

目 次

巻頭「紀要の発刊に寄せて」

学長 荒木信幸

論 文

電気自動車用直流直巻モータの動力性能	恩田 一	1
電気自動車における干渉波雑音回避無線通信の検討	郡 武治、野未知宏	5
2つの学習ループを持つ繰返し制御によるトルク脈動抑制制御法 —加速度センサ利用—	服部知美	9
カウンタによるスリップ制御を用いたビット同期回路の検討	袴田吉朗	15
ビタビアルゴリズムを用いた3次元位置検出	郡 武治、伊代田 徹、太田哲也、草ヶ谷 瞬、大石直紀	25
CMOS比較回路 (1) 4ビット大小比較回路	波多野 裕、横井和輝	31
立体化学表記法の混乱について	桐原正之、望月友裕	37
インタラクティブ3Dアプリケーション開発ツールを用いた3Dゲーム教材の作成	玉真昭男	41
IEEE 754 単精度—倍精度計算, 多倍長浮動小数点計算を用いた混合精度反復改良法の性能評価	幸谷智紀	49
ヒト触覚系におけるサブミクロンテクスチャ知覚	宮岡 徹	55
2005年Jリーグの報道から見た読売新聞の報道姿勢	小栗勝也、伊藤 祐	61
意思決定理論における自己位置づけ —眠り姫問題を通じて—	榛葉 豊	71
優越戦略と最大期待効用戦略	榛葉 豊	81
理工系大学1—2年生における学習の動機づけと無気力感・自己効力感・		
ライフスキルとの関連	小杉大輔	89
TEACHING ENGLISH VOCABULARY	Bogdan PAVLIY	97

研究ノート

解析解による板の曲げ・面内振動解析	浦田喜彦	105
位置検出システムマルチネットワークの検討	郡 武治、加々美友宏	111
10進デジタルLSI回路 (3) 10進計数回路	波多野 裕	121
5価オキソバナジウム触媒と酸素を用いた酢酸溶媒中での環状ケトンの開裂反応:		
アジピン酸の環境調和型合成反応の研究	桐原正之、三ツ矢善根、松下真弥	129

技術報告及び資料

PICマイコンと16×16LEDを用いた漢字表示電光掲示板の設計と試作	袴田吉朗	133
長時間実行に耐えうるサーチエンジンシステムの構築	幸谷智紀	143

教育関連報告

創造体験教育「創造・発見」の平成20年度実施報告 ―科目再編に向けて―

…………… 関山秀雄、丹羽昌平、榊田 勝、土肥 稔、恩田 一、中村 壘、小栗勝也、
小林久理真、河村都美明、山下博通、竹下知宏、望月知徳 147

SIST情報システム …………… 菅沼義昇、幸谷智紀 155

平成20年度インターンシップ実施報告―貫したキャリア教育を目指して―

…………… 富田寿人、仲野雄一、波多野 裕、友次克子、山庄司志朗、
山下博通、青島偉夫、兼子和宏、恩田 一 163

遠州地域の企業調査より 業務における英語活用実態 …………… Gregg MCNABB 175

学生要望調査結果に基づく英語カリキュラムの現状と課題についての一考察 …………… 巨理陽一 185

Contents

P r e f a c e

President Nobuyuki ARAKI

Original Papers

Power characteristics of a series winding DC motor for an electric vehicle	..... Hajime ONDA	1
A signal transmission method used in an electric vehicle	..... Takeharu KOHRI and Tomohiro NOZUE	5
Suppression Control Method for Torque Ripple of PMSM with two Repetitive Controllers –Using Acceleration Signal of Motor Frame–	..... Satomi HATTORI	9
Bit synchronism Circuit with a Slip Control by a Counter Circuit	..... Yoshiro HAKAMATA	15
A Location Estimation Method Based on Viterbi Algorithm	..... Takeharu KOHRI, Tohru IYODA, Tetsuya OHTA, Shun KUSAGAYA and Naoki OOISHI	25
CMOS Comparator Circuits (1) 4-bit comparator circuits	..... Hiroshi HATANO and Kazuki YOKOI	31
Complication of Graphic Representation of Three-Dimensional Structure	..... Masayuki KIRIHARA and Tomohiro MOCHIDUKI	37
Development of an Educational Material for Making 3D-Games using an Interactive 3D Authoring Tool	..... Teruo TAMAMA	41
Performance Evaluation of Mixed-precision Iterative Refinement Method for Solving Linear Systems of Equations using IEEE754 Single-Double Precision or Multiple Precision Floating-point Arithmetic	..... Tomonori KOUYA	49
Submicron-texture-discrimination mechanisms in human tactile perception	..... Tetsu MIYAOKA	55
The content analysis of the J-League articles in the Yomiuri Shimbun 2005	..... Katsuya OGURI and Yu ITO	61
Self Locating Belief in Decision Theory –Sleeping Beauty Problem–	..... Yutaka SHINBA	71
Dominant Strategy and Maximum Expected Utility Strategy	..... Yutaka SHINBA	81
The relationship among the motives for learning, apathy, self-efficacy, and daily life skills in the first-year and the second-year college students belonging to Department of Science and Technology	..... Daisuke KOSUGI	89
TEACHING ENGLISH VOCABULARY	..... Bogdan PAVLIY	97

Research notes

- Bending and In-Plane Vibration Analysis of Plates Using Analytic Solutions
..... Yoshihiko URATA 105
- An Optimum Design of Multi-network in Location Estimation System
..... Takeharu KOHRI and Tomohiro KAGAMI 111
- Decimal Digital LSI Circuits (3) Decimal counter circuits Hiroshi HATANO 121
- Aerobic Ring-Opening Oxygenation of Cyclic Ketones Catalyzed by Oxovanadium
(V) Compound in Acetic Acid: Studies on Environmentally Benign Synthesis of Adipic Acid
..... Masayuki KIRIHARA, Yoshine MITSUYA and Shinya MATSUSHITA 129

Technical Report and Materials

- Design and Trial Manufacture of a Kanji Display with a PIC Micro Computer and
16×16LED Arrays Yoshiro HAKAMATA 133
- Development of Long-Term Executable Search Engine System Tomonori KOUYA 143

Education -related Reports

- The Preparation and the Practice of the Educational Program
“Exercises for the Creation and Invention” in 2008
..... Hideo SEKIYAMA, Shohei NIWA, Masaru SAKAKIDA, Minoru DOHI,
Hazime ONDA, Rui NAKAMURA, Katsuya OGURI, Kurima KOBAYASHI,
Tomiaki KAWAMURA, Hiromichi YAMASHITA, Tomohiro TAKESHITA
and Tomonori MOCHIZUKI 147
- The SIST Information System Yoshinori SUGANUMA and Tomonori KOUYA 155
- A Report on the Internship Program in 2008, For Consistent Career Education.
..... Hisato TOMITA, Yuichi NAKANO, Hiroshi HATANO, Katsuko TOMOTSUGU,
Shiro YAMASHOJI, Hiromichi YAMASHITA, Hideo AOSHIMA,
Kazuhiro KANEKO and Hajime ONDA 163
- A report on the usage of English of select companies in the Enshu region
..... Gregg MCNABB 175
- A Consideration on the Present Situation and Required Improvements of
Our English Curriculum Based on a Student Needs Survey
..... Youichi WATARI 185

紀要の発刊に寄せて

学長 荒木 信幸

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」・「社会貢献」の一般的な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あるいは経過を一定期間毎に大学としてまとめて公表し、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義務であるとの位置づけが強まっていると思われれます。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2009年版で、17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なり、論文のみでなく、研究ノート、技術報告・資料、レビューなどの貴重な資料などをまとめて公表する場としました。さらに、大学院を修了した学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。また、本紀要には、本学教員全員の研究活動記録として、2008年の一年間に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を掲げて研究成果を総括できるようにしてあります。

豊かな人間性を基に、やらま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、大いに役に立つ存在であることを願っております。

2009年6月

電気自動車用直流直巻モータの動力性能

Power characteristics of a series winding DC motor for an electric vehicle

恩田 一*

Hajime ONDA

Abstract: Power characteristics of a series field winding direct current (DC) motor for an electric vehicle, is described. For our electric vehicle, DC series winding motor is used as an engine. DC series winding motor is suitable for vehicles that need large torque at low speed. The theoretical equations for the electrical model of the motor are set up. Unknown motor constants are decided by experiments and the equations are calculated to display the torque vs. speed characteristics. The resultant graphs show the typical characteristics of the DC series motor and useful for designing the controller. **Key word;** electric vehicle, DCmotor

1. はじめに

本学電気電子工学科では環境にやさしく電気・電子技術満載の電気自動車を学科のシンボルとし、対外的PR用に高校生の興味を引きそうなスポーツタイプの電気自動車を購入し、その名称を本学のシンボル「お理工ちゃん」からとって「お理工カー」とした(図1)。このモデル車に、各教員の専門分野からテーマ選定した研究項目技術を付加してさらにインテリジェント化し、その名のとおり「お理工(インテリジェント)カー」を完成させるプロジェクトを立ち上げ、活動中である。本報告は、そのプロジェクト活動の一環である。

この電気自動車の主動力源には直流直巻モータが使われている。本報告は、このモータの動力性能を解析・検討したもので、モータの基本特性式から動力性能(速度-トルク特性)を解析的に求め、数値計算によりグラフ化して実用に備えた。

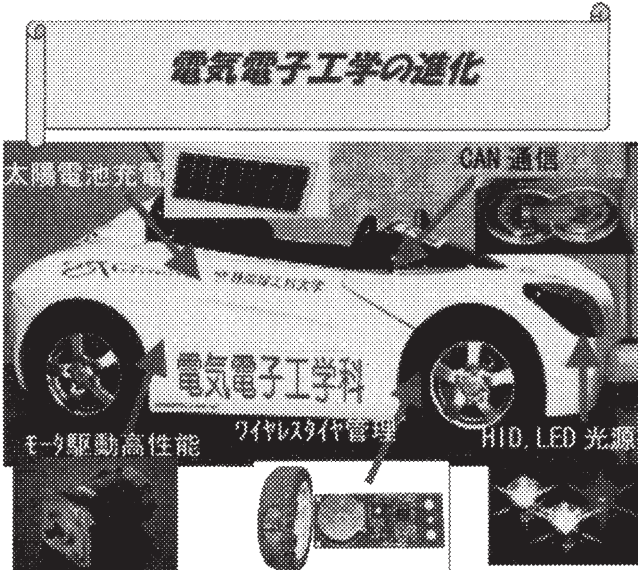


図1 モデル電気自動車

2. 直流直巻モータの構造と理論特性

2.1 直流モータの界磁方式

一般にモータは界磁が作る磁束と電機子電流の相互作用で回転トルクを発生して回転する。界磁磁束の発生方法には下記の方式がある。

①永久磁石界磁方式

界磁磁束を永久磁石により発生させる方式で、近年永久磁石材料が非常に高性能化したため、小形で高トルクのモータが得られるようになった。発生トルクは電機子電流に正比例する。磁束を作るためのエネルギーが不要のため、高効率で、多くのモータに利用されるようになってきた。

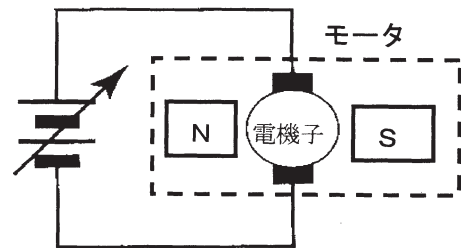


図2 永久磁石界磁モータ

②他励界磁方式

界磁磁束発生用の界磁巻線を、モータ印加電圧とは別の外部電源で励磁する方式で、電機子制御と界磁制御の両方が利用できる。界磁巻線は細い線を多数回巻く方式で、界磁電流は電機子電流より小さいのが一般的である。

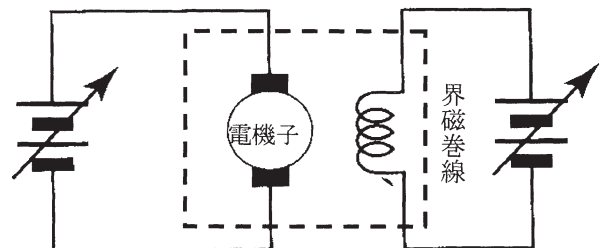


図3 他励界磁モータ

2009年2月19日受理

* 理工学部 電気電子工学科

③分巻界磁方式

界磁巻線が電機子に並列接続されている方式で、界磁電流は電機子端子電圧により決まってくる。負荷トルク変動に対する回転数変動が少ない特徴を有している。

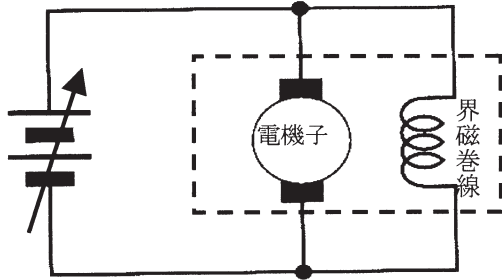


図4 分巻界磁モータ

④直巻界磁方式

界磁巻線が電機子と直列に接続されている方式で、界磁電流と電機子電流が同じである。そのため、発生トルクは電流の2乗に比例する。界磁巻線は電機子電流と同じ大電流を流すため、太い巻線で構成される。負荷変動に対する速度変化が非常に大きく、無負荷状態では非常に高速になるので注意が必要である。

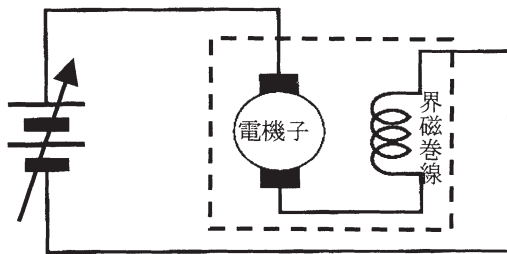


図5 直巻界磁モータ

⑤複巻界磁方式

分巻界磁巻線と直巻界磁巻線の両方を有する方式で、特性的には両者の中間的な特性となる。

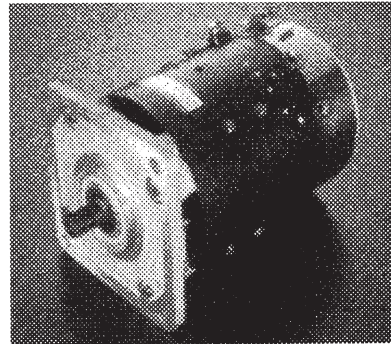
2.2 直流直巻モータ

対象となるモータは図6に示す直流直巻モータで、定格は72V、3.6kWである。ただし、小形特殊自動車用としての銘板には法規上の配慮から0.59kWとされている。

ここに使われている直流モータは、制御性能は優れているが回転部への電力供給に摺動型接触子であるブラシと整流子を利用しているために、保守性や寿命の面で問題がある。そのため、近年は交流モータが使われるようになってきている。図1のモデル車に直流モータが使われているのはスポーツタイプと言う点から制御性能を重視したか、あるいは交流モータ制御の複雑さを回避した結果と思われる。

直流直巻モータは低速時に大トルクを発生する特性を有しているために古くから電車等の、いわゆるピークルに利用されている。ピークルは始動時に加速のための大トルク

が必要で、高速で定速度になってしまえばあまりトルクを必要としない特性を有している。エンジン自動車では、エンジンは定トルク特性であるので、変速機がこの役割を果たしているが、直流直巻モータではモータ単体で、この必要なトルク-速度特性を有している。



直流直巻モータ
型式; HD-MR0
72V,
3.6 kW
3050 rpm

図6 対象直流直巻モータ

2.3 直流直巻モータの等価回路と理論特性

図7に直流直巻モータのモデル回路図を示す。界磁巻線が電機子巻線に直列接続されており、界磁電流と電機子電流が同じである。発生トルクは電機子電流と界磁磁束に比例するために、直流直巻モータでは発生トルクは電機子電流の2乗に比例することになる。

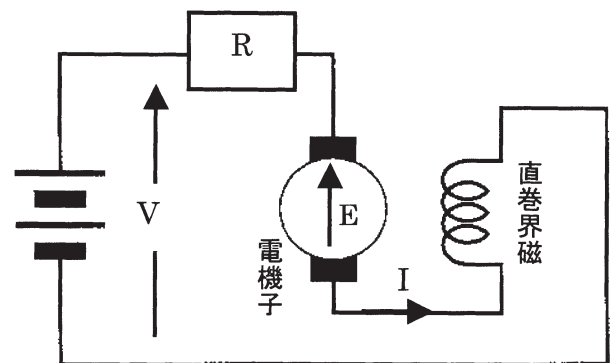


図7 直流直巻モータのモデル回路

モータへの印加電圧を V (V)、電流を I (A)、電機子と界磁巻線の抵抗を R (Ω)、モータの逆起電圧を E (V)、毎分の回転数を N (rpm)、発生トルクを T ($N\cdot m$) とすると下記の式が成り立つ。

$$V = E + I \times R \quad (1)$$

$$E = K_1 \times I \times N \quad (2)$$

$$T = K_2 \times I^2 \quad (3)$$

(2)式はモータの逆起電圧の式、(3)式は発生トルクの式である。(1)式、(2)式より次式が求まる。

$$V = K_1 \times I \times N + I \times R$$

$$= I(K_1 \times N + R) \quad (4)$$

$$I = \frac{V}{(K_1 \times N + R)} \quad (5)$$

(5)式を(3)式に代入すると

$$T = \frac{K_2 \times V^2}{(K_1 \times N + R)^2} \quad (6)$$

(6)式より、Rは定数であるので、電圧Vをパラメータとして、このモータの速度(回転数)対トルク特性を求めることが出来る。K₁およびK₂は実験により求めることが出来る。

2.4 実験による定数の決定

(1) 抵抗Rの測定

電機子および界磁巻線抵抗はオームの法則を用いた電圧降下法により求めることが出来る。逆起電力が発生しないようにモータを拘束しておいて直流電圧を印加し、電圧と電流から抵抗値を求める。実験結果のグラフを図8に示す。図8より、抵抗値Rは0.16 (Ω)と決定できる。

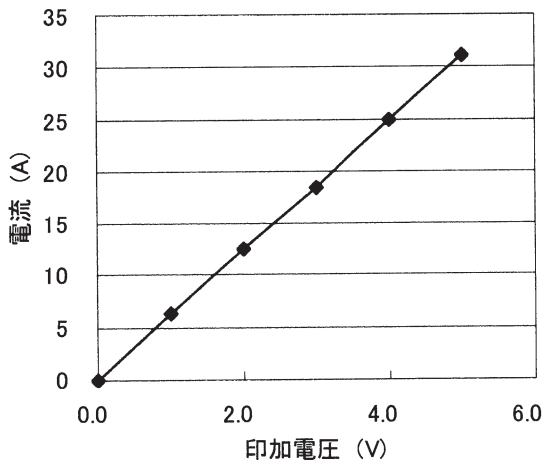


図8 電圧降下法による抵抗測定結果

(2) K₁ (誘起電圧定数) の測定

モータに直流電圧を印加し、回転状態で電圧V、電流I、回転数Nを測定すれば、(4)式よりK₁を求めることが出来る。モータ無負荷状態(軸受等のトルク損失で無負荷電流15(A))での実験結果を図9に示す。図9においては、(4)式から推定できる比例関係が確認できる。また、同図中には(4)式で種々のK₁を仮定した時の計算値で、実験値に最も良い近似を与えるK₁=1/4950の時の計算値も示した。これより、(2)式のK₁は1/4950と決定する。

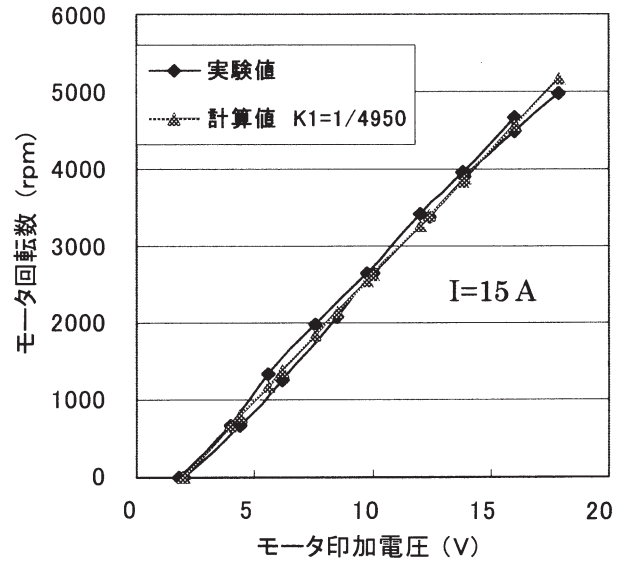


図9 電圧定数実験結果

(3) K₂ (トルク定数) の測定

モータを拘束状態で直流電圧を印加し、電流とトルクを測定すれば、(3)式よりK₂が求められる。トルクの測定は最も簡便な方法としてモータ軸からレバーを出し、この先端での力を測定し、レバー長と力の積から求めた。力の測定にはバネばかりを利用した。実験結果を図10に示す。(3)式が示す電流の2乗特性が確認できる。

同図中には(3)式でK₂を仮定した時の計算式として、実験値に最も良い近似を与えるK₂=0.0017の場合の計算値も示した。これより、(2)式のK₂は0.0017と決定する。

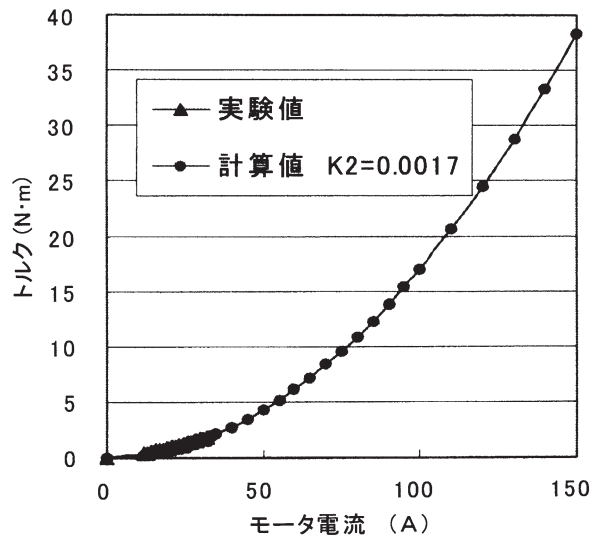


図10 トルク定数測定実験結果

3. 速度対トルク特性の計算

(1)式から(6)式の基本特性式における定数 R , K_1 および K_2 が求めたので, (6)式よりトルク特性(回転数対トルク)を計算する. モータ印加電圧 V はパラメータとして取り扱う. 計算結果を図11に示す.

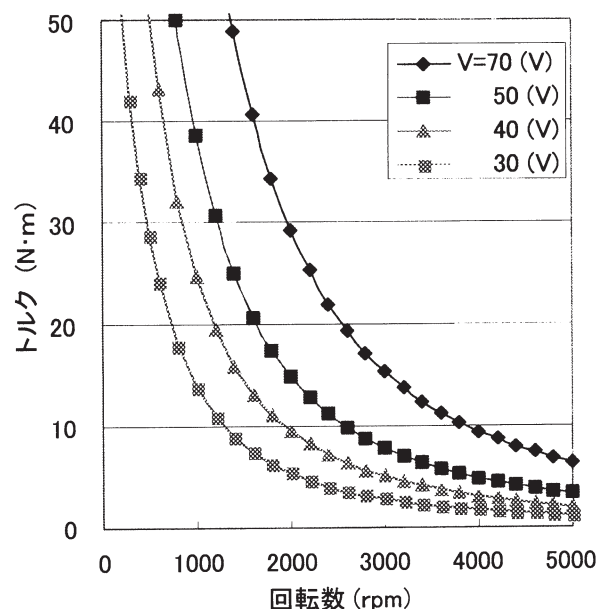


図11 速度—トルク特性

(6)式からも判るが, 直流直巻モータの発生トルクは回転数の2乗に反比例する特性を有することがグラフよりよく解かる. 起動時のように低回転数時には大トルクを発生する. また低電圧でも平地走行のように負荷トルクが軽ければ回転数はかなり上昇する. 逆に, 負荷トルクが大きくなると回転数は急激に低下する. このように, 直巻モータは負荷変動に対する回転数変動が激しく, それがビークル(電気車)の要求特性に一致していることから, この用途に広く使われる所以である.

図11のトルクに対応するモータ電流値は, 図10の特性から逆算することが出来る.

4. 電気自動車としての性能

これまでは原動機部であるモータ単体の動力性能を論じてきたが自動車としての動力性能について簡単に説明する. 原動機により駆動される車体系は, それが必要とする動力特性を有している. この負荷要求トルク特性は減速比, タイヤ径等の諸元と走行状態で決まり, 平地走行時や登坂走行時などに応じた動力特性がある.

図12は, 図11の原動機(モータ)側の動力性能に負荷(車体)側の要求動力特性を仮定して記入したものである. 一般に負荷の要求動力特性は回転数(速度)と共に増大するが, 負荷の特性により比例的だったり, べき乗に比例する等の場合がある. 自動車の場合は比例的な特性になる.

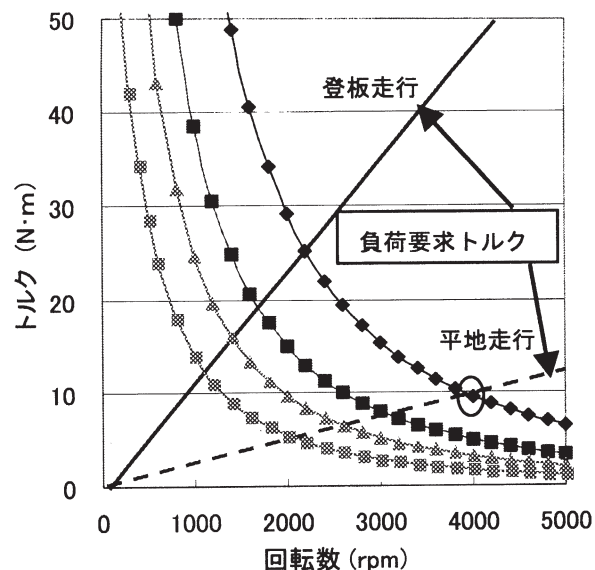


図12 原動機と負荷の動力特性

図12において, 平地走行時には破線の要求性能になり, これと交差する原動機の特性格線上で釣り合って動作する. モータ電圧が70Vで平地走行の場合は, $N=4000$ (rpm), トルク=10(N·m)付近(○印)で動作することになる.

なお, 対象とする車の要求動力特性はまだ得られていないので, この項についての詳細は今後検討することになる.

5. まとめ

学科象徴物である電気自動車「お理工カー」用駆動モータの動力性能を計算した. 基礎的な実験から種々の定数を求め, 基本特性から動力性能としての速度(回転数)対トルク特性を計算により求めた. これにより, 電気自動車用原動機としてのモータの性能評価が可能となり, コントローラ的设计に反映させることが出来る.

6. 今後の課題

車体側が必要な動力特性を得て, 車全体としての動力性能(車速対トルク特性)を求める必要がある. また, ここで計算された値を実験によって確認することも必要であるが, これには動力計(ダイナモメータ)が必要になる.

本研究は2008年度卒業研究として実施したものである. 担当した卒研生の大石哲也君, 児玉光功君の努力に感謝致します.

参考文献

- 1) 恩田 一; “マイコンによる電気自動車用モータ駆動システム”, 静岡理工科大学紀 Vol.16, P1-6(2008年)
- 2) ゼロススポーツ社; “エレクシードRS整備解説書”
- 3) ゼロススポーツ社; “エレクシードRSカタログ”

電気自動車における 干渉波雑音回避無線通信の検討

A signal transmission method used in an electric vehicle

郡 武治*, 野末 知宏**
Takeharu KOHRI and Tomohiro NOZUE

Abstract:

We proposed three signal transmission methods which are able to resist the interference noise formed by the electric vehicle. The interference noise is generated with the components of the electric vehicle such as an inverter or motor.

1. はじめに

近年、電気自動車は、化石燃料（ガソリン・軽油など）に依存せず、環境にやさしい車として、今後急速な普及があるものと予測される。しかし、電気自動車は電動機を駆動させることから、大電流を発生させるインバータまたはコンバータが用いられ、大電流が IGBT などによりスイッチングされ、生成されるため、それにより発生するインパルス性雑音はさけられない^{[1][2]}。雑音（ノイズ）は、他の電子機器や通信に影響を及ぼすことがある。今後、電気自動車に付属の機器や受信アンテナをつけることになり、いっそう雑音の影響を受ける。したがって、雑音の発生や侵入を防ぐための EMC 対策（雑音の正体を知り、発生を低くしたり、雑音の影響を受ける側の耐ノイズ性を高くしたりすることを考える対策）が重要になっている。

本研究は、電気自動車から発生する干渉波雑音の性質を解析し、その雑音を回避する無線通信方法を提案するものである。

2. EMC 対策について

エレクトロニクス社会の発展に避けては通れないのがノイズ（雑音）問題である^{[3][4]}。その中で電子化が進む自動車は、自動車のさらなる安全性・快適性・省エネ化を考える上で、ノイズ問題の解決なくして達成されない。

ノイズ問題というのは、無線通信が干渉や妨害を受け、ラジオやテレビの受信障害といった RFI（無線周波干渉）がメインである。加害者と被害者が比較的はっきりしていて、ノイズの発生源もかぎられていた。ところが、トランジスタや IC を利用した電子機器が広く普及すると、ノイズ問題は社会全体に拡大し、電波を出すつもりでない電子機器から出るノイズなどは通信、他の機器、またはその機器自身などに影響をおよぼすことがある。電子機器はノイ

ズの被害を受けるだけでなく、自らもノイズの発生源となっていることが問題化してきた。さらにデジタル技術が急発展したころ、オートマ車が急停車・急発進したり、電車のドアがいきなり全開したり、産業ロボットが人身事故を起こしたりなど、電子回路の誤動作によるトラブルが頻発するようになった。

そこで RFI を発展させた EMI（妨害波を抑えるエミッション対策）に加えて、EMS（電磁環境に強くなるノイズ耐性向上）という概念が生まれた。この EMI と EMS の双方を両立させようというのが EMC（電磁的両立性）である。「他のシステムにノイズ障害を与えず」かつ「他のシステムからノイズの影響を受けず」という考え方にもとづくのが EMC 対策である。

3. 電気自動車における主な雑音源

図 1 に電気自動車における主な雑音源を示す。

図 1 より雑音の発生源についてみると、まずインバータ又はコンバータから発生する大電流 PWM 信号による雑音があり、モータ（DC モータ、同期モータ）ブラシ等からの雑音がある。

インバータ又はコンバータは、IGBT の高速スイッチングにより、雑音が発生する。モータは、ブラシとコミュテータによる電気の整流で回転が持続する。つまり電気の流れが切り替わるため、その時にスパークが発生しそれが雑音の原因となる。

2009年3月16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 卒業生

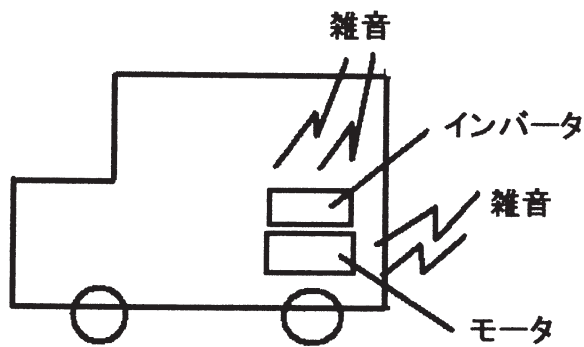


図 1 電気自動車における主な雑音源

3. 本研究の実験構成

3.1 干渉波雑音の測定構成

図 2 に測定系の構成を示す。

電気自動車を走らせ、雑音をキャッチするダイポールアンテナを設置し、雑音レベルを表示するスペクトルアナライザで測定した。ダイポールアンテナを使用したのは指向性がよく、周波数特性が良いためである。

スペクトルアナライザをセットし、電気自動車の電源を入れ、アクセルを踏み、時速約 10km で走行し、ダイポールアンテナの前を通り、アクセルを離し、車を停止させ、電気自動車の電源を切った。電源を入れる前、入れた後、アイドリング中、走行中の雑音レベルの変化を調べた。

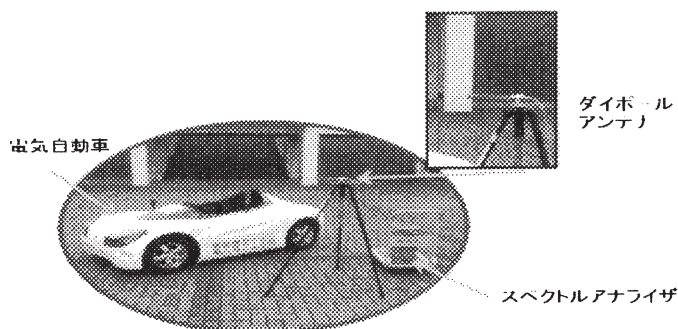


図 2 測定系の構成図

3.2 電気自動車が発する干渉波雑音の測定結果

図 3 は横軸を時間、縦軸を雑音レベルで示す。

エンジンを始動させる（電気自動車の電源を入れる）と、電装機器などから発生する雑音により、雑音レベルが約 15dB 大きくなる。さらに、アクセルを踏むと、動力部のインバータやコンバータに用いられる PWM 信号に起因するインパルス性高周波雑音により、さらに 20dB ほど雑音レベルが大きくなり、走行中は一定となる。そして、アクセルを離すと雑音レベルは下がり、エンジンを止める（電気自動車の電源を切る）と雑音レベルは元に戻る結果となった。この大きな雑音は、電気自動車動力部より発生するもので、スイッチングに起因するインパルス性雑音である。

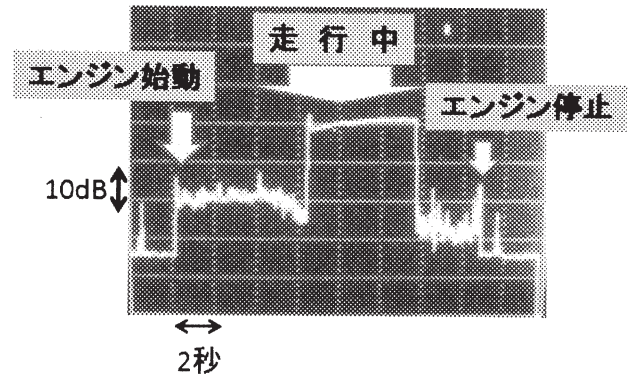


図 3 エンジン始動から走行までモニタした干渉波雑音

図 4 は測定雑音を周波数解析したものである。

0~400MHz の帯域で 200MHz のところを拡大し、干渉波雑音を詳しく観測すると、広帯域で 10kHz 間隔の周期を持ったインパルス性雑音が発生していることがわかる。

これは、大電流を発生させるためのインバータやコンバータが、このタイミングで PWM 信号を発生させているため、このようなインパルス性雑音が発生していると考えられる。PWM 信号によるスイッチングは、立ち上がり、立ち下がり特性が鋭いほど、半導体内における電力ロスが少ない。したがって、大きな高周波成分を持つインパルス性雑音が発生することになる。

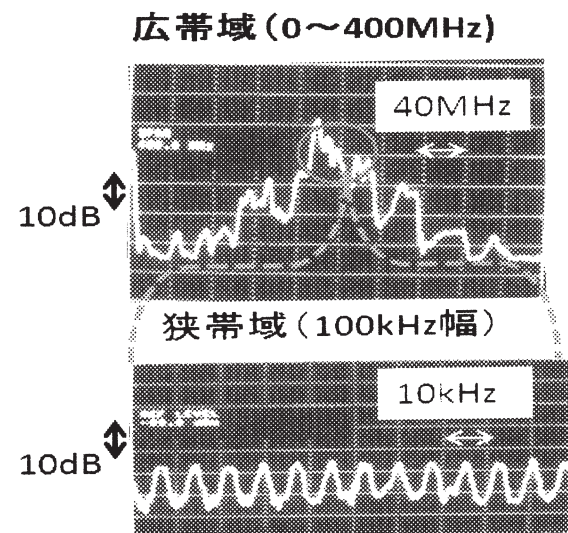


図 4 周波数軸上で見たときの干渉波雑音

3.3 測定した雑音の特徴

二つの測定結果より雑音の特徴は、広帯域雑音で等間隔な周波数スペクトラムの周期的なインパルス性雑音であること、モータが動いている時（大電流が流れている時）にインパルス性雑音が発生し、雑音レベルが約 20dB 大きくなることがわかった。

4. 無線伝送方法の提案

測定した雑音の特徴より干渉波雑音に強い無線伝送法を3つ提案する。

(1) インパルス性雑音と無線伝送信号の周波数スペクトラム

図5に構成図を示す。

横軸を周波数軸上で示し、インパルス性雑音のラインスペクトラム間(インパルス性雑音の間)の周波数帯を用いて、インパルス性雑音が発生していないところを使って無線伝送を行う方法である。

PWM信号発生のためのキャリアAを取り出し、これに同期したキャリア $Ax(n+1/2)$ の周波数を持つ無線信号キャリアBを生成し、無線通信を行なう。変調速度は、キャリアAの1/2以下になる。

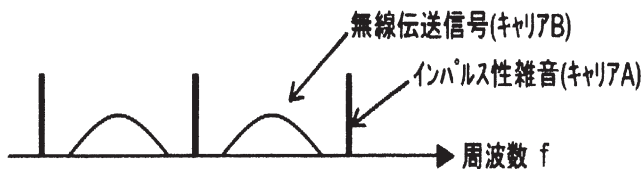


図5 インパルス性雑音と無線伝送信号の周波数スペクトラム

(2) FIRによるノッチ型くし型フィルタの構成と通過帯域特性

図6に構成図を示す。

横軸を周波数軸上で示し、FIRを用いたノッチ型くし型フィルタを使い、特定の周波数帯域を指定し、インパルス性雑音をカットする方法である。PWM信号生成キャリア周波数の整数倍に発生するラインスペクトラムを同時にノッチ型くし型フィルタによって除去することができる。

ノッチ型フィルタとは、ある特定の周波数帯域のみを阻止し、設定したカットオフ周波数付近以外を通すフィルタであり、くし型フィルタとはカットする箇所をいくつも設定するフィルタである。

右の図はノッチ型くし型フィルタの等価回路である。

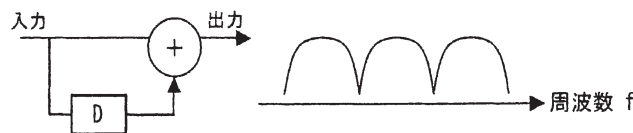


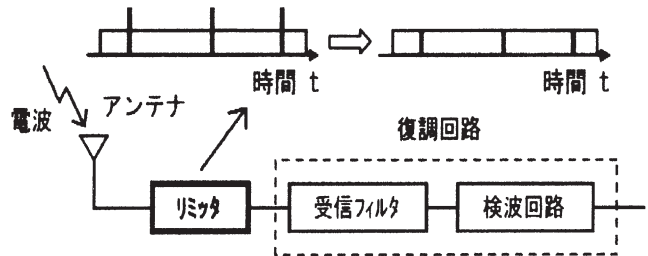
図6 FIRによるノッチ型くし型フィルタの構成と通過帯域特性

(3) リミッタによるインパルス性雑音除去と受信機の構成

図7に構成図を示す。

横軸を時間軸上で示し、リミッタによって雑音の上部分をけずり、インパルス性雑音を抑圧する方法である。

広帯域において、インパルス性雑音のレベルは無線受信



信号レベルに比べ数十dB大きい。このため、規定レベル以上の信号を圧縮するリミッタを設け、このリミッタによりインパルス性雑音を圧縮したあとに通常の受信フィルタと復調回路による復調を行なう。

図7 リミッタによるインパルス性雑音除去と受信機の構成

5. まとめ

今回は、電気自動車から発せられる干渉波雑音を実測し、測定した雑音の特徴を解析した。干渉波雑音の特徴として、駆動時の大電流が流れる時に雑音が発生し、広帯域で周期的なインパルス性雑音が発生した。

そして、その干渉波雑音に強い無線伝送法を3つ提案した。干渉波の少ない周波数帯を使って、無線伝送を行う方法、FIRを用いたノッチ型くし型フィルタにより干渉雑音を除去する方法、リミッタによってインパルス性雑音を抑圧する方法、以上3つを提案した。今後は、これらの無線伝送法を行い、理論とおりに雑音が除去されるのか、軽減されるのか実証していきたい。

<参考文献>

- [1] 堀、寺谷、正木、“自動車用モータ技術”日刊工業新聞社、2007
- [2] “電気自動車ハンドブック”、編集委員会 丸善株式会社、2001
- [3] <http://www.tdk.co.jp/techmag/index.htm>
- [4] <http://emc.nict.go.jp/general/general.html>
- [5] 野末 知宏、“電気自動車における干渉波雑音回避無線通信の検討”2008年度卒業論文
- [6] 野末、郡、“電気自動車における干渉波雑音回避無線通信の検討”電子情報通信学会ソサエティ大会、BS-5-36、2008

2つの学習ループを持つ繰返し制御による トルク脈動抑制制御法—加速度センサ利用—

Suppression Control Method for Torque Ripple of PMSM with two Repetitive Controllers
- Using Acceleration Signal of Motor Frame -

服部 知美*
Satomi HATTORI

Abstract : Variable speed drive systems of the servo motor with PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motors) have been widely used for industry applications, home electric appliances, and so on, due to the progress of the power electronics. Moreover, it is used in the fields where the high speed and high accuracy control is required, because the PMSM can realize the same high performance DC motor. However, structural imperfectness of PMSM and its control system produce torque ripple, which causes the mechanical vibration (frame vibration), the rotational speed ripple, the acoustic noise and so on.

In this paper, we propose a suppression control method for the torque ripple of PMSM utilizing the feedforward compensation control, and a generation method of compensation signals for the feedforward control by the repetitive control and the Fourier transform, using a vibration signal acquired by the acceleration sensor attached to the motor frame. In the proposed system, only one frequency component of the torque ripple signal is inputted to the repetitive controller, the stability of the repetitive control system can be improved. The effectiveness of the proposed method is confirmed by experimental results.

1. はじめに

近年の電力変換・制御技術の進歩や永久磁石材料の性能向上, 制御装置を構成する部品の価格低下により, 保守性・制御性・耐環境性に優れ, 小型化・高効率運転が可能である永久磁石型同期モータ (PMSM : Permanent Magnet Synchronous Motors) の適用範囲が拡大している。特に, 中小容量機においての PMSM を用いた AC サーボシステムは急速に普及し, 産業用・家電用として数多く使用されている。

PMSM は 3 相電機子電流の合成ベクトルを永久磁石の磁束ベクトルに直交させることにより, 高性能なトルク制御を実現することができる。しかし, 以下に記述するようなトルク脈動が発生することが知られている^{[1]-[3]}。

1. 界磁磁極の構造上, 界磁の空間分布に高調波が存在するために発生するトルク脈動
2. 磁極の突極性により発生するコギングトルク
3. PWM インバータの上下アームの短絡防止時間に起因するトルク脈動

4. 電流検出回路のアナログ処理部での各相アンプのゲインの不均衡やオフセットにより発生するトルク脈動

その結果, これらのトルク脈動と機械系の構造により, 様々なモードの振動が発生し, 騒音の発生や機械特性の劣化, さらには, 速度変動により制御精度の悪化の原因となることがある。

トルク脈動の対策として, 制御による対策^[4], モータ本体に施す方法^{[5], [6]}等が報告されているが, ばらつきがある個々のモータに対して, 十分なトルク脈動補償を行うにはさらなる微調整が必要となる。

筆者らはこれまでに, PMSM (SPMSM : Surface Permanent Magnet Synchronous Motors, IPMSM : Interior Permanent Magnet Synchronous Motors) が発生するトルク脈動のうち機械系や負荷にとって特に有害な周期的なトルク脈動に焦点をあて, そのトルク脈動をフィードフォワード補償信号によって抑制する制御系を基本として, それに用いる補償信号をモータフレーム振動 (加速度センサ利用) あるいは速度脈動 (エンコーダ利用) とフーリエ変換, 繰返し制御を利用した学習制御により獲得する方法について検討してきた^{[7], [8]}。しかしながら, 本手法では 1 つの振動 (トルク脈動) 成分ごとに補償信号の学習, 保存 (メモリ化) を

行うため、全成分に対する補償信号の獲得に時間を要する。複数の成分に対する補償信号の同時学習が可能になれば、補償信号の獲得時間を短縮することができるが、同時に学習できる成分の個数は、DSP システムの能力に依存する。

本論文では、今までに提案してきた手法のアルゴリズムを改良し、2つの振動（トルク脈動）成分に対する補償信号同時学習を可能にするシステムを検討し、本手法の有効性を実機実験により確認する。

2. トルク脈動抑制制御系

電流制御系および加速度センサ、フーリエ変換および繰返し制御を基本としたトルク脈動抑制制御系の構成図を図1に示す。なお、本論文ではSPMSMを用いる。また、フレーム振動を抑制することによりトルク脈動が抑制されているかを確認するために、トルクメータを観測用に用いる。本制御系では、SPMSMの界磁が作る磁束の方向を d 軸とし、それよりも $\pi/2$ 進んだ位相に q 軸をとる。SPMSMは電流制御ループによって制御され、指令電流値 i_{qcmd} にほぼ比例するトルクが発生する。

ここで、 α_F はフレーム振動、 α_{F_n1} 、 α_{F_n2} は α_F の nf 振動成分（モータ駆動周波数 f の n 倍の周期で発生する振動成分）、 i_{qc_n1} 、 i_{qc_n2} はそれぞれ α_{F_n1} 、 α_{F_n2} に対する補償信号、 θ_{re} は回転子の回転角度、 T_r はフーリエ変換および繰返し制御の周期である。以下に、各部について説明する。

2.1 トルク脈動検出

SPMSM 駆動時には、1章で説明したように、制御系の特性や不完全性、回転子構造の形状などによって、モータ回転速度に同期した周期的なトルク脈動が発生する。このトルク脈動は、回転子に速度脈動を与えると同時に、モータフレームに反作用トルクとして働き、フレームに振動を引き起こす。したがって、フレームに取り付けた加速度センサによって検出される信号を用いて、フレーム振動を直接的に抑制すれば、振動の原因となる周期的なトルク脈動が抑制されると同時に、間接的に回転子速度脈動をも抑制することができると考えられる。

トルク脈動に起因するフレーム振動は、機械系の特性により様々な方向に発生する。加速度センサの取り付け位置および方向は、トルク脈動に起因する振動が発生する場所で、機械的な特性を考慮して決定する。加速度センサの信号には、高周波ノイズが含まれているので、ローパスフィルタ

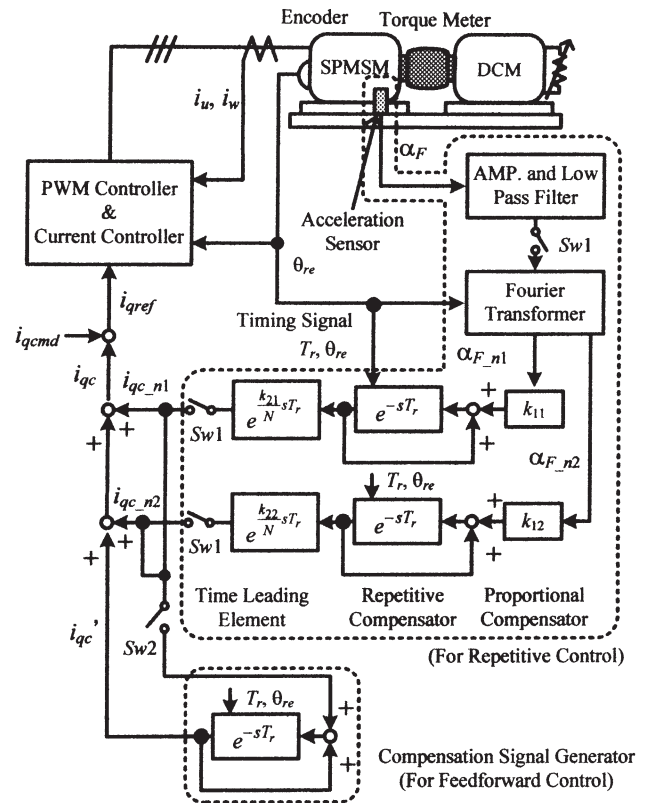


図1 トルク脈動抑制制御系構成図

に通して除去する。

図2にSPMSM駆動時に発生するモータフレーム振動とトルクをFFT解析装置により解析した結果の一例を示す ($f=12.5\text{Hz}$)。同図より、トルク脈動に起因する振動を含め、種々の振動が発生していることがわかる。

2.2 フーリエ変換による特定振動成分抽出

SPMSM 駆動時のモータフレームには、トルク脈動に起因する振動成分のみならず、外部からも様々な振動力が加わるため、フレームに取り付けた加速度センサから検出される信号には、様々な振動成分が混在する。さらに、機械系の特性が複雑であるシステムでは、全ての周波数成分に対して繰返し制御系を安定に動作させるのは不可能である^[9]。そこで、フーリエ変換により、検出信号（振動加速度信号）からトルク脈動に起因する周期的な振動成分のみを抽出し、振動成分ごとに繰返し制御を実行する。

一般に、振動（トルク脈動）の周期は電源周波数と一致するとは限らず、整数倍となる場合があるので、振動の周期を $T_r (= N_r T)$ ($T=f^{-1}$) とする。例えば、 $N_r=2$ の場合、振動の周波数成分は $0.5f, 1f, 1.5f, 2f, \dots$ となり、 $0.5f$ が振動の基本波である。加速度センサにより検出されるモータフレーム信号 $\alpha_F(t)$ が(1)式のようにフーリエ級数で表

わされるとすれば、そのフーリエ係数 a_n, b_n はそれぞれ(2), (3)式によって与えられ、 nf 振動成分 $\alpha_{F_n}(t)$ は(4)式で表わされる。ただし、 $n = m/N_r$ ($m = 1, 2, 3, \dots$)である。したがって、(2)~(4)式を利用すれば、様々な振動成分が混在する振動加速度信号から特定の振動成分のみを抽出することができる。

$$\alpha_F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

$$a_n = \frac{2}{T_r} \int_0^{T_r} \alpha_F(t) \cos(n\omega t) dt \quad (2)$$

$$b_n = \frac{2}{T_r} \int_0^{T_r} \alpha_F(t) \sin(n\omega t) dt \quad (3)$$

$$\alpha_{F_n}(t) = a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) \quad (4)$$

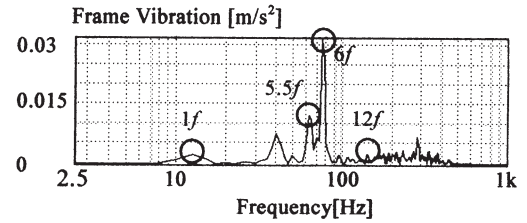
本研究では、上述の演算を DSP (デジタルシグナルプロセッサ) を用いてリアルタイムで実現する。振動加速度信号は A/D 変換ボードを用いて DSP に入力される。また、本論文で提案する手法では、2つの振動成分に対して同時に補償信号学習を行うため、フーリエ変換により2つの振動成分 $\alpha_{F_n1}, \alpha_{F_n2}$ を同時に抽出する。

2.3 繰返し制御系

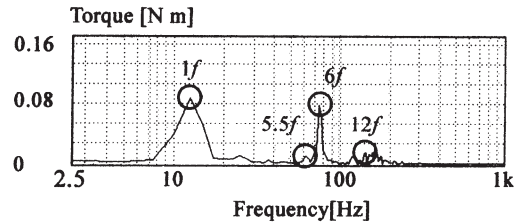
本研究では、モータの回転に同期する周期的なトルク脈動抑制を目的としているので、周期的振動の抑制に有効な制御法である繰返し制御を利用する。ここで、繰返し制御系の周期をフーリエ変換の周期と同じく T_r とする。

図1中、補償信号学習ループの繰返し制御器では、加速度センサおよびフーリエ変換器で検出された nf 振動成分 $\alpha_{F_n1}(\alpha_{F_n2})$ を補償するように、 q 軸補償信号 $i_{qc_n1}(i_{qc_n2})$ を θ_{re} の関数として発生させる。この補償信号により、フレーム振動が減少する方向の振幅・位相で電流指令値 i_{qref} が変調される。比例補償器の定数 $k_{11}(k_{12})$ は振動 $\alpha_{F_n1}(\alpha_{F_n2})$ の減衰特性を決定し、時間進み補償の定数 $k_{21}(k_{22})$ は $k_{11}(k_{12})$ の符号と合わせて補償信号の位相を調整し、繰返し制御系を安定化させるものである。補償信号 $i_{qc_n1}(i_{qc_n2})$ の生成過程の原理図を図3に示す。補償信号 $i_{qc_n1}(i_{qc_n2})$ は繰返し制御が実行されると(図1中の Sw1: オン)、 nf 振動成分 $\alpha_{F_n1}(\alpha_{F_n2})$ の減衰とともに徐々に形成される。なお、繰返し補償器はメモリ特性を持つ補償器であるため、Sw1 をオフにしても安定した補償信号を出力する。

本研究では、繰返し補償器を DSP で実現する



(a) FFT Analysis for Motor Frame Vibration



(b) FFT Analysis for Motor Torque

図2 モータフレーム振動およびトルク FFT 解析結果 (SPMSM 駆動時)

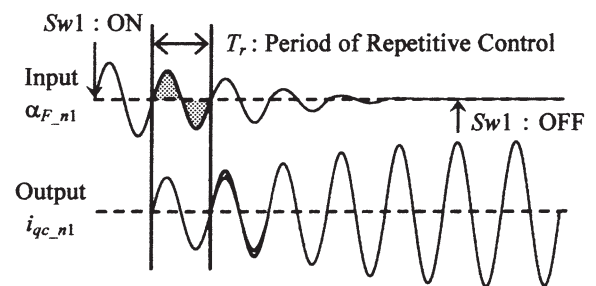


図3 繰返し制御による補償信号生成過程 (原理図)

ため、それを離散値系 (メモリ数 N) で設計する。また、フーリエ変換および繰返し制御を実行する上で必要なタイミング信号として、回転子の磁極位置情報 θ_{re} を用いる。

2.4 補償信号発生器

図1に示すトルク脈動抑制制御系では、繰返し補償器 (メモリ) を補償信号学習のための繰返し補償器 (2.3 節) としてだけでなく、学習した補償信号を格納し、それをフィードフォワード補償信号として出力する補償信号発生器としても使用する。

補償信号学習時には (図1中の Sw1: オン)、フーリエ変換により抽出された2つの nf 振動成分 $\alpha_{F_n1}, \alpha_{F_n2}$ に対して繰返し制御が実行され、振動抑制と同時に補償信号が生成される。この補償信号は、繰返し制御の1期間 Sw2 をオンすることにより補償信号発生器のメモリに加算書き込みされる。その直後に Sw1 をオフすると同時に、繰

返し制御中の補償信号をクリアする。この動作をトルク脈動抑制を必要とする 2 つの成分ごとに繰り返すことによって、補償信号発生器の中に選定したすべての振動成分（トルク脈動成分）を同時に抑制する補償信号が生成される。その補償信号をオープンループで用いて（補償信号発生器のみ使用； $Sw1, Sw2$ ：オフ）フィードフォワード制御を実行することにより、複数の振動成分（トルク脈動成分）を同時に抑制することが可能である。また、必要に応じて一部のトルク脈動成分に対して繰返し制御を再開し、補償信号を更新することができる。

なお、得られた補償信号をモータの動作点を特定するデータと共に保管しておけば、本補償信号発生器のみを利用したフィードフォワード補償トルク脈動抑制制御が実現できる。ただし、補償信号を出力するタイミング信号として、磁極位置情報 θ_{re} を用いる。

3. 実験結果

実験システムとして用いた機械系システムを図 4 に示す。SPMSM と負荷用 DCM は同一フレーム上に固定し、そのフレーム上に加速度センサを取り付けた。また、フレーム振動を抑制することによりトルク脈動が抑制されているかを確認するために、トルクメータを観測用に用いた。実験パラメータを表 1、繰返し制御系のパラメータを表 2 に示す。なお、フーリエ変換、SPMSM 駆動、繰返し制御を行う上で必要なモータ磁極位置を検出するために、ロータリーエンコーダを用いた。

3.1 繰返し制御によるトルク脈動抑制

図 1 に示すトルク脈動抑制制御系を $Sw1$ ：オン、 $Sw2$ ：オフの状態を用いて、 $1f, 6f$ トルク脈動成分に対して補償信号を学習しながら、それらを抑制する実験を行った。その結果を図 5 に示す。図 5(a), (b) はそれぞれトルク脈動抑制制御前および制御中のフレーム振動、 $1f, 6f$ 振動成分、 $1f, 6f$ 補償信号、 u 相電流の各波形である。図 6 に制御前

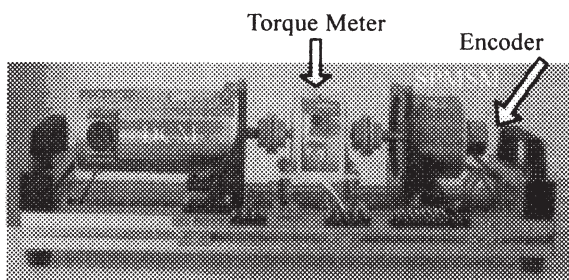


図 4 実験システム

表 1 供試パラメータ

SPMSM			
定格電圧	100[V]	極対数	4
定格電流	2[A]	R_a	1.25[Ω]
定格容量	350[W]	L_a	0.004[H]
定格回転数	2500[rpm]	Φ_a	0.056[Vsec/rad]
DCM (負荷)		インバータ	
定格電圧	100[V]	キャリア	10[kHz]
定格電流	4.8[A]	電源電圧	80[V]
定格回転数	2500[rpm]	制御周期	100[μ sec]
電流制御系		DSP (PE-Expert II)	
i_{qcmd}	1.5[A]	CPU	150[MHz]
f	12.5[Hz]	PWM	25[MHz]
定常トルク	0.40[Nm]		
エンコーダ	4096[pulse/rev.]		
トルクメータ	0.96mV/V(1900 $\times 10^{-6}$ ひずみ)		
加速度センサ (感度)	10[mV/(m/s ²)] ± 1 [dB]		

R_a ：巻線抵抗, L_a ：巻線インダクタンス
 Φ_a ：巻線鎖交磁束数
 PE-Expert II：マイウエイ技研株式会社製

表 2 繰返し制御系パラメータ

メモリ数： N	480	
制御周期： T_r	$4T (T = 1/f)$	
比例補償器： $k_{11} (k_{12})$	0.0005	
時間進み補償器： $k_{21} (k_{22})$	$1f$	0
	$5.5f$	10
	$6f$	5
	$7.25f$	4

および制御中のフレーム振動とトルクを FFT 解析装置により解析した結果を示す。

図 5(a)より、フレーム振動から $1f, 6f$ 振動成分がフーリエ変換により抽出されていることがわかる。同図(b)より、 $1f, 6f$ 振動成分を用いて補償信号を学習し、この補償信号を用いて電流を変調することにより、 $1f, 6f$ 振動成分が抑制されていることが確認できる。これらの図より、 $1f, 6f$ 振動（トルク脈動）成分に対する補償信号が同時に学習でき、振動抑制と同時にトルク脈動が抑制されていることが確認できる。

図 6(a)より、 $1f$ 振動成分は多少の変化だが振動成分が抑制されほぼ平らになっていることがわ

かる。6f 振動成分は、制御前には 0.03[m/s²]以上あったが、かなり抑制されていることが確認できる。また、同図(b)より、1f トルク脈動成分は、

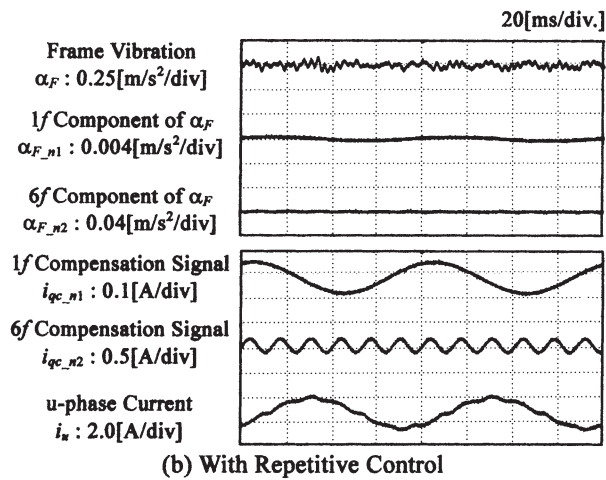
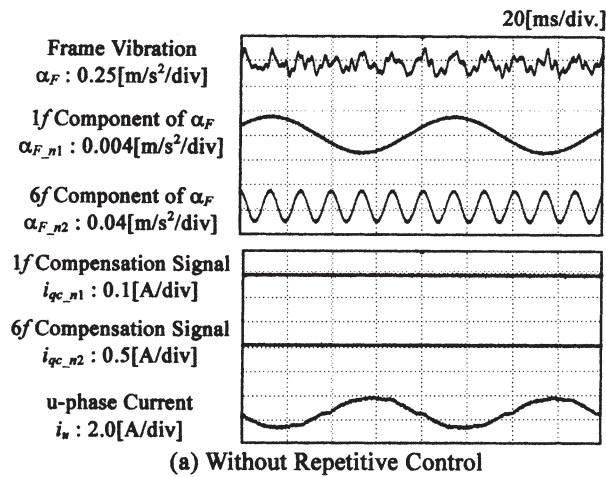
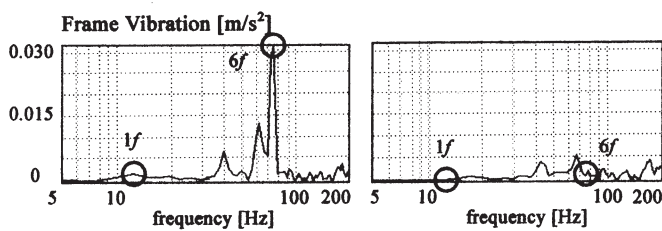
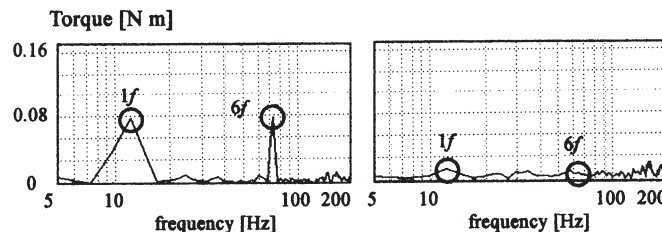


図5 繰返し制御実験結果



(a) FFT Analysis of Frame Vibration



(b) FFT Analysis of Torque

図6 フレーム振動、トルク FFT 解析結果 (繰返し制御実験結果)

制御前には 0.08[N m]程度あったが、かなり抑制されていることがわかる。また 6f トルク脈動成分も同様に抑制されていることが確認できる。

実機実験より、繰返し制御系 (補償信号学習ループ) を2つにしても繰返し制御系は安定に動作し、有効な補償信号が学習できることを確認した。

3.2 フィードフォワード制御によるトルク脈動抑制

2.4 節で説明したように、トルク脈動抑制を必要とする2つの成分ごとに補償信号の学習をし、その補償信号を補償信号発生器に保存した。その補償信号をオープンループで用いる (図1に示すトルク脈動抑制制御系; Sw1, Sw2: オフ) フィードフォワード制御によるトルク脈動抑制制御を行った。トルク脈動抑制対象を、1f, 5.5f, 6f, 7.25f とした場合の結果を図7に示す。なお、本実験では、まず3.1節と同様に、1f, 6f トルク脈動成分に対する補償信号の学習を行い、その補償信号を補償信号発生器に保存後、5.5f, 7.25f トルク脈動成分に対して補償信号の学習、保存を行った。

その結果を図7に示す。図7(a), (b)はそれぞれトルク脈動抑制制御前および制御中のフレーム振動、補償信号、u相電流の各波形である。ここで示す補償信号は4つの成分が合わさったものである。図8にトルク脈動抑制制御前および制御中のフレーム振動とトルクをFFT解析装置により解析した結果を示す。図8(a)より、1f, 5.5f, 6f, 7.25f すべての振動成分が抑制されていることが確認できる。また、同図(b)より、1f, 5.5f, 6f トルク脈動成分は効果的に抑制がされていることが確認できる。しかし7.25f トルク脈動成分は振動

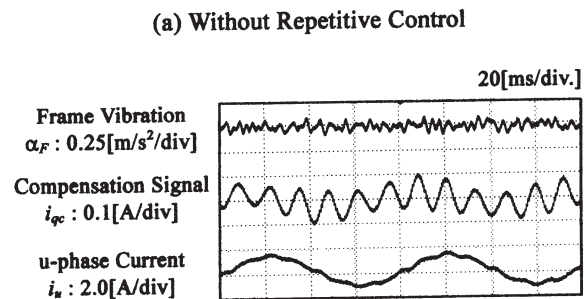
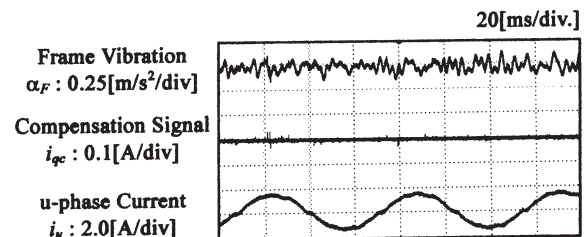


図7 フィードフォワード制御実験結果

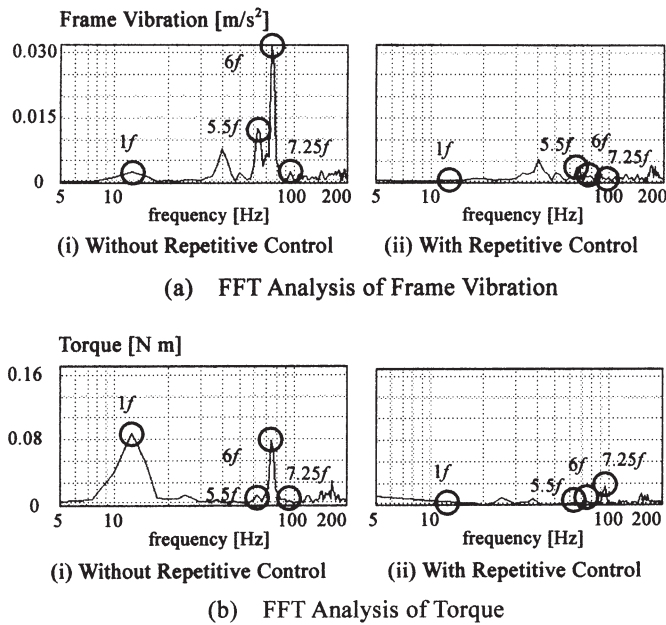


図8 フレーム振動，トルク FFT 解析結果
(フィードフォワード制御実験結果)

成分の抑制とは反対に増加していることがわかる。その一因としては、フレーム振動の発生原因がトルク脈動による成分はフレーム振動を抑制することによりトルク脈動を抑制できると考えられる。しかし反対に、トルク脈動に起因しないと考えられる振動成分は、フレーム振動を抑制するためにトルク脈動が増加するのではないかと考えられる。

4. あとがき

筆者らが今まで検討してきたトルク脈動抑制制御系^{[7], [8]}では、DSP 能力の限界により、複数のトルク脈動成分に対する補償信号の学習は不可能であった。本論文では、従来のアルゴリズムを改良することにより、繰返し制御系（補償信号学習ループ）を2つにすることを検討した。実機実験より、繰返し制御系を2つにしてもトルク脈動抑制制御系は安定に動作し、同時に2つのトルク脈動成分に対して補償信号の学習ができる（同時に2つのトルク脈動成分抑制）ことを確認した。また、補償信号発生器を利用したフィードフォワード制御を行うことにより、3つ以上の振動成分を同時に抑制できることも確認した。繰返し制御系を2つ作成したことにより、1つの場合に比べて補償信号学習時間を短縮することが可能となった。

さらに、フレーム振動を抑制することにより、トルク脈動も抑制されるかを確認するために、ト

ルクの観測を行った。その結果、フレーム振動の発生原因がトルク脈動によると考えられる成分（ $1f$, $6f$ など）は、フレーム振動を抑制することによりトルク脈動を抑制できると考えられる。反対に、トルク脈動に起因しないと考えられる振動成分（ $7.25f$ など）に関しては、フレーム振動を抑制するためにトルク脈動が増加することがわかった。

トルク脈動とフレーム振動の関係性を明らかにし、より効果的なトルク脈動抑制制御システムを構築することが今後の課題である。

謝 辞

本論文は 2007 年度卒業研究のテーマとして行った研究の成果をまとめたものである。担当した卒研生、仲野滋則君、松本展浩君の努力に感謝します。

参考文献

- [1] 神谷，執行，牧野，松井：DSP による同期型 DD モータの高精度トルク制御，電学誌 D, Vol.110, No.2, pp.117/124 (1990)
- [2] 山本，篠原：PWM インバータ駆動 AC サーボモータのデッドタイムを考慮した解析法と電圧誤差補償，電学誌 D, Vol.116, No.9, pp.924/933 (1996)
- [3] 花本，池田，田中，望月：周期性外乱を有するブラシレス DC モータの微小振動抑制制御，電学誌 D, Vol.117, No.3, pp.335/341 (1997)
- [4] 小坂，松井，谷口，百目鬼：リラクタン্সモータのトルク振動抑制法の考察，電学誌 D, Vol.118, No.2, pp.150/157 (1998)
- [5] 梨本，佐竹，河井，横地，大熊：スリット回転子を用いたリラクタン্সモータのトルクリップル低減法，電学誌 D, Vol.117, No.8, pp.1008/1014 (1997)
- [6] 北村，石原，戸高：二次元有限要素法によるスキューを考慮した直流ブラシレスモータの磁界解析，電学誌 D, Vol.118, No.2, pp.253/259 (1998)
- [7] 服部，石田，堀：フーリエ変換を利用した繰返し制御によるブラシレス DC モータのトルク振動抑制制御，計測自動制御学会論文集, Vol.36, No.5, pp.438/447 (2000)
- [8] 服部，石田，堀：フーリエ変換を利用したパラメータ自動調整機能付き繰返し制御による PMSM の振動抑制制御，電学誌 D, Vol.121, No.3, pp.347/355 (2001)
- [9] 蘇，石田，堀：加速度センサを利用した繰返し制御による3相HB形ステッピングモータの振動抑制制御 - フィードフォワード補償信号学習法 - , 電学誌 C, Vol.120, No.1, pp.53/360 (2000)

カウンタによるスリップ制御を用いたビット同期回路の検討

Bit Synchronism Circuit with a Slip Control by a Counter Circuit

袴田 吉朗*

Yoshiro HAKAMATA

Abstract: We have been developed LD-CELP codec programs using C5402 DSPs, or C5510 DSPs. The codec algorithm is based on TTC standard JT-G728. We confirmed the developed programs to work bit exactly according to the algorithm. Total codec system, however, doesn't work well because the fabricated codec system operates on the basis of independent clock frequencies and it is not implemented with bit synchronism circuit. This time, we studied a bit synchronism circuit where a bit slip between a coder and a decoder clock frequencies are controlled by a slip control counter. The counter operates at dozens of higher frequencies more than transmission bit rate. The paper gives a method on how to construct a bit synchronism circuit with a slip control by a counter. Also described is an application of the method to LD-CELP codec.

1. はじめに

本論文では LD-CELP アルゴリズムを適用した音声用コーデックに適用することを目的として、独立したクロックの下で動作する CODER と DECODER 間のビット同期をとる方式に関して検討した結果を述べる。検討したビット同期方式では、DECODER において受信波形の持つクロック周波数の 80 倍の高速クロックで受信波形を多点サンプリングし、カウンタによってスリップ制御を行いビット同期を確立する。

LD-CELP アルゴリズムは TTC 標準の勧告 JT - G728 で規定されている[1]。この方式では音声を 8kHz でサンプリングし、16 ビット量子化した符号を LD-CELP アルゴリズムに基づいて符号化処理を行い 16kb/s に圧縮したコードブックインデックス ICHAN に変換して伝送する。高い圧縮率が実現できる上に、予測器とフィルタ利得の係数の演算にバックワード適用を使用して 625 μ s の低遅延を実現している。

筆者らは、固定小数点 DSP を搭載した市販の DSP ボード C5402DSK を使用してこの LD-CELP アルゴリズムを適用した音声用コーデックの開発を行ってきた。CODER および DECODER プログラムを C 言語およびアセンブリ言語を用いて開発し、このプログラムをパソコンから DSP ボード上の RAM に書き込んで動作させ、CODER および DECODER がアルゴリズム通りに正しく動作することを確認した[2]–[3]。

また、CODER および DECODER を組み込みシステムとして単独動作させるために、開発したプログラムを C5402DSK 内の FLASH ROM に書き込んでおき、電源投入時にそのプログラムを RAM にロードして動作させる、いわゆる ROM 化についての検討を行った[4]。この結果短いプログラムについては ROM 化を実現することができたが、C5402 DSP の内蔵している RAM 容量が CODER および DECODER を実現するには十分ではなく、そのため CODER および DECODER を実現するまでには至らなかった。

そこでより高速で大容量メモリを搭載した C5510DSK を適用して CODER および DECODER を実現するための検討を引き続き進めてきた。具体的には C5510DSK ボードにおけるクロック、AIC23 コーデック、McBSP、DMA などの設定について精査し、C5510DSK の各種設定プログラムを作成した。また C5402DSK で開発した CODER/DECODER プログラムの C5510DSP への移植を進め、C 言語で開発したプログラムはもとより、アセンブリ言語で開発したプログラムの移植も含めてプログラム自体はビットエグザクトに動作することを確認した。さらに ROM 化の方法についても検討し、ROM 化した CODER および DECODER を用いて対向試験を実施してみた。しかしながら CODER と DECODER が独立したクロックの下で動作している状況であり必然の結果として音声を正しく復号することができなかった。この経緯については文献[5]において詳細に報告した。

以上の経緯から、本論文では独立したクロックの下で動作する CODER と DECODER 間のビット同期をとる方法を検討した。まず伝送路フォーマットを今までに検討してきたフォーマットに併せた CODER/DECODER のレイヤ 1 システムを構築するために VHDL でプログラムを作成し、CPLD (サイプレス社 CYC374i100JC) を用いて試作した。検討したレイヤ 1 システムは、受信波形を受信波形の持つクロック周波数の 80 倍の高速クロックで多点サンプリングし、カウンタによってスリップ制御を行い、ビット同期を確立する方式である。23 段 PN 符号を用いて試作したシステムの符号誤り率を測定し、10 時間の観測においてエラーフリーを確認した (3.5×10^9 に相当)。これより本ビット同期方式の有効性を検証できたものと考えている。

引き続き、検討したビット同期方式の LD-CELP コーデックへの具体的な適用についての検討結果を示した。

以下本論文では一連の検討結果について述べる。

2. LD-CELP 方式 CODEC の概要

2.1 CODER および DECODER のシステム構造

CODER のシステム構造図を図 2.1 に、DECODER のシステム構造図を図 2.2 に示す。

2009 年 2 月 17 日受理

*理工学部 電気電子工学科

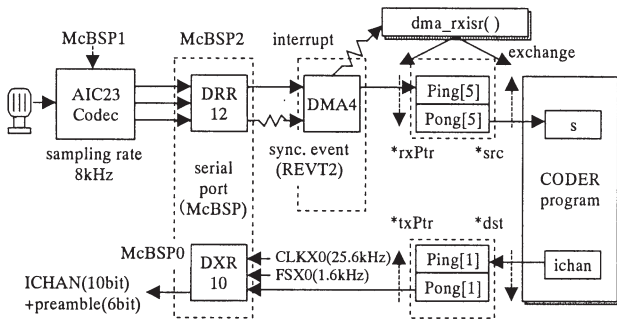


図 2.1 CODER のシステム構造図

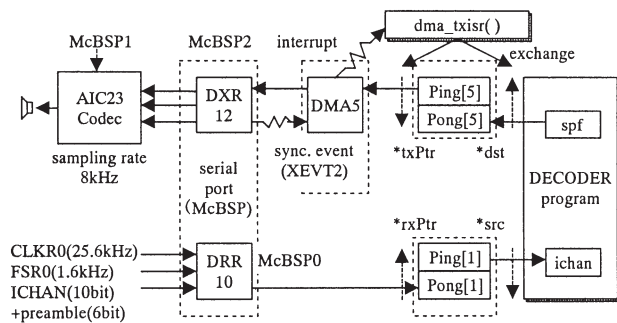


図 2.2 DECODER のシステム構造図

C5510DSK には DSP のシリアルポート (McBSP : マルチチャネル・バッファード・シリアルポート) が3チャンネルある。いずれも SPI インタフェースになっている。

McBSP1 はマルチプレクサ (SN74CBT3257) を介して AIC23 コーデックと外部 I/F に配線されている。デフォルトでは MISC レジスタの MCBSP1SEL ビットが0に設定されている。これより McBSP1 は AIC23 コーデックの制御チャンネル(SPI マスター)として設定され、AIC23 コーデックの各種設定に使用される。

McBSP2 はマルチプレクサ (SN74CBT3384) を介して DSP 外部と接続されており、接続先を AIC23 コーデックまたは高インピーダンスに設定できる。デフォルトでは MISC レジスタの MCBSP2SEL ビットが0に設定されており、McBSP2 は AIC23 コーデックのデータチャンネルに接続されている。

McBSP0 はバッファ (SN74CBT3384) を介して外部 I/F に接続されている。CODER では符号語 ICHAN 出力用のデジタルインタフェースとして使用する。伝送路クロック 25.6kHz および 1.6kHz のフレーム信号は、タイマー割り込みを用いて DSP クロックから生成する。

DECODER では符号語 ICHAN 入力用のデジタルインタフェースとして McBSP0 を使用する。CODER と同じように 25.6kHz クロックと 1.6kHz のフレーム信号はタイマー割り込みを用いて DSP クロックから生成するが、このとき CODER におけるクロックと、DECODER におけるクロックの周波数偏差に基づくスリップを防止する必要がある。

2.2 伝送路フォーマット

勧告 JT-G728 では符号語 ICHAN を単純に 16kb/s のビットストリームにして伝送するようになっている。しかしこの方法は

非常に取扱いが難しいので、筆者らは符号語 ICHAN に 6 ビットのプレアンブルパターン 101010 を付加した独自の伝送路フォーマットを用いて検討を行ってきた[3]。このフォーマットを図 2.3(b)に示す。このフォーマットは McBSP0 と伝送路のインタフェースであり、CODER/DECODER 間における 25.6kHz クロックのビット同期を確立しておく必要がある。

図 2.3(a)は McBSP2 と AD/DA 変換器間のインタフェースである。16 ビット×2 のステレオ音声が一バースト伝送される。

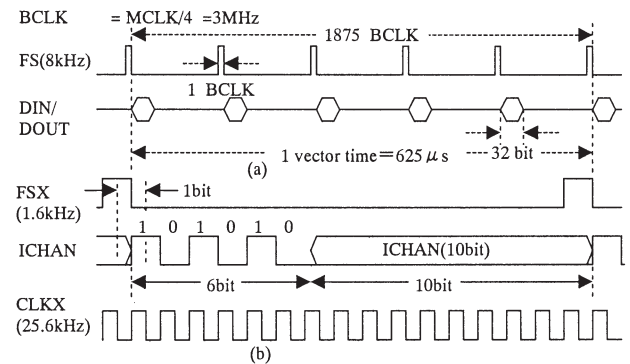


図 2.3 CODER-DECODER インタフェース

3. カウンタによるスリップ制御を適用したビット同期回路

3.1 概要

送信部では符号語 ICHAN に模擬した入力 PN 信号を 10 ビット毎に区切り、6 ビットのプレアンブルパターンを付加し、16kHz → 25.6kHz に速度変換して図 2.3(b)の伝送路フォーマットに組み立てて送信する。8192kHz の水晶発振回路の出力を分周して 25.6kHz および 16kHz のクロックを作成している。16kHz クロックは、パルス発生器の EXT 入力端子に加え、8192kHz のクロックと同期の取れた PN 信号を発生させる。

図 3.1 に受信部の構成図を示す。受信部は、カウンタによりスリップ制御を行って独立クロックで動作する送受信回路のビット同期をとり、またプレアンブル同期をとってフレーム信号を生成する (bit_frame_douki)。プレアンブル除去回路 (vconv_rx) ではプレアンブルを除去し送信された PN 信号を取り出す。クロック源は送信部と同じく 8192kHz の水晶発振回路であり、こ

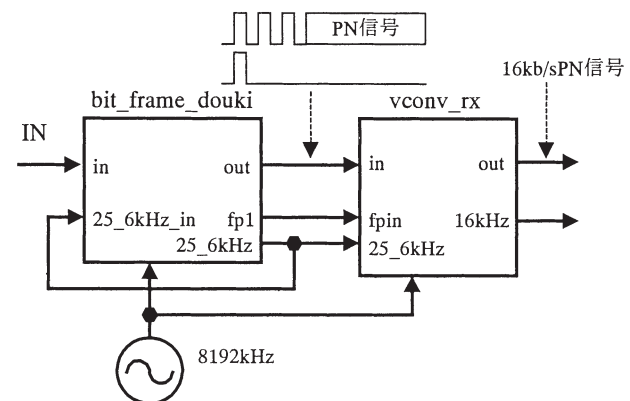


図3.1 カウンタによるスリップ制御を適用したビット同期回路の構成図

れを 4 分周した 2048kHz クロックで動作させている。実際に LD-CELP 方式コーデックで必要になるのは bit_frame_douki 回路であり、vconv_rx 回路は bit_frame_douki 回路の特性を評価する目的で試作したものである。

3.2 ビット同期回路の動作

図 3.2 に検討したビット同期回路のブロック図を示す。また図 3.3 はこの回路のタイミングチャートである。

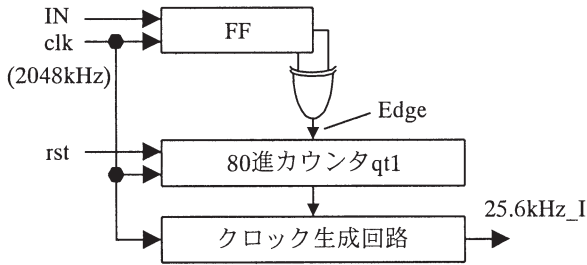


図3.2 ビット同期回路のブロック構成

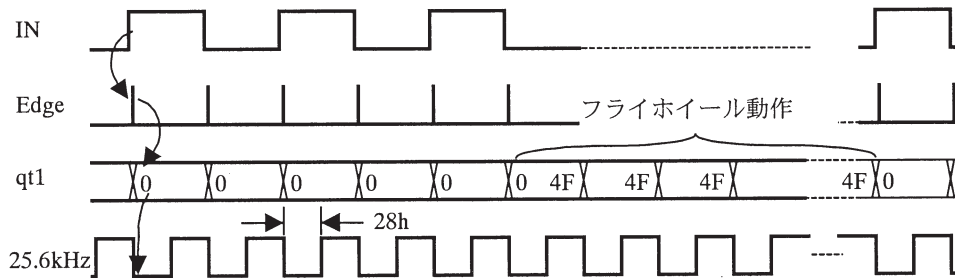


図3.3 ビット同期回路のタイミングチャート

25.6kb/s のプレアンブル付き符号語 ICHAN (IN) を 2048kHz のクロック信号 clk で 2 ビットのフリップフロップに入力し、EX-OR を取ることによってエッジ (Edge) を取り出す。エッジ間のクロック数をカウンタ qt1 でカウントし、エッジが発生したときに以下のようにカウンタをリセットする。

- ・ 同期状態 $clk=79$ (4Fh) で $qt1=0$
- ・ 入力信号周波数が大 $clk=78$ (4Eh) で $qt1=0$
- ・ 入力信号周波数が小 $clk=0$ (0h) で $qt1=0$

このようにリセットを契機として 25.6kHz クロックの状態を反転させて受信部の 25.6kHz クロックを生成するので、スリップが起こらないように制御される。カウンタ qt1 が 0 になった時を契機とするのは、入力クロックの周波数によって qt1 がリセットされるタイミングが変動するが、必ず $qt1=0$ となる場合が存在するためである。半周期後の変化は 40 (28h) clk 後である。またエッジがない場合には同期状態と同じように、 $clk=79$ (4Fh) において $qt1=0$ とさせるフライホイール動作を行わせる。

この結果、入力信号のクロック周波数に対応してエッジの間隔が変化し、したがって 16kHz クロ

ックの立ち下がりエッジも変化してジッタが発生する。しかしながら図 2.2 に示した DECODER のシステム構造図から分かるように、McBSP0 から入力される信号は一旦ダブルバッファを介して DSP に入力されるので、このときに 25.6kHz クロックのジッタは完全に抑圧される。

なお本検討で使用している図 2.3(b) に示した LD-CELP 方式の伝送路フォーマットでは、プレアンブル 101010 を前置しており、16 ビット以内に必ずエッジが来ることが保証されている。このためビット同期回路にとっては緩い条件になっている。

3.3 プレアンブル同期回路の動作

本検討で対象としている LD-CELP コーデックにおける McBSP0 のインタフェースは SPI インタフェースである。したがってプレアンブル付き符号語 ICHAN からフレーム同期信号 (プレアンブル同期信号) fsr を取り出す必要がある。

このため文献 [6] の符号誤り率測定器において設計・試作しその動作が確認できているリセット計数形式のフレーム同期回路を用いることにした。

このフレーム同期回路は、プリセットカウンタを使用した 1 ビット即時シフト方式である。ブロック構成を図 3.4 に、タイミングチャートを図 3.5 に示す。

図 3.4 において、CLK はビット同期回路から供給される

25.6kHz クロック (25_6kHz_I) である。入力信号 (in) はプレアンブル付き符号語 ICHAN であり、フリップフロップで 2048kHz クロックとタイミングをとって入力する。またフレーム同期信号 fp および出力信号 ichan_out を、内部のシフトレジスタを介してタイミングを合わせて出力する。両信号を後述のプレアンブル除去回路 (vconv_rx) に入力して使用する。

図 3.5 の左端の時刻における状態は同期はずれ状態であり、load=0、fp=1 になっている。入力信号からプレアンブルを検出すると detect=1 となり、この時点で load=1 となり 1 ビット即時シフトが終了し同期引き込み状態になる。このフレーム同期回路では 3 段のカウンタを使用した保護回路を使用しているが、後方保護段数を 3 に設定しているので、fsr を 3 個計数した時点

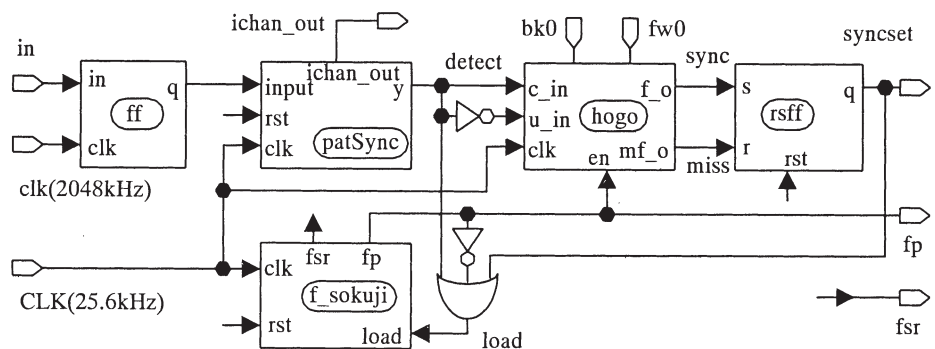


図3.4 プレアンブル同期回路のブロック図

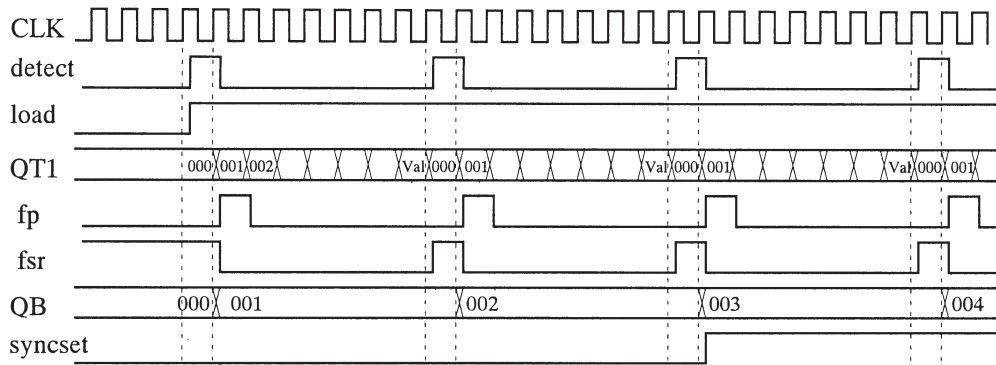


図3.5 プレアンブル同期回路のタイミングチャート(Val=Fh)

で信号 syncset が 1 となり同期確立状態になる。syncset は同期確立を示すための LED を点灯させる信号として使用した。なお前方保護段数は 2 とした。

フレーム信号 fsr, 出力信号 ichan_out および CLK(25.6kHz)が、SPI インタフェースを構成するデコーダに実際に入力する信号である。fp は vconv_rx に入力するためのフレーム信号であり、fsr よりも 25.6kHz クロックで 1 クロックだけ遅延している。

3.4 プレアンブル除去回路の動作

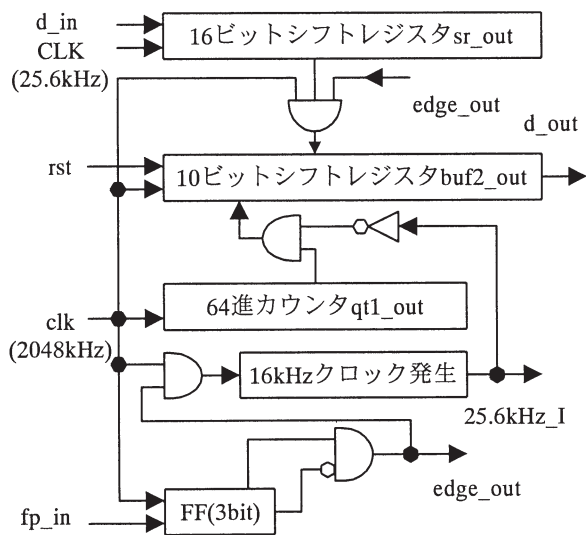


図3.6 プレアンブル除去回路のブロック図

プレアンブル除去回路は、プレアンブル付き符号語 ICHAN からプレアンブルを除去し、送信回路・受信回路を対向させて符号誤り率特性を測定し、ビット同期回路の特性を評価するための回路である。図 3.6 にプレアンブル除去回路のブロック図を示す。図 3.7 にシミュレーション結果を示す。

clk は 2048kHz クロックであり、CLK はビット同期回路から供給されるクロック信号 clk25_6kHz_I である。

d_in は送信部から送信され、ビット同期回路を通過した 25.6kb/s のプレアンブル付き符号語 ICHAN である。fp_in はフレーム同期回路において生成されるフレーム同期信号(fp)であり、先頭の 101010 のプレアンブルを検出し、次のフレームにおける先頭ビットとタイミングを合わせて出力されている。

(1) プレアンブル付き符号語 ICHAN のシフトレジスタ sr_out への読み込み

25.6kb/s のプレアンブル付き符号語 ICHAN を 25.6kHz クロックの立ち下がりエッジにおいて、16 ビットのシフトレジスタ sr_out に格納しているが、T1 のタイミングにおいてレジスタの内容は図 3.7 に示すように AB03h になっている。符号語 ICHAN はこの sr_out(0)~sr_out(9)に入っている。

(2) sr_out → buf2_out への読み込みタイミング

符号語 ICHAN を 16kHz クロックで動作する 10 ビットのレジスタ buf2_out に読み込み、プレアンブル除去と速度変換を行う。読み込みのタイミングを得るために、25.6kHz クロックで半クロック遅れているフレーム同期パルス fp_in の立ち上がりエッジ T2 を用いる。そのためにフレーム同期信号 fp_in を 3 ビットのフリップフロップに入力して 2048kHz クロック clk の立ち上がりでサンプリングし、そのエッジ edge_out を取り出す。

フレーム同期信号 fp_in のエッジ edge_out が生成された時点

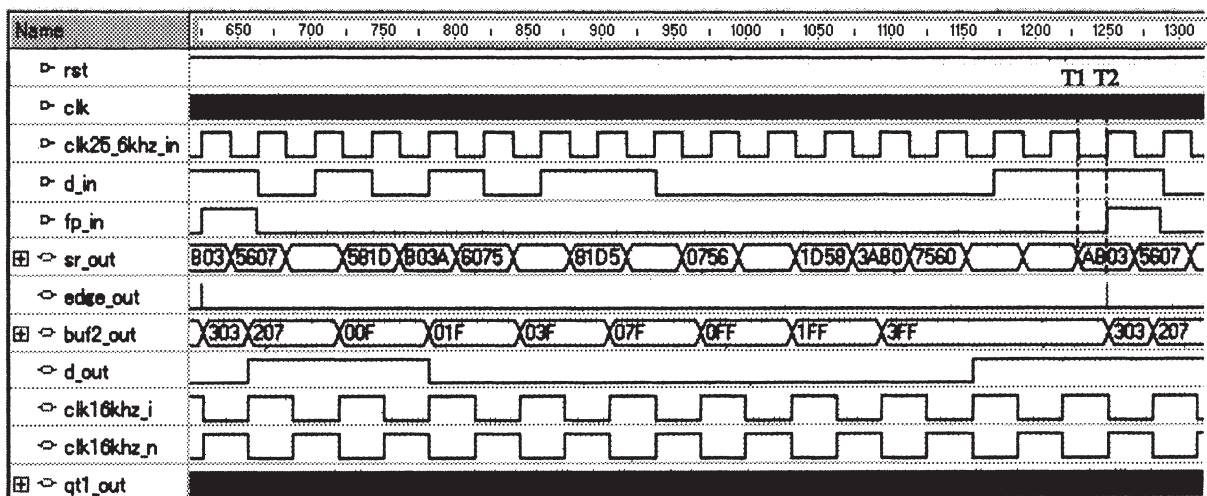


図 3.7 プレアンブル除去回路のシミュレーション結果

では、図 3.7 の T1 に示したようにシフトレジスタ `sr_out` にはプレアンブル付き符号語 `ICHAN` が格納されている。 `edge_out=1` のタイミング T2 で `sr_out(0)~sr_out(9)` に入っている符号語 `ICHAN` を `buf2_out` に読み込む。図 3.7 の例では、`sr_out` に入っている `AB03h` の下位 10 ビットである `303h` が `buf2_out` に読み込まれている。`AB03h` は、図 3.7 におけるプレアンブル付き符号語 `d_in` においてエッジ間を 16 進数で表した値に対応する。`buf2_out` に読み込む具体的なタイミングは以下の通りである。

$$\text{edge_in}=1 \cap \text{clk の}\uparrow\text{エッジ}$$

(3) 16kHz クロックの生成

`clk16kHz_I`, `clk16kHz_N` および `qt1_out` はすべて 2048kHz クロックの立ち上がりエッジで動作する。`qt1_out` は、2048kHz クロックと 16kHz クロックの比 128 の 1/2 である 64 をカウントする 6 ビットのカウンタである。`edge_out=1` あるいは `qt1_out = 3Fh(63)` になると反転し、16kHz クロックを生成する。

(4) 符号語 `ICHAN` の取り出し

符号語 `ICHAN` を取り出すために、以下の条件を満足するときシフトレジスタ `buf2_out` のシフトを行っている。

$$\text{qt1_out}=63 \cap \text{clk16kHz_I}=0 \cap \text{clk の}\uparrow\text{エッジ}$$

4. 送信部の構成

4.1 送信部の構成およびタイミングチャート

図 4.1 に送信部のブロック構成を、図 4.2 に送信部全体のシミュレーションによるタイミングチャートを示す。16kHz クロックで動作する入力信号 `pn_in` に 6 ビットのプレアンブルパターン 101010 を付加し、25.6kHz のクロックに速度変換して出力信号 `output` を出力している。

速度変換のためにシリアル入力、パラレル出力動作の 2 つの 16 ビットシフトレジスタ `ping_out` および `pong_out` を用いてダブルバッファ動作を行わせている。

4.2 16kHz クロックおよび 25.6kHz クロックの生成

8192kHz の水晶発振回路からの入力 `clk` を 512 分周および 320 分周し、16kHz クロックおよび 25.6kHz クロックを生成している。16kHz クロックはパルス発生器の `EXT` 端子に入力し、`clk` と同期のとれた `PN` 信号を発生させるために使用している。25.6kHz クロックは、回路内部における使用が主目的であるが、モニタするために外部にも取り出している。

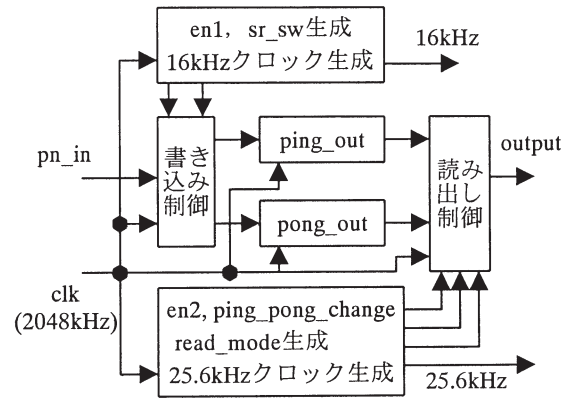


図 4.1 送信部のブロック図

4.3 ダブルバッファの制御信号

以下の制御信号を作成し使用している。

- `en1_out` 16kb/s の入力信号 (`pn_in`) の中央で立ち上がり、8192kHz で 1 クロック後に立ち下がる信号。 `pn_in` を `ping_out` あるいは `pong_out` のどちらのバッファに書き込むかを制御する。
- `sr_sw` `en1_out=1` のとき、8192kHz クロック `clk` の立ち上がりで動作する (図示されていない) カウンタ `cnt11` が 9 になると状態を反転する。なお図 4.2 の表示で先頭に波形のマークがついているのは内部信号であり、実際には論理が反転されて表示されている。

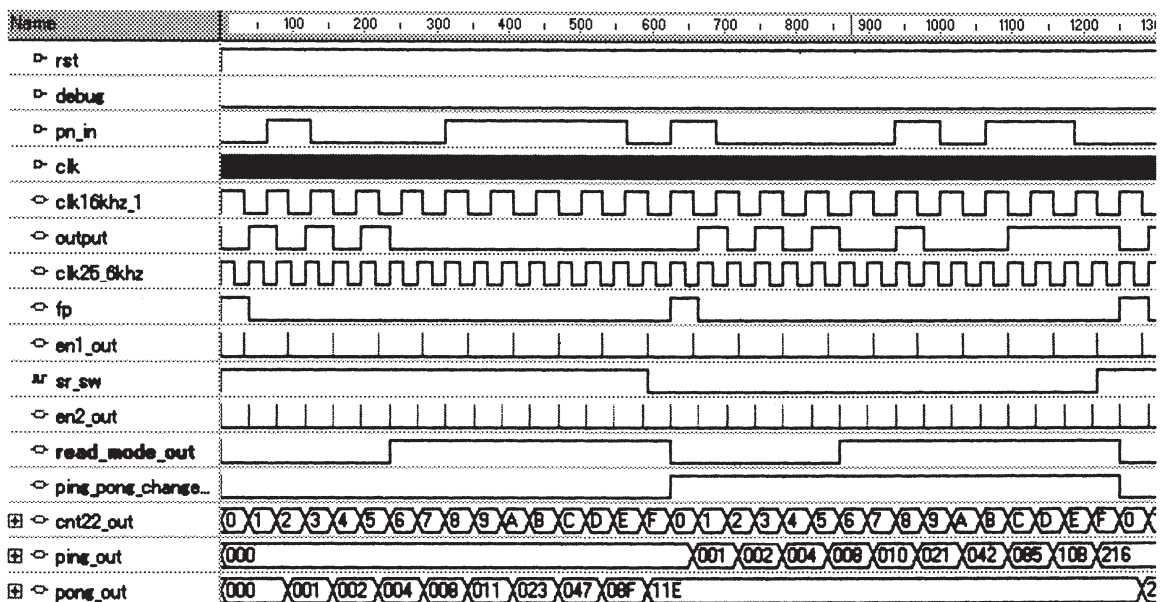


図 4.2 送信部のシミュレーション結果

- en2_out 25.6kHzクロックの立ち上がりエッジで立ち上がり, 8192kHz で 1 クロック後に立ち下がる信号.
ping_pong_change 信号と共にダブルバッファから信号を読み出すタイミングを制御する.
- ping_pong_change en2_out=1 のとき, いずれのバッファからデータを読み出すかを制御する.
- read_mode_out 読み出し時に, データとプリアンプを切り分けるための制御信号.

