

Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 40(2) 号

2009.3

東京工業高等専門学校研究報告書 第40 (2) 号 目次

技術者倫理解説書『技術は人なり』（日本土木学会）に関する考察	川 北 晃 司.....	1
戦後初期における軽機械産業 —為替政策の効果を中心に—	浅 野 敬 一.....	17
学生による科学技術史研究の試み —ゼミ活動の記録と今後の展望—	河 村 豊.....	27
数学と専門科目の連携教育への試み	清 藤 晃.....	37
生体適合性セラミックスの生理食塩水中における トライボロジー特性評価	福 田 勝 己..... 小 林 光 男 堤 博 貴 神 津 友 貴	41
東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開	角 田 陽..... 多羅尾 進 堤 博 貴 志 村 穰	47
空間 6 自由度自走型モーションベースの機構と運動学	多羅尾 進.....	51
東京高専における HDL 論理回路設計教育の取り組み	鹿 毛 哲 郎..... 大 塚 友 彦	55
IT 系オンライン試験環境の整備	大 塚 友 彦.....	59

「ものづくり基礎工学」受講学生の意識調査とその分析	大 大 清 加 西 城 小 松 羽 雑 藤 新 永	塚 貫 水 藤 村 石 坂 岡 鳥 賀 野 田 吉	友 繁 昭 英 敏 広 章 武 真	彦 雄 博 格 亮 伸 文 敏 範 浩 宏 父 知 子	63
ホットフィラメント法による Si テクスチャー形成に関する研究	永 蝶	吉 名 林	幹	浩 也	67
プログラミング言語演習課題の収集検査 Web システム	小 吉 松	坂 本 林	敏 定 勝	文 伸 志	71
近距離無線通信を用いた屋内ナビゲーションシステム	小 熊 岡 清 岩 遠 野 青	嶋 崎 田 藤 見 藤 路 野	徹 健 拓 智 圭 洸 正	也 太 也 哉 祐 慧 平 宏	75
大容量で信頼性・汎用性の高いモータアンプの設計・開発	松 佐 小 吉	林 藤 坂 本	勝 晶 敏 定	志 則 文 伸	83

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 40 (2)

CONTENTS

Koji KAWAKITA	A Study on the Japanese Engineering Ethics Textbook <i>Technology Is Nothing But the Fruits of Humanity</i> (Japan Society of Civil Engineers)	1
Keiichi ASANO	The Light Machinery Industries during the Early Postwar Years in Japan —The Effectiveness of Foreign Exchange Policy—	17
Yutaka KAWAMURA	An Experimental Attempt on Science and Technology Classes	27
Akira SEITOH	Practical Collaboration between Teachers of Mathematics and Those of Engineering on Mathematics Classes	37
Katsumi FUKUDA Mitsuo KOBAYASHI Hirotaka TSUTSUMI Yuki KOZU	Evaluation of Tribological Characteristics of Bioceramics in Physiological Saline Solution	41
Akira KAKUTA Susumu TARAO Hirotaka TSUTSUMI Jyo SHIMURA	New Twist for Micromechatronics in Tokyo KOSEN —1st Report, Prototyping of a Micro Actuator—	47
Susumu TARAO	Mechanism and Kinematics of Spatial Six Degree of Freedom Wheeled Motion Base	51
Tetsuro KAGE Tomohiko OHTSUKA	HDL Logic Circuit Design Laboratory in Tokyo National College of Technology	55

Tomohiko OHTSUKA	Computer based tests for IT certifications	59
Tomohiko OHTSUKA	Analysis of the student questionnaire for the course	63
Shigeo OHNUKI	of the Fundamental Engineering Laboratory	
Akihiro SHIMIZU		
Itaru KATO		
Makoto NISHIMURA		
Hidenobu SHIROISHI		
Toshifumi KOSAKA		
Satoshi MATSUOKA		
Hironori HATORI		
Akihiro SAIGA		
Hiroshi FUJINO		
Takenori NITTA		
Machiko NAGAYOSHI		
Hiroshi NAGAYOSHI	Study on Silicon Surface Texturing by Hot Filament Method	67
Mikiya CHONABAYASHI		
Toshifumi KOSAKA	Auto Collecting and Inspecting Web-system for	71
Sadanobu YOSHIMOTO	Programming Language Exercise	
Katsushi MATSUBAYASHI		
Tetsuya KOJIMA	Indoor Navigation Systems Based on Short Distance	75
Kenta KUMASAKI	Wireless Communications	
Takuya OKADA		
Tomoya KIYOFUJI		
Keisuke IWAMI		
Satoshi ENDOH		
Kohei NOJI		
Masahiro AONO		
Katsushi MATSUBAYASHI	Development of a Multipurpose Motor Amplifier	83
Masanori SATO	with Large Current Capacity and High Reliability	
Toshifumi KOSAKA		
Sadanobu YOSHIMOTO		

技術者倫理解説書『技術は人なり』 (日本土木学会) に関する考察

川 北 晃 司*

A Study on the Japanese Engineering Ethics Textbook
Technology Is Nothing But the Fruits of Humanity (Japan Society of Civil Engineers)

Koji KAWAKITA

The Japanese Engineering Ethics Textbook *Technology Is Nothing But the Fruits of Humanity* (*Gi-jyutsu Wa Hito Nari* published in 2005 by the Japan Society of Civil Engineers) may not be popular but deserves wide-reading because of its unique merits. It contains the result of questionnaire put to Japanese civil engineers as well as the valuable introduction of the cases of the ethical and distinguished engineers such as William Wheeler, Isami Hiroi and Akira Aoyama. For more details of these engineers you can refer to the critical biographies written by Mr. Tetsuro Takasaki.

(Keywords: engineering ethics, compliance, civil engineering)

序言

わが東京高専では、本科4年生と専攻科1年生に対して、技術者倫理(工学倫理)を必修科目に指定し、複数の教員が授業を担当している。専攻科生に対してはオムニバス形式で、そして本科生に対しては、クラス別に各一名の授業担当者がそれぞれ半期の授業を行いつつ、教科書とシラバスを統一してきた。2008年度においては、本科では名古屋大学出版局による『誇り高い技術者になろう』、専攻科では学術図書出版の『技術者倫理』を教科書として使用した⁽¹⁾。

この両書に比べると、本稿でこれから取り上げて論じる技術者倫理解説書『技術は人なり…プロフェッショナルと技術者倫理』⁽²⁾は、おもに土木技術者向けということもあり、知名度は低いだらう。しかし技術者倫理関連の文献調査中に、この良著を「発見」しえたことは筆者の大きなよろこびとするところであった。本書は広く読まれるに値する。本稿はその理由の提示、および本書の記述に対する補足と発展的考察を行うものである。

なお、本稿作成にあたっては、土木史研究家・高崎哲郎氏による下記の文献をとくに参照した。『<評伝>お雇いアメリカ人青年教師ウィリアム・ホイーラー』(鹿島出版会, 2004年)、『<評

伝>山に向かい目を挙ぐ 工学博士・広井勇の生涯』(鹿島出版会, 2003年)、『<評伝>技師青山士 その精神の軌跡…万象ニ天意ヲ覚ル者ハ……』(鹿島出版界, 2008年)。

その結果、これらもまた技術者倫理の立派な参考図書、推薦図書と言えることを、筆者は見いだした次第である。

1. 本書(『技術は人なり』)の特徴と目次

それでは日本土木学会の手になる図書『技術は人なり…プロフェッショナルと技術者倫理』の特徴を、その「発刊によせて」および「まえがき」での記述を参考に、まずは以下のように箇条書きに整理して書き出してみよう。

- ・現場の技術者にも分かりやすく参考となる解説書をめざし、土木技術者が実際に遭遇するだろう様々な場面を想定し、臨場感のある物語風に仕上げている。
- ・土木技術者に対して実施したアンケートによって、技術者にのみ倫理を要求することの不当性を明らかにし、様々な倫理的問題を発生させる構造的要因である個人と組織の関係、発注者と受注者の関係、さらには会計検査のあり方や談合問題にも言及している。
- ・三菱自動車・三菱ふそう関連の不祥事に関し

て、2004 年 6 月に機械学会会長が出した「会長談話」の例などに倣い、倫理教育のみの活動から技術者への支援や社会に対する見解表明など、学会全体の取り組みを求めている。

- ・本書が土木技術者のみでなく、学生および経営者や官界のトップにいるリーダーにも読まれ、技術者倫理や組織倫理の重要性がより深く理解されることの期待を表明している。
- ・日本における他の学会に遙かに先んじて昭和 13 年に土木学会倫理綱領（土木技術者の信条及び実践要項）をとりまとめた、内務省技監で第 23 代土木学会会長の青山士（あおやま あきら）ら「先人」の人徳と業績の紹介にも力を入れている。

以上の諸「特徴」は、そのユニークさゆえに、本書が広く読まれるに値する理由をすでに構成していると思われるが、その理由はむしろ他にもある。それを含めてこれから主張していくが、今後の論述においてその参照が不可欠になるであろう、本書の目次を、紙幅の関係上その大枠のみ以下に抽出しておく。

1. プロフェッショナルと技術者倫理
 - 1.1 技術者倫理とは
 - 1.2 なぜ、今、技術者倫理が求められるか
 - 1.3 技術は人なり—先人に学ぶ技術者倫理
 - 1.4 技術者倫理に対する取り組み
 2. 個人の倫理と企業の倫理
 - 2.1 技術者倫理と企業倫理
 - 2.2 組織の倫理と個人の倫理
 - 2.3 技術者倫理と実務
 3. 土木技術者が遭遇する倫理的な問題
 - 3.1 土木技術者が遭遇する倫理的な問題
 - 3.2 談合問題と技術者倫理
 - 3.3 企画・研究における倫理的な問題
 - 3.4 調査・設計に関する倫理的な問題
 - 3.5 施工における倫理的な問題
 - 3.6 環境に関する倫理的な問題
 4. 倫理的な問題にどのように対応すべきか
 - 4.1 官庁技術者に求められる技術者倫理
 - 4.2 コンサルタントに求められる技術者倫理
 - 4.3 生産現場の建設技術者に対する技術者倫理
 - 4.4 倫理的な問題にどのように対応すべきか
- 資料編

資料－1 土木技術者の倫理規定（土木学会）

資料－2 土木技術者が遭遇しやすい倫理的問題に関するアンケート調査結果

資料－3 大学における技術者倫理の取り組み

そのユニークさゆえに本稿でとくに注目して論じるのは、以下の項目である。1.1 技術者倫理とは、1.3 技術は人なり—先人に学ぶ技術者倫理、3.1 土木技術者が遭遇する倫理的な問題、3.6.1 法律上の問題と倫理的な問題、4.1 官庁技術者に求められる技術者倫理、4.3 生産現場の建設技術者に対する技術者倫理、4.4.7 官高民低からの脱皮と契約概念の徹底、4.4.9 社会に発言する土木学会に。

2. 技術者倫理の意味

まず技術者倫理の意味について、本書は重要なポイントを呈示している。

1.1.3 「技術者倫理が意味するもの」と題する箇所での大意は以下の如くである。すなわち、日本では技術者倫理の意味が誤って理解されがちである。技術者は、ひたすら“真面目に、悪いことをせず”，与えられた仕事を黙々と期限内にやり遂げることが技術者倫理である、と勘違いしていることが多い。しかしこのような規範は専門職業家としての行動規範である技術者倫理とは性格が異なる。また、わが国では法律に関するコンプライアンス問題を倫理問題であると勘違いしている場合がある。法律は、国家が形式的ではあるが国民と合意した上で国民として最低限遵守すべき規範を示したものにすぎず、法律に違反しさえしなければ何をしてもよいということにはならない。また、よくある誤解として、倫理規定は、べからず集である、あるいは正論集である、と勘違いしている場合もある。技術者倫理の観点から見て問題のない単なる技術的事故を技術者倫理問題であると思っている場合さえもある。失敗イコール技術者倫理問題ではない。以上のように、技術者倫理は人間としてのモラルや法律や安全工学とは異なるものである。技術者は、専門的立場で「自ら情報を収集・分析し、関連する事柄を熟考した上で、自身が所属する組織や他者からの影響からは独立に、道徳的意思決定を行うこと」が求められる。この自律性（Autonomy）が倫理の特徴であり、この技術者としての自律的意思決定に際して価値基準を指し示すものが倫理規定（Code of Ethics）である。（以上 pp.3-4）

上記の如く、技術者倫理とは何ではないかにつ

いて、本書は明瞭に教示している点がよい。すなわち、技術者倫理は、単に「真面目に、悪いことをせず、与えられた仕事を黙々と期限内にやり遂げること」ではない。また、単なる「法律に対するコンプライアンス」でもないし、単なる「失敗学」ないし「安全心得」でもない。

このことの指摘は大切で、間違いはないのだが、それら要素を排除した技術者倫理教育はどこまで有用だろうか、とも筆者は考える。すなわち、技術者倫理教育は、実用性・有用性をめざすかぎり、他に同等に有効で代替可能な教育課程が存在しない場合、それら要素（一般倫理、コンプライアンス、安全心得など）を積極的に取り込まざるをえないのではないか。なぜなら、誠実に法令（無論それは多種多様にわたる）および作業規定類を遵守さえしていれば、技術者が関係した大きな不祥事や失敗（事故）の多くは防止可能だったと考えられるからである。それゆえ、たんなる真面目さや遵法や技術的正論などは、技術者倫理の十分条件たりえないことと同時に、しかし必要条件ではあることもまた、技術者倫理教育では強調したい、と筆者は考える。

事情は、じつはコンプライアンス概念についても同様であろう。コンプライアンスとは何か。それは法律のみに関する概念ではない。法令のみならず企業倫理をも対象とする概念である。少なくとも欧米で考えられてきたコンプライアンスの対象は、「法令」に限定されてはいない。また、あらかじめ決められたルールを、単に「遵守」すれば足りるというわけでもない。広義のコンプライアンスとは、会社などの組織が法令、企業倫理などの企業社会における健全な規範と調和しながら、適正かつ健全な事業活動をしていくための組織としての仕組み、ないし「しかけ」を総称するものである⁽³⁾。ただし、コンプライアンスにおいて法令遵守が核となるのもまた、間違いないところであった。

それでは、技術者倫理とは何か。「自身が所属する組織や他者からの影響からは独立に道徳的意思決定を行う」ことが 1.1.3 において求められていた。しかし、それが道徳・倫理的に望ましいかどうかは、じつは不定ではないかと筆者は考える。というのも、組織や他者からの好ましい倫理的諸影響・効果が存在し得るからである。本書の 4.3.4

「企業の倫理と技術者の倫理」と題された箇所でも、次のように記されている（以下、引用文中のスラッシュは原文での改行箇所を示す。また下線は引用者による）。「長期的な雇用関係を基本とする我が国では、技術者が所属する企業や組織の風土や基本的な価値観が、技術者の判断や行動に大きな影響を及ぼしてきた。従来より、企業や組織の倫理と技術者個人の倫理の相克に悩む例が指摘されているが、一方で、両者が合致する場合には、企業は個人を守り、その倫理的行動を支援する役割を果たすことにもなる。（中略）／企業経営者は、コンプライアンスの強化と共に、社員の倫理的判断や行動を奨励する風土の醸成と、それを具体的に推進するシステム作りの重要性を認識する必要がある。」（pp.211-212）

技術者倫理の定義については、1.1.3 ではなく、2.1.1「倫理と「価値」のバランス」と題された節を見なければならない。すなわち、技術者倫理とは、「技術者が、ある社会集団のなかで、研学・経験・実務を通して獲得した数学的・科学的知識を駆使し、人類の利益のために、自然の力を経済的に活用する上で必要な行為の善悪・正不正やその他の関連する価値に対する判断を下すための規範体系の総体、ならびにその体系の継続的・批判的検討、さらに、この規範的体系に基づいて判断を下すことができる能力」である、そう抽象的かつ暫定的に定義されていることがわかる（p.33）。

この周到な定義における、「技術者が数学的・科学的知識を駆使し、人類の利益のために、自然の力を経済的に活用する」という部分は、たぶん技術者倫理の目的表現を意図しており、ひとえに「人類の利益」を唱える点が特徴的である。

「人類の利益」というその大志は、理念的すぎて非現実的に見えるかも知れないが、じつは理念的ゆえに現実的な場合もあると筆者は考える。少なくとも現代の先進国社会にあっては、具体的隣人愛や祖国愛よりも抽象的人類愛の方がむしろ選好され、よって「人類の利益」のための諸実践も容易な面がありそうだからである。ただし 1.2.1「なぜ、技術者倫理が必要か」での記述はこうであった。「技術者は業務の遂行に際して、自分や自分の属する組織の利益だけを優先する行動様式を取るのではなく、国民や社会に対する使命を達成できるように、自律的な判断ができることが求め

られている」(p.7)。ここでは「人類」に対する言及はなく、かわりに「国民や社会に対する使命」という表現が採用されている。本書は複数の著者による共著であるから、技術者倫理解釈にも幅が生じ得る。また、「国民や社会」というときの「社会」に、「人類社会」を含めて解釈することも可能だろう。

そのような社会的使命ないし責務に反した場合の帰結については、1.2.3「倫理に反した行動を取った企業に向けられる国民の目」にその記述がある。すなわち、「倫理的行動を取れない組織やそれぞれの専門的立場で技術者倫理に則った行動を取れない経営者や技術者がいる組織は、社会から退場を命ぜられる時代となっている。組織倫理・技術者倫理はいまやリスクマネジメントでさえある。会社が利益を上げることは当然であるが、それが社会の公正・正義に反するような行動を取ってまで利益を追求することは許されない。このことを最高責任者が宣言すれば、技術者は安心して倫理的判断を下すことができる」(p.10)。

この最後の文はおもに、経営者や、官界のトップにいるリーダーを読者として意識して書かれたものと見られるが、この点でも本書はユニークであり、広く読まれるべきであると筆者は考える。

3. 日本における技術者倫理の先人たち

だがじつのところ本書のユニークさと大きな魅力は、1.3「技術は人なり—先人に学ぶ技術者倫理」で取り上げられている、先人としてのリーダー的技術者たちの人物像紹介に負うところが大きいだろう。W.ホイーラー、広井勇（ひろいいさみ）、青山士（あおやまあきら）、宮本武之輔（みやもとたけのすけ）、八田與一（はったよいち）の五名のうち、本稿では紙幅の都合上、前三者のみを取り上げて論じたい。

3. 1. 二人のウィリアムが広井らに与えた影響

本書は1.3.1「米人青年教授ホイーラーが広井勇に伝えた精神」で、二人のアメリカ人教師（クラークとホイーラー）について概略次のように紹介している。すなわち、札幌農学校（北海道大学前身）が、明治期の高等教育史上すぐれてユニークな地位を占めていることは周知の事実だが、それはアメリカ人初代教頭ウィリアム・クラーク（William Clark, 1826-1886）のクリスチャニティを精神的支柱にすえた教育方針を無視しては考え

られない⁽⁴⁾。

南北戦争に将校として従軍した経験を持つ 50 歳の壮年クラークは 2 人の気鋭の教え子を教授として同行させた。彼らマサチューセッツ農科大学出身のウィリアム・ホイーラー（William Wheeler, 1851-1932）とディビッド・P・ペンハローがクラークをよく支え、彼の方針を理解してその事業を推進した。「少年よ、大志を抱け」。この惜別の名言を残して去ったクラークは、太平洋往復の長旅などの日数を除けばわずかに 8 ヶ月間農学校の運営や学生指導に当たったにすぎない。本稿で次節に取り上げる広井勇（ひろいいさみ）（土木工学者、1862-1928）をはじめ、内村鑑三（キリスト教伝道者、文明評論家、1861-1930）、新渡戸稲造（国際経済学者、1862-1933）などは 2 期生であり、クラークの直接指導を受けていない。クラークの後を受けて教頭に就任したのが、弱冠 26 歳の最高責任者にして土木工学者のホイーラーであった。2 期生たちは 4 年間の学生生活のうち 3 年間、教頭ホイーラーの教育方針のもとに勉学や学外活動に励み、同時に多くがキリスト教の洗礼を受けた。同期全員が洗礼を受けたわけではないことは言うまでもない⁽⁵⁾。

アメリカ東北部ニューイングランドに花開いたリベラルで宗教心の厚い社会環境に育ったホイーラーは、何よりも学生に「独立心」「自由な精神」を教えた。彼は数学、土木工学、英語を担当したが、その他に雄弁学や文学などを教え、理工科に偏った教育をとらず、個性を重視する全人格的な教養主義を方針とした。またホイーラーは大自然の現場に学生を連れ出し実習を行い、大自然こそ最高の教師であると教えた。彼は開拓使の土木技術者として北海道の発展や開発のために多くの実績を残した。今日「札幌時計台」として知られる演武場の設計をはじめ科学的気象観測の導入と観測所の建設さらにはモデル・バーン（模範畜舎）の設計施工、橋梁設計、河川改修、道路・鉄道建設への現地調査や提言など、数えあげたらきりがない。“To live in Truth toward all mankind with helping hand, kind heart, just mind”（「全ての人々に分け隔て無く支援の手、親切な心、正しい精神をもって接し、『真理』に生きる」）が若き教授ホイーラーの愛唱句であり、モットーでもあった。（以上 pp.14-16）⁽⁶⁾

米国に帰国後の活動もめざましく、生涯の発明品は 100 点以上、晩年も公共の要職を無報酬で歴任し、昭和 7 年(1932)7 月 1 日、ホィーラーはニューイングランドの故郷に没した。享年 81 歳。その人生は、「ウィリアム・ホィーラーの思い出」と題された、マサチューセッツ州立大学アマースト校図書館所蔵の一文献では次のように記されているとのことである。「謙虚だが傑出した人生、平和だが戦い・専門技量・公的奉仕に満ちた人生、他者に多くの貢献をし、幸福を与えた、幸福な人生」。“A life unassuming but distinguished; peaceful but full of the strife professional work and public service; happy and bestowing many benefits and much happiness upon others”⁽⁷⁾

学生広井勇は、このようなホィーラーの決定的ともいえる人格的影響から出発して、師と同じ土木工学の道を歩むことになる。

3. 2. 広井 勇

1.3.2 「広井勇の精神的軌跡」の記述によると、近代日本土木界の先駆者である広井勇は日本土木界の黎明期である明治・大正期にあたかも高峻な峰のように屹立する土木技術者である。広井の葬儀の際、終世の知友・内村鑑三はこう語った…広井在りて明治・大正の日本は清きエンジニアを持った。日本はまだ全体に腐敗せりと言うことはできない。広井の工学は広井自身を益せずして、国家と社会と民衆とを永久に益した。広井の工学は基督教的紳士の工学であった、と⁽⁸⁾。

札幌農学校卒業後、ホィーラーを頼ってアメリカに単身渡った彼は、国費留学生のような恵まれた境遇ではなく、技術者として設計施工に従事し生活費を確保しながら懸命に自己研鑽を重ねた。彼が現場で学んだことは公共事業(Public Works)とは何か、ということであり、彼にとっては土木工学と博愛の精神(ヒューマニズム)は不可分であった⁽⁹⁾。

睡眠時間を惜しむ外国での苦学は、英語版の名著“Plate-Girder Construction”刊行となって結実する。27 歳の日本人土木技術者がアメリカの一流出版社から刊行した英文デビュー作「橋梁技術書」はアメリカ国内で高い評価を受け、1 世紀を過ぎた今日でもアメリカの主要な大学図書館には保存されている。滞米中、彼はしきりにアメリカ、イギリスをはじめドイツ、フランスなどの歴史書

や文学書を原書で読破、とくに詩集を愛読した。名著を幅広く読むことで芸術性あふれる土木技術の確立を目指した。帰国後はまず母校の札幌農学校に職を得て、のちにドイツに渡り当時最新の構造力学を学び、明治 30 年(1897)には小樽築港事務所長となる。彼はそれまで築港技術を学んだことはなく、頼れる先輩技術者もいなかったもので、ここでも自己研鑽の果て、10 年余をかけた防波堤工事の完成によって小樽港は国際貿易港となり、広井の名は広く知られるようになった。その後東京帝大土木工学科に招かれた彼は、帝大卒ではないため学閥の逆風に耐えることになるが、土木工学(特に橋梁工学)で彼の右に出る研究者はいなかった。高度な理論と労苦をいとわない現場主義を兼ね備えていたからである⁽¹⁰⁾。彼は帝大教授ながら、帝大の権威主義や立身出世主義には終始批判的であった。明治 38 年(1905)、広井は橋梁工学の独創的名著“The Statically-Indeterminate Stress in Frames, Commonly Used for Bridges”を前回のデビュー作同様アメリカの出版社から刊行した。これにより国際的にも土木学会では Dr.Hiroi (広井博士)の名は不動のものになった。広井は晩年に語っている。「もし工学が唯に人生を繁雑にするのみのものならば、何の意味もないことである。これによって数日を要するところを数時間の距離に短縮し、一日の労役を一時間に止め、人をして静かに人生を思惟せしめ、反省せしめ、神に帰る余裕を与えないものであるならば、我等の工学にはまったく意味を見出すことができない。」(p.20)

こうして本書は、明治・大正期の日本人技術者の言葉を借りて、工学の意味(意義)に関する根本的思索にまで読者を導く点でもユニークである。畢竟、何のための工学・技術であるか。それを静かに思惟し、自らの実存に帰り得る余裕が望ましい。ただし、「一日の労役を一時間に止め、…神に帰る」という広井の言葉は、労役・労働を、神に背いた人間に対する神罰としてとらえる、古代的価値観を連想させてしまう。しかし広井の真意は筆者には不明であり、広井は、技術者としての自らの職業とそれに伴う労役を召命(天職)として受け入れていたはずである⁽¹¹⁾。現代のわれわれの間にも、勤勉を美德とする価値観が根強くあり、その背景となるイデオロギーは単純ではな

い。しかしそのなかには、生産・労働は人間の本質的活動であり、その活動のなかに全力を投じることを通してしか、人間と人間社会を発展、向上させる道はない、というヘーゲル的な思想も数えられてよいだろう。さらにその背景としては、人間が本来持ち合わせている、部分的ではない多様な能力の全面的開花を理想とする、アリストテレスの思想が控えている。そしてそれは、K.マルクスやノーベル経済学賞受賞者であるインド出身のA.センなども經由して、現代にまで影響を及ぼしているのである。

このような議論は、「技術者倫理」というより、むしろ「技術哲学」の場にふさわしいだろうが、両者を隔絶する必要がないのも明らかだと考える。しかし、技術者倫理教育に配分可能な時間は限られており、そのなかで哲学的考察に多くの時間は割けないだろうとも考える。公衆の安全のための実践的教育が最優先だろうからである。

3. 3. 青山 士

広井の教えや影響を受けた人材・逸材は「広井山脈」と呼ばれ、次に述べる青山という技術者は、その「広井山脈」に連なる、ひときわ輝く山である。

広井勇は札幌農学校在職時代の8年間に16人の工学士を育て、東京帝大土木工学科在職時代の20年間の卒業生は600人余に達し、そのうち近代日本土木界をになった逸材も50人は下らない。その一人である青山士（あおやま あきら 1878-1963）は、土木事業は設計から施工・完成に至るまで担当技師の知性や個性の表現行為であると考え、公式、マニュアル、経験などに過度に依存することが事故をもたらすと危惧していた。そこで彼は「技術は人なり」と同僚や部下の技師に語ったのである。青山士は広井勇の初期の代表的門下生で、土木界では異例とも言える清廉な技術者の道を歩んだこと、それ自体が広井の直接的影響であるとされる。

青山は大学卒業後、広井の助言で「世界最大の土木工学的実験場」とされたパナマ運河工事に参加するため単身渡米した。青山は唯一人の日本人技術者としてパナマ運河開削工事という熱帯雨林の巨大土木事業に参加するチャンスを与えられ、アメリカ技術陣の彼に対する評価は極めて高かつ

た。

日米関係の緊迫化に伴い完成を見ずに33歳で帰国、広井に就職の相談をして内務省技師となり、東京の荒川放水路開削の指揮を取る。放水路の要が記念碑に残る岩渕水門である。放水路は約15年をかけて大正13年(1924)に完成したが、記念碑には主任技師青山士の名前はなく、犠牲者を弔う言葉と全員の努力によって完成したことが記されている⁽¹²⁾。

昭和2年6月、信濃川の大河津分水の大堰が激流に洗われて陥没し機能マヒに陥った。完成からわずかに五年後の大惨事であった。内務省は青山を新潟土木出張所長に送り込んで修復工事を命じた。事故の第一報を聞いた青山は吐き捨てるように言った。「手抜き工事をするからこんな無様な事故をおこすのだ」。「大きな事故の前には必ず小さな事故がある。土木技術者は小さい事故の段階でそれをキャッチしなければならぬ」⁽¹³⁾。突貫工事と関係者の背水の陣ともいえる活躍により、昭和6年に新しい堰が完成した⁽¹⁴⁾。

その後、技官最高のポスト内務技監となり、また第23代土木学会会長に就任し「土木技術者の信条及実践要項」を作成した。技監・学会長のいずれも博士号のない第一号である。彼は同僚や後輩技師には自らの行動を厳しく律するよう求めた。軍国主義やこれに同調する官僚や技師には批判的であった。彼は生涯無教会主義のクリスチャンであった。（以上 pp.20-23 の記述に基づく）

青山が内務省技監を退官後の話題として、太平洋戦争末期における、日本海軍によるパナマ運河爆破計画と青山との関わりについても触れておくべきだろう（以下、高崎哲郎による2008年11月20日に刊行の図書『評伝 技師青山士』に依拠して述べる）。戦局が大きく敗北に傾きかけた昭和18年(1943)秋、青山とは昔パナマで出会い親しくなっていた海軍大臣（大将長谷川清）の紹介状をもった、海軍士官が下落合の青山宅を訪ねた。彼は物静かな技術将校で、青山家の人の記憶によれば、「今井少尉」と名乗った。士官は数回青山宅を訪ねたようである。青山はこの士官からパナマ運河開門爆破について技術面からの相談を受け、運河関係の資料提供を繰り返し求められた。日本人技術者でパナマ運河工事に直接関わったのは、言うまでもなく青山一人だけである。青山は貴重

な英文資料や現場写真を保管していたはずである。しかし、青山は若い士官に対して「せっかく苦労して造ったものであり、そっくりそのまま貰うことを考えてはどうじゃ。私は造ることは知っているが壊すことは知らない」と答えて、関係書類の提供を拒んだことに一般にはなっている。大賀ハスで有名な大賀一郎や南原繁ら青山の旧友はその説を強調して、青山の「反戦的姿勢」の凛々しさを讃える。戦後発刊された児童図書にも「青山さんは戦争ちゅうに、日本軍がパナマ運河のひみつをさぐろうとしたときも、ひみつをもらしませんでした」などと書かれてある。

しかしながら、当時の海軍関係者らの証言を信じれば、青山は何らかの資料を提供したと考えられると高崎は言う。例えば、元海軍中尉佐藤次男著『幻の潜水空母』（光人社 NF 文庫）における記述や、同氏による「福島新聞」の平成 3 年 5 月 15 日付け記事（「ある歴史教師の苦心…パナマ運河建設に従事した日本人技術者をめぐって…」）で登場する、「藤森参謀」なる人物の証言が存在する。それらによれば、青山からパナマ運河に関する数百頁の資料を借り受けることができたという。

軍当局はその気になれば家宅捜索でも何でもできるはずである。ここは、「そっくりそのまま貰うことを考えてはどうじゃ」と運河建設資料を渡すことに是非もないだろう。青木は内務省の元高官でもあった。⁽¹⁵⁾

3. 4. 技術者倫理教育上の懸念

『技術は人なり』で「先人」として取り上げられている、これらヒーロー、広井、青山の人物像には非常に感銘深いものがあり、あえて懸念を述べるとすれば、これら先人と本書読者との距離についてであろう。これら先人は謙虚であったが、多くの読者（とりわけ学生）から見れば、能力人格ともに、あまりにも高く感じられるのではない。また、日本人読者の多くは、筆者自身を含めて、「先人」たちの如き宗教的信仰を有していないと思われる。それゆえ、これら先人は多くの読者から見て、あまりにも遠くに見られるおそれがある。技術者倫理教育にとって、「モデル」と学習者との隔絶は好ましくない⁽¹⁶⁾。したがって、たとえエリートや信仰者でなくても、技術者倫理は十分に実行可能である、という力強いメッセージが本文中に望まれると考える。それが実行可能なわ

けは、技術者倫理とは、ごくふつうの技術者が、技術者としてできて当たり前のプロフェッショナルな務めを、当たり前のように実行できるようにすることであり、またそうであるべきだからと筆者は考えるからである。

青山自身は、リーダーによる感化と民族の潜在能力に期待していたようである。青山は、ノーベル平和賞受賞者シュバイツァーの言葉“**Example is leadership!**”（自ら行動で示すことがリーダーシップである）を愛唱していた。熱帯雨林のジャングル生活を体験した青山は、アルベルト・シュバイツァー著『水と原生林のはざままで』をはじめとするシュバイツァー全集を愛読していた。昭和 23 年、ある作家（竹森一男）のインタビューに答えて青山は言う。「治水にはいろいろと問題があるとしても、まず人の心を治めることだ。すぐれた先覚者たちの足跡がもうあとを絶ったとは思われぬ。今も民族の同じ血が受け継がれ流れているはずだ。そして流れるだろう」⁽¹⁷⁾。

しかし、青山の懸念は容易には晴れない。晩年の青山に二度面会したある河川工学者（高橋裕）は追想している。「（前略）二度目に訪ねたとき、青山さんが最初に言われたことは、『技術の発展はまことにすばらしいが、人間形成の面では果たしてこれでよいのだろうか』という点であった。むしろ退歩しているのではないかという心配が本心ではあるまいか。人間形成といわれた内容は、全体のお話から察するに、先に触れた責任感、技術者の仕事と遊離しない情操、自己の技術そのものへの生涯を賭ける執念などであろうか。青山さんの場合、これらを通じていえることは、キリスト教的人生観のなかに立派に駆け込んだ技術の使命、その天職に没頭して悔いなき人生を送っているという、穏やかな安定感が会話の調子にも、表情にもにじみあふれている。／現代の日本はふたたび第二、第三の青山さんを要求している。もちろん近日におけるパイオニア・スピリットは明治時代のそれとは内容が異なろうし、誰も青山さんのような宗教的人生観に徹しうるとは限らない。それが何であるかは、後に続く者が今日の環境と自己の鍛錬のうちに開拓しなければならない課題である。（後略）」（『土木学会誌』（昭和 37 年 1 月号）の「名誉会員 青山士氏をお訪ねして」より）⁽¹⁸⁾。

筆者の考えを以下に述べる。

技術者倫理は第二，第三の青山さんを要求していない。それは過大な要求というものだからである。技術者はさておき日本人一般は人間形成の面でむしろ退歩しているのかについては，戦前の日本人よりも今の日本人がいかに「柔和」になりえたかを冷静に評価して判断すべきである。新渡戸の著書 *Bushido* にも引用されている，「柔和なる者がこの地を嗣ぐべし」(The meek shall inherit the earth.)との言を信じるからである。技術者倫理は第二，第三の青山を要求していないが，青山は一にも二にも技術者倫理を要求しており，またそれを率先垂範した青山らについて，技術者倫理が敬意を払うのは当然である。また，青山らの話は，技術者倫理のよき教材となる。よって，本書『技術は人なり』は広く読まれるに値する。ただし，本書の長所は他にも多くある。その指摘を以下に続けよう。

4. アンケート調査にもとづく問題提起

青山ら先人の話は以上として，それに続く『技術は人なり』の記述に話を戻す。

本書が報告している，2003 年に土木学会が行ったアンケート調査結果は非常に教訓的であり，重い問題提起として受け止めることができる。土木学会倫理教育小委員会では，技術者が遭遇する倫理問題の実態を調査するため，平成 15 年 9 月～11 月に土木技術者個人を対象としたアンケート調査を行い，166 名から意見を集めた。日常業務の中で技術者倫理に関連する問題としてどのようなものがあるかを，複数回答可能という条件で尋ねた結果としては，企画・計画に関して問題あり，との回答が全回答の 31%を占めた。この中では「予算獲得や事業推進が目的化していると感じた」が 42%でもっとも多く，以下，「政治的に決定された事業，あるいは前任者や前の時代から続く事業等であるため，個人としては疑問を感じつつも，事業を推進せざるを得ないと感じる」が 34%，「安全性の確保等，技術者としては対応策の必要性を認識しながらも，予算の制約上，放置やむなしとなっているような状況に疑問や悩みを感じる」が 24%とのことであった。

技術者倫理の問題として検討すべき課題について，回答者からは各々自由意見も寄せられ，それでも問題提起がなされているので，以下にその一例を紹介しよう。「施工現場では工期厳守は絶対で

ある。品質・安全・環境を 100%満足させながら施工することが理想であるが，現実には工期に合うように妥協していかなければならない。まずは環境面，次に安全面で妥協する。長く国民に役立つ構造物を造るという観点から見た時，工期厳守にどれだけの意味があるのだろうか。目先の利益，つきつめれば担当者が責められないという個人の利益だけを追求しているだけではないだろうか。工期厳守を守るあまり，よい構造物ができないとしたら誰の責任だろう。(中略)発注側の意識改革，施行側の倫理遵守が重要である。」(p.67)

これら問題に対する対処については後述する。

5. 法律の不足と過剰という問題提起

本書は，技術者倫理実現のための法律の不足と同時に，法律の過剰という現実も問題として提起し，その対処法を正しく教えている点でも役に立つ。3.6.1「法律上の問題と倫理的な問題」がその箇所である。環境問題を例にして本書は語る。環境問題は，水質汚濁，大気汚染，騒音振動などのいわゆる公害問題に加えて，野生生物の保護などの自然環境にかかわること，地球環境問題に関わること，地域社会の安全などの社会環境にかかわることを含み，極めて多種多様である。これらのすべてに，土木技術は，大なり小なり関わっており，環境問題に関して倫理的な判断をせまられる場面が土木技術者には多く存在している。環境問題に関連する倫理問題が難しい理由は，法律的に問題とされることと倫理的に問題とされることに差があることによる。たとえば，土壤汚染に関して，法律には定めがない有害物質が検出されたが，何ら対策をとらないという行為の場合，法律的には許されても倫理的には問題がある。このように，法律で求められている以上のことを倫理的には考える必要がある一方で，法律上は問題だが倫理的に本当に問題だろうか，と思えるような事例も多く存在する。環境基準を守るために，従来行われていた廃棄物の建設材料としてのリサイクルができなくなったり，どう考えても過剰で無意味な対応を現場で強いられたりすることがある。そもそも，環境基準設定の根拠となっている毒性試験データやそれを基準値に換算するときに用いられたモデルや安全係数はかなりの仮定を含んでいる。また，水質で決めた環境基準が，土壤の環境基準，有害産業廃棄物の定義など，いろいろなものに横

