

ISSN 0385-6844

有明工業高等専門学校紀要

第 40 号

平成 16 年 1 月

Research Reports
of the
Ariake National College of Technology
No.40
January 2004

Published by Ariake National College of Technology
Omura, Japan

目 次

	松 尾 明 洋 宮 川 英 明 酒 井 健 一 森 田 恵 典 石 嶋 良 和 星 星	
小・中学生の理科離れ防止対策と体験教室の必要性（II）	1	
Web教材の簡便作成法	山 下 嶽	9
Holomorphic Mappings on Some Infinite Dimensional Domain	本 田 竜 広	17
メダカ (<i>Oryzias latipes</i>) を用いた化学物質の女性ホルモン様作用 評価のための基礎的研究	山 口 明 美 富 永 伸 明	25
三井鉱山(株)各鉱業所における二階建従業員社宅について	松 岡 高 弘 川 上 秀 人	29
痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発への試み	木 下 正 作 川 崇 義 則	47
靴下履き用自助具 “ソックスリッパ” の開発	木 下 正 作 東 大 樹 川 寄 義 則	57
高能率・高精度リーマの基礎研究	田 口 紘 一 野 村 健 司 明 石 剛 二	63
障害児が操縦する工房バギー汎用型けん引ロボットの開発	木 下 正 作 安 部 良 昭 吉 田 ゆかり 豊 増 貴 史 川 寄 義 則	69
熱拡散法によるCMOSデバイスの試作（3）	中 村 俊三郎 塚 本 直 樹 浅 野 稔 正	75
－インバータ回路の製作・まとめ－		
RM-CWライダーにおける信号処理の改善	内 海 通 弘	81
有明高専における「ものづくり」の実践－ソーラーボート製作－	河 村 英 司 明 石 剛 二	87

硬質被膜処理を施した温・熱間鍛造工具の塑性変形抵抗に及ぼす熱負荷の影響	南 明宏 友岡 康祐 田島 也孝	95
二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサの性質	阪井 勲 永田 良一	101
PyGC-MS法によるポリウレタン-アミド及びポリウレタン-イミドの 熱分解生成物の同定と熱分解機構の検討	吉武 紀道 田中 康太 古川 瞳久	109
Cu ²⁺ イオンを含むポリウレタンの分析について	吉武 紀道 西 彰敏 古川 瞳久	115
有明高専生の英語能力の発達に関する継続的研究 (2) —1年次から3年次の比較を中心に—	安部 規子 山崎 英司	121
ゲーテが愛した女性たち	瀬戸 洋	129
菅原道真研究—『菅家後集』全注釈 (八)	焼山 廣志	154

小・中学生の理科離れ防止対策と体験教室の必要性（Ⅱ）

松尾明洋・宮川英明・酒井 健・森田恵一・石崎勝典・星 良和

<平成15年10月6日受理>

Measures to Get Children to Have More Interest in Science, and Necessity of Open Classrooms of Science (II)

MATSUO Akihiro, MIYAGAWA Hideaki, SAKAI Takeshi, MORITA Keiichi, ISHIZAKI Katsunori and HOSHI Yoshikazu.

We have tutored at some elementary and junior high schools. In this paper, we report on an open classroom of science (yumekagaku-21) at Ariake National College of Technology on 26, August 2003, and suggest necessity of open classrooms.

1. はじめに

子どもたちの理科離れを防止するために、高専、大学をはじめ、各地の博物館や科学館などで、様々な催しが行われている。有明高専もその一環として、公開講座を多く開催している。本年度は、夢・化学-21イメージキャンペーン事業に参加し、小・中学生を対象とした体験教室を開催した。例年になく多くの小・中学生が参加し、けが人もなく大成功に終わった。本稿では、今年度の体験教室の様子について報告を行い、今年度の有明高専の入学者の理数系基礎知識の調査結果の報告を行う。

2. 夢・化学-21とは

夢・化学-21とは、(社)日本化学会・(社)化学工学会・(社)新化学発展協会・(社)日本化学工業協会の産・学4団体で組織される夢・化学-21委員会の活動として行われる夢・化学-21イメージキャンペーン事業のことである。その趣旨をホームページから引用すると、「化学の重要性が多方面で叫ばれています。しかしながら、化学の本質が一般社会に十分理解されているとはなかなか言えず、暮らしの中の様々な側面で化学が果たしている役割が認識されているとは言いがたい状況です。とりわけ、明日を担う若者の理科・化学離れは現在深刻な問題であり、国内外共通の悩みとなっています。そのような状況のもと、学会と産業界が手を組み、文部科学省・経済産業省の後援を得て、夢・化学-21キャンペーンが平成5年度からスタートしました。このキャンペーンの主な目的は、明日を担う若人に、化学のもつおもしろさ、不思議を通じて、化学技術の重要性、化学製品の有用性を訴求していくものです。そして、化学業界全体のイメー

ジアップを図り、優れた人材の確保をも期待するものです。」¹⁾ その現在の主な事業内容は、(1) 中学生作文コンクール、(2) 全国高校化学グランプリ、(3) 大学化学実験体験、(4) 高専化学実験体験、(5) 夏休み子ども化学実験ショー、(6) 週末実験教室等である。

3. 体験教室とは

この体験教室は一昨年からはじまり、今年で3年目である。体験教室を行おうと思ったきっかけは、無料で公開講座を開き、多くの子どもたちに理科の面白さを知ってもらいたかったからである。数年前から有料の公開講座を有明高専でも開催するようになり、一般教育科でも教科で持ち回りすることになった。平成12年度に理科の担当となり、物理科を中心とした、「体験しよう！身近な感覚の不思議な世界」(1. 簡易セーターの作製、2. 液体窒素を用いた超伝導の実験、3. 写真の焼付け)を開催し、平成13年度には、「極低温！マイナス196℃の液体で遊んでみよう！」(1. 液体窒素を使った実験、2. 超伝導の実験、3. 時計反応の実験、4. 写真の焼付け体験)を開催した。この有料の公開講座に対して無料で開催されたのが、化学科を中心とした、平成13年度、14年度の「有明高専体験教室 紫キャベツを使って身の回りの酸・アルカリを探してみよう！」である。これを有料の公開講座と区別するために体験教室と名づけた。平成13年度の開催の様子については、以前報告している。²⁾ 今年度は、夢・化学-21に有明高専も参加させてもらい、化学科と物理科合同で体験教室を開催した。夢・化学-21では、昨年度も高専祭期間中に「おもしろ体験講座～身の回りにある不思議な物質を化学しよう～」と題して、(1) ゲルの性質について調べよう、(2) 不思議！超伝導の世界、(3) 生物の設計図を見てみよう、特別展示として、1. 大牟田エコタウン事業、2. 荒尾

市下水処理事業、3. ハウスデンボス環境事業、4. 佐賀県シンクロトロン光応用研究施設整備事業を、日本化学会九州支部の共催、大牟田市、荒尾市、佐賀県、ハウスデンボス株式会社の後援で行った。

4. 夢・化学-21夏休み体験教室

有明高専は昨年度より、夢・化学-21キャンペーン事業に参加している。昨年度は、高専祭と同時に開催され、化学と生物の展示を行った。見学者自身が自由に実験を行えるようにしておいたため、小学生から一般市民まで延べ500名程の参加があった。今年度は、夏休みの体験教室で夢・化学-21に参加した。ここでは、その様子について報告することにする。

4. 1 スケジュール

タイトル：夢・化学-21 夏休み体験教室～不思議な物質の世界を体験しよう～
 主 催：化学工学会、夢・化学-21委員会、有明工業高等専門学校
 共 催：日本化学会九州支部
 日 時：平成15年8月26日（火）9:00～16:00
 会 場：化学実験室、物理実験室

4. 2 参加者

今回は小学校5年生から中学校3年生を対象として、定員40名で募集を行ったところ、小学校4年生以下でも参加したいとの問い合わせがあった。話を聞いてみると、テーマが面白そうで、小学校5年生以上の兄・姉と一緒に参加したいとのことだった。そこで、兄弟・姉妹でグループになって参加してもらうことにし、可能な限り受け入れることにした。募集定員は40名だったが、50名以上の参加希望があった。実験室にはまだ余裕はあったが、実験器具とスタッフ不足のため、先着順に50名で受付を終了した。1名のスタッフに対し10名の参加者を担当することにしていたが、希望が多かったので定員を全体で10名増やすことにした。これ以上参加者を増やすと、安全管理が手薄になることが考えられたので、定員を超えた希望者に対しては丁重にお断りした。参加者の内訳は、表1のとおりである。

表1 参加者数の内訳

学年	人数 (名)	学年	人数 (名)	学年	人数 (名)
小学1年	1	小学4年	2	中学1年	1
小学2年	0	小学5年	14	中学2年	6
小学3年	1	小学6年	11	中学3年	13

りである。

小学生と中学生がほぼ同数であったため、説明しやすいように小学生と中学生の2グループに分け、実験内容の説明を行い実験に入った。中学生のグループには、兄弟等で数名の小学生が含まれていたが、特に問題はなかった。

4. 3 実験内容

紫キャベツを使った実験の内容は、以前報告しているので、詳細はそれを参照していただきたい。以下に、その内容を簡単に示す。

【化学実験室で開催】

化学実験室では、午前に小学生のグループ、午後に中学生のグループを担当した。

- (1) 紫キャベツ4分の1個を塩もみし、色水を取り出す。
- (2) 数種類のpHを調整しておいた水溶液を用いて、色水の色の変化を観察する。
- (3) 身近な液体に色水を加え、色水の色の変化からその液体が酸性なのか、アルカリ性なのかを判別する。
- (4) 色水が食塩水であることを利用して、電気分解を行い電極附近の色の変化を観察する。
- (5) アンモニアが水に溶けるとアルカリ性になる性質を利用し、噴水の水に色水を加えアンモニアの噴水の実験を行う。

次に液体窒素を使った実験の詳細を示す。

【物理実験室で開催】

物理実験室では、午前に中学生のグループ、午後に小学生のグループを担当した。

- (1) 液体窒素を使ってマイスナー効果を調べよう！
 - ・ステンレス容器の中央にスポンジを置き、その上に超伝導体を置く。
 - ・次に、超伝導体の上にネオジウム磁石を置く。このとき、超伝導体と磁石が反発したり引き付け合ったりしないことを確認する。
 - ・液体窒素をステンレス容器にゆっくりと少しずつ注ぐ。最初は激しく沸騰するが、しばらくすると超伝導体のまわりから泡が発生しなくなり、十分に冷却された状態になる。
 - ・しばらくすると、ネオジウム磁石が超伝導体の上で浮上する。

- (2) 酸素の凝縮によるスポンジの燃焼を観察しよう！
 - ・準備されたスポンジが、そのままの状態で着火するかどうか確かめる。
 - ・次に、別のスポンジを液体窒素の中に浸けて、液体窒素の沸騰がおさまるまで待つ。
 - ・スポンジが液体窒素を十分に吸い込んだら、割り

ばしでスポンジを取り出し、液体窒素をよく振り切る。

- ・液体窒素を吸い込んだスポンジに息を吹きかけて、スポンジの細孔に空気を通す。
- ・スポンジを三脚の上に置いたセラミック金網の上に置く。
- ・順番を見計らって火を近づけ、スポンジの燃え方を観察する。

(3) 風船を液体窒素に入れる実験

- ・ゴム風船を膨らませ、口をかたく縛る。
- ・液体窒素を発砲スチロールの容器に入れ、大きく膨らませた風船の一部を液体窒素に浸ける。
- ・風船内の空気がほとんど凝縮し、ほぼ液体になつたら、液体窒素に浸けている風船を取り出し、風船の膨らみ方（体積変化）を観察する。

(4) 物を凍らせる実験

- ・割りばしにバナナや豆腐などを突き刺す。
- ・液体窒素にバナナや豆腐などを浸し、液体窒素の沸騰がおさまるまで待つ。
- ・沸騰がおさまったら、浸していたものを取り出し、実験台を軽くたたいたり、凍らせたバナナで用意していた針を板に打ち付けてみる。

(5) スライムを作って遊ぼう

- ・水で2倍に薄めた洗濯のり（PVA）をフィルムケースの半分より少ないぐらい入れる。色をつけたい場合には、色水を加える。
- ・次に、ほう砂の飽和水溶液を少しづつ加えながらかき混ぜる。
- ・べとつかなくなれば、出来上がり。

これらの内容を、参加者を大まかに小学生と中学生の2グループに分け、午前と午後で会場を交代し、すべての実験を体験してもらった。

4. 参加者の参加理由

今年度は、これまでの中でも参加者が一番多い年となった。これまでの参加者数は、

平成12年度

「体験しよう！身近な磁石の不思議な世界」：6名
平成13年度

「極低温!?マイナス196℃の液体で遊んでみよう！」
：13名

「有明高専体験教室 紫キャベツを使って身の回りの酸・アルカリを探してみよう！」：26名

平成14年度

「有明高専体験教室 紫キャベツを使って身の回りの酸・アルカリを探してみよう！」：15名

参加者の取り組み方は、ただやらされているという

わけではなく、自らすすんで実験を行っている様子だった。以前にも報告したように、時間が忘れるぐら



写真1 今日は何をするのかな？



写真2 色水をたくさん取り出すぐ！



写真3 あっ、色が変わった。

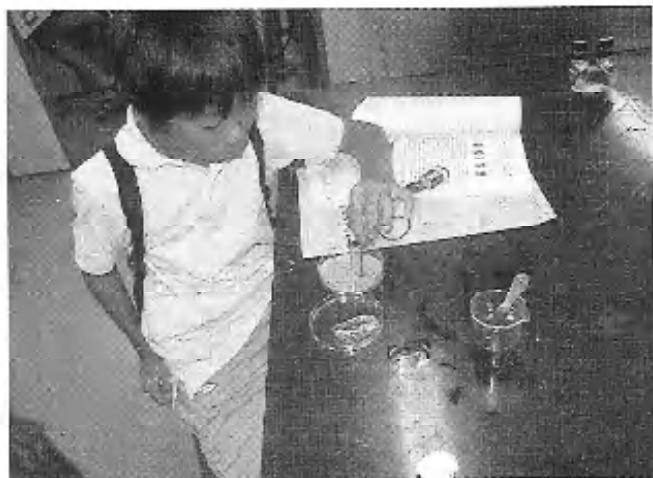


写真4 さてさて、どうなるのかな？

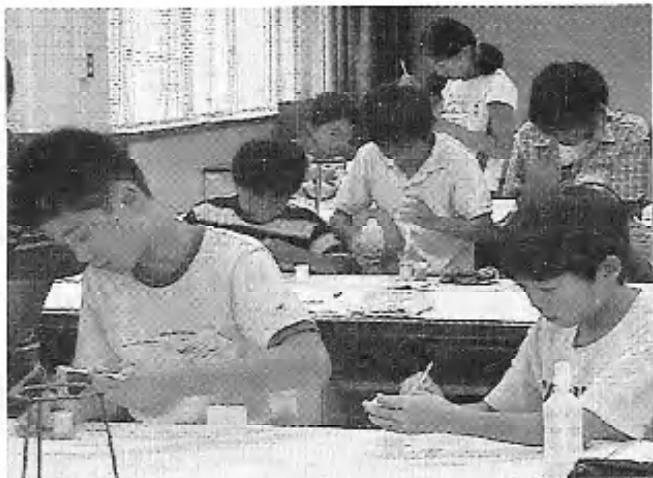


写真7 楽しみにしていたスライムだ！



写真5 おっ、すげー。



写真8 修了証書、もらったよ。



写真6 磁石が浮いた！

い真剣に取り組み、理科離れがすすんでいるとは思えないほどであった。その様子を写真で示す。

49名の参加者のうち約5名、以前参加したことがあ

った。その参加者に問い合わせてみると、「同じ内容だから、この前よりもうまく結果を出したい」ということであった。今年度、参加者が増えた理由について、考えてみることにする。以前と今年度との違いは、アンケートに顕著に表れた。そのアンケート結果を表2に示す。この体験教室を知るきっかけとなったものは、「市や町の広報」に次いで、「先生」と「友達」になっている。以前は、先生や友達から知ったという回答は殆どなかった。次に、参加しようと思ったきっかけについて、「面白そうだから」、「内容に興味があったから」、「自由研究として」に次いで「友達に誘われたから」である。ここでも、友達が大きく寄与している。この結果に表れているように、参加者の約8割が同じ学校・学年または兄弟であった。

もう一つの理由は、広報内容にもよることが考えられる。昨年度までは、実験内容を漠然と示していたが、今年度は、具体的に示した。このことにより、実際にどのようなことを行うのかが明確になり、参加意欲を

表2 アンケート結果

体験教室をどこで知ったか (複数回答)	人数
市や町の広報で	13
知人から	3
友だちから	10
先生から	12
家族から	3
親せきの人から	1
チラシやポスターから	1
有明高専のホームページから	2
体験教室に参加しようと思ったきっかけ (複数回答)	人数
何かを学びたいといつも思っているから	3
体験教室の内容に興味があったから	15
家族・親せきの人にすすめられたから	11
友だちに誘われたから	13
曜日や時間の都合が良かったから	4
おもしろそうだったから	29
参加費がいらないから	10
夏休みの自由研究として	15
夢・化学-21が気になったから	3
先生にすすめられたから	0
毎年、有明高専の公開講座に参加しているから	0
その他	
知らないうちに参加していた	1
有明高専に興味があった	2
体験教室はどうだったか	人数
たいへんおもしろかった	23
おもしろかった	16
まあまあだった	2
おもしろくなかった	0
全然おもしろくなかった	0
体験教室でおもしろかったものは (複数回答)	人数
紫キャベツの色素の取り出し	20
塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を使った、色の変化	18
いろんなものを使った、酸・アルカリの判別	12
食塩水の電気分解	11
アンモニアの噴水	17
超伝導の実験	27
スポンジが燃える実験	18

風船を液体窒素に入れる実験	14
物を凍らせる実験	25
スライム作り	27
おもしろいものはなかった	0
今日の体験教室の内容はどうだったか	人数
簡単だった	7
ちょうどよかった	32
むずかしかった	4
公開講座を含め、何回目の参加になるか	人数
初めてである	35
2回目である	8
3回目である	2
4回以上参加している	0
公開講座や体験教室に、来年も参加してみたいか	人数
参加してみたい	17
参加したくない	1
テーマしたいである	11
兄弟で参加したい	2
友達と参加したい	15
時間について	人数
1日は短い	13
1日は長い	6
1日でちょうどよい	26
このような公開講座は、いつあると参加しやすいか	人数
日曜日の午前	12
日曜日の午後	3
土曜日の午前	6
土曜日の午後	6
平日の午前	11
平日の午後	2
平日の夜	1
その他	
夏休みのような長期休暇や連休中特になし	4
	4

表2 アンケート結果（続き）

やってみたい実験など（自由回答）	
音・力の性質についての実験	
野菜の色素の取り出し	
いろいろな液体を混ぜ、どんな変化があるか、加熱したらどうなるか	
ダンボールの空気砲	
液体窒素で花を凍らせてバラバラにする実験	
いろんな溶液を使った実験	
気球を作つてあげる	
わたあめを作る	
食べ物についての実験	
何でもやってみたい	
虫の実験	
雷の実験	
ロボットを作つて野球をする	

増したのではないかと考えられる。

5. 平成15年度有明高専入学者の実態

子どもたちの理科離れとはどういうことか。あらためて考えてみることにした。今年度の1年生の化学の

前期中間試験で次のような問題を出題した。

問：50%の希硫酸のモル濃度を求めたい。次の文の（ ）にあてはまる数値を計算し記入せよ。

50%の希硫酸（硫酸の原液を水で薄めたもの）の密度は、1.40 g/cm³である。モル濃度とは、溶液1 l中に何molの溶質が溶けているかを表しているので、この希硫酸1 lの質量を求めるところにする。1 ml = 1 cm³であるから、この希硫酸1 lの質量は（ア）gである。このうちの50%がH₂SO₄の質量になるので、この希硫酸に含まれるH₂SO₄は（イ）gと求まる。すなわち、この希硫酸1 l中には、（イ）gのH₂SO₄が含まれることになる。以下省略。

この（ア）・（イ）の正解率は、機械工学科・電気工学科ともに、約7.5~8割、電子情報工学科・物質工学科・建築学科は、約6割であった。9割近い学生が正解するであろうと出題した結果がこのようであったので、中間試験直後に、単位変換と中間試験に類似した簡単な問題を出題し、新入生の学力がどれほどのものか調べてみた。この程度の設問で学力について議論するのも如何なものかと思われるかもしれないが、その結果を表3と表4に示す。この結果が、埋数系の今後の指導の参考になれば幸いである。

表3 単位変換に関する調査結果

学 科 設 問	機械工学科			電気工学科			電子情報工学科		
	○	×	□	○	×	□	○	×	□
1 ℓ = ml	95.3	4.7	0	92.7	7.3	0	93.3	4.4	2.2
1 ℓ = cm ³	58.1	32.6	9.3	53.7	43.9	2.4	62.2	31.1	6.7
1 ℓ = cc	72.1	18.6	9.3	58.6	39.0	2.4	66.7	20.0	13.3
1 ℓ = dl	37.2	39.5	23.2	56.1	39.0	4.9	48.9	26.7	24.4
1 m ³ = ℥	25.6	60.5	13.9	22.0	68.3	9.7	6.7	75.5	17.8
1 g = mg	62.8	30.2	7.0	51.2	48.8	0	46.7	51.1	2.2
1 kg = g	95.4	2.3	2.3	100	0	0	95.6	4.4	0
1 t = kg	97.7	0	2.3	97.6	2.4	0	95.6	4.4	0
1 cm = mm	90.7	7.0	2.3	95.2	2.4	2.4	91.1	6.7	2.2
1 m = cm	95.7	2.3	2.3	100	0	0	97.8	2.2	0
1 km = m	97.7	2.3	0	97.6	2.4	0	100	0	0
学 科 設 問	物質工学科			建築学科			全 体		
	○	×	□	○	×	□	○	×	□
1 ℓ = ml	94.8	2.6	2.6	88.4	11.6	0	92.9	6.1	1.0
1 ℓ = cm ³	56.4	33.3	10.3	46.5	41.9	11.6	55.4	36.6	8.0
1 ℓ = cc	64.1	25.6	10.3	58.1	32.6	9.3	63.9	27.2	8.9
1 ℓ = dl	51.3	28.2	20.5	39.5	37.2	23.3	46.6	34.1	19.3
1 ml = ℥	23.1	56.4	20.5	16.3	60.4	23.3	18.7	64.3	17.0
1 g = mg	51.3	44.5	5.1	51.1	44.2	4.7	52.5	43.7	3.8
1 kg = g	97.4	2.6	0	100	0	0	97.6	1.9	0.5
1 t = kg	89.7	7.7	2.6	96.7	9.3	0	94.3	4.7	1.0
1 cm = mm	92.3	5.1	2.6	95.3	4.7	0	92.9	5.2	1.9
1 m = cm	97.4	2.6	0	95.3	4.7	0	97.1	2.4	0.5
1 km = m	100	0	0	100	0	0	99.1	0.9	0

○：正解率(%)、×：不正解率(%)、□：無解答率(%)

解答学生数：機械工学科43名、電気工学科41名、電子情報工学科45名、物質工学科41名、建築学科43名

1年生が入学してから約半年が過ぎようとしている。この調査を行ったのは入学してから2ヶ月が過ぎようとしている頃だったが、すでに学科間に学力の差が出ており、その傾向は、教科によらずほぼ一致していた。入試の段階で差はついていたようだが、これらの結果から分かることは、必ずしも上位のクラスが必要な知識を身に付けているとは限らないことである。このことは、 $1\text{g} = 1000\text{ml}$ の設問が物語っている。それぞれの問題の正解率は、予想に近い傾向となつたが、数値的には若干低めであった。表3を見てみると、よく使うような単位、入試のために繰り返し練習するような単位の正解率はかなり高くなっている。しかし、

1ml と cm^3 、 cc 、 dl の関係について、 dl の正解率は低いだろうと予想していたが、残りの単位についてはもう少し高い正解率になると予想していた。先ほど示した化学の前期中間試験問題では、機械工学科と電気工学科の正解率が高い。中間試験問題には、 ml と cm^3 の関係が分からず学生のために、問題の文の中に $1\text{ml} = 1\text{cm}^3$ と記述した。表3から、 $1\text{ml} = 1000\text{ml}$ であることは、9割以上の学生が理解しており、 $1\text{ml} = 1000\text{cm}^3$ であることは約半分の学生しか理解していないことが分かる。しかし、 $1\text{ml} = 1\text{cm}^3$ と記載しているにもかかわらず、密度 1.40g/cm^3 の硫酸 1ml の質量の正解率がクラス間によって大きな差が表れたことはどういうこと

表4 理科に関する簡単な問題

学 科 設 問	機械工学科			電気工学科			電子情報工学科		
	○	×	□	○	×	□	○	×	□
設問1	74.4	11.6	14.0	878	2.4	9.8	80.0	11.1	8.9
設問2	79.1	4.7	16.2	78.0	12.2	9.8	75.6	4.4	20.0
設問3	46.5	34.9	18.6	63.6	34.2	12.2	44.5	51.1	4.4
設問4	67.5	20.9	11.6	85.4	4.9	9.7	82.2	13.4	4.4
設問5	60.5	23.2	16.3	63.4	22.0	14.6	68.9	11.1	20.0
学 科 設 問	物質工学科			建築学科			全 体		
	○	×	□	○	×	□	○	×	□
設問1	76.9	12.8	10.3	76.8	11.6	11.6	79.2	9.9	10.9
設問2	82.1	5.1	12.8	67.4	11.6	21.0	76.4	7.6	16.0
設問3	64.1	20.5	15.4	27.9	32.6	39.5	47.3	34.7	18.0
設問4	97.4	0	2.6	97.7	0	2.3	86.1	7.8	6.1
設問5	71.8	15.4	12.8	51.2	23.2	25.6	63.1	19.0	17.9

設問1：水の密度は _____ g/cm³

設問2：密度 1.5g/cm^3 の液体 100cm^3 の質量は _____ g

設問3：水溶液 100g に溶質 25g が溶けているときの質量パーセント濃度は _____ %

設問4：鉛筆12本は、1 _____ である。(単位)

設問5： 1ml が 1200g の液体の密度は _____ g/ml である。

○：正解率(%)、×：不正解率(%)、□：無解答率(%)

解答学生数：機械工学科43名、電気工学科41名、電子情報工学科45名、物質工学科41名、建築学科43名

であろうか。表4の設問2では約8割、設問5では約6割の正解率である。しかし、設問5で不正解だったほとんどの学生の解答は、1.2であり、単に単位を間違えていたように思われる。問題の取り組み方を見てみると、表3および表4から分かるように、機械工学科と電気工学科は無解答率が他の3学科に比べて低いことが分かる。このことは何を意味するのだろうか。特に電気工学科の学生は、間違っても良いから解答欄に答えを書こうとした努力の跡が見られた。しかし、中間試験問題の正解率が低かった3学科は、表3では無解答率が目立つ。最近の学生の様子を見ていると、諦めやすいタイプの学生が多いように感じていたが、まさにそのことが結果として表れたのだろう。従って、

中間試験問題で $1\text{ml} = 1\text{cm}^3$ と記述しても、正解率が低かったことは、單に考えようとしていなかったのではなかろうか。また、m(ミリ)やk(キロ)の意味も良く分かっていないようである。すなわち、暗記に頼ることが多く、応用力を失いつつあるのかもしれない。

表4には、中間試験に類似した問題の正解率を示している。ここで明らかになったことは、約半分の学生がパーセント(百分率)の意味が分かっていないことである。その中でも、建築学科は3割に満たない。特に計算を行う必要もなく25%と解答してもらえばよかつたのだが、20%という解答が多くあった。これは、溶液と溶媒の区別がつかず、単にパーセントを求める式に値を代入して計算し、内容を全く理解していない

と言えよう。小・中学校で総合学習の授業が行われている。その内容は学校裁量であるが、成果は学校によって大きな差が出ているようである。考える力が養われると、その力により難しい問題も解けるようになるであろう。

表3や表4のような結果を、この程度のものと受け止めるか、以外に悪いと受け止めるかは、人それぞれであろうが、我々は、正直なところもう少し分かっているものと考えていた。世間でも騒がれているように、今後、我々が常識としていることを全く知らない学生が増えることは間違いない、理数系の指導は、さらに難しくなるであろう。理科離れという言葉がよく使われているが、子どもの教は減り、理科好きの子どもの数も減っていることには間違いない。中学校までの様子は分からぬが、入学してきた学生の多くは、公式通りの解が得られないと、「分からない」、「難しい」と口に出している。そこを如何に分かった気にさせ、興味を持たせるかが低学年の理科教育の課題であろう。

6. おわりに

体験教室の参加者は、年々増加傾向にあるように感じられる。特に、今年度は有明高専の所在地である大牟田市、荒尾市ののみならず、その周辺市町村からの参加も多かった。このことは、2年前に始めた体験教室が徐々に定着してきたことを意味しているといえる。体験教室の内容は、これといって難しいことをやっているわけでもなく、紫キャベツの実験に関しては、家庭でもすぐできる内容のものである。子どもたちの理科離れを如何に防ぐかという観点に立つと、新奇な内容よりも簡単な内容ほど効果があるのだろうか。しかし、簡単と思っている内容でも、今回の参加者の約6割がちょうどよかったと回答している。また、来年度も参加したいかという問い合わせに対して、「参加したい」が約6割、「テーマしたい」が約2割を占めた。このことは、これから体験教室を開催する際に、テーマ選定が重要なファクターであることを意味している。

有明高専では、入学者の学力が年々低下しているようと思われる。「学力の低下」よりか、「やる気の低下」がより適語ではないだろうか。1年生の理科は、化学が通年、物理が後期に開講される。化学の前期中間試験は、今年度はこれまでにない平均点の低さであった。例年に比べ、特に難しくしたわけでもない。中学校では3年生を新課程で学習し、その分知識不足はあるかもしれないが、それまでの基本的なことも理解していないようである。公式にあてはめることはできるが、単位が異なってもそのまま代入したために、不正解にな

った学生も少なくなかった。後期に物理が始まると、化学とともに如何に単位系に慣れさせるかが、今後の課題であるといえよう。来年度は、2年間を新課程で学習した学生が入学してくる。従って、今年度以上の学力の低下が予想される。学力が低下しても、その分やる気でカバーしてくれるといいのだが、やる気と学力は比例関係のように感じられる。

高等学校では、この問題はさらに深刻であろう。このような学生・生徒を減らすためには、小学生の頃から公開講座のような体験実験を通して、「なぜ」、「どうして」と考えさせる習慣を身に付けさせることが必要であり、小・中学校の総合学習の時間に加え、高専・大学等の公開講座、出前講義も重要な位置を占めることになる。

ここ数年、日本人のノーベル賞受賞者が絶えない。大変すばらしいことである。今の子どもたちも、ノーベル賞を受賞するような能力を秘めている。ノーベル賞とは言わなくても、授業または公開講座等を通じて、このような能力を引き出すための手助けを我々は行わなければならない。

謝 辞

本校の夢・化学-21イメージキャンペーン事業は、夢・化学-21委員会の資金援助と日本化学会九州支部の共催により開催されました。14年度の夢・化学-21は、大牟田市、荒尾市、佐賀県、ハウステンボス株式会社の協力により開催することができました。ここに感謝の意を表します。また、体験教室を開催するにあたりいろいろな面で協力していただいた関係事務職員の方々、および予算面でご高配いただいた尾崎龍夫学長に感謝の意を表します。最後に、理数系基礎知識調査の集計を行ってくれた松尾さおりさんに感謝致します。

参考文献

- 1) 夢・化学-21ホームページ：<http://kagaku21.net>
- 2) 松尾明洋、宮川英明、酒井健、森田恵一、氷室昭三、有明工業高等専門学校紀要、38号、9(2001)。

Web教材の簡便作成法

山下 嶽

<平成15年10月5日受理>

An Easy Development Method of Web-based Teaching Materials

YAMASHITA Iwao

In this paper, it is described that web-based teaching materials for mathematics have developed easily by using several software.

They are saved on a computer server, or are made out in a CD-ROM. In the group learning at classroom, they have been able to be used as audio-visual aids by means of a large scale visualizing apparatus connected a personal computer, and in the private learning after school, they have been able to be used by means of previewing teaching materials of a CD-ROM together with a personal computer for repeated practice.

1. はじめに

最近の学生の傾向として、難しいこと、面倒くさいことは後回しにして、とりつきやすい簡単に解ける事しか出来ない学生が多くなった。そこで、できる限り、困難な問題に意欲的に関心を持って取り組んでくれるような教育方法を模索して、パソコンを教具として活用する教材を作成しようと思った。特に、数学の記述式題の演習に使う意図で研究し、基本的な数学的計算テクニックをとにかくマスターさせることを目指した。

解答をいくつかあげて、その中から、正解を選択するような選択式問題は習熟すれば、解答がある程度予測できて新鮮味がなくなる。単調であるがために、勉強への集中力が持続しないと思われ、ここでは、あえて作成はしにくいが、記述式問題へのWeb教材適用を試みてみた。正解選択式問題を反復練習しても、要領のいい学生は、抜け道を模索して、有効な練習を実施できないことが考えられる。数学の授業を通じて、論理的思考力を育成するには適合せず、記述式の問題を数多くこなすことにより、数学的論理性・数学の感性の育成ができると思う。

そこで、できる限り、自学自習の意欲・関心をつなぐためにパソコンを活用したWeb教材を用いる教材作成を研究した。解答はまずノートに記述しながら作成する。つぎに、Web教材を併用して、正解を知らせて自己採点させ、正解ならば次の問へ、不正解ならば、ヒントを調べて、再度解答を修正作成し、再度自己採点、これを繰り返して、正解が得られるまでやっていく。

教材に変化を持たせるためと学習者の意欲・関心の

継続を維持するため、音声・映像を付加するマルチメディア的教材としての工夫を一部採用した。

2. Web教材開発システムの概要

2. 1 開発ハードウェア

教材開発に使用したハードウェアは、パソコンが主でPower Macintosh 7600/132とSony Vaio PCG-GRV99G/Pを用いた。

Power Macintoshは、数式作成と、画像変換に使用し、Sony Vaioで、Web教材作成、音声・映像のマルチメディアデータを付加、さらに、製作した教材のCD作成に使用した。

その仕様は表1. に示す。特別の仕様を持つたものではなくて、普通のパソコンを使えば事足りる。

表1. パソコンの主な仕様

	メモリー	HDD
MAC	32MB	1GB (CD-ROM付)
Sony	512MB	60GB (DVD-RW搭載)

2. 2 開発ソフトウェア

教材作成には、数学では、どうしても数式表現が必要であり、その数式を表現できるソフトとして、多言語対応の数式記述ソフトNisus Writer¹⁾を用いた。このソフトでは、数式は画像イメージで作成でき、カットアンドペーストが自由に効き、拡大縮小も効くことより好都合なものであり、教材作成ソフトにペーストして数式表現を手軽に行うことができる。さらに、このように作成した画像イメージの数式は、Webブラウ

ザで表示できるような画像フォーマットJPEGに変換する必要がある。その画像変換のためにGif Converter²⁾というソフトを用いた。教材作成ソフトには、テキスト、映像、画像、音声までもがドラッグアンドペーストで自由に簡単に書き込み可能なLive Creator³⁾を用いて、Webベースの教材作成を行った。WebページブラウザにはマイクロソフトのInternet Explorer⁴⁾、音声・動画の再生にはWindows Media Player⁵⁾が必要となるが、無償でダウンロード、利用できる。

3. 教材開発手順

本校では、平成5年度より、独自作成した教科書をもとに数学教育を行い、その教科書に関しては、平成14年度九州工学教育協会から優秀教材としての表彰を受けた実績を持つ。そこで、その教科書の中の演習問題を解かせることを主眼として、その事例に基づいて、集団的、あるいは個別的な両面に使えるものとして活用できるような教材の開発作成を行ったので、その経過を述べる。

まず演習問題の提示を行うための画面の設計を行う。画面は、図1のような二つの画面構成を考えてい る。

演習問題表示部は、設問の本文の概要と問題の数式を記述する。数式作成には、前述のNisus Writerの多言語ソフトを用いて画像として作る。それを、Web上でブラウズできる画像formatに変換するために、画像による数式をGif Converterで読み込み、それを用いて、

は、魅力を感じないと思われる所以、授業の臨場感を出すためと教材に変化を富ませる目的で、指導者の顔の輪郭が伺える簡単な説明映像を流して、問題の説明提示を行う工夫をした。

その変換した数式の画像を、今度は教材作成ソフトLive Creator(以下、LCと略記)のソフトを使い、図1の画面構成レイアウトで示す通り、演習問題表示部に、コピーアンドペーストする。

ヒント部分には、ヒントの内容の説明をやはりJPEG画像として表示するようにして、問題が提示された後、ある程度適切な時間経過を見計らい、ヒント説明が表示されるようにしておく。余りすぐに表示できるようにすると、何も考えずにヒントに頼って解答する者もある可能性があり、それを意図的に避ける意味で指導者の問題解答時間を計測して、その時間を参考に、適切な時間経過を過ぎた頃にヒントの説明画面が表示されるように設定しておく。ヒント画面も数式記述だけでなく、学習者の関心をできる限り持続させるために、変化をつける意味で、指導者の顔をあえて見える形に考えて、説明の映像をつけた。さらに、解答表示部分では、正解例を表示して、自己点検・評価ができるようにした。解答が正解でない場合、もう一度ヒント画面に移動して、ヒントを見て、できる限り自主的に問題を解いていく様に工夫し、正解を一人で発見し解決していくことを狙って作成を行った。

教材に変化をつける映像・音声などの撮影や録音には、家庭用のデジタルビデオカメラを用いて、適当なスペースの場所を確保しカメラを固定設置して、補助者が得られれば依頼して、カメラの録画スイッチをちょっと押してもらうだけで適切な映像・音声付きのマルチメディア教材が作成できる。実に、高級な映像撮影機材を一切必要としない簡単な方法である。

このようにして集めた素材をもとに、教材ソフト化するため、初心者の用いる教材作成ソフトとしては、LCは打ってつけで、映像、画像、テキストデータを同じ操作手順で扱える使い勝手のよいソフトで、マルチメディア教材を手軽に作りたい人にもってこいのソフトである。素材を集めさえすれば、LC編集画面上にドラッグアンドペーストで置いていくだけである。そして、意図するような画面展開、時間配分および機能を追加するのみである。作成した教材は、Webブラウズ可能なようにHTML形式で、テキスト・画像・映像を保存すべきであるが、これもLCでは自動的にHTML化できる。このようにして作成したものは、Internet Explorerと映像再生用のWindows Media Playerがインストールされているパソコン上、すなわちWindows系のパソコンでは簡単に再生表示できる。

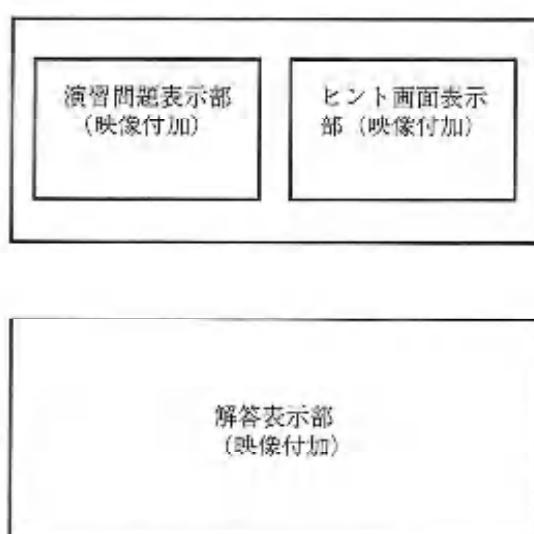


図1. 表示画面構成レイアウト

JPEG形式の画像formatに変換する。さらに、問題提示には数式が多いだけで、数学の不得手な学生にとって

ここでは、作成した教材を600MB相当に分割して、1枚のCDに焼き付けを行い、教材として活用できるようとする。媒体をCDを選んだ理由は、教材として軽くて持ち運びに便利、パソコンの機種に余り依存しない、CDが読めるパソコンのあるところどこででも使える事からの便宜性を考慮した。補足するが、ネットワーク設備が完備し、適当なサーバが用意できるならば、サーバ上に教材を保管して、ネットワーク接続されたクライアントパソコン上で、教材を検索・ブラウズする方法も可能であるが、学生への貸し出しやネットワークが配線されてない教室での使用を念頭にしているのでサーバ保管での使用は考慮外である。

もし、LCのソフトがインストールされてないパソコン上でCD教材を再生ブラウズする時には、CD教材作成時に、ネットワーク接続したパソコン上で教材ソフトLCを提供するソフトメーカーのサーバのURLにアクセスし、LCのpassを1度だけ通しておくことが必要となるが、1回通しておけば、Internet ExplorerとWindows Media Playerをインストールしたパソコンのある所、どこででも教材再生ができる。

集団学習の教材としては、指導者が教室にパソコンと液晶プロジェクターを用意すれば、CD再生の画面を大型スクリーンに投影して、クラスにおけるグループ学習・集団学習の参考教材として提示して使える。個別的・自己学習の場合には、参考書の代用として、自習教材として、パソコンを横に置き、あるいはパソコンが使える特別室で、何度も再生して、反復演習を個別的に、時間の許す限り、学習者が納得できるまで、自由に行えるのも好都合である。いわゆる最近流行のユビキタス環境での自己学習ができる。

4. Web教材を活用する授業形態と評価

4. 1 教材画面の構成

前述の通り、起動しているパソコンにCDをセットして、CDに同梱されている教材アイコンをクリックすると、自動的にInternet Explorer経由で教材が表示される。表示された教材の画面構成を説明しよう。図1に示したように、二つの画面に分かれていて、一つ目には、演習問題表示部とヒント画面表示部、もう一つは、解答表示部である。

図2に示すように、映像素材としては、説明の映像を指導者の顔があえて見えるように撮影して、授業と同じ臨場感を持たせる。学習者への教材への親近感を持たせる意図もある。

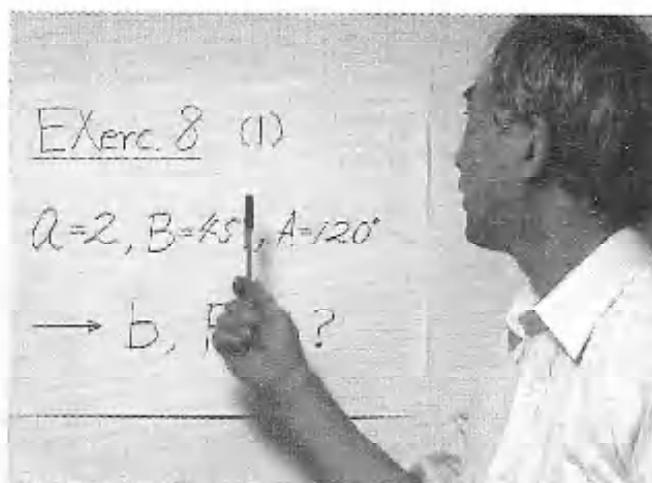


図2. 映像素材

数式

Exersice 8

(1) $a=2, B=45^\circ, A=120^\circ \rightarrow b, R ?$

ボタン類

CLICK

NEXT

図3. 演習問題画像素材

図3では、数式表現を示す画像素材と、画面展開をはかっていくためのボタンなどの画像素材を示す。

これらをWeb上でブラウズし、ある適当な時間間隔で画面を展開していくような機能を持たせ、図1に示した配置と画面構成をもとに作成していく。

演習問題表示部分は、演習問題の指示映像表示後に映像を消したあと、このファイルを閉じるまで表示されているが、ヒント画面部分は、学生がほぼ問題解答を作成し終える時間を見計らい、説明用の映像のあと映像を隠して、ヒント説明の数式が表示されるように設定されている。解答画面の部分は、解答作成要點を説明する映像を示した後、その映像を消去して、解答が表示され、学生が自己採点できるように設定しておく。

上記の素材がどのように再生されるかを図4-1, 4-2, 4-3で、演習問題表示の初期状態、ヒント画面表示状態、解答画面表示状態の3種の状態画面を模式図的に示す。

概略流れに沿った画面展開を図5-1から5-9までにあげて、使用時の画面の流れを示してみ

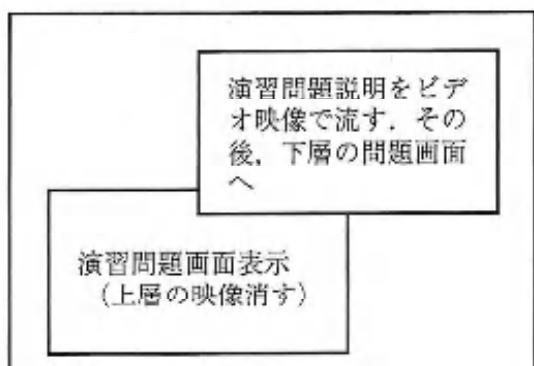


図4-1. 演習問題画面

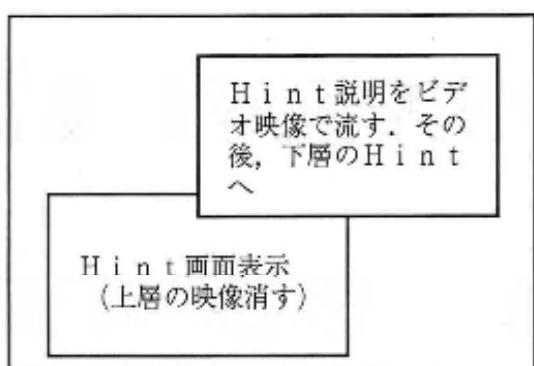


図4-2. ヒント画面

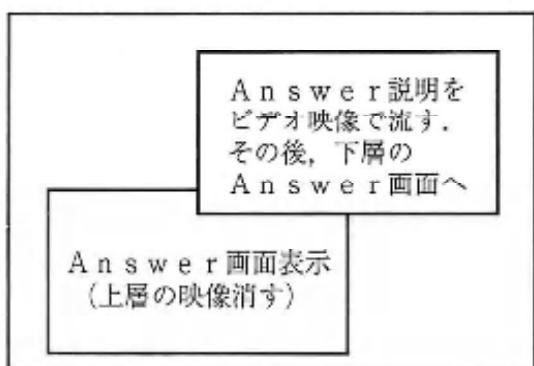


図4-3. 解答画面

よう。

図5-1では、演習問題の説明映像を指導者の音声説明付きで表示する。

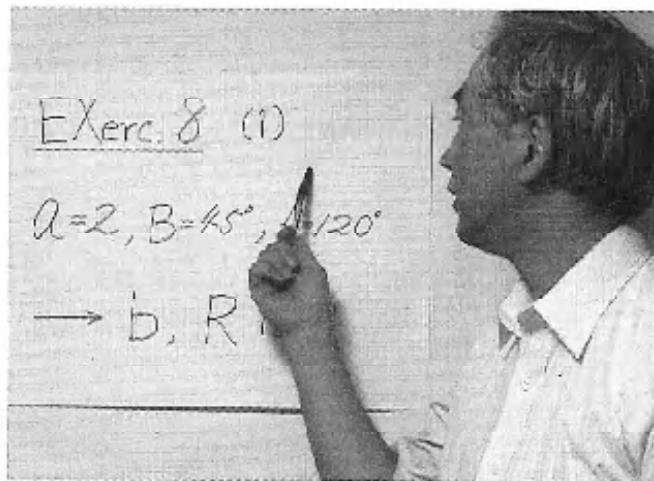


図5-1. 問題説明映像画面

図5-2では、演習問題をテキスト表示して、じっくり読んで考えるようとする。

Exersice 8
〔1〕 $a=2, B=45^\circ, A=120^\circ \rightarrow b, R ?$

しっかり考えて解いてください。
分からぬときは、しばらくして
ヒントの説明映像と、式が表示さ
れます。それを参考に解いてみて
ください。

図5-2. 問題のテキスト表示画面

図5-2よりしばらく経過して、図5-3で、ヒントの映像を音声付きで表示する。

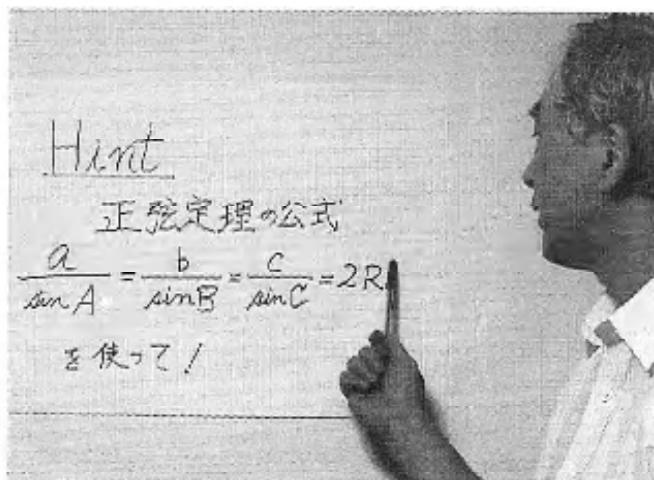


図5-3. ヒントの映像画面

図5-4では、ヒントをテキスト表示する。

Hint

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$$

図5-4. ヒントのテキスト表示画面

図5-5では、解けたら解答画面への進行指示、【CLICK】ボタンを押す指示を発する。

解けた人は、CLICKの所をクリックしてみてください。解答画面へ進みます。

CLICK

図5-5. 解答画面進行指示画面

図5-6では、解答画面で音声付きで映像を表示し、解答を説明する。

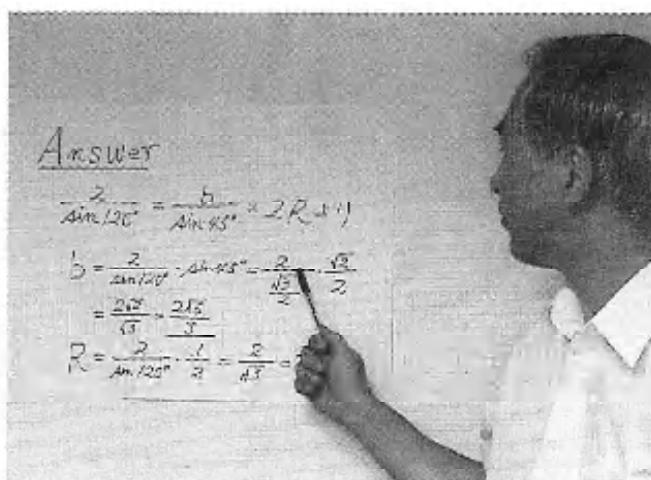


図5-6. 解答説明映像画面

図5-7では、その説明の解答をテキスト表示し、自己採点させてじっくり検討させる。

Answer

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$$

$$\frac{2}{\sin 120^\circ} = \frac{b}{\sin 45^\circ} = 2R$$

$$b = \frac{2}{\sin 120^\circ} \sin 45^\circ = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{6}}{3}$$

$$R = \frac{2}{\sin 120^\circ} \cdot \frac{1}{2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}}{3}$$

解答をチェックしてみて下さい。正解の人は、NEXTを、正解でなかった人は、HINTの所をクリックして下さい。

NEXT

HINT

図5-7. 解答テキスト表示画面

図5-8は、図5-7の【NEXT】ボタンで遷移する画面で、次の問題の指示が表示される。

良く解けました。それでは、続けて次の問題を解いていって下さい。

Exercice 8

[2] $a=R \rightarrow A$

図5-8. 次の問題指示画面

図5-9では、図5-7の【HINT】ボタンで遷移する画面で、再度ヒント画面よりやり直してみる様指示する。

それでは、もう一度ヒント画面を表示します。じっくり考えてください。

Hint

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$$

もう一度、よくヒントを見ながら、慎重に計算してみましょう。計算が終わったら下のCLICKボタンをクリックしてください。

CLICK

図5-9. ヒント画面からの再検討指示画面

これらの9つの図の内、図5-1から図5-5までと図5-6および図5-7は、それぞれ、一つのwebブラウザ画面内で動くよう設定し、図5-5の【CLICK】ボタン操作で解答画面の図5-6へ、そこで、正解ならば次の問い合わせ画面図5-8へ、不正解ならば、再度ヒント画面で検討するための指示する画面の図5-9へ進むよう指示する。このような展開を辿って、自己採点しながら、本当の正解に到達するまで、自分のペースで、好きな時間に好きなところで、自由に学習を進めていけるシステムである。

4. 2 授業における活用法

Windows系パソコンでInternet ExplorerとWindows Media Playerをインストールしたパソコンの備えがあれば、前述のようにして作成したCDをセットして、Internet Explorerを起動するだけで、4. 1節で述べた通り、教材が表示され利用できる。教室でクラス単位で使用する教材と

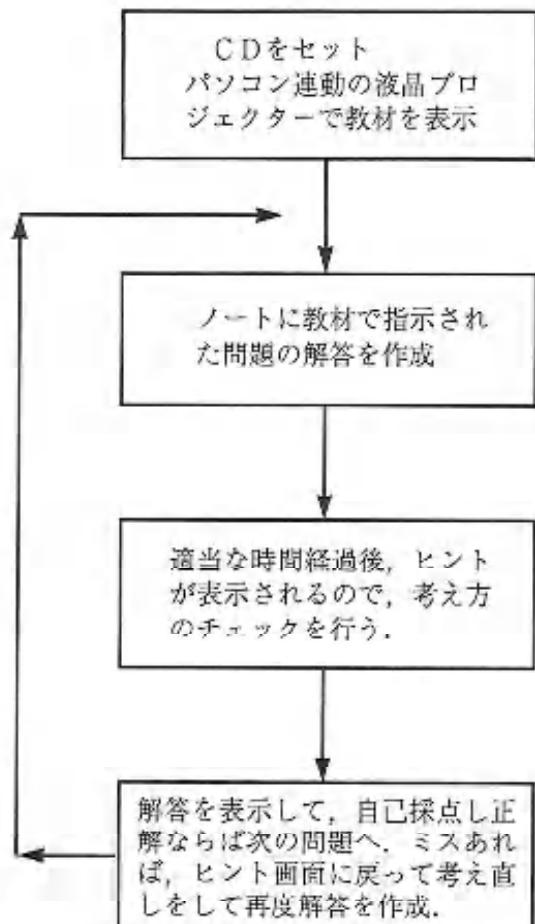


図6. 集団学習における利用方法の流れ

しての利用方法の流れを図6に示す。

教材に表示された問題部分の指示に従い、まずは、ノートに各自個別に解答を作成する。解答途中で分からなければ、適当な時間おいてヒント画面で説明と数式を表示するので、それを参考に解していく。そして解答画面に移り、解答・考え方が正しいかどうか調べて、自己採点を行う。不正解ならば、ヒント画面を再度表示・熟読して、再度ノートの解答を検討してみる。この過程を正解が得られるまでくり返し行う。このように個々人で問題解答を作り、集団的に集合学習で使う場合には、パソコン接続の液晶プロジェクターなどを用いて解答を表示しながら、正解を知らせて自己採点させる。板書時間の節約と数学への興味の喚起と授業展開の気分転換的作用をマルチメディア教材活用によって援用する利点もあるのではないかと思われる。

4. 3 個別自習での活用方法

個人ベースで利用する場合は、パソコンが自宅または寮にあれば、CDを借りていき、自宅あるいは寮での学習においてパソコンのCD-ROM再生機能を利用して、参考書代わりに用いる。利用の手順は集団学習の場合と同様で、Internet ExplorerとWindows Media PlayerのインストールされたパソコンにCD教材をセットして、CD教材に同梱された教材アイコンをクリックすれば、教材が表示され、上記4. 2節で述べたような使い方と同様の流れで、まず問題が与えられたら、ノートで解答を作成し、その後、分からぬ時は、ヒントを参照し、解けたところで解答チェックをくり返し行いながら、正解を導くまで個別学習が行える。反復的に理解できるまで自分のペースで実施できるので、少し、計算に手間のかかる学生や、授業での理解が不足した学生には、補習教材として利用させると、理解度・定着度が向上できるかと推測される。

4. 4 システムの評価

現在のように数学の授業（筆者の授業形態に限り）を講義と課題演習を黒板板書・ノート整理方式主体で実施するだけの場合と、ここに述べる形態のごとくパソコン活用により、多少なりとも授業形態に変化を持たせる方法での授業と、どちらの形態が数学の授業への学生の関心度が高いのか、向上心を持続させることができかを観察・研究していくことが大事であろう。それには、早急

にこのような教材作成を進めて集積していくことが大切で、そのためにも本論文で述べる簡便Web教材作成法は手軽で安価な作成方法であろうと思われる。さらに、筆者は数学担当であるから、数学に題材を拾い、教材作成法を述べたが、前述の通り、装置としては、家庭用のある程度の機能を持つデジタルビデオカメラと適当な機能を有するパソコン（CDの再生、録画保存機能付き）とを用意して、ソフトウェアは教材作成用に（筆者は、前述の通りLive Creatorを用いた）。数10万円程度のライセンス料が必要であるが、出来合いの市販教材ソフトを購入するよりも、現場教師の授業の実感を直接学習者に伝えられる点で、市販教材ソフトにない親近感溢れる教材が作成できるこのような手軽な教材作成ソフトを活用すればよい。このような、準備が整えば、自分の授業中、始業前にビデオカメラをセットして、授業を録画して、後で編集作成するか、あるいは適当なスペースがあれば、そこを撮影スタジオとして設定することで簡単に教材を作っていくので、どのような科目においても、ここだけは、再度反復復習させたいと思う箇所を録画し、教材構成すれば良いと思う。教材としての品質や機能面では、高機能な市販ソフトには多少劣るかも知れないが、大がかりな装置やソフトウェアは使わなくても、学習者が継続的に反復的に使っていけるマルチメディア教材を作成できることを力説したい。

5. おわりに

筆者の授業担当の関係で、数学の演習問題を事例にして、集合教育においても自学自習として個別教育においても、授業を効率よく効果的に実施できるような教材をIT技術を利用して、マルチメディアを盛り込んだ教材を作ることを行った。

マルチメディアを採用することで、ただ漠然と演習を消化するのではなくて、学習の場面構成・展開に変化をつけて、演習を根気強く持続的にできる素養を植え付け、継続的な学習意欲を喚起するための教材となるよう配慮した。

本論文に述べた方法によれば、割合簡単な装備と適当な費用で、どのような教科においても、手軽にマルチメディア教材が作成・利用できる可能性があることを紹介した。

筆者としては、今後、本研究で述べた方法により、教材を作成・蓄積していく、来年度は、実際の授業に活用して教育効果の検討、学生からの評判・批判、數学科教員仲間からの意見・批評収集などを実施し、本教材での教育・学習効果の評価を行っていきたい。

参考文献

- 1) Nisus Writer 4.06J: 株式会社 マーキュリー・ソフトウェア・ジャパン
[http://www.mercury-soft.com/
update.html](http://www.mercury-soft.com/update.html)
- 2) GIF Converter 2.3.7: Copyright 1988-1992., Kevin A. Mithell., All Rights Reserved., shareware program.
- 3) Live Creater Ver. 2 操作マニュアル: 株式会社 レイル, 2001年
- 4) Internet Explorer 6 SP1: [http://
www.microsoft.com/japan/ie](http://www.microsoft.com/japan/ie)
- 5) Windows Media Player 9: [http://
www.microsoft.com/japan/windows/
windowsmedia/download/
default.aspx](http://www.microsoft.com/japan/windows/windowsmedia/download/default.aspx)
- 6) 坂西文俊他8名: 有明高専の数学 第1巻, 第2巻, 第3巻, 2003年版

Holomorphic Mappings on Some Infinite Dimensional Domain

HONDA Tatsuhiro

<Received 1 October, 2003>

Abstract

Let $(E, \|\cdot\|)$ be a complex Banach space with the norm $\|\cdot\|$. Let $R > 0$ and let $B_R(0)$ be the open ball centered at the origin with radius R . We consider some inequalities of the Harnack type and its applications for holomorphic mappings on some infinite dimensional domain.

1 Introduction

Many of the properties of holomorphic functions of several complex variables, especially the ones that they share with holomorphic functions of one complex variable, follow from the fact that they are harmonic. We define the disc $B(a, R) = \{z \in \mathbb{C}; |z - a| < R\}$ for $a \in \mathbb{C}, R > 0$. The Harnack inequalities for a harmonic functions as follows:

Theorem (the Harnack inequalities).

If u is a positive harmonic function on $B(0, R)$, then the following inequality holds :

$$\frac{R - |z|}{R + |z|} u(0) \leq u(z) \leq \frac{R + |z|}{R - |z|} u(0)$$

for all $z \in B(0, R)$.

If Ω is a domain in \mathbb{C} and $f : \Omega \rightarrow \mathbb{C}$ is holomorphic, then f is harmonic because $0 = \partial\bar{\partial}f$. It follows that a holomorphic function of several variables is harmonic because it is holomorphic in each variable separately. Familiarity with the properties of harmonic functions will be helpful for motivation when we investigate holomorphic mappings.

In this paper, we consider some inequalities of the Harnack type and its applications for holomorphic mappings on some infinite dimensional domain.

2 Notation and Preliminaries

Let Ω be a domain in \mathbf{C} and $u : \Omega \rightarrow \mathbf{R}$ be a C^2 -class function. We say that u is *harmonic* if it satisfies the differential equation

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 4\partial\bar{\partial}u = 0 \text{ on } \Omega,$$

where $z = x + iy \in \mathbf{C}$.

Let $(E, \|\cdot\|)$ be a complex Banach space with norm $\|\cdot\|$ and F be a complex Banach space. Let E^* be the dual space of E . We denote by $B_r(a)$ the open ball

$$\{x \in E : \|x - a\| < r\}$$

for $a \in E$ and the unit ball is abbreviated by

$$B_1(0) = B$$

and if $E = \mathbf{C}$, let B be the unit disc in the complex plane.

Using the Harnack inequalities for one complex variable, we obtain the following theorem.

Theorem 2.1. *Let $(E, \|\cdot\|)$ be a complex Banach space with the norm $\|\cdot\|$. Let $R > 0$ and let $B_R(0)$ be the open ball centered at the origin with radius R . Let $f : B_R(0) \rightarrow E$ be a holomorphic mapping. We take $\varphi \in E^*$ and assume that*

$$\Re\{\varphi(f(x))\} \geq 0$$

for all $x \in B_R(0)$. Then we have the following inequalities :

$$\frac{R - \|x\|}{R + \|x\|} \Re\{\varphi(f(0))\} \leq \Re\{\varphi(f(x))\} \leq \frac{R + \|x\|}{R - \|x\|} \Re\{\varphi(f(0))\}$$

for all $x \in B_R(0)$.

Proof. We take $x \in B_R(0) \setminus \{0\}$. We set

$$w = \frac{x}{\|x\|}, \quad u(\zeta) = \Re\varphi(f(w\zeta))$$

for $\zeta \in B(0, R)$. Then u is harmonic with respect to ζ . By the Harnack inequalities for one complex variable, we have

$$\frac{R - |\zeta|}{R + |\zeta|} u(0) \leq u(\zeta) \leq \frac{R + |\zeta|}{R - |\zeta|} u(0)$$

for all $\zeta \in B(0, R)$.

3 Inequalities of the Harnack type

We denote by $L(E, F)$ the set of all continuous linear operators from E into F with the standard operator norm $\|\cdot\|$. The letter Id will represent the identity operator.

Let E^* be the dual space of E . For each $x \in E \setminus \{0\}$, we define

$$T(x) = \{\varphi \in E^* : \|\varphi\| = 1, \varphi(x) = \|x\|\}.$$

By the Hahn-Banach theorem, $T(x)$ is nonempty.

Let $x(t) : I \rightarrow E$ be a E -valued function on an interval $I \subset \mathbf{R}$. $x(t)$ has a weak derivative $x'(s) \in E$ at $t = s$ if $\frac{d\varphi(x(t))}{dt}$ exists at $t = s$ and equals $\varphi(x'(s))$ for every $\varphi \in E^*$. The following proposition is useful for the duality mappings (c.f. [11]).

Proposition 3.1. *Let $x(t) : I \rightarrow E$ be a E -valued function which has a weak derivative at $t = s$. If $\|x(t)\|$ is also differentiable at $t = s$ then*

$$\frac{d}{ds}\|x(s)\| = \Re\{\varphi(x'(s))\}$$

for all $\varphi \in T(x(s))$.

Proof. For every $\varphi \in T(x(s))$, we have

$$\Re\{\varphi(x(s))\} = \|x(s)\|$$

and

$$\Re\{\varphi(x(t))\} \leq |\varphi(x(t))| \leq \|x(t)\|.$$

So

$$\Re\{\varphi(x(t) - x(s))\} \leq \|x(t)\| - \|x(s)\|.$$

Therefore

$$\begin{aligned} \frac{\Re\{\varphi(x(t) - x(s))\}}{t-s} &\geq \frac{\|x(t)\| - \|x(s)\|}{t-s} \text{ if } t < s, \\ \frac{\Re\{\varphi(x(t) - x(s))\}}{t-s} &\leq \frac{\|x(t)\| - \|x(s)\|}{t-s} \text{ if } t > s. \end{aligned}$$

Letting $t \rightarrow s$, we have

$$\Re\{\varphi(x'(s))\} = \frac{d}{ds}\|x(s)\|.$$

We denote by $H(B)$ the set of holomorphic mappings from B into F . It is well known that if $f \in H(B)$ then

$$f(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} D^n f(x)((y-x)^n)$$

for all y in some neighborhood of $x \in B$, where $D^n f(x)$ is the n^{th} Fréchet derivative of f at x and for $n \geq 1$,

$$D^n f(x)((y-x)^n) = D^n f(x)(y-x, \dots, y-x).$$

We note that $D^n f(x)$ is a bounded symmetric n -linear mapping from $\prod_{j=1}^n E$ into F (c.f. [2]).

A holomorphic mapping $f : B_R(0) \rightarrow F$ is said to be normalized if $f(0) = 0$ and $Df(0) = Id$.

Lemma 3.2. *Let k be a positive integer and let $\sigma : B(0, 1) \rightarrow \mathbb{C}$ be a holomorphic mapping with $\sigma(0) = 0$ and*

$$\sigma(e^{2\pi i/k}\zeta) = \sigma(\zeta)$$

for all $\zeta \in B(0, 1)$. If there exists $M > 0$ such that

$$|\sigma(\zeta)| \leq M$$

for all $\zeta \in B(0, 1)$, then

$$|\sigma(\zeta)| \leq M|\zeta|^k$$

for all $\zeta \in B(0, 1)$.

Proof. We take $0 < r < 1$. By the Taylor expansion of σ at the origin, we have

$$\sigma(\zeta) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \zeta^n$$

for all $|\zeta| \leq r$, where

$$a_n = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=r} \frac{\sigma(\zeta)}{\zeta^{n+1}} d\zeta.$$

Then

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{2\pi i} \int_{|\eta|=r} \frac{\sigma(e^{2\pi i/k}\eta)}{(e^{2\pi i/k}\eta)^{n+1}} e^{2\pi i/k} d\eta \\ &= e^{-2\pi i/k} a_n. \end{aligned}$$

So

$$a_n = 0$$

for $1 \leq n \leq k-1$. We set

$$\tau(\zeta) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{n+k} \zeta^n,$$

then

$$\begin{aligned} |\tau(\zeta)| &= \left| \frac{\sigma(\zeta)}{\zeta^k} \right| \\ &\leq \frac{M}{r^k}. \end{aligned}$$

For $r \rightarrow 1$, we obtain

$$|\sigma(\zeta)| \leq M|\zeta|^k$$

for all $\zeta \in B(0, 1)$.

Using Lemma 3.2, we have the following inequalities of the Harnack type for normalized holomorphic mappings.

Theorem 3.3. Let $(E, \|\cdot\|)$ be a complex Banach space with the norm $\|\cdot\|$ and let $B_R(0)$ be the open unit ball with respect to $\|\cdot\|$. Let k be a positive integer and let $f: B_R(0) \rightarrow E$ be a normalized holomorphic mapping with $f(e^{2\pi i/k}x) = e^{2\pi i/k}f(x)$ for all $x \in B_R(0)$. We take $\varphi \in T(x)$ and assume that $\Re\{\varphi(f(x))\} > 0$ for all $x \in B_R(0) \setminus \{0\}$. Then we have the following inequalities :

$$\frac{R^k - \|x\|^k}{R^k + \|x\|^k} \|x\| \leq \Re\{\varphi(f(x))\} \leq \frac{R^k + \|x\|^k}{R^k - \|x\|^k} \|x\|$$

for all $x \in B$.

Proof. We take $x \in B_R(a) \setminus \{0\}$. Then there exist $z \in B$ and $\zeta \in B(0, 1)$ such that

$$x = \frac{z}{\|z\|} R\zeta.$$

We set

$$w = \frac{z}{\|z\|} R.$$

We fix $\varphi \in T(x)$ and set

$$h(\zeta) = \frac{\varphi(f(w\zeta))}{\zeta}$$

for $\zeta \in B(0, 1)$. Then h is holomorphic with respect to ζ and $h(0) = 1$. We set $\tilde{\varphi} = \frac{|\zeta|}{\zeta} \varphi$ for $\zeta \neq 0$. Then $\tilde{\varphi} \in T(w\zeta)$. It follows from the assumption of f that $\Re\{\tilde{\varphi}(f(w\zeta))\} > 0$, that is, $\Re h(\zeta) > 0$. Since $\Re h(\zeta)$ is harmonic, we have

$$(3.1) \quad \Re h(\zeta) > 0 \quad \text{for all } \zeta \in B(0, 1).$$

Now we take the linear transformation

$$\psi(\zeta) = \frac{1+\zeta}{1-\zeta}$$

and set

$$\sigma(\zeta) = \psi^{-1} \circ h(\zeta).$$

Then, from (3.1),

$$|\sigma(\zeta)| < 1$$

for $\zeta \in \Delta$. Since $h(e^{2\pi i/k}\zeta) = h(\zeta)$,

$$\sigma(e^{2\pi i/k}\zeta) = \sigma(\zeta).$$

By Lemma 3.2, we have

$$(3.2) \quad |\sigma(\zeta)| \leq |\zeta|^k.$$

On the other hand,

$$\Re h(\zeta) = \frac{1 - |\sigma(\zeta)|^2}{|1 - \sigma(\zeta)|^2}.$$

So we obtain

$$\frac{1 - |\sigma(\zeta)|}{1 + |\sigma(\zeta)|} \leq \Re h(\zeta) \leq \frac{1 + |\sigma(\zeta)|}{1 - |\sigma(\zeta)|}.$$

From (3.2),

$$\frac{1 - |\zeta|^k}{1 + |\zeta|^k} \leq \Re h(\zeta) \leq \frac{1 + |\zeta|^k}{1 - |\zeta|^k}.$$

We set $\zeta = \|x\|/R$, then we have the required inequalities.

References

- [1] R. Barnard, C. FitzGerald and S. Gong, 'The growth and 1/4-theorems for starlike mappings in C^n ', *Pacif. J. Math.*, 150 (1991), 13–22.
- [2] S. Dineen, *Complex Analysis on Infinite Dimensional Spaces*, (Springer, Berlin, 1999).
- [3] D. Dong and W. Zhang, 'The growth and 1/4-theorem for starlike maps in the Banach space', *Chin. Sci. Bull. Ser.A*, (4) 13 (1992), 417–423.
- [4] S. Gong, *Convex and Starlike Mappings in Several Complex Variables*, (Kluwer Academic Press, 1999).
- [5] K.R. Gurganus, Φ -like holomorphic functions in C^n and Banach spaces, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 205 (1975), 389–406.
- [6] H. Hamada, 'Starlike mappings on bounded balanced domains with C^1 -plurisubharmonic defining functions', *Pacific J. Math.*, (2) 194 (2000), 359–371.
- [7] H. Hamada and G. Kohr, 'Growth and distortion for convex mappings in infinite dimensional spaces', preprint.
- [8] L. F. Heath and T. J. Suffridge, 'Starlike, convex, close-to-convex, spiral-like, and Φ -like maps in a commutative Banach algebra with identity', *Trans. Amer. Math. Soc.* 250 (1979), 195–212.
- [9] T. Honda, 'A growth theorem for biholomorphic mappings on a Banach space', *Irish Math. Soc. Bull.*, 44 (2000), 88–93.

- [10] T.Honda, 'The growth theorem for k -fold symmetric convex mappings', *Bull. London Math. Soc.*, 34 (2002), 717–724.
- [11] T. Kato, 'Nonlinear semigroups and evolution equations', *J. Math. Soc. Japan*, 19 (1967), 508–520.
- [12] T.J. Suffridge, 'Starlike and convex maps in Banach spaces', *Pacif. J. Math.*, 46 (1973), 575–589.
- [13] T.J. Suffridge, 'Starlikeness, convexity and other geometric properties of holomorphic maps in higher dimensions', *Complex analysis* (Proc. Conf., Univ. Kentucky, Lexington, Ky., 1976), Lecture Notes in Mathematics 599 (Springer, Berlin, 1977), 146–159.

メダカ(*Oryzias latipes*)を用いた化学物質の女性ホルモン様作用評価のための基礎的研究

山口 明美・富永伸明

<平成15年10月3日受理>

A Basic Study for Assessment of Estrogenic Activity of Chemicals using Medaka(*Oryzias latipes*)

YAMAGUCHI Akemi and TOMINAGA Nobuaki

Vitellogenin (VTG), choriogenin (Chg) and estrogen receptor (ER) gene expression driven by estrogen are sensitive biomarkers for assessment of estrogenic effect of chemicals. In this investigation, we performed a basic study to measure these gene expression in medaka (*Oryzias latipes*) liver using a reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) technique. We constructed VTG 1, VTG 2, Chg H, Chg L, ER, β -actin specific primers for RT-PCR, based on the cDNA sequences registered at the Gene Bank. According to the results of RT-PCR, all primers could work and these biomarker genes were amplified by RT-PCR under the same condition. Moreover we could find that VTG1, VTG2, ChgH and ER mRNA induction level of male medaka exposed to Estradiol (E₂) elevated equal to that of female medaka exposed to E₂.

1. はじめに

近年、ホルモン作用の搅乱を引き起こすと考えられる内分泌搅乱化学物質の生物への影響が懸念されている。ヒトの活動に伴って排出された化学物質は最終的に河川や海洋等の水環境へ移行し、そこに生息する水棲生物に影響を与えることが考えられる。一方、現在使われている多様な化学物質の内分泌搅乱作用の評価を行うために様々な生物を用いた試験法が開発され始めており、その中にビテロジエン (VTG) 產生試験法がある。VTGは女性ホルモンであるエストロゲンの作用によって誘導される卵黄タンパク質前駆物質で、卵生生物の肝臓で合成され、血液を経由して卵に蓄積される。通常、VTGはオスでは非常に低い濃度でしか検出されないが、エストロゲンに暴露されたオスではVTG濃度が増加するため、VTGの測定は化学物質の内分泌搅乱作用の有効な指標とされている¹⁾。また、コリオジエン (Chg) はVTGと同様にエストロゲンによって誘導される卵膜タンパク質の前駆物質であり、VTGよりも高感度な指標として注目されている²⁾。このVTG产生試験法は主に魚類を用いて行われているが、OECDおよび環境省が作製したガイドラインでは飼育、繁殖が比較的容易で成魚になっても小型で扱いやすく、成熟までの日数が短いなどの利点があることからメダカが試験魚に取り入れられ、遺伝的に雌雄で体色が異なるために性別の判定が容易なd-Rメダカの使用が提案されている³⁾。通常、メダカ

を用いたVTG产生試験ではVTGタンパク質に対する抗体を用いた酵素免疫測定法が広く使われているが⁴⁾、適切な抗体や抗原の入手に時間がかかるなどの問題がある。これまでに我々はキンギョを用い、VTG遺伝子の発現を指標として女性ホルモン様作用を測定できることを報告した⁵⁾。そこで本論文ではd-Rメダカを用い、VTGやChgなどの遺伝子の変動を指標として、より高感度で迅速な女性ホルモン様作用評価系が作成できると考え、その基礎的研究を行った。

2. 材料及び方法

2. 1 材料

エストラジオール 17β (E₂)、ジメチルスルホキシド(DMSO)、クロロホルム、エタノール、イソプロパノール、ジエチルピロカーボネート(DEPC)は和光純薬より購入した。TRIzol Reagent, Oligo(dT) Primerはインビトロジェンより購入した。逆転写酵素(ReverTra Ace), 5×buffer, 10mM dNTP, Taq DNA Polymeraseは東洋紡より購入した。

2. 2 試験物質への暴露

メダカ(*Oryzias latipes*)は熊本県立大学より譲り受けたものを本校で継代飼育し、孵化後約3ヶ月齢のオスを暴露試験に用いた。飼育期間及び暴露期間中は、水温26-27°C、明期16時間、暗期8時間の光周期に維持した。餌は、前飼育、暴露期間中を通してブレイン

シェリンプ (*Artemia sp.*) 娃化幼生を一日一回飽食量給餌した。E₂への暴露はDMSOを助剤として0.75mg/mlの保存溶液を調製し、この保存溶液を脱塩素した水道水に加えて希釈して10μg/mlの溶液とし、さらにソニケーターで攪拌して均一な溶液とした。コントロールは20μlのDMSO溶液とした。試験溶液は、3日ごとに全量を交換した。暴露期間は2週間とし、暴露期間終了時に肝臓を採取して直ちに液体窒素で凍結させ、-80°Cで保存した。

2.3 RNAの抽出

TRIzol Reagentに記載の手順に従いRNAの抽出を行った。肝臓にTRIzol Reagent 500μlを加え、ボリトロンホモジナイザーを用いて均質化し、室温で5分間静置した。クロロホルム100μlを加えて15秒間激しく攪拌し、2~3分間室温で静置後、4°C、12,000 rpmで15分間遠心した。上清を分取し、500μlのイソプロパノールを加えて激しく攪拌し、室温で10分間静置後、4°C、12,000 rpmで10分間遠心した。上清を取り除き、得られた沈殿に80%エタノールを加えて沈殿を洗浄し、風乾した。乾燥した沈殿に0.1% DEPC処理水を加えてRNA溶液とした。RNA溶液のOD260/280を測定し、RNAの純度と濃度を調査し、Reverse-transcription Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) の試料とした。

2.4 RT-PCR

RNA 5μgとOligo(dT) primer 1μlに0.1% DEPC処理水を加えて総量を13μlとし、70°Cで10分間加熱した後、直ちに水上に移して急冷した。5×Buffer 4μl、10mM dNTP 2μl、RevaTra Ace 1μlを加えて42°Cで1時間静置後、99°Cで5分間熱処理し、cDNA溶液とした。PCR反応液は東洋紡のrTaq DNA Polymeraseに記載の手順に従って調整した。反応条件は、すべてのプライマー対において変性94°C 30sec、アニーリング60°C 30sec、伸長反応72°C 1minを1サイクルとし、30サイクル行った。反応終了後、試料を1.5%アガロースゲル電気泳動で分離し、エチジウムプロミドで染色を行った。トランスイルミネーター上で得られた電気泳動像をKODAK EDAS 290システムに取り込み画像解析を行った。

3. 結果と考察

Gene Bankを検索した結果、メダカにはVTG1およびVTG2といわれる2種類のVTG、また、Chg HおよびChg Lといわれる2種類のChgが存在することがわかった。そこで、VTG1, 2, Chg H, Lに加え、エストロゲンレセプター(ER)およびアクチン(β-actin)

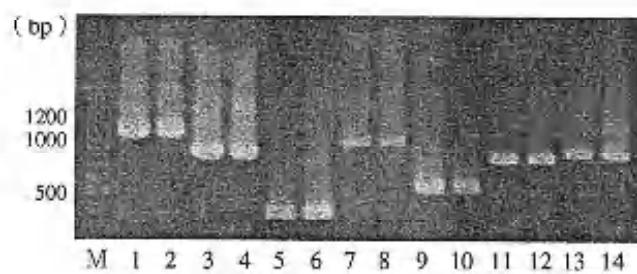
についてプライマー対を設計した。メダカ β-actin (Accession number: S74868)、メダカ Chg H (Accession number: AF500195)、メダカ Chg L (Accession number: AF500194)、メダカエストロゲンレセプター(ER) (Accession number: AB033491)、メダカ VTG 1 (Accession number: AB064320)、メダカ VTG 2 (Accession number: AB074891) のcDNA配列をGene Bankから入手し、その配列情報を基にそれぞれのタンパク質のプライマー対を設計した。また、ホモロジー検索の結果、VTG 1 と VTG 2 遺伝子は相同性が非常に高いことから、共通塩基配列に対するプライマー対も設計し、総VTG量の測定を行うことを計画した。これらのプライマー対の塩基配列を表1に示す。

表1. RT-PCRに使用するために設計したメダカアクチン、VTG、VTG1、VTG2、ChgH、ChgL、ER プライマー対

mRNA	Forward Primer	Revers Primer
β-actin	CGT GAT GAA GCG CAG AGC AA	AAC ACA GTG TTG GCG TAC AG
VTG	GAA CCA CTG TCA GGA GAG AA	GAA ACC ATG CGA AGC TCT G
VTG 1	GCC TTA CCC CCT TTG AGG AG	AGA GTG CCT CAG GTC CAC AC
VTG 2	GTC TTC ACG ACG TCT TCT TC	GCT AGA CAA TGG TAT CGG AC
Chg H	TCC GCA CTA OCT CTG CTA TQ	ATC GTG GCA GCA GTC TAT GG
Chg L	TGC AGC AAA GAT GGC AGA AG	ACT GCA TTG GCA TGA ACC TC
ER	TAT GTG CCC AGC GAC CAA TC	TGT CCA GCA TGCT TCT GAA CC

これらのプライマーのPCR反応における最適条件を検討するため、アニーリング温度、サイクル数を変えてPCRを行った(図1)。

(A) アニーリング温度58, 60°C



(B) サイクル数 25,35サイクル

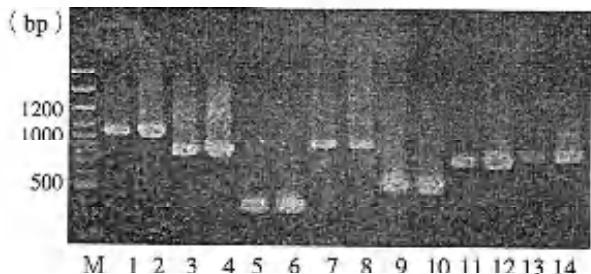


図1. PCR反応条件の検討

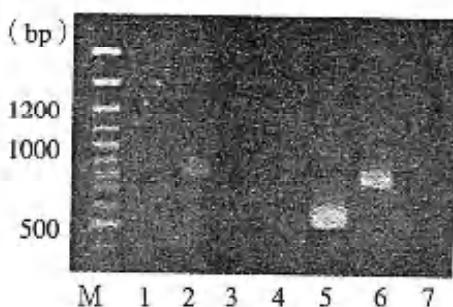
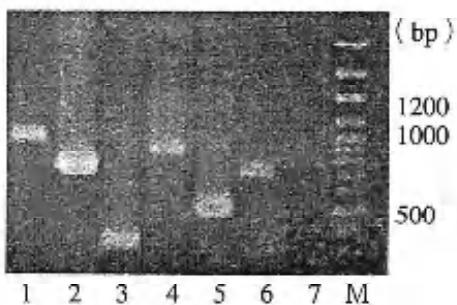
(A) サイクル数30、アニーリング温度58, 60°Cの条件でPCRを行い、PCR反応液を1.5%アガロースゲルで電気泳動し、エチジウムプロミドで染色した。M, 100bp分子量マーカー; lane 1, VTG · 58°C; lane 2, VTG · 60°C; lane 3, VTG 1 · 58°C; lane 4, VTG 1 · 60°C; lane 5, VTG 2 · 58°C; lane 6, VTG 2 · 60°C; lane 7, Chg H · 58°C; lane 8, Chg H · 60°C; lane 9, Chg L · 58°C; lane 10, Chg L · 60°C; lane 11, actin · 58°C; lane 12, actin · 60°C; lane 13, ER · 58°C; lane 14, ER · 60°C。

(B) アニーリング温度60°C、サイクル数25, 35の条件でPCRを行い、PCR反応液を1.5%アガロースゲルで電気泳動し、エチジウムプロミドで染色した。M, 分子量マーカー; lane 1, VTG · 25サイクル; lane 2, VTG · 35サイクル; lane 3, VTG 1 · 25サイクル; lane 4, VTG 1 · 35サイクル; lane 5, VTG 2 · 25サイクル; lane 6, VTG 2 · 35サイクル; lane 7, Chg H · 25サイクル; lane 8, Chg H · 35サイクル; lane 9, Chg L · 25サイクル; lane 10, Chg L · 35サイクル; lane 11, actin · 25サイクル; lane 12, actin · 35サイクル; lane 13, ER · 25サイクル; lane 14, ER · 35サイクル。

E_2 に暴露したメスのメダカの肝臓のcDNAを用いてPCRを行った結果、すべてのレーンにおいてそれぞれのプライマーに特異的な、VTG · 1100bp, VTG 1 · 820bp, VTG 2 · 360bp, Chg H · 920bp, Chg L · 510bp, ER · 790bp, actin · 730bpのバンドが見られ、設計した段階で予想された大きさの遺伝子増幅産物が得られたことが確認できた(図1)。各プライマーで増幅された増幅産物のバンドを比較すると、全てのプライマーで大きな差は見られなかつた(図1, (A))。PCRでのアニーリング温度が低い場合は、プライマーと錆型DNAとの結合に誤りが生じやすいため、一般的にアニーリング温度は高いほうが良いとされている。ここには示さないが、アニーリング温度61, 62°CでPCRを行った場合、58, 60°Cの場合(図1, (A))に比べ増幅量が少なく、これらのプライマーのアニーリング温度としては高すぎることがわかった。次に、PCRのサイクル数の検討を行った。遺伝子発現量の定量を行うには、PCRによって標的の遺伝子が指指数関数的に増幅される範囲の調査が必要である。増幅反応のサイクル数を検討したところ、すべてのプライマーで25から35サイクルまでサイクル依存的な遺伝子量の増幅が見られた(図1, (B))。

そこで、実際にエストラジオール(E_2)によるオスのメダカでのこれら遺伝子の誘導レベルをRT-PCRで測定した(図2)。

(A) コントロール

(B) E_2 オス図2. PCRによるコントロールと E_2 暴露メダカの遺伝子発現量の比較

(A) コントロールのオスのメダカの肝臓のcDNAを用いて、サイクル数30、アニーリング温度60°Cの条件でPCRを行い、PCR反応液を1.5%アガロースゲルで電気泳動し、エチジウムプロミドで染色した。M, 分子量マーカー; lane 1, VTG; lane 2, VTG1; lane 3, VTG2; lane 4, ChgH; lane 5, ChgL; lane 6, actin; lane 7, ER

(B) E_2 に暴露したオスのメダカの肝臓のcDNAを用いて、サイクル数30、アニーリング温度60°Cの条件でPCRを行い、PCR反応液を1.5%アガロースゲルで電気泳動し、エチジウムプロミドで染色した。M, 分子量マーカー; lane 1, VTG; lane 2, VTG1; lane 3, VTG2; lane 4, ChgH; lane 5, ChgL; lane 6, actin; lane 7, ER。

コントロールでは、Chg Lとアクチンの遺伝子バンドが明瞭に、また、VTG 1の遺伝子がわずかに確認できた(図2, (A))。一方、 E_2 暴露ではアクチン遺伝子はコントロール同様であったが、全ての遺伝子で明瞭なバンドが確認できた(図2, (B))。そこで、画像解析を行いコントロールのアクチンに対する各遺伝子の発現量の比を求めたものを図3に示す。

E_2 の作用でVTG 1, VTG 2, Chg H, ERの遺伝子発現は、未処理のオスに比べ顕著な上昇を示し、その上昇はメスのものに匹敵するものであることが分かった(図3)。ところで、VTG プライマーは、VTG 1, VTG 2の両遺伝子発現を総VTGとして調査する目的で設計したが、実際には遺伝子の増幅効率が低いことが

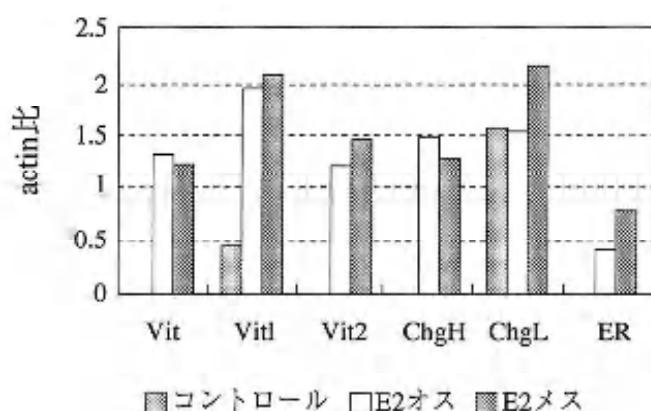


図3. コントロール、E₂に暴露したメダカにおける各プライマー増幅産物のアクチンに対する発現量比

分かった(図2.(B))。また、VTG 1とChgL、VTGプライマーについてはコントロールについてもある程度の発現が観察された(図2.(A))。ChgLはオスを用いた実験でE₂によって誘導されることが報告されている。このことから、ChgLプライマー対については、配列の検討、遺伝子増幅産物の遺伝子配列を確認する必要があるとも考えられる。さらに、未処理のオスのメダカにもメスと比較するとごくわずかではあるがVTGの発現がみられることから、さらに各遺伝子発現量のベースラインの調査が必要である。

謝 辞

本研究は平成15年度文部科学省科学研究費補助金(奨励研究)の助成を一部受けて行った。また、本研究を行うにあたり、d-Rメダカを御供与頂きました熊本県立大学有菌幸司教授、石橋弘博士に感謝いたします。

参考文献

- 1) A. Hara, Jpn. J. Environ. Toxicol., 2, 35 (1999).
- 2) 国立環境研究所 国立環境研究所特別研究報告「環境ホルモンの新たな計測手法の開発と環境動態に関する研究(内分泌搅乱化学物質総合対策研究)」(1999~2001).
- 3) C. Lee, S. H. Jeon, J-G. Na, Y-J. Choi and K. Park, J. Health Sci., 48(5), 441 (2002).
- 4) 財団法人化学物質評価研究機構 「内分泌搅乱化学物質による生態影響に関する試験法開発 第3章 メダカのビテロジエニン産生試験法の開発検討」(1988).
- 5) S. Gronen, N. Denslow, S. Manning, S. Barnes, D. Barnes, M. Brouwer, Environ Health Perspect. 107:385-390 (1999).
- 6) H. Ishibashi, K. Tachibana, M. Tsuchimoto, K. Soyano, Y. Ishibashi, M. Nagae, S. Kohra, Y. Takao, N. Tominaga and K. Arizono, J. Health Sci., 47,213 (2001).
- 7) H. Ishibashi, K. Tachibana, M. Tsuchimoto, Y. Ishibashi, K. Tachibana, A. Yamaguchi, N. Tominaga and K. Arizono, Proceeding of The 3rd IWA Specialized Conference on Hazard Assessment and Control of Environmental Contaminants -ECOHAZARD'99-, 112-120 (1999).
- 8) H. Ishibashi, K. Tachibana, M. Tsuchimoto, K. Soyano, N. Tominaga, A. Yamaguti, N. Matsumura, Y. Tomiyasu and K. Arizono, Environ. Sci., 9, 2&3,162 (2002).
- 9) A. Yamaguchi and N. Tominaga, 有明工業高等専門学校紀要 第39号, pp.27-30, (2003).