4.4 ダブルバッファへの書き込みおよび読み出し

(1) 書き込み

下記の条件が満足される時, 8192kHz クロックの立ち上がりで書き込む.

```
sr_sw=0  ∩  en1_out=1  . . . pong へ書き込み
sr_sw=1  ∩  en1_out=1  . . . ping へ書き込み
```

(2) 読み出し

下記の条件が満足される時, 8192kHz クロックの立ち上がりで読み出す

```
ping_pong_change=0 ∩ en2_out=1 ∩ read_mode=1
. . . ping から読み出し
ping_pong_change=1 ∩ en2_out=1 ∩ read_mode=1
. . . pong から読み出し
```

なお read_mode=0 のときはプリアンプを読み出す. 読み出しは case 文を用いて記述した.

5. ビット同期回路の特性評価

5.1 符号誤り率の測定

送信部からパルス発生器の EXT 入力端子に加えた 16kHz クロック信号によってパルス発生器を動作させ, 16kb/s, 23 段 PN 信号を発生させ, その信号を送信部の pn_in 端子に入力してプリアンプ付き符号語 ICHAN に相当する信号を出力させた. この信号を第二の水晶発振回路 (8192kHz) のクロックで制御される受信部に入力し, プリアンプを除去して PN 信号を取り出し符号誤り率測定器に入力して符号誤り率を測定した.

測定は 2 回に分けて行い, 各 5 時間の測定においてエラーフリーを確認した. これは符号誤り率に換算して 3.5×10^{-9} 以下を 2 回確認したことになる.

5.2 送信部および受信部における 25.6kHz クロックの測定

図 5.1 は送信部の 25.6kHz クロックでオシロスコープにトリガをかけて, 受信部から生成される 25.6kHz クロックをストレージ機能を動作させて撮影した写真である. 受信部クロックの立ち下がりにはクロック周波数の偏差に基づいて, 太くなっている部分にばらついており, ジッタが発生しているが, カウンタによるスリップ制御の効果が確認できる. ジッタの大きさは 4.6 度 pp 以下である.

5.3 ビット同期回路の周波数偏差に対する耐力

受信部の水晶発振回路 (8192kHz) の代わりにパルス信号発生回路を接続し, その周波数を変えて符号誤りが発生する限界

周波数を測定した. その結果パルス発生器の周波数が 8000kHz ~ 8470kHz においてエラーフリーとなることを確認した. 周波数偏差に換算すると, -2.3% ~ +3.4% が許容偏差であった.

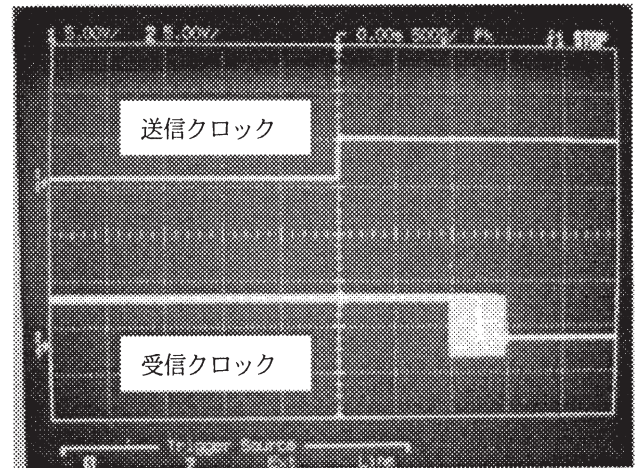


図 5.1 25.6kHz クロックの観測結果 (X: 500ns/div)

6. LD-CELP コーデックへの応用

6.1 CODER への応用

CODER では図 2.3 に示した伝送路フォーマットを作成する必要がある. このとき必要になる 25.6kHz クロックを DSP クロックからタイマー 0 を用いて作成する.

25.6kHz クロックの整数倍の関係にあるクロックとして 192MHz を選択するものとすれば, 図 6.1 に示したようにタイマー 0 を設定すれば良い. このときプログラムにおいて以下の C 言語命令を実行し, CPLD のセクタを選択してタイマー 0 の出力先が外部インタフェース①の 45 番ピンである X_TOUT0 に出力されるようにしておく必要がある.

```
DSK5510_rset(DSK5510_MISC,TIN0SEL);
```

1.6kHz のフレーム信号は, 内部のサンプルレート生成器を図 6.1 に示したように設定することによって得られる. 出力信号 X_DX0 は外部インタフェース②の 24 番ピンから出力される. なお外部インタフェースの電源電圧は 3.3V 系になっている.

6.2 DECODER における DSP クロックの選択

DECODER にビット同期回路を実装するためには本検討で示した bit_frame_douki 回路を図 6.3 のように接続すれば良い. ここで 2048kHz (あるいは 8192kHz) クロックを DSP クロックに基づいて生成する必要がある.

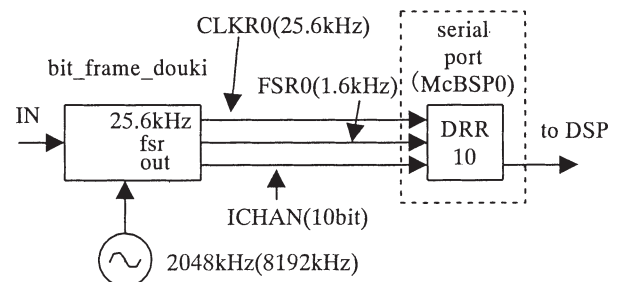


図 6.3 DECODER とビット同期回路の接続

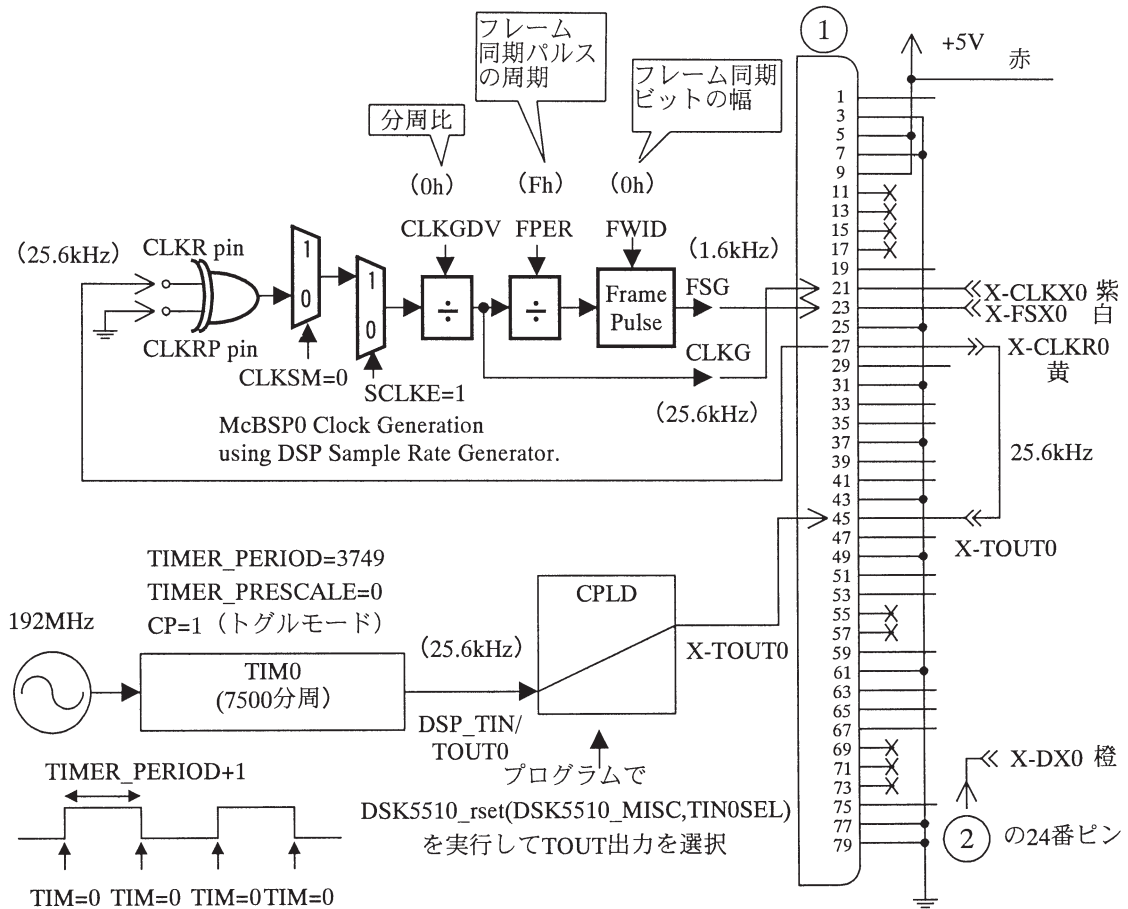


図6.1 CODERにおける外部インタフェースの配線図

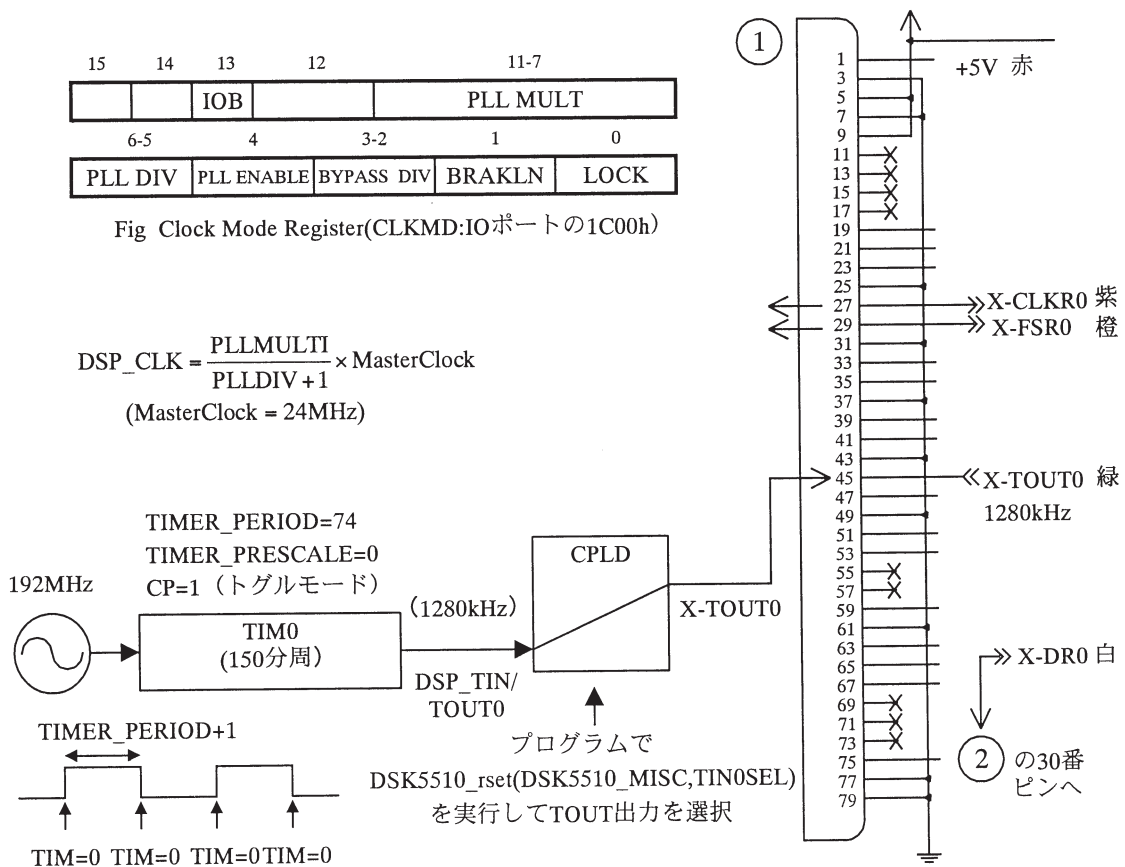


図6.2 DECODERにおける外部インタフェースの配線図

DSP にクロックを供給する DSP クロック発生器の動作の制御、監視は図 6.4 に示すクロックモードレジスタ CLKMD (IO ポートの 1C00h) を通じて行うことができる。

15	14	13	12	11-7	
		IOB		PLL MULT	
6-5		4	3-2	1	0
PLL DIV	PLL ENABLE	BYPASS DIV	BRAKLN	LOCK	

図 6.4 Clock Mode Register(CLKMD).

DSP に入力されているマスタークロックは 24MHz であり、これを内蔵の PLL を用いて最高で 200MHz にまで上昇させて用いることができる。PLL を使用するためには PLENABLE=1 にしてクロック発生器をロックモードに設定する。DSP クロックの周波数は次式によって計算し CLKMD の値を決めれば良い。

$$\text{DSP_CLK} = \frac{\text{PLLMULTI}}{\text{PLLDIV} + 1} \times \text{MasterClock} \quad (1)$$

(MasterClock = 24MHz)

また以下の命令を実行して設定する (CLKMD=2CD3h の場合)。

```
MOV      #2CD3h,      port(#1C00h)
```

タイマー0を用いて DSP クロックから受信部カウンタの高速クロックを生成するためには以下の条件が必要である。

- ① 分周比が整数である。
- ② かつ偶数である

②の条件は、DSP のタイマー0 からクロックを生成するときトグル動作を行わせるので、その結果として分周比が必然的に偶数となるためである。

なお生成される周波数 TINT_rate は次式で与えられる。

$$\text{TINT_rate} = \frac{\text{Input clock rate}}{(\text{PRD} + 1) \times (\text{TDDR} + 1)} \quad (2)$$

ここに、Input clock rate は DSP クロック、PRD はメインの周期レジスタ、TDDR はプリスケアラ周期レジスタである。

カウンタの高速クロックとして 2048kHz あるいは 8192kHz クロックを用いる場合について、これらのクロックと整数比となる DSP クロックを探したところ、送信側と同一の DSP クロック 192MHz を含めて条件を満たすクロックは得られなかった。

次にカウンタの高速クロックの変更も含めて周波数を探したところ、DSP クロック=192MHz、受信部の高速クロック=1280kHz、分周比=150 という解が得られた。但し、この場合には同期状態においてスリップを制御しビット同期を確立するために使用するカウンタの最大値は、80 ではなく 50 とする必要がある。DSP クロック=192MHz とする PLLMULT および PLLDIV の組み合わせは前述の式から 3 通りある。PLL のロック時間は PLLMULT の小さい方が小さくなる。したがって DSP のタイマー0 を用いて 1280kHz クロックを生成するためには、PLLMULT=8、PLLDIV=0 として CLKMD=2413h に設定すれば良い。

文献[5]における処理プログラムの実行時間の検討は、200MHz のクロックを用いたときに行っており、このときには

処理時間に十分余裕のある結果が得られている。したがって 192MHz の DSP クロックであれば、ほぼ同等の結果が得られるものと思われる。DSP クロックのその他の候補としては 128MHz も考えられ、この場合には分周比は 100 となる。しかしながら DSP クロックを 128MHz に低下させる場合には、コーデックの実行時間の再評価が必要である。

6.3 ビットフレーム同期回路のシミュレーション結果

カウンタの高速クロックを 1280kHz、カウンタの最大値を 50 としたビットフレーム同期回路のプログラムを VHDL で作成し、シミュレーションを行った。

図 6.5 はリセット直後のシミュレーション結果である。この時点では syncset=0 であり、まだプレアンプル同期が確立されていないが、約 1900μs においてプレアンプル同期が確立されている。Ichan_in のエッジが bit_edge_out として抽出されていることが分かる。

図 6.6 は 600μs 付近のプレアンプル近傍を拡大した図である。25.6kHz クロックが 2 つあるが、1280kHz クロック clk から生成されるのが clk25.6khz_i である。この信号を一旦 IC の外に取り出して再度入力して 25.6kHz のクロックとして用いており、これが clk25.6khz_in である。この結果から以下が分かる。

- bit_edge_out は ichan_in を clk で打ち抜いた 2 クロック目で生成される。
- clk25.6khz_i はカウンタ qt1=0 および qt1=25(19h) で反転する。その間の時間は正しく 1 周期の 1/2 になっている。
- ichan_out は clk25.6khz_i の立ち上がりエッジで、clk の立ち上がりエッジで生成されている。

図 6.7 は 800μs 付近の拡大図である。エッジの生成はないがフライホイール動作によって clk25.6khz_i が正しく生成されている。

6.4 McBSP におけるビットオーダリング

図 2.3 に示した伝送路フォーマットにおいて 16 ビットデータが転送される場合には、データは MSB が最初に、LSB が最後に伝送される。CODER におけるこの順序については文献[5]で示した Fig. 7.3 の結果から確認ができています。これを図 6.5 に再掲する。

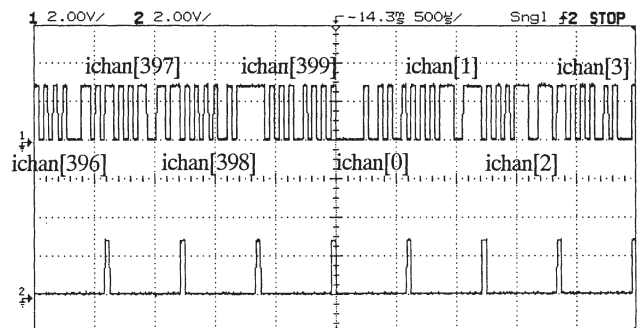


図 6.5 ROM ベースで測定した CODER の出力波形
(上段: ICHAN, 下段: FSX)

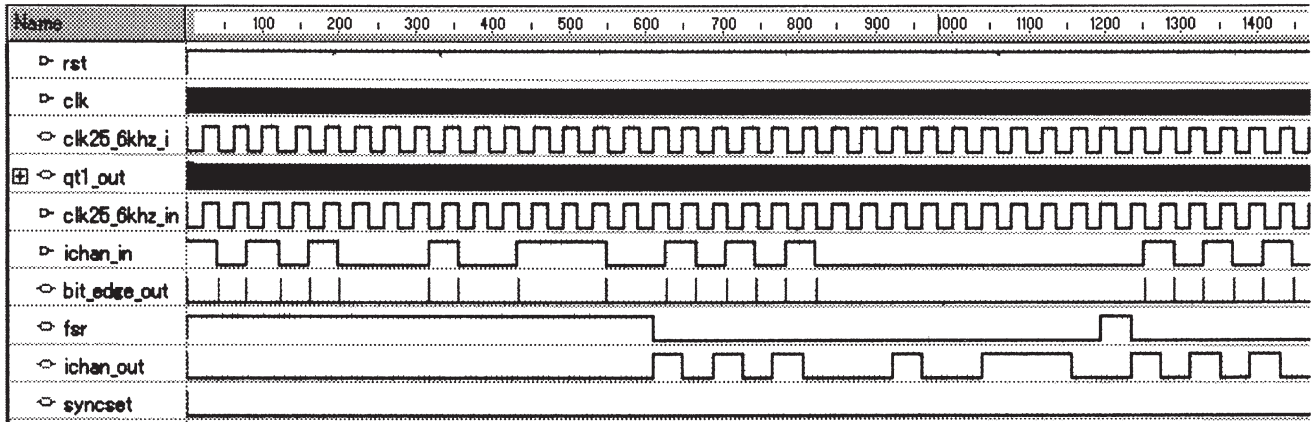


図 6.6 ビットフレーム同期回路のシミュレーション結果 (その1)

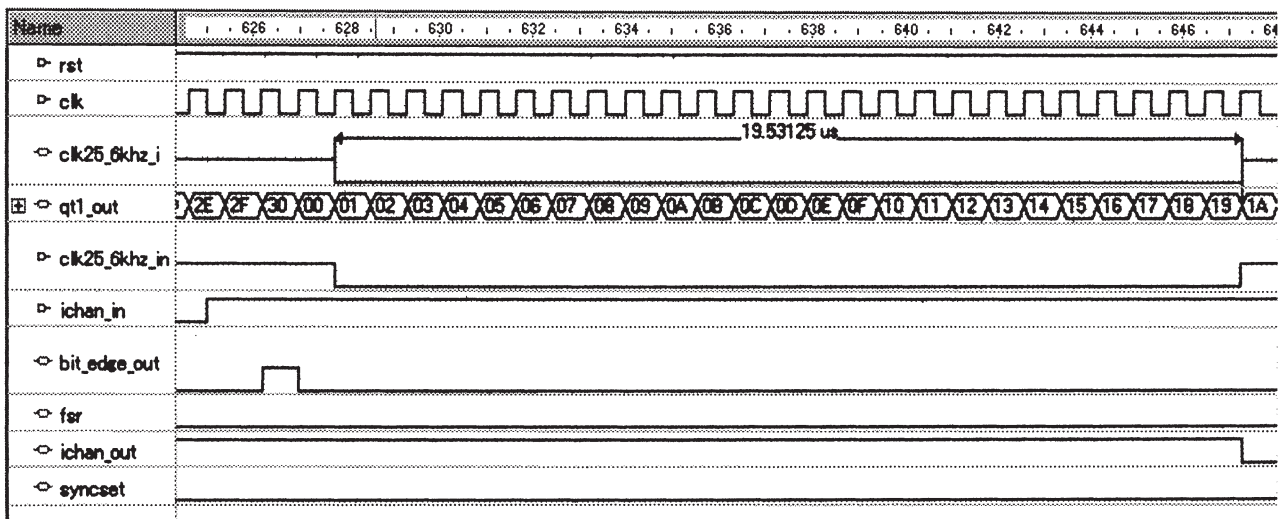


図 6.7 ビットフレーム同期回路のシミュレーション結果 (その2)

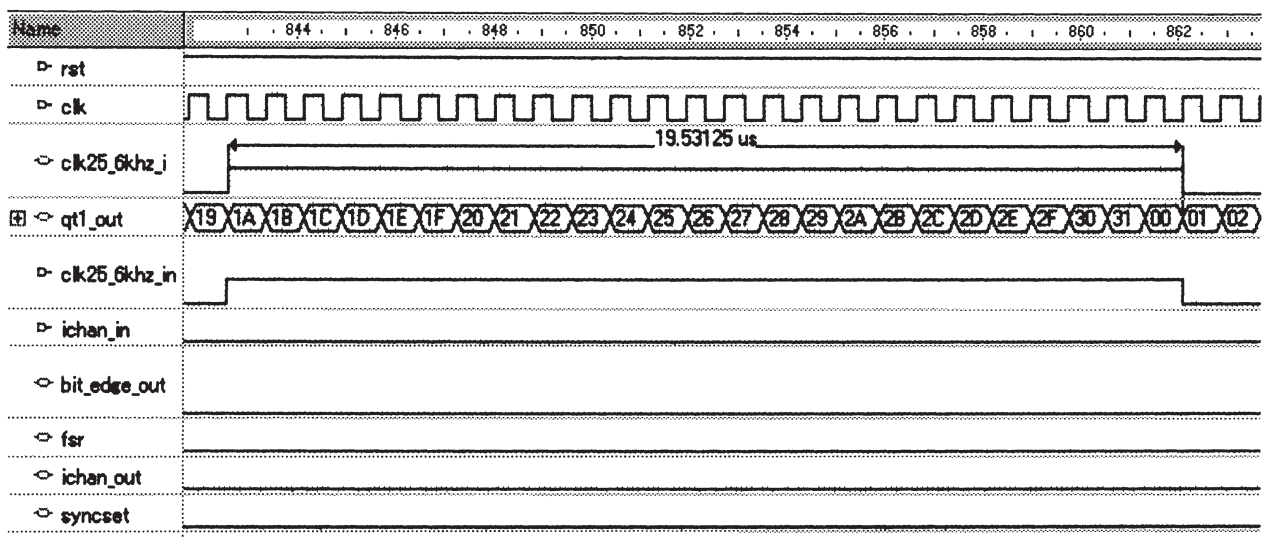


図 6.8 ビットフレーム同期回路のシミュレーション結果 (その3)

図6.5はCODERのメモリに評価用のデジタル音声spfを内蔵させておき、これをROMベースで構成したCODERから出力させて観測した符号語 ichan[0]近傍の波形である。ichan[0]においてはICHANに前置させるプレアンブルパターンをオール0とし、他のワードでは10パターンであると言う規則性を強制的に乱すようにした。すなわち符号則違反(CRV)を付加しており、図の中心の直ぐ右側の部分にCRVが見えている。これによってICHANを特定できるようにしている。評価データは ichan[396]=235h, ichan[397]=336h, ichan[398]=25Fh, ichan[399]=255h, ichan[0]=252h, ichan[1]=39Eh, ichan[2]=39Dh, ichan[3]=251h である。図6.5の測定結果からプレアンブルの後ろにこれらのICHANが確認でき、MSBからビットが送信されていることを確認できる。またICHANとフレーム信号FSXは1クロックの遅延になっている。

DECODERにおいては、図2.2に示したMcBSP0およびピンポンバッファ間では、図2.3に示した16ビットのデータが入力されるのでMSBから送信が開始される順序が変わることはない。但し、プレアンブルを取り除くためにDECODER処理プログラムにおいてプレアンブル付き符号語ICHANと3FFhとのANDを取ってから入力する必要がある。

7. むすび

本論文では、受信波形を受信波形の持つクロック周波数の80倍の高速クロックで多点サンプリングし、カウンタによってスリップ制御を行うことによってビット同期を確立する方式のレイヤ1システムを設計、試作し評価した検討結果を示した。

- (1) 16kb/sの23段PN信号を用いて試作したレイヤ1システムの符号誤り率を測定し10時間の観測においてエラーフリーを確認し、その有効性を検証した。
- (2) 受信部におけるカウンタの高速クロックの周波数を変えながら符号誤りが発生する限界周波数を測定したところ、8000kHz~8470kHzにおいてエラーフリーを確認した。周波数偏差に換算すると-2.3%~+3.4%が許容偏差であった。
- (3) 検討したビット同期回路のLD-CELPコーデックへの応用を検討した。CODERではDSPクロックを192MHzとし、これをタイマー0によって7500分周して25.6kHzクロックを作成してやれば良いことが分かった。
- (4) DECODERでは、タイマー0を用いて、DSPクロックから受信部の高速クロックを生成するために、分周比が整数倍

でかつ偶数になる周波数関係を探る必要があった。その結果、DSPクロック=192MHz、受信部の高速クロック=1280kHz、分周比=150とすれば良いことが分かった。この場合には同期状態において、スリップ制御を行ってビット同期を確立するためのカウンタの分周比を50とする必要があることが分かった。

以上の検討結果に基づいて、今後LD-CELP方式コーデックにビット同期回路を組み込み、コーデックを完成させてその特性の評価を行っていくことを目指したい。

[謝辞]

ビット同期回路に関して有益なご助言を頂いた本学電気電子工学科 郡 武治教授に感謝します。また卒業生の外間大介君、市川琢磨君、卒研究生の丸尾達也君には回路の製作および測定を担当して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- [1] “JT-G728 低遅延符号励振線形予測(LD-CELP)を用いた16kbit/s音声符号化方式”, 電信電話技術委員会
- [2] 梶田吉朗, 溝口真規, 緒方渉, 菅野純一, “LD-CELP アルゴリズムを適用した音声CODERの開発”, 静岡理科大学紀要, 第11巻, pp.35-59 (2003)
- [3] 梶田吉朗, 石田雄三, “LD-CELP アルゴリズムを適用した音声DECODERの開発”, 静岡理科大学紀要, 第12巻, pp.75-96 (2004)
- [4] 梶田吉朗, 遠藤直樹, “LD-CELP 音声コーデックのROM化に関する検討”, 静岡理科大学紀要, 第13巻, pp.9-14 (2005)
- [5] 梶田吉朗, “CS510DSKを用いた音声コーデックの開発”, 静岡理科大学紀要, 第14巻, pp.13-24 (2006)
- [6] 増田智美, 梶田吉朗, “PN信号発生器および符号誤り率測定器の設計と試作”, 静岡理科大学紀要, 第10巻, pp.37-54 (2002)
- [7] “TMS320C55x DSP CPU Reference Guide.”
- [8] “TLV320AIC23 Stereo Audio CODEC, 8-to 96-kHz, With Integrated Headphone Amplifier Data Manual.”
- [9] “TMS320C55x DSP Peripherals Overview Reference Guide.”
- [10] “TMS320VC5501/5502/5503/5507/5509/5510 DSP Multichannel Buffered Serial Port (McBSP) Reference Guide.”
- [11] “TMS320VC5510 DSP Timers Reference Guide.”

ビタビアルゴリズムを用いた3次元位置検出

A Location Estimation Method Based on Viterbi Algorithm

郡 武治*, 伊代田 徹**, 太田 哲也**, 草ヶ谷 瞬**, 大石 直紀**

Takeharu KOHRI, Tohru IYODA, Tetsuya OHTA, Shun KUSAGAYA and Naoki OOISHI

Abstract:

We have developed a novel location estimation method that is based on the Viterbi algorithm. Using this method enables us to estimate the most likely location at several 10 nsec by using past location transition and signal detection. In addition, the system implementing this method can be composed of a single LSI.

Since the Viterbi algorithm has two functions, signal detection from noisy received signal and finding a maximum likelihood sequence path, this method can be applied to location estimation. The level of the received signal is proportional to the distance between the move terminal and the fixed node. The trellis of Viterbi decoder encoder is similar to the track of moving terminal.

We demonstrated the proposed location estimation method on the Viterbi algorithm by the field test using 8x8x8 array 3D model.

1. はじめに

人や物を認識するユビキタスコンピューティングはしだいに広がりつつある。なかでも、位置検出は中核の技術として、これまで、さまざまな位置検出法が提案されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

筆者は、ビタビアルゴリズムにおける最尤推定法とその回路構成に着目し、位置検出に適合させることを考えた⁽⁷⁾。

ビタビアルゴリズムは、これまで衛星通信、移動通信などにおける誤り訂正として用いられてきた。符号化信号の状態遷移に着目し、雑音により曖昧になった受信信号の中から尤らしいデータを検出する方法である。

提案方法は、ビタビ復号で扱う情報を位置情報に置き換え、同一アルゴリズムによるハードウェアで最尤位置推定を行うものである。このことにより、これまでのビタビ復号回路と同様に、1つのLSIで高速に位置の推定ができ、数10MHzに一回最尤位置推定することも可能である見通しを得ている。

提案するビタビアルゴリズムを用いた位置検出について、これまで、2次元のモデルについて、計算機シミュレーションにより、効果のあることを示し、その回路規模を明らかにした⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

本報告は、3次元のモデルにおいても、同様にビタビアルゴリズムを用いた位置検出が可能であることを示し、さらにフィールド試験を実施することにより、その効果を実証するものである。

今回、フィールド試験を実施するに当たり、当初容易

に結果が得られるものと考えていたが、実際には、2つの問題があり、解決する必要があった。

① フィールド試験において、単純に3か所以上の受信レベルから換算した距離だけで位置を決定する従来の方法では、時々、大きく外れる位置を算出してしまうことがあった。

これは、アンテナ指向特性があるために、同じ受信レベルの値をとる位置が複数あり、このため、S/Nに関わらず実際の位置とは異なる位置に誤って判定してしまう場合のあることが分かった。

これを解決するためには、全方向に均一な(4πステラジアンに均等)電波伝搬を実現する必要がある。しかし、4πステラジアンに均等に感度のあるアンテナを実現することは原理的に不可能である。

そこで、x y zの3軸に直交するダイポールアンテナを設け、4πステラジアンに均等な電波伝搬を実現する方法を考えた。

さらに、フィールド試験において、提案するビタビアルゴリズムを用いた位置検出では、隣接格子をたどる状態遷移になることから、大きく外れる位置を算出することがなく、非常に有効であることがわかった。

② 3次元における最適な位置決め単位

3次元位置推定するための、最適セル構造を考え、面心立方格子構造(略称 FCC(face-centered cubic lattice))が最も適していることを示した。

本論文では、最初にビタビアルゴリズムを用いた3次元検出の原理を述べる。次に3次元における最適な位置決

2009年3月16日受理

*理工学部 電気電子工学科

**理工学部 電気電子工学科卒業生

め単位として最適格子配列を述べる。最後に $8 \times 8 \times 8$ の 3次元モデルを用いたフィールド試験により、検証した結果を示す。

2. ビタビアルゴリズムを用いた3次元位置検出の原理

図1は提案するビタビアルゴリズムを用いた3次元位置検出モデルを示したものである。

本モデルは、3次元を移動する端末と設置位置が固定した3つ以上の固定ノードから構成される。

各固定ノードは、移動する移動端末からの信号の電力が伝送距離に比例することから、移動端末までの距離を推定することができる。移動端末の位置推定は、固定ノードにおいて検出した距離情報を用いてビタビアルゴリズムにより最尤推定される。固定ノードは3以上あれば、3次元位置を推定することができる。

ビタビアルゴリズムは物体の過去の状態遷移の持つ尤もらしさを示す尤度と距離情報である雑音を含む受信信号を用いて、位置の最尤判定を行うものである。

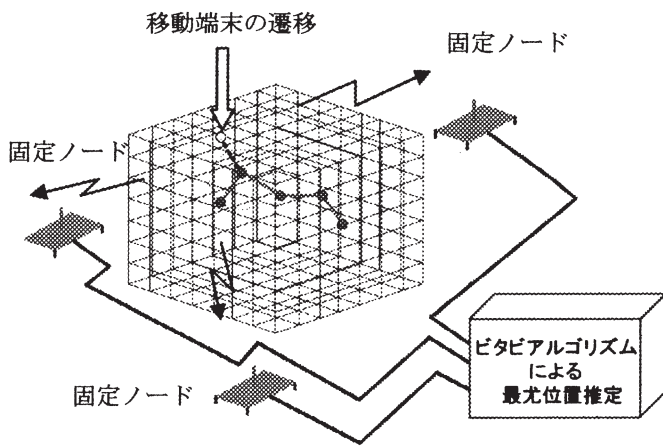


図1 提案する位置検出モデル

2.1 動作原理

図2は具体的な動作原理を示したもので、(a)は均一配置した格子点と移動端末までの距離の関係を示し、(b)は各格子点において行われる、最適パス選択の動作を示している(ビタビアルゴリズム)。本動作原理は2次元モデルにより説明する。3次元は面が立体となるが2次元と全く同じアルゴリズムである。

次のように動作する。

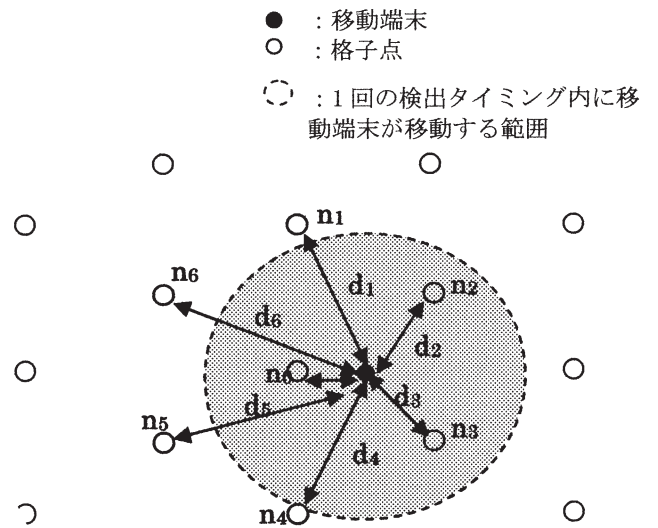
- ① 移動端末から送信された信号は、3以上の固定ノードで受信され、受信レベルから移動端末からの距離 d_0, d_1, \dots, d_n が測定される。
- ② 送信された信号は、 t_d 間隔で受信され続ける。
- ③ 移動端末は最大移動距離が設定され、次の送信までの間に動ける最大範囲は、格子点1区間の距離を超えない。本例では、格子点 n_0 近傍にいる移動端末は次の

送信タイミングでは $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$ の近傍にはいるはずである。

- ④ 集計局では検出距離情報 d_0, d_1, \dots, d_n と過去の位置履歴から、ビタビアルゴリズムにより、移動端末位置を最尤位置検出する。

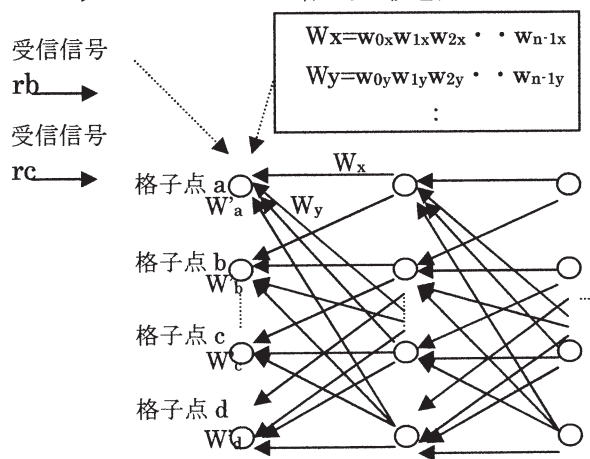
提案方法では、過去の位置履歴から、移動端末位置を最尤位置検出する方法として、ビタビアルゴリズムを用いている。

図3は回路構成を示したもので、状態毎に、メトリック演算をする ACS 回路と過去のパスを残しておくパスメモリから構成され、各状態において、生き残りパスを選択するたびに、その系列の過去の系列データを選択記録するようにしている⁽⁹⁾。



- : 移動端末
- : 格子点
- (dashed) : 1回の検出タイミング内に移動端末が移動する範囲

正六角形ゾーン構成に配置した格子点と移動端末
受信信号 $ra \rightarrow$
受信信号 $rb \rightarrow$
受信信号 $rc \rightarrow$
移動端末が移動できる
7者から比較選択



(b)トレリス線図
図2 動作原理図

$$W_x = w_{0x} w_{1x} w_{2x} \dots w_{n-1x}$$

$$W_y = w_{0y} w_{1y} w_{2y} \dots w_{n-1y}$$

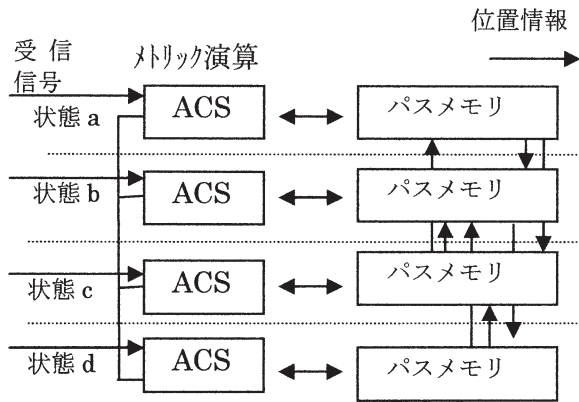


図 3 位置検出回路構成

2. 2 位置検出のための最適格子配列

(1) 2次元の場合

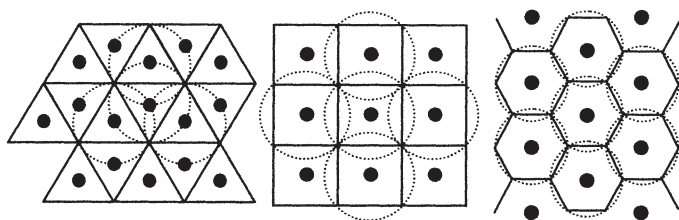
物体の位置を2次元空間で最適に検出するためには、区切りを示すセルを均等とし、平面を隙間なく埋め尽くす必要がある。この正多角形で平面を埋める方法は、タイル貼りの問題として知られ、正三角形、正四角形、正六角形の3通りしかないことが証明されている⁽¹¹⁾。各セルの重心を格子点とした格子配列を図4に示す。

セルの半径をRとした場合の各正多角形の隣接セルまでの距離、単位セルの面積、曖昧になる面積（半径Rの面積から正多角形の面積を引いた値）は表1のようになる。ここで、曖昧になる面積が最も小さいのは、正六角形のセルであり、正六角形が最適に検出する格子配列であることが分かる。

表1 各セル構成の比較⁽¹²⁾

セル構成	隣接セルまでの最少距離	単位セル面積	曖昧な面積	隣接セル数
正三角形	R	$\frac{3\sqrt{3}}{4}R^2$	$(2\pi - \frac{3\sqrt{3}}{2})R^2$	3
正四角形	$\sqrt{2}R$	$2R^2$	$(2\pi - 4)R^2$	4
正六角形	$\sqrt{3}R$	$\frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$	$(2\pi - 3\sqrt{3})R^2$	6

(セル半径 R)



(a)正三角形構成 (b)正四角形構成 (c)正六角形構成

図 4 各セルの重心を格子点とした格子配列

(2) 3次元の場合

同半径の球を敷き詰めた時、最も密度の高いのは立方体の8個の頂点と6面の中心に球が配置されている面心立方格子構造(略称 FCC(face-centered cubic lattice))である。これは、ケプラーの予想として知られ、3次元は1998年にトマス・ヘイズによって証明されている⁽¹³⁾。図5に面心立方格子構造の格子配列を示す。

- ・充填率 74% ($\sqrt{2}\pi/6$)
- ・隣接する格子数 12

面心立方格子構造の充填率は74%になるのに対し、単純立方格子構造では充填率はたった53% ($\pi/6$)である。

物体の位置を3次元空間で最適に検出するためには、この面心立方格子構造の各格子を各セルの中心とすることにより、位置決め最適化を行うことが可能であると考えられる。

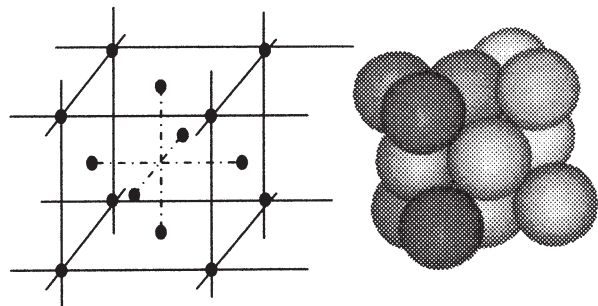


図 5 面心立方格子構造における格子の配列

3. 3次元における問題点

図6は、固定ノードにモノポールアンテナを用い、8x8x8の単純立方体の格子配列において、各格子の位置とその時に得られる受信レベルを全て比較したものである。

比較はレベル情報の情報間距離をもとめ球の大きさで図示している。球の半径が小さければ、距離が近いものであり、似通ったレベル情報になる。本例では離れた2か所において、ほぼ同じ情報が存在することが分かる。

これは、致命的な欠点であり、S/Nに関わらず誤検出する場合があることになる。

この現象は、アンテナが指向特性を持つため、電波伝搬方向により、アンテナ利得が異なることにより生じる。図7に有限地板上モノポールアンテナの放射特性を示す。

解決するためには、全方向に均一な(4πステラジアンに均等)電波伝搬を実現する必要がある。しかし、4πステラジアンに均等に感度のあるアンテナを実現することは原理的に無理である。

そこで、図8に示すように、xyzの3つの直交軸にダイポールアンテナを付けたアンテナを設け、これに3相信号を給電することにより、全方向に円偏波を信号を均一に放射させることができる。

図9に予測される全方向に均一なアンテナ利得を持つ理想的なアンテナパターンを示す。

受信側では、同じ形式のアンテナで受信し、ベクトル合成することにより、距離と比例した受信レベルを検出することが可能となる。

図 10 は検証のため、送受 2 つのアンテナを傾け、そのアンテナ出力を計算機シミュレーションしたものである。各アンテナ素子の傾きからの信号のレベル、位相は異なるが、各素子毎に、受信レベルを検出し、ベクトル演算することにより、電磁波全体の受信レベルを算出できることが分かる。

異なる位置で同じレベル情報

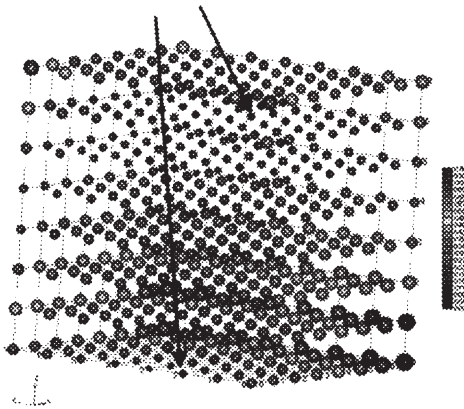


図 6 各格子点からの受信信号レベル情報間距離

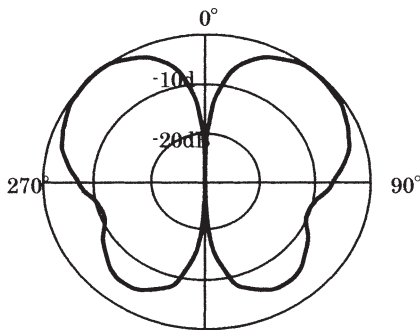


図 7 有限地板上モノポールアンテナの放射特性

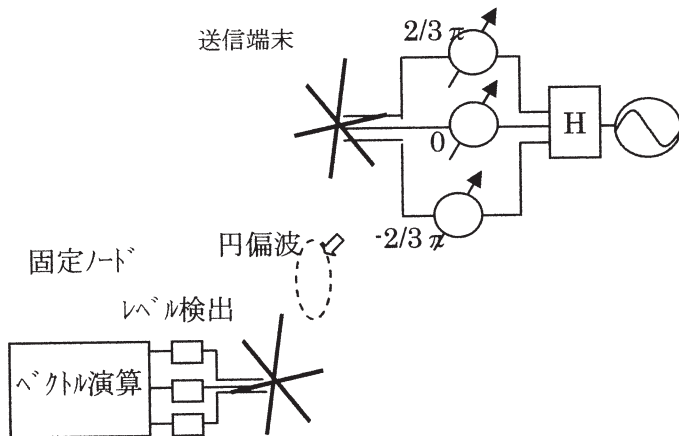


図 8 3つの直交軸にダイポールアンテナを設けた全方向に円偏波を信号を均一に発射するアンテナ

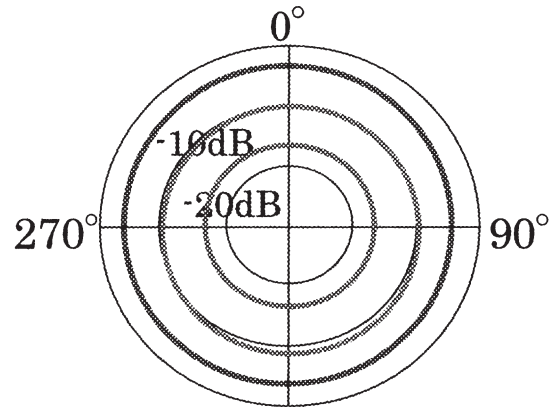


図 9 全方向に均一なアンテナ利得

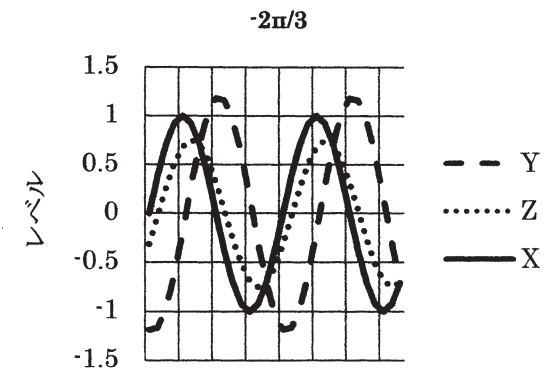
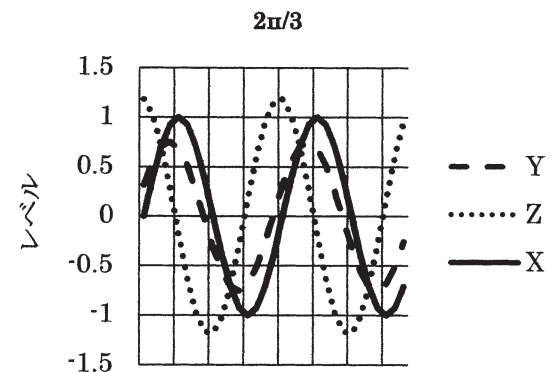
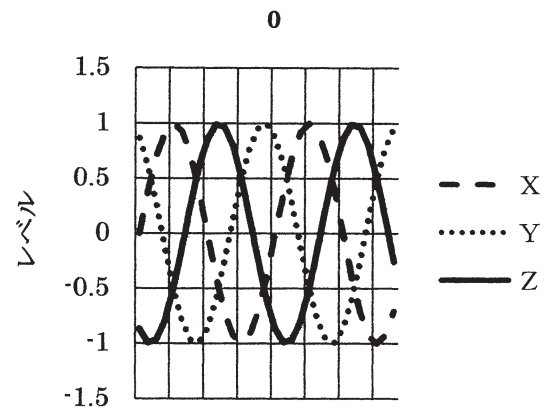


図 10 送受 2 つのアンテナを傾けた後、受信アンテナ各素子の出力信号

4. フィールド試験

4. 1 フィールド試験系の構成

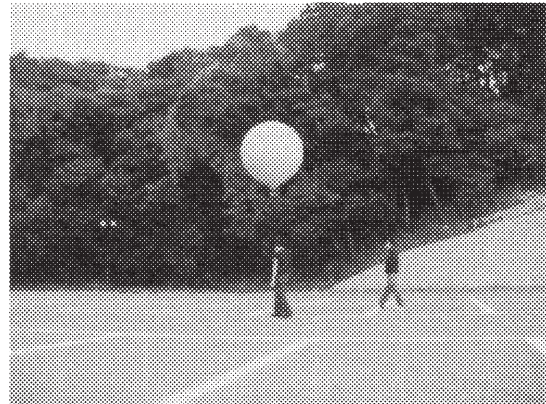
フィールド試験を実施した。図 11 はフィールド試験のシステム構成図である。

風船に送信端末をつけ、複数の固定ノードにより、受信し、ビタビアルゴリズムを用いて、風船の位置を測定した。各固定ノード（無線基地局 No1~3）のアンテナはモノポールアンテナを用いた。図 12 に測定風景と固定ノードを示す。

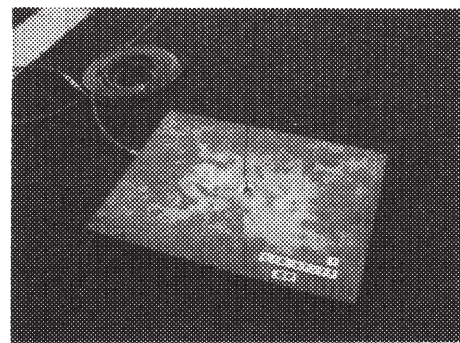
4. 1 試験結果

位置検出の結果を図 14 に示す。ビタビアルゴリズムを用いた場合と、単純にレベルと距離による単純計算により位置を推定した従来の方法を比較した。図 6 に示したように、離れた場所によく似た同じレベルがあるため、従来の方法では、推定位置が一瞬飛んで大きく外れる時があることが分かる。これに比べ、ビタビアルゴリズムを用いた場合、隣接格子への移動のみが位置の状態遷移として出力されることにより、改善されていることが分かる。

図 13 は1当りの移動機の移動距離を確率密度で表したものである。ビタビアルゴリズムを用いた場合、は隣接格子までの距離2以下に集中しているの比べ、従来方法では分散していることが分かる。



(a)測定風景



(b)固定ノード (モノポールアンテナ)

図 12 実験風景と固定ノード

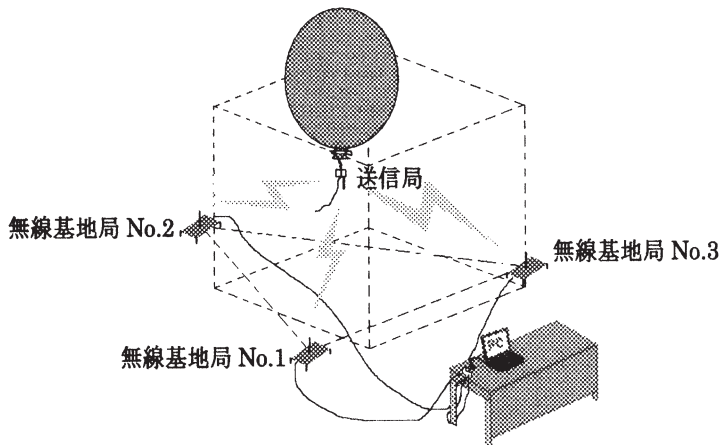
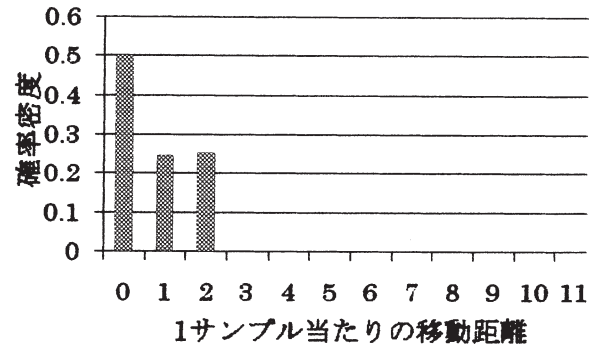


図 11 フィールド試験システム構成図

提案方法



従来方法

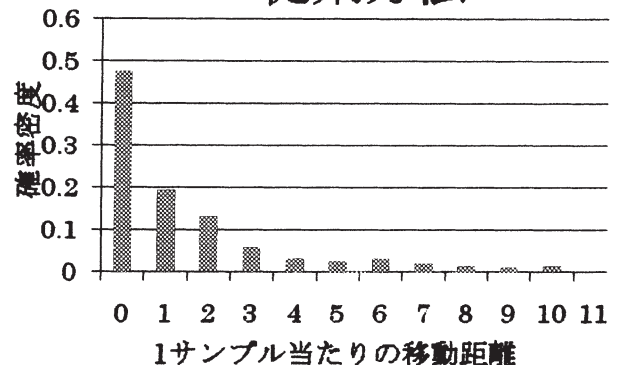
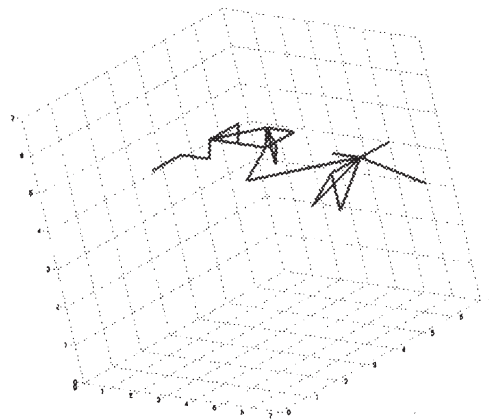
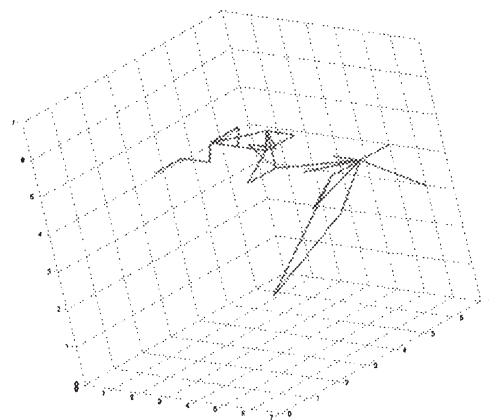


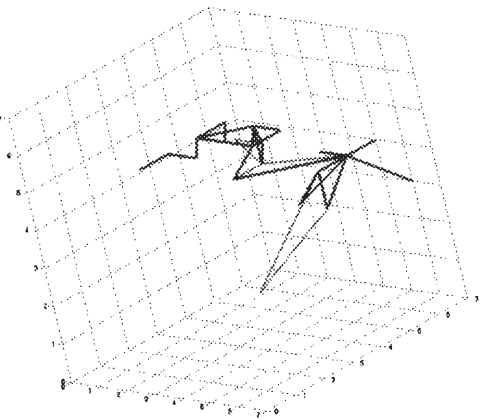
図 13 移動機の1サンプル当り移動距離の確率密度



(a) ビタビアルゴリズムによる位置検出



(b) 従来方法による位置検出



(c) ビタビアルゴリズムと従来方法の比較

図 14 フィールド試験結果

5. あとがき

ビタビアルゴリズムを用いた位置検出法を提案し、 $8 \times 8 \times 8$ の 3次元モデルによる位置検出フィールド試験を実施し、検証した。

その結果、次のことが分かった。

・フィールド試験において、従来の位置検出方法では、時々、大きく外れる位置を算出してしまう場合があるのに比べ、

提案するビタビアルゴリズムを用いた位置検出では、隣接格子をたどる状態遷移になることから、大きく外れる位置を算出することがなく、非常に有効であることがわかった。

・3次元位置検出において、用いるアンテナは全方法に均一な利得を有するアンテナにする必要がある。実現するアンテナとして3つの線状アンテナをxyz軸上に設けた 4π ステラジアンアンテナを考案した。

・3次元位置推定するための、最適セル構造を考え、面心立方格子構造(略称 FCC(face-centered cubic lattice))が最も適していることを示した。

今後は、実用化するために必要なビタビアルゴリズムを用いた位置検出 LSI を開発する予定である。

5. 謝辞

アンテナに関し貴重なご意見をいただいた豊橋科学技術大学大平孝教授殿、防衛大学山田吉英教授殿、幾何学に関し貴重な資料をいただいた津田塾大学福原真二教授殿に深謝いたします。

文 献

- [1] 朝生、齋川、服部、“セルラーシステムにおける電界強度と移動速度情報を用いた最尤位置検出法”，情報処理学会論文誌 Vol. 45, No5, pp1409-1416, March 2004
- [2] 川端、朝生、犀皮、服部、“セルラーシステムにおける最尤推定法に基づく TDOA システムの位置検出性能評価”，信学論(B) Vol. J87-B No. 2, Feb. 2002
- [3] 朝生、齋川、服部、“移動通信における TDOA を用いた INS-PX 位置検出法の提案”，シミュレーション学会論文誌 Vol. 22 No4, pp79-85 2003
- [4] 高島、趙、柳原、福井、福永、原、北山、“センサネットワークにおける受信電力と最ゆう法を用いた位置推定”，信学会論(B) Vol. J89-B No. 5 2006
- [5] Neal Patwari, A. O. Hero III, M. Perkins, Neiyer S. Correal, R. J. O' Dea, "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 51, No. 8, Aug. 2003
- [6] A. J. Weiss, "On thr Accuracy of Cellular Location System Based on RSS Measurements", IEEE trans. on Vehicular Technology, Vol52, No6, 2003
- [7] 郡” ビタビ復号アルゴリズムを用いた位置検出の検討” 信学技報, MoMuC2007-68, 2008
- [8] 郡” ビタビアルゴリズムを用いた 3次元位置検出の検討” 信学技報, MoMuC2008-82, 2009
- [9] 今井秀樹, “符号理論”, 電子情報通信学会, 2000
- [10] 久保田、郡、加藤, “SST(Scarce State Transition) 型ビタビ復号回路”, 信学会論文誌 B, Vol69B no11, 1986
- [11] H.S.M.Coseter, "Introduction to Geometry", Wiley, New York
- [12] 進士、安達、生越、鹿兒島、冠、坂上、鈴木、須田、関口、服部、平出、室田、山田, “移動通信”, 丸善株式会社, pp139-140, 1989
- [13] ジョージ・G・スピーロ著、青木薫訳『ケプラー予想』新潮社、2005年

CMOS比較回路（1）4ビット大小比較回路

CMOS Comparator Circuits (1) 4-bit comparator circuits

波多野 裕*、横井 和輝**

Hiroshi HATANO and Kazuki YOKOI

Abstract : A 4-bit CMOS digital comparator circuit has been successfully designed and fabricated using a double polysilicon and double metal 1.2 μm CMOS technology. It consists of an input 1-bit comparator part and a 2-bit comparator tree followed by a decision circuit. The designed comparator has confirmed to function correctly by SPICE simulations. Furthermore, the fabricated comparator has confirmed to function correctly by chip measurements. About 40 % transistor number drastic reduction has been realized by introductions of the newly designed input 1-bit comparator, 2-bit comparator tree and decision circuit.

1. 緒言

大小比較器とは、2つ入力 A, B の論理レベルを比較してどちらが大きいか、または等しいかを判定する回路である。大小比較器はデジタル装置において入力を調整するための回路への帰還（フィードバック）を発生させるために用いられる。帰還は制御装置における決定的な要素である。例えば、物理量（温度、速度、位置、時間、光の速さ、圧力、重量など）が A/D 変換器により 2 進数形式に変換されれば、この計測結果は大小比較器の一方のデータ入力へ送ることができる。もう一方のデータ比較入力はオペレータにより目標とするレベルにセットされ、大小比較器の出力は物理量を目標とするレベルに駆動するための回路を活性化する制御信号を出す。

4ビット大小比較器を2層ポリシリコン2層アルミNウェルCMOSプロセス¹⁾で設計試作した。本論文では回路設計、レイアウト設計、シミュレーション結果、および試作回路の実測結果について報告する。

2. 4ビット大小比較器の回路構成

設計した4ビット大小比較器は1ビットの入力部、2ビットの比較ツリー部、判定回路によって構成した。従来のツリー型の概念を参考にして設計している²⁾。

4ビット大小比較器の論理回路図を図1に示す。この回路は、左から、1ビット比較器、2ビット比較器および判定回路から構成されている。

2.1 1ビット比較器

1ビット大小比較器の論理回路図を図2に示す。1ビット比較器は入力部に相当する。4ビット入力に対して1ビット毎に大小比較を行い2ビット比較器に出力する。

1ビット比較器の真理値表を表1に示す。

2.2 2ビット比較ツリー部

2ビット入力 A (=a2, a1), B (=b2, b1) に対して、上位ビット、下位ビットの比較結果をそれぞれ c1, d1, c0, d0 とする。これらを2ビット比較器に入力し、AとBの大小を比較する。2ビット比較器の真理値表を表2に示す。2ビット比較器を使用することで4ビット比較器の出力 \bar{E} , \bar{F} を得る。この部分は比較器ツリー部に相当する。ツリー部の構成を図3に示す。

4入力 NAND を5個のトランジスタで構成した。4入力 NAND のトランジスタ回路図を図4に示す。これは pMOS トランジスタのゲートを GND に接続する擬似インバータを応用して作成した。

2.3 判定回路

判定回路を図5示す。判定回路は比較器ツリー部の出力を入力としている。A>B のとき G=1, H=I=0 を、A=B のとき G=0, H=1, I=0, A<B のとき G=H=0, I=1 を出力する。判定表を表3に示す。

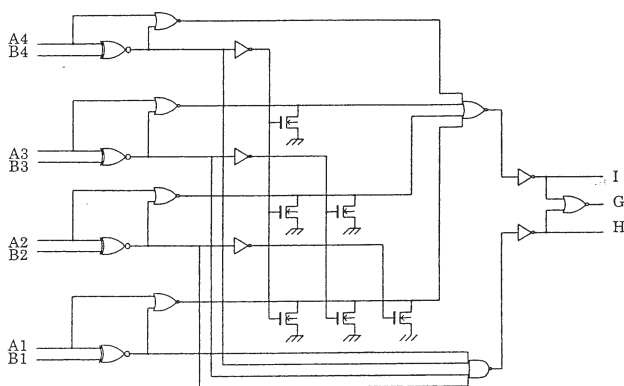


図1 4ビット大小比較器の論理回路図

2009年3月5日受理

* 理工学部 電気電子工学科

**理工学部 電気電子情報工学科卒業生（現在、三栄ハイテックス（株））

3. レイアウト設計および回路シミュレーション

4ビット大小比較器のトランジスタ回路図を図6に示す。図6を用いて2層ポリシリコン2層アルミNウェルCMOSプロセスに基づき、4ビット大小比較器のレイアウト設計を行った。レイアウトパターンを図7に示す。総トランジスタ数は73個、縦338 μ m、横616 μ m、占有面積208208 μ m²である。

レイアウトパターンから抽出した入力ファイルを用いて、HSPICEにより回路シミュレーションを実行した。4ビット大小比較器のシミュレーション結果を図8に示す。シミュレーション結果と表3を比較し、正しく動作していることを確認した。

4. 試作結果

2層ポリシリコン2層アルミNウェルCMOSプロセス^{3,4)}を用いて設計した4ビット大小比較器を試作した。図

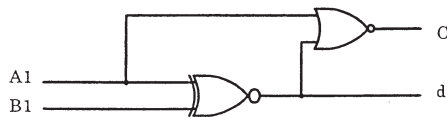


図2 1ビット大小比較器の論理回路図

表1 1ビット比較器の真理値表

入力		出力		
a	b	c	d	
0	1	1	0	a < b
0	0	0	1	a = b
1	1	0	1	a = b
1	0	0	0	a > b

表2 2ビット大小比較器の真理値表

入力				出力		
c1	d1	c0	d0	c'	d'	
0	0	*	*	0	0	a > b
0	1	0	0	0	0	a > b
		0	1	0	1	a = b
		1	0	1	0	a < b
1	0	*	*	1	0	a < b

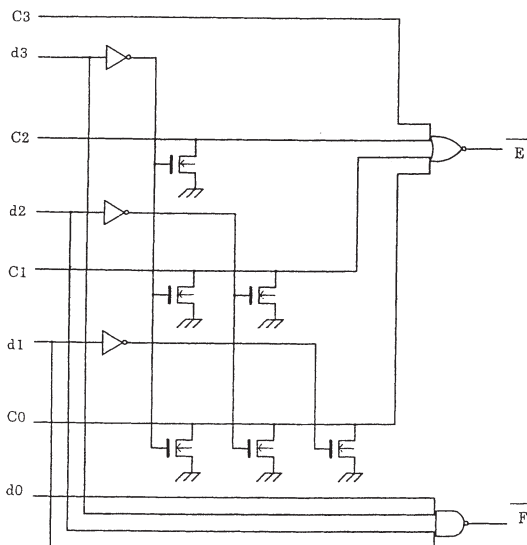


図3 ツリー部の回路図

9に試作した4ビット大小比較器の顕微鏡写真を示す。図10に試作した4ビット大小比較器の実測による入出力波形を示す。図8のシミュレーション結果と比較して正しく安定に動作していることを確認することに成功した。

5. トランジスタ数の削減

まず、図2の1ビット大小比較器において6個のトランジスタを削減した。参考文献2)にある従来の回路(Fig.2)では、4つのゲートから構成され16個のトランジスタを使用している。今回設計した回路は図2に示したように2つのゲートから構成され10個のトランジスタを使用している。

次に、図3のツリー部において5個のトランジスタを削減した。参考文献2)にある従来の回路(Fig.8)では、ゲート数6、トランジスタ数は30個である。今回設計した4ビット比較器では図3に示したようにゲート数5、トランジスタ数25個である。

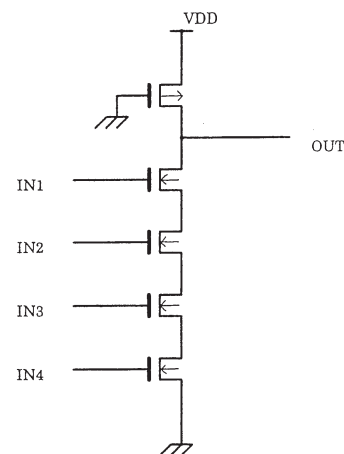


図4 4入力 NAND のトランジスタ回路図

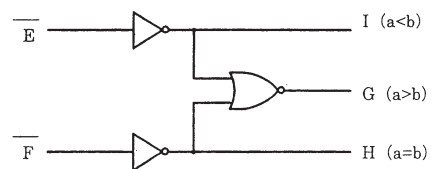


図5 判定回路の論理回路図

表3 判定表

入力		出力			
\bar{E}	\bar{F}	G	H	I	
1	1	1	0	0	a > b
1	0	0	1	0	a = b
0	1	0	0	1	a < b

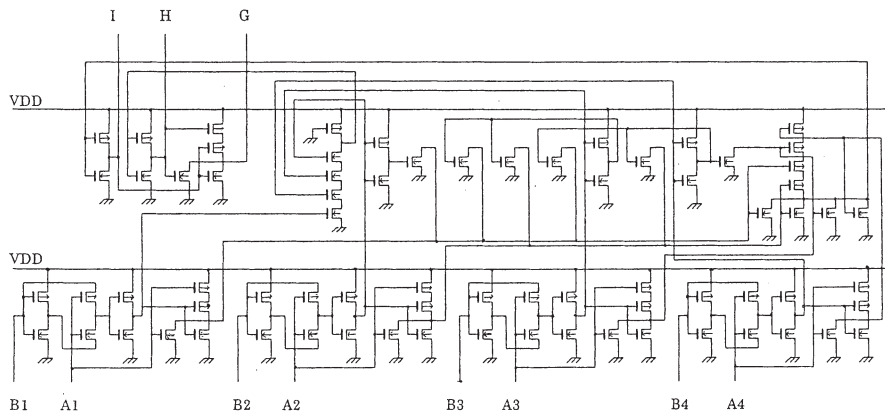


図6 4ビット大小比較器のトランジスタ回路図

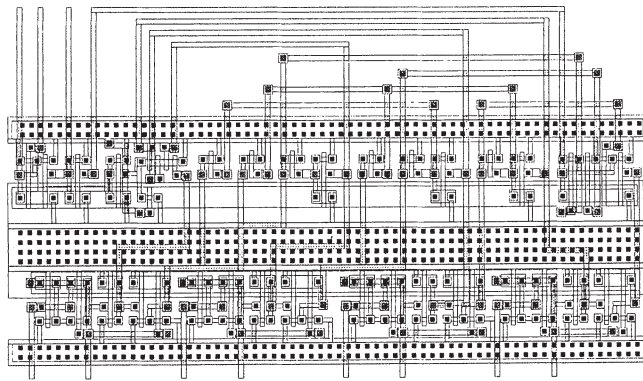


図7 4ビット大小比較器のレイアウト図

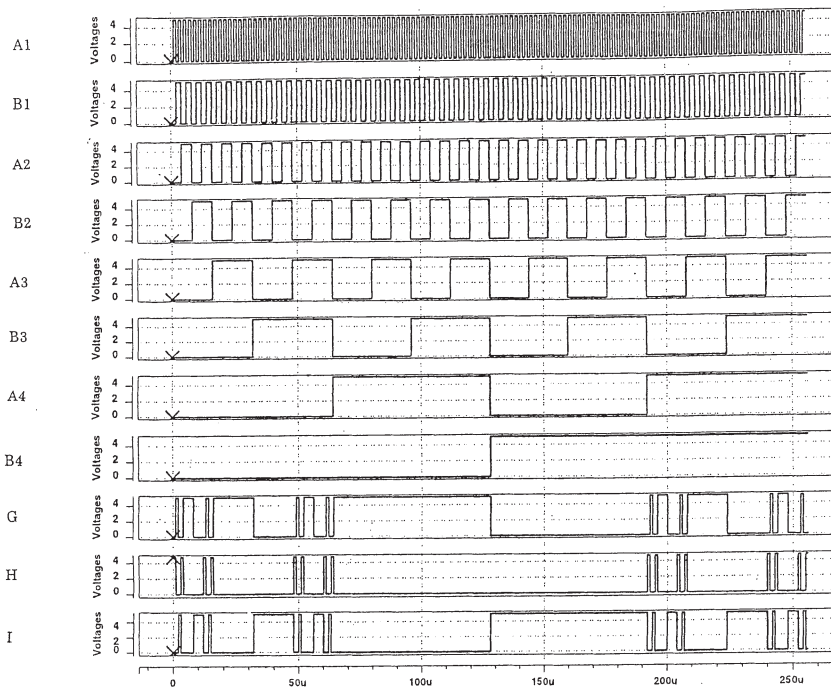


図8 4ビット大小比較器のシミュレーション結果
横軸：時間[sec] 縦軸：電圧[V]

最後に、図5の判定回路の部分において14個のトランジスタを削減した。参考文献2)にある従来の判定回路(Fig.5)では、8つのゲートから構成され22個のトランジスタを使用している。今回設計した判定回路は図5に示したように3つのゲートから構成され8個のトランジスタを使用している。

以上、4ビット大小比較器として考えると、従来型は116個のトランジスタを使用するため、今回設計した4ビット大小比較器はトランジスタ数を43個削減したことになる。これは約40%のトランジスタ数の削減である。

6. 結言

4ビット大小比較器を2層ポリシリコン2層アルミニウムウェルCMOSプロセスで設計試作した。設計した4ビット大小比較器は1ビットの入力部、2ビットの比較ツリー部および判定回路によって構成した。HSPICEによる回路シミュレーションにより設計した4ビット大小比較器が正しく動作していることを確認した。更に、試作した4ビット大小比較器の実測により、正しく安定に動作していることを確認することに成功した。また、1ビットの入力部、2ビットの比較ツリー部及び判定回路の設計上の工夫により、従来形と比較してトランジスタ数を約40%削減

することができた。

謝辞

4ビット大小比較器の実測において、2008年度卒研究生、内田雅人君(2009年4月からアポロ技研(株))の協力があつた。記して謝意を表す。

本研究に関するチップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通しオンセミコンダクター(株)、日本モトローラ(株)、HOYA(株)、京セラ(株)の協力で行われたものである。

参考文献

- 1) H. Hatano, "Single event effects on static and clocked cascade voltage switch logic circuits", IEEE Trans. Nuclear Science, NS-56, No.2, 2009.
- 2) 早船明, 大橋政芳, 榎本忠儀, "CMOS デジタル大小比較回路の設計, 試作, 評価", 信学技報, DSP98-91, ICD98-178, pp. 13-18, 1998.
- 3) H. Hatano, "'SEU effects on static and clocked cascade voltage switch logic (CVSL) circuits", Proceedings of the 8th European Workshop on Radiation Effects on Components and Systems, pp. 136-140, Jyvaskyla, 2008.

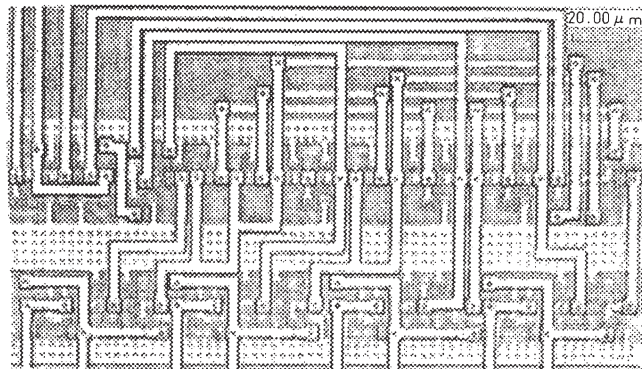


図9 4ビット大小比較器の顕微鏡写真

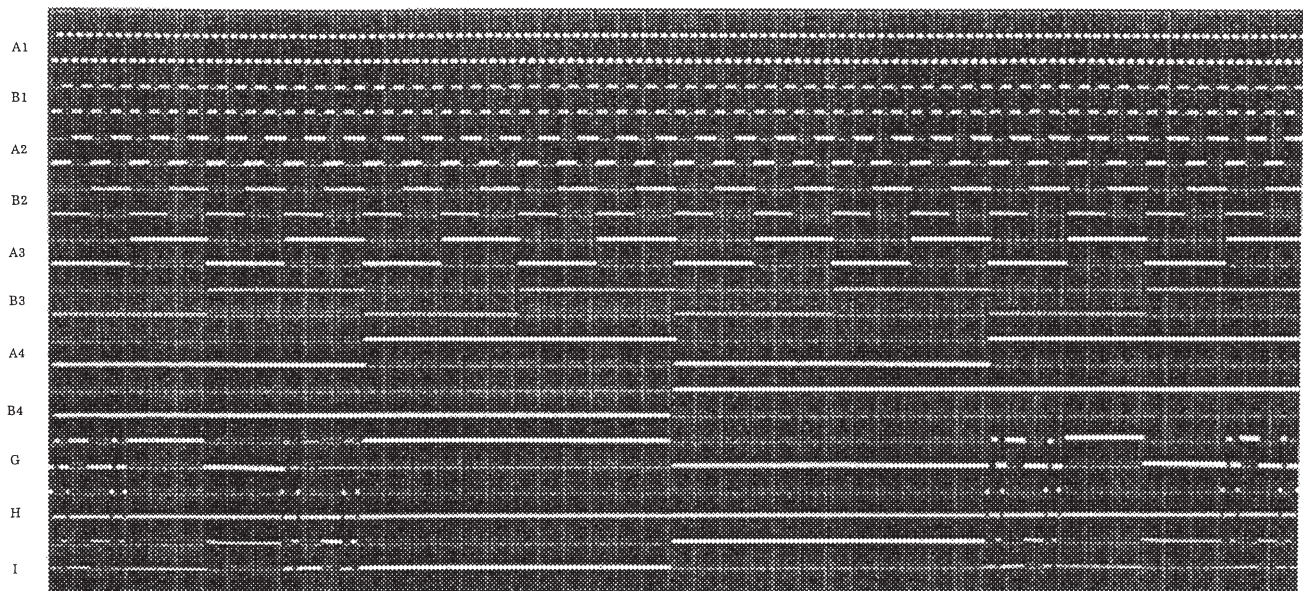


図10 4ビット大小比較器の実測結果

横軸：時間[220μs/div.] 縦軸：電圧[5V/div.]

- 4) H. Hatano, "Single event effects on CVSL and CMOS exclusive-OR (EX-OR) circuits," submitted to 9th European Workshop on Radiation Effects on Components and Systems, 2009.

立体化学表記法の混乱について

Complication of Graphic Representation of Three-Dimensional Structure

桐原 正之*、望月 友裕**

Masayuki KIRIHARA and Tomohiro MOCHIDUKI

Abstract: Structural diagrams which depict stereochemistry have been used in the structural drawings for organic chemistry. In general, plain lines depict bonds approximately in the plane of the drawing; bonds to atoms above the plane are shown with a bold wedge (starting from an atom in the plane of the drawing at the narrow end of the wedge); and bonds to atoms below the plane are shown by broken lines. In the cases of the broken lines, they are typically used in three different ways. 1. Narrow end as being in the plane of the drawing (Method A). 2. Short parallel lines (Method B). 3. Narrow end as furthest from the viewer (Method C). We investigated which method has been mainly used. Although IUPAC recommends Method B, most chemists have recently used Method A in the chemical journals.

1. はじめに

化学者、特に有機化学者が化学構造式を書く場合、立体化学を明示するためにそれらの表記法が工夫されている。しかしながら、この立体化学表記法には後述するように不統一の部分がある。今回我々は、それらについて調査を行い、極めて興味深い知見を得たので報告する。

2. 立体化学表記法

化学が取り扱う分子の世界は、言うまでもなく三次元の世界である。例えば、一番簡単な有機化合物である CH_4 (メタン) の炭素は sp^3 混成軌道をとるので正四面体構造をとる。すなわち、正四面体の中心に炭素があり、水素は正四面体の各頂点に位置している (Fig. 1)。

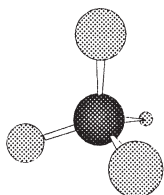


Fig. 1 Molecular model of methane

しかしながら、我々が記録に使う代表的な手段の紙は二次元 (平面) である。そこで、二次元の紙上で分子の構造式を、わかりやすく立体表記するための立体表示法が工夫されている。たとえば、正四面体構造をとるメタンを例にとると、いずれか 2 個の水素原子と炭素原子とが 1 つの平面を作り、これが残り 2 個の水素と炭素とからつくられる別の平面を垂直に二等分しているので、実線 —— で描かれた結合は紙面上にあり、破線 ||||| で描かれた結合は紙面の裏側へ伸び、実線のくさび形 ▲ で描かれた結合は紙面から手前に向かって出ていると定義される (Fig 2)。

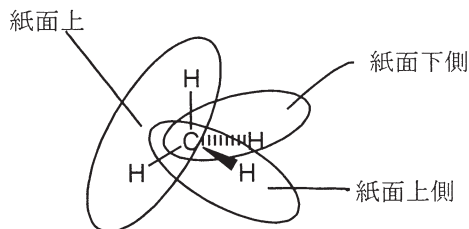


Fig. 2 3D structure of methane

3. 破線の描き方の混乱

しかし、立体化学表記法において破線の書き方が統一されておらず、化学者によって書き方が異なるという問題が存在している。具体的には、末広がり型の破線表記 (A)、破線の太さが変わらない表記 (B)、尻すぼみ型の破線表記 (C) の主に 3 種類の描き方が存在する (Fig. 3)。これら以外にも、破線を細い線で表記する場合 (B') があるが、この場合は破線の太さが変わらない表記といえるので、今後はこれらも B 表記として取り扱うことにする。



Fig. 3

A 表記は実線のくさび形表記と類似の破線のくさび型表記といえよう。一方 C 表記の場合は、破線は紙面の反対側に行くのだから、始点から遠ざかるにつれて線の太さが細くなるべきであるという、「遠近法」の考えに基づくものである。

破線の太さを変えると A 表記と C 表記の二通りがあり、まぎらわしいので、破線の太さを変えるべきではないという考えに基づくものが B 表記である。あまり知られていないようであるが、IUPAC (国際純正および応用化学連

2009年3月1日受理

* 理工学部 物質生命科学科

**理工学部 物質生命科学科 卒業生

合)ではB表示を推奨している¹⁾。

なお、破線の太さを変えないだけでなく、紙面の手前にくる線の太さも変えるべきではないと考え、くさび型の実線ではなく、太い実線を用いる化学者も存在する(D表記)。IUPACではD表記も推奨している。



D

Fig. 4

我々はこれら様々の立体化学表記法(A~D表記)のうち、どの表記法がどれくらい使われているのか調査してみた。

4. 各種破線の描き方使用状況・教科書類

立体化学表記法は、大学学部レベル初級の有機化学講義で教えられるのが一般的である。そこでまず、静岡理工科大学の附属図書館に所蔵されている、大学の有機化学講義教科書として使用されることを想定して書かれたと我々が判断した書籍類を調査してみた。その結果を下のTable 1に示した。23種類中、A表記採用が6種類、B表記採用が10種類、C表記採用が6種類、D表記採用が1種類という結果になった。

Table 1 教科書類

 A
ブルース有機化学 第4版 上下
ジョーンズ有機化学 上下 第3版
第5版 バイン有機化学 I・II
クラム 有機化学 I II 第4版
ソロモンの新有機化学 上下 第3版
ケンブ 有機化学 上 中 下
 B
ウォーレン有機化学 上下
マクマリー有機化学 上 中 下 第6版
フォックスホワイトセル 有機化学 I II III
第4版 ボルハルト・ショアー現代有機化学 上下
ブルースター 有機化学 上下
ロバーツ 有機化学 概論 上下
アリンジャー有機化学 上 中 下
ペイラー有機化学 基礎と応用
グリッシュ有機化学
バーゴイン有機化学

 C
ウェイド有機化学 I II III
ハート基礎有機化学
グーチェ バスト 有機化学 上、中、下
ケアリー有機化学 上 中 下
モリソン ボイド 有機化学 上、中、下
フェッセンデン有機化学 上下 第5版
 D
大学院講義 有機化学 I II

IUPACがB表記を推奨しているためか、B表記を用いる教科書が多かった。しかし、A表記やC表記もよく使われていることが判った。

5. 各種破線の描き方使用状況・学術専門雑誌

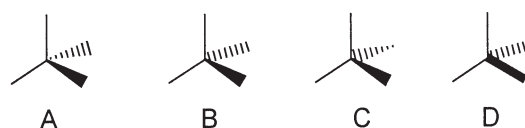
次に化学の学術専門雑誌での各種表記の使われ方について調査した。学術専門雑誌としては、

- ① アメリカ化学会発行の Journal of American Chemical Society (J. Am. Chem. Soc.) の、1962年、1980年、1990年、2003年
- ② 日本化学会発行の Bulletin of Chemical Society of Japan (Bull. Chem. Soc. Jpn.) の、1962年、1980年、1990年、2003年
- ③ 日本化学会発行の Chemistry Letters (Chem. Lett.) の、1980年、1990年、2003年
- ④ Elsevier 社発行の Tetrahedron Letters (Tetrahedron Lett.) の、1980年、1990年、2003年

を選び、立体表記を用いている論文では、どの表記法がどれくらい用いられているか調べた。なお、どの雑誌も投稿規定には、立体表示法の規定は書かれていなかった。

調査の結果、各年代によって使用状況は大きく変化しているが、いずれの年代においても、全ての雑誌が同じような傾向を示した。

まず J. Am. Chem. Soc. の結果を、Fig. 5 と Table 1 に示した。



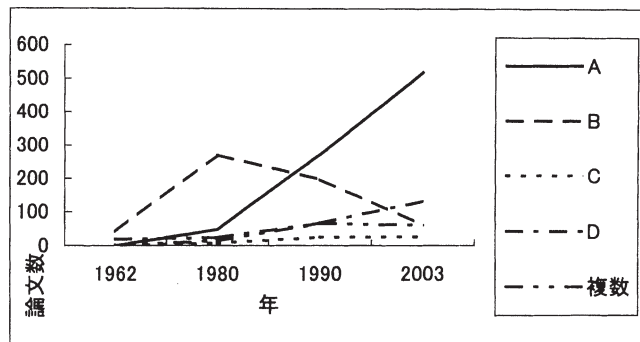


Fig. 5 J. Am. Chem. Soc.

Table 1 J. Am. Chem. Soc.

	1962		1980		1990		2003	
	論文数	割合	論文数	割合	論文数	割合	論文数	割合
A	0	0.0%	48	13.2%	272	43.2%	519	64.8%
B	42	67.7%	270	74.2%	197	31.3%	63	7.9%
C	0	0.0%	8	2.2%	25	4.0%	26	3.2%
D	9	30.6%	24	6.6%	68	10.8%	132	16.5%
複数	1	1.6%	14	3.8%	67	10.7%	61	7.6%
総数	62	100%	364	100%	629	100%	801	100%

1962年では、A表記と、C表記は、一つも無く、B表記が最も多く用いられていた。1980年になると、A表記とC表記が現れてくるが、いずれも少数派で、多くの場合はB表記が用いられていた。ところが、1990年、2003年と年を経るごとにA表記の論文が増え、B表記の論文が減っていることが判った。2003年では過半数がA表記を用いていた。C表記に関しては、用いられている論文は極めて少数で、その割合もほとんど変化していない。

次に、Bull. Chem. Soc. Jpn.、Chem. Lett.、Tetrahedron Lett.の結果を示す。興味深いことに、いずれの場合もJ. Am. Chem. Soc.とほとんど同様の傾向が見られ、2003年では大多数がA表記を採用していた。

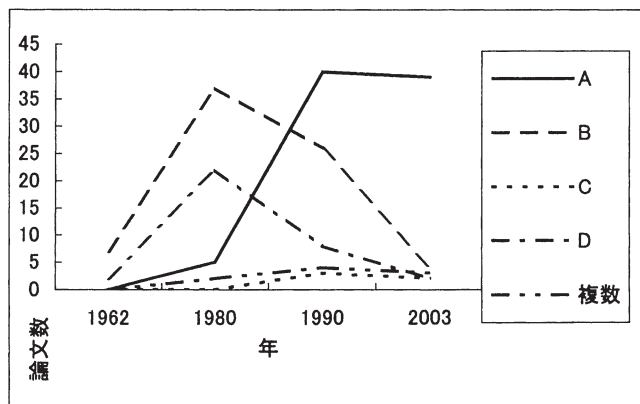


Fig. 6 Bull. Chem. Soc. Jpn.

Table 2 Bull. Chem. Soc. Jpn.

	1962		1980		1990		2003	
	論文数	割合	論文数	割合	論文数	割合	論文数	割合
A	0	0.0%	5	7.6%	40	49.4%	39	78.0%
B	7	77.8%	37	56.1%	26	32.1%	4	8.0%
C	0	0.0%	0	0.0%	3	3.7%	2	4.0%
D	2	22.2%	22	33.3%	8	9.9%	2	4.0%
複数	0	0.0%	2	3.0%	4	4.9%	3	6.0%
総数	9	100%	66	100%	81	100%	50	100%

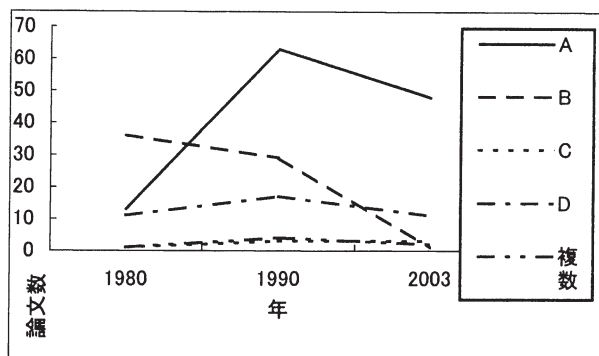


Fig. 7 Chem. Lett.

Table 3 Chem. Lett.

	1980		1990		2003	
	論文数	割合	論文数	割合	論文数	割合
A	13	21.0%	63	54.3%	48	73.8%
B	36	58.1%	29	25.0%	1	1.5%
C	1	1.6%	3	2.6%	3	4.6%
D	11	17.7%	17	14.7%	11	16.9%
複数	1	1.6%	4	3.4%	2	3.1%
総数	62	100%	116	100%	65	100%

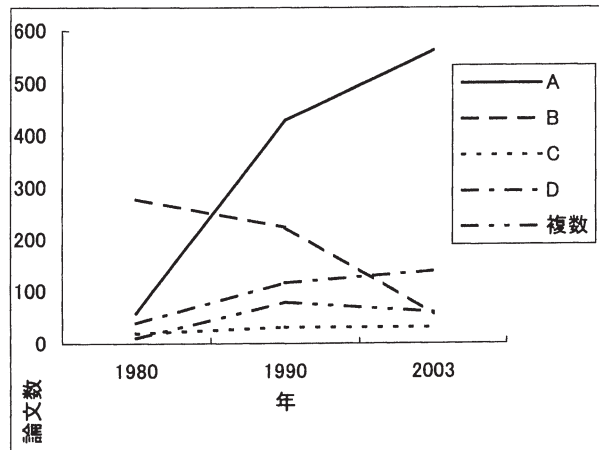


Fig. 8 Tetrahedron Lett.

Table4 Tetrahedron Lett.

	1980		1990		2003	
	論文数	割合	論文数	割合	論文数	割合
A	58	14.4%	430	48.9%	563	66.3%
B	278	68.8%	224	25.5%	56	6.6%
C	19	4.7%	31	3.5%	31	3.7%
D	39	9.7%	116	13.2%	139	16.4%
複数	10	2.5%	79	9.0%	60	7.1%
総数	404	100%	880	100%	849	100%

6. 各種破線の描き方使用状況・その他

公定書である日本薬局方では、最新版の第15改正版と第10改正版（1981年）のいずれもB'表記が用いられていた。代表的なオンライン化学検索システムの、SciFinderでもB'表記が用いられていた。



Fig. 9 日本薬局方およびSciFinderの立体表示

代表的な化学構造式作成ソフトウェアである、Chem Drawでは、いずれの表記法でも構造式が書けるようになっていたが、Toolsボックス中のStereocentersを使って自動的に立体表記をさせると、A表示のものがあらわれるようになっていた（Fig. 10）。



Fig. 10 Chem DrawのStereocenters表示

7. まとめ

専門雑誌に関しては、今回調査したのはわずか4雑誌で、各4つの年代から1年ずつピックアップしたに過ぎない。しかしながら、どの雑誌も年代ごとの表記方法の使用状況は似通っており、近年は大多数の化学者がA表記を使用していることが判った。また、各年代にわたって、C表記を用いている化学者は極めて少ないことも明らかとなった。今後、さらなる調査が必要ではあるが、今回の調査でおおよその傾向は把握できたと思っている。

なぜ、近年は大多数の化学者がA表記を用いるようになったかについては、化学構造式作成ソフトウェア

Chem Drawの普及のせいではないかと考えている。

現在のようにコンピューターが普及するまでは、化学者は構造式を、製図用の定規とペンを用いて手書きで書いていた。その場合は線の太さを変化させるのは手間がかかる（特に破線の場合はそれが顕著）。したがって、線の太さを変えない、BやDの表記が好まれたのではないだろうか。

実用的な最初の化学構造式作成ソフトウェアであるChem Drawは、1980年代後半から1990年代にかけて爆発的に普及し、現在ではほとんどの有機化学者は化学構造式をChem Drawで書いている。化学構造式作成ソフトウェアはChem Draw以外にも開発されてきているが、Chem Drawを使用する有機化学者が多い。Fig. 10にも示したように、Chem DrawがA表示を採用しているため、その影響で多くの化学者（有機化学者）がA表記を使うようになったのであろう。

破線の書き方が複数あるのは決して望ましい状況であるとは言えない。IUPACではB表示が推奨されているのであるから、教科書の著者はB表示を用いるべきであろう。また、各専門雑誌は投稿規定に破線の書き方はB表示にするように明記した方が良いのではないだろうか。

ただ、これだけ多数の化学者がA表記を使用していることから、IUPACでA表示を推奨するように検討してみる事も必要であろう。

参考文献

- 1) <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/stereo/intro.html>; K.L. Loening, in *Chemical Structures* edited W.A. Warr, 1988, Springer Verlag, pp. 413-423.

インタラクティブ3Dアプリケーション開発ツールを用いた

3Dゲーム教材の作成

Development of an Educational Material for Making 3D-Games using an Interactive 3D Authoring Tool

玉真 昭男*

Teruo TAMAMA

Abstract: Using an interactive 3D authoring tool, named “Virtools 4.1,” a 3D-racing game has been developed, in which an amphibious vehicle speeds up and down over a mountainous region with an undulating surface. Since this includes various elements necessary for developing a high-level 3D racing game, it is a good educational material for making 3D games. With this, students can develop their own 3D games easily by revising it or adding new functions.

