

ISSN 0286-3391

茨城工業高等専門学校

研究彙報

第 40 号

平成17年 3 月

RESEARCH REPORTS
OF
IBARAKI NATIONAL
COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 40

MARCH 2005

茨城工業高等専門学校

茨城工業高等専門学校研究彙報

第 40 号

目 次

- 1 19世紀と女性 — 「家庭の天使」思想の再考— 中川 洋子 (1)
- 2 日本人英語学習者向け語彙サイズ測定テスト作成に関する一考察 奥山 慶洋 (7)
- 3 シラバスデータベースシステムへの動的なPDF化機能の実装 長本 良夫 (13)
- 4 VLSI/WSIアレイの再構成アルゴリズム 滑川 英世・橋本 翔 (19)
- 5 地域連携ネットワークの構築 金子 紀夫 (27)
- 6 音呈示におけるラプラシアン解析を用いたK.L.展開法の効果 住谷 正夫・Bin He (35)
- 7 2次系時間差比較補償(TDCC)法による2自由度PID制御 山本 信雄 (43)
- 8 時間差比較補償(TDCC)法によるLQ最適制御の有限整定化と
操作量低減化の同時効果 山本 信雄・益田 治哉・大内 等・菊池 誠 (51)
- 9 時間差比較補償(TDCC)法を用いたデジタル設計 山本 信雄・上野 悦史 (59)
- 10 文部科学省科学研究費補助金 (平成16年度) (65)
- 11 教員事績 (平成15年10月～平成16年9月) (66)
- 12 特別研究題目一覧表 (平成15年度) (77)
- 13 卒業研究題目一覧表 (平成15年度) (78)

19世紀と女性—「家庭の天使」思想の再考—

中川洋子

A Study of the 19th Century and Women

—A Reconsideration of the Idea, 'Angel in the House'—

Yoko NAKAGAWA

Abstract: The purpose of this study is to examine the impact of the idea, 'Angel in the House' on middle-class women. This study also considers how the idea conceptualized the nature of women, women's position within society, and the struggle for freedom from the old ways. It is important to note that the idea, 'Angel in the House' bears a great deal of relevance to philanthropism and feminism. In this article, I would like to explore a little further the context of the vicissitudes from women's point of view.

はじめに

イギリス 19 世紀初頭の女性作家シャーロット・ブロンテ (Charlotte Brontë, 1816-55) の伝記、『シャーロット・ブロンテの生涯』を書いたエリザベス・ギヤスケル (Elizabeth Gaskell, 1810-65) は、「作家カラー・ベル¹としての生活」と、「女性シャーロット・ブロンテとしての生活」について次のように述べた。

Henceforward Charlotte Brontë's existence becomes divided into two parallel currents —her life as Currer Bell, the author, her life as Charlotte Brontë, the woman. There were separate duties belonging to each character —not opposing each other, not impossible, but difficult to be reconciled.²

ギヤスケルによれば、両者には「それぞれの性質に属する別々の義務」があり、「互いに相反するものではなく、それを調和させるのは不可能ではないけれども、むずかしいこと」³であるという。これまでの先行研究でも、ヴィクトリア時代に（あるいはそれ以前から）女性が文筆活動を行う難しさについて、様々な分析がなされている。女性がものを書くという行為に限らず、当時の女性

が日常の家事、育児などを含む、女性、そして母としての務め以外のことに関わることには否定的な見方がされていた。当然ものを書く際に必要とされる時間の確保と、思考を継続させることも難しかったのである。しかし、その当時の女性ならではの困難や制約の中で描かれた著作からは、当時の女性作家達の視点によるヴィクトリア時代の一面を読みとることができ、その分析はとても興味深い。

ただ、ヴィクトリア時代は、それ以前の時代と同様、出版物の多くは男性によるものであった。よって、我々が当時の女性を知るために当時の作品を読むとき、男性の視点から描かれたものに限られてしまうのはやむをえない。また、少数派の女性作家たちの作品からも、女性の視点を読みとるのは難しい。イギリスの文化の背景にあるキリスト教では "But I wish you to realize that, while every man has Christ for his head, a woman's head is man, as Christ's head is God"⁴ と説いているが、この思想は当時の人々の生活に深く浸透していたものであった。この思想に基づいて、男性は男性向けだけでなく、女性向けにも多くの作品（その中には女性の生き方を示す手引き書も多かった。）を書いたのだが、このような時代背景では、女性が独自の思想を持つことは困難であり、そもそも女性のものの見方が、男性にのっかっていったといえよう。ただ、そ

れがヴィクトリア時代の実態であるならば、それを前提に女性作家の作品分析を進めたい。

また、ヴィクトリア時代は中流階級の女性にとって、職を持つことは大変困難な時代であった。そもそも女性が家庭以外の仕事に従事することはタブーとされていた時代であり、やむをえず職に就かざるを得なかった女性の多くは、せめて中流階級の人間として唯一最低の体面を保つことが可能なガヴァネス職（女性家庭教師）を選んだ。ヴィクトリア時代の中流階級の女性の中で有職者はごく少数ではあるが、その中でも多くを占めたガヴァネスの分析からは、当時の有職女性の実情や、ものの見方、社会の側面が窺い見られる。そして、ガヴァネス経験者は、幸いにも自分の体験を小説や日記などの手段で世間に伝えることが可能であり、彼女たちは自らの体験を少なからず作品の中に取り入れている。それによってガヴァネスの実情や、悲惨な実態が読みとれる。このように、ガヴァネスたちは自分の体験を小説や日記などの手段で世間に伝えることができ、ガヴァネスを身近に見る中流階級以上の人々によってもそれは文字で残され、後生にも伝えられた。

それに比べ、書き言葉で自らの生活体験を十分に伝えることが困難であった下層階級の女性の生活状況は、男性作家や中流階級以上の女性作家の目を通して描かれた作品から読み取ることとなる。それゆえ、ヴィクトリア時代の女性の分析において、有職者の女性に焦点を当てたとき、中流階級の下層階級の女性に比べ、下層階級の女性の実情分析が不十分になってしまうことは否定できない。

このように、19世紀の女性の様子や彼女たちがどのように考えていたか、などを窺いみるには、女性作家の作品分析だけでは不十分だといえる。しかし、本研究ノートでは、ヴィクトリア時代に浸透していたといわれる「家庭の天使」信仰について、新たな側面を見出すことを目的に、まずは書き言葉で女性の状況や考え方を伝えることのできた、当時の少数派ではあっても新しい考えを持った女性の論文を中心に分析したい。その分析を通して19世紀から徐々に活発になっていくフェミニズム運動や20世紀にかけて女性の考え方がどのように変化していくか、などの課題について今後明らかにしていくつもりである。そして、女性作家と20世紀という課題につなげていきたい。

1. 「家庭の天使」信仰による女性の束縛

「家庭の天使」という言葉が女性の理想像を表すようになったのはヴィクトリア時代で、コヴェントリー・パトモア(Coventry Patmore)⁵⁾の詩の題名に由来している。この言葉が生まれた背景には次のような就労体制の変化による男女の性的役割の分業の促進があった。「これまで家庭で行われていた生産活動が、次第に工場に移されて、経済的単位としての家族の役割が減少していった。

(中略) この新しい変化は、一方で、新しく生み出された下層の女性労働者に、苦汗労働という形で雇用を提供することになったが、それと同時に、新興中流階級の女性からは、多くの家事労働を取り去るとともに、また部分的には行われていた家内工業的生産労働からも彼女たちを排除することによって、その結果、彼女らの生活を遊惰で無用なものとした⁶⁾のである。男性と共に労働に従事する下層階級の女性や、金銭面で不安のない上流階級の女性とは異なり、中流階級の女性の立場は微妙なものであった。中流階級の妻は、夫の社会的・経済的地位の証でもあったため、社会的に彼女たちの遊惰、そして夫への隷従も重んじられていく。多くの中流階級の女性が家庭においても手袋をはめていたという事実もあるように、中流階級の女性にとっては、家事に関わらず、多くの閑暇を持つことが重要になったのである。その結果、中流家庭の女子教育は、有閑女性としてのジェントルウーマンの理想を教え込むことに重点⁷⁾がおかれる。それを教えるのがガヴァネスであった。つまりガヴァネスの仕事と目的は、家庭での生徒の教育、子供に関する世話、裁縫、しつけ、相談役、たしなみであり、その究極の目的は良縁の結婚（娘の結婚は、父親にとって、娘に対する経済的責任を別の男性に委譲することを意味した。⁸⁾）であった。その結婚により、「家庭の天使」的生活が保証されるのである。

しかし、中流階級の家庭の理想とされた、妻の「家庭の天使」的生活の実現のためには、女性が遊惰な生活ができる経済環境が必要であった。しかし、ヴィクトリア時代の初期から男性の晩婚化が進み、女性人口の過剰から、この理想の実現は難しいものになっていた。というのは、女性を有閑婦人にさせておく（それが

中流階級の男性自身のステイタスの表れであった) ための金銭的余裕の確保が、多くの若い男性には難しい問題であったからである。また、子育てには多くの経費がかかり、結婚相手としては裕福な家庭出身で結婚後も実家からの金銭的援助の見込みのある女性が優先された。

以上のような理由で、「家庭の天使」となるべく育てられた女性には、意識の上ではそうありたいと願っていたとしても、現実的にはその実現が困難であるという難題に直面した。彼女たちは父親を亡くしたり、家庭経済の破綻などの理由でやむをえず自活しなければならず、幼少から植え付けられた女性に関する自分自身の固定観念と現実の生活に対するギャップに苦しむ。その中でも運良く職を見つけられた女性は、その多くがガヴァネスとして、自分と同等の中流階級の家庭に雇われる。雇い主の中流階級にとってガヴァネスを雇うことが、その家庭の子弟の教育のためであり、その家庭にとっての経済的余裕の証の一つであることは言うまでもない。しかし、雇われ先で「家庭の天使」として存在する女主人からは、ガヴァネスが有閑女性の定義とは矛盾するとしてさげすまれ、その他の使用人からは、自分たちとは身分の異なる使用人として疎んじられ、躰の悪い子どもたちの教育に疲れ、精神的に息込まれたガヴァネスも少なくなかったという。当時の精神科院の患者の3割がガヴァネスだったという話があるが、ガヴァネスのあいまいな地位、孤独などの状況からガヴァネス問題の深刻さがうかがえる。

一方で、中流階級以上の人々の生活は下層階級の人々の羨望的であり、その生活様式は下層階級の人々の目標であった。そもそも中流階級の人々は上流階級にならおうと、*idleness* を無理矢理まねたのだが、同様に下層階級の人々は、その中流階級の生活様式にあこがれ、それを真似ようとした。現実的にその生活の実現が困難であったとしても、中流階級の人々の生活様式、考え方は下層階級の人々の理想であったのである。当然、中流階級以上の人々の「家庭の天使」信仰も彼らの間に広まった。その実現は難しくても、男女のあり方の理想として、「家庭の天使」信仰は、下層階級の人々の間に観念的レベルから定着していったのである。この下層階級の人々の生活における「家庭の天使」信仰については、今後の課題としたい。

2. 「家庭の天使」信仰からの脱却

このように、「家庭の天使」信仰はヴィクトリア時代の人々の生活に浸透していき、その思想はその後も長い間人々を支配した。それは、20世紀初頭の作家、ヴァージニア・ウルフ (Virginia Woolf, 1882-1941) が「家庭の天使を殺すことは、女性作家の仕事の一部であった (榎本訳)」⁹ と述べた言葉からもうかがえる。つまり、女性が作家としての仕事に関わるには、まず自分自身の内部にある「家庭の天使」信仰を否定しなければならなかったのである。この「家庭の天使」という女性の理想像 (本質的には男性にとっての理想の女性像であるが) は、人々の生活にあまりにも根深く浸透していたため、仕事に関わろうとする女性でさえ、自らを束縛するものであったのだ。

ウルフは、この「家庭の天使」に疑問を持ち、そこから脱却しようとする反面、女性は「家庭の天使」であるべきだと考える部分とのジレンマに苦しむ女性の問題を提起し、「自分だけの部屋」という作品を書いた。そしてシャーロット・ブロンテは「ジェンダーと彼女たちの個人的、社会的状況という言葉が二重の枷をかけられていた」中で、「多くの制約や障害にもかかわらず、胸に秘めた人間としての自己実現の思いをかなえようと苦悶」を続け、「作品の絶望的な閉塞状況とそこから脱出というパターン」¹⁰ の中で、自分たちが置かれた立場に対して抵抗を続けたのである。また、エリザベス・ギヤスケルは次のように述べている。

But no other can take up the quiet regular duties of the daughter, the wife, or the mother, as well as she whom God has appointed to fill that particular place: a woman's principal work in life is hardly left to her own choice; nor can she drop the domestic charges devolving on her as an individual, for the exercise of the most splendid talents that were ever bestowed.¹¹

ギヤスケルは、娘、妻、あるいは母としての女性の務めは、男性が社会で行う仕事や、作家の仕事などとは比べ、その女性以外ほかには誰にもできないことを指摘している。ギヤスケル自身が、本来の女性の務めの重要性を認識していることの表れであろう。

このように、多くの進歩的な女性作家達がこれまでの女性のあり方からの脱却論を展開する一方で、女性としての役割を尊重したり、女性の居場所を家庭環境にとどめておきたいと主張する女性もいた。たとえば、ある博愛主義者の女性は次のように述べている。

I am fully aware...that each sex has its own peculiar sphere of duties and employments, which should not be intruded upon by the other, otherwise the whole business and all the concerns of domestic life in particular would be disorganized and subject to confusion. But it is not necessary that this separation of duties should cause a separation of interests or throw the balance of power into one channel, which becomes thereby a source of tyranny and injustice, rendering the domestic circle a scene of perpetual dispute and disorder...¹²

男女の性的役割についてはその正当性と相違点を認めた上で、その男女の分類が男女の不公平や男性から女性への圧制を意味する必要はないと述べている。

また、家庭での仕事の大切さを挙げる女性は次のように主張している。

...the domestic duties of the mass of women are more onerous, and require even greater mental exertion, than the duties connected with business of the mass of men.¹³

このように、男性側からだけでなく、女性自身による「家庭の天使」信仰という女性への束縛が、既存の女性の生き方からの脱却の足かせとなっていたことがうかがえる。少なくともこの足かせは、社会的、経済的な場面に女性が進出する動きを牽制していたことは明らかである。しかし、「家庭の天使」信仰という外的な思想の影響がなくても、女性は本能的に女性としての務めの重要性を十分認識していたと考えられる。そしてこれは必ずしも足かせではなく、それを前向きにとらえ、それを生かした形で自己表現しようとする動きにもつながっていくのである。

前述のように、自活しようとする女性には物理的な面だけでな

く、精神的な面からも多くの束縛やジレンマがあったのだが、「余分な女性」、つまり不幸にしてシングルにとどまった女性を救済しようとする動きが徐々に出てくる。それが女性のための雇用の機会の拡大を要求するフェミニズムにつながっていく。しかもこれは中流・上流階級の有閑女性の「博愛運動」¹⁴がきっかけで始まった。¹⁵もともと有閑女性の家庭人としての役割の一つであった慈善活動に由来するこのフェミニズム運動は、次のような特徴が指摘されている。「19世紀イギリスのフェミニスト達おほとんど、家庭と子供に対する女性の責任を当然のものと容認していたし、女性は仕事と、結婚及び母親になることのいずれかを選択しなければならないと信じていた。(中略)フェミニストの要求は、公的世界における男性と同じ条件での男女平等であり、母親である既婚女性のための特別な配慮や保護や条件、また男性が家庭の中で育児や家事労働を分担するというような提案はまったくなかった」という¹⁶。また、このフェミニズム運動が下層階級の女性を対象としていざいことも注意すべき点である。「ヴィクトリア時代中期のフェミニストたちが、産業における労働女性の法的保護に対して、偏狭な無理解さを示し、強力に反対した」という指摘もあるほどである¹⁷。

前述したガヴァネスの悲しさは、自らの経験を書いたガヴァネス作家の作品によって世の中に伝えられた。そしてこれらはフェミニズム運動の進展のきっかけとなった。しかし、労働者階級の女性の悲惨な実態を自らの経験として語られる女性おほとんどいかなかったと考えられるので、彼女たちの実態が明らかになれば、フェミニズム運動も違った進展があったかもしれない。

ガヴァネス問題に先立ち、19世紀初頭からイギリスの上流、中流の有閑女性の中で始まった「博愛主義」運動があった。(ただし、それは「体制補完の運動に歪曲されてしまうフェミニズム」で、「家庭に埋没していた女性達が社会的活動に参加する手がかりをあたえ、19世紀後半に開始されるさまざまな女性運動の下地を作ったという意味で評価されるべきではあるけれども、その運動自体は保守的色彩が強く当時の女性解放の要求とはかけ離れていた」¹⁸という。)これらの動きによって、男性による公的社会生活の独占は、徐々に破られていった。ただ、この「博愛主義」運動が可能だったのはこの活動内容が、主に慈善的性質のものであ

り、「家庭の天使」像から大きく逸脱したり、男性中心の社会への侵略を意図するものではなかったからであるとされている。ただ、この種の運動が中流階級の女性の経済的困窮、すなわちガヴァネスの問題に行き渡って初めて、19世紀後半のフェミニストの主要な要求、つまり女子教育の改善、専門職及び産業上の自由、法的・政治的地位の平等などとの明確な接点をもつようになり、その後のフェミニズム運動につながっていくきっかけとなったことは明らかである。

おわりに

1章、2章を通じて、ヴィクトリア時代を支配した「家庭の天使」信仰について、その信仰が生まれた背景や、その信仰が女性に及ぼした影響について検証してきた。この信仰は、もともと産業革命による人々の就労体制の変化がきっかけとなり、その体制を有利に維持していくための男女の性的役割分業促進化を目的とする思想統制といっても過言ではないだろう。ここで、日本の状況を振り返ったときに、「良妻賢母」という言葉が使われるようになったのは、西洋文化が入ってきた明治期である¹⁾ことも興味深い事実である。この時期は、明治維新後、日本が近代国家建設のために大きく変化を遂げていった時代である。そのための要

員となる国民育成のために、女性も子どもを育て、教育することが強調されたという。明治維新前の江戸時代では「武士及び町人上層階級の女性が身につけるべき「婦徳」をわかりやすく書いた「往来物」と呼ばれる教訓書は、従順な妻、嫁としての徳を説き、子を育て、教育する母としての役割に着目している女訓書はほとんどない²⁾といわれている。さらに明治7(1874)年刊行の『女譽必読女訓』の著者高田義甫は、「家政」という概念を取り入れ、それが由来する、「家庭の天使」のための手引き書『家政読本』(*Mrs. Beeton's Book of Household Management*, 1861)の著者イザベラ・ピートン(Isabella Beeton)にも言及しているという³⁾。このように、社会の要請に応じて様々な思想統制がされていく中で、それを拒否し、それに抵抗する人々もあれば、その反面、そのような思想にとらわれずに独自の生き方を模索していく人々もいる。19世紀から20世紀にかけて、女性作家による小説に様々な変化が見られ、男女のあり方、同性のとりえ方などにもその影響が見られる。今後も様々な女性作家の作品からその意識の変化を読みとってみたい。また、「家庭の天使」信仰が翻弄されることなく肯定的に生きる女性の姿を19世紀から20世紀にかけて追っていき、様々な「家庭の天使」からの脱却の状態を明らかにすることで、これまでとは異なる「家庭の天使」思想と女性の関係の分析を今後の課題としたい。

註

¹⁾ *Allibone's Critical Dictionary of English Literature and British and American Authors*, p.250. 作家 Currer Bell はシャーロット・ブロンテが女性であることを隠すために使用した男性名のペンネーム。シャーロットはカラ・ベルの名で『ジェイン・エア』(*Jane Eyre*, 1848)、『シャーリー』(*Shirley*, 1849)などの作品を出版した。

²⁾ “Averse to personal publicity, we veiled our names under those of Currer, Acton (Anne Brontë 筆者注), and Ellis (Emily Brontë 筆者注) Bell—the ambiguous choice being dictated by a sort of conscientious scruple at assuming Christian names positively masculine, while we did not like to declare ourselves women, because—without at that time suspecting that our mode of writing and thinking was not what is called ‘feminine’—we

had a vague impression that authoresses are likely to be looked on with prejudice; we had noticed how critics sometimes use for their chastisement the weapon of personality, and for their reward a flattery which is not true praise.”—Biographical notice by Currer Bell, i.e. Charlotte Brontë.

³⁾ *The Life of Charlotte Brontë*, 271.

⁴⁾ 『シャーロット・ブロンテの生涯』397。

⁵⁾ *The Bible*, 1 Cor. 11:3.

⁶⁾ “Angel in the House” is a most finished piece of writing, and the sweetest analysis we possess of quiet, modern domestic feeling. Ruskin’s *Elements of Drawing* (p.1523. *Allibone's Dictionary of English Literature and British and American Authors*, vol.2)

⁷⁾ 『歴史のなかのガヴァネス：女性作家とイギリスの個人教育』

243。

⁷ 同上、243。

⁸ 同上、84。

⁹ 『女の東と西 日英女性作家の比較研究』、16。

¹⁰ 同上、52。

¹¹ *The Life of Charlotte Brontë*, 272.

¹² *A Philanthropist, Domestic Tyranny* (1841), p.36. *Radical Writing on Women, 1800-1850*, p.97.

¹³ Marion Reid, *A Plea for Woman* (1843), *ibid.*, pp.42-3.

¹⁴ この活動の内容には、刑務所改善、監獄行政の改革、慈善病院、貧民の子供の慈善学校などがあり、これら社会事業の萌芽は、ヴィクトリア時代前期に受け継がれ、ますます多くの知的職業人の娘や、上流・中流の女性を、その活動のあらゆる分野に引き入れていった。

¹⁵ ただし、それは、「体制補完の運動に歪曲されてしまうフェミニズム」で、「家庭に埋没していた女性達に社会的活動に参加する手がかりをあたえ、19世紀後半に開始されるさまざまな女性運動の下地を作ったという意味で評価されるべきではあるけれども、その運動自体は保守的色彩が強く当時の女性解放の要求とはかけはなれていた」という。『歴史のなかのガヴァネス：女性作家とイギリスの個人教育』、44。

¹⁶ 同上、278。

¹⁷ 同上、23。「そもそもフェミニズム運動が始まったのは、工場や炭坑ではなく、上流、中流階級の家庭（「応接間」）であり、フェミニストの運動は労働者階級の女性には対象外であった。」

¹⁸ 同上、44。

¹⁹ 『女の東と西 日英女性作家の比較研究』、17。

²⁰ 同上、18。

²¹ 同上、18。

2) Gaskell, Elizabeth, *The Life of Charlotte Brontë*, Oxford U.P.1996.

3) Gleadle, Kathryn, *Radical Writing on Women, 1800-1850*, An Anthology, palgrave Macmillan,2002.

4) *The First Letter of Paul to the Corinthians* (11:3), *The Bible*.

5) 青山誠子『ブロンテ姉妹 女性作家たちの19世紀』朝日選書518、東京、朝日新聞社、1995。

6) 青山誠子『わたしのイギリス文学』、東京、開文社出版、2003。

7) アリス・レントン『歴史のなかのガヴァネス：女性作家とイギリスの個人教育』河村貞枝訳、東京、高科書店、1998。

8) 榎本義子『女の東と西 日英女性作家の比較研究』東京、南雲堂、2003。

9) エリザベス・ギヤスケル『シャーロット・ブロンテの生涯』ブロンテ全集12、中岡 洋訳、東京、みすず書房、1995。

10) 河村貞枝『イギリス近代フェミニズム運動の歴史像』、東京、明石書店、2001。

11) ジューン・バーヴィス『ヴィクトリア時代の女性と教育 社会階級とジェンダー』香川せつ子訳、京都、ミネルヴァ書房、1999。

参考文献

1) *Allibone's Critical Dictionary of English Literature and British and American Authors*, Vol.1, HON-NO-TOMOSHA.

日本人英語学習者向け語彙サイズ測定テスト作成に関する一考察

奥山 慶 洋

A Study of Making a Vocabulary Size Test for EFL Learners in Japan

Yasuhiro OKUYAMA

Abstract: The purpose of this study is to show how to make a vocabulary size test for Japanese EFL learners. Before making the test, two important points should be considered; practicality and reliability. Practicality is that we can carry out the test easily and reliability is that the score in the test accurately reflects the ability of the subject. Based on these points, a trial vocabulary size test was made, which is a kind of Yes/No type test. But, to increase the reliability of the test, a new choice “I’ve once seen it but I don’t remember the meaning of it” is provided. The newly-developed test was administered to 80 students at Ibaraki National College of Technology.

The results of this research are that (1) the subjects (EFL learners) tend to overestimate their vocabulary size and (2) the new choice added to the Yes/No options contributes to the improvement of the test by increasing its reliability.

