# Research Reports of Tokyo National College of Technology

## 東京工業高等専門学校



第 44(1) 号

2012.12

### 東京工業高等専門学校研究報告書 第44(1)号 目次

「中国科学技術政策史」の試み(その2)	河	村		<u>典</u> 豆	1
時間的余裕のない学習者のための外国語習得法に関する一考察 — Part 4: (18ヶ月間に亘る) 基本文法習得に関して—	ゲイ	ッ	ジョ	1ン	17
Q-Uを用いた学級集団の分析	黒	Ξ		寿	23
Pump Performance and Flow Behavior in Valve Chamber according to Changes of Air Volume in Air Chamber in Water Hammer Pump System	斉高永岩出土	藤橋田村嶌方	純正佳拓京我	夫旭未哉太久	33
Evaluation for the Optimal Cylindrical Rod Position that effects on the Stall Control in a Thick Wind Turbine Blade	斉山高岩大	藤科橋村沢	純貴正拓	夫 裕旭哉佳	43
はんだの応力解析用構成モデルの調査と分類	林 海老	送原	丈理	晴 徳	57
ローラチェーンの三次元有限要素応力解析と引張強度向上のための提案	岩志黒	元村崎	翔	太 穣 茂	69
ハプティックインタフェースを利用した生体シミュレータの基礎研究 一多自由度ペン型インタフェースの試作—	多佐小齋	<b>雇藤泉藤</b>	政岳浩	進 哉 大	77
リフレッシュエアを周期的に導入する振動流による換気	清佐清菅	水藤水原	昭正優路	博 樹 史 子	81

自転車乗車時の加速度測定~非舗装路におけるタイヤ空気圧の影響~ 木 村	南	85
非晶質炭化珪素薄膜の内部応力と膜破壊パターンの非線形解析 伊 藤 川 又 由 大 山 昌	浩 雄 憲	93
多地域連系系統における風力発電連系可能量の評価モデルの検討 土 井 安 部 清	淳 貴	99
インバータが発生する伝導性ノイズの低減法とその評価システムの構築 綾 野 秀 佐 藤 優 松 井 義	樹 貴 弘	107
構造活性相関を用いた重金属の生態毒性の生物間の比較	良 弥 萌	113
平成23年度教員教育研究業績		121

## Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 44 (1) CONTENTS

Yutaka Kawamura	•On the History of Science and Technology Policy in China, Part 2.	1
John Gates	<ul> <li>Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective</li> <li>Part 4: Grammar Foundation Completed after 18 Months</li> </ul>	17
Kazutoshi Kuroda	•An analysis of class communities by using Questionnaire-Utilities •••••••	23
Sumio Saito Masaaki Takahashi Yoshimi Nagata Takuya Iwamura Keita Dejima Gaku Hijikata	•Pump Performance and Flow Behavior in Valve Chamber according to Changes of Air Volume in Air Chamber in Water Hammer Pump System …	33
Sumio Saito Takahiro Yamashina Masaaki Takahashi Takuya Iwamura Kai Osawa	•Evaluation for the Optimal Cylindrical Rod Position that effects on the Stall Control in a Thick Wind Turbine Blade	43
Takeharu Hayashi Yoshinori Ebihara	•Survey and Classification of Constitutive Models Used for Stress Analysis of Solder	57
Shouta Iwamoto Jyo Shimura Shigeru Kurosaki	•Three-dimensional Finite Element Stress Analysis of Roller Chain and Some Design Proposals for Improvement of Tensile Strength ······	69
Susumu Tarao Masaya Sato Takehiro Koizumi Hirokazu Saito	Basic Study of Biophysical Simulator Using a Haptic Interface -Prototyping for a Multi-DOF Pen -Style Interface-	77
Akihiro Shimizu Masaki Sato Masashi Shimizu Michiko Sugawara	•Ventilation by Oscillatory Flow with Cyclic Introduction of Refreshing Air	81

Minami Kimura	•Acceleration measurement of bicycle on non-pavement road
Hiroshi Ito Yoshio Kawamata Masanori Ohyama	Nonlinear Analysis of Film Breakdown and Internal Stress of Amorphous Silicon Carbide Films
Atsushi Doi Kiyotaka Abe	•A Study of Evaluation Model for Allowable Capacity of Wind Power Generations in Multi-Area Interconnected Power System
Hideki Ayano Yuki Sato Yoshihiro Matsui	•New Reduction Technique of a Conductive Noise Generated by an Inverter and Construction of the Measurement System ••••••••• 107
Ryo Shoji Masaya Shimabukuro Moe Takahashi	•Analysis on toxicity of heavy metals against organisms in different stages in whole ecosystem by QSAR (Quantitative Structure Activity Relationship)113

## 「中国科学技術政策史」の試み(その2)

河村 豊1)

#### On the History of Science and Technology Policy in China, Part 2.

Yutaka KAWAMURA

This paper discusses the history of Science and Technology Policy in China from 1977 to 2007. After the reform and opening to the outside world in China, Deng Xiaoping who is the first generation reader in Chinese socialist revolution made Law of the People's Republic of China on Science and Technology Progress at 1993. I pointed out the reason why he thought that science and technology is the "first forces of production" and Chinese need reform and opening-up policy on the science and technology program, using the material "The Speeches of Deng Xiaoping".

#### 1. はじめに

科学技術政策研究所が刊行した『科学技術指 標 2012』によれば、2010 年の中国の研究開発 費は 7,062 億元で、データー公開が始まった 1987 年の 74 億元と比べて約 100 倍、またここ 20 年間でも 56 倍という著しい伸びを示してい る (物価上昇分は考慮していない). 同時期のア メリカ (2.6 倍)、日本 (1.3 倍)と比較しても、 著しい伸びである. また、OECD 購買力平価 換算で比較すると、2009 年に中国の研究開発費 は日本を抜き、世界第2位となっている.

中国のこうした研究活動の活発化は,1980年代 の改革開放政策に由来している.本論考では,改 革開放政策の中でどのように中国の科学技術が展 開してきたかの経緯について歴史的に分析しようと するものである.

前号では,資本主義から社会主義に転換した中 国における 1950 年代から 60 年代までの科学技術 政策を分析したが,<sup>30</sup> 今号では,社会主義計画経 済から社会主義市場経済への挑戦的転換における 科学技術政策について,主として1970年代後半か ら2007年頃までを分析することとしたい.その際の 分析視点は,中国指導者層が科学技術に注目せざ るを得ない「危機感」の存在である.

これらの「危機感」に関連する背景について,次のような3つの指摘を確認できる.

第1に、ソビエトとアメリカとの核軍拡競争が激化 していた 1960~70 年代では、科学技術政策の中心 は軍事技術開発であったが、 1970 年代以降から は、アメリカの場合、貿易収支の悪化やドル危機を 背景に市場競争力強化を目標にした民生技術開発 の振興に向かった.<sup>40</sup> 技術開発競争の舞台が「ハ イテク」と呼ばれる先端技術開発に向かい、軍事技 術と民生技術の2つに係わる「両用技術」となり、 1970 年代当時、中国はこの両用技術において大き く遅れていた.

第2に,中国国内では文化大革命後に,社会主 義制度での市場経済を新たに模索し,停滞の克服 をめざした.だが 1980 年代になっても,社会主義

1) 一般教育科(人文社会)

- 3) 河村豊「「中国科学技術政策史」の試み(その1)」東京工業高等専門学校研究報告書,第43(2)号,2012, pp.19-30.
- 4) 菰田文男「戦後アメリカの技術政策」東亜経済研究, 47,(3/4), 1980 年 10 月, pp.287-317, p.107-. アメリカ政府が科学 技術政策として支援した対象は, 半導体(IC)やコンピュータなどの「先端民生技術」であった.

 <sup>2)</sup>科学技術政策研究所科学技術基盤調査研究室『科学技術指標 2012』掲載の統計集にある表 1-1-1「主要国における研究 開発費総額の推移,(A)名目額(各国通貨)」より求めた.利用に当たっては、以下のWeb掲載版を使用した. http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/1154/3/NISTEP-RM214-MaterialJ.pdf.

市場経済を推進しようとする革新派と,社会主義計 画経済を維持したいと考える保守派との主導権争い があり,改革案の成立には保守派勢力との対立に 加え,ある程度の妥協が必要だった.

第3に,社会主義市場経済により,「通商システム」の面では国際協調路線を選択したが,社会主義政治体制を維持したことで,「安全保障システム」の面では同盟関係の構築は困難となり,むしろ孤立することを中国は選択した.このため経済と政治にある種の二重構造が生じ,冷戦期とは異なる新しい国際的緊張関係が残ることになった.

文化大革命以降の中国科学技術政策は,こうした技術開発上の変化,権力闘争,新たな緊張関係の中で進められ,科学技術開発の質と量を拡大させてきたことになる.本稿では,改革開放路線を強力に推進した鄧小平に注目しながら,今日の中国科学技術政策の骨格となっている「科学技術進歩法」(1993年制定)の成立経過を中心に分析し,「危機感」から生まれた何点かの特徴をこれらの政策の中に読み取ってみる.なお,改革開放後に中国が実施している科学技術制度での再編については、多くの分析記事,研究論文が出ているが、どのような経緯で新しい科学技術政策が中国で登場したのかについては、まだ分析が行われていない.本稿では、こうした未解明な部分についても、科学技術史の手法で明らかにするものである.

#### 2. 鄧小平の改革開放政策の起源

#### (1) 毛沢東路線から離れた鄧小平

さて、1966年に始まった「文化大革命」は、文化 の革命を名乗りながらも、実際は社会主義中国の建 国以来の秩序を混乱させ、文化、社会、経済に大き な打撃を及ぼす大衆運動であった.ただしその直接 の要因は、中国共産党の指導部内部の抗争であ り,急進的社会主義をめざした毛沢東の政治闘争 であった.大衆の支持を得た背景には,中国指導 部への不満や従来の秩序を破壊することによる新た な可能性への期待があったと言われている.<sup>20</sup> この時期の科学技術では,ミサイル,原爆,水爆の開 発成功に加え,大型プレス機などの製造にも成功し ている.しかし,これらの成功にはソビエトからの技 術導入や戦前戦中に海外留学を行った研究者や 帰国研究者らの役割が大きく,中国国内での研究 人材養成や研究設備はこの時期に大きく停滞した.

一方で1960年代での日本の「高度経済成長」な ど、西側世界では民生技術でも急速な革新が始ま り、中国は軍事技術と民生技術の両面で大きく立ち 後れた.それゆえ、文化大革命後の中国の科学技 術政策は、鄧小平の提唱した改革開放政策、社会 主義市場経済制度とともに、西側世界との格差を縮 めるために、再構築されることになる.

では、なぜ鄧小平は改革開放政策を主張するよう になったのだろうか.まずこの点から考えてみよう.

鄧小平(邓小平, Deng Xiaoping, 1904-97) は、毛沢東(9 才年長),周恩来(6 才年長)ととも に、第1世代の中国共産党指導者である.ただし、 毛沢東が74才,周恩来が78才で没したのに対 し、鄧小平は93才まで生き、文化大革命後の約20 年間の中国を指導できた.つまり厳しい権力闘争を くぐり抜けてきた第1世代が、1990年代初頭まで 中国科学技術政策を実質的に指導したことになる.

文化大革命後に鄧小平が改革開放政策を進め, 中国における科学技術分野での近代化,国際化に 貢献したとは言え,どのような理由で鄧小平が改革 開放政策を進めることになったのかについては,ま だ充分には明らかにされていない.代表的と思われ る数種類の鄧小平伝を読んでみたが,<sup>30</sup> 鄧小平を 当初から経済優先論者であったとか,毛沢東批判 の政治家であったなどと単純には評価できないこと

<sup>1)</sup> 白石隆, ハウ・カロライン『中国は東アジアをどう変えるか 21 世紀の新地域システム』中公新書, 2012 年7月, p.213.

<sup>2)</sup> 久保亨『シリーズ中国近現代史④ 社会主義への挑戦 1945-1971』岩波新書, 2011 年 1 月, p.159.

<sup>3)</sup> 初版刊行順に並べると以下の通り. 寒山碧著・伊藤潔訳編『鄧小平伝』中公新書, 1988年5月, 186p, 矢吹晋『鄧小平』講 談社学術文庫, 2003年8月(初版 1993年6月), 307p, 鄧榕(毛毛)『わが父・鄧小平 若き革命家の肖像』徳間書店, 1994年3月, 425p, 田畑光永『鄧小平の遺産』岩波新書, 1995年2月, 255p, リチャード・エバンス『鄧小平-近代中 国の不死鳥』同朋舎出版, 1995年4月, 286p, ベンジャミン・ヤン『鄧小平 政治的伝記』岩波現代文庫, 2009年8月 (初版 1999年9月)伊藤正『鄧小平秘録 上下』 産経新聞出版, 2008年2月 347p, 2008年4月 306p.

がよく分かる. 1950 年代までの鄧小平は, 毛沢東 派として, 権力闘争の前面で成果を上げる軍人かつ 政治局員の役割を果たし, そのことで中国共産党指 導部に駆け上がってきたからである.

その一方で,1950年代末には,毛沢東による 「大躍進運動」や農村地域の急速な人民公社化が 農村部の飢饉をもたらしたことに疑問をもち,経済秩 序回復のために,「農業 60 カ条」(1961年3月: 収穫の一部の自由処分を許可する等),「三自一 包」(1962年頃:自営農村を認める等)などの政策 を鄧小平が提唱し,農業の増産に成功した.こうし た取組は,彼が勤労留学生としてフランス在住中に 出会い,終生硬い信頼関係を持っていたとされる周 恩来により支持された.<sup>1)</sup>経済秩序を優先する鄧 小平の思想はこうした経緯をへて登場したのだろう.

大躍進運動の失敗により求心力を失いかけた毛 沢東は巻き返しを図り、彼に批判的な指導部メンバ ーの多くを失脚、粛正させた.鄧小平も批判派の一 味としてすべての職務を解任され、「文化大革命」時 代に「下放」させられた(1969-73).ただし鄧小平 は、失脚中に毛沢東に宛てた手紙を書き、罪をわび ることで復活の機会を手に入れることができた.毛沢 東も高い実務能力をもつ鄧小平に利用価値がある と判断し、鄧小平の復権が実現した.

#### (2)「科学技術は生産力」との宣言

1973年3月に職務復帰を果たした鄧小平は,その後も「走資派」と見なされ批判され続けるが,やがては改革開放派として権力闘争で勝利することになる.では,経済秩序を優先させようとする彼の政策は,どのように科学技術政策へと結びつき,具体化されたのだろうか.

1960年代に唱えた「白猫黒猫論」(社会体制にかかわらず経済発展できる方が良いという意味)や,

周恩来が掲げた「四つの現代化」などが科学技術に 注目するきっかけと考えられるが、鄧小平の復帰後 で考えるならば、中国全国視察(1973年)と国連総 会出席(1974年)が大きな転機である.<sup>20</sup>つまり、 視察を通して、中国経済の疲弊と西側世界の経済 発展との格差に気づき、強い「危機感」を感じ、西側 諸国からの技術導入などの現実的な政策を構想し 始めた.たとえば、1975年8月には「外国ではどこ でも国外の新しい技術、新しい設備の導入をとても 重視している」と鄧小平は国務院で発言し、外国と の長期技術契約や科学研究の強化、科学技術者 数の増大など、後の「科学技術進歩法」につながる いくつかの具体策を検討し始めている.<sup>30</sup>

さて、周恩来と毛沢東があいついで死去し、「四 人組」逮捕で文化大革命が終了したのちも、彼の権 力闘争は終わらなかった.まず 1976年4月から毛 沢東の後継者となった華国鋒(Hua Guofeng: 1921-2008)により、鄧小平は3度目の失脚を経験 させられた.この失脚の場合も、鄧小平は華国鋒に 手紙を書き、華国鋒への支持を表明することで翌年 には復帰を果たした.さらに1977年7月に開催さ れた中国共産党第十期中央委員会第三回全体会 議(3中全会)で、鄧小平は、国務院常務副総理、 党副主席、中央軍事委員会副主席兼人民解放軍 総参謀長に就任し、権力の一部奪還に成功したの である.

この間に鄧小平は、「自分から申し出て」、科学や 教育に関する問題を扱い始めた.その中心的な問 題は科学者復権の問題で、毛沢東時代には「知識 分子の大多数は基本的にはブルジョア世界観をも ち、ブルジョア知識分子だったという評価」が行われ てきたが、それを改め、彼らの「名誉は回復されなけ ればならない」と鄧小平は主張し始めた. この時

- 1) この部分の記述は、寒山碧、前掲などを参考にした.
- 2) 鄧小平は 1980 年代に次男の鄧質方にアメリカ留学を勧め、「近代世界がどんなものかわかるよ」と発言したという. ベンジャミン・ヤン、前掲, p.197.また、1975年に、外国の先進的技術を学ぶ必要性を鄧小平が訴えていたという記述もある. 天児慧『中国の歴史11 巨龍の胎動 毛沢東 VS 鄧小平」講談社、2004年、426p、p.26.
- 3)「国家計画委員会が起草した「工業の発展を速めることに関する若干の問題」を国務院で討議したさいの談話」(1975年8月 18日)『鄧小平文選(1975-1982)日本版』東方書店, 1983年11月, 608p, p.45.
- 4) 1977年5月から9月にかけ、「中央の二同志との談話」、「党の十期三中総における講話」、「科学・教育活動座談会における講話」、「教育部の主な責任者との談話」において、科学技術者(知識分子)の待遇を改善する必要性について、繰り返し鄧小平は主張している、「『鄧小平文選(1975-1982)』、前掲、p.59・, p.63・, p.71・, p.99・.

期, 鄧小平は, 生産力向上の担い手としての科学 者の質と量をどのように高めていくかに係わる発言 を繰り返している. そしてその集大成を「全国科学 大会」(1978年3月18日~31日:人民大会堂) での演説にみることができる.

開幕式で鄧小平は,「四つ{農業,工業,国防,科 学技術のこと}の現代化は科学技術の現代化がカギ である.現代的な科学技術なしには,現代的な農 業,工業,国防を建設することができない」とし,「第 1の問題は,科学技術は生産力であるという認識の 問題」であると公式に発言した.<sup>20</sup>また「四人組」に よって破壊された中国の科学技術を急速に発展さ せるには,「生産力」となるこの「科学技術」を「現代 化」する必要があるとも主張した.<sup>30</sup>

しかしこの時期は, 華国鋒が党主席と中央軍事委員会主席の職を独占しており, 科学技術政策として「1978年-1985年全国科学技術発展計画大綱」を 実施させていた. この計画大綱の主たる内容は, 大規模プラントの導入で短期間に先進国の経済力に追いつくという計画であったが, 充分な準備がなく, また資金不足問題を招いて頓挫し, 鄧小平による華国鋒の追い落としのきっかけとなる. 一方,全国科学大会での鄧小平の演説は,華国 鋒体制のこうした状況の中でも,中国科学界に好意 的に受け取られた.その1つが,同じ大会での郭沫 若(Guo Moruo, 1892-1978,中国科学院院長) の「科学の春」と題された報告である.

中国の科学技術は文化大革命の混乱を経て 1978年に再構築されるが、それは、華国鋒による 「計画大綱」の登場ではなく、科学者への待遇改善 を含んだ鄧小平の「科学技術の現代化」発言、そし て「科学の春」という科学者からの反応であった。

#### 3. 鄧小平と「科学技術政策」

#### (1) 政治優先から経済優先へ

華国鋒体制下にあった 1978 年から 79 年にかけ て、鄧小平は日本、シンガポール、アメリカを訪問 し、精力的な外交活動を行う一方で、西側の経済状 況、最新技術の利用状況について見聞を広めてい る.こうした見聞が、その後の改革開放政策や西側 技術の導入も含めた、現代化のためのさらなる具体 策立案につながったと推測できる.

1978年10月に訪日した鄧小平は、日中平和友

- 1)「全国科学大会」は 1950 年代の開催以来,およそ 20 年ぶりの開催であるという.したがって,開催そのものが政治的なメッセ ージをもっているといえる.太田和良幸「中華人民共和国における学術研究体制と学術政策に関する研究」学術情報センタ ー紀要 8,1996-03-29, pp359-383, p360.
- 2)「全国科学会議の開幕式における演説」(1978年3月18日).引用は以下を利用した.『鄧小平文選(1975-1982)』,前掲, p.133.なお,鄧小平の経済現代化論には、先進国の科学技術導入を重視しているとの評価がある. 唐木圀和「中国経済近代化と鄧小平の思想」三田商学研究、31,5、1988年12月、p.51.さらに、教育と科学技術について鄧小平が「以前からずっと特別な関心を抱」き、1961年には研究機関の役割規定の草案も書いたという. つまり、鄧小平が科学技術政策にこれまで直接に関与してきたことを示唆する証言である. リチャード・エバンス、前掲、p.170.
- 3) 『鄧小平文選(1975-1982)』,前掲, p.132.また,鄧小平が言う第2の問題は、科学技術陣の建設、また第3の問題は各研 究所における党委員会の指導法である.興味深いのは、この演説で鄧小平が繰り返し「四人組」を批判していることである.ま だ、鄧小平の路線に批判的な党員が多いことを念頭においた演説であったと理解できる.
- 4) 柯雁 『中国基本情況シリーズ 中国の科学技術-改革と発展』 五洲伝播出版社,2004 年 11 月,166p, p.75. 中国 語表記では「計画大綱」ではなく「企画」となっている.
- 5) 橋田担『北京のシリコンバレー』白桃書房, 2000 年 8 月, 216p, p.16.および下野寿子「直接投資導入政策における鄧小 平と改革派幹部」生駒経済論叢 3(2), 109-126, 2005-12-15, p.67.
- 6) 中国語の表記では「科学的春天」. http://www.gmw.cn/content/2004-09/08/content\_95399.htm . ここで「科学の春」と 表現した理由は, 鄧小平が頭脳労働者の役割を高く評価する政策を主張したことへの科学者側の安堵感にある.
- 7) 柯雁,前揭, p.93.柯は 1978年までの中国の科学技術体制の弱点を,(1)閉鎖した垂直構造となり、科学技術と経済 発展が分離し、生産力に転化できないこと、(2)知的所有権の概念がなく、技術拡散に不利であったこと、(3)行政に よる研究機関の直接管理により、研究者の主体性、積極性を引き出すのに不利であったこと、と評価している.

好条約の批准書交換を行った後,8日間の訪日期 間中に、日本の企業(新日鉄・日産・松下)を見学し ている.また東京から関西までの移動では東海道新 幹線に乗車し、「これこそわれわれが求めている速さ だ」、「我々は駆け出す必要に迫られている」、「今 回の訪日で近代化とは何かがわかった」などと語っ た.また、訪日中の鄧小平の率直な発言は、日本人 に好印象をあたえ、その後の専門家や研究者による 日中の科学技術交流を促進することになった.

また,同年 11 月に東アジアの新興工業地域 (NIE's)の1つ,シンガポールを鄧小平が訪問した 際には,直接投資の導入と輸出振興の成功によっ て経済を発展させている姿に衝撃を受け,その後の 経済特区の設置,民族資本導入促進,香港財閥の 優遇などの諸政策につながったとされる.

1979 年 1 月末からのアメリカ訪問では、ソビエト 批判や、中越戦争についての共通理解を通して、ア メリカとの「科学技術協力協定」を締結するなど、経 済援助を取り付けることに鄧小平は成功した.

一方国内では、「二つのすべて」という毛沢東主 義を掲げる華国鋒体制を、1978 年 12 月に開催さ れた第十一期3中全会後から、鄧小平は本格的に 批判し始めた.<sup>33)</sup>新たな体制が確定したのは、 1981 年 6 月に開催された第 11 期 6 中全会の場 であった. 華国鋒は党中央委員会主席兼中央軍事 委員会主席を解任され、前年に国務院総理に就任 した趙紫陽(赵紫阳: Zhao Ziyang, 1919-2005) に加え、胡耀邦(Hu Yaobang, 1915-1989)が党 主席に就任、鄧小平は、党中央軍事委員会主席の 立場につき権力を掌握した.これをもって鄧小平体 制が実質的に確立し、少なくとも 1992 年まで、事実 上の最高権力者であり続けた.

1982年9月1日から開催された共産党第12回

全国代表大会では、中央政治局常務委員会委員 (胡耀邦,葉剣英,鄧小平,趙紫陽,李先念,陳 雲),中央委員会総書記(胡耀邦),中央軍事委員 会主席(鄧小平),中央顧問委員会主任(鄧小平), 中央規律検査委員会第一書記(陳雲)との人事が 決まった.大会閉幕のことばの中で鄧小平は「中国 の特色をもつ社会主義の建設」と表現し、「工業、農 業、国防、科学・技術の現代化を次第に実現し、中 国を高度の文明と高度の民主をそなえた社会主義 国に築きあげる」と宣言した.また今後 20 年間での 経済発展の目標としては、農・工業の「総生産額を4 倍」とすることが示された.<sup>40</sup>

一方で,鄧小平は「人材がなければだめだし,知 識がないのもだめだ.『文化大革命』の大きな誤り は,10年間,人材育成をだめにしてきたことであ る」とも発言した. それゆえ,新たに策定される 科学技術政策には,「科学技術の現代化」のための 諸方策の他に,人材育成の項目が盛り込まれること になった.

#### (2)「科学技術難関突破計画」と

「科学技術管理システムの改革」

前記の鄧小平の発言は、科学技術にかかわる一般的な政策方針であった.この方針に基づいた、最初の科学技術計画は、1982年に提起された「科学技術難関突破計画」であった.

この科学技術難関突破計画は、すでに開始して いた第 6 期 5 カ年計画(1981-85)に加えられ、 「国民経済の主要な分野に向けて、国民経済と社会 の発展方向とかかわりがある総合的な問題の解決を 目的とし、農業、電子情報、エネルギー、交通、素 材、資源探査、環境保全、医療・衛生などの分野を カバー」するプロジェクトとなった。その規模は、「全 国の 1000 カ所にのぼる科学院・研究所の数万人

- 3) 毛里和子「科学技術と中国外交」国際政治, Vol. 1986, No. 83, 1986, pp.91-106, p.91. 毛里和子『日中関係 戦後から 新時代へ』岩波新書, 2006年6月, 232p. p.103.
- 4) 以下のホームページを参照した. http://japanese.china.org.cn/archive2006/txt/2002-08/28/content\_2040459.htm.
- 5) 下野寿子, 前揭, p.71.
- 6) 以下のホームページを参照した. http://japanese.china.org.cn/life/archive/china07/2007-12/24/content\_9423038.htm.

部小平の日本訪問については、伊藤正(前掲)を参考にした.また新幹線についての発言は、以下のホームページより引用した.
 http://japanese.china.org.cn/politics/txt/2011-07/25/content\_16894229\_2.htm.また、王泰平「半月談」2008年
 12月3日の記事も参照した.
 http://japanese.china.org.cn/politics/txt/2011-07/25/content\_16894229\_2.htm.

<sup>2)</sup> 下野寿子, 前揭, p.68.

が計画の実施に参与」するもので,2000 年までの 約 20 年間でその規模を調べると,534 件のプロジ ェクト,総額 379 億元(約 4500 億円)となる.ただ し,この科学技術難関突破計画は,唯一の科学技 術計画ではなく,鄧小平体制の中で登場した最初 の科学技術計画にすぎない.

たとえば、鄧小平は全国科学技術工作会議の講話で、「科学技術と経済の結合をよりうまく解決」する ためには、「科学技術体制の改革について決定」す べきで、今回の会合はそのための準備活動であると 紹介した(1985年3月7日).<sup>20</sup>こうした準備を踏ま え、「科学技術体制改革に関する決定」(1985年3 月13日)が出され、研究機関への国家予算の削 減、研究と生産部門間の協力の奨励、ベンチャーの 促進、余暇時間でのコンサルティング業従事の承認 などにより、肥大化した組織の縮減と研究上の縛り を大胆に緩めた.<sup>30</sup>また同時に策定された「教育体 制改革に関する決定」では、研究は中国科学院、教 育は高等教育機関に峻別されていた状況を変更 し、高等教育機関にも研究活動を担わせた.<sup>40</sup>

さて,「科学技術難関突破計画」や「科学技術体 制改革に関する決定」は,鄧小平の路線に従って 策定された科学技術政策であったが,他方で,研究 者からの提案を受けて実現した計画もある.

(3)「863計画」

1986年3月3日に,4人の研究者が中国にお ける先端技術分野の研究での遅れを指摘した上 で,政府による援助を国家指導者宛に提案した.鄧 小平はこの提案を受け取り,「この件は早く決断す べきで,引き延ばしてはならないと自ら指示を与えた」.そして,同年に「ハイテク研究発展計画要綱」, 通称「863計画」がすみやかに認可された.

まず,提案した 4 人の科学者(王淦昌,王大珩, 順芳允,楊嘉墀)の経歴を年齢順にみてみよう.

王淦昌(Wang Ganchang, 1907-98)は,清
華大学出身の核物理学者で,呉有訓(1897-77),銭三強(1913-92)らとともに中国の核兵
器開発を担った研究者である(前号論文参照).
1986年当時は,各工業部科学技術委員会副主任(主任=委員長)に在職中であった.

王大珩(Wang Daheng, 1915-2011)は,清 華大学出身の光学研究者で, 1986年時点では, 中国科学院技術科学部主任の地位にあり,科学技 術政策の助言を行う立場にあったという.

陳芳允(陈芳允, Chen Fangyun, 1916-2000) は,清華大学出身の電子工学研究者で,イギリス留 学(1945-48)の経験もある. 原爆開発, ロケット開 発にも係わり, 1986 年当時は国防科学技術工業 委員会委員をしていた.

楊嘉墀(杨嘉墀, Yang Jiachi, 1919-2006)は 上海交通大学出身の航空宇宙分野の研究者であ り,アメリカ留学(1947-49)の経験がある.人工衛 星の開発で貢献した. 1986 年当時は航天部空間 技術研究院科学技術委員会副主任の地位にあっ た.

このように4人の経歴をみると、いずれも核兵器、 ロケット、光学・電子機器などを通して中国の兵器開 発に係わった国防技術開発を担ってきた責任者た

- 1) 柯雁,前揭, p.76. 国家重点科学技術難関突破計画の目標は、「国民経済への波及効果が最も大きな計画である」と説明さ れており、いわゆる「ハイテク」分野や基礎研究分野は含まれていない. これらの分野は数年後に別の計画で扱われた.
- 2)「科学技術体制の改革は生産力を解放するためである」(1985年3月7日)『鄧小平文選 1982-1992』テン・ブックス, 1995 年3月 p.122.
- 3) 従来の「研究と生産の分離」を改め, 効率的な「研究と生産」との関係を構築することに重点が置かれているとの指摘もある. 研究開発の有償移転のため, 1986年1月には「科学技術交付金管理に関する国務院暫定規程」も公布された. 金子治「中国の科学技術政策とその課題」創価経営論集, 1992年11月, 17(2), pp.15-29. p.17.
- 4) 鄧小平が高等教育機関に研究活動の役割を担わせるように変更させたという.太田和良幸「中華人民共和国における学術研 究体制と学術政策に関する研究」学術情報センター紀要,8号,1996年,pp.359-383, p.362.
- 5) 柯雁, 前掲 p.79. 「863」とは 1986 年 3 月に由来する. ただし、4 人による提案書の原文がどのようなものか確認できていない.
- 6) 4 人の研究者の経歴については,橋田担『北京のシリコンバレー 中国ハイテクのキャッチアップは可能か』白桃書房, 2000 年 8 月, 216p, p.21 を参照した他,以下のホームページも利用した. http://baike.baidu.com/

ちであった.その彼らが中国の先端的な科学技術 が「遅れている」と指摘したことになる.

彼らの提案文書は未見であるが,以下のように内容を推測することはできる.(1)文化大革命の動乱の中で,軍戦備,関連設備,人材の更新が遅れ,兵器体系全般で西側の兵器と大きな格差が発生していること.(2)1983年にはアメリカがSDI(戦略防衛構想)を出し,宇宙空間でのレーザー兵器開発の計画を提案しており,この分野での技術格差が拡大していること.(3)これらの格差を早急に是正する必要があり,軍事分野を含むハイテク研究の推進を自主的に行うことが不可欠であること.<sup>11</sup>

では、国防技術を担う研究者からの提案を鄧小 平が受け入れた理由はどのようなものだろうか.

1983年にアメリカのレーガン大統領が世界にア ピールした SDI 構想は,最も大きな理由と考えられ る.この構想は弾道ミサイルによる核兵器攻撃を,宇 宙空間に配置する衛星を経由したレーザー兵器に よって無力化し,軍拡競争を終了させると宣伝され た.今日から見るとその実現可能性の低さや核軍拡 競争をさらに煽ったことが分かるが,軍拡競争にあ った当時,核兵器を中心としたソビエトや中国での 軍事戦略に大きな脅威をもたらしたことは想像に難 くない.中国では SDI 構想の登場直後に,兵器の 現代化およびそれと関連する人民解放軍の削減計 画が検討されていたという.

こうした背景の中で立案された「863計画」では, 具体的に選ばれた生物,宇宙,情報,レーザー,自 動化,エネルギー,新材料,海洋の8分野はすべて 軍事分野との関連性が強く,さらに,SDI構想に直 接対応すると思える宇宙とレーザーの2部門の研究 は,国防科学技術工業委員会が担当したという.こ うした点も,「863計画」がSDI構想の影響を受ける ことで策定されたのではないかと推測させる根拠で ある. もちろん、4人の提案は、軍事部門の研究だけを 要求したものではなかった.現在まで継続している 「863計画」には多くの民生技術が含まれているから だ.しかし、2003年時点での「863計画」資金の第 2位は国防科学技術大学であるので、軍事部門に 傾斜していることは確かだろう.また彼らが情報、自 動化などの技術の遅れを指摘したことは、1990年 の湾岸戦争での本格的な電子戦争の展開を考えれ ば、的外れではなかったことにもなる.そして「863 計画」を素早く実行させた鄧小平の判断は、経済格 差での危機感と同様に、軍事技術格差での危機感 にも敏感であった彼の姿を照らし出している.

#### (4) 1985年まで停滞した理由

しかし,改革開放の方針のなかで鄧小平が指導 した科学技術政策は,順調に進んだとは言えない.

例えば、柯雁は、中国の科学技術政策の時代 を、第1段階:1985-92 (資金支出制度を改革し、 技術市場を開放)、第2段階:1993-98 (科学技 術全体に必要な人的整備、組織整備および成果 の市場化奨励)、第3段階:1999-2004 (科学と教 育の振興、技術革新強化)のように、3段階に区 分し、1985 年以前を区分に加えていない (カッ コ内は引用者によるまとめ、以下同じ).

また、伊佐進一も3段階に時代区分し,第1段階: 1980年代(科学技術の非社会主義化),第2段階 : 1992年以降(大学発ベンチャー企業設立の加 速),第3段階: 1998年以降(「科教興国」などの 新たな制度設計,技術移転制度の整備)とし,「863 計画」などには注目していない.

両者に共通しているのは,第1段階の開始を研 究制度の変化に置いていることである.柯は資金支 出制度の改革と表したが,伊佐は肥大化していた 当時の中国の研究機関に対する構造改革で,それ を「非社会主義化」と表現した.両者とも「科学技術 管理システムの改革に関する決定」による変化を指

- 1) ソビエトはアメリカの SDI 構想をさらなる軍備拡張路線であると脅威を感じていた.マイケルL.ドックリル他『ヨーロッパ史入門 冷戦 1945-1991 』岩波書店,2009 年 6 月,260p. p.201. 1983 年当時の米ソは「新冷戦」とも言われるほどの強い緊張 感をもたらした時代であった.中国軍部,軍事関係の研究者が同様の危機感を持っていたことは容易に想像できる.
- 2) 橋田担, 前掲, p.21. なお, 橋田は, 1983 年末からすでに中国では「専門家を集めて対応策の検討を始めていた」とも指摘 している.
- 3) 柯雁, 前揭, p.53~57.
- 4) 伊佐進一『「科学技術大国」中国の真実』講談社現代新書, 2010年10月, 268p. p.156-157.

していると思われる.さらに,膨大で非効率となって いた国家管理の研究機関を整理し,応用研究を生 産と結びつける制度的基礎を作りあげた点で,中国 における科学技術体制改革は 1985 年 3 月のこの 決定をもって始まるとの丸山伸郎の指摘もある.

筆者も科学技術面での改革が実際に動き出すに は,政策決定,計画策定に加え,組織変革が必要 であったと判断する.

ただし、組織改革だけで鄧小平による改革開放 に対応した中国の新しい科学技術政策が進展した とは判断できない. 1978年の政策決定, 1982年 の計画策定,そして 1985年の制度改革へと,指導 部における内部対立を一歩ずつ乗り越えることによ って,ようやく 1985年に新しい科学技術研究の動 きが始まったと判断すべきだろう.

#### 表1. 1986-90年における中国の科学技術計画一覧

1. 国家星火計画 1986年
農村の経済振興、工業化と近代化を推進
2. 国家自然科学基金 1986 年
人材資金援助システム
3. 国家ハイテク研究発展計画(863計画)1986年
中長期発展と国家安全に関する高度技術開発
4. 科学技術扶貧作業 1986 年
貧困地区の自己発展能力の促進・増強
5. 軍転民科学技術開発計画 1986年
軍事工業技術の民用技術転換
6. 国家重点新製品計画 1986年
科学技術成果の転換を加速する
7. タイマツ計画 1988 年
ハイテク成果の製品化,産業化の促進
8. 国家科学技術成果重点推進計画 1990年
科学技術と経済の結合を加速
9. 国家ソフト科学研究計画 1990 年
科学技術の政策, 戦略, 方策の研究

なお,表1は,その後,1986年から1990年まで の第7期5カ年計画の期間中に立案された,9種 類の科学技術計画一覧である.本格化した中国の 科学技術政策の特徴を示すように,多様な問題を 解決するための研究プロジェクトが設置されていた ことが分かる.

#### 4. 鄧小平路線と「科学技術進歩法」の制定

#### (1) 政治的混乱

1985年に新しい科学技術政策の動きが始まった が、その存続を脅かす問題が続いた。1986年から 1992年までは、中国指導部の中で、市場経済を推 進する鄧小平路線と計画経済を堅持しようとする陳 雲(陈云、Chen Yun: 1905-95)との政策運営を 巡る対立、および民主化運動、特に言論の自由化 の許容範囲を巡る対立という、大きな政治的な混乱 があったからである。学生による民主化要求デモ (1986年12月)、胡耀邦総書記の辞任(1987年 1月)および死亡(1989年4月)、戒厳令発令と趙 紫陽総書記辞任(同年5月)、天安門への軍隊投 入(同年6月)と続く、いわゆる「第2次天安門事 件」がその中心をなし、それをきっかけに保守派によ る改革派への批判が強くなった。ここでは、科学技 術政策との関わりを中心に経過をみてみたい。

先ず経済改革と政治改革との関わりについては, 鄧小平の言動と行動にゆらぎが現れていた. 1986 年 6 月の鄧小平の講話では,「政治体制改革と経 済体制改革は相互に依存しあったものでなければ ならない」という,政治改革容認とも思える発言が残 されている.<sup>30</sup> しかし同年 12 月に激しくなった学 生の民主化要求デモが発生すると,「急すぎてはい けない.急すぎると欠陥があらわれる」として,政治 面では保守派の態度を取り,陳雲らの保守派を利 用しつつ政治改革の動きを押さえ,それまで鄧小平 を支えてきた胡耀邦や趙紫陽らを批判・排除し,新

- 1) 丸山伸郎「中国の「科学技術体制改革」と産業技術進歩」日中経協ジャーナル, 1998 年 10 月, 59, pp.68-74, p.68.な お、この決定が「改革の萌芽」であり、その上に市場流通型改革と企業内開発型改革に区別でき、改革が続いたとする見解もあ る. 安藤哲生ほか『中国の技術発展と技術移転-理論と実証-』ミネルヴァ書房, 2005 年 3 月, 240p. p.86 および p.97.
- 2) 以下の資料より作成した. http://www.spc.jst.go.jp/policy/science\_policy/chapt1/1\_2\_1.html
- 3) 鄧小平は自らを改革派であると同時に保守派でもあるといい,「私は実事求是派(事実に基づいて真理を探究する立場)であります」と表現している. 『鄧小平文選 1982-1992』, 前掲, p.219.

たに総書記として江沢民(Jiang Zemin, 1926-)を 推すことになった.

その一方で,改革開放に制限を加えようとする保 守派の動きには対抗し,経済面では革新派の鄧小 平として戦っている.たとえば,1991年から始める 第8次5カ年計画案の作成では,陳雲派の姚依林 (Yao Yilin,1917-94)副首相が作成した最終案 に改革開放に反した計画経済の傾向が多く含まれ ていると察知し,「君はやらんでよい」と述べ,担当か らはずしたという(1990年10月).その結果,延期 開催された七中総会(同年12月25日開幕)では, 修正された計画案「国民経済・社会発展の5カ年 計画(1991-95)」が,陳雲,姚依林らの欠席のまま 採択され,挽回に成功したという.<sup>20</sup>

ただし, 鄧小平には「人生最後の闘争」がまだ残 されていた.

1991 年秋には『人民日報』に失脚した胡耀邦, 趙紫陽らの批判に加えて,改革開放路線を批判す る論文も公表され,保守派による巻き返しが拡大し, さらに鄧小平が選んだ江沢民も,保守派の影響を 受け,鄧小平路線が進展しない状況となった.

こうした陳雲を含む保守派の影響を排除するため に、鄧小平は大胆な行動にでた.これが「南巡講 話」と呼ばれる、周到に準備された 36 日間の視察 旅行(1992年1月17日~2月21日)である. 経済特区であった深圳と珠海、そして上海などを訪 れ、「改革開放は、懐をもっと大きくし、大胆に試み る必要がある」、また「経済発展を速めるには科学技 術と教育に頼らなければならない.わたしは、科学 技術が第1の生産力だと思っている」、「われわれは 引き続き、中国の特色をもつ社会主義建設の道を 前進しなければならない」と訴え、支持者を増やし、 保守派に反撃をくわえた。

6月には, 江沢民が中央党学校で鄧小平の講話 を紹介する一方, 保守派の陳雲は「南巡講話を誠 心誠意支持することを表明しなければならなかった」 というように大きく変わった.<sup>50</sup> こうした劇的な変化 から, その成果は 1992 年夏の「鄧旋風」とも呼ば れ, 1993 年 3月に開催された第 8 期全国人民代 表大会に現れ, 江沢民(国家主席), および朱鎔基 (Zhu Rongji,1928-, 常務副首相)を中心とした改革 開放派の新指導部誕生につながった.<sup>60</sup> さらに鄧 小平は, 権威を持つ古参党員の直接的な政権介入 を排除するために, 中央顧問委員会を設置(1982 年)し, 世代交代を促進させた.<sup>70</sup>

(2)「科学技術進歩法」の総則と鄧小平路線

「鄧旋風」後には、科学技術政策においても、改 革開放路線を受け継いだ新たな動きがあった.それ が、1993年7月の第8期全国人民代表大会常務 委員会において採択された「中華人民共和国科学 技術進歩法」(以下「進歩法」と省略する)である(同 年10月施行).

「進歩法」は全 62 条からなり,第1章「総則」,第 2章「科学技術と経済建設及び社会発展」,第3章 「ハイテクノロジー研究とハイテクノロジー産業」,第 4章「基礎研究と応用基礎研究」,第5章「研究開 発機構」,第6章「科学技術業務人員」,第7章「科 学技術進歩の保障措置」,第8章「科学技術奨

- 1) 天児慧, 前掲, p.296. 鄧小平は「上海談話」で「市場も社会主義に奉仕できる」と述べた(1991年1月)が, そこでの発言は, 「社会主義市場経済論(Market Economy)」の第一人者, 呉敬璉によって補強されたものだったという. 呉敬璉『中国の市場 経済』, 北京工業大学出版社, 1992年, p.12.
- 2) 伊藤正, 前掲, p.176. こうした陳雲派の排除がなぜ可能であったのかについては, 不明である.
- 3) 伊藤正,前掲, p.132.1991 年7月1日の中国共産党建党七十周年式典で江沢民が行った講話の内容の一部に激怒し, 新聞掲載版では修正をさせたという.ヤン,前掲, p.292.
- 4)「南巡講話」の内容については以下を利用した.「武昌, 深圳, 珠海, 上海などでの談話の要点」『鄧小平文選(1982-1992)』, 前掲, pp.372-383.
- 5) ヤン,前掲, p.293-294. 1992 年 3 月 20 日の全人代政府活動報告で,李鵬首相は,「南巡講話」の言葉を取り入れ,3 年間続いていた調整政策の終結を宣言したという.伊藤正,前掲, p.216.
- 6) ただし、鄧小平が保守派の攻勢を「講話」だけで乗り越えたとは考えにくい、『人民日報』の保守派の社長が排除されたなど、 水面下ではきびしい政治闘争があったことがうかがえる.こうした経緯は分からないままである. ヤン、前掲、 p.294 参照.
- 7)「中央顧問委員会第1回総会における講話(1982年9月13日)」『鄧小平文選(1982-1992)』,前掲, p.24.

励」,第9章「法律責任」,第10章「付則」,から構 成されている.

なお「進歩法」は、その後 2007 年に改訂されて 今日に至っている.そこで、改訂版の「進歩法」との 比較もしながら、鄧小平の路線がどのように「進歩 法」に反映されたかを確認してゆく.

まず、この科学技術進歩法の策定について、鄧 小平がどこまで関与したかという問題がある. 1991 年当時、江沢民の発言を絶えず確認し、必要とあれ ば発言内容の変更まで指示しており、改革開放路 線にブレが発生しない努力を鄧小平は欠かしてこな かった.また、1988年以降、繰り返し、改革開放政 策の実現には「科学技術の現代化」が不可欠である と鄧小平は主張し、「南巡講話」という強硬手段もと ってきた.それゆえ、「進歩法」の内容に保守派の横 やりが少しでも入ることを、鄧小平は許さない決意を もち、かつ「進歩法」の基本骨格作成に当たって、鄧 小平が強く指導したと考えておかしくないだろう.

こうした観点で,第1章総則の第1条から順番にその内容を確認してみよう.

「科学技術の進歩を促進し,社会主義現代化の 建設において優先して科学技術を発展させ,科学 技術が第一の生産力とする役割を発揮し,科学技 術が経済建設に奉仕するよう推進するために,憲法 に基づき本法を制定する」(第1条).

科学技術が「生産力」であるとするこの規定は, 1978年の鄧小平の主張であり、国家が科学技術を 推進する第一の根拠である.しかも「優先」するとの 強調語まで加えられている.一方、「社会主義現代 化の建設」などと「社会主義」を強調している点は, 保守派への配慮とみることができる.2007年版の 総則ではこうした用語が削除されているからだ.

次に第3条では国家の役割として、「科学技術 を世界の先進水準に到達させる」とあり、鄧小平が 「科学技術の現代化」と述べた内容に対応する.し かし、その分野には民生技術だけでなく、軍事技術 も含まれているはずであるが、「進歩法」総則には、 軍事技術を取り上げず,個別に問題を扱う第2章 の一項目として取り上げている. それが第 20 条 で,「国は科学技術進歩に依拠して,国防科学技術 事業を発展させ,国防の現代化建設を促進し,国 防の実力を増強する」とある. 主目的に国防を取り 上げなかったことは、ソビエト崩壊後の混乱した時期 にあって, 西側諸国への中国政府の配慮とも理解 できる.こうした配慮は 2007 年版では取り除かれ, 「科学技術に関する資源と技術開発の需要が軍事 部門と民間部門の間で相互に交わり, 双方向の技 術移転が行われるよう促進し,軍・民両用技術を発 展させる」(第6条),と「総則」に明記された.さら に「国防科学技術に関わるその他の関連事項は, 国務院と中央軍事委員会が規定する」(付則,第74 条)として、中央軍事委員会の役割についても改訂 版には隠さずに明示された.

第4条では、「国は科学技術の進歩及び社会主 義市場経済の必要性に応じて、科学技術体制を改 革し健全化させ、科学技術と経済建設との効率的な 結合体制を建設する」とあり、鄧小平が示した中国 独自の経済政策である「社会主義市場経済」という 表現が挿入されている.これも当時の保守派の存在 を意識した、鄧小平の強い政治的なメッセージだっ ただろう.2007年版では「社会主義現代化」と同様 に「社会主義市場経済」も削除されている.

第7条では、国務院が具体的な科学技術発展計 画を制定すること、第8条では、地方の人民政府も 科学技術進歩を推進する義務を負うこと、第9条で は、中華人民共和国政府が国際的な科学技術協力 を果たすことが書かれ、総則が終わる.

(3)「科学技術進歩法」と各種問題の規定

- 1) 中華人民共和国主席令第4号公布(1993年7月2日)
- 日本語訳は、以下の資料を利用した. 1993 年版: www.jetro.go.jp/world/asia/cn/ip/law/pdf/regulation/19930702.pdf. これは、日本貿易振興機構北京センター知的財産権部編のものである. 2007 年 12 月改訂の「進歩法」(2008 年 7 月施行)については http://www.spc.jst.go.jp/export/sites/default/experiences/kaihou/downloads/shinpohou\_kai2007.pdf. に掲載してある、科学技術振興機構による仮訳を利用した.
- 3) 日本語訳では「近代化」とあるが、中国語原文では、「社会主义现代化」とあるので、「現代化」とした.
- 4) 2007 年版では,第48条に「科学技術者は社会主義現代化の建設事業における重要な参加者である」として、1カ所だけ「社 会主義」の言葉がでている.

続く第2章から第8章までは、個別問題に係わる規定となるが、その中で従来までの中国の科学技術政策と大きく異なる点がある.それが、国内の企業および外国の政府・企業の法的保障という問題であって、ここにも鄧小平路線を確認できる.

第5章「研究開発機構」の第35条には、「国は 民間社会が自ら研究開発機構を設立することを奨 励し、その合法的権益を保障する」.また、第7章 「科学技術進歩の保護措置」の第46条には、「企 業の技術開発経費は実際発生額により原価費用に 計上する」として扱われている.一方、第36条には 「国外の組織と個人は中国国内において法により研 究開発機構を設立することができ、中国の研究開発 機構を設立することもできる」とある.

いずれも改革開放路線が科学技術分野に現れて いることを象徴する規定といえる.企業が行う技術開 発については、2007 年版ではさらに強化され、新 たに第3章「企業の技術進歩」として独立の項目が あてられ、合計10条にわたり詳細に定められること になる.

次に,科学技術の担い手に係わる記述を取り上 げてみよう. 第 37 条の「科学技術業務人員は社会 主義現代化建設事業の重要な力である」という規定 と、第 43 条の「国は外国に赴任していた科学技術 業務人員が帰国して社会主義現代化建設に参加 し、又はその他の方式で国家の建設に奉仕すること を奨励する」という2つの規定がある.ともに「社会主 義の現代化」のための事業に貢献することを科学技 術者に期待しており,前述した保守派への配慮とし て理解できる.興味深いのは海外在住の中国人研 究者の扱いが独立して扱われていることである. そ の内容も,帰国を奨励しつつ「社会主義現代化建 設」に参加して欲しいことを願う一方で、「又はその 他の方式で国家の建設に奉仕する」という代案も示 している.「その他の方式」が具体的にどのような内 容であるかは不明であるが, 社会主義建設にこだわ らないでも良いとするメッセージを発し、帰国しやす い条件を作ろうと配慮しているとも読める.

西側で生活した学者が戻ることに慎重な保守派 への配慮よりも,頭脳流出した中国人研究者の帰国 を優先したと判断できる.こうした帰国奨励の項目 は,2007年版では第54条に示され,社会主義現 代化建設への協力という記述は削除され,有能な科 学技術者の帰国を奨励しつつ,「その就労や生活 に便宜を提供」し,かつ「法に基づき中国における 永久居住権を優先的に取得することができる」とさら に丁寧かつ具体的な規定を盛り込んである.

なお,第9章「法律責任」には,日本の「科学技術基本法」などと大きく異なり,研究不正に対する罰 則規定および研究者倫理に係わる内容が含まれている.中国の「進歩法」には罰則規定も含まれている 点で,複合的な法律であることも特徴である.

