏伝』は決して教えないのである。

このように川行義塾は、授業内容からみても、教師のレベルからみても、慶応義塾と同じ教育はできないのである。川行義塾と慶応義塾は明らかに質が違う学校なのである。

そこで冒頭に戻って、川行義塾についての説明を振り返って欲しいのだが、そこにはいつも福沢諭吉や慶応義塾と関連付けて説明をしたいという発想があつた。

とりわけ冒頭の3つの文章の2つ目は、川行義塾が慶応義塾と同じ塾であるかのような書きぶりであつた。しかし、以上のことから分かるように、川行義塾と慶応義塾は中身が全然異なっているのである。間違っても、慶

応義塾の分校では絶対がない。

また学生の層も、慶応義塾の塾生は青年達であったのに対して、用行義塾の主たる塾生は今日の小学生と変わらないから、この点でもまったく違う。

ちなみに、用行義塾に関係した人で、個人名が判明している3人の教師の中で、1人でも慶応義塾の卒業生、または何らかの形で慶応義塾と縁のある者があれば、慶応義塾の関係は即座に判明するが、『調査史料集 慶応義塾入社帳・第四索引』⁽¹⁷⁾を調べたところ、そこに彼らの名を見つけることはできなかった。これで用行義塾の教師は慶応義塾と縁のある人はいないことも判明した。

以上の点から、用行義塾と慶応義塾は異なるものであると断定できる。

しかしそれでも、「義塾」の名が共通していることは単なる偶然であって、慶応義塾や福沢諭吉とはまったく縁もゆかりもないと言って済ませることは未だできない。『市史』が指摘している設立趣意書の問題と、福沢の思想との関連性の問題が残っているからである。

7. 福沢の影響

正確に言うと、用行義塾の「設立趣意書」という名の文書は存在しない。『市史・史料編』に収められている史料には、文書名として「用行義塾教則ならびに規則」という名がつけられているが、これも正しくない。『目でみる袋井市史』には「用行義塾設立趣意書」と「用行義塾学規」という名をつけて、それぞれの文書の写真を掲載しているが、この名も正しくない。現物の文書につけられた正しい名称は、『目でみる袋井市史』掲載の写真⁽¹⁸⁾から明らかな通り、「用行義塾」と「規則」の2つである。袋井東小学校に現存するのは、その版本である。

「用行義塾」の文書が俗に設立趣意書と呼ばれているものである。これには、用行義塾を設けた理由を記した文書が右半分、さらに左半分にはカリキュラム表が掲載されている。『市史・史料編』がこの文書を「教則」⁽¹⁹⁾と呼ぶのは、この時間割表があるからである。本稿では以下、正確な文書名ではないことを示すために、二重山括弧を付けて《設立趣意書》と記すことにする。

用行義塾の《設立趣意書》の文書部分の全体を『市史・史料編』から下に転記する⁽²⁰⁾。濁点の有無は『市史・史料編』のままである。原文は縦書きである。

夫レ人ノ人タル道ヲ知り、士農工商其ノ業トスル所ヲ学ヒ、身ヲ安シ、家ヲ富スニハ、學術ヨリ要ナルハナシ、然レトモ、従来ノ学法ハ難解ノ文選、詩集、文集、百家ノ書ニテ半生ノ知力ヲ費シ、人生欠クベカラザルノ活計ニ暗キノミナラ^マズ⁽²¹⁾、世事ニ疎ク其要領ヲ得ガタシ、故ニ同志ノ輩ト謀リ、我山名

郡久津部邑ニ義塾ヲ設ケ、少年ヲシテ知識ヲ開カシメント欲ス、其学則ハ習字、語学、書翰、証券ノ文法、数学、地理学、農学、商法学、経済学、歴史等ノ大略ヲ知覚シテ、各其專業ヲ学ハシメハ、士農工商其業トスル所ヲ知り、身ヲ安シ、家ヲ富シ、人ノ人タルノ道ヲ知ラハ、国家ニ於テ多ク益アラン

旧来の教育では難解の文を読ませて知力を消耗するのみで、人生に必要な知識や技能を得ることなく役に立たないと批判する点や、身に付けた学業を各々の業務に役立てることで、自身も家族も国家も利益を得る、という論法は、福澤諭吉の『学問のすゝめ』と全く同じである。これは『市史』の言う通りである。

『学問のすゝめ』(初編)は明治4年12月に脱稿し、明治5年2月に出版されている。続く『学問のすゝめ 二編』は明治6年11月の出版であるから、用行義塾関係者が『学問のすゝめ』を見ていたとしたら、初編だけに限られることになる。それでも、初編の内容だけを参考にしても《設立趣意書》に示された内容は十分に書くことができるので、この本の影響を受けている可能性は確かにある。

ただ、そうなると『学問のすゝめ』初編の出版から僅か4か月後に用行義塾が発足したことになる。この4か月という時間は、どのように考えたらよいのであろう。仮に、『学問のすゝめ』の出版直後にこれを読んだ誰かがその内容に共感し、自分たちの故郷にもこれと同じ精神で新しい学校を設立したいと考えて、直ちにその準備に掛かると仮定しよう。果たして、それから僅か4か月で開設まで漕ぎ着けられるのであろうか。

もちろん、小さな学校に過ぎないから十分に可能であった、と考えられないことはない。絶対に不可能であるとは、筆者は言わない。しかし、白紙の状態からカリキュラムを考え、受講料等の費用を計算し、書物入手し、先生を探し、それらに要する初期投資を捻出し、生徒を募集し、授業を行う場所を確保し、実際に学校が動き出すまで、わずか4か月では、実現は難しいのではないかと思う。

あるいは、もしかすると、新しい学校を、という願いは、『学問のすゝめ』以前から持ち合わせており、その準備をしていた最中に『学問のすゝめ』と出会い、《設立趣意書》にその精神を借りたということも考えられなくもない。いずれにしても、すべては憶測に過ぎないから、全部がまったく外れているかもしれない。ここでも、本当の所はわからないのが現状である、と記しておこう。

それでも言えることは、『学問のすゝめ』に記されたような、いろは四七文字から始まって、手紙の書き方や地理学、経済学等々に進むという、福沢が提唱している形の教育を用行義塾は確かに取り入れていたということである。この意味において、福沢の影響は用行義塾に及

んでいたと言うことはできる。

ちなみに、この形式の教育は慶応義塾の教育とは別物である。既述の通り、慶応義塾は初等教育機関ではなく英学塾であるから、いろはの書き方を教える場所ではない。従って、用行義塾は慶応義塾の教育を真似たのではなくて、『学問のすゝめ』に示された教育の精神と形を真似たということになる。

ただし、同じ『学問のすゝめ』で「虚学」として福沢によって排斥された漢学も用行義塾では取り入れている。それゆえ、福沢の考え方を丸ごと受け入れて作ったものであるとも言えない。正しく言うと、旧来の漢学的素養の教育に加えて、部分的に福沢の考えを織り込んだ教育内容を用行義塾では実施していたことになる。その意味で、福沢の影響というのは部分的であったと言うべきであろう。

いまひとつ指摘すべきことは、用行義塾の教科書として使われた書物の中に、福澤諭吉が執筆した『窮理図解』『世界国尽』『西洋事情』などがあった点である⁽²²⁾。用行義塾では福澤諭吉の書物も教材となっていたのであるから、その点でも福澤と関連はあると言える。

8. まとめ

以上のように、用行義塾は、①『学問のすゝめ』が提唱した精神と教育スタイルを部分的に真似ていること、②福沢の書物を教科書に用いていたこと、の2点から、用行義塾には福沢の影響があったと言うことはできる。

しかし、注意しなければならないことは、上の①②は、なにも用行義塾に限ったことではないという点である。『市史』が記しているように⁽²³⁾、そもそも政府の「学制」及びその「被仰出書（おおせいだされしよ）」は、福澤諭吉の考え方と共通していたというのである。

教科書として福澤の書物が用いられていた点についても、「学制」に続いて文部省が通達した「小学教則」（明治5年9月）の中で、全国の小学校で教科書として用いるように例示された中にも、用行義塾で使われたものと同じ福沢の書物が含まれている。

つまり、福沢の影響を受けたというのは、用行義塾だけが特別であった訳ではないのである。福沢は明治初期の日本の教育界に広く影響を及ぼしており、用行義塾も同じように影響を受けた一つに過ぎないことになる。

用行義塾の意識と教育内容は、「学制」によってスタートした日本全体の初期初等教育と同じ軌道に乗っていたものであり、当時の日本では特別のものとは言い難いのである⁽²⁴⁾。

その意味で、用行義塾と福澤諭吉の関連を指摘することは間違いではないが、関連性を強調しすぎると、何か特別な関係があったかのように誤解される恐れがあるの

で注意を要すると思われる。とりわけ慶応義塾と用行義塾は、「義塾」の名が同じであっても、両者の教育内容は何の関係もないので、特に注意が必要である。

しかし、それでもなお用行義塾には特別な価値が認められる。それは塾の発足が「学制」の2か月前であったことである。

学制による国の命令によって用行義塾が出来たわけではなく、地元民の意思と力だけで作ったのであるから、その意気は大いに評価されてよい。袋井近辺では間違いなく一番古い近代的な小学校と言えるものを、この地の人々が自発的に作ったことは、ぜひ記憶に留めておくべきである。

それでは一体、誰が、なぜ、このような学校を作ったのか。益々この点が知りたくなるのであるが、今回はここで筆を擱く。

- (1) 「一年前」というのは間違いである。「学制」は明治5年8月に出され、用行義塾は同年6月に設置されているから、2か月前が正しい。
- (2) 「m.ogawa」氏が運営しているWebサイト「はまだより」(<http://hamadayori.com/index.shtml>)の中に「発祥の地コレクション」があり、その中にある「袋井近代教育発祥之地」(<http://hamadayori.com/hass-col/education/FukuroiKyoku.htm>)のこと。
- (3) 袋井市史編纂委員会編『袋井市史 通史編』（以下の注記でも『市史』と略す）（昭和58年11月3日、袋井市役所発行）1035頁。
- (4) 同上、1392～1393頁。
- (5) 『目でみる袋井市史』は、『市史』発刊後に編集スタッフによって簡便にまとめられた資料である。
- (6) 袋井市史編纂委員会編『袋井市史 史料編四 近代現代』（以下の注記でも『市史・史料編』と略す）（昭和58年1月31日、袋井市発行）300頁掲載の「規則」末尾に、この日付と「発校」の文字がある。
- (7) 前掲『市史・史料編』299頁掲載の《設立趣意書》の文中に「山名郡久津部邑」とあり、301頁掲載の「規則」末尾に「遠州第三拾区久津部邑」とある。邑は村のこと。区は、明治4年制定の戸籍法で設定された戸籍編製上の単位。久津部村は、明治8年に国本村が成るまで現在の袋井市域内に存在した村。江戸時代は旗本領。現在も袋井市に久津部の地名が残っている。
- (8) 前掲『目でみる袋井市史』80頁。
- (9) 前掲『市史』1036頁。
- (10) 以下、小栗勝也「用行義塾の教師・高田緑雲について」を参照のこと。『文芸袋井』（編集発行：袋井市文化協会・袋井市教育委員会）第8号（平成26年3月発行予定）に掲載の予定。
- (11) 「表1」に示されている通り、9月2日の記録は「東京へ

御出校」とあるだけなので、教授した回数には含めなかった。

- (12) 岡田については読み易い資料として、三戸岡道夫『冀北の人・岡田良一郎』（平成 11 年 3 月 1 日、栄光出版社）がある。
- (13) 例えば、「表 1」の 8 月 28 日を見ると、この日は用行義塾で教えたあと、そのまま当地に滞在して、翌 29 日晩に掛川に帰っている。同様に、9 月 8 日～9 日、同 13 日～14 日、10 月 9 日～10 日、同 14 日～15 日、11 月 9 日～10 日、同 23 日～24 日も滞在している。
- (14) 前掲『市史・史料編』299 頁の時間割を参照のこと。
- (15) 「表 1」参照。ただし 7 月 11 日、11 月 11 日は休日ではなく、塾生の登校もある（「表 2」以下を参照のこと）。
- (16) 以下も注（14）に同じ。
- (17) 『調査史料集 慶應義塾入社帳・第四索引』（昭和 58 年 3 月 31 日、慶應義塾塾監局塾史資料室発行）
- (18) 注（8）に同じ。
- (19) 前掲『市史・史料編』299 頁。
- (20) 同上、299～300 頁。
- (21) 引用文中に小栗が「ママ」（そのまま、の意味）を付した「ノ」は、『市史・史料編』に記された通りに転記したもののだが、文法的に不要な文字である。原史料からの転記ミスではないかと思われる。
- (22) 注（14）に同じ。
- (23) 以下、注（9）に同じ。
- (24) だが、厳密にいうと「学制」の小学校課程の教育内容よりも用行義塾のそれの方がレベルは高かったので、「学制」と全く同じではない。この点については別の機会に示したい。

サプライチェーンの機能連鎖モデル化による製品利用サービス設計

—モノづくり視点のサービスイノベーション—

Designing a service utilizing product by the modeling of Function Supply Chain
—The service innovation of Goods Design and Manufacturing view point—

三原 康司*
Koji MIHARA

In order for a goods design and manufacturing company to raise business achievements these days, not only producing and selling Goods, but also leading to improvement in added value which cooperated with service is required. In addition to that, there is a need to utilize the findings of the research in the field of the new business of Goods + Service. This research builds up the model of the service innovation based on the system theory and the structure of the supply chain which refers to a flow of goods. Firstly it proposes the modelling of Function Supply Chain in the case of incorporating service system based on the premise that a supply chain is a chain of a system. Then it explores model elements and patterns of creating new services.

Key words: Service Innovation, Supply Chain, System Theory

1. はじめに

昨今、モノづくり企業が業績を向上させるには、モノを作って売るだけではなく、サービスと連携した付加価値の向上が必要であると言われている[1]。そして、モノ+サービスの新たなビジネスに関して、実践的に活用可能な研究成果が望まれている。

2004年、パルミサーノレポートを契機に、製造業のサービス研究、モノとサービスの融合ビジネス研究など、多くのモノとサービスの研究が行われてきた[2][3][4][5][6]。それらの多くは成功事例の帰納的分析がほとんどであり、普遍的に広く当てはめることが難しい研究結果になっている。その研究結果の多くは、概念的であり、即座にモノ+サービスに関する社会的貢献に結びつくことは難しいように思われる。現代モノづくり企業が求めているモノ+サービスに関する研究成果は、どうやったら自社のモノやコア技術を用いたサービスを企画できるのか、生産性を向上できるのか、イノベーションとできるのか、といったことであり、他社の成功事例の分析結果ではないことは言うまでもない。

筆者は、モノ利用サービスのイノベーション設計に関して、設計的・演繹的であり、モノ・サービスのどちらにも偏らない、機能中心のシステム理論を基に研究を進めている。モノ+サービスシステム設計に関して、1980年代のコンピュータービジネスを皮切りに、1990年代にはソフトウェア、ネットワークビジネス、2000年代にはインタ

ーネットによるコンテンツ配信ビジネスを実務家として体験してきた。その実体験とその過程で得た知識、そしてこれまでの研究を基に、モノ+サービスのイノベーション設計に関して研究を進めている。システム理論は、世の中の全てのモノ・コトに適用できる理論である[7]。システム理論を基に研究を進めることにより、モノ+サービスの企画からオペレーションまでの広い範囲を、一貫した工学的理論で考察することができる。

本稿は、モノづくり視点であるサプライチェーンをシステム設計理論に基づいて分析し、その中の製品供給フェーズにおける製品利用サービスシステムの設計要因を明確化することを目的とする。

2. 従来の研究と本研究のアプローチ

Chesbrough, 近藤, 他[8][9][10]のサービスイノベーションに関する先行研究をまとめると、サービスイノベーションには、1)新しいサービスの創出(主にサービス業者によるイノベーション)、2)既存のサービス分野で発生する技術やプロセスのイノベーション、3)サービス業者以外のサービスの開始、の3種類のイノベーションがあるといえる。製造業におけるサービスイノベーションは、3)サービス業者以外のサービスの開始と思われがちであり、日本では製造業のサービス業化が重要とされている。しかし筆者は、現代先進国の産業にとって重要なことは、製造業のサービス化ではなく、製造あるいは産出される全ての

2014年2月27日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

モノに関係するサービスイノベーションの創出であると考えている。なぜなら、製造業者が新しいサービスを開始・推進するというだけでなく、モノに付随した新サービスの創出、モノ関連サービスにおける何らかの革新も、モノの産出・製造事業の付加価値向上につながるからである。つまり、現代の先進国産業では、モノと関連するサービスイノベーションの創出が必要とされているといえる。

本研究では、機能中心のシステム理論を基に、モノを供給し、利用してもらうための流れであるサプライチェーンの構造を考察し、サービスイノベーションのモデルにアプローチする。これまでのサプライチェーンマネジメント研究では、モノの供給連鎖に注目した研究がほとんどであり、この連鎖の中にサービスを組み込んだ研究はあまり見られない。物流・購買・販売などの従来から生産活動に含まれるサービスに関しては、効率化・生産性等に関する研究がある。しかし、これらのモノを用いて顧客に無形の価値を提供するサービスをサプライチェーンの中に組み込んだ研究はあまりない。他方、サービス研究においても、サプライチェーンから新サービスイノベーションに取り組んでいる研究はないと思われる。

サプライチェーンの上流（サプライヤー）から下流（エンドユーザー・最終受益者）までの流れの中には、必ずモノとサービス（物流、流通、サポート、無形価値の提供、など）が存在する。モノが存在するという事は、所有と利用、という2つの権利が関係する。サービスでは、利用のみであり所有権の移動はない。そしてシステム理論的には、全ての流れには機能、インプット、アウトプット、キャタリスト（機能を受益者に働きかける人・モノ・情報）が存在する。現在進めている一連のモノ利用のサービスイノベーション研究では、システム設計要素、モノの所有と利用、サプライチェーンの3つの側面からモノ利用サービスシステムのモデル化とその設計に取り組んでいる。

本稿では、サプライチェーンをシステムの連鎖であると捉え、そこにサービスを組み込んだ場合の機能連鎖のモデルにアプローチし、新サービスを創出するためのモデルとその構成に関して追求する。

3. システム理論を基にしたサプライチェーンの分析

3.1 サプライチェーン・システム

サプライチェーンには、原材料となる素材を仕入れ原材料に加工あるいは供給可能な形態とする原材料製造業者、供給された原材料を用いて半製品を製造する半製品製造業者、供給された半製品とその他の原材料などを用いて製品を製造する製品製造業者、そして製品を購入し製品価値を受益する顧客が存在する。各々の製造業者と顧客の間には、供給物を販売・購入する流通業者がいる。そして、原材料製造、半製品製造、製品製造、顧客、の各々の間にマーケティング・販売・流通・物流といった製造活動以外の

無形の付加価値活動がある。このように、素材を起点として、原材料～半製品～製品～顧客の供給の連鎖を、できる限り統合的に捉え、全体最適を目指しているのが、サプライチェーンマネジメントである。

筆者はこのサプライチェーンマネジメントに、サプライチェーンで登場するモノを用いて人に無形の価値を提供するサービスを追加し、サービスを含めて全体最適を目指すことによって、機能供給連鎖（ファンクションサプライチェーン、以後 FSC : Function Supply Chain）モデルを構築できると考えた。

3.2 ファンクションサプライチェーン・モデル

前項で述べたように、従来のサプライチェーンは、原材料製造→流通→半製品製造→流通→製品製造→流通→顧客という流れで捉えられてきた。この流れに、サービスを追加する場合を考える。モノを利用したサービスは、主に製品を利用すると考えられている。そのため、製品製造と顧客の間に、サービスシステムを設計したサービス業者がその製品を用いてサービス価値を顧客に提供するという追加形態が一般的であると考えられる。ここで追加されたサービスを含めて、FSC をシステムの連鎖として表現すると、図 3-1 のように示すことができる。

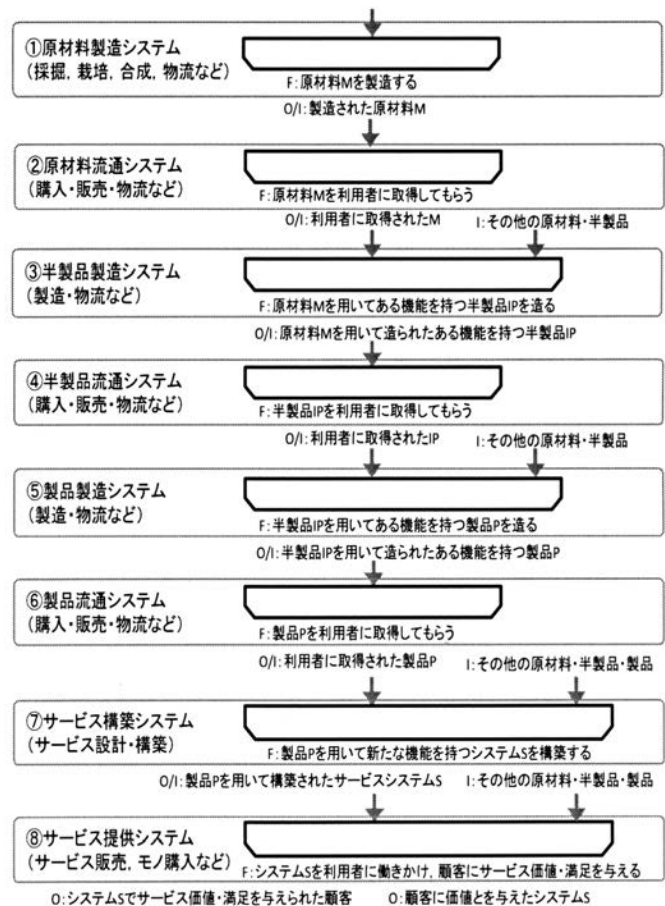


図 3-1 機能供給連鎖モデル

本研究におけるサービスの定義は、「一方（人・モノ・情報）が、顧客（人）に対して無形の価値を提供する機能」とする。顧客は最終的な機能価値の受益者であるから、SCの最終的到達点に位置する。図3-1では⑤で完成した製品が⑥の流通プロセスを経てサービス構築システムにインプットされ、その機能を顧客に提供している。これが、一般的なサービス業者が製品を利用したサービスを提供するシステム形態である。しかし、サービス構築を、半製品を用いて行う場合には、⑤、⑥を経由せず、④から⑦にインプットすることも可能である。例えば、「調理が必要な缶入りの食材を使ってレストランで料理を提供する」というようなケースが既に存在している。これは既にある例であるが、FSCを構成する各システムの組合せの中で、これまでに世の中に存在しない、あるいは自社では行っていなかった流通・サービスのパターンがあるかもしれない。そして、これまでにない組合せパターンを発見できれば、それはイノベーションとなるような新FSCモデルとなる可能性が高いと考えられる。例えば、農業の6次産業化を推進するために、原材料としての農産物のサービスを考え出す可能性などが生まれるわけである。

このように、これまでのサプライチェーンの概念では、顧客に接するモノは製品であるケースがほとんどであった。しかし、FSCの考え方をうれば、原材料や半製品であってもそれを用いて顧客に無形の価値を提供するサービスを追加し、新たなサービスモデルを考えることができる。

3.3 機能によるモノの分類

次に、FSCを構成するモノを、システム理論を用いて機能面から考察する。

システムは、機能・インプット・アウトプット・キャタリスト[注1]・環境の5つをシステムの設計要素としてしめすことができる[11][12]。図3-2はシステムの要素をモデルで示したものである。

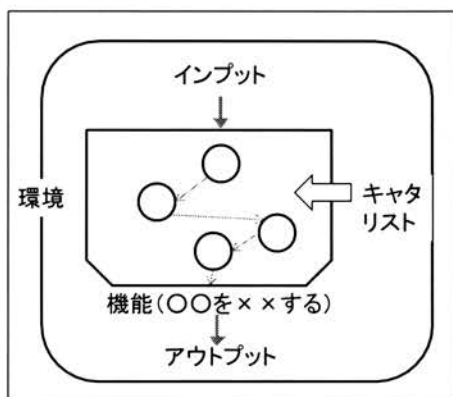


図3-2 システム要素モデル

図3-1は、この理論に基づいて、サプライチェーンの流

れを機能とインプット・アウトプットで示したものである。ここで、原材料製造から顧客に届くまでに登場するモノの機能に注目して分類すると、(a)加工や他のモノとの組合せなどをしなくても、それ単独で機能を持つモノ、と(b)単独では機能を持たず、加工や他のモノと組合せによって機能を持つモノ、の2つに分類できる。これをサプライチェーンにおけるモノの流れと照らし合わせてみると、(a)は製品 (b)は原材料と半製品となる。

(a)は製品であり、その機能を働かせるための機能稼働者が、その機能を稼働させることによって、機能が働いたアウトプットを産出することができる。例えば、カメラを用いて「写真を撮影する」という機能を稼働させることによって、「撮影された写真」がアウトプットされ、写真を手に入れたかたの人に価値を提供している。そしてこのケースでは3つの形態が考えられる。一つは、機能が働き価値を得る人(機能受益者)自身が機能稼働者の場合であり、機能受益者が自分のために製品の機能を使う形態。もう一つは、機能受益者とは別の人が機能稼働者の場合で、機能稼働者が受益者に対して、機能を働かせる形態である。三つめは機能受益者とそれ以外の人の双方が機能稼働者となる場合であり、三つめの場合は、主たる機能稼働者がどちらかによってさらに2つに分類することができる。

一般に、最初の形態は製品を購入して自分で利用する形態、あとの二つはサービス業者がその製品を用いて顧客にサービスを行う形態と言える。

(b)は原材料か半製品で、これらは単独で機能を持たないため、これらを用いて何らかの機能を発揮させるには、それを含んだシステムが必要になる。つまり、そのモノを用いて利用者が加工・組合せを行い、何らかの機能をもったシステムを構築し、機能稼働者がその機能を稼働させる必要がある。例えば、生肉を加熱調理して料理を作る、といったケースがある。そしてこの場合も前述の(a)の場合と同様に、機能稼働者が機能受益者と同一人か、受益者は稼働者以外の人であるか、の2通りが考えられる。機能稼働者自身のために機能を働かせる場合は、顧客が原材料や半製品を用いて自分自身のために機能を稼働する。機能稼働者以外の人のために機能を働かせる形態では、稼働者が、機能を受益者に働きかけることになる。また(a)での説明と同様に、機能受益者とそれ以外の人の双方が稼働者となる場合もあり、この場合は主たる稼働者がどちらかによって2つに分類することができる。

さらに(b)の場合は、原材料あるいは半製品が組み込まれた機能を持つシステムを設計する必要がある。そして、そのシステムの設計者が機能稼働者なのか機能受益者なのか、機能稼働者と受益者双方の協同なのか、によっても分類される。

このように、FSCモデルの中で、対象とするモノが単独で機能を持っているかないかによって、キャタリストになりうるシステム要素の属性[13]の組み合わせパター

ンが多数存在し、その中にはこれまでにないモノ+サービスのモデルパターンが存在する可能性がある。

3.4 フェーズによる機能の分類

次にFSCの上流（原材料側）から下流（顧客側）までを、対象としているモノでフェーズ分けし、機能との関係を考える。

FSCを対象のモノでフェーズ分けすると、(1) 原材料供給フェーズ (2) 半製品供給フェーズ (3) 製品供給フェーズに分けることができる。本稿では、それ自体で機能を持つ製品供給フェーズに着目して、新サービス設計のための機能提供モデルとそのパターンに関して考察する。

4. 製品利用サービスシステムのモデル化

4.1 製品利用サービスシステムのモデルを決定するシステム要素と取り得る参画者の考察

製品が発揮しうる機能を考えると、製品利用サービスシステムでは2種類の機能の稼働を考える必要がある。製品には主機能・付随機能があるが、そのほかに潜在的な機能がある。例えば鋏の主機能は、「〇〇（対象物）を切る」ことであるが、潜在的な機能として「折り目を付ける」、「蓋をこじ開ける」などが考えられる。利用する人によっては、製品メーカーの想定した主機能・付随機能以外の潜在機能を使って、とんでもない使い方をしていることがある。そして、こういった使い方にヒントを得て、新しい製品やサービスが企画されているケースは少なくない。

そこで、製品利用サービスシステムにおける製品の主機能と潜在機能を稼働させる場合の各々のシステム構成要素を分析し、製品利用サービスシステムのモデル化を行う。

(1) 製品の主機能を稼働させるシステム

システムの構成要素は、機能、インプット、アウトプット、キャタリスト、環境の5つである[13]。このなかの「環境」は、システムが置かれる環境であり、特定のシステムを設計する時には考慮する必要がある。しかし、本研究では一般的なシステムモデルを考えるため、環境は考慮しないことにする。ここで、製品利用システムのモデルを決定する上で必要なシステム構成要素（環境以外）を、対象製品として「自動車」を例に考察する。

「自動車で移動する」システムを考えると、機能は「自動車で移動する」、この機能から得たいアウトプットは「移動した人」と「移動に使われた自動車」、インプットは「移動したい人」と「移動のための自動車」、キャタリストは「運転する人」、と示せる。

これをシステム図で示すと図4-1のようになる。

このシステムを基に、製品利用サービスシステムのモデル決定要素に関して考察する。

インプットの「移動したい人」とアウトプットの「移動した人」は同一人であり、製品やサービスの価値受益者である。サービスシステムは受益者に価値を提供するための

システムであり[13]、受益者は必ず一意に決定される。よって、受益者であるインプットとアウトプットは、サービスシステムには必ず必要であるがモデルの性質を決定する要素にはならない。

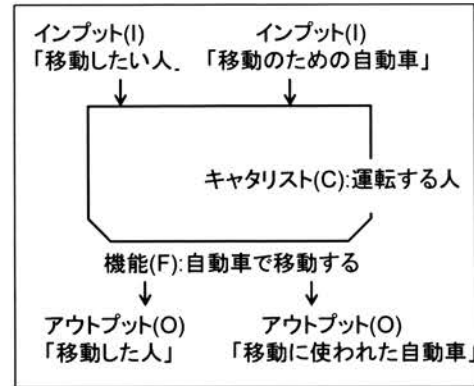


図4-1 自動車で移動するシステム

もう一つのインプットである「移動のための自動車」（アウトプットは「移動に使われた自動車」）は、機能表現によって使用を指定されたモノである。機能はそのシステムが果たすべき最も重要な要素である。

機能表現によって指定されたインプットである「自動車」は、製品そのものであり、「移動する」機能を持っている。機能表現が自動車を使うことを指定した場合はインプットとなるが、機能表現に指定されていなければキャタリストになると考えればよいであろう。

次にそのキャタリストに関して考える。キャタリスト「運転する人」では、キャタリストとなる人に関して2つのケースが考えられる。ひとつは、移動した人自身が運転する人となる場合で、キャタリストとアウトプットが同じ人の場合。もう一つは、移動した人と異なる人が運転する人となる場合で、キャタリストとアウトプットが異なる人の場合である。

さらに、製品を利用するシステムの場合には製品の持つ重要な性質がある。それは、必ず所有者がいるということである。製品利用システムの場合の製品の所有者は、移動した人か、運転した人か、あるいはそれ以外の人の3つの場合がある。

(2) 製品の潜在機能を稼働させるシステム

先に説明したように、製品はそれ自体で主たる機能をもっている。自動車の場合は移動する機能である。この機能は、その製品を利用すれば単独で発揮することができる。一方、製品には主機能以外に潜在機能がある。そして潜在機能を発揮させるためには、その製品を用いた何らかのシステムを設計する必要がある。つまり、製品が機能を発揮するモデルは、製品単独で主機能を稼働する場合と、潜在機能を稼働させるためにシステム化される場合の2つのケースが考えられる。