1. はじめに

過去7年間に、卒業研究や修士論文の課題として約30個の3Dコンピュータアクションゲームを開発してきた。種類もレーシングゲーム、シューティングゲーム、格闘ゲーム、ロールプレイゲーム、落ちモノゲームなどいろいろである。大学祭やオープンキャンパスなどのイベントで、見物客に十分に楽しんでもらえるレベルで、しかも安定して動作するゲームも10個以上存在する^{1,2)}。

ゲーム作りは、出来栄を自分で評価できる、何か1つ作るとアイデアが次々に湧いてもっと作りたくなる、更に高度な機能を作りこみたくなる、といった自己拡張性があり、完成したときの達成感も大きいので、アルゴリズム考案やプログラミングといった「知的もの造り」教育の課題として非常に優れている。

また、将来、プログラマーやSE(システムエンジニア)を目指す学生には、プログラミング言語の文法を理解し、多くの演習問題を解くだけでは不十分で、卒業研究などで例えば3000行以上の大規模プログラミング開発の体験が必要である。その課題として、出来栄を自分で評価でき、アイデアが次々に湧いてもっと作りたくなる「ゲーム」は格好の題材である。

大学でゲームを開発するもう一つの意義は、大学祭、オープンキャンパスなどのイベントで、展示の目玉とし

て宣伝に使えることである。子供、小中高校生、大学生から社会人まで、長く居座ってゲームを楽しむ姿が見受けられ、非常に人気のある会場の一つとなる。特に高校生は、大学進学後自分でもゲームを作ってみたいと思うからであろうが、全てのゲームを試した上で、どうやって作るのか、作成にはどれ位時間が掛かるのかなど、熱心に質問する人が多い。

このような背景から、Windows用のC/C++コンパイラであるVisual C++.NETと3Dゲーム開発用ライブラリDirectXを駆使して、3Dゲーム作りを行ってきた。レーシングゲームに於いては、物理効果の導入、フォースフィードバックの掛かる操縦席とのドッキングにより、F1カーの加速性能を体験できるレーシングシミュレータを開発することが出来た³⁾。また今年は、運転再現モードやコンピュータ対戦モードを追加して、運転の評価・分析が行えるシステムに拡張した。これを「全日本学生フォーミュラ大会」に向けたドライバーの運転練習に活用し、総合成績アップにつながる成果が得られた⁴⁾。

しかし、このレーシングゲームに関しても、2人の院生が4年次から3年ずつ、計6年間掛け、我が研究室の傑作を作ってくれたが、平坦なコースを自由に動き回れるレベルでしかない、ということも言える。Visual C++とDirectXの組み合わせでは、依然として起伏のある山野を車が駆け巡るゲームは出来ていない。物理効果も、フェンスや道路上に置いたコーンと車との衝突による跳ね返り動作の表

2009年3月13日受理

* 総合情報学部 コンピュータシステム学科

現に留まっている。

最近の市販ゲームの特徴は、まず登場するキャラクターの表情がリアルで数が多いことである。実写の映画と見まがうほどの、或いはそれを越えたスーパーリアルな映像が現れる。また、周りの景観も壮大で、スケールの大きな仮想空間の中で圧倒的な迫力の活劇が繰り広げられる。これは経験豊富な数十人規模のプロフェッショナル集団がビジネスレベルで、しかも数年掛かりで創る作品だからであり、大学で、しかも数人規模では太刀打ちできる話ではない。

今回、規模は小さく、登場するキャラクターも少ないが、レーシングゲームの本質と考える要素は全て含んだサンプルゲームを作成し、学生用教材とすることを目的とした。ゲームスタート時に最初に現れる背景が壮大だとユーザーに期待を抱かせる効果がある。そこで、今回はゲーム画面背景の景観にもこだわった。

2. 使用したソフトウェア

開発環境としては Dassault Systems 社のインタラクティブ 3D アプリケーション開発ツール “Virtools 4.1” を用いた。Virtools は 450 個以上もあるビルディングブロック (BB) と呼ばれるモジュールを組み合わせることで 3D シーンを作っていく。BB には、キャラクター、車、

背景、大道具、小道具などの 3D オブジェクトだけでなく、テクスチャ (表面材質)、キーやマウス操作の設定、アニメーションやサウンド設定、などの種類がある。これらを Schematic と呼ばれる画面上でつないで行くだけでインタラクティブな 3D アプリケーションの生成が行われる。

モデリングには 3DCG モデラー “Metasequoia”⁵⁾ を使用した。これにはシェアウェア版とフリーウェア版があり、現在 Ver. 2.4.9 と R2.4 がそれぞれの最新バージョンである。

3. 背景と車のモデリング

3.1 背景のモデリング

シェアウェア版の Metasequoia には凹凸地形の作成機能があるので、背景の作成に使った。地形全体のサイズと縦横の分割数を指定する。今回、サイズは $200 \times 200 \times 100$ 、分割数は縦 $50 \times$ 横 50 を用いた。全体は草地の模様にしたが、高さで山岳部を分離し、赤茶けた土色の画像を貼った。山や谷の間を縫う道路を配置し、コンクリート色に塗った。完成図を Fig. 1 に示す。また、四方についたてを立て、ここに空の写真画像を貼り付けて遠方に青空が見える設定とした。Fig. 1 では、そのうちの 2 方向、前方と左側のみ示してある。

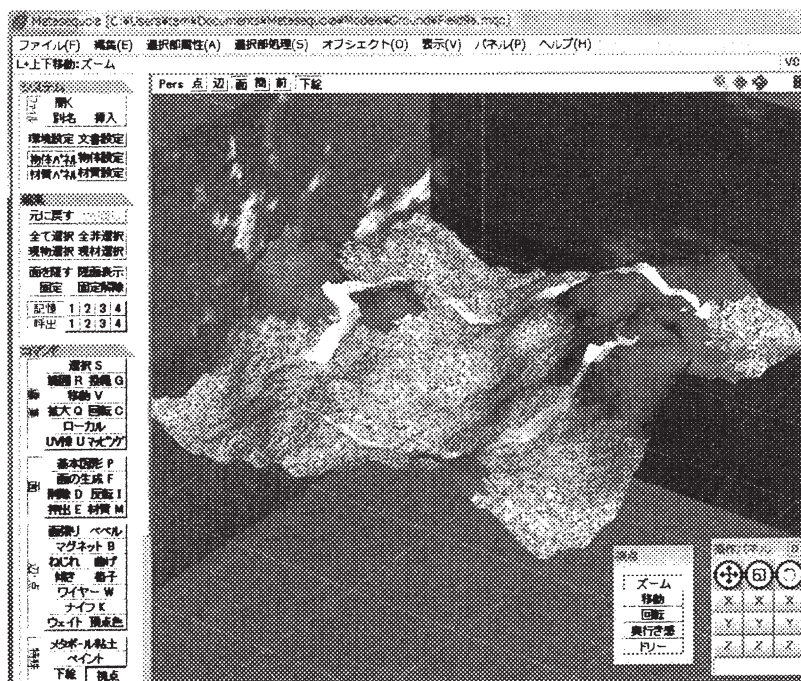


Fig. 1 背景の完成図 (Metasequoia 画面)

3. 2 車のモデリング

Fig. 2 に、同じく Metasequoia で作った車（クラシックカー）の完成図を示す。

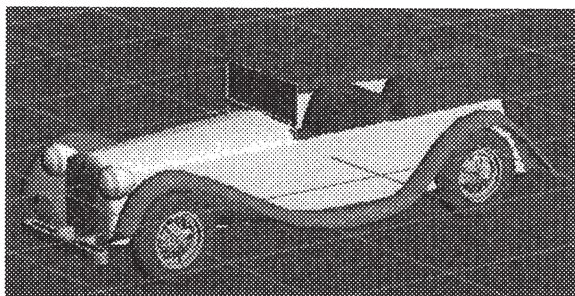


Fig. 2 クラシックカー（Metasequoia 画面）

Virtools に CG で作った「車」を取り込むには次の 2 点を守るのがポイントである。

- (1) 車体とタイヤを個別に取り込み、しかもそれぞれのローカル座標を Fig. 3 のようにそれぞれの中心に設定しておく。
- (2) タイヤに _FR（前輪右側）、_FL（前輪左側）、_BR（後輪右側）、_BL（後輪左側）の名前を付ける。
例：Tire_FR、Tire_FL、Tire_BR、Tire_BL

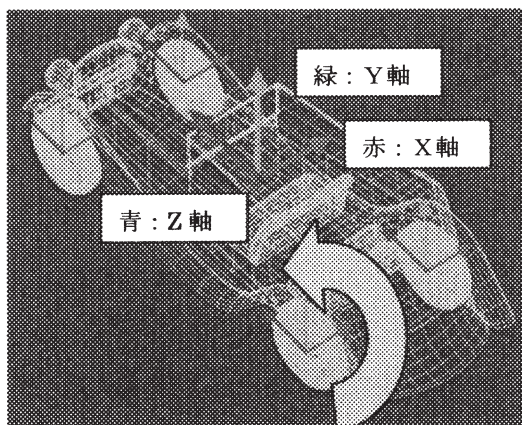


Fig. 3 ローカル座標系の設定(DirectX:左手座標系)

Virtools は DirectX のオブジェクトを使って動く。DirectX の場合、左手座標系になっていることにまず注意する必要がある。次に、各ローカル座標系を Fig. 3 のように個別に設定しておけば、タイヤはそれぞれの座標軸原点、この場合は車軸の回りで正常に回る。しかし、タイヤも含めて車全体を一体化して作り、そのまま Virtools に持ち込むと、タイヤの原点も車体の原点と同一になる。こうすると、タイヤ全体が車体の原点を中心にして回ってし

まう。タイヤが車軸の回りを回るのでなく、車体の中心の回りを回ってはおかしな動きになるので、注意しなくてはならない。

4. Virtools への取り込み

4. 1 車オブジェクトの作成

Metasequoia で作った車のモデルを Virtools に取り込むには X ファイル形式を使う。車のモデルファイルをタイヤとそれ以外の本体の 5 個に分け、X ファイル形式で保存する。Fig. 4 はタイヤを除いた本体のオブジェクトである。

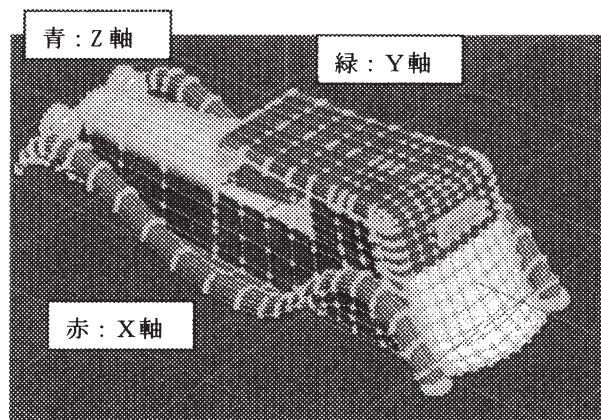


Fig. 4 車体部の Metasequoia 画面（車体の中心をローカル座標系の中心に合わせる）

～座標系は右手座標系になっていることに注意～

Fig. 5 は Metasequoia で X ファイル形式でモデルを保存する時の設定用ダイアログである。両方で座標系が異なる（右手座標系と左手座標系）ので、ファイル保存する時「Z 軸反転」をクリックすることが重要である。

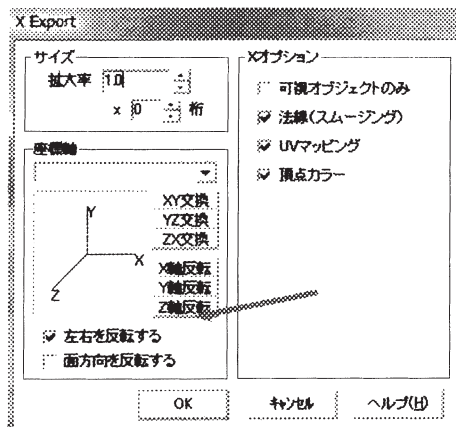


Fig. 5 Metasequoia で X ファイル形式(Direct3D Retained Mode)で保存する時の設定

ホイール付きのタイヤで左右の形が異なる場合は、左側と右側1個ずつのXファイルを作る必要がある。本モデルではタイヤは左右対称にしたので1個だけで良い。

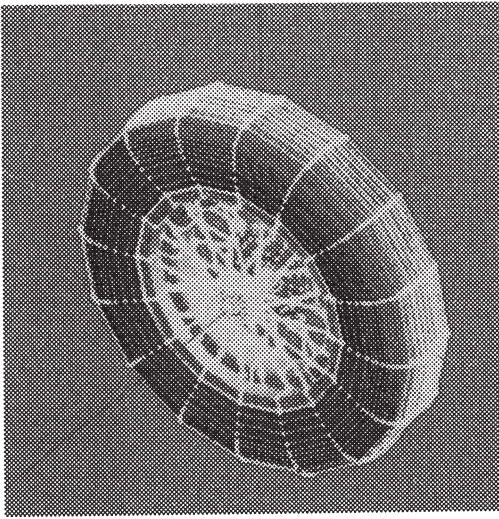


Fig. 6 タイヤを原点に置いてXファイルを作成

4. 2 Virtools での車オブジェクトの作成

まず、車本体のXファイルをVirtoolsに読み込む。次にタイヤのXファイルを4回読み込み、本来の位置に移動させる。このようにすると、各タイヤ・オブジェクトのローカル座標系はそれぞれの中心にあるまま車体に取り付けられるのでFig. 3の条件が満たされる。このようにしてVirtools上で完成させたのが下図の車オブジェクトである。作成した車オブジェクトは3dXML形式で保存する。3dXML形式とは3D・CAD分野で標準となっている3Dモデルの保存形式である。

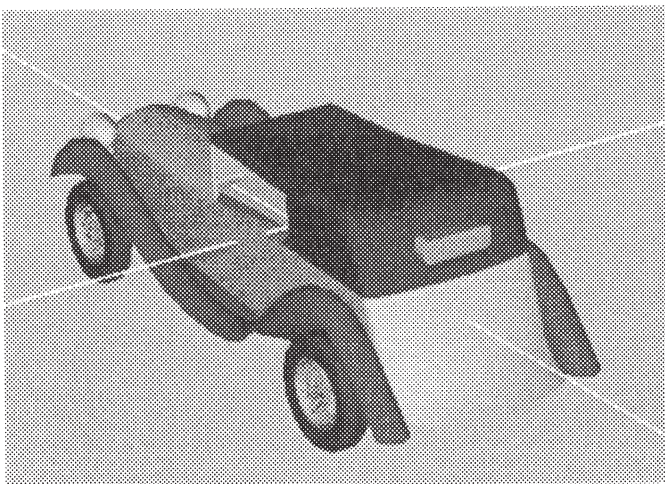


Fig. 7 Virtools 上で完成した車オブジェクト

4. 3 3Dシーンの作成

Virtoolsの新規画面に、やはりXファイル形式で保存したFig. 1の背景モデルを取り込む。その上に3dXML形式で保存した車のオブジェクトを取り込むと全体のシーンが出来上がる。(後述Fig. 15参照)

5. 車を走らせる

5. 1 グラフィック言語によるプログラミング

Virtoolsでは、オブジェクトの動作や振舞(Behavior)を表すプログラミングはグラフィック言語を用いて行う。C言語やBASICなどは文章でプログラムを書くプログラミング言語であるが、グラフィック言語は、計測分野に於けるLabViewのように、機能を表すアイコンを図面上に並べ、線をつないで前後関係を表すことでプログラミングを行うものである。簡単で直感的なプログラミングが出来る。この、機能アイコンを並べるための図面をSchematicと呼んでいる。

機能を表すアイコンはビルディングブロック(BB)に対応する。Schematic画面上で、BBを線をつないだ図をスクリプトと呼ぶ。BBは下図に示すように、基本的に長方形で表される。左右には振舞(Behavior)を制御する入出力端子bIn、bOut、上下には設定するパラメータを指定する入出力端子pIn、pOutを表す三角形が付いている。

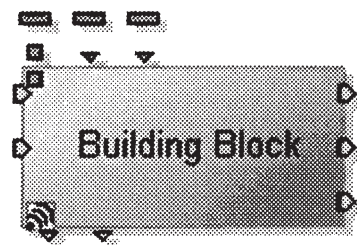


Fig. 8 ビルディングブロック(BB)の標準形

5. 2 車の操作と振舞のプログラミング

“Switch ON Key” と “Physics Car” の2つのBBを Fig. 9 のように結ぶことで車の操作と振舞を定義することが出来る。“Switch On Key” は車の前進や後退などの振舞にキーボードのどのキーを割り当てるかを指定するBBで、その設定は次のようにして行う。Schematic 上で “Switch On Key” をダブルクリックすると、Fig. 10 のダイアログが立ち上がる。Key0 横の箱をクリックして上向き矢印ボタンを押すと “Up” が入る。同様にして、各方向キーと、スペース、右側シフトキーを割り当てる。これでPCの方向キーを押した時、車が↑前進、↓後退、←左旋回、→右旋回などの動作をするように設定できる。スペースキーはブレーキ、右シフトキーは急加速に対応する。

次に、“Physics Car” の設定を行う。これは車に「物理法則に則って振る舞う」ように指定するBBである。Schematic 上で “Physics Car” を右クリックし、Edit Parameters を選ぶ。Fig. 11 のダイアログが現れるので、それぞれ右端にある下向き矢印をクリックしてパラメータを選び、図のように設定する。ここで、BODY Parameters、ENGINE - STERRING Parameters など3つのパラメータファイルは車体やエンジンに関する各種パラメータを表形式で定義したものである。車オブジェクトにこの “Physics Car BB” の設定をすると、起伏のある地面を感知し、起伏に沿って車が走るようになる。また、指定した各種物理パラメータに従って、エンジンのパワー、回転数、最高速度、タイヤの摩擦係数を持つ「物理カー」となる。

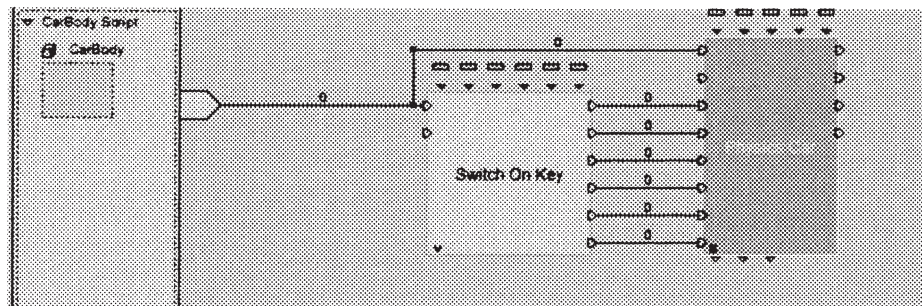


Fig. 9 車の操作と振舞を定義するスクリプト

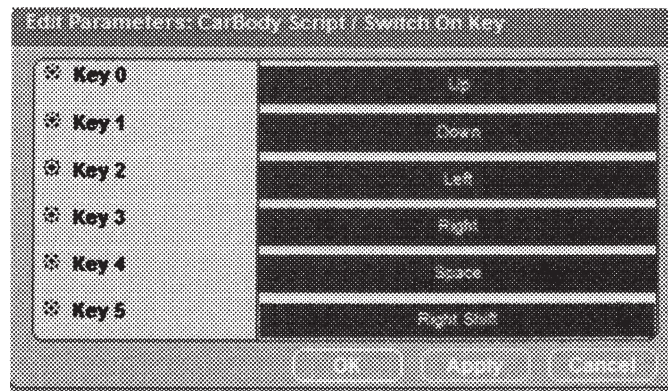


Fig. 10 “Switch On Key” のパラメータ設定用ダイアログ

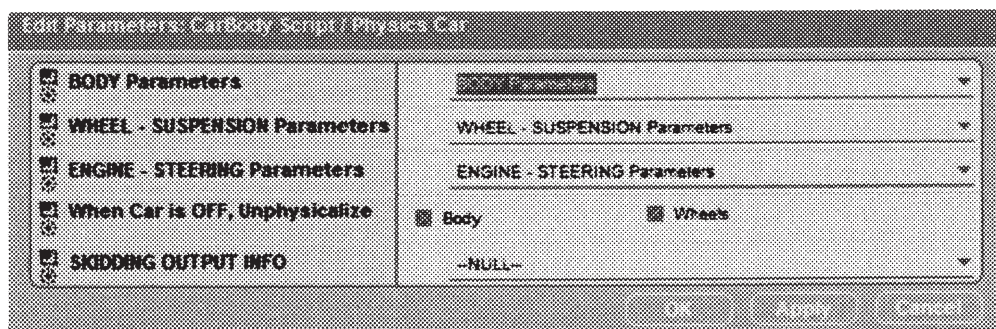


Fig. 11 “Physics Car” の設定用ダイアログ

5.3 物理効果の対象としての地面の設定

車の物理効果の対象となるのは、地面や障害物である。Fig. 12 のように “Physicalize BB” を使って地面に物理設定を与えると、その起伏を感知しながら車が動くようになる。起伏に沿って走るだけでなく、急勾配では車が倒れたりもする。

5.4 ブレーキライトの設定

シーンにインタラクティブなライトを設置する例を示すため車にブレーキライトを付けた。ブレーキを踏んだ時このライトが点くようにするには、5.2節でブレーキにはスペースキーを対応させている (Fig. 10) ので、スペースキーを押した時だけ光るようにすれば良い。そのスクリプトは Fig. 13 のようになる。“Key Event BB” でスペースキーが押された時を定義し、“Set Light Range BB” でライト光の届く範囲を指定する。上側の “Set Light Range BB” でその値を 20、下側では 0 に設定すると、スペースキーが押された時だけライトが光るようになる。

5.5 池の配置

背景とした台地 (Fig. 1) の谷の部分に一枚の板を水平にかぶせ、テクスチャとして水面の画像 (jpeg ファイル) を貼り付ける。このテクスチャに Fig. 14 のスクリプトを設定する。図の “Texture Sine BB” は水面 (Water) の材質を sine 曲線に従って揺る効果を与える BB である。こ

れにより、水面が風で波立つ様子を表現することが出来る。また、池には “Physicalize BB” を設定しない。すると、車はこの池の中を潜って進むことが出来、水陸両用車となる。

6. シーン全体の完成

完成したシーン全体図を Fig. 15 に示す。右奥に山脈、左側に低い山、中央に表面が風で揺れる池、山間部を貫く道路、その手前にクラシックカーが見える。この作品 (CMO ファイル) を「実行」すると、起伏のある山間地帯を水陸両用車が駆け抜けるゲームとなる。

7. まとめ

インタラクティブ 3D アプリケーション開発ツール “Virtools 4.1” を用いて「水陸両用車山岳地帯疾走ゲーム」を開発した。これは、(1) 起伏のある地形モデルの生成法、(2) 池などの特殊な環境の追加法、(3) 自作した車を物理カーにする方法、(4) バックライトなど特殊装備の組み込み法など、高度なレーシングゲームの制作に必要な要素を多く含んだゲーム教材となっている。

学生が、この教材でレーシングゲームの作り方の基本をマスターした上で、これをベースにいろいろな改良を施し、また新しい機能を付け加えていくことで、更に高度で多様なオリジナルレーシングゲームを容易に開発することが出来るようになることを期待している。

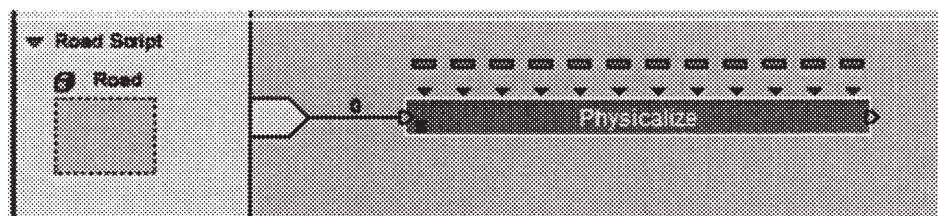


Fig. 12 地面のスクリプト

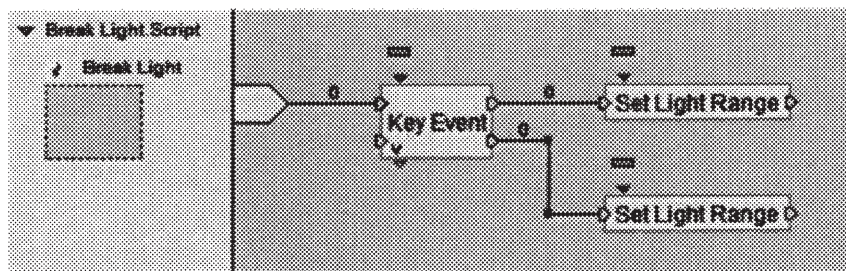


Fig. 13 ブレーキライト用スクリプト

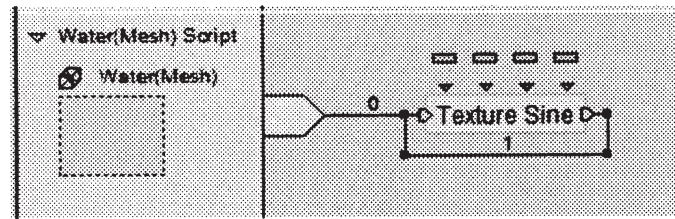


Fig. 14 池のスク립ト

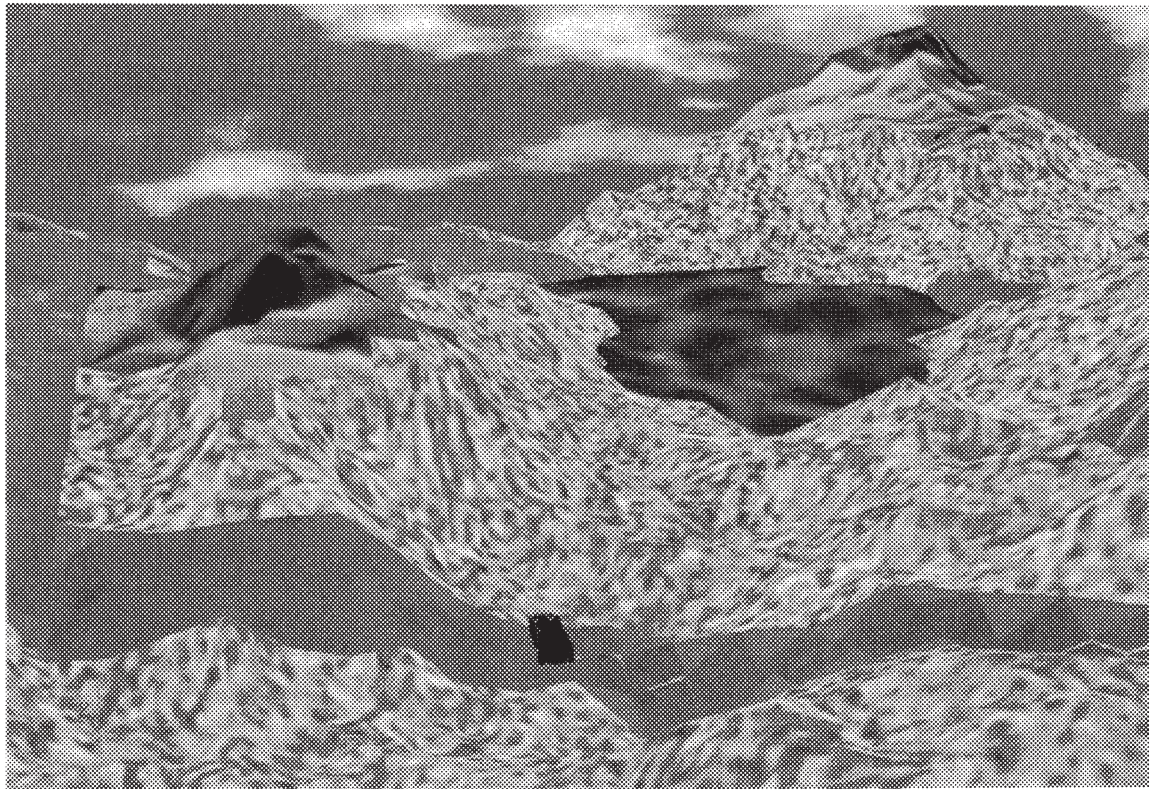


Fig. 15 完成したゲームの全体画面

参考文献

- 1) 玉真 昭男, 小松 隆, 青木 悠: プログラミング教育と3Dコンピュータゲーム開発, 静岡理科大学紀要, 第15巻, 2007, pp. 39-46.
- 2) 玉真昭男: 3Dコンピュータゲーム開発を課題としたプログラミング教育, 情報処理学会研究報告, 2008-CE-97(5), pp. 29-36, 2008.
- 3) 小松隆, 玉真昭男, 宮田圭介(静岡文芸大): DirectXを活用した3Dレーシングシミュレータの作成, 情報処理北海道シンポジウム 2006, ポスターセッション E-8, 2006.
- 4) 三浦義弘, 鈴木絵美子, 玉真昭男: 物理モデルを使用したドライビングシミュレータ及び運転評価システムの開発, 情報処理学会研究報告, 2008-CG-133(10), pp. 55-59, 2008.
- 5) Metasequoia ホームページ : <http://www.metaseq.net/index.html>

IEEE754 単精度-倍精度計算, 多倍長浮動小数点計算を用いた 混合精度反復改良法の性能評価

Performance Evaluation of Mixed-precision Iterative Refinement Method for Solving Linear Systems of Equations using IEEE754 Single-Double Precision or Multiple Precision Floating-point Arithmetic

幸谷智紀*

Tomonori KOUYA*

Abstract: Buttari et. al. propose the mixed-precision iterative refinement method using IEEE754 single and double precision arithmetic for solving linear systems of equations. It is well-known that their proposed method can obtain high performance on computation environment on which the performance of single precision arithmetic is higher than double precision arithmetic. In this paper, we experiment how the original mixed precision iterative refinement method can perform on standard PC environment with IEEE single and double precision linear algebra computation libraries such as BNCPack, LAPACK and ATLAS. Furthermore, we show the result of performance evaluation and error estimation for extended one using multiple precision arithmetic such as MPFR/GMP.

1. 初めに

本稿では, Buttari らの提案した混合精度反復改良法^{2,7)}を多倍長化し, 数値解の精度評価と全体的な性能評価を行った結果について報告する。

反復改良法は 1970 年に Moler が提案したものである。 n 次元方程式

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = 0, \mathbf{f} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n \quad (1)$$

を解くため Newton 法を適用すると, その漸化式は

$$\mathbf{x}_{k+1} := \mathbf{x}_k - \left[\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x}_k) \right]^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}_k) \quad (2)$$

となる。ここで $[\partial \mathbf{f}(\mathbf{x}_k)/\partial \mathbf{x}]$ は Jacobi 行列である。

もし (1) が線型方程式

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = A\mathbf{x} - \mathbf{b}$$

であれば, Jacobi 行列は定係数行列 A となるので, 次のようなアルゴリズムで反復を進めることになる。

$$1. \mathbf{r}_k := \mathbf{b} - A\mathbf{x}_k \quad (3)$$

$$2. \text{Solve } A\mathbf{z}_k = \mathbf{r}_k \text{ for } \mathbf{z}_k \quad (4)$$

$$3. \mathbf{x}_{k+1} := \mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k \quad (5)$$

これが連立一次方程式向けの反復改良法である。初期値 \mathbf{x}_0 が最初から要求される精度に達していれば反復する必要はないが, 有限桁の浮動小数点数演算を使用すると丸め誤差の影響で残差 \mathbf{r}_k がゼロにならないため, これを最小化するように複数回の反復が行われる。そのため, 近似解 \mathbf{x}_k の精度を上げるためには, 残差の計算は高精度で行う必要がある。

Buttari らは, A の条件数 $\kappa(A) = \|A\| \|A^{-1}\|$ が, 使用する浮動小数点数の精度に比してあまり大きくない場合, 1 の残差計算の精度より 2 の計算精度を低くしても, 収束するための十分条件が成立する (縮小写像になる) ことを示し, 1 を IEEE754

倍精度計算 (以下, 倍精度と略記), 2 を IEEE754 単精度計算 (以下, 単精度) することで全て倍精度計算で実行した時よりも計算効率が上がることをベンチマークテストで示した。しかしこの計算効率の向上は, 単精度計算が倍精度計算よりも格段に高速に実行できる環境でなければなしえないものである。例えば Cell Broadband Engine のような単精度計算が非常に高速な CPU や, Cache ヒット率最適化や SIMD 命令によって最適化された線型計算ライブラリを用いた環境がそれにあたる。

本稿では, まず Buttari らの提案する混合精度反復改良法の概要を示し, そのまま多倍長計算でも使用できることを確認する。次に実際の PC 環境で, 倍精度計算でも反復改良法の収束が保証される良条件問題と, 多倍長計算でなければ保証されない悪条件問題に対してベンチマークテストを行い, 近似解の精度とアルゴリズムの効率性がどの程度得られるのかを示す。最後に今後の研究課題を示す。

2. 混合精度反復改良法の概要

解くべき n 次元連立一次方程式を

$$\begin{aligned} A\mathbf{x} &= \mathbf{b} \\ A \in \mathbb{R}^{n \times n}, \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n, \mathbf{b} \in \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (6)$$

とし, 係数行列 A は正則行列とする。本稿では, (6) における A, \mathbf{b} の全成分は任意の精度を持つように設定できるものとする。

Buttari らは, 混合精度反復改良法は, 後述する収束条件を満足すれば, 通常の連立一次方程式の解法を全て L 桁で計算した時に得られる近似解の精度と同程度の精度が得られるとしている。この時, 計算の効率を上げるために, (4) の計算は $S (< L)$ 桁で実行する必要がある。この部分で使用する解法は, 安定しているアルゴリズムが望ましいとしており, 具体的には GMRES 法や直接法を挙げている。今回は部分ピボット選択を用いた LU 分解による直接解法を使用する。この時, (4) は, 予め A を LU 分解しておくこと

$$(PLU)\mathbf{z}_k = \mathbf{r}_k$$

となる。当然反復の前に $A = PLU$ として分解しておき (P は部分ピボット選択による行の入れ替えを表現する行列), 反復過程では前進・後退代入のみ行う。

以上をアルゴリズムの形でまとめると, (3)~(5) は以下のようになる。ここで, $A^{[S]}$, $\mathbf{b}^{[L]}$ はそれぞれ S 桁, L 桁の浮動小数点数で表現した行列・ベクトルを意味する。

1. $A^{[L]} := A, A^{[S]} := A^{[L]}, \mathbf{b}^{[L]} := \mathbf{b}, \mathbf{b}^{[S]} := \mathbf{b}^{[L]}$
2. $A^{[S]} := P^{[S]}L^{[S]}U^{[S]}$
3. Solve $(P^{[S]}L^{[S]}U^{[S]})\mathbf{x}_0^{[S]} = \mathbf{b}^{[S]}$ for $\mathbf{x}_0^{[S]}$
4. $\mathbf{x}_0^{[L]} := \mathbf{x}_0^{[S]}$
5. For $k = 0, 1, 2, \dots$
 - (a) $\mathbf{r}_k^{[L]} := \mathbf{b}^{[L]} - A^{[L]}\mathbf{x}_k^{[L]}$
 - (b) $\mathbf{r}_k^{[S]} := \mathbf{r}_k^{[L]}$
 - (c) Solve $(P^{[S]}L^{[S]}U^{[S]})\mathbf{z}_k^{[S]} = \mathbf{r}_k^{[S]}$ for $\mathbf{z}_k^{[S]}$
 - (d) $\mathbf{z}_k^{[L]} := \mathbf{z}_k^{[S]}$
 - (e) Exit if $\|\mathbf{r}_k^{[L]}\|_2 \leq \sqrt{n} \varepsilon_R \|A^{[L]}\|_F \|\mathbf{x}_k^{[L]}\|_2 + \varepsilon_A$
 - (f) $\mathbf{x}_{k+1}^{[L]} := \mathbf{x}_k^{[L]} + \mathbf{z}_k^{[L]}$

この S - L 桁混合精度反復改良法が収束するための条件は, 次のようになる。

S, L 桁計算時のマシンイプシロンをそれぞれ $\varepsilon_S, \varepsilon_L$ と表現すると, まず L 桁計算する (3) は

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{b} - A\mathbf{x}_k + \mathbf{e}_k \quad (7)$$

$$\text{ここで } \|\mathbf{e}_k\| \leq \varphi_1(n)\varepsilon_L (\|A\| \cdot \|\mathbf{x}_k\| + \|\mathbf{b}\|)$$

と誤差 \mathbf{e}_k を含めて表現でき, 同様に (5) は

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k + \mathbf{f}_k \quad (8)$$

$$\text{ここで } \|\mathbf{f}_k\| \leq \varphi_2(n)\varepsilon_L (\|\mathbf{x}_k\| + \|\mathbf{z}_k\|)$$

と表現できる。更に (4) も

$$(A + H_k)\mathbf{z}_k = \mathbf{r}_k \quad (9)$$

$$\text{ここで } \|H_k\| \leq \phi(n)\varepsilon_S \|A\|$$

と表現できる⁴⁾。

この時, $\alpha_F, \beta_F \in \mathbb{R}$ を

$$\begin{aligned} \alpha_F &= \frac{\phi(n)\kappa(A)\varepsilon_S}{1 - \phi(n)\kappa(A)\varepsilon_S} + 2\varphi_1(n)\kappa(A)\varepsilon_L + \varphi_2(n)\varepsilon_L \\ &\quad + 2(\varphi_1(n)\varepsilon_L)\varphi_2(n)\kappa(A)\varepsilon_L \\ &= \psi_F(n)\kappa(A)\varepsilon_S \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \beta_F &= 4\varphi_1(n)\kappa(A)\varepsilon_L + \varphi_2(n)\varepsilon_L + 4(1 + \varphi_1(n)\varepsilon_L)\varphi_2(n)\kappa(A)\varepsilon_L \\ &= \rho_F(n)\kappa(A)\varepsilon_L \end{aligned} \quad (11)$$

とおく。もし

$$\frac{\rho_F(n)\kappa(A)\varepsilon_S}{1 - \psi_F(n)\kappa(A)\varepsilon_S} < 1 \text{ かつ } \alpha_F < 1 \quad (12)$$

であれば

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_k\| \leq \frac{\beta_F}{1 - \alpha_F} \|\mathbf{x}\| \quad (13)$$

となり, ノルム相対誤差が $\beta_F/(1 - \alpha_F)$ 程度まで小さくなることが期待できる²⁾。

以上の収束条件より, S - L 桁混合精度反復改良法が収束するためには,

$$\kappa(A)\varepsilon_S \ll 1 \quad (14)$$

でなければならないことが分かる。つまり, 条件数 $\kappa(A)$ が大きければ, それに応じて S を大きく取れば良いことになるが, 計算速度の向上は見込めなくなる。条件数が小さければ相応に S を小さくすることもできるが, そもそも L 桁も必要な計算なのかという疑問が湧いてくる。従って, S - L 桁混合精度反復改良法が有効なのは

- L 桁の精度が必要で, $\varepsilon_S^{-1} > \kappa(A)$ である時
- S, L が固定されており, S 桁計算が十分に L 桁計算より高速である環境にある時

に限られることが分かる (Fig.1)。

3. 数値実験

以上述べてきたように, 混合精度反復改良法が有効である条件は問題の性質 (特に条件数) と計算環境に依存する。Buttariらの数値実験は, 単精度計算が倍精度計算より高速であるようなハードウェア・ソフトウェア環境の上で行われているのも, 逆にそうでない環境では性能が発揮されないためと思われるが, 実際どの程度パフォーマンスが悪化するかは不明である。また, 扱う問題の条件数も明示されていないことから, 条件数が良い問題と悪い問題ではどの程度パフォーマンスに差が出てくるのかも不明である。

そこで我々はまず単精度でも 10 進 2 桁以上の精度が得られる良条件の問題を生成し, 一般的な PC 上において, 倍精度計算ではどのようなようなソフトウェア環境であれば, 混合精度反復改良法の性能を發揮させることができるかを, 数値実験により明らかにする。更に, 多倍長計算環境ではどの程度の性能を發揮できるかも調査する。

以上の結果を確認するため, 非対称悪条件行列である Lotkin 行列を用いて, 悪条件問題に対して多倍長計算を用いた反復改良法がどの程度有効であるかも調査を行う。

数値実験を行った計算環境は下記の通りである。

CPU AMD Athlon64X2 3800+

RAM 4GB

OS CentOS 5.2 x86_64

C compiler GCC 4.1.2

Multiple Precision Library MPFR 2.3.2¹⁰⁾/GMP 4.2.1¹⁾ + BNC-pack 0.7b⁵⁾

Linear Algebra Computation Library LAPACK 3.2⁸⁾, ATLAS 3.8.3¹¹⁾

3.1 倍精度計算のベンチマークテスト

条件数を固定して設定できるよう, 一様乱数を用いて生成した正則行列 X と逆行列 X^{-1} , 対角行列 $D = \text{diag}(n, n-1, \dots, 1)$ を用いて

$$A = XDX^{-1} \quad (15)$$

として密行列 A を作成した。これにより, 常に $\kappa_2(A) = n$ という, 次元数がさほど大きくなければ良条件の行列となる。また解ベクトル \mathbf{x} は

$$\mathbf{x} = [1 \ 2 \ \dots \ n]^T \quad (16)$$

とし, L 桁に正しく丸められた A 及び $\mathbf{b} = A\mathbf{x}$ を生成してテスト問題を作成している。メモリ容量の制約から, 次元数 n は 4096 までにしてある。この問題では, 全ての次元数・精度においても反復改良法は収束し, 反復回数は 2~3 に留まっている。

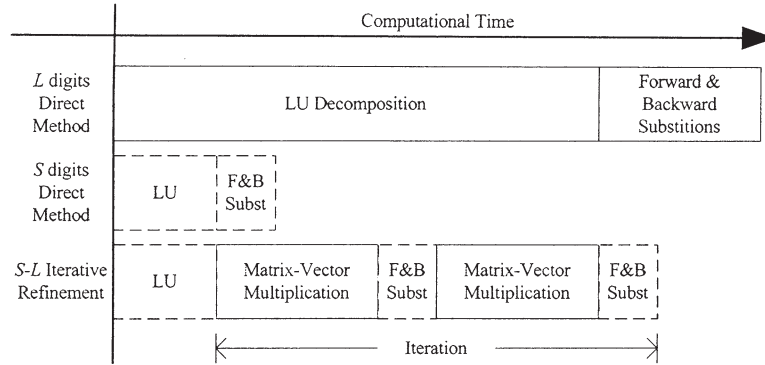


Fig. 1: 混合精度反復法の計算時間の構成

まず、Buttari らの提案した IEEE754 単精度・倍精度計算を用いた反復改良法の計算時間を Table 1 に示す。比較のため、単精度計算、倍精度計算での LU 分解法 (部分ピボット選択 LU 分解+前進・後退代入) の計算時間 LU.P(L), LU.P(S) も併せて提示してある。

全体として、単純な 3 重ループ+関数呼び出しによる行列インデックス計算を使用している BNCpack の計算時間が突出して計算時間を要していることが分かる。それに対して、一次元配列+ブロック化を行っている LAPACK の計算時間は約 1/20 ~ 7/100 に留まっている。ATLAS は LAPACK の主要関数を更に SIMD 命令・キャッシュの最適化を用いて高速化したものとされているが、この環境ではそれほど効果はなく、LAPACK より劣るケースも見受けられる。

前述したように、反復改良法の計算時間を決定するのは、単精度と倍精度計算時間の差が大きいときに限られる (Fig.1)。LU.P(L) が倍精度の LU 分解法の計算時間、LU.P(S) が単精度計算の LU 分解法の計算時間なので、この差が大きいほど反復改良法の計算時間が LU.P(L) より小さくなるのが期待できる。このケースでは BNCpack と LAPACK がほぼ同様の計算時間となっており、ATLAS が次元数が大きくなるにつれて約 1.3 倍までその差が開いている。これは恐らく、BNCpack, LAPACK が、CPU の内部では拡張倍精度で計算しているのに対し、ATLAS は単精度向け、倍精度向けの SIMD 計算命令を使用しているためと思われる。以上の事由により、反復改良法の計算時間は、2048 次元以上の ATLAS 使用時のみ改善がみられる。BNCpack では LU.P(L) と殆ど同じであり、LAPACK では逆に小さくなっている。

得られた反復改良法と倍精度 LU 分解法の近似解の精度と、Table 1 に示した計算時間から算出した反復改良法の計算時間短縮比 (= S-L Iter.Ref./LU.P(L)) を Fig.2 に示す。近似解の精度は、同じ解法であればどのライブラリを用いてもその差は 10 進 1 桁以内に収まっている。反復改良法の精度は LU 分解法に比べて 10 進 2 桁程度悪化していることが分かる。しかし単精度計算の精度に比較するとほぼ倍の精度が得られており、ATLAS のように単精度計算の速度が高速なライブラリを用いれば計算時間面でもメリットがあることが分かる。

3.2 多倍長計算のベンチマークテスト

次に、多倍長計算を用いた場合の計算時間および精度の比較を行う。多倍長計算には前述したように BNCpack + MPFR/GMP を用いる。計算精度の指定は 10 進桁数 L を与え、 $S = L/2$ として自動的に行う。メモリ容量の制限から、次元数は 1024、計

算精度は最大で 10 進 2000 桁までとした。

ソフトウェア実装による多倍長計算は計算精度に強く依存して計算時間が決まるため、ユーザの要求精度が条件数に比して大きい場合は混合精度反復改良法のメリットが生かされると予想される。 S/L が小さいほど性能向上が図れることになるが、実際に適用する時には、未知の問題の場合、あらかじめ A を LU 分解して条件数の推定⁹⁾ をすることを考えると、あまり小さな S を指定すると、LU 分解をやり直す必要が出てくる。その場合は反復改良法を使用するメリットは全くなくなるため、 S はあまり小さくしない方が望ましい。今回は $S = L/2$ と固定したのはそうした事由による。

3.3 良条件テスト問題の場合

まず良条件の行列 (15) を係数行列 A 、解ベクトル x も (16) とし、正しく指定精度で丸められた $b = Ax$ を求めて作成した問題を用いてベンチマークテストを行う。反復改良法の反復回数はすべて 2 回で収まっている。計算時間の一覧表を Table 2 に示す。

LU.P(L) および LU.P(S) の計算時間の差が約 1.2~2.0 倍出てくるので、どの計算精度においても LU.P(S) 以下の計算時間で実行できている。この時、計算時間の実行効率は計算精度が大きいほど上がり、最大 2 倍の効率アップとなっている (Fig.3)。

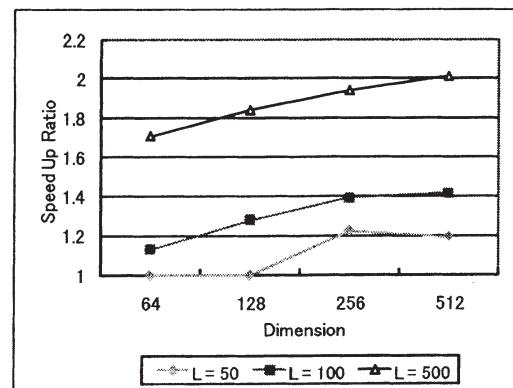


Fig. 3: 多倍長計算環境における計算時間短縮比 (良条件問題)

解の精度も IEEE 倍精度計算同様、反復改良法の方がどの計算精度においても 10 進 2 桁程度悪くなっているが、ほぼ同程度の精度は得られていると見てよい (Fig.4)。

Table 1: IEEE754 単精度 ($S = 10^{-6}$)・倍精度計算 ($L = 10^{-15}$) の計算時間 (単位: 秒)

Dimension	S-L Iter.Ref.			LU_P(L)			LU_P(S)		
	BNCpack	LAPACK	ATLAS	BNCpack	LAPACK	ATLAS	BNCpack	LAPACK	ATLAS
512	2.83	0.14	0.05	2.82	0.1	0.05	2.83	0.14	0.05
1024	22.51	0.56	0.33	22.65	0.39	0.29	22.51	0.56	0.33
2048	184.26	2.23	1.83	185.56	1.54	2.06	184.26	2.23	1.83
4096	1422.95	10.11	11.61	1440.31	6.91	15.16	1422.95	9.73	11.61

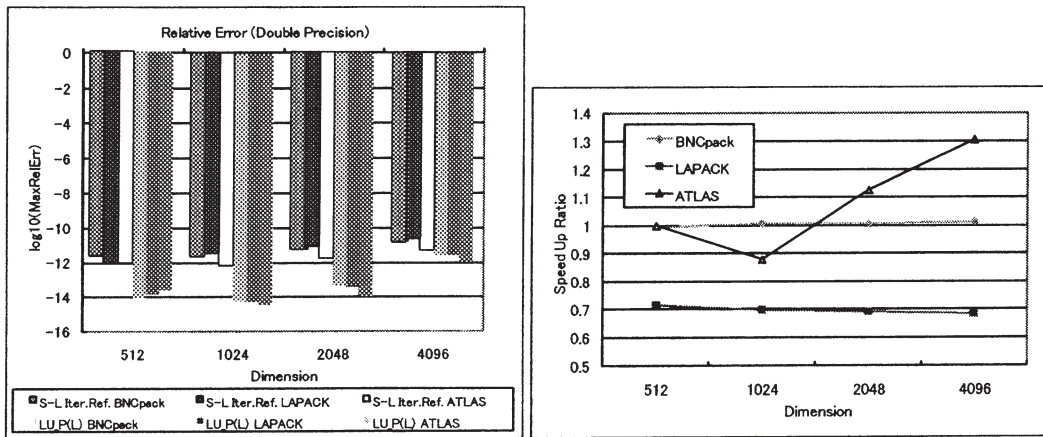


Fig. 2: 倍精度計算環境における最大相対誤差 (左) と計算時間短縮比 (右)

Table 2: 多倍長計算時の計算時間 (単位: 秒)

Dimension	$L = 50, S = 25$			$L = 100, S = 50$			$L = 500, S = 250$		
	Iter.Ref.	LU_P(S)	LU_P(L)	Iter.Ref.	LU_P(S)	LU_P(L)	Iter.Ref.	LU_P(S)	LU_P(L)
128	0.18	0.15	0.18	0.23	0.18	0.26	0.69	0.58	1.18
256	1.4	1.25	1.4	1.75	1.55	2.24	5.21	4.63	9.59
512	10.12	9.59	12.38	12.62	11.83	17.57	39.27	37.45	76.19
1024	78.89	74.17	94.22	99.17	91.52	140.57	301.55	292.05	606.7

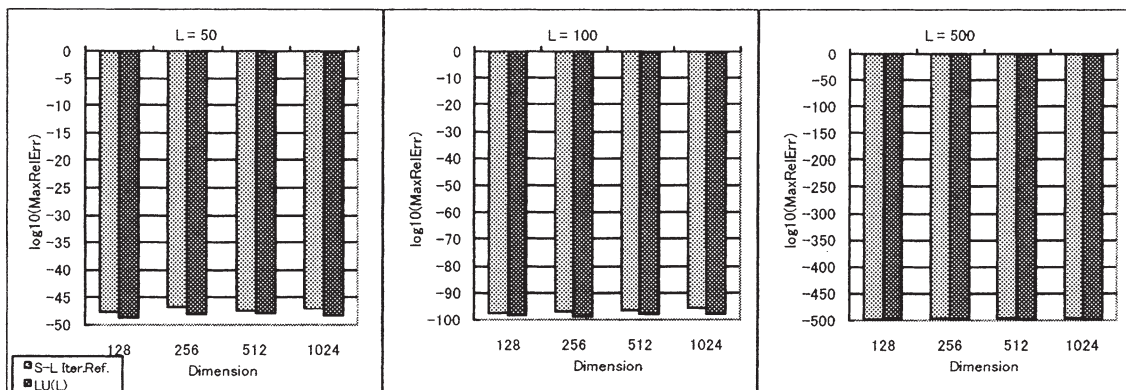


Fig. 4: 多倍長計算環境における最大相対誤差

3.4 悪条件問題の例

悪条件問題の例として、Hilbert 行列の第一行目を全て 1 にした Lotkin 行列 (17) を係数行列 A として使用する。解ベクトルは (16) として、定数ベクトルは $\mathbf{b} = A\mathbf{x}$ として指定精度で正しく丸めて与えた。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1/2 & 1/3 & \cdots & 1/(n+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/n & 1/(n+1) & \cdots & 1/(2n-1) \end{bmatrix} \quad (17)$$

Lotkin 行列の条件数は Hilbert 行列と同じ程度に大きくなるが、計算精度より条件数が大きくなると、実際に計算精度 L で打ち切られた行列 $A^{[L]}$ の条件数は真の条件数より小さくなる (Table 3)。この例では 512 次元、10 進 500 桁の場合がそれに当たる。

Table 3: Lotkin 行列の条件数

Dimension	$\log_{10}(\kappa_1(A^{[L]}))$		
	$L = 500$	$L = 1000$	$L = 2000$
64	96.0	96.0	96.0
128	193.9	193.9	193.9
256	389.8	389.8	389.8
512	506.0	781.6	781.6

従って、500 桁計算では 128 次元まで、1000 桁計算では 256 次元まで、2000 桁計算でようやく 512 次元まで、混合精度反復改良法は収束するようになり、解の精度は Fig.5 に示したようになり、収束した場合は LU.P(L) と同程度の精度が得られていることが分かる。しかし、1000 桁、512 元問題のように、LU.P(L) が 200 桁程度の精度が得られる場合でも、800 桁程度の損失桁があると、 $S = 500$ では収束条件を満たさなくなる。このような時は、例えば $S > 800 > L/2$ とすれば収束する可能性も出てくるが、そうすると計算時間短縮比は減る。

反復改良法が収束する計算精度・次元数の計算時間短縮比を Fig.6 に示す。

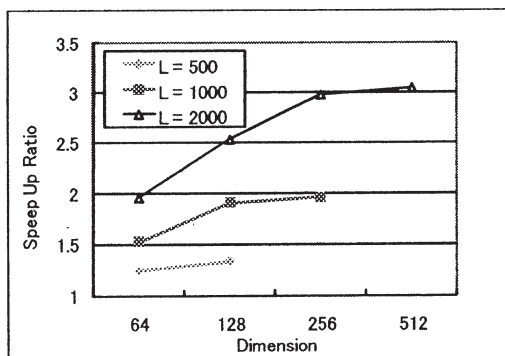


Fig. 6: 多倍長計算環境における計算時間短縮比 (Lotkin 行列)

良条件の問題同様 (Fig.3), 計算精度が大きくなるほど向上比は上がっており、LU.P(L) に比べて最大 1/3 の計算時間にすることができる。

4. 結論と今後の課題

以上の数値実験により、 S - L 桁混合精度反復改良法は、収束条件を満足するときには $L-2$ 桁程度の精度が得られることが判明した。また IEEE754 単精度・倍精度計算の時のように、 S 桁計算、 L 桁計算の差が少ない時には計算時間の短縮にはつながらないケースが見られることも、多倍長計算の場合はより短縮効果大きいことも判明した。

この結果より、今後の課題は次の三つが挙げられる。

4.1 他の反復法への適用

今回適用した直接解法は、一般の疎行列を係数行列とする問題の場合には計算量と使用メモリの節約が難しいことが知られており、そのような場合は (定常・非定常) 反復法を用いるのが普通である。混合精度計算を反復法に用いる提案は既に小武守ら¹²⁾によってなされており、四倍精度と倍精度計算との組み合わせによって収束率と計算時間の向上が可能であることを数値実験によって示されているが、実装依存なアルゴリズムを部分的に使用しているため、使用する任意精度計算プログラムや反復法に制限が発生する。Buttari らの提案する手法をそのまま Krylov 部分空間法に適用した結果は、2008 年に Buttari らが別の論文³⁾で示しており、単精度で収束可能な問題に対しては、高速な疎行列用ライブラリを用いることで有効であることが確認されている。従って、多倍長計算環境においても同様の効果が期待できるため、今後数値実験によってその効果を確認していきたい。

4.2 古典的誤差評価法の適用

条件数の推定法としては、LU 分解を用いる方法がスタンダードになっている⁹⁾。今回実験を行った LU 分解を用いる混合精度反復改良法においては、これをあらかじめ実行して $\kappa(A)$ を推定し、それを用いて収束条件 (12) を十分満たしていれば反復改良法を用い、そうでなければ改めて $L = U + \alpha$ として LU 分解をやり直して直接法を用いるかを判断することが可能になる。

従って、ユーザの要求精度を満足する解を得るための古典的誤差評価法⁶⁾にこのアルゴリズムを組み込むことで、高速な計算が可能になると考えられる。この考えを取り入れた任意精度計算プログラムを実装し、精度と計算時間の観点から性能評価を行いたい。

4.3 非線型方程式解法の内部反復法への応用

多次元非線型方程式を解くためのアルゴリズムとしては Newton 法が一番ポピュラーである。Newton 法の内部では Jacobi 行列を係数行列とする連立一次方程式を繰り返し解く必要があり、これを内部反復と呼ぶ。この内部反復に混合精度反復改良法を組み込み、精度を保ちつつ Newton 法の計算時間が減らせるかどうかの実験を行いたい。もしこれがうまくいけば、陰的 Runge-Kutta 法の高速化にも使用することも考えている。

謝辞

本稿で述べた混合精度反復改良法の基本的なアルゴリズムの理解と、その実装は神尾亮介君の助力を得て行われた。教員の独断に基づく研究課題に対して真摯に取り組んだその姿勢に対して感謝申し上げる。

最後に、いつも真摯にご指導して頂いている元・日本大学 永坂秀子先生に厚く御礼申し上げます。

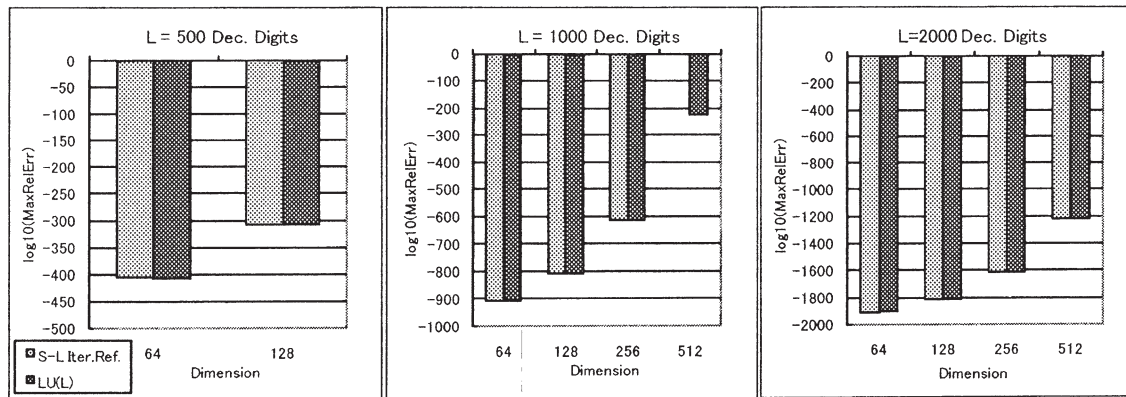


Fig. 5: 最大相対誤差誤差 (Lotkin 行列)

参考文献

- 1) Swox AB. GNU MP. <http://gmp.lib.org/>.
- 2) A. Buttari, J. Dongarra, Julie Langou, Julien Langou, P. Luszczyk, and J. Karzak. Mixed precision iterative refinement techniques for the solution of dense linear system. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, Vol. 21, No. 4, pp. 457–466, 2007.
- 3) A. Buttari, J. Dongarra, J. Karzak and P. Luszczyk, and S. Tomov. Using mixed precision for sparse matrix computations to enhance the performance while achieving 64-bit accuracy. *ACM Trans. Math. Softw.*, Vol. 34, No. 4, pp. 1–22, 2008.
- 4) G. W. Stewart. *Matrix Algorithms Volume I: Basic Decompositions*. SIAM, 1998.
- 5) Tomonori Kouya. BNCpack. <http://na-inet.jp/na/bnc/>.
- 6) 幸谷智紀. 実用的な古典的誤差評価法の提案と gauss 型積分公式の分点計算への応用について. 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. SIG18(ACS20), pp. 1–11, 2007.
- 7) Julie Langou, Julien Langou, Piotr Luszczyk, Jakub Kurzak, Alfredo Buttari, and Jack J. Dongarra. Exploiting the performance of 32 bit floating point arithmetic in obtaining 64 bit accuracy (revisiting iterative refinement for linear systems). Technical Report 175, LAPACK Working Note, June 2006.
- 8) LAPACK. <http://www.netlib.org/lapack/>.
- 9) 松尾宇泰, 杉原正顯, 森正武. 行列の条件数の推定方法の数的評価. 日本応用数学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 307–319, 1997.
- 10) MPFR Project. The MPFR library. <http://www.mpfr.org/>.
- 11) ATLAS: Automatically Tuned Linear Algebra Software. <http://math-atlas.sourceforge.net/>.
- 12) 小武守恒, 藤井昭宏, 長谷川秀彦, 西田晃. 倍精度と 4 倍精度の混合型反復法の提案. ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS2007) 論文集, Vol. 2007, pp. 9–16, 2007.

ヒト触覚系におけるサブミクロンテクスチャー知覚

Submicron-texture-discrimination mechanisms in human tactile perception

宮岡 徹*

Tetsu MIYAOKA

The purpose of the present study was to determine the detection thresholds of very-fine textures in human tactile perception and to investigate mechanisms for the discrimination. Three experiments were performed. In Experiment 1, fine-abrasive papers with particle sizes between 0.1 and 9 μm were used as stimuli. Six subjects touched the stimuli with their index or middle fingers preferred and judged the roughness with the two-alternative, forced-choice technique. The temperature of the fingers was 35°C. The results showed that the detection threshold was 0.84 μm . In Experiment 2 and 3, six subjects judged the roughness of fine-abrasive papers when the finger temperatures were 18°C and 12°C, respectively. Other experimental procedure was same as in Experiment 1. The detection thresholds obtained in Experiment 2 and 3 were 1.51 and 1.44 μm , in that order. The results of three experiments showed that the mechanoreceptor which detected submicron textures was the Pacinian corpuscle.

1. はじめに

触ることにより対象表面の凹凸や粗さ・滑らかさを知ることが触テクスチャー知覚という。触テクスチャー知覚は、粗いテクスチャー知覚と微細テクスチャー知覚の2つに分けられると考えられている¹⁻⁵⁾。粗いテクスチャー知覚は、眼で見てもわかるような凹凸を触ることにより知覚する作用である。凹凸が密であったり、ランダムに配置されたりしているような状態では、触っても凹凸がわかるだけである。しかし、凹凸の密度が比較的低く、規則的に並ぶような場合は、点字に典型的に見られるようにパターンとして感じられる。粗いテクスチャーの知覚は、感覚代行者の開発に関連することもあり、集中的に研究された⁶⁻⁸⁾。その結果、粗いテクスチャー情報を中枢に送っている機械受容単位 (mechanoreceptive unit) は主に SA I (slowly-adapting-type-I unit; Merkel's disk) であることが明らかとなった⁹⁾。これに対し微細テクスチャー知覚に関する研究は比較的少ない。Hollins らは微細テクスチャー情報をキャッチする機械受容単位について研究を行い、FA II (fast-adapting-type-II unit; Pacinian corpuscle) が当該の受容単位であるとしている⁹⁾。

本研究の目的は、ヒトの触覚系がサブミクロンのテクスチャーを検出できるか否かを調べ、検出できるならその検出閾を測定すること、および非常に微細なテクスチャー知覚を可能にしている触情報処理メカニズムについて探究することであった。その際、ヒトの触覚を司る皮膚機械受容単位の温度感受性に着目した。皮膚機械受容単位は、その種類により温度感受性が異なり、皮膚温度を低くした場合、感度が下がるものと感度が変化しないものとに分けら

れる。そこで、複数の温度条件を設定することにより、サブミクロンテクスチャー知覚に關与する機械受容単位が推定できるものと考えた。

2. 実験 1

皮膚温度を 35°C として、非常に微細なテクスチャーの検出閾を測定することを実験 1 の目的とした。

2.1 方法

(1) 被験者: 5名の男子大学生と1名の女子大学生、合計6名が被験者として実験に参加した。いずれの被験者も20歳代であった。

(2) 刺激と実験装置: 刺激には6種類の精密研磨紙(住友3M)を用いた。カタログによれば、6種類の刺激のグリット値は2000, 4000, 8000, 10000, 15000, 20000であり、これらに対応する平均粒子径は、それぞれ9, 3, 1, 0.5, 0.3, 0.1 μm であった。走査電子顕微鏡(JEOL, JSM-5610LV)で精密研磨紙表面を観察した結果では、各刺激の平均粒子径はカタログ値を満たしていた。これらの精密研磨紙を20 mm×20 mmの正方形にカットし、縦横が20 mm×40 mm、厚さ10 mmのアルミ板の中央部に貼り付けて刺激として用いた。実験中は6種類の刺激から2種類を選び、刺激提示装置にセットした。

実験中は、手の皮膚温度と刺激の温度を温度制御装置によりコントロールした。温度制御装置は2つの部分から成っており、ひとつは手の皮膚温度を、もうひとつは刺激の温度をコントロールした。温度制御装置は恒温水循環装置(Yamato, CTE82W)に接続されており、5~45°Cの範囲で温度コントロールが可能であった。

(3) 実験手続: 6種類の刺激から重複を許して2種類の刺激を取り出す組み合わせ方は21種類となる。刺激の提示位置(左右)効果をキャンセルするための組み合わせを

2009年3月9日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

考慮すると、すべての組み合わせ方は42種類となった。実験時には、被験者は椅子に腰かけ、視覚入力を防ぐためにアイマスクをつけた。また、粗さが聴覚的に判断されるのを防ぐために帯域雑音を流した。被験者は利き手の示指または中指1本で2つの刺激に触れ、どちらの刺激を粗く感じるかを2肢強制選択法により判断した。なお、刺激の表面には、接触時の摩擦を減少させるためにシリコンオイルを塗布した。各刺激組み合わせにつき、粗さ判断時間は最長20秒とした。また、刺激提示間隔は20秒とした。各被験者は刺激のすべての組み合わせにつき10回の試行を行った。それゆえ、各被験者の全実験試行回数は420回となった。刺激と被刺激皮膚部位は、実験中35°Cに保たれた。

2.2 結果と考察

6人の被験者の実験結果を標準刺激ごとに整理し、心理測定関数を計算した。全データに基づく心理測定関数をFig. 1に示す。図の縦軸は標準刺激より比較刺激を粗いと判断した比率、横軸は比較刺激の粒子径をあらわす。図中の各曲線は、各標準刺激に対応する心理測定関数である。標準刺激の粒子径を凡例中に示す。

図を見ると、標準刺激が0.1, 0.3, 0.5 μm の心理測定関数は互いに重なり合う傾向がある。比較刺激が0.5 μm 以下の場合、3本の心理測定関数は平坦またはやや左上がりとなる。また、標準刺激が1 μm の心理測定関数は、上記の3本の心理測定関数より下方に位置する。標準刺激が3, 9 μm の心理測定関数は、さらに下方に位置する。

標準刺激0.1~0.5 μm の心理測定関数が重なり合い、しかも比較刺激0.5 μm 以下で曲線が平坦になる傾向があることは、被験者が0.1~0.5 μm の刺激を互いに区別でき

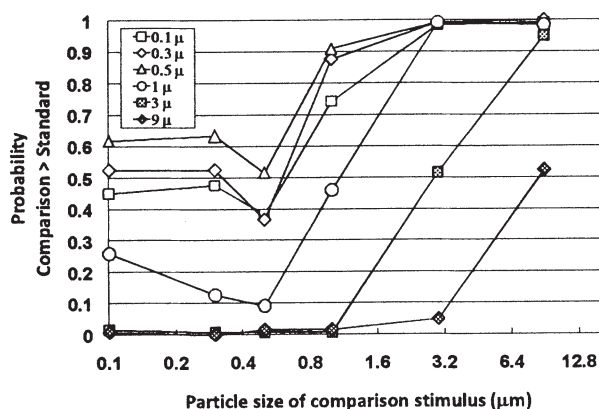


Fig. 1. Psychometric functions based on the data of Experiment 1. The vertical axis shows the probability that the comparison stimuli were judged to be rougher than the standard stimuli. The horizontal axis shows the particle sizes of the comparison stimulus. Each symbol in the figure shows the particle size of standard stimulus. The unit of the values in the legend is μm .

ないことを示す。これに対し、標準刺激1 μm の心理測定関数がこれらより下方に位置することは、0.1~0.5 μm の刺激と1 μm の刺激を区別できること、すなわち、刺激の表面テクスチャー検出閾が0.5 μm と1 μm の間にあることを示している。そこで、標準刺激が0.1, 0.3, 0.5, 1 μm の心理測定関数のデータに基づき、最小二乗法によりテクスチャー検出閾を計算した。その結果、平均検出閾は0.85 μm となった。

なお、標準刺激が0.1~0.5 μm の心理測定関数を詳細にみると、特に比較刺激が0.5 μm 以下の部分で、標準刺激が0.5 μm の心理測定関数は、標準刺激が0.1, 0.3 μm の心理測定関数の上方に位置する。これは、刺激の表面テクスチャーが非常に細かい場合、スティック・スリップ現象が生じたためと思われる。この現象では、指と刺激が貼りつき離れるという断続的な動きが起こる。刺激が0.1 μm と0.3 μm の場合、この断続的な動きを粗さと誤認し、0.5 μm より粗いと判断したものと思われる。

3. 実験2

実験2の目的は、皮膚および刺激温度を18°Cとして微細テクスチャー検出閾を測定することであった。

3.1 方法

- (1) 被験者：4名の男子大学生と2名の女子大学生、合計6名が実験に参加した。いずれの被験者も20歳代であった。
- (2) 刺激と実験装置：6種類の精密研磨紙を刺激とした。各刺激のグリット値は1200, 2000, 4000, 8000, 10000, 15000であり、それぞれの対応を平均粒子径でみると、12, 9, 3, 1, 0.5, 0.3 μm であった。実験に用いる際の刺激のカットサイズ、アルミニウム板への貼り付け方法、温度コントロール装置の仕組みなどは、実験1と同一であった。
- (3) 実験手続：6種類の刺激から2つを取り出す組み合わせについては、実験1と同じ方法を採用した。その結果、刺激の組み合わせは42種類となった。実験時における被験者の姿勢、アイマスク着用、帯域雑音の提示等も実験1と同様とした。実験の際に使用した指、応答方法(2肢強制選択法)、判断時間、刺激間隔、各被験者の総実験試行数(被験者1人につき420回)も実験1と同一とした。刺激と刺激提示皮膚部位の温度は、実験中は温度制御装置により18°Cに保たれた。

3.2 結果と考察

実験1と同様に、6名の被験者の実験結果を標準刺激ごとに整理し、心理測定関数を計算した。その結果をFig. 2に示す。なお、図中の凡例は標準刺激の粒子径(0.3~12 μm)である。

図からわかるように、標準刺激が0.3~1 μm の場合、心理測定関数には互いにほぼ重なり合う。しかし、強いて言えば0.3, 0.5 μm の心理測定関数より1 μm の心理測定関数のほうが、わずかに下方に位置する。また、比較刺激が0.3~1 μm の部分では、心理測定関数にわずかに右上がりの傾向を示すことなどから、0.3, 0.5 μm の刺激より1 μm

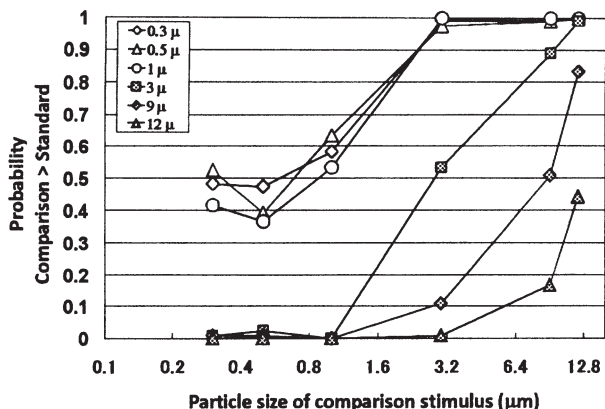


Fig. 2. Psychometric functions based on the data of Experiment 2. The vertical and horizontal axes represent the same contents as in Fig. 1.

の刺激をやや粗いと判断していることもわかる。ただし、比較刺激 1 μm はまだ検出閾レベルまで達していない。そこで、0.3, 0.5, 1 μm の心理測定関数データの一部を使って微細テクスチャー検出閾を計算したところ、平均検出閾値は 1.51 μm となった。

なお、実験 2 でも実験 1 と同じく比較刺激 0.3 μm のほうを比較刺激 0.5 μm の場合より粗いと答える比率が高かった。実験 2 でも、刺激表面テクスチャーが非常に細かい場合にはスティック・スリップ現象が生じ、刺激に触れる指先の断続的な動きを粗さと誤認したものと思われる。

4. 実験 3

実験 3 の目的は、皮膚および刺激温度を 12°C とし、微細表面テクスチャーの検出閾を測定することであった。

4.1 方法

- (1) 被験者： 4 名の男子大学生と 2 名の女子大学生、合計 6 名が、被験者として実験に参加した。いずれの被験者も 20 歳代であった。
- (2) 刺激と実験装置： 5 種類の精密研磨紙を刺激とした。それらのグリット値は 1200, 2000, 4000, 8000, 10000 であり、これらを、塗布された酸化アルミニウム粒子の平均粒子径であらわすと、それぞれ 12, 9, 3, 1, 0.5 μm であった。精密研磨紙は、実験 1, 2 と同じく 20 mm × 20 mm にカットし、アルミニウム板に貼り付けて刺激として用いた。被刺激部位皮膚および刺激の温度コントロール方法も実験 1, 2 と同様とした。
- (3) 実験手続： 5 種類の刺激から重複を許して組み合わせる重複組み合わせの数は 15 となる。刺激の提示位置の効果をキャンセルするための刺激位置入れ替えを考慮すると、組み合わせ数は 30 となった。実験時におけるアイマスク着用や帯域雑音提示等は実験 1, 2 と同様とした。実験の際に使用した指、応答方法 (2 肢強制選択法)、判断時間、刺激間隔等も実験 1, 2 と同一とした。各被験者は刺激のすべての組み合わせにつき 10 回の試行を行っ

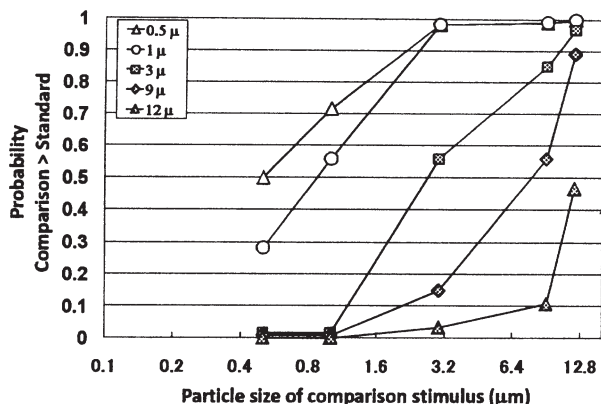


Fig. 3. Psychometric functions based on the data of Experiment 3. The vertical and horizontal axes represent the same contents as in Fig. 1 and Fig. 2.

たので、各被験者の全実験試行回数は 300 回となった。刺激と被刺激皮膚部位は、実験中 12°C に保たれた。

4.2 結果と考察

実験 1, 2 と同様に、6 名の被験者の実験結果を標準刺激ごとに整理し、心理測定関数を計算した。その結果を Fig. 3 に示す。図中の凡例は標準刺激の粒子径 (0.5~12 μm) である。

図から明らかなように、いずれの心理測定関数も互いに重ならないことから、すべての刺激が大なり小なり互いに弁別されていることがわかる。しかし、たとえば標準刺激が 0.5 μm で比較刺激が 1 μm の場合、比較刺激のほうを粗いとする比率は 0.7 となり、まだ検出閾レベルには達していない。標準刺激が 0.5 μm と 1 μm の心理測定関数の一部を使って、最小二乗法により検出閾を計算した結果では、検出閾値は 1.44 μm となった。

5. 総合考察

実験 1, 2, 3 で決定された平均検出閾値は、それぞれ 0.85, 1.51, 1.44 μm となった。実験 1 では、皮膚温度は 35°C であり、この温度では検出閾値がサブミクロンレベルに達することがわかった。これに対し、皮膚温度が 18°C (実験 2) および 12°C (実験 3) では、検出閾値は 1 μm 以上となった。

3 種類の皮膚温度条件の実験結果について、標準刺激 1 μm の場合の心理測定関数をまとめて Fig. 4 に示す。ただしこの図では、比較刺激が 0.5~9 μm の範囲の心理測定関数が示されている。図中の白丸が 35°C、薄灰丸が 18°C、濃灰丸が 12°C の心理測定関数である。図を見るとわかるように、皮膚温度 35°C の心理測定関数は、皮膚温度 18°C、12°C の心理測定関数の下方に位置する。これに対し、皮膚温度 18°C と 12°C の心理測定関数は、互いに重なり合っている。比較刺激粒子径 0.5 μm (標準刺激粒子径は 1 μm)

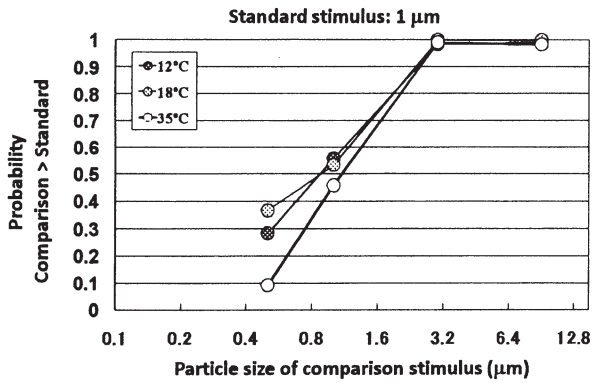


Fig. 4. An example of skin temperature effects on the detection thresholds of abrasive papers. The particle size of standard stimulus was 1 μm . Each symbol in the figure shows skin temperature. The skin temperatures were 35°C, 18°C, and 12°C for Experiment 1, 2, and 3, respectively.

の場合について、標準刺激より比較刺激を粗いと判断した比率を比較してみると、35°Cでは0.092となり、18°C、12°Cの結果に比べ、統計的に有意に低かった（35°Cと18°Cの比較； $t = 7.201, p < 0.001$ 。35°Cと12°Cの比較； $t = 2.945, p < 0.05$ ）。他方、18°C条件と12°C条件の間には、比率における有意差はなかった（ $t = -0.945$ ）。

皮膚温度条件の相違により実験結果にこのような差異があらわれた理由としてまず考えられることは、温度と皮膚機械受容単位感度の関係である。ヒトの無毛部皮膚（手指・手掌など）には触覚情報を受容する4種類の機械受容単位が存在する¹⁰⁾。これらは、振動刺激や皮膚温度への感受性においてそれぞれ異なる^{11),12)}。このうちFA II（fast-adapting-type-II unit; Pacinian corpuscle）は、振動に対する感度が非常に高く、また、皮膚温度が低くなると感度が低下するという特性を持つ。これに対し、FA I（fast-adapting-type-I unit; Meissner's corpuscle）はFA IIほど振動感度が高くないものの、15°C付近まで皮膚温度を低下させても、感度はほとんど変化しない。また、SA I（slowly-adapting-type-I unit; Merkel's disk）の感度も、FA Iと同様に温度変化の影響を受けにくいとされている¹³⁾。

さて、微細テクスチャーを検出するには指を刺激上で動かす必要があり、このとき刺激の凹凸は振動として触覚系に提示される。触覚系はこの振動をテクスチャーとして知覚しているものと考えられる^{5),14),15)}。振動検出力を測定した結果によれば、FA IIの振動検出最小振幅は約0.1 μm 、FA Iの振動検出最小振幅は2~3 μm 、SA Iのそれは約10 μm である^{16),17)}。本研究の35°C（実験1）の結果では、検出閾値は0.85 μm であった。サブミクロンレベルの振幅を

検出できるのはFA IIのみである。また、FA IIは皮膚温度が低くなると感度が低下するが、皮膚温度18°C（実験2）と12°C（実験3）では、35°C（実験1）に比較し、統計的に有意な検出閾値の上昇、すなわち感度低下が観察された。これらのことから、サブミクロンレベルのテクスチャーを検出している皮膚機械受容単位はFA IIであると推測される。FA IIの振動検出閾0.1 μm に比べ、本研究におけるテクスチャー検出閾が0.85 μm とかなり大きな値となっているのは、滑らかな表面ではスティック・スリップ現象が起りやすいためと推測される。この現象に起因する細かな振動が、被験者に「粗さ」と誤認されたものと考えられる。

18°C条件と12°C条件では、検出閾値に統計的な有意差がなかった。このことは、両温度条件下でテクスチャー検出に関与する機械受容単位感度が温度変化による影響を受けないタイプであることを示す。受容感度が温度変化の影響を受けにくい機械受容単位としては、FA IとSA Iがある。さて、FA Iの振動検出最小振幅は2~3 μm 、SA Iの振動検出最小振幅は約10 μm であり、他方、18°C条件におけるテクスチャー検出閾値は1.51 μm 、12°C条件におけるテクスチャー検出閾値は1.44 μm となっていた。これらの実験結果から見ると、18°Cと12°Cでの検出閾レベルにおけるテクスチャー検出閾と機械受容単位はFA Iの可能性が高いと推定される。

Fig. 4に示すように、18°C条件と12°C条件における心理測定関数は0.5~9 μm の範囲でほぼ同一のパターンを示した。このことから、この範囲の心理測定関数パターン決定に関与する機械受容単位は、皮膚温度が変化しても感度が変化しないという特性を持つことがわかる。比較刺激粒子径が3 μm までの刺激弁別には主にFA Iが関与すると考えられるが、粒子径9 μm の場合は、FA I、SA Iのどちらが関与しているか、あるいは双方が関与しているかは、本研究のみでは明確とはならなかった。

6. 結論

本研究では、粒子径0.3~12 μm の精密研磨紙を刺激として用い、手指末節で微細テクスチャー検出閾を測定した。その結果、皮膚温度が35°C（実験1）では、平均検出閾は0.85 μm 、皮膚温度が18°C（実験2）、12°C（実験3）では、検出閾はそれぞれ1.51 μm 、1.44 μm となり、皮膚温度が高い場合は、テクスチャー検出閾はサブミクロンレベルに達すること、皮膚温度が低下するとテクスチャー検出の感度も下がることがわかった。

本研究と先行研究の結果を考慮すると、35°Cでサブミクロンレベルのテクスチャー検出に関与する機械受容単位はFA IIであると結論づけられた。また、皮膚温度を下げ

ると1 μm 以下のテクスチャーは検出できなくなり、しかも皮膚温度18°C条件と12°C条件で実験結果に差が見られないことから、これら温度レベルでテクスチャーの「検出」に参与する機械受容単位は、温度変化の影響を受けず感度もよいFA Iの可能性が高いと推測された。それより大きな粒子径の場合、テクスチャーの「弁別」には、FAIまたはSAI、あるいはこれらの双方が参与していると考えられるが、本研究からは結論は得られなかった。

本研究では、ヒトの微細テクスチャー検出がサブミクロンレベルに達すること、その刺激検出に参与する皮膚機械受容単位がFA IIであることが明らかとなった。しかし、実験中にスティック・スリップなどの物理的ノイズを完全に排除することができなかつたため、本研究結果がヒトの微細テクスチャー検出の真の限界値をあらわしているわけではないと思われる。工夫を重ねてスティック・スリップを取り除けば、さらに微細なテクスチャーが検出できる可能性がある。

謝辞

本研究実施に際しては、静岡理科大学学生鈴木孝幸君、三輪誠君、望月北斗君、木村嘉宏君、杉本有里さん、長尾希君の協力を得た。

引用文献

- 1) M. Hollins, "Touch and haptics", pp585-618, In S. Yantis (Ed), *Stevens' handbook of experimental psychology (third edition), Vol. 1: Sensation and perception*, (John Wiley & Sons, 2002).
- 2) M. Hollins, S. J. Bensmaïa and S. Washburn, "Vibrotactile adaptation impairs discrimination of fine, but not coarse, textures", *Somatosensory & Motor Research*, **18**(2001)253.
- 3) M. Hollins and S. R. Risner, Evidence for the duplex theory of tactile texture perception. *Perception & Psychophysics*, **62**(2000)695.
- 4) 宮岡徹, "触覚のモジュール機構", 静岡理科大学紀要, **3**(1994)85.
- 5) T. Miyaoka, T. Mano and M. Ohka, "Mechanisms of fine-surface-texture discrimination in human tactile sensation", *The Journal of the Acoustical Society of America*, **105**(1999)2485.
- 6) D. T. Blake, S. S. Hsiao and K. O. Johnson, "Neural coding mechanisms in tactile pattern recognition: the relative contributions of slowly and rapidly adapting mechanoreceptors to perceived roughness", *The Journal of Neuroscience*, **17**(1997)7480.
- 7) C. E. Connor, S. S. Hsiao, J. R. Phillips and K. O. Johnson, "Tactile roughness: neural codes that account for psychophysical magnitude estimates", *The Journal of Neuroscience*, **10**(1990)3823.
- 8) J. R. Phillips, R. S. Johansson and K. O. Johnson, "Representation of braille characters in human nerve fibres", *Experimental Brain Research*, **81**(1990) 589.
- 9) S. Bensmaïa and M. Hollins, "Pacinian representations of fine surface texture", *Perception & Psychophysics*, **67**(2005) 842.
- 10) Å. B. Vallbo and R. S. Johansson, "Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation", *Human Neurobiology*, **3**(1984)3.
- 11) S. J. Jr. Bolanowski and R. T. Verrillo, "Temperature and criterion effects in a somatosensory subsystem: a neurophysiological and psychophysical study", *Journal of Neurophysiology*, **48**(1982) 836.
- 12) T. Miyaoka, "Measurements of detection thresholds presenting normal and tangential vibrations on human glabrous skin", *Proceedings of the Twentieth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*, **20**(2004)465.
- 13) J. D. Greenspan and S. J. Bolanowski, "The psychophysics of tactile perception and its peripheral physiological basis", pp25-103, In L. Kruger (Ed.), *Pain and touch*, (Academic Press, San Diego, 1996).
- 14) Miyaoka and T. Nakamura, "Tactile-information-processing mechanisms of fine-surface-texture discrimination", *Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*, **23**(2007)391.
- 15) 宮岡徹, 中村敏男, "触覚系微細テクスチャー弁別の感覚情報処理機構", 静岡理科大学紀要, **15**(2007)25.
- 16) S. J. Bolanowski, G. A. Gescheider, R. T. Verrillo and C. M. Checkosky, "Four channels mediate the mechanical aspects of touch", *Journal of the Acoustical Society of America*, **84**(1988)1680.
- 17) G. A. Gescheider, S. J. Bolanowski and K. R. Hardick, "The frequency selectivity of information-processing channels in the tactile sensory system", *Somatosensory and Motor Research*, **18**(2001)191.

2005年Jリーグの報道から見た読売新聞の報道姿勢

The content analysis of the J-League articles in the Yomiuri Shimbun 2005

小栗 勝也*、伊藤 祐**

Katsuya OGURI and Yu ITO

This paper proves the following. In the first half of 2005, the Yomiuri Shimbun had written the J-League articles looking at teams predicted in advance for the championship. However, in the second half, it was to focus on really good performance teams. That's because the media was expected to meet the needs of the audience that had wanted to know who the winning team.

1、はじめに

本稿は、標題に示す事柄を題材とし、マスコミ研究における内容分析⁽¹⁾の手法を用いて、新聞社がどのような報道姿勢で記事を書いているかを探ることを目的とした研究である。結論とする所は常識的に推測され得る内容ではあるが、このような内容を具体的に実証した研究が十分にあるとは思われないので、マスコミ研究の一層の充実のため実証例を追加する役目を果たしたいと考えたことが本稿を記した第一の理由である。

また、静岡理工科大学総合情報学部では文理融合的な情報分野の研究・教育を提供できることを特徴として謳っている。本稿で扱うようなマスコミ研究の分野も、社会の中で実際に飛び交う情報の中から人々の意識を探ろうとするものであり、文系的な社会情報分野の一つに該当する。この紀要に本稿を寄せた理由の第二は、このような研究・教育分野が本学に存することを周知させたいという希望があるためである。

なお、本稿で用いたデータは全て伊藤祐が収集し、伊藤はそれを基に小栗勝也の指導の下で卒業論文を作成したが、本稿は伊藤論文が用いたデータを用いて、小栗が新たに書き直したものである。伊藤論文でミスがあった部分を修正しているためデータの値が異なるし、またデータの整理・分析の方法及び論文の構成と文言も伊藤論文とは異なっている。従って本稿の文責は全て小栗にある。しかしながら伊藤の研究がなければ本稿はなく、伊藤の功績が大であることに変わりはない。伊藤の承諾を得て共同執筆論文として提出した所以である。

2、研究対象と方法

2005年のJリーグの報道を研究対象とした理由は、サッカーに非常に詳しい伊藤が図らずも卒業研究対象としてこれを選んだことに由来し、それ以上に特別な理由はない。伊藤が2005年に着目した理由は、この年のJリーグが最終節を迎

えるまで優勝が決まらず、しかも5チームに優勝の可能性があったというJリーグの歴史の中でも稀にみる混戦の年であったため、彼の脳裏に強く印象付けられていたからである。

新聞は『読売新聞縮刷版 CD-ROM・2005年版』⁽²⁾ (以下『読売新聞 CD』と略す)を用いた。同紙を選んだ理由は、内蔵の検索機能により記事を容易に探すことができることに加え、市販されている新聞記事データベースの中で唯一、新聞紙面を1面ごとに画像として記録されており⁽³⁾、そのため記事の大きさを測定し比較することが可能であるためである。

対象としたチームはガンバ大阪、浦和レッズ、鹿島アントラーズ、ジェフ千葉、セレッソ大阪、ジュビロ磐田、横浜Fマリノスの7チームとした。このうちガンバからセレッソまでの5チームは最終節で優勝争いを演じたチームである。これに磐田と横浜の2チームを加えたのは、開幕前日の3月4日に『読売新聞』に掲載された予測記事の中で、「優勝争いの中心」となる3チームとして浦和と並んで両チームが位置づけられていたからである⁽⁴⁾。浦和は、実際に最後の優勝争いに加わったが、磐田・横浜は結局、脱落した。当初の優勝予測と実際の成績の違いが影響を及ぼし、報道量の差となって現われるかもしれないとの予想から、両チームも分析対象に加えることにした⁽⁵⁾。

分析材料の収集は以下の手順で行った。まず、『読売新聞 CD』付属の年間索引CDを用いて記事検索を行った。各チーム名⁽⁶⁾を入力して検索し、チーム毎に得られた記事一覧の全記事を分析対象とした⁽⁷⁾。検索機能で得たデータのみ依存しているため、分析者の違いによる記事抽出の恣意性は排除できている。その後、新聞紙面画像データを収録している各月のCDから対象となる記事の全てを印刷し、これを分析の材料とした。

記事面積はプリントアウトしたものを、手作業によって定規で測定して算出した。面積の中には写真・図表等の部分は含めたが、連載ロゴマークの部分は除いた。測定は伊藤が一人で行ったので、測定者の違いによる誤差は極力避け得たと思うが、それでも手作業のためどうしても誤差が含まれる

2009年3月17日受理

* 総合情報学部人間情報デザイン学科兼理工学部情報システム学科

** 理工学部情報システム学科卒業生

可能性はある。それを承知の上で測定値を用いたことを予めお断りしておく。なお測定に用いた印刷物は実際の新聞の大きさより縮小して印刷しているため、測定された面積値に一定の係数を掛けて換算し実際の新聞記事の大きさになるようにした値を用いた。

検索結果の中には、明らかに同じ記事が異なるチームの検索結果の中に同時に含まれることがある。1つの記事の中で複数のチームに言及されることがあるからである。この場合は、①件数については各チーム毎に1件ずつカウントした。そのため全チームの件数を合算する場合は延べ数となるので注意を要する。本稿が扱った記事は延べで698件である。

②面積については1ステップ別の対応を加えた。なぜなら、検索結果で同じ記事題名であっても実際に記事を読むと、その題名は小さな記事を幾つかまとめた箇所に付された総合的タイトルである場合があり、この場合にはそこに含まれる小さな記事毎にチームを区別できる場合があるからである。小さな記事毎にチームを区分できる場合には、区別して面積を測定し、それぞれの値をそのチームの記事面積とした。記事中に含まれる写真部分もチームを特定・区別できる場合はそのチームの部分に含め、他のチームの部分には含めなかった。このため同じ記事題名であっても、チームによって面積の値が異なる場合がある。なお、チーム別に小さな区別ができない記事の場合は、記事全体の同じ面積値を各チームにそれぞれカウントした。

このようにして得られたデータを、チーム別月別にまとめたものが表1である。ここから一年間の記事件数の推移を月別チーム別に示すと図1のグラフのようになる。Jリーグは3月に開幕する。3~4月に記事が増えるのはシーズンが始まったためである。6月に記事が急減するのは、この時期にワールドカップ・アジア最終予選があり、そのためJリーグの試合が一時中断

されたためである。リーグ戦は7月に再開し、12月の最終節で優勝が決まる。大きな目で見ると、これらの開催状況に連動して件数も変化していることは誰にもわかる。

しかし、細かく見るとチームによって記事が変化の様は異なっている。図1のグラフでは煩雑すぎるので、以下の章ではチーム毎に分けて考察することにしたい。また、6月に中断があり、しかも中断前と後では後述する通り、報道傾向に違いがみられるので、以下の考察では便宜的に中断前を上半期、中断後を下半期として分けて分析する。

得られた記事データと、その時々をの条件を勘案しながら、どのような時にどのチームの報道量がどう変化するかを分析することで、当該年のJリーグ報道における読売新聞の報道の傾向・特徴を明らかにすることが本稿の目的である。

3、上半期の分析 ～予測と報道量～

表1のデータから上半期の記事件数の平均値(月当たり平均値)を見ると、最も多いのは鹿島の7.50件であり、以下、横浜、浦和・磐田(同値)、千葉、セレッソ、ガンバの順となることから分かる。記事面積についても同様に上半期の平均値から

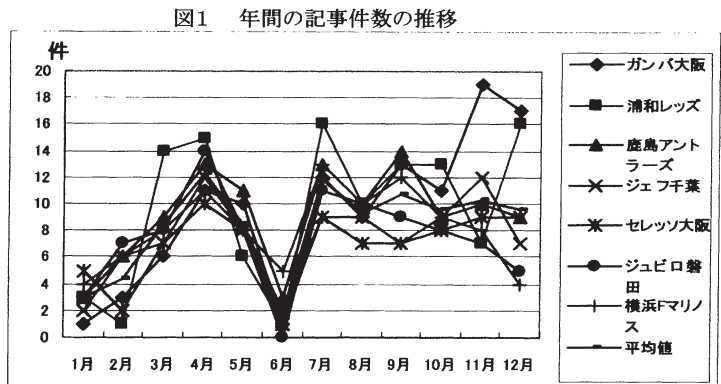


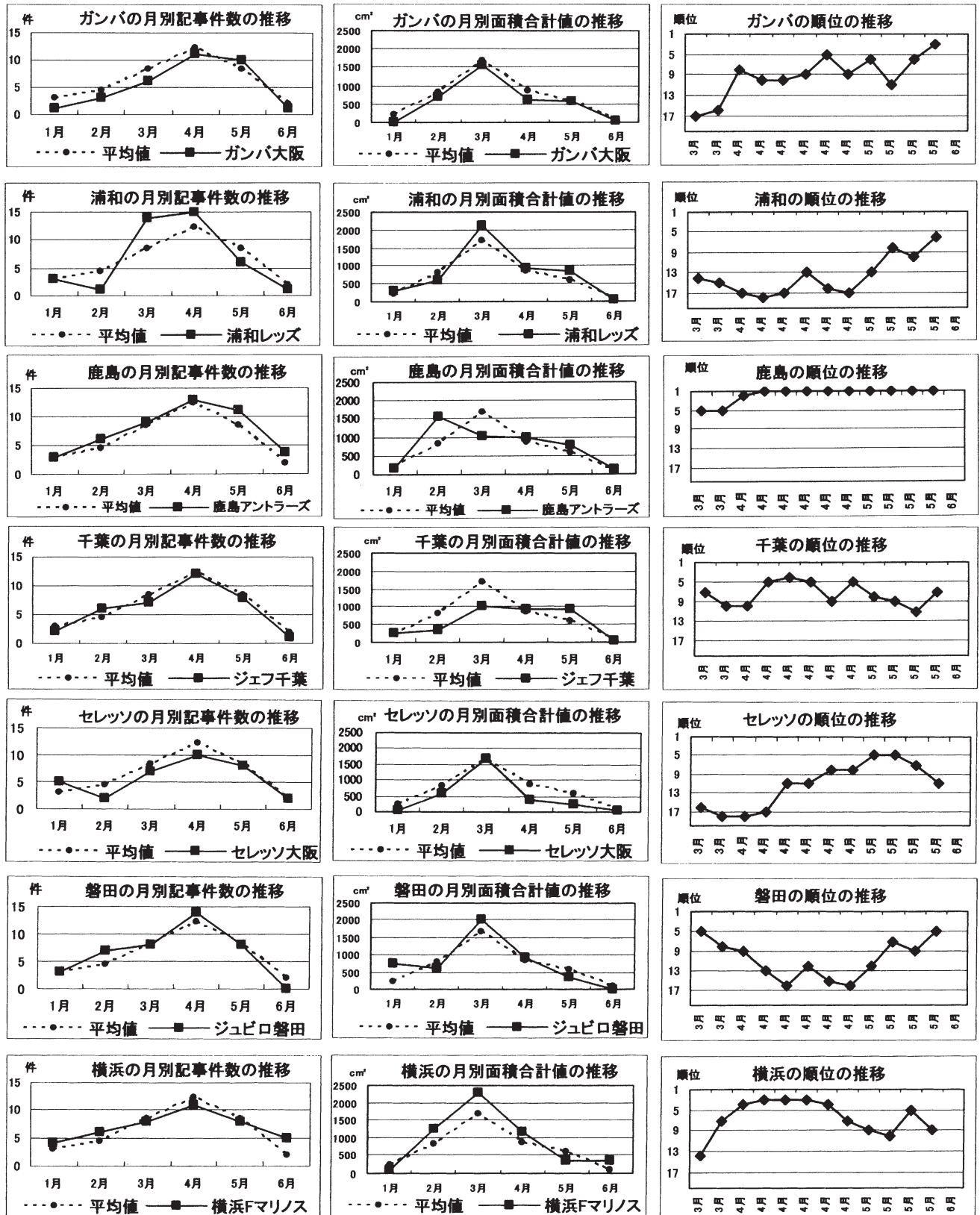
表1 月別チーム別の記事件数・記事面積データの一覧 (面積の値は全てcm²)

	ガンバ大阪		浦和レッズ		鹿島アントラーズ		ジェフ千葉		セレッソ大阪		ジュビロ磐田		横浜Fマリノス		7チームの平均値	
	件数	面積	件数	面積	件数	面積	件数	面積	件数	面積	件数	面積	件数	面積	件数	面積
1月	1	7.7	3	276.6	3	168.86	2	240.48	5	44.44	3	725.16	4	88.4	3.00	221.66
2月	3	687.44	1	605.52	6	1545.18	6	348.48	2	584.96	7	596.26	6	1268.24	4.43	805.15
3月	6	1573.22	14	2098.86	9	1014.74	7	1016.84	7	1700.4	8	2033.7	8	2285.14	8.43	1674.70
4月	11	633.36	15	926.49	13	996.82	12	948.05	10	371.02	14	931.23	11	1169.37	12.29	853.76
5月	10	571.09	6	859.92	11	796.3	8	922.9	8	242.06	8	369.5	8	365.04	8.43	589.54
6月	1	39.9	1	39.9	3	142.25	1	39.9	2	62.94	0	0	5	326.12	1.86	93.00
上半期平均値	5.33	585.45	6.67	801.22	7.50	777.36	6.00	586.11	5.67	500.97	6.67	775.98	7.00	917.05	6.40	706.30
7月	12	1163.81	16	1242.38	13	1020.14	9	299.44	9	625.28	11	823.6	13	1485.98	11.86	951.52
8月	9	534.46	10	529.5	10	790.77	9	481.74	7	205.97	10	626.76	10	793.76	9.29	566.14
9月	13	2010.4	13	1018.68	14	1176.96	7	567.18	7	264.5	9	285.9	12	780.04	10.71	871.95
10月	11	1199.81	13	909.2	9	1017.54	9	829.35	8	697.88	8	910.95	9	538.22	9.57	871.85
11月	19	1906.26	7	544.02	10	612.56	12	1330.2	9	752.56	7	320.28	8	397.34	10.29	837.60
12月	17	2819.68	16	2323.86	9	1570.66	7	1136.1	9	1358.68	5	417.82	4	349.84	9.57	1425.23
下半期平均値	13.50	1605.74	12.50	1094.61	10.83	1031.44	8.84	774.00	8.17	650.81	8.33	564.22	9.33	724.20	10.21	920.72

大きい順にならべると、最も大きいのは横浜の 917.05cm²であり、以下、浦和、鹿島、磐田、千葉、ガンバ、セレッソの順となる。件数と面積では並び順に若干の差があるものの、共通点もある。たとえば横浜や浦和・鹿島は件数・面積とも上位であるし、ガンバ・セレッソは両方とも下位である。

このようなチームによる報道量の違いが何によって決まるのかを調べたい訳であるが、このことをもう少し詳しく考察するために、図2のようなグラフ群を作成してみた。これは表1から上半期のみの件数・面積のデータを取り出して、チーム別に月毎の推移を示し、平均値(7チームの平均値)との差がど

図2 上半期の件数・面積・順位の推移



れほどあるかを一目で分かるように示したグラフに、同時期のリーグ戦の順位⁽⁸⁾の推移グラフを加えて並べたものである。このグラフ群から、まず順位と報道量の関係について見ておきたい。

ここで特に注目したいのは、浦和と磐田である。両チームは3～4月のリーグ序盤戦で成績が振るわず低迷していたが、同時期の新聞記事は件数も面積も全て7チームの平均値を上回っていた。中でも浦和の3～4月の件数は抜きん出て高い値であった。

もし、成績が良いチームに新聞社が注目し、より多くの記事を提供するのであれば、単純で分かり易い原理で新聞社が動いていることが分かるが、実際は上の浦和や磐田のように、成績が悪くても報道量が多いケースがある。

逆に、上半期の成績が抜群で7チーム中、常にトップを走っていた鹿島は、報道記事を見ると件数では平均を若干上回る程度の量でしかない。面積ではシーズンが始まる前の2月のみ値を伸ばしているものの、3月は平均以下であるし、その後も平均値と大差ない量でしか報道されていない。

つまり、上半期において読売新聞社は、その時々で成績が良いチームのみに注目して報道をしていた訳ではないことになる⁽⁹⁾。それでは何にウエイトを置いて報道をしていたのかという疑問が生じる。そこで次に、事前の予想との関係を見ることにする。

ここでいう事前の予測とは、先に触れた開幕前日の3月4日に『読売新聞』に掲載された記事において示されていた7チームに対する評価のことである。同記事の見出しでは3強に挑戦する2つの挑戦者という位置づけがなされていた。さらに同じ記事の中に「本誌取材班による J1チーム力評価」が一覧で掲出されており、そこでは A～C のランクで全チームが評価されていた。これらの情報を基に小栗が対象7チームに便宜的な得点を付し、この得点の値を読売新聞社による予測値と本稿では呼ぶことにする。予測値は表2に示した通りである。

「3強」と扱われ、読売新聞取材班による「チーム力評価」でも最高の「A」であった3チームには5点を、チーム力評価では同じ A ランクでも、見出しでは挑戦者扱いであったガンバには4点を付けた。同じ A 評価でも見出しで取り上げられ

図3 上半期の予測値と件数

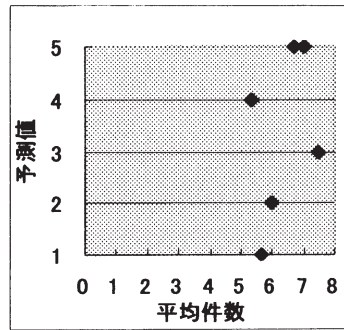
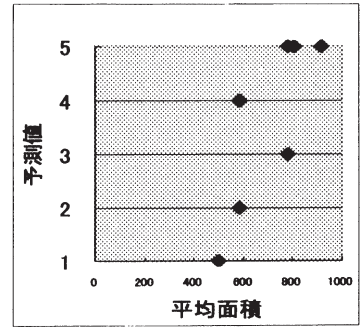


図4 上半期の予測値と面積



ることさえなかった鹿島は、読売新聞の扱いではガンバよりも期待されていなかったと判断して3点を付し、それ以外の千葉、セレッソはチーム力評価が B、C であったので、それぞれ2点、1点を付け差別化した。1点きざみの差別化は便宜的なものではないことを断っておく。

この表2のデータと報道量のデータを比較するために、表1の中の件数・面積の上半期全体の平均値との相関を見た。その結果が図3⁽¹⁰⁾および図4である。この図から明らかに強い相関関係があるとまでは言えないものの、データが右肩上がりのまとまった範囲に位置していることから、ある程度の相関関係があるとは言えそうである。