三井鉱山(株)各鉱業所における二階建従業員社宅について

松岡高弘・川上秀人*

<平成15年10月6日受理>

On Two-Story Company Houses for Employees of MITSUI MINING COMPANY, LIMITED

MATSUOKA Takahiro and KAWAKAMI Hideto

Company houses for employees were improved since the middle of Taisho era. One of the improvements of Mitsui Mining was construction of two-story company houses. The first two-story company houses had 2 rooms with one room on each story and the houses were built in 1917 in Miike. On the other mining company, two-story houses were not constructed positively. In this paper, we consider the building activity of two-story houses in Mitsui Mining.

In Miike, two-story houses were built continuously. In 1919, the first three-room house appeared by means of repairing the two-room house. The new three-room house came out in 1934 and this type was built in spite of war time finance. In Yamano, the type was used since 1937. This type was ideal company houses for labor control.

1. はじめに

炭鉱における従業員社宅は大正期中頃から徐々に改善が図られていき、昭和に入ると2室式が増加していく¹⁾。三井鉱山では社宅の改善策の中に二階建があった。二階建は、社宅の等級で「優良」に位置付けられ²⁾、「優等社宅」・「優良坑夫納屋」と称され、他の社宅よりも上級のものとして捉えられていた³⁾。

但し、後述するように二階建は、三井鉱山(株)以外では稀であり、三井鉱山(株)内部でもその採用の度合いに差があった。即ち、三池鉱業所では積極的に造られていったが(写真-1・2)、田川鉱業所・山野鉱業所では、二階建は建設されたものの三池鉱業所程ではなかった。また、北海道の各鉱業所では昭和10年代になってから二階建を設けていた。尚、本洞鉱業所では設けられていなかった。

ところで、二階建が設置された大きな理由の一つに従業員の昼間の安眠の確保があげられる。一般的には二階建は土地の効率的な利用において有利であり、これも主たる設置理由の一つとなろう。

このように二階建は平家建と異なり、労務担当側からの積極的な要求に基づいて建設されたものである。平家建は1室式から2室式、そして、3室式へと変化していく、戦後は2戸建が主であった。特殊な事情で建設された二階建にも変化はあるものの平家建に比べ建築的制限が大きいため、多様でない。しかし、様々

な要求を満たすように変更されていった。

本稿では、「三井鐵山五十年史稿」・「三池鐵業所沿革史」・「田川鐵業所沿革史」・「山野鐵業所沿革



写真-1 三池鉱業所 四山坑頭夫社宅 (大正15年以前)



写真-2 三池鉱業所 四山社宅 (昭和47年撮影)

史』等⁴⁴、三井鉱山(株)各鉱業所の沿革史から二階建社宅に関する記述を抽出し、現時点で把握している資料を紹介して戦前における二階建社宅の状況を掴んでいく。

以下、部屋数を表す場合、例えば「二室制」「二間式」と沿革史で統一されていないので、3室式と記した場合がある。平面図は1/200或はそれに近い縮尺で統一した。ところで、現存する二階建社宅として、三菱上山田炭鉱グランド社宅(山田市)の7棟があるが、平成15年12月に解体予定である。三井山野鉱業所業月社宅(嘉穂郡稻葉町)にも平成13年まで残っていた。

2. 各炭鉱における二階建社宅の設置状況

本稿では三井鉱山(株)各鉱業所の状況については詳述するので、その他の炭鉱における二階建の状況を把握していく。そのため用いる資料は昭和3年度に調査を行った『鐵夫宿舎の建築に関する調査報告』⁴⁵である。

福岡地方においては「三池炭礦其の他に二階建を有するも一般には極めて少數」であるが、「高崎炭礦に於ては所在地の地形上多數の家屋を建設すること能はざる為め木造二階建若は高層コンクリート建ありて最大なるは九階建なり、但し何れも各戸は各階の一室を使用するを原則」となっていた。

その調査で二階建が多かった三池では、木造平家建

231棟・木造二階建90棟であった。三池以外では三井田川と相知芳谷に「二階建のものあり」で、沖の山では「二階建二棟あり」、高島は上述したように「木造二階建又はコンクリート三階乃至九階建」であった。このように炭鉱の社宅については平家建が主であり、二階建は「極めて少數」であった。

各会社における社宅の状況を把握し得る社宅台帳等の資料の有無は明らかでないが、住友石炭礦業(株)忠隈礦業所の『礦員社宅台帳』には二階建がない⁴⁶。

具体的な数値は解らないものの、多数の二階建社宅が建設されていた例は写真集等で確認し得る。しかし、その数は少ない。その例として、日本炭鉱(株)第一高松坑の社宅(中間市)(写真-3)⁴⁷や同二礦の社宅(遠賀郡水巻町)⁴⁸がある。但し、平家建が主として建設された社宅街がある(写真-4)⁴⁹。

3. 三井鉱山(株)における二階建社宅建設の理由

『三池鐵業所沿革史 労務課十』に記述されている二階建社宅の建設の経緯は以下のようであった。

(前略) 大正七年頃ハ未ダ四疊半、若クハ六疊一室限リノ長屋ガ多ク、数名ノ坑夫ノ家族ガ一室ニ起居シテ衛生上、風紀上看過シ難イモノガアッタ。

一方、地積ノ関係カラ見テモ平家建ヨリ二階建ノ方ガ遙ニ經濟的デアルト云フトコロカラ、遂ニ二階建長屋ノ建設ヲ見ルニ至ッタモノデアル。

(後略)

以上に統いて、当時の労務担当の二階建長屋の利害に対する見解が記されている。

(A) 二階建ノ利

第一、就業者ノ晝間安眠ヲ得ル場所ヲ與フル為メ二階建ハ必要

第二、坑夫ノ生活ハ年々向上セル為メ在来ノ六疊又ハ四疊半ノ一間ナル一戸ヲ貸與シテ良坑夫ノ満足ヲ買フコト難シ況ヤ永住ヲ強フルニ於テヲヤ

第三、一家族ニシテ二夫婦若クハ妙齡ノ男女アルモノ六疊一間ニ雜臥スルコトハ風紀上弊害アリ、二階建ヲ要スル所以ナリ

第四、前記ノ如キ坑夫又ハ家族ノ多キ者ニハ平家建テレバ二戸又ハ三戸ヲ貸與セザルヲ得ズ、二階建ハ一戸ニテ疊合セ得ベシ

第五、單身者ヲ合宿ニ収容スルヨリハ長屋ニ同居セシムルヲ利アリトス之レ又二階建ヲ必要ト思料セラル

第六、新ニ多數ノ家族持(中ニハ稼働者アリ)ヲ採用シタル場合一戸ニテハ収容シ難キニ付之ニ二戸以上ヲ貸與セントスルニ此ノ二戸タル隣接



写真-3 日本炭鉱(株)第一高松坑の社宅



写真-4 日本炭鉱(株)若松鉱業所 二島炭鉱社宅

シタル家ナラザルベカラズ（炊事等ノ都合上）
此ノ場合ハ二階ハ大ニ都合宜シ
第七、二階建ハ経費ニ於テモ多少ハ低クカルベク
土地ノ経済ニ於テ大ナル利害アルベク思ハル
(B) 二階建ノ弊
第一、長屋取締上不便ナリ
第二、出役督勤ニ不便ナリ
第三、火災ノ際不便ナラン

前者ノ利ハ後者ノ弊ヲ償ツテ餘リアリ、故ニ當方管理ノ長屋ハ自今成ルベク二階建ニ致度シ
但二階建ハ強風吹雪ノ場所ニ於テ不便ナルコト考慮ヲ要ス

以上は二階建でも2室式の場合の利害であり、「當時」における「二階建ノ利」と「二階建ノ弊」であるので、二階建が建設され始めた頃、即ち大正6年から然程遠くない時期でのことと思われる。この「二階建の利」の積極性を根拠として二階建の建設を推進することになったと推測される。但し、第一から第七までの中でも第一・第五・第七の3項目以外は平家建で2室あれば二階建に積極的にする必要はないであろう。

「衛生上、風紀上」の問題点を解決しうることも記されているが、最初に指摘している「第一、就業者ノ晝間安眠ヲ得ル場所ヲ與フル為メ二階建ハ必要」が重要で、生産性の向上を意図したものであったと推測される。

『田川鐵業所沿革史 第九卷』には、「晝間の安眠を考慮して建造された二階建及び二室式の社宅は優等社宅と称し、永年勤続鐵夫で家族の多いものの中から人選して貸與されたとある。毎日の安眠の確保という理由は、上述した三池でも第一にあげられている。

これより後に当たる『三井鐵山五十年史稿 卷十六』所収の大正13年頃本店調査部長汎一夫の「鉄夫社宅視察記」にも二階建に対する意見が述べられている。

三池の優良社宅は二階建なり。上下各六畳又は下四畳半、(中略)只、夏期は暑くして休養に適せず、且つ老人子供を有する家庭には不適にして、従って鉄夫の多数は寧ろ平家二室を悦ぶが如し。同時に二階式は社宅の不足する時は、同居者を収容し得るが故に会社に取りて甚だ好都合なれども、現在の如く、同居者を奨励して、之を以て常例とするが如き状態は、本様式の本旨を没却する嫌無きに非ず。

ここで興味深いのは、多くの鉄夫が二階建よりも平家二室を好んでいたということである。会社側は、二階といふ他と隔離された空間をつくることで、鉄夫の安眠を確保し、生産性の向上を目指したのであるが、会社側の意向とそぐわない結果であった。

鉄夫が二階を望まない理由として夏場の暑さ、老人子供の利用しにくさ、を挙げているが、その他に、二階の状況も考えられよう。

『三池鐵業所沿革史 労務課十』の「主ナル社宅改良」の中で、二階建には「風紀取締及ビ瓦保存ノ為メ二階窓格子ヲ取付ケラレテ居タ」ので、昭和9年からそれを廃止したと記している。このことも好まれなかった理由の一とと考えられる。

三池鐵業所では後述するように、大正9年に3室式の二階建社宅が造られ、昭和10年には4室式が出現した。上述したように2室式では従業員は二階建よりも平家を好んでいた。「鉄夫社宅視察記」が書かれた頃の大正13年には二階建が88棟・799戸あった(表-2)。この中に3室式がどの程度含まれていたかは明らかでないが、多くはなかったと思われる。「四室制」が現われた昭和10年以後も「二室制」が多いものの「三室制」が増加し、昭和14年には、「二室制」499戸、「三室制」591戸であった(表-1)。そして、「従業員ノ住宅ハ逐年改善セラレ、其ノ結果從来ノ平家建ニ比シ

表-1 三池鐵業所室制別社宅戸数

	一室制	二室制	三室制	四室制	五室制	合計
大正5年	1,847					1,847
8年	1,919	115				2,034
昭和4年	1,378	978	137			2,493
10年	71 平家 71 二階 0	1,245	525	50 平家 0 二階 50		1,891
12年	31 平家 31 二階 0	1,117 平家 554 二階 563	944 平家 550 二階 394	61 平家 11 二階 50	1 平家 1 二階 0	2,154 平家 1,147 二階 1,007
13年	7 平家 7 二階 0	911 平家 421 二階 490	1,025 平家 651 二階 374	63 平家 13 二階 50	1 平家 1 二階	2,007 平家 1,093 二階 914
14年	6 平家 6 二階 0	1,298 平家 799 二階 499	1,284 平家 693 二階 591	63 平家 13 二階 50	1 平家 1 二階	2,652 平家 1,512 二階 1,140

注:『三池鐵業所沿革史 労務課十』別表第四四号他参照

昭和14年には建築中の二室制48戸、三室制52戸は含まれていない。

特ニ晝夜交替勤務者ニアッテハ夜勤ノ場合晝間安眠スルヲ得テ従業員ノ好感ヲ得ルト同時ニ延ヒテハ仕事ノ能率上極メテ効果アルモノト認メラレルニ至」り、「三室制」が増加することで会社側が「二階建ノ利」としてあげていたことが可能となった。

4. 三井鉱山(株)各鉱業所における二階建社宅の沿革

(1) 三池鉱業所

三井鉱山(株)において最初に二階建社宅が現われたのは、大正6年9月の三池鉱業所の万田坑と三坑の鉱夫長屋であった。万田坑には7棟・53戸(写真-5)、三坑には3棟・30戸が建設された。この二階建は1階に4.5畳か6畳、2階に6畳があり、延床面積は1階が4.5畳の場合9.625坪、6畳の場合10.375坪であった。三池鉱業所ではこの二階建で初めて2室式の社宅が建



写真-5 三池鉱業所 万田坑鐵夫社宅 (大正6年)



写真-6 三池鉱業所 四山社宅 四室式 (昭和47年撮影)



写真-7 三池鉱業所 四山坑従業員社宅の街路樹 (昭和14年)

設されたことになる。大正6年以前の平家建1室式の社宅が1戸当り5坪で、その後の平家建1室式が6坪であったことを考えると素泥の差があることが解る。

大正6年の最初の二階建は各階に1室ずつの2室式であったが、大正9年11月末に宮浦で「二階建三室制」が出現した。これは三池鉱業所における最初の「三室制」であったが、最初の二階建を改造して造られたものであり、当時は2室式が主であったと考えられる。その一例として、大正13年の10戸建の二階建は、部屋数・規模は最初の二階建と変わらないが、1階に床の間が付設され、変化が見られる。

新築による3室式は二階建・平家建とも昭和9年には造られていたようである。二階建は「B型従業員社宅」で、1階4.5畳・3畳、2階6畳の3室で、専用便所を設けて12.25坪の規模を有していた。平家建は例えば「四山従業員社宅C型」で、1戸12.375坪で、3室を有する規模である。具体的に平面形式が把握できるには昭和12年まで待たなければならない。それは「1号型従業員社宅」で、6畳・4.5畳・3畳を有する12坪であった。

昭和10年6月末に四山に新築された10棟・50戸の一階建で初めて「四室制」が建設された(写真-6・7)。

この時、同時に建設された10棟・50戸は「三室制」であった。4室式は1階に4.5畳2室、2階に6畳・4.5畳がある1戸16坪で、「三池従業員社宅ノ構造モ茲ニ完成シタノ觀ガアッタ」と会社側では認識している。

尚、同年7月には四山に「改造二階建三間式」が出来ている。四山には平家建の社宅はなく、二階建のみであった(写真-2参照)。

このような二階建の建設状況を『三池鉱業所沿革史

表-2 三池鉱業所二階建平家建別棟数・戸数一覧表

	二階		平家		棟数計	戸数計	二階棟数/棟数計(%)	二階戸数/戸数計(%)
	棟数	戸数	棟数	戸数				
明治	36年		91	466	91	466		
	40年		142	1226	142	1226		
大正	3年		230	1843	230	1843		
	8年	14	113	273	2145	287	2259	4.5
	10年	52			271	323		16.1
	11年							
	12年							
	13年	88	799	244	1899	332	2698	26.5
	14年	88	799	246	1918	334	2717	26.3
	15年	88	799	242	1944	330	2743	26.7
昭和	2年	88	799	244	1872	332	2671	26.5
	3年	90	818	216	1611	306	2429	29.4
	4年	90	827	227	1624	317	2451	28.4
	5年	90	825	226	1603	316	2428	28.5
	6年	87	797	187	1246	274	2043	31.8
	7年	87	799	187	1226	274	2034	31.8
	8年	83	738	195	1256	278	1993	29.9
	9年	89	776	198	1205	297	1981	30.0
	10年	112	880	196	1046	306	1926	36.4
	11年	114	900	202	1026	316	1926	36.1
	12年	126	982	213	1042	339	2024	37.2
	13年	127	914	231	1093	356	2097	35.5
	14年	165	1140	335	1512	500	2652	33.0
								43.0

注：『三池鉱業所沿革史 労務課十』別表第四号 参照



写真-8 三池鉱業所 小浜北社宅二階建側面 (平成9年撮影)



写真-9 三池鉱業所 小浜北社宅二階建正面詳細 (平成9年撮影)



写真-10 三池鉱業所 小浜南社宅二階建正面全景 (平成9年撮影)



写真-11 三池鉱業所 小浜南社宅二階建背側面 (平成9年撮影)

労務課十』所載の表で見ていく（表-2）。二階建は、大正8年14棟・113戸であったが、漸次増加し、大正10年では52棟、同13年では88棟・799戸、昭和10年では112棟・880戸、同12年では126棟・982戸、同14年では165棟・1140戸であった。昭和12年の二階建の棟数・戸数は社宅全体の37.2%・48.5%を占めている。

平成9年3月の閉山後の調査¹⁰⁾では小浜北社宅と小浜南社宅に二階建社宅が建っており、5戸建が主であった。前者には5戸建14棟、2戸建1棟（写真-8・9）、後者には5戸建26棟があった（写真-10・11）。

（2）田川鉱業所

田川鉱業所では大正7年に「優良坑夫納屋」の一つとして二階建が建設された。部屋数は大正6年の三池鉱業所と同じで、1階に4.5畳から6畳、2階に6畳を設けた2室式であった。但し、1階の6畳には押入がなく、4.5畳には1.5間幅の押入があること、専用便所があることが異なる。尚、背面側の便所の設置は大正7年では早すぎ、後補であろう。

『田川鉱業所沿革史 第九巻』にある大正10年7月調の「二階建及び二室制社宅調」から、二階建14棟・96戸、「二室式」20棟・113戸で、計34棟・209戸の「優良坑夫納屋」があったことが解る。

昭和6年に優良社宅に対して社宅料を新たに徴収することとなった。この時、社宅の等級を一等から五等に区別している。「木造二階建」は、6畳2室が二等に、6畳・4.5畳が三等となっている。この時の二階建は2室式であり、大正7年の二階建の優良納屋と変化しない。

田川鉱業所における3室式は昭和13年3月竣工の「新設三間式社宅」である。それは平家建であり、三池鉱業所では平家建よりも二階建が早かったことと異なっている。

昭和14年12月末現在の「社宅戸数及居住從業員数調」（表-3）から、二階建には「三間式」は造られなかったことが解る。平家建は、「一間式」397棟、「二間式」694棟、「三間式」14棟、「四間式」2棟、「五間式」1棟、計1108棟、二階建は「二間式」15棟、「四間式」1棟、計16棟である。「二間式」で平家建と二階建を比較すると、棟数は694棟と15棟で圧倒的な差があり、戸数では2780戸に対して100戸であった。大正10年には二階建が14棟あったが、18年後の昭和14年では15棟であり、殆ど二階建が建設されなかることになる。

（3）山野鉱業所

三池鉱業所や田川鉱業所では二階建が初めて建設された時期が明確であるが、山野鉱業所では『山野鉱業所沿革史』に具体的に明記されていない。

『山野鉱業所沿革史 第十五巻』の大正10年8月1

表-3 三井田川鉱業所社宅一覧表(昭和14年12月末現在)

	平屋建						二階建			
	一間式	二間式	三間式	四間式	五間式	計	二間式	三間式	四間式	計
棟数	397	694	14	2	1	1108棟	15		1	16棟
	35.8%	62.6%	1.3%	0.2%	0.1%		94%		6%	
戸数 建基中戸数	2689	2869	40	3	1	5602戸	100		1	101戸
		108				108戸				
戸数合計	2689	2977	40	3	1	5710戸				101戸
	47.1%	52.1%	0.7%	0.1%			99%		1%	

注:『田川鉱業所沿革史 第九卷』所収昭和14年12月末現在「社宅戸数及居住従業員数調」参照

日の納屋料の表中の「型式」・「戸数」から二階建はなかったことが解る。昭和10年7月に改正された社宅料は、等級を「い」から「へ」まで分け、それぞれの等級に対して毎1枚の料金を定めている。二階建は「六疊、四疊半二間式」、等級は「へ」で、その料金は0.09円である。

のことから昭和10年以前には二階建があったことが確認でき、それが6疊・4.5疊の2室式であったことが解る。6疊・4.5疊の組合せは、田川鉱業所の最初の二階建に見ることができ、類似した形式の二階建であったと考えられる。

尚、「へ」は最低の等級であり、それに含まれるのは「四疊半一間式」である。「い」は「六疊、四疊半二間式専用便所付」、「ろ」は「六疊、四疊半二間式内縁付(共同便所)」で、両者とも0.14円で、最も高い料金である。「へ」のすぐ上の「ほ」には「六疊、四疊半二間式旧式改造」と「六疊一間式」が属している。2室式の二階建よりも高く規定されており、このことから二階建の低賃や不人気が読み取れるであろう。

昭和12年5月31日付の「第三坑従業員社宅(二階建)新築」という設計図があり、それは1階4.5疊と3疊、2階6疊の3室式である。尚、昭和11年9月25日付の設計図には6疊・4.5疊・3疊の平家建の3室式がある。従って、山野鉱業所では3室式の出現は平家建が二階建よりも早い。

山野鉱業所では漆牛南社宅(写真-12・13)と葉月社宅(写真-14・15)に二階建が建っていたが、町営住宅建設のため平成13年に解体された(写真-16~19)。

(4) 本洞鉱業所

本洞炭鉱は明治40年7月、麻生太吉から三井鉱山合名会社が買収した炭鉱で、大正10年7月に事業を休止し、大正15年に閉山した。上記の炭鉱よりも遅れて三井の手に移り、それから僅かな期間でしか営業していない。

その社宅に関して『本洞鉱業所沿革史全』には、大正四年頃から建築されたものは、すべて六疊敷の押入附とし、煉瓦造の炊事場を屋内に取入れた。

これが本洞では最も優良社宅とされたものである。と、記されており、二階建は建てられていないかったと考えられる。

(5) 松島炭鉱

『松島炭礦沿革史』にも二階建社宅に関する記述を見る事ができる。「労働者優待設備起業費」の中で、「労働問題漸次重要トナルニ付キ其待遇ハ從来ノ通りニテハ之レヲ許サザル状勢ナルニ付キ先ヅ其住宅医院其他ノ設備ヲ改善セントスルモノナリ」とある。具体的な内容は、

其主ナルモノ

二階建木造納屋 七棟(青山)

ク 八棟(仁崎)

坑夫浴場 一(二坑)

であるが、時期は明示していない。

『松島炭礦沿革史 保安編』の中で二階建は、昭和12年上期に9棟・90戸、同年下期に8棟・80戸、同13年上期に3棟・36戸が増築されたことが解る。1棟10戸或は12戸であり、各階1室で計2室の三池における最初の二階建と同様であったと考えられる。

(6) 砂川鉱業所

『砂川鉱業所沿革史 第十卷』所収の社宅一覧表で二階建は、昭和12年度に4戸建140棟、同13年度に4戸建85棟、同14年度に4戸建75棟が建設されている。昭和12年度以前には二階建はなく、この時に初めて造られたと推測される。この二階建は1階8疊、2階6疊の2室式である。

(7) 美唄鉱業所

『三井美唄鉱業所沿革史 労務編』では「三間式」で4戸建及び2戸建の二階建が昭和11年下期に100戸新設されている。同12年には150戸、同13年には280戸、同14年には400戸が建設されている。尚、昭和11年下期から新設されたのは、この二階建三間式のみである。但し、二階建と言っても中二階である。

(8) 芦別鉱業所

二階建の建設の経緯は『芦別鉱業所沿革史』には記されていない。但し、二階建は造られており、砂川鉱業所のそれと類似している。



写真-12 山野鉱業所 漆生南社宅（平成9年撮影）



写真-13 山野鉱業所 漆生南社宅（平成9年撮影）



写真-14 山野鉱業所 葉月社宅（平成9年撮影）



写真-15 山野鉱業所 葉月南社宅側面詳細（平成9年撮影）



写真-16 山野鉱業所 葉月社宅解体状況（平成13年撮影）



写真-17 山野鉱業所 葉月社宅（平成13年撮影）



写真-18 山野鉱業所 葉月社宅解体状況（平成13年撮影）



写真-19 山野鉱業所 葉月社宅小屋組（平成13年撮影）

(9) 瑞穂鉱業所

二階建の建設の経緯は『瑞穂鉱業所沿革史』には記されていない。昭和13年建設の4戸建3棟には中二階に設けられた4畳の「屋根裏利用物置」がある。この形式は、1階に8畳と4.5畳がある2室式である。

5. 二階建社宅の事例

各鉱業所の沿革史所載の図面等から解る二階建社宅の全てを以下に紹介していく(表-4)。

(1) 三池鉱業所 大正6年「長屋木造2階建」(図-1)

図名から大正6年に建設された三池鉱業所における最初の二階建社宅となる。1階4.5畳か6畳、2階6畳の10戸建で、1戸の建坪は9.625坪か10.375坪である。6畳から使う押入が4.5畳側にとられているため1階の部屋の大きさが異なる。玄関土間と台所土間との区別がない。階段横にある半間の半分程の板張りは1階から2階への行き来に使用するためのものであろう。2階の6畳には半間の押入があり、表裏両面1間の窓を設けている。その2階は1階の真ん中にのっている。つまり、二階建部分から表裏両面に半間の下屋を出した構造となる。

(2) 田川鉱業所 大正7年「2間式7戸建」(図-2)

「優良坑夫納屋」で、1階が4.5畳か6畳、2階に6畳を探り、専用便所を背面側に設置した1戸10.25坪の形式である。玄関土間と台所土間とに区別がない、

階段横にある半間の半分程の板張りは三池鉱業所の「長屋木造2階建」と同じである。しかし、それとは異なり、4.5畳と6畳の境に押入がない。そのため6畳には押入がなく、4.5畳には1.5間分の押入がある。背面側の便所と縁側は大正7年当初のものでないだろう。

(3) 三池鉱業所 大正9年「宮浦旧貯蔵改造参間式」(図-3)

1階には4.5畳と4.5畳か6畳の2室、2階には6畳がある3室式である。玄関と台所が横に並び、両者の境には片引戸を立て込めて区別する。台所と反対側には物置を設ける。間口2間に玄関・台所・物置を並べているので、玄関の間口が半間しかない。これらの奥に4.5畳があり、その奥の部屋と前後に繋がり、手前の部屋は外に面しておらず、暗い部屋になる。その部屋から階段に行く。奥の部屋の外側には縁側を設けている。

これは、最初の二階建の1階部分を改造して造られたものである。かつての1階の土間に4.5畳を置き、表側に1間増築して玄関・台所・物置を設け、背面側は半間増築して縁側を設けてできたものである。間口は2間で変わらないが、奥行きはこれまでの3間から4.5間と深くなつた。

これは大正9年11月末に竣工しており、3室式で玄関台所が併置された最初のものであった。後の3室式と比べ、手前の4.5畳が暗く、専用便所がなく、玄関間口が狭い等、見劣りする部分は隠しきれないが、

表-4 二階建社宅事例一覧

平面図 番号	建設年或は建設 期間	名 称	鉱業所	1棟戸数	床面積	1階室	2階室	玄関	便所	床 の 間	典 指	備 考
1	大正6年	長屋木造2階建	三池	10戸建	9.625坪	4.5	6				三井16	
					10.375坪	6	6					
2	大正7年	優良坑夫納屋	田川	7戸建	10.25坪	4.5	6	○			三井16	便所後補
					10.25坪	6	6					
3	大正9年	宮浦旧貯蔵改造参間式	三池	10戸建か	12.625坪	4.5・4.5	6	○			三池労務10	
					13.375坪	6・4.5	6					
4	大正13年	貯蔵建坑夫社宅	三池	10戸建か	45.89m ²	4.5	6			1階半間,奥行1/4間	大牟田	
					48.74m ²	6	6			1階半間,奥行1/4間		
5	大正13年か	四山旧二階二間式	三池	10戸建	9.75坪	4.5	6			1階半間,奥行1/4間	三池労務10	
					10.50坪	6	6			1階半間,奥行1/4間		
6	昭和9年	B型従業員社宅	三池	5戸建か	12.25坪	4.5・3	6	○	○	2階半間	三井16	
7	昭和10年	四山新二階四間式	三池	5戸建	16坪	4.5・4.5	6・4.5	○	○	2階4.5疊半間	三池労務10	
8	昭和10年か	四山及三川坑(小浜社宅)新二階三間式	三池	5戸建	12.375坪	4.5・3	6	○	○		三池労務10	
9	昭和11年	B型従業員社宅	三池	5戸建	12.375坪	4.5・3	6	○	○		三井16	
10	昭和12年	第三坑従業員社宅(二階建)	山野	5戸建	49.54m ²	4.5・3	6	○	○		稲葉	
11	昭和12年	第三坑従業員社宅(二階建)	山野	5戸建	50.03m ²	4.5・3	6	○	○		稲葉	
12	昭和12年	第三坑従業員社宅(二階建)	山野	6戸建	50.03m ²	4.5・3	6	○	○	2階半間	稲葉	
13	昭和10年～13頃	従業員社宅二階建	美唄	4戸建	51.45m ²	8・4.5	4.5	○			美唄労務	2階は中二階
14	昭和12年～14年	従業員社宅	砂川	4戸建	12.155坪	8	6	○			三井16	
15		従業員社宅	芦別	4戸建	43.79m ²	8	6	○		2階半間	芦別	戰前期
16	昭和22年～23年	6級2階12.5坪	三池	5戸建	12.5坪	4.5・3	6	○	○	2階半間	大牟田	

注:典拠の三井は『三井鉱山五十年史稿』、三池は『三池鉱業所沿革史』、美唄は『三井美唄鉱業所沿革史』、芦別は『芦別鉱業所沿革史』。
大牟田は大牟田市立図書館所蔵、稲葉は稻葉町教育委員会所蔵、を示す。

「構造ノ点ヨリ見レバ相当改善セラレタノデアッタ」と会社側では自讃している。

尚、四山には昭和10年7月に「改造二階建三間式」が出来ており、具体的な形態は明らかでないが、この「宮浦旧式階改造參間式」と同様なものであったと考えられる。

(4) 三池鉱業所 大正13年11月13日「貳階建筑夫社宅平面圖」(図-4)

大正6年の最初の二階建と類似している。異なるのは、1階背面側の隅に奥行き1尺の床の間があること、2階に出窓があることである。図面には寸法が記入されているので、1階が4.5畳の場合45.91m²、6畳の場合48.74m²となる。

「四山旧二階二間式」(図-5)はこれと等しい。これらは「大正十三年新築ノ社宅C型二階建十戸建」に該当すると考えられ、図面に記入された日付と一致する。

(5) 三池鉱業所 昭和9年「B型從業員社宅」(図-6)

『三井鐵山五十年史稿 卷十六』に従うと昭和9年に造られた3室式の二階建となる。1階には4.5畳と3畳の2室、2階には6畳がある。玄関と台所の土間を分け、玄関横に専用便所、台所横に物置を設ける。背面側には瀬縁を付設している。2階には半間の床の間と1間の押入がある。尚、2階の6畳は横長にとられており、2階と1階は背面柱通を一致させており、玄関や台所が片流の屋根に納められている。2階部分ののりかたが従前の2室式の二階建と異なる。

従前の二階建は1階の部屋の大きさが4.5畳と6畳で異なっていたが、この形式では同一の規模となった。

上述したように3室制は大正9年11月末、宮浦で改造した二階建で初めて出現していたが、当形式は間口が2間から3間と広くなっている。最初の3室式よりも充実したものとなった。以後3室式の二階建が三池鉱業所・山野鉱業所で建設されるが、多少の相違は見られるもののこの「B型從業員社宅」が基本となっており、一つの完成した社宅形式と捉えることができよう。

(6) 三池鉱業所 昭和10年「四山新二階四間式」(図-7)

昭和10年、四山には二階建20棟、100戸が新築され、50戸が4室式、50戸が3室式であった。この「四山新二階四間式」は三池鉱業所に初めて造られた4室式の社宅である。

1階には4.5畳・4.5畳、2階には6畳・4.5畳がある。階段がある4.5畳の表側に玄関・専用便所、廊下があり、別の4.5畳の表側に台所・物置がある。便所は大

と小の2室に分かれ、背面側に瀬縁を付設する。

2階の4.5畳の表側に半間の床の間と押入があるため開口部はないが、押入の中に半間の窓をとっている(写真-6参照)。6畳には押入がなく、表裏2面が外に面している。この形式について「三池從業員社宅ノ構造モ茲ニ完成シタノ觀ガアッタ」と指摘している。

(7) 三池鉱業所 昭和10年か「四山及三川坑(小浜社宅)新二階三間式」(図-8)

上述した四間式と同時に造られた三間式と考えられる。1階に4.5畳と3畳、2階に6畳がある三間式で、基本的な構成は昭和9年の「B型從業員社宅」と同じである。異なるのは、階段が便所の前から始まっていること、4.5畳から使う戸棚を物置に突出させていること、2階の半間の床の間がなくなり、上仏間・下押入に変更したことである。

これと同一形式が平成9年閉山時に小浜南社宅に残っていた(写真20~22)。この図とは2階の半間の押入の開閉の仕方が異なっていた。

図面名から「四山新二階四間式」と同時期に造られたB型の三間式と考えられるが、それは2階に「床ノ間付」となっている。

(8) 三池鉱業所 昭和11年「B型從業員社宅」(図-9)

「新二階三間式」と殆ど同じで、4.5畳と台所との境に戸棚を設けたことが異なる。この戸棚のために台所と4.5畳とが半間しか繋がっておらず、狭くなっている。

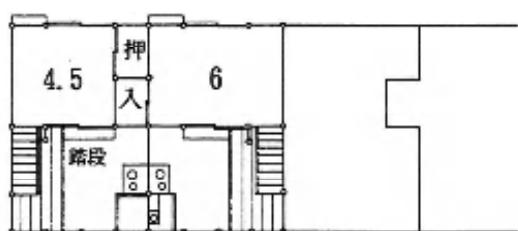
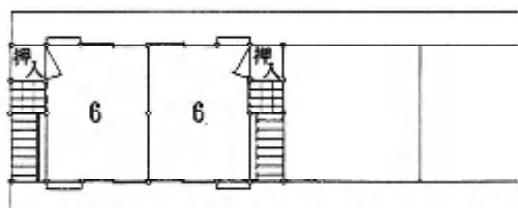
(9) 山野鉱業所 昭和12年5月31日 「第三坑從業員社宅(二階建)新築」(図-10・11)

1階に4.5畳と3畳の2室、2階に6畳がある3室式で、上述の「B型從業員社宅」や「新二階三間式」と基本的には等しい。異なるのは、1階4.5畳の背面側に半間の押入が付設され、炊事場横の物置が1間幅で奥行き半間の半分の戸棚と間口1.6尺の石炭入になっていることである。4.5畳と台所との境にあった戸棚はなくなっている。

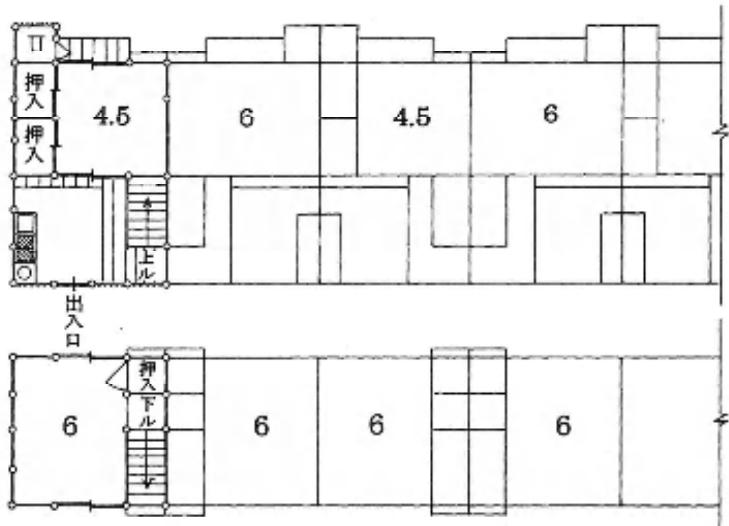
2種類の平面図があり、階段の幅の寸法が3.15尺と3.3尺で異なっている。従って、床面積は49.54m²と50.03m²となる。

(10) 山野鉱業所 昭和12年5月31日 「第三坑從業員社宅(二階建)新築」(図-12)

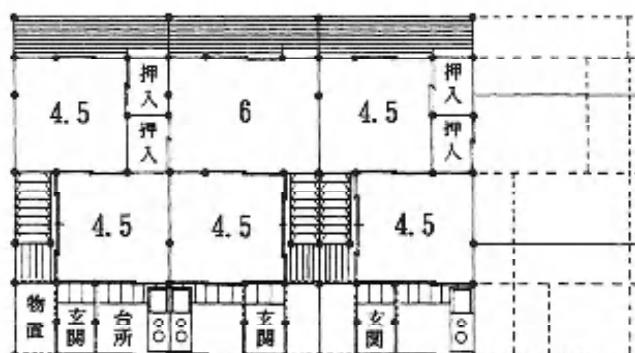
上述の「第二坑從業員社宅(二階建)新築」と殆ど同じであるが、2階の半間の押入を床の間とし、階段上部に張り出して仏壇を設け、玄関上がり口と炊事場との境の壁を片開き戸としていることが相違する。床面積は49.54m²である。この平面は『三井鐵山五十年史稿卷十六』の「昭和13年以降 最近新築從業員社宅」とほぼ等しく、上述の類似したものよりも優れている。



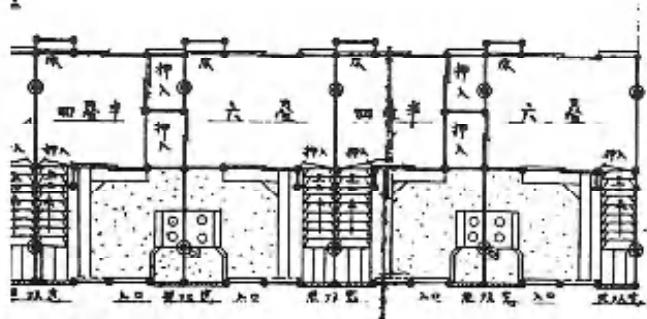
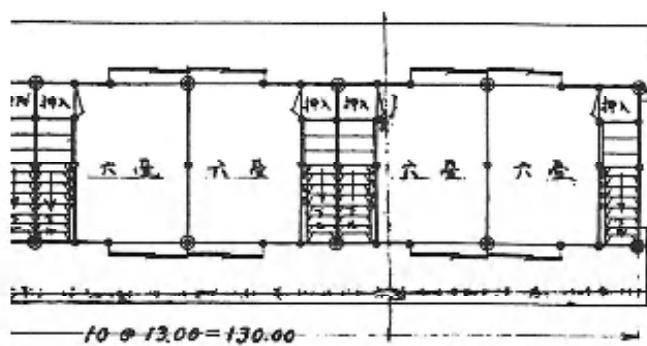
図一 三池鉱業所 長屋木造 2階建



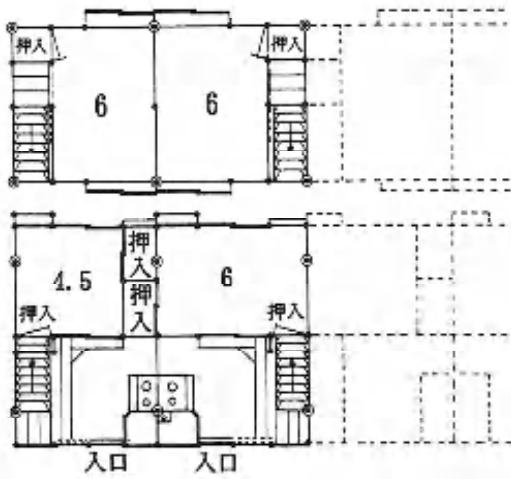
図二 田川鉱業所 2間式7戸建



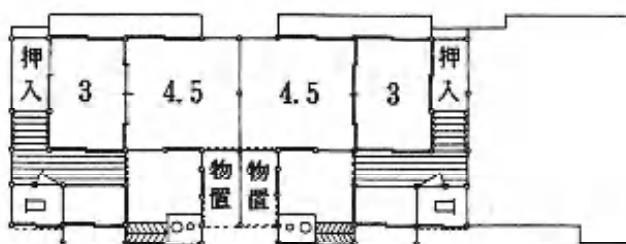
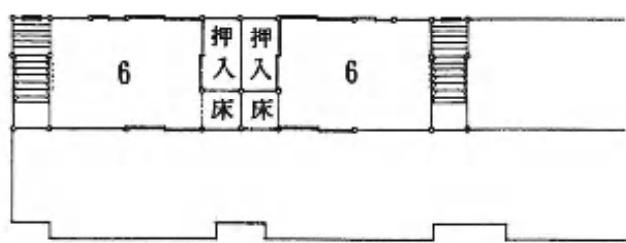
図三 三池鉱業所 宮浦旧貯蔵改造参間式



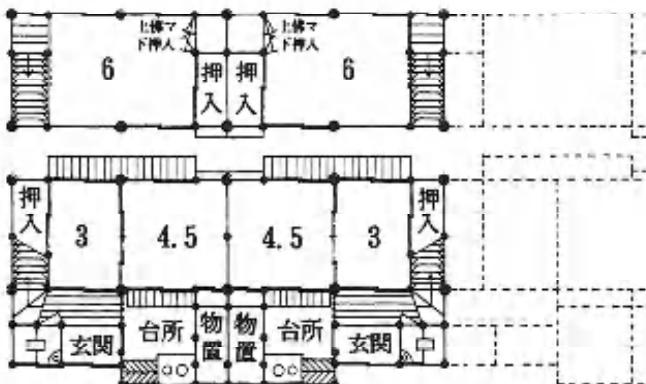
図四 三池鉱業所 貯蔵延坑夫社宅平面図



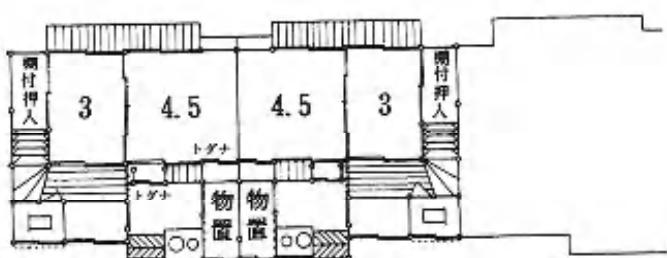
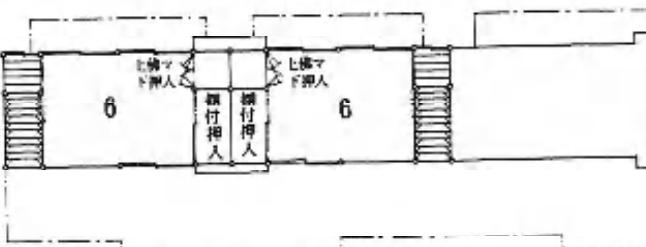
図五 三池鉱業所 四山旧二階二間式



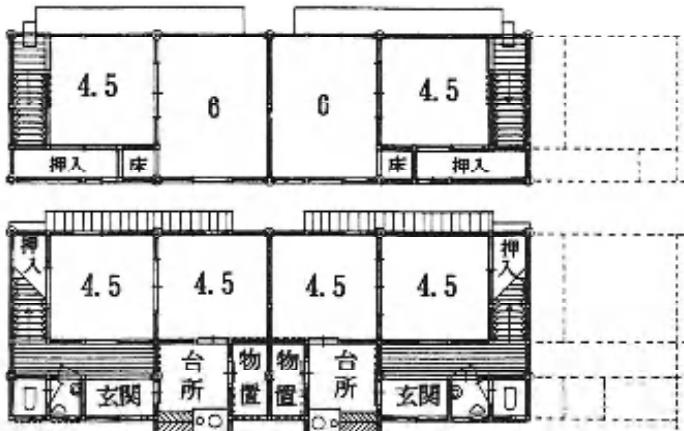
図一六 三池鉱業所 B型從業員社宅（昭和9年）



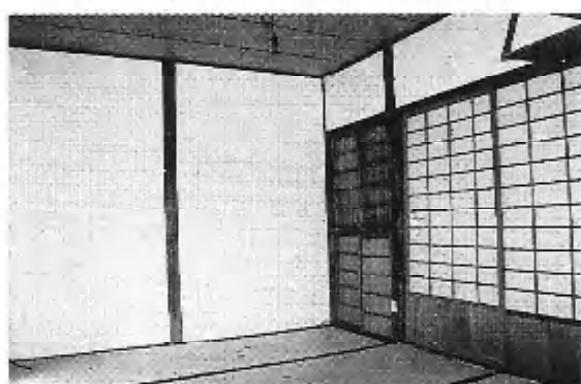
図一八 三池鉱業所 四山及三川坑（小浜社宅）新二階三間式



図一九 三池鉱業所 B型從業員社宅（昭和11年）



図一七 三池鉱業所 四山新二階四間式



写真一九 三池鉱業所 小浜南社宅二階建1階4.5畳台所境



写真二〇 三池鉱業所 小浜南社宅二階建2階6畳

写真二一 三池鉱業所 小浜南社宅二階建
玄関・台所（台所の低い床は後補）

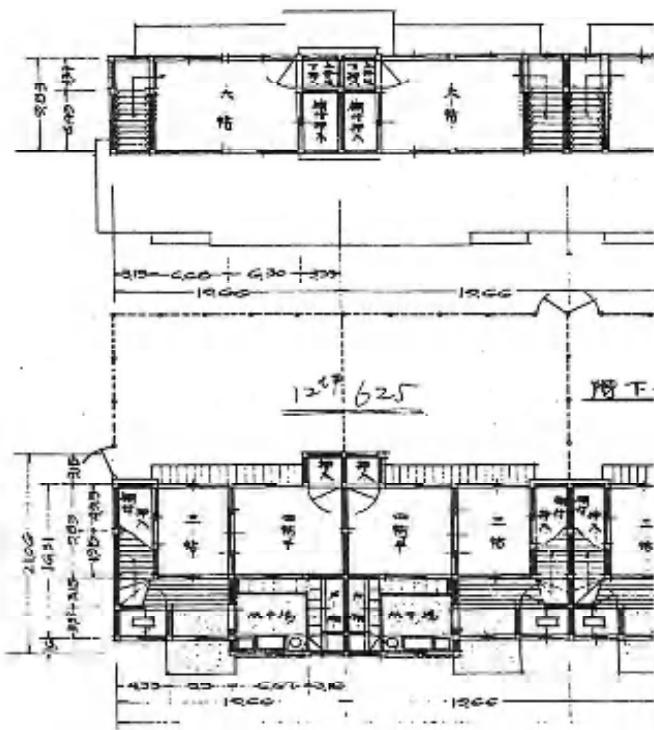


図-10 山野鉱業所 第三坑従業員社宅(二階建)新築

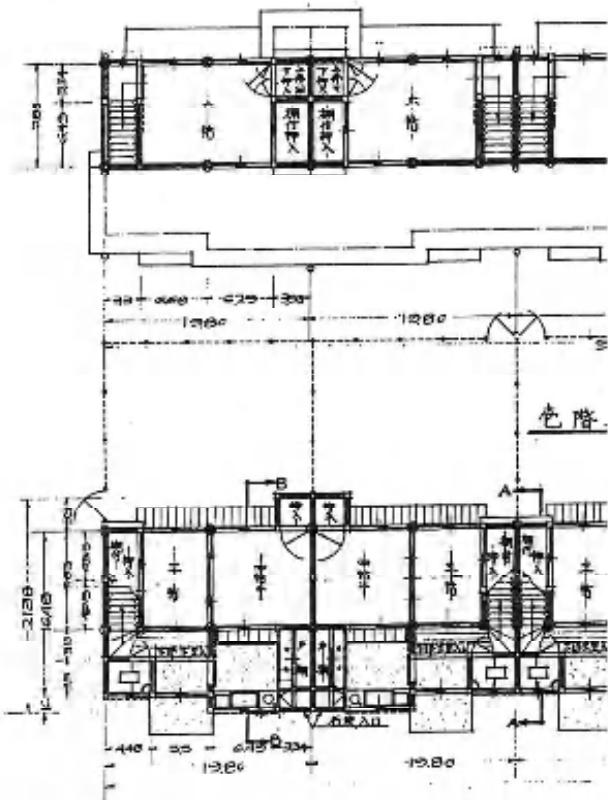


図-11 山野鉱業所 第三坑従業員社宅(二階建)新築

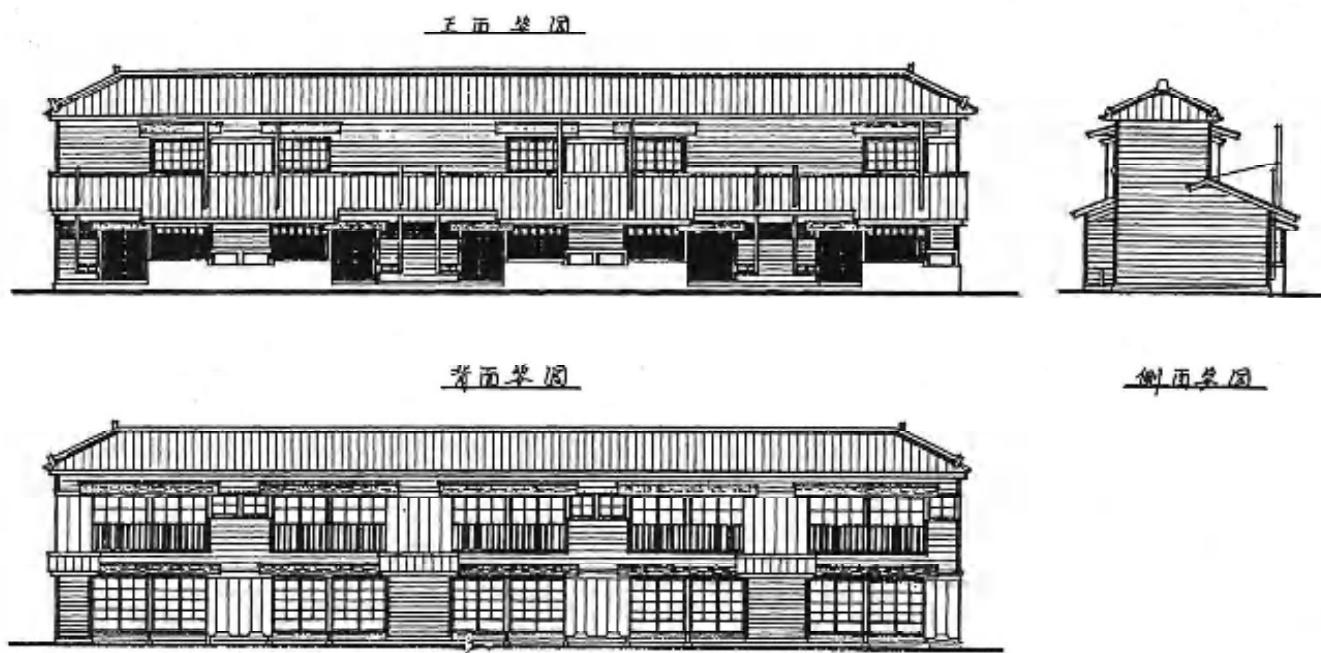


図-13 山野鉱業所 第三坑従業員社宅(二階建)新築 立面図 (1/250)

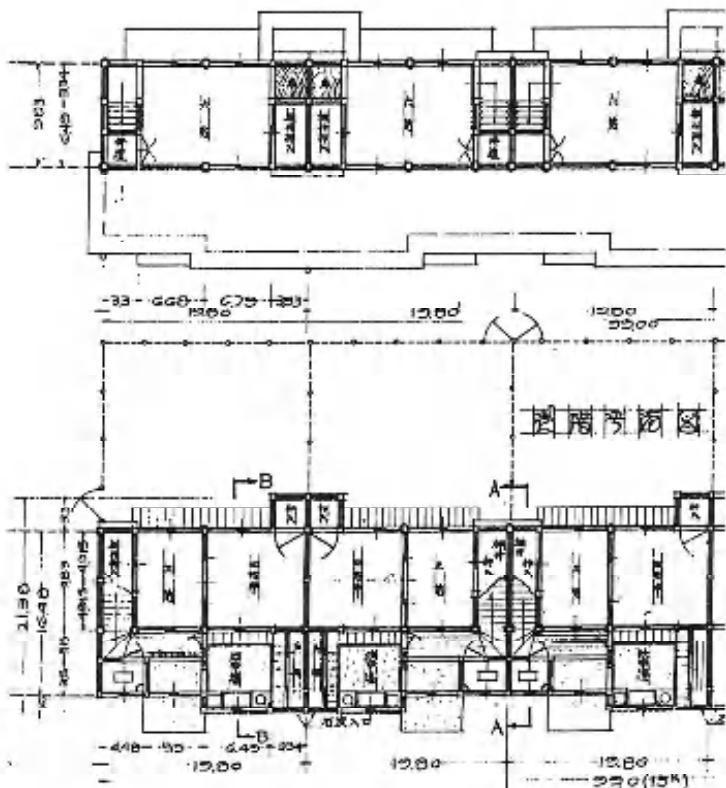
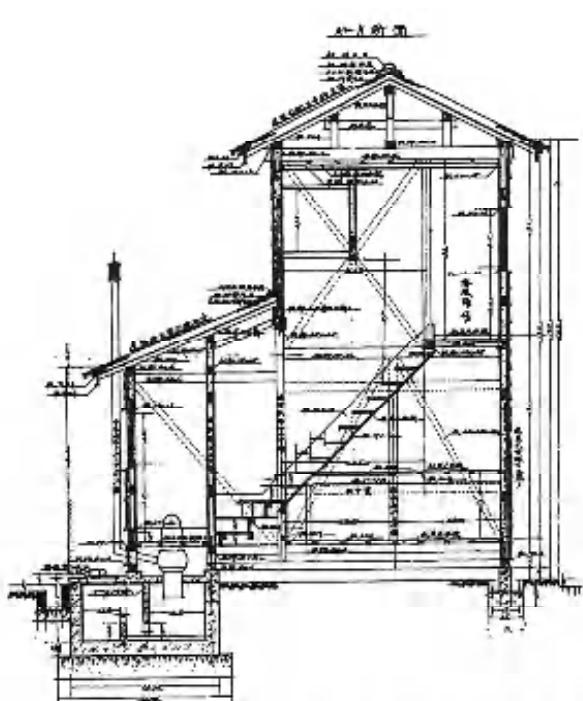
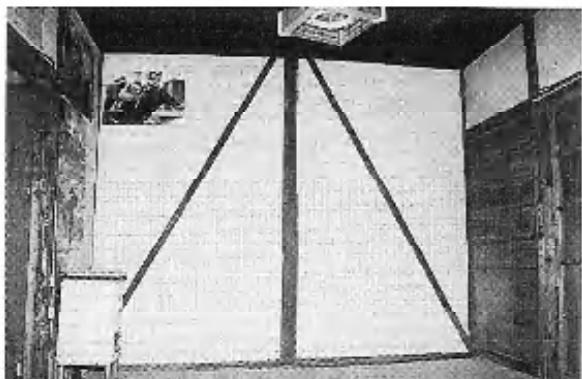


図-12 山野鉱業所 第三坑従業員社宅(二階建)新築

図-14 山野鉱業所 第三坑従業員社宅(二階建)新築
断面図 (1/100)写真-23 山野鉱業所 葉月社宅二階建
1階4.5畳、左台所、右に半間の押入写真-24 山野鉱業所 葉月社宅二階建
台所・玄関境の片開戸と片引戸、台所の床は後補写真-25 山野鉱業所 葉月社宅二階建
2階、片引戸と階段上につくられた仏壇の片開戸

平面図以外に断面図・詳細図・立面図が残っており、それらには昭和12年6月2日の日付がある(図-13・14)。1階居室の疊面は地面から1.8尺上がり、階高は9.1尺、桁高は19.9尺で5寸勾配の屋根がのる。内法高は1・2階とも5.8尺で、天井高は1・2階とも8尺である。正面側の下屋は4寸勾配である。

葉月社宅に最後まで残っていたのは当形式と推測される。柱間寸法の実測値とほぼ等しく、2階には階段上に張り出した仏壇(押入)があり、1階の玄関板張りと台所とを片開戸でつなぎ、4.5畳には背面側に突出した半間の押入がある(写真-23~25)。

(11) 美唄鉱業所 昭和10~13年頃 「従業員社宅二階建」(図-15)

昭和10~13年頃に建設された4戸建で、1階8畳・4.5畳、中二階4.5畳の3室式である。玄関から8畳に入り、8畳の奥に台所がある。8畳から中二階への階段へは奥行きがあまりない踏み板をコの字状に巡らして行けるようにしている。台所には裏口土間をとるが、専用便所はない。柱間は6尺を基準として寸法が決められている。

正面図から切妻造で、やや突出した玄関には切妻造・妻入を架け、中二階は大屋根からわずか上に出でて切妻造の屋根を架けていることが解る(図-16)。この程度の高さなので1階の天井高は低くおさえられているであろう。以下に紹介する北海道の鉱業所の社宅を含め、九州の鉱業所にはない二階建であり、8畳があるのも珍しい。

(12) 砂川鉱業所 昭和12年~14年 従業員社宅(図-17)

昭和12年~14年に建設された4戸建で、1階に8畳、2階に6畳がある2室式である。台所は3畳の大板張りで、玄関横に配されずに8畳の奥にある。専用便所ではなく、やや離れて共同便所を設けている。階段は奥行き3/4間の押入の上に2戸分をとっているので、幅がかなり狭い。2階では表側にしか開口部をとらず、背面側は2間幅の押入を設ける。

(13) 芦別鉱業所 従業員社宅(図-18)

年代は明記されていないが戦前期のものと思われる。4戸建で、1階8畳、2階6畳の2室式で、3畳の大板張りの台所は8畳奥に設けられている。2階は正面側にしか開口部を採らず、反対側に2間幅の押入を置く。砂川鉱業所の二階建と類似するが、階段幅が半間とれるように変更されている。図面に記入されている面積では、当形式が13.25坪で、砂川鉱業所の形式が12.155坪である。

(14) 三池鉱業所 昭和21年~23年 「6級2階12.5坪」(図-19)

三池鉱業所では四山に戦後昭和21年下期~23年下期に15戸(3棟)の二階建が建設された。形式は昭和9年の「B型従業員社宅」と同一である。

6. 従業員社宅の二階建

従業員社宅では階層格差が歴然としている。三池鉱業所では甲乙丙丁に分かれ、田川鉱業所では1種から5種に区別されていた。一般的に、低位にある従業員社宅でも従業員社宅よりは大きい。ここでは従業員社宅と比較する上で、床面積が従業員社宅とは極端には変わらない比較的小規模の職員社宅を紹介していく。

職員社宅における二階建の早い例は、大正8年4月の「山野鉱業所二階建小頭社宅新築設計圖」(図-20)であろう。それは、2戸建で、1階には6畳・4.5畳と2畳の玄関間、炊事場、縁側、専用便所があり、2階には6畳があり、1階13.75坪、2階4坪、計17.75坪である。職員社宅の中で下位に属しているが、玄関間・専用便所・1間幅の床の間等、従業員社宅とは明確な差を表している。

三池鉱業所における二階建の職員社宅の建設は従業員社宅よりも遅れる。「三池鉱業所沿革史 庶務課八」には「大正十三年ニ敷地利用ヲ主眼トスル新式二階建社宅ヲ設計シテ市内松原町及大正町ニ十八棟建築シタ処大ヒニ好評ヲ博シタ」とある。具体的な間取りは不明である。

昭和10年の社宅の標準化で示された甲乙丙丁の各階級に二階建の事例がある。その中で最小は「丁號B」(図-21)で、1階10.75坪、2階7坪、延17.75坪である。1・2階とも6畳と3畳がある4室式で、背面側に突出して専用便所を設置するが、玄関間はない。当形式は4戸建であり、その他の全ての職員社宅が1戸建か2戸建で、専用の浴室を設置しているのとは大きな格差が見られる。

その「丁號B」と昭和10年の四山の4室式二階建とを比べると、床面積では勝っているが、部屋の大きさでは劣っている。各部屋に押入があり、1間幅の床の間があり、台所が大きく、2階に廊下があるので通り抜けせずに最奥の6畳に行くことができる、等の違いがある。

7. 6畳・4.5畳・3畳の3室式社宅

昭和10年に三池鉱業所の四山で二階建の4室式が造られた。但し、それは50戸のみであり、その時の2室式は1245戸、3室式が525戸であった。ところが、昭和13年には2室式は911戸、3室式は1025戸で3室式が社宅の中で主流になった。その1025戸の内訳は、平家建が651戸、二階建が374戸であった(表-1参照)。これらは増改築によって3室式となったものと新築の3室式から成り、後者は6畳・4.5畳・3畳の3室を基本とした間取りと考えられる。

このような従業員社宅における新築による3室式が造り初められるのは、上述したように三池鉱業所では、二階建は昭和9年の「B型従業員社宅」(図-6)である。平家建で具体的に解かるのは昭和12年の「1号型従業員社宅」(図-22)があるが、昭和11年の「宮浦従業員社宅三十五戸新築(三間式平家)」と等しい。これは1戸12坪である。昭和9年には「四山従業員社宅C型新築五戸建四棟二〇戸」があり、1戸12.375坪

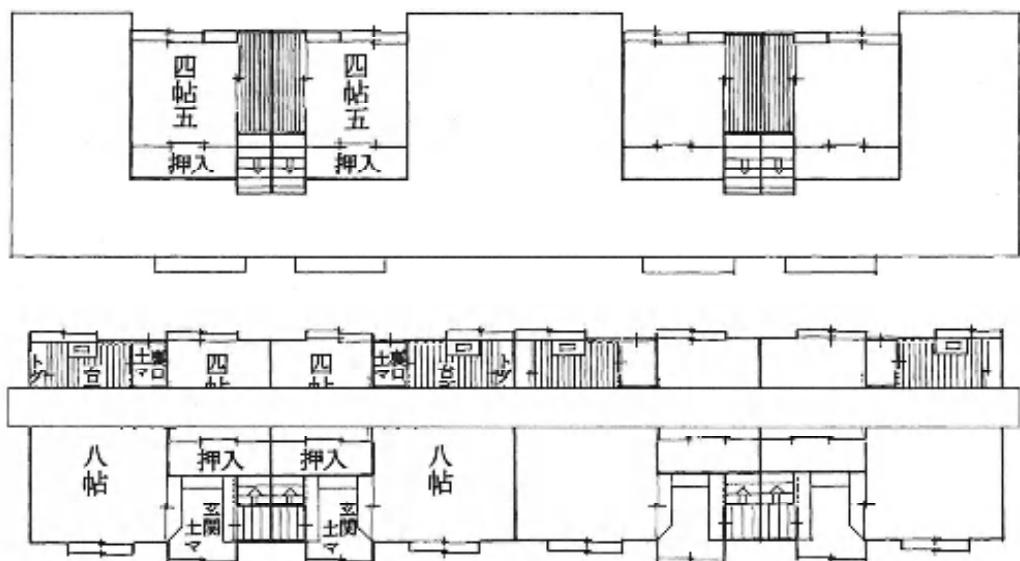


図-15 美唄鉱業所 従業員社宅二階建

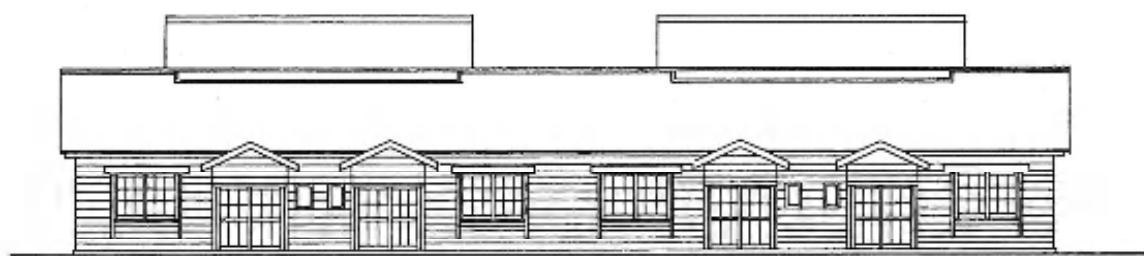


図-16 美唄鉱業所 従業員社宅二階建 正面図



図-17 砂川鉱業所 従業員社宅

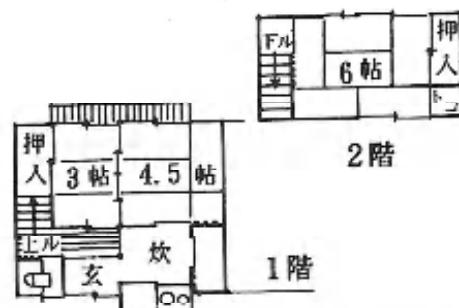


図-19 三池鉱業所 6級 2階建12.5坪

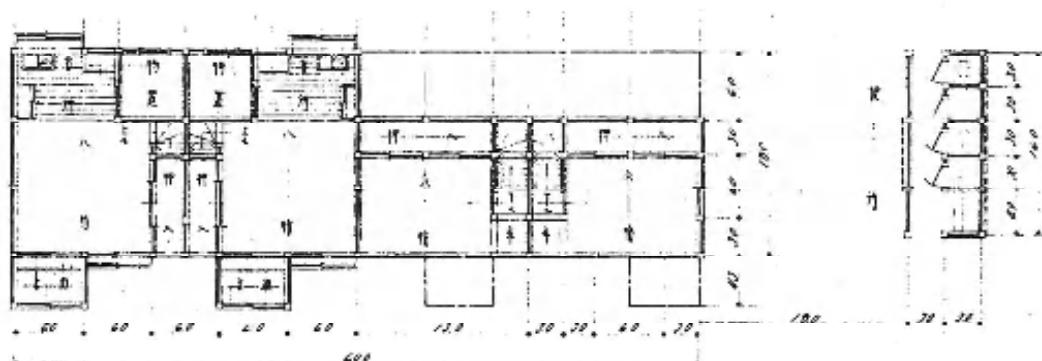


図-18 背別鉱業所 従業員社宅

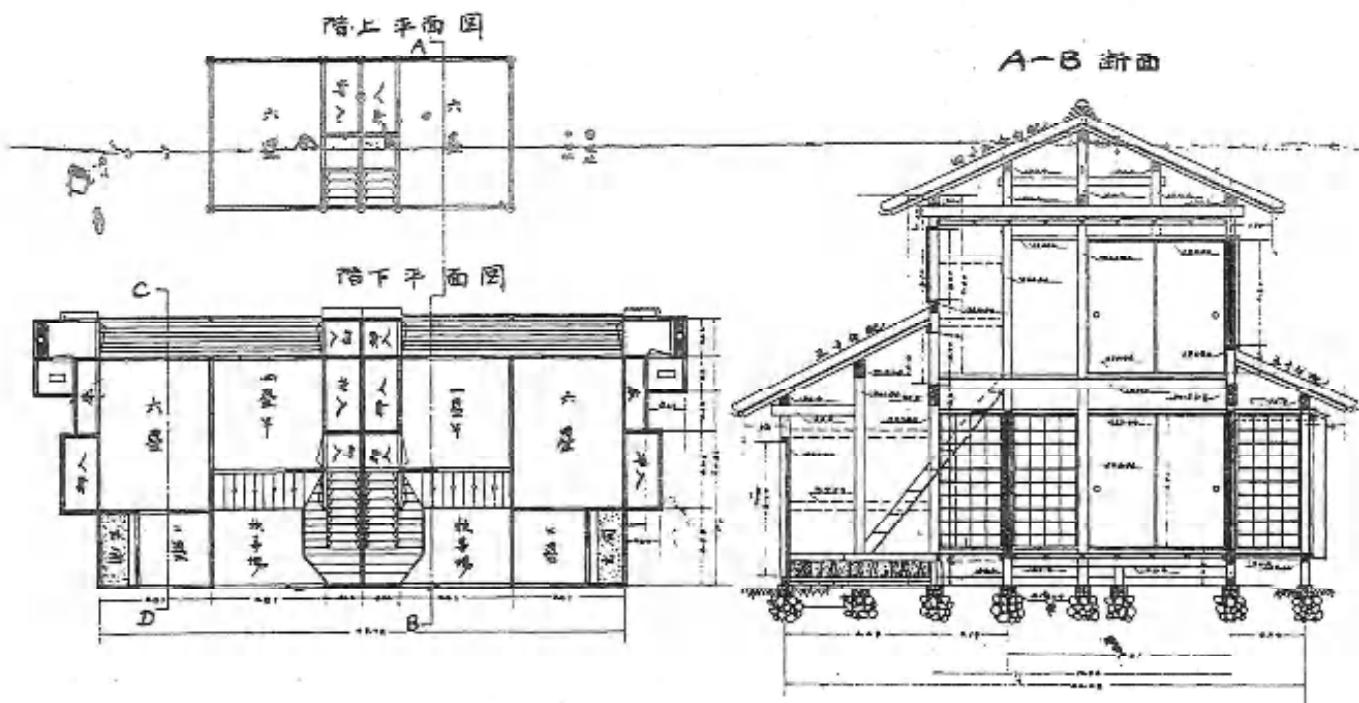


図-20 山野鉱業所二階建小頭社宅新築設計図

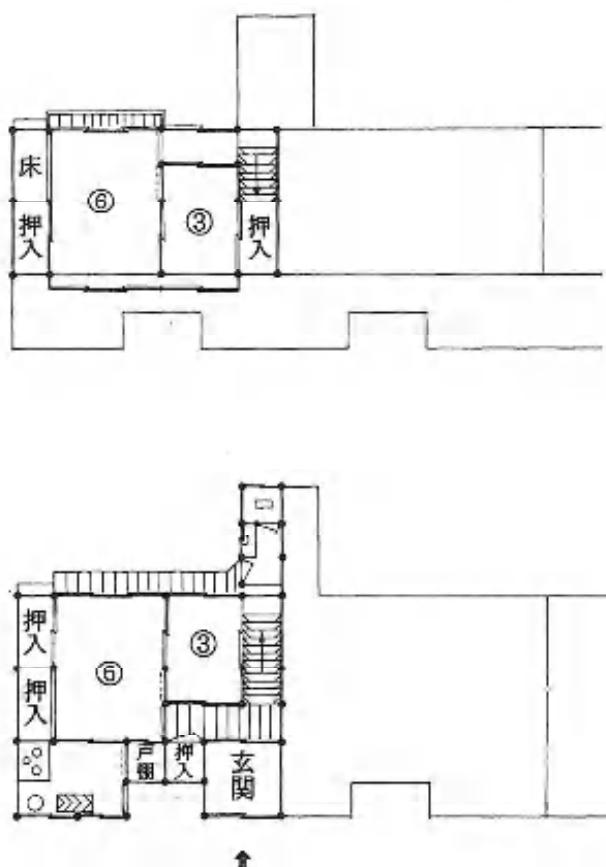


図-21 三池各事業所役員社宅間取図丁號B

であるので、3室式と考えられる。従って、三池鉱業所における6畳・4.5畳・3畳から成る3室式は昭和9年と推測される。

田川鉱業所では二階建でなく、平家建の「最初ノ3間式従業員社宅」が昭和12年～14年に建設されている（図-23）。これは「特等」と位置付けられ、「押入、物置、廊下、床の間など、殆んど完備した優良社宅」であり、「劃期的なもの」であった。山野鉱業所では平家建に昭和11年の「第三坑銅代坊社宅新築（三間式）設計図」があり（図-24）、二階建は翌年に設計されている。

美唄鉱業所では昭和8年と9年に「平家三間式」が造られている。砂川・芦別両鉱業所では二階建は2室式であり、平家建の3室式も造られていなかったと推測される。

三池・山野・田川の各鉱業所における昭和10年前後の3室式は6畳・4.5畳・3畳から成る。

これらの3室を有する下位の職員社宅の早い例は田川鉱業所の大正8年の5種であり、従業員社宅よりも15年程早く現われている。これは、平家建の2戸建で、背面側に専用便所を設けている。

ところで、当時の社宅の建設費を三池鉱業所を例として『三池鉱業所沿革史 労務課十』でみていくと、昭和12年の「宮浦従業員社宅D型平家建」の「三間式」

37戸は、1戸12坪で、坪当り72円28銭であり、同年の「四山從業員社宅五十戸新築（B型）二階五戸建十棟」は1戸12.25坪で、坪当り76円17銭であった。平家建と二階建では坪単価において極端な差はなかったことが解る。これらは6畳・4.5畳・3畳から成る3室式と考えられる。

昭和12年には二階建126棟・982戸、平家建213棟・1042戸である（表-2参照）。別の統計では昭和12年に二階建1007戸、平家建1147戸があり、「三室制」は二階建が394戸、平家建が550戸で、それぞれ39.1%・48.0%を占めている（表-1参照）。当時3室式の二階建はそれほど珍しい存在ではなかったと言えよう。平家建と二階建では建設費に大きな差がなく、二階建を建設し始めた頃、「前者ノ利ハ後者ノ弊ヲ償ツテ餘リアリ、故ニ當方管理ノ長屋ハ白今成ルベク二階建ニ致度シ」と記したように必ずしも実行されなかつたようである。

昭和10年代は一方では戦争の影響が強く影を落としていた。即ち『三池鉱業所沿革史 労務課十』には「支那事変勃発直後ヨリ資材入手難ノ為メ坪数ニ於テグット低下シ十坪ヲ越エル新築社宅ハ絶無ト」なり、「昭和十四年ニハ急激ニ増加シタ從業員ヲ收容スル為メ其ノ應急施設トシテバラック建ノ假社宅」を建設した。これらは「バラック從業員社宅」と「假從業員社宅」であり、1戸8.25坪で6畳・4.5畳の平家建の2室式であった。

昭和13年と14年とを比較すると（表-2参照）、1年で平家建が419戸、二階建が226戸増加しており、平家建では「二室制」が378戸、「三室制」が41戸増加し、二階建では「二室制」が9戸、「三室制」が217戸増加している。平家建の「二室制」は「バラック從業員社宅」と「假從業員社宅」である。

三池鉱業所では様々な事情や状況があるなかでも3室式の二階建が数多く建設されていることは注目してよいであろう。その具体的な例は、昭和14年の「四山從業員社宅百戸B型二階建五戸建二十棟」の新築であり、1戸12.375坪で、6畳・4.5畳・3畳からなると推測される。この場合の二階建は居住環境の向上よりも「單身者ガ從業員社宅ニ下宿」する上でも好都合であったため、多数建設されたと推測される。

いろいろな面から3室式の二階建が労務管理上都合がよく、それを的確に示した間取りが昭和9年の「B型從業員社宅」であろう。

山野鉱業所でも平家建の3室式が昭和11年9月に設計され、昭和12年12月に6畳・4.5畳の2室式が本店案として設計されている。また、「六畳一間式」・「八畳一間式」といった「新築「バラック」式」も造

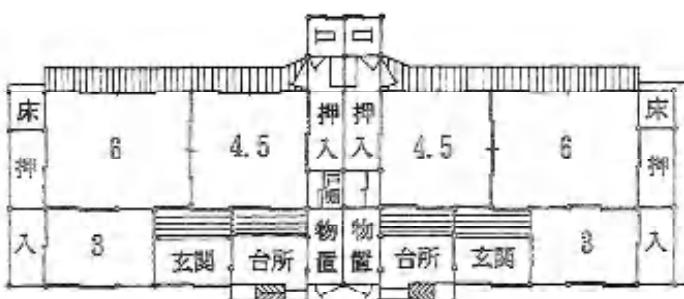


図-22 三池鉱業所 1号型從業員社宅

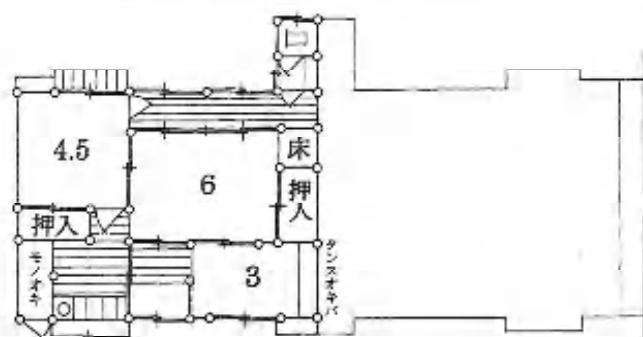


図-23 田川鉱業所 最初ノ3間式從業員社宅

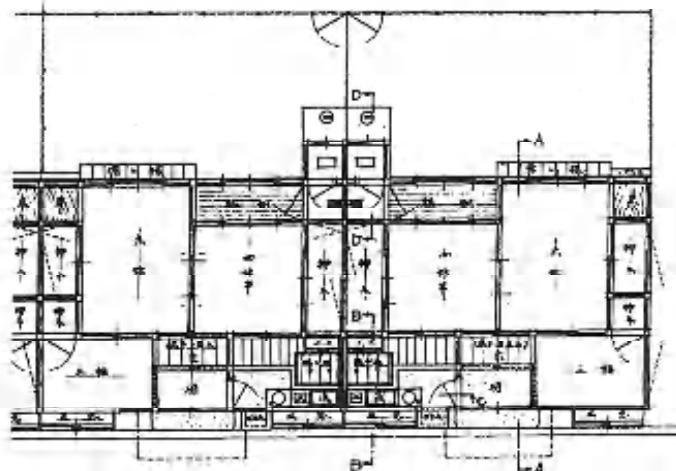


図-24 山野鉱業所 第三坑線代坊社宅新築(三間式)設計図

られ、三池鉱業所同様戦争の影響による。

さて、二階建は昭和12年5月に設計され、葉月社宅は昭和16年の建設という。戦時下にも関わらず多数の二階建が建てられ、他から切り離された2階に部屋を有することが必要だったのだろう。この二階建は「B型從業員社宅」の3室構成を踏襲している。

三池鉱業所では大正6年から二階建が建設され続けており、從業員社宅としての二階建の完成形として昭和9年の「B型從業員社宅」は位置付けられよう。

8.まとめ

本稿は三井鉱山(株)の各鉱業所の沿革史等に基づきながら二階建社宅の状況をまとめたものである。二階建は大正6年に三池鉱業所で最初に造られ、それは鉱夫の昼間の安眠を確保することを目的として建設された。しかし、積極的に採用したのは三池鉱業所だけであった。田川鉱業所以外の鉱業所では昭和10年代に入ってからである。

九州にある鉱業所の二階建は、6畳を2階に載せ、1階には、2室式で6畳か4.5畳、3室式で4.5畳と3畳があり、基本的な構成は2種類であった。1戸の間口は2間から3間と広くなり、2階の6畳が縦長から横長へと変わり、2階部分は1階の中央部に乗っていたものが、背面の柱通りを一致させて設けられるようにならなかった。但し、北海道の各鉱業所は九州とは異なっていた。

三池鉱業所では昭和10年に4室式が生み出されたが、二階建の主流は3室式で、昭和9年に6畳・4.5畳・3畳からなる新たな3室式が現われた。これを基本として多少の変更が行われていった。戦時下において「パラック従業員社宅」や「假従業員社宅」が建設される中も二階建は造り続けられていた。戦後の一時期にも建設されたことからも解るように、労務担当が目指した二階建の理想的形式を示しているものとして昭和9年の「B型従業員社宅」は位置付けられるであろう。

謝 辞

三池鉱業所を始めとした各鉱業所の沿革史の閲覧等においては、三井鉱山(株)総務部広報室長の佐々木稔氏に許可を頂き、(財)三井文庫寄託のものを拝見させて頂いた。資料の閲覧・複写等では(財)三井文庫の職員の方々にお世話になった。「山野鉱業所沿革史」の閲覧では九州大学石炭研究資料センター、「三井鎌山五十年史稿」の閲覧では大牟田市立図書館、山野鉱業所の閲覧では福岡町教育委員会の方々にお世話になった。ここに記して感謝の意を表する次第である。

尚、本稿は科学研究費基盤研究(C)(2)(研究代表者川上秀人、課題番号13650706)の成果の一部である。

注

- 1) 松岡高弘・川上秀人：「筑豊における昭和期の炭鉱住宅について」『筑豊近代化大年表（昭和戦後編）』所収 近畿大学九州工学部図書館 平成14年9月
- 2) 『三井鎌山五十年史稿 卷十六』労務二
- 3) 『田川鉱業所沿革史 第九卷』労務三
- 4) 『三井鎌山五十年史稿』大牟田市立図書館所蔵
『三池鉱業所沿革史』三井鉱山株式会社所蔵・財團法人三井文庫寄託
『田川鉱業所沿革史』同上
『山野鉱業所沿革史』同上・九州大学石炭研究資料センター所蔵
『本洞鉱業所沿革史』三井鉱山株式会社所蔵・財團法人三井文庫寄託
『松島炭礦沿革史』同上
『砂川鉱業所沿革史』同上
『芦別鉱業所沿革史』同上
『三井美唄鉱業所沿革史』同上
『珊瑚鉱業所沿革史』同上
- 5) 『鐵夫宿舎の建築に関する調査報告』『日本鉱山協会資料』第十七輯 昭和6年
- 6) 『礦員社宅台帳』住友石炭鉱業株式会社忠隈礦業所 近畿大学九州工学部図書館所蔵
尚、台帳は昭和33年8月1日現在でまとめられたものである。
- 7) 『写真集福岡100年』西日本新聞社「写真集福岡100年」刊行事務局 昭和60年11月
- 8) 『水谷おもいで写真集』水谷町 平成3年4月
- 9) 『一若松信用金庫創業60周年記念—若松今昔』若松信用金庫 昭和58年5月
- 10) 『大牟田市における三池炭鉱関連の社宅調査報告書』大牟田市教育委員会 平成11年3月

本稿で用いた写真は、写真-2と6は有明高専建築学科教授新谷豊一先生が昭和47年に撮影したものであり、写真-5と7は『三池鉱業所沿革史 労務課十』所収、写真-1は『三井三池各事業所寫眞帖』所収、写真-3は『写真集福岡100年』所収、写真-4は『一若松信用金庫創業60周年記念—若松今昔』所収、のものである。

痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発への試み

木下正作・川崎義則

<平成15年10月1日受理>

An Approach to Development of a Rehabilitation Machine for Elderly People with Dementia

KINOSHITA Shosaku and KAWASAKI Yoshinori

Development of a rehabilitation machine for elderly people with dementia was carried out by the project of our laboratory and Group Home, Famille. This report presents these practical activities.