そこで、製品の潜在機能を稼働させる場合の製品利用サ

ービスシステムを考察する。製品の潜在機能を利用する場合は、その製品を使った新たなシステムを設計する必要がある。先に説明したように、製品の潜在機能を稼働させるシステムは、その製品が持つ主機能とは異なる機能を持つシステムであるから、図 4-1 で示したシステムとは異なっている。

「自動車で寝る」というシステムを考えよう。自動車の主機能は移動することである。しかし、車内で寝ることも可能であり、潜在機能の一つであるといえる。このシステムでは、機能は「自動車で寝る」、インプットは「寝たい人」と「自動車」、アウトプットは「自動車で寝た人」と「寝るのに使われた自動車」、キャタリストは「(車内に)寝るところを用意する人」となる。これをシステム図で示すと図 4-2 のようになる。

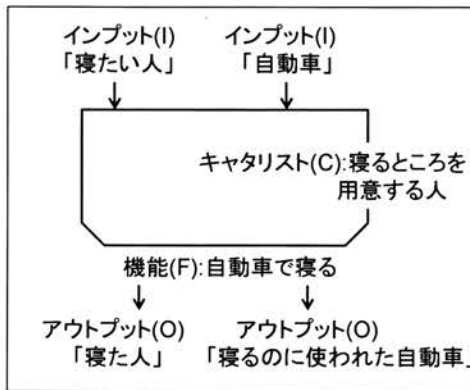


図 4-2 自動車の社内で寝るシステム

このシステムにおける製品利用システムモデルの要素に関して考える。(1)と同様、インプットとアウトプットの「人」は全てのモデルで最終受益者であるので、モデル決定要素にはならない。もう一つのインプットである「自動車」は、機能表現によって決定されるものであるが、その製品の主機能ではない。つまり、システム設計者がその製品の潜在機能を発見し、それを利用しようとして新たなシステムの機能表現を設計したといえる。このような製品の潜在機能を新たなシステムとして実現するには、そのシステムを設計する人が必要である。このシステムを設計する人は、二つのケースが考えられる。一つは、寝た人(機能価値の受益者)自身が設計する場合。もう一つは、寝た人以外の方が設計した場合である。「自動車で寝る」システムの場合は、寝た人自身がそのシステムを設計したのか、車内ベッドなどを提供している業者などがこのシステムを設計したのか、の二つの場合がある。

キャタリスト「寝るところを用意する人」は、寝た人か、寝た人以外の人かの二つのケースが考えられる。

4. 2 製品利用サービスシステムのモデル化

前項で製品利用サービスシステムのモデルを決定するシステム要素を考察した。以下にその結果をまとめ、機能

によるモデル化を行う。

製品利用サービスシステムを構成する役割として、製品所有 (Product Ownership (以後 PO と略す)), システム設計 (System Design (SD と略す)), 機能稼働 (Catalyst (C と略す)) の 3 つを示すことができる。この 3 つの役割の組み合わせが製品利用サービスシステムの特徴を決定すると考えられる。

すなわち、この 3 つが製品利用サービスシステムのモデルを決定する機能(役割)要素である。製品利用サービスシステムの機能(役割)モデルは、図 4-3 のように示すことができる。



図 4-3. 製品利用サービスシステム機能モデル

次に、前項の考察を基に製品利用サービスシステムモデル決定要素の実行者となり得るシステム参画者に関して考える。製品利用サービスシステムへの参画者は、機能受益者 (Beneficiary (以後 B と略す)), 機能供給者 (Supplier (S と略す)), 第三者 (Others (Ot と略す)) の 3 者となる。これらは、各役割を担当するシステム設計者や実施者となる。

製品所有 (PO) 機能を発揮できる、つまり製品の所有者をなることができる参画者は、機能受益者 (B)、機能供給者 (S) とそれ以外の 第三者 (Ot) の 3 通りである。システム設計 (SD) は、機能価値受益者自身が設計する場合とそれ以外の方が設計する場合があるが、受益者以外でシステムを設計する人は、基本的には機能価値を供給する人と考えられる。また、製品の主機能を稼働する場合にはシステム設計は不要であり、設計されない場合がある。そうするとシステム設計機能を持てるのは、機能受益者 (B)、機能供給者 (S)、そして設計無し の 3 通りのケースがある。

機能稼働 (C) では、機能受益者 (B) と機能供給者 (S) が単独で機能を担う場合と、顧客参加型サービスのように両者が同時に機能稼働者(キャタリスト)となる場合がある。そしてこの場合、B が主たるキャタリストとなるのか、S が主たるキャタリストとなるのかによって、システムの内容が異なると考えられる。つまり機能稼働 (C) は、機能受益者 (B)、機能供給者 (S)、そして両者が同時に参画する場合は、B が主で S が副、B が副で S が主 の 4 通りのケースが考えられる。

以上を、製品利用サービスシステム決定要素とその機能を担当することができる参画者の表としてまとめると表 4-1 のようになる。

表 4-1 製品利用サービスシステム決定要素と参画者

製品利用サービスシステム決定要素	製品所有 Product Owner (PO)	システム設計 System Design (SD)	機能稼働 Catalyst (C)
なり得る 参画者	機能受益者 Beneficiary (B)	機能受益者 Beneficiary (B)	機能受益者 Beneficiary (B)
	機能供給者 Supplier (S)	機能供給者 Supplier (S)	機能供給者 Supplier (S)
	第三者 Others (Ot)	設計無し (製品の主機能)	機能受益者 機能供給者 (B & S)

5. まとめ

本稿で、製品利用サービスシステムのモデル構築を行い、各決定要素が取り得る属性(参画者)を決定することができた。今後このサービスシステム決定モデルと取り得る参画者のパターンを詳細に分析・考察することによって、サービスイノベーションになる可能性が高いシステムパターンを発見することができると考えられる。

本稿において、システム設計理論とサプライチェーンのモデルにサービス機能を追加することによるサービスシステムのモデル化とそのパターン決定の要素を明確化することができた。次のステップとして、考えられる全てのモデルパターンを示し、実際のサービスモデルと比較することによって、これまでにない全く新しいサービスパターンを発見する。このパターンはモノ利用サービスのイノベーションとなる可能性が高い。さらに、このサービスイノベーションパターンを実際に設計・構築し、実際にイノベーションを創出することが、本研究の最終目標である。

脚注

[注 1]

キャタリストとは、アウトプットを得るための手順(プロセス)を実行する人、物、情報であり、手順完了後もシステム内に残るシステム要素

参考文献

- [1]小坂満隆, 角忠夫「産業のサービス化論」へのアプローチ, 社会評論社, (2010)
- [2]吉川弘之「サービス科学概論」, 『人工知能学会誌』 Vol.23 No.6, (2008)
- [3]上田完次, 「人工物の価値とサービス研究」, 『人工知能学会誌』 Vol.23 No.6, (2008)
- [4]内平直志「製造業のサービスイノベーションのための知識情報処理技術」『人工知能学会誌』 Vol.22 No.6, (2007)

[5]内平直志, 小泉敦子「製造業のサービス化の分類と知識活用戦略」北陸先端科学技術大学院大学, 2010

[6]イノベーションにおけるモノとサービスの関係の変容と多様化『オペレーションズ・リサーチ学会誌』, (2011)

[7]Ludwig von Bertalanffy "General System Theory", George Braziller, New York (1968)

[8] Chesbrough, Henry: "Open Service Innovation", Jossey-Bass, San Francisco (2011)

[9]近藤隆雄「サービス・イノベーションの理論と方法」, 生産性出版, (2012)

[10]上林憲行, 「サービスサイエンス入門」オーム社, (2007)

[11]吉本一穂, 「メソッドエンジニアリング」, 朝倉書店, (2001)

[12]黒須誠治, 「情報システム構築法」, 白桃書房, (1998)

[13]三原康司「システム設計視点によるサービス設計理論と方法論」, 早稲田大学出版部 (2012)

日本人 EFL 学習者の L2 自己と英語学習の関係性

Examining Relationships Between Japanese EFL learners' L2 Self and English Learning

今野 勝幸*

Katsuyuki KONNO

The concept of the L2 self has attracted attention of researchers of language learning motivation, ever since it was introduced to the study of second language / foreign language teaching and learning. Although previous studies proposed insightful research findings, not many of them has discussed how L2 self is important to Japanese EFL learners' language acquisition processes. Considering this, the purpose of this study was to obtain empirical evidence of the importance of Japanese EFL learners' L2 self on their English learning, by comparing with the importance of intrinsic and extrinsic motivation. A questionnaire was administered to 140 university students to measure their levels of L2 selves, intrinsic motivation and extrinsic motivation. As the result of regression analysis, it was found that the ideal L2 self predicts these learners' effort expenditure in English learning and willingness to contact with the community of the target language. It was concluded that the ideal L2 self plays a significant roles for Japanese EFL learners.

1. はじめに

第 2 言語 (L2) 習得研究 (second/foreign language acquisition; SLA) の分野において, 新たな L2 学習動機づけの枠組みである L2 自己 (Dörnyei, 2005) が注目されている。それまでは Gardner (1985, 2001) が提唱する統合的動機づけ (Integrative motivation) の枠組みが L2 学習者の動機づけを考える際の主流の理論であったが, この理論を元に様々な動機づけ理論を応用して発展させたものがこの L2 自己である。統合的動機づけは, L2 学習者がある目標言語を学ぶ際に, その言語のコミュニティに自身のアイデンティティを同化させ, 一員になりたいという目的が動機づけの根源であるとみなしていた。現在は少々事情が異なるが, 当時は目標言語コミュニティが隣接した限られた地域でなくてはその文化や人々と触れ合うことが難しいと考えられていたため, それ以外の地域の言語学習者の動機づけにはなり得ないとの批判が一般的であった (Crookes & Schmidt, 1991)。

一方で, L2 自己は, 目標言語コミュニティの一員ではなく, 学習者自身が理想とする目標言語使用者像になりたという思いが言語学習動機づけの源泉であると考えられる理論である。理想像の対象には例えば, 英語を流暢に話す教室内の英語教師なども含まれることに加え, 英語はもはや英語圏のみの言語ではないという考え方もある (Lamb, 2007)。そのため統合的動機づけよりも柔軟で, より広い地域の言語学習環境における動機づけを捉えることが出来るという点で, 時代に合った理論的枠組みと言える。

Dörnyei (2005) が提唱する L2 自己理論の枠組みは, 3 つの要素によって構成されている。1 つは L2 理想自己 (ideal L2 self) であり, 「現在の L2 自己」と「理想の L2 自己」のギャップを埋めたいと思う欲求による言語学習動機づけ要因を指す。理想とする L2 自己には, 例えば「英語を流暢に話す英語教師」や「国際学会で, 英語で発表する研究者」などが該当する。つまり, L2 理想自己とは, 理想の L2 自己へのギャップを埋めるために英語を学習する, というドライブであると言えるだろう。

一方, L2 義務自己 (ought to L2 self) とは, L2 理想自己と同様にある自己を追求しようとする際の動機要因である。しかし, その場合の自己は他者の期待に答えようとした, もしくは予想されるネガティブな結果を避けようとした結果から生まれるものである。例えば, 両親に「英語くらはい話せないといけない」と言われたことが英語学習の主な理由である場合, その英語学習に向くドライブも追求する自己も義務的で他律的であり, 不安などを高めてしまう恐れがある (Papi, 2010)。

最後は L2 学習経験 (L2 learning experience) であるが, 教室内の環境や学習経験に密接な動機であり, 学習行動を直接的に導く要因として考えられている。そのため, 2 つの L2 自己要因とは性格が異なる動機要因である。

L2 習得の成否を考えた場合, 一般には, L2 理想自己が重要であることが実証されている (e.g., Ryan, 2009; Taguchi, Magid, & Papi, 2009)。また, 近年では L2 理想自己は教室内の指導により発達する可能性が示されており

2014 年 2 月 28 日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

(Konno, 2011; 2014), 注目度は高まる一方である。Yashima (2009) が述べるように, 例えば諸外国で働くなどの「~のようになりたい」という明確なイメージや理想を持ち, それらのイメージや理想が「英語力」を求めるからこそ人は英語の学習を開始し, 継続する。つまり, そのような理由により人は言語学習に動機づけられる。現在の日本でも顕著であるが, なんとなく「TOEIC で〇〇点が必要だ」という外的に与えられる社会的要求だけでは, 学習を開始するかもしれないが, 継続させるのが難しい。究極的に言えば, 「~になるために/~をするために」というイメージが欠けると動機づけにはならない。Dörnyei (2005) が指摘するように, オリンピックアスリートなども, 日々自分がオリンピックの舞台上で活躍する姿を想像して辛い練習を乗り越えていることを考えても, 「~になりたい」という理想やイメージは重要であることが分かる。しかし, L2 自己が外国語学習のどのような側面に, どう影響するのか, という点はあまり議論がなされていない。L2 自己の重要性は指摘されるものの, それを手放しで受け入れる前に, 実質的に日本人学習者の英語学習に何をもたらすのかをもう少し議論する必要があるだろう。

例えば, L2 理想自己は, 既に述べたように, Gardner (1985) が提唱する統合的動機づけ, とりわけその主要構成概念である統合度 (Integrativeness) や態度 (attitude) に近い概念である (Dörnyei, 2005; Ryan, 2009)。そのため, 両者は学習者を言語習得に導く動機づけ要因であると考えるだろう (Masgoret & Gardner, 2003)。

一方, 他の動機づけ概念と比較すると, Gardner (1985) が提唱する動機づけ概念には別な特徴が見えてくる。例えば, Noels (2001) は統合度の中心的な要素である, 統合的志向 (integrative orientation) と Deci and Ryan (1985) による内発的動機づけ (intrinsic motivation) ¹ が言語習得の何を予測するのかを, スペイン語を学習する英語母語話者と対象とした回帰分析の結果を基に比較した。結果として, 内発的動機づけは学習環境に即した要因 (例えば言語学習の遂行強度や, スペイン語学習を続ける意思) を予測することが明らかとなった。一方, 統合的志向は, 学習環境に即した要因よりも, スペイン語コミュニティへの接触の度合いなどへの予測度合いが強かった。このことから, Noels は内発的動機づけと統合志向に相関関係はあるものの, 両者は根本的に異なる性質を持つ動機要因で, 前者は学習に直接的に関わる要因に, 後者は言語習得にまつわる社会文化的要因に強く関係していると述べた。

これらの直近の学習環境に即した要因と, 社会文化的要因という2つの「動機づけられた言語学習要因」は, 日本の英語学習状況にも大きく関わると考えられる。例えば, 日本の英語教育には2つのゴールがある (Yashima, Zenuck-Nishide, & Shimizu, 2004)。1つは高い英語能力を身に付け TOEIC などの英語資格試験で高い得点を取ったり, 受験に合格したりすること, もう1つは英語を駆使

して国際的に活躍する人間になることである。Noels の研究における要因を例に取り上げると, 前者の達成には遂行強度や言語学習継続の意思が, 後者の達成には目標言語圏のコミュニティと接触する姿勢が大きく関係する。これら2つの異なる要因をどのように追求するのかが問題となっていると言えるだろう。

以上を考慮した上で, 目標言語コミュニティが隣接しない地域では, 統合的動機づけよりも適切に学習者の動機づけを捉えられると考えられている L2 理想自己は, 学習環境や社会文化的な要因に関わるのかを考える必要がある。Noels (2001) の見解を基にすると, L2 理想自己と内発的動機づけの比較に限れば, 後者の方が少なくとも学習を進める上での動機づけにはより大きな役割を担う可能性がある。一方, L2 理想自己を含む L2 自己理論は, Gardner (1985) が提唱する統合的動機づけとは異なる概念であるが, 類似した性格を持つと考えられている。そのため, Noels (2001) で見られた統合的動機づけの結果と同様の傾向を示すことも十分に考えられる。

上記のことを踏まえ, Noels (2001) に倣い, 本論では L2 自己と内発的動機づけが日本人学習者の英語学習を促進するであろう, 学習環境と社会文化的側面に即した要因のどちらを予測するのかを検証することが目的である。それにより, 改めて日本人にとっての L2 自己にはどのような意義があるのかを検証する。

2. 調査手順

2.1 参加者

本研究では計 147 名の日本人大学生を対象に調査・分析を行った。参加者は必修の一般英語の授業を受講する情報学系, 栄養学系, 経営学系の学部所属する大学1年生から4年生であった。

2.2 アンケート

本研究では, 先行研究に基づく5件法のアンケートを作成・実施してデータの収集を行った。動機づけ要因については L2 自己と内発・外発的動機づけに関する尺度を用いた。また, 学習環境に即した要因として英語学習努力, 社会文化的な側面に即した要因として国際社会への接触という2つの尺度を用意した。

L2 自己については Ryan (2009) と Taguchi et al. (2009) を参考に2つの尺度を用意した。内訳は, L2 理想自己 (4項目; $\alpha = .71$; e.g., 「将来, 英語を使って仕事をしている自分を, よく想像する。」, 「もし夢がかなうのであれば, 私は将来的に英語を効果的に使えるようになりたい。」) と L2 義務自己 (4項目; $\alpha = .81$; e.g., 「周囲からの期待にこたえるため, 英語の学習は必要だと思っている。」, 「まわりの友達が英語は大事だと思っているので, 私は英語を勉強する。」) である。

また, 内発的動機づけと外発的動機づけについては, 廣

森 (2006) と Noels, Clément, and Pelletier (1999) を参考に、次の 5 尺度についてそれぞれ 3 項目ずつ用意した。内発的動機づけ ($\alpha = .83$; e.g., 「英語の知識が増えるのは楽しいから。」 「英語を勉強するのが楽しいから。」), 同一視的調整 ($\alpha = .84$; e.g., 「自分の成長に役立つと思うから。」 「外国語が話せるようになりたいと思うから。」), 取入的調整 ($\alpha = .64$; e.g., 「英語を勉強しなければいけない社会だから。」 「英語を勉強するのは、まわりから期待されているような気がするからだ。」), 外的調整 ($\alpha = .56$; e.g., 「良い成績を取りたいと思うから。」 「将来、より良い仕事に就きたいから。」), 無動機 ($\alpha = .68$; e.g., 「英語は勉強しても、成果が上がらないような気がする。」 「私は英語を学習するのは時間の無駄だという気がする。」)。全て英語を学習する理由を問う形式の項目であり、数値が高いほど該当する動機が強いことを示す。

動機づけられた英語学習要因として、直近の学習環境に直接的に関わる「英語学習努力」と社会文化的な面に関わる「国際社会への接触」という 2 つの要因を測定した。前者は Ryan (2009) を参考に 4 項目 ($\alpha = .72$; 「学校に英語の授業がなかったとしても、私は他のところで英語を勉強すると思う。」 「私は、英語の勉強をとでもがんばっている。」) を使用し、数値が高いほど英語学習に対してより多くの努力を費やしていることを示す。国際社会への接触は、他国の人々と英語を使ってコミュニケーションを図る意思がどの程度あるのかを表す概念であり、Ryan に基づいた 4 項目 ($\alpha = .79$; 「私は英語を使って、他の国の人々と深く関わってみたい。」 「もし英語を上手く話すことができれば、他国の人たちと知り合えることができると思う。」) を用いた。

更に、L2 自己との比較要因として、Gardner (1985) による統合度と手段性 (instrumentality) を測定した。前者は目標言語文化のコミュニティにどの程度同化したいのかを、後者は英語学習を将来のキャリア等の達成手段としてどの程度捉えているのかを問う尺度である。前者は 3 項目 ($\alpha = .38$; 「英語は好きですか?」 「他国の文化や芸術等に触れるために、英語の学習はどの程度重要ですか。」), 後者は 6 項目 ($\alpha = .83$; 「英語の知識や能力を身につけることは、将来のキャリア形成に役立つと思いますか?」 「将来海外旅行をするときに英語が役立つと思いますか?」) を、Ryan (2009) を参考に作成した。これらを分析に組み込むことにより、L2 自己は日本のような EFL 環境に適しているかどうかを検証可能となる。

2.3 調査方法

上記の項目を含むアンケートは、全て通常の授業内に行われた。学生には、このアンケートは強制ではないこと、そして成績には関係がないことが伝えられた。また、回答への時間は十分に取られた。

2.4 分析方法

データの分析については、各変数間の関係性を検証するために相関分析を行った。加えて、本研究において分析対象とした変数の中で、どの変数がどの程度動機づけられた行動を予測するのかを検証するために、重回帰分析が行われた。具体的には、動機要因を独立変数、英語学習努力と国際社会への接触を従属変数とし、動機要因のうち、どの要因が従属変数を最も予測するのかを検証した。それぞれの独立変数と関係が強い変数をあぶりだし、内発/外発的動機づけと L2 自己のそれぞれの従属変数への役割を把握することが目的である。

3. 結果

3.1 記述統計値

表 1 は以降の分析に用いられた変数の記述統計値を示す。変数の多くはおおよそ 3.00 から 3.50 の間とほぼ平均的な数値を示しているが、内発的動機と英語学習努力の値は 3.00 を下回る結果となった。L2 理想自己の値も 3.15 とそれほど高いとは言えない事から、全体的に動機づけが高い学習者群とは言えない。また、道具性が高いため、英語学習に実利的な目的を見出している学習者群と言える。

3.2 英語学習と動機づけの相関

表 2 は英語学習努力、国際社会への接触と動機要因の相関係数を表す。英語学習努力については、L2 理想自己、内発的動機づけ、同一視的調整と強い相関関係にあることが示された。内発的動機づけ、同一視的調整と努力の関連性は、英語の学習理由が自己決定的であることがその後の学習成果を高める可能性を表しているといえるだろう。同一視的調整は外発的動機づけの一部であり、例えば Koestner and Losier (2002) が示すように、場合によっては内発的動機づけよりも強く学習行動に関連する重要な動機要因である。L2 理想自己と英語学習努力の関係からも、理想像を持ち、現在の自己像との間にあるギャップを埋めようとしている学習者は、英語学習に多くの努力をする可能性が示されたと言える。

国際社会との接触については、同一視的調整と L2 理想自己との相関が強かった。同一視的調整については、英語学習に個人的かつ成長的な価値を見出す学習者は、国際社会とも積極的に関わりたいと考える可能性を示していると言える。このことから、個人が英語学習に見出す価値は、国際社会との関わりに見出されていると考えられる。同様に、明確な L2 理想自己を有するほど、国際社会との関わりに積極的になることもこの結果から示されている。どちらの動機づけ要因も国際社会の中でのキャリアという視点を必ずしも含意していないが、この結果は、これらの要因に動機づけられている学習者は、英語を使って積極的に国際社会に関わる場面を想定できるようになることを示唆していると言える。

表 1
各変数の記述統計値

変数	N	M	SD	Min	Max	歪度	尖度
英語学習努力	147	2.67	0.71	1.00	4.50	0.03	-0.11
国際社会への接触	147	3.53	0.82	1.00	5.00	-0.42	0.16
L2 義務自己	147	2.61	0.85	1.00	5.00	0.22	-0.18
L2 理想自己	147	3.15	0.77	1.00	4.75	-0.23	-0.13
内発的動機	147	2.72	0.92	1.00	5.00	0.09	-0.28
同一視的調整	147	3.43	0.96	1.00	5.00	-0.45	0.17
取入的調整	147	3.10	0.85	1.00	5.00	-0.37	-0.09
外的調整	147	3.37	0.79	1.00	5.00	-0.19	0.17
無動機	147	2.65	0.82	1.00	5.00	0.31	0.12
統合度	147	3.20	0.70	1.67	5.00	0.09	-0.53
道具性	147	4.02	0.65	1.67	5.00	-0.83	1.27

表 2
英語学習行動と動機要因との関係性

	内発的動機	同一視的調整	取入的調整	外的調整	無動機	L2 義務自己	L2 理想自己	統合度	道具性
英語学習努力	.65***	.65***	.46***	.23**	-.44***	.55***	.68***	.55***	.51***
国際社会への接触	.54***	.72***	.40***	.17*	-.44***	.41***	.72***	.51***	.63***

表 3
英語学習努力を従属変数とした重回帰分析

	英語学習努力		
	R ² (Adjusted R ²)	β	p
Step 1	.38 (.37)		
統合度		.40***	.00
道具性		.31***	.00
Step 2	.56 (.55)		
統合度		.26***	.00
道具性		.00	.97
L2 義務自己		.24**	.00
L2 理想自己		.42***	.00
Step 3	.64 (.62)		
統合度		.14*	.04
道具性		-.04	.55
L2 義務自己		.24***	.00
L2 理想自己		.31***	.00
内発的動機		.29***	.00
同一視的調整		.08	.34
取入的調整		-.03	.72
外的調整		-.03	.62
無動機		-.06	.31

Note. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

表 4
国際社会への接触を従属変数とした重回帰分析

	国際社会への接触		
	R ² (Adjusted R ²)	β	p
Step 1	.45 (.44)		
統合度		.26***	.00
道具性		.51***	.00
Step 2	.58 (.57)		
統合度		.14*	.03
道具性		.25**	.00
L2 義務自己		-.01	.91
L2 理想自己		.50***	.00
Step 3	.65 (.63)		
統合度		.05	.45
道具性		.19**	.01
L2 義務自己		.00	.98
L2 理想自己		.34***	.00
内発的動機		.05	.50
同一視的調整		.34***	.00
取入的調整		-.03	.70
外的調整		-.09	.17
無動機		-.03	.64

Note. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

3.3 回帰分析

表3は英語学習努力を従属変数、動機づけ要因を独立変数とした階層的重回帰分析の結果を示す。本研究で取り扱った9つの動機づけ要因の中で見ると、L2理想自己、L2義務自己、そして内発的動機づけが学習努力の有力な予測要因であると言える。また、これらの要因ほどではないが、統合度も有意な予測要因であることが示された。

一方、表4は国際社会への接触を従属偏す、動機づけ要因を独立変数とした重回帰分析の結果を示す。相関分析の結果と同様に、L2理想自己と同一視的調整が有意な予測要因であることが分かった。また、道具性も有意な予測要因であることが明らかとなった。

4. 考察

本研究では、L2理想自己は日本人の英語学習にどのように関わるのかを、日本の英語教育が目指す2つのゴールを達成するために必要な要因である、直近の学習環境に即した要因(i.e., 英語学習努力)と、国際交流に関わる社会文化的要因(i.e., 国際社会への接触の意思)との関係性から検証した。重回帰分析の結果、L2理想自己は英語学習努力と国際社会への接触という2つの異なる要因に対する有力な予測要因であることが明らかとなった。つまり、上記の2つのゴールを達成しなくてはならない日本の社会において、理想とする英語学習者像をイメージし、それに近づきたいと願うことは非常に重要であると言えるだろう。

一方、L2義務自己も英語学習努力の有意な予測要因として示された。一般的に、L2義務自己は言語不安などと関係があると考えられ(Papi, 2010)、言語習得の成功には結びつかないものとして考えられている。しかしながら、本研究の結果は、日本人が英語学習を進めていくには、ある程度の義務感のようなものが必要である可能性を示唆していると言える。日本において、英語の習得が必須であることはもはや常識の域に差し掛かっている。しかし、現実を見てみると、例えば大企業への就職などを含めて、多くの人々の生活における「幸せ」を追求するにあたり、英語の習得は決して必要条件にはなっていない。そのような状況の中で、英語学習を継続したり、努力を重ねたりするには、ある程度の外的なプレッシャーや義務感が必要になってくるのではないだろうか。L2義務自己には上記のような負の側面があるが、Konno(2011)によれば、L2理想自己もL2義務自己も高い場合に、学習努力が促進されるという。L2義務自己とは、英語学習に正の影響を及ぼす側面と、負の影響を及ぼす側面が混在した動機要因である可能性があり、また、L2義務自己を積極的に促進するのは決して教育的とは言えない。しかし、少なくともL2理想自己が十分に高まっている状況であれば、L2義務自己は英語学習に良い影響を及ぼす要因となるのではないだろうか。

内発的/外発的動機要因の中では、同一視的調整が、英語学習努力と国際社会への接触の2要因を予測する結果となった。既に述べたKoestner and Losier(2002)の結果を考慮すれば、この結果は特に驚くべきことではない。また、人間は大人になるほど単純に「楽しい」という感情だけで行動しなくなると考えられている(桜井, 2009)。大学生ともなれば就職ということについて嫌でも考える必要があり、将来の自分のキャリアという概念が学習行動に付きまとうことになる。また、前述のように、今後のキャリアにおいて英語が必要になるという社会的な要請を意識するようになるだろう。これらを考慮すると、キャリアなどを含む個人的価値のため、という理由が、大学生の英語学習を支えるようになるのも自然なことなのではないだろうか。一般に、中等教育、高等教育を問わず、「学習」という行動には内発的動機づけが最も重要であると考えられている。しかし、本研究の結果が示すように、年代によっては同一視的調整という自己決定度が高い動機要因を、より深く考慮する必要があると言えるだろう。

5. 結論

L2理想自己は日本人の英語学習を支える重要な動機づけ要因であることが分かった。これを育むことにより、直近の英語学習環境で努力を重ねたり、国際社会に積極的に関わろうと言う意識が高まったりすることに大きく貢献するものと思われる。また、L2義務自己と英語学習努力との相関が示すとおり、日本人の英語学習にはある程度の義務感やプレッシャーが必要である可能性がある。更に、外発的動機づけも日本人の英語学習を支える要因であることがわかったが、大切なことは、単に義務感を感じさせたり、プレッシャーを与えたりすることではない。また、教員が学習者をコントロールすることでもない。自己決定度を高めるために、外的な要求やプレッシャーを自分のものにできるよう周囲が働きかけていくことである。

教育的示唆としては、まず、学習者が目標にしたくなるようなロールモデルを身近な環境に置くことが挙げられる。例えば、教員が率先して英語を使ってコミュニケーションを図ることや、英語が得意な学習者を教室内で上手く取り上げることなどは比較的容易であるだろう。また、英語そのものに触れたことがない学習者であれば、積極的にビデオ教材などを活用することも一つの手段である。しかし、あくまで自然に教室内に導入し、決して見せびらかしにならないように気をつける必要がある。そして、英語学習活動を、学習者に「楽しい」「価値がある」と思わせることであろう(Konno, 2014)。既に述べたように、「楽しい」だけでは大学生のような大人の学習者を動機づけるには不十分かもしれないが、全ての根源はこの「楽しい」という感情であり、行動の第一歩となる。このような「楽しい」「価値がある」と思うことの積み重ねが外側から与えられる価値観を内在化し、徐々に自分の理想像を形成する

ようになると考えられる。

本研究の限界点として2点挙げられる。1点目は、調査対象者の偏りである。本研究では出来るだけ多様な参加者を対象としようとしたが、一部の学部には所属する大学生のみとなってしまった。今後は中学生や高校生、そしてより多様な学部には所属する大学を対象とすることで、より精緻な分析が可能となる。2点目は、回帰分析における従属変数の偏りである。本研究ではNoels (2001) を参考に従属変数を選択したが、2つの変数に留まってしまった。より多様な変数との関係性を検証することにより、L2 自己のより多彩な側面が見られるようになるのではないだろうか。

注1

Deci and Ryan (1985) の自己決定理論における内発的動機づけと外発的動機づけは、「行動の理由が内発か外発か」を表す自己決定度により、5つの下位概念に区別される。内発的動機は、ある行動そのものに対する内発的な興味や楽しさによる動機を指す。行動をした先の結果ではなく、行動すること自体が原動力(動機)であるため、その行動は極めて自己決定的であると言える。外発的動機は3つに区別される。最も自己決定度が高い外発的動機づけは同一視的調整と呼ばれ、ある行動の結果得られるもの(将来のキャリアや自己成長)に見出す価値による動機を指す。2番目は取入的調整であり、ある行動に対する義務感による動機を表す。外的な圧力(両親や先生、友達、雰囲気や状況)により統制された動機であるが、「なんとなくやった方がいいと思う」など、一応はその統制を受け入れた状態である。最も非自己決定的な動機は外的調整であり、行動の結果得られる賞罰や成績、物品等のみよって統制された動機である。行動に対する内発的な側面はなく、一旦物質的な成果が得られると動機が消滅する。最後は無動機と呼ばれる動機で、行動に対して意味を見出せないことを学習してしまい、既に諦めている状態を指す。

参考文献

- Crookes, G., & Schmidt, R. W. (1991). Motivation: Reopening the research agenda. *Language Learning*, 41, 469-512.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum Press.
- Dörnyei, Z. (2005). *The psychology of the language learner: Individual differences in second language acquisition*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Gardner, R.C. (1985). *Social psychology and second language learning: The role of attitudes and motivation*. London: Edward Arnold.
- Lamb, M. (2007). The impact of school on EFL learning motivation: An Indonesian case study. *TESOL Quarterly*, 42, 1-24.
- Masgoret, a.-M., & Gardner, R. C. (2003). Attitudes, motivation, and second language learning: A meta-analysis of studies conducted by Gardner and associates. *Language Learning*, 53, 123-163.
- Koestner, R., & Losier, G. F. (2002). Distinguishing three ways of being highly motivated: A closer look at introjection, identification, and intrinsic motivation. In R. Ryan & E. Deci (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 101-122). NY: The University of Rochester Press.
- Konno, K. (2011). The relationship between L2 selves, intrinsic/extrinsic motivation and motivated behavior of Japanese EFL learners. *ARELE*, 22, 345-360.
- Konno, K. (2014). Motivational practices for enhancing EFL learners' self-determination and the L2 self. *ARELE*, 25, 191-206.
- Noels, K. A. (2001). Learning Spanish as a second language: Learners' orientations and perceptions of their teachers' communication style. *Language Learning*, 51, 107-144.
- Noels, K. A., Clément, R., & Pelletier, L. (1999). Perceptions of teachers' communicative style and students' intrinsic and extrinsic motivation. *Modern Language Journal*, 83, 23-34.
- Papi, M. (2010). The L2 motivational self system, L2 anxiety, and motivated behavior: A structural equation modeling approach. *System*, 38, 467-479.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2002). An overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspectives. In R. Ryan & E. Deci (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 3-36). NY: The University of Rochester Press.
- Ryan, S. (2009). Self and identity in L2 motivation in Japan: The ideal L2 self and Japanese learners of English. In Z. Dörnyei & E. Ushioda (Eds.), *Motivation, language identity and the L2 Self* (pp. 120-139). NY: Multilingual Matters.
- Taguchi, T., Magid, M., & Papi, M. (2009). The L2 motivational self system among Japanese, Chinese and Iranian learners of English: A comparative study. In Z. Dörnyei & E. Ushioda (Eds.), *Motivation, language identity and the L2 Self* (pp. 66-97). NY: Multilingual Matters.
- Yashima, T. (2009). International posture and the ideal L2 self in the Japanese EFL context. In Z. Dörnyei & E. Ushioda

(Eds.), *Motivation, language identity and the L2 Self* (pp. 140-163). NY: Multilingual Matters.