上半期における読売新聞社は、その時々チームの順位よりも、事前に自社が予測した優勝候補や注目チームにウエイトを置いた報道をしていたと言えそうである。そのように考えると、既述の浦和や磐田のように成績が振るわなくても報道量が多くなっていた理由がよく理解できる。浦和、磐田は、予測値では最高点であったからである。横浜も報道量が多めであったが、予測値では最高の評価であった。それゆえ開幕冒頭では成績はそれほど良くなかったが、3～4月頃の記事面積では他チームより多かった。その後、横浜は順位を上げてくるので、順位の高さも報道量に影響していた可能性は無視できないが、もともと高い予測値のチームであったが故に成績も上がるとそれなりに報道量をキープできたとも考えられそうである。いずれにしても順位の高さだけでは、報道量の高さを説明できないのである。

このことを更に検証するために、対比として順位と報道量の相関関係も見ておきたい。順位は上半期中の平均順位を

表2 読売新聞によるチーム別の予測値

	見出し	チーム力評価	予測値
ガンバ大阪	挑戦者	A	4
浦和レッズ	3強	A	5
鹿島アントラーズ	なし	A	3
ジェフ千葉	なし	B	2
セレッソ大阪	なし	C	1
ジュビロ磐田	3強	A	5
横浜 F マリノス	3強	A	5

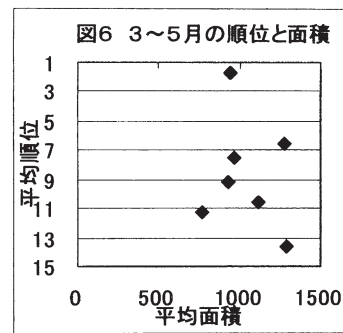
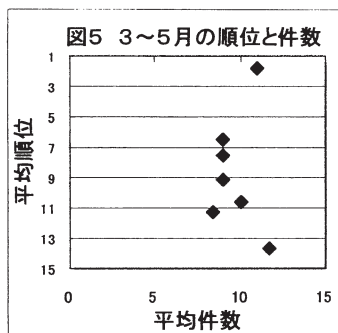
表3 3～5月の順位と報道量

	平均順位	件数平均値	面積平均値
ガンバ大阪	9.17	9.00	925.89
浦和レッズ	13.67	11.67	1295.09
鹿島アントラーズ	1.75	11.00	935.95
ジェフ千葉	7.50	9.00	962.60
セレッソ大阪	11.25	8.33	771.16
ジュビロ磐田	10.58	10.00	1111.48
横浜 F マリノス	6.50	9.00	1273.18

用いることにする。当該時期に行われた各節の試合毎の順位を試合数で割った値である。なお上半期のリーグ戦は3月から始まり5月までであったから、順位の数値も3~5月までの数値になる。このことに合わせて、対比する報道量のデータも3月~5月のみに限定して、その間の件数・面積の月当り平均値を用いることにした。これらの値は表3に示す通りである。この表から順位と報道量との相関関係を示したものが図5および図6である。2つの図から、件数・面積ともに順位とは全く相関関係がないことが分かる。この図と比べれば図3、図4の方がまだ相関関係があるといえるであろう。

最後に、本章冒頭で触れた上半期の報道量の平均値を、いま一度、事前の予測値に従ってチームをグループ分けして概観し直しておきたい。すなわち、表2の中で予測記事の見出しで「3強」と扱われていた浦和、磐田、横浜を、仮に「本命」チームと名付け、同じ見出しで挑戦者として紹介されたガンバを「注目」チームとし、以上の見出しに取り上げられた4チーム以外の残り3チームを便宜的に「非注目」グループとして分けて考えてみたい。この時、グループ別に上半期の平均報道量を並べてみると、次の図7・図8のように示すことができる。これらの図からも、一部の例外を除いて、本命・注目チームの方が非注目チームよりも件数・面積ともに報道量が多かったことが分かる。

ここで非注目チームの中でも報道量が多かった鹿島について言及しておきたい。鹿島は、本稿の予測値では最高点を与えなかったものの、読売新聞のチーム力評価では予測値最高点の浦和・磐田と同じA評価であった。A評価でありながら同記事で見出しにさえ取り上げられなかったのは鹿島のみであった。なぜ読売新聞が鹿島を無視するかのような姿勢を示したのかはよくわからないが、客観的なチーム力評価では、横浜や浦和等とも鹿島は同列に置かれていたことは事実である。本稿の予測値の付け方ではランクを下げてあるものの、もともと読売新聞の評価では高いチームであったのである。しかも実際にシーズンが始まると序盤から底力を発揮し、4月以降は首位を独走する状態であった。鹿島の報道量がトータルで見ると非注目チームの中で頭一つ抜き出ているの



は、事前の評価が高いことと実際に強かったという2つの条件が重なっていたことに起因すると考えられる。

しかし、細かく見ると、その鹿島でさえ、図2から伺える如く、3月は順位の高い浦和よりも記事件数が少なく、4月では磐田よりも件数が少なかった。記事面積で見ると、3月の値のように7チーム平均を大きく下回ることもあった。やはり順位だけでは報道量の多寡を説明できず、順位以外の要素がこの時期には大きく作用していると考えの方が妥当である。

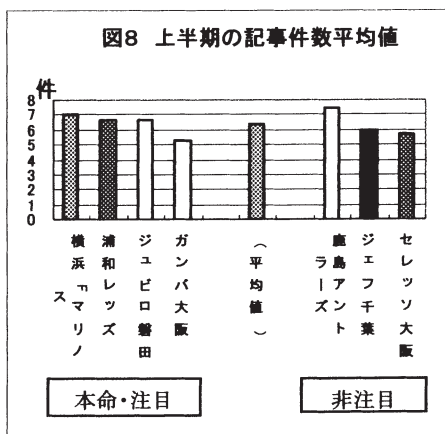
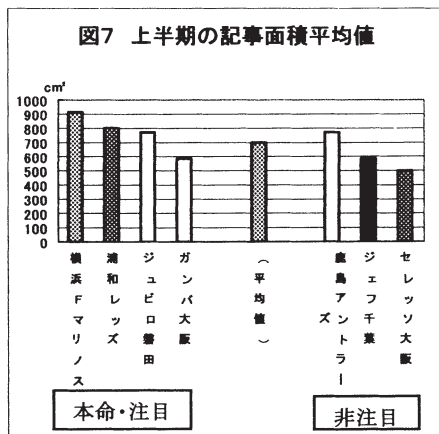
以上のことから、上半期の読売新聞は、その時々々の順位に着目しながら報道をしていたと言うよりも(これも完全に無視することはできないが)、どちらかと言えば、同社が下した事前予測に基づいた報道をしていたと考えるのが妥当のようである。

4、下半期の分析 ~順位と報道量~

次に下半期について見てみよう。前章と同様の方法で表1のデータから下半期の報道量を取り上げ、順位の数値を加えてチーム毎に並べたグラフ群を作成した。図9がそれである。このグラフ群からは上半期よりも明瞭な特徴が窺える。

注目したい点は、最後まで混戦を演じた上位5チームのグループと、優勝争いから「脱落」した磐田・横浜のグループの違いである。脱落2チームは、記事件数・記事面積ともに右肩下がりの変化を示し、7チームの平均値を大きく下回っていくことが見て取れる。これに対して、上位5チームは、いずれも右肩上がりの変化を示しており、特に終盤の上昇が著しいチームもある。その中で、千葉とセレッソはやや報道量が少なめであるが、それでも、報道量が下降するばかりの磐田・横浜と比べれば、終盤戦に近づくにつれ、件数・面積ともに磐田・横浜を凌駕する報道量を獲得していることが分かる。

2つのグループに明確な違いがあることは一目瞭然である。下半期では、チームの順位が高ければ高い程、報道量が大きくなっ



ていたということである。

順位と件数・面積の関係をより詳しく検証するために、こ
でも順位と報道量との相関関係を見ることにしたい。前章と
同様の方法で、表1から下半期のチーム毎の記事件数平均

値及び面積の平均値を取り出し、更に図9の順位のデータか
ら下半期の平均順位を計算し、それぞれの関係を調べてみ
た。下半期は7～12月まで試合があったので、報道量のデ
ータも下半期全期間分の月当たり平均値を用いた。用いたデ

図9 下半期の件数・面積・順位の推移

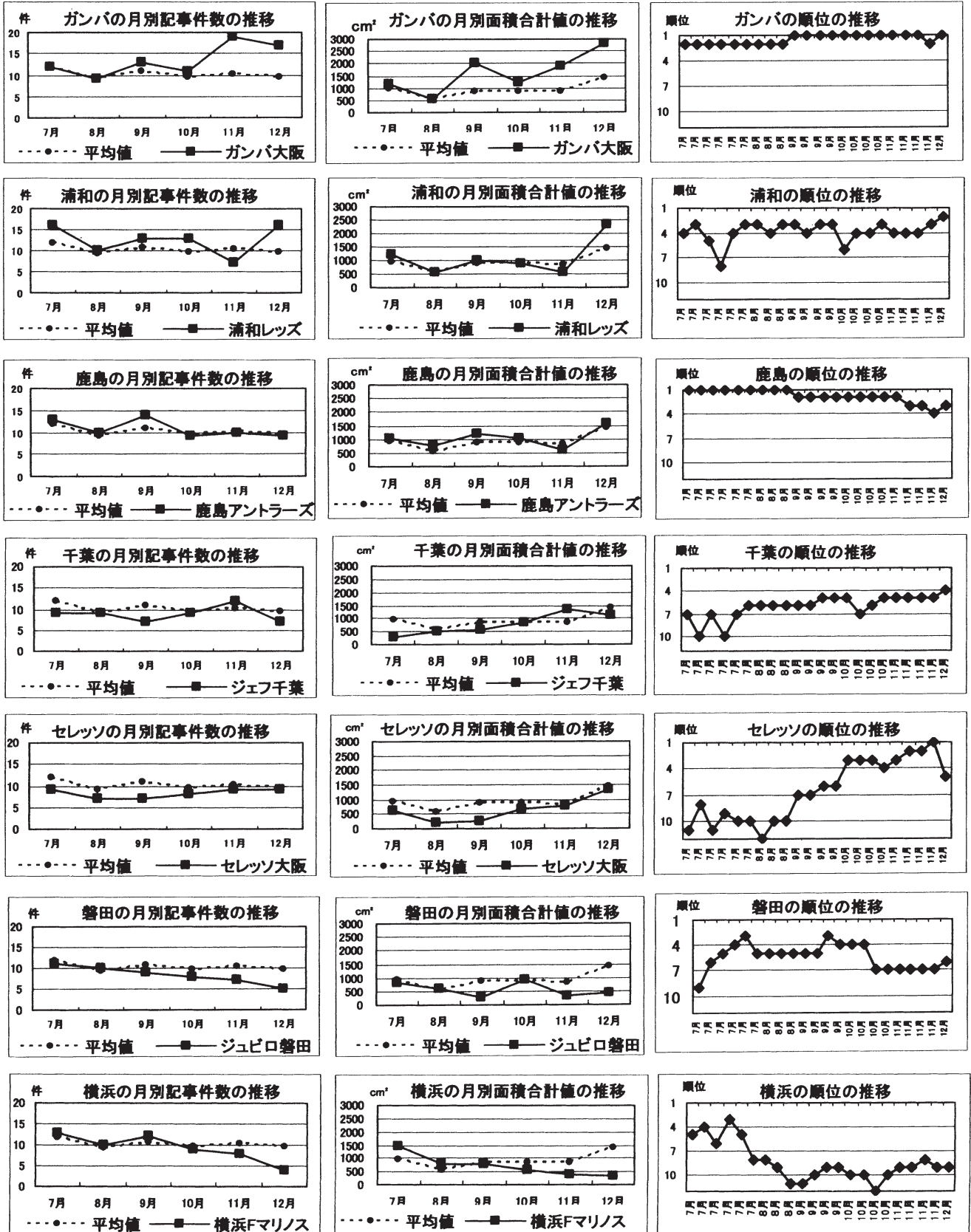


表4 下半期の順位と報道量

	平均順位	件数平均値	面積平均値
ガンバ大阪	1.45	13.50	1605.74
浦和レッズ	3.82	12.50	1094.61
鹿島アントラーズ	1.82	10.83	1031.44
ジェフ千葉	6.09	8.83	774.00
セレッソ大阪	6.50	8.17	650.81
ジュビロ磐田	5.45	8.33	564.22
横浜F マリノス	8.36	9.33	724.20

ータをまとめると表4のようになる。

この値を基に順位と報道量の相関関係を見たものが図10、図11である。両図ともに右肩上がりのまとまった分布を示しており、件数と面積が、順位との間に相関関係があることが分かる。しかもその度合いは上半期よりも強い。記事・面積の値が大きい程、順位も高いのであるから、順位の高いチームにウエイトを置いた報道をこの時期の読売新聞はしていたと言える。

ちなみに、上半期には予測値が報道量に影響を与えていたことを確認したが、下半期ではどうであったかを確認するた

め、表2の予測値との相関図も作成してみた。図12、図13がそれである。総体として相関関係があるとは言えない分布となっている。特に予測値最高の5点のチームでも報道量には大きな開きが生じていることが分かる。事前の予測値は高かったけれどもゴールが近づくにつれ優勝争いから脱落した2チームに対しては、読売新聞が報道量を大きく減らしていたためである。優勝できる順位にあるか否かが、この時期の報道量の多寡を決定する最大の要素になっていた訳である。

しかしながら、脱落2チームを除いた残りの5チームについては相関関係があるように見える。だが、この時期には、この5チームの予測値と、実際の下半期の平均順位の間にも相関関係があるので(表2と表4の値を参照)、見かけ上、予測値とも相関関係があるように見えるだけと考える方が妥当だと考える。もし、予測値の方が下半期にも強く作用しているとするならば、脱落2チームは共に最高の予測値であったのだからこの時期も報道量が多くなければならない。だがデータは逆の結果を示している。脱落2チームを加えた全7チーム全体で見ても、実際に順位が報道量に影響を与えている(図10、図11)のであるから、この時期に作用しているのは順位の方であると言わなければならない。

更に言えば、順位の影響力は、優勝争いが熾烈を加え混戦の度合いが高まる程、強くなっていた。セレッソの順位が上昇し、5チームの混戦になって行った10月以降のみに着目して、順位と報道量との相関をいま一度見てみると、そのことがよく分かる。表5は、表1から10~12月分のみに着目して計算した記事件数・面積の月当り平均値と、図9から同時期の平均順位を算出したデータをまとめたものである。これを基に各々の相関関係を示したものが図14、図15である。

この図を見ると、下半期全体(図10、図11)と比べても、順位と件数・面積の間に、より強い相関関係があることが分かる。念のため、同じ10~12月の報道量と事前の予測値の間に相関関係があるかを見るために図16、図17も作成した。図12、図13

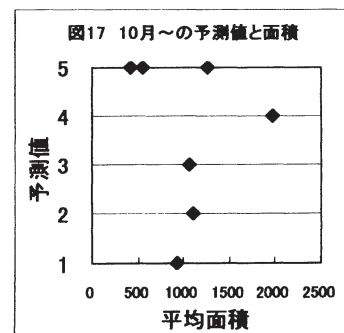
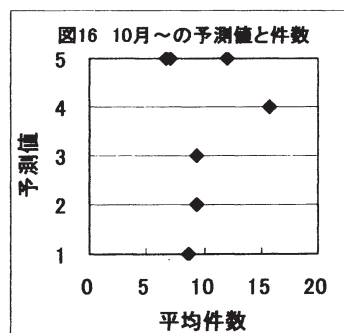
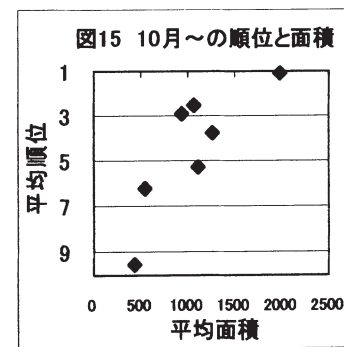
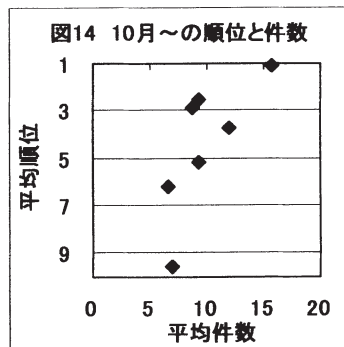
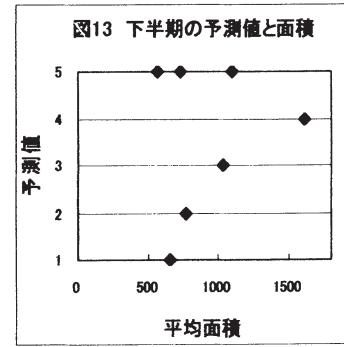
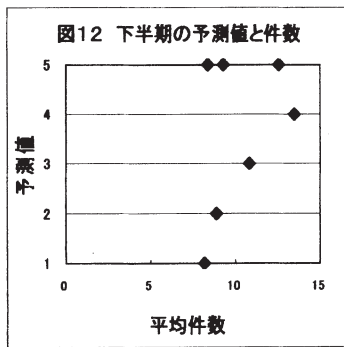
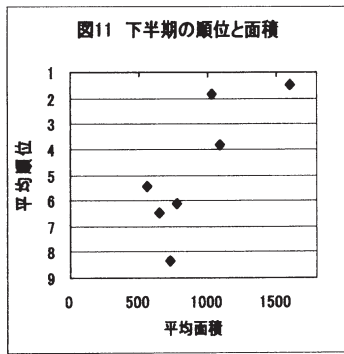
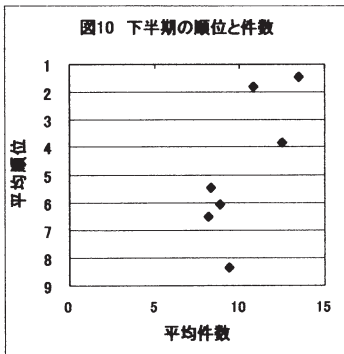


表5 10月～12月の順位と報道量

	平均順位	件数平均値	面積平均値
ガンバ大阪	1.11	15.67	1975.25
浦和レッズ	3.78	12.00	1259.03
鹿島アントラーズ	2.56	9.33	1066.92
ジェフ千葉	5.22	9.33	1098.55
セレッソ大阪	2.89	8.67	936.37
ジュビロ磐田	6.22	6.67	549.68
横浜 F マリノス	9.56	7.00	428.47

と比べると、脱落2チームを除いても、もはやどこにも相関関係は見ることができなくなっている。これらのことから、12月の最終試合に近づけば近づくほど、読売新聞はその時々で成績上位のチームにウエイトを置いて報道を行っていたことが分かる。

以上のことから下半期では前章で示した本命・注目チームと非注目チームというグループ分けではなく、実際に優勝争いを演じた「トップ」チームと「脱落」チームという別の区分で考えた方が分かり易い。トップチームの方が脱落チームよりも報道量が多くなる傾向があり、しかもその傾向はリーグの終盤に近づくほど顕著であった。

5、結語

以上の分析により、上半期と下半期の2つの時期では読売新聞の報道傾向に違いがあることを示した。これらのことを総合して考えると、次のような解釈が可能であると推察する。すなわち、リーグ戦が始まったばかりの頃は、実際にどのチームが優勝するかは先の話であって、今その時の勝負の結果によって優勝チームを予測することは賢明なことではない。序盤戦に成績がよくて優勝するかもしれないと期待していたのに、実際にはそうならなかったという事例は経験則から考えても、ごくありふれて生起する現象である。サッカーに限らず、プロ野球でもよく見られる同じである。従って、そのような時期（上半期）には、現在只今の順位よりも、過去の実績を加えたチームの実力や総合的な状況を視野に入れて考えた方が間違いは少ないと思われる。実際、読売新聞はリーグ戦開幕直前に全チームの戦力を予測していたが、そこでは過去の戦績やリーグ開幕までの選手の異動その他の情報を総合して予測を示していた。リーグ戦序盤で優勝を占おうとするならば、これらの情報の方が有効であろう。

しかし、実際にリーグ戦が進展し、予測とは違った振る舞いを各チームがするようになると、もはや事前の予測結果は何の意味ももたなくなる。リーグ戦が終盤になり、残り試合が少なくなればなるほど、優勝チームを占う上で決定的な要素になるのは、1試合ずつの勝敗そのものである。過去の実績がどうであっても、実際に試合に勝てなければ挽回は不可能になるからである。チームの勝敗の鍵を握るのは、その時点での実力だけである。だから、その時々の実力（順位）が注目されることになる。

このように考えると、上半期は事前の予測に重きを置き、下半期はその時々々の順位に重きを置くという違いはあっても、結局のところ、どのチームが優勝するかという点に関心があったという意味では、共通していたことになる。読売新聞社がそのような意識から報道を行っていたということは、読者の関心もまたそこにあると同社が考えていたことになる。

読者の期待（新聞社が想定したもの）に応えるために、より正確な情報を提供したいと考えるのは自然な対応である。間違いないようにするために、リーグ戦序盤では、その時々々の順位になるべく惑わされずに、過去からの長い目で判断しようという意識が働いていたと推察される。リーグ終盤では、目の前で演じられている優勝争いだけに注目していれば優勝チームを見逃すことはないから、過去の実績等は意味を持たなくなる。以上のように理解すればウエイトの置き所の変化を説明できるし、同時に、根本の意識は変化していないという点も浮き彫りになる。

読者＝一般国民の関心に合わせた報道をしなければならないのは、情報を読者に売ることで事業が成り立っている新聞社の宿命と言える。購読部数を伸ばすには多くの読者から支持されねばならず、そのためには読者が求める情報の提供に務める必要がある。部数が伸びれば掲載広告単価も高く設定できるから、企業からの広告収入増も期待できる。それゆえ、新聞社が商業的利益を確保して事業を継続するためには、多くの国民から支持される情報を提供せざるを得ないのである⁽¹¹⁾。読売新聞におけるJリーグの報道でもこの原理が働いていたと見ることができよう。

以上、本稿は、報道機関が何を意識しながら情報を発信しているかを考える上で参考となる事例の一つ提供することができたと考える。

- (1) 内容分析 (content analysis) とは、報道内容を何らかの基準によって定量的に測定した結果を用いて、内容の時系列的変化や報道機関別の横断的比較等を行うことで、ニュース自体に関する理解を深めたり (内容分析の目的的利用)、ニュースの背景に潜む人々の意識や価値観等を推察する (内容分析の手段的利用) 研究を指す (大石裕・他『現代ニュース論』(有斐閣、2000年11月20日初版第1刷) 第7章参照)。
- (2) 発行・読売新聞東京本社、販売・紀伊國屋書店。CD2枚で1ヶ月分の記事画像データが収められている。さらに「年間索引」のCDが1枚付属している。
- (3) WEB上で提供されている新聞記事検索サービスでも記事を画像として提供しているものは現在までのところ見当たらない。
- (4) 「3強に挑む」(『読売新聞』2005年3月4日)。なお『読売新聞CD』の検索結果に表示される記事題名は「J1リーグあす開幕 横浜 M、浦和、磐田の3強に挑む 東京 V、G 大阪」であるが、これと一言一句同じ見出しは現物の記事にはない。検索 CD では、見出し中の単語を適宜組み合わせ、文意の通るタイトル文に直しているようである。

- (5) なお、同上記事では記事見出しからも明らかなように、東京ベルディとガンバ大阪が3強に挑む有力挑戦者として位置づけられている。このうちガンバは分析対象に入れたが、東京は読売新聞系列のチームであることから公正な報道は期待できないため、比較対象として不適切と考え、今回の分析対象からは除外した。もちろん全チームを分析対象にすれば一番よいのだが、時間の都合上、7チームに絞った。
- (6) 但し横浜Fマリノスのみは、この検索システムではアルファベットを混在させるとエラーになるため、「横浜マリノス」の文言で検索した。
- (7) 今回の記事検索において選手個人名での検索は一切行っていないため、たとえば日本代表として W 杯予選等で活躍した選手があった場合でも、検索結果に含まれていない場合は本研究の対象になっていない。
- (8) 本稿で用いた 2005 年 Jリーグ戦における各節毎の順位は全て WEB サイト「J リーグ 100 チームを目指して wiki 版」(<http://wiki.livedoor.jp/achakun/d/>) 内で、チーム別に各節毎にまとめられている成績データを基にしている。なお、図2の中の順位の推移を示すグラフの X 軸は正しくは試合毎の節のデータであり、左から第 1 節、第2節、の順で各節終了時点での順位を示している。上半期は第 12 節が最後であったが、比較する上で節の表示では不便なので各節の試合が行われた時期(月)に置き換えて表示した。下半期を扱った後掲の図9も同じである。
- (9) もっとも横浜のように順位と面積値に相関が見られるチームもあるので、いつでそうであったとは言い切れない面はある。しかし横浜は期待値が元々高く、その上、順位も良かったので面積値が大きかったと見ることもできる。本稿では提示した相関図がきれいでないことに象徴されるように、いつでも 100%適用可能な解釈を本稿が提供できているとは思わない。だが、それでも全体の概観的な傾向としては本稿が指摘するような傾向は認められると考える。
- (10) 図3では6つのプロットしかないように見えるが、これは浦和と磐田が予測値、平均件数ともに同じであるため、2つのプロットが完全に重なって表示されているためである。
- (11) カナダ・オンタリオ州教育省編 (FCT市民のメディア・フォーラム訳、鈴木みどり監訳)『メディア・リテラシー』(リベルタ出版、1992年)が言う所の「メディアは商業的意味を持つ」(9頁)と同じ。

【追記】本稿脱稿後に、面積測定値の計算に瑕疵があったことが分かった。測定時は読売新聞CDから記事画像をプリントしたのを用いたが、縮小印刷であるため実際の新聞の大きさに換算するために一定の係数を乗じて計算した。その係数が不正確であった。本稿で扱った面積値を更に 1.04 倍した値が正確なものであった。この点をお詫してお断り申し上げますと共に、読者にご寛恕を請う次第である。ただし、このことは本稿で扱った面積値の全てに当てはまるため、比較の上では支障はなく、従って本稿の分析も有効であると考えます。

意志決定理論における自己位置づけ

— 眠り姫問題を通じて —

Self Locating Belief in Decision Theory

— Sleeping Beauty Problem —

榛葉 豊*

Yutaka SHINBA

Abstract: When we evaluate the credence or the degree of conviction, the subjective probability may differ from credence by the character of the proposition to the credence by outside world observer. Credence also differs by the ensemble which if evaluating character belonged. We consider mainly on this problem, what is called 'self locating problem', through the 'Sleeping Beauty' illustration. This illustration contains many other hard questions. For example, the followings are involved, what is information in Bayesian reasoning, the principle of indifference, solipsism and self-consciousness, the Anthropic principle and Copernican principle, interpretation of subjective and objective probability, Doomsday logic and the Fine Tuning of our world, and eventually the interpretation of quantum probability. We discuss these subjects and at a same time several theories in controversy up to now are compared under some independent viewpoints. When we alter the set up in the Sleeping Beauty, more difficulty which show us new world, shall emerge. We discuss that "Information" can be generated by itself within the thinker by his/her location. Three Prisoners and Drunk Home-liner problem also discussed.

1. 序論：眠り姫問題

信念の度合い或いは主観確率を、ある事象に付与しようとするときに、その事象を記述する文に、信念の度合いを考える主体が参加しているかどうか、そしてどういう経緯でそこに登場し認識主体となったのか。また主体はどういう参照集団に属していると考えて評価しているのか、そのとき注目している参照集団を規定する特徴のカテゴリーは何なのかで信念の度合いが違って来る事が有り得る。

その様な事態を考えるための典型として「眠り姫問題」(the Sleeping Beauty Problem)^{1-24, 31)}がある。この問題は、意志決定理論やゲームの理論分野では1997年頃から議論されているそうであるが、科学哲学では自己位置づけ問題に関して最近注目されている主題である。宇宙のファイン・チューニング問題における人間原理や、地球文明

の存続に関する終末論法、主観確率の Bayes 改訂と情報取得の関係などの分野に関係するのであるが、哲学の分野では、2000年のElgaの論文¹⁾からであろう。

まず、その問題をElgaのオリジナル形で見てみる事にしよう。

眠り姫問題の設定：

あなたは日曜日に睡眠薬で眠らされる。その後フェアなコインが投げられる。

表 → 月曜

裏 → 月曜 火曜

その結果、裏表に従って、上に示したように、表なら月曜

2009年3月6日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

に起こされて、質問をされてまたすぐ眠らされる。もし裏の場合は、月曜に起こされるのは表の場合と同様であるが、また眠らされた後、火曜にまた起こされ、月曜同様に質問されまた眠らされる。

このとき月曜に起こされたという記憶は完全に消去される。火曜に起こされたときには、前の記はなく、今日が何曜か分からない。

あなたは実験の設定は完全に分かっているが、とにかく目覚めたときに何曜か分からないし、コインが表だったのか裏だったのか分からない。水曜日に起こされて実験終了となる。

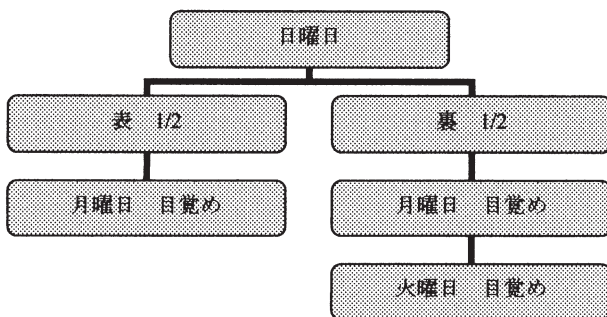


図1 眠り姫問題

さて、あなたは起こされたとき「コインは表だったと思いますか」とコインが表だった確率を聞かれる。ここで言う「表だった確率」とは、現在の目覚めがコインの表の結果として起こっているのか、そうでなく月、火と起こされるべき系列の一つとして起こされているのかの見込みが問われている。

この答えに $p(H)=1/2$ (H は表, T は裏とする)

と答える考えと、 $p(H)=1/3$ と答える考えが先ずはあるのである。

目覚めた時の質問は、2段階になされる。

質問0 まず、日曜日に、「コインをあなたが眠った後投げるときに、表の確率はどれだけだと思いますか」

質問1 目覚めたとき先ず「コインは表だったと思いますか、その確率は」

質問2 次に「今は、月曜日です」という情報を与えられて、「改めて聞きます。コインは表だったと思いますか、その確率は」

質問0に対する答えは、誰でも一致して $1/2$ であろう。フェアなコインとは、表が出る確率が $1/2$ のコイン

である。これは必ずしも物理的に対称で、頻度確率が $1/2$ であると言うことでなくてもよい。ここで聞いているのは、信念の度合いを尋ねているのである。主観確率が何らかの理由で、たとえばそのサイコロや実験者に対する情報が無いなどでもよい、表とか裏が出やすいとは思えないという不充足理由律でよいのである。

2. 質問1に対する $p=1/2$ 説と $1/3$ 説：眠り姫問題

意見が分かれるのは、質問1と質問2に対する答えである。質問2 $1/2$ 説と、 $1/3$ 説である。

その根拠はそれぞれの説で各人色々である。例えば Elga は $1/2$ 説を次のように説明する。

日曜日に眠る前に $1/2$ であった。今起こされてみて、一度はどのような場合でも必ず起こされることははじめから分かっていたのだから、そして周りの状況も区別は付かないのであるから、情報は何も入ってきていない。したがって $1/2$ から Bayes 改訂する理由はない。Lewis⁸⁾ はこの派である。

一方 $1/3$ 説に対しては次のような説明を与える。Elga 自身はこの派である。

H_1 : Head (表) の結果, 月曜日に起こされている

T_1 : Tail (裏) の結果, 月曜日に起こされている

T_2 : Tail (裏) の結果, 火曜日に起こされている

としよう。まず $\{H_1, T_1, T_2\}$ は互いに背反で、事象の完全系をなす。不充足理由律より

$$p(T_1|T_1 \vee T_2) = p(T_2|T_1 \vee T_2)$$

である。したがって

$$p(T_1) = p(T_2)$$

である。一方次のことは自明であろう(と、Elga は言うが、筆者は、それは間違いだと思う。後述する。)

「眠り姫問題の設定と次の設定は同じ確率を与える。すなわち、日曜に眠らせ、そのまま月曜に起こす。質問の後また眠らせ、その後でコイントスを行う。表ならそれで終わり。裏なら火曜日にもう一度起こす」図2参照

この方法の実験で置き換えて考えよう。

もし、今が月曜日であるという情報もたらされたとき、即ち質問2であるが、完全系は $\{H_1, T_1\}$ となる。このとき

H_1 とはこの設定の場合、この後自分は眠らされた後、まもなくフェアなコインが投げられて、それが表になると言

う事についての信念の度合いである。もしそうならそれで終わり。裏なら翌日もう一度起こされるということになる。

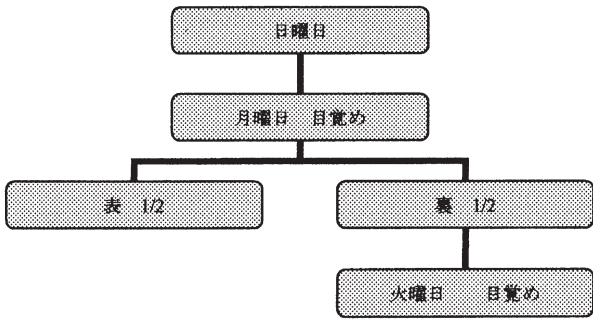


図2 コイントスを事後にした眠り姫問題

言い換えれば、質問2の時点での確率を p_+ と表記することにして、

$$p_+(H_1|H_1 \vee T_1) = 1/2$$

である。したがって

$$p_+(H_1|H_1 \vee T_1) = p_+(T_1|H_1 \vee T_1)$$

となり

$$p_+(H_1) = p_+(T_1)$$

前半の結果と、さらに p と p_+ は同じであるという Elga の考えと合わせて

$$p(H_1) = p(T_1) = p(T_2) = 1/3$$

が得られる。

この導出は、(図2が図1と同じかどうかという点を除いても)、質問2の情報が得られた場合の評価を、未だ情報が得られない時点での評価のために使って良いのかどうかという問題点を含んでいると言えよう。

この Elga の導出よりも次のようにするのが分かりやすいであろう。

単一事象設定ではなく、眠り姫実験自体を多数回繰り返すというスキームで、何回 H_1 が起こったかという頻度解釈を採用するとき妥当性を持つと言われる³¹⁾。いわば、実験者の立場である。

もし、頻度確率で無い単一事象に対する主観確率とすると、参加者が、裏が出ていると考え推論しているとき、既に表が出ている系列は過去の潜在でしかあり得ないのである。だが、実験者からすればそうではない。

1万回眠り姫実験をしたとしよう。コイントスが表にな

った実験も、裏になった実験も1万回のうち約5000回実際に存在するという解釈である。5000回のコインが表であつたうえでの月曜の目覚めが存在し、また一方コインが裏で月曜の5000回の目覚めが存在し、そしてそのそれぞれに対応している、引き続いて起こる5000回の火曜の目覚めが実在する。あわせて目覚めは実際に1万5000回起こるのである。

それらの15000回の目覚めに不充足理由律を適用すると言っても、今ひとつ同じ重みを持っているとは考えにくい人もいるであろう。それは同じ世界の出来事の違いだからではないだろうか。しかし、後述するように、設定を目覚めではなく、人間にしたら同じ重みという感じが自然であると思えるであろう。「神はサイコロを振って、表なら1人を創造する。裏なら1億人を創造する」という設定を考えるのである。これなら、あなたの見るサイコロが表である可能性はほとんど無いと判断するであろう。

さてその上で、目覚めと言うことにたいして、不充足理由律を使う。すなわち、目覚めに関して眠り姫が無差別という事を根拠にするのである。

統計力学では、巨視的変数では区別出来ない微視的状態の数を勘定した。微視的変数達の値は異なるのであるが、エルゴード仮説により微視的状態は互いに可能性が同じであるとしたわけである。等重率である。

あなたは実験者によって起こされた。実際には、裏の部屋にあるコインの裏表は違うし、また月曜日か火曜日かと言うこと、それに外の世界の事件なども異なっているかも知れない。しかし、あなたには、3つの目覚め $\{H_1,$

$T_1, T_2\}$ は、互いに区別出来ない。不充足理由律により、

この3つに同じ重みを与えると、それぞれ確率 $1/3$ である。

統計力学との対比で言うところなる。微視的状態は莫大な変数により記述されるが、その位相空間の全ての変数(ある制約条件はあるのであるが)一つ一つの Lebesgue 測度的違いに対し等重である。眠り姫問題の場合これになぞらえて言うと、場合は4通りになる。即ち(表, 月), (表, 火), (裏, 月), (裏, 火)である。しかし(表, 火)という目覚めは、眠り姫問題の設定から起こりえない。これは統計力学で言えば、エネルギー超平面に乗っていない状態、と言う制約に対応する。その結果残りの3通りが互いに区別出来ない、等重な目覚めとなる。

目覚めたと言う事は、確率1で起こるので、情報ではないと思えるが、時間軸の可能性に着目するとそうではない。月曜に起きると言うことは、2通りの可能性なのに、火曜日に起きると言うことは1通りの場合しかないと考え得る。これは目覚めを特徴付ける2変数の間の絡み合い具合、制約の付き具合によっているのだとも言えるであろう。

日曜に眠らされ、コインが投げられ、起こされる。「今が月曜である確率は」という質問だったらどうなるか考えてもらいたい。時間に対する位置づけを顕わに聞くのである。1/3派は、月曜であろう、と答えねばならない。

3. 何に対して無差別か

この事情は、頻度解釈だけではなく主観解釈でも同じように起こりうることであるが、不充足理由律をどの様な変数に対して適用するのが自然かという問題に戻ってくる。

確率論では、何について一様無差別とすればよいのかと言う事に関して、例えば「ベルトランのパラドックス」であるとか、「ワインと水」という問題が知られている^{28,37)}。前者は幾何学的問題で、円の半径上の長さに対して一様か、円周上の一点から見込む確度に対して一様か、円盤上の面積に対して一様かで、ある確率が $1/2$ $1/3$ $1/4$ と算出される。また後者はワインと水を混合したときの濃度に関する命題で、ワインの濃度を問題にするか、その逆数である「薄さ」に関して一様かで、ある命題の確率が異なって計算される。

これと同様で、眠り姫問題もどの変数に着目するのかである。

曜日とコインで記述された位相空間にたいして不充足理由律を発動して、問題設定という制約条件を入れて得られる、「実在」としての目覚めに自己を同定して位置づけるのか（このばあい自己は目覚めた事後の認定である）。

それとも、実験者の視点で、実験が行われると想定される時間順に、逐次不充足理由律を発動するのか。即ちフェアなコインは不充足理由律より確率 $1/2$ である。その次に、可能性別々に片方には（表）、実験設定より火曜日の目覚めは存在し得ないという制約条件を入れ、別の可能性である裏には、更に2つの可能性、月曜日と火曜日があつて不充足理由律により $1/2$ のさらに $1/2$ と計算する。

不充足理由律の逐次適用か（ $1/2$ 派）、それとも2変数の直積への一括適用（ $1/3$ 派）であると言えるかも知れない。このことは更に考察していきたい。

しかしコインの裏表と曜日で記述された目覚めに自己を位置づける事までは出来ても、そしてそれらが無差別であっても、当銃とは認定出来にくいと思う。それはやはり、実験者の視点がどうしても入ってきてしまうためではないだろうか。すなわち、その無差別な目覚めに至った「経緯」と言うことに思いが言ってしまうのではと思われる。

そこで、宇宙論の例題を考えてみよう。実験者は神である。神はサイコロを振り、表が出たら宇宙を1回だけ創世する。1回の宇宙とはビッグバン（目覚め）に始まりビッグクランチ（睡眠薬と記憶消去剤）で終わる。もし裏なら、

複数回宇宙を創生する（ここで1つの宇宙の中の時間と神が複数回創世すると言ったときの神の時間とは何かが問題になるが）。我々の宇宙は裏の結果の宇宙であろうか、それとも表の結果の宇宙であろうか。

各宇宙はある準拠集団の一員として無差別であるが、全く同じ問うわけではないという。人類などのその中の知的生命体には分からないが、極極微妙に、物理法則の詳細や、物理定数が異なっている。もちろん、この様な問題を考えようとする程度の知的生命体が生じうる程度には共通になっているとする。ビッグクランチごとに全ては（姫の記憶は）消去される。この設定なら、その宇宙の中の知的生命体にとって他の宇宙（あったとしたら）と無差別であろう。そしてその宇宙での、ビッグクランチがどの様に破滅的なかなどの可能性の議論が出来るであろう。これはすなわち、終末論法に対し、議論の根拠を与えるものである。

急いで説明すると、終末論法とは次のような型の論法である。論者がどの様な世界に属しているかと言うことと、論者はどの様な性質を持っているかから、その世界の運命、確率を導く種々の論法である。ごく簡単な例を示す。「私は特別な人ではない。アダムとイヴのような人とか、地球滅亡に立ち会っているという特別な人であるはずはない。人類を並べたとき私は順番で言って中央付近の人であろう。私より前に生まれた人と私より後に生まれる人の数は同じである。しかるに人類は指数関数的に増えている。時間の尺度で言えば人類の滅亡は近い」。ここに現れる「私は特別ではない」、私は平凡であるという原理は、地球は特別ではないというコペルニクスの原理の拡張形である。また、人間原理とは、論者である人間がまさに存在しうる条件としてこの宇宙の奇跡的な物理定数等の特別の値（ファイン・チューニングという）があるという、「観測選択効果」を基礎とする原理である。

質問2の議論に入る前に、ここでしばらく、眠り姫問題全体の位置づけを見ておこう。

4. 眠り姫問題の論点

眠り姫問題は、意志決定理論の自己位置づけ問題として出発したが、それ以外の科学哲学の様々な問題の試合場でもある。人間原理、終末論法、コペルニクスの原理、自意識の問題、独我論、確率の解釈問題、ファイン・チューニング、情報とは何か、ベイズ改訂とはなど多岐にわたる。

それらの問題はそれぞれ幾つかの要素的論点に分けられるが、その幾つをも、眠り姫問題は含んでいる。

そのことをはっきりさせるために、設定のもう少し詳細な互いに直行するヴァリエーションを列挙しておこう。

(設定軸 1) 単一事象設定か繰り返し実験設定か

問題で議論するのが、主観確率であるのか、客観確率であるのかの違い

(設定軸 2) いつコインを投げるのか

日曜に姫を眠らせた後でコインを投げ世界を分岐させるのか。それともとにかく共通に月曜に目覚めさせて、質問をして事後眠らせ、その後でコインを投げ世界を分岐させるのか。この場合、コインが表ならそれでお終い。裏なら実験は続くということになる。

この違いは、確率の評価に影響しないと Elga は言い、またその用に見る論者は多いが、筆者にはそう考えることは出来ない。これは確率の収縮問題、或いは量子力学の言葉で言えば、波束の収縮(崩壊)である。

未だ決定されていない潜在と、決定されていて実在となっているが、認識主体が知らないだけと言うのは違うのである。

(設定軸 3) 実験者の視点か参加者(姫)の視点か

この違いが(設定軸 1)の主観と客観の違いと一致するのかどうか。

以上の組み合わせで 8 通りの設定があるわけだが、1/2 派 1/3 派 はどう答えうるかを考えてみなくてはならない。

更に

(設定軸 4) 眠り姫の目覚めはどの時点での特定か

一つの世界(この場合目覚め)が議論の中でフォーカスされたとき、そこに参加登場する主体が、「わたくし」「今考えている眠り姫」であるとして、結果的に事後に特定されるのか(Self Sampling Assumption という)。終末論法の立場である。そうであったかも知れない自分(眠り姫)を勘定するのである。

それとも、実験が始まる前から特定の価値を持った存在であるのか(Self Identification Assumption という)。このばあい、「わたくし」場合によっては実在化しないかも知れない。

設定軸 1 での区別とは微妙に異なると思われる。も関連した重要な視座の違いである。

5. 質問 2 に対する答え: 情報の取得と発生

ここで情報が得られたとき、すなわち質問 2 がなされた段階に戻ろう。「今日は月曜です」と言う情報が与えられた。質問 1 に対する 1/2 派 と 1/3 派 は、それぞれどう答えるのが、それなりに首尾一貫して合理的であろうか。

1/2 派:

設定軸 1 でいうと、この考えは繰り返し実験設定を採用していると言われる。質問 2 に際してはこう考えなければならない。(表, 月) が 1/2, (裏, 月) が 1/4, (裏, 火) が 1/4 と考えているところに、火曜日の可能性はなくなったと言われたわけである。単純に考えると 1/2 と 1/4 に再規格化すると 2/3 が答えとなる。

3 囚人問題^{28, 38)}で似た状況があり(眠り姫との比較を後述する)、この単純な考えは誤りに導いたので、ベイズ改訂の計算を試みる。

$$p(H|Mon) = \frac{p(Mon|H)p(H)}{p(Mon|H)p(H) + p(Mon|T)p(T)}$$

$$= \frac{1 \cdot 1/2}{1 \cdot 1/2 + 1/2 \cdot 1/2} = 2/3$$

こうして 1/2 派 は、質問 0 → 1 → 2 に際して、

1/2 説: 1/2 → 1/2 → 2/3

と変化することになる。

ここで 1/2 説に対するここでパラドックスを述べておこう。Elga はじめ多くの論者は、設定軸 2 について、月曜の目覚めの前後で、どちらでコイン投げても同じとの意見である。仮にそうだとすると、図 2 の状態で、月曜という情報が入り、表の確率が 2/3 である。しかし眠り姫が眠った後、「フェアな(即ち表が出る確率が 1/2 である)コインを投げると、確率 2/3 で表が出ます」と言う矛盾に逢着する事になる。どこからこの矛盾が発生したのだろうか。

1/3 派:

1/3 派は、3 つの目覚めを等確率と見ている。そこに月曜日であるという情報が入り、(裏, 火) という 1/3 の確率であった可能性が消える。先と同じベイズ改訂により、表である確率は 1/2 である。こうして

1/3 説: 1/2 → 1/3 → 1/2

と確率が変化する。

2 段目の 1/2 は、質問 1 の時にも 1/3 派は、頻度解釈となじみが良いと述べたように、設定軸 1 において、質問 1 の時と同様に 1 万回の眠り姫実験をしたと考えればいい。約 5000 回ずつの 3 通りの実在の目覚めのうち、月曜のラベルが付いている目覚めは 1 万回、うち 5000 回でコインは表である。

Elga は自身 1/3 派であるが、この変化に対して、質問 0 から質問 1 の間になんの情報取得もないのに 1/2 → 1/3 と確率が変化して van Fraassen の原理^{39,40)}に

反している。これは追求されるべき事態であるとなると論じている。

目覚めると言うことは、設定から必ず1度は起こされるのであり、完全に予測されていたことでなんの情報でもないと一見思われる。しかし目覚めたと言うだけで、ある種の情報と考えることも出来る。時間軸を先に考えてみると、「今」は月曜日か火曜日である。今が月曜日であるとしよう。するとコインが表だったときと裏だったときと2通りの可能性がある。一方今が火曜日であるとしよう。するとコインが表だったら目覚めることはあり得ず、必ずコインは裏である。すなわち、今は月曜日である可能性が高い。これは1/3派の考えである。

同様にコインが裏か表かと言うことに対しても、目覚めたとするだけから議論出来る。頻度説を採った途端次の議論が出来る、表だと火曜日の目覚めはなく、2回の目覚めを含む裏である可能性が高い。これは将に1/3説である。

以上の話は、目覚めではなく、神による人間創造の話だったとすれば、分かりやすいだろう。私が存在すると言うからには、「今」は月曜日である可能性が高い。この場合の私は、事後の認定である。

この様に何も聞かなくても、確率が変化するのである。もちろんある設定の下では、であるが、確率を変化させるのが「情報」であるなら、何も情報が入らなくても情報は取得される。と言うよりも、

「情報は主体の中で、主体と世界の関係、すなわち位置づけによりにより発生する」

のである。情報は物理的担体によって運ばれるのではなく、主体の世界の中での位置づけによって、自ら変化するのである。この観点はこれから考究されなければならないと考えている。量子力学の観測理論でも、Reningerの否定結果実験では、対象と観測装置が相互作用せず何も起こらないことで波動関数は収縮する。

そうだったかも知れない世界について注意を喚起しておこう。実験者がコインではなくサイコロで、6通りのシナリオを用意してある場合、それらのシナリオ中に登場する参加者である姫達は、世界の設定について間主観的考察で、確率を評価せねばならず、この事も情報が担体によって保存量の様にして運ばれるのではないことが分かる。

折衷派：

Bostrom は¹⁶⁻²¹⁾、折衷派である。単一事象設定をとる。そして質問0→1→2に対して、

折衷案： 1/2 → 1/2 → 1/2

と言う変化を主張する。これは、真ん中の1/2は「1/2説」を採用し、最後の1/2では「1/3説」を採用しているのである

6. 3 囚人問題との対比

1/2 説, 1/3 説共に、月曜であるという情報が入ること、(表, 月)の確率が增大している。Bayes 改訂で他の可能性消えたので上がったと解釈したい状況であるが、心理学で有名な3囚人問題^{28, 38)}では、次のような例が知られている。

先ずオリジナル版3囚人問題を見てみよう。

「3人の囚人A, B, Cがいる。1人だけ皇帝により恩赦になって後の2人は死刑である。看守は誰が死刑か知っている。Aが看守に対して「少なくともBかCのどちらかは必ず死刑である。2人の内どちらが死刑か教えてくれても私に何も情報を提供していない事になるから、どちらが死刑か教えてくれ」。そこで看守は「Bは死刑だ」と教えた。但し看守は嘘をつかず、またBとCの両方とも死刑の時には確率1/2でどちらかの名前を答えることを前提とする。」

この問題のBayes解は次の通り。先ず事前確率は、A, B, Cそれぞれに1/3 1/3 1/3である。看守が、情報であるとも情報でもないとも付かない「Bは処刑」と伝えたとき、これは「今日は火曜ではない」と言ったことに当たるのであり質問2に相当するのであるが、Aが処刑されるBayes解は1/3である。逆に言うとAが助かる確率は2/3である。

1/3 → 2/3

ライバルBが生存競争から脱落したために、Aの助かる確率が増加したと取れそうな状況である。しかし、次の変形3囚人問題では全く状況が違う。

事前確率として1/4 1/4 1/2の恩赦確率を設定しよう。この場合のBayes解は、Aが助かる確率が1/5に減少すると教える。

1/4 → 1/5

ライバルが減ったが、減ったのは弱いライバルで、強敵が残ってしまったためである。弱いライバルでももしかしたら偶然に強いライバルを倒してくれていたかも知れないのである。ライバルの消滅が直ちに自分の助かる確率を増すのではない。

眠り姫問題では、ライバルになる目覚めは、1/3派では等確率であるためこの限りではない。しかし1/2派では、1/2 1/4 1/4の事前確率で、等確率ではない。だが、「月曜」という情報は最後の1/4を消すのであるから、

変形 3 囚人と同じではなくて $1/4$ $1/4$ という同じ条件の中の片方を消す。変形 3 囚人とはここが違う。

しかし、眠り姫問題と 3 囚人問題は、一見よく似ている。選択肢が 3 つあるのは共通である。そして (眠り姫問題の方はその一部でしかないが)、問題で問われるのは、情報が入ったときにどう確率が変化するかである。ここで情報とは、3 囚人問題の時には、「囚人 B は処刑される」という看守の言葉である。囚人 B または C のうちどちらかは (排他的 OR でなく OR として) 必ず処刑されるのであるから、新しい情報は何もないと考えていいのか。それとも看守が B と言った経緯を考えるのかと言う事である。A が恩赦になる場合、看守は B と言っても C と言っても良かったのである。オリジナル問題では 確率 $1/2$ で B か C を指名するとなっている (これは囚人 A にも周知されている)。

(仮に、A が恩赦になり、B と C は処刑される時、看守は確率 $1/100$ で B は処刑されるというのだったら、これは尤度であるが、そしてその条件で C と現に言ったのだったとする。この場合 Bayes 解は、A が助かる確率は $1/2$ と教える。

「もし自分が助かる場合 C と言うのは当然」という推論からも A が助かる場合と A が助からない場合は等確率と推論される、などである。等尤度でないから、どれかが実現した場合には、当然ながら情報がある.)

しかし、眠り姫問題と 3 囚人問題には本質的な大きな違いがある。それは次のことである。

眠り姫問題ではコインが裏の目覚めの中から片方を消すのに、確率的な選択をしているのではなくて、最初から「月曜 (火曜は消える)」と言う事に決まっているのである。3 囚人問題では、確率変化を問題にする発言は尤度により選択される。

3 つのドア :

3 囚人問題よりも直感的に分かりやすい「3 つのドア」を見ておこう。これは「モンティ・ホール・ジレンマ」とも呼ばれ、アメリカの TV ショウが元になっている。

「ドアが 3 つ有り、そのどれかに新車が入っている。残りの 2 つは外れである。一般性を失わずに、自分はドア A を選んでいるとする。司会者が「では関係ない 2 つを見てください。ここには入っていませんでした」とドア C を開ける。あなたが当たる確率は $1/3$ でしょうか、 $1/2$ でしょうか。B に選択を変えても良いですよ。」

2 つのドア A と B が残ったときの A の当たる確率は、Bayes 解では $1/3$ である。ここでは、ライバルが消えると、自分の成功する確率は下がっている。自分が当たる確率 $1/3$ は変わらない、といえ、オリジナル 3 囚人問題と全く同型である。

ここで、納得しにくいのは、目の前に残った 2 つのドアのどちらかに車が入っているのだが 確率 $1/2$ ではないと言うことである。しかし、3 囚人問題で学んだように、目の前の条件だけ考えて、それらに不充足理由律を適用すればいいのではない。経緯を知り、尤度も知っているならば、主観確率は $1/3$ になるべきであると言うことは納得されるであろう。

眠り姫問題と 3 つのドアを比べるということは、すなわち 3 囚人問題との比較と同じである。情報をもたらされたとき、3 つのドアでは、ある尤度でドア C が開けられる。眠り姫問題では、月曜であるという情報をもたらされて、(裏, 月) と (裏, 火) のうち消えるのは、(裏, 火) の可能性である。

7. 極端な設定での考察

次に、極端な眠り姫実験を取り上げよう。図 3 の様に、コインが裏の場合に、1 億日間起こすという設定である。本質的違いはないのではあるが、こうすると、コインが表である確率の質問 1 から質問 2 への変化は、

1/2 説 : $1/2$ → ほぼ 1
1/3 説 : ほぼゼロ → $1/2$

となる。

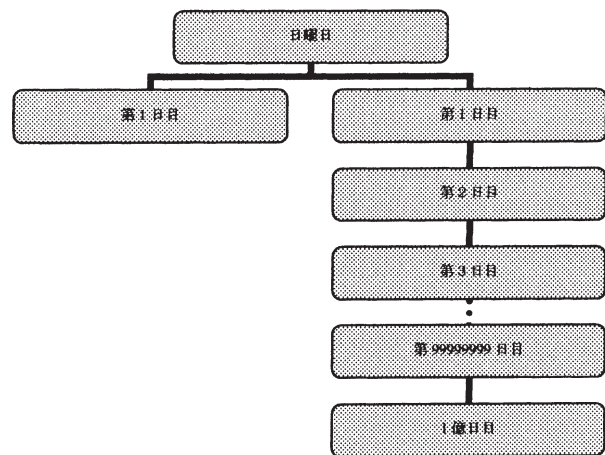


図 3 極端な眠り姫実験

仮にコインを第 1 日目以後で投げて同じであるとする、 $1/2$ 説では、第 1 日目であると聞いたとき、運命を決めるべきフェアなコインをこれから投げるとほぼ確実に裏が出ると予測される事になる¹⁷⁾。こうなると受け入れにくさが際だつてあろう。そのコインが自分の運命を決めるコインであると、ほぼ確実に裏が出て、隣にある、物理的には全く同じコ

インは裏の確率が $1/2$ であるというのも異様である。

しかしこの異様な状態は無前提に起こるのではない。第1日目と判明した時点であって、その前の時点では、1億1回の目覚めのうち眠り姫はどの目覚めなのか判断出来ないのであるから ($1/2$ に極僅か足りない確率で、コインは既に投げられている) この事態は起こっていない。

この事態を避けるために Bostrom¹⁶⁾ は、質問2の場合には(選択的に) $1/3$ 説を採用したのである。また一方質問1に対応する場合の困難も指摘して、その場合は $1/2$ 説を採用するという、折衷説を採用した。

しかしここで、「フェアなコイン」という設定に着目してみよう。問題設定より、眠り姫はフェアなコインと知らされるのは、日曜日である。ここで意味されるのは、「偏っているとは言えない」という意味であろう。例えば物理的に対称であって、とか実験的或いは統計的に保障されていて等と言うことでなくても、偏っているという根拠がないと言う事で充分である。つまり、実際には偏っているかも知れないが、そのことに関する情報がないと言う事である。

すると、この情報は事態の進行に従って Bayes 改訂されるべきものである。フェアなのは日曜日のみのことである。目覚めという事態に進行したときには、特に月曜日(第1日目)と知らされたときには改訂されなくてはならない。第1日目と知らされたとき、目覚めに自己を同定したとすると、表は奇跡である。一方裏なら1億の目覚めの一つに過ぎない。とすると Copernicus の原理により奇跡を避けるなら、裏が出やすいコインだったと見込みが変わる。

そうするとパラドキシカルな状況はこう解釈される。裏が出やすい(Bayes 改訂によれば、ほぼ確実に裏が出ると言うことになる) コインを投げて、裏がでそうというのは当然のことである。

設定軸2 の、コインを目覚めの先に投げるのか、後投げなのかは、確率の収縮問題²⁵⁾ だけではなく、自己位置づけ問題でも、やはり定説に反し大きな違いがあるようである³¹⁾。

コインがフェアと言うことは Bayes 改訂されるべきである、と言う視点をとる以前に戻ろう。あくまでどの時点でもフェアなコインと考えるべきであるとしよう。 $1/2$ 説は後投げ設定では困難に陥った。しかし $1/3$ 説は妥当する。先投げ設定では, Elga や Lewis の議論で充分である。単一事象設定と切り返し設定を区別しながらも混在させた謝った証明だったと言うだけで、彼らの議論は単一か、繰り返ししかを区別すれば正しい。

ここで、設定軸1の、単一事象設定か、繰り返し実験設定での頻度解釈かという軸と組み合わせて、クロス表的に整理すると表1のようになる。マスに書き込まれた説が、その設定の組み合わせで正しい説である。と言うよりこの表は逆に読むべきで、それぞれの説が主張する確率値が、どの設定の組み合わせにおいて妥当であるかと読まねばならない。

表1

設定軸1 \ 設定軸2	先投げ 図1	後投げ 図2
単一事象	1/2 説	1/3 説
繰り返し設定	1/3 説	1/3 説

先投げ後投げで事態が全く違うのであるなら、論者の確率値の導出の都合で設定軸2に関してぶれることは許されない。オリジナルの眠り姫問題は、先投げ設定なのである。また、問題文から単一事象設定であるから、 $1/2$ 説が正しい、というのが一応の正解であろう。しかし、眠り姫問題は、オリジナル設定での正解を求めるのが目的では決してない。局所実在論での EPR パラドックスのようにそこから議論が発展し、思いもよらない種々の根本的知見が得られるのが価値なのである。

8. 結語

Leslie¹⁵⁾ の提出する例を見てみよう。ある特定の3人称的に特定される(一人称としての考察に移行していくのではあるが)人間に位置づける問題と、空間的な位置づけ問題である。

・ブラック博士とグリーン博士:

神がコイン投げで人類を創造する。表なら1人で裏なら9000万人である(表の方はもっと多くしなくてはならない。なぜなら自分以外に人がいるかどうかで確定的な答えが分かってしまうから)表の時の人はグリーン博士、裏の時の9000万人のうち一人がブラック博士である。「あなたはブラック博士かグリーン博士である」という情報もたらされた。あなたがグリーン博士である見込みは。

全く極端な眠り姫問題と同型である。ブラックとグリーンは眠り姫の時の月曜(第1日目)という特定に当たる。Leslieはグリーンである可能性が高いという。

・ロンドンとリトルパドル:

あなたは窓のない部屋で記憶喪失になった。何所にいるのだろう、人口50人のリトルパドルだろうか、

それとも人口 1000 万人のロンドンであろうか、自分はロンドンにいると思うべきであろう。

この様に自己位置づけは、空間、時間、人格、目覚めなどに関して等多岐にわたる。眠り姫問題に限れば、一応、表 1 が解答であろう。しかし、何とかけりをつけるという段階で、設定軸 1～4 をどう扱うか、設定軸の間の関係はどうなっているのかなどは、それぞれは古い問題であると共に、将に今これから始まった問題である。その中では、目覚めのような「状況」ではない、人間に位置づける場合の方がわかりやすいであろう。ただし「わたくし」とはどういうことかと言う問題を抜きにすればではあるが。

そうであったかも知れない世界、私であったかも知れない人などが準拠集団になるのである。しかしそれで「わたくし」言えるか、感じられるかである。

やり始めなくてはならない問題は、眠り姫問題に限定しても沢山ある。

- (1) 情報とは何か。情報は、世界自体の変化/変化しないことにより、内部的に発生しうる。
- (2) 定説に反し、先投げと後投げは全く違うこと。特に量子眠り姫問題では顕著な大問題であるが、古典確率であっては、ここにこそ相違の重大性が認識される。
- (3) 主観確率と客観確率の関係と単一事象と繰り返し設定の関係が並行的であるか
- (4) 主体が特定されるとはどういう事か
- (5) 時間軸上の位置づけでは、未だ起こっていない未来の主体と、過去現在の主体を同列に扱って良いのか
- (6) 量子確率が、頻度確率とも主観確率とも違う本質的非決定であること。傾向性解釈の再検討。

等について、精力的に考察していく所存である。

最後に、ほしくずスターダスト⁴³⁾のアイデアによる、1つの同型問題を見ておこう。

酔っぱらいの郊外電車帰宅⁴³⁾：

あなたは酔っぱらってターミナル駅から自宅のある A 駅に帰ろうと電車に乗る。ターミナル駅では、電車発車前にコインを投げ、表なら列車は A 駅止まり。裏なら A 駅の先の B 駅まで行く。あなたは酔っぱらっているので A 駅と B 駅の区別は付かない。各駅の前には橋がありかなり揺れるので目が覚める。各駅では「コインは表だったと思いますか(列車は A 駅止まりでしょうか)」と聞かれる。しかし(もし B 駅止まりとしても)駅を出ると眠ってしまって、ターミナル駅でのことしか覚えていない。

A 駅であなたは、先の質問をされた。次に「ここは A

駅です。電車は、この先の B 駅まで行くと思いますか」と聞かれた。

眠り姫問題と同型であるが、話は現実的であろう。

後投げ設定に対応するのは、「電車の行く先はターミナル駅を出る時点では決まっていない。A 駅であなたは起き、質問 1, 2 をされて、その後コインが投げられ、電車がそこ止まりなのか、更に先まで行くのか決定される。」となる。A 駅で再度眠った後、A 駅で起きた記憶は無くなり何度目の目覚めか分からないと言うのも、酔っぱらいならば自然である。

この話に、前節までの考察を翻訳してみれば、納得がいくのではないだろうか。

謝辞：1年半ほど前、「情報」とは何かに乗って運ばれてくるものではない」という事について、注意を喚起してもらいました、筑波大学の緑川信之教授に感謝します。自己位置づけ問題を考えている中で、役に立たないと言われるこの様な問題が、現実の問題に分かりやすい形で役立つという喜びを味わえました。

参考文献

- 1) A. Elga, "Self-locating Belief and the Sleeping Beauty Problem", *Analysis* 60(2000) 143
- 2) A. Elga, "Defeating Dr. Evil with Self-Locating Belief", *Philosophy and Phenomenological Research*, 69 (2004) 383
- 3) R. Weintraub, "Sleeping Beauty: a simple solution", *Analysis* 64 (2004) 8
- 4) T. Hogan, "Sleeping Beauty awakened: new odds at the dawn of the new day", *Analysis* 64 (2004) 10-21
- 5) B. Monton, "Sleeping Beauty and the forgetful Bayesian", *Analysis* 62 (2002) 47
- 6) F. Arntzenius, "Reflections on Sleeping Beauty", *Analysis* 62 (2002) 53
- 7) C. Dorr, "Sleeping Beauty: in defence of Elga", *Analysis* 62 (2002) 292
- 8) D. Lewis, "Sleeping Beauty: reply to Elga", *Analysis* 61(2001)171
- 9) D. Lewis, "Human Supervenience Debugged", *Mind* 103 (1994) 473
- 10) D. Lewis, "A Subjectivist Guide to Objective Chance", *Studies in Inductive Logic and Probability*, (1980) Univ. California
- 11) C. Hitchcock, "Beauty and the Bets", *Synthese* 139 (2004) 405
- 12) J. Leslie, "Observer-relative Chances and the Doomsday Argument", *Inquiry*, 40,(1997),427-36

- 1 3) J. Leslie, *Universe*, Routledge (1989)
- 1 4) J. Leslie: *Infinite Minds - A Philosophical Cosmology*, Oxford (2001)
- 1 5) J. Leslie, 『世界の終焉』, 青土社 (1998 年)
原書: *End of the World: The Science and Ethics of Human Extinction*, Routledge (1996)
- 1 6) N. Bostrom, "Sleeping Beauty and Self-Location: A Hybrid Model", *Synthese* 157(2007)59-78
- 1 7) N. Bostrom, "The Mysteries of Self-Locating Belief and Anthropic Reasoning", *The Harvard Review of Philosophy* 11(2003)59
- 1 8) N. Bostrom, "Self-Locating Belief in Big Worlds: Cosmology's Missing Link to Observation", *The Journal of Philosophy* 99(2002)607*-
- 1 9) N. Bostrom, *Anthropic Bias: Observation Selection Effects in Science and Philosophy*, Routledge (2002)
- 2 0) N. Bostrom, "The doomsday Argument, Adam & Eve, UN++, and Quantum Joe", *Synthese* 127(2001)359
- 2 1) P.J. Lewis, "Credence and Self-Location" (2009)
http://philsci-archive.pitt.edu/view/subject/decision_theory
- 2 2) P.J. Lewis, "Probability, Self-Location and Quantum Branching", (2008)
<http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00004309/>
- 2 3) L. Delabre, "Sleeping Beauty :Debate on a Paradox", (2008) http://philsci-archive.pitt.edu/view/subject/decision_theory
- 2 4) 榛葉豊, 「平凡の原理と主観確率 —多世界・意識・参照集団—」, 静岡理科大学紀要 16 卷 (2008 年) 37
- 2 5) 榛葉豊, 「遅延選択と確率的遡及因果 —確率はどの段階で崩壊するか—」, 静岡理科大学紀要 15 卷, (2007 年) 47
- 2 6) 榛葉豊, 「多世界論と「私」の謎」, 静岡理科大学紀要 15 卷 (2007 年) 77
- 2 7) 榛葉豊, 「統計的確率に対する信念の度合い —確率的言明の反証可能性—」, 静岡理科大学紀要 14 卷 (2006 年) 73
- 2 8) 榛葉豊, 「信念の度合いと不充足理由律 —3 囚人問題の Bayes 解をめぐる—」, 静岡理科大学紀要 13 卷 (2005 年) 53
- 2 9) 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—」, 静岡理科大学紀要 12 卷 (2004 年) 177
- 3 0) 三浦俊彦, 「人間原理的推論における「この宇宙」
『科学基礎論研究』 103 (2005 年)
『ゼロからの論証』, 青土社 (2006 年) に収録
- 3 1) 三浦俊彦, 「人間原理のパラドクス 1 ~ 1 2」,
『現代思想』2006 年 11 月~2007 年 10 月 (青土社)
『多宇宙と輪廻転生 —人間原理のパラドクス』,
青土社 (2007 年) に収録
- 3 2) 三浦俊彦, 「人間原理と独我論 —「私」の位置の再解釈」, 『和洋女子大学紀要』 第 40 号 (2000 年) 17
- 3 3) 三浦俊彦, 「観測選択効果と多宇宙説 —伊東邦武『偶然の宇宙』について」, 『科学哲学』36-1 (2003 年) 121
- 3 4) 三浦俊彦, 『論理学入門』, NHK 出版 (2000 年)
- 3 5) 三浦俊彦, 『可能世界の哲学』, NHK 出版 (1997 年)
- 3 6) 三浦俊彦, 『論理パラドクス』二見書房 (2002 年)
『論理サバイバル』二見書房 (2003 年)
- 3 7) D. Gillice, 『確率の哲学理論』, 日本経済評論 (2004 年) 原書 *Philosophical Theories of Probability* (2000)
- 3 8) 市川伸一, 『確率の理解を探る』共立出版 (1998 年)
- 3 9) B.C. van Fraassen. "Belief and will", *Journal of Philosophy* 81(1984)235
- 4 0) B.C. van Fraassen. "Belief and the problem of Ulysses and the Sirens", *Philosophical Studies* 77(1995)7
- 4 1) B.C. van Fraassen, 『科学的世界像』, 紀伊國屋書店, (1986 年),
原書: "*The Scientific Image*", Oxford(1980)
- 4 2) 緑川信之, 『「情報」概念の再考』, *Library and Information Science*, 56(2006)23
- 4 3) hoshikuzu | star_dust,
<http://d.hatena.ne.jp/hoshikuzu/20080509>

優越戦略と最大期待効用戦略

Dominant Strategy and Maximum Expected Utility Strategy

榛葉 豊*

Yutaka SHINBA

Abstract: Game theory tells us, there are major strategies, namely the dominant strategy and maximum expected strategy. However, they are contradicted each other, occasionally. The notorious example is so called Newcomb's Paradox. This problem said to be a deformation of the Prisoner's dilemma. We put in order the controversy between two strategies in the examination of probabilistic backward causation. The interpretation of probability re-discussed.

1. はじめに

2人のプレイヤーがいて、それぞれが複数の戦略から選択出来るとき、プレイヤーの一方から見た、優越戦略（支配戦略）とは次のことを言う。「相手がどの選択をしようとも、他の戦略より必ず自分の効用が高くなっている。」⁷⁾すなわち、 k を自分の戦略の添え字、 j を相手の戦略の添え字、 U を効用として、戦略 k_0 が優越戦略であるとは

$$\forall j, \forall k, U_{k_0j} \geq U_{kj} ,$$

である。

一方最大期待効用戦略とは、確率的状況の中で戦略の期待効用が、戦略の集合の中で最大になっている様な戦略である。すなわち

$$U_k = \sum_{j=1}^n p_j U_{kj}$$

を最大にするような戦略である。

優越戦略を選ぶというのが DP(Dominance Principle)で、期待効用が最大に成るような戦略を選ぶのが MEU (Maximum Expected Utility) である。

この2つの原理が、矛盾するという状況がある。その例題として有名なのが、ニューカム問題である。ニューカム問題は色々な問題を含んでいる、合理性の哲学の練習場である。それが本当にパラドックスなのかそうでないか、合理性と首尾一貫性に対する信念のリトマス試験紙であるのか、遡及因果はどうなるのか、完全なる予測とは、自由意志は可能なのか、客観確率と主観確率の較正等々である。

ニューカム問題の本当の問題点はなんであろうか。それを考えてみたい。

2. 問題の設定と解説

まず、ニューカム問題の設定を提示しておこう。

「ここに箱1と箱2がある。箱1には必ず10万円入っている。箱2には1億円入っているか何も入っていないかのどちらかである。あなたの取れる戦略は(1)両方の箱の中のものを受け取る、(2)箱2に入っているものだけを受け取る、のどちらかである。しかしここに困った問題がある。箱2に1億円入れるか入れないかは、予言に関して超能力を持つものが決める。彼はあなたの戦略決定を、事前に非常に正確に予言できる。またあなたも彼の予言能力を信じている。彼はあなたの選択を予言し、その予言に依存して以下のことをあなたの選択よりずっと前に行う。もし彼が、あなたは両方の箱をとるとの予言に達した場合、箱2には1億円は入れない。すなわち箱2の中身は0である。もし、かれが、あなたが箱1の10万円は放棄して、箱2の中に入っているものだけを受け取るとの結論に達した場合には、1億円を箱2に入れる。以上の事をあなたは良く理解しているし、またあなたが理解していることも超能力者は知っている。さてあなたの最適戦略は1箱のみ受け取るか、2箱とも取るか、どちらであろう」

というものである。

DPに従った行動は次の通り。超能力者の戦略は、箱2に、1億円を入れる、または入れないである。1億円入れ

2009年3月10日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

た場合、箱1に10万円、箱2に1億円である。入れなかった場合には、箱2は空である。2箱取った方が（限界効用逓減の法則などという事は言わないことにして）得である。2箱取れば1億10万円か10万円である。1箱の場合、それぞれ1億円かゼロである。どちらにしても10万円多い。

表1

	予言 2箱取る	予言 1箱取る
あなた 2箱取る	10万円	1億10万円
あなた 1箱取る	0円	1億円

超能力者の精度の高い予言だかなんだか知らないが、その行為は既に終わっている。正規形のゲームのように表しているが、両者同時に手を出すのではなく、超能力者の手が先である（本当にそうであろうか、超能力者の選択の原因は何なのであろうか、そこが問題なのである）。現に目の前の箱に、金が入っていて、私が何をしようと、（超能力者の予測を裏切って）どう選択を変えようともう変化しようがないのである。

一方MEUに従った推論は、次のようになる。精度の高い予測というのだから、その当たる確率を p としよう。 $1/2 \leq p \leq 1$ である。効用は金額そのものであるとする。

あなたが、1箱受け取るという戦略を選択した場合。予言が当たったと言うことは、超能力者は1箱と予言していて、箱2に1億円入れていた。また外れた場合というのは、超能力者は2箱と予言いて、箱2は空である。

$$U_1 = p \times 10000 + (1-p) \times 0$$

単位1万円。あなたが2箱取るという戦略を選択した場合。当たったと言うことは、超能力者は2箱取ると予言していて、箱2には金を入れなかった。また外れた場合というのは、超能力者は1箱取るだろうと予言して、箱2に1億円を入れてあった。このときに2箱取れば1億10万円である。

$$U_2 = p \times 10 + (1-p) \times 10010$$

となる。予言は90%当たるとしてみよう、すなわち

$$p = 0.9 \text{ としてみれば, } U_1 = 9000, U_2 = 9 + 1001 = 1010$$

となる。すなわち、MEUから言えば、1箱のみ受け取るというのが、 $p = 0.9$ の時の最適戦略である。 $p = 0.99$

とすれば、 $U_1 = 9900$, $U_2 = 9.9 + 100.1 = 110$ となり更に、1箱受け取る戦略の方が有利である。

p の値で最適戦略は変わるから、 $U_1 = U_2$ になるような p を求めてみる。予言が当たらないなら箱2に1億円が入っているかいないか今の選択によらず分からないのだから、2箱取った方が当然得であろうからである。その値は $p = 0.5005$ である。

予言が全然当たらないとは、 $p = 0.5$ であることを言うのであろう。それでは逆の予言をする（反対の相関である） $p = 0.1$ としたらどうなるか。 $U_1 = 1000$,

$U_2 = 9010$ である。この場合には予言能力はあると言う

べきではある。予言に基づく褒賞と懲罰について、反対の行為するのであるから当然の結果である

上のことを踏まえて考えてみよう。境界値が0.5005であるから、完全に外れる場合を除いてほとんどの場合、MEUから言えば、2箱取るのが最善である。

ここでちょっと問題がある。期待効用最大原理は、多数回の試行ができる事が前提されている。単一事象の場合を考えるとどうなるであろうか。元々意志決定理論は、主に単一事象を、主観確率で取り扱うのであった。繰り返し試行ならばMEUは納得しやすいが、単一事象でも当然この原理は主張しうるものである。

しかし、ほとんどの人は直感的に、遡及因果は信じないであろう。遡及因果とは、現在の行為によって過去の現象が変わると言うことである。

逆に、遡及因果を信じるという立場は難しい。現在の事象と、過去の事象が相関しているという事は設定より明らかである。しかし、因果と言ってしまふほど単純ではない。設定された相関に合わせるように、（私は知ってはいないが、過去は変えようが無く与えられているから）せめて、選択しうる現在の事象でその相関を保とう、（当然自分にとって効用が高いケースにおいて）、とするのであろう。

Nozick¹⁻³⁾ や Sainsbury⁵⁾ の意見は2箱派である。諸説まとめて言えば、遡及因果を信じるかどうかで、

信じる → EMU → 1箱派 (2箱の場合も)
信じない → DP → 2箱派

となる。しかしこの様に単純明快に区分け出来るものではない。サイエンス誌上でのアンケートがあってDP派とMEU派は、上記の聞き方（誘導）をすると、2.5:1 だったそうである。

遡及因果と言ってもここでの遡及因果は確率的遡及因果であるから、正確に言えば、MEUが導くのは1箱派

の時と2箱派の時があって、それは予言が当たる確率の値 p によると言えるだろう。

3. リスク・テイカー かどうか

もうひとつの観点として、あなたが大もうけをしたいかそうでないかという事がある。または、リスク・テイカーかかどうかと言うようなことである。

大もうけしたい → 1箱派
 確実派 → 2箱派

あなたは、DPによって2箱取れば、恒にMEUより得をするであろう。しかしそれは極僅かである。すなわち、成功した場合でも、MEUより極僅かましなだけで、成功の効用の大きさと区別出来ないほどである。(1億10万円と1億円)

一方、選択が失敗した場合を見てみよう。あなたはDPによって、10万円受け取る。これは、1億円がかかっているという状況を考えると、残念賞のようなものである。勿論、MEUによれば、あなたは0円ではあるが、1億円失った事に比べれば、悔しさは同じようなものである。

その上決定的なことは、 p が1に近いのであるからDPはほぼ確実に残念賞。MEUは1億円である。

リスク・テイカー(成功確率 $p \approx 1$ であるから、これはもう「リスク」の名に値しないかも知れないが。しかし、ごく稀に外れることがあるのだからリスクと言って良いであろう。統計的分散によるリスクの定義に合致する)にとっては、MEUに一致する1箱選択肢があり得ないと言う事になる。

この議論では、「残念賞」が、問題になっている最大額に比べて無視に値するほど小さいことが決定的である。

リスクの程度を変えてみよう。

表2

	予言 2箱取る	予言 1箱取る
あなた 2箱取る	800万円	1300万円
あなた 1箱取る	0円	500万円

つまり箱1にいつも800万円、箱2には超能力者が1箱取ると予言した場合に限って500万円入れるという設定である。このマトリックスであれば、2箱戦略が優越戦略である。DPにより2箱という人がほとんどになるのでは無からうか。念のため期待効用も計算しておこう。

$$U_1 = p \times 500 + (1 - p) \times 0$$

$$U_2 = p \times 800 + (1 - p) \times 1300$$

であるから、 $p = 0.9$ と仮定した場合、 $U_1 = 450$,

$U_2 = 720 + 50 = 770$ となり、この場合は、DPとMEUが一致する。表2の場合でもDPに反した選択をMEUが示唆するためには、 $U_1 \geq U_2$ とならなければならないが、そのためには p が1以上となり解はない。つまりどんな p の値であっても(予言の精度如何に拘わらず)DPとMEUは一致している。

注意しなければならないのは、リスク・テイカーの議論は、遡及因果を信じるかどうかとは別の話であると言う事である。遡及因果などあり得ないと思っても、単に統計的な相関からだけで、リスク・テイカーは1箱派たるのである。

4. 優越戦略原理が失敗する場合

しかし優越戦略がいつも正しいのではない。次の例を考えてみよう。

アメリカが、アフガニスタンから撤兵しようかどうかと考えている。効用表は表2の通りであるとする。表中の数値はアメリカの効用である。

アメリカにとって一番都合の良いのは、戦闘が終息してアメリカ軍政下で立て直しを図ることである。最もまずいのは、撤兵した後でタリバンの攻勢が強まり、親米政権が倒れることである。

表3

	アメリカ 撤兵	アメリカ 撤兵しない
タリバン 攻勢	-5	-2
タリバン 終息	2	2.5

このマトリックスでは、「撤兵しない」という戦略が、タリバンがどういう戦略をとった場合であろうとも、より良い選択である。すなわちDPである。

しかし、高い確率でアメリカが撤兵しないとするとタリバンが攻勢に入り、また撤兵したとするとタリバンの攻勢は終息するだろうと考えられている。一方残留したときタリバンは終息せずに攻勢に入るであろう。また撤兵したときタリバンの親米政権への攻勢が終息することはあり得ないとする。そうだとすると最適戦略は、撤兵しない事ではないだろうか。

ここでの教訓は、マトリックスの各マスにその実現性について確率的な重みが付いていることである。それも単に統計的な確率的相関ではなく、マス間の因果的相関関係が存在するのである。

Nozick¹⁾ は次のような例も提出している。

次の表4は、あなたが白組に賭けるか紅組に賭けるかの利得の表である。

表4

	白組が勝つ	紅組が勝つ
あなた 白に賭ける	1万円	-500円
あなた 紅に賭ける	-600円	9500円

このマトリックスには、優越戦略は存在しない。白組が勝つ場合には、白組に賭けた方が良く、紅組が勝つなら紅組に賭けた方がよい。

ところが表3を、勝つ組が、あなたが賭けた方の組なのかどうかという観点で整理し直すと、

表5

	賭けた組が 勝つ	賭けた組が 負ける
あなた 白に賭ける	1万円	-500円
あなた 紅に賭ける	9500円	-600円

となる。このマトリックスには、優越戦略がある。それは白組に賭けることである。賭に勝ったときには、白の方が500円多い。一方賭に負けたときでも、白に賭けた方が負けは少ない。表3と4で事実関係になんの違もない。整理の仕方が違うだけである。

Nozickはこの理由を、表5の方に優越戦略が存在するのは、賭の判断と実際にどちらが勝ったかという状態が、独立ではないからであると論ずる。この状況では、紅組は穴だ。一方白組は本命だ。ならば白に賭けることは勝つ確率は高い。それに賭けるべきである。

つまり、表5の中で実際には起こりにくいマスがあるという場合である。

このことから、優越戦略原理が妥当するのは戦略の選択

が結果に影響しないときのみであると結論づけた。ニューカム問題で言うなら、1箱か2箱かのあなたの現在の選択が、予言者の予言に確率的因果しないという場合にのみ、DPが妥当する。§2で述べたことである。

ここに、Ayer や Dumett そして大森¹¹⁾らの、遡及因果（大森は「後の祭りを祭る」と言い表している）の議論が関係してくるのである。

しかし表4、5がニューカム問題と違うのは、あなたの選択が、時間的に先である点である。ニューカム問題では相手或いは状況の決定はあなたの選択より先である。だからこそ「遡及」因果と述べたのである。それとは反対にここでは、どちらの組が勝つかという決定は、あなたの賭という選択の後である。これが本質の違いである。従ってNozickのいう、「超能力者の予言に確率的因果しないという場合にのみ」は、「過去においてなされ完了した超能力者の予言者の予言に確率的遡及因果しないという場合にのみ」に変更されなければならない。Nozickのいった制限より更にもっと難しい制限が付いているのである。

念のために、ニューカム問題の表1を予言が当たるか当たらないかで整理し直しておこう。次の表6のようになる。

表6

	予言 当たり	予言 外れ
あなた 2箱取る	10万円	1億10万円
あなた 1箱取る	1億円	0円

この表で見ると、2箱戦略は優越戦略ではなくなっている。予言が当たった場合には、1箱の方が圧倒的に有利である。しかもほぼ確実に予言は当たるのである。MEUの計算は表1に基づいたのと全く同じであり、MEUは1箱戦略を示唆する。その一方で、DPはそもそも優越戦略が存在しないのである。

さきに表6を見せられれば、表1と全く同じ問題なのであるが、ほとんどの人はMEUを採用するであろう。

5. $p=1$ の場合

予言が当たる確率がほとんど1であるとしよう。確率が1であると言うことは、表1で右上と左下はないと言うことである。これなら、MEUが $p \rightarrow 1$ での極限で示す戦略と一致して、2箱取ると10万円、1箱取ると1億円であるから、1箱取ることが最適戦略である。

といっても、あなたが1箱取るか2箱取るかは、過去の超能力者の予言で決まっているので、選択と言うには当たらない。自由意志は存在しないとと言える。一つの逃げ道は、予言者の予言に従ってそれが成就する様にあなたは振る舞う性質だ、と言う事である。それを裏切って選択を変えるという事態は、 $p \neq 1$ なら残されているとも言えるが、 p が何を記述しているのかという意味合いを変えれば救えるとも言える。

6. 囚人のジレンマ との関係

ニューカム問題は囚人のジレンマの変形であると、良く言われる。

しかし、初等的なゲームの理論の教科書では、次のことが出張される。くり消し設定ではない2人非零和ゲームのお互いに情報交換も談合もせず、合理的推論で選択を決める。マトリックスは相互の完全情報として公開されている。この限りにおいては、確率という事態は現れない。それは、混合戦略などと言う、繰り返し設定のスキームで初めて概念であった。そして、双方のプレイヤーは、外界からの影響、強制などはなくて独立に戦略を選択しうる（有利不利など別にすれば）。

だが、それはあくまで、最初の段階で、第一近似としての数学的な理論を作るときのことである。実際のゲームの理論の政治経済軍事などでの使われ方は、当然戦略対の起こりやすさ、戦略対の間の相関を考慮に入れている。

囚人のジレンマとは周知のように、2人非零和ゲームで

表 7

	相手 自白	相手 黙秘
あなた 自白	(-5, -5)	(-1, -10)
あなた 黙秘	(-10, -1)	(-2, -2)

と言うような、利得表で表されるものである。社会心理学者 Rapaport によって効用の数値に対して、大小関係で特定されている。別々に取り調べられている共犯の2人だが、両方自白すれば、双方懲役5年。裏切って仲間を売れば(自分のみ自白する)あなたは懲役1年で済ませて貰えるが、裏切られて方は懲役10年である。両方共黙秘した場合は証拠があまりないと言うことで双方懲役2年である。

(自白, 自白) 対は Nash 均衡点⁷⁾で、共倒れ状態と言われる。一方(黙秘, 黙秘)対が、共栄状態であり、協力状態とも言われる。しかし、この状態(に対する決断)は不安定で、裏切って助かりたい誘惑が強くある。あなたも相手もそうであるから結局共倒れ状態に陥ってしまう。な

お(自白, 黙秘), (黙秘, 自白)で特をする側を「フリー・ライダー」と言われる。また、(自白, 自白)以外の3点は、Pareto 最適点⁷⁾に成っている。

表を見てすぐ分かるように、裏切りが、双方にとって優越戦略なわけであり、DP 原理によって Nash 均衡点に落ち着くのである。

これから発展した研究が、繰り返しスキームの囚人のジレンマである。裏切られる不安を乗り越えて、どういう条件でいかにすれば協力が発生しそして安定するかという心理実験と計算機実験による研究が沢山されている。戦略選択の系列を通して意志を伝えると言うような事である。例えば、相手の出方にお返しする TIT-FOR-TAT 戦略である。最近では、スモールワールド・ネットワーク上の囚人のジレンマに於ける協力の島の安定性、などという研究がされている。

この繰り返し囚人のジレンマで、初めて教科書的には確率要素が入ってくる。

さて、ニューカム問題の一つの大きな論点は、遡及因果である。そしてその様な疑いが出てくるのは、「非常に高い精度での予測」という完全な知識、情報などに係わる概念からである。

囚人のジレンマに、その様なほぼ完全な予測の要素を取り入れたのが、次の問題である。

一卵性双生児の囚人のジレンマ：

囚人のジレンマの、2人の共犯容疑者が、同じように育てられた一卵性双生児であったとする。90%行動様式は遺伝的に決まっているという。このときの囚人の推論は次のようになる。相手は遺伝子が私と全く同じなのだから、私とほとんど完全に同じ推論をするだろう。

私は強調したい性質だから(裏切りたい)、私の片割れも強調しよう(裏切ろう)とするだろうし、また私のこの推論と同じ推論をしているだろう。となつてフリー・ライダー状況は起こらない。そうすると2つの両方が同じ戦略をとる対のうち、黙秘の方が、双方にとって効用が高く共栄である。片割れもそう推論するはずだから、私は黙秘にする。

この推論には確率的要因が侵入してきている。片割れも90%私と同じ行動をとるであろうと言うところである。すなわち、戦略を自由に選択できる訳ではなく、実現が困難な確率の低い戦略対がある。ここではフリー・ライダー状態である。

これでの推論は、一種遡及因果の考えと似ている。「癌になると砂糖が欲しくなると言う。今無性に砂糖が欲しくなった。しかし癌だと嫌だから、砂糖は控えておこう。」という型の行動選択と似ている。

ニューカム問題とも同じ方である。ニューカム問題の時

には、超能力者の予言は 90%当たってきた。しかしだからといって、いまから私が決定することが過去に影響出来るわけではない。

同様に、この一卵性双生児の推論は、確率的遡及因果を仮定している。共通原因は、一卵であったとき同一の遺伝子であったことである。それが分割分離され別々の個体になった。高い確率で同じ行動をとると言うことも承認しよう。しかし完全に $p=1$ というのでないならば、あなたのこれから下す決定は、過去の共通原因に遡及して、そこから片割れの思考にブーメラン因果出来るわけではないのである。ましてや共時的な現在において、あなたの思考が片割れの思考に対し直接因果出来る事はある得ない。

7. 相関と確率的因果

ニューカム問題は、DP が正しいか、それとも MEU が正しいのか単純に排他的に決められるというのでは無いようである。全く同じ設定でも整理の仕方を変えて問うと、同じ人でも意見が変わってくる。またリスク・テイカーであるかどうかでも反対の意見になる(リスクや効用というものは排除して数値の最適化に徹するべきかも知れないが)。そして DP と MEU のどちらが有利かには、予言の精度 p の閾値があり、判定はそれを境に変わってきたりする。

DP による説明を提示するときに、状況の全貌がうまく説明出来ないがために、DP に従う事が、他の選択があり得ないぐらい当然で、そうでないのは気が狂っているかのごとく思わせてしまう。そうすると MEU は妥当な原理だと思っても、しかしそれは正しい DP に矛盾することがあるのであるから、何かある条件下でしか妥当しない原理なのであろうとまで考えさせてしまう。このことがニューカム問題をパラドックスと言わせてきた理由だと思う。

だがその上で、もし確率的遡及因果が有りうるなら、MEU が正しいと言う事になる。何が間違っているのだろうか。「超能力者は非常に高い精度で予言が出来て」と言う設定を、予言が「当たる」確率 p で表現するところに問題があるようである。確率 p は、もし測定するのなら、超能力者に予言をさせて(無理なことではあるが、同じ状況を沢山作って)、その成功頻度の統計をとると言うことになるだろう。

しかし、予言と同じ事態が後で起こったとして、それで予言が成功したと言えるのであろうか。予言とはどういう事を言うのであろうか。スーパーコンピュータで、あなたや世界の詳細なデータに基づいた計算をするのであろうか。または、気象シミュレータや分子動力学の *ab initio* の様な計算をさせるのか。占星術を発展させるのか。とにかく、神に聞くにしろ、何かのメカニズムによる予言を言うのであろう。そんな事は実現出来ないだろう。しかしニューカム実験は成功する可能性があるのである。

予言などしなくて良いのである。§2で、 $p=0.5005$ が MEU が成功する閾値である事を計算した。 $p=0.5$ ということは、全然予想出来ないと言うことである。するとそれより極僅か当たる率が高ければいい。デタラメな予想にほんのちょっと、あなたについての知見を加えて1箱か2箱かを予想し、箱に1億円入れたり入れなかったりすればいい。

ここでいう確率が高い予想というのは、何かのメカニズムによって予想していなくても大丈夫なのである。それは単に、超能力者の1箱か2箱かの予想と、あなたがその後1箱にするか2箱にするかの、時間を隔てた相関が高いかどうかだけなのである。あなたと超能力者の戦略対の間の時間を隔てた確率的相関なのである。

この相関関係を、確率的因果関係ととってしまうから、混乱してくるのである。その上、ニューカム問題の場合には、時間順序が逆になった遡及因果関係の形式になっていることから更に紛れが生じている。あなたの決定と目の前の箱の中の1億円の因果であれば、ブーメラン因果である。確率的相関関係と確率的因果関係は違う事に注意しなければならない。単に相関関係と言うだけと捉えれば、遡及因果などと言う概念上の困難は発生しない。

これからの決定が、過去に既に決まっている分岐(とその結果である、現在の箱の中の1億円の有る無し)に影響出来るわけがないとするなら、遡及因果を我々は認証出来ないのであるから、ニューカム問題に現れる確率的関係は単なる相関関係としか、解釈し得ないのである。

因果関係という思い込みを捨てるなら、ニューカム問題は、これまでの議論で見えてきたように、パラドックスではなく、単なる意志決定理論の練習問題である。

参考文献

- 1) R. Nozick, "Newcomb's Problem and Two Principles of Choices", *Essays in Honor of Carl Hempel*, Reidel(1969)
- 2) R. Nozick, "Newcomb's Problem and Two Principles of Choices", *Paradoxes of Rationality and Cooperation*, University of British Columbia Press.(1985)107-133
- 3) R. Nozick, *The Nature of Rationality*, Princeton University Press(1993)
- 4) D. Lewis, "Prisoner's Dilemma is a Newcomb Problem", *Philosophical papers I*, Oxford(1983)
- 5) R.M. Sainsbury, 『パラドックスの哲学』勁草書房(1993年)
原書 *Paradoxes*, Cambridge U.P.(1988)
- 6) W. Poundstone, 『パラドックス大全』, 青土社(2004年)
原書 *Labyrinth of Reason*, Anchor Books(1988)

- 7) 榛葉 豊, 『意志決定理論・社会的選択理論』 SIST (2006年)
- 8) 榛葉 豊, 「ニューカム問題 — 遡及因果と辻褃合わせ —」, 静岡理工科大学紀要, 16巻 (2008年) 47
- 9) 一ノ瀬正樹, 『原因と理由の迷宮』, 勁草書房 (2006年)
- 10) 三浦俊彦, 『論理パラドクス』, 二見書房 (2002年)
- 11) A.J. Ayer, 『知識の哲学』, みすず書房 (1981年), 原著 *The Problem of Knowledge* (1956)
M. Dummett, 「結果は原因より先行できるか」, 『真理という謎』, 勁草書房 (1986年)
大森荘蔵, 「「後の祭り」を祈る」, 『時は流れず』, 青土社 (1996年)

理工系大学1-2年生における学習の動機づけと無気力感・自己効力感・

ライフスキルとの関連

The relationship among the motives for learning, apathy, self-efficacy, and daily life skills in the first-year and the second-year college students belonging to Department of Science and Technology

小杉大輔*

Daisuke KOSUGI

Abstract: The purpose of the present study was to examine factors that underlie college students' learning and the relations among these factors. Two hundred and six college students answered a questionnaire. This questionnaire covered their motives for learning in a college, apathy, self-efficacy and daily life skills. Using the multiple linear regression analysis, ANOVA, and *t*-test, I examined the relations among the factors of each topic. Results showed different tendencies in learning, apathy and self-efficacy between in the first-year and the second-year students. In addition, the sense of obligation to learning seems to have a major impact on those factors for students in the first and the second grades.