たとえば第57条では、「財務制度に違反して、国 家財政の科学技術経費を流用し」た場合は、「流用 し横領し又は留保した経費を還付するように命じ、 「責任者に対し行政処分を与える」こと、第58条で は「職権を乱用」した場合は「直接責任者に対し行 政処分を与える」、第59条では「成果の申告にお いて、詐欺手段」をとった場合、「取消し、かつ行政 処罰又は行政処分を与える」、また「科学技術成果 鑑定に参加する要員が故意に虚偽の鑑定を行った 場合は、関係主管部門が行政処分を与える」、さら に第60条では「剽窃・改ざん・盗用又はその他の 方式により他人の著作権・特許権・発見権・発明権 及びその他の科学技術成果権を侵害又は不法に 技術秘密を窃取した場合は、関係法律の規定により 処理する」となっている.

以上のように, 1993 年 7 月に公布された中国の 「科学技術進歩法」は, 鄧小平の改革開放路線に 従って策定されたと, 著者は判断する.

#### 5. 鄧小平後の「科学技術政策」

1993 年以降における中国の科学技術政策も, 2007 年 12 月に「科学技術進歩法」の一部が改訂 されたものの,現在までのところ,鄧小平の改革開 放,社会主義市場経済の路線上にある.

<sup>1)「</sup>進歩法」の内容は、1992 年に決定された「国家中長期科学技術発展綱領」を踏まえて作成されたとの評価もある. 伊藤宗 太郎「中国の科学技術政策-2010 年の先進国を目指して」研究・技術・計画、Vol.10, 1995 年, p.180. ただし、この「綱 領」については未見なので、「進歩法」に書かれた規則の内容から、鄧小平の影響を捉えた.

さて、鄧小平が亡くなるのは 1997 年であるが、 「南巡講話」以降は発言を控えていることから、 1993 年以降から「鄧小平後の時代」が始まったと言 って良いであろう. 鄧小平は政治運営での「家父長 制」(個人に対する盲信を生む風潮)の弊害および 「職務の終身制」(指導層の若返りを阻む風潮)によ る世代交代の遅れについて, その克服を目指して いた. 鄧小平自身は、「家父長制」を利用して 1992 年まで権力を掌握していたが,引退後には 「家父長制」は消え,また指導部の引退制度が実施 されたことで、10年ごとに指導部が入れ替わる体制 ができた. こうして, 江沢民体制(1993-2003), 胡 錦濤体制(2003-2013)と続き,2013 年からは習 近平体制へと世代交代が進み,それぞれの指導部 が,科学技術政策に追加・修正が施されていく.

以下では、江沢民体制および胡錦濤体制で採用 された科学技術政策の特徴を見ながら、鄧小平後 の科学技術政策の主要な修正点を概観しておきた い.

(1) 江沢民体制と「科教興国」

江沢民指導部の科学技術政策は、研究人材育成(1995年)からイノベーション推進(1999年)への転換があったと説明できそうである。

1995年5月6日に開催された全国科学技術大 会において,江沢民は中国共産党中央総書記の 立場で「科学と教育で国を振興する」戦略を表 明し,同時に「科学技術の進歩の加速に関する 決定」(国務院)を公布させた.つまり科学技術 と教育によって国を興す「科教興国戦略」が「加 速」させられた.この路線にそって,1997年に は「国家重点基礎研究発展計画」(973計画)の公 布が続く.

江沢民または、北京大学創立 100 周年大会で 「世界先進レベルの一流大学をもつべきである」と発 言(1998 年 5 月 4 日)し、「21 世紀に向けての教 育振興計画(985 計画)」や「21 世紀に向けて重 点的に 100 個程度の大学または学科を建設する工 程(211工程)」を実施に移した.ここまでは鄧小平 の人材養成方針の延長線と理解できる.

一方,中国のシリコンバレーと呼ばれる北京中関 村(1980年ころ誕生)を1999年に国務院は「科教 興国」の柱であると決定したことは、新しい動きと見 ることができる. つまり,中国科学院や大学が持 っている高度な科学知識を速やかに実用化,企業 化することを望み、そのためには企業が技術革新の 主体となることが必要であるとし、「技術イノベ ーションを強化し、ハイテクを発展させ、産業 化を実現することに関する決定」(1999年8月) を成立させた.これは企業化のプロセスにおいて, これまでの政府による「主導的立場」を改め、「支援 的立場」に転換すること意味し、中国初のイノベー ション政策ともなった. ただし、制度が整えら れたことと効果が現れることには違いがあり、多くの 困難を抱えているという指摘もある.

#### (2) 胡錦濤体制と「創新型国家」

胡錦濤指導部の科学技術政策を分析してみよう. 胡錦濤(Hu Jintao,1942-)は,清華大学水力 学部出身で,清華大学の教員の経歴もある.その 後,鄧小平は江沢民後の後継者の一人として胡錦 濤を選び,そのために二階級特進後に「中央政治 局常務委員」に抜擢した(1992年)と言われてい る. 2003年に江沢民体制が終わり,胡錦濤は

1)「イタリアの記者オリアナ・ファラチとの談話(1980年8月21,23日)『鄧小平文選(1975-1982)』,前掲, p.459-472.

- 2) 1998年には、改革開放政策は 1978年から 20年を経て、第2段階に入ったと、江沢民によるグローバル化対応の本格化が 指摘されている. 毛里和子「グローバリゼイションと中国-移行期の観察-」早稲田政治経済学雑誌, No.357,2004,p.14.
- 3)角南篤「中国の科学技術政策とイノベーション(技術革新)・システム-進化する中国版「産学研・合作」-」財務省財務総合 政策研究所研究部, PRI Discussion Paper Series(No.03A-17) 2003 年 6 月, p.11.また大学の持っている知識を企業 化するいわゆる「イノベーション・システム」につづき、中国科学院も「中国科学院知識イノベーション・プロジェクト」(1998 年) を開始しした、角南篤「中国のイノベーション・システム改革と科学技術政策」研究・技術・計画, Vol.16, 2001 年, p.154.
- 4) 韓金江「中国の技術進歩政策-改革開放後の動向を中心に-」京都創成大学紀要,2005年第5巻,pp.85-96,p.87.
- 5) 李非「中国における研究体制の特徴点ーその弊害を中心としてー」アジア文化研究, Vol.8,No.8,2001年, p.223.
- 6) 真偽のほどは分からないが、鄧小平の影響力が強い当時では、そのように考えても不思議ではないだろう. 天児、前掲、
   p.307. 経歴には以下の外務省の資料も利用した. http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/china/cv/r\_hujintao.html

国家主席となった(2012年までの予定).

胡錦濤体制が登場して最初に世界を驚かせたのは、「神舟5号」による中国初の有人宇宙飛行の成功(2003 年 10 月 15 日)であろう. 中国はソビエト、アメリカに次いで3番目に有人宇宙飛行を成功させた国家となった.

胡錦濤による新たな政策は,2004 年 12 月の 「自主的革新力の強化」であり,基礎研究が経 済成長に重要な役割を持つと表明したことにあ ると言える.<sup>20</sup> さらに全国科学技術大会(2006 年 1 月)で,「自主創新路線を貫き,創新型国家を 建設する」と宣言した.つまり,これまでの導入技術 依存から自主技術中心への転換をめざし,そのた めに「創新」(自分たちで新しいものを作ること)を新 しい方針に掲げた.

この路線に立って,2006年から2020年までの 15年間を展望した「国家中長期科学技術発展規画 綱要」を公布(2006年1月9日)し,すでに 紹介した「科学技術進歩法」の改訂が行われた

(2007 年 12 月 29 日). これらが今後も継続されるであろう中国の科学技術政策および計画となっている.

新たな指導方針を4つの中国語で表現するな らば、「自主創新」、「重点跨越」、「支撑発展」、「引 領未来」であり、その意味は、自主技術に根ざしたイ ノベーション、重点部門での飛躍、発展をめざすこ と、未来を切り開くこと、である. 基礎研究を重視し た科学技術政策であり、かつオリジナルブランドを つくり出すためのイノベーション政策を実施したとい う特徴がある.

2013年に始まるとされる習近平体制での科学技術政策も、当面は、この胡錦濤による科学技術政策、イノベーション政策を踏襲するであろうが、基本

的な方針は、「鄧小平路線」を継承すると予想できる.また、前例通りであれば 2015 年に全国科学技術大会が開催され、習近平によって科学技術政策に新たな修正が加えられることになるとも予想できる.

#### 6. まとめと展望

#### (1) 周恩来と鄧小平らが感じた「危機感」

中華人民共和国建国以降の中国科学技術政策 の歴史を,前号の論文とあわせて2回に分けて分析 してきた.政治経済面での区分と同様,科学技術政 策の歴史も,毛沢東時代と鄧小平時代に大きく区分 できることが確認できた.前者の場合は,冷戦期に はアメリカ,ソビエトとの政治的対立の中で,核軍拡 競争に係わる新兵器開発を科学技術開発の主たる 目標に掲げ,政治的な危機感ゆえに,国内での政 治闘争と混乱の中でも,核兵器やミサイルの自主的 な開発に中国は成功した.一方,後者の場合は,軍 事技術に加え,経済面での停滞への危機感から民 生技術を含むハイテク化が中国の現代化の大きな 目標となり,国内での路線論争による停滞期もあり ながら,科学技術を発展させる基礎として,「科学技 術進歩法」を策定させた.

2つの時期ともに、米ソ、特にアメリカとの関係で、 核兵器やミサイルなどの新兵器、エレクトロニクスな どのハイテク兵器開発を強力に進め、軍事技術開 発競争に加わり、格差の解消を目指してきた.した がって中国の科学技術政策を分析する上で、軍事 技術というキーワードは無視できないことが改めて分 かった.

一方,2つの時期での科学技術政策を担った中 心人物は,前者の毛沢東時代ではおそらく周恩来

- 2) 核物理学者の朱光亜(Zhu Guangya),数学者の楊楽(Yang Le)らと科学教育振興について意見交換を行った際の発言(2004年12月24日).中国の科学技術に関する動向情報は、「デイリー・ウォッチャー」の中国編が役に立つ(2005年以降).胡錦濤の発言は、File No.20050117-006を利用した.http://crds.jst.go.jp/daily/data/20050117-006.html.
- 3) 森永正裕「中国の"自主創新"は成るか-第 12 次 5 カ年計画期を迎える中国の科学技術政策」アジア研ワールド・トレンド, No.189, 2001 年 6 月, p.46.

<sup>1)</sup> 中国有人宇宙飛行計画は 1972 年に一度,中断された経緯があるが,「863 計画」の1つとして再び企画され, 1992 年 9 月 にプロジェクト「921 計画」として江沢民体制下で正式に決定された. その目的は,政治および経済面での国威発揚,軍技術 および民生技術でのハイテク推進とされた. 朱増泉編『飛天夢圓 宇宙への旅と夢 有人衛星シリーズ』(日本語版)オーム社, 2004 年 2 月, 281p.

であり、後者では明らかに鄧小平であった. このよう な特定の個人が大きな役割を果たすことになった理 由は,科学技術に対する先見性を彼らが持ってい たというよりも、危機的状況での政治闘争を生きの び,自らの政策を辛抱強く進める意志をもっていた ことにあるのだろう. 中国革命の第1世代である2 人は、20世紀初頭からの中国近代化の過程で欧 米や日本から受けた被害を共に体験し、 克服するた めに革命戦士として共に戦ってきた.また社会主義 国家を育てる過程ではアメリカやソビエトから国家の 滅亡をもたらすような軍事的圧力を受けたことも共に 経験した.彼らはこうした厳しい状況での強い危機 意識のもと、国内での権力闘争の中でもぎりぎりのと ころで権力を維持し,防衛力と生産力の充実に努力 した.これが中国の科学技術政策の底辺に流れ続 けてきた2人の共通点であろう.

時代ごとの変化は次のようにまとめることができ る.まず、冷戦期における米ソ両国との同時対立と それにともなう科学技術面での「鎖国」状態の継続 は,相対的に,中国の科学技術力を弱めることにな り、1970年代にはアメリカとの国交回復により西側 の技術導入の道を開き,実質的な鎖国状態を中断 することになる. また 1980 年代までは海外からの新 技術を導入する政策が中心であったが、1990年代 に入ると、大量の新技術導入を「消化する」ことで、 独自の開発や商品化や市場化のためのイノベーシ ョン政策を策定するようになった. 2000 年に入る と、ハイテク兵器の独自開発や有人宇宙飛行技術 の開発などにより軍事力の強化と国威発揚による共 産党政権の安定化が図られた.それに加えて,さら なる独自技術,イノベーション拡大を目指して中国 人による基礎研究の充実政策に至り,先進国にお ける科学技術政策とほぼ同一の特徴を持つに至っ た. つまり、21世紀に入り、中国は科学技術政策で の「現代化」に到達したと評価してよいだろう.

#### (2)われわれが感じている「危機感」

他方,中国と他国との間で相互不信が強まり,一 部では対立や衝突を示す事件もふえてきている.こ うした対立をどう考え,どのようにしたら良いのであろ うか.科学技術政策を分析してきた視点から,何か を指摘できないだろうか.

中国では,経済分野や科学技術分野で他国との 協調路線が進む一方で,安全保障分野での協調関 係はほとんど進んでいない.その背景として,西側 世界にとっては,中国で共産党独裁政権が維持さ れ,ソビエトがロシアに転換したような政治革命が実 現せず,大国主義の道を歩んでいるという疑いをも っていることがある.他方,中国にとっては,過去に おける外国に対する危機意識の解消が進まない 中,経済的友好関係を結べても,それを越えた政治 面での友好関係,協調関係を築けないままでいる.

毛里和子によれば,日中関係の場合,中国政府 による日本の軍事大国化への危機意識は近年,減 少しているが,その反面,一般の中国人は「ウルトラ 民族主義」と表現できる強い反日思想を支持する傾 向にあるという.支持する中国青年には,戦前の日 本による中国侵略についての被害者意識,加えて 改革開放後,日本などの西側世界との経済交流の 中で発生した国内格差を含めた被害者意識,という 二重の被害者意識があるという.一方,日本では一 般民衆に強い反中感情が少ない反面,政治家の一 部に対中不信感の意識が強く受け継がれていると いう.

日中関係を悪化させないためには、こうした日中 の反発意識の背景を理解し、まず、日中政府で、対 立意識の存在を相互に理解し、共に反発意識を克 服するとのメッセージを示し、各種の共同事業を継 続的に進めるという対策が必要であると、毛里は指 摘している.

このような議論を踏まえて、科学者、技術者という 視点から日中関係を考えてみたい.

研究者には,政府や国家から距離を置いて国際 的視野から研究交流を行ってきたという歴史がある が,その一方で,国家の安全保障のための防衛力 や,経済活動における国際競争力などに,最新技 術の取得が必要となり,20世紀後半からは,科学 技術と国家とのつながりが強化され,科学者や技術 者も国家の一員であることが強調されてきた.<sup>20</sup>

2) 高橋智子,日野川静枝『科学者の現代史』青木書店,1995年5月,204p.参照.

<sup>1)</sup> 毛里和子,前掲(2006年),第4章参照.以下の著作では、2005年春の反日運動と日中友好関係の悪化を描く中で、戦争が起きない枠組みが必要だと述べている.上村幸治『中国のいまがわかる本』岩波ジュニア新書、2006年3月、197p.

しかし 21 世紀に入った現在,科学者,技術者が 解決すべき課題は,国境を越えて地球規模になり, 研究者には,自国に属しているというレベルを超え るという意味でのグローバルな視点を持つことが期 待され,国家ごと地域ごとのローカルな課題を解決 する際にも,こうしたグローバルな視点が必要な時 期に来ている.

今回,中国の科学技術政策を歴史的に分析し, 中国の指導者らは,他国から核兵器攻撃への恐れ と危機感をもち,また経済力の格差により中国全体 が貧困化するのではないかとの危機感も持っていた ことを知ることができた.彼らの危機感は,立場を変 えれば,日本の危機感として共有することが可能で ある.もし危機感を共有することができるならば,他 国に対して一方的な危機感を煽るのではなく,相互 の不信感,危機感を減少させる方向で努力をするこ とが必要であると,理解できるのではないだろうか.

では,グローバルな視点で問題を理解することが 要求されている科学者,技術者には,今,何が求め

られているのだろうか.

まず中国が科学技術政策を進め,科学力,技術 力を拡大していることだけに注目して,不安感,危 機感を煽るのではなく,人類が直面している地球規 模の問題解決を日中の科学技術力で,一緒になっ て解決するという展望を持つこと,そして,具体的に はそれぞれの国家,あるいは地域における問題を 協力して解決する可能性を探ることではないだろう か.

日中の友好関係を築くには地道な努力が必要だ が、人々の感情は目の前で発生した事件に大きく左 右されやすく、相互の関係は悪化しやすい.それゆ え、近視眼的な感情論に陥らず、将来に向けての 長期戦略を持ち、同時に歴史的な調査を通して相 手側の考え方を理性的に理解していくことが大切で はないだろうか.

中国の科学技術政策の歴史を扱った本稿が,中 国との相互理解の1つのきっかけになることを願って やまない.

(平成24年9月24日 受理)

## Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective — Part 4 : Grammar Foundation Completed after 18 Months — John GATES\*

This paper continues to document the progress of an English teacher learning Finnish while working at a College of Technology. After completing 18 months of study the basic grammar foundation has been completed as proposed by Farber's method for learning a foreign language. Therefore, this paper not only documents the progress towards fluency in Finnish but also includes a brief summary of the basic Finnish grammar that has been studied. Also proposed is a plan for reading articles from a Finnish newspaper. A weakness of the vocabulary learning approach, which is that the vocabulary words are not studied based on their frequency in daily conversation, is also documented.

*Keywords* : English education, Finnish, Farber's method, foreign language learning, Kosen, Lorayne's memory method, grammar, vocabulary

#### 1. Introduction

Previous papers<sup>1)~3)</sup> have proposed that by learning a foreign language, College of Technology (Kosen) English teachers could improve their teaching methods as they experience the difficulties that their students have in learning English. As an experiment, the language learning method proposed by Farber<sup>4)</sup> was chosen for learning Finnish. After studying Finnish for a year it was observed that it is important to master the pronunciation, that Lorayne's memory method<sup>5)</sup> is effective for remembering vocabulary, using various types of study material concurrently is useful, and the major difficulties are a lack of time and motivation. This paper documents the progress for an additional six months during which a basic foundation of grammar was acquired.

#### 2. Progress Towards the Fluency Goals

In a previous paper<sup>1)</sup> the fluency targets were set for the four basic language skills. The reading target is 200 words in 5 minutes with 70% comprehension. The listening target is 50% comprehension of a newscast. The speaking target is 30 minutes of general conversation and the writing target is 200 words in 20 minutes. Also the first five chapters of the grammar textbook must be studied.

Skill	% (first year)	Achieved (last 6 months)	Total
Grammar	40%	Chapters 3 to 5	100%
Reading	0%	0 words (Did not read any news articles)	0%
Listening	7%	Still 30% comprehension of the textbook's CD	7%
Speaking	7%	Approximately 3 minutes of conversation	10%
Writing	0%	0 words (Not attempted)	0%

Table 1: Fluency level achieved

<sup>\*</sup>Department of Liberal Arts (English)

Table 1 shows the approximate fluency levels achieved in the last six months and compares them with the fluency levels attained in the first year. Farber's method suggests that the first five chapters of the grammar textbook provide a sufficient foundation for beginning to read newspaper articles. From the Table 1 it can be seen that Chapters 3 through 5 of the textbook were studied during the last six months. Combining this with Chapters 1 and 2, which were studied in the first year, brings the total to 100% thus completing the basic grammar requirement.

	First Year	Last 6 Months	Tot	tal
	(Minutes)	(Minutes)	(Minutes)	%
Hidden moment: Reading while eating	849	82	931	7.77
Hidden moment: Listening while working	3675	1538	5213	43.46
Hidden moment: Studying while waiting	1634	1827	3461	28.85
Regular study: Studying the textbook	1256	365	1621	13.51
Regular study: Making flashcards	371	398	769	6.41
Total time	7785	4210	11995	100

 Table 2: Classification of study time

From Table 2 it can be seen that a total of 4210 minutes were spent studying Finnish in the last six months. In the previous half years only 3881 minutes and 3904 minutes were spent studying Finnish, respectively. As a result, three chapters of the textbook and many more words could be studied. This data is summarized in Table 3.

Chapter	Words &	First test: Eng.	Second test: Eng.	Third test: Finn.	Chapter
(half year)	Phrases	to Finn. (%)	to Finn. (%)	to Eng. (%)	Test
Intro. (1 <sup>st</sup> half)	131	79%	98%	95%	
Ch. 1 $(2^{nd} half)$	111	89%	99%	99%	94%
Ch. 2 $(2^{nd} half)$	95	90%	99%	99%	95%
Ch. 3 (3 <sup>rd</sup> half)	156	89%	98%	99%	85%
Ch. 4 $(3^{rd} half)$	206	90%	94%	97%	93%
Ch. 5 $(3^{rd} half)$	303	93%	98%	96%	85%

Table 3: Vocabulary and grammar test scores

#### 3. Observation 1: Fundamental Grammar Requirements Fulfilled

As was mentioned above, Farber's method suggests that the first five chapters of the grammar textbook should be studied thoroughly to provide a sufficient foundation for beginning to read newspaper articles. From Table 1 it can be seen that this basic grammar requirement has been completed after a total of 18 months of study. However, from Table 2 it will be seen that the total time spent studying Finnish during the past 18 months was 11995 minutes or 200 hours. Although, 200 hours may seem like a long time to learn only five chapters of grammar a closer look at Table 2 will show that only 20% of the time, or 40 hours, was spent in "regular study." That is time dedicated to only studying Finnish. This "regular study" consists mostly of reading the textbook and preparing flashcards for studying the related vocabulary and grammar. Also, a full year course at a Kosen has about 45 hours of lecture time, thus after one year of studying

most Kosen students will have reached this level. In fact, as will be seen in Section 4, most Kosen students will have studied the corresponding grammar material in junior high school.

On the other hand, 80% of the time, or 160 hours, consists of "hidden moments." That is time spent studying Finnish while doing other things. From Table 2 it can be seen that more than 40% of the total studying time consists of listening to the CD from the textbook while doing other things. In addition, 30% of the total studying time was spent memorizing flashcards while riding the train or waiting for appointments, etc. This recovered time is greater than the amount of time spent in traditional study.

#### 4. A Summary of the Grammar Studied in the First Five Chapters

According to Farber's method, the next step after completing the fundamental grammar requirement is to begin reading newspaper articles. Therefore, it is useful at this point to document what grammatical structures have been studied. This section will summarize the grammar structures of the first five chapters of the textbook and demonstrate how Finnish is quite different from English and Japanese.

#### 4.1. Questions

The grammar structure for questions provides a good example of how Finnish is different from English. For example the verb 'to speak' is 'puhua' in Finnish. The first person singular, 'I speak', is 'puhu**n**' and the second person singular, 'you speak', is 'puhu**t**'. Here the 'n' and 't' at the end of the words indicate the person. Questions are formed by adding -ko or -kö to the end of the word after the personal ending. For example 'Puhut**ko**?' means 'Do you speak?' Similarly, the verb 'to understand' is 'ymmärrää' and 'you understand' is 'ymmärrät'. Therefore 'Ymmärrät**kö**?' means 'Do you understand?' In these two examples, it should be noted that the endings are slightly different. In the first example the ending is -ko whereas the second ending is -kö. The reason for the difference is due to ''vowel harmony'' which is explained in Section 4.2. Questions can also be formed using special question words such as 'kuka' meaning 'who' and 'missä' meaning 'where'.

#### 4.2. Vowel Harmony

There are eight vowels in Finnish, which are divided into two types. The first type is the "back vowels" which are a, o, and u. The second type is the "front vowels" which are ä, ö, y. The remaining vowels are e and i which are neutral vowels. The rule for vowel harmony is that front vowels cannot occur in the same word with back vowels. Although in compound words they may occur together. The neutral vowels, e and i, can mix with either type of vowel. However, if there are only neutral vowels then the front vowels will be used when endings are added to the word. This was demonstrated in

Section 4.1 when the endings -ko and -kö were added to the end of the verbs to make questions.

#### 4.3. Case Endings

"Case endings" are used in Finnish instead of the prepositions (e.g. to, from, in, etc.) that are used in English. There are fifteen different endings and the ten that have been studied so far are summarized in Table 4, below.

Case	Ending	Usage	Example	Translation
Nominative	singular: (none)	(basic form)	auto	car
	plural: -t	(basic plural form)	autot	cars
Inessive	-ssa / -ssä	inside, in	autossa	inside the car
Elative	-sta / -stä	out of, from	auto <b>sta</b>	out of the car
Adessive	-lla / -llä	on, by	auto <b>lla</b>	by car
Ablative	-lta / -ltä	off	auto <b>lta</b>	off the car
Genitive	-n	possession	auton	of the car
Essive	-na / -nä	state	auto <b>na</b>	as the car
Partitive	-a / -ä	quantity	auto <b>a</b>	some cars
	-ta / -tä		vet <b>tä</b>	some water
	-tta / -ttä		perhe <b>ttä</b>	some families
Illative	-(vowel)n	into	auto <b>on</b>	into the car
	-h(vowel)n		maa <b>han</b>	into the country
	-seen, -siin		Porvooseen	to Porvoo
Allative	-lle	onto	autolle	onto the car

Table 4: Case ending summary

#### 4.4. Consonant Gradation

From Table 4 it can be seen that there are many endings that can be added to words to change their meaning. However, these endings may also cause changes in the root word itself in a process called "consonant gradation." Consonant gradation occurs when a syllable that ends in a vowel is "closed" by an ending which is a single consonant (i.e. -n) or which begins with two consonants (i.e. -ssa). The major changes are summarized in Table 5.

Consonant change	Nominative	Translation	Consonant gradation	Translation
$t \rightarrow d$	pöy <b>t</b> ä	table	pöy <b>d</b> ällä	on the table
$k \rightarrow disappears$	Tur <b>k</b> u	(place)	Turussa	in Turku
$p \rightarrow v$	kyl <b>p</b> y	bath	kyl <b>v</b> yssä	in a bath
$tt \rightarrow t$	konser <b>tt</b> i	concert	konsertissa	in a concert
$kk \rightarrow k$	pan <b>kk</b> i	bank	pan <b>k</b> issa	in a bank
$pp \rightarrow p$	kau <b>pp</b> a	shop	kau <b>p</b> assa	in a shop
$nk \rightarrow ng$	kaupu <b>nk</b> i	town	kaupu <b>ng</b> issa	in a town
$nt \rightarrow nn$	Skotla <b>nt</b> i	Scotland	Skotla <b>nn</b> issa	in Scotland

 Table 5: Consonant gradation summary

#### 4.5. Verbs

It can be seen from the previous sections, which describe vowel harmony, case endings and consonant gradation, that Finnish has a very complicated grammatical system. Therefore, it is natural to expect that the grammatical rules for verbs will also be complicated. Verbs are also affected by vowel harmony and consonant gradation in the same way as nouns and adjectives. However, as was briefly introduced in Section 4.1, verbs also change based on the person. Finnish has only a present tense and a past tense. Future actions are indicated by using the present tense in combination with future expressions of time. As of Chapter 5, only the present tense verb patterns have been studied. There are four general groups of verbs based on the ending of the infinitive of the verb. These verbs are summarized in Table 6.

Gro	up 1	Gro	up 2	Grou	<b>ւр 3</b>	Group 4	
Infinitive en	ding:	Infinitive ending:		Infinitive ending:		Infinitive ending:	
-a / ä		-da / dä		consonant +	-a / -ä	-ta / -tä after	r a vowel
saapu <b>a</b>	to arrive	käy <b>dä</b>	to visit	men <b>nä</b>	to go	halu <b>ta</b>	to want
saavu <b>n</b>	I arrive	käy <b>n</b>	I visit	menen	I go	halua <b>n</b>	I want
saavut	you arrive	käyt	you visit	menet	you go	haluat	you want
saapu <b>u</b>	he arrives	käy	he visits	menee	he goes	halua <b>a</b>	he wants
saavu <b>mme</b>	we arrive	käy <b>mme</b>	we visit	menemme	we go	halua <b>mme</b>	we want
saavu <b>tte</b>	you arrive	käy <b>tte</b>	you visit	menette	you go	halua <b>tte</b>	you want
saapu <b>vat</b>	they arrive	käy <b>vät</b>	they visit	menevät	they go	halua <b>vat</b>	they want

Table	6:	Verb	summary	V
-------	----	------	---------	---

#### 5. The Reading Plan

According to Farber's method, once the first five chapters of the grammar textbook have been studied, the learner should begin to read real articles such as those taken from a newspaper or magazine. As can be seen from Table 3, only about 1000 words and phrases have been studied. Also, as can be seen from Section 4, only a very basic foundation of grammar has be completed, thus it is quite natural to expect that there will be many unknown words and grammatical structures encountered when reading the article. Therefore, after the first paragraph has been read, the meaning of all the unknown words will be looked up in a dictionary or online. Then these words will be written on flashcards and memorized. Once the words for the first paragraph have been remembered, the process will be repeated on the second paragraph. By the end of reading the entire article many new words will have been studied. Concurrently with reading the article from the newspaper, the grammar textbook will also be studied.

#### 6. Observation 2: Vocabulary Words not Based on Frequency of Usage

From Table 3 it will be observed that approximately 1000 words and phrases have been studied. From Table 2 it can be seen that about 29%, or 58 hours, of the total time spent studying Finnish was studying vocabulary during free moments while riding the train or waiting for appointments, etc. However, it should be pointed out that this method does not study vocabulary based on the relative frequency of the usage of the words in daily life. Thus, many words have been remembered that are not offen used in daily conversation and many words needed for daily conversation, have not yet been studied. For example, the words 'luostariin' meaning 'to the monastery' and 'luonnonpuisto' meaning 'nature park' have been memorized. However, words such as 'pen', 'pencil', and 'paper' have not yet been studied. This discrepancy will also continue as many newspaper articles will contain words that are seldom used in daily conversation. Therefore, to balance this lack of commonly used vocabulary, Farber recommends that after a sufficient number of newspaper articles have been read that the learner should study a basic phrase book.

#### 7. Conclusion and Future Work

This paper has summarized the progress of the first 18 months of studying Finnish. During that time the first five chapters of the grammar textbook have been sufficiently studied. As this completed the first step of Farber's method for learning a foreign language, a basic summary of the Finnish grammar studied during the past 18 months has also been presented in this paper. Also, the paper proposes a plan for reading newspaper articles and studying the unknown vocabulary found in the articles. As an observation it was discovered that some of the vocabulary words that have been studied are not used much in daily life and that many basic words have not yet been studied.

For future work, the study of Finnish will be continued and further observations will be recorded. In addition, the plan for reading newspaper articles written in Finnish will be implemented.

#### References

- J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 1: The Method Chosen for Learning Finnish—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 1 – 8, 2011.
- J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 2: Observations from the First Six Months—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 1 – 4, 2011.
- J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 3: Observations from the First Year—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 43, no. 2, pp. 1 – 4, 2012.
- 4) B. Farber, *How to Learn any Language. Quickly, Easily, Inexpensively, Enjoyably and on your Own.* Citadel Press, New York, NY, 1991.
- 5) H. Lorayne, *Super Memory, Super Student*. Little, Brown and Company, New York, NY, 1985.

(Received Sep.24.2012)

## Q-Uを用いた学級集団の分析

黒田一寿\*

#### An analysis of class communities by using Questionnaire-Utilities

Kazutoshi KURODA

We have conducted QU that targets TNCT freshman in April and December. Analysis of the QU shows that TNCT students ware very high motivation for learning in April. It was reduced in about 8 months, however. Correlation was found between the learning achievement and motivation for learning. A comparison of the December and April, the score of "relationships with friends" and

"feeling of infringement" became high in December. On the other hand, "consideration for others" score ware decreased. There ware differences in "relationship with teachers" and "Adaptation to the class community" between classes.

Keywords : QU, class communities, satisfaction with school life, willingness school life, social skill

#### 1. はじめに

QU (Questionnaire-Utilities) は、学生理解やクラ ス経営に活用されている心理テストである。不適応を起 こそうとしている生徒の早期発見や、いじめの発生・深 刻化の予防、クラス集団の状態の分析といった、これま で経験や定性的手法でしか為し得なかった取り組みに 一石を投じる新たなツールとして広まりを見せている。 定量化されるQUのデータを用いて、エビデンスベース ドのクラス運営研究やFD,指導効果の検証を行ってい る教育組織も増えている。QUは主に小中学校での活用 を想定してあるが、高校生用にも Hyper-QU<sup>1)</sup>が発行 されており、QU同様、標準化された心理テストとなっ ている。全国の高校生2万人を対象として事前検証が行 われており、定期的に追調査も行われている。その中に は、比率としては小さいが高専も含まれる。

東京高専では 2009 年に試験的に実施され,2010 年 からは1年生全員を対象に実施し,集計結果をクラス担 任にフィードバックしている。活用の和はまだまだ小さ いが,その有用性が実感されれば徐々に広がりをみせる だろう。筆者の印象では,高専のクラス担任指導はどち らかと言えば放任的で,集団育成という観点からの意識 的な取り組みは少なかったと思われる。しかし,学生気 質の変化が教員の間で語られるようになり,「クラスが まとまらない」「なぜ学校行事や課外活動が低調なのだ ろうか」と頭を悩ましている教員も少なくないはずだ。

QUの活用は、「何から始めたら良いのだろうか」と 思っている教員にとって、1つの良いきっかけとなるだ ろう。まずは集団の定量的なアセスメントから入るとい う戦略は悪くない選択だ。アンケートは短時間で一斉に 実施することが可能で、体系化されたコンピュータ診断 を活用すればかなりスピーディーに処理できる。自分で 集計しても良い。クラス集団の傾向を知り、疎外感を感 じていそうな学生に優先的に声をかけ、クラスをどの方 向に導き、そのためにどんな次の一手が有効かを考える。 QUはそのための良い検討材料になり得るだろう。さら に、その仕掛けなり指導方針なりが有効に働いたかどう かを検証するのに、再度QUを用いてアセスメントする ことも有用で、これで学級経営の PDCA サイクルがま わり始めることにもなる。

ただし、QUを「本当に使える道具」にするには、個々 の学生の事例に丹念にあたり、1つ1つの質問に対する 反応を追いながら、学生の心理状態を共感的に推測して いくことが重要だろう。学生の回答は質問文への答えで はなく、教師への投げかけと捉えたい。したがって、尺 度得点の高低や平均値を取り上げることはQU活用の 真髄からはやや離れてしまうだろう。しかし折角の定量 化されたデータでもあるので、統計分析からみえてくる 集団の傾向性についても検討してみたい。それは表面的 だとの批判もあろうが、個別の事象から距離をとって全 体を俯瞰することもまた有意義である。

本研究では、東京高専の1年生を対象に実施した Hyper-QUのデータをもとに、新入生の学校生活の傾 向性とその後の変化、学業成績との関連性、またクラス 集団間の比較について探索的に分析を行った。

#### 2. 調査方法

調査対象:2011年度1年生全員(N=214) 調査時期:4月末,6月下旬,12月中旬 計3回 心理テスト:Hyper-QU(高校生用,図書文化社) 集計作業:図書文化社情報センターに委託

費用:1名につき¥500(集計処理費用含む) 実施時間:健康科学の授業,ロングホームルーム 所要時間:1回およそ15分~20分(73問)

2011 年度は3回実施したが、本報告では1回目と3 回目の結果を分析対象とした。QUを反復して実施した 理由は、クラス状態の経時的変化を追うためであるが、 定期試験や夏季休業といった学年歴との兼ね合いから、 1回目から2回目まで2ヶ月しか経過していない。2ヶ 月間の変化も実践活用の上では貴重な資料となり得る が、今回は入学間もない4月と、3回の定期試験や各種 学校行事等を経験した後の12月を比較する。2回目の データを含めた分析については今後の課題としたい。

実施にあたっては、学生に対して「このアンケート結 果はクラス経営の研究資料として活用させてもらう」 「担任にも結果をフィードバックし学生指導に役立て

てもらう」「個人名が出るような形で個別のデータを第 三者に公開しない」、といったことを事前説明した。

回収した回答用紙は,集計処理の依頼先である図書文 化社情報センターに郵送し,2週間後には結果がまとめ られた「コンピュータ診断資料」が返送された。raw デ



図1 学級満足度尺度の散布図(4月,学年全体)

ータは CD-ROM にて受け取り、これを用いて統計分析 を行った。統計処理には SPSS (ver.19) を用いた。

以下に Hyper-QUの尺度構成をまとめる。本研究は、 参考資料を除く3尺度9因子について分析を行った。 ◇ 学級満足度尺度

├ 承認 (友だちや教師から認められているか?)

- └ 非侵害(不適応感,いじめ・冷やかしを受けていないか?)
   ◇ 学校生活意欲尺度
  - ├ 友人との関係 (気軽に話せる友人がいるか?など)
  - ├ 学習意欲 (勉強に自分から進んで取り組んでいる?など)
  - ▶ 教師との関係(担任の先生とうまくいっている?など)
  - ├ 学級との関係 (仲のよいクラスだと思う?など)
  - └ 進路意識 (興味をもっている職業がある?など)

◇ ソーシャルスキル尺度

- ├ 配慮(対人関係の基本的なマナーやルール)
- └ かかわり (人とかかわるきっかけや関係の維持)
- ◇ 参考資料(悩みに関する質問項目)

#### 3. 結果と考察

#### 3.1 新入生におけるQU尺度の特徴

入学後3週間が経過した4月末時点におけるQU尺 度得点について特徴をみていく。まず、学年全体の学級

> 満足度尺度がプロットされた散布図を 図1に示す。この図は、集計処理を依頼 した文化社情報センターからフィード バックされる「コンピュータ診断資料」 の一部である。縦軸の承認得点とは「自 分の存在や行動が、級友や教師から承認 されていると感じている度合い」を表す。 横軸の被侵害得点は「不適応感やいじ



め・冷やかしなどを受けていると感じている度合い」を 表す。QUではこの2因子を2軸として,個々の学生の データをグラフにプロットし,点の相対的位置から個々 の学生の学級満足度を推定し,全体的な分布からクラス 集団の状態を評価する。なお横軸は反転させてあり,被 侵害得点は左に行くほど高く,右に行くほど低い。2軸 が直交する点は,標準化された全国平均値である。グラ フの4象限はそれぞれ,①学級生活満足群,②侵害行為 認知群,③学級生活不満足群(要支援群を含む),④非 承認群,の4カテゴリーに対応する。

分布をみると、中央から右に偏った分布で、すなわち 被侵害得点が比較的低く、全体としてはいじめや冷やか しなどを受けていると感じる度合いの少ない、人間関係 に一定程度の緊張感がある集団の様子が伺える。

図2はカテゴリーごとの割合を示している。42%が学 級生活満足群に属し、全国平均(36%)との比較からも、 新しい環境でまずまずのスタートを切った学生が多い ことがわかる。一方で、25%は学級生活不満足群に属し ている。全国平均(26%)と比べて多いわけではないが、 全国平均は任意の時期に高校3学年をほぼ満遍なく対 象として実施されたQUの集計結果であり、この入学間 もない時点で既に4分の1が不満足群に属するのは懸 念材料であろう。うち6名は早期に個別対応が必要とさ れる要支援群に入っている。被侵害得点が高い者も数例 ある。こうした学生あるいはクラスに対しては入学直後 から、何らかのアプローチが必要だと思われる。

次に学校生活意欲尺度について、これを構成する5因 子それぞれの学年平均と全国平均を図3に示す。5項目 の平均値はいずれも全国平均並みかやや高めで、全体に 学校生活意欲は高い傾向にある。特に「学習意欲」の平 均値(*M*=15.17, *SD*=.196)は全国平均(*M*=12.5, *SD* =3.3)を有意に上回っている[*t*(209)=13.62, *p*<.01]。 新入生は入学後、単位制や学科仮配属、授業の難易度、 留年制度といった、これまでに経験のない修学システム の説明を繰り返

し受けており, 「勉強しなけれ ば」という気持ち は強いのではな いだろうか。 図4は, ソーシ

ャルスキル尺度 について,「配慮」 と「かかわり」の 2因子を2軸と するグラフに、学



凶る。子校主活息砍得点 (4月、全クラス)



図4 ソーシャルスキル尺度の散布図(4月,学年全体)

年全体のデータをプロットした散布図である。

配慮の尺度は「他者を尊重する姿勢や,対人関係の基本 的なマナーやルールが守られているか」<sup>2)</sup>を表す。「かか わり」の尺度は「能動的に友人と関わる姿勢や,人と関 わるきっかけや関係の維持,感情交流の形成ができてい るか」<sup>2)</sup>を表している。親和的で建設的にまとまったク ラスでは、学生たちがこうした能力を十全に活用し、そ れを互いに共有している。望ましい行動が暗黙の了解で 共有されていると言っても良い。また、単純に高ければ 良いというものではなく、バランスも重要である。

プロットの全体を眺めると、満遍なく分布しているようで、左斜め下のエリア(「配慮」が極端に低くその割に「かかわり」が高い)には空白がみられる。平均値をみると、「配慮」(*M*=33.86, *SD*=.272)は全国平均(*M*=33.1, *SD*=4.4)より高く[*t*(209)=2.74, *p*<.01]、「かかわり」(*M*=29.48, *SD*=.412)はほぼ全国平均(*M*=29.4, *SD*=5.7)と等しい。平均値のバランスとしても「配慮」が高く「かかわり」が低い。ルールやマ

ナーといった配慮行動が身についている分,クラス内で 大きなトラブルが起こることは少ないが,「かかわり」 スキルが低いことで,友人や教師に認められることが少 ないという状況が生じている可能性が指摘されよう。

対人関係や集団活動へのかかわりが良好だと考えら れる「配慮」「かかわり」がともに高い学生(中央最上 段のエリア)は多い一方で、逆にともに低い学生(中央 最下段のエリア)も多い。後者は、対人関係における基 本的なマナーやかかわり方が身についていない可能性 がある。自己中心的な振る舞いが目立つタイプや、 交友 関係を上手に築けずに周りから孤立してしまうタイプ である。この2つのタイプには友だち付き合いの面でか なり隔たりがあると考えられ、クラスの中でお互いに分 離し、小グループ化して、クラス集団がまとまりを欠く 方向に向かうことも考えられる。他者への配慮やかかわ り方は、集団づくりに欠かせない要素である。学校行事 や課外活動といった機会を最大限に活かした取り組み が必要であろう。最近は、人間関係スキルトレーニング あるいは対人関係スキルトレーニングなどと呼ばれる, 体系化された学習プログラムも提唱されており、ホーム ルームなどで取り組んでみるのも良いだろう。

#### 3.2 4月と12月におけるQU尺度の変化

1回目から8ヶ月後に実施した3回目(12月中旬) のQUの結果を,1回目との比較から考察する。図5 は,12月中旬のおける学年全体の学級満足度尺度のプ

> ロットである。4月末時点(図1)と比 較して、右よりであった分布が左に流れ ているように見える。横長の分布は、被 侵害得点の差が学生の間で大きくなっ ていることを表し、悪ふざけや冷やかし が見受けられ、疎外感を感じている学生 が出てきていることが推測される。新し







い人間関係の緊張から徐々に解放されてきたのは良い が、なれ合いの中で配慮の行動も軽んじられている可能 性もある。クラスとしては、ルール定着が低く、明確に なっていない危険性が考えられる。

カテゴリー別の割合(図6)を見ると、侵害行為認知 群の割合が増加(12%→19%)している。一方で、学 級生活満足群や非承認群の割合は減少している。ここに いた学生が侵害行為認知群へ移動した可能性もある。4 月末時点で6名であった要支援群に入る学生の数は、1 2月時点で11名に増加した。この散布図では示されな いが、グラフ上に示された個別の学生の動きを追ってみ ると,要支援群に留まった学生は2名で,あとは4月時 点で要支援群であった者が要支援群の外に出て行った ケースと、12月までに新たに要支援群に入ってきたケ ースとがある。前者は徐々にクラスに馴染むことができ た学生と考えられ、後者は何らかの原因で学級生活への 不満が大きくなった学生,あるいは孤立していった学生 である可能性がある。要支援群から満足群へ、あるいは 満足群から要支援群へという極端な動きをみせたケー スもあり、学生の態度が何かをきっかけに半年ほどの間 に大きく振れることがわかる。

次に各尺度の平均値の変化についてみていく。表1に, 4月と12月におけるQU尺度の学年全体の平均値と その差を示した。

有意な差がみられる尺度項目をあげると、「友人との 関係」においては12月の方が高く [*t*(197) = 2.33, *p* < .05],全体としてクラスの友人との親和性は高まって いる。一方、「学習意欲」は、12月に向かって大きく

表1	4月と12月におけるQU尺	関の平均値とその差
	(学年全体	、対応のある t 検定)

値を下げており [t(201) = 7.61, p < .001], 入学直後に は全国平均よりもかなり高かった学習意欲が, 全国平均 (M = 12.5, SD = 3.3) 付近まで下がっている(4月: M = 15.21, → 12月: M = 13.52)。

学級満足度尺度では、承認得点はほぼ変わらず、被侵 害得点において12月の方が高く [t (200) = 7.79, p <.001] なり、ソーシャルスキル尺度では「配慮」の得 点が12月において低下 [t(202) = 4.31, p<.01] して いる。これらの結果は、散布図の考察において「分布が 左に流れて横長になっている」とした分析を裏付けるも のとなった。友人関係がこなれていく中でお互い気兼ね なく話せるようになる一方、自分の存在や行動を周囲に 認めてもらっているという承認感は上昇せず、逆に被侵 害感が上昇しており、悪ふざけや冷やかし・からかいの エスカレートにブレーキをかけられないクラスの雰囲 気が形成されはしないか心配である。

1年生中盤以降の指導としては、ゆるみがちなルール の明確化と、学生ひとりひとりが活躍の場を持ち、自己 肯定感を高められるような活動を増やしていく取り組 みが求められる。

#### 3.3 QU尺度と成績との関係

QU尺度と成績との関係をみていく。成績指標の算出 は、前期後期ともに開設される科目の中から国語科1科 目、社会科1科目、英語科2科目、数学科2科目、理科 1科目の合計7科目を選び、 この GPA 値の合計した ものを用いた。なお、通常はA評価もS評価も4点と してGPAが計算されるが、今回は解像度を上げる目的 で、S評価を4.5点、A評価を4点として計算した。そ れ以外はB評価が3点、C評価が2点、D評価が0点

QU尺度		対応サンプルの統計量		対応サンプルの差		▲店	白山南	有意確率		
		実施時期	平均值	標準偏差	Ν	平均值	標準偏差	LIE	日田皮	(両側)
学校生活満足度	友人との関係	4月	16.36	3.711	198	. 626*	3. 790	2.325	197	0.91
		12月	16.98	2.800						. 021
	学習意欲	4月	15.21	2.769	202	-1.688 ***	3.154	-7.607	201	. 000
		12月	13.52	3.710						
	教師との関係	4月	13.02	3.434	204	. 005	3.614	. 019	203	0.95
		12月	13.02	3.654						. 505
	学級との関係	4月	14.71	3.181	204	461	3. 536	-1.861	203	. 064
		12月	14.25	3.755						
	進路意識	4月	14.48	3.376	202	421	3. 459	-1.729	201	. 085
		12月	14.06	4.078						
	学校生活意欲総合点	4月	74.16	11.458	204	-2.397*	10. 901	-3.141	203	. 002
		12月	71.76	13.487						
学校生活満足度	承認得点	4月	31.72	7.397	204	. 235	6. 989	. 481	203	. 631
		12月	31.96	7.849						
	非侵害得点	4月	16.57	6.042	201	*** 2. 244	7.791	4.083	200	. 000
		12月	18.81	8.080						
ソーシャルスキル	配慮	4月	33.91	4.032	203	-1.000 ***	4. 310	-3.306	202	. 001
		12月	32.91	4.788						
	かかわり	4月	29.43	5.968	203	. 433	4.709	1.312	202	
		12月	29.86	5.685						. 191

12月時点の学級満足度のカテ ゴリー別にみた学年末成績の分布 を図7に示す。この箱ひげ図の箱内 横線は中央値,箱の上下端は四分位 である。要支援群に入ってくる学生 はやはり成績も低調である。一方, 侵害行為認知群は,例外もあるもの の成績は悪くない。被侵害得点が高 い場合にはいじめやからかいが心 配されるが,そうした侵害感を持っ ている学生の状況は,成績等の目に 見える形となっては現れない場合 が多いと言える。



図7 学級満足度尺度カテゴリー別にみた 学年末成績指標の分布

次に,QU尺度と前期期末成績・学年末成績との相関 係数について調べ,変数間に有意な相関がみられた項目 についてのみ,表2に示した。

12月における学習意欲と学年末成績との間には正の相関(r=.429)がみられた。入学間もない4月時点における学習意欲と学年末成績の間にもわずかながら相関(r=.256)がみられ、当然ながら学習への意欲が成績に反映される結果となっている。

表2 QU尺度と成績の相関(学年全体,有意な相関係数のみ)

		4月	12月			
		学習意欲	学習意欲	進路意識	承認得点	
	Speamanの 相関係数	.189**	.347**	.161*	.139*	
前期末成績	有意確率(両側)	.006	.000	.021	.045	
	N	210	205	206	207	
	Speamanの 相関係数	.246**	.429**	.200**	.195**	
学年末成績	有意確率(両側)	.000	.000	.004	.005	
	N	205	205	206	207	

\*\*. 相関係数は 1% 水準で有意 (片側)です。 \*. 相関係数は 1% 水準で有意 (両側)です。



図8 学年末成績と学習意欲(12月)の散布図

図8は学年末成績と学習意欲(12月)の散布図であ る。成績指標(7科目の合計 GPA 値)においてほぼ0 点に位置する学生は,結果的に原級留置となった学生で ある。通常0点というのはかなり偏った数値だが、今回 はこれらを外れ値とはせずに分析を進めたいと考え, Spearman の順位相関係数を用いている。ここで回帰直 線から離れたデータに注目すると、学習意欲はそれほど 低くないにも関わらず成績が極端に低い学生が存在す ることがわかる。このプロット位置は「成績の素点が 60 点以下だと一律D評価で GPA 値は0 点になる」とい う算出方法にも影響を受けているが、推測するに、こう した学生は学習への意欲に結果が伴わず,そのギャップ に喘いでいるのではないだろうか。学習に対するモチベ ーションを具体的な学習行動に反映させるコツや,学習 方法の改善といった指導・助言があれば、こうした学生 の学力をもっと伸ばせるかもしれない。

12月時点では,進路意識(r=.200),承認得点(r =.195)も学年末成績との間にわずかながら相関がみら れる。学習への意欲が他の意識にも影響を及ぼすといっ たことがあるのかもしれない。しかし相関係数が小さい こともあるので,成績階層間の相違をみてみることにし た。学年末成績の点数を基準として,ほぼ3分の1ずつ になるよう3つの階層グループを構成し,成績上位群(n =60),成績中位群(n=74),成績下位群(n=74)と した。分散分析を行い,この3群間において主効果がみ



#### 図9 成績階層別にみたQU尺度間の比較 学習意欲(4月,12月),進路意欲(12月),承認得点(12月)

られた項目のみを図9に示す。その結果,やはり相関係 数からの検討と類似した結果となり、4月・12月にお ける学習意欲 [F(2,202) = 17.483, p < 0.01],12月に おける進路意識 [F(2,203) = 5.171, p < 0.01],12月 における承認得点 [F(2,204) = 4.262, p < 0.05]の3項 目において成績階層群間に有意差がみられた。Tukey 法による多重比較の結果から、12月における学習意欲 には低位群・中位群・上位群の間にすべて有意差がみら れ、成績階層が高い方が学習意欲も高いことが認められ た。4月における学習意欲と12月における進路意識・ 承認得点においては、低位群と上位群の間に有意差がみ られ、いずれも上位群が低位群よりも高いことが認めら れた。

以上を踏まえて学業成績と学校生活の関係をQU尺 度からみた場合,成績上位と成績下位の学生では,クラ ス・友人・教師との関係性やソーシャルスキルよりも学 習意欲や進路意識に大きな差があり,高専における学習 内容とのマッチングの影響の方が大きいのではないか と推測される。そうした状況は,友人や教師からの承認 感にも徐々に現れ,少なからず学校生活への満足度にも 影響していくのであろう。

