

呉工業高等専門学校

研究報告

第69号

平成19年8月(2007)

目次

1. 高専における古典講読の方法 －4年生の選択授業におけるグループ学習の導入－	小助川 元太	1
2. 『犬百人一首』全注釈(二) 二十四～五十五首	新美 哲彦ほか	9
3. 体格・体力及び生活習慣からみた本校男子学生の特色 －本校5年生と大学生の比較－	佐賀野 健, 谷岡 憲三, 渡邊 英幸, 高津 浩平	19
4. CALLを活用したシャドーイングの実践	江口 誠	25
5. 精密やすり自動研削装置の試作	野原 稔	33
6. やつとこ方式によるグリップ装置の試作	野原 稔	39
7. 二重長方形管内の自然対流に対するアスペクト比の影響	野村 高広	45
8. 非線形光学結晶 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBO)の電子状態の研究	植田 義文, 西川 浩太, 小山 通榮	51
9. エンタングルした量子状態と量子情報科学の基礎	植田 義文, 土井 一也	59
10. ホロー陰極型電極によるヘリウム大気圧グロー放電の生成	山崎 勉	69
11. 飽和粘性土の有効応力及び破壊特性	小堀 慈久	75
12. 呉市の自主防災組織の活性化対策について	門前 勝明, 小早川 誉博, 岡田 健司	83
平成18年本校教職員による研究業績一覧		93

高専における古典講読の方法 ——4年生の選択授業におけるグループ学習の導入——

(一般科目) 小助川 元太

A Method of Japanese Classical Literature Reading at Colleges of Technology

—— Group Translation Practice in Japanese Classical Literature Classes for Fourth Graders ——

(Department of General Education) Ganta KOSUKEGAWA

Abstract

Technical colleges offer only a few classical literature classes a week, but it is a very important subject for the students to know Japanese culture. This is a report of the teaching method of the classical reading I applied to the fourth graders at Kure Technical College. First, I divided the students into some small groups. Then I directed them to translate some classical literature. Wrestling with the difficult task, they cooperated with one another in the same group. As a result, I gained a high reputation from the students as for this method.

Key Words: Japanese classical literature classes, group translation practice.

古典の授業, 小グループによる口語訳演習

§ 1 はじめに

1-1. 呉高専の古典授業の現状

現在, 全国のどの高専においても, 低学年における国語科目の時間数は, 普通高校の約半分の週3時間から2時間であり, その中で現代文と古典の両方を教えなければならないというのが現状である。本校における低学年における国語科目の1週あたりの時間数は, 1, 2年生が現代文2時間に古典1時間, 3年生が国語表現1時間に古典1時間の合計2時間である。このように, 呉高専では, 3年生までの各学年に週1時間の古典の授業を配当しており, さらにその延長として, 4年生と5年生には選択科目としての「日本文学Ⅰ」「日本文学Ⅱ」(週2時間)を設けている。

上記からわかるように, 本校の国語科においてはできるだけ限られた時間の中で学生に古典を読む機会を与えようと腐心している。それは決して担当教員の自己満足のためではなく, 学生から古典を学習する機会を奪ってはならないとの配慮からである。

1-2. 高専における古典軽視の風潮

ともすれば, いわゆる「実用的な」「専門を学ぶために)役に立つ」もの以外は必要ないととする, いわゆる

一般教養科目軽視の風潮が, 学生のみならず専門学科の教員にも見られるが, これは非常に残念なことである。呉高専の教育理念の一つは「豊かな教養と国際性をそなえた人材を育成する」というものである。「豊かな教養と国際性」をそなえるためには, 幅広い勉強が必要であろうし, 高等教育機関としての品位を保つのであれば, 大学・短大レベルの一般教養科目もそれなりに必要とされるであろう。ましてや高等専門学校が後期中等教育教育段階(=高等学校)を含む以上, 高等学校で学ぶ程度の一般教養は最低限必要なはずである。注1)たださえ高等学校における必修科目の履修不足が問題視されている現在注2)において, 専門教育偏重主義は, 高専の教育理念に反するばかりか, 高等教育機関としての高等専門学校の存在価値を自ら貶めるものであるといわざるを得ない。

いわゆる「役に立たない」科目として槍玉に挙げられるのが国語科目の中の古典である。とくに最近はいくまでの国語教育が「文芸偏重」であるとし, 古典を必修から外そうという高専まで出てきた。注3)

たしかに, 高等学校のような古典文法の修得から始まる古典の授業を行うことは, 授業時間数の少ない高専では難しいかもしれない。だが, 古典を完全に選択科目

としてしまうと、ただでさえ若者の古典離れが進んでいる現代においては、履修しない学生が圧倒的に多くなるであろう。つまり、古典については、『竹取物語』『平家物語』『奥の細道』などのほんのさわりを口語訳、もしくは口語訳に近い注釈付きで読ませるに過ぎない中学校の体験で終わってしまう学生が多数を占めるという結果となってしまふ。高専卒業生に高等教育機関を修了したという誇りと真の国際性を求めるのであれば、自分が育った国の文化に触れさせる数少ない機会^{注4)}を、これ以上奪うべきではない。日本語によって論理的に書いたり話したりする能力を伸ばさなければならないのは当然だが、その代償として古典に触れるという体験を高専学生から取り上げてしまうような方法だけは回避すべきだろう。高専の国語に割り当てられた少ない時間の中で、いかに古典を読ませるかということこそ議論されなければならないはずだ。

1-3. 高専生に古典体験をさせる方法

とはいえ、実際には授業時数が少ないために、ほとんどの学生が古典文法を身につけていないという現状に加え、高校のように大学入試で必要というわけではないため、古典を学ぶモチベーションを持たない高専生に、自ら古典を読むという体験をさせるのは至難の業である。だが、工夫の仕方によっては不可能なことではない。しかも、古典を読ませることに加え、そこから得たものを文章化させたり、発表させたりする演習を取り入れることによって、学生の日本語表現力を向上させることができるのであれば、古典不要論を唱える人たちを納得させることができるはずである。

本稿では、高専における効果的な古典授業の方法を考えるための材料として、4年生選択授業における4年間の実践を報告する。試行錯誤の足跡であり、必ずしもうまくいったものばかりではないが、失敗によって得たものは多く、しかも、図らずも選択科目である4年生のみならず、必修で古典を学ぶ低学年においても応用できる方向性が見えてきたからである。

§ 2. 過去3年間の実践と問題点

2-1. 呉高専における国語系一般選択科目

呉高専一般科目では現在、4年生と5年生にそれぞれ週1回2単位(50分授業を連続2時間)の選択科目を5科目ずつ設置している。機械工学科・電気情報工学科・環境都市工学科・建築学科の4学科の学生が、自分の興味や必要性に合わせてどれか1つを選択することになっているため、各科目30名前後の学科の異なる学生が受講している。科目の内訳は、4年生では日本文学Ⅰ・経済学・数学特論・バイオテクノロジー・オーラルコミュニ

ケーションⅡの5科目、5年生では国際関係論・歴史特講・日本文学Ⅱ・心理学・経営学の5科目である。そのうち、4年生の日本文学Ⅰと5年生の日本文学Ⅱが国語系の選択科目であるが、それぞれ古典文学の講読を中心に授業を進めており、平成19年度を受講生の数は日本文学Ⅰが42名、日本文学Ⅱが22名という状況である。

2-2. 平成15年度「国語特講」と平成16年度「日本古典文学講読」

稿者が呉高専に赴任した平成14年度までは、4、5年生における国語系選択科目は国語科教官2名の専門に合わせて、4年生では「国語特講」、5年生では「中国古典の社会と文化」が開講されていた。稿者は、前任者が担当していた「国語特講」を15年度より引き継いだ。本科目をいわゆる高校分野の「国語」ではなく、日本の文学・文化を中心に学ぶ教養科目として位置づけるため、16年度より「日本古典文学講読」と名前を改めることにした。

さて、15年度「国語特講」では『平家物語』の講読を行ったが、具体的な授業内容は、

- ①発表範囲を決めて担当者を割り振りする。
- ②『平家物語全注釈』(角川書店)や新日本古典文学大系『平家物語』(岩波書店)などの注釈書の該当箇所を資料として渡し、レジュメを作成させる。
- ③レジュメをもとに口頭発表させ、他の学生には必ず1つ質問をさせる。

というものであった。発表については、〈本文〉・〈語句の注釈〉・〈口語訳〉を基本とし、分かりやすく発表するように指導した。また、発表者以外の学生には、毎時間1つは質問をすることを義務づけたため、真剣に発表を聞く雰囲気が生まれた。

初年度であった15年度が受講者の意欲に支えられて、比較的うまくいったため、翌16年度の「日本古典文学講読」では、この方法を踏襲するとともに、発表者を個人単位ではなくグループとし、さらに発表グループには簡単なディベートをさせることにした。具体的な手順は、

- ①発表範囲とグループの決定。また、その章段に関連するディベートのテーマ(例「殿上閣議における忠盛の行動は正しかったか」)を発表。
- ②配付した資料をもとに、グループで協力して発表レジュメを作成し、ディベートの準備をする。
- ③発表後、グループ内でテーマについて簡単なディベートを行わせる。

というものであった。

なお、両年度ともに、学生の発表や学生同士の質問の際に、講師である稿者から補足として、歴史的背景や『平家物語』に関する最近の研究動向、さらには仏教や日本文化に関する基本的な知識などについての説明を随時行った。

その結果、受講した学生からの評価は高く、16年度の年度末に行われた授業評価アンケートでは、授業の総合評価の平均が5点満点中4.5点であった。学生のコメントには「(この授業を)選んだ自分の目は中々だと思う」というものも見られた。

2-3. 平成17年度「日本文学Ⅰ」

平成17年度からは、もう1人の国語担当教官(中国哲学専門)の退職と新しい教員(日本文学専門)の採用に伴い、4、5年生の国語系選択科目を、それぞれ「日本文学Ⅰ」「日本文学Ⅱ」とすることにし、稿者は引き続き4年生の選択授業「日本文学Ⅰ」を担当することとなった。

授業の方法は基本的にそれまでの「国語特講」「日本古典文学講読」と変わらなかったが、作品を『平家物語』から『御伽草子』に変えた。具体的には『ものくさ太郎』(前期中間試験まで)・『一寸法師』(前期期末試験まで)・『御曹子島渡り』(後期中間試験まで)・『酒吞童子』(学年末試験まで)の4作品を、4期で読みきろうというものであった。学生には、どの作品を読みたいかという希望を取り、それをもとに全体を4つのグループに分けた。発表箇所については、それぞれのグループ内で決めさせたが、作品の性質と一つひとつの長さを考慮して、ディベートではなく、各自担当者が自由研究として、必ず何か担当箇所に関わる問題を調べて発表することを義務づけた。具体的な手順は以下のとおりである。

①発表作品とグループの決定。グループ内で担当箇所を決める。

②配付した資料をもとに、一人ひとりが発表レジュメを作成。注釈・口語訳の他に自由研究を行う。

③担当者による発表・質疑応答。

過去2年間の実績に自信を持ってこの方法を導入したのだが、当年度の授業については、正直なところ、うまくいかなかった。

まず、授業の雰囲気は前年度までとは明らかに変わった。平気で居眠りや私語をしたり、堂々と内職をしたりする学生が増えた。また、発表の質もかなり落ちた。せっかくの自由研究も、インターネットからのコピー・アンド・ペーストで済ませてしまう学生が多く、しかも、内容も吟味せずに発表するため、発表者自身がその内容を理解できておらず、まったく的はずれな発表であることもしばしばあった。前期末に行われた授業評価アンケートでは、総合評価が5点満点中3.7点と、前年度に比べて大幅にダウンし、学生からのコメントの中には「授業方法がまったくつまらない。〇〇先生(もう一人の国語科教員)に替えてほしい」という辛辣なものまで見られた。

失敗の要因はいくつか挙げられようが、まず第1点は、受講生が大幅に増加したこと、第2点はそれに対応した

授業方法を採らなかったこと、第3点は作品の選択ミスである。

まず第1点であるが、平成17年度の「日本文学Ⅰ」の受講生は、前年度までの14名から一気に33名と、実に倍以上になった。しかも、受講した理由を聞いたところ、「単位が取りやすいと聞いたから」「楽そうだから」「英語や数学が苦手だから」といった安易な理由で選択した学生が多くいた。つまり、受講者数の増加は学習意欲の低い受講生の増加でもあった。

ところが、このように受講生の数と質が変わったにも関わらず、昨年度までの実績に自信を持っていたがために、稿者はそれに応じた策がとれなかった。学生の指摘にあったように、授業方法の工夫不足であろう。前年度までの意欲ある少数の学生の受講を前提とした授業方法をそのまま倍以上の受講生相手に導入したことが、失敗の原因の第2点目であると考えられる。

また、第3点目の作品の選択という問題であるが、建前を言えば、どのような作品であっても、その魅力を受講生に伝えることができるのが教師の力量ということになる。だが、実際には、授業の成否は扱う作品の内容によっても左右される。とくに、作品の分量が適当であるとか、多少読むのに骨は折れるが、読んだ後に達成感を感じる内容であるとか、扱っているテーマや物語における登場人物の葛藤などが受講する学生にとって共感を覚えやすいものであるとかといった点は、学生を飽きさせず、惹き付ける授業を行ううえで欠かせない要素である。考えてみればこれは至極当然のことであり、何も高専に限ったことではない。たとえば、高校の現代文・古典の例を挙げると、検定教科書に載っている作品群は、1回50分の授業で使用することを前提とし、現代の高校生の学力レベルや興味・関心を考慮して選ばれたものであるし、その教科書を使用するそれぞれの高校の教員も、その中から授業で教える作品を、自分の学校の生徒の学習レベルに合わせて選んでいるはずである。日本文学を専攻する大学生相手ならともかく、消極的にこの授業を選択した学生や、せいぜい古典に多少興味がある程度の学生が中心である以上、作品選択もそれに合わせたものにするべきであった。実際、御伽草子(室町物語)は古文として読みやすいうえに、日本の文化を考えさせるには恰好の素材であると考えて選んだのだが、古典文学に触れることの少ない工業高専の学生にとっては、現代の感覚から乖離した、あまりに荒唐無稽で幼稚なもの、つまり、読み応えのないものと映ったようである。面白がっていた学生の中にはいたが、興味が持てないという学生も多くいた。しかも、他の説話集の説話に比べると全体が長いうえに、類似した場面や表現の繰り返しが多いため、途中で飽きてしまう学生が多かった。平易な文体がかえってあだとなり、学生に冗漫な印

象を与えてしまったようである。

2-4. 過去3年間の授業の分析

前項に挙げた平成17年度の授業における失敗の要因を、過去3年間の授業をとおして、①授業方法の問題、②学生の授業態度の変化、③作品選択の問題という3つの観点から整理して分析すると、以下のようになる。

①授業方法の問題

○事前に調べさせて発表させる形式の場合、学生によって差が生まれやすい。興味のある学生は自発的に調べたり、発表の工夫をしたりするが、あまり興味を持っていない学生は、与えられた資料やインターネットの記事を写すだけで済ませてしまうことが多かった。

○口語訳を事前に与えるやり方は、古典文法の知識に乏しい高専生が古典に親しむ方法としては有効だが、反面、自力で理解したという手応えを感じにくい。達成感が得られない。また、学習意欲に乏しい学生にとってみれば、面倒ではあるが、考えずに済むので楽である。

○興味や意欲に乏しい学生からすれば、教員による説明ですら退屈であるのに、ましてや発表技術の拙い他の学生の発表を聞くのは相当な苦痛である。

○授業に参加しているという実感がなく、また、試験で点数さえ取ればいいという学生からすれば、試験直前にレジュメに載っている訳を覚えればよいので、授業中は暇である。

②学生の授業態度の変化

○受講者が少ない場合、興味や意欲のある学生の比率が高いため、私語や居眠り、内職は少ない。また、少人数なので、指名したり、質問を義務づけたりするという方法によって、教室に緊張感を生むことも可能である。

○受講者が多くなると、古典に興味のない学生の比率も高くなるため、授業に相当な工夫をしないと、居眠りや私語・内職をする学生が増える。

○いい加減な発表をする学生や受講態度の悪い学生が増えると、授業全体のしまりがなくなるため、意欲のある学生も次第にやる気を失っていく。

③作品選択の問題

○『平家物語』は、一つひとつの章段の分量や、適度な難しさ、現代人にも通じるテーマ、歴史的な事件との関わりなどの面で、ふだん古典を読む機会のあまりない学生を飽きさせない作品であった。

○文化史的な価値は非常に高いものではあるが、物語としては単純なわりに分量が多く、似たような表現の繰り返しの多い御伽草子の作品のような場合、学生は途中で飽きてしまう。

そこで、次年度はこれらの反省を踏まえ、受講生の数

の多寡に関わらず、時間内に全員が集中して参加でき、なおかつ古典文学作品を読んだという実感が得られるような授業に切り替えることにした。

§ 3. 平成18年度の実践

3-1. 基本的な方針

平成18年度の日本文学Ⅰでは、以下の方針で授業を進めることにした。

①発表という形式は取らず、授業中に自力で口語訳させる。

②グループ学習を基本とする。

③できるだけ時間内で読みきることのできる作品を選ぶ。

①については、学生一人ひとりの意欲や能力の負うところが大きかったこれまでの発表形式を改め、意欲の有無に関係なく学生全員を作品と向き合わせる方法を優先させるというものである。喩えるならば、知らない土地を人に案内してもらうより、自分で地図を片手に歩き回ったときの方が、その土地の印象を深く記憶に刻むことができるのと同じである。多少骨は折れるが、辞書を引ながら自力で口語訳をすれば、たとえ多少間違ったとしても、作品内容を自分自身の中に強く印象づけることができる。もちろん、この方法を有効にするためには、教員の監視下で作業をさせなければならない。授業時間外にさせると、学生の多くは自力ではせず、真面目に取り組んでいる学生の訳や既成の訳を丸写しにしかねないからである。

とはいえ、いくら辞書を渡されたところで、古典文法の知識の乏しい高専生の場合、一人ではなかなか口語訳はできないであろう。そこで、②のグループ学習が生きてくる。数人で力を合わせ、知恵を出し合うことによって、多少古典文法の知識がなくても口語訳を進めることができる。これまでもグループ発表はさせていたが、授業時間外に準備をさせていたため、学科の違う者同士がグループになると、一緒に準備をしたり話し合ったりする時間が取りにくく、結局は担当箇所を分担してそれぞれが勝手に発表準備をするということになりがちであった。その意味でも、授業時間内で協力して口語訳させるというやり方は、グループ学習の利点が大いに発揮される方法であろう。学科の違う学生同士がコミュニケーションをとる良い機会ともなる。また、作業中の学生からの質問も、グループ全員で考えて悩むという過程を経たものであるため、説明への理解も早く手間がかからない。つまり、一度に数人の質問に答えることができる。つまり、教員による指導という面から見ても、グループ学習は格段に労力・時間がかからず、効果的なのである。

また、③については、その時間内に話の結末がわかるほうが、その時間の作業にも集中できるうえに、前の週で読んだ内容を思い出すところから始めるという二度手間も防ぐことができる。また、ただ読むだけではなく、毎時間、読んだ作品に描かれるテーマについて考えさせるというやり方のほうが、学生の興味や意欲を引き出すことができるのではないかと考えたのである。しかも、毎週違う話を読んだ方が、より多くの作品に触れさせることができる。

3-2. 具体的な授業の進め方

前節での方針を踏まえて実施した平成18年度4年生一般選択科目「日本文学Ⅰ」の概要は以下の通りである。

〈受講者数〉機械工学科13名、電気情報工学科1名、環境都市工学科7名、建築学科11名の合計32名。よってグループ分けは4人1組とし、8グループを作ることとした。

〈作品〉読ませる作品は説話集の説話とする。テキストは、池上洵一他編『説話文学選（中世）』（和泉書院）を用いた。

〈授業展開〉授業の進め方の基本はグループによる口語訳と発表である。

《1時間目（発表準備）》

- ①教員による課題説話の指定（当日指定するため予習の必要はなし）。
- ②教員による音読。発表用紙（各班1枚）の配布。
- ③4人1組の班で協力し、班ごとに全体の口語訳とその説話の主題説明を作成。

《2時間目（発表）》

- ④割り当てられた箇所の口語訳を班別に発表。（※アトランダムに指名する。）
- ⑤担当箇所の口語訳について、他の班からの質問や意見。
- ⑥説話のオチ（主題）を各班ごとに発表。
- ⑦教員による解説・補足など。
- ⑧各班の発表用紙提出

〈注意事項〉

- ①必ず全員で協力し、話し合いながら口語訳を作る。
- ②文責（まとめる人）・発表者を毎回変える。（評価の対象とする）
- ③不真面目な学生、グループでの作業に参加しない学生は減点の対象とする。場合によっては退場もあり。
- ④各自ノートをとる。（定期試験終了後に集める）

〈成績評価〉

①試験……100点×0.7（7割）

②授業での取り組み……30点（3割）

※発表への取り組み（20点）＋レポート・ノートなど（10点）

①＋②＝100点を達成目標とし、達成目標の60%に満たない者は不可、60%以上ができていと判断されるものは可、70%以上で良、80%以上で優とする。

3-3. 実施結果

実際に学生に口語訳をさせてみると、予想以上に時間がかかった。とくに長い説話や和歌などが入った難しいものについては、1時間目の中で口語訳をさせることができず、次の時間にまでかかることがあった。そのため、上記の〈授業展開〉の⑤「担当箇所の口語訳について、他の班からの質問や意見」は実施が難しかった。だが、授業中に居眠りをしたり内職をしたりする学生は全くなり、ほぼ全員がまじめに、かつ和気藹々と口語訳に取り組む姿が見られ、前年度の授業と比べると、格段に良い雰囲気の授業となった。

なお、定期試験では、100点満点中の50点分を作品に対する感想文や小論文とした。これにはもちろん学生の日本語表現能力を高めるという目的もあったが、それだけではない。せっかく古典文学という古人の遺産と出会ったのであるから、ただ作品の口語訳で終わるのではなく、現代と昔の考え方の違いや共通点などを考えたり、作品との出会いをとおして得たものを明確に言葉にしたりすることによって、今後の自分の糧としてほしいという思いからである。なお、ただ書かせるのではなく、試験前に各自に構成表を書かせ、匿名でプリントしたものを配布して班で評価させる演習^{注5)}や、全員の前でその構成表をもとに1人ひとりスピーチをさせるという演習を随時取り入れることによって、学生の表現能力の向上をも図った。

§4. アンケート結果と反省

4-1. 実施結果

呉高専では、毎年授業評価アンケートを行っているが、稿者はそれとは別に毎回年度末に独自のアンケートを行っている。これは、次年度のために具体的な授業方法を見直すためである。前章でも述べたように、18年度の日本文学Ⅰについては、17年度と比較しても格段に授業の雰囲気は良くなった。だが、これが講師の自己満足であってはいけない。受講した多くの学生が、それまで表面的にしか知らなかった古典の世界に触れることができ、また得たものが多かったという印象を持ってくれたならば、当初の目的は果たせたのであり、まずまず成功といってもよいのではないだろうか。日本文学Ⅰについてのアンケート内容とアンケート結果は以下のとおりである。

実施日：平成19年2月23日

回答数：28名／32名

〈平成18年度4年生 日本文学Ⅰ 授業アンケート〉

1. 授業に真面目に取り組んでいましたか？（該当するものを○で囲んで下さい）

ア 真面目に取り組んだと思う。 24名

イ ときどき集中していなかったときもあった。 4名

ウ あまり真面目に取り組んでいたとはいえない。 0名

2. 授業内容は理解しやすかったですか？（該当するものを○で囲んで下さい）

ア 理解しやすかった。 20名

イ ふつうだった。 6名

ウ 難しかった。 2名

カ その他 0名

3. 授業で読んで面白かった作品は？（省略）

4. 3について、どういうところが良かったですか？（省略）

5. この授業を通して自分は成長できたと思いますか？（○で囲んで下さい。）

ア 思う 20名

イ 思わない 5名

6. 5でアを選んだ人は具体的にどういう点で成長できたかと実感しましたか？

【古文を読む力・知識など】（10名）

○古文について、最初の頃と比べて今はスムーズに訳ができる。

○ぱっと読んで意味がわかる（通して理解できる）ようになったから。

○読解力（2名）。

○国語力がついた。

○まず、わからない語句や節の訳を自力でできるようになった点や、全体的に古い文章にも興味を持てるようになった点。

○歴史背景も学ぶことができた。最初よりも訳をするのが早くなった。

○知識を得ることができた。

○人の考え方、いいものを吸収することができた。

○面白い本を読めば、必ず人は成長すると思うから。

【作文力】（6名）

○作文ができたとき。

○小論文・感想文の書き方、構成など勉強になった。毎回テストで書く練習ができてよかった。

○感想文の書き方、形式が身についたと思う。

○毎回テストで感想文を書いていたので、感想文を書く力が前よりついたと思う。

○感想文が書けるようになった気がする。

○感想文で文章力がついた。

【グループ学習で得た成果】（3名）

○真面目に取り組める姿勢。

○他の学科の人と仲良くなった。

○みんなで協力してやる力がついた。

【その他】（3名）

○感性。

○心にゆとりができた。

7. 意見・要望・感想・メッセージなどがあれば、書いてください。

○正直、私は古文とか、国語とか苦手で（何で選んだのか不思議なんですけど）最初はいやだなあと思っていたんですけど、今は、楽しかったし、よかった！！って思ってます。ありがとうございます。

○文学系が好きなので、日本文学の授業は面白かった。もっと色々な説話を読みたいと思った。

○昔のおもしろい話を読めて楽しかった。

○楽しかった。

○楽しかった。また是非このような授業を受けたい。

○就職などに生かすことができればと思います。

○日本語訳をするのは、私にとって困難でありました。すらすらと物語が想像できる班員を見て、すごいなと毎週のように感じました。

○毎回、延々と訳をしていては、読むことのできる説話の数が少なすぎるので、学生に訳をさせるのは重要な一部分だけにした方がいいと思います。

○グループ分けを先生が決めるのではなく、初めの授業のときに“あみだくじ”とかで決めたら、後輩もおもしろいと思う。

○「郭巨」はいらなかったと思う。

4-2. 反省と課題

上記のアンケート結果を見る限りにおいては、18年度に実施した日本文学Ⅰにおけるグループ学習の試みは概ね成功だったといつてよいだろう。もちろん反省や課題もある。

たとえば、アンケート項目7の回答にあった、「学生に訳をさせるのは一部分にした方がいい」という指摘は、全作品に取り入れる必要はなくとも、長い作品や難しく訳すのに時間のかかるような作品を読ませる際にはよい方法である。実際、先にも述べたように、その週で読みきるつもりだった作品が、学生の口語訳作業に時間がかかってしまったために、次週に持ち越してしまったというケースも何度かあった。できるだけその時間内で読みきるという目標を達成するためには、何が何でも学生に全訳させるというのではなく、場合によっては学生の訳す部分を限定するなど、臨機応変に対応すべきであろう。なお、19年度の日本文学Ⅰでは、この反省に基づき早速この方法を取り入れている。

また、グループ学習の利点がうまく生かされていない班も見られた。班の中で口語訳する場所を分担して最終的にそれをつなぎ合わせるだけで、ほとんど話し合いが行われていなかったという班が1班だけ見られたのである。アンケート項目の7の回答に「日本語訳をするのは、私にとって困難でありました。すらすらと物語が想像できる班員を見て、すごいなと毎週のように感じました」とあったように、当然学生の持っている力には差があり、それがうまく作用すればグループ学習での利点が生かされるのであるが、その反対も当然起こりうるであろう。つまり、幸いにして18年度の授業においては見られなかったが、比較的古典の読める1人だけが一生懸命取り組み、他のメンバーがその学生に任せきりということも、今後は出てくる可能性があるのである。班の構成メンバーによって、学生同士のコミュニケーションが取りにくい雰囲気もあるのであろうが、こういう班をいかに指導していくかも今後の課題の一つである。

§ 5 まとめ

本稿では、高専4年生選択科目における過去4年間の古典講読授業の実践を振り返り、その失敗と成功の分析をとおして、グループによる口語訳演習という方法の有効性を提示したが、この方法は、古典にそれほど興味を持っていない学生を多数含む1クラスの人数(40名前後)の集団に対しても効果が期待できるという点で、低学年の必修科目としての古典においても実施可能な方法であるといえる。高専生から古典を読む体験を取り上げないためにも、今後さらに効果的な古典講読の授業方法を模索していきたい。

注1)「今までの国語教育が文学教育、文芸教育に偏っていたということは、私もそう思います。ただ、それをすべて捨て去っていくべきものではないと考えます。これは車の両輪で、文学教育や文学教材が担っていた、例えばもう1つのキーワードとして、教養教育の大切さもうたわれている今と今後において、やはりまるで捨て去るという方向性では、まずいだろうと。(中略)あるいは、大学生の場合には、少なくとも高等学校で国語教育を受け、センター試験なども経た上での大学教育ですが、高専はそれを経ないわけですから、そこらあたりの情操、あるいは教養的な面をどうフォローするかということも重大な問題であろうと。」(平成14-15年度 国立高等専門学校協会 教育方法改善(東北地区高専)共同プロジェクト「高専における国語コミュニケーションスキル教育の評価と改善」最終報告書 2006年3月、東北地区国立高等専門学校 p63、秋田高専助教授高橋秀晴氏の発言より。※

本文中の下線は稿者によるもの。)

注2) 2006年10月、富山県の県立高校で、実際には必修とされている世界史を履修させず、その時間を他の教科の指導に当てていたという事実が発覚したが、その後同様に必修科目を履修させていない高校が全国で数百校にも上ることが明らかとなり、「高等学校必修科目未履修問題」として社会問題化した。

注3)「私たちは、高専学生の国語力低下という危機的状況を前にして、少ない国語の授業を有効に使いながら、高専卒業生に求められている国語力をつけるためには、高専の国語教育の方向を転換してはどうか、すなわち、従来型の文芸偏重の教養重視の国語教育からコミュニケーションスキル能力をもっと重視し、論理伝達能力を重視した国語教育へ転換すべきではないか、という観点から、今回の報告を差し上げているわけです。具体的には、1から3年までに国語を集中的に割り当て、一般教養重視の従来型でいいのか、それとも、国語は1年から5年までやることにして、そうすると低学年での国語単位数は減ることになりますから、もっともっと教える単元を絞り込んで、たとえば古文や漢文は必修からはずして選択にし、基礎学力プラス論理伝達能力を重視して5年間にわたりコミュニケーションスキルとしての国語を必修で養成する、国語という名称も大胆に変え、教える内容に適合したものにするといったカリキュラム上の配慮をすべきではないか、という問題が出てくることになります。鶴岡高専は、すでに、独法化対応の「中期計画」で、この立場を明確にしております。」(平成14-15年度 国立高等専門学校協会 教育方法改善(東北地区高専)共同プロジェクト「高専における国語コミュニケーションスキル教育の評価と改善」最終報告書 2006年3月、東北地区国立高等専門学校 p52-53、鶴岡高専教授山内清氏報告より。※本文中の下線は稿者によるもの。)

注4)「工業系の高等専門学校(以下、高専)の学生は、カリキュラムの特性上、日常的に日本の古典文学に触れたり、日本の伝統芸能を知ったりする機会は極めて少ない。現代教育において、古典文学はともすれば古臭いものとして遠ざけられがちであるが、「温故知新」の言葉通り、古典の世界は現代の我々の認識の基底をなすものである。自文化とは何かを意識しなければ、異文化を真に理解することなどあり得ない。次代を担う技術者には、国際社会における日本の立場に対して自分の意思をしっかりと持ち、それを自分の言葉で語ることの出来る能力が必要不可欠である。」(位田絵美「体験的日本古典文学講義の試み——工業高専における総合選択科目『源氏物語』を中心に——」、『高専教育』第27号、2004年3月)

注5)この方法については、拙稿「教室で鍛える小論文——『他山の石』方式の導入——」(『呉工業高等専門学校研究報告』第68号、2006年8月)にて紹介した。

『犬百人一首』全注釈（二）二十四～五十五首

（一般科目）新美哲彦
その他Notes on *Inu Hyakunin Isshu* (2): Poems No.24-55

(Department of General Education) Akihiko NIIMI

Abstract

This publication is an annotated edition of *Inu Hyakunin Isshu*. The *Inu Hyakunin Isshu* is a parody of the famous *Hyakunin Isshu*, and was published in 1669. The prologue was written by an unknown man named Yusoan. In the title *Inu Hyakunin Isshu*, the word *inu* means parody. The work is one of a number of parodies of classics that were produced in the early Tokugawa periods, such as *Inu Tsurezure* (a parody of *Tsurezuregusa*) and *Inu Makura*, a parody of *Makura no Soshi*. Many other parodies of the *Hyakunin Isshu* were made in the Tokugawa period, but the *Inu Hyakunin Isshu* is of particular interest because of its early date.

Key Words: Tokugawa period, *Hyakunin Isshu*, parody, poem

近世、百人一首、狂歌

本稿は2006年度日本文学Ⅱ（五年生選択科目）後期授業の成果である。担当歌の後に担当者の名前を挙げる。

なお、参考文献などは前号参照のこと。

24	たびたび	いしや	かんけ 疝気
度々	は	医者もとりあへず	たはけやまひ
			もちひの持薬 あひ間く に

【本歌】

このたびは幣もとりあへず手向山もみぢの錦神のまにまに（菅家）

【語釈】

○疝気…病氣の名前。子どもの慢性胃腸炎。甘いものの食べすぎからおこる病氣。菅家にかかる。○たはけ…ばかもの。○やまひ…やむこと。病氣。○持薬…平生、服用する薬。

【現代語訳】

甘いものの食べすぎで起こるようなばか者のなる病氣を、度々は医者に診てもらえない。医者からもらった薬をあいに飲む。

【補説】

菅家（菅原道真）の旅先での秋の情景を歌った歌が、疝気と掛けられ、子供の病氣の話になっている。（池田将晃）

さんでうのうたひ 三 条 謡 うたひ
おほたかこゑ 大 高 声 の
しやらかつら 沙 羅 鬘
うたひ 人にしられた 謡 ともかな

【本歌】

名にし負はば逢坂山のさねかづら人に知られでくるよしもがな（三条右大臣）

【語釈】

○三条謡うたひ…お金を貰うたのを教える人。○謡・謡…謡曲のこと。○とらば…とるならば。○大高声…大きな声よりもっと大きな声。○沙羅…しゃらくさい。○鬘…頭髮に添えるために髪のををたばねたもの。○しられた…しられている。○ともかな…であってほしい。

【現代語訳】

名の知れた人だと思って行ったら、ただ大きな声で謡っている生意気なちゃんまげ。せめて人に知られている有名な謡曲を謡ってほしい。

【補説】

三条右大臣が愛する人に贈った歌の中の「逢坂山のさねかづら」は「逢って寝る」という名を持っていて、三条右大臣が愛する人に逢いたいと歌ったところを、生意気なちゃんまげがただ大きな声でうたっている「大高声の沙羅鬘」とずらししているところが面白い。（中曾 有美）

たうじんこう
唐人公

26 ふじの山 ^{たう}唐の者ども ^{もの}心あらば ^{たび}今ひとたびの ^{みゆき}深雪めでなん

【本歌】

小倉山峰のもみじ葉心あらば今ひとたびのみゆき待たなん (貞信公)

【語釈】

○唐人…中国の人。この場合、朝鮮通信使（もしくは琉球使節）を指す。 ○ふじの山…富士山を指す。 ○深雪…雪の美称。「深く積もった雪」という冬の季語。

○めでる…感嘆すること、賞美すること。

【現代語訳】

富士の山を見た朝鮮通信使にも、ものを美しむ心があるならば、旅の帰りに見える、更に美しい雪の積もったその富士の姿もぜひ見てもらいたいものだ。

【補説】

もみじの心を唐人の心に置き換え、「ひとたび」を「ひと旅」に、「御幸」を「深雪」に置き換えている。挿絵から、朝鮮からの使いが江戸に向かうために東海道を通り、江戸に向かう途中だと思われる。よって「ひと旅」は、江戸からの帰りのたびである。作者は「唐人公」となっているが、「・・・めでなん」は「賞美してほしい」という意味で、実際の作者である日本人の願望が現れている。(天野 智文)

ちうげんかんすけ
中間勘介

27 いかい ^{はら}腹 あきて ^{なか}泣るゝ いつも ^{むぎ}麦めしか ^{こひ}恋しかるらむ

【本歌】

みかの原わきて流るるいづみ川いつみきとてか恋しかるらむ (中納言兼輔)

【語釈】

○中間…公家・武家・寺院などに仕える従者。 ○いかい…大きい。 ○あきて…お腹を空かす。 ○麦めし…米と麦を一緒に炊いたもの。麦だけを炊いたもの。

【現代語訳】

大食いの男が腹を空かして、いつもお腹が泣いている。いつからこんなに麦めしが恋しくなったのだろう。

【補説】

犬百人一首に描かれている絵は、土間で大きな調理台で料理する男と座敷で2人の男がご飯を食べている風景になっており、一人は背をかがめながら食べていて、この歌の主題の男は、いつもお腹を空かしていて麦飯を待ち

こがれていたのもあって、堂々と座りご飯をかい込んでいる様子が描かれている。(石村 勇太)

みなもとのむねいたみのあそん
源胸痛朝臣

28 やまひものは ひえぞくるしさ まさりける
人めもかさの はれぬと思へは

【本歌】

山里は冬ぞさびしさまさりける人目も草もかれぬと思へば(源宗朝臣)

【語釈】

○やまひもの…病人 ○くるし…つらい ○まさる…多くなる ○人め…世間の目。はた目。 ○かさ…①嵩…重なった物の高さや大きさ。 ②瘡…皮膚にできる、はれもの・できものの総称。

【現代語訳】

病人は、いつもと違って、冷えはとくにつらさがまさって感じられるのだろう。(着物を重ねると)はた目には嵩張って見えてしまうと思うが。

【補説】

山里は冬が特に寂しさがまさるものというところが、病人にとっては冷えが特につらさがまさるものと置き換えられ、人目の「人の来訪」という意味が「世間の目、はた目」という意味に置き換えられている。また、かさはれぬというところは、「嵩が張る」というのと「瘡が腫れる」というふたつの意味がかけられていると思う。挿絵から、部屋で火鉢を焚きこれだけ着物を着ているにもかかわらず、なおも屏風でまわりを囲んでいるところから、病人の冷えに対するつらさが伝わってくると同時に、はたから見るとすごく嵩張っているように見える。(大頭 雅)

おほちこちの
大路小路みつ子

29 ^{こころ}心 あてに おらばやおらん ふれる粉の ^{もちばな}餅花のえだ
つきまどはせる

【本歌】

心あてに折らばや折らむ初霜の置きまどはせる白菊の花 (凡河内躬恒)

【語釈】

○大路小路…大通りや道幅の狭い道。 ○心あて…あて推量すること。 ○ばや…「～したい」「～できたらなあ」 ○まどふ…混乱させる。 ○餅花…正月に豊作を祈って、小さく切った餅や団子を、竹や柳などの枝に付けて飾る縁起物。

【現代語訳】

あて推量に、もし折るのならば折ってみようか。触れると粉が付いてしまう餅花の枝を。

【補説】

「ふれる粉のつきまどはせる」の文は現代語訳に示した意味と、「餅花に触れたいので、子（粉）が付き纏う」という二通りの意味がある。また、挿絵から作者の「ミつ子」というのは三人同時に生まれたと言う意味ではなく、3歳児という意味だと思われる。（沖横田 誠）

30 ある酒に つれなくしめし 亭主より
さけ みふのたゝいね
ていしゅ
あか 赤づらばかり うき物はなし

【本歌】

有明のつれなく見えし別れより暁ばかり憂きものはなし
 （壬生忠岑）

【語釈】

○つれなく…思いやりがない。薄情である。 ○しめし…強いる。強制する。 ○赤づら…酔って赤くなった顔。 ○うき物…辛い。苦しい。不愉快な様。

【現代語訳】

酔って赤ら顔の亭主から酒を思いやりもなく強引に勧められて以来、赤面を見ると辛い思いをするようになってしまった。

【補説】

本歌の「暁」を辛いと思うことを、酒を無理強いする亭主の「赤面」を辛いと思うことに転換している。また、犬百人一首に描かれている絵では、亭主に酒を勧められている客が盃を遠くしている。この客がもじり名の壬生只寝であり、酒の弱い只寝はすでにかなり酔っていて、名前の通り「只寝」で酔いを醒ましたいと思っている。（柏原 慎也）

31 朝出て ありたけの銭の なき迄に
あさ さかのうへのかご
ぜに 坂 上 籠のり
よしの ゆきん かご
 吉野の遊山 くらす籠のり

【本歌】

朝ぼらけ有明の月とみるまでに吉野の里にふれる白雪
 （坂上是則）

【語釈】

○銭…銅・鉄製の貨幣。金・銀製の貨幣に対していう。
 ○吉野…大和国吉野郡。今の奈良県の吉野地方。桜の名所として名高いが、春の訪れの遅い土地、雪深い里としても和歌によく詠まれた。また雄略天皇・斉明天皇ほかの離宮が営まれた土地であり、古い由緒をもつ、王朝

人たちの「ふるさと」であった。 ○遊山…（1）山へ行って遊ぶこと。山遊び。行楽。（2）よそへ遊びに行くこと。気晴らしに遊びに出かけること。 ○くらす…暮らす。日がくれるまでの時間を過ごす。 ○籠…乗り物の一。人の座る部分を木や竹でつくって棒につるし、前後から担いで運ぶもの。

【現代語訳】

朝出かけて、ありったけのお金がなくなるほど吉野の行楽を日暮れまで楽しみ、籠にのり時間を過ごす。

【補説】

吉野の里の綺麗な景色のことが、一日中吉野で行楽を楽しんだ話に変わっている。
 絵は桜の名所である吉野の、桜が満開に咲き乱れているところが描かれている。（兼島 敏彰）

32 あつかはに 顔はらしたる 賤が身は
はりひちのばかづら
張 臂馬鹿類
かほ しづ み
 人ともあはぬ 慢じ也けり

【本歌】

山川に風のかけたるしがらみは流れもあへぬ紅葉なりけり
 （春道列樹）

【語釈】

○張臂…手を懐（ふところ）に入れてひじを左右に張り出すこと。得意気なさまなどという。 ○あつかは…面の皮が厚いさま ○賤が身…下賤の人、身分の低い人 ○慢じ…意地っ張り

【現代語訳】

面の皮が厚く図々しく、いつも不満や怒りを表情に出す身分の低い人は、他人と仲良くできない独りよがりの意地っ張りだ。

【補説】

本歌の秋の情景を詠みあげている歌を、身分の低い意地っ張りの歌へと置き換えている。また、挿絵は本歌では上品に秋の情景を楽しむ様子であるが、犬百人一首ではあまり上品とは言えない着物を着て肘を張り面の皮を厚くして堂々と歩いている様子へと置き換えられている。（河本 真弥）

33 おやかたの しかりくどきき 晴の日に
このとももの
此 供者
はれ
 何ごゝろなく はなのたるらむ

【本歌】

久方の光のどけき春の日にしづ心なく花の散るらむ（紀友則）

【語釈】

○供者…従う人。 ○しかり…しかること。 ○くどく…繰り返して言う。 ○晴…晴天という意味の他に、正式、おおやけという意味もある。 ○何ごゝろない…何の気もない。無心だ。なにげない。

【現代語訳】

親方に繰り返し叱られている晴れた日に、なぜか鼻水が垂れてしまう。

【補説】

春の日のふとした気持ちで、従者が親方に叱れているのに鼻水を垂らしてしまうだらしない気持ちに置き換えられている。挿絵では、縁側に立った親方が、きびしい表情で鼻水を垂らしている従者を叱っている状況が描かれている。

現代語訳では晴の日と訳した部分を正式な日と訳すと、「親方に繰り返し叱られている正式な日に、なぜか鼻水が垂れてしまう」となり、緊張のあまり鼻水を垂らしてしまっているという違った場面となると思われる。

(島津 孝則)

ぶしわらはのどのかせ
武士童殿風

34 誰かにも 大平にせん 高ぶりの
やつも我身の 主ならなくに

【本歌】

誰をかも知る人にせむ高砂の松も昔の友ならなくに (藤原興風)

【語釈】

○風…(接尾語的に) そのようなそぶり。様子。 ○童…元服前の子ども。十歳前後の子供。 ○大平…横柄のあて字。 ○高ぶり…高慢な。えらそうな。 ○主…主人。 ○なくに…～(し) ないことなのに。～(し) ないのに。(打消「ず」のク語法+助詞「に」)

【現代語訳】

誰に対しても横柄でえらそうな態度をとる奴がいる。奴は私の主人ではないのに。

【補説】

藤原興風のもじり名「武士童殿風」は、殿様のようなそぶりをする武士の子どもという意味で、えらそうで高慢な様子を表している。

本歌の、知人が誰一人としていない孤独な老人のなんとも言えない深い悲しみが、自分の主人でもないのに、横柄でえらそうな態度をとる人への怒りの感情へと置き換えられている。

また、横柄な態度をとっていると、その後、孤独な老人になってしまうという作者の考えが歌われていると思う。(藤井 昭徳)

ひの 火つらやけ

35 人は医者 心もちとふ ふりくすり
疵ぞおかしの 香に匂ひける

【本歌】

人はいさ心も知らず故郷は花ぞ昔の香に匂ひける (紀貫之)

【語釈】

○つらやけ…顔に火傷をしている者。 ○心もち…気分、気持。 ○ふりくすり…振って出す薬という意味の他に、古い薬という意味にもとれる。「ぬる」の間違いかもしれない。 ○おかし…おかしい、変だ、不思議。

【現代語訳】

相手の医者が、気分を聞きながら塗っている薬によって、疵から不思議な匂いがするな。

【補説】

本歌のいさは医者、昔はおかしにもじられている。挿絵では、医者が患者に薬を塗りつけようとしているが、薬が変な匂いがするので、顔をそむけているという治療風景が描かれている。(藤田 勝道)

き 気よはりの 藪薬師

36 くすり箱は また宵ながら あけぬるを
小者いづこに つゐふせるらむ

【本歌】

夏の夜はまだ宵ながら明けぬるを雲のいづくに月やどるらむ (清原深養父)

【語釈】

○気よはり…気弱。 ○藪…田舎の医者。 ○薬師…医者。 ○宵…日が暮れてからまだ間のないとき。また、夕べと夜中の間。 ○小者…身分の低い使用人。 ○つゐ…ちょっと。そのまま。

【現代語訳】

薬箱を開けたときは、まだ日が暮れて間のないのにもかかわらず、私の使用人は、どこで、そのまま寝てしまっているのだろう。

【補説】

百人一首の作者清原深養父から気よはりの藪薬師ときているところが面白い。

また、「雲の」が「小者」、「明け」が「あけ」、「月」が「つゐ」というふうに、重なっている。

絵は気弱な医者が仕事をしているにもかかわらず、その使用人は隣の部屋で寝ている。このように、使用人を見かけない藪薬師の様子が描かれている。(佛圓 和之)

37 しろ^{ふん}粉に 風の吹しく 見せ^{たな}棚は
ちらめきとめぬ 渣^{ごみ}ぞ^{たち}立ける

【本歌】

白露に風の吹きしく秋の野はつらぬきとめぬ玉ぞ散りける（文屋朝康）

【語釈】

○粉屋…穀類の粉の商い、また加工する家またはその人。

○朝ね…朝遅くまで寝ていること。○見せ棚…商品を陳列する台。○ちらめく…ちらちらする、ちらつく。

【現代語訳】

しろい粉が風に吹かれて、陳列台からちらついている様子は、まるでほこりがたっているようだ。

【補説】

白露が風に吹かれて、秋の野に美しく散り乱れている様子を、粉屋で扱うしろい粉がほこりのように散り舞っている様子を置き換えられている。また、朝遅くまで寝ていて帯も締めずに店に現れた主人の様子が名前の通り「粉屋朝ねし」にふさわしいと思われる。（向井 稔）

38 破^{やぶ}らるゝ 身をは^{おも}思はず しめて^くて
ふたのゆもじの おしくも有哉

【本歌】

忘らる身をは思はず誓ひてし人の命の惜しくもあるかな（右近）

【語釈】

○おかん…母。この歌ではおばさんの意。○ゆもじ…女の腰巻。ゆまき。○破らるる…身を許してしまうこと。○しめて…開いている足を閉じること。○ふた…この歌では下着の意。

【現代語訳】

男にゆるしてしまった身体を思わず閉じて思うことは、ふたとなっていた腰巻が惜しまれることだなあ。

【補説】

「人の命」と「ふたのゆもじ」の大きな落差が面白い。絵には足を投げ出して呆然としているおかんの姿。着物はだけ、帯も散乱しており。男の姿はもうない。本歌の精神的な愛をおばさんの肉体的な愛にずらしている。（横山 恭二）

39 朝^{あさ}ゆふに 桧^{ひものし}物士^しのわれ 仕なぶれと
あまりになどか 下^へ手^たのかいしき

【本歌】

浅茅生の小野の篠原忍ぶれどあまりてなどか人の恋しき（参議等）

【語釈】

○ちやんげ…亭主の呼び名の「ちゃん」の意。○朝ゆう…ふだん、朝晩。○桧物士…桧を材料に木工品を作る職人。○仕なぶれど…仕事をする。○かいしき…食器類の下敷き

【現代語訳】

ふだん桧を材料に木工品を作る職人として仕事をしているが、余りにも出来上がった食器類の下敷きが下手だ。

【補説】

本歌の人に対しての恋の気持ちの歌を、職人の仕事の出来の悪さの歌に置き換えられており、本歌の参議という官職と、ちやんげという親夫や亭主の呼び名を掛けている。また本歌での、普段は愛しい気持ちを抑えているが、急に抑えられなくなった気持ちと、ここでの普段は上手く作れるのに、余りにも下手なものができた時の気持ちが重ねられている。（池田 達彦）

40 死^しをみれど 色^{いろ}に出^{いで}にけり 我^{わが}欲^{よく}は
物^{もの}やほしきと 介^{てらのはか}のとふまで

【本歌】

しのぶれど色に出でにけり我が恋は物や思ふと人のとふまで（平兼盛）

【語釈】

○墓もり…墓の番人。墓の掃除、香花の世話をする人。○色…顔色。○介…女性。

【現代語訳】

人の死を見ているけれども、顔に出てしまう私の欲は、物が欲しいのかと女性に問われるほどだ。

【補説】

歌の意味は、「墓の掃除や香花の世話をする墓守の仕事をしているので、人生の儚さを知っているけれども、骨折り賃をもらう際についつい顔に出てしまうその物欲しいさまは、墓参りの女性に見透かされるほどである。」という内容だ。

「恋」を「欲」に、「物や思う」を「物やほしき」に置き換えて、隠そうとしている恋心が顔色に出てしまう初々しく純情な姿を、物欲しげな気持ちが顔に出てしま

う欲深き姿へとずらしている。(大林 珠恵)

みぶのたゝあ
壬生只居

41 悔^{くいて}捨やふ わかげには名^なも 立にけり
人づれにこそ あそびそめしか

【本歌】

恋すてふ我が名はまだき立ちにけり人知れずこそ思ひ初めしか(壬生忠見)