Yashima, T., Zenuk-Nishide, L., & Shimizu, K. (2004). The influence of attitudes and affect on willingness to communicate and second language communication. *Language Learning, 54*, 119-152.

廣森友人. (2006). 『外国語学習者の動機づけを高める理論と実践』東京：多賀出版.

桜井茂男. (2009). 『自ら学ぶ意欲の心理学 -キャリア発達の視点を加えて』東京：有斐閣.

研究ノート

量子力学の数学形式は経験世界のいかなる原理に由来するのか

From Which Empirical Principle, Mathematical Structure of Quantum Mechanics Originated

榛葉 豊*

Yutaka SHINBA

Abstract : Recently, it happens that the movement for the pursuit of quantum mechanics as one of the general probability theories, looking for the information theoretical principle that decide quantum mechanics. Also, we perceive that the quantum Bayesianic point of view diminishes strangeness of quantum view for the world. However, no later than 1970, it is clear that general probability theory for ortho-complimentary lattice logic is implemented by the linear operator theory on the Hilbert space, so that it means quantum mechanics. We reconsider the thread of derivation of Hilbert space formalism, and what is the origin of that structure of the theory, in the timing of quantum information technology and Bayesian statistics age.

1. はじめに

量子力学が道具主義的観点から言えば、あまりに成功した理論であることは論を俟たない。しかしその意味する解釈、世界観については21世紀に入りますます百家鳴争の状況を深めている。量子力学の基礎に関する研究は、20世紀後半には、ボーアの相補性哲学に基づくコペンハーゲン解釈によって、現業に邁進するための思考停止を勧められた量子物理学は大成功を収めてきたのだった。

しかし1970年頃から見直され始めた、アインシュタイン-ローゼン-ポドルスキーのパラドックスとベルの定理にまつわる局所実在論問題の反省機運、1994年のショアによる因数分解量子計算アルゴリズムの発見をきっかけにした量子情報理論研究の解禁状況によって、量子情報科学は順調な滑り出しを果たし今日に至っている。したがって、量子力学の基礎に関する研究も隠れ切支丹的境遇（日本において）ではなく、むしろ花形の分野となっている。

その状況の中で、量子力学の数学形式、すなわちなぜシュレディンガー方程式なのかという疑問、が問われている¹⁾。道具主義的にそれが実験事実を説明するからだ、というのではなく、我々の世界のどのような観察事実によって、数学理論の形、構造が規定されてしまうのかということが問われている。超弦理論について、ウィッテンが、それは

神が200年早く人類に教えてしまった秘密であって、なぜなのかは分からない、と言ったとかいわれているが、量子力学についても全く同様、もしくは超弦理論のように「もの」の論理ではなく、より根源的な「こと」の論理であるだけに更に深刻な疑問であろう。

数学的に、何を公理にしたら美しいかという議論はいくらでもできよう。しかしここで問われているのは、物理的などのような原理が本質的なのかとすることである。そしてその物理的原理の意味を明らかにしたいのである。

そのような方向で、情報理論的な要求が基本的であるとか、確率のベイズ解釈によれば、量子力学の不思議さは大幅に減少するなどと言う主張がされている^{2) 3)}。

本稿では、量子力学の解釈とか、確率の本性であるとか、実在論、文脈依存性というような哲学的な事柄ではなく、とにかくその数学形式を決めている物理的事実は何かを考えたい。量子力学の基礎についての研究が、市民権を得始めたのは1980年頃からであり、その延長上に今日の議論があるわけであるが、それ以前にかなりのことが分かっていたことを、思い起こしておきたいと思う。特に最近の論点、情報処理の原理に重きを置いて、微視的世界の命題論理という観点の研究があまり見られないようなので、それをまとめておく。

2014年3月4日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

2. 量子力学の諸形式

量子力学の数学的形式はいくつもあるが、その代表的なものは、正準量子化、経路積分法、確率過程量子化それに隠れた変数理論であろう。

1) 正準量子化には、シュレディンガーの波動力学とハイゼンベルクの行列力学の2通りがあるが、ディラックの変換理論によって同等なものであることが示されている⁴⁾。これはブラケット形式によれば、そして同じことであるがヒルベルト空間⁵⁾で考えれば、同じことをしていることは明瞭である。ここでちょっと注意しておきたいのは、フォン・ノイマンの本⁵⁾が量子力学の数学的基礎付けをしたなどと言われることについてであるが、フォン・ノイマンが合理化したのは量子力学のおもちゃについてであって、物理学理論としての量子力学の合理化は、シュワルツの超関数論、ゲルファントの3つ組み空間論を待たなくてはならない。それはディラックの直感をそのまま厳密化したものであった。

2) 一方、ファインマンの経路積分⁶⁾は、すべての運動学的に可能な経路に作用積分に比例する位相因子を付与して加え合わせると、求める事象の確率振幅になるというものである。これも時間分割近似によれば、シュレディンガー方程式から（数学的には厳密でないが）導出できる。

なお、ファインマン-ヒップスの経路積分法の本⁶⁾には、経路積分法を発見的に導くときの足がかりとして、結晶中の不純物による散乱パターンのお話が出てくる。不純物に散乱によってスピンの反転する場合と反転しない場合で、反転して「証拠」を残してしまった時には干渉パターンは崩れ、証拠がない場合には干渉は残る、と言う事実が書かれている。朝永が「光子の裁判」でとりあげたヤング型ダブルスリット実験より現実的な感じがして、秀逸な記述である。

3) 確率過程量子化はネルソンによるもので⁷⁻¹¹⁾、(素粒子論で計算テクニックとしてパリジ-ウー流という別の確率過程量子化と言われる計算法があるが)、古典的運動をしている粒子が、空間（エーテル）の揺動でブラウン運動をしているという描像である。確率微分方程式論での前進微分、推古微分という概念を駆使するのであるが、一見では不思議なことであるが、この力学はシュレディンガー方程式に完全に一致する結果をもたらす。

4) 最後に隠れた変数である。有名なものはボーム理論とか高林の流体力学形式などである。これらは決定論を回復するという目的で、我々の知らない隠れた変数の値が分からないので現象は確率的になるとするのだが、非局所的にならざるを得ないし、実験に合うためには非常に醜いものになってしまう。

以上いずれにせよ、隠れた変数理論以外は等価なものであるので、シュレディンガー形式の場合を考えればよいであろう¹²⁻¹⁴⁾。

3. 一般確率論

量子力学は、微視的世界の事象を（第一には）扱うにせよ、物理学の理論であるからに、事象を予言できなくてはならない。観測量がある値を取ることを予言するという場合、これこれの値になりますというのと、そこまでは行かないがその値であることは可能でこの程度の可能性が、という場合もあるであろう。後者は確率的記述である（決定論的記述も確率的記述の特別な場合である）物理系の状態を ψ 、観測量を A とする。測定により A の測定値 x が測定値の可能集合の部分集合 Δ に落ちる確率

$$P(x \in \Delta | \psi, A) \quad (1)$$

が決まればよいわけである。

通常のコルモゴロフによる古典確率論¹⁴⁾では、事象の標本空間を Ω とその上のボレル集合族 B のなす可測空間 (Ω, B) で定義される規格化された確率測度が(1)式を与える。その確率測度こそが状態 ψ である。

量子力学の場合は次のようになる。物理的な系にはヒルベルト空間が随伴していて、その上の密度作用素 ρ が状態を表し、また観測量もその上の自己共役作用素 \hat{A} が伴

っていて、測定による観測の期待値は、 $Tr \rho \hat{A}$ のようにトレースで得られる。観測量として Δ に対する射影作用素を取れば、それが(1)を与える。密度作用素が純粋状態の場合、当然ながらボールの確率解釈である。ある測定値が得られる確率は、波動関数の絶対値の二乗であるし、観測量の期待値は $\langle \psi, \hat{A} \psi \rangle$ となる。

ただし以上のことは、一般確率論の中に、既成の確率論と量子力学を逆に位置づけているだけではある。一般確率論に対して、何かの物理的な原理で制約を課すと量子力学が出てくるという具合にしたいのである。

4. 命題の作る束とその上の一般確率論

微視的世界の命題が作る束は、アリストテレス以来の命題論理が作るブール束ではない。それは直相補モジュラー束¹⁵⁻¹⁸⁾であり、ブール束を規定する条件から分配律を外した概念である。これは出来上がった量子力学を分析するとそうだと分かるのだが、逆になぜ分配律が成り立たなくなっているのかの理由を考えなければならない。

その前に、もし微視的世界の論理が直相補モジュラー論理であったなら、その命題束上の一般確率論はどのようなものになるのかをみておこう¹⁵⁻²⁰⁾。

まず、直相補モジュラー束はヒルベルト空間の部分空間の作る束で表現される。命題は部分空間に対応し、特に原

子命題は1次元部分空間に相当する。論理和は2つの部分空間で張られる部分空間、論理積は2つの部分空間の共通集合である。否定は直交補空間に対応する。したがってヒルベルト空間で表現された論理束を取り扱えばよい。

グリーソンによれば¹⁹⁾、少なくとも3次元以上の可分な、実または複素ヒルベルト空間の閉部分空間上の測度を μ とすれば、ヒルベルト空間のすべての閉部分空間 H_A に対して、次の性質を持つトレースクラスの半正定値自己共役作用素 \hat{T} がただ一つ存在する。

$$\mu(H_A) = T_r(\hat{T}\hat{P}_A) \quad (2)$$

ただしここに \hat{P}_A は閉部分空間 H_A への射影作用素である。

この定理を用いれば、部分空間で表現された命題に測度を与えることができる。すなわち直相補モジュラー論理確率論である。そして、それは観測量と状態を、それぞれヒルベルト空間上の作用素で表現した、われわれの量子統計力学なのである。

状態の時間発展は、ガリレイ変換についての時空の並進対称性を要請すれば直ちに(ワイル形式の)シュレディンガー方程式が得られる。

こうして、ブール論理がなぜ成立しないのかを経験世界の観察事実から要約すれば良い。分配律が成立しないことを、物理的な分かりやすい原理として述べれば良いことになる。

5. 微視的世界の力学を規定する物理的原理

微視的世界の論理束では分配律が成り立たないことは、次に示すいくつかの例から分かる。

1) 不確定性関係

位置と運動量の測定を取り上げよう。不確定性原理によ

れば、位置と運動量の不確定積は $\frac{\hbar}{2}$ を上回る(ここで

はハイゼンベルクの不確定性関係と測定過程による不確定性の両方が不可避的にあることから来る、小澤の不等式に結実した修正については考えない)。位置と運動量の相

空間上では、不確定性の面積が $\frac{\hbar}{2}$ ということであり、

量子統計では状態を数える単位として採用される。

その面積よりかなり大きければ、位置についての命題と運動量についての命題の論理積命題は成立する。しかし、たとえば位置についての命題の方を細分化してやると分配律は成り立たないと考えられる。不確定積が小さい論理積命題は命題として成り立たないとすべきであるからである。

位置 x が区間 Δ_i に落ちるという命題を α_{Δ_i} とする。

$$\Delta = \sum_i \Delta_i \quad \text{ただし各区間は隣接しているとする。運動}$$

量が区間 E に落ちるという命題を β とする。

$$\alpha_{\Delta} \wedge \beta = (\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \dots) \wedge \beta \neq (\alpha_{\Delta_1} \wedge \beta) \vee (\alpha_{\Delta_2} \wedge \beta) \vee \dots \quad (3)$$

ということである。

2) 重ね合わせの原理

ディラックの教科書⁴⁾では、重ね合わせの原理が基礎として採用されている。重ね合わせの原理は偏光した光子の実験を考えてみれば、成立している事柄である。経験世界には超選択則で禁止されている重ね合わせもあるが、微視的世界での多くの場合成立すると言ってよいであろう。

重ね合わせの原理を論理束の言葉で、原子命題について定義する。

相異なる原子的命題 α_1, α_2 があるとする。そのどち

らとも異なる α_3 という原子的命題が存在して、

$$\alpha_1 \vee \alpha_2 = \alpha_1 \vee \alpha_3 = \alpha_2 \vee \alpha_3 \quad (4)$$

を満たす。ここに α_3 が、 α_1 と α_2 の重ね合わせであることになる。つまり要請されている2つの状態の重ね合わせは、重ね合わされる2つの命題の双方との最小上界も、重ね合わされる2つの命題の最小上界と同じという要請を満たす。

原子的命題でない命題に対しては、重ね合わせは $\alpha_1 \wedge \alpha_2$ 、すなわち α_1 でもあり、 α_2 でもある状態という命題であろう。しかし、原子的命題についてこれを言うとき重ね合わせは恒偽命題になってしまうので、元の命題が原子的命題の時には重ね合わせとして(4)を満たす原子的命題の存在を要請するのである。

こう定義すると、重ね合わせの原理を満足する束はブール束ではあり得ないことがわかる。

実際の具体例としては、シュテルン-ゲルラッハ実験について²⁰⁾を参照。

この論理束版の、原子的命題についての重ね合わせの原理の定義は、どういう意味になっているのかを、これからもっと詳細に研究しなくてはならないだろう。

このように命題論理の観点からは、月並みな要請が物理的原理としての候補として出てきただけのようにも見え

る。だが、論点が整理されたのであるから、その本質の探究に勉めるべきであろう。不確定性原理の方は正準交換関係が課される物理量の間の関係である。位置と運動量の場合は、古典的には（非相対論的な場合）一方が他方の時間変化になっているという関係である。だが、角運動量のような交換関係の場合にはそうもいかない。直ちに、一般的な結論に結びつきそうにもない。その点重ね合わせの原理の方は、単一の観測量についての命題束であっても要請される事柄であるので、こちらの方が本質的なのかも知れない。ただし、最初から分かっているような、古典的波動現象では重ね合わせが成り立つのだから、波動方程式になるのは当然、というような見解と紛らわしくなってしまうかも知れない。だが、ここで言いたいのは方程式の形ではなくて、なぜヒルベルト空間によって記述されるのかと言うことである。（シュレディンガー方程式の形は、ガリレイ変換不変性を要請すれば、時間発展ユニタリ群の生成作用素であるハミルトニアン作用素を用いて周知の形になる。）

観察事実と理論形式が直結しない量子力学では、その理論形式の由来を直接的観察事実に求めることができない。今なすべきことは、我々の世界の分節化の仕方の考察である。その極限として、位置とか運動量とかという古典世界の分節化方式が導かれるという具合になるべきである。

量子力学の数学的構造はむしろ技術分野で追求されてきた²¹⁻²⁵⁾。

21世紀に入ってからの、量子力学の物理的原理を情報处理的な原理に求める方向はいろいろあって¹⁾、超光通信不可能性、安全鍵配布問題、複製禁止定理などから量子力学を導出するなどあるようだが、それらはC*代数（観測量の作る代数のあるモデル）という構造を前提している。むしろなぜC*代数という構造であるのか、ということこそ探求されるべきであると思う。

また、ベイズ主義的観点で量子力学を検討すれば不思議さが減ずるといふ、それはそれで大切なことではある、試みが^{2, 3)}なされてもいるようであるが、量子力学における確率の解釈²⁵⁻²⁸⁾は、もともと（少なくとも1970年代には）主観解釈が検討されていたのであり、なぜ今頃になってという感が深い。ポパーの主観と客観の間ともいえる確率の傾向性解釈²⁹⁻³²⁾は、量子力学のために考え出されたともいわれているのである。傾向性解釈は客観主義的頻度解釈とは異なり、主観解釈に分類されるものの、主体の意識が認識する信念の度合いではなく、何かある特定の世界の状況とか実験装置に付随する、ある結果を生み出す傾向性の表現なのである。

主観解釈では、すぐに困ってしまうのは、「シュレディンガーの猫」において、箱の中に友人を入れて部屋の外のウィグナーが友人からの電話で（細かい突っ込みは入れないように！）友人からの放射性元素崩壊の知らせを受けるという「ウィグナーの友人問題」において、そこで言う確率は誰の主観によるのかという問題である。このような古

来の困難もまじめに追求できる雰囲気醸成されてきたといえるであろう。

量子情報科学が隆盛し、その上統計学においてもベイズ主義が200年ぶりに復興している今日、再びこのような観点の分析はやりやすくなっている。本稿で取り上げた微視的世界の論理は、アリストテレス以来の命題論理の拡張である、直相補（弱）モジュラー論理であるが、様相論理とか時間の前後をも取り込んだ古代インド哲学での論理学のようなものなども、可能性として考えていきたい。

参考文献

- 1) 木村元, 「量子力学の原理探究」, 科学基礎論研究 40 (2013) 23
- 2) D. Mermin, "Quantum mechanics: Fixing the shifty split", *Phys. Today*, July(2012)8
- 3) M.Pawlowski et.al., "Information Causality as a physical principle", *Nature* 461(2009)1101
- 4) P. Dirac, "*The Foundations of Quantum Mechanics 4th ed.*", Oxford(1958)
- 5) J. von Neumann, "*Die Grundlagen der Quantenmechanik*", (1931)
訳書:『量子力学の数学的基礎』(1957) 岩波書店
- 6) R. Feynman and A. Hibbs, "*Quantum mechanics and Path integrals*", (1965)Addison-Wesley
- 7) E. Nelson, "*Quantum Fluctuation*", Princeton UP (1985)
- 8) E. Nelson, "Derivation of the Schroedinger Equation from Newtonian Mechanics", *Rhys. Rev.* 150(1966),1079
- 9) E. Nelson, "*Dynamical Theories of Brownian Motion*", Princeton UP(1967)
- 10) 榛葉豊, 「定理としての確率解釈」, 静岡理工科大学紀要 9 巻 (2001年) 365
- 11) 榛葉豊, 「人間中心原理と確率の本性 —確率過程量子化の解釈のために」, 静岡理工科大学紀要 12 巻 (2004年) 177
- 12) M. Jammer, "*The Philosophy of Quantum Mechanics*", Wiley (1974)
井上健訳『量子力学の哲学上, 下』紀伊国屋書店 (1984)
- 13) M. Jammer, "*The Conceptual Development of Quantum Mechanics*", McGraw(1966)
小出昭一郎訳『量子力学史 I, II』東京図書 (1974)
- 14) A. Kolmogorov, 『確率論の基礎概念』, 根本訳 東京図書 (1975年) 原書は1933年
- 15) J. Jauch, "*Foundations of Quantum Mechanics*", Wiley(1968)
- 16) C. Piron, "*Foundations of Quantum Physics*", W.A.Benjamin, (1976)
- 17) R. Hughes, "*The Structure and Interpretation of*

Quantum Mechanics", Harvard(1989)

- 18) S.Watanabe, "*Knowing and Guessing*", Wiley(1969)
村上陽一郎, 丹治信治訳「知識と推測 1, 2, 3, 4,」
(1976年) 東京図書
- 19) A. Gleason, *J.Rat.Mech.Analysis*, 6, (1957)885
- 20) 江澤洋, 「量子力学の構造」, 『量子力学Ⅲ』岩波書店
(1972年)
- 21) 広田修, 『光通信理論 -量子論的考察-』森北出版
(1985年)
- 22) C.W. Helstrom, "*Quantum Detection and Estimation Theory*", Academic Press, (1976)
- 23) A.S. Holevo, "*Probabilistic and Statistical Aspects of Quantum Theory*", North-Holland, (1982)
- 24) M. Reed and B. Simon, "*Method of Modern Mathematical Physics Vol.1-4*", Academic Press,(1972, 1975, 1979, 1978)
- 25) R.A. Fisher, "*Statistical method and Scientific Influence*",(1956)
渋谷他訳:『統計的方法と科学的推論』, 岩波書店
(1962年)
- 26) 内井惣七, 『科学哲学入門』世界思想社 (1995年)
- 27) J.M. Keynes, "*Treatise on Probability*", Macmillan,
(1921)
訳書『確率論』, 東洋経済新報社 (2010年)
- 28) D. Gillice, "*Philosophical Theories of Probability*",
(2000)
訳書『確率の哲学理論』, 日本経済評論社 (2004年)
- 29) K. Popper 『科学的発見の論理』上・下 大内他訳 恒星社厚生閣 (1971年)
- 30) K. Popper 『实在論と科学の目的 -ポストスクリプト I』上・下小河原他訳 岩波書店 (2002年)
- 31) K. Popper 『開かれた宇宙 -ポストスクリプト II』
小河原他訳 岩波書店 (1999年)
- 32) K. Popper 『量子論と物理学の分裂 -ポストスクリプト III』 小河原他訳 岩波書店 (2003年)

技術報告及び資料

3次元煙風洞の製作

Manufacturing of smoke tunnel for flow visualization around a vehicle

安 昭八*

Shohachi YASU

Abstract: This paper has described a 3 dimensional smoke wind tunnel for flow visualization around a vehicle. Students have completed a preliminary design of the wind tunnel which can be blown the maximum velocity 12m/s in measurement section. In addition, this process can provide exercises for designing a system and machining of the element of wind tunnel apparatus to meet desired needs within realistic constraints such as economic and safety, problem-solving experience that incorporates the necessary elements for engineering skill.

Key word: smoke wind tunnel, engineering design, practice, experiment

1. はじめに

静岡理工科大学機械工学科の学生が履修する機械工学実験2・航空工学実験は、それぞれ3年次のロボットヴィークル工学コースと航空工学コースの必修実験科目である。両コース共通実験テーマの一つとして煙風洞実験を計画した。本実験の目的は、物体周りの流れの現象、具体的には自動車の周りの流れ、航空機の主翼周りの流れを実際に観察し現象を理解するためである。そのためには当該流れ場を可視化できる新たな実験装置を設計・製作する必要がある。本稿では、筆者による風洞の概念設計に基づき学生達が卒業研究として自ら基本設計を行い、学生実験用装置としての3次元煙風洞装置を完成させたので、その製作工程と風洞の詳細仕様について報告する。

2. 風洞の概念設計

2.1 設計条件

機械工学科の学生実験に供するための風洞、かつ学生が簡単に操作できるレベルの風洞であることを基本とし、以下に示す条件を満たすものとした。

- ① 煙流脈法等の可視化手法を使えること
- ② 低コストで製作出来ること
- ③ 学生が安全で容易に実験装置を操作できること

2.2 概念設計方針

前項の条件を満たすための煙風洞の概念設計方針として次のように設定した。

- ① 測定部における流れの乱れを極力少なくするために吸込み風洞とする。また、測定部で煙流脈が拡散しないよう風洞上流側の整流部断面積と測定部断面積の比（縮流比）を10以上にする。

- ② 煙発生装置からの煙を測定部にスムーズに流入させるために、測定部が大気圧より負圧になるよう整流部に適度なメッシュのスクリーンを設置する。
- ③ 整流部のハニカム据付やスクリーンの取付けを容易にするために、整流部を3分割に分離できる構造とする。
- ④ 楕形の煙発生プローブは従来の煙風洞と同様に縮流部の変曲点に挿入する。¹⁾
- ⑤ 測定部に置かれた供試体周りの流れの観測を容易にするために、測定部には大型の観測窓と照明用窓を設ける。また、3次元の流れを可視化できるよう測定部下流の拡大部曲がりダクトにも観測窓を設ける。
- ⑥ 低コストで風洞を製作するために、風洞は木製とし地元の業者に製作を依頼する。また、風洞に係わる機材の選定および調達は一括発注はしない。
- ⑦ 煙風洞に必要な機材の内、機械工学科で使用せずに保管している実験装置の機材を極力流用することにする。
- ⑧ 学生実験で学生が自ら風洞の始動操作や調整ができるよう実験テキストに操作手順を明記する。
- ⑨ 煙風洞の設計時点で、風洞の恒久的な設置場所が決まっていなかったため、風洞全体を分解・移動・再据付ができる構造とする。
- ⑩ 風洞の室内への煙発生装置の煙混入を防ぐために、風洞の排気は室外に排出する構造とする。これは煙発生装置の煙ミストが室内に充満することを防ぐもので安全に実験を遂行するための措置である。

2014年2月28日受理

* 理工学部 機械工学科

2.3 概念設計

前項の概念設計の方針に基づき、概念設計を行った。まず、風洞のサイズを決める要点として初めに測定部のサイズである。

測定部に設置する供試体の模型自動車断面積を 150mm×150mm 程度と想定した場合、測定部での供試体のブロックを 10%以内に収めるようにするためには測定部断面を横 400mm×縦 600mm にする必要がある。

また、測定部での風速を 10m/s と想定した場合の必要空気流量は約 10000m³/h となる。この空気流量を吸込み式で駆動するためのファンの選定調査をした結果、三菱電機製の片吸込み型シロッコファン (BG-45KTA) が適していることが判明し、本煙風洞の駆動用ファンとして選定した。

測定部下流の拡大部の長さを 1.5m として、圧力損失を極力少なくするために測定部断面積と拡大部出口断面積の比を 1.04 程度となるよう拡大部の形状を設計した。また、拡大部出口寸法はシロッコファン吸込み口寸法になるようにした。

概念設計方針で述べたように整流部と測定部の断面積比は 10 以上であるとしているので整流部の断面サイズを 1.8m 角とした。また、整流部内に設置する整流用のハニカムやスクリーンの据付や調整作業を容易にするために整流部を流れ方向に 3 分割できる構造にした。

整流部から測定部までの縮流部の曲面は円弧で繋ぐようにし、変曲点近傍に煙発生用の楕形プローブを挿入できる構造にした。

シロッコファン出口からの排気は室外に排出するよう排気ダクトで部屋の窓まで導いた。

上記の概念設計により図 1 に示すような煙風洞の概念図が完成し、これを基に学生に基本設計を実施させた。

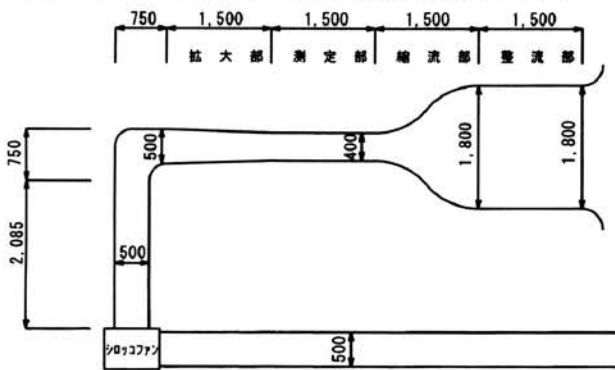


図 1 煙風洞概略図

3. 風洞基本設計

煙風洞の基本設計を卒業研究で実施させるためには学生達が事前に「風洞とは」を理解しておく必要がある。

そこで 2009 年度教育プログラムに風洞見学を申請したところ受理され、2009 年の夏季休暇中に学生達を連れて、東京大学駒場 1 号館にある東京大学航空宇宙工学科の煙風洞と 3m 吹出し風洞、三鷹の JAXA 各種風洞を見学し、風洞の理解を深めてから基本設計に着手した。以下にその主要な結果を示す。²⁾

3.1 整流部

煙風洞の上流部である整流部は概念設計で述べたように流れ方向に 3 分割する構造になっており、それぞれ滑車付きの台車に載る構造である。それぞれはフランジで接続される構造で、最上流側の内部には厚み 50μm のアルミ製の流れ方向長さ 198mm、コアサイズ 5/8 インチの整流ハニカム (住軽エンジニアリング㈱製) と出口部に 2m×2m のグラスファイバースクリーン 14 メッシュ (株式会社くればあ製) が設置されている。中間の分割部にはハニカムは内蔵されず出口部にグラスファイバースクリーン 14 メッシュ (株式会社くればあ製) が設置されている。最下流の分割部には厚み 50μm のアルミ製で流れ方向長さ 198mm、コアサイズ 1/2 インチの整流ハニカム (住軽エンジニアリング㈱製) と出口部に 2m×2m のグラスファイバースクリーン 18 メッシュ (株式会社くればあ製) が 2 枚設置されている。

3.2 縮流部と測定部

煙風洞の縮流部は流れ方向長さが 1.5m で、その側面は整流部と測定部内壁面をスムーズに接続するため曲率半径 982.2mm と曲率半径 975.3mm の逆向きの 2 つの円弧で結ぶ形状とした。また、縮流部上下壁面は曲率半径 1174.3mm と曲率半径 1135.8mm の逆向きの 2 つの円弧で結ぶ形状とした。測定部での風速が 10m/s 近傍まで煙流脈が乱れず可視化できるよう縮流比を 10 以上の 13.5 とした。