滑りする構造があるが、横滑りのさせ方の根拠も十分にあるわけではない。したがって、作業現場や対象領域によっては、法律の求める対応が過剰になっている。しかし、法律や基準のために資源の無駄使いが生じるからといって法律違反をしてはならないし、さらに法律違反を隠蔽すると重大な責任を問われることがある。技術者としては、法律や基準を守ることが必要で、法律や基準に問題があるなら、そのことを訴え続けることが必要である旨が、本書で説かれているのである。(pp.183-185)

6. 官庁技術者に求められる技術者倫理

本書は「官庁技術者に求められる技術者倫理」について詳説している点でも貴重である。発注サイドの官庁の土木技術者を対象とした記述であるが、公務員一般にも広く読まれてよいだろう。「自らの責務の重さを自覚し、使命感と誇りを持つこと」(4.1.1)、「国民に対する説明責任」(4.1.2)、「過去からのしがらみに基づく惰性で仕事を進めない」(4.1.3)、「価格のみによらない入札契約制度」(4.1.4)、「品質がキーワード」(4.1.5)、「会計検査怖さになすべきことを放棄しない」(4.1.6)、「官高民低の立場からの脱却、民に契約以外の仕事を押しつけない」(4.1.7)、「しがらみにとらわれない発想を」(4.1.8)などの各タイトルは、官庁の土木技術者だけに向けられる指摘ではないからである。

「自らの責務の重さを自覚し、使命感と誇りを持つ」(4.1.1)とは、どうすることか。安心・安全で潤いのある社会、美しい活力のある国土造りのために、日本の土木技術者がなすべき仕事はまだ多数ある。これは、先進諸国の社会インフラや生活環境を見れば明らかである。土木技術者は、その専門知識を生かして、良好な社会環境の整備と維持に向けて大きな貢献が求められている、ということをお忘れしないということである。発注者に属する土木技術者は、限られた予算の中で、国民の要望を踏まえて優先順位をつけながら社会資本整備を行っていくという大変重要な責務を負っているということをしっかり自覚することである。

「国民に対する説明責任」(4.1.2)とは何か。納税者である国民に対する説明責任をしっかりと果たすということは、裏返せば、国民に説明できないことはやらないという意識を堅持するということである。基幹となる社会資本整備がある程度のレ

ベルに達し、国民の価値観が多様化した今日、優先して整備すべき社会資本像が見えにくくなってきた。それに伴い、土木技術者は、何を造るかを決める段階から積極的に国民と対話し、対象となる事業の内容や意義を分かりやすく説明して、国民の理解と賛同を得ることが求められるようになってきた。このプロセスを軽視して事業を進めた場合には、「土木技術者がまた造りたがっている」という非難を招く可能性が高い。いわんや、都合の悪いことを隠すことは、事業内容そのものよりも隠す行為が厳しく糾弾される傾向にあることを十分認識する必要がある。悪い情報も開示されるという安心感を国民がもってこそ、信頼関係が構築される。発注者側の土木技術者には、地域住民やマスコミに必要な情報をタイムリーにわかりやすく伝えるコミュニケーション能力が重要となっている。

そのためには、「過去からのしがらみに基づく惰性で仕事を進めない」(4.1.3)が必要となる。事業の採択、継続、中止などを判断する事業評価は、発注者に課された最も重要な任務の一つである。2003年に土木学会が行ったアンケート調査では、「予算獲得や事業推進そのものが目的化している」、「政治的に決められたもの、前任者から引き継いだものを、技術者個人としては疑問を持ちながらも、進めざるを得ないと感じたことがある」等の回答が少なくない。情報開示・説明責任が一段と求められる中で、ごく一部の事業に対してでも、このような形で判断を下していることが判明すれば、建設行政全体に対する信頼失墜につながり、さらには、公共事業は税金を無駄遣いしている、建設業界のためにやっている等の社会的な批判につながる。土木事業は一般に長い調査・検討期間を経て着手され、その建設にも長い時間を必要とするものが多い。その間に、社会情勢が変化し国民の要望も変わるため、事業の必要性や優先順位が変化することは当然である。変化を当然として、常に社会や国民の要望を踏まえつつ、節目節目で評価・判断し、柔軟に事業推進を変更することが、発注者が担う重要な役割である。安易な過去からのしがらみに基づく惰性で仕事を進めていたのでは、発注者側の技術者としての存在価値を問われることになりかねないことを銘記する必要がある。

「価格のみによらない入札契約制度」(4.1.4)が必要なのは、「品質がキーワード」(4.1.5)になるべきだからであろうが、価格面でも税金の無駄遣いはいできない。そして「できるだけ安い価格で、国民の付託に応えることのできる良質な社会資本インフラ」を造り出すためには、これを可能とする高度な技術が必要である。言い換えれば、技術の裏づけが無くてはこれからの国民のニーズに応えることはできない。ただし、品質の確保とコストダウンとは背反する要因を含んでいる。品質を担保するためには、無駄なコストを削ることは当然なこととして、それなりのコストが必要であることも十分国民に説明していくことが必要である。いずれにしても、今後、積極的な技術開発の推進、新技術の導入等を通じて、品質の確保とコストダウンの両方にトライすべきで、このためには、必要とされる品質をどのように設定し、さらに造り出された社会資本インフラをどのように評価するかが今後の重要な課題であると説かれる。

そして「官高民低の立場からの脱却、民に契約以外の仕事を押しつけない」(4.1.7)との項が、本書のユニークさに大きく貢献している。受注者の発注者への依存体質という問題もあるが、日本では「官高民低」の風潮がまだ根強く残っている。発注者としては、従来からの「甲乙関係」に象徴される受注者に対する優越的意識や甘えの構造から脱却し、民間の有する技術や知識を納税者のために最大限活用するという意識と、真に対等な契約行為に基づく業務執行を徹底することを本書は求めている。

この点の指摘は、つぎの「生産現場の建設技術者に対する技術者倫理」(4.3)でもくり返されているのが特徴的である。じっさい強調に値する重要項目と見なせるだろう。

7. 生産現場の建築技術者に求められる技術者倫理

それでは、発注側ではない、受注側の建設現場技術者に求められる技術者倫理とは何だろうか。4.3.2の「建設現場技術者と倫理」での記述を以下にまとめてみよう。

2003年に土木学会が行った技術者倫理に関するアンケートでは、現地で生産活動に従事している技術者からの倫理に関連した多くの事例が寄せられていた。生産現場の技術者が倫理観から困惑

あるいは疑問を抱いたケースとして最も多く取り上げたのは発注者との関係にからむ問題である。必要な設計変更が発注側から認められなかったことで受注側の判断で持ち出し施行せざるを得なかったり、設計に不安を持ちつつも発注側に言わずそのまま施行した結果、不安感に悩まされたりしているケースなどが挙げられている。工事の工期に関すること多い。発注側が処理することとなっている用地取得の遅れにより、工事着工が遅れた場合の工期の扱いなどである。当初工程による施工を迫られた場合、現場技術者は品質、安全と利益の板挟みで悩むこととなる。各人が現場で建設を進めている事業そのものの意義に疑問を持っているというアンケートの回答もあった。

以下に続きを引用する（下線は引用者による）。「最も深刻なのは適正価格を大幅に下回る価格で所属企業が受注した工事の現場技術者であろう。

（中略）／このような状況下で、現場技術者が利益確保を最優先し倫理にもとるような行為に走った場合には、品質、安全、環境などの面で社会的に糾弾されるような問題を引き起こしかねない。そうすると結果として現場技術者は所属企業からも厳しく責任を追及されることになってしまう。また一方で、全ての問題解決に向けて過度に自らを追い詰めるような事態になれば、適切な判断や対応が期待しにくくなり、極端な場合には心身に支障を来すことにもなりかねない。専門家が専門家たる所以は、自らが行うべきプロフェSSIONナルサービスとそれに伴う責任の範囲をしっかりと自覚していることである。／厳しい環境下において、現場技術者が自信と信念をもって業務に取り組むと共に、自らを守るためにも、基本的な判断の基準となる価値観や専門家としての自覚など、技術者のあるべき姿の根幹をなす技術者倫理の重要性を改めて認識する必要がある。／もの造りの最前線に立ち、様々な問題に遭遇することの多い現場技術者に倫理観のさらなる高揚を訴えることは当然であるが、問題解決を個人の自助努力による倫理観の確立に依存するだけでは片手落ちであろう。現場技術者が自らの倫理観を確立し、それに基づき判断、行動することを支援する環境整備が、問題発生¹の減少並びに問題の適切な解決促進には不可欠となる。」(pp.209-210)

上の意見を参考に、筆者がここで再確認してお

きたいと考えるのは以下の3点である。第一に、「責任の範囲」を自覚できるのがプロであり、したがって、プロは全ての問題解決に向けて過度に自らを追い詰めたりはしない。第二に、そのような責任の範囲を教えてくれて、それにより正しい技術者を守ってくれる「技術者倫理」は、技術者自身にとっても貴重である。第三に、したがって、「技術者倫理」を支援、確立、尊重できるような「環境整備」が不可欠になるのである。

このような視点から必要と考えられる対応としては何があるか。本書のユニークさの一つは、「甲乙ではなく真のパートナーシップの関係へ」(4.3.3)と説いていることである。「官高民低の立場から脱却し、民に契約以外の仕事を押し付けず、契約に基づく業務執行に徹する」ことが発注側の技術者に求められていたのはすでに見た。このためには掛声だけでは済まない。硬直化した予算・決算制度の見直し、行き過ぎたコストダウン追求の是正、会計検査院の検査姿勢、関係者への事前の十分なアカウンタビリティなど、発注側の事業推進に関わる業務内容や諸制度の革新等の環境整備がさらに進められなければならない。そして本書は言う。「建設会社の技術者としても、発注側への依存体質を改め、あるべき発受注関係の構築に努めるべく、もの造りのノウハウや技術を有する専門家として建設的な意見を積極的に発信することが求められる。」(p.211)

発注側に判断と責任を任せきるのではなく、対等な専門家同士として、積極的に専門上の意見を交換すべきである、ということになるだろう。こうして、発注側の技術者の場合と同様に、ここでも「官高民低からの脱皮と契約概念の徹底」(4.4.7)が求められるに至るのである。本書は語る。「土木事業は、ほとんどの場合、発注者は官庁であるという他の分野にはないユニークな特徴を持っている。このため、土木事業では発注者である官が発注者である民に対して優位な立場に立っている。発注者はともすれば契約条項以外の課題や業務を受注者に押しつけたり、受注者からの工法や工期、金額の変更等の申請に対して適切な対応を怠る場合がある。／この背景として、いったん契約したからには、その契約金額と契約期間のなかでうまくやっていくのが業者の腕であり、なんとかうまくやってくれという態度の官庁が多いことがあげ

られる。発注とは契約であり、契約には前提条件があつて、この前提条件が変われば契約事項も変わるのは当然という見方が、まだ、おろそかにされる場合がある。官側も民側も、公共事業の最終発注者は国民であり、その利益を図ることができるかという意識を明確にし、この視点から行動、意志決定をしていく必要がある。」(pp.222-223)

次のことがとくに大事に思われる。それは、契約の遵守は法令の遵守と同様、技術者倫理以前の一般的倫理規範のひとつであろうが、法や公序良俗に反する契約は無効である他、契約には前提条件があり、それが大きく変われば、旧い契約を脱して新しい契約を相互に結び直すべきだという点である。ただし、その前提条件が何であるかはふつつ漠然としており、また契約事項さえ守ればよい、契約事項にないことは一切行わない、という姿勢が好ましいと言われているわけでもない。

最後に、技術者倫理のための環境整備という視点から必要な対応として、「社会に発言する土木学会に」(4.4.9)という訴えをもって、本書が論を締めくくっているのも、まことに実践的、建設的で感銘深い。すなわち、土木学会の英文名称が **Japan Society of Civil Engineers** となっていることが示すように、土木学会は単に大学教員のサロンではない。土木技術者のソサイエティーである。ソサイエティーとしての重要な役割の一つに、社会に対する説明責任が挙げられる。たとえば、日本機械学会では、三菱自動車によるリコール隠しに対して、会長の談話を学会誌やホームページで公表している。また、日本原子力工学会でも、東京電力原子力発電所の点検データの改ざん・隠蔽事件に際して、問題が明らかとなった直後に「電気事業者が社会からの信頼を裏切ったものであり、原子力技術の健全な展開に著しい障害を与えることは否めず、きわめて遺憾な出来事」であるとの意見表明をホームページで行う同時に、東京電力の調査報告書が出された後には、これに対する第三者としての意見・評価を表明している。今後、建設界に倫理に関わる重大な問題が生じた場合に、土木学会が倫理に関する見解をタイムリーに社会に発信していくことが重要だ。社会に対する発信は土木学会会長に限る必要はない。「土木学会〇委員」とか「特別上級技術者」等の肩書きで土木学会会員が発言することも重要である、そう説かれ

ているのである(pp.224-225).

ここでも、安易な責任転嫁ではなく、個人が専門家の立場でできることは積極的に世の中に問う姿勢が求められており、これは義務というよりも、技術者の権利、自由と名誉に貢献する動きであると考えられる。すなわち、技術者の倫理は技術者の権利でもある。「権利」(right)という語が当初は「権理」と訳されていたように(福沢諭吉『学問のすすめ』など)、権利は「理」、すなわち筋の通った正しいものでなければならない。技術者はみずから理があることを示すことによって(またそれによってのみ)、みずからを利することができるし、またそうあるべきだと、「技術者倫理」は示唆している、そう筆者としては考える。しかし、もしそれが正しいとすれば、それは何も技術者に限った話ではないと、正しく批判されるであろう。

むすび

本稿では、順に以下のような項目を論じてきた。

1. 『技術は人なり』の特徴と目次
2. 技術者倫理の意味
3. 日本における技術者倫理の先人たち
 3. 1. 二人のウィリアムが広井らに与えた影響
 3. 2. 広井 勇
 3. 3. 青山 士
 3. 4. 技術者倫理教育上の懸念
4. アンケート調査にもとづく問題提起
5. 法律の不足と過剰という問題提起
6. 官庁技術者に求められる技術者倫理
7. 生産現場の建築技術者に求められる技術者倫理

そのなかで、『技術は人なり』が広く読まれるに値する諸理由を明らかにしてきた。列举すると、当書は、土木技術者に対して実施したアンケートによって、技術者にのみ倫理を要求することの不当性を明らかにし、個人と組織の関係、発注者と受注者の関係、さらには会計検査のあり方や談合問題にも言及している。2004年に機械学会会長が出した「会長談話」の例などに倣い、倫理教育のみの活動から技術者への支援や社会に対する見解表明など、学会全体の取り組みを求めている。当書が経営者や官界のトップにいるリーダーにも読まれ、技術者倫理や組織倫理の重要性がより深く彼らに理解されることをめざしている。日本における他の学会に遙かに先んじて倫理綱領をとりまとめた、青山士ら「先人」たちの人徳と業績の紹

介にも力を入れている。技術者倫理とは何ではないかについて、本書は明瞭に教示している。明治・大正期の一日本人技術者(広井勇)の言葉を借りて、工学の意味(意義)に関する根本的思索にまで読者を導いている。本書は、技術者倫理実現のための法律の不足と同時に、法律の過剰という現実も問題として提起し、その対処法を正しく教えている。「官庁技術者に求められる技術者倫理」について詳説している点でも貴重である。とりわけ、甲乙ではない真のパートナーシップの関係、「官高民低の立場から脱却し、民に契約以外の仕事を押し付けず、契約に基づく業務執行に徹する」ことを強調している。

当書に対する補足ないし意見としては、大きくは技術者倫理の意味、定義に関してと、「先人」たちの特異性に関する懸念を表明した。しかしこうした先人は大変魅力的であり、高崎哲郎による彼らの評伝もまた、技術者倫理分野の推薦図書として位置づけられた。こうした先人たちの苛烈なまでの活躍と苦勞を、技術者倫理が要求していると誤解されてはならないが、彼らからは見習うべきことが多いと思われる。

注および参考文献

- (1) 本科では菊池重秋、河村豊、そして専攻科では河村豊、浅野敬一、木村南、土井淳、大塚友彦、庄司良、以上の各氏および筆者が授業を担当した。
- (2) 『技術は人なり---プロフェッショナルと技術者倫理』教育企画・人材育成委員会倫理教育小委員会編(社)土木学会、丸善(株)、2005年
- (3) 浜辺陽一郎氏の記述による。『応用倫理学事典』丸善(2008)pp.342-343 参照
- (4) 高崎哲郎は言う。クラークの基本方針はマサチューセッツ州立農科大学に基づくもので、クリスチャニズムをその柱とすることも同じであった。日本の農学校当局者や学生にとっては「クリスチャニズムを押し付けられた」との反発や戸惑いが出たのは当然だが、クラークは自ら創建したマサチューセッツ州立農科大学を「北海道の地に移植させたにすぎなかった」。(高崎哲郎『<評伝>お雇いア

- メリカ人青年教師 ウィリアム・ホイラー』鹿島出版会、2004年、pp.95-96)
- (5) 高崎哲郎は書いている。2期生である広井勇の同期 10 人がすべてクリスチャンの生涯を送るわけではない。彼らの結成した独立教会派「札幌バンド」と無縁の人生を送った同期生が三人いる。南鷹次郎、岩崎行親、町村金弥である。南鷹次郎はのちに農学・獣医学の権威として北海道帝国大学第2代学長になったが、高潔な人格者として知られる彼は「終生を法華信者として過ごし、盛大なりしその葬儀も豊平川河畔の日蓮宗寺院で執行された」（大島正健『クラーク先生とその弟子達』）。彼ら三人が「札幌バンド」の同期生と卒業後疎遠となるのは必然であった。（高崎『＜評伝＞山に向かい目を見上げる 工学博士・広井勇の生涯』鹿島出版会、2003年、p.74）
- (6) ホイラーは1878年2月11日付けの札幌から妹に宛てた手紙のなかで、当時の日本人について次のように書いている。「日本人が、クラーク前教頭の帰国後の演説などにより、高く賞賛されていることはよく知っています。私も日本人を知ってからまだ僅かに一年ですが、国民性を賞賛し、また生産品についても極力ほめています。しかし日本人には、私たちが尊敬したくなる、または他者に影響を与えるような気品や人格には欠けているように思えます。狭量、嫉妬、不誠実が日本人の国民的気質としてうかがえるもので、特に役人や社会上層部にうかがえるものです。日本では多くの進歩的事業が実行されなければなりません。人類に対する利己的でない労働者の献身的精神が、社会のどこでもいつでも求められているのです。」（高崎哲郎『＜評伝＞お雇いアメリカ人青年教師 ウィリアム・ホイラー』p.150）
- (7) 高崎、前掲書、pp.194-195。ただし訳文は一部改変してある。
- (8) 内村はこの少し後のところでは次のように語っている。「まことに一時は君[広井]自身が伝道師になられて、不肖私が今日居るべく余儀なくせられし地位に君が立たるるのではあるまいかと思われた位でありました。然し（中略）君は伝道師に成られずに土木学者になりました。そして君は一日正直にその理由を私に語られました。『この貧乏国に在りて民に食物を供せずして宗教を教うるも益少なし。僕は今より伝道を断念して工学に入る』と。（中略）君は言葉を以てする伝道を断念して事業を以てする伝道を行われたのであります。（中略）広井君の信仰は私の信仰の如くに書物には現れませんでした。それにも遙かに勝りて、多くの強固なる橋梁、安全なる港に現れています。（後略）」（高崎哲郎『＜評伝＞山に向かい目を見上げる 工学博士・広井勇の生涯』pp.255-256）
- (9) 後年、栃木県鬼怒川水力ダム建設において、広井は技術顧問に就任してその完成を1921年に見ているが、その完成に際して、電力会社社長が大学の研究室を訪ね感謝の念を伝えて金一封を渡そうとした。広井はこれを強く拒み断言したという。「鬼怒川水力工事のような事業は、個人の営利的なものではなく、実に国家的大事業である。かかる事業には決して謝礼するには及ばない。もし費用に余裕があるならば、その資金で工事を一層完璧なものにしていきたい」（前掲書p.218）。しかし広井は他人から物品をもらうことを嫌った反面、「他人に物を与えることは好きだった。しかし、その際でも品物の善し悪しや値段の高下などには少しも頓着しなかった。」（前掲書p.243）
- (10) 高崎は書いている。広井の教授ぶりは机上の空理空論を排除して、現実性を主眼とする。広井の指導は卒業後もことあるごとに続いた。工事現場では、多忙のため読書や勉強を怠りがちになる。これに対して広井は忠告した。「そんな心がけで、若い者がどうするか。工事現場の勤務くらいで、本や雑誌が読めないというのは、

文士が筆を持つために手が疲れたと言っ
て、箸を持つのを嫌い食事せずにいるよ
うなものだ」。そして、彼の在米時代の苦
学談や小樽築港当時の試練を伝え励まし
た(前掲書 p.195)。また広井自身、50 歳
を越えても英語論文を精力的に書き続け
た。

- (1 1) 「仕事が出来なくなった時、その時が自分
の死ぬ時である」とさえ、広井は晩年に
語っている。(前掲書 p.241)
- (1 2) 青山は業者の贈物を一切拒否した。三女
草野めぐみの「父の思い出」(『青山士君
追悼号』)から引用する。「父が荒川の放
水路の仕事をして居ました頃、工事の材
料を納める業者が色々と贈り物の様なも
のを持って来ては、その検査を大目に見
てくれとか、其の他自分の利になる様に
頼みに来たものだそうです。勿論父はそ
ういうものを受け付けず、その上かえっ
て其の様な事を頼みに来た業者には検査
の目を厳しくして、材料其の他、工事に
関係した事には最善最良の手を尽くした
と云う事でございます」。

その間の大正 12 年(1923)年 9 月 1 日、
関東大震災が南関東を襲った。犠牲者が
10 万人を超えるかつてない大惨事であ
る。しかも人災として、今日判明してい
るだけでも、6000 人以上の在日韓国・
朝鮮人と 700 人以上の在日中国人が虐
殺された。民衆 による自警団は官憲に
より上から組織され 4 日までは虐殺が
黙認されていたが、その後は民衆の凶器
携帯を禁止し、軍隊、警察による自警団
取締りが強化され、最終的には朝鮮人、
中国人の虐殺の責任は民衆へのみ転嫁
されたが、裁判ではほとんどが罪に問わ
れなかった。荒川放水路の工事現場では
28 か所で地盤の陥没や亀裂を生じ、18
か所の橋の一部が崩れる被害が出た。青
山は不眠不休で現場監督にあたり、何日
かのちに現場からえんえん歩いて田端
の自宅に帰った。彼は事務所にかくまっ
ていた五人の朝鮮人男性労働者を連れ
て来た。五人は額や頬に赤黒いあざがあ

り、蒼ざめた顔はおびえていた。このう
ち二人がキリスト教徒だった。「彼らを
奥の離れの部屋にかくまって、手当をし
てやってくれ。誰にも口外してはなら
ぬ」。青山は妻むつに命じた。朝鮮人労
働者はかたことの日本語しか話せなか
った。彼らは暴動が収まるまで離れで過
ごした。(高崎哲郎『<評伝>技師 青
山士 その精神の軌跡…万象ニ天意ヲ
覚ル者ハ……』鹿島出版界, 2008 年,
pp.177-180 参照)

- (1 3) 高崎哲郎の著書での記述はこうであ
る。……青山は自在堰陥没の一報を聞い
て、家族に「砂利を食べたからこんな無
様なことになる」と吐き捨てるように言
った。「砂利を食べる」とは「手抜き工事
をした」との土木界の隠語だった。内務
省土木試験場が実施した「信濃川大河津
自在堰破壊ノ原因調」によると「設計ノ
不備、工事施工ノ不適當、維持上周到ノ
注意ヲ欠キタルコト」が原因であるとし
ている(高崎, 前掲書, p.210)。しかし、
陥没した堰を設計・施工したかどで引責
退職し、失意のどん底にあった技術者(内
務技師岡部三郎)を激励し続けたのが、
大学恩師の広井勇だった。設計者岡部を
批判する声は聞こえても、精神的支援の
手を差し伸べる者はいなかった。広井が
愛弟子に宛てた手紙が残されている(原
文カタカナ, 現代語表記とする。)[前略,
官報によれば今般御退官なる由、是れ察
する処大河津水堰破壊の責を貴兄に負わ
しめたる故なるべし。該工事たるや建設
後、既に数年を経過せしものにて設計の
完全なりしを示すに足り、爾来必要なる
維持修護を怠りながら破壊の責を当初の
設計者に負わしむるは不当なり。／官庁
の処置是に至るに、貴兄は決して屈辱さ
るべきに非ず。貴兄をして無理に其の犠
牲となしたるものなることは具眼者の認
むる処なり。幸い春秋に覚え高き貴兄の
事なれば必ずや捲土重来の勢いを以て工
業界に臨み更に御大成を期されんことを
千万希望に堪えず」(前掲書 p.212)

- (14) 所長青山は度々現場に足を運び作業員らを激励したが、その際、現場では土砂の中に芦の根が一本でも入っていれば、やり直しを命じた。設計や施工に少しでも疑問点や手抜かりが確認されると、厳しく指摘し直ちに改めるように求めた。「国民や国家財政を考えよ」と叱責した。大雨の日には、夜間でも現場に出向いた(前掲書 p.218)。

青山はこの時期に二人の師を失った。大学時代の恩師広井勇が大河津分水可動堰の視察後間もなく昭和3年(1928)に67歳で亡くなり、昭和5年には信仰上の師内村鑑三が69歳で亡くなった。内村逝去の際、青山は「技術者は私事で現場を離れてはいけない」との主義から、妻むつを急遽、内村邸に向かわせた。(前掲書 p.220)

- (15) 青山士については、土木工学会図書館が「青山士アーカイブズ」として青山関係資料をHP上で公開している。
- (16) 広井をはじめ内村、新渡戸、宮部ら札幌農学校同期生は言葉の正しい意味で「エリート」であった。「選ばれた者」であった。それ故に、彼らは“noblesse oblige”（ノーブレス・オブリージュ、高い身分に伴う徳義上の義務）を果敢に実行することを宿命付けられた。幕末に生まれ昭和期に他界した彼らの人生は壮絶な戦いであった。(高崎哲郎『<評伝>山に向かいて目を挙ぐ 工学博士・広井勇の生涯』p.5)
- (17) 高崎哲郎『<評伝>技師 青山士 その精神の軌跡…万象ニ天意ヲ覚ル者ハ……』p.282
- (18) 前掲書, pp.298-299

(付記) 本論文は平成18-20年度科学研究費補助金基盤研究C, 「工業高専および企業における人材育成と技術者倫理教育の現状と課題」(川北晃司・河村豊・浅野敬一・木村南・庄司良) による研究成果の一部である。

(平成21年1月5日 受理)

戦後初期における軽機械産業

—為替政策の効果を中心に—

浅 野 敬 一*

The Light Machinery Industries during the Early Postwar Years in Japan

—The Effectiveness of Foreign Exchange Policy—

Keiichi ASANO

By the late 1940s the Japanese light machinery industries (e.g. bicycle, sewing machine, watch and clock, optical equipment) started to revive and to export. The GHQ/SCAP had no clear policy on the light machinery industries, because its main goal was the elimination of the Zaibatsu Control. But the GHQ/SCAP and the Japanese government induced those industries to rationalize production. Dodge's arrival and the single exchange rate forced them to cut costs in order to remain competitive in the international market, because the yen rose against the dollar. Also Japanese government carried out national export inspection system. The purpose of the Ministry of Commerce and Industry (the Ministry of International Trade and Industry, after 1949) was not only to increase export but also to sweep off a bad reputation of the Japanese exports, "cheap and nasty." The light machinery industries had improved their ability and played a leading role in Japanese Export before the mid-1950s.

(Keywords: Light Machinery Industries, Export, Foreign Exchange)

1. はじめに

本論の目的は、第二次世界大戦後初期の輸出において重要な役割を果たしながらも、その存在が軽視されてきた、いわゆる軽機械産業について、米国等による占領政策及び政府の為替・輸出管理政策との関係を中心に再考するものである。

日本の輸出は、高度経済成長の後期といえる 1960 年代後半から鉄鋼等の重化学工業品に転換し、さらに自動車や電子関連機器に移行していった。しかし、経済復興の過程、特に日本が依然として厳しい外貨事情に直面していた 1950 年代後半までは、軽工業品の海外市場開拓は、重要な政策目標であった。もちろん、中心となった業種は繊維関連であるが、加工食品、陶磁器をはじめとする雑貨及び軽機械類も重要な役割を果たした。このうち、軽機械、すなわち本論の扱う自転車、

ミシン、時計、光学機器等の業種は、戦後初期の輸出とその後の内需拡大を経て、あるものは衰退したが、あるものは姿を変えながら、現在に至る日本の製造業に大きな影響を与えている。戦後初期における軽機械産業の復興は、まさに日本の製造業のひとつの源流を成している。

一方で、本論の対象とする占領期には、金融助成、組織化及び指導という、後の産業育成策の中核的手段は未だ確立していなかったため、軽機械産業に対する支援策も明示的ではない。しかし、本論は、当時の為替や輸出制度が、外貨獲得という喫緊の目標に貢献しただけでなく、軽機械産業を競争的に強化・育成するという産業構造政策の性格を併せ持った事実を明らかにする¹。

2. 第二次大戦前と第二次大戦後の変化

(1) 海外依存の継続

第二次大戦後の日本が深刻な経済危機に陥ったこと、また対外経済関係の激変に直面したことは説明を要しない。第 1 回となる『通商白書 昭和 24 年版』は、冒頭において、「国土の約四三％に相当する朝鮮、台湾、樺太、千島及び南洋群島等を一挙に喪失し、現在の広さは明治初年のそれに縮減した。更に満州、中華民国、南方諸国等との

体戦前のすがたにかえりつつあるものと云える。」と述べたが、アメリカ産綿花の提供を受けた綿製品は、戦後も輸出の主力を担ったのである。しかし、綿製品については、「・・・インドその他のかつての大口需要国に競争産業が発達した・・・」と、早くも他国のキャッチアップを警戒すべき状況にあった。

一方、輸出全体に占める金額を大きく伸ばし、

〔表 1〕戦前戦後の国民所得に占める貿易の割合

年	1930-34 年平均	1930-40 年平均	1946 年	1947 年	1948 年	1949 年
輸出(A)	14.8%	15.9%	3.3%	3.9%	3.2%	6.2%
輸入(B)	14.8%	15.5%	4.6%	6.0%	6.3%	10.5%
貿易額(=A+B)	29.5%	31.4%	7.9%	9.9%	9.5%	16.7%

『通商白書 昭和 26 年版』他から作成。なお、国民所得は GNE を用いている。また、1930-34 年平均には、対朝鮮、台湾、南洋群島の輸出入を含んでいる。

間の特殊の関係は消滅、・・・乏しいわが国の食料や工業原料資源の自給率の低下、有利な市場の喪失及び人口問題の深刻化を招来し、わが経済の海外依存性を増大した。」と、当時の認識を残している。「領土」等の喪失が、それを前提とした経済から、「海外依存度」の高い経済への転換を強いたというのである。

しかし、上述の認識は多少のノスタルジーを含んだもので、日本経済の海外依存が戦後に急に強まったわけではない。『通商白書 昭和 24 年版』自身も、食糧や原材料の輸入のために輸出により外貨を獲得することが、「わが国の経済は本来こうした宿命にある。」と指摘している。実際、表 1 に示すとおり、1930 年から 1940 年の国民総生産（名目）に占める輸入額は平均 15.9%、同じく輸出額は 15.5%であり、しかもダンピングを強行しなければ輸入を確保することもむずかしかったのである。

(2) 貿易構成の変化

次に、戦前と戦後の貿易構成の変化について、輸出を中心に確認する。

まず、主要輸出品としては、戦前、戦後とも繊維製品が大半を占め、なかでも綿製品の割合は高い（表 2、参照）。『通商白書 昭和 24 年版』は、輸出品の構成について、「・・・その商品構成は大

将来への期待も高かったものが機械と金属製品である。『通商白書 昭和 24 年版』も、「・・・機械輸出は繊維類よりも寧ろ有望な輸出品となるであろう。わが輸出の外貨手取り率を向上するうえからも、この部門の輸出振興が特に望ましいのである。」と述べている。たしかに、後述のとおり、1949 年に単一レートが設定されると、競争力に欠ける機械類の輸出契約は一時的に急減し生産も停滞した。また、米国市場への輸出よりも、主にアジア市場への輸出が想定されたことも確かである。

その点では、第二次大戦後の輸出について、本格的な「機械化」や「重化学工業化」が達成するのは、やはり高度経済成長期以降と言うべきであろう。しかし、将来成長すべき輸出品、つまり輸出振興策の対象としては、繊維以上に機械類が重要であったといえる。

3. 軽機械産業の直面した問題

(1) 戦災と占領政策の影響

上述のとおり、機械産業は戦後の輸出品として期待されたが、当然ながら、その復興は容易なものではなかった。とくに、敗戦と占領という特殊な状況とそれに伴う諸政策は、軽機械関連業種の復興をさまざまな障害に直面させたのである。

第一は、軽機械関連業種全般に見られた問題で

あるが、戦時の軍需生産転換と戦災の影響である。まず、自転車とミシンは、軍用自転車や工業用ミシンを除いては、その多くが航空機部品の生産やその下請けに転換させられた上で、終戦までには生産能力の50%以上を失った。いずれの業種も、都市部に小規模な工場が分散していたため、空襲の影響は甚大であった。時計は、戦時の工場疎開等の効果もあり自転車やミシンに比べれば被災は少なかった。しかし、時計が贅沢品として製造を制限されたため、生産能力の実に80%以上が信管製造に転換され終戦を迎えたのである。

一方、戦時中の光学機器は、双眼鏡、照準器、航空写真機、潜望鏡等の軍用品目を生産した。この点では、他の業種よりも転換の程度が軽微であったともいえるが、戦後はこうした品目の製造・販売を厳しく制限されたため、民生品生産へ全面的に転換する必要があった。このように、光学機器では、多少製品の連続性も維持されていたが、戦後の軽機械産業は、まさに再出発といえる状況に直面したのである³。

第二の問題は、戦後の賠償指定との関係である。極東委員会は、1946年4月のポーレー賠償使節団最終報告にもとづき、1946年末に中間賠償計画を策定した。同計画は、軍需工業の解体はもちろん、1930-34年平均の生活水準を基準としてそれを超える工業生産力の排除を掲げ、指定の機械や設備を海外搬出し、実物賠償としてアジアの経済復興に活用する構想であった⁴。

光学機器を除く軽機械産業は、本来は軍需との

関係は薄く、戦災でかなりの生産能力を失っていた。しかし、戦時の軍需転換の影響により、軍需産業を補助するものとして、残存した生産能力のうち自転車は約20%、ミシンは約40%が、それぞれ賠償指定を受けた。軍需転換の徹底していた時計はより深刻で、生産能力の実に70%が賠償指定とされた。その後、米国の占領政策の転換に伴い、軍工廠の一部を除き、賠償のほとんどは実行されず、1949年5月には日本の賠償問題の凍結が決定された。しかし、賠償指定は、民需転換の遅れ、設備更新や銀行融資の忌避、労働者の離職等、既存企業の復興には大きな障害となった。

一方で、自転車やミシンは、戦後復興に伴い需要が急増していた。そこで、賠償計画とは関係のない新規業者の参入が相次ぎ、自転車の場合は1946年末に確認されている約555工場のうち、約40%が新規開業または自転車製造業以外からの参入であった。ミシンについても、46年末にミシンの完成品を製造していた22工場うち、戦前からの工場は8工場に過ぎない。なお、光学機器製造業は、戦時中に軍用品生産に従事したにも関わらず、賠償指定は日本工学工業のみであった⁵。

第三の問題は、財閥解体と集中力排除の影響であるが、これは上述の二つの問題とは異なり、ミシン製造業と光学機器製造業の一部にはほぼ限定され、実質的に措置を受けた企業はない。財閥解体としては、1946年9月の1次指定で、三菱等の4大財閥と富士産業（旧中島飛行機）が対象となったため、ミシンも製造していた三菱電機、富士精

〔表2〕主要輸出品の変化（単位：100万ドル）

品目	1930-34年平均	全体比	1947年	1948年	1949年	全体比
食料品	71.0	4.1%	4.3	12.1	23.0	4.5%
繊維	993.0	57.2%	131.1	159.2	278.0	54.4%
（生糸）	189.6	10.9%	10.9	22.1	17.4	3.4%
（綿製品）	465.5	26.8%	101.6	98.3	189.6	37.1%
（人造繊維）	68.0	3.9%	6.3	9.5	34.9	6.8%
（絹製品）	24.0	1.4%	6.4	16.2	17.8	3.5%
金属及び同製品	84.0	4.8%	4.8	11.8	68.7	13.4%
石炭	24.4	1.4%	8.1	11.1	8.8	1.7%
機械	76.0	4.4%	7.1	12.9	51.9	10.2%
陶磁器・ガラス	38.0	2.2%	1.1	11.4	20.5	4.0%
合計	1,737.4	100.0%	173.6	258.6	510.9	100.0%

『通商白書 昭和24年版』及び『同昭和25年版』から作成。なお、「合計」には、その他の品目が含まれる。また、「繊維」には、その他の繊維製品が含まれる。

密工業等の 4 社が制限会社に指定された（1950 年 8 月に解除）。また、過度経済力集中法では、三菱電機、富士精密工業、福助足袋、日本工学工業等が指定されたが、いずれも分割等はされないままに指定を解除された⁶。

(2) 原材料の問題

戦後の混乱と物資不足は、当然、軽機械産業にも大きな影響を与えた。とくに、すべての業種に不可欠な鉄鋼の調達は、きわめて困難な状況であった。たしかに、政府は、1947 年から傾斜生産方式を実行に移し、石炭と鉄鋼の相互投入による増産を目指した。しかし、47 年度の実績では、石炭こそほぼ計画を達成したが、鋼材はその 86%に過ぎなかった⁷。また、生産計画自体の妥当性にも疑問があり、仮に鋼材生産が計画を達成しても、需要量とは大きな開きがあったと考えられる。たとえば、傾斜生産方式の効果を批判的に検証した三輪芳朗らの研究では、各業種が現実にはヤミ市場からの資材調達に依存した状況が明らかになっている。自転車製造業においても、1947 年に調達した帯鋼のうち、正規割当によるものは 37%に過ぎず、ヤミ市場からが 35%、在庫利用が 28%となっている⁸。また、GHQ 経済科学局工業課の報告では、「1946 年中に、自転車製造業は、戦時中のストックの利用および闇市場からの購入により、公的に配給された鉄鋼の 5 倍以上を消費した。」とある。同課は、ミシン製造業についても、「1946 財政年度においてミシン製造業によって使用された鉄鋼のうち 7%しか政府のチャンネルを通じて提供されなかった。」としている⁹。