【語釈】

○悔捨…後悔するのをやめる。 ○わかげ…年若い頃のはやり気。また無分別。 ○けり…過去にあった事実を回想する。～た。 ○人づれ…一緒に行く者。仲間。 ○あそびそめしか(遊び初めしか)…遊びはじめた。

【現代語訳】

後悔するのはやめよう。若い頃無分別に遊んで悪名が世間に立ってしまったが、仲間に誘われて遊びはじめてただけだから。

【補 説】

秘めた恋心が世間に広まってしまった男の歌を、悪名が世間でたってしまった男の歌へと転換されている。率先して遊んでいるのではなく、誘われてただそこにいるだけと弁解している男を「壬生只居」という名前で表現している。(吉川 寛子)

ばんじやうわらはのまたすけ
番 匠童 又 介

42 けづりきな かた木^ぎに袖^{そで}を すりこすり
すぐの松^{まつ}の木^き ゆがませじとは

【本歌】

契りきなかたみに袖をしぼりつつ末の松山波越さじとは(清原元輔)

【語釈】

○番匠…一般に大工をいう。番匠童で大工の見習いの子供という意味。 ○かた木…堅い木材のこと。 ○すぐの…まっすぐで曲がっていないこと。

【現代語訳】

削ってきたことですね。堅い木に袖をこすりながら。まっすぐな松の木をゆがますまいと。

【補説】

本歌では切ない恋について歌っている「かたみに袖をしぼりつつ」の部分が「かた木に袖を すりこすり」と変わっているところが面白い。また、木材は針葉樹材と広葉樹材に大別され、一般に針葉樹材のほうが広葉樹材よりも軟らかい木材である。挿絵より、大人の力では簡単に削ることができる松の木でも子供にとっては堅いの

で、一生懸命に削っている姿がうかがえて、面白い。(阪井 梨予)

ごんちうなごん
権中納言あつやみ

43 あびみての 水^{みづ}をは後^{のち}に くらぶれは
昔^{むかし}は手^てあし ほめかざりけり

【本歌】

逢ひ見ての後の心にくらぶれば昔は物を思はざりけり(権中納言敦忠)

【語釈】

○あつやみ…高熱を伴う病気。マラリア・チフスなど。 ○あびみる…あびてみる。 ○ほめく…熱があつてほてること。

【現代語訳】

あびてみた水をあとでくらべてみると昔は手足が熱を持っていなかったなあ。

【補説】

ここでの「昔」の意味は、病気をする前の昔という意味。冷たい水を浴びて冷やしたときの感懐で、敦忠をもじった名の「あつやみ(熱病み)」が効いている。(島田 洋輔)

ちうなごん
中納言あさまし

44 おふものゝ 絶^{たえ}てしなくは 中^{ちう}に
せつく人をもうらみさらし

【本歌】

逢ふことのたえてしなくはなかなか人に身をも恨みざらまし(中納言朝忠)

【語釈】

○あさまし…情けない、嘆かわしい、見苦しい、落ちぶれた、ひどく。 ○おうもの…負う者、借金の意味。 ○せつく…しきりに催促する、急がせる。 ○ざらまし…なかったならば、なかっただろうに。 ○中^{ちう}に…いっそ、かえって。

【現代語訳】

借金が、もし全くないものならば、かえって催促しにくる人を恨んだりすることはなかっただろうに

【補説】

本歌にある恋のつらさと、借金のつらさを置き換えていて、「朝忠」を借金が払えず、奥でみている公家の「あさまし」い様子を置き換えている。絵には、大福帳と金袋を持った商人と公家の用人(武士)が真剣そうに話し

をしていて、主人の公家は、奥で成り行きをみている様子が描かれている。この時代の公家や武士は貧乏らしく、よく商人が金をとりたてにきたらしい。（新宅 亮太）

けんどんこう
慳 貪 公

45 あはれとも いふべき道は しらずして
身の馬鹿づらに 成ぬへきかな

【本歌】

あはれともいふべき人は思ほえて身のいたづらになりぬべきかな（謙徳公）

【語釈】

○慳貪…物惜しみすること。けちで欲深いこと。また、そのさま。思いやりのないこと。邪険なこと。 ○あはれ…人情、浮世の情、また慈悲の心。 ○身…わが身、自分自身。

【現代語訳】

人情や慈悲の心という道を知らないの、このままわが身はきっと馬鹿づらになってしまうことでしょうよ。

【補説】

本歌では冷淡になってしまった女性に未練を持ち、恨み訴えた歌である。それが慈悲の心や人情を知らないけちの歌に変わっている。挿絵より食器や布団を持っている哀れな物乞が慳貪公の所の来て何かを貰おうとしているが、慳貪公が慈悲の心がないがために棒を持って出て行けという格好をしている。この絵で慈悲の心がない人はどれだけけちかという所がうかがえて面白い。（須賀 由起）

すねのゑせたゞ

46 世間をば わたる皆人 中をたえ
道理もしらぬ 我ころかな

【本歌】

由良のとを渡る船人かちをたえ行衛も知らぬ恋のみかな（曾禰好忠）

【語釈】

○すね…拗(す)ねる。すなおに人に従わないで、不平がましい態度をとること。 ○ゑせ…似てはいるが本物ではない、にせものである。 ○道理…物事の正しいすじみち。また、人として行うべき正しい道。 ○たえ…絶える。縁が切れる。交わりがとどえる。

【現代語訳】

世の中で生活している人々と関係をたって、私のころは道理もしらない。

【補説】

すねのゑせたゞのすねとは挿絵のように世間のから関係を絶って、人との交わりをなくしている様子。ゑせたゞとは本歌の曾禰好忠の偽者ということとかけてあり、また曾禰好忠は逸話が多いことでも有名だった。すねのゑせたゞのおかしな行動は曾禰好忠の逸話を真似していることともかけてある。（外山 勇希）

うか ほうし
浮 法師

47 若もの等 しげれるやどの いみじきに
人こそくすめ ういて来にけり

【本歌】

八重葎しげれる宿のさびしきに人こそ見えね秋は来にけり（恵慶法師）

【語釈】

○浮ふ…浮かれる。 ○しげれる…男女がむつまじく情を交わすこと。 ○いみじき…にぎやか、うらやましい。

○くすめ…さえない色を呈す、めだたない存在となる。ここでは気分がさえない様子。

【現代語訳】

若者達が女性とうまくやっている様子がにぎやかでうらやましいので気分がさえないが、（お酒を飲んだり食事をしているうちに）楽しくなり浮かれてきた。

【補説】

本歌の、訪れる人もいない寂しい様子の「恵慶法師」を、絵に示されているように、武家二人と法師二人がお酒や食事をして楽しく浮かれている様子の「浮ふ法師」に置き換えている。（中田 百合子）

みなもとの
源 にげゆき

48 疵を痛み 敵の手なみに をのが身の
きられて物を 思ふ比かな

【本歌】

風をいたみ岩うつ波のをのれのみくだけで物を思ふころかな（源重之）

【語釈】

○手なみ…うでまえ。手腕。技量。 ○をのが身…自分の体。 ○比…時分。ころ。

【現代語訳】

疵が痛く、敵のうでまえにより自分の体が斬られて物思いをするこのごろであることよ。

【補説】

絵から想像してみると、二人が互いに刀を振り回して戦っている。しかし、男は敵のうでまえにより疵を負い、そして男は、敵に背を向けて逃げ出すという光景が想像

できる。本歌では、自分が恋する人への想いで砕けている様子を表し、犬百人一首では、疵を負い痛いから逃げている様子と置き換えられている。(永見 隆志)

49 ^み身かきさすり ^ね寝てのはだかの ^{いた}おなか痛み ^{くすりのむのあそん}薬呑朝臣
^{よる}夜はひえ
^{ひる}昼はほえつゝ ^{よる}物をこそおもへ

【本歌】

御垣守衛士のたく火の夜はもえ昼は消えつゝ物をこそ思へ(大中臣能宜)

【語釈】

○朝臣…平安時代、五位以上の貴族男子の姓または名の下に付けて、敬意を表した語。身分によって付く位置が違い、三位以上には姓の下に付け、名は記さず、四位・五位には名の下に付ける。○かきさすり…かいたりさすったりすること。○ほえる…わめく。○御垣守…宮中の諸門を警備する人。衛士。

【現代語訳】

病人は胸から腹まで着物がはだけた裸の状態で寝床にねころび、体を搔いたりさすったりしているので、夜は寝冷えをし、昼は痛くてわめきつつ、病に思い悩む。

【補説】

本歌では、衛士の焚く篝火をつかって夜は恋しさに胸をこがし、昼は物思いに沈んでいる心をうまく表現している。絵を見てみると、着物がはだけた裸の姿で体を搔いたりさすったりしながら寝床に横になっている朝臣の傍で、看護の小僧が火を熾している。衛士の焚く篝火を小僧が熾している火に置き換え、昼と夜で揺れ動く恋心を夜は寝冷えをし、昼は痛みに苦しみわめく朝臣の状態に置き換えている。(福田 康佑)

50 ^{ものたか}ふりうりの物高
^{りぶん}うらぬ時 ほしからざりし 利分さへ
^{たか}高くもがなと おもひける哉

【本歌】

君がため惜しからざりし命さへ長くもがなと思ひけるかな(藤原義孝)

【語釈】

○ふりうり…荷物をさげ、声をあげながら売り歩くこと。行商人。○物高…勘定高い、けち。○ざり…否定・打消しの意を表す。○利分…利益となる分。利得。もうけ。○もがな…～があるといいなあ。～であるといいなあ。

【現代語訳】

売れない時は、売れるのなら利益がなくてもいいと思うが、いざ売れると(少しでも)高く売れた方がいいなあと思うところだ。

【補説】

本歌では恋が成就するまでは命に換えてでも逢いたいと思っていたが、いざ成就すると長く生きていたいと願うようになった人間の普遍的な心情を歌っている。

絵は、行商人が物を売り歩いている所で、本歌でいう「命」を行商人にとっての「利分」と言い換えているところが勘定高い行商人らしい。(矢野 芳香)

51 ^{きやく}客とだに ^{とのはら}いへばいふ ^{ていしゆ}気の ^{あそん}さしつ ^{こと}事
^{しる}さしも汁たき ^{かげん}もゆる加減を

【本歌】

かくとだにえやはいぶきのさしも草さしも知らじな燃ゆる思ひを(藤原実方朝臣)

【語釈】

○殿原…方々。殿たち。殿様方。○亭主…接待する人。

○朝臣…家来。○だに…～だけでも。○さしも…あれほど。そんなにも。

【現代語訳】

客が来たと聞いただけでも口を出す気で指図をする、そんなにも汁のたく火加減まで見なくてもいいのに。

【補説】

本歌では、恋する思いを技巧を駆使して切なく詠んでいるが、この歌では些細なことにも口を出す主人に対する召使の切ない思いが詠まれている。絵では、左側で包丁を持っているのが亭主である。亭主は客が来たので張り切って料理をしているが、客は奥から亭主が出てこないで、碁を打って暇を潰している。(山根 菜摘)

52 ^{ふじはらのひげ}はへぬれば ^{あそん}ぬくる物とは ^{しりながら}しりながら
^{なが}猶うらめしき ^け長ほう毛かな

【本歌】

明けぬれば暮るるものとは知りながらなほ恨めしき朝ぼらけかな(藤原道信朝臣)

【語釈】

○ぬれ…助動詞『ぬ』の已然形。※已然形・・・確定条件を表す。○ば…「～すると」ある事柄に続いて、次の事柄が起こったことを表す。○ぬくる…抜ける。

○ながら…「～けれども」逆説的に前後をつなぐ意を表す。○なほ…やはり。○かな…「～だなあ」

詠嘆の意を表す。○ほう毛…「蓬髪（ほうはつ）」という言葉に髭に置き換えて使うため、「ほう毛」にしたと思われる。長く伸びて乱れた髭。

【現代語訳】

髭が生えたと、抜けるとは知っているけれども、やはり恨めしい長い髭だなあ。

【補説】

作者の名が「藤原髭のぶ朝臣」であることから、男は「髭が伸びる」ことが分かる。

絵を見ると、腰に刀、手に“天下一”と書かれた鏡を持った武士らしき男がいる。男は、鏡で自分の顔を見ながら髭を撫で、いぶかしい表情をしている。髭が長く、乱れているので、邪魔なら抜けば良いのだが、それでは武士としての威厳が損なわれるので、どうしようかと悩んでいる。

本歌では男女の別れが恨めしいと歌っているが、犬百人一首では髭が伸びて恨めしいとしている。（石井はる香）

うた　　みちのものゝは
哥うたひ道者母

53　なくれつゝ　ひとり　よ　ぬる夜の　あくる日は
いかに　き　気のせく　物にかはあらふ

【本歌】

歎きつつひとり寝る夜の明くる間はいかに久しきものとかは知る（右大将道綱母）

【語釈】

○哥うたひ…歌うたうことを専門としていること。○道者…遊女のこと。○なくれ…売れ残り。（仕事がなかったため、お金が入らなかった。）○あくる日…翌朝。○いかに…どんなに。さぞかし。どれほど。○気のせく…気が焦ること。○かは…係助詞「か」に係助詞「は」の付いたもの。疑問の助詞。

【現代語訳】

遊女に客がつかず、一人で寝た夜の翌朝は、どんなに気が焦るものだろうか。

【補説】

左側の女は昨夜売れ残った遊女で、右側の女は昨夜売れ残った遊女の母である。遊女が一人で寝て起きたところ母親が焦ってこの歌をうたった。

母親は遊女の収入で生きていていると思われるので母親の方が焦っている様子が伺える。（惣郷　怜子）

あだうさんちのば
医道三知祖母

54　^{ほんふく}本腹の　やまひの^{すゑ}末は　かたければ　^{いのち}命ともがな
灸をかぎりの

【本歌】

忘れじの行く末まではかたければ今日を限りの命ともがな（儀同三司母）

【語釈】

○医道…医の道・医術。○三知…道を知るについての三つのあり方。生まれながらに知る者（全知）・学んで知る者（学知）・苦しんではじめて知る者（困知）○本腹…気分がなおること・病気がすっかり良くなること・全快・全癒。○すゑ…未来。将来。ゆくすゑ。○かたければ…むずかしいので。「ば」は未然接続詞一原因・理由を表す。○灸…漢方療法の一つ。つばなどの上にもぐさを置いて燃やし、温熱刺激をあたえ、治療効果を得るもの。○かぎり…物事の行きつく上限。最上。きわみ。○ともがな…「と」（引用の格助詞）と「もがな」（願望の終助詞）が合わさった。

【現代語訳】

病気のゆくすゑの完治は難しいので、お灸を最上のものとする命であるなあ。

【補説】

医道三知祖母とは医道三知という苗字の祖母のことを示している。

いくら医者 of 祖母であっても、難しい病気の最後には灸を頼ってしまうという意味。

絵を見ると、女性が祖母であり、男性は本文には出ていないが話の聞き役である。祖母からお灸に頼っていると聞いていると愚痴を聞いているところである。（中西麻美）

だいじやうごきんざう
大上戸金蔵

55　^{たきのみ}瀧呑は　たべて久しく　なりぬれと
酒そ^{さけ}流れて　名はきこえける

【本歌】

滝の音は絶て久しくなりぬれど名こそ流れてなほ聞こえけれ（大納言公任）

【語釈】

○上戸…酒の好きな人。また、酒が好きでたくさん飲む人。○瀧呑…一気に酒などを飲むこと。○たべて…飲む。食べる。○ぬれ…完了の助動詞「ぬ」の已然形。○ける…助動詞「けり」の連体形。

【現代語訳】

瀧呑をしてからずいぶん経っているが、酒豪の名が流れ

て有名になった。

【補説】

絵を見ると、ちろり（酒を短時間で暖める道具）から、酒を口に一気に流し込む瀧呑をしている男がいる。過去に、瀧呑をしてからずいぶん経っていても、周囲が瀧呑を求めはやし立てるので、瀧呑をしなければならない立場になってしまった金蔵の気持ちが歌われている。もじり名が大上戸というだけあって、金蔵はかなりの酒豪で名が通っていることが分かる。

本歌では、瀧の音の名高い評判が流れ伝わっていることを歌っているが、犬百人一首では、酒豪の評判が流れ伝わっていると置き換えている。（山崎 鮎美）

体格・体力及び生活習慣からみた本校男子学生の特色

－ 本校5年生と大学生の比較 －

(一般科目) 佐賀野健, 谷岡憲三

(非常勤講師) 渡邊英幸

(A I C J 中学・高等学校) 高津浩平

The Features of Male Kure College Students from the Standpoint of Physique, Physical Fitness and Lifestyle

－ Based on comparison with those of university students －

(Department of General Education) Takeshi SAGANO and Kensou TANIOKA

(Part-time) Hideyuki WATANABE

(AICJ Junior and Senior High School) Kohei TAKATSU

Abstract

The purpose of this study was to analyze the feature in physique, physical fitness and lifestyle of male students at our college. Physical fitness and the investigation of their lifestyles were measured using "The New Physical Fitness Test" developed by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. The values of height, body weight and sitting height of our students were similar to those of the national average of university students. The records of sitting trunk flexion, side steps, endurance run (20m shuttle run), 50m run and the total score of "The New Physical Fitness Test" of our students were significantly higher. The rate of under six hours' sleep and not eating the breakfast among our students were also higher, too.

Key Words : the new physical fitness test, physique, physical fitness, lifestyle

新体力テスト, 体格, 体力, 生活習慣

§1 はじめに

文部科学省では、国民の体力や運動能力の現状を明らかにし、その結果を国民の健康・体力づくりに役立てることを目的として、「体力・運動能力調査」を昭和39年度(1964年度)より毎年実施している⁷⁾。本校においても、年度始めにはスポーツテスト(1998年度までは体力診断テスト7項目

と運動能力テスト4項目であったが、1999年度からは現行の新体力テスト8項目に変更されている)や身体計測を実施し、学生の体格や体力・運動能力について継続的に調査し、その結果を保健・体育の授業やクラブ指導に役立てている。近年、青少年の体力低下や運動不足が叫ばれており、その解決策としては各自に自分自身の体力や健康について意識さ

せる必要がある。そして、その資料となる新体力テストや生活習慣調査を継続的に実施していくことは重要なことであると考えられる。

これまでスポーツテストや新体力テストに関する調査・研究報告は数多くなされている^{2) 3) 5) 8) 9)}。我々もスポーツテストや新体力テストに関して研究報告を行ってきている^{1) 4) 10) 11)}。また、3年おきに文部科学省に、そのスポーツテストデータと生活習慣調査を報告している。平成17年度は、本校の男子18歳20名、男子19歳20名のデータを報告する年であった。

本研究では平成17年度に5年生であった男子学生の体格、新体力テストおよび生活習慣アンケートのデータを、同年齢である4年制大学2年生のデータと比較・検討することにより、本校男子5年生の体格や体力、生活習慣の特色を明らかにする。そして、その結果を今後の生活習慣の指導や体育授業、クラブ活動に役立てることを目的とする。

§2 方法

2.1 対象

対象は平成17年度に5年生であった男子学生で、新体力テストの記録に不備のなかった110名であった。対象者は毎年実施される本校の定期健康診断を受診したが、異常所見はみられなかった。なお、医師から運動を禁止されている学生、女子学生は対象から除外した。

2.2 測定項目

体格は身長および体重の項目を、TANITA製の自動身長計付き体内脂肪計TBF-202を用いて、体育の授業中に測定した。また、座高については、保健室で実施する身体計測のデータを用いた。

体力測定は、文部科学省の新体力テスト実施要項⁶⁾に基づいて、8項目(握力、上体起こし、長座体前屈、反復横跳び、持久走、50m走、立ち幅跳び、ハンドボール投げ)の測定を行った。この中で、持久走は20mシャトルランを全対象者で統一し選択した。

また、文部科学省に報告する記録用紙に付随している生活習慣アンケート6項目について、アンケート調査を行った。アンケートの調査方法は集合調査法で実施し、対象者が自分

で質問を読んで記入する自由速度法を用いた。項目は表1の通りである。

測定は平成17年4～5月にかけて、体育の授業中に実施した。本校の場合、5年生の体育の授業は週1時間(実質は50分)であるため、その1時間だけで全測定項目を実施することはできない。このため、測定は3～4週間にわたって行われた。なお、実施にあたり、対象学生には新体力テストの実施・測定方法に関して十分な説明を行い、事故の防止には留意した。

表1 生活習慣アンケート項目

①運動部や地域スポーツクラブへの所属状況			
1. 所属している 2. 所属していない			
②運動・スポーツの実施状況(学校の体育の授業を除く)			
1. ほとんど毎日(週3日以上) 2. ときどき(週1～2日程度)			
3. ときたま(月1～3日程度) 4. しない			
③1日の運動・スポーツ実施時間(学校の体育の授業を除く)			
1. 30分未満 2. 30分以上1時間未満			
3. 1時間以上2時間未満 4. 2時間以上			
④朝食の有無			
1. 毎日食べる 2. 時々欠かす 3. 全く食べない			
⑤1日の睡眠時間			
1. 6時間未満 2. 6時間以上8時間未満 3. 8時間以上			
⑥1日のテレビ(テレビゲームを含む)視聴時間			
1. 1時間未満 2. 1時間以上2時間未満			
3. 2時間以上3時間未満 4. 3時間以上			

§3 結果および考察

3.1 体格について

体格を表す身長、体重、座高のデータ(平均±標準偏差)を表2に示した。

表2 体格の比較

	呉高専 (n = 110)	大学2年生 (n = 585)	有意差
身長(cm)	170.7±5.2	171.7±5.6	なし
体重(kg)	63.9±8.8	63.2±8.3	なし
座高(cm)	91.6±2.8	91.3±3.5	なし

身長では全国平均に比べて、平均で1.0cm 呉高専の学生の

方が低かったが、有意な差はみられなかった。体重については全国平均に比べて0.7kg 呉高専の方が高かったが、有意な差はみられなかった。座高についても全国平均に比べて0.3cm 呉高専の方が高かったが、有意な差はみられなかった。以上をみてみると、呉高専の5年生は全国の大学2年生と体格的にはほぼ同様であることがわかった。

3.2 体力について

表3は新体力テストの全測定項目について、呉高専と全国平均値との比較を示したものである。握力は全身各部の筋力と相関が高いとされ、筋力を測定するものである。上体起こしは体幹部・股間部の筋持久力、すなわち腹筋の持久力を測定するものである。長座体前屈は、柔軟性を測定するものである。反復横跳びは、敏捷性（身体の移動や運動方向を素早く変える能力）を測定するものである。20mシャトルランは全身持久力を測定するものである。新体力テストには、この運動能力を測定するテストが2種類あり、20mシャトルランの他に、1500m走がある。本校では、平成11年度（1999年度）の新体力テスト導入時から20mシャトルランを実施している。50m走は全身のスピードを測定するものである。立ち幅跳びは脚筋力と筋パワー（瞬発力）を測定するものである。ハンドボール投げは全身の巧緻性（動作を目的にあわせて、巧みに行う能力）と筋パワーを測定するものである。

表3 体力の比較

	呉高専 (n=110)	大学2年生 (n=585)	有意差
握力(kg)	45.0±5.8	45.0±6.6	なし
上体おこし(回)	30.1±4.8	29.9±5.8	なし
長座体前屈(cm)	53.6±8.3	49.3±9.8	**
反復横跳び(点)	57.4±5.5	55.6±7.0	**
20mシャトルラン(折り返し数)	87.8±23.5	81.4±21.9	**
50m走(秒)	7.3±0.4	7.5±0.5	**
立ち幅跳び(cm)	227.9±17.6	231.0±21.8	なし
ハンドボール投げ(m)	26.6±4.6	26.9±5.5	なし
合計点(点)	56.4±7.5	54.1±9.0	**

**P<0.01

本校と大学生を比較してみると、長座体前屈、反復横跳び、20mシャトルラン、50m走、合計点において、本校の

学生が有意に高い記録を示した。その他の測定項目については、ほぼ同じような記録であった。

保健体育のカリキュラムは各高専や大学で異なっているが、本校では第1・2学年でそれぞれ体育2時間、保健1時間、第3学年で体育2時間、第4・5学年でそれぞれ体育1時間、計10時間の保健体育カリキュラムとなっている。大学においては1年次に選択あるいは必修の体育実技の授業が開講されているところが多い。しかし、大学2年生については授業が開講されているところが少ないと考えられる。本校では大学2年生にあたる5年生においても週1時間の体育の授業が確保されている。また、5年間の一貫教育において継続的に運動時間を確保していることが、本校の記録が高かった要因であると考えられる。体力の維持・向上のためには、本校カリキュラム程度の保健体育の時間数は必要であろう。

3.3 生活習慣について

生活習慣については、文部科学省に報告する記録用紙に付随している生活習慣6項目について、アンケート調査を行った。

図1は運動部やスポーツクラブへの所属状況を示している。本校は57.8%、大学生は43.0%が何らかの運動部やスポーツクラブに所属していた。

図2は運動・スポーツの実施状況を示している。これは体育の時間を除いたものである。ほとんど毎日実施している割合は、本校（19.2%）よりも大学生（25.8%）の方が高かった。高専の場合、5年生は編入学試験の勉強や就職活動などがあり、この点は大学2年生とは環境が違っている。この点は、運動の機会を体育の授業で補う必要がある。

図3は1日の運動・スポーツ実施時間を示している。これも体育の時間を除いている。本校（48.9%）、大学生（47.1%）とも30分未満の割合がいちばん高く、その他の割合についてもほぼ同じような傾向を示していた。

図4は朝食の有無を示している。毎日食べると答えたのは本校（48.9%）よりも大学生（58.1%）の方が高かった。また、全く食べないと答えた割合は、本校の方が高く、この点については改善する必要がある。

図5は1日の睡眠時間を示している。6時間未満の割合

は本校が50.5%で、大学が36.2%であり、本校の方が高かった。この睡眠時間の違いが朝食を摂らない原因になっているのかもしれない。

図6は1日のテレビ(テレビゲームを含む)視聴時間を示している。1時間未満の割合は本校が38.7%で、大学が30.5%であり、本校の方が高かった。1時間以上2時間未満と答えた割合は、本校が24.7%で、大学が30.2%であり、大学の方が高かった。その他については、ほぼ同じような割合であった。

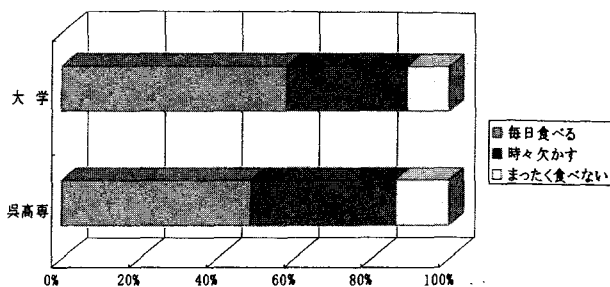


図4 朝食の有無

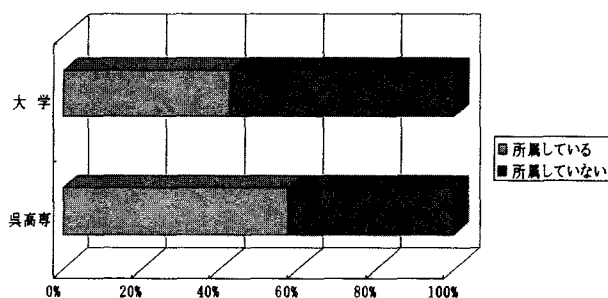


図1 運動部やスポーツクラブへの所属状況

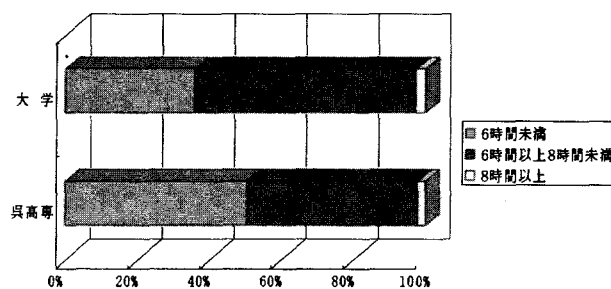


図5 1日の睡眠時間

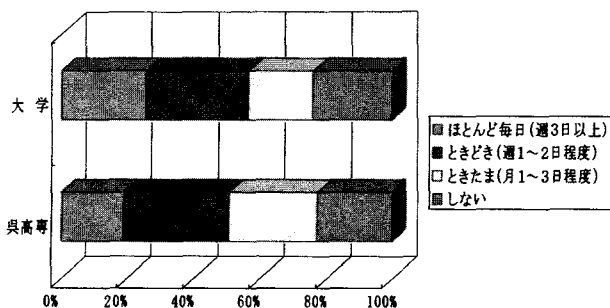


図2 運動・スポーツの実施状況

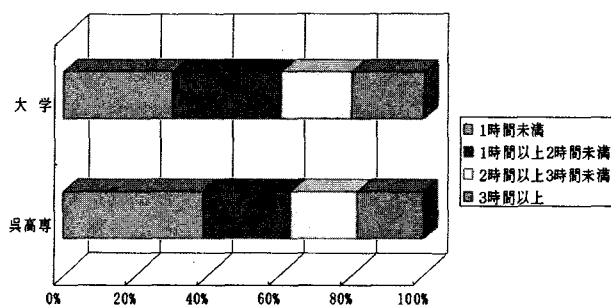


図6 1日のテレビ(テレビゲームを含む)視聴時間

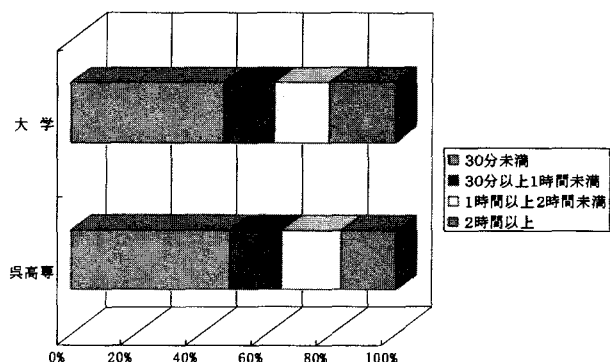


図3 1日の運動・スポーツ実施時間

§4 まとめ

本研究では平成17年度に5年生であった男子学生の体格、新体力テストおよび生活習慣アンケートのデータを、同年齢である4年制大学2年生のデータと比較・検討した。そして、本校男子5年生の体格や体力、生活習慣の特色を明らかにし、今後の生活習慣の指導や体育授業、クラブ活動に役立てることを目的とした。本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

本校の体格(身長、体重、座高)は、大学生とほぼ同様の値であった。新体力テストでは、長座体前屈、反復横跳び、

20mシャトルラン, 50m走, 合計点において, 本校の学生が有意に高い記録を示した。5年間の一貫教育において継続的に運動時間を確保していることが, 本校の記録が高かった要因であると考えられた。生活習慣については, 大学生に比べて睡眠時間が6時間未満の割合と朝食を食べていない割合が高い現状が明らかになった。睡眠時間が短いことが, 朝食を摂らない原因になっているのかもしれない。この点については早急に改善する必要がある。

今後も引き続きこのようなデータを分析するとともに, 本校学生の体力の維持・向上及び生活習慣について検討していきたい。

参考文献

- 1) 榎孝雄, 石嶋篤司, 本校学生のスポーツテストに関する調査研究 (第4報), 呉工業高等専門学校研究報告, 第51号, 19-49, 1993.
- 2) 石尾潤, 中村貢治, 中山克彦, 本校学生のスポーツテストに関する調査研究 (平成6年度男子学生), 宇部工業高等専門学校研究報告, 第43号, 221-225, 1997.
- 3) 伊藤義和, 伊藤道郎, 高津浩彰, 藤本已由紀, 豊田工業高等専門学校における新スポーツテストの検証, 豊田工業高等専門学校紀要, 第32号, 225-230, 1999.
- 4) 岩井一師, 谷岡憲三, 佐賀野健, 長谷川善輝, 本校男子学生における運動習慣と体力レベルに関する研究 ―自宅生と寮生の比較―, 呉工業高等専門学校研究報告, 第65号, 11-18, 2003.
- 5) 桑原伸弘, 生活習慣と高専生の身体及び体力の発達について, 論文集「高専教育」, 第26号, 561-566, 2003.
- 6) 文部科学省スポーツ・青少年局, 平成16年度 体力・運動能力調査報告書, 2005.
- 7) 文部省体育局生涯スポーツ課, 「新体力テスト」作成の経緯, Sports & HEALTH, Vol.31, No.12, 38-52, 1999.
- 8) 小川広, 新体力テストにみる本校学生の特色 ―新テスト導入時における他高専との比較―, 論文集「高専教育」, 第28号, 547-552, 2005.
- 9) 小野伸一郎, 田中美奈子, 太田正勝, 坂根陽子, 生活及び運動・スポーツ習慣が高専男子学生の体力に及ぼす影響について, 論文集「高専教育」, 第24号, 223-228, 2001.
- 10) 佐賀野健, 谷岡憲三, 渡邊英幸, 高津浩平, 岩井一師, 本校男子学生における体格・体力の変動, 呉工業高等専門学校研究報告, 第68号, 29-34, 2006.
- 11) 谷岡憲三, 佐賀野健, 田村恵司, 幸田三広, 長谷川善輝, 本校学生の体力レベルと生活習慣に関する調査研究 ―新体力テストの導入元年―, 呉工業高等専門学校研究報告, 第62号, 7-21, 2000.

CALL を活用したシャドーイングの実践

(一般科目) 江口 誠

The Practice of Shadowing Using CALL System

(Department of General Education) Makoto EGUCHI

Abstract

There is a growing awareness of the so-called “Shadowing” among English teachers in Japan. “Shadowing” is now believed to be one of the most effective and pragmatic methods to improve learners’ English speaking ability. This paper reports an attempt to improve the third-year students’ English proficiency by means of “Shadowing Method” using CALL system. The results shows that the method helped some of them improve their shadowing skills; however, there still remained a question why it did not help the others. Therefore, in this paper, its possible causes are to be analyzed.

Key Words: shadowing, CALL system, TOEIC® test

シャドーイング, CALL システム, TOEIC®テスト

§ 1 はじめに

1.1 研究目的

今日の技術者には、科学的知識と同様に高い英語力が求められている。呉工業高等専門学校においても、4 学科全ての教育目標に語学力の定着が明記されており、その重要性については疑う余地はない。

しかしながら、在学生からの授業アンケートや卒業生による評価アンケート等から判断すると、現代の学生が語学関連授業に求めているものは、コミュニケーション能力の向上である。しかも、英会話を積極的に取り入れたスピーキング練習中心の授業を望む声が多い。このような学生の要望に応えるには、いわゆる英会話中心の授業内容を数多く導入することであろうが、定員 40 名のクラスサイズを変更せずに効果的に学生のコミュニケーション能力を向上させることは大変困難であろう。とは言うもの、従来のいわゆる一斉授業型の授業形態を改善して、学習の動機付けを重視した教育が必要であることも否定できない。

そこで筆者は、「シャドーイング (shadowing)」と呼ばれるスピーキング訓練方法を平成 18 年度に 3 学年の授業に取り入れ、その際に CALL (Computer-Aided Language Learning) を活用した授業を展開した。因みにシャドーイングとは、「聞こえてくる音声を、遅れないように、できるだけ即座に声に出して繰り返しながら、そっとなついていく」訓練方法である (門田・玉井 16)。この訓練法を授業に導入することで、主に受講学生のコミュニケーション能力を向上させることを目指した。また、3 学年のほぼ全員が平成 18 年

10 月に本校にて実施された TOEIC Bridge® IP テスト (IP は Institutional Program の意) を受験しており、学生の英語コミュニケーション能力を測る客観的なデータが入手できた。よって拙論では、シャドーイング能力を測るためのテストと受講学生の TOEIC Bridge® スコア及び授業で得たその他のデータを比較・分析し、さらには授業の最後に行ったシャドーイングに関するアンケート結果を参考にすることで、授業におけるシャドーイング実践の意義とその効果について考察する。

1.2 呉高専における CALL 授業

本校では、現在 1 学年から 3 学年において週 1 時間ずつマルチメディア教室 (以下 MM 教室) で授業が行われるようになっている。1 学年及び 2 学年では週 4 時間の「総合英語 I」の内 1 時間分が、また 3 学年では週 1 時間の「オーラルコミュニケーション I」がそれに充てられている。この MM 教室は、学習者用のパソコン 48 台による CALL システムが設置された教室であり、本校では平成 15 年 3 月に導入され、現状 (平成 19 年度前期) では専攻科の授業を含めて週 21 時間 MM 教室を利用している。

CALL を使用した典型的な授業は、リスニングに特化した教材を用いたリスニング演習、またはホームルームでの授業で使用しているリーディング教材を活用した演習が基本となっている。また、平成 16 年 3 月に e-learning 教材である ALC NetAcademy® (「初級・中級者のための TOEIC® テストスコアアップコース」及び「英文法コース」の 2 コース) が導入されたことで、これらを活用した授業も 3 学

年以上のクラスで行われているが、いずれにせよ、本校のCALL 授業では、学生一人一人の能力や速度に応じたリスニング演習が基本となっている。但し、平成 19 年度からは、ハワイ大学マウイ校 (Maui Community College) との間で、Skype™ (スカイプ) のビデオ会議機能を活用した国際交流授業が開始された。

1.3 CALL の利用方法

その際に用いられるのは「ソフトレコーダ」と呼ばれるCALL 用のソフトウェアであり、従来のカセットテープやMD 等に代えて電子的に音声を記録するものである(図 1 参照)。因みに図 1 上部の波形は教師卓より配布(または一斉録音)したモデル音声であり、下部の波形は学習者自身が録音した音声である。バランスを調整することでモデル音声と学習者の音声の切り替えが、またスピードコントロールを調整することで-50%~+200%の範囲での話速変換が可能となっている。この「ソフトレコーダ」の導入により、学生はカセットテープ等の記録用媒体を毎回授業に持参する必要がなくなった。

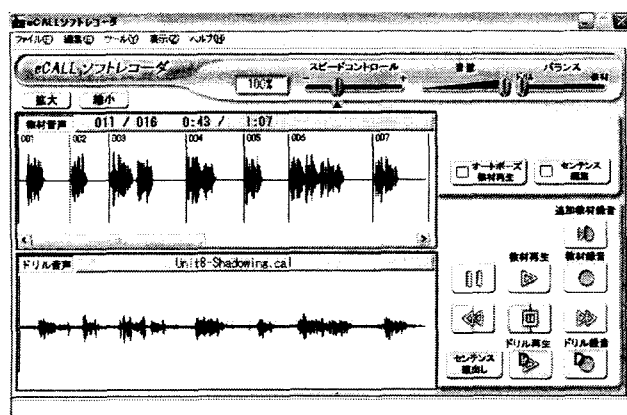


Fig. 1 Operation screen of Softrecorder

「ソフトレコーダ」の利用はそのほとんどがリスニング演習に限定されており、本校では教材等の再生以外に利用される機会は少なかったと言える。しかしながら、このソフトウェアにはドリル録音機能、つまり学生の発話内容を録音する機能が搭載されている。そこで今回の試みでは、この録音機能を利用してシャドーイング訓練及びシャドーイングテストを実施することにした。

§ 2 方法

2.1 「オーラルコミュニケーション I」の概要

シャドーイングを実際に取り入れたのは、平成 18 年度 3 学年の機械工学科 (M 科)、電気情報工学科 (E 科) 及び環境都市工学科 (C 科) で実施している「オーラルコミュニケーション I」の授業 (週 1 時間・1 単位・通年) である。

対象の学生は、M 科 43 名、E 科 46 名、C 科 43 名の合計 132 名で、採用したテキストは、マクミラン・ランゲージハウスの『Campus Encounters』である。本テキストは、日本人学生のアメリカへの留学をテーマとした DVD ビデオ教材であり、各ユニットにシャドーイング用素材が準備されているため採用した。出版社によれば本テキストは 5 段階のうち 2~3 程度 (昇順に難易度が高い) の難易度とされているが、いわゆる“natural English” (「自然な英語」) に慣れていない大部分の学生には少々難易度が高かったようである。

標準的な授業の流れは以下の通りである。但し、時間の制約上、1 ユニットの 2 回分の授業で扱うこととした。

【前半】

1. 日常会話をまとめた会話文例集『起きてから寝るまで口慣らし練習帳』(アルク) から出題する小テストの実施 (PowerPoint®によるリスニング・リーディング問題)
2. ウォーム・アップとして各ユニットで使用するキーワードの導入・発声練習
3. DVD 教材に収録されているスキット (会話) の概要把握及びアナライザ (学習者個々が各ブースの卓上に設置されたボタンを押して選択問題に答える機能) を使用した問題演習・解答
4. スキットのトランスクリプト (会話を文字化したもの) の配布及び解説 (PowerPoint®使用)

【後半】

1. 会話文例集から出題する小テストの実施 (PowerPoint®によるリスニング・リーディング問題)
2. Summary (要約) を利用した選択問題演習 (アナライザ使用)
3. Summary を用いたシャドーイング練習 (ソフトレコーダ使用)
4. DVD 教材に収録されているインタビュー内容を用いたリスニング演習 (ソフトレコーダ使用)
5. アメリカ文化に関するリーディング教材の解説 (PowerPoint®使用)

最終的に、テキストに収録されている全 12 ユニットのうち、8 ユニットまで終了した。

2.2 シャドーイング練習

実際のシャドーイングの練習方法については様々であるが、授業では時間を区切って以下の順序で練習を行わせた：

1. リスニング——テキストを見ずにシャドーイング用の音声素材を聞く

2. マンブリング——テキストを見ずに mumble (=つぶやく) ように発音する
3. シンクロ・リーディング——テキストを見て音声とドジに発音しつつ、素材内容の意味を把握する
4. シャドーイング——テキストを見ずに聞こえてくる音声の後につけて発音する

また、シャドーイングの際には、発話内容を録音してモデル音声と比較するように指導した。これは、本人はモデル音声と同じように発話出来ていると思い込んでいる場合が多く、実際にはそうではないことを学生に認識させるためである。

2.3 分析方法

実際に分析を行う対象は、「オーラルコミュニケーション I」を受講した全 132 名のうち、平成 18 年 10 月 2 日に本校で実施した TOEIC Bridge® IP テスト及び 2 回のシャドーイングテストの全てを受験した M 科 40 名、E 科 43 名そして C 科 43 名の計 126 名である。

また、分析の資料となるのは、上記 TOEIC Bridge® IP テスト、平成 18 年 10 月上旬に実施した第 1 回目のシャドーイングテスト（各クラスで素材が異なるテストで、M 科、E 科、C 科のものをそれぞれ Test A、Test B、Test C とする）及び平成 19 年 1 月上旬に実施した第 2 回目のシャドーイングテスト（全クラスで素材が同一であり、これを Test D とする）である。シャドーイングテストの詳細については Appendix A～D を参照されたい。

シャドーイングテストの採点方法については、全学生が録音した内容を著者が検査することによって確認出来た発話「語数」をカウントし、その割合を発話率として表す方法をとった。理想的には、語数ではなく発話出来た「音節数」をカウントするべきであろうが、採点が煩雑になるため今回は採用しなかった。

§ 3 分析結果

3.1 TOEIC Bridge® IP テストとシャドーイングテスト

平成 18 年 10 月に実施した本校実施の TOEIC Bridge® IP テスト（リスニング・リーディング各 90 点の計 180 点満点）の結果を Table 1 に、さらに 2 回にわたるシャドーイングテスト（発話率を 100 点満点に換算）の結果を Table 2 に示す。

Table 1 TOEIC Bridge® IP Scores for the participants

項目	人数	平均	標準偏差	最高	最低
合計	126	117.8	16.0	148	74
リスニング	126	58.5	8.8	78	36
リーディング	126	59.3	8.8	76	30

Table 2 Shadowing Test Scores for the participants

項目	人数	平均	標準偏差	最高	最低
M3					
Test A	40	70.0	19.1	100.0	25.5
Test D	40	67.6	15.1	99.2	39.2
E3					
Test B	43	44.8	17.0	86.4	10.4
Test D	43	65.7	16.6	95.2	26.4
C3					
Test C	43	67.2	18.0	100.0	14.6
Test D	43	63.5	15.8	89.6	16.0
M3E3C3					
Test D	126	65.6	15.8	99.2	16.0

また、参考までに Table 1 及び Table 2 の度数分布をそれぞれ Fig. 2 及び Fig. 3 に示す。但し、Fig. 3 は全クラス同一のテスト内容で実施した第 2 回目のシャドーイングテストのものである。

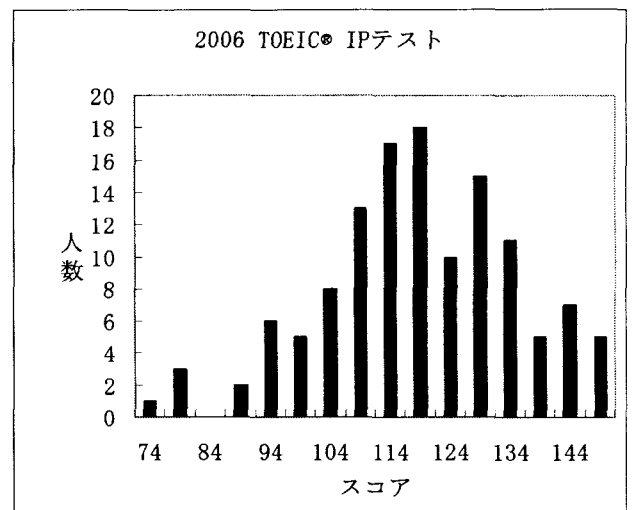


Fig. 2 Frequency distribution graph for the participants

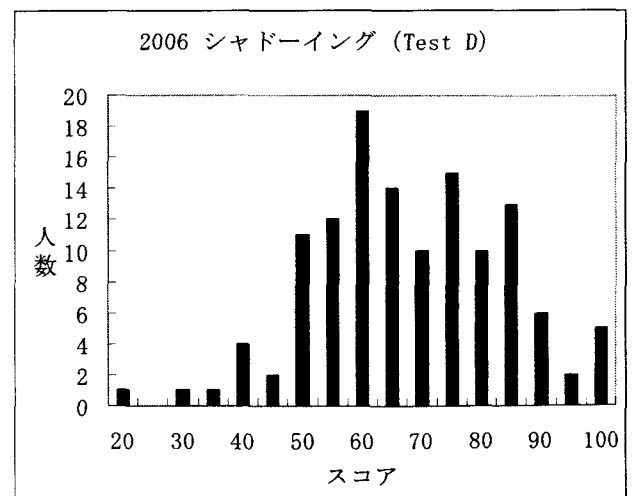


Fig. 3 Frequency distribution graph for the participants

大雑把な見方ではあるが、どちらとも標準偏差値が 16 程度であり、ほぼ同様の正規分布であると判断した。

因みに、Fig. 2 及び Fig. 3 では 3 クラスの標本集団を実力の差がない同一の母集団と見なしているが、その根拠は以下の通りである。まず TOEIC Bridge® IP テストの結果について、学級間における平均点 (M3, E3, C3 それぞれ 116.7, 116.5, 120.0) の差を分散分析により検討した。その結果、 $F(2,123)=3.07$, $p=.51$ であり、クラス間における平均値の差は有意ではなかった。さらに、第 2 回目のシャドーイングテスト (Test D) の結果についても、3 クラスの平均点 (M3, E3, C3 それぞれ 67.6, 65.7, 63.5) の差を分散分析により検討した結果、 $F(2,123)=3.07$, $p=.49$ であり、同様に有意ではなかった。以上の結果により、3 クラスを実力の差がない同一の母集団と結論づけた。

次に、TOEIC Bridge® IP テストスコアとシャドーイングテストスコアについて、TOEIC トータルスコア、TOEIC リスニングスコア、TOEIC リーディングスコア、2 回のシャドーイングテストそれぞれの関係を検討するために、相関係数を求めた。但し、第 1 回目のシャドーイングテストについては、クラスによってテスト内容が異なるため、クラス別に相関係数を求めた。その結果は、Table 3 の通りになった。

Table 3 Correlations between the TOEIC Bridge® IP Test scores and the Shadowing test scores

M3 E3 C3	T/T	T/L	T/R	T/D
TOEICトータル (T/T)	1.00			
TOEICリスニング (T/L)	.91	1.00		
TOEICリーディング (T/R)	.91	.66	1.00	
Test D (T/D)	.44	.43	.38	1.00

M3	T/T	T/L	T/R	T/A
TOEICトータル (T/T)	1.00			
TOEICリスニング (T/L)	.94	1.00		
TOEICリーディング (T/R)	.94	.76	1.00	
Test A (T/A)	.36	.33	.35	1.00

E3	T/T	T/L	T/R	T/B
TOEICトータル (T/T)	1.00			
TOEICリスニング (T/L)	.91	1.00		
TOEICリーディング (T/R)	.91	.65	1.00	
Test B (T/B)	.28	.29	.22	1.00

C3	T/T	T/L	T/R	T/C
TOEICトータル (T/T)	1.00			
TOEICリスニング (T/L)	.88	1.00		
TOEICリーディング (T/R)	.88	.55	1.00	
Test C (T/C)	.55	.53	.43	1.00

ストはほぼ同時期の実施であり、コミュニケーション能力を測る TOEIC Bridge® のリスニングテストスコアとシャドーイングテストスコアに何らかの相関があるのではないかと予想した。結果は、M3 の T/L と T/A の相関係数は $r=.33$ であり、E3 の T/L と T/B の相関係数は $r=.29$, C3 の T/L と T/C の相関係数は $r=.53$ であった。E3 のそれについては相対的に低い数値が得られているものの、それぞれのクラスサイズが 40 名程度であることを鑑み、有意であると判断した。

TOEIC Bridge® のリスニングスコアと第 2 回目のシャドーイングテストの相関については、 $r=.43$ という数値が得られており、第 1 回目との相関と比較してもさらに有意であると考えられる。

よって、TOEIC Bridge® で測られたリスニング能力と 2 回のシャドーイングテストには相関が認められたのである。つまり、シャドーイング能力の向上によってコミュニケーション能力が向上する可能性があることが分かった。

3.2 シャドーイング練習の効果

上記の検討により、TOEIC Bridge® IP テストスコアとシャドーイングテストスコアには相関関係があると結論づけた。そこで、シャドーイングの導入がどれほど効果的であったのかを検討する。

3 クラスそれぞれの 2 回のシャドーイングテストについて、第 1 回目と第 2 回目における平均点の差を、有意水準 5% で「繰り返しあり」の t 検定により検討した。その結果、M 科と C 科についてはそれぞれ $t(39)=0.93$, $p=.36$ そして $t(42)=1.90$, $p=.06$ であり、これらの平均値の差は有意ではなかった。しかし E 科については、 $t(42)=-0.93$, $p=.214^{11}$ であり、有意であると認められた。

以上のことから、M3 及び C3 については 2 回のシャドーイングテストスコア間に変化が認められなかったが、E3 については平均値の増加が有意であると認められたため、このクラスに限ってはシャドーイング練習に一定の効果があったと考えられる。

3.3 学習者アンケート

3.3.1 アンケート結果の分析

E3 とその他のクラスのスコア差をもたらした要因を、第 2 回シャドーイングテスト後の平成 19 年 1 月末に実施した学習者アンケートの集計結果から探ってみた (アンケートの設問内容とその結果については、Appendix E を参照のこと)。E3 とその他のクラス間のテスト勉強時間、シャドーイング教材の理解度、教材の暗記率という 3 つのカテゴリーの頻度及び度数は Table 4 の通りであった。

Table 4 Results of the questionnaire

練習時間						
	ほぼなし	15分程度	30分程度	0.5～1時間	1時間以上	計
M科	2	5	4	11	18	40
E科	2	5	5	8	17	37
計	4	10	9	19	35	77

	ほぼなし	15分程度	30分程度	0.5～1時間	1時間以上	計
C科	5	4	9	9	13	40
E科	2	5	5	8	17	37
計	7	9	14	17	30	77

理解度						
	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	計
M科	7	14	7	9	3	40
E科	4	9	10	11	3	37
計	11	23	17	20	6	77

	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	計
C科	3	7	9	15	6	40
E科	4	9	10	11	3	37
計	7	16	19	26	9	77

暗記率						
	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	計
M科	11	12	7	5	5	40
E科	5	16	7	7	2	37
計	16	28	14	12	7	77

	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	計
C科	1	16	13	7	3	40
E科	5	16	7	7	2	37
計	6	32	20	14	5	77

また、これらの差をボンフェローニの方法による x^2 二乗(カイ 2 乗) 検定により検討した。その結果、練習時間については M3 と E3 については $x^2(4, N=77)=0.50$, C3 と E3 については $x^2(4, N=77)=3.02$ となったが、練習時間による差は認められなかった。同様に理解度については、M3 と E3 では $x^2(4, N=77)=2.52$, C3 と E3 については $x^2(4, N=77)=1.95$, さらに暗記率についても M3 と E3 では $x^2(4, N=77)=4.33$, C3 と E3 については $x^2(4, N=77)=4.57$ となり、これらの項目についてもいずれも有意な差は認められなかった。

3.3.2 シャドーイングに対する学生の意識

練習時間、理解度または暗記率からはスコアの差をもたらした原因を導き出すことは出来なかったため、アンケートのその他の項目に注目してみる。アンケートにはシャドーイングに対する学生の意見や感想を聞く項目を設けていた。「シャドーイング練習が英語力向上に役立ったかと思うか」(質問 3) という問いについては、「役だった」と回答した学生は全体の約 53%に過ぎなかった。実際に学生の英語力が向上したかどうかについては現在のところ知る術はないが、シャドーイングの意義が感じられなかった学生が半数近くいたという事実踏まえ、この辺りにその要因があるのかもしれない。

さらに、「シャドーイングテスト結果にはスピーキング・リスニング能力が適切に反映されていると思うか」(質問 9) という問いについて、約 36%の学生は「反映されている」、約 38%は「どちらとも言えない」、そして約 26%は「反映されていない」と回答している。シャドーイングとコミュニケーション能力の関連についても、学生への周知が不足していたことが判明した。

よって、今後は動機付けや学習の理解という点も重視しつつシャドーイングを指導する必要があるのではないかと考えた。

3.4 学生のコメント

学習者アンケートの最後には、シャドーイング(テスト)についての自由記述欄を設けていた。最後に、その点からシャドーイング授業の改善点を考察する。但し、全コメントの掲載は紙面の都合上割愛する。

自由記述欄で最も多く見受けられたのは、「スピードが速すぎた」というコメントであり、同種の回答をした学生が 12 名いた。【質問 5】でもスピードの速さを挙げている学生が多くいる事実を見ても、これについては今後検討すべき課題であると認識している。

しかしながら、シャドーイング用素材の難易度設定は、実際には非常に難しい問題である。参考までに、「i-1」または「i-2」程度(iは学習レベルにおける教材「インプット」の意)のものが適切であるという意見がある(門田・玉井 55)。つまり、学習者のレベルより 1 段階または 2 段階低いものを素材として設定の方がよいという考え方である。これについては、個人練習のレベルではよいが、例えばシャドーイングテストを行う際、クラス内のどのレベルに合わせるかが問題になる。理想的には学生個々人の能力に合った素材でテストを実施するべきであろうが、採点が煩雑になり過ぎて実際には実現不可能である。

また、「シャドーイングを行う意味が感じられない」や、「暗記することと同じだ」という類のコメントが見受けられた。シャドーイングの理解不足に関するこの種のコメントは動機付けとも密接に関連しているため、今後は今回得られたデータ等を提示しながら、シャドーイングの意義についてさらに説得力のある説明を加える必要があると思われる。

§ 4 まとめ

以上、平成 18 年度に実施した「オーラルコミュニケーション I」でのシャドーイングの導入に関する様々な考察については、以下のようにまとめられる。

1. TOEIC® Bridge テストから得られた学生のコミュニケーション能力とシャドーイングテスト結果には相関関係がある
2. シャドーイング練習の効果については、3 クラス中 1 クラスにおいてのみ有効性が認められた
3. シャドーイングスコア向上の要因については、練習時間、素材の理解度、暗記率とは関連がない
4. 学習者アンケートから、シャドーイング練習の意義について学生の周知がさらに必要なことが分かった
5. 音声のスピードが速すぎたのではないかとの意見が多々見られた

よって、今後シャドーイングを授業に導入する際には、実際にシャドーイング練習を導入する前にその意義や英語運用能力との関連について丁寧に解説し、学生の能力に応じた素材を使用することが必要であるという結論が得られた。ただし、シャドーイング能力の測定方法等や、効果的なシャドーイング練習方法の模索については、今後の検討課題とする。

本校のように1クラス40余名の学生全員のコミュニケーション能力を「英会話」や「ディベート」によって効果的に向上させることは不可能に近い。とは言うものの、インプットだけではなく、いわゆるアウトプット訓練が必要であることも、また厳然たる事実である。その意味において、CALL を活用したシャドーイング練習は現時点で最も効果的な方法であり、今後も CALL を十分に活用した英語授業を続けていく所存である。

付録

Appendix A Test A (106 words)

Miki is an exchange student from Japan.
She has just arrived on campus and is on her way to see her advisor.
His office is in Old Main Hall.
She asks one student where Old Main Hall is, but that student says she doesn't know where it is because she is new there.
Miki then asks another student for help.
He knows where the administrative building is and gives her general directions.
It's about a five-minute walk away.
It is behind the library.
After Miki goes past the library the student union, she asks another student for confirmation, and the student points out the building.