#### 3.4 クラス間におけるQU尺度の比較

クラスによってQU尺度に違いがでるかみていこう。 クラスを匿名で示すために,便宜上「赤・黄・緑・青・ 紫」の5色をクラス名として設定し,1組から5組まで に任意の色をランダムにラベルした。その上で,学級満 足度を示す承認得点と被侵害得点の分布について,クラ スごとの散布図を4月時点と12月時点を左右に並べ, 図10に示す。

分布にはやはりそれぞれクラスの特徴がある。4月時 点をみると、例えば、赤・紫組はかなり右寄りの分布に みえる。特に赤組は右上に分布が多く、クラスの学生の 満足度が高いと読める。黄・青組はやや斜めに分布が集 まっているだろうか。斜めに長く伸びた分布は、QUの 解釈では「荒れのきざしがみられる学級集団」と判定さ れる。この状態を放置しておくと、学校生活に不満足な 学生たちが、クラス全体の建設的な活動にブレーキをか け、もともと満足感の高かった学生の意欲や満足度も引 き下げてしまう危険性がある。

分布はいずれのクラスも、12月にかけて拡散する傾向にあるが、黄組・青組はより広範囲に拡散しているような印象である。特に黄組は分布が拡散しながら下に下がっているように見受けられる。4月末時点で兆候がみ



図104月と12月におけるクラスごとの学級満足度尺度の分布

えているだけに、早めに有効な手を打てば変わっていた 可能性もあろう。また、4月には満足度の高かった赤組 も、左方向や左斜め下方向のプロットが散見されるよう になり、QUの解釈では「ゆるみのみられる学級集団」 と判定され、一見、元気でのびのびとしたクラスに見え るものの、やはり放っておくとまとまりを欠く集団にな っていく危険性がある。ルーズになっている面を確認し なおして、高い学級満足度を今後も維持できるような取 り組みが求められるだろう。



図 11 に、4月時点と12月時点における、クラスご との学級満足尺度(承認・被侵害)とソーシャルスキル 尺度(配慮・かかわり)の平均値を示す。図中の横点線 は全国平均値を表し、矢印は全国平均値との比較で有意 差がみられた項目を示している。

4月時点において、赤組と紫組の承認得点が全国平均 を大きく上回っている。このように承認得点が高いとい うことは、入学後「良いクラスに入った」と思っていた 学生が多かったのではなかろうか。被侵害得点はいずれ も全国平均以下(低い方が侵害感を感じていない)だが、 黄・青組は有意な差ではなく、他クラスより高めである。 12月時点をみると、承認得点では赤組が4月時点と変 わらず全国平均より高い平均値を保ち、紫組は4月より 低くなってしまった。青組の承認得点は4月より大幅に 高まって全国平均を有意に上回った。一方、被侵害得点 はいずれのクラスも4月時点より高くなった。有意な差 ではない [t(41) = 1.93, NS(p=.06)] ものの, 黄組は 全国平均よりかなり高い平均値をとっている。被侵害得 点は, 学年全体としても4月より12月が高くなること を3.2節で示したが, 5クラス中4クラスがやはりそ のような顕著な傾向を見せている。ソーシャルスキル尺 度の「配慮」「かかわり」の平均値はいずれのクラスも おおかた全国平均なみだが, 黄組は4月時点において 「かかわり」が全国平均値より有意に低い値であった。 すべてのクラスにおいて「配慮」は4月時点より12月 時点で少し下げている。「かかわり」は4月時点より微 増したクラスが多い。

なお、学級満足度尺度とソーシャルスキル尺度のクラ ス間の差を分散分析でみた場合には、有意差はみられな かった。

続いて、学級生活意欲尺度の平均値についてみていこう。図12に、4月時点と12月時点の学級満足度尺度 5項目の平均値を示す。4月時点から12月時点への変 化、全国平均との比較をクラスごとに行っていこう。

赤組は、4月から12月にかけて「学習意欲」が下が るものの(それでも全国平均より高い),他の4項目に おいては全国平均より大きく上回る状態を維持してい る。黄色組は、「学習意欲」「教師との関係」「学級との 関係」で4月から大きく落ちてしまっている。もともと 4月時点で「かかわり」が全国平均より低いことを前述 したが、クラス編成で偶然にも人間関係スキルの低い学 生が集まってしまったのかもしれない。「教師との関係」 「学級との関係」が全国平均を下回り,引きずられるよ うに学習意欲の落ち幅も大きい。緑組は、4月から12 月に向かって他クラスと少し異なる変化が見られ、「教 師との関係」「学級との関係」が4月よりも12月の方 が高くなっている。青組は、4月の「教師との関係」が 全国平均より若干低く、他クラスと比べても特徴的であ る。しかし、12月時点では全国平均以上に持ち直して いる。紫組は4月時点では赤組とよく似た5項目ともに 高い平均値なのだが、12月時点では、全国平均より若 干高いものの全体に下げてしまっている。

クラス間の平均値の差を分散分析により調べたところ(図 13),4月時点において,クラス間で主効果がみられたのは「教師との関係」[F(4,205) = 2.899, p < 0.05] のみであった。Tukey 法による多重比較の結果,青組が 紫組よりも低いことが認められた。12月時点では、「教 師との関係」[F(4,202) = 4.347, p < 0.05]と「学級と の関係」[F(4,202) = 7.236, p < 0.05]の2項目に


図12 4月と12月におけるクラスごとの学級満足度尺度の平均値

ついて,クラス間で主効果がみられた。多重比較(Tukey 法)の結果から、「教師との関係」において、黄組は赤 組・緑組よりも低いことが認められた。また「学級との 関係」においても、黄組は赤組・緑組よりも低く、同じ く「学級との関係」において、青組は赤組・緑組よりも 低いことがわかった。

参考までに、本報告で用いた成績指標のクラスごとの 分布を、図14に示しておく。分散分析の結果、この成 績指標にクラス間の有意差はみられなかった。



図 13 4月と12月におけるクラス間の学校生活意欲尺度の比較 (有意差ありのみ)



さて、ここまでの分析結果だけで各因子間の因果関係 について言及することは慎まなければならないが、気に かかる点がある。教師のリーダーシップである。今回の 分析では、黄組で12月時点における「教師との関係」 が低くなってしまい、同クラスでは4月から「学級との 関係」が大きく低下し、被侵害得点は高くなった。ただ し、このクラスは4月時点で学生のソーシャルスキル尺 度が他クラスよりも低いことも見逃せない。緑組は、4 月時から12月に向けて「教師との関係」を向上させ、 被侵害得点の上昇を抑制し,同時に「学級との関係」も 向上した。青組はスタートで全国平均より低かった「教 師との関係」を改善し,クラスの承認得点を大きく伸ば している。

教師も個性豊かであり、それぞれ異なるタイプのリー ダーシップを発揮して学生を導こうとするわけだが、あ らゆるクラス集団に効果的なリーダーシップスタイル というものはないだろうし、やはり相性というものがあ る。そこで、学生の特性やクラス集団の状況に応じて「う まくはまるリーダーシップ」を使い分ける必要があるの だろう<sup>3)</sup>。そのためにも集団のアセスメントは欠かせな い。QUも、その良い材料になると考えられる。そうし た中で「担任」の果たす役割は非常に大きいと考えられ るが、QUにおける「教師との関係」を構成する質問文 は、担任との関係だけを聞いたものではない。よって、 QUに現れる「教師との関係」の善し悪しは、担任だけ が背負う問題ではないのである。教科担当者やクラブ活 動等の顧問,学生課や寮の職員,学生相談室等も含めて, チームとしてクラス集団を育む組織に近づけるべきで ある。例えば黄組の「教師との関係」が低く、侵害得点 が上昇している状況をみたら、黄組の授業を担当する教 員全員でルールを明確にするような方向性を共有する、 といった方策が取れると良いだろう。

# 4. まとめ

本報告では、QU尺度の統計分析からみえてくる東京 高専1年生の集団特性を考察した。

学校生活意欲の面では、4月時点では「学習意欲」が 非常に高いのに、8ヶ月後には大きく落ちてしまう特徴 があった。学級満足度からみたクラス集団特性としては、 4月時点では被侵害得点が低く抑えられているが、8ヶ 月後には高くなってしまう側面があった。同時に「配慮」 のソーシャルスキルも低くなっていた。成績との関係を みると、「学習意欲」と成績には相関関係がみられ、1 2月時点になると、成績上位層と下位層で「進路意識」 や「承認得点」においても差が出た。クラス間を比較し た場合、4月より12月の方で被侵害得点が高くなり 「配慮」が低くなる傾向がどのクラスにも共通していた。

学級生活意欲では、高い学級満足度と学校生活意欲をキ ープするクラスがある一方で、もともと4月時点におけ る学生のソーシャルスキルが低く、12月には被侵害得 点が上昇し、「教師との関係」や「学級との関係」が低 下したクラスもみられた。「教師との関係」はクラス間 で差が現れやすく、4月から12月にかけて改善したク ラスと逆に低下したクラスがあった。

今後もQUデータを蓄積してゆけば、4月時点のQU データからその後の指導方針を立て、教員間でそれを共 有し、効果的な集団育成に活かせると考えられる。また、 「学習意欲」の低下や「被侵害得点」の上昇、「配慮」 の低下といった、1学年中盤の課題について、具体的な 改善策を検討していく必要がある。そのためには集団育 成を教員全体で取り組む必要があり、クラスの状況を担 任だけが抱え込まずそれを共有する手段としても、QU は有用であると考えられる。

参考文献

- 1)河村茂雄(著)・日本図書文化協会(制作), よりよい学校生活と友達づくりのためのア ンケート Hyper-QU 高校生用,図書文化社
- 2)河村茂雄、学級づくりのためのQU入門、図
   書文化社、2006
- 3)河村茂雄・苅間澤勇人・粕谷貴志・武藤由佳 (編)、QUによる学級経営スーパーバイ ズ・ガイドー高等学校編-、図書文化社、2004
- 4) 河村茂雄, データが語る①学校の課題-学力向 上・学級の荒れ・いじめを徹底検証-, 図書 文化社, 2007

(平成24年9月25日 受理)

# Pump Performance and Flow Behavior in Valve Chamber according to Changes of Air Volume in Air Chamber in Water Hammer Pump System

Sumio SAITO\*, Masaaki TAKAHASHI\*\*, Yoshimi NAGATA\*\*\*, Takuya IWAMURA\*\*\*\*, Keita DEJIMA\*\*\*\* and Gaku HIJIKATA\*\*\*\*\*

Recently, as global-scale problems, such as global warming and energy depletion, have attracted attention, the importance of future environmental preservation has been emphasized worldwide, and various measures have been proposed and implemented. Water hammer pumps can effectively use the water hammer phenomenon in long-distance pipeline networks that include pumps and allow fluid transport without drive sources, such as electric motors. The results of experiments that examined the effect of the geometric form of water hammer pumps by considering their major dimensions have been reported. However, these conventional studies have not fully evaluated the pump performance in terms of pump head and flow rate, common measures indicating the performance of pumps. The previous paper experimentally examined how the hydrodynamic characteristics were affected by the inner diameter ratio of the drive and lifting pipes, the form of the air chamber that affects the hydrodynamic characteristics and operation conditions of the water hammer pump and also clarifies the flow behaviors in the valve chamber by using the flow visualization method during water hammer pump operation.

*Keywords* : Water Hammer Pump, Fluid Transients, Pump Performance, Pressure Fluctuation, Velocity Fluctuation, Flow Visualization

# 1. Introduction

In the field of energy- and life-related technology, a variety of fluid machines play an important role in the infrastructure of society, and more energy-saving and resource-saving machinery will be needed.

Water hammer pumps, which effectively use the water hammer phenomenon that imposes a problem in fluid pipeline networks including pumps, are a promising means for effectively transporting fluid even in regions lacking developed infrastructures due to its ability to transport water without drive sources, such as electric motors.

Conventional studies on water hammer pumps include those that propose configurations mainly for educational purposes [1], [2], [3]; the results of experiments that examined effects of major specifications for the geometric form of water hammer pumps [4], [5]; and a paper that analyzes the water hammer phenomenon numerically by using the characteristic curve method for comparison with experimental results [6]. These studies, however, have not fully evaluated the relationship between pump head and flow rate, common measures indicating pump performance.

*	Department	of	Mechanical	Engine	ering
				0 -	- 0

\*\* Yokohama National University

- \*\*\*\* Mechanical and Computer Systems Engineering, Advanced Engineering Course
- \*\*\*\*\* Nagaoka University of Technology
- \*\*\*\*\* Tokyo Waterworks Service Co., Ltd.

<sup>\*\*\*</sup> Yamaha Motor Engineering Co., Ltd.

This study examines the relationship between the temporal pressure fluctuations in the valve and air chambers at different air volumes in the air chamber and the performance of the water hammer pump to elucidate the behavior around the valve and air chambers that affects the operating conditions of the water hammer pump, and, at the same time, clarifies flow behaviors in the valve chamber during the pump operation.

## 2. Experimental Apparatus and Method

# 2.1 Experimental Apparatus

Figure 1 shows an overall schematic diagram of the water hammer pump system used for the experiment. Figure 2 shows a detailed schematic diagram of the water hammer pump, including the valve chamber and its associated parts. The pump is composed of main parts from the water tank (1) to the spring (8).

The drive pipe (2), which supplies water from the water tank (1) to the valve chamber (3), is made of acrylic resin material to allow the visualization of internal flow. The valve chamber (3) and the air chamber (6) are also made of acrylic resin material and configured so that ink can be injected for the visualization of flow in the valve chamber. The valve chamber (3) has a seat on its wall, on which an electro-magnetic flow velocity meter can be attached.



Fig. 1 Water hammer pump system



Fig. 2 Main parts of water hammer pump

# 2.2 Experimental Conditions and Geometric Form Factors

Table 1 shows the factors that affect the hydrodynamic characteristics of the water hammer pump. For this experiment, four different air volumes were used in the air chamber, while the drive pipe inner diameter and the lift pipe inner diameter were set at D = 25 [mm $\varphi$ ] and d = 18[mm $\varphi$ ], to examine the effect of the air volume on the performance of the water hammer pump.

The drive pipe length was set at L = 4 [m], and the drive pipe angle was set at  $\theta = 7$  [°] with reference to the results of the previous study [7]. The water level, which is equal to the height between the water level in the water tank (1) and the valve chamber (3), was fixed at H = 0.5 [m].

Geometrical form factor		Experimental condition			
	inner diameter	D	25		
Drive pipe	length	<i>L</i> [m]	4		
	angle	θ[°]	7		
Lift value opening area $A_{l}$		$A_l$ [mm <sup>2</sup> ]	254		
Lift pipe inner diameter		d	18		
Air chamber capacity (Spherical type)		V [ℓ]	3.85		
Air volume in the air chamber		$V_a\left[\ell ight]$	0, 0.356, 1.94, 3.76		
Spring	length	$\ell_s$ [mm]	46.7		
	constant	k	0.122		
Water level H [m]		0.5			

Table. 1 Experimental factors of water hammer pump

# 2.3 Experimental Conditions and Geometric Form Factors

Closing of the drain value (4) located downstream of the value chamber (3) causes the water hammer phenomenon, which in turn lifts water through nine 6[mm]-diameter holes  $(A_l=254[\text{mm}^2])$  in the value seat of the lift value (5).

The input flow rate  $Q_i$  into the water hammer pump was determined by measuring the flow rate entering the water tank (1) while keeping the water level in the tank constant. In addition, the lift pipe outlet was positioned so as to obtain the desired pump head; the outlet flow rate was measured by a gravimetric method to determine the lifted flow rate  $Q_u$ . The flow rate from the drain valve  $Q_d$  was also measured directly by the gravimetric method. The measurement of each flow rate was conducted for as long time as possible to minimize errors caused by flow fluctuations.

The performance of the water hammer pump is indicated in terms of the lifted flow rate  $Q_u$ and the pump head h, after the typical turbo pump performance indication. The pump efficiency  $\eta$  is calculated with the following equation taking into consideration the input and output flow rates of the water hammer pump [7] [8]. 東京工業高等専門学校研究報告書(第44(1)号)

$$\eta = \frac{Q_u \times h}{Q_i \times H} = \frac{Q_u}{Q_d + Q_u} \times \frac{h}{H} = \eta_v \times \frac{h}{H} \quad (1)$$

where  $\eta_v (= Q_u / (Q_d + Q_u))$  indicates volumetric efficiency of the water hammer pump.

To investigate the hydrodynamic behavior in the water hammer pump, temporal changes in pressure  $P_v$  in the valve chamber (3) and  $P_a$  in the air chamber (6) shown in Figure 2 are measured with a pair of strain gauge pressure transducer (PGM-1KG, manufactured by Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd.), an amplifier and an A/D converter.

Furthermore, in order to examine the flow behavior in the valve chamber, a sensor of an electro-magnetic velocity meter (VM-801H, manufactured by KENEK Corporation) capable of measuring simultaneously flow velocity  $v_x$  in the flow direction from the drive pipe and flow velocity  $v_y$  in the water lifting direction is installed vertically at the center of the valve chamber and horizontally co-axial to the center of the lift valve.

For the behavior of flow in the valve chamber, the internal flow was visualized and observed by injecting ink upstream of the valve chamber.

# 3. Experimental Results and Discussion

# 3.1 Changes in Water Hammer Pump Performance at Different Air Volumes in the Air Chamber

Figure 3 shows the water hammer pump performance measured at four different air volumes in the air chamber ( $V_a = 0$ , 0.356, 1.94 and 3.76 [ $\ell$ ]).

In the first quadrant, the relationship between the pump head h and the lifted flow rate  $Q_u$  is represented by downward-sloping curves similar to typical pump performance curves. As seen from the figure, the curves are flatter at higher levels of  $V_a$  (steeper at lower levels of  $V_a$ ).

The relationship between the pump efficiency  $\eta$  and the lifted flow rate  $Q_u$  is represented by upward-sloping curves, except in the case of  $V_a = 0$  [ $\ell$ ]. The pump efficiency is higher at higher levels of  $V_a$ .



Fig. 3 Change in water hammer pump performance due to air volume in the air chamber

The fourth quadrant represents the relationship between the drain flow rate  $Q_d$  and the lifted flow rate  $Q_u$ . Only when  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], the drain flow rate increases as the lifted flow rate increases. Except in the case of  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], the drain flow rate is lower at higher levels of  $V_a$ and remains almost constant regardless of the lifted flow rates  $Q_u$ .

In the second quadrant, the number of water hammer occurrences C is around 40 [count/min] regardless of the pump head h.

# 3.2 Temporal Pressure Fluctuations in Valve and Air Chambers of Water Hammer Pump

# 3.2.1 Operating Principle of Water Hammer Pump

Figure 4 shows visualization photos of flow in the valve chamber at the pump head of h = 2 [m] in case of  $V_a = 1.94$  [ $\ell$ ] corresponding to four states from Phase [1] to [4] shown in Figure 5 that represents behavior during the water hammer pump operations. The behavior was observed in increments of 0.1 [sec] for the duration of 1.5 [sec].

Green streaks in the valve chamber are observation ink injected upstream of the valve chamber.

Phase [1] indicates flow conditions at 0.1[sec], where the drain value is open and water from the water tank (1) flows into the value chamber.

At 0.7 [sec], which corresponds to Phase [2], the drain valve closes to induce the water hammer phenomenon and the associated pressure causes the lift valve, shown by the single dotted chain line, to start to open.

Phase [3] starts at 0.8 [sec], at which time the lift valve is most open, and goes to 0.9 [sec], at which time the lift valve is just about to close.

At 1.0 [sec], which corresponds to Phase [4], closing of the lift value and opening of the drain value occur simultaneously as seen in the photo.



**Fig. 4** Flow visualization around valve chamber  $(h = 2[m], V_a = 1.94 [\ell])$ 



Fig. 5 Water hammer pump operation

Figure 6 shows temporal fluctuations in flow velocities  $v_x$  and  $v_y$  in the flow and waterlifting directions, respectively, measured at the center of the valve chamber using an electromagnetic velocity meter under the same conditions as Figure 4.

This suggests that  $v_x$  tends to gradually decrease in Phase [1] and  $v_y$  increases with a small delay after Phase [2] at which the drain valve has closed, indicating that water is being lifted. After Phase [3] where the lift valve is open,  $v_y$  starts to decrease.



**Fig. 6** Velocity fluctuations in valve chamber  $(h = 2[m], V_a = 1.94[\ell])$ 

# **3.2.2** Pressure Fluctuations in the Valve and Air Chambers at Different Pump Heads and Visualization of Flow around the Valve Chamber

Figure 7 (a) and (b) show temporal pressure fluctuations in the valve and air chambers at different air volumes in the air chamber  $V_a$  at a pump head of h = 2 [m].

In Figure 7 (a), the waveform of the pressure in the valve chamber is extremely sharp at  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], which represents that the air chamber is completely filled with water. At higher levels of  $V_a$ , the peak pressure is lower, and the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  is longer.

In Figure 7 (b), the decrease in the air chamber pressure after  $P_{a.peak}$  is smaller at higher levels of  $V_a$ .

When  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], a specific waveform with the largest pressure fluctuations is observed; after  $P_{a,peak}$ , the pressure decreases rapidly to a negative value. The observation of the behavior in the valve chamber under this condition shows that, after the air chamber pressure reaches  $P_{a.peak}$  and then decreases sharply, the lift valve remains open until the pressure starts to increase again, allowing water to flow into the air chamber.

For the four levels of  $V_a$ , Figure 8 shows the behavior of flow around the valve chamber during Phase 2 of water hammer pump operation at a pump head of h = 2 [m]. The opening degree of the lift valve (5) indicated by a dotted circle increases at higher levels of  $V_a$ . This observation agrees with the fact that the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$ increases at higher levels of  $V_a$ , as shown in Figure 7 (a).



(a) Pressure in the valve chamber  $P_{\nu}$ 

(b) Pressure in the air chamber  $P_a$ 





 $V_a = 0 [\ell] \qquad V_a = 0.356 [\ell] \qquad V_a = 1.94 [\ell] \qquad V_a = 3.76 [\ell]$ Fig. 8 Visualization of flow around the value chamber at h = 2 [m]

# **3.2.3** Effects of the Air Volume in the Air Chamber on Pressure Behavior in the Valve and Air Chambers

Based on the results presented above, Figures 9 indicate the effects of the air volume in the air chamber on the peak pressure  $P_{v.peak}$  in the valve chamber at each pump head.

Figure 9 shows that, at low pump heads of h = 1 and 2 [m], the peak pressure  $P_{v.peak}$  in the valve chamber tends to decrease as the level of  $V_a$  increases. The peak pressure decreases sharply in the presence of only a small amount of air, e.g.  $V_a = 0.356$  [ $\ell$ ]. At high pump heads of h = 3 and 4 [m], the pressure fluctuates little and remains almost constant regardless of the air volume.



Fig. 9 Relationship between the peak pressure  $P_{v.peak}$  in valve chamber and the air volume  $V_a$  in air chamber

Figure 10 indicates the relationship between the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  in the valve chamber and the air volume in the air chamber  $V_a$  at each pump head.



**Fig. 10** Relationship between the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  in valve chamber and the air volume  $V_a$  in air chamber

Figure 10 shows that the effect of  $V_a$  on the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  in the valve chamber is the most significant at a low pump head of h = 1 [m]. At higher pump heads, the value of  $\Delta t$  remains almost constant regardless of the air volume.

At all pump heads, the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  is the shortest at  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], which represents that the air chamber is completely filled with water. This observation agrees with the fact that the peak pressure is generally high at  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], as shown in Figures 7(a).

These findings reveals that, at  $V_a = 0$  [ $\ell$ ], the peak pressure in the valve chamber fluctuates largely and sharply regardless of the pump head. At lower pump heads, the effect of  $V_a$  on the increase in the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  is greater. Thus, the lifting of water may be facilitated by the compression effect of air in the air chamber.

# 4. Conclusions

The relationship between the temporal pressure fluctuations in the valve and air chambers at different air volumes in the air chamber and the performance of the water hammer pump has been examined to elucidate the behavior around the valve and air chambers that affects the operating conditions of the water hammer pump.

This study has yielded the following findings.

(1) The pump head vs. flow rate curves are flatter at higher levels of air volume in the air chamber  $V_a$ (steeper at lower levels of  $V_a$ ). The pump efficiency  $\eta$  generally rises as the level of  $V_a$  increases.

(2) The peak pressures in the valve and air chambers vary depending on the pump head. However, the visualization of flow around the valve chamber has revealed that, basically, the operations in Phases [1] to [4] are repeated regardless of the pump head.

(3) The flow velocity in the valve chamber over an entire cycle of the water hammer pump operation has certain irregular fluctuations regardless of pump head values; however, the basic flow behavior is as follows at any lift valve seat opening area  $A_l$ : in Phase [1] the velocity of the flow direction  $v_x$  in the drive pipe flowing from the water tank, of which water level is kept constant, gradually increases, then it abruptly slows down right after Phase [2] along with the quick closure of the drain valve. The lift valve opens at the same time, and the lift direction velocity  $v_y$  sharply increases.

(4) The peak pressure  $P_{v.peak}$  in the valve chamber tends to decrease as the air volume in the air chamber  $V_a$  increases. The fluctuations are more significant at lower pump heads.

(5) The effect of the air volume in the air chamber  $V_a$  on the pressure holding time during lifting operation  $\Delta t$  in the valve chamber is more significant at lower pump heads. Regardless of the air volume, the value of  $\Delta t$  remains almost constant at higher pump heads.

# Nomenclature

- C Number of water hammer occurrences [count/min]
- *h* Pump head [m]
- $P_a$  Pressure in the air chamber [kPa]
- $P_{v}$  Pressure in the valve chamber [kPa]

- $Q_d$  Drain flow rate [ $\ell$ /min]
- $Q_i$  Input flow rate [ $\ell$ /min]
- $Q_u$  Lifted flow rate [ $\ell$ /min]
- $\Delta T$  Water hammer occurrence interval [s]
- $\Delta t$  Pressure holding time during lifting operation [s]

#### References

[1] KAGAMI, Kenichi, IDE, Tsutomu and USHIYAMA, Izumi, Water hammer pump production handbook (2001), POWERSHA Inc. (in Japanese), p. 47.

 [2] YUNOKI, Tomoya, Production of a Hydraulic Ram Pump and its Research on its Characteristic, Japan Society for Science Education, (in Japanese), Vol. 28, No. 2 (2004), pp. 94 - 100.

[3] Abi Awoke Tessema, Hydraulic Ram Pump System Design and Application, Proceedings of ESME 5<sup>th</sup> Annual Conference on Manufacturing and Process Industry, (2000-9), pp. 1 - 8.

[4] HASEGAWA, Shigeo, SUEHIRO, Hakaru and YAMAGUCHI, Kenji, Trial of Hydraulic Ram and Its Performance Characteristics, Research Reports of Toyota College of Technology, No. 17 (1984), (in Japanese), pp. 15 - 20.

[5] Teferi Taye, Hydraulic Ram Pump, Journal of the ESME, Vol. II, No. 1 (1998-7), pp. 1 - 11.
[6] OKADA, Takao, UETSUKI, Hiroshi and TAKENAKA, Toshio, Research on Water Hammer Pump (1st Rep. Mathematical Model on Water Hammer Pump), Turbomachinery, (in Japanese), Vol. 10, No. 6 (1982), pp. 323 - 334.

[7] SAITO, Sumio, NAGATA, Yoshimi, TAKAHASHI, Masaaki, INOUE, Daijiro and HOSHINO, Yuki, Relationship between the Basic Geometric Form and Hydraulic Characteristics of Water Hammer Pump, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, (in Japanese), Vol. 76, No. 767 (2010-7), pp. 1028 - 1034.

[8] SAITO, Sumio, TAKAHASHI, Masaaki, NAGATA, Yoshimi and DEJIMA Keita, Effects of Geometry of Components Attached to the Drain Valve on the Performance of Water Hammer Pump, Turbomachinery, (in Japanese), Vol. 39, No. 6 (2011), pp.323-331.

(Received July 8, 2012)

# Evaluation for the Optimal Cylindrical Rod Position that effects on the Stall Control in a Thick Wind Turbine Blade

Sumio SAITO\*, Takahiro YAMASHINA\*\*, Masaaki TAKAHASHI\*\*\*, Takuya IWAMURA\*\*\*\* and Kai OSAWA\*\*\*\*\*

Regarding the entire structure of wind turbine blades, it has been recognized that the improvement of the aerodynamic characteristics of the airfoil at each blade portion is important. The previous paper focused on small wind turbines, the Reynolds number of which is an order of magnitude smaller than that of actual middle or large wind turbines. As a first step in optimizing the airfoil shape along the entire section of wind turbine blades, the typical airfoil shapes or actual thin and thick wind turbine blades were employed to study their basic aerodynamic characteristics and flow conditions around the blades at different angles of attack, including those before and after stalls. It was also proposed that placing a cylindrical rod in front of a blade as a simplified stall control method for controlling the flow around the blade and avoiding stall phenomena improved the flow on the upper surface of the blade and extended the operable range significantly until the angle of attack reached the high attack angle region where a stall occurred. In this paper, a cylindrical rod in front of the thick blade was placed to examine the behavior of flow around the blade by using experimental and flow analysis methods and studied the effect of the cylindrical rod on the control of stall phenomena and its optimal position.

Keywords: Thick Wind Turbine Blade, Stall Control, Aerodynamic Characteristics, Pressure Distribution, Flow Visualization, Cylindrical Rod

# 1. Introduction

Currently, widely used large wind turbines with propeller-type rotors on a horizontal axis employ wind turbine blades, the thickness ratio  $\delta$  (ratio of the maximum blade thickness T to the chord length C) of which is small at the blade tip (thin blade) and large at the blade root (thick blade). Regarding the entire structure of wind turbine blades, it has been recognized that the improvement of the aerodynamic characteristics of the airfoil at each blade portion is important.

The effect of blade surface roughness on the characteristics was also studied in connection with the flow conditions around the blade <sup>(1) (2)</sup>, by employing two types of thick blades with airfoil shapes that likely affected aerodynamic characteristics and by dividing the process of changes in the slope of each aerodynamic characteristics curve into three regions, as reported in the previous paper <sup>(3)</sup>.

It has been proposed that placing a cylindrical rod in front of the blade to generate transverse vortices with their axis in the spanwise direction, as a simplified stall control method for controlling the flow around the blade and avoiding stall phenomena, improved the flow on the upper surface of the blade and extended the operable range significantly to a higher angle of attack where the stall occurred <sup>(1)</sup>.

This paper deals with a thick blade having a cylindrical rod placed in front of the blade to examine the behavior of flow around the blade by experiments and study the effect of the cylindrical rod on the control of stall phenomenon and the optimal position for the cylindrical rod.

IHI Marine United Inc.

<sup>\*</sup> Department of Mechanical Engineering

<sup>\*\*</sup> Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

<sup>\*\*\*</sup> Yokohama National University

<sup>\*\*\*\*</sup> Mechanical and Computer Systems Engineering, Advanced Engineering Course \*\*\*\*

### 2. Experimental apparatus and airfoil shape under test

#### 2.1 Experimental Apparatus

Figure 1 shows the same wind tunnel model as used for the experiments in the previous papers  $^{(1)}$  (4).

The small wind tunnel ① has a cross section of 400 [mm] high and 300 [mm] wide at the outlet and is capable of performing experiments at a wind velocity of up to 20 [m/s]. The wind velocity can be adjusted by opening and closing the damper ② at the wind tunnel inlet.

A mounting shaft of the airfoil under test ③ penetrates clear acrylic plates ④ that surround both sides of the airfoil, and the shaft is connected to a strain gauge type multi-component load cell ⑤ for the measurement of lift and drag forces.

To measure the wind velocity  $U_{\infty}$ , a JIS-compatible pitot tube [6 mm in diameter] (6) and a tilting manometer (7) are used. The lift force L and the drag force D on the blade are recorded on a multiple pen recorder (10) and a personal computer (PC) from the multi-component load cell via a calibrator (8) and an amplifier (9).

The flow velocity behind the blades was measured by a hot-wire probe (1) instead of the pitot tube (6) and recorded in a hot-wire anemometer (12).



# 2.2 Airfoil shape under test

Figure 2 shows DU97-W-300  $^{(5)}$   $^{(6)}$  developed by Delft University of Technology in the Netherlands, which was employed as a thick blade in the previous papers  $^{(3)}$   $^{(4)}$ . It indicated that characteristic behaviors occurred in the process of changes in the lift coefficient and drag coefficient to the angles of attack according to the roughness of the blade surface in the case of thick blade  $^{(3)}$ .

Chord Length	С	120 [mm]
Maximum Thickness	Т	36 [mm]
Thickness Ratio	$\delta = T/C$	30 [%]
Spanwise Length	S	298 [mm]



**Fig. 2** Shape of specific of airfoil (DU97-W-300)

In this paper, this airfoil shape was employed as the one under test to understand the occurrence of stall with and without a cylindrical rod and the behavior of flow around the blade. This paper also examined the effect of the cylindrical rod on the stall control through experiments.

Since the airfoil was made from stereolithography resin, the blade surface has streaky features, each with a thickness corresponding to the layer width. These streaky features were polished with sandpaper to finish the surface roughness of the blade to 0.7 [µm] in the flow and span directions. The airfoil has a thickness ratio  $\delta$  of 30%, a chord length *C* of 120 [mm], and a spanwise length of 298 [mm].

# 3. Positions of the cylindrical rod placed in front of the blade

To realize blade stall control in a simple way by a cylindrical rod placed in front of the blade, an aluminum cylindrical rod of 5 [mm] in diameters and 300 [mm] length was placed in four positions for Cases 1 to 4, as shown in Figure 3.

The details of the positions are shown in Table 1.

Specifically, the effect of the following two patterns of cylindrical rod positions was examined.



Fig. 3 Position of the cylindrical rod

DU97-W-300	Cylindrical rod			
$\bigcirc$ : Variation in the horizontal direction	0.5	,	h.	

**Table 1**Position of the cylindrical rod

<ul> <li>○ : Variation in the horizontal direction</li> <li>□ : Variation in the vertical direction</li> </ul>	<b>a</b> [mm]	<b>b</b> [mm]
O Case 1	-10	20
O Case 2		20
Case 3	-70	60
Case 4		-20

# (1) Effect of the cylindrical rod positions in the horizontal direction

Cases 1 and 2 are designed to evaluate how the cylindrical rod positions in the horizontal direction affect aerodynamic characteristics of the blade.

The rod is placed such to be at a position determined by the point b = 20 [mm] in the vertical direction (indicated the upward direction of the blade in positive) and at -10 [mm] and -70 [mm] forward (indicated the forward direction of the blade in negative) of the blade in the horizontal direction.

In this condition, the height of the cylindrical rod, in the vertical direction, 20 [mm] as shown in Fig. 3, is equivalent to a point where the blade tip is positioned 20 [mm] in the vertical direction from the origin (blade tip position at  $\alpha = 0^{\circ}$ ) at the second stall ( $\alpha = 26^{\circ}$ ) in the case without placing the cylindrical rod as shown in Figure 4.

# (2) Effect of the cylindrical rod positions in the vertical direction

To evaluate how the cylindrical rod positions in the vertical direction affect aerodynamic characteristics of the blade, together with Case 2, Cases 3 and 4 fix the forward horizontal point a = -70 [mm] and place the cylindrical rod to a position 20 [mm] (Case 2), 60 [mm] (Case 3), and -20 [mm] (Case 4) in the vertical direction, respectively.

# 4. Characteristics of "DU97-W-300" with the cylindrical rod placed in front of the blade

# 4.1 Variation in horizontal positions of the cylindrical rod (Case1 and 2)

# (a) Aerodynamic characteristics of "DU97-W-300"

Figure 4 shows the variation in the lift coefficient  $C_L$  and drag coefficient  $C_D$  with the angles of attack  $\alpha$  ranging from 0° to 40° by an increment of 2° and the Reynolds number Re = $1.4 \times 10^5$  of Cases 1 and 2, together with the characteristics curves of the case "without the cylindrical rod" (this condition is referred to as "Normal" in Figure 4).

In the case of "without cylindrical rod", the lift coefficient  $C_L$  increases gradually as the angle of attack increases. However, it decreases between  $\alpha = 8^{\circ}$  and 10°. After it indicates the maximum value at  $\alpha = 24^{\circ}$  along with the increase in the angle of attack, it decreases at  $\alpha = 26^{\circ}$  again.

By focusing on the variation in  $C_L$  here, the decrease of  $C_L$  at  $\alpha = 10^\circ$  is defined as "the first stall", and that of  $C_L$  at  $\alpha = 26^\circ$  is defined as "the second stall" <sup>(3)</sup>.

In the case without the cylindrical rod, the first stall occurs where the lift coefficient decreases at the angles of attack ranging from  $\alpha = 8^{\circ}$  to  $10^{\circ}$ . The ratio of the decrease is found to be extremely small in Cases 1 and 2.

Furthermore, in the region of the angles of attack, ranging to  $\alpha = 26^{\circ}$  where the second stall occurs in the case without the cylindrical rod, both Cases 1 and 2 show the higher lift coefficient and lower drag coefficient compared to those in the case without the cylindrical rod.





Also in Cases 1 and 2, the lift force does not decrease at  $\alpha = 26^{\circ}$ , and the lift coefficient and drag coefficient continue to gradually increase. It can be observed that the second stall occurs at  $\alpha = 34^{\circ}$  in Case 2 and at  $\alpha = 40^{\circ}$  in Case 1, respectively.

As observed above, how the variation in horizontal position of the cylindrical rod effects on aerodynamic characteristics of the blade was studied by maintaining the point b = 20 [mm] in the vertical direction, and it was clarified that the variation remarkably improved the first and second blade stall control, and the control was even better when placing the cylindrical rod to a position closer to the blade tip.

## (b) Flow patterns on "DU97-W-300"

Figure 5 illustrates the pressure distributions on the upper and lower surfaces of the blade, as well as the flow behavior on the blade surface by the tuft method at the angles of attack  $\alpha = 24^{\circ}$  and 26° before and after the second stall in the case of "without cylindrical rod".

The pressure on the upper surface at  $\alpha = 24^{\circ}$  before the second stall shows a high negative value at the leading edge (abbreviated as L.E in the figures) and shifts in the positive direction almost linearly in the section up to 30% of the chord length. Furthermore, the pressure is low and uniform in the section from about 30% of the chord length to the trailing edge (abbreviated as T. E in the figures).

At  $\alpha = 26^{\circ}$  after the second stall, the flow is separated at the leading edge, causing the formation and growth of vortices near the leading edge on the upper surface.

In addition, the tufts across the upper surface indicate a highly turbulent flow. In this condition, the stall occurs over the entire blade, and the pressure coefficient  $C_P$  on the upper surface is nearly uniform across the entire chord length.

Figure 6 (a) shows the behavior of flow behind the blade during stall control at the angle of attack  $\alpha = 26^{\circ}$  in Case 1, visualized by the tuft grid method. For comparison, a photo depicting the behavior of flow behind the blade where the stall occurred at the same angle of attack in the case without cylindrical rod is also shown (Figure 6 (b)).



Fig. 5 Pressure distribution and flow visualization (Without cylindrical rod,  $\alpha = 24^{\circ} \& 26^{\circ}$ )

The behavior of flow behind the blades in Case 1 of Figure 6 (a) exhibits small variation in the upper and lower tufts (upper side: red tufts; lower side: white tufts); however, it is clear that the turbulence across the tufts is smaller than that in the case without the cylindrical rod.

Thus, it is clarified that placing the cylindrical rod in front of the blade improved the flow around the blade, and therefore, the turbulence in the flow behind the blade was decreased.





ase 1 (-10, 20)(b) Without cylindrical rodFig. 6Flow visualization ( $\alpha = 26^{\circ}$ )

A computational analysis was carried out for comparison with the experiment results above. A widely used fluid analysis solver, "SCRYU" (by Software Cradle Co., Ltd.) <sup>(7)</sup> was used.

The analysis model was set to a rectangular solid which was 600 [mm], 750 [mm] and 298 [mm] in the longitudinal, lateral and vertical directions, respectively. The model was made with unstructured tetra meshes by dividing the model into approximately 800,000 meshes.

Figure 7 shows the analysis results for the behavior of flow around the blades at  $\alpha = 26^{\circ}$  in Case 1 and in the case without the cylindrical rod.

The analysis result where  $\alpha = 26^{\circ}$  in Case 1 shown in Figure 7 (a) was compared to that in the case without cylindrical rod (Figure 7 (b)), and it was found that the separated flow region at the chord length beyond about 30% decreased, and therefore, the scale of vortices toward the rear of the blade became smaller, and the variation of the tufts behind the blades decreased. These analysis results support the flow visualization results by the tuft method shown in Figure 6.



(a) Case 1 (-10, 20) (b) Without cylindrical rod **Fig. 7** Calculated flow pattern ( $\alpha = 26^{\circ}$ )

Figure 8, as an example, shows a photo visualization the behavior of flow on the blade surface at  $\alpha = 26^{\circ}$  in Case 1 by the surface tuft method.

The flow behavior on the upper surface during the second stall ( $\alpha = 26^{\circ}$ ) in the case without the cylindrical rod, which is shown in the upper right of Figure 5, indicates that the flow is separated from the leading edge of the blades and the tufts generate vortices near the leading edge varying significantly.



**Fig. 8** Flow visualization (Case 1,  $\alpha = 26^{\circ}$ , Upper surface)

On the other hand, the behavior of flow on the surface in Case 1 of Figure 8 exhibits vortices are not generated on the blade surface and the tufts, without separating, are attached along to the blade surface. Thus, it is shown that the behavior of flow on the upper surface has been significantly improved. This supports a fact that at  $\alpha = 26^{\circ}$  in Case 1 the second stall was controlled, suggesting the angle of attack region until the stall was expanded.

Accordingly, the cylindrical rod placement in front of the blade was presented as an remarkably effective method for stall control of the blade.

# 4.2 Variation in vertical positions of the cylindrical rod (Cases 2, 3 and 4)

# (a) Aerodynamic characteristics of the blade in Cases 2, 3, and 4

Figure 9 shows the variation in the lift coefficient  $C_L$  and drag coefficient  $C_D$  of the blade in Cases 2, 3, and 4, together with the characteristics curves, by the solid and dashed lines, in the case without the cylindrical rod.

In Case 3 where the cylindrical rod is placed above the upper surface of the blade, the values of the characteristics curves in a region of the angles of attack  $\alpha = 0^{\circ}$  to  $8^{\circ}$  are similar to those in the case without the cylindrical rod, and the first stall occurs at  $\alpha = 10^{\circ}$  in both cases.

This suggests that the cylindrical rod position of far above the blade has little effect for stall control.

In Case 4 where the cylindrical rod is placed on the lower surface of the blade, however, both the lift coefficient and drag coefficient decrease at the angles of attack  $\alpha = 0^{\circ}$  to  $10^{\circ}$ .

In the case without the cylindrical rod, the lift coefficient increases and the drag coefficient decreases at the angle of attack  $\alpha = 24^{\circ}$ . In Cases 3 and 4, although the similar variations are not

observed, the second stall similarly occurs at the angle of attack  $\alpha = 26^{\circ}$ .

As shown, it can be summarized that positioning the cylindrical rod above the blade in the vertical direction has little effect on the aerodynamic characteristics of the blade positioned behind the cylindrical rod.

In Case 4 where the cylindrical rod is placed below the lower surface of the blade, the position where the rod is placed is the point b = -20 [mm], and this is almost the same point where the thickness of the lower surface of the blade is at the maximum. Therefore, separation of flow at the maximum thickness point on the lower surface of the blade is controlled in a region of low angles of attack, and the drag coefficient is smaller. Also, the first stall occurred in the case without the cylindrical rod disappears.

The results clarifies that the optimal cylindrical rod positions for improving the aerodynamic characteristics of the blade exist also in the vertical direction.



**Fig. 9** Aerodynamic characteristics (Variation in the vertical direction [Case 2, Case 3, Case 4])

# (b) Flow velocity distribution behind the blade

Figure 10 shows the measurements of flow velocity distribution at the position 24 [mm] behind the blades at the angles of attack after the first stall in Cases 2, 3, and 4 by displacing a hot-wire probe (standard linear probe, model 0251R-T5; manufactured by KANOMAX Japan, Inc.) vertically in a range of +/-60 [mm].

The figure also shows the flow velocity distribution in the case without the cylindrical rod.

At the angle of attack  $\alpha = 8^{\circ}$  before the first stall, a wake region having the velocity defect on the lower surface of the blade is present in Cases 2, and 3, and the case without the cylindrical rod, and it exists below the lower surface of the blade in Case 2. The wake region, where the cylindrical rod is placed above in the vertical direction in Case 3, is moved farther to the upper surface of the blade compared to that in the case without the cylindrical rod. In Case 4 where the first stall did not occur, the behavior of flow on the lower surface of the blade has been improved as described above, and therefore, the velocity defect on the lower surface of the blade is significantly reduced compared with that in the other cases. Contrary, a region of large velocity defect is present on the upper surface of the blade.

At  $\alpha = 10^{\circ}$  after the first stall, a region of velocity defect in the wake is moved to the upper surface of the blade in the case without the cylindrical rod and in Case 3, having the almost the same distributions of velocity defect. In Case 4, the scale of a region of velocity defect on the upper surface of the blade is increased.

In Case 2, a region of velocity defect is also present on the upper surface of the blade; however, the wake region, which has a larger velocity defect remains on the lower surface of the blade and the scale is slightly reduced. Thus, the decrease in the lift coefficient becomes small overall.



Fig. 10 Wake distribution

As observed, the effect of the cylindrical rod placement can be determined through the flow velocity distribution behind the blade.

Thus, it is clarified that the optimal position for placing the cylindrical rod is that in Cases 1 and 2, the position in which is equivalent to the blade tip position 20 [mm] v ertically above the origin point (blade tip position at the angle of attack  $\alpha = 0^{\circ}$ ) at the second stall (the angle of attack  $\alpha = 26^{\circ}$ ) in the case without the cylindrical rod.

# 4.3 Aerodynamic characteristics and flow conditions around the blade observed with the installation of the cylindrical rod

Figure 11 schematically illustrates three different patterns of cylindrical rod arrangement as described below, assuming that the cylindrical rod is placed in front of the blade based on the arrangement described in Case 1 above. It also includes a perspective view of the arrangement in Case 1 for reference.



Fig. 11 Perspective view around the blade observed with the installation arrangement of the cylindrical rod

"Fixed Combine" is based on the arrangement in Case 1 with the cylindrical rod placed at the vertical point b = 20 [mm] (equivalent to the vertical position of the blade tip at the angle of attack  $\alpha = 26^{\circ}$  in relation to  $\alpha = 0^{\circ}$ ) and at the forward horizontal point a = -10 [mm]. A jig is attached to the blade as illustrated so that the angle of attack of the blade can be changed, while the cylindrical rod remains fixed in the above position.

"Combine" is a modification of "Fixed Combine". The center of rotation of the blade for changing the angle of attack is fixed. The cylindrical rod moves with changes in the angle of attack to ensure that its position relative to the blade remains unchanged. Thus, the rod moves toward the lower side of the blade as the angle of attack of the blade decreases.

"Support" deals with a more practical cylindrical rod arrangement. Compared to "Combine", it additionally has two small support columns connecting the cylindrical rod and the blade.

For the four patterns of cylindrical rod arrangement illustrated in Fig. 11, Fig. 12 shows the changes in lift and drag forces with the angle of attack. The figure also presents the results obtained for the case without the cylindrical rod by using solid and dashed lines.

Compared to Case 1, "Fixed Combine" exhibits no decrease in the lift force until the angle of attack becomes large. It maintains a higher lift force than Case 1 until just before the stall occurs. The drag force for "Fixed Combine" is higher than in the other cases at an angle of attack of less than 24°; it is lower than in the other cases at 24° or more.



Fig. 12 Aerodynamic characteristics for the patterns of cylindrical rod arrangement

For "Combine" and "Support", the cylindrical rod is positioned on the lower side of the blade at small angles of attack, and their characteristics curves are similar to that of Case 4 described above. For "Support" with two additional support columns connecting the cylindrical rod and the blade compared to "Combine", the stall occurs at an angle of attack of 32°, which is smaller than 36° for "Combine".

Figure 13 shows an example of pressure distributions on the upper and lower surfaces of the blade, flow velocity distributions on the upper side of the blade, and wake distributions at the angle of attack  $\alpha = 24^{\circ}$  (before the second stall of the blade "without cylindrical rod") and  $\alpha = 26^{\circ}$  (after the second stall of the same blade).

Figure 13 (a) shows that, since the stall does not occur at  $\alpha = 24^{\circ}$  regardless of the blade conditions, all arrangements exhibit similar flow velocity and wake distributions, although the pressure distributions vary slightly among them. At 40% of the chord length from the blade tip, the flow velocity near the upper surface of the blade is smaller, indicating a slight flow separation. However, the wake distributions are almost identical, and the region of velocity defect is smaller than at  $\alpha = 26^{\circ}$ .

As is evident from the flow velocity distributions on the upper side of the blade shown in Fig. 13 (b), the blade "without cylindrical rod" causes a flow separation from the leading edge and stalls at  $\alpha = 26^{\circ}$ . For "Fixed Combine", "Combine", and "Support", no decrease in the pressure on the upper surface of the blade is observed, and the flow conditions on the upper surface of the blade and the wake distributions are almost identical among them.



Fig. 13 Pressure distributions and velocity on the upper side of the blade and wake distributions

# 5. Conclusions

Among the airfoils used for wind turbines, a thick blade having an airfoil shape likely affected the aerodynamic characteristics was studied, by examining the behavior of flow around the blade by placing a cylindrical rod in front of the blade in experiments and analyzed with a flow analysis method, and the effect of the cylindrical rod on the stall phenomenon control and the optimal position for placing the cylindrical rod were evaluated.

This study has yielded the following findings.

- (1) Placing a cylindrical rod in front of the blade affects the aerodynamic characteristics of the airfoil positioned behind the rod, and the placement significantly extends the operable range to a higher angle of attack that causes the second stall.
- (2) The optimal position for placing the cylindrical rod is that in Cases 1 and 2, the position which is equivalent to the blade tip position 20 [mm] vertically above the origin point (blade tip position at the angle of attack  $\alpha = 0^{\circ}$ ) at the second stall (the angle of attack  $\alpha = 26^{\circ}$ ) in the case without the cylindrical rod.
- (3) The cylindrical rod position in the vertical direction has less effect on the stall control as it is farther above or below from the blade center line.
- (4) Assuming that the cylindrical rod was placed in front of the blade, three different patterns of cylindrical rod arrangement denoted as "Fixed Combine", "Combine", and "Support" were proposed. Their effectiveness in stall control was demonstrated by clarifying their aerodynamic characteristics and flow conditions.

# Nomenclature

A	Blade surface area = $3.58 \times 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}$	D	Drag force [N]
$C_D$	Drag coefficient = $D / (\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^{2} A)$	L	Lift force [N]
		$P_S$	Static pressure [Pa]
$C_L$	Lift coefficient $= L / (\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^{2} A)$	$U_\infty$	Flow velocity [m/s]
		α	Angle of attack [°]
$C_P$	Pressure coefficient $=P_{s}/(\frac{1}{2}\rho U_{\infty}^{2})$	ρ	Air density [kg/m <sup>3</sup> ]

# References

[1] Saito, S. & Yamashina, T., Evaluation of Aerodynamic Characteristics of Two Differenct Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils and One Trial of Stall Contorol, *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, No. 42 (1), 2010, pp. 35-43.

- [2] Saito, S. & Yamashina, T., Evaluation of Inherent Aerodynamic Characteristics of Two Differenct Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils, *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, No. 42 (2), 2011, pp.63 -76.
- [3] Saito, S. & Yamashina, T., Research on Aerodynamic Characteristics of Thin and Thick Blades depending on the Presence or Absence of Streaky Features formed on the Blade Surface during Creation of Wind Turbine Airfoils with Stereolithography, *Research Reports* of Tokyo National College of Technology, No. 42 (2), 2011, pp.77-85.
- [4] Saito, S., Yamashina, T., & Ichikawa, T., Research of Aerodynamic Characteristics and Flow Patterns on Thin and Thick Blades of Wind Turbines, *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, No. 41 (2), 2010, pp. 19-27.
- [5] Timmer, W. A. & van Rooij, R. P. J. O. M., Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils, *Transaction of the ASME*, Vol. 125, 2003, pp. 488-496.
- [6] Standish, K. J. & van Dan, C. P., Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Airfoils, *Transaction of the ASME*, Vol. 125, 2003, pp. 479-487.
- [7] SCRYU/Tetra for Windows Version 8, Software Cradle Co, http://www.cradle.co.jp/(2011).