図 2 に整流部と縮流部、測定部までの形状を示す。図中の縮流部の変曲点近傍には楕形の煙発生プローブの設置位置を示す。また、測定部の正面 (側面) には供試体周りの煙流脈を可視化できる 600mm×1000mm のサイズのガラス製観測窓が設置してある。

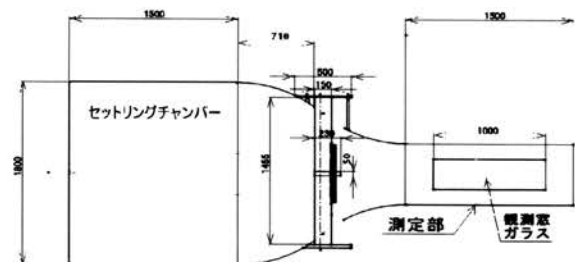


図 2 整流部、縮流部と測定部の形状

なお、拡大部の出口部の曲がりダクト側面にも 200mm×200mm の観測窓ガラスが設置してあり、供試体後流の流れ模様を下流側から観測できる構造となっている。

測定部の上面及び下面には 300mm×1000mm の照明用ガラス窓が設けてある。

測定部内面は黒色の艶消し塗装をしてあり、ガラス製の観測窓の対向面は黒色の板状面となっている。

また、図 3, 4 に示すように供試体である翼型の迎え角を自由に変更できる翼型回転機構が取り付けられている。

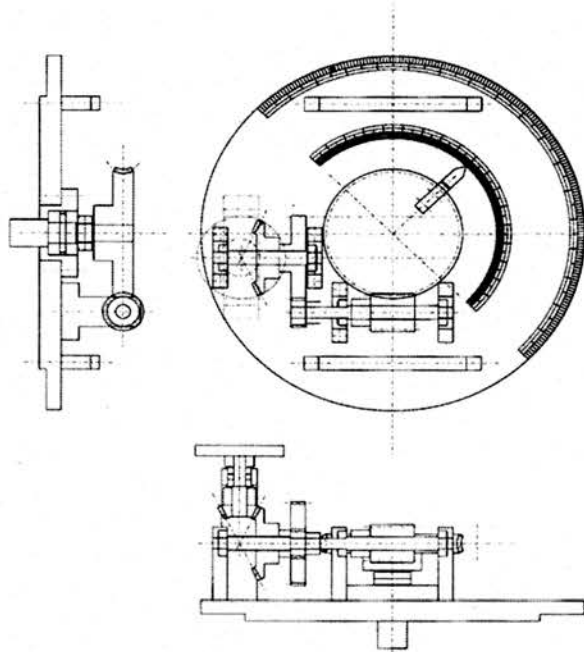


図 3 翼型回転機構の構造図

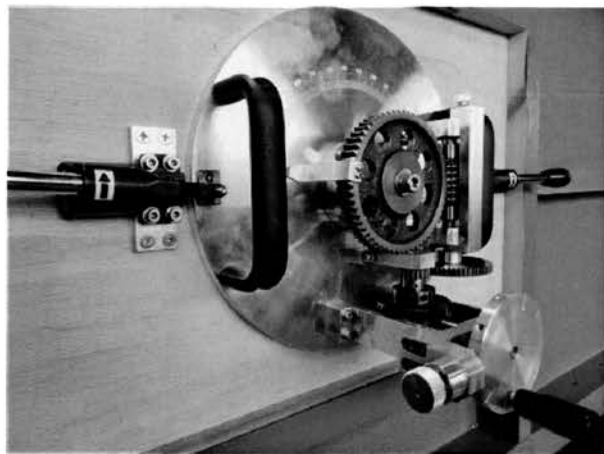


図 4 翼型回転機構の完成写真

また、図 5 の写真は翼型の迎え角を 0 度から 5 度程度に傾けた状態を正面の観測窓ガラス側から見たものを示す。このように翼型回転機構により翼型を予定した角度に設

定できるようになった。

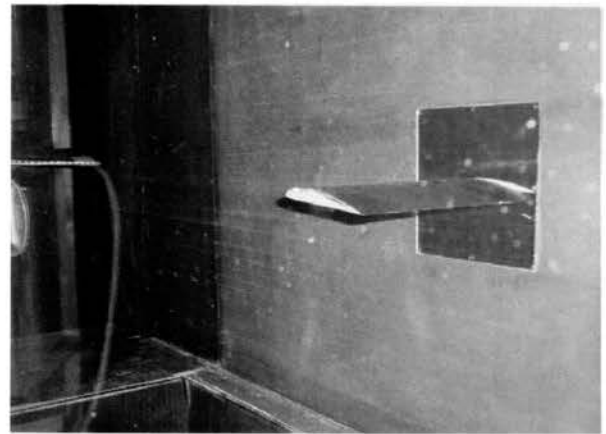


図 5 翼型に迎え角を付けた状態

3.3 風洞駆動源

概念設計段階で選定した三菱電機製の片吸込み型シロッコファン (BG-45KTA) は最大動力 6kW のインバータ付きモータで駆動され、回転数を遠隔で制御できる機能を有している。本ファンの吸込み口、吐き出し口のサイズは 500mm の角形となっており、60Hz の電源で 11000m³/h の定格風量である。

3.4 煙発生装置および楕形煙発生プローブ

煙発生装置にはドイツのルック社製 VIPER nt (日本取扱業者 株式会社ギミック) を採用した。煙素材は専用の流動パラフィン系のオイルを使用し、装置内で加熱・沸騰させ冷たい空気を吹き付けて煙の素になる微粒子を発生させている。本煙風洞は吸込み式であり楕形の煙発生プローブが挿入される縮流部は大気圧より負圧になり煙発生装置からの煙は自然に風洞内に流れる構造となっている。しかしながら風洞内の流速が遅い場合には負圧効果が少なく、煙発生装置から楕形プローブまでの内径 30mm のビニールホース配管での圧力損失があり、煙が自然に流れないことが生じる。この課題を解決するために煙発生装置からの煙を一旦昇圧してビニールホースに流入させる必要がある。本装置では煙発生装置からの煙を一旦約 500mm 角の段ボール箱に入れ、その中に挿入された内径 30mm のビニールホースの入口端に内径 2mm のテフロンチューブを取付け、0.01MPa 程度の空気をビニールホース内に流している。このエジェクター効果により昇圧された煙が内径 30mm のビニールホース内を流れ、楕形煙発生プローブから風洞内に煙流脈を形成する構造にしている。

楕形煙発生プローブは長さ 1.5m、翼長 150mm、翼厚 22.5mm の NACA0015 の翼型形状になっており、内部は空洞である。発生プローブの後縁部の煙吹出し部は内径 4mm、長さ 30mm の銅パイプ 40 本が取り付けられており、ここか

ら煙が流脈状に風洞内を流れる構造となっている。

3.5 風洞内外装塗装

前述のように、煙の流脈は測定部上下面からの照明により白線のように照らされ可視化できる仕組みである。流脈をより鮮明化するために、測定部および縮流部、拡大部の内面は艶消しの黒色塗装を施した。

一方、風洞外装の塗装は塗布面積も広いため、2010年度の教育プログラムに風洞整備で申請をしたところ認可され、2010年度の卒研究生の協力で図6に示すように風洞の外壁の塗装を完了した。図6は2012年度まで煙風洞実験をしていた坂口実験場での煙風洞写真である。

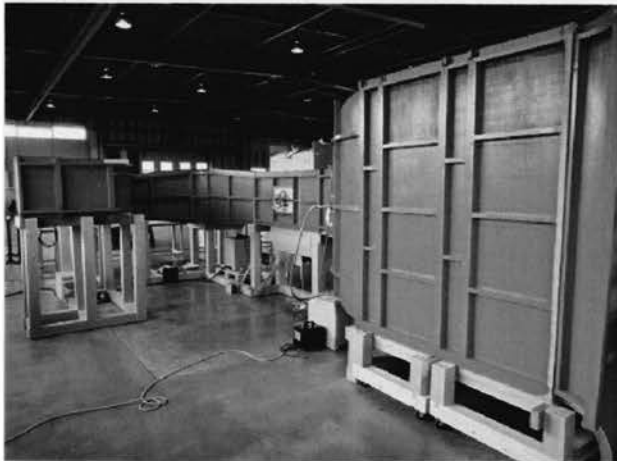


図6 煙風洞の外装塗装 (坂口実験場にて)

4. 煙風洞製作および使用状況

煙風洞の製作は地元建設会社である(有)山中建設に依頼した。基本設計段階から木造でどの程度までの加工が可能かなど相談に乗ってもらうことにより製作段階で無理のない詳細設計ができるようになった。なお、(有)山中建設にとって風洞製作は初めての経験であったため、2009年度の教育プログラムによる学生の風洞見学報告書から、国内にある既存の風洞を理解していただいた。

風洞の各部位である測定部、整流部、拡大部および縮流部の順で(有)山中建設の作業所で製作を行い、夢創造ハウス1階に各部位を搬入し、排気系ダクトを除き風洞の仮組を行った。

4.1 試運転

2011年3月に風洞の仮組立てが完了し、初めてシロッコファンを駆動し風洞内に流れを発生させた。この時点では煙発生装置は使用せずタフト法により風洞内の偏流がないこと、また風洞全体の振動も少ないことを確認した。2011年度後期の機械工学実験2・航空工学実験に間に合わせるよう同年4月に仮組立てした風洞を分解し、坂口実験場に移設、整備を行い、7月には学生実験に供することがで

きるような状態になった。

なお、煙風洞実験のテキストは2011年1月には完成しており同年にSIST教科書を発行した。2013年1月に若干の修正を行ったテキスト改訂版を発行した。³⁾

その後、2013年5月、やらまいか創造工学センターが竣工したのに伴い、本風洞を坂口実験場からセンター1階の空力実験室に移設することになり、8月に移設を完了した。2013年度後期からの煙風洞実験はやらまいか創造工学センターで実施した。この移設工事で、本風洞のシロッコファン上流部と下流部のダクトの一部を改造し、吹出し風洞にも転用できる構造にした。

5. まとめ

煙風洞のやらまいか創造工学センターへの移設後、オープンキャンパスで高校生・保護者への見学コースになり現象の可視化により理科の楽しみを体験してもらうことができるようになった。また、後期からの3年次の実験では前年度までのように坂口実験場への移動時間が削減され学生の肉体的疲労が緩和され、実験に集中できるようになった。

煙風洞の設計に際しては、概念設計段階から詳細設計段階に至るまで元東海大学高木通俊教授からは適時設計の助言をいただき当初の目標を達成することができました。ここに感謝します。

また、仮組立て状態での試運転では可視化情報学会風洞研究会幹事のミツワ電機㈱の高倉秀一氏にハニカム構造改造の指摘をいただいたこと感謝します。

低コストで製作することを目標にして製作を開始し、無事学生実験に供することができたのは(有)山中建設の絶大な協力があったことをここに記して感謝します。

煙風洞の翼型回転機構の製作や楕形煙発生プローブの製作および風洞の照明等の調整には工作センターの職員に協力いただいたことを感謝いたします。

大学トップからは2年間に亘り教育プログラムの認定をしていただき、学生達に実製品を作るための厳しきや国内の風洞見学を体験させることができました。また、JABEEが奨励するエンジニアリングデザインを实践する上でよい機会を与えることができたことに感謝します。

参考文献

- 1) 日本の低速風洞, 可視化情報学会誌, Vol. 14 Suppl., No. 3, 1994-7
- 2) 野口純弥 他, 煙風洞設計・製作・試験の研究, 平成21年度静岡理科大学機械工学科卒業論文
- 3) 静岡理科大学, 機械工学実験 1 機械工学実験 2 航空工学実験, 2013年度版

用行義塾の基礎的研究資料（その1）

The basic research information of YOYKOH-GIJYUKU,
the first elementary school in Fukuroi in the Meiji era ; vol.1

小栗 勝也*
Katsuya OGURI

1. はじめに

用行義塾についての今回の調査に関する筆者の問題意識と目的、及び調査から得られた成果については、本誌本巻に別に掲載する拙稿をご参照頂きたい。

用行義塾については『袋井市史 史料編四 近代現代』（以下、『市史・史料編』と略す）の「第二部 教育編」の冒頭に次の5つの史料が収録されている。

- ・一 用行義塾教則ならびに規則(明治五年六月二五日)〔袋井東小学校所蔵〕
- ・二 日誌並先生方御出席控(明治五年)〔国立史料館所蔵旧久津部村文書〕
- ・三 東脩教授料覚(明治五年八月)〔国立史料館所蔵旧久津部村文書〕
- ・四 出席教授優生姓名簿(明治五年七月)〔国立史料館所蔵旧久津部村文書〕
- ・五 飯米覚張(明治五年八月)〔国立史料館所蔵旧久津部村文書〕

これらの史料を、本稿では矢印の右側のように略記する。

- ・一 → 史料「一」
- ・二 → 史料「二」
- ・三 → 史料「三」
- ・四 → 史料「四」
- ・五 → 史料「五」

現在の所、この5つが用行義塾を知りうる一次史料の全てである。

上記の5つの史料から、用行義塾関係者の動向を一日ごとの探ることができるので、そこから得られた個人別の情報を、さらに一日単位でまとめる作業を行った。その作業を通して得られたものが、今回掲載する「基礎的研究資料」である。集計は、マイクロソフト社のエクセルを用いて行ったが、これならすべての情報を大きな1枚のシートの中に収めることができる。しかし、膨大な大きさになるので、本誌に掲載するにあたり、掲載可能な形に直す必要が生じた。また本誌の掲載には紙数の制限もある。

そこで、性質ごとに幾つかの表に分割することにし、掲載も「用行義塾の基礎的研究資料（その1）」から「同（その3）」までの3つの稿に分けて発表することにした。その一覧を下に示す。

「表1 用行義塾教員の出勤状況及び日別情報の一覧」
・・・本稿（その1）に収録

「表2 用行義塾塾生の出席状況及び日別情報の一覧
～特別の塾生・用務員」

「表3 用行義塾塾生の出席状況及び日別情報の一覧
～普通の塾生①」

・・・以上（その2）に収録。本誌次巻に掲載予定。

「表4 用行義塾塾生の出席状況及び日別情報の一覧
～普通の塾生②」

「表5 用行義塾塾生の出席状況集計」

「表6 用行義塾塾生の時間別出席状況」

・・・以上（その3）に収録。本誌次巻に掲載予定。

2. 掲載資料の解説と凡例

このうち、本稿で扱う「表1」について、以下、解説を記す。「表1」は、用行義塾の先生であったと思われる人物について分かる限りの情報を、1日単位でまとめたものである。先生については、史料「一」以外の4つの史料から各種の情報を得ることができる。これらの史料には「先生」と呼ばれていた人物が3人あった。岡田直、高田緑雲（彰一郎、省一郎）、国府田、がそれである。

岡田については、例えば史料「四」の明治5年7月27日以下の箇所に「岡田先生」の表記が幾つも散見される。また史料「★」では7月朔日の箇所に「掛川岡田様」とあり、彼が掛川の人間であることが分かる。そのため史料「★」の8月27日他の箇所にある「掛川先生」も岡田のことを指していると考えられる。9月20日以降は掛川から国府田が先生として塾に来ているが、この日以降は、掛

川先生という表記はどこにも出てこなくなる。従って、9月20日以前に出てくる「掛川先生」はすべて岡田のことを指すと判断して良いと言える。また9月8日には「先生」の文字だけがあるが、前日に「掛川先生」があるので、この「先生」も岡田であると判定した。

さらに、史料「四」の7月朔日の箇所等に「岡田直」があり、他に岡田姓の人物は史料には出てこないのが、岡田の名は「直」であると判定できる。史料「★」9月20日の箇所に出て来る「直様」も岡田のことになる。

このようにして、岡田先生であると思われる記録をまとめていくと、「表1」に示したような資料が出来上がる。

高田については『袋井市史・通史編』（以下、『市史』と略す）にある「高田省一郎（または彰一郎、緑雲と号したようである）」の記述を信用して、これに関係する名称はすべて高田のことであると考えて記録を蓄積した。しかし、「高田様」「緑雲先生」「彰一郎先生」という文字は史料に残ってはいるが、なぜか「省一郎」については、敬称抜きの記録しか見当たらない。この点がいかにも不自然であるという感覚が筆者にはある。もしかすると、「省一郎」は先生の高田とは別の塾生の可能性もゼロではないかもしれないという疑いを払拭できないのである。そこで、今回筆者が作成した「表1」では、「省一郎」の記録しか確認できない日については、注意が必要かもしれないという意味で、「先生の存在」の欄に敢えて▲の印を付しておいた。

国府田については、9月20日に初めて塾に来たことが分かる。『市史』が言うように、高田先生が東京へ行った後任として、掛川から招かれたものと推断される。

ただ、国府田について不思議なことは、記録の中に彼の子息のことが度々登場している点である。子息も塾に連れて来ているらしいのである。しかも、10月朔日の史料「★」の記録のように、子息だけが塾に来ていて、親である国府田については何も言及がない、というケースがしばしばある。この記録通りに解釈すると、国府田の子息は親とは別に掛川から来たり帰ったりを繰り返していることになる。とても幼い童子とは思えない。仮に童子であったとしたら、常に御付の者がいて掛川との往復の世話をしてもらっているとしか考えられない。1人でも十分に行動ができる年齢に達していたとしたら、彼だけが塾に来たという記録があっても不思議はない。しかし、幼児なのか、青年なのか、現状ではまったく分からない。

そもそも何故、子息が用行義塾に来ていたのであろうか。そうせざるをえない国府田の家庭の都合があったのか、それとも単に子どもに小旅行気分を味あわせるための興味本位のものであったのか、あるいは塾で学ばせるためであったのであろうか。学ぶためであったならば、出席者名簿の中に国府田の子息が登場してきてもよさそうである。国府田の子息は史料では常に国府田先生の「御子息」「御賢息」のように敬称付きで記されているから、学ぶために来ていたのなら、他の塾生の名が記されている出席者名簿の

所にそれらしき形で記されていてもよいはずである。しかし、そのような記述は見当たらない。おそらく、塾生として来ていたのではないのであろう。では、なぜ塾に来ていたのであろう。

ところで、史料の中には「国府田若先生」という文字が、11月15日と1月2日に2回登場する。「若」というのは、国府田の子息のことを指しているのか、国府田自身の名を指しているのか判断できないが、仮に子息のことだとすると「若先生」であるから、子息も先生であったのかもしれない。そうであったら童子という推測は消える。しかし仮に「若」が国府田自身の名を示すものであったとしたら、子息が童子である可能性は棄てられない。もし国府田の子息も先生であったと仮定したら、用行義塾の先生は3名ではなくて4名ということになる。或いは「若先生」は、子息に対する敬称に過ぎないという解釈もあり得る。この辺りの実態は皆目分からない。

なお3名の先生に関して史料から判る時期は、明治5年7月1日から明治6年1月2日までである。「表1」の期間はこれを反映している。この整理によって判明した各先生の出勤状況は、「表1」の最下段に「*先生の存在」としてまとめ、この情報は参考のため、「表2」以下の資料にも転記した。以下、「表1」の読み方に関する凡例を示した上で、資料そのものを掲出する。

【凡例】

- ・元の史料では日付の数字はすべて漢数字であるが、最上段の日付欄はアラビア数字に直した。「晦日」などの表記は史料「四」に拠った。なお旧暦は1か月の日数が今日の暦とは異なっているので注意のこと。日付は表に示した通りで間違いない。但しグレゴリオ暦に直すと、1ヶ月強の違いが生じることも注意を要する。今回の日付は、当時の旧暦のままの日付を用いている。
- ・「十一字」のように「字」とあるのは時刻を示し、今日では「時」であるが、ここでは「字」のままに表記した。
- ・「方」は、「よ」と「り」を合わせた略字だが、ここでは「より」に直した。
- ・★は史料「二」、●は史料「三」、○は史料「四」、◆は史料「五」からの情報であることを示す。
- ・【 】は筆者による補足または注記であることを示す。
- ・□は判読できない文字を示す。史料に、元々そのような記号で記載があり、そのまま転記した。
- ・空白部分は情報が何も無いことを示す。
- ・最下段「*先生の存在」の欄は、先生が存在していたか否かを筆者が判定した結果である。確実に存在したと確認できない場合はすべて「×」を付したが、単に史料がないだけで、不明の場合も含まれているので注意されたい。また同欄に、「高田先生▲」とあるのは、既述の通り、「省一郎」の文字しか確認できないことを示す。

11月 (旧暦)

種類	備考	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	晦日	朔日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	
① 岡田先生	岡田直																						
	岡田																						
	岡田様																						
	岡田先生																						
	楢川先生																						
	「先生」																						
	直様																						
	高田様																						
	緑霞先生																						
	省一郎																						
② 高田先生	彰一郎																						
	彰一郎先生																						
	コウ田先生																						
	国府田先生																						
③ 国府田先生(親子)	国府田先生																						
	国府田若先生																						
	国府田先生の御賢息																						
	国府田先生御子息																						
	国府田御子息																						
	*先生 の存在	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	

←【この間、国府田が滞在した可能性もゼロではない】→

←【この間、国府田が滞在した可能性もゼロではない】→

←【この間、国府田が滞在した可能性もゼロではない】→

【注：明治5年11月は29日まで、12月は2日までで、ここまでは旧暦。翌日（旧暦の12月3日に相当）から新暦の明治6年1月1日に移行した。】 明治6年1月

種類	備考	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	【中略】	2日		
① 岡田先生	岡田直																						★袋井不残来	
	岡田																							
	岡田様																							
	岡田先生		★岡田先生御校へ御宅へ御帰				★岡田先生御校へ御宅へ御帰											★岡田先生御校へ御宅へ御帰					★岡田先生御校へ御宅へ御帰	
② 高田先生	掛川先生																							
	「先生」																							
	直様																							
	高田様																							
③ 国府田先生(親子)	縁雲先生																							
	省一郎																							
	彰一郎																							
	彰一郎先生																							
	コウ田先生																							
	国府田先生		★国府田先生御校へ御宅へ御帰		★国府田先生御校へ御宅へ御帰		★国府田先生御校へ御宅へ御帰																	
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
*先生存在の存在	...	→																						
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							
	国府田先生																							

以上

教育 関 連 報 告

材料加工教育のための卓上加工機の試作

Production of Tabletop Machine for Material Processing Education

吉田 昌史*, 内海能亜**, 野崎孝志*

Masashi YOSHIDA, Noah UTSUMI, Takashi NOZAKI

Abstract: We gave students the opportunity to experience working with plastic using our developed tabletop deep drawing machine during class. The deep drawing press was operated on a desk in the classroom. We investigated the educational effects produced by this experience. This class room experience helped the students to easily understand the basics of the deep drawing process. A bending machine was also developed to provide students with a better understanding of sheet metal forming. It was light enough to be moved around easily, and could safely carry out a bending operation on a desk in the classroom. V bending test using pure aluminum sheets was conducted to evaluate the performance of this machine.

1. はじめに

材料加工は自動車や鉄鋼などにおけるものづくり技術の重要な基盤的技術の一つである。同じ形状の製品を作る加工法は多種多様にあり、技術者は常に最適な材料と加工法の選択をしなければならない。このため、各加工法の原理と特徴を幅広く理解しておくことが重要となる。

本学機械工学科を卒業した学生のほとんどが加工関連の企業に就職している。しかし、学生らは在学中に塑性加工に触れる機会はあまり多くなく、塑性加工の原理と特徴を十分に理解して卒業しているとは言い難い。塑性加工に関する各設備を導入しようとする、金型の費用、設置スペース、危険性などの問題があり、高等教育機関であっても容易に設備を導入できない。このため、高価な設備を導

入することなく安全に塑性加工に触れることができるような教育教材を開発することができれば、学生らに塑性加工法の原理と特徴を十分に理解させることができると思われる。

これまでに、我々は座学講義内で加工体験が可能な卓上加工機に関する教育プログラムの開発を目的とし、前報では軽量で持ち運びが可能な卓上深絞り機を試作し、加工実験を行った¹⁾。本加工機でアルミニウム薄板から円筒状の底付き容器を成形できることを確認した。また、本加工機による加工実験で潤滑剤の効果、製品不良、成形品の肉厚減少などを確認でき、教育用途として十分に利用できることが分かった。

今回の報告では、座学講義内で卓上深絞り機の加工体験を実施し、本加工機による教育的効果を検討した。また、薄板の曲げ加工機も試作したので、これらの結果について報告する。

2. 座学講義内での深絞り加工体験

2.1 実施内容および条件

機械工学科2年生の「材料加工学」の座学講義内で受講者53名に対して加工体験を行った。講義内容は15回の授業の内、鋳造5回、塑性加工5回、溶接3回、粉末冶金2回であり、塑性加工5回の最終回に加工体験を実施した。図1に示す前報と同じ加工機を使用し、手動計測スタンド、フォースゲージ(負荷荷重の計測)、ダイヤルゲージ(パンチ押し込み量の計測)はそれぞれ教卓に設置し、学生らには図1に示す深絞り機のみを配布した。体験時間は約30分で、1台の加工機を約8名の学生が使用した。しわ押え力を学生らに決めてもらい、しわや破断などが起こらない

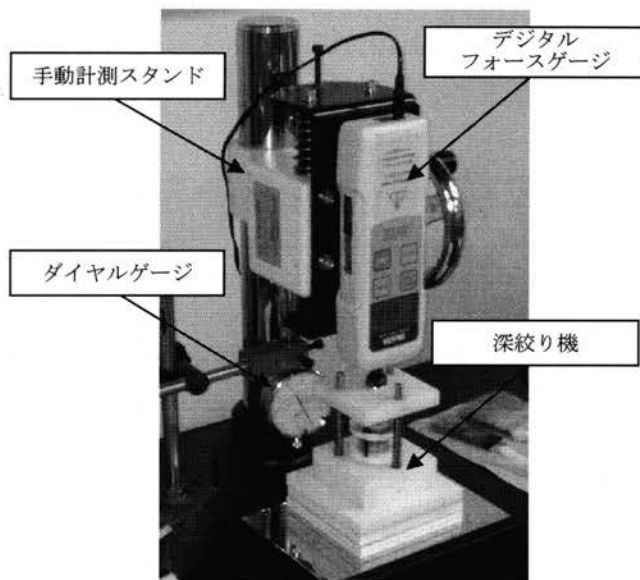


図1 加工実験機の外観

2013年2月25日受理

* 理工学部 機械工学科

** 埼玉大学 教育学部 技術教育講座

ようにアルミニウム薄板から円筒状底付き容器を成形する加工体験を実施してもらった。実施時は学部4年生1名が補助として、受講学生らに供試体の設置方法などの指導を行った。学生らは机上で供試体を設置し、しわ押え力を決めた。その後、教卓にある手動計測スタンドに深絞り機を設置し、加工を行った。デジタルフォースゲージとダイヤルゲージに示された負荷荷重とパンチ押込み量の変化を見ながら加工の様子を想像してもらった。図2は加工体験の様子である。なお、計測スタンド、デジタルフォールゲージなどは比較的高価なものであるが、受講生が約50名程度であれば、それぞれ1台ずつで実施可能であった。

本加工機の教育効果を検討するために、機械工学科3年生の「機械工学実験1」の薄板成形実験を受講した学生ら40名にも2年生の学生らと同様のアンケートを行った。薄板成形試験で使用した装置は、株式会社東京衡機試験機製の薄板成形機（最大荷重12 ton）を用いた。試験機の大きさは700 mm×850 mm×1400 mmであり、本体重量は700 kgである。実施内容は厚さ0.8mmのアルミニウム板を供試体とし、しわ押え力と成形不良との関係、供試体としわ押え面との間の摩擦係数の算出、ポンチ力と絞り比との関係から限界絞り比を見積もることであった。座学講義内での加工体験と機械工学実験での実験講義との実施条件についてまとめたものを表1に示す。

なお、本学のカリキュラム移行時期であったため、2年生と3年生ともに同時期にそれぞれ材料加工学の講義を受講しており、2年生と3年生ともに塑性加工の予備知識は同程度であった。

表1 実施条件

	本加工機 (座学講義)	実加工機 (実験講義)
実施時間	約30分	約3時間
対象人数	52名	40名
機械台数	6台	1台
機械1台あたりの 受講者数	約8名	約8名
補助者	1名	1名



図2 座学講義内での加工体験

2.2 アンケート結果

加工体験および薄板成形実験が終了した学生に対して、アンケートを実施した。アンケート内容は「問1 深絞り加工の概略を理解することができましたか。」と「問2 絞り比を理解することができましたか。」であり、[理解できる]・[どちらかといえば理解できる]・[どちらかといえば理解できない]・[理解できない]の4段階で評価をしてもらった。アンケート結果についてまとめたものを表2に示す。「問1 深絞り加工の概略を理解することができましたか。」の問いに対して、本加工機と実加工機ともにどちらも高い回答率を得た。本加工機と実加工機ともに加工前後の供試体の変化から、深絞り加工の概略を理解することができるため、高い回答率を得ることができたと思われる。本加工機と実加工機の回答率を比較すると、本加工機の方が回答率は高かった。実加工機の方は主にアシスタント学生が供試体のセットをしていたが、本加工機の方は学生自身が供試体を加工機にセットする必要がある。また、加工を実施するときは、実加工機ではアシスタント学生が加工開始のボタンを押すことで加工が行われ、X-Yレコーダーに負荷荷重とパンチ押込み量との関係が自動的に描かれていき、この操作を受講学生が観察していた。これに対し、本加工機の方は、自ら深絞り機を手動計測ステージにセットし、手動で計測ステージのハンドルを回し、加工を行っていく。加工荷重はフォースゲージで読み取ることができるが、学生自身が加工荷重を体感することになる。一般的にパンチ行程と加工荷重の関係は図3のようになる。図3の(a)のように加工開始時はしわ押えで供試体が押えられているため、ハンドルの回転は重い。加工が進むにつれ、しわ押えと供試体との接触面が減少するため、徐々にハンドルの回転が軽くなっていき加工が終了する。なお、供試体が破断したときは図3の(b)のようにハンドルの回転が重くなった後、急に軽くなる。このように、供試体のセットから加工実施まで比較的短時間で実施することができ、加工荷重を学生が自ら体感できるという点で、深絞り加工の概略について理解できたという項目で高い回答率を得ることができたと言える。

「問2 絞り比を理解することが出来ましたか。」の問いに対しては、実加工機では受講学生の半分しか絞り比について理解していなかった。一方、本加工機の方は、ほとんどの学生が絞り比について理解していると回答した。実加工機では、パンチとダイスを取り外す手間があったため、教科書の深絞り加工の概略図を用いて絞り比（パンチ直径とダイス内径の比）について説明を行った。本加工機の方では、供試体を加工機にセットする際に加工機を分解

する必要がある。このとき、分解したパンチとダイスの形状を学生らに手に持って確認させるとともに、絞り比についての説明を行った。パンチとダイスの実物を手にとって学生らに確認させ、説明したため、本加工機の方が絞り比の理解で高い回答率を得ることができたと思われる。

3. 曲げ加工機の試作

深絞り加工は薄板成形の代表的な加工法であるが、この加工法は曲げ戻しや2軸引張などの変形が作用するため、加工における応力状態は非常に複雑である。深絞り加工の理解を深めるためには、これを学ぶ前段階の教材が必要であると考えられるため、比較的単純な変形である曲げ加工機を試作することとした。曲げ加工は、素材に曲げ変形を与え、所定の角度、半径を持つ形状に成形する加工法である。板を曲げるだけという単純な加工のように思われるが、形状や寸法精度が要求される場合は、「そり」や「スプリングバック」などの問題が生じる。単純と思われがちな加工を学生らに体験させ、加工の際に起こる問題点を実感させ、気付かせることは、加工関連の企業で活躍していく予定の学生らにとって意義深いものと思われる。