It is very difficult for elderly people with dementia to maintain their physical functions and activities of daily living (ADL). Therefore, we tried to develop the welfare equipment by which these people can have sense of play in daily life. Through this development, it was shown that the following points play very important roles in the field of rehabilitation for elderly people with dementia.

- 1) Communication such as talking to elderly people by center staff.
- 2) Memorial goods attached to rehabilitation machine stimulating five senses of elderly people.

1. はじめに

従来に比べ近年、福祉社会のあり方が国民にも認識されるようになってきた。とはいっても高齢者対象のリハビリ機器に関する限り、これまでのところ、高齢者の興味を惹き、高齢者自らが自主的にリハビリを行うといった機器は極めて少ないといえよう。

そのような中、福岡県大牟田市にある滞在型福祉施設であるサンフレンズの方から、痴呆性高齢者が生活の中で、楽しみながら、かつ身体機能・日常生活動作能力を維持できるようリハビリ機器はできないだろうかとの相談があった。そこで、対象を痴呆性高齢者に絞り、痴呆性高齢者が生活の中で楽しみながら、精神面のケアも考え、かつ自主的に、身体機能・日常生活動作能力を維持できるようリハビリ機器の開発に着手することになった。

また、本研究は、痴呆性高齢者の滞在型福祉施設(サンフレンズ、ふあみりえ)のスタッフ(理学療法士、作業療法士、看護士、ヘルパーなど)、と工学を専門とする私達、有明工業高等専門学校(教官、技官、卒業研究生)とがSAFチーム(S:サンフレンズ、A:有明高専、F:ふあみりえの略)を結成し、着手した最初のリハビリ機器開発でもある。

この分野のリハビリ機器開発は一般的に未開発の分野であり、非常に興味深い研究課題であるといえよう。

さらに高齢者介護現場において、このようないハビリ機器の開発に取り組むことは、高齢者の自立支

援の手助けになると同時に、これらの活動を通して、高齢者に対する私たちの生活支援のあり方を考えていく貴重な機会作りにもなる。

本研究で、今回開発されたリハビリ機器は大牟田市内の福祉施設6箇所を回り、実際に使用してもらい、高齢者の方々にそのアンケート調査を行った。

すなわち高齢者の観点からみた使いやすさ、安全性、興味、第一印象、装飾品の印象、機能性などをデータとして得るために、高齢者を担当されるスタッフの皆さんに記述していただき、そのデータを見ると機能性、安全性も高く評価していただき、またデザインも好評で皆さんに綺麗とか可愛いなどの意見をいただいた。

また使ってみたいかなどの質問にも、どちらでもいいという意見もあったが、使ってみたいという意見が大多数であった。なかにはスタッフが止めないと止めない方もいたようである。

そのような点から、従来難しいといわれてきた痴呆性高齢者のためのリハビリ機器の問題に対して、今回、私達が着手したりハビリ機器開発はある意味で十分手ごたえを感じられるものであり、この分野での今後の研究に、多くの重要なヒントを提供してくれるものであったといえる。

2. 痴呆^①

2.1 老年痴呆とは

痴呆とは、「成人に起こった知能障害のために日常

生活に支障をきたした状態」である。厚生省の推定では痴呆性老人は全国に約100万人いるといわれている。老年痴呆は著しい記憶障害が特徴であり、それは健常老人の物忘れとは異なる。

すなわち、

- ①粗大な健忘といわれるよう、体験したことの全てを忘れる。
- ②物忘れは記憶だけにとどまらず、暗算、見当識、判断力等、広範な知的機能の低下が遂行する。
- ③物忘れを自覚していない。
- ④被害妄想などの行動の異常をともなうことがある。

痴呆は脳の器質性病変によって起こり、それは痴呆性症状が固定することと関係がある。うつ病の仮性痴呆は器質性だけでなく感情の病気のために起こるのであり、うつ病が良くなれば軽快するものである。痴呆はその程度によってステージがあり、アルツハイマー型痴呆では、健忘期、痴呆期のように区分される。要するに痴呆は疾病状態の1つであり、慢性の経過をとり原因疾患の治療が困難なため治療よりも介護が重点となる。その対応にあたっては、正確な診断、介護する家族を援助することが必要である。

2.2 痴呆のきたす疾患

痴呆の診断には、痴呆それ自体の診断と原因疾患に分けられる。その内容としては、

- ①緒期および、短期記憶の障害。
- ②抽象思考の障害、判断の障害、失語失行失認及び構成障害、人格の変化のうち少なくともひとつ。
- ③上記の障害のために日常生活に支障をきたしている。
- ④意識障害は除外。
- ⑤原因と考えられる脳気質性要因が推定される。この基準では、原因疾患についてはふれられておらずあくまでも痴呆は状態名であり疾患名ではないのである。

痴呆と紛らわしい状態として、軽い意識障害があるが、高齢者では、感染症、脳の循環障害、栄養失調、脱水症状、眠剤の飲みすぎなどで起こりやすいと分かっている。このようにして、痴呆と間違いやさしい症状もでてくる高齢者である。

診断の結果、本当の痴呆症と診断された場合に最も頻度が高いのは、脳血管性痴呆とアルツハイマー型痴呆である。

前者は高血圧や脳卒中の既往があり、局在性の神

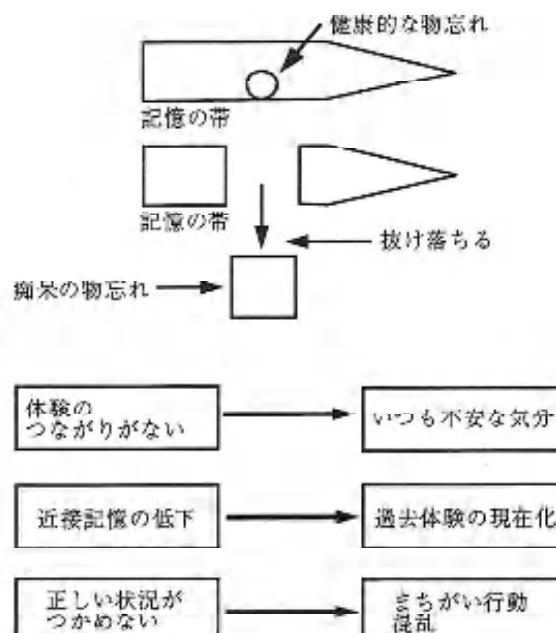


図1 健康な高齢者のもの忘れと痴呆のもの忘れ

経学的症状、まだら痴呆、感情失禁、うつ状態を呈することがあり、階段状の経過を取ることが特徴的である。

2.3 健康な高齢者のもの忘れと痴呆のもの忘れ

図1にもの忘れについて示す。¹⁾

3. 痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発に関する基本的考え方

痴呆についてのまとめを念頭において、まずリハビリ機器開発のねらい、および組織作りについて示す。

- 1) 痴呆性高齢者の特殊性に応じたりハビリ機器の開発を行うことによって痴呆性高齢者が生活の中で、楽しみながら、身体機能・日常生活動作能力を維持することができるよう援助する。
- 2) 介護現場、リハビリ専門家、機械工学・技術専門家がチームを組み、様々な情報交換、相互連絡を図ることで、より実践的・効果的な機器の開発を目指し、それらのチーム活動から生まれたものを地域社会の福祉に生かしていく。
- 3) 高齢者介護現場にあって、このようなりハビリ機器の開発に取り組むことは、高齢者自立支援の観点から大変重要なことである。これらの活動を通して、私達の生活支援のありかたやノーマリゼーション・リハビリテーションの視点の重要性をこのリハビリ機器開発を行う様々な人

が認識する良い機会とする。

よって、以下のようにまとめることができる。
1)痴呆性高齢者が生活の中で、楽しみながら訓練できるリハビリ機器開発視点

- ①わかりやすく、シンプルなもの。
- ②楽しみがあるもの。
- ③短時間で、より効果的なもの。
- ④生活の場で、違和感のないもの。
- ⑤やりがい感のあるもの。
- ⑥安全で、安価なもの。
- ⑦メンテが簡単なもの。

2)身体機能・ADL能力の維持が効果的にできるリハビリ機器開発内容

- ①筋力維持。
- ②間接可動域訓練。
- ③ADL訓練。
- ④寝たきり防止訓練。
- ⑤自立度アップ訓練。

3)期待したい効果

- ①下肢筋力訓練ができるもの。
- ②間接可動域の訓練ができる。
- ③関心、興味が湧き、楽しむことができる。
- ④可能な限り歩行機能の衰えを防止できる。

以上を考慮し、下肢筋力訓練用に限定したりハビリ機器の開発の構想をより具体的に示せば、

1)高齢者が楽しみ、かつ筋力訓練になること。
・機器に高齢者が特に興味を持っているアヒルを取りつけ、目を引くアヒルの動きに集中させることで、いつの間にか筋力訓練ができるとい

うのがポイントである。

2)個々の能力に応じた訓練ができること。

・人によって体格や能力が異なっているため座席を、前後や上下に位置調整可能にし、またペダルの位置もあまり高すぎると高齢者がペダルを漕ぐ際にあまりにも不自然な漕ぎ方になり、非常にきつく、漕ぎにくい。

3)使用する際に安全であること。

・高齢者がつまずきそうな凹凸を排除し、また手すりを取付けるなどの配慮をする。またアルミニウム板の角部を完全に排除すること。

4)取り扱いが容易である。

・座席の位置や手すりの長さ、角度の微調整がワンタッチで行えること。できるだけスタッフの手を煩わすことのないようにする。

痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発の構想に基づいて、図2のような絵コンテが得られた。

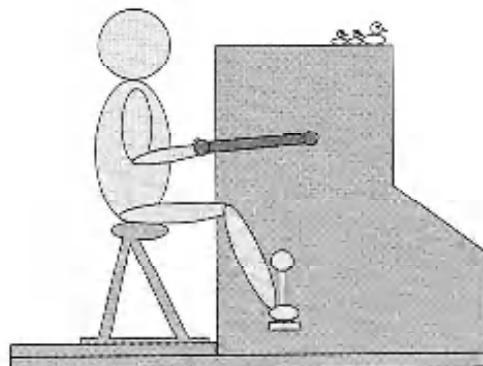


図2 リハビリ機器設計前の絵コンテ

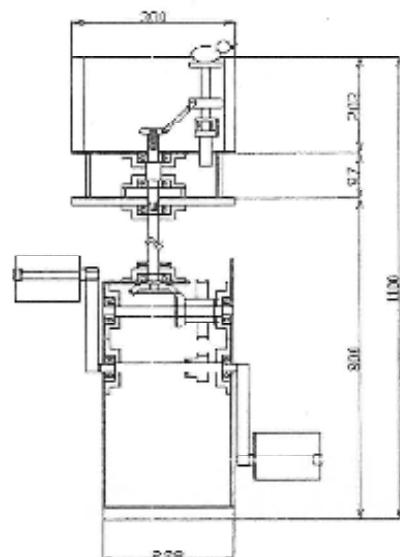
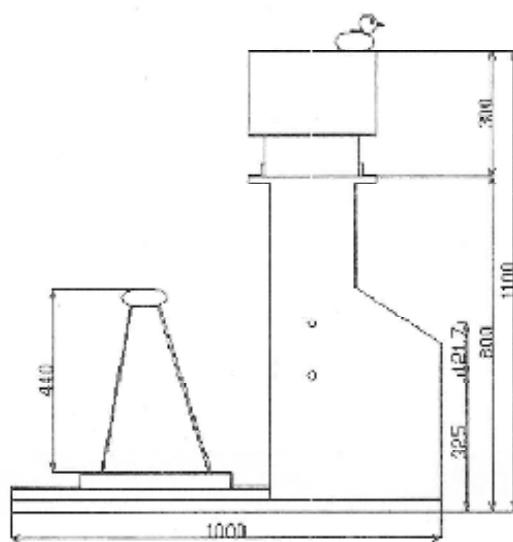


図3 試作1号機の組立図

絵コンテを基にして基本寸法も入れた組立図を図3で示す。また、この座席に関してはこの形のものを作るか既存のものを使うかは検討課題として、リハビリ機器の本体が完成した後に考えることとした。

4. 試作1号機とノーマリゼーションセミナーへ九州への出展

4.1 試作1号機の設計・製作

機器の構造・材質及び寸法の概要を述べる。構造は、下肢筋力訓練をするうえで、単純かつ確実に筋力をつけていくために、ペダルを漕ぐという動作により動力を発生させる。その発生した動力を上部に取付けたアヒルの動きに連動させる。

またアヒルの動きとしては、回転運動させることをねらい、加えて、ただの回転運動ではなく回転させながら、上下運動を加えたもので、メリーゴーランドを意識したものである。

材質及び寸法に関しては、主な骨組みの材質にはアルミニウム角パイプ(25[mm]×25[mm])を使用した。骨組みの外周にはアルミニウム板を使用した。アルミニウム板は厚さ1[mm], 3[mm]のものを使用した。3[mm]のものは機器本体のペダル軸を支えるペアリングが取りつけられた側板や機器本体の下部に敷いた底板など、負荷のかかるところに使用している。

1[mm]の用途は上部の方のあまり負荷の加わらないアタッチメント部を支えるだけのフレームの側板として使用されている。またフレームは全てJ型金具(図4参照)でM4のボルトとナットを用いて固定する。

4.1.1 フレームの設計(図5参照)

フレームの設計では、高さの問題が非常に重要である。それは高齢の方々が、ペダルを漕ぐ位置に脚を置いた状態で、上部アタッチメント部の高齢者の興味を引くのに重要なアヒルの動きが、きれいに見えなければならないからである。身長、座高等を平均的にシミュレーションして高さ寸法を決定した。試作1号機を使用していただいた際には、この高さで十分満たされていた。

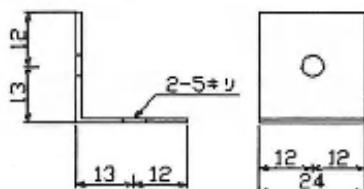


図4 L型金具

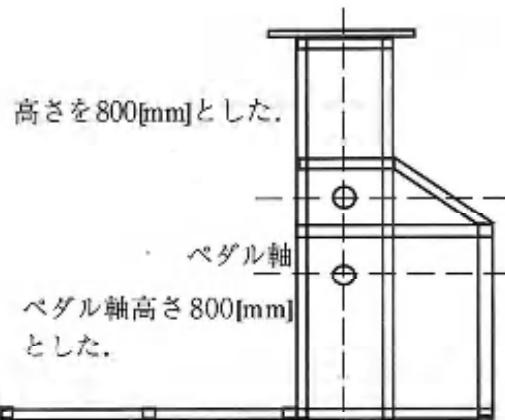


図5 本体フレーム

つぎに、組み上がったフレームに外観となるアルミニウム板をM4皿ねじで取付ける。

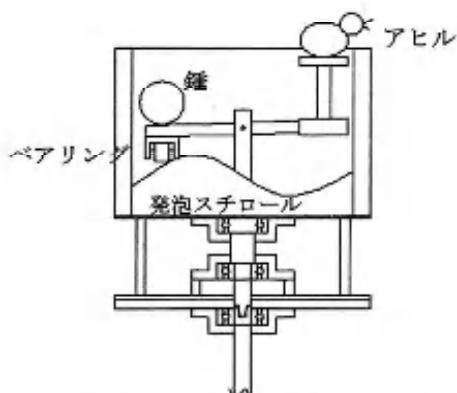
4.1.2 内部構造の設計(図6参照)

内部構造では、ペダルを漕ぐ運動を、上部アタッチメント部に取付けるアヒルの回転運動に変換する。そのため、ペダル軸に取付けた歯つきベルト車と、ペダル軸上部の第2軸に取付けた歯つきベルト車を歯つきベルトで連結し、回転運動として伝達する。上部第2軸にはかさ歯車を取り付け、そのかさ歯車で上部アタッチメント部のアヒルに回転運動を伝達する。つまりペダルの漕ぐ運動を上部アタッチメント部に伝えるまでに、ベルトと歯つきベルト車およびかさ歯車によって力を伝達する。

また、水平方向のペダル軸・第2軸と上部アタッチメント部に連結する垂直方向の第3軸については、フレーム外周のアルミニウム板にペアリングを取付けて固定する。



図6 内部構成図



4.1.3 上部アタッチメントの設計(図7参照)

上部アタッチメント部は、かさ崩車が取付けてある垂直方向の第3軸の上方にアルミニウム角パイプをピンで固定している。片側の先端にアヒルの人形を取り付け、もう一方の先端には下部にローラーの役割として、ペーリングを取り付け、上部には鍤を取り付ける。

また、アヒルの動きとして、回転運動と同時に上下運動も取り入れるため、発泡スチロールでドーナツ状にしたものに、山部と谷部の流線状に形を成形する。それにより、ローラーの役目をするペーリングを鍤で下部に押付けて、流線状の発泡スチロールに沿って回転するようとする。よって、ペダルで漕いだ際の回転運動が、上部にあるアヒルが緩やかな上下運動をしながら回転運動をするようになった。

この動きは、アヒルの見え隠れする動きをねらったものである。その理由は、アヒルが常に回転運動だけし、見えている状態にすると、高齢者がこの単純な動きにすぐ飽きを感じてしまうのではないかという考えに基づいたものである。

4.1.4 組立

組立では、主な骨組みとなるアルミニウム角パイプをフレーム設計で示したように、寸法通りに製作し必要な本数を用意する。

ここで重要なのは、寸法精度と端面の直角度である。それは支柱となる部分や補強の部分などで寸法誤差が生じることと、完成した際に歪みを生じてしまう。そのためには、5[mm]ほどの削り代を考慮して、バンドソーで切断する。そして、両端面をフライス盤(エンドミル)で寸法加工する。アルミニウム角パイプ同士を固定するために、角パイプに、5キリで穴あけする。それらを全て、L型金具とM4のボルト・ナットで固定する。(写真1参照)



写真1 ほぼ組み上がったフレーム

なお、外観のアルミニウム板の取付けの際には、アルミニウム板にあらかじめM4皿ネジ用に皿座グリを行っておく。またアルミニウム角パイプにM4のタップ立てたものに、M4の皿ネジで固定する。外観に取付ける3[mm]アルミニウム板は、下部である底部から組立っていく。組立時の注意点は、まずM4ねじで全体を緩く締め、プラスチックハンマーで軽く叩いて各部の微調整を行い、M4ねじを増し締めして床に垂直に組立てた。

4.2 ノーマリゼーションセミナーin九州への出展

設計・製作した試作1号機を平成14年9月27日(金)に大牟田文化会館で開催されたノーマリゼーションセミナーin九州に出展した。

この大牟田文化会館で開催されたノーマリゼーションセミナーin九州では医療、福祉関係者など約1500人が参加した。ノーマリゼーションは、デンマークのN·Eバンクミケルセン氏が1959年に知的障害者の生活向上を図ったことが始まりである。

ノーマリゼーションの父と呼ばれているこのバンクミケルセンは「“ノーマリゼーション”とは“ヒューマニゼーション”ということ、「人間たれ」ということだよ。」とも説いている。

このノーマリゼーションセミナーin九州にリハビリ機器を出展した際に、私達も参加して一般のセミナー参加の方々にリハビリ機器の説明を行った。非常に興味を持っていただき近づいて来られる方や自ら漕いでみたいといわれる方など多くの方々に好印象で、意義ある出展であった。また様々な感想や意見をいただくことができた。

そのことが試作2号機に対する良いアドバイスにもなり、改善点も明らかになってきた。

セミナーへ出展したりハビリ機器を写真2に示す。



写真2 ノーマリゼーションセミナーに出展した
試作1号機

写真からペダルを漕ぐ際に、非常に脚を開かなくてはいけないのがわかる。この状態は高齢者の方々にとっては、きつく、疲れやすい。このことで筋力訓練を行う前に嫌がられては本来の狙いが失われてしまう。またO脚の方もおられ、手前の角部で脚をあてたり、擦ってしまうのではないかと不安があり、恐怖心が生まれてしまう。

試作1号機には改善点が多数あり、それらを、つぎにまとめた。

4.3 出展後の改善点

まずは、福祉機器を展示してのセミナーの感想・意見をまとめてみる。

〔感想〕

- ・下肢の十分な運動になり、またアヒルが見え隠れして面白く、遊び心を取り入れたところがいいですね。
- ・痴呆性の老人の方だと、少しあつと飽きるのではないかと思いますが。
- ・ペダル軸の中心をもっと手前に持ってきて、ペダル回転半径ももっと小さくするとより使いやすくなる。
- ・ヘッドの回転部で、綿菓子ができると喜ばれると思う。

〔意見〕

- ・音をつけたほうがもっと楽しいのではないか。
- ・ペダル部の回転半径をもう少し小さくしてもいいのではないか。
- ・本体外周を角張らないように工夫できるのではないか。
- ・寝たきりの方にも利用できないものか。
- ・車椅子を直接本体に取り付けられないか。

・負荷をもう少しかけた方がよいのではないか。ノーマリゼーションセミナー in九州に出展して、展示会が終了した後に、リハビリ機器をサンフレンズに持ち込み、実際に高齢者の方に使用していただいた。その結果と考察、改善点をあまえてSAF会議が開かれ、様々な意見・今後の方針を話し合った。

サンフレンズ・有明高専・ふあみりえが協力し合いながら、リハビリ機器を開発していくために、定期的に話し合いの場を設けた。その中で、試作1号機は、入居されている方（全9名）のうち3名の方には使用していただけた。しかし、入居者からの自主的な申し出ではなく、スタッフから誘いかけないと使用しないという状況であった。

また、下肢筋力訓練になっているかという点については、歩くために必要な関節を使っており、十分筋力トレーニングとして成り立っていた。

「感想」・「意見」から試作1号機の改善点が明らかになったが、その改善点はつぎのようになる。

- ・手すりを設置し、高齢者の方々の個々の身体寸法に合うように可調節にする。
- ・ペダルをもう少し手前に置き、回転半径や横幅を小さくする。ペダルをこぐ際の補助も考えられよう。
- ・上部アタッチメント部の種類を増やす。
- ・五感を刺激するような物を設置する。（音など）

またセミナーに出展した試作1号機が高齢者の方々の身体の個々のデータを取らずに予測のもとに設計・製作したためであったことがわかった。

そこで、機器の寸法上の可動範囲の決定のために対象者の身体各部位の採寸を行うことにした。これには、本校の学生もその場に立会い、理学療法士とともに採寸した。そのデータをもとに手すりの位置や椅子の位置やペダルの回転半径の縮小化、およびペダルを漕ぐ際に、いわゆる“がに股”にならないように、本体の幅も小さくしていった。

その結果を、データシート表1、および高齢者の

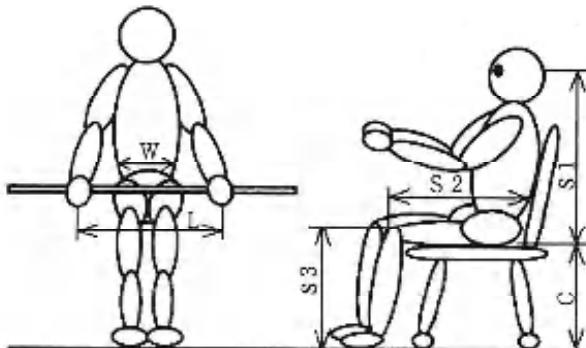


図8.1 身体採寸部位（グリップ幅）

表1 身体採寸データシート

測定箇所 氏名	A子さん	B子さん	A男さん	B男さん
W	380	280	320	320
S1	550	490	570	580
S2	380	350	430	430
S13	415	390	450	410
C	400	400	400	400
グリップ幅L	320	250	300	290
ヒザ角度θ	-5° ~80°	-30° ~80°	-30° ~80°	-10° ~80°
モモ上げ角度α	30° ~40°	45°	60°	60°
脚上げ高さA	250	220	260	230
特記メモ	折り紙を好む サボテンが大好き	腰椎圧迫骨折 白内障により視力低下	腰椎圧迫骨折 腰痛あり	機械的なものが大好き (自転車、バイク等)
				単位 (mm)

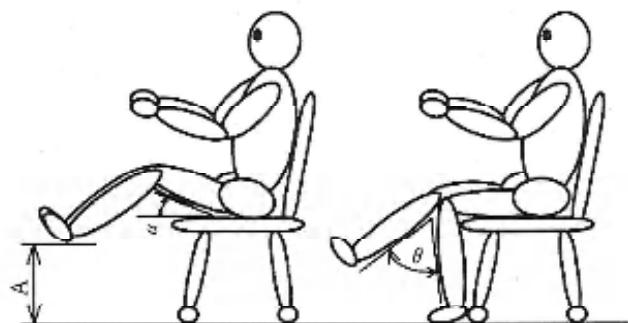


図8.2 身体採寸部位（ひざ角度など）

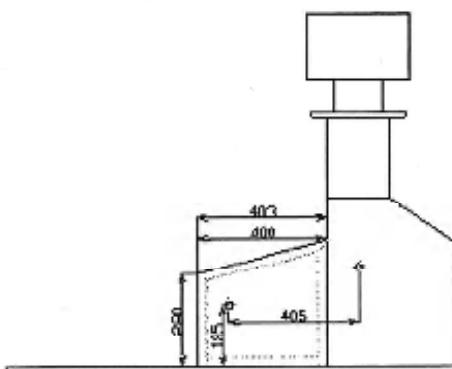


図9 改善後の組立図

身体採寸各部位を図8.1と図8.2に示している。

改善点が明らかになり、考慮した結果、図9のような組立図が得られた。まずペダルの回転半径の問題について取り掛かった。試作1号機は大人用の自転車のペダルを流用していた。そこで子供用の自転車のペダルの回転半径がちょうどよいものだったので、それを取付けることにした。子供用のペダルが、延長部や本体と干渉しないで、高齢者に適した位置として、もとのペダル軸位置から水平方向に405 [mm]手前に延長したところ、また、高さは、底板部から185[mm]のところに第2ペダル軸を設置することになった。

また試作1号機では、リハビリ機器本体にペダルが取付けてあり、その本体の横幅が広すぎたため、ペダルの取り付け部分の横幅を小さくした。横幅を130[mm]とした。内部構造としては、試作1号機のペダル軸に、さらに歯つきベルト車を取り付け、延長部分の第2ペダル軸にも歯つきベルト車を取り付け、歯つきベルトで連結し、上部アタッチメント部に滑ぐ力を伝達する。その際のペダル軸同士の減速比は1対1に設定した。ペダル軸位置延長については図10・写真3に示す。

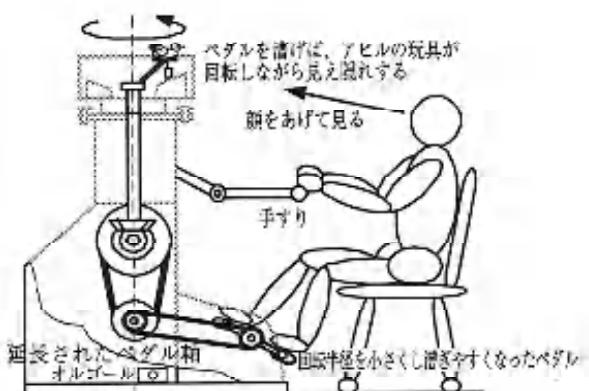


図10 ペダル軸位置延長図



写真3 延長されたペダル軸位置

写真3の時点ではペダル軸位置延長部の上部カバーや手すりの個々の身体に合わせた可調節化、およびより興味をひくものとしての音楽の取り入れなどはまだできていない。

他の改善点として、ペダル上方のカバーはアルミニウム板でフレームに沿って成形しても、またアルミニウム板を手曲げしても、ペダル軸位置延長部の形からどうしても角部ができてしまった。そこで、発泡スチロールを重ね接着して、丸みのあるカバーを作成した。そして、それをペダル軸位置延長部のフレーム上部に載せて、アルミニウムテープで固定した。また、ペタル位置を手前に延長した関係から、手すり位置についても第2アームを追加延長することにした。その連接部に本体部の固定ノブより大きいノブを取り付け可調節にした。またリハビリ機器のアルミニウム底部は、寝たきりの高齢者の方々の使用も考えて、ペダル軸位置延長部の最短部分で切断した。これらの改善点を全てクリアした状況を写真4に示し、改善後の手すりを写真5に示す。

また、これらに加え音楽の取り入れを考慮し、ペダルを漕ぐと音楽が鳴り、ペダルを漕ぐのを停止すると音楽が鳴り止むという機構を模索したが、納期の関係から、応急措置としてリハビリ機器本体の右底部に取付けた。これは、リハビリ機器を使用していくだけに、スタッフの手で音楽のON/OFFをしていくこととした。使用前と使用中を写真6に示す。なお、音源としてオルゴールを用いた。

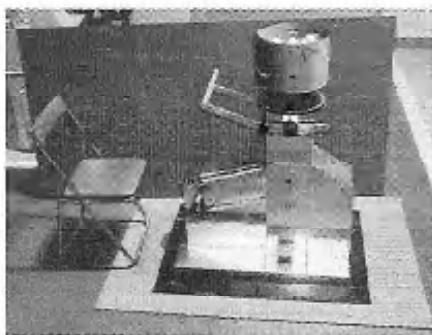


写真4 改善点をクリアした試作2号機

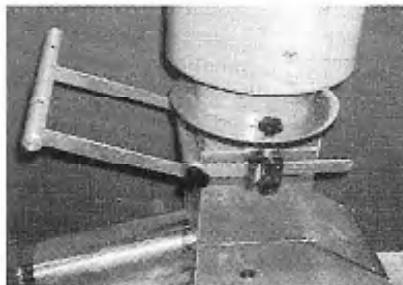


写真5 改善された手すり



写真6 オルゴール (ON: 左, OFF: 右)

5. 試作2号機

4章で述べたように、さまざまな改善点を1つずつ解決し、試作1号機とは大きく変貌したコンパクトな試作2号機が完成した。

軽量コンパクトになったため、漕ぐ際にリハビリ機器本体が動いてしまった。そこで、リハビリ機器の底にフバーシートを敷くことで問題を解決した。

また試作2号機は底部を切断したことにより、椅子を高齢者の個々の身体に応じた位置に置くことが可能となり、椅子の位置を適宜前後に置くことは脚の筋力訓練の負荷調節にもなる。試作1号機は底部に椅子を載せたり、底部から椅子がはみ出たりと、椅子が不安定な状態になることもあったが、底部を切断することで、改善された。

また、試作2号機を完成した後に、サンフレンズへ持って行き高齢者やスタッフの手により、リハビリ機器本体に様々な飾付けがなされた。それは当初より決められていたことで、私達の感性で飾付けを行うより、その方がよいと考えたからである。これは、飾付けを行うことにより、よりいっそう高齢者の興味をひくことがねらいであり、そのことによる心のケアもねらいである。

高齢者の昔を思い出させるものとして、わらじ、お手玉、疊、スキなどをきれいに飾付けした。そのときの模様を写真7に示す。

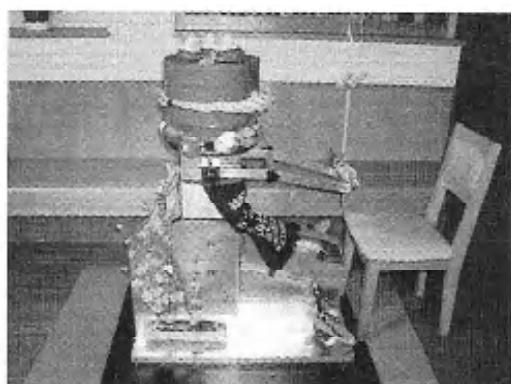


写真7 飾付けをされた試作2号機

6. 試作2号機を使用しての評価

試作2号機が完成し、市内6箇所で使用していたとき使用状況を知るために、使用された方にはアンケート調査を行った。使用時間としては、3分から5分の方が多かった。なかには10分も使用された方もいた。アンケートは高齢者の方が直接書くのではなく、その場にいたスタッフおよび理学療法士の方が高齢者の方に質問し、チェック方式で記入された。

また担当者の高齢者に対する印象も同時に記入された。また特記事項として、担当者の気づいた点などもコメントとして記入されていた。評価項目としては、関心度、活用度、本人の使い勝手、楽しさ、リスク（危険因子）、印象、ペダル、手すりの幅、手すりの安定度、また使ってみたいかなどである。アンケートをまとめると、

- ・関心度：殆どの方が興味をひかれている。コメントとしては、面白いというのが多数みられた。また興味をひかれなかったと答えた方は少数だが、興味というよりは、疑問の方が強かったようだ。
- ・活用度：本人の使い勝手、楽しさでも高い評価が多数得られている。アヒルに興味をもたれる方、もたれない方、運動になると言われる方と様々である。またリスクについては、スタッフが止めないと止められない方がいたため、危険要素としてあげられている。印象もよいという方が多く、ペダル、手すりの幅も丁度よいという方が大多数である。
- ・手すりの安定度：不安定にチェックされている方が多かった。これに関しては、さらに、安定度を求めて改善する必要性があるようだ。
- ・また使ってみたいか：「はい」と答えた方が多いが、「どちらでもよい」、「いいえ」と答えた方が少數ではあるがおられたのも事実である。

このように、総じて高い評価を得られた。何よりもよかったのが、高齢者の方々が自分から興味をひかれ、リハビリ機器に近づかれるということだ。その点では、改善した成果が得られたといってよい。また、高齢者の方々がリハビリ機器を使用しているときの笑顔が非常に印象的である。その他にも、リハビリ機器を使用する際に、高齢者同士がお互いに声を掛け合って誘い合ったり、使用して昔の話をした



写真8 試作2号機を使用中の入居者

りと様々なコミュニケーションの面でプラスの要素が出てきた。

これらのことより、試作1号機よりはさらにいいものに仕上がったと考えられる。なお、試作2号機を使用中の入居者の様子を写真8に示す。

7. 結 言

本研究では、痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発を行ってきたが、非常に意義のある研究を行えたと感じている。痴呆という言葉は知っていたが、理解するまでには至っていない私達にとって、開発するにあたって、一から痴呆について調べていった。そのことで我々自身にとっても、痴呆という私達の工学分野からかけ離れたものが、非常に身近なものに感じられるようになった。

しかし、まだ、実際には痴呆が一般的に認識されていない傾向にある。私達の行った痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発という重要課題について、一般の人々がこれからもっと関心を持ってもらえる社会になればと思う。

リハビリ機器開発を行って試作2号機という形に発展し、合計6ヶ所の施設で各々1週間ずつ使用したが、全体として、好評との報告を受けた。

そこで重要な役割を果したのが、開発したりハビリ機器への飾付けである。想い出の品、匂い、音、肌触りという五感を刺激する品々。今一つは、施設スタッフの方々の声かけ等によるコミュニケーション作りであった。これらが、痴呆性高齢者と、リハビリ機器との間のインターフェースとしての役割を果したのである。（図11参照）リハビリ機器を囲んで昔話が弾んだりして、頻繁にはいかないしていた人の回数が少なくなるなどの効果があったとの報告もあった。

設計・製作はノーマリゼーションセミナー in九州

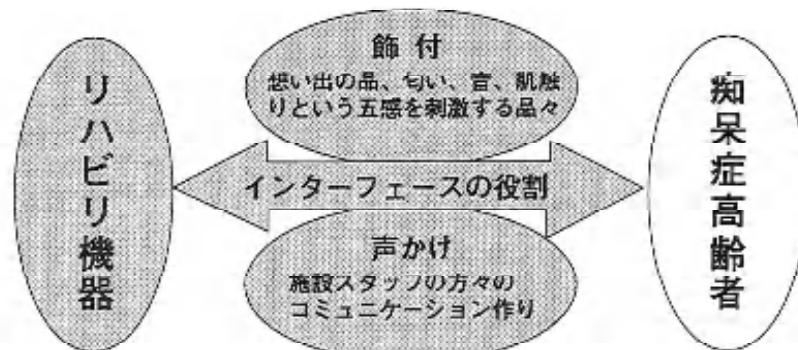


図11 リハビリ機器と痴呆症高齢者の相互関係

への出展や市内6箇所を巡回するという日程に追われたことと、高齢者が興味をひくものなど難しい課題もあり苦しい場面もあった。しかし、本研究を進めてきて、痴呆症高齢者の分野の課題が、いかにデリケートであり、個人別、症状レベルごと、またその日、その時間によって、その気分や状態が異なるため非常に難しく、今までのリハビリ機器だけでは対応することができないという現状を認識できた。

つまり、今まででは高齢者を機械に合わせていたために受け入れられなかつたので、これからは機械を高齢者に合わせていくことが特に重要であり、今回開発したようなりハビリ機器を通して、少しでも痴呆症高齢者の方々の機能回復に繋げていけたらと考えている。

今回、私達が取組んだ痴呆症高齢者が楽しみながらリハビリできる機器開発事始めは、今後この分野における多くのヒントを与えてくれた。

最後に、本研究を進めるうえで、サンフレンズ・ふあみりえのスタッフ、理学療法士および個々の身体各部位の探寸に協力してくださった高齢者の方々と大牟田市介護保険課の池田武彦氏のご指導、ご支援に心よりお礼申し上げます。

また、本開発に熱心に取組んでくれた卒業研究生の上田茂樹君、永瀬稔章君の活動を高く評価し、ここに記して感謝の意を表します。

なお、本件研究は本校の平成14年度校長裁量経費と平成14年度大牟田市地域地方ケアコミュニティ推進事業の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 長谷川和夫:痴ほうになっても幸せに暮らす,基調講演「痴呆症高齢者への“新しいケア”の可能性を探るフォーラム」, 大牟田文化会館, 2002

靴下履き用自助具“ソックスリッパ”の開発

木下正作・東大樹*・川崎義則

<平成15年10月1日受理>

Development of THE SOCKSLIPPER, Self-help Device for Putting Socks on

KINOSHITA Shosaku, HIGASHI Daiki and KAWASAKI Yoshinori

Higashi, one of the authors, was involved in a serious motorcycle accident, and suffered from vertebral damage, Oct. 2001. He returned to college life by wheelchair after 7 months rehabilitation program in hospital.

This paper is concerned with the practical report on development of self-help device for putting socks on by Higashi. Activity of putting socks on has become one of the most difficult works for him in daily life. After a couple of trial productions, a new self-help device which seems to satisfy disabled people's requests was developed.

This self-help device has the following advantages.

- 1) We can put socks on from tiptoe to heel.
- 2) This device doesn't depend on the size of foot.
- 3) This device doesn't depend on the kind of socks.
- 4) We can use it with our sense of independence and play.

This new self-help device was named "THE SOCKSLIPPER" by Higashi.

1. はじめに

著者の一人東大樹は交通事故により脊髄を損傷し、以後車椅子生活を送っている。本研究は、本人が毎日の生活の中で困っている靴下を履くこと、この自助具の開発に関するものである。自助具とは、体の不自由な人が日常生活の中できることや、人に頼んでしまうことを、可能な限り自分でできるように工夫したことなどをいう。例えば、足腰の弱い人の自立を助け介助者の負担を軽減する椅子、力の弱い人や手指の曲がらない人用のスプーンなどといった様々な種類のものがある。自助具を使うことにより、生活への積極性を促し、ひいては自立心を高めることができる。自分にあった自助具を使うことは、自立するための有効な手段のひとつである。

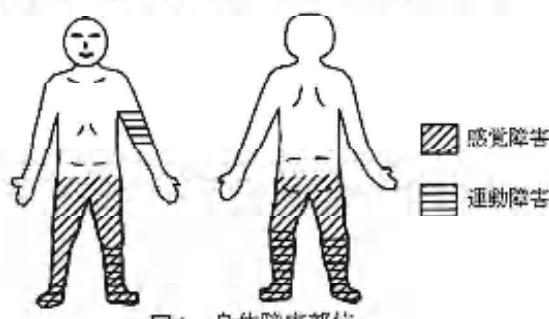


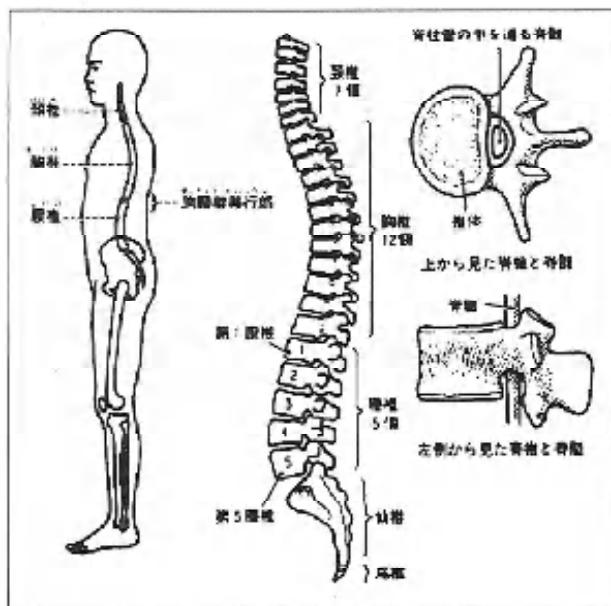
図1 身体障害部位

*平成14年度有明工業高等専門学校機械工学科卒業生

東は事故退院後車椅子生活を送っている中で、自分では出来なくなってしまったことがたくさんあった。その中でも、学校に行くようになり日常生活を始めた当時は、今まで靴下を履くというあたりまえで気にもしなかったことが意外にも困難なのに気付いた。身体障害状況は、脊髄損傷による左下肢機能全廃と右下肢機能の障害に加え、左前腕、左上腕を骨折したままなので腕が短く、靴下を履くというようなあたりまえの動作に非常に苦労するのである。症状として、左足の関節はやわらかく、足の裏の神経が異常過敏なので自分で痛くないように少し厚手の靴下を履くが、逆に右足の関節は硬く足の裏は何も感じなく、足の表の方が異常過敏である。そして、左手が短いので関節が硬い右足に靴下を履かせることができなかなか困難なのである。(図1参照)そこで、誰の介護も受けないで靴下を簡単に履ける自助具の開発を行なったので報告したい。^{1), 2)}

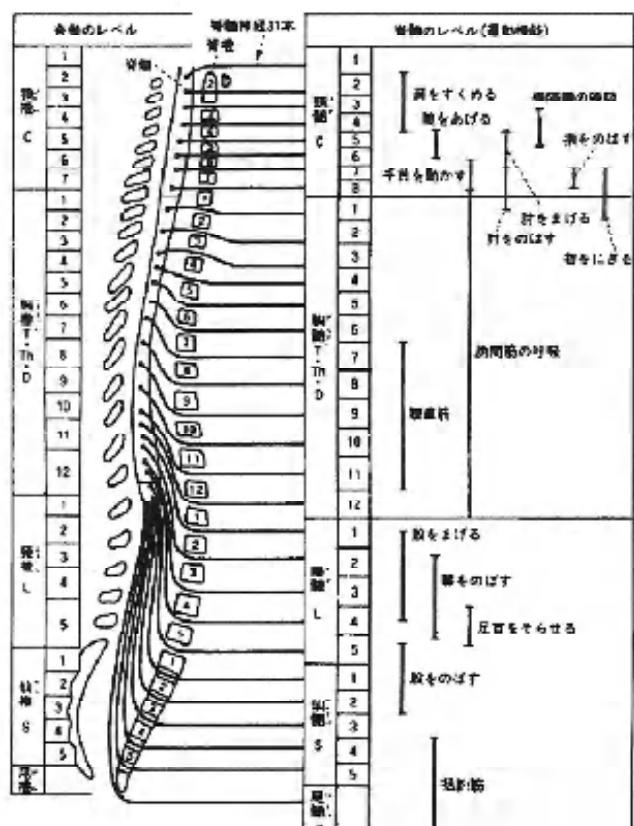
2. 脊髄損傷

私たちの体は図2に示すように、頭蓋骨から骨盤まで「脊椎」というブロックのような骨で連なっている。俗に言う背骨である。この「背骨」という入れ物の中に、脳と手足・内臓を結ぶ神経(脊髄)が通っている。この固い背骨に守られた入れ物の中にある脳からの大事な指令をコントロールする神経を脊髄と言う

図2 脊椎と脊髄³⁾

が、そこから各部署につながっていて、体の活動をコントロールしている。この脊椎(背骨)・脊髄(神経)は、図3に示すようにいくつかに分けられている。首の8部分(頸髄)と胸の12部分(胸髄)と腰の5部分(腰髄)とその他の6部分(仙髄5部分と尾髄1部分)とブロック毎に決まったグループの筋肉や内臓を支配している。

各部署は知覚機能(痛い・熱いなどを感じ取る動き)、運動機能(手足・筋肉などを動かす働き)その他(排尿・排便や心臓・肺を動かす・体温調節・性機能など)のようなことを脳から命令を受けて実行するための仕事をしている。もし、表1に示すように怪我や病気でこの部署のどこかが死んでしまうとその部署が支配しているグループの機能だけでなく、その部署より下の部署が支配していたグループの機能まで異常をきたしてしまう。つまり、脳からの命令がその死んだ部署から下に伝わらなくなってしまうのである。このように、脊髄が破壊されて神経が「切れたり」「死んだり」して、知覚や運動の機能が麻痺してしまった

図3 脊椎・脊髄と髄節(運動機能)³⁾表2 合併症³⁾

1	排尿機能の障害
2	痙攣(床ずれ)
3	排便機能の障害
4	起立性低血圧、自立性神経過反射
5	呼吸機能の障害
6	体温調節機能の障害
7	性機能の障害

状態が「脊髄損傷」である。残念ながら一度破壊された脊髄組織は、骨や皮膚などのように元に戻ることはなく、知覚・運動の麻痺は何らかの形で続くことになる。脊髄損傷になって何らかの麻痺がある場合、特有

表1 脊髄損傷とその原因³⁾

1	外傷(交通事故、転落事故など)	背骨の脱臼、骨折など
2	腫瘍が脊椎や脊髄にできた場合	
3	脊髓に行く血管が詰まった場合	
4	脊髄の炎症	
5	脊髄への圧迫	椎間板ヘルニア、変形性脊椎症など
6	その他の病気	先天性異常、代謝性疾患など

のいくつかの「病的な状態」が知られている。これらを合併症と呼ぶ。その種類は表2に示す。

ところで、損傷といつても大きく2つに分かれる。
完全損傷：損傷部位以下は残存機能も回復も、望みはかなり低い。

不全損傷：損傷部位以下に残存機能も回復も、いくらかありえる。

一般的に、神経の通る道が大きく遮断されたら完全損傷、そこまで大きく遮断されなかつたら不全損傷なのかもしれない。しかし、この差は非常に大きい。怪我として1[mm]、いや0.1[mm]の差だったかもしれないが、間違いなくその人のその後の人生を左右する。

3. 靴下を履く動作分析

靴下を履くという動作には以下に示すように、大まかに4つの工程が考えられる。

- ①靴下を広げる、
- ②つま先に靴下を通す、
- ③踵まで靴下を通す、
- ④微調整して正確に靴下を履く、

以上、4つの工程のうち東は、②と③の工程が困難である。②の工程は靴下を履くという動作のうち絶対通らなければならない動作で、足の関節が硬いのと手が短いのを考慮すると一番困難である。③の工程は、これをクリアしてはじめて靴下を履いたといえる動作であり、自助具を用いて靴下を履くときはこれが一番重要となる。

4. 手が短いのを補う形の自助具

まず第1案として、手が短いのを補う形、つまり手を使い靴下を履く自助具の製作を行った。(写真1、写真2参照) 使用法は、自助具の先にあらかじめ靴下を履かせておき、両手と足をうまく使い靴下を履くというものである。しかしながら、携帯には大きすぎる



写真1 試作品1号



写真2 試作品2号

ことなどから、インターネットで自助具について調べてみると、類似した靴下履きの自助具を発見した。そこで、手を使わなくても靴下が履けるオリジナルの自助具の開発を行なうこととした。

5. 手を使わない形の自助具

手を使わない形の自助具の開発にあったてのポイントとして次のことがある。

- ①きちんと靴下を踵まで履けること、
- ②足の大きさを気にせず誰でも使えること、
- ③靴下の種類を問わないこと、

靴下を履く動作と上記の3つのポイントを考慮した結果、安価でシンプルなスリッパを用いることに決定した。(写真3参照) またスリッパを用いたのは足のサイズを気にすることなく誰でも履くことができるからである。これは、スリッパの甲の部分を切断したものに木材を蝶番でつなぎ合わせた簡単なものである。

使用方法は、あらかじめ自助具のスリッパの先端部に靴下を履かせておき、

- ①スリッパを普通に履いていき足のつま先を下げる。(写真4参照)
- ②つぎに、そのまま足をスリッパの上で滑らすのと同時に、踵と自助具で靴下を挟む。(写真5参照)
- ③さらに、足を滑らしていくと踵まで靴下を履くことができる。(写真6参照)
- ④足を自助具から放すと靴下を履くことができる。(写真7参照)



写真3 試作品4号

という手順で靴下を上手く履くことができ靴下を履く機構としては満足の行くものであった。しかし、試作品3号は大きく重く携帯には不向きであるという問題点が残った。



写真4 つま先を下げる



写真5 靴下を挟む

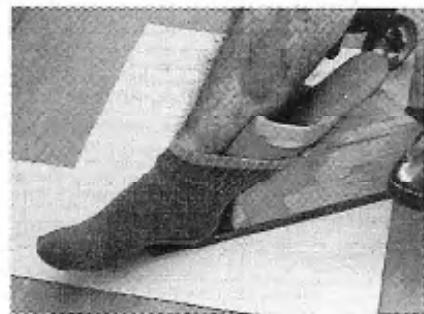


写真6 跡まで靴下を履く

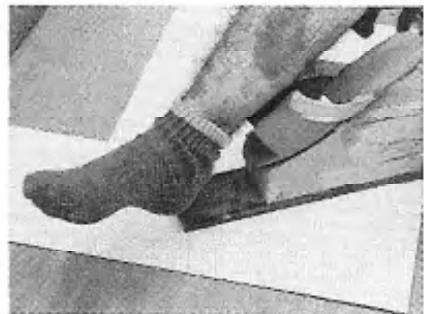


写真7 足を自助具から放す

6. 折り畳みができる自助具

6.1 基本設計

試作品3号で、機能的には十分満足のいく結果が出たので、次は軽量で携帯可能、かつ汎用化を目標に、持ち運びが便利な折り畳み式のものを考案した。(写真8参照: 試作品4号)

この機構はクラシックギターを弾くときに使うFootrestの機構を参考にした。そして、上記の目標を満たすために、次のような工夫を行なった。

- ①足を乗せるところと床が常に平行になるように、側の足フレーム部にスリットを入れて調整できるようにした。(図4-A)
- ②スリット移動の調整を簡単にするため、1つのノブを締めるだけで固定できるようにした。(図4-B)
- ③自分で自助具に靴下をセットして、車椅子に座ったままで靴下を履くことを前提としているため、自助具を置きやすく、また取りやすくできるよう、バーが伸び縮みするラジオのアンテナを利用した。(図4-C)
- ④強力マジックテープを使った可調整部がある。(図4-D)

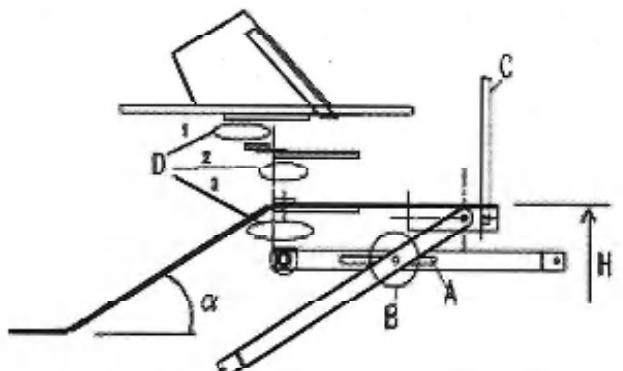


図4 折り畳み式の自助具組立図 (ソックススリッパ)

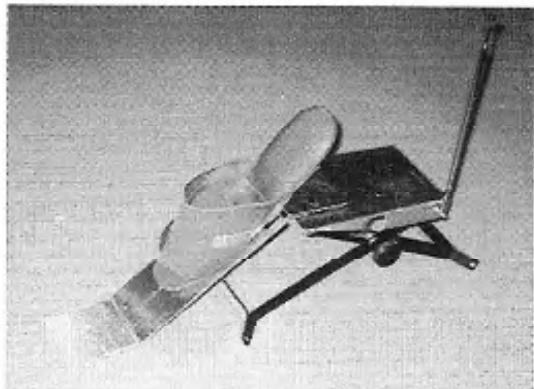


写真8 完成した試作 4号

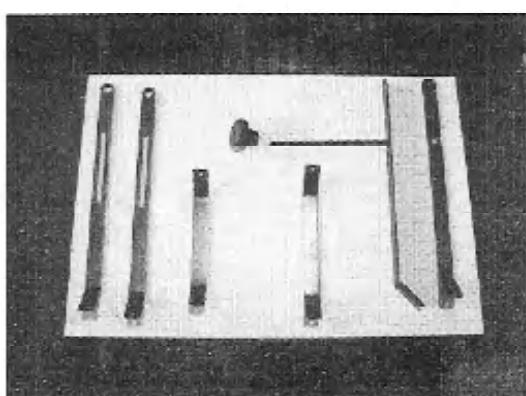


写真9 足部部品

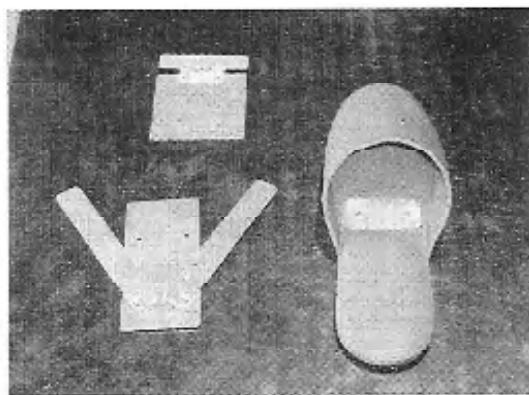


写真11 スリッパ部

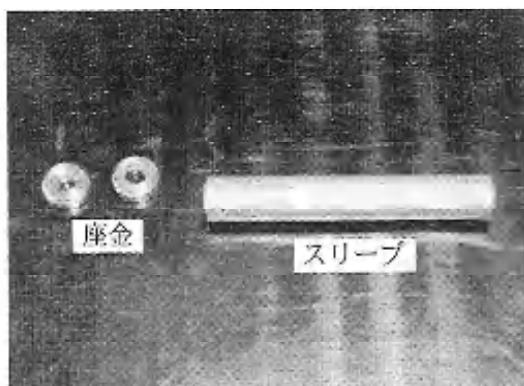


写真12 スリープ部

6.2 製作

1) 足部

写真9右側にある左右の外側の足と、写真9左側にある左右の内側の足があり計4本の足がある。外側の足には簡単に固定できるよう軸が取り付けてある。内側の足はその軸が通るようにスリットを入れてある。そして写真9中央下側にある内足支えと外足支えで左右の足を繋いでいる。

また、ネジなどにより足や靴下を痛めることのないように各足を繋げるところは、全てカシメにより固定した。

2) 本台部(写真10参照)

足を乗せるところであり、足と自助具で靴下を挟むところである。左から順に支え台、滑り台、本台、ラジオのアンテナである。各部品は蝶番により接続してある。ラジオのアンテナは、この自助具を座ったままでも持ち上げ可能としているためのものである。ここも、ネジなどは一切使っていない、全てカシメによるものである。

3) スリッパ部

スリッパと本台部の接合は、まずスリッパの

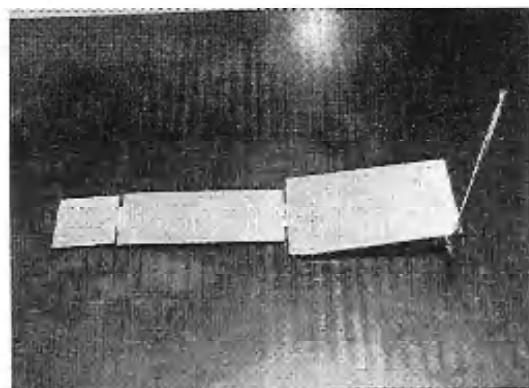


写真10 本台部

補強としてスリッパの裏に写真11左下のアルミニウム板を敷き、その板とスリッパを組み合わせる。そして、スリッパと本台を写真11左上の部品で繋ぐ。

4) スリープ部(写真12参照)

内足と外足を簡単に閉めることができるように、長めのスリープと座金を用いた。

これにより、足部の外足に取り付けてある軸をノブで閉めると全ての足が固定できるようにした。

7. 問題点とその対策

完成品には、次のような問題点が出てきた。

- ①調整部に使った強力なマジックテープでは、足により加わる荷重に耐えられず、マジックテープがズレたり外れてしまうことがあった。(図4-D3)
- ②可調整部(図4-D)が3ヶ所と多いこともあり、取り扱いが難しくなり、その対策として、図4-Dのマジックテープは使用せず固定してスリットだけで調整する方法に変更した。完成した靴下履き自助具を写真13に示す。



写真13 完成した靴下履き自助具“ソックスリッパ”

8. 完成した靴下履き自助具“ソックスリッパ”的履き方

- ①写真14-1のようにラジオのアンテナを立てた状態で置いているので、ラジオのアンテナを持って自分の膝の上に持ってくる。
- ②自助具を開いて好みの角度、高さにして、自助具のスリッパに靴下を履かせて、写真14-2のように床に置く。
- ③写真14-3のように自助具についているスリッパの上に足を置く。
- ④写真14-4のように足をスリッパの上で滑らしていく。
- ⑤踵が傾斜部分まできたら、写真14-5のように自助具の傾斜部分と自分の踵で靴下を挟む。このとき少し足を左右に動かして靴下のつま先まで足を入れる。
- ⑥つづいて足を滑らすと靴下が、写真14-6のように踵まで履けている。
- ⑦後は手が届く位置まで靴下が来ているので、微調整してきちんと履く。



写真 14-1



写真 14-2

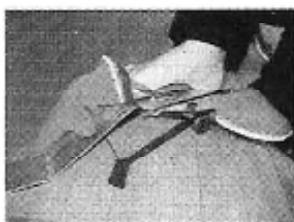


写真 14-3



写真 14-4

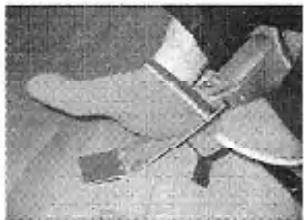


写真14-5



写真14-6

9.まとめ

試作品4号を改良してできあがった靴下履き自助具は東によって“ソックスリッパ”と名付けられた。

この自助具を数名の人に使用してもらったが、皆靴下を上手く履くことができた。なお、東はこの自助具の完成よりも自身のリハビリの方が進展し、自分で靴下を履くことを困難と思わなくなった。しかしながら身体的理由により、自分で履きたいと思っていてもどうしても履くことができない、そういう人たちには、自分に合った自助具を用いて生活を送ってもらいたいものである。また、自立していなくて介護されることをあたりまえと思っているお年寄りなどには、自助具などを用いることにより遊び心を持つてもらい、少しでも介護によらず、自立した日常生活を送ってもらえるのではないか。すなわち、本自助具を“自助道具”として遊び感覚で使うことは障害者の自立を促進する1つの契機になり得るのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 東大樹、川喜義則、木下正作：靴下履き用自助具の開発、日本機械学会九州学生会第34回学生員卒業研究発表講演会、363-364、2003
- 2) 木下正作、東大樹、川喜義則：靴下履き用自助具“ソックスリッパ”的開発、第18回リハ工学カンファレンス、28-B-4-1、2003
- 3) 服部一郎、細川忠義、和才嘉昭：リハビリテーション技術全書第2版、医学書院、1984

高能率・高精度リーマの基礎研究

田口紘一・野村慎司・明石剛二

<平成15年10月6日受理>

Basic Study on The High-Efficiency and Precision Reaming

TAGUCHI Koichi, NOMURA Takuji and AKASHI Koji

In this study, the performance of high-speed reaming using the reamer with guide pads is investigated. As a result, when the hole is reamed on the condition that the cutting speed is 100m/min and more by the one-flute reamer for S15C or SCM440-workpiece, the diameter and surface roughness of machined hole are better than conventional reamer. And, the hole with fine surface roughness is achieved by use of the two-flute reamer. The other side, reaming for SUS304 with these tools doesn't give satisfactory results.

1. 緒言

穴加工において、H7の公差に仕上げる方法として、リーマ仕上げが一般的である。リーマの材質は主に高速度鋼が使用されていて、バイトによる中ぐり加工に比べて、はるかに短い時間で仕上がり、簡便であるので最もよく使われている。それでも、切削速度は10 m/min以下、送りも0.1mm/rev程度と小さいため、加工時間が長い。

リーマ材質には、超硬合金も使用され、工具寿命において、大きな効果をあげているが、加工速度は高速度鋼工具とほとんど変えていない。その理由は加工速度を上げると、切れ刃に構成刃先が凝着し、それが切れ刃の代わりになって切削がおこなわれるため、加工面が著しく悪化することによる。そのため、高速加工で摩耗の少ない超硬合金であっても、極低速で加工を行われている。したがって、加工能率において効果的な選択になっていないのが現状である。

一方、深穴加工に用いられるBTA方式工具は、むく穴あけにおいても、比較的良好な加工精度が得られている。切れ刃は超硬合金で、切削速度は超硬バイトや超硬フライスに用いられているような100 m/minを超えるような高速切削なのである。すなわち、切削速度を大きく上げ、高温加工を行うと、構成刃先を形成している加工硬化した被削材が再結晶を起し、軟化するため構成刃先が消滅する切削速度域となるからである。この種の工具で、リーマ加工用としてガソリーマがあるが、高压多量の切削油を工具内部に通して供給することと、切削初めにガイドブッシュが必要とされて

いることから一般的の用途としては普及していない。

この研究の目的はBTA方式のリーマ工具形式で、一般のマシニングセンタに装着し、高速リーミングすることのできる工具の開発を目指すものである。今回は工具を2種類用意し、どの程度の加工精度が得られるか調査するものである。工具として1枚刃リーマと2枚刃リーマの2種類用意した。1枚刃リーマは高精度加工（穴径：20~20.021 mm (H7)、表面粗さ：Ra 0.8 μm）、2枚刃リーマは、1回転当たり2倍の送りが得られるので、高速切削の中でさらに高能率加工を目指す（穴径：20~20.030 mm (H8) 表面粗さ：Ra 1.2 μm）。

2. 実験方法と装置

工具形状を図1に示す。形状の詳細は後で述べる。工具直徑は20及び21 mmとした。加工深さはブッシュレスで行うため、食い付き時の不安定性を回避できる限度の深さと考えられている80 mm（深さ・直徑比=L/D=4、工具の主軸からの突き出し長さ=92.5 mm）とした。被削材はS45C、SCM440、SUS304の3種類用意し、形状は200×200×80 mmの角材で、予めリーマ径より1 mm小さく、穴深さ80 mmの穴を25個あけたものを用意した。工作機械はマシニングセンタを用いた。切削油はスピンドルスルーで行うことができる。

加工条件は、次のとおりである。切削速度：5~200 m/min、送り：0.05~0.3 mm/rev、切削油量：0.26 l/s（圧力：2 MPa）である。切削油剤：不水溶性1種1号

測定項目は、穴拡大量、表面粗さ、円筒度、真円度である。円筒度と真円度は、穴径を加工穴入り口より

*ユニタック株式会社

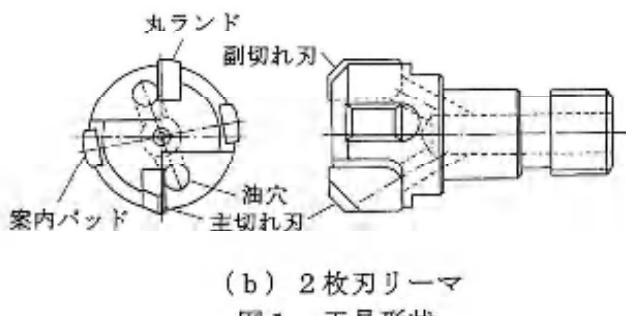
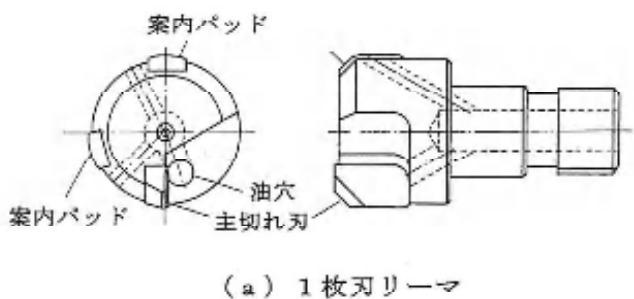


図1 工具形状

10 mm、中央（入り口より40 mm）、出口付近（入り口より70 mm）の各箇所で、 120° 毎に測定方向を変えて3箇所測定し、計9箇所の測定値の最大差を円筒度、各深さでの3箇所の測定値の最大差をその箇所の真円度とし、3つの深さでの真円度の最も大きいものをその穴の真円度とした。したがって、真円度に関しては正確ではなく、例えば、等径ひずみ円の場合は感知されないことになる。

3. 実験結果と考察

3.1 1枚刃リーマ

3.1.1 S45Cの場合

図2に切削速度と表面粗さの関係を示す。低速域で、 R_a 2~4 μm と大きいものに対し、切削速度が100 m/min以上では R_a 1 μm 以下と非常によい結果が得られた。これは切れ刃に構成刃先が発生する速度域が旋削の場合20~70 m/minの範囲であるとの符合する。リーマの場合でも100 m/min以上の切削速度では構成刃先が切れ刃に付着せず良好な面が得られたものと推測される。図3は加工面の断面曲線であるが、低速では大きなうねりと送りとピッチが一致する大きな溝が生じている。高速域ではうねりは小さく、溝も深くなく、さらに面の上面が案内部のバニッシュ作用によって山がつぶされ、負荷評価の高いよい面になっている。

図4は切削速度と穴拡大量の関係を示すが、この図でも、低速域の拡大量は大きく、切れ刃の構成刃先により過切削が生じ、その分穴が拡大加工されていると考えられる。切削速度が100 m/min以上では、10 μm 程度の安定した拡大量となっている。

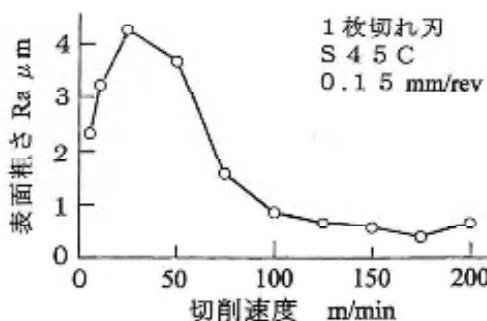
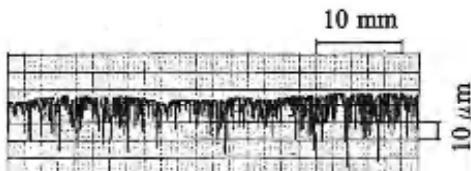


図2 切削速度と表面粗さ



(a) 切削速度 5 m/min の場合



(b) 切削速度 150 m/min の場合

1枚切れ刃、S 4 5 C、0.15 mm/rev

図3 加工面の断面形状

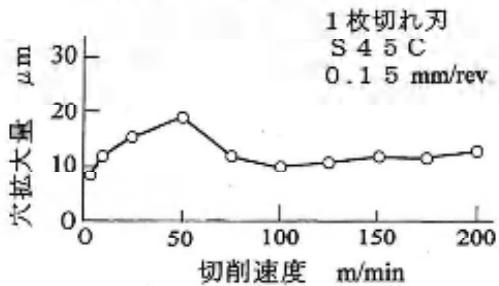


図4 切削速度と穴拡大量

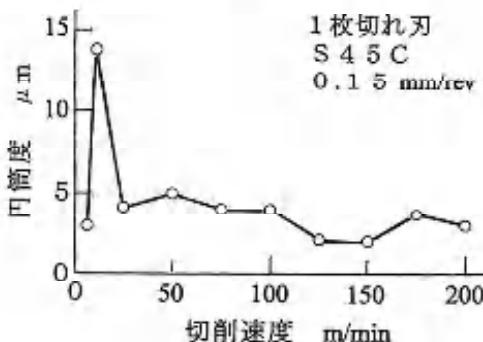


図5 切削速度と円筒度

図5に円筒度、図6に真円度を示す。円筒度と真円度においても100 m/min以上の高速域では良好である。

送りの影響に関しては、切削速度で加工精度のよかつた150 m/minの切削速度で、送りを0.05~0.3 mm/rev

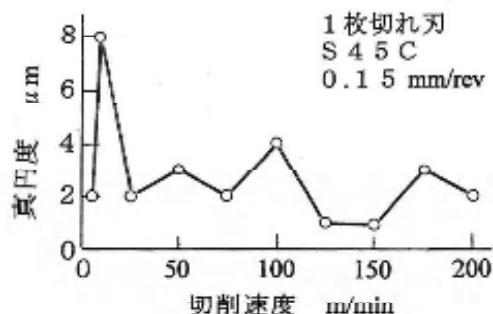


図6 切削速度と真円度

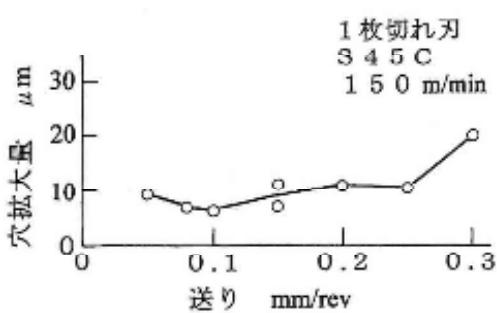


図7 送りと穴拡大量

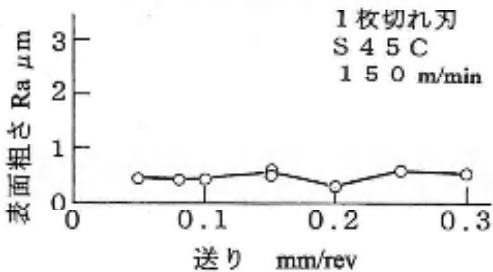


図8 送りと表面粗さ

まで変化させて実験した。実験結果を図7と図8に示す。穴拡大量は、送り0.1 mm/revで最小値6 μmを示し、送りを上げるに従い、ばらつきはあるがわずかに拡大する傾向にある。ただし、送り0.3 mm/revでは急激に拡大している。表面粗さに関しては、Ra0.5 μm前後で、全ての送りの範囲で良好である。

3.1.2 SCM440の場合

切削速度の影響に関しては、V=50 m/minで最も穴拡大量が大きく17 μmであるが、75 m/minで、極小値10 μmを示し、その後切削速度が高くなるにつれ、穴拡大量は漸増している(図9)。拡大量の大きさは10~15 μmである。表面粗さについても、同じく切削速度50 m/minで最も大きくRa5 μmであるが、75 m/min以上では激減し、100 m/min以上ではRa1 μm以下となり、175 m/min以上ではRa0.5 μm以下となっている(図10)。

送りの影響に関しては、切削速度125 m/minで送りを上げると、穴拡大量は増大し、送り0.05 mm/revの時は6 μm程度の拡大であるのに対し、送り0.2 mm/revの時は12 μmの拡大となり、さらに高送りでは緩やかに

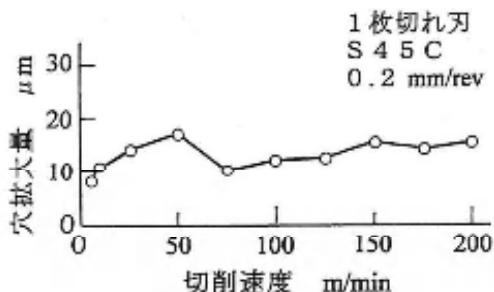


図9 切削速度と穴拡大量

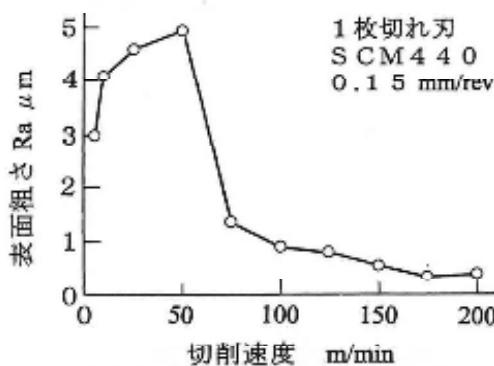


図10 切削速度と表面粗さ

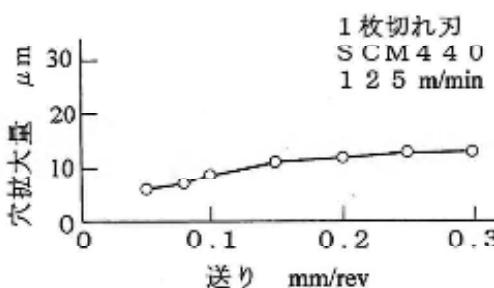


図11 送りと穴拡大量

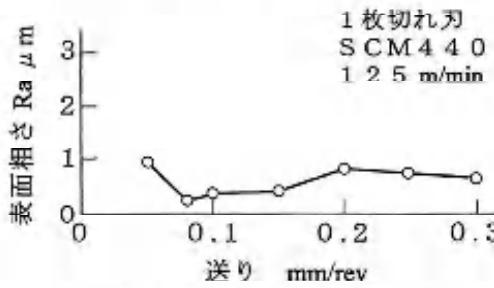


図12 送りと表面粗さ

漸増している(図11)。表面粗さについては(図12)、送りの最も小さい0.05 mm/revの場合を除き、送りを上げるに従い漸増しているが、この切削速度では全ての送りの条件でRaは1 μm以下である。

3.1.3 SUS304の場合

切削速度の影響を調べるために当り、送りは0.15と0.25 mm/revの2条件のもとに実験を行った。図13及び図14に結果を示すが、50 m/min以下の低切削速度で穴

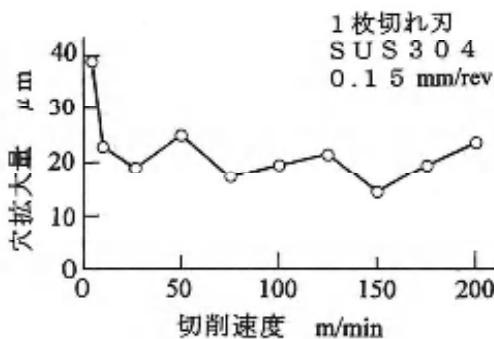


図13 切削速度と穴拡大量

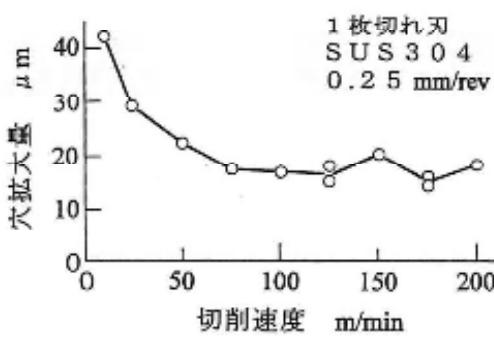


図14 切削速度と穴拡大量

拡大量が大きくなることを除き、それ以外の切削速度では、いずれも穴拡大量は $20 \mu\text{m}$ 程度に収まっている。表面粗さに関しては、やはり低切削速度域を除き、 $\text{Ra } 1.5 \mu\text{m}$ 内外となっている(図15及び図16)。これはS45CやSCM440よりかなり大きな値である。

送りの影響に関しては、送り 0.15 mm/rev 以上では穴拡大量は $15 \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲でかなりばらついている(図17)。表面粗さに関しては $\text{Ra } 0.8 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の範囲でばらつき、S45CやSCM440より大きな値となっている(図18)。

3.2 2枚刃リーマ

3.2.1 S45Cの場合

送りを 0.1 mm/rev から 0.05 mm/rev きざみで、 0.3 mm/rev まで5段階変速して、各々切削速度 100 m/min から 50 m/min きざみで、 250 m/min まで4段階、計20種類の加工条件で実験した。

図19は表面粗さについて示す。切削速度 100 m/min で送り 0.15 mm/rev 以下の条件を除き、表面粗さは、 $\text{Ra } 1 \mu\text{m}$ 以下に収まっている。切削速度 150 m/min 以上では、表面粗さはほぼ $\text{Ra } 0.5 \mu\text{m}$ に近い値で条件変化に対してもほとんど変化せず安定した良好な粗さが得られている。

図20は穴拡大量について示したものである。穴拡大量は全般にかなり大きく、 $50 \sim 80 \mu\text{m}$ の範囲にある。切削速度や送りを上げるほど小さい量になる傾向が見

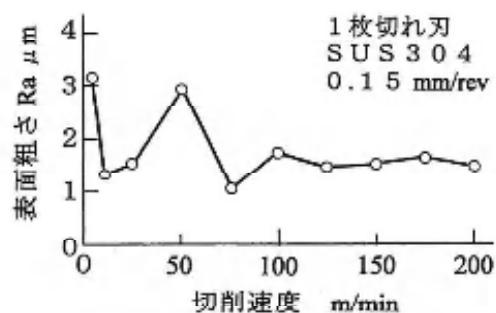


図15 切削速度と表面粗さ

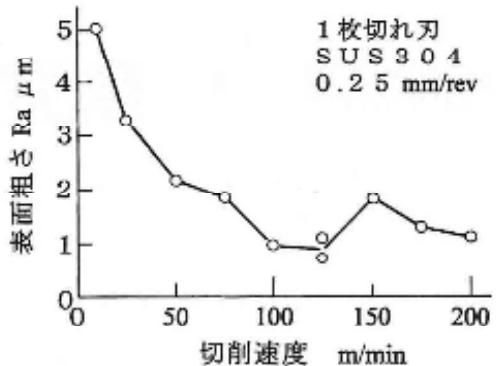


図16 切削速度と表面粗さ

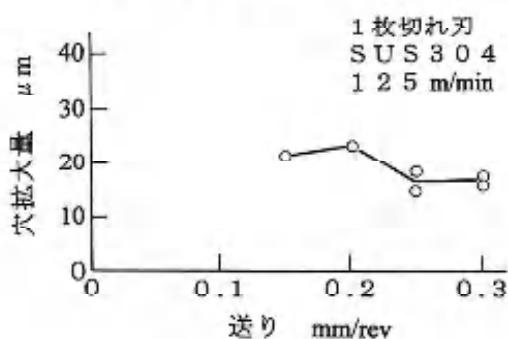


図17 送りと穴拡大量

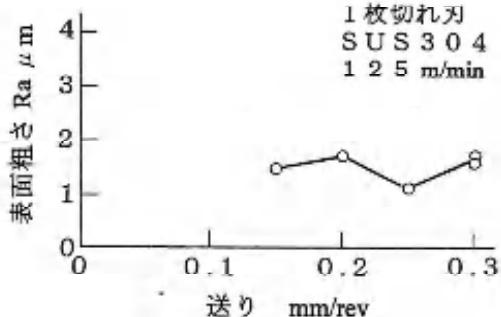


図18 送りと表面粗さ

られる。

3.2.2 SCM440の場合

SCM440の場合もS45Cと同じ条件で行った。その結果、表面粗さは切削速度 100 m/min の場合を除き $\text{Ra } 0.5 \mu\text{m}$ 程度の良好な面が得られている(図21)。切削

速度100m/minでは、低送りでRa2μm、高送りでRa1μm程度の粗さとなった。

図22に穴拡大量の結果を示す。穴拡大量はS45Cより小さく40~60μmであるが、目標値(0~30μm)には及ばない。送りに関しては、送りが大きいほど穴拡大量はわずかに減少している。切削速度に関しては、切削速度を上げるほど大きくなる傾向があるように見えるが、途中で工具を替えたので、明確なことは言えない。工具形状のわずかな相違によって拡大量が変化することも考えられる。

3.2.3 SUS304の場合

表面粗さに関しては、切削速度100m/minで送りが0.1mm/revの場合を除いた全ての加工条件で、Ra0.5μm以下と非常に良好な結果が得られている(図23)。1枚刃リーマでは全ての加工条件でRaが1μm以上であったのと比較すると大きな相違が見られる。

穴拡大量は、他の材料の場合と同じく40~80μmと大きな値となっている(図24)。ここでも、切削速度150m/minの場合を除き、送りが大きいほど穴拡大量が減少する傾向が見られる。

4. 考察

切削速度100m/min以上の高速域では、切れ刃数、被削材の全ての場合において、従来行われていた切削速度5~10m/minといった低速域の場合に比べて、穴拡大量、表面粗さとも格段によい結果が得られた。これはバイトやフライスカッタと同様に高速切削における超硬合金の特徴が、リーマ加工という切削の形態においても、発揮されたと考えられる。すなわち、高速切削にして切削温度が鋼の再結晶温度以上に上昇すると、構成刃先の発生を防ぐことができ、そのため構成刃先による加工穴の拡大や表面粗さの悪化を回避することができる。

1枚刃リーマは2枚刃リーマに比べて、穴拡大量が少ないことが明らかになった。S45CとSCM440材の加工では、高速域で穴拡大量は10μm程度が得られているので、リーマの摩耗時に穴拡大量が0となると考え、工具の直徑公差を9μm(+0~9μm)とするとH7の公差(+0~21μm)が達成できることになる。

高速切削の場合、加工能率は格段に上昇し、例えば、直徑20mm、切削速度150m/min、送り0.25mm/revの場合、リーマ加工速度は597mm/minに達することになり、この条件で工具摩耗がある程度少なければ、当初の2枚刃リーマでの目標である400mm/minをはるかに超える結果が得られることになる。

しかし、SUS304材の加工では、穴拡大量は20μm程度、表面粗さRa1.5μm程度となり、良好な精度が得ら

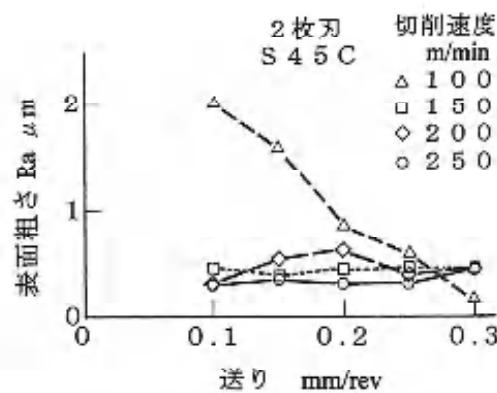


図19 切削条件と表面粗さ

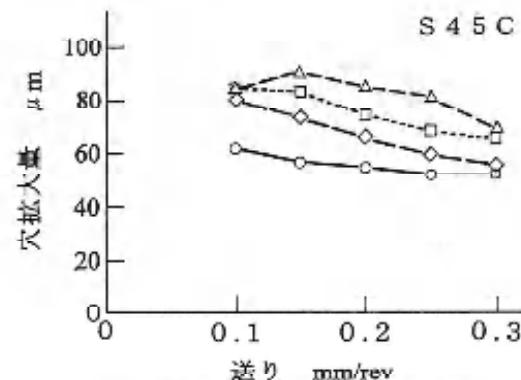


図20 切削条件と穴拡大量
工具、記号は図19に同じ

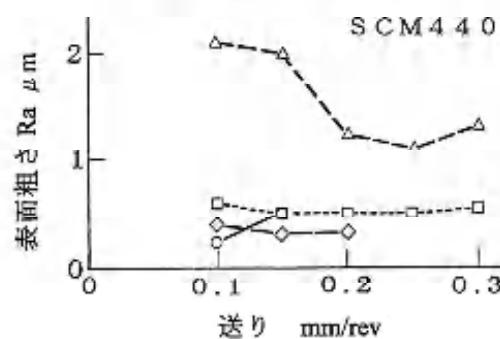


図21 切削条件と表面粗さ
工具、記号は図19に同じ

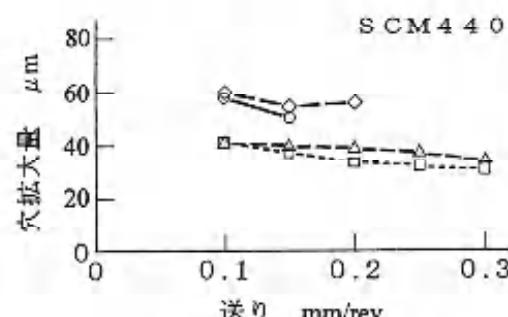


図22 切削条件と穴拡大量
工具、記号は図19に同じ

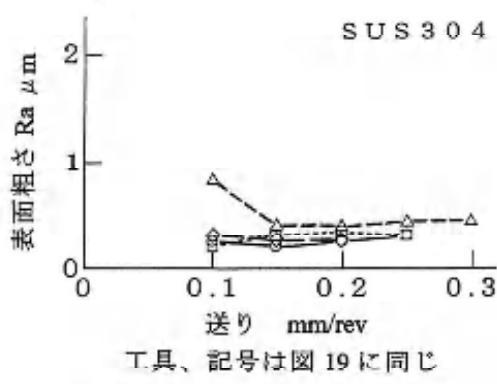


図 23 切削条件と表面粗さ

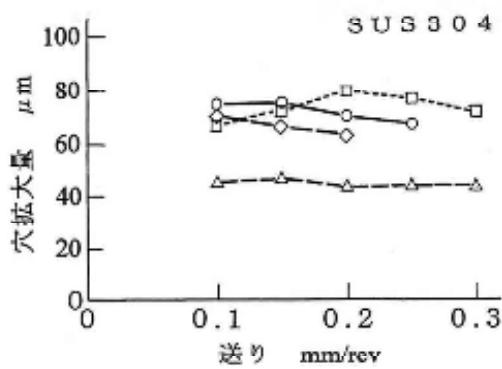


図 24 切削条件と穴拡大量

れないことがわかった。

2枚刃リーマについては、穴拡大量が40μm以上となり、公差H8には収まらないことがわかった。しかし、2枚刃リーマにおいても、表面粗さは切削速度150m/min以上で、Ra0.5μm前後となり、良好な結果が得られている。したがって、穴拡大量が大きくならないような設計や加工方法ができれば、1枚刃よりもさらに高速加工が期待される。

今回、工具寿命に関しては実験していない。一般に工具が摩耗すると、工具径が小さくなるとともに、穴拡大量が減少し、縮小穴となることもある。その場合、高速切削では、外周マージン部での摩擦が激しく摩擦熱で、摩耗が促進されるので、油中に近い切削状況でも寿命に短時間で達すると考えられる。そのため、この種の工具では穴拡大量が0になったところを寿命と考えるのが妥当であると思われる。

5. 結 言

本研究において得られた結果は次のとおりである。

- (1) 鋼類加工において、切削速度100m/min以上の高速加工を行うと、表面粗さのよい加工面が得られる。
- (2) 加工径は1枚刃リーマを使用したS45C、SCM440

材の加工ではよい結果が得られた。

(3) 直径20mmの穴加工で、穴あけ速度500mm/minという高能率加工が容易に得られる。

以上のことから、BTA方式リーマのマシニングセンタへの適用と高速加工は可能で、非常によい加工精度と非常に高い加工性能が期待できることがわかった。

参考文献

- 1) 中村健三(著作代表)：穴加工皆伝、切削油技術研究会、1994
- 2) 田口・甲木・佐久間：单刃リーマの研究(工具形状の加工精度へ及ぼす影響)、有明工業高等専門学校紀要、第21号、1985

障害児が操縦する工房バギー汎用型けん引ロボットの開発

木下正作・安部良昭*・吉田ゆかり*・豊増貴史*・川崎義則

<平成15年10月1日受理>

A Wide Use Type Buggy Tractor Robot Operated by Disabled Children

KINOSHITA Shosaku, ABE Yoshiaki, YOSHIDA Yukari, TOYOMASU Takashi
and KAWASAKI Yoshinori

This report is concerned with a new type welfare equipment for physically and mentally challenged children. Buggies are used to take children anywhere in almost anytime in daily life. However children sitting on buggies can not move independently. Therefore we developed a new wide use type buggy tractor robot operated by disabled children.