一方、三輪らの指摘するヤミ市場の重要性は、軽機械産業の産業組織に重大な影響を与えたと考えられる。つまり、資材割当権の有無は事業継続に余り重要ではなく、ヤミ市場の存在が新規参入を支えたことである。こうした傾向は、戦後に需要が急増した自転車とミシンで顕著に表れ、既述のとおり新規参入業者が重要な地位を占めたのである。

4. 輸出の再開と合理化

1947 年 8 月 15 日、制限付き民間貿易が再開された。しかし、当時は、国内の価格や産業構造への影響を緩和するために、1949 年 4 月に 1 ドル

＝360 円の単一レートが設定されるまでは品目ごとに為替レートが存在し、全体としては輸入が円高、輸出が円安になっていた。また、輸出については、当該商品の競争力を勘案した設定で、たとえば、綿織物は 1 ドル＝420－240 円、茶は同 330 円、軽機械関連では、自転車 515－425 円、ミシン 415 円、時計 430－410 円等であった¹⁰。

こうした複数為替レートは、一般には、インフレを助長し、企業の生産性向上意欲を減退させたといえる。しかし、軽機械産業をみる限りは、一定の合理化努力が継続され、たとえばミシンは、もともと比較的円高のレート設定であったが、表 3 のとおり、単一レート導入された 1949 年に輸出を急増させている。また、カメラと双眼鏡も、数量ベースのデータが不明であるが、金額ベースの変化をみれば、数量を含めて輸出を大幅に伸ばしたと判断できる。ミシンや光学機器については、制限付き民間貿易再開後からの 2 年弱、複数為替レートの適用期においても生産性が向上し、導入時は輸出には多少割高とされた 1 ドル＝360 円にも比較的円滑に対応し得たのである。

もちろん、単一為替レートの影響は、決して小さくなかった。表 4 のとおり、1949 年における機械類全体の生産と輸出は、単一為替レートの導入された 4 月を境に急減している。『通商白書 昭和 25 年版』も、危機感を隠せず、「昨年の合理化の特質を概観すれば、作業の能率化、設備の集約的利用、老朽設備の応急補修等の対策を講じたに止まり、設備の近代化、合理化等の本格的な合理化は殆ど見られなかった。」と一層の合理化努力を求めている。

しかし、より重要な点は、通商産業省（1949 年 5 月までは商工省）は、短期的な輸出の減少をある程度覚悟しながらも、単一為替レートを輸出産業のさらなる合理化誘導に用いたことである。

『通商白書 昭和 25 年版』は、たとえば 1949 年の輸出を減らした自転車について、「相当円安商品とみられ、レート設定後の輸出を危ぶまれたが、その後企業の積極的努力により昨年八月末においては平均二二%のコスト引下げが行われ、現在においてはこの当時より更に一〇%程度の切下げに成功しているものと思われる。」と述べている。つまり、もとの円安レートを勘案すれば、輸出の減

〔表 3〕 主要商品の生産と輸出

品目	単位	年度	生産	輸出	輸出比率
自転車及び 部品	台 ※1	1930-34 年平均	1,329,500	540,000	40.6%
		1947 年	704,000	24,773	3.5%
		1948 年	1,360,000	173,662	12.8%
		1949 年	1,471,950	132,902	9.0%
時計	個	1930-34 年平均	2,149,629	423,200	19.7%
		1947 年	1,793,423	106,490	5.9%
		1948 年	2,650,819	670,081	25.3%
		1949 年	3,049,076	567,043	18.6%
ミシン	台	1930-34 年平均	3,940	0	—
		1947 年	79,296	2,010	2.5%
		1948 年	179,172	33,533	18.7%
		1949 年	317,553	121,441	38.2%
写真機	台 (千ドル) ※2	1930-34 年平均	7,000	… (0)	…
		1947 年	52,160	… (73)	…
		1948 年	128,596	… (215)	…
		1949 年	311,970	240,710 (1,120)	77.2%
双眼鏡	個 (千ドル) ※2	1930-34 年平均	27,379	… (0)	…
		1947 年	30,588	… (15)	…
		1948 年	66,834	… (596)	…
		1949 年	165,289	106,059 (1,187)	64.2%

『通商白書 昭和 24 年版』、『同 昭和 25 年版』及び竹前他『GHQ 日本占領史：50 軽工業』200-201 頁等から作成。

※1 部品は、完成車 1 台に相当する費用の部品を「台」に換算している。

※2 写真機と双眼鏡の輸出については、1948 年以前の数量ベースのデータが不明であるため、参考に金額ベースのデータを括弧内に併記した。

〔表 4〕 単一為替レート導入前後の機械類の輸出と生産

(生産指数：1946 年=100、輸出契約額：100 万ドル)

年月	49 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月
生産指数	332	389	406	393	361	367	352
輸出契約額	10.4	10.0	16.0	9.6	3.3	3.5	6.6
(続き)	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	50 年 1 月	2 月
	313	300	323	328	339	280	298
	7.3	18.3	2.3	2.5	1.3	3.3	4.0

『通商白書 昭和 25 年版』より作成。

少は織り込み済みであり、それよりも合理化が進展した点を評価したのである。また、同白書は、比較的円高のレート設定であったミシンについて、「レート設定による影響は少なかったが、これを機として専門機械の採用、工程管理の実施等企業の合理化に対する努力の結果、当時に比べ労働生産性は一二二%と増加し・・・品質の向上については精度の高い専用機の採用、加工検査技術研究により良品の多量生産化を計っており、素材の向上と相まって今般の製品の良質化が期待される。」と、単一為替レートの設定が一層の合理化の契機になったと分析している。

ただし、単一為替レートによる合理化を誘導した通産省も、ポンドの切り下げは想定外であった。1949 年に入るとスターリング地域におけるドル不足が深刻化、9 月にはポンドが約 30%切り下げられ、他の欧州、中南米諸国もこれに追随したのである。当時の輸出は、もちろん国別としてはアメリカが最大であったが、地域としてはアジア、通貨としてはインドをはじめとするスターリング地域が主力であった。表 5 においても、1949 年にかけて、日本の輸出がスターリング地域への依存を高めていたことが確認できる。日本は、こうした状況でイギリスのポンド切り下げに直面したのである¹¹。

〔表 5〕通貨地域別輸出実績の推移（単位：1,000 ドル）

地域別	1948 年		1949 年		1950 年	
スターリング地域	55,931	21.7%	222,500	43.7%	244,081	29.8%
（インド）	(9,106)	(3.5%)	(64,599)	(12.7%)	(20,316)	(2.5%)
オープン・アカウント諸国	109,637	42.5%	144,580	28.4%	281,602	34.3%
米国 ※	65,757	25.5%	82,700	16.2%	183,846	22.4%
その他	26,946	10.4%	59,920	11.8%	110,636	13.5%
計	258,271	100.0%	509,700	100.0%	820,165	100.0%

竹前栄治・中村隆英監修『GHQ 日本占領史：52 外国貿易』日本図書センター、1997 年、287－290 頁より作成。

※ 米国にはハワイ、グアム等もふくまれる。

とりわけ、スターリング地域への輸出比率の高い業種は大きな打撃を受けた。前出の表 3 でも、49 年 9 月から 10 月にかけて、機械の輸出契約額の急減に見舞われている。なかでも時計は、輸出の約 70%がスターリング地域向けで、インドだけでも 60%を占めたため、ポンド切り下げの影響は大きかった。『通商白書 昭和 25 年版』は、時計

製造業について、「従来円ドル比率として四一〇円ないし四三〇円の適用を受けていたこの部門は相当の原価切下げを要求されたが、これは量産による原価の切下げと中間利潤の低下などによって殆ど吸収された。」と、単一為替レート導入には対応し得たとした。しかし、ポンド切り下げの影響については、「しかしながらその輸出は、前述のとおりドル地域への輸出比率は低く、ポンド地域向けが大部分であるため、ポンド切下げ前には一応競争国との値開きはなかったが、ポンド切下げ後は、輸出のためには、約三〇%近くの前切下げが必要となった。また国内購買力も不足しているため、輸出向け製品を国内向けに転換することもできず、四月以降は在庫が累増して生産調整が行わざるをえなくなった。」と、指摘した。前出のミシンと光学機器は、いずれも米国が主力市場であり、ポンド切り下げの影響は少なかった。つまり、合理化の推進は当然であるが、当時の世界的ドル不足の状況では、米国市場での競争力を確保しない限り、きわめて不安定な輸出環境に直面したのである。

このように、軽機械産業は、複数为替レート制から合理化に努めていたが、単一為替レートの導入とその後のポンド切り下げにより、一層の取り組みを求められたのである。

5. 輸出検査制度の導入

為替が主としてコスト面の合理化を強制した一方で、輸出品の品質向上も急務であった。表 6 のとおり、輸出に際してのクレームの大半は「品質不良」に関するものであり、機械金属品においてもその傾向に変わりはない。こうした状況に『通商白書 昭和 24 年版』は、「戦前の「やすかろう

わかるろう」の日本品に対する悪名はなんとしてもこれを払拭し、「良質廉価」な輸出品にしなければならない。」と、品質改善の必要性を強調している。アジア諸国のキャッチアップを勘案すれば、単なる低価格品ではなく、品質の向上や高付加価値化は不可避の課題であった。

きるとし、政府の検査機関は表示の適格性を検査するとした。また、そのための検査機関として、順次設置された試薬、日用品、機械器具、繊維製品、輸出食料品、輸出農林水産物の六検査所及び国立衛生試験所（東京衛生試験所を改称）を指定した。

〔表 6〕 輸出クレームの原因別件数（1945 年 8 月 15 日—50 年 6 月 30 日※）

クレーム内容	総計	雑貨品	繊維品	農水産品	機械金属品	化学製品	非鉄金属製品	鉄鋼品
	829	294	333	111	68	10	8	5
品質不良	393	155	142	48	39	3	5	1
輸入規則違反	82	26	4	45	3	4		
着荷不足	74	15	43	4	8		2	2
市場不況	16	15		1				
書類遅延	14	11	3					
着荷遅延	54	4	48	1	1			
梱包不良	38	17	5	7	6	2		1
内容相違	95	32	55	3	5			
価格調整	14	6	5	1			1	1
過剰支払	12	3	5		4			
書類不足	14	1	12		1			
特許権違反	1	1						
積出不能	3	1	1					
契約不履行	3		2	1				
その他	16	7	8		1	1		

竹前他『GHQ 日本占領史：52 外国貿易』281 頁、『通商白書 昭和 25 年版』より作成。なお、件数は、商工省（通商産業省）が把握した分のみで、実際はその数倍のクレームが発生していると考えられる。

※ 『GHQ 日本占領史：52 外国貿易』では期間が 1945 年 8 月 15 日からとなっているが、貿易状況を勘案すると実質的には、1947 年からといえる。また、『通商白書 昭和 25 年版』では、期間の始まりが記載されていない。

そこで、制限付き民間貿易の再開を控えた 1948 年 7 月 12 日、輸出品取締法が公布された（10 月 10 日施行）。それまでの輸出検査制度は、国営貿易を統括した貿易庁が実施する検査と、戦前から実施していた重要輸出品取締法に基づく検査があった。このうち、貿易庁の検査は、民間貿易の再開に伴い基本的には廃止となった。また、重要輸出品取締法では民間団体が全品強制検査を行っていたが、これは新規参入やアウトサイダーを排除する機能を併せ持ったため、前年に施行された独占禁止法と齟齬が生じていた。これに対し輸出品取締法は、民間の輸出業者自身の検査により、定められた等級等を輸出品に表示すれば自由に輸出で

輸出品取締法に基づく検査は、対象品目等を定めた輸出品取締法施行規則の公布・施行が 49 年 1 月に遅れたため、実際の制度発足は 49 年 3 月（繊維のみ 6 月）となった。また、同法は、『通商白書 昭和 32 年版』が「輸出品の生産業者または輸出業者の自家表示を建前とするため所期の目的を達成し難いうらみがあった。」と指摘したように、数度の改正にも関わらず、粗悪品の排除は困難であった。GHQ/SCAP 経済科学局科学技術課も、輸出品検査の効果には批判的で、「日本政府の海外機関や商用で外国を訪問した人々から寄せられる報告は、他の供給源から輸入される類似品に比べて日本品の品質がいかに劣等であることを一様に非

難していた。」とのコメントを残している¹²。「そのため、1957 年 5 月には新たに輸出品検査法が公布され（58 年 2 月施行）、指定の輸出貨物は、原則として政府機関または指定検査機関による検査を受けることになったのである。

しかし、輸出品取締法の制定は、早くから品質重視の姿勢を示した点では相応の意義があった。戦前は、ソーシャル・ダンピングとの批判を受けながらも、低価格一辺倒で輸出を強行したが、戦後は、貿易再開当初からアジア諸国等のキャッチアップを警戒すべき状況になった。輸出競争力を維持するためには、価格のみならず、品質面でも競争力の強化が不可欠であり、輸出品検査制度もこれに沿ったものであった。

6. むすびにかえて一産業構造政策としての為替・輸出政策一

戦後の軽機械産業は、戦災と戦後の混乱及び占領政策の影響等により、きわめて困難な状況からの再出発を余儀なくされた。しかし、本論が扱った戦後初期、軽機械産業による外貨獲得を重視する政府は、同産業の保護ではなく、為替政策と輸出検査を併用しながら、弱小企業の淘汰も辞さない合理化誘導を推進したといえよう。とくに、1ドル＝360 円という当時の日本としては円高と考えられた単一為替レートの設定は、産業構造の合理化に向けたある種の決意であり、後の重化学工業化の出発点となった¹³。ただ、本論でみたとおり、単一為替レート導入当時、その合理化誘導がより直接的に効果を発揮したのは、すでに一定の輸出競争力を持っていた軽機械産業であった。手段こそは異なるものの、高度経済成長期における競争的な産業育成政策に共通する理念と効果が、軽機械産業を舞台にすでに表出していたのである¹⁴。

本論は、平成 19 年度東京工業高等専門学校重点配分経費「戦後復興期における GHQ/SCAP の中小製造業振興策」による研究成果の一部である。

¹ 占領期の軽機械産業を分析した研究は少ないが、植田浩史「戦後復興期のベアリング産業」原朗『復興期の日本経済』東京大学出版会、2002 年は、各種機械の基盤部品としてのベアリングの復興と賠

償問題の関係を解明した研究として注目される。また、白鳥圭志「戦後復興期における単一為替レートの設定」一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミズム」ワーキングペーパー）は、単一為替レートの設定による機械産業の合理化誘導と中心産業化を論じている。その他、日本ミシン協会編『日本ミシン産業史』日本ミシン協会、1961 年等、各業界団体等が編纂した業界史には、当時の状況を克明に記すものもある。

² 中村隆英『戦前期 日本経済成長の分析』岩波書店、1971 年、222 頁。

³ 竹前栄治・中村隆英監修『GHQ 日本占領史：50 軽工業』日本図書センター、1998 年、117、131、153、173 頁。

⁴ Ronald McGlothlen, *Controlling the Waves: Dean Acheson and U.S. Foreign Policy in Asia*, W W Norton & Co Inc, 1993, p.31

⁵ 竹前他『GHQ 日本占領史：50 軽工業』117、131-32、153、174。なお、賠償指定における光学機器製造業と他の業種との取扱いの違いは、賠償設備がアジア諸国で活用され得るか否かにあると考えられるが、より詳細な分析が必要である。

⁶ 竹前他『GHQ 日本占領史：50 軽工業』132 頁。

⁷ 通商産業省『通商産業政策史 3：第 I 期 戦後復興期（2）』通商産業調査会、1992 年、82 頁。

⁸ 三輪芳朗・J. Mark Ramseyer「経済規制の有効性―「傾斜生産」政策の神話 第 I 部」（東京大学大学院経済学研究科 21 世紀 COE プログラム「市場経済と非市場機構との連関研究拠点」ディスカッションペーパー）2004 年、31 頁。

⁹ 竹前他『GHQ 日本占領史：50 軽工業』118、134 頁。

¹⁰ 自転車は、軽機械のなかでも円安のレート設定であった。これは、鋼材や溶接技術の制約から、海外市場においてはイギリス製自転車に対する競争力を欠くと判断されたためである。竹前他『GHQ 日本占領史：50 軽工業』124 頁。

¹¹ 1950 年になるとスターリング地域の割合が減る一方で、米国が額・割合ともに急増している。つまり、ポンド切り下げとアジアの復興の遅れにより主力と想定した対アジア貿易が停滞し、さらに中国大陆の共産化と朝鮮戦争の勃発に伴い対中

貿易が実質的に禁輸となったため、日本の対米依存が強まっていったのである。

¹² 竹前他『GHQ 日本占領史：52 外国貿易』165 頁。

¹³ 白鳥「戦後復興期における単一為替レートの設定」30 頁。

¹⁴ 1948 年 8 月に設置された中小企業庁も、金融支援と診断を中心に施策を展開し、特定業界に対する保護的施策は実施していない。「特定中小企業の安定に関する臨時措置法」（1952 年 8 月）等の保護政策や衰退産業に対する産業構造調整策を一部で導入するのは、朝鮮特需後の反動不況期以降である。

（平成 21 年 1 月 8 日 受理）

学生による科学技術史研究の試み

—ゼミ活動の記録と今後の展望—

河 村 豊*

An Experimental Attempt on Science and Technology Classes

Yutaka KAWAMURA

This paper reports experimental classes on Historical Research of Science and Technology for three different students in Tokyo National College of Technology. Those are the fourth and fifth year students as well as Advanced Course one. Following the teaching method focused upon the way how to choose their research theme better based on their own interests, their commitment to class is examined in terms of quantitative and qualitative data. Based upon this analysis, it is suggested that this experimental teaching method is effective in developing students' awareness to the process of research.

(Keywords: history of science and technology, document retrieval, teaching method)

1. はじめに

東京高専には、3 年次に「科学技術史」という教科が設定されている。世界史に代わって導入された科目であるが、歴史学科目としての役割が期待されている一方で、「科学技術」そのものを考察する（「科学概論」という科目も存在した）という役割も期待されていると認識している。

さて、科学技術史を専攻する筆者の考えでは、上記のような役割を果たすためには、単年度の 1 科目のみの学習ではなく、数年度に渡る継続的・段階的な教育が必要で、できれば少人数のゼミで、調査活動を伴う形式を採用することが望ましい。幸い、2008 年度現在、本校においては、3 年次に「科学技術史」（必修・通年）の配置に加え、4 年次に「研究開発の歴史」（選択・人文ゼミ I・半期）および、専攻科 2 年次に「科学技術論」（選択・半期。この科目は 5 年次の選択・人文ゼミ III の 1 つとして合同授業で開講）、が配置されている。2008 年度から、希望してきた教育が実施できる条件が整った。

そこで本論考では、上記の「研究開発の歴史」および「科学技術論」の科目で、本年度、新たな試みとして導入した「科学技術史研究

入門」という内容を取り上げ、実践途中の反省を通して、今後の展望を報告するものである。

2. 科学技術史教育の工学教育上の役割

まず、「科学技術史」の教育上の役割について、根本的な部分を、確認しておきたい。

現代社会では、科学技術分野の研究によって生み出される各種の新技术が、大きな経済的効果を生み出している。経済政策の構成要素の中心であった金融政策や労働政策に加え、科学技術政策も組み込まれるようになったのは、こうした役割の増大によると言える。また、新技术の普及により農業・工業分野での大量生産が可能となり、地球人口も約 60 億に達し、その結果としての大量消費社会の拡大が、地球環境に無視し得ない影響をもたらしている。こうした環境問題を解決することも科学技術に期待されている。加えて、地域紛争や国家間の対立から軍事技術面で技術開発も、望ましいものとは言えないとしても、現実には存在、社会的な機能を果たしている。

科学技術が、人類による社会活動の 1 つとして組み込まれていることは、上記の事例を紹介するまでもなく、周知の内容であろう。

ただし、関連する諸問題を解決するための考察は、関わる分野が広くかつ複雑であるために、困難さを抱えているのが現状である。これまでに科学論や技術論などから多数の研究が積み重ねられてきた。今日では、「科学技術社会論」(Social Studies for Science and Technology)という分野名で議論する試みもなされるようになってきた。

さて、科学技術史(Historical Studies of Science and Technology)の学術的な役割は、上記の科学技術社会論と共通部分を持ち、後者の1つの構成要素となっていると理解できる。それゆえ、講義科目として配置されている「科学技術史」も、最終的な目標には、前述してきたような現代社会における科学技術がもたらす諸問題を分析・解決するための基礎理論を学ぶことが含まれていると考えている。

3. 科学技術史の区分と領域

教育科目として配置されている「科学技術史」関連科目は、他の科目群と同様に、段階別に構成されることで、はじめて効果的な教育カリキュラムとなり得る。

科学技術史科目における段階別構成を、まず学問領域別に捉えてみると、以下のように科学と技術の2つの専門領域での区分が確認できる。科学史分野としては、学問領域別では、物理学史、数学史、化学史、生物学史などの理学分野の歴史がある。また、技術史分野としては、土木建築史、機械技術史、電気技術史、農業技術史などの工学分野、技術分野の歴史がある。こうした学問領域別の科学史・技術史を通常は、個別科学史、個別技術史として区分するのが一般的である。それ以外の区分では、時代別科学史・技術史(古代技術史、近代科学史など)や地域別科学史・技術史(古代ローマ技術史、西洋科学史、中国技術史、日本科学史など)などもある。さらに社会経済との関連を主要な関心とする科学史・技術史を総合科学史、総合技術史と表

現する場合もある。¹⁾ 20世紀には科学依存型技術の領域が拡大していることを1つの根拠として、「科学技術史」という新しい学問領域が登場したといえる。これは、単に科学史と技術史の融合領域というよりも、現代の科学依存型技術を1つのものとしてあつかう歴史方法論であるともいえる。²⁾

4. 科学技術史教育の目的について

ここでは、科学技術史教育の目的を2つの学問領域から考察しておきたい。

(1) 歴史学としての目的

「科学技術史」は、単純に表現するならば、「科学技術」を対象として、「歴史」を方法論として分析する学問である。その意味では「歴史学」の一分野であるといつてよい。³⁾

この点で、科学技術史の入門編としては、歴史学に関わる基礎知識を獲得することが教育目標の前提となる。またその教育的意図(目的)は、一般的な表現を用いるならば、「温故知新」ということであろう。過去の事実を知るだけでなく、現代に生かしていくという意味で用いている。ただし、実際の教育内容に照らしてみると、この温故知新は、(1)歴史知識の体系を学ぶことを通して、現代の知識理解に役立てること、および(2)歴史分析の方法を学ぶことを通して、現代のできごとを冷静に分析できる能力を身につけることにあり、筆者は理解している。⁴⁾

(2) 科学技術論としての目的

科学技術史教育には、歴史学に還元できない重要な教育目的も含まれている。これを「科学技術論的な目的」と表現しておく。その内容を説明するところなる。科学技術の歴史的経過を知ることにより、科学発展のメカニズム、技術開発のメカニズムについて、知ることができる。さらに個別的な内容で考えれば、自然を理解することが宗教や政治に関わる世界観、自然観と強く結びついてきたこと(つまり宗教、哲学、政治の営みと科学の営みに

は強い関わりがあること)、人類の技術開発の経過において、多くの場合に不足資源の代用品の開発がめざされていたこと(つまり、技術開発は単なる機能面での向上よりも、資源問題、環境問題と関わっていたこと)、などである。さらに、科学活動や技術活動が、その時代の政治、経済、宗教などと関連しているという社会構造の理解も含まれている。こうした社会における科学、社会における技術という理解まで加えた場合は、「科学技術社会論」という表現が適切かもしれないが、省略した表現として「科学技術論」を使うことにする。

さて、以下の節からは、学生による科学技術史研究の取り組みを行った教育実践を扱いながら、その教育方法のあり方について、反省点を発見しながら整理することとしたい。

5. 「科学技術史」(通年)

まず、本校3年次「科学技術史」の教育内容を概説したい。前述した教育目標に関わらせて説明するならば、「歴史学としての目的」の部分の主とした教育内容とする科目である。

カリキュラムとしては、年間を4期に区分し、(1)古代・中世期の科学・技術、(2)近代科学、(3)イギリス産業革命、(4)現代科学技術の起原、である。年4回の試験では基本的事実の理解と歴史的流れについての解釈を問うている。加えて年2回、「調べ学習」であるレポートを課しているが、前期は科学技術史上の人物などについての調査・報告(1000字程度)を実施、後期は「科学技術と日本の将来」

(日刊工業新聞主催「理工系学生科学技術論文コンクール」のテーマと同じ)をテーマとした調査・報告(2000字程度)を「文章表現法」(国語科)と共同で実施している。⁵⁾

本論考の主題との関連では、後期のレポート課題が、「科学技術論としての目的」の第一歩(入門コース)となっている(資料1参照)。

<資料1>レポート提出要綱(抜粋)

■ 課題

(1) 統一テーマ:「科学技術と日本の将来」

ただし、提出レポートにはかならず副題を付けてください。

(2) 副題例(参考資料からの事例)「渋滞 発生
の謎と対策」、「宇宙開発 探査の名で自然破壊」、
「ミニ電子顕微鏡」、「最先端の学者が小説を書く」
「高校 必修理科めぐり議論」など。

■ 課題に対する条件

(1) 締め切り・提出先

(略)

(2) この課題の評価について

「科学技術史」では、夏の課題と同様に評価し、両方を合わせた得点を、全試験成績結果に加える形で、最終評価に利用する。「文章表現法」では、論理性や文章構成を中心に評価し、学年末評価の最重要ポイントとする。

(3) 提出レポートの形式

①枚数は400字詰め原稿用紙換算で5枚(2000字程度)、②原則としてワープロで作成し、メール添付ファイルで提出するものとする。形式:ワープロは、一太郎あるいはWordのどちらか。

書式:ページ設定は1行42文字30行とする。

横書きが望ましい。③諸注意:(略) ④提出宛アドレス:(略)

■ 今回の課題のもう1つの狙い

今回の課題は、毎年行われている「理工系学生科学技術論文コンクール」の出題テーマを意識したものです。本年の応募期限はすでに終了しているが、今回の課題に取り組む中で、興味を持つテーマが見つかった場合、次年度秋の応募締切(予定)までに内容を吟味し、関係教員に相談をもちかけ、投稿にチャレンジするよう期待します。コンクールの場合は合計字数が、3200字以内(今年度分)。詳しくは、HPを参照。

「科学技術史」科目側からみたこのレポートの獲得目標は、現代社会における科学技術がもたらしている諸問題に受講生が関心を持ち（問題関心の醸成）、そのために新聞記事、ウェブ上の記事を調査（資料調査の基礎力養成）し、自分の言葉でまとめ、意見を付け加える（文章によるプレゼンテーション基礎力の養成）にある。

現時点での反省点は、問題関心を生み出すための情報入手方法で、個人差が大きく、その対応ができていない点である。新聞データの閲覧方法や、Web 資料の適切な利用方法などについても、レポート課題を示す際に、指導する必要がある。

6. 「技術史研究」（半期・後期）

次に、2005 年に実施した人文ゼミⅡ「技術史研究」（5 年，選択，半期）において、歴史分析方法の学習をめざした取り組みについてまとめてみたい。この内容は、今年度から始めた「科学技術史研究」の原型といえる。

歴史学習の楽しさ・有意義さは、より深く「調べ学習」を行うことにある。工学系の学生の場合、歴史調査のテーマに、卒業研究と関連させたテーマを選ぶことで、調査を行う動機づけを高め、卒研の内容の一部に流用できるという利点も考えられる。この科目では、それを初めて実践した事例である。

進め方を、受講生に配布した資料（2005 年秋版）から、抜粋・補足しつつ説明したい。

まず、目的について以下の 2 点を掲げた。
①受講生が直面しているはずの「卒業研究のテーマ」、あるいは関心のある技術開発史、技術系企業史等のテーマを素材にして、その歴史を実践的に調査・分析し、文章にまとめ、発表作業を行うこと。②付随して、技術史を調査する手法を身につけること。技術史には類似の研究領域として、近代技術史、発明史、研究開発史、科学史などもある。このゼミで言う「技術史」はこれらをすべて含むものと

考えておく。

資料調査については、以下のように説明した。選択したテーマの歴史を分析するには、いくつかの資料調査法がある。たとえば、図書館調査（文献・雑誌記事などの調査、社史調査）、資料所蔵機関（関連機関などの資料室など）への調査、企業等への聞き取り（取材調査）、特許調査などである。これらを実施するには、「文献・資料調査リテラシー」といえる能力が必要となる。テーマごとに違いがあるので、個別相談を実施するなかで学習してもらう。また一方、最近インターネットにより多くの情報にアクセスできるようになったので、ウェブ・サーフィンの要領で、比較的容易に多くの情報を入手できる。

しかし、Web 上の資料の多くには、その情報の信憑性に問題を抱えている場合がある。つまり、証拠としては利用できないものが多い。複数の Web 資料を比較するなど、「資料批判」の基礎的な知識も必要となる。

こうした調査方法を学びながら、受講生各自が 1 つのテーマを設定し、資料調査を行い、調査途中に中間報告、さらに個別相談などを経て、最終報告を行う。

受講生の立場から考えれば、何から手をつけて良いか分からないと思われるので、作業手順についても、以下のような説明を行った。

まず、テーマ選定の準備として、以下の基礎作業を行うと良い。①年表を作成し、「時代区分」を行うこと。大きな変化があったと思われる時期が見えてくると、そこが歴史研究としては興味深い場所（テーマ）となる。また、②注目すべき事項を 1 つ探し出す。人物でも良いし、自然科学の法則や原理、あるいは技術的な発明でもよい。そのポイントが、上記の年表（時代区分）の中で、大きな変化を生み出していれば、なお良い。ここまでがテーマ選定の作業手順である。

次に資料調査準備に移る。自分のテーマに最も関係のある資料を探し当てること。③す

でその分野について調査を行ってきた著者による文献・資料などを1つ以上探す(2次文献調査)。なるべく、その問題に関わる代表的な資料、基本となる文献を探し出す努力が必要。そのためには、百科事典や、インターネットで利用できるWeb事典などが便利。この資料・文献を丁寧に読み、理解することが、概要理解につながる。さらに④根拠として使える専門的な資料を発見する(一次文献調査)。場合によれば、関係者へのインタビューなども有効である。

さらに、資料分析準備となる。これは、テーマ設定のときに感じた、「なぜそのようになったか」などの疑問についての答えを、資料の中から探すことである。

最後にまとめ方。①自分なりに疑問を出し、それに答えてみる。②その答えには、資料に基づいた根拠・証拠が必要となるので、それを探し出し、明示する。③「パワー・ポイント」に資料をまとめ、5分程度で発表できるように準備する。④最終的には2000字程度で発表要旨を文章化する。

このときの受講生は17名で、その中で、9名が卒業研究に関連するテーマを選び、残りの8名は、関心を持てた技術開発史をテーマとして選択した(資料2)。

講義最終回には、他教員を招いた形で最終発表会を開催した。卒業研究の発表を間近に控えている学生たちであったので、プレゼンテーションの形式や提出資料は、比較的整っていた。それゆえ、発表資料や概要説明文などは、PDFファイルとしてまとめ、受講生に配布することとした。⁶⁾

この試みは、カリキュラム変更で1年だけで終わってしまったが、国会図書館への調査、関係者へのインタビューなど、何人かの受講生が熱心に調査活動を行ったことに、ある種の手応えを感じ、同様の試みを行う機会を作りたいという気持ちになった。

<資料2>技術史研究2005年度テーマ一覧

- 世界ラリー選手権(WRC)について
- * ピエゾケーブルとその応用の歴史
- 電流戦争(交直送電論争)
- * 液晶の歴史とSELの技術
- 日本におけるスクーターの歴史
- 日本の印刷技術史
- * フィードバック制御の歴史
- * 薄膜作成手法の歴史
- * AIP法の歴史的役割
- * 日本における衛星放送とアンテナの歴史
- * カーボンナノチューブの発見について
- * ニューラルネットワーク発展の歴史
- 分光分析の歴史について
- * グッドイヤーとゴムについて
- 水俣病について
- 粉砕機の歴史

*は卒研に関係するテーマ

7. 「研究開発の歴史」(半期・後期)

その機会は、今年度(2008年度)に訪れた。4年次の人文ゼミIが2005年度から始まったが、受講生が多いなどの理由から、昨年度までは、特定のテキストを用いた文献講読を中心とした調査発表活動であった。これを受講生が多いまま、思い切って、科学技術史研究の内容に転換してみたことによる。⁷⁾

テキストを中心にしながらWeb資料などを調査するこれまでの取り組み経験を踏まえ、2008年度からは、学生が任意に科学技術史に関わるテーマを選択し、関連する資料の調査、報告を行うゼミに発展させたわけである。

(1) テーマ選択まで

受講生が4年次となったことから、前述で紹介した5年次での「技術史研究」の場合のように、卒研に関係づけてテーマ選択を行うことが困難となった。同時に、受講生が資料調査を積極的に行うためには、調査テーマを

適切に選択できるための「仕掛け」が必要であると感じた。そこで、チェックシート（資料 3，4）などを準備し、また、テーマ設定に関わる発表も行い、モチベーションを維持できるような調査テーマを決定できるように、試みた。つまり、関心のあるテーマを発見し選択できるような取り組みを重視した。

＜資料 3＞ 調査テーマの選択（1）

44 人文ゼミ（研究開発の歴史）

調査テーマの選択
— 報告書 —

日付 _____ 年 _____ 月 _____ 日

出席番号（M・E・D・J・CT） _____ 番

名前 _____

1. 調査をするテーマ
（何のテーマでよい。ただし、今迄、調査を行う中でテーマを変更する場合は、理由に添
きすること）

■第 1 希望テーマ

■第 2 希望テーマ

2. 送付先（メールアドレス）
送付に用いる場合、面談日の前は、送付に代わるもの。

.....