1 はじめに

「語彙が豊富であること」すなわち語彙力は、英語をはじめとする外国語学習者にとって最も重要な能力の1つであるといえる。市販の単語集などでは、「〇千語レベル」といった表記がなされ、ある試験（入試や英検など）に合格するには、または（TOEIC 等で）ある程度の得点をとるにはこれだけの単語が必要であるというような1つの目安となっている。しかし、この数字は、あくまでも、ある水準に必要な語彙数を示すものであって、実際の私たちの語彙サイズを示すものではない。そこで本研究では、実際に各学習者がどれくらいの量の単語を知っているか（習得しているか）を測定するためのテストである語彙サイズ測定テストについて、その有用性や作成の視点を検討し、それに基づき、実際にテストを試作する。そして、そのテストを本校の学生に実際に受けてもらい、どの程度妥当なものであるかを量的・質的両面から分析し、考察を加えたい。

2. 語彙力の重要性と語彙サイズ測定テストの有用性

2. 1 語彙力の英語学習における重要性

英語学習者にとって、どれだけ多くの語彙を知っているかということは、大変重要なことである。Meara(1996)によると、語彙力はコミュニケーション能力を構成する中心的要素であり、外国語の熟達度のすべての面に影響を与え、その影響は読解能力において特に関係があると述べている。また、Laufer(1992)によると、被験者の語彙レベルが3000語レベルを境にして読解力に有意差が見られたという結果が得られている。これは、そのレベルに達している学習者は、第一言語（母語）の読解ストラテジーを転移させられるが、それ以下のレベルでは語彙不足のため読解が妨げられてしまうということである。同様のことは、Coady(1993)においても主張されており、読解におけるトップダウン処理をスムーズに行うためには、ボトムアップ処理を行うための必要最低限の語彙力の重要性を示唆している。つまり、読解において、ある程度多くの語彙を習得していないと、どんなにストラテジー

を知っていてもそれを十分に活用できないということがいえるのである。さらに、島本(1998)では、TOEFLにおいて、読解テストおよび総合得点と語彙サイズとの間に高い相関が見られたとある。

上のように、語彙力は英語力の中心を構成する大切な能力の一つであり、語彙が豊富であれば、英語の受容的(receptive)・発進的(productive)いずれの面でも有用であるということも言えるのである。

2. 2 語彙サイズを測定することの教育的効果および利点

学習者の語彙を測定する利点はいくつか考えられるだろうが、主に次の3点にまとめることができる。第一に、各学習者の英語力の最も基本となる能力について測定できるということである。どれだけ語彙が豊富かということは、特に読解においてたいへん重要であるということは前でも述べた。具体的にいうと、学習者がある英文を読もうとしたとき、文法に関する知識が不足していたとしても、語の意味が分かれば、その文章を読解することは比較的可能だということは私たちが実際に経験しているところである。第二に、各学習者の語彙サイズを教授者側が知ることにより、教材開発等に有益な情報を与えてくれるということである。教科指導において、検定教科書以外にも様々な教材(授業時の自作プリント等)を教員自らが作成する機会は少なくないだろう。そのようなとき、学習者の実態を把握したり、それに基づいて実際に教材を開発したりするための資料とすることが可能となるのである。そして、第三は、第二とも関係するが、学習者の語彙サイズを知っておくことにより、それぞれの語彙サイズに応じたテキスト選択や教材の提供が可能となり、学習者それぞれの実際に身につけている単語と今後身につけさせたい語彙を簡単に比較することができるということである。

以上のように、語彙サイズを測ることは、学習者・教授者双方にとっても有益であることが言える。そこで、次節では、実際に語彙サイズテストを作成する上で考慮しなければならないことについて検討する。

3. 語彙サイズ測定テスト作成の視点

学習者の語彙力を測る場合、その持っている語彙に関

する知識のどのような側面を測定するかが問題となる。Nation(1990)によると、語の知識とは、語の形(音声・つづり)、意味、連想、文法的特性、コロケーション、頻度、スタイルを受容的(receptive)にも発進的(productive)にも使えることとあり、幅広くとらえられている。一般的に、語彙サイズ測定テストにおいて測られる能力は、ある単語を見たときにその意味が答えられるかどうかという受容的能力を見るものが多い。また、どれくらい多くの単語を知っているかという量的な側面を測定することが主たる目的となるため、1つ1つの単語に対する知識は、あまり深いものを求めてはいない。具体的にいうと、多義語のように意味が複数ある単語の意味のうち1つでも知っていれば、その単語はサイズの中に含まれるということである。以上を踏まえ、本研究は、学習者の受容的な語彙サイズ測定テストの作成という観点で進めていくことにする。

実際に語彙サイズ測定テストを作成するにあたり、考慮すべき問題がいくつかある。つまり、限られた時間の中で、より正確なデータを収集できることがテスト作成に求められるのである。そこで、その主な2点である実用性と信頼性の問題について、具体的なテスト形式とともに考えてみたい。

実用性とは、そのテストがどれだけ実施しやすいかということである。これに関して最適なテスト形式は、Yes/Noの二者択一式テストである。この形式は、ある単語について「知っている」か「知らない」かのいずれかを選ばせるものであり、「知っている」と答えた単語の数によってその語彙数を推測するというものである。信頼性とは、テストによって導き出された成績が、どの程度正確に学習者の語彙力を反映しているかということである。これに関して最適なテスト形式は、ある単語の意味を母語を用いて記述してもらう方式のテストである。

しかし、いずれの方法をとったとしても、実施の際の問題が残る。前者のテスト形式の問題点は、各学習者のある単語の習得状況を「分かった」「分からない」という単純に二分することができるかどうかということである。実際には、その中間にあたる曖昧な状態というのが考えられるだろう。後者の問題点は、やはりその実施の大変さである。少ない項目ではその正確さを維持できないが、正確さ維持のために項目を増やすのは、実用性の面からいっても問題であり、学習者に対しての時間的・

精神的な負担はたいへん大きくなってしまっただろう。

そこで、両者の問題を解決するために、二者択一式のテスト形式に、中間の状態を表す「見たことはあるが意味は分からない」という項目を新たに設定するということを考えた。この方法の利点は、1つ選択肢が増えるということは、よく分からない単語を「分かった」としてしまふことで語彙サイズを増やす可能性を排除するのに有効である。しかし、その一方で、選択肢については1つしか増えていないので、実行のしやすさという点で、学習者の負担を増やすことはあまりない。さらに2つに1つを選ばなければならないという心理的な負担をも軽くする効果が期待されるということがある。

4. 実験について

4. 1 実験の目的

試作した語彙サイズ測定テストにおいて、「見たことはあるが意味は分からない」という項目を設けたことによって、そのテストの結果がどの程度学習者の語彙力を正確に反映しているか（信頼性）ということと、そのように答えた学習者の実際の単語習得状況について分析し考察することを目的とする。

4. 2 実験の仮説

上記の目的を達成するために、以下の仮説を設定した。

- (1) 3 選択肢によるテスト（テスト1）と意味を記述するテスト（テスト2）との得点には相関関係が見られる
- (2) 「見たことがあるが意味は分からない」と答えた学習者の心理状態は、両テストの結果から分析可能である

4. 3 被験者

本校2年生の2クラス80名を被験者として行った。被験者の英語力は、およそ実用英語能力検定（英検）の準2級から3級程度である。今回の実験では、被験者の能力について、特にプレースメントテスト等は行っていない。また、2クラスの前期中間考査の成績に有意差は見られなかった($P=0.547$)。

4. 4 実験の方法

同じ単語について、3 選択肢による出題（テスト1、付録1を参照）とその単語について実際に意味（日本語

訳）を記述してもらふ形式（テスト2、付録2を参照）という2種類の試験を受けてもらう。その後、テスト2について、こちらが用意した模範解答に従って、各被験者に答えのチェックをしてもらう。なお、模範解答には載せていないが、辞書等に記載されているものについては正答とする。

4. 5 テストにおける出題語彙の選択方法について

当初、測定する単語の選定については、各種語彙表を比較検討し、そのなかで重複するもの（同等レベルとしてあげてある単語で重なる部分）を選んで出題しようと考えたが、同等レベルとして各語彙表に示されている単語をすべて出題した。理由としては、重複項目のみであると、該当数が少なく、統計的な妥当性を測定するにはやや不十分であったからである。また、語彙の難易度については、高校2年相当ということもあり、中学終了時の必修語数とされている1000語レベルに設定し、単語を抽出した。（今回は「a」で始まる単語84語である）抽出元として使用した語彙表は以下の通りである。

- ・英語入門期用学習語彙 i4000リスト（科学研究補助金総合研究A「外国語学習における音声つき静止画再生装置の適用に関する基礎的研究」1986）
- ・J A C E T 8000（大学英語教育学会基本語改訂委員会 2003）
- ・北海道大学英語語彙表（北海道大学 言語文化部 英語教育系カリキュラム委員会 1999）

4. 6 分析の方法

まず、量的な分析として、選択式の答えと実際に意味を書いてもらう問題の答えとの相関関係を検証する。これによって、もし、テスト1において「分かる」と答えた単語の総数とテスト2の総合得点とに相関関係があれば、テスト1という本研究で用いたテストの実用性および信頼性をある程度保証できるということが示せる。その後、質的分析として、テスト1において「見たことはあるが意味は分からない」と答えた学習者が、テスト2において実際意味が書けているかどうかという点を、テスト1の得点との関係から3つのタイプに分類し、この曖昧な解答をした学習者のそれぞれの語彙習得状況を分析する。

5 考察

5.1 量的分析

表1 テスト1およびテスト2の得点分布

	平均値	標準偏差	被験者数
「意味が分かる」と答えた数	59.41	9.981	80
記述式正解数	48.99	9.944	80

表2 相関係数

		「意味が分かる」と答えた数	記述式正解数
「意味が分かる」と答えた数	Pearson	1	.701(**)
	有意確率(両側)		.000
	N	80	80
記述式正解数	Pearson	.701(**)	1
	有意確率(両側)	.000	
	N	80	80

** $p < 0.01$

上の結果に基づき、仮説(1)について検証していきたい。表1は、テスト1において「見たこともあるし意味も分かる」と答えた単語数とテスト2において実際に正確に意味が答えられた単語数とを比較したものである。一見してわかるのは、テスト1の平均点とテスト2のそれとに約10点の開きがあるということである。これは、被験者は「意味がわかる」と判断した単語であっても、実際には意味が答えられない場合が比較的多くあるということを示している。表2は、2つのテストの得点間における相関を調べたものである。表の結果からも明らかのように、2つのテストの得点には高い相関が見られる。これは、テスト1で「意味が分かる」と多く答えた被験者は、テスト2においても高得点を獲得できているということを示している。しかし、ここで1つ考えておかなければならないことがある。それは、テスト1とテスト2の得点はほぼ同じでなければ、正確に能力を反映したとは言えないということである。つまり、各被験者がどちらのテストにもほぼ同じ得点を獲得できていたならば、相関係数はより1に近い数字になるはずであるが、そうではなかったということである。

5.2 質的分析

各被験者のテスト1およびテスト2の得点を比較し、その傾向によって3つのタイプに分類した。それぞれのタイプごとに「見たことはあるが意味は分からない」という項目がどのように影響しているかについて質的な分析を試みたい。

表3 タイプ別得点分布

	タイプ1		タイプ2		タイプ3	
	平均点	SD	平均点	SD	平均点	SD
テスト1	51.55	15.41	60.91	7.98	52.50	19.09
テスト2	51.18	15.30	48.21	8.55	58.50	16.26

まず、テスト1とテスト2とがほぼ同じ得点だったもの(タイプ1)である。このタイプの特徴は、テスト1において、選択肢B(見たことはあるが意味は分からない)またはC(見たこともないし意味も分からない)をつけたものについて、テスト2において多くが不正解であり、ほぼ正確に語彙力を反映していると思われる。全体の約1割強(11人)がこのタイプになる。次に、テスト1の得点の方が、テスト2の得点よりも高かったもの(タイプ2)である。このタイプは、テスト1において、選択肢BまたはCをつけたものについては、タイプ1と同様に多くが不正解である。しかし、選択肢A(見たこともあるし意味も分かる)をつけたものにもかかわらず、テスト2において不正解になってしまっていることが多い。約8割強の被験者(67人)がこれに当てはまる。このことから、一般的に、語彙力(特にサイズについて)は過大評価しやすい傾向にあると言える。最後に、テスト2の得点の方が、テスト1の得点よりも高かったもの(タイプ3)である。テスト1において、選択肢Bをつけたものの半分以上を正解しており、前の2つのタイプとは違った傾向があらわれている。つまり、語彙力を過小評価したものであると思われるが、3%程度(2人)と非常に少ない。

このように見えてくると、タイプ1・2と3とでは、テスト1の選択肢Bのとらえ方は異なるようである。つまり、前者では、当初の目的である「よく分からない単語を分かるとしてしまわないために設ける」ということを達成しているが、後者の場合は、意味がわかっている、それに自信が持てないなどの不確実な場合には「見たことはあるが分からない」という答え方をするのである。これは、このようなタイプの被験者が持っている不安心理を反映したものだと思われる。したがって「見たことはあるが分からない」という選択肢の効果はある程度見られたが、もう少し表現などに工夫が必要であると思われる。

6. 結論および今後の課題

6. 1 結論

本研究では、語彙サイズ測定テスト開発において、二者択一式および記述式テストのそれぞれの欠点を補うために、「見たことはあるが意味は分からない」という第3の項目を設け、三者択一式の語彙サイズ測定テストを試作し、その得点がどの程度正確に学習者の語彙力(サイズ)を測ることができるかを分析してきた。その結論は、主に次の2点である。

第1に、試作した語彙サイズ測定テストと記述式テストの得点には比較的高い相関が見られたということである。これは、学習者の語彙サイズが多ければ多いほど、試作テストにおける「見たこともあるし意味も分かる」と答える数も多くなるということを表しており、学習者のレベルは反映していると思われる。しかし、その一方で、学習者(被験者)は、一般的に自分の語彙力を過大評価する傾向が見られるということである。2種類のテストの平均点を比較した場合、「見たこともあるし意味も分かる」と答えた数と実際に意味が答えられた数との間に約10点の差が見られることから、学習者は〇千語相当の語彙を持っていると断定するのはやや難しいといえる。

第2に、「見たことはあるが意味は分からない」という項目を設けることによってより正確な語彙サイズを測定できる様試みたが、一部その効果は見られたということである。前節でも述べたように、習得の曖昧な、もしくは未習得の語彙をサイズとして数えないようにするという点で、「見たことはあるが意味は分からない」という項目は作用していた。しかし、「見たこともあるし意味も分かる」とした単語が、実際にはその意味が答えられないということもあり、項目の表現の仕方などの問題が残った。

6. 2 今後の課題

今回行った実験について、その出題・採点方法や内容についていくつか課題が残った。まず、意味チェックテストの採点方法について、より正確さを期する方法を考える必要があるということである。今回は、出題者が作った模範解答に基づき各被験者が採点をするという方法をとったが、それぞれの解釈によって正解を不正解にし

たり、またその逆をしたりということがあった。できるだけ少ない採点者が、共通の認識の元、実施する必要があるだろう。次に、試験の内容についての課題である。今回は、語彙のレベルを、各種語彙表の中学校卒業程度(1000語レベル)の語彙を用いた。しかし、それにもかかわらず、「意味が分かる」と答えている割合があまり高くないということは、表1の結果からも明らかである。語彙の選び方などをもう少し考える必要はあるが、各種語彙表のレベル分けにも問題(選び方・現実の学習者との関係)があるのではないかとということも同時に課題として残った。学習者(被験者)が、どのような教材で学んできたのかなどを調査し、より妥当性の高い語彙表を開発する必要があるかもしれない。最後に、結論でも述べたように、「見たことはあるが意味は分からない」という表現が適切かどうかということである。表現方法を変えることによって、または、その表現が語彙習得のどんな段階であるかをもう一度見つめなおし、その習得段階に見合うより適切な表現に変える必要があると思われる。

上のような課題を解決し、より信頼性の高い語彙サイズ測定テストが開発できればと考えている。

7 参考・引用文献

- Beeckmans, R. et al. (2001) Examining the Yes/No vocabulary test: some methodological issues in theory and practice. *Language Testing*, 18-3, 235-274.
- Coady, J. (1993) Research on ESL/EFL vocabulary acquisition: Putting it in context. In Huckin, T. et al. (eds.) *Second Language Reading and Vocabulary Learning*: 3-23. Ablex Publishing Corporation.
- Laufer, B. (1992) How much lexis is necessary for reading comprehension? In Arnaud, P. et al.(eds.) *Vocabulary and Applied Linguistics*. Macmillan.
- Meara, P. (1996) The dimension of lexical competence. In G. Brown, K. Malmkjaer, and J Williams (eds.), *Performance and Competence in Second Language Acquisition*. Cambridge University Press.
- Huibregtse, I. et al. (2002) Scores on a yes-no vocabulary test: correction for guessing and response style. *Language Testing*, 19-3, 227-245.
- Nation, P. (1990) *Teaching and Learning Vocabulary*.

Heinle and Heinle.

(付録2) テスト2

Read, J. (1997) Vocabulary and Testing. In Schmitt et al. (1997) *Vocabulary – Description, Acquisition and Pedagogy*. Cambridge University Press.

小菅敦子 (2002) 「語彙サイズをはかるー「望月テスト」から見えてくること」『英語教育』 50-12, 26-27 大修館書店.

園田勝英 (1996) 『大学生用英語語彙表のための基礎的研究』言語文化部研究報告叢書7, 北海道大学言語文化部.

望月正道 (1998) 「日本人英語学習者のための語彙サイズテスト」『語学教育研究所紀要』12, 27-53.

島本たい子 (1998) 「読解における語彙サイズと語彙方略」The JACET Bulletin 7, 71-79.

_____ (2002) 「なぜ語彙力を増やす必要があるのか・・・語彙力と英語力の関連性」『英語教育』50-12, 8-10 大修館書店

文部省 (1989) 『高等学校学習指導要領解説 外国語編 英語編』

_____ (1999) 『高等学校学習指導要領解説 外国語編 英語編』

(付録1) テスト1

年 組 番 氏 名

以下の単語について

- A: 見たこともあるし、意味もわかる。
 - B: 見たことがあるが意味はわからない(思い出せない)
 - C: 見たこともないし、意味もわからない。
- という基準で判断し、最も近いと思われる記号を塗りつぶして下さい。

単語	A	B	C	記号	単語	A	B	C	記号
a	A	B	C		ant	A	B	C	
ability	A	B	C		any	A	B	C	
able	A	B	C		anybody	A	B	C	
about	A	B	C		anyone	A	B	C	
above	A	B	C		anything	A	B	C	
absent	A	B	C		anyway	A	B	C	
accept	A	B	C		appear	A	B	C	
accident	A	B	C		apple	A	B	C	
achieve	A	B	C		approach	A	B	C	
across	A	B	C		April	A	B	C	
act	A	B	C		area	A	B	C	
action	A	B	C		area	A	B	C	
activity	A	B	C		argue	A	B	C	
actually	A	B	C		ask	A	B	C	
add	A	B	C		ask	A	B	C	
address	A	B	C		at	A	B	C	
adult	A	B	C		attack	A	B	C	
affect	A	B	C		attempt	A	B	C	
affraid	A	B	C		attention	A	B	C	
after	A	B	C		attitude	A	B	C	
afternoon	A	B	C		August	A	B	C	
Africa	A	B	C		August	A	B	C	
again	A	B	C		autumn	A	B	C	
against	A	B	C		average	A	B	C	
age	A	B	C		avoid	A	B	C	
ago	A	B	C		aware	A	B	C	
agree	A	B	C		away	A	B	C	
agree	A	B	C		away	A	B	C	
ah	A	B	C						
ahead	A	B	C						
aid	A	B	C						
air	A	B	C						
all	A	B	C						
almost	A	B	C						
allow	A	B	C						
alone	A	B	C						
already	A	B	C						
also	A	B	C						
although	A	B	C						
always	A	B	C						
as	A	B	C						
America	A	B	C						
American	A	B	C						
among	A	B	C						
amount	A	B	C						
an	A	B	C						
and	A	B	C						
angry	A	B	C						
animal	A	B	C						
another	A	B	C						
answer	A	B	C						

年 組 番 氏 名
以下の単語について、その意味を日本語で書き入れてください。多義語(一つの単語で意味が異なるもの)については、書いておけば記入してください。

単語	意味	正答	単語	意味	正答
a			ant		
ability			any		
able			anybody		
about			anyone		
above			anything		
absent			anyway		
accept			appear		
accident			apple		
achieve			approach		
across			April		
act			area		
action			area		
activity			argue		
actually			ask		
add			ask		
address			at		
adult			attack		
affect			attempt		
affraid			attention		
after			attitude		
afternoon			August		
Africa			August		
again			autumn		
against			average		
age			avoid		
ago			aware		
agree			away		
agree			away		
ah					
ahead					
aid					
air					
all					
almost					
allow					
alone					
already					
also					
although					
always					
as					
America					
American					
among					
amount					
an					
and					
angry					
animal					
another					
answer					

シラバスデータベースシステムへの動的なPDF化機能の実装

長本 良夫

Implementation of Dynamic Conversion to PDF File in Syllabus Database System

Yoshio OSAMOTO

Abstract : We have developed a web application for syllabus database, which dynamically converted syllabi into PDF files. The conversion method of documents in this system is based on XML technologies, and all software that implements this method is composed of open source software. This system enabled us to review print-image of syllabi immediately after inputting and editing syllabi data on the web page.

1. はじめに

茨城高専(以下、本校という)では昨年度からシラバスのWeb公開を開始し、今年度はデータベースシステムを導入してデータの管理やHTML文書の動的生成を行っている。このシステムは試作システム¹⁾の機能を整理し、各種の改良を加えて本格的に稼動させたものである。特に、データベーステーブルの再設計やシラバスを製本するためのPDF化機能は大きな改変といえる。

本校のシラバスは授業内容をより分かりやすく示すために、授業項目や理解すべき内容が週毎にまとめられている。また、座学や実験などの科目毎に6種類のテンプレートを用意し、授業内容に合ったシラバス作成を可能としている。これらのシラバスデータをデータベースに格納するためには、試作システムのような1つのテンプレートで前期・後期用として一括格納していたテーブルに替わって、新たにテーブルを設計し直す必要があった。この変更により、当然のことながらプログラムの改変が生じ、その規模は原型を留めないほど大きなものになった。

また、本校では年度初めの授業時に、印刷したシラバスを学生に配布している。学生はそれをノートに糊付けし、週毎に用意されている理解度チェック欄を使い、自分で理解度を点数化することになっている。そのため、シラバスの扱いやすさを考慮し、印刷サイズをA4版に統一している。ところが、シラバスを作成する際、データをWeb入力してHTML画面で確認しただけでは、ブラウザの違いもあってそのサイズを把握することは不可能に近い。その解決策として、シラバスを動的にPDF化することによりデータを入力・編集しながら印刷イメージの確認を可能とするシステムを実現した。

以下では、シラバスデータベースシステムの構成、データベースのスキーマ作成、Webサーバ上で動的にPDF(Portable Document Format)文書を生成する方法について報告する。

2. システムの構成

2.1 ハードウェア性能

Webサーバとしては標準的なラックマウントタイプのPCサーバを用意し、校内LANに接続した。サーバの仕様は以下の通りである。

- CPU: Intel Celeron 1.8GHz
- メモリ: 128MB
- HDD: 40GB

2.2 ソフトウェア構成

使用したソフトウェアは試作システム同様、すべてオープンソースで構成した。OSには業界標準ともいえるRedhat Linux²⁾、HTTPサーバとアプリケーションサーバには共にApache Software Foundationで保守・管理されているApache³⁾とTomcat⁴⁾、シラバスデータを格納するデータベース管理システムにはPostgreSQL⁵⁾、サーバーサイドスクリプト言語には試作システムでも使用したPHP⁶⁾、XML形式プログラミング言語には横浜ベイキットで開発されたXi(Extend It!)⁷⁾、XSL-FO文書を変換するプロセッサにはFOP(Formatting Object Processor)⁸⁾を採用した。バージョンNoは以下の通りである。

- OS: Redhat Linux 9
- HTTPサーバ: Apache 2.0.50
- DBサーバ: PostgreSQL 7.4.5
- スクリプト: PHP 4.3.8
- Java開発環境: J2SDK 1.4.2_05
- アプリケーションサーバ: Tomcat 4.1.30
- 文書変換プロセッサ: FOP 1.1.3
- フォント情報埋め込みツール: FontTool 1.1.3⁹⁾
- XML言語: Xi 1.2.11
- 連携ツール: mod_jk2 2.0.2

作成したプログラムはシステム全体のPHPスクリプトで約9000行、Xiプログラムで約2000行となった。PHPスク

リプトでは主に Web 画面の作成とデータベース操作、XML 文書の生成を受けもち、Xi プログラムでは FO 文書の生成と FOP 経由による PDF 文書生成の役割をもっている。

3. データベースのスキーマ作成

PostgreSQL データベース内に、次の3つのテーブルを作成した。

- ・ syllabus テーブル：シラバス本体の情報を格納する
- ・ assign テーブル：科目担当者情報を格納する
- ・ users テーブル：教員情報を格納する

syllabus テーブルでは、基本的な科目情報に加えて6種類のテンプレート識別情報や登録者・時刻を保存するフィールドを用意した。その他の特長としては週毎の授業項目や理解すべき内容を格納するために、PostgreSQL 特有のフィールド配列を利用して前・後期 20 週分の領域を確保した。以下に、このテーブルを作成するための SQL 文を示す。

```
CREATE TABLE syllabus (
  course    VARCHAR(10),  -- 課程(本科, 専攻科)
  c_id      VARCHAR(10),  -- 座学(Z), 実験(J,K)など
  year      SMALLINT,    -- 年度
  dept_id   VARCHAR(10),  -- 学科略称
  dept_name VARCHAR(40),  -- 学科名
  grade     SMALLINT,    -- 学年
  compl     VARCHAR(10),  -- 履修区分(必修選択)
  sbj_id    VARCHAR(20),  -- 科目 ID
  sbj_name  VARCHAR(60),  -- 科目名
  semester  VARCHAR(10),  -- 開講学期
  unit      SMALLINT,    -- 単位数
  teachers  TEXT,        -- 教員名
  address   TEXT,        -- 連絡先
  abstract  TEXT,        -- 概要
  goal      TEXT,        -- 目標
  remark    TEXT,        -- 注意
  jabee     TEXT,        -- JABEE
  textbook  TEXT,        -- 教科書
  eval      TEXT,        -- 評価方法
  message   TEXT,        -- メッセージ
  owner     VARCHAR(32),  -- 所有者
  date      CHAR(20),    -- 登録時刻
  target    VARCHAR(40),  -- 対象学科
  item1     TEXT[20],    -- 講義項目(前期)
  cont1     TEXT[20],    -- 内容(前期)
  tchr1     TEXT[20],    -- 担当者(前期)
  room1     TEXT[20],    -- 実験室(前期)
  item2     TEXT[20],    -- 講義項目(後期)
  cont2     TEXT[20],    -- 内容(後期)
  tchr2     TEXT[20],    -- 担当者(後期)
  room2     TEXT[20],    -- 実験室(後期)
);
```

リスト1. syllabus テーブル作成用 SQL 文

assign テーブルは教員毎の担当科目を調べるためのものであり、本来ならば syllabus テーブルの teachers フィールドを検索すれば得られるため unnecessary なものといえる。

しかし、教員用 Web 入力画面で担当科目一覧を表示する際に、全シラバスを検索するのでは効率が悪いので、このテーブルを用意した。

users テーブルはログイン認証用である。

4. PDF 文書生成のための環境構築

導入時のサーバには多くのソフトウェアがパッケージとしてインストールされており、その中の主要ソフトウェア (Apache, PostgreSQL, PHP) の設定はすでに試作システムの環境を構築する際に完了している。そのため本システムでは PDF 文書生成に必要なソフトウェアのインストールと、導入済みソフトウェアを連携させるための設定を行った。

新規導入したソフトウェアはほとんどが JavaVM 上で動作するものであり、以下の手順でインストールする必要がある。

- (1) Java 開発環境のインストール
 - ・ j2sdk-1_4_2_05-linux-i586.bin を実行する。
 - ・パス、環境変数 JAVA_HOME を設定する。
- (2) Tomcat のインストール
 - ・ jakarta-tomcat-4.1.30.tar.gz を解凍する。
 - ・環境変数 CATALINA_HOME を設定する。
- (3) mod_jk2 のインストール (Apache と Tomcat の連携)
 - ・ jakarta-tomcat-connectors-jk2-2.0.2-src.tar.gz を解凍し、コンパイルする。
 - ・生成された mod_jk2.so を \$APACHE_HOME/modules へコピーする。
 - ・設定ファイル httpd.conf に LoadModule jk2_module modules/mod_jk2-2.0.2.so を追加する。
 - ・workers2.properties を \$APACHE_HOME/conf に作成する。
- (4) Xi のインストール
 - ・ bxi-bin-1.2.11.zip を解凍し、xi に名称変更する。
 - ・この xi を \$CATALINA_HOME/webapps へ移動する。
 - ・workers2.properties に [uri:/xi/*] を追加する。
- (5) FOP, FontTool のインストール
 - ・ fop-0.20.5-bin.tar.gz を解凍する。
 - ・ fonttool-l_i_3.zip を解凍する。
 - ・ fop フォルダ内の fop.jar, avalon-*.jar, balik.jar を \$FONTTOOL_HOME/lib へコピーする。
- (6) 日本語フォントメトリクス情報の生成と FOP の日本語化
 - ・ fonttool-kochi.xml ファイルを編集する。
 - ・ fonttool コマンド実行する。
 - ・ fop-by-fonttool.jar, avalon-*.jar, balik.jar を \$CATALINA_HOME/webapps/xi/WEB-INF/lib へコピーする。
- (7) 作成プログラムの配備
 - ・ PHP スクリプトを \$APACHE_HOME/htdocs へ、
 - ・ Xi プログラムを \$CATALINA_HOME/webapps/xi へコピーする。



図 2. PDF 表示

5. 動的な PDF 文書の生成方法

シラバスを PDF 化する目的が Web 表示した際のブラウザによる違いの解消や FD などでの携帯性にある場合に、データをオフラインで PDF ファイルに変換し、WWW サーバに登録して静的に表示する方法はすでに報告されている⁹⁾。

本システムでは、動的に PDF 文書を生成するための方法として、XML 文書を FOP 経由で PDF 文書に変換する技術を採用した。文書変換の処理過程の概念図を図 1 に示す。

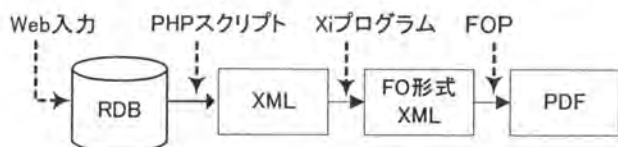


図 1. シラバスデータの文書変換過程

具体的には、作成した PHP スクリプトによりデータベースからシラバスデータを抽出し、中間フォーマットである XML ファイルとして保存する(リスト 2)。次に、このファイルを Xi プログラムにより XSL-FO 形式の XML 文書に変換する(リスト 3)。この文書を FOP に通せば PDF 形式のデータが得られ、自動的に画面表示される(図 2)。