The developed welfare equipment, a new type tractor robot

- 1) doesn't need any transfer assistance for children.
- 2) can be attached to almost any kinds of buggies.
- 3) enabled children to predict the forward direction of tractor and their buggies.
- 4) can encourage children's sense of independence and play.

1. はじめに

我々は、ここ5年間、有明高専と福岡県立養護学校の共同研究という形で重度知的障害児のための機能回復訓練機器の開発に取組んでいる。¹⁾

この間、殆ど寝たきりに近い子どもたちのために、

- ①子どもの自立心と遊び心の助長、
- ②より汎用化、

という2つをキーワードに福祉機器開発を手掛けてきた。その開発成果が「自走車(リキタカー)²⁾」および「立位保持器用自走装置(ミラクルカー)³⁾」である。いずれも、現在、養護学校における授業の中でフル稼働中で好評である。



写真1 工房バギー

今回開発したものも、上記2つの福祉機器開発のコンセプトに基づいたものである。それは、養護学校の殆どの子どもたちが、毎日多くの時間使用している“工房バギー”(写真1参照)を対象とするものである。

自分の手で車輪を動かす車椅子に対して、工房バギーは動きたいという意志はあるものの自らの力ではなく移動できない。そこで、子供のもつ残存機能(駆動力の能力ではなく、操縦の能力)を生かし、自分の工房バギーにワンタッチで着脱でき、自分の手で操縦できる牽引ロボット⁴⁾を開発しようとするものである。

また、前回の機能回復機器では、牽引ではなく自走装置自体に児童を乗せ、操縦させるタイプのものであったが、自ら操縦するという点では同じといえるが、その場旋回ができたという点においては全く異なる。牽引ロボットは、移乗動作を不要とするという大きな利点の他に、牽引方式は、児童が操縦し、つねにロボットを追いかける、ロボットに引張られるという児童が今までに経験したことのない感覚に、“機能回復の大きなヒントがあるのではないか”という従来の福祉機器にはない大きな期待もある。

2. 牽引ロボット開発のポイント

牽引ロボット開発のポイントは、

- ①機器を楽しく操縦でき、子どもの自立性、遊び心を助長できること、
- ②移乗行為がいらないこと、

* 福岡県立福岡養護学校

③殆どの介助車にセットできること、
 ④小型コンパクト・パワフルであること、
 ⑤小回りができ、狭い空間でも使用可能など、
 ⑥養護学校の先生一人当たりの子どもたちへの対応
 にゆとりを持つことができること、
 などである。
 以上のこととを基本において設計・製作を行った。

3. ロボットの設計・製作

①本体フレーム部(図1・写真2参照)

25[mm]アルミニウム角パイプ(厚み2[mm])で構成し接続にはL字金具とM4の皿小ねじ・ナットを使用した。

L字金具は組立時の干渉を防ぐために3種類使用した。

②足回り部(写真3・写真4参照)

寸法は148[mm]×180[mm]×68[mm]でアルミニウム製のギヤボックスを製作し、50[W]ブラシレスDCモータから歯付きベルトを用いてφ200[mm]のタイヤに伝達。

牽引するためロボット自重と工房バギー・児童の体重を考慮しモータを選定した。

また、計算の結果から牽引ロボットの最低重量は16[kg]であることがわかった。

また、図2のようにギヤーボックスは本体フレーム内にコンパクトに収納した。

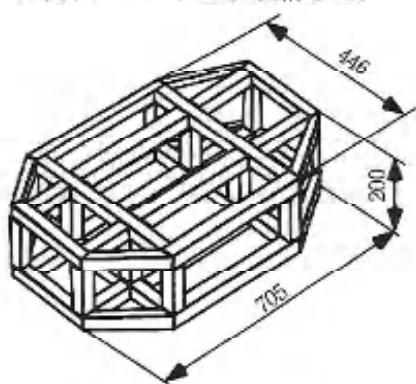


図1 本体フレーム部



写真2 L字金具接続部

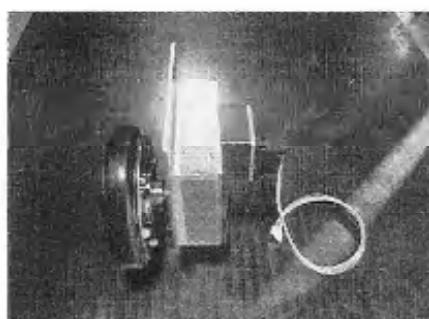


写真3 足回り部全姿



写真4 ギヤーボックス内

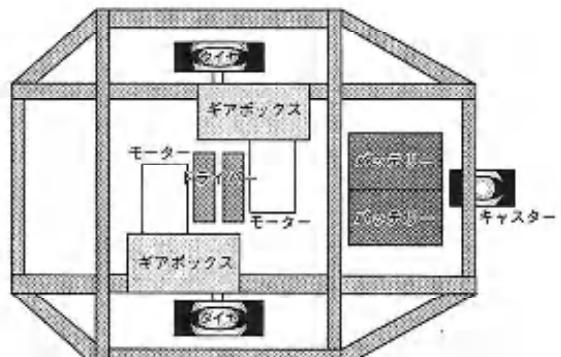


図2 コンパクトに収納したギヤーボックス

③制御・電源・操作盤部(図3参照)

操作盤に取り付けたジョイスティックの信号をH8マイコンに入力、そして左右のドライバに出力され、モーターの回転数が制御される。

進行方向は、前進、後退、左旋回、右旋回の4方向である。旋回時、左右のタイヤの回転比は滑らかさと小回り性を考え4:1に設定。なお、操作盤部は、汎用化を考慮し、ジョイスティックタイプと大型押ボタンタイプの2種類を製作した。操作盤は、配線の途中にワンタッチで取り換えることができるコネクタを取付けた。(写真5参照)

④リンク部(図4参照)

3. 2[mm]の2枚の鋼板をピンで連結させ、ガイド及びストッパー用のピンを2つ用い、鋼板は図のように加工し旋回角を45°とした。リンク部の下にはキャスターを2つ設け旋回がスムーズに行えるように配慮した。バギーへの取付け部は連結板を用いて取付け、上下・左右への可調整式で様々なタイプのバギーに取付けが可能である。(写真6参照)

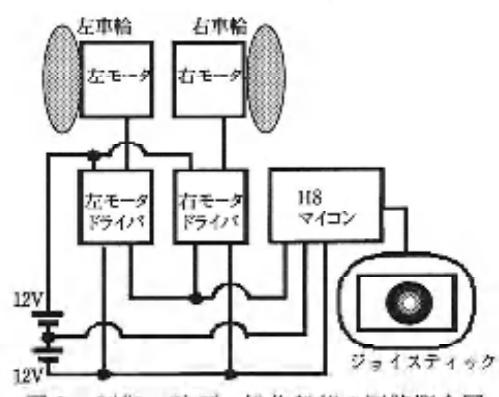


図3 制御・電源・操作盤部の回路概念図

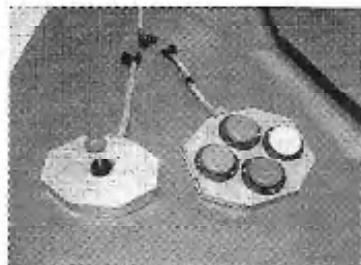


図5 リンク部旋回解析図

リンク部のもう1つの特長としてバックも可能な点がある。

また、リンク部の旋回における解析を行なったところ、最大旋回角は45°に設定しているものの、旋回を始めて直後に45°になるのではなく、旋回をしていくなかで0~45°に変化していく。つまり、ロボットが旋回を始めて、どの程度進んだ時に45°になるのかを知るために、この実験を行った。

図5ではロボットタイヤ・バギータイヤ・リンク部の回転中心の配置を示し、旋回時にこの関係がどのように変化していくか調べた。

実験の方法としては、チョークを牽引ロボットとバギーの内輪付近に合わせ、ロボットを旋回させながら軌跡を得た。

はじめはロボットとバギーのタイヤは一直線上にあるが、進むにつれて内輪差が生じてくる。その内輪差は、ロボットが約1.3[m]進んだ時に一定の0.2[m]になる。つまり、約1.3[m]進んだ時に旋回角が45°になることがわかった。

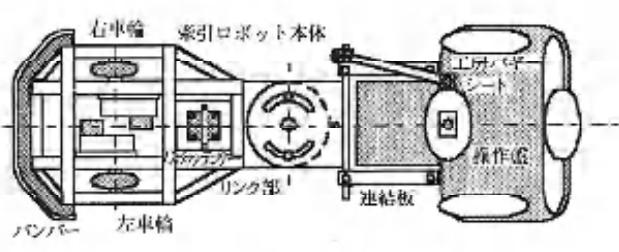


図4 リンク部



写真6 連結部

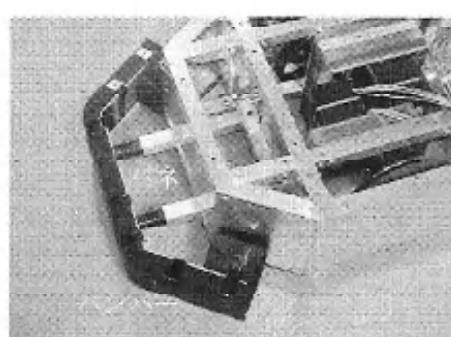


写真7 パンバー部

(5)バンパー部(写真7参照)

障害物に接触した際の衝撃をこのリンク部では吸収することができないため、ロボットの前面部にスポンジゴムを用いたバンパーを取り付け、更にバネを用いることで衝撃を吸収する。

(6)外観部(図6・写真8・写真9参照)

外観カバーは飛行機とし、児童が親しみやすいようにする。ロボット本体の中央に高さを可調整できるランプを取り付け、ロボットの位置を見童が認識出来るようにした。旋回時には、リンク部と尾翼軸をコイルバネで連結して、尾翼を振らせるようにした。また、主翼先に取付けたランプを旋回方向に応じて点灯させるなど、児童に遊び心や親しみをもたせるように配慮した。完成した牽引ロボットを写真10に示す。

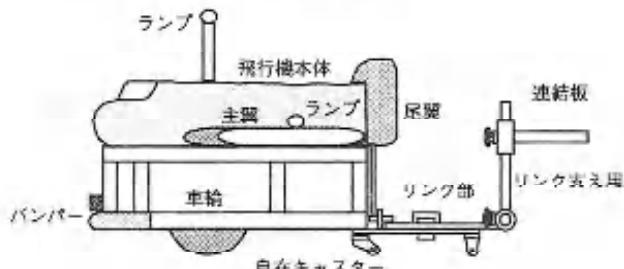


図6 牽引ロボット全体図



写真8 外観部



写真9 主翼に取付けたランプ(左), 尾翼部(右)



写真10 完成した牽引ロボット

4. 養護学校での試運転結果

養護学校で、主に使用してもらった2人による試運転結果について述べる。

(1)女子児童(後藤香織さん)(写真11参照)

- ・大型押しボタンスイッチタイプを使用。
- ・はじめは、スイッチにタッチ程度であったが、10分程度経ったらボタンを押し、自らの意思で動くことを体感できた。
- ・自分だけの力で動くことができ、本人・母親とも感動。「あんな笑顔は初めて見ました。」と母親の談。

(2)男子児童(安河内ともゆき君)(写真12参照)

- ・大型押しボタンスイッチタイプを使用。
- ・最初から、ボタンを長く押すことができ、上手に4方向の操縦ができた。
- ・ロビーの円柱(障害物)に当ったが、適度な衝撃(バンパーで衝撃吸収)を体感した。また、障害物に当たってからの対処法を、数度繰り返したら理解できた。
- ・本体とランプ(目印)が先に見えることで、児童自らの位置と目的地、それに本体の位置が理解できたようで、引張られるような感覚で楽しく操縦していた



写真11 笑顔の後藤香織さん



写真12 上手く操縦した安河内君

そして、試運転を見ておられた先生が「このようなロボットは将来的に絶対普及しますよ」と、興奮気味に語られていたのが印象的だった。

5. 養護学校で使用しての評価

養護学校で使用しての評価として、以下ことが得られた。

- ①板のフロアとタイヤがよくフィットして、パワフルな動きで重量感があり牽引されているという実感がある。
 - ②牽引ロボット自体とランプ(日印)が先に見えることで、児童の視線がおのずと前を向き、引張られることをより意識し強い遊び心の助長となる。また動く方向を予測し対応可能となる。
 - ③旋回角ストップーピンの効果により、旋回半径は1.8[m/R]と養護学校でも十分使用可能である。
 - ④移乗行為がいらないため、養護学校の先生にとって大きな負担減となつた。
 - ⑤大型押ボタンとジョイスティックを取り換えるようにしたため、多くの児童が使えるようになった。
 - ⑥後藤さんの場合、ボタンスイッチを押すことで、手が硬くなることの防止に期待がもてる。
 - ⑦操縦して障害物に当たった時の対処法は、自ら考える能力の目覚めとしての期待がもてる。
 - ⑧両翼のランプ点灯と尾翼が動くことで、周りの人も楽しむことができる。
- このように、今まで開発してきた自走車に比べ、さらに遊び心が助長されることが期待されよう。
- それから、全員が喜んだ試運転の日の記念写真を写真13に示す。

6. おわりに

今回牽引ロボットの開発を行ってきて、普段我々があまり気に留めないことでも、児童にとっては大

変興味があり、五感に訴えかけるものが多数存在していることに気づいた。

また、何もしなければただ単に工房バギーに乗っているだけの無表情な児童が、自らロボットを操縦して動くことを体験する。

そして、普段の生活には無い振動や衝撃やモータの回転音などを五感で感じとり、その瞬間に見せた喜びの表情が、遊び心を象徴しているかのようであった。

この遊びながら得られる刺激により児童の心身共の機能回復が確実に改善されることを期待している。

そして、養護学校に牽引ロボットを納めに行った日の帰りに、「児童の試運転に立ち会えて感動しました。本当にこの卒業研究を選んでよかったです。」と足立君が言った言葉が今も鮮明に脳裏に焼き付いている。本テーマで熱心に取組んでくれた卒業研究生、足立崇・今村智尚君の活動を高く評価します。

おわりに、本研究は筆者の一人木下に対する平成14年度科学研究補助金(奨励研究、課題番号: 14919103)の助成を受けて行なわれたことを付記します。



写真13 試運転の後、養護学校で記念撮影

参考文献

- 1)木下正作, 川喜義則, 岩井善太: 子供の自発的動作・運動を促進する障害児の機能回復訓練用自走車の開発, 日本機械学会九州支部第54期総会講演会論文, No. 018-1, 259-260, 2001
- 2)川喜義則, 木下正作: 養護学校における知的障害児の機能回復を目的とした自走車の開発, 論文集「高専教育」, 第24号, 127-132, 2001
- 3)川喜義則, 木下正作: 知的障害児の自立性と遊び心の助長を目的とした立位保持器装置の開発, 論文集「高専教育」, 第25号, 109-114, 2002
- 4)木下正作, 川喜義則: 有明高専における福祉機器開発から2題, 平成15年東京大学総合技術研究会論文, 1-25-27, 2003

熱拡散法によるCMOSデバイスの試作(3)

—インバータ回路の製作・まとめ—

中村俊三郎・塚本直樹*・浅野種正**

<平成15年10月6日受理>

Trial Fabrication of CMOS Devices only by a Thermal Diffusion Method in the Impurity Doping (3)
—Fabrication of Inverter Circuits and Summary—

NAKAMURA Shunzaburo, TSUKAMOTO Naoki and ASANO Tanemasa

This study has been made in order to examine whether the complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) process that used only a thermal diffusion method in the impurity doping was possible for semiconductor engineering education. It followed the well formation test that was described in the last paper and fabricated CMOS inverter circuits. Among six chips only one showed an operation of inverter even though it was somewhat incomplete. Other chips did not work at all. However, without expensive instruments such as an ion implantation instrument, it was confirmed that CMOS process was possible.

1. はじめに

集積回路 (Integrated Circuit: IC) は、コンピュータをはじめとするいろいろな電子機器に組み込まれており、情報化社会の発展とともに重要な役割を果たす。特にデジタルICにおいては、CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) と呼ばれる回路形式が、その消費電力の少なさから最も多く使用されている。現在も微細化・高集積化が着実に進んでおり、たとえば、ゲート長が 90 nm の製造ラインは、数年後には稼動し始めるであろう。高性能化のための研究開発も盛んである。¹⁾ 地球環境保全の観点から、極少消費電力CMOS ICの開発研究がプロジェクトとして行なわれていたりもある。²⁾ このように、CMOS ICは、電子・情報工学において将来にわたって重要な半導体デバイスであり、教育においても必須の要素であると考えられる。

本研究の特徴は、これまでの論文^{3),4)}でも述べたように、IC製作における不純物導入工程をイオン注入装置のような高価な装置を用いないで、熱拡散法のみで行う教育用 CMOS プロセスを開発することであった。本校、電子情報工学科では、長年、半導体工学教育の一環として、本科5年生に対して電界効果トランジスタ (MOSFET) やそれらを用いた簡単な回路を設計・

製作する卒業研究を行なってきた。この卒業研究では、これまで、製作の容易さからpチャネルまたはnチャネルMOSFET (PMOSまたはNMOS) を用いる回路を製作してきた。⁵⁾ 本研究は、その経験を踏まえ、前述の CMOS の重要性を考慮して、専攻科の卒業研究として行なったものである。

本論文では、これまでの論文内容と多少重複する部分もあるが、前論文⁶⁾の執筆時点でプロセスの途中であった試料を完成させて測定した結果、インバータ動作ができるに至ったので、その結果を述べて本研究のまとめとする。

2. CMOSインバータ回路^{6),7)}

複雑なデジタル大規模集積回路 (LSI) は、相互に結合した多くの論理ゲートによって構成される。この論理ゲートの出力は入力論理レベルの直接の関数となり、一般的には複数個の入出力を持つ。出力は入力論理値の組み合せであることから、この論理ゲートは組み合せ回路とも呼ばれる。最も単純な論理ゲートは、单一入力に対して論理否定を出力するもので、NOTゲートあるいはインバータ回路と呼ばれる。論理回路設計の原理は、論理1および論理0で表される2値の信号で情報が表現されることである。このような回路の供給電圧レベルは、通常、電源電圧 (V_{DD}) と0V (GND) である。したがって、2つの論理値に対応して、ほば V_{DD} あるいは、ほば GND レベルが信

*株式会社半導体エネルギー研究所

**九州工業大学マイクロ化総合技術センター

号として用いられる。

CMOS技術を用いたインバータ回路は、図1に示すようにNMOSとPMOSを直列に接続して構成される。入力電圧(V_I)が V_{DD} すなわち正論理システムで考えると論理1のとき、NMOSはハイタとしてオン状態になり、一方そのときPMOSはオフ状態となる。したがって出力電圧(V_O)は0Vすなわち論理0になる。逆に V_I が0Vすなわち論理0のときはNMOSがオフ状態、PMOSがオン状態となり出力は V_{DD} すなわち論理1となる。このように、静的にはどちらかのFETがオフ状態にあるため、回路にはほとんど電流が流れず、消費電力が極めて小さくなる。

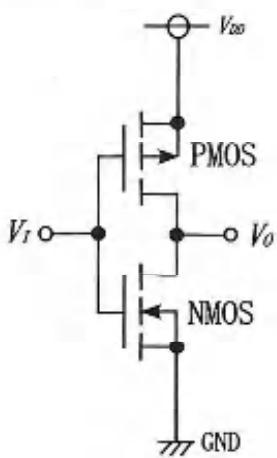


図1 CMOSインバータ回路

このような動作をさらに詳しく説明するため、しきい値電圧 V_{Th} のNMOSと、同じく V_{Tp} のPMOSによって構成されたインバータ回路の動作特性図を図2に示す。図2(a)は図式解法図である。実線がNMOSの特性、点線は負荷抵抗としてPMOSの特性が描かれている。図2(b)は入出力電圧特性、そして図2(c)は回路に流れる電流 I_{on} の V_I 依存性である。これらの図において、AからEの点はそれぞれ対応する動作点である。通常、回路は、電源電圧 V_{DD} が $|V_{Th}| + |V_{Tp}| < V_{DD}$ の条件を満たした値で動作させる。

図2(a)に注目して回路動作を説明すると、 V_I を0から増加させていったとき、はじめはNMOSのゲート電圧 V_{Gn} が V_{Th} 以下なので、NMOSの特性は遮断領域にあり V_D 軸上にほとんど重なっている。そのとき、PMOSのソース電位は基板電位 V_{DD} なので、ゲート電圧 V_{Gp} は $V_I - V_{DD}$ となり、その絶対値は V_{Tp} の絶対値より十分大きい。そのときのPMOSの特性は図には描かれていないが一番上側の点線よりさらに上側に位置し、抵抗が十分に小さい状態となる。したがって、△点が回路の動作点になる。これらのことから、 V_O は、

ほぼ V_{DD} に等しくなる。

入力電圧 V_I を増大させて V_{Th} を少し超えたときのNMOSの特性は、一番下側に描かれた実線となる。そのとき、PMOSの特性は一番上側に描かれた点線となり、B点が回路の動作点になる。図2(b)と(c)に示すように、このとき、出力電圧がわずかに減少し回路にはわずかに電流が流れる。さらに V_I が増すと、図2(a)におけるNMOSとPMOSの特性が飽和領域で交わる状態となる。このとき動作点はC点に達し、回路電流は最大になる。また、その付近では、両者は飽和領域にあり、特性の傾きが0に近いため、 V_I に対する V_O の変化率が非常に大きくなる。さらに V_I が増すと V_{Gn} は V_{Th} より十分大きな値となり、 V_{Gp} は V_{Tp} に近づく。図2(a)におけるそれぞれの特性は、一番上側の実線といらばん下側の点線となり、動作点はD点になる。

入力電圧 V_I が V_{DD} に近づくとNMOSの特性は、一番上側に描かれた実線よりさらに上に移り、PMOSは遮断状態となる。したがって、E点が動作点となる。このとき、 V_O は、ほぼ0Vで、回路は再びほとんど電流が流れないとなる。

このように、CMOSインバータ回路は入出力電圧が変化するときにしか電流が流れないので、消費電力が非常に少ないことが特徴である。また、単一チャネル・デバイスとは異なって、各FETのサイズによらず常に0から V_{DD} の出力電圧(論理振幅)が得られることも特徴であり、無比率型インバータとも呼ばれる。

図2(b)において $V_I - V_O$ が成り立つ V_I は反転電圧と呼ばれる。反転電圧を V_{INV} とすると、C点の近くでは、NMOSもPMOSも飽和領域にあり、等しい電流が流れているので、

$$\frac{1}{2} \beta_n (V_{INV} - V_{Th})^2 = \frac{1}{2} \beta_p (V_{INV} - V_{DD} - V_{Tp})^2 \quad (1)$$

の関係が成り立つ。ここで、 β_n と β_p は、それぞれ両FETのトランジスタ利得係数であり、それぞれのFETのゲート幅 W 、ゲート長 L 、酸化膜容量 C_{ox} 、チャネル移動度 μ を用いて、

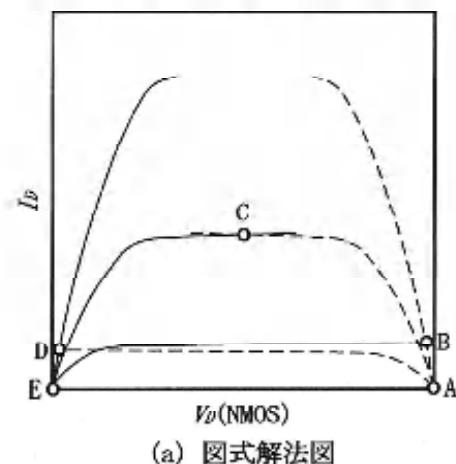
$$\beta = \frac{W}{L} C_{ox} \mu \quad (2)$$

と表される。式(1)から V_{INV} を求めるとき、

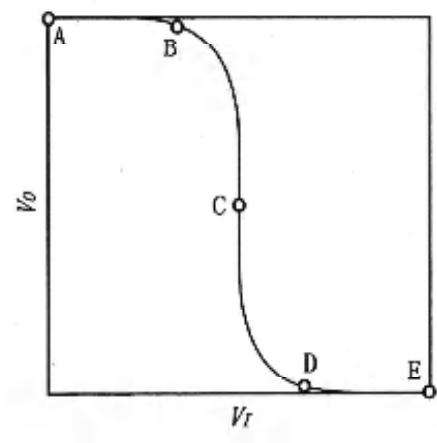
$$V_{INV} = \frac{\beta_p^2 (V_{DD} + V_{Tp}) + \beta_n^2 V_{Th}}{\beta_p^2 + \beta_n^2} \quad (3)$$

となる。Si基板とウェルの不純物濃度をそれぞれ調整して、 $V_{Th} = |V_{Tp}|$ とすることができる。さらにW/Lの

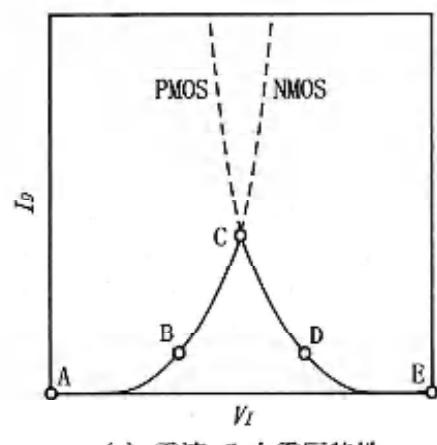
選択で、 $\beta_n = \beta_p$ が成り立つようになると、 $V_{INV} = 0.5 V_{DD}$ となり、入出力電圧特性は完全に対称になる。一般に、多数の論理ゲートが接続された回路において正しく論理伝達が行なわれるためには、この対称性や論理振幅が大きいこと、また、出力電圧が変化する領域の入力電圧幅が小さいことなどが、重要な特性となる。CMOS形式の回路は、他の形式に比べて、これら



(a) 図式解法図



(b) 入出力電圧特性



(c) 電流-入力電圧特性

図2 CMOSインバータの特性図

全ての点で優れた特性を持った回路である。

図3は、図1に示したCMOSインバータ回路を、シリコン(Si)基板上に形成したときの断面図である。单一チャネル・デバイスと基本的に異なるのは、ウェル構造を持つことである。図3に示した構造は、本研究で製作を試みた構造である。また、この構造は、1960年代終わりにCMOS技術が開発された当時の断面構造でもある。現在の工業技術では、素子の微細化はもとより、イオン注入技術の広範囲な導入や成膜技術の発達によって、n型Si基板にp型ウェルとn型ウェルが形成されていたり、ソースとドレインでゲート側の不純物濃度が低濃度に制御されていたり(LDD構造)、ゲートはAlではなくポリSiで形成されていたりして、素子構造は複雑になっている。また、イオン注入技術の発達は、CMOSゲートの伝達特性を決めるNMOSおよびPMOSのしきい値電圧の制御性を向上させてきた。

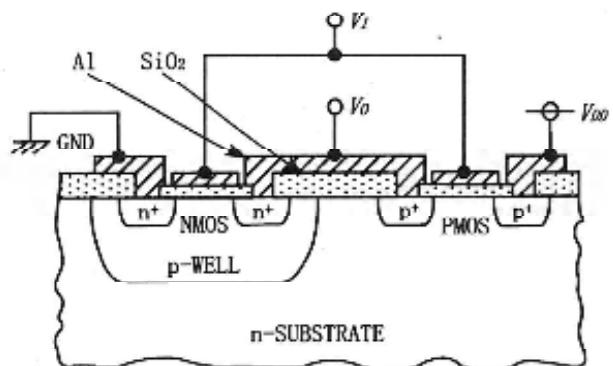


図3 CMOSインバータの断面構造

3. ウェル形成テスト^{a)}

本研究では、熱拡散法で図3におけるp型ウェルを形成できるかどうかが、CMOSインバータを製作する鍵となる。そこで、インバータ回路の製作に先立ってウェル形成テストを行なった。ウェル形成テスト用のチップを設計し、製作した。ウェルの形成条件は、不純物拡散剤(PBF: 東京応化工業製)の希釈度によって変えた。試料製作プロセスは、CMOS製作のプロセスを模擬する形で行なった。確かめようとした主な二つが、次の通りである。

- ① ウェルと基板間のpn接合の形成
- ② 拡散条件とウェル部のシート抵抗との関係
- ③ ウェル部と拡散形成したn⁺領域との間のpn接合の形成
- ④ ウェル上に近接して形成した2つのn⁺領域(NMOSのソース・ドレインに相当)間の非

導通性

⑤ n⁺領域のシート抵抗値

その結果、製作プロセスの始めの方の段階であるウェル形成後のフィールド酸化膜除去後、いくつかの試料で拡散領域が識別できなくなり、完成させることができたのは、PBFの原液と100倍希釈液で拡散した試料であったが、それらの試料の測定結果から次のことことが確認できた。ウェルと基板との間には、良好なpn接合が形成できること、ウェルのシート抵抗から十分大きなしきい値電圧を持つNMOSが製作可能であること、ウェルとn⁺領域の間のpn接合は6V以上の逆バイアスで降伏が見られたこと、また間隔50μmでウェル上に形成したn⁺領域の間の抵抗は5Vにおいて500kΩ程度になることなどである。これらの結果から、CMOS製作が可能であることが確認できた。

4. 設計

インバータ回路の平面図は前報⁴⁾でも示したが、ここではより詳細な平面構成図を図4に示す。ここで用いられた設計ルールは、基本単位長λを基にして、各部の長さをλの整数倍により表現したものである。λは、フォトマスクの合わせ精度や製作プロセスにおけるエッチングの精度などから、最初に描いた設計図と実際に出来上がったチップ上のパターンとの最大誤差を表す量である。この設計ルールは、微細化にもある程度適しており、特にLSI教育に適していると言われている。

本研究では、フォトマスクの原図は、描画ソフト(Super Paint)のペイントモードを使用し、A4の用紙に印刷して作成した。この原図上でのλは、印刷の最小単位1ピクセル(0.35mm)としている。このλによって、プロセス全体の合わせ精度をほぼ保つことができる。フォトマスクは、この原図を写真引伸ばし機の光学系を逆に使用して、フォトマスク乾板に縮小焼付けして製作した。フォトマスク上でのλは25μmである。したがって、NMOSとPMOSのゲート長Lは、50μmである。ゲート幅Wについては、3節で述べた $\beta_n = \beta_p$ が成立立つように、PMOSのWをNMOSのそれより2倍長くした。また、チップ上には、このインバータ回路のほかに個別にPMOSとNMOS、また拡散領域のシート抵抗測定部などを形成した。

5. 製作プロセス

図5に製作過程の予想される断面図を示す。断面図は、図4におけるPMOSとNMOSの中心線を直線状に展開したものである。

まず、抵抗率 $1.5 \times 10^{-2} \Omega \cdot m$ のn型4インチウェーハを30mm角に切断し、超純水で超音波洗浄後、1000°Cで1時間、水蒸気酸化によってフィールド酸化膜を形成した。(図5(a)) マスク1でフォトリソグラフィを行い、ウェル部の窓を開けを行なった後、ホウ素拡散剤(PBP: 東京応化工業製)を塗布、1050°C、16時間の拡散熱処理によってp型ウェルを形成した。(図5(b)) 次に、マスク2でフォトリソグラフィを行い、合わせマーク部を残して酸化膜を除去、再びフィールド酸化

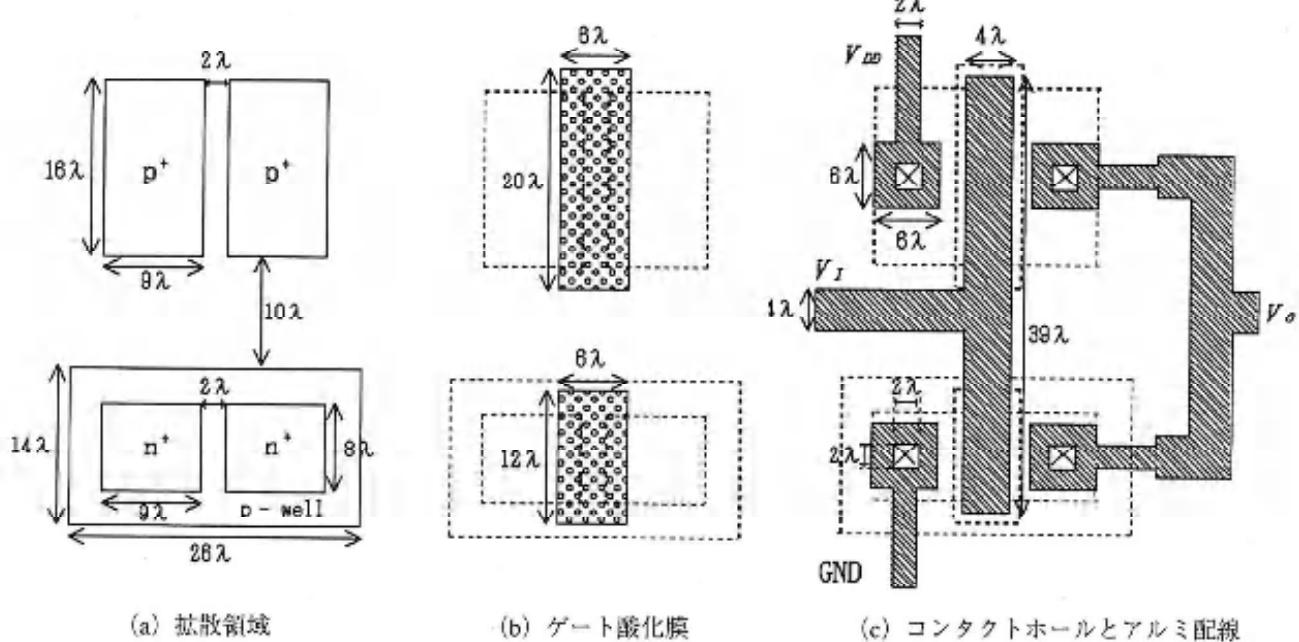


図4 CMOSインバータの設計図

膜を形成した。マスク3でPMOSのソース・ドレイン形成用窓開けを行い、PBFを用いて1050°C、2時間の拡散熱処理を行なってPMOSのソース・ドレインを形成した。(図5(c)) マスク4で再び合わせマークを残すフォトリソグラフィを行い、フィールド酸化膜を除去し、再びフィールド酸化を行なった。マスク5によるフォトリソグラフィでNMOSのソース・ドレイン形成用窓開けを行い、リン拡散剤(OCD: 東京応化工業製)を使用して1050°C、90分の拡散熱処理でNMOSのソース・ドレインを形成した。(図5(d)) 酸化膜を除去した後、絶縁膜形成のためのフィールド酸化を行なった。マスク6によってゲート酸化膜形成部の窓開けを行なった後、1000°C、1時間の乾燥酸化によってゲート酸化膜を形成した。(図5(e)) マスク7によってコンタクトホールを開けて、スパッタによってAlを成膜した後、マスク8によって配線パターンを形成し、試料を完成させた。(図5(f)) 完成したチップの写真を図6に示す。図6において、最上部はウェルの面抵抗測定部、その下の左右にCMOSインバータ、さらにその下の左右にPMOSとNMOSを個別に形成した。最下部は断面観察を予定して形成した長い(ゲート幅が広い) NMOSである。

本研究において重要な点は、熱拡散によって形成するウェルのアクセプタ濃度をNMOSのしきい値電圧が1.5V程度になるように調整できるかということにある。ウェル形成テストの結果を検討して、このCMOS製作では、ウェル形成のPBF濃度を原液、4倍希釈液、10倍希釈液の3種類の試料を製作した。原液と4倍希釈液を使用した試料をそれぞれ4枚、10倍希釈液の試料を2枚製作する予定でプロセスを開始したが、最終プロセスまで行なえた試料は、各条件の試料がそれぞれ2枚で合計6枚であった。

6. 測定結果

完成できた試料の中で、インバータ動作を示した試料は1試料のみで、他の5試料は全くインバータ動作を示さなかった。動作を示した試料は、ウェルの形成にPBFの原液を使用した試料の1つであった。その入出力特性を図7に示す。入力電圧 V_I が低いとき出力電圧 V_O は電源電圧 V_{DD} にはほぼ等しい。 V_I を増大させると $V_{DD}/2$ 付近で急激に V_O が減少するが、0Vまで減少しなかった。この点は不完全である。

PMOSの $I_D - V_D$ 特性を図8に示す。このような正常な動作をすべての試料が示した。しきい値電圧は、-0.6~-2.3Vで多少ばらつきが大きいともいえるが、ほぼ目標値を示した。

一方、このインバータ動作を示した回路上のNMOS

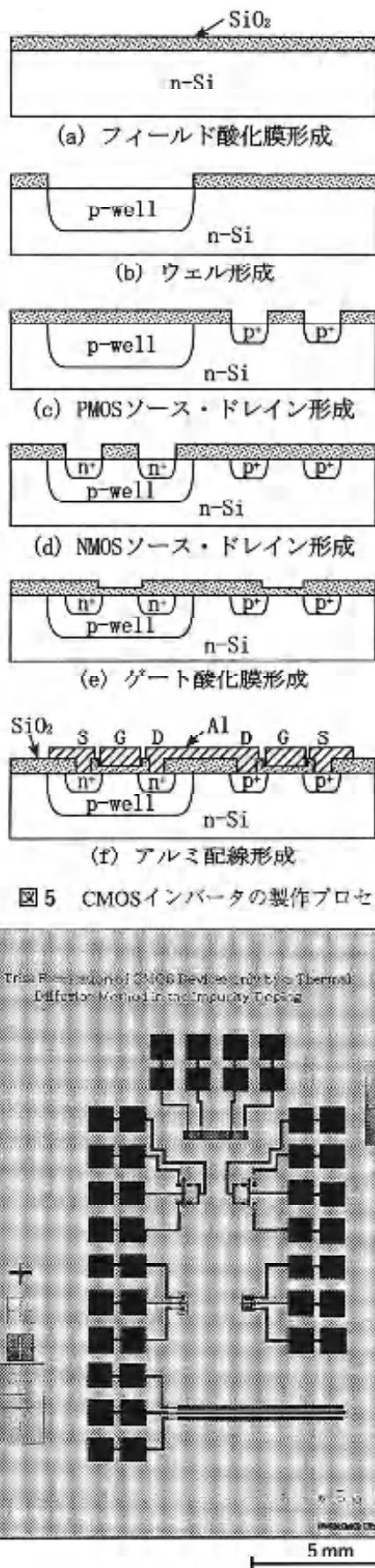


図5 CMOSインバータの製作プロセス

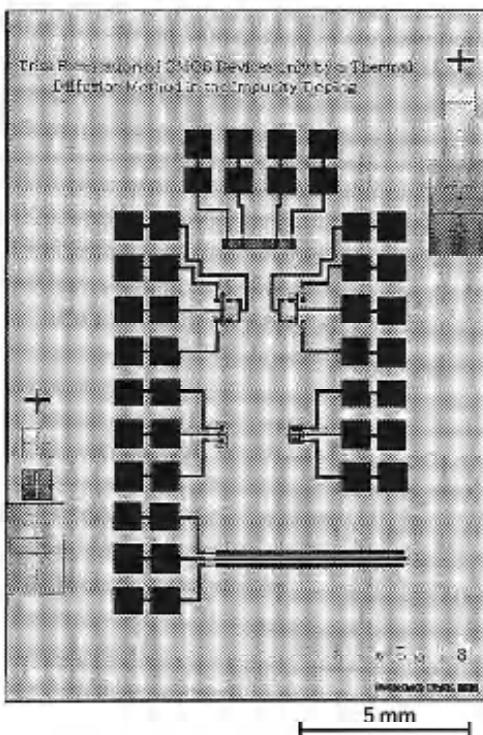


図6 チップの完成写真

の $I_D - V_D$ 特性を図9に示す。FETの特性を示しているが、ゲートからのリーク電流が測定されたため、 V_D が0Vでマイナスの I_D はそのために生じていると考えられる。したがって、図7のインバータ特性において、 V_I を十分に増大させても V_O が0Vまで下がらなかつたのは、ゲートからのリーク電流があったためと考えられる。

7.まとめ

本研究は、半導体工学教育を充実させるため、高価

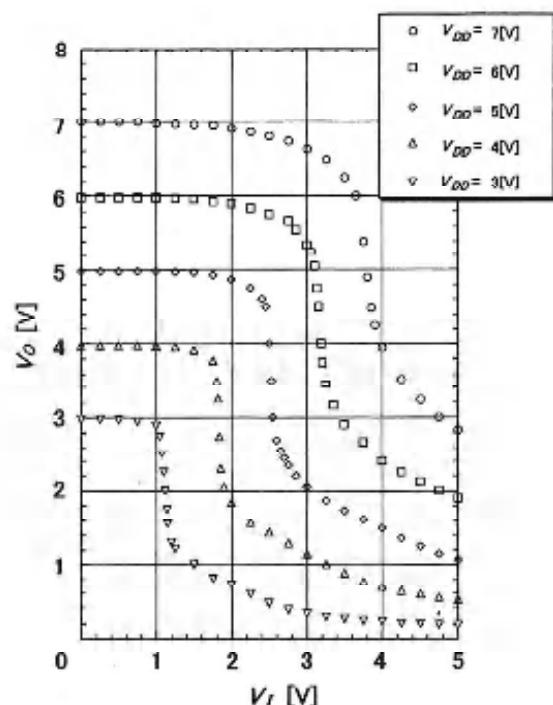


図7 インバータ回路の入出力特性

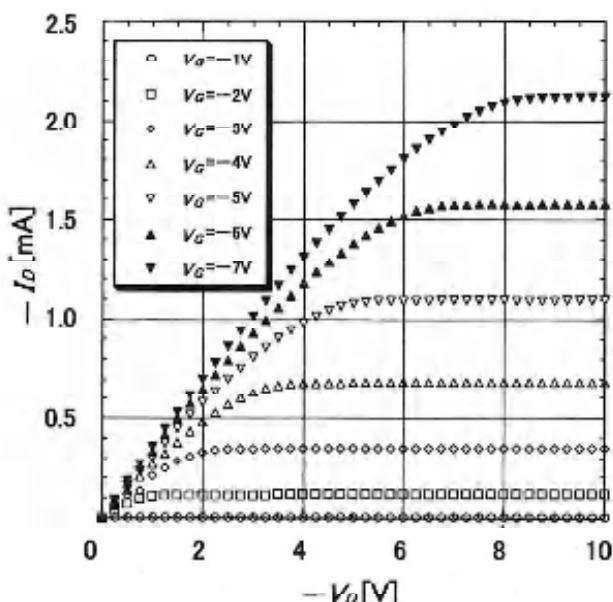


図8 PMOSの $I_D - V_D$ 特性

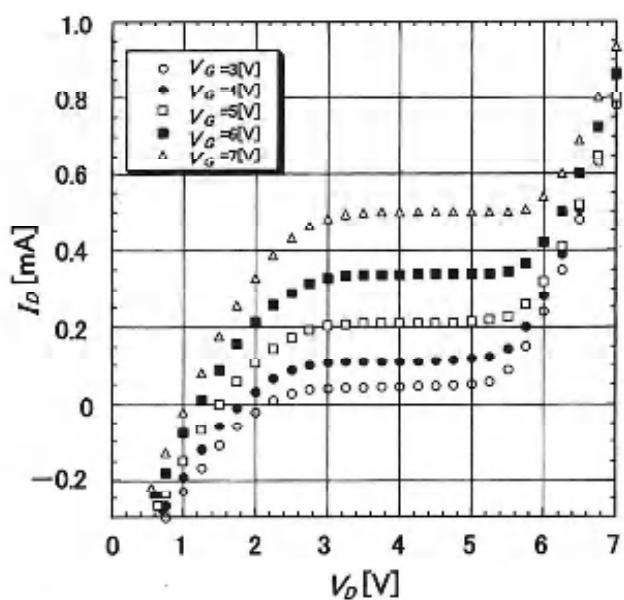


図9 NMOSの $I_D - V_D$ 特性

で維持負担の大きなイオン注入装置を使用せずに熱拡散法のみで不純物導入を行なうCMOS ICの製作法を見出すために、専攻科の卒業研究として行なったものである。不完全ではあれ、インバータ動作をする試料が製作できたことによって、大掛かりな設備を用いなくても教育用CMOS回路形成の可能性を示すことができた。今後の課題は、いわゆるスピノン法による熱拡散の再現性を確保することである。今後、プロセスを再検討し、予算などの条件が整えば、再度、製作を試みたい。

最後に、本研究は、平成13、14年度科学研究費補助金「基板研究(C)」を受けて行なったものである。

参考文献

- 1) 杉井寿博 応用物理 72 (2003) 1121.
- 2) <http://www.tech.nedo.go.jp/>.
- 3) 中村俊三郎、塙本直樹、浅野種正 有明高専紀要 38 (2002) 123.
- 4) 中村俊三郎、塙本直樹、浅野種正 有明高専紀要 39 (2003) 105.
- 5) 中村俊三郎 工学教育 51, 1, (2003) 115.
- 6) J. Mavor, M. Jack, P. Denyer, *Introduction to MOS LSI Design*, Addison-Wesley Publishers Ltd., London (1983).
- 7) S. M. Sze, *VLSI Technology*, McGraw-Hill Book Company (1988).

RM-CWライダーにおける信号処理の改善

内海通弘

<平成15年10月6日受理>

Improvement on a Signal Processing in a Data Analysis
in a Pseudorandom Modulated Continuous Wave LIDAR

UCHIUMI Michihiro

The m-sequence pseudorandom modulation continuous wave laser radar, RM-CW LIDAR, has been developed. The RM-CW LIDAR was planned to be extended to the near-infrared region such as the 830nm band of the water vapor. The advantages and limitations of near-infrared LIDAR using the photoncounting technique in comparison with the analog digitizing technique are discussed. It is demonstrated that the 830nm-band is more useful than the 720nm-band for the water vapor measurement.

1. はじめに

近年、光リモートセンシングは各種計測に盛んに用いられつつあるが、なかでもレーザレーダーLaser Radar(またはライダーLIDAR, Light Detection and Ranging)は大気中の物質の分布を遠隔的に測定するための装置として脚光を浴びている。レーダーに比較して使用波長が短く、光領域の周波数帯での応答を利用するために、分子原子レベルの大きさの現象を捉えることが出来る。有明高専ではレーザレーダーの研究に着手しているが、本年8月にテクノセンターに中間圏ナトリウム層計測用Nd:YAGレーザ励起色素レーザレーダーが稼動を開始した。この種の観測ステーションは日本でも3箇所しかなく、高層大気現象解明に有益なデータを供給できるものと考えられる。ナトリウムライダーのほかに、科学研究費の援助を受けて擬似ランダム変調CWライダーの製作が進んでいる。このライダーは安価な半導体レーザーを利用して、赤外域への拡張を狙ったもので、レーザレーダーの普及に貢献することも念頭においた研究である。このライダーの変調方式は、M系列などの暗号を使いるため、高専における情報処理教育の教材としても利用できる。更に、今後レーザレーダー研究は軽量でコンパクトでコンピュータやネットワークを用いた方向に進んでいくものと考え、赤外域での萌芽的な研究を行いたいと準備を進めている。我々は既に理論面での成果を報告したが、このレーザレーダーに必要な受信部が完成し、その初期データから性能評価したので報告する。

レーザレーダーは反射体として、自然大気(窒素、酸素を主体とし、微量成分としてアルゴン、水蒸気、エアロゾルなどを含む)を利用するため、連続的に対象

物質の密度等を計測することができる。通常ライダーは高出力のパルスレーザーが光源として使われるが、装置が大型化し、ライダーの普及を妨げる原因となっている。そこでコンパクトで安価なライダー光源としてCWレーザーを使用する擬似ランダム変調CWライダー(RM-CWライダー)が提案されている。我々は、この技術を赤外差分吸収ライダー(DIAL; Differential Absorption LIDAR)に拡張するため近赤外ライダーの設計のための基礎研究を行っているので報告する。

2. ライダーシステム

図1に製作を計画しているシステムを示す。光変調装置(AO)をのぞいて、ほぼシステムの構成が終わっている。RM-CWライダーの場合、差分吸収ライダーを構成する時のメリットは2つのレーザを同時に撃てる点である。パルスライダーの場合、2つ以上の受信系を持ったとしても同時にレーザを発射すると2つ

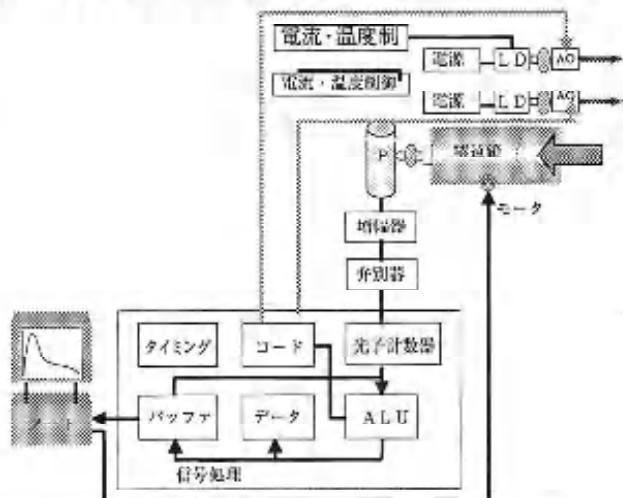


図1 RM-CW差分吸収ライダーの完成予定図

のレーザで波長が近すぎるため、分光的には区別できない。ところが、RM-CWライダーの場合、2つのレーザを別々の暗号で変調すれば、受光信号と相関をとることによって区別できる。

今回の実験装置を図2に示す。望遠鏡は直径200mmの反射型望遠鏡で、集光された光は接眼鏡により平行にされた後、干渉フィルタを通して光電子増倍管(PMT)に入射される。PMTにより電気信号に変換された後、デジタイザまたはフォトンカウンタに入力されて信号処理がなされる。

受光装置は、メタルパッケージの光電子増倍管で従来よりも量子効率が40%と4倍近く高くなっている。

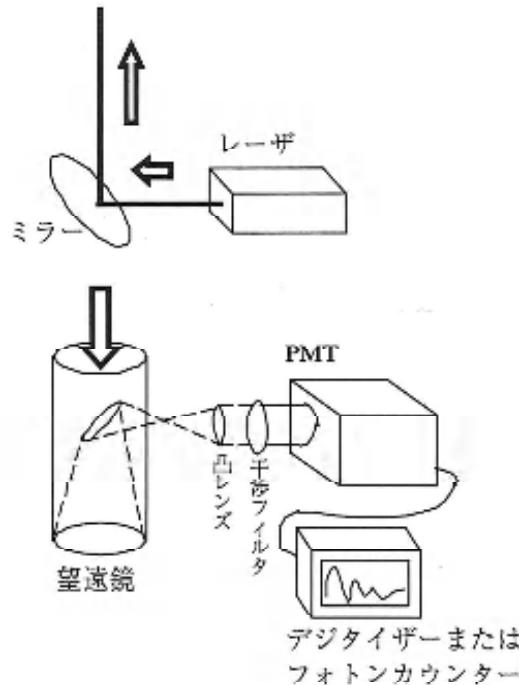


図2 試験装置配置図

表1 ライダーパラメータ

送信系	レーザ	波長	825 nm
		パワー	100 mW
		電流	180 mA
	M系列の周期		4095
	M系列のサンプリング時間		60 ns
受信系	望遠鏡	口径	200 mm
		焦点距離	800 mm
		視野角	2 mrad
	検出器 (PMT)	増倍率	2×10^5
		量子効率	40%

干渉フィルタは830nmの物を用いた。データ処理系は、2種類用意した。一つは、アナログで取り込み、A/D変換を行った(横河電機WE7000)。2つ目は、長距離測定を可能にするため、ホトンカウンティング計測を行った(浜松ホトニクス社製 ホトンカウンティングユニット)。ただし、前置増幅器は使用しなかった。ライダーパラメータを表1に示す。

これまでに行ったシミュレーションにより波長1000 nm以下でRM-CWライダーが実現可能であることが判明したので¹⁴、その間の波長域で水蒸気のスペクトルに着目して、開発を進めることとした。図3に

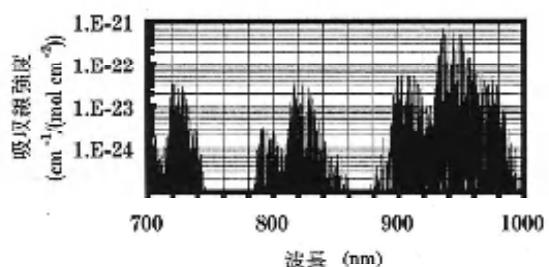


図3 水蒸気のスペクトル

表2 半導体レーザの波長によるライダーパラメータの比較
(オングストローム係数は $\delta = 0.5 \sim 1$)

	波長 720nm	波長 830nm
水蒸気の吸収断面積比	1	1
PMTの感度の比	3.8	3.2
レーリー散乱断面積の比	1	$\left(\frac{720}{830}\right)^4 = 0.56$
ミー散乱断面積の比	1	$0.87 \leq \left(\frac{720}{830}\right)^{\delta} \leq 0.93$
半導体レーザの出力 (mW)	10	100
信号対雑音比S/Nの比	1	47

HITRANデータベースをもとに水蒸気の吸収スペクトルを示す。水蒸気は、720 nm、830 nm、950 nm付近に強い吸収帯をもっており、吸収線強度が大きいほど同じ吸収長で比較すると吸収率が高い。図3の水蒸気の830 nm帯のスペクトルを見ると、最も強いのは、波長820 nm付近であり、この吸収線に同調できるよう今回半導体レーザを選定した。最近検出器の性能が良くなっているため、従来水蒸気の測定には波長720 nm帯が使われていたが、高出力の半導体レーザが手に入りやすい830 nm帯に着目した。表2にその比較を示す。720 nm帯の半導体レーザはローム社のものがあるが、製造中止されているがせいぜい10mWである。大気の散乱断面積、光電子増倍管の感度等すべて短波長の方が有利であるが、830 nm帯の方が安価で半導体レーザが得やすいという利点がある。結果的に、信号対雑音比で47倍よい計測ができることがわかる。

半導体レーザは、温度コントロールを行い、波長825.5nmで最大定格100mWの出力を持つものを使用する。使用した半導体レーザ駆動装置は特注品で半導体レーザを付け替えることで使用できるもので2系統用意した。コリメート用のレンズをレーザに接着した。図4に半導体レーザの入出力特性を示す。入力電流を増加させると出力が増加することがわかる。また、温度によって、入出力特性はほとんど変わらないことがわかる。

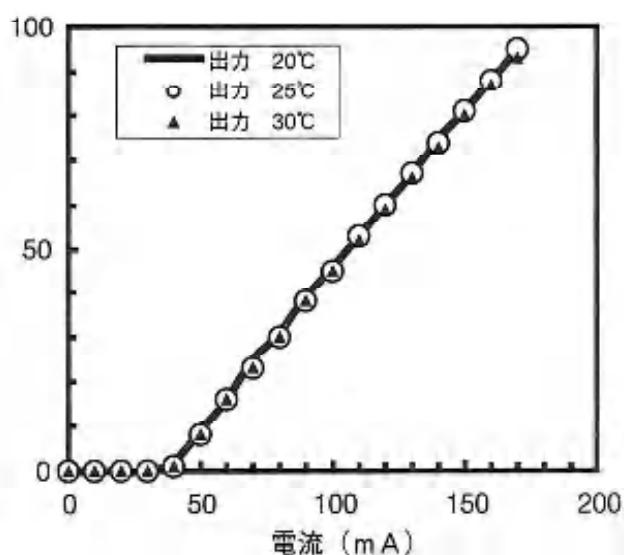


図4 LDの入出力特性

この半導体レーザは、水蒸気の吸収帯に温度制御によって同調が可能で、精度は0.01 °Cである。波長設定精度は、0.1 pmである。一般に半導体レーザは、電気的な制御によりオンオフに切り替えることが出来るが、応答時間が測定距離分解能に直接制限を与えるので、光変調器によって制御することを計画している。

図5に半導体レーザの波長の温度依存性を測定した結果を示す。温度を上げていくと、波長がわずかに長くなっていくことがわかる。しかし、時々モードホップ

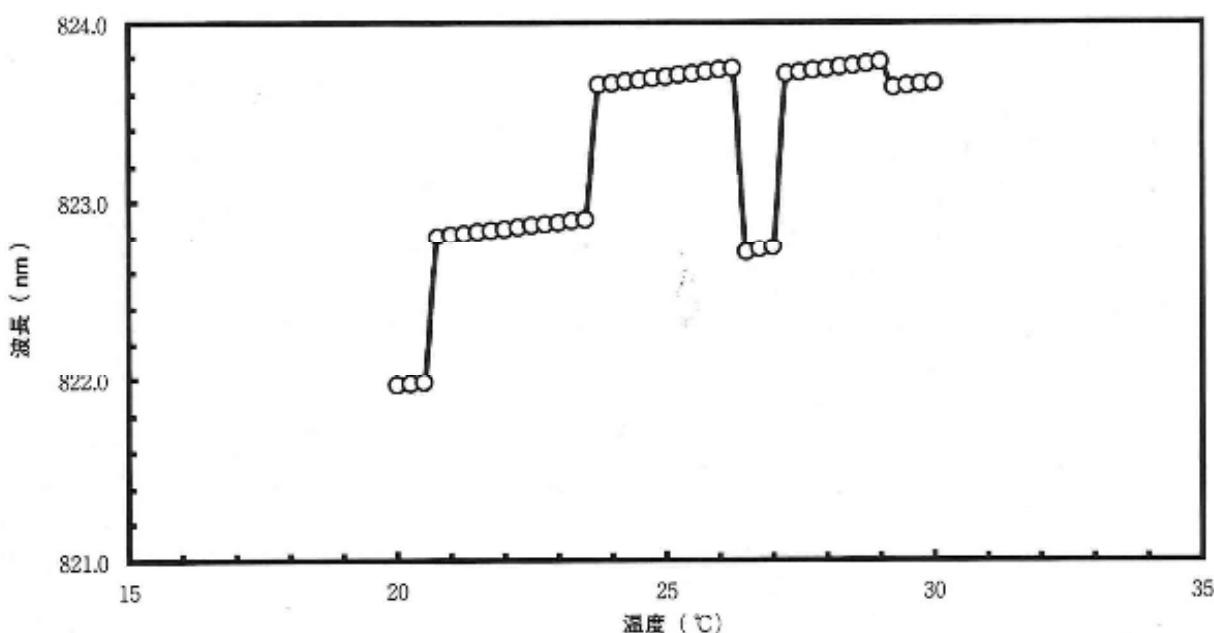


図5 半導体レーザの波長の温度依存性（測定結果）

ブが生じ、波長が大幅に変わっていることがわかる。半導体レーザの波長制御においては、このようなモードホップが起こることが知られている。ライダーの実験に用いる際は対策が必要である。

3. 実験結果

一般に光が窒素、酸素などの空気分子に照射されると生じる散乱がレイリー(Rayleigh)散乱と呼ばれており、青空と夕焼けの色を決めている現象として有名である。これに対し、エアロゾルによる散乱はミー(Mie)散乱と呼ばれる。どちらも弾性散乱であり、ラマン散乱のように散乱による波長変化はない。レイリー散乱断面積は波長の4乗に反比例するのに対し、ミー散乱はエアロゾルの形状と粒径分布に依存し、波長の0.5~1(オングストローム係数)乗に反比例する。特別な方法を用いない限り、理論的にレイリー散乱とミー散乱を区別することは困難であるが、レイリー散乱は大気密度に比例し、その大気密度は場所と時間によりほとんど変化がないため、米国標準大気などを利用することで実験データを説明できる。一方、ミー散乱によるエアロゾルの散乱はエアロゾルの形状と粒径分布に依存し、それは地域、時間により常に変化している。このため、ライダーで散乱を受光した後、レイリー散乱分を差し引くとミー散乱を取り出すことができ、エアロゾルの状態を観測することが出来る。

図6に1ショットのレーザを発射した場合のデジタイザーで記録したデータを示す。これは、Aスコープ

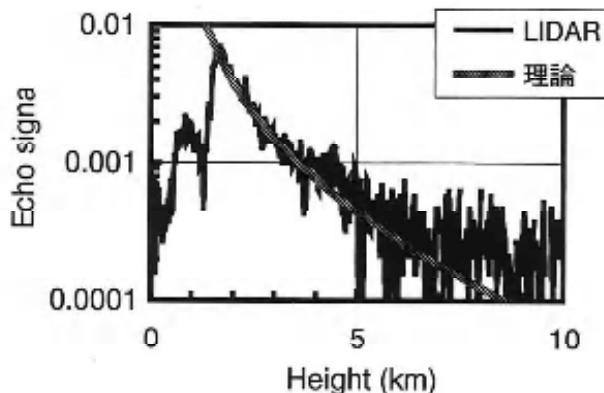


図6 デジタイザーによるエコー信号測定(1ショット)

と呼ばれる波形で、レーザを上空大気に打ち、帰って来たエコーの信号である。これ以降は受信系の単純な応答特性を調査するため、パルスレーザにて性能評価を行った。理論線は、米国標準大気の大気密度 ρ に距離Rの二乗で割った値に比例している。通常大気密度は16km上昇する毎に約10分の1に減少し、場所、時

間により変化しているが大きく変化することはない。また、レーザはほとんど広がらず、大気に照射されるため、1.5km以上の上空では望遠鏡の視野に完全に修められている。したがって、大気の透過率分だけレーザが弱まるにすぎない。しかし、散乱して望遠鏡で受光できる光量は $A/(4\pi R^2)$ である(望遠鏡の受光面積をAとする)ので、レーザレーダには広いダイナミックレンジが必要となる。このデジタイザーは、12ビットでは最速の20MHzのものを利用した。理論線と実験データがほぼ一致していることがわかる。1.5km以上の上空では望遠鏡の視野にレーザが完全に入っていることを示している。さらに、厳密に望遠鏡の視野内にレーザビームを修めるために、精度を上げる必要がある。大気の変動は少ないとすると、データを積算することによりノイズを減少させることができる。図7に100ショットのレーザを照射してデータを積算した結果を示す。ノイズは積算数の平方根分の1ほどになるため、10kmまでノイズの少ない信号がえられているのがわかる。しかし、理論線を外れているのがわかる。これは、レーザビームがわずかに望遠鏡の視野から外れていることを意味する。図2に示すレーザの送信ミラーの角度を調整することにより、レーザ光を望遠鏡の視野内に入れる軸合わせと呼ばれる作業を行わなければならぬ。

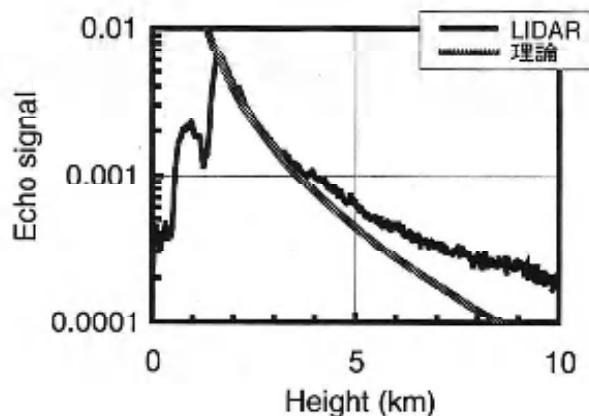


図7 デジタイザーによるエコー信号測定(100ショット)

ればならない。

軸合わせ終了後、さらに高々度まで測定するため、ホトンカウティング計測を行った結果を図8に示す(5400ショットのレーザを積算)。この方法は光子数を計測するため、一つ一つ別れたパルスの計測は可能であるが、まとまった光子に相当する大きな波形では計測できない。図8に示すように約10km以下では飽和しているのがわかる。このように、エコーの強い低空ではデジタイザ(A/D変換器)が使われ、上空のエコーが少ない領域ではホトンカウティング法が使われ

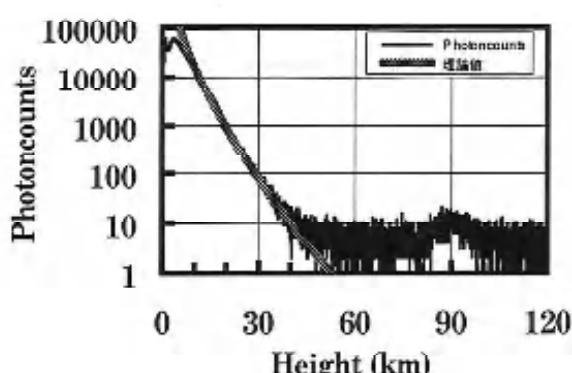


図8 フォトンカウンティングによる測定

る。また、米国標準大気による理論線とレイリー散乱の部分がほぼ一致しているのがわかる。これらのわずかなずれの部分がエアロゾルによる寄与である。また、90kmには信号が見えるが、これはレーザをナトリウムに同調していたために共鳴散乱のエコーが計測されたことによる。

4. 考察とまとめ

以上の実験により光変調装置をのぞいてRM-CWライダーが完成し、また初期的実験としてレーザと望遠鏡の軸合わせを行い、性能を評価した。その結果、デジタイザでもフォトンカウンタでも軸合わせができることが判明した。また、望遠鏡は200 mmと500 mmの2種類のものを使用し、どちらでも軸合わせができることがわかった。今後は、半導体レーザを水蒸気に同調し、光変調装置により変調を加えることによりRM-CWライダー実験を行う予定である^{[11][12]}。

謝 辞

レーザ計測実験を手伝っていただいた有明高等工業専門学校電子情報工学科5年の西山友二君、古賀隆博君、四ヶ所萌君、緒方伸一君に感謝する。直徑500 mmナスミスクーデ式望遠鏡等の実験装置を移管してくださった九州大学大学院総合理工学研究科のVasa Nilesh助教授および前田三男教授に感謝します。本研究は文科省の科学研究費基盤研究費(C)によって行われた。

参考文献

1. 竹内延夫, 杉本信夫, 他: レーザー研究 11(1983)763.
2. 竹内延夫, 馬場浩司, 桜井捷海, 他: レーザー研究13(1985)353.
3. 上野敏行, 竹内延夫, 他: レーザー研究 16(1988)101.
4. 阿保真, 長澤親生, 内野修: レーザー研究 18(1990)341.
5. J. L. Machol: Applied Optics, 36, 24, 6021–6023, 1997
6. Emery and Flesia: Applied Optics, 1998
7. Asaka et al, Optics Review, 1998
8. Gittins et al., Optics Letters, 2000
9. Rybaltowskie and Taflove, Optics Express, 2001
10. K. Ikuta, N. Yoshikane, N. Vasa, Y. Oki, M. Maeda, M. Uchiumi, Y. Tsumura, J. Nakagawa and N. Kawada, Differential Absorption Lidar at 1.67 μm for Remote Sensing of Methane Leakage, Jpn. J. Appl. Phys. 38, Part 1, 1A, 110–114 (1999)
11. M. Uchiumi, K. Murakoshi, T. Tanaka, M. Maeda, O. Uchino, DIAL and LPAL Measurement of CH₄, CO₂, CO and N₂O Using a Tunable IR Laser, Proceedings of the 7th Int'l Symposium on Laser Aided Plasma Diagnostics, 325–330 (1995)
12. 内海通弘, 前田三男, 地球温暖化に関する大気中微量成分計測用差分吸収ライダー, レーザー研究 第22巻 第6号, 448–459 (1994)
13. M. Uchiumi, K. Murakoshi, O. Uchino, O. C. Chee, M. Maeda, DIAL Measurement of CH₄, CO₂, CO and N₂O using a Tunable IR Source Based on the Ti:Sapphire Laser, Proceedings of the 17th Int'l Laser Radar Conference, 25C2, 31–32, (1994)
14. 内海通弘, M系列擬似ランダム変調CWレーザライダの特性解析, 有明工業高等専門学校紀要39, 平成15年1月p1111

有明高専における「ものづくり」の実践 —ソーラーボート製作—

河 村 英 司・明 石 剛 二

<平成15年9月11日受理>

Practice of the "Mono zukuri (Manufacturing)" Education in the Ariake Kosen
— Manufacture of a Solar Boat —

KAWAMURA Eiji and AKASHI Koji

The educational system of a college of technology(Kosen) started in 1962. It is important to train up students as excellent practical engineers in the Kosen.

The importance of "monozukuri" is cried for briskly these days. On the other hand, young people's tendency to have less interest in science and engineering is pointed out as a serious problem to affect the training of engineers who inherit the technology supporting the base of Japan. Under such a situation, the time to enrich "monozukuri" education has come anew.

A solar boat was manufactured this time. The purpose is to raise excellent engineers who has creativity.

1. はじめに

高等専門学校（高専）の制度は昭和37年にスタートした。高専の教育目標は「深く専門の学芸を教授し、職業に必要な能力を育成すること」である。すなわち、高専は実践的な技術者教育を目指して設置された独特的な高等教育機関であるといえる。

昨今、ものづくりの重要性が盛んに叫ばれている。しかし、一方では若者の理工系離れが年々進み、日本の基盤を支えてきた技術を継承する技術者の育成に関する問題も危惧され始めてきた。このような状況の下、ものづくりに深くかかわる実践的技術者を育成する高専においても、日々進歩を遂げている技術に対応できる人材を社会に送り込むことができるよう、社会情勢に対応した、「ものづくり」教育を改めて充実させることとなってきた。

今回のソーラーボート製作（ものづくりの実践）を通じて、学生がただ単にものを製作する技術を身につけるだけではなく、本科の実験実習では得られないその背景にある理論や環境問題等を学び考え、さらに新たな「もの」を生み出す力（創造性）を身につけたエンジニアとして育成されることを目指すのが本研究の第一の目的である。

2. ソーラーボート製作にあたって

製作にあたって、明確な目標を持たせる事にした。これにより、はっきりとした計画が立てられ、製作意欲の向上や達成感が期待できる。そこで柳川市で毎年開催されている「柳川ソーラーボート大会」に出場し、周回レースの予選クリアを目標とした。

(1) 「柳川ソーラーボート大会」の趣旨

地球にやさしい太陽エネルギーの有効利用を目指して、太陽電池で動くソーラーボートの競技会を柳川市内の川下りコースで開催し、楽しみながら環境・エネルギー問題の啓発を行い、豊かな水と太陽の恵みを再認識する。

(2) 大会内容

参加者が船に搭載する100W以下の太陽電池（ソーラーパネル）と大会実行委員会から支給する12V蓄電池4個（搭載は最大2個まで）および大会実行委員会が貸与する太陽光発電設備（周回レース・決勝進出チームのみ）を動力源として「周回レース」、「フリースタイル」、「スラローム」の3競技を行う。

周回レースでは、予選レースにおいて周回コース1周（約3.1km）のタイムを競い、決勝レースの出場権を得る（一般の部は予選の上位15艇、学生の部は上位15艇が決勝に残ることができる）。決勝では周回コ

ースを3周した完走タイムで、一般の部、学生の部それぞれ順位を決める。

(3) ソーラーボートに関する大会規定（表1）

表1 大会規定

ソーラーボート本体	
全長	4 m以内
全幅	1 m以内
全高	1 m以内

ソーラーパネル	
最大出力	100 W

バッテリー	
走行時最大	12 V × 2 24 V

3. ソーラーボート製作の全体計画

3. 1 ボート本体の基本設計

はじめにソーラーボート本体のごく単純化した設計手順をきめた。この手順は、かなりの仮定を含んだ簡単な計算を使っているが、この計算を通じて船の各要素が走りに対してどの様なウエイトを持つのか理解でき、良い船作りの近道になり、学生への知識の定着を期待することができる。

(1) 総重量

船の大きさや必要な動力を決める基本的な量で、走行時に積み込むすべての重量を加えた総重量で、現在の技術力に照らして、各項目ごとに計画値を決める。

表2 総重量 [kgf]

①船体（補助浮舟を含む）
②太陽電池および取り付けフレーム
③駆動系統（モーター、ギヤ、シャフト等）
④電装および操舵系（バッテリーを含む）
⑤乗員（一人乗りの場合）
⑥その他

	超軽量艇 [kgf]	平均的な艇 [kgf]
①	20	40
②	10	30
③	7	5
④	15	16
⑤	43	50
⑥	5	9
合計	100	160

有明高専艇計画総重量 [kgf]

①	30
②	20
③	20
④	15
⑤	50
⑥	5
合計	140

(2) 浮力および喫水線下の船体形状

船の浮力は、船体が排除した水の重量と等しくなる。従って、図面の上で喫水線を仮定して、その喫水線から下の容積を計画総重量から決定する。計画では幅40cm、長さ4mの丸型断面で船首部の良く絞れた形状を仮決定した。

船は一般に曲線で出来ているので、総の容積ほど簡単には計算出来ないが、船に波が打ち込むのを防ぎ、安定を保つために普通は喫水線から下の容積の数倍の予備浮力を喫水線の上に持たせているので浮力の計算は相当大雑把にやっても大丈夫である。しかしある程度の計算をしてみると以後の製作や安全性に影響を及ぼすため、ソーラーボート製作で使われている簡単な式を使うことにした。

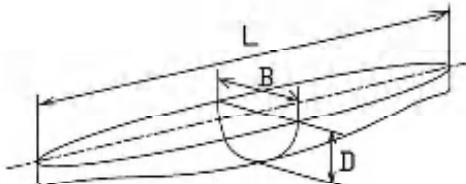


図1 船体形状

L: 船長 [m]

B: 船幅 [m]

D: 喫水線下深さ [m]

ρ : 水の密度 [kg/m^3]

c: 船体形状による定数

$$\text{浮力 } F = \rho \cdot L \cdot B \cdot D \cdot c \quad [\text{kgf}]$$

ここで

丸型断面で前後の良く絞れた船は $c = 0.5$

角型断面で前後の絞りが少ない船は $c = 0.8$

計画の丸型断面で前後の良く絞れた船で簡単に計算をしてみると。

$$1000 \times 4 \times 0.4 \times 0.25 \times 0.5 = 200 \text{ [kgf]}$$

となり、計画総重量に対して余裕を持って製作できる浮力を持つことになった。

しかしこの喫水線から上に充分にボリュームを取らないと転覆の危険性が大きくなるため、走る状況に合わせ、喫水線から上の予備浮力を浮力の2倍から6倍の間に持たせなければならない。

また船の前後が尖っているほうが波を立てず造波抵抗が少なくなり、喫水線から下の断面が半円に近いほど水との摩擦抵抗が減る傾向にある。

(3) 安定について

たての安定については、前後のバランスを極端に逸わせないかぎり余り心配はいらない。

一方、よこの安定はカタマラン（双胴）になると問題は消えてしまうが船体のボリュームを二つに分けたため水との接触面積が20~40%ほど増え、摩擦抵抗が増えることになり、造波抵抗も二倍になる。

モノハル（单胴）は1m（大会規定最大幅）ほどの幅を持たせれば充分安定するが、船の幅を減ずることで抵抗を減らそうとするので、ぎりぎりの選択を余儀なくさせられる。計画の40cm幅ぐらいになると、バランスが取り難くなり、波のあるところでは転覆するので乗る人の姿勢を低くするとともに船底にウエイトを置く等してメタセンタ（図2 GM）の高さを下げる必要がある。

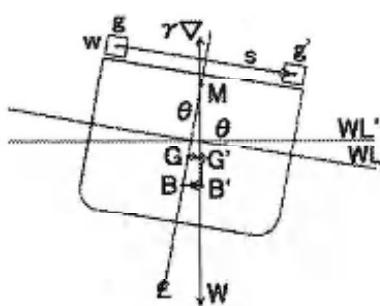


図2 メタセンタ

また補助浮舟（スponson）を付けないと大変危険である。スponsonをいかに抵抗の少ないものにするか、上げたままで走れるように出来るかが航行速度に大きく関わってくる。

(4) 船の推進を妨げる力

船が水を押分けて進むためには推進力が必要だが、これに対する抵抗として、

摩擦抵抗	R _F : frictional resistance
造波抵抗	R _w : wave making resistance,
渦抵抗	R _E : eddy resistance,
空気抵抗	R _A : air resistance

があり、これらの合計を

全抵抗 R_T : total resistance

とする。

摩擦抵抗には、水に対するものを言い、低速の船では摩擦抵抗が全抵抗の大部分を占めるが、高速船になると造波抵抗が全抵抗の6割をしめることもある。

造波抵抗は、船の速さに対して一様に増加せず、船首波と船尾波の緩衝により波状に変化する。

計画段階で、模型を使って実験を行い、いかに抵抗の少ない船首尾の形状を見つけ出すかが大事になってくる。

船の抵抗 R : [kgf] はほぼ艇速 V : [m/s] の二乗と総重量 W : [kgf] に比例する。

$$R = C \cdot W \cdot V^2 \quad [\text{kgf}] \quad \dots (1)$$

ここにCは定数で、船の幅や喫水線下の形状によって決まり、幅30cm程の高性能モノハルで0.005 幅60cm程の標準的なモノハルで0.007 計画船の幅40cmのモノハル（補助浮舟を水に浸けぬとき）では0.006程である。

上記の、ソーラーボート製作でよく使われている定数を用いた式(1)を使い、今回製作する計画総重量140kgf、目標の周回予選タイム15分（艇速3.5m/s）の船を簡単に計算すると、

$$R = 0.006 \times 140 \times 3.5^2 = 10.29 \text{ [kgf]}$$

となる。

この定数にはラグーやシャフト、シャフトブランケット、ギヤケース等の水抵抗と空気抵抗の分まで含めたものであるが、これら付加物の抵抗のいずれかが卓越すると、たちまち全抵抗が二倍ぐらいになってしまふ。

3. 2 有効馬力 (EHP) と必要馬力 (BHP)

(1) 有効馬力 (EHP)

有効馬力 (EHP) とは船を進めるのに有効に働く馬力の事で、抵抗 (R) と艇速 (V) を乗じて75で除すると求まる。

$$EHP = R \cdot V / 75 \quad [\text{Hp}] \quad \dots (2)$$

計画艇で計算すると

$$EHP = 10.29 \times 3.5 / 75 = 0.48 \text{ [Hp]}$$

1馬力は735.5ワット [W] に相当するので

$$735.5 \times 0.48 = 353.04 \text{ [W]}$$

ここで353Wのモーターを使うと目標の3.5m/sの艇速が出るというわけではなく、モーターや軸受け、ギヤ、プロペラ等のロスでエネルギーが熱となって逃げてしまうため、これらのロスや船体における付加物を含めた抵抗の増加等を考慮したワット数のモーターを据えないと設定目標の艇速が出ないことになる。

(2) 必要馬力 (BHP)

それぞれの段階において、正味推進力に寄与する部分の比率を効率と定義して必要な有効馬力を得られるだけのモーターへの入力を必要馬力 (BHP) とすると

$$\text{全効率 } \eta = M \cdot C \cdot P \quad \dots (3)$$

M : モーター効率

C : 軸受け、ギヤ等の伝達効率

P : プロペラ効率

	高性能メカ	平均的なメカ
M	0.80	0.50
C	0.95	0.80
P	0.83	0.24
全効率	0.63	0.24

$$BHP = EHP / \eta \quad \dots (4)$$

製作者の技術力に照らしてそれぞれの項目の効率を決め、全効率を求めて式 (4) に代入すると

艇速3.5m/sでは

$$\text{高性能メカの場合 } BHP = 353 / 0.63 = 560 \text{ [W]}$$

$$\text{平均的メカの場合 } BHP = 353 / 0.24 = 1470 \text{ [W]}$$

艇速5.0m/sでは

$$R = 0.006 \times 140 \times 5^2 = 21 \text{ [kgf]}$$

$$EHP = 21 \times 5.0 / 75 = 1.4 \text{ [Hp]} = 1030 \text{ [W]}$$

$$\text{高性能メカの場合 } BHP = 1030 / 0.63 = 1635 \text{ [W]}$$

$$\text{平均的メカの場合 } BHP = 1030 / 0.24 = 4292 \text{ [W]}$$

となり、メカの性能が大きく影響することが分かる。

すなわち製作する者の技術力が問われることになる。

ここで式 (5) を使い、平均的な艇の条件を与えて、計画艇のスピードを簡単に計算すると

$$V = ((75 \times BHP \times \eta) / (C \times W))^{1/3} \quad \dots (5)$$

$$\text{必要馬力 } BHP : 1470 / 735.5 = 2.0 \text{ [Hp]}$$

$$\text{全効率 } \eta : 0.24$$

$$\text{抵抗常数 } C : 0.006$$

$$\text{総重量 } W : 140 \text{ [kgf]}$$

$$V = ((75 \times 2.0 \times 0.24) / (0.006 \times 140))^{1/3} = 3.5 \text{ m/s}$$

となり計画の艇速を満足する。また条件をいろいろ変えて計算をしてみると、総重量、船型、効率のそれぞれの寄与の程度が理解できると思う。

4. 製作

4. 1 船体の製作

一般的にこのような小さな船の場合、FRP製や木製のものが多い。しかし、木製では熟練の技術によるものが多く製作日数が掛るため、また予算の都合上FRPでの製作は諦めた。また安価な発泡スチロールでの製作では継ぎ目部分の強度が問題となる、そこで今回は、4つに分断して破棄されていたシーボートを貰い受け、大会規定に合わせ改造して再利用することにした。

(1) 船首部と胴部

まず4mの長さと、接合部分の形状（滑らかな）を考えて、船首部と胴部切断部分を、慎重に切り直した。

船首部と胴部をFRPで接合し、縦方向の強度を増すためにアルミパイプを使い船底内部に補強を入れた。この補強を入れたことにより（写真1）パイロットが乗船しても縦方向の撓みが少くなり、接合部分からの亀裂や破損の不安がなくなった。



写真1 接合部と補強

(2) 船尾部

船尾部は、胴部分との間に木板で隔壁を設け、発泡スチロールを成型して接着した。(写真2)

モーター、ギヤ、ラダー等の重い物を後部に据えるため、船首部よりボリュームを持たせることにした。ここで発泡スチロールを使ったのは、十分な浮力を持っていることや、整形が容易であり実走行において波の巻き込みや前後のバランス等の不具合が生じた時、形状や大きさを変更しやすくするためでもある。

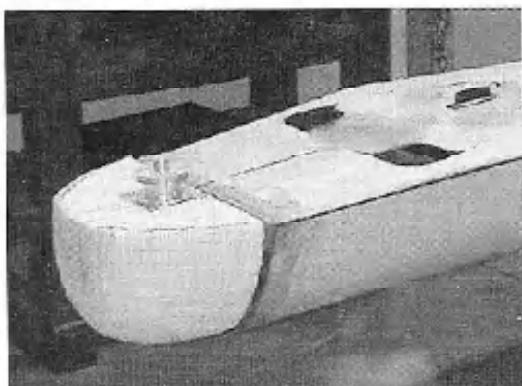


写真2 船尾部

4. 2 電装部

(1) モーターは地元企業より貰い受けた、遊星ギヤ付きの24V直流モーター（型式S12014-400L-AC5B）を使用した。

表3 モーターの仕様

電圧 (V)	電流 (A)	回転数 (rpm)
24	24	980

出力 (W)	定格時間
453	1 h

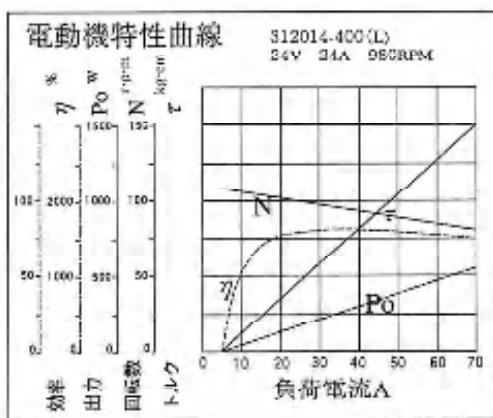


図3 電動機特性曲線

(2) 蓄電池

バッテリーは大会実行委員会から支給された12V蓄

電池 (YUASA NPH16-12T 12V16Ah/10HR) 2個をモーター形式に合わせ、直列につなぎ24Vとした。

(3) コントローラーおよび正逆スイッチ

スピードコントローラーはトランジスターPWM方式の24V仕様を使用した。

表4 コントローラーの仕様
D.C.MOTOR SPEED CONTROLLERS

制御方式	: トランジスター PWM 方式
	: 自動定電圧、電流制御
入力電圧	: DC 24±4V
出力電圧	: DC 0~22V
出力電流	: 連続定格 30A : 20分定格 40A
速度可変範囲	: 定格回転数の0~90%
保護回路	: 電流制限 (負荷電流) 65A : 電源逆接続防止