Appendix B Test B (125 words)

Miki goes to the student housing office to visit with a counselor.

She wants to find information about her options for a convenient place to live.

She wants to live off campus, close to school.

Outside the office she looks at a lot of notices left there by students who want a roommate to share the rent and utilities.

She meets Susan, who is one of the students she asked directions from earlier that day.

Susan tells her that one of her roommates had to leave school for a while, and that they thus need a new roommate.

Susan offers Miki the chance to move in with them, and Miki shows some interest.

Miki decides to visit Susan's place right away, and they leave together.

Appendix C Test C (137 words)

Miki has arrived at Old Main Hall.

She has a ten thirty appointment with her advisor, Dr. Porter.

She finds Dr. Porter's office and introduces herself.

She and Dr. Porter chat and get to know each other.

He asks her about Japan and about her studies.

Miki tells him that her major is economics and that she is a junior.

Miki also tells him that she is a bit worried about her new situation.

Dr. Porter emphasizes that she can visit him anytime when she has a question or a problem.

He then asks Miki if she plans to live in a dorm or off campus.

After Miki answers, he suggests that she go to the housing office for advice about finding off campus housing.

Then, Miki thanks Dr. Porter for his help and takes her leave.

Appendix D Test D (125 words)

Kathy is at the TV station.

She goes to talk with her boss, Ed.

He asks how the subtitling project is going, and she tells him that she is almost finished.

She gives him the draft script and he looks through it.

Ed is impressed.

He finds just a few problems, such as subtitles that are too long to fit on the screen.

Ed explains that there should be 32 characters per subtitle at the most.

Kathy understands the problem and promises to revise the subtitles and send them back to Ed by email.

Although they are ahead of schedule, Ed would still like to have it by the afternoon, if possible.

Kathy promises to start working on it right away, thanks Ed and leaves.

Appendix E Multiple choice questionnaire for the participants

【質問1】

あなたは、この授業を受ける以前から「シャドーイング」という言葉を知っていましたか？

1. はい 7人 (6%)
2. いいえ 110人 (94%)

【質問2】

あなたは、この授業を受ける以前に「シャドーイング」をしたことがありましたか？

1. はい 7人 (6%)
2. いいえ 110人 (94%)

【質問3】

今回のシャドーイング練習は、自分の英語力向上に役立ったと思いますか？

(『はい』→【質問4】) (『いいえ』→【質問5】)

1. はい 61人 (52%)
2. いいえ 55人 (47%)

【質問4】(※【質問3】で『はい』と回答した学生) どのような点で役立ったと思いますか。当てはまるものを全て選んで下さい。(複数回答)

- | | |
|-----------------------|-----|
| 1. 英語のリズムがつかめるようになった | 38人 |
| 2. 英語を読むスピードが上がった | 34人 |
| 3. 英文の強弱の区別が分かるようになった | 14人 |
| 4. 英語を正しく発音できるようになった | 8人 |
| 5. 英語を話すのが苦にならなかった | 5人 |

【質問5】(※【質問3】で『いいえ』と回答した学生) どのような点で良くなかったと思いますか？(複数回答)

- | | |
|-----------------------------------|-----|
| 1. スピードが早すぎてついていけなかった | 36人 |
| 2. 聞くことと声に出すことを同時に上手くできなかった | 32人 |
| 3. 繰り返すのに集中し過ぎて、発音まで気を配ることができなかった | 18人 |
| 4. 声に出すことで、逆に意味が分からなくなった | 17人 |
| 5. 英語を話すのが嫌になった | 3人 |

【質問6】

シャドーイングテストの為にどれくらい練習しましたか？

1. 試験の直前だけ 9人 (8%)
2. 15分程度 14人 (12%)
3. 30分程度 18人 (15%)
4. 30分～1時間 28人 (24%)
5. 1時間以上 48人 (41%)

【質問7】

シャドーイングに用いた英文の意味を、どの程度理解していましたか？

1. ほとんど意味が分からない 14人 (12%)
2. 少しだけ意味が分かる 30人 (26%)
3. 半分程度意味が分かる 26人 (22%)
4. だいたい意味が分かる 35人 (30%)
5. ほぼ意味が分かる 12人 (10%)

【質問8】

シャドーイングに用いた英文を、どの程度暗記していましたか？

1. 0～20% 17人 (15%)
2. 20～40% 44人 (38%)
3. 40～60% 27人 (23%)
4. 60～80% 19人 (16%)
5. 80～100% 10人 (9%)

【質問9】

シャドーイングテストの結果には、あなたのリスニング・スピーキング能力が適切に反映されていると思いますか？

1. 全く反映されていない 0人 (0%)
2. 余り反映されていない 23人 (20%)
3. どちらとも言えない 44人 (38%)
4. ある程度反映されている 30人 (26%)
5. ほぼ反映されている 12人 (10%)

【質問10】

シャドーイングをこれからもやってみたいと思いますか？

1. はい 44人 (38%)
2. いいえ 73人 (62%)

【質問11】

最後に、このシャドーイング(テスト)に関しての感想や意見等を遠慮なく記入して下さい

※省略

参考文献

- 1) 大八木廣人・田浦昌子『Campus Encounters』, マクミラン・ランゲージハウス, 2006.
- 2) 門田修平・玉井健『決定版 英語シャドーイング』, コスモピア, 2004.
- 3) 玉井健「シャドーイングは万能薬か」, 『英語教育』, 大修館, 2005.
- 4) 三浦省五ほか『英語教師のための教育データ分析入門』, 大修館, 2004.

精密やすり自動研削装置の試作

(機械工学科) 野原 稔

Trial Manufacture of Automatic Grinding Equipment of Precision File

(Department of Mechanical Engineering) Minoru NOHARA

Abstract

Recently the file for precision machining is used as the finisher of the product manufactured by the NC machine tool etc. For this reason, the production spot needs the file for precision machining. The file for precision machining is small as compared with the file currently used until now in the production spot, and the form is also precise. Especially manufacture of the file with special cross-sectional form is difficult for manufacturing this by machine. For this reason, the skillful engineer is manufacturing by hand labor using grinding wheel. However, by a skillful engineer's aging, they are decreasing in number and the manufacturing process of these files needs to hurry automation.

In this paper, the author designed and manufactured cheaply the grinding machine which can control x axis, y axis, and z axis which used the microcomputer. And the author made the surface grinding equipment of a file as an experiment using this equipment

Key Words : Micro Computer, Operation Control, Simulation, Automatic Machine

マイクロコンピュータ, 制御, シミュレーション, 自動機械

§1 緒言

近年, 精密加工用のやすりは, NC工作機械等で製作された製品の最終工程において必要とされており, 生産現場から強く要望されている。精密加工用のやすりは, これまで生産現場で使用されていたやすりと比較して小さく, その目立て状態もより細かい。特に, かまぼこ型断面を有するやすりの形状は, 握り手側は太く先端に向かってしだいに細くなっている。従来, かまぼこ型断面を有するやすりは, ならい方式を使用した切削盤により製造されていた。しかしながら, この方式によるやすりの加工精度は低く, 精密加工用やすりの製造には適さない。このため, 精密加工用のやすりの製造は, 熟練技術者の研削砥石を使用した手作業によるところが大きい。高齢化による熟練技術者の減少に伴い, これらの工程の自動化が急務となっている。

本研究は, マイクロコンピュータを使用した3軸制御の研削盤を想定し, X軸, Y軸およびZ軸に取付けたモータを相互に同期させ, 精密加工用のやすりを製造することを目的とする。

§2 ハードウェア

本システムにおいて, プログラマブルコントローラによる制御は, LUNA製のPROGRAMABLE PULSE CONTROLLER (以降, PCと呼ぶ)を使用した¹⁾。システムの全体写真を図1に, その構成を図2に示す。以降, この装置に使用した主要部品の概要について述べる。なお, 左右の往復動作をX軸, 被削材の角度調節をY軸, および研削砥石の上下動作をZ軸に対応させている。

2.1 PC

X軸, Y軸, Z軸は, それぞれ独立して制御する必要があるため, 各軸に1個のPCを用意した。また, PCに

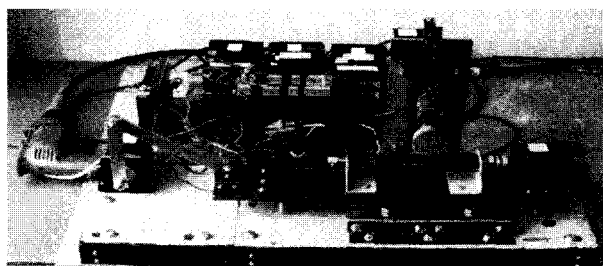


Fig.1 General view of system

は入力および出力ポートがそれぞれ4ポート設置してあり、これらのポートを使用して研削装置の動作開始、原点や動作開始点への移動および研削行程の情報を得た。

2.2 モータ

X軸、Y軸、Z軸は、精密な制御が必要であるため、入力パルス数によって回転量の制御できるステップモータを採用した。また、やすりの表面研削にはACモータを使用した。

2.2.1 往復台および回転台駆動用モータ

往復台および回転台駆動用モータには、Oriental社製の5相ステッピングモータPK569-Aをそれぞれ使用した。往復台は、モータの回転軸にアームを取付け、スライダ・クランク機構を応用して滑り台を往復運動させた。また、回転台は、モータ軸にフレキシブルカップリングを介して取付けた。これにより、回転台を左右に滑らかに回転させることができた。

2.2.2 研削台駆動用モータ

研削台駆動用モータには、ラック・ピニオン機構に直接ガイドを組合わせることにより、簡単な構造で軽量化されたOriental社製の5相ステッピングモータLMA42W200KE-05を使用した。精密直動ガイドの採用でラックガタを低減させており、繰返し位置決め精度は0.05mmとなっている。また、この駆動モータの使用により、研削台は上下方向に滑らかに移動できる。

2.2.3 研削砥石駆動用モータ

研削砥石駆動用モータは、フレキシブルシャフトの一端に直径50mmの軸付き研削砥石を、他端にAC100Vハンドドリル用モータを取付けたものを使用した。

2.3 センサ

やすりを加工する場合、X軸、Y軸、Z軸のそれぞれに原点を設定し、この原点を基準として往復台、回転台および研削砥石を動作させ、やすりを加工する必要がある。このため、各軸に原点確認用のセンサを取り付けた。

2.3.1 往復台センサ

往復台の原点確認用センサには、OMRON製EE-SX673490rを使用した。研削開始点および研削終了点は、往復台の移動量によって決まる。

2.3.2 回転台センサ

回転台の原点確認用センサには、OMRON製EE-SX673580Mを使用した。やすりの円弧面を回転センサの原点を基準にして、10分割し研削砥石で加工を行う。

2.3.3 研削砥石上下台センサ

研削砥石上下台の原点確認用センサには、OMRON製EE-SX673490rを使用した。切削位置の高さは、上下台センサの移動量より決定する。

§3 配線

図3はPCを中心としてモータ、ドライバ、センサ等を配置したシステムの配線図を示す。入出力ポート以外の配線は各PCで共通であり、PCの端子台1および2に

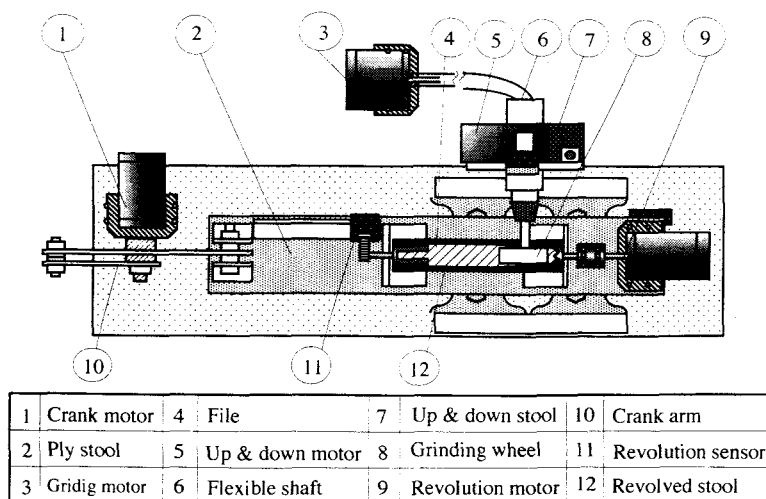


Fig.2 Appearance of system

Table. 1 Connection of inport and output

Port		PC 1	PC 2	PC 3
IN	1	-	-	Run SW
	2	-	PC 1	PC 1
	3	PC 2	-	PC 2
	4	PC 3	PC 3	-
OUT	9	-	-	SSR
	10	-	PC 1	PC 1
	11	PC 2	-	PC 2
	12	PC 3	PC 3	-

AC100V, 端子台5に各ドライバの5V, 14にCW, 15にCCW, 11には各センサーの出力をそれぞれ接続した。

表1は, PC1, PC2およびPC3の入出力ポートの接続状態を示している。

3.2 ソリッドステートリレー (SSR)

研削砥石を回転させるモータのON/OFF制御は, PC

により行うためSSRを使用した²⁾。

§4 往復, 回転および上下の動作機構

4.1 往復機構

図4はやすりを固定したスライダを往復運動させるスライダクランク機構を示す。Aを中心としてクランクrを回転させると, スライダはACに沿って左右に往復する。図4に示すように, 想定したやすり表面の研削には, スライダのストロークsは180mmである。このため, 以下の式(1)を使用し, クランク半径rと連桿lの長さを求めた。

$$\begin{aligned} s &= (r + l) - (r \cos \theta + l \cos \phi) \\ r \sin \theta &= l \sin \phi \end{aligned} \quad \dots (1)$$

図5は, 往復台のスライダ部分を示す。重荷重用戸車を片側に2個ずつ使用し, これで2本の鋼棒を両側から押さえつけ, スムーズな往復運動を可能とした。

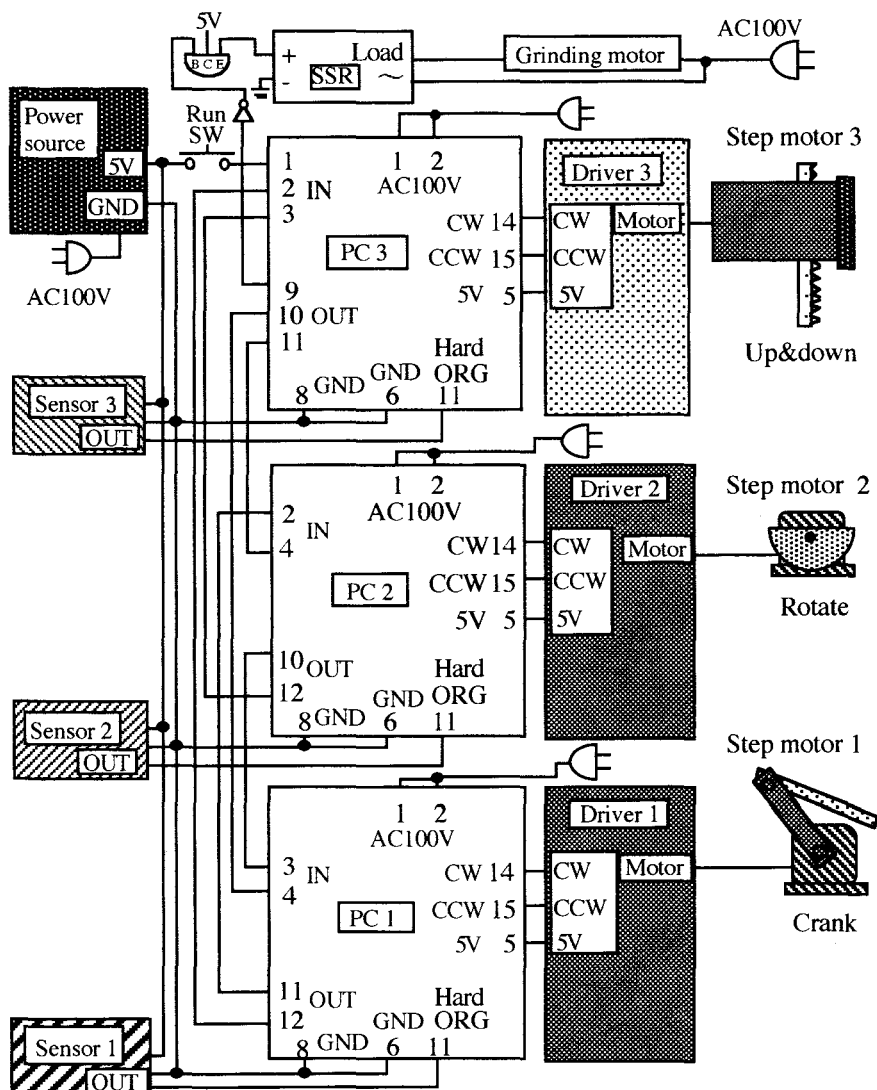


Fig.3 Wiring diagram of system

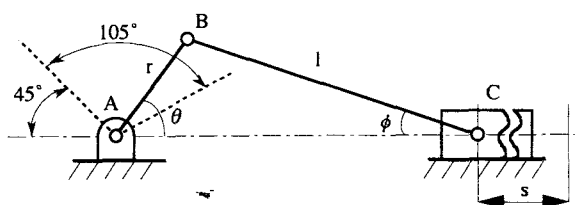


Fig.4 Slider crank mechanism

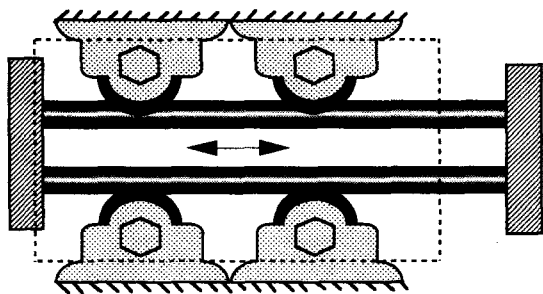


Fig.5 Slide mechanism

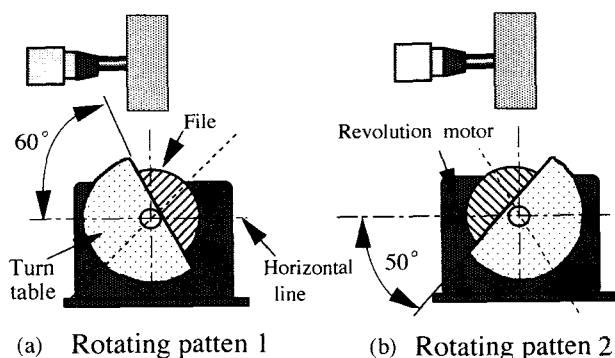


Fig.6 Rotate mechanism

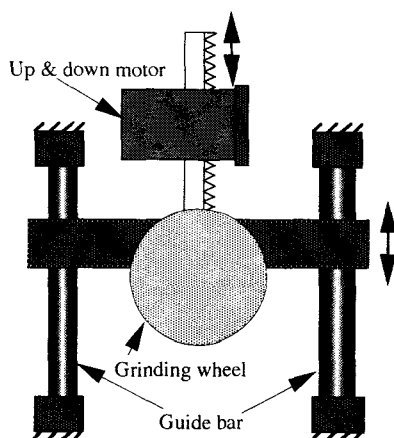


Fig.7 Up&down mechanism

4.2 回転機構

図6は、半円形状の断面を有するやすりを研削する場合の回転台の動作状態を示す。図6(a)は、やすりの最

も左側面を研削する場合を示し回転台を水平軸より 60° 傾けている。また、図6(b)は、回転台を左方向に回転させて、やすりの最も右側面を研削する場合を示し、回転台を水平軸より -50° 傾けている。

4.3 上下機構

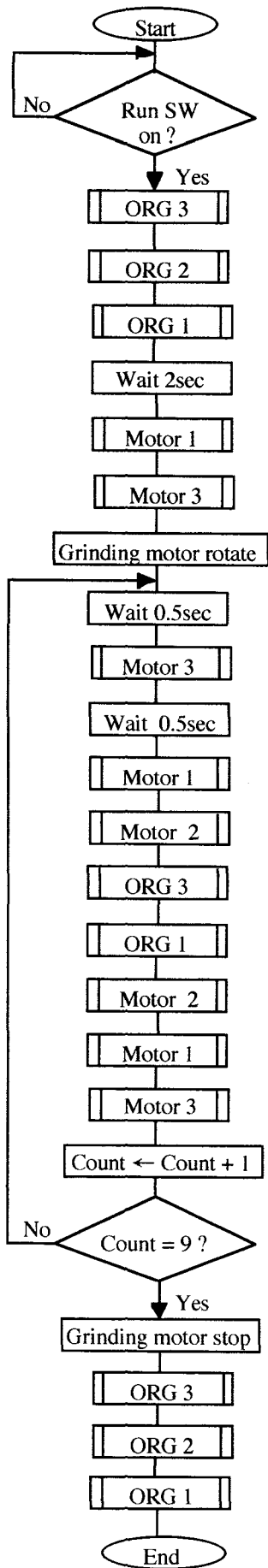
図7は、研削砥石を上下させる機構を示す。モータのラック下端に取付けた台に、フレキシブルシャフトの工具取付け部を固定し、その先端に研削砥石を取付けることで、研削砥石の上下移動を可能にした。なお、研削砥石の上下移動の安定化のため、ラック下端に取付けた台に2本のガイドを設定している。

§5 ソフトウェア

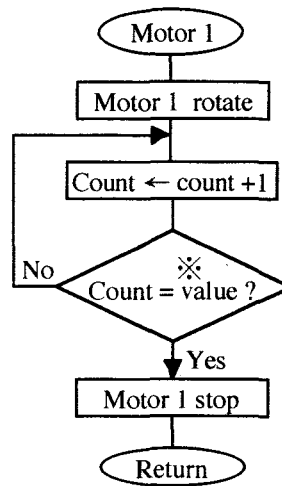
5.1 フローチャートとプログラム動作

図8はシステムのフローチャートを示す。研削装置の電源を投入後、PC 1、PC 2およびPC 3のプログラムをスタートさせる。このとき、各PCのプログラムは待機状態となるよう設定している。この状態でランスイッチを押すと、研削装置は動作を開始する。まず、研削砥石⑨を上下に移動させるモータ④(以降M 3とする)、やすり⑧を固定している台⑫を回転させるモータ⑦(以降M 2とする)および往復台②をクランク⑩を用いて往復運動させるモータ⑧(以降M 1とする)の順に原点へ移動し、2秒間待機する。次に、M 1、M 3の順に研削開始点へ移動する。このとき、研削砥石は、やすりの研削面上5mmの位置で一旦停止した後、研削砥石を回転させる。なお、M 2は原点を研削開始点に設定しているため動作しない。研削砥石が回転して0.5秒経過した後、研削砥石をさらに降下させて、やすり表面に研削砥石を接触させる。その後、M 1により往復台を一定量移動させ、やすりの表面を研削する。研削後、研削砥石をやすり表面より3mm上げた後、M 3、M 1の順に原点に戻す。そして、M 2により、やすりの固定台を一定角度回転させる。上記の動作を繰返すため、M 1、M 3の順に研削開始点に移動する。以上の繰返し研削過程を設定した回数は10である。10回の研削が終わり、研削砥石を上げて研削砥石の回転を止め、研削を終了する。この後、M 3、M 2、M 1の順に原点に移動し、研削装置の動作を終了する。なお、PC 1およびPC 3の、パルス出力モードは絶対値表示、PC 2のパルス出力モードは加算値表示とした。

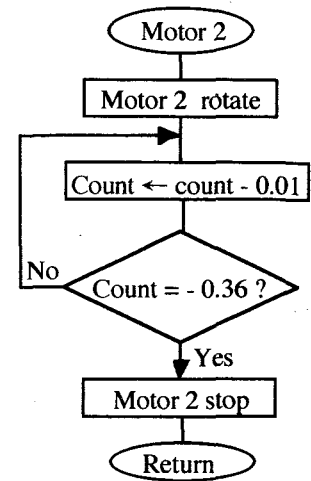
表2は、本システムを動作させるプログラムを示す。



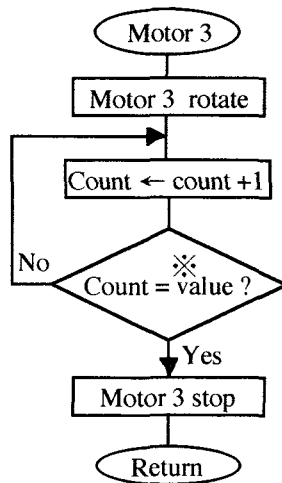
(a) Main program



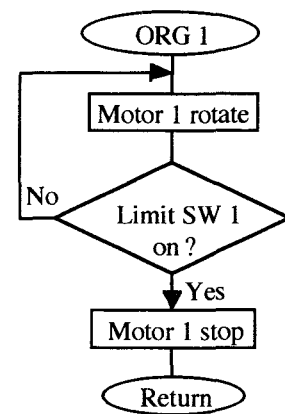
(b) Subroutine Motor 1



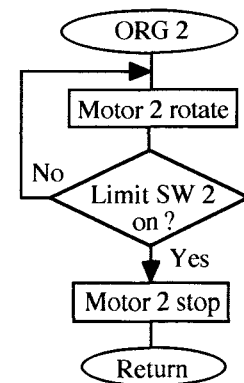
(c) Subroutine Motor 2



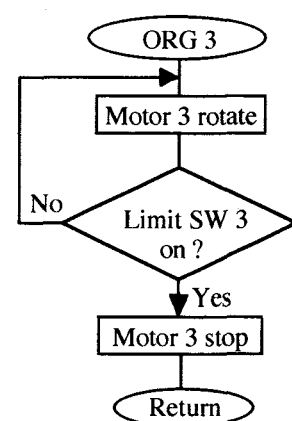
(d) Subroutine Motor 3



(e) Subroutine ORG 1



(f) Subroutine ORG 2



(g) Subroutine ORG 3

※ Value is changed by progress of program

Fig. 8 Diagram of flow chart

Table.2 Control program

PC1		
Address	Program	Comment
1-00	FUN 002	Wait input from PC 2
1-01	ORG 0	Move to origin
1-02	FUN 500	Eliminate display
1-03	TIM 2.0	Wait 2 sec
1-04	2.35	Move to 2.35
1-05	FUN 203	Output to PC 3 ON
1-06	FUN 303	Output to PC 3 OFF
1-07	G 2.00	Go to Bank 2-00
1-08	ORG 0	Move to origin
1-09	FUN 500	Eliminate display
1-10	FUN 202	Output to PC 2 ON
1-11	FUN 302	Output to PC 2 OFF
1-12	FUN 002	Wait input from PC 2
1-13	2.35	Move to 2.35
1-14	FUN 203	Output to PC 3 ON
1-15	FUN 303	Output to PC 3 OFF
1-16	L 2.00 09	Go to Bank 2-00 and repeat at 9
1-17	FUN 003	Wait input from PC 3
1-18	G 2.06	Go to Bank 2-06
1-19	ORG 0	Move to origin
1-20	END	End
2-00	FUN 003	Wait input from PC 3
2-01	-0.83	Move to -0.83
2-02	FUN 203	Output to PC 3 ON
2-03	FUN 303	Output to PC 3 OFF
2-04	FUN 003	Wait input from PC 3
2-05	G 1.08	Go to Bank 1-08
2-06	-0.83	Move to -0.83
2-07	FUN 203	Output to PC 3 ON
2-08	FUN 303	Output to PC 3 OFF
2-09	FUN 002	Wait input from PC 2
2-10	G 1.19	Go to Bank 1-19

PC 2

Address	Program	Comment
1-00	FUN 003	Wait input from PC 3
1-01	ORG 0	Move to origin
1-02	FUN 500	Eliminate display
1-03	FUN 201	Output to PC 1 ON
1-04	FUN 301	Output to PC 1 OFF
1-05	FUN 001	Wait input from PC 1
1-06	-0.36	Move to -0.36
1-07	FUN 201	Output to PC 1 ON
1-08	FUN 301	Output to PC 1 OFF
1-09	L 1.05 09	Go to Bank 1-05 and repeat at 9
1-10	FUN 003	Wait input from PC 3
1-11	ORG 0	Move to origin
1-12	FUN 201	Output to PC 1 ON
1-13	FUN 301	Output to PC 1 OFF
1-14	END	End

PC 3

Address	Program	Comment
1-00	FUN 000	Wait input from Run SW
1-01	ORG 0	Move to origin
1-02	FUN 500	Eliminate display
1-03	FUN 202	Output to PC 2 ON
1-04	FUN 302	Output to PC 2 OFF
1-05	FUN 001	Wait input from PC 1
1-06	-1.70	Move to -1.70
1-07	FUN 200	Output to grinding motor ON
1-08	TIM 0.5	Wait 0.5 sec
1-09	G 2.00	Go to Bank 2-00
1-10	ORG 0	Move to origin
1-11	FUN 500	Eliminate display
1-12	FUN 201	Output to PC 1 ON
1-13	FUN 301	Output to PC 1 OFF
1-14	FUN 001	Wait input from PC 1
1-15	-1.70	Move to -1.70
1-16	L 1.08 09	Go to Bank 1-08 and repeat at 9
1-17	FUN 201	Output to PC 1 ON
1-18	FUN 301	Output to PC 1 OFF
1-19	FUN 001	Wait input from PC 1
1-20	G 2.07	Go to Bank 2-07
1-21	ORG 0	Move to origin
1-22	FUN 202	Output to PC 2 ON
1-23	FUN 302	Output to PC 2 OFF
1-24	END	End
2-00	-2.10	Move to -2.10
2-01	TIM 0.5	Wait 0.5 sec
2-02	FUN 201	Output to PC 1 ON
2-03	FUN 301	Output to PC 1 OFF
2-04	FUN 001	Wait input from PC 1
2-05	-1.60	Move to -1.60
2-06	G 1.10	Go to Bank 1-10
2-07	-1.60	Move to -1.60
2-08	FUN 300	Output to grinding motor OFF
2-09	G 1.21	Go to Bank 1-21

§ 6 結言

本研究において、PC制御によりやすり表面を研削する研削装置を設計し、これを製作した結果を要約すると次のようになる。

1. プログラマブルコントローラ3台を連動させることにより、3軸の機構を制御し、やすりの表面を自動研削できる装置を設計製作することができた。
2. 往復台のスライダ部分には、鋼棒と戸車を用いることによりスムーズな往復動作が可能となった。

参考文献

- 1) MPC-01取扱説明書。
- 2) 秋月電子通商, SSR取扱説明書。

やっこ方式によるグリップ装置の試作

(機械工学科) 野原 稔

Trial Manufacture of Grip Equipment of Tongs's Method

(Department of Mechanical Engineering) Minoru NOHARA

Abstract

It is necessary to fix the part material to manufacture of a machine part. Fixation is performed combining clamp equipment, an air cylinder, etc. In the previous paper, the author made the grip equipment which used cylinoid as an experiment. In this equipment, on structure, the generating thrust of cylinoid was small and received restrictions also in the installation method of grip equipment.

In this paper, the author used the grip method of tongs's method. Structure of grip equipment was altogether made into steel, in order to make it firm. Moreover, installation of grip equipment was made to be completed from every direction. This manufacture process and a situation of operation are reported.

Key Words : Micro Computer, Operation Control, Simulation, Automatic Machine

マイクロコンピュータ, 制御, シミュレーション, 自動機械

§1 緒言

機械部品の製造には、その部材を固定する必要がある。部材の材質にもよるが、固定方法として、電磁ソレノイドやエアシリンダをクランプ装置と組合わせて使用する方法が考えられる。以前、シリノイドを使用した、バイスの一方を移動させる方式のグリップ装置を試作した¹⁾。この場合、装置の構造上、シリノイドの発生推力は、本来の発生推力の1/3程度であると同時に、グリップ装置の設置方法にも制約があった。

本研究においては、シリノイドを使用したやっこ方式によるグリップ方法を採用した。その構造は、シリノイド本来の発生推力を得ることのできる強固なものとするため、全て鋼製とした。また、グリップ装置の設置も上下、左右どの方向からでもできる構造とした。この製作過程と動作状況について報告する。

§2 ハードウェア

本システムにおいて、マイクロコンピュータ（以降、マイコンと呼ぶ）による制御は、AKI-80を使用した。

設計したシステムの全体写真を図1に示す。以降、この装置に使用した主要部品の概要について述べる。

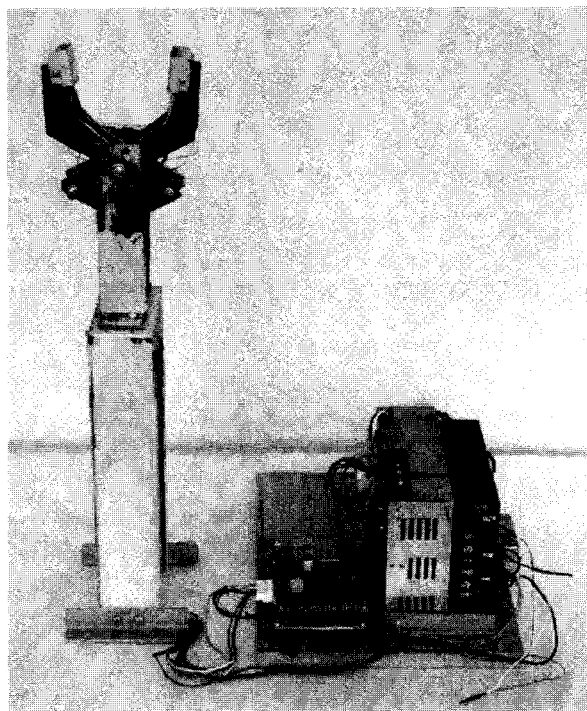


Fig.1 General view of system

2.1 マイコン

マイコンは、シリノイドモータの駆動と停止、シリノイドの原点の確認、シリノイド移動時の外乱による緊急停止のため使用した。また、装置の動作は迅速であることが望ましいため、これを動作させる言語はアセンブリ言語を使用した。入出力ポートは、パラレルI/OをAポート入力およびBポート出力として使用した²⁾³⁾¹⁾。

2.2 シリノイド

2.2.1 シリノイドとその減速機構

シリノイドは、回転運動を直線運動に変換する機構で、小型高速モータの回転をゆっくりとした、高トルクの直線運動に変換することができる。図2はシリノイドの機構構成を示す。図2に示すように、この機構は、一本の雄ネジを介することにより、当初有している雄ネジのリードPを $1/2$ から $1/30$ に減速しながら、回転運動を直線運動に変換する。基本的には、雄ネジA、雄ネジと同じリードPをもつ雌ネジを切ったベアリングの内輪Bおよびこのベアリングと雄ネジを圧接させると同時に、雄ネジの軸を支える機能をもつ二つの補助ベアリングCおよびDから構成されている。

2.2.2 シリノイドの運動原理

図3はシリノイドの運動原理を示す。図3に示すように、Aが1回転すると、圧接しているBの内輪は D_1 対

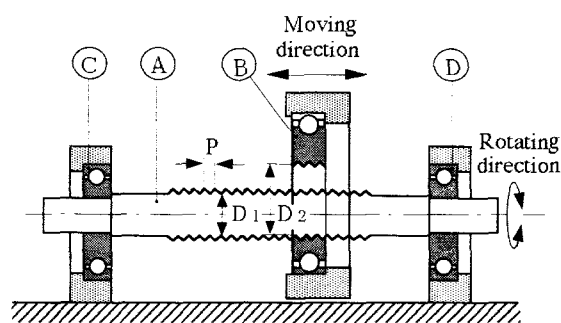


Fig. 2 Structure of cylinoid

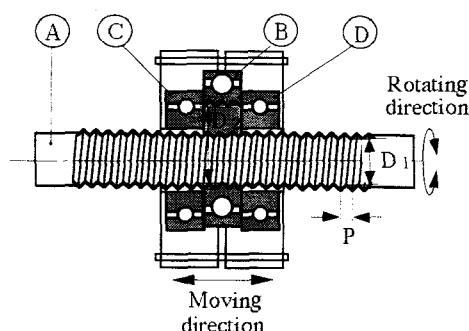


Fig. 3 Principle of motion

D_2 分回転する。本来、Bの内輪が固定されていれば、この機構のAの1回転あたりの直線運動量はPとなるが、Bの内輪が D_1 対 D_2 回転分するため、相対的な回転は D_1 対 D_2 回転分減少し、直線運動量は $P(1-D_1/D_2)$ となる。

2.2.3 シリノイドの特徴

シリノイドは、歯車やボールネジを使用しておらず、主要な運動はベアリング的な要素によって構成されているため、メンテナンスの不要、モータの電圧を調整すると、シリノイドの移動速度の変動が可能およびモータの電源OFF時、負荷の状態でも位置保持ができる等の特徴を有している。

2.3 グリップ

図4はグリップの機構を示している。図4(a)は全開時の状態を、図4(b)は閉鎖時の状態を示している。図4(a)において、1, 2, 3はそれぞれ支点の移動可能な回り対偶、4は固定支点に取付けた回り対偶である。いま、図4(a)に示すシリノイドの先端を上押し上げると、1, 2, 5および1, 3, 6は4において回り対偶をしグリップを開く。図4(b)において、シリノイドの先端を引下げると、1, 2, 5および1, 3, 6は4において回り対偶をしグリップを閉じる。また、図4はグリップを上向きに設置した状態を示しているが、グリップの設置は、下向き、左向きおよび右向きも可能である。使用し

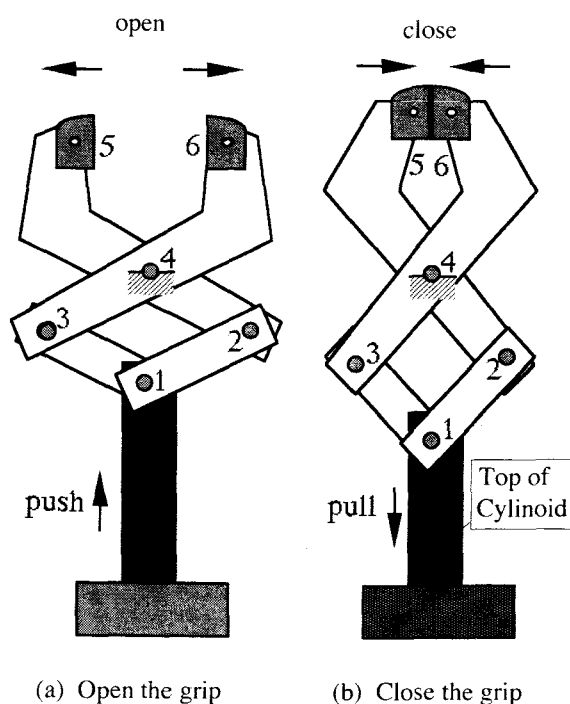


Fig. 4 Motion of grip

たシリノイドの型番は、CA-62でモータの定格電圧は12Vである。このとき、シリノイドの発生推力は245N(25Kgf)となっている。

2.4 配線

図5は、シリノイド、AKI、リミットスイッチ、グリップセンサ、リレー、シリノイド等を結線したシステムの配線図を示す。本システムにおいて、入力ポートA-0はリミットスイッチ1、A-1はトランジスタを介してグリップセンサ1、A-2はリミットスイッチ2、A-3はリミットスイッチ3、A-4はプッシュスイッチを接続した。また、ノイズによる誤作動を防ぐため、使用しないポートA-5、A-6、A-7は、10 k Ω の抵抗で5Vにプルアップした。出力ポートB-1はリードリレー1、B-2はリードリレー2に接続している。

2.5 DC リレー

シリノイドモータは、大きな電流量を要するため、マイコンから直接制御できない。このため、マイコンで直

接駆動できる電流量の小さいリードリレーを使用して、大きな電流量を制御できるリレーの駆動方式を採用した。⁵⁾

§ 3 ソフトウェア

3.1 システムの動作言語

本システムを動作させる言語は、アセンブリ言語を使用した。パソコン上でアセンブリ言語を使用してプログラムを作成した後、ROMライターを使用してROMに書き込み、それをボードに搭載した。アセンブリ言語はマシン語で使用する命令を人間にとって理解しやすい記号で現した言語で、マシン語への変換も容易でシンプルなプログラミングができる特徴を持っている。現在では、制御する言語としてはBASIC言語およびC言語等も使用されているが、AKIを使用する場合には、アセンブリ言語が適しており、アセンブリ言語でのプログラミングに慣れると、素早いプログラミングが可能となる。

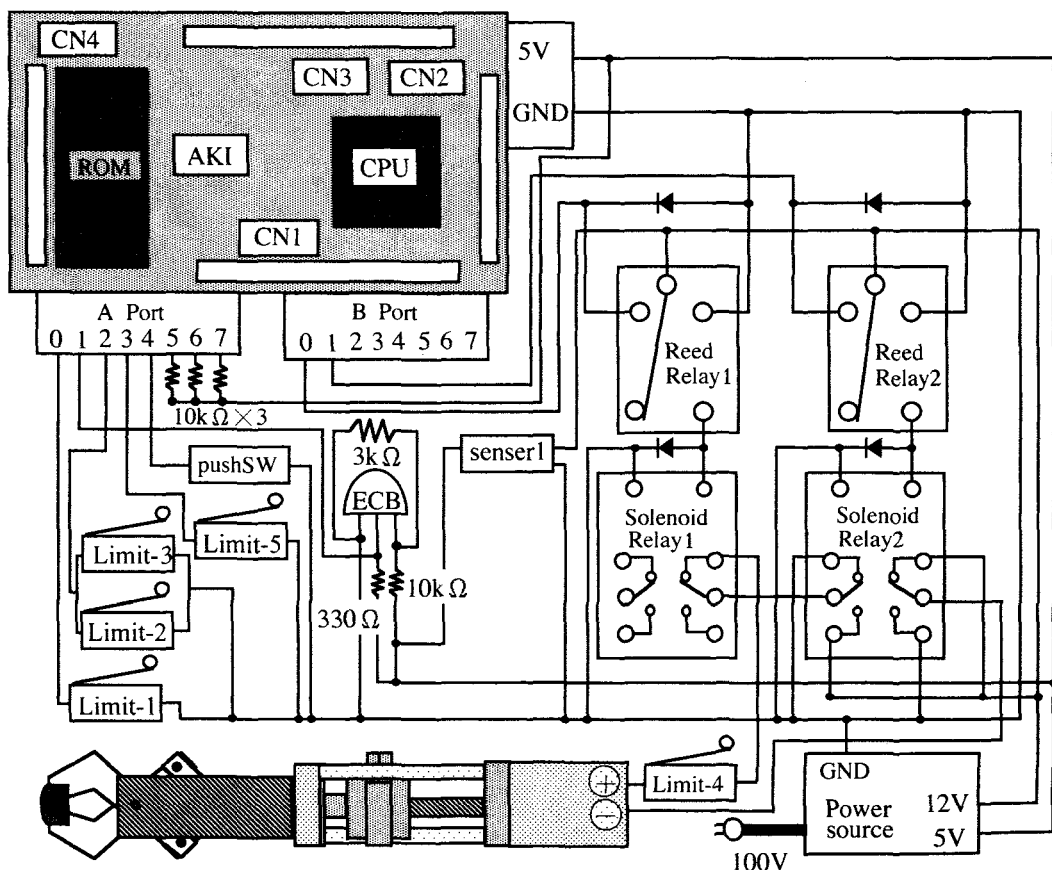
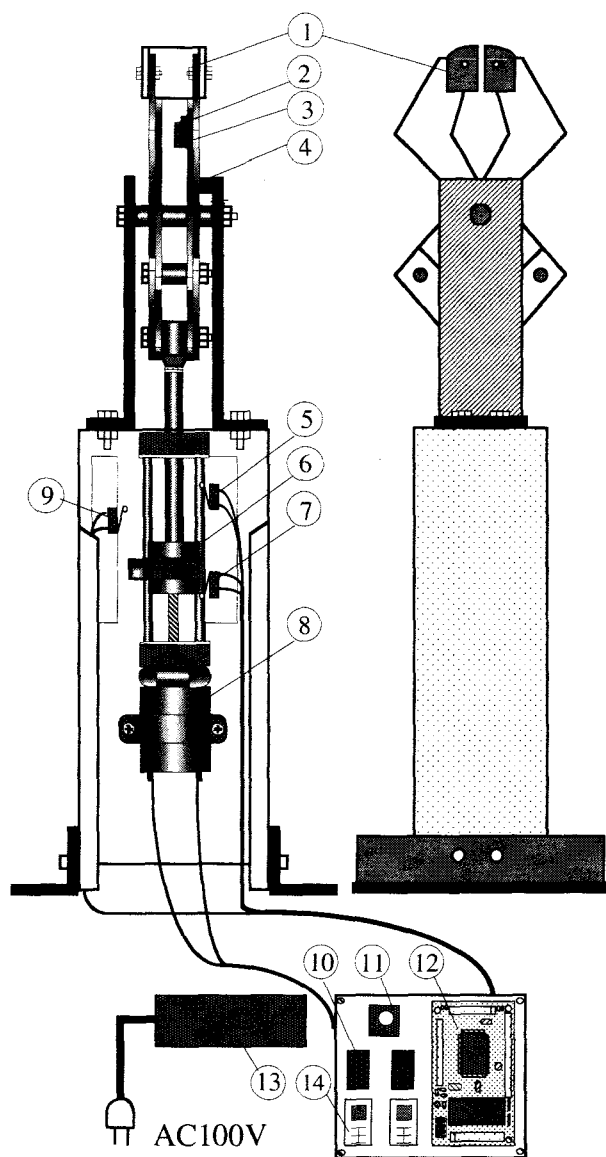