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-JP" ?>
<subject>
  <kind>座学</subject>
  <dept>共通</dept>
  <sbj_name>代数・幾何</sbj_name>
  <course>1年・通年・必修・2単位</course>
  <teachers>高専 太郎</teachers>
```

```
<address></address>
<abstract>代数と幾何の概念を学習する。</abstract>
<goal>三角関数の概念を理解すること。</goal>
<semester id="前期">
  <week id="1">
    <item>鋭角の三角比</item>
    <cont>鋭角の三角比の定義と性質</cont>
  </week>
  <week id="2">
    <item>鈍角の三角比</item>
    <cont>鈍角の三角比の定義と性質</cont>
  </week>
  :
</semester>
<textbook>教科書：新井一道他「基礎数学」</textbook>
<eval>レポート等の成績 20%，定期試験 80%</eval>
<message>予習、復習をきちんとすること。</message>
</subject>
```

リスト 2. XML ファイル

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<fo:root xmlns:fo="http://www.w3.org/1999/XSL/Format" lang ...
  <fo:layout-master-set>
    <fo:simple-page-master margin-bottom="1cm" margin-left=" ...
  </fo:simple-page-master>
</fo:layout-master-set>
<fo:page-sequence master-reference="simple">
  <fo:flow flow-name="xsl-region-body" font-family="JaFont" ...
    <fo:table space-after="0em" table-layout="fixed">
      <fo:table-column column-width="20mm"/>
      <fo:table-column column-width="70mm"/>
      <fo:table-column column-width="90mm"/>
    <fo:table-body>
```

```

<fo:table-row>
  <fo:table-cell border-color="black" border-style="ridge" ...
    <fo:block text-align="center">共通</fo:block>
  </fo:table-cell>
  <fo:table-cell border-color="black" border-style="ridge" ...
    <fo:block text-align="center">代数・幾何</fo:block>
  </fo:table-cell>
  <fo:table-cell border-color="black" border-style="ridge" ...
    <fo:block>1年・通年・2単位</fo:block>
  </fo:table-cell>
</fo:table-row>
</fo:table-body>
:

```

リスト3. FOP 文書

このように多くのオープンソースや自作プログラムが複雑に連携して PDF 化の処理を行っているわけであるが、利用方法は従来と変わりはない。科目一覧表に追加された PDF ボタンを押せば、クライアント PC にインストールされている Adobe Reader が起動し、画面にシラバスデータが PDF 形式で表示される。これを保存すればシラバスの PDF ファイルが得られることになり、利用者に余分な負担をかけることはない。

6. Xi プログラムの詳細

6.1 プログラムの全体構造

Xi プログラムの役割は F0 文書の生成であり、その構造は単純といえる。まず、Xi の拡張機能である WebNinja を用いて、シラバス番号を Web パラメータから受け取る。次に、I/O Ninja の loadXml メソッドを使って、該当するシラバス番号に対応した XML ファイルを保存フォルダから読み込む。この文書内にはシラバスの種類を識別するデータが記録されているので、これを用いて生成する F0 文書のレイアウトを選択する。

概念的な全体構造の Xi コードをリスト4に示す。

```

<xi:var name="id" select="$Web.parameter.get('id')"/>
<xi:var name="syllabus" select="IO.loadXml('{ $id }.xml)"/>
<xi:choose>
  <xi:when test="$syllabus/subject/kind='座学'">
    座学用コード
  </xi:when>
  <xi:when test="$syllabus/subject/kind='実験'">
    実験用コード
  </xi:when>
  <xi:when test="$syllabus/subject/kind='卒研'">
    卒研用コード
  </xi:when>
  :
</xi:choose>

```

リスト4. Xi コード

PDF への変換指示コードとしては、Xi のタグセットを使用するための名前空間を宣言した後に、output タグの中で method="pdf" と media-type="application/pdf" を指定する。

6.2 F0 文書の生成プログラム

F0 文書の基本的な構造は、fo ルートタグとその終了タグの間に用紙設定のためのページレイアウトタグやページヘッダ・フッタタグ、文書の本体であるボディタグなどを挿入する形式をとる。以下に、そのコードを示す。

```

<fo:root xmlns:fo="http://www.w3.org/ ... ">
  <!-- ページレイアウト -->
  <fo:element-master-set>
    用紙設定用 FO コード
  </fo:element-master-set>
  <!-- ページ本体 -->
  <fo:page-sequence master-reference="simple">
    <!-- ページヘッダ -->
    <fo:static-content ... >
      ヘッダ情報用 FO コード
    </fo:static-content>
    <!-- 文書本体 -->
    <fo:flow flow-name="xsl-region-body" ... >
      シラバスデータ用コード
    </fo:flow>
  </fo:page-sequence>
</fo:root>

```

リスト5. F0 文書の基本構造

上の flow タグの間に置くコードには、シラバスの見栄えを作る表用の table タグを記述する。これは HTML における table タグと同等のものであり、使い方も類似している。XML ファイルから読み込んだシラバスの各データは fo ブロック内に <xi:value-of> タグを用いて挿入する。

```

<fo:table table-layout="fixed">
  <fo:table-column column-width="..." />
  :
  <fo:table-body>
    <fo:table-row>
      <fo:table-cell ... >
        <fo:block>シラバスデータ</fo:block>
      </fo:table-cell>
      :
    </fo:table-row>
    :
  </fo:table-body>
</fo:table>

```

リスト6. 表作成コード

リスト5, 6のF0文書にリスト4のXiコードを埋め込むことにより、PDF変換用Xiプログラムが完成する。

7. システム開発の経緯

7.1 試作システムでのPDF化方法

試作システムではPDF文書を直接生成する機能が実装されていないため、以下の手順でPDFファイルを間接的に作成した。

- (1) DB内の全シラバスをPHPスクリプトによりHTML文書としてディスクに保存
- (2) これらをFTPでクライアントPCにダウンロード
- (3) 自作のWordマクロで一括PDF化
- (4) 生成したPDFファイルをサーバに戻す
- (5) 製本用の原稿はWindowsのフリーソフト(ラドPDF管理ツール)¹⁰⁾で一括して自動印刷

このような人手を介する手続きを踏んだことにより、シラバスデータをWeb上で修正してもリアルタイムにPDFを確認することができず、あまり使い勝手のよいシステムとはいえなかった。これが動的なPDF化の開発に踏み切った大きな理由でもある。

7.2 動的なPDF化方法の検討

本システムでは当初、試作システムで作成したPHPスクリプトの再利用だけを考えていたので、その機能拡張という位置付けでPDF化の方法を模索した。その結果、比較的簡単にPHPから利用可能なフリーの日本語対応ソフトウェアとして、FDFToolkit¹¹⁾とfpdf¹²⁾が候補に上がった。

FDFToolkitはAcrobatなどで作成したタグ付きPDFファイルにデータを埋め込むPHPライブラリであり、PHP組み込み関数を呼び出すことで簡単にPDFのWeb表示を実現することができる。ただし、サーバ側で実際にPDF文書を作成するわけではないので、このページをダウンロードしてもクライアントPCではPDF表示できないという機能制限がある。

fpdfはPHPクラスとして実装されており、プログラムの先頭でインクルードして使用する。これも簡単にPDF文書を生成できるが、表を利用したときに、セルより長い文章を入力すると余分な文字が表の外にはみ出してしまうという日本語処理の問題がある。

以上のように、2つとも優れたツールであるが、本システムで採用するには至らなかった。

7.3 プログラミング言語Xiの使用について

XiはXML文書の読み込み、操作、生成を得意とするプログラミング言語であり、プログラムロジックをXML形式で記述することのできるWebアプリケーション開発に適した言語である。タグライブラリや忍者などの追加機能により、データベースの内容を直接取り出し、簡単にHTML文書やXML文書などに変換することもできる。

そのため、本システムのようなPHPスクリプトで保存したXMLファイルをXiプログラムに引き渡す処理方式は冗長といえる。しかし、Xiにおけるデータの検索方法は階層構

造のデータに適したXPathに類似の検索式を利用することから、RDBの平坦なデータ構造ではその利点を活かせることが多い。そこで、各種フォーマットへの変換用として別途利用することも考慮し、敢えてXMLファイルを出力してからPDF文書を生成する方式とした。

また、本システムにおけるFO文書の生成は時間的な制約からXiプログラムによる直接的な方法となったため、データを生成するXiタグと見栄えを記述するfoタグが混在し、見通しの悪いプログラムとなってしまった。この解決策としてはXiとXSL(Extensible Stylesheet Language)スタイルシートの組み合わせやXML文書出版の統合ソフトウェアであるcocoon¹³⁾を利用して、データとスタイルを分離する方法が存在する。

8. まとめ

本システムの開発により、データベースに格納したシラバスからHTML文書やPDF文書を動的に作成し、Webでの公開や印刷シラバスの製本などに柔軟に対応することが可能となり、シラバスの管理作業の大幅な省力化を実現した。

本システムではシラバスデータの保存方法として、RDBMSとXMLファイルという2種類の形式を利用した。試作システムを活かすための措置なのでやむを得ない方法であるが、できれば1つの保存形式で済ませたいものである。今後の課題としてはXindice¹⁴⁾やeXist¹⁴⁾などのXML専用データベースを利用して、DBを統一することを考えている。

参考文献

- 1) 長本、「オープンソースソフトウェアによるシラバス検索システムの試作」茨城高専彙報、Vol.38, 2003
- 2) <http://www.jp.redhat.com/>
- 3) <http://httpd.apache.org/>
- 4) <http://jakarta.apache.org/tomcat/>
- 5) 石井、「改訂第4版・PostgreSQL完全攻略ガイド」、技術評論社、2004
- 6) 堀田、他「PHP4徹底攻略・改訂版」、ソフトバンクパブリッシング、2002
- 7) 川道、他「横浜ベイキットオフィシャルガイド」、毎日コミュニケーションズ、2003
- 8) <http://xml.apache.org/>
- 9) 遠藤、他「オープンソースによるシラバスデータベースのPDF化とその活用について」、コンピュータ&エデュケーション、Vol.14, 2003
- 10) <http://www.kit.hi-ho.ne.jp/kagen/>
- 11) <http://partners.adobe.com/asn/acrobat/forms.jsp>
- 12) <http://www.fpdf.org/>
- 13) <http://cocoon.apache.org/>
- 14) <http://www.exist-db.org/>

VLSI/WSI アレイの再構成アルゴリズム

滑川 英世, 橋本 翔

A Reconfiguration Algorithm for VLSI/WSI Arrays

Hideyo NAMEKAWA and Sho HASHIMOTO

Abstract: This paper considers the problem of reconfiguring two-dimensional VLSI/WSI arrays in the presence of faulty processors. An algorithm proposed here is based on the mesh-interconnection networks of which models have simple single-track switches. Array yield improvement can be obtained by introducing bend compensation paths into Kung et al.'s model. It is shown that about 12 percent array yield improvement can be achieved for 20×20 logical arrays by the proposed algorithm.

1. ま え が き

VLSI 技術の発展により、多数の処理要素 (Processing Element: PE) を用いた並列計算機をウェハー上に集積して実現する。WSI 技術 (Wafer Scale Integration technology) に関心をもたれるようになってきた。並列計算機を WSI によって実現することにより、通信遅延減少による高速並列処理や接続の信頼性向上、実装の小型化、低価格化などの効果が期待できる。しかし、WSI では集積度が增大するために、製造中に発生する欠陥、または動作中に発生する故障が無視できない程度に増大するという問題が生じ、何らかの対策を講じる必要がある。そこで、製造時における歩留まり向上や動作中における信頼性の向上を図る工夫が必要であり、そのための 1 つの手段として、周囲にスペアを配置した故障 PE を含むプロセッサ・アレイ上で、スペア PE を含めてアレイの再構成を行うことにより、必要なサイズのアレイを確保しながら歩留まりを向上する方法が考えられる。これまでに、シングルトラック式のスイッチをもつメッシュ結合型プロセッサ・アレイに対する様々な再構成アルゴリズムが提案されてきている^{(1) (2) (3) (4)}。

文献(1)は故障 PE のために、直線状の補償パスの概念を導入して、これにより 4 つの接続状態をもつスイッチの最適な設定を行うことで再構成を行っている。文献(2)では、曲がりのある補償パスの概念を導入し、さらにスイッチの接続状態を 5 つにした場合の再構成アルゴリズムを提案している。文献(3)はスペア PE をアレイ周囲でなく全体に幾何学的な配置とし、端子

を 4 から 5 に拡張したスイッチをもつメッシュアレイを提案して、大幅な歩留まりの向上を図っている。しかしながら、モデル、再構成アルゴリズムともに複雑になっている。この論文では、S.Y.Kung ら提案の 4 つの接続状態をもつスイッチを用いながら、曲がりのある補償パスの概念を拡張することで、文献(2)で再構成が不可能であった場合でも、再構成可能となるアルゴリズムを提案し、文献(2)の方法との歩留まり比較を行っている。

2. プロセッサ・アレイモデル

ここでは、図 1 のような長方形の格子状にプロセッサを配置した 2 次元プロセッサ・アレイを取り上げる。

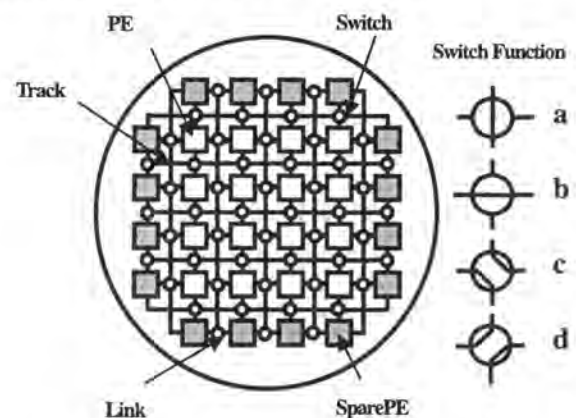


図 1 メッシュアレイモデルとスイッチの機能

(I) 論理アレイ

目的とする機能を実行できるプロセッサ間のリンクをもつ

ロセッサ・アレイを論理アレイと呼ぶ。論理アレイは、 $M \times N$ 個のプロセッサで構成される2次元の長方形アレイとし、各プロセッサは各リンクを通して上下左右4方向のプロセッサとのみ通信を行うものとする。この論理アレイを、図1で示すようなシングルトラックのスイッチ素子を用いたメッシュ型相互連結によるプロセッサ・アレイ(これを物理アレイと呼ぶ)上に構築することを考える。

(2) 物理アレイ

物理アレイは、先に述べたように論理アレイを実際に実現するために用意するウェハー上の物理的なプロセッサ・アレイで、スベアとして、上下に各1行分、左右に各1列分(4隅は除く)のプロセッサをもつ $(N+2)$ 行、 $(M+2)$ 列のプロセッサ・アレイとする。物理アレイ内の各プロセッサは図1で示されるように、シングルトラックのスイッチ素子を用いたメッシュ型相互連結結合リンクによって接続されているものとする。

また、物理アレイ内のスイッチ素子は同図で示されるように4つの状態を選択でき、アレイ内の各プロセッサの相互接続を変更できるものとする。スイッチ素子間やスイッチ/プロセッサ間の接続をリンクと呼ぶ。これらのスイッチの接続状態は、ホスト計算機からプロセッサ・アレイとのインターフェイスを通して制御できるものとしている。

(3) シングル・トラックモデル

ここで議論する一般的なモデルは、長方形の格子(グリッド)点に柔軟な相互連結機能をもつスイッチを埋め込んだプロセッサ・アレイである。メッシュの各グリッド線には、それに沿って方向づけされるデータバスが設けられ、スイッチは全てのグリッド線上において、プロセッサがグリッドと連結されるすべての点に置かれる。このシングル・トラックモデルは、 $M \times N$ のスベアではないプロセッサ・エレメント(PE)と $2 \times (M+N)$ のスベアPE、およびシングル・トラックスイッチから構成される。そのモデルは、単一の転送バスが水平/垂直のみに許されるという意味でシングルトラックである。データバスはウェハー/チップ上の広範な領域を占有するので、全てのグリッド線に沿って単一のデータバスのみを使用することでウェハー領域の節約が達成される。

(4) 仮定する故障

次に、この物理アレイ内で仮定する故障について述べる。プロセッサ・アレイの故障は、製造時における様々な原因による

故障と通常の実行時の故障とに分けられる。実行時の故障に対処するための方法として、(1)物理アレイ内に再構成の機能を組み込む方法と、(2)物理アレイ内の個々のプロセッサに、論理アレイ構築時に故障の検出、訂正機能を行うアルゴリズムを組み込む方法がある。後者の場合、各プロセッサの故障診断機能、故障プロセッサから正常プロセッサへのタスクの転送機能等、各プロセッサに高度な機能をインプリメントする必要がある。これらの機能を物理アレイ内に実現した場合、インプリメントに必要なウェハー上での占有面積がプロセッサ・アレイ内のプロセッサ数に影響を及ぼす。

そこで、本研究では、プロセッサ・アレイ内の各プロセッサの故障診断はインターフェイスを通してホストから行えると仮定し、さらにプロセッサ間でのタスクの転送は行わないと仮定する。この場合、物理アレイに必要な機能は各プロセッサの故障の検出機能、各プロセッサ間の接続の切り替え機能を設ければよく、VLSI/WSI アレイ内により多くのプロセッサを配置することができる。

さらに、物理アレイの故障について以下のような仮定をする。

- 1) 物理アレイの故障プロセッサはデータを通過させる機能だけは生きているものとする。
- 2) スwitch素子とリンク機構は以下の議論では故障しないものとする。(プロセッサに比べて、これらの機構は比較的単純なため、故障しないと仮定しても問題の本質を損なうことはないと考えられる。)

3. 補償バス

3.1 補償バス

物理アレイにおいて、スベアプロセッサではないプロセッサに故障がなければ、論理インデックスと同じものを割り当てるものとする。したがって、この場合、論理アレイは物理アレイのスベアプロセッサを使用せず、論理インデックスと物理インデックスが同一となるように割り当てが行われる。

いま、物理アレイ上にスベアでないプロセッサの故障を検出したとする。この故障プロセッサの物理インデックスを $[x, y]$ とすると、この故障プロセッサに割り当てるべき論理インデックスを別の正常なプロセッサ $[x', y']$ によって置き換える必要がある。さらに、物理インデックス $[x', y']$ のプロセッサへ割り当てる

論理インデックスを別の正常なプロセッサ $[x', y']$ に置き換える必要がある。このように、順次、割り当てべき論理インデックスを順送りし、故障プロセッサからスペアプロセッサに至るまで置き換えていく。この論理インデックスの置き換えの連鎖を補償パス(compensation path)と呼ぶ。(図2参照)

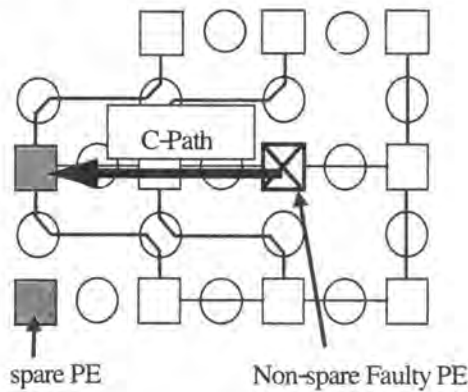


図2 補償パスの経路

通常、1つの故障プロセッサに対して、4方向の補償パスが考えられる。これらの補償パスの表現において、左方向のものをLeft、上方向のものをUp、右方向のものをRight、下方向のものをDownと表すことにする。

3.2 補償パスのニアミス状態

2つの補償パスが以下のようなとき、これらは互いにニアミス状態であると言う。(図3参照)

LeftとRight, UpとDownの2通りのニアミス状態があるが、一般性を失うことがないので、LeftとRightにおける補償パスのニアミス状態についてのみ述べる。ある故障プロセッサに対する2つの補償パスが互いに反対方向で隣接していれば、それらはニアミス状態であると言う。この場合、補償パスを割り当てることはできない。

3.3 補償パスの直交状態

2つの補償パスが以下のようなとき、互いに直交状態であると言う。(図4参照)

LeftとUp, LeftとDown, RightとUp, RightとDownの4通りの直交状態があるが、同様に一般性を失うことがないのでLeftとUpの直交状態について述べる。

ある故障プロセッサ $[x, y]$ に対して、Left方向の補償パスが割り当てられ、その故障プロセッサより左下にある故障プロセッサ $[p, q]$ ($x \leq p \leq m, 0 \leq q \leq y$)に、Up方向の補償パスが割り当てられたとき、それらは互いに直交状態であると言う。

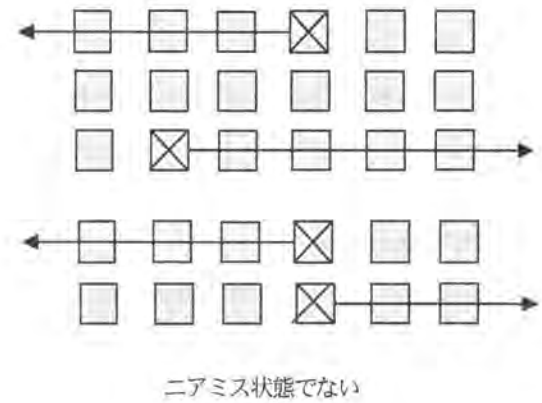
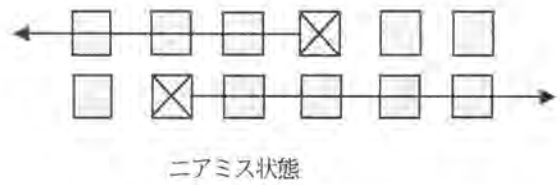


図3 ニアミス状態

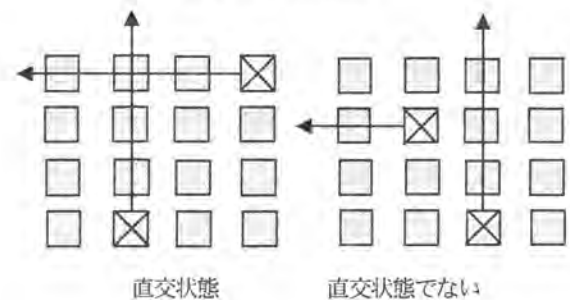


図4 直交状態

4. 再構成法

S. Y. Kung らが提案した再構成法¹¹⁾では、直線上の補償パスを導入して論理アレイが割り当て可能かどうか調べている。4つの側面にスペアPEをもつ $M \times N$ 個のPEアレイを与えるとき、

- 1) 全ての故障PEをカバーする連続で直線状の補償パスが存在する。
- 2) 補償パス間に、直交状態 およびニアミス状態もないならば、そのプロセッサ・アレイは再構成可能である。

本研究における再構成法は、この補償パスの概念を基礎とし、シングルトラックモデルに曲がりのある補償パスを導入することによって、プロセッサ・アレイを再構成しようとするものである。

4.1 問題の定式化

与えられたプロセッサ・アレイを補償パスで再構成するとは、「2次元グリッド上に点集合を与え、各線がある点(故障

プロセッサを指す) から始めて, グリッドの境界線の1つに接続していて, かつニアミス状態および直交状態がない直線集合を見つけること」に等しい. そこで, この再構成問題を以下のような問題として定式化する.

〔問題〕 V を $m \times n$ 個の2次元長方形グリッド点の集合, F を故障プロセッサに対するグリッド点の集合とし, $F < V$ とする. このとき, 以下のような条件を満たす直線集合を決定する.

- a) 各 $v \in F$ はグリッドの4つの境界線の1つと直線で接続されている.
- b) 各直線はニアミスおよび直交状態ではない.

また, さらに以下のことを仮定することが出来る.

- 1) F のどの頂点も含まない行(列)がグリッド上にあれば, その行(列)は直線を決定する操作に影響を及ぼさないのので, 一般性を失うことなしにそのような行(列)を上の問題から削除でき, $1 \leq m, n \leq |F|$ と仮定できる.
- 2) 各 $v \in F$ は4つの可能な直線のうちの1つに割り当てられる. ここで, さらに割り当てられた直線の方向に関して調べる. 例えば, 頂点 v に割り当てられた直線がその頂点に関してグリッドの左側のものであれば, その頂点に方向Leftを割り当てる.

4.2 Peeling アルゴリズム

Peeling アルゴリズム⁽²⁾は, 4つの全ての方向が許される(すなわち, どのPEに対しても方向が割り当てられていない)一般的な場合に対して適用される. これは, グリッドの最も外側の行, 列から始めて, それらの外側に位置する故障PEに対する有効な方向を決定する. 内側に置かれたPEに対しても同じ操作を実行する. (図5参照)

Step1) 最も左の列から始めて, グリッドの列を順番に探索する. ここで, 探索中の列にある各故障PEに一時的に方向Leftを割り当てる. それらのPEへの割り当てが成功すれば, 次の列へ進む. 方向Leftの割り当てができないPEがあれば, 次のステップへ進む.

Step2) 最も上の行から始めて, 縮小されたグリッド(ステップ1で割り当てられなかったグリッドの部分)の行を順番に探索する. もし可能であれば, 探索中の行にある各故障PEに一時的に方向Upを割り当てる. それらのPEへの割り当てが成功すれば, 次の行へ進む. 方向Upの割り当てができないPEがあれば,

次のステップへ進む.

Step3) 最も右側の列から始めて, 縮小されたグリッド(ステップ1, 2で割り当てられなかったグリッドの部分)の列を順番に探索する. もし可能であれば, 探索中の行にある各故障PEに一時的に方向Rightを割り当てる. それらのPEへの割り当てが成功すれば, 次の列へ進む. 方向Rightの割り当てができないPEがあれば, 次のステップへ進む.

Step4) 最も下の行から始めて, 縮小されたグリッド(ステップ1, 2, 3で割り当てられなかったグリッドの部分)の行を順番に探索する. もし可能であれば, 探索中の行にある各故障PEに一時的に方向Downを割り当てる. それらのPEへの割り当てが成功すれば, 次の行へ進む. 方向Downの割り当てができないPEがあれば, 次のステップへ進む.

Step5) 4つのステップの完了後, 元のグリッドの外側に位置しているPEを一時的に取り去ることによって得られる縮小されたグリッドに対し, 全ての故障PEへ割り当てが完了するまで可能な限りステップ1~4を繰り返す.