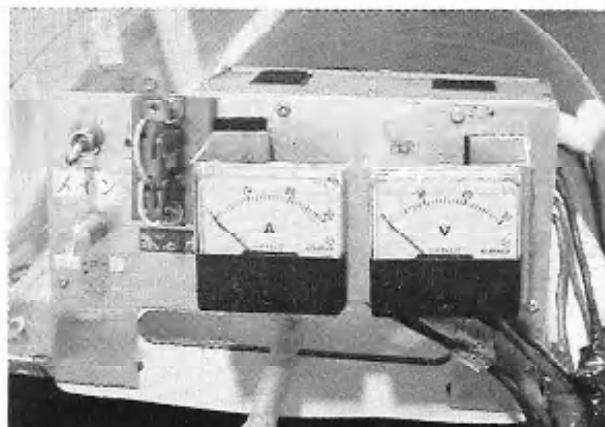


写真3 コントローラーパネル

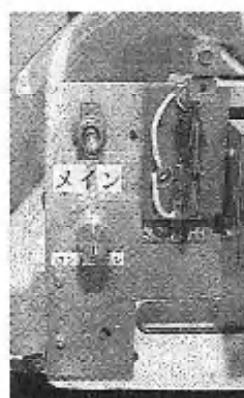


写真4 緊急キルスイッチ及び正逆スイッチ

アルミ板パネル背面にスピードコントローラーを取

り付け、パネル前面に電流計、電圧計をパイロットの目の高さに合わせて取り付けた。(写真3)
また転覆時の緊急キルスイッチ(大会規定)もメインスイッチの横に設けた。(写真4)

止逆転スイッチはピット作業時のこと考慮してパイロット背部のモーター部前に取り付けた。モーターもスチールバンドでの固定とし、取り付け、取り外しを容易に出来るようにした。(写真4)

(4) ソーラーパネル

パネルが高額のため規定枠の100Wまで用意できず、以前に購入してあった32Wのフレキシブルタイプのパネル1枚を船体前部に取り付けることにした。このタイプは多少曲がっても性能に影響しないため取り付けはマジックテープで固定する程度にした。(写真5)

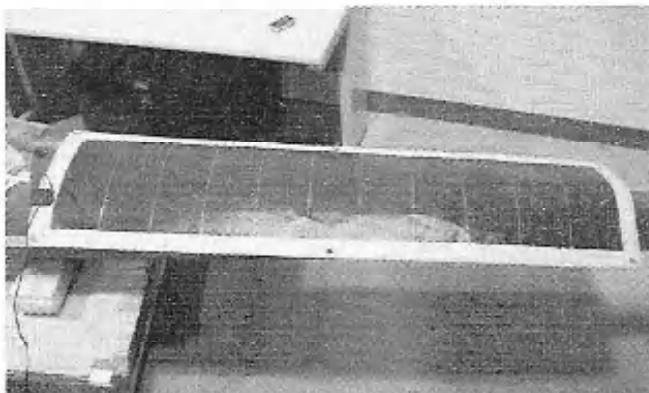


写真5 ソーラーパネル

4. 3 駆動系統(ギヤ、シャフト等)

ギヤは市販の軽量のプラスチック系のかさ歯車を使用した。穴を開けた船底にペアリングを組み込んだシャフト固定用のアルミ製治具をシリコン系の接着剤で防水し、シャフトを船体下に垂直になるよう取り付けた。(写真6)

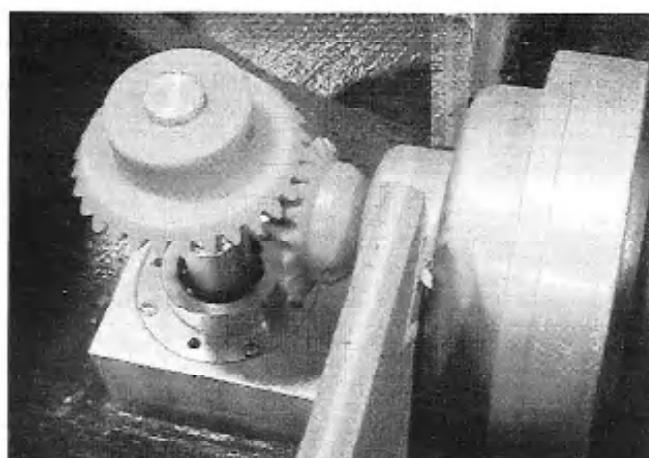


写真6 ギヤ及びシャフト取り付け部

4. 4 操舵部(ラダー)

アルミ製の旋回装置を船尾部の隔壁板に取り付け、ブーリーおよびシャフトを組み込み、アルミ板をおおまかに大きさ、形に整形してシャフト下部に取り付けラダーとした。ラダーはネジ止めとして、改良時や破損時の取替えが容易に行えるようにした。(写真7)

操縦席前方(コントロールパネル後部)に取り付けた操舵用の装置にブーリーおよび操縦棒を取り付け、パイロットの動きに邪魔にならない位置に小径のブーリーを4個取り付け、ワイヤーを介して後部の旋回装置を制御することにした。またワイヤーの張力は小型のターンバックルで調整できるようにした。



写真7 操舵部(ラダー)

4. 5 プロペラ(スクリュー)

プロペラは前述のプロペラ効率を見ても解かる通り走行性能に大きな比重を占めるものであるが、今回は実験不足のためプロペラの自作を諦め、このクラスのソーラーボートで一般的に使われている市販の2枚翼のプロペラを購入し、ピッチ角や径を改良して使用した。(写真8)



写真8 プロペラ

4.6 補助浮舟（ポンソン）

補助浮舟は喫水線より上に取り付けることは勿論であるが、コーナー走行中での船の傾きによる補助浮舟接水時の抵抗を少しでも減らすように、船の傾きから船体上部に補助浮舟の底部を合わせた位置にすることにした。前後位置はパイロット座部と同じ位置とし、長さ800mm、厚さ100mm、幅200mmの発泡スチロールを整形し(約12000cc)、アルミ角パイプで船体の両端に固定した。(写真9)

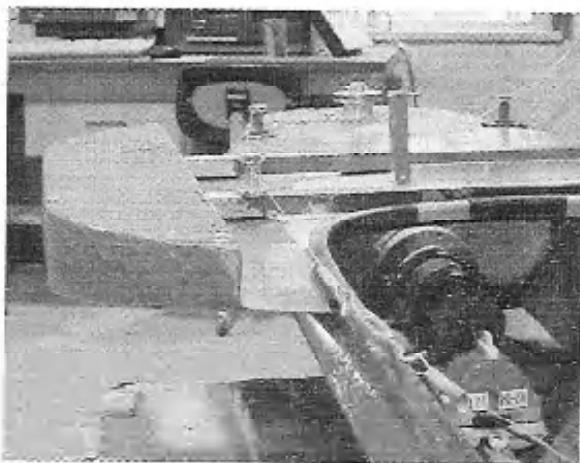


写真9 補助浮舟

5. 試験走行

5.1 漏水及びバランステスト

まず本校のプールにおいて、操縦者を乗せた状態で漏水及び縦横のバランスのテストを行った。

漏水は胴体接合部、船尾部及びシャフト貫通部が心配されたが殆ど漏れは見当たらなかった。

縦方向のバランスは全く問題がなかったが、横方向のバランスが低速走行になるほど不安定になった。操縦者の体勢をなるべく低くすると少しは改善できるが、操縦者の視認性や動きが拘束される問題(安全性)がおきたため、バランスユニットを船内底に貼り付けることにした。これで走行時のバランスは安定したが停船時のバランスがまだ改善できなかったため、補助浮舟の位置を少し下げるにし、停船時左右どちらかの補助浮舟を着水させて安定を図ることにした。

5.2 走行テスト

本走行においては、操縦者の技術が大きく影響する。そのため、安定した走行ができるまで、快晴、無風時、市内の河川において繰り返し走行テストを行った。

ある程度操縦に慣れたところで、蛇行走行での船の姿勢や挙動を観察し、ラダーの操作性や、プロペラシャフトの剛性等を調べた。50mの直線を15Aから5Aごとに35Aまで走らせ、各アンペアごとの艇速を記録した。また各アンペアにおける一定走行でのバッテリ

ー消費時間の測定も行った。(図4)

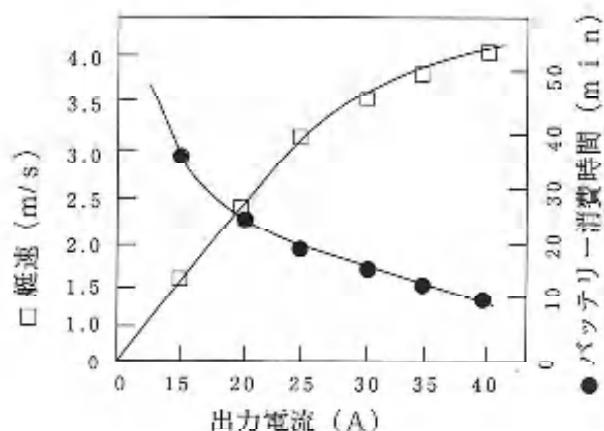


図4 バッテリー性能曲線

6. 試験走行後の問題点及び改良

6.1 ラダー及びプロペラシャフト

プロペラシャフトの剛性や回転による振動は大丈夫であった。しかし旋回時ラダーが大きすぎたため、水の抵抗によりシャフトの根元から破損した。そこでラダーの形を改良し、肉厚のパイプに変更しシャフトの剛性を上げた。(写真7)また操縦用のワイヤー経路のブリーリ溝が浅くワイヤー脱落が起こったのでブリーリ径を大きくし溝を深くした。

6.2 電装部及び駆動部

試験走行時、バッテリーを船体中央部に置いていたが、走行中前後の重心位置が悪く、前部の水切り部が浮き上がった状態になった。そこでバッテリーの位置を前方に500mm程移動した。また支給されたバッテリーの重量が一個6kgfと重く、取替え時に落とす等のトラブルが起きたため、二個と一緒にテープで固定し手提げ式とした。これでピット作業でのバッテリー交換時間が大幅に短縮された。

またモーターの振動が起きたために固定金具との間に厚手のゴムを挟み、締め付けパネルを強くした。ギヤは当初、アルミ合金で製作したものを使っていたが、ギヤ鳴りの音が大きく、プラスチック製(写真6)に変更した。

7. 大会での本走行及び結果

14年度大会での目標は予選通過であった。周回予選において、計画通り艇速を30Aに保ち15分台のタイム(一周3.2km)を目標にしていたが、コーナーでの減速などで16分30秒のタイムであったが予選は難なく通過することができ決勝に進むことができた。

決勝では他艇との接触によるプロペラ破損や、一斉スタート時の大きな横波による浸水等のアクシデントに見舞われ予定速度が出来なかつたが、完走(3週)をする事ができ学生の部49チーム中10位の成績であった。(写真10)

15年度には、専攻科も加わり本科との2艇を出場させることにした。専攻科艇は練習走行中に転覆のアクシデントがあり、電気系統(コントローラー等)が駄目になり、予選ではバッテリーからの直結配線で走行し予選通過を果たした。本科の艇は、レース途中、橋下でのロストタイム(待ち時間)が予定以上にあり、4秒差で決勝には進めなかつたが、決勝に進んだ専攻科艇に電気系統を全て移し替える作業を決勝寸前まで行い、専攻科艇を完走させることができ、50チーム中8位の成績という満足できる結果を残せた。(15年度大会では特別表彰として、努力賞を頂いた)



写真10 大会での走行

8. おわりに

今回のソーラーボート製作では、機械工学科、電気工学科、建築学科など学科、学年を超えて、学生の自主的な製作を進めた。他学科の学生と交流し、1つのものを作り上げることで、幅広い知識や技能を身につけることができた。また下級生はものづくりの楽しさなどを上級生から学びとることができた。

今後は、バランスの問題や軽量化、また実走行で問題となつた補助浮舟周りの水の跳ね上がり等々の問題点の改良を重ねていくつもりであるが、その過程「より良いソーラーボートを製作「ものづくり」する」を通して、さらに新たな知識や技能、技術を修得し、新しい「もの」を生み出す力(創造性)を身につけたエンジニアに近づいてもらいたいと思う。

○製作スタッフ(学生)

専攻科・古賀敏夫、川端晋輔、前川良平、加藤久友岡康裕
本科・江口剛、吉川耕平、水町亮介、相浦一博、古賀丈士、中島優作、岩崎真人、佐藤剛、横山真平、石井和喜、猿渡隼人、高田康平

謝辞

最後に製作に対してのご助言、ご指導いただきました機械、電気工学科の先生方、ならびに教育研究技術支援センターの上原技術長はじめ機械班スタッフの皆様に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 「演習水力学」 国清行夫、木本知男、長尾健 共著
- 2) 「機械工学科における「もの作り」教育の充実を図るための改修(ハード)とカリキュラム(ソフト)」 松川・明石・河村 他
日本設計工学会九州支部第30回研究発表講演会講演論文集、p 5-p 8、2002
- 3) 「やさしいソーラーボートの作り方」 脇坂氏、柳川ソーラーボート大会実行委員会主催、事前講習資料

硬質被膜処理を施した温・熱間鍛造工具の塑性変形抵抗に及ぼす熱負荷の影響

南 明宏・友岡 康祐*・田島 也孝**

<平成15年10月6日受理>

Effect of the Thermal Loads including Frictional Heat on the Resistance of Plastic Deformation of Warm and Hot Forging Tools with Hard Coating Films

MINAMI Akihiro, TOMOOKA Yasuhiro and TASHIMA Naritaka

The effect of thermal loads including frictional heat due to sliding velocity and the friction shear factor on the deformation resistance of forging tools with a hard coating film was investigated using the finite element method. Temperature distribution in the tool was calculated by thermal analyses, taking into consideration frictional heat generated by frictional sliding. Plastic deformation of the tool was evaluated according to the distribution of flow stresses obtained from the temperature distribution. This evaluation was carried out with the friction shear factor, m , varied from 0 to 0.9 and the tool velocity, V_t , from 500mm/s to 1000 mm/s. In the case of $m=0.20$, the maximum temperature with $V_t = 1000\text{mm/s}$ was 32°C higher than that with $V_t = 500\text{mm/s}$ at the contact time of 0.08s. The maximum equivalent strain with $V_t = 1000\text{mm/s}$ was approximately 18% higher than that with $V_t = 500\text{mm/s}$. In the case of $V_t = 1000\text{mm/s}$, the maximum equivalent strain with $m=0$ was approximately 29% higher than that with $m=0.40$ ($m_h = m/4 = 0.10$) at the contact time of 0.08s. The increase of the friction shear factor and the sliding velocity caused the plastic deformation of the forging tool.

1. 緒 言

温・熱間型鍛造において、熱負荷が大きく、被加工材料が回流するポンチ角部などでは型の摩耗と塑性変形が進行する。これらが型寿命を支配する主な因子となる。型の摩耗と塑性変形は、鍛造荷重、ポンチと被加工材料間の摩擦すべり、および熱負荷が繰り返し金型に作用して発生する。これらの影響を軽減し、型寿命を延ばす手段の一つとして金型表面に硬質被膜処理を施すことがある。金型の表面に硬質被膜を形成することによって、塑性変形抵抗、摩耗抵抗および熱抵抗を向上させることができる。型寿命を考える際に、型

への熱負荷を正しく評価し工具とその表面改質条件を最適に選択することが重要になる。本報では、有限要素法を用いて前報^{1)~10)}で取上げた後方押出しモデルに摩擦すべりを考慮した温度場を求め、これを用いて型の塑性変形抵抗や塑性変形が摩擦すべりでどの程度影響されるかを検討した。これらの数値解析結果について報告する。

2. 押出し型の準定常温度解析モデル

図1に、後方押出しにおけるポンチ面上の相対すべり速度を、剛塑性有限要素法を用いて摩擦せん断係数ごとに求めた結果を示す。ポンチ半径は9mmで、ポンチ角部には2mmの面取りを施してある。横軸はポンチ中心軸を基準とした半径方向の位置を表している。ポンチと被加工材料との相対すべり速度は、ポン

*有明工業高等専門学校専攻科学生

**日本空港動力（A.G.P）

チ底面中心から半径方向に向かって緩やかに増加し、面取り部直前で急激に増加している。ポンチ面取り斜面上の左下角部(半径位置7mm)から斜面に沿ってさらに相対すべり速度は増大し、ポンチの側壁部手前で再び急増する。すべりが全くない $m=0$ の場合では相対すべり速度は2程度まで増加している。一方、 m が

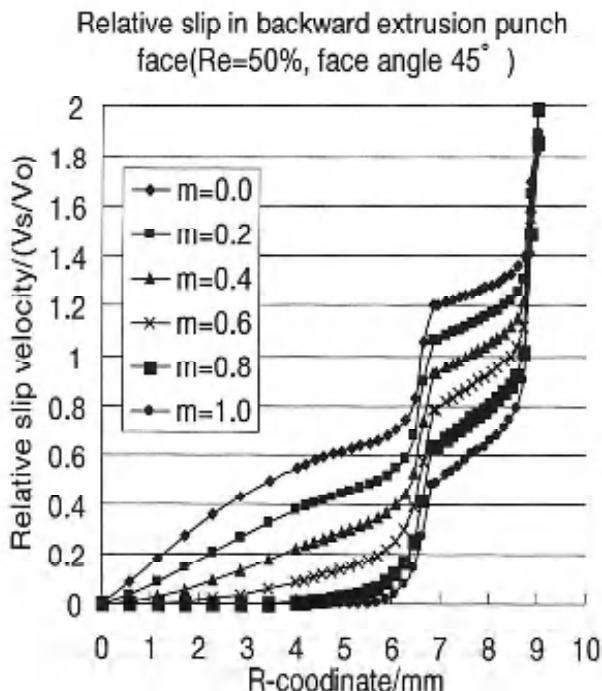


図1. ポンチ半径方向と相対すべり速度との関係

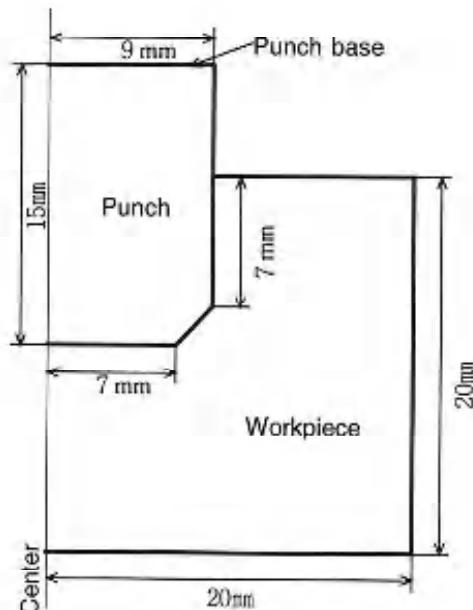


図2. FE解析用温度モデル

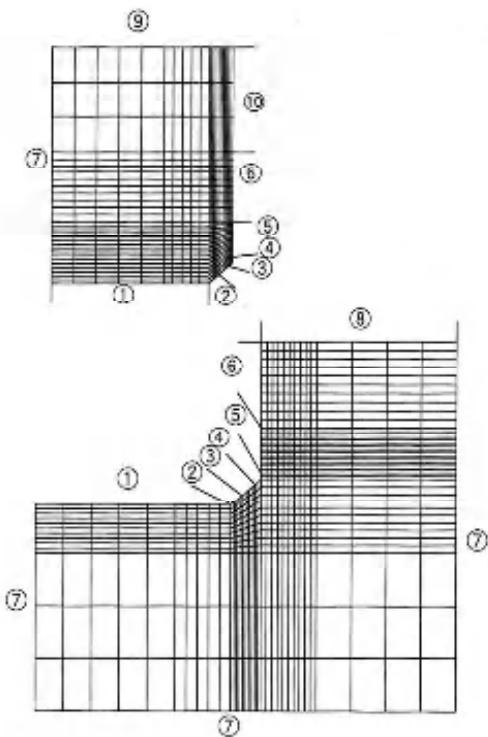


図3. ポンチおよび被加工材料メッシュモデル

増加すると相対すべり速度は全ての半径位置で低下している。工具への熱負荷の影響を解析するためには、このような摩擦すべりの影響を十分に考慮する必要がある。ポンチの温度解析に用いたモデル形状を図2に示す。また、ポンチと被加工材料のメッシュモデルを図3に示す。メッシュは4角形要素を用い、ポンチおよび被加工材料の要素数と節点数はそれぞれ690, 1403, 744, 1493とした。

ポンチ材質をSKD61、被加工材の材質をS45Cとし、初期解析条件として材料初期温度1150°C、ポンチベース温度100°C、鍛造サイクルタイム3.5秒(セッティング0.5秒、加工時間0.08秒、イジェクト:取り出し0.06秒、自然冷却0.56秒、強制冷却1.8秒、次の被加工材料装填0.5秒)、接触熱コンダクタンス $K_c=27.6\text{ kW/m}^2\text{K}$ および $36.08\text{ kW/m}^2\text{K}$ 、接触時間 $t_c=0.08\text{ sec}$ 、摩擦せん断係数 $m=0, 0.9$ まで0.1刻み、加工速度は500mm/s, 1000mm/sと変化させた。このとき、加工速度は500mm/sは $F_{s1}=20\text{ mm}$ 、1000mm/sは $F_{s2}=40\text{ mm}$ にそれぞれ対応する。ここで、ストローク比 R_s を $R_s=F_{s1}/F_{s2}$ (ここで、 F_{si} :ポンチストローク、 $i=1, 2$)と定義する。硬質被膜例として、本解析ではイオン窒化膜を想定しており、この被膜の熱伝導率、比熱や密度等の物理的特性は実験によって求めた値を適用した。

図4、図5および図6に、接触終了時におけるポンチ温度分布の解析結果を示す。最高温度 T_{max} は

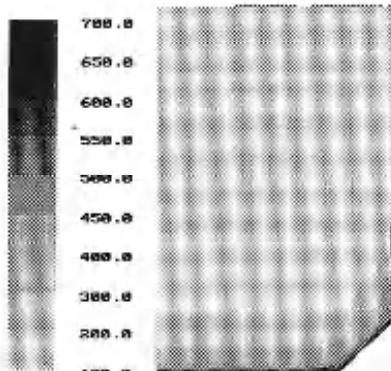
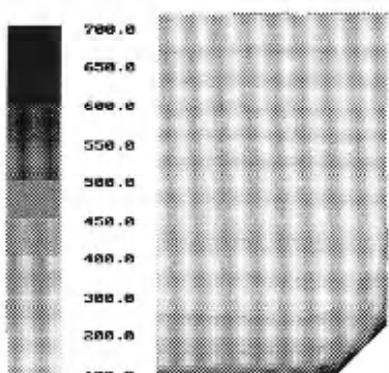
(a) $K_c = 36.08 \text{ kW/m}^2\text{K}$, $m = 0.0$, $R_s = 1 - 2$, $t_c = 0.08\text{s}$.(b) $K_c = 36.08 \text{ kW/m}^2\text{K}$, $m = 0.2$, $R_s = 1$, $t_c = 0.08\text{s}$.

図4. ポンチ内の温度分布1

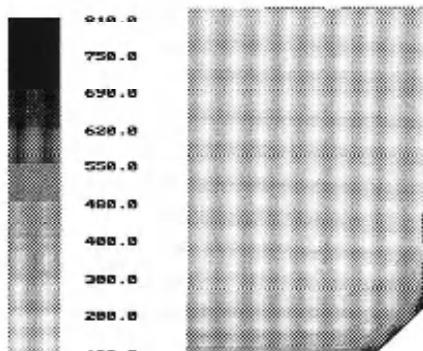
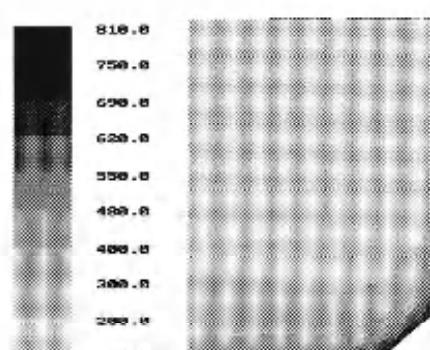
(a) $K_c = 36.08 \text{ kW/m}^2\text{K}$, $m = 0.2$, $R_s = 2$, $t_c = 0.08\text{s}$.(b) $K_c = 36.08 \text{ kW/m}^2\text{K}$, $m = 0.9$, $R_s = 2$, $t_c = 0.08\text{s}$.

図5. ポンチ内の温度分布2

ポンチ面取部左下角部に現れている。 $R_s = 1$ の場合には $m = 0.0$, 0.2 そして 0.9 のときの最高温度はそれぞれ 654°C , 690°C , 743°C となった。 $m = 0.20$, $R_s = 2$ のときは T_{max} は 722°C となり、 $R_s = 1$ の場合に比べて 32°C 高くなかった。すべり速度が増加するにつれてポンチ角部の温度も上昇しているのが分かる。また、硬質被膜の有無、被膜厚さがポンチ温度に与える影響をまとめたのが図6である。表面温度は被膜が無いより是有る場合の方がより温度が上昇しており、さらに被膜が厚い程高くなっている。これはポンチ表面に硬質被膜を施す(ただし、被膜材質や厚さを適切にコントロールする必要有り)ことによって酸化被膜抵抗の役割により接触熱コンダクタンスが軽減され、ポンチ内部への熱流入が減少するためである。図7の硬さ分布は温度分布より求めたピッカース硬さであり、この硬さ分布は次の変形解析で使用する。

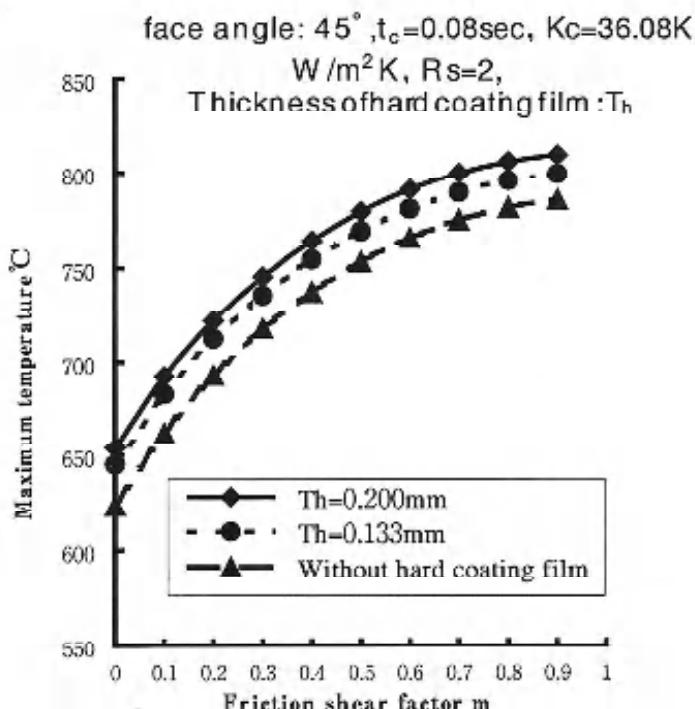
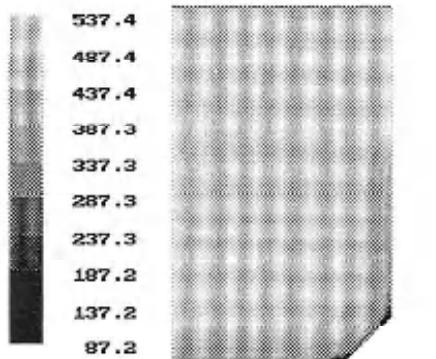


図6. 摩擦せん断係数とポンチ最高温度との関係

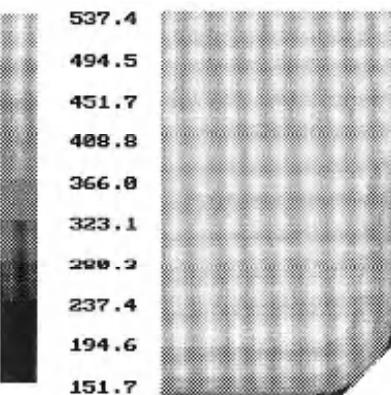
3. ポンチ角部の塑性変形

図8に工具の剛塑性有限要素解析に使用した境界速度条件とメッシュ形状を示す。要素数および節点数はそれぞれ1420個と1478個である。ポンチの変形抵抗は前節で計算した硬度分布から求めた。すなわち、変形抵抗をY、ピッカース硬度をHVとするとき、 $Y = 9.81 \times HV / 3$ (MPa) で求めた。ポンチ母材の常温での変形抵抗は $Y_B = 1759.3$ MPa ($HV = 538$ HV) とし、

ポンチ内の任意温度 $T^{\circ}\text{C}$ での変形抵抗を Y_P とした。ただし、硬質被膜部(厚さ0.2 mm)の変形抵抗 Y_{HP} は $2 Y_B (=3518.5 \text{ MPa})$ とした(図9参照)。すべり速度条件は、面取り部斜面垂直方向の速度と、斜面に沿う方向の速度の比が1:3となるようにした。ポンチ(工具)の被加工材料に対する摩擦せん断係数は $m_h = m/4 = 0.0 \sim 0.225$ とした。また、ポンチの押し込みストロークは0.5mmとした。



(a) $K_c=36.08 \text{ kW/m}^2\text{K}$, $m=0.15$, $Rs=2$, $t_c=0.08\text{s}$.



(b) $K_c=36.08 \text{ kW/m}^2\text{K}$, $m=0.0$, $Rs=1$, $t_c=0.08\text{s}$.

図7. ポンチ内の硬度分布

図10は接触時間と最大相当ひずみとの関係を表している。 $m=0.40$, $Rs=2$ の場合には接触時間の増加とともに約44%程度の増加が見られた。 $m=0.80$, $Rs=2$ の場合には接触時間の増加とともに約56%程度の増加が見られる。しかしながら、摩擦がない場合にはいずれの接触時間に対してもほぼ一定のひずみとなっている。 $Rs=1.2$ で接触時間が0.08秒の場合、 $m=0.4$ における最大相当ひずみの値は $m=0.0$ のときのそれよりも約85%高い。摩擦せん断係数とすべり速度の増加は鍛造工具の塑性変形に影響を及ぼす。

図11は相当ひずみ分布を示している。摩擦がない場合にはポンチ面取り斜面上右上角部および左下角部に同じ値の圧力が掛かっているが、面取り斜面上左下角部の温度が最も高いので、この角部の硬質被膜層にひずみ集中が見られる。摩擦せん断係数が0.3,

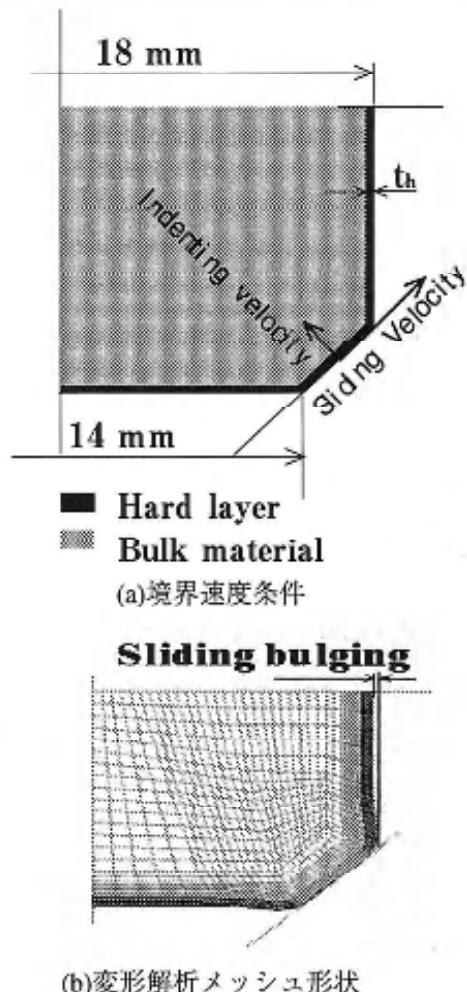


図8. 変形解析境界速度条件とメッシュ形状

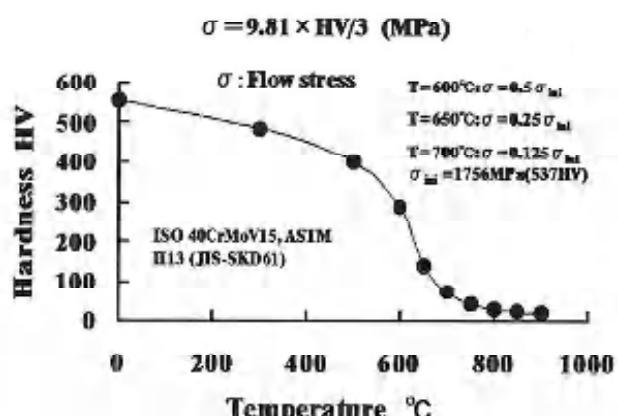


図9. ポンチ温度と硬さとの関係

0.6そして0.9と増加するにつれてポンチ面取り斜面上に材料すべりが生じ、ひずみの集中も左下角部の硬質被膜近傍から斜面上の軟化層部へと移行し始めているのが分かる。接触時間が0.12秒や0.15秒とより長くなると、 m が小さい値からこの傾向が生じる。

なお温度解析時に用いた摩擦せん断係数： m (ポンチと被加工材料との接触界面に作用する摩擦に基づく単位面積当たりのせん断力、すなわち摩擦せん断応力を被加工材料のせん断降伏応力で割った0～1まで

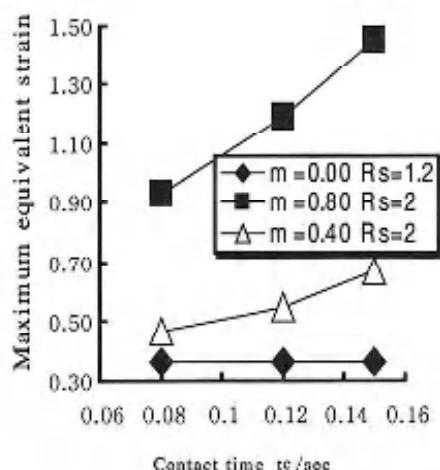


図10. 接触時間と最大相当ひずみの関係

の無次元数)に対して、変形解析では摩擦せん断係数： m_h を使用した。 m_h の値は m の1/4を用いる。その理由として、本変形解析ではポンチの塑性変形を見るために被加工材料からポンチへ力が掛かるようにしているので、 m_h がポンチ表面の硬質被膜層のせん断降伏応力： k_h に対して示されている。しかしながら、実際の摩擦せん断応力： τ_f は被加工材料のせん断降伏応力： k_f に対して考えるべきなので、約1/4の値を使用した。

摩擦せん断係数と最大相当ひずみの関係を示したのが図12である。面取り角度45°に関しては係数が大きくなる程ひずみも増加している。比較のために面取り角度30°の場合も示しているが、この角度では摩擦せん断係数の変化に対してひずみの増加はほぼ一定である。また、硬質被膜部の硬度も温度変化に従って変化する。すなわち傾斜被膜構造の結果も図中に合わせて示しているが、この構造については現在も解析を進めしており、詳細は次回に報告する予定である。

4. 結言

後方押し出しポンチを解析モデルとして選び、ポンチ面上の相対滑り速度、摩擦せん断係数等を変化させた

時のポンチ温度およびポンチの変形抵抗解析を行った。温度解析時のポンチと被加工材料との摩擦せん断係数： m_m は0～0.9まで0.1刻みで、変形解析時の摩擦

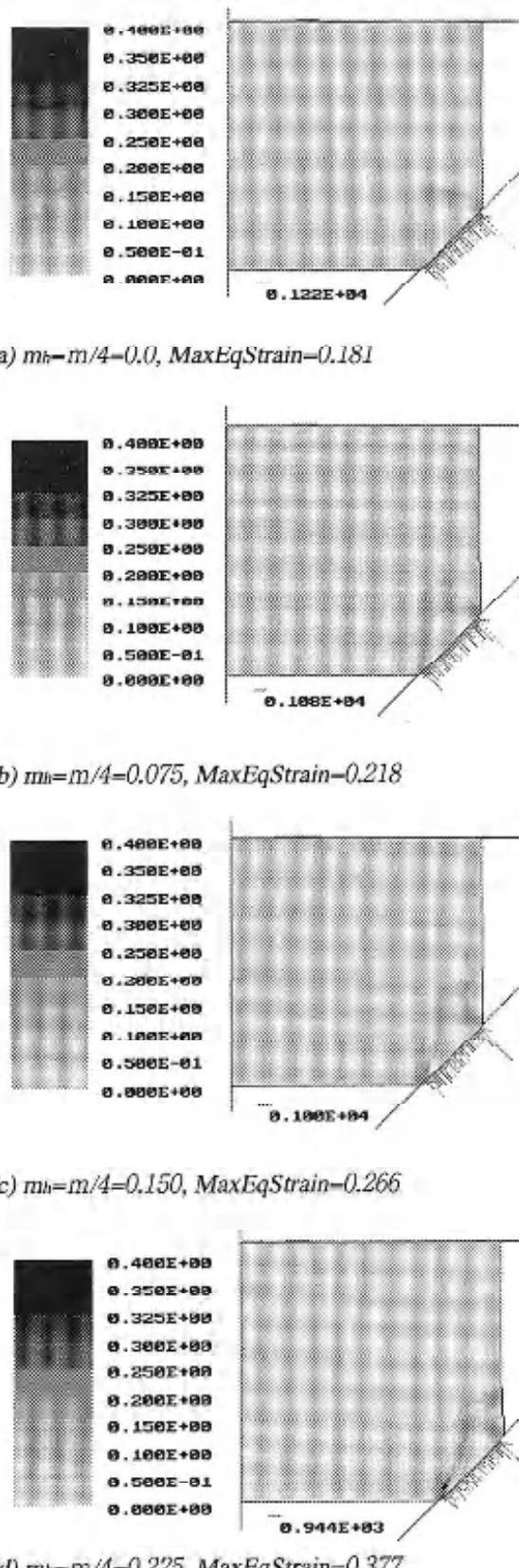
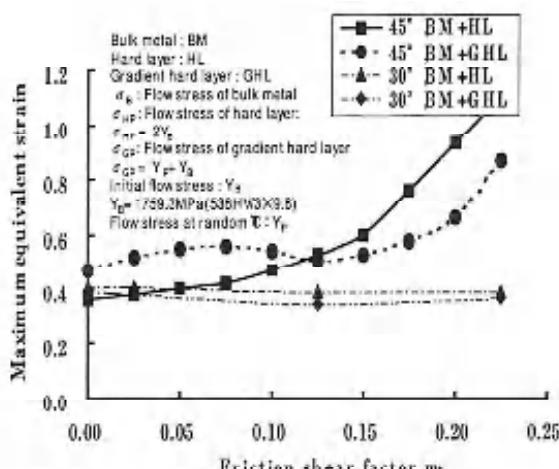


図11. 相当ひずみ分布($R_s = 2$, $t_c = 0.08s$)

図12 相当ひずみ分布($R_s=2, t_c=0.08s$)

せん断係数： m_h は0~0.225までを0.025刻みでそれぞれ設定した。加工サイクルタイムは3.5秒と一定とし、実加工時間（接触時間）を0.08秒、0.12秒および0.15秒と変化させた。

その結果、以下のような結論が得られた。すなわち、(1)摩擦せん断係数： m の増加に伴い、ポンチ表面の最高温度は上昇し、その最高温度が現れる部位は、斜面左下角部であった。

(2)ポンチと被加工材料との接触時間が長くなると、接触終了時のポンチ角部の最高温度値はあまり変わらないが、加工素材からのポンチへの熱流入が増加するので、ポンチ型内部に高温領域層がより広範囲に広がる。そのため、熱負荷を軽減するためには可能な限り接触時間を短くする工夫が必要である。

(3)接触時間が長くなる程摩擦せん断係数 $m=0.0$ と $m=0.9$ におけるそれぞれの最高温度との差、すなわち、温度振幅が小さくなる傾向にある。

(4)ポンチ表面に硬質被膜を施す（被膜材質や厚さを適切にコントロールする必要有り）ことによって酸化被膜抵抗の役割により接触熱コンダクタンスを軽減する効果がある。

(5)硬質被膜が存在すると、ポンチ表面温度は被膜無しに比べてより高くなるが、被膜が熱抵抗膜の働きをするのでポンチ内部への熱流入を小さくすることができ、塑性変形量を軽減できる。

(6)硬質被膜層は摩耗抵抗を低下するだけでなく摩擦せん断係数を小さくして塑性変形抵抗を高める役目も果たす。

(7)傾斜被膜構造にすると摩擦せん断係数が大きい状態での加工において塑性変形抵抗を高めることができる。

などが明らかとなった。

従って、型変形を抑えるためには被膜構造や熱負荷サイクルを最適に設計する事が必要である。

参考文献

- 南：温・热間鍛造用金型の热軟化に関する研究，有明工業高等専門学校紀要第31号（1995年），107~111。
- Saiki, H., Marumo, Y., Sakata, Y., Nakamizo, S. and Matsuda, E.: An Effective Method Evaluating Thermal Contact Conductance between Die and Material in Closed Die Forging, Proc. Advanced Technology and Machinery in Metal Forming, (1992), 361~368.
- Minami, A. and Saiki, H.: Effect of Surface Hardening by Nitriding on Thermal Softening and Deterioration of Dies in Warm and Hot Forging, Proc. 5th International Conference on Technology of Plasticity, vol.1, (1996), 389~394.
- 南：表面窒化処理を施した熱間鍛造型の熱軟化に関する研究，有明工業高等専門学校紀要第35号（1999年），59~65。
- 南・済木・丸茂：熱間鍛造型の塑性変形抵抗に及ぼす型の表面被膜構造の影響，塑性加工春季講演会論文集，第31号（2000年），379~380。
- 南・丸茂・済木：表面空化処理を施した鍛造用マトリックス高速度工具鋼の熱軟化予測，塑性加工連合講演会論文集，第50号（1999年），111~112。
- 南・済木・丸茂：鍛造型表面微細溝への材料充満態様に及ぼす摩擦すべり率の効果，塑性加工春季講演会論文集，第31号（2000年），377~378。
- 南：熱間鍛造型の熱軟化及び塑性変形抵抗に及ぼす表面被膜構造の影響，有明工業高等専門学校紀要第37号（2001年），125~134。
- Minami, A., Saiki, H., Marumo, Y. and Sonoi, Effect of the Surface Structure on the Resistance to Plastic Deformation of a Hot Forging Tool, Journal of Materials Processing Technology., Vol.113, (2001), 22~27.
- Minami, A., Saiki, H., Marumo, Y., Nakamizo, S. and Matsuda, E.: Evaluation of Thermal Contact Conductance between Die and Workpiece in Closed Die Forging and Forward Extrusion. Memoirs of the Faculty of Engineering Kumamoto University, Vol. 47, No.1 (2002), 45~57.
- Saiki, H.: Prediction of Die Temperature in Hot Forging, Proc. 7th Asia Symposium on Precision Forging, Guilin, China, (2000), 7~10.

二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサの性質

阪井 努*・永田 良一

<平成15年10月6日受理>

Characteristics of Hydrogen Peroxide Sensor Using Immobilized Manganese Dioxide Membrane

SAKAI Tsutomu and NAGATA Ryoichi

Particles of MnO₂ were immobilized in polyvinyl chloride membrane. A hydrogen peroxide sensor (H₂O₂ sensor) was set up by attaching the MnO₂-immobilized membrane to the top of a dissolved oxygen sensor. For comparison, H₂O₂ sensors using catalase were also set up, using catalase-immobilized membrane and particles respectively. First, the selectivity was examined of the H₂O₂ sensor using MnO₂-immobilized membrane. Next, the concentration response characteristics of three kinds of H₂O₂ sensors was examined. The obtained results are summarized as follows. Steady response values of the H₂O₂ sensor using MnO₂-immobilized membrane for each oxygen compound solution were remarkably smaller than steady response values for H₂O₂ solution of the concentration of about 1/100, and they could be approximately negligible. All the three kinds of response speed of H₂O₂ sensors for H₂O₂ solution were approximately equal. The three kinds of H₂O₂ sensors were able to measure H₂O₂ in different solutions. The H₂O₂ sensor using MnO₂-immobilized membrane was stable in the widest range for pH and temperature of the three kinds of H₂O₂ sensors. The sensor using MnO₂-immobilized membrane and catalase-immobilized particles showed a long-term stability.

1. 緒言

過酸化水素は動物性材料や食品などの漂白剤あるいは半導体のエッティング剤として使用されている。食品については1969年に使用基準が設けられ、過酸化水素の残存量は30~100ppm以下とされていた。体内に侵入した過酸化水素はカタラーゼの作用で酸素と水に分解され急性毒性は低いとみられるが、1980年、マウスに対して弱い発ガン性が示されたため使用基準が改正され、現在では最終食品の完成前に分解または除去されることになっている。また、ACGIH(米国産業衛生専門家会議)による環境中の許容濃度は1 ppmとされている¹⁻³⁾。

そのため、過酸化水素を使用する食品や排水中の過酸化水素濃度の測定が必要である。過酸化水素の測定には過マンガン酸カリウムの滴定による分析法などで定量できるが、測定法が容易なセンサを用いた方法もある。過酸化水素センサとしては既にカタラーゼ固定化膜と溶存酸素センサから構成されたバイオセンサ⁴⁾および、同じくカタラーゼを固定化したオキシランアクリル粒子を充填したカラムによる過酸化水素の分析

が報告されている。また、二酸化マンガン固定化膜と溶存酸素センサから構成された過酸化水素センサについても一部が報告されている⁵⁾。

過酸化水素センサとして、カタラーゼまたは二酸化マンガンを利用する場合、カタラーゼは過酸化水素に対する基質特異性をもち、常温、常圧のような条件下では分解反応を容易に促進させる反面、酸やアルカリまたは熱に対して不安定であると考えられる。それに対して二酸化マンガンは無機触媒であるため、酸やアルカリまたは熱に対して比較的安定した性質を示すというメリットが考えられる。ただし、二酸化マンガンを触媒として酸素を発生する物質としては過酸化水素以外に塩素酸カリウム等が知られている⁶⁾。

本研究では、温度、pHの広い範囲で、また長期間安定な過酸化水素センサの開発を目的とした。そのセンサとして、センサに要求される重要な項目の一つである被測定物質に対する選択性に不安があるものの、二酸化マンガン固定化膜と溶存酸素センサから文献⁵⁾と同様の方法で過酸化水素センサを構成した。さらに、比較のために文献⁵⁾と同様に、カタラーゼを用いた過酸化水素センサを構成した。これらのセンサを用いた文献⁵⁾の追認実験および、新たに選択性、pHまたは水質、温度による影響についての検討を試みた。

*九州工業大学大学院

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験に使用した試薬および装置

実験に用いた主な試薬は、二酸化マンガン(和光純薬工業(株)製), ポリ塩化ビニル(和光純薬工業(株)製), カタラーゼ(和光純薬工業(株)製, 比活性5000~9000 units/mg), オキシランアクリル粒子(Rhöhm Pharma社製, C250L), コラーゲン(ニッピ(株)製), 過酸化水素(和光純薬工業(株)製)である。この市販の過酸化水素試薬の濃度を過マンガン酸カリウム滴定法によって測定したところ, 33wt%であった。本研究には、この過酸化水素を蒸留水で2500倍に希釈した3.88mMの過酸化水素水溶液を用いた。この水溶液を以後、過酸化水素供試液と呼ぶことにする。また、後述の3.2.3 水質による影響で使用する塩素水および次亜塩素酸ナトリウム水溶液は以下のようにして調製した。すなわち、大牟田市宮原浄水場で調製して頂いた700ppmの塩素水の所定量を所定量の蒸留水に添加して、0.2~1.0ppmの塩素水を調製した。一方、0.7ppm次亜塩素酸ナトリウム水溶液は次亜塩素酸ナトリウム(和光純薬工業(株)製)の所定量を所定量の蒸留水に添加、希釈して調製した。これらの溶液中の塩素濃度を水質試験器((株)東洋製作所製)により確認した。

装置には、恒温槽、超精密型DOメーターおよび付属のDOセンサ(セントラル科学(株)製), 記録計(CHINO-EP100), マグネットックスター(井内盛堂(株)製)を使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 過酸化水素分解膜および粒子の調製

(1) 二酸化マンガン固定化膜の調製

二酸化マンガンの粉末を乳鉢で粉碎し、この粉末の400meshふるい下粒子を用意した。つぎに500mgの二トロフェニルオクチルエーテルを加えた10mlのテトラヒドロフランに、200mgのポリ塩化ビニルを溶かした。この溶液に用意した二酸化マンガン粒子の所定量を添加し、両者を十分に混合した後、面積59cm²のガラス製乾燥皿に展開して膜を調製した。膜厚は約100~14μmであった。

(2) カタラーゼ固定化膜の調製

酢酸を数滴加えてpH 2~3にした蒸留水20mlにコラーゲン100mgを混合し、スターで緩やかに攪拌した。コラーゲンが溶けたところで、25%アンモニア水溶液を数滴加えて約pH5.6に調製した。そこにカタラーゼ15mgを添加し十分に攪拌した後、アクリル皿(32cm²)に展開し乾燥させた。つぎにグルタルアルデヒド処理を行った。まず乾燥した膜をアクリル皿から

剥ぎ取り、5%グルタルアルデヒド溶液に15分浸漬させて緩やかに攪拌した。その後、蒸留水で数回洗浄し、蒸留水に浸して冷蔵庫で保存した。膜厚は約70μmであった。

(3) カタラーゼ固定化粒子の調製

オキシランアクリル粒子600mgを278Kの蒸留水100mlに懸濁し、攪拌羽根を用いて緩やかに6時間攪拌した。この粒子を200meshでふるい、ふるい上粒子を湿润状態で約3.0g得た。ここで約278Kの100ml蒸留水にカタラーゼ200mgを溶かした溶液中へこの得られた粒子の全量を投入し、攪拌羽根を用いて200rpmで6時間攪拌混合した。これを200meshでふるい、ふるい上の粒子を以下いずれも約278Kの、蒸留水、1Mの塩化ナトリウム水溶液、蒸留水の順で洗浄してカタラーゼ固定化粒子を得た。この得られた粒子を蒸留水中に浸し、冷蔵庫で保存した。

2.2.2 過酸化水素センサの構成

二酸化マンガン固定化膜またはカタラーゼ固定化膜を用いる過酸化水素センサの場合は、溶存酸素センサのテフロン膜表面に調製した固定化膜を密着させ、布(東レ(株)製、#8600シルソフィ)で固定して過酸化水素センサを構成した。

一方、カタラーゼ固定化粒子を用いる場合は、外径17mm、厚み3mmのゴム板の中央部に直径5.5mmの孔を開け、片面に400meshの金網を接着した。この孔部にカタラーゼ固定化粒子55mgを充填し、金網と反対面に布片を接着してマイクロベッドを構成した。このマイクロベッドの布面を溶存酸素センサのテフロン膜表面に密着させ、布で固定して過酸化水素センサを構成した。

溶存酸素センサは酸素ガス透過性を持つテフロン膜、電解液に塩化カリウム水溶液、作用極として作動するカソードに白金、対極となるアノードに銀を用いたポーラログラフ型酸素センサであり、原理はつぎのようになっている。

過酸化水素の分解過程によって発生した酸素ガスがテフロン膜を透過して電解液中に溶け込み、以下のようない電極反応が起こる。

カソード:



アノード:



この反応は酸素量に比例するため、二つの電極間に流れる電流の大きさから酸素濃度の検出を行うことができる。実装置ではセンサの出力はDOメーターによりmVで読み取られるようになっている。ここで構成

した過酸化水素センサの略図を図1および図2に示す。

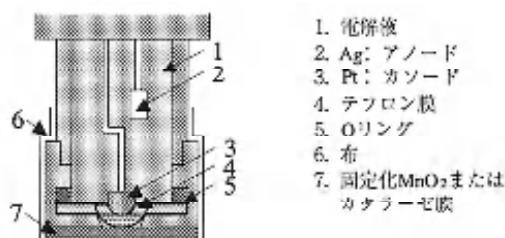


図1 MnO₂またはカタラーゼ固定化膜を用いたH₂O₂センサの構造

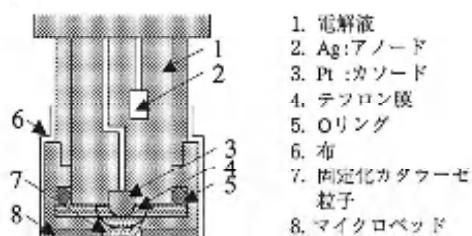


図2 カタラーゼ固定化粒子を用いたH₂O₂センサの構造

2. 2. 3 過酸化水素センサの濃度応答特性

図3に示す実験装置で測定を行った。所定の邪魔板付き測定容器の所定位置にセンサをセットし、100mLの蒸留水を入れ容器底部に入れた回転子を800rpmで攪拌した。蒸留水の温度を所定温度に設定した。

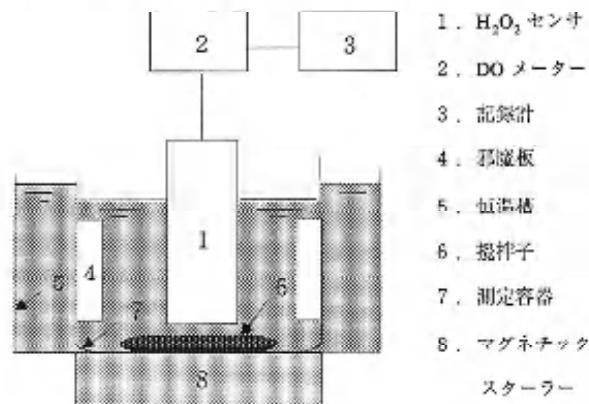


図3 実験装置略図

これに過酸化水素供試液を所定量添加してセンサの応答の推移をDOメーターで記録した。

ここで、過酸化水素添加前のDOメーターの初期指示値を Q_0 とした。そして過酸化水素供試液を所定量ずつ添加すると指示値が上昇し(過渡値 Q とする)、定常値 Q_∞ に達する。

この時の過酸化水素センサの応答曲線の概略を図4に示す。図4で $Q_{\infty 1}$, $Q_{\infty 2}$, $Q_{\infty 3}$ はそれぞれの過酸化水

素供試液添加の合計量に対応する Q の定常値である。 Q_0 , Q , Q_∞ を用いて応答値 R および定常応答値 R_s を次の式で定義した。

$$R = (Q - Q_0) / Q_0 \quad (3)$$

$$R_s = (Q_\infty - Q_0) / Q_0 \quad (4)$$

本研究では Q_0 , Q , Q_∞ の測定結果から R または R_s を求め、以下の結果を考察した。

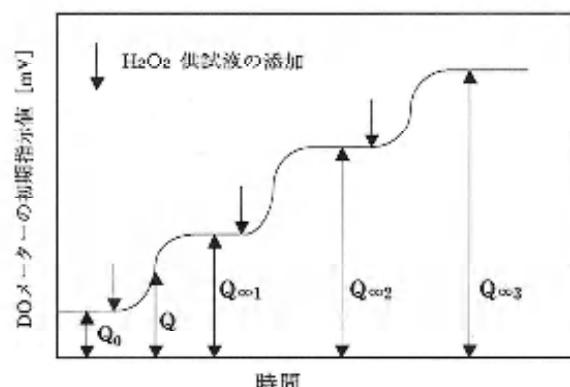


図4 実験進行にともなうH₂O₂センサの応答値の時間変化の略図

3. 結果および考察

3. 1 二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサ

3. 1. 1 膜中の二酸化マンガン量による定常応答値への影響

文献⁶⁾と同様にして、二酸化マンガン含有量の異なる数種の固定化膜が定常応答値に与える影響について検討した。水温298Kの蒸留水中の過酸化水素濃度0.592mMに対するこれらのセンサの定常応答値を測定した。その結果を図5に示す。

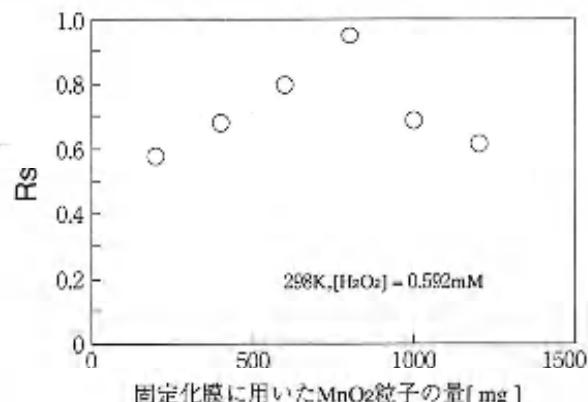


図5 H₂O₂センサの固定化膜に用いたMnO₂の粒子量と蒸留水中のH₂O₂に対するセンサの定常応答値の関係

二酸化マンガン800mgを含む固定化膜を用いた測定値が最も高い定常応答値を示した。文献¹⁾と同様の結果であることを確認できた。

以上の事から以後の測定では二酸化マンガン800mgの固定化膜を用いることとした。

3. 1. 2 選択性

被測定物質に対する選択性はセンサに要求される重要な項目の一つである。緒言で述べたように、二酸化マンガンは過酸化水素以外にも触媒作用を示す場合があると考えられるため²⁾、分解後に酸素ガスを発生すると考えられる物質に対する二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサの選択性を調べた。その物質としては、消防法で第1類酸化性固体、第6類強化性液体に分類されている酸素化合物の中から過酸化水素以外の酸化性物質として10種類を選択して用いた。

測定は298Kの100mL蒸留水中に過酸化水素供試液または、所定濃度の酸素化合物水溶液を添加し、二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサの定常応答値を調べた。その結果を図6に示した。各酸素化合物を含む水溶液に対するセンサの定常応答値は、約1/100の濃度の過酸化水素水溶液に対する定常応答値と比較しても著しく小さい値を示し、ほぼ無視できる大きさであり、かつ同程度であった。

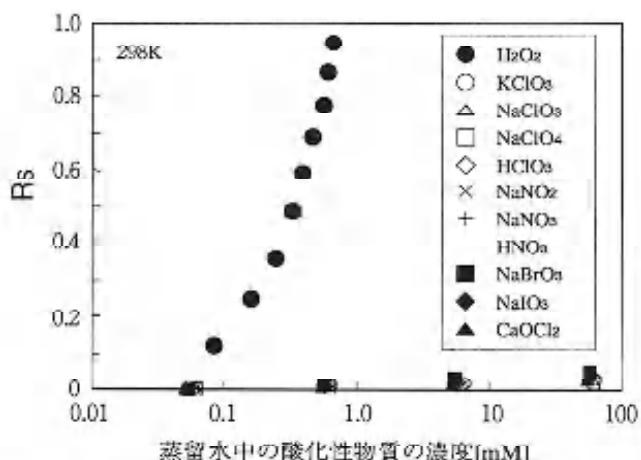


図6 蒸留水中の酸化性物質に対するMnO₂固定化膜を用いたH₂O₂センサの定常応答値

3. 2 二酸化マンガン固定化膜、カタラーゼ固定化膜、またはカタラーゼ固定化粒子を用いた過酸化水素センサの比較

3. 2. 1 pHによる影響

二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサの定常応答値に対するpHによる影響について検討した。所定のpHに調製した298Kの水溶液100mLに所定量の過酸化水素供試液を添加し、溶液中の過酸化水素濃度を0.592mMとした。この溶液に対するセンサの定

常応答値を測定した。その結果を図7に示す。

二酸化マンガン固定化膜を使用した過酸化水素センサではpH 3~11の範囲で安定した定常応答値を示した。

それに対して、カタラーゼ固定化膜または固定化粒子を用いた過酸化水素センサの場合の安定した定常応答値を示すpHの範囲は、二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサの場合のpHの範囲より狭いという結果を示した。これはアルカリおよび酸性溶液中で、カタラーゼが失活したためであると考えられる³⁾。

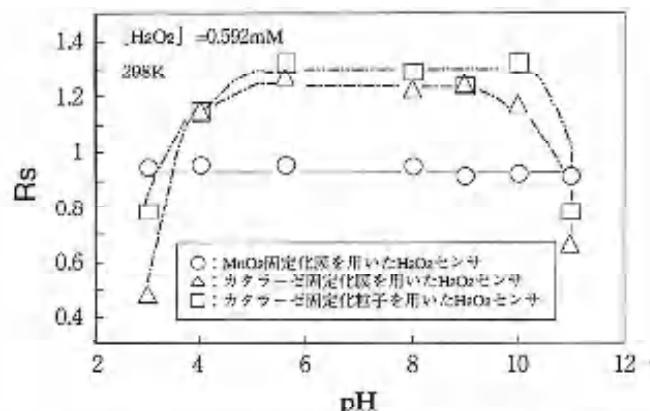


図7 各H₂O₂センサの定常応答値に対するpHの影響

3. 2. 2 センサの応答速度

センサは定常応答値を示すまでに時間を必要とする。センサの応答速度はセンサにとって重要な項目の一つである。そこで過酸化水素水溶液に対するセンサの応答速度について文献⁴⁾を参考にして考察した。測定は298Kの蒸留水中に過酸化水素供試液を所定量添加して、添加後の時間tに対する過渡値Qを測定し、これを応答速度R/R_sに換算した。また、このR/R_sと時間tの関係を、センサの応答速度を表現する式である下記の一次遅れの式を用いて検討を行った。

$$R/R_s = 1 - \exp \left\{ - \frac{(t-t_0)}{T} \right\} \quad (5)$$

ここでt₀は時間遅れ、Tは時定数である。ここでEq.(5)を変形するとEq.(6)が得られる。

$$t = T \times \left\{ - \ln \left(1 - \frac{R}{R_s} \right) \right\} + t_0 \quad (6)$$

Eq.(6)より、横軸に- ln (1 - R/R_s)、縦軸に時間tをとることによって、得られた直線の勾配および切片の値よりTおよびt₀を決定することができる。まず、二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサのT、t₀の決定を行った。その結果を図8に示す。この

結果より、いずれの濃度に対しても $T=23$ 秒、 $t_d=15$ 秒であった。

図 9 に、これらの T と t_d を用いた一次遅れの Eq.(5)による計算値と測定値を比較したものを示す。測定値は、一次遅れの式から求めた計算値とはほぼ一致した。カタラーゼ固定化膜およびカタラーゼ固定化粒子を用いたセンサの応答速度も同様にして、 T 、 t_d の決定を行った。

これらの T と t_d の値を用いた一次遅れの式による計算値と測定値の比較を行った。その結果、カタラーゼ固定化膜およびカタラーゼ固定化粒子を用いた場合も計算値と測定値はほぼ一致した。文献¹⁾の結果と同様に、各センサの応答速度は一次遅れの式で表現でき、応答速度は二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサとほぼ同程度であった。

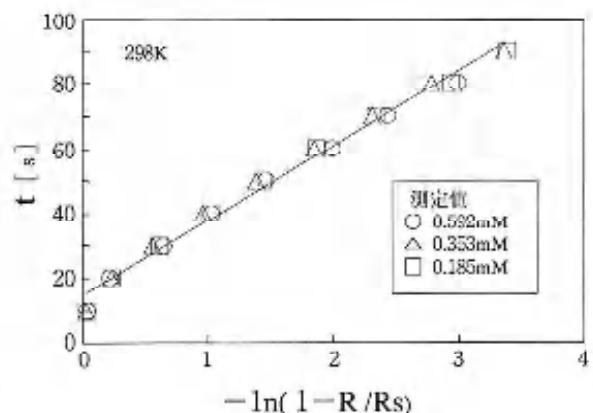


図 8 MnO₂ 固定化膜を用いた H₂O₂ センサの時定数と時間おくれの算出

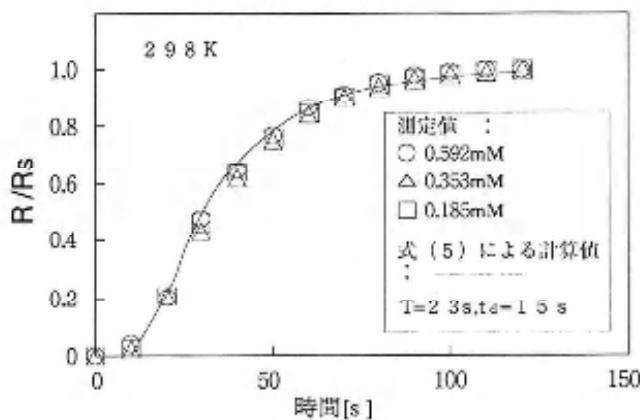


図 9 MnO₂ 固定化膜を用いた H₂O₂ センサのステップ応答

3.2.3 水質による影響

種々の溶液中における過酸化水素水溶液に対する各過酸化水素センサの定常応答値を調べるために、測定容器内の溶液の種類を換えて測定を試みた。測定は測定溶液100mLに過酸化水素供試液を添加し、溶液中の過

酸化水素濃度を0.592mMとした。298Kにおいて各水溶液に対するセンサの定常応答値を測定した。測定溶液としては、基準として蒸留水を用いた。つぎに、身近に存在する液体である水道水、海水を用いた。さらに、調製した数種の塩素水および3%食塩水も用いた。

二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサによる測定結果を表1に示す。

水道水中の過酸化水素に対する定常応答値は蒸留水中的過酸化水素に対する定常応答値よりも低い値を示した。これは水道水中に殺菌剤として含まれる塩素または次亜塩素酸ナトリウムによるものではないかと推測した。そこで塩素水および0.7ppm次亜塩素酸ナトリウム水溶液、1.0ppm塩素水を煮沸、放冷して塩素を除去した水溶液で測定を行った。その結果、塩素水では濃度が高くなるにつれて低い定常応答値を示した。0.7ppm次亜塩素酸ナトリウム水溶液においても低い定常応答値を示した。また、1.0ppm塩素水を煮沸、放冷した水溶液を用いた場合は、蒸留水中の過酸化水素に対する定常応答値とほぼ等しい値を示した。一方、海水、3%食塩水中的過酸化水素に対する定常応答値は、蒸留水中の過酸化水素に対する定常応答値とほぼ等しい値を示した。

なお、カタラーゼを用いたセンサによる測定結果も表1とほとんど差異が見られなかった。

表1 種々の水質中の H₂O₂ 水溶液に対する MnO₂ 固定化膜を用いた H₂O₂ センサによる測定値 R_s の相対値

[H ₂ O ₂] = 0.592mM, 298K, H ₂ O ₂ を溶かした水質の種類	測定値 R _s の相対値 [%]
蒸留水	100
水道水	93
0.2 ppm Cl ₂ / 蒸留水	96
0.5 ppm Cl ₂ / 蒸留水	92
1.0 ppm Cl ₂ / 蒸留水	89
1.0 ppm Cl ₂ / 蒸留水 蒸留水を煮沸後, 常温までの放冷水	100
0.7 ppm NaClO/ 蒸留水	93
海水	100
3% 食塩水	99

3.2.4 温度による影響

文献¹⁾と同様に288K, 298K, 308K, の各温度下において、100mLの蒸留水に過酸化水素供試液を2mLずつ計18mL添加した。過酸化水素濃度と二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサの定常応答値の関係を図10に示す。

温度が高くなるにしたがって勾配が大きくなっていることがわかる。これは温度上昇によって過酸化水素

分解反応の反応速度が増加したためではないかと解釈される。カタラーゼ固定化膜、カタラーゼ固定化粒子を用いたセンサも同様な傾向を示した。

そこで検量線の勾配を k とおき、 k の対数を温度 T_k の逆数に対してプロットすると、図11に示すように右下がりの直線関係が成り立つことがわかった。

つまり温度と勾配の関係が、アレニウスの式によって表されることがわかった。このことから、勾配 k が反応速度定数に対応していると推測される。これらの結果は、文献⁵⁾と同様であった。

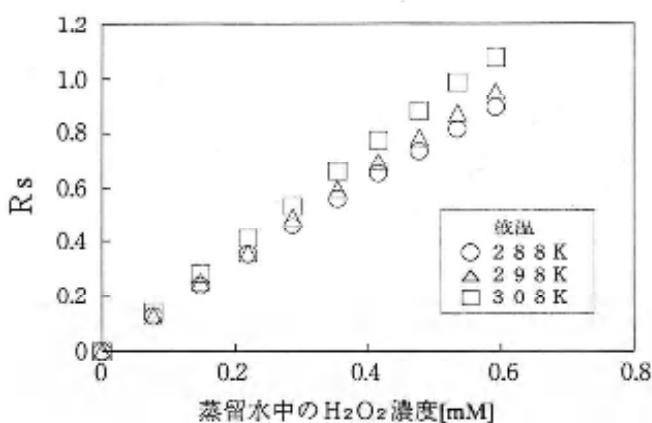


図10 MnO₂固定化膜を用いたH₂O₂センサの定常応答値に対する温度の影響（検量線）

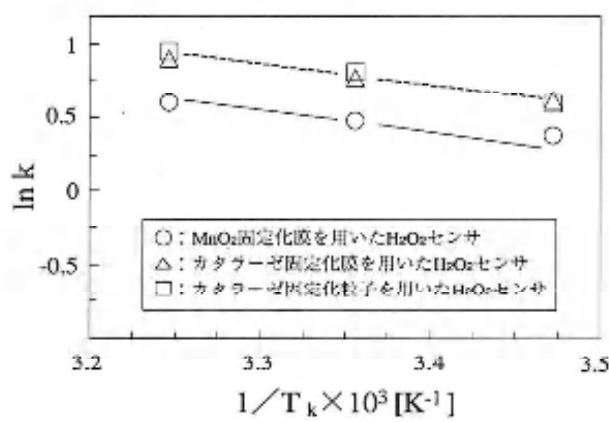


図11 検量線の勾配と温度の関係

つぎに、各センサを回転子で攪拌している所定温度の蒸留水中に浸し、30分間経過の後、過酸化水素供試液を所定量添加した過酸化水素濃度 0.592 mM に対する定常応答値を測定した。縦軸に各温度における定常応答値の298Kの定常応答値に対する比、すなわち、 $R_s/(R_s)_{298K}$ 、横軸に温度をとって整理した結果を図12に示す。二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサでは温度上昇と共に定常応答値が上昇したが、カタラーゼ固定化膜または粒子を用いたセンサでは313K以上で定常応答値の低下が見られた。このこと

はカタラーゼでは313K以上では失活するのに対して、二酸化マンガンは安定であったためと考えられる。図12に示すように、二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサは323Kまでの測定が可能であることがわかった。

3.2.5 センサの安定性

信頼性があるセンサとしては、同条件の測定では常に同程度の定常応答値を示すことが必要である。そこで3種の過酸化水素センサを用いて、298Kの蒸留水中の過酸化水素濃度 0.592 mM の測定を日ごとに行った。センサ不使用時は常温の蒸留水中で保存した。その結果を図13に示す。

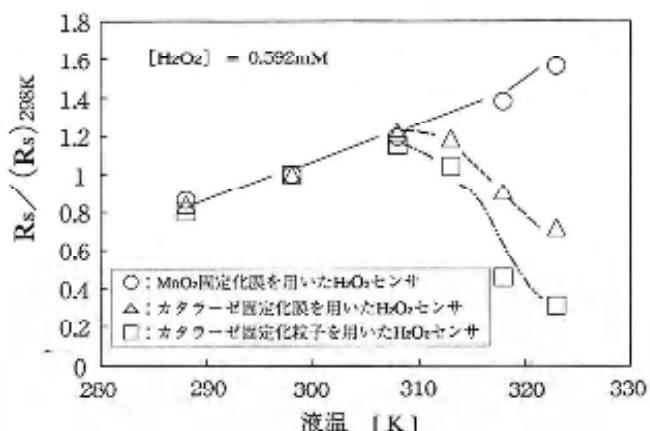


図12 蒸留水中のH₂O₂への各センサの定常応答値に対する温度の影響

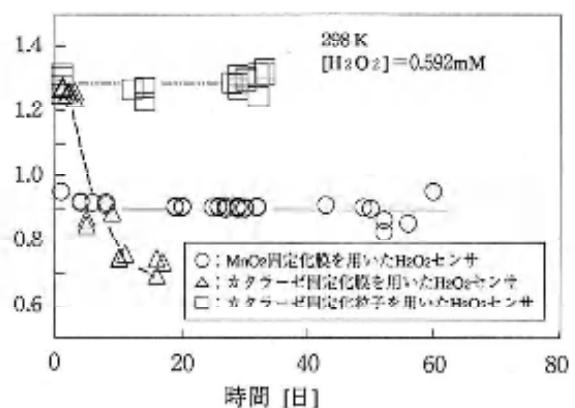


図13 蒸留水中のH₂O₂に対する各H₂O₂センサの定常応答値の経日安定性

二酸化マンガンを用いたセンサについては定常応答値の変化はほとんどなく、長期的に安定した値を示した。この結果から二酸化マンガンが膜中に固定化されており、溶液中に二酸化マンガンの漏出がないからであると推測した。

また、カタラーゼ固定化粒子を用いた過酸化水素センサについても 1ヶ月以上に渡って安定した応答値が得られた。これはカタラーゼが結合しているオキシ

ランアクリル粒子のオキシラン基と共有結合しているため、安定性が向上したためであると考えられる。カタラーゼ固定化膜を用いた過酸化水素センサは、日ごとに過酸化水素に対する定常応答値が低下し、上記二つのセンサと比較して安定性が劣っていた。これらの結果も文献⁶⁾と同様であった。

4. 結言

二酸化マンガン固定化膜、カタラーゼ固定化膜またはカタラーゼ固定化粒子と市販の溶存酸素センサより過酸化水素センサを構成した。これらの過酸化水素センサについて、文献⁶⁾に記載の事項の追認実験および選択性、pHまたは水質、温度による影響について検討した。得られた結果はつぎのようである。

(1) 二酸化マンガン固定化膜に用いる二酸化マンガンの最適量、各センサの応答速度、288K～308Kにおける温度範囲の各センサの検量線の勾配と温度の関係、センサの安定性等については、文献⁶⁾と同様の結果が追認された。

以下の(2)～(5)には、新たに得られた結果を示した。(2) 二酸化マンガンは過酸化水素の他にも幾つかの物質に対して触媒作用を示す。しかし、水溶液中において、各酸素化合物を含む水溶液に対する二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサの定常応答値は、約1/100の濃度の過酸化水素水溶液に対する定常応答値と比較して著しく小さな値を示し、ほぼ無視できる程度であった。これより二酸化マンガン固定化膜はカタラーゼと同様に、過酸化水素センサの分子識別膜として利用できることがわかった。

(3) 二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサは、カタラーゼ固定化膜または固定化粒子を用いたセンサよりも使用可能なpHの範囲が広かった。

(4) いずれのセンサも海水をはじめとした種々の溶液中に含まれる過酸化水素の濃度測定が可能であった。

(5) 広範囲の温度の測定では、過酸化水素水溶液に対して、二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサは323Kまでの測定が可能であった。一方、カタラーゼ固定化膜または固定化粒子を用いたセンサでは313K以上で定常応答値の低下が見られた。

以上、本研究の結果より、二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサも過酸化水素に対する選択性があると解釈した。二酸化マンガン固定化膜を用いたセンサとカタラーゼを用いたセンサを比較すると、多くの点で共通的な性質を示したが、温度およびpHに対する安定性、長期間の安定性という点で、前者の方が優れているという結果を得た。

使用記号

k	= 検量線の勾配(図10)	[V/mM]
Q	= DOメーターの指示値(過渡値)	[mV]
Q_0	= DOメーターの指示値(初期値)	[mV]
Q_∞	= DOメーターの指示値(定常状態値)	[mV]
R	= Eq.(3)によって定義したセンサの応答値	[—]
R_s	= Eq.(4)によって定義したセンサの定常応答値	[—]
t	= 測定溶液中へ過酸化水素供試液を添加してからの経過した時間	[s]
w	= センサの時間遅れ	[s]
T	= センサの時定数	[s]
T_k	= 測定溶液の温度	[K]

参考文献

- 1) 化学大辞典編集委員会; 化学大辞典2, 共立出版, pp.364 - 365(1989)
- 2) 荒木峻、沼田眞、和田攻; 環境科学辞典, 東京化学同人, pp.130(1985)
- 3) 片岡照栄編; 電気・電子工学大百科事典 第5巻 電子デバイス, 電気書院, pp.241 - 242(1983)
- 4) Aizawa, M., I. Karube and S. Suzuki; "A Specific Bio-electrochemical Sensor for Hydrogen Peroxide," *Analytica Chimica Acta*, 69, pp.431 - 437(1974)
- 5) 水田良一、樋藤晋一郎、塙澤正三、幡手泰雄; "オキシランアクリル粒子固定化酸化還元酵素充填カラムを用いた基質の分析," 化学工学論文集, 23, pp.455 - 459(1997)
- 6) 水田良一、樋藤晋一郎、上村芳三、幡手泰雄; "二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサ," 化学工学論文集, 26, pp.108 - 111(2000)
- 7) 千谷利三; 新版 無機化学(下巻), 産業図書, pp.1045 - 1047(1977)
- 8) 千原国広; センサ - 変換原理からコンピュータ応用計測まで-, コロナ社, pp.109(1987)
- 9) 千畠一郎編; 固定化生体触媒, 講談社, pp.144(1986)

PyGC-MS法によるポリウレタン-アミドおよび ポリウレタン-イミドの熱分解生成物の同定と熱分解機構の検討*

吉武 紀道・田中 康太**・古川睦久***

<平成15年10月6日受理>

Identification of Thermal Decomposition Products of Poly(urethane-amide) and Poly(urethane-imide)

by the PyGC-MS Method and Thermal Decomposition Mechanism

YOSHITAKE Norimichi, TANAKA Kouta and FURUKAWA Mutsuhisa

The pyrolysis products of Polyurethane-polyamide copolymer (PU-PA) and polyurethane-polyimide copolymer (PU-PI) were identified using the PyGC-MS method and the degradation mechanisms of these copolymer were studied. PU-PA and PU-PI were synthesized from a polyurethane prepolymer and a polyamide or polyamide acid. The polyurethane prepolymer was the phenol-blocked isocyanate-terminated poly(ethylene adipate) (PEA) - 2,4-tolylendisocyanate (TDI) adduct. The polyamide was synthesized from 1-(m-aminophenyl)-2-(p-aminophenyl)ethanol and terephthaloyl chloride. The polyamic acid was prepared by reaction of pyromellitic dianhydride with 4,4'-diaminodiphenylether. PU, PA, PU-PA, and PU-PI used as a sample were pyrolyzed at 250°C, 550°C, and 750°C. Urethane linkages of PU-PA were initially decomposed to PU and PA components between 250°C and 410°C. The PU components were decomposed to PEA component, TDI, tolylene-amino-isocyanate (MAMI) at 250°C. PEA residues in PU components were also decomposed to small molecules at 410°C. The PA component between 550°C and 650°C was decomposed to various PA original pyrolysis products. PU-PI was pyrolyzed at urethane and amide groups to PU and PI component. PI components were decomposed to much smaller aromatic compounds between 600°C and 650°C. The pyrolysis mechanisms of these copolymers were offered.