Fig.5 Wiring diagram of system



1	Grip	8	Cylindroid motor
2	Limit - 2	9	Limit - 1
3	Limit - 3	10	Reed Relay
4	Grip sensor	11	Push SW
5	Limit - 4	12	AKI - 80
6	Cylindroid trunk	13	Power source
7	Limit - 5	14	Solenoid Relay

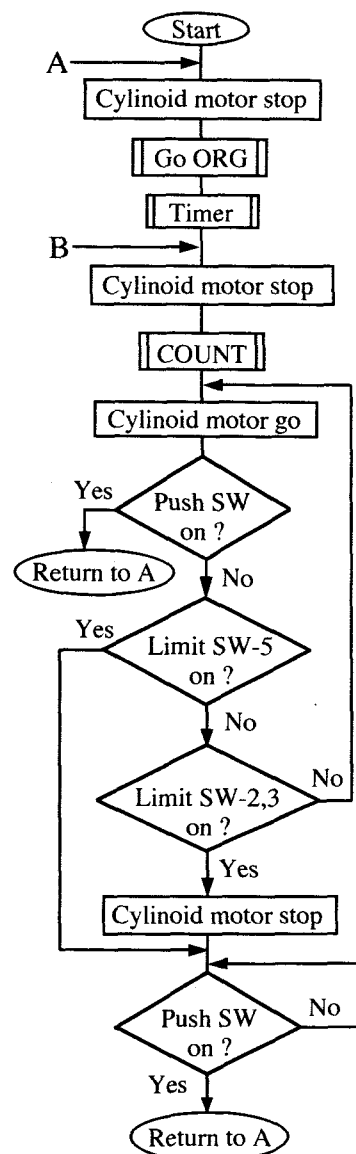
Fig.6 Appearance of system

3.2 プログラムの動作

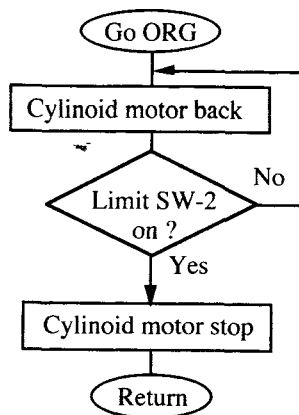
図6は、システムの外観図を示している。電源を投入すると、AKI⑫はシリノイド本体⑥が原点にあるかどうかを確認をする。もし、シリノイド本体⑥が原点になく、原点用リミットスイッチ⑨の反応がない場合、シリノイドモータ⑧を逆転させ、原点用リミットスイッチ⑨がONになるまで本体⑥を移動させる。この動作が終了すると、

AKI⑫はグリップ間に筒があるかどうかの確認をする。筒が置かれグリップセンサ④の反応がある場合、シリノイドモータ⑧を正転してグリップ①を閉じる。グリップ①が閉まる過程において、筒がグリップ①に取り付けてある。グリップ停止用リミットスイッチ②および③を押すと、シリノイドモータ⑧が停止し、筒を掴んだ状態となる。掴んだ筒をはなす場合、プッシュスイッチ⑪を押すと、本体⑥は原点に戻り筒をはなす。シリノイド本体⑥が原点に復帰する場合、原点スイッチ⑦がONになってもシリノイドモータ⑧の回転が止まらない場合などのシステムの暴走を想定し、緊急停止スイッチ⑤を取り付け、スイッチが押された瞬間に主電源が切れるように設定している。

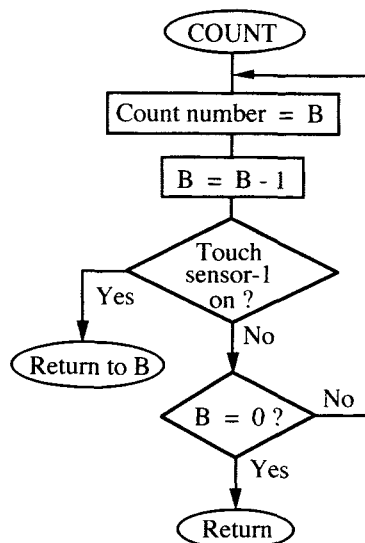
3.3 フローチャートとシステムの動作プログラム



(a) Main program



(b) Subroutine Go ORG



(c) Subroutine COUNT

Fig.7 Diagram of flow chart

Table1 Control program of system

Label	Mnemonic code	Comment
PIOAD	equ 1ch	PIO A data
PIOAC	equ 1dh	PIO A control
PIOBD	equ 1eh	PIO B data
PIOBC	equ 1fh	PIO B control
	ORG 0000h	
	LD SP, 0	Set stack point 0
	IM 2	Set mode 2
	LD A, 11001111b	PIO A initialization
	OUT (PIOAC), A	mode3 (Input)
	LD A, 11111111b	
	OUT (PIOAC), A	
	LD A, 00010111b	
	OUT (PIOAC), A	
	LD A, 00000011b	

	OUT (PIOAC), A	PIO B initialization
	LD A, 11001111b	mode3 (Output)
	OUT (PIOBC), A	
	LD A, 00000000b	
	OUT (PIOBC), A	
	LD A, 00010111b	
	OUT (PIOBC), A	
	LD A, 00000011b	
	OUT (PIOBC), A	
PA	LD A, 01H	Cylind motor stop
	OUT (PIOBD), A	Call ORG
DO	CALL ORG	Call WAIT
PB	CALL WAIT	Cylind motor stop
	LD A, 01H	Call CON
	OUT (PIOBD), A	Cylind motor Positive rotation
PC	CON	Read data from PIOAD
	LD A, 00H	Push - SW ON
	OUT (PIOBD), A	go to PA
	IN A, (PIOAD)	Read data from PIOAD
	BIT 4, A	Limit - SW5 ON
	JP NZ, PA	go to PP
	IN A, (PIOAD)	Read data from PIOAD
	BIT 3, A	Limit - SW2,3 ON
	JP NZ, PP	go to PP
	IN A, (PZOAD)	go to PC
	BIT 2, A	
	JP NZ, PD	
	JP PC	
PP	LD A, 01H	Cylind motor stop
	OUT (PIOBD), A	Read data from PIOAD
	IN A, (PIOAD)	Push - SW ON
	BIT 4, A	go to PA
	JP NZ, PA	go to PP
	JP PP	go to PP
WAIT	PUSH BC	Push BC
	LD B, 15	set B on 15
W1	LD C, 250	set C on 250
W2	LD D, 250	set D on 250
W3	DEC D	D - 1
	JP NZ, W3	D ≠ 0 then go to W3
	DEC C	C - 1
	JP NZ, W2	C ≠ 0 then go to W2
	DEC B	B - 1
	JP NZ, W1	B ≠ 0 then go to W1
	POP BC	pop BC
	RET	Return
ORG	LD A, 01H	Cylind moter stop
	OUT (PIOBD), A	
O1	LD A, 02H	Cylind moter reverse rotation
	OUT (PIOBD), A	Read data from PIOAD
	IN A, (PIOAD), A	Limit - SW1 ON
	BIT 0, A	Go to O1
	JP Z, O1	
	LD A, 01H	Cylind moter stop
	OUT (PIOBD), A	

	RET	Return
CON	PUSH BC	push BC
	LD B, 30	Set B on 30
C1	LD C, 250	Set C on 250
C2	LD D, 250	Set D on 250
C3	DEC D	D - 1
	JP NZ, C3	D ≠ 0 then go to C3
	DEC C	C - 1
	JP NZ, C2	C ≠ 0 then go to C2
	IN A, (PIOAD)	Read data from PLOAD
	BIT 1, A	Hand-sensor ON
	JP NZ, C4	go to C4
	JP PB	go to PB
C4	DEC B	B - 1
	JP NZ, C1	B ≠ 0 then go to C1
	POP BC	POP BC
	RET	Return
	END	

図7はプログラムの流れをフローチャートに、表1は、システムの制御プログラムを示している。フリーチャートに従って作成されたプログラムにより、グリップは動作する。

§ 4 結言

本研究において、シリノイドを使用し、やっこ方式で筒をつかむことのできるシステムを構築した結果を要約すると次のようになる。

- 1. 筒をつかむ機構にシリノイドを使用することにより、コンパクトで剛性のあるグリップを製作することができた。
- 2. いずれの方向からでも、筒をつかむことのできるグリップとすることができた。

参考文献

1) 野原,自動グリップの試作,呉工業高等専門学校研究報告66巻,2004,P.31~36.

2) AKI マニュアル,秋月電子通商.

3) デジタル回路の仕組みが分かる本, 技術評論社.

4) メカトロニクス回路の基礎と演習,総合電子出版社.

5) 野原,選別機能を有する自動缶プレス機の試作, 呉工業高等専門学校研究報告68巻,2006,P.45~52.

二重長方形管内の自然対流に対するアスペクト比の影響

(機械工学科) 野村高広

Effects of Aspect Ratio for Natural Convection in Double Rectangular Duct

(Department of Mechanical Engineering) Takahiro NOMURA

Abstract

For horizontal concentric double rectangular duct with cooled outer duct and heated inner duct, two-dimensional numerical calculations were analyzed. Numerical calculation used repeat calculation tool of "Excel" were carried in a range of Prandtl number $Pr=0.7$, aspect ratio $\gamma=1.0\sim 3.5$ and Rayleigh number $Ra\leq 4060$. It was illustrated streamlines of natural convection, isotherms and average Nusselt number. The flow patterns of natural convection consist of a pair of the "L-type" circulation in side-bottom space and small vortices in upper space. Those flow velocity increases when Ra increases. When γ is growing larger, the vortices number increases. It was shown that 1, 2, 3 and 4 pair of the vortices appeared for $\gamma=1.0, 1.5, 2.5$ and 3.5 , respectively. When γ is growing larger, pattern of isotherm is complicated. The average Nusselt number at the bottom surface decreases with increasing aspect ratio.

Key Words : *Natural Convection, Heat Transfer, Numerical Analysis, Rectangular duct, Aspect ratio*

自然対流, 熱伝達, 数値解析, 長方形管, アスペクト比

§ 1 緒言

密閉空間内の壁の温度差に伴う自然対流に関して、様々な分野に関わる熱流動現象であることからの基礎的な研究が多く報告されている。その中でも二重管内の自然対流熱伝達は熱交換器などにおいて現れる伝熱形態であり、この特性を明らかにしていくことで、熱輸送能力の改善に役立つものと考えられる。また、今日の精密機械の小型化に伴う電子機器系等の効率的な冷却や高精度の温度制御を実現させる基礎資料となる。

この様な背景から、管の断面形状を円とする水平同心二重円管内の自然対流を取り扱った研究報告は多数あるが、管の断面形状が長方形である同心二重長方形管内の自然対流熱伝達の数値解析については舟渡ら⁽¹⁾による報告が存在する程度である。その研究報告において、壁面の温度差に伴う自然対流を原因とする管断面上に発生する循環流や小渦の流動形態が熱伝達に影響を与えることが示されている。しかしながら、舟渡らの報告においては、自然対流のベクトル線図のみ示されており、渦の形態が明瞭となる流線を図示することによる流動形態の特徴を示す考察は行われていない。

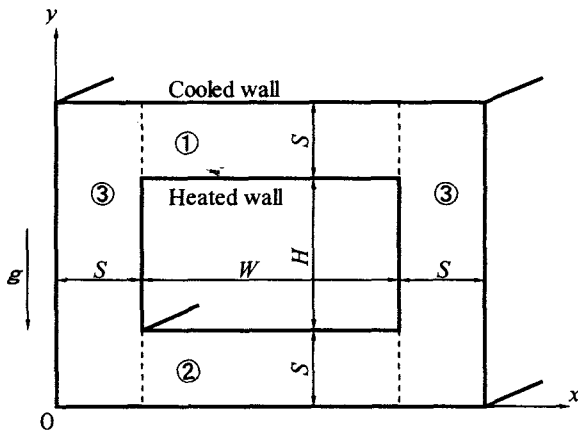
そこで本研究では、同心二重長方形管を対象とし、内管加熱、外管冷却、作動流体を空気として管断面上にお

ける流れ場・温度場の二次元の数値解析を行い管断面上の流線を図示することで自然対流の流動形態について考察した。特に、内管のアスペクト比を変え全体的に横長の断面形状とした場合の流動形態および熱伝達について調べた。

なお、差分法による数値解析を行うために、マイクロソフト社の表計算ソフト「Excel」の表計算機能の一つである「繰返し計算」を利用した。このような Excel を利用した熱流体解析は、森下^{(2),(3)}や岩井ら⁽⁴⁾により、その有効性が示されている。

§ 2 計算方法

本研究での物理モデルを図 1 に示す。水平同心二重長方形管内において、非圧縮性粘性流体が二重管の隙間に満たされ、外管を冷却、内管を加熱とした場合の自然対流を対象とする。外管と内管の隙間を S とし、内管の高さを H 、内管の幅を W と設定し、舟渡らの物理モデル⁽¹⁾を基本として、空間座標 x, y の原点は外管の左下隅とした。ここで内管のアスペクト比 γ は、 W/H となる。また、領域①を上部空間、領域②を下部空間、領域③を側壁空間とする。

Fig.1 Physical model ($\gamma=W/H$, $H/S=2$)

ここで、以下の仮定をおく。

- (1) 速度場、温度場はともに十分発達している。
- (2) 粘性消散は無視する。
- (3) 物体の物性値は一定として、浮力の項に含まれる密度のみが温度により変化する。
- (4) 外管、内管はともに等温壁とする。

本論文で用いる主な記号は、以下の通りである。

- g : 重力加速度
 H : 内管の高さ(=2S)
 Nu : 局所ヌセルト数
 Pr : プラントル数
 Ra : レーリー数
 S : 内管と外管の間隔
 u : 同心二重長方形管の幅方向速度成分
 v : 同心二重長方形管の高さ方向速度成分
 W : 内管の幅
 x : 同心二重長方形管の幅方向の座標
 y : 同心二重長方形管の高さ方向の座標
 α : 熱拡散係数
 β : 体膨張係数
 γ : アスペクト比(=W/H)
 θ : 温度
 ν : 動粘度
 ρ : 密度
 ϕ : 無次元流れ関数

以上の物理モデルおよび仮定から、支配方程式となる連続の式、運動方程式、エネルギー式は次のようになる。

連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots (1)$$

x, y 方向の運動方程式

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad \dots (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(\theta - \theta_c) \quad \dots (3)$$

エネルギー式

$$u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad \dots (4)$$

これら支配方程式を、代表温度差 $\Delta\theta$ に内管の温度 θ_h と外管の温度 θ_c の差 $\theta_h - \theta_c$ 、代表長さ S に内外管の間隔 S 、代表速度に $u_0 = \sqrt{g\beta l_0 \Delta\theta}$ を用いて、無次元化する。無次元化された物理量には、「 $'$ 」をつけて区別する。

連続の式

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0 \quad \dots (5)$$

x, y 方向の運動方程式

$$u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \frac{\partial u'}{\partial y'} = -\frac{\partial p'}{\partial x'} + Pr \left(\frac{\partial^2 u'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} \right) \quad \dots (6)$$

$$u' \frac{\partial v'}{\partial x'} + v' \frac{\partial v'}{\partial y'} = -\frac{\partial p'}{\partial y'} + Pr \left(\frac{\partial^2 v'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 v'}{\partial y'^2} \right) - Pr \cdot Ra \cdot \theta' \quad \dots (7)$$

エネルギー式

$$u' \frac{\partial \theta'}{\partial x'} + v' \frac{\partial \theta'}{\partial y'} = \frac{\partial^2 \theta'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 \theta'}{\partial y'^2} \quad \dots (8)$$

さらに無次元流れ関数 ψ を導入するが、これより無次元化された物理量を示す「 $'$ 」は省略する。

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad \dots (9)$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \dots (10)$$

運動方程式に上記を代入すると以下の状態となる。

$$u \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) + v \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) = Pr \left(\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} \right) - Pr \cdot Ra \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad \dots (11)$$

無次元化した式(8)～(11)を数値計算するために Cheng-Hwang⁽⁵⁾の報告にある中心差分を参考にして差分式に変換する。

x 方向の速度成分: u

$$u_{i,j} = (\psi_{i,j-2} - 8\psi_{i,j-1} + 8\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j+2}) / (12\Delta x) \quad \dots (12)$$

y 方向の速度成分: v

$$v_{i,j} = (\psi_{i+2,j} - 8\psi_{i+1,j} + 8\psi_{i-1,j} - \psi_{i-2,j}) / (12\Delta y) \quad \dots (13)$$

無次元温度: θ

$$\theta_{i,j} = \left\{ \frac{l^2}{2} (\theta_{i+1,j} + \theta_{i-1,j}) + \frac{h^2}{2} (\theta_{i,j+1} + \theta_{i,j-1}) - \frac{h^2 l}{4} u_{i,j} (\theta_{i,j+1} - \theta_{i,j-1}) - \frac{h^2 l}{4} v_{i,j} (\theta_{i+1,j} - \theta_{i-1,j}) \right\} / (h^2 + l^2) \quad \dots (14)$$

無次元流れ関数： ϕ

$$\begin{aligned} \psi_{i,j} = & [2B_1B_2(\psi_{i+1,j} + \psi_{i-1,j}) + 2B_1B_3(\psi_{i,j+1} + \psi_{i,j-1}) - B_2(\psi_{i+2,j} + \psi_{i-2,j}) \\ & - B_3(\psi_{i,j+2} + \psi_{i,j-2}) - 2B_2B_3(\psi_{i+1,j+1} + \psi_{i-1,j-1} + \psi_{i+1,j-1} + \psi_{i-1,j+1}) \\ & + \frac{u}{2hPr}\{B_1(\psi_{i-1,j} - \psi_{i+1,j}) + B_2(\psi_{i,j-2} - \psi_{i,j+2}) \\ & + B_3(\psi_{i+1,j+1} + \psi_{i-1,j-1} - \psi_{i-1,j+1} - \psi_{i+1,j-1})\} \\ & + \frac{v}{2lPr}\{B_1(\psi_{i,j-1} - \psi_{i,j+1}) + B_2(\psi_{i+1,j+1} + \psi_{i-1,j-1} - \psi_{i-1,j-1} - \psi_{i+1,j+1}) \\ & + B_3(\psi_{i,j+2} - \psi_{i,j-2})\} - Ra \frac{\partial \theta_{i,j}}{\partial x}] / (B_1^2 + 2B_2^2 + 2B_3^2) \cdots (15) \end{aligned}$$

ただし、 B_1, B_2, B_3 はつぎの式となる。

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= 2\left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{l^2}\right), \\ B_2 &= \frac{1}{h^2}, \quad B_3 = \frac{1}{l^2}, \\ \frac{\partial \theta_{i,j}}{\partial x} &= (\theta_{i-2,j} - 8\theta_{i-1,j} + 8\theta_{i+1,j} - \theta_{i+2,j}) / 12h \end{aligned} \right\} \cdots (16)$$

以上の u, v, ϕ, θ に対する差分式を連立し、繰り返し計算を行う。境界条件は、無次元流れ関数 ϕ が外壁面、内壁面共に 0、無次元温度 θ は内壁面を 1、外壁面を 0 とした。また、 x 方向速度 u 、 y 方向速度 v においては、内外壁面ともに 0 とした。

収束条件は、 u, v, ϕ, θ に対して、新値と旧値との誤差が 0.01% になるまでとした。 x, y 方向に等間格子となるように、 $\gamma=1.0$ の格子数は 81 (高さ方向) \times 81 (幅方向) = 6561、 $\gamma=1.5$ では $81 \times 101 = 8181$ 、 $\gamma=2.0$ では $81 \times 121 = 9801$ 、 $\gamma=2.5$ では $81 \times 141 = 11421$ 、 $\gamma=3.5$ の格子数は $81 \times 181 = 14661$ とした。なお、この格子数は実際の計算には関係ない内管内部の格子も含めている。

§ 3 計算結果および考察

計算条件として H/S を一定値 2、作動流体はプラントル数 $Pr=0.7$ の空気、レーリー数 Ra を 4060 以下として、図 1 における内管のアスペクト比 $\gamma=W/H$ が 1.0~3.5 の場合について計算を行った。

3.1 γ に対する自然対流の流動形態

レーリー数 $Ra=4060$ においてアスペクト比 $\gamma=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5$ における自然対流の流動形態を示す流れ関数 ϕ の等高線を図 2 に示す。 $\gamma=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5$ に対して、それぞれを図(a), (b), (c), (d), (e), (f)として区別している。

γ が大きくなるとともに、上部空間における小渦の数が、 $\gamma=1.0$ では 1 対、 $\gamma=1.5, 2.0$ では 2 対、 $\gamma=2.5, 3.0$ では 3 対、 $\gamma=3.5$ では 4 対と増えていること分かる。そして、側壁空間と下部空間において、内管の加熱壁近傍の上昇流と外管の冷却壁近傍の下降流により発生する

1 対の L 字型循環流が発生している。

以上示した条件における自然対流の流動形態の特徴は、物理モデルを参考とした舟渡らの報告⁽¹⁾にある流動形態と一致している。

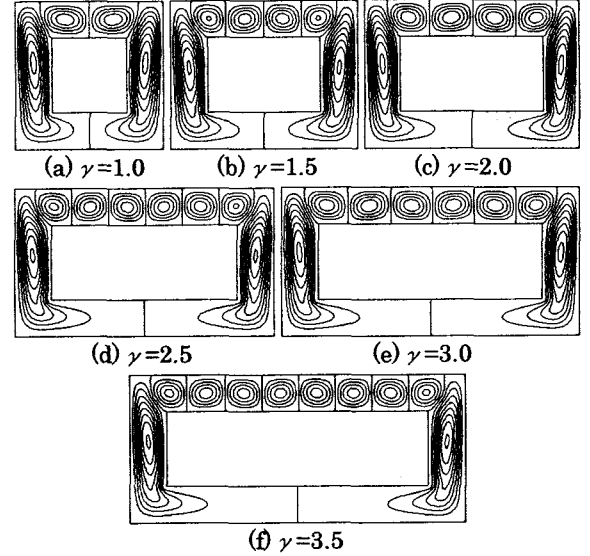


Fig.2 Streamlines for $Ra=4060, \Delta\phi=1$

3.2 Ra に対する自然対流の流動形態

レーリー数 $Ra \leq 4060$ 、アスペクト比 $\gamma=1.5$ の流線を示す流れ関数 ϕ の等高線を図 3 に示す。

まず、図(a)の $Ra=1400$ における管断面上の流線より、同心二重長方形管内での自然対流の渦の状況を示す。上部空間には顕著な渦の形成は見られないが、側壁空間と下部空間において、内管の加熱壁近傍の上昇流と外管の冷却壁近傍の下降流により発生する 1 対の L 字型循環流が発生する。

つぎに、図(b), (c), (d)から $Ra=1500, 1700, 1925$ と大きくなるに従い、上部空間に管中心を通る垂直軸を対称として小渦が 2 対発生する。この小渦の数は、 Ra によって変化はないが、L 字型循環流と小渦とも流速は大きくなる。流速の大小は流線の粗密の状況から判断できる。また図(e), (f), (g), (h)と Ra を増加させていくと 2 対の少渦が顕著に現れてくる。さらに図(i), (j), (k)のように Ra を増加させていく小渦の流線は粗密となり流速が増加していることが分かる。

以上のことから二重同心長方形管内の $Ra=2100 \sim 4060$ では、 $\gamma=1.5$ の場合において、側壁空間と下部空間において現れる 1 対の L 字型循環流と上部空間に現れる 2 対の小渦で構成されることが分かる。

図 3 と同様に、 $Ra \leq 4060$ 、 $\gamma=2.5$ に対応する自然対

自然対流の流動形態の変化を図4に示す。図(a)は $\gamma=1.5$ と同様に上部空間には顕著な渦の形成は見られないが、側壁空間と下部空間において、1対のL字型循環流が発生している。つぎに、図(b)以降では $\gamma=1.5$ と同様に小渦が顕著に現れ、2対ではなく3対となっている。

さらに、 $Ra \leq 4060$ 、 $\gamma=3.5$ に対応する自然対流の流動形態の変化を図5に示す。図(a)では $\gamma=1.5$ 、 $\gamma=2.5$ と異なり上部空間の循環流の境界は左右対称になっていない。図(c)以降は上部空間の循環流の境界は左右対称になっている。さらに小渦の数は $\gamma=2.5$ より1対増加し、4対の小渦が現れている。

3.3 γ に対する等温線の変化

$Ra=4060$ に対する管断面上の温度 θ を等高線分布で表した等温線を図6に示す。上部空間において波状の等高線分布となっている。これは上部空間において小渦の上昇流と下降流に伴い等温線に局所的な粗密の状況が現れるためである。

図(a)から順に等温線の波状の等高線分布は、複雑になっているが、流線の流動形態が左右対称であるため、等温線においても左右対称となっている。 γ が増加し小渦の数が増加していくと、それに伴い等温線の波状の等高線分布は、複雑になっていることが分かる。

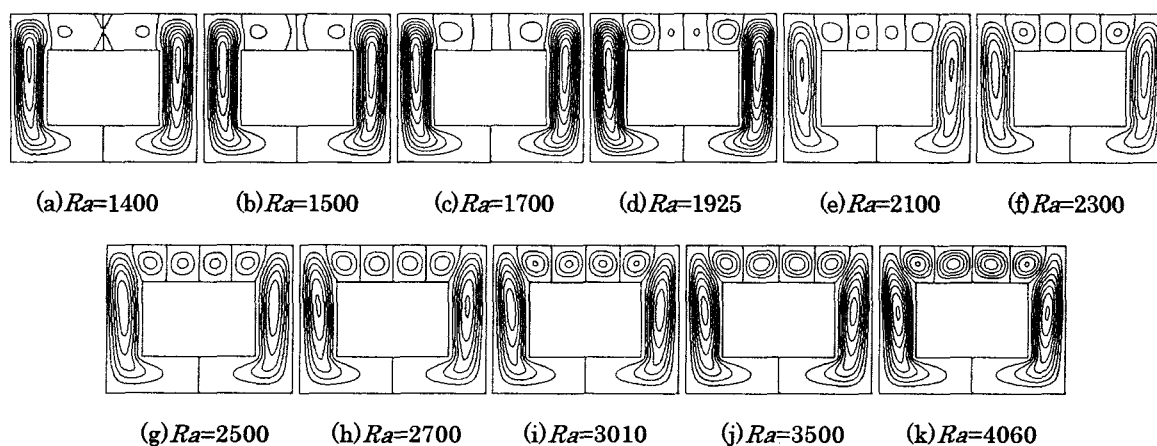


Fig.3 Streamlines for $\gamma=1.5$ [(a)~(d): $\angle\phi=0.5$, (e)~(k): $\angle\phi=1$]

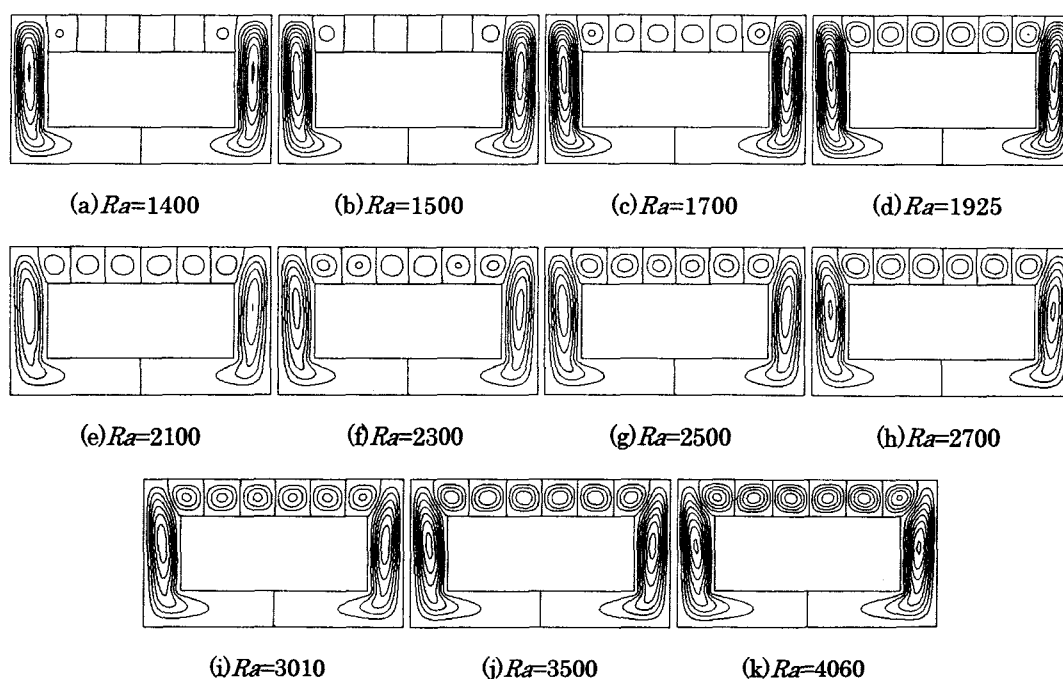


Fig.4 Streamlines for $\gamma=2.5$ [(a)~(d): $\angle\phi=0.5$, (e)~(k): $\angle\phi=1$]

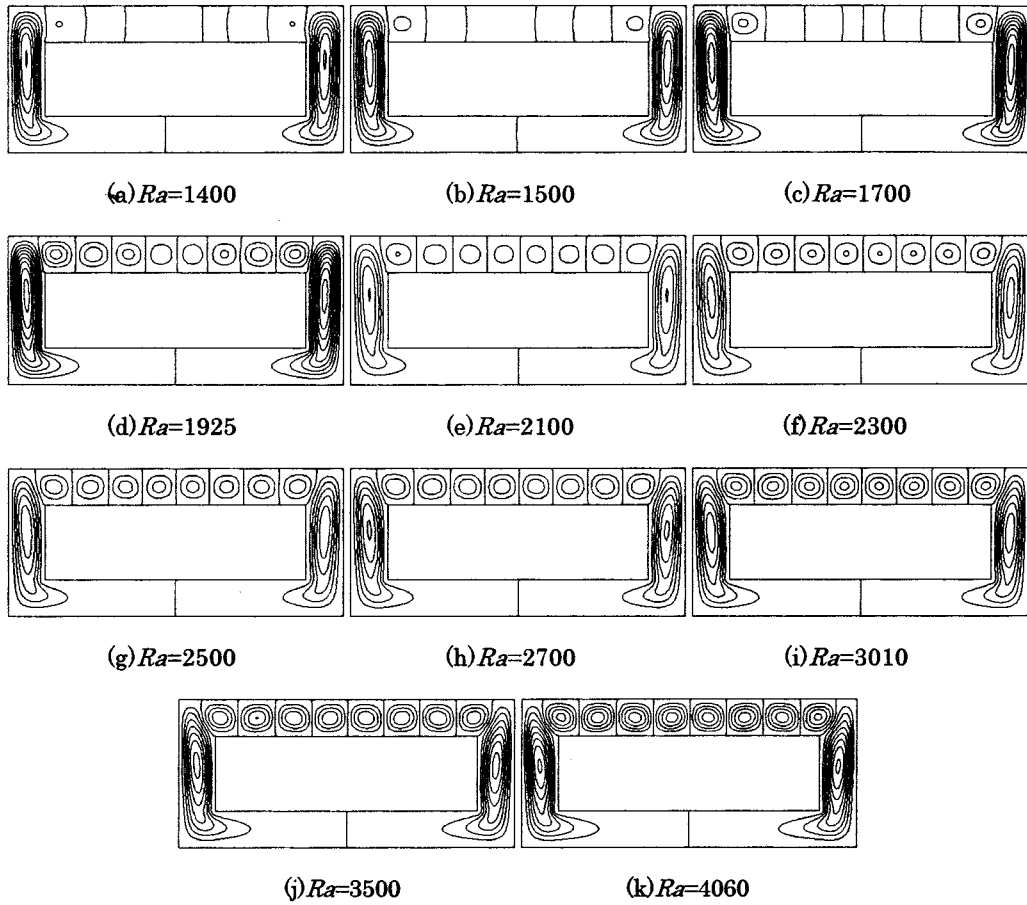


Fig.5 Streamlines for $\gamma=3.5$ [(a)~(d): $\angle\phi=0.5$, (e)~(k): $\angle\phi=1$]

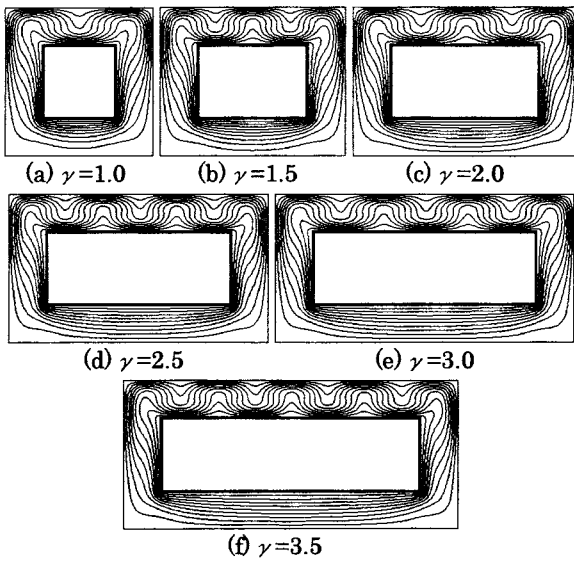


Fig.6 Isotherms for $Ra=4060$, $\angle\theta=0.1$

3.4 γ に対する平均ヌセルト数 Nu_{av} の変化

図 7 に内管壁面の平均ヌセルト数 Nu_{av} とレイリー数 Ra の関係に対するアスペクト比 γ による違いを示す。まず、 Ra が正の場合、上部空間において γ が増加していくと Nu_{av} は大きな変化はなく、 γ の影響が小さいことが分かる。しかしながら下部空間では γ が増加すると Nu_{av} は明らかに減少している。

さらに γ の増加に伴い底壁面での Nu_{av} が、側壁面での Nu_{av} との一致した値から小さくなる。底壁面において Nu_{av} が小さくなるのは、底壁面における L 字型循環流の影響が小さくなり、対流領域の割合が小さくなるためと考えられる。また側壁面の場合は変化が少なく、他壁面に比べて γ による違いが非常に小さいことが分かる。 Ra が負の場合では、外壁が高温、内壁が低温となり上部空間と下部空間の Nu_{av} の状態は正の場合と反転している。

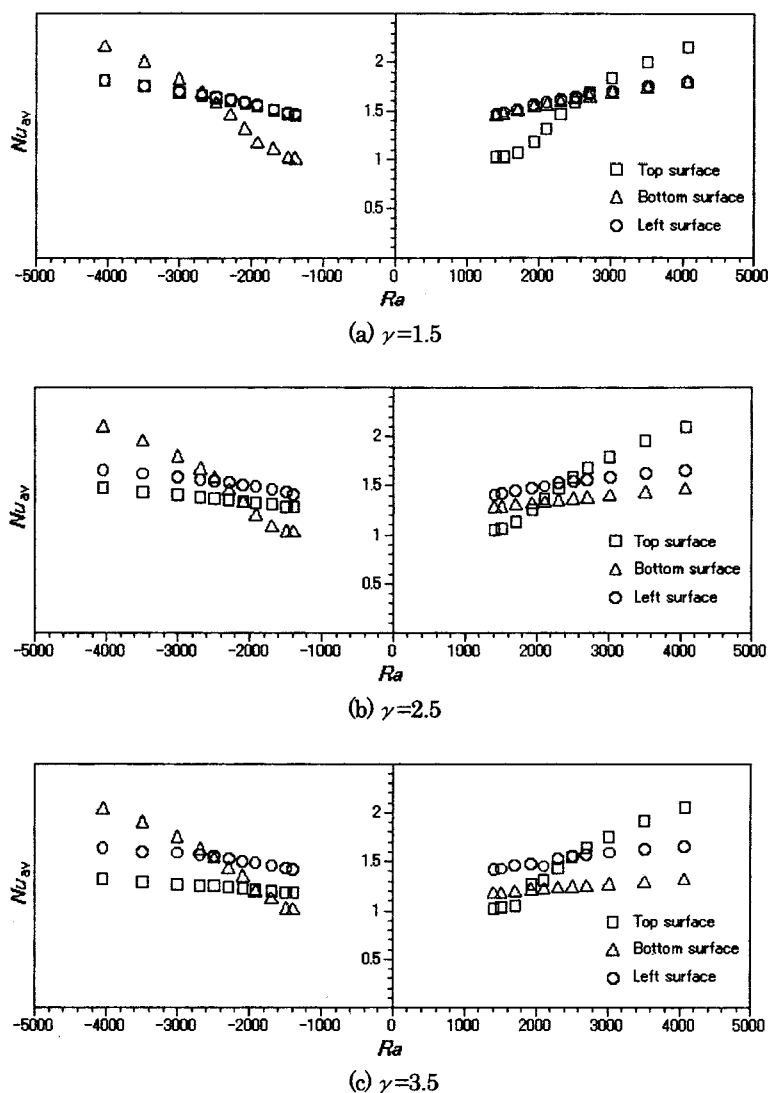


Fig.7 Average Nusselt number Nu_{av} for aspect ratio γ on three surfaces

§ 4 結言

水平同心二重長方形管内自然対流について、 $Pr=0.7$ 、 $Ra \leq 4060$ の範囲で「Excel」における繰返し計算機能を利用した数値解析を行い、自然対流の流線、等温線、平均ヌセルト数とアスペクト比の関係を図示した。特にアスペクト比を $\gamma=1.0 \sim 3.5$ に変えてその影響を調べた。

- ① 自然対流の流動形態は、上部空間に対で存在する小渦と側部および下部空間における 1 対の L 字型循環流により構成され、 Ra が大きくなると流速は大きくなる。
- ② アスペクト比 γ が増加し小渦の数が増すと、小渦の流れに伴い等温線の波状分布は複雑になる。
- ③ アスペクト比 γ の増加に伴い底壁面での Nu_{av} が、側壁面での Nu_{av} との一致した値から小さくなる。

参考文献

- 1) 舟渡裕一・鈴木立之, 同心角パイプ間の自然対流熱伝達, 日本機械学会論文集 B, 63-607, (1997), 986-992
- 2) 森下悦生, Excel で学ぶ流体力学, 丸善株式会社, (2000)
- 3) 森下悦生, 表計算流体力学, 数理科学, No436, October (1999), 76-83
- 4) 岩井 裕・大村高弘・小林健一・富村寿夫・羽田光明・平澤茂樹・吉田英生, エクセルとマウスでできる熱流体のシミュレーション, 丸善株式会社, (2005)
- 5) Cheng, K.C. and Hwang, G.J., Numerical Solution for Combined Free and Forced Laminar Convection in Horizontal Rectangular Channels, Trans. ASME, J. Heat Transf., 91(1969), 1295-1309

非線形光学結晶 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO) の電子状態の研究

(電気情報工学科) 植田 義文

(電気情報工学科) 西川 浩太

(一般科目) 小山 通栄

Electronic Structure of Nonlinear Optical $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO) Crystals

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Yoshifumi UEDA

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Kota NISHIKAWA

(Department of General Education) Michie KOYAMA

Abstract

Electronic structures of nonlinear optical $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ crystals have been studied by means of DV-X α method. It is found that the top region of valence band consists of mainly B- and O-2p wave functions, while 2s and 2p wave functions of Be and B atoms contribute to the conduction band. The effective covalent bond charges are mostly localized on the B-O bonds which indicates that the $(\text{BO}_3)^{3-}$ molecular ring plays an important role for the optical nonlinearity. From the mapping of the electron distributions, it is found that easy cleavage planes are expected to be parallel to the (ab)-plane.

Key Words: 非線形光学結晶, SBBO, DV-X α 法, エネルギー準位図, 状態密度図, 有効共有結合電荷

§ 1 序論

量子効果を利用する量子ゲートなどの半導体電子デバイスの微細化路線はナノメートルの世界に入っており、検査光源やチップ搭載基盤の加工光源などには紫外域光源が必要とされている。短波長の光を発生するのに、エキシマレーザや高価な放射光光源に代わる安定な小型光源が求められている。ここでは固体光源に注目してみる。^{1,2)}

多くの固体光源は赤外領域で発振するため、需要の高い可視から紫外域へ適用できないという制約がある。そのため、非線形光学結晶を使った波長変換が盛んに行われており、短波長域までをカバーした様々な固体レーザ光源が実現している。近赤外域の固体レーザと様々な非線形光学結晶を組み合わせることで、テラヘルツ電磁波から真空紫外域までの広い波長範囲で波長変換の研究が行われている。また、近年量子情報科学の分野では、非線形光学結晶は光エネルギー変換によりエンタングル（絡み合った）した光子対を発生するために積極的に利用されている。

本研究では、DV-X α 分子軌道法による非線形光学結晶 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO) の電子状態のについて報告する。³⁻⁵⁾

1.1 非線形光学効果

一般に物体に光を入射したとき、物体内に誘起される分極 P は入射光電場 E を用いて

$$P = \chi E \quad 1-(1)$$

のように書くことができる。分極 P と E は比例関係である。ここで、 χ は電気感受率を示している。

しかし、光源に Nd:YAG レーザなどの強力なレーザを用いると、入射光電場 E が非常に大きいため、誘起される分極 P は入射光電場 E に対して比例関係からずれてくる。これが非線形光学効果 (nonlinear optical effect: NLO) である。このとき、分極 P は入射光電界 E のべき乗に展開されるため

$$P = \chi_1 E + \chi_2 EE + \chi_3 EEE + \dots \quad 1-(2)$$

のようになる。第2項以降から非線形光学効果が生じ、第2項および第3項をそれぞれ2次および3次の非線形光学効果という。非線形光学効果には様々な現象があり、2次の非線形光学効果では、①光第2次高調波発生 (Second-Harmonic Generation: SHG); $\omega + \omega \rightarrow 2\omega$ 半分の波長の光が発生する現象。②1次の電気光学効果; $\omega + 0 \rightarrow \omega$ 電場を印加することにより、物質の屈折率が変わる現象。③光和周波発生 (SFG);

$\omega_1 + \omega_2 \rightarrow \omega_1 + \omega_2$ 2つの光の周波数の和をもつ光が発生する現象。などがある。3次の非線形光学効果では、①光第3次高調波発生(THG); $\omega + \omega + \omega \rightarrow 3\omega$ $1/3$ の波長の光が発生する現象。②1次の電気光学効果 $\omega + 0 + 0 \rightarrow \omega$ 電場を印加することにより、物質の屈折率が変わる現象。③縮退4波混合 $\omega - \omega + \omega \rightarrow \omega$ 2個の光子により物質中に作られた空間的屈折率分布により生じる現象。④光双安定現象 $\omega - \omega + \omega \rightarrow \omega$ 2個の光子により物質中に作られた空間的屈折率分布により生じる現象などがある。²⁾

これらの効果を上手く利用すると、ある一つのレーザー光から様々な波長の光が得られるようになる。

§2 DV-X α 分子軌道法

2.1 第一原理計算法

分子や固体の電子状態を調べるために、膨大な計算量となる積分を必要とするが、電子状態を求める計算の入力として、原子番号と原子の座標のみの入力でも理論計算を行える。これは量子論の原理のみに基づいた計算なので、第一原理計算と呼ばれる。

2.2 クラスタ法

分子や固体の電子状態は、その分子、固体を構成する全ての原子の原子軌道について計算しなければならないが、第一原理計算法で取り扱える原子数は1000個程度になる。したがって、1モル = 6×10^{23} の原子からなる物質の計算は不可能となるので、物質の中から計算可能なサイズでの原子の集合体(クラスター)を切り出し、それについて分子軌道計算を行うという、近似方法が使われる。この計算法はクラスター法と呼ばれる。その物質を代表できるようなサイズでのクラスターをとることで、任意の原子配列について計算可能である。

2.3 DV数値積分法

Discrete Variational (DV; 離散積分)法によって多中心積分を数値的に行うので、様々な物理量を第一原理から計算できる。DV法では、類似乱数列を用いて3次元の数値積分を行う方法で、1原子あたり数百点という少ない積分点数で精度の高い計算ができる。³⁻⁷⁾

2.4 分子軌道法

原子中の電子の波動関数は、原子を中心とする球対称場でシュレーディンガー方程式を解くことによって得られる。また電子密度は、波動関数の2乗として与えられる。

$$h(r_1)\phi_k(r_1) = \varepsilon_k(r_1)\phi_k(r_1) \quad 2-(1)$$

$$h = -1/2\nabla^2 + V \quad h: \text{ハミルトニアン}$$

原子が複数集まった分子・結晶では、原子の集合体についての多中心のシュレーディンガー方程式で与えられ、原子集合体の波動関数を各原子軌道の波動関数の重ね合わせで表わされる。これは、分子軌道法、あるいは原子軌道の一次(線形)結合で分子軌道を表わすのでLCAO(Linear Combination of Atomic Orbitals)法と呼ばれる。

$$\phi_k(r_1) = \sum (i) C_{ik} \chi_i(r_1) \quad 2-(2)$$

$\phi_k(r)$: 分子軌道(固有関数)

$\chi_i(r)$: 原子軌道の波動関数

LCAO法で近似した分子軌道をシュレーディンガー方程式に代入する。

$$h(r_1) \sum (j) C_{jk} \chi_j(r_1) = \varepsilon_k(r_1) \sum (j) C_{jk} \chi_j(r_1) \quad 2-(3)$$

左から $\chi_i^*(r_1)$ をかけて積分すると、

$$\sum (j) C_{jk} \int \chi_i^*(r_1) h(r_1) \chi_j(r_1) d r_1 = \varepsilon_k(r_1) \sum (j) C_{jk} \int \chi_i^*(r_1) \chi_j(r_1) d r \quad 2-(4)_1$$

となる。

$$H_{ij} = \int \chi_i^* h \chi_j d r \quad 2-(5)$$

$$S_{ij} = \int \chi_i^* \chi_j d r \quad 2-(6)$$

とすると、(4)式は、行列で表わされる永年方程式

$$(\bar{H} - \varepsilon \bar{S}) \bar{C} = 0 \quad 2-(7)$$

となる。 H_{ij} は共鳴積分、 S_{ij} は重なり積分と呼ばれる。行列 \bar{H} および \bar{S} の要素を計算し、永年方程式の対角化を行うことによって、未知変数であるエネルギー固有値 ε (分子軌道エネルギー)と固有ベクトル \bar{C} (LCAOの係数)が求まる。

DV-X α 法では積分をDV数値積分で置き換え、

$$\int d r g(r) \Rightarrow \sum (k) \omega(r_k) g(r_k) \quad 2-(8)$$

となり、行列要素は、

$$H_{ij} = \sum (k) \omega(r_k) \chi_i(r_k) h \chi_j(r_k) \quad 2-(9)$$

$$S_{ij} = \sum (k) \omega(r_k) \chi_i(r_k) \chi_j(r_k) \quad 2-(10)$$

となる。

DV-X α 法は3次元空間の中から任意のサンプル点 r_k を選び、その点での原子軌道やポテンシャル値を求め、各点に重み $\omega(r_k)$ をかけて、全サンプル点について和をとることにより固有値と固有関数を求める方法である。

§3 計算の実行

DV-X α 法による第一原理計算の手順として、³⁻⁷⁾

(1) SBBOの結晶構造と格子定数から3次元座標を求め入力用座標ファイルを作成する。

(2) 座標ファイルを用いてDV-X α 分子軌道計算を行う。

(3) 計算結果よりエネルギー準位と波動関数を求め、

電子状態密度、有効電荷を求める。

- (4) 解析の結果をの視覚化するためにエネルギー準位図や電子分布図(等高線図)などを作図する。

§4 結晶構造

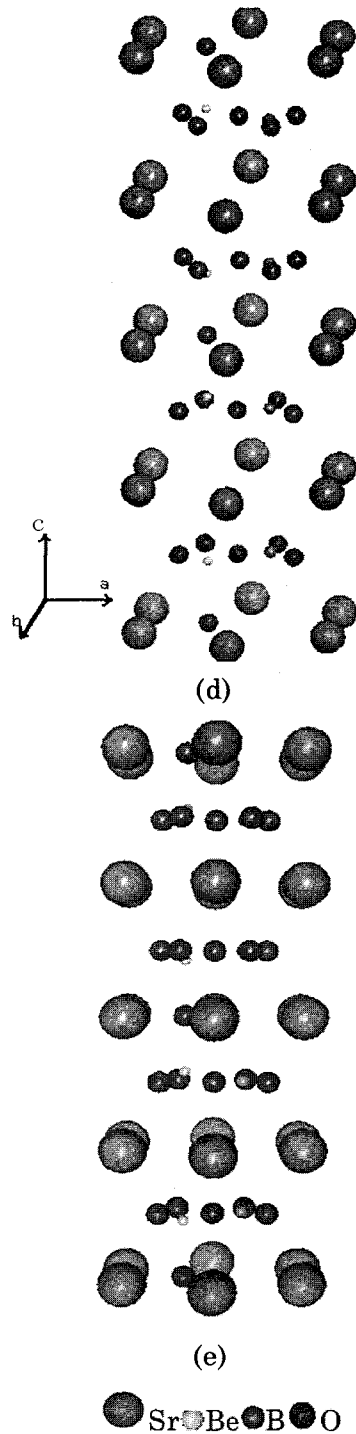
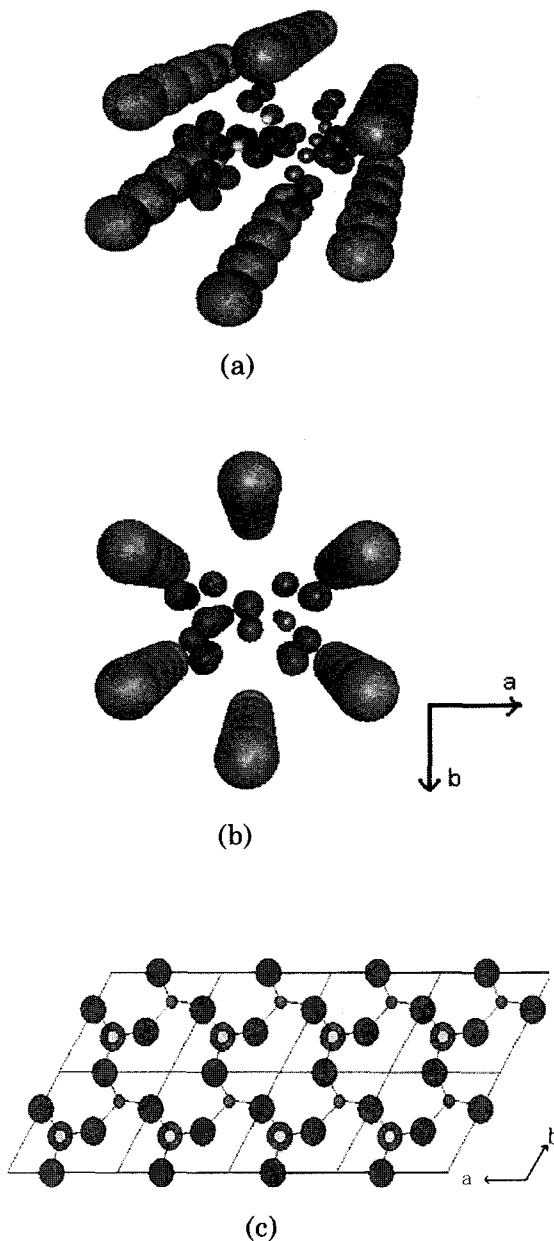


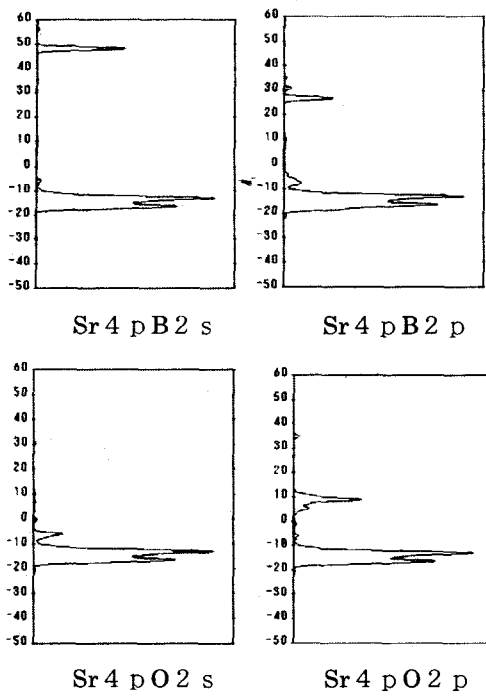
Fig.1. Crystal structure of $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$.