(Received July 8, 2012)

# はんだの応力解析用構成モデルの調査と分類

林 丈晴\*,海老原理徳\*\*

Survey and Classification of Constitutive Models Used for Stress Analysis of Solder Takeharu HAYAHI, Yoshinori EBIHARA

When we estimate the fatigue life of lead-free solder joints, we have to conduct FE analysis using a constitutive model which can exhibit mechanical properties of lead-free solder. In FE analysis of solder joints under cyclic temperature load, a constitutive model has to express stress strain curves, stress strain hysteresis loops and stress relaxation curves accurately, containing these temperature dependencies and these rate dependencies. In this study, from such a viewpoint, we investigated the constitutive models used for the stress analysis of solder in the past and classified and arranged them systematically.

Keywords : Constitutive Equation, Finite Element Method, Solder

# 1. 緒言

近年,電子機器の小型化,高密度化に伴って, 微細はんだ実装技術の開発が進められている.また,地球環境保護の観点から,鉛フリーはんだを 使用したはんだ実装が進展している.これらの電 子部品はんだ接合部では,電源の ON・OFF などに よる周期的な温度環境下で,構成材料の線膨張係 数の違いに基づく変位のミスマッチにより,低サ イクルの周期的な熱変形がはんだ接合部に生じ, 疲労破壊が生じる.従って高密度はんだ実装技術 の開発では,はんだ接合部の熱疲労寿命評価が重 要な検討課題である.

一般に、温度サイクル負荷を受けるはんだ接合 部の熱疲労寿命評価は次のプロセスで行われる. まず、機械的疲労試験などによりはんだの疲労寿 命特性を求めるとともに、寿命評価を行うはんだ 接合部について、有限要素法による構造解析を行 って、寿命評価で用いるパラメータを求める.次 にこのパラメータと疲労寿命特性から疲労寿命を 求める.はんだにとって室温から70℃程度の温度 環境は、その融点の低さゆえ、ステンレス鋼の 1000℃程度の温度環境に匹敵する厳しい温度環境 であり、複雑な力学的特性を有するため、はんだ 接合部の熱疲労寿命評価では、この力学的特性を 正確に表現する構成モデルを用いて有限要素解析 を行うことが重要である.

温度サイクル負荷を受けるはんだ接合部の有 限要素解析で,はんだの構成モデルが表現すべき 力学的特性は、温度上昇、高温保持、温度降下お よび低温保持のそれぞれの温度負荷で生ずる力学 的特性である。そこで、温度上昇および温度降下 時に生ずる力学的特性と高温および低温保持時に 生ずる力学的特性に分けて考えると、温度上昇お よび温度降下時に生ずる力学的特性としては、応 力ひずみ曲線と応力ひずみヒステリシスループが あり、温度保持時において生ずる力学的特性とし ては応力緩和曲線がある。はんだではこれらの力 学的特性にひずみ速度依存性および温度依存性が 顕著で、構成モデルは、応力ひずみ曲線と応力ひ ずみヒステリシスループのひずみ速度依存性およ び温度依存性を正確に表現する必要がある。また、 応力緩和特性の温度依存性も存在するため、これ も正確に表現しなければならない。

このような観点から、本研究では、現在までは んだの応力解析に用いられてきた構成モデルにつ いて調査し、分類・整理を行う.

#### 2. 構成モデルの分類

ここでは、簡単のため、ばね、ダッシュポット および摩擦スライダを用いて1次元問題で構成モ デルを分類する.

#### 2.1 弾・クリープ型構成モデル

弾・クリープ挙動は、図1に示したばね、ダッ シュポットからなるモデルでよく示すことができ る<sup>(1)</sup>.



ここでは、ばねには弾性ひずみ、ダッシュポット にはクリープひずみがそれぞれ生じる.なお、ダ ッシュポットは、応力と非弾性ひずみ速度の関係 を規定するため、力学的特性のひずみ速度依存性 を表現できる.線形ばねの受持つ応力は負荷応力 σに等しく弾性ひずみε と式(1)のように関係する.

$$\sigma = E\varepsilon^e \tag{1}$$

ただし、*E*は線形ばねの弾性係数である.また、 ダッシュポットの受持つ応力は負荷応力σに等し く、クリープひずみεと式(2)のように関係する.

$$\sigma = \mu \varepsilon^c \tag{2}$$

ただし, μは粘性係数である. これを変形して, 式(3)のようにクリープひずみ速度を計算する.

$$\varepsilon^{c} = \frac{1}{\mu}\sigma \tag{3}$$

非弾性ひずみ $\epsilon^{in}$ , ひずみ $\epsilon$ は, それぞれ式(4), 式 (5)で表す.

$$\varepsilon^{in} = \varepsilon^c \tag{4}$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}^e + \mathcal{E}^{in} \tag{5}$$

当モデルは汎用有限要素解析プログラムにデ フォルトで組込まれているため容易に使用できる. ところでクリープ試験結果は図2に示すように, 第Ⅰ期,第Ⅱ期および第Ⅲ期に分類され,クリー プ特性は第Ⅱ期の試験結果から得られる定常クリ ープ則を用いる.ここでは,この試験結果の傾き から得られるひずみ速度がクリープひずみ速度で あると考え,一般にこのクリープひずみ速度と負 荷応力の関係を式(6)の Norton 則で整理する.

$$\varepsilon^{c} = A\sigma^{n} \tag{6}$$

ただし, *A*, *n* はそれぞれクリープ定数, クリープ 指数であり, これらは温度に依存する. 実際の解 析では式(3)でなく式(6)を用いることが多い.



#### 図2クリープ試験結果の概略図

ここで,式(1),式(4),式(5)および式(6)によ る一定ひずみ速度の引張試験を考える.まず,ク リープひずみ速度と応力ひずみ曲線の応力勾配の 関係について述べる.応力勾配は,式(1),式(4) および式(5)より導かれ,式(7)で表される.

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E \frac{\left(d\varepsilon - d\varepsilon_c\right)}{d\varepsilon} \tag{7}$$

式(7)より、応力勾配は式(8)のように表される.

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E \frac{\begin{pmatrix} \bullet & \bullet \\ \varepsilon - \varepsilon_c \end{pmatrix}}{\overset{\bullet}{\varepsilon}}$$
(8)

式(8)から分かるように、クリープひずみ速度が小 さいほど応力勾配が大きくなり、特にクリープひ ずみ速度が零の時応力勾配はEと等しくなる.ま た、クリープひずみ速度が大きいほど応力勾配が 小さくなり、特にクリープひずみ速度がひずみ速 度と一致する時の応力勾配は零になる.従って、 試験の進行に伴う応力上昇で、式(6)によりクリ ープひずみ速度が上昇し、最終的に応力勾配が零 になり応力が収束した領域が現れる.この領域は 一定応力、一定ひずみ速度で負荷が進行する点に おいて、クリープ試験の第Ⅱ期と等価である<sup>(2),(3)</sup> から、この領域ではひずみ速度はクリープひずみ 速度と等値であるみなせ、このことは式(8)とも 矛盾しない.また同様の理由で、ひずみ速度と応 力収束値は式(6)で整理できかつ A,n は温度依 存性を有することから、式(6)は応力収束値のひ ずみ速度依存性および温度依存性を表現する.一 方、式(6)においてクリープ指数nは比較的大き な値であるため、応力収束値より負荷応力が小さ い時は、クリープひずみ速度はひずみ速度に比べ てかなり小さくなり、ほとんどが無視できる.言 い換えれば引張負荷を与えた場合、応力収束値に 達するまでは、クリープの項の影響はほとんど現 れず、応力収束値に達する直前まで応力勾配は E の値を保つ傾向がある.

ここで Sn63Pb37 はんだに着目すると,図3に 示すように、応力ひずみ曲線は弾性変形終了直後 に応力収束値に達するため、当モデルを用いれば、 応力ひずみ曲線のひずみ速度依存性および温度依 存性をよく表現する.このことから、当モデルを はんだ接合部の応力解析に用いた例<sup>(4)-6)</sup>がいくつ かある.一方、図4に示すようにPbフリーはんだ の応力ひずみ曲線に過渡領域が存在する.定常ク リープ則による当モデルでは過渡領域を表現でき ずPbフリーはんだには不向きである.



図4 Pb フリーはんだの応力ひずみ曲線

#### 2.2 弾・塑性・クリープ型構成モデル

弾・塑性・クリーブ型構成モデルの概念は、図 5 に示したばね、摩擦スライダ、ダッシュポット からなるモデルでよく示すことができる.



ここでは、ばねには弾性ひずみ、摩擦スライダには 塑性ひずみ、ダッシュポットにはクリープひずみ がそれぞれ生じる. 負荷応力 σが単軸の降伏応力 σ に達した時に摩擦スライダが動作する. 摩擦ス ライダが持ちうる最大応力は σ であるため、降伏 応力 σ は塑性変形に伴い負荷応力 σ の値と一致し

ながら変化する.線形ばねの受持つ応力は負荷応

力 σ に等しく弾性ひずみ ε と式(9)のように関係

する.

$$\sigma = E\varepsilon^e \tag{9}$$

当モデルの降伏条件は摩擦スライダの動作条件と 一致し、式(10)で表される.

$$\sigma - \sigma^p = 0 \tag{10}$$

降伏後の摩擦スライダの受け持つ応力は、負荷応 カσに等しく塑性ひずみ ε と式(11)のように関係 する.

$$d\sigma = Hd\varepsilon^p \tag{11}$$

ただし、Hは接線係数である。Hは単軸の引張試 験結果の応力塑性ひずみ曲線から、多直線近似し 求めるのが一般的であるため、ひずみ速度依存性 をよく表現できないが応力ひずみ曲線のカーブを 比較的容易に表現できる。また、ダッシュポット の受持つ応力は負荷応力 $\sigma$ に等しくクリープひず み $\varepsilon$ と式(12)のように関係する。

$$\sigma = \mu \varepsilon^c \tag{12}$$

これを変形して,式(13)のようにクリープひずみ 速度を計算する.

$$\varepsilon^{c} = \frac{1}{\mu}\sigma \tag{13}$$

非弾性ひずみ ɛ<sup>in</sup>, ひずみ ɛ は式(14), 式(15) で表 す.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{in} = \boldsymbol{\varepsilon}^{p} + \boldsymbol{\varepsilon}^{c} \tag{14}$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}^e + \mathcal{E}^{in} \tag{15}$$

当モデルは,汎用有限要素解析プログラムにデ フォルトで組込まれているため,比較的容易に使 用ができる.

先述の通り、Pbフリーはんだでは過渡領域を無 視できない. 当領域では塑性とクリープが同時に 存在する、このことから、当モデルがはんだの応 力解析に多く用いられてきた<sup>(2),(3)(7)-(18)</sup>.ところ が,多くの当モデル(7)-(18)では、クリープ特性とし て定常クリープ則を用いるため、非弾性領域のう ちの応力収束値は表現できるが、過渡領域ではク リープの項の影響がほとんど現れない.この結果, 過渡領域の非弾性特性の大部分が塑性特性で表現 される.従って、当モデルでは、クリープの影響 がほとんどない高ひずみ速度の応力ひずみ曲線は よく表現できるが、ひずみ速度が低くなりクリー プの影響を無視できない場合、過渡領域をよく表 現できず、時間依存の応力ひずみ曲線をあまりよ く表現できない.これに対し、佐々木・大口ら<sup>(2)、</sup> ③は、過渡領域のクリープひずみ速度が小さくな りすぎることを是正し、過渡領域のクリープを表 現できるようにクリープひずみ速度式を修正し、 時間依存の変形挙動をよく表すことができる構成 モデルを開発した.

#### 2.3 弾・粘塑性型構成モデル

クリープ構成則において非弾性ひずみ速度を 規定する関数は応力を変数としたが、粘塑性構成 則においてその速度を規定する関数では、応力に 内部変数を組込むことにより、複雑な力学的特性 を表現するのに都合が良い形に応力を変換し、こ の変換した応力(以後、「変換応力」と記す.)を 変数とする.はんだの応力解析に用いられる、代 表的な弾・粘塑性型構成モデルは、非弾性ひずみ 速度を規定する関数が過応力を変数とする(以後、

「過応力理論に基づく」と記す)粘塑性構成モデ ル<sup>(19-(27)</sup>である.このモデルは、図6に示すばね、 摩擦スライダ、ダッシュポットからなるモデルで よく示すことができる<sup>(28)</sup>.なお、当モデルは、図 7に示すように一つの時間依存項で非弾性特性を 表現することから、統一型粘塑性構成則とも呼ば れる.



図6弾・粘塑性挙動の概念図



ここでは、ばねには弾性ひずみ、摩擦スライダお よびダッシュポットには粘塑性ひずみがそれぞれ 生じる.摩擦スライダが受持ちうる最大応力は っあり、摩擦スライダは負荷応力 $\sigma$ が単軸の降伏 応力 $\sigma$ を超えない限り作用せず、粘塑性ひずみ $\epsilon$ " も生じない. $\sigma$ が $\sigma$ を超えた時点で、摩擦スライ ダが動作し、残りの応力  $\Delta\sigma$ を粘性のあるダッシ ュポットが受持つ.従って、弾・塑性・クリープ 型構成モデルでは、降伏応力 $\sigma$ は塑性変形に伴い 負荷応力 $\sigma$ の値に一致しながら変化するが、過応 力理論に基づく粘塑性構成モデルは、降伏応力 $\sigma$ は負荷応力 $\sigma$ の値一致しながら変化するわけでは ない.線形ばねの応力は負荷応力 $\sigma$ に等しく弾性 ひずみ $\epsilon$ と式(16)のように関係する.

$$\sigma = E\varepsilon^e \tag{16}$$

当モデルの降伏条件は摩擦スライダおよびダッシュポットの動作条件と一致し,式(17)で表される.

$$\sigma - \sigma^p = 0 \tag{17}$$

式(17)の成立後、ダッシュポットの受持つ応力を 過応力 *Δ*σ といい、式(18)で表される.

$$\Delta \sigma = \sigma - \sigma^p \tag{18}$$

ダッシュポットの受持つ応力 Δσ は、粘塑性ひず みと式(19)のような関係になる.

$$\Delta \sigma = \eta \, \varepsilon^{vp} \tag{19}$$

これを変形して,式(20)のように粘塑性ひずみ速 度を計算できる.

$$\varepsilon^{\bullet}_{\nu p} = \frac{\Delta \sigma}{n} \tag{20}$$

ただし n は粘塑性材料パラメータ<sup>(23)</sup>である.式 (20)は過応力理論に限った式である.これを一般 化し,粘塑性ひずみ速度は式(21)で表すことがで きる.

$$\varepsilon^{\bullet}_{\nu p}{}_{ij} = \frac{f(\sigma^{con})}{\eta} n_{ij}$$
(21)

ただし、 $\sigma^{con}$ は変換応力である.非弾性ひずみ $\varepsilon^{in}$ 、 ひずみ $\varepsilon$ は式(22)、式(23)で表す.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{m} = \boldsymbol{\varepsilon}^{vp} \tag{22}$$

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^{in} \tag{23}$$

当モデルは、一般的にユーザー自身が汎用 FE ソフトウエアにユーザーサブルーチンとして組込 み使用するため、構成則の専門家以外のユーザー にとって使用難度が高く、一般的に信頼性評価に 普及しているとは言い難い.

過応力理論では、摩擦スライダの挙動が、ダッ シュポットのひずみ速度に影響する. 先述の通り 摩擦スライダは応力ひずみ曲線のカーブを比較的 容易に表現し、ダッシュポットはひずみ速度依存 性を表現できるため、時間依存の力学的挙動を表 現するのに便利である. 過応力理論に限らず, 弾・ 粘塑性型構成モデルはクリープ式に塑性の影響を 組込む形で表される. このため、 塑性とクリープ が同時に存在する過渡領域の時間依存を表すこと ができ、温度依存性および応力ひずみ曲線のひず み速度依存性を表現する. このことからはんだ用 粘塑性構成モデルの開発に関する研究(19)-(27)が多 く行われている.しかし、表現できる変形挙動が 限定的な傾向がある.また,様々な変形挙動を表 現しようとすると構成則が複雑になりまた材料パ ラメータの決定が困難になる. 例えば、一部の汎 用有限要素法プログラムに組込まれている Anand モデル<sup>(29)</sup>は時間依存および温度依存の応力ひず み曲線はよく表せるため、このモデルのはんだへ 適用の試み<sup>(30)(31)</sup>もあるが、図8に示すように、 応力ひずみヒステリシスループをよく表現できな い、現在のところ、応力ひずみ曲線、応力ひずみ ヒステリシスループ、応力緩和曲線のすべてを表 現するために作成された構成則はない.



図8 Anand モデルによる応力ひずみヒステリシ スループ

2.4 弾・粘塑性・クリープ型構成モデル 過応力理論を例とすれば、弾・粘塑性・クリー プ型構成モデルの概念は、図9に示したばね、摩 擦スライダ、ダッシュポットA、ダッシュポットB からなるモデルでよく示すことができる。





ここで、ばねには弾性ひずみ、摩擦スライダおよ びダッシュポットAには粘塑性ひずみ、ダッシュ ポットBにはクリープひずみがそれぞれ生じる. 摩擦スライダが受持ちうる最大応力は  $d^{\sigma}$ であり、 摩擦スライダは負荷応力 $\sigma$ が単軸の降伏応力 $d^{\sigma}$ を 超えない限り作用せず、粘塑性ひずみ $\varepsilon^{p}$ も生じな い.  $\sigma$  が $d^{\sigma}$ を超えた時点で、摩擦スライダが動作 し、残りの応力  $\Delta \sigma$ を粘性のあるダッシュポット が受持つ.降伏応力 $d^{\sigma}$ は粘塑性変形に伴い変化し、 その挙動は 弾・粘塑性型構成モデルと同様である. 線形ばねの受け持つ応力は負荷応力 $\sigma$ に等しく弾 性ひずみ $\varepsilon^{e}$ と式(24)のように関係する.

$$\sigma = E\varepsilon^e \tag{24}$$

当モデルの降伏条件は摩擦スライダおよびダッシュポットの動作条件と一致し,式(25)で表される.

$$\sigma - \sigma^p = 0 \tag{25}$$

式(25)の成立後、ダッシュポットAの受持つ過応 力 40 は式(26)で表される.

$$\Delta \sigma = \sigma - \sigma^p \tag{26}$$

過応力  $\Delta\sigma$  と粘塑性ひずみ  $\varepsilon^{\nu}$ の関係から、粘塑性

ひずみ速度 ε<sup>νν</sup> は式(27)のように表される.

$$\varepsilon^{\bullet}_{\nu p} = \frac{\Delta \sigma}{\eta} \tag{27}$$

同様に、ダッシュポットBの応力σとクリープひ ずみ &の関係から、クリープひずみ速度は式(28) のように表される.

$$\varepsilon^{c} = \frac{1}{\mu}\sigma \tag{28}$$

非弾性ひずみ ɛ<sup>in</sup>, ひずみ ɛ は式(29),式(30)で表 す.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{in} = \boldsymbol{\varepsilon}^{vp} + \boldsymbol{\varepsilon}^c \tag{29}$$

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^{in} \tag{30}$$

当モデルは、弾・粘塑性型構成モデル同様に、 ユーザー自身が汎用 FE ソフトウエアにユーザー サブルーチンとして組込み使用するため、構成則 の専門家以外のユーザーにとって使用難度が高く、 一般的に信頼性評価に普及しているとは言い難い.

当モデルでは、図10に示すように、単純な定 式化で表現できるクリープ部分を非弾性成分から 分離し、残りの部分を粘塑性の項で表現し式が複 雑になるのを避ける.このため、弾・粘塑性型構 成モデルよりも多くの力学的特性を容易に表現す ることが可能である.このことから、複数の研究 者<sup>(32)-(35)</sup>がこの手法による構成モデルを開発し、 多くの力学的特性を表現している.特に、林・海 老原ら<sup>(35)</sup>は、応力ひずみ曲線および応力ひずみヒ ステリシスループのひずみ速度依存性および温度 依存性や応力緩和曲線の温度依存性を表すことを 目的とした構成モデルを作成した.



# 図 10 弾・粘塑性・クリープ型構成モデルが受持 つ力学的特性

# 3. 降伏曲面の挙動の違いによる分類

塑性変形が開始する条件は、降伏条件と呼びこ の条件を主応力空間でモデル化したものを降伏曲 面と呼ぶ.降伏曲面の挙動は構成則によって異な る.降伏条件の考え方は塑性力学に端を発し、降 伏条件は粘塑性挙動にも適用される.クリープ挙 動に関しては、応力が小さい時にはクリープひず みは無視できるほど小さく応力が応力収束値に達 したとき急激に大きなクリープひずみが生じる傾 向があるものの、応力が生じれば無条件にクリー プひずみが生じ、クリープ変形開始条件はない.

また,降伏条件は応力空間における非弾性ひず み増分の各成分の計算に密接に関連するので,こ の点についてもあわせて記述する.

#### 3.1 初期降伏条件

まず,3 次元の応力状態を単軸応力状態に相当 させた応力 *σ*<sub>eq</sub>を考える.この応力は相当応力と呼 び,式(31)で表される.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{3}{2}s_{ij}:s_{ij}} \tag{31}$$

ただし、sijは偏差応力テンソルである.

今,一度も降伏に達していない状態を考える. この場合,式(31)の相当応力が単軸の初期降伏 応力 $n_0$ に達した時に降伏すると考え,初期降伏条 件は式(32)のように表す.

$$f = \sqrt{\frac{3}{2} s_{ij} : s_{ij}} - r_0 = 0 \tag{32}$$

なお, f は降伏関数と呼ぶ.上式を満たす曲面を 初期降伏曲面といい,主偏差応力空間において式 (32)で表される初期降伏曲面は原点と中心とする 半径 nの球である.弾性変形時では応力点は降伏 曲面内に存在するが,塑性変形時では降伏曲面に 接している.

#### 3.2 続降伏条件

塑性変形では、単軸の続降伏応力は前負荷の最

大応力と一致する. このことから,相当応力が前 負荷の最大応力と一致すれば降伏すると考え,降 伏条件は式(33),式(34)で表される.

$$F = \sqrt{\frac{3}{2} s_{ij} : s_{ij}}$$
(33)

$$f = F - (r_0 + r) = 0 \tag{34}$$

ただし、r は降伏応力の増加量を表す. 主偏差応 力空間において式(33),式(34)で表される続降伏 曲面は原点と中心とする半径(ro+r)の球であり, 図 11 のようになる. つまり,塑性変形をする場合 は、原点の位置は変わらないが、降伏曲面の半径 がrだけ大きくなる. このような降伏曲面の挙動 で表される硬化則を等方硬化則と呼ぶ.



※sは偏差応力[MPa]の主成分で添え字は方向を表す.

#### 図 11 等方硬化則概念図

このように塑性理論では、塑性変形によりに降 伏曲面も変化するが、応力点は引き続き新しい降 伏曲面上にあり<sup>(1)</sup>、塑性変形が進行する際に降伏 開始条件を満たすように内部変数が移行する.一 方、過応力理論では、粘塑性変形に伴い塑性理論 同様に降伏曲面が変化するものの、応力点は降伏 曲面の外に存在し<sup>(30)</sup>、内部変数は応力点の位置と は独立した発展式により移行する.

応力空間における単位非弾性ひずみ増分ベクトルは、降伏関数fを各偏差応力成分で偏微分することにより得られ、これを流れベクトルと呼ぶ.このベクトルを表す流れテンソルn<sub>ij</sub>は、式(35)で表される.

$$n_{ij} = \frac{3}{2F} s_{ij} \tag{35}$$

ここで,引張圧縮試験を考えた時,等方硬化則 では続降伏応力の絶対値が大きくなるため,バウ シンガー効果を表現できない. Anand モデルが引 張圧縮試験をよくシミュレートできないのは、当 モデルが等方硬化則の適用を受けているためであ る.そこで、図 12 に示すように、塑性変形におい て半径は変わらないが原点の位置が変化する降伏 曲面を考え、式(36)、式(37)で表す.

$$G = \sqrt{\frac{3}{2} \left( s_{ij} - \alpha'_{ij} \right) : \left( s_{ij} - \alpha'_{ij} \right)}$$
(36)

$$f = G - r_0 = 0 \tag{37}$$

ただし, *a<sub>ij</sub>*'は偏差背応力テンソルである. なお, (*s<sub>ij</sub>* -*a<sub>ij</sub>*)は背応力を原点とした応力の座標を示す テンソルである. このような降伏曲面の挙動で表 す硬化則を移動硬化則と呼ぶ.



※α'は偏差背応力[MPa]の主成分で添え字は方向を表す.

#### 図 12 移動硬化則概念図

定常クリープ則による弾・塑性・クリープ型構成モデル<sup>(7)-(18)</sup>では、いずれの硬化則の使用も可能である.一方、近年のはんだ用構成則の開発の研究<sup>(2),(3),(19)-(23),(25)-(27),(32)-(35)</sup>では、移動硬化則もしくは等方硬化則と移動硬化則を組み合わせた複合硬化則が用いられている.これらのうちほとんどは、移動硬化則を支配する背応力の発展式としてArmstrong-Fredrick則<sup>(37)</sup>を直接に使用、もしくは改良して使用している.この発展式の改良例として、大野らがArmstrong-Fredrick則のラチェットと繰り返し応力緩和の進展を過大予測するという問題を改良し、Ohno-Wang則<sup>(38)</sup>(39)を開発しはんだに適用した<sup>(31)</sup>(32)ことが挙げられる.

また,移動硬化則および複合硬化則の適用を受ける場合の流れテンソル $n_{ij}$ は等方硬化則の場合と同様に,降伏関数fを各応力成分で偏微分することにより得られ,式(38)で表される.

$$n_{ij} = \frac{3}{2G} \left( s_{ij} - \alpha'_{ij} \right) \tag{38}$$

#### 4. 各要素の3次元化

2 章では、簡単のため、1 次元問題で「弾・ク リープ型構成モデル」、「弾・塑性・クリープ型構 成モデル」、「弾・粘塑性型構成モデル」および「弾・ 粘塑性・クリープ型構成モデル」の4類型に分類 した.これらは、塑性要素、クリープ要素および 粘塑性要素からなる.本章では、3 章で述べた流 れテンソルを用いて、2 章の記述で不足していた これら各要素の3次元化を行う.

#### 4.1 塑性要素

塑性変形時の相当応力相当ひずみ関係は式 (11)を3次元に拡張し,式(39)のように表される.

$$d\sigma_{eq} = H d\varepsilon^{p} \tag{39}$$

ただし、 $d\varepsilon''$ は相当塑性ひずみ増分で式(40)のように表される.

$$\overline{d\varepsilon^{\,p}} = \sqrt{\frac{2}{3}d\,\varepsilon^{\,p}{}_{ij}:d\,\varepsilon^{\,p}{}_{ij}} \qquad (40)$$

塑性ひずみ増分の各成分は式(41)で表す.

$$d\varepsilon^{P}{}_{ij} = d\overline{\varepsilon^{P}} n_{ii} \tag{41}$$

式(39),式(41)より,式(42)が導出される.

$$d\varepsilon^{p}_{ij} = \frac{d\sigma_{eq}}{H} n_{ij} \tag{42}$$

ただし,流れテンソルとして式(35)および式(38) のうちいずれかを使用する硬化則に応じて選択し なければならない.

# 4.2 クリープ要素

クリープ変形時の相当応力相当ひずみ関係は 式(12)を3次元に拡張し,式(43)のように表され る.

$$f(\sigma_{eq}) = \mu \overline{\varepsilon^{c}}$$
(43)

式(43)を変形して,相当クリープひずみ速度*ε*<sup>°</sup> を式(44)で表す.

$$\frac{\bullet}{\varepsilon^{c}} = \frac{1}{\mu} f(\sigma_{eq}) \tag{44}$$

なお,実際にクリープひずみ速度を表す式には, 式(45)のNorton則がよく用いられる.

$$\frac{\bullet}{\varepsilon^{c}} = A \sigma_{eq}^{n} \tag{45}$$

ここで、塑性変形同様にクリープ変形開始条件 を決定づける、いわばクリープ版降伏関数はどの ように表記できるが考察する.クリープ変形は応 力が生じた時点ですぐに開始するためその開始応 力は零である.また、再負荷をかけた場合も同様 であるから、降伏曲面も変化しない.これらのこ とから、クリープ版降伏関数は *f=F-0* であると考 える.等方硬化則の場合と同様に、降伏関数 *f* を 各応力成分で偏微分することにより、クリープの 流れテンソルは式(35)で与えられ、結果的に等方 硬化則から導き出される流れテンソルと一致する. ひずみ速度の各成分は式(35)と式(45)を用いて 式(46)で表す.

$$\overset{\bullet}{\varepsilon}{}^{c}{}_{ij} = \frac{\overset{\bullet}{\varepsilon}{}^{c}}{n}_{ij} = \frac{3}{2}A\sigma_{eq}{}^{(n-1)}s_{ij} \qquad (46)$$

#### 4.3 粘塑性要素

まずは,過応力理論に基づく粘塑性構成要素 <sup>(19-(27),(32)-(35)</sup>について記述する.粘塑性変形時の相 当応力相当ひずみ関係は式(19)を3次元に拡張し, 式(47)のように表される.

$$f\left(\Delta\sigma_{eq}^{\nu p}\right) = \eta \overline{\varepsilon}^{\nu p} \tag{47}$$

ただし、 $\Delta \sigma_{eq}$ <sup>w</sup>は降伏曲面から応力点までの距離である.式(47)を変形し、相当粘塑性ひずみ速度を式(48)で表す.

$$\frac{\bullet}{\varepsilon^{vp}} = \frac{f(\Delta \sigma_{eq}^{vp})}{\eta} \tag{48}$$

粘塑性ひずみ速度の各成分は式(49)で表す.

$$\overset{\bullet}{\varepsilon^{vp}}_{ij} = \frac{f(\Delta \sigma_{eq}^{vp})}{\eta} n_{ij} \tag{49}$$

ただし、流れテンソルとして式(35)および式(38) のうちいずれかを使用する硬化則に応じて選択し なければならない.また、式(49)は過応力理論に 限った式である.これを一般化し、粘塑性ひずみ 速度の各成分は式(50)で表すことができる.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{\boldsymbol{v}_{p}}_{\boldsymbol{v}_{j}} = \frac{f(\boldsymbol{\sigma}_{eq}^{con})}{\eta} \boldsymbol{n}_{ij} \tag{50}$$

ただし、 $\sigma_{eq}^{con}$ は相当変換応力である.

### 5. まとめ

(1)現在まではんだの応力解析に用いられてきた 構成モデルを「弾・クリープ型構成モデル」,「弾・ 塑性・クリープ型構成モデル」,「弾・粘塑性型構 成モデル」および「弾・粘塑性・クリープ型構成 モデル」に体系的に分類・整理した.

(2)弾・クリープ型構成モデルで引張負荷を与えた 場合,応力収束値に達する直前まで応力勾配は弾 性係数の値を保つ傾向がある.従って,同構成モ デルは Sn63Pb37 はんだの応力ひずみ曲線をよく 表現し,応力解析に多く用いられてきた.

(3) 定常クリープ則による弾・塑性・クリープ型 構成モデルは、クリープの影響がほとんどない高 ひずみ速度の応力ひずみ曲線はよく表現できるが、 低ひずみ速度の応力ひずみ曲線の過渡領域をよく 表現できず、時間依存の応力ひずみ曲線をよく表 現できない.

(4)弾・粘塑性型構成モデルは、塑性とクリープが 同時に存在する過渡領域の時間依存を表すことが きできるため、温度依存性および応力ひずみ曲線 のひずみ速度依存性を表現する.しかし、表現で きる変形挙動が限定的な傾向がある.

(5)弾・粘塑性・クリープ型構成モデルは,弾・粘 塑性型構成モデルよりも多くの力学的特性を容易 に表現することが可能である.

(6) 塑性要素については降伏条件が存在し, 粘塑性 要素についても塑性理論の降伏条件が適用される. 一方, クリープ要素については, 無条件に非弾性 変形が開始する.

(7)使用する硬化則によって降伏曲面の挙動は異なる.また塑性理論では、塑性変形に伴い応力点は引き続き新しい降伏曲面上にあり、降伏開始条件を満たすように内部変数が移行する.一方、過応力理論では、粘塑性変形時は応力点が降伏曲面の外に存在し、内部変数は応力点の位置とは独立した発展式により移行する.

(8) 塑性要素および粘塑性要素については、使用す る硬化則に応じた流れテンソルを使用しなければ ならない.一方、クリープ要素については、いわ ゆるクリープ開始条件は存在しないが、等方硬化 則から導き出される流れテンソルを使用する.

# 文 献

- 石川博將,固体の非線形力学(2000),養賢堂, pp.6-79.
- (2) 大口健一, 佐々木克彦, "塑性・クリープ分離による Pb/Sn はんだの弾・塑性・クリープシミュレーション", 日本機械学会論文集(A編), Vol. 68, No. 673(2002-9), pp. 1328-1335.
- (3) 大口健一,佐々木克彦,野々山裕芝,田上道
   弘,"塑性・クリープ分離法の鉛フリーはん
   だへの適用",日本機械学会論文集(A 編),
   Vol. 69, No. 682(2003-6), pp. 980-987.
- (4) 向井稔,高橋浩之ら,"はんだバンプの機械 的疲労試験と寿命予測",日本機械学会論文 集(A 編), Vol. 65, No. 636(1998-8), pp. 1690-1695.
- (5) 向井稔,川上崇,遠藤徹也,高橋邦明 IC パッケージ半田接合部の弾クリープ解析と 疲労寿命 第14回日本機械学会計算力学講 演会講演論文集(1991.11), pp.223-224.
- (6) 山田春彦,小川一義,"電子部品はんだ接合 部の熱疲労寿命解析",豊田中央研究所 R&D レビュ-, Vol. 31, No. 4(1996-12), pp. 43-52.
- (7) 神田喜彦,望月祐介,刈谷義治, "微小はん だ接合体の低サイクル疲労寿命におよぼす 保持時間の影響", 14<sup>th</sup> Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics(2008-2), pp.129-134.
- (8) 江草稔,獅子原祐樹,松嶋道也,藤本公三, "初期残留応力および環境ストレス下のは んだ強度劣化を考慮したBGA実装部の信頼性 評価",14<sup>th</sup> Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics(2008-2), pp.241-246.
- (9) 王樹波, 于強, 白鳥正樹, "表面実装部品はんだ接合部の弾塑性 クリープ有限要素解析に関する研究", 日本機械学会論文集(A編), Vol. 62, No. 594(1996-2), pp. 527-532.
- (10) 江尻 康浩,南 博,佐山 利彦,他4名
   "Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだ接合部の弾塑性クリープ解析",日本機械学会北信越支部第44 期講演会講演論文集 (2007-3), pp.161-162
- (11) 渡辺 広光,山本 晴生,"有限要素法による鉛 フリーはんだの寿命解析",日本材料学会第

56 期学術講演会講演論文集 (2007-05), pp.123-124

- (12) 于強, "鉛フリーはんだの機械的信頼性", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.4, No.4 (2001-7), pp. 262-266.
- (13) 于強,白鳥正樹,坂入慎 "多ピン化 BGA パッ ケージ鉛フリーはんだ接合部の熱疲労寿命 簡易評価",日本機械学会平成 12 年度材料力 学部門講演会講演論文集 (2000-10), pp.521-522.
- (14) 于強,加賀靖久,白鳥正樹,木船学 "BGA パッケージはんだ接合部の熱疲労信頼性簡易 評価",日本機械学会論文集(A編), Vol. 67, No. 654(2001-2), pp. 216-224.
- (15) 松嶋道也,古澤剛志,福田恭平,他3名,"高 温環境下における鉛フリーはんだBGA接合部 の振動疲労寿命",高温学会誌, Vol. 32, No. 4(2006-7), pp. 219-225.
- (16) 于強,白鳥正樹, "BGA はんだ接合部の形状を 考慮した疲労寿命評価",エレクトロニクス 実装学会誌, Vol.1, No.4 (1998-9), pp. 278-283.
- (17) 于強、白鳥正樹、金子誠史、他3名、"電子 デバイスはんだ接合部の熱疲労強度におけ る解析・実験ハイブリッド評価:第1報、熱 サイクル加速試験の効率化と熱疲労強度評 価"、日本機械学会論文集(A編)、Vol. 64、No. 619(1998-3)、 pp. 550-557.
- (18) 于強、白鳥正樹、金子誠史,他3名、"電子 デバイスはんだ接合部の熱疲労強度におけ る解析・実験ハイブリッド評価:第2報、機 械的疲労試験による評価"、日本機械学会論 文集(A編)、Vol. 64、No. 619(1998-3)、 pp. 558-563.
- McDowell, D.L., Miller, M.P., and Brooks, D.C., "AUnified Creep-Plasticity Theory for Solder Alloy", Fatigue of Electronic Materials, ASTM STP 1153(1994), S. A. Schroeder and M. R. Mitchell, eds., *American Society for Testing and Materials, Philadelphia*, pp. 42-59.
- (20) Maciucescu, L.T., Sham, -L., and Krempl, E., "Modeing the Defomation Behavior of a Sn-Pb Soler Alloy Using the Simplified Viscoplasticity Theory Based on Overstress(VBO) ",
*Transactions of the ASME, Journal of Electronic Packaging*, Vol. 121(1999), pp. 92-98.

- (21) Tang, H., and Basaran, C., "Damage Mechanics-Based Fatigue Life Prediction Model for Solder Joints", *Transactions of the ASME*, *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 125(2003), pp. 120-125.
- (22) Basaran, C., Zhao, Y., Tang, H., and Gomez, J., "A Damage Mechanics-Based Constitutive Model for Solder Joints", *Transactions of the ASME*, *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 127(2005), pp. 208-214.
- (23) Gomez, J., and Basaran, C., "Damage mechanics constitutive model for Pb/Sn solder joints incorporating nonlinear kinematic hardening and rate dependent effects using a return mapping integration algorithm", *Mechanics of Materials*, Vol. 38(2006), pp. 585-598.
- (24) Stolkarts, V., Keer, L.M., and Fine, M.E., "Constitutive and Cyclic Damage Model of 63Sn-37Pb Solder", *Transactions of the ASME*, *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 123(2001), pp.351-355.
- (25) Busso, E.P., Kitano, M., and Kumazawa, T., "A Visco-plastic Constitutive Model for 60/40 Tin-lead Solder Used in IC Package Joints", *Journal ofEngineering Materials and Technology*, Vol. 114(1992), pp. 331-337.
- (26) Sung, Y., Luo, G, and Chian, K.S., "A Viscoplastic Constitutive Model for 63Sn37Pb Eutectic Solders", *Transactions of the ASME*, *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 124(2002), pp. 91-96.
- (27) Fossum, A.F., Vianco, P.T., Neilsen, M.K., and Pierce, D.M., "A Plactical Viscoplastic Damage Model for Lead-free Solder", *Transactions of the ASME*, *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 128(2006), pp. 71-81.
- (28) D. R. J. Owen, E. Hinton, 訳者:山田嘉昭他; 塑 性の有限要素法(1988),科学技術出版社, pp.96-99.
- (29) Anand, L., "Constitutive Equation for the Rate-Dependent Deformation of Metals at Elevated Temperatures", *Transactions of the*

ASME, Journal of Electronic Packaging, Vol.104(1982), pp. 12-17.

- (30) 横田 康夫 ,渡辺 正樹,"熱疲労シミュレーションによる鉛フリーはんだヒートサイクル試験期間の適正化",エレクトロニクス実装学会誌, Vol.7, No1 (2004-1), pp.76-81.
- (31) 雨海 正純, "鉛フリーはんだ材における Anand 粘塑性モデル適用の検討", 日本機械 学会第 15 回計算力学講演会講演論文集 (2002-10), pp.775-776.
- (32)赤松聖文,中根和彦,大野信忠,"線形化による高温非弾性構成式の陰的積分",日本機械学会論文集A編, Vol. 72, No. 720 (2006-8), pp. 1161-1168.
- (33) 赤松聖文,大野信忠,高橋浩之,川上崇,"非 線形硬化を有する分離型構成式の Sn-3.0Ag-0.5Cuへの適用",日本機械学会東 海支部第53期総会講演会講演論文集, No43-1(2004-3), pp. 17-18.
- (34) Sasaki, K., Ohguchi, K., and Ishikawa, H., "Viscoplastic Defomation of 40Pb/60Sn Solder Alloys - Experiments and Constitutive Modeling", *Transactions of the ASME, Journal of Electronic Packaging*, Vol. 123(2001), pp. 379-387.
- (35) 林丈晴,海老原理徳,浅井竜彦,渡邉裕彦,"粘 塑性・クリープ分離型構成モデルの鉛フリー はんだへの適用",日本機械学会論文集(A 編) Vol. 77,No.780(2011.8),pp.1169-117
- (36)日本材料学会:はんだの非弾性構成式(2004), p.16.
- (37) Armstrong, P.J., and Fredrick, C.O., "A Mathematical Representation of the Multiaxial Bauschinger Effect", CEGB Report RD/B/N731(1966).
- (38) 大野 信忠, 王 建定, "動的回復の臨界状態 を考慮した移動硬化則",日本機械学會論文 集(A 編)Vol.58,No.547(1992-3), pp.488-503.
- (39) N. Ohno, J.-D. Wang , "Kinematic hardening rules with critical state of dynamic recovery", *International Journal of Plasticity*, Vol.9, No.3(1993), pp. 375-403.

(平成24年9月19日 受理)

## ローラチェーンの三次元有限要素応力解析と引張強度向上のための提案

岩元翔太\*, 志村 穣\*\*, 黒崎 茂\*\*\*

Three-dimensional Finite Element Stress Analysis of Roller Chain and Some Design Proposals for Improvement of Tensile Strength

#### Shouta IWAMOTO, Jvo SHIMURA, Shigeru KUROSAKI

Roller chain used for power transmission in mechanical structure is one of the important machine elements. Historically, tensile strength experiment and fatigue test for performance evaluation method of roller chain prescribed by JIS, therefore investigations of roller chain have limited to perform experimental work on various mechanical properties. In this study, FEM analyses were carried out to clarify the stress distribution and deformation state in composing elements of roller chain subjected to static tensile load. To confirm the reliability of the analytical results, strain distribution experiments at outer plate using strain gauges and tensile rupture tests of roller chain were conducted. In addition, the effects of geometry factors and the materials of roller chain components on mechanical characteristics were examined. As a result, it was found that stress concentrations occur at pin and contact part between the pin and plate. For decreasing this stress concentration, we proposed a new roller chain model, which has a spacer between the outer and inner plate, and we named it a "spacer inserted model". In the case of spacer inserted model, it was seen that internal stress state of pin improves compared to conventional one. The experiments proved that the strain distribution obtained by FEM analysis is consistent with the strain distribution measured by the strain gauges. *Keywords* : Roller chain, Stress analysis, Tensile strength, FEM

#### 1. 緒言

ローラチェーンの性能評価法は,引張強度試験や 疲労強度試験が JIS 等<sup>1)</sup>で規定されており、これら に準拠した実験によって、リンクの数が繰り返し衝 撃強度に及ぼす影響を把握するというような研究<sup>2)</sup> や、ブシュと内プレート間のはめあい力が引張強さ に及ぼす影響を調査した研究<sup>3)</sup>などがある.また近 年では野田ら4)により、ピン/ブシュの摩耗低減を目 的にピンにクラウニング加工を施す事により、ロー ラチェーンの寿命や耐荷重性に及ぼす影響を調査し ている. さらには, ピン/ブシュのはめあい部におけ る圧入を、特殊な要素で表現した有限要素応力解析 を行い、圧入のはめあい程度がローラチェーンプレ ートの応力分布に及ぼす影響を調べている<sup>5)</sup>.一方 で、ローラチェーンの寸法および形状に着目すると、 規定された基本部分があるものの、設計上の自由度 が許容されている領域がある. 例えば、プレートの 円孔形状、プレート外周の厚さ方向の曲率半径など があり、これらのジオメトリの変更が、ローラチェ ーンのさらなる性能向上に寄与する可能性を秘めて いると考えられる.

そこで本研究では、汎用型ローラチェーンを対象 とし, 引張荷重を受ける際の力学特性を有限要素応 力解析により調査し、その最適設計のための基礎的 資料の蓄積を行うと共に、力学特性の改善が期待さ れる形状や材質の提案を目的とする.具体的には, 一般的に使用されている汎用ローラチェーンにテン

ションが作用する状況を想定した解析モデルを設定, 有限要素モデルを作成し,一定の荷重をかけた際に 生じる応力分布および変形状態を確認する. くわえ て,顕著な応力集中が生じている部分において,形 状寸法および材質を変化させ,これらの諸因子が各 部の力学特性に及ぼす影響を検討する. さらに, ひ ずみゲージを用いたローラチェーンプレート部分の ひずみ分布測定実験やローラチェーンの引張破壊実 験を行い、有限要素応力解析により得られるひずみ 分布や変形,破壊状態との比較により,解析方法の 妥当性を確認する.

#### 2. 解析方法

対象とする汎用ローラチェーンの寸法および形状 について Fig.1, Table 1 に示す. Fig.1 は JIS および ANSI で定められた汎用ローラチェーン規格呼び番 号60の寸法に対応している.





Table 1 Dimensions of roller chain in





Fig.3 An example of mesh divisions in FEM analysis

本研究ではこの他に、ローラチェーン構成要素の 材料特性を変更したモデル、プレートくびれ部の曲 率半径を変更したモデル、外・内プレート間にスペ ーサーを挿入した、スペーサーインサート・モデル を解析対象として設定した.全てのモデルで共通す る部分のメッシュサイズや接触条件等は極力統一し ている.

解析モデルを Fig.2 に示す.一方の内プレート円 孔部のサーフェイス上のエレメントをプレート間に 作成した節点に従属するように設定し,節点を完全 拘束した.他方の円孔部要素にも *x* 軸方向以外に同 様の処理を施し,節点に *x* 軸方向に対して 1000[N] の引張荷重 *F*を与えた.図中では,両端のプレート 円孔部にある黒点は剛体要素を表している.ピン/ ブッシュ間,ブッシュ/内プレート間,内プレート/ 外プレート間に接触条件を与え,摩擦係数は潤滑油 の使用を想定して 0.1 とした.また,ローラチェー ンの材料は機械構造用炭素鋼鋼材 S45C を想定し, 縦弾性係数 205[GPa],ポアソン比 0.3 を用いた.

リンク長に関して、実験と同様の長さのモデルや 対称条件を用いた1/4部分モデルの解析を試みたが、 パーソナルコンピュータの処理能力の都合上、要素 数が制限されてしまう問題が生じた.したがって、 本解析ではローラを取り除いた、3 リンクの長さの 1/2部分モデルを用いた.なお、ローラの有無が全体 の応力状態に影響を及ぼさないことは事前に確認済 みである.参考までに Fig.3 に要素分割の一例を示 すが,前述のとおり,実際の解析では Fig.3(c)のロー ラを取り除いたモデルで計算を行っている.

#### 3. 実験方法

#### 3.1 試験片

解析結果の妥当性を確認するために、ひずみゲージを用いたひずみ分布測定実験を行う.解析と同様に JIS 呼び番号 60 のローラチェーンを用いて、実験結果と解析結果との比較を行う.

Fig.4(a)のように、チェーンリンク中央の外プレー ト正面部および側面部に5枚ずつ、合計10箇所のひ ずみを測定する.正面部には5枚のひずみゲージが 一体となっている応力集中測定用5連ゲージ (KFG-1-120-D19-11L3M2R)を1枚、側面部には貼り 付け面積と方向の都合より、ベース幅が狭いタイプ のひずみゲージ(KFG-1N-120-C1-11L2M2R)を長手方 向に5枚貼り付けた.実際にひずみゲージを貼り付 けた試験片をFig.4(b)に示す.なお、JISに記載され た試験方法<sup>1)</sup>に則り、5リンク以上を有効部分とする ため、6リンクチェーンを試験片として用いた.

#### 3.2 実験方法

ひずみゲージを貼り付けた試験片を精密万能試験 機オートグラフに取り付け,荷重制御により負荷速 度 200[N/min]の引張荷重を作用させる.試験片が破 断するまで荷重を与え,その際の精密万能試験機か らの荷重データおよびひずみゲージより得られるひ ずみ値を共和電業製センサインタフェース PCD-320A, PCD-300Aを介してパーソナルコンピュ ータにそれぞれ記録する.



(a) Glued positions of strain gauges



(a) Photographs of specimen bonded strain gauges Fig.4 Specimen used in strain distribution experiment

#### 4. 解析および実験結果

4.1 ローラチェーンの応力および変形状態

#### 4.1.1 チェーン全体

Fig.5 はチェーンモデル全体のミーゼス応力 σ<sub>m</sub> コ ンター表示である.引張荷重は 1000[N]であり,図 中の応力値レベルは,赤色に近づくほど応力が高く, 紫色に近づくほど応力が低くなることを示し,赤色 の部分が 100[MPa]以上,紫色の部分で 10[MPa]以下 を意味する.このコンター表示より,いずれのリン クでも主にプレート円孔部や内プレートとブッシュ が接触する部分において応力集中が生じていると推 測される.一方,プレート外周部や中心部ではそれ より低い値の応力場を示している.これらより,内 および外プレートの円孔部,ならびにその接触部分 の応力状態に特に留意する必要がある.

#### 4.1.2 プレート部分

Fig.6, Fig.7 はそれぞれ内プレート,外プレート部 分のミーゼス応力  $\sigma_m$  コンター表示である. 図中の応 力値レベルは Fig.5 と同様である.内プレート,外 プレートともに円孔の内面に応力が集中している. また,いずれのプレートも内側の円孔周辺に応力集 中領域が広く見られるが,ミーゼス応力  $\sigma_m$ の最大値 は,外プレート内側で 186.2[MPa],内プレート外側 で 182.6[MPa]の値をそれぞれ示す. これらのことか ら,ローラチェーンのプレート部分では,円孔部か つ,プレート間の接触面が力学的に重要であると考 えられる.

#### 4.1.3 ピンおよびブッシュ部分

Fig.8, Fig.9 にピンおよびブッシュ部分のミーゼス 応力 σ<sub>m</sub> コンター表示をそれぞれ示す.Fig8(b), (c)よ り,ピン表面の応力状態は左右対称とは言わないま でも、ある程度同様になっている.Fig.10(a)は、ピ ンを *z-x* 面で真二つにスライスした表面の応力場, すなわち、ピンの内部応力状態を示している.図中 に破線で示した領域に応力集中が見られる.この領 域は内・外プレートによりピンがせん断荷重を受け る部分と一致し、実際にローラチェーンを引張破断 させると、ピンは同様箇所で破断する.これらを踏 まえると、ピンの内部応力状態を改善することで、 ローラチェーンの引張強度向上に寄与できるものと 考えられる.ブッシュについては左右で異なる応力 状態を確認できる.

ピンおよびブッシュにおけるミーゼス応力 σ<sub>m</sub>の 最大値はそれぞれ 103.3[MPa], 232.4[MPa]である. ピンおよびブッシュとプレートの接触部分は,ロー ラチェーンが引張荷重を受けることでせん断変形に 近い挙動をすると考えられる.同じせん断力であれ ば、断面積が大きいほどせん断変形は小さくなり、 断面積の小さいブッシュの方が、結果としてミーゼ ス応力 **o**mの最大値が高くなる.この最大応力値が生 じる位置は、ピンでは、プレート間のブッシュ端部 との接触部付近、ブッシュでは、内プレートとの接 触部付近であると予想される.



Fig.5 Contour of Mises stress  $\sigma_m$  for chain in assembly state without roller





Fig.7 Contour of Mises stress  $\sigma_m$  on inner plate



#### 4.2 ローラチェーンの各部幾何形状および材質が 力学特性に及ぼす影響

#### 4.2.1 スペーサー・インサートモデル

ピンの内部応力状態及びローラチェーンの破断実 験結果から、ピンの力学的特性を改善しうるスペー サー・インサートモデルを考案した.これは外プレ ートと内プレート間に他の要素と同様の材料特性を 持ったスペーサーを取り付けたものであり、スペー サー厚さをパラメータとし、その厚さを0.5~1.5mm に変化させ解析を行った.