ただし、送付日の前には、以下のメールアドレスを利用してください。
kanamura@tokyotec.ac.jp

＜資料 4＞ 調査テーマの選択（その 2）

— 課題を具体的に絞り込む —

- 調査をするテーマを具体的に書いて下さい。
どのような分野のテーマですか？
いつの時代ですか？
どこの国ですか？
人物を特定できますか？
- 調査を通して、どのような課題を明らかにしたいですか？
選んだテーマの中で、とくに興味を感じる部分はどのようなところですか。疑問
あるいは、調べてみたいと思う問題は何か
ですか？

このようにして選ばれたテーマが以下のよ
うな 31 件の調査テーマであった（資料 5）。

＜資料 5＞ テーマ選択一覧（研究開発野歴史）

注：分類のために著者が大項目名を付けた。

〔大項目〕	〔調査テーマ〕
スポーツ用具	サッカーボール
ゲーム機	スロットマシーン
物理実験装置	カミオカンデ
天体望遠鏡	起源 ジャンスキー
レンズ	コンタクトレンズ
二輪車	自転車
	オートバイ
自動車	安全対策器具
	ドイツ国民車
	高速道路
航空機開発	ジェット戦闘機
	推進装置の変化
電話	電話交換機
ラジオ	最初の放送
テレビジョン	高柳健次郎
カメラ	デジタルカメラ
時計	自動巻腕時計
	クォーツ腕時計
パソコン	国産パソコン
ソフト開発	オブジェクト指向言語
記憶媒体	FD（フロッピーディスク）
	CD（コンパクトディスク）
ロボット	初期のロボット
電卓開発	日本の電卓戦争
携帯電話普及	携帯電話の方式競争
電気技術	初期の発電機
家庭電化製品	初期の掃除機（日本）
合成化学	石炭液化（ドイツ）
	合成医薬の登場
	合成染料の実用化
発酵化学	日本酒生産の歴史

（２）資料調査の開始

資料調査の段階になると、Web 資料に依存する受講生が現れ、多くが「ウィキペディア情報依存症」になってしまった。調査の入り口としてウィキペディアの説明を丁寧に読むことは有功であると受講生に説明した。しかし、多くの受講者がウィキペディアあるいは Web の個人ホームページの記事あたりで、資料調査が壁にぶつかってしまったようだ。そこで、教員側から、受講生一人ひとりのテーマについて、関連する基本文献などを紹介し、調査のきっかけを作ることにした。その一方で、珍しいテーマ、最新のテーマの場合は、Web 資料を活用せざるをえない。資料調査については、以下のような対応が必要であることが、見えてきた。

Web 資料利用の基礎から応用までの大まかな手順は次のようなものである。

① Web 事典の活用

ウィキペディアの文章を複製してレポートを作成してしまうという問題が、マスコミなどでも指摘されているが、調査の初期段階で利用するには便利で有効な Web 事典であると、筆者は評価している。ただし、根拠として利用できるほど内容面での保証がされていないので、別の資料との比較を行うなどの利用ルールが不可欠である。受講生には、ウィキペディアとそれ以外の資料を組み合わせるように指導している。

②文献検索

４年次のゼミでは、この段階まで進む受講生は少なかった。関連する単行本、雑誌論文などを学校図書館の提供する検索システムや、OPAC（オンライン閲覧目録）、国会図書館や都立図書館などの検索システムを利用する、さらに国立情報学研究所が提供している論文情報ナビゲーター（CiNii）まで利用することも可能である。

こうした検索システムの利用法について、十分な説明を受講生に行わなかったこともあ

り、Web 上の Google や Yahoo などの Web 検索から入手できる資料で止まってしまった。

ホームページの記事だけに頼る傾向は、資料調査の練習にならない。文献検索をおこない、図書館の本、雑誌をみることが不可欠であるので、この点は、今後の課題となる。

③発表方法の準備

発表方法は、他の教科でのプレゼンテーションと共通するだろうが、科学技術史において特に強調されることとすれば、根拠となる資料の提示の部分であろう。従って、発表方法として指導した内容は、以下のようになる。

「明らかにする点」、「資料の紹介」、「調査した内容の紹介」、「結論」という順番である。

このように、資料を最初に提示させることで、資料調査として適切な資料を利用しているのかどうかをチェックする。

（３）反省点

資料調査から発表準備に至る過程では、個別的なやりとりが必要である。この点、ゼミ受講生の人数が 30 名を越えていると、授業時間中の指導だけでは間に合わず、放課後の個別相談も行ったが、結果としては積極的に教員にたいして相談に訪れる受講生への指導となり、平等に個別相談する時間が取れず、資料調査が不十分となった受講生が残り、そのため、資料発見の「壁」を乗り越えられず、手近な資料を利用するだけで発表する学生が多くなってしまった。改善が不可欠である。

8. 「科学技術論」（半期・後期）

専攻科 2 年を対象とする「科学技術論」でも技術史研究を導入した。この科目は本年度から本科 5 年生に対しても「人文ゼミⅢ」として合同開講する形式をスタートさせた。

（１）テーマ設定

本科 4 年とは異なり、本科 5 年では卒業研究、専攻科 2 年では特別研究を行っている学生が受講生である。したがって、この科目での科学技術史研究の課題は、原則として「現

在の受講生の研究テーマ」に関わって、その科学技術論的考察、歴史的考察を行うこととした。

それゆえ、テーマ決定では、多くが自分の卒業研究・特別研究に関連するテーマを選ぶことになり、結果としては、専門分野に接近した議論が可能となり、技術史関連の研究雑誌に投稿できるレベルに近づいた取り組みも現れることになった。

（2）資料調査

4 年次での調査よりもさらに調査を深めることを目指したが、その具体的な課題は、歴史的なオリジナル資料の入手と分析に置いた。

科学史や技術史を研究する方法論には、「3 者間の対話」論（正式な表現は無いので、筆者が便宜的につけた名称）がある。3 者とは①研究する人物（研究する本人がこれに相当する）と、②研究対象となる歴史上の人物（過去の人物がこれに相当する）、さらに③すでに対象となるテーマ等を調査した別の人物（他の研究者などがこれに相当する）、である。

①は自分なりの研究関心を持ちながら行う議論である。研究する側の研究課題ともいえる。一方②は、歴史上の出来事・議論をいい、同時に過去の調査を進める上で重要な根拠となる証拠を提供するものでもある。オリジナル資料（一次資料）を読みこなすことで、過去の人物の考えなどが見えてくる。さらに③は、別の歴史研究者などの研究成果にもとづく議論である。研究資料（二次資料）を読みこなすことで従来の考え方を学ぶことができる。

つまり、研究する側（この場合は①）は、②の議論と③の議論を比較しながら、①の議論を証拠づけているわけである。

学生による科学技術史研究においても、上記の「3 者間の対話」論は、可能な限り実施することが必要である。ただし、限られた時間内でおこなう文献調査では、③の 2 次文献調査は、それが網羅的調査を要求する場合が

多い故に、困難を伴うことになる。したがって、今回は、受講生に②の作業を優先するように指導した。自分の議論を証明するために直接に関係するオリジナル資料を発見し、その内容を読みこなそう、という手法である。

（3）発表に関わること

受講者のテーマは以下のようなものであった（資料 6）。

＜資料 6＞ テーマ選択一覧（科学技術論）

注：タイトルは筆者が内容に沿って改題した。

人間型ロボットの登場と Wabot
Cybernetics 概念の登場と展開
金属探知方式（BFO）の登場過程
発掘遺物保存法 PEG 法の日本導入
Bluetooth のルーツと方式間競争
環境評価法（LCA）の開発過程
Tribology 概念の形成過程と普及

テーマ決定前には、20 世紀技術史などの座学も行い、歴史的に分析することの方法なども学習し、テーマ決定後は、個別相談に時間をかけ、調べるべき資料の選択を一緒に考えるようにした。ただし、4 年次の受講生で現れた問題と同様、図書館での文献検索法や、Web による論文検索などについて、多くの時間と手間をかける必要が存在していることに気づいた。歴史研究では資料を見つけ出す作業が非常に大切である。文献として体系化されている歴史テーマではなく、専門分化したテーマである場合は、二次文献も一次文献もともに見つけづらくなる。そのための文献検索のリテラシーを文献調査という仕事の中で体験的に学習することが不可欠である。そのような努力の結果、何人かの受講生は、興味深い資料を発見することができた。

9. 今後の展望

解決すべき課題と今後の展望をまとめてみ

たい。

(1) テーマ選択について

工学系の学生にとって、その多くが技術史に関わるテーマを選択し、相対性理論の歴史などの科学史に関わるテーマを選択することが少なかった。また技術史のなかでも「身近な技術」の歴史が多く、生産技術などの基盤技術に関わるテーマは選ばれていない。

したがって、テーマ選択については、次の3種類の方法を組み合わせながら、選択させることも検討できそうである。①テーマ設定型（教員側が調査テーマを決め、その調査をさせる）、②自由テーマ設定型（多様な範囲からの調査テーマを認め、調査させる）、③設定テーマ選択型（教員側が事前に準備した多数の調査テーマを学生に選択させ、調査させる）。

①や③の利点は、テーマ設定後の資料調査段階で、教員側が基本資料・基本文献を事前に準備し、学生に利用させることができる点である。資料調査にかかる時間を省略することができる代わりに、資料読破、資料分析により多くの時間を使わせることができ、一定水準の議論に到達させることができる。

②の利点は、テーマ設定を受講生自身が決定することから生まれる、調査モチベーションを確保できることにある。教員側が想定しないような多様なテーマが登場することも、技術史研究の1つの醍醐味でもある。多様なテーマが技術史に存在しており、それゆえにオリジナルな調査テーマを見つけやすい分野でもある。ただし、資料調査には困難さが伴うことになる。

(2) 資料調査について

受講者が利用する資料については、次のようないくつかの準備ができると考えられる。

①教員側による基本資料集の作成、②文献検索方法（図書館所蔵文献調査、Web 資料調査など）についてのマニュアル作成、③インタビューなどの資料収集方法のノウハウ集作成などである。

技術史研究のテーマは多様性がある一方で、大区分のテーマとしてまとめるならば、宇宙開発技術、自動車技術、情報処理技術などの分野ごとに、基本文献、基本資料が存在している。こうした基本文献・基本資料をていねいに読みこなすことも大切な作業である。この資料には、ドキュメント番組などの映像資料も含まれる。著者はすでに科学技術史に関わる映像資料データベースを作成してあるが、受講生に利用してもらう方法が十分には構築できていないので、今後の検討が必要である。これらが①の役割である。

一方で、多様なテーマを調べようとする、文献資料よりも雑誌記事や Web 記事を利用することになる。その際に、信頼性の高い資料を入手するテクニックが必要である。多くの場合は図書館が提供する文献検索マニュアルが利用できる。加えて Web 資料の利用についてのガイドラインが不可欠である。Web 事典のウィキペディアの節度ある利用法を身につけることもその1つである。

最後に、関係者への聞き取り・インタビュー作業も、有効な手段であるので、基本的な方法については、まとめておくことが有効であろう。

卒業研究や特別研究を担当している指導教員の協力が得られれば、こうした科学技術史研究を取り込んだ研究も可能かもしれないとの印象を持つことができた。ただし、一つのクラスで指導が行き届く人数は20名以内であるという感触も、今回の事例から学んだ点であった。

注と文献

- 1) 日本における科学史研究、技術史研究は1930年代に始まるが、関連する学協会は、1941年に設立された「日本科学史学会」である。それ以来、科学史研究という言葉の中に技術史研究も含まれて理解されてき

た。

- 2) その一方で、「科学技術」という言葉も使われ始めた。「科学技術」という用語は 1941 年に「科学技術新体制確立要綱」という政府の科学技術政策立案文の中で登場した（大淀昇一「技術完了の政治参画－日本の科学技術行政の幕開き」中公新書，1997 年）。つまりは省庁用語であり，学術的な定義は後から行われることになった。現代でも定まった定義はないが，科学技術が，**Science and Technology**（科学と技術）の短縮形であるというのとらえ方と，**Science based Technology**（科学依存型技術）の短縮形であるとのとらえ方の 2 つが主流となっている。
- 3) この分野の代表的な学協会である「日本科学史学会」は，日本学術会議の登録団体としては，学会設立から学術会議改組（2005 年）までの期間は，物理学分野に所属していた。その点では，自然科学分野の一領域として科学史学会が活動していたことになる。学術会議改組後からは，新たに史学領域の中に分類されることになった。その点では社会科学分野の一領域となっている。
- 4) こうした歴史学の役割については，最近の「世界史」教育に関して，問題提起がされている。南塚信吾『世界史なんていらない？』（岩波ブックレット，2007 年 12 月）。この中では，「生徒からすると「実感」のない史実をどう身近に感じさせ」るかの対策が模索されており，「実感」を持たせるために「身の回りのモノから世界史をみよ

う」という試みがなされているという。同書 p.15。その他，最近の歴史教育論として興味深いものは，神奈川県高等学校強化研究会社会科部会歴史分科会編『世界史をどう教えるか 歴史学の進展と教科書』（山川出版社，2008 年 3 月）。および山田朗編『歴史教育と歴史研究をつなぐ』（岩波ブックレット，2007 年 11 月）である。

- 5) 教科のレポートとしてだけでなく，外部の論文コンクールにも関わることができることは学生の意欲を高める可能性がある。たまたま，理工系学生科学技術論文コンクール（日刊工業新聞社主催）での共通テーマ（主題）が「科学技術と日本の将来」であり，「科学技術への思い，日常感じていることを発信していただくため」という主旨もあるので，現代の科学技術について調査しながら，自分なりの意見をいえる貴重な機会ともなっている。冬季休業期間中の課題とするため，該当年度の提出締め切りには間に合わないが，これまでに数人の受講生が，レポート提出に加え，論文コンクールにも提出し，良い成績をもらうこともできている。
- 6) 人文ゼミⅡ『技術史研究』2005 年度報告集（PDF 版のみ），担当教員河村豊，2006 年 1 月作成。受講生に配布することで，安価な研究記録書として有功であった。
- 7) 道家達将『科学と技術の歩み』（岩波ブックレット，1995 年 5 月）。

（平成 21 年 1 月 8 日 受理）

数学と専門科目の連携教育への試み

清 藤 晃*

Practical Collaboration between Teachers of Mathematics and Those of Engineering on Mathematics Classes

Akira SEITOH

There is a great demand from the students in the subjects of mathematics and applied mathematics to learn how the mathematics is applied in the engineering fields. Obviously, getting acquainted with some practical applications of mathematics is of great importance to boost the motivation of the students.

(Keywords: practical collaboration between teachers of mathematics and those of engineering, motivation to learn mathematics)

1. 連携の方法と実施形態の概略

工業高専における数学、応用数学の授業に対しては、専門学科の教員や学生から、専門分野においてその数学がどのように使われるのか紹介してほしいという要望が多い。数学を担当する教員としても、学習の動機付けとしてその要望はよく理解できる。多様な学生の学力、専門科目への興味の進展に対応するため、また数学担当教員、専門学科教員それぞれの特質を生かすという観点に立って、学生が一定の数学分野を学び、基本的な問題について習熟した段階で、専門学科の教員が来て、学生が興味をもつように専門科目への応用について話をするというスタイルの授業を始めることにした。

また、この形態の授業を行う時期についてであるが、東京高専では正式な所属学科が決定するのは 2 年次に進級する時点であること、また、いわゆる「ゆとり教育」のせいか、新入生に対して行

う授業の前提とみなせる数学的な学力も著しい低下を考慮し、3 年次の解析学 I (関数の展開と多変数の微積分)、解析学 II (積分の応用と微分方程式) および線形代数学 II (行列式、線形変換と固有値問題) において、我々の試みを始めた。

まず、数学担当の教員が通常の授業を行い、一定範囲の解説、問題演習が終了した時点で、専門学科の教員に講義内容の概略を伝え、それを受けて専門学科の教員が数学の授業に出向き、応用について 30 分程度話した。話の形態やレベルは、担当した専門学科の教員の個々の判断で自由に行った。数学的に 3 年生には難しいと思われる点や、記号の使い方や説明の仕方の数学の授業でのそれとの関連について、数学担当教員が補足説明を行った場合もある。

専門学科の教員が、数学の応用について話した内容は以下の通りである。

- 解析学 II (積分の応用、微分方程式)。

- 専門科目を学ぶ上で数学の知識と能力の必要性が痛いほどわかった。
- 内容を理解するのは困難だが、数学の大切さは伝わった。もう少し経ってからまた聴いてみたい。
- 学んでいる数学が、現実に使われていることが体感できたが、実践的な数学のレベルの高さも感じた。
- 少々時間が足りないと思うが、先生方の熱意が感じられてよかった。数学の先生のフォローもわかりやすくよかった。
- このような試みは是非継続してほしい。
- わかりやすく、興味深い話が聞けて面白かった。
- 自然ってうまくできているんだなと思った。
- 数学が少し身近かに感じた。
- 数学の活用方法が明確になれば、やる気も違ってくる。
- いままでの復習の必要性を感じた。
- x, y, z 以外の変数になると急に難しくなったように感じるのは気のせいかな。
- 今後もし是非やってほしい。回数も増やしてほしい。次回の話が楽しみだ。
- この場合数学を使うことは分かった。他の場合にどんな数学を使うのかまだわからないので、他の先生の話も聴きたい。
- もっと数学をちゃんと勉強しなければと

(1) 思う。 (2) どちらかといえば
思う。

思った。

3. 謝辞

数学は工業高専の専門分野の教育・研究における基礎基盤であり，社会での継続教育のための根幹をなす教科である。しかし，低学年での教育においては，学生が数学の将来の実践の場における必要性や重要性を身近に感じないで，むしろ苦痛に感じてしまう場合が見られる。しかし，高専という基礎からかなりのレベルの応用範囲までを一貫して切れ目なく教授する教育体系は，我々の試みにとって活用すべき利点である。この利点を生かした取り組みを今後とも発展させていきたい。

この試みについて本校の校長裁量経費から予算をいただき，データベース構築のための LAN 対応ディスクドライブおよび教材作成用の PS カラープリンタを購入することが出来ました。ここに感謝の意を表します。早速，カラープリンタで印刷したプリントを授業で配布し，学生から好評を得ております。



図1 LAN 対応ディスクドライブ



図2 教材作成用カラープリンタ

参考文献

- 1) 清藤晃，市川裕子，松井義弘，小池清之，土屋賢一：数学の授業における数学教員と専門学科教員の連携，論文集「高専教育」第32号(2009)。

(平成21年1月7日 受理)

生体適合性セラミックスの生理食塩水中における トライボロジー特性評価

福田勝己*, 小林光男**, 堤 博貴*, 神津友貴***

Evaluation of Tribological Characteristics of Bioceramics in Physiological Saline Solution

Katsumi FUKUDA, Mitsuo KOBAYASHI, Hirotaka TSUTSUMI, Yuki KOZU

Recently, there is a lot of disease and the injury to suffer a handicap in a joint. Therefore an artificial joint to substitute with an artifact attracts attention. Biocompatible materials such as stainless steel or ultrahigh molecular weight polyethylene have been used for an artificial joint. In late years the ceramics attract attention from the high biocompatibility. In this study, we bring out tribological characteristics of the bioceramics with Pin-on-Disk abrasion machine.

(Keywords: Wear, Tribology, Bioceramics, Alumina, Partially Stabilized Zirconia, Physiological Saline, Pin-on-Disk Abrasion Machine)

1. 緒言

バイオトライボロジー(Biotribology)¹⁾とは、摩擦・摩耗・潤滑を取り扱うトライボロジー(Tribology)という学問領域のなかで、生物における問題を取り扱った分野である。今日、バイオトライボロジーの対象分野は、機械用潤滑剤に対する生物の影響、歯の摩耗、人体内の液体輸送、関節機能の潤滑など非常に多くの分野に及んでいる。

近年、関節に障害を負う病気や怪我は関節リウマチや関節炎など多くの症状が存在している。しかし、リウマチのように未だに完治療法が発見されていない病気も多い。そこで、リウマチや関節炎などの病気の治療方法の一つとしてチタン合金やステンレス鋼、超高分子量ポリエチレンなどを利用した人工関節による置換手術が実施されている。特に、人工関節に用いられる材料として先に挙げたものの他にアルミナや部分安定化ジルコニアなどのセラミックスが注目されている。

人工関節における重要な点は、生体適合性に優れていることである。つまり、(1)実際に使用される材料が生体内に置かれたとき、その材料の構成物質と人体とが反応して有害物質を創成しないこと、(2)必要以上に破損して人体を傷つけないこと、などが挙げられる。セラミックス材料は硬くて耐摩耗性が高く、成分のどれが単独で溶出したとしても人体に無害な元素だけで構成できるという利点がある。¹⁾

本研究では、セラミックス材料の中からアルミナと部分安定化ジルコニアに注目して、ピンオンディスク型摩耗試験機を用いた摩耗試験と光学顕微鏡を用いた摩耗試

験後の試験片表面の表面観察とを行い、そのトライボロジー特性を総合的に明らかにした。

2. 摩耗試験

2.1. ピンオンディスク型摩耗試験機²⁾

Fig. 1に本試験で使用するピンオンディスク型摩耗試験機の概観を示す。本試験機はディスク部分が回転することでピンとディスクをしゅう動させている。ディスクの回転には無段階変速機を用い、回転速度は1900 rpmまでの範囲で変速可能である。垂直荷重はデッドウェイト方式によって、ワイヤとプーリを介してしゅう動部に負荷される。本研究でのトライボロジー特性の評価は、試験前後の試験片質量の変化から求められる比摩耗量と、垂直荷重と摩擦力から求められる摩擦係数である。なお、摩擦力の測定にはピン試験片の取り付け部に設置されているひずみゲージを使用した。

本試験では試験片を水温制御した生理食塩水中に浸漬させた状態で摩耗試験を実施した。

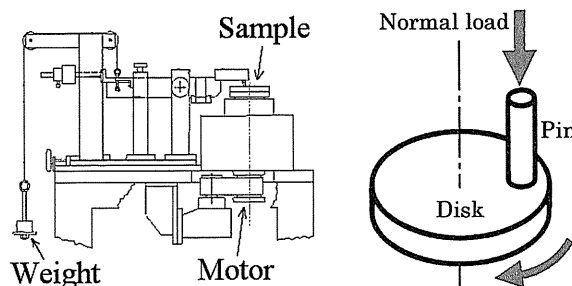
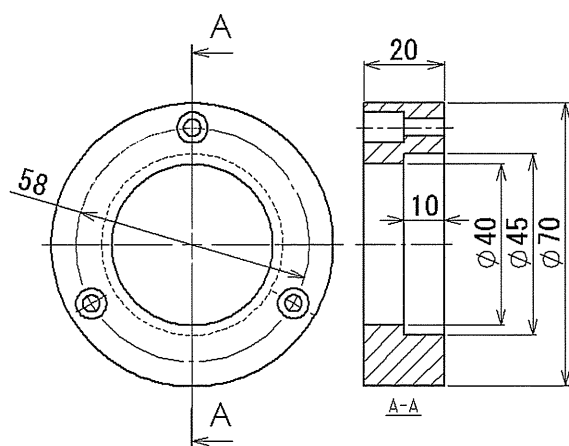
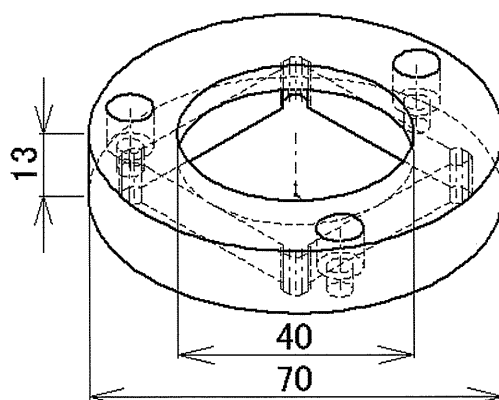


Fig. 1 Pin-on-Disk abrasion machine

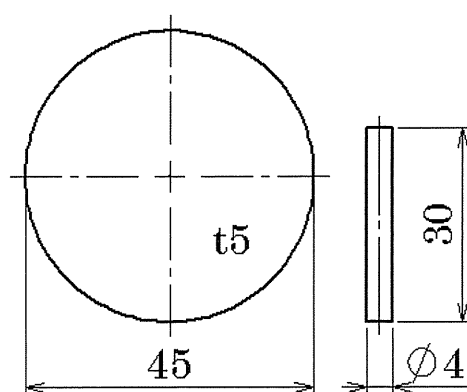


(a) Jig type 1



(b) Jig type 2

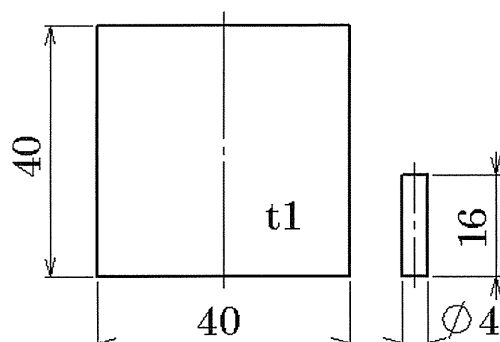
Fig. 2 Test jig



Disk

Pin

(a) Specimen type 1



Disk

Pin

(b) Specimen type 2

Fig. 3 Specimen

2.2. 試験片取り付け治具

Fig. 2 にディスク試験片を取り付ける治具を示す。

本試験では、試験片を生理食塩水に浸漬させた状態で摩耗試験を行うため、生理食塩水を保持できるような治具を製作した。また、ディスク試験片の形状は 2 種類であるため、形状に合わせて試験片取り付け治具を使い分けた。

2.3. 試験片

Fig. 3 に試験片の寸法を示す。ディスク試験片には Fig. 3(a) のような円板状(タイプ 1)のものと Fig. 3(b) のような角板状(タイプ 2)のものとを使用した。タイプ 1 の試験片は Fig. 2(a) の治具を、タイプ 2 の試験片は Fig. 2(b) の治具を使用して摩耗試験を行った。また、タイプ 2 は角板状であるためにタイプ 1 に比べて試験片取り付け時やしゅう動時の位置のズレが軽減されるものと考えられる。なお本試験で用いる材料はアルミナ(Al_2O_3)と部分安定化ジルコニア(ZrO_2)である。

Table 1 に各試験片の摩耗試験前の表面粗さ R_a を示す。

Table 1 Surface roughness

			R_a [μm]
Sample 1	Specimen	Pin(ZrO_2)	0.01
		Disk(ZrO_2)	0.01
Sample 2	Type 1	Pin(ZrO_2)	0.02
		Disk(ZrO_2)	0.01
Sample 3	Specimen	Pin(Al_2O_3)	0.02
		Disk(ZrO_2)	0.01
Sample 4	Type 2	Pin(Al_2O_3)	0.60
		Disk(ZrO_2)	0.56

2.4. 試験条件

本試験では、試験環境を人体内と類似させるために潤滑剤として温度を 37 ± 2 °C に制御した生理食塩水を用いた。Table 2 に試験条件を示す。また、垂直荷重は 38.2 N 一定とした。この値はピン試験片の強度を考慮して設定した値である。試験時間は 14400 sec, しゅう動速度は 100 rpm とした。

Table 2 Test conditions

Normal load [N]	38.2 (3.9 [kgf])
Rotational speed [rpm]	100
Friction time [sec]	14400
Physiological Saline temperature [°C]	37±2

2.5. 試験方法

本試験は「JSME S 013 - 1990 摩耗の標準試験方法」および「JIS T 0303 人工関節用材料のピンオンディスク法による摩耗試験方法」によって実施した。

まず初めに, ピン試験片, ディスク試験片をアセトン, エタノールの順に各 5 分間, 超音波洗浄を行う。その後, 各試験片の質量, 密度, 表面粗さを測定する。ピンオンディスク型摩耗試験機に試験片を取り付け, 生理食塩水に浸漬させ, 垂直荷重を負荷した状態で回転速度の調節を行う。次に一度試験片を取り外し, 各試験片の質量を測定して再度試験機に取り付ける。そして, しゅう動時間ゼロから測定し, 中断せずに目標時間までしゅう動試験を行う。試験終了後, 試験片を試験機から取り外し, 超音波洗浄後に試験後のそれぞれの質量を測定し, 試験前との質量の変化から比摩耗量を求める。

なお, ピン試験片取り付けの際にピン試験片とディスク試験片が片当たりしてしまい, その状態でしゅう動してしまうことを防ぐために, 取り付け時に試験片接触面に光を当てるなどの対策を取った。

2.6. 摩擦力キャリブレーション

Fig. 4 に摩擦力のキャリブレーション結果を示す。本研究では摩擦力を計装用コンディショナ(共和電業 WGA-710B)とポータブルマルチログ(オムロン ZR-RX20)を使用して測定する。測定時に得られる値は電圧であり, 測定器の着脱によって電圧が変化するため, その都度キャリ

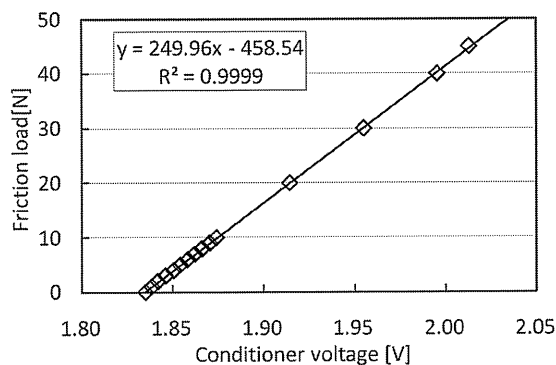


Fig. 4 Calibration data

ブレーションが必要となる。キャリブレーションは垂直荷重が負荷されていない状態で試験片同士を接触させ, ピン試験片取り付け部をデジタルフォースゲージ(IMADA)で押し付けることによって実施した。

3. 試験結果および考察

3.1. 摩耗試験

3.1.1. 摩擦係数

Fig. 5 から Fig. 8 に各試験により得られた摩擦係数としゅう動時間との関係を示す。

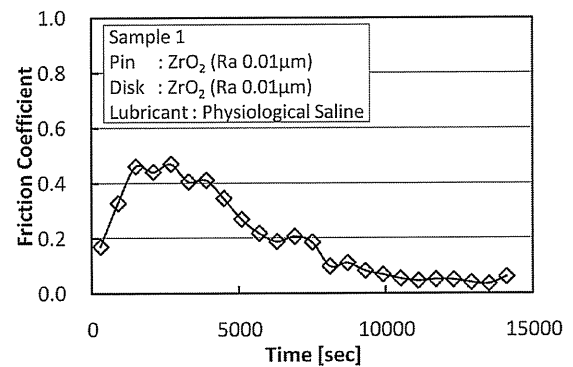


Fig. 5 Relationship between friction coefficient and time in Sample 1

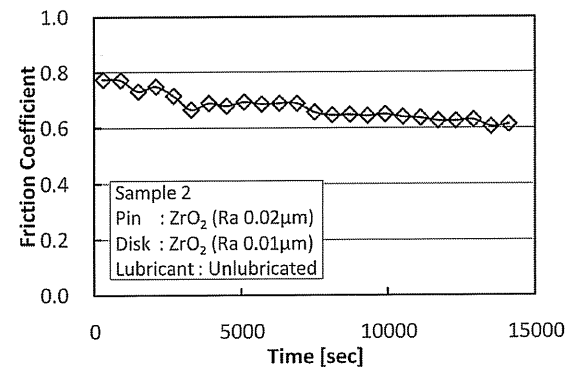


Fig. 6 Relationship between friction coefficient and time in Sample 2

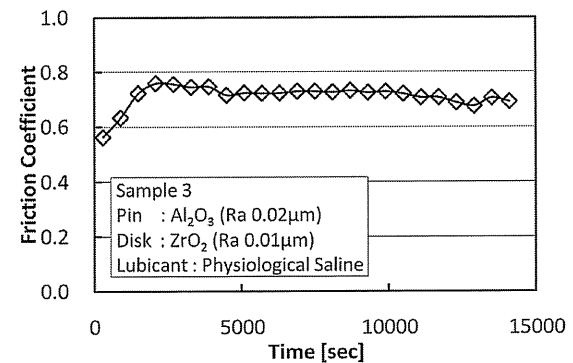


Fig. 7 Relationship between friction coefficient and time in Sample 3

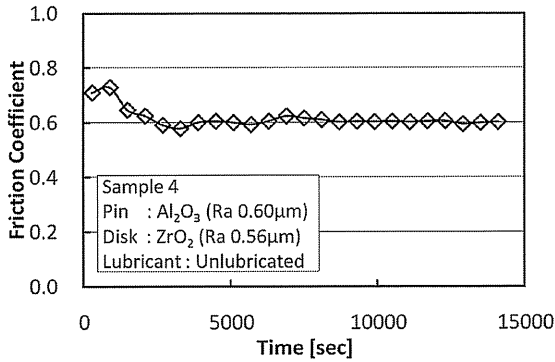


Fig. 8 Relationship between friction coefficient and time in Sample 4

摩擦係数は、しゅう動時の摩擦力を小型圧縮型ロードセル（共和電業 LMA-A-50N）と動ひずみ計（NEC 三栄 AS1203）を用いて測定し、その摩擦力を試験前に測定した垂直荷重で除した値を用いる。また、摩擦係数の値は、ノイズを取り除くために 10 分毎の算術平均値によって示した。

これより、サンプル 1, 2, 3, 4 のどの試験においても試験開始直後には高い摩擦係数を示すことが分かる。その後、サンプル 1（部分安定化ジルコニア/部分安定化ジルコニア、生理食塩水潤滑）の組み合わせでは、時間が経過するにつれて摩擦係数が急激に低下しながら 0.1 以下の値に漸近する傾向が見られる。これに対してサンプル 2（部分安定化ジルコニア/部分安定化ジルコニア、無潤滑）の組み合わせでは、サンプル 1 と同様に時間の経過に伴って摩擦係数が徐々に低下していく傾向が見られる。また、サンプル 3（アルミナ/部分安定化ジルコニア、生理食塩水潤滑）の組み合わせでは、試験開始後に高い摩擦係数を示した後も 0.7 付近の値に漸近した。サンプル 4（アルミナ/部分安定化ジルコニア、無潤滑）の組み合わせでは、部分安定化ジルコニア/部分安定化ジルコニアの組み合わせのように生理食塩水の有無による大きな違いは見られなかった。ここで、サンプル 3 がサンプル 4 よりも高い摩擦係数を示しているのは、ピン試験片の片当たりや試験片の欠損が原因であると推測する。

3.1.2. 比摩耗量

Fig. 9 から Fig. 12 に各試験により得られた比摩耗量を示す。比摩耗量は、しゅう動試験前後の試験片の質量から次式を用いて求める。ただし、比摩耗量が負の値となる場合はその値はゼロとした。

$$W_s = \frac{W_1 - W_2}{P \cdot L \cdot \rho} \quad 3)4)$$

ここで

W_s : 試験片の比摩耗量 [mm^2/N]

W_1 : 試験前の試験片の質量 [kg]

W_2 : 試験後の試験片の質量 [kg]

P : 荷重 [N]

L : しゅう動距離 [mm]

ρ : 試験片の密度 [kg/mm^3]

である。

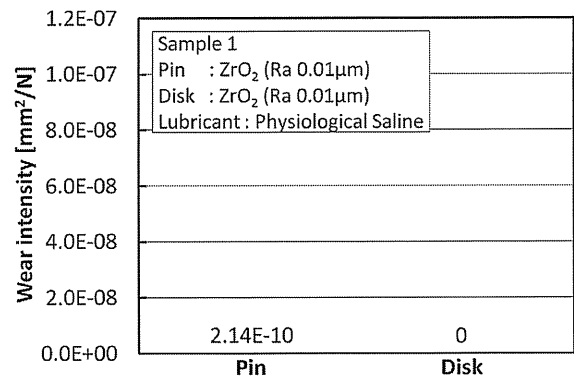


Fig. 9 Wear intensity in Pin-on-Disk wearing test in Sample 1

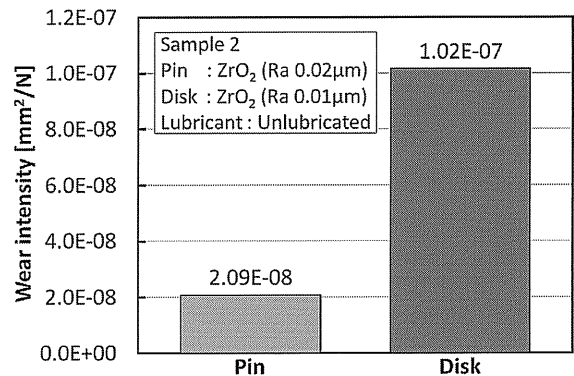


Fig. 10 Wear intensity in Pin-on-Disk wearing test in Sample 2

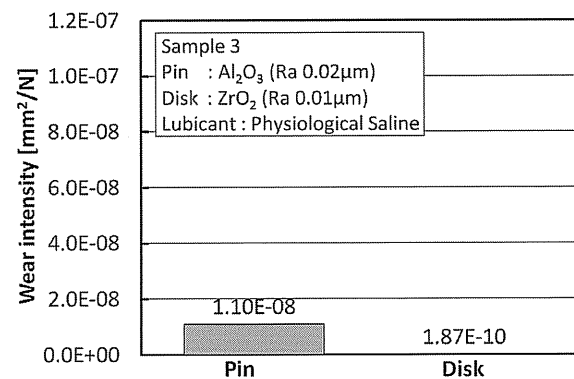


Fig. 11 Wear intensity in Pin-on-Disk wearing test in Sample 3

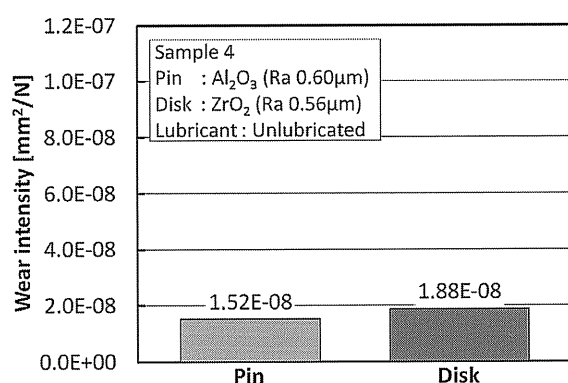


Fig. 12 Wear intensity in Pin-on-Disk wearing test in Sample 4

これより, サンプル 1 の組み合わせでは, ピン試験片, ディスク試験片共に非常に低い比摩耗量を示している. サンプル 2 では, サンプル 1 に比べて大きな比摩耗量を示している. また, サンプル 3 の組み合わせでは, ディスク試験片が非常に小さな値を示しているが, ピン試験片は大きな値を示している. サンプル 4 の組み合わせでも, サンプル 3 に比べて大きな比摩耗量を示しているが, この場合は試験片の表面粗さも大きく影響しているものと推測する.

さらに, 比摩耗量の値から, 部分安定化ジルコニア/部分安定化ジルコニア, アルミナ/部分安定化ジルコニアのどちらの場合においても凝着が支配的な摩耗形態であると推測する.⁵⁾

摩耗試験後の試験片表面を目視で確認すると, どの場合においても摩耗痕が確認できる程度に摩耗していたが, どの場合も比摩耗量は小さい値を示した.

3.2. 表面観察

Fig. 13 から Fig. 16 に摩耗試験後のディスク試験片の光学顕微鏡写真を示す. 表面観察はしゅう動試験後の試験片をアセトンとエタノールの順に各 5 分間, 超音波洗浄を行った後に光学顕微鏡(キーエンス VH-5910)を用いて実施した.

表面観察の結果, サンプル 1 の組み合わせでは, ピン試験片とディスク試験片の摩耗面に大きな違いは見られず, 磨かれたようななじみによる摩耗痕と試験片の破壊によって発生した摩耗粉によって形成されたと推測される摩耗痕が確認できる. サンプル 2 の組み合わせでは, なじみによる摩耗痕は確認できず, 細かい凹凸のある摩耗痕のみが確認された. サンプル 3 の組み合わせでは, サンプル 1 と同様になじみによる摩耗痕と破壊を伴った摩耗痕が確認できたが, サンプル 1 に比べて破壊を伴っ

た摩耗痕の面積が広がっている. サンプル 4 の組み合わせでも, 破壊を伴った摩耗痕が広く確認された.

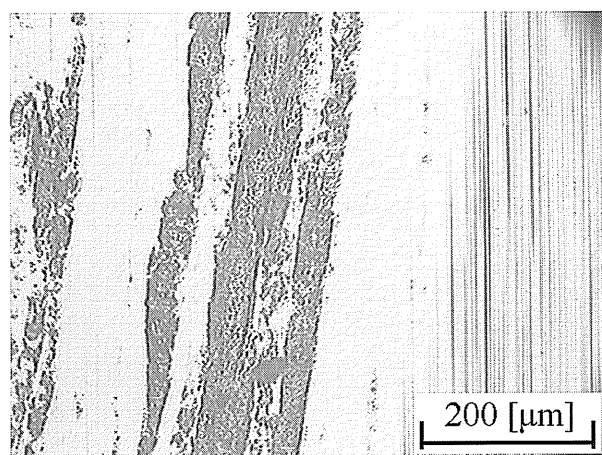


Fig. 13 Microscope images of worn surface in Pin-on-Disk wearing test in Sample 1 : Disk

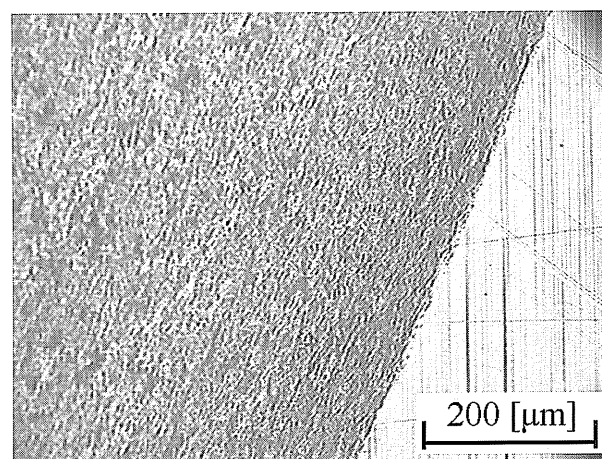


Fig. 14 Microscope images of worn surface in Pin-on-Disk wearing test in Sample 2 : Disk

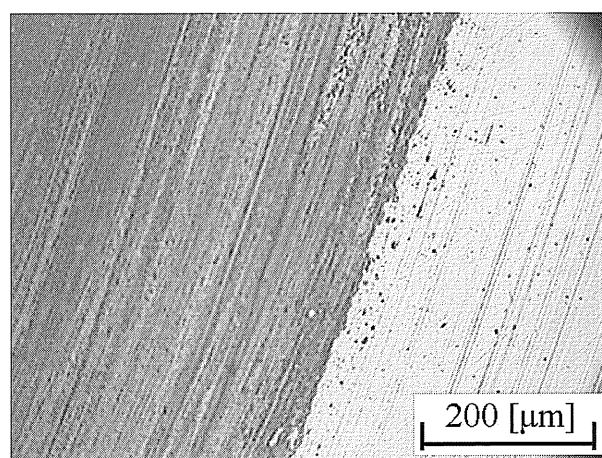


Fig. 15 Microscope images of worn surface in Pin-on-Disk wearing test in Sample 3 : Disk

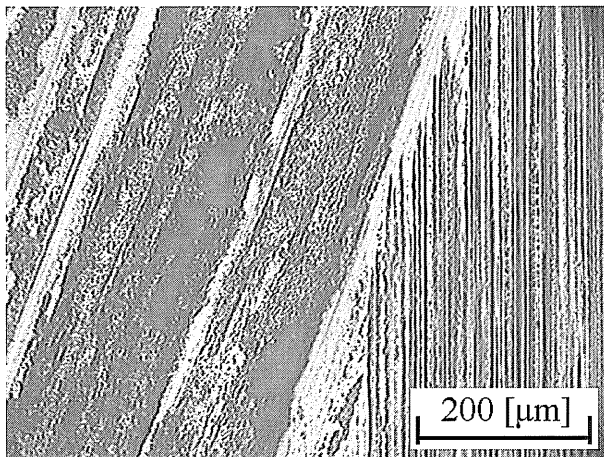


Fig. 15 Microscope images of worn surface in Pin-on-Disk wearing test in Sample 4 : Disk

- 5) 山本雄二, 兼田楨宏: トライボロジー, 理工学社, (2004), 188-189.