はじめに

現代の大学生の中には、「なぜ大学で学ぶのか、自分は何を学びたいのかをうまく理解できていないが、とりあえず大学に来ている学生」が少なからずいる¹⁾。近年、大学生の学力低下や学業離れ、学習意欲の低下など、大学教育における様々な問題が指摘されているが、このような学生はその象徴であると言える。

このような学生が増えてきた背景には、多くの要因が存在する。たとえば、少子化の影響による受験戦争の緩和は、入学者の学力の低下の要因であると言える。とくに私立大学においては、経営上学生の確保が必須であり、定員の充足を考慮し、合格基準を大幅に下げざるを得ないという現状がある²⁾。また、推薦入試やAO入試など、過去の学習履歴を問題にしにくい方法によって選ばれた学生の増加により、一部の大学では、学力や学習意欲が大学での学びに耐えられないほどに低い学生を受け入れてしまう可能性がある。その他、市川(2002)は、大学生の学力低下の要因として、①大学入学者比率の相対的増加という人口動態要因、②授業の工夫や魅力のな

さや、評価の甘さという大学側の問題、③初等・中等教育の内容削減や勉強への方向づけの低下、④価値観の多様化や享乐的娯楽の増大による学習意欲の減退、という4つの要因を挙げている³⁾。

多くの大学では、冒頭に挙げたような学生を発見し、その学生の大学での学びを支援、あるいは補償するような取り組みが求められているだろう。また、このような支援や補償は、できるだけ早期からおこなわれるべきである。そして、そのためには、大学の教職員が、個々の学生の学びの状態について知る必要がある。大学の新入生の学習意欲や授業意欲に関する研究は、このような視座に立っているとと言える¹⁾⁴⁾。これに関連して、小杉

(2008)は、先行研究を踏まえ、理工系大学生における学習の動機づけに関する尺度と、授業中のつまづきへの対処に関する尺度を作成した⁵⁾。今後、それぞれの大学が、学生の特徴や教育上の問題を反映させながらこのような尺度を作成し、調査を実施し、学生の学びの状態をとらえることが重要になると考えられる。本研究では、小杉(2008)で作成した学習の動機づけ尺度を用い、情報学を専攻する1-2年生を対象にした調査をおこなった。また、本研究の調査では、この学習の動機づけ尺度

2009年3月6日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

Table 1 学習の動機づけ尺度の因子分析結果 (Promax回転後の因子パターン)

項目内容	I	II	III
好奇心が満たされるから	.81	-.02	-.12
教材や本などがおもしろいから	.77	.07	-.19
学ぶこと自体がおもしろいから	.76	-.07	-.11
難しい内容を学ぶのが楽しいから	.75	-.07	-.09
知識や能力が身につくのが楽しいから	.75	-.02	.09
考えたり、頭を使ったりするのが好きだから	.73	.01	-.17
内容を理解できるようになるのがうれしいから	.66	.14	.11
わからなかったことがわかるようになると自信がつくから	.54	.01	.28
人生の視野を広げたいから	.47	-.04	.18
きまりのようなものだから	-.02	.84	-.21
今の社会ではしなければならなくなっているから	-.03	.74	-.17
しないと罪悪感に責められるから	-.09	.70	-.08
まわりの人についていけないのが嫌だから	.08	.66	.19
しておかないと不安だから	.17	.59	.26
まわりからやれと言われるから	-.17	.57	-.05
課題などのやらなければならないものを与えられるから	.27	.55	-.07
後で困るのが嫌だから	.05	.50	.35
ほかにすることがないから	-.18	.46	-.03
そうすること自体が大切なことだから	.15	.42	.27
自分にあった職業を探したいから	-.06	-.05	.74
就職に有利だから	-.26	.13	.72
就きたい職業に必要な知識をつけたいから	-.15	-.14	.70
就職後、多くの収入・給与を得たいから	-.16	.15	.64
将来いろいろなことに役立つから	.18	-.05	.60
専門的な知識や技術を身につけたいから	.22	-.23	.54
得意とすることを追求したいから	.20	-.19	.42
因子間相関			
I	-	.05	.46
II		-	.19
III			-

と、「無気力感」「自己効力感」「ライフスキル」を測定する尺度を併用し、学生の学びの状態の背景にある要因について検討することを目指した。

無気力感とは、「日常生活全般で、自分をやる気がないと感じる」と定義される⁶⁾。児童・青年における無気力的行動に関する教育的、臨床的研究はこれまでも多くおこなわれている。その中で、下坂(2001)は、青年期の無気力感を測定する尺度を作成し、中学校・高校・大学の各学校段階における発達的特徴について検討している⁹⁾。無気力感は、大学生の学びにも強い影響を及ぼすと考えられる。本研究では、下坂(2001)で作成された「無気力感尺度」を用いた。

自己効力感とは、「個人がある状況において必要な行動を効果的に遂行できる可能性の認識」のことを指す⁷⁾。また、ある問題や課題に関する自己効力感を自分がどの程度持っているかが、個人の行動の変容を予測し、不適応な情動反応や行動を変化させると言われている

⁷⁾。自己効力感は、大学の教育場面における問題解決行動や学習の動機づけにも影響を与えられられる。本研究では、成田ら(1995)が作成した「特性的自己効力感尺度」を用いた。

ライフスキルとは、「効果的に日常生活を過ごすために必要な学習された行動や内面的な心の働き」と定義される⁸⁾。大学生としての生活における様々なライフイベントへの対処のため、ライフスキルは重要であると言える。本研究では、島本・石井(2006)で作成された「日常生活スキル尺度(大学生版)」を用いた。

方法

調査対象

静岡理工科大学総合情報学部1年生110名(女性5名)、理工学部情報システム学科2年生96名(女性13名)。

質問項目

学習の動機づけ尺度 小杉 (2008)で作成した学習の動機づけ尺度 28 項目を用いた。調査対象への教示として、「大学の授業や日常において、さまざまなことを学んだり、勉強したりすることについて質問します。あなたはそのような学習や勉強をどのような理由でおこなっていますか。以下のそれぞれの項目について、あてはまる (4)、ややあてはまる (3)、あまりあてはまらない (2)、あてはまらない (1) のなかで最もあてはまる数字に○をつけてください。」という文章を質問紙の冒頭に記した。

なお、本研究では、得られたデータを因子分析にかけ、小杉 (2008) と同様の因子構造になるのかを検証することにした。そのため、下位尺度やその得点については、因子分析の結果に基づいて決定することにした。

無気力感尺度 下坂 (2001) の無気力感尺度 19 項目を用いた。下坂 (2001) では、この 19 項目は「自己不明瞭」「他者不信」「疲労感」の 3 つの下位尺度から構成されることを示しているが、本研究では、19 項目の総得点を分析の指標とした。4 件法を用いたため、総得点は 76 点満点であった。調査対象への教示として、「あなたは次のいくつかの文章にあるような感じを、普段の生活でどの程度感じますか。あてはまる (4)、ややあてはまる (3)、あまりあてはまらない (2)、あてはまらない (1) のなかで最もあてはまる数字に○をつけてください。」という文章を質問紙の冒頭に記した。

自己効力感尺度 成田ら (1995) の特性的自己効力感尺度 23 項目を用いた。4 件法を用いたため、総得点は 92 点満点であった。調査対象への教示として、「あなたは現在の自分についてどのように感じているでしょうか。あなたは現在の自分についてどのように感じていますか。あてはまる (4)、ややあてはまる (3)、あまりあてはまらない (2)、あてはまらない (1) のなかで最もあてはまる数字に○をつけてください。」という文章を質問紙の冒頭に記した。

ライフスキル尺度 島本・石井 (2006) の日常生活スキル尺度 24 項目を用いた。島本・石井 (2006) では、この 24 項目は 8 つの下位尺度 (計画性、情報要約力、自尊心、前向きな思考、親和性、リーダーシップ、感受

性、対人マナー) から構成されることを示しているが、本研究では、24 項目の総得点を分析の指標とした。4 件法を用いたため、総得点は 96 点であった。調査対象への教示として、「日常生活や大学での生活のことについて質問します。あてはまる (4)、ややあてはまる (3)、あまりあてはまらない (2)、あてはまらない (1) のなかで最もあてはまる数字に○をつけてください。」という文章を質問紙の冒頭に記した。

調査の実施 1 年生、2 年生ともに、講義中に質問紙を配布した。表紙には、「大学での学びに関する調査」とタイトルを付し、回答の例を記した。調査の所要時間はおおよそ 15 分であった。

分析と結果

学習の動機づけ尺度の因子分析

小杉 (2008) では、今回用いた学習の動機づけ尺度は「知的好奇心」「義務感」「将来展望」の 3 因子構造であることが示された。今回の調査対象においても同様の因子構造になるのかを確かめるために、この 28 項目に対して、主因子法による因子分析をおこなった。因子分析の方法に関しては、小塩 (2005) を参考にした⁹⁾。すべての調査対象のデータを用いた。固有値の変化 (5.851, 3.733, 1.928, 1.230, 1.119・・・) と因子の解釈可能性を考慮すると 3 因子構造が妥当であると考えられた。そこで、再度 3 因子を仮定して主因子法・Promax 回転による因子分析をおこなった。その結果、十分な因子負荷量を示さなかった 2 項目を除外した。残りの 26 項目に対して再度主因子法・Promax 回転による因子分析をおこなった。Promax 回転後の最終的な因子パターンと因子間相関を Table 1 に示す。なお、回転前の 3 因子で 26 項目の全分散を説明する割合は 46.57% であった。

第 1 因子は、9 項目で構成されており、学ぶこと自体の楽しさや理解することの喜びを表す項目が高い負荷量を示していた。そこで、「知的好奇心」因子と命名した。第 2 因子は、10 項目で構成されており、大学で学ぶことが社会的なきまりになっているという意識を表す項目が高い負荷量を示していた。そこで、「義務感」因子と命名した。第 3 因子は、7 項目で構成されており、大学での学びを将来の職業に生かしたいという意識を

Table 2 学年ごとの各尺度の得点の平均値 (と標準偏差)

	学習の動機づけ			無気力	自己効力感	ライフスキル
	知的好奇心	義務感	将来展望			
1年生	23.30 (4.97)	23.67 (5.81)	22.48 (3.48)	45.80 (8.33)	54.09 (8.98)	60.86 (9.13)
2年生	22.54 (5.38)	22.93 (5.68)	21.97 (3.89)	46.38 (9.53)	53.05 (9.28)	59.42 (9.86)

Table 3 重回帰分析の結果 (1年生)

	無気力感	自己効力感	ライフスキル
	β	β	β
知的好奇心	-.13	.15	.15
義務感	.42 ***	-.35 ***	-.09
将来展望	-.27 **	.14	.29 **
R ²	.27 ***	.16 ***	.14 **

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

β : 標準偏回帰係数

表す項目が高い負荷量を示していた。そこで、「将来展望」因子と命名した。各因子に含まれる項目やその内容は、小杉 (2008) の結果と一致する部分が多かった。そのため、因子名も小杉 (2008) と同一にした。

以上のように、学習の動機づけ尺度は、知的好奇心 9 項目、義務感 10 項目、将来展望 7 項目の 3 つの下位尺度から構成されていることが示された。今回の調査では、4 件法を用いたので、知的好奇心は 36 点満点、義務感 は 40 点満点、将来展望は 28 点満点となる。

各尺度の得点の学年差

Table 2 に学年ごとの各尺度の得点を示した。t 検定によって 1 年生と 2 年生の各得点を比較したが、いずれの尺度においても有意な差は見られなかった。

1 年生のデータの分析と結果

重回帰分析 2 年生の分析と同様、学習の動機づけ尺度の 3 つの下位尺度得点が「無気力感」「自己効力感」「ライフスキル」の各尺度の得点に与える影響を検討するために重回帰分析をおこなった。結果を Table 3 に示す。

まず、義務感と将来展望から無気力感に対する標準偏回帰係数が有意であったが、知的好奇心からの標準偏回帰係数は有意ではなかった。これは、義務感の得点が高いほど無気力感の得点が高く、将来展望の得点が高いほど無気力感の得点が高いことを意味する。次に、義務感

から自己効力感への標準偏回帰係数が有意であったが、知的好奇心および将来展望からの標準偏回帰係数は有意ではなかった。これは、義務感の得点が高いほど自己効力感が低いことを意味する。一方、将来展望からライフスキルに対する標準偏回帰係数が有意であったが、知的好奇心および将来展望からの標準偏回帰係数は有意ではなかった。将来展望の得点が高いほどライフスキルの得点が高いことを意味する。

学習の動機づけによる調査対象の分類 学習の動機づけ尺度の「義務感」得点と「将来展望」得点を用いて、グループ内平均連結法によるクラスタ分析をおこない、2 つのクラスタを得た。第 1 クラスタには、41 名、第 2 クラスタには 69 名の調査対象が含まれていた。 χ^2 検定をおこなったところ、人数比率の偏りが有意であった ($\chi^2 = 7.127, df = 1, p < .01$)。

次に、得られた 2 つのクラスタを独立変数、「義務感」「将来展望」を従属変数とした t 検定をおこなった。その結果、「義務感」において、第 1 クラスタの得点が第 2 クラスタの得点よりも有意に高かった ($t(108) = 15.27, p < .001$)。一方、「将来展望」については、有意差は見られなかった。さらに、「知的好奇心」についても同様の分析をおこなったところ、得点差は有意ではなかった。

Table 4 1年生における群ごとの各尺度の得点 (と標準偏差)

	学習の動機づけ			無気力	自己効力感	ライフスキル
	知的好奇心	義務感	将来展望			
義務感高群 (N = 41)	22.85 (5.01)	29.88 (3.01)	22.12 (3.52)	49.80 (6.90)	50.90 (8.79)	60.20 (8.55)
義務感低群 (N = 69)	23.57 (4.96)	19.99 (3.44)	22.70 (3.46)	43.51 (8.23)	55.94 (8.55)	61.06 (9.59)

Table 5 重回帰分析の結果 (2年生)

	無気力感	自己効力感	ライフスキル
	β	β	β
知的好奇心	-.28 *	.23 *	.20
義務感	.22 *	-.39 ***	-.15
将来展望	-.01	.05	.15
R ²	.11 *	.18 ***	.10 *

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

β : 標準偏回帰係数

第1クラスは義務感が高く、将来展望は平均的であると考えられるため、「義務感高群」とした。第2クラスは、義務感が低いと考えられるため、「義務感低群」とした。

学習の動機づけスタイルと各尺度得点との関係 3つの学習の動機づけスタイルによって、「無気力感」「自己効力感」「ライフスキル」の各尺度の得点が異なるかどうかを検討するために、 t 検定をおこなった。3群の各尺度の得点を Table 4 に示す。その結果、まず、無気力感尺度における得点差は有意であり ($t(108) = 4.115, p < .001$), 義務感高群のほうが義務感低群よりも得点が高かった。続いて、自己効力感尺度における得点差が有意であった ($t(108) = 2.959, p < .01$)。義務感低群のほうが義務感高群よりも得点が高かった。最後に、ライフスキル尺度における得点差は有意にならなかった。

2年生のデータの分析と結果

重回帰分析 学習の動機づけ尺度の3つの下位尺度得点(知的好奇心, 義務感, 将来展望と省略して記述する)が「無気力感」「自己効力感」「ライフスキル」の各尺度の得点(それぞれ, 無気力感, 自己効力感, ライフスキルと省略して記述する)に与える影響を検討するために重回帰分析をおこなった。結果を Table 5 に示す。

まず、知的好奇心と義務感から無気力感に対する標準偏回帰係数が有意であったが、将来展望からの標準偏回

帰係数は有意ではなかった。これは、知的好奇心の得点が高いほど無気力感の得点が低く、義務感の得点が高いほど無気力感の得点が高いことを意味する。次に、知的好奇心と義務感から自己効力感への標準偏回帰係数が有意であったが、将来展望からの標準偏回帰係数は有意ではなかった。これは、知的好奇心の得点が高いほど自己効力感が高く、義務感の得点が高いほど自己効力感の得点が低いことを意味する。一方、ライフスキルの得点については、知的好奇心, 義務感, 将来展望からの標準偏回帰係数はすべて有意にならなかった。

学習の動機づけによる調査対象の分類 学習の動機づけ尺度の「知的好奇心」得点と「義務感」得点を用いて、グループ内平均連結法によるクラス分析をおこない、3つのクラスを得た。第1クラスには、50名、第2クラスには34名、第3クラスには12名の調査対象が含まれていた。 χ^2 検定をおこなったところ、人数比率の偏りが有意であった ($\chi^2 = 22.75, df = 2, p < .001$)。

次に、得られた3つのクラスを独立変数、「知的好奇心」「義務感」を従属変数とした分散分析をおこなった。その結果、「知的好奇心」「義務感」ともに有意な群間差が見られた(知的好奇心: $F(2, 93) = 125.49, p < .001$, 義務感: $F(2, 93) = 609.54, p < .001$)。TukeyのHSD法(5%水準)による多重比較をおこなったところ、「知的好奇心」については、第1クラス > 第2クラス =

Table 6 2年生における群ごとの各尺度の得点（と標準偏差）

	学習の動機づけ			無気力	自己効力感	ライフスキル
	知的的好奇心	義務感	将来展望			
学習意欲高群 (N = 50)	26.92 (3.03)	23.66 (5.22)	23.16 (3.13)	43.60 (9.06)	55.38 (7.55)	61.44 (10.10)
義務感高群 (N = 34)	17.97 (2.23)	25.12 (3.72)	20.79 (3.74)	51.68 (7.22)	48.85 (9.94)	56.06 (9.37)
義務感低群 (N = 12)	17.25 (3.41)	13.67 (2.27)	20.33 (5.60)	42.25 (11.01)	56.50 (8.71)	60.83 (8.86)

第3クラス「義務感」については、第1クラス≧第2クラス>第3クラスという結果であった。

第1クラスは知的的好奇心が高く、義務感は平均的であると考えられるため、「学習意欲高群」とした。第2クラスは、知的的好奇心は低い傾向にあるが、義務感が高いと考えられるため、「義務感高群」とした。第3クラスは、知的的好奇心が低い傾向にあり、義務感が低いため、「義務感低群」とした。

また、将来展望の得点について、1要因分散分析を用いて群間で比較したところ、有意な差が見られた ($F(2, 93) = 5.418, p < .01$)。Tukey の HSD 法 (5%水準) による多重比較をおこなったところ、学習意欲高群>義務感高群≧義務感低群という結果であった。学習意欲高群は、将来展望の得点も高いことが示された。

学習の動機づけスタイルと各尺度得点との関係 3つの学習の動機づけスタイルによって、「無気力感」「自己効力感」「ライフスキル」の各尺度の得点が異なるかどうかを検討するために、1要因の分散分析をおこなった。3群の各尺度の得点を Table 6 に示す。分散分析の結果、まず、無気力感尺度における得点差は有意であった ($F(2, 93) = 10.15, p < .001$)。Tukey の HSD 法 (5%水準) による多重比較をおこなったところ、学習意欲高群と義務感高群の間と、義務感高群と義務感低群の間に有意な得点差が見られた。義務感高群の無気力感得点が最も高かった。続いて、自己効力感尺度における得点差が有意であった ($F(2, 93) = 6.83, p < .01$)。Tukey の HSD 法 (5%水準) による多重比較をおこなったところ、学習意欲高群と義務感高群の間と、義務感高群と義務感低群の間に有意な得点差が見られた。義務感高群の自己効力感得点が最も低かった。最後に、ライフスキル尺度における得点差も有意であった ($F(2, 94) = 3.25, p < .05$)。Tukey の

HSD 法 (5%水準) による多重比較をおこなったところ、学習意欲高群と義務感高群の間に有意な得点差が見られた。

考 察

Table 2 に示したとおり、学習の動機づけ尺度、無気力感尺度、自己効力感尺度、ライフスキル尺度の各得点において、学年差は見られなかった。しかし、学年ごとにおこなった重回帰分析の結果から、各学年の特徴が明らかになった。1年生では、学習の動機づけ尺度の下位尺度である義務感と将来展望の得点が、他の3尺度の得点に影響を及ぼしていた。まず、義務感の得点が高いほど、無気力感の得点が高く、自己効力感の得点低いことが示された。これは、大学での学びに対し、やらされている、と感じている学生ほど、無気力であり、自己の(環境への)有効性を低く見積もることを意味している。続いて、将来展望の得点が高いほど、無気力感の得点が低く、ライフスキルの得点が高いことが示された。これは、将来の生活や職業を意識して学んでいる学生は、無気力ではなく、日常生活のスキルが高いことを意味している。義務感が1年生の大学での学びに対して消極的な影響を与えるのに対し、将来展望は積極的な影響を与えることが示された。

次に、2年生では、学習の動機づけの下位尺度のうち、知的的好奇心と義務感の得点が他の尺度の得点に影響を及ぼしていた。まず、知的的好奇心の得点が高いほど、無気力感の得点が低く、自己効力感が高かった。一方、義務感の得点が高いほど、無気力感の得点が高く、自己効力感の得点が低かった。知的的好奇心の得点は、その項目の内容から、学習意欲の高さを反映すると考えられる。そして、大学での学業に意欲的な学生が、無気力ではな

く、自己効力感が高いという結果は妥当であると言える。義務感については、2年生においても、大学での学びに対して消極的な影響を与えていた。義務感は、学習の動機づけの3つの因子の中で、最も注意すべきものであると言える。

本研究では、クラスタ分析を用いて、各学年の学生の分類を試みた。1年生では、重回帰分析で他の尺度に有意な影響を与えていた義務感と将来展望の得点を用いてクラスタ分析をおこなった。その結果、調査対象は、義務感高群（41名、全体の37.3%）と義務感低群（69名、62.7%）の2群に分けられた。義務感高群は、義務感低群よりも、無気力感が有意に高く、自己効力感が有意に低かった。一方、2年生では、知的好奇心と義務感の得点を用いてクラスタ分析をおこなった。その結果、調査対象は、学習意欲高群（50名、全体の52.1%）、義務感高群（34名、35.4%）、義務感低群（12名、12.5%）の3群に分けられた。2年生においても、最も特徴的であったのは義務感高群であり、この群では、無気力感が他の2群よりも有意に高く、自己効力感が有意に低かった。学習意欲高群と義務感低群は、3つの尺度の得点では同じような傾向を見せた。学習意欲高群は、学業への動機づけが高く、また、将来の職業や生活への意識が高い学生である。このような学生の割合がさらに高くなるのが望ましい。一方、義務感低群は、学業への関心は全体に低い。この群において、無気力感や自己効力感が学習意欲高群と同じ水準にあるのは、大学での学業以外の要因の影響によるのかもしれない。たとえば、趣味やアルバイトなど、無気力感や自己効力感に影響を与える要因は大学の外にも存在する。

教育的な観点からは、まず、義務感尺度の得点が高い学生を減少させることが重要となる。今回のデータでは、義務感高群と名づけられた群に属した学生は、1年生、2年生ともに全体の4割弱であった。この割合が、学年を追うごとに減少していくことが望ましい。義務感とは、大学での学習を「しなければならないからやっている」という感覚である、このような意識は学生であれば誰もがもつものであり、それによって学習意欲が支えられるという側面もある。しかし、大学は、学生が大学での学習をより積極的なものとしてとらえられるように導か

なければならない。そして、これには、授業の改善やカリキュラムの改善などの取り組みが関係する。これらの取り組みを通じ、学生が、大学での学びそのものに動機づけられるような学習環境を構築する必要がある。

今回おこなったような調査の結果は、学生指導等の教育実践に生かされることが望ましい。そのためには、たとえば、調査データと学業成績（GPAの値など）との関連について分析し、尺度への反応から何が予測できるのかを検証する必要がある。このような取り組みを今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 溝上慎一, “大学新入生の学業生活への参入過程—学業意欲と授業意欲—”, 京都大学高等教育研究第10号 (2004) 67-87.
- 2) 牧野幸志, “大学生の高校時代の学習態度に関する教育心理学的研究”, 高松大学紀要, 37 (2002) 73-81.
- 3) 市川伸一, 学力低下論争 (筑摩書房, 2002).
- 4) 松島るみ・尾崎仁美, “大学進学動機と学習意欲・授業選択態度の関連—新入生を対象として—”, 京都ノートルダム女子大学研究紀要, 35 (2005) 177-187.
- 5) 小杉大輔, “理工系大学生における学習動機・授業中のつまずき・学習意欲の関連”, 静岡理工科大学紀要, 16 (2008) 63-72.
- 6) 下坂 剛, “青年期の各学校段階における無気力感の検討”, 教育心理学研究, 49 (2001) 305-313.
- 7) 成田健一, 下仲順子, 中里克治, 河合千恵子, 佐藤真一, 長田由紀子, “特性的自己効力感尺度の検討—生涯発達の利用の可能性を探る—”, 教育心理学研究, 43 (1995) 306-314.
- 8) 島本好平, 石井源信, “大学生における日常生活スキル尺度の開発”, 教育心理学研究, 54 (2006) 211-221.
- 9) 小塩真司, 研究事例で学ぶSPSSとAmosによる心理・調査データ解析 (東京図書, 2005).

TEACHING ENGLISH VOCABULARY

Bogdan PAVLIY*

ABSTRACT

While learning a foreign language, students shall use a material they learn at classes and put it into practice in their everyday activities. To achieve this, the first thing they should learn is their language building material – words. Students need to use them in conversations, to understand the meanings of words they hear, to identify words in written context in the process of reading and to use them for expressing their thoughts and feelings in writing. English teachers always face the problem of how to choose the English vocabulary and how to get the highest performance from their students on learning vocabulary. In this paper I will consider some methods of teaching English vocabulary in general and in particular the aspect of teaching English vocabulary in Japan.

Introduction

Teaching vocabulary is one of the most important aspects of teaching a foreign language. The content of the speech is expressed in words. To master a language means to first of all assimilate a certain vocabulary for naming objects, actions and states.

The great importance of words can be seen in the following quotes which may inspire teachers to pay more attention to teaching vocabulary and motivate students to build a large vocabulary while learning English.

A word fitly spoken is like apples of gold in pictures of silver.

Proverbs 25:11

Words ... so innocent and powerless as they are - as standing in a dictionary; how potent for good and evil they become - in the hands of one who knows how to combine them.

Nathaniel Hawthorne

Words are tools which automatically carve concepts out of experience.

Julian Sorrell Huxley

Words, when well chosen, have so great a force in them that a description often gives us more lively ideas than the sight of things themselves.

Joseph Addison

By words the mind is winged.

Aristophanes

A blow with a word strikes deeper than a blow with a sword.

Robert Burton

For one word a man is often deemed to be wise, and for one word he is often deemed to be foolish.

Confucius

Every language instructor can agree that without memorizing words and understanding their meanings absolutely no progress in language learning is possible. As Wilkins (1972) says: "...without grammar very little can be conveyed; without vocabulary nothing can be conveyed." The importance of lexis is stressed by many modern linguists. D. Lewis (1993) boldly proclaims that "grammar as structure is subordinate to lexis.". A. Little (1994) also stresses the priority of lexis: "Words inevitably come before structures." D. Willis (1990) adds that it is easier for learners to start exploration of the language if they start from lexis, which is concrete, rather than from grammatical rules. Then Willis and Willis (2009) conclude: "We need to shift the emphasis in teaching foreign languages to a focus on understanding and expressing meanings. This almost certainly entails beginning with a more lexical approach and gradually integrating grammar, once learners have a wide enough vocabulary to be able to see how grammar can help fine-tune their message."

The main tasks of work on lexis

While learning a foreign language, students master its lexis in order to use it in conversations and oral narrations, to understand the meanings of words in utterances they hear, to identify words in written context in the process of reading and to use them for written exposition of their thoughts. To achieve this goal, the material that students have to master should be clearly determined and the system of deployment should be worked out. To determine the teaching material for lexis means to make up a list of words and phrases that students need to acquire during the whole period of learning and at its separate stages. The words selected should be frequently used in the language, easily combined, unlimited from the point of view of style, included in the topics in the prescribed syllabus and valuable from the point of view of word-building. The selection of the vocabulary, although important, is not the teachers' main concern. It is usually prescribed for them by textbooks and study-guides they use. The teachers' concern is how to get their students to assimilate it. This is a difficult problem and it is still in the process of being solved. The word is considered to be learned when it is spontaneously recognized while hearing and reading and it is correctly used in speech.

In Japan it is common for students of all ages to use word cards to memorize English words. In spite of the fact that it may help them at some stages of their language acquisition, in general, I do not recommend this method. Students memorize the words but do not combine them properly in different kinds of sentences. Consequently, they fail to recognize the words and their meanings in context. Such "learning" tends to become just a useless mechanical overloading of memory with no educational benefit.

Charles Fries says, "It is not the meaning of the words themselves but an intricate system of formal features which makes possible the grasp of what we generally call 'meaning': train, boy, house, take - conveys no meaning. *The boy takes a train to his house* is full of meaning". He concludes, "The meaning is not in the words themselves but in the words as a pattern." (Fries, 1957).

N. I. Zhinkin (1958) writes: "The man never says separate words at all if they are not phrases at the same time. No one will all of a sudden say an apple, a web, etc. In different situations, different reports and

motives will be spoken: here is an apple, I want an apple, I don't want an apple, this is not an apple, etc."

This idea was also emphasized by I. A. Gruzinskaya (1938) who wrote, "The word lives and develops only in an integral speech complex, only accompanied by other words, in interrelation with them." That is why while teaching vocabulary the teacher should introduce students words in sentence patterns in different situations and present the words in keeping with the structures to be taught.

The same ideas were developed in the works of many authors dating back to the 1990's. Thus lexis and grammar are considered inseparable in nature and completely interdependent (Sinclair, 1991; Hunston & Francis, 1998). Willis (1993) also notes that grammar and lexis are two ways of picturing the same linguistic objective. That is, lexis consists of word - meaning patterns, while the grammar consists of structures, and categorizes words according to such structures. Willis thinks teachers need to pay more attention to lexical elements in the classroom. He considers that "language learners have to work simultaneously with the grammar and the lexicon." But, especially, in the beginners' stage of learning language the priority should be on lexis. "In the early stages of learning, learners achieve meanings by putting words together without paying too much attention to grammatical niceties. When producing language spontaneously they consistently produce utterances like *Yesterday I go cinema* instead of *Yesterday I went to the cinema*." "...it is possible to communicate effectively in a language for all kinds of purposes without conforming closely to a standard grammar." (Willis and Willis, 2009).

Receptive and reproductive assimilation of lexis

It is generally known that Japanese students' vocabulary is poor. They have trouble with hearing, speaking, reading and writing. Learning the words of a foreign language is not that easy since every word has its form, meaning and usage and each of these aspects may have its difficulties.

The character of assimilation of English lexical units can be different. If students assimilate words in such a way that they understand them while reading or listening, we speak of a receptive (passive) assimilation. When they can use the new words for expressing their thoughts in the process of oral or written communication we speak of a

reproductive (active) assimilation of lexis.

A certain number of textbook words are initially assimilated reproductively but later due to insufficient use in speaking they become part of the receptive store.

There is a group of new words in textbook texts meant for synthetic reading that are introduced just for conveying certain content interesting for students. Students understand the meanings of these words from the context or some explanations added to the text. No more work is done the words later, but some of them remain in the students' memory.

Some texts for teaching reading with the help of a dictionary and texts for home reading are also the source of new receptive lexis.

It's impossible to differentiate clearly between receptive and reproductive lexis in the student's accomplishments. Sometimes, in a certain communicative situation the student uses in his speech the words he came across in some texts and did not use in conversational exercises. It means that receptive lexical units suddenly become reproductive. At the same time, a reverse process may be noticed when words belonging to active lexis turn to passive (receptive) due to their insufficient use in speaking.

Assimilation of receptive lexis is connected with the following kinds of work:

- 1) Analysis of phonetic structure and spelling of words.
- 2) Phonetic reproduction of the assimilated lexical units.
- 3) Reading texts containing the lexis assimilated receptively.
- 4) Listening to texts with receptive lexical material.
- 5) Working with separate words: reading, listening, translation.

Work with words in a sentence and work with discrete lexical units

Considering different issues of working on lexis methods, we should first of all clear up the goal of this work. Learning lexis apparently makes for practical mastering of the language. Consequently the system of lexical exercises should build up the skill of using assimilated words for expressing one's thoughts in English and understanding the corresponding oral and written reports containing those words. Teachers should combine work on words

in a context with work on separate lexical units.

To get acquainted with phonetic characteristics of one particular word and master its pronunciation, in some cases it might be helpful to withdraw the word from context, analyze its phonetic structure and compare it with analogous phonations in other words. Otherwise the student may find it hard to catch the specific characteristics of the word pronunciation.

The work on an individual word is also meant to teach the students to identify and comprehend it in different contexts. For this purpose it is helpful to use exercises in which the student focuses on a separate word and its meanings and analyses the structure of the word and its word-building elements, which is necessary for fluent use. There are also quite important exercises in which students first recollect an individual word with associations that were made up on the basis of the preliminary work on that word in context, and then bring it into a word combination and into a sentence. Such exercises are a supplement to the ones in which direct reproduction of word combinations and sentences with the word takes place.

Explicit work with discrete words

In my lectures I do not use the methods of work with separate words so often. One of the reasons for this is that Japanese students are already used to learning lexis separately from grammar, cramming the vocabulary intensively. In Japan teachers tend to emphasize too much on features of single words and do not have enough focus on lexical collocations. Memorizing words from long vocabulary lists and/or repetitive usage of word cards seem rather dull and mechanical activities. They imply very little student involvement and usually are of little effect.

Still, there are some methods of work with separate words I recommend using in teaching English vocabulary.

1. Translation of separate words from English into Japanese and vice versa.

This kind of work is useful only when it is part of a system of exercises and not the main method of work on lexis. By no means should it be reduced to ineffective mechanical cramming of words.

Here are several methods of work using translation of discrete words.

- a) **The teacher says a word and the student translates it orally.** As a rule, I make one word from the list to be translated at least 3 times by different

students.

b) **The teacher gives out word cards to students and the students translate them orally or in writing.** While working with cards the teacher can give individual assignments.

c) **The teacher dictates some words and the students translate them in writing in their notebooks or on separate sheets of paper.** Then the teacher checks them. But considering the time you need to check the words, this method seems improper for big classes (of more than 20 students).

d) **The teacher gives a Japanese word to translate into English.** The students translate the word and then try to make sentences with it. Sometimes we may have a dilemma, when a student translated the word correctly, but using another word the teacher did not expect him to use. Usually I do not mind if the word is not from the vocabulary list and rather welcome it, but sometimes we need to correct the student if he uses words that are not on the list on purpose.

e) **The teacher gives a word and then says in what context (word combination, sentence) it should be used.** This is one of the best ways to explain the real meaning of the word. Japanese students are often very particular about how to translate the one and only word in the sentence. It often becomes an obstacle for them to grasp the meaning of the whole sentence. Moreover, in many cases, the meanings of Japanese and English words do not fit. Where English speakers can see only one meaning Japanese speakers may discern two (and vice versa). So explanation of the context is vital when you teach English in Japan.

In my lectures I sometimes use crosswords, word quizzes or games to make the memorizing not a hard task, but rather the fun of being engaged in some competition.

2. Grouping words.

The teacher asks students to recollect all the words (lexis) they know which have a certain common feature and to group them. The principle of grouping can vary depending on the task:

a) Group the words the students learn in categories of their own making.

b) Group similar looking words.

c) Group strange looking words.

d) Find synonyms and antonyms and group them.

e) Group the words based on their grammar description.

f) Group the words belonging to word-building elements.

g) Group the words belonging to a certain topic.

Grouping words by a topic principle is especially important. Grouping and reproducing word combinations and sentences on the basis of a certain topic is an intermediate exercise between a topic grouping of words and natural communication in a foreign language.

3. Analysis of word-building elements.

One of the tasks of work on lexis is teaching students to distinguish the root, prefix and suffix and understand the role of these elements in forming the meaning of the word and its grammatical description. While explaining English word-building elements to Japanese students, who used to think of a word as a “combination of kanji (Chinese characters used in Japanese),” it may be helpful sometimes to use their concept. Thus English prefixes -un- or -im- can be associated with Japanese kanji “fu” 不 or “mu” 無. (Eg. possible = 可能 “kanou”, impossible = 不可能 “fukanou”)

In other times the following exercises can help to develop students’ skills of differentiating word-building elements and comprehending their semantics:

a) At the beginning the teacher draws the students’ attention to the structure of the known word and then gives them a new word with some analogous word-building elements asking them to define its meaning.

This exercise develops the skill of identifying the meanings of new words on the basis of word-building elements.

b) The teacher introduces a new word orally or in writing and asks the students to identify its structural elements and recollect the words having the analogous structure they have learnt earlier. Or if this task is too difficult for the students, the teacher may ask them to find similar words in the text, vocabulary list, etc.

c) While classifying and reviewing the assimilated lexis the teacher organizes the students’ work on grouping the words having common word-building elements (see 2f)

4. Recollecting and reproducing separate words

with the help of visual aids.

The teacher shows an object or a picture of an object and the students say what they see in English.

The student's answer may include:

- a) A word denoting an object;
- b) A sentence of a given type with the word.

The teacher may use a complex picture for giving the following assignments:

- 1) To name the objects pointed by the teacher;
- 2) To name as many objects as possible (in such a case the student independently finds the objects he can name in English).

The teacher may also demonstrate a picture or some objects on the table telling the students in advance that they have to memorize everything they can see. Then he covers everything with a sheet of paper and students name whatever they have seen in English.

5. Recollecting and reproducing the words on the basis of the teacher's leading instructions. For example:

- a) Vote on the most difficult word to spell. Try to spell it individually or corporately.
- b) Vote on the most difficult word to remember (explain why this word?)

6. Recollecting and reproducing the words whose meanings the teacher describes in English.

Work with words in sentences

In my opinion the work on words in sentences can be highly effective. Students can identify not only the meaning of the word, but also what sentences or what environment the word is usually used in (word's sphere of use). The activities of that type should raise students' consciousness of the significant lexical items, and encourage learners to analyze the language and learn from what they discover themselves.

Here are some exercises of this type:

1. Reproducing sentences containing the given word.

This exercise may have several variants:

a) **The teacher says a word and gives the students some time for thinking it over, then calls the students who will have to make up a sentence with the word.** The exercise is good for competitive classes, but not for the groups where there is an obvious difference in English knowledge between the best students and their classmates.

b) **The teacher gives the same task to a**

student individually. This exercise is very good for small classes.

c) **The student gets some cards with a number of words, reads a certain word and makes up a corresponding sentence with it.**

d) **The teacher reads the words one after another and the students write down the corresponding sentences in their notebooks.** The teacher checks them later.

The above-listed exercises are highly effective for small classes. Focusing on separate words in the exercises is combined with an immediate transition to their contextual use. For big classes those exercises may be combined with word translation. Then the word or word combination in Japanese is the main point and the student's task is to silently translate it and immediately make up a sentence or a series of sentences with the word.

2. Filling in the blanks.

While doing this exercise the students insert the missing word or word combination in the sentences they read or hear. To be effective the exercises should be made up in such a way that the students' attention should be focused not only on the words they are inserting in the blanks, but also on the sentences that the students are completing. This exercise can also be done in the form of a game, a quiz or a group competition, which makes it easy to use even for indifferent or reluctant students.

3. Substitution tables.

The process of substitution does not by itself guarantee the needed results; the teacher should use the following methods helping to focus the students' attention on the proper learning material and fix it in their memory. They are as follows,

1) After working on the substitution table the teacher gives a number of tasks:

a) Say/write down as many sentences as you can recollect from the ones you made up with the help of the substitution table.

b) Say the sentence you have made up with the word...(the teacher says the word).

c) Translate the sentence (the teacher gives the sentences made up with the help of the substitution table).

d) Say the words that could be used for substitution in the table besides the ones that you have already used.

In a case where the students do the exercises

badly, they should work on the table and then turn back to the above-mentioned exercises because they oppose the tendency of mechanically reproducing the material prompted by the table and help to fix lexical, phraseological and structural material in their memory.

2) After working on the substitution table it is good for students to work without seeing it.

In such a case the following methods of work are possible:

a) The teacher requires that the students should reproduce the model sentence impeccably.

b) The teacher prompts some English words for substitution in the model sentence and the students say the new sentences.

To make sure that the students are doing the work conscientiously, sometimes it is expedient to prompt the word that alters the meaning of the sentence.

c) The teacher gives Japanese words and the students translate and substitute them in the sentences.

The described training work leads students to a significantly higher stage of substitution exercises.

4. Translating sentences.

The main demands for translating sentences (groups of sentences) as a method of assimilating lexis.

1) In the sentence given for translation the only unknown element should be the word that is to be assimilated. It means that the grammar construction of the sentence and other words needed for formalizing the thought expressed by a Japanese sentence should be assimilated in such a way that the students could reproduce them easily, without any preliminary thought required.

2) As for the new words introduced into the sentence for translation, they should be partially assimilated earlier with the help of some other exercises so as not to complicate the translation, allowing for easy recollection.

It should be noted that it is next to impossible to present all exercises and methods the teacher can use for teaching vocabulary. There are plenty of them.

Some tips for teaching English vocabulary in Japan

In addition, it should be mentioned that each country has its specific character that should be taken into consideration for successfully teaching English in

general and its vocabulary in particular. There is some information available that can be used as tips for teaching English vocabulary in Japan.

Miki Ikeda writes, "The Japanese student has a head start in learning English vocabulary. Although the origins of Japanese and English have no relationship, the Japanese use English words for many imported products, names of food, technological terms, medical terms, concepts and ideas, etc. When the student begins to learn English words, he has already many known words, which he uses daily.

Example:

Terebi	koohii	mania
for television	for coffee	for maniac
[t'l'bi]	[kohi]	[mania]

However, these English words could be a drawback. Since Japanese changes the pronunciation of these English words into a more Japanese style, when the student pronounces these words in English, he tends to pronounce them with a Japanese accent. The teacher needs to be aware of the student's pronunciation of these English words." (M. Ikeda)

Another tip may be found in the article "The role of the first language in foreign language learning" by Paul Nation, *Asian EFL Journal*, June 2003 Volume 5. Issue 2, Article 1. In it he writes, "Increasingly, languages borrow a lot of words from English. Daulton (1998) for example estimates that about half of the most common 3000 words of English have some borrowed form in Japanese. Sometimes the borrowing has resulted in so many formal and semantic changes that the relationship to English is hard to see (*wan-piisu* - a one piece dress), but most often the relationship is clear (*waasuto* - worst). Encouraging learners to notice this borrowing and to use the loan words to help the learning of English is a very effective vocabulary expansion strategy."

Daulton (1998) also argues that "Japanese loanwords are a preexisting lexical resource that students can employ in more effective ways to improve their acquisition of English vocabulary." and "the recall and recognition of lexical items with loanword cognates, i.e., basewords, is considerably better than for those without, i.e., nonbasewords."

According to Schmitt and Meara (Schmitt and Meara, 1997) "Japanese students do not know many inflections and derivative suffixes for English verbs." In view of this it might be also effective for English teachers in Japan to introduce the system of building

vocabulary through prefixes, roots and suffixes into their classrooms. In his paper “Building Vocabulary Through Prefixes, Roots & Suffixes”, W. Pittman states the following, “*By slowly and steadily studying the most prominent prefixes, roots, and suffixes, students can acquire a vocabulary that is far greater than the sum of its parts. To my mind, there is no aspect of language that is more important than vocabulary building and comprehension. Using this system, I have been rewarded over and over again by grateful students. With patience and perseverance, I am sure you will have the same experience.*”

J. Finnis adds another tip, “*The key to successful English teaching in Japan is remembering most Japanese learners have already had 6 years plus of English lessons at school. They are not looking for more of the same... Many learners have considerable latent knowledge of English (vocabulary and grammar rules) but have little opportunity to put it to use. The most important quality of a conversation teacher is a friendly and engaging personality, able to give learners the confidence to put into practice what they already know.*”

Conclusion

In conclusion I would like to emphasize the importance of teaching English vocabulary from the students’ point of view. As the recent survey in our university shows, 76% of first year students and 74% of second year students mentioned English vocabulary to be one of their priorities in studying English. Many Japanese students think that their English vocabulary is inconsistent and would like to improve it. But at the same time they are reluctant to apply the grammar knowledge and English vocabulary they already have in everyday life. So, in my opinion, the problem should be considered not in the field “how to teach them English vocabulary,” but “how to make them apply what they already learned”. And if the students do not use the knowledge they already have, they will never feel confident enough to take part in conversation even on the simplest of topics. Considering this I would like to encourage English instructors in Japan to try some new approaches based on communication (such as task-based language teaching (TBLT), communicative language teaching (CLT) and so on), rather than sticking to a traditional grammar-based approach, which still dominates in most high schools and universities in Japan.

Acknowledgement:

For his advice, encouragement and corrections of this paper, I would like to express my appreciation to Gregg McNabb, an associate professor at Shizuoka Institute of Science and Technology.

Bibliography

- 1) Daulton, F.E. *Japanese loanword cognates and the acquisition of English vocabulary*. The Language Teacher 22, 1, 1998, p.17-25.
- 2) Finnis, J. *Travel, Teach, Live in Japan*. Tips on Teaching English in Japan <http://www.eslteachersboard.com/cgi-bin/japan-info/index.pl?read=1569>
- 3) Fries, Ch. *The Structure of English*, Longmans, London, 1957.
- 4) Gruzinskaya, I. A. *Methods of teaching English*. Moscow, 1938 p. 97-98.
- 5) Hunston, S., Francis, G. *Verbs observed: a corpus-driven pedagogic grammar*. Applied linguistics 19(1), 1998. p. 45-72.
- 6) Ikeda, M. *Teaching English to Japanese Students* <http://humanities.byu.edu/elc/Teacher/japanesestudents.html>
- 7) Lewis, M. *The lexical approach: the state of ELT and a way forward*. Hove: Language teaching publications, 1993, p.88-90.
- 8) Little, D. *Words and their properties: arguments for a lexical approach to pedagogical grammar*. In: T. Odlin, ed. *Perspectives on Pedagogical Grammar*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, p.135.
- 9) Nation, P. *The role of the first language in foreign language learning*, Asian EFL Journal, June 2003 Volume5.Issue2,Article1. http://www.asian-efl-journal.com/june_2003_PN.php
- 10) Pittman, W. *Building Vocabulary Through Prefixes, Roots & Suffixes* Nagasaki University Faculty of Environmental Studies (Nagasaki, Japan) <http://iteslj.org/Techniques/Pittman-BuildingVocabulary.html>
- 11) Shmitt, N., Meara, P. *Researching vocabulary through a word knowledge framework*. Studies in Second Language Acquisition, 19, p.17-36.
- 12) Sinclair, J.M. *Corpus, concordance, collocation*. Oxford: Oxford University Press, 1991.

- 13) Widdowson, H.G. *Knowledge of language and ability for use*. Applied linguistics, 10(2), p. 128-137.
- 14) Wilkins, D. *Linguistics and Language Teaching*. London, Edward Arnold, 1972, p. 111-112.
- 15) Willis, D. *The lexical syllabus*, London, Harper Collins, 1990.
- 16) Willis, D. *Grammar and Lexis: some pedagogical implications* in J.M. Sinclair, G.Fox, M.Hoey (eds), 1993, p.83-93.
- 17) Willis, D., Willis, J. *Task-based language teaching: some questions and answers*. The Language Teacher 33, 3, 2009, p.3-8.
- 18) Zhinkin, N.I. *Speech Mechanisms*. Moscow, 1958, p.20.

解析解による板の曲げ・面内振動解析

Bending and In-Plane Vibration Analysis of Plates Using Analytic Solutions

浦田 喜彦

Yoshihiko URATA

Abstract : A method of simulation of the bending vibrations and in-plane vibrations of plates was presented already by the author. In the method, analytic solutions are used. The collocation method is applied to the analytic solutions expressed in the plane polar coordinates. The method shows a good efficiency and a good accuracy. However, we need more examples of examination in order to establish the reliability of this method.

1. 緒言

板の振動は至るところに例が見られる工学的な基本問題の一つであるが、そのシミュレーション法として閉じた形の解析解が利用できるのはわずかな場合しかない。解析的に解けない問題に対しては少し前まではレーレー・リッツ法やガレルキン法などの直接変分法が用いられていたが、それに対応できる範囲は限られていた。現在では有限要素法が主流であり、シミュレーションの範囲は飛躍的に増大した。しかし、有限要素法は基本的に場を分割する方法なので高次モードまでを解析対象に含めたいときには膨大な数の要素に分割しなければならず、常に最適な方法であるとは限らない。また、滅多にはないことではあるが、条件によっては不可解な計算結果が出てしまうことも知られており、この意味でも注意が必要となる。

できることならば状況に応じて使い分けられるように複数のシミュレーションの手段を確保しておきたい。著者はその一つの方法として解析解を各項とする級数に選点法を適用するという簡単な方法が有効であることを示してきた^{(1)~(3)}。ただ、現在までのところ、この方法の適用例が少ないので、説得力を

増すためにもさらに検討例を増やすことが必要な状況にある。この論文では平板の曲げ振動と面内振動の計算結果を実験と比較して検討した例を示す。

2. 曲げ振動の解析法

2.1 方程式と解表現 均一かつ等方性の板の定常曲げ振動の方程式はつぎのようになる。

$$\nabla^4 w - \alpha^4 w = 0 \quad (1)$$

この式は次のように変形できる。

$$(\nabla^2 + \alpha^2)(\nabla^2 - \alpha^2)w = 0 \quad (2)$$

ただし、 $\alpha^4 = \rho h \omega^2 / D$ で、 ρ , h , D はそれぞれ板の密度、厚さ、曲げ剛性であり、 ω は角振動数である。方程式(2)は2個のヘルムホルツ型の微分方程式に分解されるが、ここではその極座標系での解表現を用いる。原点において正則な一般解はベッセル関数、変形ベッセル関数を用いてつぎのように表される。

$$w = \sum_{n=0}^{\infty} \{A_n J_n(\alpha r) + B_n I_n(\alpha r)\} \cos n\theta + \sum_{n=1}^{\infty} \{C_n J_n(\alpha r) + D_n I_n(\alpha r)\} \sin n\theta \quad (3)$$

2.2 境界条件 境界条件として実験結果との対比の都合上、固定と自由の組み合わせだけを述べることにするとこれらは次のようになる。

【固定】

$$w = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial n} = \nabla w \cdot \mathbf{n} = 0 \quad (4)$$

2009年3月9日受理

* 理工学部機械工学科

【自由】

$$\left. \begin{aligned} m_n &= -D \left\{ \frac{\partial^2 w}{\partial n^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \right\} = 0 \\ q_n + \frac{\partial m_{ns}}{\partial s} &= -D \frac{\partial}{\partial n} \left\{ \nabla^2 w + (1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \right\} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに m_n は境界に沿う曲げモーメント, m_{ns} はねじりモーメント, さらに q_n はせん断力である. 式(5)の第2式は方程式が4階なのでせん断力とねじりモーメントを独立には指定できないのでそれらを組み合わせさせた等価せん断力で境界条件を指定することを表す. この条件は変分法で方程式と境界条件を導くごく自然に到達する.

式(4), (5)において n, s は境界上の点における法線, 接線方向の局所座標である (図1). 境界が滑らかな曲線である場合には式(5)の第2式において曲線に沿う微分と接線方向の微分の区別が必要になるのであるが, ここでは直線境界に限定することとしてこの区別を行わない表現にしてある.

法線, 接線方向の微分は図1に示す幾何学的な関係からつぎの関係に従うことになる.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial n} &= \cos(\varphi - \theta) \frac{\partial w}{\partial r} + \sin(\varphi - \theta) \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \\ \frac{\partial w}{\partial s} &= -\sin(\varphi - \theta) \frac{\partial w}{\partial r} + \cos(\varphi - \theta) \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2階以上の微分はこの関係を重ねて使用すればよい. 式(3)に微分を施した結果は文献(1)を参照されたい.

境界条件を近似的に満たす方法として選点法を用いる. すなわち, 境界上に離散的に節点を配置し, それらの点だけで境界条件を満たすようにするので

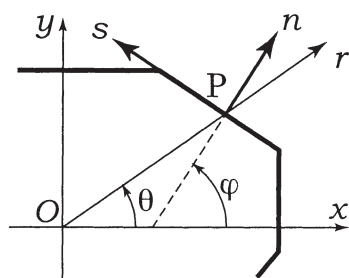


Fig.1 Global and local coordinates at a point on a edge.

ある. その際, 解級数の項数を節点数の2倍に等しくなるようにする. これは1節点あたりの自由度が2であるからである. このようにして未知係数に関する同次の連立一次方程式が得られるが, その係数行列の行列式を0に等値したものが振動数方程式である.

つぎに角点の扱い方を述べる. 角点をはさむ2辺の両方が固定あるいは自由である場合には法線方向を2辺の法線方向の中間にとって辺の中間に点がある場合と同じように扱う. 角点をはさんで境界条件が固定から自由へと変化する場合には, 角点を拘束の強い辺 (この場合には固定辺) の上にあるものとし, 法線方向も固定辺にあるものとして扱う. 角点の境界条件としては他に様々なものが考えられるが, 本論文では以上に述べたものだけに限定した.

2.3 スケールファクター

板の定常振動の一般解は式(3)のように表されるが, これを数値計算にそのまま供することは得策ではない. ベッセル関数は次数により関数値が大きく変化し, その影響で振動数方程式の行列式の値が大きく変動してアンダーフローやオーバーフローが発生することがあるからである. そこで, 式(3)の代わりに

$$w = \sum_{n=0}^{\infty} \{A_n \lambda_n J_n(\alpha r) + B_n \mu_n I_n(\alpha r)\} \cos n\theta + \sum_{n=1}^{\infty} \{C_n \lambda_n J_n(\alpha r) + D_n \mu_n I_n(\alpha r)\} \sin n\theta \quad (7)$$

という解表現を採用する. ここに λ_n, μ_n はベッセル関数や変形ベッセル関数の関数値の変動を抑える働きをするスケールファクターであり, さまざまな形で設定することができる. たとえば

$$\lambda_n = \mu_n = \left(\frac{\alpha d}{2} \right)^{-(n+1)} \quad (8)$$

である. d は計算上現れる節点の r 座標の最大値と最小値の間にある適当な距離である. 式(8)はベッセル関数を級数展開したときの初項を参考にした形である. 式(8)の他に

$$\lambda_n = \frac{1}{|J_n(\alpha d_n)|}, \quad \mu_n = \frac{1}{I_n(\alpha d_n')} \quad (9)$$

などもスケールファクターとして用いることができ

る. ここでは距離 d を関数の種類と次数によって変化させられるようにしてある.

3. 曲げ振動の計算と実験の結果

3.1 計算モデル ここでは図2に示す3個の例について計算した. 図では斜線を施した境界部分が固定され, その他の部分は自由辺になっていることを示す. 黒丸は固定辺上の点を, 白丸は自由上の点を表す.

図2(a)は基本的な場合で, 長方形板の相隣る2辺が固定および自由になっている場合である. 角点は両側の辺が共に自由である場合のみを自由として扱い, 他はすべて固定として扱った. 解析的には, 自由の角点における境界条件は等価せん断力ではなく, ねじりモーメントの跳びで与えるべきであることが示される. ところが, 図2のいずれの例においても自

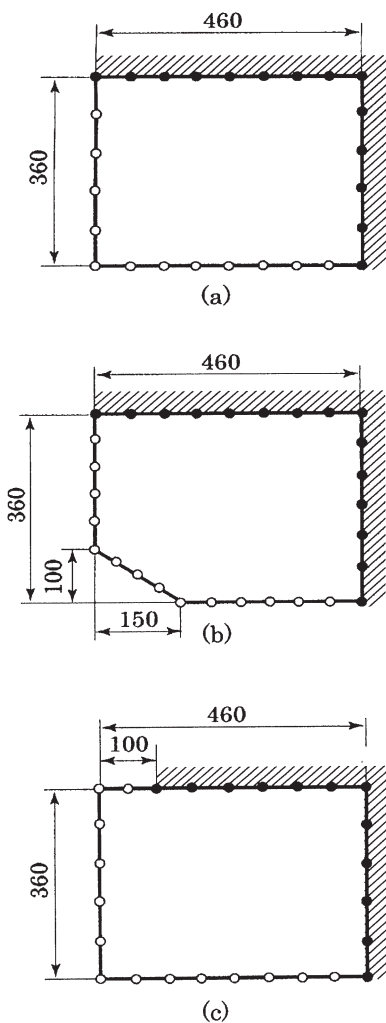


Fig.2 Partially clamped plates and nodal point configurations for the collocation method

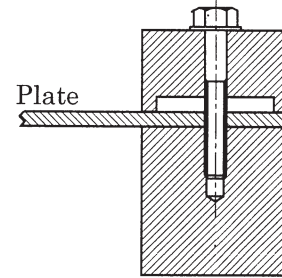


Fig.3 Jig for clamping edges of plates

由の角点で等価せん断力をそのまま用いて境界条件を与えても十分によい結果が得られた. 等価せん断力を計算するための法線方向は角点をはさむ2辺の法線方向の相加平均とした.

ねじりモーメントの跳びではなく, 等価せん断力を用いてよい結果が得られる理論的根拠については今後の検討が必要であるが, ねじりモーメントの跳びは部分積分の操作で得られるのに対してここでは有限間隔で配置した点でのみ境界条件を満たす近似計算であることが関わっていると推定している.

図2(b)は(a)の自由な角点の近傍を切り落として変則的な5角形とした場合で, 自由な角点が2個になる.

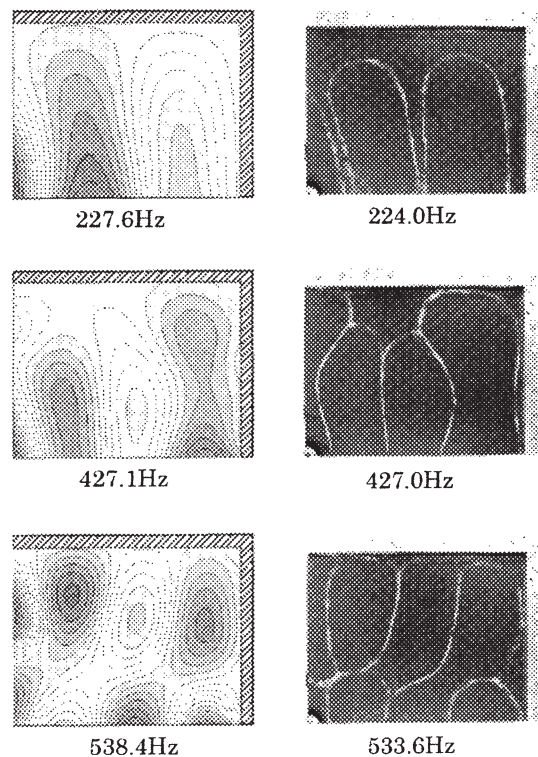


Fig.4 Calculated and observed vibration modes of the plate in Fig.2(a)

図2(c)は辺の途中で境界条件が固定から自由に変化するようにしたもので、条件が切り替わる境

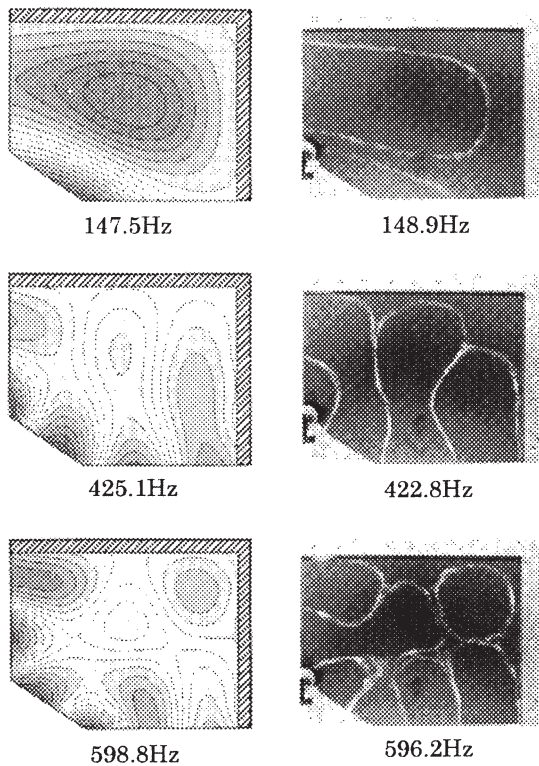


Fig.5 Calculated and observed vibration modes of the plate in Fig.2(b)

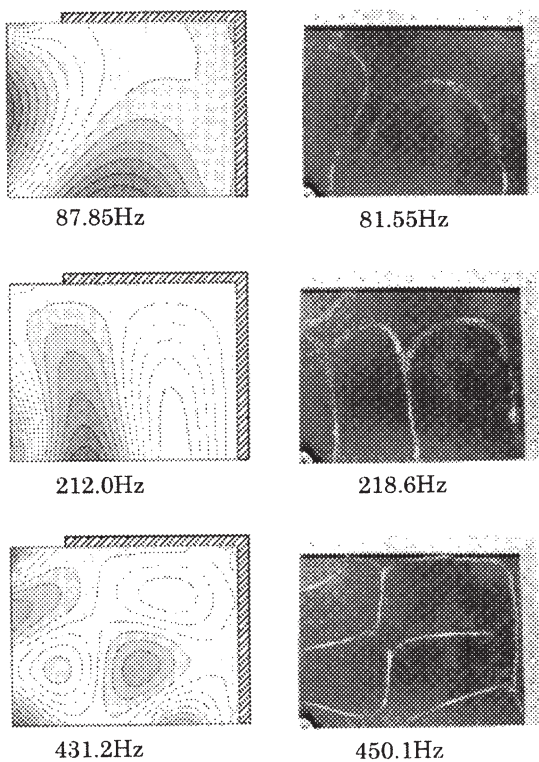


Fig.6 Calculated and observed vibration modes of the plate in Fig.2(c)

節点は固定とした。

3.2 実験方法 実験は厚さ3mmのアルミニウム板を用いて行った。辺の固定は図3に示すような軟鋼製の治具によっておこなった。加振は自由な角点近傍に微小鉄片を貼り付けて電磁加振器で行った。共振点を探索した後に板上に砂をまく単純なクラドニ法で振動モードを可視化した。

3.3 計算と実験の結果 図2に示した各場合について計算と実験を行った結果の代表例を図4~6に示す。計算と実験が全体によく一致していることが見て取れるが、とくに図6では辺の途中で境界条件が固定から自由へと突変する場合に境界条件の変化に対応する計算と実験の結果が得られていることが確認される。これらはすべて自由な角点における境界条件としてねじりモーメントの跳びではなく、等価せん断力を用いて計算した結果である。

4. 面内振動

4.1 面内振動の解析法 基本的な考え方はは曲げ振動と同じであるが、変位が曲げ振動ではスカラー関数であるのに対して面内振動ではベクトルになることが大きな違いである。変位で表した面内応力問題の定常振動の方程式は

$$c_p^2 \nabla \nabla \cdot \mathbf{u} - c_s^2 \nabla \times (\nabla \times \mathbf{u}) + \omega^2 \mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (10)$$

である。\$c_p, c_s\$ はそれぞれP波、S波の伝播速度である。変位 \$\mathbf{u}\$ がスカラーとベクトルのポテンシャルから導かれるとすれば \$\mathbf{k}\$ を板に垂直な単位ベクトルとして

$$\mathbf{u} = \nabla \varphi + \nabla \times \psi \mathbf{k} \quad (11)$$

この式を式(10)に入れて整理すればつぎの二つのヘルムホルツ方程式に分解することができる。

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 \varphi + \alpha^2 \varphi &= 0 \\ \nabla^2 \psi + \beta^2 \psi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

式(12)の解は

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \sum_{n=0}^{\infty} J_n(\alpha r) (A_n \cos n\theta + A'_n \sin n\theta) \\ \psi &= \sum_{n=0}^{\infty} J_n(\beta r) (B_n \sin n\theta - B'_n \cos n\theta) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ただし、\$\alpha, \beta\$ は次式で定義される。

$$\alpha^2 = \frac{\omega^2}{c_p^2}, \quad \beta^2 = \frac{\omega^2}{c_s^2} \quad (14)$$

変位成分は次式で計算される.

$$\left. \begin{aligned} u_n &= \frac{\partial \varphi}{\partial n} + \frac{\partial \psi}{\partial s} \\ u_s &= \frac{\partial \varphi}{\partial s} - \frac{\partial \psi}{\partial n} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

微分の公式は式(6)と同じ形である. ここでは全周自由の長方形板のみの結果を示すが, 境界条件は ν をポアソン比としてつぎのようになる.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &\propto \frac{2}{1-\nu} \left(\frac{\partial u_n}{\partial n} + \nu \frac{\partial u_s}{\partial s} \right) = 0 \\ \tau_{ns} &\propto \frac{\partial u_n}{\partial s} + \frac{\partial u_s}{\partial n} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

4.2 面内振動の数値計算と実験 計算と実験の対象は $500 \times 600 \times 5\text{mm}$ のアルミニウム長方形板とした. 計算では対称, 反対称性を利用して半領域($500 \times 300\text{mm}$)の周辺上に23点を配置した.

実験では2個の超小型加速度計を2個互いに直交するように組み合わせて面内の2方向の加速度を検出したが, 一定振動数のもとでの測定なのでこれはそのまま変位分布に比例した結果になる.

図7に代表的な計算例と対応する測定結果を比較して示す. 固有振動数に若干の相違が見られるが, これは実験では板を糸で吊っているのもその拘束の影響が出たものと考えられる. しかしながら, 計算と実験の結果はおおむねよく一致しているといつて差し支えないであろう.

5. 結 言

解析解に選点法を適用する解析法の有効範囲を広げる意味でここでは混合境界条件下の板の曲げ振動と周辺自由の板の面内振動の代表的な結果について実験との比較で検討した.

最近気づいたことであるが, 選点法は問題の性質(関与する関数の性質といつてもよい)によって非常に異なった結果を示すことがある. これまでは偶然によい結果が得られる問題だけを対象にしてきた可能性もあるので, 方法の限界を見極めるといふ意味では視点を変えた検討も必要であろう.

一連の研究には多くの学生の協力があったが, 中でも小岱正訓, 鈴木啓保両君の貢献が大きかったことを記して感謝する.

文 献

- (1) 浦田喜彦, 境界離散化解析解による板の曲げ振動解析 (第2報), 機論, **62**-596, C (1996), 1314-1320.
- (2) 浦田喜彦, 境界離散化解析解による板の曲げ振動解析 (第3報), 機論, **63**-605, C (1997), 22-28.
- (3) 浦田喜彦, 境界離散化解析解による板の面内振動解析 (選点法による検討), 機論, **64**-617, C (1998), 45-51.

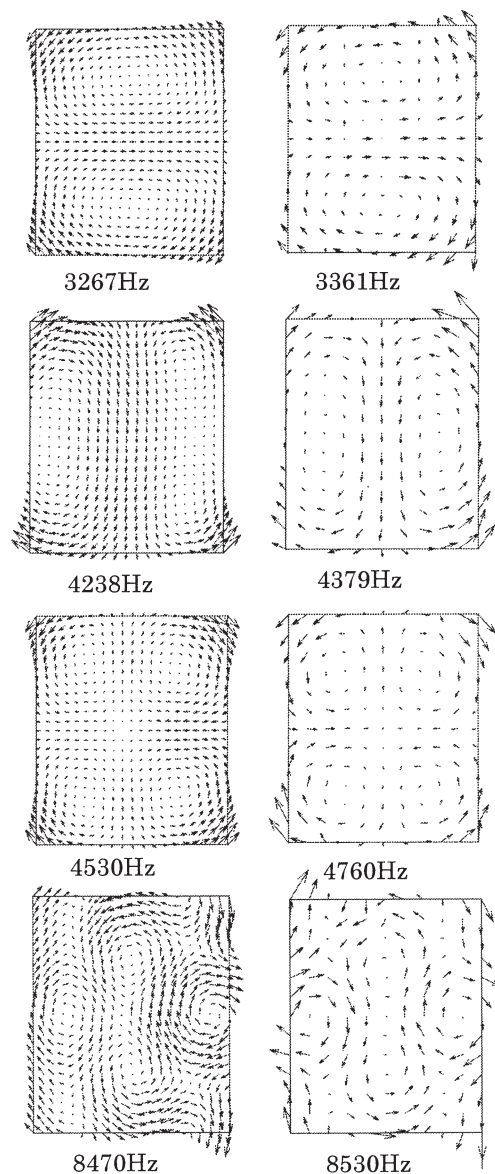


Fig.7 Calculated and observed modes of the in-plane vibration of a rectangular plate (The figure of the left-hand side of each stage and the right-hand side shows the calculation result and the experimental result, respectively.)

位置検出システムマルチネットワークの検討

An Optimum Design of Multi-network in Location Estimation System

郡 武治*, 加々美 友宏**
 Takeharu KOHRI and Tomohiro KAGAMI

Abstract:

We proposed an optimum location estimation system with following three modes.

- Location estimation by a single terminal
- Location estimation by multi terminals with Adhoc network
- Location estimation at coverless area

The experimental location estimation system using the delay time between radio and sound is confirmed with PIC(Peripheral Interface Controller) and FPGA(Field Programmable Gate Array).

In this paper, the principle of the proposed location estimation method is explained. The performance of the experimental system is given in the field test using small scale model train .

1. はじめに

位置検出法には、大きく分けて「三角測量法」と「パターンマッチング法」がある。

三角測量法は計算により求めるので精度は高いが処理が重くなる。さらに、位置検出に最低3つの検出端末が必要になる。パターンマッチング法は、あらかじめ計測したデータと比較することで位置を求める方法で、処理は軽い精度が低くなる。

提案する位置検出法は、一つの中継局で位置を検出できるようにすることで、位置検出の安定性を実現する。さらに、複数の検出端末を用いた場合は、高精度に位置検出をすることが可能になる。

今回は、室内に置いての高精度な位置検出を目的とするため、音波を用いる。

提案方法の特徴を以下に示す。

- 複数の中継器により位置検出の精度が向上する。
- 音波が届かなくても大体の居場所が特定できる。
- 少ない中継器で位置検出を行うことができる。
- 音波を使うため高精度である。
- 一つの中継器で位置検出を行えるので、3つの使い方ができる。
- 反射を使わず送信機から中継器にダイレクトに音波を飛ばすので、セッティング時間が半分になる。
- 微弱無線を使用しているので免許不要。

2. 提案する位置検出法

2.1 位置検出モデル

今回提案する方法では、一つの中継器で位置検出を行うため位置検出には以下の場合がある。

- (1) 一つの中継局での位置検出
- (2) 複数の中継局での位置検出
- (3) 音波が届かない時の位置検出

以下各検出法を詳細に述べる。

- (1) 一つの中継局での位置検出

図1は本位置検出モデルを示したもので、一つの中継局に複数(3つ以上)の超音波センサを設ける。それぞれの超音波の到達時間より複数のセンサからの距離を求め3次元での位置を特定する。

精度は下がるものの一つの中継局で位置を特定できるため、少ない中継局で位置を特定することができる。

位置検出の流れは、送信局がデータを送り同時に音波を発生させる。中継局は送信局からの電波と音波の時間差によって距離を求め、集計局にデータを送る。集計局は受信したデータをパソコンに送り、パソコンは3次元での位置を表示する。

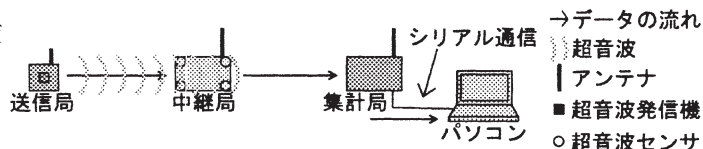


図1 一つの中継局での位置検出モデル

2009年3月16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 卒業生

(2) 複数の中継局での位置検出

図2のように複数の中継局で位置を検出し、それぞれの値を合成して精度を向上させることができる。また、いくつかの中継局が故障したり音波が届かなくても、一つの中継局が受信できれば位置を特定することができる。流れとしては、送信局がデータを送り同時に音波を発生させる。三つの中継局は送信局からの電波と音波の時間差によって距離を求め、集計局にデータを送る。集計局は受信したデータをパソコンに送り、パソコンは3次元での位置を表示する。

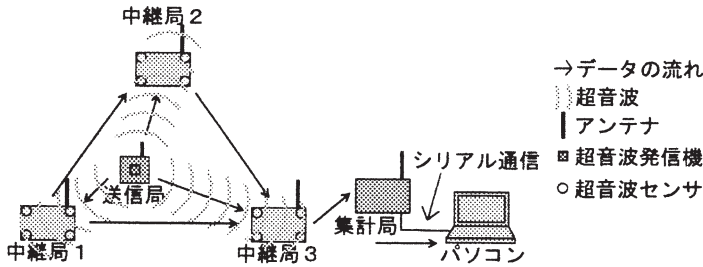


図2 複数の中継局での位置検出モデル

(3) 音波が届かない時の位置検出

図3のように音波が届かなくても電波が届けば、どこの中継局で中継したかによって、大まかな位置の特定も可能である。図3の場合、中継局2と3は一定時間待っても音波が届かないのでタイムアウトし、電波が来たことを送信する。中継局2と3が中継したことから、中継局2と3の電波の届く範囲に送信局があることがわかる。

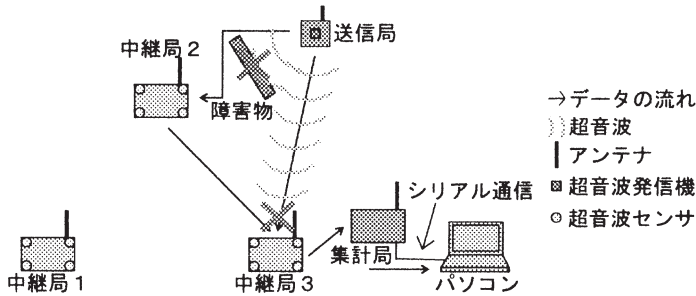


図3 音波が届かない時の位置検出モデル

2.1 システム仕様

位置検出端末の構成を表1に、位置検出端末の仕様を表2に示す。位置を表示するアプリケーションは Excel VBA を用いて作成した。

送信局は、単純な動作であり低消費電力と小型化を実現するため PIC マイコンを使用した。無線には、免許不要で使用できる 315MHz 帯の微弱無線を使用した。無線の伝送速度は、無線回路の立ち上がり、立ち下り時間から余裕を持って、10[kbps]とした。アクセス方式には、他の機器が通信していないときにランダムに送信する最もシンプルな Pure ALOHA を用いた。無線の伝送速度が 10[kbps]で RS-232C の伝送速度が 115.2[kbps]と無線に比べ RS-232C

の方が高速なため、受信局の外部出力には容易に作成できる RS-232C を用いた。

表1 位置検出端末の構成

	基本回路	無線回路	音波回路	外部出力
送信局	PICマイコン	送信	送信	X
中継局	FPGA	送信/受信	受信	X
受信局	FPGA	受信	X	RS-232C

表2 位置検出端末の仕様

無線周波数	315 [MHz]
変調方式	FSK
伝送速度	10 [kbps]
アクセス方式	Pure ALOHA
音波周波数	40 [kHz]

2.1.1 PIC (Peripheral Interface Controller)

今回、使用したPICの開発環境を以下に示す。

- Microchip 社の PIC 開発ソフトウェア「MPLAB Ver. 8.10」
- マルツ電波の PIC ライターキット「MPIC06-KIT」
- サンワサプライの USB→RS232C 変換ケーブル「CVR-9」

今回は送信局が単純な構成であり、小型で低消費電力な PIC12F629 を用いた。クロックには、PIC 内臓の 4 [MHz] クロックを使用した。プログラムは、アセンブラを用いた。データ送信タイミングがずれるのを防止するために、単純な時間待ちループのみ使用しているため、プログラムが長くなっている。それぞれ固有の局番号を PIC に書き込んであるので、スイッチによる局番号の切り替えは行えない。今回使用した PIC マイコンの概観を図4に示す。

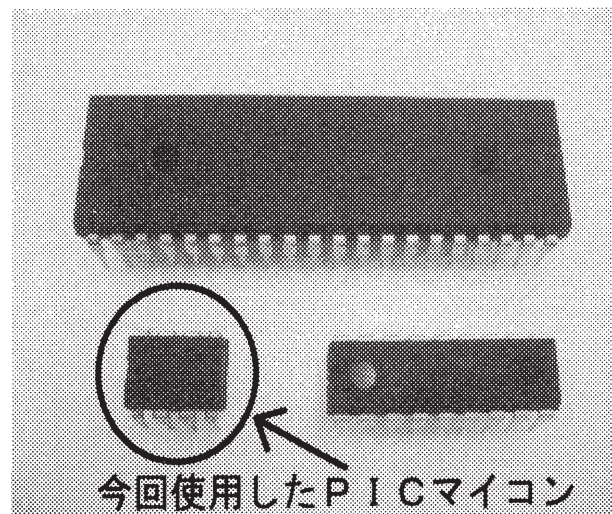


図4 使用したPICマイコンの概観

2.1.2 F P G A (Field Programmable Gate Array)

FPGA 開発ソフトウェアには、Altera 社の「Quartus Ver. 7.2 sp3」を、FPGA には TERAASIC 社の FPGA 評価ボード「MAXII Micro Kit」を使用した。

この評価ボードは、USB、50[MHz]の発振機、4つのボタン、8つのLEDを搭載している。FPGA への書き込みはUSBにより行える。クロックにはボード上の50[MHz]発振機を使用した。PIN_J6 に繋がっているので、クロックにはPIN_J6を指定した。

評価ボードに搭載している8つのLEDは、状態表示に使用している。それぞれのLEDは下の表3に示す状態で点灯する。

FPGA の開発は、「Block Diagram/Schematic File」という、回路ブロックをつなげて回路を実現する方法を使っている。

表3 LEDの点灯する状態

LED名	色	ピン	状態表示
LED7	赤	PIN_U4	無線送信ランプ
LED6	橙	PIN_V4	無線中継ランプ
LED5	緑	PIN_U5	無線受信ランプ
LED4	青	PIN_V5	SPI送受信ランプ
LED3	赤	PIN_V12	音波送信ランプ
LED2	橙	PIN_U12	音波センシングランプ
LED1	緑	PIN_V13	音波受信ランプ
LED0	青	PIN_U13	RS-232C送信ランプ

FPGA の回路の中で最も重要な、FPGA のメイン回路を図5に示す。

全体のFPGA回路ブロックの構成と機能を下の表4にまとめる。

今回使用したFPGA評価ボードの外観を図6に示す。

表4 FPGA回路ブロックの構成と機能

大きなブロック	小さなブロック	説明
送信部	メインクロック部	10[kbps]、10[kHz]のクロックを発生
	送信ゲート部	送信が始ってから、終わるまで送信回路を動か
	データ送信部	データを切り替えて、データを送信する
	送信判断部	局種別が送信局になっていなければ送信する
	中継判断部	同じデータが二回来た場合中継しない
	センシング判断部	局番号からセンシングするか判断する
	中継データ切り替え部	送信データから中継データに切り替える
	センシングデータ切り替え部	送信データからセンシングデータに切り替える
	中継タイミング部	ランダムなタイミングで2回中継する
	中継ゲート部	中継が始まってから、終わるまで中継回路を動かす
受信部	センシング時受信データ保持部	セツクを行っている間その時の受信データを保持する
	送信データ記憶部	これから送信するデータを記憶し順次送信する
	データNoカウントアップ部	送信するたびにデータNo.をカウントアップする
	タイミング抽出部	受信機のデータからエッジを抽出して、データを取るタイミングを決める
超音波部	UW検知部	受信したデータからUWを検出して、データか判断する
	受信ゲート部	受信が始ってから、終わるまで受信回路を動か
	データ抽出部	UW以降のデータを抽出する
	データ記憶部	受信したデータを記憶する
RS-232C部	超音波送信部	無線送信すると同時に40[kHz]の音波を発生させ
	送信判断部	中継でなく送信のときのみ音波を発生させる
	超音波受信部	データを受信してから、音波を検出するまでの時間をカウントする
	受信判断部	セツクを行っているときのみカウントする
LED表示部	メインクロック発生部	115.2[kbps]、115.2[kHz]のクロックを発生する
	送信ゲート部	送信が始ってから、終わるまで送信回路を動か
	送信判断部	局種別が集計局のときのみ送信する
	データ保持部	受信したデータを一時的に保存する
SPI部	データ送信部	データを切り替えて、データを送信する
	データ記憶部	表示するデータの一時記憶
	データ判断部	セツクされたデータのみを表示させる
	距離計算部	受信したデータから距離を計算する
SPI部	LED高速切り替え部	セツクを高速に切り替えて、複数のセツクを表示する
	送信・受信ゲート部	送信が始ってから、受信が終わるまで送受信回路を動かす
	メインクロック発生部	1.56[Mbps]、1.56[MHz]のクロックを発生させる
	データ送信部	データを送信して、A/Dコンバータにセツクを行わせ
	入力データ記憶部	A/Dコンバータからのデータを受けとる

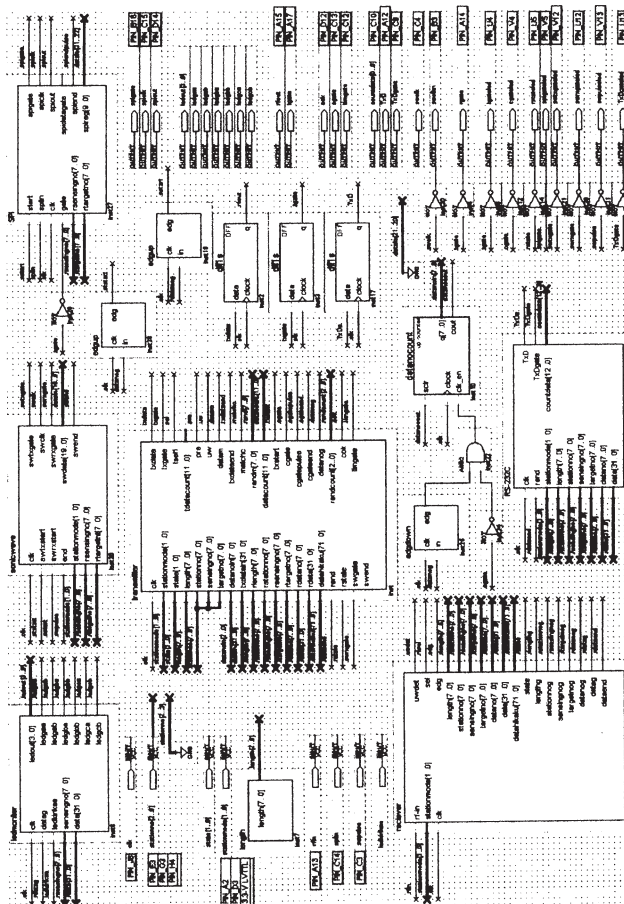


図5 メイン回路

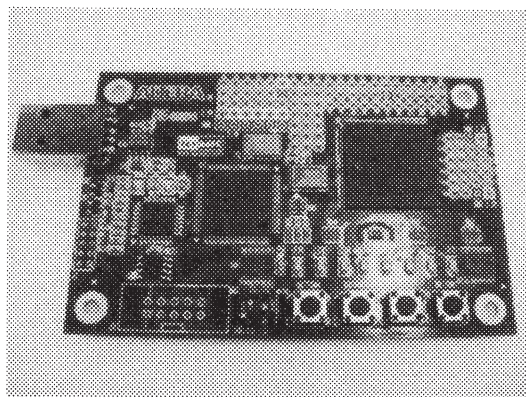


図6 使用したFPGA評価ボードの概観

2.2 送信局

送信局の主要部品を下の表5に示す。

表5 送信局の主要部品

部品名	メーカー	型番	数量
PICマイコン	Microchip	PIC12F629	1
アンテナ(リード線)	不明	不明	1
無線送信機	RF solutions	FM-RTFQ1-315	1
超音波発生器	日本セラミック	T40-16	4
インバータ回路	東芝セミコンダクタ	TC4069UBP	1
CMOS タイマ	ナショナルセミコンダクタ	LMC555	1
3.3Vレギュレータ	東芝セミコンダクタ	TA48033S	1

送信局の回路構成を下の図7に示す。

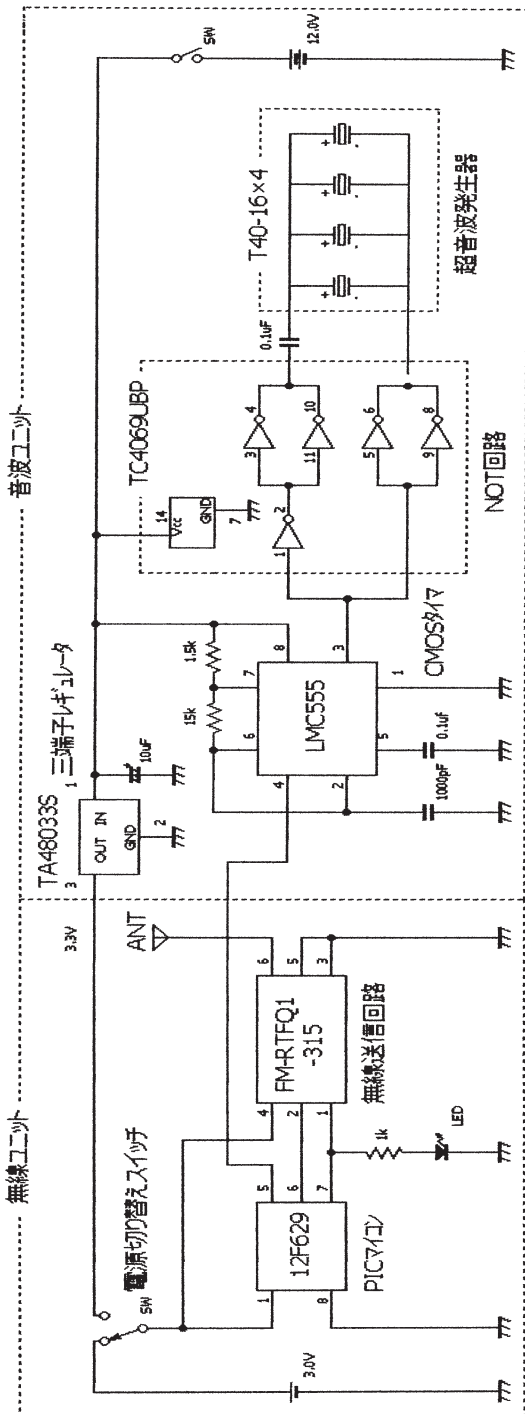


図7 送信局の回路図

送信局(音波ユニット無し)の概観を図8に示す。

送信局は、単純な回路なので小型になっている、PICを用いているので、コイン電池でも長時間の駆動が可能である。図の下の方にあるリード線がアンテナになっている。

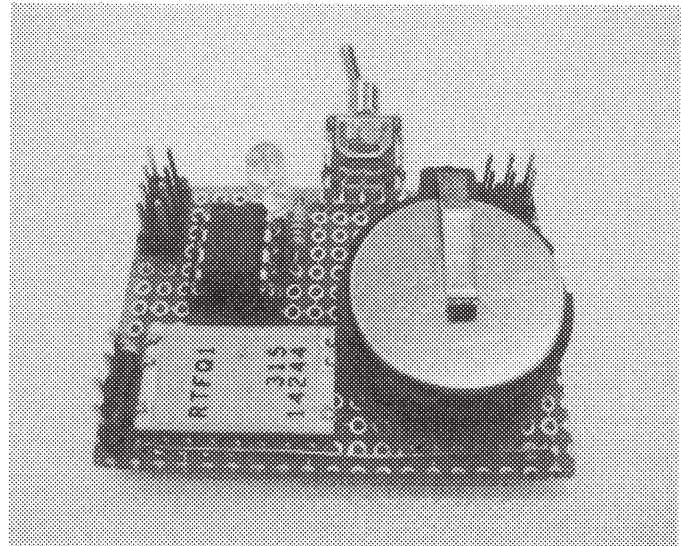


図8 送信局(音波ユニット無し)の外観

送信局の概観を図9に示す。

無線ユニットと音波ユニットをくっ付けたものである。音波を強くするため、単三電池8本で駆動している。超音波発生器を4つ、4方向に搭載してる。

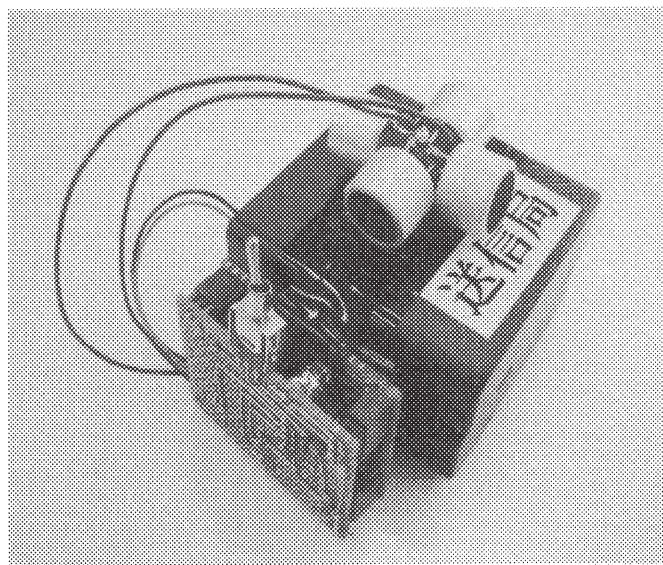


図9 送信局の外観

2.3 中継局

中継局の主要部品を表6に示す。

表6 中継局の主要部品

部品名	メーカー	型番	数量
FPGA評価ボード	TERASIC	MAX II Micro Kit	1
無線送信機	RF solutions	FM-RTFQ1-315	1
無線受信機	RF solutions	FM-RRFQ1-315	1
BNCコネクタ	TYC	BNC-R	1
315MHzヘリカルアンテナ	BNC野村電子	不明	1
方向性結合器	東光	6101	1
超音波センサ	日本セラミック	R40-16	1
オペアンプ	JRC日本無線	2115D	1
抵抗スイッチ	不明	WCAS0103	1
10bitA/Dコンバータ	Microchip	MCP3002	1
5Vレギュレータ	NECエレクトロニクス	μPC29M05	1
3.3Vレギュレータ	東芝セミコンダクタ	TA48M033F	1

中継局の回路構成を図10に示す。

設定スイッチは、StationNo. (3bit)、Stationmode (2bit) となっている。Stationmodeは、送信、送信+中継、中継、受信の4種類がある。

- StationNo. 000~111
- Stationmode 00~11
 - 送信 00
 - 送信+中継 01
 - 中継 10
 - 受信 11

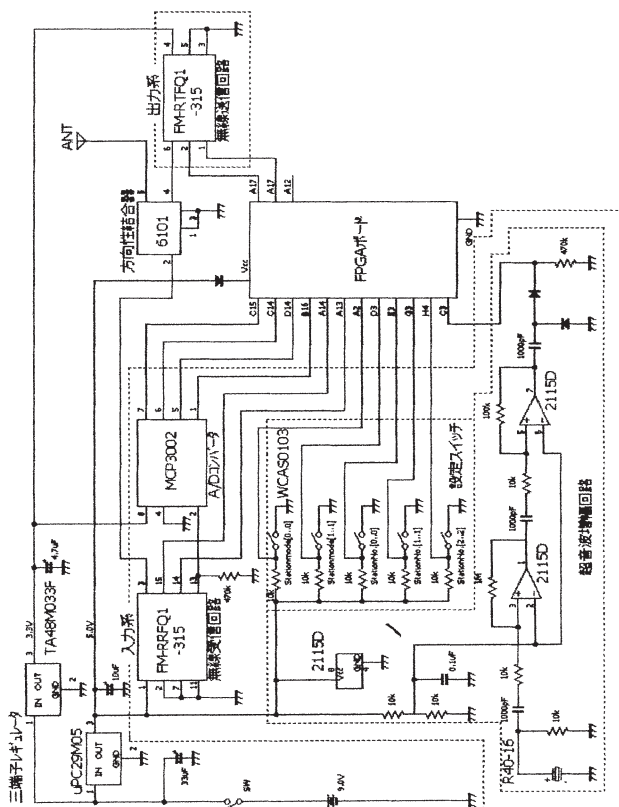


図10 中継局の回路構成

中継局の概観を図11に示す。

今のところ、音波センサを一つ搭載している。

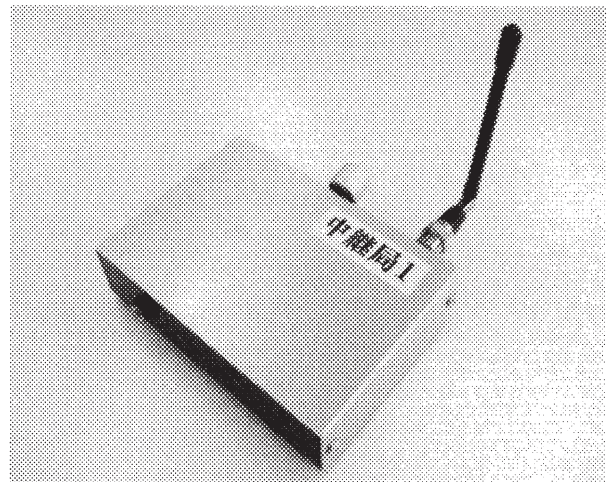


図11 中継局の外観

2.4 集計局

集計局の主要部品を下の表7に示す。

表7 集計局の主要部品

部品名	メーカー	型番	数量
FPGA評価ボード	TERASIC	MAX II Micro Kit	1
無線送信機	RF solutions	FM-RTFQ1-315	1
無線受信機	RF solutions	FM-RRFQ1-315	1
BNCコネクタ	TYC	BNC-R	1
315MHzヘリカルアンテナ	BNC野村電子	不明	1
方向性結合器	東光	6101	1
RS232C IC	ANALOG DEVICE	ADM3202AN	1
オペアンプ	JRC	2115D	1
抵抗スイッチ	不明	WCAS0103	1
10bitA/Dコンバータ	Microchip	MCP3002	1
5Vレギュレータ	NECエレクトロニクス	μPC29M05	1
3.3Vレギュレータ	東芝セミコンダクタ	TA48M033F	1

集計局の回路構成を図12に示す。

設定スイッチは、中継局と同様である。

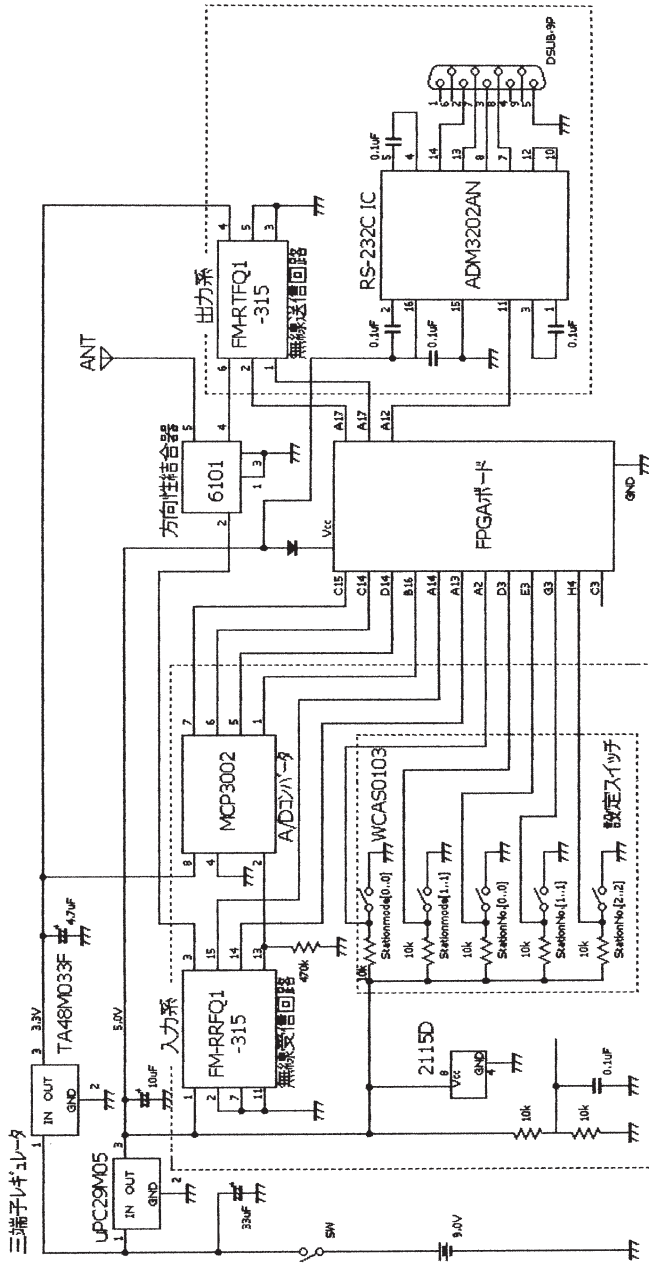


図 12 集計局の回路図

集計局の概観を図 13 に示す。
左側に RS-232C を搭載している。

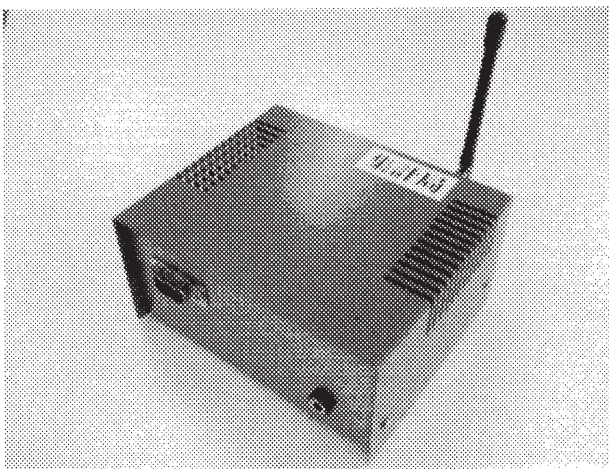


図 13 集計局の外観

2.5 無線信号データ構成

簡易でありながら障害に強い群伝送アドホック通信を用いている。あらかじめ、それぞれの局には固有の局の番号を割り当てておき、局の番号が小さいほうから大きいほうへ中継を行う。

試作したセンサーネットワークにおける無線信号データの構成を図 14 に示す。Station No. はデータを送信した局の番号、Sensing No. は距離をセンシングした局の番号、Target No. はセンシングされた局の番号である。Data No. は送信局がデータを送信するたびにカウントアップされる。Data はセンシングした距離のデータである。これにより、受信したデータがどの送信局を、どの中継局で何回目にセンシングしたデータか特定できる。

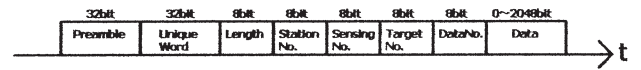


図 14 無線信号データ構成

送信局、中継局、集計局の後につく(数字)を局番号とし、StationNo=1、SensingNo=2、TargetNo=3 を(1、2、3)と表す。このとき、送信局→中継局→中継局→集計局と通信したとき、以下のように局番号が変わっていく。

- 送信局(1) 送信するときは、局番号を全て自分の局番号にする。
- ↓ (1、1、1)
- 中継局(2) 局番号が3つとも同じでありセンシングして中継する。
- ↓ (2、2、1)
- 中継局(3) 局番号が一致しないのでセンシングしないで中継する。
- ↓ (3、2、1)
- 集計局(4) 入ってきたデータをそのまま PC へ転送する。

2.6 位置表示プログラム

位置表示プログラムは、Excel VBA を用いて作成した。位置表示には、1 サンプルと連続サンプルがあり、リアルタイムで位置データを CSV 形式に書き出すこともできる。RS-232C 通信とキー入力に API 関数を用いている。RS-232C 通信では、8bit 単位でデータを伝送するので、データが何のデータか分からなくなる。そこで、UniqueWord を入れることにより、データを判別している。

Excel の仕様で、マクロが終了しないとグラフが更新されないようになっている。このため、連続でサンプルしたとき、Sleep 関数で CPU の負荷を減らしてもグラフは更新されない。そこで、OnTime 関数を使って、グラフを更新できるようにしたが、OnTime 関数は、最低 1 秒間隔で設定するので、1 秒に一回しかグラフが更新されない状態になっている。

(1) 距離の計算

音波と電波の速度を式(1)、(2)に示す。電波は音波に比べて桁違いに速いので、電波の速さを無視して、音波の時間差から計算を行う。ここで温度 $t[^\circ\text{C}]$ が $10[^\circ\text{C}]$ 変化すると $1.8[\%]$ の誤差を生じる。これでは環境によって大きく値が変わってくる。従って、温度センサによる補正も必要である。

$$\text{音波の速度} \quad 331.5 + 0.61t \quad [\text{m/s}] \quad \dots (1)$$

$$\text{電波の速度} \quad 3 \times 10^8 \quad [\text{m/s}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

音速の式を変形して、距離を求める式を導く。

$$(331.5 + 0.61t)s \quad [\text{m}]$$

時間 $s[\text{s}]$ を、FPGA のクロックカウント数 $c[\text{回}]$ とクロック周波数 $f[\text{Hz}]$ に置き換える。

$$(331.5 + 0.61t)c / f \quad [\text{m}]$$

FPGA のクロックが $50[\text{MHz}]$ 、温度 $t[^\circ\text{C}]$ を常温 14°C とし、音速を $340[\text{m/s}]$ として計算する。

$$l = 340 c / (50 \times 10^6) = c \times 6.8 \times 10^{-6} \quad [\text{m}]$$

以上で、距離を求める式を導いた。

(2) 位置の計算

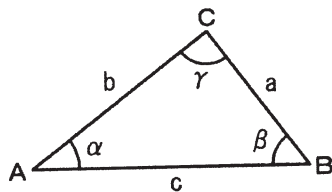
位置の計算は、余弦定理とオイラーの公式により求めている。余弦定理を式(3)、オイラーの公式を式(4)に示す。

余弦定理

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

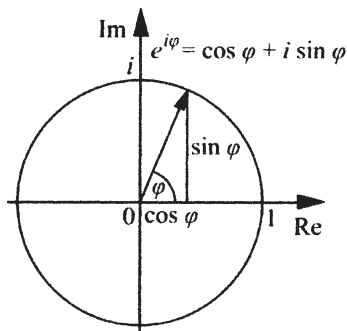
$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$



オイラーの公式

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta \quad \dots\dots\dots (4)$$



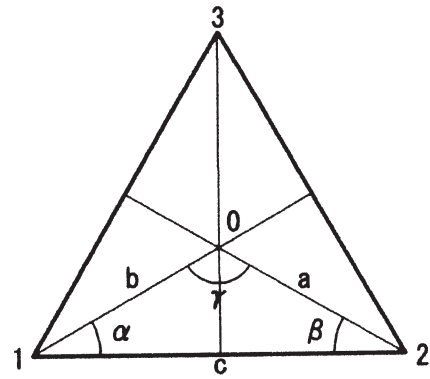
送信局の位置を 0、中継局 3 つの位置をそれぞれ、1、

2、3 とし長さを $r[\text{m}]$ とする。

中継器は固定であり、 r_{12} 、 r_{23} 、 r_{31} の三角形の各辺の長さがわかる。

センシングすることで r_{10} 、 r_{20} 、 r_{30} の距離も分かる。

3 つの中継局との距離は等しく正三角形になるとする。



三角形

① 角度を求める。

余弦定理を変形して、角度を導く。

$$2bc \cos \alpha = b^2 + c^2 - a^2$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

② 位置を求める。

オイラーの公式より実数(x軸)と虚数(y軸)を求める。中継器 1、2 の距離から求める場合

$$\text{実数(x軸)} \quad x_1 = b \cos \alpha$$

$$\text{虚数(y軸)} \quad y_1 = b \sin \alpha$$

中継器 2、3 の距離から求める場合

$$\text{実数(x軸)} \quad x_2 = b \cos(60^\circ - \alpha)$$

$$\text{虚数(y軸)} \quad y_2 = b \sin(60^\circ - \alpha)$$

中継器 3、1 の距離から求める場合

$$\text{実数(x軸)} \quad x_3 = b \cos(60^\circ + \alpha)$$

$$\text{虚数(y軸)} \quad y_3 = b \sin(60^\circ + \alpha)$$

③ 0 点を基準にする。

中継器から 0 点までの距離を求める。3 つの中継局は正三角形である。

中継器 1、2 の距離から求める場合

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \ x_{10} = \frac{c}{2} \quad , \quad \text{虚数}(y \text{ 軸}) \ y_{10} = \frac{c}{2\sqrt{3}}$$

中継器 2、3 の距離から求める場合

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \ x_{20} = -\frac{c}{2} \quad , \quad \text{虚数}(y \text{ 軸}) \ y_{20} = \frac{c}{2\sqrt{3}}$$

中継器 3、1 の距離から求める場合

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \ x_{30} = 0 \quad , \quad \text{虚数}(y \text{ 軸}) \ y_{30} = -\frac{c}{\sqrt{3}}$$

中継局から 0 点までの距離を引いて、0 点を基準とした位置を求める。

中継器 1、2 の距離から求める場合

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \ x_1' = x_1 - x_{10} \quad , \quad \text{虚数}(y \text{ 軸}) \ y_1' = y_1 - y_{10}$$

中継器 2、3 の距離から求める場合

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \ x_2' = -x_2 - x_{20} \quad , \quad \text{虚数}(y \text{ 軸}) \ y_2' = y_2 - y_{20}$$

中継器 3、1 の距離から求める場合

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \ x_3' = x_3 - x_{30} \quad , \quad \text{虚数}(y \text{ 軸}) \ y_3' = -y_3 - y_{30}$$

④ 3 つの位置の平均を取る。

$$\text{実数}(x \text{ 軸}) \quad x = \frac{x_1' + x_2' + x_3'}{3}$$

$$\text{虚数}(y \text{ 軸}) \quad y = \frac{y_1' + y_2' + y_3'}{3}$$

位置表示ソフトウェア、Excel の画面を下の図 15 に示す。

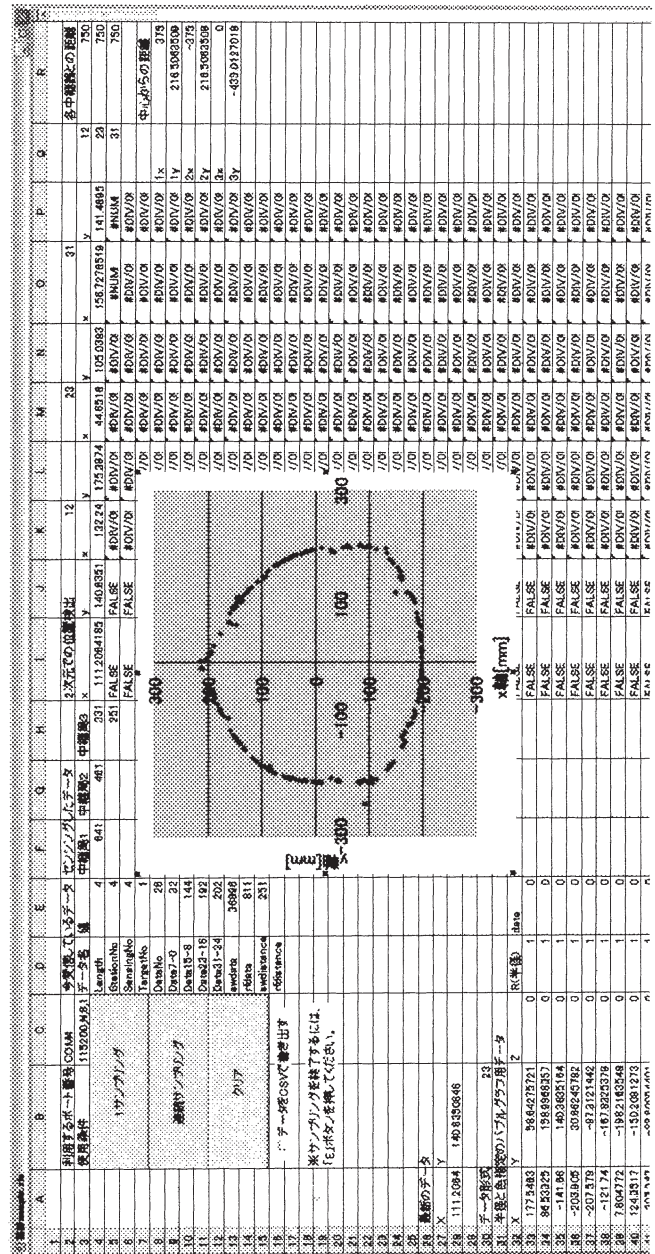


図 15 位置表示ソフトウェア

3. 距離測定システム

3.1 距離測定モデル

音波による距離測定の構成を図 16 に示す。図 16 のように送信局がデータを送信し、音波を発生させる。中継局は送信局からのデータを受けると、音波が到達するまでの時間を計測し距離を求めデータを送信する。集計局は中継局からデータを受信し、距離を LED に表示する。電波は音波に比べて桁違いに速いので、電波の遅延時間を無視し、音波の遅延時間だけを考える。

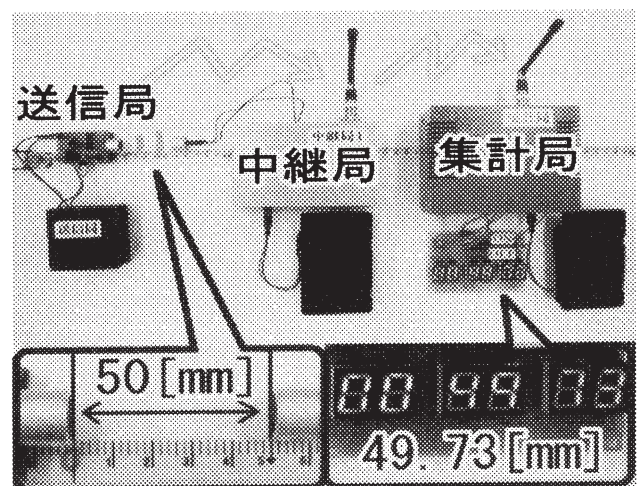


図 16 距離測定系の構成

3.2 距離測定結果

実際の距離と測定した距離の関係を図17に示す。二つの値があるところがあるが、これは計測時に二つの値が交互に切り替わり、値が安定しなかったため、二つの値が存在する。

のこぎり波型の誤差があることがわかった。また、測定の変換を変えると、ギザギザになる距離がズレてくる。原因としては、音波が反射して、強めあたり弱めあたりすることで、強度が変わり、強度によって、超音波センサや音波増幅器の応答速度が変わってくるということが考えられる。音波の強度によって、応答速度の差を計測し、補正する必要がある。

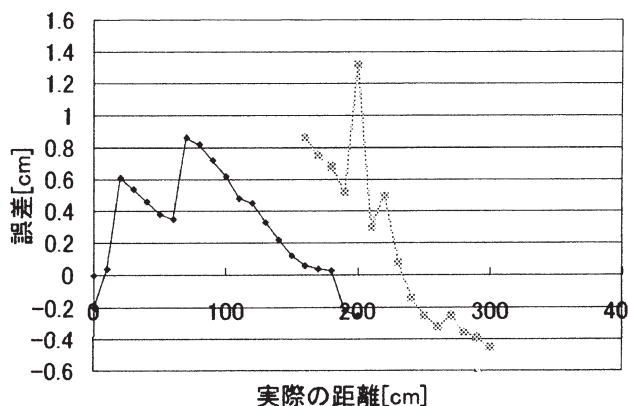


図17 実際の距離と誤差の関係

4.2 位置検出結果

位置検出の結果を図19に示す。

大体の位置検出はできたが、一部にズレを生じている。特にブラレールが右上に来た時のズレが大きい。音波センサ、音波増幅器の過渡応答特性の違いによるものと考えられる。特性を合わせるか補正する必要がある。距離測定システムと同様、音波強度による応答速度の違いによる誤差も考えられる。

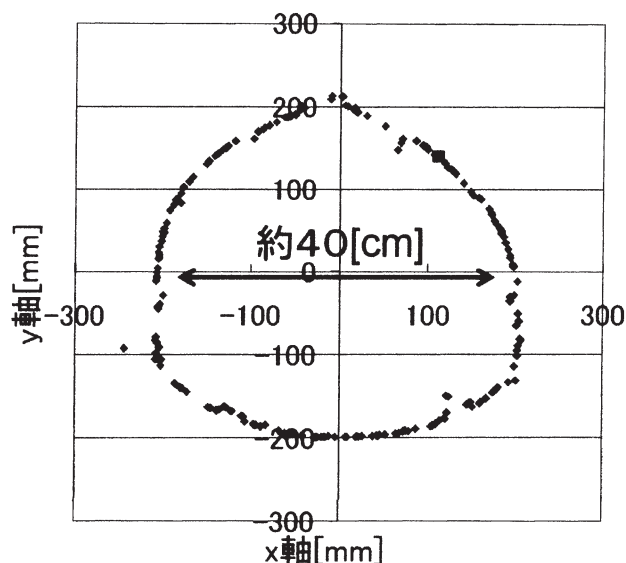


図19 ブラレールの軌跡

4. 位置検出システム

4.1 位置検出モデル

試作した位置検出システムでは、ほぼリアルタイムで位置を検出し表示することができる。

2次元の位置検出システムの構成を図18に示す。ブラレールの上に送信局をつけ、走っているブラレールの位置を特定する。位置検出の流れは、送信局がデータと音波を送信し、三つの中継器はその電波と音波の時間差を計測し、中継する。集計局は中継器からのデータをパソコンに転送し、パソコンは、集計局からのデータを計算して、2次元の位置を表示する。位置を表示するアプリケーションは、Excel VBAを用いた。位置の計算は、余弦定理とオイラーの公式により求めている。

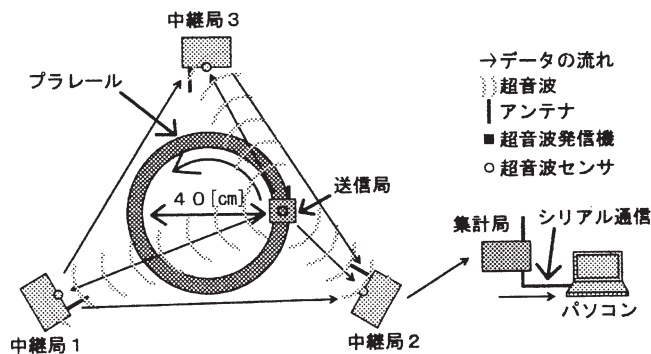


図18 位置検出モデル

5. あとがき

下記のモードを持つ位置検出法を提案し、安定した位置検出システムを構築することができた。

- ① 一つの中継局での位置検出
- ② 複数の中継局での位置検出
- ③ 音波が届かない時の位置検出

試作において、以下の問題が残った。

- ・音波による距離測定システムの制作
のこぎり波型の誤差があることがわかった。
音波の反射やデータ誤りが考えられる。

・2次元での位置検出システムの制作
大体の位置検出はできたが、一部にズレを生じている。音波センサ、音波増幅器の特性の違いによるものと考えられる。

特性を合わせるか補正する必要がある。

今後の課題

- ・音波の指向性問題を解決する。
超音波センサは、反射させて使うことが多く、指向性の鋭い製品が多い。このため、指向性の広い超音波センサは手に入りにくい。カーステレオの小型ツイータなら音の大きさと指向性をカバーできるかもしれないが、スピーカの指向性は調べても分からないのが現状である。
- ・一つの中継器で位置検出を行えるようにする。

中継器に複数の超音波センサと超音波増幅回路を搭載

することで実現できる。

- ・複数の送信局の位置を特定する。

位置表示ソフトウェアを少し改良すれば表示は可能だが、送信局には無線受信機がついていないため、データが送信されているか分からずデータが衝突する可能性がある。無線受信機を搭載すると消費電力が大きくなり、サイズが大きくなる。電波強度をセンシングすることでデータが送信されているか判断することが望ましいと思われる。

- ・複数の中継器を用いて、広い空間の位置検出を実現する。

中継器を複数作る必要がある。位置を表示するソフトウェアを大きく改良する必要がある。中継局が増えるので回線の使用率が上がり、伝送効率が悪くなる。アクセス方式を一定間隔でデータを送信する「Slotted ALOHA」などに変更する必要がある。

- ・3次元での位置が確認できるソフトウェアを開発する。

3次元で位置を表示できるソフトウェアがあったとしても、RS-232Cからのデータをソフトウェアに送り、リアルタイムに表示しないといけないため、自分でソフトウェアを作る必要がある。3次元に表示するには、DirectXを使う方法がある。DirectXは、本来3次元のゲームを開発するためのC++ライブラリであるが、Win32APIを用いることで、RS-232Cからのデータを受信して、3次元での位置を表示することが可能である。しかし、DirectXは使用する関数が多く難しいため、開発に苦労している。

- ・位置検出にビタビアルゴリズムを取り入れる。

ビタビアルゴリズムはハードウェアに向いて、FPGAに実装することで高速な処理が行える。位置検出が高速になり、尤度やトレリスから位置検出の精度を向上させることができる。

参考文献

[1] 郡武治、服部武 “最尤選択合成を用いた群伝送アドホック通信” 信学会論文誌 B, Vol. J89-B, No. 6, 2006

An Optimum Design of Multi-network in Location Estimation System

[2] 加々美友宏、“位置検出システムマルチネットワークの検討” 2008年度卒業論文

[3] 加々美友宏、大石直紀、郡武治、“位置検出システム(VWLS) マルチネットワークの検討” 2009年度電子情報通信学会総合全国大会 B-20-23

10進デジタルLSI回路 (3) 10進計数回路

Decimal Digital LSI Circuits (3) Decimal counter circuits

波多野 裕*

Hiroshi HATANO

Abstract : Four different decimal counter circuits have been successfully fabricated using a double polysilicon and double metal 1.2 μm CMOS technology. The newly designed one-digit decimal asynchronous counter, one-digit decimal synchronous counter, two-digit decimal asynchronous counter and two-digit decimal synchronous counter have been confirmed to function correctly by fabricated chip measurements.