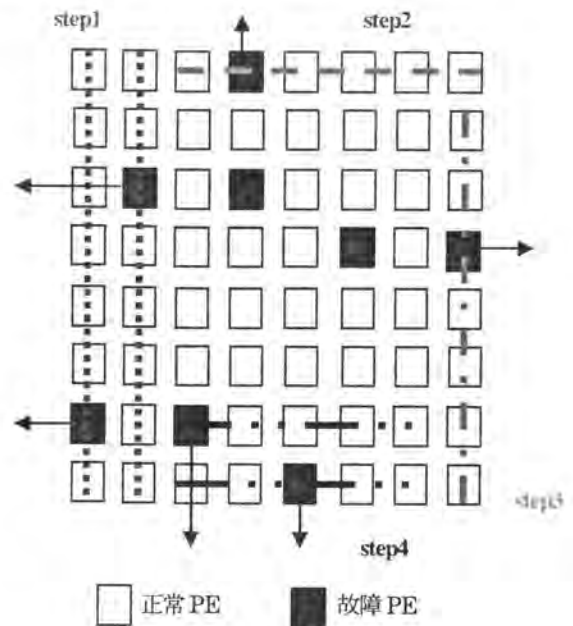


図5 Peeling アルゴリズムの実行過程

4.3 特別な場合に対するアルゴリズム

このアルゴリズムは, Peeling アルゴリズムの適用後に修復されずに残った故障ノードに対して適用され, 本研究で提案する拡張部分に当たる. プロセッサ・アレイによっては, Peeling アルゴリズムのみで再構成できるものがあるが, 一般的な再構

成例ではない。そこで、Peeling アルゴリズムによってある方向が制限されたノードに対して特別な場合のアルゴリズムを提案する。Peeling アルゴリズムで制限されたノードは大きく分けて、次のようになる。

- 場合 1) 割り当て可能な方向が 2 方向で互いに反対方向
- 場合 2) 割り当て可能な方向が 2 方向で直角の関係にある
- 場合 3) 割り当て可能な方向が 3 方向

なお、故障 PE に割り当て可能な方向が 1 方向の場合はその方向を割り当てるだけなので説明は割愛し、また、割り当て可能な方向がない場合は再構成不可能となる。以下に、上記の 3 つの場合について述べる。

(1) 場合 1 に対するアルゴリズム

割り当て可能な方向が Left と Right の場合を考える。このとき、各行が故障 PE を 2 つ、あるいはそれ以下の個数含むときに限り、有効な割り当てが存在する。よって、故障 PE を 3 つ、あるいはそれ以上含む行が探索される(有効な割り当てが存在しない)、あるいは全ての行が探索されるまで、上から下まで連続的に実行する。

(2) 場合 2 に対するアルゴリズム

割り当て可能な方向が Left と Down であるとする。有効な割り当てを決定するためのアルゴリズムは以下のように記述される一番下の行から始めて、グリッドの行を連続的に実行する。

- (i) 可能ならばその行の全ての PE に方向 Down を割り当て、上の行へ行き、その手続きを繰り返す。
 - (ii) 方向 Down を割り当てることができない PE が存在すれば、その PE よりも下にすでに方向 Down が割り当てられた PE が存在するためである。よって、x に方向 Left を割り当てる。もし、x のような方向 Down を割り当てることができない PE がその行に 2 つ以上あれば、有効な割り当てが存在しない。
- #### (3) 場合 3 に対するアルゴリズム

割り当て可能な方向が Left, Up, Right である場合を考える。グリッドの下から始めて、グリッドの行を連続的に実行し、その行の故障 PE の数によって以下の割り当てを行う。

- (i) その行が F に属する PE を 1 つだけもつならば、それに方向 Left または Right を割り当て、次の上の行へ進む。
- ここで、Left と Right の選択はグリッドの一番外側に近い方

を選択する。

- (ii) その行が 2 つの PE をもつならば、左の PE に方向 Left を、右の PE に方向 Right を割り当て、次の上の行へ進む。
- (iii) その行が 3 つあるいはそれ以上の PE をもつならば、最も左の PE に方向 Left を、最も右の PE に方向 Right を、中央の PE には方向 Up を割り当てる。

4.4 ブロックされた PE に対する bending アルゴリズム

図 6 は、すでに Peeling アルゴリズムと特別な場合に対するアルゴリズムを適用した後の状態である。しかし、有効な方向を割り当てることができないノードが 1 つ存在する。このようなノードはブロックされたノードと言い、従来の直線状の補償パスでは解決することができない。そこで、ブロックされたノードに出会うと、曲がりのある補償パスを用いて再構成を行うアルゴリズム(以後、これを bending アルゴリズムと呼ぶ)を提案する。

4.4.1 ブロックされた PE および曲がりのある補償パス

(1) ブロックされた PE

ブロックされた PE とは、4 つの故障 PE によって 4 方向をブロックされている PE を指し、ブロックされた PE と隣接している場合は、曲がりのある補償パスの割り当てが不可能となるので、ここでは対象としない。まず、ブロックされた PE が確認さ

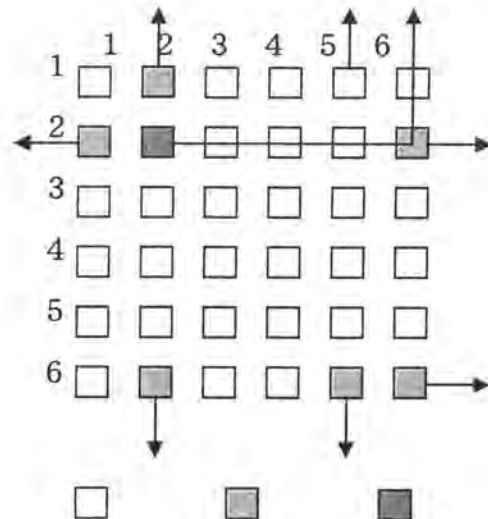


図 6 ブロックされた PE に対する bending アルゴリズムの適用

れると 4 つのブロックしている PE も確認される。そこで、隣接していない PE の方に方向を割り当てる。その後、プロセッサを 1 つずつずらして行くが、ブロックする PE にはずらすことができないので、ここで補償パスに曲がりが生じる。これを可能な

限り、かつ有効に繰り返すことによってプロセッサ・アレイは再構成される。ところが、この操作のみではアレイ全体の再構成は不可能なため、正常な PE にも補償バスを与えることで再構成を行っていく。

(2) bending アルゴリズム

ここで、具体的な割り当て例を示しながらアルゴリズムを説明する。図6の例を見ると、ブロックされた PE は Left, Up 方向には故障 PE が隣接しているので、補償バスを割り当てることができない。ゆえに、Right, Down 方向が残されるが、Right を選択したと仮定すれば、正常 PE の1つ先にブロックする PE があるので、曲がりが生じる。曲げる場合も効果的な方向を選択する必要があり、グリッドの最も外側に近い Up 方向に曲げることになる。(図7の中央の矢印。)

4.4.2 ブロックされた PE に対する再配置アルゴリズム

ブロックされた PE に対する再配置アルゴリズムでは、再構成が必要な PE に対して、ブロックしている PE が隣接していない方向があれば、その方向に補償バスを与え、ブロックしている PE の所で曲げるとするのが前提となっている。さらに、その後の処理は、ブロックしている PE の位置により2つの部分に分けることができる。すなわち、ブロックしている PE が元のグリッドの最も外側にある場合(場合1)と、それ以外(場合2)である。ただし、ブロックしている PE の左右の PE が故障していると、補償バスに曲がりを与えても再構成不可能と判断され、この時点で処理を終了する。これは、前章でも述べたように故障プロセッサを他の故障プロセッサで置き換えると言う無意味な操作になるためである。

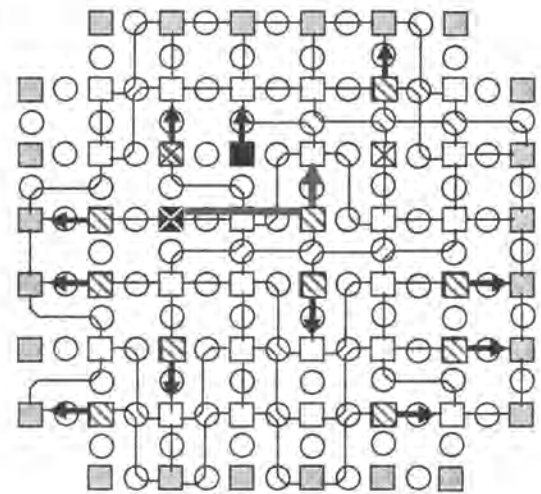
(1) 場合1に対するアルゴリズム

ブロックしている PE の方向に補償バスが割り当てられた後、その PE がグリッドの最も外側の PE であれば、2つの可能な曲がり方向のいずれか有効な方に補償バスを曲げ、ブロックしている PE の斜めに位置する正常な PE に、曲がり方向と同一方向の補償バスを与えるための PE 割り当ての変更を行う(斜めに位置する PE は2つあるが補償バスが交差しない条件から、方向を与える PE は自ずと決定される。: 図7参照)。さらに、曲がった補償バスが故障 PE に会おうと、可能な限り補償バスを曲げて、有効な補償バスとする。

(2) 場合2に対するアルゴリズム

ブロックしている PE がグリッドの最も外側ではないとき、(1)

で述べた操作以外に、別の操作が必要となる。これは、ブロックしている PE の外側にある PE 全てに対して、始めにブロックされた PE に割り当てた方向と同一方向を割り当てるといった変更が必要である。これは論理アレイにおけるプロセッサの配置順が、曲がりが生じることにより縦並びのものが横並び(あるいは横並びのものが縦並び)になり、逆転するためである。さらに、曲がった補償バスが故障 PE に会おうと、場合1でも述べたようにさらに補償バスが曲げられる。



	ブロックされた PE
	正常 PE
	再構成が必要な PE
	故障 PE

図7 ブロックしている PE の斜めに位置する正常な PE への補償バス割り当て

このように、故障 PE ばかりでなく正常な PE にも曲がりのある補償バスを与えて再構成することで、従来の方法では不可能であった場合についても再構成可能となった。

5. まとめ

再構成アルゴリズムは Microsoft Visual C++ 6.0 によって実装されている。実行時にアレイサイズと故障 PE の個数を入力する。このとき、故障 PE の配置はランダムに選ばれる。それぞれの故障 PE 配置パターンの下で再構成が成功するかどうかを

1000 回繰り返し調べ、その結果に基づいて歩留まりを計算する。ここで、アレイの歩留まりと PE の歩留まりの計算は、以下の式に基づいている。

$$\begin{aligned} \text{アレイの歩留まり(Array yield)} &= \text{再構成成功数} / \text{試行回数} \\ \text{PE の歩留まり(PE Yield)} &= 1 - \text{故障 PE 数} / (M+2) \times (N+2) \end{aligned}$$

図8は $M \times N$ アレイに対して、提案アルゴリズムを適用した場合のアレイの歩留まり(AY)と故障 PE 数との関係を示している。一例として $M=N=6$ のとき、グラフから故障 PE 数が 20 以上のときはすべてについて再構成不可能となっていることがわかる。つまり、論理アレイ 6×6 の構成のとき、ウェハ上の 64 個の PE 中に故障 PE が 19 個以上含まれる場合は提案のアルゴリズムを適用しても不可能であることを意味している。

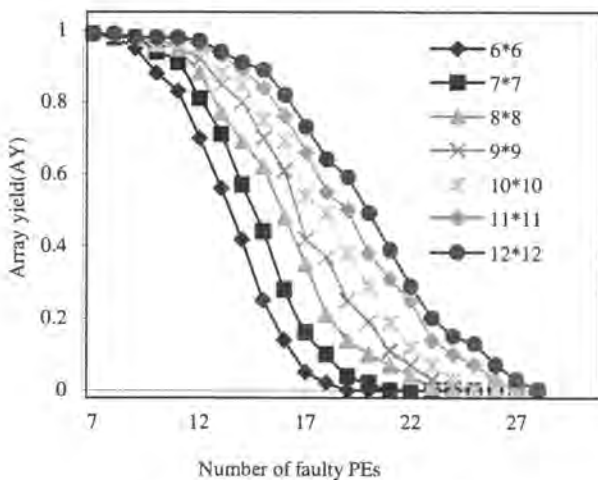


図8 アレイ歩留まりと故障 PE 数との関係

また、図9はアレイサイズ 20×20 に対して、提案アルゴリズムの結果(bending)と V. P. Roychowdhury らのアルゴリズムの結果(normal)との比較を示している。これより、約 12% 歩留まりが改善されていることがわかる。

文献(2)のアルゴリズムの時間計算量は $O(F^2)$ であるが、提案アルゴリズムにおいても、特別な場合にのみ高々 $O(F^2)$ のステップが追加されるので、全体として $O(F^2)$ となる。

本研究では、再構成アルゴリズムの評価に際し、アレイの歩留まりのみに注目しているが、アレイ構成に必要な総配線長などの評価基準も重要である。今後の課題としては、スペア PE の最適配置やトラック、スイッチの故障を考慮した再構成法とそ

の歩留まりの評価などが考えられる。

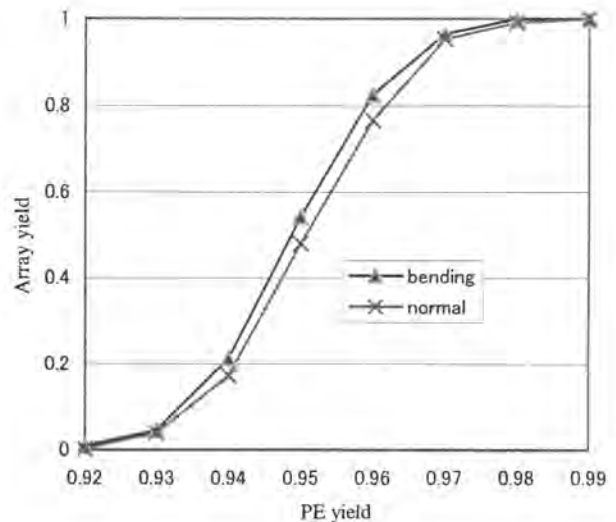


図9 各手法の歩留まり(アレイサイズ 20×20)

参考文献

- (1) S. Y. Kung, S. N. Jean and C. W. Chang: "Fault-Tolerant Array Processors Using Single-Track Switches," IEEE Trans. Comput., vol. 38, no. 4, pp.501-514, April 1989.
- (2) V. P. Roychowdhury, J. Bruck and T. Kailath: "Efficient Algorithms for Reconfiguration in VLSI/WSI Arrays," IEEE Trans. Comput., vol.39, no.4, pp.480-489, April 1990.
- (3) Tadayoshi Horita and Itsuo Takanami, "Fault-Tolerant Processor Arrays Based on the $1 \frac{1}{2}$ -Track Switches with Flexible Spare Distributions," IEEE Transactions on Computers, vol. 49, no.6, pp. 542-551, June 2000.
- (4) 沼田 一成, 堀口 進「格子結合型マルチプロセッサシステムの WSI 構成法」(信学論(D), J77-D-1, 2, pp121-129(平 06-02)).
- (5) 橋本 翔, 滑川 英世「WSI プロセッサ・アレイの再構成」第 11 回電気学会東京支部茨城支所研究発表会 P21 2003.11.29.

地域連携ネットワークの構築

金子紀夫

KANEKO, Toshio

A New Collaboration System For The Local Industries

Abstract: NNS (Naka Network System) was established to activate the local industries in 2004 as a collaboration system of industry, academia, and administration. About fifty technical and managing problems were settled for half year. This paper describes its backgrounds, purposes, and activities.

1. はじめに

2004年5月、茨城高専の所在するひたちなか市とその近隣地区の中小企業の活性化を図る目的で、産学官連携のシステム「ひたちなかネットワークシステム(NNS)¹⁾」を立ち上げた。本論文では当地の産業の特性、本校の地域貢献活動をレビューし、NNS設立の背景と今後の期待について述べる。

2. ひたちなか市付近の地勢と産業の特性²⁾

ひたちなか市は、茨城県のほぼ中央部、県央を流れる那珂川の河口に位置しており、東西約13km、南北約10kmで、約100平方kmの面積を有している。約13kmの太平洋に面した海岸線を持つほかは、比較的平坦な地勢で商工業、農水産業がバランス良く発達している。東京方面からのアクセスはJR常磐線や常磐高速道路により1時間半程度で可能である。

人口は県内で水戸市、つくば市、日立市に次いで第4位で、約153,000人、この数年間は安定状態である。

ひたちなか市は1994年に勝田市と那珂湊市が合併、主な産業は勝田地区では電機、機械、精密機器、紙製品などの工業が盛んで、また那珂湊地区では水産加工やそれに伴う食品加工が盛んであ

る。特に那珂湊地区では山崎工業団地等の整備が進み今後、県内有数の先進工業都市としての躍進が期待されている。2004年4月からは、商工会議所が勝田と那珂湊地区で合併、市域全体の発展を担う、総合経済団体として業務を開始した³⁾。

また現在、約1,200ヘクタールの開発地区において、重要港湾「常陸那珂港」が建設中で、2000年より外国貿易用の埠頭が運用されている。

ひたちなか市の周辺には原子力施設で有名な東海村、森林資源が豊富な那珂町そして、関東有数の漁港を持つ大洗町が隣接している。

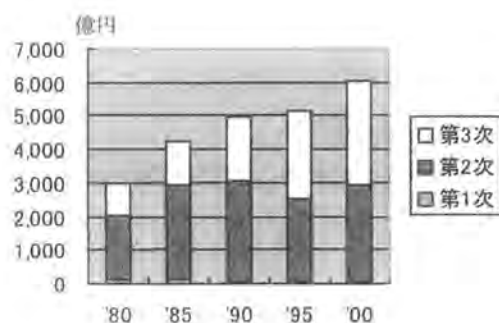


図1 産業分野別の総生産額

図1に市の産業分野別の総生産額推移を示す。

製造業を含む第2次産業はバブル経済の崩壊で一時期生産額が減少したが、確実な回復を示している。これは、古くから大手電機企業の立地が進

んでいたことによる高い技術力が、根付いていることにある。一方、第3次産業は堅調に増加し、市の将来産業の要となりつつある。

2000年における第2次産業の比率は48%で県全体の39%と比較すると、如何に製造業等が盛んであるかがわかる。15歳以上就業者の一人当たりの生産額は第1次産業、第2次産業、第3次産業でそれぞれ約210万円、1,050万円、690万円で第2次産業の効率が抜きん出ている。

総生産額(付加価値額)に中間投入額(原材料費等)を加えた産出額(製品出荷額等)で見ると、工業関連で総計約8,000億円(2002年)のうち約2/3が日立製作所関連の大手企業で占めている。市内、約470の事業所のほとんどが従業員30名以下の規模で、長い歴史を持つ典型的な「企業城下町」の様相を示している。これらの中小事業所は業種別で見ると、食料17%、機械15%、電機13%、金属7%が上位を占め以下、家具、木材、プラスチック、衣服の順位となっている。

3. 市内の製造業の課題

市では2003年、中小の製造業、卸・小売・サービス業、建設業、個人事業主に対して企業の現状と経営課題を把握するために、アンケート方式によるヒアリングを行った⁴⁾。製造業111社(回収率28%)からの結果を以下に示す。

1) 今後の事業展開

これからの自社経営の方向性を図2に示す。

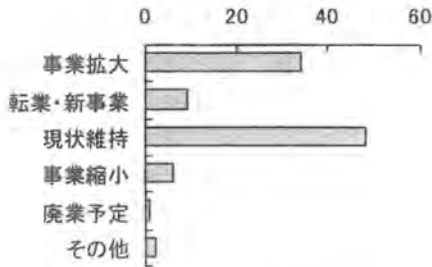


図2 今後の事業展開 (%)

事業拡大、転業・新事業への取り組みなど前向きな企業が43%である一方、現状維持が48%で経済低迷の深刻さを反映している。

2) 経営上の問題点 (複数回答)

将来の事業展開上の問題点を図3に示す。

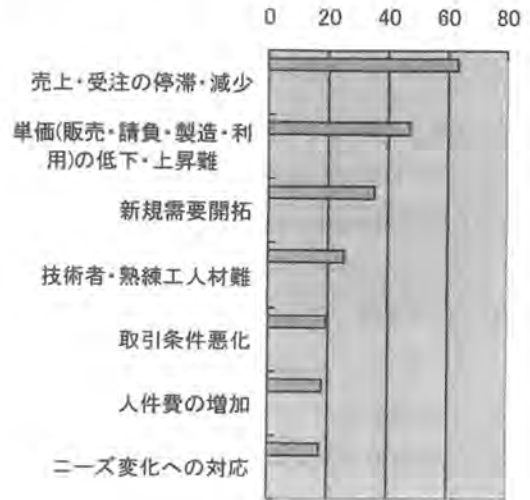


図3 経営上の問題点(社・複数回答)

売上・受注の停滞・低迷、販売単価などの低下、新規需要開拓、人材難が上位を占めている。更に競争の激化、後継者難など厳しい問題を抱えている。

3) 経営の打開策 (複数回答)

この打開策を図4に示す。

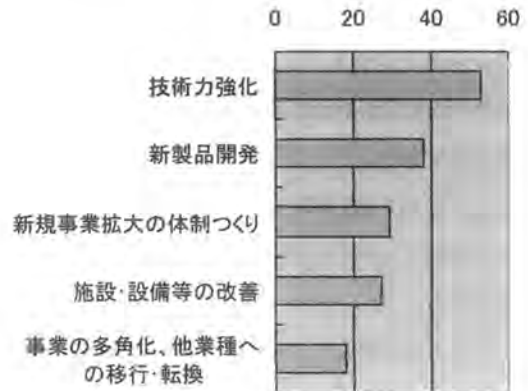


図4 経営の打開策(社・複数回答)

技術力強化、新製品開発、新分野などへのチャレンジが重要との認識が大半である。また生産効率の向上のための経営、設備の改善が望まれている。

4) 自社のアピールポイント (複数回答)

自社の持つアピールポイントを図5に示す。

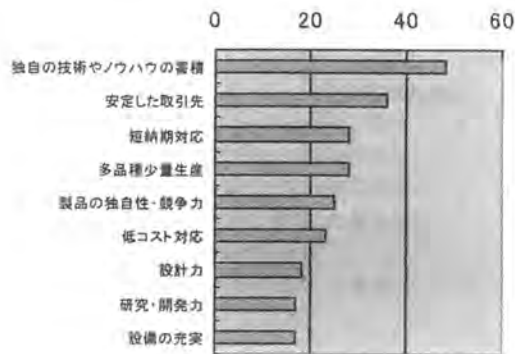


図5 アピールポイント (社・複数回答)

長年にわたる大企業との連携で、技術力、取引先、生産力に自信がある企業が多い。

5) 事業の強化策 (複数回答)

事業を強化するための具体的施策を図6に示す。

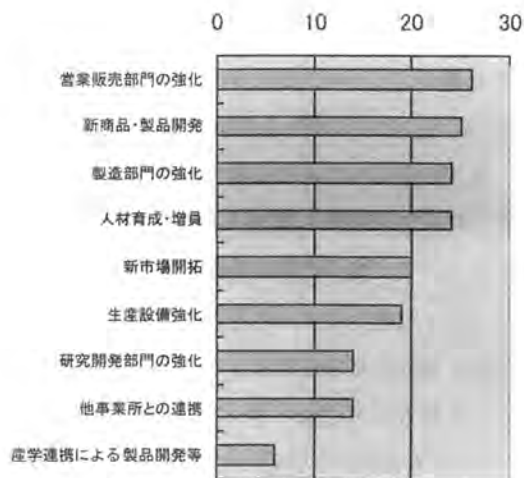


図6 事業強化策 (社・複数回答)

これは、前述の「強み」の裏返しに相当するものである。マーケティングとその関連の業務改善

と強化が望まれている。産学連携では、その交流のパイプの太さに問題があると思われる。

6) 今後に可能性を感じる分野 (複数回答)

「自社の実力」と、「期待」を総合して、将来進出したい分野を図7に示す。

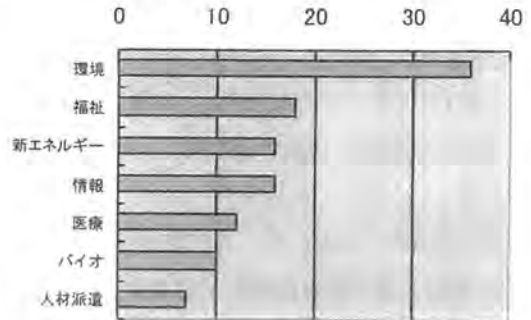


図7 可能性を感じる分野 (社・複数回答)

環境、福祉、新エネルギーなど時代のキーワードを的確に抑えている。

7) 総括

以上のデータと、アンケート中の自由意見を総合すると次のようになる。

- 市内工業の現状
 - 大企業と中小企業の取引関係の脆弱化
 - 事業所数の減少傾向 (9年前から)
 - 工業団地への誘致低調 (4年前から)
 - 新産業創出の基盤はあるが成果不足
 - 利用可能な用地有り
- 中小企業の現状
 - 売上・受注の減少が経営上の大課題
 - 経営施策では技術力強化、事業施策では営業・販売部門強化が第一
 - 更なる技術力向上が重要な差別化手段
 - 環境、福祉分野への進出意欲大
 - 経営実態は、現状維持で精一杯
 - 産学連携は前向きだが具体化に問題
- 行政等に対する要請 (アンケート自由意見)
 - 低利融資制度や助成制度の整備
 - 調査型でなく支援型コーディネーターの配置
 - 大学等の意識改革とマッチング支援型の産学連携
 - フランクな情報交換の「場」の提供
 - マーケティングなど、企業経営の立場に基づく支援体制整備
 - インキュベーションオフィスの整備

- 誘致と内発的な小規模起業や第二創業推進の環境整備

4. 茨城高専の産学連携

2001年度から「地域共同テクノセンター」が発足、それまでの活動を一本化して地域サービスを図ってきた。また2003年度から専攻科棟のワンフロア(約440平米)を企業主体の共同研究スペースとしてPRを行ってきた⁵⁾、⁶⁾。その間、技術シーズをWEBや筑波大・茨城大との共同フォーラムで発信することに努めてきた⁷⁾、⁸⁾。

現状把握の一つとして、外部資金導入の推移を図8(全体)、及び図9(民間のみ)に示す。

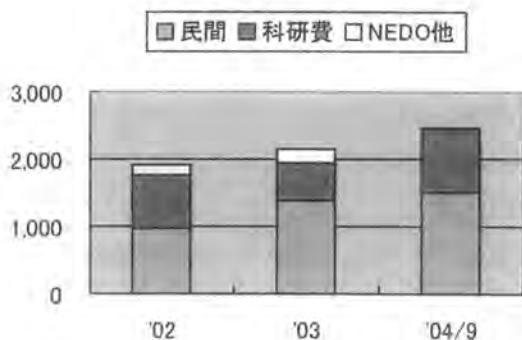


図8 外部資金の導入(全体) [万円]

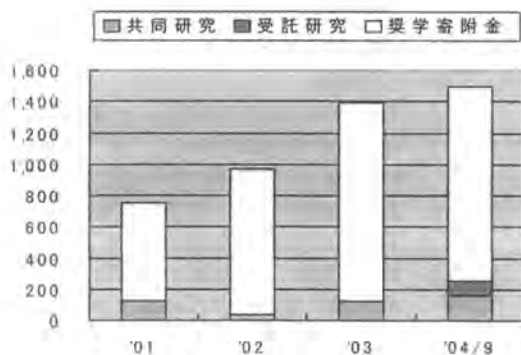


図9 外部資金の導入(民間のみ) [万円]

茨城高専は、全国の国立高専と共に2004年度から独立法人に移行した。そして地域貢献が組織、教員のミッションとして明文化され、さらに外部研究資金導入のガイドラインとして、各高専平均

で年間2,000万円が示された。国からの交付金が減少する中で当然の帰着である。しかし、本校の水準は、全国の高専と比較すると平均以下であり、更なる努力が求められる状態である。

現状の分析は下記の通りである。

- 外部資金導入
 - 右上がりだが、全国水準に達せず
 - 地域(民間)からの導入不足
 - 地域産業に即した共同研究、受託研究活動の不足
- 地域連携活動
 - 地域との対話不足、一方通行の状態
 - コーディネーションの人材不足
 - 産学双方の連携意識の不足、高い敷居感
 - <今後> 研究レベルの更なる向上や見直し、地域連携の仕掛けの推進
 - <今後> 卒業学生の地域就職率の向上(現在3~4%)

5. 新しい産学連携形態の模索とNNSの立ち上げ

1) ねらい

ひたちなか市は調査報告書⁹⁾を受け、2004年度それまでの幾つかの活動を集約、Technology Transfer Center (TTC)を立ち上げた。これは関係機関と連携し情報や技術・ノウハウを集約し市内企業への技術移転や新規事業展開の支援をするため、企業から相談や支援の申し出に一元的に対処する機関で、「(株)ひたちなかテクノセンター(HTC)⁹⁾」内に事務所を開設した。

具体的活動のために産業化活性化コーディネーターを4名、HTCに配置した。いずれも産業界のOBであり、地元産業に足場を置き、大学等または各種専門家からシーズを引き出す人材である。他の大学等に見られるような、シーズ発信型とは全く反対方向の活動パターンが特徴である。またこの4名を多角的に支援するために、地域の「NPO(なかなかワーク)¹⁰⁾」からも応援を得る形態を取っている。コーディネーターのスキルアップのために毎年、グループ討議や県内外からの講師を交えた研修会を開催している。

これらの活動は「なかネットワークシステム (NNS)¹¹⁾」の中で行われている。

2) ひな形と立ち上げ経緯

NNSは2003年春、京都の産学官連携推進会議にて経済産業大臣賞を受賞した「岩手ネットワークシステム(INS)¹²⁾」をひな形にしている。2003年秋にHTC、ひたちなか市商工会議所、茨城高専の主要メンバーがINSを訪問し、全般的な指導を受けた。INSは老若男女、タイトルを問わず、ひたすら人と人との触れ合いを第一とし、有志による産業振興や研究開発に係わる交流の場を提供し、21世紀での科学技術と新産業の開花を目指す目的を持ち、ひたちなか市が長年望んでいたビジョンと、全面的に合致するものである。

図10にNNSのスキームを示す。産・学そして研究機関がビジネスユニットとして長期的に共栄することを目的としている。

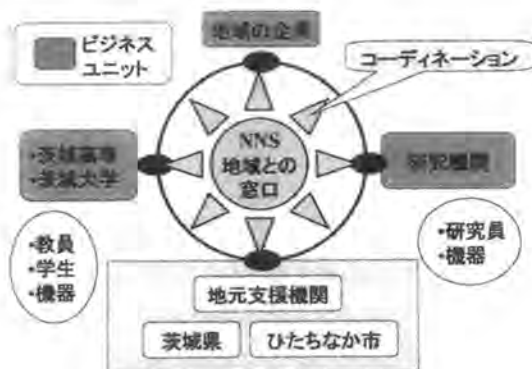


図10 NNSのスキーム

NNSは約半年の準備期間を経て、2004年5月にINSの推進母体である「花巻市起業化支援センター」、ひたちなか市、茨城県、関東経済産業局などの応援を得て発足した。約150名の有志の参加があり、記念講演、交流会を含め大盛況であった。

予算は、行政機関から全面的な支援を受けた結果、入会金や年会費を無料とすることができた。将来は、成功事業からの寄付を期待している。

3) 基本的な考え方

NNSの基本理念と重点方針、及び予定している研究会の内容は次の通りである。

- 基本理念
 - 創業力(開発力)アップ
 - 競争力アップ
 - 協働力アップ
- 重点方針
 - 産学連携
 - 企業間連携
 - 技術・特許調査と相談
 - 市場調査・販路開拓支援
 - 人材マッチング
 - 補助金申請・特許出願支援
 - 開発拠点紹介
- 研究会 <暫定版>
 - IT活用(経営課題解決)
 - 高齢化対策(ヘルスケア)
 - 高精度加工(地域コンソーシアム)
 - マーケティング(市場調査、新事業提案)
 - 地場産業振興(干し芋、水産加工など)
 - 新エネルギー(環境保全)
 - 環境リサイクル(ゼロエミッションなど)
 - 生産性向上(良いものを早く安く)
 - 新製品ドリーム(茨城県発トップワン!)