Fig.10 は各スペーサー厚さ Ts におけるピンの x-z 面断面のミーゼス応力 omのコンター表示であり,図 中の応力値レベルは前項で述べた汎用チェーンモデ ルと同一にした.全体の応力状態は、従来型のチェ ーンとほぼ同一であったが、ピンの内部応力状態に 差異が見られ、応力集中領域が減少している.この ことから、スペーサーを挿入することで、ピンの内 部応力状態が改善され、ローラチェーンの破断強度 向上に寄与できるものと推測される.また、Fig.11 にスペーサー厚さ Ts と各構成要素の最大応力値の 関係を示す. 0.25~0.5mmの範囲に着目すると、ピ ン以外の要素で最大応力値の減少、あるいは横這



Fig.10 Contour of Mises stress  $\sigma_m$  on pin in the case of spacer inserted model



Fig.11 Relation between spacer thickness Ts and maximum stress of composing element

いの数値を示していることから,スペーサー厚さ Ts = 0.5mm が最適であると考えられる.

#### 4.2.2 材料特性の変更

各構成要素の材料特性の変更による応力状態を調 査する為,解析におけるローラチェーンの構成要素 の材料定数を変化させた.変更する材料としてチタ ン合金 Ti-6Al-4V とアルミニウム合金 A5052 を想定 した. Table 2 にそれぞれの材料定数を示す. Fig.12, 13 は汎用チェーンモデルの解析時と同様に引張荷 重 1000[N]の負荷をかけ、構成要素の材料定数を変 化させたモデルのミーゼス応力のコンター表示であ る. 図中の応力値レベルは前項で述べた汎用チェー ンモデルと同一にした. また, Fig.14 に材料特性が 各構成要素の最大応力値に及ぼす影響を示す. 応力 状態に関して、どちらのモデルも全体的に応力値が 低下しており, 強度上の観点からは好ましい状況と 言える.しかし、どちらの材料もともに従来型の材 料である S45C のヤング率と比較すると, チタン合 金が 1/2, アルミニウム合金が 1/3 程度であるため, 実使用時には伸びが発生しやすくなると考えられる.

Table 2 Material constants of titanium alloy and aluminum alloy













maximum stress of composing element

材料の変更で応力特性の向上に寄与する可能性があ るものの、伸び剛性の確保が困難であることに留意 する必要がある.

#### 4.2.3 プレートくびれ部の曲率半径

前項で述べた汎用型ローラチェーンにおいて,最 大応力や応力集中箇所は主に円孔に関する接触部が ほとんどであるが、プレートのくびれ部に関しても 円孔部には及ばないものの、比較的高い応力の発生 が見られた. くわえて、くびれ部寸法形状に関する 規定は JIS において定められていないため、プレー トくびれ部の曲率半径がチェーン全体の応力状態に 及ぼす影響を調査することとした.

Fig15, 16 はそれぞれ内プレート,外プレートの くびれ部分なしのモデルと、くびれ部曲率半径を2 倍にしたモデルのミーゼス応力 σm コンター表示で ある. 図中の応力値レベルは前項で述べた汎用チェ ーンモデルと同一にした. また, Fig.17 にくびれ部 の曲率半径が各構成要素の最大応力値に及ぼす影響 を示す.両モデルともに内プレートの応力が低減し ているが、ブッシュに関しては逆に顕著な応力上昇 が見られ、一概に評価することはできない.

#### 4.3 実験結果

#### 4.3.1 ひずみ分布に関する解析結果と実験結果と の比較

弾性域の軸方向(ローラチェーン長手方向)のひず み値を用いて解析結果との比較を行う. ここでは, 引張荷重を 32kN 作用させたときのひずみ値を比較 対象とする.正面部と側面部におけるひずみ分布に 関する実験結果と解析結果との比較を Fig.18 に示す. 縦軸はひずみ  $\varepsilon$  [ $\mu$ strain], 横軸はひずみゲージの貼り 付け位置を示す.なお、実験結果のひずみ値は、5 回の結果の平均値である.



Fig.15 Contour of Mises stress  $\sigma_m$  in case when geometry of plate at constricted part chaneged









実験の際,開始から一定の荷重値まで,計測チャ ンネルによっては圧縮のひずみが生じるなど不安定 挙動が見られたが,それ以降は線形的に上昇するこ とがわかった.このため,チェーンのひずみ分布測 定には,ある程度荷重を負荷しておく必要性がある ものと考えられる.この原因としては各構成要素間 のクリアランスにあると推測している.

図より,解析結果と実験結果のひずみ分布の傾向 は同様であり,とくに側面部ではかなり良く一致し ている.正面部に関しても5番の実験結果と解析結 果との間に若干差異が見られるが,概ね一致してい ると言える.以上のことから,本研究の解析結果は 妥当であると考えられる.

#### 4.3.2 破断状態に関する解析結果と実験結果との 比較

Fig.19 は破断実験による試験片破断面の写真である.4回行った実験の全てにおいて、写真に見られるような破断形態となった.破断面から、ピンの伸びによる鋼の延性破壊であると考えられる.また、破断が発生しているのはいずれも解析時に高い応力が生じる内プレートと外プレートの境界上でピンが接触する部分である.Fig.10(a)のピンの内部応力状態より、応力集中箇所と破断箇所が一致していることがわかる.このことからも、本研究の解析結果は妥当であると考えられる.



(b) At the lateral surface of outer plate

Fig.18 Comparison between analytical and experimental result concerning strain distribution



Fig.19 Fracture sate in tensile rupture test

#### 5. 結言

本研究では、ローラチェーンの力学特性の改善を 目的とし、三次元有限要素応力解析により応力状態 を調査するとともに、解析結果の妥当性を確認する ため、ひずみ分布測定実験ならびにローラチェーン の破断実験を実施した.以下に得られた知見を記す.

- (1) 三次元有限要素応力解析により、ピン及びピン とプレートの接触部において応力集中が生じる と推察され,破断実験によりその部分から破断が 生じることを確認した.
- (2) ひずみ分布測定試験および破断試験を行い,実

験値と解析値がほぼ等しくなることを確認し,解 析結果の妥当性を確かめた.

(3) プレート間にスペーサーを取り付けることにより、ピンの内部応力状態を改善し、ローラチェーンの破断強度向上の可能性を示した.

参考文献

- (1) 日本工業標準調査会 JIS ハンドブック 2010 機
   械要素, 伝動用ローラチェーン及びブッシュチェ
   ーン, B1801, (2010)
- (2) 中込昌考: 精密工学会誌, Vol.54, No.12(1988), 2371-2376.
- (3) 中込昌考, 他 1 名:精密機械, Vol.50, No.4(1984), 665-671.
- (4) 野口昭治, 他 2 名:設計工学, Vol.44, No.1(2009), 57-63.
- (5) 野口昭治, 他 3 名:設計工学, Vol.45, No.4(2010), 179-185.

(平成24年9月24日 受理)

# ハプティックインタフェースを利用した生体シミュレータの基礎研究 — 多自由度ペン型インタフェースの試作 —

多羅尾進\*, 佐藤政哉\*\*, 小泉岳大\*\*\*, 齋藤浩一\*

Basic Study of Biophysical Simulator Using a Haptic Interface — Prototyping for a Multi-DOF Pen -Style Interface—

Susumu TARAO, Masaya SATO, Takehiro KOIZUMI, Hirokazu SAITO

A 6-degrees of freedom (DOF) motion base is proposed for the purpose of setting up a userfriendly 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 (e.g.,biophysical simulator) . In this paper, a prototype of the motion base is described. Its mechanism consists of a planar 3-DOF omnidirectional mechanism and a spatial 3-DOF additional mechanism.

Keyword : Motion Base, Omni-Directional Wheel Mechanism, Haptic Interface, Biophysical Simulator

#### 1. はじめに

運動を模擬的に再現するモーションシミュレー タは、アミューズメント用途の身近なものから、産 業界における製品試験、あるいはオペレータの操 作習熟等を支援する用途まで、幅広い分野で有用 な役割を担うようになっている.違和感の無い運 動を再現するには、これに対応した物理演算が実 時間で行われることが必須であり、計算機上でこ の実時間処理を可能にする技術開発が近年活発に 行われている.医療分野はその応用先として注目 されている分野のひとつである.ここでは、人体 に関わる複雑な力学を含む極めて難度の高いモデ ルを取り扱うことになるが、これを実時間で計算 する演算手法については非常に期待が大きく、今 日いくつかのアプローチで盛んに研究開発が行わ れている.

このような背景の下,我々は,人間医工学等で の応用を視野に入れ,人間の実動作を含む系に適 用できる新たなモーションシミュレータの開発を 行う.これは,必要な演算を全て計算機上で行う という概念から離れて,数値モデルと実モデルと が適度に組み合わされたハイブリッドモデルに人 間の動きを作用させていく処理を逐次進めて運動 模擬を行う実時間シミュレータである.ユーザは, 必要最小限に絞り込まれた実機デバイスを用いて



I Simulator based on a combination of numerical model and physical model

系に介入し,操作を行うことによって摸擬的に再 現された環境に接する.実モデルに用いるツール・ 作業対象については,サーボ機構からなる複数の モーションベースによって実際の動きが伝達され, これを取り扱う人間の動作が系に組み込まれる.

本稿では、全6自由度のモーションベースを核 とした新たなモーションシミュレータについて、そ の開発コンセプト、基本となる機構とその運動学 および静力学等について述べる.

#### 2. 基本コンセプト

模擬対象を数値モデルと実モデルとに分割して モデル化しこれら双方を逐次連携させながら,実 時間でシミュレーションを進めていく手法を考え る.数値モデルは,計算機上の力学計算等に基づ く数値的モデルである.これに対し,実モデルは,

\*機械工学科 \*\*機械工学科卒業生・専攻科機械情報システム工学専攻修了生(現東京工業大学大学院) \*\*\*機械工学科卒業生(現千葉大学) 実際の実機モデルである。数値モデルと実モデル との境界はモーションベースと呼ばれる空間サー ボ機構 (実モデルの運動を実際に呈示する)とセン サ(両モデルの接点部分における相互の作用を測 定する)とを介して結ばれ、これら数値モデルと 実モデルとが組み合わされたモデル (ハイブリッ ドモデル)により模擬対象全体がモデル化される。 実時間シミュレーションの観点から見れば、接触、 滑り, 摩擦あるいは形状の変化等, 複雑な現象を 伴う部分、すなわち数値モデルでは表わしにくい 部分について、適当な実モデルに置き換えること ができれば、計算負荷の肥大化を回避して、各ス テップ毎の計算時間を抑制することが期待できる. この概念を進め、本研究では、数値モデルと実モ デルが相互に組み合わされたハイブリッド型モー ションシミュレータを構成し、かつ人間の実動作 を模擬対象に組み込むアプローチによって難度の 高い運動模擬を試みる.

実際の人間の動作をも取り込む新たなモーショ ンシミュレータの開発イメージを図1に示す。特 に、水平面3自由度の方向については、可動範囲 が機構的に無制限となる全方向移動機能を備えた 台座移動型のモーションベース<sup>1)</sup>をまず新規に開 発し、さらに従来の台座固定型モーションベース を用意し、これらを併用して数値モデル・実モデ ル混成のハイブリッドモデルに人間の動作を組み 込むモーションシミュレーションを実現する. こ こで本開発では、採血等に伴う生体への針穿刺行 為の一連動作を具体的な応用例のひとつとして選 定し、対象一部のダミー、注射器等を実モデルと して用意し、これと計算機上に用意した数値モデ ルとを組み合わせて、違和感の無いモーションシ ミュレーションの実現を試みることを想定してい る。その際、取り組む課題は以下を計画している。 ・台座移動型/固定型併用の超多自由度モーショ ンベースの開発

多様な人間の動作を十分に取り扱えるよう,広い 可動範囲を確保しながら精度良く空間多自由度の 運動を呈示できることを前提として,新たに台座移 動型および台座固定型を併用したモーションベー スの開発を行う.前述の全方向移動機能を備えた 機構を基に自由度の追加と可動範囲の拡張を行う. ・数値モデルと実モデル連成のハイブリッドモデ ルに人間の動作を組み込む

ここでは、上記の応用例として挙げた採血等に伴

う生体への針穿刺に関わる一連の動作の運動模擬 を念頭にして、人間が介入できる数値モデルおよ び実モデルそれぞれの系を構築する。

応用:採血等に伴う生体への針穿刺行為一連の
 運動模擬

上で構築されたハイブリッドモデル〜人間動作の 系一連について、これを実際に活用しながら、多 様な条件下でモーションシミュレーションを繰り 返し、本シミュレータの特性を評価していく.

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<sup>2)</sup> や Force Dimension 社の omega.x, delta.x<sup>3)</sup> 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ィティを備え 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。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 夕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軸周りの回転運動を組み合せた合計3自由度の 運動を呈示できる機構に回転2と並進1自由度の 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. 自走型6自由度モーションベース

机上において空間6自由度の運動が自在に呈示 できるよう,平面3自由度の全方向移動機構に空 間3自由度の機構を付加する方針に基づき,全6 自由度のモーションベースの試作を行った<sup>4)</sup>. こ れらの機構について以下に概要を述べる.

#### 3.1 平面3自由度機構(全方向移動機構)

よく知られた全方向移動機構<sup>5)</sup>を採用している. このモデルを図2に示す.機構に備えられた三つ の車輪には,車軸方向に垂直な(受動的)回転の自 由度を持つオムニホイルが用いられている.



図 2 Omnidirectional mobile mechanism

#### 3·2 空間3自由度付加機構

前述の全方向移動機構について図2に示された 座標系において,空間6自由度の運動を実現する 際に不足している自由度,すなわち*x*,*y*各軸周り の回転,および*z*軸方向(*x-y*平面に垂直な方向) の並進の三つを補う機構を付加する.この機構に ついて,自由度の配置を図3に示す.これに基づ き,ペン操作を念頭において設計された機構を図 4に示す.同図に示す通り*z*軸方向の並進運動に ついては,スライダクランク機構を介してモータ の回転運動を変換することによって得る.



図 3 Two rotational and one translational mechanism

#### 3·3 平面 3 自由度機構と 3 自由度付加機構との組 み合せ

1) 極力小型化する,2) 机上平面内での可動範囲 を広く確保する,3) ペン動作による入力が可能, といった設計仕様に基き実際に設計,製作された



☑ 4 Additional mechanism design toward penstyle interface



☑ 5 Combination of 3-DOF link mechanism and 3-DOF omnidirectional mobile mechanism equipped with a 6-axis force/torque sensor

全6自由度のモーションベースの外観を図5に示 す.本モーションベース内には力覚センサが具備 され、力フィードバックの系を構成できるように なっている.

#### 4. 運動学および静力学

まず全方向移動機構について運動学および静力 学の解析を行う.解析においては、三つの全車輪 が接地し、車輪と接地面間に滑りが生じていない と仮定する.車輪1,2,3の回転に相当する関節変 数を $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  とし、 $\dot{p} = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta}_z]^T$ を車体速度ベ クトル、 $\dot{q} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3]^T = [\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3]^T$ を駆動 輪の角速度ベクトルとする.図2に示された(車 体に固定されている)座標系  $\Sigma_H$ において、車体 の順運動学は以下のように表せる.ただし、r は 車輪半径、d は車体中心と各車輪中心との距離で ある.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta}_z \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{3d} & -\frac{1}{3d} & -\frac{1}{3d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} (1)$$

上式を以下のように表わす.なお、 $\delta p, \delta q$ は、そ れぞれ $\dot{p}, \dot{q}$ に対応した微小変位である.またJは式(1)の3×3行列に対応したヤコビ行列である.

$$\delta \boldsymbol{p} = J \delta \boldsymbol{q},\tag{2}$$

$$\delta \boldsymbol{q}^T \boldsymbol{\tau} = \delta \boldsymbol{p}^T \boldsymbol{f}, \qquad (3)$$

式(2),式(3)より,車体中心に作用する外力と駆動輪の駆動トルクとの静力学的な関係を示す式(4)が得られる.

$$\boldsymbol{\tau} = J^T \boldsymbol{f}.\tag{4}$$

次いで、車体上部に搭載された付加機構につい て解析を行う.ここでは、運動学・静力学の解析 に必須となるヤコビ行列の拡張を行う.同機構に 用意された関節において x, y 各軸周りの回転に相 当する関節変数を  $\theta_4, \theta_5$  および z 軸方向の並進に 相当する関節変数を  $\theta_6$  とすれば、出力リンクの動 きに注目したとき、 $\Sigma_H$  における x, y 各軸周りの 回転  $\theta_x, \theta_y$  および z 軸方向の並進 z の時間微分と  $\theta_4, \theta_5, \theta_6$  の時間微分との関係は次式で表わせる.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_y \\ \dot{z} \end{bmatrix} = A1 \begin{bmatrix} \dot{\theta}_4 \\ \dot{\theta}_5 \\ \dot{\theta}_6 \end{bmatrix}.$$
(5)

ここで  $\theta_4$ ,  $\theta_5$ ,  $\theta_6$  は x, y 各軸に沿った並進運動に も関係することに注意すると次式を得る.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta}_z \end{bmatrix} = A2 \begin{bmatrix} \dot{\theta}_4 \\ \dot{\theta}_5 \\ \dot{\theta}_6 \end{bmatrix}.$$
(6)

ただし, *z* 軸周りの回転 *θ<sub>z</sub>* には影響しないため上 式の行列 *A*2 の 3 行目は [0 0 0] である.式 (5), 式(6)の行列 A1, A2 も車体の運動と各駆動関節間 の速度の関係を表わすヤコビ行列(3×3行列)で ある. これらと式(1)とを統合して次式が得られ る. Oは3×3の零行列である.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta}_{z} \\ \dot{\theta}_{x} \\ \dot{\theta}_{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J & A2 \\ O & A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{1} \\ \dot{\theta}_{2} \\ \dot{\theta}_{3} \\ \dot{\theta}_{4} \\ \dot{\theta}_{5} \\ \dot{\theta}_{6} \end{bmatrix}.$$
(7)

以上より本機構全体のヤコビ行列が導出された.

#### 5. おわりに

全6自由度自走型モーションベースで構成され るペン型インタフェースの機構と運動学解析につ いて述べた.今後,この解析に基き適正な力が呈 示できることを実験によって確認する予定である.

#### 参考文献

- 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, 1Q1-1Q6, 2007.
- SensAble Technologies, Inc, PHANTOM Desktop, http://www.sensable.com/products-hapticdevices.htm, (accessed 2012-8-30).
- Force Dimension, PRODUCTS OVERVIEW, http://www.forcedimension.com/products, (accessed 2012-8-30).
- S. Tarao, H. Kobayashi, M. Satoh and H. Saito: Force Display Consisting of a Wheeled Motion Base -Expanding mobility from 3-DOF to 6-DOF-, *Proc. of 2010 IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration*, pp. 390-395, 2010.
- P.F. Muir and C.P. Neuman: Kinematic Modeling for Feedback Control of an Omnidirectional Wheeled Mobile Robot, *Proc. of 1987 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1772–1778, 1987.

(平成24年9月25日 受理)

### リフレッシュエアを周期的に導入する振動流による換気

清水昭博\*, 佐藤正樹\*\*, 清水優史\*\*\*, 菅原路子\*\*\*\*

Ventilation by Oscillatory Flow with Cyclic Introduction of Refreshing Air

Akihiro SHIMIZU\*, Masaki SATO\*\*, Masashi SHIMIZU\*\*\* and Michiko SUGAWARA\*\*\*\*

Effective diffusivity of carbon dioxide in the longitudinal direction through a circular crosssectional straight pipe by oscillatory flow accompanied by the cyclic introduction of refreshing air during a given period of time just after the upper dead point of the piston of the pump has been obtained. The longer the time of introducing refreshing air became, the higher the value of effective diffusivity became. In vitro ventilation experiments for the two types of the models, which were a model with refreshing air and a model just with intubation, have been carried out. The half life of the model with refreshing air was shorter than the model without refreshing air on each condition but internal pressure was increased with the increase of the time for introducing refreshing air.

*Keywords* : oscillatory flow, refreshing air, ventilation, carbon dioxide, pressure

#### 1. はじめに

近年,病院で用いられている高頻度振動換気法 による人工呼吸器<sup>(1)</sup>では,確実な換気を達成する ために気管への挿管が必要である.気管挿管によ り,患者は会話や食事ができなくなるなど, QOL(Quality of Life)の問題がある.気管挿管は 医師,歯科医師,または所定の講習と実習を受け た救急救命士にのみに認められた医療行為である. しかし,気管挿管の際に,誤って食道に挿管して しまい,残念ながら死亡事故に至ってしまった事 例もあり,近年の医師不足と相まって気管挿管を 行う施術者への負担の大きさも問題となっている.

そこで、気管挿管不要で、簡易な操作で使用で きる高頻度振動換気法によるマスク式の非侵襲人 工呼吸器の実現を目指し、二酸化炭素を多く含む 患者の呼気をマスク内に吸い出したところで、マ スク内の吸気弁と排気弁を同時に開き、新鮮な空 気(以下、「リフレッシュエア」と呼ぶ)を導入す るのと同時に汚れた空気を外気に排出し、吸気弁 と排気弁を閉じて、リフレッシュエアを患者の肺 に送り込むという方式の機構を考案した.

本研究では、滑らかな直円管(以下、「直管」と 呼ぶ)において、周期的にリフレッシュエアを導 入した場合の有効拡散係数の測定を行い、リフレ ッシュエアがない場合と比較した.また、①リフ レッシュエアを導入した振動流を人工呼吸器に応 用し、マスク空間から気管を想定した管路を介し て肺空間に連結したモデル、および、②マスク空 間から気管挿管(Intubation)し、振動流で空気 を送り込み、気管端部から自然排気するモデルを 製作し、生体外換気実験及び圧力測定実験を実施 し、肺空間チャンバ内の炭酸ガス半減期と圧力に ついて比較検討する.

#### 2. 実験装置及び方法

#### 2.1 炭酸ガスの有効拡散係数測定実験

リフレッシュエア導入による気管内における有 効拡散係数算出のため,管路に内径 18[mm]の黄 銅製の直管を使用した実験装置を Fig.1 に示す.



Fig.1 Experimental set-up for measuring effective diffusivity in the longitudinal direction through a straight pipe accompanied by the cyclic introduction of refreshing air

AC サーボモータ(山洋電気(株)製, P50B7030DX00,300[W])からスコッチヨークを介 してピストンを往復直線運動させ、振動流を発生 させる.管路内流れ安定のために10周期分のピス トンの運動をフォトマイクロスイッチにより検出 した後、上死点の位相で炭酸ガス置換装置により 管内の空気を炭酸ガスに置換して導入し、周期的 なリフレッシュエア導入制御をしながら,800 [mm]だけ離れた解放端側の位置で炭酸ガス濃度 測定器(光明理化学工業㈱製,非分離型赤外線式, UR-1200,検知遅れ20[ms])による濃度に応じた出 力電圧を測定し,データロガー((株)キーエンス製, NR-600)を介して PC にデータを保存し,その後, 濃度に変換した.濃度測定位置における炭酸ガス 濃度変化のデータを用いて,Taylorの拡散方程式 の解の式<sup>(2)</sup>の両辺に時間 t の平方根をかけ,対数 をとった式からグラフを描き,炭酸ガス導入位相 のデータのみを抽出し,それらと 1/t との間の回 帰直線の傾きを求め, D<sub>eff</sub>を算出した.

コンプレッサーから管路内へのリフレッシュエ ア導入時期は、有効拡散係数算出の際に用いる濃 度曲線を乱さないようにピストンの上死点(以下, 「UDP」と表示) 信号が立下り, 逆方向に流れ始め る時点とした.UDP 信号が立下がると、高速ソレ ノイドバルブ((株)コガネイ, K2-100HF-02, 2 ポー ト2位置)を一定期間だけ開く.管路上のポート位 置は,炭酸ガス濃度測定器の検出部の位置とし, その管壁から管横断面方向に導入した.高速ソレ ノイドバルブは、プログラマブルコントローラ(以 下「PLC」と呼ぶ.(株)キーエンス製, KV16-DR) で制御し, Fig.2 のように, ①リフレッシュエアの 導入なし(「Without jet」と表記), ②振動数の 1/10 の時間分リフレッシュエアの導入あり(「With 1/10 jet」と表記), ③上死点以外のすべての時間でリフ レッシュエアの導入あり(「With jet except UDP」 と表記)の3種類に設定し実験を行った.

実験条件は,振動数 f =0.2, 1,6 [Hz](各々 Womersley 数 a=2.6, 5.8, 14.2), ピストンが運動す るシリンダの内径は 50 [mm]で,スコッチヨーク のクランク半径の変更により,拍出体積 V=40, 158 [ml]とした.実験は,室温 20±2 [℃]で行った

UDP signal	
Without	
With 1/10 jet	
With jet except UDP	

Fig.2 Time chart of the signals of solenoid valves corresponding to the signal of upper dead point of the piston

#### 2.2 人工呼吸器モデルを用いた生体外換気実験 と圧力測定実験

リフレッシュエアを周期的に導入した振動流に よる人工呼吸器のモデルを Fig.3 (a),気管挿管を 行い、振動流で空気を送り、自然に排気して換気 を行う場合のモデルを Fig.3(b)とし、使用者の肺 を模したチャンバ20内における炭酸ガスの半減期 を測定する. Fig.3(a)では、非侵襲的陽圧換気(以 下,「NIPPV」と呼ぶ)に用いるマスクのモデルを チャンバ①,使用者の肺のモデルをチャンバ②と し、気管を模した内面が滑らかな直管(長さ300 [mm], 内径 18 [mm], 外径 22 [mm], 黄銅製)で 接続する. また, Fig.3(b)では, 高頻度振動換気 法(以下 HFOV)の人工呼吸器モデルのチャンバ(1) に, 挿管チューブを模したシリコーンゴム製のチ ューブ(内径 6 [mm], 外径 8 [mm])を取り付け, 使用者の肺のモデルのチャンバ2)に気管を模した 内面が滑らかな直管(長さ 300 [mm],内径 18 [mm], 外径 22 [mm], 黄銅製)を取り付け, その 一端は排気用の 10 [mm]の隙間を開けて,気管挿 管を行った状態を再現した. 肺胞部には内径 50 [mm]のアクリルパイプに厚さ 0.4 [mm]の大型ゴ ム風船をピストン下死点で収縮させて取り付けた.



(a) Ventilation model by oscillatory flow with refreshing air



(b) Ventilation model by oscillatory flow with intubation

Fig.3 Schematics of the experimental apparatus for measuring half life of CO<sub>2</sub>

83

使用者の肺にあたるチャンバ②内の炭酸ガス濃 度を5[%]とし、ACサーボモータ(オリエンタル モーター㈱製、DXMS 2040-SA、200[V]、400 [W])の回転によりスコッチヨークを介してピス トンに往復直線運動をさせて振動流を発生させ、 炭酸ガス濃度が 2.5[%]以下となるまで換気実験 を行う.

チャンバ②内部の圧力変化測定には圧力計(キ ーエンス製, AP-C40, -101.3~+101.3 [kPa]) を側壁に取り付けて,内部の空気を小型のDCフ ァン(日本サーボ製, 109P0612H602, 12 [V], 013 [A])で常に撹拌しながら測定した.

#### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 炭酸ガスの濃度変化の比較

V=40 [ml], a=5.8 一定として, リフレッシュエ ア導入について前述の①から③の3つの条件で, 実験を行った際の炭酸ガス濃度変化の波形を Fig.4 に示す. Fig.4 の(a)では、リフレッシュエア は導入していないため、時間の経過とともに上死 点(帯状の上端),下死点(帯状の下端)ともに濃度が 上昇している. 一方, Fig.4 の(b)ではリフレッシュ エアを振動数の周期の 1/10 の時間にあたる 100 [ms]で導入しており、上死点信号が立下がるとリ フレッシュエアが導入されるため、濃度が大幅に 減少する. その後, 管内に残留している炭酸ガス が振動流によって輸送され、上死点に到達すると 再び濃度が上昇する.その過程を繰り返しながら, 管内の炭酸ガスが換気されていくことがわかる. 同様に, Fig.4 の(c)では, 有効拡散係数算出のため に抽出する炭酸ガス導入位相(上死点位相)以外で リフレッシュエアを導入しているため, Fig.4(b) に類似した傾向が観察され, Fig.4(b)の条件に比べ リフレッシュエアを導入する時間が長いため、濃 度のピーク値がより低い値となっている.

#### 3.2 有効拡散係数

F ig.5 の(a)に V =40 [ml], (b)に V =158 [ml]とし た際の有効拡散係数  $D_{eff}$  と  $\alpha$  との関係のグラフを 示す. Fig.5(a)でリフレッシュエアなしと上死点以 外でリフレッシュエアを導入したものを比較する と  $\alpha$ =14.2 で 6.0 倍,同様に(b)においても, $\alpha$ =14.2 で 1.7 倍の  $D_{eff}$ を示している.また,リフレッシ ュエア導入時間が長い程,管路内の炭酸ガスが洗 浄され, $D_{eff}$ がより大きくなることも確認された.



(c) With jet except UDP Fig.4 Concentration variation(V=40 [ml],  $\alpha=5.8$ )



Fig.5 Effective diffusivity

#### 3.3 人工呼吸器モデルにおける炭酸ガス半減期

Fig.6 の(a)に V=40 [ml], (b)に V=158 [ml]と した場合の炭酸ガス半減期[s]と a との関係のグ ラフを示す.



# (a) V=40 [ml](b) V=158 [ml](c) Fig.6 Half life effected by the jet of refreshing air for each tidal volume

Fig.6(a) で気管挿管モデルと上死点以外でリ フレッシュエアを導入したものを比較するとウォ マスリ数  $\alpha$ =2.6 で 1/46,同様に Fig.6(b)において も, $\alpha$ =2.6 で 1/38 の炭酸ガス半減期[s]を示して いる.これは、低頻度になるほど、リフレッシュ エア導入時間が実質的に長くなり、実験系内に注 入される空気量が増加し、換気がより促進された ためであると考えられる.一方で、高頻度領域と なる  $\alpha$ =14.2 で比較すると、Fig.6(a) では 1/25、 Fig.6(b)では 1/8.6 の半減期となっている.

したがって,低頻度,低拍出体積の場合に,よ りリフレッシュエアが有効であることがわかる.

#### 3.4人工呼吸器モデルのチャンバ内圧力測定結果

人工呼吸器モデルのチャンバ内圧力測定結果の 例として、比較的高い圧力を示した *f*=1 [Hz], *V*=158 [ml]の場合について、振動流のピストンの 1周期の運動の時間分だけ Fig.7(a)にリフレッシュ エアを振動数の周期の 1/10 の時間だけの場合,(b) に上死点以外でリフレッシュエアを導入したもの を示す.リフレッシュエアの導入が、(a)の周期の 1/10 の時間だけの場合、圧力の大きさ自体が 0.3 [kPa]程度を中心にして、少しだけの圧力変動が認 められるが、(b)の上死点以外でリフレッシュエア を導入したものの場合は 1.5 [kPa]程度にまで上昇 してしまうことがわかった.

そして,(a),(b)両方ともが常に正の圧力を示し ており,このことは,肺内部の圧力が常に周囲環 境よりも高い圧力が維持されてしまっていること を意味する.



(b) *f*=1 [Hz],*V*=158 [ml],With jet except UDP Fig.7 Pressure variations during a period of oscillatory flow

#### 4. まとめ

高頻度振動換気法による人工呼吸器の排気位相 におけるリフレッシュエア導入と排気を同時に実 現するシステムを考案し,構築した.直管内振動 流にリフレッシュエアを周期的に導入した場合の 炭酸ガスの有効拡散係数の測定実験および人工呼 吸器モデルにおける炭酸ガス半減期測定実験と圧 力測定実験により,本実験の範囲内で,以下のこ とがわかった.

- リフレッシュエア導入により、いずれの Womersley 数および拍出体積においても有効 拡散係数が向上する.
- (2) 気管挿管し,振動流で空気を送りこみ,自然 に排気して換気を行うモデルに比べ,リフレ ッシュエアを導入した振動流による換気を行 うモデルの方がより早く換気が進む.
- (3) リフレッシュエア導入時間が長い程,炭酸ガ ス半減期は減少するが,内圧上昇が発生する.

#### 参考文献

- 中川聡, HFOV のすべて,日刊工業新聞 社,(2010), p. 126-155.
- (2) 清水昭博,清水優史,菅原路子,直円管内の 振動流による有効拡散係数と乱流遷移,日本 機械学会誌(B編), Vol. 78, No. 785 (2012), pp. 17-26.

# 自転車乗車時の加速度測定 ~非舗装路におけるタイヤ空気圧の影響~

木村 南

Acceleration measurement of bicycle on non-pavement road

Minami KIMURA

The acceleration in the loading motorcycle steering wheel on non-pavement road was measured. The maximum acceleration increases from  $85\text{m/s}^2$  to  $142\text{m/s}^2$  when the running speed increases from 10 to 20km/h, and the average acceleration has increased from  $13.2\text{m/s}^2$  to  $26.1\text{m/s}^2$  similarly, too. The maximum acceleration has decreased from  $131\text{m/s}^2$  to  $52\text{m/s}^2$  when the tire inflation pressure of the loading motorcycle is decreased from 950kPa to 200kPa. Moreover, the average acceleration has decreased from 950kPa to 200kPa. Moreover, the average acceleration has decreased from  $24.6\text{m/s}^2$  to  $12.4\text{m/s}^2$ , too. The number of cyclocross tires has decreased from  $125\text{m/s}^2$  to  $57.5\text{m/s}^2$  when the tire inflation pressure is decreased from 600kPa to 200kPa. The maximum acceleration decreased decreasing in the result tire air pressure that did the front wheel fall test from 120mm in height, and a tendency almost similar to the real run test was shown. When the cyclocross frame made of CFRP was used, both maximum accelerations and the average acceleration, it decreases, and it has been understood to decrease from the loading motorcycle running in 20km/h running on non-pavement road, installing the tire for the cyclocross in the cyclo made of CFRP crossing frame compared with, and adjusting the tire inflation pressure to 200kPa  $15.1\text{m/s}^2$  of 40% decrease in average acceleration of the former 1/3 of the former  $43.4\text{m/s}^2$ .

*keywords* : cycletrafic, bicycle, acceleration measurement

#### 1. 緒言

自転車への炭素繊維強化プラスチック(以下 CFRP)の応用が 急速に拡大している.そこで炭素繊維フレームに3軸加速度セン サを取付けて加速度測定を行った1.2ならに自転車走行時に携帯 する電子情報機器に及ぼす加速度について路面状態や走行速 度の影響を調査しマンホール部で最大の加速度 150m/s<sup>2</sup> であ った.3最近のランニングと自転車ブームで多摩川サイクリン グロードでの自転車とランナーの接触事故が増加し,自転車の 走行速度を低下させる目的で調布市では高さ 10mm 程度の段 差を6箇所に設置していた.また府中市では横断歩道のような 厚い塗装を施してスピード抑制を試みていた.そして多摩川サ イクリングロードは管轄する自治体により道路幅員や舗装状 況そしてサイクリングロード脇の草刈り時期も異なっており, 舗装路破損部で最大 205m/s<sup>2</sup> を測定した<sup>4</sup>.北澤らは一軸加速 度センサ.GPS.サイクルコンピュータを組合せて宇都宮市内 での自転車事故発生道路での走行試験を行い路面凹凸により 最大 3.5G(34m/s<sup>2</sup>)の加速度が得られたとしている.本報ではロ ードバイクでは走行しにくい砂利道などの非舗装路での自転 車乗車時の加速度に及ぼす走行速度やタイヤ空気圧の影響を 調べ、悪路走行に適したシクロクロスタイヤとシクロクロスパ イクとの比較検討を行った.

#### 2.実験方法

#### 2-1 自転車

実験に使用した自転車を Fig.1 に示す.フレームは梶原利夫氏 が 1975 年に製作した MnMo 鋼管(Reinols531)を用い、バズーカ 社のストレート CrMo フォークや保安部品を取り付けて車重は 10.2kg であった.また試験期間は4ヶ月で走行距離は2800km で あった.使用したタイヤは Deda Olimpico Italia というチューブラー タイヤで空気圧は前輪・後輪とも 950kPa とし実験前後での空気 圧測定により実験中での空気圧の減少がないことを確認した.チ ューブラータイヤはチューブの周囲をタイヤで包み縫製してい るためにリムには接着材もしくは両面テープで固定する.このた めWOタイヤでチューブがリムに噛みこまれる「ハ」の字パンクが 生じないことや走行抵抗が低いので使用した.また比較のために Fig.2 に示すように前輪にシクロクロス用チューブラータイヤ (Vittria Cross Evo XN)とシクロクロス用の CFRP 製モノコックフレ ーム(FOCUS 社 MARES TEAM)を用いた.



Fig.1 Steel frame road bike with  $700 \times 22C$  tires.



Fig.2 CFRP frame cyclocross bike with 700×32C front tire. 2-2 加速度測定

斎藤<sup>5</sup>らは3輪自転車で加速度センサを利用して自転車道の バリア調査を行った.実験ではGPS機能付きサイクルコンピュー タ(Garmin 社 Edge705)で走行速度を計測し3軸加速度センサ(ス リック社 G-MEN DR10)ではピークモードとトレースモードの二種 類の測定が可能で、実験走路全体での加速度測定にはサンプリ ングタイム 0.01s、記録間隔が1s でその間のピーク加速度を記録 するピークモードを用いた.トレースモードではサンプリングタイ ム 0.01s の場合163sのデータがセンサに記録することができた.



Fig.3 Three axis acceleration sensor and cycle-computer installed in hadle

#### 2-3 走行路

羽村から川崎に至る多摩川サイクリングロード44.5kmにおいて 大部分は舗装路であるが,Fig.3 に示すように中流域の多摩水道 橋付近の狛江市側に断続的な 2.2km の砂利道が存在する.砂利 道ではパンクしやすいために多くのロードバイクは周辺車道を 走行している.著者もこの区間で WO タイヤを使用した場合にチ ューブがリムに噛みこまれる「ハ」の字パンクを経験している.



Fig.4 Non-pavement tamagawa cycletrack of Komae city. 2-4 被験者

年齢58歳,男性,身長168cm,体重71.7kg体脂肪率19.9%,サイ クリング暦45年の著者がノートPCなどを入れたメッセンジャーバ ッグ(8.2kg)を背負ってデータを集積した.前輪:後輪の荷重比率 は空車時には49.5%:50.5%であったが,乗車時には猫背姿勢で も39.0%:61.0%と後輪荷重比率が高かった.またタイヤのトレッド 摩耗は前輪よりも後輪の方が2.8倍大きかった.

2-5 乗車姿勢の及ぼす影響

前報で猫背姿勢をとることで上体のクッション性がフレームに 対する路面からの衝撃による加速度を減衰させることが示唆され たので乗車姿勢は猫背またはらくだのこぶと呼ばれる曲がった 背中でサドル上面の前縁と後縁が水平になるようにして骨盤が サドルに垂直になるようにした.サドルは5年間で7種類を試した 結果一番良好であったサドル上面に穴があいている SELLE 社 SMP EVOLUTION を使用した.

#### 3. 実験結果

3-1ピークモード加速度測定

八王子市から川崎市多摩区までの全長 35km(多摩川サイクリ

ングロード 16km 含む)を走行したときに左ハンドルで得られた加 速度を Fig.4 に示した前報で是政橋付記の亀裂の入った舗装路 で 159m/s<sup>2</sup>の加速度が測定されたが,Fig.5 では 150m/s2 以上の 加速度がマンホールなどの7箇所の段差部で測定された.



Fig.5 Peak mode acceration 3 axes (From Hachioji to Kawasaki) 3-2 走行速度の影響

トレースモードで測定した 950kPa の空気圧で 10km/h で走行した場合の3軸加速度と合力加速度を Fig.6 に示した.最大加速度 は 85m/s<sup>2</sup>であった.



Fig.6 Trace mode acceration 3 axes (steel frame 700-22C 950kPa,10km/h)

走行速度が 15km/h の場合には Fig.7 に示すように最大加速度 が増加し 127 m/s<sup>2</sup> であった.



# Fig.7 Trace mode acceration 3 axes (steel frame 700-22C 950kPa,15km/h)

速度が 20km/h になると Fig.8 に示すように最大加速度は 131  $m/s^2$  になった.



Fig.8 Trace mode acceration 3 axes (steel frame 700-22C

#### 950kPa,20km/h)

10km/hから20km/hに速度が増加したときの最大加速度と平均加速度の関係をFig.9に示した.最大加速度は15km/h以降に頭打ちとなるが速度増加に伴って平均加速度は増加している.



Fig.9 Relation of speed on the maximum acceleration and average acceleration (Steel frame, 700-22C road tire, 950kPa)

3-3 ハンドルの握り方

前報で高さ10mmの段差部を走行する際にハンドルをしっかり 握り肘を軽く曲げてサドルに骨盤をしっかり密着させる方法が腕 を伸ばしてサドルから腰を上げた場合よりも加速度が低下するこ とがわかった.1970年代のサイクリング雑誌では「悪路走行では ハンドルを緩めに握ってサドルに骨盤を載せるようにはしないで やや腰を上げて走行すること」が推奨されていたのでそのような 走行方法を試み結果をFig.10に示した.



Fig.10 Trace mode acceration 3 axes (steel frame 700-22C 950kPa,20km/h,loosen grasp)

Fig.8 に示したように 950kPa のタイヤ空気圧で 20km/h で最大の加速度 131 m/s<sup>2</sup> となったが ハンドルを緩めに握った場合は Fig.11 に示すように最大加速度は 142 m/s<sup>2</sup>に増加し,平均加速度 も 26.1 m/s<sup>2</sup>に増加した.



Fig.11 Maximum acceleration and average acceleration by difference of how to grip handle (firmly or loosly)

これは前報のような枕木のような高さ 10mm 長さ 120mm の舗

装路段差部と異なり今回の走路は直径数mm~数十mmの砂利 道であるため振動連続してハンドルの握りを緩くするとハンドル が自由に振動しやすくなったこと、ハンドルをしっかり握ることで 肘の関節でのサスペンション効果が期待されることと一致する. 34タイヤ空気圧の影響

砂利道走行における加速度に及ぼす 700C-22C タイヤ空気圧 の影響を調べるために走行速度を 20km/h として 200kPa から 950kPa のタイヤ空気圧で走行し得られた最大加速度と平均加速 度を Fig.12 に示した.700-22C のロードバイク用チューブラータイ ヤでは空気圧を低下させると振動が吸収されることが示されたし かしタイヤ空気圧を下げると走行抵抗が増加するという問題があ った.



Fig.12 Relation of air pressure on the maximum acceleration and average acceleration (Steel frame, 700-22C road tire, 20km/h) 3-5 シクロクロス用タイヤ

砂利道や泥道の走行に適したシクロクロス用チューブラータイ ヤの効果を調べるためにFig.13に示すようにロードバイクに装着 して実験を行った.タイヤの太さが直径 32mm となりロードバイク 用の直径 22mm に比べるとタイヤの断面積が増加し,空気容量も 220%増加し接地面積も増大するので悪路走行に適しているとい われている.しかしロードバイクに装着する場合はタイヤとフロン トフォーククラウンとのクリアランスが非常に少なくなるので実際 の泥道走行は泥づまりが発生しやすい.



Fig.13 Steel frame road bike with 700-32C cyclocross tire

タイヤ空気圧を 200kPa から 600kPa にして走行して得られた 最高加速度と平均加速度を Fig.14 に示した.400kPa 以上では最 大加速度は 120m/s2 程度で頭打ちである.これは Fig.9 に示した ロードバイク用タイヤが空気圧の低下に従って連続的に最大加 速度が低下したのと違い悪路でのタイヤのサスペンション効果 が発揮されていると考えられる.また 200kPa でもりム部に石が接 触するようなことはなかった.WO タイヤでは「ハ」の字パンクが発 生しそうな 200kPa とい低圧でもシクロクロス用チューブラータイ ヤはパンクすることはなかった.



Fig.14Relation of tire pressure on the maximum acceleration and average acceleration (Steel frame, 700-32C cyclocross tire, 20km/h) 3-6CFRP 製シクロクロス用フレーム

泥道や牧草地などの斜面を利用して行われるシクロクロスレー ス用フレームは担ぐこともあるので軽量な CFRP 製が多くなって おり高剛性化のためにパイプ径は鋼管に比べて2倍以上になっ ている..そこで砂利道走行においてシクロクロス用フレームの効 果を検討することとした.前節で用いたロードバイク用チューブラ ータイヤを装着して振動特性を評価した.Fig.15 には 800kPa で 20kmh 走行時の加速度測定結果を示した.



Fig.15 Trace mode acceration 3 axes (CFRP frame, 700-22C, 800kPa,20km/h)

前節34と同様に700-22Cロードバイク用チューブラータイヤを 用いて最大加速度および平均加速度に及ぼすタイヤ空気圧の 影響の実験結果を Fig.16 に示した.600kPa の場合には最大加速 度の低下のように見られるが 400kPa および 800kPa では Steel フ レームバイクよりも最大加速度が増加しており,今回使用した CFRP 製シクロクロス用フレーム単体での振動減衰性は少な く,Steel フレームロードバイクよりも高剛性であることが示唆され た.



Fig.16 Relation of tire pressure on the maximum acceleration and

#### average acceleration (CFRP frame, 700-22C, 20km/h) 3-7 シクロクロスタイヤの場合

CFRP 製シクロクロス用フレームにシクロクロス用タイヤを装着 した場合の加速度測定に及ぼすタイヤ空気圧の関係を Fig.17 に 示した.タイヤ空気圧が 400kPa から 600kPa までは最大加速度が 115 m/s<sup>2</sup>程度で変化がなく頭打ちの状態である.Fig.12 に示したロ ードバイク用チューブラータイヤのように空気圧が増加するほど 最大加速度が増加するというような線形性はなかった.むしろ振 動を低下させるために積極的に 400kPa 以下に空気圧を減少さ せることができることがわかった.





4-1 落下テスト

4-1-1 ロードバイク用チューブラータイヤの場合

前報でロードバイクの組立確認試験で導入されている落下テ ストが路面にあるマンホールや橋梁などの継目での数十 mm 程 度の段差を通過する際に発生する 120~150 m/s<sup>2</sup>の加速度と同 程度の加速度が発生することを実験的に示した.Fig.12 に示すよ うにタイヤ空気圧を減少させた場合に加速度が低下することから, 種々のタイヤ空気圧で落下テストを行い得られた加速度と走行 試験で得られた加速度の関係について調べることにした.

前輪を高さ 120mm から落下させてハンドル部に取り付けた加 速度センサのトレースモード(サンプリングタイム:10ms)で記録し た.落下試験は各条件で 5 回行い,中位のデータを代表データと して採用した.Fig.18にSteelフレームにロードバイク用チューブラ ータイヤ 700-22C での落下試験における X 軸,Y 軸,Z 軸の加速 度を示す





行い,最大加速度と平均加速度について Fig.19 に示した.タイヤ 空気圧の低下に伴って最大加速度も低下し,非舗装路での路面 凹凸による振動をタイヤが吸収していることがわかった.



Fig.19 Relation of tire pressure on the maximum acceleration and average acceleration of drop test(Steel frame, 700-22C,20km/h)

そこで砂利道の 20kmh の実走試験で得られた最大加速度と 落下テストにおける最大加速度をタイヤ空気圧で整理して Fig.20 に示した.実走試験での最大加速度と落下テストでの最大加速度 はどちらもタイヤ空気圧の低下に伴って最大加速度が低下し± 10 m/s<sup>2</sup>で一致した.ロード用チューブラータイヤの場合には落下 テストと実走試験での最大加速度についての相関性が強かった と考えられる.ロードバイク用チューブラータイヤで砂利道を走行 する際にはある程度タイヤ空気圧を低下させて走行することで ハンドル部への加速度を減少させることができる.しかし 600kPa 以下では走行抵抗が増加することで速度維持が難しくなる.



Fig.20 Relation of tire pressure on the maximum acceleration (Steel frame, 700-22C)

#### 4-1-2シクロクロス用チューブラータイヤの場合

ロードバイクにシクロクロス用チューブラータイヤを装着して落 下テストを行い最大加速度と平均加速度についてタイヤ空気圧 でまとめて Fig.21 に示した.400kPa と 600kPa では最大加速度は 105 m/s<sup>2</sup>程度であまり変化がなく200kPaで 80m/s2 に最大加速度 が低下した.Fig.20 に示したロードバイク用チューブラータイヤの 200kPaでの落下テストの場合に比べてシクロクロス用チューブラ ータイヤでは 20m/s2 ほど最大加速度は高かった.



Fig.21 Relation of tire pressure on the maximum acceleration and average acceleration of drop test(Steel frame, 700-32C,20km/h)

実際の砂利道走行試験で得られた最大加速度と落下テストで 得られた最大加速度についてタイヤ空気圧で整理して Fig.22 に 示した.200kPa では落下テストでの最大加速度の方が落 マテスト の結果を上回っていた.砂利道では少し大きめの直径 40mm 以 上の突起物の上を通過したしたときに 120 m/s<sup>2</sup>以上の加速度が 得られたのに対して落下試験では平滑な木質床への落下であ ったために差異が生じたと思われる.シクロクロス用チューブラ ータイヤのタイヤ断面直径 32mmに比べてロードバイク用チュー ブラータイヤはタイヤ断面直径が 22mmと小さいので同一のタイ ヤ空気圧ではタイヤの剛性が高く、さらに接地面積が小さいので 相対的に接地時の圧力も増加する結果落下テストと実走テストが 一致する傾向にあると考えられる.したがって悪路に走行の場合 にはシクロクロス用チューブラータイヤを 400kPa 未満の低圧で 使用するすることが加速度低減に役立つと考えられる.



Fig.22 Relation of tire pressure on the maximum acceleration (Steel frame, 700-32C)

4-2 舗装路速度抑制塗装部

府中市の多摩川サイクリングロードでは自転車の走行速度を 低下させる目的で厚さ8mm程度の横断歩道のような塗装が縞状 に施されている箇所がある.そこで Steel 製フレームにロードバイ ク用チューブラータイヤを装着して 10km/h,15km/h,20km/h で走 行して最大加速度および平均加速度を測定しFig.23 に結果を示 した.15k/m 以上では最大加速度は 100 m/s<sup>2</sup>程度でありこれは砂 利道を600kPaのタイヤ空気圧で走行したのと同程度の加速度で ある.



Fig.23 Relation of speed on the maximum acceleration and average acceleration(Steel frame, 700-22C road tire, 950kPa)

4-3 非舗装路走行におけるタイヤおよびフレームの影響 非舗装路での加速度測定をした目的は舗装の段差部や砂利道 の小石などの障害物による影響を少なくして快適にサイクリング を行うことにあった.路面の障害物による加速度を低減するには 速度を低下させることが最も効果的であり、タイヤ空気圧を低下さ せることも有効であった.そこでロードバイク用チューブラータイ ヤの実用上の下限タイヤ空気圧である 600kPa でシクロクロス用 チューブラータイヤとの比較を行った.またこれらのタイヤと Steel フレームと CFRP フレームを組み合わせて合計4種類の 20km/h の走行実験を行い最大加速度への影響を Fig.24 に示し、平均加 速度への影響を Fig.25 に示した.シクロクロス用チューブラータイ ヤの方が最大加速度が高く、CFRP 製シクロクロス用フレームは平 均加速度が Stee;製フレームを上回っていた.



Fig.24 Influence that skinny tire, cyclo crossing tire, steel frame, and CFRP frame exert on the maximum acceleration (600kPa,20km/h)



Fig.25 Influence that skinny tire, cyclo crossing tire, steel frame, and CFRP frame exert on average acceleration (600kPa,20km/h)

44砂利道走行におけるシクロクロスの効果

シクロクロスレースは泥道・砂利道の野山を乗車したり,押したり, 急坂を駆け下りたりするために低圧で空気量の多い太めのタイ ヤが装着され,軽量で高剛性な CFRP 製フレームが好まれている. 今回の実験の中で 20km/h 走行では Steel 製フレームに 950kPa のロードバイク用チューブラータイヤ(700-22C)を装着した場合 に最大加速度が 130m/s2 になり CFRP 製フレームに 200kPaのシ クロクロス用チューブラータイヤ(700-32C)を装着した場合に 43m/s2 に低下することがわかった.