試作した卓上V曲げ加工機は市販の簡易バイスにパンチと型をそれぞれ固定させたものであり、突曲げ様式(三点自由曲げ)とした。試作した加工機の外観を図4に示す。パンチとダイの材質はMCナイロンで、卓上CNC加工機で

製作した。供試体を型の上に置きパンチを押しこむことにより板をV字形断面に成形するものである。パンチの先端半径は3mm、ダイの溝幅は20mmである。なお、試作加工機は部品点数9点(市販ハンドルを1点とする)、費用2,200円、重量495gであった。

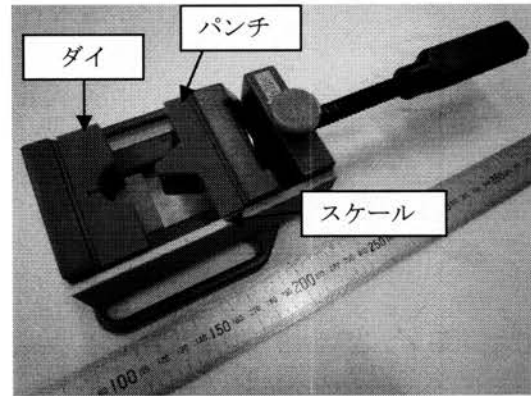


図4 卓上V曲げ加工機

表2 アンケート結果

		回答率 (%)	
		本加工機 (座学講義)	実加工機 (実験講義)
問1	理解できる。 どちらかといえば 理解できる。	96%	78%
問2	理解できる。 どちらかといえば 理解できない。	94%	50%

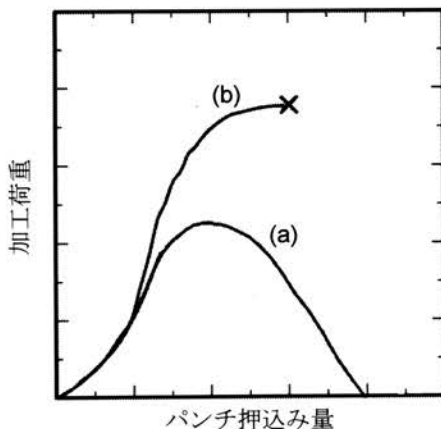


図3 パンチ行程と加工荷重の関係の概略

3.1 曲げ加工実験

3.1.1 加工条件

供試材は純アルミニウム(A1050)を使用し、板厚1mmの板材の圧延方向を長手方向として、長さ30mm、幅10mmに加工したものを用いた。簡易バイスの側面に貼り付けたスケールを読み取ることでパンチ押込み量を管理し、押込み量から図5に示すパンチ負荷時の曲げ角 θ_1 を算出した。パンチ除荷後の曲げ角 θ_2 については、加工後の薄板を用紙の上に載せ、0.3mmのシャープペンシルで薄板の形状をなぞった。その後、加工後の薄板形状がなぞられた用紙をスキャナーで読み取り、2次元CADの角度測定機能で測定した。また、比較として分度器を用いての計測も行った。

3.1.2 パンチ押込み量と曲げ角の関係

パンチ押込み量とパンチ負荷時と除荷後の曲げ角の関係を調査した結果を図6に示す。押込み量0.5mmと1mmのときは徐荷後の角度は180°であり、弾性域での変形であることが分かる。押込み量2mm以上では塑性域での変形となり、押込み量の増加にともないパンチ除荷後の曲げ角度が減少した。この結果から、本加工機で加工を行い、曲げ角度と押込み量の関係を得ることで材料の弾性変形と塑性変形の違いを理解させることができるとと思われる。

図5に示したように薄板を曲げ加工した後、力を取り除くと弾性回復のため、 θ だけ戻る。この現象をスプリング

バックといい、図6の負荷時の曲げ角と除荷後の角との差から求めることができる。図6の結果から得られたスプリングバック量と押し込み量の関係を図7に示す。パンチの押し込み量が大きくなるにつれスプリングバック量が小さくなっている。一般的に、スプリングバック量は押し込み量とともに減少し²⁾、本加工機でも同様の結果が得られた。

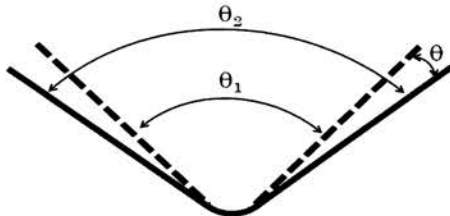


図5 パンチ負荷時の曲げ角 θ_1 と除荷後の曲げ角 θ_2

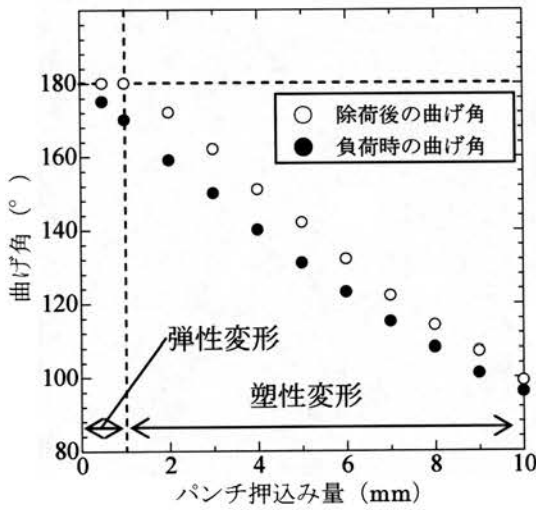


図6 パンチ押し込み量と曲げ角の関係

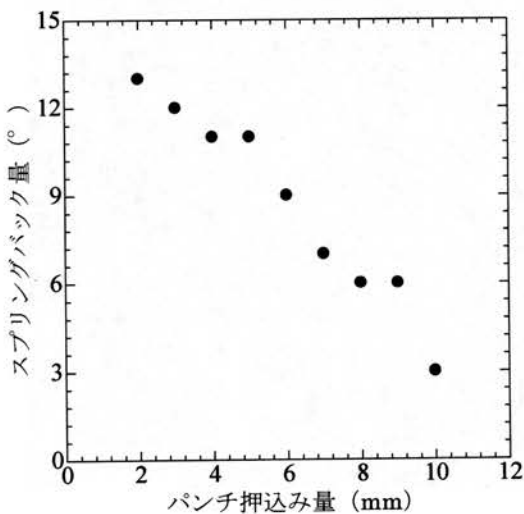


図7 パンチ押し込み量とスプリングバック量の関係

3.1.3 異方性（試験片採取方向）の影響

供試材の圧延方向に対して垂直方向と並行方向に曲げ加工を行ったときのスプリングバック量を測定し、異方性の影響について確認した。図8はパンチ行程とスプリングバック量の関係であり、スプリングバック量は垂直方向の方が平行方向よりも高い値を示した。供試体のヤング率は供試体の採取方向によらず一定であると思われる。このため、スプリングバック量は供試体の採取方向には影響しないと思われたが、今回の実験では異なる結果が得られた。供試体採取方向の影響については、桑原らによる報告がある。0.3mmのSUS304ステンレス鋼板を圧延方向に対して垂直方向と並行方向にV曲げした場合、垂直方向の方が約27%も圧縮強度が大きくなり、スプリングバック量は垂直方向の方が大きくなる³⁾。また、平行方向の場合はパンチを押し込むにつれ、曲げの外側で引張応力が働くため、ミクロな割れが生じスプリングバック量が減少したことも一つの理由として考えられる。この結果から、今回試作したV曲げ加工機は簡易なものではあるが、実機で得られる加工現象を再現よく得られるということが分かった。

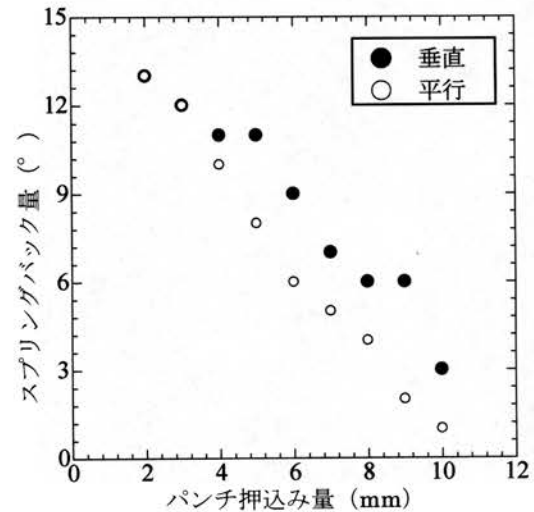


図8 パンチ行程とスプリングバック量の関係

3.1.4 曲げ角度測定方法

CADで測定する方法（以後CADと呼ぶ）と分度器で測定した結果を比較したグラフを図9に示す。パンチ押し込み量4mmまではCADと分度器での測定の差はほぼ一致したが、パンチ行程5mm以降は測定による差があらわれた。CADと分度器による計測では若干ずれが生じる

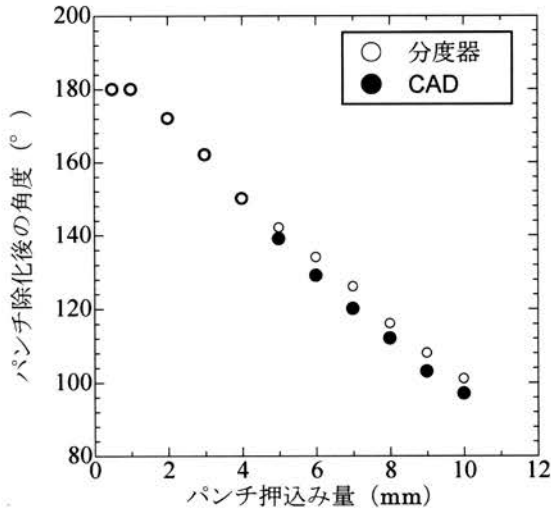


図9 角度測定法の比較

ものの、パンチ押込み量とパンチ除荷後の角度との関係の傾向はほぼ同じである。安価な加工機でV曲げ加工を行い、安価な測定器（分度器）で加工後の曲げ角度を計測してもパンチ押込み量とパンチ除荷後の関係を得られるということが分かった。

4. 今後の課題

試作した卓上深絞り機を用いた加工体験により、深絞り加工の概略を十分に理解できることがわかった。しかし、試作加工機では高精度な加工は行えないため、塑性加工は高い精度の加工ができるということを学生らに伝えることは難しいと思われる。このため、実機を用いた塑性加工実験を行う前段階の教材として本加工機を用いると、より効果的に塑性加工法の原理と特徴を理解させることができると思われる。また、塑性加工法は高精度で生産性が良い加工というだけでなく、加工後の製品の機械的性質を向上させることができるという特徴を持つ。このような塑性加工の特徴については、今回試作した加工機では理解することができない。このため、今後はより効果的な利用方法を検討す

るとともに、塑性加工法の特徴を理解させることができるような他の加工機の試作を行う予定である。

5. まとめ

座学講義内で試作した卓上深絞り機の加工体験を実施し、本加工機による教育的効果を検討した。また、薄板の曲げ加工機も試作した。

実機を用いた加工実験よりも本卓上加工機を用いた体験的な加工実験の方が学生らは加工の概略を理解し易いという事が分かった。供試体のセットから加工実施までを学生自身が行う事ができるとともに、加工の際の荷重を自身で体感できるという点で理解度を高めることができたと思われる。

深絞り加工を学ぶ前段階の教材として、V曲げ加工機を試作した。市販の簡易バイスを購入し、卓上CNC加工機を用いてパンチとダイスを製作すれば、軽量かつ安価でV曲げ加工機を作製することができる。また、本加工機を用いることで、弾性変形と塑性変形の違いやスプリングバックについても理解することができるということが分かった。

謝辞

本研究の一部は静岡理科大学の平成24年度静岡理科大学提案型教育プロジェクト(B)の助成を受けたものであることを記し、ここに謝意を表します。実験に協力頂いた静岡理科大学の学部生の杉浦雄飛氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉田昌史, 内海能亜, 野崎孝志, “教育教材としての卓上深絞り機の開発”, 静岡理科大学紀要, **21** (2013) 137.
- 2) 大矢根守哉, 新編 塑性加工学 (養賢堂, 2012).
- 3) 桑原利彦, “材料モデルとシミュレーションの高度化に資する実験塑性力学”, 素形材, **51** (2010) 37.

平成 25 年度インターンシップ実施報告

— より多くの学生のためのキャリア教育を目指して —

The Internship Program in 2013:
Increasing Student Numbers in Career Education

奥村 哲*1, 花田佳彦*2, 郡武治*3, 齋藤明広*4
森隆比古*5, 友次克子*5, 青島偉夫*6, 吉國博昭*6

Tetsu OKUMURA, Yoshihiko HANADA, Takeharu KOHRI, Akihiro SAITO,
Takahiko MORI, Katsuko TOMOTSUGU, Hideo AOSHIMA, Hiroaki YOSHIKUNI

Abstract: Our Internship has been introduced into the curricula of Shizuoka Institute of Science and Technology (SIST) since 1999. This report presents the discussion about the preparation, the organization and the results of the internship program conducted in 2013. In 2013, 74 companies in Shizuoka prefecture were involved in this program by providing their own internship programs for 175 students and 105 students participated in the programs. The results of this program over ten years are summarized and its future prospects are presented.

1. はじめに

本学のインターンシップは、平成 11 年度に試行を行い、平成 12 年度から授業の一貫として単位を付与して実施している。本制度も開始から 10 年以上を経過し、企業との相互理解も深まってきている。また参加学生数も着実に増加している。このように、本授業は人材育成の手段として、確実に定着しつつあると言えよう。また、本学のキャリア教育の中で重要な地位を占める事業となってきた。

本報告は、平成 25 年夏期に静岡理工科大学において行われたインターンシップに関して、事業計画、受入企業に対する依頼、参加学生の募集、実習内容、参加学生の成績評価、実習結果の総括など、各段階における経過および結果を昨年度までのデータと比較可能な形でまとめ、本事業によって得られた成果や問題点を明らかにし、来年度以降の実施に向けた改善に資することを目的としている。

特に、学生および受入企業からの報告書を詳細に分析し、学生がインターンシップにおいてどのような内容の実習を行い、成果として何を得たか、また、企業による学生および実習内容の評価などを検討している。さらに平成 11 年度から平成 25 年度までの 15 年間のインターンシップ実施結果を総括的にまとめ、来年度以降のインターンシップに関する展望についても述べる。また、今年度 2 回目の取り組みとして平成 26 年春期に行われる春期インターンシップについても、その取り組みについて述べる。

2. 平成 25 年度インターンシップの計画

昨年度の申し送りとして、以下の点が挙げられていた。

- ① 本学のキャリア支援教育が学生に広まってきたことにより、インターンシップへの関心も高まり、さらに学生の応募数が増加することが見込まれる。このことから、従来の受入れ企業との関係を深めると共に、さらに新規受入れ企業の開拓が必須である。
- ② 実習生の態度や状況について、企業からの評価が低下傾向にあり、事前研修を通して基本的なビジネスマナーを身につけさせる必要性が年々高まっている。
- ③ 春期インターンシップのあり方についてより具体的

に検討する。

平成 25 年度インターンシップは、これらの問題点を改善するため、以下の事業を取り入れた。

- ① 新規インターンシップ受入れ企業開拓に取り組んだ。
- ② 企業側への受入希望調査を昨年同様 4 月に開始した。
- ③ 企業からの全提出物を昨年同様 Web 上で入力できるようにし、インターンシップ受入れ申込み、実習報告、評価作業等の効率化によって企業の負担を軽減した。
- ④ 学生からの書類提出や手続きを主にキャリア支援課で取り扱い、同時に挨拶や言葉遣いの指導も行った。
- ⑤ 昨年度に引き続き春期インターンシップを試行した。

上記施策により、事務的作業の効率化と簡便化を図りながら、学生の積極性の向上と意欲の喚起を図り、より高い教育効果が得られるインターンシップの実施を目指した。

3. 受入企業への協力依頼

地域社会との密接な連携を特色とする本学の教育の中にあつて、インターンシップ制度は地域産業との連携による、地域に役立つ人材の育成、地域の企業や地域社会との交流の推進などの観点から重要な役割を負っている。協力依頼企業の選定にあたっては、過去 14 年間の受入依頼の発送状況や、これまでの就職状況などを十分に考慮し、以下の条件で依頼状送付企業の選定を行った。

- ① 昨年まで依頼状を送付したが返事の全くない企業、インターンシップ不可の返事をいただいた企業を削除。
- ② 平成 24 年度卒業生の就職先企業のうち、通勤可能な地域の企業を追加。
- ③ 春期インターンシップに関する企業アンケートにおいて、夏期インターンシップ受入れが可能と回答のあった企業、インターンシップに前向きな企業を追加。
- ④ 求人ナビ登録企業の中で、インターンシップ受入れが可能で、通勤可能な地域の企業を追加。
- ⑤ 通勤可能な地域の市役所、図書館などを数件追加。

上記条件で選考の結果、インターンシップ受入れの可能性のない約 56 社(昨年度は 330 社)を削除、新たに 107 社(同 130 社)を追加し、4 月 19 日に、445 社(同 394 社)に対してインターンシップ事業の協力依頼を実施した。その結果、平成 25 年度においては、74 社・175 名分(昨年度は 76 社 133 名分)の実習テーマ受入申し込みがあった。景気状況的には円高が続いていた昨年度よりは明るい兆しもみられるものの、消費税増税を平成 26 年 4 月に控え、また東日本大震災の影響も多方面に残っていた。そのこと

2014 年 3 月 7 日受理

*1 インターンシップ WG リーダー, *2 機械工学科, *3 電気電子工学科, *4 物質生命科学科, *5 総合情報学部, *6 キャリア支援課

もあり受入れ企業数は微減となったが、受入れ募集人数については昨年より約3割増加した。これは本学のインターンシップ制度への地元企業の理解が広まってきた事と、依頼企業の選択に関して、事務局職員の多大なる努力の成果であると言える。

4. 参加学生募集と派遣企業の決定

4月の履修ガイダンスなどを利用し、全学学生に対して事前研修およびインターンシップ実習への参加要請を行った。また、報告書の提出と報告会および事後研修全てに

参加しなくては単位の取得ができないことを告知した。その上で、インターンシップ参加希望者には4月9日の第1回の事前研修をはじめとして、全3回の事前研修を実施した。参加希望学生と派遣企業の決定に当たっては、受入企業側から提示された「実習テーマ」をもとに、学生が実習内容をよく検討した上で希望企業を選定し、第5希望までの受付を行った。希望学生が実習定員を上回った企業については、学生の意欲や専門分野と実習内容の関連等を考慮して選考を行った。また、学生の通勤の可能性についても検討し、通勤が危うそうな学生については個別に確認を行

表1 実習先受入企業一覧表(受入回答企業74社、募集人数175名、実習実施企業56社、実習学生105名)

No.	会社名	実習地	テーマ	期間	日数	受入人数	実習人数
1	株式会社アーティス	浜松市中区	ウェブサイト制作に関する業務を理解する	9/2-13	10	1	1
2	株式会社アイクリエイティブ(草薙)	静岡市清水区	事務系業務、学校運営に関する業務、農業体験など	8/26-30	5	1	1
2	株式会社アイクリエイティブ(沼津)	沼津市	事務系業務、学校運営に関する業務、農業体験など	8/19-26	5	2	2
3	株式会社アイゼン(機械加工)	浜松市南区	求められる精度と高品質を工程ごとに実現する	9/2-13	12	1	1
3	株式会社アイゼン(設計)	浜松市南区	自動車部品製造機械・治具の設計から組立	9/2-13	12	1	1
4	アイティ・インターナショナル株式会社	静岡市葵区	コンテンツとITの実習	9/2-13	10	2	2
5	アイパルス株式会社	浜松市北区	表面実装機(チップマウンター)のサブユニット組立ての習得	9/2-12	9	1	0
6	株式会社赤堀技研	袋井市	製造と生産管理	8/19-9/6	15	2	2
7	株式会社アクティ森	森町	接客を通してサービス業を学ぶ	8/6-19	14	2	2
8	ASTI株式会社	浜松市南区	車載電装品、又は制御機器の設計評価、生産技術	9/6-19	10	1	1
9	天方産業株式会社(営業)	浜松市中区	マイコンを使用したソフト作成	9/2-13	10	1	0
9	天方産業株式会社(SE)	浜松市中区	サーバとネットワークについて	9/2-13	10	1	1
10	磐田信用金庫	磐田市	信用金庫の理解	8/5-9	5	3	3
11	株式会社ウィンウィンピーターパン するが工房	静岡市駿河区	顧客満足の創造	9/11-15	5	2	2
11	株式会社ウィンウィンピーターパン 小麦市場	焼津市	顧客満足の創造	9/11-15	5	2	1
12	株式会社エーピーアイコーポレーション袋井工場	袋井市	微生物を用いての発酵実験及び発酵液からの有用物精製実験	8/5-9	5	2	2
13	エズカ工業株式会社	磐田市	機械組立補助、検査補助、工具使用による作業	8/20-9/19	10	2	0
14	株式会社エヌエステー	浜松市	電子機器製作における基本的な作業や簡単な検査業務	9/2-13	10	1	1
15	NNP電子株式会社	磐田市	電子制御機器の試作品実験データ取り、検査	9/2-13	10	1	1
16	株式会社エフ・シー・シー 竜洋工場	磐田市	熱処理検査、出荷、NC旋盤など	9/4-17	10	3	3
17	社会福祉法人 遠州厚生園 特別養護老人ホーム遠州の園	磐田市	介護体験を通して高齢者福祉を学ぶ	9/2-13	10	2	1
18	遠州鉄道株式会社	浜松市中区	ビジネスマナー講座、職場見学、職場体験、グループワーク	9/3-9	5	1	1
19	株式会社オーミ	磐田市	ものづくりの基本となる金型作りを体験する。	9/2-17	12	2	2
20	株式会社小楠金属工業所	浜松市西区	精密機能部品の切削加工と生産技術	9/2-13	10	1	1

21	株式会社かきこや	浜松市 中区	明るく、元気な接客	9/4-18 9/2-14	10	2	2
22	掛川市役所 総務部 総務課	掛川市	市民サービス	8/5-9	5	1	1
23	川崎工業株式会社	菊川市	機械技術の習得	9/2-13	10	2	0
24	株式会社木村鋳造所	清水町	CAD から模型製作、鋳造・機械加工までターンキソリユーションを体感する	9/3-13	10	10	0
25	株式会社コーリツ	磐田市	各種生産設備の保全業務を体験する	8/5-9	5	1	1
26	(医)光久会	浜松市 天竜区	高齢者のための生活援助を考える	8/5-9	5	2	1
27	コニカミノルタケミカル 株式会社	袋井市	測定機種によるバラツキの解析	9/2-13	10	1	1
28	佐藤農園	山梨県 山梨市	農業ビジネス(生産、販売、流通)の現場を体験する	9/3-15	5	5	4
29	株式会社ジーンズショ ップオサダ	浜松市 東区	アパレル業界における販売員の役割	8/10-24	10	2	0
30	株式会社汐見製作所	湖西市	CAD による設備・治具設計	9/2-13	10	2	0
31	静岡県サッカー協会 グループ エコパハウ ス	袋井市	運動公園のウラカタを見よう!	8/9-9/13	10	3	3
32	静岡ビルサービス株 式会社	袋井市	建物、維持管理	8/19-30	10	2	2
33	株式会社静鉄ストア	静岡市 葵区	接客・販売・荷出し等	8/25-9/19 9/2-6	5	2	2
34	シブヤ精機株式会社	浜松市 東区	農業用選果・選別システムの設計実習	9/2-13	10	2	0
35	島田市役所	島田市	市民サービス	8/6-13 9/9-19	5	2	2
36	社会福祉法人春風会 ぬくもりの里	伊豆の 国市	高齢者の介護	8/5-9/19	35	3	0
36	社会福祉法人春風会 あしたかホーム	沼津市	高齢者と触れ合う中で、福祉の一端を理解して今後の生活に役立てる	9/2-13	11	2	1
37	株式会社ショーワ浅羽 工場	袋井市	二輪用ショックアブソーバの開発業務	9/2-13	10	1	1
38	株式会社榎葉鉄工所	掛川市	マフラー製造工程の実習とエクセルを使った管理資料作成	8/5-9/30	10	2	0
39	鈴与システムテクノ ロジー株式会社	静岡市 清水区	オリエンテーション、会社概要説明、IT業界について、グループワーク(開発演習)等	9/9-13	5	1	1
40	社会福祉法人聖啓会 特別養護老人ホーム 菜の花	藤枝市	高齢者の尊厳を守るケアの提供	8/5-26	22	2	0
41	株式会社セイユー 富士芝川工場	芝川町	ものづくり～プラスチック容器が出来るまで～	8/5-9/13	30	2	0
42	ダイハツ沼津販売株 式会社	沼津市	お出迎えからお見送りまで店舗総合営業活動をとおして体験	7/20-9/15	10	3	0
43	高松電機株式会社	浜松市 東区	自動制御装置の組立、配線の実習、客先の生産工場を見学(自動制御装置の働き)	9/3-19	13	2	2
44	竹原産業株式会社 (整備)	袋井市	見学・補助	9/1-21	10	2	2
44	竹原産業株式会社 (プランナー・設計)	袋井市	家周りのレイアウト	9/1-11	10	2	2
45	株式会社田子重	焼津市	販売員・商品管理	8/8-23	10	3	3
46	茶夢茶夢ランド菅山園 (茶)	牧之原 市	お茶の栽培、荒茶製造	8/19-23	5	3	1
46	茶夢茶夢ランド菅山園 (イチゴ)	牧之原 市	苺の栽培実習	8/19-23	5	3	1
47	東名電機株式会社	富士市	配電盤・制御盤の組立	9/2-13	10	2	2
48	豊川信用金庫	愛知県 豊川市	研修センターでの講義及び営業店職場実習	8/12-16	5	3	2
49	ニチアス株式会社 袋 井工場	袋井市	生産技術開発及び、製造業務の補助	9/9-13	5	1	1

50	日星電気株式会社	浜松市 西区	モノづくり体験	8/26-9/6	10	1	0
51	法多山尊永寺	袋井市	気持ちのよい参拝を行っていただく為の「境内管理」	9/1-15	10	3	3
52	浜二ペイント株式会社	浜松市 北区	木工用塗料の検査及び塗装	9/2-6	5	1	0
53	浜松鉄工株式会社	磐田市	熱処理業務の理解と実作業～検査	9/2-13	10	2	1
54	浜松ファイナンシャル プランナーズ事務所 株式会社	浜松市 中区	ライフプランとキャッシュフロー表の作成	8/13-30	14	2	2
55	袋井市月見の里学遊 館	袋井市	文化施設での事業の企画・運営の体験	8/10-31	10	2	2
56	袋井市役所	袋井市	袋井市という地方自治体の公共サービスに係る事務	8/3-9/19	5-10	3	3
57	藤枝市役所	藤枝市	図書業務の習得	8/13-23	10	3	3
58	不二工機製造株式会 社	浜松市 中区	工程設計, 検査, 組立	9/9-13	5	1	0
59	富士市役所	富士市	市民サービス	8/19-30	10	2	0
60	株式会社富士セラミッ クス	富士宮 市	圧電セラミックスの製造や技術検討作業の実習	9/2-6	5	1	1
61	富士ゼロックス静岡株 式会社 浜松支店	浜松市 中区	顧客サービス	9/2-13	10	2	2
62	株式会社藤田鉄工所	掛川市	簡単な機械加工, 社員の補助作業, 出荷補助等	9/3-16	10	2	2
63	株式会社平成工業	静岡市 清水区	大手自動車メーカー生産方式の一端を学ぶ	9/2-11	8	2	2
64	ベルファーム株式会 社	菊川市	トマトの栽培・収穫および選果作業	8/3-20	8	15	1
65	株式会社ホンダカー ズ静岡西	浜松市 北区	お客様の期待を越える接客	9/3-16	10	5	3
66	株式会社マイビリーブ	袋井市	ハンバーガーレストランにてお客様に最高の食体験の提供とチ ームワーク	9/11-16	5	1	1
67	株式会社マジオネット マジオドライブイングス クール藤枝	藤枝市	顧客受付案内, 事務処理, 顧客獲得企画	9/2-7	6	2	2
68	松本印刷株式会社	吉田町	営業, 製作, 仕上げ加工, 総務までの幅広い研修内容	8/19-23	5	1	1
69	株式会社メカワールド	磐田市	現場体験に基づく職業観の育成と進路選択の拡張	9/3-13	9	2	0
70	やまと興業株式会社	浜松市 浜北区	商品の開発から納入まで	9/9-19	8	3	3
71	焼津図書館	焼津市	図書館関連業務の体験	9/12-19	6	1	1
72	ユニクラフトナグラ株 式会社	湖西市	ロボット組付	9/3-13	9	1	0
73	株式会社ロジック	浜松市 中区	プログラム作成, HP 更新	9/2-13	10	2	2
74	株式会社ワイケーデ ザインリンク	島田市	自動車用メータ設計業務の補助業務	9/2-13	10	1	0

実習人数が「0」となっている企業は、二次・三次募集で追加した企業のうち、実習申し込みがなかったもの

表2 実習学生の学年・学科別人数

学科	2年	3年	院1年	計
機械	4	25		29
電気電子	1	11		12
物質生命	2	21		23
コンピュータ	1	25		26
人間情報	1	13		14
大学院			1	1
計	9	95	1	105

表3 実習企業地域別内訳

市名	人数	市名	人数	市名	人数
浜松市	16	牧之原市	2	富士市	1
袋井市	13	沼津市	2	富士宮市	1
磐田市	7	藤枝市	2	島田市	1
静岡市	6	菊川市	1	豊川市	1
焼津市	3	森町	1	山梨市	1
掛川市	2	吉田町	1		

表4 インターンシップ事前・事後研修会、報告会 出席者状況

学科	第1回	第2回	第3回	報告会	計
機械	62	37	29	28	156
電気電子	72	18	12	13	115
物質生命	64	30	23	23	140
コンピュータ	35	29	26	26	116
人間情報	27	16	14	14	71
大学院	1	1	1	1	4
計	261	131	105	105	602