これらのうち、下線で示す三つの研究会がスタートした。次章の後半にて、その概要を述べる。

6. NNSの活動状況

1) 総括

NPO¹⁰⁾を含む、約5名のコーディネーターにより、12月までの7ヶ月間に、延べ地元企業の500社以上を訪問し、900名以上の面談を行った。最初の2ヶ月間は主に「ご用聞き」の状態であったが、徐々にマッチング活動を並行するように心掛けた。12月末現在の成果を表1に示す。

表1 支援成果(12月末現在)

	相談件数	解決件数
技術支援	24	19
事業支援	32	28
合計	56	47

未解決案件には時期的な問題もあるが、全て継続的に検討中である。このうちの解決件数の内訳を表2に示す。

表2 解決案件の内訳（12月末現在）

	産・学	産・官	産・産	産・コ	他	計
技術	8	3	3	4	1	19
事業	4	3	6	9	6	28
計	12	6	9	13	7	47

地域中小企業の直近の問題を解決するために、産学連携に拘らず、産官、産産、産コーディネーター(産コ)など、いろいろなパターンの取り組みが展開されている。

一方、NNSのWEBサイトは茨城高専の学生ベンチャー同好会のメンバーにより立ち上げた。

「学」は茨城高専を中心に茨城大学も含み、技術・事業相談のほか、学生の就職にも及んでいる。

活動の原点となる問題意識は下記の通りである。

- 企業側
 - 高専・大学へのPR不足
 - インターンシップ制度導入の遅れ
 - 相談するところが無い
- 高専・大学側
 - 地元企業の実態情報不足(教員・学生)
 - 外部情報に依存
 - 自らが地元に出ない文化
- 支援機関・行政側
 - 各機関の間の事業重複によるムダの発生
 - 専門人材の不足
 - 企業ニーズ把握のノウハウ不足

この活動を通して、個別案件の解決を得るのは勿論であるが、このような文化のギャップを埋めることは、長期的な地域活性化の点で極めて重要である。

NNSの全体運営会議は毎月1回のペースで進めており、セミナー・研修会・展示会などの各種イベント企画審議や予算管理、また各研究会の経過報告を行っている。

2) 研究会の概要

以下、立ち上げが完了した三つの研究会の概要を示す。いずれの研究会も2004年度中に、一定の成果をあげるアクション計画の下に進行中である。

その1 <IT活用研究会>

二つの狙いを持つ。その一つはIT活用による経営力の向上で、後述する生産性向上研究会と関連が深い。具体的には各企業に特化した生産管理システムの導入や高効率管理運営手法などである。他の一つは新たなIT産業の育成で、最新情報の交換を通してビジネスモデルを提案し実証して行く。

大学等の持つソフトウェア技術にも、期待が寄せられている。

農林水産工業などの異業種のメンバーが揃っていることが特徴である。またIP電話導入やホームページなどの共通問題や、各業界に特化した情報インフラ整備の議論も活発である。

10月末現在、約20名のメンバーで運営、当面2社をモデルにして各社に最適なIT技術による生産管理システムの見直しを行っている。

その2 <生産性向上研究会>

経験と勘による生産管理手法に科学的なメスを入れ、モノづくり技術の革新的改善を目指している。具体的には生産システム改善、生産コスト低減、生産工程ムダ取りの指導を行っている。

実践指導員による実態の把握、各種測定に基づき企業毎の最終目標を定め、ステップバイステップの改善を行っている。PDCA(Plan, Do, Check, Action)の手法の「実践」が重要であることは言うまでもない。

10月末現在、約35名のメンバーで運用、当面5社をモデルに進行中である。金属加工・組立業の他、食品加工、水産加工、印刷などの業種が集い、異種産業間の交流が活発である。

その3 <高精度加工研究会>

家具、福祉製品、レジャー製品、家庭電化品、自動車、情報機器など実用金属として最も軽量で地球環境に優しいリサイクル性をもつマグネシウム合金に注目して、その加工技術(成形・鋳造・機械・フォーミング・塑性)、接合技術、表面処理技術、そして安全管理の面から総合的な検討を行っている。

得意技術を持つ数社が結集し、お互いに欠けている技術を補完しながら、地域密着型の新しい連携体をつくり、最終的には高付加価値の市場、製品、サービスをひたちなか地区から創出し全国展開を図ることを目的としている。

10月末現在、約35名のメンバーで運用、当面4企業の協力を得て先行試作を行いつつ、精力的な検討会を重ねている。

7. まとめと今後の課題

ひたちなか市及びその周辺地域の産業は、大手電機企業と、原子力関連産業に支えられて発展を遂げてきた。大手企業の分社化などの構造改革が進み、一方技術シーズを多く抱える茨城高専、茨城大学は2004年度から、原子力研究機関も2005年度からそれぞれ法人化組織と変貌しつつある。

このような中で、中小製造業は”How to make?”から”What to make?”の経営体質へと大きな舵取りを迫られている。また伝統産業としての農業(サツマイモなど)、水産業、林業においては経験・勘による経営体質に科学的なメスを入れないと生き残れない状況になっている。

行政は単なる「一過性の仕掛けづくり」に終始してはならない。市町村を一つの「営利企業」と見立て、長期展望をビジネスモデルとして、その実現に向けた具体的な施策と、費用対成果を意識した予算確保とその弾力的運用をしていかなければならない。

大学等では、個々の教職員が、今までの殻を破って街に出て、「何が出来るか?」「何をしなければならぬか?」を真剣に考えなければならない。卒業生をもっと地元産業に送り出し、産業界からさらに信頼される教育機関へと脱皮することも大切である。これらは大学等組織の経営に関わる問題であって、地域貢献のボランティアでなく、自らの生き残りのために不可欠である。

以上、産学官それぞれに課題を山積している。これらを出来るだけ共有化し、効率の高い運用をし、新しい産業を創出する……これが期待されるNNSの姿である。

8. おわりに

比較的安定した生活を営むひたちなか地区に、産業活性化の「のろし」をあげることは、ある種の冒険を伴う。行政機関の後ろ盾を得て、発足したNNSは一歳未満にも関わらず、約150名の「個人」によって活性化が加速されている。当初の予想を上回る状態で、いささか驚きであるが、これも危機感を持つ個人が自由闊達に考えを、ぶつけることが出来る「場」が出来つつある証拠だと思う。中小企業の経営トップに集中する管理や技術リスクを、このような「小さな英知の場」で出来るだけ発散し、解決策を探るのが早道である。

大学等も、その組織を企業に例えれば殆ど同じ立場である。産学官公民、全て同じ目線で酒を酌み交わし議論を深めることが肝要である。

<謝辞>

本論文の執筆に当たり、HTCの森茂氏、商工会議所の小泉力夫氏・鴨志田聡氏、コーディネーターの満仲俊夫氏・城戸隆行氏・酒本輝夫氏・志塚政之氏・市毛修氏から多くのデータと、生の情報の提供を受けた。

ここに心から謝辞を表したい。

<参考文献>

- 1) NNS <http://www.n-ns.net/>
- 2) ひたちなか市の経済動態 No.39, 2004/6
- 3) ひたちなか市産業活性化調査報告書 2004/3
- 4) 商工会議所 <http://www.hcci.jp/>
- 5) 金子「茨城高専における産学連携の取り組みと問題提起」第1回全国高専テクノフォーラム 2003/8
- 6) 金子「地域コーディネーターを活用した産学連携の形態」第2回全国高専テクノフォーラム 2004/7
- 7) 茨城高専 <http://www.ibaraki-ct.ac.jp/>
- 8) 茨城大学 <http://www.ibaraki.ac.jp/>
- 9) HTC <http://www.htc.co.jp/>
- 10) NPO なかなかワーク
<http://www.xyj.co.jp/hitachinaka/nakanaka/>
- 11) INS <http://www.ins.ccrd.iwate-u.ac.jp/>

<付録>

NNS の立ち上げ、活動に関する図や写真の幾つかを、次に示す。



<NNS 会員の周辺>

- ひたちなか圏域の技術革新・経営革新・研究開発に関わる「産学官公民」の交流の場です
- 人と人、技術と技術、知恵と知恵をつなぐネットワークです



<NNS 設立総会 市長挨拶>



<NNS 設立総会 交流会～仲間と飲んで騒ぐ会～>



<研究会風景・議論沸騰！>

音呈示における脳波のラプラシアン解析を用いたK.L.展開法の効果

住谷 正夫 Bin He

Effects of K.L. Expansion Analysis using Laplacian EEG under Auditory Stimuli.

Masao SUMIYA, Bin HE

Abstract: We have studied the feasibility of extracting useful characteristics regarding brain status from scalp EEG, by applying the KL expansion and Laplacian analysis methods. Scalp EEG were recorded from 13 healthy young human subjects using 19 electrodes and alpha waves (8-13 Hz) were studied. The KL expansion procedure was applied to both potential EEG data and the Laplacian EEGs. Comparison between results obtained from potential EEG and Laplacian EEG indicates that enhanced sensitivity and spatial resolution can be achieved by using Laplacian analysis.

1. まえがき

K.L.展開法は、多チャンネル間の相互相関係数を用いてデータ全体の特徴抽出を行うことが出来ることから様々な分野で活用されてきている。生体情報の解析においても、この解析法の応用例が報告されている。この解析法は、全データ間の相互相関係数を用いて解析するため、白色雑音の混入による影響に強い解析手法と考えられる。しかし、生体情報解析においては、K.L.展開法で得られた固有ベクトルの意味付けが明確になっていないなどの問題点があり、更に、近年の生体研究がより細部に渡る機能研究に注目が集まっていることから、生体情報を基にした研究成果報告があまり多く見られない^{[1]~[4]}。一方、ラプラシアン解析も多チャンネル間の相関関係を基にした解析法として知られている。この解析法は、データ解析の空間分解能が向上するという優れた特徴を持っている。近年の細部の生体情報解析にこの手法がマッチしていることから、脳の活動や心臓の活動において、多くの研究成果の報告がある^{[5]~[13]}。

そこで、これら手法を組み合わせることによって、K.L.展開法で算出される固有ベクトルの空間分解能がラプラシアン解析の使用により向上すれば、より明確な特徴抽出が可能になるとともに、固有ベクトルが何を意味するかもより明確になってくるものと考えられる。これによって、K.L.展開法の空間分解能が向上すれば、今後、生体情報の解析はもとより、一般の多チャンネル間の特徴抽出に有効な手法として用いることが利用可能になるのではないかと考え提案した。

本解析方法の有効性を見出すために、各種音呈示状態における生体情報(脳波)を多チャンネルで測定し、一般的なK.L.展開法による解析と比較することによって、本解析の有効性を明らかにしている。同時に、本解析によって快、不快状態の音呈示状態における生体情報の変化の抽出を行い、客観的かつ定量的な検出方法についても検討を行った。

人のストレスを解消し和らげる目的で様々な機器が開発されつつあり一部は商品化されている。これらの機器の機

能判定には一般に被験者の申告データを基にした解析方法が行われている。近年、脳波、心拍、血圧などの生理的な変化に基づいた客観的な解析評価方法も試みられている。例えば、心地がよい状態では α 波の振幅ゆらぎや周波数ゆらぎのスペクトルが低周波領域で(1Hz以下)において変化し^{[14][15]}、音刺激時には α 波の周波数や電源位置が変化するなどの報告もなされている^{[16][17]}。しかし、人間のストレス感や快適感は複雑で個人差も著しいため、その客観的・定量的評価の方法は必ずしも明らかになっていない。これまで、音楽聴取や雑音に伴う脳波の変化を検討した研究は比較的多く報告され^{[18]~[22]}、不快音として白色雑音を使用したものが多くみられる。一般に、白色雑音は、聴き始めは不快を感じるがすぐに慣れを生じ無視出来るようになってしまうため、持続的な不快感の環境作成には不向きなところがある。そこで、我々は、白色雑音を白色雑音で振幅変調することによって持続的な音刺激の不快環境を作成した^{[21][23]}。

この持続的な不快音環境と音楽呈示環境や安静状態のやや快適な環境との差を、本解析法を用いて生体情報(脳波)の変化として捉えることを検討し、固有ベクトル方向の変化や固有値の差として見い出せるか検討した。

2. 理論

2.1 K.L.展開法

K.L. (Karhunen-Loeve)展開法は、時空間パターンモード分解法として広く使用されており、データに基づく直交系の導入法、あるいは主成分分析法として知られている^{[1][24]}。

n次元のデータを

$$y = [y_1, y_2, \dots, y_n], \quad y_j = [y_{ij}, j=1, 2, \dots, m] \quad (1)$$

とする。ここで、mは1要素のデータ数とし、 y_i は平均値が差し引かれたデータとする。

データに基づく直交n次元ベクトルの系列を

$$\xi^{(1)}, \xi^{(2)}, \xi^{(3)}, \dots, \xi^{(n)}$$

$$\xi^{(1)} = (\xi_i^{(1)}, i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

とする。ここで ξ は各ベクトルの長さが1になるように、 k 番目のベクトル $\xi^{(k)}$ は、次式で規格化されているものとし、

$$\sum_{i=1}^n \xi_i^{(k)}{}^2 = 1 \quad (3)$$

また、ベクトルの直交性は内積により

$$\sum_{i=1}^n \xi_i^{(1)} \xi_i^{(k)} = \delta_{1k} \quad (4)$$

で表現される。条件式 (3) のもとでの内積の2乗

$$\left(\sum_{i=1}^n y_i \xi_i^{(1)} \right)^2 \quad (5)$$

を最大にするベクトルは、相互相関係数 R を

$$R = \mathbf{R}j \equiv \overline{y\xi} \quad (6)$$

とするとき、固有方程式

$$\mathbf{R}\xi^{(1)} = \lambda^{(1)}\xi^{(1)} \quad (7)$$

を満たすことが示される。ここで $\lambda^{(1)}$ は $\xi^{(1)}$ 方向の固有値である。次に $\xi^{(1)}$ 方向成分を除いたデータから、 $\xi^{(2)}$ 方向の成分の2乗、

$$\left(\sum_{i=1}^n (y_i - C\xi_i^{(1)}) \xi_i^{(2)} \right)^2 = \left(\sum_{i=1}^n y_i \xi_i^{(2)} \right)^2 \quad (8)$$

$$C = (y\xi^{(1)}) \quad (\because \text{直交性による})$$

を最大にするベクトル $\xi^{(2)}$ は、同様に固有方程式

$$\mathbf{R}\xi^{(2)} = \lambda^{(2)}\xi^{(2)} \quad (9)$$

を満たす。以下同様にして $\xi^{(n)}$ まで繰り返す。まとめると相関行列 \mathbf{R} を用いた固有方程式

$$\mathbf{R}\xi^{(i)} = \lambda^{(i)}\xi^{(i)} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

より、直交ベクトル系列 $\xi^{(1)}, \xi^{(2)}, \xi^{(3)}, \dots, \xi^{(n)}$ が求まることになる。

2. 2 ラプラシアン解析

頭皮上の電位 V はラプラシアン公式に従い^{[25][26]}

$$\nabla^2 V = 0 \quad (11)$$

頭皮上の部分的な各場所で Z 軸が接面に対して垂直方向であると仮定すると、ラプラシアンEEG (L_s) は頭皮表面電位 V の表面ラプラシンの負の値として次式で決定される^[9]。

$$L_s = -\nabla_s^2 V \equiv -\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (12)$$

これは、等価的な電流源を用いて次のように書ける。

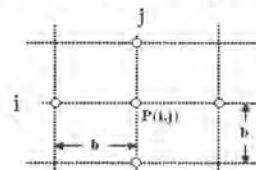
$$L_s = -\nabla_s^2 V \equiv -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} \right) = -\frac{1}{\sigma} \frac{\partial J_z}{\partial z} = -\frac{j_{z0}}{\sigma} \quad (13)$$

ここで、等価電流源 j_{z0} は3次元電流源 J の2次元への等価投影電流源であると考えられる。

今、図1における点 $p(i, j)$ のラプラシアンEEG $L(i, j)$ は、式(12)を差分化して、点 p の電位と周りの4点の電位を

用いて近似的に次式で表すことが出来る^[5]。

$$L(i, j) \equiv \frac{4}{b^2} V(i, j) - \frac{1}{4} [V(i-1, j) + V(i+1, j) + V(i, j-1) + V(i, j+1)] \quad (14)$$



ここで、 b は電極間距離である。

図1. 2次元の電位配置概念図

3. 実験方法

3. 1 被験者

被験者は心身ともに正常な20歳から36歳の健常者13名(男子11名、女子2名)である。

3. 2 呈示音

カセットテープにあらかじめクラシック音楽と雑音を録音しておき、再生して呈示音として用いた。この2つの異なる音呈示を用いた理由は、快適な環境音呈示(クラシック音楽)と不快な環境音呈示(雑音)として用いた。これによって大きく異なる音呈示環境下での生態情報を検出することが可能となり、より大きな生態情報の差として見い出せる可能性があると考えた。

ここで用いたクラシック音楽はピバルディの四季である。快適な環境音として用いた音楽が相応しかったかどうかは、実験終了後に被験者に申告してもらい、快適感より不快を感じた被験者については本実験の対象データから除いた。

呈示雑音は、測定時間内で常に不快感をもたらす音呈示である必要がある。深夜の放送終了後のテレビから流れる音は白色雑音として良く知られており、多くの音呈示実験で使用されている。しかしこの音は、雑音と言ってもそれほど人に不快感をもたらさない。この白色雑音は一定の音圧であるため、直ぐに慣れを生じ気にならなくなる。そのため、この音を聞いたまま寝てしまったなどの経験をした人は多いと思う。この慣れを防ぎより不快感をもたらす音が本実験では必要であった。白色雑音が一定の音圧であることに注目し、音圧に変化を加えることによってより不快感が得られるものと考えられた。不快感は予期しない変化によってもたらされることが多いため、本実験で音圧をランダムに振幅変調させた白色雑音を作成し用いた。しかし、感覚の個人差は大きくこの白色雑音を音楽より好む被験者は、本研究の対象から除いた。

音のレベルは被験者によって調整した。これは、音楽の音圧レベルが被験者それぞれ聞き易い音圧レベルや、不快な雑音レベルが個人間で大きかったため、その都度被験者に合わせて音圧レベルを調整し音呈示を行った。

3. 3 脳波測定

シールドルーム内に乾電池駆動式カセットテープレコーダを置き、音楽及び雑音を再生して音呈示を行った。被験者の脳波は、生体信号増幅器(日本電気三栄製: 6R12)

で増幅し、A-D変換器（12ビット）によりオンラインにてパソコンに取り込んだ。脳波測定電極は、国際10-20法に準じた頭皮上19箇所（ F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 , O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , C_z , F_z , P_z ）に皿電極を配置して測定し、基準電極としては右耳たぶを用い、接地電極は前頭部中央とした。記録皿電極は塩化銀電極を用い、各電極の接触抵抗は10K Ω 以下とした。

脳波測定は、最初に安静閉眼状態を5分間測定記録し、その後音楽呈示中と雑音呈示中に各5分間測定記録を行った。また、各測定記録後、その測定条件の影響を次の呈示条件に及ぼさないようにするため、5分間以上の休憩をとった。

被験者が安楽いすに腰掛け閉眼状態で脳波測定を行った。本実験は音呈示実験であるため閉眼状態で測定が可能であり、これによって眼球運動による脳波への影響を最小限に抑えることができる。脳波測定のための生体信号増幅器の通過帯域フィルターを0.5Hz~30Hzとし、サンプリング周波数200Hzで19チャンネルを同時サンプリングしてA-D変換を行った。

また、実験終了後、各被験者に呈示された音についての感想の報告を求めた。これによって音楽による快、雑音による不快感が得られた被験者のみを本解析対象被験者（13名）とした。

4. 解析方法

本研究では、ラプラシアン解析を用いたK.L.展開法の有効性を検討するため、測定脳電位データをK.L.展開法によって解析し、それぞれの解析方法を比較した。この2つの解析方法を比較するために、音呈示状態における変化の解析を用いて、それぞれの解析の有効性を各固有ベクトルの変化を解析して検討した。

4.1 固有ベクトルの算出

各音呈示状態で測定記録された脳波データから、FFTを用いたデジタルフィルターによって、 α 波帯域（8~13Hz）の脳波を抽出して時系列データを作成した。デジタルフィルターはFFTと逆FFTを使用したもので、8192個のデータで処理を行うため、測定データ60000点/チャンネルを各チャンネルとも7ブロックに分割して処理し、57344点/チャンネルの時系列データ（約4分46秒）に変換している。次に、式（14）を用いて各時点の各チャンネルの脳電位データからラプラシアンデータを求め、全解析時間のラプラシアンデータの作成した。K.L.展開法では、19チャンネルの時系列データを基に、自己相関係数及び相互相関係数を求め19 \times 19の対角行列作成し、その行列に対応した固有ベクトル及び固有値の算出を行った。この固有ベクトルの算出は、固有値あるいは一つ前の固有値との差が 10^{-50} より小さくなった時点で未収束とし、固有ベクトル及び固有値を、その前の収束したベクトル解析までとした。

脳電位データを用いたK.L.展開法では、 α 波帯域の脳波

に変換した後でK.L.展開法によって固有ベクトルの算出を行った。

4.2 固有ベクトルを用いた比較解析

4.2.1 固有値の寄与率の算出と解析

K.L.展開法による解析で、 n 個の固有ベクトルと固有値が求まる。得られた固有値を λ_i とし、各固有値の大きさを、 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_n$ とすると、各固有値の全体に対する寄与率 C_i は

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (15)$$

として求まる。この各固有値の寄与率が、解析方法及び音呈示状態によってどの様に变化するかを調べた。

4.2.2 各固有ベクトルの方向解析

各固有ベクトルの固有値の大きさに情報が含まれているように、ベクトルの方向にも重要な情報が含まれている。そのためには、各固有ベクトルが、解析処理方法及び各呈示状態によってベクトルの方向がどの様に变化するかを調べる必要がある。しかし、 n 軸のベクトルを平面に表現することは困難である。そこで、固有ベクトルの方向によって頭皮上に電位が生じたものと仮定した表現を用いることにした。ここで、固有ベクトルの各要素が各測定チャンネルに対応していることから、各要素を対応測定チャンネルに投影し、各測定チャンネルの振幅の大きさは固有ベクトルの要素の数値を用いるものとした。これによって、各ベクトルの方向を1つのパターンとして表すことができる。また、要素の中の大きな数値はその要素軸方向への振幅が大きいことを表していることから、頭皮上に表現されたベクトルにおいて、振幅の大きい部位がそのベクトルの主要な方向を示していることになる。

この固有ベクトルの頭皮上でのパターンの変化を、各解析方法及び各呈示状態で調べた。また、固有ベクトルの音呈示状態による方向の変化を数値的に調べるため、ベクトル間の相関係数を求めて変化を調べた。各固有ベクトルの大きさは1に規格化してあり、ベクトル $A \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $B \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ の相関係数 CC は次式で求めることが出来る。

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}} \quad CC \leq 1 \quad (16)$$

ここで、この相関係数 CC を類似度として用い、1に近いほど2つのベクトルが類似していることを意味する。

4.2.3 固有値を用いた音呈示状態の変化の解析

K.L.展開法によって得られる第1固有ベクトルの方向が音刺激に無関係にほぼ一定であることを用いて^[2]、第1固有ベクトルの固有値の大きさの変化を用いて各呈示状態による変化を見出すことを試みた。固有値の大きさは、各被験者による個人差が大きいので、そのままの固有値を用いる

と大きな固有値を示した被験者の変化が、小さな固有値を示した被験者の変化の解析に大きな影響を与える。そこで、本研究では、各個人の音呈示状態による変化に注目していることから、安静状態の各個人の第1固有ベクトルの固有値を基準として、各音呈示状態の第1固有ベクトルの固有値の比を求め、状態による変化を解析した。

5. 解析結果

5.1 固有値の寄与率の変化

K.L.展開法によって、脳電位データ解析では、19個の固有ベクトル及び固有値が得られ、ラプラシアン解析では、18個の固有ベクトル及び固有値が得られた。これは、ラプラシアン解析でのデータは脳電位データに比べ小さな振幅値であるためと考えられる。また、19番目の固有値は非常に小さな値となるため、本解析には影響はないと考えられる。

各状態における固有値の寄与率の変化を調べた結果、各解析方法による結果は状態に無関係に殆ど同じ傾向を示した。音楽呈示状態で各解析処理における、13名の各固有値の寄与率の平均値を示したものが図2である。また、雑音呈示状態における解析結果の殆ど同じになった。この図は横軸に固有ベクトル番号を縦軸に固有値の寄与率を示した。