Fig.26 The maximum acceleration and average acceleration of road bike and cyclocross bike in running on non-pavement cycletrack(20km/h)

#### 5.結言

非舗装路におけるロードバイクハンドル部における加速度 測定を行った.

1)走行速度が 10km/h から 20km/h まで増加すると最大加速度 は 85 m/s<sup>2</sup> から 142m/s<sup>2</sup>まで増加し、平均加速度も同様に 13.2 m/s<sup>2</sup>から 26.1 m/s<sup>2</sup>まで増加した.

2)ロードバイクのタイヤ空気圧を 950kPa から 200kPa まで減 少させると最大加速度は 131 m/s<sup>2</sup>から 52 m/s<sup>2</sup>まで減少した. また平均加速度も 24.6 m/s<sup>2</sup>から 12.4 m/s<sup>2</sup>まで減少した.

3)シクロクロスタイヤでもタイヤ空気圧を600kPaから200kPa まで減少させると $125 \text{ m/s}^2$ から $57.5 \text{ m/s}^2$ まで減少した.

4)高さ120mmから前輪落下テストを行った結果タイヤ空気圧 の減少に伴って最大加速度は低下し、実走テストとほぼ同様な 傾向を示した.

5)CFRP 製シクロクロスフレームを用いた場合はCrMoフレームよりも最大加速度,平均加速度ともに高い値を示した. 6)非舗装路での 20km/h 走行ではロードバイク走行に比べて CFRP 製シクロクロスフレームにシクロクロス用タイヤを装 着しタイヤ空気圧を 200kPa にすることで最大加速度は前者 の1/3 の43.4m/s2 に減少し,平均加速度が前者の40%減の15.1 m/s<sup>2</sup>に低下することがわかった.

参考文献

木村南:「自転車運動時における炭素繊維強化樹脂フレームの3軸加速度測定」日本機械学会(No. 8-23)ジョイント・シンポジウム2008スポーツ工学シンポジウム・シン

ポジウム:ヒューマン・ダイナミクス講演論文集 (2008), pp285-290

2) 木村南:「走行時自転車フレームの3 軸加速度測定」,東京 工業高等専門学校研究報告書 vol. 43(1)号(2011), pp51-56 3) 木村南:「自転車走行時のウェアラブル機器の加速度測定」 2010 年度マイクロメカトロニクス学術講演会論文集 (2010). pp15-16

4)木村南:「自転車通行路のバリア調査-多摩川サイクリング ロードの場合-」,日本機械学会(No. 10-53)シンポジウムスポ ーツアンドヒューマンダイナミクス 2010 講演論文集 (2010),pp392-397

5) 北沢淳,古池弘隆,森本章倫:「路面の凹凸が自転車走行と安全性に及ぼす影響に関する研究」土木計画学研究講演 集,(2002), pp. 149–152

(平成24年9月25日 受理)

# 非晶質炭化珪素薄膜の内部応力と膜破壊パターンの非線形解析

伊藤 浩\*, 川又由雄\*\*, 大山昌憲\*\*\*

Nonlinear Analysis of Film Breakdown and Internal Stress of Amorphous Silicon Carbide Films Hiroshi ITO\*, Yoshio KAWAMATA\*\* and Masanori OHYAMA\*\*\*

Internal stress and nonlinear dimension of film breakdown for amorphous silicon carbide (a-SiC) films deposited onto the fused silica substrate by rf-sputtering were investigated. The internal stress  $\sigma_T$  of sputtered a-SiC has shown the compressed stress for all films decreasing from  $1.34 \times 10^9$  to  $0.62 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> as a function of film thickness from 40 to 760nm. The nonlinear dimension *D* has been evaluated to be  $1.7 \sim 1.0$  against film thickness  $40 \sim 760$ nm since such the behavior of surface pattern density of film breakdown can be treated as an object of the fractal analysis. A correlation between  $\sigma_T$  and *D* is first found to be expressed by the relation  $\log (D) = A \sigma_T + B$ , where a and b denote numerical constants, respectively.

Keywords : Silicon Carbide, film stress, nonlinear analysis

#### 1. はじめに

近年,炭化珪素 (SiC) が高硬度で高い熱伝 導性を有する高融点物質であり、また化学的 に安定なワイド・バンドギャップ半導体(2.8 ~3.0eV) であるため,高温,高圧,放射線な どの環境下で動作する SiC を用いた電子デバ イス化の研究が行われている<sup>1,2)</sup>。しかし, SiC 薄膜のプロセス技術がまだ開発段階にあり, またその力学的, 電気的性質は SiC バルクの 結晶に比べて薄膜での研究例は少なく十分な 理解が得られていない<sup>3,4)</sup>。特に, SiC は硬度 の高い物質であるため機械力学的定数(膨張 係数、ヤング率、ポワッソン比)の違う基板 上に薄膜を作製すると、わずかな温度変化に より大きな内部応力が発生し、SiC 薄膜の光 学的・電気的な諸特性に影響を与えるだけで なく膜の破壊が起きることがある。従って, 非常に高硬度な SiC の薄膜化には、この内部 応力のメカニズムを理解し, そのための薄膜 の内部応力を正確に評価・解析することが重 要となっている。

本研究では,実用上有用な石英基板上に RF マグネトロンスパッタリング法を用いて非晶 質炭化珪素(a-SiC)薄膜を作製し,その内部 応力の膜厚依存性と成膜過程における欠陥密 度を検討し,その発生メカニズムを明らかと することが目的である。また、内部応力が強 く関係する SiC 薄膜の膜破壊を定量化すべく、 "膜破壊パターン"の非線形性を解析し、そ の非線形次数と内部応力の関係について考察 する。

#### 2. 実験方法

#### 2.1 a-SiC 薄膜試料の作成

a-SiC 薄膜は RF マグネトロンスパッタリン グ装置によって作製した。ターゲット材料は, 高温燒結法(温度 1600℃,圧力 120kg/cm<sup>2</sup>) で作成した SiC 燒結体である。本実験のスパ ッタリング条件を表1に示す。基板には全て 石英ガラス(120mm×20×0.5mm<sup>3</sup>)を用い室 温で成膜した。作製された薄膜は,X線回折 によって全て非晶質であることを確認した。 a-SiC 薄膜の膜厚測定は光の干渉法と触針法 (タリステップ)を併用した。作製した試料

1 0	
Target	SiC(99.97%)
	ITO[InO <sub>3</sub> , $SnO_2(5\%)$ ]
RF Frequency	13.56 MHz
RF Power	$600W (3.29W/cm^2)$
Base Pressure	$1 \times 10^{-3}$ Pa
Ar Gas Pressure	0.1 Pa
Substrate Temperature	Room Temperature
Substrate	Fused Quartz

の膜厚は 40nm~2μm の範囲で, 膜厚を一定 とするため基板を回転させ成膜した。スパッ タリングの成膜条件のばらつきを鑑み, ほぼ 同程度の膜厚の試料を5個づつ作製し, 内部 応力測定に用いた。

SiC 薄膜の膜破壊は、自然に起きる場合も あるが、実験として不確かで観測が困難とな る。そこで本実験では、SiC 薄膜を電極で挟 んだサンドイッチ構造の試料(Fig.1)を作製 し、この電極間に生ずる電気的圧力によって 加速試験的に石英ガラス基板上のSiC 薄膜の 膜破壊を生じさせる方法を用いた。また、膜 破壊を光学顕微鏡で観察するために、可視光 を透過する ITO 膜を電極として用いた。

#### 2.2 a-SiC 薄膜の内部応力の測定

内部応力の測定方法にはいくつかあるが, 本実験では,石英基板に成膜された a-SiC 薄 膜の内部応力の測定方法として,以下に述べ るように下地基板の弾性変形を利用する方法 を採用した<sup>5)</sup>。この場合,測定された内部応 力*o<sub>T</sub>*は薄膜固有の真性応力*o<sub>i</sub>*及び薄膜と基板 の熱膨張係数の違いによるバイメタル効果に 起因する熱応力*o<sub>th</sub>*の和である。内部応力*o<sub>T</sub>* は,Fig.2 に示すように成膜後に発生した基板 の変形から曲率半径 *R* を求め,これを次式に 代入して算出した。

$$\sigma_T = \frac{E_s D_t^2}{6d(1 - v_s)R} \tag{1}$$

ここで、d は膜厚、 $E_s \ge v_s$  は石英基板のヤ ング率とポワッソン比である。 $D_t$  は石英ガラ ス基板の厚さである。計算に用いた値は $E_s$ =  $66 \times 10^9 N/m^2$ ,  $v_s$ =0.165,  $D_t$ =0.5mm である<sup>60</sup>。 成膜後に変形した基板の曲率半径 R は、万能 形状器 (小阪研究所 3E-3C)を用いて測定し、 膜厚ごとの平均値を求めた。

#### 2.3 膜破壊パターンの非線形現象

膜破壊パターンは非線形現象として解析 することができる。本研究ではフラクタル次 元の解析に用いている「粗視化の度合いを変 える」方法<sup>6)</sup>を利用して非線形次数を求めた。 この方法によればFig.3に示された a-SiC 薄膜 試料(平均膜厚は 160nm)の"膜破壊パター







Fig.2: Schematic diagram for internal stress measurements using a warp of the substrate caused after deposition of a-SiC at room temperature.



Fig.3 : A typical micrograph of a-SiC film surface with striped pattern observed after film breakdown and number of squares, N(r), to cover the striped line for performing the nonlinear analysis.

ン"を一辺の長さrの正方形で分割する。さらに、一辺の長さrを小さくしながら、その 正方形が膜破壊パターンを被覆する数 N(r)を 求める。この場合、正方形の一辺の長さrと N(r)の関係は次式で与えられ、膜破壊パター ンは非線形解析の対象として扱えることにな る。

$$N(r) \propto r^{-D}$$
 (2)

ここで, D は膜破壊パターンの非線形次数を 表し, N(r)と r の関係を両対数グラフにプロ ットし,得られた直線の傾きから D の値が求



Fig.4: Experimental results of internal stress  $\sigma_T$  in a-SiC specimens plotted against their film.

まる <sup>7)</sup>。

#### 3. 実験結果·考察

#### 3.1 a-SiC 薄膜の内部応力<sup>8,9)</sup>

Fig.4 は、a-SiC 薄膜の内部応力 $\sigma_T$ (熱応力 と真性応力の和)の測定データを膜厚 d に対 してプロットしたものである。同図において、 膜厚 d の減少とともに $\sigma_T$ は著しく増加してい る。本実験条件下における熱応力 $\sigma_{th}=E_f\Delta\alpha\Delta T$ は、a-SiC 薄膜のポアソン比を  $E_f=125\times10^9$ N/m<sup>2</sup>、薄膜と基板の線膨張係数の差を $\Delta\alpha=4.5$ ×10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>、スパッタリング時間  $T_{sp}=3600$ sec (d=760nmの場合)における試料の温度上昇 を $\Delta T=360-300=60$ K とすると、およそ 3× 10<sup>7</sup>N/m<sup>2</sup>となる。この値は、Fig.4 に示された  $\sigma_T$ の最小値の 5%に満たない。従って、Fig.4 にある $\sigma_T$ の顕著な増加は、真性応力の増加す なわち圧縮応力の増加と近似される。

薄膜の内部応力は一般的に成膜プロセス や薄膜成長過程に強く影響されることが知ら れている。RFスパッタリングによって成膜し た SiC 薄膜構造ではプラズマやアルゴンイオ ンによる影響が大きい。次にこれらをふまえ て, Fig.4 に示された a-SiC 薄膜の膜厚減少に 伴い内部応力が増加する要因について検討す る。

Thornton ら<sup>10)</sup>は, Ar ガスを用いたスパッ タリング法による成膜中, 基板上に堆積した 薄膜の中に取り込まれたアルゴン原子が異種 原子として格子間原子サイトに割込むほか, 膜の表面原子を格子間原子サイトに押し込む

等の atomic peening 効果を指摘している。こ れが圧縮応力の発生要因であるとしている。 基板温度の上昇による熱的エネルギーを得た これら格子間原子は,その安定な原子サイト に移動して圧縮応力が緩和される。さらに T<sub>s</sub> の上昇によっては圧縮応力から引張応力に変 化することも報告されている。この atomic peening 効果から Fig.4 の内部応力の膜厚依存 性を考察すると、スパッタリング時間が短い 膜厚の薄い試料の場合には,欠陥密度が高く 内部応力(圧縮応力)は大きい。一方、スパ ッタリング時間が長く膜厚が厚い試料の場合, 基板に飛来するスパッタ粒子の衝突による基 板上薄膜の温度上昇が顕著になり,格子間原 子や構成原子は安定な原子サイトに移動する ことが可能となり、圧縮応力は減少する。こ のことから Fig.4 に示された a-SiC 薄膜の膜厚 d の減少に伴う圧縮応力σ<sub>T</sub>の増加の原因は, 上記 atomic peening 効果が主要因であると考 えられる。

#### 3.2 膜破壊パターンの非線形解析

Fig.5 は, a-SiC 薄膜の膜破壊後に観察され た試料表面の"膜破壊パターン"の光学顕微 鏡写真の測定例を示す。これより試料の膜厚 の増加とともに,表面模様の密度が低下する ことが分かる。

Fig.6 は, 膜破壊パターンの観察結果 (Fig.5)から上述した粗視化の度合いを変え る方法を用いて,200µm×200µmの範囲で膜 破壊パターンを被覆する正方形の数*N(r)を*, その正方形の一辺の長さrに対して求めた結 果を両対数グラフに示したものである。同図 より,膜厚をパラメータとしてlog{*N(r)*}の値 は log(*r*)に比例しており,その傾きから式(2) を考慮して求めた非線形次数*D*を膜厚*d*に対 してプロットしたのが Fig.7 である。

Fig.7 によれば、非線形次数 D は、a-SiC 薄膜の膜厚 d が 600 から 150nm まではわずかに 増加し、80nm 以下では急激に増加する。また、 Fig.7 のデータと、Fig.4 のデータを用いて、  $\sigma_T$  に対して log(D)をプロットしたのが Fig.8 である。Fig.8 に示された log(D)と $\sigma_T$ の比例関 係より、次の一次の関係が導かれる。

$$\log(D) = \boldsymbol{A} \ \boldsymbol{\sigma}_T + \boldsymbol{B} \tag{3}$$



Fig.5: Micrographs of striped pattern carved on a-SiC film surface after high-electric-field breakdown. It is found that the density of the striped pattern is lowered with increasing film thickness d.



Fig.6: Plots of logN(r) vs. log r. N(r) denotes number of square covering striped pattern carved on surface of a-SiC specimen and r is a side length of their square.

ここで, 定数 A, B はグラフの直線の傾きと, 縦軸の切片から各々A=0.71(m<sup>2</sup>/N), B=-0.3 を 得る。この結果, a-SiC 薄膜の内部応力 σ<sub>T</sub> と, 膜破壊によって試料表面に現れた膜破壊の模 様形状から求めた非線形次数 D の間には, 式 (3)で表わされる相関関係が存在することを 見出した。

Fig.9 は, Fig.7 に示された膜厚 *d* に対する 非線形次数 *D* の関係を両対数グラフにまとめ



Fig.7: Plots of the nonlinear dimension vs. the film thickness of the a-SiC films on fused silica by rf-sputtering.



Fig.8: Semi-log plots of nonlinear dimension *D* against experimental internal stress.



Fig.9: Plots of log(D) vs. log(d). This figure is used data points in Fig.7 showing a relation of the nonlinear dimension and the film thickness.

たものである。Fig.9 において,およそ膜厚 *d*≈100nmを境目にして,勾配の異なる二つの 直線で表わされることが分かる。この要因は, 今のところ不明であるが, 膜厚が 100nm 以下 における薄い領域と厚い領域の膜成長の違い を示唆しているものと考えている。

#### 4. おわりに

本研究では, RF マグネトロンスパッタリン グ法によって石英ガラス基板上に室温で作製 した非晶質炭化珪素 (a-SiC) 薄膜に対して, 内部応力の評価とそのメカニズムの検討を行 い,また膜破壊パターンの非線形解析による 応力と膜破壊とを検討した結果,以下の内容 を得た。

- a-SiC 薄膜の内部応力σ<sub>T</sub>は全て圧縮応力 を示し、その値は膜厚 d が 40nm から 760 nm までの増加とともに 1.34×10<sup>9</sup>から 0.62 ×10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup>に顕著に減少し、760nm 以上で はほぼ一定となることを明らかとした。
- (2) RF スパッタリング法で作製された SiC 薄膜の圧縮応力の減少は、欠陥に関与して いる格子間原子や構成原子に対する成膜 中の基板温度上昇による Atomic Peening 効 果によって説明されることを示した。
- (3) a-SiC 薄膜の膜破壊実験によって、試料 表面に現れた表面模様について非線形解析 を適用し、非線形次数 D を算出した結果、 σ<sub>T</sub> と D の間に Log(D) = A σ<sub>T</sub> + B の相関関 係が存在することが分かった。

#### 参考文献

- T. Nagai, K. Yamamoto and I. Kobayashi; *Rev. Sci. Instrum.*, 55 (1984) 1163.
- K. Wasa, T. Tohda, Y. Kasahara and S. Hayakawa; *Rev. Sci. Instrum.*, 50 (1979) 108.
- M. Matsushita, M. Sano, Y. Hayakawa, H. Honjyo and Y. Sawada; *Phys. Rev. Lett.*, 53 (3) (1984) 286.
- J. Nittman, G. Dacord and H. E. Satanly; *Nature*, 314(14) (1985) 141.
- 5) 金原 梁, 藤原英夫; 薄膜 (裳華房, 1979) 136.
- 6) サムソノフ監修;酸化物便覧(㈱アグネ, 1970) 225.
- 7) 石村貞夫,石村園子;フラクタル数学(東京図書,1990)108.
- 8) K. L. Chopra; *Thin Film Phenomena*, (McGraw-Hill, 1969) 266.
- 9) A. Kinbara; J.J.A.P, 4(4) (1965) 243.
- 10) Jhohn A. Thornton; J. Vac. Sci. Technol. 11(4) (1974) 666.

(平成24年6月25日 受理)

# 多地域連系系統における 風力発電連系可能量の評価モデルの検討

土井 淳\*, 安部清貴\*\*

A Study of Evaluation Model for Allowable Capacity of Wind Power Generations in Multi-Area Interconnected Power System

Atsushi DOI, Kiyotaka ABE

To prevent the global warming, the introduction of renewable energy has been promoted in power generation sector. In particular, the introduction of the wind power generations has advanced in Europe and the United States. And the installed capacity of wind power generations connected to power system has been increasing in Japan. However, wind power generations can negatively affect the power system frequency, because the output of wind power changes drastically depending on the wind conditions. In the past, the allowable capacity of wind power generations has been calculated on an area-by-area basis from the standpoint of the frequency fluctuation. This paper discusses the evaluation model of the multi-area interconnected power system to expand allowable capacity of wind power generations.

Keywords : wind power generations, power system frequency, multi-area interconnected power system

#### 1. はじめに

日本では、2020年に1990年比25%の温室効果ガ ス排出量削減を実現するためには、太陽光発電、風 力発電、水力発電、地熱発電等の再生可能エネルギ ーの大規模な導入を図ることが必要である。また、 これまでの電力の安定供給に加えて、運転中はCO2 を排出しないとして、原子力発電が地球温暖化対策 としても推進されてきた。東日本大震災での福島原 発の事故を受けて、脱原発の地球温暖化対策として、 再生可能エネルギーへの期待がより一層高まりつつ ある。

再生可能エネルギーを産業用電力として活用する 場合,太陽光発電が夜間,雨等の天候依存で不安定 なこと,大型発電には場所を必要とすること,発電 コストが高いことから,風力発電に一日の長がある と考えられる。2009 年末の世界の風力発電量は 15,851万kWで、導入が最も進んでいるのは米国で, 世界の 22%を占めている。次いでドイツ,中国の 16.3%,スペインの 12%,インドの 7%,他の EU 諸国の 2~3%と続いている。日本は僅か 1.3%のシ ェアで 13 位と,欧米に立ち後れている。

風力発電の電力系統への連系量が増大すると,風 力発電の出力変動が周波数等の電力品質に影響を及 ぼすことが懸念されるため、電力品質に影響を与え ない範囲で導入可能となる風力発電の連系量(風力 発電連系可能量)を、電力各社が自電力供給エリア の調整力で対応することで試算し公開している<sup>(1)</sup>。 表1に、電力各社の風力発電の連系可能量の推移と 既連系量および現在の状況を示す。東京、中部、関 西の三社は系統規模が大きく、風力発電導入量が現

表1 電力各社の風力発電の連系可能量の推移<sup>(2)</sup>

	連系可	能量の推移〔フ	既連系量〔万 kW〕 2011 年 10 月末現在		
	2011 年 9 月現在	2010 年 10 月現在	2007 年 12 月現在	()は 2011 年 9 月現在の 連系可能量に対する比率	
北海道	56	36	31	28.5 (50.9%)	
東北	158	118	85	55.5 (35.1%)	
東京	連	系可能量設定な	36.0		
中部	連	系可能量設定な	22.4		
北陸	25	25	15	14.6 (58.4%)	
関西	連	系可能量設定な	8.1		
中国	62	62	42	29.9 (48.2%)	
四国	25	25	20	16.6 (66.4%)	
九州	100	100	70	33.1 (33.1%)	
沖縄	2.5	2.5	2.5	1.4 (56.0%)	
合 計	428.5	368.5	265.5	246.1	

<sup>\*</sup> 電気工学科 \* \* 専攻科電気電子工学専攻

状程度であれば問題とならないことから,連系可能 量は設定されていない。

次いで,風力発電の風速区分別シナリオにおける 電力供給エリア別の陸上風力導入ポテンシャル推計 値を表2に示す。すべてのシナリオにおいて北海道 地域の導入ポテンシャルが最も高く,東北地域がこ れに続いている。また,これら二地域の導入ポテン シャルは,風速区分:7.5m/s以上のシナリオですで に各電力会社の発電設備容量を上回っている。一方, 九州地域は,風速区分:5.5m/s以上のシナリオで電 力会社の発電設備容量を超えている<sup>(3)</sup>。

電力供給エリア別の風力発電の導入ポテンシャル が偏在しており,系統規模が大きく調整力に十分な 余力のあると思われる東京,中部,関西の三社の電 力供給エリアにおける導入ポテンシャルが低いこと から,地域間連系線を活用した風力発電導入に向け た取り組みが今後必要になると考えられる。このた め,本研究では,系統周波数変動の観点から見た多 地域連系系統における風力発電導入可能量を算出す るための評価モデルを提案する。

	導入7	発電設備容量		
	風速 7.5m/s 以上	風速 6.5m/s 以上	風速 5.5m/s 以上	〔万 kW〕
北海道	2,985	7,923	14,849	650
東北	2,125	4,494	7,411	1,680
東京	106	252	453	6,398
中 部	253	503	870	3,263
北陸	44	220	522	796
関西	329	780	1,334	3,386
中国	185	549	1,031	1,183
围	105	299	530	667
九州	627	1,351	2,171	2,002
沖縄	282	520	563	193
合 計	7,041	16,890	29,733	20,218

表 2 電力供給エリア別の風力発電(陸上)の導入ポテ ンシャル推計値<sup>(3)</sup>

#### 2. これまでの風力発電連系可能量の算出法

わが国では,東地域(北海道,東北,東京)が 50Hz, 中・西地域(中部,北陸,関西,中国,四国,九州) が 60Hz の系統周波数に別れており,電気事業法に よって,供給する電力の周波数を一定値(標準周波 数の 50Hz または 60Hz)に維持することとされて いる。 電力系統の発電機のほとんどは同期発電機であり, 同期速度で一定運転している。この速度(系統周波 数)を保ちながら同期発電機は負荷に電力を送って いる。需要家の負荷は時々刻々変動し,系統周波数 を一定に保つために,系統運用者は負荷に追従して 電力を発電しなければならない。負荷と同様に,風 力発電も事前にその出力が予測できない電源であり, 系統運用者がその出力変動に対処する必要がある。 このため,電力各社の自電力供給エリアにおける風 力発電連系量は,風力発電の定格容量と出力変動幅 の関係を把握し,自電力系統の調整力との比較で, 年間を通じて許容可能な風力発電の出力変動幅を評 価することによって見積もられている。

#### 2.1 風力発電の出力変動の想定

風力発電の出力変動は,緩やかに変化する大きな 変動成分(長周期変動:周期 20 分以上)と短時間 に変化する小刻みな変動成分(短周期変動:周期数 分~20 分程度)に分離できる。電力各社は,ほぼ同 一の算出法により,短周期変動と長周期変動に分け, 風力発電連系量を算出している。

風力発電の出力変動実績データによれば、複数の 風力発電の連系による平滑化効果があり<sup>(4), (5)</sup>,特に その連系が広域にわたる場合の短周期変動には、連 系風力発電所数 N と最大出力変動幅との関係に√N 則に近い平滑効果が出ていることもある。

#### 2.2 風力発電連系可能量の算出

風力発電連系可能量(kW)は、下記の手順で算 出され<sup>(2)</sup>,その算出結果の基準・根拠の説明のため、 算出における前提条件に基づき評価する。

(1) 需要断面の選定:連系可能量をどの需要断面 で評価するかは重要である。調整力が最小になると 考えられる需要断面が選定され,その当該断面にお ける需要規模,需要変動,調整力を想定する必要が ある。

(2) 実系統の解析モデルの作成: 選定された需要 断面における需要規模, 需要変動, 調整力間の実態 を正確に模擬した解析モデルを作成する。

(3) 風力発電出力変動,需要,調整力との組み合わせ:決められた需要断面における解析モデルにより,想定された風力変動に基づく分析またはシミュレーションによる計算を実施する。

#### 3. 広域導入型風力発電の出力変動モデル

風力発電の出力変動には長周期変動と短周期変動 があり、両者の出力変動モデルが必要となるが、本 研究では、LFC (Load Frequency Control:負荷周 波数制御)調整力およびガバナーフリー調整能力(周 波数制御)に応じて、風力発電連系可能量が決まる 短周期変動にのみ着目し、地域間連系線を活用する 場合について検討する。

数百 km に及ぶ広域スケールで導入された風力発 電の短周期出力変動には平滑化効果があるとすると、 その出力変動∠Pwtotal [MW] は次式で表される。

△P<sub>Wtotal</sub>: 全風力発電出力変動〔MW〕
 P<sub>Wavg</sub>: 風力発電1基当たりの平均出力〔MW〕
 n: 風力発電機の設置基数

ある地域 *i* の全風力発電導入可能量(定格出力) を *P<sub>Wmax i</sub>* [MW] とすると

$$P_{Wmax i} = n_i \left( P_{Wavg} / \eta \right) \quad [MW] \tag{2}$$

η:風力発電1基当たりの平均出力/定格出力

が成り立ち,全風力発電導入可能量に対する全風力 発電出力変動 *一PWmaxi* [MW] は

となる。

#### 4. 風力発電連系可能量評価モデル

4.1 多地域連系系統の周波数特性



図1 多地域連系系統

図1に示す多地域連系系統において、地域iがい くつかの地域と連系されている場合、需給変動 $\triangle P_i$ (= $\triangle P_{Gi} - \triangle P_{Li}$ )は

△P<sub>Gi</sub>:地域iの発電電力変動〔MW〕
 △P<sub>Li</sub>:地域iの負荷電力変動〔MW〕
 △f:連系系統の系統周波数偏差〔Hz〕
 △P<sub>Tij</sub>:地域iと連系する地域j間の連系線潮流
 偏差(地域iからの流出が正)〔MW〕
 K<sub>i</sub>:地域iの系統周波数特性定数〔MW/Hz〕

で表され, N地域連系系統では, 行列表記により

$$\begin{bmatrix} \bigtriangleup f \\ \bigtriangleup \mathbf{P}_{\mathbf{T}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{K} \mid \mathbf{C}_{\mathbf{nb}} \end{bmatrix}^{-1} \bigtriangleup \mathbf{P} = \mathbf{A} \bigtriangleup \mathbf{P} \qquad (6)$$

となり、行列Aの要素を aij とすると

となる。

#### 4.2 多地域連系系統の風力発電連系可能量評価 モデル

系統周波数変動の観点から見て,多地域連系系統 全体において許容される需要変動が最大となると きの各地域の需給変動 △Popt i [MW] を求め,その 値から,各地域風力発電連系可能量を評価するこ とを試みる。これは,次のような最適化問題とし て定式化できる。

(1) 目的関数:各地域の需給変動を $\triangle P_i$  [MW] とすると、目的関数は次式で表される。

$$\sum_{i} C_{i} \mid \bigtriangleup P_{i} \mid [MW] \rightarrow \& \end{smallmatrix}$$

$$\tag{9}$$

Ci:地域 i の需給変動に対する重み係数(例えば,各地域の風力発電の導入ポテンシャルの容量比)

(2) 制約条件:連系系統の周波数は,電気事業 法で定められている標準周波数に対する,時々 刻々の周波数偏差を $\pm 0.2$ Hz(限界値)に収める ため,時間  $2\sigma$ で $\pm 0.1$ Hz を目標値として管理さ れている。このことから,系統周波数偏差 $\Delta f$ [Hz] に関する制約条件は,(7)式を用いて次式で表され る。

$$0 \leq | \Delta f | = | \sum_{j} a_{1j} \Delta P_{j} | \leq \Delta F_{max}$$
(10)

⊿F<sub>max</sub>:許容周波数偏差〔Hz〕

ここで、(1) 式において k=3 とすると $\triangle F_{max}=$ 0.2Hz, k=2 とすると $\triangle F_{max}=0.1$ Hz のいずれか を選択することが考えられる。

各地域を接続する連系線は,地域(会社)間連 系に伴う供給予備力削減,需要特性や電源構成の 違いを利用した電源の効率運用,コストパフォー マンスの高い大型電源開発のために電源線的に 利用するなどの役割がある。連系系統全体におけ る風力発電導入量の拡大に連系線を活用した場 合,連系線本来の目的を阻害することも考えられ, 託送可能量の減少につながるため,電力自由化制 度との整合が必要となる。このことから,連系線 潮流偏差△*P<sub>Ti</sub>*に関する制約条件は,(8)式を用い て次式で表される。

#### △P<sub>Tmin</sub>: 連系線 i の逆方向潮流偏差の許容変 動(<0) [MW]</p>

ここで、各連系線には、会社間連系設備としての 設計上の送電能力を表す送電容量が定められて いる。各連系線の許容潮流偏差⊿*P<sub>Tmax</sub> i*〔MW〕 は、その送電容量から連系線想定潮流を引いた空 き容量に設定することが考えられる。

各地域の需給変動 $\angle P_i$  [MW] は,発電電力変動  $\angle P_{Gi}$  [MW] と負荷電力変動 $\angle P_{Li}$  [MW] がそれぞ れ独立事象で,相関がないものとすれば,次式が成 り立つ。

発電電力変動を風力発電のみとし,各地域の需 給変動⊿P<sub>i</sub> [MW]から負荷電力変動⊿P<sub>Li</sub> [MW] を差し引いた変動分が,各地域において連系可能な 風力発電の出力変動分となることから,各地域にお ける最小の需給変動は次式で表される。

ここで、負荷電力変動 △PLi 〔MW〕は

*P*<sub>Ltotal i</sub>: 地域 i の全負荷電力 [MW]

となる。

目的関数が(9)式,制約条件が(10)式,(11) 式,(13)式とすると,その最適解となる各地域 の需要変動 △ Popt i [MW]は,線形計画法により求 めることができる。

#### 4.3 各地域の風力発電連系可能量の算出

前節で得られた各地域の需給変動 $\triangle P_{opti}$  [MW] から、各地域において連系可能な風力発電の出力変動分 $\triangle P_{Wopti}$  [MW] は、(12) 式で $\triangle P_i = \triangle P_{opti}$  とすると
$$\therefore \triangle P_{Wopt i} = \sqrt{(\triangle P_{opt i}^2 - \triangle P_{Li^2})} \quad [MW] \quad (16)$$

となる。(3) 式を用い,(16) 式と想定された風力 発電単基の定格出力から,各地域の風力発電連系 可能量 *P*<sub>Wopt i</sub> [MW] は,次式で算出することがで きる。

$$P_{Wopt i} = \{ \angle P_{Wopt i} / (k \eta \sqrt{p_n}) \}^2 \quad (MW)$$
(17)

*p<sub>n</sub>*:風力発電単基の想定定格出力〔MW〕

#### 5. 東地域系統における考察

本研究では、電気学会東 30 機系統(6を研究対象系統として用いた。本対象系統を、小規模電力供給エリアの地域 1 (東北電力を模擬)と大規模電力供給エリアの地域 2 (東京電力を模擬)に分割し、図 2 に示す 2 地域連系系統で表す(7)。周波数調整力(負荷周波数制御能力)が一番弱まる需要断面での解析を行うために夜間断面を用い、当該断面における各地域の需要規模(PL1, PL2)を図 2 に示す。

# 5.1 東地域系統の風力発電連系可能量評価モデル の定式化

各地域の需給変動 $\angle P_i$  (= $\angle P_{Gi}$ - $\angle P_{Li}$ )は, (4) 式から



図22地域連系系統モデル

$$\Delta f = (\Delta P_1 + \Delta P_2) / 3616.2 \text{ [Hz]}$$
(20)

$$P_T = 0.8235 \square P_1 - 0.1765 \square P_2 \text{ [MW]} (21)$$

となる。これより、(10) 式、(11) 式、(13) 式の 制約条件式は、連系線の空き容量をその送電容量 の 3% ( $P_{Tmax}$ =180 [MW]) に設定し、 $\triangle P_i \ge 0$  (i=1, 2)、 $\triangle P_T \ge 0$  と仮定すると、k=2の場合

$$0 \le ( \triangle P_1 + \triangle P_2 ) / 3616.2 \le 0.2 \tag{22}$$

$$0 \le 0.8235 \triangle P_1 - 0.1765 \triangle P_2 \le 180 \tag{23}$$

$$168.4 \leq \triangle P_1 \tag{24}$$

$$363.8 \leq \square P_2 \tag{25}$$

となる。

# 5.2 東地域系統データを用いた風力発電連系可能 量評価モデルの検証

2 地域の需給変動 △*P<sub>i</sub>* (*i*=1, 2) を各々, *x*軸, *y* 軸におき, (22) 式から (25) 式を描いたものを図 3 に示す。この図から以下のことが考察できる。

(1)各地域の負荷電力変動における系統周波数偏
 差 △ f 〔Hz〕は、図3上の点A₀となり、(20)式から △ f=0.147 [Hz]となる。

(2) 図 3 に表記された濃い網掛け部分が実行可能 領域となる。連系線の空き容量(地域1から地域2 へ流れる潮流)が増えると,連系線潮流偏差の直線 が右方向に移動し,実行可能領域が広がることが分 かる。

(3)表2の「東北」と「東京」の電力供給エリア別の風力発電の導入ポテンシャル推計値(風速
 5.5m/s以上の場合)を地域1と地域2における想定値とすると、(9)式の目的関数は

となり、図の一点鎖線に示すように、x 軸(△P1) にほぼ垂直となり、最適解は図3上の点A1となる。 (4) 最適解を与える点 A<sub>1</sub>の $\triangle P_i$  (i=1, 2)の値か ら、各地域の風力発電連系可能量は、風力発電単基 の定格出力を $p_n=2$ MW,平均出力を $\eta=75$ %に想定 すると、(16) 式と(17) 式から、おおよそ  $P_{Wmax1}$ =1400万kW( $\triangle P_{Wopt1}=257.5$ MW), $P_{Wmax2}=900$ 万kW( $\triangle P_{Wopt2}=200.7$ MW)となる。

(5) 最適解から算出された各地域の風力発電連系 可能量を,表2の「東北」と「東京」の電力供給エ リア別の風力発電の導入ポテンシャル推計値(風速 5.5m/s以上の場合)で評価すると,地域1(東北) の連系可能量は導入ポテンシャルの約20%,地域2 (東京)では約200%となる。地域1と地域2の系 統容量比が1:4.67に対し,風力発電の導入ポテン シャル比が1:0.0611といった釣り合いがとれてい ないことと,連系線における潮流制約による結果と 判断される。

以上の考察から,本研究で提案する風力発電連系 可能量評価モデルを用い,実データでの分析が可能 である(実行可能領域があり,最適解が得られる) ことから,モデルの妥当性が検証された。各地域で の連系可能量の詳細な分析・評価には,各地域およ び地域間連系線の需給運用データに基づいた解析が 必要となる。



図32地域連系系統における需給変動の関係

### 5.3 東地域系統での風力発電連系可能量の算出

東地域系統の夜間断面における需給運用状況(<sup>(7)</sup>の 詳細を表3に示す。各地域の系統周波数特性定数は, 負荷の周波数特性定数と火力機のガバナーフリー (GF)運転による周波数特性(GF容量)との和と すると、各地域の需給変動 /P<sub>i</sub> [MW]は

となる。

地域	発電種別	定格出力	夜間出力	GF 容量	負荷
	原子力	6000	5800	_	7000
1	火力	5560	4800	278	7090
	計	11560	10600	278	(4 %) VI VV / FIZ)
	原子力	18184	17325	—	
0	火力	24252	22192	1213	33090
Z	水力(揚水)	11073	-9270	—	(4%MW/Hz)
	計	53509	30247	1213	
合	計	65069	40847	1491	40180

表3 東地域系統の需給運用状況 [MW]

(27) 式と(28) 式から, 5.1 節の(22) 式と(23) 式を以下の式で置き換え

$$0 \leq ( \angle P_1 + \angle P_2 ) / 3098.2 \leq 0.2 \tag{29}$$

 $0 \leq 0.8187 \angle P_1 - 0.1813 \angle P_2 \leq \angle P_{Tmax}$ (30) (\angle P\_{Tmax} = 180, 120, 60 [MW])

目的関数を(26)式に,制約条件を(29)式および (30)式,(24)式,(25)式に,連系線の空き容量 を送電容量の3%,2%,1%に設定した場合の最適解 から,各地域の風力発電連系可能量を算出した結果 を表4に示す。

表4から,東地域系統での風力発電連系可能量に ついて,以下のことが考察できる。

(1) 最適解は、(26) 式の目的関数から、導入ポテ ンシャル推計値が高い地域の風力発電導入を最大化

#### 表4 各地域の風力発電連系可能量〔万 kW〕

連系線の空き容量	地域 1	地域 2	合計
180MW	$\frac{824}{3783}^{*1}$ (255.8MW) <sup>*2</sup>	<u>0</u> 0 (363.8MW)	<u>824</u> 3 783
120MW	<u>569</u> 2 613 (232.3MW)	<u>392</u> 1 801 (387.3MW)	<u>961</u> 4 414
60MW	<u>30</u> 136 (172.3MW)	<u>1 505</u> 6 911 (447.3MW)	<u>1 800</u> 7 047

※1 —: 上段は η=75%の場合,下段は η=35%の場合

※2 (.):各地域の需給変動(最適解) △P<sub>Wopt i</sub>

するように算出されていることから、2 地域間連系 線の空き容量により、各地域の風力発電連系可能量 が変化する。

(2) 2 地域間連系線の空き容量に 180MW, その送 電容量の 3%程度が確保できる場合, 連系線潮流に 関する制約の影響を受けず, 導入ポテンシャル推計 値が高い地域1における風力発電連系可能量が最大 となる。

(3) 連系線の空き容量を 120MW, 60MW, その送 電容量の 2%, 1%に絞ると, 導入ポテンシャル推計 値が高い地域 1 の風力発電連系可能量は, 連系線潮 流に関する制約の影響を受けて削減される。一方, 連系系統全体の周波数調整力の残余分により, 地域 2 における風力発電連系可能量が算出される。

(4) 風力発電連系可能量は定格出力で算出されて いることから、定格出力に対する風力発電出力(平 均出力)の比率ηにより、表4に示すように連系可 能量が大きく変化する。「η=75%の場合」は風力発 電の実稼動出力の最大値を,「η=35%の場合」は風 力発電の設備利用率の最大値を想定したものである。



(連系線の空き容量:180MWの場合)

(5)表2から、地域1(東北)の風力発電導入ポテンシャル(風速5.5m/s以上で7411万kW)は、地域2(東京)(453万kW)の16倍超であることから、連系線の空き容量の許容範囲内で出来るだけ地域1の風力発電導入ポテンシャルを利用することが望ましいと考えられる。定格出力に対する風力発電出力(平均出力)の比率ηを20%から100%まで変化させ、連系線の空き容量が180MWの場合の地域1における風力発電連系可能量を算出した結果を図4に示す。比率ηの値が低いほど、風力発電機の設置基数が増え、風力発電の出力変動の平滑化効果が増すことにより、連系可能な風力発電の実稼動出力(平均出力)が漸増している。

#### 6. むすび

本研究では,系統周波数変動の観点から見た多地 域連系系統における風力発電導入可能量を算出する ための評価モデルを提案し,その評価モデルをわが 国の東地域における交流連系系統に適用し,評価モ デルの妥当性の検証と実需給運用状況における風力 発電導入可能量の算出を行った。

風力発電の導入ポテンシャルの高い地域と系統規 模が大きく周波数調整力に十分な余力のある地域間 の系統連系線の空き容量を活用することにより,表 1 に示す風力発電連系可能量を大幅に増加できるこ とが分かった。

今後,わが国の中西地域を模擬した6地域(中部, 北陸,関西,中国,四国,九州)連系系統に,本評 価モデルを適用する。表1に示すように,中西地域 では地域ごとに算出された風力発電連系可能量はか なり制限されているが,連系線を活用することによ る風力発電連系可能量の増大への可能性を明らかに したい。

#### 参考文献

- (1) 電気事業講座編集幹事会編纂, "電気事業辞典", 電気事業講座 2008 別巻,(株)エネルギーフォ ーラム, 2008.06, p.343
- (2) 電力系統利用協議会,"風力発電連系可能量確認 ワーキンググループ 中間報告書",2012.03 <u>http://www.escj.or.jp/energy/wg/pdf/interim\_r</u> <u>eport\_windpower\_wg.pdf</u>
- (3) 環境省地球環境局地球温暖化対策課 NEDO 海 外レポート, "平成 21 年度再生可能エネルギー

導入ポテンシャル調査 調査報告書", 2010.03 http://www.env.go.jp/earth/report/h22-02/full. pdf

- (4) 山岸良雄、上田智之、金尾則一、駒見新太郎、" 複数サイト間での風力発電出力変動に関する一 考察"、電学論 B, 129, 5, 2009.05, pp.661~ 667
- (5) 島村友之、山下大樹、小柳薫、横山隆一、"スペクトル解析による風力発電出力変動のならし効果の評価",平成24年電気学会全国大会,6-006,2012.03、(第6分冊) pp.9~10
- (6) 電力系統モデル標準化調査専門委員会編, "電力 系統の標準モデル", 電気学会技術報告, 第 754 号, 1999.
- (7) 有田征史,横山明彦,多田泰之, "FFC-TBC 系 統連系での蓄電池による連系線潮流変動抑制に 関する基礎検討",電学論 B, 128, 7, 2008.07, pp.953~960

(平成24年7月19日 受理)

# インバータが発生する伝導性ノイズの低減法とその評価システムの構築

綾野秀樹\*, 佐藤優貴\*\*, 松井義弘\*

New Reduction Technique of a Conductive Noise Generated by an Inverter and Construction of the Measurement System

Hideki Ayano\*, Yuki Sato\*\*, Yoshihiro Matsui\*

This paper proposes a technique for reducing the leakage current which flows into a power source as a conductive noise. This leakage current may have an adverse effect on the peripheral equipment such as causing malfunctions. The proposed method applies a zero-sequence voltage to the output voltage references in a circuit containing grounding capacitors. The simulation model and the experiment system for evaluating the leakage current are built. The experimental results show that the proposed method can reduce the leakage current as well as the simulation results.

Keywords : leakage current, zero-sequence voltage, common-mode, common-mode choke, EMI

## 1. 諸言

エアコン,冷蔵庫などの家電製品や,電車,電 気自動車に至る産業製品など,幅広い分野でイン バータ(逆変換器)が導入されている。インバータ は,商用交流電力を整流した直流電力に対して, 半導体素子のスイッチング動作によって任意の周 波数,任意の振幅の交流電力に変換するシステム である。このインバータによって,例えばモータ 負荷の場合には,低損失で滑らかな可変速駆動が 実現できる。

一方, インバータのスイッチング動作時には各相 の出力電圧が急峻に変化する。この場合に発生す る電磁ノイズの抑制が課題となっている<sup>(1)~(3)</sup>。例 えば、高周波数の漏えい電流として電源などに漏 えいし、漏電ブレーカや自機器・周辺機器の誤動 作を誘発する恐れがある。漏えい電流の抑制方法 としてはコモンモードチョークが一般的に使用さ れており、その利用形態としては、(i)インバータ の出力端等に挿入して零相電流を積極的に低減す る方式<sup>(1)(4)</sup>,(ii)対地コンデンサと共に使用し、対 地コンデンサ側に零相電流を循環させて電源側へ の漏えい電流を低減する方式<sup>(3) (5) (6)</sup>がある。方式 (i)では、障害要因を直接低減できるため、周辺機 器や自機器における悪影響の懸念をより小さくで きる。一方, 方式(ii)では, コモンモードチョーク のインダクタンスを低減できるため、方式(i)より もコモンモードチョークを小型化できる効果があ る。

モータ制御の観点では、インバータの出力電圧 は、(1)モータの界磁に影響を与える成分、(2)モー タのトルクに影響を与える成分、(3)零相成分によ り構成される。このうち、零相成分は、出力可能 な電圧振幅を増加させたり<sup>(7)</sup>、スイッチング回数 の低減による損失低減策<sup>(8)(9)</sup>に用いられている。

本報告では、漏えい電流を評価するに当たり実 機評価システムを構築した点を述べる。さらに、 上記方式(ii)の対地コンデンサを利用した形態の インバータにおいて、漏えい電流を低減に着目し て零相成分を利用する方式を提案する。特に、一 般的な駆動条件で最もノイズが大きくなる零速度 領域の場合を対象として評価する。この零速度領 域の条件は、昇降機の駆動開始や停止の場合や電 車の駆動時の後退起動抑制(電気自動車の坂道発 進)など、極低速で高トルク出力の条件に相当しす る。この場合は、漏えい電流によって、周辺機器 のみならず自機器の誤動作をもたらす恐れが高ま る。この条件において提案手法を理論およびシミ ュレーションにより検討し、実機評価により検証 した結果について報告する。

## 2. 提案方式の構成と漏えい電流低減の原理

Fig. 1 に提案するノイズ低減法のシステム構成 を示す。提案システムでは、電源とダイオード整 流器の間にコモンモードチョーク  $L_c$ を接続する。 さらに、コモンモードチョーク  $L_c$ とダイオード整 流器の間の各相に、対地コンデンサとして  $C_{ga}$ を



Fig.1 System configuration.



Fig.2 Zero-sequence equivalent circuit.

星型接続し、その中性点とグランドの間を  $C_{gb}$ を 介して接続する。インバータの出力には配線イン ダクタンス $L_l$ を介してモータを接続する。さらに、 インバータのスイッチング周波数は 10 kHz とし て駆動させる。

インバータのスイッチングに起因して発生する 零相電流は、モータの巻線-フレーム間に存在する 浮遊容量 *C<sub>m</sub>*を介してグランドに漏えいする電流 の影響が大きい。この零相電流は、周辺機器を経 由して電源を流れる経路と対地コンデンサを流れ る経路がある。零相電流はスイッチング周波数以 上の高周波数となるため、コモンモードチョーク を経由する電源側の経路よりも対地コンデンサを 通る経路の方がインピーダンスは低くなる。この ため、Fig. 1 では、零相電流は主に対地コンデン サ側に流れ、周辺機器への悪影響を低減できる。

提案方式では、電源側に流れる漏えい電流 i<sub>c</sub>を さらに低減するために、出力電圧指令値に零相成 分の指令値を重畳する点が特徴である<sup>(10)</sup>。零相成 分は各出力相電圧に対して同時に同量を与える電 圧であり、線間電圧を考えた場合には相殺される ため、負荷に対して影響を与えない。

Fig. 2 に Fig. 1 のシステムの等価回路を示す。 ここで、 $R_m$ はモータ等の負荷側の抵抗成分であり、  $R_s$ は電源側の抵抗成分である。インバータは零相 電圧の電圧源として表され、零相電流は  $L_l$ ,  $R_m$ 、

Table 1 Parameters in equivalent circuit.

cable inductance	$L_{I}$	8.2[μH]
load resistance (zezo-sequence)	R <sub>m</sub>	25[Ω]
stray capacitor	$C_m$	2.9[nF]
common mode choke's inductance	L <sub>c</sub>	0.79[mH]
power source resistance	$R_s$	3[Ω]
mounding consister		0.68[μF]
grounding capacitor	$C_{gb}$	0.47[μF]



Fig.3 Admittance gain of the leakage current.

 $C_m$ を介してグランドに流れる。この零相電流は,  $C_{ga}$ と $C_{gb}$ の直列接続で表される対地コンデンサ  $C_g$ を流れる経路と電源側の $L_c$ ,  $R_s$ を流れる経路か らインバータへ循環する。Table 1 に等価回路の定 数を示す。ここで,  $L_c$ ,  $C_g$ ,  $L_l$ ,  $C_m$ は, 実機評価 システムにおいて個別に実測した値であり,  $R_s$ お よび $R_m$ は,数 kW クラスのモータを想定して設 定した値である。

Fig. 2 において, 漏えい電流  $i_c$ とインバータ出力の零相電圧  $v_{oz}$ の比(以下漏えい電流ゲイン  $G_s$ と呼称する。)は,

$$G_{s}(s) = \frac{I_{c}(s)}{V_{zo}(s)} = \frac{C_{m} \cdot s}{A(s)} \qquad (1)$$

として表される。ここで, A(s)は,

$$A(s) = L_l \cdot L_c \cdot C_m \cdot C_g \cdot s^4 + C_m \cdot C_g \cdot (L_l \cdot R_s + L_c \cdot R_m) \cdot s^3 + (L_l \cdot C_m + L_c \cdot C_m + L_c \cdot C_g + C_m \cdot C_g \cdot R_m \cdot R_s) \cdot s^2 + (R_m \cdot C_m + R_s \cdot C_m + R_s \cdot C_g) \cdot s + 1 \cdots (2)$$

である。Fig. 3 に, Tabel 1 の条件での漏えい電流 ゲイン  $G_s$ の周波数特性を示す。Fig. 3 は共振点を 持つ特性となり, 共振周波数  $f_c$ は, コモンモード チョーク  $L_c$ と対地コンデンサ  $C_g$ に依存する値に なる。Table 1 の条件では 9. 2kHz となる。提案方 式では, 共振周波数がキャリア周波数(10kHz) よ りも低くなるようにコモンモードチョーク  $L_c$ と 対地コンデンサ  $C_g$ の値を設定している。これによ



Fig.4 Square waveform.