(平成 21 年 1 月 8 日 受理)

4. 結言

ピンオンディスク型摩耗試験機を用いて生理食塩水中におけるアルミナと部分安定化ジルコニアを対象とした摩耗試験を行った。その結果、生理食塩水中ではアルミナ/部分安定化ジルコニアの組み合わせよりも部分安定化ジルコニア/部分安定化ジルコニアの組み合わせの方が摩擦係数が低い値を示すという結果が得られた。また、試験後の摩耗痕の表面観察から、なじみによる摩耗痕と破壊を伴った摩耗痕が発生することが確認できた。さらに、無潤滑状態での摩耗試験を行うことで、部分安定化ジルコニア/部分安定化ジルコニアの組み合わせにおいて摩擦係数が大きく低下したことから、この組み合わせにおいては生理食塩水を潤滑剤として用いることが有効であると確認できた。これにより、潤滑剤としての生理食塩水の有効性が今後期待される。

参考文献

- 1) 笹田 直, 塚本行男, 馬淵清資: バイオトライボロジー -関節の摩擦と潤滑-, 産業図書株式会社, (1988), iii-iv, 169-171.
- 2) 福田勝己, 小林光男, 堤 博貴, 神津友貴: 部分安定化ジルコニアの生理食塩水中におけるトライボロジー特性評価, 日本機械学会 北陸信越支部 第 45 回総会・講演会 講演論文集, (2008), 389-390.
- 3) JSME S 013 - 1990 日本機械学会基準 摩耗の標準試験方法, (社)日本機械学会, (1999), 3-6.
- 4) JIS T 0303 人工関節用材料のピンオンディスク法による摩耗試験方法, (財)日本規格協会, (2000), 2-3.

東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開

—第 1 報, マイクロアクチュエータの試作—

角田 陽*, 多羅尾 進*, 堤 博貴*, 志村 穰*

New Twist for Micromechatronics in Tokyo KOSEN

—1st Report, Prototyping of a Micro Actuator—

Akira KAKUTA, Susumu TARAO, Hirotaka TSUTSUMI, Jyo SHIMURA

MEMS is one of the important technologies in the mechanical engineering field of 21st. This study tried to found the MEMS technology in Tokyo KOSEN. In this study, micro-mechanical structure made by SiC film were applied to MEMS for hard environment because single-crystal SiC thin films have excellent mechanical properties such as high young modulus, durability, etc. Prototyping and its performance were investigated using bimorph thermal micro actuator of SiC thin film.

(Keywords: MEMS, Micro Actuator, SiC thin film)

1. はじめに

ナノテクノロジー時代をむかえ、MEMS あるいはマイクロマシンに代表されるように、機械要素部品についても微小化・高精度化の追求がなされている¹⁾。しかし、例えば従来サイズでは無視し得た分子間力などの影響が相対的に大きくなるので、従来品の単純なスケールダウンでは対応できず、各技術の横断的連携が新たに必要となる。すなわち機械要素関連技術分野の設計・材料・加工・計測・制御の全てをマイクロレベル対応として新たに構築し統合化する必要がある。現在、このマイクロ化は機械製造関連企業全体に波及しつつあり、実際の機械製作に不可欠な地域企業レベルでもその対応をせまられているが、十分とはいえない。そこで、地域連携を視野にいれ、東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開をはかるために、機械工学分野技術（駆動系・制御系・筐体作製系）をマイクロ化対応統合システムとして構築する基礎研究の第一段階として、マイクロ駆動体

の試作と動作確認を行った。

2. マイクロ駆動体材料

MEMS 等の微小機械の材料として多用されている Si（ケイ素）と比べ、SiC（炭化ケイ素）は広いバンドギャップ、高いヤング率をもち、耐摩耗性や耐腐食性に優れている等、電氣的・機械的特性に優れている。そのため Si に代わる MEMS 材料として注目され一部応用されている²⁾。

そこで、本研究では、分子線エピタキシ (Molecular Beam Epitaxy) を用いて単結晶 Si(111)基板上にナノレベル厚さで作製された単結晶 SiC 薄膜を材料とした。

3. マイクロ駆動体の試作

単結晶 SiC 薄膜を材料として、数十 μm オーダの微細片持ちはり構造のバイモルフ形式熱型マイクロアクチュエータの作製を試みた。高ヤング率

の SiC 材料を用いることで、一般に発生力が小さい熱型アクチュエータの問題を改善し、さらに高温環境下での使用も可能となり、また微細化による応答性の改善も期待できる。

材料となる単結晶 SiC 薄膜の仕様を表 1 に示す。

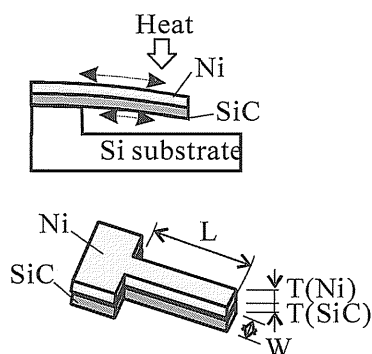
Table 1 Specification of SiC thin film

Polytype	3C-SiC on (111)Si
Method	Hetero-MBE
Thickness nm	180
Growth temperature K	1273
Growth time min	60

バイモルフ構造を構成するもう一方の薄膜には、SiC 薄膜と同様に高ヤング率、高融点で同膜との熱膨張率の差が大きい材料として Ni（ニッケル）を選択した（表 2）。Ni 薄膜の膜厚は、SiC 薄膜（膜厚=180nm）と組み合わせた場合に最大変位が得られる膜厚を選択した（膜厚=200nm）。作製したマイクロアクチュエータの模式図ならびに仕様を図 1 に示す。なお、駆動は通電加熱によって行うこととした。

Table 2 Properties of Materials

	Ni	SiC
Young's modulus Gpa	219	450
Melting point K	1726	3343
Coefficient of thermal expansion $10^{-6}/K$	13.4	4.8



W μm	10	20
L μm	10~50	20~100

Fig.1 Schematic Diagram of Ni/SiC bimorph actuator

4. 作製プロセス

作製プロセスの概要を図 2 に示す。

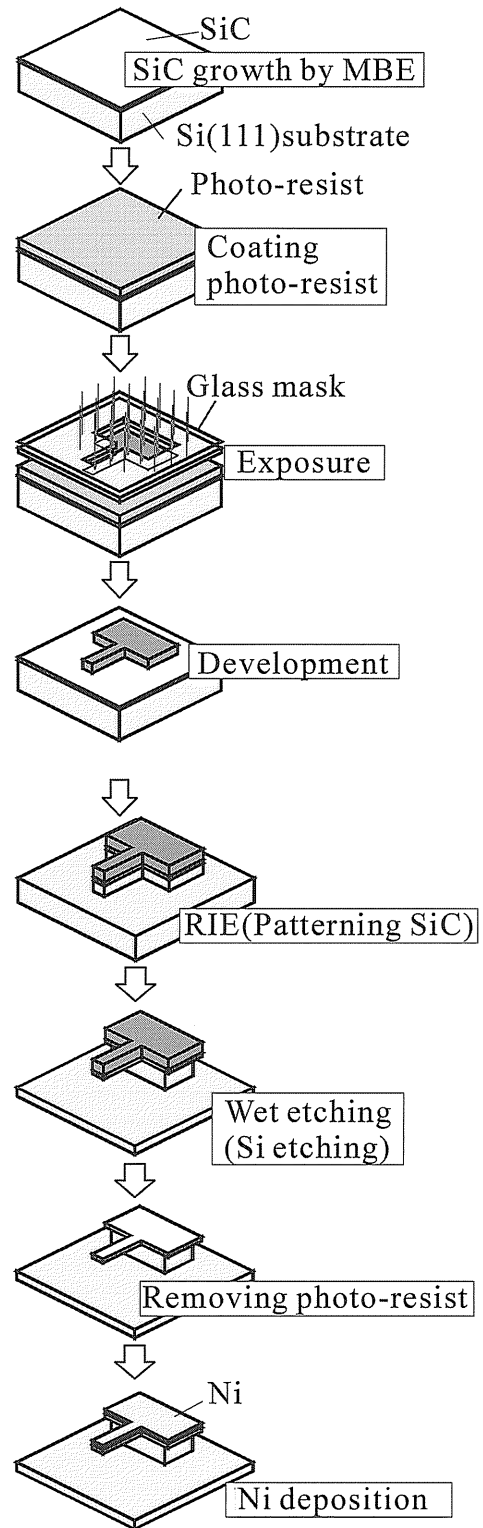


Fig.2 Fabrication process

(1)市販の Si 基板上に MBE によって SiC 薄膜を作製する。

- (2)SiC 薄膜上にレジスト材 (SU-8, 膜厚 $10\mu\text{m}$) を塗布し, リソグラフィによってパターンを転写する.
- (3)このパターンをエッチングマスクとして SiC を RIE (Reactive Ion Etching) によって, Si をフッ硝酸のウェットエッチングによって除去する. 各エッチング条件を表 4 および 5 に示す.
- (4)レジスト材を $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=3:1$ の溶液によって除去する.
- (5)真空蒸着により, SiC 薄膜上に Ni を成膜する.

Table 4 RIE condition

Etchant gas	$\text{CF}_4(80\%), \text{O}_2(20\%)$
RF power	50W
Pressure	32Pa
Time	15min

Table 5 Si etching condition

Etchant	$\text{HF}(9\%), \text{HNO}_3(68\%), \text{CH}_3\text{COOH}(23\%)$
Time	5~8min

5. 作製結果

上述したプロセスで作製されたマイクロアクチュエータの SEM (走査型電子顕微鏡) による観察結果の一例を図 3 に示す. はり幅 $10\mu\text{m}$ の場

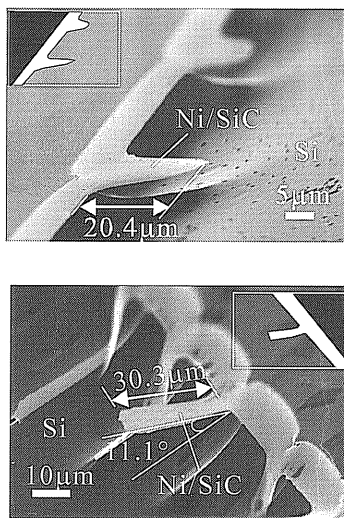
(a) Width= $10\mu\text{m}$

Fig.3(a) SEM images of Ni/SiC bimorph actuator

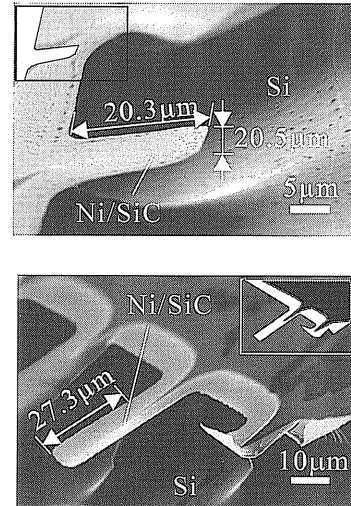
(b) Width= $20\mu\text{m}$

Fig.3(b) SEM images of Ni/SiC bimorph actuator

合, 長さ $10\sim 30\mu\text{m}$ のものが作製でき, 幅 $20\mu\text{m}$ の場合, 長さ $20\mu\text{m}$ のみが作製できた. これ以外の長さのはりは最終的に作製できず, 作製途上にスティクションなどによって破損したと考えられる. これは本実験条件内の作製限界と考えられる. Ni と SiC との熱膨張率の違いから生じるたわみは, 長さ $30\mu\text{m}$ のもののみ観察された. これ以外のものにたわみが生じなかったのははりの長さが短かったためと考えられる.

6. 駆動実験

6. 1 実験装置および方法

駆動実験に使う回路と装置の構成を図 4 に示す. 駆動電源は直流安定化電源装置を用い, 片持ちはりの根元付近に接触させたプローブに通電することで, 抵抗加熱し, 伝熱によってはり構造部に熱として駆動エネルギーを供給する. アクチュエータの長さが短いため, 先端部分と根元部分の温度差はほとんど無いものとして考えた. 変位の測定ははりの先端部の変位をレーザー変位計 (分解能 $0.1\mu\text{m}$, レーザスポット径 $2\mu\text{m}$) を用いて測定した. また, CCD 顕微鏡によって駆動の様子を観察した. 装置は温度 293K , 湿度 50% に制御された恒温恒湿室に設置され, 駆動は大気中で行った.

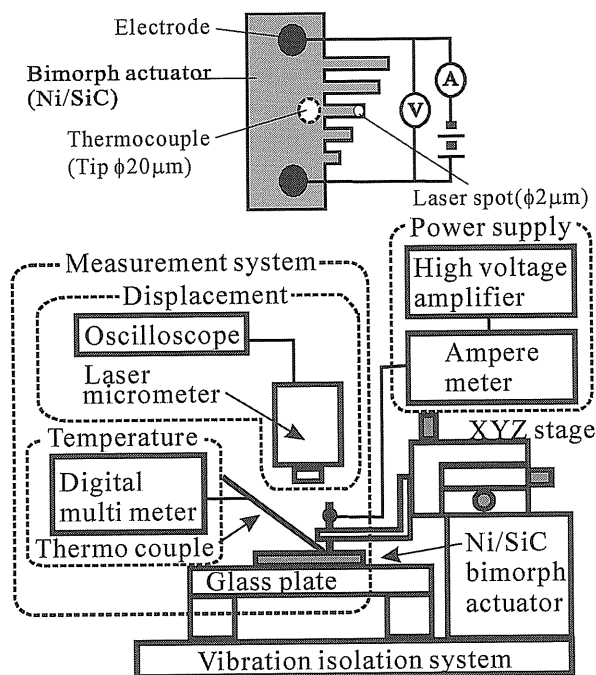


Fig.4 Schematic of the experimental setup

6. 2 実験結果と考察

温度測定

図 5 に入力電力と温度変化の関係を示す. 0.8W の入力電力で 473K の温度を得たが, この結果は理論値の 10 倍以上の電力を要する結果となった. これは, アクチュエータ周囲や大気中へ熱が逃げるためと考えられる.

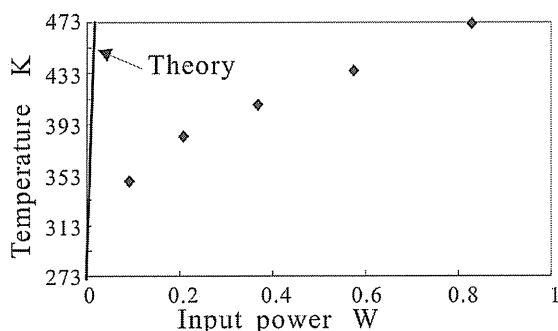


Fig.5 Relationship between input power and temperature

変位測定

図 6 に温度と変位の関係について示す. 図内の実線は理論値である. 実験値が多少理論値を上回っているものの, 理論値と実験値がほぼ一致した結果となった.

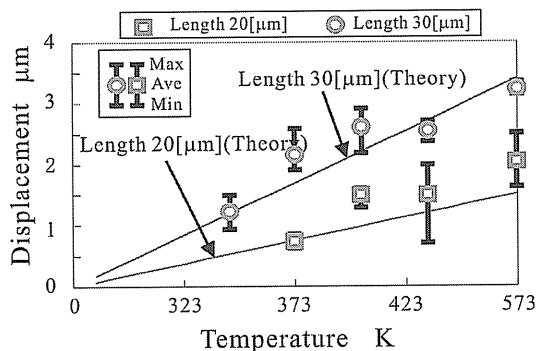


Fig.6 Relationship between temperature and displacement of Ni/SiC bimorph actuator

時間応答

図 7 に温度変化と変位の時間応答について示す. 温度および変位の立ち上がりはほぼ同調した応答となっていることがわかる. 時定数=0.073sec, 立ち上がり時間=0.18sec という結果を得た. 応答性を改善するためには周囲との断熱やアクチュエータ上に回路パターンを形成し, はり部分のみを加熱するような方法が考えられる.

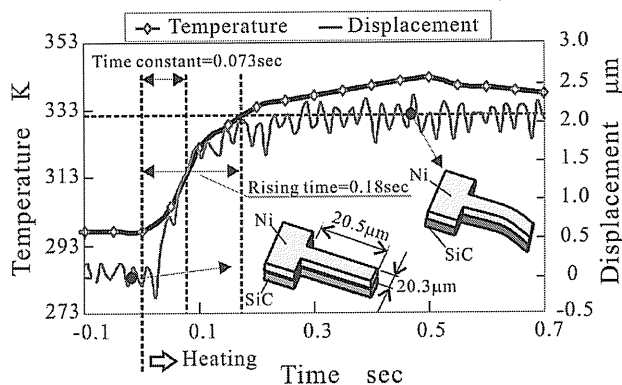


Fig.7 Example of time response of Ni/SiC bimorph actuator (Input power: 0.37W)

4. まとめ

本研究では, 東京高専における MEMS 技術の構築を目的に, SiC を材料とした熱型マイクロアクチュエータの試作と動作試験を行った. なお, 本研究の一部は, 東京高専における重点配分経費 (学科等研究活動経費) によって行われた.

参考文献

- 1) 佐藤一雄: シリコンウエハ上の微小な機械要素の加工, 精密工学会誌, 54, 9, 1988
- 2) Y. T. Yang: Monocrystalline Silicon Carbide Nanoelectromechanical Systems, Applied Physics Letters, 2001

(平成 21 年 1 月 8 日 受理)

空間 6 自由度自走型モーションベースの機構と運動学

多 羅 尾 進*

Mechanism and Kinematics of Spatial Six Degree of Freedom Wheeled Motion Base

Susumu TARAO

A 6-degrees of freedom (DOF) motion base is proposed for the purpose of setting up a user-friendly interaction system on the desktop. It aims at motion in various situations with a large range of movement using a simple mechanism, and generating motions adequate for an interaction with a man and for computer application. In this paper, a prototype of the motion base is described. Its mechanism consists of a combination of a wheel drive locomotion (3 DOF translational) mechanism and a (3 DOF rotational) gimbal mechanism.

(Keywords: Motion Base, Omni-Directional Wheel Mechanism, Gimbal Mechanism, Kinematic Model)

1. はじめに

モーションベースは、与えられた運動情報(物体の位置・姿勢, 速度, 加速度等)に対して, 巧妙にその運動を実際の物理空間に呈示することを狙った空間サーボ機構である。近年, 運動シミュレーションと連動したフライトシミュレータ, ドライビングシミュレータ, あるいはテーマパークのモーションシミュレータ等が実際に活躍するようになってきているが, ここで挙げた各シミュレータには何らかのモーションベースが組み込まれている。これらの例においては, ある絞り込まれた範囲の空間の中で, 要求に対応する多自由度の比較的大きな出力の運動を発生できるように, パラレルリンク機構によって構成されるモーションベースがよく用いられている^{1)~4)}。さらに例えば, 文献⁵⁾等において机上で力覚を呈示する機能を備えたマンマシンインタフェース, いわゆるハプティックインタフェースを構成する機構としてモーションベースが利用されている例も見られる。

このような動向も踏まえ筆者らは, 日常広く利用できるユニバーサルデザインを考慮したマンマシンインタフェースの実現を目指し, その基本システムとなる独自の新たな空間 6 自由度のモーションベースとその周辺アプリケーションの開発に取り組んでいる。本稿では, この概念に基づき, 受動関節および車輪型移動機構等を効果的に組み合わせ, 単純かつコンパクトな機構要素(運動学連鎖)で構成された 3 自由度並進運動の呈示を行う機構⁶⁾, およびジンバル機構を適用した 3 自由度

回転運動の呈示を行う機構とを組み合わせた空間 6 自由度のモーションベースの機構を提案し, さらに, この機構の運動学解析について述べる。

2. 基本コンセプト

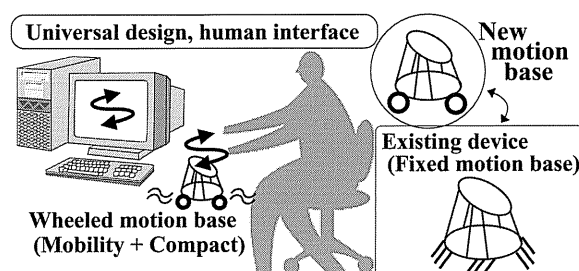


図 1 Development concept of the man-machine interface

力覚呈示の用途で市販されている卓上タイプのモーションベースとしては, 例えば, SensAble technologies 社の PHANTOM シリーズ⁷⁾ や Force Dimension 社の omega.x, delta.x⁸⁾ 等が見られ, 多くの応用例が報告されている。これらはベースリンクが移動しないベース固定型の機構で構成されている。ベース固定型は, 運動呈示の精度を向上させるためには有利であるが, 呈示を行う出力リンクの可動範囲に対し, 機構全体の占有容積は比較的大きくなる。これを回避するため, 本研究では発想を変え, ベース移動型のモビリティを備えたコンパクトなモーションベースによって, 力覚を伴う運動呈示を実現することを狙う。図 1 にこの概念を示す。例えばコンピュータ内の多様な

情報について、これに対応した運動を、モーションベースを介して机上で呈示し、ユーザーは実際に手を触れてこの動きを体感しながら、コンピュータと相互にやりとりすることが考えられる。このような人間—コンピュータ間の系において開発ターゲットとなるモーションベースについて、1) 小型であること、2) 機構が単純であること、3) 複数の自由度を持つこと、4) 十分な可動範囲を備えること等の設計指標を設けた。設計指標の 1), 2) と 3), 4) は、トレードオフの関係にあり、用途に応じた設計の工夫が必要となる。本稿では、机上での手軽な利用を想定し、その中で車輪型移動機構の要素を持ち広い可動範囲を備えた水平 2 軸方向の並進運動とこれに鉛直 1 軸方向の並進運動を組み合わせた合計 3 自由度の並進運動を呈示できる機構に 3 自由度の回転運動を呈示できる機構を付加したモーションベースについて提案し、その運動学を解析する。

3. 移動機構を備えたモーションベース

3.1 プロトタイプの機構

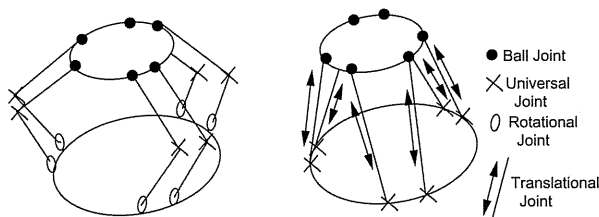


図 2 6 DOF well-known parallel link mechanisms (left: HEXA mechanism, right: Stewart platform)

6 自由度のモーションベースとして良く知られている機構の例として、HEXA 機構と Stewart のプラットフォームと呼ばれる機構をそれぞれ図 2 に示す。これらは、平行機構で構成され、ベースリンクが地面に固定された閉ループ内の各運動学連鎖を適当に操作して先端の出力リンクの位置姿勢を任意に変化させる仕組みとなっている。

これに対し、ここでは、ベースリンクを固定せず、ベースリンク自体の運動を出力リンクの動きとして活用し、これと他リンクの運動とを組み合わせることで全体として空間 6 自由度の運動を呈示できる機構を考案する。この概念に基づく機構として、まず図 3 に示す水平 1 軸方向と鉛直 1 軸方向の合計 2 軸方向の並進運動が呈示できる基本要素について

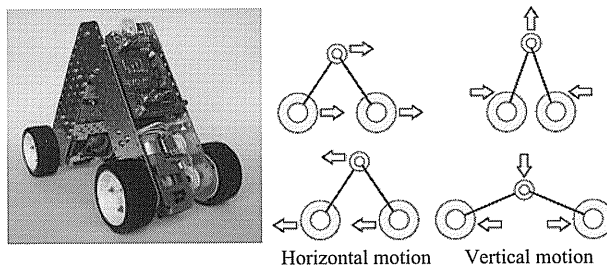


図 3 2 DOF prototype mechanism

述べる。この基本要素は、先端に駆動輪を備えた二つのリンクをひとつの受動関節で結合した機構である。モータ等アクチュエータが備えられていない受動関節を有する基本要素には、二つの駆動輪が接地している床面を經由して閉ループが構成され、この機構には一種の平行リンク機構の特徴が現れる。平面上での運動を考えると、基本要素の受動関節の運動に注目すると、図 3 に示すように、水平方向 1 自由度および鉛直方向 1 自由度、計 2 自由度の運動呈示が可能である。

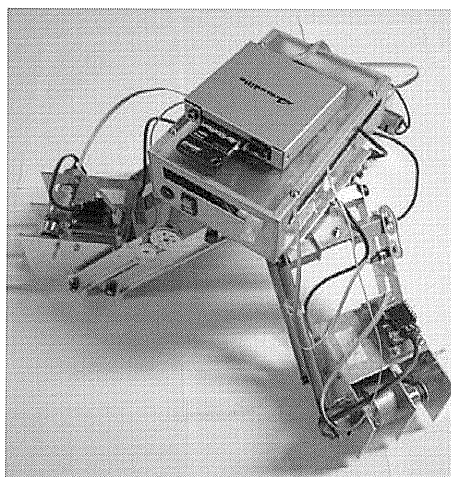


図 4 3 DOF translational mechanism

次いで、水平方向にさらに 1 自由度追加して、合計 3 軸方向の並進運動を呈示することが可能となるように基本要素を拡張する。この方針に従って設計・製作した機構全体を図 4 に示す。三つの駆動モジュール・平行リンクのセットおよびひとつの出力リンクからなるこの機構は、並進 3 自由度の運動を出力リンクを介して呈示するものであり、その内、水平 2 軸方向の並進運動については、可動範囲を広く確保するため、車輪型移動機構によって呈示される仕組みとなっている。一方、鉛直方向の並進運動については、駆動モジュールを構成

する駆動輪の相対位置関係の変化に対応して呈示される仕組みとなっている。この実現には、各駆動輪側面方向の自由度も必要となるため、車軸方向に垂直な回転の自由度を持つ全方向移動用の車輪⁹⁾としてオムニホイールを本機構の各駆動輪に適用している。駆動モジュールと出力リンクは、平行リンクで結合され、機構的に、出力リンクは床面と常に水平が保たれるようになっている。なお、この機構は、床面と出力リンクの間に、二つの閉ループからなる平行リンク機構を有している。機構の詳細については文献⁶⁾を参照されたい。この機構の運動の例として鉛直方向の運動を動力学計算エンジン ODE¹⁰⁾を利用して出力したものを図 5 に示す。

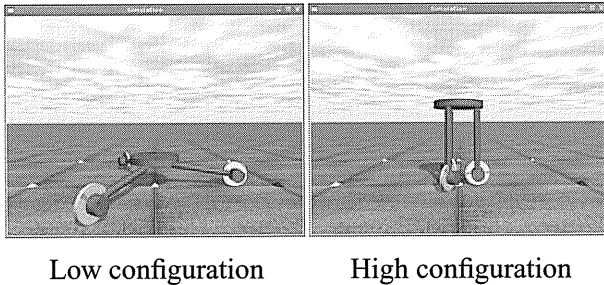


図 5 Example of 3 DOF motion (z axis motion), using ODE

ここまでで並進 3 自由度の運動を呈示する機構が示された。次に、空間 6 自由度の内、残りの回転 3 自由度の運動を呈示する機構について述べる。この機構には、ジンバル機構を応用する。すなわち、これは、図 6 に示すように、いわゆる地球ごまを構成する機構の各回転軸に回転型アクチュエータを取り付けたものであり、後述する X-Y-Z オイラー回転角を指定するパラメータと 1 対 1 に対応付けされた各関節角度を指定することによって姿勢を任意に決めることができる機構である。

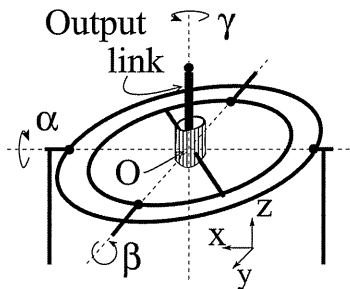


図 6 3 DOF rotational mechanism (gimbal mechanism)

4. 運動学解析

本機構の並進運動を呈示する部分は、車輪型移動ロボットの特徴¹¹⁾を備えている。すなわち、ここでの運動学は主に車輪の回転速度と本体の移動速度との関係について記述していくことになる。これを踏まえ、並進運動を呈示する部分については、機構を簡略化して表した図 7 に示す運動学パラメータを用いて運動学解析を行う。まず、同図に示される幾何学的な関係から式 (1) が得られる。なお、 $t_1 \sim t_3$ は駆動輪 1～3 の周速度である。1～3 それぞれの車輪半径を r_i 、車輪回転速度を ω_i とすれば、 $t_i = r_i \omega_i$ ($i = 1, 2, 3$) と表せる。また、3.1 節で述べた通り、出力リンクと床面とは平行が保たれる機構となっているため、出力リンク側の全受動関節の関節角は、全て共通の q とする。この場合、 $d = \sqrt{L^2 - z^2}$ であり、かつ $z = L \sin q$ と表せる。逆運動学は、式 (1) を整理して式 (2) のように表せる。これから順運動学は式 (3) のように表せる。

$$\begin{cases} t_1 = \dot{y} + \dot{d} \\ t_2 = \dot{x} \cos \frac{\pi}{6} - \dot{y} \sin \frac{\pi}{6} + \dot{d} \\ t_3 = -\dot{x} \cos \frac{\pi}{6} - \dot{y} \sin \frac{\pi}{6} + \dot{d} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 & 1 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{d} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/\sqrt{3} & -1/\sqrt{3} \\ 2/3 & -1/3 & -1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

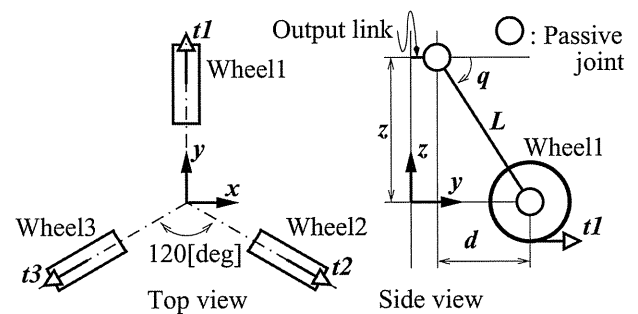


図 7 3 DOF translational mechanism model

一方、回転運動を呈示する部分については、一般的な各軸まわりの回転行列を以下の通り用意し、これを組み合わせて全体の姿勢を表わすことができる。

$$Z: \mathbf{R}_z(a) = \begin{bmatrix} \cos a & -\sin a & 0 \\ \sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$Y: \mathbf{R}_y(a) = \begin{bmatrix} \cos a & 0 & \sin a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin a & 0 & \cos a \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$X: \mathbf{R}_x(a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & -\sin a \\ 0 & \sin a & \cos a \end{bmatrix} \quad (6)$$

前述の通り、姿勢は、X-Y-Z オイラー角で表わす。これは、基準座標系 Σ_0 に対して、移動する座標系間の相対的な座標変換を以下の要領で記述していく。X-Y-Z オイラー角において相対的な座標変換は、 x_0 軸まわり ϕ 回転 $\rightarrow y'_0$ 軸まわり θ 回転 $\rightarrow z''_0$ 軸まわり ψ 回転の順に行われる。これら三つの回転を合せた回転行列は、以下のように求まる。

$${}^0\mathbf{R}_A = {}^0\mathbf{R}_{0'} {}^{0'}\mathbf{R}_{0''} {}^{0''}\mathbf{R}_A \quad (7)$$

$$= \mathbf{R}_x(\phi)\mathbf{R}_y(\theta)\mathbf{R}_z(\psi) \quad (8)$$

以上より、3 自由度の並進運動呈示機構および 3 自由度の回転運動呈示機構を適当に組み合わせることにより全体で空間 6 自由度の運動が示せることを確認した。

5. おわりに

身近な空間で手軽に利用できるというコンセプトの下、並進 3 自由度と回転 3 自由度それぞれを呈示する機構を組み合わせた空間 6 自由度の自走型モーションベースの提案を行い、その運動学解析を行った。今後、これに基づき、実際にハードウェア・ソフトウェアの構築を行っていく計画である。なお、本研究の遂行においては、東京工業高等専門学校機械工学科の平成 18 年度卒研究生であった岩本久和君、内野敬太君、杉山雄一郎君、および同機械工学科の平成 20 年度卒研究生の梶原良介君、川尻亮真君の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) V. E. Gough: Contribution to Discussion to Papers on Research in Automobile Stability and Control and in Tire Performance, *Proc. Auto. Div. Inst. Mech. Engrs*, 1956–1957.

- 2) D. Stewart: A Platform with Six Degrees of Freedom, *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers*, **180**, pt. I, no. 15, pp. 371–386, 1965–1966.
- 3) N. Mimura and Y. Funahashi: A New Analytical System Applying 6 DOF Parallel Link Manipulator for Evaluating Motion Sensation, *Proc. 1995 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 227–233, 1995.
- 4) S. Tarao, E. Inohira and M. Uchiyama: Motion Simulation Using a High-Speed Parallel Link Mechanism, *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1584–1589, 2000.
- 5) Y. Tsumaki, H. Naruse, D.N. Nenchev and M. Uchiyama: Design of a Compact 6-DOF Haptic Interface, *Proc. 1998 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2580–2585, 1998.
- 6) S. Tarao and T. Koiwa: Prototyping of a Motion Base for a Desktop Interaction System, Consisting of a Combination of a Wheel Drive and a Parallel Mechanism, *Proc. of SPIE (ICMIT2007)*, **6794**, pp. 1Q1–1Q6, 2007.
- 7) SensAble Technologies, Inc, PHANTOM Desktop, <http://www.sensable.com/haptic-phantom-desktop.htm>, (accessed 2008-10-30).
- 8) Force Dimension, PRODUCTS OVERVIEW, <http://www.forcedimension.com/products>, (accessed 2008-10-30).
- 9) P.F. Muir and C.P. Neuman: Kinematic Modeling for Feedback Control of an Omnidirectional Wheeled Mobile Robot, *Proc. 1987 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1772–1778, 1987.
- 10) Russell Smith, Open Dynamics Engine <http://www.ode.org/ode.html>, (accessed 2008-10-30).
- 11) 中野, 小森谷, 米田, 高橋: 大学院情報理工学 4 高知能移動ロボティクス. 講談社, 2004.

(平成 21 年 1 月 8 日 受理)

東京高専における HDL 論理回路設計教育の取り組み

鹿毛哲郎*, 大塚友彦*

HDL Logic Circuit Design Laboratory in Tokyo National College of Technology

Tetsuro KAGE and Tomohiko OHTSUKA

HDL (Hardware Description Language) is essential for developing industrial LSI's. We have included an HDL logic circuit design laboratory in our experimental program for electronic engineering course students. Designed logic circuits by the students in HDL are configured on an FPGA (Field Programmable Gate Array) on the spot. The students have filled out questionnaires on HDL design experience. The paper reports our HDL logic circuit design laboratory, and tallies up the questionnaires.