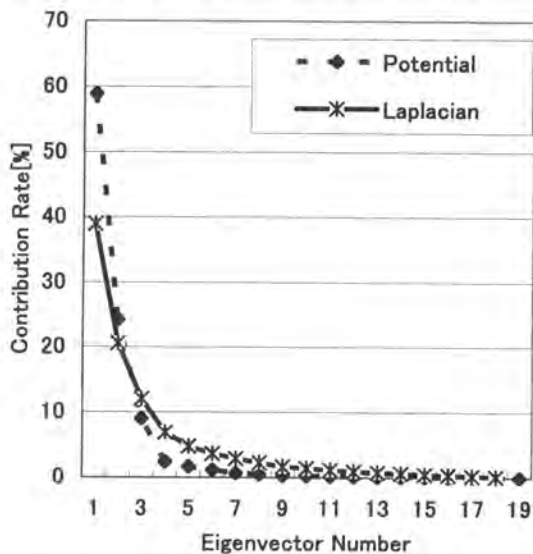


図2. 音楽呈示における各固有値の平均寄与率

脳電位解析での寄与率の変化は、音楽及び雑音とも第1固有ベクトルの固有値が約60%、第2固有ベクトルの固有値が約24%、第3ベクトルの固有値が約9%で全体の93%を占めている。第4ベクトルの固有値の寄与率は約2.4%と極端に小さくなり、それ以降のベクトルは更に小さな寄与率を示している。

一方、ラプラシアン解析では、音楽及び雑音呈示状態にほぼ同じ変化を示し、第1固有ベクトルの固有値の寄与率が約40%で、第2固有ベクトルの固有値が約20%、第3ベ

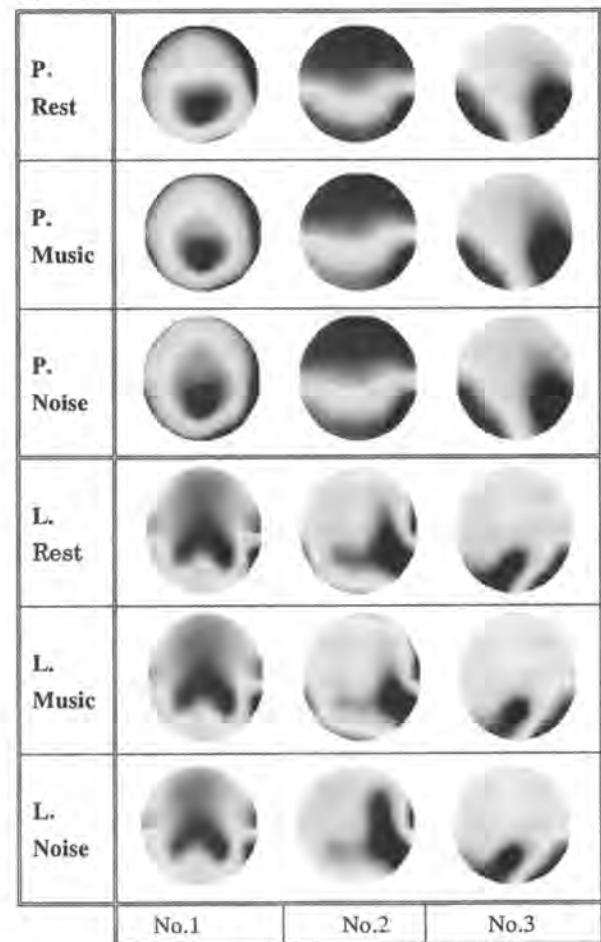
クトルの固有値が約12%で全体の72%にとどまっている。第4ベクトルの固有値の寄与率は約7%、第5ベクトルの固有値の寄与率は約5%と少しずつ減少しており、第1から第8ベクトルまでの寄与率の合計で約93%になる。

この結果から、脳電位データの解析の場合は第3ベクトルまでに脳波の主たる活動の情報が含まれていると考えられる。

ラプラシアン解析においても、第1から第3までのベクトルの寄与率が大きいことから、脳電位解析と同じように、多くの情報がこれらのベクトルに含まれていると考えられる。しかし、第4ベクトル以上においても、まだ、脳電位の場合に比べ大きな寄与率を示していることから、何らかの重要な情報が含まれている可能性が高いと考えられる。

5.2 各固有ベクトルの方向表示と比較

5.1の寄与率の解析結果において、脳電位の解析では第3固有ベクトルまでが大きな寄与率を示した第3固有ベクトルまでのベクトル方向を頭皮上にマッピングして比較を行った。



Min Max

図3. 被験者Aの各固有ベクトル図 (P:脳電位, L:ラプラシアン)

解析結果の例として、図3に被験者Aの各解析処理及び各状態における各固有ベクトル方向をマッピングしたものを示す。これらの脳電位およびラプラシアン解析結果において、安静状態、音楽呈示状態及び雑音呈示状態に無関係に第1固有ベクトルから第3固有ベクトルまで非常に酷似したパターンとなった。この結果は他の被験者においても全く同じで解析結果であった。

また、脳電位とラプラシアン解析を比較すると、脳電位解析において抽出された第1固有ベクトル方向が大まかであったのに対し、ラプラシアン解析では2つの活動部位に分離した形で第1固有ベクトル方向が求まっている。このことから、ラプラシアン解析を加えることによって、K.L.展開法の特徴抽出の空間分解能が向上したものと考えられる。

次に、固有ベクトルの音呈示状態による方向の変化を、式(16)によるベクトル間の相関係数CCによって各状態間の類似度を求め、各状態間毎及び各固有ベクトル毎の平均相関係数を表したものが図4である。横軸に固有ベクトル番号、縦軸に類似度を示している。この図は、他の被験者

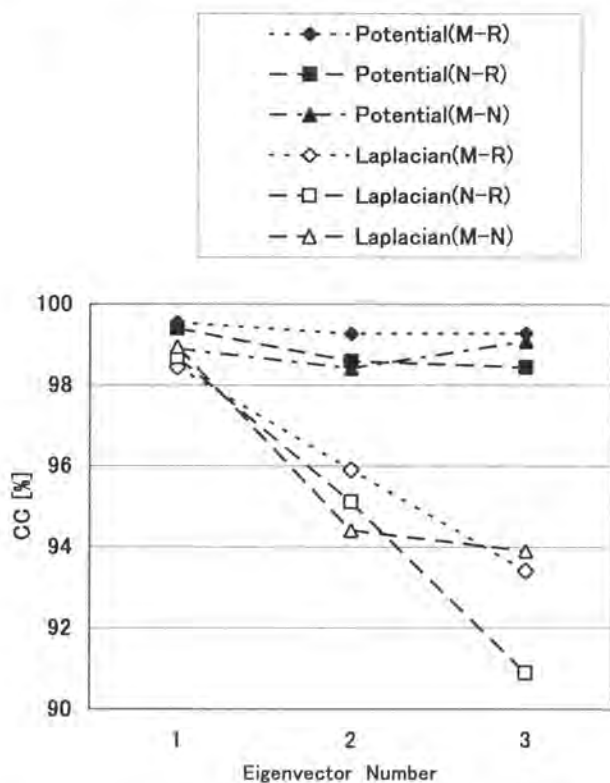


図4 各状態間における固有ベクトル方向の相関係数 (M-R:音楽と安静間の固有ベクトル方向の平均相関係数; N-R:雑音と安静; M-N:音楽と雑音), R:安静, M:音楽, N:雑音

の変化に比べ10倍以上に大きな変化を示した一人の被験者を除いた、12名の被験者のデータを元に作成したものである。

脳電位の類似度の解析結果は、第1固有ベクトルから第3

固有ベクトルまで各状態間でほとんど100%に近い値を示している。これに対し、ラプラシアン解析の類似度は各状態間で第1固有ベクトルは、脳電位同様100%に近い値を示したが、第2固有ベクトル、第3固有ベクトルへと類似度の減少が見られた。

次に、この第2、第3固有ベクトルの類似度の変化を1から類似度を引いた変化度で表し、各状態間の変化度を各解析処理毎、及び固有ベクトル毎に分け、各状態間(音楽-安静、雑音-安静、音楽-雑音)における変化度の平均値(12人)と標準偏差値を表したものが図5である。この結果、第2及び第3固有ベクトル方向の変化において、脳電位解析に比べラプラシアン解析で大きな変化になっている。

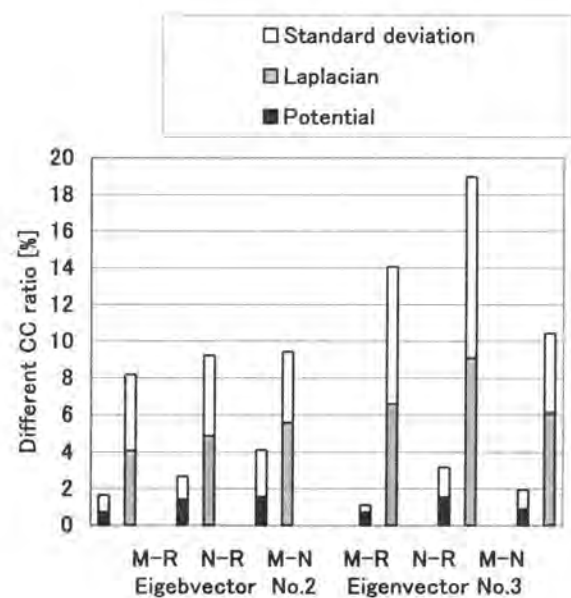


図5 固有ベクトル方向の状態変化に伴う変化度 (第2固有ベクトルと第3固有ベクトル)

同じ状態間の各解析処理における第2固有ベクトル方向の変化の差を、t検定を用いて検定すると、音楽-安静 ($t=3.20, df=10, p<0.01$), 音楽-雑音 ($t=4.92, df=10, p<0.01$), 雑音-安静 ($t=3.24, df=10, p<0.01$) のすべてにおいて、ラプラシアン解析においてベクトル方向が有意に変化したことがわかった。同様に、第3ベクトルにおいても、音楽-安静 ($t=2.68, df=10, p<0.05$), 音楽-雑音 ($t=4.68, df=10, p<0.01$), 雑音-安静 ($t=2.82, df=10, p<0.02$) のすべてにおいて固有ベクトル方向が有意に変化したことがわかった。これは、ラプラシアン解析によって相関のある成分が除去されて空間分解能が向上し、それぞれの固有ベクトルがより明確な方向を示すようになったため、相関成分によって隠れていた微細な変化が現れるようになり、類似度が減少したものと考えられる。言い換えれば、これらの変化は、状態の変化

がもたらしたものと考えられる。しかし、第2固有ベクトル以降のベクトル方向がそれぞれ何を意味しているかが明確になっていないなどの問題があり、これらの変化の意味するところは、今後更に研究する必要があると考えられる。

5. 3 第1固有ベクトルの固有値の比較

5. 2の結果より、ラブラシアン解析においても、第1固有ベクトルの方向は各状態及び各解析処理に関わらず非常に安定していることから、同一方向ベクトルと考えられ、その固有値の変化を論ずることができると考えられる。

そこで、安静状態の各処理結果の第1固有ベクトルの固有値を基準値とし、その基準値に対する各音呈示状態の比較値を求め13人の平均値及び標準偏差値を示したものが図6(脳電位解析)、図7(ラブラシアン解析)である。これらの図より、各解析処理とも安静状態に比べ音楽呈示状態で少し大きくなっており、雑音呈示状態が最も大きな値を示した。図6の脳電位解析における各状態間の差をt検定を用いて検定すると、雑音呈示状態>安静状態($t=2.58, df=12, p<0.05$)、雑音呈示状態>音楽呈示状態($t=2.34, df=11, P<0.05$)の関係が有意な差が認められた。安静状態と音楽呈示状態間では有意な差は見られなかった。

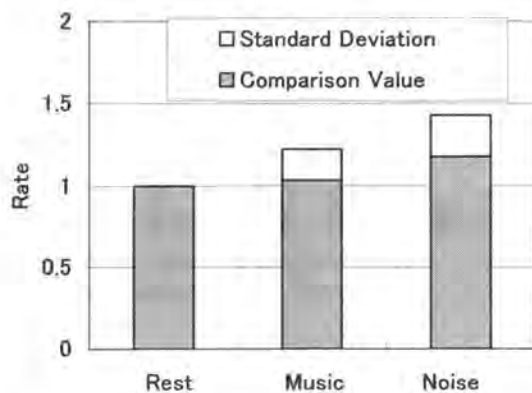


図6 固有ベクトル方向の状態変化に伴う変化度(第2固有ベクトルと第3固有ベクトル)

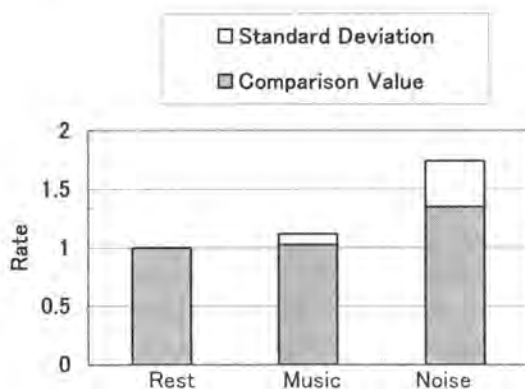


図7 安静状態基準にした各音呈示状態の平均比較値(脳電位解析)

図7のラブラシアン解析の各状態間の差をt検定を用いて検定すると、雑音呈示状態>安静状態($t=2.49, df=12, p<0.05$)、雑音呈示状態>音楽呈示状態($t=2.23, df=11, P<0.05$)の関係が有意な差が認められた。安静状態と音楽呈示状態間では有意な差は見られなかった。

以上の両解析結果より、不快な雑音呈示状態において安静状態や快適な音楽呈示状態に比べ、第1固有ベクトルの固有値が増大する結果を得た。この結果は、不快な絵を見せたときに、不快を感じない絵を見せたときに比べ α 波が増大するという報告^[27]に一致する結果となった。今回使用した雑音が被験者に対し常時雑音に注意を喚起する作用を施し、その結果として α 波の増大を生じたものと考えられる。音楽に関しては、明確な α 波の増減は認められなかった。これは、音楽呈示中においては音楽を聴いていても、その音楽の流れを感じとっており、音楽によって注意を喚起されることが少ないためリラックスし、呈示後に α 波が増大するものと考えられる。

脳電位とラブラシアン解析の解析結果を比較すると、呈示状態に対する解析結果は同様の結果を得られることが分かった。今回の第1固有ベクトルの固有値の解析結果では、脳電位に比べラブラシアン解析結果の方がやや大きな変化として得られたが、有意な差としては認められなかった。

ラブラシアン解析によって第1固有ベクトル方向の空間分解能が向上するとともに、その固有値の音呈示状態の変化に伴う情報が保持されていることが分かった。

6. むすび

本研究では自発脳波の α 波帯域脳波を、ラブラシアン解析したデータをK.L.展開法で解析することによって以下の点に効果が認められた。第1に、固有ベクトルの方向の空間分解能が向上し、脳電位解析では1つの電源になっていたものを2つに分離出来ることが分かった。第2に、第2及び第3固有ベクトルの方向が各音呈示状態間で変化することを見出し、その変化が脳電位解析より、有意に大きな変化となっていることを見出した。

また、不快な雑音呈示状態と快適と考えられる安静状態や音楽呈示状態とを比較した結果、不快な雑音呈示状態において、雑音よりは快適と考えられる安静状態や音楽呈示状態に比べ、第1固有ベクトルの固有値が有意に増大することを見いだした。これは、両解析法において同じ結果が得られ、ラブラシアン解析においてベクトルの方向の空間分解能の向上とともに、固有値の変化の情報も保持されていることを示した。

以上結果より、ラブラシアン解析をK.L.展開法に应用することによって、脳電位解析では得られなかった高空間分解能の特徴抽出の可能性を示唆した。

今後、脳波解析において各固有ベクトルの方向の意味するところが明確にされることによって、この解析処理方法がより有効に利用出来るものと期待出来る。また、 α 波帯

域以外の各種帯域での解析, 事象関連電位及び誘発電位などの解析に本解析方法を用いることによって, 本解析の有効性を検証することが出来るものと考えられる。

謝辞

本研究のマッピングプログラムの援助をしてくれたJie Lian君, 各種プログラムの作成の援助をしてくれたGuanglin Li君, 及びイリノイ大学, Bin He研究室のスタッフ一同に深く感謝いたします。また, 印刷の援助をしてくれた茨城高専長谷川勇治助教授, 日頃より御指導いただきました茨城大学安久正紘教授, 尾崎久記教授に深く感謝いたします。本研究はNSF BES-9875344の支援を受けました。

文献

1. R.Friedrich, A. Fuchs, and H.Haken, "Spatio-Temporal EEG Patterns," Springer Series in Synergetics, vol.55, pp.315-338, 1991
2. 住谷正夫, 安久正紘, "K.L.展開を用いた聴覚ストレス時の α 波パターンの特徴抽出," 信学論(D-II), vol. J80-D-II, no.9, pp.2556-2564, July 1997
3. ZJ. Koş, and AC. Soong, "EEG source localization: implementing the spatio-temporal decomposition approach," *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, vol.107, (5), pp.343-352, Nov 1998
4. HR. Kim, SY. kim, DJ. Kim, YY. Kim, SK. Park, JH. Chae, KS. Kim, KH. Lee, and SH. Lee, "Spatio-temporal pattern of EEG in young brain respiration-training children," *Am J Chin* vol.29(1), pp.23-35, 2001
5. B. Hjorth, "An on line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivation," *Electroenceph clin Neurophysiol*, vol.39, pp.526-530, Nov 1975
6. F. Perrin, O. Bertrand, and J. Perier, "Scalp current density mapping: value and estimation from potential data," *IEEE Trans Biomed Eng* vol.34, pp.283-288, Apr 1987
7. B. He, and JR. Cohen, "Body surface Laplacian mapping," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol.39, pp.1179-1191, Nov. 1992
8. J. Le, V. Menon, and A. Gevins, "Local estimate of surface Laplacian derivation on a realistically shaped scalp surface and its performance on noisy data," *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, vol.92, pp.433-441, Sept. 1994
9. P. Nunez, RB. Silibertein, PJ. Cdush, RS. Wijesinghe, AF. Westdrop, and R. Srinivasan, "A thoretical and experimental study of high resolution EEG based on surface Laplacian and cortical imaging," *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, vol.90, pp.40-57, Jan. 1994
10. F. Babiloni, F. Carducci, C. Babiloni, and A. Urbano, "Improved realistic Laplacian estimate of highly-sampled EEG potentials by regularization techniques," *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, vol.106, pp.336-343, Apr. 1998
11. B. He and D. Wu, "Laplacian Electrocardiography," *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 27, (3-5), 285-338, 1999.
12. B. He, "Brain electrical source imaging: scalp Laplacian mapping and cortical imaging," *Crit Rev Biomed Eng*, vol.27, (3-5), pp.149-188, 1999
13. B. He, J. Lian, and G. Li. "High-resolution EEG: a new realistic geometry spline Laplacian estimation technique," *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, vol.112, pp.845-852, May 2001
14. 住谷正夫, 安久正紘, "ヒューマンインターフェースに有効なゆらぎ(3), 定量的測定," 昭64信学総全大, D-383, 1989.
15. 吉田倫幸, "においとゆらぎ-感情計測法の新たな展開", *Fragrance Journal*, vol.19, no.9, pp.42-48, Sept 1990.
16. 住谷正夫, 武者利光, "意識集中と α 波の電源位置変動," 日本ME学会大会論文集, vol.29, C2-1, 1991
17. H. Ozaki, and H. Suzuki, "Transverse relationships of the alpha rhythm on the scalp," *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, vol.66, pp.191-195, Feb. 1987
18. 磯野光男, 堀 重昭, 藤木 稔, 日下部隆則, 下村 剛, 加賀明彦, "音楽負荷脳波を用いた意識障害の客観的評価の試み," *脳と精神の医学*, vol.2, no.1, pp.303-308, Jan. 1991.
19. 加納邦夫, 中村道彦, 西原京子, 山本卓二, 松岡俊樹, "音楽鑑賞時の歌詞注意とメロディ注意に伴う脳波変化," *脳と精神の医学*, vol.2, no.1, pp.299-302, Jan. 1991.
20. 辻 陽一, 長沢一之, 糸井 節, "2種類の音楽鑑賞時における α 波周波数の比較," *脳と精神の医学*, vol.2, no.1, pp.317-321, Jan 1991.
21. 池田妙子, "音響刺激による集中性効果と時間の過小評価について," *心理学研究*, vol.63, no.3, pp.157-162, 1992
22. 緒方茂樹, 柿沼日和, "音楽鑑賞の精神生理学的研究," *脳と精神の医学*, vol.2, no.1, pp.309-315, Jan. 1991.
23. 住谷正夫, 尾崎久記, 安久正紘, "音楽および雑音呈示条件下における脳波トポグラフィ," *脳と精神の医学*, vol.8, no.2, pp.175-182, 1997
24. 舟木保登, "視覚パターンの処理と認識," 啓学出版, 1990
25. Jaakko Malmivuo, and Robert Plonsey, "Bioelectromagnetism," Oxford University Press, Oxford, 1995
26. Ramesh M. Gulrajani, "Bioelectricity and Biomagnetism," John Wiley & Sons, 1998
27. WJ. Ray, HW. Cole, "EEG Alpha Activity Reflects Attentional demands, and Beta Activity Reflects emotional and Cognitive Processes," *Science, NEW series*, vol.10;228(4700), pp.750-752, May. 1985

2次系時間差比較補償(TDCC)法による2自由度PID制御

山本 信雄

Two-Degrees-of-Freedom PID Control with the Use of 2nd-Order Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) Method

Nobuo YAMAMOTO

Abstract: The 1st-order time-difference comparison compensation (TDCC) method has already been published. In this treatise, we propose a 2nd-order TDCC method as a two-degrees-of-freedom PID control in order to accomplish a superior response towards the desired value even in an oscillatory system. Simultaneously, newly defined index functions are introduced so as to pursuit more suitable tuning of the TDCC parameters. Its TDCC adjustment is made under the prerequisite condition of both minimized perturbation response and specified gain margin. By indicating optimal set of values of TDCC parameters graphically, we present a standard adjustment of TDCC parameters on the base of tuning parameters of PID controller.

1. はじめに

帰還制御系の設計は、帰還ループ内で生じる時間遅れ(位相遅れ)をいかに補償するかにあり、外乱応答の軽減、目標値追従性、操作量の抑制、利得余裕、ロバスト性等の諸要請に対して、これらは相互干渉する。このうち、前2者の相互干渉を解決する一方法に2自由度制御がある。その1つとして、時間差比較補償(以下、TDCCと称する)方法を我々が開発し⁽¹⁾⁻⁽³⁾、PID制御への適用を調べた。

PID制御器はフィードバック系のゲイン余裕を指定した上で外乱応答面積を最少に調節し、TDCC補償器は目標値追従性が最適になるように、互いに独立に調節するという2自由度制御の確立を目指す。なお、従来公表されてきたPID制御器のパラメータ設定値⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾に2自由度制御とゲイン余裕を考慮したものがないので、我々はTDCC補償器による2自由度制御に適したPIDパラメータの設定値を改めて公表する。

我々はこれまで、1次系のTDCC補償器について調べ、これが従来の2自由度制御⁽¹⁰⁾⁻⁽¹⁷⁾より優れていることが分かった。⁽²⁾しかし、外乱応答に振動を伴う場合は目標値応答の振動を完全には除去できないことが分かってきた。

今回、2次系TDCC補償器を用いた2自由度PID制御について、応答シミュレーションと理論的解析から、外乱応答に振動があっても、目標値応答の振動を十分除去できたので報告する。

さらに、2次系TDCCを用いた2自由度PID制御について、広範囲の制御系にわたる各調節パラメータの標準設定値を数多く分かりやすくグラフ表示して提供することによって、制御応用技術の設計基準を提供することを目的とする。

2. 時間差比較補償器(TDCC)の構成

TDCCの構成を図1に示す。⁽⁸⁾⁽¹¹⁾図1(a)において、目標値

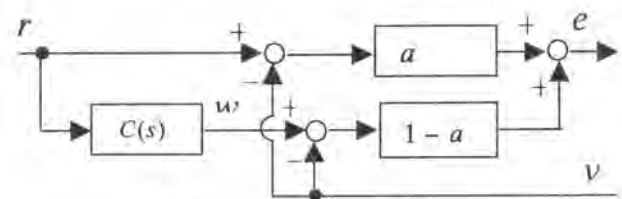
r と帰還量 v との直接的な比較に加えて、一巡伝達関数全体の時間遅れに相応するよう、 r を何らかの遅れ系 $C(s)$ で遅らせた基準値 w との、いわゆる時間差比較を行わせる分岐を設ける。直接比較の偏差量を e_1 、時間差比較の偏差量を e_2 とし、それぞれに a 、 $1-a$ の重みをかけて線形結合させた量をフィードバック系の偏差量 e とする。これをPID制御器への入力信号とする。図1(a)を等価変換すると図1(b)のように目標値フィルタ $F(s)$ の表示となり、 $F(s)$ は次式で示される。

$$F(s) = a + (1-a)C(s) \quad (1)$$

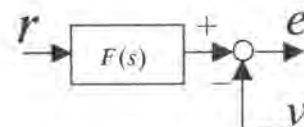
ここに、次の条件

$$|F(s)|_{s=0} = 1 \quad (2)$$

が必要で、当面、 $0 < a < 1$ とする。



(a) TDCCの基本構成



(b) ブロック線図(a)の等価変換

図1 時間差比較補償器(TDCC)の構成

(註1)これは、United States Patent No.4,953,076(1990)、および、国内特許 No.2,716,437(1997)を取得している。

3. 2自由度フィードバック制御系の構成

TDCC補償器とPID制御器を用いた2自由度フィードバック制御系を図2に示す。^(註2) 図中、 $F(s)$ は(1)式で与えられるTDCCフィルター、 $G_c(s)$ はPID制御器、 $G(s)$ はプ

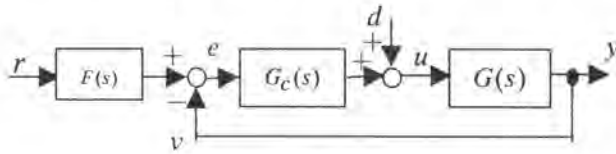


図2 2自由度制御系のブロック線図

ラントまたは制御対象 (以下、単にプラントと称す)、の各伝達関数を表す。 $G_c(s)$ は外乱応答の応答面積を最少に調節するために用い、 $F(s)$ は偏差面積を最少にして目標値追従性の改善に用いる。この2者の調節は互いに独立に行うことができる。 d は外乱入力、 y は制御出力で、一般的な直結閉環系を扱うため帰還量 v は y である。

$G_c(s)$ はよく知られているように次式で与えられる。

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (3)$$

ここに、 K_p 、 T_i 、および、 T_d は、それぞれ、PID調節系の比例ゲイン、積分時間、および、微分時間を表す調節パラメータを表す。

プラント $G(s)$ のモデルは、プロセス系の場合は、

$$G(s) = \frac{K_o e^{-sL}}{sT_o + 1} \quad (4)$$

とし、サーボ系の場合は、

$$G(s) = \frac{K_o e^{-sL}}{s(sT_o + 1)} \quad (5)$$

とする。ここに、 K_o はゲイン係数、 T_o は1次遅れ時間、 L はむだ時間を表す。

つぎに、TDCCについては、 $F(s)$ を構成する(1)式中の $C(s)$ を、文献2と同じ1次系：

$$C(s) = \frac{1}{sT_r + 1} \quad (6)$$

とする場合を、今回、新しく提案する次式で与える2次系の場合の比較として用い、本論では主に2次系の場合を取り扱う。

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (7)$$

ただし、 T_r はTDCCの1次遅れ時間、 ω_n はTDCCの自然角振動数、 ζ はTDCCの減衰係数を表し、図1に示す重み a も含めて、これらの量がTDCCの調節パラメータとなる。

4. 本論文の目的と構成および展開

第1節に本論文の目的の概要を記したが、より具体的には、図2に示される2自由度系について、2次系TDCCとPID制御器の最適設計値をプロセス系とサーボ系の双方について求める。

まず、次節に、ゲイン余裕を指定する基礎資料として、安定限界を与えるPID制御器のパラメータ値を図的に示す。従来の設計では積極的にゲイン余裕を考慮したことがないからである。

第7節以降の応答解析にコンピュータ・シミュレーションに依るため、システムのデジタル化⁽⁸⁾を第6節で行い、サンプル時間 T を十分小さくしたアナログ近似によりプログラムを実行する。なお、アナログ法であるFILT法⁽⁹⁾で実行した場合との誤差が1%以内に収まっているので信頼性が高いといえる。

第7節に、次節で得た基礎資料をもとに、ゲイン余裕を指定した上での外乱応答を最小にするPIDパラメータの設定値を求め、その結果をグラフ化して示す。

第8節に、目標値応答を最適にするための1次系TDCCと2次系TDCCの比較を行うが、目標値追従性に関する通常の評価法と我々が今回提案する新評価法との比較も含めて、それらの比較の結果を示す。さらに、今回提案する評価法を用いたときに見出された目標値追従性の新しい応答モードを紹介する。

第9節に目標値追従性を最適にするTDCCパラメータの設定値を求め、その結果を、広範囲にわたって図示して公表する。

本論文の式の表示に、無名数でないすべての定数、パラメータ、および、変数をプラントの1次遅れ時間 T_o で規格化する。すなわち、 $L/T_o \rightarrow L$ 、 $T_i/T_o \rightarrow T_i$ 、 $T_d/T_o \rightarrow T_d$ 、 $T_r/T_o \rightarrow T_r$ 、 $\omega_n T_o \rightarrow \omega_n$ 、 $sT_o \rightarrow s$ 、 $t/T_o \rightarrow t$ 。また、PID制御器の比例ゲイン K_p に代えて次の規格化比例ゲイン K_c を用いる。プロセス系の場合は、

$$K_c = K_p K_o \quad (8)$$

とし、サーボ系の場合は、

$$K_c = K_p K_o T_o \quad (9)$$

とする。ただし、次節以降の各種グラフ中に表示する諸パラメータには、誤解のないように、例えば L/T_o のように、規格化を明確に示す表示とする。

5. 安定限界マップ

図2に示すフィードバック系の特性方程式は

$$1 + G_c(s)G(s) = 0 \quad (10)$$

安定限界は、 s 平面上における虚軸上の s 値、すなわち、 $s = j\omega$ のときに上式が成立することである。

プロセス系でこの条件を求めると次の2式を得る。

$$\cos(\omega L) - \frac{K_c \left(\frac{1}{T_i} - \omega^2 T_d - 1 \right)}{1 + \omega^2} = 0 \quad (11)$$

(註2)これは、U. S. Patent No.5, 182,703 (1993) を取得している。

$$\sin(\omega L) - \frac{K_c \left(\frac{1}{T_i} - \omega^2 T_d + \omega^2 \right)}{\omega(1 + \omega^2)} = 0 \quad (12)$$

サーボ系では次の2式を得る.

$$\cos(\omega L) - \frac{K_c \left(\frac{1}{T_i} - \omega^2 T_d + \omega^2 \right)}{\omega^2(1 + \omega^2)} = 0 \quad (13)$$

$$\sin(\omega L) - \frac{K_c \left(\frac{1}{T_i} - \omega^2 T_d - 1 \right)}{\omega(1 + \omega^2)} = 0 \quad (14)$$

$\omega = 0.1 - 50$ の区間で(11)–(14)式をコンピュータによって解析して, 安定限界を示すPIDパラメータをプラントのむだ時間 L ごとに場合分けして図示すると, プロセス系では図3, サervo系では図4のように得られる.