表5 インターンシップ実習テーマの分野別分類

<p>【機械設計・開発・などの分野】 機械設計、CADによる作図、受注生産機の機構・開発設計、試作機の性能確認、自動車部品のモーター駆動化をにらんだ先行技術開発、図面検証→試作→評価、製品開発の補助作業、鍛造、金型の設計・製作現場を学ぶ、開発・設計現場において開発業務を体験、3次元CADを使ったパーツモデリング、エレベータ部品の設計、開発品の試作、製作、評価、健康関連機器の開発補助。</p> <p>【生産・機械加工・試作・もの作り・などの分野】 機械加工実習、クラッチディスク摩擦材の抄造作業、自動車・オートバイ・農業機械の精密部品を切削加工、マシニングセンタによる製作、ワイヤ放電加工、オートバイマフラーの製造工程、塑性加工(鍛造、熱処理作業工程)、非鉄金属の各種加工、NC加工汎用機の体験、金型設計→加工→仕上げ→射出成形の体験、パイプ曲げ、ロウ付け、溶接、出荷等、NC旋盤、マシニングセンタ、ホブ盤、細穴放電加工、洗濯機の部品製造から組立作業まで。</p> <p>【検査・測定・実験・などの分野】 完成品検査、画像処理装置、加工条件設定のための測定分析、試作機の性能確認、2輪車用ショックアブソーバのテスト、エレベータ関連部品の品質調査、ショックアブソーバの試作組立、ベンチテスト、自動車部品の性能試験、品質管理及び試験活動のサポート、フッ素樹脂製チューブ・ウレタン製チューブの押出し条件確立、位置決めXYテーブルの評価実験、自動車部品の振動特性測定、CAEによる振動解析、金属疲労分析、プレス製品の性能評価、実験データの測定と理論解との比較。</p> <p>【電気・電子関係の開発・実験・などの分野】 工場内各種機器の電力集計及び分析、工場内照明器具、空調機器、動力機器の使用電力集計及び分析、電子制御機器の試作品実験データ収集、超音波応用機器の開発設計、</p>	<p>AutoCADによる電気回路の設計、高速精密送り装置のモーター及びドライバーの特性解析、微細認識工学系における照明の解析、電磁部品の評価検査、各種回路の計測制御、レーザー干渉計を使用した変位測定、太陽光発電システムの取付実習。</p> <p>【物質科学関係の開発・実験・などの分野】 微生物応用による開発試験、汚水浄化システムの理解、水処理施設フローの習得と運転管理、電子顕微鏡取扱業務、環境計量における、試料の前処理、有機合成による香料分質の合成・精製、化粧品の品質管理、FeNi合金の磁気特性調査、し尿の各処理工程のシステム管理と作業実習、銅合金の透過電顕による組織観察、緑茶カテキンの分析・整理、水質分析。</p> <p>【情報関係などの分野】 図書館業務全般、エレベータ電気手配自動化ソフト作成、物流業務と情報システムの現場実習、パソコンデータ入力、ITシステム管理、ユーザーサポート等、PC機器類の研究指導、インターネットを使った情報収集、ワード・エクセルなどの応用、市内の観光スポットの写真撮影や資料収集・ホームページの作成、3次元CADソフトと遠隔ネットワークシステムの習得、データ収集プログラムの作成、データベースソフトの作成、Linuxのリアルタイム制御、発信用ソフトのデモ用サンプル制作。</p> <p>【企業経営・管理・などの分野】 接客サービス、本社として各支店との事務連絡業務、接客販売、放送・番組制作における技術部門の仕事、現場見学、実習(配管、リフォーム、不動産)、PR・広報等、社会人になるための基礎教育の体験、ベンチャー企業の経営現場、作業工程管理、新製品のマーケティング。</p> <p>【福祉活動・団体活動などの分野】 消火・救急訓練、消防機材点検等、施設内外の整備(窓拭き、草刈り、押入れ掃除等)、重度障害児(者)の介助、散歩・制作活動等の介助、市民参加の地域福祉活動。</p>
--	--

い、派遣学生を決定した。このように、極力学生の希望が優先されるよう配慮し、56社(昨年度は55社)に105名(同87名)の実習生を派遣することができた。実習生を派遣した企業ごとの実習期間、派遣実習生の人数などの一覧を表1に示す。また表2および表3に、学年別および学科別の実習生数の内訳および受入企業の地域別内訳を示す。

5. 事前教育について

前述したように、4月9日から3回にわたり事前研修会を開催し、インターンシップを受けるにあたり、基礎的必要事項や心構えなどを説明した。第1回事前研修ではインターンシップへの関心が高まったためか、261名の参加が

あり、300講義室でのガイダンス開催となった。第1回事前研修の内容は、インターンシップの概要とインターンシップに参加する上での考え方や心構え、履修等について説明を行った。また、近年採用に際して特に重視されている社会人基礎力についての考え方を紹介し、これらの力を養うためにインターンシップを役立てることができることを強調して、動機付けを行った。第2回事前研修では、先輩による体験報告、および、実習先決定報告書や履歴書等の作成についての説明を行った。第3回事前研修では、実習に向うにあたっての諸注意事項、報告書類等提出物の説明をおこなった。以上3回事前研修によって、学生の動機を十分に高めるとともに、ビジネスマナーの重要性に

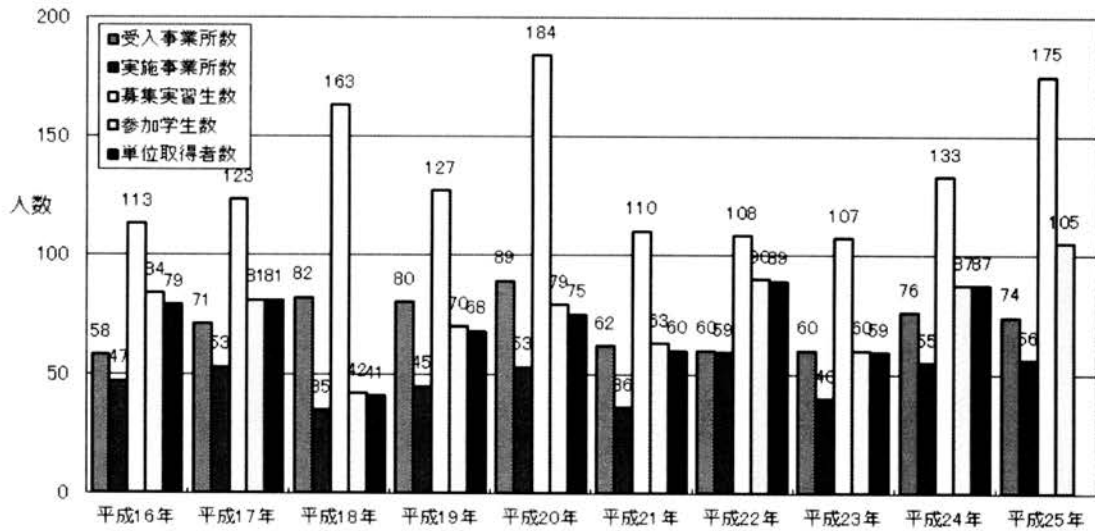


図1 受入企業等の数および参加学生数(10年間の変化)

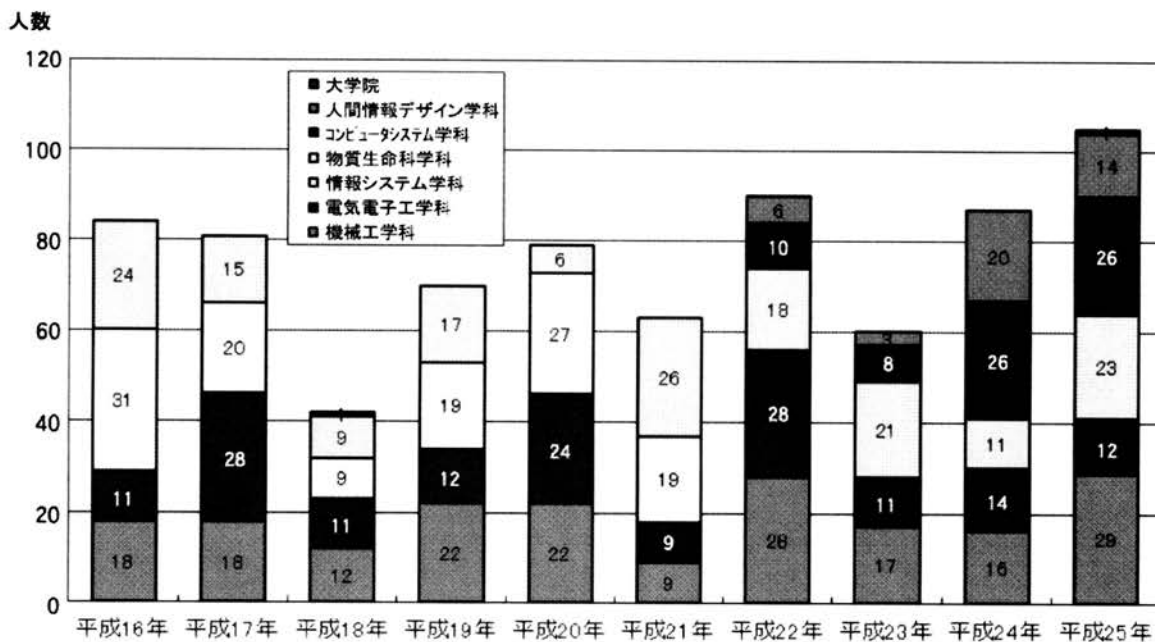


図2 参加学生数の内訳(10年間の変化)

関する理解の徹底をはかった。

近年、初年次からキャリア支援教育がカリキュラムに組み込まれ、十分なキャリア教育が行われているため、昨年同様事前研修は3回とした。事前研修に関しては3回で十分であると思われる。

このように、3回にわたる事前研修によって明確な目的意識を持った学生を実習先に送ることができたと考えている。事前研修への参加者数を表4に示した。

各事前研修はビデオに収録し、事前研修当日に実験・実習やその他の理由により参加できなかった学生も、後日DVDを見て内容に関するレポートを提出することにより、事前研修の補講を受けることができるよう配慮した。また、このDVDは春期インターンシップの事前研修にも利用した。第1回事前研修参加者261名(昨年度平成24年度は268名)の内、105名(昨年度は87名)が企業実習を行うこととなった。第1回事前研修参加者中の実習参加率は40.2%

(昨年度は32.4%)となり、参加率、参加人数(昨年度比20%増)とも昨年度までの実績を大幅に上回ることができた。

6. 受入企業数と参加学生数の推移

インターンシップの実習を行うにあたって、まず本学と実習生受入企業との間で“覚え書き”を作成した。これは双方の義務や責任を明らかにし、万一の場合に備えるため、実習生の受入に関して大学および企業の双方が遵守すべき事項を確認するためであり、双方が署名捺印した。

また、学生は実習に先立って、参加申込書の提出にともない助言教員の承認をうけることになっている。これは本学教員への連絡だけでなく、学生が自から参加の意思を示すことで、キャリア教育への参加の機会を増やすためでもある。

インターンシップ実習は、8月3日から9月22日までの本学の夏期休業期間中に各企業において行われ、滞り無く終了することができた。各事業所における実習期間中は、インターンシップに対する協力の御礼と学生の実習状況の視察を目的として、受入れ企業に担当教員が出向き、実習受入担当者と面談を行った。

過去3年間に各受入企業等において実施されたインターンシップの実習テーマについて分野別に分類したものを表5に示した。本学でインターンシップを実施した10年間の受入企業数、実際に実習を実施した企業の数、募集学生数、参加学生数、単位取得学生数の変化を図1に示した。今年度は受入れ企業・実施事業所数とも昨年度と同等であったが、募集実習生数は増加した。また、参加学生数も、キャリア支援教育の成果が現れ、過去最高の105名に増加した。10年間の参加学生の累計は760名以上となった。参加学生の学科別内訳を図2に示した。本年の特徴は、機械工学科と物質生命科学科の参加人数が増加したことである。なお、実習先の業種が偏っており、希望する分野を活かせる実習を体験しなかったという意見は本年度も多く、継続して解決すべき課題となっている。

7. インターンシップで学生は何を得たか？

以下では、学生の実習報告に基づいて、実習によって得られた成果、実習を行った感想、実習に関する反省などについてまとめた結果を報告する。

7.1 実習内容

学生が実際に行った業務内容の詳細を事項別にまとめ、よく行われていた主要な業務内容を図3に示す。「製作、組立、加工」が1位で26%、「営業、接客、販売」は23%で2位であった。昨年度と同様の順位であった。しかしながら、その他が34%であり、想定外のいろいろな仕事を経験できたと考えられる。これは、法多山尊永寺3名、袋井市役所3名など一般企業とは異なる所で実習したためであると思われる。多彩な仕事を通して学ぶことは多く、良い経験になったと考えられる。

7.2 実習によって得られた成果

「実習の成果」についてまとめたものが図4である。1位の「企業や職場の雰囲気があった」は28%、2位の「企業の現場を見ることができた」は18%でその他の項目も昨年度と同順位、同率であった。どのような職場へ行っても、学生の感じる所は等しいと思われる。しかしながら、今回は異業種が多く、成果の中身は異なるはずである。

アンケートの自由記入欄に“充実したインターンシップ”、“貴重な体験”“目標にしていたコミュニケーション力が付いた”など、感謝と成果に関する記述が多く、いろいろな意味で成果があったものと思われる。受入れ側のご努力に感謝する次第である。

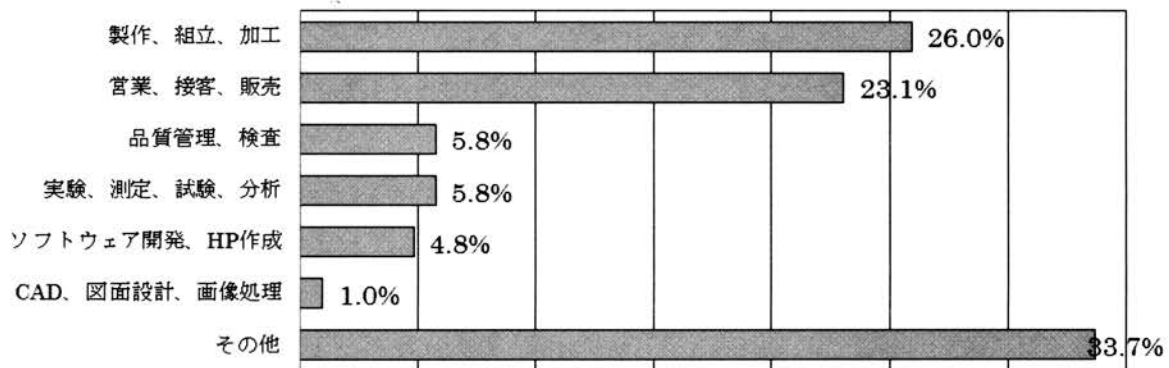


図3 実習内容の詳細

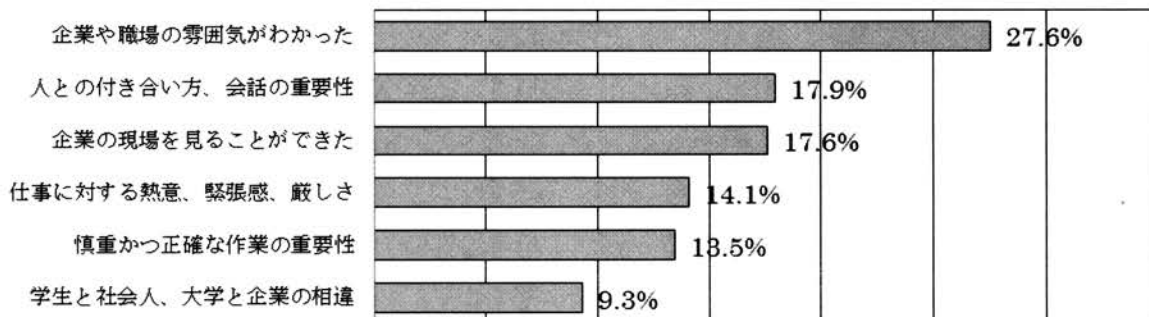


図4 実習によって得られた成果

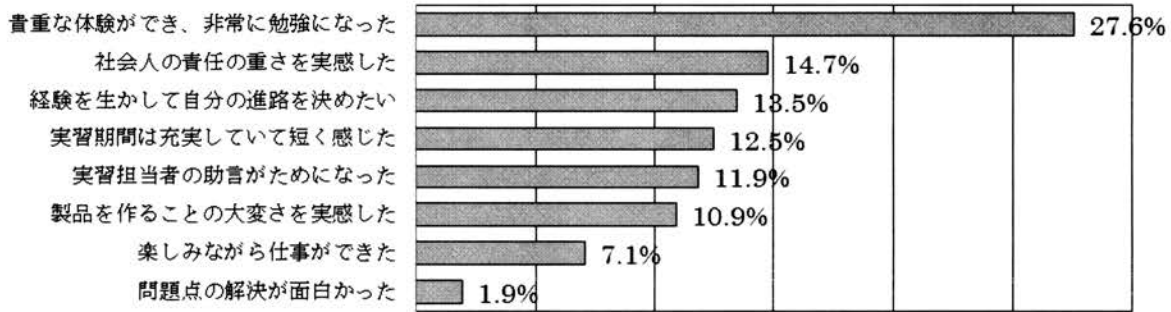


図5 実習に関する感想

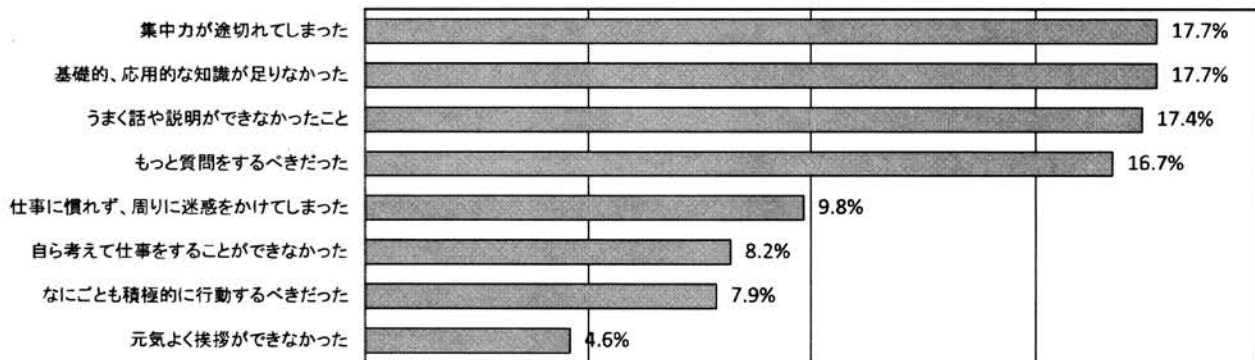


図6 実習に関する反省

表6 インターンシップ実習生に対する個人別評価 (5段階評価, 回答数 105)

評価項目	評点					平均点
	大変良い 5	やや良い 4	普通 3	やや劣る 2	劣る 1	
勤務状況(欠勤、遅刻、相対などの状況)はいかがでしたか?	72 68.6%	12 11.4%	19 18.1%	1 1.0%	1 1.0%	4.5
勤務態度(言葉遣い、挨拶、返事などは)はいかがでしたか?	50 47.6%	35 33.3%	18 17.1%	2 1.9%	0 0.0%	4.3
実習内容はよく理解できていましたか?	36 34.3%	47 44.8%	22 21.0%	0 0.0%	0 0.0%	4.1
仕事に対し、よく実行・行動・努力していましたか?	44 41.9%	40 38.1%	20 19.0%	1 1.0%	0 0.0%	4.2
仕事は正確で良い結果を出していましたか?	35 33.3%	45 42.9%	23 21.9%	2 1.9%	0 0.0%	4.1
創意工夫の姿勢は見られましたか?	26 24.8%	37 35.2%	38 36.2%	3 2.9%	1 1.0%	3.8
仕事に対する積極性はいかがでしたか?	33 31.4%	43 41.0%	27 25.7%	1 1.0%	1 1.0%	4.0
責任感を持てていましたか?	38 36.2%	39 37.1%	27 25.7%	1 1.0%	0 0.0%	4.1
協調性はいかがでしたか?	39 37.1%	42 40.0%	22 21.0%	2 1.9%	0 0.0%	4.1
全体評価	46 43.8%	36 34.3%	21 20.0%	1 1.0%	1 1.0%	4.2

7.3 実習に関する感想

「実習に関する感想」についてまとめたものが図5である。1位の「貴重な体験ができ、非常に勉強になった」は28%、2位の「社会人の責任の重さを実感した」は15%で昨年度とほぼ同順位、同率であったが、4位の「実習期間は充実して短く感じた」が昨年度の7位から浮上し、割合も8%から13%と多くなり、さまざまな仕事から充実感を味わえたものと思われる。

一方、「問題点の解決が面白かった」は2%であり、昨年度は4%で、一昨年度はその倍であったと報告されている。これは留意すべき事項である。原因は与えられた仕事、指導方法、今年度学生の質、気質などいろいろ考えられるが、今後探る必要がある。

インターンシップは、現実の厳しさを知り、自分の進路を決めるためのトリガを与える貴重な機会を提供しており、重要な実習の一つであると思われる。今後も、多くの学生をインターンシップに参加させる方策を検討していく必要がある。

7.4 実習に関する反省

実習に関する反省として記載された事項を整理したものを図6に示す。その中で1位は「集中力が途切れてしまった」18%であった。昨年度は6位12%であり、突然上位になり、さらに、2位の「基礎的、応用的な知識が足りなかった」は18%で、昨年は3位15%より上位になっている。そのままとらえれば、気力、学力が足りなかったとなるが、もう少し分析する必要があるように思われる。

アンケートの自由記入欄に“加工の経験もしたかった”浜松より西の実習先があまり多くなく、選択肢が少なかったのが少し残念”などミスマッチ、選択の自由度不足と捉えることもできる意見が見受けられた。受入れ先企業の開拓など今後改善する必要がある。しかしながら、学力低下など本質的な所に原因があることも考えられる。今後、1年時の導入教育を含め、学生を鍛える努力を怠ることなく継続して行く必要がある。

8. インターンシップ実習の評価（受入企業、訪問教員）

インターンシップ終了後、実施状況をできるだけ詳しく調査して問題点を把握するために、受入企業、参加学生および訪問教員を対象としたアンケート調査を実施した。その結果について以下に述べる。

8.1 受入企業による実習生の評価

単位認定のため、学生の実習状況の評価を行う必要がある。そのため企業の実習担当者に依頼して、個々の実習生の実習状況に関する評価を求めた。評価は10の評価項目について5段階で評価するものとした。その結果(回答数103)を表6に示した。評価の平均値は、昨年と比べて全体的に上昇した。「勤務態度」が0.4と大きく上昇し、「創意工夫」・「積極性」・「協調性」も0.3上昇した。また、「実行・行動・努力」が0.2上昇し、「勤務状況」・「正確さ」が0.1上昇した。「内容理解」・「責任感」に関しては、昨年度と同じ値であった。その結果、「全体評価」として0.2上昇した。しかし、「勤務状況」・「創意工夫」・「積極性」で1名が「劣る」の評価を受けた。「積極性」に関しては、一昨年度にその前年より0.5上がり、昨年度に0.4と下がり、今年度再び0.3上がった。ここ数年他の項目に比べて年度による変動が大きくなっている。

昨年に比べて参加者が20%程度増加したにもかかわらず評価値が全体的に上昇したのは、昨年度の評価を踏まえ、きめ細かい事前研修がおこなわれた結果だと考えられる。

問題点は「創意工夫」の項目であり、昨年度より0.3上昇したが、まだ3.8と他の項目に比べて低いことである。

「創意工夫」の欠如を本学学生の欠点として全教職員に周知徹底し、普段の実験実習やクラブ活動の中から、観察し考えて行動する応用力を養うように指導していく必要があると考えられる。

表7には個人別の所見として述べられた主要なものを示した。「明るく元気があるか」、「協調性があるか」、「はっきりとわかるように発言できるか」等のコミュニケーションに関する基本的な振る舞いの評価は、昨年度と比較すると全体的に良くなっている。しかし、これらの点で評価が低い(真面目だがおとなしい等)学生への指導が今後の課題になるのであろうが、方法論を見出しにくい課題であると思われる。

また、「積極的に仕事に取り組んだ」、「一生懸命やっていた」等の前向きな評価の一方で、一部の学生ではあるが「毎日居眠りをしていた」、「2回は寝坊による遅刻だった」、「総合評価としては中学生以下レベル」との厳しい指摘もあった。事前研修において、このような意欲の乏しい学生を見だし、インターンシップの意義等をより強調して行うか、意欲の改善が期待できない場合にはインターンシップを許可しないなどの対策も必要である。

8.2 受入企業によるインターンシップの評価

受入企業担当者によるインターンシップに関する評価結果を図7に示した。いずれの項目も、90%以上の回答が適切あるいはほぼ適切という結果となった。今年度は、昨年度と比べて「ほぼ適切」より「適切」の割合が増加しており、きめ細かい事前指導をおこなった結果と考えられる。

8.3 学生によるインターンシップの評価

学生達自身によるインターンシップに対する評価結果を図8に示した。指導や指導内容への満足度の高さが確認できる。卒業を1年以上あとに控え、現場に就業に出る貴重な機会に、的確な指導を受けて自らの学ぶべき、あるいは工夫すべきポイントを痛感し、その後の勉学・生活にフィードバックできるのは、他では得難い貴重な経験となっていることが見て取れる。是非この制度を継続改良発展していくことが望まれる。

8.4 実習先訪問担当教員の報告

単位認定のために、インターンシップ先での本学学生の実習状況を調査して評価をする必要がある。このため本年度も各派遣先企業に担当教員が訪問し、各企業の実習担当者および実習学生本人と面談して聞き取り調査を行なった。その実習先訪問担当教員の訪問報告をもとに、学生の実習への「取り組み」をグラフにまとめたのが図9である。また、実習生の「意欲」をまとめたのが図10である。「取り組み」「意欲」とも90%以上が肯定的な評価であり、訪問した教員が、学生は真面目に意欲的に取り組んでいるという印象を受けていた。学生の態度に問題が見られたのは1企業であった。

訪問教員による企業での実習内容が教育的であったか、実習プログラムは充実していたか、指導状況は良好かという項目に対する評価は、3質問項目とも5段階評価で5または4の好意的評価が80%以上あった。実習内容に工夫がされていることや、企業の指導者と学生の関係について概ね良い評価だった。一方で2企業では、実習学生に対して指導困難な様子が見られた。以上の結果を図11に示す。

自由記述欄の内容では、次のような肯定的な意見が見られた。

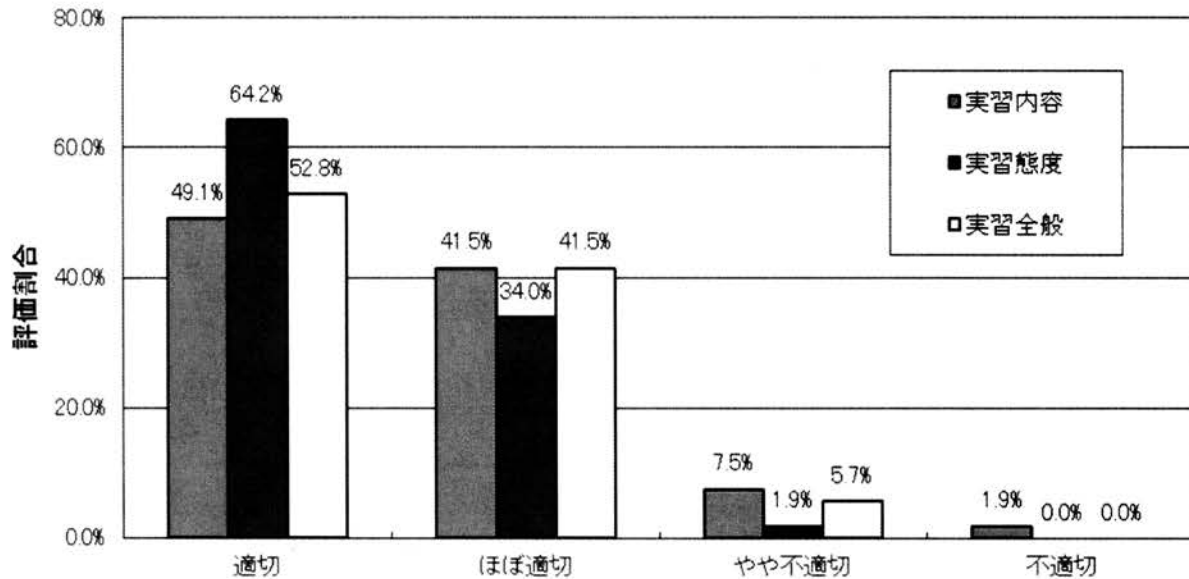


図7 受入企業担当者によるインターンシップへの評価

- 社長の教育方針が素晴らしく初日には会社の概要を会社用語で教え、その後2次下請け会社(400名規模)の製造ラインの見学をしてモノづくりに必要な加工技術金型技術を教えたようです。工場での製造歩留まりの向上や品質管理の重要性なども教えていただいている
- 棚出しや実演販売などの経験や、実際に発注は行わないが、商品の管理なども学べるプログラムになっており、学生にとって良い経験になると感じました
- この時期は繁盛期で仕事自体は沢山あるが、大型機の整備等の危険を伴う作業には従事させられないため、苦慮していたようである。そのかわり、事務作業なども実習に組み込むことで学生に様々な経験を積ませるよう工夫してくれた
- 最後にプレゼンをさせるので、両学生共に、帰宅後も仕事をしているようだとの事
- 学生はこの業種について大変興味を示しており、就職先として考えているようです

しかし一部の企業には、アルバイトと同程度の仕事内容、パートタイマーの代用に見えるといった否定的な所見もあった。また、企業から訪問教員が聞いた意見として「理工科大の学生はよくやってくれる」という肯定的評価の一方、学生がおとなしい、覇気がほしいというコメントもあった。

教員からは、就職を見据えて企業と大学との信頼関係を増すために優秀な学生を送ることの必要性も指摘された。市役所などでは、各課が主にどんな仕事をするか事前に提示しておいてくれると学生が選択しやすいという意見があった。学生の更なる士気向上とともに、派遣先企業とのマッチングを高めることが来年以降の課題と言える。

9. 平成25年度インターンシップのまとめ

本年度のインターンシップの取り組みを振り返り、以下のようにまとめる。

9.1 事前研修について

先述したように今年度も事前研修は3回とした。キャリア支援教育も進んでいることから、今後も3回の事前研修で十分であると考えられた。参加者数については、昨年度から特に第1回事前研修への参加者が多くなり、本年度は261名の参加となった。特に第1回事前研修については、今後とも本年度と同様に300講義室など大きな講義室の確保が必要である。なお各学科、学部別の学生の参加率についてみると、理工学部3学科(機械、電気電子、物質生命)については、いずれも昨年度の参加者数を上回ったが、総合情報学部の2学科については昨年度の参加者数を大幅に下回ってしまった。時間割の兼ね合い(前の時間があいていたため、帰ってしまった?)などが要因と考えられるが、理由を問わずとにかく第1回事前研修には参加してもらえるように、様々な方法で学生へのアピールを強化する必要があるだろう。

9.2 実習受入れ企業数について

今年度は依頼企業の状況を分析し、受入れの可能性のある企業に絞って依頼を行った。また、卒業生の就職先の中からもインターンシップ受入れの可能性のある企業を選別し、計445社に依頼を行った。この結果、74社、175名分の実習テーマ受入申し込みがあった。

今後もインターンシップ受講者の増加が見込まれるため、学生とのミスマッチを防ぐ意味でも、より一層の実習先企業開拓が望まれる。

9.3 インターンシップ実習の評価

受入れ企業および学生自身の評価において、「積極性」、「コミュニケーション能力」などの不足が指摘されている。これらは学生個人による差が大きい。これらの能力はインターンシップ事前研修だけで解決することは困難であり、入学時からのキャリア教育全般や、各講義での地道な指導が必要となると考えられる。大学全体としての問題ととらえ、改善に取り組む必要があるだろう。