4.1 ホウ酸系結晶

ホウ素(B)と酸素(O)が結合した基本骨格(ボレートリング)と陽イオンの組み合わせから成るホウ素系結晶は、バンドギャップの広いものが多く、紫外域まで透明でレーザ損傷に強いといった特長を持つ。また、複屈率が大きい材料が数多くあり、これらは短波長域の紫外光まで位相整合が可能である。 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO) はホウ酸系結晶の一つである。^{8,9)}

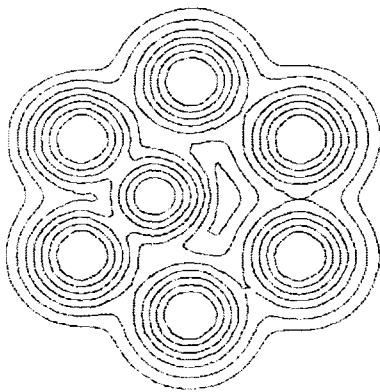
4.2 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO)

$\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO)は、格子定数 $a=4.683(3)\text{ \AA}$ 、 $c=15.311(7)\text{ \AA}$ 、および空間群 $P6C2$ の結晶である。構造の特徴として $\text{Be}_3\text{B}_3\text{O}_6$ リングが二次元の層を形成している。透過波長域は $155\text{ nm} \sim 3.8\text{ }\mu\text{ m}$ (紫外域から赤外域)までの広範囲な波長域にわたって透明な結晶である。最短高調波波長は 200 nm となっている。大型で

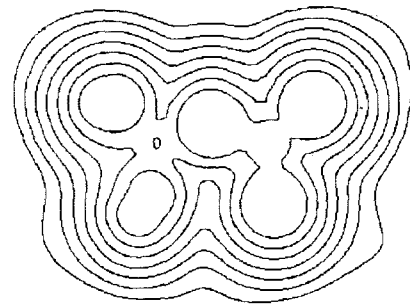
Fig.4. Partial Density of States of $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$.

部分電子状態密度図は、Sr4p 軌道を基準として、他の原子軌道を比較してみた。

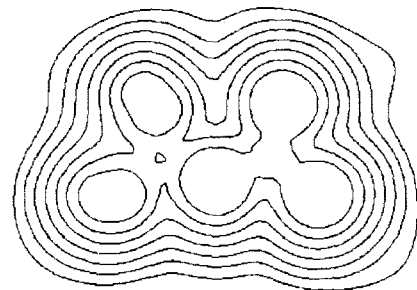
図4を見てみると、Sr4p 軌道が最も高くなっている。価電子帯付近の Sr5s 軌道と O2p 軌道に注目してみると、Sr5s 軌道は 3~13eV まで広がっており、7eV 付近がピークとなっている。O2p 軌道は 5~12eV まで広がっており、9eV 付近がピークとなっている。全電子状態密度図（図3）より、一番状態密度の高い -10~-20eV 付近は Sr4p 軌道によって形成されていることが分かる。



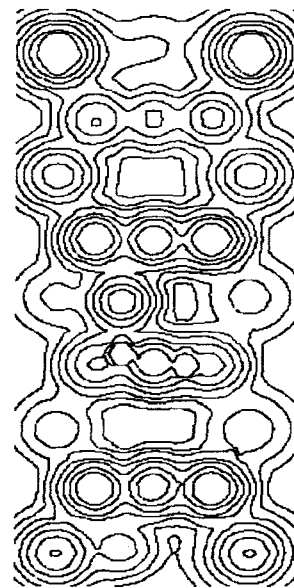
C=0



C=1.91



C=9.56

Fig.5. Mapping of distribution of electronic density at 0, 1.91 and 9.56 of c-axis of $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$.

a-c

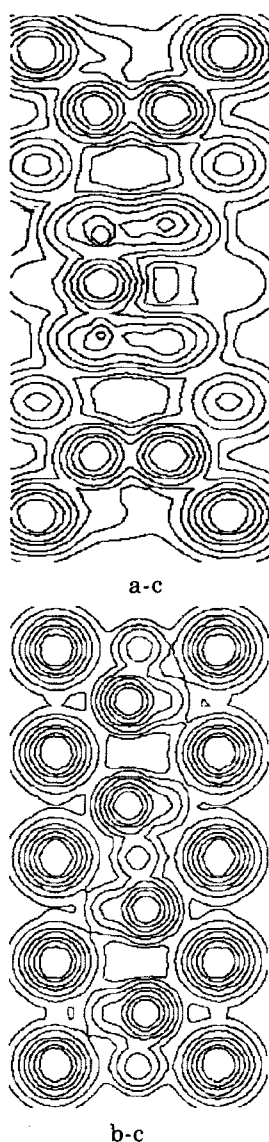


Fig.6. Mapping of distribution of electronic density onto (ac), (bc)-plane of $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$.

Table II. Net Charge

EFFECTIVE CHARGE			NET CHARGE
L0			
1	Sr	37.71674	0.28326
2	Sr	37.34747	0.65253
3	Sr	37.41429	0.58572
4	Sr	37.62847	0.37153
5	Sr	37.72195	0.27805
6	Sr	37.43343	0.56657
7	Sr	37.32471	0.67529
8	Sr	37.77381	0.22019
9	Sr	37.88305	0.11695
10	Sr	37.65071	0.34929
11	Sr	37.55250	0.43750
12	Sr	37.87886	0.12114
13	Be	2.87922	1.12078
14	B	3.63927	1.36173
15	Be	2.83796	1.16204
16	B	3.65654	1.34346
17	O	8.99090	-0.99090
18	O	8.84833	-0.84833
19	O	9.24781	-1.24781
20	O	8.85282	-0.85282
21	O	9.06341	-1.06341
22	O	9.01334	-1.01334
23	O	8.82029	-0.82029
24	O	9.36407	-1.36407
25	O	8.98866	-0.98866
26	O	8.78887	-0.78887
27	O	9.31881	-1.31881
28	O	8.97186	-0.97186
29	O	8.82190	-0.82190
30	O	9.29587	-1.29587

Table III. Average Effective Charge of Sr, Be, B and O Atoms.

Atom	NET CHARGE AV
Sr	0.3882
Be	1.141
B	1.353
O	-1.028

図6より、Sr はほぼ独立していることが分かる。 $C=1.91$ や $C=9.56$ 、b-c 切断面を見てみると、B と O が他原子と比べて強く結びついていることが分かる。B と O の結合について考えてみる。

次に、各原子間の有効電荷(Net Charge)について考える。種類分けした各原子上の有効電荷を表2に示している。電子はマイナスの電荷を持っているので、有効電荷が正の数字だと電子が移動したことになり、負の数字だと電子を受け取ったことになる。よって、有効電荷の大きさはイオン結合性の目安になる。表2より求めた、全電荷密度を表3に示す。この表より Be と B が電子を放出し、その電子を O が受け取っていることがわかる。このことから Be-O, B-O 結合はイオン結合の割合が高いことがわかる。

非線形光学結晶は、分子内の束縛による電子の非線形性を利用するもので、分子内のボンドとして陰イオングループをもつ材料は非線形光学効果が大きいことが知られている。

B, O とともに電気陰性度は大きく(B 2.04 O 3.44)、SBBO は B-O 結合の陰イオングループを持っている。この B-O 結合の陰イオン分子グループに着目すると、このユニットを広げることによって、 $\text{Be}_3\text{B}_3\text{O}_6$ の環状分子となる(図1(c))。平面環状(B_3O_6) $^{3-}$ 陰イオンは、結晶の対象中心がなければ、大きな非線形光学定数をもつ構造であることが分かっている。このことから、 $\text{Be}_3\text{B}_3\text{O}_6$ の環状構造のある SBBO は非線形光学定数の高く、非線形光学効果が大きい結晶であることが分かる。

また、同じホウ酸系結晶である KBBF ($\text{K}_2\text{Be}_2\text{BO}_3\text{F}_2$)¹⁰⁻¹²⁾ と比較すると、SBBO の場合ユニットあたりの(BO_3) $^{3-}$ の密度が KBBF より約2倍高いので、SBBO の非線形光学定数が KBBF のものよりおよそ2倍高いと予想される。

§6 まとめ

今回の研究では DV-X α 分子軌道法を用いて、SBBO

の電子状態を調べた。

SBBOはB-O結合の陰イオングループを持っているため非線形光学効果が大きく、非線形光学結晶として大いに期待できる結晶であることが分かった。

また、SBBO等の非線形光学結晶は育成の困難さや温度特性、非線形光学定数などについて研究が進んでいる。今後、この結晶の育成および短波長の光源への応用、また、量子情報光学への応用を検討していく予定である。^{13,14)}

参考文献

1. 吉野勝美：ナノ・IT時代の分子機能材料と素子開発, NTS (2004).
2. 伊賀健一：レーザ光学の基礎, オーム社 (1998).
3. 足立裕彦：はじめての電子状態計算, 三共出版 (1998).
4. 足立裕彦：量子材料化学入門, 三共出版 (1991).
5. 足立裕彦, 田中功：量子材料学の初歩, 三共出版 (1998).
6. K.Ogasawara, T.Ishii, I.Tanaka and H.Adachi: Phys. Rev. B61, 143-161 (2000).
7. K.Ogasawara, T.Iwata, Y.Koyama, T.Ishii, I.Tanaka and H.Adachi: Phys. Rev. B64, 1154131-1154135 (2001).
8. C.Chen, Y.Wang, B.Wu, K.Wu, W.Zeng, and L.YU: Nature 373, 322-323 (1995).
9. .Chen, Y.Wang, Y.Xia, B.Wu, D.Tang, K.Wu, Z.Wenrong, L.Yu and L.Mei : J. Appl. Phys. 77, 2268 (1995).
10. 植田義文、丸口哲平：呉工業高等専門学校研究報告、第67号、23-29 (2005).
11. D.Tang, Y.Xia, B.Wu, and C.Chen: J.Cryst. Growth, 222, 125-129 (2001).
12. N.Ye and D.Tang, J. Cryst. Growth, 293, 233-235 (2006).
13. Y.Takeno, M.Yusawa, H.Yonezawa and A.Furusawa: Optics Express 15, 4321-4327 (2007).
14. S.Grablacher, T.Paterek, R.Kaltenbaek, C.Brukner, M.Zukowsky, M.Aspelmeyer and A.Zeillinger: Nature 446, 871-875 (2007).
15. <http://www.dvxa.org/>.

付録 計算方法

A.1 分子軌道計算の実行

DV-X α 分子軌道計算の実行には Windows の DOS コマンド下で、DVSCAT というプログラムを用いる。

C: ¥DVXA>dvscat g ¥dvxa¥calc¥sbbo

と入力すると SBBO についての計算が始まり、結果が

エネルギー固有値を表示する F08E と収束性を判断する F36 というファイルに出力される。dvscat g の g は計算を行うクラスターモデルのサイズと、スピンを考慮するかを指定するもので、今回はスピンを考慮せずに計算した。DV-X α 分子軌道計算では各軌道の電子数が計算前と計算後で等しくなる(セルフコンシステントになる)まで繰り返し計算を行う必要がある。一度 DVSCAT を実行すると、10 回繰り返し計算が行われるように設定されている。この DVSCAT を計算が収束条件を満足するまで繰り返し行う必要がある。^{3-7,15)}

A.2 エネルギー準位図の作成

エネルギー準位図とは各分子軌道のエネルギー固有値をグラフ化したもので、どの準位まで電子が詰まっているかが分かる。また、全体のエネルギー準位図がどの原子の軌道から成り立っているかが分かる。LVSHM というプログラムを用いて、

C: ¥DVXA>lvlshm g ¥dvxa¥calc¥sbbo

と入力すると、L07 というファイルが出力され、エネルギー準位図と、エネルギー固有値を表示する F08E のそれぞれの分子軌道における原子軌道の成分を図示する。

A.3 状態密度図の作成

各分子軌道のエネルギー準位に分布関数(ガウス関数、ローレンツ関数)などで幅を付けて書いたグラフ。電子密度の濃淡が分かる。LVSHM というプログラムを用いて、

C: ¥DVXA>dos g ¥dvxa¥calc¥sbbo

と入力すると、D07 というファイルが出力され、結晶全体の状態密度と、ある原子軌道についての状態密度である部分状態密度を図示する。

A.4 波動関数による等高線図の作成

分子軌道の波動関数や電子密度を基に等高線を書いたもの。電子密度を視覚的に分かりやすくする。

CONTR というプログラムを用いて、

C: ¥DVXA>contr g ¥dvxa¥calc¥sbbo

と入力すると、ある断面での波動関数や電子密度の値が求まり、CMAP というプログラムを用いて等高線図を作図する。

エンタングルした量子状態と量子情報科学の基礎

(電気情報工学科) 植田義文

(電気情報工学科) 土井一也

Quantum States with Entanglement and Base of Quantum Information Science

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Yoshfumi UEDA

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Kazuya DOI

Abstract

Since last two decays, quantum information science has been deeply progressed in the field of fundamental interpretation of quantum physics as well as its application and realization of quantum devices. We have searched some introductory part of quantum physics and quantum information science at the present status. We have checked how to realize quantum entanglement and teleportation. Quantum entanglement is expected to be most fruitful phenomena utilized in the field of quantum cryptography.

Key Words: entanglement, quantum information science, quantum bit, quantum teleportation ,
Bell' inequality;

エンタングルメント、量子情報科学、量子ビット、量子テレポーテーション、ベルの不等式

§ 1 はじめに

科学技術の発展は、コンピュータの高速化、通信量の増大など情報化社会にますます影響を与えている。2020 年頃までには現在使用されている素子の大きさがその素子の古典的動作原理の限界を迎えると予想されている。量子論により物理資源を利用する新しい情報処理技術への移行が検討されてきている。量子情報科学は、量子力学の原理に基づいて情報科学を研究する分野で、今日、急速に発展しつつある。この分野では量子コンピュータ、量子暗号、量子テレポーテーションなどの研究が行われている。特に、これらの分野に必要な不可欠な物理的資源となるのが量子エンタングルメント状態と呼ばれるものである^{1,2)}。量子情報科学において重要な量子エンタングルメントがどのように定義され、どのようにそれぞれの分野に使用されているのかについて調査・検討したので報告する。

§ 2 量子情報科学における基本概念

まず量子情報科学を理解するために必要な基本概念を取り上げて説明していく。

2. 1 波動力学

座標ベクトルを $\mathbf{r} = (x, y, z)$ 、時間を t としてポテンシャル $V(\mathbf{r}, t)$ から導かれる力

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}, t) = -\text{grad}V(\mathbf{r}, t) \quad 2.1- (1)$$

の場の中で時間発展する質量 m の粒子の振る舞いは、波動関数 $\psi(\mathbf{r}, t)$ として表される。この関数は、一般に時間を含むシュレーディンガー方程式

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}, t) \right\} \psi(\mathbf{r}, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\mathbf{r}, t)$$

2.1- (2)

の解として与えられる。 $\{ \}$ の中をハミルトニアン演算子 \hat{H} で表すと、

$$\hat{H}\psi(\mathbf{r},t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}\psi(\mathbf{r},t) \quad 2.1-(3)$$

となる。時間を含まない定常状態に対するシュレーディンガー方程式 (time-independent Schrodinger equation) は、波動関数を

$$\psi(\mathbf{r},t) \rightarrow \varphi(\mathbf{r}) \exp(-i\frac{\varepsilon}{\hbar}t) \text{ とし、粒子のエネルギーを } \varepsilon$$

とすると、

$$\hat{H}\varphi(\mathbf{r}) = \varepsilon\varphi(\mathbf{r}) \quad 2.1-(4)$$

と表される。波動関数の絶対値の2乗は、粒子が存在しうる全空間で積分が1に規格化されているとき、ある時刻 t とある位置 \mathbf{r} における確率密度を表す。

2.2 行列力学

シュレーディンガー方程式の波動関数 ψ は、行列表記でヒルベルト空間内のひとつの列ベクトル (状態ベクトル) として表され、ディラックの記号で表記すると、 ψ は $|\psi\rangle$ と書ける。その方法は、まず無限次元の1つの完全規格直交系で波動関数を展開し、完全規格直交系の係数と単位ベクトルで表現する。その単位ベクトルを基底ベクトル ϕ とすると

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ \vdots \end{pmatrix} \\ &= a_0 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix} + a_1 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix} + \dots \\ &= a_0 |\phi_0\rangle + a_1 |\phi_1\rangle + \dots \\ &= \sum_n a_n |\phi_n\rangle \end{aligned} \quad 2.2-(1)$$

となる。この状態ベクトルはケット・ベクトルといい、これ

と複素共役なベクトルはブラ・ベクトルと呼ばれ、 $\langle\psi|$ と

書き、行ベクトルとなる。数式によるブラ・ベクトルとケット・ベクトルの関係は、

$$\langle\psi| = (|\psi\rangle)^\dagger \quad 2.2-(2)$$

となる。ここで、 \dagger は複素共役をとり、転置行列にすることを示している。

2.3 量子ビット

従来の情報科学では全ての情報を「0」か「1」の2つの状態で表現している。この情報を担うのがビット (bit) と呼ばれるもので、物理的にはトランジスタのオン・オフ、メモリセル中の電荷の有無、ハードディスク中の磁性体が持つ磁化方向などの状態を用いて表している。ビットはある瞬間に「0」また「1」のどちらかの状態を取る。これに対して量子情報科学では量子ビット (quantum bit)、あるいは略して q ビットというものをを用いる。量子ビットがとりうる状態は、「0」と「1」の2つの状態以外に、「0」と「1」の重ね合わせ (superposition) の状態がある。量子ビットは、電子の上向きスピンと下向きスピンの2準位量子状態を持つ量子系で表すことができる。しかし、量子系は上向きスピンと下向きスピンの重ね合わせ状態も表現できる。その重ね合わせ状態は、1量子ビットで説明すると、ある瞬間に同時に上向きスピンと下向きスピンを持ち合わせているような状態である。また、光子の偏光の方向や励起原子の離散的エネルギー準位など、任意の2基底量子状態の量子系は量子ビットを表すことができる。その表記法は、ディラックの記号を使って $|\phi_0\rangle$ 、 $|\phi_1\rangle$ または、単に $|0\rangle$ 、 $|1\rangle$ と表すことができる。重ね合わせの状態は、

$$|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad 2.3-(1)$$

となる。 α と β は複素数であり、確率振幅である。ただし

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad 2.3-(2)$$

と規格化されており、 $|\alpha|^2$ は $|0\rangle$ 状態の存在確率で $|\beta|^2$

は $|1\rangle$ 状態の存在確率である。量子ビット状態は2次元複素ベクトル空間のベクトルである。特定の基底状態 $|0\rangle$ と $|1\rangle$ は、このベクトル空間の正規直交基底を構成する。ここで、式2.3(1)は次のように書き換えられる。

$$|\Psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle \quad 2.3-(3)$$

θ と φ は実数で、図1に示すように3次元単位球面上の点で定義される。このような球表現はポアンカレプロッホ球と呼ばれ、量子ビットの状態を操作(ユニタリ変換)するとき、結果としてのその状態はポアンカレプロッホ球面上の運動として視覚化することができる。

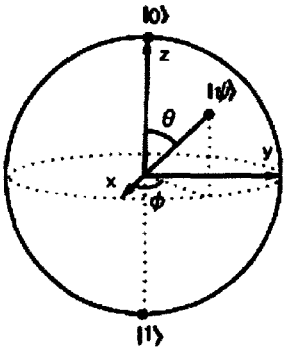


Fig. 1. Visualization of qubit, Poincare and Bloch sphere.

2. 4 量子回路

古典コンピュータが論理ゲートからなる電気回路からできているのと同様に、量子コンピュータは量子ゲートよりなる量子回路によって構成される。量子回路では時間に依存したシュレーディンガー方程式に従う量子系を量子ビットとして使用する。シュレーディンガー方程式が時間反転可能なため量子回路は可逆回路でなければならない。そのため量子ゲートは可逆ゲートで、入力と出力の端子数が等しくなければならない。今日、世界中で様々な量子ゲートが開発されているが、その中でも重要なゲートをいくつか紹介する。1量子ビットの基底状態は行列表現で表すと

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad 2.4-(1)$$

となる。また重ね合わせ状態は

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \\ &= \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \end{aligned} \quad 2.4-(2)$$

である。以下にそれぞれの量子ゲートの行列表示と回路記号を記す。

単一量子ゲート

■NOT ゲート

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad 2.4-(3)$$

$$|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \longrightarrow \boxed{X} \longrightarrow |\Psi\rangle = \beta|0\rangle + \alpha|1\rangle$$

Fig.2. Circuit symbol of NOT-gate.

NOTゲートは基底の列ベクトルを交換する。

■Z ゲート

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad 2.4-(4)$$

$$|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \longrightarrow \boxed{Z} \longrightarrow |\Psi\rangle = \alpha|0\rangle - \beta|1\rangle$$

Fig. 3. Circuit symbol of Z-gate

Zゲートは基底状態 $|1\rangle$ の符号を変える。

■アダマール (Hadamard) ゲート

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \quad 2.4-(5)$$

$$|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \longrightarrow \boxed{H} \longrightarrow |\Psi\rangle = \alpha \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} + \beta \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

Fig. 4. Circuit symbol of Hadamard gate.

アダマールゲートにより重ねあわせ状態が生成される。

多量子ビットゲート

■制御 (Controlled) NOT ゲート

$$U_{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad 2.4- (6)$$

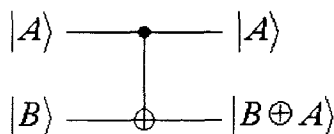


Fig.5. Circuit symbol of Controlled-Not gate.

基底 $|A\rangle$ (以後、制御ビット) の量子ビットが $|0\rangle$ ならば基

底 $|B\rangle$ (以後、標的ビット) の状態をそのまま出力し、制

御ビットが $|1\rangle$ ならば標的ビット $|B\rangle$ の状態を反転させる。

§ 3 量子エンタングルメント

3. 1 量子エンタングルメントの歴史

1935年アインシュタイン (A. Einstein) はポドルスキー (B. Podolsky) 、ローゼン (N. Rosen) と連名の論文を『フィジカル・レビュー』誌 (アメリカ) に発表した³⁾。これは量子力学の量子エンタングルメント状態が局所性を (ある意味) 破るので、相対性理論と両立しないのではないかと量子力学の記述の不完全性を指摘した。この論文の中の思考実験はEPRパラドックスとして知られている。1951年にボーム (D. Bohm) はEPRパラドックスを離散的な2値のエンタングル状態で表現した⁴⁾。その後ベル (J. S. Bell) はボームの分析を深く研究し、1964年に局所性に関する不等式を作り上げ発表した⁵⁾。これはアスペ (A. Aspect)⁶⁾らによる1982年のEPRパラドックスの解決に繋がり、エンタングルした状態は量子力学の基礎の研究に不可欠な要素となっている^{7,8)}。

3. 2 量子エンタングルメントの定義

量子エンタングルメント (Quantum Entanglement) とは、複合系がそれを構成する個々の部分系の量子状態のテンソル積として表せないような状態にあるときに、非局所的な

相関が現れる現象のことをいう。このときの複合系の状態をエンタングル状態という。量子エンタングルメントは、量子もつれ、量子絡み合い、または単にエンタングルメントとも呼ばれる。

・純粋状態のエンタングル状態

部分系Aと部分系Bから構成される複合系 (複数の量子対象を含む系) を考える (ここで系というのは、波動関数であらわされるような任意の量子力学的な状態である)。部分

系Aの純粋状態を $|\phi_A\rangle$ 、部分系Bの純粋状態を $|\phi_B\rangle$ と表

すことにする。どのような $|\phi_A\rangle$ 、 $|\phi_B\rangle$ を用いても複合系

の純粋状態 $|\psi\rangle$ を

$$|\psi\rangle = |\phi_A\rangle \otimes |\phi_B\rangle \quad 3.2- (1)$$

と、テンソル積の形で表すことができないとき、 $|\psi\rangle$ はエンタングル状態であるという。

ここで、純粋状態とはある量子力学的な系の状態が正確にわかっている状態である。これに対して混合状態とは純粋状態ではない状態のことを言う。

また、テンソル積 (\otimes) とは任意の2つのベクトルを内積や外積のように掛け合わせるのではなく、普通に等分配則によってかけあわせたものである。よって新しい基底状態が生成され、大きなベクトル空間となる。つまり複数の状態が組み合わさってひとつの状態となる。

・混合状態のエンタングル状態

純粋状態の場合と同様に、部分系Aと部分系Bから構成される複合系を考える。A、Bの混合状態を密度行列 ρ_A 、 ρ_B で表すことにする。複合系の混合状態 ρ が、

$$\rho = \sum_i p_i \rho_A^i \otimes \rho_B^i \quad 3.2- (2)$$

の形で表すことができないとき、混合状態 ρ はエンタングル状態であるという。

3. 3 具体的な量子エンタングルメント状態

量子エンタングルメントとは複数の量子ビット間に形成される量子力学特有のもつれ合い状態である。まず、量子エンタングルメント状態を作るために量子ビットを用意する。以後、2準位状態からなる量子系として光子の横偏光と縦偏光を使う。その量子ビットを $|H\rangle$ 、 $|V\rangle$ で表す。二個の光子AとBを用いて量子エンタングルメント状態は数式で

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle_A|V\rangle_B + |V\rangle_A|H\rangle_B) \quad 3.3-(1)$$

と表される。これは、 $|H\rangle_A|V\rangle_B$ と $|V\rangle_A|H\rangle_B$ の重ね合わせ状態となっており、テンソル積で表すことができない。そのため、AとBの量子ビットを分離できない。また、AとBのどちらか一方を観測すると、 $|H\rangle$ になるか、 $|V\rangle$ になるかはまったくのランダムであるが、両方を観測すると、Aが $|H\rangle$ なら、Bは $|V\rangle$ に、Aが $|V\rangle$ なら、Bは $|H\rangle$ となる。

このように観測により一方の状態が決まれば、瞬時に他方の状態もきまる性質を量子相関という。つまり量子エンタングルメントは各量子ビット間に量子相関が存在し、かつ分離できない重ね合わせの状態である(図6)。さらに、量子エンタングルメントには非局所性という性質がある。この性質は、エンタングル状態に空間的な制限がないということで、例えばこの2つの光子が100万光年離れても成立する。言い換えると波動関数が空間的に無制限に広がってもいいということである。しかしここで注意しなければいけないのは、Aの光子の状態が決まり、一瞬にしてBの状態が確定されるからといって意味のある情報が光速を超えて伝わっているわけではないということである。

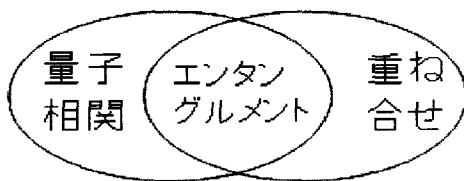


Fig.6. Relation between quantum correlation, entanglement and superposition.

3.4 量子回路によるエンタングルメントの生成

■ 2量子ビット・エンタングルメント生成回路

エンタングルメント生成回路はアダマールゲートと制御NOTゲートによって構成できる。

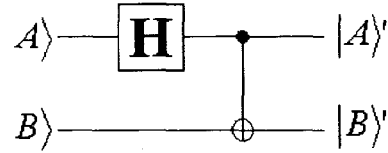


Fig.7. Circuit for generation of two-qubit entanglement.

この回路を行列 E_2 で表すと

$$E_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad 3.4-(1)$$

となる。入力状態に対する出力状態は以下の真理値表で示す。

Table I. Truth table.

$ A\rangle$	$ B\rangle$	$ A'\rangle B'\rangle$
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle_A 0\rangle_B + 1\rangle_A 1\rangle_B)$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle_A 1\rangle_B + 1\rangle_A 0\rangle_B)$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle_A 0\rangle_B - 1\rangle_A 1\rangle_B)$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle_A 1\rangle_B - 1\rangle_A 0\rangle_B)$

3.5 具体的なエンタングルメントの生成法

このエンタングルメント粒子対をつくるための生成法には色々あり、それぞれに長所、短所がある。一般的にはこのエンタングルメントは環境からのノイズに非常に弱く、そのままでは瞬時に崩壊してしまうため、今のところ特殊な実験環境の中でわずかな時間しか使用することができない。そこで現在は一般の環境下でも壊れにくく純度の高いエンタングルメントの生成技術、大量の薄い(弱い)エンタングルメントをもとに少量の純度の高いエンタングルメントを長時間保存する技術など、色々な提案と実験が行われている。

具体的な例として、現在、有力な生成法として次のようなものがある。

■パラメトリックダウンコンバージョン (parametric down conversion)

ホウ酸バリウムのような光学的に非線形な性質をもつ結晶に UV レーザー光をぶつけた場合、一つの光子が波長の長い二つの光子に分裂することがある。これをパラメトリックダウンコンバージョン (Parametric Down Conversion) という。波長が長くなるのはエネルギーを一定に保つためである。また、分裂したそれぞれの光子は、ポンプ光の入射 UV レーザー光を軸として、運動量を一定に保つたように、対称的に二つの円錐に沿って飛んでいく。特に、二つの円錐が交わる場所では、二つの光子を区別できない絡み合いの状態にある。このエンタングルメントした光子対については偏光が互いに直交していることは分かっているが、それぞれの偏光角が具体的にどうなっているかを知ることはできない。このようにしてエンタングルした光子対を作成する。

3. 6 エンタングルメントを応用した情報技術

エンタングルメントを応用した技術には、量子テレポーテーション、量子暗号、量子コンピュータ、量子計算など、すでに多くのものが知られている。中でもとりわけ量子テレポーテーションは、単独で機能するのみならず、高度な情報処理を行う量子ネットワークや量子コンピュータを構築する基本要素としても必要であるため、特に重要な基盤技術として重要視されている。

§ 4 量子テレポーテーション

暗号分野では、情報の送信者のことをアリス、そして受信者のことをボブと呼ぶのが慣例となっている。ここでは、量子テレポーテーションを用いてアリスがボブに情報を送信する手順について見てみる。

いくつか注意すべきことは、量子テレポーテーションを用いても「光速」を超えた情報通信を行うことはできないということである。確かに EPR ペアを用いた量子的な通信手段では瞬時に伝わるが、量子テレポーテーションを完了させるには、インターネットや電話などの古典的な通信手段を併用する必要があるためである。

量子テレポーテーションは情報の伝達形態のことである。

一般的に情報転送を考える時、電子メールにしても何にしても、情報の発信側に情報を残しておくことができ、受信側にオリジナルのコピーを転送している状態といえる。ところが、量子力学を基礎とする量子状態は原理的に、オリジナルの情報をコピーしておくこと (クローンの作成) はできず⁹⁾、片方を消して、片方を残すことになる。このような意味でテレポーテーションと呼んでいる。

4. 1 量子テレポーテーションの流れ

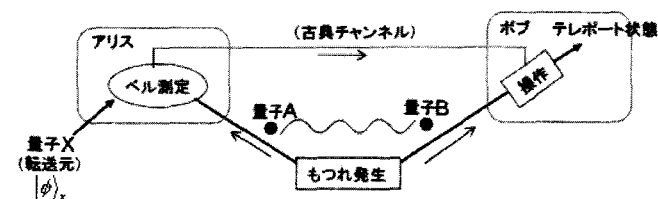


Fig.8. Basic building blocks of quantum teleportation.

■手順

- ① 量子もつれ状態にある量子 A と B をアリスとボブに配布する。
- ② アリスは、自分の転送したい量子の状態 ψ を同時測定 (以下ベル測定という) する。注意することは、量子 A と B をベル測定することにより、両者の相対関係を測定するのであり、量子力学的な重ね合わせの性質を持つ量子を測定してある確定した状態を測定するのではない。
- ③ アリスはベル測定結果を古典的な通信手段を用いてボブに伝える。
- ④ ボブはベル測定結果に基づいて量子 B を操作する。この操作によりボブの量子 B の状態は転送元の量子 ψ の状態と同じとなり転送が完了する。

■数式による説明

- ① 転送したい量子状態 X は一般的に

$$|\phi\rangle_X = \alpha|H\rangle_X + \beta|V\rangle_X \quad 4.1-(1)$$

量子もつれ状態 A、B は、

$$|\psi\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|V\rangle_A|H\rangle_B - |H\rangle_A|V\rangle_B) \quad 4.1-(2)$$

全体をひとつの量子状態としてみると、

$$\begin{aligned}
|\xi\rangle_{XAB} &= |\phi\rangle_X \otimes |\psi\rangle_{AB} \\
&= \{\alpha|H\rangle_X + \beta|V\rangle_X\} \\
&\quad \otimes \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}(|V\rangle_A|H\rangle_B - |H\rangle_A|V\rangle_B) \right\} \\
&= \frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|H\rangle_X|V\rangle_A|H\rangle_B - |H\rangle_X|H\rangle_A|V\rangle_B) \\
&\quad + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|V\rangle_X|V\rangle_A|H\rangle_B - |V\rangle_X|H\rangle_A|V\rangle_B)
\end{aligned}$$

4.1-(3)

となるが、この状態は量子AとBは量子もつれの状態だが、量子Xと量子A,Bは量子もつれの状態ではない。

②ここで、変数変換を行う。

$$\begin{cases}
|\Psi^+\rangle_{XA} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|V\rangle_X|V\rangle_A + |H\rangle_X|H\rangle_A) \\
|\Psi^-\rangle_{XA} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|V\rangle_X|V\rangle_A - |H\rangle_X|H\rangle_A) \\
|\Phi^+\rangle_{XA} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|V\rangle_X|H\rangle_A + |H\rangle_X|V\rangle_A) \\
|\Phi^-\rangle_{XA} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|V\rangle_X|H\rangle_A - |H\rangle_X|V\rangle_A)
\end{cases}$$

4.1-(4)

↓ (変数変換)

$$\begin{cases}
|V\rangle_X|V\rangle_A = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi^+\rangle_{XA} + |\Psi^-\rangle_{XA}) \\
|H\rangle_X|H\rangle_A = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi^+\rangle_{XA} - |\Psi^-\rangle_{XA}) \\
|V\rangle_X|H\rangle_A = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Phi^+\rangle_{XA} + |\Phi^-\rangle_{XA}) \\
|H\rangle_X|V\rangle_A = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Phi^+\rangle_{XA} - |\Phi^-\rangle_{XA})
\end{cases}$$

4.1-(5)

これを(3)式に代入すると、

$$\begin{aligned}
|\xi\rangle_{XAB} &= \frac{1}{2}|\Psi^+\rangle_{XA} \otimes (\beta|H\rangle_B - \alpha|V\rangle_B) \\
&\quad + \frac{1}{2}|\Psi^-\rangle_{XA} \otimes (\beta|H\rangle_B + \alpha|V\rangle_B) \\
&\quad + \frac{1}{2}|\Phi^+\rangle_{XA} \otimes (\alpha|H\rangle_B - \beta|V\rangle_B) \\
&\quad - \frac{1}{2}|\Phi^-\rangle_{XA} \otimes (\alpha|H\rangle_B + \beta|V\rangle_B)
\end{aligned}$$

4.1-(6)

となる。変数変換で量子XとAの基底系を作ること
が現実のベル測定にあたる。こうしてアリスは4つの基底系
 Ψ^+ 、 Ψ^- 、 Φ^+ 、 Φ^- を観測し、その結果をボブに伝える。

③ボブはこの測定結果に応じて状態Bを変換する。例えば

$|\Psi^+\rangle_{XA}$ なら、 $|H\rangle$ と $|V\rangle$ の振幅を交換し、さらに $|V\rangle$ の
振幅に位相 π を与える。

$$\begin{aligned}
&(\beta|H\rangle_B - \alpha|V\rangle_B) \\
\Rightarrow &(\alpha|H\rangle_B - \beta|V\rangle_B) \\
\Rightarrow &(\alpha|H\rangle_B + \beta|V\rangle_B)
\end{aligned}$$

$|\Psi^-\rangle_{XA}$ なら、 $|H\rangle$ と $|V\rangle$ の振幅を交換する。

$$\begin{aligned}
&(\beta|H\rangle_B + \alpha|V\rangle_B) \\
\Rightarrow &(\alpha|H\rangle_B + \beta|V\rangle_B)
\end{aligned}$$

$|\Phi^+\rangle_{XA}$ なら、 $|V\rangle$ の振幅に位相 π を与える。

$$\begin{aligned}
&(\alpha|H\rangle_B - \beta|V\rangle_B) \\
\Rightarrow &(\alpha|H\rangle_B + \beta|V\rangle_B)
\end{aligned}$$

$|\Phi^-\rangle_{XA}$ なら、そのままにする。

$$\begin{aligned}
&(\alpha|H\rangle_B + \beta|V\rangle_B) \\
\Rightarrow &(\alpha|H\rangle_B + \beta|V\rangle_B)
\end{aligned}$$

なお、具体的な変換は光の複屈折媒質による常光線と異常光
線の分離を利用する¹⁰⁾。

こうしてボブの量子ビットの状態は、転送元の量子状態と等

しくなり、テレポーテーションが完了する。

§5 Bellの不等式

量子エンタングルメントは古典物理学と量子力学の本質的な違いを数学的に証明するにあたって、重要な役割をはたす。アインシュタイン、ポドルスキーおよびローゼンは量子力学の非局在性に対し疑問を持ち、その2つの粒子間に隠れた変数があるのではないかと考えた。これに対して Bell は、もし隠れた変数が存在するとしたら成り立つはずの不等式を導出した。逆に言うと、この不等式が敗れていれば量子力学における非局在性が証明されたことになる¹¹⁾。

まず第1ステップとしてある思考実験を行う。

チャーリーは2つの粒子を用意しアリスとボブに送る。アリスはこの粒子に対して2種類の測定を行い、その測定をQ、Rとし、値は+1か-1のどちらかをとる。ボブも同様に測定を行い、その測定をS、Tとする。実験のタイミングはアリスとボブが同時に行う。つまり、自分の測定によって相手の測定に影響を与えないようにする。ここで $QS + RS + RT - QT$ なる量に関して以下の代数的計算を行う。

$$QS + RS + RT - QT = (Q + R)S + (R - Q)T \quad 5- (1)$$

$R, Q = \pm 1$ なので 式は

$$QS + RS + RT - QT = \pm 2 \quad 5- (2)$$

となる。次に $p(q, r, s, t)$ は測定前にシステムが $Q = q, R = r, S = s, T = t$ の値をとる確率であるとする。 $E(\cdot)$ が平均値を表すとする

$$\begin{aligned} E(QS + RS + RT - QT) &= \sum_{qrst} p(q, r, s, t)(qs + rs + rt - qt) \\ &\leq \sum_{qrst} p(q, r, s, t) \times 2 \\ &= 2 \end{aligned} \quad 5- (3)$$

また

$$\begin{aligned} E(QS + RS + RT - QT) &= \sum_{qrst} p(q, r, s, t)qs \\ &\quad + \sum_{qrst} p(q, r, s, t)rs \\ &\quad + \sum_{qrst} p(q, r, s, t)rt \\ &\quad - \sum_{qrst} p(q, r, s, t)qt \\ &= E(QS) + E(RS) \\ &\quad + E(RT) - E(QT) \end{aligned} \quad 5- (4)$$

式5-(3)より、Bellの不等式

$$E(QS) + E(RS) + E(RT) - E(QT) \leq 2 \quad 5- (5)$$

を得る。

つぎに第2ステップとして、これを量子力学によって記述する。

チャーリーは次のような2つのエンタングルした量子ビットを用意し、それぞれアリスとボブに送る。

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A |1\rangle_B - |1\rangle_A |0\rangle_B) \quad 5- (6)$$

2人は次の観測量の測定を行う

$$\begin{aligned} Q &= Z_A, S = \frac{-Z_B - X_B}{\sqrt{2}} \\ R &= X_A, T = \frac{Z_B - X_B}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad 5- (7)$$

これら観測量に対する平均値を量子力学の記号 $\langle \cdot \rangle$ で書く

$$\langle QS \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}, \langle RS \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}, \langle RT \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}, \langle QT \rangle = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

となり、したがって

$$\langle QS \rangle + \langle RS \rangle + \langle RT \rangle - \langle QT \rangle = 2\sqrt{2} \quad 5- (8)$$

となる。

この結果は Bell の不等式を破っている。すると思考実験のどこかに誤りがあったと考えるしかない。それは以下の2点である。

- 1、物理的性質が、観測とは独立に存在する確定した値を持つという実在性の仮定。
- 2、アリスの行う測定が、ボブに影響しないという局在性

の仮定。

Bell の不等式はこれらの仮定のうち、少なくとも1つは正しくないことを示している。

§ 6 量子暗号

量子暗号 (Quantum cryptography) とは、通常は量子状態の特性によって、通信路上の盗聴者を検出できることを利用した新しい量子鍵配送システムである。このシステムは情報理論的に安全であることが厳密に、かつ現実のシステムのさまざまな不完全性を考慮した上で証明されている。したがって、計算量的安全性 (解読にかかる計算量が、膨大であるので安全ということ) しかもたないシステムより強固であるといえる¹²⁻¹⁵⁾。

具体的なプロトコルとしては、量子鍵配送としては初めて提案された、BB84 プロトコルが有名である。現在にいたるまで、実装されている量子鍵配送のほとんどは BB84 であり、安全性の理論的研究も BB84 に集中している。

提案された当初は現実性がないとしてあまり大きな注目をあつめることがなかったが、現在は最大で100キロメートル超の光ファイバーで伝送実験に成功している。さらに劇的に通信距離を伸ばすには、衛星を用いたシステムか、または量子もつれを用いた量子中継などといった手法を導入する必要がある。現在のところ量子情報技術の中で実用化の可能性は、この量子鍵配送プロトコルによるものである。

なお、量子コンピュータが実現された場合に、RSA 暗号などの計算量的安全性に基づく公開鍵暗号は安全では無くなってしまうため、量子コンピュータでも解読不能な公開鍵暗号方式の研究・提案がなされている。その中で、量子コンピュータを用いて実現できる暗号方式を「量子公開鍵暗号」ということがある。

§ 7 まとめ

量子情報科学が古典情報科学と比べて大きく異なる点として、ひとつには量子状態の重ね合わせを用いることである。量子エンタングルメントも量子相関を持った重ね合わせ状態である。今回は量子系を制御するにあたって最小のペアである2粒子のエンタングルメントについて調べた。これはアインシュタインらによる歴史的に見てもすばらしい発見であるが、量子コンピュータや量子通信を実現するにはもっと

多くのエンタングルメント状態を作る必要があり、その方法は量子状態のデコヒーレンスのため極めて難しい^{7,8)}。今のコンピュータが半導体の出現によって急速な発展をしたように、量子情報科学の分野でもそれに似たブレイクスルーを起こることが期待されている。

参考文献

- 1) M. A. Nielsen and I. L. Chang: Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2000).
- 2) W.H. Zurek, Rev. Mod. Phys. **75**, 715 (2003).
- 3) A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen: Phys. Rev. **47**, 777-780 (1935).
- 4) D. Bohm, Phys. Rev. **85**, 166-193 (1952).
- 5) J.S. Bell: Phys. **1**:195-200 (1964).
- 6) A. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger: Phys. Rev. Lett. **49**, 1084-1087 (1982).
- 7) M.P. Almeida, F. de Melo, M. Hor-Meyll, A. Salles, S.P. Walborn, P.H. Souto Ribeiro and L. Davidovich, Science, **316**, 579-582 (2007).
- 8) S. Groblachwer, T. Paterek, R. Kartenbaek, C. Brukner, M. Zukowski, M. Aspelmeyer and A. Zeilinger, Nature **446**, 871-875 (2007).
- 9) V. Scarani, S. Iblisdir, and N. Gisin, Rev. Mod. Phys. **77**, 1225 (2005).
- 10) M. Born and E. Wolf: Principle of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light 2nd edn (Pergamon, Oxford, 1964).
- 11) J.S. Bell: Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics 2nd edn (Cambridge Univ. Press 2004).
- 12) C.H. Bennett and G. Brassard, Proceedings of the International Conference on Computer System and Signal Processing, Bangalore, India, 175-179 (IEEE, New York, 1984).
- 13) C.H. Bennett and S.J. Wiesner, Phys. Rev. Lett. **69**, 2881-2884 (1992).
- 14) A.K. Ekert, Phys. Rev. Lett. **67** 661 (1991).
- 15) N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel and H. Zbinden, Rev. Mod. Phys. **74**, 145 (2002).

ホロー陰極型電極によるヘリウム大気圧グロー放電の生成

(電気情報工学科) 山崎勉

Generation of Atmospheric Pressure Helium Glow Discharge using Hollow Cathode Type Electrodes System

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Tsutomu YAMASAKI

Abstract

In this report, experimental results on the generation of atmospheric pressure helium glow discharge and its fundamental properties are presented. Hollow cathode type electrodes system, 0.5mm in diameter and 3.0mm in length of cylindrical hollow made of brass is tested to generate micro plasma in the mode of glow discharge. Breakdown voltages were measured as a function of helium gas pressure up to 120kPa and compared with the results in air. In the case of helium, dc voltages less than 1kV can generate glow discharges in the hollow cathode. Current-voltage characteristic obtained showed two regions with property of negative differential resistance, due to the hollow cathode effect at low pressure and developing to normal glow mode at about atmospheric pressure. Using appearances of optical emission at cathode end changed with discharge current, normal glow current density calculated of $21 \mu\text{A}/\text{cm}^2/\text{Torr}^{-2}$ were qualitatively in good agreement with other authors' reports.