り,キャリア周波数の高調波次数が高くなるほど 漏えい電流ゲイン G<sub>s</sub>は小さくなる。

漏えい電流 ic は(1)式より,

 $I_{c}(s) = G_{s}(s) \cdot V_{oz}(s) \cdots (3)$ 

と表される。つまり,漏えい電流を低減するには, Fig. 3 において漏えい電流ゲイン  $G_s$ の大きい共振 点付近の周波数成分である  $V_{oz}(s)$ の基本波成分(10 kHz)を低下させることが有効である。

Fig. 4 にスイッチング周期の周期関数のインバ ータ出力を想定した矩形波の概略図を示す。提案 方式により零相成分の指令値を重畳した場合には, インバータから出力される矩形波電圧の形状が変 化し,重畳量に比例してαが増加する。Fig. 4 の 矩形波は,次式のようにフーリエ級数展開できる。

$$v_{dury}(\omega_c t) = \frac{V_{za}\alpha}{\pi} - \frac{2V_{za}}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{\sin k\alpha}{k} \cos k\omega_c t + \frac{\cos k\pi - \cos k\alpha}{k} \sin k\omega_c t \right) \qquad (4)$$

ここで、 $\omega_c$ はキャリア角周波数である。 $V_{za}$ は矩形波の振幅であり、Fig. 1の構成では、

$$V_{za} = \frac{200\sqrt{2}}{2}$$
 .....(5)

となる。αとデューティ比の関係は、α =0 radの 場合にデューティ比が 50%の矩形波になり、α = $\pi/2$  rad の場合、α = $9\pi/10$  rad の場合に、それぞ れデューティ比が 75%、95%の矩形波となる。デ ューティ比が 50%の場合には、キャリア周波数 (10kHz)の奇数次の高調波が含有される。一方、 デューティ比の増加に伴い偶数次の高調波が発生 するが、Fig. 3 で漏えい電流ゲイン  $G_s$ の大きい基 本波成分(k=1 の場合の振幅値)を低減できる。なお、 200V 系受電電源のシステムにおいて零電圧を出 力する条件( $v_u^* = v_v^* = v_w^* = 0$ V)では、α =0 rad(デュ ーティ比が 50%)の場合は、零相成分を重畳しない 従来の条件に相当する。また、α = $\pi/2$  rad (デュー ティ比が 75%)の場合は、零相成分の指令値として  $50\sqrt{2}$  V を,  $\alpha = 9\pi/10$  rad(デューティ比が 95%) の場合は、零相成分の指令値として $90\sqrt{2}$  V をそ れぞれ重畳した条件に相当する。

### 3. シミュレーション結果

Fig. 2 の等価回路に対する数値シミュレーショ ンにより,各相の電圧指令に零相成分の指令値を 重畳することによる漏えい電流  $i_c$ の低減効果を評 価する。シミュレーションでは,零電圧を出力す る場合( $v_u^* = v_v^* = v_w^* = 0V$ )を想定し,従来の場合(零 相成分の重畳なし),および,零相成分の指令値と して $90\sqrt{2}$  V を重畳し,インバータ出力の零相電 圧のデューティ比を95%とした場合について検討 する。

Fig. 5(a)に, 従来の場合におけるインバータ出力 の零相電圧波形  $v_{oz}$  を示す。 $v_{oz}$  はデューティ比が 50%の矩形波となる。Fig. 5(b)に, この場合の  $v_{oz}$ のFFT 解析結果を示す。デューティ比 50%の矩形 波をフーリエ級数展開した場合は, (4)式で $\alpha$ =0 rad とした場合に相当し, キャリア周波数(10 kHz) の成分とその奇数次の高調波成分が含有されるこ とになる。Fig. 5(c)に, 従来の場合の漏えい電流の シミュレーション結果を示す。支配的な周波数は 10kHz であり, 漏えい電流のピーク値は 160mA と なることが確認できる。漏えい電流  $i_c$ は, (3)式よ り, Fig. 3 の漏えい電流ゲイン  $G_s(s)$ と周波数成 分の電圧値の積算としてと表される。このため, 振幅成分が大きく, 共振周波数近辺で  $G_s(s)$ の大 きい 10kHz の成分が支配的に流れることになる。

Fig. 6(a)に、零相成分の指令値として  $90\sqrt{2}$  V の直流成分を各相に与えた場合のインバータ出力 の零相電圧波形  $v_{oz}$ を示す。この場合は  $v_{oz}$ はデュ ーティ比が 95%の矩形波となる。Fig. 6(b)に  $v_{oz}$ の FFT 解析結果を示す。キャリア周波数(10kHz) の電圧成分は 30V に低減し、偶数次の高調波が発 生する点が特徴である。つまり、漏えい電流ゲイ ンの大きい 10kHz の成分を大幅に低減できること により、漏えい電流のピーク値を低減できる効果 がある。Fig. 6(c)に、この場合の漏えい電流のシミ ュレーション結果を示す。漏えい電流のピーク値 は 20mA となり、大幅に低減できていることが確 認できる。



Fig.5 Simulation results of zero-sequence voltage and leakage current(duty ratio: 50%).

## 4. 実機による検証結果

Fig. 7 に実機評価システムの回路構成を, Photo 1 に実機評価システムの外観写真をそれぞれ示す。 電源とコモンモードチョーク  $L_c$ の間に絶縁トラ ンスを設置し,分電盤と実験回路を電気的に絶縁 する。さらに,絶縁トランスと $L_c$ の間に星型結線 でコンデンサ(10 $\mu$ F×3)を接続し,これを仮想グラ ンドとする。このコンデンサの静電容量は対地コ ンデンサ  $C_{ga}$ ,  $C_{gb}$ に対して十分に大きいため,高



Fig.6 Simulation results of zero-sequence voltage and leakage current(duty ratio: 95%).

周波数のノイズ成分に対しては短絡端とみなすこ とができる。この仮想グランドを用いることによ り、実験システムの分電盤からグランドまでのイ ンピーダンスの影響を排除できるため、評価シス テムの設置条件に依存せず、再現性の高い漏えい 電流の測定が実現できる。ダイオード整流器の入 力各相には、対地コンデンサ *C*ga を星型結線で接 続し、その中性点と仮想グランドの間を対地コン デンサ *C*gb を介して接続する。モータには定格容



Fig.7 Experimental circuit configuration.

量が 1.5kW の誘導電動機を使用している。モータ フレームは仮想グランドに接続し,仮想グランド は一点接地で分電盤のグランドに接地した構成と している。また,モータ下部にはゴムシートを敷 設し,仮想グランド以外から電流が漏えいしない 構成にしている。Photo 1(a)の制御ユニットにおい て零相成分の重畳指令を与えることにより,イン バータ出力の零相電圧 voz のデューティ比を増加 することができる。

Fig. 8 に, v<sub>oz</sub>のデューティ比をパラメータとし た漏えい電流のピーク値特性と,従来の場合(デュ ーティ比が 50%の場合)およびデューティ比が 95%の場合の漏えい電流の実測結果を示す。Fig. 8 より,シミュレーション結果と実測結果はよく一 致しており,デューティ比の増加に伴って漏えい 電流のピーク値を減少できることが確認できる。 また,デューティ比が 80%以上の条件で僅かに誤 差が発生している。この要因は,デューティ比が 大きくなる条件では,インバータ出力の零相電圧 v<sub>oz</sub>が 10kHz 成分が減る一方でそれ以上の高調波

成分が増加するため、コモンモードチョーク等の 部品特性(高周波特性)の影響によるものと考えら れる。

従来の場合の漏えい電流の実測結果より、漏え い電流のピーク値は150mAとなり、Fig.5のシミ ュレーション結果ともよく一致していることが確 認できる。また、デューティ比が95%の場合の実 測結果より、漏えい電流のピーク値は40mAとな る。これは、Fig.6のシミュレーション結果より もわずかに大きい値となるが、従来の場合と比較 して漏えい電流を70%低減できることが確認でき る。提案手法では、従来と同じ大きさのコモンモ ードチョークと対地コンデンサの条件でも、ソフ トウェア処理で零相成分の指令値を重畳するのみ で、ハードウェアを加えることなく漏えい電流の



(a) Inverter-motor system.



(b) Inverter unit. Photo 1 Experimental system.

低減が可能になる。

なお、本報告では、零速度・高トルクの条件で 駆動するアプリケーションを念頭に、最も漏えい 電流が大きくなる零電圧出力時を対象として零相 成分の指令値を重畳し、漏えい電流のピーク値を 低減できることを示した。本報告で提案した手法 は負荷モータが回転する条件においても適用でき る。ただし、モータの回転数に比例して誘起電圧 が上昇し、インバータの出力電圧は大きくなるた め,零相電圧を重畳できる大きさの範囲は減少す る。しかし、出力電圧が大きい場合は、零相電圧 の変動率 dvoz / dt は小さくなるため, 漏えい電流は 小さくなる。したがって、出力電圧指令値の振幅 に合わせて、重畳する零相成分の指令値を変化さ せれば良い。また,モータの高速回転領域では制 御方式の切り替える手段を施すことや回路定数の 最適化などを施すことにより,漏えい電流の更な る低減が可能になると考える。これについては今 後の課題とする。



Fig.8 Peak values of *i<sub>c</sub>* when the duty ratio is changed.

## 5. まとめ

本報告では、零速度・高トルクの出力が要求さ れるアプリケーションでの動作防止を目的に、対 地コンデンサを使用した場合の回路構成において、 零相成分を利用した漏えい電流の低減方法を提案 し、以下の結論を得た。

- 漏えい電流を評価するためのシミュレーションモデルおよび実験システムを構築した。
- 各相の電圧指令値に零相成分の指令値を重畳 することにより、インバータが出力する零相 電圧の矩形波電圧形状(デューティ比)を変化 させることができ、漏えい電流の低減を図る ことが可能になることを示した。
- シミュレーションと実験により,指令値に重 畳する零相成分の指令値を大きくするほど漏 えい電流の低減効果を大きくできることを示 した。また、シミュレーション結果と実験結 果はよく一致していることから、提案方式の 理論およびシミュレーションの妥当性を確認 した。
- 実機検証の結果,零相成分を重畳し、インバータが出力する零相電圧のデューティ比を95%とすることで、従来法と比較して漏えい電流を70%低減できることを確認した。

提案法は,指令値に零相電圧を重畳するソフトウ ェア処理のみで漏えい電流の低減効果を向上でき る点に有用性が高いと考える。さらに,零相成分 を有効に活用することによる変換器高機能化の可 能性を広げるものである。

#### 謝辞

本研究の一部は,東京工業高等専門学校の平成 23 年度重点配分経費により行われた。

#### 参考文献

- (1)小笠原悟司・藤田英明・赤木泰文:「電圧形 PWMインバータが発生する高周波漏れ電流の モデリングと理論解析」,電学論 D, 115, 1, pp. 77-83 (1995-1)
- (2) 清水敏久:「EMI抑制法の最新技術動向」, 平22電学産業応用部大, Vol. 1, No. 1-02-3, pp. 15-18 (2010)
- (3) 千田忠彦・楠野順弘・三島彰・栗田將紀・井 堀敏:「欧州EMC規格対応インバータのフィ ルタ設計技術」,平成21電学産業応用部大, Vol. 1, No. 1-S1-5, pp. 163-168 (2009)
- (4) M. L. Heldwein and J. W. Kolar : ``Impa ct of EMC Filters on the Power Density o f Modern Three-Phase PWM Converters'', I EEE Trans. on Power Electronics, Vol.24, No. 6, p. 1577-1588 (2009)
- (5)武田順二・嶋根一夫・武田享悦・松岡寛晃・ 餅川宏・津田純一「エレベータにおける漏れ 電流低減方法の提案」日本機械学会 技術講 演会講演論文集, pp. 23-26 (2009)
- (6)森本雅之:「統合接地システムにおけるPWM インバータの漏洩電流の低減」,平20電学産 業応用部大,Vol.1,No.1-67,pp.315-320 (2008)
- (7)谷口勝則・入江寿一:「三相正弦波PWMインバータのための変調信号」,電学論B, Vol.1
   05, No.10, pp. 880-886 (1985)
- (8) J. W. Kolar, H. Ertl, and F. C. Zach: `Influence of the Modulation method on the Conduction and Switching Losses of a PWM Converter System', IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 27, No. 6, p. 1063-1075 (1991)
- (9)S. Halasz, B. T. Huu, and A. Zakharov: Two-phase modulation technique for thr ee-level inverter-fed AC drives', IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 4 7, No. 6, p. 1200-1211 (2000)
- (10) 綾野秀樹・松井義弘:「零相成分を利用した 漏えい電流抑制法に関する検討」,平23電学 産業応用部大,Vol.1,No.1-158,pp.695-6 98 (2011)

(平成24年9月21日 受理)

# 構造活性相関を用いた重金属の生態毒性の生物間の比較

庄司 良\*, 島袋将弥\*, 高橋 萌\*

Analysis on toxicity of heavy metals against organisms in different stages in whole ecosystem by QSAR (Quantitative Structure Activity Relationship)

Ryo SHOJI, Masaya SHIMABUKURO, Moe TAKAHASHI

Recently, heavy metals have been used in the various products, though they have strong toxicity to organisms. Toxicity of 60 elements against organisms such as fishes, daphnids and algae in fresh water have not been elucidated yet. The objectives of this study are to elucidate the toxicity of 60 elements by toxicity tests using organisms in different stages in ecosystem, and to perform the Quantitative Structure Activity Relationship (QSAR) approach which is for the prediction of the toxicity of metals from their own properties such as  $\sigma_p$  (softness index) and ion radius to the prediction of toxicity of unknown metals. A clear relationship of toxicity among organisms in different stages in ecosystem was found. The toxic effects of metals to *Oryzias latipes, Daphnia magna* and *Pseudokirchneriella subcapitata* were correlated with  $\sigma_p$  and ion radius of the metals.

Keywords : Ecotoxicity, Toxicity test, EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub>, Food Chain, Ecological Pyramid

## 1. 緒言

産業の発展に伴い金属は、様々な製品の 機能発現に応用されており、金属がありふ れた環境下で我々は生活している.金属は、 その利便性から広範囲に使用されるが、大 半の製品が自然界に存在しないもの、もし くは自然界に溶け込みにくいものであり、 自然破壊・環境汚染の原因となる<sup>1)2)</sup>.特に水 環境は土壌と異なり汚染物質の拡散が著し いので、本研究では、水環境に生息する生 態系に対する影響の評価に焦点を定めた. 金属は、生物の微量必須元素であるが、あ る一定量を超えると生物に対して毒性を示 すものが多い.そのため、物理的・化学的性 質により金属が実環境に放出された場合、 どのような影響を与えるのか我々は把握し なければならない<sup>3)</sup>.ヒトへの影響は、ラッ トを使った毒性試験によって多くの金属元 素が解明されている.しかし水環境に生息 する生物に対しては、約 60 種類もの元素の 毒性が解明されていない<sup>4)</sup>.

水環境に生息する生物としては、淡水性 ソウ類である Pseudokirchneriella subcapitata,淡水性甲殻類である Daphnia magna,淡水性魚類である Oryzias latipes が代表的である <sup>1)4)</sup>.これら 3 種の生物は、 生態系内での働きにおいて,生産者,一次 消費者,二次消費者に位置づけられている. これらの生物は被食・捕食の関係にあり,高 次の消費者になるにつれて,炭素化合物や 窒素化合物など栄養成分の含量は上昇し, 生物体内における汚染物質の濃度は飛躍的 に上昇する 3)5).そのため生態系内での働き の違いによって,金属の毒性への耐性に大 小関係があることが考えられるが,系統的 に金属の毒性データを収集し,比較検討を 行っている研究は稀である 6).

生態系ピラミッドにおいて異なる栄養・ 捕食段階にある各生物の毒性に関して比較 検討を行っている研究の一例として、構造 活性相関を用いた研究が行われている.特 に, コンピュータを利用した定量的構造活 性相関(QSAR)による毒性予測が化学物質 の管理の観点から重要になっている<sup>2)</sup>.近年 では構造活性相関を用いて、毒性と化学物 質の構造・性質の間に関係性があることが 報告されているが 7),正確な毒性予測まで 至っていないのが現状である.そこで本研 究では、構造活性相関だけでなく、生物濃 縮の観点から期待される生物の違いによる 毒性への耐性の大小関係を併用することで, より正確な毒性予測が可能になると考えた. 毒性試験に使用する供試生物として、水環 境に生息する P. subcapitata, D. magna, O. latipes を選択することで, 生態系内での 働きの違いによる毒性の傾向を検討し,金 属元素の生態毒性予測を行うことを目的と した.

# 2. 実験方法

## 2.1. データ検索

毒性評価に用いる水環境に生息する生物

は、P. subcapitata, D. magna, O. latipes とし、これらの EC50[µmol/L](50%影響濃 度), LC<sub>50</sub>[µmol/L](50%致死濃度)を ECOTOX Database<sup>8)</sup>, MSDS(Material Safety Data Sheet)を用いたデータ検索と, ソウ類生長阻害試験、ミジンコ急性遊泳阻 害試験,魚類急性毒性試験によりデータ収 集を行った.ECOTOX Database における 検索条件としては、[1]液体中での試験であ ること、[2]暴露時間が 72・48・96 時間で あること、[3]エンドポイントとして生長阻 害率・ 遊泳阻害率, 死亡率で確認している こと, [4]金属塩としては塩化物であること とし、これらの条件を満たす毒性試験結果 が複数ある場合、それぞれの平均値を代表 値とした.

#### 2.2. ソウ類生長阻害試験

毒性評価に用いる水環境に生息する生物 は、2~3日前から培養した *P. subcapitata* (以下ソウ類) とし、OECD テストガイドラ インに準拠した試験方法で行った.水温 22℃で72時間連続照射し,細胞数の測定に は吸光光度計(SHIMADZU UV-1200)を用 いて波長 655nm における吸光度を測定し た.生長速度 $\mu$ と生長阻害率Im(%)を(1),(2) 式にて算出した. $t_1$ は暴露開始後に吸光度 を測定した時間[h], $t_n$ は暴露開始後 n 回目 に吸光度を測定した時間[h], $N_1$ は $t_1$ の時 の細胞数[cells/ml], $N_n$ は  $t_n$ の時の細胞数 [cells/ml], $\mu_c$ は対照区の平均生長速度, $\mu_t$ は各濃度区における平均生長速度を表す.

 $\mu = (\ln N_n \cdot \ln N_1) / (t_n \cdot t_1) \times 100 \qquad (1)$ 

*Im*=(µc - µt)/µc×100 (2) 試験培地としては, Table 1に示した AAP 試験培地を使用した. Table 1 ソウ類生長阻害試験に使用する AAP (Algal Assay Procedure) 試験培地の 組成

成分名	濃度[mol/L]
$NaNO_3$	$2.94  imes 10^{-4}$
$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	$4.56  imes 10^{-6}$
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	$3.40  imes 10^{-5}$
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$5.99  imes 10^{-5}$
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	$3.00  imes 10^{-5}$
NaHCO <sub>3</sub>	$1.79  imes 10^{-4}$
$H_3BO_3$	$3.01  imes 10^{-6}$
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	$1.33  imes 10^{-6}$
$\mathrm{ZnCl}_2$	$2.40  imes 10^{-7}$
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	$3.28  imes 10^{-9}$
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	$5.28  imes 10^{-11}$
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	$3.00 \times 10^{-8}$
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	$3.55  imes 10^{-7}$
Na <sub>2</sub> EDTA $\cdot$ 2H <sub>2</sub> O	$8.06  imes 10^{-7}$

#### 2.3. ミジンコ急性遊泳阻害試験

指標とする生物は生後 24 時間以内の *D.* magna (以下ミジンコ)とし,OECD テスト ガイドライン TG202 に準拠した試験方法 で行った.試験条件として,48 時間暴露,濃 度範囲は, $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-2} [mol/L]$ として pH 範囲は *D. magna* が健全に生存できる 7.0±0.1 の範囲内で試験を行った.水温 22°C,48 時間連続照射し,遊泳阻害を観察 した.試験培地としては Table 2 に示した ISO 試験培地を使用した.

## 2.4. 魚類急性毒性試験

指標とする生物はじゅん化を行った *O. latipes* (以下メダカ)とし, OECD テスト ガイドライン TG203 に準拠した試験方法 で行った.試験条件として, 96 時間暴露, 濃 度範囲は、1×10<sup>-10</sup>~1×10<sup>-2</sup>[mol/L]として pH 範囲は *O.latipes* が健全に生存できる 7.0±0.1 の範囲内で試験を行った.水温 22℃, 96時間連続照射し,死亡個体を観察 した.試験培地としては Table 2 に示した ISO 試験培地を使用した.

Table 2ミジンコ急性遊泳阻害試験および魚類急性毒性試験に使用する ISO(International Organization for Standardization) 試験培地の組成

成分名	濃度[mol/L]
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	$2.00  imes 10^{-3}$
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$5.00  imes 10^{-4}$
NaHCO <sub>3</sub>	$7.71  imes 10^{-4}$
KCl	$7.73  imes 10^{-5}$

#### 2.5. QSAR による毒性の解析

2.1~2.4 により得られた急性毒性データから、QSAR を用いた検討を行った.単回帰における検討では 15 種類のパラメータを使用した.使用した 15 種のパラメータを Table 3 に示した.

金属の基本的な性質を示すパラメータと して、opや原子半径(AR)やイオン半径(IR), 他の元素との相互作用の反映も考慮するパ ラメータとして、イオン化指数(Z2/IR)や共 有結合指数(Xm<sup>2</sup>・IR)、生体内におけるア ミノ酸と金属の結合定数として、logKcysや logK<sub>His</sub>などである.opは金属の硬さ・柔らか さを示すパラメータであり、(3)式で示され る.このパラメータは HSAB(Hard and Soft Acids and Bases)則に基づいて金属元素の ソフト・ハードを定量化したものであり、op の値が大きいほどその金属はハードである ことを示す.

$$\sigma_{p}\left[\cdot\right] = \left(\mathbf{E}_{f} - \mathbf{E}_{i}\right) / \mathbf{E}_{f} \tag{3}$$

 $E_f$ : coording bond energy of the metal fluoride[kJ/mol]

 $E_{i}$  coording bond energy of the metal iodide[kJ/mol]

logKmT は生体内に多く存在するメタロ チオネインと、金属の結合定数を示してお り, (4), (5)式で表される.

$$M^{2+} + MT \rightleftharpoons MMT \tag{4}$$

 $K_{MT} = [MMT] / [M^{2+}][MT]$  (5)

メタロチオネインは、金属との親和性が非 常に高いタンパク質として知られており、 重金属などの解毒効果を持っている.また、 構造面では 61 個のアミノ酸残基のうち、20 個をシステイン残基が占めている<sup>4)</sup>.

 Table 3 QSAR による金属の毒性の解析に用いた 15 種のパラメータおよびソウ類、ミジンコ、メダカの相関係数

パラメータ	単位	ソウ類	ミジンコ	メダカ
σр	[-]	0.966	0.819	0.208
イオン半径 IR[Å]	[Å]	0.902	0.705	0.389
イオン化指数 Z²/IR	[Å-1]	0.619	0.580	0.027
LogKmt	[-]	0.475	0.597	0.122
$LogK_{\mathrm{Cys}}$	[-]	0.303	0.434	0.042
LogKAsp	[-]	0.142	0.082	0.182
$Log K_{\rm His}$	[-]	0.106	0.060	0.178
$LogK_{Glu}$	[-]	0.008	0.001	0.399
加水分解定数 LogKOH	[-]	0.287	0.460	0.299
地殻における	[-]	0.327	0.479	0.001
元素の相対存在比 9)				
電気陰性度 Xm	[-]	0.058	0.336	0.181
原子半径 AR	[Å]	0.001	0.018	0.003
地殻における存在量	[ppm]	0.327	0.479	0.001
海洋における	[-]	0.001	0.018	0.003
元素の相対存在比 <sup>9)</sup>				
共有結合指数 Xm <sup>2</sup> IR	[Å]	0.163	0.258	0.164

## 3. 結果と考察

## 3.1. 生物間の EC50, LC50 の比較

Fig.1に金属元素に対する各生物の EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub>を比較したものを示す.Fig.1より,同 じ金属であっても生物の種類によって,毒

性値が異なることがわかる.また,毒性値 には大小関係があり La, Pb を除くすべて の元素でメダカ>ミジンコ>ソウ類という関 係が成り立っている.ここで Pb が上記の 大小関係に従わない理由として, PbCl<sub>2</sub> が 難溶性であることが挙げられる<sup>10)</sup>.



そのため、毒性試験の際に金属が析出・ 沈殿し、各濃度区で実際に溶液に溶け込ん でいる金属の濃度が低くなることが原因と 考えられる.またソウ類の場合, 生長阻害率 を吸光度で測るため, 析出した金属によっ て溶液が濁り,吸光度に大きな誤差を与え ることが考えられる.生物による毒性試験 は中性付近での実施が必要であるため、こ うした金属の毒性については全体の傾向か ら大きく逸脱する.しかしLaの場合,LaCl3 は難溶性を示さず,むしろ水に対し,易溶 性である 10).そのため La が大小関係に従わ ない理由として考えられるのは、生物によ って金属の毒性発現が異なり,同じ金属で も生物によって感受性が異なり毒性が発現 しやすい、または発現しにくいことが考え られる.そのため同じ金属であっても生物 によって特異的に毒性が発現し、大小関係 が生じるのではないかと考えられる.実際 La<sup>3+</sup>はイオンチャンネルのブロッカーとし て働くことが知られており<sup>11)</sup>, このことは 他の金属とは異なる毒性傾向を示す一つの 理由になると考えられる.そこで Fig. 2 に各 金属元素のソウ類の EC<sub>50</sub> とミジンコの EC<sub>50</sub> の関係を示す.またソウ類とミジンコ の毒性値の倍率 (factor)を Fig. 2 の中に示 す.



Fig. 2 各金属元素のソウ類の EC<sub>50</sub>に対す るミジンコの EC<sub>50</sub>の関係

Fig. 2 よりソウ類の EC50 とミジンコの EC50 は R<sup>2</sup>=0.921 と高い相関が得られた.毒 性値の分布を見ると,バラつきは小さく, 毒性値の倍率(ミジンコ/ソウ類)を見る と,0.1~10 の範囲にプロットされており, ソウ類とミジンコの感受性に顕著な差はな いと考えられる.また,ほとんどの金属元素 が,ミジンコ/ソウ類=1の一点破線より上 に分布していることから,ミジンコの感受 性よりも藻類の感受性が高いと考えられる. またミジンコ/ソウ類=1 の一点破線より 下に分布している 2 つの元素は前述の La, Pb であり,ミジンコは La, Pb との感受性 が高いと考えられる.よって Fig. 1 の毒性値 の大小関係に従わない元素である La, Pb は感受性や,溶解度によって大小関係を崩 す特殊な金属であると考えられる.

同様に各金属元素のソウ類の EC<sub>50</sub> とメ ダカの LC<sub>50</sub> の関係を Fig. 3 に示す.



Fig. 3 各金属元素のソウ類の EC<sub>50</sub>に対す るメダカの LC<sub>50</sub>の関係

Fig. 3 よりソウ類の EC<sub>50</sub> とメダカの LC<sub>50</sub>は R<sup>2</sup>=0.148 と低い相関が得られた.毒 性値の分布を見ると,バラつきは大きく, 毒性値の倍率 (メダカ/ソウ類)を見ると, 1~10<sup>4</sup>の範囲に分布しており,ソウ類とメ ダカの感受性は大きく異なることが考えら れる.また,すべての金属元素が,メダカ/ ソウ類=1 の一点破線より上に分布してい ることから,メダカの感受性よりも藻類の 感受性が高いと考えられる.

同様に各金属元素のミジンコの EC<sub>50</sub> と メダカの LC<sub>50</sub> の関係を Fig. 4に示す.Fig. 4 よりミジンコの EC<sub>50</sub> とメダカの LC<sub>50</sub> は R<sup>2</sup>=0.161 と低い相関が得られた.毒性値の 分布を見ると,バラつきは大きく,毒性値 の倍率(メダカ/ミジンコ)を見ると,1~ 10<sup>4</sup>の範囲に分布しており、ミジンコとメダ カの感受性は大きく異なると考えられる.



Fig. 4 各金属元素のミジンコの EC<sub>50</sub>に対 するメダカの LC<sub>50</sub>の関係

また, すべての金属元素が, メダカ/ミ ジンコ=1 の一点破線より上に分布してい ることから, メダカの感受性よりもミジン コの感受性が高いと考えられる.また Fig. 2, 3, 4 よりメダカは特にソウ類とミジンコに 比べ感受性が異なるということが考えられ る.

## 3.2. QSAR による解析

生物によって感受性が異なり,特異的に 毒性が発現する原因を,金属の物性によっ て考察した.使用した 15種のパラメータと それぞれの相関係数を Table 3 に示す.その うち相関の高かったパラメータと毒性発現 に関係するパラメータを用いて考察を行っ た. Fig. 5 に金属の硬さ柔らかさを表すパ ラメータである σ pを用いて各生物の毒性 値を単回帰によって解析した結果を示す.



**Fig. 5** σ<sub>p</sub>を用いたソウ類, ミジンコ, メダ カの EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub>の単回帰による解析

他のパラメータに比べ高い相関係数を示し た $\sigma_p$ でもメダカの LC50に対しては R<sup>2</sup>= 0.208 と低い相関であった.他のパラメータ に比べ高い相関係数を示した $\sigma_p$ でもメダ カの LC50に対しては R<sup>2</sup>=0.208 と低い相関 であった.前述のとおり、メダカのような高 等生物では微生物に比べ、重金属はメダカ に対しては、ミジンコ、ソウ類と比較して、 より複雑な毒性発現を示し、さらにその毒 性に対する耐性の発現も様々な経路を通る ことが予想され、このことがメダカの LC50 が単純に暴露した重金属の $\sigma_p$ だけでは十 分精度良く説明できないことの理由の一つ であると考えられた.

同様に Fig. 6 に,金属の毒性に対する防 御タンパク質として知られるメタロチオイ ンとの結合定数 KmTを用いた各生物に対す る重金属の毒性値を単回帰して解析した結 果を示したが,相関係数で3種の生物を比 較すると Fig. 5 の結果と同様にメダカの LC50に対する相関係数が最も小さい値を示 した.ただし、全体の傾向として $\sigma_p$ に比べ KMTの場合の相関係数は小さくなっていた.



**Fig. 6 LogK**MT を用いたソウ類, ミジンコ, メダカの EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub>の単回帰による解析

以上より本研究で検討した重金属の毒性 に関する QSAR ではσ<sub>p</sub>が最も予測精度の 高いパラメータであることが示された.ま た, QSAR による毒性予測では、メダカに 対する金属の毒性を十分な精度で予測する には至らなかったが、一方、3.1 で検討した 様にメダカ、ミジンコ、ソウ類に対する毒 性の大小関係は、一部の例外的な金属 (Pb とLa)を除いては、有意に成立することが 示された.すなわちメダカに対する毒性が 未知な重金属に対しては、 例えばその σ p からミジンコに対する毒性を予測すること で、少なくともメダカに対する毒性はその 値以下であるという推測は成立することが 示された.つまり毒性の上限値に関して、メ ダカについて予測が可能になったことが示 唆された.このように QSAR 単独では, いさ さか信頼性に欠く毒性予測であっても異な る生物間の毒性に関する大小関係を整理す

ることで,より正確な毒性の予測の可能性 が示されたことが,本研究の最大の成果で あり,今後の水環境の生態系保全を指向す る環境管理体系を構築していく上で,重要 なツールを本研究が提供できるようになっ たといえる.更に多くの金属や他の生物に ついて同様の検討を続け,データを蓄積し ていくことで,他の生物に対する適用の可 能性も期待される.

### 4. 参考文献

 回村秀雄ら,藻類増殖阻害に及ぼす培養 条件の影響と重金属の毒性評価,水質汚濁 研究,vol. 12, No. 10, pp. 654-663, 1989.
 田辺和俊ら,化学物質の毒性情報と構造 活性相関予測,情報知識学会誌,vol. 16, No. 3, pp. 63-84, 2006

3) 鈴木基之ら、"バイオアッセイ水環境の リスク管理", 講談社, pp. 14-19, 1998.
4) 高橋萌ら、レアメタルを含む重金属元素 における生態毒性の構造活性相関(QSAR) を用いた解析,大学コンソーシアム八王子 学生発表会 要旨集, vol. 3, pp. 226-227, 2011

5) 三木健, 生物多様性と生物間相互作用からの物質循環研究:新しい方法論の芽生え日本生態学会誌, vol. 56, pp. 240-251, 2006 6) 茂岡忠義ら, 水生生物を用いた化学物質の安全性評価 - 魚類細胞を用いた毒性評価の安全性評価 () 、衛生化学, での見状・、衛生化学, vol. 33, No. 1, pp. 1-10, 1987

7) Zhao et al., QSAR study of the toxicity of benzoic acids to *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* and *carp*, The Science of the Total Environment vol. 216, pp. 205-215, 1998 8) ECOTOX Database US.EPA
9)松本和子ら、"生物無機化学", 東京化学同人, pp. 104-105, 2003.
10) 電気化学協会編, "電気化学便覧", 丸善株式会社, pp. 90-91, 1964年
11)大門健夫ら, ランタン中毒性腎の微細構造と元素分析, NMCC 共同利用研究成果報文, vol. 10, pp. 103-106, 2002

(平成 25 年 9 月 25 日 受理)

# 平成23年度教員教育研究業績

# 1. 研究論文・著作物・(著書・翻訳書等)

## 一般教育科

戦後中小企業政策における組織化政策の展開 -中小企業等協同組合法制定を巡る議論を中心に
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43 (2) 号, 2012. 3, pp. 9-18) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
占領初期日本社会党の中小企業政策 -1947 年総選挙を中心に-
(『社会経済史学』第 77 巻第 4 号, 2012.3, pp. 95-110) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
技術者倫理教育の立場から東日本大震災を考える
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43(1)号 2011. 12, pp. 5−22) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
「中国科学技術政策史」の試み(その1)
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43(2)号, 2012, pp. 19-30) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・· <b>河村豊</b>
二高専における学生の体格・体力の比較検討
(『高専教育』第 35 号,2012,pp. 559-564) ・・・・・鈴木智之,古屋正俊,黒田一寿,内山了治,児玉英樹,石川美久
『論語』子罕篇「歳寒の松」の解釈とその受容について
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43(1)号,2011. 12,pp. 1-9)・・・・・・・・・・・・・・・・・・ <b>津田潔</b>
Femtosecond-laser-driven photoelectron-gun for time-resolved cathodoluminescence measurement of GaN
([Review of Scientific Instruments] 83, 2012, pp.043905 1-7)
••••••• <b>Takeyoshi ONUMA</b> , Yuji KAGAMITANI, Koji HAZU, Tohru ISHIGURO, Takeo FUKUDA, and Shigefusa F.CHICHIBU
Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective -Part 2: Observations from the First Six Months-
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43(1)号, 2011. 12, pp. 1−4) ・・・・・・・・・・・・・・・・ John Gates
Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective —Part 3: Observations from the First Year—
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43 (2) 号, 2012. 3, pp. 1-4) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
3.11 震災報道にみる対日イメージ分析
(『日英言語文化研究』第3号, 2012.6, pp.51-62) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
国語フレースメントナストの美施報告 (『東京工業京然東明治技研究却生ま』第42(1)日 2011 10 02.07)
(『東京工業局等専門子校研究報告書』第43(1)方, 2011.12, pp. 23-27) ・・・・・・* <b>2011 実育す</b> , 川北光可, <b>澤田藻</b>
Dapanese EFL Learners Tendency Toward Syntactic Production in a Picture-Description Task. Establishing a Daseline for Syntactic
(『大学革語教育学会中部支部紀要』 第9号 2012 3 nn 141-154)
••••••Kaori SUGIURA, Ai HIRAL, <b>Tomoko HORI</b> , Hiroshi NAKANISHI, Emiko IZUMI, Tomoko SAITO, Shuhei
KADOTA, Hisaki SATOI, Yoko MORISHITA, Satoshi YABUUCHI
日本人英語学習者における聴覚性プライミング効果 -単語復唱課題による検討
(『関東甲信越英語教育学会誌』第 26 号,2012. 3,pp. 39-50)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
福島第一原子力発電所事故を高専でどう教えるか
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43 (2) 号,2012. 3,pp. 5−7) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Enhancing Pronunciation Learning through a Web-based Tutorial
(『情報学研究』獨協大学情報学研究所,創刊号,2012.2, pp.53-59)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(『ヘルメスたらの饗宴』音羽香房鶴見香店,2012.3, pp.428-448) ・・・・・ 松島止一編, <b>怪村具田</b> (界22 早担当)
機械工学科
CERP サンドイッチパネルの試作とそのワイヤカット放電加工
(『自動重技術論文集』vol.43, No.1 (2012) pp.153-158) ······ <b>木村南</b> , 鹿窪勇太, 能澤禎乃, 成瀬太一
走行時自転車フレームの3軸加速度測定
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第43巻(1)号,2011,pp.51-56)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
高専・専攻科における炭素繊維強化プラスチックを用いたものづくり (『朔性と加工』 52 巻・611 号 pp 58-59) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Effects of the Air Volume in the Air Chamber on the Performance of Water Hammer Pump
([International Journal of Fluid Machinery and Systems] Vol. 4. No. 2. 2011, pp. 255-261)
••••••••••••••••••••••••••••••••••••••
水撃ポンプシステムの特性に及ぼす排水弁まわりの形状因子の影響
(『ターボ機械』39 巻 6 号,2011. 6,pp. 323-331)・・・・・・・・・・・・斉藤純夫,高橋正旭,永田佳未,出嶌京太
水撃ポンプの揚水弁部の開口面積が性能に及ぼす影響と弁室内流れの挙動
(『ターボ機械』39巻8号, 2011.8, pp. 449-457)・・・・・・・・・・・・・・・・斉藤純夫,出嶌京太,高橋正旭,土方我久

Effects of the Geometry of Components Attached to the Drain Valve on the Performance of Water Hammer Pumps ([International Journal of Fluid Machinery and Systems] Vol.4, No.4, 2011, pp.367-374) 円柱棒による風車用厚翼における失速現象の制御と翼周りの流れの挙動 (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43(1)号,2011, pp.29-36) ・・・斉藤純夫,山科貴裕,高橋正旭,岩村拓哉 ボルテックスジェネレータを付加した翼型の流体力学的特性と翼周りの流動状態 (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43(1)号, 2011, pp. 37-44) ••••••••••••••••••••••••••••••**斉藤純夫**,高橋賢羽,山口強太郎,岩村拓哉,竹下恵一朗,高橋正旭 軸流ポンプのキャビテーション発生状況と壁面圧力変動およびケーシング振動のウェーブレット解析 水撃ポンプの性能に及ぼす圧カタンク内空気量の影響と弁室内流れの挙動 (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43(2)号, 2012, pp. 67-72) Non-invasive spatial visualization system of exhaled ethanol for real-time analysis of ALDH2 related alcohol metabolism ([Analyst] 136(18), 2011, pp. 3680-3685) •••••Xin Wang, Eri Ando, Daishi Takahashi, Takahiro Arakawa, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Kohji Mitsubayashi) Fluorescence immunoassay using an optical fiber for determination of Dermatophagoides farinae (Der f 1) ([Environmental Monitoring and Assessment] 182(1-4), 2011, pp. 233-241) ••••••Kumiko Miyajima, Gen Itabashi, Tomoyuki Koshida, Keiko Tamari, Daishi Takahashi, Takahiro Arakawa, Hiroyuki Kudo, **Hirokazu Saito**, Kazuyoshi Yano, Kiyoko Shiba, Kohji Mitsubayashi) 生体エネルギーハーベスティング駆動による人工血糖制御システムに関する研究 (『アクチュエータ研究開発の最前線』第2編第12節, 2011.8, ビーケーシー, 東京 pp. 355-361,) ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さに及ぼす結晶面の影響 (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43巻・2号, 2012.3, pp.97-101) ・福田勝己, 小林光男, 角田陽, 高畦千翔 直円管内における振動流中のガス輸送と乱流遷移 (『日本機械学会誌 B 編』78 巻・785 号, 2012.1, pp. 17-26) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・清水昭博, 清水優史, 菅原路子 高分子圧電フィルムを用いた接着接合部のひずみ分布測定 (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43(2)号,2012.3, pp.87-90) ・・・・・・・・・**志村穣**,有田克也,黒崎茂 地元企業技術者向け機械系工学講座の取り組み (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43(2)号, 2012.3, pp.91-95) ・・・・・・・・・・・・・・・・多羅尾進,福田勝己,志村穣,藤野宏,鎌田千詩,大塚友彦,三谷知世,佐々木桂一 波型突き合わせ接着継手の力学特性に関する有限要素応力解析による検討 Analysis of In-Plane Problems with Singular Disturbances for an Isotropic Elastic Medium with Two Circular Holes or Rigid Inclusions ([Journal of Environment and Engineering] Vol.6, No.4, 2011 (June), pp. 778-791) •••••• Mutsumi MIYAGAWA, Takuo SUZUKI and Jyo SHIMURA ピエゾケーブルを用いた繰返し荷重による動ひずみ検出法について Prototyping of a motion base for a desktop interaction system, consisting of a combination of a wheel drive and a parallel mechanism ([International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics], Vol. 36, No. 1-2, June, 2011, pp. 183-189) 東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開 -第3報マイクロ加工の適用-(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 2012.3, 2(43), pp.77-80) ・・角田陽, 多羅尾進, 齊藤浩一,堤博貴,志村穰 小学校科学教育支援と工学系学生のキャリアアップを意識したPBL教育の試み (『工学教育』, 2012.3, 60, 2, 2.34-2.38)・・・・・・・堤博貴,新國広幸,北越大輔,安田利貴, 菊池章, 三谷知世 粘塑性・クリープ分離型構成モデルの鉛フリーはんだへの適用 (『日本機械学会論文集(A編)』77巻780号, 2011.8, pp.1169-1177)・・・林文晴,海老原理徳,浅井竜彦,渡邉裕彦 はりに生じる応力分布の視覚化教材の効果の検証 電気工学科 電磁界解析のための数学的一手法 -平面回折格子からの過渡散乱を例にして-

(『社団法人日本数学教育学会高専・大学部会論文誌』VOL.18 No.1, 2011.12, pp.53-58)	•	•	•	• •	• • • •	・伊藤彰
持続可能社会の構築に向けてのエネルギーマネジメント技術の開発						
(『環境技術』Vol.40, No.11, 2011.11, pp.682-685) ・・・・・・・・・・・・・・・・	•	•	•	•••		・土井淳
電気自動車の普及に因る電力需給への影響						
(『東京工業高等専門学校研究報告書』,第 43 (1) 号,2011. 12,pp. 57-62) ・・・・・・	• •	•	•	•••	中島竜淮	∉, <b>土井淳</b>

電験3種知識問題重点マスター	
(リックテレコム,2011.6)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤勝雄, <b>土井淳</b> ,(	尹庭健二
6日でマスター!電磁気学の基本66	
(オーム社, 2011.10) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	・土井淳
教えて?わかった!電気回路	
(オーム社, 2011.12) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	・土井淳
閉ループステップ応答データを用いた機械系の周波数応答推定	
(『電気学会電子・情報・システム部門誌』131-C 巻 4 号,2011. 4,pp. 751-757) ・・・松井義弘,木村知彦,「	中野和司
化合物半導体 GaS のガラス基板上結晶成長	
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43 (2) 号,2012. 3,pp. 113-116) ・・・・・・・・・・・・・・・・	・伊藤浩
フォトリングラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発	
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43 (2) 号, 2012. 3, pp. 107-112) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	新國広幸
偏波保持光ファイバを用いた光マイクロホンの特性評価	
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43 (2) 号, 2012. 3, pp. 103-106) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	新國広幸
ピエゾフィルムを用いた動ひずみの可視化フィルムの開発	
(『日本機械学会論文集(A 編)』78 巻,789 号,2011. 10,pp. 684-688) ・・・黒崎茂,原亜三都,吉田顕大,	新國広幸

#### 電子工学科

東京高専の人材育成の取り組み
(『工学教育』59・5, 2011.9, pp. 103-108)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
高専ブランドカの向上をめざして~東京高専ファンづくりプロジェクト~
(『日本高専学会誌』,第16巻,第2号, 2011.4, pp.21-24)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
アモルファスシリコンを用いて試作した MOSFET の電流-電圧特性
(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 43(2)号,2012. 03,pp. 117-121)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
半導体に親しむための実験授業
(『高専教育』第 34 号(2011) pp. 113-118) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Development of 100-W High-Efficiency MPPT Power Conditioner and Evaluation with Battery Load
(『Journal of Electronic Materials』 40, 5, (2011), pp.657)
••••••••••••••••••••••••••••••••••••••
Vapor-Solid-Solid Si Nano-Whiskers Growth Using Pure Hydrogen as Source Gas,
([Thin Solid Films] vol.519, (2011)issue 14, pp.4613-4616)
••••••Hiroshi Nagayoshi, H.Nordmark, S.Nishimura and K.Terashima, C.D.Marioara, J.C.Walmsley,
R.Holmestad and A.Ulyashin
DEVELOPMENT OF HIGH EFFICIENCY TE POWER CONDITIONER FOR BATTERY LOAD SYSTEMS
(∬Journal of Thermoelectricity』No4, (2011) pp.89-94) ········· Hiroshi Nagayoshi, T.Kajikawa
情報工字科
プログラミング言語演習対日のための支援システムの構築
(設立年『京南教芸』25 早 9019 2 mm 121-126) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(ml大来『同守秋月』 35 万, 2012.3, pp. 131 130) ····································
(『宙古丁業真笑声明受校研究報告書』第43号(2) 9012 3 pp 123-126) ・・・・・・小振録文 幼妹勝士 古太完備

(『IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences』, vol.E94-A, no.12, Dec., 2011, pp.2728-2736)

### 物質工学科

#### アルミナ溶融塩電解に伴うカソード黒鉛の電気抵抗変化」

(『炭素』2011, No. 249, pp. 191-194) ・・・・・・・・・・・・・**阿久沢昇**, 古茂田朋寛, **玉田耕治**, 平山貴啓, 今川博 Application of alkali metal-doped carbons for hydrogen recovery and isotope separation

(『J.Nanosciences and Nanotechnology』 vol.11, 2011, pp.1-4)

紙の変色を用いた日焼け止め効果の評価とその応用を利用した日焼け止めクリームの開発 ホウ素を添加したケイ素焼結体の電気特性紙 (『Material Technology』 Vol. 29, No. 5, 2011, pp. 161-166)・・・・・・・・・・・・・・松石早矢, 北折典之, 大西則彦 Performances of Small-Sized Generator of Ozoned-Dissolved Water Using Boron-Doped Diamond Electrodes ([Ozone: Science & Engineering] Vol. 33 , 2011, pp. 114-120) 軟体動物二枚貝類閉殻筋における構造タンパク質トロポミオシンの比較生化学的解析 (『東京工業高等専門学校研究報告書』第43(1),2011, pp.63-69) ・・・・・・・・伊藤篤子,宮下麻利恵,野口尊生 柿渋めっき皮膜の安定性と金属溶出による毒性 Analysis of Ammonia Toxicity in Landfill Leachates ([International Scholarly Research Network, ISRN Toxicology] 954626, 2011.10, pp.1-6) • • • • • • Takuya Osada, Keisuke Nemoto, Hitoki Nakanishi, Ayumi Hatano, Ryo Shoji, Tomohiro Naruoka, Masato Yamada LDL uptake of Liver Cells (Bioassay and Bio-informatics for Environmental Assessment and Medicinal Sciences edited by Hideo Utsumi, Katsuhiko Nakamuro, Kougaku-Tosho, Publishers, Ltd. J 2011.12, pp.94-105) •••••• Akiyoshi Sakoda, Yasuyuki Sakai, **Ryo Shoji** 燃料電池中の触媒 Ni および Co の溶出性と毒性 (『廃棄物資源循環学会論文誌』23,2012.1) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・、太田直人,城石英伸,庄司良 Performance of Intermediate Temperature Fuel Cells with Proton Conducting Electrolytes Synthesized with Diammonium Hydrogen Phosphate(1) ([Key Engineering Materials] (485(2011) pp.145-148) ••••• Minoru Yonekawa, Shigeki Kano, **Hidenobu Shiroishi**, Hikaru Tateishi, Yusuke Ayato, Morihiro Saito, Jun Kuwano 「ものづくり基礎工学」における安全教育の推進とビジュアル教材の開発に向けた取り組み (『東京工業高等専門学校研究報告書』 42(2), 2011, pp. 137-140) ・・・・・・城石英伸,清水昭博,大貫繁雄,大塚友彦,西村亮,鈴木塔二,藤野宏,降矢司,中村源一郎,新田武父, 雜賀章浩 課題を解決する高い能力を有する若い学生の育成を目指して(1)-低学年科目における積極的コンピュータ活用を通して-([Journal of Technology and Education], 18(1), 2011, pp.29-38) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・·城石英伸,工藤節子,**雑賀章浩,中野雅之,大野秀樹** Preparation of thermoplastic elastomer from natural rubber grafted with polystyrene ([European Polymer Journal], 47(3), 2011, pp. 330-337) Degradation of EPDM seal used for water supplying system ([Polymer Degradation and Stability] 96(7), 2011, pp. 1236-1241) · · · · · Tsutomu NAKAMURA, Oraphin CHAIKUMPOLLERT, Yoshimasa YAMAMOTO, Yoshito OHTAKE, Seiichi KAWAHARA Polymer electrolyte membrane with nanomatrix channel prepared by sulfonation of natural rubber grafted withpolystyrene ([Journal of Applied Polymer Science] 122(4), 2011, pp. 2403-2414) •••••Patjaree SUKSAWAD, Kenichiro KOSUGI, Yoshimasa YAMAMOTO, Keiichi AKABORI, Hirofumi KURODA, Seiichi KAWAHARA Characterization of poly (1-methyl-1,4-butanediol-1,4-diyl/2,3,4-trihydro-5-methylfuran-2,5-diyl) prepared from natural rubber through 2D NMR spectroscopy ([Journal of Applied Polymer Science] 122(5), 2011, pp. 3423-3429) Low temperature degradation and characterization of natural rubber ([Polymer Degradation and Stability] 96(11), 2011, pp. 1989-1995) · · · · · Oraphin CHAIKUMPOLLERT, Kewwarin SAE-HENG, Osamu WAKISAKA, Akio MASE, Yoshimasa YAMAMOTO, Seiichi KAWAHARA Morphology and properties of natural rubber with nanomatrix of non-rubber components ([Polymers for Advanced Technologies] 22(12), 2011, pp. 2665-2667) ••••••••••• Seiichi KAWAHARA, Oraphin CHAIKUMPOLLERT, Keiichi AKABORI, Yoshimasa YAMAMOTO 2. 学会における口頭発表 一般教育科

 戦後中小企業政策における組織化政策の始まり一商工協同組合にみる組織原理 海外インターンシップの立ち上げについて ― 東京高専の事例紹介 (国立高専機構留学生交流促進センター主催留学生・国際交流担当者研究集会, 2011.8)・・・・・・・・竹田恒美 Surface recombination in polar and nonpolar GaN surfaces (The 5th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors, 2011.5) ZnO growth for transparent electrodes by compound-source MBE (The 5th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors, 2011.5) Comparative study of surface recombination in hexagonal GaN and ZnO surfaces (The 28th North American Conference on Molecular Beam Epitaxy (NAMBE 2011), 2011.8) Recombination dynamics in polar and nonpolar GaN surfaces (30th Electronic Materials Symposium, 2011.6) 極性および非極性 GaN 表面における表面再結合過程 (秋季応用物理学会, 2011.9)・・・・・・・・・・・・・坂井直之, 井垣辰浩, 尾沼猛儀, 山口敦史, 山口智広, 本田徹 六方晶 GaN と ZnO における表面再結合の比較 (秋季応用物理学会, 2011.9)・・・・・・・・・・・・・・尾沼猛儀, 坂井直之, 井垣辰浩, 山口智広, 山口敦史, 本田徹 AI および AIOx 膜堆積が極性 GaN の PL 強度に与える影響 (春季応用物理学会, 2012.3)・・・・・・・・・・・・・・・・・坂井直之,尾沼猛儀,山口敦史,山口智広,本田徹 極性・非極性バルク ZnO 表面における CL スペクトルの比」 (春季応用物理学会, 2012.3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・尾沼猛儀, 大林亨, 山口智広, 山口敦史, 本田徹 英語活字メディアにおける東日本大震災報道の分析~言語コーパスの利用を通して~ 英語のリズムの音声的実現における日英語話者間の相違 -長さと口の開口度の違いを中心に (第 25 回日本音声学会全国大会, 2011.9, pp. 121-126) ・・・森庸子, 堀智子, Donna Erickson, 渋谷良穂, 末光厚夫 The auditory priming effect in Japanese learners of English: Effects of voice specificities and word stress patterns The roles of duration, F0, F1, and jaw displacement in the realization of accent for English vs. Japanese speakers (International Conference of Phonology and Phonetics, 2011.12, p.39) Research on the Use of Peer Review Activities in EFL College Settings 