1. 緒言

分かりにくい2進数表示であるデジタル回路を、分かりやすい10進数表示に近づける工夫の一環として、10進デジタルLSI回路の設計試作を行っている。その一部は既報の“10進デジタルLSI回路(1)回路設計”¹⁾、および“10進デジタルLSI回路(2)実測結果”²⁾において報告した。

今回は1桁10進非同期式計数回路、1桁10進同期式計数回路、2桁10進非同期式計数回路および2桁10進同期式計数回路を2層ポリシリコン2層アルミ1.2 μm CMOSプロセス³⁾を用いて設計および試作を行い、試作チップの実測を行った。

2. 1桁10進計数回路

2.1 1桁10進非同期式計数回路

パルスの個数を計数する回路を計数回路(counter)という。10進計数回路をBCDコードにもとづいて設計した。Table 1に10進数とBCDコードの対応表を示す。

1桁10進非同期式計数回路をJKフリップフロップを用いて構成した。回路図をFig. 1に示す。

2.2 1桁10進同期式計数回路

1桁10進同期式回路の回路図をFig. 2に示す。同期式計数回路は、入力パルスを各フリップフロップに同時に加えるようにした高速向きの回路である。

2.3 レイアウト設計

2層ポリシリコン2層アルミ1.2 μm CMOSプロセスを用いてレイアウト設計を行った。Fig. 3に1桁10進非同期

式計数回路のレイアウト図を示す。Fig. 4に1桁10進同期式計数回路のレイアウト図を示す。

2.4 回路シミュレーション

レイアウト図から回路パラメータを抽出して回路シミュレーションを行い回路動作を検証した。

Fig. 5に1桁10進非同期式計数回路のシミュレーション結果を示す。Table 1と比較して設計した回路が正しく動作することを確認した。Fig. 6に1桁10進同期式計数回路のシミュレーション結果を示す。設計した回路は正しく動作していることが確認できた。

3. 2桁10進計数回路

3.1 2桁10進非同期式計数回路

0から99までの10進数とBCDコードの対応をTable 2に示す。2桁10進非同期式計数回路を1桁10進非同期式計数回路を用いて設計した。回路図をFig. 7に示す。

Table 1 One-digit decimal number by BCD code.

Decimal number	BCD code			
	Q4	Q3	Q2	Q1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

2009年3月5日受理

* 理工学部 電気電子工学科

3.2 2桁10進同期式計数回路

2桁10進同期式計数回路の回路図を Fig. 8 に示す。2桁10進同期式計数回路では5段目以降のJKフリップフロップへの入力信号の加え方を工夫した。

3.3 レイアウト設計

2層ポリシリコン2層アルミ1.2 μ mCMOSプロセスを用いてレイアウト設計を行った^{4,5)}。Fig. 9 に2桁10進非同期式計数回路のレイアウト図を示す。Fig. 10 に2桁10進同期式計数回路のレイアウト図を示す。

3.4 回路シミュレーション

レイアウト図から回路パラメータを抽出して回路シミュレーションを行い回路動作を検証した。

Fig. 11 に2桁10進非同期式計数回路のシミュレーション結果を示す。Table 2 と比較して設計した回路が正しく動作することを確認した。Fig. 12 に2桁10進同期式計数回路のシミュレーション結果を示す。設計した回路は正しく動作していることが確認できた。

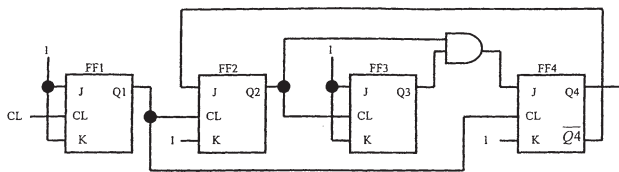


Fig. 1 One-digit decimal asynchronous counter circuit.

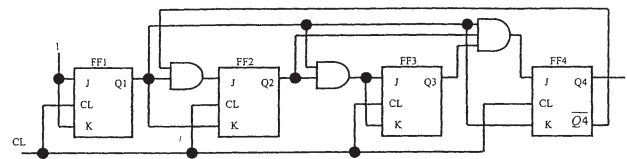


Fig. 2 One-digit decimal synchronous counter circuit.

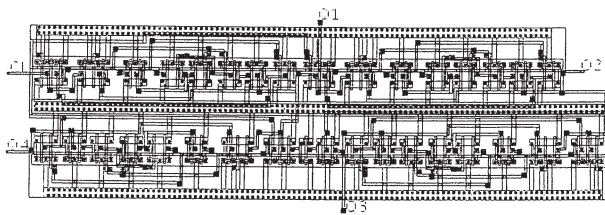


Fig. 3 One-digit decimal asynchronous counter layout.

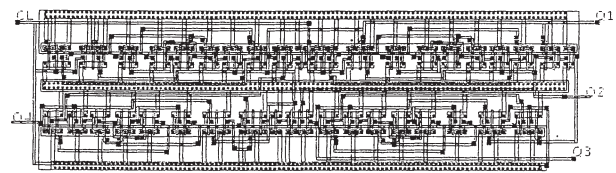


Fig. 4 One-digit decimal synchronous counter layout.

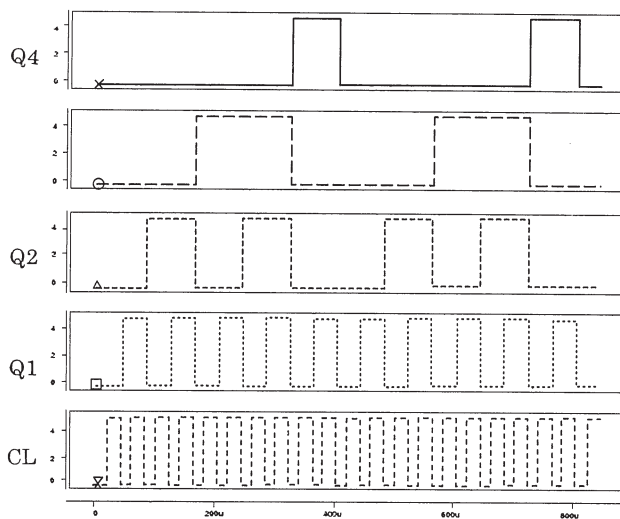


Fig. 5 Simulation results for one-digit decimal asynchronous counter. Horizontal axis: Time[s]. Vertical axis: Voltage[V].

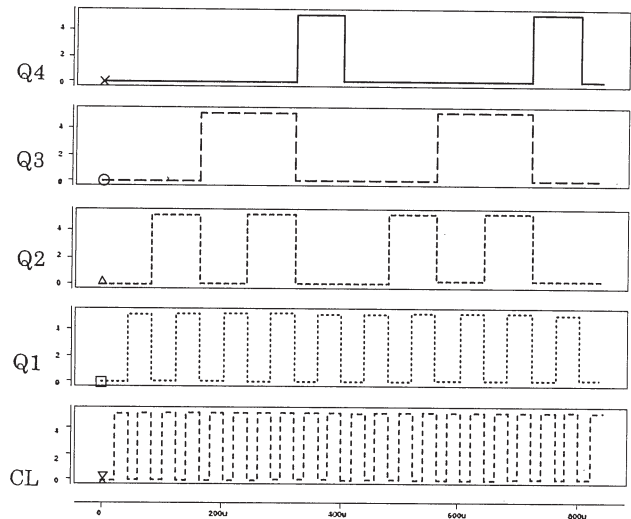


Fig. 6 Simulation results for one-digit decimal synchronous counter. Horizontal axis: Time[s]. Vertical axis: Voltage[V].

Table 2 Two-digit decimal number by BCD code.

Decimal number	BCD code								Decimal number	BCD code							
	Q8	Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1		Q8	Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	51	0	1	0	1	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	1	52	0	1	0	1	0	0	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	53	0	1	0	1	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	0	1	0	54	0	1	0	1	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	1	55	0	1	0	1	0	1	0	1
6	0	0	0	0	0	1	1	0	56	0	1	0	1	0	1	1	0
7	0	0	0	0	0	1	1	1	57	0	1	0	1	0	1	1	1
8	0	0	0	0	1	0	0	0	58	0	1	0	1	1	0	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	1	59	0	1	0	1	1	0	0	1
10	0	0	0	1	0	0	0	0	60	0	1	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	1	61	0	1	1	0	0	0	0	1
12	0	0	0	1	0	0	1	0	62	0	1	1	0	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0	0	1	1	63	0	1	1	0	0	0	1	1
14	0	0	0	1	0	1	0	0	64	0	1	1	0	0	1	0	0
15	0	0	0	1	0	1	0	1	65	0	1	1	0	0	1	0	1
16	0	0	0	1	0	1	1	0	66	0	1	1	0	0	1	1	0
17	0	0	0	1	0	1	1	1	67	0	1	1	0	0	1	1	1
18	0	0	0	1	1	0	0	0	68	0	1	1	0	1	0	0	0
19	0	0	0	1	1	0	0	1	69	0	1	1	0	1	0	0	1
20	0	0	1	0	0	0	0	0	70	0	1	1	1	0	0	0	0
21	0	0	1	0	0	0	0	1	71	0	1	1	1	0	0	0	1
22	0	0	1	0	0	0	1	0	72	0	1	1	1	0	0	1	0
23	0	0	1	0	0	0	1	1	73	0	1	1	1	0	0	1	1
24	0	0	1	0	0	1	0	0	74	0	1	1	1	0	1	0	0
25	0	0	1	0	0	1	0	1	75	0	1	1	1	0	1	0	1
26	0	0	1	0	0	1	1	0	76	0	1	1	1	0	1	1	0
27	0	0	1	0	0	1	1	1	77	0	1	1	1	0	1	1	1
28	0	0	1	0	1	0	0	0	78	0	1	1	1	1	0	0	0
29	0	0	1	0	1	0	0	1	79	0	1	1	1	1	0	0	1
30	0	0	1	1	0	0	0	0	80	1	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	1	1	0	0	0	1	81	1	0	0	0	0	0	0	1
32	0	0	1	1	0	0	1	0	82	1	0	0	0	0	0	1	0
33	0	0	1	1	0	0	1	1	83	1	0	0	0	0	0	1	1
34	0	0	1	1	0	1	0	0	84	1	0	0	0	0	1	0	0
35	0	0	1	1	0	1	0	1	85	1	0	0	0	0	1	0	1
36	0	0	1	1	0	1	1	0	86	1	0	0	0	0	1	1	0
37	0	0	1	1	0	1	1	1	87	1	0	0	0	0	1	1	1
38	0	0	1	1	1	0	0	0	88	1	0	0	0	1	0	0	0
39	0	0	1	1	1	0	0	1	89	1	0	0	0	1	0	0	1
40	0	1	0	0	0	0	0	0	90	1	0	0	1	0	0	0	0
41	0	1	0	0	0	0	0	1	91	1	0	0	1	0	0	0	1
42	0	1	0	0	0	0	1	0	92	1	0	0	1	0	0	1	0
43	0	1	0	0	0	0	1	1	93	1	0	0	1	0	0	1	1
44	0	1	0	0	0	1	0	0	94	1	0	0	1	0	1	0	0
45	0	1	0	0	0	1	0	1	95	1	0	0	1	0	1	0	1
46	0	1	0	0	0	1	1	0	96	1	0	0	1	0	1	1	0
47	0	1	0	0	0	1	1	1	97	1	0	0	1	0	1	1	1
48	0	1	0	0	1	0	0	0	98	1	0	0	1	1	0	0	0
49	0	1	0	0	1	0	0	1	99	1	0	0	1	1	0	0	1

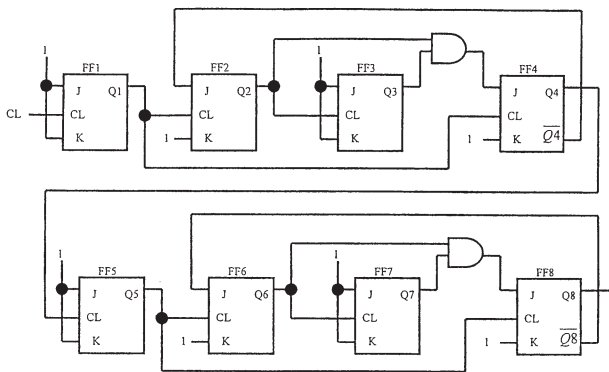


Fig. 7 Two-digit decimal asynchronous counter circuit.

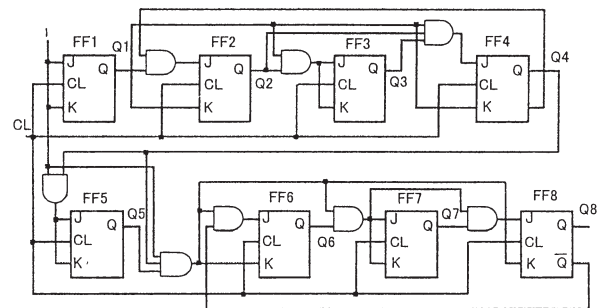


Fig. 8 Two-digit decimal synchronous counter circuit.

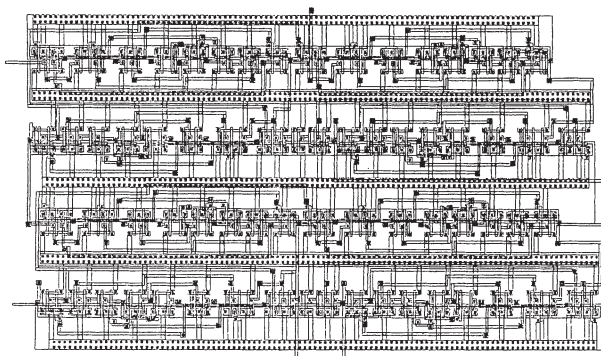


Fig. 9 Two-digit decimal asynchronous counter layout.

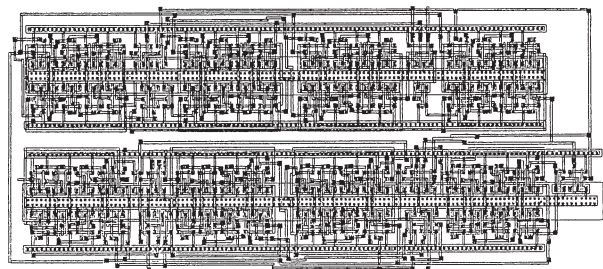


Fig. 10 Two-digit decimal synchronous counter layout.

4. 試作結果

4.1 顕微鏡写真

Fig. 13 から Fig. 16 に、2 層ポリシリコン 2 層アルミ 1.2 μm CMOS プロセスで試作した 1 桁 10 進非同期式計数回路、1 桁 10 進同期式計数回路、2 桁 10 進非同期式計数回路、2 桁 10 進同期式計数回路の顕微鏡写真を示す。

4.2 実測波形

Fig. 17 から Fig. 20 に、2 層ポリシリコン 2 層アルミ 1.2

μm CMOS プロセスで試作した 1 桁 10 進非同期式計数回路、1 桁 10 進同期式計数回路、2 桁 10 進非同期式計数回路、2 桁 10 進同期式計数回路の実測波形を示す。Fig. 5、Fig. 6、Fig. 11 および Fig. 12 に示したシミュレーション結果と比較して、試作した回路が正常に動作することを確認することに成功した。

5. 結言

10 進デジタル L S I 回路の設計試作の一環として、2

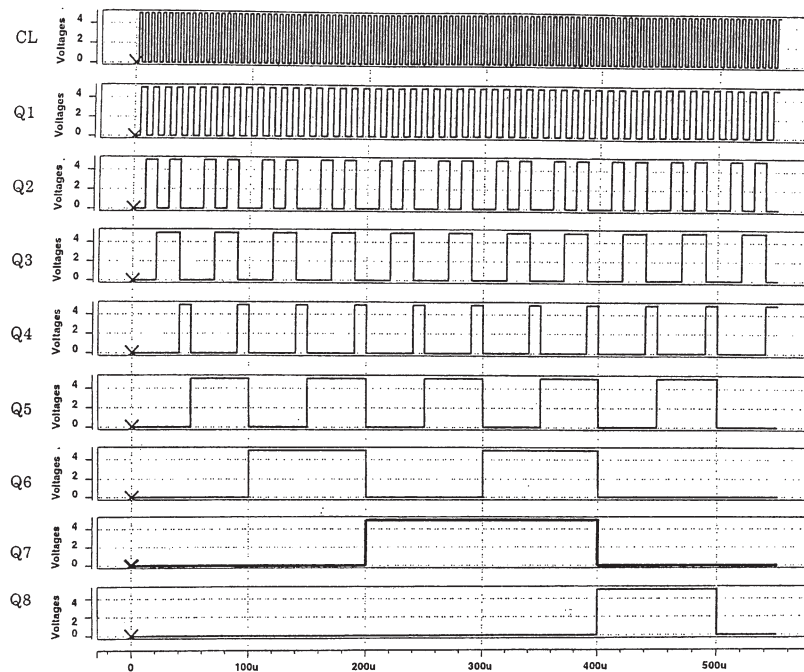


Fig. 11 Simulation results for two-digit decimal asynchronous counter. Horizontal axis: Time[s]. Vertical axis: Voltage[V].

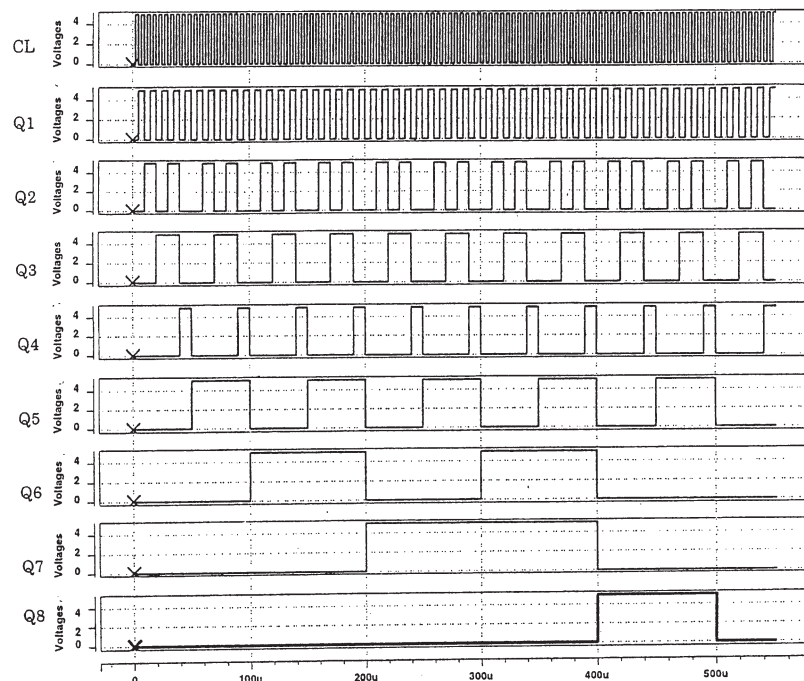


Fig. 12 Simulation results for two-digit decimal synchronous counter. Horizontal axis: Time[s]. Vertical axis: Voltage[V].

層ポリシリコン 2 層アルミ 1.2 μm CMOS プロセスにより 1 桁 10 進非同期式計数回路、1 桁 10 進同期式計数回路、2 桁 10 進非同期式計数回路および 2 桁 10 進同期式計数回路を設計試作した。試作回路の実測により全ての 10 進計数回路が設計どおり動作することを確認する事に成功した。

実測による試作回路の詳細な特性評価が今後の課題である。

謝辞

10 進計数回路の設計では 2006 年度卒研究生の内田昂志君 (現在、エンシュウ (株))、2007 年度卒研究生の横井和輝君 (現在、三栄ハイテックス (株))、久保田研司君 (現在、中立電機 (株)) の協力があった。また、10 進計数回路の実測に関しては横井和輝君及び 2008 年度卒研究生の神尾翔君 (2009 年 4 月からは、三栄ハイテックス (株)) の協力

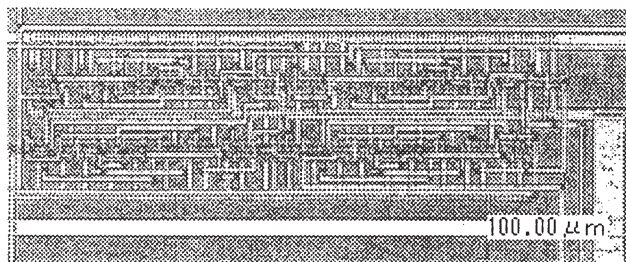
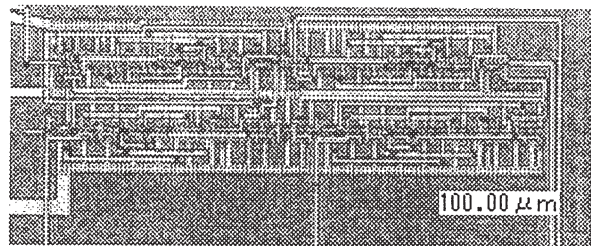


Fig.13 Photomicrograph of 1-digit decimal asynchronous counter. Fig.14 Photomicrograph of 1-digit decimal synchronous counter.

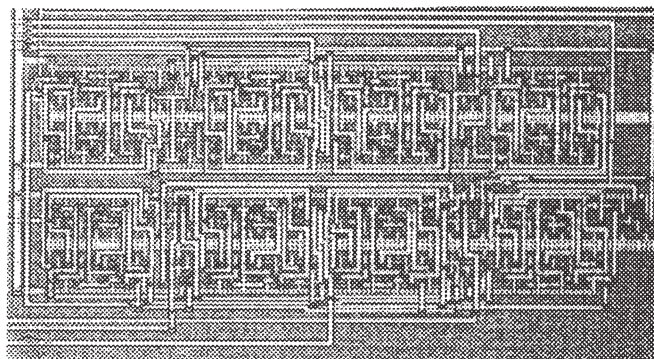
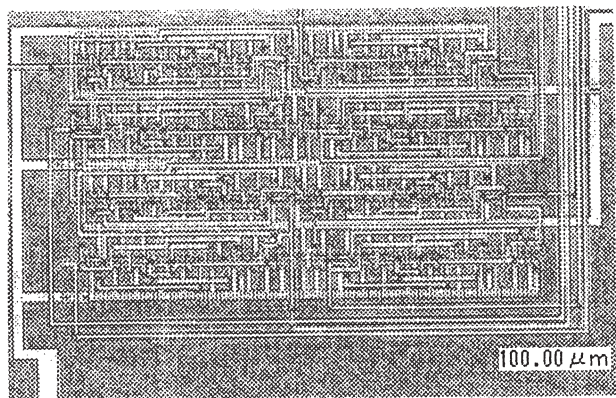


Fig.15 Photomicrograph of 2-digit decimal asynchronous counter. Fig.16 Photomicrograph of 2-digit decimal synchronous counter.

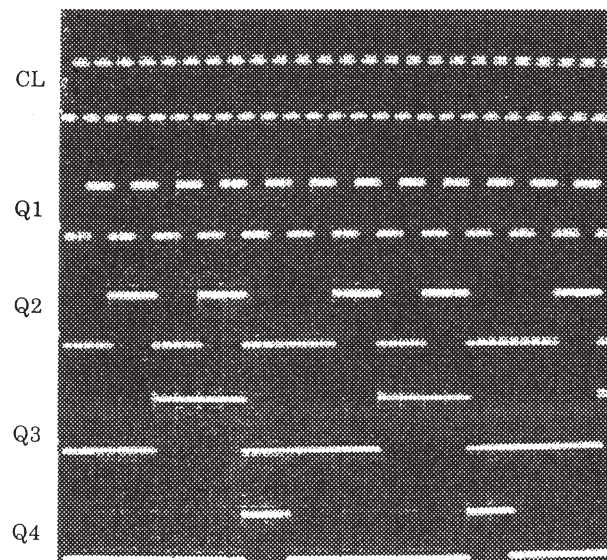
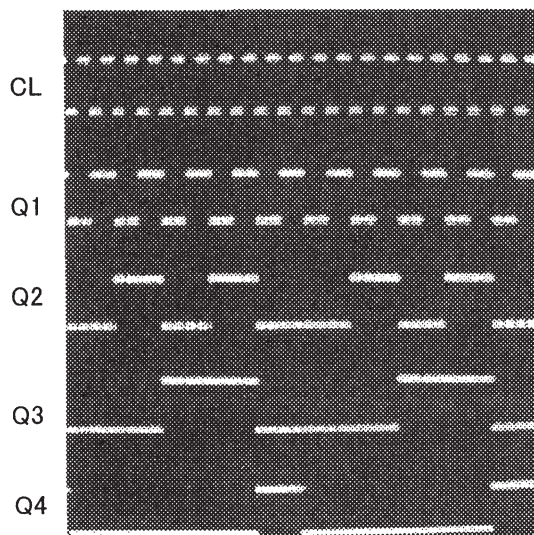


Fig.17 Signal waveforms of 1-digit decimal asynchronous counter. Horizontal axis: 50 $\mu\text{s}/\text{div.}$. Vertical axis: 5V/div..

Fig.18 Signal waveforms of 1-digit decimal synchronous counter. Horizontal axis: 20 $\mu\text{s}/\text{div.}$. Vertical axis: 5V/div..

があった。記して謝意を表す。

本研究に関するチップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通しオンセミコンダクター(株)、日本モトローラ(株)、HOYA(株)、京セラ(株)の協力で行われたものである。

参考文献

- 1) 波多野 裕、村松一矢、里中勝己、山本毅、“10進デジタルLSI回路(1)回路設計”、静岡理工科大学紀要、第14巻、pp.37-41、2006.
- 2) 波多野 裕、村松一矢、里中勝己、山本毅、“10進デジタルLSI回路(2)実測結果”、静岡理工科大学紀要、第15巻、pp.13-17、2007.
- 3) H. Hatano, “SEU effects on static and clocked cascade voltage switch logic (CVSL) circuits”, Proceedings of the 8th European Workshop on Radiation Effects on Components and Systems, pp. 136-140, Jyväskylä, 2008.
- 4) H. Hatano, “Single event effects on static and clocked cascade voltage switch logic circuits”, IEEE Trans. Nuclear Science, NS-56, No.2, 2009.

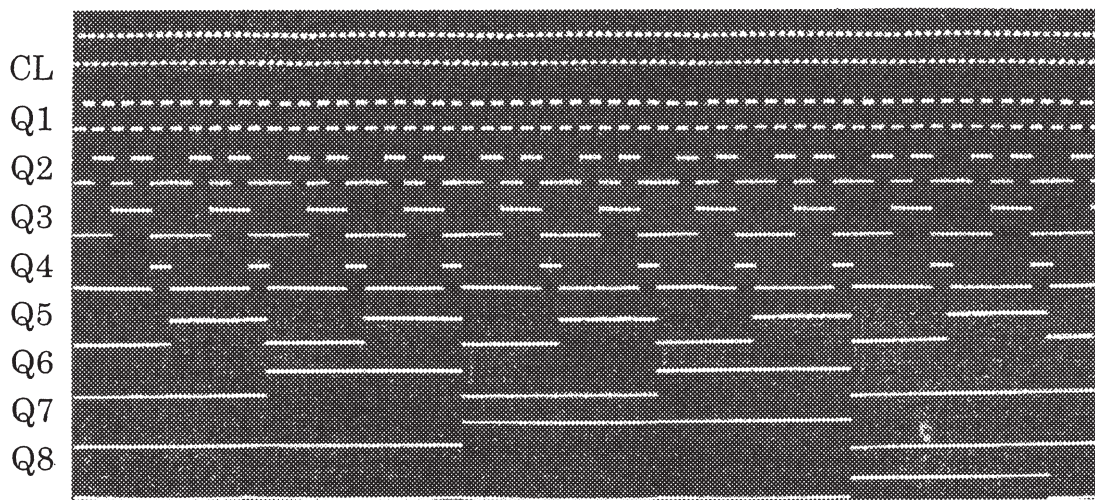


Fig.19 Signal waveforms of 2-digit decimal asynchronous counter. Horizontal axis: $20\mu\text{s}/\text{div.}$. Vertical axis: $5\text{V}/\text{div.}$.

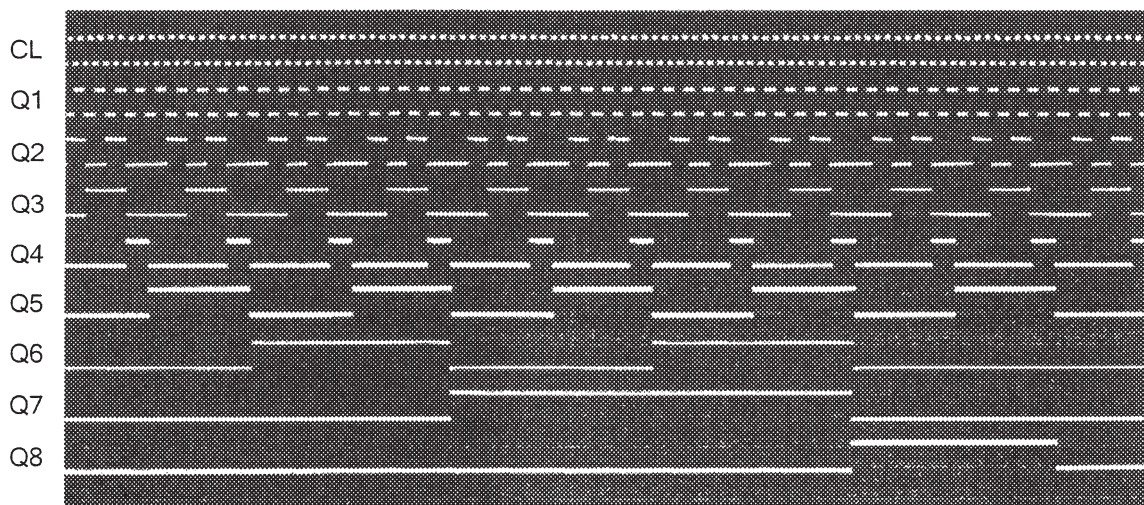


Fig.20 Signal waveforms of 2-digit decimal synchronous counter. Horizontal axis: $100\mu\text{s}/\text{div.}$. Vertical axis: $5\text{V}/\text{div.}$.

- 5) H. Hatano, "Single event effects on CVSL and CMOS exclusive-OR (EX-OR) circuits," submitted to 9th European Workshop on Radiation Effects on Components and Systems, 2009.

5 価オキソバナジウム触媒と酸素を用いた酢酸溶媒中での環状ケトンの開裂反応：アジピン酸の環境調和型合成反応の研究

Aerobic Ring-Opening Oxygenation of Cyclic Ketones Catalyzed by Oxovanadium(V) Compound in Acetic Acid: Studies on Environmentally Benign Synthesis of Adipic Acid

桐原 正之*、三ツ矢 善根**、松下 真弥**

Masayuki KIRIHARA, Yoshine MITSUYA and Shinya MATSUSHITA

Abstract: The reaction of cyclic ketones with a catalytic amount of trichlorooxovanadium under an oxygen atmosphere in acetic acid caused oxidative ring cleavage to provide dicarboxylic acids. This reaction can be applied to the environmentally benign synthesis of adipic acid from cyclohexanone.

1. はじめに

アジピン酸はナイロン66の原料として、大量に工業生産される非常に有用な有機化合物である。アジピン酸はシクロヘキサノン、五酸化二バナジウム触媒存在下で、硝酸酸化することによって合成されているが¹⁾、地球温暖化ガスである亜酸化窒素 (N₂O) が副生するという問題点がある (Fig. 1)²⁾。

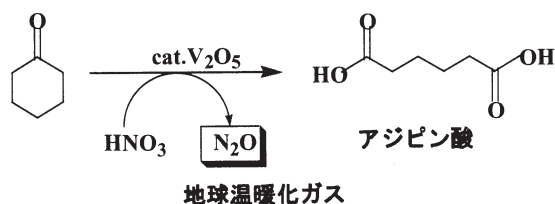


Fig. 1

そこで環境調和型アジピン酸合成法の開発研究が活発におこなわれているが、未だに硝酸酸化に替わる有効な工業的合成反応の開発は達成されていない。環境調和型アジピン酸合成法として有望なもののひとつに、マンガン-コバルト触媒を用いて酢酸溶媒中でシクロヘキサノンを酸素酸化する方法がある³⁾。しかしこの方法では副生成物として、アジポアルデヒド酸やグルタル酸が発生してしまうという問題点があり、これが工業化の障害になっていた (Fig. 2)。

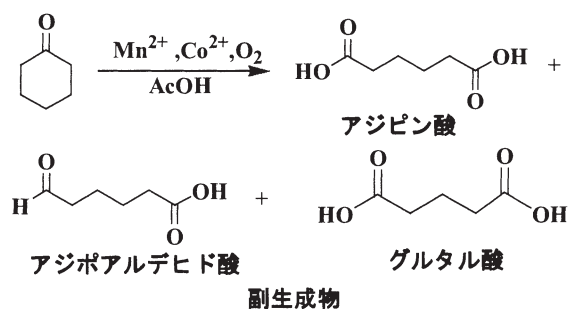


Fig. 2

我々はバナジウム触媒を用いた有機化合物の酸素酸化

反応の研究を行っており⁴⁻¹⁰⁾、二級の環状α-ヒドロキシケトンに対してエタノール溶媒中、酸素雰囲気下で5価オキソバナジウム触媒を用いて反応を行うと、環開裂が進行しジエチルエステル体が見出している (Fig. 3)⁴⁾。

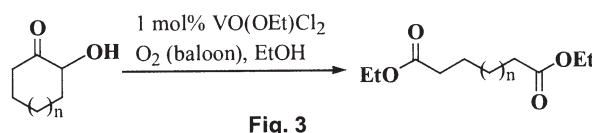


Fig. 3

また平尾らは環状ケトンに対してアルコール溶媒中、酸素雰囲気下で5価オキソバナジウム触媒を用いて反応を行うと、環開裂が進行しジエステル体が見出され、α位置置換環状ケトンに対して同様の反応を行うと、ケトエステル体が見出している (Fig. 4)¹¹⁾。

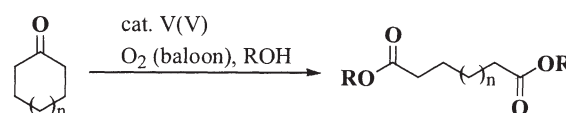


Fig. 4

我々は環状ケトンに対して、5価オキソバナジウム触媒を用いて酢酸中で酸素酸化を行えば環開裂が進行してジカルボン酸が得られ、α位置置換環状ケトンに対して反応を行えばケトカルボン酸が得られるのではないかと考えた。さらに、この反応を用いればアジピン酸の環境調和型合成法が開発できるのではないかと考え、検討を行うことにした。

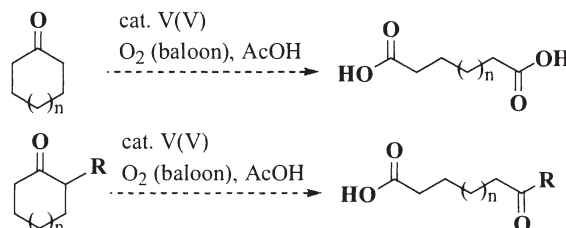


Fig. 5

2009年3月9日受理

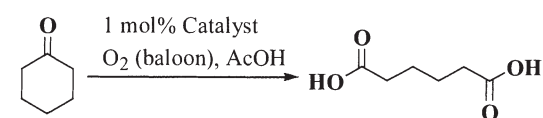
* 理工学部 物質生命科学科

** 理工学部 物質生命科学科 卒業生

2. 環状ケトンの開裂反応

シクロヘキサノンを経質として用い、酢酸溶媒中、酸素雰囲気下で各種バナジウム触媒 1 mol%存在下にて反応を行った。その結果、いずれの場合も反応が進行してアジピン酸が得られた (Table 1)。収率や反応時間の観点から、触媒としてはオキシ三塩化バナジウムを用い、65°Cで反応させる条件が最も良いと考えられる (run 2)。

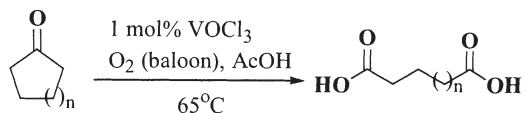
Table 1



Run	Catalyst	Temperature	Time (h)	Yield (%)
1	VOCl ₃	rt	168	48
2	VOCl ₃	65°C	70	54
3	V ₂ O ₅	65°C	120	41
4	VO(acac) ₂	rt	168	31
5	NH ₄ VO ₃	rt	168	27

そこで次に、各種環状ケトンに対して、酢酸溶媒中酸素雰囲気下、1 mol%のオキシ三塩化バナジウム存在下、65°Cで反応を行った。その結果、いずれの場合も目的のジカルボン酸を中程度の収率で得ることができた (Table 2)。

Table 2



Entry	S. M.	Time (h)	Product	Yield (%)
1	n = 1	90	Gulutaric Acid	43
2	n = 2	70	Adipic Acid	54
3	n = 3	72	Pimelic Acid	63
4	n = 4	79	Suberic Acid	48
5	n = 8	79	Dodecanoic Acid	51

次に、 α 置換ケトンに対して、酢酸溶媒中酸素雰囲気下、室温で1 mol%のオキシ三塩化バナジウム存在下、65°Cで反応を行った。その結果、2-メチルシクロヘキサノンからは6-オキソヘプタン酸が収率25%で、2-フェニルシクロヘキサノンからは6-オキソ-6-フェニルヘキサノン酸が収率32%で得られた (Fig. 6)。

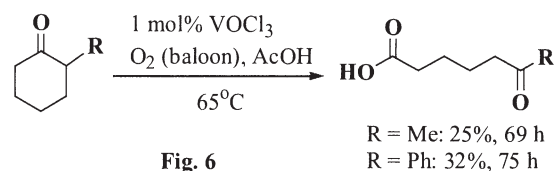


Fig. 6

薄層クロマトグラフィー (TLC) 分析の結果からは、反応自体は効率良く進んでいたと判断されるが、生成物が溶媒溜去の際に共沸等などにより一部失われてしまったため、単離収率があまり良くないのではないかと考えられる。

3. アジピン酸合成法への応用検討

環状ケトンに対して、オキシ三塩化バナジウム触媒を用いて酢酸中で酸素酸化を行うと、環開裂が進行してジカルボン酸が得られることがわかったので、本法がアジピン酸の工業的合成へ応用可能であるか検討することにした。

工業化への可否は、アジポアルデヒド酸やグルタル酸などの副生成物ができるかどうかにかかっている。そこで本反応でシクロヘキサノンからアジピン酸を合成する際に副生成物が生じるか精査することにした。この際、カルボン酸のままだと、¹H-NMR スペクトルを用いての定量が困難であるため、反応後に得られた粗生成物をジアゾメタンと反応させ、メチルエステルとすることにした。

シクロヘキサノンの酢酸溶液に、1 mol%のオキシ三塩化バナジウムを加え、酸素雰囲気下、65°Cで72時間反応させた。反応の後処理後、得られた粗生成物をジアゾメタン処理した。その結果、アジピン酸ジメチルだけでなくグルタル酸ジメチルも副生していることがわかった。アジポアルデヒド酸メチルは全く生成していなかった (Fig. 7)。

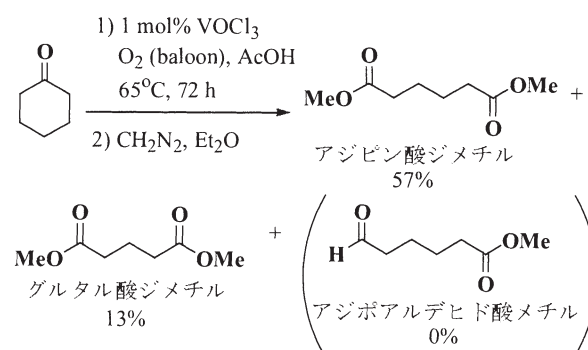


Fig. 7

ジアゾメタンはカルボン酸と反応して定量的にメチルエステルを与える。したがって、オキシ三塩化バナジウム触媒-酸素による酢酸溶媒中でのシクロヘキサノンの

酸化的開裂反応では、アジポアルデヒド酸は副生しなかったが、グルタル酸がかなりの割合で副生してしまったといえる。本条件でのアジピン酸の工業的合成は困難であると考えられる。アジピン酸の工業的合成法に発展させるためには、グルタル酸の副生が押さえられる反応条件を見出す必要がある。

なお、本反応はカルボニル炭素とその α 位炭素との間の結合が切断されて、カルボキシル基に酸化されるというものであるから、シクロヘキサノンから生成したアジピン酸のカルボニル炭素とその α 位炭素との間の結合がさらに切断された結果、炭素数が一つ少ないグルタル酸が生成したと考えられる (Fig. 8)。

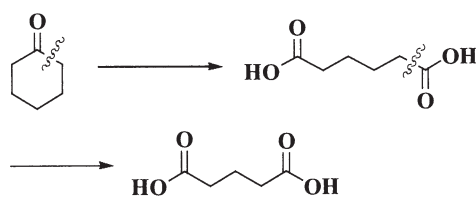


Fig. 8

4. 結論

環状ケトンに対して酢酸溶媒中酸素雰囲気下、1 mol% のオキシ三塩化バナジウム存在下、65°Cで反応を行うと、環開裂が進行しジカルボン酸が生成し、 α 位置環状ケトンに対して同条件で反応を行うとケトエステルが生成することを見出すことができた (Fig. 9)。

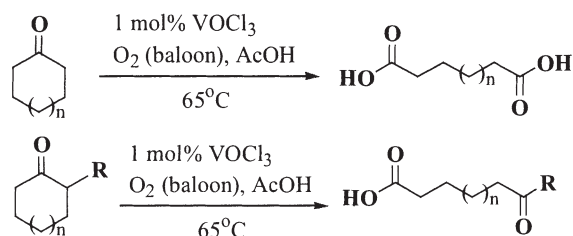


Fig. 9

アジピン酸の工業的合成法への応用の可能性に関しては、副生成物としてグルタル酸がかなりの割合で生じてしまうので、この条件のままでは困難であることがわかった。さらに条件を詳細に検討していく必要があると考えている。

5. 実験の部

赤外吸収スペクトル (IR)はJASCO FT/IR-8300 型を用いて測定した。水素核磁気共鳴スペクトル ($^1\text{H-NMR}$)は、JEOL JNM-EX400 核磁気共鳴装置を用い、内部標準物質として、テトラメチルシラン (TMS) を用いて測定

した。質量スペクトル (MS) は、島津GCMS-QP1100EX 質量分析装置を用いて測定した。シリカゲルカラムクロマトグラフィーは、関東化学 Silica Gel 60N (spherical, neutral)を用いて行った。薄層クロマトグラフィー (TLC) 分析は、メルク(株) TLCアルミニウムシート 20 x 20 cm シリカゲル 60 F254 を用いて行った。

環状ケトンまたは α 置換環状ケトン開裂反応の一般操作法

酸素雰囲気下、環状ケトンまたは α 置換環状ケトン (4.60mmol) を酢酸 (10ml) に溶かし、オキシ三塩化バナジウム (8.0mg, 0.046mmol) を加え、65°Cで攪拌した。反応液を TLC で分析し、原料である環状ケトンが消失した時点で、水を 10ml 加え、酢酸エチル (50ml \times 3) で抽出し、飽和食塩水 (10ml \times 3) で洗浄した。有機層を無水硫酸ナトリウムで乾燥した後、溶媒を留去した。得られた粗生成物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (クロロホルム:メタノールを展開溶媒) により精製し、ジカルボン酸またはケトカルボン酸の純品を得た。

グルタル酸 (Glutaric acid)、アジピン酸 (Adipic acid)、ピメリン酸 (Pimelic acid)、スベリン酸 (Suberic acid)、ドデカン二酸 (Dodecanedioic acid) および 6-オキソヘプタン酸 (6-oxoheptanoic acid)

これら 6 つの化合物はいずれも試薬として市販されていたので、市販品のスペクトルデータとの比較を行った。その結果、全ての場合において、本反応から得られた化合物の、IR、 $^1\text{H-NMR}$ 、MSの各種スペクトルデータは標品のものと完全に一致した。

6-オキソ-6-フェニルヘキサン酸 (6-oxo-6-phenylhexanoic acid)

IR (neat) : 2942, 1702, 1598, 1448 cm^{-1}

$^1\text{H NMR}$ (CDCl_3) δ : 8.08 (1H, d, $J=9.3$ Hz), 7.95 (1H, d, $J=7.3$ Hz), 7.63 7.45 (3H, m), 3.02 (2H, t, $J=14.4$ Hz), 2.44 (2H, t, $J=14.4$ Hz), 1.85 - 1.73 (4H, m)

MS (m/z) : 222 (M^+)

シクロヘキサノンの開裂反応とその反応生成物のジアゾメタンによるメチルエステル化

酸素雰囲気下、cyclohexanone (451.5mg, 4.6mmol) を 15 等量酢酸 (3.9ml) に溶かし、オキシ三塩化バナジウム (8.0mg, 0.046mmol) を加え、65°Cで攪拌した。7 2 時間後、水を 10ml 加え、酢酸エチル (50ml \times 3) で抽出し、飽和食塩水 (10ml \times 3) で洗浄した。有機層を無水硫酸ナトリウムで乾燥した後、溶媒を留去してアジビ

ン酸の粗生成物 (472.4mg)を得た。

50%水酸化カリウム水溶液 6.9ml とジエチルエーテル 23ml の混合液を氷冷しながら、N-ニトロソ-N-メチル尿素 (2.37g, 23mmol) を少しずつ加えて、ジアゾメタンのジエチルエーテル溶液を作成した。このジアゾメタンのジエチルエーテル溶液の上澄み液を、得られた粗生成物のジエチルエーテル溶液に加え、室温で放置した。3日後、ジエチルエーテル 20ml を加えて溶媒留去後、クロロホルム 20ml を加えて溶媒留去したところ、アジピン酸ジメチルおよびグルタル酸ジメチルの混合物 (870.8mg) を得た。¹H-NMRにより、アジピン酸ジメチルは収率 57%で、グルタル酸ジメチルは収率 13%で得られていることがわかった。なお、¹H-NMRデータはグルタル酸ジメチルとアジピン酸ジメチルの標品のものと完全に一致した。

参考文献

- 1) Y. Chin, "Adipic acid", Report No. 3B, *SRI Consulting, California* (1996), p. 5-2.
- 2) M. H. Thiemens and W. C. Trogler, *Science*, **251**, 932 (1991).
- 3) A. Shimizu, K. Tanaka, H. Ogawa, Y. Matsuoka, M. Fujimori, Y. Nagamori, H. Hamachi, and K. Kimura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **76**, 1993 (2003).
- 4) M. Kirihara, S. Takizawa, and T. Momose, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, **1998**, 7.
- 5) M. Kirihara, M. Ichinose, S. Takizawa, and T. Momose, *Chem. Commun.*, **1998**, 1691.
- 6) M. Kirihara, Y. Ochiai, S. Takizawa, H. Takahata, and H. Nemoto, *Chem. Commun.*, **1999**, 1387.
- 7) M. Kirihara, Y. Ochiai, Y. Arai, S. Takizawa, T. Momose, and H. Nemoto, *Tetrahedron Lett.*, **40**, 9055 (1999).
- 8) M. Kirihara, K. Okubo, T. Uchiyama, Y. Kato, Y. Ochiai, S. Matushita, A. Hatano, and K. Kanamor *Chem. Pharm. Bull.*, **52**, 625 (2004).
- 9) M. Kirihara, Y. Torii, K. Sato, R. Takizawa, and A. Hatano, *ITE Lett.*, **5**, 479 (2004).
- 10) M. Kirihara, M. Ichinose, Y. Ochiai, S. Takizawa, K. Okubo, A. Mokuya, R. Takizawa, A. Hatano, H. Kakuda, and M. Shiro, *Tetrahedron*, **61**, 4831-4839 (2005).
- 11) T. Hirao, M. Mori, and Y. Oshiro, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **62**, 2399 (1989).

PIC マイコンと 16×16 LED を用いた漢字表示電光掲示板の設計と試作

Design and Trial Manufacture of a Kanji Display with a PIC Micro Computer and 16×16 LED Arrays

袴田 吉朗*

Yoshiro HAKAMATA

Abstract: The material summarizes the design of a Kanji Display that uses a PIC 16F648A micro computer as a controller and five 16×16 LED Arrays. The controller scrolls kanjis to the left side every 200 ms, and it can display maximumly one hundred and three kanjis. Using I²C interface and serial EEPROMs, the increases of kanjis viewed in the display are also taken into account.

1. はじめに

電気電子回路は、多くの機能が集約化されているICが主となって構成されている。昔と違って電子装置や回路を分解してもICが出てくることが多く、従って中身が良く分からないので、一般の人には興味が湧かないし、理解が難しいと思われるようである。これが高校生に対する電気電子の人気薄である一つの要因になっていると言われている。一方で“動く”、“光る”、“音が出る”などの要素は、電気電子に対する興味を喚起させる一手段であると思われる。筆者は、ここ2年間AO入試の委員を担当してきたが、ライトレースロボットやLEDを使ったカタカナ表示のディスプレイなどは工業高校生の課題研究のテーマとして良く取り上げられているように感じている。

そこで今回“光り”、文字が“動く”と言う前述の2つの要素を取り込んだ漢字表示電光掲示板（以下漢字ディスプレイ）を設計、試作してみることにした。コントローラにはPICマイコンを使用し、カタカナでなくより複雑な漢字表示を試みた。また甚だしく時代遅れであることを十分承知の上で、プリント基板上にバラックで製作し、回路構成がよく分かるようにした。これらにより高校生の興味を引きつけることを狙いとしたが、多少なりとも目的が達成できることを祈りたい。漢字ディスプレイを実現できれば、種々の催し物等においても活用できる実用的な側面もある。以下、本資料では漢字ディスプレイの設計および試作内容をとりまとめた結果を示す。

2. 漢字ディスプレイのハードウェア構成

(1) 設計目標

設計目標を以下に示す。

- 16ビットフォントの漢字を5個同時に表示する
- コントローラとしてPIC16F84Aを使用する
- 左シフトにより、約100文字の漢字を繰り返し表示する
- 複雑なシフトや、外部メモリの増設による表示内容の多様化は今後の検討課題とする

(2) 回路の外観

図1に試作した回路の外観を示す。中央に5個の16×16

のLEDディスプレイを配置している(①)。下部の子基板がPICマイコンである(②)。LEDの下部に80ビット長のシフトレジスタを細長く配置し(③)、その上にLEDの電流制限抵抗(330Ω×80個)を配置している(④)。LEDの上部には、4-16デコーダ(⑤)、論理反転用のバッファ(⑥)、LEDをドライブするダーリントン・ソース・ドライバ(⑦)を配置している。金属筐体は回路を保持する役目を果たしているだけである。

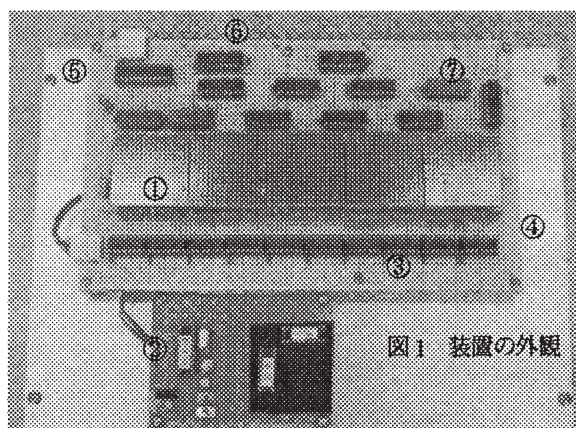


図1 装置の外観

(3) 回路構成

図2に漢字ディスプレイの回路図を示す。また主要部品を以下に示す。

- 16×16 LED ディスプレイ (×5)
- PIC16F648A PIC マイコン
- 20MHz 水晶振動子
- 74HC4094 8ステージ・シフトレジスタ (×2)
- 74HC154 4-16 ラインデコーダ/デマルチプレクサ
- 74HC240 反転ドライバー (×2)
- TD62383AP 8CH 高電圧ダーリントン・ソース・ドライバ (非反転) (×2)

回路図および上記の部品は漢字1個分のものであり、マイコンと4-16ラインデコーダ以外は、5個分の部品が必要である。実際には反転ドライバーの出力をバス接続している。なお、反転ドライバーを使用したのは以下の理由による。LEDディスプレイがアノード共通型であり、ダーリントン・ソース・ドライバを用いて駆動しているが、このドライバーに反転形のものを見い出せなかった。一方4-16デコーダは負論理動作であ

2009年2月17日受理

*理工学部 電気電子工学科

り、したがって論理を反転する必要があるためである。

(4) 回路の動作

以下のように動作させている。

- ① LED の列に対応する漢字データの低位バイトを80バイト分バッファメモリに格納する。
- ② バッファから各行のビットを取り出し、シフトレジスタに格納する。
- ③ マイコンから行選択パルスが発生させ、4-16デコーダで対応する行を選択しその行のLEDを一斉に点灯させる。
- ④ 各行の点灯時間は1.1ms、周期は17.6msである。
- ⑤ 下位バイトの点灯が終了したら、上位バイトを点灯させる。
- ⑥ 以上を32回繰り返したら、バッファからデータを読み出すポインタを上位に1ビットだけシフトし、表示を左シフトさせる。
- ⑦ ①~⑥を16回繰り返すとバッファが終端に達するので、データを読み出すポインタを初期値に戻す。またバッファのシフトを行い、次の漢字データをバッファに読み込む。
- ⑧ 以下①~⑦を繰り返す。

(5) タイミングの設計

図3にタイミングチャートを示す。1.1msの周期はタイマー0割り込みを使用して作成している。シフトレジスタの出力をハイインピーダンス状態に設定している約0.4ms間にシフトレジスタにクロックを送り、データをバッファから読み込んでシフトレジスタに格納する。このときのクロックの幅は0.6μs、周期は約2μsである。シフトレジスタで電流をシンクするため、データの反転を格納している。なおシフトレジスタのQS2を次段のD入力に接続しているが、これはQS2がクロックの立ち上がりより半クロックだけ位相が遅れて出力され、次段の

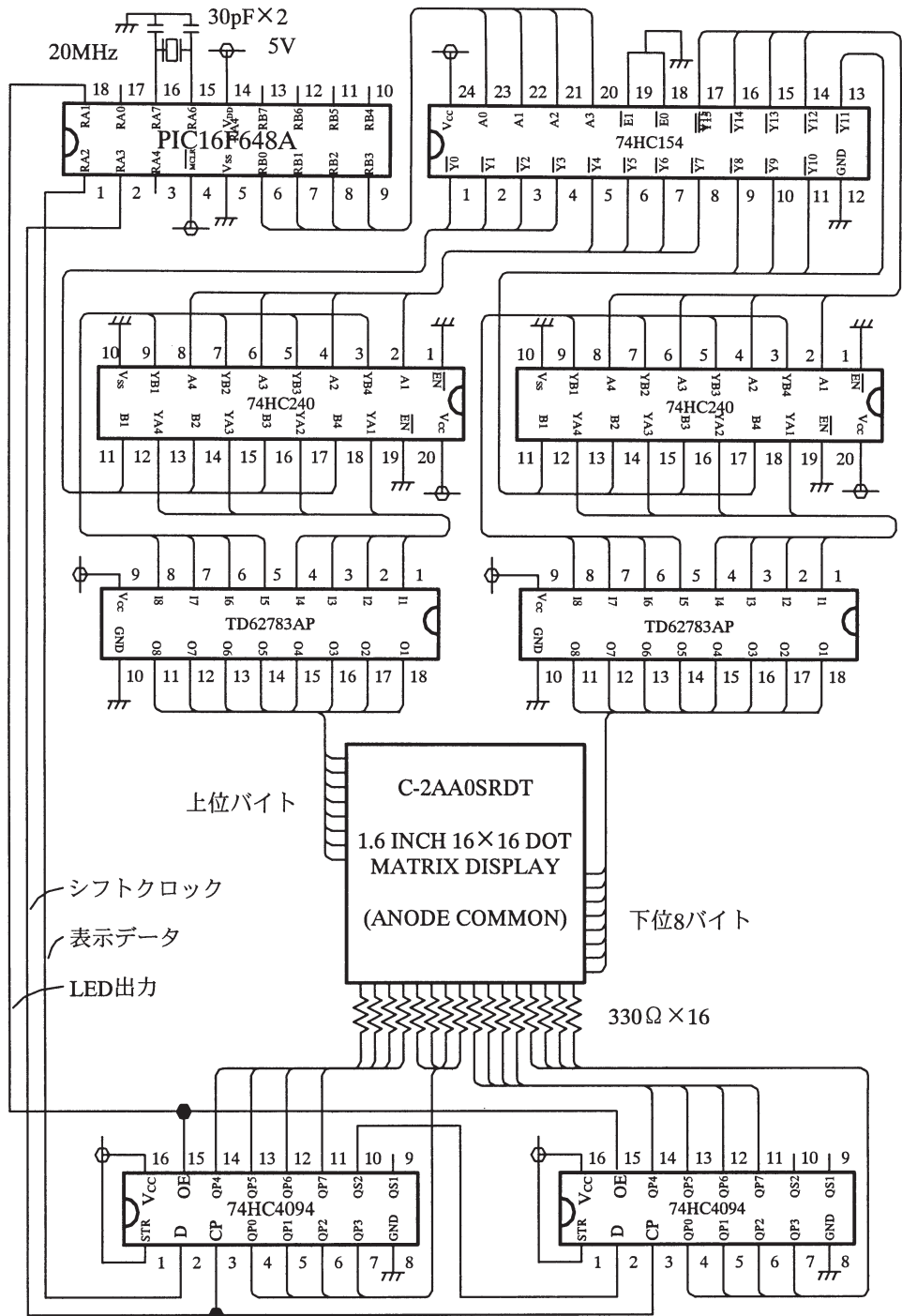


図2 漢字ディスプレイの回路図 (LEDの1個分の回路図)

クロックの立ち上がりが緩くてもミスカウントすることのないように配慮されているためである。

後半の約0.7msの期間は(3)の動作における⑦の部分を実行するための時間であり、実際にLEDが点灯している時間である。1つのLEDに着目するとその点灯周期は1.1ms×16=17.6ms(59Hz)であるから、実際にLEDが点灯している時間は非常に短く(デューティーファクターに直すと3%弱)、チラツキが懸念されたが、実機の試験では特に気になることはなかった。

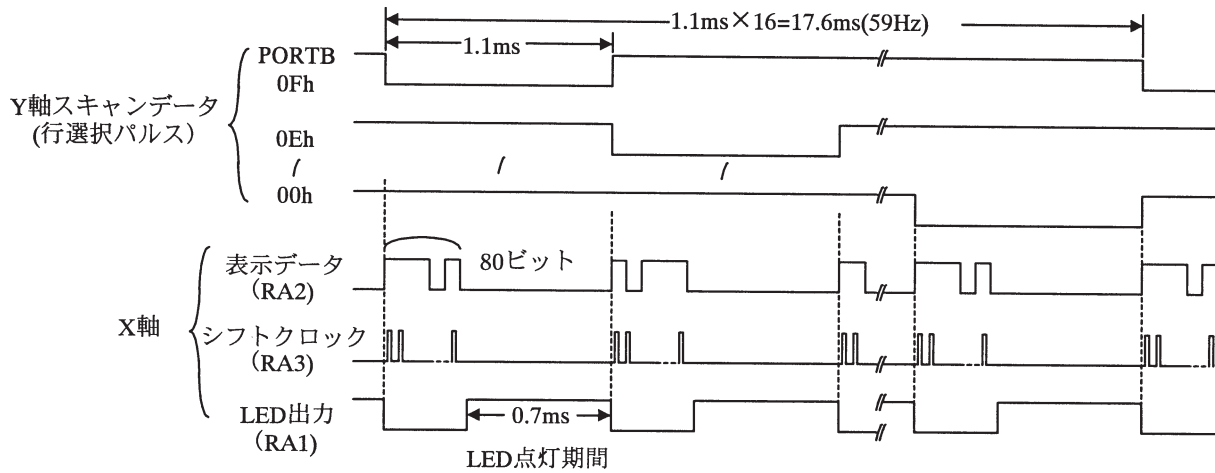


図3 LED点灯に関するタイミングチャート

(6) 電流制限抵抗の設計

図4は一つのLEDに着目した回路構成である。アノードコモン接続されたLEDアレイをダーリントン・ソース・ドライバで駆動し、シフトレジスタにおいてシンクする回路構成である。行選択パルスは、4-16デコーダおよびドライバー74HC240を介してダーリントン・ソース・ドライバを駆動している。

電流制限抵抗Rの値は次式で計算できる。

$$R = \frac{\text{電源電圧} - \text{ドライバーの電圧降下} - \text{LEDの端子電圧}}{\text{LEDに流れる電流}}$$

電源電圧=5V, ソース・ドライバーの電圧降下=1.4V (実測による), LEDの端子電圧=1.7Vとし, LEDに6mA程度の電流を流すものとするときR=317Ωとなる。これよりR=330Ωとした。

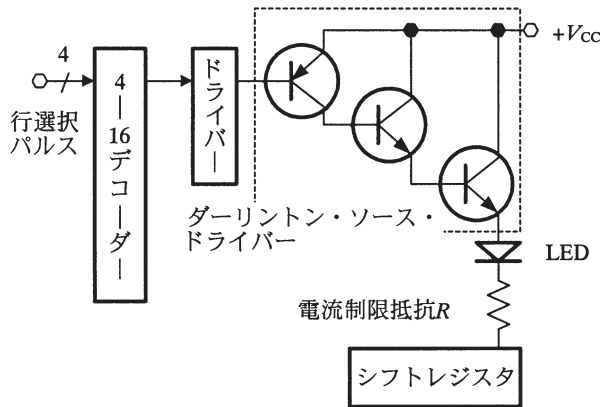


図4 各LEDにおける駆動回路の構成

3. 漢字ディスプレイのプログラム構成

(1) 概略フローチャート

概略フローチャートを図5に示す。1.1ms毎にタイマー0割り込みによってstart_flagを1に設定し、割り込み処理を実行する。変数tcntは32回の点灯を数える(減算)カウンタ, 変数sft_kaisuは16回(1文字分)のシフトを数える(減算)カウンタである。

図6に示す関数read_xdata_setは、バッファからデータを読み出してシフトレジスタに格納し、LEDを点灯させるサブルー

チンである。バッファからの読み出しに間接アドレスを使用しており、バンクの切り替え時にSTATUSレジスタのIRPビットを制御している。

関数y_ptr2binは行の位置を表す1バイトの変数y_ptrを3ビットの2進数に変換する関数である。変数keta(の反転した値)を4ビット目に加えて行選択パルスを作成している。

変数sft_kaisuが0になると、ポインタの初期化、バッファのシフトおよび新しいデータのバッファへの読み込みを行う。

変数kosu_cntは漢字データの個数を数えるカウンタである。現時点では漢字データをプログラムメモリに書き込んでおり、kosu_cntの最大値は103である。

(2) 漢字データのメモリへの格納

漢字データは処理の容易さを考えて、図7(a)に示したように漢字を横向きにした状態で作成しておき、この漢字データを図7(b)に示すような順序でプログラムメモリに格納している。この漢字データは別途VC++によるプログラムを用いて作成した。

プログラムメモリ上での格納アドレスは0x300~0x7FF(ページ0)および0x801~0xFFFF(ページ1)である。アドレス0x2FFおよび0x800にデータを読み出すための命令ADDWF PCL, Fを格納している。

(3) バッファの読み出し

漢字データが図7(c)に示すようにバッファに格納された状態でバッファからデータを読み出し、点灯させる行に対応するビットを取り出す。全部で80ビットのデータをシフトレジスタに格納し、このデータを列データとしてLEDを点灯させる。

あらためて図8にバッファの内容を整理して示す。下位桁(keta=0), 上位桁(keta=1)における各々のバッファ長は12バイト(96ビット, 漢字6文字分), である。このうち連続した10バイト(80ビット)のデータを読み出せば良い。

左シフトを実現するために最初に読み出すデータ(一番右側

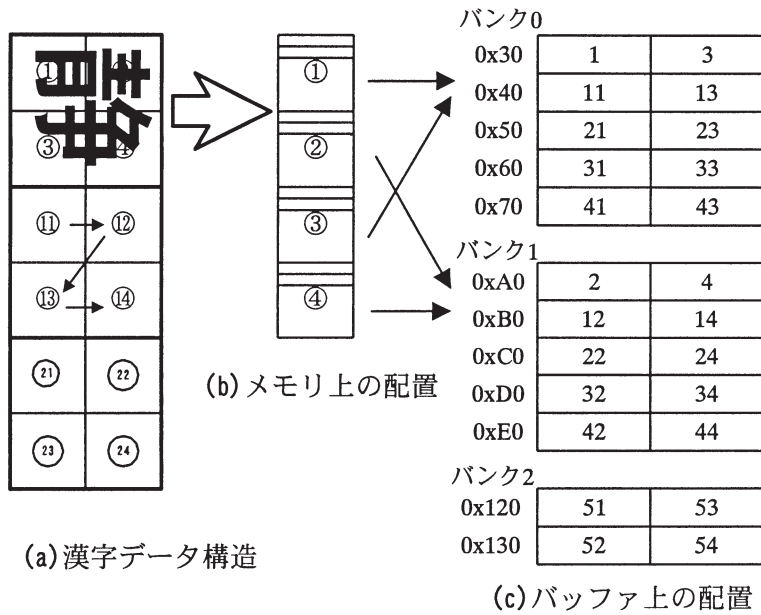


図7 漢字データ構造とメモリへの配置

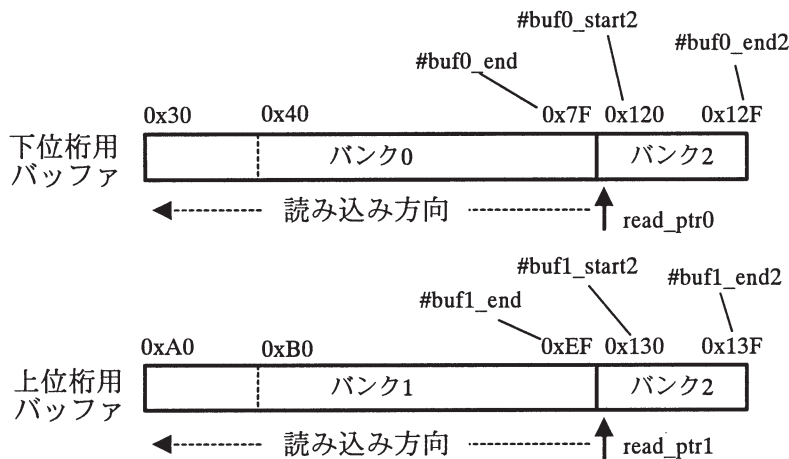


図8 バッファアドレスとポインタの関係

の列におけるLEDに相当する)を示すポインタ read_ptr0 および read_ptr1 の初期値を 0x120 および 0x130 (いずれもバンク2) に設定し、16 右にシフトさせていくようにしている。

(4) バッファ内容のシフト

ポインタがバッファの終端に達すると、新しいデータをバンク2の領域に読み込むが、その前に以下のバッファシフトを行って新しいデータを読み込む領域を空ける必要がある。

- 下位桁 バンク0 → バンク0
- バンク2 → バンク0
- 上位桁 バンク1 → バンク1
- バンク2 → バンク1

下位桁の場合におけるフローチャートを図9に示す。

(5) 漢字テーブルからバッファ(バンク2)への読み込み

バッファシフトの結果、バンク2における領域が空くので

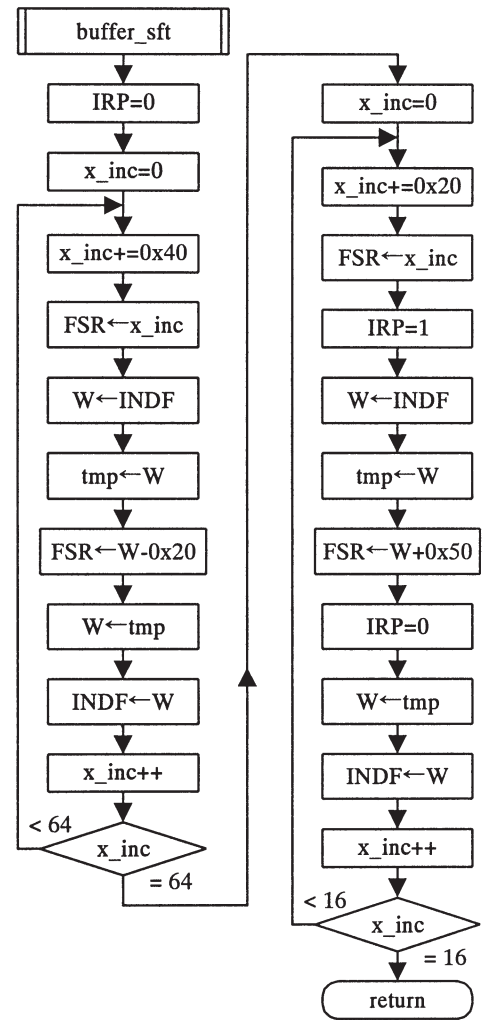


図9 buffer_sftのフローチャート (下位桁の場合の例)

ここに新しいデータを漢字テーブルから読み込む。このための関数が図10に示す kanji_data_set_bank2 である。漢字1文字を1

バイト単位で4回に分けて取り込んでいる。

関数 LED_DATA2 はページ0において、LED_DATA3 はページ1において実際にデータを読み込むための関数であり、以下のようにになっている。

```

ORG    0x2FF
LED_DATA2
ADDWF  PCL,F
RETLW  B'00000010'

ORG    0x800
LED_DATA3
ADDWF  PCL,F
RETLW  B'00000010'
    
```

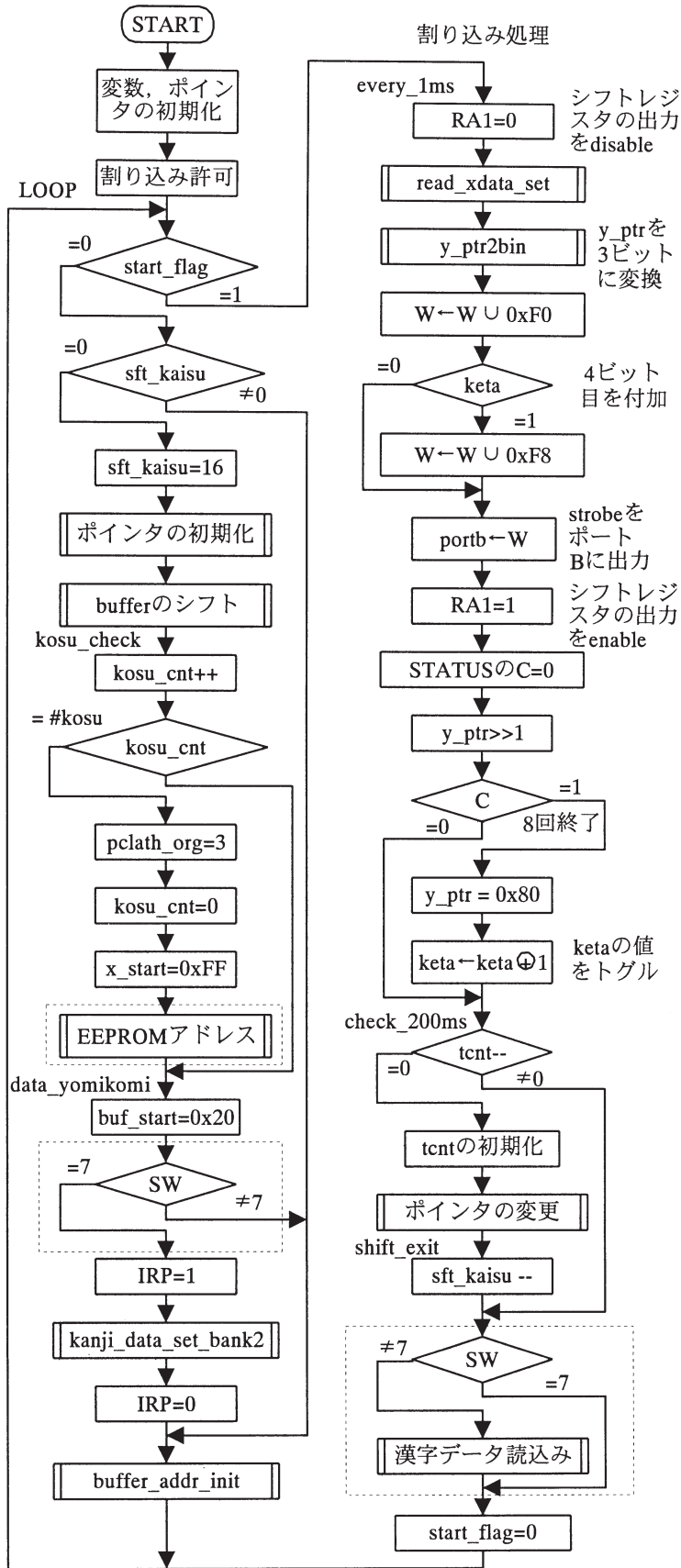


図5 漢字ディスプレイの概略フローチャート

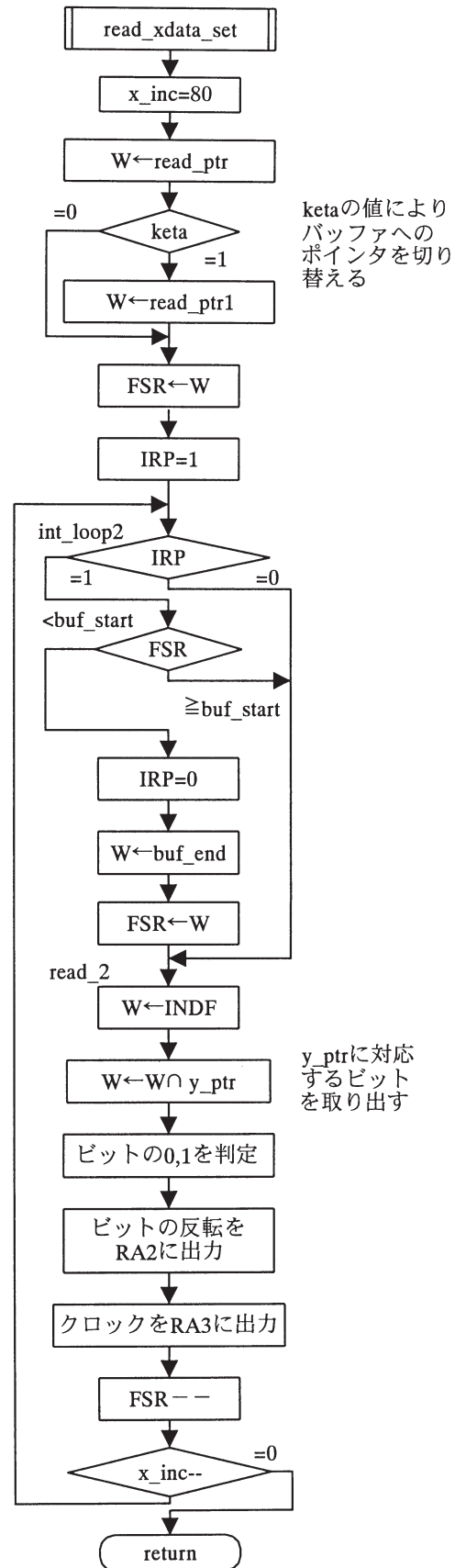


図6 read_xdata_setのフローチャート

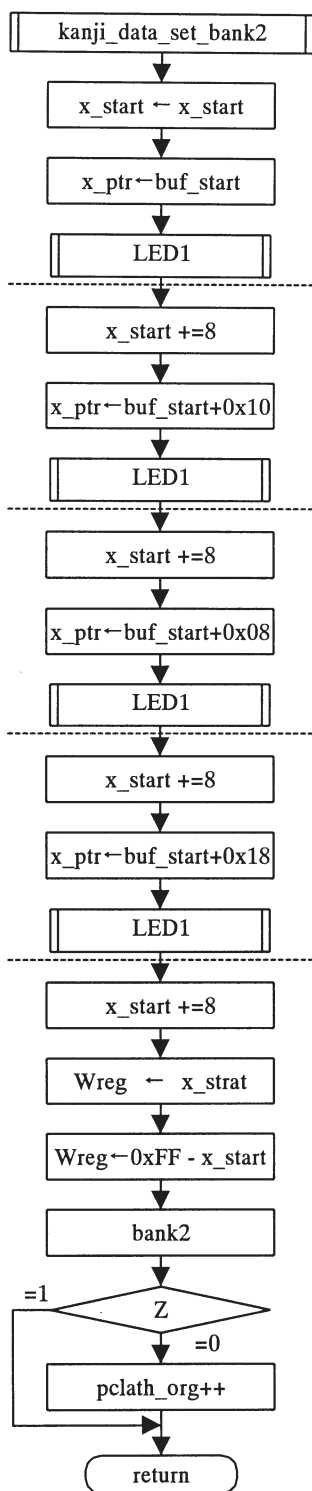


図10 漢字データの読み込み

いずれの場合にもプログラムカウンタ PCL (13ビット長) との演算を行っている。プログラムカウンタの下位バイトは 255(0xFF)を超えるとオーバーフローする。演算時におけるこのプログラムカウンタのオーバーフローを考慮するために PCLATH レジスタを用いる必要がある。図10におけるフローチャートの最後の部分で、X_START の値が 0xFF になったときに変数 PCLATH_ORG の値を 1 だけインクリメントしている部

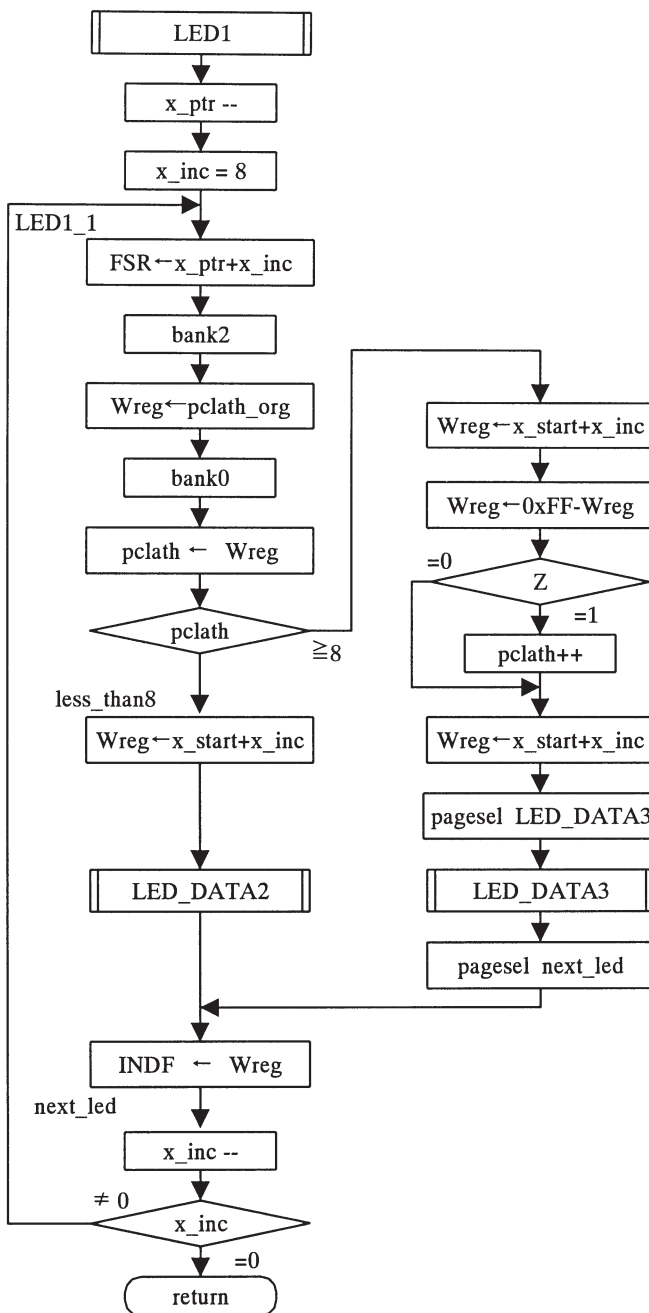


図11 ページ切り替えの制御

分がこのオーバーフローに対する処理である。

直接 PCLATH をインクリメントしないのは、ページ 0 とページ 1 に処理が跨っているためである。PCLATH が 8 以上になると処理が図 11 における右側の部分に移り、アドレス 0x800 (ページ 1) に配置された LED_DATA3 がコールされる。LED_DATA3 からのリターン時には、PCLATH の値は呼び出されたデータのある PCLATH の値になる。したがって疑似命令 PAGESSEL_NEXT_LED を用いてプログラムの処理が正しく行

われるようにしている。この結果、今度は PCLATH が 0 となってしまう。したがって LED_DATA3 をコールする直前に PCLATH_ORG を PCLATH に再設定して、これを回避している。

なおページ 1 においてはアドレス 0x800 に ADDWF 命令を配置しなければならない。したがって $256 \div 32 = 8$ 個の漢字データ読み込む度にプログラムカウンタ PCL の下位バイトがオーバフローする。このためループの先頭部分において X_START が 0xFF になったか否かを検出し、一時的に PCLATH の値を 1 だけインクリメントすることによって解決している。

(6) 割り込みサービ斯拉ーチンの構成

割り込みサービ斯拉ーチン(ISR)においては以下の内容を実行している。割り込み周期は 1.1ms である。

- ① tmr0 の値を $256 - 43 = 213$ に再設定
 $\therefore (20\text{MHz} \div 4) \div 128 \div 43 = 908 \text{ Hz} \dots 1.1 \text{ ms}$
 なお、128 はプリスケール値である

- ② start_flag を 1 に設定
 start_flag の導入は、ISR における処理をできるだけ小さくするためのものであり、処理の流れが簡単な今回のようなプログラムには有効な方法であると思う。

①②に加えて、今回のプログラムではページに跨る処理を行っている。このため以下を実行している。

- ③ PCLATH の待避、および回復

4. 漢字データの作成

VC++によりプログラムを作成して、漢字データを作成した。フローチャートを図 12 に示す。処理の流れの概要を以下に示す。

- ① 下地のビットマップを読み込んだメモリデバイスコンテキスト上に、漢字データを代入した変数 moji を印字する。
- ② GetPixel(x,y)関数を用いて、メモリデバイスコンテキスト上における漢字データのビットマップを取り出す。
- ③ ドキュメントクラスの配列に出力する。
- ④ シリアライズ機能を用いてテキストファイルに書き出す。
 このとき単に ar<< 変数名 を使うと、書き出したテキストファイルの先頭に不要な文字が付加されることが分かった。このため ar.WriteString(変数名)を使用することにした(情報システム学科の玉真教授のご教授を頂いた)。
 なお、出力データ形式は以下の例のようにした。

RETLW B'00000001' ; 漢字 (先頭バイトのみ)
 RETLW の前にはタブを付加した。また B の後ろに 2 進数でデータを出力した。先頭のバイトには漢字をコメント出力するようにした。

出力するフォントは、フォントダイアログ (コモンダイアログの一種) を用いて選択できるようにした。16 ビットフォントであるため、等幅フォントであればとくに大きな相違がないことが分かったので最終的に“MSゴシック”とした。

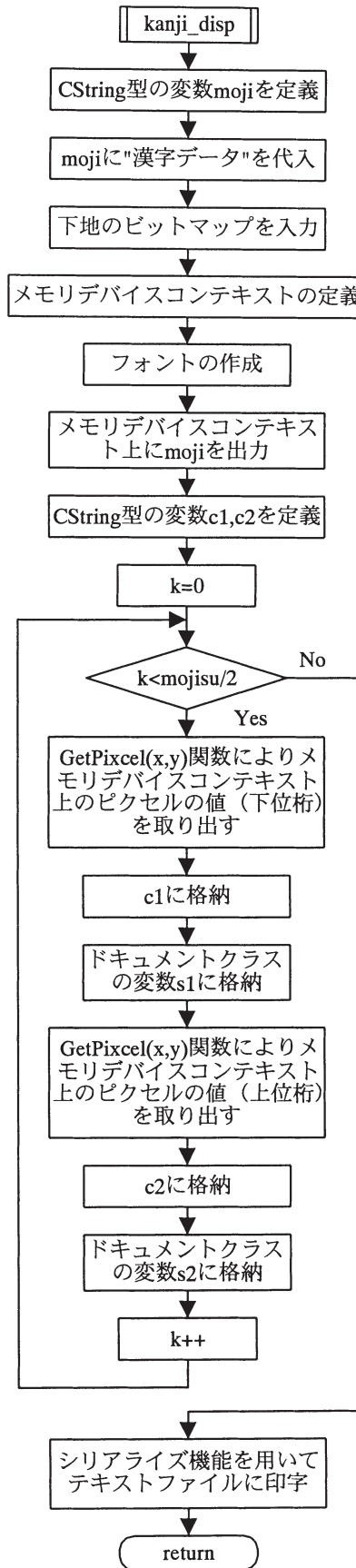


図12 漢字データの作成

5. シリアルEEPROMによる大容量メモリ化

今回試作した漢字ディスプレイでは、漢字データをプログラムメモリに格納しており、表示できる漢字の個数は最大103個である。また漢字データを作成するには専用のプログラムを使う必要があり、設計者以外には使いにくい。そこで種々の催し物などにおいて誰でも使えるようにするために、あらかじめ外部EEPROM等に多くの漢字データを格納しておきスイッチによってデータを切り替えられるようにしておく方法を検討した。

ここではシリアルインタフェースを用いたEEPROMを適用して、大容量メモリ化を図る方法を検討した結果を示す。

(1) 現状のディスプレイにおける漢字データの読み込み

図5に示した概略フローチャートに示したように、今回試作したディスプレイではsft_kaisu=0になったときにプログラムメモリに格納した漢字データ(1個分、32バイト)を一挙にバッファに読み込んでいる。読み込むために必要な時間は約0.5msと短い。しかし読み込みの周期は回数で表して

1行の点灯回数×1文字の列数=32×16=512回と長い。したがって1回の読み込みで1バイトずつ、32回に分けて読み込んでやればシリアルインタフェースを用いたEEPROMを用いても分散読み込みが十分に実現可能である。

(2) PICマイコンにおけるポート数

シリアルインタフェースを増設するためには、PICのポート数に余裕があるか否かが問題になる。現在使用しているポートは以下に示す通りである。

表示データ (RA2), シフトクロック (RA3), LED出力 (RA1), 行選択パルス (RB0~RB3), 水晶振動子 (RA6, RA7), マスタークリア (RA5)

スイッチ切り替えによって、シリアルインタフェースを用いてEEPROMにアクセスするためには更に以下のポート数が必要になる。

データ切り替えのスイッチ入力用 3個
シリアルインタフェース用

2個 (PCインタフェース使用時)

4個 (SPIインタフェース使用時)

使用可能な空きポート数は、ポートAが1~2個、ポートBが3~4個である。したがって18ピンのPICを用いるものとして、PCインタフェースの使用を検討することにした。

(3) 分散読み込みによるEEPROMとのインタフェース

LEDが点灯している約0.5ms間を複数周期使用して、32バイトの漢字データを分散してバッファに読み込むものとする。PCインタフェースのボーレートを100kbaud/sとすれば、0.5ms間に伝送可能なデータ数は50ビットである。

一方PCインタフェースを用いてEEPROMから1バイトのデータをリードするためには、コントロールバイト(2バイト)、アドレス(2バイト)、データ(1バイト)が必要であり、ACK/NACKの送受信やオーバーヘッド、命令の実行時間も必要で

ある。合計で約6バイト時間が必要であるとすると、理論的には分散読み込みが可能である。読み込み時間が不足した場合にはボーレートを上げることで対処することにする。

(4) 24LC256 (256K 1PC CMOS Serial EEPROM) について

このEEPROMはPCインタフェースを持つ256Kビット(32Kバイト)のメモリである。漢字データは1文字が32バイトであるから、このメモリを使えば最大1024個の漢字データを格納できる。したがってスイッチ切り替えで8組のデータに分割するとして、1組当たりの漢字数を128個とすることができる。これは必要にして十分な数であろう。

アドレス長は15ビットであり、2バイトで表す。この上位バイト(ADDR_HIGH)のビット6~4の3ビットにスイッチの番号を埋め込み図13のようにアドレスを表すものとする(12ビット長のアドレスで4096ビット=32バイト×128個になる)。

上位アドレス(ADDR_HIGH) 下位アドレス(ADDR_LOW)

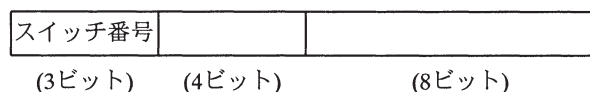


図13 シリアルEEPROMのアドレス構成

(5) 分散読み込みのフローチャート

スイッチ切り替えによって漢字データを分散読み込みするために、図5に示したフローチャートに変更を加えた。変更は以下の4箇所であり、破線で囲って示した。

- EEPROMアドレスの初期設定
- スイッチの値により、プログラムメモリからの読み込みか、分散読み込みを選択する。
- c)と呼応して、スイッチの値に応じて分散読み込みを行う。
- スイッチの値に対応して、最初に繰り返ループの外側で漢字データの個数を変数ksou_cntに読み込む。

漢字データの分散読み込みを行う関数のフローチャートを図14に示す。概略の動作は以下の通りである。

- 変数sft_kaisu=16になっている期間に、読み込みを行う。
- 図13に示したアドレスの初期値に、変数read_cntの値を加えてEEPROMのアドレスを計算する。
- PCインタフェースのランダムリードを用いてEEPROMから1バイトの漢字データを読み込む。
- 変数read_cntの値に対応させて、バッファに格納する。
- ①~④を32回繰り返すと漢字データを1個読み込むことができる。
- ①~⑤に先だって漢字データの個数を読み込んでおく。

(6) PCインタフェースによるEEPROMからの読み込み

18ピンのPICは、ハードウェアによってスレーブ動作は可能であるが、マスター動作はファームウェアにより行うしか方法がない。したがって文献(3)~(6)を参考にしてプログラムを作成し、これに基づいて読み込みを行うことにする。

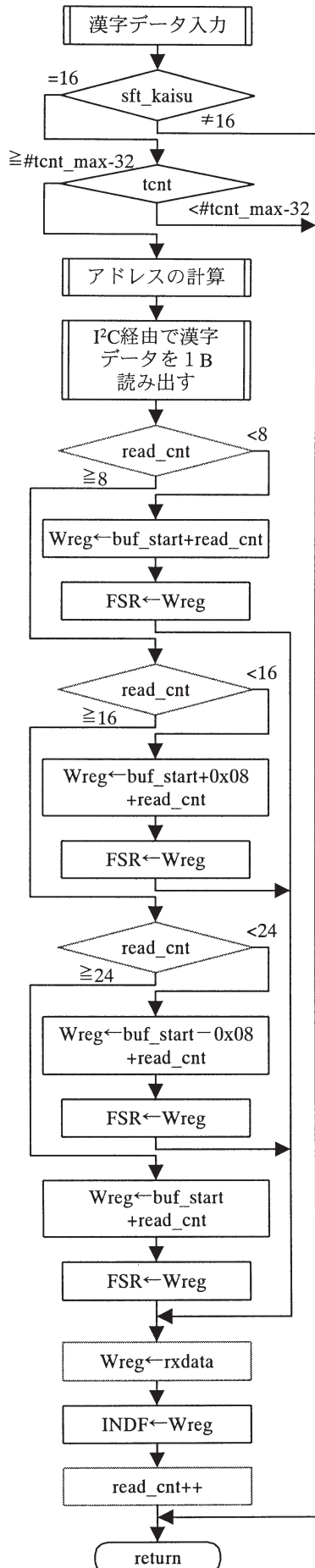


図14 漢字データ入力のフローチャート

(7) EEPROM との接続

図15にPICとEEPROMとの接続を示す。主要ポートの割り当ては以下の通りであり、試作した回路とは幾分の変更がある。

- RA0 SCL (I²C インタフェースにおけるクロック線)
- RA1 SDA (I²C インタフェースにおけるデータ線)
- RA2 シフトレジスタに入力するデータ
- RA3 シフトレジスタのクロック
- RA4 シフトレジスタの出力 Enable/Disable 信号
- RB0~RB2 データ切り替えのスイッチ入力
- RB4~RB7 行選択パルス

EEPROMには2ビットのチップセレクト線(A1, A0)があり、したがって最大4個接続可能であるが、2ビットとも0とする。またライトプロテクトWpも0とし、書き込み可能とする。3.3kΩの抵抗はバスのプルアップ抵抗である。

(8) EEPROM へのデータの書き込み

EEPROMへデータを書き込むときには、まずメモリアドレスをバスに送信し、引き続きデータを送信する。その手順は以下および図16に示す通りである。

- ① スタート・コンディション(S)の開始
- ② デバイス・アドレス+Write 命令 (0xA0) の送信
- ③ EEPROM から送信される ACK を待つ
- ④ メモリアドレスの上位バイト送信
- ⑤ EEPROM から送信される ACK を待つ
- ⑥ メモリアドレスの下位バイト送信
- ⑦ EEPROM から送信される ACK を待つ
- ⑧ データを1バイト送信
- ⑨ EEPROM から送信される ACK を待つ
- ⑩ ストップ・コンディション(P)の送出

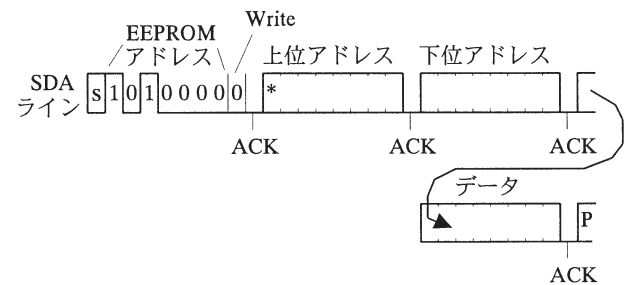


図16 EEPROMへ1バイト書き込む手順

(9) EEPROM からのデータの読み込み

EEPROMからデータを読み込むためには、最初にメモリアドレスを送信しなければならない。この手順は図16におけるデータ書き込み手順の①~⑦と全く同じである。一方⑧以降の手順は以下ようになる。これを図17に示す。

- ⑧ スタート・コンディション(S)の開始
- ⑨ デバイス・アドレス+Read 命令 (0xA1) の送信
- ⑩ EEPROM から送信される ACK を待つ
- ⑪ データの受信
- ⑫ NACK を送信
- ⑬ ストップ・コンディション(P)の送出

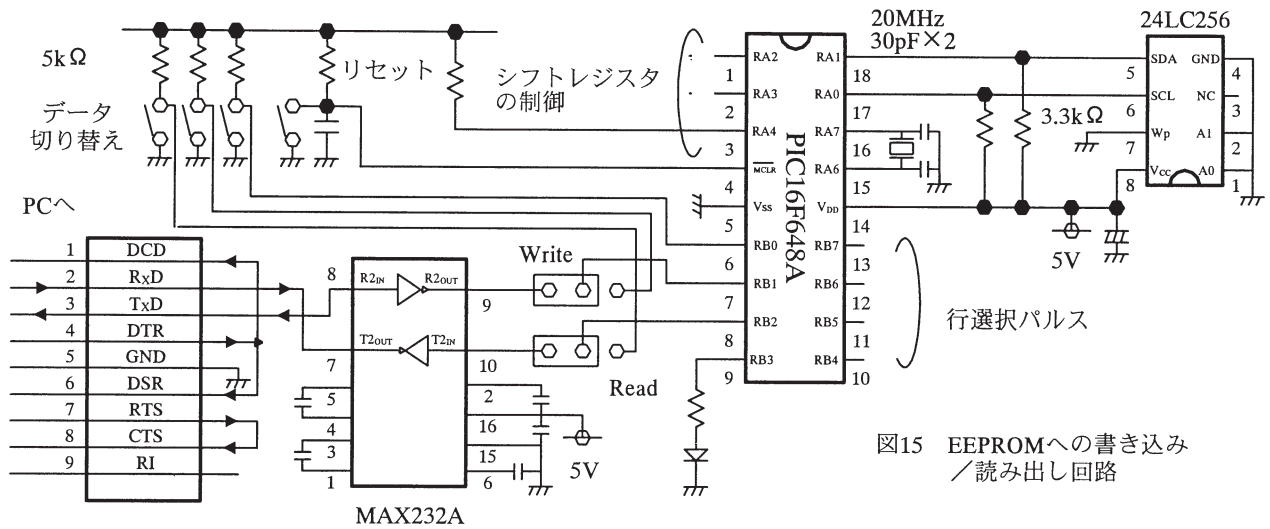


図15 EEPROMへの書き込み／読み出し回路

なお、EEPROMはNACKが送られてくるまで、ACKを受信する度に次のデータをマスタ（PIC）に送信する。したがってPICから⑩においてNACKでなくACKを送信してやれば、複数のデータをシーケンシャルにリードすることができる。

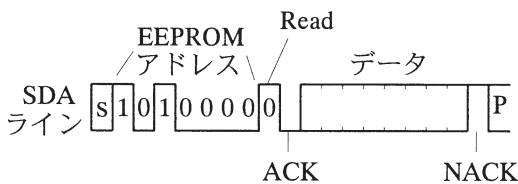


図17 EEPROMからの1バイト読み出し

(10) ACKの受信（確認）

ACKを受信（確認）する手順は以下のようになる。

- ① SDAラインに対応するTRISレジスタのビットを1に設定し、SDAラインをハイインピーダンスにする。
- ② SCLラインを1にする
- ③ 一定時間待つ SDAラインが0になったときACKを受信したと判断する。
- ④ 待ち時間については、旧式のPICを用いている文献(5)の記述では、40μsとの記述がある。文献(6)のEEPROMの説明書には特に記述がない。10MHzクロックでPIC16F84Aをコントローラに用いてEEPROMを制御している別の例では、2.4μsとの記述がある。

(11) ACK/NACKの送信

前述のPIC16F84Aの例では以下のようになっている。

- ① SDAラインを出力にする
- ② 0.8μs待つ
- ③ SDAラインを0にする（ACK）／1にする（NACK）
- ④ 0.8μs待つ
- ⑤ SCLラインを1にする
- ⑥ 0.8μs待つ
- ⑦ SCLラインを0にする
- ⑧ SDAラインに対応するTRISレジスタのビットを1に設定し、バスをハイインピーダンスにする

(12) パソコンによるEEPROMへの書き込み

ハイパーターミナルを使用してRS232Cインタフェース経由で、漢字データをパソコンからPC-EEPROMに書き込む方法が文献(3)、(4)に記載されているのでこれを利用すれば良い。

6. まとめ

高校生に電気電子に対する興味を喚起して貰うことを狙いとして、漢字表示電光掲示板（漢字ディスプレイ）を試作しその設計方法の詳細を示した。今回試作した漢字ディスプレイは、以下のような仕様になっている。

- ・ 16ビットフォントの漢字を5個同時に表示可能である
 - ・ 左シフトにより、約100文字の漢字を繰り返し表示できる
- なお、種々の催し物などにおいて誰でも使えるようにするために、PCインタフェースを用いたEEPROMを適用して、大容量メモリ化を図る方法について検討しその結果を示した。

この漢字ディスプレイを1月23日（金）に星陵高校において実施した高大一環授業において試用してみた。表示の周期を4段階に変化させて、表示の仕組みが分かりやすいようにしたこともあり、好評であったと思う。所期の目的である電気電子に興味を持って貰うと言う目的をある程度達成できたもと考えている。今後、大容量メモリ化の実現を図っていきたい。

[参考文献]

- 1) PIC16F627A/628A/648A Data Sheet Flash-Based 8-Bit CMOS Micro controllers with nano Watt Technology, Microchip
- 2) PIC16F818/819 Data Sheet 18/20-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with nano Watt Technology, Microchip
- 3) 後閑哲也, “改訂版 電子工作のためのPIC16F活用ガイドブック”, 技術評論社, 2007年
- 4) 神崎康宏, “作りながら学ぶPICマイコン入門”, CQ出版社, 2007年
- 5) AN554, “Software Implementation of I²C™ Bus Master”, Microchip
- 6) 24AA256/24LC256/24FC256 256K I²C™ CMOS Serial EEPROM, Microchip

長時間実行に耐えうるサーチエンジンシステムの構築

Development of Long-Term Executable Search Engine System

幸谷智紀*

Tomonori KOUYA*

Abstract: For 3 years, we have been continuing to develop a small-scale search engine which can automatically collect a large amount of Web data on the Internet. In this paper, we describe the 3 themes about our search engine which we have studied in this year:

- Confirmation of long-term executability
- Highly performed searching for collected Web datum by using “noun tables”
- Parallel performance evaluation of distributed Web robots.