Key Words: glow discharge, atmospheric pressure helium, hollow cathode, hollow cathode effect, normal glow mode
グロー放電、大気圧ヘリウム、ホロー陰極、ホロー陰極効果、正規グロー様式

1. まえがき

大気圧グロー放電で生成される非平衡プラズマは気体浄化や無毒化、表面処理への応用など多くの分野で研究されている⁽¹⁾。気圧が高くなると放電プラズマは空間広がり制限され熱プラズマ状態のアーク放電を容易に形成する。一般に大気圧グロー放電の生成には熱化を防ぐため、電圧印加時間または電流持続時間を制限することが行われている。しかし連続的に非平衡プラズマを生成するには直流放電を用いたプラズマ生成法が必要となる。ところで多くの気体の中で最も軽い単原子分子であるヘリウムは横方向の粒子拡散が効果的に起こりプラズマの空間収縮が起こりにくいことから、1987年に初めて大気圧グロー放電の生成が実現され、その後多くの不活性気体を用いて均質プラズマの生成が試みられた⁽²⁾。ヘリウムまたはヘリウムにそれ以外の必要な気体を少量混入することでも大気圧グロー放電が生成可能であることが示され、高気圧下でのプラズマプロセスへの応用開発の試みがなされてきた。

使用される電極系で見ると平板または円柱型対向電極(DBD)、細管型、大気中噴出し型(アフターグロー型)、ホロー陰極型などが検討された⁽²⁾。本報告の目的は、ホロー陰

極構造をした電極系を用いると大気圧グロー放電がヘリウム気体中で生成可能であることを確認することである。また数kPaから大気圧にいたる広い気圧範囲における放電開始電圧と気圧の関係や電圧電流特性などの基礎特性を測定することである。

2. ホロー陰極型電極系と実験装置

ここでは直流グロー放電の生成を目指し、電極系として気体吹き出しと高密度プラズマの生成の可能性をもつホロー陰極型電極を使用する。放電生成に使用した電極系はセラミック絶縁円板を金属板で挟む構造で⁽³⁾、その板面に垂直に開けた穴内にグロー放電を形成する。ホロー穴はドリルで機械加工して製作し、その直径は $D=0.5\text{mm}$ とし高気圧での放電を目指した。ホロー陰極構造は低気圧では、低い放電電圧や高い電流密度などのホロー陰極効果が期待できる。

電極金属には厚さ $L=3\text{mm}$ の黄銅板、電極間の絶縁に使用した厚さ 1mm のセラミック円板はアルミナ系素材製である。図1に示すように、真空フランジに固定した電極系をステンレス鋼管製放電管の中央部に設置し、真空排気装置

(RV12 回転ベーンポンプ BOC EDWARDS)に接続した。実験は直流電源を用い、電極系と直列に安定化抵抗 $1.5\text{k}\Omega$ を接続してグロー放電を生成した。放電管内空間は電極系フランジで仕切られるため管内気圧測定には 2 つの真空計(絶対圧力計 AVG134N11 岡野製作所、デジタルマメータ DM-1 柴田科学)をそれぞれ設置した。測定時両真空計は同じ値を指示していた。使用したガスは純ヘリウム G1 である。

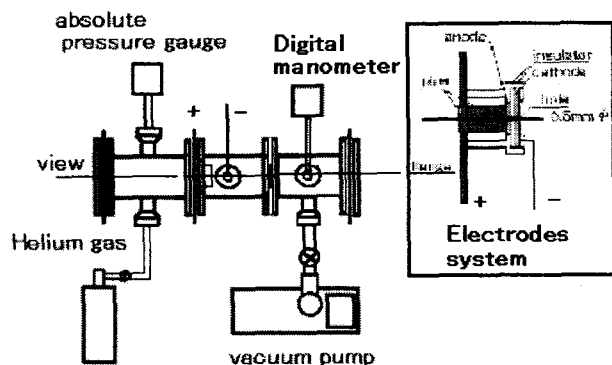


Fig. 1 Experimental setup and electrodes structure, discharge tube is 2.5 inch vacuum system with rotary pump, electrodes system were mounted on metal flange
図 1 電極構造と気体導入排気系統

3. 実験結果と検討

3.1 放電開始電圧と気圧の関係

はじめに、空気を用いて放電開始特性について測定した結果を図 2 に示す⁽⁴⁾。

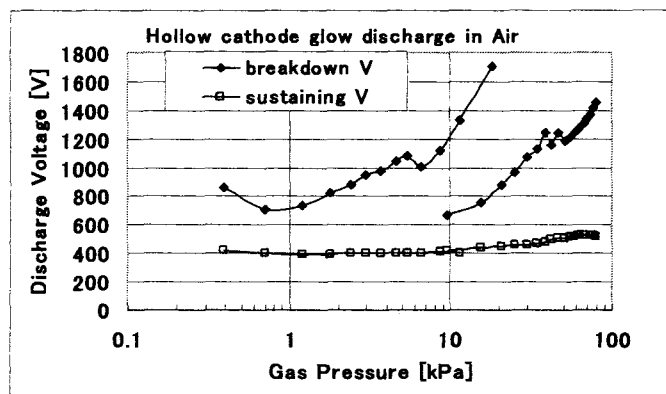


Fig. 2 Breakdown voltage and sustaining voltages as a function of gas pressure, generated glow discharge in air with hollow cathode type electrodes system, (left) without gas flow

図 2 空気を使用した場合の放電開始電圧と放電維持電圧の気圧依存性(気流有/無)

気圧 1kPa 、放電電圧 700V から 20kPa 、 1700V に表れている曲線が空気中での放電開始電圧の測定結果である。使用した電源電圧の制限から測定した気圧範囲は狭くなってい

る。測定結果を元に線形近似により外挿すると大気圧 100kPa で放電するためには $7,000\text{V}$ 以上である事が推定される。空気の場合大気圧放電を実現するにはかなり高い直流電圧が必要であることが推定される。次に図中の 10kPa 、 600V から 80kPa 、 1400V にいたる曲線は気体を流しその流量を増加することで気圧を高くしていったときの放電開始電圧を表している。高速気流のためホロー陰極内の実効気圧が低下しているため低い電圧で放電可能となった。放電維持電圧は両放電ともほぼ同じ値 400V から 500V となった。これらは放電開始直後の電圧を示している。

次にヘリウム気体を用いて放電開始電圧と気圧の関係を測定した。図 3 に示すように大気圧に至る広い気圧範囲において直流電圧 1kV 以下で容易に放電開始している(無気流条件)。気圧依存性はパッシェン曲線を描き、最小破壊電圧はおおよそ 350V 、それに対応する気圧 $p=10\text{kPa}$ とホロー陰極直径 $D=0.5\text{mm}$ の積は $pD=10\text{kPa} \times 0.05\text{cm} = 3.75\text{Torr} \cdot \text{cm}$ である。これより相似則に従って大気圧 100kPa において最小放電開始電圧とするにはホロー陰極径 $0.005\text{cm}=50\mu\text{m}$ となる。空気の場合と比べると、ヘリウムの放電開始電圧は低く、最小電圧になる気圧は 1 桁近く大きくなっている。

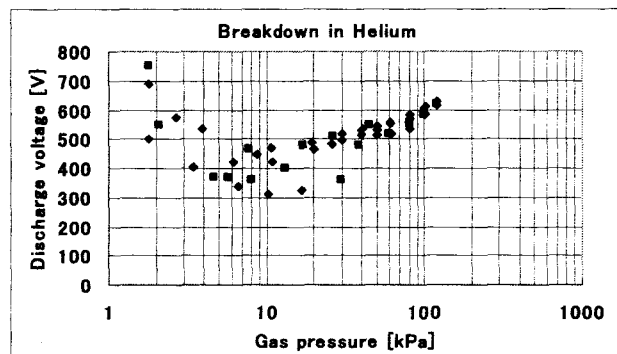


Fig. 3 Breakdown voltages as a function of gas pressure, generated glow discharge in helium with hollow cathode type electrodes system

図 3 放電開始電圧とヘリウム気圧の関係

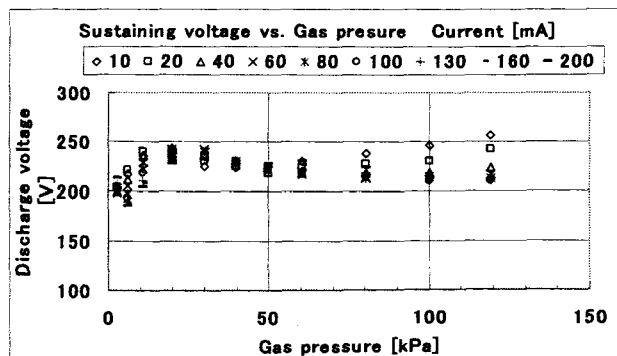


Fig. 4 sustaining voltage as a function of helium gas pressure showed maximum voltage at 20kPa , decreased with increase of discharge current

図 4 気圧と放電維持電圧の関係

放電維持電圧と気圧の関係を図4に示す。空気の場合400Vから600Vの電圧と比べ200Vから250Vの低い電圧で放電可能であることがわかる。

3.2 放電開始特性の検討

放電開始特性の説明にはタウンゼント理論が適用できる。タウンゼントの電離係数 α は平等電界 E 中で定義され、電界方向に単位長さ進むときに発生する電子・正イオン対の数である。 $\alpha/p = A \exp(-Bp/E)$ ヘリウム気体の場合、定数 $A=2.8 \text{ cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$, $B=34 \text{ Vcm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$ が換算電界 $E/p=20-150 \text{ Vcm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$ で測定されている(空気の場合 $A=15 \text{ cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$, $B=365 \text{ Vcm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$)⁽⁶⁾。この α 作用と陰極での γ 作用および電極間の代表距離 d より、放電開始条件は $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$ で表される。ここで γ は陰極面の二次電子放出係数を表す。条件式を変形して $(\alpha/p)pd = \ln(1+1/\gamma)$ 、また空間電荷はほとんどないとして $E = Vs/d$ 以上のタウンゼント理論より放電開始電圧 V_s は次の式で表される。ただし係数 γ は一般に電界と気圧の関数である。

$$V_s = Bpd / \ln\{Apd / \ln(1+1/\gamma)\}$$

この式から放電開始電圧が変数 pd の関数で表されることが分かる。また、最小電圧 $V_{s,\min} = 2.718(B/A) \ln(1+1/\gamma)$ そのときの pd 値 $pd_{\min} = 2.718 \ln(1+1/\gamma) / A$ より実験結果が定性的に説明できる。最小電圧は定数 B/A に関係し

$$V_{s,\min} \propto B/A = 12.3 (\text{ヘリウム}), 24.3 (\text{空気}),$$

$$pd_{\min} \propto 1/A = 0.357 (\text{ヘリウム}), 0.067 (\text{空気})$$

放電開始電圧の最小値 V_s およびそのときの pd 値はともに $\ln(1+1/\gamma)$ に比例し、 γ の増加に対し減少する。ホロー陰極放電では γ 作用が準安定原子や光量子により増強され低い放電電圧での動作が可能となることが分かる。

3.3 放電維持電圧と放電電流の関係

ヘリウム気圧2kPaから120kPaの範囲における放電電流と放電維持電圧の関係の測定例を以下に示す。放電電流200mA以下の範囲での放電維持電圧は220V前後で気圧により両者の関係は少しずつ変化している。

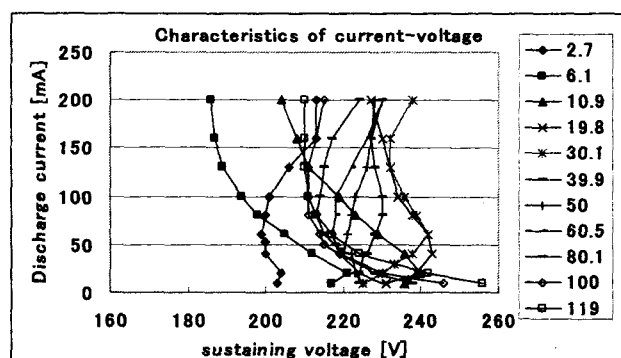


Fig.5 Relations of Discharge current and sustaining voltage for different helium gas pressure

図5 放電維持電圧と放電電流の関係

すなわち、低気圧2.7kPaでは50mAまで電流が増すと電圧が減少し負性抵抗を示し、それ以上では電圧が上昇した(正抵抗特性)。6.1kPaと10.9kPaでは負性抵抗特性のみ。19.8kPa, 30.1kPa, 39.9kPa, 50kPaは正抵抗特性から負特性に変化し気圧が大きい方が変化の始まる電流値が大きい。気圧60.5kPa以上では低電流から負抵抗特性が表れ電流が増すと正特性に変化し気圧が高い方が負特性を示す電流域が広い。

20kPa以下の低気圧で現れた負抵抗特性はホロー陰極効果によると考えられる。50kPa以上の高気圧の負抵抗特性は前期グロー放電または正規グロー放電様式の特徴が現れたと考えられる。以上のように負抵抗特性領域は放電電流と気圧により異なる原因により現れている⁽⁶⁾。これらはホロー陰極前面に広がる陰極降下領域の厚さと気圧の関係から確認できる。

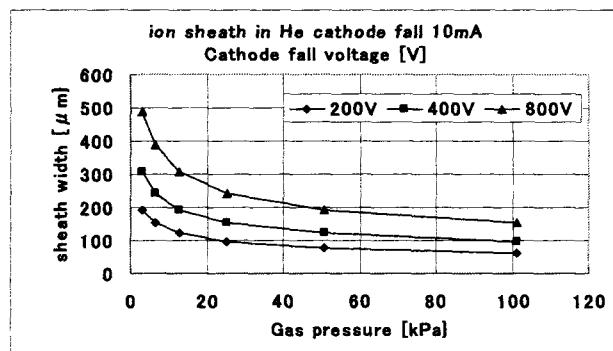


Fig.6 Cathode fall width calculated by ion drift current limited mode in ion sheath

図6 陰極降下幅とヘリウム気圧の関係 放電電流10mAで計算値

ホロー陰極内陰極面から負グローまでの陰極降下領域に蓄積された正イオンはイオン鞘を形成する。直線電界 E 中を、イオン電流(移動度制限電流)が流れると仮定してポワソン式($dE/dx = eN_i$)と移動電流を用いた一次元解析では、電流密度 J 、シース幅 d 、陰極降下電圧 V は次の関係にある⁽⁶⁾。 $J = eN_i \mu_i E$ より N_i を消去して $J = (9 \epsilon / 8) \mu_i V^2 / d^3$
 $\mu_i = 0.92 [\text{m}^2/\text{V/Torr}]$ はHeイオン移動度、 ϵ 。真空の誘電率、陰極の直径 D および長さ L とすると放電電流 $I = JD \pi L = 10 \text{ mA}$ に対して描いた陰極降下幅計算値を図6に示す。

気圧の増加によりシース幅は減少する。電流が小さい方がシース幅は大きい。放電電流10mAではヘリウム気圧1.6kPaでシース幅0.284mm、100kPaでは0.070mm、ホロー陰極直径 $D=0.5 \text{ mm}$ 内に二つの陰極降下が形成されるには気圧は3kPa以上が必要である。この気圧付近でホロー内の負グローが合体し、最も能率よく電子衝突電離が行われる。電流が多い方がシース幅は小さくなるが、負グロー内のプラズマ密度が大きくなることからホロー陰極効果が期待できる。しかし気圧が高くなると陰極シース幅は縮小し、十分な放電電流

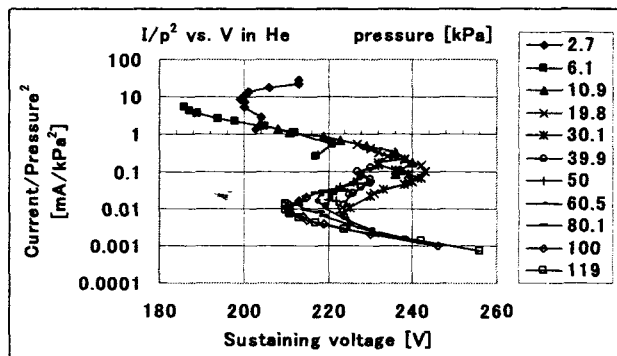


Fig. 7 Current-voltage characteristics, converted to the relation of reduced current and sustaining voltage, according to similarity law,

図7 換算電流と維持電圧の関係

がない場合陰極中心部に陽光柱プラズマが形成され負グロー内で引き起こされるホロー陰極効果は弱まることとなる。

さて相似則に従い放電電流を動作気圧の自乗で割った値と放電維持電圧の関係を図7に示す。図の下側から上側に向かって電流は増加し、最初の電圧低下は正規グロー放電様式の形成、第二の電圧低下はホロー陰極効果に由来すると考えられる。またホロー陰極効果が表れる低気圧域はパッシェン曲線の最小電圧にほぼ対応していると考えられる。

そこで発光の様子を陰極側から観測し放電形態を検討したのでその結果を以下に示す。

3.4 発光空間分布と電圧電流特性の関係

ホロー陰極の発光状態を陰極側から観察した結果では高気圧の場合(101kPa)、発光部はホロー陰極内部に限定される(図10)。その様子をフィルタなしで直接観測するとほぼ陰極直径と同じ円形の発光として左の図のように観測される、フィルタを通すと明るい部分が主に観測され低電流では陰極径より小さく観測される(右図10)。低気圧の場合(10kPa)、電流がある値を越えるとホロー陰極外部に発光面が広がり陰極径より大きな発光が観測される(図8)。ホロー陰極内の陰極降下幅が陰極半径より大きい低気圧放電では負グローの一部が陰極外に噴出しその発光が観測される。陰極降下幅が陰極半径より小さくなると(20kPa)負グロープラズマは陰極内収まり、ホロー陰極効果が表れるが、放電電流が正規グロー放電の陰極電流密度で支えきれなくなると陰極外部の一部から電子を供給する必要が生じそれに対応する発光が観測される(図9)。図では電極外側表面に4つの発光スポットが観測され、ホロー内面に加えそれぞれが二次電子を供給し陰極として活性化されている。放電電流が増すと陰極外面の発光域は広がっていった。気圧が高くなるとホロー陰極内面の二次電子供給が可能な電流領域が広がり120kPaでは電流200mAで陰極ホロー外部に発光部は現れなかった。

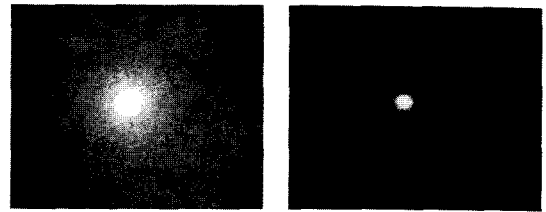


Fig. 8 Picture of optical emission from cathode end, with a ND-filter (right), helium 10.5kPa, 60mA, negative glow plasma come out of the hollow

図8 陰極側から見た発光 10.5kPa, 60mA 右はNDフィルタ使用、右図中央の円形発光部はホロー陰極直径0.5mmに対応し、そこから放射状に噴出した負グロープラズマの発光のため発光円の直径が広がって見える。

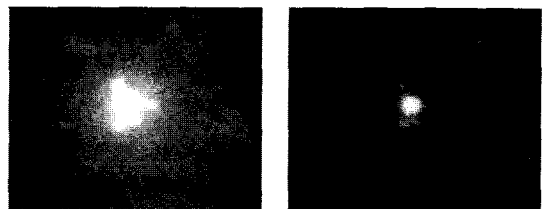


Fig. 9 Picture of optical emission from cathode end, with a ND-filter (right), helium 20.3kPa, 60mA, cathode surface out of the hollow operate as electron source

図9 陰極側から見た発光 20.3kPa, 60mA 右はNDフィルタ使用、右図中央の円形発光部がホロー陰極で図8とほぼ等しい直径を示す。陰極円の周辺に伸びる発光は陰極活性領域を示しホロー外面に現れた陰極降下領域である

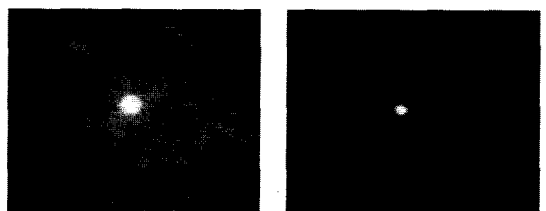


Fig. 10 Picture of optical emission from cathode end, with a ND-filter (right), helium 100.8kPa, 60mA, negative glow plasma is all confined in the hollow cathode

図10 陰極側から見た発光 100.8kPa, 60mA 右はNDフィルタ使用、高気圧では負グロープラズマが陰極中心部にあり(右図)、フィルタを除くと左図のように陰極空間内全体が発光して見える。

3.5 正規グロー放電様式の電流密度

ホロー陰極外部の陰極面に発光が表れ始めたときの電流値を測定し、その気圧依存性を図11に示した。図中、測定電流値は■印で示してあり、相似側 J/p^2 より放電電流の気圧依存性は二次関数が適用できるのでその近似曲線を同時に示してある。これより大気圧100kPaでは450mAまでホロー陰極内に負グローまたはプラズマが閉じ込められると推定される。

この値から黄銅製陰極のヘリウム気体中グロー放電における正規電流密度が推定できる。すなわち、ホロー陰極内面全体が二次電子放出を行う陰極活性領域となった後ホロー陰極外面にその領域が広がると考えられる。その変化の境界電流値より計算できる。図 11 の電流値に対し電流密度を計算した結果が図 12 に示してある。気圧依存性が見られるが、低気圧での観測は発光が強いためホロー外面の発光の区別が難しく測定値に大きな誤差を含む。20kPa 以上の測定結果より計算した正規グロー放電陰極電流密度はおよそ $21 \mu\text{A}/\text{cm}^2/\text{Torr}^2$ である、ヘリウム-鉄平行平板電極にて $7.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2/\text{Torr}^2$ の報告があり⁽⁵⁾、ホロー陰極構造によるガンマ作用の増加を考えると比較的よい一致と考えられる。

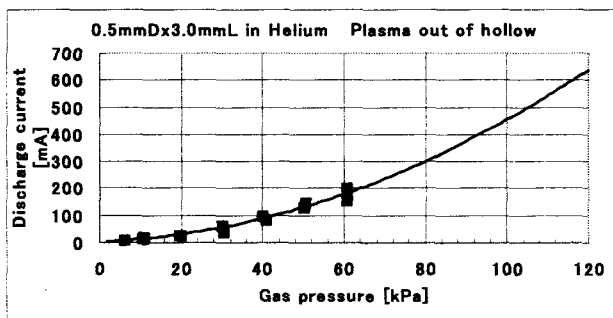


Fig. 11 threshold current active cathode area appear out of the inner surface of hollow cathode

図 11 ホロー陰極外部に発光部が現れる電流値

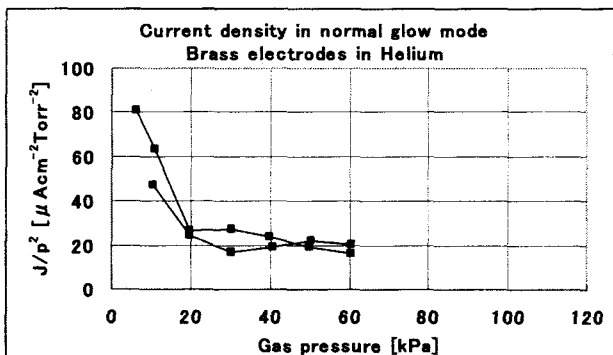


Fig. 12 current density of normal glow mode of helium glow discharge with brass electrodes calculated from threshold current of appearing emission outer surface of hollow

図 12 ホロー陰極内に陰極降下域が閉じ込め可能な電流より得た電流密度計算値

4. まとめ

ホロー陰極型電極を用い、ヘリウム気体中で放電基礎特性を測定した。使用した電極は直径 0.5mm 長さ 3mm のホロー陰極・ホロー陽極として暑さ 1mm のセラミックで絶縁した構造である。1kPa から大気圧を越える 120kPa までの気圧範囲でグロー放電の生成が可能であることが確かめられ

た。空気の場合(20kPa で dc2kV 以上の電圧を必要とする)と比べ、放電開始電圧は直流電圧 1kPa 以下で、最小電圧 300V は 10kPa 付近であった。放電維持電圧は 180V から 260V の範囲で気圧により電流と電圧の関係は大きく変化していた。20kPa 近傍ではホロー陰極効果、60kPa 以上では正規グロー放電様式により負抵抗特性を示した。

陰極面の発光状態からヘリウムグロー放電の正規グロー放電電流密度を推定し、黄銅製電極の場合 $21 \mu\text{A}/\text{cm}^2/\text{Torr}^2$ の値を得た。

参考文献

- (1) K. H. Becker, K. H. Schoenbach, and J. G. Eden: (Topical review) Micro-plasmas and Applications, J. Phys. D Appl. Phys. **39**(2006) R55-R70
- (2) 小駒益弘(総論): 特集「大気圧プラズマの生成と応用」電気学会誌 126 巻 12 号(2006)pp779-800
- (3) Robert H. Stark and Karl H. Schoenbach: "Direct current high-pressure glow discharge", J. Appl. Phys. **85**(4) (1999) pp2075-2080
- (4) 山崎勉:「高気圧空気ホロー陰極放電に対する気流の影響」呉高専研究報告 **67**(2005)pp31-35
- (5) 電気学会「放電ハンドブック」オーム社(1978)p72,p110
- (6) J. W. Frame, D. J. Wheeler, T. A. DeTemple, and J. G. Eden: "Microdischarge devices fabricated in silicon", Appl. Phys. Lett. **71**(9)(1997) pp1165-1167

飽和粘性土の有効応力及び破壊特性

(環境都市工学科) 小堀 慈久

Effective stress and a strength characteristic of saturated clay
(Department of Civil Environmental Engineering) Shigehisa KOBORI

Abstract

It is important to excavation in the ground and the behavior of the ground by the construction of the structure accurately. Especially, it might have a hard influence on the structure around the ground in the surrounding by the excavating work of the adjoining land board of the existing structure in the soft ground. The consideration here examines from the process from the behavior of the effective stress in the saturated clay soil to destruction, and moreover an examination of the process from the behavior of the mean effective stress to destruction. The mean effective stress path obtained from the mean effective stress requests from the effective axis difference stress and the mean effective stress. And this critical line is called Roscoe's critical state line and the angle of this line is shown in M. Obtains the angle of effective shear resistance from this, and evaluates strength. Here, the difference of a mechanical characteristic by the restraint pressure constancy examination, the average main stress constancy examination, and the axis pressure constancy examination was considered by Consolidated Undrained shear test(CU) by using the normally consolidated clay sample by preloading that obtained the route to the strength change and destruction in the soft ground by Omits while changing a maximum and a minimum main stress

Keywords: consolidation, saturation clay, effective stress, Critical State Line, pore water pressure coefficient

圧密、飽和粘性土、有効応力、限界状態線、間隙水圧係数

1.はじめに

地盤掘削や構造物の建設による地盤の挙動を正確に把握することは重要である。特に軟弱地盤において、既設構造物の隣接地盤の掘削工事により、周辺地盤、周辺構造物に大きな影響を与えることがある。ここでは、飽和粘性土中の有効応力の挙動、破壊に至る過程から検討、また、平均有効応力の挙動、破壊に至る過程から検討を行う。平均有効応力から得られる平均有効応力経路は有効軸差応力と平均有効応力から求める。そして、この限界線をロスコーの限界状態線(Critical State Line)と言い、この勾配をMで示す。これより有効せん断抵抗角(有効内部摩擦角)を得て強度の評価を行う。ここでは、軟弱地盤中の強度変化、破壊に至る経路を最大・最小主応力を変化させながら、予圧密によって得られた正規圧密粘土試料を用い、拘束圧一定試験と平均主応力一定試験、軸圧一定試験での力学的特性の違いを圧密

非排水三軸試験(CU)により考察した。

2.試料作成法および実験方法

2.1 試料作成法

本実験では普通の粘土試料を用い、任意の間隙比になるように、粘土量と水量を配合計算により算出する。まず、以下に示す経験式に任意の間隙比を代入し、含水比を求める。次に、経験式に求めた含水比を代入し、湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$ を求める。供試体の初期高さにおける供試体容積を求め、モールドに詰める必要供試体質量(水+粘土)を求める。本実験では、必要供試体質量に余裕を持たせるため一律4.9kgとした。

$$e = 0.00196w - 0.2464 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 e : 間隙比(-) w : 含水比(%)

$$\rho_t = -0.007w + 2.0562 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 ρ_t : 単位容積質量(g/cm^3) w : 含水比(%)
次に試料配合を行い、予圧密段階に入る。本実験

では、最終圧密圧力 175kPa まで段階的に载荷していき、目標とする沈下量(モールド上端から有効板上端までの高さ 39mm:完成供試体高さ 120mm)を満足したら载荷を中止し、セットから外す。

2.2 湿潤密度試験(ノギス法)

湿潤密度試験は、JIS A 1225 に基づいて行った。供試体(上部、中部、下部)の質量 $m(g)$ 、削りくずで含水比 $w(\%)$ を測定する。ノギスで供試体(上部、中部、下部)の平均直径 $D(cm)$ 及び高さ $H(cm)$ を測定する。そのデータを基に、供試体の体積 $V(cm^3)$ 、供試体の湿潤密度 $\rho_t(g/cm^3)$ 、乾燥密度 $\rho_d(g/cm^3)$ 、間隙比 $e(-)$ 、飽和度 $S_r(\%)$ を算出する。

2.3 圧密試験

圧密試験は、JIS A 1217 に基づいて行った。この試験は一般的に行われる段階载荷による圧密試験で、直径 6cm、高さ 2cm の供試体を用いて、側方変位を拘束し、上下面の排水を許した状態で、荷重を初期値から荷重増分比($\Delta p/p$)が 1 になるよう段階的に 24 時間载荷し、その間の時間 $t(min)$ と圧密量 $d(mm)$ を測定する。本研究で用いた圧密圧力 p は次の 8 段階である。

圧密圧力 p : 9.8、19.6、39.2、78.5、157、314、628、1256kN/m²

2.4 三軸圧縮試験

2.4.1 飽和過程

供試体下端の排水経路より供試体内部に脱気水を通水する。本実験では背圧 $u_b(kPa)$ を 50~100 kPa 程度とした。必要に応じて、真空ポンプで負圧を発生させ B 値を測定し、 $B \geq 0.95$ を満たした時点で飽和過程は終了とした。

2.4.2 圧密過程

背圧 $u_b(kPa)$ とセル圧 $\sigma_c(kPa)$ をそれぞれ所定の値に設定する。本実験では、圧密応力 $\sigma_r = \sigma_c - u_b(kPa)$ を予圧密での最終荷重を応力に換算したもの(拘束圧)に設定し、正規圧密試料で実験を行った。圧密応力はいずれも $\sigma_r = 175kPa$ とした。圧密中の体積変化量 $\Delta V_t(cm^3)$ を 720 分までに測定し、圧密による体積変化量 $\Delta V_c(cm^3)$ を求めた。

2.4.3 せん断過程

本研究のせん断過程においては、通常の方法(拘束圧一定)と、平均主応力一定、軸圧一定による方法を用いた。それらを以下に示す。

(a)拘束圧一定試験($d\sigma_a > 0, d\sigma_r = 0$)

側圧一定で軸圧を増加させていく。軸ひずみ速度 ε_a を 0.1%/min とし、最大軸ひずみが 15%に到達するまで行った。

(b)平均主応力一定試験($d(\sigma_a + 2\sigma_r) = 0, d\sigma_a > 0, d\sigma_r < 0$)

軸圧と側圧の二倍を加えた値を一定に保ちながら側圧を減少させ、軸圧を増加させるという方法。軸ひずみ速度 ε_a を 0.1%/min とし、最大軸ひずみが 15%に到達するまで行った。

(c)軸圧一定試験($d\sigma_a = 0, d\sigma_r < 0$)

軸圧一定で、側圧を減少させていく。始めに所定の軸圧を与え、その値を維持しながら 2kPa/2min ずつ側圧を減少させていき、150min 経過した時点で終了とした。

全ての条件において、軸圧縮力 $P(N)$ 、軸変位量 $\Delta H(cm)$ 、間隙水圧 $u(kPa)$ を測定する。以下、グラフではそれぞれの試験を(a)(b)(c)で示す。

3.試験結果および考察

本実験で使用した粘土試料の物性値及び粒形加積曲線、コンシステンシー限界及び流動曲線を以下に示す。

表-1 物性値

	透水係数 $k(cm/s)$	土粒子の密度 $\rho_s(g/cm^3)$	均等係数 U_c	間隙比 e
物性値	1.2×10^{-7}	2.622	2.33	0.85

表-2 コンシステンシー限界

液性限界 $w_L(\%)$	42.6
塑性限界 $w_p(\%)$	25.3
塑性指数 I_p	17.3

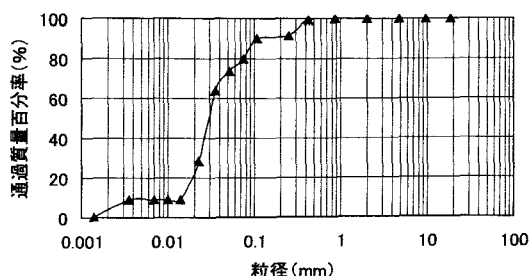


図-1 粒径加積曲線

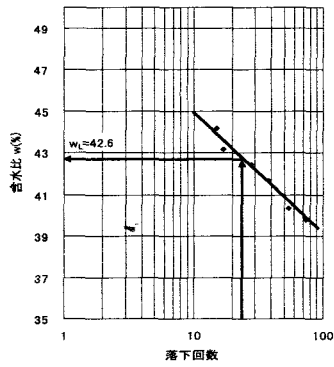


図-2 流動曲線

図-2 の流動曲線より落下回数 25 回に相当する含水比を読み取ると、液性限界 $w_L=42.6\%$ を得た。この値は、土の種類では粘土(洪積層)にあたる。また、塑性限界は $w_p=25.3\%$ であり、この値も粘土(洪積層)にあたると言える。

3.1 圧密試験結果

圧密試験の結果詳細を以下に示す。

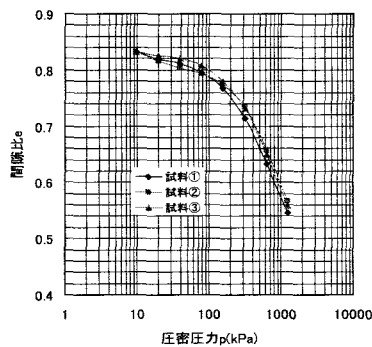


図-3 圧縮曲線(e-logp)

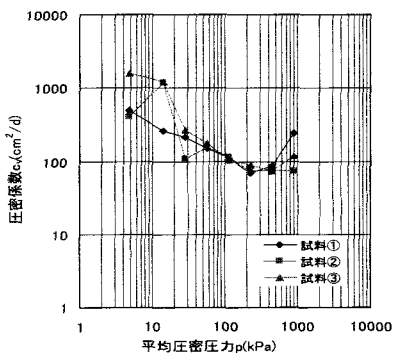
図-4 c_v -p 関係

図-3 より圧密降伏応力 $p_c=230\text{kPa}$ 程度となった。多少過圧密であるが、正規圧密粘土として扱う。また圧密係数 c_v は最大値が $c_v=1574\text{cm}^2/\text{d}$ で、体積圧縮係数 m_v は $m_v=2.11 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{kN}$ で、最小値が $c_v=75\text{cm}^2/\text{d}$ で、 $m_v=4.35 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{kN}$ であった。

3.2 三軸圧縮試験

3.2.1 圧密過程

圧密過程の結果詳細を以下に示す。

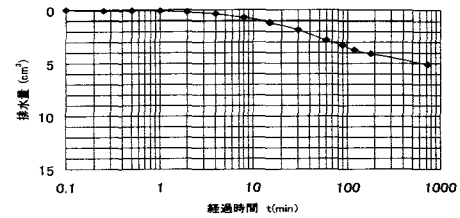


図-5 圧密度-時間曲線

全ての供試体において排水量が 5cm^3 程度であり、体積ひずみ量 $\varepsilon_v \approx 2.6\%$ 程度で 1 次圧密を終えた状態を示していると思われる。

3.2.2 セン断過程

せん断過程の結果詳細を以下に示す。

① 応力～ひずみ、間隙水圧曲線

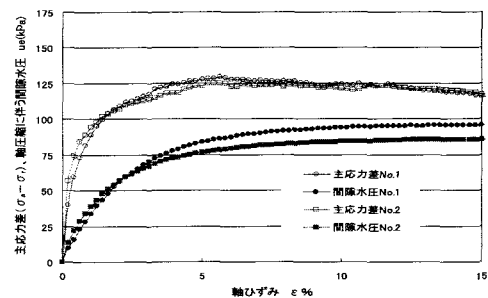


図-6 応力～ひずみ、間隙水圧曲線(a)

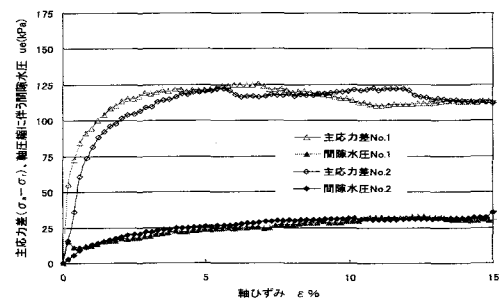


図-7 応力～ひずみ、間隙水圧曲線(b)

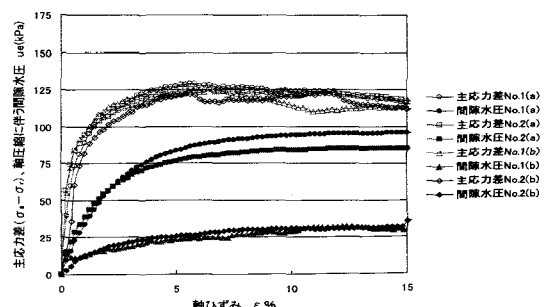


図-8 応力～ひずみ、間隙水圧曲線(比較)

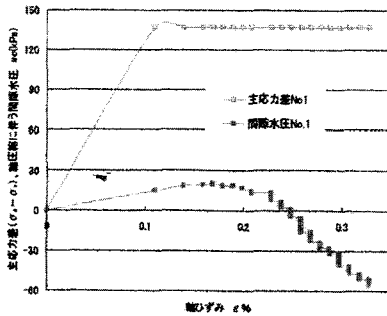


図-9 応力～ひずみ、間隙水圧曲線(c)

図-8 中の○、□、●、■はそれぞれ拘束圧一定試験での主応力差～ひずみ曲線および主応力差～間隙水圧曲線を、△、◇、▲、◆はそれぞれ平均主応力一定での主応力差～ひずみ曲線および主応力差～間隙水圧曲線を、図-9 中の□、■はそれぞれ軸圧一定試験での主応力差～ひずみ曲線および主応力差～間隙水圧曲線を示している。(a)、(b)どちらも主応力差の動きはほぼ同じであるが、軸圧縮に伴う間隙水圧の変化は、はっきりと違いが見て取れる。拘束圧一定試験では、間隙水圧は主応力差と同様に上昇し、拘束圧の影響による大きな値を示している。平均主応力一定試験での主応力差は、拘束圧一定試験と同様の $(\sigma_1 - \sigma_3) \approx 125 \text{ kPa}$ を示しているが、間隙水圧 $u \approx 30 \text{ kPa}$ という低い値を示している。これは、側圧が減少することによりわずかながら試料が膨張しようとしているためだと考えられる。また、拘束圧が減少しているにも関わらず主応力差が上昇しているのは、有効応力が十分働き間隙水圧の不足を補っているためだと思われる。このことは、土粒子構造が発達するような状態が起こっていると考えられる。軸圧一定試験では、軸圧一定でひずみも殆ど発生しないため、主応力差は一定の値で推移する。また、間隙水圧においては、徐々に負圧の値を示すようになっている。これは、平均主応力一定試験と同様に側圧を減少させることにより試料が膨張しようとしているためだと考えられる。また、軸圧一定試験での側圧減少量の方が多いために、間隙水圧減少量が大きく負圧になっていると思われる。

3.2.2 間隙水圧係数

間隙水圧係数 A は以下の式から導いた。

$$\Delta u = B \{ \Delta \sigma_r + A(\Delta \sigma_a - \Delta \sigma_r) \} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 Δu :間隙水圧(kPa)、 $\Delta \sigma_a$:軸圧(kPa)
 $\Delta \sigma_r$:側圧(kPa)、 A : 間隙水圧係数(-)
 B :間隙水圧係数(-) $B=1$ (飽和土)

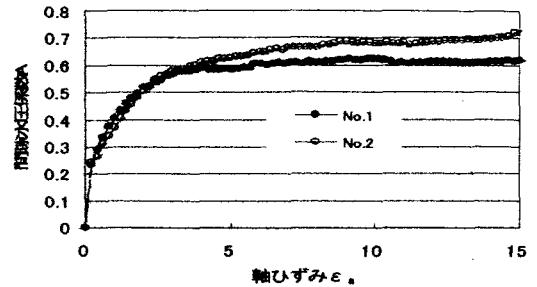


図-10 間隙水圧係数(a)

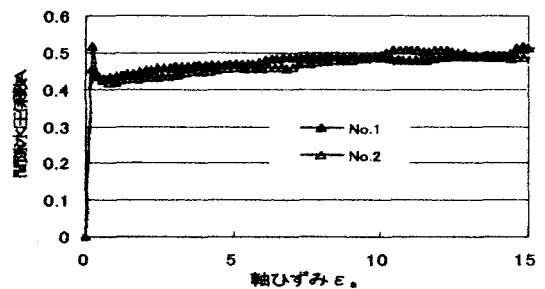


図-11 間隙水圧係数(b)

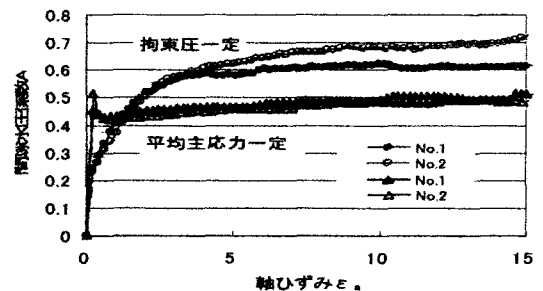


図-12 間隙水圧係数(比較)

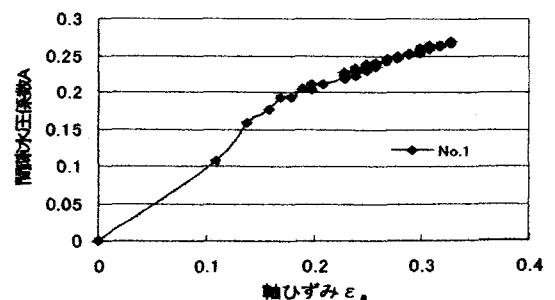


図-13 間隙水圧係数(c)

図-10 の拘束圧一定試験においては軸ひずみが3%程度まで急上昇している。また、拘束圧一定試験では側圧 σ_r が一定で拘束圧が大きいため、体積圧縮方向に変位が働き、間隙水圧の上昇とともに間隙水圧 A も増加し、破壊時には $A=0.7$ となった。図-11

の平均主応力一定試験においては、初期の段階で急激に増加し、それ以降はほぼ横ばい傾向である。この横ばい傾向は、軸圧と間隙水圧の増分がなくなっていることに起因する。さらに、初期に間隙水圧係数が急激に増加し、その後減少しているのは、初期では側圧の変化が無いが直後に側圧を減少させていくので間隙水圧の増分が減少し間隙水圧係数の低下が現れている。また間隙水圧の減少は、拘束圧の減少により体積膨張が起こったこと、そして体積膨張は若干の正のダイレイタンスを意味する。間隙水圧係数 $A=0.4\sim0.5$ はやや過圧密された粘土の傾向を示している。図-12 中の●(○)、▲(△)はそれぞれ拘束圧一定試験(a)及び平均主応力一定試験(b)での間隙水圧係数 A の変化を表したものである。また図-13 は、軸圧一定試験での間隙水圧係数 A の変化を表したものである。間隙水圧係数 A は、主応力差すなわちせん断による体積変化であるダイレイタンスの程度を表し、また、それに伴う間隙水圧の影響を示すものである。この図の特性は低い間隙水圧係数 A 値と低い軸ひずみ ε_a 値にある。 A 値が $0.1\sim0.26$ は砂であれば密詰めであり、粘土であれば過圧密粘土の傾向を示す。図-9 の間隙水圧の変化で、軸ひずみ 0.3% 付近から負の間隙水圧となっていることから、負圧により低い A 値となった。この原因として、軸圧一定による初期からの高い軸圧が作用していることと、一定の割合で拘束圧を減少させていることが挙げられる。排水条件であれば供試体が吸水膨張する正のダイレイタンスが起きる状況であるが、非排水条件の試験のため高い負圧が発生したためだと考えられる。

3.2.3 有効応力経路

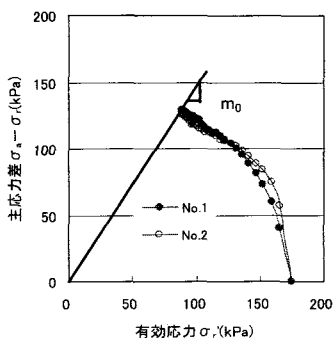


図-14 有効応力経路(a)

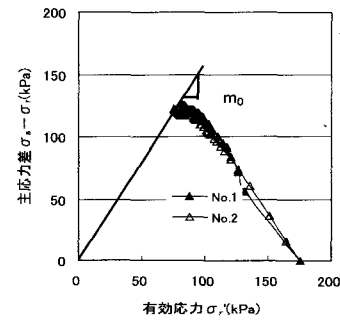


図-15 有効応力経路(b)

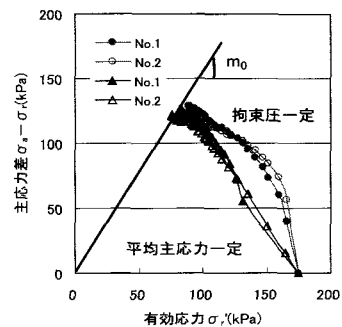


図-16 有効応力経路(比較)

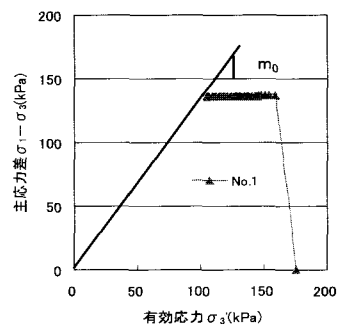


図-17 有効応力経路(c)

図-16 中の●(○)、▲(△)はそれぞれ拘束圧一定試験と平均主応力一定試験での有効応力経路である。また図-17 は軸圧一定試験での有効応力経路である。図-16 において、最終的な有効応力の値に差はないが、拘束圧一定試験では弧を描くように減少している。初期の有効応力の減少は少ないが、破壊線に近づくにつれ急激に有効応力が減少している。つまり、応力のピークに従い間隙水圧が増加し、有効応力が減少して破壊に至ったためである。それに対し平均主応力一定試験では直線的に減少している。これは、間隙水圧の増加傾向が緩やかで、一定割合の増加のため初期の有効応力の減少が大きい。これは軸圧の増加に伴い、側圧を減少させることも起因している。図-17 の軸圧一定試験においては主応力差一定のも

と、有効応力が減少しているのが読み取れる。間隙水圧は減少しているにも関わらず有効応力が減少しているのは、同時に側圧が減少していることに起因する。すなわち見かけでの有効応力は減少しているが、実際の試料においては先に述べた比較的大きな負圧の影響で十分有効応力が働いていると考える。

有効内部摩擦角 ϕ' を以下の式を用いて算出した。

$$\sin \phi' = \frac{m_0}{2 + m_0} \dots \dots \dots (4)$$

ここ ϕ' : 有効せん断抵抗角($^\circ$)、 m_0 : 破壊線の傾き

3.2.4 平均有効応力経路(q-p'曲線)

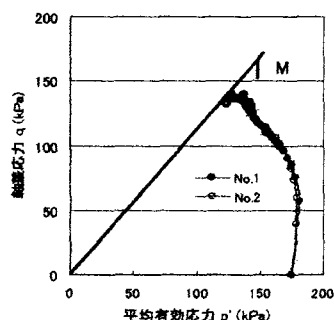


図-18 q-p'曲線(a)

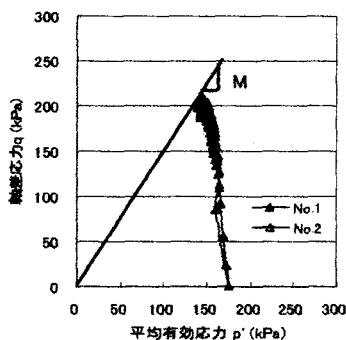


図-19 q-p'曲線(b)

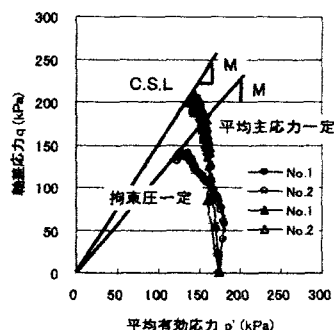


図-20 q-p'曲線(比較)

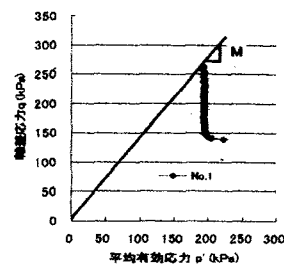


図-21 q-p'曲線(c)

図-20 中の●(○)、▲(△)はそれぞれ拘束圧一定試験と平均主応力一定試験での q-p' 曲線を示している。また、これらの軸差応力 q と平均有効応力 p' の関係の q-p' 曲線はロスコー(Roscoe)らの限界状態理論で、正規圧密粘土の σ - ε 曲線のピーク強度の状態を含む、かなり小さなひずみ量で構造があまり乱されていない範囲の一応の定常状態を仮定したもので、q-p' 曲線より得られる破壊線を限界状態線と言い、勾配を M で表す。

図-18 の拘束圧一定試験では大きく左に弧を描き、限界状態線に到達し、 $q=140\text{kPa}$ 程度であった。間隙水圧が高い値であったので平均有効応力は平均主応力一定試験に比べ、低い値を示している。一方、図-19 の平均主応力一定試験では間隙水圧が小さく、高い有効応力が得られたため、平均有効応力が大きくなり、 M (キャピタルミュー) $=q/p'$ が大きな値となった。ここでもせん断過程での間隙水圧の値が低く、有効応力が高くなったためである。また、図-21 の軸圧一定試験では他の試験に比べ、軸差応力も平均有効応力も高い値となっている。ここで軸圧一定試験では、軸圧一定のもとで側圧を減少させて行くため、上記のように軸差応力 q と平均有効応力 p' に大きな差が生じている。軸圧一定試験での試験結果を考えると、一定とした軸力の取り方にあると思われる。結果的に高い軸力を用いた。軸力 σ_a に 138kPa を用いたが、他の拘束圧一定試験、平均主応力一定試験における応力～ひずみ曲線から得られるピーク強度は、約 125kPa である。この値以上の初期軸力 138kPa が作用したことによりダイレイタンスが発生し、強い負圧を招いた。この負圧は、高い負の間隙水圧によるものであるが、実験終了時の値は $u=-60\text{kPa}$ となった。有効応力は全応力から間隙水圧を引き求めるが、ここでは全応力に間隙水圧を加えることとなり、軸差応力 q 、平均有効応力 p' とともに

他の試験よりも破壊時で見ると、 q で50～100kPa、 p' で50～70kPaの高い値となった。一定とした軸力の取り方を今後検討する必要がある。

有効内部摩擦角 ϕ' を以下の式を用いて算出した。

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 M ： $q-p$ 面上での破壊線の傾き

ϕ' ：有効内部摩擦角(°)

3.2.5 Mohr の応力円

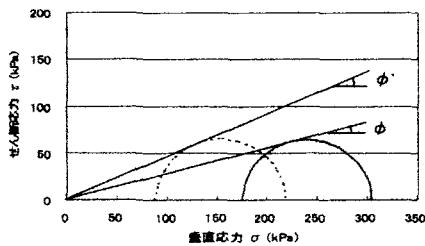


図-22 Mohr 円(a)

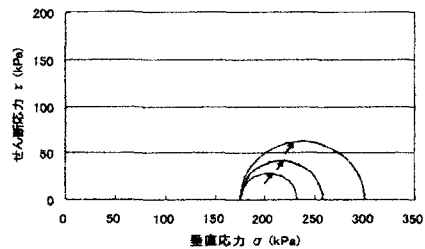


図-23 Mohr 円(軌跡)

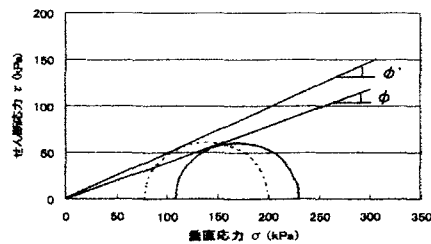


図-24 Mohr 円(b)

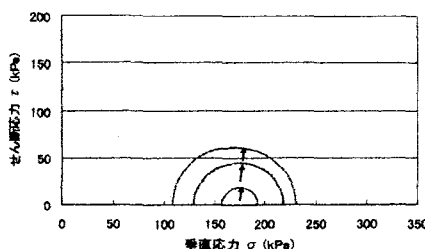


図-25 Mohr 円(軌跡)

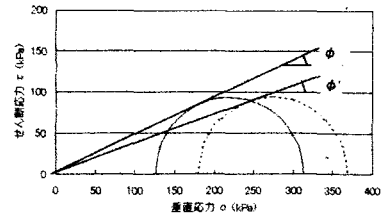


図-26 Mohr 円(c)

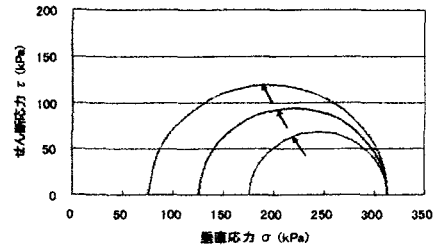


図-27 Mohr 円(軌跡)

図-22.24.26 は、拘束圧一定試験、平均主応力一定試験、軸圧一定試験での Mohr 円を示しており、破線で示されたのは全応力から間隙水圧を引いた有効応力表示の Mohr 円である。また、図-23.25.27 は、初期からどういった軌跡で破壊状態に至っているかを示した全応力による Mohr 円を示したものである。それぞれ载荷の違い(全応力経路の違い)により、拡大の様子が異なっている。

図-22 の拘束圧一定試験では、間隙水圧の発生量が大きいため、Mohr 円は大きく左へ移動している。また、主応力差のみが増加するため、Mohr 円は右方向に拘束圧一定で広がっていく。破壊時は、間隙水圧を引いた破線の Mohr 円が Mohr Coulomb 破壊線を形成する。正規圧密粘土では $c'=0$ となり、原点を通る直線となる。有効内部摩擦角 ϕ' を表-3 に示す。

図-24 の平均主応力一定試験では、間隙水圧発生量が小さいためあまり移動していないことが読み取れる。主応力差、拘束圧ともに変化するため、Mohr 円は同心円的に拡大する。

図-26 の軸圧一定試験においては、間隙水圧が負圧で生じているため、他の試験とは逆に Mohr 円は右へ移動している。そして、軸圧一定のもと側圧が減少していくため、Mohr 円は軸圧一定で広がっていく。図-22.24.26 より有効内部摩擦角が得られたが、拘束圧一定試験、平均主応力一定試験のいずれの場合でも、破壊時の Mohr 円に接する破壊線の傾き、有効内部摩擦角 ϕ' は基本的には一致する。ただし、本実験では $\phi'=23.9^\circ$ (拘束圧一定試験)、 $\phi'=26.3^\circ$ (平

均主応力一定試験)となり、試料設置、実験誤差もあり若干の相違が出たと思われる。図-26 の Mohr 円の場合、間隙水圧が負圧のために有効応力表示が全応力表示より右側にきており、負圧による見掛けの有効応力とも言える。また、図-23.25.27 を比較すると軸圧一定試験の初期の Mohr 円と他の試験の破壊時の Mohr 円がほぼ同じとなり、軸圧一定試験の終局の Mohr 円では他の Mohr 円とで約 2 倍の違いが見られた。

3.2.6 強度定数比較

有効応力経路、 $q-p$ 曲線、Mohr 円から求めたせん断抵抗角 ϕ 及び有効せん断抵抗角 ϕ' を以下の表に示す。

表-3 強度定数比較

	拘束圧一定試験		平均主応力一定試験		軸力一定試験	
	内部摩擦角 ϕ (°)	有効内部摩擦角 ϕ' (°)	内部摩擦角 ϕ (°)	有効内部摩擦角 ϕ' (°)	内部摩擦角 ϕ (°)	有効内部摩擦角 ϕ' (°)
有効応力経路	-	24.1	-	26.4	-	23.2
$q-p$ 曲線	-	26.7	-	35.3	-	33.8
Mohr 円	15.5	23.9	21.9	26.3	25.3	19.5

全ての求め方において、拘束圧一定試験の内部摩擦角、有効内部摩擦角より平均主応力一定試験での内部摩擦角、有効内部摩擦角の方が高い値を示している。有効応力経路では、拘束圧一定試験より平均主応力一定試験の方が有効応力の減少量がやや多い。そのため若干有効内部摩擦角が大きくなっている。 $q-p$ 曲線で平均主応力一定試験の有効内部摩擦角が大きくなっているのは、軸力の増加と拘束圧の減少で、体積膨張傾向となり、土粒子構造が発達し、間隙水圧が低下し、平均有効応力が増加したためだと考えられる。Mohr 円では、拘束圧一定試験と平均主応力一定試験での内部摩擦角と有効内部摩擦角の差に大きな違いがあることがわかる。これは 3.2.5 でも述べたように、拘束圧一定試験の方が間隙水圧の影響を受け、有効応力が減少しているためである。また、軸圧一定試験においては、有効応力経路と $q-p$ 曲線から求めた内部摩擦角、有効内部摩擦角は、他の試験の値とあまり差は見られない。しかし Mohr 円では、全応力表示の Mohr 円と有効応力表示の Mohr 円の位置関係が全く異なっているため明確な違いが現れている。

4. まとめ

本研究で判明したことを以下に示す。

- (1) 応力～ひずみ、間隙水圧曲線において、拘束圧一定試験と平均主応力一定試験での主応力差はほとんどなく、間隙水圧において差がみられる。また、軸圧一定試験での間隙水圧は、側圧減少のため負圧の値を示す。
- (2) 間隙水圧が低い値、負圧の値を示すのは、拘束圧を減少させることでわずかに試料が膨張しようとしているためである。
- (3) 平均主応力一定試験において、拘束圧が減少しているにも関わらず主応力差が上昇しているのは、有効応力が十分働き間隙水圧の不足を補っているためだと思われる。
- (4) 間隙水圧係数 A において、拘束圧一定試験の値 (0.6～0.7) より平均主応力一定試験の値が低く ($A=0.4\sim0.5$) やや過圧密された粘土の傾向を示している。また、軸圧一定試験での値はさらに低く ($A=0.2\sim0.3$) 過圧密された粘土の傾向を示す。
- (5) 拘束圧一定試験での内部摩擦角および有効内部摩擦角より、平均主応力一定試験での値の方が高い。
- (6) 軸圧一定試験の Mohr 円では、負圧による見掛けの有効応力を示した。

参考文献

- (1) 土質試験 基本と手引き 「第 1 回改訂版」 社団法人地盤工学会 2001
- (2) 新土質実験法 「改訂版」 鹿島出版会 高専土質試験教育研究会編 2007
- (3) 地盤力学 山海堂 「第 1 版」 2001
- (4) 荒谷祐貴、小堀慈久「飽和粘性土の有効応力特性」 地盤災害・地盤環境問題論文集 第 6 巻 地盤工学会四国支部・愛媛大学防災情報研究センター pp105～110 2006
- (5) 荒谷祐貴、小堀慈久「飽和粘性土の異拘束圧条件における強度・破壊特性」 第 58 回 土木学会中国支部 研究発表会発表概要集 社団法人 土木学会中国支部 pp191～192 2006

呉市の自主防災組織の活性化対策について

(建築学科) 門前 勝明

(専攻科建設工学専攻) 小早川 蒼博

(日本住宅パネル工業協同組合) 岡田 健司

On the Countermeasures about Activating Voluntary Organization for Disaster Prevention in Kure City

(Department of Architecture) Katsuaki MONZEN

(Advanced Engineering Faculty) Takahiro KOBAYAKAWA

(Japan Housing & Components Manufactures Co-Operative) Kenji OKADA

Abstract

It is proposed about the way of activating voluntary organization for disaster prevention in Kure City. The results of questionnaire survey using a telephone from the 100 cities of the whole country are mentioned. It is shown that staff members of the most cities inspect the place where the disaster appeared and there are not many cities of which the staff members inspect in cooperation with the voluntary organization for disaster prevention, too. Even if official advice to evacuate is issued, there are many cities of which the staff members don't confirm that the inhabitants take refuge. It is important to build system that the staff member in city inspect the danger area in cooperation with the voluntary organizations for disaster prevention to make it active.