(Keywords: LSI design student teaching, Hardware Description Language, FPGA)

1. はじめに

集積回路 (LSI) は、通信機器、パソコン、家電機器、ゲーム機器など電子機器の心臓部である。これらの電子機器に組み込まれる LSI は、数十万、数百万個の論理ゲート (論理回路を構成する基本素子) の論理回路で構成される。論理ゲートを人手で組み合わせて、大規模な論理回路を誤りなく設計することは困難である。

1990 年ころから、エレクトロニクス業界ではハードウェア記述言語 HDL (Hardware Description Language) を用いた論理回路の設計が実用化されている。HDL による論理回路設計では、所望の論理機能・論理構造をハードウェア記述言語 HDL を用いて記述する。作成した HDL 記述から、論理合成ツールを使って自動的に論理ゲート回路を生成することができる。また HDL 記述は、計算機で高速にシミュレーションすることができ、十分な論理検証を行うこともできる。

HDL 言語による論理回路設計は、従来の論理ゲートは異なったスキルが必要である。これに対応するため、エレクトロニクス業界団体、各大学の LSI 教育センター、産官学連携の地方自治体など

で LSI 設計教育が行われている。

東京高専・電子工学科では 4 年生の「電子工学実験Ⅲ」において、プログラマブル・ロジック・デバイスである FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いて入門的な HDL 設計の実習を行っている。FPGA を用いると、設計した論理回路を実装して、その場で論理動作を検証・確認することができる。本稿では、電子工学実験として行った HDL 設計の教育の内容、学生へのアンケート結果、今後の課題について報告する。

2. ハードウェア記述言語による設計手法

2. 1 ハードウェア記述言語

論理回路の設計記述の言語としては、一般に VHDL もしくは Verilog-HDL が使われている。ここでは半導体業界で広く使われている Verilog-HDL を用いる。対象となるデジタル回路をブラックボックスとして、ソフトウェア開発のプログラミング言語のように、入力変数、出力変数を定義し、論理構造もしくは論理動作を記述する (図 1)。

記述した Verilog-HDL コードは、シミュレーションにより高速に論理検証した後、さらに論理合成

ツールにより自動的に論理回路を生成することができる。

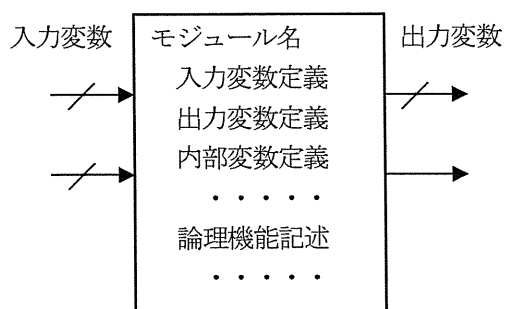


図 1. HDL 記述の方法

2. 2 プログラマブル・ロジック・デバイス

LSI の実施形式の一つであるプログラマブル・ロジック・デバイス (PLD) は、ユーザが現場で論理をカスタマイズすることができる。論理をその場で書き換えることができるという特徴は、自分で試行錯誤して習得するという教育の場においても大きな利点である。

PLD には、アーキテクチャによって CPLD (Complex PLD) と FPGA (Field Programmable Gate Array) がある。FPGA は、多数の小さな基本論理回路ブロックを縦横に張り巡らされた配線により相互接続して、所望の論理回路を実現する。FPGA は SRAM (Static RAM) を基本とした構造になっており、電源投入時に設計した論理回路の接続データをダウンロード (コンフィグレーション) して使用する。

2. 3 HDL 記述言語による設計手順

FPGA を利用した HDL 設計の手順を図 2 に示す。

(1) まず作成する論理回路の機能を文法に基づいて Verilog-HDL ソース・コードを記述する。記述ツールは、通常テキスト・エディタでよい。

(2) 記述した Verilog-HDL ソース・コードの論理機能を検証する。そのためテストベクトルを与えるテストベンチを作成する。テストベンチの作成には、Xilinx 社の HDL Benchner[1]を使用する。論理シミュレータは、Mentor Graphics 社の ModelSim[2]を使用する。

(3) つぎに FPGA に実装するための作業を行う。使用する FPGA は Altera 社の FLEX10KE シリーズで、同社の Quartus II Web Edition[3]というツール

を使って FPGA に実装するコンフィグレーション・データを作成する。Quartus II は、Verilog-HDL ソース・コードから論理合成を行い、論理ゲート回路を自動生成する。さらに、生成した論理ゲート回路を FPGA 内の構造に合わせて配置配線し、設計した論理回路の入力出力端子を FPGA のピンに割付けする。

(4) 作成したコンフィグレーション・データを FPGA にダウンロードして、実機による動作確認を行うことができる。

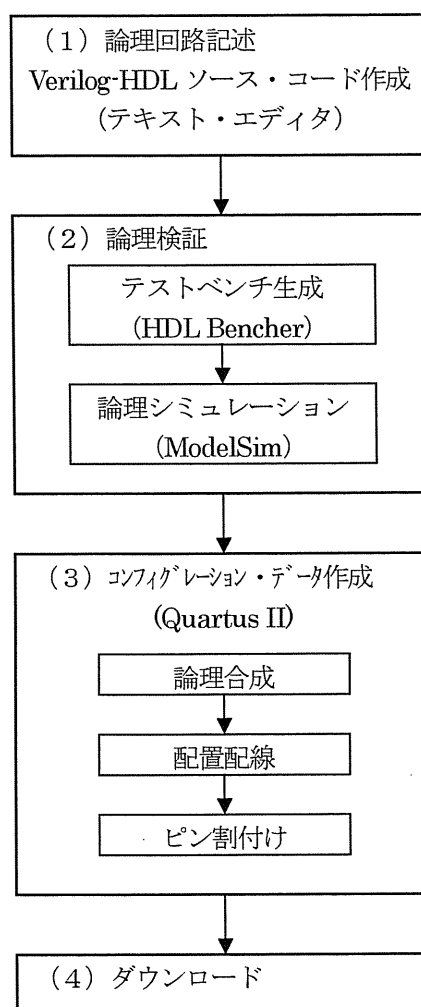


図 2 HDL 記述言語による設計手順

3. HDL 記述設計の実験実習

3. 1 HDL 記述設計の実施方法

電子工学科 4 年生の「電子工学実験Ⅲ」の一つの実験テーマとして、HDL 記述設計の課題を行っ

ている。クラス 40 人に対して、1 グループに 6 人の構成とし、各グループは 4 (時間/回) × 2 回 = 8 時間の実験時間を設けている。

実習実験の進め方は、まず 4 ビット全加算器を例として Verilog-HDL の記述方法を説明している。実習課題は、これをベースに 4 ビット全加減算器を設計するというものである。

作成したコンフィグレーション・データを FPGA 評価ボードにダウンロードする。全加減算器にトグルスイッチで 2 進数を入力をすると、2 進 16 進変換された出力が 7 セグメント・ディスプレイに表示される。首尾よく動作すると感動の声を上げる学生もいる。

3. 2 実験実習アンケート

HDL 記述設計の実験実習を行った学生に対してアンケート調査を行った。本実験実習は進行中であり、アンケート回収数は本稿の執筆時点で 24 人中で 22 件である。

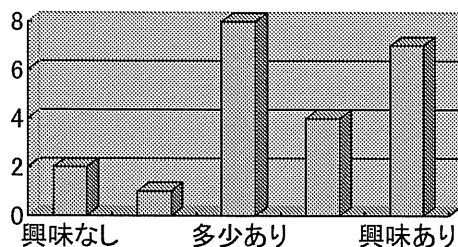
アンケート項目は、つぎの通りである：

- (a) : FPGA 設計への興味
- (b) : FPGA の原理の理解
- (c) : HDL 設計記述の理解
- (d) : HDL Bencher の理解
- (e) : Quartus II 手順の理解

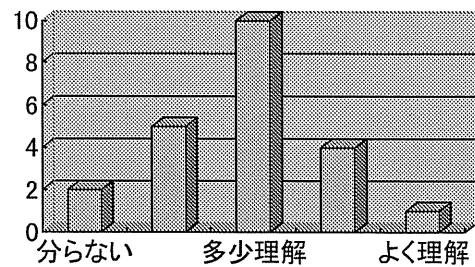
また評価方法は、“興味/理解”について 5 段階で評価を求めた：

- 5 : 興味あり/よく理解
- 4 : かなりあり/かなり理解
- 3 : 多少あり/多少理解
- 2 : あまりなし
- 1 : 興味なし/理解なし

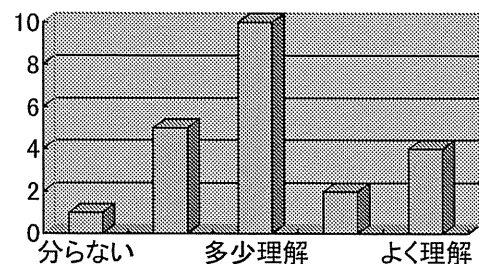
■ (a) FPGA設計への興味



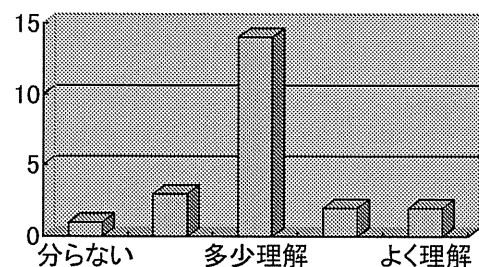
■ (b) FPGAの原理の理解



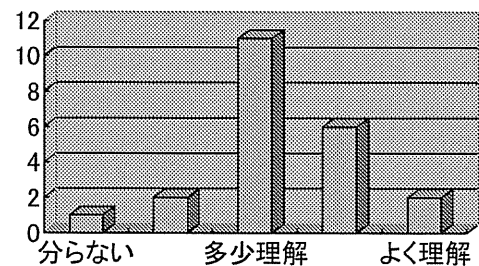
■ (c) HDL設計記述の理解



■ (d) HDL Bencherの理解



■ (e) Quartus II 手順の理解



自由記述回答：

- ・「もっと繰り返し製作してみたい」
- ・「もっと幅広いことがやってみたいです」
- ・「あまり理解できなかった」

4. HDL 記述設計実験実習の評価と課題

本 HDL 記述設計実験実習を行い、アンケート調査した結果、つぎのことが言える。

- ・基本的な組み合わせ論理回路を Verilog-HDL で設計記述し、最終的にすべての学生が正しく動作させることができた。
- ・アンケート項目 (a) および (c) の結果から、多くの学生は FPGA を使った HDL 記述設計技術に関心を持っている。
- ・反面、アンケート (b)、(d)、(b) の結果からつぎのことが分かった。すなわち、FPGA の原理および Verilog-HDL 言語を理解するためには、実験実習の前の短い時間の説明では不十分である。

今後の課題として、

- ・FPGA の原理および Verilog-HDL 言語の文法を理解させるために、十分な説明と演習を行う時間を確保する必要がある。
- ・実際の論理回路設計のために、組み合わせ回路だけでなく時間概念のある順序回路の設計を取り上げる必要がある。
- ・今回、HDL 記述設計実験実習は 2 枚の FPGA 評価ボードで行ったが、実習する学生の人数に対応した設備を準備する必要がある。

5. まとめ

今回、電子工学実験の一つのテーマとして、電子工学科 4 年生に HDL 記述設計の実験実習を行った。入門的な内容ではあるが、HDL 記述設計技術はアンケートの結果からも多くの学生にとって関心があることが分かり、一つのカルチャーショックであったと思われる。

今回は試行的な位置づけであり、FPGA 評価ボードの実験器材も実験実習の時間も少ない中で行った。本格的な HDL 記述設計技術の習得ためには、実習時間および課題内容など教育のカリキュラムを充実させる必要がある。

今回の試行をベースにして、今後、十分な実験器材と実験実習の時間を確保して、さらに本格的な LSI 設計教育の進める予定である。

本研究の一部は、科研費・基盤研究(c) (課題番号：20500765) の助成を受けている。ここに記して謝意を表する。

【参考資料】

- [1]. http://japan.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm
- [2]. <http://www.altera.co.jp/products/software/products/model/eda-ms.html>
- [3]. http://www.altera.co.jp/support/software/download/altera_design/quartus_we/dnl-quartus_we.jsp

(平成 21 年 1 月 7 日 受理)

IT 系オンライン試験環境の整備

大 塚 友 彦*

Computer based tests for IT certifications

Tomohiko OHTSUKA

In this paper, a new computer based system for IT certifications to encourage the student motivation to become an IT professional engineer. There are 8 PCs for examination terminals, and one communication server in the system. Each of them is installed the software for online test. Using the system, students take the examination of IT certification online from the campus, and they can get the IT certification immediately if they can pass it.

(Keywords: computer based test, IT certification, Microsoft Certified Associate)

1. はじめに

近年、幅広い分野にコンピュータ技術が適用されるようになった。学校や企業においてもコンピュータやネットワークを柔軟に管理・運用できる IT 技術者は益々不可欠な存在となっている。現在、体系的に理論と実践的技術をバランス良く修得した IT 技術者育成は急務となっている。

しかし、教育課程における教授内容のバランスや時間的制約もあり、OS やネットワークに関する理論と実践技術を幅広く教授するために複数の専門科目を新規に開講することは難しい状況にある。実質的な学習時間を確保するためには、学生に何らかの目標を与え、授業時間以外の自学自習を促進することが重要と考えられる。

最近、経産省の情報処理技術資格とともに、様々な IT 系ベンダー資格が社会的に注目されるようになってきている。経産省の情報処理技術者資格試験は、製品技術から中立した理論面のみの出題となっているのに対し、IT 系資格試験では、実際の製品技術や IT 理論と製品技術の知識を組み合わせでソリューションを設計する能力を量る出題まで含まれているためである。このように IT 系資格試験の出題範囲には理論面と実践面の内容がバランス良く含まれているため、IT 教育の教材として捉えても価値も高い内容と見ることができる。IT 系資格試験のための知識は社会でも役立つことも多く、学生の職業意識を刺激しながら資格取得を目標とさせて自学

自習を促進することも可能と考えられる。

そこで、東京高専電子工学科では、IT 系資格試験を情報処理教育の 1 つの有意義な教材と位置づけ、学生に資格取得を目標とさせながら、IT 分野の理論と実践能力向上のため、自学自習を促進する教育を試みている[1]-[3]。

今回の報告では、これまでの取組みの概要と平成 19 年度学内重点配分経費を活用して構築した IT 系オンライン試験環境について報告する。

2. これまでの取組み

2. 1. IT 系技術修得のための授業の概要

電子工学科では、「シスコ・システムズ CCNA」、並びに「マイクロソフト MCA プラットフォーム」の 2 つの資格試験を題材に、2004 年度より OS やネットワーク技術に関する基礎科目「OS・ネットワーク特講」(4~5 年・選択・1 単位)を開講している。題材に取り上げた 2 つの IT 系資格試験は、いずれも現場技術者の立場から見ると入門レベルの資格であるが、学生が IT 技術を学ぶ出発点としてはちょうど良い難易度の内容と考えられる。

また、本学科では、学生の資格取得への配慮として、各社トレーニングセンター認定を受け、教材提供や資格試験受験料減額等の助成を受けている。さらに学科内の設備で IT 系ベンダー資格試験を受験するための環境も整備した。

表 1 授業の概要

1. OS の役割 OS の基本的な機能であるプロセス管理、メモリ管理、入出力管理の仕組みを理解する。 2. OS の動作 ユーザーモードとカーネルモード、デバイスドライバの動作、マルチタスク制御の仕組みを理解する。 3. 性能・信頼性・可用性 性能管理の概念と用語、最適化の手法、スケーラビリティと可用性の基礎を理解する。 4. 実際の OS の設計と実装 Windows を例に実際の OS のプロセス管理、メモリ管理、デバイス管理、ファイル管理、プリンタ管理、ユーザ管理、リソース管理の基礎を理解する。 5. 実際の OS の最適化と信頼性・可用性 Windows を例に実際の OS のボトルネックの発見法、CPU・メモリ・ディスクの最適化などの各種最適化手法を理解する。 6. OS の種類 OS の種類、歴史的な動向を理解する。 7. ネットワーク ネットワークの利用目的、ネットワークモデル、物理層・データリンク層・ネットワーク層・トランスポート層・アプリケーション層の概要を理解する。 8. TCP/IP TCP/IP の基礎、ルーティングテーブルと特殊なアドレス、IP アドレスの自動配布、ルーティングの基礎を理解する。 9. インターネット アプリケーション層を理解する。OS の仕組み、役割、種類を理解する。 10. Windows の設計と実装 インターネットと ISP、歴史的経緯、インターネット上のサービスとプロトコルの基礎を理解する。 11. ディレクトリサービス ディレクトリサービスやその実装の基礎を理解する。 12. セキュリティ セキュリティ管理とその実装方法の基礎を理解する。
--

「OS・ネットワーク特講」では、IT 系ベンダーから提供される教材を授業に活用している。授業時間数の制限、学生の予備知識に配慮し、IT 系資格試験の試験範囲を網羅することは避

け、最も基礎となる部分を抽出して授業を構成している。表 1 に授業の概要を示す。表 1 のいずれの項目も OS 技術やネットワーク技術の基礎を理解するために必要な基礎知識となる内容である。授業では、これら項目に関する理論を教授するとともに、学生の一層の理解を深めるため、具体的な製品技術についても説明している。ベンダーから提供される講義用にまとめられた製品技術情報は授業を進める上で大いに役立っている。教材には、さらに IT 系ベンダーが提供する教科書、並びに e-Learning 教材を使用した。IT 系ベンダーから提供される教材は、予め IT 系の業務内容を調査し、実務上必要性の高い製品技術を選定して教材作成しているため、IT 系の基礎理論のみならず、OS やネットワーク等の必要性の高い製品技術の応用法や実務的なスキルの向上を図る上で役立つものとなっている。

2. 2. テストセンター設立の経緯

本学科で注目した IT 系資格 MCA (Microsoft Certified Associate) は、広い視野に立つ知識と実践技術とソリューションを導くノウハウを修得するための技術者資格である。体系的な理論と実践的な製品知識に関した内容を含んでいる。本学科では、マイクロソフト社から MCA プラットフォームに関する教材提供と学生の受験料を半額に減免する助成を受けるため、教員 1 名をマイクロソフト MCA トレーナーとして養成し、マイクロソフト MCA 公式トレーニングセンターとして認定を受けた。

また、もう 1 つの題材として取上げた IT 系資格 CCNA (Cisco Certified Network Associate) は、小規模ネットワークの設定、管理、トラブル・シューティングを実施する能力を修得していることを示す資格である。本学科では、シスコ・システムズ社から e-Learning 教材提供と学生の受験料を半額に減免する助成を受けるため、教員 1 名をネットワークアカデミー認定教員として養成し、ネットワークアカデミー開催校としての認定を受けている。

さらに学内から IT 系資格試験のオンライン受験を可能とするため、教育研究技術センターの技

術職員2名をテストセンター管理者として養成し、プロメトリック公式テストセンターとしての認定を受けている。

3. 構築した新オンライン試験環境について

3. 1. 新オンライン試験環境の概要

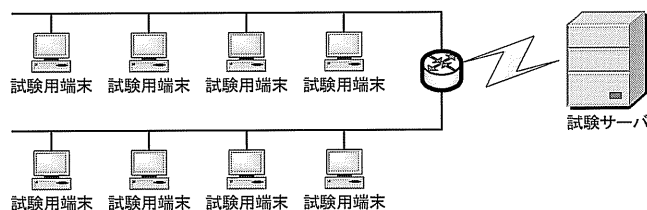


図1. 新オンライン試験環境の概要

本学科では、平成16年度にIT系オンライン試験環境を整備し、学内で学生がIT系資格試験を受験できるようにした。しかし、当時は予算の問題で一部の計算機は旧式のPCが数台含まれており、PC、あるいはそのハードディスクの耐久年を考えると早急なリプレースが望まれる状況であった。

そこで平成19年度東京高専重点配分経費を活用し、図1のようにテストセンター運営に関わる全てのPCを新規のものにリプレースすることとした。新テストセンターの構成は、IT系資格試験受験生が使用する試験用端末8台、通信用PC1台、試験サーバ1台の構成となっている。

各PCには、プロメトリック社が定める試験用ソフトウェアがインストールされ、定められたスケジュールに基づいてオンラインでIT系資格試験を受験できるようになっている。試験日についてはある程度本校の裁量で設定することが可能となっている。また、オンラインで受験できるため、可否も試験終了直後に確認できる仕組みとなっている。

今年度は本校の第3棟改修工事に伴い、新たに構築したIT系オンライン試験環境は未だ運用実績はないが、来年度からは本格稼動を予定している。

3. 2. テストセンター運営上の課題

これまで本学科では、IT系オンライン試験環境を活用し、ネットワークアカデミー認定校、マイクロソフト認定MCAトレーニングセンター、並びにプロメトリック認定テストセンターを運営してきた。こうしたセンターを運営するに当たり、いくつか課題も出てきている。現状の主な課題は以下の通りである。

① ネットワークアカデミー認定教員育成

現状では、定期的に資格試験CCNAの内容が改訂される毎にネットワークアカデミー認定教員も再審査を受ける必要がある。教員の負担も大きく、効率よく再認定を受けるための工夫が必要である。また、今後、他のネットワークアカデミー認定教員を育成するための手立てを考えていく必要もある。

② マイクロソフトMCAトレーナー育成

ネットワークアカデミー認定教員と同様に、MCAトレーナーの場合においても、資格試験MCA改訂に伴い、MCAトレーナーの再認定を受ける必要がある。教員の負担軽減等の対策が求められている。

③ プロメトリック認定テストセンター管理者の育成

プロメトリック認定テストセンター管理者資格については、毎年、資格更新が義務づけられている。職員の負担軽減等の対策が必要とされている。

4. まとめ

本報告では、これまで本学科で取組んできたIT系資格試験を題材にしたIT系基礎教育の取組みの経緯、並びに平成19年度重点配分経費にて再整備したIT系オンライン試験環境の概要について報告した。

IT系オンライン試験環境を再整備したことで、学生の自学自習意欲と職業意識を刺激し、理論と実践の両者を重んじたIT教育の実現に一助となるものと考えている。

また、現時点では、電子工学科の在校生のみ対象に授業を実施しているが、将来的には他学科の在校生まで展開していく工夫も検討していきたいと考えている。

謝辞

IT 系資格試験テストセンターを運営するに当り、教育研究技術センターの羽鳥広範技術職員、並びに福井繁雄技術職員にはテストセンター管理者として多大なご協力を賜ったことを感謝いたします。

本研究は、平成 19 年度東京高専重点配分経費の助成を受けたものである。また、助成に際し、協力して頂きました青木先生、舘泉先生、吉本先生に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 文教速報、平成 16 年 5 月 19 日
- [2] 大塚友彦，加藤格，青木宏之，村田賢俊，福井繁雄，正木進，“東京高専電子工学科における情報教育の試み”，平成 17 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp. 504-505
- [3] 大塚友彦、青木宏之、“IT 系資格試験を題材にした OS・ネットワーク技術教育の試み”，平成 20 年度高等専門学校教育教員研究集会論文集，pp. 59-62

(平成 21 年 1 月 8 日 受理)

「ものづくり基礎工学」受講学生の意識調査とその分析

大塚友彦*, 大貫繁雄**, 清水昭博***, 加藤 格*, 西村 亮****
 城石英伸*****, 小坂敏文*****, 松岡 敏*****, 羽鳥広範*****
 雑賀章浩*****, 藤野 宏*****, 新田武父*****, 永吉真知子*****

Analysis of the student questionnaire for the course of the Fundamental Engineering Laboratory

Tomohiko OHTSUKA, Shigeo OHNUKI, Akihiro SHIMIZU, Itaru KATO, Makoto NISHIMURA
 Hidenobu SHIROISHI, Toshifumi KOSAKA, Satoshi MATSUOKA, Hironori HATORI
 Akihiro SAIGA, Hiroshi FUJINO, Takenori NITTA, Machiko NAGAYOSHI

In this paper, a summary of the student questionnaire for the course of the Fundamental Engineering Laboratory is reported. In the Fundamental Engineering Laboratory, there are 5 fields, i.e. the mechanical engineering field, the electrical engineering field, the electronic engineering field, the computer science field, and the chemical engineering field. Every freshmen student studies all fields in a year to increase their motivation to study fundamental engineering. It was found from the analysis of the questionnaire that a lot of students understand it is important to have interests in a variety of areas of engineering to become good engineers.

(Keywords: student questionnaire, experience type practice, Fundamental Engineering Laboratory)

1. はじめに

平成17年度より導入された「くくり相当入試」制度により、本校では、入学当初の1年間を技術の修得のために必要な基礎教育を行う学年と位置づけ、専門学科に所属する前段階として共通基礎教育を実施している。1年次共通基礎教育の一つの特徴は、共通専門科目「ものづくり基礎工学」（通年・5単位）を通じ、早期に技術者としての素養を伸ばす工夫がなされている点にある[1]～[5]。「ものづくり基礎工学」では、新入生全員が幅広い技術の実験実習を行い、体験から技術全般に対する興味と関心を深めさせ、技術を学ぶ動機付け教育を行っている。実社会における製品開発では、特定分野の知識のみならず、様々な分野の知識を集めて研究・開発を進めることが多いことから、本科目を通じて、学生らが早期に複合・融合的な視点を意識して学習することは重要と考える。

一方、小中学校の理科・数学の教育課程は年々変化しているため、入学した学生の予備知識に対応した授業実現のためには、定期的に受講学生の意識調査を行い、教職員の意図と学生の意識の違いを把握して授業改善を行う必要がある。こうした視点に基づき、担任の先生方のご協力のもと、平成20年1月下旬に「ものづくり基礎工学」を履修した全在校生（平成19年度1～3年生）を対象に授業

に関する意識調査を実施した。本報告では、「ものづくり基礎工学」開講初年度から今年度までの授業改善の試み、並びに平成20年1月に実施した学生の意識調査の集計結果とその考察について報告する。

2. 授業改善の試み

2. 1. 授業の目的

「ものづくり基礎工学」では、東京高専の5学科（機械工学科、電気工学科、電子工学科、情報工学科、物質工学科）の教員並びに教育研究技術センターの技術職員が各専門分野の実験実習テーマを指導している。実験実習テーマは学科の枠を越えて必要とされる基礎技術を中心に選定した。この理由は、各分野の基礎をしっかりと体験に基づいて学習することが、中学卒業程度の予備知識しかない新入生が複合・融合的な視点を養う上で効果的と考えたからである。また、「ものづくり基礎工学」では、各分野の基礎修得と同時に実験に向かう心構え（安全教育も含む）について学ぶことも教育目標の一つと位置付けている。

2. 2. これまでの経緯

開講初年度は、準備した実験実習テーマについて学生の反応を確認しながら試行錯誤を繰り返して

て指導していた。当初、教職員側では、様々な分野の実験実習を体験することで、学生は幅広い分野の技術に興味と関心を広げてくれると期待していたが、「体験」させるだけでは、全学生に5分野全ての実験実習を意欲的に取組ませることは難しい状況であった。また、「ものづくり基礎工学」で行っている実験実習テーマが全ての学科で役立つ内容となっていることも必ずしも新入生全てに周知できなかった状況にあった。

こうした状況を改善するため、「ものづくり基礎工学」導入2年目は、

① **ロング・ガイダンスの導入**：開講当初、入学直後の校内オリエンテーションの際に10分程度のショート・ガイダンスを行っていたが、科目の目的や意義を説明するには時間的に不十分であった。そこで、他に新たに科目の目的や意義、科目の概要、成績評価方法、欠席時の対応などを説明する時間を設けた。

② **分野（学科）毎のアンケート実施**：分野（学科）毎の授業アンケートを実施して学生の意識調査を行い、授業改善に繋げる。

などの試みを行った。その結果、第1希望学科以外の実験実習テーマにおいても意欲的に取り組む学生が増える傾向がみられた。また、分野毎アンケートを集計・分析することで、新入生の予備知識に配慮し、部分的に説明方法の改善も実現することが出来た。

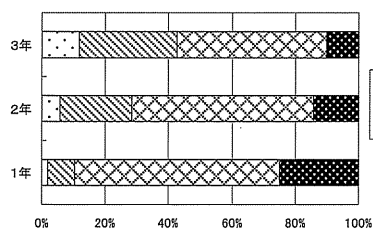
こうした経過を踏まえ、「ものづくり基礎工学」導入3年目に次章で説明する5分野共通の学生意識調査を実施するに至っている。

3. 学生の意識調査とその分析

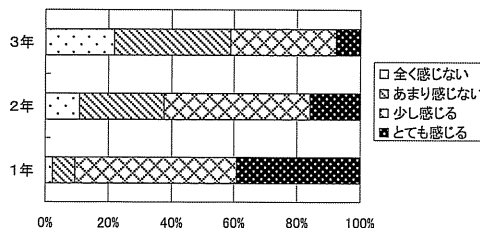
3. 1. 学生意識調査の集計結果

平成20年1月に実施した「ものづくり基礎工学」受講学生（在校の1～3年生）の意識調査の各設問と集計結果を以下に示す。

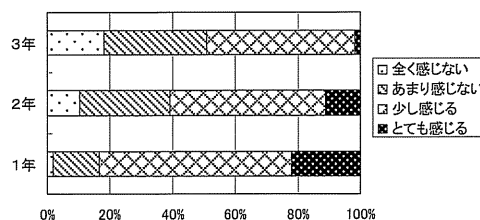
【設問1】ものづくり基礎工学の授業内容は理解できましたか（5分野について平均的に）



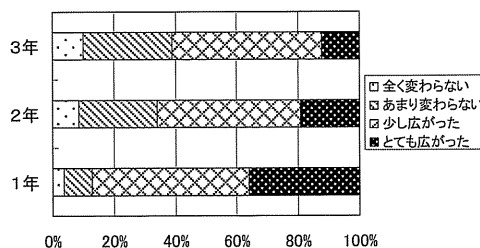
【設問2】ものづくり基礎工学で体験学習した第一希望学科の内容は、将来、専門学科の基礎を修得する上で役立つと感じますか。



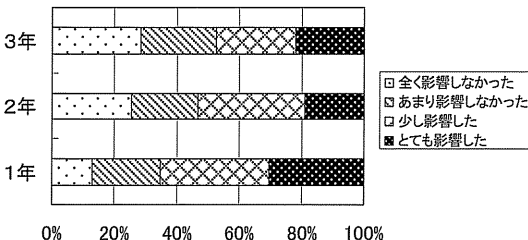
【設問3】ものづくり基礎工学で体験学習した5分野のうち、第一希望学科以外の分野の内容は将来役立つと感じましたか。



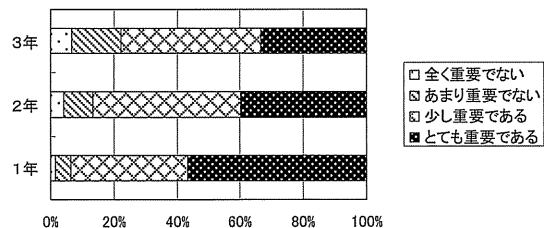
【設問4】ものづくり基礎工学を通じて、入学前よりも第一希望学科以外の分野の技術について知識や興味の幅は広がりましたか。



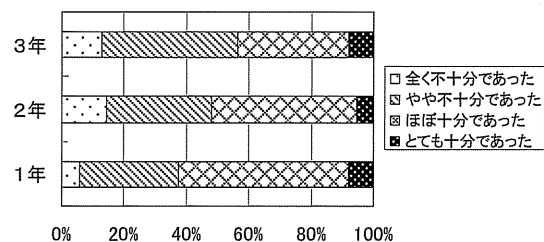
【設問5】ものづくり基礎工学は学科選択に影響を与えましたか。



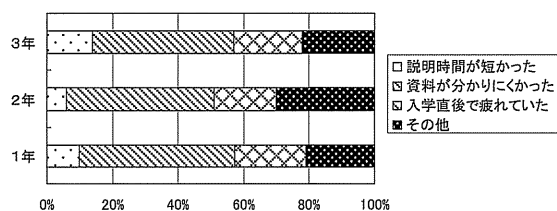
【設問6】複数分野の技術の基礎を学んでおくことは、将来、技術者として仕事をする上で重要と考えますか。



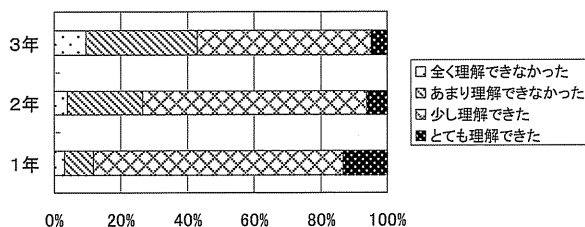
【設問7】（入学直後の校内オリエンテーションにおける）ものづくり基礎工学のガイダンスの説明は十分でしたか。



【設問8】設問7で『全く不十分であった』、『やや不十分であった』と答えた人に質問です。理由を教えてください。



【設問9】設問7で『ほぼ十分であった』、『とても十分であった』と答えた人に質問です。科目の到達目標は理解できましたか。



3. 2. 学生意識調査結果についての考察

設問1の集計結果から、年々、学生の理解度は向上している傾向が確認される。これは、分野(学科)毎に独自の授業アンケート調査を実施し、教授法改善に努めていた結果が反映されたためと考えられる。

設問2の集計結果からは、第1希望の学科の実験実習内容について、年々、学生は将来役立つであろうとの期待感を強めている傾向が確認される。この理由は、授業改善が上手く機能しているためと考えられる。

設問3の集計結果では、第1希望の学科以外の実験実習内容について、年々、学生は将来役立つであろうとの期待感を強めている傾向がみられる。この理由は、ガイダンスにおける科目の目的や意義の説明方法を毎年改善しているためと考えられる。また、開講2年目以降、授業の冒頭で実験実習内容の意義を説明する時間を組み込んだことも影響していると考えられる。設問3の集計結果のように、年々、第1希望学科以外の技術の重要性に気づく学生が増加傾向にあることは注目すべきことと考えている。また、設問2の結果とあわせて考えると、こうした結果の背景には、高専に入学する学生は、入学当初から専門科目や実験実習に高い関心を持っているという見方も出来る。

設問4の集計結果は、第1希望学科以外の実験実習内容であっても、実体験を通じて、興味と関心を向上させる学生が年々増加傾向にあることを示している。この理由は、毎年、科目の目的や意

義の説明方法を工夫していることが影響していると考えられる。一方、毎年、小中学校における理科の実験実習時間は短縮の一途を辿っているため、入学後の実験実習体験量増加によって急速に様々な技術分野に興味と関心が沸いてきた学生が増加したためと見ることも出来る。

設問5の集計結果は、年々、「ものづくり基礎工学」が学科選択に与える影響が大きくなりつつある傾向を示している。当初、「ものづくり基礎工学」は全ての学科で必要となる基礎技術に限定した実験実習内容を設定しているため、学科選択の参考にはならないはずの科目と想定していた(事実、開講初年度においては、学科選択に与える影響は大きくなかった)。しかし、開講3年目には学科選択に与える影響は大きいものとなっている。この理由は、新入生が学科の設備を見学する機会や上級生(特に研究室に所属する5年生や専攻科生)から学科に関する情報を得る機会が少ないため、「ものづくり基礎工学」が唯一の学科の設備や内容を知る機会となっているためと考えられる。このことは「ものづくり基礎工学」の本来の趣旨から外れるため、今後は、「ものづくり基礎工学」とは別に、学科の設備見学や上級生との対話の時間など学科選択の情報収集のための時間を設定していく必要があると考えられる。

また、背景には、「くくり相当入試」導入当初は、ある程度入学前に志望学科を決めて受験する学生が多かったのに対し、現時点では、入学してから志望学科を決めても良いと考える受験生の割合が増加傾向にあるとの見方も出来る。

設問6の集計結果から、複数分野の基礎技術を身に付けることは社会に出た後役立つと考える学生が年々増加傾向にあることが確認できる。これは、ガイダンスや実験実習の冒頭で科目の目的や意義、並びに各テーマの目的や意義の説明方法を年々改善してきたことによって学生の理解が深まったためと考えられる。

設問7の集計結果は、ガイダンスの説明に対する学生の理解度が年々増している傾向を示している。初年度のガイダンスは、入学直後の校内オリエンテーションにおいて10分程度のショート・ガイダンスで科目の目的等を説明するのみであった。開講2年目以降はロング・ガイダンスの時間を設定し、この中で科目の目的や意義などを説明

するように工夫している。年々、ガイダンスの説明に対する学生の反応が良くなっているのはこうした影響も大きいものと考えている。但し、設問 8 の集計結果にもあるように、依然、説明が不十分と感じる学生やガイダンスの時期に無理があると感じている学生もいるので、今後とも更にガイダンスの在り方を見直す必要があると判断される。

設問 9 の集計結果は、科目の到達目標を理解している学生が年々増加傾向にあることを示している。これは、毎年、ガイダンスの説明方法を改善していることや、実験実習冒頭における各テーマの到達目標や意義の説明方法を改善しているためと考えられる。

「ものづくり基礎工学」は開講 4 年目となるが、学生の意識調査結果から、概ね、授業改善の取り組みが上手く機能していることが確認された。

なお、今回の学生意識調査は全て無記名で行った調査であるが、まだ在学中の学生に対して行っているため、シビアな回答を意図的に避けた可能性も考えられる。また、1 年生においては、学科所属が正式に決定する前の調査であるため、上級生以上に遠慮した回答になった可能性も考えられる。今回の意識調査の集計結果については、さらに緻密な分析と考察が必要であろうと考えている。

4. まとめ

本報告では、1 年生共通教育における東京高専専門導入教育「ものづくり基礎工学」のこれまでの取り組みと経緯についてまとめ、平成 20 年 1 月に実施した学生意識調査の集計結果とその分析・考察について報告した。学生の意識調査結果から、年々、授業改善がなされ、科目の目的や意義を理解する学生数が増加傾向にあることが確認された。但し、授業に対する学生の意識調査だけでは正確に授業改善の度合いを判定することは難しいと考えられる。今後は、「ものづくり基礎工学」に対する学生の意識調査を継続するとともに、受講して数年後の学生の意識の変化なども調査する必要があると考えている。

また、学内の教職員からのみならず、実社会で活躍する技術者からも仕事上幅広い技術の知識が必要となることを伝えてもらうことは、新入生の学習意欲向上に繋がるものと考えられる。将来

的には、入学直後の早い段階で、現場技術者と接する機会を「ものづくり基礎工学」の中に設け、より一層、複合・融合的な視点を教育するための工夫などを取り入れていくことも検討しなければならないと考えている。

謝辞

平成 19 年度の 1 年生、2 年生、並びに 3 年生の各クラス担任の先生方には、学生意識調査の実施に多大なご協力を賜りましたことを感謝申し上げます。

本研究は、科研費基盤研究（C）課題番号 20500819 の助成、並びに平成 20 年度（財）理工学振興会教育研究助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 福田勝己，黒崎茂，清水昭博，森下達哉，吉沢誠，中村源一郎，“模型自動車モデルの機械加工製作によるものづくり実践授業－第 1 報 東京高専全 1 年生への試み－”，平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp. 94-95
- [2] 黒崎茂，福田勝己，松林勝志，鈴木塔二，藤野宏，海津朋之，“模型自動車モデルの機械加工製作によるものづくり実践授業－第 2 報 C A D 実習から製作完成までにおける取り組み”，平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp. 96-97
- [3] 大塚友彦，一戸隆久，加藤格，福井繁雄，村田賢俊，正木進，“新入生向け工学系共通教育としての電子工学導入教育”，平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp. 164-165
- [4] 大塚友彦，清水昭博，大貫繁雄，西村 亮，城石英伸，羽鳥広範，“東京高専における新入生向け体験重視型専門基礎教育 ～概要報告～”，平成 19 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp. 564-565
- [5] 小坂敏文，大塚友彦，清水昭博，大貫繁雄，西村 亮，城石英伸，羽鳥広範，“新入生向け技術マインド育成のための工学系共通基礎教育「ものづくり基礎工学」”，平成 19 年度高等専門学校教育教員研究集会論文集，pp. 279-282

ホットフィラメント法による Si テクスチャー形成に関する研究

永吉 浩*, 蝶名林幹也*

Study on Silicon Surface Texturing by Hot Filament Method

Hiroshi NAGAYOSHI, Mikiya CHONABAYASHI

Surface texturing method on crystalline Si using hydrogen radicals generated by a tungsten hot filament has developed. We found tungsten particles generated at the gas phase works as an etching mask against hydrogen radicals. Surface morphology and feature size of the texture structure could be controlled by the particle deposition condition on Si(100) surface. Inverted pyramid structure was obtained when the particle density was high, suggesting the etching reaction by hydrogen radical is anisotropic. Reflectance spectra of hydrogen treated Si surface using this method showed very low surface reflectance of less than 1% in the range of from 200 nm to 900 nm without any anti reflection coatings. This method is also effective on the texturing on multi-crystalline silicon, as cut wafer and EFG ribbon wafer.