表7 インターンシップ実習生に対する個人別評価の所見

<積極的な行動が評価された>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 今回の実習では、オシロスコープ等の測定器を使用した開発品の評価・データ採取をお願いしましたが、測定器等の操作や測定方法の基礎知識があり、又、仕事に対する積極性もあり、簡単な説明で業務を任せる事ができました。実習全体を通し、有望な人材であると感じました。 ・ 大変謙虚な態度で臨んでいただき、職員との協調性も大変良く、スタッフの一員として業務を遂行してくれました。ありがとうございました。 ・ 大変、熱心であり、仕事内容だけでなく、社会的な学習をする意欲が感じられました。 ・ 勤怠に関しては、きちんとしていたと思います。仕事についても、上長の支持に従ってきちんと業務を行っていました。大変真面目に取り組んでいただけて感謝しております。 ・ 慣れない業務に多少緊張や戸惑いもみられましたが、真面目に、かつ積極的に仕事に取り組んでいました。 ・ 職場体験についても、グループワークについても、明るく前向きに取り組んでいただきました。 ・ 特別な事故もなく実習に行っておりました。仕事を体験するという意味で、得られた事もあった様子でした。 ・ 特に作業処理がこちらの予想以上に早かったです。 ・ 細かな事にもメモをとり、仕事の内容も充分理解し一生懸命やっていました。 ・ 1日目よりメモを用意し、現場班長が話した内容を記録し、質問が返ってきました。私が「トヨタ生産方式」「会社の動き」「社員としての心構え」等話した時も真剣に聞きメモを取っていました。今回業務課のデータ処理を中心に作業をして頂きました。理工科の学生さんでもっと現場仕事に係わって貰っても良かったかもしれません。時間前に出社しきちんとしておりました。有難うございました。 ・ 意欲や態度は申し分なく、仕事に対しての考え方が非常にしっかりとしている事がうかがえました。 ・ パソコンスキルに問題なし。業務を的確にスピーディーにこなせた。 ・ 大変一生懸命取り組んでいただきました。同時に参加した学生が複数名いましたので、お互いに良い刺激になっていたようでした。 ・ 作業の理解も早く勤務態度も良かったと思います。 ・ 5日間と短期間ではありますが、始業時間よりもかなり早く出勤し、仕事に備える姿勢を始め、不明な点をそのままにせず聞く姿勢も見られ、担当した者も好印象を受けたようです。そのような姿勢は今後も持ち続けられる事を期待します。 ・ 指導者の話をよく聞いて、理解しようと努力しておりました。一生懸命に実習に取り組む姿勢は、指導者に良い印象を与え、お互いに楽しく仕事ができたと聞いております。 ・ 展示場メンテナンス作業を中心に行っていただきましたが、弊社の指示に対して即行動を起こし、要望以上の成果を上げていただきました。 ・ 指導者から言われたことを順守し、ミスもなく作業をしてくれました。社員とコミュニケーションも積極的にとっていました。 ・ 礼儀正しく好青年でした。短期間だったため、任せた作業内容も一部に限られましたが、前向きに取り組んでおりました。 ・ 一つ一つの作業に対し関心を持ち取り組んでいました。長い期間、力のいる実習を体験してもらいましたが頑張って達成していただきました。 ・ 朝会社に出社してから帰るまでいつも笑顔を絶やさず強調性もあり弊社担当者も楽しく一緒に仕事ことができました。 ・ 焦らず落ちついた行動が、常に出来ていました。 ・ 暑い工場名で、笑顔で元気に作業をしていました。 ・ 弊社では昼の休憩しかなく、学校での生活と比べてとても過酷だったと思いますが弱音を吐くこともなく、2週間もがんばったので、ガッツがあると思いました。また、難しい作業を任せることができなく、単純な作業ばかりをお願いしていましたがそれにも、愚痴を言うことをなく黙々と作業をこなしている姿を見てとても辛抱強いと感じました。とても忙しい時期に実習に来て頂き、非常に助かりました。ありがとうございました。 ・ 仕事面生活面双方へ真面目に取り組んでいました。 ・ 仕事に対して積極的に動き、実習中の感じたことなど実習録にもよく書かれていました。実習中のアンテナも広く張っていたので学び取れたものも多かったのではないのでしょうか。 ・ 周りに声をかけるなど、全体として効率を上げていこうという様子が見受けられました。中盤からはチームとして行動することに意識を向けることができ始めていたようです。 ・ 勤務態度等々、非常に前向きで積極的に仕事に励んでくれました。 ・ 大変元気で明るく、積極的に仕事に対して取り組みをしてくれました。今時の指示待ちが多いタイプと違い、自ら「次は何を・・・」等と積極的にしていた。本人も「人が大好き」という程なので、年配のお客様から若年層のお客様まで広く接する事が出来るキャパシティがある。非常に接客業に向けたキャラクターであり有望な人材と捉えました。今後の就職活動において、彼が自分の希望する、自分を活かせる企業に迎えられたい事を願います。その中に当社が有ればうれしい限りです。 ・ 社会性（協調性）のある方だったので、とても仕事を教えやすかったです。

- ・何事にも素直で真面目に取り組む姿勢が見られた。地道な作業にもきちんと取り組んでいた。言われたことを復唱して確認していたため意思疎通がスムーズにできた。
- ・単調な作業であっても厭わず、慎重にこなしてくれました。
- ・簡単な作業も手を抜かず、最後までやり遂げてくれました。
- ・得意なことはもちろん、そうでない業務についてもよく努力をした。
- ・デスクワークよりも外でのイベントや施設での受付業務の方が、活気がありました。一生懸命仕事をしていただき大変助かりました。ありがとうございました。
- ・特に利用者様とのコミュニケーションにおいては、とても努力されている姿勢が見られました。
- ・とにかくまじめでした。配属後しばらくは測定の間も直立姿勢で待っている状態だったので、実習の合間に読んでもらうように参考テキストを渡しましたが、すぐに読み終わりました。あまりにもスムーズに課題が終了していくため追加の課題を与えなければいけない状態でした。
- ・不慣れで苦労した点もあったようですが、諦めずに果たしてくれました。
- ・自分の意見を持ち、自分の言葉で話そうとする姿勢が伺えました。
- ・インターンシップの目的が理解できていた。
- ・男性の社員に混じりながらも、積極的に仕事を遂行しており、頼もしく感じました。皆との協調性もあり、優秀な社員になれると思います。
- ・まじめに一生懸命やっておりました。
- ・ガイダンスの時と実際の現場へ入った時では、顔が違い真剣さが伝わってきました。とても良い印象でした。
- ・積極的に手伝って頂きました。仕事への姿勢として大変良いと思いました。
- ・周りの輪へ溶け込むことを懸念していた様子でしたが、しっかりと仲間と協調が取れていたように思います。仕事にもしっかりと取り組めていました。
- ・自分の進路を真剣に考えており、元気が良く・協調性も有り、とても好印象を受けました。
- ・業務内容の把握はとても速く、その業務内容も正確にできていました。

<問題点の指摘があった>

- ・入社して20分くらいで毎日居眠りをしておりお客様と社員へのイメージが悪く評価を下げる事になりましたが、頼んだ仕事はきちんとできました。
- ・緊張し、知らない人ばかりの人に慣れていなかったのか、もう少し元気があれば本人にとっても楽しく出来たのかと思います。
- ・体力がなくライン作業に支障あり意欲は感じられたが、総合的評価としては中学生以下レベル。
- ・リーダーに任命されましたが、リーダーシップをとる機会を活かしきれていない様子は見受けられました。
- ・会話時に声が小さくて、はっきり聞き取れない時があった。
- ・3回の遅刻の内、1回はオートバイの故障だったが、後の2回は寝坊だったようだ。
- ・半田付け作業が思うようにできなかった。
- ・勤務態度については問題ありませんでした。作業の中で自分なりに創意工夫があると尚良かったです。
- ・はじめは、緊張感からかあまり話をしなかったが、日を重ねるごとに笑顔もみられるようになり、会話をするようになった。もう少し、明るさがあればもっと良いと感じました。
- ・自己判断せず、随時確認してから仕事を進めると尚良い。雑さが見られたが、責任を持って修正し終えた。
- ・ビジネスマナーや笑顔は第一印象に影響しますので、しっかり抑えて頂ければ、今まで以上に良さが出てくると感じました。
- ・日頃の仕事に対してもう少し、元気にやっていたけると良いと思います。

9.4 春期インターンシップについて

昨年度に引き続き、2014年春も試行として春期インターンシップを行う計画である。2014年春はアンケートで受入れ可能と回答のあった企業22社に加えて、夏季インターンシップ実施時に春季も受入れを検討下さる意向を表明されていた企業15社(昨年は10社)に受入れ依頼状を送付し、そのうち昨年と同数の22社からの受入れ申し込みがあった。学生募集については2年生、3年生を中心に募集を行い、第1回事前説明会には19名(昨年は53名)の参加があったが、最終的に実習を行う予定の学生は5名のみ(昨年度は4名)となった。事前説明会の参加者が減った理由は3年生については、すでに夏季において参加した学生が多くなったことが主な原因と考えられるが、2年生

については今後、アピール方法などの改善が必要かもしれない。実際の参加者が減ってしまった理由について、学生に聴取したところ、夏期インターンシップほどの受入れ企業数が確保できなかった点、学生の希望および実習場所への通勤の可否から実習可能となる企業が限られる点、3年生の実際の就職活動と時期が重なる点、などの理由から実習参加を見合わせた学生が多かった。幸い、春期インターンシップについての受入れ企業サイドのご理解は徐々に得られてきており、来年度以降も、昨年度と本年度の結果を踏まえ、実施方法等を再考しながら春期インターンシップのあり方について検討を行っていきたい。また十分な数の受入れ企業を確保できるよう、関係各位のご理解をお願いしたい。

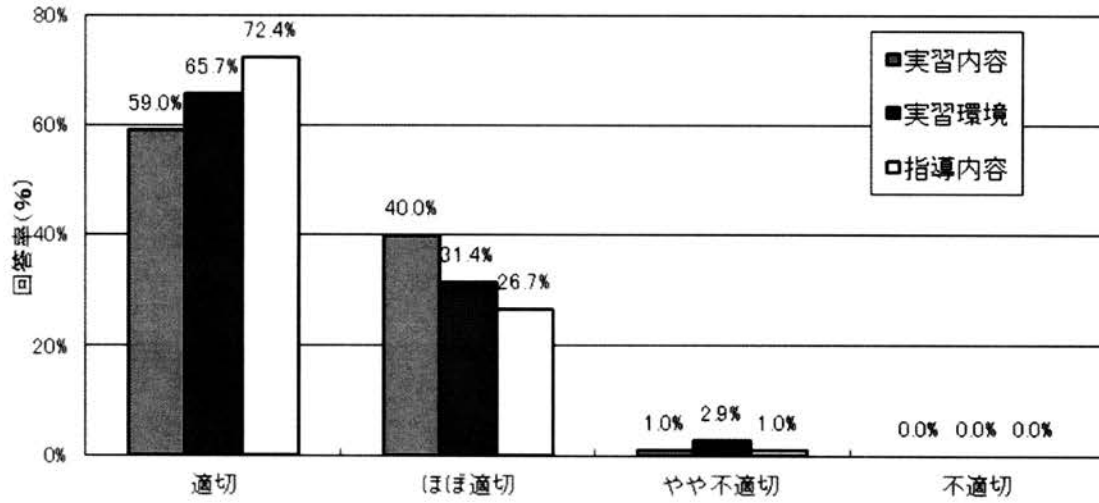


図 8 参加学生による実習内容，環境，指導内容への満足度

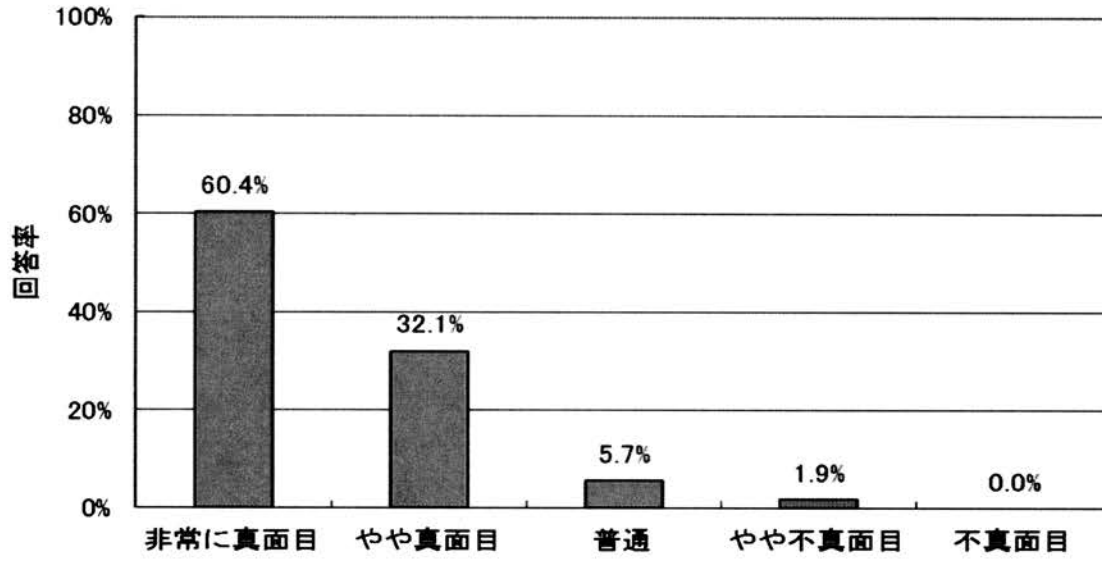


図 9 実習学生の取り組みに対する訪問教員の評価

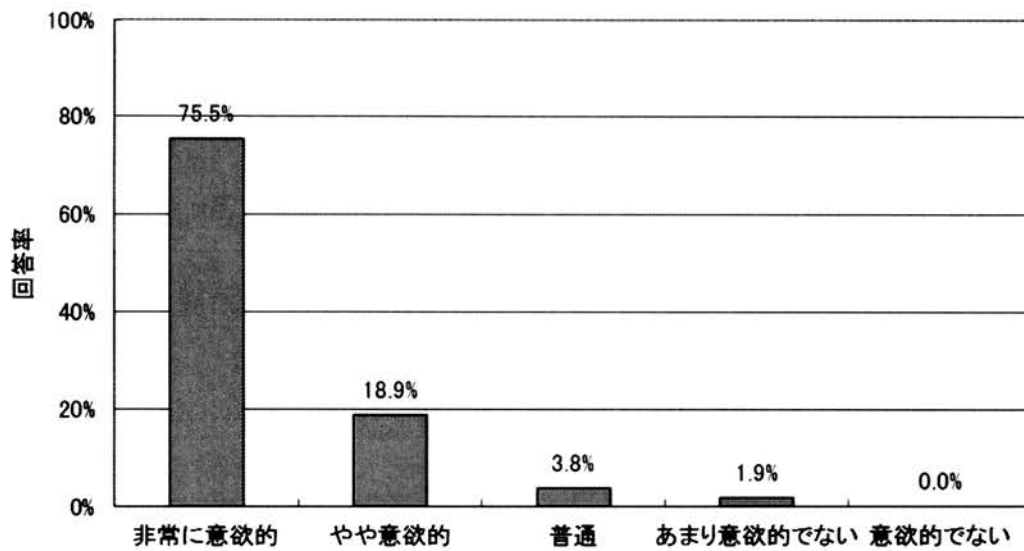


図 10 実習生の意欲に対する訪問教員の評価

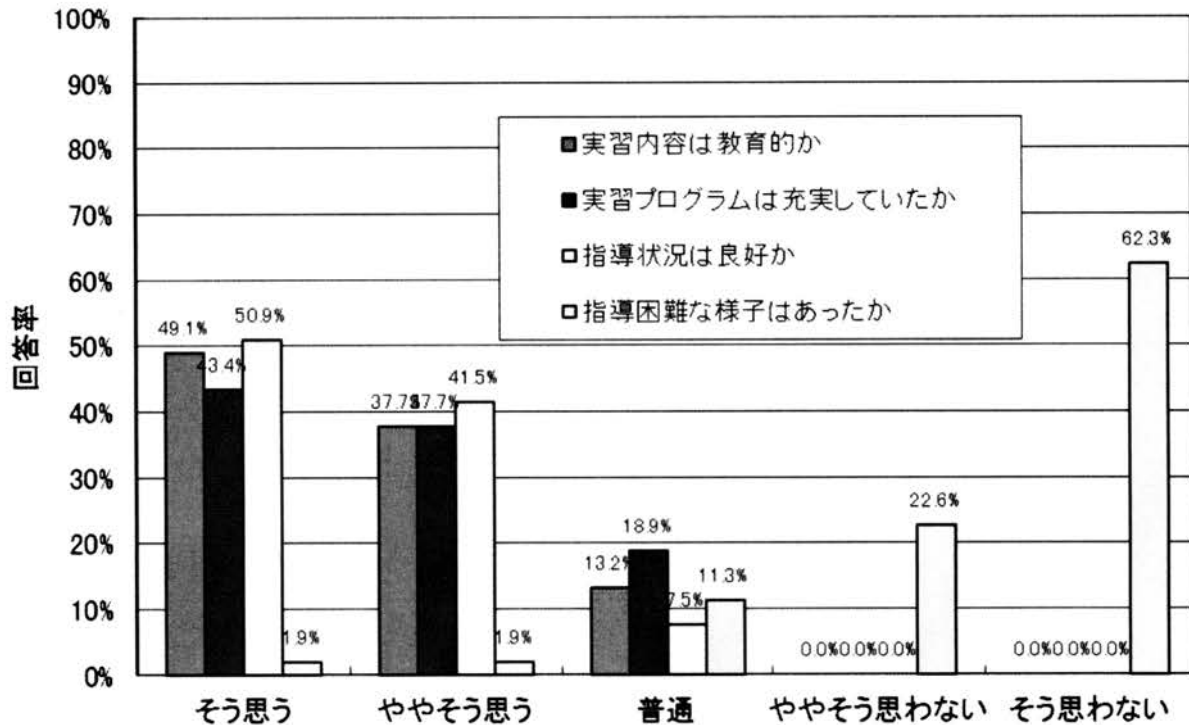


図 11 訪問教員の受入事業所への評価と要望

9.5 その他

2年前までは、インターンシップ報告会については12月に開催してきたが、実習終了からの期間が開きすぎているという意見が寄せられたため、昨年度は11月に、本年度はさらに前倒しにして10月22日に開催した。報告会はできるだけ学生および企業担当者双方の印象に残っている間に開催することが望まれるので、その点では10月の開催は適切であったと言える。しかし、プレゼンテーションで報告を行う学生の指導を依頼した助言教員の一部からは、この時期の開催では、準備期間が少なすぎるという意見もあった。このため、来年度の報告会については10月下旬から11月中旬の間に開催することが望ましいと考えられる。

なお過去の実施例においては、少数ながら、本学へ企業サイドからのクレームが寄せられている。大まかに分類すると受入れ学生とのマッチングの問題、マナーや態度など学生の資質や態度の問題、挨拶に訪問する教員の対応の問題などであった。今年度は、事前研修でも学生にその点を徹底するとともに、教員各位に依頼する際にも、念のため丁寧な対応について、ご配慮いただくよう改めて依頼した。その結果、本年度は企業からのクレーム数はゼロであった。しかし、企業アンケートの結果をみると、学生のマナーややる気の問題を指摘する声は依然として寄せられており、なかには、少数ではあるものの実習中の居眠りの指摘など、実質的にはクレームと同等の深刻さを以て受け止めざるを得ない指摘も見受けられた。今後も事前研修や日常の教育の機会を活用して、一人の学生の態度が、本学全体の評価を下げることも、また向上させることもあるという点について、しっかりと指導していくことが大切である。また本年度は、幸い実習中の事故や怪我の報告は一件もなかったが、過去においては、深刻な事例ではないとはいえ、慣れない環境において、学生が事故を起したこともあった。来年度以降も、事前研修等を通じ、事故発生防止の指導を徹底していく必要があるだろう。

10. 謝辞

本年度のインターンシップ・プログラムを実施するにあたり、ご協力をいただいた企業および事業所の皆さま、報告会で発表をご担当いただいた皆さんに心から感謝致します。

参考文献

- 1) 文部省編, インターンシップ・ガイドブック, インターンシップの円滑な導入と運用のために, 1998.
- 2) 丹羽昌平 他, インターンシップで学生は何を得たか?—平成14年度インターンシップ実施報告—, 静岡理工科大学紀要, 第11巻, 2003, 281-303.
- 3) 丹羽昌平 他, インターンシップ実施5年間のまとめとこれからの展望—平成15年度インターンシップ実施報告—, 静岡理工科大学紀要, 第12巻, 2004, 299-320.
- 4) 丹羽昌平 他, 平成16年度インターンシップ実施報告—インターンシップの教育効果の向上のために—, 静岡理工科大学紀要, 第13巻, 2005, 95-104.
- 5) 丹羽昌平 他, 地域社会との連携による実習体験教育, 工学教育, 第53巻第4号, 2005, 23-29.
- 6) 惣田昱夫 他, 平成17年度インターンシップ実施報告—事前教育の充実による教育効果の向上—, 静岡理工科大学紀要, 第14巻, 2006, 163-174.
- 7) 富田寿人 他, 平成18年度インターンシップ実施報告—キャリア教育メイン・プログラムを目指して—, 静岡理工科大学紀要, 第15巻, 2007, 127-139.
- 8) 富田寿人 他, 平成19年度インターンシップ実施報告—参加学生の増加を目指して—, 静岡理工科大学紀要, 第16巻, 2008, 117-129.
- 9) 富田寿人 他, 平成20年度インターンシップ実施報告—参加学生の増加を目指して—, 静岡理工科大学紀要, 第17巻, 2009, 163-174.
- 10) 山莊司志朗 他, 平成21年度インターンシップ実施

報告－参加学生の増加を目指して－, 静岡理工科大学紀要, 第 18 卷, 2010, 145－155.

- 11) 山庄司志朗 他, 平成 22 年度インターンシップ実施報告－参加学生の増加を目指して－, 静岡理工科大学紀要, 第 20 卷, 2012, 119－131.
- 12) 石田隆弘 他, 平成 23 年度インターンシップ実施報告－参加学生の増加を目指して－, 静岡理工科大学紀要, 第 20 卷, 2012, 107－118.
- 13) 石田隆弘 他, 平成 24 年度インターンシップ実施報告－一貫したキャリア教育を目指して－, 静岡理工科大学紀要, 第 21 卷, 2013, 153－166.

大学院理工学研究科修士論文概要

(2014年3月修了生)

(1) システム工学専攻

松浦 健…………… 121

(2) 材料科学専攻

岩井 利明…………… 123

太田 雅浩…………… 125

佐野 公一…………… 127

(掲載順)

小型太陽熱発電システムの開発*

Development of small type solar power generation system

松浦 健 †

Takeru MATSUURA

1. 結論

化石燃料の枯渇や温暖化ガス抑制や原子力の危険性などの問題に直面する中、自然エネルギー利用に関する関心が高まってきている。本研究は、太陽熱に着目し、熱発電原理に基づく太陽熱を利用する小型発電システムの実現を目指すものである。研究では、小型ディッシュ式集光装置を製作し、それを使い太陽光を集光・集熱する。また、ペルチェモジュールを利用する熱発電機を設計・製作する。その次に Solidworks に基づいて熱発電機の設置方法の最適化の検証を行う。それに基づきディッシュ式集光装置とつないで、太陽熱による発電の効果を確かめる。さらに、波長分離フィルターを導入し、ハイブリッド発電の性能を調べる。

2. 原理

ゼーバック効果とは、物体の温度差が電圧に直接変換される現象で、熱電効果の一種のことであり、物質の両端に温度差を与えると その両端間に電位差（起電力）が生じる効果である。この時の電位差を V として、加熱端と冷却端の温度差を ΔT とすると、この二つには

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

の比例関係がある。

3. 日射量の計算

法線直達日射量¹⁾とは、直達日射を法線方向で捉えたもので、集光時に主になるエネルギー量のこと、下記の式より求めることができる。

$$I_{DN} = I_o P \frac{1}{\sinh} \quad (2)$$

ここで I_o は太陽定数 [KW/m^2]、 P は透過率、 h は太陽高度 [$^\circ$] とする。一方、式 3 より、 \sinh が算出できる。

$$\sinh = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \quad (3)$$

ここで、 ϕ は緯度 [$^\circ$]、 δ は視赤緯 [$^\circ$]、 t は時角 [$^\circ$] とする。

理科年表²⁾より袋井地域の緯度、視赤緯および時角などの値を式 (1-3) に代入し、Fig.1 に示すような袋井における時間帯ごとの法線直達日射のグラフが得られた。

Fig.1 からは、昼 12 時あたりは、法線直達日射量がピーク値 800W に達したことが分かった。

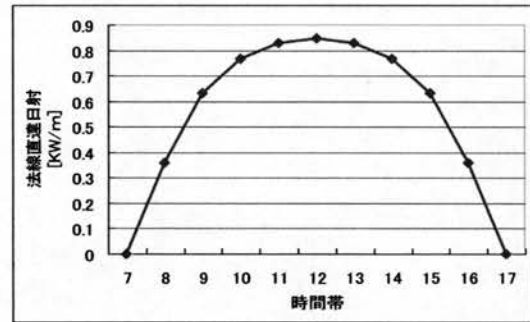


Fig.1 Amount of solar radiation

4. Solidworks による解析

Fig.2 に示すのは熱発電機の解析モデルである。熱発電機は銅板、ペルチェモジュールとヒートシンクにより構成される。高温部である銅板に 50[W]の熱源を与え、低温部であるヒートシンク X 軸方向と Z 軸方向それぞれに 0.5[m/s]の風を起し、熱解析を通じてヒートシンクの温度変化を比較する。なおほかの解析条件を Table. 1 に示す。

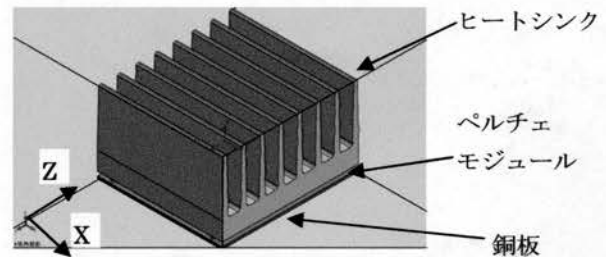


Fig.2 Analytical model

Table.1 Thermal conductivity

材料	熱伝導率(W/m・k)
銅板	390
ペルチェ(陶器)	1.4949
ヒートシンク(アルミ)	204

Fig.3 に解析した結果を示す。これにより X 軸方向に対流を与えた場合と Z 軸方向に対流を与えた場合の固体平均温度の差がおおよそ 25[$^\circ\text{C}$]になることが確認できた。よってヒートシンクの適切な設置方法で、対流を最大限に利用し熱発電機の温度差を大きくさせ、発電効率の向上に

* 2013年度修士論文発表概要

† 静岡理工科大学 大学院理工学研究科 システム工学専攻

寄与することが考えられる。

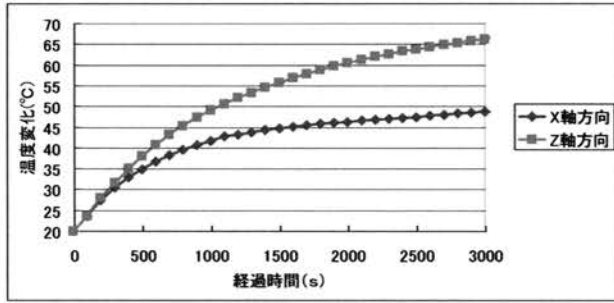


Fig.3 In the direction of the X axis and Z axis

5. 実験

5.1 熱発電装置の性能実験

熱発電装置の性能実験図は Fig.4 に示す。スライダックにより電圧を変えて、ラバーヒーターの温度を調整し熱電発電機の高温度部を加熱する。そのときの熱電発電各部の温度や開放電圧をデータロガーにより測定する。

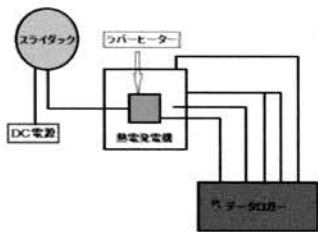


Fig.4 Performance test experimental system for thermoelectric generator

5.2 太陽エネルギーハイブリッド発電実験

太陽エネルギーハイブリッド発電装置図は Fig.5 に示す。パラボラ集光装置により集光した太陽光が波長分離フィルターにより波長 780[nm]以上と以下の部分となり、波長 780[nm]以上の赤外線などが熱電発電機に入り、太陽熱により発電する。一方、波長 780[nm]以下の太陽光がソーラーパネルへ誘導され、太陽光発電を行う。電力を取り出すには外部抵抗 30[Ω]と 0.5[Ω]を熱電発電機とソーラーパネルとそれぞれ接続する。なお、波長分離フィルターを利用しないとき、太陽熱のみによる発電実験も実施する。

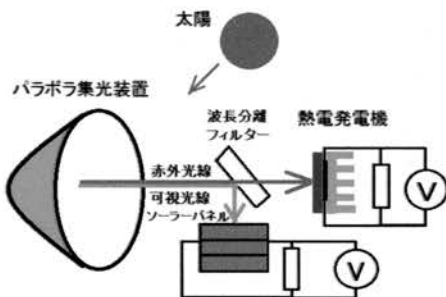


Fig.5 Hybrid electric power generation system

6. 結果と考察

熱電発電機の性能実験で得られた温度差と開放電圧の相関関係を Fig.6 に示す。温度差が高くなるにつれ、起電力が大きくなっていくことが分かった。なお、温度差が 50[°C]になったときに、起電力が約 7.5[V]に達すること

が予測できた。

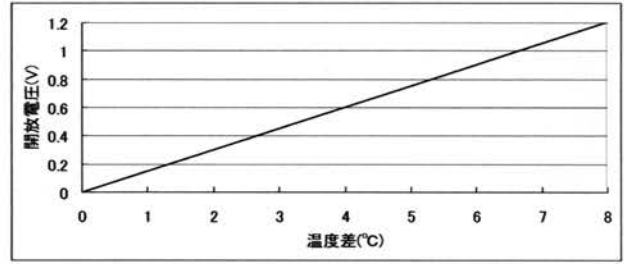


Fig.6 Open voltage and temperature difference

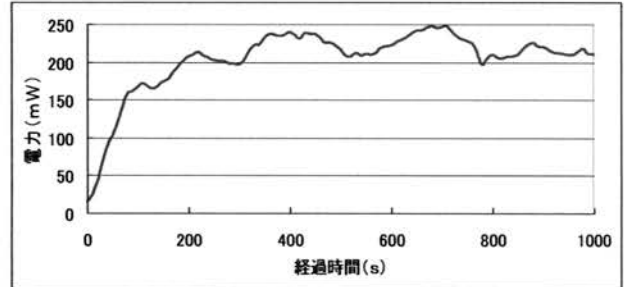


Fig.7 Electric power generated by solar heat

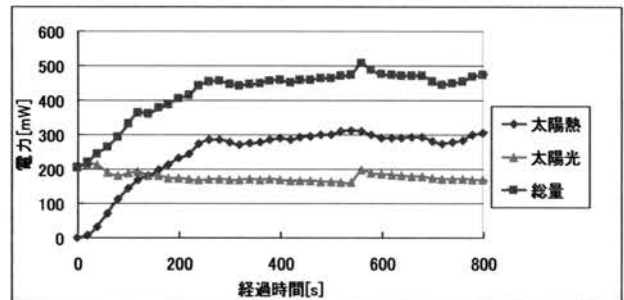


Fig.8 Hybrid electric power generation

Fig.7 に太陽熱のみによる発電実験の結果を示す。実験は朝から昼まで行われ、昼に向かって、電力が温度差の増大に伴い大きくなっていき、最大電力が 267[mW]となることがわかった。

一方、ハイブリッド発電の結果は Fig.8 に示す。Fig.7 に比べて、最大電力は熱電発電で 311[mW]、太陽光発電で 223[mW]となり、最大の総量は、507[mW]に達したことがわかった。よって、ハイブリッド発電の優位性を検証することができた。