Key Words: Voluntary Organizations for Disaster Prevention, Questionnaire, Disaster Prevention, Kure City

自主防災組織, アンケート調査, 防災, 呉市

§1 はじめに

1.1 研究の目的

地震や台風のような自然災害では、被害が同時多発的かつ広範囲に発生するため、行政の直後対応には自ずと限界が生じてくる。地震や台風などの自然災害による被害を最小限にとどめるためには、自主防災組織のような住民によるコミュニティレベルでの対応が必要である。

1993年8月6日の豪雨による鹿児島災害では、出水が急激で、路面の冠水、土砂崩れのため防災機関は住民に避難勧告を伝えることができなかった。また、消防団、警察官も同時多発的に起こる災害に対して住民の救助の要請に十分に答えることができなかった。また、市民からの救助の要請、情報収集に対しても消防署、警察本部に電話が殺到したため、容易に電話がつながらない状態が発生した。当日は、テレビやラジオの情報をもとに住民は情報を集めざるを得なかった¹⁾。

1995年の阪神・淡路大震災の被災地では、住民が協力してパケツリレーによる消火活動を行ったり、瓦礫に生き埋めになった人の救出活

動を行った地区も見られた。

これら地域コミュニティによる活動は、被災直後はもちろんのこと、復旧・復興にいたる種々の場面で重要な役割を果たすようになってきている。呉市は地形などの関係もあり、道幅が狭い急傾斜地に老朽化した民家が密集し、地震や崖崩れなどの災害に対応し難い地域がいたる所に存在する。海岸地域では台風による被害も頻繁に発生している。

この研究は、呉市の自主防災組織を育成・活性化するためにはどのようなことが必要かを検討するものである。

1.2 研究方法

平成17年度は自主防災組織の活動状況を把握するため、インターネットによって全国100市について活動状況の調査を行なった。次に、呉市の自主防災組織の現状を把握するため、既往の研究をまとめ、それを基にアンケートを作成し、自主防災組織の会長と一般住民を対象にアンケート調査を実施した。平成17年度の結果から、呉市の住民の

高齢化が進んでいることや、急斜面住宅地などが多く存在することを考慮して、災害発生時よりも災害発生前の活動が重要だと思われた²⁾。

平成 18 年度は、自主防災組織がある全国 100 市に対して電話アンケート調査を実施し、行政や自主防災組織などが連携して災害が発生する前に危険区域の巡視をしているかどうか、自主防災組織が巡視にどのように関わっているのか、避難勧告を発令した時に住民にどのような広報手段で伝えたか、住民が避難したかどうかの確認を実施しているか、また、避難所で住民にどのような対応をしているかを調査し、全国 100 市の結果と呉市の結果から、呉市の自主防災組織の現状について述べる。

§ 2 行政の防災体制の実情

2.1 呉市と広島市の防災体制

呉市³⁾や広島市⁴⁾などの「防災体制・災害対応マニュアル」を参考にすると、行政の防災体制は表 1 のようになる。例えば土砂災害の場合、第 1 段階で気象台から大雨注意報が発表されると、気象情報と各地の雨量などを収集する。第 2 段階で大雨警報が発表されると、危険区域の巡視と住民に注意喚起を促す。第 3 段階で警戒基準雨量を超えると、自主避難の呼びかけと危険区域の巡視を強化する。第 4 段階で避難基準雨量を超えると、避難勧告を発令し避難場所を開設する。第 5 段階でがけ崩れや土石流が発生した場合、消防職員等が出動する。

基本的には呉市や広島市などの防災体制で対応すれば、防災上相当の効果が上がると思われる。このため、実際にマニュアルがどの程度実施されているか確認する必要がある。

2.2 岐阜県中津川市の防災体制

図 1 は行政と自主防災組織が連携して土砂災害の異常現象を把握するシステムの例として、岐阜県中津川市の警戒避難の発令と伝達フローである⁵⁾。警戒基準雨量を越え、警報発令が判定された場合、その情報を中津川市災害対策本部から自主防災会の会長に伝達し、情報班長、町内会長、情報班長、住民に伝達される。また、住民が巡視して、土砂災害の異常現象を発見した場合、それを中津川市災害対策本部に連絡するようになっている。避難基準雨量を超え、避難発令が判定された場合も同様に、中津川市災害対策本部から自主防災会の会長に伝達し、その情報を住民に伝達する。住民の避難が完了した場合、それを中津川市災害対策本部に報告する。岐阜県中津川市のように行政と自主防災組織が連携してやっている市もある。これらを念頭に置き、中津川市のように行政と自主防災組織が連携して災害に対応している市がどの程度あるかを把握するため、昨年調査した自主防災組織がある全国 100 市を中心に電話によるアンケート調査を実施した。

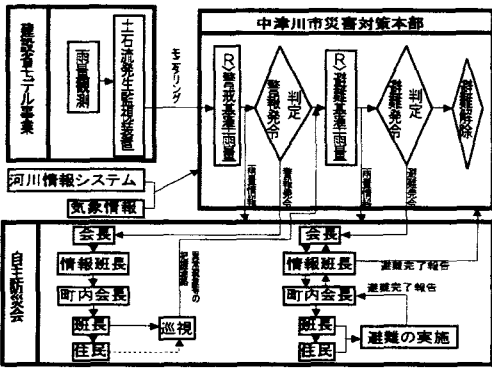


図 1 岐阜県中津川市 警戒避難の発令と伝達フロー⁵⁾

表 1 土砂災害に備えた呉市と広島市の対応と住民の行動

状況	呉市の段階	呉市の対応	呉市の住民の行動	広島市の段階	広島市の対応	広島市の住民の行動
気象台から大雨・洪水注意報が発表された場合	第一段階	1. 気象情報を始めとする防災情報の収集に努める。 2. 必要に応じて市民センター等に連絡する。 3. 災害発生等の情報を入手した時は応急対応に努める。 4. 状況に応じて地域住民に防災情報を伝達する。	特に指定なし	第一段階	気象情報と各地の雨量・水の状況を収集する。	1. テレビ、ラジオ等を通じて、気象情報に気をつける。
気象台から大雨・洪水警報が発表された場合	第二段階	1. 降雨状況、災害発生状況等に応じて、自主避難の呼びかけを行う。 2. 必要に応じて、避難所開設を指示する。	特に指定なし	第二段階	1. 土砂災害危険区域の巡視にあたる。 2. 防災行政無線等により、危険区域の住民に土砂災害に対する注意喚起を促す。	1. がけの斜面からの出水などいつもと違うところがないか周辺に気をつける。 2. テレビ、ラジオ等を通じて雨量等の情報に十分注意する。 3. 避難の準備をする。(持っているものの整理、避難先の確認・確保、家族との連絡など)
1. 警戒基準雨量を超えた場合 2. 前記現象など身の危険を感じた場合	第三段階	1. 防災情報は、市のホームページに掲載するなど、市民広報に努める。 2. 広報車、自治会放送等の方法により、「危険を感じたら、早めの避難に心がけること」などの避難広報を行う。 3. 降雨状況、災害発生状況等から地域を定めて避難勧告を実施する。	特に指定なし	第三段階	1. 防災行政無線等により、該当地域の住民に自主避難の呼びかけを行う。 2. 住民から異常通報があった地域や危険地域への巡視を強化する。	1. テレビ・ラジオ等を通じて、状況の推移を見守る。 2. 屋根がけや河川の氾濫など、異常な現象を発見した時は、区役所や消防署へ通報する。 3. あらかじめ決めておいた知人宅等に、早めに自主避難する。
1. 避難基準雨量を超えた場合 2. 巡視等によって危険であると判断した場合	第四段階	1. 必要に応じて自衛隊への派遣要請、県及び他の自治体への対応要請を行う。	特に指定なし	第四段階	1. 該当地域に、避難勧告を行う。 2. 避難場所を開設する。	1. サイレン等が聞こえたら、テレビ・ラジオ等を通じて、状況を確認する。 2. 広島市が開設した避難場所又はあらかじめ決めておいた知人宅等にすぐに避難する。
土石流発生限界雨量を超えた場合 崖崩れや土石流が発生した場合	第五段階		特に指定なし	第五段階	1. 救助が必要が時は、消防職員等が出動する。 2. 避難場所を開設する。	1. 速くへの移動に危険が伴う場合は、とりあえず安全な場所へ避難し、状況が落ち着くのを待って、より安全な場所へ移動する。 2. 人命に関わる緊急事態が発生した場合は、119番をはじめあらゆる手段を用い、区役所又は消防署へ連絡する。

§3 電話アンケート調査

3.1 電話アンケート調査の概要

アンケート項目は、呉市³⁾や広島市⁴⁾などの防災体制が全国100市ではどの程度実施されているか、岐阜県中津川市のように行政と自主防災組織が連携して活動を行なっている市がどの程度あるか等を把握するため、自主防災組織がある全国100市⁵⁾に対して電話アンケート調査を実施した。アンケートは、防災を担当している課に電話をかけ、口頭で行なった。アンケート時間は1市あたり15分から20分程度であった。

3.2 電話アンケート結果

3.2.1 巡視について

問1. 気象台から大雨警報などが発令された時に、災害が発生する恐れがある場所の巡視を行っているかと質問したところ、「行っている」が84%、「十分ではないが行っている」が6%、「行っていない」が10%であった。呉市の場合、「十分ではないが行っている」である。この結果から、ほとんどの市が大雨警報などが発令された場合、危険場所の巡視を行っていると考えられる。

問1. 巡視は行なわれているか

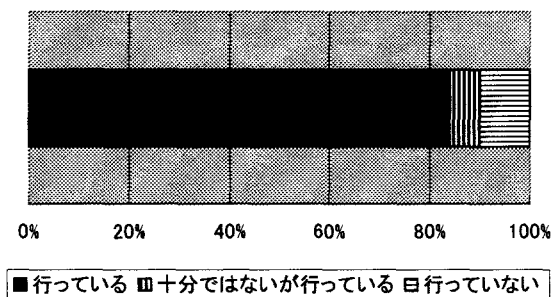


図2 巡視は行なわれているか

問2. 問1で巡視を行っていると回答した市にどんな災害を対象にしているのかと質問したところ、「土砂災害」と「洪水」が各々20%、「崖崩れ」と「道路の冠水」と「台風」が各々9%、「高潮」、「風害」、「津波」、「内水・下水の氾濫」及び「大雨」が各々4%程度であった。この結果から、土砂災害と水害を中心に巡視が行われていると考えられる。

問2. 巡視を行なう災害の対象

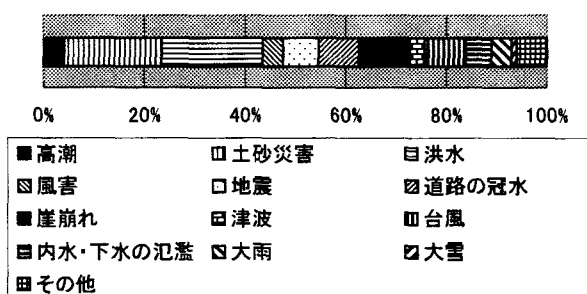


図3 巡視を行なう災害の対象

問3. 災害の情報は自主防災組織側から行政へ連絡するシステムがあるかと質問したところ、「ある」が45%、「ない」が55%であった。この結果から住民と行政が互いに連携を取りながら災害の情報を伝達するシステムが半々程度と考えられる。

問3. 災害情報を自主防災組織側から行政へ連絡するシステムがあるか

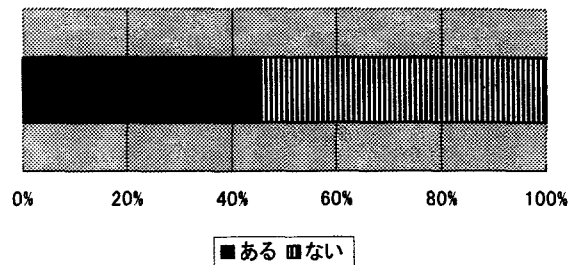


図4 自主防災組織側から行政へ連絡するシステムがあるか

問4. 巡視は災害が発生する前に行っていますかと質問したところ、「災害が発生する前」が83%、「警報等の基準値に達したら」が10%、「災害後」と「状況によって」が各々4%であった。この結果から、ほとんどの行政が災害が発生する前に巡視を行っていると考えられる。

問4. 巡視は災害が発生する前に行なわれているか

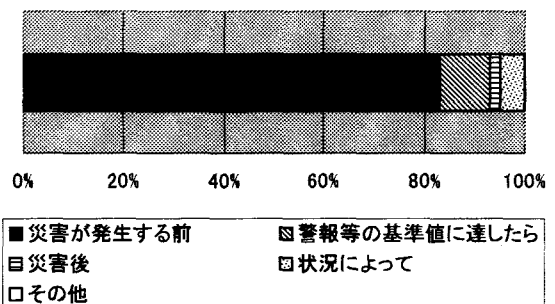


図5 巡視は災害が発生する前に行っているか

問5. 巡視は行政だけで行っているのかと質問したところ、「行政だけで行っている」が71%、「行政と住民が行っている」が25%であった。この結果から4分の1程度は住民の参加が認められる。

問5. 巡視は行政だけで行なっているのか

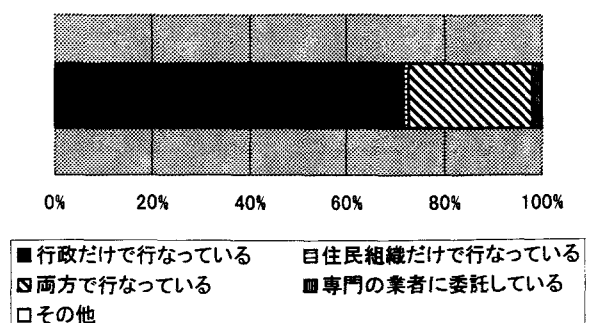


図6 巡視は行政だけで行っているのか

問6. 行政だけで巡視を行っている市に、行政による巡視だけで災害に対して十分に対応できているかと質問したところ、「出来ている」が46%、「出来ていない」が49%であった。この結果から半数は行政だけでは十分対応できていないと考えられる。

問6. 行政による巡視だけで災害に対して十分に
対応できているか

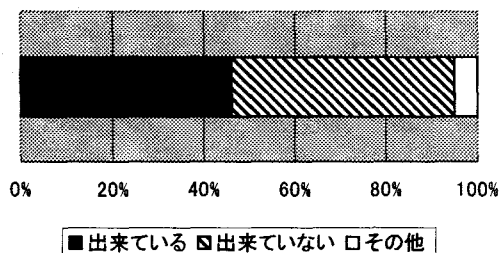


図7 行政の巡視だけで災害に十分対応できているか

問7. 問6で出来ていないと回答した市になぜ対応出来ていないのかを質問したところ、「行政の人員不足」が44%、「災害の規模などによって行政の人員不足」が18%、「自主防災組織などによる情報の必要性」が23%だった。

問7. 行政だけで出来ていない場合、なぜ対応出来ていないのか

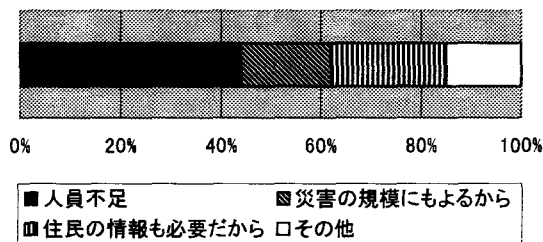


図8 行政だけではなぜ対応出来ていないのか

問8. 巡視を行政と住民の両方で行っていると回答した市に、どのような方法で情報収集を行っているかと質問したところ、「行政と自主防災組織別々に行う」が62%、「自主防災組織などと連携して行う」が33%であった。

問8. どのような方法で情報収集が行なわれているのか

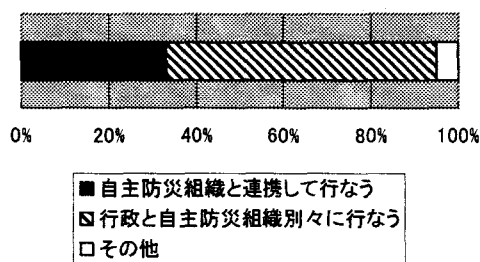


図9 情報収集の方法

問9. 巡視を行政と自主防災組織などと連携して行っていると回答した市に自主防災組織からの情報収集の方法を質問したところ、「電話」が81%、「防災行政無線」と「Eメール」が各々6%であった。この結果から、ほとんどの行政が電話で対応していることがわかる。

問9. 自主防災組織からの情報収集はどのように行っているか

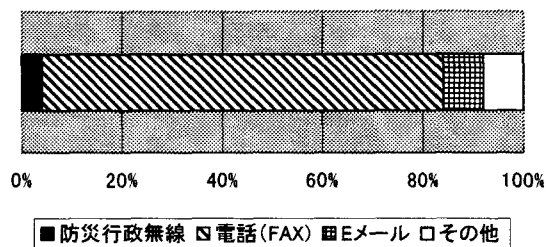


図10 どのような通信手段で情報収集をするのか

問10. 行政と自主防災組織などとの連携は十分に取れているかと質問したところ、「十分に取れている」と「まあまあ取れている」が各々81%であった。この結果から連携は比較的良好に行っていると考えられる。

問10. 行政と自主防災組織との連携は十分に取れているか

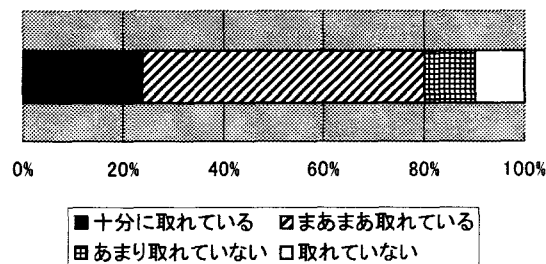


図11 行政と自主防災組織との連携は十分か

問11. 問1で巡視を十分ではないが行なっていると回答した市にどんな災害を対象にしているのかと質問したところ、「土砂災害」と「洪水」が各々16%、「高潮」と「風害」と「台風」が各々11%であった。呉市の場合は、「高潮」、「洪水」、「道路の冠水」、「崖崩れ」、「台風」である。この結果から、土砂災害と水害を中心に巡視が行われていると考えられる。

問11. 巡視を行なう災害の対象

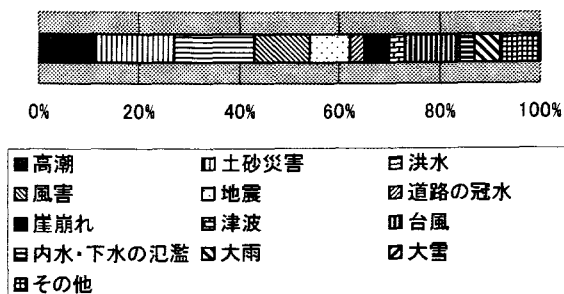


図12 巡視を行なう災害の対象

問 12. 災害の情報は自主防災組織側から行政へ連絡するシステムがあるかと質問したところ、「ある」「ない」共に 50%であった。呉市の場合、「ない」である。この結果から住民と行政が互いに連携を取りながら災害の情報を伝達するシステムが半々程度と考えられる。

問12. 災害情報を自主防災組織側から行政に連絡するシステムはあるか

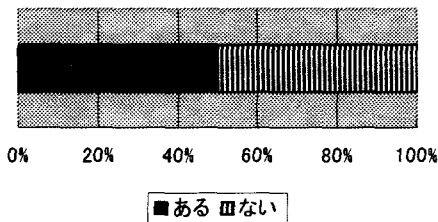


図 13 自主防災組織側から行政へ連絡するシステムがあるか

問 13. 巡視は災害が発生する前に行っていますかと質問したところ、「災害が発生する前」が 83%、「警報等の基準値に達したら」が 10%、「災害後」と「状況によって」が各々 4%であった。呉市の場合、「災害が発生する前」である。この結果から、ほとんどの行政が災害が発生する前に巡視を行っていると考えられる。

問13. 巡視は災害が発生する前に行なわれているか

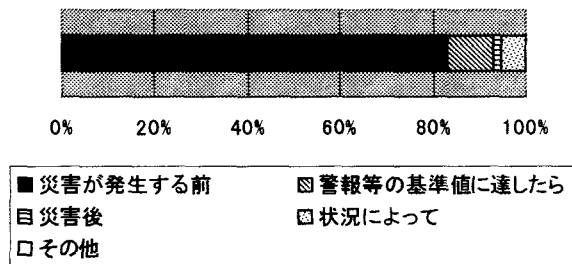


図 14 巡視は災害が発生する前に行っているか

問 14. 巡視は行政だけで行っているのかと質問したところ、「行政だけで行っている」が 44%、「行政と自主防災組織が行っている」が 56%であった。呉市の場合、「行政だけで行っている」である。この結果から半数程度は住民の参加が認められる。

問14. 巡視は行政だけで行なっているのか

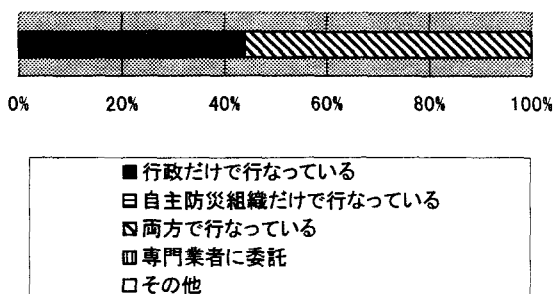


図 15 巡視は行政だけで行っているのか

問 15. 問 14 で巡視を行政だけで行なっていると回答した市に、行政による巡視だけで災害に対して十分に対応できているのかと質問したところ、「出来ていない」が 100%だった。呉市の場合も、「出来ていない」である。この結果から行政の巡視だけでは災害に対して十分に対応できていないことが分かる。

問 16. 問 15 で「出来ていない」と回答した市に、なぜ十分に対応出来ていないのかと質問したところ、「行政の人員不足」が 25%、「住民の協力も必要だから」が 75%だった。呉市の場合、「災害の規模などによって行政の人員不足」である。この結果から、行政の人員不足だと回答した市については、住民の参加が必要ではないかと思われる。

問16. なぜ十分に対応出来ていないのか

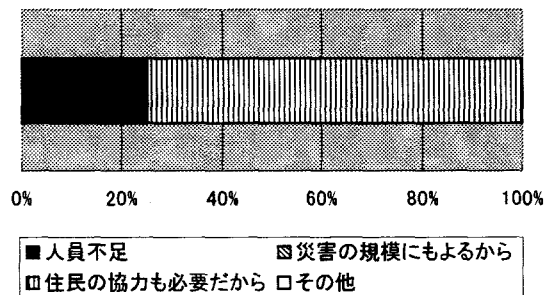


図 16 なぜ十分に対応出来ていないのか

問 17. 問 16 で行政の人員不足だと回答した市に住民の協力はないのかと質問したところ、「ない」が 100%だった。この結果から、住民の協力が得られていないと考えられる。

問 18. 巡視を行政と自主防災組織の両方で行なっていると回答した市に、どのような方法で情報収集を行なっているのかと質問したところ、「自主防災組織と連携して情報収集する」が 100%だった。

問 19. 問 14 で巡視を行政と自主防災組織の両方で行なっていると回答した市に、自主防災組織からどのように情報収集しているのかと質問したところ、「電話(FAX)」が 100%だった。この結果から、電話が使えない事態のことも考えて電話以外の通信手段も整える必要があると考えられる。

問 20. 巡視を行政と自主防災組織の両方で行なっていると回答した市で、災害に対して十分に対応出来ていないと回答した市に、なぜ十分に対応出来ていないのかと質問したところ、「行政の人員不足」だと回答した市が 67%、「その他」が 33%だった。この結果からも住民の参加が必要ではないかと思われる。

問20. なぜ十分に出来ないのか

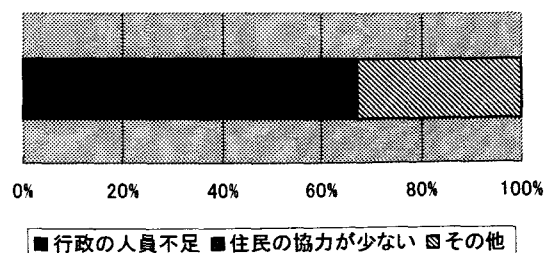


図 17 なぜ十分に出来ないのか

問21. 問20で行政の人員不足だと回答した市に住民の協力はないのかと質問したところ、「ない」が100%だった。この結果から、住民の協力が得られていないと考えられる。

問22. 巡視を行っていないと回答した市になぜ行っていないのかと質問したところ、「やる必要を感じない」と「災害が発生しないから」が各々12.5%、「行政の人員不足」が25%、その他が50%だった。この結果から防災に対する意識が低いと考えられる。

問22. なぜ行っていないのですか

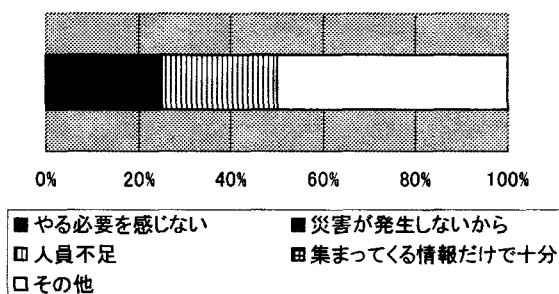


図18 なぜ巡視を行っていないのか

3.2.2 避難勧告について

問23. 避難勧告はどのような広報手段で住民に伝えているのかと質問したところ、「広報車」が25%で「防災無線」が20%で「TV・ラジオ」が12%、戸別訪問が4%であった。呉市の場合、「市の広報車」、「防災行政無線」、「消防署」、「消防団」である。この結果から、行政が各世帯を回って住民に避難勧告を伝えている所が少ないと考えられる。

問23. 避難勧告はどのような広報手段で住民に伝えているのか

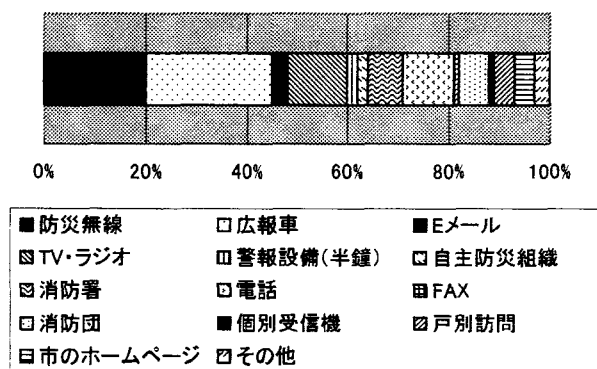


図19 避難勧告をどのように住民に伝えているのか

問24. 住民が避難したかどうか確認しているのかと質問したところ、「確認している」が56%で「その他」が35%だった。「その他」の理由としてまだ避難勧告を出したことがないという回答がほとんどだった。呉市の場合、「確認している」である。将来的には避難の確認は100%になるのが望ましいと思われる。

問24. 住民が避難したかどうか確認しているか

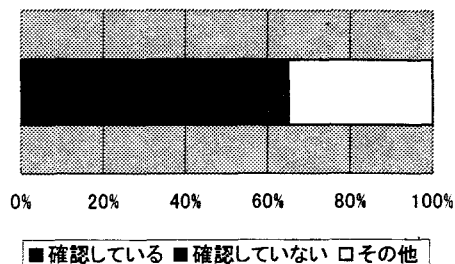


図20 住民が避難したかどうか確認しているか

問25. 問24で避難の確認を行なっている市に、どのような方法で避難の確認を行なっているのかと質問したところ、「行政が避難所で確認する」が60%で「行政が各世帯を回っている」が23%で「行政と住民の両方で各世帯を回っている」と「自主防災組織が各世帯を回っている」が各々6%だった。呉市の場合、「行政が避難所で確認する」である。この結果から避難の確認は避難所で行なうのがほとんどで、各世帯を回って確認するのは少ないと考えられる。

問25. どのような方法で確認を行なっているか

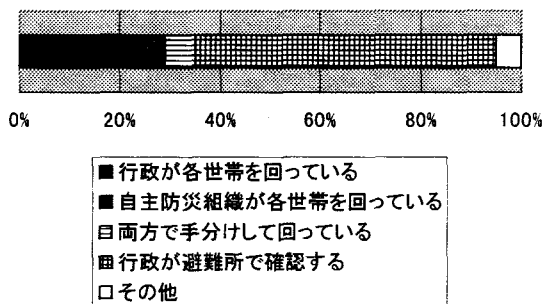


図21 どのような方法で避難の確認を行なっているか

問26. 問25で避難所で確認をしていると回答した市に誰が確認をしているのかと質問したところ、「行政」が57%、「行政と自主防災組織の両方」が36%だった。呉市の場合、「行政」である。この結果から今後避難の確認は行政だけでなく、自主防災組織も避難の確認に参加すべきだと思われる。

問26. 避難所での確認は誰が行なっているか

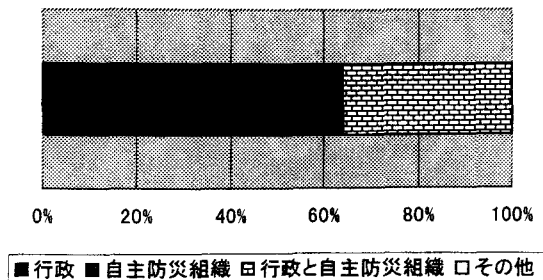


図22 避難所での確認は誰が行なっているか

問 27. 避難の確認は円滑に行われているかと質問したところ、「行なわれている」が57%で「行なわれていない」が9%だった。呉市の場合、「行なわれている」である。この結果から、半数は円滑に行われているが、行われていないところも1割程度あることがわかる。

問27. 避難の確認は円滑に行なわれているか

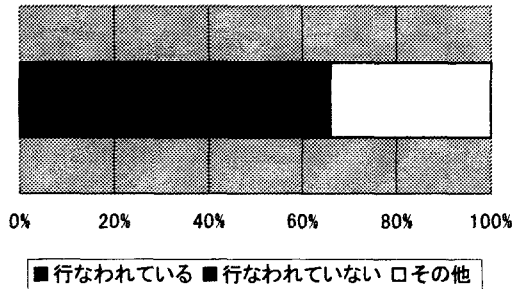


図 23 避難の確認は円滑に行なわれているか

問 28. 問 27 で円滑に行なわれていないと回答した市になぜ円滑に行なわれていないのかと質問したところ、「個人情報の把握が難しい」や「行政の人員不足」がその理由として挙げられた。この結果から、これらの問題を解決するためには住民の協力が必要だと思われる。

問 29. 問 24 で避難の確認を「行なっていない」と回答した市になぜ行っていないのかと質問したところ、「行政の人員不足」と「住民を把握するのが難しい」が各々38%だった。

問29. なぜ避難の確認が行なわれていないのか

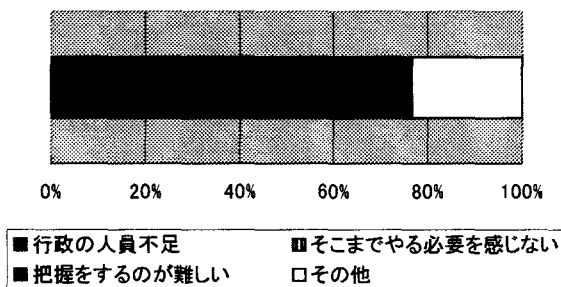


図 24 なぜ避難の確認が行なわれていないのか

問 30. 問 29 で行政の人員不足だと回答した市に、住民に避難の確認を呼びかけたことがあるかと質問したところ、「ない」が67%と半数以上だった。

問30. 住民に避難の確認を呼びかけたことがあるか

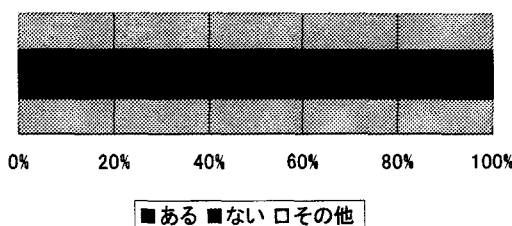


図 25 住民に避難の確認を呼びかけたことがあるか

問 31. 住民に情報収集の協力を呼びかけたことが「ある」と回答した市に対して、なぜ住民の協力が得られなかったのかと質問したところ、「住民の協力は得られたが十分機能するレベルまでいかなかった」がほとんどだった。

問 32. 住民に情報収集の協力を呼びかけたことが「ない」と回答した市に対して、なぜ住民に呼びかけなかったのかと質問したところ、「そこまでやる必要がないと考えている」が29%で「信頼できる情報が得られない」と「行政だけで十分だと思っている」が各々14%だった。これらの結果から自主防災組織の育成が重要だと考えられる。

問32. なぜ住民に呼びかけなかったのか

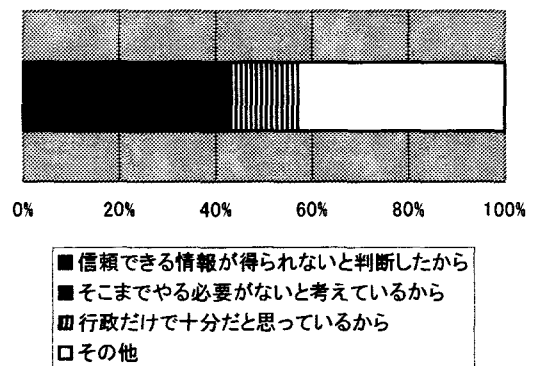


図 26 どうして住民に呼びかけなかったのか

3.2.3 避難所での対応について

問 33. 避難所の開設はどの段階で行なっているかと質問したところ、「自主避難の段階」と「避難勧告が出される前」が各々37%であった。呉市の場合「避難勧告が発令される前」である。この結果からほとんどの市が避難勧告が発令される前に避難所を開設すると考えられる。

問33. 避難所の開設はどの段階で対応するのか

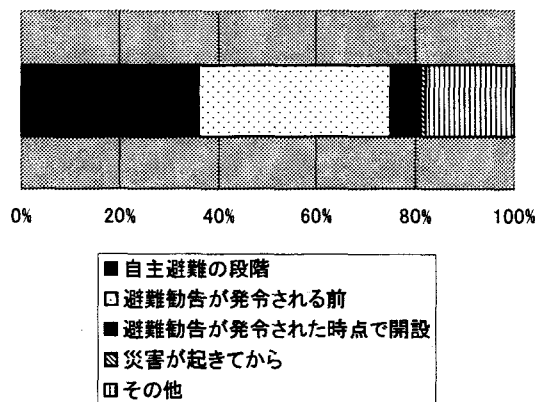


図 27 避難所の開設はどの段階で対応するのか

問 34. 自主避難者に対してはどのように対応しているのかと質問したところ、ほとんどの市が住民の要請があれば避難所を開設するが、避難所を開設しない所も5%あり、住民の要請があれば避難所を開設すべきではないかと思われる。呉市の場合「住民の要請があれば避難所を開設する」である。

問34. 自主避難者についてはどのような対応をしているか

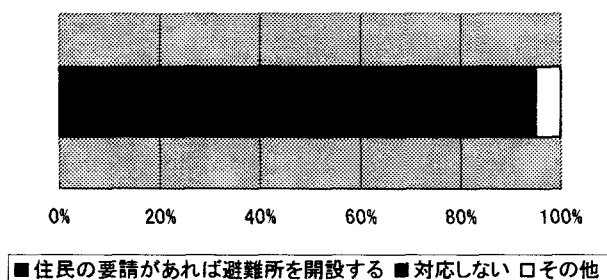


図28 自主避難者についてはどのような対応をしているか

問35. 避難所に布団などの寝具が用意されているかと質問したところ、用意されている所と用意されていない所が半々程度であった。呉市の場合「用意されている」である。この結果から、避難してきた人には寝具を用意すべきではないかと思われる。

問35. 避難所に布団などの寝具は用意されているか

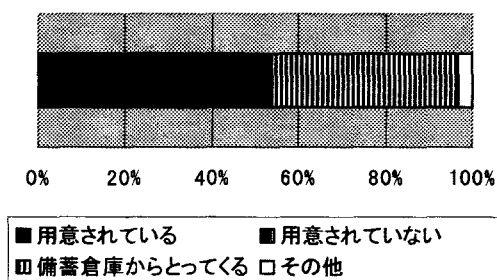


図29 避難所に布団などの寝具は用意されているか

問36. 避難してきた人に食事の提供を行っているかと質問したところ、ほとんどの市が食事の提供を行っていると回答した。呉市の場合、「提供しない」である。今後は全ての市で食事の提供が行われることが望まれる。

問36. 食事はどのようなものが用意されているか

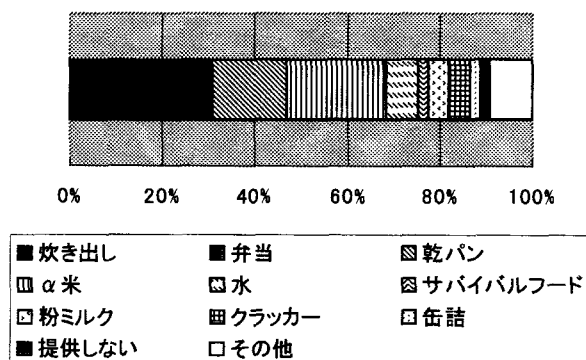


図30 食事はどのようなものが用意されているか

問37. ボランティアなど住民の協力はあるかと質問したところ、「ある」が75%、「ない」が19%だった。呉市の場合、「ない」である。今後は、住民の協力が100%になるよう目指すべきではないかと思われる。

問37. 避難所でボランティアなどの協力はあるか

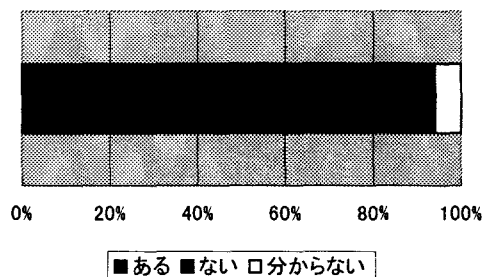


図31 避難所でボランティアなどの協力はあるか

問38. 問37で「ない」と回答した市にボランティアなどの協力は必要ないかと質問したところ、今後の課題としていたところが多かった。呉市の場合「芸予地震の時は住民の協力が得られた」である。今後行政はボランティアなどの協力が得られるよう、住民に何らかの形で支援することが望ましいと思われる。

3.2.4 自主防災組織と連携を深めるための活動

問39. 自主防災組織に対して連携を深めるための活動は行なわれているかと質問したところ、半数以上のところで防災訓練が行なわれていた。その中では地震や洪水などの災害に対する訓練が多かった。この結果から、過去の災害に対応した訓練を実施していくことが望ましいと思われる。呉市の場合、「総合防災訓練」、「地区防災避難訓練」、「土砂災害啓発研修」、「防災の日の行事」、「自主防災会研修」、「地震対応訓練」、「リーダー研修会」、「防災講演会」である。

問39. 自主防災組織に対して連携を深めるための活動をしているか

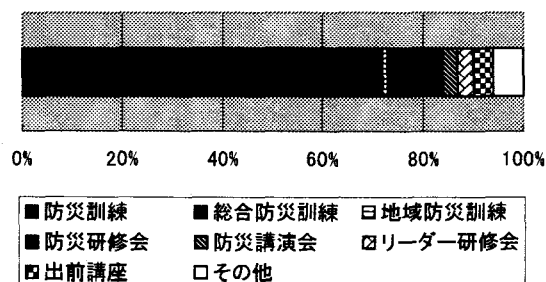


図32 自主防災組織に対して連携を深めるための活動をしているか

§4 終わりに

アンケート調査結果などをもとに呉市のような自主防災組織を活性化するために、以下の改善が考えられる。

①呉市には土砂災害などの危険区域が数多く存在するので、行政だけでなく巡視することは現状では困難だと考えられる。また、行政

が巡視をしている場所が公表されていないので住民にはどこを巡視しているのかかわからない。そのためには、行政がどこを巡視しているのかを住民に周知徹底して、行政と自主防災組織などが連携して巡視を行なうシステムを構築することが必要だと思われる。住民による巡視は家の中から状況を見たり、家周辺を巡視する程度を想定している。危険区域を行政と住民が一緒に巡視することで住民の防災意識を向上することが期待でき、という危険が身の回りにあるのか住民も知ることができる。また、行政と住民の信頼関係が増すことが期待できる。

②呉市は平成 16 年の台風 16 号、18 号、21 号、23 号で合計 1861 世帯、4445 人に、平成 17 年の台風 14 号では 2200 世帯、5200 人に避難勧告を発令しているが、行政は住民の避難状況を十分に把握していないのが実情である。したがって、行政は避難勧告を発令したら住民の避難状況を戸別訪問などによって住民が避難したかを確認することが必要だと思われる。現実には多数の住民の避難状況を行政だけで把握することは困難だと考えられるので、自主防災組織と連携して住民の避難状況を確認することが重要だと思われる。

③総合防災訓練などのように形式的な訓練だけでは住民の防災意識を向上することは一般には困難である。呉市はここ数年、避難勧告を発令する機会が増えている。この地域では住民の防災に関する関心が高いと思われるので、過去に災害が発生した地域や避難勧告を発令した地域を対象に自主防災組織と連携して実情にあった訓練を実施すると効果的である。さらに具体的な災害を対象にした防災訓練を実施することによって、住民の防災意識を向上できると考えられる。

④呉市の自主防災組織の組織率約 25%は、全国の組織率や広島県の組織率約 60%と比べると低いと思われる。呉市には土砂災害の危険区域が数多く存在するので自主防災組織を増やすことが急務であると考えられる。自主防災組織の結成には行政が主体となって結成される場合が多いので、行政の働きかけが重要である。

⑤島根県など全国で 20 人が犠牲となった平成 18 年 7 月の豪雨で、土砂災害が発生した地域でありながら、発生前に避難しなかった住民が 85%に上る⁷⁾。発生前に避難しない理由として「自宅にいる方が安全と思ったから」が約 40%に上る。このことから行政は住民に災害の危険性を周知徹底することが必要であると考えられる。

本稿では自主防災組織のある全国 100 市に対するアンケート調査を通じて、行政と自主防災組織の両者の災害発生前の巡視を主とした防災活動の役割、避難、避難所についての現状と問題を明らかにした。

今後は本稿の結果を基に住民用にアンケートを作成し、そこで住民側から見た行政の防災活動の現状、避難、避難所について、自主防災組織によるどのような防災活動が実現可能かをアンケートによって調査・検討する予定である。

謝辞

電話アンケート調査に応じて頂いた全国 100 市の皆様、資料の閲覧・質問に応じて頂いた呉市役所安全対策課の方々にお礼申し上げます。また、この研究は平成 18 年度呉地域オープンカレッジネットワーク会議地域活性化研究助成金の交付を受けて実施した。関係の方々に末尾ながら御礼申し上げます。

参考文献

- 1)高橋和雄、阿比留勝吾：鹿児島市の自主防災組織の現状と平成 5 年 8 月 6 日豪雨時の対応，自然災害科学 J,JSNDS14-1,pp43~57,1995
- 2)岡田健司，小早川誉博：呉市の自主防災組織の活性化対策について，呉工業高等専門学校卒業論文，2007 年 2 月
- 3)呉市役所総務部安全対策課：防災体制・災害対応マニュアル，2005 年 4 月
- 4)広島市：防災べんり帳 みんなで守ろうわが家わがまち
- 5)池谷浩：土石流災害，岩波新書，p188,1999 年 10 月
- 6)全国 100 市のホームページ
- 7)中国新聞：2006.12.25

平成18年（2006年）

研 究 業 績 一 覧

研究業績一覧凡例

平成18年4月～平成19年3月 (Apr., 2006～Mar., 2007)

この研究業績一覧の論文等は、本校教職員が上記期間中に他誌等へ発表した研究業績である。**ゴシック体**により標記した者は、**本校教職員**である。 例：高専太郎, T.KOSEN

研究業績の範囲は主として次に掲げるものとし、各業績の先頭に番号による区分を示した。

1. 学会誌、協会誌等掲載学術論文（査読付）は〔1〕とした。
2. 国際会議発表*は〔2〕とした。
3. 著書は〔3〕とした。
4. 学会誌、協会誌等掲載記事（総説、解説、技術資料等）、報告書は〔4〕とした。
5. 研究報告等掲載学術論文（査読なし）は〔5〕とした。
6. 学会発表、シンポジウム発表は〔6〕とした。
7. 特許等は〔7〕とした。
8. 芸術活動、建築作品、フィールドワークは〔8〕とした。

注：*はProceeding発表, Symposium発表, Poster Session発表を含む

掲載事項は以下のとおり。

1. 学会誌、協会誌等掲載学術論文（査読付）は〔1〕著者名：論文名：雑誌名、巻（号）、最初頁－最後頁、（発行年）
2. 国際会議発表は〔2〕発表者名：発表題目：発表誌名、巻（号）、最初頁－最後頁、（発表年月、場所）
3. 著書は〔3〕著者名：書名（編集者）：出版社名、（発行年）
4. 学会誌、協会誌等掲載記事、報告書は〔4〕著者名：論文名：雑誌名、巻（号）、最初頁－最後頁、（発行年）
5. 研究報告等掲載学術論文（査読なし）は〔5〕著者名：論文名：雑誌名、巻（号）、最初頁－最後頁、（発行年）
6. 学会発表、シンポジウム発表は
〔6〕発表者名：発表題目：発表誌名、巻（号）、最初頁－最後頁、（発行年）又は
〔6〕発表者名：発表題目：発表会名、（発表年月、場所）
7. 特許等は〔7〕発明者：特許等の名称：登録番号、（登録年）又は
〔7〕発明者：特許等の名称：出願番号、（出願年）
8. 芸術活動、建築作品、フィールドワークは
〔8〕制作者：作品等の名称、（発表年月、発表した場所等）又は
〔8〕フィールドワーク実施者：フィールドワークの名称、（フィールドワーク実施年月、場所等）

※著者名等は20名を越える場合は最初の10名を記入し、ほか何名とした。

校長

- [1] Y. Takabayashi(広島大), **I. Endo**, K. Ueda(広島大), C. Moriyoshi(〃), A.V. Shchagin(ハリコフ物理工学研) : Observation of intense PXR from textured polycrystal : Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Volume 243, pp.453-456, (2006).
- [1] S. Stokov(広島大), T. Takahashi(〃), **I. Endo**, M. Iinuma(広島大), K. Ueda(〃), H. Kuroiwa(〃), T. Ohnishi(〃), S. Sawada(KEK) : Electron beam deflection with channeling in a silicon crystal at the REFER electron ring : Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. Volume 252, pp.16-19, (2006)
- [1] S. Nawang(広島大), **I. Endo**, M. Iinuma(広島大), T. Takahashi(〃), A. Kohara(〃), K. Ueda(〃), S. Stokov(〃), H. Kuroiwa(〃), T. Ohnishi(〃), Y. Takabayashi(九州放射光), C. Moriyoshi(広島大), A. Shchagin(ハリコフ物理工学研) : Parametric X-ray Study from Textured Molybdenum Polycrystal : Journal of the Physical Society of Japan Vol. 75, No. 12, 124705(1-10), (2006)