1. 緒言

ポリウレタン (PU) は種々のジオール類とジイソシアナート、さらに鎖延長剤との反応で合成できる高分子である。PUは、ウレタン結合、ウレア結合を有するポリマーの総称であり、他の多くのポリマーと異なり、分子設計が容易で、含まれる化学構造が多岐にわたる特徴を持つ。一般にはPUは、分子量が数百から数千のソフトセグメント (ポリオール成分) と、ジイソシアナートと低分子のグリコールから作られるハードセグメントから構成される。ソフトセグメントには、ポリエーテル系、ポリエステル系、ポリカーボネート系、ポリオレフィン系、ポリバラフィン系、改質ひまし油などが用いられている。イソシアナートには、4,4'-ジフェニルメタンジイソシアナート (MDI) あるいは

2,4-トリレンジイソシアナート (TDI) のような芳香族、ヘキサメチレンジイソシアナート (HDI) に代表される脂肪族ジイソシアナートがある。また、鎖延長剤には各種の低分子グリコール、ジアミンが用いられる。¹⁾

PUは軟質、硬質フォームやエラストマー、接着剤、塗料、弾性繊維など多種多様な分野で広く利用されている。PUの化学反応の基本はイソシアナートとアルコールとの反応であるが、イソシアナートは多くの活性水素を有する化合物と反応するため、多様な化学構造すなわち幅広い物性を有するPUを合成することができる。PUは優れた耐摩耗性、耐油性、耐寒性、耐候性などの特徴を有する高分子材料である。しかし、通常のPUの耐熱性は低く、力学的特性は80°C~90°Cで大きく低下し、熱分解温度は約200°Cで起こると言われている。一方、芳香族を有するポリアミド (PA) やポリイミド (PI) は高耐熱性、高強度、高弾性を有するポリマーとして知られている。

本研究では竹市ら²⁾がポリウレタンプレポリマーと

* 「ポリウレタンに関する研究第18報」とする。

** 日本触媒（株）

*** 長崎大学大学院生産科学研究科

PAおよびPIを反応させ合成したポリ(ウレタン-アミド) (PU-PA)、ポリ(ウレタン-イミド) (PU-PI)を、近年、再現性の良いデータが得られるようになったPyGC-MS法を用いて種々の配合比のこれらの共重合体の熱分解生成物を同定するとともに、熱分解機構を検討することとした。

2. 実験

2.1 装置

本研究では、熱分解装置（フロンティア・ラボ社製Py-2010DD）とGC-MS（島津製作所社製GC-MS QP5050A）を接続し、キャビラリーカラムにフロンティア・ラボ社製金属キャビラリーカラム（長さ30m、内径0.25mm、膜厚0.25μm、メチルシリコン系）、キャリアガスに高純度のヘリウムを用いた。また、ピークの検索にはNIST Libraryを用いた。

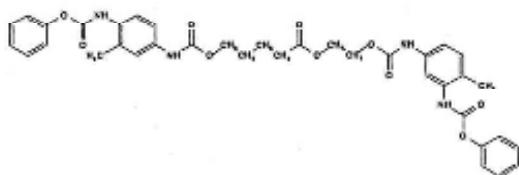
2.2 測定条件

PyGC-MSでは、カラムの昇温条件は初期温度を50°Cに設定し、2分間保持し、5°C/minで300°Cまで昇温し、その温度を測定終了まで保持した。熱分解温度は250°C、550°Cおよび700°Cを用い試料量は0.2mgとした。

2.3 試料

本研究ではpolyethylene adipate (PEA) と2, 4-

Phenol terminated PU prepolymer



Polyamide (PA)

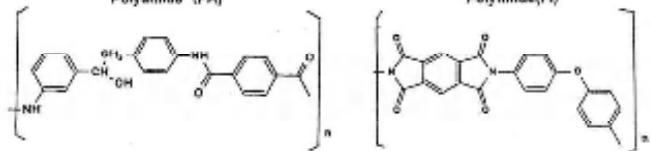


Fig.1 Structures of Phenol terminated PU prepolymer, PA and PI

tolylene diisocyanate (TDI) から得られたPUとPAおよびPIとそれぞれの重量比50:50の共重合体の試料を用いた。本研究で使用した試料の準備および推定される構造式をFig. 1, 2に示す。⁹ Fig.2に示すようにPU-PAはPU末端のNCO基とPAのOH基よりウレタン結合が生成するグラフト共重合と考えられる。一方、PU-PIの結合はFig.2の後半に示すようにPU末端の-NCOとポリアミン酸の-COOHの-OHが反応して-NH-CO-O-CO-が生じる。次に脱炭酸してアミド結合(-NH-CO-)が形成

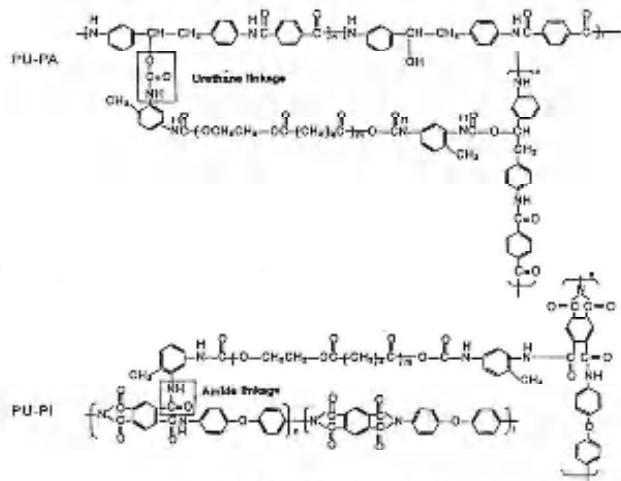
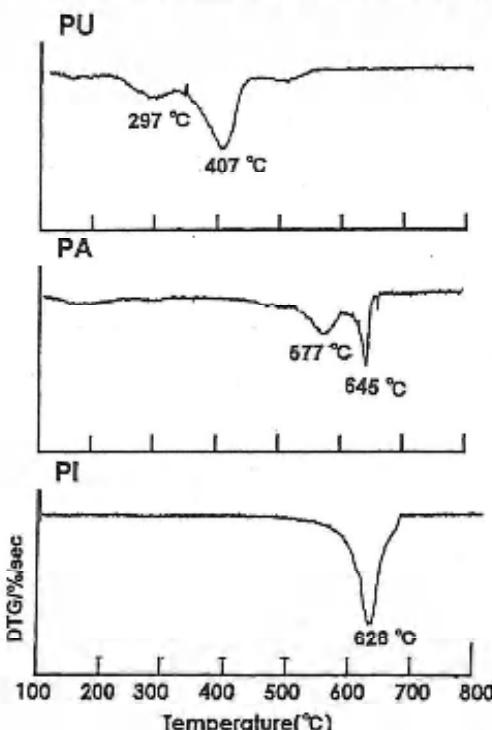


Fig. 2 Structures of PU-PA and PU-PI

され結合する。ついでイミド結合が生成して結合が切れ、PU部とPI部に分かれる。PU部は末端が-NH₂基となっている。つまりPU-PIでは-NH₂末端PUとPIのブレンド共重合体の形をとっているのではないかと考える。

2.4 热分解温度

DTG曲線をFig.1に示す。PUは250°C～410°C付近、PAは550°C～650°C付近、PIは600°C～650°C付近で熱分解することがわかる。そこでPUのみが初期の熱分解



DTG curves of PU has two peaks at 297 and 407 °C

DTG curves of PA has two peaks at 577 and 645 °C

DTG curves of PI has one peaks at 628 °C

Fig.3 DTG curves of PU, PA and PI

生成物を生成し、PA、PIは熱分解しない温度250°C、通常の熱分解温度550°C、PA、PIの熱分解温度よりやや高い700°Cに熱分解温度を設定し、測定を行った。

3. 热分解生成物の同定

3.1 ポリウレタン(PU)の熱分解生成物

熱分解温度250°C、550°Cおよび700°CのPUのバイログラムをFig.4に示す。また、各ピークの同定結果をそれぞれTable 2に示す。⁴⁾

熱分解温度250°Cの場合、ピークの生成は比較的少ない。CO₂はほとんど出ておらず、TDI(Pk.2)や、それに隣接してTDIのNCO基が一つNH₂基に置き換わったMAMI(Rt.20min, monoamine monoisocyanate)が生成している。またPEA出来の2つの直鎖エステル化合物が約Rt.30minと42minに生成した。phenol(Pk.1)の生成は7.7minに見られるがプレポリマーの-NCOをキャップしたときのものである。PUは、熱分解するときphenolキャップが離れ、生じたプレポリマーが熱分解していく。PUはまずTDIとPEAに解離しTDIピークが生じる。生じたPBAはさらに分解して2種類のエステル化合物を生じる。

熱分解温度550°CではTDIのほかにCO₂が発生し、PEAからの熱分解生成物であるcyclopentanone(Pk.3)を始めとするピーク群を生じる。MAMIピークは消え

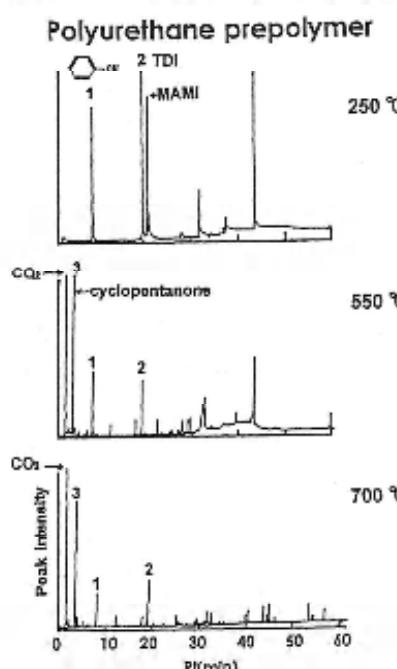


Fig. 4 Pyrograms of PU prepolymer at 250 °C, 550 °C and 700 °C

Table 1 Identification of pyrolysis products of PU prepolymer at 250 °C, 550 °C and 700 °C

Pk	Rt.(min)	Name of Compounds	M.W
CO ₂	1.4	Carbon dioxide	44
1	7.7	Phenol	94
2	18.3	2, 4-Toluene diisocyanate(TDI)	174
3	3.2	Cyclopentanone	84

る。熱分解温度700°Cでは、CO₂が増加しTDIやPEAからの主な熱分解生成物であるcyclopentanone(Pk.3)のほかに、多数のピーク群を生じる。

3.2 ポリアミド(PA)の熱分解生成物

熱分解温度550°Cおよび700°CのPAのバイログラムをFig.5に示す。それらのピークの同定結果をそれぞれTable 3に示す。⁴⁾ PAでは550°Cでもある程度熱分解してp-aminotoluene(Pk.1)やbenzanilide(Pk.3)などの生成を認めることができる。そして、700°Cではbenzene(Pk.5), toluene(Pk.2)などへの分解が見られる。また、Rt.9.0min付近で溶媒の検出(S)も確認できる。

3.3 ポリイミド(PI)の熱分解生成物

熱分解温度550°Cおよび700°CのPIのバイログラムを

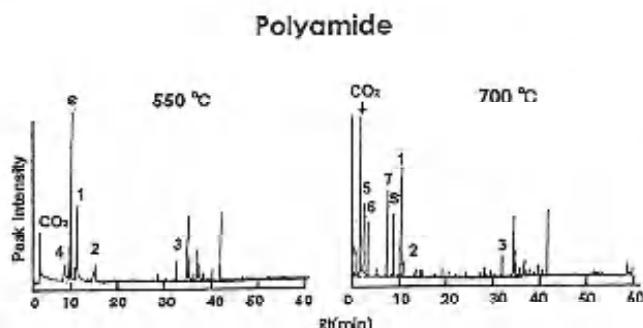


Fig. 5 Pyrograms of PA at 550 °C and 700 °C

Table 2 Identification of Pyrolysis Products of PA at 550 °C and 700 °C

Pk	Rt.(min)	Name of Compounds	M.W
CO ₂	1.4	Carbon dioxide	44
1	9.7	p-Amino tolune	107
2	13.7	Benzalic acid	122
3	31.5	Benzanilide	197
4	4.8	Aniline	93
5	2.1	Benzene	78
6	3.1	Toluene	92
7	7.2	Benzonitrile	103

Fig.6に示す。また、各ピークの同定結果をそれぞれTable 3に示す。PIでは550°Cではほとんど熱分解していないが、p-phenoxy aniline(Pk.2)やN-(4-hydroxyphenyl)phthalimide(Pk.3)がわずかに認められる。また、Rt.9.0min付近に溶媒(S)も確認できた。700°Cでは熱分解phthalimide(Pk.7), dibenzofuran(Pk.8)など多数の芳香核を有する熱分解生成物が生じていることがわかった。

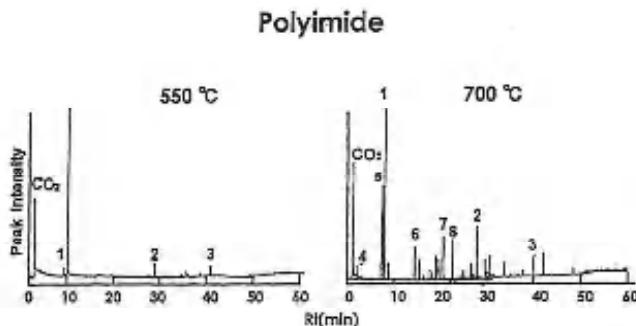


Fig. 6 Pyrograms of PI at 550 °C and 700 °C

Table 3 Identification of Pyrolysis Products of PI at 550 °C and 700 °C

Pk	RI(min)	Name of Compounds	M.W
CO ₂	1.4	Carbon dioxide	44
1	8.0	Phenol	94
2	27.9	p-phenoxyaniline	185
3	40.0	N-(4-Hydroxyphenyl)phthalimide	239
4	2.3	Benzene	78
5	7.6	Aniline	93
6	14.6	1, 4-Benzene dicarbonitrile	128
7	20.8	Phthalimide	147
8	22.9	Dibenzofuran	168

PU-PA and PU-PI copolymers

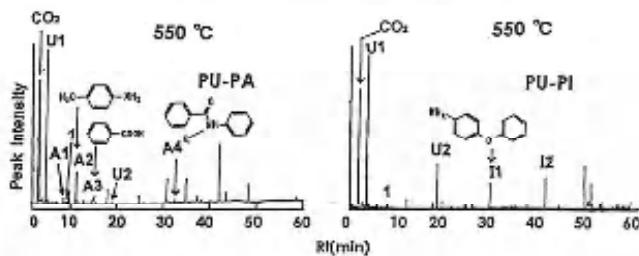


Fig. 7 Pyrograms of PU-PA and PU-PI at 550 °C

Table 4 Identification of Pyrolysis Products of PU-PA and PU-PI at 550 °C

Pk.	RI(min)	Name of Compounds	M.W
CO ₂	1.3	Carbon dioxide	44
1	7.7	Phenol	94
U1	3.1	Cyclopentanone	84
U2	18.0	2, 4-Toluene diisocyanate(TDI)	174
A1	6.8	Aniline	93
A2	9.8	p-amino tolune	107
A3	13.6	Benzoic acid	122
A4	32.1	Benzonilide	197
A5	1.9	Benzene	78
A6	2.9	Toluene	92
A7	6.9	Benzonitrile	103
I1	27.9	p-phenoxyaniline	185
I2	40.2	N-(4-Hydroxyphenyl)phthalimide	239

3.4 热分解温度550°CにおけるPU-PA(50:50)とPU-PI(50:50)の热分解生成物

热分解温度550°CのPU-PA(50:50)およびPU-PI(50:50)のパイログラムをFig.7に示す。ピークにそれぞれPUにU, PAにA, PIにIとつけ、それぞれ番号を打った。PU-PA(50:50)およびPU-PI(50:50)のパイログラムにそれぞれのピークの混在が認められた。同定結果をそれぞれTable 4に示した。

3.5 热分解温度700°CにおけるPU-PA(50:50)とPU-PI(50:50)の热分解生成物

热分解温度700°CのPU-PA(50:50)およびPU-PI(50:50)のパイログラムをFig.8に示す。550°Cの場合と同様、PU-PA(50:50)およびPU-PI(50:50)のパイログラムにそれぞれのピークの混在とピークの増加が認められた。同定結果をそれぞれTable 6に示す。

PU-PA and PU-PI copolymers

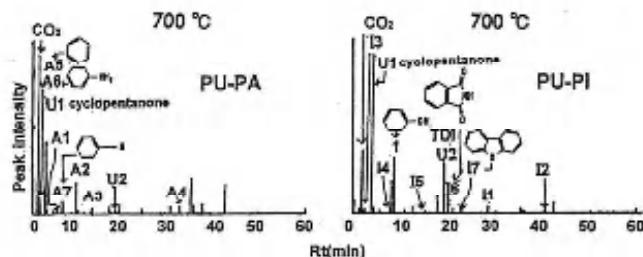


Fig. 8 Pyrograms of PU-PA and PU-PI at 700 °C

Table 5 Identification of Pyrolysis Products of PU-PA and PU-PI at 700 °C

Pk.	RI(min)	Name of Compounds	M.W
CO ₂	1.3	Carbon dioxide	44
1	8.2	Phenol	94
U1	2.9	Cyclopentanone	84
U2	16.6	2, 4-Toluene diisocyanate(TDI)	174
A1	6.8	Aniline	93
A2	9.8	p-amino tolune	107
A3	13.6	Benzoic acid	122
A4	32.1	Benzonilide	197
A5	1.9	Benzene	78
A6	2.9	Toluene	92
A7	6.9	Benzonitrile	103
I1	27.9	p-phenoxyaniline	185
I2	40.2	N-(4-Hydroxyphenyl)phthalimide	239
I3	2.3	Benzene	78
I4	7.6	Aniline	93
I5	14.6	1, 4-Benzene dicarbonitrile	128
I6	20.8	Phthalimide	147
I7	22.9	Dibenzofuran	168

4. 考察

4.1 热分解機構

热分解が始まる温度250°C, 550°Cでは次のように熱

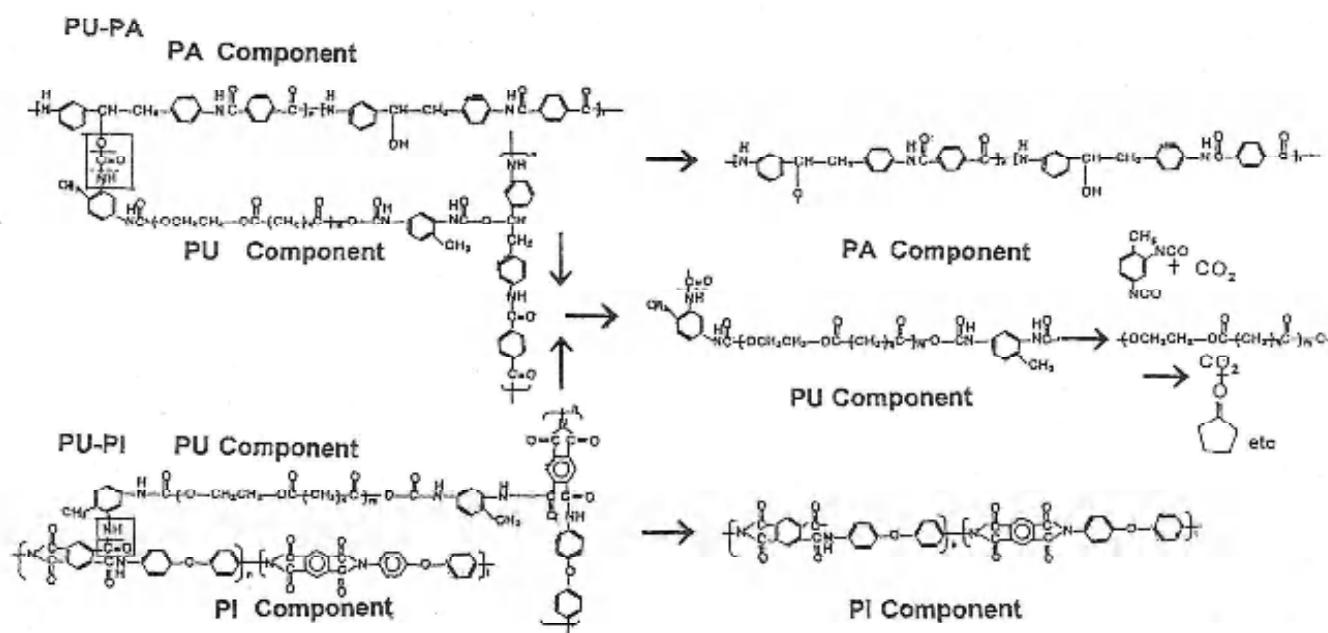


Fig.9 Mechanism of thermal degradation at pyrolysis temperature between 250 and 410 °C

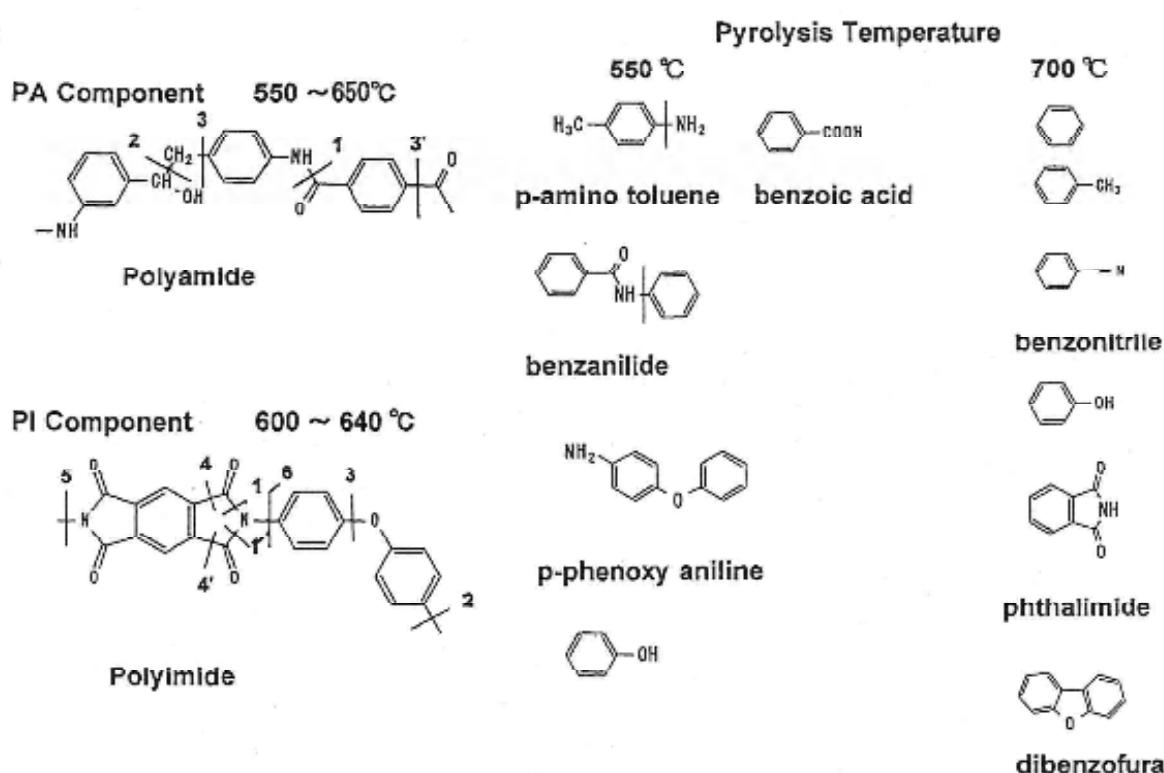


Fig.10 Mechanism of thermal degradation at pyrolysis temperature between 550 and 700 °C

分解する。

Fig.9に示すように熱分解温度250°C~410°CでPU-PAでは結合部であるウレタン結合、PU-PIではアミド結合からそれぞれ熱分解し、PU部(component)、PA部およびPI部に分解する。PU部からTDI、CO₂などの生成と共に生じたPEA部が、さらにCO₂、cyclopentanoneなどに分解される。*

250°Cでのウレタン結合の熱分解はTDIを生じる熱解離反応が主体であるが、550°C以上の熱分解温度ではCO₂生成が主体の脱炭酸反応であることがわかった。

4.2 热分解機構 2

ついで、Fig.10に示すように550°C~650°CでPA部が熱分解して次のように種々の特有の熱分解生成物(benzanilideなど)に分解し、700°Cでは、benzonitrileなどの芳香核が一つの化合物に分解される。

PI部ではより高温度(600~640°C)で、熱分解しp-phenoxy anilineなどの熱分解生成物に分解し、700°Cではphthalimideなどに分解していく。つまり、550°Cでは多くの場合、C-Nの部分の結合から切れているが、これはC-Nの結合エネルギーがC-C結合より小さいことに基因している。

5. 結 言

1. PU-PAおよびPU-PI共重合体の熱分解機構

PyGC-MS法を用い、PU、PA、PIおよび配合比(50:50)のPU-PA、PU-PI共重合体の熱分解生成物を同定し、熱分解機構を検討した。

1.1 PU-PAの熱分解

PUとPAの結合部のウレタン結合でPU部とPA部に熱分解する。

1.2 PU部の熱分解

熱分解温度250°Cでは熱解離反応で、熱分解温度550°C、700°Cでは脱炭酸反応で熱分解が進行する。

熱分解温度550°Cでは熱分解で生じたPEA部はまだ十分分解が進んでいず、原料のadipic acidの環化生成物であるcyclopentanoneほか2、3のエステル化合物などに分解する。

熱分解温度700°CではPEA部からの多数の分解生成物を生じる。CO₂の生成が顕著であった。

1.3 PA部の熱分解

熱分解により乗じたPA部は熱分解温度550°Cでは一部熱分解し、芳香核を1、2個有するp-aminotoluene、benzanilideなどの生成物を生じる。2個有する化合物が主体である。熱分解温度700°Cでは1個有する化合物が主体となる。

1.4 PI部の熱分解

PU-PIはPUとPIのブレンドと考えられるためPUとPIは個々に熱分解される。PUの分解後、高温部でPI部が熱分解する。550°CではPA同様芳香核を2個有するp-phenoxy anilineなどの熱分解生成物が主体であるが、熱分解温度700°Cでは1個を有する熱分解生成物が主体となる。などのことがわかった。

文献

- 1) Furukawa, Mutsuhisa; Processings of Polymers in Japan (Koubunshi Kako) 45(10) 1996, 2~8
- 2) Min Zuo, Qian Xiang, Tsutomu Takeichi: POLYMER 39(1998) 6883~6889
- 3) Min Zuo, Tsutomu Takeichi : POLYMER 40(1999) 5153~5160
- 4) Tsutomu Takeichi, Kazuto Arimatsu : J.Photosynth. Sci. Technol., 14, 1, 2001
- 5) Sabrina Carroccio, Concetto Puglisi, Giorgio Montaudo: Macromol.Chem.Phys. 200, 2345~2355(1999)
- 6) Shin Tsuge, Hajime Ohtani, "Pyrolysis-Gas Chromatography of Polymers-Fundamentals and Data Compilations", Tecno System Co., Tokyo, 1989.
- 7) Zenjiro Ohsawa : Degradation and Stabilization of Polymers, Musasino kurieito Co., 245~250, 255, 260~263(1992)

Cu²⁺イオンを含むポリウレタンの分析について*

吉武紀道・西彰敏**・古川睦久***

<平成15年10月6日受理>

Analysis of Polyurethane Containing Cu²⁺ ion

YOSHITAKE Norimichi, NISHI Akitoshi and FURUKAWA Mutsuhisa

Pyrolysis of the PU containing CuCl₂ · 2H₂O was carried out by Py GC-MS. The main pyrolysis products were CO₂, MDI, diethylene glycol, cyclopentanone and several other pyrolysis products from polymer glycol component. Very small quantity of 2-chloro ethanol was detected. The quantity of the Cu²⁺ ion in PU was analyzed from the peak area of 2-chloro ethanol in pyrogram.

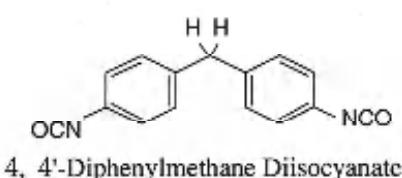
1. 緒言

イオン濃度の異なるCuCl₂ · 2H₂OとPUの相互生成物を熱分解GC-MS測定を行い、熱分解生成物の同定とPU中のCu²⁺イオン量を分析した。^{1,2)}

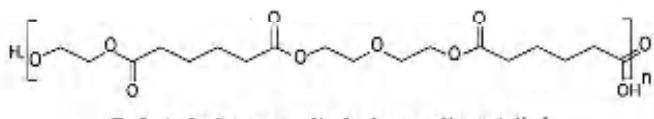
2. 実験

2.1 合成

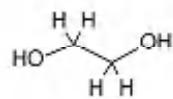
PUの原料の化学構造をFig.1に示す。PUの合成原料はポリマークリコール(PG)としてPEDA(polyethylene-co-diethylene adipate)diol、ジイソシアナートとしてMDI(4,4'-diphenylmethane)diisocyanate、鎖延長剤としてethylene glycolおよびCuCl₂ · 2H₂Oである。



4, 4'-Diphenylmethane Diisocyanate



Poly(ethylene-co-diethylene adipate)diol



Ethylene glycol(Chain extender)

Fig.1 Raw materials of Polyurethanes

2.2 測定装置及び測定条件

GC装置には、垂直落下式熱分解装置（フロンティア・ラボ社製グブルショット・パイロライザー、PY-2010DD型）を接続したガスクロマトグラフ・マススペクトロメーター（島津製作所社製、GC-MSQP5050A）を用いた。キャビラリーカラムにはMethyl Silicone系金属キャビラリーカラム(30m, 0.25mm i.d., 0.25 μm, フロンティア・ラボ社製Ultra Alloyカラム)を使用した。なお、熱分解装置にはダブルショットパイロライザーの諸機能の内、シングルショット機能を用いた。

Cu²⁺イオンのウレタン基濃度に対する仕込量はモル比で0:1, 180:1, 36:1, 12:1に配合された。それらのPUをそれぞれPUCu00, PUCu01, PUCu02, PUCu03と表す。

GCの測定条件は、50°C 2min保持、昇温速度10°C/minで300°Cまで昇温し、その温度で測定終了まで続けた。熱分解温度は550°C、試料量は0.2mgとした。

3. 結果と考察

3.1 主要ピークの検討

全PU試料のパイログラムをFig.2に示す。パイログラムから主ピーク(PU00上の番号1~13)のMSの検討結果より、炭酸ガス、原料のMDI、鎖延長剤のエチレンクリコール及びポリマークリコール成分の熱分解生成物からジエチレンクリコール、シクロペントノン他の各種熱分解生成物等を同定した。Table 1に示す。

Table 1 主要ピークの同定

Peak 1	炭酸ガス
Peak 2	シクロペントノン
Peak 3	ジエチレンクリコール
Peak 4~9	その他のPG成分からの分解生成物
Peak 10	MDI
Peak 11~13	その他のPG成分からの分解生成物

* 「ポリウレタンの熱分析に関する研究第19報」とする。

** 有明工業高等専門学校物質工学科学生

*** 長崎大学大学院生産科学研究科

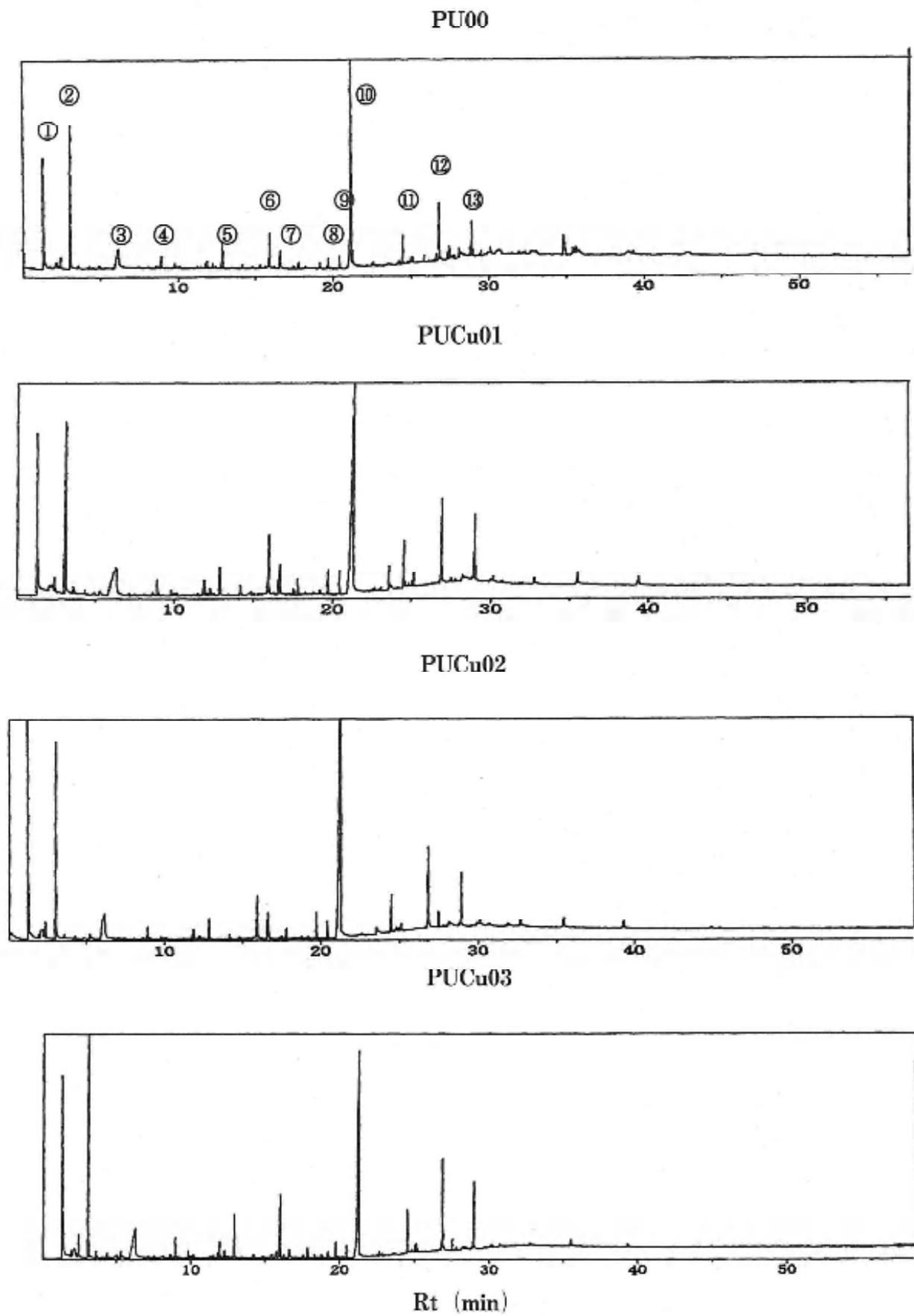


Fig.2 PU00, PUCu01, PUCu02およびPUCu03のバイログラム

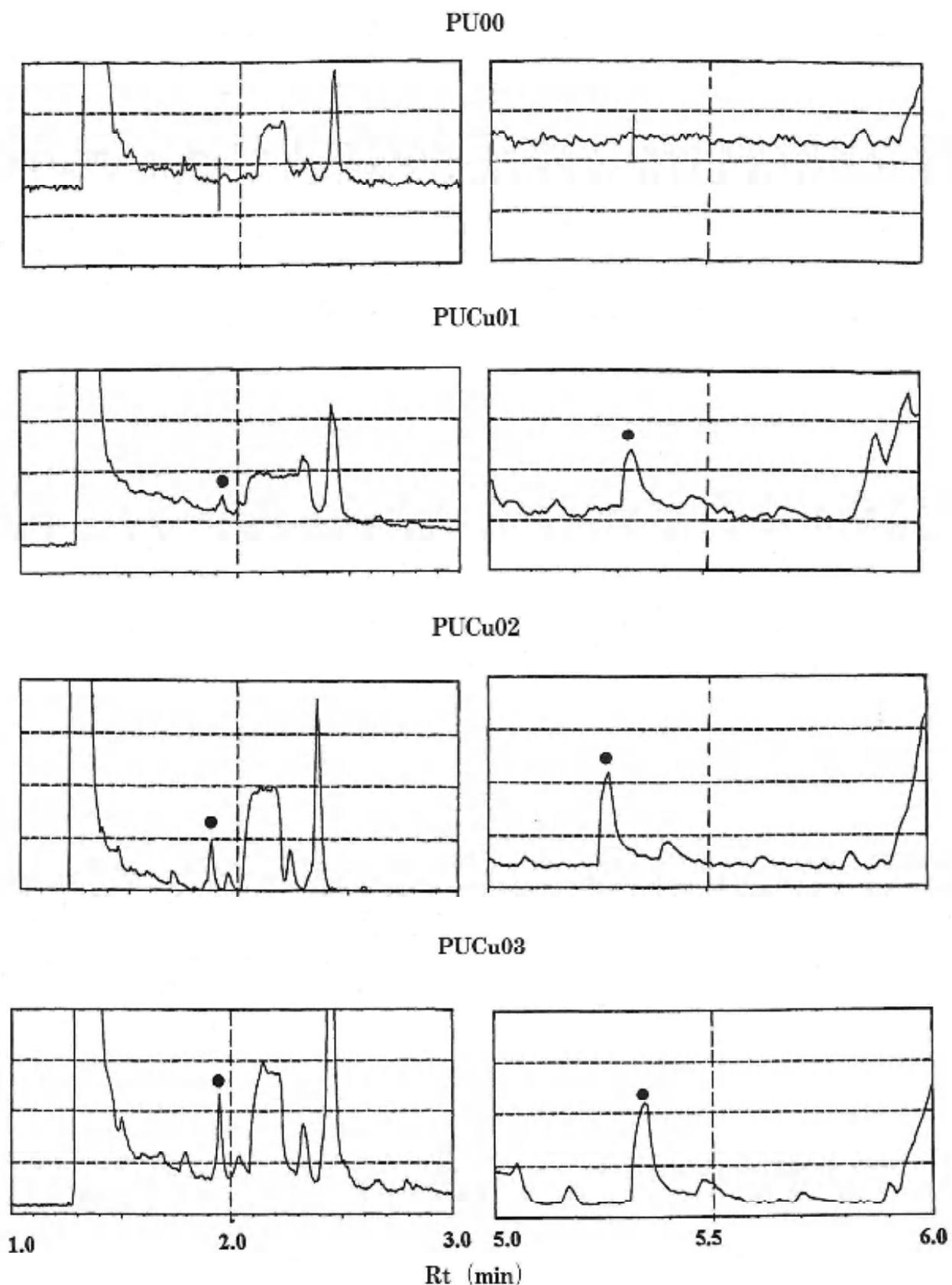
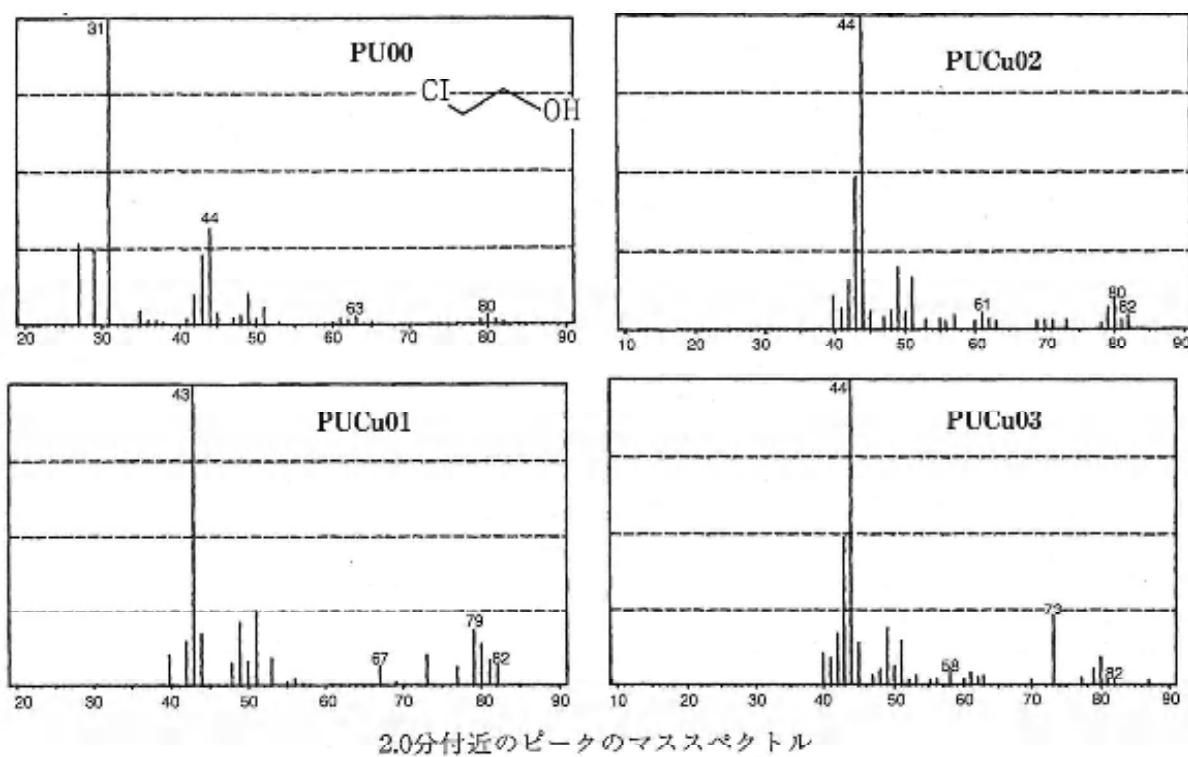
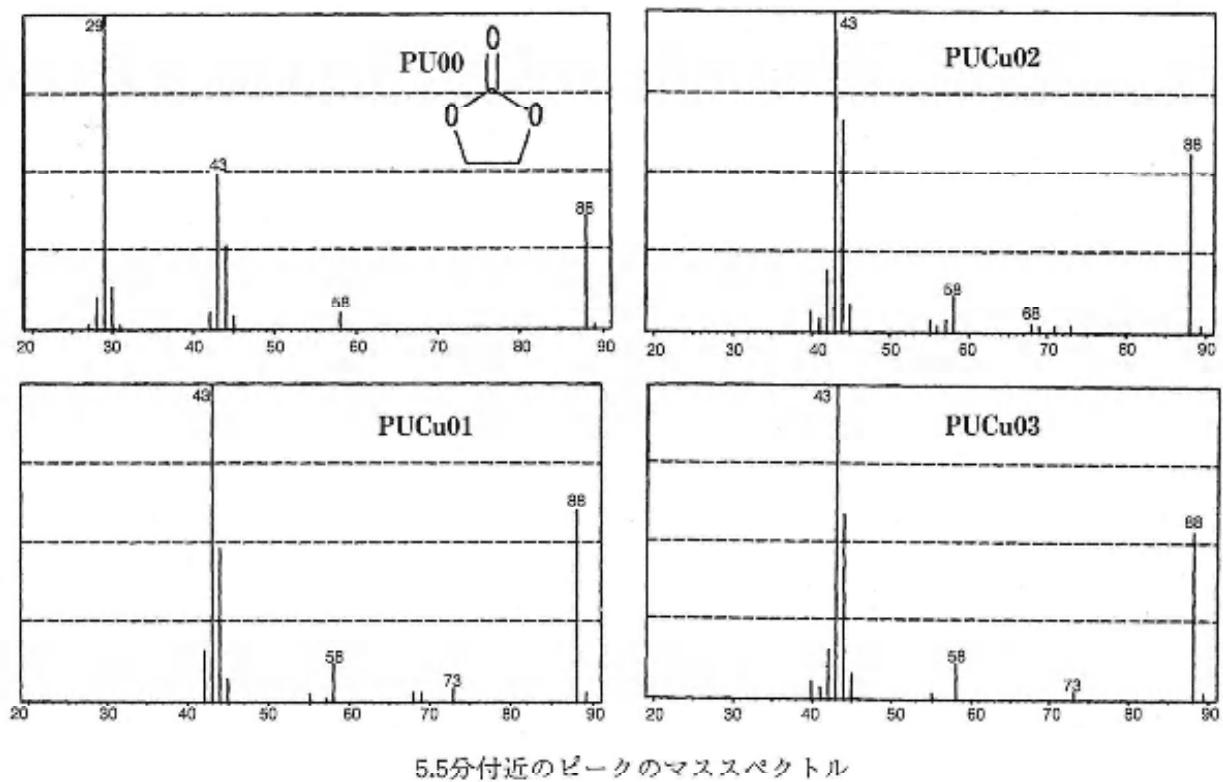


Fig.3 PU00, PUCu01, PUCu02およびPUCu03のバイログラム
(Rt 2.0min付近と5.5min付近のピーク)



2.0分付近のピークのマススペクトル



5.5分付近のピークのマススペクトル

Fig.4 PU00, PUCu01, PUCu02およびPUCu03におけるRt2.0min
および5.5min付近のピークのマススペクトルによる同定
(本測定で使用したGC-MSではm/z 0~40をカットしている。)

Cu^{2+} イオンである $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を見いだすことは出来なかった。GC-MSでは通常無機物を検出できない。

Peak 1はウレタン結合、PGのエステル基より、Peak 2のシクロペントノンはPG原料のアジピン酸より、Peak 3はPGの構成成分として熱分解して生じると考えられる。Peak 10はPUが原料のジイソシアナートに熱解離して生じる代表的な熱分解生成物である。

Peak 4~9やPeak 11~13は熱分解して生じたPG部が分解して生じる二次分解生成物であることがこれまでの研究でわかっている。⁹鎖延長剤のエチレングリコールは微量生成物として見いだすことが出来た。

3.2 微少ピークの検討

本PUには $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を含んでいることから熱分解において試料は高温にさらされるので Cl^- イオンが有機物である分解生成物と反応し新たな生成物を生じるのではないかと考えた。

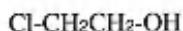
次に微少ピークを拡大し詳細な検討を行った。

PUと Cu^{2+} イオン濃度の異なる3種のPUCu01~PUCu03のバイログラムの初期ピークの比較検討から、

PU単独のバイログラムに見いだされ、 Cu^{2+} イオンを含有するPUCu01、PUCu02およびPUCu03からは見いだされないピークが存在した。

PU単独のバイログラムに見いだされず、 Cu^{2+} イオンを含有するPUであるPUCu01、PUCu02およびPUCu03からは見いだされるピークを2本を見いだしMSにより同定した。

その結果 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を含んでいるPUCu01、PUCu02およびPUCu03はすべてRt 2.0min付近にピークを示し、しかも含有量とともにそれらのピークは増大した。PU単独の場合当然、ピークは存在しなかった。Fig.3左に示す。このピークをMSで同定した結果、Fig.4上に示すように

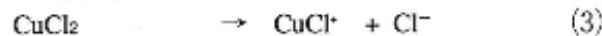
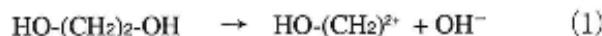


(2-chloroethanol, 2-クロロエタノール,
2-CEと略称する。MW 80)

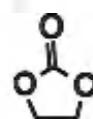
であることがわかった。

PUには鎖延長剤に $\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$ を用いている。又ポリマー-グリコールの中にも $-\text{O}-(\text{CH}_2)_2\text{O}-$ 又は $-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-$ 等の構造を含む。

2-クロロエタノールはエチレングリコールを例として次のようにして生じるものと考えられる。



第二のピークはFig. 3の右に示すように5.5min付近の微少ピークで1, 3-Dioxolan-2-one (MW88) と同定された。Fig. 4下に示す。この化合物にClは関与していないが、 Cl^- イオン濃度の大小には対応している。



(1, 3-Dioxolan-2-one)

3.3 ピークの定量性について

又ピーク面積の濃度(%)と酸化物の仕込量から定量的な関係が見いだされた。

Table 2 PU中の Cu^{2+} イオンのWt%(A)とバイログラム中の全ピーク面積に対する2-CEのピーク面積百分率%(B)

	PUCu00	PUCu01	PUCu02	PUCu03
A(%) ^a	0	0.6	0.17	0.22
B(%)	0	0.1	0.29	0.41

更に Cu^{2+} イオン濃度に依存する他の微量ピークが存在する可能性があり、これらについては現在検討中である。

4. 結論

金属イオンを定量するための微少キーピークは $\text{Cl}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$ であった。このピークの全ピークに対するピーク面積比(%)とPU中の Cu^{2+} イオン濃度との比率の関係はほぼ直線的であった。

もう一つのキーピークは1, 3-Dioxolan-2-oneで $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ が増加するにつれてそのピーク面積もほぼ増加する傾向にあった。

本実験で用いたPU試料はルーマニアの科学者のDr.Moroiより熱分解GC-MSの分析依頼を受けた試料である。

文献

1. Moroi G, Ciobanu C, Thermochim. Acta, Vol.385, 1/2, (2002) 153-162
2. Moroi G, Ciobanu C, Polym Degrad Stab Vol.78 (2002) 287-293
3. Yoshitake N, Furukawa M, Yokoyama T, J. Chromatography, 435-1, (1988) 219~224等

有明高専生の英語能力の発達に関する縦断的研究（2）

—1年次から3年次の比較を中心にして—

安部規子・山崎英司

〈平成15年9月30日受理〉

The Development of English Abilities of the Students of Ariake National College of Technology:
A Longitudinal Study (2)

—With a Focus on the Improvements from the 1st Year to the 3rd Year—

ABE Noriko and YAMASAKI Eiji

In this paper, the development of English abilities of the students of Ariake National College of Technology is investigated longitudinally. Seventy one students took the same English exams three times, in 2001, 2002 and 2003. The test scores were examined by repeated measures of ANOVA, and the result shows that the differences of test scores in all the six tests are significant. The English education the students have experienced for two years is reflected and further problems to be solved are presented.

1. はじめに

現在、高専生の英語学力の向上が急務となっている。本校の英語教育を改善するには、学生たちが年次を追ってどのように英語能力を発達させていくかを明らかにすることが不可欠である。本研究では、本校学生71名の1年次から3年次の英語能力の変化を調査し、その分析から、2年間の英語教育の効果を検証した。

被調査者は、2年次には、1年次の学科別のクラスから、5クラスの混合学級に分かれた。英語IIの授業は著者ら2名で担当したが、試験は共通問題で実施し、授業の進度や課題もクラス間で差がないように心がけた。

本稿では、2年次の教育実践を中心に述べる。1年次に関しては、安部(2003)を参照されたい。

2. 目的

本研究の目的は、本校での1、2年次の2年間の英語リーディングとリスニングを中心とした英語授業を経て、3年次には学生のどの英語能力が向上したかを明らかにすることである。

3. 授業の構造

3. 1 授業科目

英語II

本校では6単位である英語を3単位ずつ英語Iと英語IIにわける。そしてさらに英語IIでは、リーディング中心の授業とリスニング中心の授業を2:1の割合

で行なう。

3. 2 単位数

3単位

リーディングを中心とする授業2単位、リスニングを中心とする授業1単位と分ける。

3. 3 授業目標

英語を理解し、英語で表現する能力を養い、英語で積極的にコミュニケーションを図ろうとする態度を育てるとともに、言語や文化に対する関心を高め、国際理解を深める。

3. 4 教科書

2年次

SUNSHINE ENGLISH COURSE II

(土屋澄男他著 開隆堂)

SUCCESS IN TOEIC LISTENING 400

(David E. Bramley 河合忠仁著 松柏社)

3. 5 授業計画

2年次は、英語IIのリーディング中心の授業では、表1の通り、*SUNSHINE ENGLISH COURSE II*の偶数課(2, 4, 6, 8, 10課)及び、Reading 3を学習する。リスニング中心の授業では、表2の通り、*SUCCESS IN TOEIC LISTENING 400*をテキストにリスニング練習を行う。

表1 2年次のリーディング中心の授業計画

課の内容	言語材料
Lesson 2 What My Father Taught Me (ノーベル賞受賞者が幼年時代に父から受けた教え)	<p>文法事項 (1) 主語のついた分詞構文 (2) There+be動詞+主語+現在分詞 (3) 完了進行形 (4) the way+節</p> <p>語彙 Richard Feynman / tile / various / vertical(ly) / highchair / domino / complicate / mathematics / relationship / throat / thrush / opposite / Spencer / Italian / peck / feather / yeah / mess / straighten / lie / wagon / dad / roll / principle / physics / tendency / inertia / forward / friction / relation / sideways / sidewalk / educate / pressure /</p>
Lesson 4 Dreams Fill Everyone's Nights (夢の持つ様々な意味)	<p>文法事項 (1) 「主語+動詞+目的語+補語（原形不定詞）」の受身 (2) 踏歩節 (3) 助動詞+受身 (4) 助動詞+完了形</p> <p>語彙 anxiety / fear / meaningful / represent / symbolize / Hawaiian / symbolism / chase / universal / interpretation / inferiority / complex / inferior / below / amaze / least / lower / failure / avoid / escape / aggressive / characteristic / image / powerful / Robert Louis Stevenson / Jekyll / Hyde / Elias Howe / sew / capture / spear / tip / upon / thread / needle / fully / creativity / insight / weave / creative / current / although / arise / subject / technique / incubation / compose / sum / asleep / unimportant / wide-awake / incubate / rate</p>
Lesson 6 Disappearing Amazon Forests (アマゾンの熱帯雨林の開発問題)	<p>文法事項 (1) There+be動詞+主語+過去分詞 (2) 现在+動詞+目的語+補語（過去分詞） (3) 関係副詞節の中の語句の挿入 (4) be+to不定詞</p> <p>語彙 Amazon / Amazonian / Indian / tribe / paradise / basin / million / smallpox / influenza / malaria / mainly / Brazilian / government / area / northeastern / timber / huge / stock / hardwood / mineral / cattlemen / ranch / Xingu / national / force / circumstance / security / northern / chief / Megkronotis / Raoni / virgin / burn / settler / warrior / hunt / developer / desert / polar / region / civilize / concern / firstly / ecosystem / soil / fertility / provide / shelter / secondly / tribal / thirdly / scarce / resource / fourthly / vast / knowledge / medicine / examine / thorough(ly) / Thailand / crop / Myanmar / rid / modern</p>

Lesson 8 The Summer of Cecily (親とはぐれたアザラシの赤ちゃんの成長記)	<p>文法事項 関係代名詞の用法（復習） (1) 制限用法 (2) 非制限用法 (3) 前置詞+関係代名詞 (4) 関係代名詞の省略</p> <p>語彙 Cecily / pup / wool / blanket / prepare / formula / mixture / cream / oil / abandon / frustration / rubber / nipple / replace / sponge / barely / squeeze / steady / stream / greedily / sneeze / snort / rapid(ly) / taste / salty / equip / totally / unfounded / harbor / series / distress / whoop / seal / twice / progress / dare / tight / circle / timid(ly) / cling / admire / flipper / wing / perform / belly / dive / somersault / glide / widen / dizzy / float / laid / chest / comfortably / separation / wean / knee / foster / pebble / shiny / pop / sandwich / bite / buoy</p>
Reading 3 Do You Think I'm Crabby? (ルーシーとその仲間たちとの対話)	<p>語彙 crabby / Schroeder / Lucy / crabiness / Socrates / rule / whistle / guess / offend / exit / hmm / clipboard / Charlie / Snoopy / equipment / fastball / scale / zero / standard / average / exceptional / strict / deal / trait / observe / forceful / objectionable / excellent / abstention / none / physical / appearance / stun / intoxicating / page / note / cooperation / Pelt / pause / awareness / dent / audience / Linus / jab / jaw / flat / decent / busily / satisfaction / everybody / supercrab / miserable / selfish / deserve / planet / wah</p>

表2 2年次のリスニング中心の授業の計画

Part	学習内容
Part I 写真を用いた問題 Drill 1~10	スキーマを活用して英文を聞き取る。
Part II 応答文選択問題 Drill 1~10	文頭の疑問詞に注意して英文を聞き取る。
Part III 会話文問題 Drill 1~10	会話をしている人は誰か、何についての会話かをすばやく把握する。
Part IV 説明文問題 Drill 1~10	短い説明文を聴いて、内容を把握する。

3. 6 授業の実際

3. 6. 1 2年次のリーディング中心の授業について

1年次にある程度確立した英語の基礎的学習習慣を基盤として、さらに英語読解能力の向上を図った。英語読解能力の向上には、精読と速読の両方が必要であるが、この授業では精読中心となった。「慣性の法則」など科学的な内容や、抽象的な夢の話、アマゾンの熱帯雨林保護に関するものなど教材には難解なものが多く、語彙や文法の面からも、かなり高度なものであった。Reading 3はCharlie Brownの話で会話中心の教材は一見簡単そうであるが、なじみのない口語的表現が多く、予想以上に学生は難しく感じていたようであった。今後はやや易しめの英文をスピードを出して読み進み、大意を把握する速読練習を行う必要がある。

教材への理解を深めるために、アマゾンの環境問題に取り組むミュージシャン、ステイングの曲を聴かせた。また、接頭辞に焦点をあてた新出単語の導入やスクラブルゲームやクロスワードにより、語彙習得への関心を高めた。

3. 6. 2 2年次のリスニング中心の授業について

2年次は、TOEIC対策の一環として、表2に示した内容のTOEIC形式のテキストを採用した（問題例は付録(1)を参照）。授業では、まずテスト形式での解答、答え合わせの後、さらに同じ英文のディクテーションを行なった。このトレーニングにより、TOEICのリスニング問題に慣れさせた。

テープを聴く活動だけでは単調な授業になりがちなので、既習の場面に応じた対話やリーディングの教科書のインタビューの教材を参考にして、自分たちで独自のダイアローグを作る活動も行なった。1年次と同様に、自分たちで作ったダイアローグを口頭で発表させ、他の学生に評価させた。このような活動は、場面に応じた英語表現をより自然に身につける助けになると考えられる。（ダイアローグの例は付録(2)の(A)(B)(C)参照）。

3. 7 成績の評価方法について

成績は、1年次同様、リーディング中心の授業70%、リスニング中心の授業30%で定期考査の得点を基に、小テスト、授業への参加意欲などにより総合的に判断した。成績が振るわない学生については、個別に指導を行なった。

3. 8 授業以外の英語学習

3. 8. 1 長期休暇中の課題について

1年次から引き続き2年次でも、休暇中もある程度英語学習を継続し、既習内容の復習になるように、実践的な問題を課題にした。この課題を休暇明けに行なわれる「課題試験」の範囲としたため、学生は非常に真剣に取り組んだ。

課題は表3の通り、実用英語検定準2級を改作して作成した。課題試験では、応用問題も出題したがよく解答できており、全体的な得点もかなり高いものであった。

表3 長期休業中の課題内容

2年次 春休み	実用英語検定 平成13年度第3回 準2級問題改作
2年次 夏休み	実用英語検定 平成14年度第1回 準2級問題改作
2年次 冬休み	実用英語検定 平成14年度第2回 準2級問題改作

3. 8. 2 英語検定試験について

1年次は、専門科目の1単位に認定される工業英検4級に、被調査者の内約50名が合格した。3年次6月までに2名が3級に合格した。

2年次は、一般科目的2単位に認定される実用英検の準2級の受験を奨励し、3年次8月までに、被調査者のうち15名が合格した。また1名が2級に合格した。

現在、高専生の英語能力の尺度としてTOEICに大きな注目が集まっている。今後、TOEICのより実社会に即した問題に対応できる英語能力の養成が課題である。とはいえ、1年次から3年次の高校生のレベルでは、教室で学んだ内容が直接反映されている工業英検、実用英検の資格取得は英語学習の動機付けとして大きな意義があると思われる。

3. 9 授業の特徴

1年次と同様に2年次も、授業中や予・復習に、作業を伴なう学習を課す「タスク中心の英語学習」、身近な目標を達成させ成就感を経験させる「目標を持った英語学習」、休暇中も学習を継続させる「中断のない英語学習」を基本方針として授業を行なった。

以上のような2年間の英語学習の結果、英語の能力が向上したかどうかを次のような方法で調査した。

4. 成果の吟味と評価

4. 1 被調査者

有明高専生71名

(1年次から3年次まで全てのテストを受けた学生のデータのみを分析した。)

4. 2 調査手順

調査時期

1年次は平成13年6月、2年次は平成14年6月に、3年次は平成15年6月にそれぞれ1週間程度で行なった。

調査項目

- (1) 英語リスニングテスト (40問20分)
- (2) 英単語聴覚認知テスト (50問15分)
- (3) 英語リーディングテスト (16問30分)
- (4) 英語クローズテスト (20問20分)
- (5) 英語語彙テスト (25問15分)
- (6) 英語文法テスト (25問15分)

テスト問題についての詳細及びサンプル問題は、安部(2003)を参照されたい。

4. 3 分析手順

各テストの1年次から3年次の各テストの得点に、差があるかどうかを調べるために分散分析(反復測定)と下位検定を行なった。用いた解析ソフトはSPSSである。

4. 4 結果と考察

各年次の各テストの結果は次の通りである。

表4-1 1年次のテスト結果

1年次	満点	最高	最低	平均	標準偏差
英語リスニング	40	31	14	21.66	3.660
英単語聴覚認知	50	34	12	23.90	4.482
英語リーディング	16	13	3	6.51	2.280
英語クローズ	20	15	4	8.27	2.124
英語語彙	25	16	7	11.25	2.383
英語文法	25	17	5	13.21	2.596

表4-2 2年次のテスト結果

2年次	満点	最高	最低	平均	標準偏差
英語リスニング	40	34	14	24.93	4.590
英単語聴覚認知	50	37	15	24.46	4.595
英語リーディング	16	14	4	7.83	2.372
英語クローズ	20	15	4	9.15	2.665
英語語彙	25	18	7	13.35	2.597
英語文法	25	21	5	13.76	3.564

表4-3 3年次のテスト結果

3年次	満点	最高	最低	平均	標準偏差
英語リスニング	40	36	16	25.39	3.959
英単語聴覚認知	50	40	15	27.77	4.811
英語リーディング	16	15	2	8.06	2.596
英語クローズ	20	17	5	9.80	2.309
英語語彙	25	20	9	14.96	2.621
英語文法	25	20	6	15.41	3.315

3年次の得点は、2年次、1年次の得点を全てのテストで上回っている。次に分散分析(反復測定)でその差が有意なものかどうか調べた。

表5 テストの得点差の検定結果

テスト	df	F	p
英語リスニング	2	35.725	0.000 ***
英単語聴覚認知	2	42.363	0.000 ***
英語リーディング	2	14.739	0.000 ***
英語クローズ	2	17.983	0.002 ***
英語語彙	2	56.103	0.000 ***
英語文法	2	13.880	0.000 ***

***=p<0.005

表5から、1年次から3年次では全てのテストの結果に有意差があることがわかった。下位検定を行った結果、有意差があった年次は表6の通りである。

表6 年次間の得点差の検定結果

テスト	年次間の得点の有意差
英語リスニング	1年次<2年次・3年次
英単語聴覚認知	1年次・2年次<3年次
英語リーディング	1年次<2年次・3年次
英語クローズ	1年次・2年次・3年次
英語語彙	1年次<2年次<3年次
英語文法	1年次・2年次<3年次

次にテスト別の成績の推移について考察する。以下は、1年次から3年次までのテスト別の成績グラフである。各年次の中央値、最大値、最小値、上側ヒンジ(75パーセンタイル)、下側ヒンジ(25パーセンタイル)、及び外れ値が○で表わされている。

(1) 英語リスニングテスト

図1から、英語リスニング能力はLL授業の効果により、全体的には向上したと言える。しかし、2年次と3年次を比べると、下位群は向上したが、上位群には顕著な向上が見られない。

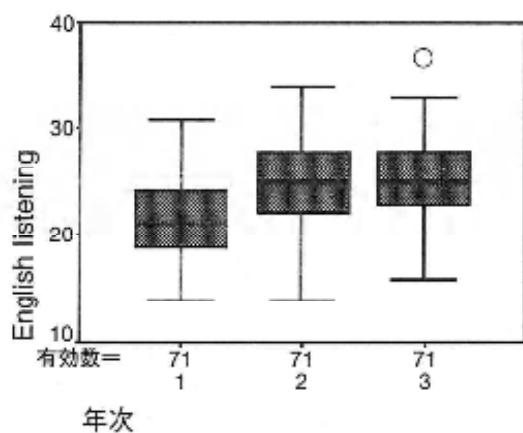


図1 英語リスニングテスト年次別成績分布

(2) 英単語聴覚認知テスト

このテストでは、つづりを見れば簡単にわかるであろう単語（例えば、campやgoalなど）を、音声のみで認知できるかどうかを調べている。図2から、3年次にかなりの向上が見られた。単語のつづりと音声が結びついてきたと言える。しかし、答案を見てみると、campはcan、goalはgoとの誤答が多く、単音節の聞き取りが依然として困難であるようだ。また別の問題は、すでに日本語になっている英単語が、実際の音声との間のギャップのため誤って認識されていることである。例えば、Europeを「ヨーロッパ」ではなくyourと誤認している学生が3年間を通じてかなりいるのである。

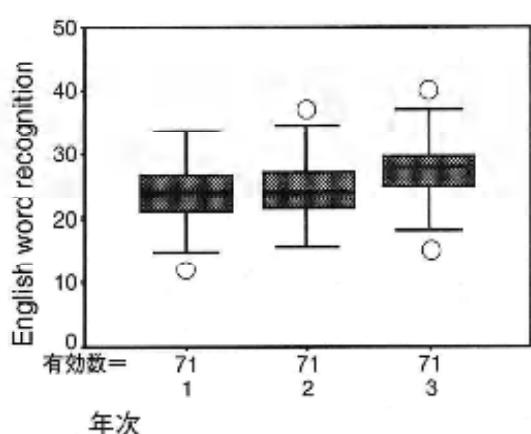


図2 英単語聴覚認知テスト年次別成績分布

(3) 英語リーディングテスト

図3から、英語リーディング能力は、年次ごとに上位と下位の差が開いていることが注目される。読解力が向上した学生と、低迷している学生の差がはっきりと現れている。特に3年次では、上位群の向上も著しいが、下位群が1, 2年次よりも低下している事実は見過ごせない。

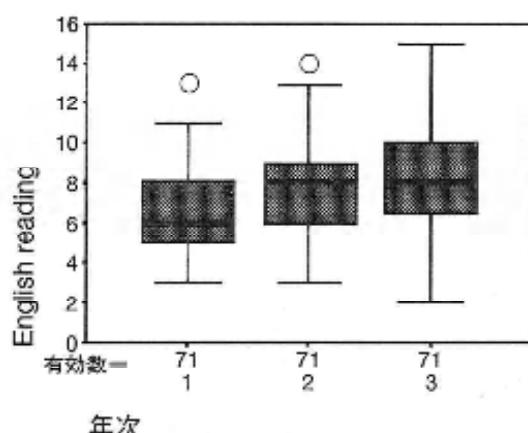


図3 英語リーディングテスト年次別成績分布

(4) 英語クローズテスト

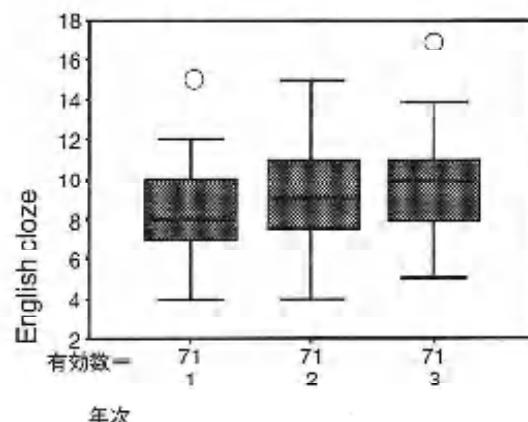


図4 英語クローズテスト年次別成績分布

クローズテストで測定された能力は総合的な英語能力を表していると考えられる。図4から、3年次では、下位群が向上したが、上位群には伸びがなく、全体的には上下の差がやや小さくなつたようである。

(5) 英語語彙テスト

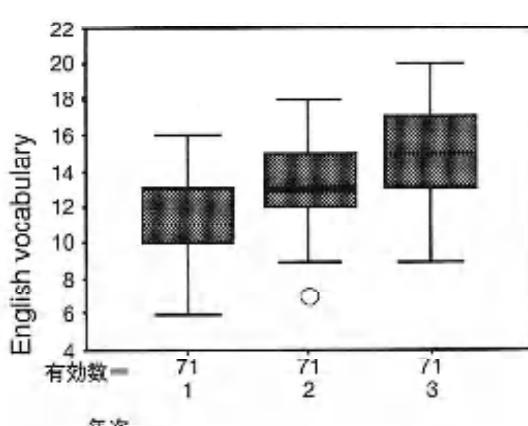


図5 英語語彙テスト年次別成績分布

図5から、語彙は年次ごとに向上したと言える。これは、教科書や休暇中の課題教材の語彙が、日々の学習によって身についてきた結果であろう。語彙は英語能力を発達させていく上で必要不可欠な基礎力である。今後も語彙力を向上させる努力が必要である。

（6）英語文法テスト

図6から、3年次の文法能力は、2年次と比較して上位群と下位群が接近している。2年次の教科書を終了し主要な文法項目を一通りは学習しており、テスト問題に未習の項目がなくなっていたということが影響しているかも知れないが、基礎的な文法事項が多くの学生に定着したと言える。しかし、下位の3名が外れ値として示されていることから、極端に文法を苦手としている学生がいることも明らかになった。

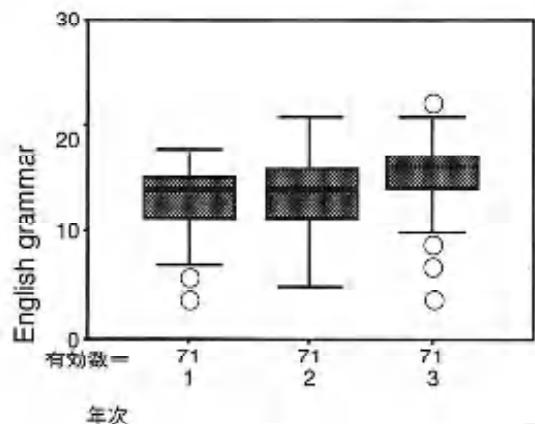


図6 英語文法テスト年次別成績分布

以上のようなことから、被調査者の英語能力は全体的には向上しているとはいえるが、英語リーディングや英語文法では下位にかなり問題を抱えた学生がいることがわかった。このような下位群の英語能力向上の早期対策が課題である。

5.まとめと今後の課題

本研究では、本校生71名に6種類の同一の英語テスト問題を1年おきに3回解答させ、その点数の差を検定することにより、英語能力の向上を調べた。その結果、6つのテスト全てに有意な差が得られ、これらの技能での1年次から3年次での発達が明らかになった。英語能力の低さが指摘されることが多い高専生ではあるが、2年間工夫をしながら英語学習に取り組ませた成果として、英語能力を向上させることができた。

しかし同時に課題も明らかになった。1年次から3年次では6つのテスト全てにおいて能力の発達が見ら

れたが、年次別に調べてみると、1年次から2年次でも、2年次から3年次でも有意差がなかった英語クローズテストの成績に加えて、1年次から2年次では英単語聴覚認知と英語文法のテスト成績に、2年次から3年次では、英語リスニングと英語リーディングのテストの成績に有意差がなかった。このような、技能による発達時期の相違は、初級学習者に共通のことなのか、本校生だけの伸び悩みの状況なのか、今後検討して行く必要がある。

テストの成績の他にも示唆を与えられたことがある。3年次のテストを実施した際に、過去2年間の英語学習を振り返るアンケートを実施した。詳しい分析結果は次の機会に報告するが、今回の被調査者である学生たちが全般的には英語学習にまじめに取り組んできたことがわかった。ただ、1年次から3年次の間では、2年次にやや意欲の低下が見られること、全体的に自ら求めて学習しようとする「課題意識」や「主体的思考」という特性では低い傾向が見られた。今後、2年生で学習意欲を低下させない工夫と、自主的には学習しない、特に下位者の学生にさらに配慮した手立てを考えることが必要である。

3年次は、4単位の英語授業の1単位をTOEIC対策問題集に当て、今まで学習した内容を実践問題という形で復習することにより、語彙語法・文法の応用力養成を目指している。また外国人講師による英会話の授業も行なわれている。このような実践練習が今回の被調査者の英語能力をさらに伸長させることを期待し、さらに調査を続けたい。

最後に、平成14年度、15年度のテストの実施にあたってご協力いただいた本校英語科の村田和穂先生に感謝申し上げる。

参考文献

- 安部規子（2003）『有明高専生の英語能力の発達に関する総合的研究（1）—1年次と2年次の比較を中心に—』有明高専紀要第38号
- 内田治（1997）『すぐわかるSPSSによるアンケートの調査・集計・解析』東京書籍
- 門田修平（2002）『英語の書きことばと話しことばはいかに関係しているか』くろしお出版
- 金谷忠（2003）『英語教育評価論』河源社
- 小池生夫（1994）『第二言語習得に基づく最新の英語教育』大修館書店
- 武井昭江（2002）『英語リスニング論』河源社

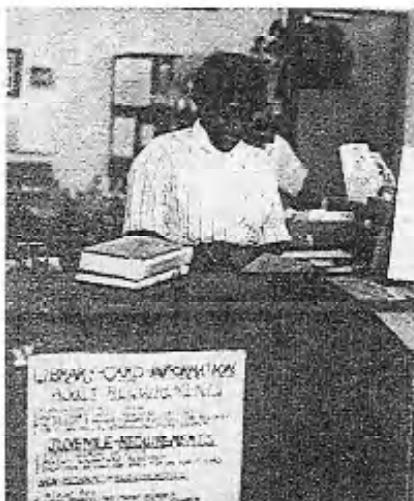
付録

(1) SUCCESSIN TOEIC LISTENING 400の問題例

Part I Picture Questions Drill 6

Directions: For each question, you will see a picture in your test book and you will hear four short statements. The statements will be spoken just one time. They will not be printed in your test book, so you must listen carefully to understand what the speaker says. When you hear the four statements, look at the picture in your test book and choose the statement that best describes what you see in the picture. Then, on your answer sheet, find the number of the question and mark your answer.

1.



(A) (B) (C) (D)

(Transcript)

- (A) The librarian is behind the counter.
- (B) Somebody is borrowing the book.
- (C) Many books are on the counter.
- (D) The librarian is having lunch.

2.



(A) (B) (C) (D)

(Transcript)

- (A) Three men are climbing a mountain.
- (B) The mountain is covered with snow.
- (C) The ski class are all practicing hard.
- (D) The skiers are going very fast.

3.



(A) (B) (C) (D)

(Transcript)

- (A) A flight attendant is helping a passenger.
- (B) A passenger is putting his bag away.
- (C) The passengers are sitting quietly.
- (D) The passengers are having lunch.

4.



(A) (B) (C) (D)

(Transcript)

- (A) The bread is to the left on the large plate.
- (B) The knife and fork are on the right.
- (C) The ashtray is under the table.
- (D) The glass is touching the cup.

(2) 学生が書いたダイアローグの例（原文のまま）

(A)

A: *May I help you? Welcome to Joyful. Would you like no smoking seat or smoking seat?*

B: *Well...No smoking seat please.*

A: *When you decide some order, please push the button.*

B: *ピンポーン！ Sorry!! One hamburger Japanese style, one drinkber please.*

A: *Thanks. Please waiting for minutes.*

(B)

A: *Good morning. Why are you panicked?*

B: *Today We have to submit the English paper to Ms. Abe.*

A: *Really? What day is today?*

B: *It's Thursday. Have your finished it?*

A: *Oh! No! I thought today is Wednesday. I have to copy Akiko's paper quickly.*

(C)

(下線部は指定された表現である。)

A: *Excuse me a moment, Ryo, but I was wondering if you'd mind answering a few questions.*

B: *Not at all, Keigo. What kind of question are they?*

A: *Well, I'm conducting a survey in order to know Japanese young people better.* First of all, last year two Japanese were given Nobel prize.

B: Yes, I was very happy as one of Japanese.

A: Me, too. By the way, what do you think Nobel did?

B: He invented the dynamite. But it was used arms. I think sad it.

A: All right, Ryo. The second question. Do you know who was the first Nobel prize winner?

B: Um...let me see...no, I don't know it. Give me hint, please.

A: O.K. Well...the man invented the X-ray.

B: Oh, O.K. I understood it. Answer is Lentogen.

A: O.K. There is one more question. Do you want to get the Nobel prize?

B: Of course. So, I am studying biology.

A: That's great! What kind of creature do you research?

B: It's cockroach.

A: *Very well. Thank you very much for helping with this survey, Ryo.*

B: *It was a pleasure, Keigo.*

ゲーテが愛した女性たち

瀬戸 洋

<平成15年9月3日受理>

The Women Goethe Loved

SETO Hiroshi

Goethe loved more than 10 women in his eighty-three years lifetime. And the love with them had a great influence on his literary works. He loved, wrote a work based on the love, and sloughed it off. He repeated this in his life. I picked up 10 women of his loves and tried to make a short sketch of them.

1 初めに

ゲーテ（1749—1832）は83年におよぶ生涯のあいだに10人を越す女性に恋をした。そしてその恋は、多かれ少なかれ何らかの形で彼の作品に影響をおよぼしている。彼の生涯は、恋をして、その恋を糧に作品を書き、そしてその恋から脱皮して行く、そのくり返しであったと言って過言ではない。彼の恋は作品の栄養素であった。その10人を越すゲーテの恋の遍歴の中から、ここでは10人を取り上げて、私なりに簡単なスケッチを試みてみた。

2 グレートヒエン

グレートヒエンはゲーテの初恋の人である。グレートヒエンについてはゲーテの自伝『詩と真実』に記されている以上のことはわからない。厳しい父親の監視下のもとで英才教育をほどこされていたゲーテではあったが、14歳ともなればいろいろな遊び仲間も出てくる。そんな仲間がゲーテの文才を利用することを思いつく。最初はゲーテに偽のラブレターを書かせて仲間の一人をからかう程度だったが、そのうちに婚礼の詩や葬式の詩を引き受けて小遣いをかせぐようになる。ついには、仲間の一人を就職させるため、母方の祖父である市長あてに推薦状まで書かせる。その仲間が集まって食事をしたり酒を飲んだりする所で、ゲーテは初めてグレートヒエンに逢う。ゲーテは一日で彼女にひかれる。

「なみはずれて美しい少女であった。(略) このとき以来この少女の姿がどこへいっても私につきまとった。」(『詩と真実』以下『詩』と略)

少女もゲーテを惜からず想い、淡い二人の交際が始まる。少女はゲーテをたしなめて、悪い仲間にそそのかされて変な文書を書いたりしてはいけないといさめる。

1764年、神聖ローマ帝国皇帝ヨーゼフ二世の戴冠式がフランクフルトで行なわれた。町はあげて戴冠式一色になった。生来の教え魔であるゲーテは、父と一緒に戴冠式に関する歴史を調べ、その勉強の成果をグレートヒエンに教えた。戴冠式当日は二人で式典を見学した。

「グレートヒエンを彼女の家の戸口まで送っていったとき、彼女は私の額にキスしてくれた。彼女が私にそういう好意を示したのは、これが最初でそして最後のことであった。悲しいかな、私は二度と彼女に会うことはなかった。」(『詩』)

というのは、次の日ゲーテは、市参事会員から文書偽造の共犯者として取り調べを受けた。ゲーテは泣きながら事の一部始終を話し、彼は利用されただけで、関与はしていないということが判明して、事なきを得る。ゲーテを利用した悪い仲間たちがどんな処置を受けたかは不明である。少なくとも、グレートヒエンはこれを機にフランクフルトを離れて行った。こうして二人の関係は終わった。

しかし、そのあとが大変であった。ゲーテは一種の惑乱状態におちいる。それはゲーテの天性の想像力、創作力のせいのように思われる。グレートヒエンや仲間のことを思いやって妄想をたくましくして変調をきたしたようである。

「こうして私は昼となく夜となく非常な不安と狂亂と憔悴のうちに過ごした。」(『詩』)

そして、人づてに、グレートヒエンのゲーテに対する気持ちは異性というより姉のような感情であったというのを聞きおよんで、この惑乱状態はいっそう激しくなる。グレートヒエンに子供扱いされていたかと思うとゲーテの自尊心はずたずたになつた。

「私はほとんど一晩じゅう激しい感情にかられて苦しみに身をゆだねたので、涙とすすり泣きのために、

ついにはもうなにも飲みこめなくなった。」(『詩』)
概してゲーテは、感情を大きくゆさぶるような立場にたつと、体の変調をきたすのであるが、これがその最初と言える。このあともこの種のことが繰り返される。それゆえ、ゲーテは本能的にそういうことを避けるようになって行く。

3 アンナ・カタリーナ・シェーンコップ (1746-1810)

1965年9月末、16歳のゲーテは父の勧めに従って法学を学ぶためライプツィヒに向かう。当時、ライプツィヒは小巴黎と言われるほどハイカラな町であった。帝国直属都市フランクフルトもライプツィヒから見れば田舎である。ゲーテは父親が準備してくれた野暮ったい服を脱ぎ捨て、流行の服を新調する。お金は潤沢にあった。子供の教育にはお金を惜しまなかつた父親が分不相応なくらい持たせてくれた。父親がゲーテに仕送りした金額は大学教授の給料よりもはるかに多かった。加えて、厳しい親の目もない。まさに糸の切れた凧である。ゲーテは羽目をはずして、青春を謳歌する。友人の証言を挙げよう。

「われらのゲーテのことを話せって！ あいつは、僕が来たころのように、あいかわらず高慢ちきな妄想家だ。あの男の様子を見たら、君はかんかんになって腹をたてるか、それともおかしくて吹き出すかせずにはいられないだろう。人間がどうしてこんなに速く変わりうるのか、僕は理解できない。彼の風態、彼のいまのふるまいは、以前の行状と天地のへだたりがある。彼は高慢ちきな上、めかしやでもある。そして彼の服はどれもこれも、よし美しいにしても、大学じゅうの目をそばだたせるような、馬鹿げた趣味だ。」(『ゲーテ対話録』以下(『録』)と略)

1766年4月、同郷の先輩シュロッサーが見本市を見るためライプツィヒにやってくる。彼はのちにゲーテの妹コルネーリアと結婚するが、この時点ではまだそういう関係ではない。彼は奥さんがフランクフルト出身というよしみで、シェーンコップが経営する宿屋兼酒亭に宿をとる。ゲーテは彼がライプツィヒに滞在しているあいだ、毎日、彼と一緒にその酒亭で食事をとる。そして、その酒亭でゲーテはその娘アンナ・カタリーナ・シェーンコップに出会うのである。彼女はカタリーナの愛称であるケートヒエンと呼ばれていた。ゲーテより3歳年上である。ゲーテはシュロッサーがライプツィヒを去ったあとも、毎日、シェーンコップ家で食事するようになる。

「私は毎日のごとく、なんの邪魔もなく彼女に会っていた。彼女は私の食べる食事のしたくを手伝い、少

なくとも晩には、私の飲むぶどう酒を運んできてくれた。」(『詩』)

二人はしばらくしてお互いを憎からず思う仲になつた。しかし、年齢のこと、身分違いのことなどを考えるとき、ケートヒエンがどれほど貞潔にゲーテを恋していたかは疑問である。いずれにせよ、この恋人同士のあいだは必ずしも甘いばかりではなかった。しばしば波風もたつた。それはひとえにゲーテに原因があつた。ゲーテは親元から離れた開放感、若さゆえの激しい感情の揺れ、極端から極端になりがちな性癖などのため、ケートヒエンを苦しめる。ケートヒエンが気立てが良いのをいいことに、ゲーテは野放図に彼女に甘えた。他のことでむしゃくしゃしても、その怒り、不機嫌を彼女にぶつけた。ゲーテは嫉妬も激しかった。理不尽と言っても良いかもしれない。友人ペーリッシュへの手紙にこんなくだりがある。

「ぼくは月曜の夕方熱を出してしまい、夜中は寒氣と熱でひどく悩まされ、きょうは一日じゅうとじこもっていなければならなかつた。夕方、何か取り寄せようと思って人をやつたら、女中がきて言うことに、彼女は母親と芝居を見に行つたのだそうだ。ぼくは熱を出して悪感でふるえていたのだが、これを聞いたとたんに全身の血が燃えあがってしまった。」(1767-11-10)

ゲーテはこのあと、熱をおして劇場に行き、天井桟敷から双眼鏡で、ケートヒエンが母親と弟と学生の4人で楽しそうに芝居見学しているのを見て、さらに逆上する。ゲーテがこんなふうでは、いかにケートヒエンがやさしい心根をしていても限界がある。

「私は、なんのいわれもない、つまらぬ嫉妬心にかられて私と彼女のもっとも美しい日々をだいなしにしてしまつた。彼女はしばらく信じられぬくらいの忍耐でこれに耐えていたが、私は残酷にもこれを極端なまでに追いつめたのである。ついに彼女の心が私から離れてしまつた。」(『詩』)

ゲーテは彼女の心を取り戻そうとありとあらゆることを試みたが、無駄であった。彼女の心は二度とゲーテを向いてくれなかつた。このあとゲーテは、グレートヒエンのときと同じように体に変調をきたす。ゲーテはこの頃ルソーの「自然に帰れ」の掛け声に従つて、當時流行していた冷水浴、固いベッドにうすい布団を勉強し、不摂生も加わって体調をくずしていた。そして、運の悪いことに、馬を走らせていて落馬までの。精神的には、もともと憂鬱症的傾向が強いうえ、ケートヒエンのことがかさなり、そのうえ尊敬するヴィンケルマンがイタリアで刺殺されて、ゲーテの体は限界に達する。ある晩ゲーテは吐血して、数日間生死の境

をさまよう。周囲の手厚い看護を受けて、なんとか生命の危機は脱するものの、首に腫れものができる、それがなかなか治らない。1768年8月、ゲーテは学業を中途で止めて、フランクフルトに帰る。この時の病気は肺結核と言われている。ゲーテはライブチッヒを去るにあたり、ケートヒエンに別れを告げるため、シェーンコップ家を訪ねるが、ドアまで行って、会わずに帰る。そして、フランクフルトに帰ってからお詫びの手紙を出した。その後も見られるいかにもゲーテらしいやり方である。

「ところで、さようならも言わずにとび出したことについてはもうお許しくださったことと思います。ぼくはすぐとなりまできていたのです。下の戸口のところまできて、角燈が燃えているのを見て、階段のところまで行ったのですが、あがって行く勇気がありませんでした。」(1768・10・1)

ちなみに、ゲーテが去ったあと、ケートヒエンは弁護士と結婚した。ケートヒエンとの恋の所産として、牧人劇『恋人の気まぐれ』と詩集『アネット』がある。ケートヒエンがカタリーナの愛称であるのに対して、アネットはアンナの愛称である。ゲーテはこの後も恋をして、それを文学に昇華して行くということを繰り返すことになるが、このケートヒエンとの恋愛の結果生まれた2作品がその最初と言える。ゲーテ自身述べている。

「こうして私に、生涯はなれることのできなかつたあの傾向が始まったのである。すなわち、私を喜ばせ、あるいは苦しめ、その他私の心を動かしたものを見つける形像に、ひとつずつ作品に変じ、これによって私自身に決着をつけ、外の事物にたいする私の観念を是正すると共に、内なる私の心を落ち着かせるという傾向である。」(『詩』)

4 フリーデリーケ・ブリオン

(1752-1813)

ゲーテは帰郷したあと、医者にかかり、肉親の手厚い看護を受けながらも、首の腫れものはとれないし、体調もはかばかしくなかった。

「そうこうしているうちに、私にとってさらに苛烈な試練が準備されていた。というのは、機能障害を起こし、ある瞬間はまったく働かなくなってしまった消化作用がいろいろの徵候を現した。」(『詩』)

驚いた母は、多少危険を伴う万能薬を医者に強要する。医者はためらうが、母親の子供を思う気迫におされて、その危険な万能薬をゲーテに処方する。この薬がきいて、このあと病気はしだいに快方に向かう。12月にはいったん快復するものの、1月には再発するが、

大事には至らず徐々に快復していく。ライブチッヒで喀血して以来、ゲーテは約半年以上病氣していたことになる。病氣もすっかり癒えたゲーテは、1770年3月、学位取得を目指してシュトラースブルクに向かう。

シュトラースブルクでの学生生活はライブチッヒほど浮わついたものではなかった。しかしそれでも、いくつかの証言によれば、相変わらずきざで、鼻持ちならぬところはあったらしい。シュトラースブルクにおけるゲーテで特筆すべきことは、ヘルダーによって文学的開眼をしたことである。ゲーテはそれ以前からヘルダーの著作を読み、強い影響を受けていた。ゲーテはヘルダーが目の治療のためシュトラースブルクに来たのを機に、彼に会って直に薰陶を受け、詩人としての才能を開花させて行く。

「この治療の期間中ずっと、私は朝夕にヘルダーを見舞つた。それにまた終日彼のもとにとどまって、素晴らしい偉大な彼の特性、該博な知識、深い識見を日々にますます評価するようになるにつれて、一方ではなく彼の叱責や非難にもいっそう慣れていった。この善意のがなり屋の影響は大きく、いちじるしいものがあった。」(『詩』)

ゲーテは、1770年10月のある日、エルザス出身の食卓仲間に誘われて、彼の知合の牧師を訪ねる。牧師はシュトラースブルク近郊のゼーゼンハイムに家族と一緒に暮らしていた。牧師の妹娘が、ゲーテの恋の対象になったフリーデリーケ・ブリオンである。ブリオンは18歳、ゲーテは21歳であった。ゲーテは初めてブリオンに会ったときの印象を「さながらこの田舎の天空に世にも可愛いひとつの星が現れたのであった」(『詩』)と記している。ゲーテはすぐに、牧師の飾り気のない人柄、気のおけない家族の雰囲気、そしてブリオンの清純で素朴なたずまいが好きになった。実はゲーテは、一計を案じて、貧しい神学生というふれこみで、貧相な身なりでブリオン家にやって來た。しかし、感じの良いブリオン一家、特に愛らしいブリオンを前にして自分のみすばらしい服装がみじめになつた。ゲーテは夜明けとともにブリオン家を抜け出し、馬を走らせ、近郊に住むブリオン家とも親しい青年の所に行き、事情を話して服を借り受けて、またブリオン家にとつて返した。ゲーテが青年の服を着ていたため、ブリオン家の人々がゲーテを青年と取り違えて大笑いとなり、ゲーテは一気にブリオン家に溶け込んで行く。ゲーテは足しげくゼーゼンハイムを訪れ、ゲーテとフリーデリーケの仲も親密になって行く。

「私たちがいっしょにいる習慣がありますが定してきたので、私はこの家族の一員であるとしか誰も思わ

なかった。(略) シュトラースブルクの町にもどると、まったくいろいろな仕事や遊びが待ちかまえていたが、そんななかにあっても、私はいまや規則的に交わされることになった恋人との文通によって、なんども自分の心を彼女に集中したのだった。手紙のなかでも、彼女はいつも変わらぬ彼女であった。」(『詩』)

フリーデリーケとの恋がゲーテに詩人としての才能を開花させる。この時期の詩は一般にゼーゼンハイムの歌と呼ばれ、数は多くないが、ゲーテにとっても、ドイツ文学にとっても全く新しい詩の世界であった。『5月の歌』の一部を挙げよう。ゲーテのほとばしるような恋の喜び、青春の息吹が感じられる。それは同時にドイツ文学の新しい夜明けでもあった。

おお愛よ 愛よ！ 山の端の/ 朝雲の/ 黄金なす美
わしさ！
おお少女よ 少女よ！ ひたすらにわれは愛す！ 燐
ける汝が瞳よ！ 汝もまたわれを愛す！
われもまた/ 汝を愛す/ 熟き血もて/ 青春とあたら
しき歌

ゲーテは父との約束である学位論文の作成に本格的に取り掛かる。その頃からフリーデリーケがゲーテにとって遠いものとなる。そして、その存在が重荷になってくる。学位論文はけっきょく受理されず、1771年8月、公開討論によって法学得業士の資格を得る。博士号こそ取れなかったものの、本来の目的を果たした今、ゲーテにシュトラースブルクに居る理由はなくなった。加えて、フリーデリーケに対する情熱が冷めてしまった今となつては、シュトラースブルクを一刻も早く離れたいという気持が強く働いたのであろう。資格修得後、あまり時をおかず、8月半ば、ゲーテは帰郷の途につく。シュトラースブルクを離れるにあたり、ゲーテはゼーゼンハイムを訪れるが、そのさい、フリーデリーケに自分の気持ちを告白することができなかった。けっきょくゲーテは離別の言葉を手紙で告げることになる。

ゲーテの恋に嘘はなかったにしても、少なくともゲーテに結婚の意志はなかった。結果的には清純な乙女の心をもてあそんだことになった。おそらく結婚を夢見ていたであろうフリーデリーケの悲しみは深かった。同時に、初めて自分の方から女性を捨て去ったゲーテの後悔の念も深く、ゲーテを苦しめる。

「グレートヒエンは私の手から奪われたのだし、アネットは私を捨てさつたのだ。こんどは初めて私に罪があった。私は世にも美しい心の奥ふかくを傷つけてしまった。いつもなら私の心を慰めてくれる愛情に恵

まれているのに、それさえもない暗い後悔の時期は、なんとも辛く耐えがたいものだった。」(『詩』)

しかしゲーテは、先にも述べた通り、自分の気持を文字という媒体によってつむぎ出すことでまた立ち直って行く。

「フリーデリーケの身の上を思うと苦しくて、私の心は不安になるのだったが、そのようなとき、私は昔ながらの流儀でこんどもまた詩作に救いを求めた。私はこれまでやってきたように詩作によって懺悔をしつづけ、こうして自虐的に悔い改めることによって心の免罪符を得ようとしたのである。」(『詩』)

ゲーテと別れたあとのフリーデリーケの後半生は決して幸せなものではなかった。私生児を一人もうけたものの、結婚することなく貧困のうちに亡くなっている。それに関して、因縁めいたエピソードがある。ゲーテは、シュトラースブルクに来てまもなく、まだフリーデリーケを知る前に、ダンス教師の二人の娘と知り合いになる。姉妹は二人ともゲーテに好意を寄せる。妹に対する嫉妬から姉はある時、「私の後にはじめてこの唇に接吻する人には、未来永劫に不幸という不幸が重なる」(『詩』)と言いかながらゲーテに何度もキスをする。そして、そのあとゲーテとキスをしたのがフリーデリーケである。その後のフリーデリーケの人生を見るとき、奇しくも、姉娘の呪いがフリーデリーケに乗り移っているような気がする。

ところでゲーテは、1779年9月、アウグスト公のお供をしてスイスに向かう途中、一行から離れてゼーゼンハイムを訪れる。その時のことを当時の恋人シエタイン夫人に書き送っている。