#### 機械工学科

Web 技術データベースによる自動車用途繊維強化プラスチックの成形技術調査
(平成 23 年度塑性加工春季講演会,2011.5,pp.85-86)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
炭素繊維強化プラスチックの深絞り加工」
(平成 23 年度塑性加工春季講演会,2011.5,pp.87-88) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
GPS 機能付きサイクルコンピュータを利用したダイエット実験
(2011 年度マイクロメカトロニクス学術講演会,2011.9,pp. 1-2) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ <b>木村南</b>
非舗装路における自転車乗車時の加速度測定
(シンポジウム:スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2011,pp. 94-99) ・・・・・・・・・・ <b>木村南</b>
CFRP を利用したカートの軽量化・補強技術
(第3回日本複合材料会議(JCCM-3),2012.3,pp.200-203)・・木村南,堀之内翔馬,須永大樹,若生朋宏,山岸勇介
炭素繊維強化プラスチックを用いたチェーン用スプロケットの試作
(2011 年度自動車技術会春季講演会,2011.5,No.32-11,pp.9-14)・・・・・・・・・・・・・ <b>木村南</b> ,堀之内翔馬
自動車用途複合材料の調査および炭素繊維強化鋼材の試作
(第 62 回塑性加工連合講演会,2011. 10,pp. 553-554)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
炭素繊維積層強化管材の試作
(第 62 回塑性加工連合講演会,2011. 10,pp. 555-556)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ <b>木村南</b> ,若生朋宏
炭素繊維強化管材の試作
(第 62 回塑性加工連合講演会,2011. 10,pp. 181-182)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ <b>木村南</b> ,須永大樹
自動車軽量化のための複合材料に関する一考察
(第 55 回日本学術会議材料工学連合講演会,2011. 10)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
CFRP 製カート用シートの試作
(第 62 回塑性加工連合講演会,2011.10,pp.183-184)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

風車用翼型における翼面粗さおよび円柱棒による流動状態の変化 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.144-145) 風車翼の失速特性に及ぼす翼面状態の影響 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.146-147) 軸流ポンプの流れ解析によるキャビテーション性能予測 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.148-149) ・・・・・・・・・土方我久, 斉藤純夫 水撃ポンプの性能に及ぼす圧力タンク内空気量の影響 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.160-161)・・・・・佐藤敬侍,塚原望,斉藤純夫 風車翼の流動状態と失速特性に及ぼす簡易デバイスの影響 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 166-167) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・大沢佳,上野宗太郎,岩村拓哉,高橋正旭,**斉藤純夫** 水撃ポンプの性能に及ぼす寸法効果の影響 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.172-173) ・・・・・佐藤敬侍, 塚原望, 斉藤純夫 風車用翼型として用いられる厚翼の失速前後における可視化手法による流動状態の検討 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 174-175) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・上野宗太郎,大沢佳,岩村拓哉,高橋正旭,**斉藤純夫** 風車翼の翼周りの流動状態に及ぼす簡易デバイスの影響 (日本機械学会 関東学生会第51回学生員卒業研究発表会講演会 講演前刷集, 2012.3, pp. 191-192) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・大沢佳,岩村拓哉,高橋正旭,上野宗太郎,**斉藤純夫** Effects of the Air Volume in the Air Chamber on Water Hammer Pump Performance and Flow Behavior in the Valve Chamber (8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Songdo Convensia Center, Incheon, Korea, March 18-21, 2012, GSF26-12) Control of Stall Phenomena in a Thick Wind Turbine Blade by a Cylindrical Rod and the Behavior of Flow around the Blade (8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Songdo Convensia Center, Incheon, Korea, March 18-21, 2012, GSF20-1) 血管穿刺訓練用ハプティックデバイスの試作 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会, 2012.3, pp. 15-16) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤政哉,香川亮太,高木寛之,**多羅尾進,齊藤浩一** 焦電センサを用いたヒト追従機構の試作 (日本機械学会関東学生会第51回学生員卒業研究発表講演会, 2012.3, pp. 329-330)・・・・・・・嶽明憲, **齊藤浩一** 採血支援のための静脈穿刺機構の試作 (日本機械学会関東学生会第51回学生員卒業研究発表講演会, 2012.3, pp. 35-36)・・山本周平, 佐藤政哉, **齊藤浩一** 後付け搭載可能な福祉車両用電動シートの駆動機構に関する研究 (日本機械学会関東学生会第51回学生員卒業研究発表講演会, 2012.3, pp. 351-352) ·····中北貴大、**多羅尾進、齊藤浩一** 血管穿刺訓練用ハプティックデバイスの試作 (ライフサポート学会 第21回フロンティア講演会, 2012.3, pp.43) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤政哉,香川亮太,髙木寛之,**多羅尾進,齊藤浩一** 冷凍チャックによる無痛採血針の加工方法の開発 (ライフサポート学会 第21回フロンティア講演会, 2012.3, pp.119) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・香川亮太,高木寛之,佐藤政哉,**角田陽,多羅尾進,齊藤浩一** 近赤外線を用いた静脈検出方法における検出位置精度の検討 (ライフサポート学会 第21回フロンティア講演会, 2012.3, pp.102) 焦電センサを用いたヒト追従機構に関する研究 採血支援のための静脈穿刺機構の開発 (ライフサポート学会 第21回フロンティア講演会, 2012.3, pp. 105)・・・・・・・山本周平, 佐藤政哉, **齊藤浩一** 後付け搭載可能な福祉車両用電動シート制御システムの試作 (ライフサポート学会 第21回フロンティア講演会, 2012.3, pp. 131)・・・・・・・中北貴大, 多羅尾進, 齊藤浩一 ハプティック技術を応用した血管穿刺訓練シミュレータの試作 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.192-193)・・・・佐藤政哉,多羅尾進,**齊藤浩一** 近赤外線を用いた自動採血のための静脈探査に関する研究 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.194-195)・・・・・・・・高木寛之, **齊藤浩一** 採血支援のための静脈穿刺機構の研究 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 196-198) ・・・・・・・・山本周平, **齊藤浩一** 

127

福祉車両用電動シートの駆動機構及び制御システムに関する研究 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.200-201)・・・・中北貴大,多羅尾進,齊藤浩一 焦電センサを用いたヒト追従機構の開発 採血技術訓練用ハプティックデバイスに関する研究 (日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2011,2011.11,p3) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤政哉,香川亮太,高木寛之,**多羅尾進,齊藤浩一** 無痛自動採血システムの開発と課題 (熊本県工業連合会 くまもと技術革新・融合研究会 第261回RISTフォーラム, 2011.9)・・・・・・・ 齊藤浩一 冷凍チャックを用いた無痛微細針の開発 (生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011, 2011.9, p43 (CD-ROM p47)) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・香川亮太,高木寛之,佐藤政哉,**角田陽,齊藤浩一** 採血シュミレーション訓練用ハプティックデバイスに関する研究 (生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011, 2011.9, p45 (CD-ROM p29)) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤政哉,香川亮太,高木寛之,**多羅尾進,齊藤浩一** 自動採血のための近赤外線を利用した静脈探査方法に関する研究 (生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011, 2011.9, p87 (CD-ROM p12)) 採血訓練のための血管穿刺シミュレータに関する研究 (第50回日本生体医工学会大会, 2011.4, 生体医工学 49 suppl.1, p140) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤政哉,香川亮太,髙木寛之,**多羅尾進,齊藤浩一** 近赤外線を用いた自動採血のための静脈探査の基礎的検討 (第50回日本生体医工学会大会, 2011.4, 生体医工学 49 suppl.1, p35) 冷凍チャックを用いた無痛微細針の加工に関する研究 (第50回日本生体医工学会大会, 2011.4, 生体医工学 49 suppl.1, p36) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・香川亮太,高木寛之,佐藤政哉,**角田陽,齊藤浩一** 圧力円筒テーパねじ端の荷重分布へ及ぼすかみ合いねじ部長さの影響 (日本機械学会 2011年度年次大会, 2011.9, G030161) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・·萩谷佳大,吉田淳一,小林光男,五十嵐智也,**福田勝己**,辻裕一 ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さに及ぼす結晶面の影響 (第55回日本学術会議材料工学連合講演会, 2011.10, pp.27-28) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・·福田勝己,小林光男,角田陽,高畦千翔,本多千絵 微小領域における摩擦特性(第3報) (第55回日本学術会議材料工学連合講演会, 2011.10, pp.39-40) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・·**福田勝己**,小林光男,鈴木健司, 藺牟田桂, 繁山航 波動逆解析による内部欠陥の可視化システムの開発 (第55回日本学術会議材料工学連合講演会,2011.10, pp.220-221)・・・・・・・・・・・・・・福田勝己,西村良弘,齋藤直也 GFPR 製ねじの締付け及び強度特性に及ぼすナット高さの影響 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・小林光男,**福田勝己**,後藤芳樹 (精密工学会 2011 年度 大分地方講演会, 2011.12) 微小領域におけるトライボロジー特性評価(第6報) (日本機械学会関東支部第18期総会講演会, 2012.3, pp. 395-396) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・·福田勝己,小林光男,鈴木健司,堤博貴,藺牟田桂,繁山航 ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さ評価 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会, 2012.3, pp. 431-432) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・·福田勝己,小林光男,**角田陽**,高畦千翔,本多千絵 フラーレン薄膜の機械的特性 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会,2012.3, pp.435-436) ・・・・福田勝己,小林光男,尾上順,宇津木幸治 ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さ値に及ぼす結晶面の影響(第3報) (日本機械学会東海支部第 61 期総会・講演会, 2012.3, p531) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・福田勝己,小林光男,角田陽,高畦千翔,本多千絵 微小領域におけるトライボロジー特性評価(第7報) (日本機械学会東海支部第 61 期総会・講演会, 2012.3, p532) 波動逆解析による内部欠陥の可視化システムの構築(第2報) (日本機械学会東海支部第 61 期総会・講演会, 2012.3, p605)・・・・・・・・・・・福田勝己, 西村良弘, 齋藤直也 Construction of System for Visualizing Internal Defects by Wave Motion Inversion Analysis [APPLIED ELECTROMAGNETICS AND MECHANICS], Proceedings of The 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, 7-9 September 2011 Napoli Italy, pp. 369-370)  STUDY OF VISUALIZING OF INTERNAL DEFECTS IN CERAMIC PRODUCTS USING UT PROBE ARRAY ([36th International Conference on Advanced Ceramics and Composites (ICACC)], 21 January 2012 Daytona Beach USA) リフレッシュ機能付き振動流による換気 (日本機械学会第24回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2012.1, pp. 7H11) 管内間欠振動流の可視化 (日本機械学会第24回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2012.1, pp. 7H12) 有限長管路内振動流の圧力損失に及ぼす管路長さの影響 (日本機械学会第24回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2012.1, pp.7H13) ••••••**清**水昭博,秋田谷修,清水優史,菅原路子 曲げモーメントを受ける歯付軸締結要素の力学特性 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会,2012.3, pp. 571-572)・・大塚仁,志村穰,黒崎茂,峯尾一幸,平間隆之 接合部に波型形状およびスカーフ角度を有する複合接着継手の引張強度特性 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会,2012.3, pp. 573-574) ・・・・・・志村穰,川瀬遥平,黒崎茂,田宮高信 重ね合わせ接着継手の継手形状の最適化に関する研究 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会,2012.3, pp.575-576)・・・・・・前川富哉,志村穰,黒崎茂,宮川睦巳 引張荷重を受ける擬似等方積層 CFRP 単純重ね合せ接着継手の応力解析と強度 (日本機械学会関東支部第18期総会講演会,2012.3, pp.49-50)・・・・・・・小坂典嵩,志村穰,黒崎茂,鈴木拓雄 コンクリート構造物における鉄筋歯付軸締結要素の実用化に関する基礎研究 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.368-369) ・・・・・・志村穰, 峯尾一幸, 黒崎茂 FEM 応力解析を利用したローラチェーンの力学特性改善に関する研究 接合部に波型形状およびスカーフ角度を有する複合接着継手の強度特性に関する研究 重ね合わせ接着継手の継手形状の最適化に関する研究 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.182-183) ・・・・・・・・・前川富哉, 志村穰 歯付軸締結要素の力学特性に関する FEM 応力解析による検討 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.184-185)・・・・・・大塚仁, 峯尾一幸, 志村穰 FEM 応力解析による耐震補強金物部材の力学特性の検証 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.186-187)・・・・佐久間大海,峯尾一幸,志村穰 擬似等方性積層 CFRP-Metal 単純重ね合せ接着継手の三次元有限要素応力解析 (軽金属学会第121回秋期大会,2011.11, pp.85-86) ・・・・・・・・・・・・あ村穰,小坂典嵩,黒崎茂,鈴木拓雄 FEM 応力解析による歯付軸締結要素の力学特性の検討 (山梨講演会 2011, 2011.10, pp.258-259)・・・・・・・・・・・・・・大塚仁,志村穰,黒崎茂,峯尾一幸,平間隆之 各種波型突き合わせ接着継手の力学特性に関する解析的研究 (日本機械学会 2011 年度年次大会, 2011.9, DVD-ROM (No. 11-1 G030072) ・・志村穰, 加賀見拓磨, 黒崎茂, 宮川睦已 波型突き合わせ接着継手の力学特性に関する有限要素応力解析による検討 (第248 回材料試験技術シンポジウム, 2011.7)・・・・・・・・・・・・・・**志村穰**, 米満駿介, 黒崎茂, 宮川睦巳 波型突き合わせ接着継手の接合部最適形状に関する研究 (日本設計工学会平成23年度春季大会研究発表講演会,2011.5, pp.51-52) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・**志村穰**,加賀見拓磨,黒崎茂,宮川睦巳 歯付軸締結要素の力学特性に関する FEM 応力解析による検討 (日本設計工学会平成23年度春季大会研究発表講演会,2011.5, pp.1-2) 繊維配向角の異なる擬似等方積層 CFRP 単純重ね合せ接着継手の有限要素応力解析 (日本設計工学会平成23年度春季大会研究発表講演会,2011.5, pp.3-4)・・・小坂典嵩,志村穰,黒崎茂,鈴木拓雄 Motion Simulator for a Multi-Degree-of-Freedom Magnetically Levitated Robot ([Proceedings of 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2011)], December, 2011, pp. 869-874) Motion Simulator for Collaborative Work Planning Between a Magnetically Levitated Robot and an Industrial Robot (ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2011), November, 2011, 64070) 磁気浮上ロボットと産業用ロボットとの協調作業に向けた実験システムの構築 (日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '11 講演論文集, 2011.5, 1A1-D06,) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 津田尚明, **多羅尾進**, Moein Mehrtash, Mir Behrad Khamesee 自走型6自由度モーションベースの試作 (2011 年度マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集, 2011.9, pp. 11-12) ・・・多羅尾進, 佐藤政哉, **齊藤浩一** 

<b>サービスメカトロニクス・社会実装インターンの試行</b> (日本ロボット学会第 29 回学術講演会予稿集, 2011.9, AC1C3-4)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
人が搭乗できる屋外自動走行ロボットの開発 - 車体機構の設計と試作- (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.176-177) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
移動ロボット用3次元測域システムの試作と応用 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.188-189)・・・・・大森実,佐々木理, <b>多羅尾進</b>
小型ロボットへの多機能ビジョンシステムの実装とそれを利用したサービスロボットの試作 (第3回大学コンソーシアムル王子学生発表会要旨集 2011 12 pp 190-191)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<b>屋外自立走行ロボット高尾1号の環境認識機能強化</b> (第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集,2011.12, pp.1121-1122)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(つくばチャレンジ 2011 開催記念シンポジウム参加レポート集, 2012.1, pp. 113-114) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
慣性センサを組み込んだ屋外自動走行ロボットの自己位置推定実験 (日本機械学会関東学生会第51回学生員卒業研究発表講演会,2012.3, pp.363-364)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会, 2012.3, pp. 23-24) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(ISTP-22 Delft, Netherlands 2011.11, pp.161-6oage on USB memory is distributed) ・・・・・ Kentaro Tsutsui 排熱による圧縮空気を用いた発電方法の検討
(日本機械学会関東学生会第 51 回学生員卒業研究発表講演会 2012.3, pp. 251-252)・・・・・野村優介, 筒井健太郎 灯油を代替燃料とした内燃機関の性能特性
(日本機械学会関東学生会第51回学生員卒業研究発表講演会2012.3, pp.259-260)・・・・・海津圭佑, 筒井健太郎 水スターリングエンジンを利用したポンプの試作
(日本機械学会関東学生会第51回学生員卒業研究発表講演会2012.3, pp.271-272)・・・・・海津圭佑, 筒井健太郎 圧電素子を用いたすべり案内面における浮き上がり変位補正に関する研究 ー制御システムの構築
<ul> <li>(『自動制御連合講演会』2011.11,54)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(日本産業技術教育学会技術教育分科会第17回研究会,2011.12)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(日本機械学会 関東支部第 18 期総会講演会講演論文集, 2012. 3, pp. 317-318) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
雷気工学科
FILT 法による半面回折格子からの電磁波散乱過渡解析 (電気学会 平成 23 年基礎・材料・共通部門大会, 2011.9, p. 148)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
字科傾断型コース制の試行 (平成 23 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会, A-03, 2011.8,『概要集』pp. 403-404)
電力流通における無効電力の価値評価手法 (第2回士学习)2012-22210-1-122-2011-12-2006-07)
(第3回人子コンノージ) ム八王丁子生発表云,2011.12, pp. 96-97) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Fictitious Reference Iterative Tuning for State Feedback Control of Inverted Pendulum with Inertia Rotor (Proceedings of SICE Annual Conference (SICE2011), 2011.9, pp. 1087–1092)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Yoshihiro Matsui, S. Akamatsu, Tomohiko Kimura, K. Nakano, K. Sakurama FRIT による状態フィードバックゲインチューニング
(電気学会 C 部門大会, 2011.9, TC11-3)・・・・・・・・松井義弘, 赤松駿一, 木村知彦, 中野和司, 桜間一徳 閉ループ外乱応答データを用いた慣性ロータによる倒立振子の周波数応答推定
(SICE 第2回ノフントモアリンクンンホンワム, 2011.10, pp. 39-42) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<b>閉ルーフ応答テータを用いたFRIT法とループ整形の併用による状態フィードバックゲイン調整</b> (電気学会制御研究会, 2011.12, CT-11, pp. 61-66)・・・・・・・・・・・・・・ <b>松井義弘</b> , 赤松駿一, <b>木村知彦</b> , 中野和司

1 組の閉ループ過渡応答データを用いた周波数領域における状態フィードバックゲイン調整 (計測自動制御学会 第12回制御部門大会, 2012.3, p0102)・・・・・・・・・・・松井義弘, 木村知彦,	中野和司
Fictitious reference tuning using information in frequency domain	
(IFAC Conference on Advances in PID Control (PID'12), 2012.3, WeA2.2) •••••••••••••••••••••••••••••••••••	K. Nakano
	14 11 44 71
(平成23年電気字会産業応用部門大会,2011.9, pp.1-695-1-698)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	松井義弘
(平成 24 年電気学会全国大会、2012.3、pp. 61-62) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	松井義弘
反応性スパッタ SiNx:H 薄膜の作製と評価	
(応用物理学関係連合講演会, 2012.3, 16P-GP10-7)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	大山昌憲
(日本気象子会 2011 年度秋季大会講演 ) 福集, 2011.11, pp. 167)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	村田推囲
電子情報通信学会 機構デバイス研究会、2011.12. 電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス. np.1-3)	
	須原啓一
銅電極間アークの電圧電流特性と消滅特性	
(電子情報通信学会 機構デバイス研究会, 2012.3, 電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス, pp.17-20)	
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	須原啓一
「RI の仏感ノイートハック制御への心用 (雷気学会研究会資料 CT 2011(1) nn 25-28 雷気学会 2011 6)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	松井義弘
間ループ応答データに基づく周波数応答推定におけるノイズの影響	1471 496 34
(平成 23 年電気学会 電子・情報・システム部門大会 , 2011.9) ・・・・・・・・・・・・・・・ <b>木村知彦</b> ,	松井義弘
<b>観測雑音を伴う閉ループ系における制御対象の周波数応答推定</b> (電気学会制御研究会, 2011.12) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	松井義弘
電子工学科	
『東方京東ファンベノリプロジェクト』にトスブランドカ向トの試み	
(平成 23 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会, 2011.8, pp. 447-448)	
·····································	新國広幸
New Ridge Flux Analysis for Fingerprint Minutiae Detection	
(『Proceedings of IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA2011)』2011.5, pp.231-234)	
·····································	o Ohtsuka
	新田守公
CO ガスセンサ用 MoO 系薄膜の形成 III	
(第72回応用物理学会学術講演会予稿集, 2011.8, p. 18-007)	
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	岩瀬満雄
DEVELOPMENT OF HIGH EFFICIENCY TE POWER CONDITIONER FOR BATTERY LOAD SYSTEMS	
(XIV Forum on Thermoelectricity, 2011.6) • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	Kajikawa
(30th International Conference on thermoelectronics 2011 7)	
••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	Kajikawa
The Influence of Si Doping to BP (100) Layer on Si (100) by TEM	
(MRS Fall Meeting, 2011.12) • • • Muneyuki Hirai, Suzuka Nishimura, <b>Hiroshi Nagayoshi</b> and Kazutaka 1	Terashima

Overview of Surface Modification on Silicon Surface Using Hydrogen Radical Etching Reaction (International Conference on Next Generation Solar Energy, 2011.12)

••••••Hiroshi Nagayoshi, Spyros Diplas, John ChariesWalmsley, Niels Andersen, Arne Karlsson, Joachim Seland Graff and Alexander Ulyashin

光合成微生物太陽電池の研究 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.276-277)・・・・・・新崎晃大, 堀駿, **永吉浩** ポリシラザンを用いた結晶シリコン表面パッシベーションに関する研究

#### 情報工学科

ステレオカメラを用いた周辺情報の取得

C 言語教育支援アプリケーションの開発
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12,pp.22-23)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
走行記録管理アプリケーションの開発
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.28-29)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
就寝時の頭周辺における低周波音に対する能動消音
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 32-33)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
拡大法を用いた円形道路標識認識
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp. 42-43)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
緊急自動車の接近を検知する聴覚障害者支援アプリケーションの開発
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 46-47)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第3回大学コンソーンアム八土十字生発表会要言集,2011.12, pp.58-59) (第3回大学コンソーンアム八土十字生発表会要言集,2011.12, pp.58-59)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第3回人子コンノーン) ム八工丁子生光衣云安目来,2011.12, pp.04-03)
、 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(2019 年信学総士 D-12-25 2019 3) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(2012 中国手砲人 D 12 20, 2012.0) 確率ないトワークを田いた手書文書認識の後加冊方式の検討
(2012 年信学総大 D-12-26 2012 3) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
入試採占支援における採占責任者業務支援システムの開発
(2012 年信学総大 D-9-33、2012 3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
マルチホップ無線通信におけるノード識別方式の一検討
(2011 年電子情報通信学会ソサイエティ大会(通信) 講演論文集, 2011, 9, B-5-87, p466) ・・・・・・・・田中晶
身近なマルチホップ移動体無線通信の一検討
(2012 年電子情報通信学会総合大会講演論文集,2012.3,B-5-38,p437) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
マルチホップ赤外線通信におけるマルチパス問題の研究
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12,pp.60-61)・・林裕太,田中晶,土居信教,小嶋徹也
携帯電話の Bluetooth を用いたマルチホップ通信におけるファイル転送の研究
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12,pp. 78-79)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
小型副衛星システムの開発
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会,2011.12, pp.68-69)・・・・石橋諒馬, <b>土居信教,小嶋徹也,田中晶</b>
Bluetooth 通信の RSSI を用いた距離推定応用システムの開発 管理者アプリケーションの開発
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp. 70-71)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Bluetooth 通信の RSSI を用いた距離推定応用システムの開発 小型端末モシュールの試作
(第3回大学コンソーンアム八土十学生発表会要言集,2011.12, pp. 78-79)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第3回士学ュンソーシアム学生発表今亜旨集 2011 12 nn 84-85)
(第3)回八十二之之。之之之子王光衣云安日果,2011.12, pp. 64 65)
「「「「「」」」」、「「」」」、「」」、「」」、「」」、「」」、「」」、「」」
(第3回大学コンソーシアム学生発表会要旨集。2011 12 pp 102-103) ・・・中村直人、小嶋樹也、十居信教、田中島
マルコフモデルを用いた動画通信帯域の予測に関する研究
(筆3回大学コンソーシアムル王子学生登表会要旨作 2011 12 pp 104-105)
$(M)$ $\Box$ $\Lambda$ $\uparrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\Lambda$ $\Lambda$ $\downarrow$ $\uparrow$ $\downarrow$ $\Box$ $\Lambda$ $\Lambda$ $\downarrow$ $\Box$ $\downarrow$ $\Lambda$ $\Lambda$ $\downarrow$ $\Box$ $\downarrow$
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第3)6回八中ロシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシアシア
(第 3 回大学コンソーシアム人王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 101-100) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
(第 3 回大学コンソーシアム人王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 101-100) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

語彙学習用確率モデルを利用した英単語学習支援システムに関する一考察
(第 64 回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST)予稿集, 2012, pp. 65-70)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
教員の指導法改善を目的した授業評価・習熟度関連性モデルによる知識発見支援システム
(第 64 回人工知能学会先進的学習科学と上学研究会(S1G-ALS1)
一般道における渋滞緩和・解消を図る交通信号機制御システムに関する研究
(情報処理学会第74回全国大会予稿集, 2012, pp. 2-487 - 2-488) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Human-Agent Interaction を導入した強化学習エージェントによる人工知能デモシステム
(情報処理学会第 74 回全国大会予稿集, 2012, pp. 2-295 - 2-296) ・・・・・・・・岡野卓矢, 北越大輔, 鈴木雅人
ベイジアンネットによる Web ブックマーク選択モデルを用いたブックマーク推薦法
(情報処理学会第74回全国大会予稿集, 2012, pp. 2-557 - 2-558) ・・・・・・・・相良光志, <b>北越大輔</b> , 鈴木雅人
相互作用型階層強化学習システムによるエージェント集団の共存期間伸長に関する検討
(情報処理字会第74回全国大会予稿集,2012, pp.2-477 - 2-478) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
強化学省エーンエントの万束情報へクトル表現を用いた学省効率化に関する研究 (電工信報通信学会技術報告 Vol 111 2012 No 410 nr 112-112) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(電) 情報通信子会议 解報台, 101.111, 2012, 10.415, pp.113 116) それももももも、女際八輝, <b>北陸八福</b> , <b>卸水准八</b> 結度保証と補正を行うべイジアンネット上の近似確率推論法に関する研究
(電子情報通信学会技術報告, Vol. 111, 2012, No. 419, pp. 77-82) · · · · · · · 和歌崎修平, <b>北越大輔</b> , <b>鈴木雅人</b>
強化学習エージェントにおける分布クラスタリングを用いた方策改善に関する検討
(平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集,2011,Vol. 2011,pp. ROMBUNNO. 196)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ポッマサク ウタイ, <b>北越大輔</b> , 塩谷博之
授業評価・習熟度関連性モデルを用いた教員の知識発見に基づく対話型指導法改善支援システム
(第 61 回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST)予稿集, 2011, pp. 61-66)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
10.20ロハットによる7月517F未計回の効率化を日的とした強化子百法 (第 38 回知能システムシンプポジウム資料 2011 pp 117-192)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
、(第 36 回知能シバノムシンパンノムリン (第 56 回知能シバノムシンパンノム) (第 56 回知能シバノムシンパンノムシンパンノム) (第 56 回知能シバノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパンノムシンパン
(第 38 回知能システムシンポジウム資料, 2011, pp. 79-84) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
ネットワーク構造簡略化を用いた確率推論手法による意思決定支援
(第 38 回知能システムシンポジウム資料,2011,pp. 73-78)・・・・・・・・・和歌崎修平, <b>北越大輔</b> , <b>鈴木雅人</b>
ConditioningとLoopy-BPを用いた確率的意思決定手法
(電子情報通信学会技術報告, 2011, Vol. 110, No. 387, pp. 135-140) ・・・・・・北越大輔, 和歌崎修平, 鈴木雅人
A Probabilistic Reasoning Algorithm for Bayesian Networks by Simplifying Their Structures
(Trioceedings of the 2011 IEEE International conference on Granular Computing (Grezori) 2011, pp. 550 541)
A Reinforcement Learning Method to Improve the Sweeping Efficiency for an Agent
([Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Granular Computing (GrC2011)] 2011, pp. 515-520)
••••••Naoto Osaka, Daisuke Kitakoshi, Masato Suzuki
An adaptation system to unknown environment by modifying the parameters of the profit-sharing method and mixture probability
([Proceedings of International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics
(IWACIII2011) 2011, GS2-1)
A Study on Deinforcement Learning System for Agents to Acquire Concepting Polyneiring Con-Widening Situations
(Proceedings of 2011 IFFF Workshop on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space (RijSS2011) 2011 np 55-62)
••••••••••••••••••••••••••••••••••••••
国際通用力のある若き実践的エンジニア育成
(平成 23 年度全国高専教育フォーラム, 2011.8, pp. 143-144)
・・・・・・・・・・阿久沢昇,小嶋徹也,玉田耕治,堀智子,村井三千男,一戸隆久,伊藤篤子,庄司良,土屋賢一
Some Progresses on Information Hiding Strategies Based on Complete Complementary Codes
(第34回情報理論とその応用シンホシワム, 2011.12, pp. 566-571)
信報ハイディングのデモ田アプリケーションの問発
(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011, 12, pp. 102-103)
<ul> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
マルコフモデルを用いた動画用通信帯域の予測に関する研究
(第 3 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12,pp.104-105)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

On Multiple Information Embedding by DigitalWatermarking Based on Complete Complementary Codes ([Proceedings of Fifth International Workshop on Signal Design and Its Applications on Communications], 2011.10, pp. 100-103) A Blind Digital Steganography Scheme Based on Complete Complementary Codes ([Proceedings of 2011 Seventh International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing], 2011.10, pp. 45-48) A Digital Fingerprinting Scheme Based on Complete Complementary Codes ([Proceedings of 1st International Symposium on Technology for Sustainability], 2012.1, pp.237-240) ····· Naoki OHTANI and Tetsuya KOJIMA ネットワーク型試験システムの開発と実施結果の報告 (電子情報通信学会総合大会, 2012.3, D-15-12, pp. 209) ・・・・・・・與那嶺尚弘, 佐々木匠, 野口健太郎, 佐藤淳 シラバス特徴抽出システムの開発 (電子情報通信学会総合大会, 2012.3, D-15-9, pp. 206, 2012.3)・・・杉本和英, 野口健太郎, 山田親稔, 與那嶺尚弘 協調作業可能な絵本作成システムの提案 (情報処理学会第 74 回全国大会, 2012. 3, 1ZC-8, vol. 4, pp. 193-194)・・・・・・吉田豊, 神里志穂子, 野口健太郎 特別支援学校の生徒のための簡易な視野測定法の提案 (情報処理学会第74回全国大会, 2012.3, 4ZA-4, vol.4, pp.43-44) 音楽聴取時における感性と脳波の関係調査 (情報処理学会第 74 回全国大会, 2012.3, 4ZA-1, vol.4, pp. 37-38) ・・・・・町田宗丈,神里志穂子,野口健太郎 環境音を含む音データからのヤンバルクイナの鳴き声検出の検討 (情報処理学会第74回全国大会, 2012.3, 5U-1, vol.2, pp. 589-590) バイオリン演奏時の姿勢による技量評価方法の検討 (情報処理学会第74回全国大会, 2012.3, 2S-5, vol.2, pp. 349-350) 島嶼県沖縄における ICT 技術普及のための人材育成の取組み (平成 23 年度九州沖縄地区技術研究会 in 鹿児島大学, 2012.3, pp. 56-57) 高専版組込みスキル標準の開発と実践 (電子情報通信学会技術研究報告, 2012.1, ET2011-93, pp. 25-30) ・・杉本和英, 野口健太郎, 山田親稔, 與那嶺尚弘 沖縄発e-AT 機器の開発とキット化への道のり~高等専門学校と特別支援学校の連携~ (ATAC カンファレンス 2011 京都, 2011.12, pp. 69-70) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・藏屋英介,佐竹卓彦,畑亮次,野口健太郎,神里志穂子,眞喜志隆 動作計測による肢体不自由児機器操作状態の可視化 (ATAC カンファレンス 2011 京都, 2011.12, pp. 55-56) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・神里志穂子,具志堅翔,**野口健太郎**,佐竹卓彦,野口智徳,太田健作 肢体不自由児の実態に合った支援機器の活用と児童の変容~「できない」を「できた」に変える活動~ (ATAC カンファレンス 2011 京都, 2011.12, pp. 53-54) ・・・・・・・・・・・・・・、太田健作,野口智徳,佐竹卓彦,具志堅翔,神里志穂子,野口健太郎,眞喜志隆 肢体不自由児の視覚支援のためのアセスメント機器開発に向けた取組 (ATAC カンファレンス 2011 京都, 2011.12, pp. 51-52) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・宮平順子,稲田政博,伊良波愛理,高良修平,神里志穂子,佐竹卓彦,野口健太郎 ツリー構造の電子掲示板における要約手法の提案 (平成23年度電気学会・電子情報通信学会合同講演会,2011.12,0KI-2011-32, pp.144-148) 組込み技術教育におけるスキルの可視化と質保証システムの開発 (大学 ICT 推進協議会 2011 年度年次大会, 2011.12, B11-10, pp. 564-568) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・野口健太郎,杉本和英,山田親稔,與那嶺尚弘,佐藤淳 工学実験における視野と手先の動作に基づく技能評価の検討 (日本 e ラーニング学会 2011 年学術講演会, 2011.11, 論文 3, pp. 9-12) ・・・比嘉健太郎, 野口健太郎, 神里志穂子 eラーニングを活用した高専版組込み教育の開発 (日本 e ラーニング学会 2011 年学術講演会, 2011.11, 論文 2, pp. 5-8) ・・・・・・ 奥那嶺尚弘, 野口健太郎, 佐藤淳 特別支援学校と高専の連携により開発した支援機器 (第2回福祉情報教育フォーラム WEIT2011, 2011.11, pp. 27-28) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐竹卓彦,**野口健太郎**,神里志穂子,藏屋英介,真喜志隆

K-Skill プロジェクトにおけるスキル標準の策定と管理システムの開発 (電子情報通信学会技術研究報告, ET2011-58, 2011.11, pp.15-20) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・藤澤義範, 與那嶺尚弘, 野口健太郎, 水野正志, 楡井雅巳, 芦田和毅
K-Skill プロジェクトにおける組込み技術者育成への取組み (組込みシステムシンポジウム 2011 (ESS2011), 2011.10, 30) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・藤澤義範 末永貴俊 奥那覇尚弘 佐藤淳 野口健太郎 楡井雅巳
<b>組込み技術教育における実験スキル標準の構築</b> (日本教育工学会第 27 回全国大会, 2011.9, 1a-230-03, pp. 269-270)
動作特徴に基づいた技能指導項目の検証 (第10回情報科学技術フォーラム (FIT2011), 2011.9, K-031, pp. 785-786)・・・・神里志穂子,比嘉優,野口健太郎
<b>慣性センサによるバイオリンの運弓動作指導の検討</b> (第10回情報科学技術フォーラム (FIT2011), 2011.9, K-030, pp. 783-784) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<b>工学実験における顔と手先の動作追跡システムの構築</b> (第10回情報科学技術フォーラム (FIT2011), 2011.9, K-028, pp. 779-780)
<b>子どもの思考プロセス把握における物語自作システムの有効性検証</b> (第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011), 2011.9, J-030, pp. 597-600)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
実験系スキルシート作成の取り組み (第 31 回高等専門学校情報処理教育研究発表会, 2011.8, pp. 121-124)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(平成 23 平夜 派 上 1 政 伝 八 主 国 尚 寺 取 肖 ク オ ・ ク ム , 2011. 6, 6 41, pp. 61 62) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(平成 23 年度独立行政法人全国高専教育フォーラム, 2011.8, G-34, pp. 67-68 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(平成 23 年度独立行政法人全国高専教育フォーラム, 2011.8, G-33, pp. 65-66) ・・・・・與那嶺尚弘,千葉慎二, <b>野口健太郎</b> ,山田親稔,神里志穂子,杉本和英,佐藤淳,水野正志,山崎誠, 安東至,上町俊幸,小山慎哉
(電子情報通信学会技術研究報告, 2011.5, ET2011-14, pp. 75-79) ······ <b>野口健太郎</b> , 山城信裕, 比嘉健太郎, 神里志穂子
Development and Practice of National Colleges of Technology Version Embedded Technology Skill Standards ([41th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference (FIE2011)], 2011.10, T4C) ••••••••••••••••••••••••••••••••••••
Operability improvement of the joy-stick by the sensitivity adjustment of the lever (『Forum on Information Technology 2011 in Hakodate (FIT2011)』, 2011.9, RJ-002, pp. 21-24) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第3回大字コンソーシアム八土子字生発表会要旨集,2011.12,pp.36-37) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

#### スピーカの再現性測定に使用する評価式の検討

(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.40-41)

(第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp.48-49)

·····表草平,**吉本定伸**,**小坂敏文**,松林勝志

#### 物質工学科

乱層構造炭素へのカリウム挿入と水素吸着挙動 (日本学術振興会炭素材料第 117 委員会第 300 回研会, 2011.11, 117-300B-2) カーボンフィルムのアセトン吸脱着に伴う電気抵抗変化 (第38回炭素材料学会年会,2011.11,1PII5)・・・・・・・・塩野杏奈,丸山和音,玉田耕治,阿久沢昇,竹市力 乱層構造炭素へのカリウムドーピングと水素吸着挙動 (第 38 回炭素材料学会年会, 2011.11, 1 P Ⅱ 6) 炭素材料と金属ナトリウムの反応性 (第38回炭素材料学会年会, 2011.11, 1PⅡ16)・・・・・・・・・・・・・・・・・ライ, 安達昌平, 玉田耕治, 阿久沢昇 循環流動層内におけるガスと粒子の流動化特性 (第17回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム講演論文集, 2011.11, pp. 57-59)・・・・・・石井宏幸,山北眞也 簡易画像処理ソフトを用いた自作消しゴムの性能評価 (第14回化学工学学生発表東京大会,2012.3, p.103)・・・・・安田健人,小野壮哉,松本士朗,鄭優莉,石井宏幸 循環流動層における粒子循環に関する研究 (第14回化学工学学生発表東京大会, 2012.3, p. 107)・・・・・・・・・・・・・・・・・山北眞也,藤原由佳,石井宏幸 電解オゾン水生成における界面活性の添加効果 (2011年度日本防菌防黴学会題 38回年次大会, 2011.8, pp. 69) •••••••••••••••••••••••••••••••松石早矢,金元美樹,**北折典之**,平尾和宏,錦善則,宇野雅晴 導電性ダイヤモンド電極を用いた小型オゾン水生成装置の開発(6) (第35回電解技術討論会,2011.11, pp.69-72)・・・・金元美樹,松石早矢,北折典之,平尾和宏,宇野雅晴,錦善則 出前授業を企画しよう!~新居浜高専生物応用化学科での創造化学実験の取り組み~ (平成23年度全国高専教育フォーラム,2011.8)・・・・西井靖博,牧慎也,衣笠巧,早瀬伸樹,河村秀男,桑田茂樹 ジ(2-エチルヘキシル)リン酸を用いた塩基性染料の抽出・逆抽出 (第14回化学工学会学生発表会宇部大会,2011.3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・大田杏,西井靖博,衣笠巧 塩化セチルトリメチルアンモニウムを用いたアゾ染料の抽出・逆抽出 (第14回化学工学会学生発表会宇部大会,2011.3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・、大田杏,西井靖博,衣笠巧 The effects of nuclear reactions in solids on the phonon dispersion relation ([Proceedings of 15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science] 2011, pp. 263-267) Theoretical study of nuclear reactions in solids using Bose-Einstein condensation model (Abstracts of the 12th Meeting of Japan CF Research Society, 2011.12, JCF12-6) · · · · · Kenichi TSUCHIYA C60 含有金ナノ粒子の作製と基礎物性の評価 (日本化学会第 92 春季年会講演予稿集 DVD-ROM, 2012.3, 1H3-49) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・吉澤大輔,西岡彩美,石川善恵,楠瀬尚史,舟橋正浩,**町田茂** 湾曲したカルバゾールを有する大環状分子とその二量体の合成 (日本化学会第 92 春季年会講演予稿集 DVD-ROM, 2012.3, 3M1-37) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・坂本翔,井手智仁,竹内大介,小坂田耕太郎,**町田茂** 多摩地域における国道バイパス全線開通後の NO2 濃度変化 (第 52 回大気環境学会講演要旨集, 2011.9, p2) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・山田親義, **三谷知世** アワビの陸上人工養殖における有機物除去に用いる木炭の作製 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 224-225) 高活性ヒ素吸着剤の亜ヒ酸除去能力の検討 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2011.12, pp. 256-257) キャンパスの除草を目的とした羊の飼育 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,2011.12, pp.264-265)・・・・・磯沼文武,若田部緑, **三谷知世** 7種類の木炭によるアワビの人工養殖水からの有機物除去 

丸化丸加湿器における困発生の抑制に関する検討
(第 17 回高専シンポジウム, 2012.1, p. 282)・・・・・・・・・・・・・・・・・磯沼文武, <b>三谷知世</b> ,牧野誠二,安藤磐
羊を用いたキャンパスの除草における炭素の動態
(第17回局専ジンホジワム, 2012.1, p.283)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
スケール成方味去に用いる電極板からの金属浴面についての検討 (第 14 回化学工学会学生発表会审方大会 2012 3 n 4)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第14回位于上于云于上完衣云采示八云,2012.5, ).4) 「「「「「」」」」。 (第14回位于上于云于上完衣云采示八云,2012.5, ).4)
(第14回化学工学会学生発表会東京大会、2012.3、p.17)・・・・・・・・真上隆之、 <b>三谷知世</b> 、柳田友隆、江耀宗
アワビの陸上人工養殖におけるリン酸と有機物の同時除去
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012. 3,p. 54)・・・・・・・・・黒川光, <b>三谷知世</b> ,峯尾一幸,平間隆之
二枚貝類ムラサキインコ Septifer virgatus におけるトロポミオシンアイソフォームの解析
(第 82 回日本動物学会大会,北海道,2011.9.)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Ecotoxicological assessment of catalytic heavy metals leaching from waste fuel cells
(SEIAC Europe 21st Annual Meeting, 2011.5, WE156, pp. 151) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(日本十壌肥料学会 2011 年度つくば大会、2011 8、10-13、np 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
細胞レベルでのアブラナ科野菜の銅蓄積量の評価
(日本土壌肥料学会 2011 年度つくば大会, 2011.8, 11-29, pp.88) ・・・・・・・・・田中優也, <b>庄司良</b> ,長田拓哉
多摩川底質フミン酸に対する銅の結合挙動の解析
(日本化学会第 5 回関東支部大会,2011. 9,2B2-35,pp. 39)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
構造活性相関を用いたレアメタル並びに重金属の生態毒性予測
(日本化学会第5回関東支部大会,2011.9,PB2a028, pp. 144) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Development of evaluation approach towards ecological effect of gaseous sample on <i>Urius Strigicollis</i> ]
(SEIAC NOrth America Szha Annual Meeting, 2011.11, 215) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, C14, pp. 60) ・・・・・・・黒川輝, 沖田尚久, 中西弘貴, <b>庄司良</b>
重金属の水環境構成生物に対する生態毒性
(第14回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,C18,pp.64)・・・・・・・・・・・島袋将弥,高橋萌, <b>庄司良</b>
土壌における植物のセシウム蓄積量に対するカリウムの競争的影響
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73)
(第14回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,D03,pp.73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,D03,pp.73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,D03,pp.73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,D03,pp.73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,D03,pp.73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012. 3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012. 3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会,2012.3,D03,pp.73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012. 3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会, 2012.3, D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
(第 14 回ビ学工学会学生発表会東京大会、2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(第 14 回ビ学工学会学生発表会東京大会、2012.3, D03, pp. 73) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東京大会、2012.3、D03, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>(第 14 回化学工学会学生発表会東原大会、2012.3, 103, pp. 73)</li> <li>・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>

中和法によって合成した Pb,Ru,O<sub>7-8</sub>を用いた光化学的水の酸化ならびにプロトン還元能の研究 (第79回電気化学会,1L30,2012.3)・・・・・・・・・・・・・・・羽生真也,城石英伸,畑井健雄,綾戸勇輔,桑野潤 Development of Recycling Process for PEFC Catalysts Using Electrochemical Methods (The 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2011.9, S11-P-012) ••••••Minoru Yonekawa, Hazuki Matsumoto, Shinjiro Hayashi, Hidenobu Shiroishi, Masayuki Kunimatsu, Itaru Kato, Ryo Shoji A Novel Synthesis of Pt/CNT Covered with Silica Layers using Microwave Irradiation for Ultra Durable Polymer Electrolyte Fuel Cells (第21回日本 MRS 学術シンポジウム, 2011.12) ••••••Taro Takasaki, Hidenobu Shiroishi, Hiroki Fujikawa, Hisashi Seta, Kiyohumi Yamagiwa, Yusuke Ayato, Jun Kuwano Ammonia Electrooxidation Activity on Noble Metal Monolayers on Gold Electrodes (第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 2011.12)・・・・・・・・・・ Shota Azuma, Hidenobu Shiroishi, Keiji Nagai Synthesis of Carbon-supported Platinum Catalysts by Solution Plasma Processing (第21回日本 MRS 学術シンポジウム, 2011.12) ナノマトリックスチャネル構造を有するプロトン伝導性高分子電解質膜の調製 (第61回高分子学会年次大会講演予稿集, 2011, pp. 992) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 角紀行, スクサワッド パッチャリー, **山本祥正**, 河原成元 ラウンドロビン試験によるカーボンブラック配合加硫天然ゴムの物性 (日本ゴム協会 2011 年年次大会, 2011, pp. 91) ·····山本祥正, 河原成元, 竹中克彦, 浅野敦志, 西谷要介, 倉本直明, 齊藤武徳, 北居寿章, 渡辺訓江, 岩井智昭, 富永洋一,平原英俊,北川直之 Polymer Electrolyte Membrane with Nanomatrix Channel Prepared by Sulfonation of Natural Rubber Grafted with Polystyrene J (Kick of Symposium, Establishment of Carbon-Cycle-System with Natural Rubber, 2011, 0-15) 天然ゴムの構造と物性 (第 60 回高分子討論会, 2011, 3639)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・河原成元, 赤堀敬一, 山本祥正 カーボンブラック配合加硫天然ゴムのモルフォロジーと物性 (第59回レオロジー討論会) ······**山本祥正**, 河原成元, 竹中克彦, 浅野敦志, 西谷要介, 倉本直明, 齊藤武徳, 北居寿章, 渡辺訓江, 岩井智昭, 富永洋一,平原英俊,北川直之 Formation of a Completely Continuous Nanomatrix Channel and Its Proton Conductivity (The 1st International GIGAKU Conference in Nagaoka) 3. その他 (1) 学位取得・学会賞・論文賞 鉛フリーはんだの熱疲労寿命評価に用いる構成則の開発と教育への応用 (博士(教育学)取得,東京学芸大学,2012.3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・林**丈晴** 日本塑性加工学会 教育賞 高専・専攻科における炭素繊維強化プラスチックを用いたものづくり 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会(2011-12): 準優秀賞 風車用翼型における翼面粗さおよび円柱棒による流動状態の変化 日本機械学会 関東学生会第 51 回学生員卒業研究発表会講演会(2012-3): Best Presentation Award 風車翼の翼周りの流動状態に及ぼす簡易デバイスの影響 ・・・・・・ 大沢佳, 斉藤純夫(指導教官) 優秀賞 焦電センサを用いたヒト追従機構の開発 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2011.12) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
嶽明憲, **齊藤浩一** 若手プレゼンテーション賞 採血技術訓練用ハプティックデバイスに関する研究 (日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2011, 2011.11) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤政哉,香川亮太,高木寛之,**多羅尾進,齊藤浩一** 第3回大学コンソーシアム八王子発表会口頭発表準優秀賞 歯付軸締結要素の力学特性に関する FEM 応力解析のよる検討 (第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2011.12, pp. 184-185) ・・・・・・・・・大塚仁, 峯尾一幸, 志村穰 観測雑音を伴う閉ループ系における制御対象の周波数応答推定,電気学会 制御研究会(2011-12)研究奨励賞受賞 2011 年学術講演会表彰発表論文最優秀賞 eラーニングを活用した高専版組込み教育の開発 

第8回日本 e-Learning 大賞奨励賞 高専版組込み教育のための e ラーニングの実践的導入
ー学生及び技術者教育の質保証に向けたスキルの可視化ー
(e-Learning Awards フォーラム実行委員会 / フジサンケイビジネスアイ, 2011.11)
・・・・・K-Skill(仙台高専,函館高専,八戸高専,秋田高専,鶴岡高専,福島高専,長岡高専,石川高専,長野
高専,沖縄高専 <b>(野口健太郎)</b> )
教育・FD 委員会委員長賞(優秀発表賞)沖縄高専と特別支援学校との連携について
(独立行政法人国立高等専門学校機構 平成 23 年度独立行政法人全国高専教育フォーラム,2011. 8)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・野口健太郎,神里志穂子,眞喜志隆,佐竹卓彦,藏屋英介
平成 22 年度国立高等専門学校教員顕彰若手部門分野別優秀賞(教育活動分野)「ICT の基盤構築とそれを活用した教育実践」
(独立行政法人国立高等専門学校機構,2011.8)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・野 <b>口健太郎</b>
炭素材料学会論文賞 アルミナ溶融塩電解に伴うカソード黒鉛の電気抵抗変化
(『炭素』2011, No. 249, 191-194)・・・・・・・・・・・・ <b>阿久沢昇</b> , 古茂田朋寛, <b>玉田耕治</b> , 平山貴啓, 今川博
(2)科学研究費補助金(研究実績報告書,研究成果報告書)等
高等における教育の特色と高等生の気負を考慮しに央語教材の開発と美用化
••••••此田停, <b>州升二十另</b> ,亀山太一,小俸芯助,八升孝莪,甲升入垣, 頁山皕士, 入谷信,箖和憲,箖呵隆, 西町 法世
四野達雄 空ルዀ光道はにたけるまで西鉄会通知の紹明を発光効率向上に向けた其磁研究
至化初十等体にのりる衣山舟右右迴住の胜明C无元効学问上に回りた基礎研究 業毛茲な(P) 調販委員 92760091 (2011 年度。2012 年度) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
石于明九(D)
同等にの19光達障吉のの9手工の加強窓C加属未回の被文谷窓のよび日に効力窓の変合
同守教員の教育力開元とロビンタの、12末ヘイルドリエン120 ル開元CIC TC なる六有 其般研空(C) 期頃釆早 93531035 (2011 在 座 ~ 2013 在 座)
·····································
4) 御路温度の酸性露に関する気候学的研究
其般研究(C) 課題番号 20500901 (2008 年度~ 2011 年度) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
データマイニングを用いた日本語構文自己再編モデルによる手書き文章自動認識の研究
基盤研究(C) 課題番号 22500170 (2010 年度~ 2012 年度) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
相関特性の優れたスペクトル拡散系列に基づく安全性の高い情報ハイディング技術の開発
基盤研究(C) 課題番号 21560423(2009 年度~ 2011 年度)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
低圧水素の選択的回収と水素同位体分離のためのカーボンアロイ開発
基盤研究(C)課題番号 21550195(2009 年度~ 2011 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
ソリューションプラズマ法による高分散ナノ微粒子の開発と長寿命燃料電池触媒への応用」
完了報告書 科学技術振興機構 研究成果最適展開支援プログラム フィージビリティスタディ【FS】ステージ 課題
番号 AS231Z02076C, 2012.4
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

#### (3) 特許等

エレベーターの保守点検システム 登録番号 4729598

- ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・森和久,迫田友治,大沼直人,蛭田清玄,**綾野秀樹**,三田史明,保立尚史,石塚正人 膜-電極接合体,これを用いる電解セル,電解水スプレー装置及び殺菌方法

特許第 4723627 号(2011. 4. 15)登録特許 日本国

- - 登録特許 韓国 特許第 10-1081447 号 (2011.11.02) 登録特許 韓国
- - •••••••Noriyuki Kitaori, Kota Sekido, Genzo Yamane, Katsumi Hamaguchi, Hozumi Tanaka, Yoshinori Nishiki, Tsuneto Furuta
- **排泄検知装置** 公開特許 日本国 特許公開 2011-78791(公開 2011.4.21)・・・・大橋一男,福田郁夫,原克俊,**北折典之 粒子および近接場光導波路** 登録番号 No. 4923120(2012.2.10) ・・・・・・・・・・・・・・・山田紘,都鳥顕司,町田茂


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.