一般科目

- [3] 小助川元太：行誉編『壺囊鈔』の研究：三弥井書店，（2006年9月）
- [3] 小助川元太（分担執筆）：唱導文学研究 第五集（福田晃・廣田哲通編）：三弥井書店，pp.162-205，（2007年3月）
- [5] 小助川元太：教室で鍛える小論文——「他山の石」方式の導入——：呉工業高等専門学校研究報告，第68号，pp.1-8，（2006年8月）
- [1] 新美哲彦：揺らぐ「青表紙本／青表紙本系」：国語と国文学，平成18年10月号，pp.14-26，（2006年10月）
- [1] 新美哲彦：『光源氏物語抄』から『河海抄』へ—注の継承と流通—：文学・語学，186号，pp.32-46，（2007年3月）
- [2] 新美哲彦：The Future of Basic Textual Research in Classical Japanese Literature：10th Asian Studies Conference Japan，（2006年6月，国際基督教大学）
- [2] 新美哲彦：今川了俊筆『源氏物語』傍注の性格：国際シンポジウム「世界における日中文化と文学」（2006年9月，中国・東北師範大学）
- [5] 新美哲彦：今川了俊筆『源氏物語』伊予切集成—新出断簡の紹介と傍記の性格—：『平安文学の新研究—物語絵と古筆切を考える』新典社，pp.228-254，（2006）
- [5] 新美哲彦他10人（呉高専本科）：『犬百人一首』全注釈（一）：呉工業高等専門学校研究報告，第68号，pp.9-16，（2006年8月）
- [5] 木原滋哉：対抗的公共圏の構想と実践—「サークル村」から大正闘争へ—：呉工業高等専門学校研究報告，第68号，pp.17-28，（2006年8月）
- [6] 木原滋哉：河川行政の意思決定と社会的合理性—川辺川ダム住民討論集会をめぐって—：第79回日本社会学会大会報告要旨集，p.291，（2006年10月，立命館大学）
- [6] 木原滋哉：社会運動と対抗的公共圏：第111回九州法学会学術大会報告（2006年7月，佐賀大学），九州法学会会報（九州法学会），pp.71-74，（2007年1月）
- [5] 奥平理：戦後日本の港湾発達とその土地利用変化に関する考察—苫小牧港を例として—：経済地理学年報，52-4，pp.326-327，（2006年）
- [6] 奥平理：戦後日本の港湾発達とその土地利用変化に関する考察—苫小牧港を例として—：平成18年度経済地理学会8月例会，（2006年）

- [1] 岡中正三, 赤池祐次: メネラウスの定理のベクトル教材への活用効果: 日本数学教育学会高専・大学部会論文誌, 13巻1号, pp.97-100, (2006)
- [2] Yasuhiro Kurokawa: Singularities of differential equations of asymptotic lines on surfaces in 4-space: The 9th International Workshop on Real and Complex Singularities (July, 2006, Sao Carlos, Brazil)
- [1] Yuji Akaike, Naotsugu Chinen (沖縄高専), Kazuo Tomoyasu (都城高専): Perfectness of the Higson and Smirnov compactifications: Colloquium Mathematicum, vol.107, pp.89-98, (2007)
- [4] 佐賀野健: 広島県バレーボール指導教本: (財)広島県バレーボール協会, pp.1-67, (2007)
- [5] 佐賀野健, 谷岡憲三, 渡邊英幸 (呉高専非常勤講師), 高津浩平 (〃), 岩井一師 (広島商船高専): 本校男子学生における体格・体力の変動: 呉工業高等専門学校研究報告, 第68号, pp.29-34, (2006)

機械工学科

- [1] 河野正来, 中迫正一, 灘野宏正 (呉高専名誉教授), 深田一徳 (鋼鉄工業), 山根健作 (〃), 久保善寛 (呉高専専攻科): プラズマ表面硬化処理を施した歯車のスコーリング強さ: 日本機械学会論文集 (C編), 72巻, 723号, pp.3634-3640, (2006)
- [6] 河野正来, 横瀬義雄, 山口隆司, 福永秀春: 教育研究予算の傾斜配分のための教員業績評価について: 日本工学教育協会平成18年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.430-431, (2006年7月, 北九州)
- [1] 吉村敏彦, 橋渡良生 (呉高専専攻科), 神原卓也 (呉高専本科), 佐藤一教 (パブコック日立), 寶山登 (パブコック日立): 蒸気凝縮キャビテーション噴流によるバラスト水浄化に関する研究: 噴流工学, Vol.23, No.3, pp.4-13, (2006)
- [2] T. Yoshimura, H. Kato (呉高専専攻科), H. Ishibashi, H. Abe (阪大接合研) and M. Naito (〃): ANALYSIS OF CARBON SPHERICAL SUBSTANCE GENERATED BY ARC ELECTRIC DISCHARGE: Smart Processing Technology, High Temperature Society of Japan, Vol.1, pp.211-215, (2006)
- [6] 吉村敏彦: ウォータジェットピーニングにおけるキャビテーション噴流の評価とフレッティング疲労抑制への応用: 第40回中国四国機素潤滑設計技術研究会, 第38回中国四国支部MD & T研究会, (2006年10月, 呉市)
- [6] 中村和史 (呉高専専攻科), 吉村敏彦, 佐藤一教 (パブコック日立), 寶山登 (〃): ウォータジェットピーニングの崩壊圧力の向上とフレッティング疲労抑制に関する研究: 日本鉄鋼協会・日本金属学会・中国四国支部, 鉄鋼第49回・金属第46回大会, p.36, (2006年8月, 広島国際学院大学)
- [6] 神原卓也 (呉高専本科), 吉村敏彦, 佐藤一教 (パブコック日立), 寶山登 (〃): 蒸気キャビテーション噴流によるバラスト水浄化に関する研究: 日本機械学会 中国四国学生会 第37回学生員卒業研究発表講

演会講演前刷集, p.141, (2007年3月, 徳島大学)

- [6] 竹田浩輔(呉高専専攻科), 吉村敏彦, 阿部浩也(阪大接合研): カーボンナノ粒子の生成に与える紫外線照射の効果に関する研究: 日本機械学会 中国四国学生会 第37回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, p.108, (2007年3月, 徳島大学)
- [5] 野原 稔: 選別機能を有する自動缶プレス機の試作: 呉工業高等専門学校研究報告, 第68号, pp.45-52, (2006年8月)
- [1] 岩本英久: 外科手術における基本手術手技の動作解析に関する研究: 学位論文 (2007年, 東京都立科学技術大学)
- [1] 中迫正一, 灘野宏正(呉高専名誉教授), 河野正来, 南一郎(岩手大), 中井裕教(前川製作所), 坂口俊之(〃), 山田和弥(〃): スラスト・ワシヤ試験におけるメカニカルシールの潤滑特性(油性剤・耐摩耗剤を添加した冷凍機油の場合): 設計工学, 41巻, 7号, pp.372-379, (2006)
- [4] 灘野宏正(呉高専名誉教授), 中迫正一: 平歯車のスコ어링防止対策: 機械の研究, 59巻, 1号, pp.48-55, (2007)
- [5] M. NAKASAKO, M. KOHNO, H. NADANO(呉高専名誉教授), I. MINAMI(岩手大): Tribological Properties of Mechanical Seal in Thrust-Washer Test(Case of Refrigerating Machine Oil with Oiliness and Anti-Wear Additives): 呉工業高等専門学校研究報告, 第68号, pp.53-60, (2006)
- [6] 中迫正一, 河野正来, 灘野宏正(呉高専名誉教授), 深田一徳(鋼鉄工業), 山根健作(〃), 重松祐介(呉高専専攻科): 各種複合被膜処理を施したSCM415H鋼の摩擦・摩耗特性: 日本設計工学会中国支部講演論文集, No.23, pp.27-32, (2006年6月, 広島)
- [6] 中迫正一, 河野正来, 深田一徳(鋼鉄工業), 山根健作(〃), 久保慶晃(呉高専専攻科): 各種被膜を施したラジカル窒化処理歯車の負荷能力: 日本機械学会中国四国支部・九州支部合同企画鳥取講演会講演論文集, No.065-2, pp.129-130, (2006年11月, 鳥取)
- [1] 野村高広: Excelを利用した自然対流の数値計算と可視化: 高専教育, 第30号, pp.25-30, (2007.3)
- [5] 野村高広: Excelによる同心長方形管内自然対流の数値解析: 呉工業高等専門学校研究報告, 第68号, pp.61-66, (2006年8月)
- [6] 宮本一真(呉高専専攻科), 野村高広: Bluetoothを利用した四足歩行ロボットの試作: 日本機械学会中国四国学生会 第37回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, p.273, (2007年3月, 徳島大学)
- [6] 池本雄一(呉高専専攻科), 野村高広: 同心長方形管内の自然対流熱伝達: 日本機械学会中国四国学生会 第37回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, p.148, (2007年3月, 徳島大学)
- [6] 古本弘志(呉高専本科), 寺本光児(〃), 野村高広: ウォーターベルの流動形態: 日本機械学会中国四国学生会 第37回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, p.140, (2007年3月, 徳島大学)

- [1] K. Hayashi, A. Kawasuso(原子力機構) and A. Ichimiya(日女大) : Adsorption of Oxygen on Si(001) Surfaces Studied by Reflection High-Energy Positron Diffraction : e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 4, pp.510-513, (2006)
- [1] K. Hayashi, A. Kawasuso(原子力機構) and A. Ichimiya(日女大) : Reflection high-energy positron diffraction pattern from a Si(1 1 1)-(7×7) surface : Surface Science, 600, pp.4426-4429, (2006)
- [6] 山田祐士, 則次俊郎(岡山大) : 空気圧シリンダを用いた移動する物体に対する押し付け力制御 : 平成18年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.100-102, (平成18年11月, 静岡)

電気情報工学科

- [1] 寺田清昭((株) リオン), 高橋義典(工学院大), 野村博昭, 東山三樹夫(早稲田大) : 2チャンネル音像再生における平滑化逆フィルタの安定性 : 電子情報通信学会論文誌A Vol. J 90-A No.3, pp.181-189, (2007)
- [1] F. Kuroki, Y. Wagatsuma(東北大), and T. Yoneyama(東北工大) : Distance Estimation at 60 GHz : IEEE Aerospace and Electronic Systems, Vol. 21, Issue 5, pp.26-29, (May, 2006)
- [1] 黒木太司, 山岡幸一(呉高専専攻科), 下井浩(〃), 米山務(東北工大) : 中出力・低雑音導波管回路直結型60GHz帯NRDガイドガン発振器 : 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J89-C, No.5, pp.228-233, (2006)
- [2] F. Kuroki, H. Ohta(呉高専専攻科), M. Yamaguchi(シャープ(株), 元呉高専専攻科), and E. Suematsu(シャープ(株)) : Wall-Hanging Type of Self-Complementary Spiral Patch Antenna for Indoor Reception of Digital Terrestrial Broadcasting : Electronic Proceedings of IEEE MTT-S Microwave Symposium, (June, 2006 in San Francisco, USA)
- [2] F. Kuroki and K. Miyamoto(呉高専専攻科) : Experimental Verification of Higher Mode Propagation in Shielded Slot Transmission Line : Proceedings of IEEE AP-S and URSI Int. Symposium, p.655, (July, 2006 in Albuquerque, USA)
- [2] F. Kuroki and H. Ohta(呉高専専攻科) : A Small-Sized Meander-Line Type Patch Antenna Fed by Coplanar Waveguide with Finite Ground Plane : Proceedings of IEEE AP-S and URSI Int. Symposium, p.471, (July, 2006 in Albuquerque, USA)
- [2] F. Kuroki, Y. Murata(呉高専専攻科), R. Masumoto(〃), and T. Yoneyama(東北工大) : NRD Guide Detector Using Vertical Strip Transmission Line at 60 GHz : Proceedings of China-Japan Joint Meeting on Microwaves, pp.306-309, (August, 2006 in Chengdu, China)

- [2] **F. Kuroki**, Y. Takigawa(呉高専専攻科), and S. Kashiara(呉高専本科) : A Traveling-Wave Antenna on High Permittivity Substrate : Proceedings of China-Japan Joint Meeting on Microwaves, pp.103-106, (August, 2006 in Chengdu, China)
- [2] **F. Kuroki** and K. Miyamoto(呉高専専攻科) : High Permittivity Tape Transmission Line for Mass-Productive Dielectric Waveguide at Millimeter-Wave Frequencies : Proceedings of the 36th European Microwave Conference, pp.103-106, (September, 2006 in Manchester, UK)
- [2] **F. Kuroki**, K. Yamaoka(呉高専専攻科), S. Ishikawa(〃), Y. Murata(〃), K. Masaki(〃), and T. Yoneyama(東北工大) : Range Finding by Using NRD Guide Pulse Radar Front-End at 60 GHz : Proceedings of the 36th European Microwave Conference, pp.292-295, (September, 2006 in Manchester, UK)
- [2] **F. Kuroki** and H. Ohta(呉高専専攻科) : Miniaturized Cross Meander-Line Antenna Etched on Both Sides of Dielectric Substrate : Proceedings of International Symposium of Antennas and Propagation, (November, 2006 in Singapore)
- [2] **F. Kuroki** and K. Miyamoto(呉高専専攻科) : Consideration on Undesired Radiation in Dielectric-Supported Tri-plate Line Filter : Proceedings of International Symposium of Antennas and Propagation (November, 2006 in Singapore)
- [2] **F. Kuroki**, T. Izuho(呉高専専攻科), and T. Yoneyama(東北工大) : Signal Processing to Suppress Multi-Reflection for Level Sensing Using NRD Guide Pulse Radar at 60 GHz : Proceedings of International Symposium of Antennas and Propagation, (November, 2006 in Singapore)
- [2] **F. Kuroki** and K. Miyamoto(呉高専専攻科) : Guided Modes in Shielded Slot Line at Millimeter-wavelength : Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, pp.213-216 (December, 2006 in Yokohama, Japan)
- [2] **F. Kuroki** and H. Ohta(呉高専専攻科) : Operational Frequency Tuning for Meander Line Antenna Fed by Coplanar Waveguide with Finite Ground Plane : Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, pp.939-942, (December, 2006 in Yokohama, Japan)
- [2] **F. Kuroki**, T. Izuho(呉高専専攻科), and T. Yoneyama(東北工大), "Digital Signal Processing of Multi-Reflection for Short Range Detection Using NRD Guide Pulse Radar Front-End at 60 GHz", Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, pp.1697-1700 (December, 2006 in Yokohama, Japan)
- [2] **F. Kuroki**, Y. Takigawa(呉高専専攻科), and S. Kashiara(呉高専本科) : Radiation Characteristics of Integrated Traveling-Wave Antenna Etched on Heavily-High Permittivity Substrate for Size Reduction : Proceedings of IEEE Radio and Wireless Symposium, pp169-172, (January, 2007 in Long Beach, USA)
- [2] **F. Kuroki**, H. Sugimoto(呉高専専攻科), and T. Yoneyama(東北工大) : Transition between NRD guide and Microstrip Line with Low Permittivity Dielectric Substrate at 60 GHz : Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics, (March 2007 in Beijing, China)

- [2] **F. Kuroki** and **M. Okiyokota** (呉高専本科) : A Primary Radiator Using Vertical Strip Transmission Line for Millimeter-Wave Planar Antenna Applications : Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics, (March 2007 in Beijing, China)
- [2] **F. Kuroki**, **R. Masumoto** (呉高専専攻科), and **R. Tamaru** (呉高専本科) : Effective Conductivities for Both Sides of Copper Foil Coating Surface of Dielectric Substrate at 60 GHz : Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics, (March 2007 in Beijing, China)
- [6] **黒木太司** : 誘電体伝送線路ルネッサンス(招待講演) : 日本学会会議主催電波科学研究連合(URSI)-C分科会 第19期 第10回公開研究会, (2006, 5月, 佐賀)
- [6] **宮本和哉** (呉高専専攻科), **黒木太司** : 支持誘電体基板で構成されたトリプレート伝送線路フィルタの不要放射に関する考察 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.103-106, (2006年9月, 東京)
- [6] **太田宙志** (呉高専専攻科), **黒木太司** : 有限幅の地板を有するコプレーナ線路で給電されたミアンダラインアンテナの動作周波数制御 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.107-112, (2006年9月 東京)
- [6] **瀧川雄介** (呉高専専攻科), **柏原慎也** (呉高専本科), **黒木太司** : 高誘電率誘電体基板を用いた小型スロットスパイラルアンテナ : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.113-116, (2006年9月 東京)
- [6] **出穂剛史** (呉高専専攻科), **黒木太司**, **米山務** (東北工大) : 60GHz帯NRDガイドパルスレーダを用いたレベルセンシングにおける多重反射信号処理 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.117-120, (2006年9月, 東京)
- [6] **李可人** (情報通信機構), **荒木純道** (東工大), **西川健二郎** (NTT), **常信和清** (富士通), **吉増敏彦** (早稲田大), **黒木太司**, **大橋英征** (三菱電機), **宮崎守泰** (三菱電機) : [特別講演] 2004年IEEE MTT-S 国際マイクロ波シンポジウム出席報告 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.175-183, (2006年9月, 東京)
- [6] **黒木太司**, **出穂剛史** (呉高専専攻科), **米山務** (東北工大) : 60GHz帯NRDガイドパルスレーダを用いたレベルセンシングにおける連続サンプリングによる測定精度の向上 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.79-82, (2007年1月 東京)
- [6] **黒木太司**, **太田宙志** (呉高専専攻科) : UHF帯TV信号受信用小型・薄型J字型モノポールアンテナアレイ : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.83-88, (2007年1月, 東京)
- [6] **黒木太司**, **太田宙志** (呉高専専攻科) : 誘電体基板両面に配置した小型・薄型クロスミアンダラインアンテナ : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.89-94, (2007年1月, 東京)
- [6] **黒木太司**, **舩本亮太** (呉高専専攻科), **田丸了次** (呉高専本科), **宮本和哉** (呉高専専攻科) : ミリ波帯におけるプリント伝送線路の伝送損失軽減法に関する考察 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.95-98 (2007年1月, 東京)
- [6] **黒木太司**, **宮本和哉** (呉高専専攻科) : ミリ波帯誘電体基板支持トリプレート伝送線路フィルタの不要放射抑圧 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.99-103, (2007年1月, 東京)

- [7] 米山務(東北工大), 黒木太司, 沢田浩和(東北工大): NRDガイド変換器: 特許第3843081号, (2006年8月18日登録)
- [7] 末松英治(シャープ株), 山口倫史(〃), 鈴木治夫(〃), 黒木太司: 携帯型無線装置: 特開2007-19882, (2007年1月25日公開)
- [7] 黒木太司, 南谷康次郎(新日本無線株): アンテナ”, 特許第3934840号, (2007年3月30日登録)
- [6] 浦野俊夫(神戸大), 金持徹(〃), 池田朋大(〃), 山口 俊(〃), 田中 誠: X線を発生しない電離真空計(Ⅱ): 第47回真空に関する連合講演会講演予稿集, p.105, (2006年11月, 大阪大学)
- [6] 山口俊(神戸大), 金持徹(〃), 池田朋大(〃), 田中 誠, 浦野俊夫(神戸大): X線を発生しない電離真空計(Ⅲ): 第54回応用物理学関係連合講演会 28a-pp.3-24, (2007年3月, 青山学院大学)
- [5] 山崎勉: 単探針法で得た電圧電流特性のデジタルデータ処理: 呉工業高等専門学校研究報告, 68号, pp.67-71, (2006)
- [6] 山崎勉: 大気圧ホロー陰極グロー放電に対する陰極長さの影響: 平成18年度電気・情報関連学会中国支部第57回連合大会論文集 p.382 (2006年10月, 岡山)
- [1] Teruyuki Izumi(島根大), Yoshio Yokose, Ryuichi Tamai(島根大): Minimum Energy Path Search for a Manipulator in Consideration of All Nonlinear Character: stics by GA and Its Experiments: Electrical Engineering in JAPAN, Vol.157 No.3, pp.26-34, (2006年)
- [1] 藤井敏則, 野村博昭, 坂井貴彦, 池本浩一郎: eラーニングによる資格取得教育支援システムの構築と実践: 高専教育 第30号, pp.335-340, (2007)
- [1] 藤井敏則, 横沼実雄, 植田義文, 野村博昭, 田中 誠, 山崎 勉, 横瀬義雄, 大西義浩: 入学者志願増対策のための広報戦略 ー呉高専電気情報工学科における広報事例と効果ー: 高専教育 第30号, pp.753-758, (2007)
- [4] 横沼実雄, 板東能生, 野村高広, 横瀬義雄: 呉工業高等専門学校ーロボコン活動の変遷と新たな取り組みー電気設備学会誌: 第26巻 第11号, pp.857- 858, (2006年)
- [1] Y. Bando: The improved design of thermoelectric power measurement system: The Thermoelectrics Society of Japan 2006 論文集, 3, pp.92-93, (2006)
- [6] 板東能生: 熱電能測定装置の改良と測定方法: 日本熱電学会学術講演会, (2006.8 藤沢市)
- [1] 高尾健司(広島大), 大西義浩, 山本透(広島大), 雛元孝夫(広島大): 制御性能評価に基づくパフォーマンス・アダプティブPIDコントローラの設計: 計測自動制御学会論文集, Vol.43, No.2, pp.111-117 (2007)

- [2] **Y.OHNISHI** and S.L. Shah(アルバータ大) : Design of a performance driven PID Controller : Proc. of IEEE International Conference on Industrial Technology, pp.2184-2189, Mumbai, (Dec. 2006)
- [6] **大西義浩**, 山本透(広島大), S.L.Shah(アルバータ大) : ニューロ推定器を用いた非線形PID制御器 — 水位制御実験による検証 — : 平成19年電気学会全国大会講演論文集[3], pp.54-55, (2007.3, 富山)
- [6] 池田昌弘(呉高専専攻科), **大西義浩** : 逐次型最小2乗法による制御性能評価指標の推定 : 平成19年電気学会全国大会講演論文集[3], pp.68-69, (2007.3, 富山)
- [6] 川成翔(呉高専専攻科), **大西義浩** : プースティングアルゴリズムを用いた関数近似法 : 平成19年電気学会全国大会講演論文集[3], pp.118, (2007.3, 富山)
- [1] **Hiroataka Inoue** : Self-Organizing Neural Grove : WSEAS Transactions on Computers, Issue 10 (Vol.5), pp.2238-2244, (2006)
- [2] **Hiroataka Inoue** : Self-Organizing Neural Grove — Effective Multiple Classifier System with Pruned Self-Generating Neural Trees : In Proc. of 10th WSEAS CSCC Multiconference, (July 2006, Athens)
- [1] **三島智和**, 平木英治(山口大), 山本剛司(〃), 田中俊彦(〃) : 次世代自動車用スーパーキャパシタインターフェース双方向DC-DCコンバータ : 電気学会論文誌産業応用部門誌, Vol.126, No.4, pp.529-530, (2006年4月)
- [1] **三島智和**, 平木英治(山口大), 田中俊彦(〃), 中岡睦雄(慶南大) : 対称形ロスレススイッチトキャパシタスナバ方式双方向DC-DCコンバータ動作評価 : パワーエレクトロニクス学会誌, Vo.32, pp.113-119, (2007年3月)
- [2] **Tomokazu Mishima**, Eiji Hiraki(山口大), and Toshihiko Tanaka(〃) : A ZCS Lossless Snubber Cell-Applied Half-Bridge Bidirectional DC-DC Converter : in Proc. 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.2011-2016, (Jun. 2006, Jeju)
- [2] **Tomokazu Mishima**, Eiji Hiraki(山口大), Toshihiko Tanaka(〃), and Mutsuo Nakaoka(慶南大) : A New Soft-Switched Bidirectional DC-DC Converter Topology for Automotive High Voltage DC Bus Architectures : in Proc. 2006 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.731-736, (Windsor-UK, Sep. 2006).
- [2] K. Yamamoto(山口大), E. Hiraki(〃), T. Tanaka(〃), M. Nakaoka(慶南大), and **T. Mishima**, : Bidirectional DC-DC Converter with Full-Bridge / Push-Pull Circuit for Automotive Electric Power Systems : in Proc. 2006 IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.280-284, (Jeju-Korea, Jun. 2006).
- [2] K. Yamamoto(山口大), E. Hiraki(〃), T. Tanaka(〃), **T. Mishima**, and M. Nakaoka(慶南大) : An Isolated Bidirectional DC-DC Converter based Super-Capacitor Interface for Automotive Electric Power Systems : in Proc. 2006 European Conference on Power Electronics and Applications(EPE-PEMC), pp.722-727, (Slovenia-Portoroz, Sep. 2006).

- [2] K. Fathy(慶南大), H. W. Lee(〃), **T. Mishima**, and M. Nakaoka(慶南大) : Boost Half-Bridge Single Power Stage PWM DC-DC Converter for Small Scale Fuel Cell Stack : in 1st IEEE International Power and Energy Conference(PECon), Vol.836-841, (Malaysia, Nov. 2006).
- [2] K. Fathy(慶南大), **T. Mishima**, E. Hiraki(山口大), and M. Nakaoka(慶南大) : A Novel Switched-Capacitor and Lossless Inductor Quasi-Resonant Snubbers Assisted ZCS PWM Soft-Switching DC-DC Power Converter : in 2006 International Conference on Electric Machines and Systems(ICEMS), Vol.3, pp.1158-1163, (Nagasaki, Nov. 2006)
- [5] B. Saha(慶南大), **T. Mishima**, S.K.Kwon(慶南大), and M. Nakaoka(産技短大) : A Novel Non-Active Edge-Resonant Soft-Switching PWM High Frequency Inverter with Reduced Circuit Component : 産業技術短期大学誌, Vol.41, pp.12-20, (2007年3月)
- [5] H. Sugimura(慶南大), S. K. Kwon(慶南大), **T. Mishima**, and M. Nakaoka(産技短大) : Pulse Density Modulated High Frequency Soft-Switching Inverters for Dielectric Barrier Discharge Fluorescent Lamp : 産業技術短期大学誌, Vol.41, pp.21-29, (2007年3月)
- [6] **三島智和**, 平木英治(山口大), 田中俊彦(〃), 中岡睦雄(慶南大) : 対称形ロスレススイッチトキャパシタスナバ方式ZCS双方向DC-DCコンバータ動作評価 : 第164回パワーエレクトロニクス学会定例研究会資料, JIPE-32-13 (2006年8月, 三重)
- [6] 山本剛司(山口大), 平木英治(〃), **三島智和**, 田中俊彦(山口大) : フルブリッジプッシュプル構成の電気自動車用双方向DC-DCコンバータに関する検討”, 平成18年度電気・情報通信学会中国支部連合大会, pp.476-477 (2006年10月)
- [6] **三島智和**, 平木英治(山口大), K. Fathy(慶南大), 中岡睦雄(慶南大) : ロスレススイッチト・キャパシタスナバ方式ZCSハーフブリッジDC-DCコンバータの検討 : 平成18年電気学会関西支部連合大会, CD-ROM G-125 (2006年11月, 大阪)
- [6] **三島智和**, 平木英治(山口大), 田中俊彦(〃), 中岡睦雄(〃) : 非対称アクティブ補助部分共振スナバZCS-PWM DC-DCコンバータ動作特性 : 電子情報通信学会技術研究報告会(電子通信エネルギー技術) : EE2006-38, pp.7-12. (2007年1月, 長崎)
- [6] 篠原貞夫((株) 本田技研), **三島智和**, 木村友則((株) デンソー) : ソフトスイッチング技術実用化動向-自動車電力変換器 : 平成19年電気学会全国大会シンポジウム講演論文集, Vol.4, 4-S20, pp.29-32, (2007年3月, 富山)

環境都市工学科

- [1] 小堀慈久, 加藤省二, 荒谷祐貴(リョウセンエンジニア) : 飽和粘性土の有効応力特性 : 地盤災害・地盤環境論文集, 第6巻, 地盤工学会四国支部, pp.125-130, (2006年7月)

- [3] 小堀慈久(分担執筆)：新土質実験法：鹿島出版会，pp.104-118，(2007年3月)
- [6] 小堀慈久，荒谷裕樹(リョウセンエンジニア)，加藤省二：飽和粘性土の異拘束圧条件における強度・破壊特性：第58回土木学会中国支部研究発表会，pp.191-192，(2006，松江市)
- [6] 小堀慈久，荒谷裕樹(リョウセンエンジニア)，加藤省二，片岡良太(計測リサーチ)，平田啓(国土総合建設)：細粒土を含む不攪乱まさ土のせん断及び圧縮特性度・破壊特性：第58回土木学会中国支部研究発表会，pp.191-192，(2006，松江市)
- [1] Nakai, S.(復建調査設計)，Sasaki, Y.(国土技術研究センター)，Kaibori, M.(広島大) and Moriwaki, T. : Rainfall index for warning and evacuation against sediment-related disaster-Reexamination of the rainfall index R_f , and a proposal of R' : Soils and Foundations, Vol.46, No.4, pp.465-475, (2006)
- [1] Baek, W. J.(山口大)，Moriwaki, T. and Sasaki, Y.(国土技術研究センター) : Numerical analyses on consolidation of clayey ground improved by vertical drain system based on 3-D elasto-viscous model : Soils and Foundations, Vol.46, No.2, pp.159-172, (2006)
- [2] Nakai, S.(復建調査設計)，Sasaki, Y.(国土技術研究センター)，Kaibori, M.(広島大)，Moriwaki, T. and Kano, S.(〃) : Applicability of rainfall index R' for recent cases in 2004-2005 : Proc. of 2nd Japan-Taiwan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquake and Heavy Rainfall, pp.90-97, (2006.5, Nagaoka)
- [3] 森脇武夫(分担執筆)：豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度評価：実務シリーズ23，地盤工学会，pp.11-15, pp.97-100, pp.105-107, pp.126-131, (2006)
- [4] 森脇武夫：圧密現象とその理論的な取り扱い(その1：一次元圧密)，講座「実務のための圧密沈下予測とその対策技術」：土と基礎，Vol.54, No.10, pp.39-46, (2006)
- [4] 森脇武夫：圧密現象とその理論的な取り扱い(その2：三次元圧密と二次圧密)，講座「実務のための圧密沈下予測とその対策技術」：土と基礎，Vol.54, No.11, pp.47-54, (2006)
- [4] 今井五郎(横浜国立大)，森脇武夫，大向直樹(横浜国立大)：圧密沈下予測の高精度化に向けて，講座「実務のための圧密沈下予測とその対策技術」：土と基礎，Vol.55, No.3, pp.43-50, (2007)
- [4] 森脇武夫，古川智(中電技術コンサルタント)：呉市の斜面災害に及ぼす強い地震動の影響：平成18年度地域防災ネットワーク成果報告書，pp.173-185, (2007)
- [6] 森脇武夫，松井章弘(広島大)：自然堆積粘土の圧密特性と骨格構造の評価法：第41回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.219-220, (2006，鹿児島市)
- [6] 近藤良(中電技術コンサルタント)，平尾隆行(〃)，渡辺修士(〃)，葛川徹(〃)，森脇武夫，岡本拓(広島県保健環境センター)，岡本功一(日本触媒)，服部晃(〃)：杭基礎の表面処理方法が海面処分場の底面遮水工に与える影響：第41回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1177-1178, (2006，鹿児島市)

- [6] 土田孝(広島大), 加納誠二(〃), **森脇武夫**, 中井真司(復建調査設計), 古川智(中電技術コンサルタント): 広島県における平成17年台風14号の土砂災害: 第41回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1965-1666, (2006, 鹿児島市)
- [6] **森脇武夫**, 貫目美智恵(呉高専専攻科): 斜面安定解析のための低拘束圧での不攪乱まさ土の強度定数の決定法(その2): 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, 第3部門, pp.423-424, (2006, 草津市)
- [6] 蔦川徹(中電技術コンサルタント), **森脇武夫**, 岡本拓(広島県保健環境センター), 渡辺修士(中電技術コンサルタント), 平尾隆行(〃): 基礎杭打設による海面処分場の底面遮水工に与える影響: 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 第Ⅱ巻, pp.916-918, (2006, 北九州市)
- [6] **森脇武夫**, 貫目美智恵(呉高専専攻科): 不攪乱まさ土の強度定数の決定法: 平成18年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.217-218, (2006, 松江市)
- [1] 室達朗(愛媛大), **重松尚久**, 河野幸一(愛媛大), 作原陽一(奥村組土木興行): 変位制御型端面掘削方式による軟質岩盤に対応する深礎掘削機のパフォーマンス実験, 土木学会論文集Vol.62, No. 2, pp.285-295, (2006年4月)
- [1] 下岡幸司(呉高専専攻科), **重松尚久**, 室達朗(愛媛大): 月面探査ローバの走行性に関する実験: テラメカニクス, 第26号, pp.15-20, (2006年6月)
- [1] 下岡幸司(呉高専専攻科), **重松尚久**, 室達朗(愛媛大): 月面探査ローバの走行性に関する実験: 平成18年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.147-152, (2006年11月)
- [4] **重松尚久**: 月面探査ローバに最適なトレッド形状の検討: 建設機械, 12月号502, pp.58-62, (2006年12月)
- [6] 下岡幸司(呉高専専攻科), **重松尚久**: 月面探査ローバの走行性に関する実験: 第58回平成18年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.509-510, (2006年5月, 松江)
- [6] 外山勇希(呉高専), **重松尚久**, 玉井雄大(岸本建設株式会社): 変位制御型端面掘削方式による硬質岩盤掘削機のパフォーマンスに関する基礎的研究: 第58回平成18年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.495-496, (2006年5月, 松江)
- [1] 工藤洋三(徳山高専), 国重徹(〃), 貞野修一郎(〃), 村重清司(〃), **河村進一**: 徳山高専夢広場の2年間: 論文集高専教育, 第30号, pp.717-722, (2007)
- [6] **河村進一**, 田中智(エスイー), 中原稔尚(徳山高専専攻科), 徳永亮太(徳山高専): 斜張橋用マルチストランドケーブルの張力推定の自動化: 第58回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.25-26, (2006.6, 松江市)

- [6] 松木勇太(九工大院), 山口栄輝(九工大), 内藤靖(オリエンタルコンサルタンツ), 河村進一: 国道201号における重車両の交通特性: 土木学会全国大会第61回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), I-614, (2006.9, 草津市)

- [1] 黒川岳司, 古本幸彦(広成建設), 松岡朋子(岡山市): 低気圧や台風の経路の違いが中海の水位変化に与える影響: 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1001-1005, (2006.10)

- [6] 松岡朋子(岡山市), 古本幸彦(広成建設), 黒川岳司: 低気圧・台風の移動経路の違いがもたらす中海の水位変動への影響: 第58回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.179-180, (2006.6, 松江市)

- [6] 中野光隆(呉高専専攻科), 黒川岳司: 小規模な貯水池における水温成層の消長に関する研究: 第58回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.175-176, (2006.6, 松江市)

- [4] 山岡俊一: コミュニティ道路におけるイメージ手法の効果に関する基礎的研究: 財団法人 三井住友海上福祉財団研究結果報告書—交通安全等・高齢者福祉—, VOL.10, pp.41-44, (2006年8月)

- [6] 平山智博(呉高専専攻科), 山岡俊一, 田川央((株)建設技術研究所), 本田義孝(須賀工業(株)): 幹線道路の歩道における交通実態分析: 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, 第58回, pp.351-352, (2006年6月, 松江市)

- [6] 山岡俊一, 市坪誠, 佐賀野健, 今田寛典(呉大), 石川知憲(呉市役所), 高瀬和博(〃), 重森聡史(国土交通省): 安芸灘諸島における景観資源に関する意識調査分析: 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, 第58回, pp.393-394, (2006年6月, 松江市)

- [6] 平山智博(呉高専専攻科), 山岡俊一: 幹線道路の歩道における歩行者・自転車の交通実態分析: 土木計画学研究・講演集, Vol.33, CD-ROM, (2006年6月, 仙台市)

- [6] 山岡俊一, 田川央((株)建設技術研究所): コミュニティ道路におけるイメージフォルトの効果に関する基礎的研究: 土木計画学研究・講演集, Vol.33, CD-ROM, (2006年6月, 仙台市)

- [6] 川端育将(呉市役所), 山岡俊一, 磯部友彦(中部大): 鉄道駅における上下移動施設の相対的重要度に関する研究: 日本福祉のまちづくり学会全国大会概要集, 第9回, pp.67-70, (2006年8月, 呉市)

- [6] 山岡俊一, 田川央((株)建設技術研究所): コミュニティ道路におけるフォルトに関する研究: 土木学会年次学術講演会講演概要集IV部門, CD-ROM, DISC2, 第61回, pp.261-262, (2006年9月, 草津市)

- [1] 堀口至, 佐伯昇(北大), 市坪誠, 竹村和夫: ハイブリッド繊維補強コンクリートのコンシステンシーおよび力学特性: コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.371-376, (2006)

- [1] 堀口至, 市坪誠, 竹村和夫: 再生骨材を用いた多層構造ポーラスコンクリートの曲げ強度および保水性: セメント・コンクリート論文集, No.60, pp.575-581, (2006)

- [6] 堀口至, 市坪誠, 竹村和夫: 再生骨材を用いた多層構造ポーラスコンクリートの曲げ強度および保水性: 第60回セメント技術大会講演要旨, pp.206-207, (2006.5, 東京都)

- [6] 友村圭祐(呉高専専攻科), 堀口至, 市坪誠, 竹村和夫: 長さの異なる鋼繊維を混入したコンクリートのコンシステンシー: 第58回平成18年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.423-424, (2006.6, 松江市)
- [6] 堀口至, 市坪誠, 竹村和夫: 微小鋼繊維を混入したハイブリッド繊維補強コンクリートのコンシステンシー: 土木学会第61回年次学術講演会, pp.677-678, (2006.9, 草津市)

建築学科

- [1] 片寄哲務(フジタ), 高森直樹(〃), 西田浩和(〃), 寺岡勝: 高強度コンクリートの若材齢時における力学特性と自己収縮挙動: 日本コンクリート工学年次論文集, 第28号, 第1号, pp.497-502, (2006)
- [1] 西田浩和(フジタ), 片寄哲務(〃), 佐藤幸博(〃), 寺岡勝: 定荷重繰返し载荷を受ける高強度コンクリートの損傷評価の試み: 日本コンクリート工学年次論文集, 第28巻, 第1号, pp.1181-1186, (2006)
- [1] 高森直樹(フジタ), 林和也(〃), 佐々木聡(〃), 寺岡勝: 実大RC内柱・梁接合部に関する実験的研究: コンクリート工学年次論文集, 第28巻, 第2号, pp.283-288, (2006)
- [1] 林和也(フジタ), 高森直樹(〃), 寺岡勝: 高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造柱・梁接合部のせん断強度に関する調査・検討: コンクリート工学年次論文集, 第28巻, 第2号, pp.295-300, (2006)
- [1] 佐藤幸博(フジタ), 佐々木仁(〃), 高森直樹(〃), 寺岡勝: 高強度コンクリートを用いたRC造短柱の耐震性能に関する実験的研究: コンクリート工学年次論文集, 第28巻, 第2号, pp.625-630, (2006)
- [2] M. TERAOKA: ESTIMATION OF YIELD DEFORMATION OF BEAMS IN INTERIOR BEAM-AND-COLUMNSUBASSEMBLAGES, Proceeding of The 8th Taiwan-Korea -Japan Joint Seminar on Earthquake Engineeringfor Building Structures(SEEBUS2006), pp.301-310, (Dec.4-5, 2006, Nagoya)
- [4] 寺岡勝, 丸田誠(鹿島建設), 村上秀夫(鴻池組): 日本コンクリート工学協会「高強度コンクリート構造物の構造性能研究委員会報告書」: p.85, pp.140-170, (2006)
- [5] 片寄哲務(フジタ), 高森直樹(〃), 西田浩和(〃), 寺岡勝: 高強度コンクリートの若材齢時における力学特性と自己収縮挙動: 日本コンクリート工学協会「高強度コンクリート構造物の構造性能研究委員会」報告会・シンポジウム論文集, pp.416-425, (2006)
- [5] 林和也(フジタ), 高森直樹(〃), 寺岡勝: 高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造柱・梁接合部のせん断強度に関する調査・検討: 日本コンクリート工学協会「高強度コンクリート構造物の構造性能研究委員会」報告会・シンポジウム論文集, pp.522-529, (2006)
- [6] 高森直樹(フジタ), 片寄哲務(〃), 西田浩和(〃), 寺岡勝: 膨張材と収縮低減剤を用いた超高強度コンクリートの自己収縮挙動 - その1 実験概要 - : 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.97-98,

(2006年9月, 神奈川大学)

- [6] 片寄哲務(フジタ), 高森直樹(〃), 西田浩和(〃), **寺岡勝**: 膨張材と収縮低減剤を用いた超高強度コンクリートの自己収縮挙動 - その2 実験結果 - : 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.99-100, (2006年9月, 神奈川大学)
- [6] 林和也(フジタ), 高森直樹(〃), 佐藤幸博(〃), 佐々木仁(〃), **寺岡勝**: 柱・梁接合部をプレキャスト化した部分架構に関する実験的研究: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.43-44, (2006年9月, 神奈川大学)
- [6] 佐々木仁(フジタ), 佐藤幸博(〃), 高森直樹(〃), 林和也(〃), 片寄哲務(〃), 西田浩和(〃), **寺岡勝**, 渡邊史夫(京都大): 超高強度コンクリートを用いたRC造短柱の短期の力学的挙動に及ぼす長期性状の影響: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.101-104, (2006年9月, 神奈川大学)
- [6] 谷岡洋介(呉高専専攻科), **寺岡勝**, 福原安洋: 自己歪応力によるRC構造物の損傷の調査・検討: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.141-144, (2007年3月, 鳥取環境大学)
- [7] **寺岡勝**, 佐藤幸博(フジタ): プレキャスト鉄筋コンクリート部材の接合部分の補強方法: 特開2006-265952, (公開日2006年10月5日)
- [7] **寺岡勝**, 高森直樹(フジタ): 鉄筋コンクリート柱の配筋構造: 特開2006-249860, (公開日2006年9月21日)
- [7] **寺岡勝**, 佐々木聡(フジタ): 鉄筋コンクリート造ラーメン構造の既存建物の耐震補強工法: 特開2006-226054, (公開日2006年8月31日)
- [1] 篠部裕, 石園浩子(山根木材㈱): 高専建築学科におけるカリキュラムに関する一考察: 高専教育, 第30号, pp.185-190, (2006年)
- [4] 篠部裕: 建築雑誌からみる市民・子どもに対するアウトリーチの現状と課題: 成功する建築・まちづくり教育支援活動の実際, 2006年度日本建築学会大会(関東)建築教育部門/パネルディスカッション, pp.33-36, (2006年)
- [4] 篠部裕, 政本奈穂(ダイキンファシティーズ㈱): 市民・子どもによる建築・まちづくり学習の支援体制に関する研究 インターネットによる支援体制の現状と課題: 成功する建築・まちづくり教育支援活動の実際, 2006年度日本建築学会大会(関東)建築教育部門/パネルディスカッション, pp.37-40, (2006年)
- [6] 新田瑠衣(呉高専専攻科), 篠部裕: 総合的な学習の時間におけるまちづくり学習の実践に関する基礎的研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.765-768, (2007年3月, 鳥取環境大学)
- [6] 篠部裕, 中西麻美(呉高専本科): 建築雑誌からみた市民・子どもに対するアウトリーチの言説と動向, 日本建築学会中国支部研究報告集: 第30巻, pp.929-932, (2007年3月, 鳥取環境大学)
- [6] 岡本二郎, 田中瑛子(呉高専本科), 山崎鮎美: 岩国市岩国地区のまち並み保存地区について: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.805-808, (2007年3月)

- [6] 重政迪江(呉高専専攻科), 岡本二郎: 岡山県西部三都市(岡山市・倉敷市・高梁市)における近代洋風建築の保存・再生について: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.785-788, (2007年3月)
- [6] 平田直子(呉高専専攻科), 岡本二郎: 広島県東部三都市(福山市・府中市・尾道市)における近代洋風建築の保存・再生について: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.789-792, (2007年3月)
- [6] 門前勝明: 常時微動を利用した地盤増幅特性の推定: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.181-184, (平成19年3月, 鳥取環境大学)
- [6] 小早川誉博(呉高専本科), 岡田健司(〃), 清川直子(広大), 門前勝明: 呉市の自主防災組織について: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.969-972, (平成19年3月, 鳥取環境大学)
- [3] 間瀬実郎(分担執筆): ユビキタス時代のリアル3Dビジネスの有望市場動向: ㈱シードプランニング (2006年)
- [6] 間瀬実郎: 複数のレイヤによる3D映像装置 —3D Table Theater—: 三次元映像のフォーラム, Vol.20 No.2, pp.11-15 (2006年5月, 東京工業大学)
- [8] 間瀬実郎, AC部, 小松好幸(Power Graphixx): 3D Table Theater: ヨコハマEIZONE デジスタ・アウォード歴代受賞作品展, ZAIM別館 (2006年7月, 横浜市)
- [8] 間瀬実郎, AC部, 小松好幸(Power Graphixx), 横井謙: 3D Table Theater: デジタルアートフェスティバル2006東京: パナソニックセンター東京 (2006年12月, トーキョーワンダーサイト渋谷)
- [8] 間瀬実郎, AC部, 小松好幸(Power Graphixx), 横井謙: 3D Table Theater: 東京国際アニメフェア2007 (2007年3月, 東京ビッグサイト)
- [8] 篠部裕, 間瀬実郎, 西澤美貴子(呉高専専攻科): ドリームハウスをつくろう (2006年8月, 広島ホームテレビ, Jステーション)
- [1] 松野一成, 角徹三(日本福祉大): プレート型に成型したFRP連続繊維を用いたRC部材の付着割裂強度: 日本コンクリート工学年次論文集, 第28巻第2号, pp.709-714, (2006.7)
- [6] 山平昌吾(呉高専専攻科), 松野一成, 角徹三(日本福祉大): プレート型のFRP連続繊維で補強されたRC部材の付着割裂強度 その1. 実験概要: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IVC-2, pp.561-562, (2006.9, 横浜)
- [6] 松野一成, 山平昌吾(呉高専専攻科), 角徹三(日本福祉大): プレート型のFRP連続繊維で補強されたRC部材の付着割裂強度 その2. 実験結果の考察: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IVC-2, pp.563-564, (2006.9, 横浜)
- [6] 宇根田将成(呉高専専攻科), 松野一成, 角徹三(日本福祉大), 山平昌吾(呉高専専攻科): FRP連続繊維を用いた既存木造住宅柱脚部の耐震補強法の開発: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.125-128 (2007.3, 鳥取)

- [6] 山平昌吾(呉高専専攻科), **松野一成**, 角徹三(日本福祉大), 宇根田将成(呉高専専攻科): FRP連続繊維プレートで補強されたRC部材の付着割裂強度: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.129-132 (2007.3, 鳥取)

- [4] **大和義昭**, 藏澄美仁(広島国際大), 松原斎樹(京都府立大): 温熱環境と姿勢: 理学療法, 24(1), pp.20-29, (2007)

- [6] 藏澄美仁(広島国際大), 深川健太(〃), 石井仁(〃), 土川忠浩(兵庫県立大), 福井理恵子(データプロセス), 鳥井孝行(高砂熱学工業), **大和義昭**, 松原斎樹(京都府立大): 人体の伝熱面積と人体形状モデル, 第30回人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp.255-258, (2006)

- [6] **大和義昭**: 中国地方のエネルギー消費とライフスタイル: 日本建築学会中国支部研究報告発表会パネルディスカッション「中国地方の環境と建築文化」, (2007年3月, 鳥取環境大学)

- [6] **富田英夫**: ハンネス・マイアーの「生物学的」という概念について: 日本建築学会2006年度大会(関東) 学術講演梗概集F-2, pp.229-230, (2006年9月, 神奈川)

- [6] **富田英夫**: 明治期における呉市の都市形成に関する研究: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.849-852, (2007年3月, 鳥取)

- [6] **富田英夫**: 1930年代初期ソ連におけるハンネス・マイアーとバウハウス旅団の活動に関する研究: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第30巻, pp.877-880, (2007年3月, 鳥取)

- [8] **富田英夫**: 旧ソ連におけるバウハウス旅団の建築作品の調査, (2006年9月, モスクワ, ペルミ)

- [6] **仁保裕**, 加藤史郎(豊橋技科大): 周辺単純支持された円筒ラチスシェルの弾塑性座屈荷重推定に関する研究: 日本建築学会2006年度大会(関東), (2006年9月 神奈川大学)

編 集 委 員

野	原		稔
岩	根	三	邦
小	山	通	榮
八	木	良	尚
植	田	義	文
小	堀	慈	久
門	前	勝	明

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第 69 号 (2007)

平成 19 年 8 月 印刷

平成 19 年 8 月 発行

編集者
発行者

呉工業高等専門学校

〒737-8506 呉市阿賀南 2 丁目2-11

電話 (0823) 73-8406

印刷所

総合印刷 青木印刷所

〒737-2518 広島県呉市安浦町内海北二丁目1-6

電話 (0823) 84-2104

MEMOIRS OF KURE COLLEGE OF TECHNOLOGY

No.69
August, 19th Year of Heisei (2007)

CONTENTS

1. A Method of Japanese Classical Literature Reading at Colleges of Technology —Group Translation Practice in Japanese Classical Literature Classes for Fourth Graders—	Ganta KOSUKEGAWA	1
2. Notes on <i>Inu Hyakunin Isshu</i> (2) : Poems No.24-55	Akihiko NIIMI et al.	9
3. The Features of Male Kure College Students from the Standpoint of Physique, Physical Fitness and Lifestyle —Based on comparison with those of university students— ... Takeshi SAGANO, Kensou TANIOKA, Hideyuki WATANABE and Kohei TAKATSU		19
4. The Practice of Shadowing Using CALL System	Makoto EGUCHI	25
5. Trial Manufacture of Automatic Grinding Equipment of Precision File	Minoru NOHARA	33
6. Trial Manufacture of Grip Equipment of Tongs's Method	Minoru NOHARA	39
7. Effects of Aspect Ratio for Natural Convection in Double Rectangular Duct	Takahiro NOMURA	45
8. Electronic Structure of Nonlinear Optical $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO) Crystals	Yoshifumi UEDA, Kota NISHIKAWA and Michie KOYAMA	51
9. Quantum States with Entanglement and Base of Quantum Information Science	Yoshifumi UEDA and Kazuya DOI	59
10. Generation of Atmospheric Pressure Helium Glow Discharge using Hollow Cathode Type Electrodes System	Tsutomu YAMASAKI	69
11. Effective stress and a strength characteristic of saturated clay	Shigehisa KOBORI	75
12. On the Countermeasures about Activating Voluntary Organization for Disaster Prevention in Kure City	Katsuaki MONZEN, Takahiro KOBAYAKAWA and Kenji OKADA	83
Research Activities in 2006		93