「ほくは馬でやや道をそれでゼーゼンハイムにむかいました。そこには、ほくが8年前に別れた一家がいまも住んでいて、ほくは心から歓迎されました。(略) 一家の次女はかつてほくを愛していました。それはほくにはもったいないほどの愛情でした。(略) が、あるときほくは彼女を捨て去らなければなりませんでした。それは彼女の一命にも及びそうなことだったので、(略) 真実なつかしそうににこやかに振舞ってくれたので、ほくは嬉しくなりました。(略) その夜はそこに泊まり、翌朝、口の出とともに別れました。」(1779・9・24)

話題はそれるが、ゲーテはシュトラースブルク滞在中、ある歴史的出来事に遭遇する。マリー・アントワネットが輿入れのため、パリに行く途中、シュトラースブルクを通過した。しかもシュトラースブルクでフランスの使者に花嫁が手渡されることになった。ラインの中洲にそのための建物が建てられた。ゲーテは無理を言ってその部屋を見せてもらう。そして、壁にか

けられたゴブラン織りを見て、ゲーテは激怒する。というのは、そのゴブラン織りにはギリシア神話に材をとった花嫁にもっともふさわしくない話が織り込まれていたからだ。いみじくもゲーテが王妃の末路を暗示しているようで興味深い。ゲーテは奇しくも王妃の兄の戴冠式もフランクフルトで見学し、世紀の結婚をするためパリに向かう妹も目撃したことになる。

5 シャルロッテ・ブフ (1753—1828)

1771年8月中旬、ゲーテはフランクフルトに帰り、弁護士を開業する。父親がいろいろ手伝ってくれる。弁護士業のかたわら文学活動にも精を出す。この時期の作品として『グット』がある。家族に囲まれての生活に息苦しさを感じ出した頃、父親がヴェッツラーの帝国高等法院で司法の実習をするよう勧める。ゲーテは喜んでそれに従う。帰郷して9ヶ月後の1772年5月中旬、ゲーテはヴェッツラーに赴く。この地でゲーテはシャルロッテ（愛称ロッテ）と出会う。彼女との出会いは、ロッテ体験を基に作品化した『若きヴェルターの悩み』では次のようにになっている。舞踏会に行く主人公の馬車にパートナーの知り合いのロッテも便乗することになり、彼女の家に迎えに行く。

「ぼくは馬車から降りた。女中さんが門のところまで出てきて、しばらくお待ちいただきたいとわれわれにたのんだ。ぼくは中庭を横切って、形のよい母屋のほうへ行ってみた。玄関先の階段をあがって、ドアからなかへ入ると、これまで見たこともない魅惑的な光景がぼくの目の前に展開されていた。玄関の広間には、11歳から2歳までの6人の子供が、美しい一人の女性のまわりに群がっていた。その女のひとは、太り過ぎも痩せ過ぎもせず、簡素な白いドレスを着て、腕と胸とにピンクのリボンをあしらっていた。彼女は黒パンをもって、まわりの子供たちひとりひとりに、年齢と食欲の度合いに応じて適当に切り、心をこめて手渡した。(略)ぼくは彼女と型どおりの挨拶をした。しかしほくの心はもうその容姿に、その声音に、そのみのこなしに吸いつけられていた。彼女が手袋と扇を取りに自分の部屋へ入ったとき、ぼくはやっと衝撃から立ち直る余裕がもてた。」

ゲーテとロッテとの出会いはおそらく上記のようなものであったろう。彼女はドイツ騎士団管理主務官の娘で、死んでまもない母親に代わって、弟妹の面倒をみていた。そして、彼女にはすでにケストナーという婚約者もいた。ゲーテとロッテ、あるいはケストナーを含めた3人の様子はどうだったのだろう。そのあたりをゲーテの自伝に見てみよう。

「若い二人の婚約者にすっかり信頼を寄せられ、親しくもてなされたものだから、もはや我を忘れるまでになった。(略)彼女は好んで私を同伴者としたがために、私はやがて彼女のそばを離れられなくなつた。というのも、彼女が私を日常の世界にふれさせてくれたからである。こうして私たちは手伝い家の営みのなかで、田畠や牧場で、あるいは菜園や庭園で、やがて離れることができない伴侶となつた。彼女の婚約者も仕事が許すかぎりそこに加わつた。(略)こうして私たちは素晴らしいひと夏を過ごしたが、これこそ一編の純ドイツ的牧歌であった。」(『詩』)

ゲーテはこんなふうにいかにも何事もなかったかのように書いているが、おそらくロッテの気持ちは揺らいだであろうし、ケストナーも嫉妬に苦しんだと思う。ケストナーは日記に、ロッテからゲーテとキスをしたと告白されて、彼女と口論をしたと記している。二人とも平静でいられなかつたのは間違いない。なにしろ二人のあいだに天分豊かな金持ちの坊ちゃんが割り込んできたのだから。当時のゲーテは若さと自信にきらきら輝いていたのではないか。ケストナーはゲーテの印象を次のように記している。

「この春、当地にフランクフルトからゲーテという人が来た。職業は法学ドクトル、23歳、大金持ちのひとり息子。(略)彼はいろいろな才能を有し、眞の天才であり、個性ある人間だ。(略)彼の考え方は高貴であり、先入見をまじえない。彼は思うとおりに行動する。それが他人の気に入るとか、それが流行であるとか、生活様式がそれを許すとか、そんなことにはらつともかまわぬ。彼はいつさいの強制が嫌いである。」(『録』)

ある日ゲーテは、ロッテから自分に友情以上のものを望まないでとたしなめられる。ここにこれ以上居ても益はなく、ロッテを苦しめ、3人の関係を複雑にするばかりと考えたのだろう。ゲーテはヴェッツラーを去る決心をする。わがまま勝手に行動するゲーテを寛大に受け入れ、誠実に接してくれるケストナーに対する配慮もあったかもしれない。ゲーテは二人には何も告げずに、別れの手紙を残して、9月11日、ヴェッツラーをあとにする。わずか4ヶ月足らずのヴェッツラー滞在であった。

このヴェッツラーでの自らの体験と知人の自殺を基にして書き上げたのが『若きヴェルターの悩み』である。『ヴェルター』は熱狂的に受け入れられ、大ベストセラーになる。巷にはヴェルターと同じ服装が流行し、なかにはヴェルターと同じように自殺まで模倣する若者がいたほどであった。ゲーテはこの一作で一躍時代の寵児になる。

後日談を二つ。1816年、ロッテは娘と一緒にヴァイマルにゲーテを訪ねる。44年ぶりの再会である。しかし、ゲーテの対応は懶懶ではあるが、歓待とはほど遠い、木に鼻をくくったようなものであった。ゲーテの思い出にあるロッテは19歳であるのに、日の前にいるロッテは63歳である。察するに、ゲーテはそんなロッテに会いたくなかったのではないか。

ロッテはゲーテが去った翌年の1773年、ケストナーと結婚して、12人の子供をなす。ある研究者がロッテの子孫の行方を調べたところ、8世代にわたり約300人の子孫を確認できたということだ。しかも、「ロッテの子孫の会」なるものもあって、2年に1回、集まっているという。1953年には、ロッテ生誕200年を期して、ロッテの家も修復されて、ロッテが使っていたピアノや椅子などが展示されているという。それに対して、ゲーテは妻クリティアーネとの間に5人の子供が生まれるが、4人は夭折して成人に達したのはアウグスト一人である。アウグストと妻オティーリエとのあいだに3人の子供ができるが、いずれも結婚することなく、ゲーテの血は孫の代で絶える。なお、アウグストは父にならってイタリアに旅行して、父ゲーテより早く41歳でローマで客死した。ローマ滞在のアウグストの世話をしたのが、当時、外交官としてローマに駐在していたロッテの息子である。

6 アンナ・エリーザベト・シェーネマン

(1758-1817)

途中、寄り道をして、9月19日にフランクフルトに帰る。これからヴァイマルに行くまでの約3年はゲーテの生涯のうちでも創作意欲旺盛な時代である。1週間で書き上げたという『ヴェルター』はもちろんのこと、ゲーテ畢生の大作『ファウスト』もこの時期に書き始められた。

フランクフルトに帰って2年数ヶ月後の1775年1月、ゲーテにまた新たな恋が芽生える。相手は富裕な銀行家の娘アンナ・エリーザベト・シェーネマン(愛称リリー)である。ゲーテがリリーに初めて会ったのは、友だちに誘われて出かけたりリーの家で催された音楽会においてである。

「部屋の真ん中にグランドピアノが置かれていたが、やがてこの家の一人娘が腰を下ろして、きわめて巧みにまた優雅に演奏した。私は彼女の姿と様子がよく見えるように、ピアノの端に立っていた。(略) 曲が終わると私は彼女に近づいて、初めてお知合いになれただけに、あなたの天分のほども知ることができたいへんうれしい、というようなことを鄭重に述べた。(略) そのあいだにもわれわれは目を交わしていた。

そして私は、なんともいえずやさしい魅力を感じるような気持になったことを否定しようと思わない。」(『詩』)

それから二人は、二人だけで、あるいは第三者もまじえて頻繁に会うようになる。場所はおもにリリーの家からリリーの伯父(母親の兄、たばこ工場主)の家で。リリーには3人の兄がいて、妹の交際には結構うるさく口をだしていたので、親兄弟の目がない伯父の家で会うことが多くなる。会う回数が増えるにつれて、お互いの愛情も深まって行く。リリーはゲーテに金のハートを贈り、ゲーテはそれを首にかけていた。この時ゲーテは26歳、リリーは17歳、まさに結婚適齢期である。ここに想思の二人を見かねたおせっかいな女性が現れ、二人を強引に婚約させてしまう。同年4月、復活祭の頃のことである。

「彼女はデルフ娘と呼ばれていたが、ハイデルベルクで姉と小さな商店を営んでいた。(略) 彼女はリリーを子供の頃から知っていて可愛がっていた。風変わり人で、生真面目な、男みたいな様子の人であった。(略) 彼女はわれわれの状態をとっくに見抜いていて、なんどもこちらに来るたびによく調べていたので、ついに彼女は、この愛情には手を貸してやらねばなるまい、(略) このささやかなロマンスができるだけ早く終りにしてやらなければならない、と確信するようになった。何年もまえから彼女はリリーの母親の信頼をえていた。私の家にも私の紹介で出入りするようになり、両親に好感をもたれていた。(略) 要するに彼女は、両親と話し合ってくれたのである。(略) ともあれ、彼女はある晩われわれのところへやって来て、双方の親の承諾を伝えた。そして「さあ、握手しなさい」と、持前の強い命令するような口調で叫んだ。私はリリーの向かいに立ち、手を差し出した。彼女も、躊躇するというのではないが、ゆっくりと手を私の手に重ねた。息を深くついたあとで、われわれは互いに激しく抱き合った。」(『詩』)

婚約はしたもの、この婚約は両家が諸手をあげて賛同していたものではなかった。デルフ娘の強引な口説きにしぶしぶ従ったというのが実態であった。一つには家柄の違いがあった。ゲーテ家もたしかに裕福ではあるが、シェーネマン家に比べると見劣りがする。また、シェーネマン家も派手に振舞っていたが、当時、実際はそれほどゆとりはなかった。七年戦争で財をなした父はすぐなく、兄たちが銀行を運営していたが、父親ほどの才覚はなく、内実はかなり苦しかった。そこで、リリーの兄たちは多少ともリリーの結婚をあてにしていた嫌いがある。ゲーテ家は生活には困らないにしても、銀行に融資するほどの財力はない。ゲーテ

自身はと言えば、弁護士をして、『ヴェルター』の作者として有名ではあるが、それだけのことである。リリーの母親も兄たちもこの結婚には乗り気でなかった。ゲーテ家にとっても金満家の一人娘を家に迎えることに戸惑いがあった。

「というわけで、このようにして同意が得られたあとも、双方の親のあいだに、なにか関係が生じることも、始められることもなかった。家族同士の交際も行なわれなかつた。」(『詩』)

家同士はこうであつても、本人同士に強い意志があれば、道も開けてくるはずだが、例によつて、婚約した途端にゲーテの腰がひけてくる。ゲーテは常に絶対的精神の自由を必要とした。婚約は、まして結婚は精神の自由をおびやかすものである。ゲーテはしだいにこの婚約を重荷に感じるようになる。リリーは親兄弟の反対があつても、ゲーテと結婚するつもりであったようだ。

「私に好意をもつ人たちが私にうちあけてくれたところによれば、リリーは、われわれの結婚の障害をこまごまと述べたてられたとき、私にたいする愛情から、現在の境遇も環境もいっさい投げ捨てて、私といっしょにアメリカに行くつもりであると述べたということである。」(『詩』)

ゲーテに結婚の意志があれば、彼の性格からいって周囲の反対や難音など意に介さなかつたであろう。しかし、ゲーテはリリーに強い愛情を感じながらも、このまま結婚まで突き進むことに躊躇する。ゲーテは現状打開の方策として旅に出る。つまり、敵前逃亡をはかるのである。

「そしてちょうどいまは、リリーから離れていることができるかどうか試してみる必要があつた時でもあり、また、なんとも知れぬ苦しい不安のために、きまつた仕事がまったくできなくなつてゐた時でもあったので、シュトルベルク兄弟が、いっしょにスイスへ行かないかと誘ってくれたのは、ありがたいことであつた。(略) 私は即座に決心して、早々に準備をととのえた。それとなくにおわしただけで、あらためて別れを告げることもなく、私はリリーから別れた。」(『詩』)

一行4名は、5月14日にフランクフルトを出発する。ドイツ、スイスのあちこちを経通つて7月22日に帰る。この間、ゲーテの友人でもあったシェロッサーと結婚して、今はエメンデインゲンに住む妹コルネリアを訪ねる。妹は自らの結婚が必ずしも順調でないこともあって、激しい口調で兄とリリーとの結婚に反対する。ちなみに、ゲーテと1歳違いの妹はそれから2年後の1777年、27歳の若さで2児を残して

亡くなる。

周囲の状況、ゲーテの気持ちから推して、婚約解消は当然の帰結であった。10月初め、ゲーテとリリーの婚約は解消される。そしてゲーテは、ヴァイマル公国の領主カール・アウグスト公の再三の招待に応じて、11月3日、ヴァイマルに向かうのである。ゲーテは当初、短い滞在を考えていたが、けっこうよく、ヴァイマルがゲーテの終の棲家となる。

リリーはその後、親の勧めに従つてある男性と婚約をするが、その男性が破産して行方不明になり自然解消になる。そんな時、シュトラースブルクの銀行家の息子テュルクハイムが求婚してくる。実は彼は、大学を出たあと、2、3年、シェーネマン家の銀行に実務見習に來ていて、その時ひそかにリリーに思いを寄せていたようである。そして、父からシュトラースブルクの銀行をまかされた時点でリリーに求婚したのである。二人は1778年夏に結婚する。1779年、ゲーテはアウグスト公のお供をしてスイス旅行をしたさうい、リリーを訪れ、歓待される。その時の様子をシュタイン夫人あての手紙で次のよう記している。

「リリーのところに出かけると、この美しいおなまさんは生後7週の赤ちゃんとたわむれていて、彼女の母親もそばにいました。そこでもぼくは驚きと喜びで迎えられました。ぼくは何から何までたずね、家の隅から隅まで見わたしました。このよき人が結婚してたいそう幸福そうにしているのが嬉しかったのですから。夫君は、ぼくが耳にしたところから察するに、頭のよいりっぱな人で、仕事にも精を出しているようです。裕福で、りっぱな家に住み、一門は名望があり、市民として恥ずかしからぬ地位についている、等々。」(1779·9·28)

その後リリーは、シェーネマン銀行が破産したため、兄たちにいろいろと頼りにされたうえ、母親のほかに兄の一人も転がり込んできて、かなり肩身のせまい思いをしたようである。テュルクハイムはシュトラースブルクの市長にまで選出されるが、フランス革命の勃発で銀行は没収され、リリーとともに亡命生活を余儀なくされる。恐怖政治が終わったあとは、銀行の再建にも成功して、リリーの後半生は幸福で穏やかなものであった。リリーは幸せのなかにも波乱に富んだ一生を送つたようだ。

ゲーテは後年、リリーのことをエッカーマンに次のように述懐している。

「私の心には、昔のあらゆる思い出が蘇えてくるよ。可愛いリリーの姿があたたびさまざまと心に浮かんでくる。まるで、彼女の側で、幸せに浸つているような気がするな。じっさい、彼女こそ私が心の底か

らほんとうに愛した最初の人だった。また、最後の女性だったともいえる。」(1830・3・5)

7 シャルロッテ・フォン・シュタイン

(1742-1827)

ゲーテは1775年11月7日にヴァイマルに到着する。その数日後、ゲーテはシュタイン夫人を知ることになる。シュタイン夫人はゲーテより7歳年長である。当時すでに、夫である主馬頭フリードリヒ・フォン・シュタイン男爵との間に7人の子供をなしていた。ただ、4人は夭折したため、当時は3人の男の子の母親であった。ゲーテはこのシュタイン夫人と10年以上におよび恋愛関係を結ぶことになる。

ゲーテがシュタイン夫人に会ったのはヴァイマルに来てからのことであるが、実は、二人はその前にすでに運命の赤い糸でつながっていたのである。リリーのことを思案するため、友人と共にスイス旅行に出たさい、シュトラースブルクの医師ツインマーマンの許に立ち寄る。ツインマーマンはその時ことをシュタイン夫人あてに書いて送った。

「私はゲーテ氏に、たくさんのシルエットと共にあなたのも見せました。この肖像の下に彼が自筆で書き添えたものを送ります。「この魂に世界がいかに映るかを見るのはすばらしいながめであろう。この魂は世界をそのあるがままに見る。しかも愛の媒体を介して。」」(1775・5) (『録』)

そして実際、ゲーテは愛の媒体をとおしてシュタイン夫人の魂の世界を見ることになる。二人の関係は一方が人妻であったことによって、普通の恋愛関係ではなかったような気がする。どちらかと言えば、中世のミンネの世界を連想させる。つまり、中世の騎士が、女性に敬愛のまことをつくし、それによって自らも人間性を高める愛である。あるいは、わがままで甘えん坊のゲーテは、異郷にあって、シュタイン夫人に母性を感じたのかもしれない。自画像を見るかぎり、シュタイン夫人には普通言う女性的な魅力は感じられない。華奢で、どこかさびしげで、生活の疲れさえ感じさせる。実際、いろいろな意味で疲れていたのではあるまい。22歳で7歳年上の夫にとつぎ、10年間に7人の子供を次々生んで、その時、シュタイン夫人は33歳であった。いわばゲーテは、シュタイン夫人にとって、倦怠期に飛び込んで来たまばゆいばかりの恋人であり、崇拜者であり、息子のような弟のような存在ではなかったのか。シュタイン夫人はうれしくもあり、心ときめきながらも戸惑いもし、母性に訴えるものを感じたと思われる。ゲーテは富裕な中産階級の出ではあるが、市民階層の出である。宮廷での礼儀作

法にはまったく通じていなかった。加えてゲーテは、そういうことにもまったく無頓着であった。当時のゲーテを知る友人たちの証言からもその野生児ぶりをうかがうことができる。

「しかし相変わらず、昔ながらの気まぐれです。話に熱中すると、ふと思いついては、立ち上がり、そとへとびだし、それきり姿をあらわしません。唯我独尊、他人のしきたりには従いません。みんなが暗着姿であらわれる時、彼はひどいネグリジェであらわれ、またその逆もあるのです。」(『録』)

ゲーテは足しげくシュタイン夫人の家を訪れ、夫が馬の世話を忙しく留守がちなことをいいことに、食事までシュタイン家ですますようになる。時には、ゲーテは自分の作品をシュタイン夫人に読んで聞かせる。その中には、シュタイン夫人への恋の歌も混じっていただろう。一方シュタイン夫人は、こんな生まれたままのような金持ちの坊ちゃんに、母親が子供をさすように、宮廷のしきたりをひとつひとつ教えていった。ゲーテがまがりなりにも宮廷生活に順応して行けたのはひとえにシュタイン夫人の教育のおかげだと思われる。

アウグスト公は重臣たちの反対をおしてゲーテを重用する。ゲーテは、ヴァイマルに来た翌年、27歳のとき、枢密評議会の外務参事官に任せられ、30歳のとき、軍事委員会と道路建設委員会の長を任せられ、同年、枢密顧問官に任せられる。そして、33歳のとき、貴族に列せられる。当然、周囲の羨望と反感は強かった。シュタイン夫人はそういうゲーテのストレスのはけ口でもあったのではないか。

もちろんゲーテは、シュタイン夫人にとって、恋人であった。それは間違いない。それは、のちにゲーテに若い恋人ができたとき、激しく嫉妬したことでも明らかだ。しかし、ハイテンションで迫るゲーテにそのまま合わせていたら、身の破滅であるというくらいはわかる大人の女性であった。シュタイン夫人に現在の生活を全て棄ててもというほどの覚悟、勇気はなかつたと思う。だから、ある時はやさしい年上の恋人であり、ある時は無作法な子供をしつける母であり、姉であった。異郷の宮廷生活に飛び込んだ市民階層出身のゲーテにとってもそれは同じである。さみしいとき、愚痴のひとつも言いたいとき、やさしく慰めてくれる恋人が必要であった。そして、宮廷生活のノウハウを教えてくれる教師も必要であった。シュタイン夫人はその両方を兼ね備えたゲーテにとって頼ってもない女性であった。シュタイン夫人は、ゲーテの約60年続いたヴァイマル生活の最初の10年に現れるべくして現れた女性であったと言えるであろう。

ゲーテがシュタイン夫人にあてた手紙が約1800通残っている。ただ、残念ながら、シュタイン夫人がゲーテにあてた手紙は残っていない。二人の間柄が気まずくなつてから、シュタイン夫人の意向で全て破棄されたためである。そのシュタイン夫人にあてた手紙をいくつか挙げてみよう。恋の喜び、人妻を愛した懊惱、慣れない宮廷生活にあってシュタイン夫人がゲーテの心のささえであったことを垣間見ることができる。

「愛する夫人よ、ほくがこんなにしたわしく思つてもどうか気にされぬように。誰か他の人をもっと好きになつたりしたら、かくさず申すつもりです。あなたを苦しめたくないのです。」(1776・1・28)

「どんなに安らかに眠り、幸せな気持で起き、美しい太陽に会釈したことでしょう。2週間以来こんなにのびのびとできたのははじめてです。天使よ、ほくはどんにあなたに感謝していることでしょう。これはみなあなたのおかげなのです。(略) あなたは、ほくの心に愛情をめぐみ、ほくを幸せにしてくれる、女性のなかのただ一人の人です。」(1776・2・23)

「それではこのほくが、妹以外のどんな女性にたいしてもいだいたことのない、世にも清らかな、美しい、真実の間柄にもひびが入ったのですか。(略) あなたにはお会いしないつもです。お目にかかるなら切なくなるだけでしょう。あなたとごいっしょに生活できぬとなつたら、あなたの愛情も日の前にいない人の愛情と同じく役に立ちません。(略) 居あわせない人は、火事が終わってから消火器をもって駆けつけてくる人と同じです。」(1776・5・24)

「ほくがどんなに孤独であるかは、ほくの手紙でおわかりになったと思う。ほくは食事も宮廷ではとらず、ほとんど人にも会わず、散歩も一人で出かけ、美しい場所にくるときまつて君がいっしょならと思う。」(1784・6・17)

「愛するロッテ、間もなくまた君のそばに行ける。このままではもう自分がもたない。君なしではほくはなりたたないのをはっきり感じている。(略) まことに、愛するロッテよ、君こそはほくの半身であることを、いつまでもそうであることを、いまにしていよいよはっきり感じる。ほくは一人の、自立した存在ではない。ほくの弱点はことごとく君によせかけてしまった。軟弱な面は君によって守り、欠陥は君によってふさいだ。」(1784・6・28)

1786年9月3日、ゲーテは、誰にも告げることなく、ドイツを発つて、イタリアに向かう。アウグスト公に信頼され、公務を任されて、それに応えるべく、10年以上にわたつて懸命に努めてきて、充電の時期

に来ていたのだろう。また、長く続いているシュタイン夫人とのこともあったと思う。ゲーテは、アウグスト公にも、シュタイン夫人にも何も告げず旅立つてしまう。アウグスト公はこのことを寛大に受けとめてくれるが、シュタイン夫人は裏切られたように感じる。このことは、シュタイン夫人の心にぬぐいがたい不信感として残る。そして、帰国後、ゲーテが若いクリスティアーネと同棲を始めたことで、二人の間は決定的になる。

シュタイン夫人は、死を前にして、自分の棺はゲーテの家の前は通らないようにと遺言したそうである。死を病的に忌み嫌ったゲーテを慮つてのことと思われる。気まずい別れではあったが、シュタイン夫人にとってゲーテとのことは、平凡で単調な日々のなかに訪れた華やいで心ときめく10年であったと思う。親密でなくなったとはいえ、死ぬまぎわまでゲーテのことを気遣っていたのだろう。

8 クリストイアーネ・ヴルピウス

(1765-1816)

1788年6月18日、ゲーテは1年10ヶ月におよぶイタリア旅行を終えてヴァイマルに帰つてくる。ゲーテは土産話をどっさりもって浮きうきしながら帰ってきた。ところが、周囲の反応はきわめて冷たいものであった。シュタイン夫人ですらつれない態度である。それはそうだろう。アウグスト公の寵愛をいいことに、2年近く政務をほっぽり出して、イタリアに行っていたのだから。

四面楚歌にあるゲーテの前に一人の女性が現れる。クリスティアーネ・ヴルピウスである。散歩中のゲーテに、若い女性が兄に頼まれたという就職斡旋の依頼書を差し出す。それがクリスティアーネであった。1788年7月12日のことである。人に相手にされず、孤独をかこち、人とのふれ合いを求めていたゲーテにとって、クリスティアーネはまさに干天の慈雨であった。二人はほとんど時をおかず共同生活を始める。このときゲーテ39歳、クリスティアーネ23歳である。

父は文書課の役人であった。実母はすぐではなく、兄が1人と、父親が再婚して新しい母とのあいだにできた4人の異母弟妹がいた。その頃クリスティアーネは異母妹と共に結婚していない叔母のところに身を寄せて、造花工場で働いていた。生活はきわめてきびしいものであった。そしてその当時、23歳と言えばすでに婚期を逸していると言える。そんな時、兄も尊敬している偉いゲーテに家に来るよう誘われてクリスティアーネに「否」はなかったと思う。

肖像画から判断するに、クリスティアーネはとびき

りの美人とは言えないまでも、小柄な体、かわいい鼻、ふっくらした頬、官能的な感じを与えるいくぶんめぐれた唇、総じて何かコケティッシュな感じを与えるなかなか魅力的な女性に見える。人柄はと言えば、非常に心根のやさしい女性であったようだ。ある夫人の評を挙げよう。

「それに彼女は、とても気持のほがらかなひとでした。そしてゲーテの気持を明るくするすべを心得ており、彼の性質をよくしりぬいていて、好意をうけいれてもうためにはどんな調子をとったらよいのか、それをいつものみこんでいました。とくべつ精神的に教養のある女性ではありませんが、生まれつき非常に聰明な知性をもっていました。」〔対〕

二人のことはたちまち人の知るところとなり、非難の集中砲火をあびる。それは、ひとつには、当時の宮廷社会の閉鎖性、排他性によるものと思われる。そして、ひとつには、ゲーテに対する嫉妬が考えられる。アウグスト公の信任を得て、よそ者の身でありながら、とんとん拍子で出世し、宰相にまでなったゲーテに対して嫉妬羨望の念は強かった。そのゲーテが、造花工場の女工と、正式な結婚式もあげず、夫婦のような生活を始めたのである。一般的の社会道徳に反するこの行為は日ごろの彼らのうらみつらみを晴らす絶好の機会を与えることになった。そうは言っても、ゲーテに対してははばかれる。そこで餌食になつたのが弱い立場のクリスティアーネである。彼女に対するこの故ないとも言える非難は一時的なものではなく、彼女が死ぬまで、いや死んだのちまで続いた。

周囲の非難をよそに二人の仲は非常に良かった。クリスティアーネはゲーテに全幅の信頼を寄せ、ゲーテもクリスティアーネを信頼して家内のこととは全て彼女に任せた。クリスティアーネは陽気で、多少野放図なところはあったが、でしゃばりではなかった。自分の分をわきまえて、表に出るようなことは差し控えていた。3階の家に移り住んでからは、2階にゲーテが住み、3階にクリスティアーネと引き取っていた叔母と異母妹が住んで、客のときなどはできるだけ姿を見せないようにしていた。ある意味では、召使ともとれるクリスティアーネの立場であるが、ゲーテは彼女を妻とみなしていた。ある時、「なぜ結婚なさらないのですか？」と人にきかれて、ゲーテは「私は結婚しましたよ、ただ式を挙げなかっただけです。」と答えていた。〔録〕

二人の間には5人の子供が生まれるが、成人まで達したのは長子アウグストのみである。あとの4人は夭折している。そのアウグストも父ゲーテより先に41歳でローマに客死したのは先に記したとおりである。

クリスティアーネはワインとダンスと芝居が好きであった。ワインが好きになったのはゲーテの影響によるものと思われる。ゲーテがワインを愛飲していたのはよく知られている。1日にワインを2、3本あけていたと言われている。ゲーテのご相伴をしているうちにクリスティアーネも好きになったのだろう。芝居も好きで、しょっちゅう出かけていた。ゲーテは劇場の監督もしていたので、その気になれば、いい席で観劇もできただろうが、平土間で見るのが常だった。ゲーテが留守の時は、よくダンスに出かけた。ゲーテにあてた次のような手紙がある。

「夜は仮装舞踏会に出かけました。そこでまた、非常にすばらしい踊り手と知り合いになれました。名前はアイフェルトといいます。私は彼と、新しい靴を2、3足はつぶすほど踊りました。」(1799.3.27)

「私は踊れるものは全て踊り、すぐに新しい靴を駄目にしました。もう3日連続して踊っています。」(1803.7.12)

ゲーテの周辺には、家柄も良く、教養も豊かで、顧問官夫人と呼ばれるにふさわしい女性はたくさんいたと思う。それなのに、ゲーテはなぜクリスティアーネを生涯の伴侶として選んだのだろう。それは、ゲーテの天才に起因しているような気がする。精神医学者クレッチャマーは天才を一種の異常者と断定している。

「天才とは、極度に感じやすい神経と、周囲に適応しにくい気まぐれな気分を持ち、激烈な感情の発露を示す、ある程度、精神病質の例外的人間である。」〔天才の心理学〕

ゲーテもこの例にあたる。それどころか、クレッチャマーは、その典型的な例としてゲーテをとりあげ、その異常なところを總々述べている。クリスティアーネもゲーテのそんな面には苦労もし、心配もしたようである。彼女が友人の医者にあてた手紙である。

「枢密顧問官さまのことで私は心労の日々を送っています。あの方はときどき全くヒボコンディーになるので、私はちょいちょいつらい思いをします。でも病気のことですから私はなんでも辛抱しています。(略)でも、いつかは病いが重くなるように思われます。」(1803.4.21)〔録〕

ゲーテはこのような自分の暗い一面をおそらく自覚していただろう。だからゲーテは、自分の公的世界にふさわしい良家の子女ではなく、自らのデモニッシュな面をやさしく包み、ふさぎの虫にとりつかれがちな自分を明るくしてくれる、陽気でやさしい女性を求めたのではあるまい。それは、天賦の才に恵まれていたが故にまたデモニッシュな面も合わせ持つてい

た天才ゲーテの一種の自己防衛本能ではなかったかといふ気がする。同時代の心ある人も同じ考えであった。

「ゲーテは機嫌のよいときは、おどろくほど愛想がよろしい。しかし彼だってときには不機嫌になることがあります。そんなときはとても無口になってしまいます。そういうばあい、彼といっしょにいるのが気づまりになります。ゲーテはあのような特性なので彼女以上に適格な妻を、彼はとても発見できなかつたでしょう。」〔『録』〕

ゲーテの母親も同じ考えであった。

「お前は神に感謝したらどうなの。こんなにかわいく、すばらしく、汚れのない神の創造物にめぐり会えるのは非常にまれなことですよ。今、私がどんなに安心していることか。」（1807・4・7）

ゲーテがなぜ事実上の妻であったクリスティアーネを長いあいだ正式の妻にしなかったのか、はっきりしたことはわからない。ゲーテはそれに何も言及していない。ゲーテは無神論者ではなかったが、教会を極度に嫌っていた。そのため、教会に足を運んで結婚式をあげることに躊躇していたのかもしれない。いずれにせよゲーテは、クリスティアーネを妻と認めながらも、正式の妻として籍を入れないまま18年間を過ごしてきた。しかしゲーテは、ある事件をきっかけにクリスティアーネと結婚式をあげる。

1806年9月、かねてより険悪な関係にあったプロイセンとフランスとの間に戦端が開かれ、ナポレオンがドイツに進軍してくる。ナポレオンはプロイセン軍を次々に撃破して、10月14日、ついにヴァイマルに至る。ゲーテの家にもフランス兵士が押し寄せてゲーテに危害を加えようとする。そのときクリスティアーネは、身を置いてゲーテを守り、ゲーテは難を逃れる。この事件がゲーテにある決意を促すことになる。10月19日、ゲーテは18年間内縁関係にあつたクリスティアーネと教会で結婚式をあげる。式に立ち会ったのは、17歳になった息子アウグストと彼の家庭教師の二人だけである。クリスティアーネは晴れて顧問官夫人クリスティアーネ・フォン・ゲーテになるが、これまでの生活態度をそれほど変えることはなかった。

1816年1月初め、クリスティアーネは激しい発作を起こし、病床につく。腎臓病に由来する尿毒症と言われている。多年にわたる飲酒が原因したのかもしれない。それからは元気になることもなく、6月6日、帰らぬ人となる。いったいにゲーテは、都合の悪いとき、困ったとき、現実に背をむけて逃避する傾向があるが、この時もその例にもれず、病気を理由に、クリスティアーネの臨終にも、埋葬にも立ち会わなかつた。

おそらくゲーテは、28年間起居を共にしてきたクリスティアーネの死という現実を直視するに耐えられなかつたのだろう。ゲーテがクリスティアーネの死をいたみ書いた詩の一節。

わたしは命のすべてをあげて
彼女の死を泣くばかりだ

9 ベッティーナ・ブレンターノ

(1785—1859)

ロッテと別れヴェッツラーからフランクフルトに帰る途次、ゲーテはユーレンブライトシュタインに立ち寄り、閨秀作家ゾフィー・フォン・ラ・ロッシュ夫人を訪ねる。そこでゲーテは、ラ・ロッシュ夫人の娘マキシミリアーネ（愛称マクセ）に心ひかれるものを感じる。当時マクセは16歳であった。そのマクセがそれから2年後の1774年、イタリア系の商人ブレンターノと結婚するため、フランクフルトにやって来る。ブレンターノはマクセより21歳年上で5人の子供までいた。そういうことを承知のうえで結婚したとは言え、18歳のマクセにとってつらいものがあった。マクセは旧知のゲーテとデートを重ねる。ついには、ゲーテは嫉妬したブレンターノから出入り禁止を申し渡される。このマクセの娘がドイツ文学界の才媛ベッティーナ・ブレンターノである。彼女は8歳で母親を亡くし、修道院などを転々とする。そして、祖母ラ・ロッシュ夫人のもとに暮らしているとき、屋根裏部屋でゲーテが母マクセにあてた80通を越す手紙を見つけ、むさぼるようにして読む。ベッティーナは情熱的で、空想癖が強く、思い込みのはげしい性格をしていた。ベッティーナはゲーテが母マクセにあてた恋文を読んで、自分はゲーテの子供であるに違いないと思うようにさえなる。そしてベッティーナは、ゲーテの母親のもとに日参して、ゲーテのことをいろいろ訊ねる。ゲーテの母も喜んで自慢の息子について話して聞かせる。そんな日が毎日数時間に及んだという。ベッティーナの胸にゲーテへの思いがふくらんで行く。そしてついにベッティーナは、1807年4月、ヴァイマルにゲーテを訪ねる。このときゲーテ58歳、ベッティーナ22歳である。ベッティーナはこのときの様子をゲーテの母に書いている。

「ドアが開きました。するとあの方をおごそかにいかめしく立っていて、じっと私を見つめていらっしゃいました。私は両手をあの方のほうへさしのべた、と思います。まもなく私は何もわからなくなりました。ゲーテは私をすばやく胸に受けとめなさいました。「かわいそうに、こわかったのだね。」この最初の言葉

で、あの方の声は私の胸にしみいりました。あの方は私をお部屋へつれていって、むかいのソファに腰をおろさせました。(略) 私はだしぬけに、「私、ソファになんか座っていられませんの」と言って、跳びあがりました。「じゃ、らくなようにしなさい」とあの方がおっしゃいました。そこで私はあの方の頸にとびつきました。あの方は私を膝の上にのせて、しっかり胸にだきしめました。」(1807・4・23) (『録』)

ベッティーナはその年の11月、再度ヴァイマルを訪れる。今度は兄やのちに結婚することになるアルニムたちも一緒であった。この10日間の滞在は、ゲーテも歓迎してくれ、ベッティーナにとり良い思い出になったようだ。二人のあいだで手紙のやり取りが行なわれるようになる。この文通をもとにベッティーナがのちにまとめたのが『ゲーテとある子供との往復書簡』である。発行はゲーテが死んで3年後の1835年である。いかにも実際の手紙がもとになっているかのような体裁を取っているが、本当は虚実とりませたもので、事実に反することも多いということである。ただ、ベッティーナとの交友、文通からゲーテにとどても大きな収穫があった。ゲーテの自伝『詩と真実』の幼少時代の記述はベッティーナに負うところが大きい。

「一つ折入ってお願ひがあるのです。あなたはこれからも私に手紙を書き続けるでしょうし、私も喜んでそれを読ませていただくつもりなので、この際一つ頼みをきいてほしいのです。打ち明けて言いますが、私はいま自分の告白といったものを書こうとしています。それが小説になるか歴史になるかはいまのところなんとも言えません。いずれにしても私はあなたの援助が必要なのです。母はなくなりましたし、おおかたわすれてしまった過去のことを呼び起こしてくれそう人たちもずいぶん死んでしまいました。あなたは母といっしょの時間が多かったのだから、おとぎ噺や逸話のたぐいをくり返しきいて、すべてはつきりと覚えているでしょう。それでどうかさっそく机にむかって、私たち一家に關係のあることを書いてみてください。それは私にとりたいそう嬉しくかつありがたいことなのです。」(1810・10・25)

ゲーテの母親が亡くなったのは、この手紙より2年まえの1808年である。ここに言う「告白」がのちに『詩と真実』として結実するのである。父とも慕い、熱愛し、崇拜してやまないゲーテからこのように頼まれてベッティーナが有頂天になって、それこそ取りつかれたようにして報告したのは想像にかたくない。もしベッティーナの協力がなければ、『詩と真実』の幼年時代は味わいのうすいものになっていたろう。

1811年8月、ベッティーナは新婚の夫と共にま

たヴァイマルを訪れる。そしてこの時、ベッティーナと妻クリスティアーネとのあいだに感情的軋轢が生じ、ゲーテが妻に配慮してベッティーナに絶交を申し渡す。ひとつにはあまりにエキセントリックなベッティーナにゲーテ自身もいささか辟易していたのかもしれない。これ以降も会う機会がなかったわけではないが、ゲーテが親しくベッティーナに接することはなかった。ただ、妻の死後はゲーテの勤勉もとけて、それなりの交流はあった。

二人のあいだが恋愛と言えるようなものではなかったか疑問の残るところである。ゲーテはある時、自分は「恋人ではなく、単なる、才氣あふれる奇妙な人柄の賛嘆者」(『対』)であると言っている。ただゲーテが、子犬のようにまとわりつきじゃれてくる若く元気のよいベッティーナを憎からず思っていたのは事実であろう。ロマン派の異色の才媛ベッティーナは老境にさしかかったゲーテの周囲を華やかにかつ穎々しく彩ったことになる。

ゲーテは同時代の内外の著名人と会う機会が多かった。ペートーヴェンもその一人である。ペートーヴェンと会うように取り計らったのが、ほかならぬベッティーナである。ベッティーナは1810年、兄を頼ってウィーンに行く。そこで、兄と親交のあったペートーヴェンと会う。ペートーヴェンに一目会うなり、ベッティーナは彼のとりこになる。そしてベッティーナは、熱愛するゲーテの偉大さをペートーヴェンに最大限に贅沢し、ゲーテにはペートーヴェンの素晴らしいを鼓吹した。

1812年、カールスバートにいるゲーテのもとに、アウグスト公より、オーストリア皇后が会いたがっているからテプリツツに来るよう命がくる。7月14日、ゲーテはテプリツツに行く。テプリツツにはたまたまペートーヴェンも滞在していた。かねてよりベッティーナからペートーヴェンについて聞かされていたゲーテは、この機会にと考え、19日、彼を訪ねる。それに続いて20日、21日、23日と会い、そして9月8日はカールスバートで二人は会っている。それが最後である。ベッティーナから吹き込まれた先入観もあって、期待して望んだ会談ではあったが、お互いの印象は良くなかったようである。相手の天才は認めつつも、肌が合わなかったのだろう。ここではゲーテが親友ツウェルターにあてた手紙を挙げる。

「ペートーヴェンにテプリツツで会いました。彼の才能には驚かされました。残念ながら彼はまったく抑制のきかない性格で、それも、世の中を嫌悪すべきものと考える点では少しもまちがっていませんが、もちろんそのために自分にも他人にも世の中を樂しからぬ

ものにしてしまうのです。もっとも、彼は聴力がだめになっているので、それも無理からぬことであり、たいそう気の毒でもあります。」(1812・9・2)

ところで、二人を会うように仕向けた当のベッティーナはこの場にいなかった。ベッティーナがアブリツに来たのは二人が邂逅したあとであった。ベッティーナはさぞや切歎扼腕したことだと思う。

10 マリアンネ・フォン・ヴィレマー (1784-1860)

1798年、バレエ一座がフランクフルトにやって来る。その中にオーストリア生まれの母娘がいた。母親は下働きであったが、娘は踊り子として舞台にあがり、その可憐な姿で踊り歌う姿が評判になった。この娘がゲーテの詩集『西東詩集』に大きな影響を与えたマリアンネである。1800年、マリアンネはフランクフルトの銀行家ヴィレマーの養女として迎え入れられる。その時、マリアンネは16歳である。ヴィレマーがどういう動機でマリアンネを養女にしたのかはっきりしたことはわからない。教育にも关心があったヴィレマーが純粹に若い娘が人目にさらされるのを哀れんでの善意によるものか、それともいざれ自分の妻にしようという下心があつてのことか。いずれにせよ、ヴィレマーは母親に多額の金を払ってオーストリアに帰し、マリアンネを自分の養女にしている。この時ヴィレマーは2人の妻と死別して、4人の子供がいた。しかも長女はマリアンネより2歳上であった。

ゲーテは、1814年6月、ペルシャの詩人ハーフィズの詩集を読んで、強い衝撃を受ける。ゲーテの心中にふつふつと創作意欲が湧いてくる。ゲーテは機会を見つけては詩作に専念して、のちに『西東詩集』として結実する詩が少しずつ出来てくる。しかし、ヴァイマルにあっては今ひとつ集中力に欠ける。どだいゲーテが刺激を受けたハーフィズは、戦乱の世にあって、自由奔放に人生を享受した詩人であった。かくてゲーテは、ハーフィズに多少ともならうため、浮世のしがらみを逃れて旅に出る。そして出会ったのがマリアンネである。

1814年7月25日、ゲーテはラインに向けてヴァイマルを出発する。最初の1ヶ月半はおもにヴィースバーデンに滞在する。このヴィースバーデンにかねてより親交のあったヴィレマーがマリアンネを伴ってゲーテを表敬訪問する。この時がゲーテとマリアンネの初めての出会いである。ゲーテは65歳、マリアンネは30歳であった。マリアンネを一日見て、懸案の詩集に恋というインパクトを求めていたゲーテは、恋の予感を感じたのではないだろうか。フランクフルト

に居を移すと、ゲーテは日をおかずビレマーを訪ねている。だがこの時は、マリアンネは留守で会えずじまいだった。数日後、ゲーテは再度ビレマーを訪ねる。今回はマリアンネも在宅していて、二人して歓待してくれる。この時のゲーテは非常に魅力的であったようだ。同行したビレマーの長女ロゼッテはこの日のゲーテの印象を次のように記している。

「やさしい心情をもってあらゆる印象に胸襟をひらいて受け入れ、鋭敏でありながら上品な落ち着きがある。自然全体が、茎の一本一本が、色の一つ一つが、音が、言葉が、まなざしが彼の魂の中で感情となり、形を成していく。」(Goethes Leben von Tag zu Tag)

ゲーテは、明るく文学の素養もあるマリアンネに強く引かれるものを感じながら、恋の予感を確信したと思う。もしかすると、巻き毛の小柄なマリアンネに若いころのクリスティアーネを彷彿したのかもしれない。マリアンネもまた以心伝心ゲーテに敬愛以上の何かを感じたのではないか。そして、意気投合するゲーテとマリアンネに嫉妬したのかどうかわからないが、ヴィレマーはきわめて唐突に、9月27日、おそらくそれまで内縁関係にあったマリアンネと正式に結婚する。この結婚については、ゲーテ学者のあいだでも意見が分かれている。ある学者は、ゲーテにマリアンネを取られるのを恐れて結婚を急いだと言い、ある学者は、ヴィースバーデンにマリアンネを伴って行ったのは郷土の誇りであるゲーテに彼女とのことを相談に言ったのであると言う。ゲーテも結婚式に出るよう求められるが、ハイデルベルクに行っていたため出席していない。10月12日、フランクフルトに戻って来たゲーテは、その夜、ヴィレマー家を訪ねる。その時のことと妻に手紙で書いている。

「夜、ヴィレマー顧問官夫人のところ。というのは、この我らが友人は今や正式に結婚している。彼女は以前と同じように親切で善良だ。彼は家にいなかった。」(1814・10・12)

二人の間でどのような会話を交わされたかはわからない。今や人妻となったマリアンネにこれ以上深入りすることを自らに戒めたのかもしれない。なか1日おいて10月14日、またゲーテはヴィレマー家を訪ね、長い時間歓談している。10月18日はライプチヒ戦勝一周年記念日である。ゲーテはヴィレマー夫妻と一緒にミュールベルクの丘に建つヴィレマーの別荘から花火を見学して、その2日後の20日にヴァイマルに向かフランクフルトを出發する。

ヴァイマルに帰ったあと、ゲーテは熱心にオリエンタル研究に打ち込み、『西東詩集』の詩作に専念するが、詩集の核となる部分の詩がまとまらない。マリアンネ

との数回の出会い、しかも二人だけで会ったのは1回だけという経験からは、ほのかな恋心は芽生えても、それ以上の恋情は湧かず、詩作に行き詰まりを感じてくる。ゲーテは再度ラインの旅に出ること決意する。

1815年5月24日、ゲーテはヴァイマルを出発して、ラインの旅に向かう。8月11日まではおもにヴィースバーデンに滞在するが、12日から9月18日まではフランクフルトに滞在する。前回のフランクフルトでの宿は妹婿の親族の家であったが、今回はヴィレマーの家に世話になる。ゲーテは日々マリアンネの肉声に接し、やさしいもてなしを受け、彼女への愛が深まって行く。『西東詩集』の中心をなす詩群が発酵してくる。9月12日ごろ、マリアンネに向けての最初の恋歌がゲーテの口をついて出る。

ハーテム

機会がぬすびとを作るのでない、
機会そのものが最大のぬすびとなのだ。
私の心に残っていた
愛の喫火（おきび）を機会は奪った。

ズライカ

あなたの愛につつまれる、こよなき幸のなかにいて、
機会を叱ろうとは思いません。
たとえ機会があなたによってぬすびとにかくわったに
せよ、
こんな盗みならとてもうれしい。

このズライカの詩は、マリアンネ自身の証言により、ゲーテの作ではなく、マリアンネの作と言われている。マリアンネはゲーテの詩を通しての愛の告白に対して、詩をもって答えたのである。ここに『西東詩集』の中心を成す『ズライカの書』の相聞の詩群が出来てくるのである。

9月18日、ゲーテはダルムシュタットを経てハイデルベルクに向かう。ヴィレマー夫妻もゲーテのあとを追って、23日、ハイデルベルクに来る。そして、26日まで4日間ハイデルベルクに滞在する。この4日間はゲーテにとってもマリアンネにとっても至福の時であった。特に、マリアンネには生涯の思い出になったようである。マリアンネはこのあとも何度もこの思い出の土地を訪れている。ゲーテとマリアンネは、ハイデルベルクで別れたのち二度と会うことはなかった。『西東詩集』に『東風』『西風』という有名な詩があるが、この詩はマリアンネがハイデルベルクへの行き帰りに書いたものと言われている。『東風』の1連を挙げてみよう。

風よ、さあ、吹いてゆくがよい！
友びとや悲しむ人に、仕えなさい。
かなた、高崖が夕日にかがやくところ、
まもなくわたしは最愛の人に会えるでしょう。

馬車に乗って愛する人のもとへと急ぐ女性のはやる心持ちが手に取るように感じられる。ゲーテはマリアンネと再会を約束しながら、フランクフルトに立ち寄ることなく、あちこちを周遊しながら10月11日、ヴァイマルに帰る。もちろんこの時、フランクフルトに立ち寄って帰ることは容易であったろう。しかし、ゲーテはあえてそれをしなかった。例によつて、愛する人からの逃避だと思われる。帰国後、ゲーテとヴィレマー夫妻の間で手紙や贈り物のやり取りが続く。ヴィレマーからのものはまたフランクフルトに来るようという招待の内容が多い。そのうちにマリアンネが体調をくずす。ゲーテを思慕するあまりと思われる。そうするとなおのこと催促の度合いが強くなる。一方、前年あたりから病気がちであったゲーテの妻クリスティーネが、1816年6月6日、ついに亡くなる。それから1ヶ月半たった7月20日、ゲーテは保養をかねて南ドイツへの旅に出る。ところが、出発してまもなく馬車が転倒してしまう。ゲーテに怪我はなかつたものの、これは運命が行くなと知らせているのだと考え、旅行を取りやめる。もし実行されていれば、当然フランクフルトにも立ち寄ったであろうが。

いくら催促しても、ゲーテからはかばかしい返事が得られないためであろうか、1817年10月初め、ヴィレマーから奇妙な手紙が届く。

「すでに6ヶ月間、あなたもご存知の町にある部屋を人に貸さずにいます。あなたがそこに客として泊りいただきてもよいし、あるいは家族の一員としてあなたの所有物としていただいてもよいように。私の妻がお側にいて、家政上のお世話をすることでしょう。姪も十分にお世話が行き届いているか見てくれるでしょう。そして私は、私はあなた方のお気持ちのままにおまかせします。この手紙にはご返事がいただけると確信しています。個人的な相談が必要なら、ゴータかアイゼナハでお会いしましょう。」

この手紙には「ヴィレマーの希望と望みは私のそれでもあります。」というマリアンネの添え書きも付いていた。この手紙はフランクフルトに来ていただければ、マリアンネを譲ってもかまいませんとも取れる手紙である。もちろん単純に、来ていただければ誠心誠意お世話いたしますとも取れないことはないが。ゲーテはどうやら前者に解して、きっぱりことわっている。この過激な提案にゲーテはたじろいだのではないだろ

うか。それからしばらくしてゲーテからの便りは途絶えてしまう。そして1819年8月、刷り上った『西東詩集』をそえて久しぶりに手紙を出す。マリアンネは詩集をくり返しきり返し読んで、ゲーテとの愛の日々を追体験する。マリアンネの胸に過ぎし日々が蘇ってくる。しかも詩集の中には自作の詩も何編かはいっていたのである。マリアンネの喜びはひとしおであった。これ以後はマリアンネの体の変調も徐々に快方に向かい、また手紙と贈り物のやり取りもゲーテが死ぬまで断続的に続くのである。

1838年、ヴィレマーが死ぬ。マリアンネに子供はいなかったので、それ以後は一人暮らしであった。ただ、ヴィレマーが潤沢に遺産を残してくれていたので、生活に困ることはなかった。1850年、ヴィルヘルム・グリムの息子ヘルマン・グリムがマリアンネを訪ねてくる。この時、ヘルマンは22歳の学生であった。これ以降、マリアンネとヘルマンの交友が始まる。マリアンネは若い友人ヘルマンを信用して『西東詩集』のうちの4編は自分の作であることを明かし、ゲーテとの往復書簡も彼に託す。ヘルマンはマリアンネとの約束を守って、詩については彼女の死後10年後、手紙については20年後に公表する。マリアンネはゲーテとの思い出を大切にしながら、1860年、76歳で死んだ。

11 ウルリーケ・フォン・レーヴェツォー (1804-1899)

1821年7月、ゲーテは、ボヘミアの保養地マリーエンバートに出かけ、旧知のアマーリエ・フォン・レーヴェツォー未亡人の父親の持ち家に宿をとる。レーヴェツォー夫人には3人の娘がいた。その長女ウルリーケがゲーテの最後の恋の相手である。ゲーテ72歳、ウルリーケは17歳であった。ウルリーケは最初の出会いの様子を次のように語っている。

「私は最初の出会いを今でもありありとおもいかべることができます。あばあさまが私をおよびになりました。(略) 私が部屋へはいっていきますと、母もありまして、「長女のウルリーケです」といいました。ゲーテは私の手をとってやさしく私をみつめ、「マリーエンバートは気にいりましたか?」とたずねました。私はこの何年間というもののシットフルースブルクの寄宿舎でくらしていましたし、そのうえやっと17歳になったばかりでしたから、ゲーテがどんなに有名なひとなのか、どんなに偉大な詩人なのか、ぜんぜん知らなかったのです。ですから私は、すこしもうろたえたりしないで、この親切な老紳士をおむかえしたのです。そのうえちっともはにかまなかつたのです。(略) こ

の子供っぽい無邪気さが、かえってゲーテの気にいったのではないかとおもいます。といいますのもそのときから私のことにとても熱心になってくださったからです。ほとんど毎朝といっていいぐらい、散歩におでかけになるときは私をお伴になさったのです。私がございっしょしないときは、私にお花をもってきてくださいました。」(『録』)

ゲーテはウルリーケに岩石の話をしてやったり、自作の『ヴィルヘルム・マイスターの漫遊時代』をプレゼントしたり、あるいは自作について話してきかせたり、遊戯をしたりして約1ヶ月を過ごす。妻クリスティアーネを亡くして6年、必ずしもしつくり行っている息子夫婦との生活は味気ないものであった。レーヴェツォー一家あげての温かいもてなしはゲーテにとって久しぶりに味わう家庭的なものであった。美しい未亡人、その両親と3人の娘たちに親切にされ、老境にあるゲーテの心に少しずつみずみずしい心が蘇ってきたのではあるまいか。この時ゲーテにどれほど強い恋の感情が湧いてきたか不明だが、少なくともウルリーケに敬愛以上の感情がなかったのは確かである。ウルリーケは「恋愛感情はありませんでした。ゲーテは私の祖父のようでしたし、私もそのようにみました。そして彼は、私のことを「私の小さな娘」と呼んでいました。」(『録』)と語っている。

次の年もまた6月19日から7月24日までゲーテはマリーエンバートに出かけ、レーヴェツォー一家の世話をなっている。ウルリーケは記している。

「ゲーテはこのまえのときと同様に、ほとんどいつも私たちといっしょにすごした。(略) この年の夏もゲーテは私にたいへん親切で、あらゆる機会に私のことをほめた。私の祖母フォン・ブレージヒケ夫人に彼は、もうひとり息子がほしい、そうすればこのひとを家にもらって、まったく自分の考え方どおりに教育したい。この娘にたいしては大きな、父親のような愛情をおぼえている、といっていた。ゲーテはこんども私に本を1冊くれた。彼のところへ送られてきた『わが生涯より 第2巻第5部 われもまた陣中に』である。」(『録』)

マリーエンバートにはたくさんのお客さんが保養に訪れた。そしてその多くがゲーテと知り合いになることを望んだ。そんな時人々は、仲立ちをウルリーケに頼んだ。おそらくゲーテがウルリーケに好意を持ってることを知って、それを利用したのだろう。ゲーテもまたウルリーケの頼みを無下にことわることはなかった。

1823年、ゲーテは三度マリーエンバートを訪れる。この年はアウグスト公も保養に来て、レーヴェツ

ツォー家に投宿したため、ゲーテは別の旅館に泊まる。3年続けてマリーエンパートを訪れたのは、もちろんお目当てはウルリークである。ウルリークへの思いはひと夏ごとに高まって、この夏頂点に達する。ゲーテのことはヴァイマルでも評判になる。エッカーマンは書いている。

「当地には次のような噂がひろまつたのだ。すなわち、ゲーテはかの地で、心身ともに可憐な若い女性と近づきになり、彼女にたいして熱烈な愛情を抱いた。泉の並木道で彼女の声が聞こえれば、ゲーテはすぐと大急ぎで帽子をとり、彼女のところへ急いで下っていた。暇さえあれば、彼は彼女のそばにいて、楽しい日々を送った。」(1823・10・27)

ゲーテのウルリークへの思いは「父親のような愛情」ではすまなくなつた。ゲーテはアウグスト公に仲に立ってもらい、ウルリークに求婚をする。最初、レーヴェッツォー家では母親アマーリエに対する求婚と思つたようである。というのも、3人の子供こそいたが、アマーリエはこの時まだ35歳であった。年恰好から言えば、74歳のゲーテの相手としてはこちらのほうが自然である。19歳の娘ウルリークへの求婚とわかつて、レーヴェッツォー家は当惑する。しかもアウグスト公を介しての求婚である。対応に窮して、返事をあいまいなままにして、8月18日、マリーエンパートを発つてカールスパートに向かう。その2日後にはゲーテもマリーエンパートをあとにして、エーガーを経て、25日にはカールスパートに着いて、レーヴェッツォー家と同じ宿に止宿する。このあたりのことをウルリークは次のように記している。

「1823年に私たちがマリーエンパートで彼といっしょにすごしたのはほんのしばらくのことであつた。というのは私の母が、カールスパートへゆく必要があったからであった。ところがゲーテもそこへやってきて数日間滞在し、私たちと同じ家に泊まり、いつも私たちとともにあり、食事をともにし、晩には私たちにかわるがわる本を朗読させた。(略) カールスパートでは彼の誕生日(注:8月28日)にも私たちはいっしょであった。」(『録』)

ゲーテは自分の口から結婚を口にすることはなかった。レーヴェッツォー家の人々も結婚にかんする話題は意識的にさけていた。両者のあいだでは何事もなかつたようにこれまで通りなごやかな交流がなされた。そして9月5日、レーヴェッツォー家はゲーテを残してカールスパートを去つて行く。お互い結婚について何も話すことはなかつたが、レーヴェッツォー家の意向は暗黙のうちにゲーテにも通じた。その後すぐにゲーテも帰国の途につく。この途中の馬車のなかで作詩

されたのが、ゲーテの詩のなかでも特に有名な『マリーエンパートの悲歌』である。ゲーテはその経緯をエッカーマンに次のように語っている。

「この詩を書いたのは、マリーエンパート(注:ゲーテの思い違いで、正しくはカールスパート)を発つて直後のことで、まだ体験のなまなましい感情がいっぱいに残っているときのことだった。朝の8時に、最初の宿駅で第1節を書いた。それから馬車のなかで、さらに詩作を続けた。そうやって頭のなかでまとめたものを宿駅ごとに書きおろしていくつものだから、夕方にはもう出来上がり、紙の上に書きあげられていた。」(1823・11・16)

23連からなる『悲歌』の1連を挙げてみよう。

わが恋する人は今は遙かなかなただ この瞬間に
何がふさわしいのか私には分からぬ
なすべきことを彼女は色々と教えてくれたが
私には すべてが投げだしたい重荷だ
おさえがたい憧憬にありまわされ
とめどもなく涙の流れるばかりでせんかたもない

ゲーテはこのあと恋をすることはなかつた。息子にも死なれ、孤独のなかで『ファウスト』第2部をはじめとする作品を完成させて、83歳で死んだ。ちなみに、ウルリークは生涯結婚することなく、修道院にはいり、修道尼として95歳の高齢で亡くなつた。ウルリークにとりゲーテとのことは、若い日の夏の思い出の一輪にすぎなかつたのであるまい。

12 終わりに

ゲーテが愛した女性は上記10名にとどまらない。おもなところでは、ベッティーナの母親マクシミリアーネ・ブレンターノ(1756-1793)やイタリア旅行中の恋人マッダレーナ・リッジー(1765-1825)、小説『親和力』に大きな影響を与えたミンナ・ヘルツリープ(1789-1865)、そしてポーランドのピアニスト、マリア・シマノフスカ(1795-1831)などを挙げることができる。そのほか、一度も実際に会うことのなかつたアウグスタ・ツー・シュトルベルク(1753-1835)という女性もいる。小さな恋をいれるとその数はもっと増える。ゲーテがエッカーマンに語った有名な言葉がある。

「ほかの人々の青春は1回であるのに、天分に恵まれた人々は思春期をくり返し体験する。」(1828-3・11)

この言葉は、「青春」を「恋」に置き換えてもいいのではないだろうか。青春とは若さであり、エネルギー

ーである。ゲーテは恋愛を繰り返しながら若さをよみがえらせ、エネルギーを高めていった。ゲーテにあっては恋愛は肉欲を満たすためのものではなく、恋愛からみずみずしい心を、精神の高揚を、想像力を得ていたのである。ゲーアは恋愛することによって作品に命の息吹きを吹き込んだのである。ゲーテは普通の人が経験しないほど多くの恋をした。そしてたどり着いた心境が、死のまぎわまで心血をそそいだ『ファウスト』の結びの言葉ではあるまいか。

永遠に女性的なるものこそ
われらを高みのかなたへひいていく

参考文献

『ゲーテ全集』ハングルク版

『ゲーテ全集』アルテミス版

Robert Steiger: Goethes Leben von Tag zu Tag, 8 Bde.,
Artemis Verlag

Astrid Seele: Frauen um Goethe, Rowohlt,

『ゲーテ全集』(全15巻) 潮出版社

ビーダーマン『ゲーテ対話録』(全5巻) 白水社

エッカーマン『ゲーテとの対話』(上・中・下) 岩波文庫

フリーデンタール『ゲーテ』(上・下) 講談社

高橋健二『ゲーテをめぐる女性たち』主婦の友社

熊田力雄『リリー・シェーネマンについて』(『ゲーテ年鑑』第13巻、所収)

クレスマン『ゲーテが愛した妻クリスティアーネ』あむすく

瀬戸 洋『ゲーテの妻・クリスティアーネのこと』
(『有明工業高等専門学校紀要』第24号、所収)

ロマン・ロラン『ゲーテとベートーヴェン』(『ロマン・ロラン全集』第23巻、所収)

高橋健二『ゲーテ相愛の詩人マリアンネ』岩波書店

小栗 浩『マリアンネ・フォン・ヴィレマー——その生涯の素描——』(小栗 浩『近代ドイツ文学論集』東洋出版、所収)

『世界名作の旅』(上) 朝日選書

クレッチュマー『天才の心理学』岩波文庫

注： 訳文は、一部をのぞいて、上記参考文献を利用させてもらった。

求哀懺悔仰能仁
承和聖主勅初ト
貞觀明王格永陳
内自九重外諸國
起於万乘及黎民
年終二日驚心馬
天下一時轉法輪
發願以來五十載
星霜如故事如新
我今爲吏居南海
朝夕翫誠望北辰
趨拜宮門或僕士
奉行制旨卽忠臣
會之前後禁屠割
會之中間絕草辛
禪悅寒攀下椀味
過伽陵指井華神
城中遍滿菩提念
境内掃除雜染塵
香出善心無出火
花開合掌不開春
歸依一万三千佛
經中佛名。
哀愍二十八万人
都内戸口
邊地生常下賤
未來世亦單貧
非由宿業皆如此
哀みを求めて懺悔して能仁を仰ぐ
承和の聖主勅初めで下したまひぬ
貞觀の明王格永く陳ねたまへり
内は九重より外は諸國
萬乗より起りて黎民に及ぶ
年の終に二日心馬を驚く
天の下に一時に法輪を轉ず
發願してよりこのかた五十載
星霜故きが如く事新なるが如し
我れ今吏となりて南海に居り
趨りて宮門を拜するは或は僕士ならむ
朝夕誠を翫して北辰を望む
制旨を奉行するは卽ち忠臣なり
會の前後は屠割せむことを禁む
會の中間は草辛を絶つ
禪悅寒にして攀ぐ椀味
過伽陵指す井華の神
城中遍満菩提の念
境内掃除雜染の塵
香は善心より出でて火より出づることなし
花は合掌に開けて春に開けず
歸依す一万三千佛
經中の佛名なり。
哀愍す二十八万人
都内戸口
邊地の生生は常に下賤なり
未來の世世も亦單貧ならむ
宿業に由りてみな此の如くなるのみに非す

(注7)「人物叢書 菅原道真」(吉川弘文館)一一七頁

亦復當時更結因
无量无邊何處起
自身自口此中臻
捕逃課稅真司錄
欺詐公私獄卒瞋
漁叟暗場昔兄弟
獵師好殺舊君親
在風溫訴犁耕舌
習俗狂言湯鬪唇
遠數万方罪先現
垂和一夕苦相違
肉飛羅刹鬼前刃
骨赴泥梨鼎下薪
疑惑恩癡無曉悟
醉無曉悟欲精慾
可慚可愧誰能勘
菩薩弟子菅道真
曉悟なしといへども
慚づべし愧づべし
菩薩の弟子菅道真

亦復當時更に因を結ばむや
无量无邊何れの處よりか起る
自身自口此の中に臻れり
課逃より逋稅すれば真司錄さむ
公私を欺詐すれば獄卒瞋らむ
漁叟の暗に傷くるも昔の兄弟
獵師の好みで殺せるも舊の君親
風に在りて盜訴すれば犁なして耕す舌
俗に習びて狂言すれば湯もて燙らす唇
遠數万方罪先づ現る
垂和一夕苦しう相違ふ
肉は飛ぶ羅刹鬼前の刃に
骨は赴く泥梨鼎下の薪に
疑惑恩癡にして曉悟なし
醉無曉悟欲精慾
可慚可愧誰能勘
菩薩弟子菅道真
曉悟なしといへども精慾せしめまく欲りす
慚づべし愧づべし誰か能く勘むる
菩薩の弟子菅道真

- 便風 : 順風。『楊炯・梅花落詩』に「影隨朝日遠、香逐便風來」の例が見える。『漢語大詞典』にも「順風」と説明し、「趙冬曜・和尹懋秋夜遊灘湖之一」に「吹笙虛洞答、舉楫便風催」とある用例を引く。『日本漢詩人選集1 菅原道真』(小島憲之・山本登朗共著)では、「久しぶりに突然届いた手紙を都からこちらにむかって吹く風が運んできたものと見なした表現」(一五六頁)と説明されている。
- 吹著 : 風が吹きつける。「著」は助辞。動作をあらわす語につく。『中華大辭典』には「著、語助詞、如云、遇著、見著」と説明する。
- 移去 : ここでは木を別の所に移し植えること。
- 寄居 : 仮り住まい。又は仮り住まいをすること。『漢書』「息夫躬傳」に「躬歸國未有第宅、寄居立亭」の用例が見える。『漢語大詞典』では「①居住在他鄉、或別人家里」と説明する。『白氏文集』「24蘭若寓居」に「家園病懶歸、寄居在蘭若」の句が見える。
- 裹 : つつむ。
- 生薑 : 根茎は香辛料、漬け物などに用い、健胃剤にもする。はじめみ。
- 樂種 : くすりの材料。
- 瘡 : 物忘み。
- 儲 : そなえ。たくわえ。
- 飢寒 : 飢えることとござること。『孟子』「梁惠王上」に「七十者衣帛食肉、黎民不飢不寒、然而不王者未之有也」の用例が見える。『漢語大詞典』には「飢餓寒冷」と説明し、「杜甫・莫相送行」の「往時文彩動人主此日飢寒趨路旁」の例を引く。『白氏文集』「26朝歸苦寄元八」に「辛無急病、不至苦飢寒」の用例が見える。『菅原文草』「23重問」に「賣箭村中憲賤價、生涯定不免飢寒」の句が見える。
- 還 : かえつて、『漢語大詞典』には「副詞 ②表示轉折、相當于
- 「寂靜无声、沈寂」と説明し、「柳宗元・至小立西小石潭記」に「坐潭上、四面竹樹環合、寂寥無人」の句を挙げる。『白氏文集』「25除官赴闕、偶贈徵之」に「從此津人應省事、寂寥無復過詩筒」の用例が見出せる。『菅家文章』「27書懷奉呈諸詩友」に「公事閒人談說得、野情趁我寂寥來」の句が見える。
- ここでは二ヶ月余り家人からの手紙を手にしていない道眞の心の状態を意味する。

補説

京都の妻子からの手紙を心待ちにしつつ、やっと手にしたその手紙には、妻からの道眞自身のことを思いやる、その事のみが書かれており、その言葉のうちにいる妻子の苦労に思いを馳すといったためなくなる、その心情を理性で必死に抑え、努めて冷着に、詩語一つ一つを選び作品化したこの時は、感情が直接的に吐露されていない分、余計に読む者の胸を打つ。『菅家後集』中の佳品の一つとして印象に残る作品と言える。

(注1) 拙稿 「菅原道真研究——菅家後集」全注釈(七)

「国語国文学研究」第三十八号(熊本大学文学部国語国文学会)

(注2) 拙稿 「菅原道真研究——菅家後集」全注釈(二)

「国語国文学研究」第三十八号(熊本大学文学部国語国文学会)

(注3) 「新日本古典文学大系 新古今和歌集」四二二頁

(注4) 「新日本古典文学大系 新古今和歌集」四二九頁

(注5) 「大曾根章介 日本漢文学論集 第二卷」汲古閣院
「菅原道真——詩人と鴻儒」 四十三—四十四頁

(注6) 岩波古典大系本の本文及び訓説文を以下に載せる。
279 櫻痴會作、三百八言」

却: 反面」と説明がある。

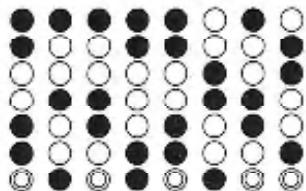
懊惱 : 憤りもだえること。『漢語大詞典』では「煩惱」と説明し、「韓偓・六言之二」の「惆悵空教夢見、懊惱多成酒悲」の例を引く。『白氏文集』「23聽竹枝贈侍御」に「巴童巫女竹枝歌、懊惱何人怨咽多」の句が見える。

本文

488 讀家書 七言

平仄

消息寂寥三月餘
便風吹著一封書
西門樹被人移去
北地園教客寄居
紙裏生薑稱藥種
竹籠昆布記齋儲
不言妻子飢寒苦
爲是遠愁懊惱余



※脚韻は上平声魚韻。韻字は「餘」「書」「居」
「備」「余」である。

校異

(写本) 全本 (版本) 全本共に無し。

訓読

消息寂寥たり 三月餘
便風吹著す 一封の書
西門の樹は 人に移去せらる
北地の園は 客をして寄居せしむ
紙に 生薑を裏み薬種と稱す
竹に 昆布を籠めて齋の儲けと記す
言はず 妻子の飢寒の苦しみを。
是が為に 還りて愁へて 余を懊惱せしむ

通釈

京の妻子からの手紙が途絶えてから三ヶ月余り
(ある日) 風が吹き一通の封書をこの太宰府の地に吹き届けてくれた。

○消息

千紙。「杜甫・袁江頭詩」に「清謂東流劍閣深、去往彼此無消息」の句が見える。「漢語大詞典」には「(7)音信、信息」と説明する。『自氏文集』[1298]閏婦に「遼陽春盡無消息、夜合花前日又西」の句が見える。『菅家後集』[490]雪夜思家竹に「西府與東籬、關山消息絕」の句がある。

ひつそりとして淋しいさま。「楚辭」「九歎、惜賢」に「聲噭噭以寂寥兮。(注)寂寥、空無人民之貌也」。『漢語大詞典』には

(その家族からの手紙文では) 京の西門にあつた木は人によって持ち去られてしまった事が、(また) 北の園の空地には他人に仮住まいをさせている事を(知らせて)いる。

(更に) 私の太宰府でのわび住まいの為に、紙に生薑を包んで薬として使って欲しいと添え書きがあり、

竹の籠には昆布を入れて、精進の折の備えに使って欲しいと書いてく

れています。(そしてその手紙文では) 京都での窮乏した日々の生活の劳苦には全く触れられておらず、そのことが、かえって、この私を一層悲しませ、悩み悶えさせる事になるのである。

語釈

○家書：郷里からの音信。「漢語大詞典」には「家人来往的書信」と説

明し、「杜甫・春望詞」の「烽火連三月、家書抵萬金」の句を引く。『白氏文集』[85]西樓に「郷國此時阻、家書何處傳」の用例がある。『菅家文草』[192]早秋夜詠に「家書久絶吟詩咽、世路多疑託夢占」の句が、又、『菅家後集』[484]絃意一百韻に「世路間撃險、家書絶不傳」の句が見える。坂本太郎氏は「人物叢書 菅原道真」の中で「道真の男子の中で、任官していた長子大学韻高視は土佐介に、式部丞景行は駿河稚介に、右衛門尉兼茂は飛驒稚源に、秀才淳茂は播磨にと、父子五ヶ所に分ちやられた。妻室と年長の女子は家に残つたが、年少の男女は道真と行をともにした。これは『菅家後集』にある「少男女を慰む」という詩で知ることができる。(注7)と述べられているが、ここでは都の家に残されている、妻と年長の娘たちからの手紙を指す。

○寂寥

ひつそりとして淋しいさま。「楚辭」「九歎、惜賢」に「聲噭噭以寂寥兮。(注)寂寥、空無人民之貌也」。『漢語大詞典』には

仮の名をいうが、限定期的な意味としては「仮名会」(みょうえ)の略。(「仮名懺悔」へ御仮名おぶみょう)とも。毎年十二月中旬(当初は十五日より、後には隨時)の三日間、内裏清涼殿において仮名経の所説に基づき三世諸仏の仮名を唱え、その年に犯した罪障を懺悔し、滅罪生善を祈念した法会。すでに中国において行われていたが、我が国では淳和天皇の八三〇年(天長七)閏十二月八日に宮中で行われたのが始まりで、宮中恒例の仮名会となつたのは八三八年(承和五)からという。後には一夜の法会となり、諸国の寺院また宮家・摂関家などでも修せられるようになった。

(七〇五頁)

龍谷大学編『佛教大辞典』には「仮名會」として次のような説明がある。

朝廷並に諸國にて毎年の歲暮に行ふ懺悔減罪の法會。或は佛名懺悔ともいふ。即ち一歳の終盡するに當り宮中及び國內

に於ける一ヶ月内の罪障を懺悔せん爲め佛名讚歎の法筵を設け、佛陀の統益護持を祈願するなり。承和の詔勅にも「萬三千之宝母、二十五之尊名、聽之者塵勞自説、仰之者煩惱永除」と宣へり。(中略)

承和十三年十月廿七日の詔勅に基ける畿内七道諸國の仮名懺悔は政府を道場とし、萬三千佛画像一鋪を安し、部内の名徳七僧を請じて之を修す。式口は宮中と同じく毎年十二月十五日より十七日に至る三日間なりしが、仁寿三年宮中の式日と共に変更して十九日より二十一日に至る三日間となれり。(四〇三〇～四〇三一頁)

○發心

菩提心をおこすこと。無上菩提を願う心をおこす。發意。「維摩經註遠疏」に「期求正真道、名爲發心」の語が見える。

『岩波佛教辞典』には次のような説明がある。

「發意」ともいふ。また詳しくは「發菩提心」へ發動心」である。あるいは「發阿彌多羅三藏」菩提心は「あくたらさんみやくさんばいしん」サンスクリット原典の表現ではその多くは正しい目覚めに対し心をおこすとあり、漢訳語「この上なき正しい目覚めに向かう心をおこす」では本来の意味が伝わらない。

龍谷大学編『佛教大辭典』には次のような説明がある。

○南無

: *namasnamonamah* サンスクリット語の音写。(なも)とも読み、(納莫のうまく)とも音写される。歎意を表するために体を折り曲げること。帰依・帰命頂礼を意味する。

○南無阿彌陀佛 : 阿彌陀佛の具名。六字名号又は単に名号と称し、口に之を称え、之を書して本尊を表示する。

○補説

【菅家文章】卷第四に「279懺悔會作三百八言」として詠作されたものが収められている。(注6)この作品は菅原道真が讃岐國守時代のもので、川口久雄氏は、岩波古典文学大系本の補説で次のような、この詩の詠作事実を論じられている。

仁和四年(八八八)十二月、讃州の国府庁において、国守菅原道真が下僚をひきい、部内の名僧を届請して、仮名禮懺を修したときの作。宮中では仁明天皇の承和五年以来、毎年清涼殿において主上以下仮名会を修した。ついで承和十三年(八四六)十月太政官符において、五畿内七道の諸国において、国司が仮名懺悔を修すべきことを命じた指令が出ていて、それより約四十二年後の讃岐国における仮名懺悔会の実情を伝える。これは貴重な資料である。

「仮名懺悔會」は、十二月下旬、前後三カ夜、宮中清涼殿において主上をはじめ修せられ、年の罪障を懺悔して仮の加護を祈願した。地獄変屏風を展示し菩提流支訳仮名経十二巻を読誦した。(六九一頁補注二七九二)

「493南館夜間都府禮佛懺悔」の詠作事情を考察する上で参考にすべき一文である。

菩提心を发起すること。仮果を求めるとする心の発する云々。安樂集には「苦し發心し作仏せんと欲せば此心廣大にして法界に遍周し、此心究竟し等しうして虛空の若し、此心長遠にして未來際を尽す。此心普く備さに二乘の障を離る。苦しこく一たび此心を發して無始生死の有漏を傾く」と云へり。又三種發心。四種發心等の名目あり。(四一八六頁)

【白氏文集】蜀路石婦に「晨昏問起居、恭順發心誠」の句が見える。

自ら犯した罪過を仏や比丘の前に告白して忍辱を乞う行儀。〈懺悔〉または〈悔過〉と漢訳されたサンスクリット原語は種々ある。中国仏教では忍んで許してくれるよう乞うの意の〈懺摩さんま〉と過去の罪過を追悔する意の〈悔〉(二三三頁)。

龍谷大学編『佛教大辞典』には次のような説明がある。

過去の罪悪を悔い、佛・菩薩・師長・衆人等に対して發露披陳するを云ふ。仏教道德の実践上に於ては最も重要なものとせられたり。故に大小乘の經・律・論に亘り之に關して説示せられたるもの頗る多し。

(中略)【語義】懺悔の儀とは梵語懺摩 (ksama) の略。悔は其の訳語にして梵漢重學したる名なり。但し懺摩は罪の容忍を人に請ふことにして直ちに悔にはあらず、悔は其の意義より説せるものなり。(二五五四頁)

川口久雄氏は磐波古典文学大系本の補注で次のように説明をされている。

「礼仏懺悔」は承和十三年(八四六)の太政官符によると、諸国の国府の行事として毎年十二月十五日より十七日に至る三日間、礼仏懺悔を勤行せよと命ぜられ、仁寿三年(八五三)の官符によると十一月十九日より十一日まで三ヶ月に改められる。(類纂三代格、卷一、造仏仏名の事)この夜、都府において部内の名徳を請じて仏名經を礼讃するのである。

(七三六・七三七頁)

○地獄

：

【磐波仏教辞典】では次のように説明する。

[santaka,niraya] へ奈落へ泥黎なりなどの音写語がある。

惡行を積んだ者が墮ち、種々の苦痛を受けるとされる地下世界の総称。破戒などの罪を犯した者が死後に赴くとされる最も苦しみの多い生存状態・三悪趣・五趣・六道・十界の一つ。(三四七頁)

③地下。よみぢ。冥土。『無量寿經』に「寿終後世、尤深尤劇、入其幽冥、轉生受身」の用例が見える。『磐波仏教辞典』には次のように説明する。

○幽冥

：

『白氏文集』「開龍門八節石灘詩」首之二に「十里叱灘變河漢、八寒陰獄化陽春」(八寒地獄見佛名及涅槃經。故以八節灘爲此)の用例が見える。

○天涯

：

典には次のように説明する。

漢語の〈幽冥〉は奥深く妙なる〈道どう〉を形容する語として用いられる場合と死者の住む地下の世界をさす場合がある。漢訳仏典では特に迷いの暗黒に沈んでいる状態、あるいは地獄・餓鬼・畜生の三惡道のような仏の光明が及ばない場所の意で用いられる。(八一〔貞〕)

高適の「題尉遲歸軍新廟」に「明明幽冥理、至誠信莫默」の句が見える。

天のはて。極めて遠いところ。杜甫の「野望詩」に「海内風塵諸弟隔、天涯涕淚一身遙」の句が見える。「漢語大詞典」には「猶天邊。指极遠的地方」と説明し、「古詩十九首・行行重行行」の「相去萬餘里、各在天天涯」の例を挙げる。元稹や白居易の詩にも多用されている語で、例えば「白氏文集」に「答故人」に「故人對酒歎、歎我在天涯」の用例が、「聞早鶯」に「不作天涯意、豈殊禁中聽」の用例が、「寄微之三首之二」に「江州望通州、天涯與地末」の句が、「庭槐」に「忽向天涯見、憶在故園時」の句が又、「送春歸」に「帝城送春猶快快、天涯送春能不加惆悵」の句が見える。『田氏家集』にも「賦得秋織」に「幅闊草常依土俗、衣成早晚寄天涯」の用例が見える。

放逐

：

○奉

：

○佛号

：

【磐波仏教辞典】では次のように説明する。

「放逐」の例が見える。『漢語大詞典』には「流放」と説明する。

「白氏文集」「和萬州楊使君四絕句之競度」に「自經放逐憔悴、能校盡均死幾多」の用例が、「贈楊使君」に「曾嗟放逐同巴峽、且喜歸還舍洛楊」の例が見える。『苔家後集』(479頁)「開元詔書」に「京哉放逐者、蹉跎喪精靈」の句が見える。

罪人を殺す。転じて「つみ」の意を表わす。つみ。とが。佛の名号。「名号」とは諸仏大々の名を名号というが特に阿弥陀佛・南無阿弥陀佛という称呼をいう。『漢語大詞典』には、「⑤佛教語。特指諸佛菩薩名、而以指南無阿彌陀佛爲常」と説明し、「慈蓮摩羅什(大乘大義章)卷上」の「能時於千萬國土、皆作佛事、種種名號、種種之身、教化衆生」の用例を挙げる。

一方、「仏名」として「磐波仏教辞典」では次のような説明をする。

補説 (2)

大曾根章介氏は「菅原道真—詩人と鴻儒」の著述の中でこの詩を具体的に取り上げられ、以下のような傾聴すべき見解を述べておられる。

太宰府の条里の中にある配處には、物売りのざわめきが聞えてくる。春とはいえ柳も花もなく、鶯の鳴声も聞えない。正月になつて五十日にもなるというのに、何一つ主人の心を動かすに足る春めいた情景は見当らない。そうした春の物憂い一日の光景を詠んだこの詩は、読者がもし

「菅家後集」に収録されていることを知らなかつたならば、市井の一風景を賦した詩として捉え、作者の心情を平板な春愁と解するに違いない。事実その様に鑑賞しても不自然でない程、この詩が写し出した世界は平凡な日常生活と密接な繋りを持つている。しかしこれが道真の配處における詩であることを知るならば、起句の賈人の声は外界との接触を絶つた作者の寂寥感と対比して居り、承句の柳も花も鳥もない索莫たる情景はそのまま作者の心象風景であり、転句には己れに味方せぬ日々の経過の叙述に万感の憂愁が籠められていることを認めるであろう。この様に考えて來ると、結句の春情が単に万人を浮き浮きさせる毎年の春の情景ではなくて、流譜生活の悲愁绝望を慰めてくれる春情であり、作者にとっては再び逢うことが出来ぬかも知れぬ最後の春情であることに気付くであろう。半明な日常生活の描写の奥に無限の悲しみと愁いを湛えたこの詩は、道真の到達し得た最高のものであると筆者は信ずる。この詩境は万巻の書を讀破し古今の詩句に通曉した後、それらをすべて止揚した所に生まれたものである。

(注5)

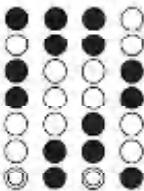
三

本文

493 南館夜聞都府禮佛懺悔

・人斯地獄幽冥理
・我泣天涯放逐率
・佛号遙聞知不得
・發心北向只南無

平仄



校異

○題字下

▼頭注：傍注「七言」(内一) (大島) (尊四) (太二) (刊本) 全本

○北向：

見消 「向北」を消して右に「北向」とある。(内一) (加越能) (尊四)

訓説

- ・人は歎づ、地獄幽冥の理
- ・我は泣く天涯放逐の率
- ・佛号遙に聞けども 知ること得ず
- ・發心 北に向かひて ただ南無。

通釈

- ・人々はこの時期になると、悪逆の罪過を犯せば地獄に堕ちるという仏説のことわりに懺悔するが、
- ・私は、地の果ての太宰に放逐させられている罪の身の上に泣いている。
- ・仏名会には三世諸仏の仏名を唱えるその声がはるかに聞こえて来るが、その仏名を認知することは出来ない。
- ・私は発心して都府のある北方に向かってひたすら南無とのみ唱える。

語釈

○南館

：川口久雄氏は岩波古典文学大系本の補注で次のように説明されている。

「南館」は都府の南にある官舎の意で、道真幽閉の茅屋を指す。すなわち桜寺の地。都府から八百メートルくらいの距離であるから、唱導の声もきこえたのである。(七三六・七三七頁)

○禮佛

：仏を礼拝する。「南史・張鵞傳」に「百姓有罪、使禮佛贖」の用例が見える。

○懺悔

：過去の非をさとつて改心する。又前非を悔いて告白する。「懺」は梵語「懺摩 (ksamayati)」の略。「悔」は「悔往」の意で、「懺摩」の訳語。即ち梵語と漢語とを合わせた語。「岩波佛教辞典」では次のように説明する。

*※脚註は上平吉虞韻。韻字は「卒」「無」

菅原道真研究 — 「菅家後集」全注釈（八）

焼山廣志

（平成十五年十月六日改題）

A Study of Sugawara Michizane

YAKIYAMA Hiroshi

Explanatory notes on all the poems of kankekoshu (Private edition of Sugawara Michizane's poetry in Chinese written in the Dazai period)Section VII

I

▼原注 「無^モ也^ハ」(廿) (大畠)