7. 結論

(1) 本研究で開発した熱電発電機は、発電機性能実験より温度差が 50[°C]になったときに、最大起電力が約 7.5[V]に達することが予測できた。

(2) 太陽熱と太陽光を総合利用するハイブリッド発電方式では、太陽熱のみでの発電に比べて発電量が増え、ハイブリッド発電方式の有効性が確認できた。

文献

1)西川,長谷川 "エネルギー変換工学", 理工学社,(1985)
2)理科年表, 丸善出版,(2011)

バナジウム触媒を用いた酸素酸化反応*

Aerobic Oxidation Catalyzed by Vanadium Compound

岩井 利明 †
toshiaki IWAI

1. はじめに

酸化反応は、有機合成化学上重要な反応である。しかし、従来の酸化方法は毒性の強い酸化剤を使用する場合や、酸化剤由来の廃棄物が大量に生成する場合があります、多くの問題点があった。そこで近年、このような問題点の克服が強く望まれている。バナジウム化合物触媒を用いる酸化反応は、酸素によって触媒サイクルが成立するため、使用する化合物はごく少量で良く、副生物も水だけなので、環境調和型で効率の良い反応と言える。

2. 二環性グリコールの開裂反応

私の所属する研究室では、三級グリコールに対して、オキシ三塩化バナジウム触媒として酸素酸化反応を行うと、グリコール開裂反応が進行することを見出している¹⁾。

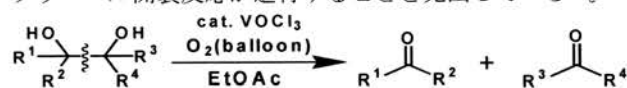


図1 バナジウム触媒を用いた三級グリコール開裂

一方、Paquette らは、オレフィンメタセシスを利用して二環性グリコールを合成し、これを四酢酸鉛でグリコール開裂して、中・大環状化合物を合成する方法を報告している²⁾。私は、有毒な四酢酸鉛の代わりに、バナジウム触媒による酸素酸化を用いても、同じように開裂させることができるのではないかと考え、検討することにした。

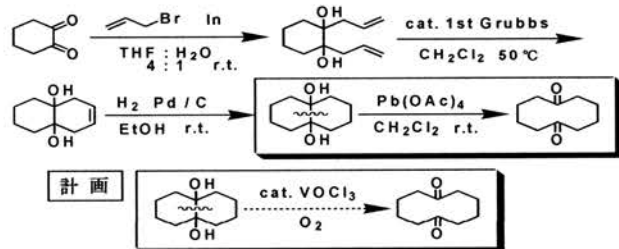


図2 二環性グリコールの合成と研究計画

この二環性グリコールに酢酸エチル中、酸素雰囲気下、オキシ三塩化バナジウム触媒を加えて反応を検討したが、

予期に反して全く反応は進行しなかった。そこで、様々な反応条件を検討したが、やはり反応は全く進行しなかった。

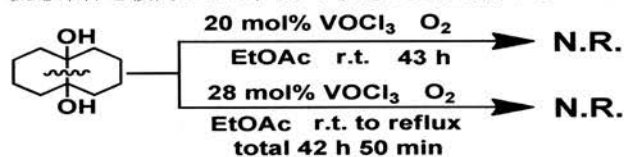


図3 バナジウム触媒を用いた二環性グリコールの開裂

一方、以下のような分子の自由度の大きい鎖状三級グリコールや、環状三級グリコールでも立体障害が比較的小さなものであれば、開裂反応が起こることがわかっている¹⁾。

以上の結果から、バナジウム触媒を用いる酸素酸化による三級グリコール開裂は、分子の自由度が大きいのか、立体障害の小さなものでないと進行しないことがわかった。

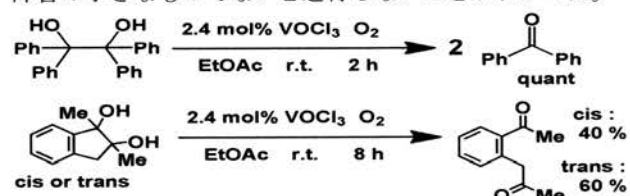


図4 バナジウム触媒を用いた三級グリコール開裂反応の例

3. 鎖状α-ヒドロキシケトン、α-ジケトンの酸素酸化

私の所属する研究室では既に、環状の二級α-ヒドロキシケトン、または、α-ジケトンに対して、プロトン性溶媒であるエタノール中、バナジウム触媒を用いて酸素酸化を行うと、開裂反応が起こりエチルエステルができることがわかっている³⁾。一方、非プロトン性溶媒中で反応を行うと、二級α-ヒドロキシケトンの場合には、α-ジケトンが生成し、それ以上反応が進行しない⁴⁾。

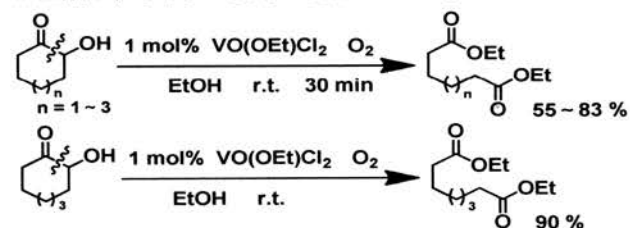


図5 環状α-ヒドロキシケトン、α-ジケトンの酸素酸化の例

* 2013年度修士論文概要

† 静岡理工科大学 大学院理工学研究科 材料科学専攻

今回は、鎖状の二級 α -ヒドロキシケトン、 α -ジケトンの場合でも、プロトン性溶媒を用いれば、環状のときと同様に、開裂が起こり、対応するエステルが得られるのではないかと考えた。

鎖状の二級 α -ヒドロキシケトンであるベンゾインを用いて、各種プロトン性溶媒（アルコール）中で反応を検討したところ、求核性の大きなアルコールを用いた場合、開裂が進行し対応するエステルとアルデヒドができた。一方、求核性が小さなアルコールの場合開裂は起こらず、 α -ジケトンで反応が止まってしまうことがわかった。

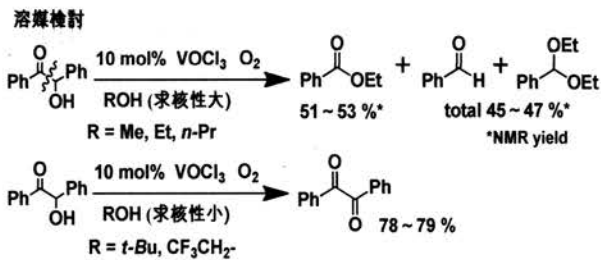
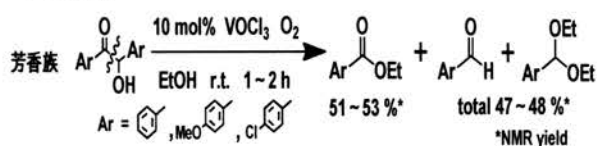


図6 鎖状二級 α -ヒドロキシケトンの酸素酸化の溶媒検討

次に、各種鎖状の二級 α -ヒドロキシケトンを用いて検討したところ、芳香族置換基をもつ基質では、開裂が起こりエチルエステルとアルデヒドができた。

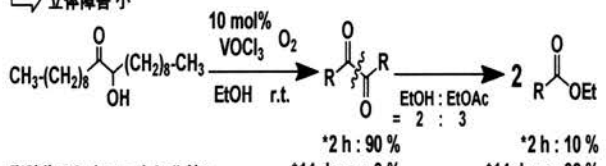
一方、脂肪族置換基をもつ基質では、分子の自由度が大きいノニル基の場合はすぐに α -ジケトンに酸化され、その後室温で長時間反応させれば、 α -ジケトンが開裂することがわかった。しかし、立体障害が大きなシクロヘキシル基の場合は、開裂せず、reflux条件でも、 α -ジケトンで止まってしまうことがわかった。

基質検討



脂肪族（ノニル基）

⇨ 立体障害小



脂肪族（シクロヘキシル基）

⇨ 立体障害大

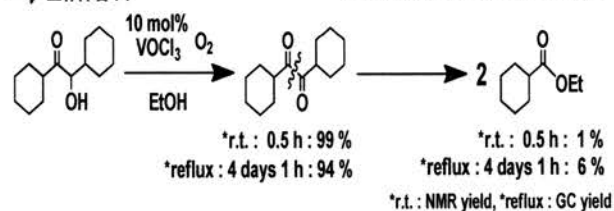


図7 鎖状二級 α -ヒドロキシケトンの酸素酸化の基質検討

ノニル基をもつ α -ジケトンの構造

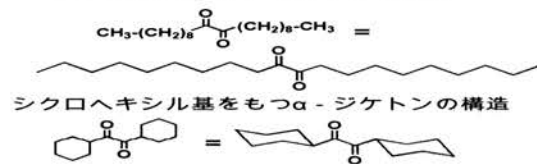


図8 ノニル基とシクロヘキシル基をもつ α -ジケトンの構造

また、私の所属する研究室では既に、環状の三級 α -ヒドロキシケトンに対して、プロトン性溶媒であるエタノールを用いて、バナジウム触媒による酸素酸化を行うと、開裂して、エチルエステルとケトンができることを見出している³⁾。

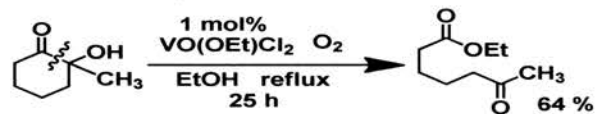


図9 環状三級 α -ジケトンの酸素酸化の例

そこで、鎖状の脂肪族三級 α -ヒドロキシケトンでも、立体障害が小さいと開裂反応するが、立体障害が大きくなると反応しなくなるのではないかと考え検討した。その結果、予想通り、分子の自由度が大きいノニル基をもつ三級 α -ヒドロキシケトンの場合は、開裂し、エチルエステルとケトンが得られたが、立体障害が大きいシクロヘキシル基をもつ三級 α -ヒドロキシケトンの場合は、まったく反応が進行しなかった。

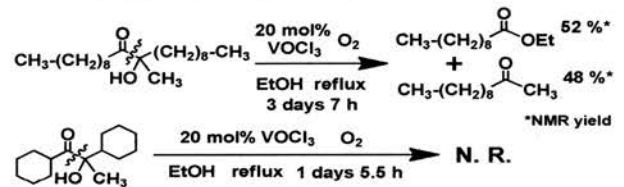


図10 鎖状三級 α -ヒドロキシケトンの酸素酸化

本研究を通して、バナジウム触媒を用いた酸素酸化反応は、立体障害が反応性に大きく影響していることがわかった。以上の結果から、酸化触媒の真の活性種は、溶媒が配位したかさ高いものであり、立体障害が大きい基質の反応点には近づけないのではないかと考えられる。



文献

- 1) M. Kirihara et al., *Tetrahedron Lett.* **2010**, *51*, 3619.
- 2) L. A. Paquette et al., *J. Org. Chem.* **2001**, *66*, 6695-6704.
- 3) M. Kirihara et al., *J. Chem. Soc., Perkin Trans. I.* **1998**, 7-8.
- 4) M. Kirihara et al., *Chem. Commun.* **1999**, 1387-1388.

NdFeB 系焼結磁石の電気特性*

Electrical properties of Nd-Fe-B sintered magnet.

太田 雅浩 †
Masahiro OTA

1. はじめに

近年、ハイブリッドカーの駆動用モータ材料として NdFeB 系焼結磁石(以降 Nd 磁石とする)が注目されている。同磁石は高温下では保磁力が低下してしまうため、エンジンルーム内の 473~523K の比較的高温下で使用するには、室温で高い保磁力が求められる。Nd 磁石の保磁力発現には Nd 過剰相と呼ばれる粒界相の存在が重要である。

本研究では Nd 磁石の電気特性から、粒界相の特性のみを分離、定量化することを試みる。手法としては Nd 磁石に直流抵抗測定(バルク磁石の比抵抗測定)、交流インピーダンス法を適用し、電気特性の測定を行った。交流インピーダンス法による測定では、粒界相と主相の電気特性の違いから、粒界相のインピーダンス成分(Z)とキャパシタンス成分(C)と主相のそれらを分離し、粒界相の比抵抗を算出し、比抵抗から粒界相の同定、解析を行う。

2. 実験方法

試料には、市販品の Nd 磁石(N40)を用いた。物性値は飽和磁化 141.5emu/g, 残留磁化 135.1emu/g, 保磁力 13.54kOe, 平均粒径約 8.42 μ m, 平均磁区幅(c \perp) 約 1.08 μ m である。

交流インピーダンス測定用試料は、Nd 磁石を大気中乾式研磨で約 30 \times 0.5 \times 0.1mm に研磨し、試料上に金線を約 5mm, 20mm, 5mm の間隔で、導電性ペースト材(Ag, AgCu)を用い 4 本取り付け付けた。試料名は A, B, C とし、試料 A, B には Ag ペースト、試料 C には AgCu ペーストを用いた。

直流電気特性測定はヒューレット・パッカード社の電圧測定器(34420A 型)を用い、5 \times 5 \times 0.5mm の Nd 磁石試料に 4 つの探針(Cu)を押し付け、100mA の電流を流し、中央 2 端子の電圧降下を測定した。図 1 のように磁化容易軸方向(c(//))と磁化困難軸方向(c(\perp))の 2 方向で測定を行った。また、磁壁による抵抗変化を確かめるため 5T で着磁し、磁壁の消失した後の比抵抗も測定した。

交流インピーダンス測定では、LCR ハイテスタ装置(日置電気(株)製 3532-50 型)により、上記で作成した試料について、定電流 20mA で 50Hz~5MHz のインピーダンス(Z)と位相角(θ)を各周波数にて測定した。

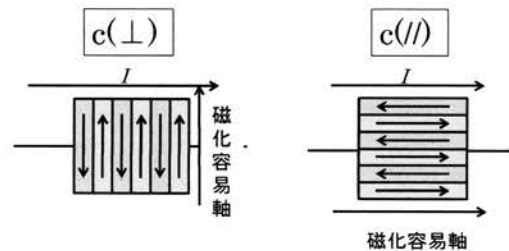


図 1 比抵抗測定時における磁壁と電流の方向関係

3. 実験結果と解析

直流電圧測定によって、表 1 に示す比抵抗値が得られた。c(//)方向の抵抗が c(\perp)方向の抵抗より高いという結果となった。市販の NEOMAX のカタログ比抵抗値でも同様の結果となっている。また、消磁状態より着磁状態が比抵抗は低い。なお、交流インピーダンス測定用試料の直流抵抗は 400m Ω であった。

交流インピーダンス法の測定結果を図 2 に示す。左側の半円を半円 1、右側の半円を半円 2 とした。また、半円 1 は装置の性能限界により、完全に半円が描ききれていない。そこで、破線で示した半円 1 のように数値計算した。解析方法として半円の直径が抵抗(R)の値を示し、半円の頂点の周波数(f)より $\omega RC=1$ ($\omega=2\pi f$)を用いて、C 成分が求まる。

表 1 試料の比抵抗(DC)

試料	$\rho(C\perp)/(\Omega \cdot \text{cm})$	$\rho(C//)/(\Omega \cdot \text{cm})$
N40	1.48×10^{-4}	1.69×10^{-4}
N40(5T)	1.19×10^{-4}	1.48×10^{-4}
NEOMAX*	1.3×10^{-4}	1.6×10^{-4}

*カタログ値

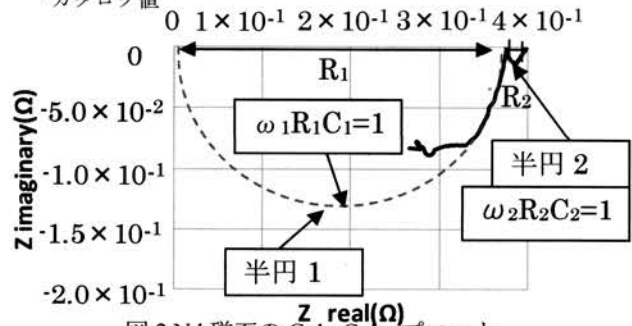


図 2 Nd 磁石の Cole-Cole プロット

* 2013年度修士論文概要

† 静岡理工科大学 大学院理工学研究科 材料科学専攻

表2 各試料の測定結果

試料	f_1 (計算)/(Hz)	$R_1/(\Omega)$	$C_1/(F)$	f_2 (Hz)	$R_2/(\Omega)$	$C_2/(F)$
A	6.80×10^6	0.38	6.08×10^{-8}	5.00×10^5	0.014	2.27×10^{-5}
B	5.75×10^6	0.37	7.36×10^{-8}	5.00×10^5	0.023	1.38×10^{-5}
C	6.50×10^6	0.42	5.83×10^{-8}	5.00×10^5	0.017	1.87×10^{-5}

半円1の各成分を R_1, ω_1, C_1 とし、半円2の各成分を R_2, ω_2, C_2 とした。各試料の測定結果を解析し、表2の結果が得られた。半円1は完全な半円ではないため頂点周波数には計算値を使っている。この結果より、抵抗の大きさから半円1を主相の成分と、半円2を粒界相の成分とする。そのため、主相の比抵抗を算出したものを ρ_1 とする。

粒界相の比抵抗の計算については、粒界相の厚みを $2nm^1$)として、平均粒径 $8.42\mu m$ から試料の端子間に存在する粒子数を求め、粒界相の厚みをかけることで、存在する粒界相の長さを求め、 ρ_2 とした。計算結果を表3にまとめた。

4. 考察

表1に示したように、比抵抗は、 $c(//)$ 方向が $c(\perp)$ 方向よりも13%ほど大きい。5T着磁後も同じ傾向であるが、磁壁の有無による比抵抗変化は10~20%程度となった($c(\perp)$, $c(//)$ 方向ともに、磁壁が消失した着磁後の方が小さな比抵抗値である)。基本的に $c(\perp)$ 方向と $c(//)$ 方向の比抵抗の差異は、結晶構造(図3)に起因すると考えられる。図3に示したように、 $c(\perp)$ 方向はFe-Fe結合面を電流が通過するのに対し、 $c(//)$ 方向は希土類(Nd)を含む格子面を通過しなければならない。これが、比抵抗変化の原因と考えられる。

交流インピーダンス法ではいずれの試料でも半円が2つあることから、その一方が粒界相、もう一方が主相に対応すると考えられる。表2のとおり、半円2の抵抗値は約10m Ω と小さいため、それが粒界相による半円で、半円1は約400m Ω と抵抗が高く、直流抵抗とほぼ一致しており、換算した比抵抗の値も同様であるため、主相によるものと推測できる。以上から、図4が試料の等価回路モデルと思われる。粒界相と主相の比抵抗を比べると後者は前者の約100倍となる。すなわち、主相の比抵抗が粒界部のその1/100程度であることは、粒界部の存在相について考察する重要要件である。粒界部に存在されると推定されるアモルファス合金は、一般的に電気抵抗が非常に高いという報告がある³⁾。このことから、粒界相はNd系のアモルファス合金であると推測している。

表3 比抵抗計算結果

試料	$\rho_1/(\Omega \cdot cm)$	$\rho_2/(\Omega \cdot cm)$
A	1.33×10^{-4}	2.06×10^{-2}
B	1.09×10^{-4}	3.38×10^{-2}
C	1.47×10^{-4}	2.50×10^{-2}

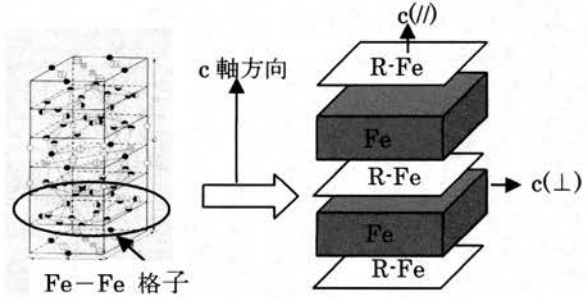


図3 正方晶系Nd₂Fe₁₄B型結晶構造³⁾

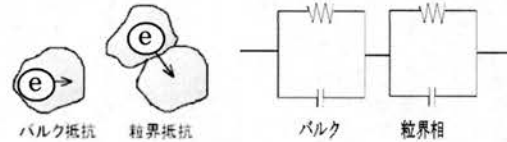


図4 Nd磁石の等価回路モデル

5. まとめ

交流インピーダンス測定では粒界相の成分と、主相の成分とを分離することに成功した。比抵抗による粒界相の組成の同定に関しては、今後各種Nd系金属の比抵抗測定を行い、粒界組成を同定し、Nd磁石のDy添加など組成を変えた試料でも同様の測定を行う必要がある。

謝辞

指導していただいた静岡理科大学小林久理眞教授、機器の取扱について数多くの助言をいただいた静岡理科大学機器センター早川一生技術課長、多くの知識や示唆を頂いた小林研究室の皆様に深く感謝いたします。

文献

- 1) 宝野和博, 久保忠勝, H. Sepchri-Amin :「Nd-Fe-B 磁石の高保磁力化をめざした微細組織制御 (総説)」, 日本金属学会誌, 76, pp. 2-11, (2012)
- 2) (原図は)J. F. Herbst, J. J. Croat, F. E. Pinkerton: “Relationship between crystal structure and magnetic properties in Nd₂Fe₁₄B”, Phys.Rev.B, 29, pp. 4176-4178, (1984)
- 3) 増本健:「金属材料におけるアモルファス化の効果」, 本多記念講演, vol.30, pp. 375-382, (1991)
- 4) 太田雅浩, 早川一生, 鈴木俊治, 小林久理眞, 「複素インピーダンス法によるNdFeB系焼結磁石の電気特性解析」, 電気学会研究会資料, Mag-13-113, (2013)

リアルタイム PCR を用いた食品品種の DNA 鑑定*

DNA analysis of food species using real-time PCR

佐野 公一 †
Kimikazu SANNO

A novel multiplex real-time PCR method was investigated to amplify the internal control PCR products for quantification of mtDNA templates in order to quantitate the mixing ratio of foreign species eel samples among Japanese eel samples. Two blocking reagents were also tested to improve the detection sensitivity.

1. はじめに

前報でウナギ種全品 DNA 鑑定法として、外国種ウナギ特異的リアルタイム PCR を用い、外国種ウナギ混入率の実用検出率 1 万分の 1 の達成を報告した¹⁾。本報では、外国種特異的な mtDNA・Cyt b 遺伝子の PCR 増幅と並行し、初期 DNA 量を補正するための内在性コントロール (CTRL) として mtDNA・COXI の、全種で共通する部分にプライマー、VIC プローブを使用する事で、DNA 量調整不要な、より直線性に優れた検量線を作成し、定量性において精度の向上を目的とした。

外国種特異的プライマーの日本種配列への非特異的結合を阻害するために、日本種配列に特異的に結合するブロック試薬を従来はフォワード側だけで使用していたが、新たにリバース側にも作成、ダブルブロックでより感度向上を目指した。

2. 実験方法と材料

欧州種ウナギ抽出 DNA を日本種ウナギ抽出 DNA で 10 倍希釈系列を作成し、欧州種 DNA の混入率 100%~10⁻²%, 0% の標準サンプルを作成した。標準サンプルに対しターゲット (TGT) として Cyt b 領域の外国種を特異的に選択する PCR プライマーペアおよびプライマー間に FAM プローブを使用したものに加え、内在性コントロール (CTRL) として全種の配列に共通の COXI を選択するプライマーおよび VIC プローブを使用し、リアルタイム PCR 反応を行った。

3. 結果および考察

3.1 内在性コントロールを用いた実験

ここでのサンプルは、ヨーロッパ種 100%, 10% から 10⁻²%, 最後に純粋日本種とし、DNA 量は 500ng を使用した。増幅曲線と C_T 値を Fig. 1 と Table. 1 に示した。

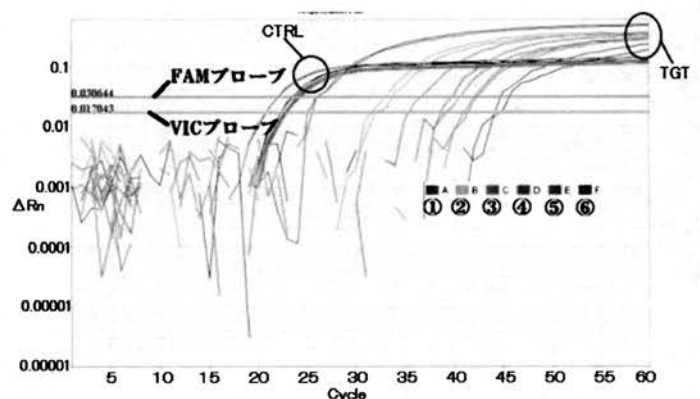


Fig. 1 内在性コントロールを使用した標準試料 (500ng) のリアルタイム PCR 増幅曲線

Table. 1 各サンプルにおける C_T 値

番号	①	②	③	④	⑤	⑥
サンプル	欧州種 100%	欧州種 10%	欧州種 1%	欧州種 10 ⁻¹ %	欧州種 10 ⁻² %	日本種 100%
TGT C _T 値	26.6	33.4	36.4	39.5	43.3	45.2
CTRL C _T 値	20.8	22.6	23.0	22.8	22.7	22.3

結果、全サンプルにてほぼ等間隔で閾値を越えており、10⁻²% サンプルまで検出が可能で、純粋日本種と、区別可能な様子が分かる (Fig. 1)。一方、ターゲット (TGT) の C_T 値において純正ヨーロッパ種 100% が若干早い数値を示した。内在性コントロール (CTRL) におけるサンプルの増幅曲線からもその影響が顕著に現れ、ほかのサンプルよりも約 2 サイクルほど早い立ち上がり確認された。これは純正ヨーロッパ種の吸光度が若干高かった、もしくは、リアルタイム PCR 反応を行う際に、規定量よりも多い DNA 量を使用してしまったためにこのような結果になったのではないかと考えた。これら要因を踏まえた上で、CTRL の C_T 値から濃度のバラツキを補正する手法を検討した。

* 2013 年度修士論文概要

† 静岡理工科大学 大学院理工学研究科 材料科学専攻

3. 2 検量線の作成

Table. 1 から得られた数値を (1) 式に代入することで C_T 値の差をとり ΔC_T 値を求めた (Table. 2). これはサンプル間の濃度差の補正をするために行った.

$$\Delta C_T = C_T(TGT) - C_T(CTRL) \quad (1)$$

(1) 式から ΔC_T 値を求め (Table. 2), 検量線を作成した (Fig. 2).

Table. 2 各サンプルにおける C_T 値

番号	①	②	③	④	⑤	⑥
サンプル	欧州種 100%	欧州種 10%	欧州種 1%	欧州種 10 ^{-1%}	欧州種 10 ^{-2%}	日本種 100%
ΔC_T 値	5.8	10.8	13.4	16.7	20.6	22.9

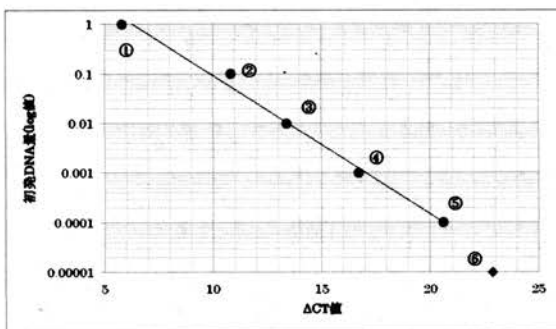


Fig. 2 外国種混入率段階希釈試料のリアルタイム PCR・ C_T 値検量線

結果, 10%サンプルがやや外れたがそのほかのサンプルではほぼ直線性が確認できた.

3. 3 日本種に対する非特異的結合のダブルブロックによる感度向上

外国種特異的プライマーの日本種配列への非特異的結合を阻害するため, 日本種配列に特異的にアニーリングするブロック試薬を作成した²⁾. これをダブルブロックで加えることによりさらなる感度向上を目指した.

標準試料は欧州種 100%, 欧州種 10%から欧州種 10^{-1%}および日本種 100%とした. 得られた増幅曲線と C_T 値の結果をそれぞれ Fig. 3 と Table. 3 に示した.

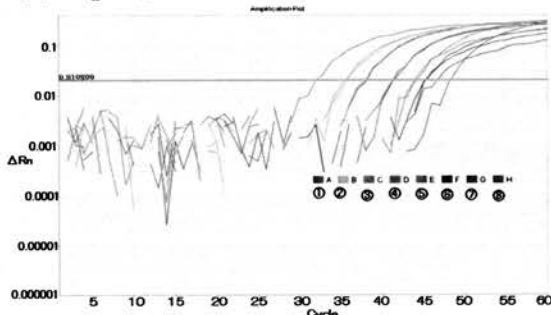


Fig. 3 ダブルブロックによる標準試料 (500ng) のリアルタイム PCR 増幅曲線

Table. 3 各サンプルにおける C_T 値

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
サンプル	欧州種 100%	欧州種 10%	欧州種 1%	欧州種 10 ^{-1%}	欧州種 10 ^{-2%}	欧州種 10 ^{-3%}	欧州種 10 ^{-4%}	日本種 100%
C_T 値	32.2	35.6	37.9	41.4	44.0	45.4	46.5	48.2

結果, 純正ヨーロッパ種から 10^{-3%}の希釈系列サンプルまでほぼ一定に立ち上がった (Fig. 3). 10^{-3%}以降のサンプルでは, C_T 値の間隔が狭くなっている. これは希釈サンプル中の鋳型量が少なくなっていることから, 反応を拾いにくくなっていることが考えられた. しかし, 10^{-2%}と純正日本種 100%との C_T 値差を考慮してみると, シングルブロックよりも 1.7^{1.3}(約 2.0) 倍の感度の向上ができたと考えられた.

3. 4 検量線の作成

Table. 3 の C_T 値から検量線を作成した (Fig. 4).

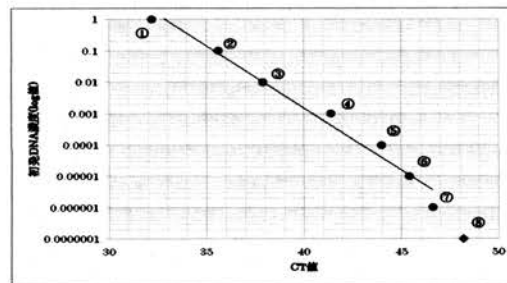


Fig. 4 外国種混入率段階希釈試料のリアルタイム PCR・ C_T 値検量線

直線にプロットが乗らない部分が多く, 直線性に問題が生じたため, DNA 濃度について考慮する必要がある.

4. まとめ

内性コントロールを使用する事によって, 検量線において, ほぼ直線性が確認できた. また, ダブルブロックを検討した実験ではシングルブロックよりも約 2.0 倍の感度の向上が見られた.

5. 謝辞

本研究を進行するにあたり, 終始御指導と御鞭撻を賜りました静岡理科大学工学部物質生命科学科常吉俊宏教授及びその他の多くの先生方, 研究室の皆様へ深く感謝申し上げます.

6. 参考文献

1) 中野昇平 著「ウナギ種全品 DNA 鑑定法の開発」静岡理科大学 工学部 物質生命科学科 学士論文 (2011)
 2) J. Morlan, J. Baker, D. Sinicropi *Mutation Detection by Real-Time PCR: A Simple, Robust and Highly Selective Method*, PLoS ONE, (2009) Volume 4 Issue 2 e4584

編集委員 委員長 山崎 誠志
安 昭八
中田 篤史
松田 健
今野 勝幸
事務局 深澤 直人
河口 聡美
佐藤 博紀

静岡理工科大学紀要 第22巻

2014年6月1日

編集 静岡理工科大学 大学広報委員会

発行 静岡理工科大学

〒437-8555 静岡県袋井市豊沢2200-2

TEL 0538-45-0111 FAX 0538-45-0110