(Keywords: Hydrogen radical, silicon, texture, solar cell)

1. はじめに

地球温暖化、石油資源の枯渇問題が深刻化する中、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの普及・開発が急務になっている。太陽光発電は地球上どこでも発電可能で規模を問わず発電効率が一定、半導体を用いた光-電気直接変換のために機械的可動部を持たずメンテナンスフリーなどの特徴をもつ。最初の実用セルがベル研で開発されてからほぼ 50 年たつが、当初は人工衛星や灯台等の独立電源システム用であった。石油ショックを契機に始まったサンシャイン計画、ニューサンシャイン計画の重要テーマの一つとして精力的な開発が行われた結果大幅なコスト削減が達成され、現在のモジュールコストは当初の 30000 円/W から 450 円/W 程度まで下がっている。システム価格は一般住宅用に系統連系システムが認可された 1994 年当時で約 600 万円した 3 kW の住宅用システムが現在は 200 万円を切るようになっている。しかしながらシステムの寿命から算出される発電原価は 50 円/Wh 程度であり、一般電気料金 17 円/Wh と比較するとまだ割高である。導入補助制度、電力買い取り制度等の導入により近年光発電システムの生産規模は飛躍的に増大してきたが、量産効果による大幅なコスト削減は難しい状況である。システムコストの 3 割を占めるモジュール価格の低減が重要課題となっており、2020 年には 75 円/W を達成することを政府の目

標にしている。以上のようなコスト削減を達成するにはセル作製プロセスの低コスト化と高変換効率を両立させる技術的なイノベーションが必要である。

現在生産されている太陽電池の主流は表面パッシベーション型の結晶シリコン太陽電池である。これまで一般的な太陽電池の厚さは 300 μm 程度であったが、近年の生産量増大に伴うシリコン原料の不足とコスト削減を目指して太陽電池セルの薄型化が試みられており、理論計算ではセル内部で光を多重反射させて効果的に光を吸収させれば 50 μm の厚さでも 20% 程度の変換効率を達成できることが示されている。セルの厚さが薄くなっていくと、内部で発生したキャリアが電極に到達する前に表面再結合する確率が高くなる。このために表面再結合を抑える表面パッシベーション技術と効果的に光を取り込むための表面テクスチャー構造の形成技術が今後重要性を増していくと考えられる。シリコン表面のテクスチャー化は結晶シリコン太陽電池にとって光を有効に取り込むための必須技術である。[1-3] 従来はアルカリ溶液によるシリコンの異方性エッチング特性を利用してランダムピラミッド形状を形成することが広く行われていた。このようなウェットエッチングプロセスは大量の廃液が出ることに加えて、セルが薄型化するとハンドリングが困難になる。最近では塩素系ガス、 SF_6 を利用したプラズマ表面処理による

表面テクスチャー構造の形成が報告されており、一部の量産工程に適用されている。この方式はドライプロセスであるが、腐食性ガスや温暖化の要因となるガスを使用する上にプロセスコスト低減が難しく、加えてエッチングで発生した物質の再付着によるマスキング効果を利用して、テクスチャー構造の得られる条件が狭い。本研究では水素ラジカルのエッチング作用[4-6]に着目し、排ガスがクリーンで低コストかつ効果的な表面テクスチャー構造を作り出すプロセス開発を目指している。

2. 実験装置

実験装置の模式図を図 1 に示す。装置はタングステンフィラメントを利用したホットフィラメント CVD 装置である。石英管の中に反応部が収められており、電気炉中で加熱することができる。構造がシンプルであるために大面積処理に適しており、原料ガスは水素のみである。加熱されたフィラメントが水素分子を解離する触媒として作用し、高濃度の水素ラジカルを発生する。発生した水素ラジカルはフィラメント下部に置かれたシリコン基板に作用する。代表的な実験条件を表 1 に示す。

3. 実験・考察

当初は水素ラジカルのエッチング作用がウェットプロセスと同じ異方エッチング特性を示すと考えていたが、単純に水素ラジカルを作用するだけでは明確なテクスチャー構造は得られず、表面反射率は鏡面に比べて 7%の低下にとどまった。一方、エッチング初期にフィラメント電流を短時間増大すると逆ピラミッド型や迷路状などの表面テクスチャー構造が得られる

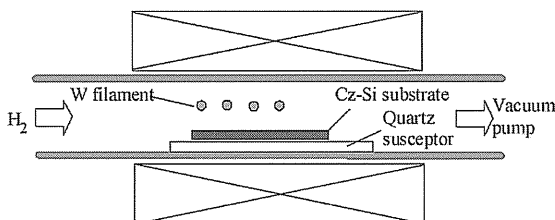
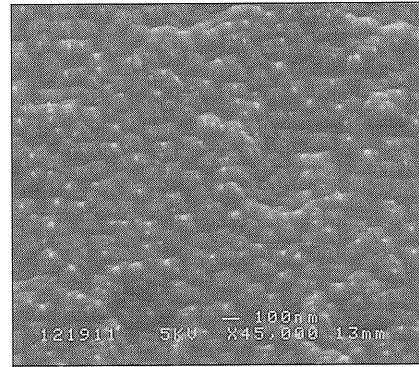


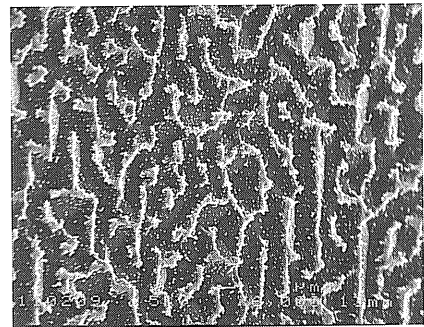
図 1 実験装置

表 1 実験条件

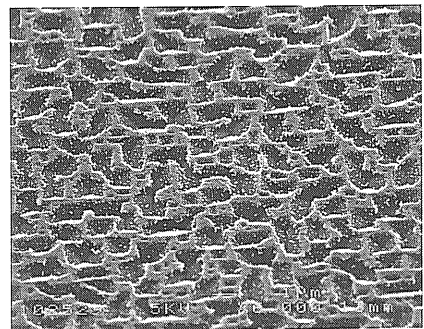
Furnace Temperature	800°C
Pressure	0.1-10Torr
Filament current	20-22A
H radical treatment time	30minutes



(a)



(b)



(c)

図 2 表面テクスチャー構造のパーティクル堆積時間依存性 (a) 1 秒(b)10 秒(c)20 秒

ことを見出した。得られたテクスチャー構造の例を図 2 に示す。SEM 像を見てわかるように、表面にはパーティクルが堆積している。XPS,EDS によりその組成は WSi_2 であることを確認した。テクスチャー形状形成のモデルを図 3 に示す。タングステンフィラメントは水素を分解するとともに、高電流条件では表面から金属タングステンが蒸発していると考えられる。一方、フィラメントで発生した水素ラジカルはシリコン表面をエッチングし、表面の Si 原子は SiH_4 などの水素化物として脱離する。我々はシリコン表面のエッチングにより発生したシリコ

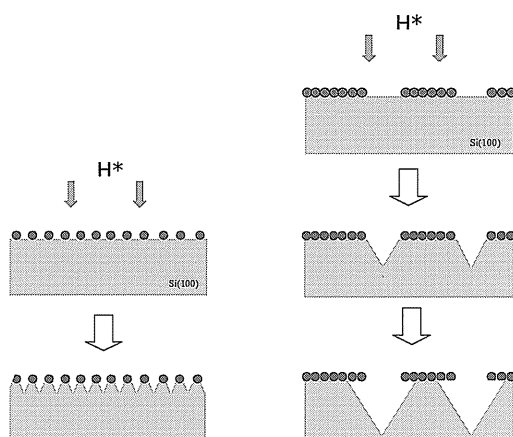


図3 テクスチャー形成モデル

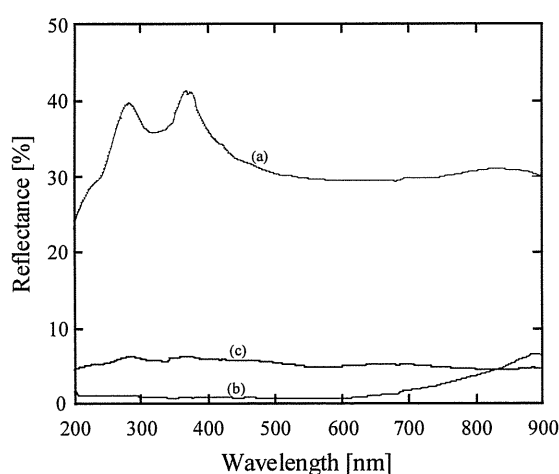


図4 表面反射率 (a)鏡面シリコン (b)迷路状 V 溝 (C)逆ピラミッド

ン水素化物とフィラメントから蒸発したタングステンが気相中で反応してタングステンシリサイドパーティクルが形成されたと考えている。このパーティクルが基板表面に堆積するとき、均一に堆積するのではなく、メッシュ状に堆積する。堆積と同時に基板表面からはエッチングによるシリコン水素化物の発生が同時に起こっているために自己組織化的にメッシュ状の堆積形態が得られていると考えられる。水素ラジカルは金属表面などを介して再結合しやすい性質をもつので、シリサイドパーティクルが再結合の第3体として作用すると考えられる。シリコン表面に堆積したシリサイドパーティクルは水素ラジカルのエッチングマスクとして作用し、さらに水素ラジカルのシリコンに対する異方性エッチング作用によってテクスチャー形状が形成される。パーティクルの間には小さな隙間があるが、有効に水素ラジカルの侵入を防

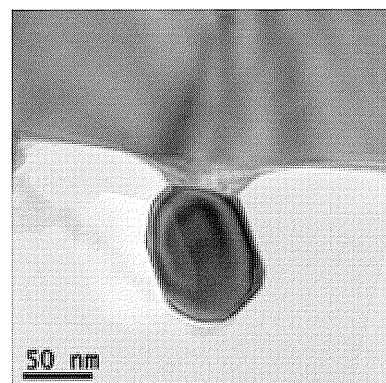
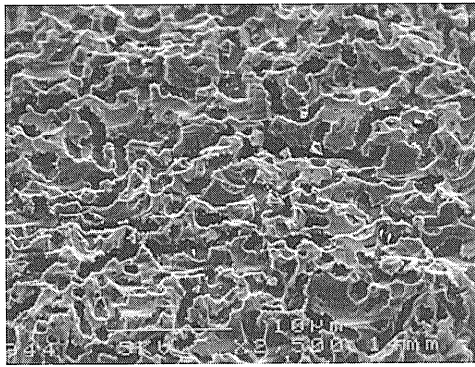


図5 パーティクルの TEM 像

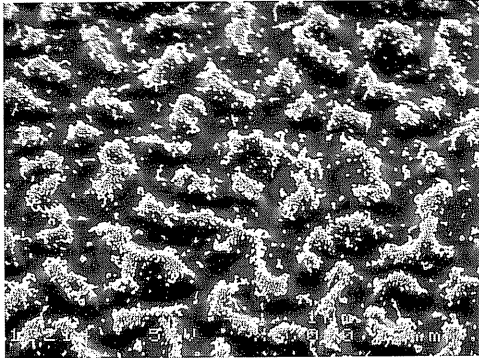
いでいる。得られた表面は、図4に示すように可視光領域で 1%以下の大変小さい光反射特性を示した。ウェハーをフィラメントとサセプタの間に浮かせるようにして処理すると裏面にもテクスチャー構造が形成できることを見出している。意外な結果であるが、低水素流量条件ではパーティクルがウェハー裏面に到達できるほどに反応容器中を漂っていることを示している。

本方式の場合パーティクルの除去が必要になるが、希フッ化水素酸に浸すことにより瞬時に除去可能である。パーティクルに含まれるタングステン成分がシリコン中に取り込まれると表面欠陥の形成やバルク Si 中の少数キャリア再結合中心としてデバイス特性を劣化させる可能性がある。基板上パーティクルの TEM 写真を図5に示す。すべてのパーティクルはシリコン表面上に乗っており、タングステン、タングステンシリサイドが基板シリコンと反応、欠陥形成、あるいはシリコンマトリクス中に取り込まれることがないことを確認した。

結晶 Si 中に過剰に取り込まれた水素は欠陥を形成しドーパントを不活性化する可能性がある。一方、表面パッシベーション膜との界面、多結晶シリコンの粒界およびアモルファスシリコン等では、ダングリングボンドに起因する欠陥を不活性化するために適度な水素の存在が必要である。水素はシリコンマトリクス中で準安定に存在できるサイトがあり、分子として存在することもできる。以上のように結晶中の水素の制御はデバイスの効率・安定性向上にとって大変重要である。一般的なプロセスでは 450℃程度の FGA 処理により水素化を行う。450℃以上では結合した水素がシリコンから脱離する。プラズマ CVD 装置を用いた 200℃以下におけ



(a)



(b)

図 6 テクスチャー構造の例 (a)アズカットウェハー (b)EFG リボン結晶

る水素ラジカルエッチングでは多数の欠陥が表面に形成されてしまう。低温では水素が過剰にシリコン中に取り込まれることが要因であると考えられる。一方、本装置の処理では表面欠陥の形成が認められない。おそらく、高温で処理しているために水素がシリコン内部に取り込まれることなく、速やかに表面原子のみがエッチング除去されているものと考えられる。処理温度 700℃以下ではエッチング作用は生じなくなる。一方、低温エッチングの報告では処理温度を 200℃より上昇するとエッチングレートが低下することが報告されている。カーボンの水素プラズマエッチングで同様な傾向が報告されており、推定すると 300℃～700℃の範囲ではシリコンは水素ラジカルの再結合中心として働いていると考えられる。

表面がフラットな単結晶シリコンを用いると異方性エッチングにより逆ピラミッド型の表面テクスチャー形状が得られるが、太陽電池プロセスでは、アズカットウェハー、多結晶ウェハー、EFG リボンウェハーに対するテクスチャー形成が求められる。アズカットウェハー、EFG

リボンウェハーに対する処理結果を図 6 に示す。単結晶鏡面ウェハー以外にもテクスチャー形状が得られることを確認した。特に EFG リボンウェハーは薄く割れやすいためにテクスチャー処理が困難であるとされていたが、迷路状のテクスチャー構造が得られている。(111)面ウェハーに対してもテクスチャー構造が得られることを確認しており、多結晶シリコンに対しても有効であると考えられる。

4. まとめ

高温処理可能なホットフィラメント CVD 装置を用いて水素のエッチング作用によるシリコン表面のテクスチャー化を試みた。単結晶シリコン表面に対して逆ピラミッド～迷路状 V 溝型の表面テクスチャー形状が得られることを見出した。テクスチャー構造形成にはエッチングによって発生するシリコンの水素化物とフィラメントから蒸発するタングステンの反応によって生じた WSi_2 パーティクルが重要な働きをしている。本方式が多結晶シリコン、アズカットシリコン、EFG リボンウェハーに対しても有効であることを確認した。今後はテクスチャー化した基板の少数キャリア表面再結合速度評価、太陽電池セルへの適用を予定している。

参考文献

- [1] M. A. Green: *High Efficiency Solar Cells*, (Trans Tech Publications, Cheap.5,1987).
- [2] R. Ludemann, B. Damiani, A. Rohatgi, and G. Willeke, Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, (2001)1327.
- [3] C. Zechner, G. Willeke, E. Bucher, Proc. 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, (1998) 1693.
- [4] R. P. Chang, C. C. Chang and S. Darack, J. Vac. Sci. Technol.,20(1)(1982)45
- [5] H. Nagayoshi, M. Yamaguchi, K. Kamisako, T. Horigome and Y. Tarui, Jpn. J. Appl. Phys., 33(1994)L621.
- [6] H. Nagayoshi, Y. Yamamoto and K. Kamisako, Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)L451

(平成 21 年 1 月 8 日 受理)

プログラミング言語演習課題の収集検査 Web システム

小坂敏文*, 吉本定伸*, 松林勝志*

Auto Collecting and Inspecting Web-system for Programming Language Exercise

Toshifumi KOSAKA, Sadanobu YOSHIMOTO, Katsushi MATSUBAYASHI

It is strongly recommended for students in computer science course that to write lots of computer programs to master programming languages. In addition, it is considered that practice is one of good method to study engineering. It is hard, however, for both students and teachers to write reports of programming and to collect and correct the assignment reports. For teachers in charge the collecting and inspecting reports system with web-site has been developed. In the system, the students are asked to upload their reports to their own websites, and the teacher makes a link list webpage in his own web-site. The system checks students' programs and generates semi-automatically.

In this report, the details of the system are introduced and how it works is mentioned.

(Keywords: C Programming, Exercise, Auto Collection System)

1. はじめに

本校情報工学科における演習付き授業「プログラミング言語演習」は、Cプログラミングを修得させることが目的である。その背景には、次の3つの必要性に基づいている。

(1) 構造化言語を習得することにより、コンピュータの動作について理解することは情報工学にとって原理原則の部分であること

(2) 情報工学科のカリキュラムの専門科目におけるさまざまな理論を実際に確かめる際にC言語を使うケースが多いこと

(3) 卒業後、仕事上で様々なプログラミング言語を使うことになるが、それらを短期間でかつ正確に学習しなければならないが、そのために、プログラミング言語の学習の仕方を学習すること

また、プログラミング言語の習得には、学習者のそれまでの体験・経験から得ている類推力・構成力の影響が大きく、1クラス40名の授業・演習で到達度に大きな開きが出てしまい、一斉授業は授業開始1カ月くらいしか意味をなさなくなってしまう。

そこでチュートリアル形式のWebテキストと、テキストの進行にあわせた多くのプログラミングの課題を行ってもらい、慣れ親しんでもらうことが必要になっている。質問に対しては個別対応をするので、授業時間中は寺子屋のようになる。これは伸びこぼし対策+落ちこぼれ対策になっている。

ところが、課題を与え、演習を多く行おうとす

ると、教員側は提出課題の採点に追われ、多くの時間を割くことになる。採点に多くの時間を割くことは当然だが、それ以上に提出状況の管理、督促、提出課題レポートの管理に多くの時間が必要となる。学生はレポート提出したつもりだが、実際は提出していないというトラブルや、提出遅れのレポートの混在があるなかでのレポート提出状況集計だけでも大変な作業量になる。2年生「プログラミング言語」では年間約80課題を課しており、40名クラスで年間3200ものレポートチェックが必要となっている。とても従来の紙媒体のレポート提出では対処できない。

1年間の実施の後、実際のレポートチェックにおいて最初の頃の学生向けのコメントは、次の2つが大多数であることがわかった。

(1) レポートの体裁（自分の出席番号、名前、レポート課題番号）が不完全であり、受理できない

(2) Cプログラムコードの字下げ（インデントーション）ができておらず、長いプログラムでは、読み取りやデバッグが困難

なお、後半に入ってアルゴリズム上の問題点の指摘、検査データに対する不十分な検査に対するコメントになることがわかってきた。

すでに電子レポート収集システム¹⁾²⁾³⁾については報告した。そこでは、学生が、自分でレポート課題提出状況を確認でき、学生自身が自分で確認できるシステムとなっていた。そして、教員側にとってもレポート課題の提出状況がわかり、提出

状況の集計に惑わされずに、レポート内容の点検（教員にとって、本質的な仕事）のみの作業となり、不必要な作業から解放されることになっていた。

また、提出されたレポート課題中の C プログラムを教員がコンパイル&リンクを行い、コンパイルエラーの有無のチェックまで自動化したことを前報で示したが、本報では、

- (1) レポートの体裁の自動チェック
- (2) C プログラムのコンパイルエラーの自動チェック
- (3) C プログラムコードの字下げ自動チェックを行えるようなシステムを報告する。

なお、コマーシャルベースの E-ラーニングシステムにおいてもレポート提出管理はできるようになっているが、汎用であるため、C プログラムのコンパイルなどはできないため、このシステムは有用である。

2. 電子レポート収集システムの仕様

このような電子レポート収集システムに求めることは次の 5 点である。

- (R1) 学生が簡単に電子媒体で課題提出ができること。(FTP で教育サーバに提出)
- (R2) 学生は課題提出状況がすぐわかること。また、コンパイル&リンク作業でのエラーなどはすぐに学生にわかること。
- (R3) 教員も学生の課題提出状況を一覧できること。
- (R4) 教員は学生の提出課題のプログラムを簡単に検査・評価ができること。
- (R5) 教員は学生の課題に対してコメントを返すなど、簡単にフィードバックができること。

3. 現在使用できるリソースとレポート集計システムの構想

本校における、学生のコンピュータ演習環境は次のようになっている。

- (1) 学生は本校教育用 UNIX マシン (host 名 tnct20) にアカウントを持っている。この UNIX マシンは、プライベートアドレスのため、

本校外部からは見えない。

(2) 教員も同じ本校教育用 UNIX マシンにアカウントを持っている。

(3) この本校教育用 UNIX マシンでは、Web サーバが稼動しており、学生は自分のホームディレクトリ中に Web 公開用サブディレクトリをつくり、そこに任意のファイルを置くことにより、学校内に対してファイルを Web 公開できる。

(4) この本校教育用 UNIX マシンでは管理上の理由から CGI は運用されていない。

(5) 学生は校内共通コンピュータ演習室の UNIX クライアント、WindowsPC および情報工学科棟の実験室の UNIX クライアント、WindowsPC を利用したプログラミング演習、マイコンプログラミング演習を行うことができ、FTP により、ファイルを本校教育用 UNIX マシンにアップロードできるようになっている。

このような環境の下で、電子レポート収集システムを実現するには、

- (1) 学生は課題を、あらかじめ決められたファイル名のファイルで教育用 UNIX マシン Web 上に公開する。
- (2) 教員は学生の提出ファイルのリンクリスト HTML 文書を決められた場所 (教員の教育用 UNIX マシン Web サイト) に置き、この HTML 文書中で担当全学生の複数の課題提出ファイルにリンクを張っておく。
- (3) 教育用 UNIX マシンでは CGI サービス

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying a URL. The main content area is titled "2008年2Jプログラミング言語レポート提出状況". Below the title, there is a section "【1】課題レポート提出方法" which explains the submission process. It states that reports are submitted as text files to a specific directory on the tnct20 machine. Below this, there is a table showing submission deadlines for two steps: Step 1 (C program) and Step 2 (Report). The table lists student IDs (2J01 to 2J08) and their corresponding submission deadlines.

学生ID	提出期限
2J01	01-04:4月21日
2J02	01-04:4月21日
2J03	01-04:4月21日
2J04	01-04:4月21日
2J05	01-04:4月21日
2J06	01-04:4月21日
2J07	01-04:4月21日
2J08	01-04:4月21日

図1 リンクリスト HTML 文書

が行われていないため、教員の教育用 UNIX マシン Web サイトでは、定期的な集計表 HTML 文書の自動作成を行う。この作業中にコンパイル&リンク上のエラーチェックなどを行い、集計表 HTML 文書に結果を表示する。のようにすればよい。

4. 電子レポート収集システム

電子レポート収集システムには「2」で述べた R1-R5 の5つの機能が求められていたが、このうち、R1 は Web 公開できる環境を学生が持っているため、すでに満たされている。R5 も教員の Web サイトあるいは電子メールが使用できるため、満たされている。したがって R2,R3,R4 を満たすシステムを構築すればこの教育サポートシステムを実現できる。

電子レポート収集システム (ERSYS 3) は次の2つの部分より構成される。

(1) 課題提出のファイル名・学生の ID を基に、リンクリスト HTML 文書を自動作成するシステム

(2) 課題提出状況一覧 HTML 文書を自動作成するシステム (コンパイル&リンクエラーなどのチェックを含む)

5. リンクリスト HTML 文書自動生成システム

リンクリスト HTML 文書は前報¹⁾で報告した文書である。図1に示すように、提出課題ファイル名、提出期限が書かれており、学生の出席番号氏名および課題ファイル名リストが表示される。ファイル名のところはリンクが張られているため、これをクリックすると、学生が提出したファイルが表示される。課題が未提出であったり、提出方法を誤ったりした場合には、「表示できません」の Web エラーメッセージが表示される。

6. 課題提出状況一覧 HTML 文書自動生成システム

リンクリスト HTML 文書では、リンクをたどらな

い提出状況を知ることができない。そこで、図2に示す提出状況一覧 HTML 文書が必要になる。このシステムは

- (1) 学生 ID 一覧テキストファイル
studentlist.csv (ファイル名は固定)
- (2) 提出ファイル名一覧テキストファイル
reportlist.csv (ファイル名は固定)

を基に、教育用 UNIX マシン内を巡回し、課題提出状況およびコンパイル&リンク作業に関するエラー・レポートの体裁・プログラムコードの字下げ不整合を一覧にして HTML 文書化するシステムである。

このシステムは教育用 UNIX マシン内で定期的 (UNIX の crontab サービスを用いて、授業時間中は 10 分に 1 回の収集、それ以外は朝、昼休み、放課後に収集している。) に動作させている。

なおオプションで、全課題ファイルを収集できるようにになっている。

7. プログラミング言語の Web テキスト

プログラミング言語のテキストは Web テキストとした。紙媒体のテキストの一覧性は犠牲にしているが、プログラム例は紙面の制約がなく多く載せることができ、また学生の疑問に対してリアルタイムで説明が更新できる利便性がある。この Web テキストはチュートリアルになっており、学びながら多くの練習課題を行うことができるようになっている。²⁾

また、先に進みたい学生向けの課題も用意されている。

レポート提出状況一覧
== Mon Jan 5 12:24:05 2003 ==

レポート番号	提出者ID	提出状況
1	p05ex01.c	O
2	p05ex02.c	O
3	p05ex03.c	O
4	p05ex04.c	O
5	p05ex05.c	O
6	p05ex06.c	O
7	p05ex07.c	O
8	p05ex08.c	O
9	p05ex09.c	O
10	p05ex10.c	O
11	p05ex11.c	O
12	p05ex12.c	O
13	p05ex13.c	O
14	p05ex14.c	O
15	p05ex15.c	O

記号の意味: O:提出 N:名前・課題名異常 F:字下げルール抵触 E:コンパイルエラー(未受理) -:未提出

レポート番号	提出者ID	提出状況
2481	p05ex01.c	O
2482	p05ex02.c	O
2483	p05ex03.c	O
2484	p05ex04.c	O
2485	p05ex05.c	O

図2 レポート提出状況一覧 HTML 文書

8. 学生へのフィードバックの仕組み

学生のCプログラムのコンパイル&リンクエラー、課題の体裁、プログラムコードの字下げ (K & Rスタイルを義務付け) についてのチェックは自動的に行われるが、それ以外は、教員が直接チェックしなくてはならない。チェック項目は次のような点である。

- (1) 課題では複数の検証用のデータを与えてあり、実行結果をプログラムの末尾にコメントとして載せるようになっていいる。ここをチェックすると実行の検証状況を確認できる
- (2) 不正なあるいは誤ったアルゴリズムを用いていて、実行結果だけ取り繕っていないか。

これらのチェック項目について、図3に示すコメントHTML文書で学生にレポート課題のフィードバックを与えている。

9. 今後の課題

このシステムは、本校のプライベートアドレス内の学習用UNIXマシンをベースとしているため、学校の外からはみることができない。このことは学生からも不評である。今後学校外からWebアクセス可能なファイルサーバが運用される予定であるため、PCベースで管理作業を行ない、ファイルサーバにアップロードした集計情報を学生が見られるシステムへと発展させる予定である。

10. まとめ

電子レポート収集システム (ERSYS3) を用いると、学生には多くの課題を与え、全体の課題の管理をコンピュータが上手にこなしてくれ、教員の手助けをしてくれる。

すでに、このシステムを稼働させ、改良を重ねて6年が経過した。これまでにプログラミング言語演習コンピュータ計測制御、制御

工学、実践プログラミング、電子計算機 I, II でこのシステムを用いている。電子メールによる課題提出よりも受け取り側は楽である。また既存のeラーニングLMSより自動コンパイルなど小回りがきくシステムとなっている。

参考文献

- 1) 小坂敏文, 吉本定伸, 西村亮, 松林勝志, 電子レポート収集システムの開発, 東京高専研究報告書第36号(1), pp45-48
- 2) 小坂敏文, Cプログラミング入門, http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/usr/kosaka/web/for_students/CIntro/CIntro.html
- 3) 小坂敏文, 吉本定伸, 松林勝志, 電子レポート収集システムの開発, 東京高専研究報告書第39号(1), pp71-74

このシステムについては次のWebサイトに詳述されており、必要なファイルも入手できる。

<http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/usr/kosaka/web/studentreports/ERSYS/ersys3/ersys3.html>

(平成 21 年 1 月 5 日受理)



図3 レポートに関するコメントHTML文書

近距離無線通信を用いた屋内ナビゲーションシステム

小嶋徹也*, 熊崎健太**, 岡田拓也*, 清藤智哉*
岩見圭祐***, 遠藤 慧***, 野路洸平***, 青野正宏*

Indoor Navigation Systems Based on Short Distance Wireless Communications

Tetsuya KOJIMA, Kenta KUMASAKI, Takuya OKADA, Tomoya KIYOFUJI
Keisuke IWAMI, Satoshi ENDOH, Kohei NOJI and Masahiro AONO

A local positioning system (LPS) using Bluetooth technology has been developed. This system can show our location in the building or underground where the signals of GPS cannot be received. In addition, we have developed an indoor navigation system based on LPS. In these systems, the location of the terminals (users) can be identified by the RSSI values from some routing nodes. However, the resolution of the RSSI values of the Bluetooth adapter used in our system is not high enough to identify the location of the terminals in short distances. In this paper, we proposed an alternative indoor navigation system based on Bluetooth technology and the passive RFID tags. It is expected that this system can achieve the efficient positioning resolution at a quite low cost. We also discuss the application of the proposed system.

(Keywords: navigation system, positioning system, Bluetooth, RFID)

1. まえがき

ある個人が未知の建物内で自らの現在位置を知るためにはハンドマップを見るか、案内板を探して調べなければならない。ハンドマップでは現在位置は確認しづらく、案内板はそれ自体を探す労力が伴う。携帯電話のサービスなどで、GPS を用いた測位システムもあるが、GPS は衛星からの電波で端末の位置を判定するという原理から屋内での利用は難しく、また三次元、すなわち垂直方向での測位精度にも難点がある。これらの問題点を解決するため、著者らは、近距離無線通信規格の一つである Bluetooth で通信可能な携帯端末を利用した屋内向け測位システムの開発に携わってきた¹⁾。このシステムは端末、中間ノード、および中間ノードと有線 LAN で接続されたサーバからなる。複雑な位置計算やデータベースの照合などはすべてサーバで行う。中間ノードと端末は Bluetooth で通信を行う。

また、著者らは、この屋内測位システムを拡張し、Bluetooth を利用した屋内ナビゲーションシステムの開発を行ってきた²⁾。このシステムでは、Bluetooth に対応した携帯端末を通してユーザに現在位置を伝え、更に目的地までの誘導を行う。これにより、ユーザが

建造物内や地下など、GPS の測位精度が十分に保てない屋内で目的地までの経路を知りたいといった要求がある場合に、スムーズに目的地まで誘導することができる。

これらのシステムでは、ユーザの位置を特定するために、受信信号の強さを表す RSSI(Received Signal Strength Indicator)の値を利用している。具体的には、ユーザが所持する端末と複数の中間ノード間の RSSI 値を測定し、これらの組み合わせによりユーザの位置を特定する方式を提案した。しかし、中間ノードで使用した Bluetooth アダプタにおける RSSI 値の解像度が十分に高くないため、屋内の小さい空間における測位の精度は必ずしも高いとは言えず、ユーザの位置をきめ細かく特定することには技術的な限界があった。

本論文では、これまでに開発された Bluetooth を用いた屋内測位システムおよび屋内ナビゲーションシステムの概要および特性について述べるとともに、上記の問題を解決する新しいシステムの提案を行う。

この新しいシステムでは、測位は Bluetooth を用いるのではなく、パッシブ型無線タグを使用する。このシステムでは、あらかじめ ID 番号が記録された無線タグを建物内の壁面などに多数設置する。この ID 番号

を無線タグリーダ搭載の端末で読み取ることにより、ユーザの位置を特定する。また、ナビゲーションの要求や経路探索結果などのデータ通信においては、従来のシステムで構築した Bluetooth による通信ネットワークをそのまま使用する。したがって、このシステムはパッシブ型無線タグと Bluetooth という二つの技術を有機的に融合したシステムと考えることができる。パッシブ型無線タグを用いることにより、より安価にシステムを構築できることも利点である。

本論文の構成は以下の通りである。まず、第 2 節において、新旧双方のシステムにおいて使用される基盤技術について簡単にまとめる。第 3 節で従来の Bluetooth を用いた屋内測位システム、および第 4 節でこれを拡張した屋内ナビゲーションシステムについて述べる。続く第 5 節で、無線タグと Bluetooth を併用する新しいシステムの提案とその可能性について論じ、第 6 節で結論を述べる。

2. 基盤技術

2.1 Symbian OS

Symbian OS は英国 Symbian 社による携帯機器向けのオペレーティングシステムである³⁾⁴⁾。

Symbian OS の設計思想は、携帯端末に本格的なオペレーティングシステムを実現するということから始まっており、汎用コンピュータ用 OS 並みに高機能な OS でありながら、組み込み端末向けに効率を追求した OS として両者のバランスをうまく取っている。日本でこの OS を搭載している携帯端末はそれほど多くはないが、世界シェアはスマートフォンと呼ばれる高機能携帯電話の中ではトップを誇る。また、近年、本 OS の動作に甚大な損害を与えるコンピュータウイルスが欧州で流行したことなども記憶に新しい。

Symbian OS はリソースの少ない携帯機器を対象とすることから、メモリリソースの節約や開放、バッテリー消費量の低減などを念頭において設計されている。Symbian OS 上でのアプリケーション開発に当たっては、C++や Java といったオブジェクト指向型プログラミング言語を用いる。また、元来、オープンソースによるアプリケーション開発を念頭において設計されていることから、ソースコード記述上の約束ごとも多い。

表 1: 近距離無線通信規格の比較

	Bluetooth	無線 LAN	赤外線
通信速度	数 Mbps	数 10Mbps	数 Mbps
通信範囲	～100m	～100m	～1m
指向性	なし	なし	あり
消費電力	100mW	700mW	1.4mW

2.2 Bluetooth

無線通信規格の一種である Bluetooth は、スペクトル拡散技術を採用した近距離デジタル通信方式である。わが国においても、携帯電話、スマートフォン、パソコン、デジタルカメラ、ゲーム機用コントローラなど、さまざまなデジタル機器に導入されている。この通信規格は 2.4GHz の周波数帯を用いており、Class 1 から Class 3 までの出力クラスが存在する。例えば、Class 1 の場合は、通信可能な範囲が約 1～100m であり、Class 2 の場合は約 10m 程度である。

近距離無線通信の規格には、Bluetooth 以外にもさまざまなものが存在する。表 1 に、いくつかの規格の特性を示す。Bluetooth が登場した際は、同じ携帯端末向けの通信技術である赤外線 (IrDA) の完全な置き換えと見なされていた。しかし、現在 IrDA はその接続のしやすさを生かした使い方、Bluetooth は持ち前の無指向性を生かした使い方をすることにより、お互いの弱点を補完し合っていると見える。一方、無線 LAN は 11～54Mbps と Bluetooth よりも高速であるが、最大消費電力が大きく、携帯端末にはあまり適していない。

2.3 N-Gage

本システムの開発に際しては、携帯端末として Nokia 社製の「N-Gage」を使用した。この端末は元来、個人向けゲーム機として発売されたものであるが、携帯電話や簡単なドキュメント管理、メールの送受信等を行える上、携帯型音楽プレイヤーとしての機能を有するなど、スマートフォンとしての機能を備えている。また、Symbian OS で動作し、Bluetooth を搭載しており、周辺の機器との近距離無線通信が可能である。

N-Gage の画像を図 1 に示す。

2.4 RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator) とは、無線



図 1: N-Gage

通信機器が受信する信号の強度のことである。RSSI は無線 LAN や Bluetooth などの無線通信において、通信範囲の制御や送信電力制御などの目的で利用されている。

RSSI 値は通信距離による変動だけではなく、壁や天井などといった障害物を通過することによっても変動する。特に、本研究で用いる Bluetooth は短距離、省電力での通信を目的とした仕様であり、使用する周波数帯域の特性からも、障害物による影響を受けやすいと言える。したがって、RSSI は、建物内の構造により、さまざまな地点で特徴的な値を示すものと考えられる。従来の Bluetooth を用いた屋内測位システムでは、このような性質を活用し、RSSI 値に基づく測位を行うことを検討してきた²⁾。

2.5 A*アルゴリズム

A* アルゴリズム⁵⁾は、無向グラフにおいて各ノードからゴールまでの距離が既知であるとき、与えられた2つのノード間における最短経路を効率的に解くアルゴリズムである。Google Map の API などに広く使用されており、本システムでも現在地から目的地までの経路探索の際にはこのアルゴリズムを採用した。

いま、ノード S からノード G までの最短経路を求めることを考える。任意のノード n に対し、 S から n までの最小コスト（最小距離）を $g(n)$ 、 n から G までの最小コストを $h(n)$ で表す。また、ノード S からノード n を通ってノード G に到達する経路における最小コストを $f(n)$ で表す。A*アルゴリズムとは、ノード n における $f(n)$ を求め、これを用いて隣接するノード m における $f(m)$ を再帰的に求めることにより、 S から G までの最短経路を求めるものである⁵⁾。

ここで、 $f(n)$ 、 $g(n)$ 、 $h(n)$ の真の値は一般に未知であるため、実際には、これらの推定値 $f^*(n)$ 、 $g^*(n)$ 、 $h^*(n)$ を使用する。これらのうち、 $h^*(n)$ はあらかじめ与えら

れている必要があるが、 $g^*(n)$ はアルゴリズム中で推定を行い、 $f^*(n)$ は

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n) \quad (1)$$

で与えられる。なお、 $h^*(n)$ はヒューリスティック関数と呼ばれ、条件

$$\forall n, 0 \leq h^*(n) \leq h(n) \quad (2)$$

が成り立つとき、本アルゴリズムにおいて求められる経路が S から G までの最短経路であることが保証される。アルゴリズムの詳細については、文献5)を参照のこと。

2.6 NN (Nearest Neighbor) 法

NN 法⁶⁾とは、パターン認識における識別方法の一種であり、あらかじめ与えられているプロトタイプと入力パターンを特徴空間上で比較し、最も距離の近いプロトタイプの属するクラスを識別結果として出力するものである。特徴空間上における距離としては通常はユークリッド距離を用いる。アルゴリズムの詳細については文献6)などを参照のこと。

3. Bluetooth を用いた屋内測位システム

3.1 システムの概要

本研究で開発した屋内測位システムは、無線通信規格 Bluetooth を利用し、Symbian OS を搭載した携帯端末を用いて、地下や建造物内などにおけるユーザの現在位置情報取得を行うことのできるものである。通常、屋外の見通しの良い環境下では、GPS により現在位置の取得を行なうことができ、これを応用したものとしてカーナビゲーションシステムや携帯電話によるナビゲーションサービスなどが知られている。しかし、GPS では衛星からの電波を必要とするため、壁や屋根でさえぎられた建造物内や地下での利用は一般に困難である。さらに、建物内の何階にいるかを判定する場合など、垂直方向の測位については、必ずしも十分な精度が保証されない。本システムは、Bluetooth による通信ネットワークを構築することで、GPS による測位と同様のサービスを屋内環境において提供するものである。