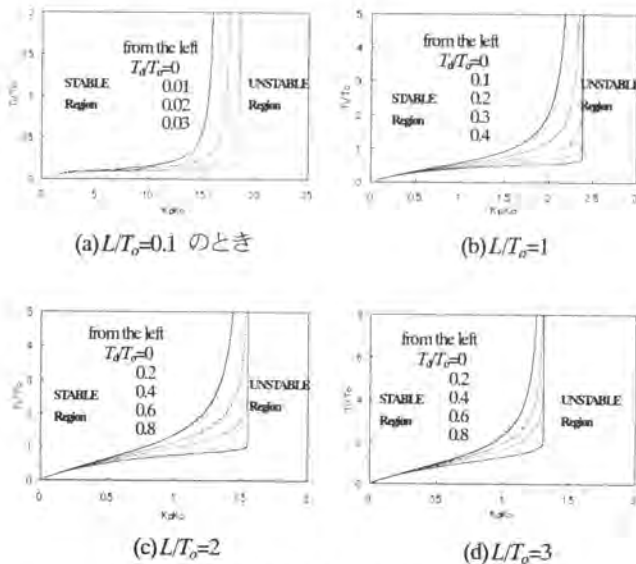


図3 プロセス系の安定限界マップ

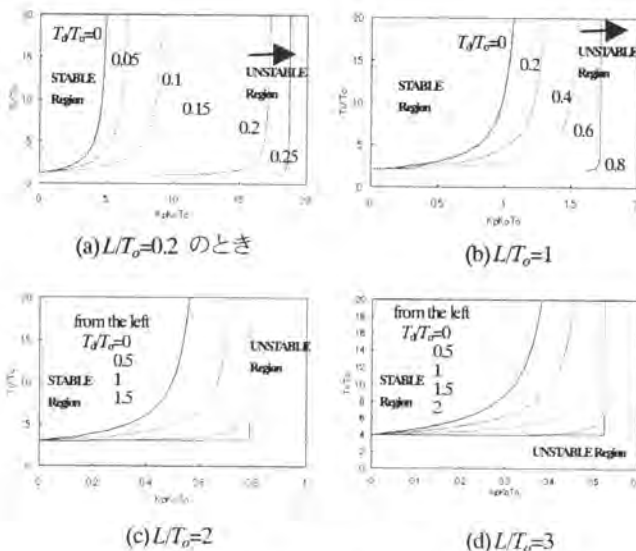


図4 サーボ系の安定限界マップ

6. システムのデジタル化表現

コンピュータ・シミュレーション用のプログラミングのために図2のシステムをデジタル化された表現に変換する. サンプル時間を T とする.

プラント $G(s)$ のデジタル化状態および出力方程式は, 状態変数ベクトルを x として,

$$x(i+1) = Ax(i) + Bu\left(i - \frac{L}{T}\right) \quad (15)$$

$$y(i) = Cx(i) \quad (16)$$

ここに, プロセス系の場合は,

$$x = [x_1 \quad x_2]^T \quad (17)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 - e^{-T} & e^{-T} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$B = [1 \quad 0]^T \quad (19)$$

$$C = [0 \quad 1] \quad (20)$$

サーボ系の場合は,

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad x_3]^T \quad (21)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 - e^{-T} & e^{-T} & 0 \\ T + e^{-T} - 1 & 1 - e^{-T} & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$B = [1 \quad 0 \quad 0]^T \quad (23)$$

$$C = [0 \quad 0 \quad 1] \quad (24)$$

である. ただし, ベクトルの添字 T は転置を表し, i はサンプル点番号を表す. コンピュータ・シミュレーションにおいては, 規格化サンプル時間を

$$T = 0.001 \quad (25)$$

のように十分小さな値としてアナログ近似させている.

TDCCについては, 図1(a)に示すブロック線図と(8)式, または, (9)式により, TDCCのデジタル化表現は次のようになる.

1次系TDCCの場合,

$$w(i+1) = e^{-\frac{T}{T_r}} w(i) + (1 - e^{-\frac{T}{T_r}}) r(i) \quad (26)$$

および,

$$e(i) = a\{r(i) - y(i)\} + (1 - a)\{w(i) - y(i)\} \quad (27)$$

2次系TDCCの場合は,

$$\begin{bmatrix} w_1(i+1) \\ w_2(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1(i) \\ w_2(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} r(i) \quad (28)$$

$$w(i) = w_1(i) \quad (29)$$

および, (27)式となる. ただし,

$$f_{11} = e^{-s\omega_n T} \left(\cos \theta + \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin \theta \right) \quad (30)$$

$$f_{12} = \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n} e^{-s\omega_n T} \quad (31)$$

$$f_{21} = -\omega_n^2 f_{12} \quad (32)$$

$$f_{22} = e^{-\zeta\omega_n T} \left(\cos \theta - \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \theta \right) \quad (33)$$

$$g_1 = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n T}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \left(\zeta \sin \theta + \sqrt{1-\zeta^2} \cos \theta \right) \quad (34)$$

$$g_2 = \frac{\omega_n e^{-\zeta\omega_n T}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \theta \quad (35)$$

ここに,

$$\theta = \sqrt{1-\zeta^2} \omega_n T \quad (36)$$

PID制御器については,

$$u(i) = K_c [e(i) + q(i) + z(i)] \quad (37)$$

ただし, 積分器は

$$q(i+1) = q(i) + \frac{T}{T_i} e(i) \quad (38)$$

とし, 微分器はサンプル時間 T を十分小さく取るので簡単に次のようにした.

$$z(i) = \frac{T_d}{T} [e(i) - e(i-1)] \quad (39)$$

以上をC++言語による応答シミュレーション用等のプログラムを作成し, これを実行して得られる各種データを整理・解析して, 次節以降にその結果を示す.

7. PIDパラメータの設定

指定されたゲイン余裕 g_M [dB] の下に, ステップ状外乱入力 d に対する応答 y の絶対値の応答面積が最小になる点をPIDパラメータの最適条件とし, 次式による判定をコンピュータ・シミュレーションで実行し, パラメータ設定値を求める.

$$(K_c, T_i, T_d) = \left(K_c, T_i, T_d \left| \min \int_0^{\infty} |y(t)| dt; \text{fixed } g_M \right. \right) \quad (40)$$

なお, 前節で得られる K_c の限界値を $K_{c,th}$ とするとき, ゲイン余裕を指定するために, 次の関係が課せられる.

$$K_c = K_{c,th} / 10^{\frac{g_M}{20}} \quad (41)$$

このようにして得られたプロセス系におけるPIDパラメータ設定値を g_M ごとに場合分けして図5に示す. このうち, 代表的な各点での外乱応答の数例を図6に示す.

同様に, サーボ系におけるPIDパラメータ設定値を図7に示し, その外乱応答の代表例を図8に示す.

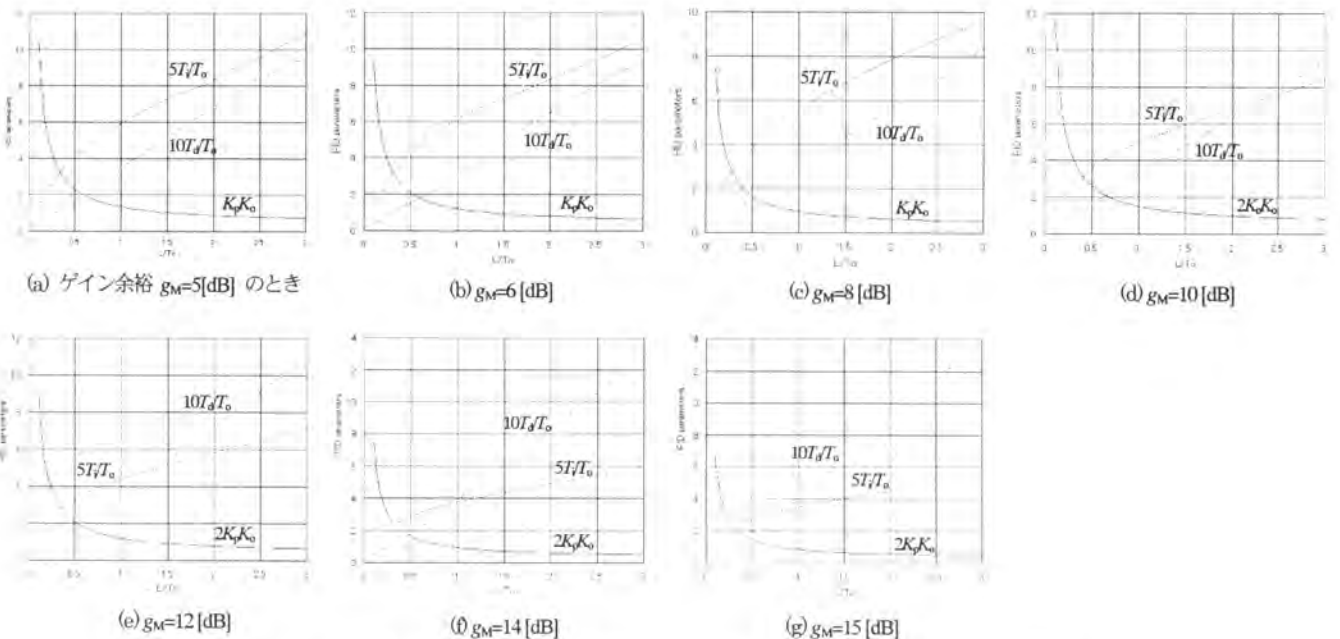


図5 プロセス系におけるPIDパラメータの設定値 (外乱応答面積最小に調節)

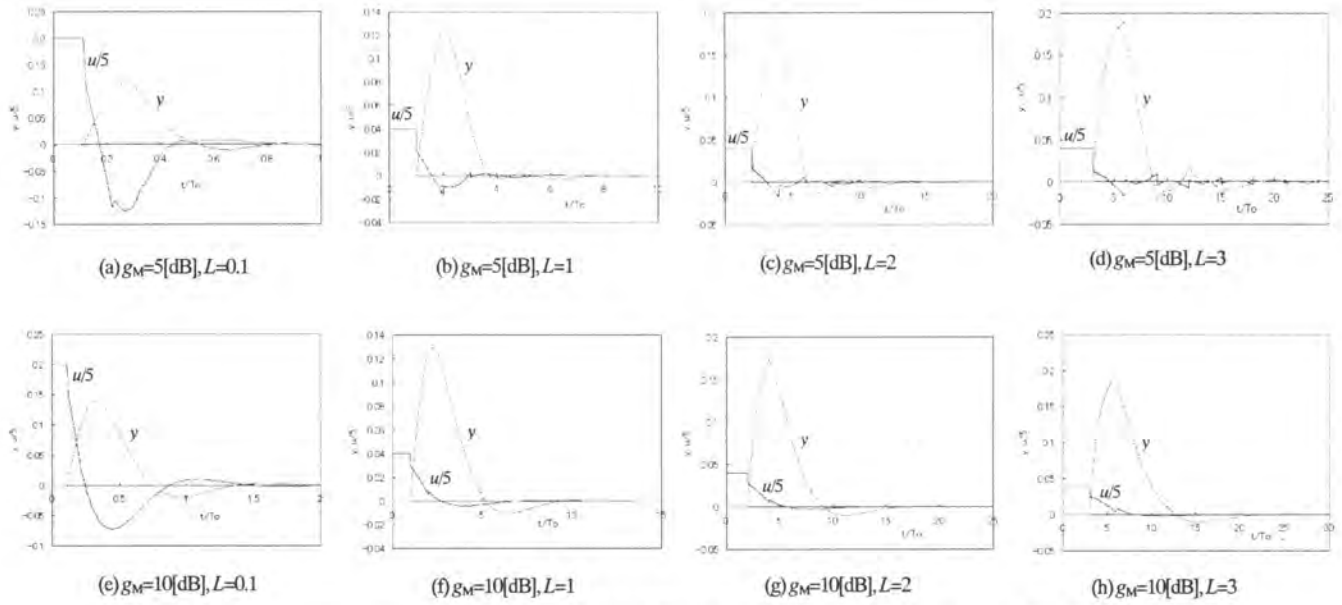


図6 図5中の各点における外乱応答の例. 図中, y は制御出力で, u は操作量を表す

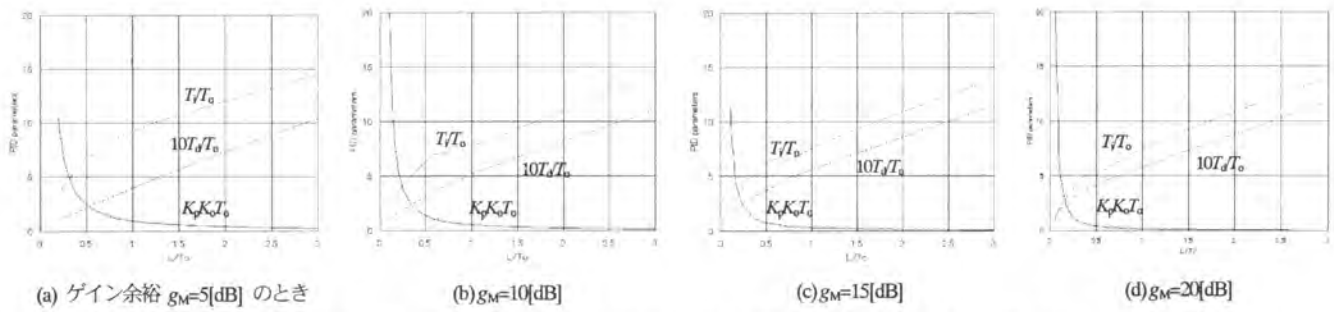


図7 サーボ系におけるPIDパラメータの設定値(外乱応答面積最小に調節)

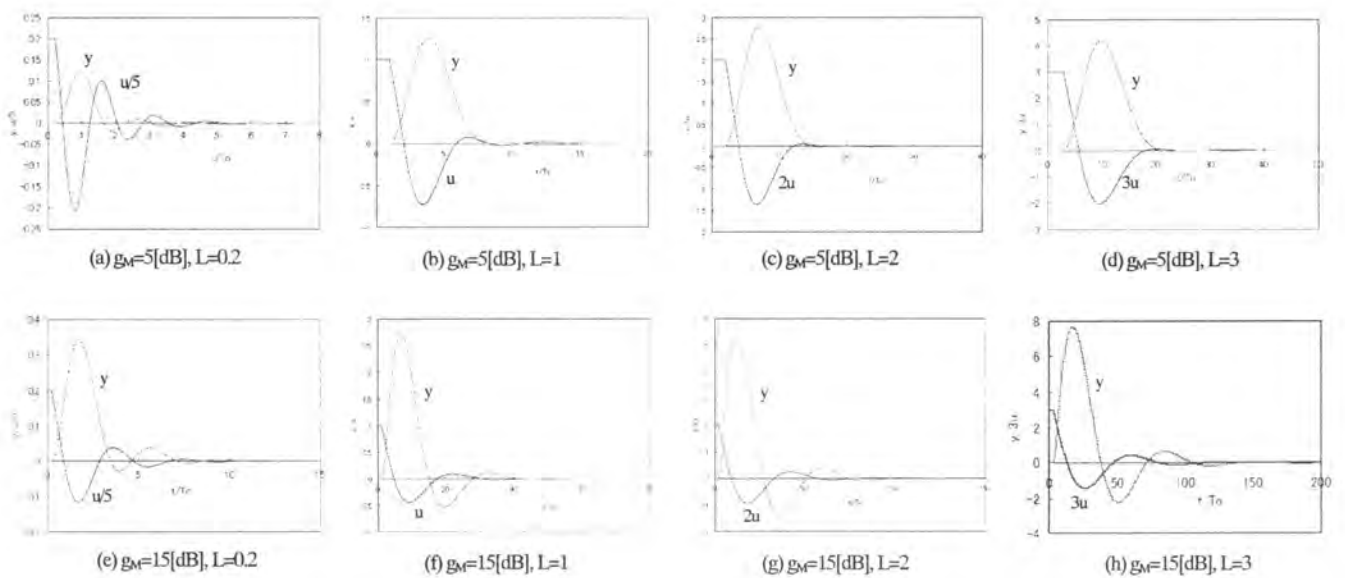


図8 図7中の各点における外乱応答の例

8. 1次と2次のTDCC補償の比較, および, 各種評価法による目標値応答の比較

前節で得られたPIDパラメータ決定の上に, 図2のフィードバック系における目標値追従性をTDCC補償器によって評価するに当たって, 1次系TDCC補償器と, 今回提案する2次系TDCC補償器との比較を行う。

評価関数として次式を用い, 偏差量 e の絶対値を時間積分する。

$$J(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} |e(t)| dt \quad (42)$$

$\tau = 0$ のときは従来の評価法である。これに加えて, 新たに,

$$\tau_1 = \langle \tau \mid \text{the first time of } y \geq y_{th} = 0.9 \rangle \quad (43)$$

および,

$$\tau_2 = \langle \tau \mid \text{the first time of } y \geq y_{th} = 0.97 \rangle \quad (44)$$

の2種を取り扱う。これは, $y \leq \tau_1$ または $y < \tau_2$ 以下における偏差量 e の絶対値 $|e|$ の時間面積はPIDパラメータによって大差がないためカットし, $y \geq \tau_1$ または $y \geq \tau_2$ 以降の時間における振動抑制を重視するためである。即ち, 制御出力 y が最初に y_{th} を超える時刻を τ として, τ 以降の時間で(42)式の時間面積を取って評価関数を計算することを意味する。

こうして, $J(0)$, $J(\tau_1)$, $J(\tau_2)$ の3種類の評価関数を用いて比較する。以下に示すグラフ表示では, 分かりやすく, $y_{th} = 0$, $y_{th} = 0.9$, $y_{th} = 0.97$ を用いることにする。

偏差量の2乗を時間面積に用いるなど, 他の評価法が知られているが, (42)式の評価関数が最も良好な目標値応答を示すことを確かめているので, ここでは省くことにする。

まず, プロセス系において, 1次系TDCCによる $y_{th} = 0$ と $y_{th} = 0.9$ の各場合の応答例を, それぞれ, 図9(a)および(b)に示す。 $y_{th} = 0.9$ の評価法による結果は, $y_{th} = 0$ のそれより改善されているが, 振動成分を除去し切れていない。

つぎに, 同じプロセス系において, 2次系TDCCによる $y_{th} = 0$ と $y_{th} = 0.9$ の各場合の応答例を, それぞれ, 図9(c)および(d)に示す。前者は未だ振動成分を除去できていないが, 後者はかなり除去できている。

さらに, 今回, 2次系TDCCを用いた同じプロセス系において $y_{th} = 0.97$ のときに新たに見つかった応答モードを図9(e)に示す。応答は遅れるが, 振動成分が完全に除去できている。 y_{th} 値を $y_{th} = 0.9$ から他の y_{th} 値に対する別の応答モードは見つかっていない。

サーボ系についても同様に, 目標値応答例を図10(a)から(e)に示す。振動成分の除去効果はプロセス系と同様であるが, 図10(d)と(e)を比較して分かるように, 新応答モードは見つかっていない。

なお, 以上の各小図のそれぞれについて $J(\tau)$ を最小になるように調節しているので, TDCCパラメータ値はまちまちである。

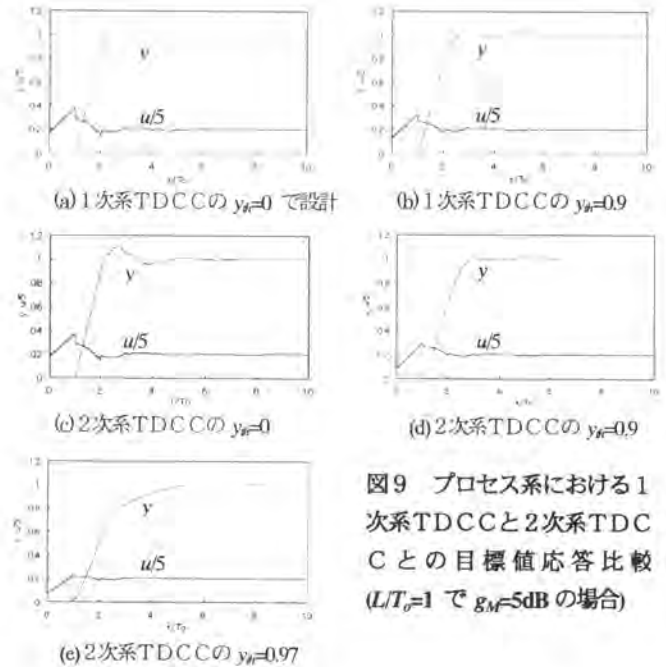


図9 プロセス系における1次系TDCCと2次系TDCCとの目標値応答比較 ($L/T_c=1$ で $g_M=5\text{dB}$ の場合)

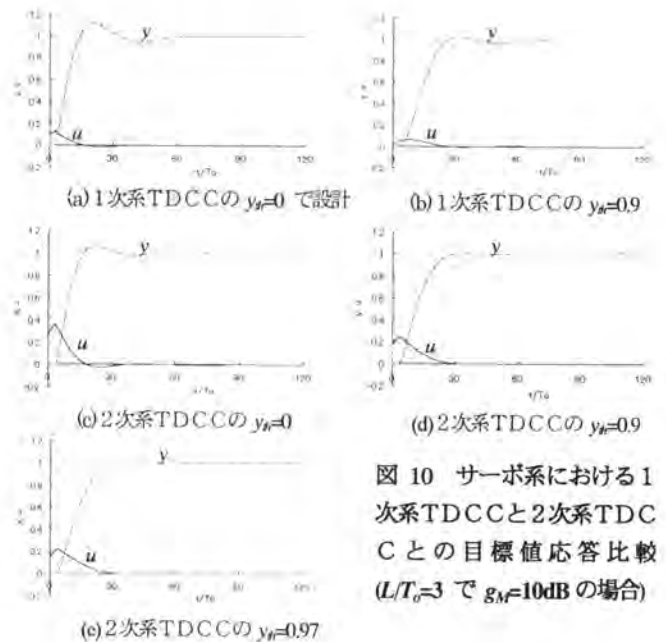


図10 サーボ系における1次系TDCCと2次系TDCCとの目標値応答比較 ($L/T_c=3$ で $g_M=10\text{dB}$ の場合)

9. 2次系TDCCパラメータの最適設定値と目標値応答

前節で2次系TDCC補償器の有用性が得られたので, 本節では, プロセス系とサーボ系の両系の広範囲なシステム条件にわたって, 各ゲイン余裕 g_M 毎にプラントのむだ時間 L に対するTDCC補償器のパラメータ設定値を, 分かりやすくグラフで示し, 代表的な目標値応答例も図に示す。PID制御器のパラメータは第7節で得た結果を用いている。

プロセス系において, 評価基準値 y_{th} を $y_{th} = 0.9$ に設定した

ときのTDCCパラメータの最適設定値を図11に、 $y_{th} = 0.97$ に設定したときを図12に示し、それら各点での代表的な応答を、図13、および、図14に示す。

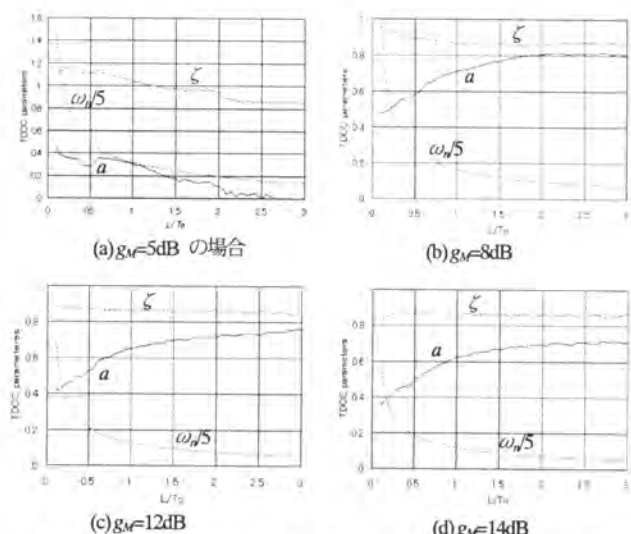


図11 プロセス系の $y_{th}=0.9$ モードに対する TDCC パラメータの設定値 (目標値応答の偏差値面積を最小に調節)