1. 初めに

我々は3年間に渡り、自動的に Web データを収集する小規模なサーチエンジンを作成し、その開発研究を進めてきた。本稿では本研究室で2008年度に行った次の3つのテーマについての報告を行う。

1. 長期運用能力の確認
2. 名詞テーブルを用いた検索処理速度の向上
3. Web Robot の分散処理能力の計測

現在では既に Google をはじめとする大規模な自動収集サーチエンジンが稼働し、商用的な成功も収めている。また、大規模サーチエンジンが収集したデータを部外者が、データ量の制限付きながらも自由に入手・加工できるよう API を公開しているケースも見られる。このような状況下で、かつ、ネットワーク帯域もマシン性能もごく限定される大学の一研究室においてスクラッチからサーチエンジンシステムを構築する意義を疑問視する向きも多い。しかし我々はこのような状況下である現在であるからこそ、その意義があると考えている。本稿における3つの報告事項に絡めてその理由を以下に述べる。

日本をはじめとする先進諸国では既に The Internet の普及率は飽和状態であるが、それ以外の地域ではまだまだ普及の途上にある。従って、The Internet における主要サービスの一つである Web サーバは今後も増えていくと予想される。よって既に現在でも小規模な PC cluster では The Internet 上の全ての Web サーバ上のデータを捕捉することは不可能であり、将来においては更に不可能性が増すと予想される。従って、コンピュータ資源に制限のある環境下で、ほぼ無限大と等しいデータの海の中で溺れずに、しかもユーザが求めるデータを効率的に収集・管理・検索する技術がこれからは重要になる。我々は昨年度まで、MySQL を基盤としてその上に構築してきた Web Robot(Web データ自動収集スクリプト) と検索インターフェースを用い、この目的に少しでも近づけるための研究開発を本年度行った。

まず、無限大の Web データの海の中でどのように既存の Web Robot が動作するか、そして長期的にどの程度耐えられるかを検証した。その結果を第2節で述べる。次に、昨年度作成した名詞を対象として検索を行うインターフェースは、検

索速度が遅く、また分散処理にも対応できるものではなかった。本年はテーブル構造を検索用に変更し、高速化がどの程度図れるかをベンチマークテストで確認した。その概要とベンチマークテストの結果を第3節で述べる。最後に、大量の Web データを収集するための高性能化を図るため、Web Robot の並列分散化がどの程度有効なのかを調査した結果を第4節で述べる。

なお、今回行った実験のうち、Web Robot を稼働させたコンピュータ環境は下記の通りである。

CPU Intel Core2Quad 6600 (4 Cores)

RAM 4GB DIMM

OS CentOS 5.2

RDBMS MySQL 5.0.45

Language Perl 5.8.8, PHP 5.1.6

ISP OCN + NTT West B Flets(Max. Bandwidth: 100Mbps(best effort))

2. 長期安定動作の確認

Web Robot の基本動作はごく単純である。既知の URL にアクセスし、本文データのリンク部分から新たな URL を収集する、というループを繰り返すだけである。しかし実際に動作させてみると高性能かつ頑健な Web Robot を書くためには細かいノウハウが必要となる。本研究室の卒業研究において、Perl+RDBMS を基盤とする Web Robot はいくつか実装してきたが、いずれも高性能性や頑健性において問題があった。そこで本年度はすべての Web データを竹口による Web Robot 実装を用いて収集することにした。まずこの Web Robot のデータ収集アルゴリズムを簡単に述べる。

データベース上に、Main テーブルと Reserve テーブルを用意する。Main テーブルはユーザの検索要求がなされたときに、検索対象となるデータを保存しておく。具体的には

- URL
- タイトル
- 更新日付
- 本文 (HTML, XML タグは排除したプレーンテキスト)
- リンク URL
- WebRank

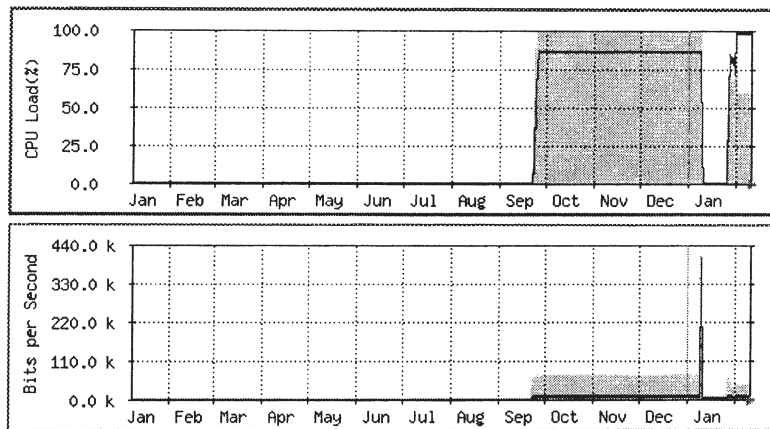


Fig. 1: CPU 負荷履歴 (上) と帯域使用履歴 (下)

が最低限必要となる。当然、接続可能かつ検索に意味のある URL の Web データだけが格納されていなければならない。しかし、Web データから新たな URL を抽出すると、大量の新規 URL が取得できることもあるが、そのうちアクセス可能なものはそれほど多くなく、データ収集が進むと既知の URL もたくさん見つかる。従って、新規の URL は一旦 Reserve テーブルに URL、リンク元 URL と、アクセスに必要な最低限度のデータのみ格納しておき、アクセス可能なことが判明したもののみ Main テーブルに追加するようにすると、データ収集能力の向上と、収集したデータの信頼性の両方を高めることができる。

このようなアルゴリズムによる Web Robot を 2008 年 9 月から 24 時間ノンストップで動作させてみた。最初の収集 URL は Yahoo! Japan のトップページ (<http://www.yahoo.co.jp/>) である。その過程を MRTG で記録した結果を Fig.1 に示す。上が CPU 負荷履歴、下が Ethernet の帯域使用履歴である。残念ながら 2009 年 1 月上旬に不慮の事故による停電が短時間に 2 回発生し、そこで Web Robot は一度停止し、その際に Main テーブルが破損した。従って、連続動作としては約 4 か月達成されたことになり、停電がなければもっと動作記録は伸ばせたものと思われる。この時、Main テーブルには約 60 万 URL、Reserve テーブルには約 2000 万 URL が記録されていた。

収集した URL のリンク関係を、収集回数ごとにドメイン単位でまとめた図³⁾を Fig.2 に示す。URL 数は約 54000、ドメイン数は約 2000 である。図の一番上が Yahoo! Japan であり、4 段階目で一気に URL 数が増えていることが分かる。

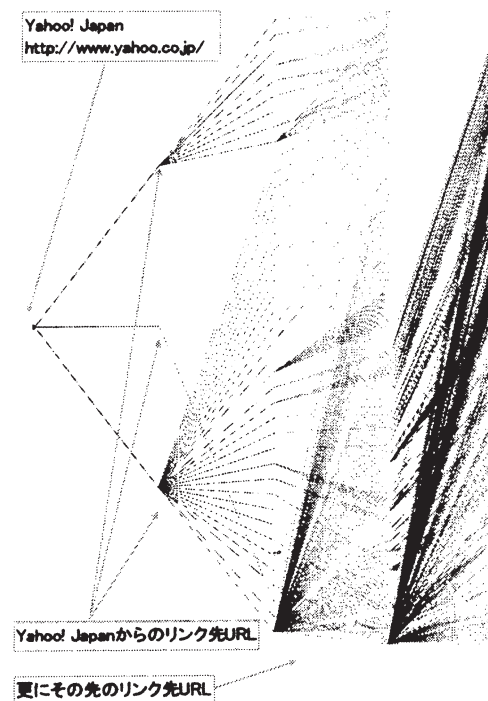


Fig. 2: リンク関係図

3. 名詞テーブルを用いた検索処理速度の向上

昨年度作成した検索インターフェイス²⁾は、ユーザから入力されたキーワードを日本語形態素解析ソフトウェアを用いて分解し、その中の名詞のみを対象として検索を行うものである。本年度新たに作成したそのトップページを Fig.3 に示す。

検索対象となる Main テーブルのフィールドは、URL、タイトル、本文である。しかし、実際に検索を行ってみると、検索結果が表示されるまで分単位の時間を要することがしばしば見られた。我々の検索インターフェイスは、ドメイン検索やタイトルだけの検索をオプションとして指定しない限り、本文データを検索対象とするが、大量の URL 件数になればなるほど、本文データを逐一取り出して複数の名詞を検索するのはかなりの時間を要する作業となりうる。

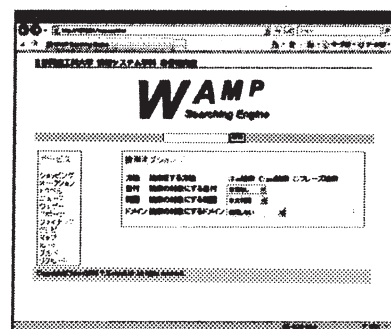


Fig. 3: 検索インターフェイス

検索時間を短くする工夫としては、データベースのファイル形式を変更したり、ファイルを格納するディスクを高速にしたり、キャッシュを利かせるようにする等、I/O性能を上げることが一番手っ取り早い方法である。しかし我々が目指すサーチエンジンシステムでは扱うデータ量が膨大になるので、I/O性能を上げる工夫は重要ではあるが、それ以上に性能が向上できる仕組みを、もっと上位階層で行うことを考えなければならない。そこで、データベースを名詞単位で細かく分割し（これを名詞テーブルと呼ぶことにする）、Main テーブルの情報を検索用に小分けにすることを考えた。つまり名詞ごとのインデックスをあらかじめ作成しておこうということである。このシステム概要図を Fig.4 に示す。

Main テーブルそのものは改変せず、あくまで検索用に別データベースを作成し、そこに PHP スクリプトと日本語形態素解析ソフトウェアを使って名詞テーブルを作成する。これによって、検索要求があるごとに本文データを見る必要はなくなり、理論的には OR 検索、AND 検索は名詞テーブルごとの集合演算 (SQL の JOIN 命令) で実行できるはずである*。

これによる速度向上率は昨年度の検索スクリプトと同じヒット率になるキーワードと比較したところ、約 50% の性能向上率が得られた。検索時間は半分程度になったものの、それ以上の向上を期待していた我々としては満足はいくレベルではない。この理由としては、膨大な数になる名詞テーブルそのものの検索に時間がかかっているせいではないかと推察される。よって、更なる性能向上を目指すためには、名詞テーブルそのものを分散・階層配置する必要があると思われる。

4. Web Robot の分散処理の実験

無限大の Web データを大量に取得するためには、なるべく IX(Internet Exchange) に近い幹線のような高速なネットワーク環境の下で、Web Robot を大量に分散配置し、並列に Web データを取得する仕組みが不可欠である。しかし、単純に Web Robot を並列に配置しても、取得した URL は重複するであろうし、同時に同じ Web サーバに複数アクセスを行ってネットワーク攻撃とみなされることも考えられる。従って、ある一定の秩序を保ち、どこかで集中的に分散配置した Web Robot をコントロールする機構が不可欠である。

そこで我々は、もっとも簡単な Web Robot コントロール技法として、Main/Reserve テーブルを配置する MySQL データベースサーバを一台だけとし、テーブルを共有させてドメイン単位に担当する Web Robot を配置するようなコントロール技法を使用し、どの程度並列動作の効用が得られるかどうかを検証してみた。その結果を Fig.5 に示す。

前述した Quad-core マシン上に Web Robot を 1 本もしくは 4 本同時に 24 時間連続動作させ、Yahoo! Japan を収集の起点として、どの程度収集 URL が増加するかを調査した。Fig.5 の左が Main テーブルの URL 増加数、右が Reserve テーブルの URL 増加数である。どちらも分散処理の効用が現れているとは言い難く、特に収集データ量の多い Main テーブルでは、4 本並列動作の方が、実行時間が長くなり URL 数が増加するにつれて増加量は鈍化していることが分かる。それに対して Reserve テーブルの方は、並列動作の効用はないとはいえ、増加量の劣化は起こっていない。

これは MySQL サーバが一台しかなく、そこに集中的に SQL query が寄せられることによって I/O 性能のボトルネックが発

生しているためと思われる。従って、高性能な分散並列 Web Robot の開発には、分散データベースとの併用が不可欠という結論が導かれる。

5. 結論と今後の課題

以上述べてきたように、我々の開発してきた自動収集サーチエンジンシステムは長期的に実行可能であることが確認できたが、次のような問題を抱えていることも同時に明らかとなった。

1. Web Robot 実行中のデータベースのバックアップ体制がないため、突然の停電などのファイル破損に対して無防備である。
2. 検索インターフェースは昨年度に比較して半分程度の検索時間になったものの、実用的にはさらに短縮する必要がある。また、名詞テーブル作成時間が膨大になることも問題である。
3. Web Robot を分散させて並列実行させても、データベースサーバが単独ではそこがボトルネックになって収集性能は並列度を増やしても上がらない。

これらの問題の解決策を考案するのが今後の課題である。現時点としては次のようなことが考えられる。

5.1 収集 URL データのバックアップ体制

データベースのバックアップは、Main テーブル、Reserve テーブルそれぞれで行い、なるべくデータ量は小分けに行い、データベースのバックアップと復旧が迅速に行えるようにする。特にデータ量の多い Main テーブルをどう小分けにするか、どの程度の頻度でバックアップ作業を行うかをよく考える必要がある。もちろん、バックアップ用のサーバを一台用意し、互いにバックアップファイルを持ち合うようにすることも考えねばならない。

5.2 検索インターフェースに関する問題の解決策

まず、現状の名詞テーブル配置のまま、I/O 性能を最大限発揮できるよう、既知のノウハウを習得してできる限り的高速化を行う。その上で、収集した Web データ中に含まれる名詞（単語）の統計分布を調査し、それに基づいて適切な分散配置を実行できるようなアルゴリズムを考案する。将来的には、異なる性能を持つ PC 群に対して、個々の PC の性能に見合った名詞テーブルの配置が可能なような機能も、実用的には不可欠であろう。

5.3 分散並列 Web Robot の高性能化

名詞テーブルに関する問題解決同様、データベースサーバ単体での I/O 性能をできる限り引き出すことをまず考えねばならない。その上で、既存の RDBMS ソフトウェアを、ライセンスの許可する範囲内で独自にクラスタ化し、その上で分散データベースを構築し、そこで最大限の能力が発揮できるような Web Robot の配置、並列動作方法、データの同期方法を考えねばならない。

この方法としては、全ての分散データベースの機能としてミドルウェア的に解決する方法と、個々の Web Robot がエージェントとして独自に考えつつ、あまり同期の手間を増やさないようにする方法が考えられる。どちらの方法にしても一長一短あるので、まずは Web Robot としてふさわしい方法を選択することにしたい。

*今回作成したものは PHP スクリプト内部で独自に OR、AND 処理を行っている。

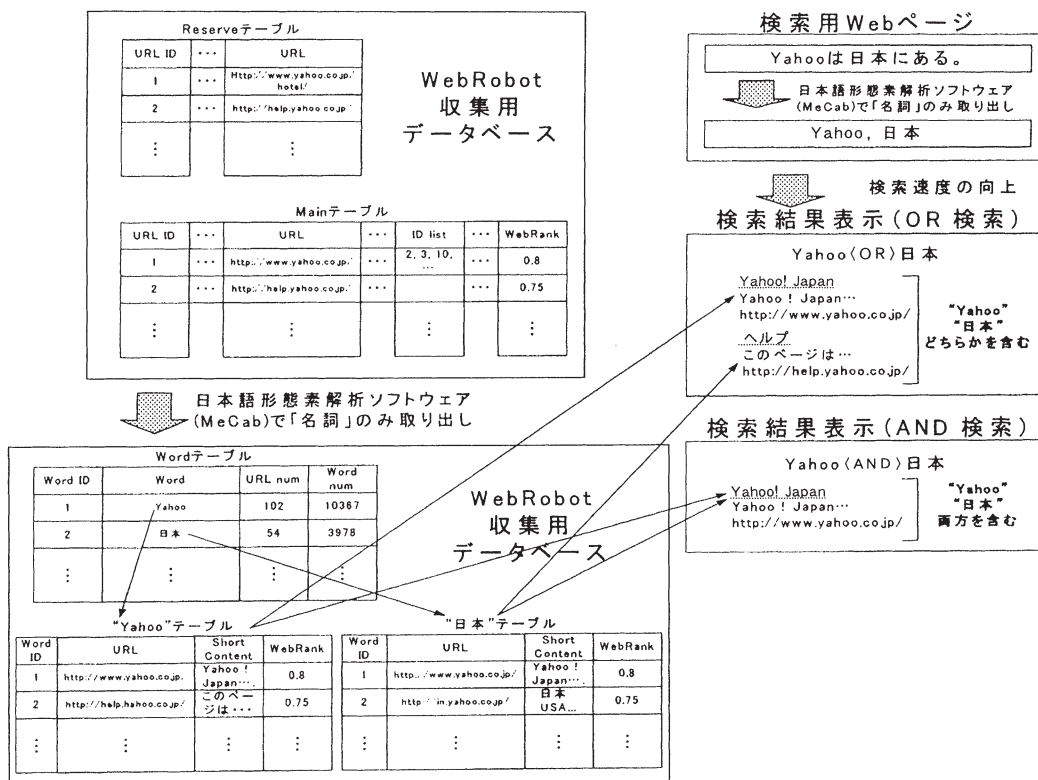


Fig. 4: 名詞テーブルと検索処理の概要

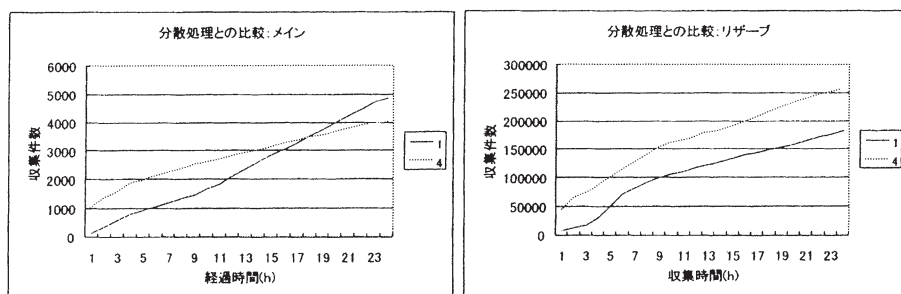


Fig. 5: 分散処理による効果の検証

謝辞

本研究は、平成 20 年度卒業研究として、仁藤昌彦、吉田嗣、黒田博雅によってなされたものである。教員の独断によって設定された研究テーマに一年間お付き合い頂いた彼らの労に対して感謝申し上げる。また本研究に使用した PC 機材は静岡理工科大学学内研究費の補助で購入したものである。関係者各位に感謝する。

参考文献

- 1) 竹口友大・幸谷智紀, ランク機能付きサーチエンジンの開発および I/O ボトルネック対策, 第 70 回情報処理学会全国大会講演集, 2008.
- 2) 山本達文, "PHP+MySQL と茶筌 (Chasen) を用いたサーチエンジンの作成", 2007 年度静岡理工科大学情報システム学科卒業研究.
- 3) 吉田 嗣, "Web データ収集構造を視覚化するためのプログラムの作成", 2008 年度静岡理工科大学情報システム学科卒業研究.
- 4) 仁藤昌彦, "サーチエンジンの検索速度向上に関する研究", 2008 年度静岡理工科大学情報システム学科卒業研究.
- 5) 黒田博雅, "並列分散型 Web データ収集システムの改良", 2008 年度静岡理工科大学情報システム学科卒業研究.

創造体験教育「創造・発見」の平成20年度実施報告 —科目再編に向けて—

The Preparation and the Practice of the Educational Program “Exercises for the Creation and Invention” in 2008

関山 秀雄^{*1}, 丹羽 昌平^{*2}, 榊田 勝^{*2}, 土肥 稔^{*3}, 恩田 一^{*3}, 中村 壘^{*4}, 小栗 勝也^{*4},
小林 久理真^{*1}, 河村 都美明^{*5}, 山下 博通^{*6}, 竹下 知宏^{*6}, 望月 知徳^{*6}

**Hideo SEKIYAMA^{*}, Shohei NIWA, Masaru SAKAKIDA, Minoru, DOHI, Hazime ONDA,
Rui NAKAMURA, Katsuya OGURI, Kurima KOBAYASHI, Tomiaki KAWAMURA,
Hiromichi YAMASHITA, Tomohiro TAKESHITA and Tomonori MOCHIZUKI**

Abstract: The educational program “Exercise for Creation and Invention “ has been introduced into the curricula of the Shizuoka Institute of Science and Technology since 2004. This program includes the production of electrical and mechanical devices, the making of movies and videos, the creation of works of art, research on specific subjects and student works as volunteers. The results of this program in 2008 are reported and future prospects are discussed.

1 はじめに

静岡理科大学の「やらまいか教育」の中心となる履修科目「創造・発見」は、平成16年に正式にスタートした。本学の「やらまいか教育」の目的は、「学生が新しい体験をすることにより、自分の殻を破り、日常という土壌を豊かにする」ことであり、その方法の特徴は「自主的・主体的・実践的な授業形態」にある。また、これを通じて学生に社会人としての基礎力（コミュニケーション能力、プレゼンテーション能力、積極性、自主性、チャレンジ精神、実行力、責任感、目的意識など）を育成するもらうことをねらっている。開始から5年間、本学の創造・発見ワーキンググループ（現在の創造・発見科目担当教員）、教育部会、やらまいか教育小委員会において現状の問題点や将来の方向性についての議論がなされてきた。これらについては、前報告¹⁻⁶⁾を参照されたい。その結果、2年後には、「創造・発見」を独立した3科目（創造・発見、テーマ研究、ボランティア活動）に分け、それぞれ内容をより一層、充実することが決定した。

本報告では、まず、平成20年度における「創造・発見」の実施結果、成果、問題点を述べたのち、今後の方針について報告する。

2 平成20年度「創造・発見」について

2.1 目的

先に述べたように、「創造・発見」の目的は「学生が新しい体験をすることにより、自分の殻を破り、日常という土壌を豊かにする」ということにある。「やらまいか」という言葉の原点は、静岡県西部のものづくり企業をターゲットとした人材育成を目

指すところにあるが、本学では、あえて「ものづくりに」に限定せず、日頃の大学の授業では味わえない広くさまざまなことを体験させることにより、学生の興味、意欲を起こさせ、勉学意欲の向上をはかるとともに、社会人基礎力（コミュニケーション能力、プレゼンテーション能力、積極性、自主性、チャレンジ精神、実行力、責任感、目的意識など）の育成を目指す人材育成の教育プログラムとした。このような観点から、学生にとって入学後のフレッシュマンセミナーや導入教育を終えてから卒業研究を始めるまでの期間が最も履修に適した時期と言え、2～3年生を履修時期としている。

2.2 活動分野

「創造・発見」は、現在、1科目であるが、その中身は3つの異なる活動分野、「ものづくりと創作活動」、「テーマ研究」、「ボランティア活動」から成り立っている。以下に詳細を述べる。

2.2.1 「ものづくりと創作活動」

実際に手を動かして実物に触れながら行うものづくりや創作の活動である。作る対象となるものは、機械、装置、ロボット、電子回路、ソフトウェア、アート作品、CG作品、ビデオ作品等、幅広いジャンルである。製作の基礎となる事柄の講義からはじめ、設計等も体験してもらう。なお、「ものづくりと創作活動」のうち、機械や装置等のハードウェアを製作するほとんどのテーマが、現在、本学の「やらまいかエデュケーションサイト」（略称YES）の中の夢創造ハウスで行われている。また、テーマによっては外部の大会への参加をめざして行うものもある。

2.2.2 「テーマ研究」

自然科学、工学技術、社会科学、人文科学、芸術等の幅広い

2009年3月2日受理

^{*1}物質生命科学科, ^{*2}機械工学科, ^{*3}電気電子工学科

^{*4}総合情報学部, ^{*5}総務課, ^{*6}学務課

分野からある一つのテーマを選択して、指導者の講義、指導をうけながら研究し、その成果をまとめるものである。「ものつくりと創作活動」に比べると、かなり「座学」にちかいためであるが、決して受身のものではなく、たとえば、シミュレーションの技術や装置の取り扱い技術等、自分で一つの技術や考え方を身に付けることができる。また、「絵本の魅力と読み聞かせ」では、その意義や奥深さを知ることができ、日常生活に潤いをもたらしてくれる。

2.2.3 「ボランティア活動」

外部の施設に出かけて行き、ボランティア活動を行うものである。対象となる施設は、地域の小学校、養護学校、福祉施設、NPO法人等がある。ボランティア活動を体験することにより、さまざまな人々との交流を通じて、小学校や養護学校の教育の大切さ、すばらしさ、さらに世の中の諸問題やボランティアの果たす意義、重要性等を講義といくつかの体験を通じて学びとってもらうことを目的としており、学生には、今後の人生にとって極めて貴重な経験となるものである。

2.3 「創造・発見」の履修と単位認定

「創造・発見」は、創造・発見1（1単位）、創造・発見2（1単位）と2科目あり、ともに通年科目であり、履修期間はそれぞれ1年間となっている。4月の初回授業のときに、各指導者によるテーマ説明会を実施する。その後、学生がどのテーマを履修するか、希望調査を行う期間を設け、最終的に履修者が確定し、活動が開始されるのは、5月初旬～中旬となる。また、1月末の成績認定の前に成果報告会を行う必要がある関係上、成果報告会は12月におこなっている。したがって、正味の活動期間は5月～11月の約半年間である。指導者には、その間、最低でも7回程度の授業を行ってもらい、学生の自主的な活動や大学祭での展示発表、成果報告会での指導も行うことにしている。単位認定については、活動期間中の活動状況や報告書の点数の合計を100点満点として点数化し、50点以上を合格、50点未満を不合格として評価を行う。

2.4 運営体制

「創造・発見」は、各学科より2名の教員があたり、合計8名が科目担当教員として、科目の運営にあたっている。

表1. 創造・発見1, 2の科目担当教員.

機械工学科	丹羽 昌平 教授 ^{*3} 榊田 勝 客員教授
電気電子工学科	土肥 稔 准教授 ^{*1} 恩田 一 教授
総合情報学部	小栗 勝也 准教授 中村 壘 講師 ^{*2}
物質生命科学科	小林 久理真 教授 関山 秀雄 准教授 (総括責任者)

*1 「ものつくりと創作活動」のリーダー

*2 「テーマ研究」のリーダー

*3 「ボランティア活動」のリーダー

表1に平成20年度の各学科の科目担当教員を示す。また、異

なる3分野（ものつくりと創作活動、テーマ研究、ボランティア活動）に分かれているため、8名の教員を3グループに分け、それぞれにリーダーにあたる教員を決め、科目運営をおこなっている。今年度は、テーマの指導については、学内教員10名、学内技術職員3名、教育指導員13名が指導にあたった。

3 平成20年度の創造・発見の実施および結果

3.1 平成20年度の創造・発見のテーマ

表2に今年度実施された創造・発見の3分野である「ものつくりと創作活動」、「テーマ研究」、「ボランティア活動」について、各テーマの概要を指導者、履修者数とともに示す。テーマ数では、ものつくりと創作活動が16テーマ、テーマ研究が4テーマ、ボランティア活動が4テーマである。「ものつくりと創作活動」では、今年度から新たに以下の5テーマ、「自動車部品のモデルをつくる」、「省エネカープロジェクト」、「フォーミュラカーの製作」、「ハイブリッドカーの製作」、「ものづくりシミュレーション」が加わった。

3.2 平成20年度の履修学生の募集と活動状況

創造・発見の履修にあたって、学生には初回授業の4月16日（水）5時限にガイダンス、各テーマの説明会を行い、履修学生の募集を行った。今年度は、学生の希望が殺到したテーマは特になかったが、希望者が0人というテーマがいくつかあったため、学生の希望の調整に苦労した。なお、例年通り、学生が単位取得を希望しない場合でもひとつのテーマに参加して活動することも許可した。各テーマの活動は、5月初旬から開始し、大学祭での発表や報告会の準備等もあわせて12月初旬まで活動した。今年度は、履修登録者122名（昨年124名）であり、昨年より2名減少した。また、このうち合格者数は98名であった。今年は、昨年と異なり、不合格者数が24名（昨年は10名）と多かった。

3.3 大学祭での展示発表と報告会(12月)の実施

今年度は、まず全テーマについて、大学祭（11月1日（土）、2日（日））の期間中、展示またはポスター発表による発表を行った。前年度は発表を希望するテーマだけ行っていたが、発表テーマの数が少なく発表会場（夢創造ハウス）が閑散となってしまったため、今年度は全テーマについて発表を行うこととした。また、発表会場も今年度は人が集まりやすい教育棟206教室で行った。

また、創造・発見の活動終了した時点で、12月17日（月）5時限に報告会を実施した。各テーマについて、代表1～2人による口頭発表を行った。

3.4 平成20年度の創造・発見の実施結果

今年度の成績評価は、JABEE審査を考慮し、さまざまな項目を点数化することにした。総合点を100点満点としその内訳は以下のようにした。活動状況40点（履修状況および履修態度10点、積極性と自主性10点、創意工夫と開拓精神10点、協調性10点）と報告書60点の合計を総合点100点満点で評価した。

表2. 開講テーマ一覧

分野	テーマ	指導者	概要	履修者数
ものづくりと創作活動	バイクの構造研究	●村井 義彦 ●蜂須賀 弘	2輪車の構造機能を理解すると共に工具の使い方や安全な作業の仕方も習得する。	9
	ワイヤ放電加工機取扱資格	行平 憲一	ワイヤ放電加工機は課題製作で加工した加工物を三次元測定機で測定することでその精度評価を行う。	4
	自分の香りを創ろう (アロマセラピー)	●半田 敦子	植物の香りが人の心と身体にどのように作用するのかを学び、自分にとって最適な香りを見つけていく。	9
	たたらを体験しよう	小林 久理真	講義2回、砂鉄採取(通算2-3回(半日))、実操業3日間を通して、古代からの製鉄技術のおもしろさと難しさが理解する	7
	フェザープレーンの製作	榊田 勝	実際の模型飛行機を設計、製作し設計者の考えどおりの飛行ができるか検証する。	3
	ペルチエ素子による熱発電電機の製作・評価	十朱 寧	熱電現象を利用して熱エネルギーを直接電気エネルギーに変える発電方式で、お湯と水の温度差による発電を試みる。	4
	ロボット作り	丹羽 昌平	二足歩行ロボットを製作しコンピュータ制御による安定化や歩行の制御を実現する。パフォーマンスなどを遂行させる。	6
	遠隔操縦ポートによる佐鳴湖水質調査プロジェクト	丹羽 昌平	携帯電話の無線機能を用いた遠隔操縦による無人ポートを製作する。また、これを用いて佐鳴湖の水質調査を実施する。	2
	精密鍛造による金属鏡、アクセサリ、指輪の製作	●落合 修二	スズ合金を鍛造し指輪およびアクセサリを製作する。	9
	マルチメディア作品の制作(大学コマーシャルビデオの制作)	高林 新治	大学の紹介用のコマーシャルビデオを制作する。映像作品の制作を通して、撮影の基本や編集作業を学習する。	5
	自動車部品のモデルを作る	●大塚 哲也	鍛造品の製法、材料の発展の歴史及び実際面から品質、工期、原価を実物の製品、製作図をもとに物づくりの基本を学ぶ。	3
	省エネカープロジェクト	●野崎 孝志	本講義では、省エネカーの製作を通じて、もの作りを楽しみながら、自動車の車体やエンジンの基本を実践で学ぶ。	1
	フォーミュラカーの製作	土屋 高志	毎年9月に小笠山運動公園エコパでおこなわれる、全日本学生フォーミュラ大会に参加する車輛の、設計・製作を実施する。	6
	ハイブリッドカーの製作	土肥 稔, 恩田 一, 見崎 大悟	フォーミュラハイブリッド競技会の規則に基づいた仕様のハイブリッドカーの設計、製作を行う。	4
ワンチップマイコンによる制御入門 (ライトレールロボット制御)	●岡田 靖志	ワンチップマイコンで制御される、光センサ搭載のライトレールロボットを製作し、アセンブラで制御プログラムを作成する。	6	
ものづくりシミュレーション	荻野 徹	3次元CADソフトSolidWorks, NX, およびCATIAを使用した「ものづくりシミュレーション」をグループで体験学習する。	13	
テーマ研究	デジタルエンジニアリングによる車の開発	野沢 隆二郎	デジタル技術(CAD, CAM, CAE)を用いた、コンピュータ上のバーチャルな試作車による車の開発状況を紹介する。	5
	絵本の魅力と読み聞かせ	●萩田 敏子	絵本を知り、声に出して読むことの意義を考え、また内容を聞き手に効果的に伝える方法も一緒にさぐる。	2
	走査電子顕微鏡取扱資格	早川 一生	走査電子顕微鏡に関する簡単な原理説明と標準的な試料を使った取扱方法の講習を行う。	5
	コンピュータ上で分子を作り、化学反応をさせてみよう	関山 秀雄	分子の立体構造や電子の状態をコンピュータ上で調べたり、また、化学反応のシミュレーションを行ないます。	1
ボランティア活動	学校教育アシスタント	関山 秀雄	袋井市内の小中学校でさまざまな授業のアシスタントを行う。この活動を通じて、こどもの教育の大切さを学び取って欲しい。	8
	初級・中級青少年指導者養成講座	●山崎 美穂子	心と障害のある児童生徒との対応を身につけることをねらいとした「初級青少年指導者」資格取得講座を開講する。	3
	地域社会におけるボランティア活動の実践	●松本 克秀	世の中で、起きている社会問題を考える。その社会問題に対しボランティア体験をし、私たちに何が出来るかを考えていく。	1
	エコパ ビオトープ事業	●原田 創史	エコパビオトープを中心に、緑化ボランティアをしてもらう。また、大規模イベントのボランティアも体験する。	6

(指導者欄の●印は学外指導者)

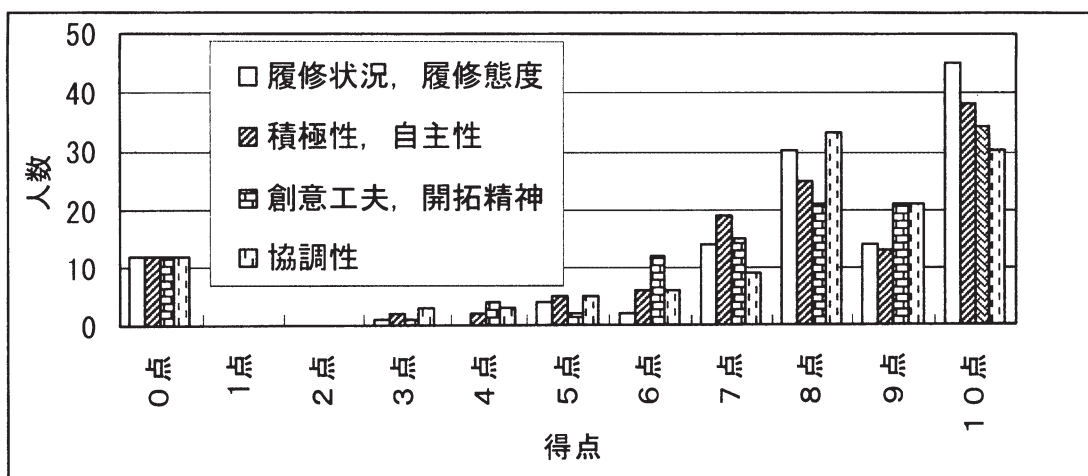


図1. 各活動状況の成績分布 (各10点満点) .

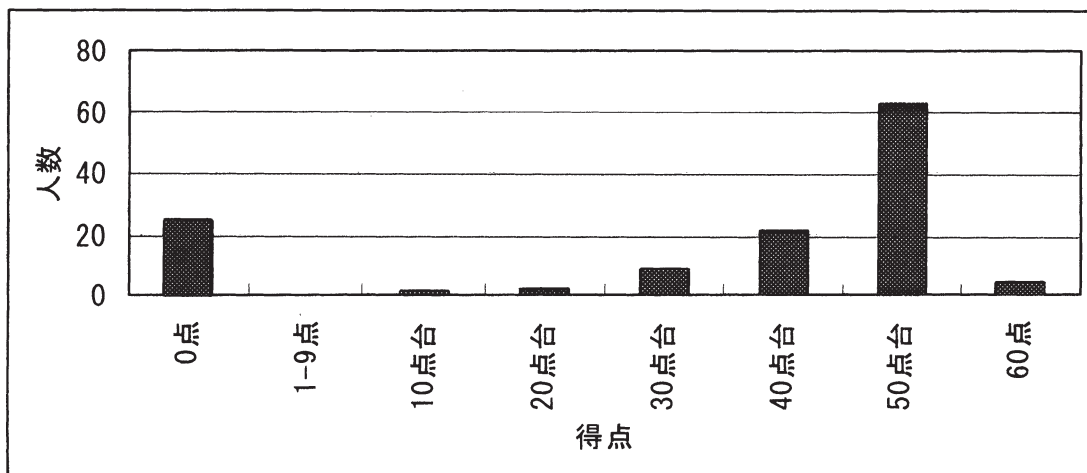


図2. 報告書の成績分布 (60点満点) .

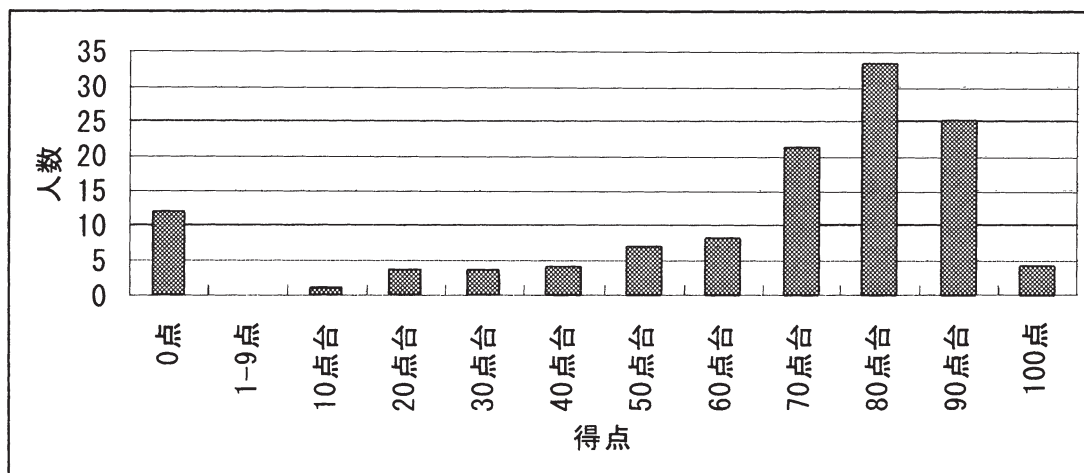


図3. 総合点の成績分布 (100点満点) .

総合点が50点以上を合格、50点未満を不合格とした。ただし、出席回数は3分の2以上あることを必須とした。

図1～図3には、成績の分布を示した。まず、図1は、活動状況の得点分布を示した。活動状況は40点満点で、内訳は、履修状況と履修態度:10点満点、積極性と自主性10点満点、創意工夫と開拓精神:10点満点、協調性:10点満点である。また、図2には報告書の点数(60点満点)の得点分布を示した。図3には、活動状況と報告書の合点、すなわち総合点(100点満点)の得点分布を示した。図1や図2のグラフから、活動状況や報告書の評価は、概ね高いことがわかり、きちんと出席していた学生は、概ね真面目に活動していたことが覗える。なお、活動状況が0点の学生は、ほぼ欠席によるものであり、報告書が0点の学生は、報告書未提出によるものである。図3の総合点については、50点以上が合格、50点未満は不合格となる。今年度は、122名のうち98名が合格、24名が不合格となった。不合格になった学生は、大部分が活動はしているものの最終のレポート未提出によるものである。レポートを書くことに困難を感じている学生が多く、特に教育指導員はこの点の指導にかなり苦慮しているようである。

次に、指導者からのさまざまな意見や学生からの意見について列挙する。これは指導者や学生達からのアンケートの結果をまとめたものである。

【指導者からの個別意見】

「ものつくりと創作活動」

- この数年間で出席率がやや低く、やる気もやや低い人が数人感じられた。
- 現在、10コマ程度で行っているが、15コマくらいの方が内容も充実する。
- 講義の場所(夢創造ハウス)や設備はとてもよい。できれば、大事なツールや備品を格納するロッカーが欲しい。また、廃油やゴミ等を処理する場所が近くにあるとよい。
- 時間外にも指導者のもとに来て指導を受ける等の積極性が欲しい。(学内指導者の意見)
- 学生達にもう少し、積極性と自発性が欲しい。
- はじめ消極的だった学生も、しだいに興味を持ち積極性が出てきた。表現力が伸びた学生は、自信が出て表情が明るくなってきた。
- 報告会での発表は、事前の練習時間をもっとって完成度を高めた方が、学生にとってもよい経験になると思う。
- 現在、12コマ程度で行っているが、15コマくらいかけてもっと内容を掘り下げたい。
- 学生達との連絡手段をきちんと確保しておかないとスムーズに進まない。(外部指導者の意見)
- 授業中に活動に加わらない学生が多い。単位のことばかり気にしている学生達が多い。
- 大学祭の発表会と12月の報告会の準備などで指導者

の負担が大きい。また、報告資料もかなり多いので、資料等を少なくしてもらえると授業を引き受けやすくなる。

- 熱心さに欠ける学生もおり、意欲をどのように向上させるべきか、考える必要があると感じた。
- 広い教室(夢創造ハウス)ができて満足している。学生の協調性もよい。
- 理工学部の学生に必要な基礎知識(数学、物理、製図等)の向上が必要であると感じた。
- 理工系の学生にしてはものつくりのセンスに不足を感じた。
- 技術内容を教えるだけなら現在の授業時間でよいが、レース(競技大会)に出場し、好成績を残すためにはもっと活動時間が必要である。
- 学生がもっと受講して欲しい。
- 4名受講したが、満足のいく学生は1名のみ、その他2名の学生は低レベルであった。
- 成績報告書類やアンケートの書類など、まとめてファイルしてもらえると助かる。
- 講座の内容を理解してもらうにはどうしても15コマ程度の時間が欲しい。
- ロボットに関するテーマが複数あり、このまま続けてよいのか?

「テーマ研究」

- 発表会での資料のまとめなどで、自分でまとめて発表しようとする積極性が不足している。
- 受講生が2名であったが、数人くらいの方が意見交換ができてよい。
- 報告会の時の発表時間をきちんと厳守させるべきである。
- 受講生が1名で、もう少し多いほうが学生間でのディスカッションができる。
- 普段の活動、報告会での発表等きちんとおこなっているのに、レポート未提出のため不合格になってしまう学生がいるのは残念である。

「ボランティア活動」

- 受け入れ先(小学校)側から、もっと学生数が欲しいとのことで、1小学校あたり計6名くらいが望ましいとの要望がある。
- さまざまな人との交流を通じて学生が自分の視野を少しずつ広げ、成長していくのがわかるのが喜ばしい。
- 5人の受講生がいたために討論もスムーズにできた。やはり、互いの意見を様々な角度から交換できるように人数は欲しい。
- 本年度のように、履修以外の時間にも学生が集まって自由に使える部屋(夢創造ハウス)があったのがよかった。
- 活動を通じて変化していく学生の姿勢、意識を目の当た

りにし、学生はしだいに熱心になっていった。

- 4月のテーマ説明会が単に指導者側の勧誘になっているのではないかと。希望する学生が来ればよいのではないかと。指導者はセールスマンでも企画をプレゼンする立場ではない。
- 物を作る体験という点で、学生達が興味を持ち、お役に立てたのではないかと。

【学生からの個別意見】

「ものづくりと創作活動」

- 指導者どうしの話が噛み合っていなかった。
- 活動場所のイスがたりなかった。
- すべての点で手伝ってもらっていたので、自分一人ではできる自信がない。
- 4月のテーマ説明会がわかりにくい。
- 講義のときのホワイトボードのマジックが薄くて見えにくい。
- 授業中に材料費として8千円払った。4月のテーマ説明会のときには、お金がいるとは聞いていなかった。
- 夢創造ハウスをもっと開放して使いやすくしてほしい。
- もう少し時間があれば、いろいろなことができたと思う。
- 一回の授業時間が1コマでは短すぎる。一回の授業を2コマ連続にして、一ヶ月2回程度の授業とするのもいいと思う。
- テーマの選択にあたっては、体験期間のようなものをつくりテーマを選びやすくする。
- 時間外の活動がほとんどできなかった。
- 4月の説明会には、2～3年生を全員出席させた方が、受講生が増えるのではないかと。
- 報告会での発表時間が短く、全てを発表できなかった。
- 創造・発見1、2はそれぞれ1単位であるが、2単位にしてみてもどうか。
- 時間がなくやりきれなかった部分がある。時間がかからないテーマにすべきでは。
- 単位なしでもよいから受講できる回数を増やしてほしい。
- 部品購入やレース（競技大会）出場等には、あまりにも資金不足である。部活として活動したほうが良いと思う。
- 受講生が4年生ばかりであり、もう少し幅広い年代の構成メンバーの方がよい。
- もの（車両）を製作するには、実際は活動日の20倍以上活動している。
- 受講者数が少ないため、実際、製作できないということだったが、講義や説明だけでもしてほしい。
- 時間が少ない。自分の作品がうまく動作しなかった。
- 現在、「創造・発見」の成績は、「合格」、「不合格」についているため、GPA 計算においては2点とされる。

普通の授業科目では「優」は3点とされているため、不公平である。GPA を上げるためには、「創造・発見」をとらない方がよいということになってしまう。

- TAはよく指導してくれたが、教員はあまり指導してくれなかった。
- 強制的な履修はやめて欲しい。自主性を重視してほしい。
- 第三者の講義全体（指導方法、学生の作品、講義内容）に対する評価の導入が必要である。
- 履修時間内で課題が終わるものにして欲しい。
- 頑張った作品を作ったが、教員から不満を言われただけだった。

「テーマ研究」

- 指導者の指導に対して受身的な形になってしまったので、もっと自分から積極的にとりくめばよかった。
- 部屋が寒かった。
- 研究がうまくまとめられなかった。

「ボランティア活動」

- 単位数を増やしてほしい。活動時間の割には一単位と少ない。
- 受講生が一人であり、指導者と一対一の環境で活動ができたという点で大変有意義であった。もう2～3人受講生がいれば、また違う発見があったかもしれない。
- 他テーマとの共同実習があるとよいかもしれない。
- もっと、受講生を増やしてほしい。
- 課題が少ないので増やしてほしい。
- 大学祭では、口頭発表の方がよい。
- もっと参加人数が増えるとよい。
- 近隣の学校に大学生の出張実験講義をやってはどうか。

以上が、指導者や学生達から出た個別の意見である。これらの中で共通していたものをまとめると下記ようになる。

まず、全体の授業時間に関することであるが、充実した内容を行うためには、少なくとも年間15コマ程度が必要とのことが、何人かの指導者や学生から指摘されている。これは、昨年も指摘されていたことであるが、現在、指導者たちは、平均すると10～13コマ程度（報告会や発表会の準備等も含めて）おこなっているが、特に後期が大学祭での発表会や12月の報告会の準備にとられてしまい、授業そのものを行う時間が必ずしも十分にとれないという現状がある。学生が発表や報告会の準備等を授業時間以外の時間帯に自主的に行うことができればよいが、現状では難しい。また、加えて大学祭の発表会と12月の報告会の両方の準備にかなりの負担を指導者（特に教育指導員）は感じている。この点は、今後、学内教員のサポートの強化等も含めて検討する必要があると考える。

次に、受講生の意欲の問題で、授業中に積極的でない学生がいたり、単位取得のことばかり気にしている学生が今年度は増えているようである。安易に単位を取得することだけを目的にしている学生がいることは嘆かわしい限りである。「創造・発見」

は、科目の性格からいっても必修科目としてもよいものであり、学生にどのように興味を持たせるか、今後の重要な課題と言える。

次の問題は、学生の人数である。本年度は昨年度とほぼ同じ履修学生の総数は122名でありテーマが全部で24テーマである。初回授業の説明会の後、学生の希望をとると希望0人というテーマがいくつかあり、調整にかなり難航する。今年度、学生にながらば強制的に履修させたようなテーマもあり、あまり好ましいこととはいえない。また、履修者が少なすぎる場合（1～2名）、学生どうしの討論もできず、指導者も指導に苦慮するところとなっている。今後は、学生の希望を複数とる（第5希望までなど）等、各テーマに適切な人数を割り振れる何らかの配慮が必要となる。

以上のような意見が、指導者や学生たちから寄せられた。毎年の事であるが、指導者の感想の中から、活動を通じて学生達が徐々に成長していき、自分の視野を広げていく姿が少しでも見えていることは幸いといえ、この「創造・発見」の教育プログラムを実施する甲斐があるといえる。

3.5 各分野の実施結果に関する検討

3.5.1 ものづくりと創作活動

今年度は、表2に示した16テーマを実施した。今年度から新たに以下の5テーマ「自動車部品のモデルをつくる」、「省エネカープロジェクト」、「フォーミュラーカーの製作」、「ハイブリッドカーの製作」、「ものづくりシミュレーション」が加わり、機械、電子系のテーマが12テーマ、物質系のものづくりが1テーマ、映像、映画製作が1テーマ、コンピュータシミュレーションが1テーマ、アロマセラピーが1テーマと盛況なものとなった。今回の新テーマ「自動車部品のモデルをつくる」では、ものづくりの基本である製作図面の作り方から始まり、現物を想像し実物と比較する。更に、粘土でモデルを作る。授業の中では、ものつりの歴史的な興味ある内容も紹介され、指導者のご配慮により工場見学も実施されるなど、学生にとっても新鮮な感動であったようである。「省エネカープロジェクト」では、省エネカーの整備を行い、少燃費競技であるエコラン大会という全国大会に出場した。学生達のレポートからもかなりの時間をかけ活動していたことが覗える。しかしながら、創造・発見の限られた時間の授業の中で行うには、かなり厳しかったことが、指導者や学生達から意見として出ている。授業時間以外の時間を有効に使う活動できるようにすることが必要であると考える。「フォーミュラーカーの製作」も一台のフォーミュラーカーを設計、製作の基礎からはじめて車両製作を行い、大会に参加し自動車工業会会長賞1位、省エネ賞1位、総合12位を獲得した。また、「ハイブリッドカーの製作」では、電気自動車の駆動回路のついて学び、その小型モデルを作成した。さらに実車にモーターと発電機を搭載した。「ものづくりシミュレーション」では、コンピュータにより自分好みの携帯電話をデザインしたり3次元デジタル技術習得用マニュアルを作成した。更に、作品を「ものづくりフェスタ in 袋井」の展覧した。

以上、「ものづくりと創作活動」の分野はかなりテーマ数も増えて盛況なものとなったが、その反面、類似のテーマが存在することもあり、今後、検討する必要があると考える。

3.5.2 テーマ研究

今年度はテーマ研究として、表2の4つを実施した。昨年度までテーマ研究の範疇にあった「ワンチップマイコンによる制御入門」は今年度から「ものづくりと創作活動」に移動したため、テーマ数は昨年度より一つ減ったことになる。したがって、今年度は機械、電子系2テーマ、人文系1テーマ、物質系1テーマとなった。これらは、いずれも、創造・発見が開始された当初から続いているものである。大学祭での発表会や報告会では学生が活発に活動していることがよくわかる内容で興味深いものがあつたが、口頭発表の時間をあまり厳守していないのが目立った。発表練習に十分な時間をとれないためか、今後検討する必要があると考える。

3.5.3 ボランティア活動

ボランティア活動は表4に示した4つのテーマをおこなった。これらは昨年と同じものである。今年度は「エコパ ピオトップ事業」が、従来は炎天下での作業がかなり主体を占めていたが、今回は生物を呼び込む仕掛け等を考案させる等、テーマ研究的な要素が入ってきたことが特徴としてあげられる。学生達もかなり興味を示したことがレポートから覗える。

また、毎年、袋井養護学校や袋井市内の小学校、さらにいくつかのNPO法人でのボランティア活動を行っており、袋井養護学校や袋井市内の小学校では、毎年、理工科大学の学生の活躍が大変、高く評価されている。特に今年度は、活動期間以外でも自主的に小学校に赴きアシスタントの活動を行っている学生が数名いたことは、特筆に値する。学生達は、これらのボランティアを通じて、ボランティアの意義、重要性、心得、さまざまな人との接し方、社会性、リーダーシップ、等を身に付けて、自分のさまざまな可能性を見出し、人間的にも成長するようである。大学としてもこのボランティア活動をさらに発展させることが不可欠と考える。

4 今後の方針

「創造・発見」には、現在は3つの分野「ものづくりと創作活動」、「テーマ研究」、「ボランティア活動」があるが、これらはそれぞれ目的や活動形態がかなり異なるものである。また、成績評価の方法もそれぞれの分野で独自の評価項目がありうる。また、必要な活動時間もそれぞれの分野で異なること、このような点を考えると、3分野を現在のようにひとくくりの「創造・発見」の科目とするのではなく、それぞれ独立の科目として運営するほうが、望ましいと考える。このことは、昨年報告でも述べたが、本学の「教育部会」や「やらまいか教育小委員会」でこの2年間にわたって議論した結果、平成22年度から独立した3科目に分割し、内容をさらに充実させることが決定した。また、3科目はそれぞれ2、3年次の選択科目として通年で15コマ開講にすることにより、現在の最低7コマという条件よりさらに時間をかけることにより、内容を充実させる。

また、上記3科目のうち、2科目までは卒業単位とするが、3科目以降は卒業単位に加算しない自由科目扱いとする。以上が科目再編の大枠であり、現在、各科目の詳細検討が行われている。また、これに伴って、学内教員がきちんと外部の指導者（教育指導員）のサポートを行うことが確認された。すなわち、外部の指導者（教育指導員）については、かならず学内教員一人を必ず割り当て、その学内教員はテーマの内容、進行状況、学生の履修状況、学生と教育指導員との連絡の仲立ち、学生の成果発表準備状況等の把握、また、その他、教育指導員の相談等にのれる役割を果たすようにすることが決定した。

5 結論

平成16年度から正式な実施が始まった「創造・発見」も今年度末で5回目を終了した。これまでの実施結果から、定量的に計ることは難しいものの、やらまいか教育の目的である「学生が新しい体験をすることにより、自分の殻を破り、日常という土壌を豊かにする」ことに多少なりとも貢献しているといえる。今後、2年後に迫った科目再編についてのさまざまな問題の検討が残っている。3科目の内容の充実、履修学生の増加、必修化についての検討等があげられる。

最後に本報告をまとめるにあたって、「創造・発見」の実施に多数の学外の方々、また本学教職員に多大なるご支援を賜ったことに感謝申し上げる次第である。また、科目運営の事務処理、報告書処理、成績処理等については、とりわけ学務課職員、松田三香子さんにお世話になった。ここで、あらためて御礼申し上げますの次第である。

6 参考文献

- 1) 丹羽昌平 他, “静岡理科大学における創造体験教育「創造・発見」の計画と実施”, 静岡理科大学紀要, 第12巻(2004) pp.321-338.
- 2) 丹羽昌平 他, “静岡理科大学における創造体験教育「創造・発見」の平成16年度実施報告”, 静岡理科大学紀要, 第13巻(2005) pp.85-94.
- 3) 丹羽昌平 他, “創造体験教育「創造・発見」の計画と実施”, 工学教育, 第53巻, 第5号(2005) pp.37-43.
- 4) 丹羽昌平 他, “静岡理科大学における創造体験教育「創造・発見」の平成17年度実施報告”, 静岡理科大学紀要, 第14巻(2006) pp.145-153.
- 5) 丹羽昌平 他, “静岡理科大学における創造体験教育「創造・発見」の平成18年度実施報告”, 静岡理科大学紀要, 第15巻(2007) pp.117-125.
- 6) 関山秀雄 他, “静岡理科大学における創造体験教育「創造・発見」の平成19年度実施報告”, 静岡理科大学紀要, 第16巻(2008) pp.145-152.

SIST 情報システム

The SIST Information System

菅沼 義昇*, 幸谷 智紀**

Yoshinori SUGANUMA and Tomonori KOUYA

Abstract: The SIST Information System is a kind of system to evaluate education system. Its can display graphs and tables of a distribution of scores on a test, a questionnaire, etc., based on the SIST database system. In this paper, its contents and ability are precisely described.

1. はじめに

教育の効果は、数値的に表現するのが困難な場合、卒業後数十年経てから初めて明らかになる場合、など、その完全な評価は難しいが、教育システムを改善するためには、何らかの方法でシステムの評価を行う必要がある。SIST 情報システム (学内専用) は、教育システム評価の一手段として作成したものである。

学生の成績や各種アンケートの結果は、教育システムに対する評価の元となるデータとして大きな意味を持っている。しかしながら、これらのデータを全教職員に公開することは、個人情報保護の立場から難しい。さらに、公開できたとしても、それらのデータを解析するためには、解析するためのソフトウェアを使いこなせる必要があること、同じような処理をデータが変わる毎に繰り返す必要があること、解析のために時間がかかること、など、新たな問題が発生する。

SIST 情報システムでは、これらの問題を解決するために、個々のデータではなく、解析結果だけを Web 上で公開する。ユーザは、ブラウザの操作を行うことができさえすれば、解析結果をグラフや表として見ることが可能である。また、大学基幹システム (データベース) 上のデータに基づいているため、大学基幹システムにおけるデータの変更が解析結果に自動的に反映されていき、新たな作業を必要としない (現時点では、部分的な実現に止まっている)。

以下、SIST 情報システムと大学基幹システムとの関係、及び、SIST 情報システム自身について詳細に述べていく。

2. データベース

2.1 大学基幹システムとの接続

今回我々は、学内ネットワークからいつでも参照可能な学内情報の統計データ閲覧用の Web ページを Linux マシ

ンである cs-www (133.88.121.100) 上に作成するために、ODBC-ODBC bridge を活用したデータベースネットワークを構築した。本学の学内情報は事務局内ネットワークにある Oracle データベースに保存してある。それを直接参照できれば問題なかったが、事務局内のセキュリティポリシーがそれを許さなかったため、Oracle データベースと cs-www の間に Gateway マシンを設け、そこと cs-www 間に ODBC 接続によるブリッジ (ODBC-ODBC bridge) を架けることにより、Oracle データベース内の情報を間接的に読み取ることができるようにした。この節では、その概要と ODBC-ODBC bridge の技術的な詳細を述べる。

2.1.1 データベースネットワークの概要

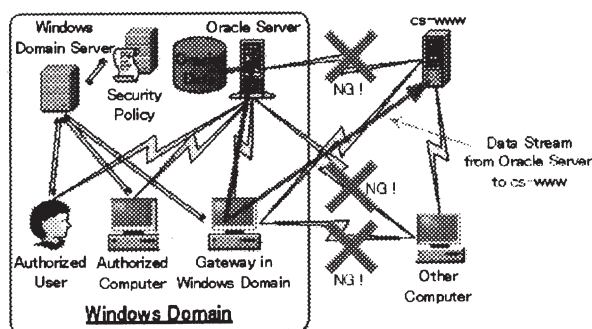


図 1 今回構築したデータベースネットワーク

図 1 に今回構築したデータベースネットワークを示す。以下これに従って解説を行う。本学が業務に用いているデータはすべて Oracle データベースに格納されている。そして、このデータベースを直接参照できるユーザやコンピュータは、ある Windows ドメインに属している必要がある。具体的には、Windows ドメインを管理するサーバ (Windows Domain Server, WDS) によって認証されたユーザやコンピュータでなければ、Oracle データベースを参照することができないようになっている。WDS はあらかじめ

2009年3月3日受理

* 総合情報学部 人間情報デザイン学科

** 総合情報学部 コンピュータシステム学科

め定められたセキュリティポリシーに従ってユーザやコンピュータの認証を行っており、これに反するドメイン外からのアクセスはすべて遮断するように設定されているのが普通である。従って、ドメイン外のコンピュータ (Other Computer) や cs-www から Oracle データベースを直接参照することは不可能である。

そこで我々は事務局内ドメインに Gateway マシンを一台設置し、Oracle データベースの内容を ODBC インターフェースを介して Access ファイルとして参照できるようにした。そしてそこにフリーの ODBC-ODBC bridge である brodbc [brodbc]のサーバを組み込み、同じ brodbc のクライアントを cs-www に設置して、cs-www から間接的に Oracle データベースの情報を読み取れるようにした (図1内の太矢印線が情報の流れ)。この結果、Oracle データベース内の情報は Gateway を介して cs-www で参照でき、学内のユーザはこの情報をもとに cs-www 内の PHP スクリプトによって加工された統計データを入手できるようになる。

このようなデータベースネットワークには長所と短所がある。長所は以下の通りである。

- ・事務局内 Windows ドメインのセキュリティポリシーの書き換えを必要としないため、書き換え時の過失による重大なセキュリティホールを発生させない
- ・極めて限定されたネットワーク接続でしか Oracle データベース内の情報を参照できないため、セキュリティの確保が容易である (cs-www と Gateway マシン間の接続だけを監視すればよい)
- ・Oracle データベースを直接参照しないため、仮に cs-www マシンが乗っ取られたとしても元の Oracle データベースが破壊されることはない (但し情報自体は盗まれるため、cs-www の監視は常に必要)

反面、次のような短所もある。

- ・Oracle データベースと管轄する Oracle サーバと Gateway マシン双方の I/O 性能によって cs-www へのデータ転送速度の著しい遅延を引き起こす可能性がある (現に、遅延は発生している)
- ・Oracle データベースの直接参照ができないため、cs-www 側でのデータベース参照は大変難しくなる (結局、テーブル構造を別経路で入手して解決せざるを得なかった)

一言でまとめると、セキュリティの確保には有用だが、データ転送速度とシステム構築に必要な時間が多くなりがち、というのが本データベースネットワークの特徴であると言える。

2.1.2 ODBC-ODBC bridge の役割

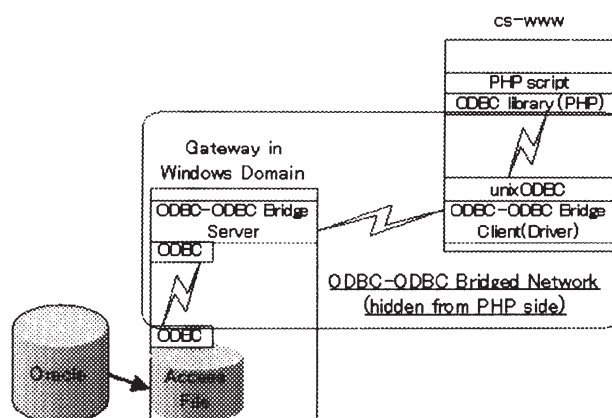


図2 ODBC-ODBC bridgeのレイヤー構造

本節では cs-www と Gateway マシンとの間に架けられた ODBC-ODBC bridge について解説する。まず図2のソフトウェアレイヤー図に沿って説明を行う。

通常、RDBMS (Relational DataBase Management System) は SQL 文を介して他の言語 (C/C++, Java, Perl, PHP, Python, Ruby など) とのやり取りを行うが、SQL 文をどのようなプロトコルによって受け渡すかは RDBMS や言語によって異なる。主要な Web 開発言語の一つである PHP では、各 RDBMS ごとに異なるライブラリとドライバが用意されており、ユーザはこれを使い分けて RDBMS とのアクセスを制御することになる。主として AccessTM データベースとのアクセスに用いられる ODBC (Open DataBase Connectivity) インターフェースも主要な Web 開発言語では使用可能であり、当然 PHP にも ODBC ライブラリが用意されている。Linux 環境でこの ODBC ライブラリと、unixODBC (ODBC ドライバ) [unixodbc] をセットにして使用するのが標準のようである。

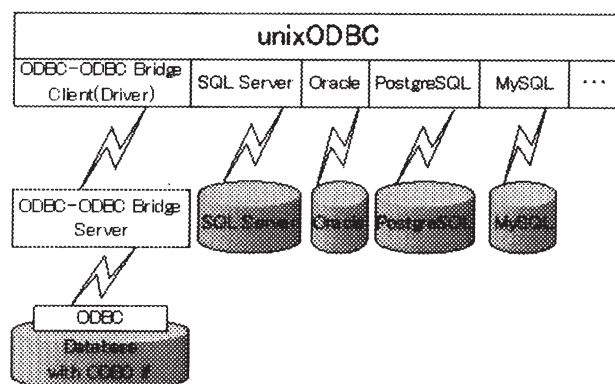


図3 unixODBCと各種RDBMSとの連携

この unixODBC は、Vine Linux 標準のものでは /etc/odbc.ini に ODBC アクセス用の設定を書くようになっている。ODBC インターフェースは Microsoft 製品では古

くから使用されてきたせいもあって、unixODBC も Windows 上で動作する主要な RDBMS と連携して使用できるよう、各 RDBMS 用のドライバを組み込めるようになっている (図 3)。

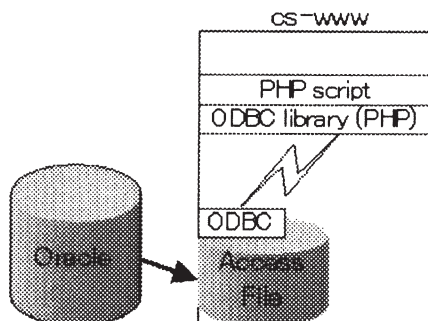


図4 PHP側からのアクセス概念図

このように unixODBC を組み込むことによって、PHP 側からはどの RDBMS を用いているかを全く意識することなく、ODBC ライブラリ関数だけを使用して全ての ODBC インターフェース付き RDBMS を操作することができるようになる (図 4)。

今回はネットワーク上に存在する二つの ODBC インターフェース間を接続するために、ODBC-ODBC bridge を組み込んだ。2008 年現在、この unixODBC 用のドライバが提供されている ODBC-ODBC bridge は Easysoft 社の開発したもの[easysoft]と、個人で開発されたオープンソースの brodbc [brodbc]が入手可能であったので、今回は後者の最新版 (brodbc03.tar.gz) を使用した。Gateway マシンに必要な ODBC-ODBC bridge サーバは別途インストールし、Windows 上のサービスとして常時起動しておく必要がある。

2.1.3 Brodbc を用いた ODBC-ODBC bridge の構築手順

本節では Vine Linux 3.1 で unixODBC + brodbc03.tar.gz (ODBC-ODBC bridge) を使う手順を示す。

(1) brodbc [brodbc]の最新版 brodbc03.tar.gz を cs-www 上にダウンロードし解凍する。その中の ODBC-ODBC bridge サーバ (orbrd.exe) を Windows 側にインストールし、下記項目をチェックしておく。

- ・サーバを組み込んだ Gateway マシンの IP アドレス (以下、gatewayIP とする)
- ・ポート番号 (22002 がデフォルト。以下、gatewayPort とする)
- ・ODBC 接続のための項目
- ・DSN (sampleDSN)
- ・Database 名 (sampleDBName)

- ・ユーザ ID (sampleUID)
- ・パスワード (samplePWD)

(2) UNIX ODBC ドライバを cs-www にインストールする
 (3) brodbc03.tgz のうち、client/makefile.ux を次のように書き換える (libodbc には SQL API がなくなっていたので)

```
ODBCLIB = /usr/lib/libodbcinst.so.1.0.0
```

(4) make して brodbc.so を /usr/lib にコピー

(5) /etc/odbcinst.ini にドライバ名 (brodbc03) を追記

```
[brodbc03]
Description = ODBC-ODBC bridge
Driver = /usr/local/lib/brodbc.so
UsageCount = 1
```

(6) /etc/odbc.ini に下記を追記して、ODBC から "sampleBrodbc" でアクセスできるように設定

```
[sampleBrodbc]
Driver = brodbc03
Server = gatewayIP
Port = gatewayPort
DSN = sampleDSN
Database = sampleDBName
Username = sampleUID
Password = samplePWD
Servercharset = Shift_jis
Charset = eucjp
Debug = 0
```

(7) cs-www から isql コマンドを下記のように用いて ODBC 経由の接続が可能であることを確認

```
$ isql sampleBrodbc
+-----+
| Connected! |
|           |
| sql-statement |
| help [tablename] |
| quit |
+-----+
```

SQL> // このプロンプトが出れば OK

(8) php-odbc ライブラリを cs-www にインストールする。もし Apache2 をソースからコンパイルしている場合は、PHP インタプリタも作り直しておく

(9) 下記のような PHP スクリプトを作成し、接続テストを行う

```
<html>
<body>
<?php
```

```

//データベースへの接続を開く
$conn_id = odbc_connect("sampleBrodbc",
"sampleUID", "samplePWD");
if ( !$conn_id ) {
    print "データベースにつながりません\n";
    exit;
}

// SQL Query 発行
$result = odbc_do($conn_id, "SELECT * from テーブル名");
if( !$result ) {
    print "警告!: 結果が正しく戻ってきません.\n";
}
else {
    while ( odbc_fetch_row($result) ) {
        print odbc_result($result, 1) . ", " .
odbc_result($result, 2) . "\n";
    }
}

//データベースへの接続を閉じる
$ret = odbc_close($conn_id);
?>
</body>
</html>

```

2.2 SIST 情報システム用データベースの作成

大学基幹システムにおけるデータの変更を解析結果へリアルタイムに反映させるためには、大学基幹システムと直接接続し、そこから得られたデータに基づき解析を行うのが理想であるが、

- ・接続に時間がかかりすぎる (20 秒程度)
- ・大量のデータ (テーブルによって異なるが、数千件以上) を読み込めない
- ・ODBC が SQL の一部しかサポートしていないため、使用に不都合が生じる場合がある。
- ・アンケート結果、プレースメントテストの結果など、大学基幹システムに存在しないデータがある

などの理由により、SIST 情報システムが存在する Web サーバ上に、MySQL によって専用のデータベース (以下、SIST_info と呼ぶ) を構築することとした。SIST_info は、大きく分けて二つの部分からなっている。一つは、大学基幹システムのデータに基づく部分であり、学生や企業に関する情報を保存する 23 個のテーブルから構成される。

基本的に、これら 23 個のテーブルは、一部のテーブル

を除き、半期または 1 年に一度更新されるデータによって構成されており、適切な時期に更新を行えば、これらのテーブルを使用してほぼリアルタイムの情報を得ることができる。最初に、その時点で存在するすべてのデータを取得しておき、その後、変更のあった部分だけを更新していく方法が最も効率的ではあるが、プログラムのバグ、更新情報の誤りなどによって、場合によっては、大学基幹システムとの不整合が生じかねない。そこで、更新するプログラムを簡単にし、プログラム上のバグを少なくすることを優先し、すべてのデータを一括して更新する方法を採用した。ただし、成績を保存したテーブルだけは、データ量が多いため、半期ごとにデータを追加していくこととした。

ここで問題となるのが、先に述べた「一度に大量のデータを取得できない」といった問題である。現在のシステムにおいてこの問題を回避するために、

- 1) 大学基幹システムに接続する
- 2) 適当な量 (たとえば、1991 年度から 1995 年度までのデータ) のデータを読み込んで処理する。
- 3) 大学基幹システムとの接続を切る

を繰り返してすべてのデータを取得するといった方法をとらざるを得なかった。もちろん、これらの操作を手動で行うわけではなく、実際には、Java アプレットを介して行っている。

本学では、カリキュラムを、Ⅰ類 (人間・文化科目)、Ⅱ類 (学部共通専門基礎科目)、Ⅲ類 (学科専門科目) の 3 つの類によって構成しているが、大学基幹システムでは類毎の GPA を計算することができない。そこで、更新されたデータに基づき、GPA と単位取得率を計算し、上で述べたテーブルとは別に新たなテーブル GPA_table を作成している。テーブル GPA_table には、学生毎、かつ、半期毎に、Ⅰ類、Ⅱ類、及び、Ⅲ類に対するその期における GPA の分母、GPA の分子、履修単位数、取得単位数を保存してある。同時に、その期までの累積値も保存してある。また、同様に、年度初めと年度末の学生数からなるテーブル number_table を更新時期に合わせて作成している。

以上述べた処理は、具体的には、図 5 に示す管理者用のページから実行可能である。すべてのデータを初期状態から更新するには 5~6 時間必要とする (GPA に関しては、計算時間そのものが 3 時間程度かかる)。しかし、学生の成績と GPA_table の更新は、追加データだけに対して行われるため、通常は、数十分で更新手続きを実行可能である。

図 5 は、図の左側のメニューから、「SIST データベースの更新」を選択した場合を示しているが、このページでは、ユーザの管理、テーブル情報の出力、ファイルを利用したテーブルの作成・データの追加、テーブルの削除なども実

行可能である。

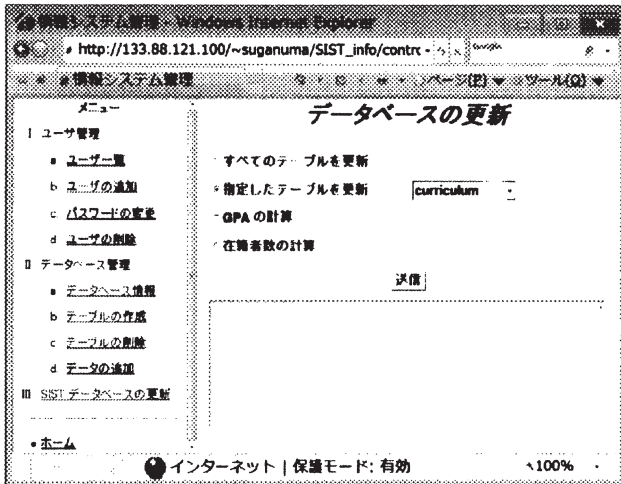


図6 データベース管理画面

SIST_info を構成するテーブルの他の一つの部分は、大学基幹システムに存在しないデータである。このようなデータの内、現時点で、SIST_info に存在するデータは以下通りである。

- 1) 過去に行ったアンケート結果
- 2) 数学、及び、英語プレースメントテストの結果
- 3) 教育開発センターへの訪問者データ

これらのデータの内、アンケートやプレースメントテストの結果は、MySQL によって読み込み可能なファイル形式に変換し、そのファイルに基づき、図5に示したページを利用して、その都度テーブルをオフラインで作成している。教育開発センターへの訪問者に関しては、訪問者があるたびに、SIST_info 内のテーブルに直接データを追加しているため、ほぼリアルタイムの更新が行われている(図6参照)。

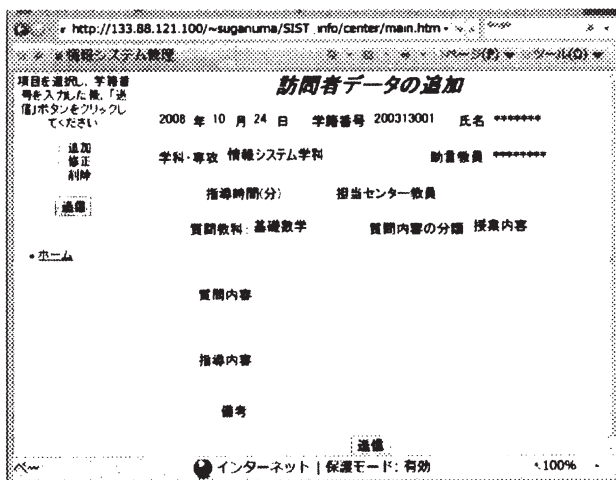


図6 教育開発センター訪問者データの入力画面

3. SIST 情報システム

3.1 動作と構成

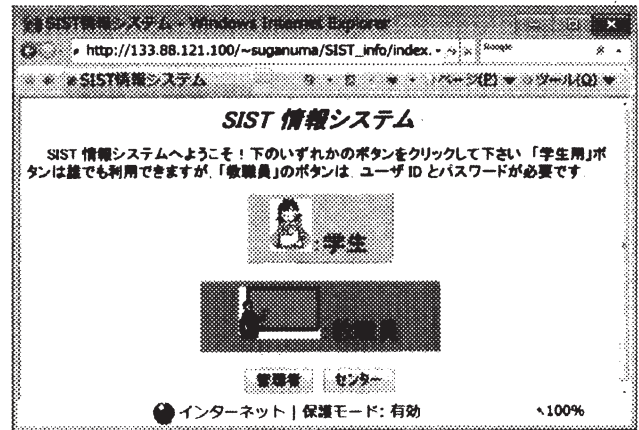


図7 トップ画面

SIST 情報システムに入ると、図7に示すようなページが表示される。「学生」と書かれたボタンは誰でも利用でき、このボタンをクリックすることによって、現時点では、入学年度毎の GPA、単位取得率、及び、取得単位数の分布を見ることができる。これ以外のボタンには、それぞれ、ユーザ ID とパスワードが設定されており、左下の「管理者」と書かれたボタンをクリックすると管理者用(図5)、右下の「センター」と書かれたボタンをクリックすると教育開発センター訪問者データの入力用(図6)のページへ移動可能である。

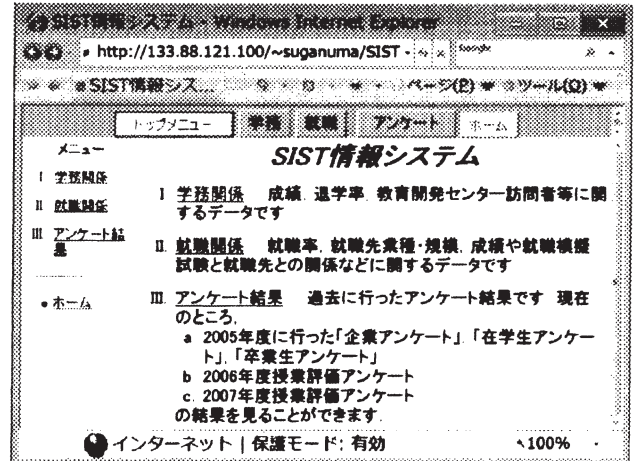


図8 メイン画面

最も一般的に利用するのが、「教職員」ボタンである。このボタンをクリックすると、図8に示すようなページが表示される。例えば、就職先を業種によって分類した結果を見たいような場合は、この画面において「就職関係」を選択すると、図9に示すような画面になる。

図9に示す画面において「就職先企業の分類」、さらに、「就職先企業の業種別分類」を選択すると、図10に示す画面となる。この画面において、年度を入力し、かつ、適

当な項目を選択した後、「積み上げ式棒グラフ」、または、「円グラフ」ボタンをクリックすれば結果が表示される。なお、一般に、グラフボタンは、表示する項目によって異なったグラフボタンが表示される。

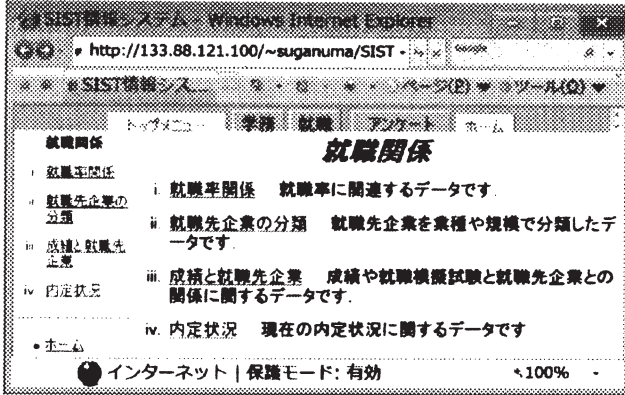


図9 就業関係の画面

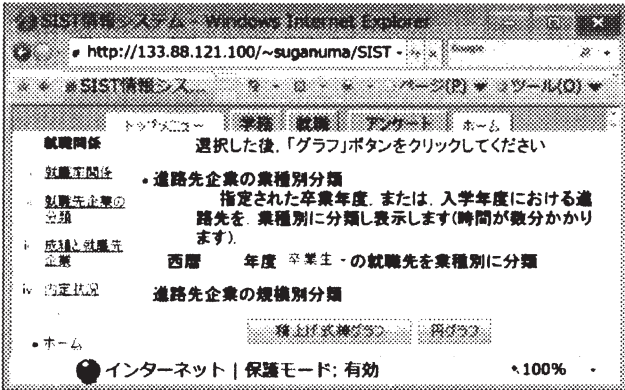


図10 就業関係の画面(業種別分類を選択した場合)

グラフボタンがクリックされると、結果を表示するためのプログラムに制御が移る。このプログラムは、PHPで記述されており、データベースに接続し必要なデータを収集し、必要な計算を行い、その結果を、表形式で出力し(場合によっては、表形式の出力は行わない)、かつ、結果をJava アプレットにパラメータとして渡すことによってグラフを描画する。上で述べた例の場合は、career_kind_graph.phpがこの処理を行い、その結果、図11に示すようなページと図12に示すようなグラフ(円グラフの場合における「情報」に対する結果)が表示される。

プログラム career_kind_graph.php は、データベースから必要なデータを引き出し、必要な計算を行い、その結果を表として出力している。さらに、積み上げ式棒グラフ、または、円グラフを出力するために、APPLET 要素を出力している。

この結果出力されるのが図11であり、そのソースは、大きく分けて、TABLE 要素とAPPLET 要素から構成されている。円グラフの場合、全体及び学科毎にグラフが出力されるため、5つのAPPLET 要素が記述されている。た

だし、アプレットのサイズが0となっているため、図11にアプレット自身は表示されない。

Java アプレットは、パラメータとして受け取ったデータに基づき、新しく生成した Window 上に指定されたグラフを描き、そのグラフの例が図12になる。一般的に、描くことが可能なグラフは、棒グラフ、折れ線グラフ、積み上げ式棒グラフ、円グラフ、散布図、レーダーチャート、及び、ボード線図(片対数グラフ)であるが、現在の SIST 情報システムで利用しているのは、最初の5つのグラフである。描かれたグラフは、マウスを使用することによってサイズを変更したり、表示方向を変更することも可能である。なお、グラフ描画プログラムの詳細に関しては、「C/C++とJava」の20章のプログラム例を参照されたい。

業種	人数	割合
輸送用機器	20	34.7%
電気・電子機器	5	6.2%
機械	11	13.6%
その他	3	9.9%
情報処理業	0	0.0%
高社	2	2.5%
建設業	6	7.4%
化学	1	1.2%

図11 就業関係(表示結果)

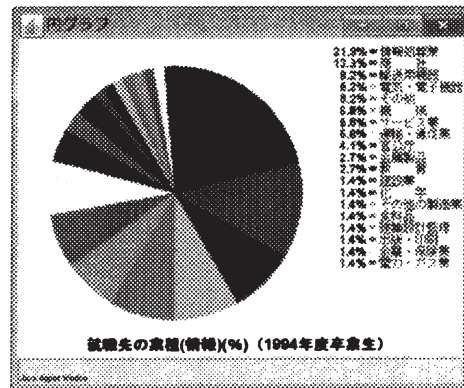


図12 就業関係(結果のグラフ)

3.2 機能

現時点で利用可能な機能をまとめると、以下に示す通りである。

A.学務関係

a.GPA と単位取得率

- ・成績 (GPA) の分布
- ・入学年度毎、または、学期毎の GPA の推移
- ・単位取得率 (取得単位数/履修単位数) 及び取得単位数の分布

- ・入学年度毎, または, 学期毎の単位取得率の推移
- ・個人別成績データ (パスワードが必要)

b.成績間の関係

- ・数学プレースメントテスト, 英語プレースメントテスト, 及び, 指定された年次・学期・類 (I類, II類, III類) の成績間の関係

c.入試種別と成績

- ・入試種別と数学プレースメントテスト, 英語プレースメントテスト, または, 指定された年次・学期の成績との関係

d.退学率関係

- ・年度毎の年間退学率, または, 入学年度毎の累積退学率
- ・入試種別, プレースメントテスト, 1年前期の成績と退学率との関係

e.教育開発センター関係

- ・月ごとの学科別訪問回数, 教科別訪問回数, 入学年度別訪問回数, 及び, 入学年度別実訪問者数
- ・年度ごとの学科別訪問回数, 教科別訪問回数, 入学年度別訪問回数, 及び, 入学年度別実訪問者数
- ・教育開発センターを利用したことがある学生の数と入学者に対する比率
- ・学生をプレースメントテストまたは成績 (GPA) によってグループ分けし, 各グループにおける教育開発センター利用経験者数とその割合
- ・数学プレースメントテストの結果によって学生をグループ分けし, 学グループごとに, 教育開発センターを利用したことがある学生とない学生との成績 (GPA) を比較
- ・指定した学籍番号に対応する学生の訪問記録
- ・全データ

B.就職関係

a.就職率関係

- ・卒業年度, または, 入学年度における進路先を, 就職, 大学院, その他の進学, 及び, その他に分類
- ・卒業年度毎, または, 入学年度毎の就職率の推移を表示 (卒業生の数を分母とし, 就職, 進学など, 進路が決まった学生の数を分子)

b.就職先企業の分類

- ・卒業年度, または, 入学年度における進路先を, 業種別に分類し表示
- ・卒業年度, または, 入学年度における進路先を, 上場/非上場別, 資本金別, または, 従業員数別に分類

c.成績と就職先企業

- ・卒業時までの成績, 一般常識模試の結果, または, 基礎学力模試の結果と一般常識模試の結果, 基礎学力模試の結果, 就職先の資本金 (対数値), または, 就職先の従業員数 (対数値) との関係

d.内定状況

- ・現時点における内定状況 (このデータだけは, 大学基幹システムからリアルタイムにデータを取得している)

C.アンケート

- 2005年度に行った企業アンケート, 在学生アンケート, 及び, 卒業生アンケート
- 2006年度授業評価アンケート
- 2007年度授業評価アンケート

4. おわりに

一応, アンケートや学務関係に関する部分を作成したが, その機能として十分であるとはいえない. 特に, 入試関係部分を拡充していく必要がある. また, 特定の教育上の措置がどのような効果を上げたかといったようなことを見るためには, 個別の対応が必要であろう. いずれにしろ, 定常的なアップデートが必要である.