○埠(○) …郭(●)(内一)(大島)(松平)(糸考)(尊11)(海四)
(太1)(太1)(刊本) 全本

○春(○) …老(●)(尊11)

〔訓読〕

・郭西 路北 貢人の聲

・柳も無く 花も無く 鶯も聽かず

・春に入りてより このかた 五十日
・未だ 一事の春情を動かす」とを知らず

II

本文

499
二月十九日

- ・郭西路北賈人聲
- ・無柳無花不聽鶯
- ・自入春來五十日
- ・未知一事動春情

平仄

○○●●○○
○●○○●○
●●○○●●
●○●●○○

通釈

- ・郭の西 路の北に もの充りの声がする。
- ・柳も芽ぶかず、花も咲かず、鶯の鳴き声ぬしなる。
- ・新春を迎えて五十日が経つといふのに、
- ・暗く思い沈んだ日々の中では、何一つとして春ののどかな気持ちを呼び起こすものとてない。

語釈

○埠 …=郭。くるわ。そとぐるわ。中国の城市やとりでを守る外囲い。外城。「漢語大詞典」には「②外城。古代在城的外圍加筑的一道城墙」と説明し、「礼記」「礼運」の「城郭溝池以爲固」の例を挙げる。

※脚註は「平夷庚韻」。韻字は「郭・鶯・情」

○題字下：傍注「七言」(内一)(大島)(松平)(尊四)(太1)(刊本)全本
校異

研究活動概要

発表した論文・著書及び講演題目

(自 2002年10月～至2003年9月)

論文題目又は著書名	著　　者	掲載誌名・巻号	年　月
New Rotary Forming Process in Axis Intersection Type for Clutch Hubs in Automatic Transmissions	(Matsunaga, R.) (Takemasu, T.) Ozaki, T.	Advanced Technology of Plasticity, Vol. 2	平成14年11月
Numerical Control Finish Rolling Process of Automotive Transmission Gears Using Screw-Shaped Tool	(Takemasu, T.) Ozaki, T.	Advanced Technology of Plasticity, Vol. 2	平成14年11月
Crowning Process of P/M Gears for Automotive Transmissions by Finish Rolling Using Screw-Shaped Tool	(Takemasu, T.) Ozaki, T. (Matsunaga, R.)	JSME International Journal, Series A, Vol. 46 No. 3	平成15年 7月
精密加工学	田口 紘一 明石 勝二	コロナ社	平成15年 8月
旋回クレーン系に対する切り換え型振れ止め適応制御とその実験的検証	川崎義則 木下 正作 (岩井 善太)	日本機械学会論文集C編, 第68巻676号	平成14年12月
教育用伝熱実験システムの開発	吉田 正道 (久保山正朗)	有明工業高等専門学校紀要, 第39号	平成15年 1月
解説2. インターフェース回路	原 槟 真也	機械設計, 日刊工業新聞社	平成15年 3月
解説5. 実習から学ぶアクチュエータと制御技術	原 槟 真也	機械設計, 日刊工業新聞社	平成15年 3月
磁性流体を利用した動力回収装置に関する基礎的研究	坪根 弘明	熊本大学学位請求論文	平成14年 3月
鉛直円管内気液二相流における気相体積率の推算式	(坂口 忠司) 坪根 弘明 (佐川富道雄) (南川久人) (赤対 秀明)	日本混相流学会誌, 第17巻第1号	平成15年 3月
授産施設における車両用配線保護チューブ定寸切断治具の開発	木下 正作 (梶原理宏) 川崎義則	有明工業高等専門学校紀要, 第39号	平成15年 1月
障害児の自立性と遊び心の助長を目的とする立位保持器自走化装置の開発	木下 正作 川崎義則	リハビリテーション・エンジニアリング, 第18巻第3号	平成15年 8月
PI電流制御を用いたアクティブフィルタでの補償電流検出フィルタ	泉 謙 弘	有明工業高等専門学校紀要, 第39号	平成15年 1月

小型パルス圧縮・増幅レーザーの開発	出来恭一 (松岡史哲) (鄭和端) (有澤孝) (久保至)	第4回光量子科学研究 シンポジウム論文集, JAERI-Conf 2003-008	平成15年7月
高出力短パルスレーザによるセラミック基板の貫通穴加工	(金井真樹) (滝沢広幸) 出来恭一 (松岡史哲) (有澤孝)	第4回光量子科学研究 シンポジウム論文集, JAERI-Conf 2003-008	平成15年7月
Nd:YAGレーザー(3倍波355nm, パルス幅350ps)による石英ガラスの照射誘起欠陥	(西川慎二) (稻吉孝宣) (那須昭一) 出来恭一 (松岡史哲) (有澤孝)	第4回光量子科学研究 シンポジウム論文集, JAERI-Conf 2003-008	平成15年7月
キノコ栽培へのパルス高電圧の利用	塙本俊介 (前田貴昭) (池田元吉) (秋山秀典)	プラズマ・核融合学会 誌, 第79巻第1号	2003年1月
Observation of Plasma Motion in a Coaxial Plasma Opening Switch With a Chordal Laser Interferometer	(Teramoto, Y.) Kono, S. (Katsuki, S.) (Akiyama, H.)	IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 30, No.5	平成14年10月
Water And Propylene Carbonate As Storage And Switching Medium In Pulsed Power Systems	(J. Kolb) Kono, S. (S. Xiao) (B. Goan) (X. P. Lu) (M. Laroussi) (R. P. Joshi) (K. H. Schoenbach)	Proceedings of the 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
Temporal Light Emission Development of A Pulsed Discharge In Water	(X. P. Lu) (M. Laroussi) (S. Xiao) (J. Kolb) (K. H. Schoenbach) Kono, S.	Proceedings of the 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
High Power, High Repetition-Rate Water Switch	(S. Xiao) (J. Kolb) (R. P. Joshi) (M. Laroussi) (K. H. Schoenbach) Kono, S.	Proceedings of the 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
Shock wave deformation in shock-vortex ring interactions and its development	Minota, T.	Proc. Of the Third Int. Workshop on Shock Wave-Vortex Interaction	平成14年12月
The development of new shocks induced by interactions between a body and a vortex flow	Minota, T.	Shock Wave/Vortex Interaction, Jingfeng Press	平成15年5月
卒業研究における集積回路分野への導入教育	中村俊三郎	工学教育, 第51巻第1号	平成15年1月
熱拡散法によるCMOSデバイスの試作(2) -p型ウェルの形成について-	中村俊二郎 (塙本直樹) (浅野種正)	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
Development of DIAL for CO ₂ and CH ₄ in the Atmosphere	Uchiumi, M. (N. J. Vasa) (Yokoyama, S.) (Maeda, M.) (Uchino, O.)	SPIE's Third International Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium	平成14年10月
Study on a Corona Streamer Observed in a Laser-Triggered Lightning Simulator	Uchiumi, M. (Ueda, K.) (Muraoka, K.) (Akazaki, M.)	International Workshop on High Voltage Engineering	平成15年1月

M系列擬似ランダム変調C Wレーザレーダ の特性解析	内海通弘	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
誘電体内の空間電荷計測における密度検定法	内海通弘 (加藤聰)	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
ゴム絶縁材料中蓄積空間電荷のPEA計測	内海通弘 (加藤聰)	電気学会放電・絶縁材 料研究会資料論文, ED03-8, DEI-03-13	平成15年1月
Expansion of a Protection Cone of a Lightning Rod by a Laser-Induced Plasma channel	Uchiumi, M. (Ueda, K.) (Muraoka, K.) (Akazaki, M.)	Proceedings of the Third Asian Pacific Laser Symposium	平成15年3月
Development of a Tunable Laser Source for DIAL measurements of the Atmospheric CO ₂ and CH ₄	Uchiumi, M. (N. J. Vasa) (Yokoyama, S.) (Maeda, M.) (Uchino, O.)	Proceedings of the Third Asian Pacific Laser Symposium	平成15年3月
Tuning of a Ti ³⁺ :sapphire laser by an electro- optic beam deflection method	(N. J. Vasa) (Fujwara, M.) (Yokoyama, S.) Uchiumi, M. (Maeda, M.)	Applied Optics, Vol. 42, No. 27	平成15年9月
Sensing of Chemical Substances Using Gene Expression Patterns in Caenorhabditis Elegans	Matsuno, T. (Ura, K.) (Sonoda, R.) (Kohara, Y.) (Uesugi, H.) (Arizono, K.) (Iguchi, T.) Tominaga, N.	Sensors and Materials, Vol. 14, No. 7	平成14年10月
校内LANシステムの増強に関する検討	松野良信 山下巖 堀田孝之 (福田浩人)	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
ネットワーク社会における情報の活用と技 術 [情報教育テキスト]	(ICT基礎教育研究会) 松野良信 (他17名)	実教出版	平成15年
Flow Allocation Algorithms for Traffic Engineering	Kato, M. (Hida, H.) (Kawahara, K.) (Oie, Y.)	Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 2662	平成15年8月
静的なオブジェクト指向プログラムに対する インスタンスを考慮した理解コスト計量法	山崎直子 (掛下哲郎)	コンピュータソフトウ エア, 第20巻第4号	平成15年7月
硝酸マンガン溶液のオゾン酸化からのリチ ウム一次電池用二酸化マンガンの合成	宮本信明 (米田理美) (小山亜希子) (清富啓介)	電気化学, 第71巻第9号	平成15年9月
長期使用におけるポリウレタンーアミドお よびポリウレタンーアミドの寿命予測	吉武紀道 (久保孝一) (古川睦久)	マテリアルライフ学会 会誌, 第14巻第4号	平成14年10月
Production of Composite Powder by Fluidized- bed Granulation Process and Evaluation of Sprayed Coating Properties	Kawase, R. (Mizuma, A.) Tanaka, Y.	Proceedings of ITSC 2003	平成15年5月

高専における新しい教育プログラム	水室昭三	論文集「高専教育」, 第26号	平成15年3月
Effect of Shrinking Microrobubble on Gas Hydrate Formation	(Takahashi, M.) (Kawamura, T.) (Yamamoto, Y.) (Ohnari, H.) Himuro, S. (Shakutsui, H.)	The Journal of Physical Chemistry B, Vol. 107, No. 10	平成15年3月
Measurement and Correlation of Isobaric Vapor-liquid Equilibria for Binary and Ternary Systems containing MTBE, Methanol and Alkanes	Watanabe, T. (Honda, K.) (Arai, Y.)	ISST02-JK The Sixth International Symposium on Separation Technology	平成14年10月
Measurement and Correlation of Liquid-liquid Equilibria for Tertiary Systems containing MTBE, Methanol and Alkanes	Watanabe, T. (Honda, K.) (Higashiochi, H.) (Arai, Y.)	ISST02-JK The Sixth International Symposium on Separation Technology	平成14年10月
Cationic surfactant-selective electrode based on a hydrophobic cation exchanger	Masadome, T.	Microchimica Acta, Vol. 140	平成14年
Spectrophotometric determination of carp vitellogenin using a sequential injection analysis technique equipped with a jet ring cell	(Soh, N.) (Nishiyama, H.) (Mishima, K.) (Imato, T.) Masadome, T. (Asano, Y.) (Kurokawa, Y.) (Tabei, H.) (Okunishi, S.)	Talanta, Vol. 58	平成14年
Determination of cationic polyelectrolytes using a photometric titration with crystal violet as a color indicator	Masadome, T.	Talanta, Vol. 59	平成15年
Photometric titration of anionic polyelectrolytes using the cationic dye as an indicator	Masadome, T. (Kawaguchi, M.) (L. Kurniasari)	Analytical Letters, Vol. 36	平成15年
Use of marker ion and cationic surfactant plastic membrane electrode for potentiometric titration of cationic polyelectrolytes	Masadome, T. (Imato, T.)	Talanta, Vol. 60	平成15年
A surface plasmon resonance immunosensor for detecting a dioxin precursor using a gold binding polypeptide	(Soh, N.) (Tokuda, T.) (Watanabe, T.) (Mishima, K.) (Imato, T.) Masadome, T. (Asano, Y.) (Okutani, S.) (Niwa, O.) (S. Brown)	Talanta, Vol. 60	平成15年
Determination of anionic polyelectrolytes using a photometric titration with crystal violet as a color indicator	Masadome, T. Hoshi, Y.	Microchimica Acta, Vol. 142	平成15年
固相検出法による内分泌かく乱物質の迅速・高感度簡易計測法の開発	正留 隆 (浅野泰一) (今任稔彦) (田部井久男) (黒川陽一)	科学研究費(基盤研究B (1))研究成果報告書	平成15年3月

食肉の品質安全管理のための電位計測式食肉鮮度センサの開発	正留 隆 (浅野泰一) (金木則明) (伊東 哲)	科学研究費(基盤研究 C(1))研究成果報告書	平成15年3月
A convenient sublethal assay of alkylphenol and organotin compounds using the nematode <i>caenorhabditis elegans</i> .	Tominaga, N. (Tomoeda, M.) (Kohra, S.) (Takao, Y.) (Nagae, M.) (Ueda, K.) (Ishibashi, Y.) (Kai, T.) (Arizono, K.)	J. Health Science, Vol. 48, No. 6	平成14年12月
アルキルフェノール化合物のキンギョ(Carassius Auratus)に対する女性ホルモン作用	山口明美 富永伸明	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
<i>Caenorhabditis elegans</i> responses to specific steroid hormones.	Tominaga, N. (Ura, K.) (Kawakami, M.) (Kawaguchi, T.) (Kohra, S.) (Mitsui, Y.) (Iguchi, T.) (Arizono, K.)	J. Health Science, Vol. 49, No. 1	平成15年2月
High sensitivity analysis of indirubin by silylation using GC/MS	(Takao, Y.) (Yamashita, K.) (Kohra, S.) (Imudo, M.) (Nagae, M.) Tominaga, N. (Ishibashi, Y.) (Sekizawa, J.) (Miyairi, S.) (Arizono, K.)	J. Health Science, Vol. 49, No. 1	平成15年2月
A convenient acute toxicity assay using <i>C. elegans</i> as a model Organism.-Application for alkylphenol toxicity-	Tominaga, N. (Kunimoto, M.) (Kai, T.) (Arizono, K.) (Kohra, S.)	Environmental Sciences	平成15年9月
セラミックスとプラスチックスの複合(セラプラス)溶射皮膜に関する研究—流動床造粒法による複合粉末と溶射皮膜性能—	川瀬良一 (水間 歩) (大津奈緒子) (奥村孝太) 田中康徳 (吉田博和)	高温学会誌, 第28巻 (Supplement)	平成14年11月
プラスチック溶射粒子の偏平挙動に対する模擬溶射装置による関与因子の検討	田中康徳 (西田訓宰) 川瀬良一	高温学会誌, 第28巻 (Supplement)	平成14年11月
高温学会溶射部会第11回溶射総合討論会参加報告	田中康徳	溶射, 第40巻第1号	平成15年1月
Physiological Functions of Enzymatic Hydrolysates of Collagen or Keratin Contain in Livestock and Fish Waste	(Ohba, R.) Deguchi, T. (Kishikawa, M.) (Fahmi, A.) (Kida, K.)	Food Science and Technology Research, Vol. 9, No. 1	平成15年1月
Antioxidative Effect of Enzymatic Hydrolysate of Horn and Hoof in Rat	(Ohba, R.) Deguchi, T. (Kishikawa, M.) (Morimura, S.) (Suzuki, I.)	Food Science and Technology Research, Vol. 9, No. 2	平成15年2月
利用人算定ベースとしての貸出冊数予測 地域公共図書館の規模計画に関する研究	北岡敏郎	地域施設研究, 第21号	平成15年7月
プログラム荷重下におけるすみ肉溶接継手の曲げ疲労き裂の発生・進展(3)	原田克身 (三井宣之) (細香織)	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月

戦前の高等工業学校の制度と建築科の教育に関する研究	新谷肇一	高等専門学校の教育と研究、第8巻第2号	平成15年4月
次世代省エネルギー基準に基づいた住宅の評価と温熱環境に関する調査	山下俊雄 田中三雄	有明工業高等専門学校紀要、第39号	平成15年1月
Limit Analysis of Prestressed Concrete Piles by the Yield Line Theory Considering Interaction of Combined Forces	Uehara, S. (Sakino, K.) (Esaki, F.)	Proceedings of the first fib congress 2002, Concrete Structures in the 21st Century	平成14年10月
めり込み機構に基づくRC造柱梁十字形接合部の強度評価法に関する研究	(西田朋美) 上原修一	コンクリート工学年次論文報告集、第25巻第2号	平成15年
組み合わせ応力を考慮した降伏線理論によるRC柱性能評価法に関する研究	上原修一 (江崎文也) (久保田真次)	コンクリート工学年次論文報告集、第25巻第2号	平成15年
旧松本家の卓子類の製作技術	(松本誠一) (川上秀人) (橋富博喜) 松岡高弘	デザイン学研究、第154号	平成14年11月
廣旗八幡宮(北九州市八幡西区)社殿の建築について	松岡高弘	有明工業高等専門学校紀要、第39号	平成15年1月
旧住友忠隈礦業所長社宅の建築的研究 『忠隈官坂遺跡・鶴三崎七浦遺跡』所収	松岡高弘	福岡県教育委員会	平成15年3月
北九州市の神社建築	松岡高弘	北九州市教育委員会	平成15年3月
筑豈における炭鉱主の住宅の平面変化に関する考察	(森山恵香) 松岡高弘 (川上秀人) (北野隆)	日本建築学会計画系論文集、第569号	平成15年7月
Experimental Study on Sliding Base-Isolators of Buildings Subjected to Vertical Vibration	Ono, S. (Tachibana, E.) (Kawai, Y.) (H. Ma)	Proceedings of International Symposium for Young Researchers on 'Modeling and Their Application' in 2002 (IA'02),	平成14年10月
Parameter Estimation Method for Building Structural Models by using Inverse Eigenvalue Formula and quasi-Newton Algorithm	Ono, S.	大阪大学学位請求論文	平成15年1月
滑り型免震支承の摩擦係数に関する実験的研究 (潤滑剤及び上下動が摩擦係数に及ぼす影響)	(西村春美) 小野聰子 (橋英三郎)	日本建築学会近畿支部研究報告集、第43号	平成15年7月
滑り型免震支承の摩擦係数に関する実験的及び解析的研究 (潤滑剤及び上下動が摩擦係数に及ぼす影響)	(西村春美) 小野聰子 (橋英三郎)	日本建築学会学術講演梗概集・構造II	平成15年9月

Brittle Fracture in Beam-to-Column Welded Joints -Numerical Simulation of Test Results-	(Dale, K.) (Kurobane, Y.) (Azuma, K.) Iwashita, T.	The Proceedings of 13th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. 4	平成15年5月
Brittle Fracture of Beam-Column Welded Joints Containing Defects	(Dale, K.) (Kurobane, Y.) (Azuma, K.) Iwashita, T.	The Proceedings of International Conference on Advances in Structures, Vol. 2	平成15年6月
Brittle Fracture of Beam-Column Welded Joints -Significance of crack tip constraint-	(Dale, K.) (Kurobane, Y.) (Azuma, K.) Iwashita, T.	The Proceedings of 10th International Symposium on Tubular Structures	平成15年9月
実態調査による学生の動向	瀬戸 洋 三戸 健司	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
菅原道真研究 -『菅家後集』全注釈(6)~	焼山廣志	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
『菅原道真論集』	(和漢比較文学会) 烧山廣志	勉誠出版	平成15年2月
菅原道真研究 -『菅家後集』全注釈(7)~	焼山廣志	国語・国文学究, 第38号	平成15年3月
有明高専生の英語能力の発達に関する総合的(1)-1年次と2年次の比較を中心に-	安部 規子	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
英語リスニング能力と他の諸言語能力及び メタ認知能力との関係-高校生の場合	安部 規子	日本教科教育学会誌, 第25巻第4号	平成15年3月
The Factors Explaining English Listening Ability of Japanese High School Students: with a Focus on Different Ability Groups	Abe, N.	Annual Review of English Language Education in Japan, Vol. 14	平成15年3月
The Development of English Listening Ability of Japanese High School Students: with a Focus on the Differences between the 1st Year and the 2nd Year	Abe, N.	International Journal of Curriculum Development and Practice, Vol. 5, No. 1	平成15年3月
On Phrasal Verbs in Defoe's Non-Fictional Writings : A Preliminary Sketch	Murata, K.	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
Phrasal Verb の使用から見たPamelaの修正について	村田 和徳	英語史研究会会報, 第9号	平成15年6月
知識を用いた高次元システムの低次元化と 階層化制御	浜田 伸生	有明工業高等専門学校 紀要, 第39号	平成15年1月
The growth theorem for k -fold symmetric convex mappings	Honda, T.	Bull. London Math. Soc., Vol. 34	平成14年

The growth theorem for holomorphic mappings onto some special domains	Honda, T.	Proceedings of the Tenth International Conference on Finite or Infinite Dimensional Complex Analysis and Applications, 2002	平成14年
A study on some domain in a complex Banach space	Honda, T.	有明工業高等専門学校紀要, 第39号	平成15年1月
一般教育科情報化対応電子計算機システムの導入	河村 豊實 村岡 良紀	有明工業高等専門学校紀要, 第39号	平成15年1月
3次元拡張 ANNNI モデルのモンテカルロシミュレーション	(笠間 敏博) (島本 知英) 村岡 良紀 (岡田 邦英) (井戸 順俊弘)	有明工業高等専門学校紀要, 第39号	平成15年1月
Partially disordered states of the three-dimensional ANNNI model	(Kasama, T.) (Shimamoto, T.) Muraoka, Y. (Okada, K.) (Idogaki, T.)	Physica B, Vol. 329-333	平成15年

(注) 氏名欄()は学外者を示す

講演題目	講演者名	発表した学会・講演会名	年月
剛性の低い工作物の高精度切削加工—アルミ薄肉加工の場合—	田口 紘一 明石 勝二	精密工学会秋季大会	平成14年10月
靴下履き用自動具の開発	(東 大樹) 川喜義則 木下 正作	日本機械学会九州支部 第34回学生員卒業研究 発表講演会	平成15年3月
知的障害児が操作する工房バギー汎用型牽引ロボットの開発	(足立 崇) (今村 智) 川喜義則 木下 正作	日本機械学会九州支部 第34回学生員卒業研究 発表講演会	平成15年3月
痴呆性高齢者のためのリハビリ機器の開発	(上田 茂樹) (永瀬 稔章) 川喜義則 木下 正作	日本機械学会九州支部 第34回学生員卒業研究 発表講演会	平成15年3月
痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発	川喜義則	痴呆ケア実践塾 In 2002	平成15年3月
有明高専における福祉機器開発を通した工学教育	川喜義則 木下 正作	日本機械学会年次大会	平成15年8月
痴呆性高齢者のためのリハビリ機器開発への試み	川喜義則 木下 正作	第18回リハ工学カンファレンス	平成15年8月

二相偏心二重管熱サイフォン内の流動に及ぼす偏心量の影響	吉田正道 (森田智史)	日本機械学会中国四国支部松山地方講演会	平成14年10月	
教育用伝熱実験システムの開発	吉田正道 (久保山正朗)	日本機械学会中国四国支部松山地方講演会	平成14年10月	
有明高専における中期計画の策定作業について	吉田正道	日本高専学会第9回総会講演会	平成15年8月	
熱間鍛造における型端面の摩擦と熱のモーリング	南 明宏 (齊木弘行)	プロセス・トライボロジー分科会およびシミュレーション総合システム分科会	平成15年2月	
小中学生を対象にしたものづくり離れ防止策の試み・サッカーロボット製作とコンテストの実施とその効果	南 明宏 宮川英明 大山司朗	明石剛二 坂西文俊	平成15年度国専協主催高等専門学校教育教員研究集会	平成15年8月
Effects of Liquid Viscosity and Surface Tension on Bubble Diameter and Interfacial Friction Force of Gas-Liquid Two Phase Flow in Vertical Small Diameter Tube	Tsubone, H. (Sadatomi, M.) (Kawahara, A.) (Okano, S.)	The Fourteenth International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-14)	平成15年7月	
垂直細管内気液二相流における気泡径と界面摩擦力への液相粘度と表面張力の影響	坪根弘明 (佐田富道雄) (川原顕磨呂) (岡野信介)	日本混相流学会年会講演会2003	平成15年7月	
気液二相流の摩擦圧力降下の推算式	(坂口忠司) (赤対秀明) (南川久人) (川原顕磨呂) 坪根弘明	日本機械学会第81期流体力学部門講演会	平成15年9月	
Correlations of Void Fraction of Gas-Liquid Two-Phase Flows in Vertical Pipes	(Sakaguchi, T.) Tsubone, H. (Sadatomi, M.) (Minagawa, M.) (Shakutsui, H.)	3rd European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting	平成15年9月	
授産施設における車両用配線保護チューブ足寸切断治具の開発	木下正作 川喜義則	第17回熊本県産学官技術交流会	平成15年1月	
有明高専における福祉機器開発から2題	木下正作 川喜義則	東京大学総合技術研究会	平成15年3月	
靴下履き用自助具“ソックスリッパ”的開発	木下正作 (東大樹) 川喜義則	第18回リハ工学カンファレンス	平成15年8月	
障害児が操作する工房バギー汎用型車引ロボットの開発	木下正作 川喜義則 (安部良昭) (吉田ゆかり) (豊増賀史)	第18回リハ工学カンファレンス	平成15年8月	
養護学校への福祉機器開発に関する技術支援 -有明高専での実践事例報告-	木下正作	第6回西日本地域国立高等専門学校協会技術職員特別研修	平成15年8月	

DC-DCコンバータの同期整流MOSFetの自己導通について	(村田勝昭) (原田耕介) 小澤賢治 濱田伸生	第56回電気関係学会九州支部連合大会	平成15年9月
A Novel Parameter Identification of Vector Controlled Induction Motor Using a Phase Lag Current Control	(辻峰男) (友永謙一郎) (大町勝) 泉勝弘	Proc. of the 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	平成14年11月
Nd:YAG レーザー(3倍波355nm、パルス幅350ps)による石英ガラスの照射誘起欠陥	(西川慎二) (稻吉孝宣) (那須昭一) 出来恭一 (松岡史哲) (有澤 孝)	レーザー学会学術講演会第23回年次大会	平成15年1月
石英ガラス中の355nm、350ps、Nd:YAG レーザー照射誘起欠陥	(稻吉孝宣) (西川慎二) (那須昭一) (文雅司) (大橋憲太郎) 出来恭一 (松岡史哲) (有澤 孝)	日本原子力学会2003年春の年会	平成15年3月
超短パルスレーザーにより生成する屈折率変化領域からの発光の偏光依存性	(稻吉孝宣) (西川慎二) (那須昭一) (文雅司) (大橋憲太郎) 出来恭一 (松岡史哲) (有澤 孝)	2003年(平成15年)春季第50回応用物理学関係連合講演会	平成15年3月
4.5eV and 2.7eV Photo-luminescence Centers in Silica Glass Induced by Irradiation of Nd:YAG Laser(350ps-355nm and 30ps-1204nm) and Ti-Sapphire Laser(0.9ps-800nm)	(Nasu, S.) (Nishikawa, S.) (Inayoshi, T.) (Ohhashi, K.) Deki, K. (Matsuoka, F.)	3rd International Workshop on Laser beam Interaction	平成15年7月
Application of Pulsed Power to Mushroom Culturing	Tsukamoto, S.	IEEE International Pulsed Power Conference 2003	平成15年6月
酸化チタン-酸化タンゲスタン複合酸化物の色素増感太陽電池への応用	(中村 武) 石丸智士 (白土 寛一) (野上暁一)	第39回化学関連支部合同九州大会	平成15年7月
Transient Optical Measurements Of Electrical Field And Temperature Distributions In Pulse Charged Water Gaps	Kono, S. (B. Goan) (J. Kolb) (S. Xiao) (Katsuki, S.) (X. P. Lu) (M. Laroussi) (R. P. Joshi) (K. H. Schoenbach)	The 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
High Voltage Nanosecond Pulse Generators For Biological Application	Kono, S. (J. Kolb) (K. H. Schoenbach)	The 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
Temporal Light Emission Development of A Pulsed Discharge In Water	(X. P. Lu) (M. Laroussi) (S. Xiao) (J. Kolb) (K. H. Schoenbach) Kono, S.	The 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
High Power, High Repetition-Rate Water Switch	(S. Xiao) (J. Kolb) (R. P. Joshi) (M. Laroussi) (K. H. Schoenbach) Kono, S.	The 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月
Water And Propylene Carbonate As Storage And Switching Medium In Pulsed Power Systems	(J. Kolb) Kono, S. (S. Xiao) (B. Goan) (X. P. Lu) (M. Laroussi) (R. P. Joshi) (K. H. Schoenbach)	The 14th Pulsed Power Conference	平成15年6月

Real-Time Measurements of Ultra-Short, High Voltage Pulse Effects on Biological Cells	(J. Kolb) (M. Artemiou) (C. Rivera) (N. Chen) (C. Jiang) Kono, S. (R. J. Swanson)(K. C. Loftin) (K. H. Schoenbach)	ElectroMed2003, Symposium Record Abstracts	平成15年6月
Quantitative Analysis Of Cytotoxicity Of Ultrashort (10 ns) Electrical Pulses In Mammalian Cells	(A. Pakhomov) (A. Phinney) (J. Ashmore) (J. Kolb) Kono, S. (K. Schoenbach) (M. Murphy)	ElectroMed2003, Symposium Record Abstracts	平成15年6月
Localization of Nuclear DNA in HL-60 Cells after Nuclear Membrane Portion with Ultra-Short High Voltage Pulses	(N. Chen) (J. Kolb) (J. Swanson) Kono, S. (C. Rivera) (K. C. Loftin) (J. Yang) (F. C. Dobbs) (K. H. Schoenbach)	ElectroMed2003, Symposium Record Abstracts	平成15年6月
Ultra-Short Pulsed Electric Field Generators for the Study of Subcellular Effects	Kono, S. (J. Kolb) (K. H. Schoenbach)	ElectroMed2003, Symposium Record Abstracts	平成15年6月
Cathode Boundary Layer Discharge: Flat Panel DC Excimer Sources	(M. M. Moselhy) (K.H. Schoenbach) (J. Ansari) (J. Kolb) Kono, S.	IEEE International Conference on Plasma Science ICOPS-2003	平成15年6月
Atmospheric Pressure Glow Discharge Micro-Plasma Jet	(A.A.H. Mohamed) (F. Leipold) (J. Kolb) Kono, S. (K. H. Schoenbach)	IEEE International Conference on Plasma Science ICOPS-2003	平成15年6月
プレビンテーションを取り入れた実験(技術者に必要な力の育成)	池之上正人	電気学会教育フロンティア研究会	平成15年9月
小矩形板を通りぬける高速渦輪によって生じる流れ場	簗田登世子	日本物理学会	平成15年3月
Development of DIAL for CO ₂ and CH ₄ in the Atmosphere	Uchiumi M. (N. J. Vasa) (Yokoyama, S.) (Maeda, M.) (Uchino, O.)	SPIE's Third International Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium	平成14年11月
赤外差分吸収ライダーの開発	内海通弘 (バサニレシ) (横山 茂) (前田三男) (内野 修)	第9回大気ライダー観測研究会	平成14年11月
擬似不規則系列変調CWレーザーレーダの開発	内海通弘 (市木祥平)	応用物理学会九州支部講演会	平成14年11月
電気光学結晶による狭窄域化Ti:sapphireレーザーの同調法	(藤原 誠) (バサニレシ) (横山 茂) 内海通弘 (前田三男)	応用物理学会九州支部講演会	平成14年11月

ゴム絶縁材料中蓄積空間電荷のPEA計測	内海通弘 (加藤聰)	電気学会放電・絶縁材料研究会資料論文ED03-8, DEI-03-13	平成15年1月
Study on a Corona Streamer Observed in a Laser-Triggered Lightning Simulator	Uchiumi, M. (Ueda, K.) (Muraoka, K.) (Akazaki, M.)	International Workshop on High Voltage Engineering	平成15年1月
有明高専における中間層Na層観測ライダー	内海通弘 (長澤親生) (柴田泰邦) (阿保真) (五十嵐喜良)	レーザセンシングシンポジウム	平成15年6月
近赤外DIAL用RM-CWライダーの開発	(市木祥平) 内海通弘	レーザセンシングシンポジウム	平成15年6月
Tuning of spectrally narrowed lasers by an electro-optic modulation technique	(N. J. Vasa) (Yokoyama, S.) Uchiumi, M. (Maeda, M.)	レーザセンシングシンポジウム	平成15年6月
有明高専におけるNa層観測ライダーシステム	内海通弘 (長澤親生) (柴田泰邦) (阿保真) (五十嵐喜良)	第64回応用物理学会学術講演会	平成15年9月
RM-CWライダーの近赤外への拡張の検討	内海通弘 (市木祥平)	第64回応用物理学会学術講演会	平成15年9月
空間自由度を有するシステムの確率的 π -calculusによる記述一生体系における形態形成シミュレーションのためのシステム記述手法	松野哲也	電子情報通信学会医療技術とバイオサイバнетイクス研究会	平成15年1月
有明高専におけるオープンスペースでの校内LAN利用に関する検討	松野良信 堀田孝之	第23回高等専門学校情報処理教育研究発表会	平成15年8月
Flow Allocation Algorithms for Traffic Engineering	Kato, M. (Hida, H.) (Kawahara, K.) (Oie, Y.)	The International Conference on Information Networking 2003 (ICON 2003)	平成15年2月
ポリウレタンウレアイミドエラストマーの熱分解特性の解析	吉武紀道 (玉越充洋) (古川睦久)	第5回ポリウレタンを考える	平成15年2月
Production of Composite Powder by Fluidized-bed Granulation Process and Evaluation of Sprayed Coating Properties	Kawase, R. (Mizuma, A.) Tanaka, Y.	ITSC2003	平成15年5月
マイクロバブルのさまざまな水溶液に及ぼす影響	水室昭三 (内村亮一) (森靖幸) (安部和臣) (池田和寛)	第13回産学交流ユースフォーラム	平成14年10月
高分子ブレンドに及ぼす水素結合の効果	水室昭三 (広松孝浩)	第13回産学交流ユースフォーラム	平成14年10月

マイクロバブルのNaCl水溶液に及ぼす影響	水室昭三	第4回マイクロ・ナノバブルフォーラム	平成14年12月
マイクロバブル水溶液の性質	水室昭三	第4回マイクロ・ナノバブルフォーラム	平成14年12月
マイクロバブルは化合物を分解できるか	水室昭三	第4回マイクロ・ナノバブルフォーラム	平成14年12月
マイクロバブルの水溶液中での挙動	水室昭三 (内村亮一)	第8回高専シンポジウム	平成15年1月
水素結合がポリマーブレンドの固体物性に与える影響	水室昭三 (広松孝浩)	第8回高専シンポジウム	平成15年1月
独立行政法人化と高専中期目標・中期計画を作成するためにー	水室昭三	日本高専学会神戸シンポジウム	平成15年2月
マイクロバブルのアルコール水溶液に及ぼす影響 (第2報)	水室昭三 (内村亮一)	第11回水・環境技術研究会	平成15年3月
これからの高専教育について	水室昭三	八代高専講演会	平成15年3月
新機能物質としてのマイクロバブル	水室昭三	混相流レクチャーシリーズ第28回マイクロバブルの魅力とその利用技術	平成15年6月
水中におけるマイクロバブルの挙動と周囲の分子に及ぼす影響	水室昭三	第5回マイクロ・ナノバブル研究フォーラム	平成15年6月
国際的に通用する技術者教育をめざして	水室昭三	日本高専学会第9回総会・研究発表会	平成15年8月
有明高専における新科目「工学基礎」の試み	水室昭三 石丸智士 高橋将徳 上原修一	日本工学教育協会・第51回年次大会工学・工業教育研究講演会	平成15年9月
MTBE + メタノール + オクタン系の定圧気液平衡の測定と相関	渡辺徹 (荒井康彦)	化学工学会第68年会	平成15年3月
金属イオンあるいは陰イオン性高分子電解質を含む泳動溶液を用いるキャビラリー電気泳動法による非イオン性あるいは陽イオン性界面活性剤の分離分析	(坂脇修) (宗伸明)	2002年日本化学会西日本大会	平成14年11月
陽イオン性色素を用いる高分子電解質の光度滴定	正留隆	2002年日本化学会西日本大会	平成14年11月
マイクロビーズを用いる流れ分析	(西山英志) (今任稔彦) (浅野泰一)	第42回フローインジェクション分析講演会	平成14年11月
	(宗伸明) (正留隆) (黒川陽一)		

NH ₄ -ISFET オンチップ検出型マイクロチップの予備的検討	正留 隆 (石川真弓) (脇田慎一)	第40回化学関連支部合同九州大会	平成15年7月
新しいエンドポイントを用いたバイオアッセイによる化学物質の評価	(小宮華菜) (横尾栄満) 富永伸明 (高良真也) (有薗幸司)	日本農芸化学会西日本支部大会	平成14年10月
線虫cDNAマイクロアレイを用いた新規バイオアッセイ	(園田理紗) 松野哲也 富永伸明 (浦和寛) (上杉裕子) (小原雄治) (井口泰泉) (有薗幸司)	日本農芸化学会西日本支部大会	平成14年10月
線虫を用いた多角的バイオアッセイによる化学物質の評価	富永伸明 (横尾栄満) (小宮華菜) (高良真也) (有薗幸司)	日本薬学会フォーラム 2002 環境トキシコロジーシンポジウム	平成14年10月
GC/MS分析のためのインディルビンのトリメチルシリル化	(高尾雄二 (山下浩平) (高良真也) (犬童真紀子) (長江真樹) 富永伸明 (石橋康弘) (関沢純) (宮入伸一) (有薗幸司)	日本環境ホルモン学会 第5回研究発表会	平成14年12月
線虫 <i>C. elegans</i> の遺伝子発現パターンによるステロイドホルモンのセンシング	富永伸明 松野哲也 (園田理紗) (浦和寛) (高良真也) (上杉裕子) (小原雄治) (井口泰泉) (有薗幸司)	日本環境ホルモン学会 第5回研究発表会	平成14年12月
線虫 <i>C. elegans</i> を用いた環境化学物質の生体影響の解析	(古賀山香里) (浦和寛) (中本貴士) (甲斐利典) (坂田幸子) 富永伸明 (井口泰泉) (有薗幸司)	日本環境ホルモン学会 第5回研究発表会	平成14年12月
線虫 (<i>C. elegans</i>) の成長に及ぼすベンゾ(a)ピレンの影響	(中本貴士) (浦和寛) (古賀山香里) (坂田幸子) 富永伸明 (井口泰泉) (有薗幸司)	日本環境ホルモン学会 第5回研究発表会	平成14年12月
線虫cDNAマイクロアレイを用いたステロイドホルモンのセンシングの可能性	富永伸明 松野哲也 (上杉裕子) (小原雄治)	文部省科学研究費特定領域研究「内分泌搅乱物質の環境リスク」研究会	平成15年1月
流動床造粒法による複合樹木と溶射皮膜性能	川瀬良一 (水間歩) (大津奈緒子) (奥村孝太) 田中康徳 (吉田博和)	高温学会溶射部会第11回溶射総合討論会	平成14年11月
プラスチック溶射粒子の偏平挙動における関与因子の検討	田中康徳 (西田訓幸) 川瀬良一	高温学会溶射部会第11回溶射総合討論会	平成14年11月
大麦穀の無蒸煮アルコール発酵によるアンソシアニン系色素の生産	出口智昭 (大庭理一郎)	平成15年度日本生物学会大会シンポジウム	平成15年9月

小麦ふすまの無蒸煮アルコール発酵による 色素の生成－青紫色素の抗酸化能 (<i>in vitro</i> と <i>in vivo</i>)について－	(山口奈々子) (河野信之) 出口智昭 (脇本恭子) (鈴木 公) (大庭理一郎)	平成15年度日本生物工 学会大会一般講演	平成15年9月
高齢者の住宅改修とそのシステム化に関する研究 リフォーム推進チームによる改修の実態その1	(奥薗加奈子) 北岡敏郎	日本建築学会研究報告 九州支部第42・3計画系	平成15年3月
地域公共図書館における開架フロアのゾーニング手法に関する研究 その3 一般書の配架実態にみるボビュラーライブ ラリーエリアの形成	(福澤祥子) 北岡敏郎	日本建築学会研究報告 九州支部第42・3計画系	平成15年3月
地域公共図書館における開架フロアのゾーニング手法に関する研究 その4 ボビュラーライブラリーとActiveゾーンの利 用形態	北岡敏郎 (福澤祥子)	日本建築学会研究報告 九州支部第42・3計画系	平成15年3月
ボビュラーライブラリーとActiveゾーンの利用特性(成人利用) 地域公共図書 館における開架フロアのゾーニング手 法に関する研究 (3)	(福澤祥子) 北岡敏郎	日本建築学会大会学術 講演梗概集 E-Ⅰ	平成15年9月
ボビュラーライブラリーとActiveゾーンの利用特性(ファミリー利用) 地域公 共図書館における開架フロアのゾーニン グ手法に関する研究 (4)	北岡敏郎 (福澤祥子)	日本建築学会大会学術 講演梗概集 E-Ⅰ	平成15年9月
リフォーム推進チームによる改修の実態 高齢者の住宅改修とそのシステム化に関する 研究 (2)	(奥薗加奈子) 北岡敏郎	日本建築学会大会学術 講演梗概集 E-Ⅱ	平成15年9月
プログラム荷重下におけるすみ肉溶接継手 の抜け疲労き裂の発生・進展 (4)	原田克身 (三井宣之) (川村香織)	日本建築学会九州支部 研究報告第42号	平成15年3月
児童養護施設における児童の生活構成と空 間利用に関する研究～熊本県益城町広安愛 児園を対象として～	新谷豊一 (村田直高)	日本建築学会九州支部 研究報告会	平成15年3月
児童養護施設の建築計画に関する研究～児 童養護施設の平面構成の分析～	(村田直高) 新谷豊一	日本建築学会九州支部 研究報告会	平成15年3月
ストレス関連疾患病棟の空間構成に関する 研究～不知火病院・海の病棟における病気 回復と空間構成の相関について	(前田圭子) 新谷豊一	日本建築学会九州支部 研究報告会	平成15年3月
高断熱・高気密・計画換気住宅の温熱環境に 関する調査(1)	山下俊雄 (高瀬正次) (坂本俊久) 田中三雄	日本建築学会九州支部 研究報告第42号環境系	平成15年3月
組み合わせ応力を考慮した降伏線理論によ るRC柱性能評価法に関する研究	上原修一 (江崎文也)	日本建築学会九州支部	平成15年3月

降伏線理論に基づくRC柱水平耐力解析法の簡略化に関する研究	(久保田真次) 上原修一	日本建築学会九州支部	平成15年3月
めり込み機構に基づくRC造柱梁十字形接合部の強度評価法に関する研究	(西田朋美) 上原修一	日本建築学会学術講演梗概集(東海)構造4C-2	平成15年9月
降伏線理論によるRC柱部材の構造性能評価に関する研究	上原修一(江崎文也)	日本建築学会学術講演梗概集(東海)構造4C-2	平成15年9月
御花の西洋館と大広間の和と洋	松岡高弘	柳川市史抄片編さんだより94	平成14年10月
御花の設計図について	松岡高弘	平成15年度第1回柳川市史連絡会	平成15年5月
Experimental Study on Sliding Base-Isolators of Buildings Subjected to Vertical Vibration	Ono, S.	International Symposium for Young Researchers on 'Modeling and Their Application' in 2002 (IA'02)	平成14年10月
滑り型免震支承の摩擦係数に関する実験的研究(潤滑剤及び上下動が摩擦係数に及ぼす影響)	(西村春美) 小野聰子 (橋英三郎)	日本建築学会近畿支部 研究報告会	平成15年7月
滑り型免震支承の摩擦係数に関する実験的及び解析的研究(潤滑剤及び上下動が摩擦係数に及ぼす影響)	(西村春美) 小野聰子 (橋英三郎)	日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)	平成15年9月
水平スチフナ形式柱梁接合部の溶接始終端部から発生する脆性破壊に関する研究—実験概要と実験結果—	(水井正貴) (黒羽啓明) (東康二) 岩下勉	日本建築学会九州支部 研究報告第42号	平成15年3月
始終端部に欠陥を有する溶接接合部の脆性破壊に関する研究	岩下勉(東康二)	建築鋼構造研究フォーラム	平成15年3月
Brittle Fracture in Beam-to-Column Welded Joints -Numerical Simulation of Test Results-	(Dale, K.) (Kurobane, Y.) (Azuma, K.) Iwashita, T.	The 13th International Offshore and Polar Engineering Conference	平成15年5月
Brittle Fracture of Beam-Column Welded Joints Containing Defects	(Dale, K.) (Kurobane, Y.) (Azuma, K.) Iwashita, T.	International Conference on Advances in Structures -Steel, Concrete, Composite and Aluminium-	平成15年6月
欠陥を有する突合せ溶接始終端部から発生する脆性破壊の予測(その1) 破壊評価線図手法の適用)	(黒羽啓明) 岩下勉 (東康二) (牧野雄二)	日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)	平成15年9月
欠陥を有する突合せ溶接始終端部から発生する脆性破壊の予測(その2 改良した破壊評価線図手法の有効性の検討)	岩下勉(黒羽啓明) (東康二) (牧野雄二)	日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)	平成15年9月

欠陥を有する水平スチフナ形式柱梁接合部の脆性破壊に関する研究（その1 実験概要と実験結果）	(東 康二) (永井正貴) (黒羽啓明) 岩下 勉	日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）	平成15年9月
欠陥を有する水平スチフナ形式柱梁接合部の脆性破壊に関する研究（その2 有限要素解析による検討）	(永井正貴) (東 康二) (黒羽啓明) 岩下 勉	日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）	平成15年9月
Brittle Fracture of Beam-Column Welded Joints -Significance of crack tip constraint-	(Dale, K.) (Kurobane, Y.) (Azuma, K.) Iwashita, T.	10th International Symposium on Tubular Structures	平成15年9月
『菅家後集』巻尾の詩「514謫居春雪」の解釈をめぐって	焼山廣志	和漢比較文学会東部例会	平成15年1月
作品から見る菅原道真の一生～菅原道真公没後1100年祭にちなんで～(1)	焼山廣志	有明高専公開講座	平成14年10月
作品から見る菅原道真の一生～菅原道真公没後1100年祭にちなんで～(2)	焼山廣志	有明高専公開講座	平成14年10月
作品から見る菅原道真の一生～菅原道真公没後1100年祭にちなんで～(3)	焼山廣志	有明高専公開講座	平成14年10月
菅原道真と家族愛～太宰府時代の作品を通して	焼山廣志	大牟田市民大学講座	平成14年11月
菅原道真の太宰府時代の作品の特徴	焼山廣志	大牟田自主婦人学級「合歓の会」文学講演	平成15年2月
樋口一葉の世界	焼山廣志	大牟田自主婦人学級「合歓の会」文学講演	平成15年3月
高校生の英語リスニング能力の発達に関する継続的研究－その構成要素を中心にして－	安部規子	日本教科教育学会第28回全国大会	平成14年11月
18世紀におけるPhrasal Verbの問題点について	村田和穂	熊本英語学談話会	平成15年8月
フォワード形DC-DCコンバータのリセップメカニズムについて	小澤賢治 濱田伸生 (村田勝昭) (原田耕介)	電子情報通信学会・電子・通信エネルギー技術研究会	平成15年2月
Holomorphic mappings on a pseudoconvex domain in a complex normed space	Honda, T.	日本数学会九州支部会	平成14年10月
A growth theorem on a Banach space	Honda, T.	日本数学会九州支部会	平成15年2月
無限次元空間における Frenkel の lemma について	Honda, T. (Ohgai, S.) (Miyagi, M.) (Nishihara, M.) (Yoshida, M.)	日本数学会九州支部会	平成15年2月

数学の問題演習における Web教材作成の研究	山下 嶽	第23回高等専門学校情報処理教育研究発表会	平成15年 8月
フラストレーションにより安定化される部分無秩序状態	(笠岡 敏博) (島本知茂) 村岡良紀 (岡田邦英) (井戸垣俊弘)	第108回日本物理学会九州支部例会	平成14年12月
3次元拡張 ANNNI モデルの部分無秩序状態への相転移	村岡良紀 (笠岡敏博) (井戸垣俊弘)	日本物理学会第58回年会	平成15年 3月
フラストレーションにより安定化される部分無秩序状態へのスピニ混合の影響	(笠岡敏博) 村岡良紀 (井戸垣俊弘)	日本物理学会第58回年会	平成15年 3月
The nature of phase transition in the ANNNI model with alternating intralayer interaction	Muraoka,Y. (Kasama, T.) (Idogaki, T.)	International Conference on Magnetism 2003	平成15年 7月
Partially disordered states of mixed-spin axial next-nearest-neighbor Ising model	(Kasama, T.) Muraoka, Y. (Idogaki, T.)	International Conference on Magnetism 2003	平成15年 7月

(注) 氏名欄（ ）は学外者を示す

【特許】

発明の名称	発明者	特許番号	取得年月日
レーザー装置及び電気光学分散を用いた同調法	内海通弘 Nilesh J.Vasa 横山 茂	2002-331622	平成14年11月15日

【表彰等】

受賞名	学 科	受賞者名	受賞年月日
高温学会溶射特別賞	物質工学科	川瀬良一	平成14年 5月

【文部省在外研究員／内地研究員】

期 間	研究題目	学 科	研究者名	留学先
平成15年 5月 ～ 平成16年 2月	味覚センサとクロマトグラフィーの組合による呈味物質の分析技術の開発	電子情報工学科	高松 竜二	九州大学大学院

【基盤研究（C）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金 額
平成15年度	レーザアブレーションで生成した衝撃波と強い渦輪、物体間干渉による圧縮性乱流の研究	電子情報工学科	箕田登世子	200,000
平成15年度	地球温暖化分子計測用ランダム変調CWライダーの開発	電子情報工学科	内海通弘	900,000
平成15年度	内分泌擾乱物質の経代影響評価法の開発	物質工学科	富永伸明	1,100,000
平成15年度	地球公共図書館における開架フロアのゾーニング手法に関する研究	建築学科	北岡敏郎	600,000
平成15年度	組み合せ応力の相関を考慮したRC部材の終局時変形解析モデル	建築学科	上原修一	700,000
平成15年度	バルクおよび薄膜における高次のスピニ間相互作用を持つ競合スピニ系の臨界現象の研究	共通専門	村岡良紀	2,000,000

【萌芽研究】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金 額
平成15年度	ナノバブルおよびマイクロバブル水溶液の物理化学的性質	物質工学科	水室昭三	800,000

【若手研究（B）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金 額
平成15年度	トラヒックエンジニアリングに基づく動的経路制御アルゴリズムの提案とその性能評価	電子情報工学科	嘉藤 学	600,000
平成15年度	環境浄化型TiO ₂ /プラスチック複合溶射皮膜の創製	物質工学科	田中康徳	700,000

【奨励研究】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金 額
平成15年度	移乗を必要としない障害児のための工房バギー自走化教育機器の開発	機械工学科	木下正作	230,000

【特定領域研究】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金 额
平成15年度	線虫cDNAマイクロアレイを用いた内分 泌かく乱物質評価法に関する研究	物質工学科	富永伸明	2,000,000

【奨学寄付金】

年 度	学 科	研究者名	金 额	寄付者名
平成15年度	機械工学科	川喜義則	300,000	(株)パドル
平成15年度	機械工学科	坪根弘明	200,000	(財)九州産業技術センター
平成14年度	物質工学科	川瀬良一	100,000	日本溶射工業会
平成15年度	物質工学科	出口智昭	500,000	バイオテクノロジー研究推進会
平成15年度	建築学科	上原修一	40,000	松尾建設

【受託研究】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金 额	委託者名
平成14年度	小型軽量・多機能型地盤掘削装置の開発	機械工学科	川喜義則	1,000,000	(財)福岡県産炭地域振興センター
平成14年度	高電圧パルス電気刺激器を用いたキノコ増 産とキノコの高効率化ハウス栽培の検討	電気工学科	塚本俊介	1,000,000	(財)福岡県産炭地域振興センター
平成14年度	広域ブロードバンド環境のための無線 LAN技術およびセキュリティ技術の検討	電子情報工学科	松野良信	1,000,000	(財)福岡県産炭地域振興センター
平成15年度	セメントミルク硬化体の圧縮に関する研究	地域共同テクノセンター 建築学科	川瀬良一 上原修一	3,500,000	(株)テックス九州
平成15年度	信号灯器の耐震性に関する研究	地域共同テクノセンター 建築学科	川瀬良一 上原修一	300,000	信号電材(株)
平成15年度	地域産業の振興発展に向けた产学連携事 業に関する研究	地域共同テクノセンター	川瀬良一	250,000	大牟田市役所
平成15年度	マイクロバブルによる水環境の浄化	物質工学科	水室昭三	1,000,000	(財)福岡県産炭地域振興センター
平成14年度	化学センサを用いる界面活性剤の高感 度、迅速、簡易計測システムの開発	物質工学科	正留隆	1,000,000	(財)福岡県産炭地域振興センター

【共同研究】

年 度	研 究 題 目	研究者名	金 額	共同研究者名
平成15年度	グリーンセラミック切断用高精度カッターの開発研究	田口紘一	100,000	(株)ファインテック
平成14年度	チェンソー型地盤掘削装置の鉛直度維持システムの開発	川㟢義則	100,000	(株)テノックス九州
平成15年度	広域ブロードバンド環境実証システムの開発-BB有明モデルの構築-	松野良信	8,750,000	(株)有明ねっとこむ
平成15年度	高機能アルミ纖維フィルターによる厨房浄化排気システムの開発	宮本信明	1,000,000	(株)アルム
平成15年度	プラスチックスとセラミックスの複合溶射皮膜の工業化に関する研究	川瀬良一・田中康徳	100,000	中興化成工業(株)
平成15年度	フッ素樹脂の溶射接合に関する基礎的研究	川瀬良一・田中康徳	250,000	五洋建設(株)
平成15年度	小型軽量・多機能型地盤掘削装置の開発	川㟢義則・高橋将徳 川瀬良一・田中康徳	2,000,000	(株)テノックス九州
平成15年度	道路工事における切断時の汚泥処理装置の開発	川瀬良一	200,000	(有)キューション産業
平成15年度	界面活性剤及びその関連物質の高感度、迅速、簡易計測システムの開発	正留 隆	2,000,000	矢部川電気工業(株)
平成14年度	オリゴスクレオチドを用いた土壤汚染評価用DNAチップの開発に関する研究	富永伸明	5,500,000	(株)ジーンネット
平成15年度	オリゴスクレオチドを用いた土壤汚染評価用DNAチップの開発に関する研究	富永伸明	6,500,000	(株)ジーンネット
平成15年度	無開先異形隅肉溶接の耐力評価に関する研究	岩下 勉	100,000	(株)永井製作所

【各種委員会委員等】

年 度	委 員 会 名 等	学 科	研究者名
平成15年度	大牟田市技術開発支援事業専門委員会委員	機械工学科	田口紘一
平成15年度	大牟田スタートアップセンター評議委員会委員	機械工学科	田口紘一
平成15年度	大牟田市産業活性化推進協議会委員	機械工学科	田口紘一

平成15年度	日本機械学会九州支部商議員	機械工学科	川寄義則
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	機械工学科	川寄義則
平成15年度	日本伝熱学会評議員	機械工学科	吉田正道
平成15年度	先端材料技術交流会先端材料第156委員会委員	機械工学科	南明宏
平成15年度	電気学会ケミカルセンサ技術委員会1号委員	電気工学科	永守知見
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	電気工学科	泉勝弘
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	電子情報工学科	内海通弘
平成15年度	高専フォーラム代表世話人	物質工学科	宮本信明
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	物質工学科	宮本信明
平成15年度	第9回高専シンポジウム九州地区代表世話人	物質工学科	吉武紀道
平成15年度	高温学会溶射部会幹事	物質工学科	川瀬良一
平成15年度	日本溶射協会理事	物質工学科	川瀬良一
平成15年度	国際溶射会議2004庶務委員長	物質工学科	川瀬良一
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	物質工学科	川瀬良一
平成15年度	日本高専学会副会長	物質工学科	水室昭三
平成15年度	大牟田市環境審議会委員	物質工学科	水室昭三
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	物質工学科	水室昭三
平成15年度	第65回分析化学討論会実行委員	物質工学科	正留隆
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	物質工学科	田中康徳
平成15年度	日本建築学会九州支部建築計画委員会委員	建築学科	北岡敏郎
平成15年度	荒尾市都市計画審議会委員	建築学科	北岡敏郎
平成15年度	大牟田市緑の推進会議副委員長	建築学科	北岡敏郎
平成15年度	大牟田市都市計画マスタープラン策定協議会副委員長	建築学科	北岡敏郎
平成15年度	大牟田住まい・まちづくりネットワーク委員長	建築学科	北岡敏郎
平成15年度	おおむたバリアフリー住宅士連絡協議会顧問	建築学科	北岡敏郎

平成15年度	社会福祉法人キリスト者奉仕会第三者委員	建築学科	北岡 敏郎
平成15年度	大牟田市商業近代化推進協議会委員	建築学科	北岡 敏郎
平成15年度	日本建築学会九州支部構造委員会委員	建築学科	原田 克身
平成15年度	鉄骨製作工場性能評価員	建築学科	原田 克身
平成14年度	大牟田市における市民と行政との協働に関する基本方針検討委員会 委員長	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	日本建築学会九州支部建築計画委員会委員	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市都市計画審議会会长	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市建築審査会会长	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市環境審議会委員	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市保健福祉ネットワーク協議会委員	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市保健福祉ネットワーク協議会あんしん介護創造部会長	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市介護サービス評価委員会委員長	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市町界町名整理審議会会长	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市高齢者福祉施設評定委員会委員長	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田市高齢者筋力アップ教室事業委託者選定委員会委員長	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	大牟田都市整備部公共事業再評価検討委員会委員長	建築学科	新谷 肇一
平成15年度	日本建築学会九州支部構造委員会委員	建築学科	上原 修一
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	建築学科	上原 修一
平成15年度	日本建築学会九州支部歴史意匠委員会委員	建築学科	松岡 高弘
平成15年度	柳川市史専門研究員	建築学科	松岡 高弘
平成15年度	久留米市伝統的町並み保存審議会委員	建築学科	松岡 高弘
平成15年度	九州大学石炭研究資料センター学外研究員	建築学科	松岡 高弘
平成15年度	大分県指定有形文化財長福寺本堂保存修理工事専門委員	建築学科	松岡 高弘
平成15年度	長崎県近代和風建築総合調査委員	建築学科	松岡 高弘
平成15年度	瀬高町文化財専門委員会委員	建築学科	松岡 高弘

平成14年度	国際会議 IA 2002組織委員会委員	建築学科	小野聰子
平成15年度	日本建築学会九州支部構造委員会委員	建築学科	小野聰子
平成15年度	日本建築学会九州支部構造委員会鋼構造部会委員	建築学科	小野聰子
平成15年度	日本鉄鋼連盟九州地区鋼構造サブネットワーク委員	建築学科	小野聰子
平成15年度	財団法人福岡県建築住宅センター福岡県建築物耐震評価委員会専門委員会委員	建築学科	小野聰子
平成15年度	日本建築学会九州支部材料施工委員会委員	建築学科	岩下勉
平成15年度	日本鉄鋼連盟鋼構造九州地区サブネットワーク委員	建築学科	岩下勉
平成15年度	和漢比較文学研究目録委員(九州支部)	一般教育科	焼山廣志
平成15年度	大牟田市生涯学習まちづくり推進本部委員	一般教育科	焼山廣志
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	一般教育科	酒井健
平成15年度	第9回高専シンポジウム実行委員	一般教育科	松尾明洋

【卒業研究】(平成14年度)

機械工学科

研究題目	学生名	指導教官
ボトルボーリング加工の開発研究	古賀敏夫	田口紘一・明石剛二
低剛性部品の精密加工についての研究(アルミ薄肉加工の場合)	衛藤喬輝・田中薰	田口紘一・明石剛二
機械工学実験用風洞の設計製作	立石龍弘・堤栄一	田口紘一
深穴加工の精度向上に関する研究	甲斐敬一郎・小宮彰浩	明石剛二・田口紘一
環境対策のためのセミドライ加工に関する基礎研究	銘刈今日子	明石剛二・田口紘一
JAVAによる多軸工作機械の軌道制御に関する研究	蓮屋武志・真武主命	原慎真也
吸束光のトールギット効果のシミュレーション	平山智大・松藤翔一	原慎真也
学生実験用熱通過実験装置の製作	川端晋輔	吉田正道
二相偏心二重管熱サイフォン内の流動に及ぼす偏心量の影響	山浦大輔	吉田正道

垂直管内気液二相流におけるボイド率への管内径の影響	前川良平・吉田智弘	坪根弘明
複合流路内気液二相流に及ぼす流動障害物の影響	田中圭介・中川里香	猿渡真一
断面積が急変化する流路における気液二相流の研究	梅毒一宏・福田正雄	猿渡真一
スタッカークレーンの実験モデルの製作と位置決め制御法に関する研究	加藤久	高橋将徳
携帯電話を利用した遠隔学生実験システムの開発	中山史朗	高橋将徳
知的障害児が操縦する工房バギー汎用型牽引ロボットの開発	足立崇・今村智	川喜義則
痴呆性高齢者のためのリハビリ機器の開発	上田茂樹・永瀬稔章	川喜義則
靴下履き用自助具の開発	東大樹	川喜義則
傾斜硬質被膜構造金型の変形抵抗解析	田島也考・友岡康祐	南明宏
硬軟質薄板の対向液圧深絞り成形に関する研究	鍋田治利	南明宏
アルミナセラミックスの研削加工における残留応力および強度低下について	岡優邦・猿渡久夫	大山司朗
ショットビーニング加工材の研究	池田良一・森田大輔	大山司朗

電気工学科

研究題目	学生名	指導教官
色素増感太陽電池に関する研究	吉谷友輔	石丸智士
電気化学計測システムの構築	田中恵祐	石丸智士
酸化物半導体光触媒に関する研究	古賀沙織	石丸智士
プログラムの視覚化に関する研究	野田昂志・吉野塚也	尋木信一
分散オブジェクト指向計算環境におけるメッセージ送信モデルの検討	梅崎慎吾・菅谷寿人	尋木信一
FPGAを用いたパワーエレクトロニクス制御回路の開発	広松敏・原口浩樹	泉勝弘
RT-Linuxのパワーエレクトロニクス応用	今村英樹・立山茂憲	泉勝弘
味覚センサを用いた甘味物質による苦味制御	梅崎教司	高松竜二
新脂質を用いた苦味の識別能向上	八田敬太	高松竜二
過渡応答計測システムの開発	矢山高裕	高松竜二

高次元システムの階層化制御	坂本政徳・鍋田依一郎	濱田伸生
開閉制御型電源の研究	寺田拓真・松永一馬	濱田伸生
R L Sアルゴリズムを用いた適応信号処理に関する研究	藤岡 諒・宮本武昭	池之上正人
パルスパワーを用いた排ガス処理	有吉徹・森聰之	坂本俊介
パルスパワーのシイタケ栽培応用	坂本裕次	坂本俊介
味覚センサを用いたアミノ酸の味質の測定	柿原亜耶・山崎峰翔	永守知見
電圧共振形DC-DCコンバータの研究	穴見憲司・江口嘉伸 野中征二	小澤賢治
ワンチップマイコンの応用(1)	猿渡誠貴・橋本貴之 松藤伸也	近藤誠四郎
ワンチップマイコンの応用(2)	ジェイ・デラ・クルス	近藤誠四郎
ワンチップマイコンの応用(3)	山本邦博	近藤誠四郎

電子情報工学科

研究題目	学生名	指導教官
マイクロ波平面回路の研究I - マジックTの設計と試作・評価 -	古賀正一・田畠大成	活田健治
マイクロ波平面回路の研究II - 3dB方向性結合器の設計と試作・評価 -	堤誠典・椎屋茂太	活田健治
PSDによるレーザダイオードの波長制御システム	鈴木麻美	内海通弘
PEA法による高分子材料中空間電荷計測	辻亜由美	内海通弘
中間層ナトリウム層観測用蛍光ライダーの開発	永松明日香	内海通弘
M系列を利用したランダム変調ライダーの開発	林美沙	内海通弘
WWWミラーサーバ配置アルゴリズム - グリーディ法および メタ戦略 -	尾田智春・谷山加奈 侯鳴一克	嘉藤学
時間割作成支援ツールの開発	井寺孝一・野原明信	河村豊實
n-MOSリングオシレータの試作	江崎真彦・長瀬徹	中村俊三郎
E/D形n-MOSインバータ回路の試作	田中麻美・Tan Meow Cheng	中村俊三郎

DCモータドライブ制御シミュレータの作成 —PID制御プログラムの改良—	一丸 �剛・坂口直剛 佐藤真一郎	堀切淳一
ACモータベクトル制御シミュレータの研究	井手洋介・幸田直也	堀切淳一
形式概念解析による関連構造発見支援のためのソフトウェアの開発	岩上隆嗣	松野哲也
マルチスレッドプログラミングによる形態形成のシミュレーション	坂井健二・森山元喜	松野哲也
薬毒物による遺伝子発現変動パターンの統計解析	中島健二	松野哲也
染色体の構造を解析するためのツールの開発	宮本竜弥	松野哲也
校内LAN用セキュリティチェックシステムの試作	後藤武史・田中拓己 中島朋子	松野良信
教育システム用FireWallの試作	中山英明・松藤吏	松野良信
物体に衝突する渦輪流れのシャドウグラフ法による観測Ⅱ	亀井美香・塚本美沙恵 吉田努	蓑田登世子
レーザープレーリングによる衝撃波の生成	古賀聰	蓑田登世子
ぬいぐるみの型紙作製支援システムの開発	伊藤愛美	森紳太朗
Pythonを用いたPOV-Rayシーンファイル記述プログラムの作成	大津茜	森紳太朗
3次元データのアニメーション化プログラムS-Magicの開発 —陰線処理の導入—	西川真	森紳太朗
Javaプログラムに対するメソッドの複雑度メトリクスの検討	竹尾鈴鹿・堤由香里	山崎直子

物質工学科

研究題目	学生名	指導教官
アーク溶射法によるアルミニウムとアルミナの複合溶射皮膜の作製	青木宏彰	川瀬良一
トリプシンによるタンパク(カゼイン)の加水分解	青山聰美	永田良一
マイクロバブルによる水の物理化学的性質	安部和臣	永室昭二
走査型電子顕微鏡による大型染色体の構造解明	荒木秀一	星良和
線虫のC.elegansを用いた水性毒性評価法によるシャンプーの毒性評価	井形智史	富永伸明
マイクロバブルによる化合物の分解作用	池田和寛	永室昭三

イオン感応性電界効果トランジスタを組み込んだマイクロチップの試作とその性能評価	石川 真弓	正留 隆
キャビラリー電気泳動装置の試作とそれによる無機陰イオンの分離分析	伊藤 歩	正留 隆
長鎖アルキル基を有する自己組織化単分子膜修飾金電極の界面活性剤に対する応答挙動の検討	上田 明奈	正留 隆
メチル化セルロースゲルの調製	大倉 佳子	松本 和秋
オゾンを用いる炭酸マンガンから二酸化マンガンの合成	小山 亜希子	宮本 信明
カタラーゼまたは二酸化マンガンによる過酸化水素の分解	河野 智明	永田 良一
ポリアクリルアミドゲル電気泳動による高等植物のタンパク質の解析	岸本 雅樹	星 良和
二酸化マンガン溶液からのオゾン酸化による二酸化マンガンの合成	清富 啓介	宮本 信明
大粒子径セルロースイオン交換体の調製	窪田 奈美	松本 和秋
メタクリル酸からのカルボン酸型イオン交換体の合成	古賀 詩織	松本 和秋
線虫の <i>C.elegans</i> を用いたバイオアッセイによるフタル酸化合物の評価	小宮 華菜	富永 伸明
MTBE+メタノール+イソオクタン三成分系の気液平衡測定とASOG及び修正ASOGによる相関	佐藤 彰彦	渡辺 徹
溶射法による廃プラスチックスの表面改質	佐藤 歩	川瀬 良一
倍数体植物における高頻度反復配列DNA解明	立山 卓司	星 良和
MTBE+メタノール+オクタン三成分系の気液平衡測定とASOGによる相関	田中 雅晴	渡辺 徹
熱分解GC法及び熱分析法によるポリウレタンウレアイミド(PUUIE)のキャラクタリゼーション	玉越 充洋	吉武 紀道
界面活性剤の線虫 <i>C.elegans</i> による急性毒性評価	寺崎 悠子	富永 伸明
ポリ(4ヒドロキシスチレン)とカルボニル基を有する高分子との相互作用	中村 亮	水室 昭三
高等植物分裂組織を用いた細胞同調培養法の開発研究	伸山 貴幸	星 良和
MTBE+メタノール+オクタン三成分系の液液平衡測定とASOGによる相関	松岡いづみ	渡辺 徹

マイクロバブルのNaCl水溶液に及ぼす影響	森 靖幸	水室昭三
リバーゼによる低級油脂（トリグリセリン）の加水分解	森宗卓也	永田良一
Polyethylene溶射粒子の扁平凝固挙動における基材表面環境の影響	山本美志	田中康徳
線虫 <i>C.elegans</i> を用いたバイオアッセイによるフェノール化合物の評価	横尾栄満	富永伸明
流動床造粒法による複合粉末の作製とその皮膜の性能評価-PEEK/Al ₂ O ₃ 複合溶射皮膜に対する検討	横田通子	川瀬良一
カルボン酸型ポリビニルアルコールイオン交換体の合成	横山真吾	松本和秋
Polyethylene溶射粒子の扁平凝固挙動における粒子速度および温度の影響	吉富翔一	田中康徳
二価マンガン塩酸性溶液からのオゾン酸化による二酸化マンガンの合成	米田理美	宮本信明
環境浄化型TiO ₂ /プラスチックス複合溶射皮膜の作製	渡辺宏章	川瀬良一

建築学科

研究題目	学生名	指導教官
地域公共図書館のゾーニング手法に関する研究～アクティブゾーンを有する図書館の利用の特徴～	染岡雅明・花田佳奈	北岡敏郎
介護保険の助成制度を利用した高齢者の住宅改修に関する研究	中園香織・山下麻凡	北岡敏郎
プログラム荷重下におけるすみ肉溶接継手の曲げ疲労き裂の発生・進展～両振り曲げ疲労試験～	千々松洋子・松瀬浩志	原田克身
木造枠組壁構法におけるボルトの補強効果について	清田智子・森田貴玄	原田克身
大牟田市における高齢者の住宅改修に関する研究～大牟田市高齢者実態調査を通して～	西川美耶	新谷聰一
児童養護施設における児童の生活と平面構成に関する研究	加藤ひとみ・溝田紋子	新谷聰一
児童養護施設における児童の生活と空間利用に関する研究～生活実態調査と職員の意識調査を通して～	島田尚幸	新谷聰一
住宅の温熱環境とエネルギー消費量に関する調査	月岡明菜美・西山敏史	山下俊雄
大牟田市における道路交通騒音の調査研究～主要道路沿道における騒音調査～	諏訪園未帆・高倉純	山下俊雄
降伏線理論に基づくコンクリート系部材の極限解析～定着強度を考慮したRC造柱梁T形接合部の解析について～	北野雄大・三山容弘	上原修一

降伏線理論に基づくRC柱部材の性能評価に関する研究	山岡 史歩	上原 修一
降伏線理論に基づくコンクリート系部材の極限解析－帯筋比の 小さいRC柱の水平耐力評価法について～	高木 隆正	上原 修一
筑後地方における金光教の教会堂建築に関する研究	江島 大輔	松岡 高弘
大牟田市における近代化遺産に関する研究	坂口 朱	松岡 高弘
旧立花家住宅（御花）の和館に関する研究	黒木 佳奈	松岡 高弘
旧柳川藩における神社建築に関する研究～高田町・瀬高町を中心として～	浦野 弥生	松岡 高弘
滑り型免震支承部の動特性に関する実験的研究～摩擦面の材料 および潤滑剤が滑り型免震支承部の履歴特性におよぼす影響～	柿原美代子・狩野源太	小野聰子
準ニュートン法の応用による滑り型免震支承部に関する解析的 研究～静止摩擦係数、動摩擦係数および速度依存摩擦係数のパ ラメータ推定～	小川智子	小野聰子
建築構造物における損傷同定に関する解析的研究～ターゲット ファンクションの決定および準ニュートン法の応用による建築 構造物モデルのパラメータ推定～	大塚 晴海	小野聰子
水空間のイメージ形成に関する研究	古賀ゆかり・村山慎太朗	中野 浩志
3点曲げ試験片における切欠き深さの違いによる破壊非性への 影響	酒井 宏平	岩下 勉
H形柱-H形梁接合部における溶接始終端部からの脆性破壊に 関する実験的研究	中島 雅之	岩下 勉
筑豈における炭鉱主の住宅の室内意匠に関する研究～旧麻生邸 を中心として～	石坂謙二郎	森山 恵香

【専攻科特別研究】(平成14年度)

生産情報システム工学専攻（機械）

研究題目	学生名	指導教官
多軸工作機械の軌道制御に関する研究	尾道 健一	田口 紘一
スタッカクレーンモデルの位置決め制御	狩野 佑介	高橋 将徳
教育用伝熱実験システムの開発	久保山正朗	吉田 正道
旋回型クレーン振れ止め制御実験系の構築と制御実験	原田 博士	川寄 義則
二相偏心二重管熱サイフォン内の流動に及ぼす偏心量の影響	蓑田 智史	吉田 正道

生産情報システム工学専攻（電気）

研究題目	学生名	指導教官
電圧共振形DC-DCコンバータの特性について	上野 大輔	小澤 賢治
味覚センサを用いたアミノ酸の複合味の測定	坂口 天志	永守 知見
味覚センサを用いたアミノ酸の味質の定量化	八浪 拓也	永守 知見
パルスパワーを用いた排ガス処理	手嶋 一志	塚本 俊介
酸化物半導体光触媒に関する研究	中野 佑紀	石丸 智士

生産情報システム工学専攻（電子情報）

研究題目	学生名	指導教官
PBA法による誘電材料の空間電荷計測	加藤 聰	内海 通弘
フォトニックネットワークにおける光バス配置に関する研究	古賀 大吾	嘉藤 学
負荷に基づいてリンクコストを設定する経路制御方式の性能評価	植上 容康	嘉藤 学
熱拡散法によるCMOSデバイスの試作	塚本 直樹	中村俊三郎

応用物質工学専攻

研究題目	学生名	指導教官
二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサーの性質	阪井 努	永田 良一
パラコッカス脱窒細菌を用いた水中の硝酸性窒素の除去	佐藤 光	永田 良一
Caenorhabditis elegans cDNA microarrayを用いたバイオアッセイ系による化学物質評価の可能性	園田 理紗	高永 伸明
ポリビニルアルコールイオン交換体によるタンパク質の分離	山田 佳代	松本 和秋

建築学専攻

研究題目	学生名	指導教官
組み合わせ応力の相関を考慮した降伏線理論によるRC柱既往試験体の水平耐力の解析	久保田真次	上原 修一
次世代省エネルギー住宅基準に基づく住宅性能評価と温熱環境に関する調査	高瀬 正次	山下 俊雄
地域公共図書館における開架フロアのゾーニング手法に関する研究-ボビュラーライブリーエリアを核としたActiveゾーン創出の可能性と有効性	福澤 祥子	北岡 敏郎
児童養護施設の建築計画に関する研究～全国児童養護施設の現況調査～	村田 直高	新谷 雄一

【学位論文】

学位記番号 熊本大学博工第一七七号
 授与年月日 平成十四年三月二十二日
 氏名 坪根 弘明
 学位論文題目

磁性流体を利用したエネルギー回収装置に関する基礎的研究**論文要旨**

近年、新しい機能性人工流体として磁性流体という磁場に反応する液体が注目されており、様々な機器への応用が考えられている。ここで、磁性流体とは強磁性の微粒子を液体中に界面活性剤を用いて安定分散させ、見かけ上液体が磁性を帯びているように作られた固液混相液体であり、用途に応じて様々な種類の磁性流体がある。

磁性流体を利用した応用機器の一つとして、新しいエネルギー変換システムの開発に関する研究が既に行われており、MHD発電やダーピングジェネレーター、無重力場でのサーチサイボン等によるエネルギー変換や熱輸送等のシステムが考えられている。そして、これらの装置はすべて管内の磁性流体に非一様磁場を作らせ、磁気駆動力を与えて循環させるという点で共通している。その磁気駆動力を与える方法には、大別すると磁性流体を非一様加熱してその磁化を変化させる方法と気液二相流を利用して磁気体積力に不均衡を生じさせる方法の2種類が提案されている。

本研究では上記の気液二相流により磁気駆動力を与える方式に着目して、佐藤ら[1]が提案したエネルギー回収装置の実用化を目指す前段階としての基礎的な研究を行った。この装置の特徴は、本来廃棄される様々な排ガスや熱などのエネルギー源から動力を回収すること、すなわちエネルギーの有効利用を目的とし、次の三つの駆動力：(a) 気泡ポンプ作用、(b) 磁気力、(c) 自然対流を利用しようとする点にある。さらに、将来的には、より効率的に動力の回収を行うために、一度注入した空気を取り出して再度注入することにより、磁気力を多段化することも視野に入れている。

本論文は、上述のエネルギー回収装置に関する基礎研究という位置付けから、上記の(a)と単段式での(b)の駆動力を利用した試験用の磁性流体循環装置の性能とその評価法について検討し、その結果をまとめたもので、六章から構成されている。

第一章では上に述べた本研究の背景と目的を詳述している。

第二章では本装置の循環流量予測モデルの妥当性を調べるための基礎資料として、供試液体に水を用いた場合について循環流用と気液二相流の流動特性（ボイド率、摩擦圧力損失）の実験値を提示すると共に、供試液体に水ベース磁性流体を用いた場合について背軸方向の磁場の有無が循環流量に及ぼす影響と流動特性に及ぼす影響についても調査結果を述べた。さらに、液相にケロシンベース磁性流体を用いた場合の実験結果を提示し、磁性流体の種類、ならびに磁場の有無と磁場に対する空気注入口の相対的位置の違いが循環流量に及ぼす影響についても論述した。

第三章では、磁性流体循環装置の性能評価に必要な垂直細管内磁性流体-空気二相流の流動特性について、強制循環系の予備実験装置を用いて行った実験結果を述べている。ここで、磁性流体は高粘度、低表面張力の不透明な液体であるので、粘度や表面張力の影響を調べるために、水、グリセリン水溶液、オレイン酸ナトリウム水溶液を液相とする場合の結果との比較も行っている。また、磁性流体循環装置では強い磁場を印加するために細管が有利であったので、流路には内径9mmと5mmの細円管を用いている。これらの実験結果と水ベース磁性流体を用いた場合とを比較することにより、従来の研究ではその詳しい特性が不明であった垂直細管内磁性流体-空気二相流の諸流動特性を明らかにすることができた。

第四章では、第三章に示した実験結果を混合流体モデルや二流体モデルに基づく既存の一般的な予測式による計算値と比較し、それらの予測式の垂直細管内磁性流体-空気二相流に対する適合性について調べた結果を述べている。そして、この比較結果に基づき各種構成式の改良式を提案し、その妥当性を検証している。

第五章では、磁性流体循環装置の性能評価を行うために、定常非加熱一次元の運動量式を基礎式とする循環流量予測モデルを提案し、そのモデルによる計算結果と実験結果との比較によって、そのモデルの妥当性を調べて

いる。

第六章では、第五章までに記述した結論を総括している。

以上の研究結果は、磁性流体を利用したエネルギー回収装置の設計のみならず改良にも資することができると考えられる。また、循環流量の予測モデルに組み込む構成式を検討する際に系統的な実験から採取した垂直細管内気液二相流の流動特性に関するデータベースは、今後の課題として取り組むべき本装置の高精度、高効率化等の発展的研究に対しては勿論のこと、他のエネルギー変換装置における磁性流体二相流や種々の工業装置における垂直細管内二相流に対する研究にも有用な情報を与えると考える。

参考文献 [1] 佐藤泰生、佐田富道雄、川原顕磨呂、袁田康祐、第16回混相流シンポジウム講演論文集、275-278 (1997)

学位記番号 大阪大学博工第一七四二〇号
 授与年月日 平成十五年一月二十四日
 氏名 小野 聰子
 学位論文題目

Parameter Estimation Method for Building Structural Models by using Inverse Eigenvalue Formula and quasi-Newton Algorithm

論文要旨

老朽化した建物や地震により損傷を受けた建物を修復し耐震安全性を確保するには、材料劣化の評価や損傷部分を特定することが重要な問題となる。また、近年普及しはじめた免震構造や制震（振）構造などにおいても建物の動特性を正確に把握もしくは同定することが必要不可欠な問題となる。

本論文は、対象を建築構造物に限定し、建築構造技術者に容易に理解でき、しかも建築に関わる上記の問題に対応できる簡便な同定手法を提案した。こうした問題は本来「システム同定」に関する問題であるが、それらは一般的であるが故の一種の数学的難解さを有する憾みがある。本論文ではオフラインによる同定法を前提としており、データに含まれるノイズなどは事前に処理しているものとして理論の単純化をはかった。

第1章では、本研究の背景や既往のパラメータ推定法との関連性について述べ、さらに論文全体の構成を要約した。

第2章では、多質点系モデルの1つの層のみが損傷した場合について、固有周期の逆問題に関する公式を用いて、剛性低下量とその位置を同定する方法を示した。その結果、損傷位置が既知の場合にはその剛性低下量を、また剛性低下量の上界と下界が既知の場合は損傷の位置を、それぞれ正確に同定できることを確認した。

第3章では、数層にわたって損傷した場合を想定し、固有周期の疑似観測値と仮定値との差を基本とした目的関数を定義し、非線形計画法により最小化して建物の剛性低下量を同定する方法を提案した。また、疑似観測値の高次の固有周期の精度が同定結果の精度に大きな影響をおぼすことを明らかにした。

第4章では、疑似観測波形と剛性の仮定値による応答波形との差を用いた目的関数を定義し、前章と同様の方法で剛性の同定を行い精度よく同定できることを確認した。また、3次元空間における目的関数の曲面形状から収束の軌跡と精度を論じた。その結果、時刻歴応答の比較のみから同定結果の精度を評価することの危険性を明らかにした。

第5章では、滑り型免震支承部の摩擦係数を推定するため、簡便な試験装置を提案し、その装置を用いて実験した結果から摩擦係数の同定を試みた。その結果、滑り面の静止摩擦係数、動摩擦係数および速度依存摩擦係数を同定した。

第6章は、第2章から第5章までの結論をまとめるとともに、今後の課題について述べた。

平成15年度 編集委員

委員長 宮川英明（教務主事）
委員 濑戸洋（図書館長）
〃 川寄義則（機械）
〃 近藤誠四郎（電気）
〃 中村俊三郎（電子情報）
〃 渡辺徹（物質）
〃 加藤浩司（建築）
〃 安部規子（一般教育）
〃 本田竜広（一般教育）

有明工業高等専門学校紀要

第40号（2004）

平成16年1月30日発行

編集 有明工業高等専門学校紀要編集委員会
発行 有明工業高等専門学校
大牟田市東萩尾町150
電話 大牟田（0944）53-8613

CONTENTS

Measures to Get Children to Have More Interest in Science, and Necessity of Open Classrooms of Science(II)	MATSUO Akibiro MIYAGAWA Hideaki SAKAI Takechi MORITA Keiichi ISHIZAKI Katsunori HOSHI Yoshikazu	1
An Easy Development Method of Web-based Teaching Materials	YAMASHITA Iwao	9
Holomorphic Mappings on Some Infinite Dimensional Domain	HONDA Tatsuhiro	17
A Basic Study for Assessment of Estrogenic Activity of Chemicals using Medaka(<i>Oryzias latipes</i>)	YAMAGUCHI Akemi TOMINAGA Nobuaki	25
On Two-Story Company Houses for Employees of MITSUI MINING COMPANY, LIMITED	MATSUOKA Takahiro KAWAKAMI Hideto	29
An Approach to Development of a Rehabilitation Machine for Elderly People with Dementia	KINOSHITA Shosaku KAWASAKI Yoshinori	47
Development of THE SOCKSLIPPER, Self-help Device for Putting Socks on	KINOSHITA Shosaku HIGASHI Daiki KAWASAKI Yoshinori	57
Basic Study on the High-Efficiency and Precision Reaming	TAGUCHI Koichi NOMURA Takuji AKASII Koji	63
A Wide Use Type Buggy Tractor Robot Operated by Disabled Children	KINOSHITA Shosaku ABE Yoshiaki YOSHIDA Yukari TOYOMASU Takashi KAWASAKI Yoshinori	69
Trial Fabrication of CMOS Devices only by a Thermal Diffusion Method in the Impurity Doping (3) -Fabrication of Inverter Circuits and Summary-	NAKAMURA Shunzaburo TSUKAMOTO Naoki ASANO Tamemasa	75
Improvement on a Signal Processing in a Data Analysis in a Pseudorandom Modulated Continuous Wave LIDAR	UCHIUMI Michiharu	81
Practice of the "Monozukuri (Manufacturing)" Education in the Ariake Kosen -Manufacture of a Solar Boat-	KAWAMURA Eiji AKASII Koji	87
Effect of the Thermal Loads including Frictional Heat on the Resistance of Plastic Deformation of Warm and Hot Forging Tools with Hard Coating Films	MINAMI Akihiro TOMOOKA Yasuhiro TASHIMA Naritaka	95
Characteristics of Hydrogen Peroxide Sensor Using Immobilized Manganese Dioxide Membrane	SAKAI Tsutomu NAGATA Ryoichi	101
Identification of Thermal Decomposition Products of Poly(urethane-amide) and Poly(urethane-imide) by the PyGC-MS Method and Thermal Decomposition Mechanism	YOSHITAKE Norimichi TANAKA Keita FURUKAWA Mutsuhisa	109
Analysis of Polyurethane Containing Cu ²⁺ ion	YOSHITAKE Norimichi NISHI Akitoshi FURUKAWA Mutsuhisa	115
The Development of English Abilities of the Students of Ariake National College of Technology: A Longitudinal Study (2) -With a Focus on the Improvements from the 1st Year to the 3rd Year-	ABE Noriko YAMASAKI Eiji	121
The Women Goethe Loved	SETO Hiroshi	129
A Study of Sugawara Michizane	YAKIYAMA Hiroshi	134