図2にシステムの構成図を示す。ユーザが使用する携帯端末あるいはこれら端末上で動作するアプリケー

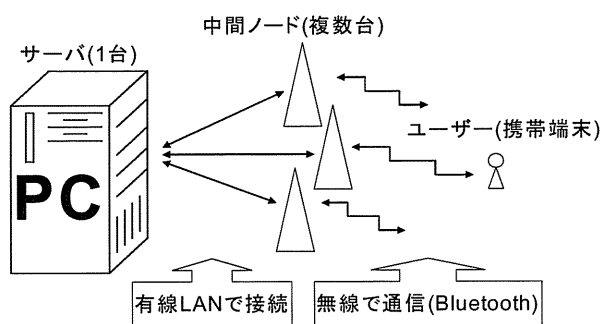


図 2: システム構成

ションをクライアントと呼ぶこととする。本システムは 1 台のサーバと、サーバに有線 LAN で接続された複数台の中間ノード、およびクライアントによって構成される。Bluetooth による無線通信を行うのは、中間ノードとクライアントの間に限られる。中間ノードとしては、通常の PC に、Bluetooth による通信を可能とするための USB アダプタを取り付けたものを使用する。これにより、学校やオフィスなど、屋内に PC が多く存在する環境では、中間ノードを容易にかつ多数確保することが可能になる。Bluetooth 用の通信アダプタも 1 個数千円程度のものであるため、PC 自体の価格よりも遥かに安価であり、中間ノード用に専用機器を開発することと比較しても少ないコストでシステムを構築することができる。

サーバは、中間ノード、クライアントに関するすべての情報、およびノードとクライアント間の RSSI 値といったデータを管理し、中間ノードとクライアントの位置に関するデータベースを保持する。クライアントからの測位要求に対する位置算出の処理などもすべてサーバで実行する。一方、中間ノードは、クライアントとの間の RSSI 値を測定し、クライアントとサーバの間で通信を行う際のリピータの役割を果たす。本システムと現行の携帯電話システムで利用されるセルラ通信システムの類似性を考慮した場合、中間ノードはちょうど携帯電話の基地局に相当する。これらに対してクライアントで行う処理は、サーバから中間ノード経由で送られてきた情報をディスプレイに表示するだけである。したがって、クライアントが保持すべき情報は建物の平面図のみでよい。

ユーザからの位置情報取得要求に対するシステムの動作手順を以下に示す。

- ① ユーザがクライアントを操作し、Bluetooth 通信により周辺の中間ノードに接続して、位置情報取得要求を送信する。

- ② クライアントから要求を受けた中間ノードは、クライアントとの間の RSSI 値を取得し、その値をサーバへ送信する。
- ③ 各中間ノードから送信されてきた RSSI 値をもとにクライアントの位置を特定し、中間ノードへ送信する。
- ④ サーバから位置情報を受信した中間ノードがクライアントへ位置情報を Bluetooth を用いて送信し、クライアント側で結果を表示する。

3.2 位置特定方法

前述のとおり、本研究ではユーザの位置を特定するための指標として RSSI 値を用いる。具体的には、位置情報取得要求が出されたクライアント周辺の複数の中間ノードから、当該クライアントの間における RSSI 値を計測し、これらの情報をもとにサーバでクライアントの位置を特定する。位置特定方法のイメージを図 3 に示す。この図は、あるクライアントから周辺の 3 ヶ所の中間ノード A、B、C の間の RSSI 値を測定して位置を特定する様子を、模式的に表したものである。

RSSI 値を用いた位置特定方法としては二通りの方法が考えられる。まず、単純な方法について述べる。RSSI 値が小さい場合、中間ノードとクライアント間の距離が離れているのか、それとも途中で障害物などがあり、電波が減衰しているのか、判別がつかない。一方、RSSI 値が大きい場合は、距離が近く、かつ障害物があまり存在しない見通しの良い場合であると推測される。このことを利用して、クライアント周辺の中間

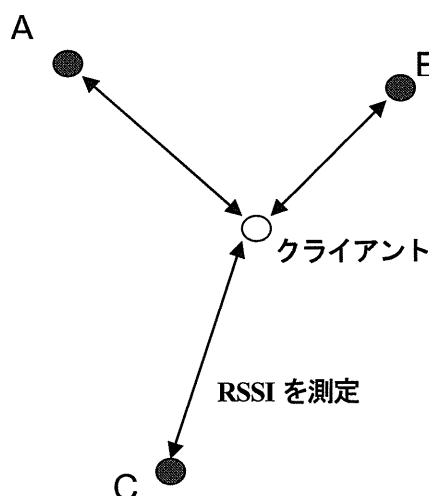


図 3: 位置特定方法のイメージ

ノードが多数発見された場合においても、RSSI 値が比較的高い値を取る 2 ヶ所ないし 1 ヶ所の中間ノードからの RSSI 値を採用し、これらをもとにサーバで位置の特定を行う。

もう一つの方法は NN 法を利用したものである。まず、あらかじめ、各中間ノードから特定の位置までの RSSI 値を測定し、サーバにデータベースとして蓄えておく。いま、一般性を失うことなく、ID 番号が n のクライアントから位置特定要求が出されたことを考える。このとき、このクライアント n と各中間ノード間の RSSI 値を並べた配列を C_n で表す。一方、事前にサーバで構築したデータベースから、任意の地点 m と各中間ノード間の RSSI 値を並べた配列 P_m を作ることができる。 C_n と P_m の各 RSSI 値はそれぞれ同一の中間ノードとの間の RSSI 値として 1 対 1 に対応しており、これらの配列の長さはすべて等しくなる。

このとき、任意の位置 m における配列 P_m をプロトタイプ、位置 ID 番号 m が示す地点をプロトタイプ P_m の属するクラスと考え、 C_n を認識対象のパターンとすると、位置特定の処理は一般的なパターン認識処理と考えることができ、NN 法が適用できる。

3.3 通信プロトコル

本システムでは、クライアントと中間ノード、中間ノードとサーバの間で通信が行われる。実際に必要とされるデータのやり取りは以下の通りである。

- ① クライアントー中間ノード間における位置情報取得要求およびその応答
- ② 中間ノードーサーバ間における位置情報取得要求およびその応答
- ③ 中間ノードーサーバ間におけるクライアントの RSSI 情報の受け渡し

ここで①および②では、クライアントが要求を行う対象はサーバであり、中間ノードはその仲介をするのみである。ゆえに、必要な通信プロトコルは以下の二通りに限られる。

- (A) クライアントーサーバ間における位置情報取得要求などを定義したプロトコル
- (B) 中間ノードーサーバ間における RSSI 情報の受け渡し、クライアントからの要求の仲介などを定義したプロトコル

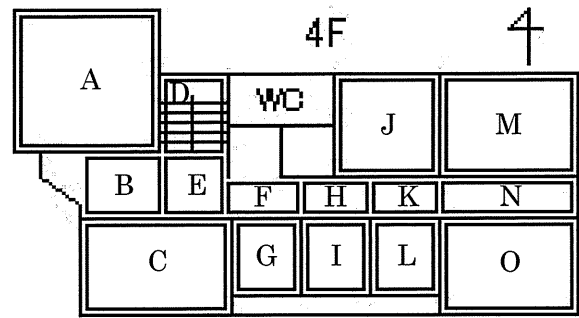


図 4: 平面図の例

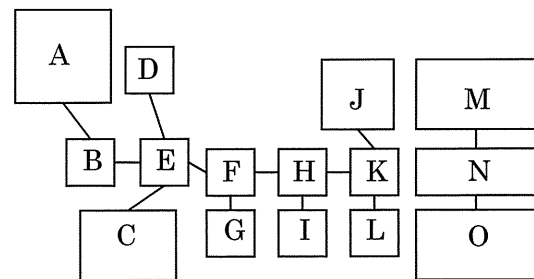


図 5: 平面図のグラフ表現の例

このような二通りのプロトコルを設計することにより、クライアントーサーバ間におけるシステムの拡張、たとえば、付加情報の通知、他ユーザの位置情報通知などが、中間ノードのソフトウェアにまったく手を加えることなく行うことができるようになる。

4. Bluetooth を用いたナビゲーションシステム

4.1 経路探索および表示方法

例として、東京工業高等専門学校第 7 棟 4 階の平面図を図 4 に示す。平面図上の部屋、階段、廊下を図のように区切り、それぞれをグラフの節点とし、A,B,C…の識別名を与える。また、隣り合う移動可能な節点間を辺で結ぶことで図 5 に示すような無向グラフとして表現することができる。階が異なるグラフどうしも階段を表す節点を接続することにより、すべて一続きのグラフとして表すことができる。

これにより、さまざまな経路探索アルゴリズムを適用することが可能となる。本システムにおいては、経路探索方法として、前述の A* アルゴリズムを用いる。また、ヒューリスティック関数としては、平面図上における目的地を表す節点までのユークリッド距離を使

用している。ただし、実際の計算では処理効率を考慮し、根号を省いたユークリッド距離の2乗で代用した。

4.2 測位システムからの拡張

Bluetooth を用いた屋内ナビゲーションシステムは、既に開発済みの屋内測位システムを拡張することで実現することができる。実際には、サーバ、中間ノード、クライアントのそれぞれにおいて、新しい機能を付加することによりソフトウェアの拡張を行う。

まず、サーバにおいて新たに必要となる機能としては、以下のものが挙げられる。

- ・ A* アルゴリズムを用いた最短経路の計算
- ・ 位置情報パケット送信に加えて、経路情報パケットを送信するための機能

なお、経路情報パケットは、ユーザの現在位置から目的地までの経路がたどるグラフ上の各節点を表す ID 番号の系列として与えるものとする。したがって、経路情報パケットの長さは可変長となる。

一方、中間ノードにおいて必要となる機能としては、サーバとクライアントの間で経路情報パケットを仲介する機能のみである。ただし、中間ノードでデータ通信パケットとして可変長パケットを扱えるようにすることにより、受信したパケットが位置情報パケットであるのか、経路情報パケットであるのかを判別することなく、データの仲介を行うことが可能となる。

最後に、クライアントにおいて新たに必要となる機能は、以下の通りである。

- ・ ユーザからの目的地入力受付
- ・ 目的地 ID および経路情報パケットの送受信
- ・ 経路検索結果の画面出力

現在位置と目的地が同一階である場合は、その階の平面図と経路のみが出力される。一方、現在位置と目的地が異なる階にある場合は、端末の方向キーにより、異なる階の平面図を選択して表示できるようにする。また、ユーザが所定の操作で目的地を入力し、経路検索要求を行うと、自動的にサーバとの間で Bluetooth 通信が確立する。さらに、サーバで計算された経路情報がクライアントで受信されると、ユーザが何も操作することなく、自動的に現在位置を含む平面図および経路が表示される。

4.3 システムの実装と動作検証

システムの実装に際しては、サーバおよび中間ノードとしては、Windows XP 搭載の PC を利用し、クライアントとしては、Symbian OS で動作する携帯端末 N-Gage を使用した。サーバプログラムは Eclipse SDK を使用して、通常の Java アプリケーションとして実装した。中間ノードは、Bluetooth 通信用の USB アダプタを PC に装着して利用する。一般に、Bluetooth デバイスの開発に際しては、Linux 上のアプリケーションとする方が情報も豊富で開発しやすい。しかし、学校やオフィスなどの PC を中間ノードとして利用するというシステム設計方針から、Windows 搭載の PC を利用することとした。このため、Bluetooth 通信用のアプリケーション開発環境として、Broadcom 社「Widcomm BTW DK」を使用した。クライアントとしては、Nokia 社提供の「S60 Platform SDK for Symbian OS」および「Carbide.vs」に加え、Bluetooth 通信機能開発用として Boomslang Studio 社の「BoomslangBT」も使用した。

以上のような環境でシステムを実装し、動作検証を行った。以下ではその一例を示す。

図4中の地点M, Oに中間ノードを設置し、位置M, N, Oのそれぞれから同一階の地点Cを目的地として経路検索を行った。その結果、地点MおよびOから目的地Cまでの経路については、正確に最短経路を得ることができた。両者の画面出力結果を図6に示す。しかし、地点N, すなわち廊下から目的地Cまでの経路検索においては、全試行のうち7割ほどは正しい経路が出力されたものの、残りの3割は、現在位置をNとするのではなく、MやOと誤認識して出力してしまうという結果となった。また、MやOとNの間にある金属の扉を閉めた時は誤認識率が減少したが、扉を開くと、ほぼ確実に現在位置をNではなくMやOと誤って認識してしまうことも明らかとなった。

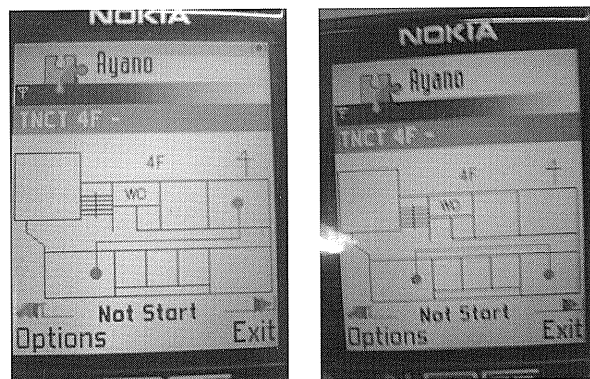


図 6: 経路検索結果出力

誤認識の主な原因としては、使用した Bluetooth 通信用アダプタの出力が強く、遮蔽物があったり距離が数 m 離れていたりしても、RSSI 値が十分に減衰せず、地点間における RSSI 値の格差が明確に得られなかったことにあって考えられる。RSSI 値の変化が端末の移動や遮蔽物の存在に対して顕著であれば、位置特定におけるしきい値を変更するなどといったソフトウェア上の操作で、精度の向上を図ることが可能である。しかし実際には、本システムで使用したアダプタの場合、RSSI 値の解像度が低く、廊下のような見通しの良い空間では、10m から 20m といった距離を移動しても RSSI 値がほとんど変化しないことがわかった。したがって、アプリケーションにより、これ以上の精度向上を図ることは非常に困難であると考えられる。このことは、Bluetooth のみを用いて測位および経路検索を行うことに技術的な限界が存在することを示唆している。

5. 無線タグを併用したシステムの提案

5.1 システムの概要

前節で行った動作検証で明らかとなった問題に対する解決策として、本論文では、Bluetooth と無線タグを併用した屋内ナビゲーションシステムを提案する。ここではその概要について述べる。このシステムの概要を図 7 に示す。

このシステムでは、サーバおよび中間ノードは従来システムと同じものを利用し、経路検索要求からクライアントにおける経路の表示に関しても従来方式と変わらない。従来と大きく変わる部分は測位に関する部分であり、具体的には以下のような方針でシステムを設計する。

- ・建物内の壁面に、固有の ID 番号を記録したパッシブ型無線タグを多数貼り付ける。
- ・クライアントは Bluetooth 通信機能に加え、無線タグリーダを内蔵したものを使用する。
- ・クライアントは壁面の無線タグの ID 番号を読み取り、目的地点の ID とともに中間ノード経由でサーバに送信する。

この方式であれば、従来の Bluetooth による測位で生じていたような、現在位置特定における誤認識の問題はほとんど起こらない。

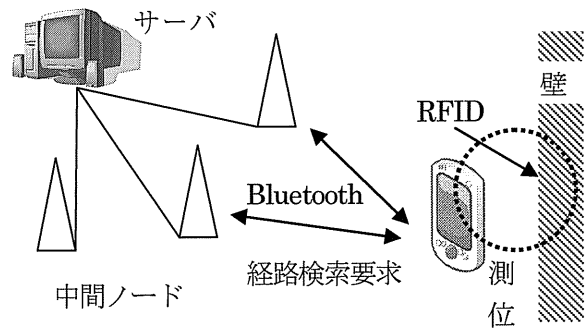


図 7: 無線タグを併用したシステムの概要

5.2 提案システムの特長

上で述べたように、ここで提案したシステムにおいては、測位における誤認識はほとんど生じないと考えられるが、これ以外にもさまざまな利点が考えられる。

無線タグを使用して測位を行う場合、アクティブ型無線タグを用いる方法とパッシブ型無線タグを用いる方法の二通りが考えられる。アクティブ型無線タグを利用する場合は、壁面にリーダを設置し、無線タグ内蔵の携帯端末を持ってユーザが移動することで、ユーザの位置を検出することが可能である。しかし、このようなシステムは、多数の無線タグリーダを建物内に設置し、かつこれらをネットワークで結ぶ必要があることから、設備にかかるコストが非常に大きくなる。また、建物の壁面などから、電波が常に発信されていることになり、各種無線機器との干渉や、ペースメーカーなどの医療機器の誤動作、人体への影響などがまったくないと断定することはできない。これに対し、提案方式のようにパッシブ型無線タグを利用する場合は、大量のタグを壁面に貼り付けるとは言え、コストは非常に低く抑えられる他、ユーザが測位要求を出したときのみ、非常に微弱な電波を発信するだけでよいことなどから、電波の干渉や電子機器の誤動作といったこともほとんど問題にならない。

また、無線タグに記録する情報として、位置を示す ID 番号だけではなく、部屋に関する情報や音声・画像データなどを同時に記録することもでき、利用者に対し、さまざまなサービスを提供することも容易に可能となる。さらに、これらの記録内容の書き換えも容易で、タグ 1 個単位で書き換えて貼り直すだけでよい。また、位置に関する ID 番号さえ変更しなければ、記録内容の変更がシステム全体に及ぼす影響はほぼ皆無であり、サーバ側のデータベースなどを変更する必要もない。

以上のように、本論文で提案する新システムは、低コストかつ高性能な測位およびナビゲーション機能を有しているだけでなく、利用者に対して、さまざまな拡張サービスを容易に提供することも可能になると考えられる。

5.3 提案システムにおける課題

本システムにおけるもっとも大きな課題は、クライアントとして利用可能な機器の開発にある。現在、Bluetooth 通信機能を有し、かつ無線タグリーダを内蔵するような携帯端末は、ほとんど流通しておらず、一般的とは言えない。したがって、本システムを実現するためには、専用の端末を開発する必要がある、本システムの市場価値や端末の製造コストを考慮に入れて十分に検討する必要があると考えられる。

また、利用者の立場からすると、測位を行うために携帯端末を壁に近づける必要があり、操作が若干わずらわしいことも問題点として挙げられよう。しかし、建物内は廊下など細長い空間が多いため、現在位置を特定しなければならないのは、曲がり角や階段の付近など、経路が分岐するところに限られる。したがって、実際には、道が分岐するところだけで壁面に端末を近づける動作が必要になると考えられ、それほど大きな問題にはならない可能性もある。

さらに、Bluetooth を用いた従来システム、および無線タグを併用したシステムにおける共通の課題として、クライアントに内蔵するための地図データを容易に作成する方法の検討が挙げられる。本研究では、本校内における平面図を個別に作成して検証したが、さまざまな建物で広く利用するためには、地図を半自動的に生成するなどの仕組みを取り入れる必要がある。

6. むすび

本論文では、無線通信規格 Bluetooth を用いた屋内測位システムおよび屋内ナビゲーションシステムの設計方針および実装、動作検証結果について述べた。さらに、より低コストかつ高性能なシステムとして測位部分にパッシブ型無線タグを併用したシステムの提案を行った。Bluetooth のみを用いたシステムでは、RSSI 値の特性から測位精度が一定以上は向上できないという問題点が浮き彫りになったが、新たに提案した無線タグを利用したシステムでは、このような問題が解決

するだけでなく、現在位置の特定とともにさまざまな情報を提供するなど、利用者にとっての利便性を容易に高められること、かつ、低コストで環境にも優しいシステムが構築可能であることなどの利点がある。第 5.3 節で述べたように、今後解決しなければならない技術的課題も少なくない。今後は、さまざまな場所で利用でき、より多くのユーザにとって利便性の高いシステムとなるよう、工夫を凝らしながら開発を進めていく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、平成 19 年度東京工業高等専門学校重点配分経費の補助を受けて行われました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。また、本研究に関し大変有益なご助言をいただきました(株)プロテック間宮秀訓氏、生崎邦彦氏に心より感謝致します。

参考文献

- 1) 野路洸平, 小嶋徹也, 青野正宏: “Bluetooth 搭載端末を利用したローカル測位システムの開発”, 八王子産学公連携機構 第 6 回 研究成果発表講演会予稿集 (2006).
- 2) 熊崎健太, 岡田拓也, 清藤智哉, 小嶋徹也, 青野正宏: “Bluetooth を用いた屋内ナビゲーションシステム”, 第 71 回情報処理学会全国大会予稿集 (2009).
- 3) R. エドワーズ, R. ベーカー, EMCC ソフトウェア著, 吉川邦夫監訳, イエロー・レーベル訳: “Symbian OS/C++プログラマのための Nokia Series 60 アプリケーション開発ガイド”, 翔泳社 (2004).
- 4) R. ハリソン著, 吉川邦夫監訳, イエロー・レーベル訳: “Symbian OS C++プログラミング”, 翔泳社 (2004).
- 5) P. E. Hart, N. J. Nilsson and B. Raphael: “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths”, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, vol.4, no.2, pp.100-107 (1968).
- 6) T. M. Cover and P. E. Hart: “Nearest Neighbor Pattern Classification”, IEEE Transactions on Information Theory, vol.13, no.1, pp.21-27 (1967).

(平成 21 年 1 月 8 日 受理)

大容量で信頼性・汎用性の高いモータアンプの設計・開発

松林勝志*, 佐藤晶則**, 小坂敏文*, 吉本定伸*

Development of a Multipurpose Motor Amplifier with Large Current Capacity and High Reliability

Katsushi MATSUBAYASHI, Masanori SATO, Toshifumi KOSAKA and Sadanobu YOSHIMOTO

The development of a multipurpose motor amplifier is described in this paper. The motor amplifier has large current capacity depended on selected FET and allows wide range of motor power supply from 6V to 20V (DC). It has high reliability because the generation of heat of FETs is suppressed to the utmost limit. The alignment of deadtime is quite important in the drive of FETs. If it is not adjusted, the current of drain will be quite large and FETs may be broken down although it is very short happening. To drive the gate of high-side FETs with the adjustment of the dead time, purpose-built gate driver IC and charge pump method are applied.

(Keywords: H-Bridge, Gate Driver, Power MOS FET, Deadtime)

1. はじめに

モータアンプは、なんらかの信号により、モータを制御するための増幅回路である。ラジコン用モータアンプは複数のメーカーから市販されており、制御方式が規格化され、選択肢はある程度広い。しかしラジコン用モータアンプを自作ロボットに適用しようとする、マイコンでは扱いにくいラジコン用制御方式をソフトウェアで実現しなければならない。また、車の模型を駆動するためのものであることから、正転・逆転が同性能でない、回転方向切換時にタイムラグがあるという特徴があり、使い勝手も良いとはいえない。

ロボット用として市販されているモータアンプは、使用可能な電源電圧が固定されていたり、電流容量が十分でなかったり、独自の制御方式を採用しているなど選択肢は極めて狭い。また、FET のデッドタイムが考慮されてない場合が多く、価格も高価である。

そこで、本研究では次の特徴を持つ、モータアンプを開発する。

- ◎ 6V ~ 20V (DC) の広いモータ駆動電源電圧に対応。
- ◎ デッドタイムを挿入できるゲートドライバ IC を採用し、FET の発熱を限界まで抑制。

◎ 一般的な東芝のモータドライバ IC の制御方式 (TOSHIBA Mode)¹⁾、これまでに開発・使用してきたモータアンプの制御方式 (Micro-Computer Mode)²⁾、ラジコンの制御方式 (RC Mode) のすべてに対応。

◎ モータ駆動電源だけで動作し、5V などの制御用電源が不要。

◎ 小型で安価。

2. Hブリッジ回路

図 1 にモータアンプの基本回路である H ブリッジ回路を示す。Q1 ~ Q4 の 4 つの FET が描かれているが、各 FET は発熱を抑え大容量化するためパラレルに複数個搭載する場合もある。

Q1・Q4 のペア又は Q2・Q3 のペアの FET を ON にすることで、正転又は逆転となり、ON にするタイミングを PWM 制御すれば、モータの出力を調整できる。Hブリッジ回路の上半分はハイサイドと呼ばれ、下半分はローサイドと呼ばれる。ハイサイド又はローサイドの 2 つの FET を同時に ON にするとブレーキとなる。

FET はソースに対してゲートの電位 I_{gs} を高くすると、ON 状態となり、ドレインからソースに電流が流れる。 I_{gs} は大きいほど FET の ON 抵抗

が少なくなるため、10V 以上となるように設計するが、一般に 20V が最大定格である。

ハイサイド側のソースの電位はモータの回転数が上昇するにつれ、逆起電圧により高くなり、特に無負荷の場合にはほぼ電源電圧である V_{dd} 近くまで上昇してしまう。その結果、FET が ON になりにくくなり発熱の原因となってしまう。これを防ぐために、ソースの電位を基準にしたフローティング電源を用意し、常にソースに対してゲート電位が 10V 以上を保つように設計する。

3. モータアンプ回路

図 2 に現在までに試作を終え、動作試験を行っている回路図を示す。試作品を図 3 に示す。

3.1 電源

回路には、PIC マイコン PIC12F683 を駆動させるための 5V とゲートドライバを駆動させるための 12V の電源が必要である。そこで、モータ駆動用電源電圧 (6V ~ 20V) を三端子レギュレータで一旦 5V に降圧した上で、MAX662A を用いてゲートドライブに使用する 12V を発生させている。

3.2 各制御方式への対応

TOSHIBA Mode, Micro-Computer Mode, RC Mode への対応は、PIC12F683 を用いてソフトウェアで実現し、ジャンパピンにより切り換える。

3.3 FET のゲートの駆動

FET のゲートの駆動は、専用ゲートドライバ IC である IR (International Rectifier) 社の IRS2109³⁾ を用いている。IRS2109 の VB 端子に与える電圧がハイサイド FET のゲートにかかることになるが、モータの回転数が低く、ハイサイド FET のソースの電位が低い時には、D3・D4 により VB の電位は 12V が保証される。モータの回転数が上がり、ソースの電位が上昇した場合でも、タイマ IC555 の出力と、一段のコッククロフトウォルトン回路 (D5・D6・C16・C17 及び D7・D8・C18・C19) により、VB の電位はソースに対して 12V 高くなる。

3.4 デッドタイム

モータの回転方向を切り換える瞬間、H ブリッジ回路の左半分または右半分のハイサイドとローサイドの FET は、ON/OFF が交代する。ゲートの電位の変化に対して、FET は ON なりやすく

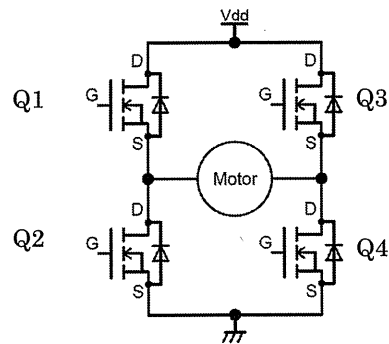


図 1 Hブリッジ回路

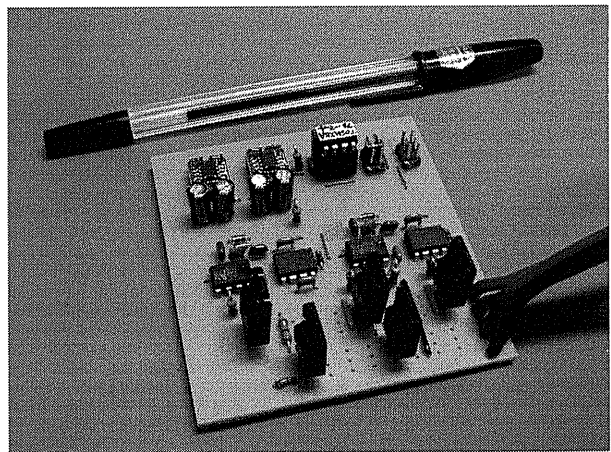


図 3 モータアンプ試作品

OFF になりにくいいため、ハイサイドとローサイドのゲートを同時に切り換えると、一瞬同時に ON になる時間が生じてしまう。この時間をデッドタイムと呼ぶ。タイミングを調整し、デッドタイムを避けて FET をスイッチングしないと、 V_{dd} と GND が短絡し FET が発熱し破損する可能性がある。

IRS2109 は FET を用いたハーフブリッジ回路の駆動用に設計されており、2 個使用することにより H ブリッジ回路に応用できる。ハイサイドとローサイドのゲートドライブ用に別々の端子を有し、所定のデッドタイムを考慮してハイサイドとローサイドの FET をスイッチングできる。このゲートドライバ IC を FET (2SK2886) の駆動に用いた場合のタイミングチャートを図 4 に示す。デッドタイムは負の値となっており、ハイサイドとローサイドの FET は同時に ON にはならない。

残りの FET の発熱の可能性としては、ON 抵抗による僅かなもののみとなるが、この発熱も FET をパラレルに搭載することでほとんどなくすることが可能である。

4. 現在の状況

現在、TOSHIBA Mode のプログラミングが終わり動作確認を行っている。しかし、FET の発熱は全く認められないものの、電源部の三端子レギュレータがかなり発熱する。このことは当初より予想されていたが、対策としてチョッパ制御による降圧電源回路を設計中である。

5. まとめ

広いモータ駆動電圧に対応し、ほとんど発熱しないことから信頼性が高く、各種制御方式に対応するモータアンプを設計・試作した。

現在、制御方式として東芝方式しか実現できていないが、他の2方式についても順次ソフトウェアを開発する。また電源部の発熱も押さえるためチョッパ制御による制御による降圧電源回路を開発中である。

開発が終わった段階で、小型化と量産のため専

用多層基盤を設計する。一次ロットはインターネット上でモニターを募って配布し、意見を収集しさらに完成度を高める予定である。

本研究は、本校専攻科機械情報システム専攻1年生の佐藤晶則君と共に進めている。彼の特別研究の一部⁴⁾でもありさらなる成果を期待したい。

参考文献

- 1) (株) 東芝，モータ用 IC データブック，1994
- 2) マイコン制御用 180A 仕様モータアンプ 紹介 / マニュアル / 基板頒布 / 組立アドバイス，
<http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/usr/matsu/hp/createthings/index.html>
- 3) International Rectifier, IRS2109/IRS21094 (S) PbF, Data Sheet No. PD60261
- 4) 佐藤晶則，大容量かつ信頼性・汎用性が高いモータアンプの開発，第1回特別研究中間発表会予稿集，2008.10

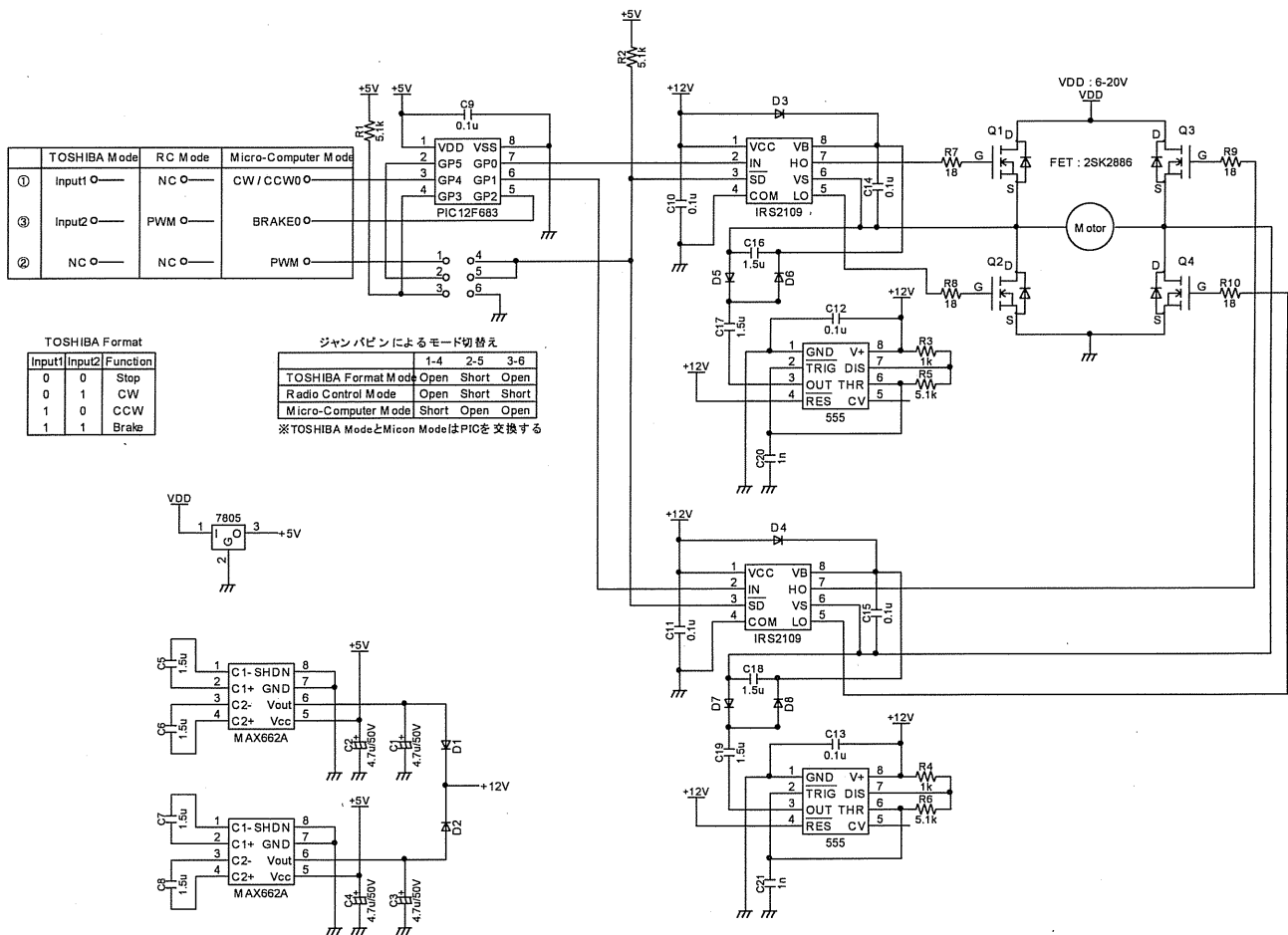
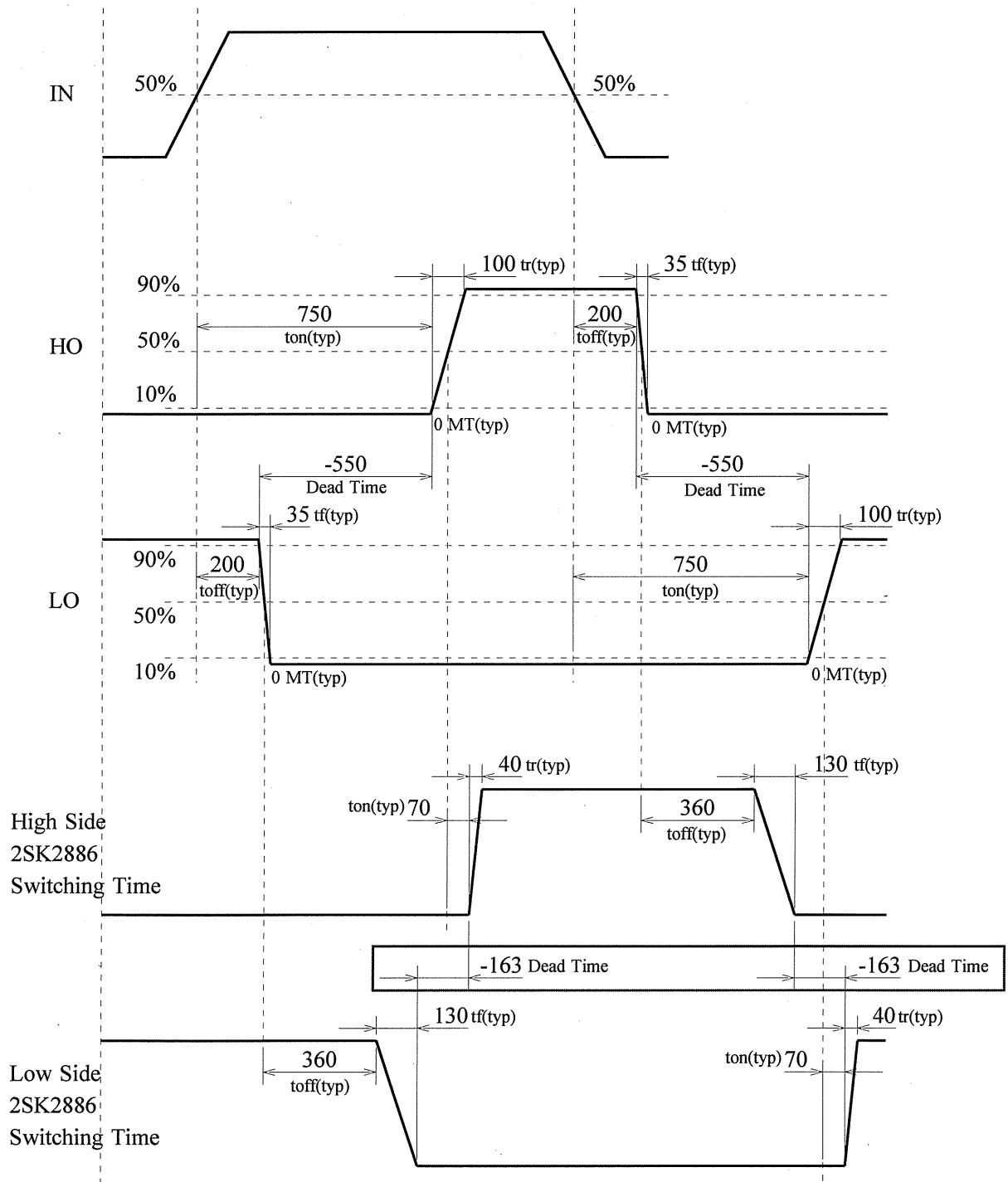


図2 モータアンプ回路図



Dynamic Electrical Characteristics IR2109 and 2SK2886 (typical)

図4 デッドタイムに関するタイミングチャート

(平成 21 年 1 月 8 日受理)

東京工業高等専門学校研究報告書

第 40 (2) 号

平成 20 年度

平成21年 3 月15日発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書委員会

発 行 者 東 京 工 業 高 等 専 門 学 校

東京都八王子市棚田町1220の2

TEL 八王子 (042) 668-5111

〒193-0997

印 刷 所 電算印刷株式会社

長野県松本市筑摩 1-11-30

TEL 松本 (0263) 25-4329

〒390-0821

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.