反応速度の遅さも気になる場所である. ネットワーク, MySQL, PHP, Javaなどが影響を与えていると思われる. Javaに関しては, 最初のグラフだけは表示に時間がかかるが, それ以降の表示に関しては特に問題がない. 他の3つの要素に関しては, 今後, その原因を追究し, 改善していきたい.

大学基幹システムと接続したといっても, その範囲は限定されている. 個別に, オフラインでテーブルをアップデートしていかなければならない部分が多く残っており, これらを今後どのようにするかは大きな課題である.

参考文献

- 1) <http://www.amy.hi-ho.ne.jp/jbaba/brodabc/brodabc.htm>
(ODBC プロトコル・ブリッジ)
- 2) http://www.easysoft.com/products/data_access/odbc_odbc_bridge/ (ODBC-ODBC Bridge)
- 3) <http://www.unixodbc.org/> (unixODBC)
- 4) <http://www.sist.ac.jp/~suganuma/cpp/mokuji.htm>
(C/C++ と Java)

平成20年度インターンシップ実施報告

——貫したキャリア教育を目指して——

A Report on the Internship Program in 2008,
For Consistent Career Education.

富田寿人*1, 仲野雄一*2, 波多野裕*3, 友次克子*4, 山庄司志朗*5
山下博通*6, 青島偉夫*7, 兼子和宏*7, 恩田一*8

Hisato TOMITA, Yuichi NAKANO, Hiroshi HATANO, Katsuko TOMOTSUGU, Shiro YAMASHOJI,
Hiromichi YAMASHITA, Hideo AOSHIMA, Kazuhiro KANEKO and Hajime ONDA

Abstract: Practical education in cooperation with local industries, which is referred to as internship, has been introduced into the curricula of Shizuoka Institute of Science and Technology since 1999. This paper presents the discussion about the preparation, the organization and the results of the internship program conducted in 2008. This is SIST's tenth full-scale program following the preliminary trial in 1999. In 2008, eighty-nine companies in the western part of Shizuoka prefecture joined this program by providing their own internship programs for over one hundred sixty students. Seventy-nine students participated in these programs and obtained varied experiences. 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年度からを授業の一貫として単位を付与して実施している。以後、履修する学生も少しずつ増加し、企業との相互理解も深まってきている。このように、この授業は人材育成の手段として周辺企業にも理解が深まり、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20年度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年から平成20年までの10年間のインターンシップ実施結果の総括的なまとめおよび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。

2. 平成20年度インターンシップの計画

昨年度の反省点として、

- ①受入企業数が74社、受入実習生の総数は127名と、前年度から減少したこと
 - ②「積極性や元気がない」、「挨拶、返事ができない」などの指摘をされた学生がいた
 - ③受入企業から、大学との連絡調整がもっと必要との指摘があった
- などが挙げられた。

2009年2月19日受理

*1 インターンシップWGリーダー(総合情報学部), *2 機械工学科, *3 電気電子工学科, *4 総合情報学部, *5 物質生命科学科, *6 学務課, *7 キャリア支援課, *8 キャリア支援委員会委員長(電気電子工学科)

平成20年度のインターンシップは、これらの問題点を改善するため、

- ①企業側への受入希望調査を昨年度の3月から、従来の4月に戻す
- ②企業からの受入希望調査のみならず、全ての申し込み作業、報告書および評価作業などもネット上で入力可能とする
- ③事前研修に新入社員研修の講師を招き、挨拶から基本的な姿勢までの実習を取り入れる

以上の事業を取り入れるようにした。これらのことから、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目指し、より高い教育効果を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って、インターンシップは、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。したがって、協力依頼企業の選定にあたっては、過去9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た。選考の末、4月15日には大学周辺の企業457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20年度は、過去最高の89社の企業から93の実習テーマについて、受入の申し込みがあった。さらに、受入実習生の総数は184名に達し、これは昨年度の145%に相当する値で過去最高の数字となった(図1)。

4. 参加学生募集と派遣企業の決定

5月初旬、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、その後の報告書の提出と報告会および事後研修への参加なしには単位の取得ができないことを告知した。その上で、インターンシップ希望者について5月13日に第1回の事前研修を行い、その後3回の事前研修を実施した。実習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」について、学生がこの実習内容をよく検討した上で企業を選定し、それを受け決定した。しかし、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た。

実習希望学生と派遣企業との間で実習内容についての調整を行ったのち、53社の企業に79名の実習生を派遣することとなった。昨年度が44社70名であったことから、いずれも過去最高レベルの数に増加させることができた。

しかしながら、実習を行った学生数(79名)は受入可能人数(184名)を大きく下回り、36社の企業に対しては学生を送れないという結果となってしまった。

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に示した。また、表2および表3には、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した。

表1 実習生受入企業一覧表(企業89社、テーマ93、募集人数184名、実習学生数79名)

No.	事業所名	実習地	実習テーマ	実習期間	日数	受入人数	実習人数
1	株式会社 小出製作所	磐田市	金型ってなんだ？	8/6-8/22	10	3	1
2	株式会社トダックス	掛川市	公共施設または一般住宅の設備工事施工管理・官公庁へ提出する図面、書類の作成など	8/18-8/25	6	2	1
3	株式会社赤堀技研	藤枝市	自動車部品・空調部品の加工	8/18-9/18	15	2	1
4	ASTI株式会社	浜松市	解析、評価、ソフトウェア等ご相談に応じます	8/20-9/18	14	1	1
5	やまと興業株式会社	浜松市	LED 応用製品の企画と販売	9/3-9/17	10	2	2
6	松本印刷株式会社	吉田町	ISO9001・14001・Pマークの手順で業務をしています	8/19-8/29	9	1	1
7	矢崎総業株式会社(矢崎グループ)	裾野市	打ち合わせの上、決定		0	2	
8	中部大王製紙パッケージ株式会社	藤枝市	最新の生産設備を担当(サポート)し、段ボールの製造に携わっていただきます	9/1-9/12	10	2	3
9	中部大王製紙パッケージ株式会社 掛川工場	菊川市		9/1-9/12	10		2
10	株式会社ピコ・ナレッジ	名古屋	WEB系の企画と簡単なプログラム制作	8/18-8/29	10	1	
11	矢崎化工株式会社	静岡市	無人搬送台車(AGV)の組立・試作	8/25-9/5	10	1	1
12	(株)エフ・シー・シー 竜洋工場	磐田市	しっかり見る。	9/8-9/12	10	2	1
13	鈴与株式会社	静岡市	物流現場体験、貿易書類作成、リサイクル事業、予定	8/18-8/22	5	1	1
14	エコバハウス	袋井市	公園管理業務	8/5-8/31	10	3	3
15	東海アルミ箔(株) 蒲原工場	静岡市	電子制御工学の講義に役立つ体験実習	8/18-8/29	12	2	
16	神谷理研株式会社	浜松市	専門分野の知識向上と社会体験	8/18-9/18	24	3	1
17	袋井市月見の里学遊館	袋井市	ホール事業やワークショップの事前準備や広報、当日の受付など	8/22-9/15	25	2	2
18	袋井市役所	袋井市	地方行政	8/5-8/29	10	1	1
19	株式会社小楠金属工業所	浜松市	切削加工のための生産技術(設備、刃物、素材等)と生産作業	8/25-9/5	10	2	2
20	榎本工業株式会社	浜松市	NC工作機械の組立・調整	8/5-9/18	10	2	2
21	(株)遠州日石	浜松市	接客と販売の基礎	8/5-8/11	6	3	1
22	化工機プラント環境エンジニアリング株式会社 袋井事業所	袋井市	汚水が浄化されるシステムを理解する	8/5-9/18	10	2	
23	株式会社 カナサシ重工	静岡市	新造船の建造。	8/18-8/29	3	1	
24	日本ビニロン株式会社	浜松市	製品が出来上がるまで	8/25-8/29	5	3	3
25	株式会社テクニカルサポート	浜松市	機械:部品の受入検査- 棚出し 電子:回路製作(半田付け)	8/21-9/18	10	2	2
26	株式会社タニコー	磐田市	工場における改善とは？	8/25-9/12	10	5	
27	ショーダテクトロン株式会社	浜松市	先端材料加工を実現する機械作りとは	8/25-9/5	10	2	
28	株式会社 藤田鐵工所	掛川市	前述の実習職種等に対し実際に当社の社員と一緒にOJTをして頂く	9/8-9/12	10	3	1
29	浜松鉄工株式会社	磐田市	部品の流れで、機械加工と品質管理の関連を身をもって習得する	8/18-8/30	11	2	2
30	(株)上島電興社	浜松市	開発中のメカトロ機器の組立・調整・試運転などを当社スタッフと一緒に取り組んでもらう。	9/8-9/18	9	1	1
31	株式会社エキスパートパワーシズオカ	沼津市	自動車用照明機器部品の受託設計業務(3Dモデリング)の仮想体験	8/18-8/29	12	3	3
32	株式会社丸真電子	磐田市	電子制御機器の試作品実験データ取り・検査	8/18-8/29	10	1	1

33	エズカ工業株式会社	磐田市	PC 及び CAD を使い産業機械の部品や詳細図を設計する	8/26-9/18	5	1	
34	浜松ケーブルテレビ株式会社	浜松市	OJT で営業、営業技術(お客様サポート等)、編成制作、営業推進(工事発注、課金業務等)を経験します	9/1-9/12	10	1	1
35	あきは寮	袋井市	心の触れ合いを大切に一緒に汗をかこう!	8/5-9/18	10	3	
36	株式会社 エヌエスティー	浜松市	制御装置組立、検査の体験	8/19-8/29	0	1	1
37	浜二ペイント株式会社	浜松市	木工用塗料の開発と塗装	8/18-8/29	10	1	
38	株式会社 クリタス	袋井市	し尿処理施設フローの習得と運転管理の基本事項	8/28-9/10	14	2	
39	株式会社マルタカテクノ	藤枝市	健康機の各種性能の確認	8/5-9/18	14	2	2
40	不二工機製造(株)	浜松市	1 品生産により 1 個単位の図面にて製作する	9/8-9/12	5	1	
41	株式会社コーリツ	浜松市	CAD入力による各種図面の整理整頓	8/25-8/29	5	1	
42	大和鍛工株式会社	掛川市	鍛造品製造工程における品質保証と検査・測定の実習	9/8-9/12	5	2	2
43	株式会社 白木機械設計	浜松市	2D,3DCAD を利用した機械設計業務及び開発支援業務	8/5-8/29	14	2	2
			マイコンボードを利用した制御系プログラム開発	8/5-8/29	14	2	
			ステッピングモーターを用いた制御用電子回路設計	8/5-8/29	14	2	
44	株式会社アイゼン	浜松市	エンジン部品(コンロッド)の加工設備と方法及び治具の機構について	8/25-9/12	10	2	
45	株式会社 山下金型	袋井市	金型製作補助等	8/18-8/29	10	2	1
46	(株)エヌ・ビー中根屋	静岡市	営業とエンジニアリング	8/18-8/22	5	1	
47	ナンヨー株式会社	磐田市	鋳鉄の材料試験業務	9/8-9/19	10	2	
48	株式会社 システム・フジ	静岡市	システム開発ドキュメント作成	8/25-9/12	10	2	1
49	株式会社アステック	静岡市	世界で1つしかない機械及び装置の組立及び工場内の各種作業		10	2	
50	株式会社オーミ	磐田市	日本を支える金型作り	8/18-8/29	11	2	1
51	三明機工株式会社	静岡市	世の中になく機械(装置)を一品一様で研究開発(設計・製作等)		0	3	
52	サクラ工業株式会社	浜松市	技術開発	8/21-9/18	0	3	1
53	大学産業株式会社	浜松市	現状では与えられた業務を楽しく行う	8/1-8/31	0	1	1
54	富士ゼロックス静岡株	静岡市	印刷物の企画作成	9/1-9/12	10	2	2
55	株式会社 ROKI	浜松市	社内行事の企画、立案、運営の実務体験とマナー研修など	8/25-8/29	5	1	
56	東海精工株式会社	浜松市	ものづくりの流れ	8/20-9/2	10	3	1
57	株式会社ユニバンス	湖西市	トランスミッションまたはトランスファー等のトルク伝達装置に関する技術計算	8/18-8/29	10	1	
58	株式会社キャタラー	掛川市	設備設計・工程設計、触媒等の研究開発、システム化、など	8/18-9/18	10	2	2
59	(株)メルコ	磐田市	金型設計製作	8/26-9/6	10	6	
60	(株)アクティ森	森町	体験型観光施設において接客する中でサービス業の実際を学ぶ	8/9-8/22	14	2	1
61	アイティ・インターナショナル株式会社	静岡市	Web系ITを主体にして、コンテンツ制作、映像編集を行う	8/5-8/22	11	2	2
62	平岡ボデー株式会社	浜松市	一貫した生産システムの実習体験	9/8-9/18	9	2	2
63	株式会社 ヒップ	沼津市	機械設計開発の補助	8/18-8/29	10	2	
			電子回路の設計開発補助	8/18-8/29	10	2	
			システム設計開発の補助	8/18-8/29	10	2	
64	テイボー株式会社	浜松市	各種マーケティングペンの試作品製作、各種マーケティングペンの検査等品質管理	8/25-8/29	5	2	1
65	コープしずおか	静岡市	コープしずおかの事業内容と学生が抱く事業イメージのアンマッチを防ぐ	8/18-8/29	0	5	
66	株式会社エービーアイコーポレーション袋井工場	袋井市	晶析条件最適化	8/18-8/29	10	2	1
67	株式会社ロジック	浜松市	訓練を通じての業務体験	8/11-8/15	10	2	2
68	羽立工業株式会社	湖西市	射出成形及び成形部材組立作業	8/28-9/18	内11	2	
69	株式会社イワタ	静岡市	確かな品質と、生産効率のアップ	9/8-9/18	9	2	
70	磐田信用金庫	磐田市	地域金融機関としての信用金庫の使命と役割	8/4-8/6	3	3	2
71	株式会社 棒葉鉄工所	掛川市	オートバイマフラーの製造工程	9/15-9/18	4	2	2

72	高木産業株式会社	富士市	応用解析 流体解析	7/22-9/10	0	2	
73	社会福祉法人 明和会	袋井市	知的障害者との交流を通して、福祉への理解を深める	9/6-9/18	10	2	
74	日星電気株式会社	浜松市	回転炉の組み立てなど	8/5-9/18	10	2	1
75	株式会社クリアテック	磐田市	本人の希望を考慮して、相談の上、決定します	8/5-8/29	10	2	1
76	ポーラ化成工業株式会社袋井工場	袋井市	化粧品の品質管理	9/8-9/12	5	1	
77	鈴与システムテクノロジー株式会社	静岡市	就業体験	9/11-9/18	5	2	
78	株式会社相良プラスチック工業所	袋井市	樹脂成形機オペレーター	8/21-9/18	10	1	
79	株式会社アスキー	浜松市	ボールジョイントの切削加工又は転造加工(NC 旋盤 自動機・転造機)	9/8-9/18	9	2	
80	株式会社 ヤマザキ	浜松市	ものづくりの為の機械について	8/21-9/18	15	3	
81	天方産業株式会社	浜松市	マイコンを使用したソフト作成	8/18-8/29	10	2	1
82	㈱東洋機械製作所	静岡市	産業機械の組立	8/18-8/29	10	3	
83	ニチアス(株)袋井工場	袋井市	ふっ素樹脂製品の製造と生産技術に関する業務の補助	8/18-9/19	10	2	2
84	株式会社電業社機械製作所	三島市	風水力機械の製造	8/19-8/29	9	1	
85	株式会社ジャパン・ミヤキ	浜松市	実際の加工と理論値との隔たりを実証する	9/8-9/23	11	2	
86	株式会社 ワイケーデザインリンク	島田市	メータ設計グループでCAD教育を含む設計補助業務をやっています	8/21-9/10	15	2	1
87	ミネベア(株)浜松工場	袋井市	材料元素分析	8/19-8/29	9	1	1
88	有限会社クワイティブ・システム	浜松市	世界に1台しかないオーダーメイド専用機がどのように生まれるのか、その実務を学ぶ		0	1	
89	三明電子産業株式会社	静岡市	製造メーカーとして工場一丸による生産力を知ってください	8/20-8/29	10	2	1

表2 実習学生の学年・学科別人数

学科	1年	2年	3年	4年	計
機械	0	2	20	0	22
電子	0	1	23	0	24
情報	0	2	25	0	27
物質	0	0	6	0	6
大学院	0	0	0	0	0
計	0	5	74	0	79

表3 実習企業地域別内訳

市名	人数	市名	人数
掛川市	8	袋井市	11
菊川市	2	島田市	1
森町	1	藤枝市	6
沼津市	3	磐田市	9
古田町	1	浜松市	29
静岡市	8		

表4 インターンシップ 事前研修会 出席者状況

学科	第1回	第2回	第3回	第4回	報告会	第5回	計
機械	49	39	31	20			139
電子	28	27	28	25			108
情報	59	32	34	27			152
物質	26	17	10	5			58
大学院	0	0	0	0			0
合計	162	115	103	77	0	0	457

表5 インターンシップ実習テーマの分野別分類

【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.

【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.

【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し出し条件確立. 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.

[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. 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の特性解析. 微細認識用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.

[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.

[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.

[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.

[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. お札や御守の授与, おみくじや護摩木のお授け補助, 参拝者観光者に対するサービス. 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.

5. 事前教育について

先にも述べたように, 5月13日から4回にわたり事前研修会を開催し, 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. 第2回事前研修は「社会人とは一仕事・働くことの意義」について講義を行い, インターンシップそして社会人となるための心構えを学習してもらった. 第3回目は昨年度の実習生である2名の4年生にお願いし, インターンシップでどのようなことが体験できたのか, ま

た参加する上での考え方や心構えについて話してもらった. また, 本学キャリア支援課から, 業界や企業についての基礎知識について説明を行った. 第4回目は実習直前の注意事項の説明を行い, 「意欲と積極性を高める」ことに関してできるだけ注意を喚起した. さらに今年度の新たな取組として, 「第一印象を良くするために～笑顔, 挨拶, 姿勢～」と題してユニー株式会社業務人事部人事担当の今井美絵様に演習をしていただいた.

このように, 前年度からさらなる充実を図った4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.

また, 本年度も各事前研修をビデオに収録し, これを本学図書館のDVDライブラリーに登録した. これによって, 事前研修当日に実験実習やその他の用事によって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って, 事前研修を受けたと認定されるようにした.

第1回事前研修参加者162名の内79名が企業実習を行うこととなった. この人数から実習参加率は48.8%となり, 昨年の55.6%で, 一昨年の53.8%, さらに前年の49.1%と比較して最も低い参加率であった. また, 企業からの受入可能実習生の184名であったことを考え合わせると, 一人でも多くの学生をインターンシップに送ることを根本から考えていかななくてはならない.

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. つまり, 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, その上で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って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, キャリア教育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1日から9月19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には, 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, 受け入れ企業に担当教員が出向いて, 実習の受入担当者と面談を行った.

ここ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. 受入事業所数および募集実習生数は年々増加する傾向にあるが, 本年度は全ての項目において過去最高レベルの数字を残すことができた. 10年間の参加学生の累計は650名以上となった.

参加学生の学科別内訳を図2に示した. 本年の傾向は, 物質生命科学科の参加学生数が6名と前年の約1/3に減少したことである. 一部の学生からは, 化学系・バイオ系の実習内容が少ないことが指摘されており, 物質生命科学科の学生が参加しにくい状況にあるのかも知れない.

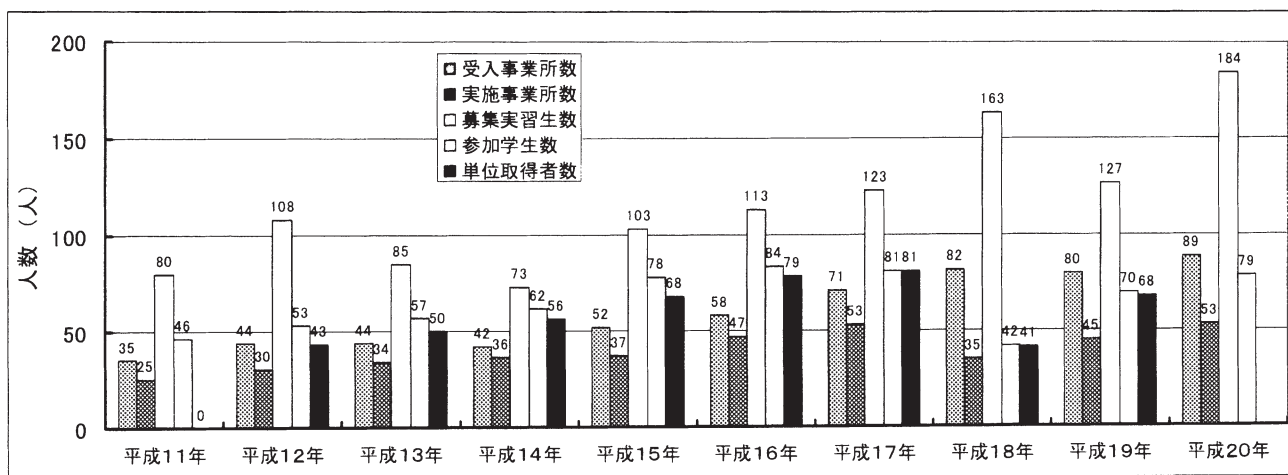


図1 受入企業等の数および参加学生数の10年間の変化

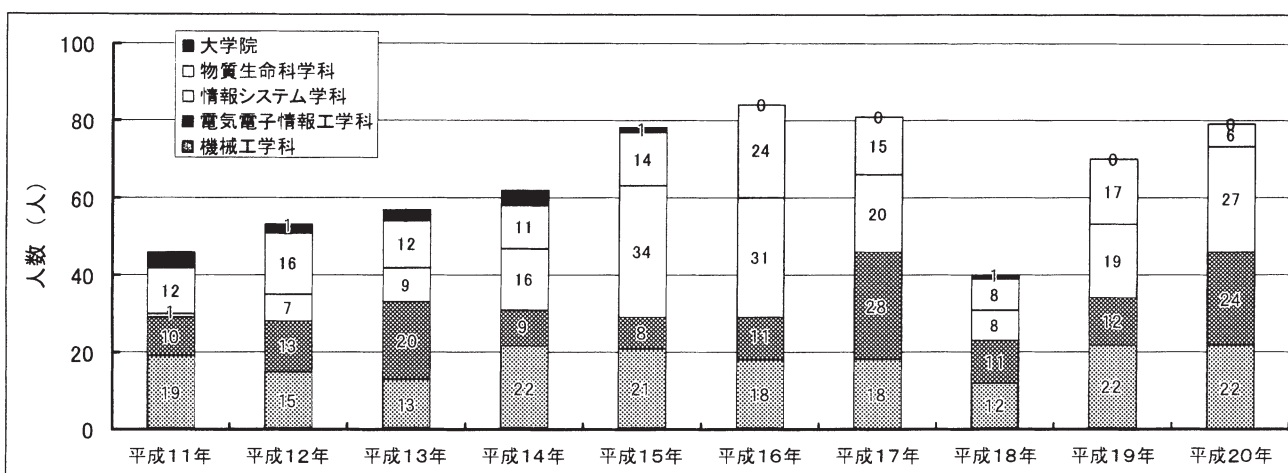


図2 参加学生数の学科別内訳(10年間の変化)

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について事項別にまとめ、よく行われていた主要な業務内容を図3に示した。これによれば、「製作、組立、加工」の項目が26.1%と最も高く、次が「品質管理、検査」で13.0%、次いで「実験、測定、試験、分析」あるいは「CAD、図面設計、画像処理」が8.7%と高い割合で行われていたことがわかる。

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。学生にとってその大きな成果は、「企業や職場の雰囲気がわかった」が13.5%で最も多く、次いで「慎重かつ正確な作業の重要性」、「安全問題の認識」、「企業の現場を見ることができた」と続いた。その他、協調性や熱意、コスト削減への努力などが挙げられ、学生が得た成果は非常に多岐にわたったことが明らかとなった。

7.3 実習に関する感想

「実習に関する感想」をまとめたものが図5である。実習内容に関する感想としては「貴重な体験ができ、非常に勉強になった」が17.3%と高い割合となった。次いで「実習

担当者の助言がためになった」、「見聞きするものが全て新しかった」、「社会人の責任の重さを実感した」などの回答が多く、学生にとって大きな刺激となったことが伺える結果となった。また、充実感や達成感を味わうことができ、このような経験を今後の進路決定に生かしていきたいなどの意見もあり、素晴らしい研修が行われたことが想像される。

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が図6である。その中で「もっと質問をするべきだった」が16.0%と最多の回答となっている。次に「うまく話や説明ができなかった」、「積極的に行動するべきだった」、「基礎的、応用的な知識が足りなかった」、「集中力が途切れてしまった」であった。反省点の上位2項目が、コミュニケーション能力に関する内容であり、大学での生活や授業の中で、これらの能力を高めるための働きかけをしていかなければならないと思われる。当然のことながら、これからの就職活動や良き社会人となるために最も必要な力の一つであり、学生としても平素から会話することを心がけてもらいたいものである。

このように、学生が研修を通して、自分を振り返り、どんな行動をすべきであったかに気づき、今後の勉強や行動に反映されればと願う。

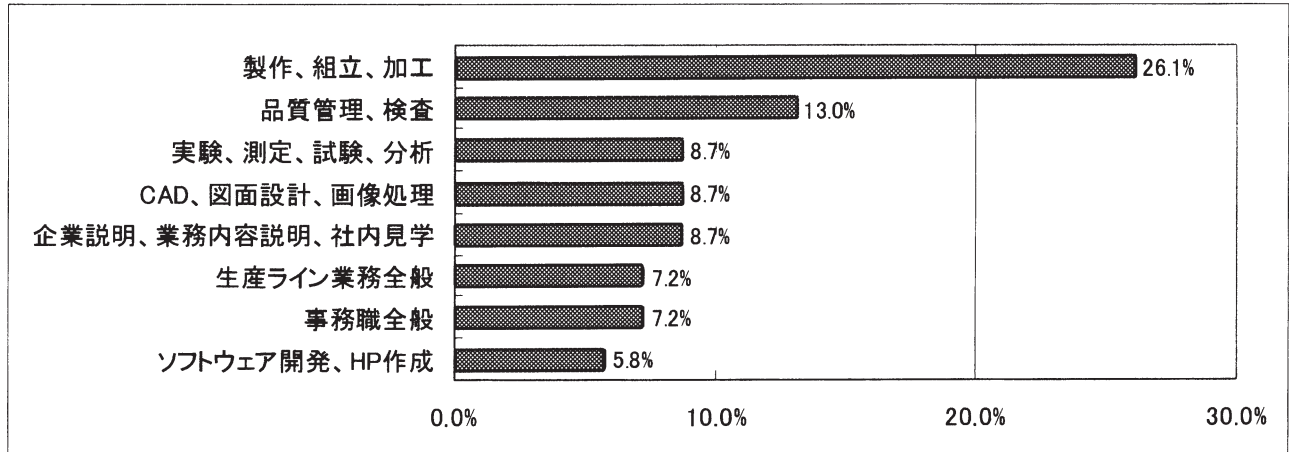


図3 実習内容の詳細

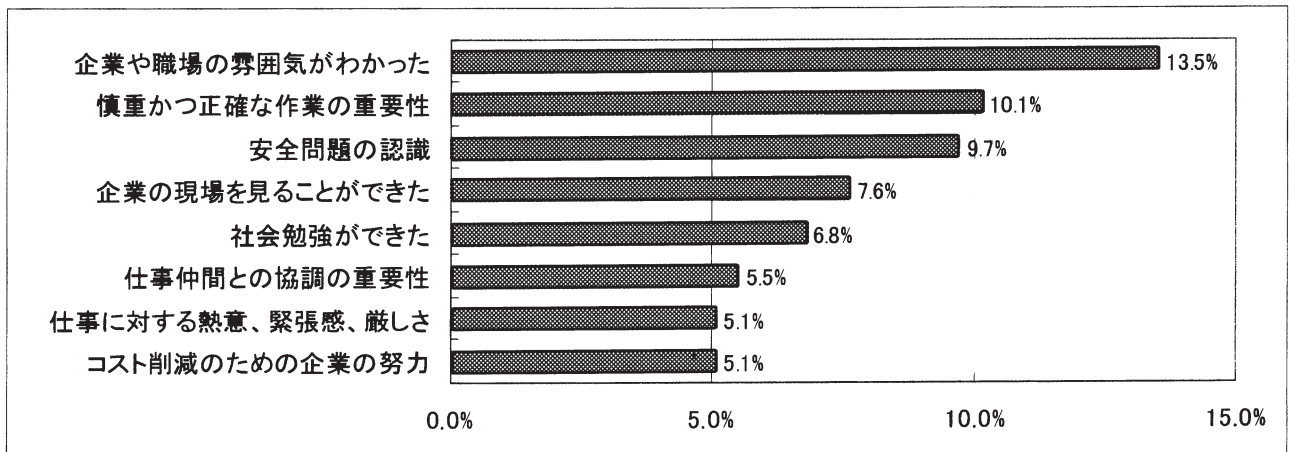


図4 実習によって得られた成果

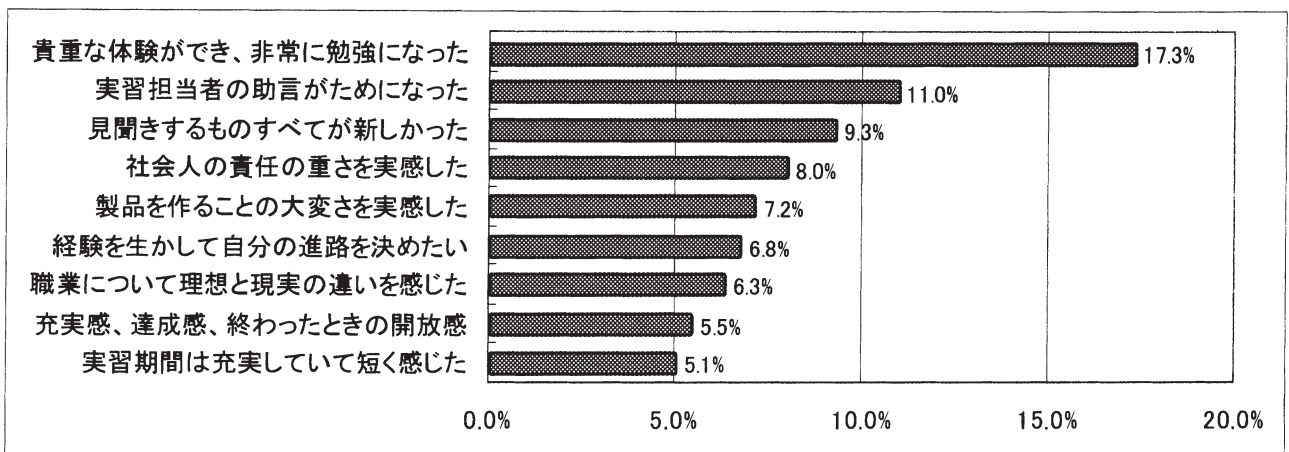


図5 実習に関する感想

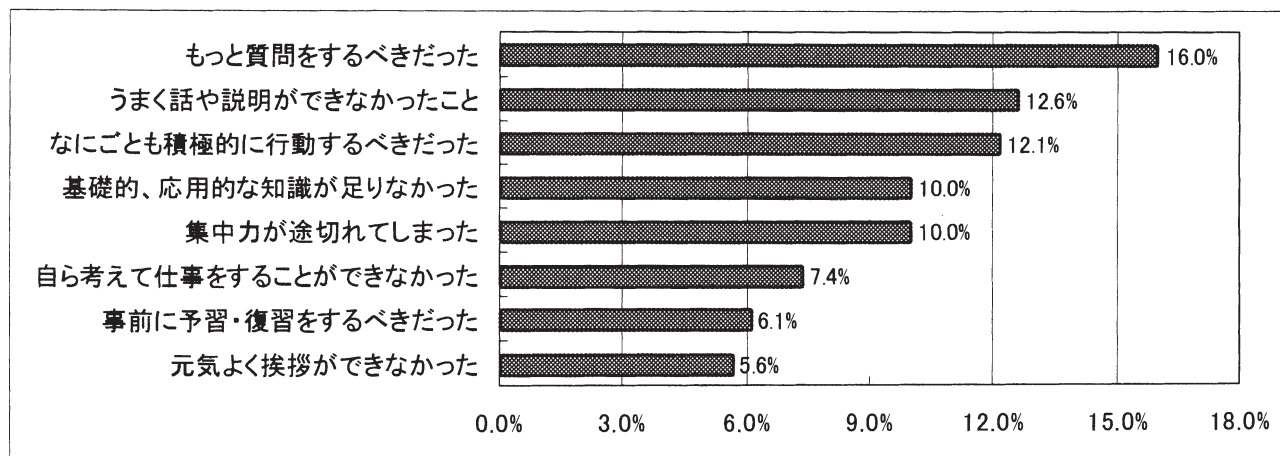


図6 実習に関する反省

8. インターンシップ実習の評価（受入企業、訪問教員）

インターンシップの終了後に、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であった。その結果（回答数77）をまとめたものが表6である。昨年度と比較して、「勤務状況」の平均値は0.1ポイント下がる結果となったが、「理解度」や「積極性」などその他の多くの項目で、0.1～0.2ポイント高い結果となった。なお、積極性・協調性の評価で最低の「劣る」と評価された学生が1名いたが、昨年度の8名と比較すると大幅に減少している。

「勤務状況」が下がった理由として、実習期間中に大学で追再試期間があり、数人の学生が企業の許可の下、実習を中止して追再試を受けており、この影響があったものと考えられる。しかし、勤務状況は他の評価項目と比較しても特に良好（5段階で最高の「大変良い」という評価が70%以上）で、本学のインターンシップ学生は基本的に時間の厳守などに対しては非常によく認識し実習していたことが伺える。また、「創意工夫が見られたか」については、例年平均で3.5程度の評価にとどまっている。「仕事の正確さ」、「創意工夫」、「積極性」などの評価項目に対しては、5段階で「普通」でと評価された割合が高くなり、受入企業側から改善を希望する点として具体的に指摘されている。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ことが必要で、そのためにも多くの経験値が大切となってくると考える。

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ている。おおむね「積極的な行動」が評価されたものの、一方で「おとなしい」や「元気がない」、「会話ができない」などの指摘をされた学生もいた。事前研修でずいぶん指導してきたつもりであるが、一時的な指導にはやはり限界がある。4年間の学生生活をとおしての働きかけや、指導にさらなる工夫が必要であると考えられる。

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。「実習生の態度や状況について」、「インタ

ーンシップ全般に関して」のいずれの評価も、約90%の回答が適切あるいはほぼ適切という結果となった。しかし、「実習生の実習内容は満足すべきものであったか」については、やや不適切、不適切の回答が21%となっており、この結果は大学として重く受け止めなければならない。来年度に向けた大きな反省事項である。

「インターンシップの目的」に関して、受入企業からの回答数の多かった上位3項目は、①学生の勤労観・職業観の育成、②企業と学生の相互理解、③産学連携による人材育成、であった。また、「来年以降実施にあたっての留意点、改善を要する点」に対する回答数の多かった上位3項目は、①学生の意欲や積極性の向上、②学生の希望とのマッチング、③実習内容の打ち合わせ、であった。これらを踏まえて来年度以降のインターンシップを計画していくことが必要である。

8.3 実習生による満足度評価

参加学生からの報告内容には、企業の受入態勢や実習内容の適否を問う内容が含まれている。その結果をまとめたものが図8に示されている。実習内容、実習環境、成果などについて、ほとんどの学生が適切またはほぼ適切と回答しており、特に指導内容に関して満足度は非常に高いという結果が得られた。

一方で、実習参加者の増加策について学生からの意見を聞くと、「受入企業の業種を増加させる」ことを挙げている。具体的には「一般機械」、「情報処理」、「電気・電子」関連の実習内容を望む声が多かった。「来年、再度インターンシップを体験したいと思いますか」という問いには、73.4%が「条件によっては体験したい」と答え、今回の経験を基により充実した内容を要望していることがうかがえる。自由記述のなかには、前年度の実習内容について知りたかったという意見があり、学生間でインターンシップに関する情報の共有が必要と感じた。

8.4 実習先訪問担当教員の報告

単位認定のために、学生の実習状況を調査して大学として評価をする必要があるため、本年も各企業へ担当教員が訪問し、企業側の受け入れ担当者のほか実習生本人とも面談した。実習先企業を訪問した担当教員の報告をもとに、グラフにまとめたのが図9および図10である。昨年同様、学生がまじめに意欲的に実習に取り組んでいたという感想が高い結果となった。

一方、訪問教員による企業の実習内容、プログラム、指

導状況に対する評価は、80%以上が「満足」あるいは「ほぼ満足」という結果となった(図10)。テーマの設定から、きめ細かな指導がおこなわれていることが評価されたものとする。極めて少数ではあったが、実習生の受け入れに不慣れなため戸惑っている企業が見られた、あるいは実

習内容がアルバイト的でインターンシップの実習としてはたして適切であるのか疑問が残る、との意見もあった。このような課題へのサポートをどのようにしていくのか検討が必要である。

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77)

評価項目	評点					平均値
	大変良い	やや良い	普通	やや劣る	劣る	
	5	4	3	2	1	
勤務状況(欠勤、遅刻、早退などの状況)はいかがでしたか?	55	5	15	2	0	4.5
	71%	6%	19%	3%	0%	
勤務態度(言葉遣い、挨拶、返事など)はいかがでしたか?	26	28	17	6	0	4.0
	34%	36%	22%	8%	0%	
実習内容はよく理解しましたか?	26	38	10	3	0	4.1
	34%	49%	13%	4%	0%	
仕事において、よく実行し、行動し、努力しましたか?	23	44	7	3	0	4.1
	30%	57%	9%	4%	0%	
仕事は正確で良い結果が出ましたか?	19	32	24	2	0	3.9
	25%	42%	31%	3%	0%	
創意工夫の姿勢は見られましたか?	13	27	34	3	0	3.6
	17%	35%	44%	4%	0%	
仕事に対する積極性はいかがでしたか?	25	27	23	2	0	4.0
	32%	35%	30%	3%	0%	
責任感を持っていましたか?	28	28	20	1	0	4.1
	36%	36%	26%	1%	0%	
協調性はいかがでしたか?	26	28	17	5	1	3.9
	34%	36%	22%	6%	1%	
全体評価	29	33	11	4	0	4.1
	38%	43%	14%	5%	0%	

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

<p><積極的な行動が評価された></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 非常に一生懸命、真面目に努力してくれました。 ・ 前向きな意識が感じられました。職場になじもうとする印象があり、最終報告会においても自らリーダーとして発表 ・ 挨拶などとても大きな声で対応できてよかった。 ・ 大変好感の持てる人物であった。コミュニケーションも取れて社会人になったときが楽しみです。 ・ 専攻の分野でない部分が多かったにもかかわらず、大変前向きに対処されており好感が持てた。 ・ 作業目的などを質問してくるところなど「しっかり学びにきた姿勢」を感じました。今後の活躍が楽しみです。 ・ 教育担当の話をよく機器、理解しようと努力する姿が印象的でした。気持ちが伝わり指導のしがいがありました。 <p><問題点の指摘があった></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ もう少し元気があるとよい ・ 若干積極性が少ないように感じました。 ・ おとなしい性格でしたのであまり会話はありませんでした。 ・ もう少し弊社社員、他の学生とのコミュニケーションを積極的にとってもらえればよかった。 ・ 若いのですから、もっと元気よく覇気を盛ってくれるといい。 ・ 真面目な学生さんですが、「自主的な行動」ができるとよかった。 ・ 緊張しているのか表情が硬く、話をするとき目線が合わない。本当に聞いているのか不安になる。 <p><その他></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 施設ということでなかなか実施させられる仕事がなく一人実習をさせることが多く申し訳なかったと感じています。 ・ パソコンの使用が得意ようでしたが、そのような業務(実習)がなく申し訳ありませんでした。 ・ 後半は部品加工での実習でしたがサンダーで怪我をしたようでちょっと痛いインターンシップになったようです。

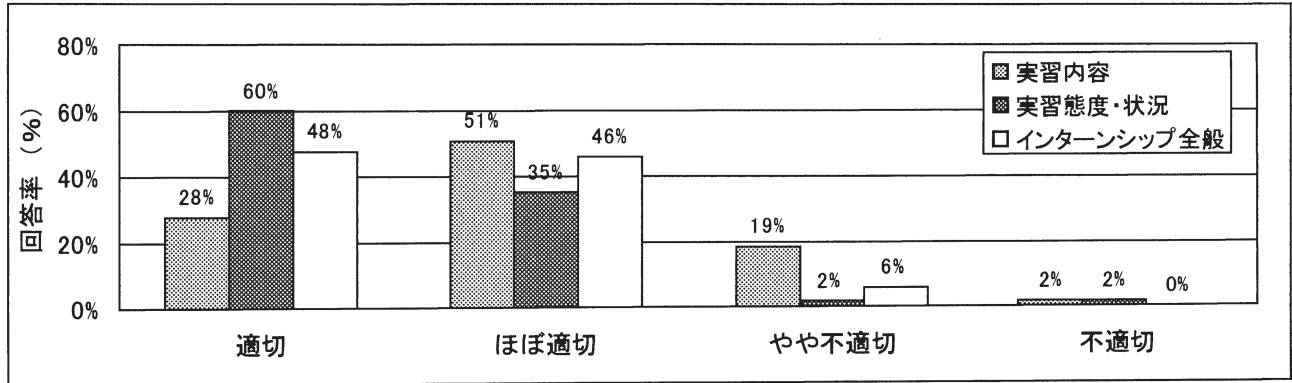


図7 受入企業担当者によるインターンシップへの評価

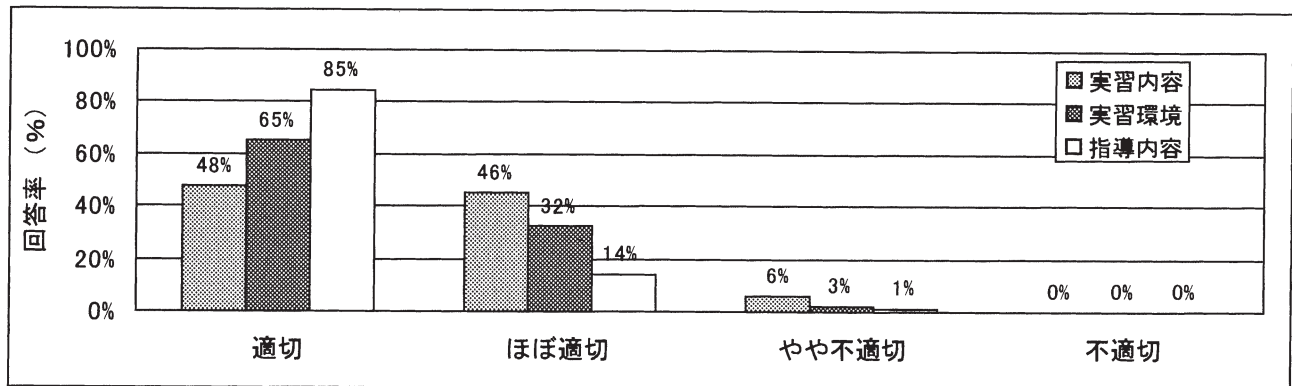


図8 参加学生による実習内容、環境、指導内容への満足度

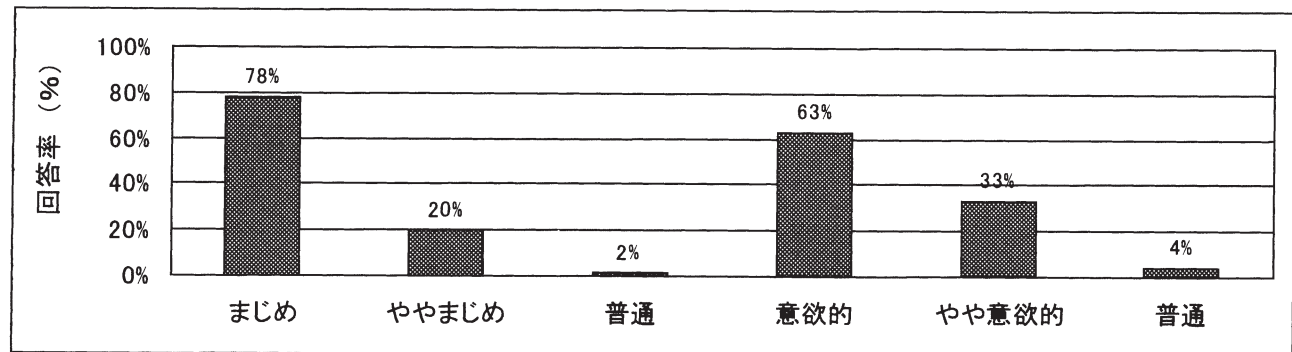


図9 実習生に対する訪問教員の評価

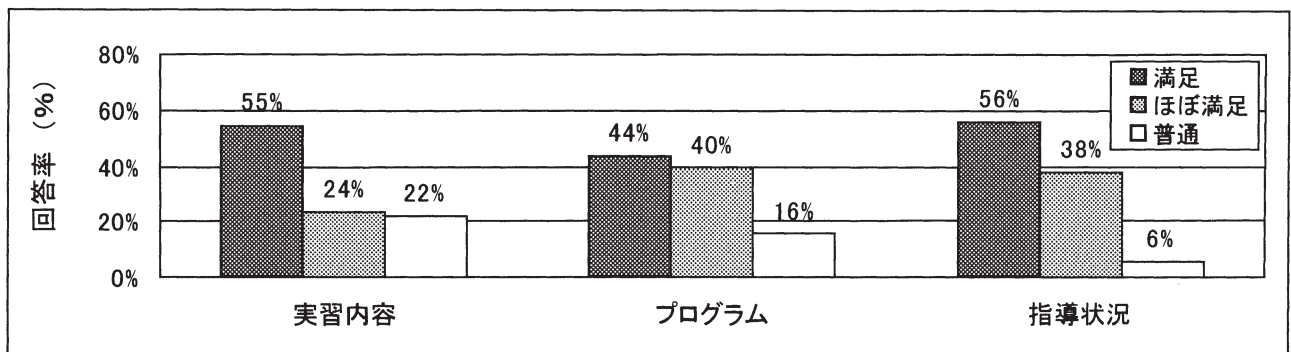


図10 訪問教員の受入事業所への評価と要望

9. 平成20年度インターンシップのまとめ

冒頭に述べた本年度インターンシップの以下の取り組みについて、検証したい。

- ①企業側への受入希望調査を昨年度の3月から、従来の4月に戻す
- ②企業からの受入希望調査のみならず、全ての申し込み作業、報告書および評価作業などもネット上で入力可能とする
- ③事前研修に新入社員研修の講師を招き、挨拶から基本的な姿勢までの実習を取り入れる

本年度からインターンシップ業務の大学内の担当が学務課からキャリア支援課に移行し、学生のキャリア教育の柱の一つとしての位置づけが明らかとなり、就職活動に向けたプログラムとして益々重要性も高まったと言える。それに伴い、学生や企業からの申し込みや報告書の提出などをインターネットを利用してWeb上でできるようにし、インターンシップに携わる関係者の事務業務と情報処理を簡素化する試みをした。また、受入希望調査を3月から4月に変更したのは、年度末ということもあり本務や担当者の交替など諸問題から、受入調査の回答を企業側にお願いするには困難な時期であったためである。これらの対応の効果として、受入可能企業数が増加し、その結果実習内容の幅が広がり参加学生が増加したのかも知れない。また、Webの利用は、結果的に事務的作業量の軽減という観点から非常に効果的であった。

9.1 事前研修の成果

昨年度の「挨拶や返事ができない」といういくつかの指摘を企業側から受け、本年度の事前研修には、新入社員研修で実際に指導にあたっているユニー株式会社の今井様を講師に招き、笑顔の作り方、お辞儀の仕方、挨拶の発声の仕方などを実技を交えてご指導頂いた。これも初めての試みであったが、本年度は挨拶や返事については反省事項として指摘がなかったことを考えると、その効果が現れたのかも知れない。今後も是非続けていきたい事前研修内容である。

事前研修およびインターンシップ実習への参加学生数を増やすことは、例年の大きな課題の一つである。先にも述べたように、本年度の第1回の事前研修参加者162名、内79名が企業実習を行うことになり、これは過去最高の水準であった。しかし、事前研修からの参加学生数の低下率は、48.8%と近年で最も低い値であった。また、受入調査時の企業数89社、実習生数184名の内、53社に79名の学生を派遣したことになり、36社の企業に対して学生を送ることができなかった。

過去の調査から、事前研修中や実習への学生数の低下の原因として、やりたい実習内容が用意されていないことが学生から挙げられていた。これに対し、事前研修では様々な業種の仕事を体験できるのはインターンシップでなくてはできないことで、積極的にチャレンジすることが大切であるという指導をしてきた。しかし、本年度の結果をみると、物質生命科学科の参加学生数が大幅に減少し、その理由として一部の学生からは、化学系・バイオ系の実習内容が少ないことが指摘されている。また、実習参加者を増やす策を学生から聴取すると、「受入企業の業種を増加させる」ことを挙げている。具体的には「一般機械」、「情報処理」、「電気・電子」関連の実習内容を望む声が多かった事実を考慮すると、これらの実習内容を企業側にお願いする必要があると考える。しかしながら、実習生の増加が質の低下を招かないよう配慮しなければならない。

9.2 インターンシップ実習の評価

参加学生の反省の中に、コミュニケーション能力の不足

に関する内容がいくつか見られた。一方、受入企業からの学生評価には、「おとなしい」、「元気がない」、「会話ができない」などの指摘もみられ、学生の積極的な会話や行動が見られなかったようである。当然、学生がこのような実習から得られた反省・気づきから、今後の行動を変えていくことが最も重要なことであるが、大学としてもこの期に学生の行動変容を促すことが必要であろう。そのためにも事後研修や今後の就職指導にこのような内容を盛り込んでいく必要がある。さらに、大学での生活や授業における教職員からの様々な働きかけが必要で、少しでも会話の機会を増やしていかなければならない。

一方、受入企業側から実習生に対して改善を希望する点として、「仕事の正確さ」、「創意工夫」、「積極性」などの項目に対して、具体的に指摘されている。これらの能力は、講義などの座学で獲得されるものではなく、実験実習やクラブ活動などから養われるものであろう。したがって、本学の「やらまいか教育」のさらなる充実を図り、そのような経験を数多く提供し、考え行動する力を高めていきたいものである。また、「実習生の実習内容は満足すべきものであったか」と受入企業に問うたところ、そう思っていないとの答えが21%もあり、学生の実習内容や到達度が低かったという評価が意外に多かったという結果となった。したがって、実習内容、学生の専門分野、到達度の設定など企業側と検討をする必要があると考える。

訪問教員からも、教育的な観点からの実習内容の検討が必要であるとの指摘が一部にはあり、受入企業との連絡調整はますます必要であると考えられる。

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その担当者の皆さん、そして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一, 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一, 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.
- 6) 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.
- 7) 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.

遠州地域の企業調査より 業務における英語活用実態

A report on the usage of English of select companies in the Enshu region

Gregg MCNABB*

Key words: employer, English, requirements, survey, graduates

Abstract

Without preconceptions or expectations, a straightforward survey was administered to a number of companies who regularly employ SIST graduates in an effort to gauge English usage and requirements so as to adjust the English curriculum if necessary, such as by expanding TOEIC courses or devoting more time on task to particular macroskills.

はじめに

Every year in March, SIST hosts a job symposium where employers, professors and students have opportunities to meet with each other and learn about what positions exist and what their requirements are. For the teaching staff, it is an invaluable time to find out whether any exigent or medium-term action is warranted to better assist both students and the business community. From this

perspective, then, in 2007, the writer designed a straightforward Japanese survey that could be easily completed and would provide enough information to determine whether any changes to the English curriculum might be appropriate.

Out of consideration for English readers, the ten-question survey in English follows and then the actual Japanese version.

Dear Employer,

First of all, thank you very much for attending this SIST Recruitment Seminar. We appreciate how valuable your time is.

We would like to know to what extent English is needed or considered beneficial at your company. Therefore, if you wouldn't mind, could you possibly complete this short survey and put it in the survey box beside the door. Thank you very much for your cooperation.

Survey

1. Is spoken English used at your company now?

Not at all = 0 A little bit = 1 Somewhat = 2 Quite a lot = 3 A lot = 4 Constantly = 5

2. Is written English used at your company now?

Not at all = 0 A little bit = 1 Somewhat = 2 Quite a lot = 3 A lot = 4 Constantly = 5

3. Are employees required to read English documents?

Not at all = 0 A little bit = 1 Somewhat = 2 Quite a lot = 3 A lot = 4 Constantly = 5

4. Do you anticipate that English (spoken, written, reading) will be used (more) in the future at your company?

Yes Probably Don't know Probably not No

5. Does your company offer English conversation classes to employees? Yes No

6. Does your company offer TOEIC classes? Yes No

7. Does your company require a certain TOEIC score for promotion? Yes No

Received March 2, 2007

*Faculty of Comprehensive Informatics, Shizuoka Institute of Science and Technology

8. If a potential employee could use English quite well, would you be more inclined to hire him/her?

Yes Probably It wouldn't matter No

9. Do you ask about or check the English level of potential employees? Yes No

10. Do you have any comments or suggestions? (If, yes, please write them below).

Company name (optional): _____.

<アンケート>

本日はお忙しい中、静岡理工科大学のリクルートセミナーにお越しいただきありがとうございます。
貴社においてどの程度の英語力が求められているかを把握させていただきたいと考えています。このアンケートにお答えいただき、ドアの横にある回収ボックスにお入れください。

質問（該当する答えにひとつ○をつけてください）

1. 貴社においては、業務上英語を話す機会がありますか
(多い・やや多い・やや少ない・少ない・全くない)
2. 業務上英語を書いたり読んだりする機会がありますか
(多い・やや多い・やや少ない・少ない・全くない)
3. 社員が英語の書類を読むことはありますか
(多い・やや多い・やや少ない・少ない・全くない)
4. 将来的に、英語（話すこと・書くこと・読むこと）がもっと必要になると考えられますか
(そう思う・ややそう思う・わからない・ややそう思わない・そう思わない)
5. 社員にむけて、英会話のクラスを用意していますか
(はい・いいえ)
6. 社員にむけて、TOEICのクラスを用意していますか
(はい・いいえ)
7. TOEICのスコアを昇進の条件にしていますか
(はい・いいえ)
8. 採用には、英語のレベルが高い人を重視しますか
(はい・たぶん・どちらともいえない・いいえ)
9. 採用にあたって、英語のレベルを尋ねたり、チェックしますか
(はい・いいえ)

10. ご希望やご質問等がありましたら自由にお書きください

差し支えなければ会社名をご記入ください

()

ご協力ありがとうございました。

情報システム学科

Gregg McNabb

Results and discussion

Out of the 82 companies that participated in the Recruitment Seminar, 70 returned surveys (a completion rate of 85.37%), furnishing the following data.

Question 1

Is spoken English used at your company now?

貴社においては、業務上英語を話す機会がありますか

(多い・やや多い・やや少ない・少ない・全くない)

多い = 3 やや多い = 7 やや少ない = 9 少ない = 35 全くない = 15 No answer = 1

Question 2

Is written English used at your company now?

業務上英語を書いたり読んだりする機会がありますか

(多い・やや多い・やや少ない・少ない・全くない)

多い = 5 やや多い = 7 やや少ない = 20 少ない = 30 全くない = 8

Question 3

Are employees required to read English documents?

社員が英語の書類を読むことはありますか

(多い・やや多い・やや少ない・少ない・全くない)

多い = 4 やや多い = 8 やや少ない = 19 少ない = 32 全くない = 7

4. Do you anticipate that English (spoken, written, reading) will be used (more) in the future at your company?

将来的に、英語（話すこと・書くこと・読むこと）がもっと必要になると考えられますか

(そう思う・ややそう思う・わからない・ややそう思わない・そう思わない)

そう思う = 31 ややそう思う = 28 わからない = 5 ややそう思わない = 3 そう思わない = 3

5. Does your company offer English conversation classes to employees?

社員にむけて、英会話のクラスを用意していますか (はい・いいえ)

はい = 13 いいえ = 57

6. Does your company offer TOEIC classes?

社員にむけて、TOEICのクラスを用意していますか (はい・いいえ)

はい = 7 いいえ = 63

7. Does your company require a certain TOEIC score for promotion?

TOEICのスコアを昇進の条件にしていますか (はい・いいえ)
 はい = 5 いいえ = 64 No answer = 1 Both = 1

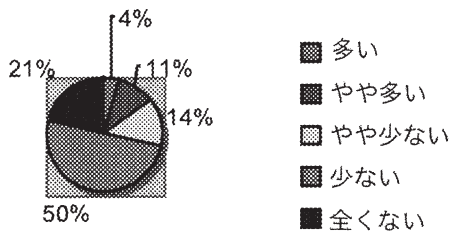
8. If a potential employee could use English quite well, would you be more inclined to hire him/her?
 採用には、英語のレベルが高い人を重視しますか
 (はい・たぶん・どちらともいえない・いいえ)
 はい = 3 たぶん = 7 どちらともいえない = 34 いいえ = 26

9. Do you ask about or check the English level of potential employees?
 採用にあたって、英語のレベルを尋ねたり、チェックしますか
 (はい・いいえ)
 はい = 15 いいえ = 55

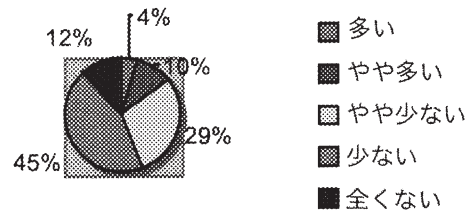
10. Do you have any comments or suggestions? (If, yes, please write them below).
 ご希望やご質問等がありましたら自由にお書きください

- 1) Thanks for today.
- 2) We have many English documents so if a new employee doesn't have English skills, s/he will be put in a department that doesn't use English often.
- 3) 1. We provide some staff to NEC's Development Department, so we need people who can read surveys regarding international products. 2. We are doing system development in China, so we want people who can understand Chinese to serve as a bridge between systems engineers.
- 4) As a system engineer, the latest, cutting edge technologies are in English, so having English skills is an advantage.

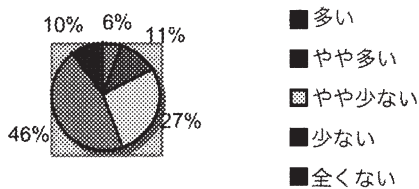
1. Usage of Spoken English



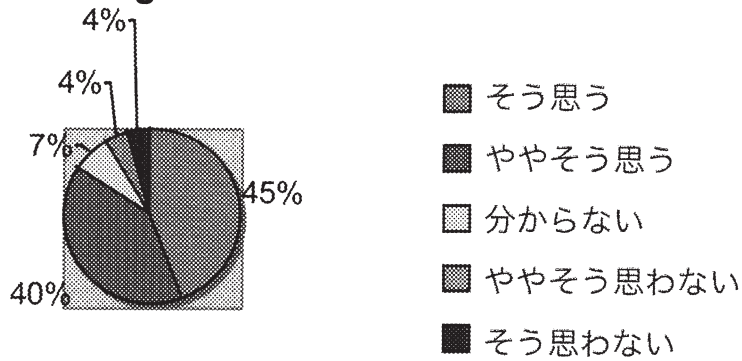
2. Usage of Written English



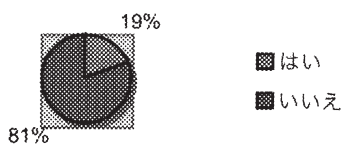
3. Need to Read English Documents



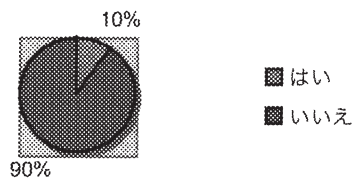
4. English Will be Used More



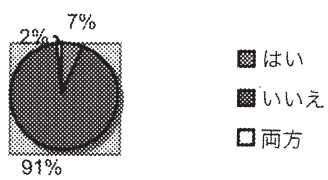
5. Company Offers English Conversation Classes



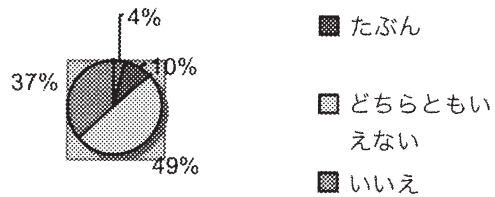
6. Company Offers TOEIC Classes



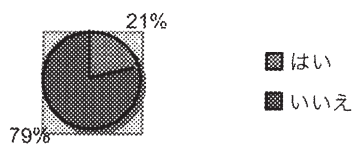
7. TOEIC Score Needed for Promotion



8. Company Hires Graduates with Better English



9. Check Graduates' English Level



Question 1

We can see that 14.5% of companies use English quite a lot, and 13% somewhat. Roughly half (51%) use only a little bit of spoken English and 22% require no spoken English at all from their employees. Overall, it is clear that most companies do require at least some spoken English (about 80%), with those requiring significant amounts of spoken English more than those who require no English at all.

Question 2

It is evident that companies require their staff to write English more than speak it.

As with spoken English, a similar percentage of companies (14.3%) reported the use of written English as a lot or quite a lot. 28.5% required written English somewhat. 43% of companies required a bit of written English and 11.4% needed no written English. In total, 89% of surveyed companies need written English, but less than half (43%) need it very much.

Question 3

The necessity to be able to read English is virtually the same as for reading: a lot or quite a lot 14.3%; somewhat 27%; a little bit 47%; and not at all 10%.

The data from Questions 1-3 seem to indicate that, at the present time, only a modest amount of English will be required of SIST students upon entering the majority of companies in the region. This was quite surprising data in light of the significant amount of international trade between China, Korea, and Taiwan in particular. Fortunately, the responses given in Question 4 below were encouraging.

In addition, the reported need for high English usage corresponds quite suitably to the likely percentage of our students who are capable of such functional English.

Question 4

Slightly over 44% of company representatives absolutely do expect that more English will be necessary at their companies in the future, with an additional 40% anticipating that it will probably be necessary. These are high percentages. Regrettably, the survey did not ask respondents to estimate to what extent and in what ways they believed the need for English might increase. Only 7% did not know whether more English might be required at the workplace and just 4.3% respectively thought that the need for English probably wouldn't increase or wouldn't increase at all. If respondents' assessments are accurate, it suggests that at SIST we must continue to stress the importance of mandatory English education. Based on this data, it would seem to be a mistake to fundamentally change English courses or designate more English courses as optional subjects.

Questions 5-8

In light of the results of Question 4, the reported figures in Questions 5-8 are quite surprising and, irrespective of any other implications, it is clear that the responsibility for equipping future employees in this region with the appropriate English skills rests squarely with SIST's English department and the students themselves. That 18.6% of companies offer (supplementary) English conversation classes is quite good, but if it is true that their staff will need more English in the future, either more companies may need to offer various classes or the university's role will have to expand. Just 10% provide TOEIC which could indicate that having ability to manage in daily English is more important than being able to use more rigidly controlled "Business English." From at least one perspective, it is fortunate that regional companies have not embraced TOEIC scores as a means of evaluation, since that would result in a mandatory washback effect. Large-scale research (for example Saegusa, 1985; Robb & Ercanbrack, 1999) has shown that at least 200 hours of intensive study was needed to improve students' scores just over 100 points and that typical university-class instruction resulted in minimal improvements. Improvement varied according to candidates' starting points. Typical university TOEIC courses consist of 15 90-minute classes (22.5 hours) at most, so it would be impossible for professors to improve students' scores except during intensive, optional spring or summer courses.

Nearly 86% of companies would *not* be especially *more* inclined to hire a candidate with good English. In other words, even though 84% (44% definitely think so) expect that the need for their staff to use more English will increase, few preparations are being made now. At SIST, then, we must continue to anticipate companies' needs through proactive curriculum changes and by emphasizing the importance that English will have in the future as cross-border trade and exchanges increase.

Question 9

Since most companies showed no tendency to hire graduates with better English skills, suggesting that English is not essential and that other "core" skills take precedence, it is natural that approximately 80% of companies did not administer any form of English level check or proficiency test. It will be interesting to find out in the future, based on the beliefs expressed as regards Question 4, whether this tendency decreases.

Question 10

The comments seem to suggest that graduates need more English and even Chinese at the "better," more well known companies, particularly our students in the Faculty of Comprehensive Informatics. We will need to make sure that students in this faculty get more English,

and, indeed, this faculty has already decided to add two new courses in the 2009 academic year.

Conclusion

Based on the responses of this initial survey, it seems that SIST is providing students with enough suitable English to manage regional workplace situations. If it proves to be true that companies do begin to use more English (this may be learned when the survey is readministered in 2009), then at orientations, career seminars and mock

問1について

調査結果より14.5%の会社が『かなり大いに』英語を使っており、そして13%は『ある程度』使っていることがわかる。約半数(51%)が『わずか』ではあるが英語を話すことがあると回答し、22%は従業員に「英語を話す力」を全く求めている。一般的にみて、英語は『まったく不要』と回答した会社よりも相当量の「英語を話す力」を求める会社の数が上回っていることから、殆どの会社(80%)は少なくとも『ある程度』「英語を話す力」を必要としていることがはっきりした。

問2について

調査対象の会社が従業員に「英語を話す力」より「英語を書く力」を求めていることが明らかになった。「英語を話す力」を必要とすると回答した場合とほぼ同率の(14.3%)の会社が「英語を書く力」の使用が『たいへん多い』または『かなり多い』と回答した。28.5%の会社が『ある程度』の「英語を書く力」を求めている。43%の会社は「英語を書く力」を『少し』必要とし、11.4%は「英語を書く力」は『必要ない』と回答した。全体では調査対象会社の89%が「英語を書く力」を必要としているが、『大いに必要である』と回答したのはそのうちの半分以下(43%)であった。

問3について

「英語を読む力」の必要性についての回答は前項の『英語を書く力』の場合とほとんど同じで、『大いに』または『かなり大いに』が14.3%、『ある程

interviews as well as in our individual classrooms, we will have to stress in a more concerted fashion the importance of having adequate fluency in English in order to be suitably prepared. The general trend of the survey results indicates that companies in the area may not be fully prepared yet to conduct business in English, so it may be prudent for us at SIST to step up efforts to raise the general level of English of future graduates, thereby providing necessary value-added service.

度』が27%『少々』が47%、『まったく必要ない』が10%であった。

問1から問3の回答データによると、現時点では、静岡理工科大学(SIST)の学生が当地域の多くの会社へ入社するにあたって、適度の英語力が求められていることを示しているようだ。このことは、かなりの量の国際貿易、とりわけ中国、韓国、台湾との貿易を考慮すると極めて意外なデータであった。幸いなことに、次の問4に示された回答を見る限り、報われる思いはするが。また、高度な英語運用能力の必要性に対して、実用的な英語力を有する本学の学生の占める割合がびったり見合うくらいの比率となっているということを付記する。

問4について

44%強の会社の代表は、将来自分の会社がもっと英語力を『必要』とすることは間違いないだろうと予測しており、さらに40%が『おそらく必要』になるだろうと予想している。これは高い比率である。今回の調査で回答者にどの程度まで、またどのように英語の必要性が増大すると思うのか予測するよう求めなかったことが悔やまれる。英語が職場においてもっと必要になるかどうかについて「わからない」と回答したのはわずか7%で、『おそらく増えない』と回答したのはそれより少ない4.3%、『まったく増えないだろう』の回答も4.3%にとどまった。もし回答者の推測が的確であれば、本学における必修の英語授業の重要性を強調し続けなければならないことを示唆している。この調査データに基づく、英語課程を抜本的に変更するとか、さらにい

くつかの英語課程を選択科目に指定するのは誤りであろう。

問5から問8について

問4の結果から見ると、問5から問8に寄せられた回答の数字はまったくの想定外で、他との関連性はさておき、適切な英語力を身につけた将来の従業員を当地域に輩出させる責任はまさに本学の英語科とその学生にかかっているといっても過言ではない。18.6%の会社が（補助的に）英会話クラスを用意しているのはたいへん歓迎されることだが、従業員が将来もっと英語力を必要とするだろうということが本当であるなら、更に多くの会社がさまざまなクラスを用意するか、あるいは大学の役割が拡充されなければならない。10%の会社しか日常英語をこなす能力を計る目安となる TOEIC を実施していないが、これは秩序だった「ビジネス英語」に習熟することより日常の英語能力を重視していることを示唆しており、すくなくとも一つの見方からすると、当地域の会社が TOEIC の得点を評価手段として過信して来なかったのは幸いである。というのも会社が TOEIC スコアを求めるなら大学においても TOEIC スコアをあげるための手立てをとらざるをえなくなるからである。大規模な研究調査（例、三枝 1985；Robb & Ercanbrack, 1999）が示すところによると学生の得点を 100 点上げるためには最低 200 時間の強化学習が必要であったという。そして標準的な大学の授業だけでは大幅な得点向上は見込まれない。得点の向上の推移は受講者があらかじめ取得している点数によって異なった。標準的な大学の TOEIC 講座はせいぜい 90 分のクラスが 15 回（計 22.5 時間）で構成されている。従って春季、夏季の選択性強化講座を実施しない限り、教授が学生の得点を向上させるのは不可能であろう。

86%近くの会社が新規採用に当たって、敢えて高い英語力を保持する応募者を考慮していないようである。換言すれば、84%（44%は確実にそう考えているが）の会社は従業員がより英語を使うことにな

る必要性が増大すると予想しているにも拘らず、現状ではそのための準備は殆どなされていないということになる。そこで本学において我々は事前対策としてカリキュラムの変更を通し、また将来国境を越えた通商貿易量が増大するにつれて英語の占める重要性が増すことを強調することによって会社のニーズに先手を打ち続けなければならない。

問9について

大多数の会社にとって高い英語能力は必須ではなく、他の「中核」となる技能習得のほうを優先させていることが示唆された。これにより、約 80%の会社がどのような形であるにせよ英語のレベルチェックや英語能力テストを行わなかったのは当然のむきである。問4に関連して述べられた意見に基づき、この傾向が将来減少するかどうかを検証してみることは興味深いと思われる。

問10について

寄せられたコメントによると、より知名度の高い会社では、卒業生に対しては更なる英語力を、できれば中国語力も必要としており、本国際情報学部の学生にこそ、その力が求められる。われわれは確実に本学部の在学生の英語力をもっと高める必要があり、実際、本学部は 2009 年度には新たに二つの課程を増やすことをすでに決定している。

結論

今回の第一回調査の回答に基づくと、今のところ静岡理工科大学は当地域の職場状況に対応するに足りる適正な英語力を持った学生を輩出しているといえよう。もし会社が今後さらに英語を活用し始めるならば（これはこの調査を 2009 年に再実施すればわかることだが）、我々は、そのニーズに合わせるべく、授業中は勿論のこと、オリエンテーション、進路指導セミナーや模擬面接試験の際に、「英語を十分流暢に使いこなせることの重要性」をより強調して力説しなければならないだろう。この調査結果の全般的傾向としては当地域の会社はまだ英語でビ

ビジネスを処理する準備が十分に備わっていないことを示している。従って、本学が今後の卒業生の英語力の全般的水準を上げる努力を段階的に進めるこ

とは賢明であるといえよう。それにより、付加価値の高い人材を提供することができるようになるからである。

Sources consulted

Robb, T., & Ercanbrack, J. (1999). A study of the effect of direct test preparation on the TOEIC scores of Japanese university students. *TESL-EJ*, 3 (4) A-2. (p. 1-22). Retrieved January 29, 2009 from <http://www-writing.berkeley.edu/TESL-EJ/ej12/a2.html>

Saegusa, Y. (1985) Prediction of English proficiency progress. *Musashino English and American Literature*, (18) Tokyo: Musashino Women's University. Cited in Prolingua 2009. Retrieved January 29, 2009 from http://www.prolingua.co.jp/toEIC_j.html and http://www.prolingua.co.jp/toEIC_e.html and

学生要望調査結果に基づく英語カリキュラムの現状と課題についての一考察

A Consideration on the Present Situation and Required Improvements of Our English Curriculum Based on a Student Needs Survey

亙理 陽一*

Youichi WATARI

Abstract: The purpose of this article is to examine the student survey we have conducted in July 2008 and give suggestions to improve our English curriculum. Five hundred and seventy-one lower-division course students answered the questionnaire about their English classes, their aims of learning English, requests for their teachers, and the English-related abilities they consider themselves lacking. It was quantitatively analyzed with factor and multiple linear regression analyses. The results suggested that practicality-oriented students are more inclined to study out of class, while students who are indifferent to English or want to avoid it are less likely to study out of class and tend to find their textbooks difficult and boring. It also indicated that most other students who feel they need some kinds of basic vocabulary and proficiency are much more likely to find their class size ill-balanced and their textbooks difficult. As a result, we may suggest that we should reconsider the present track system and enhance our syllabi in tandem.

1. はじめに

静岡理工科大学では現在、必修の「英語1・2・3・4」と選択の「英語ワークショップ(ReadingとCommunication, 各一コマ)1・2・3・4」および「Current English」をI類科目として、非常勤講師3名を含む7名の教員で展開している。「英語1・2・3・4」は、半期ごとにプレイスメント・テストを実施し、理工学部3学科を各2クラス、総合情報学部(2007年度入学生までは情報システム学科)を4クラスに分けている。ただし、使用するテキストは以下のように統一され、クラス・レベルに応じた指導は、語彙・構文やいわゆる四技能の熟達度に関する到達目標の違いによって具体化されている。2008年度は、一年次対象の「英語1・2」に対する共通テキストとして、理工学部3学科クラスは*General Science*(南雲堂)を、総合情報学部クラスは*Information Technology*(Oxford Univ. Pr.)を使用し、二年次対象の「英語3・4」に対しては6名中4名の教員が担当するクラスで*Guided Reading 1*および*Guided Reading 2*(Cave Books)を使用した。

このカリキュラムは、幾度かの改編を経て今日に至るものである。しかし一方で、学部構成・学生数の変動や、入学時の英語にかかわる知識・技能の分散の拡大および相対的低下により、十分に機能しているとは言えない側面もある。このことは、大局的に見れば、大学全体としてどのような英語教育をどのような方法で提供するかというグランド・デザインの再考の必要性を示している。

そこで、このカリキュラムの妥当性を吟味し、必要な改善の検討資料とすべく、2007年8月に設置された英語教育小委員会の活動方針実行計画案に基づき、学生要望調査を実施した。本報告は、この結果と分析に基づき、次年度以降のI類英語カリキュラムに対する示唆を与えることを目的とするものである。

2. 調査の対象と方法

2.1 調査対象

静岡理工科大学1年生358名、2年生259名を対象とし、各学年10クラスから有効解答者571名(92.5%)のデー

2009年2月26日受理

* 教育開発センター

Table 1 学年・学科別記述統計¹⁾

	授業の進め方		クラスの人数		教科書の内容 (難しさ)		教科書の内容 (面白さ)		授業外勉強時間 (週当たり)		N
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
一年生 総合	2.64	0.58	2.35	0.50	2.17	0.70	2.52	0.78	1.59	0.83	329
理工学部3学科総合	2.62	0.59	2.32	0.50	2.25	0.70	2.59	0.73	1.55	0.82	208
機械工学科	2.68	0.57	2.20	0.40	2.19	0.74	2.62	0.68	1.43	0.72	95
電気電子工学科	2.71	0.53	2.47	0.53	2.28	0.64	2.69	0.65	1.66	0.92	58
物質生命科学科	2.42	0.65	2.36	0.55	2.33	0.69	2.44	0.87	1.65	0.86	55
総合情報学部	2.68	0.56	2.40	0.49	2.04	0.69	2.40	0.83	1.64	0.84	121
二年生 総合	2.58	0.55	2.59	0.52	2.31	0.61	2.64	0.75	1.87	0.89	242
機械工学科	2.55	0.56	2.68	0.47	2.27	0.60	2.57	0.62	1.72	0.75	60
電気電子工学科	2.48	0.50	2.70	0.46	2.48	0.50	2.90	0.77	1.68	0.75	40
物質生命科学科	2.63	0.62	2.66	0.47	2.44	0.63	2.73	0.73	1.98	0.95	41
情報システム学科	2.61	0.53	2.47	0.57	2.23	0.63	2.54	0.80	2.00	0.95	101
全体総合	2.61	0.57	2.45	0.52	2.23	0.67	2.57	0.77	1.71	0.87	571

Table 2 授業に対する感想項目の回答内訳(割合)

	一年生 総合				二年生 総合			
	1	2	3	4	1	2	3	4
授業の 進め方	遅すぎる 1%	遅い 39%	はやい 56%	はやすぎる 5%	遅すぎる 1%	遅い 43%	はやい 55%	はやすぎる 2%
クラスの 人数	多すぎる 1%	多い 64%	少ない 35%	少なすぎる 0%	多すぎる 1%	多い 39%	少ない 60%	少なすぎる 0%
教科書 の難しさ	難しすぎる 16%	難しい 52%	やさしい 30%	やさしすぎる 2%	難しすぎる 7%	難しい 55%	やさしい 37%	やさしすぎる 1%
教科書 の面白さ	つまらない 10%	ちょっとつまらない 36%	ちょっと面白い 47%	面白い 8%	つまらない 7%	ちょっとつまらない 38%	ちょっと面白い 50%	面白い 10%
勉強時 間/週	テストのみ 60%	30分以内 25%	30分~1時間 12%	1時間以上 4%	テストのみ 42%	30分以内 33%	30分~1時間 20%	1時間以上 5%

Table 3 今後の英語の授業・学習についての質問項目の概要 (付・図)

【英語を使う目的とその予想】

項目	一年全体		二年全体	
	選択数	選択率	選択数	選択率
仕事	177	49.4%	147	56.8%
英語の論文・本を読んだり訳したりすること	127	35.5%	101	39.0%
TOEIC や TOEFL の受験	54	15.1%	40	15.4%
留学や海外での生活	50	14.0%	33	12.7%
日本ででの外国人とのコミュニケーション	134	37.4%	107	41.3%
英語のホームページを見ること	104	29.1%	88	34.0%
海外旅行	154	43.0%	108	41.7%
その他	11	3.1%	8	3.1%
使う機会は全くない	53	14.8%	28	10.8%

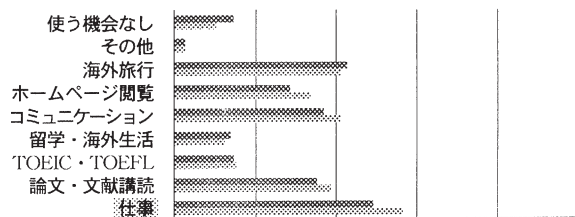
【英語教員に増やしてほしいもの】

項目	一年全体		二年全体	
	選択数	選択率	選択数	選択率
英語による指示・説明	54	15.1%	39	15.1%
視聴覚教材の利用	109	30.4%	81	31.3%
コンピュータを使った学習	79	22.1%	47	18.1%
学生が発表する活動	21	5.9%	17	6.6%
ペア・ワーク(二人一組での作業)	37	10.3%	19	7.3%
グループ・ワーク	62	17.3%	44	17.0%
ゲーム(パズルやクイズなど)	145	40.5%	90	34.7%
日本語による文法の説明	182	50.8%	138	53.3%
日本語による指示・説明	131	36.6%	107	41.3%
その他	10	2.8%	4	1.5%

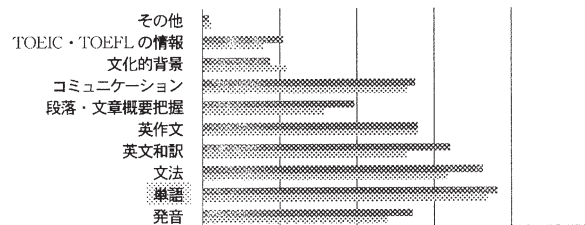
【自分に必要だと思う英語能力】

項目	一年全体		二年全体	
	選択数	選択率	選択数	選択率
発音	194	54.2%	123	47.5%
単語	273	76.3%	191	73.7%
文法	259	72.3%	164	63.3%
英文和訳	229	64.0%	137	52.9%
英作文	199	55.6%	144	55.6%
段落・文章の内容の把握	141	39.4%	81	31.3%
コミュニケーション	197	55.0%	138	53.3%
英語圏の文化的背景	62	17.3%	56	21.6%
TOEIC・TOEFLなどの知識・情報・テクニック	74	20.7%	41	15.8%
その他	5	1.4%	6	2.3%

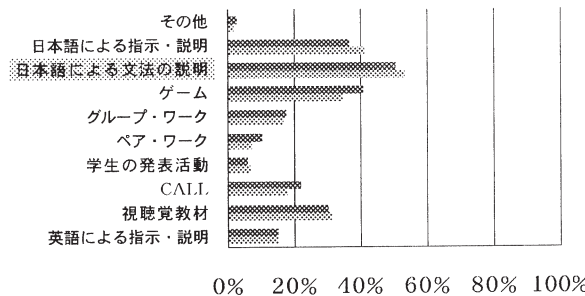
英語を使う目的とその予想



自分に必要だと思う英語能力



英語教員に増やしてほしいもの



タを得た。

2.2 質問項目

2008年6～7月に常勤4教員が、担当クラスで予備的な調査を実施し、その結果に基づく討議の上、その科目全体を振り返った授業に対する感想5項目(4点尺度)・英語を使う目的とその予想9項目(複数回答法、以下同様)・自分に必要だと思う英語能力10項目・英語教員に増やしてほしいもの10項目・自由記述欄からなる無記名式の質問紙を作成した(末尾資料を参照)。質問紙の冒頭には、参加者への教示として、「このアンケートは、英語の授業をより良くする目的で行うものです。みなさんの率直な感想・意見を聞かせてください。みなさんの成績とは無関係です。名前・学籍番号を書く必要もありません」という文章を記載した。

2.3 調査方法

2008年7月に、担当の7教員が、講義中にB4一枚からなる質問紙を配布して実施した。調査の所要時間はクラスにつき10～15分である。

3. 結果と分析

「授業に対する感想」項目についての学年・学科別の記述統計と、「英語を使う目的とその予想」・「自分に必要だと思う英語能力」・「英語教員に増やしてほしいもの」、つまり今後の授業・学習についての質問項目の概要をTable 1～Table 3に示す。

3.1 因子分析

今後の英語の授業・学習についての質問29項目に対して、主因子法による因子分析を実施した²⁾。5因子を仮定して主因子法・Varimax回転による因子分析を行い、十分な因子負荷量を示さなかった14項目を分析から除外した上で、残りの15項目に対して、再度主因子法・Varimax回転による因子分析を実施した。Varimax回転後の最終的な因子パターンをTable 4に示す。回転前の5因子で15項目の全分散を説明する割合は37.07%であった。この割合は、本学の学生の英語学習に対する目的意識や授業に対する要望をひと括りに説明することの難しさを示している

とも言える。

Table 4 因子分析表

項目内容	I	II	III	IV	V
留学や海外での生活	.56	.07	.03	-.04	-.02
外国人とのコミュニケーション	.53	.06	.06	.00	-.21
海外旅行	.50	.08	.05	.10	-.22
実際に英語を使う活動	.36	.10	.15	.01	-.13
グループ・ワーク	.04	.73	.08	-.07	-.03
ペア・ワーク	.06	.67	.04	-.03	.04
ゲーム(パズルやクイズ)	.15	.40	.04	.01	-.03
英文和訳	-.07	.02	.56	.08	-.05
英作文	.19	.01	.52	.01	-.00
段落・文章の内容の把握	.05	.11	.51	.07	.04
文法	.09	.02	.40	.17	.01
日本語による文法の説明	.05	.01	.13	.87	-.02
日本語による指示・説明	-.00	-.09	.19	.52	-.03
使う機会は全くない	-.29	.04	.03	.02	.86
仕事	.25	.04	.01	.06	-.40
因子間相関					
I	—	.09	.09	.01	-.24
II		—	.06	-.03	.05
III			—	.11	.05
IV				—	.01
V					—

第1因子は4項目で構成されており、実用的な使用目的や活動を望む項目が高い負荷量を示していた。そこで、「実用志向」因子と命名した。

第2因子は3項目で構成されており、学生が何らかの活動に参加することに関わる質問項目が高い負荷量を示していたので、「参加型授業」因子と命名した。

第3因子は4項目で構成されており、読み書きに関わる基礎的な英語能力に関する質問項目が高い負荷量を示していたことから、「英語基礎能力」因子と命名した。

第4因子は2項目で構成されており、教師が授業で日本語を使用することを望む項目が高い負荷量を示していた。「日本語使用希望」因子と命名した。

第5因子は2項目で構成されており、英語を使用する機会がないという項目が高い負荷量で、逆に積極的に使用することにかかわる項目は負の負荷量を示していた。

そこで、「英語忌避」因子と命名した。

3.2 重回帰分析

各因子が授業に対する感想に与える影響を検討するために、重回帰分析を実施した (Table 5)。

Table 5 重回帰分析の結果

	授業の進 め方	クラスの 人数	教科書の 難しさ	教科書の 面白さ	授業外勉強 時間/週
	β	β	β	β	β
実用 志向	-0.03	-0.02	0.06	0.00	0.14**
参加型 授業	0.07	0.09*	-0.05	0.04	-0.07
英語基礎 能力	-0.02	-0.09*	-0.14**	0.01	-0.03
日本語 使用希望	0.10*	0.01	-0.07	0.02	-0.06
英語忌避	-0.04	0.09*	-0.11*	-0.10*	-0.11**

* $p < .05$, ** $p < .01$ β : 標準偏回帰係数

おおよそのまとめとしては、以下のような特徴が指摘できる。

- ・ 実用志向が高いほど、授業外の勉強時間は多くなる。
- ・ 参加型授業を望む学生ほど、クラスの人数が多いとは思わない。
- ・ 英語基礎能力を欲する学生ほど、クラスの人数を多いと感じ、教科書の内容を難しいと感じている。
- ・ 日本語の使用を希望する学生ほど、授業の進め方が早いと感じている。
- ・ 英語忌避の傾向が強いほど、クラスの人数が多いとは思わないが、教科書の内容を難しく、つまらなしいと感じ、週当たりの勉強時間は少なくなる。

いずれも、英語担当教員の日頃の観察からも首肯できるものであるが、同時に、教科書の内容を分かりやすく楽しく学んでもらうための改善であれ、授業内外における学習意欲を喚起するための改善であれ、講じるべき対策は多岐に渡ることを窺わせる。

4. 考察

上の分析を踏まえ、現行カリキュラムに対して、1) クラス編成法の改善、2) 教育内容・教材の改善、3) 学生のタイプと動機づけの考慮の3点に言及し、次年度以降の英語カリキュラムに対する示唆としたい。

4.1 クラス編成法の改善

「授業の進め方」項目の結果は *General Science* 使用3学科でのクラス編成のアンバランスさを、「クラスの人数」項目の結果は学科間のクラス・サイズのバラつきに問題があることを示している。このことは、プレイズメント・テストの結果と重ね合わせるといっそう明確になる。

例えば「英語1」を例にとると、一つのクラスに対して、50点満点で最大23点の分布の幅が存在する。分布のピークは学科によって異なるが、中心をどこに置いて授業を進めたとしても、一つのクラスに20点以上の開きがある学生たちがいれば、進度が遅すぎると感じられたり早すぎると感じられたりするのは無理もないことだと言える。加えて、学科が違うというだけでサイズの大きく異なるクラスに配置されるというのは、授業参加が積極的なものであれ消極的なものであれ、学生にとって納得のいくものではない。重回帰分析の結果から言えば、参加型授業を望む学生に限って言えば、ペア・ワークやグループ・ワークを積極的に取り入れることで、クラス・サイズに対する不満はいくらか解消できる可能性がある。しかし、学部・学科ごとに異なる目標と内容を用意して別の科目として展開するならばともかく、同じ内容と到達目標を設定している以上、クラス・サイズが20人以上も異なるという状況は、担当教員の努力でどうにかなるレベルを超えている³⁾。

そこで、改善策として、学科ごとの編成を止め、全学混合のクラス編成を行うことを提案したい。現行と同じクラス数でも、学年全体で10クラスの編成にすれば、学生数の変動の影響を最小限にしつつ、35人以下の均等なクラス編成が可能となる。また、学科横断の編成にすることで、プレイズメントをより実態に即したものとすることができ。データに表れている限りの現状では、上位1~2クラスと下位2クラス、および中位6~7クラスの構成が妥当だと思われる。理想的には——必要コマ数分の人的・物的環境を整備した上で——全て20人程度に統一したクラ

ラスと下位2クラス、および中位6~7クラスの構成が妥当だと思われる。理想的には——必要コマ数分の人的・物的環境を整備した上で——全て20人程度に統一したクラス編成が望まれるが、学生の英語基礎能力に対する要望と、プレイズメント・テストの結果や授業の現況に鑑みれば、下位クラスだけでも（もう2クラス程度増やして）20人以下の少人数クラスを用意すべきだと考える。

4.2 教育内容・教材の改善

教科書の内容に関しては、*Information Technology* が相対的にどのレベルでも難しいと感じられている。ただし、「難しい=つまらない」というわけではなく、全体を通じて面白さに関しては教員間の違いが大きい。複数教員共通仕様の教科書で最も安定しているのは *Guided Reading* である。

テキストに関しては既に改善が行われており、2009年度は必修英語のテキストの完全共通化が図られることになった。具体的には、上の結果も踏まえ、二年次は全クラスで *Guided Reading* を用い、下位クラスでは1を、上位クラスでは2をそれぞれ通年で用いる。一年次も、全クラスで *Reading Explorer 1* (HEINLE Cengage Learning) を用いる。もちろんテキストを共通化しただけで何かが解決するわけではないが、少なくとも、これによって各教員の実践の工夫の共有は行きやすくなり、教育内容・教材の検証・改善のプロセスが前進するものと考えられる。

その際、「自分に必要だと思う英語能力」項目において、語彙の不足の自覚が最も顕著であるものの、「文法」の選択率が1年生では7割、2年生では6割を超えることに対する配慮が必要だろう。当然ながら、各教員は毎回の授業において、テキストやその他の教材を通じて何らかの「文法」を教えている。しかし今回の調査では、質問紙に括弧書きで「動詞の現在形・過去形や who・which・that などの使い分け」という注釈を加えており、そういう知識を少なくない学生が求めているのだということは言える。この結果と所属するクラスの授業内容との因果関係は不明だが、教育内容・教材の検証・改善のプロセスには、科目のカリキュラム・レベルおよび個々の授業レベルでの体系的な文法指導の内容についての吟味が含まれるべきだと考える。

4.3 学生のタイプと動機づけに対する考慮

授業外の勉強時間については教員間の——おそらくは要求される学習スタイルの——違いが大きいものの、総じて言えば、学年が上がると勉強時間も増えている。ただし、毎年同様の結果になるかどうかは分からない。自立した学習者の育成には、どのようなことを考慮する必要があるだろうか。

本調査で明らかになった範囲で学生を類型化するとすれば、大きくは、

- (A) 相対的に実用志向が高く授業外の勉強時間も多い学生
- (B) 少ない人数のクラスでじっくり基礎的能力を身につけることを望む学生
- (C) 学習動機を欠き、極力英語を避けようとする（あるいは投げ出してしまっている）学生

という分類を与えることができる。プレイズメント・テストの分布や授業の成績その他から見ても(A)・(C)は少数で、(B)が最も大きな割合を占めている。いずれのグループも、大勢としては語彙の不足を自覚し、授業での日本語による文法の説明を望んでいる。

永倉(2006)は、愛知・石川・富山・静岡県内の中高・短・大学生（および中高生の一部の保護者と中高の教員）2,377人（うち大学生372人）を対象とした「英語教育の目的」に関するアンケートを実施し、結果について以下の特徴を指摘している⁴⁾。

- (1) 生徒・学生の年齢が上がれば上がるほど、目的意識は少しずつ薄れている。
- (2) 生徒・学生の年齢が上がれば上がるほど、達成感が薄れている。
- (3) 教員の目的意識に比べ、生徒・学生の意識は低い。
- (4) 達成面については、教員の評価に比べ、生徒・学生の評価は厳しいが、... [中略] ...教員のものと似ており、達成面に対してある程度共通の認識を持っていると言える。
- (5) 教員の目的意識と保護者の期待するものは、... [中略] ...似ている... [中略] ...。某自動車会社の社長交代以降、職場での英語使用が必須条件になったことに象徴される動きに対しては、保護者の方が敏感であることが読み取れる。

(1)-(3)については、大学での学習全般に対して類似の指摘が与えられており、英語に限った問題ではないという側面もある⁵⁾。その中で、今回の調査回答者の約半数が何らかの形で「仕事」で英語を使うことがあると考え、約4割が「海外旅行」での英語使用を意識しているということは注目してよいと思われる。ただし、それは保護者や大学からの影響を含んだものかもしれない、必ずしも自発的な動機とは言えない。上述の(C)タイプの学生、つまり「できれば使いたくないが、おそらく仕事で使わざるを得ない」という消極的な目的意識を持った学生の存在が示唆される。

一方、小杉(2008)は、本学学生に対する学習動機・授業中のつまずき・学習意欲の関連に関する調査を実施し、次の2点を指摘している⁶⁾。

- ・ 学生が大学での学びを楽しいと思うことや将来の展望をもつことは、学ぶ意欲を高めるため、授業中のつまずきを積極的に解決するために重要であり、そのつまずきが自分の努力不足のためであるという原因帰属につながる。
- ・ 学生が大学での学びを義務だと思うこと、やらされていると感じることは、学ぶ意欲の低下につながる。大学での学びを義務だと思う傾向が強いほど、授業中のつまずきに対し、あきらめたり、放棄したりという消極的な対処をする。またこのような傾向が強いほど、授業態度が悪く、教員の授業法に批判的である。

大学入学までに英語学習に対して肯定的な目的意識を形成してこなかった学生に対しては、「仕事で使うのだから…」という動機づけが後者の方向を強める可能性があることは注意すべきであろう。

言うまでもなく外国語の熟達には集中的かつ継続的な努力が必要であり——道具的目的であれ文化的興味であれ——明確な自発的動機に支えられていることが望ましい。脅迫的に強いるのではなく、各教員が教育内容・教材を工夫することにより前者の方向を強めることが、結果的には授業外の学習時間も増やすことにつながると考える。昔から言われるように、「馬を水辺に連れていくことはできても、無理やり水を飲ませることはできない」のである。最終的に馬自身が飲みたいと思わない限り、脅そうがすかそうが——ごく短期的には口をつけたふりをしてくれる

かもしれないが——教育的には無駄である。

永倉(2006)も、高度な英語力が求められる人材に対してCALP (Cognitive Academic Language Proficiency)を養成する必要があることと認めつつ、実用の機会が非常に少なく、英語の必要性をあまり感じていない現状では、BICS (Basic Interpersonal Communication Skills)レベルの日常会話を展開させることを通じて「意味のあるコミュニケーション活動」を行い、人間形成にかかわる英語教育を間接的な目標とすることが重要だと述べている。学生たちが『この授業は、実践的コミュニケーション能力を高め、自分の人間形成にプラスになる』と実感すれば、モチベーションも間違いなく高まる」からである。

註および参考文献

- 1) 方法については、小塩真司(2005)『研究事例で学ぶSPSSとAmosによる心理・調査データ解析』東京書籍を参考にした。具体的な数値等は省くが、クラスのレベル・教科書・教員を被験者間要因、授業に対する感想を被験者内要因として分散分析を行なうと、いずれの要因の主効果も有意であった。交互作用を見ると、レベルは「授業の難しさ」・「授業の面白さ」・「授業の進め方」の違いを、教科書は「クラス人数」・「授業の難しさ」・「授業の面白さ」・「授業外勉強時間」の違いを、教員は、「授業の進め方」・「授業の面白さ」の違いを有意に説明するが、教科書の違いが最も説明力が高かった。
- 2) 固有値の減衰状況と因子の解釈可能性から言えば、通常は3因子構造が妥当とみなす方が無難だと思うが、今回は質問項目を最大限生かすため5因子構造を仮定した。
- 3) この状況は「英語2」や「英語3」にも——むしろ上下にバラつきを拡大させる形で——引き継がれている可能性が高い。
- 4) 永倉由里(2006)「英語教育の目的は何か：中学・高校・大学の生徒・学生と教師へのアンケート調査から」大塚章夫・三浦孝(編)『英語コミュニケーション活動と人間形成』成美堂, pp. 55-66.
- 5) 例えば、溝上慎一(2004)「大学新入生の学業生活への参入過程：学業意欲と授業意欲」『京都大学高等教

育研究』Vol. 10: 67-87. など。

- 6) 小杉大輔 (2008) 「理工系大学生における学習動機・授業中のつまずき・学習意欲の関連」『静岡理工科大学紀要』Vol. 16: 63-72.

謝辞

調査の実施に協力していただいた英語担当教員と学生のみなさんに改めて感謝申し上げます。また、参考文献の蒐集にあたり、静岡大学教育学部の三浦孝先生と静岡理工科大学総合情報学部人間情報デザイン学科の小杉大輔先生にご協力いただきました。記してお礼申し上げます。

資料

2008 年度学生要望調査質問項目

- ・この科目全体を振り返って教えてください。
 - (1) 授業の進め方はどうでしたか。(1. 遅すぎる 2. どちらかと言えば遅い 3. どちらかと言えばはやい 4. はやすぎる)
 - (2) クラスの人数はどうでしたか。(1. 多すぎる 2. どちらかと言えば多い 3. どちらかと言えば少ない 4. 少なすぎる)
 - (3) 教科書の内容はどうでしたか。(1. 難すぎる 2. どちらかと言えば難しい 3. どちらかと言えばやさしい 4. やさすぎる)
 - (4) 教科書の内容はどうでしたか。(1. つまらない 2. ちょっとつまらない 3. ちょっと面白い 4. 面白い)
 - (5) 授業以外で、週にどれぐらい英語を勉強していましたか。(1. テスト勉強以外はしていない 2. 30分以内 3. 30分～1時間 4. 1時間以上)
- ・今後の英語の授業・学習について聞きます。
 1. あなたはこれから先、どういうことに英語を使う、あるいは使いたいと思いますか。
 - (a) 仕事 (b) 英語の論文・本を読んだり訳したりすること (c) TOEIC や TOEFL の受験 (d) 留学や海外での生活 (e) 日本での外国人とのコミュニケーション (f) 英語のホームページを見ること (g) 海外旅行 (h) その他(具体的に記述してください) (i) 使う機会は全くない

2. 英語を学んでいく上で、今の自分に特に必要だと思う知識・技術は次の内どれですか。
 - (a) 発音(単語や文の読み方) (b) 単語 (c) 文法(動詞の現在形・過去形や who・which・that などの使い分け) (d) 英文和訳 (e) 英作文 (f) 段落・文章の内容の把握 (g) コミュニケーション(実際に英語を使う活動) (h) 英語圏の文化的背景 (i) 英検・TOEIC・TOEFL などの資格に役立つ知識・情報・テクニック (j) その他(具体的に記述してください)
3. 英語の担当教員にもっと増やしてほしいと思うものは次の内どれですか。
 - (a) 英語による指示・説明 (b) 視聴覚教材(写真や絵、ビデオなど)の利用 (c) コンピュータを使った学習 (d) 学生が発表する活動 (e) ペア・ワーク(二人一組での作業) (f) グループ・ワーク (g) ゲーム(パズルやクイズなど) (h) 日本語による文法の説明 (i) 日本語による指示・説明 (j) その他(具体的に記述してください)
4. 他に、今後の英語科目・担当教員に対する要望があれば自由に書いてください。