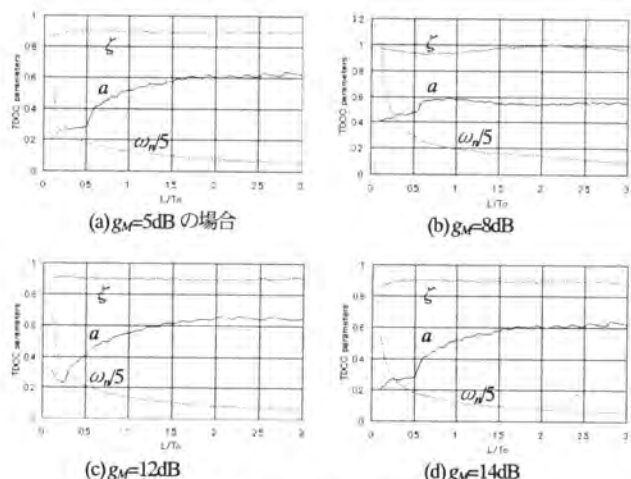


図12 プロセス系の $y_{th}=0.97$ モードに対する設定値

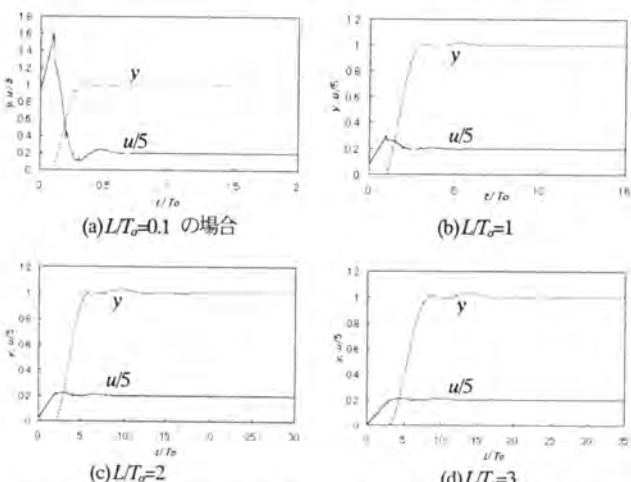


図13 プロセス系の $g_M=5\text{dB}$ における $y_{th}=0.9$ モードの目標値応答例

サーボ系においても同様に図15と図16に示す。ただし、 $y_{th} = 0.97$ に対する特異なモードは存在しないので、 $y_{th} = 0.97$ の場合を省く。

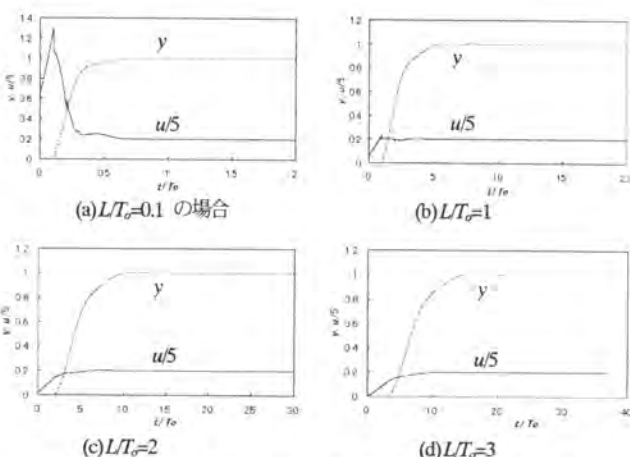


図14 プロセス系の $g_M=5\text{dB}$ における $y_{th}=0.97$ モードの目標値応答例

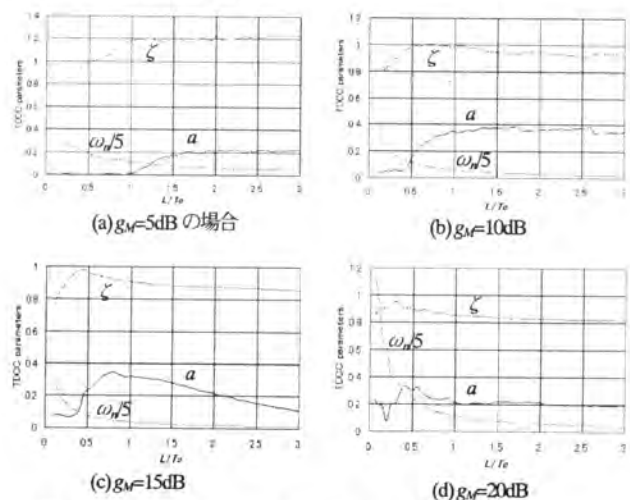


図15 サーボ系の $y_{th}=0.9$ モードの TDCC 設定

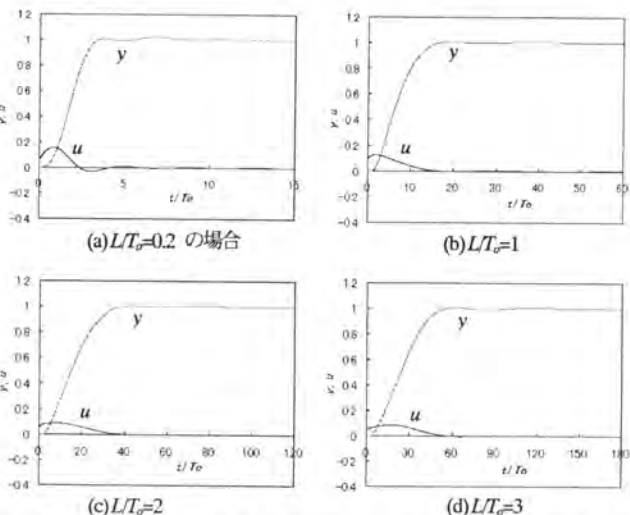


図16 サーボ系の $g_M=15\text{dB}$ における $y_{th}=0.9$ モードの目標値応答例

10. 考察および討論

ゲイン余裕を考慮した2自由度制御のためのPID制御器の設計基準となるPIDパラメータの設定値はこれまで公表されていないので、図5から図8まで、各点での外乱応答の例を示しながら公表した。プラントのモデル(4)式にあるむだ時間が $L=0$ の場合、PIDパラメータに依らず安定である。よって、ゲイン余裕が定義できないので、図5の原点付近が空白になっている理由となる。一方、サーボ系は、開ループの規格化ゲイン K_c が極めて大きくなる一方、他のPIDパラメータが極めて小さい値になるので、図7では表示できず、別途、グラフ表示しなければならぬが、ここでは割愛した。外乱応答について、振動の有無がプラントの規格化むだ時間 L とゲイン余裕 g_M の2つだけの条件に依って変わることが図6と図8から分かる。

1次系TDCCと2次系TDCCの応答の比較を示す図9および図10を見ると、目標値追従性は両者一見似ているが、つぎの2つの新しいことが示されている。

1つは、新しく我々が導入した目標値追従性の評価のための応答面積計算のしきい値が $y_{th}=0.9$ のときの(b)図(1次系TDCCの場合)、および、(d)図(2次系TDCCの場合)の双方ともに、従来の評価法 $y_{th}=0$ によった(a)図、および、(b)に比べて振動が抑制され、目標値追従性が優れたものになる。2つは、1次系TDCCの(b)図よりも、本論文で提案した2次系TDCCの(d)図のほうが振動成分が除去されて応答が優れていることが分かる。

さらに3つ目として、プロセス系において $y_{th}=0.97$ の振動成分の全くない新応答モードを見出したことである。これは2次系TDCCの特徴といえる。サーボ系には見つかっていない。

図11から図16まで、 $y_{th}=0.9$ 、および、 $y_{th}=0.97$ における2次系TDCCの設計パラメータを、代表的な目標値応答を示しつつ、公表した。TDCCパラメータを示すカーブが揺らいているのは、PIDパラメータ計算誤差に重畳する誤差のためと、コンピュータの計算時間の遅さとメモリ容量の制約による応答時間分割数が制限されるためと、パラメータの最適値近傍が極めて平坦に近いため等である。

11. あとがき

1次系TDCCに引き続いて2次系TDCCを提案し、新しい目標値追従性の評価の仕方も提案し、より、振動の少ない目標値応答を実現した。さらに、プロセス系で振動の全くない新応答モードを見出した。TDCCパラメータの設計基準を広範囲にグラフ化して公表した。

また、PIDパラメータについても、従来なかったゲイン余裕を明確にした2自由度制御のための広範囲の設計パラメータを公表した。

以上、2次系TDCCパラメータの最適設定データを広範囲にわたって公表できたが、目標値追従性がやや落ちるもの、設計のより容易な1次系TDCCは、文献(1)–(3)に早期に発表したにもかかわらず、未だに広範囲の最適設定データを求めていない。次回に公表する予定である。

謝辞

本校電子制御工学科の菊池誠先生、並びに、本校電気工学科の安細勉先生にはC++言語プログラムの演算に関して貴重なご示唆を賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 山本信雄：「制御系の汎用性時間差比較補償法」, 第30回自動制御連合講演会(前編), pp.185-186(1987).
- (2) 山本信雄, 大内等：「時間差で比較する機能を導入した2自由度PID制御」, 電気学会論文誌D, Vol. 123, No.3, pp.247-256(2003).
- (3) 山本信雄：内部モデル協調型フィードフォワードおよび汎用性時間差比較補償法, 日本自動制御協会シグナル・システム・コントロール・シンポジウム講演論文集, pp.25-28(1988).
- (4) J. G. Ziegler & N. B. Nichols: Optimum Settings for Automatic Controllers, Trans. ASME, Vol. 64-8, pp.759-768(1942).
- (5) Kun Li Chien, J. A. Hrones & J. B. Reswick: On the Automatic Control of Generalized Passive System, Vol. 74, pp.175-185(1952).
- (6) 桑田龍一：「改良形限界感度法とPID; I-PD制御の特性」, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 23, No.3, pp.232-239(1987).
- (7) 陶山貢市：「PID制御系の実用的な設計法」, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 29, No.2, pp.236-238(1993).
- (8) 山本 透・兼田雅弘：「一般化最小分散制御則に基づくセルフチューニングPID制御器の一設計」, システム制御情報学会論文誌, Vol. 11, No.1, pp.1-9(1998).
- (9) 山本 透・石原弘一・大松 繁：「一般化最小分散制御に基づいたPID制御の設計」, システム制御情報学会論文誌, Vol. 3, No.7, pp.205-211(1990).
- (10) 北森俊行：「制御対象の部分的知識に基づく制御系の設計法」, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 15, No.4, pp.549-555(1979).
- (11) 北森俊行：「PID制御システムの設計」, 計測と制御, Vol. 19, No.4, pp.382-391(1980).
- (12) 広井和男・戸苅吉孝：「複合フィルタ形2自由度PIDアルゴリズム」, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 27, No.4, pp.402-408(1991).
- (13) 伊藤正紀・阿部健一：「モデルマッチング法による2自由度制御系の設計」, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 23, No.10, pp.1103-1105(1987).
- (14) 田口秀文・土居正照・荒木光彦：「2自由度PID制御系の最適パラメータ」, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 23, No.9, pp.889-895(1987).
- (15) 荒木光彦：「2自由度制御系-I-PID・微分先行・I-PD制御系の統一的見方などについて」, システムと制御, Vol. 29, No.10, pp.649-656(1985).
- (16) 重政 隆・飯野 穂・神田雅江：「2自由度PIDコントローラのオートチューニング方法」, 計測と制御, Vol. 27, No.4, pp.305-311(1988).
- (17) 古谷栄光・荒木光彦：「開ループ周波数応答のオンライン同定と2自由度PID制御系の自動調整法」, システム制御情報学会論文誌, Vol. 11, No.1, pp.41-49(1998).
- (18) 美多 勉：デジタル制御理論, pp.15-26, 昭晃堂(1986).
- (19) 細野敏夫：BASICによる高速ラプラス変換, pp.4-41, 共立出版(1984).

時間差比較補償 (TDCC) 法による LQ 最適制御の 有限整定化と操作量低減化の同時効果

増田 治哉, 山本 信雄, 大内 等, 菊池 誠

Simultaneous Effect for Both of Dead-Beat and Suppression of Manipulation Variable in
LQ Optimal Control by Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) Method

Michiya MASUDA*, Nobuo YAMAMOTO, Hitoshi OGUCHI and Makoto KIKUCHI

Abstract: Index function, which is used in LQ optimal control, is usually constructed by positive time integration or accumulation in respect to linear combination of two quadratic values of deviation error and manipulation variable. Each weighting factor of these two values may be arbitrarily specified by a designer. Then, no standard specification of these weighting factors exists even in the recent time. A decision method of weighting factors is found by introducing the Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) method between a desired value and its output variable. Simultaneously, we find suppression effect of manipulation variable by adjusting the dead-beat time with the use of TDCC. These two effects are confirmed by both of computer simulation and theoretical treatment.

1. はじめに

本研究で扱う LQ (Linear Quadratic) 最適制御は、偏差量の 2 乗と入力量の 2 乗の線形結合を全時間積分した量を評価関数 J とし、 J を最小にするようにフィードバックレギュレータを設計する方法であり、デジタル制御では初期値応答の場合、次式のように表される。⁽¹⁾

$$J = \sum_{i=0}^{\infty} \{x'^T(i)Q'x'(i) + v^T(i)R'v(i)\} \quad (1)$$

ここに、 x' 、 v はフィードバック全体という拡大系の状態変数、および、操作量ベクトル、 i はサンプル点番号、 Q' および R' は、 x' および v に関する各重み行列を表し、 T は転置を表す。

この評価関数における線形結合の重み行列 Q' および R' の決め方は設計者の任意に任せられ、設計指針がない。そこで、本研究では、プロセス系において目標値 r と出力 y とを時間差をもつ

て比較する時間差比較補償器 (Time-Difference Comparison Compensator; 以後 TDCC とする)⁽²⁾⁻⁽⁴⁾ を導入して LQ 最適制御の条件を変更することなく、入力ピーク値を低減化できると同時に、有限整定化が同時にできることも見出された⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾ ので、その設計理論を展開し、それらをコンピュータシミュレーションによって検証を行う。なお、整定時間だけに限れば、これは TDCC によって任意に変えることができる。

2. 制御系の構成

制御系のブロック線図を図 1 に示す。スイッチはサンプル時間 T でサンプリングし、図では記号を省いたが 0 次ホールドすることにする。図中の破線で囲んだ部分が時間差比較補償器 (TDCC)^(8,9) を示す。 $G(z)$ はプラントのパルス伝達関数を表す。本図の TDCC では直接比較と時間差比較の計 3 分岐で構成さ

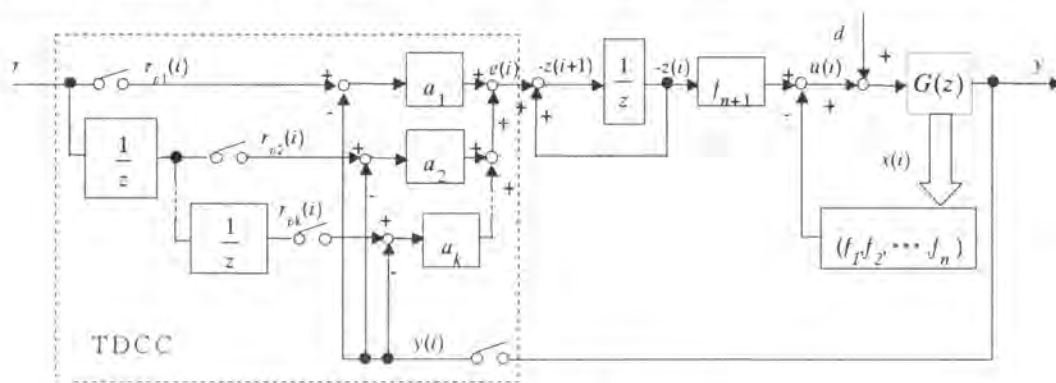


図1 TDCCを用いたデジタル最適制御の構成

* 日立化成㈱五所工場。平成 15 年度に本校専攻科 情報・電気電子工学専攻を修了。

(註1) これは、United States Patent No.4,953,076 (1990), U.S. Patent No.5,182,703 (1993), および、国内特許 No.2,716,437 (1997) を取得している。

れているが、分岐数 k は有限整定時間の設定に関係して決まる。 r は目標値、 e は偏差量、 k は外乱、 u は操作量、 y は出力、 $f_1, f_2, \dots, f_n, f_{n+1}$ はフィードバックレギュレータ、 $\frac{1}{z}$ は1サンプル時間だけ遅らせるむだ時間要素の z 変換表示である。

図2にTDCCの構成を示す。分岐の個数を k とする。目標値 r は複数のむだ時間要素 $\frac{1}{z}$ によって1サンプル時間ずつ遅らせ、こうして得た値を $r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pk}$ で表し、これらを各分岐の基準値とする。ただし、 r_{p1} だけは目標値 r そのものである。 a_1, a_2, \dots, a_k は各基準値と出力の各偏差量 $r_{p1} - y, r_{p2} - y, \dots, r_{pk} - y$ に対する配分率で、次式の関係を保つ。

$$\sum_{j=1}^k a_j = 1 \quad (2)$$

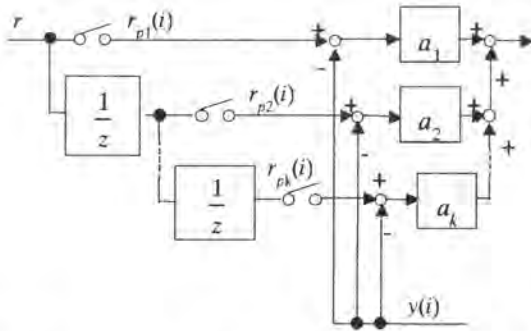


図2 時間差比較補償器 (TDCC) のデジタル構成

プラント $G(z)$ のデジタル化された状態方程式および出力方程式を、

$$x(i+1) = Ax(i) + bu(i) \quad (3)$$

$$y(i) = cx(i) \quad (4)$$

とする。図1中の操作量 u を出力する積算器は、

$$z(i+1) = z(i) - e(i) \quad (5)$$

また、偏差量は

$$e(i) = r(i) - y(i) \quad (6)$$

入力 $u(i)$ は図1より、

$$u(i) = -Fx(i) - f_{n+1}z(i) \quad (7)$$

ただし、

$$F = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_n] \quad (8)$$

上式の i を $i+1$ に置き換えると、

$$u(i+1) = -Fx(i+1) - f_{n+1}z(i+1)$$

これに、(3)式-(7)式を代入整理すれば、

$$u(i+1) = \{-F(A-I) - f_{n+1}c\}x(i) + (I - Fb)u(i) + f_{n+1}r(i) \quad (9)$$

(3)式と(9)式を組み合わせると、図1の全体のシステムにおいて時間差比較補償器を除いた通常の拡大系¹⁾

$$\begin{bmatrix} x(i+1) \\ u(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & b \\ -F(A-I) - f_{n+1}c & I - Fb \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(i) \\ u(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ f_{n+1} \end{bmatrix} r(i) \quad (10)$$

を得る。

$$v(i) = u(i+1) \quad (11)$$

を定義すると、(10)式は、

$$\begin{bmatrix} x(i+1) \\ u(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & b \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(i) \\ u(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} v(i) + \begin{bmatrix} 0 \\ f_{n+1} \end{bmatrix} r(i) \quad (12)$$

ここに、

$$v(i) = -\{F(A-I) + f_{n+1}c - Fb\} \begin{bmatrix} x(i) \\ u(i) \end{bmatrix} \quad (13)$$

(12)、(13)式は、システム $\begin{bmatrix} A & b \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ に $v(i)$ のフィードバックが施

されたものと解釈できる。以降、初期値応答を扱う。これによる一般性は失われない。すなわち、 $r(i) = 0$ として (12)、(13)式は、

$$x_e(i+1) = A'x_e(i) + b'v(i) \quad (14)$$

$$v(i) = -F_c x_e(i) \quad (15)$$

ただし、

$$x_e = [x_e \ u_e]^T \quad (16)$$

$$A' = \begin{bmatrix} A & b \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$b' = [0 \ 1]^T \quad (18)$$

$$F_c = [F \ f_{n+1}]E - [0 \ 1] \quad (19)$$

ここに、 E は次式で表されるシステム行列である。

$$E = \begin{bmatrix} A - I_n & b \\ c & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

プラント $G(z)$ のアナログ・モデルを次式に仮定する。

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-sL}}{sT_0 + 1} \quad (21)$$

ここに、むだ時間 L をサンプル時間 T の整数 (m) 倍にとる。

$$L = mT \quad (22)$$

$m=0$ の場合、(21)式のデジタル表現は、

$$A = \alpha, \quad b = \beta, \quad c = 1 \quad (23)$$

となる。ただし、

$$\alpha = \exp[-T/T_0] \quad (24)$$

$$\beta = K_0 [1 - \exp(-T/T_0)] \quad (25)$$

$m \geq 1$ の場合は、(3)、(4)式において、

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_m \ x_{m+1}]^T \in R^{1 \times (m+1)} \quad (26)$$

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \beta & 0 & & \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} & \\ & & & \ddots & \\ \mathbf{0} & & & & 1 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix} \in R^{(m+1) \times (m+1)} \quad (27)$$

$$b = [0 \ \dots \ 0 \ 1]^T \in R^{1 \times (m+1)} \quad (28)$$

$$c = [1 \ 0 \ \dots \ 0] \in R^{(m+1) \times 1} \quad (29)$$

となる。

3 最適レギュレータの設計

評価関数(1)式に含まれている拡大系の重み行列 Q' は、偏差量、即ち、初期値応答における状態変数の第1要素 x_1 に関してのみ

興味があるので、その重み係数 q_{11} を用いて次式とする。

$$Q' = \begin{bmatrix} q_{11} & (0_n)^T \\ 0_n & 0_{n \times n} \end{bmatrix} \quad (30)$$

つぎに、(11)式によって操作量 u と拡大系のそれに相当する量 v は、1サンプル時間だけずれているのみで、実質的には同じであるから、(1)式に含まれているもう1つの拡大系の重み行列 R' は、 u の重み係数(スカラー量) R そのものである。即ち、

$$R' = R \quad (31)$$

対 (A', b') が可制御で、対 $(Q'^{1/2}, A')$ が可観測なので、(1)式の J 値を最少にするような拡大系のフィードバックレギュレータ F_e が存在し、その解は

$$v(i) = -F_e x_e(i) \quad (32)$$

ただし、

$$F_e = (R + b'^T P' b')^{-1} b'^T P' A' \quad (33)$$

となる。ここに、 P' は次のリカッチ方程式を満足する。^④

$$P' = Q' + A'^T P' A' - A'^T P' b' (R + b'^T P' b')^{-1} b' b'^T P' A' \quad (34)$$

そして(19)式より、次のように、図1のフィードバックレギュレータ F および f_{n+1} が求められる。

$$[F \ f_{n+1}] = (F_e + [0 \ I])E^{-1} \quad (35)$$

3.1 $L=0$ ($m=0$) の場合

拡大系のレギュレータを f_{e1} 、 f_{e2} とすると、(19)式より最適レギュレータ f_1 、 f_2 との関係は

$$f_{e1} = F(A-I) + f_2 c \quad (36)$$

$$f_{e2} = Fb - 1 \quad (37)$$

となり、(20)、(23)–(25)、(35)式より、

$$f_1 = \frac{1}{\beta} (f_{e2} + 1) \quad (38)$$

$$f_2 = f_{e1} + f_1(1-\alpha) \quad (39)$$

3.2 $L=T$ ($m=1$) の場合

拡大系のレギュレータを F_e とすると、(19)式より最適レギュレータ F 、 f_3 は、

$$F_e = F(A-I) + f_3 C \quad (40)$$

$$f_{e3} = FB - I \quad (41)$$

となり、(20)、(27)–(29)、(35)式を用いて次の結果を得る。

$$f_1 = \frac{1}{\beta} \{f_{e2} + f_2\} \quad (42)$$

$$f_2 = f_{e3} + 1 \quad (43)$$

$$f_3 = (1-\alpha)f_1 + f_{e1} \quad (44)$$

3.3 $L=2T$ ($m=2$) の場合

前項と同様にして次のようになる。

$$f_1 = \frac{1}{\beta} (f_{e2} + f_{e3} + f_{e4} + 1) \quad (45)$$

$$f_2 = f_{e3} + f_{e4} + 1 \quad (46)$$

$$f_3 = f_{e4} + 1 \quad (47)$$

$$f_4 = f_{e1} - \frac{\alpha-1}{\beta} (f_{e2} + f_{e3} + f_{e4} + 1) \quad (48)$$

4. 時間差比較補償器 (TDCC) の設計

4.1 操作量 u のピーク値の低減化

ここでは、時間差比較補償器(TDCC)による調節パラメータ a_1, a_2, \dots, a_k によって、操作量 u のピーク値を揃える方法について述べる。代表として $L=T$ のシステムを例に取り、操作量の第1ピーク値と第2ピーク値を揃える場合についての設計例を述べる。この場合TDCC内の分岐数は $k=3$ となる。他の場合も同様に行う。

LQデジタル最適制御における操作量 u の応答は図3に示すように最初の応答で最大ピークを示し、以降階段状に下降する。便宜上、最初のピークを第1ピーク、これに続く各ステップを順に第2ピーク、第3ピークと称することにす。これら各ピーク値を合わせることによって結果的に最大(第1)ピーク値の低減を試みる。

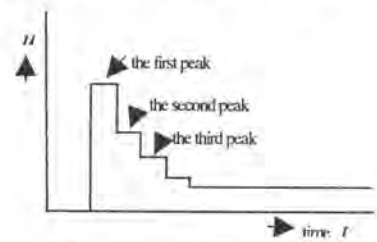


図3 操作量 u の応答の概要

図2において、TDCC内の第 k 分岐の目標設定値 r_{pk} と第 $(k-1)$ 分岐の目標設定値 $r_{p(k-1)}$ 間の関係は、

$$r_{pk}(i+1) = r_{p(k-1)}(i) \quad (49)$$

となる。3分岐を考慮して、偏差量 $e(i)$ は、図1より次式で与えられる。

$$e(i) = a_1 \{r_{p1}(i) - y(i)\} + a_2 \{r_{p2}(i) - y(i)\} + a_3 \{r_{p3}(i) - y(i)\} \quad (50)$$

ただし、配分率の総計は(2)式により、

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1 \quad (51)$$

(5)、(6)式より、

$$z(i+1) = z(i) - e(i) \quad (52)$$

$$u(i) = -f_1 x_1(i) - f_2 x_2(i) - f_3 z(i) \quad (53)$$

である。いま、目標値を $r(i) = r_0$ のステップ状目標値を扱う。初期値は、 $r_{p1}(0)$ と $e(0)$ を除いてすべてゼロである。すると、操作量の第1ピーク値 $u(1)$ は(53)式より、

$$u(1) = -f_1 x_1(1) - f_2 x_2(1) - f_3 z(1) = -f_3 z(1) \quad (54)$$

(50)式より、偏差量 $e(0)$ は時間差比較補償器の直接比較 r_0 の信号のみである。よって、(52)式より、

$$z(1) = z(0) - e(0) = -e(0) = -a_1 r_0 \quad (55)$$

上式を(54)式に代入して、

$$u(1) = a_1 f_3 r_0 \quad (56)$$

ここで、操作量の最終値 r_0/K_0 に対するピーク値の増加率を Δu とし、操作量の第1ピーク値が $r_0(1 + \Delta u)/K_0$ となるように設計

すれば, (56)式より,

$$u(1) = a_1 f_3 r_0 = \frac{r_0(1 + \Delta u)}{K_0} \quad (57)$$

であるから, a_1 は次のように求まる。

$$a_1 = \frac{1 + \Delta u}{f_3 K_0} \quad (58)$$

次に, 第2ピークを求める。ここでも(52), (53)式を用いて, $x_2(2) = u(1)$ であることを考慮すれば

$$u(2) = \{a_1 + a_2 + a_1(1 - f_2)\} f_3 r_0 \quad (59)$$

ピーク値を揃えるために $u(1) = u(2)$ とおけば

$$a_1 f_3 r_0 = \{a_1 + a_2 + a_1(1 - f_2)\} f_3 r_0 \quad (60)$$

これより,

$$a_2 = (f_2 - 1)a_1 \quad (61)$$

以上, 各分岐の配分率 a_1 , a_2 および a_3 は次のようになる。

$$a_1 = \frac{1 + \Delta u}{f_3 K_0} \quad (62)$$

$$a_2 = (f_2 - 1)a_1 \quad (63)$$

$$a_3 = 1 - a_1 - a_2 \quad (64)$$

4.2 時間差比較補償器 (TDCC) による有限整定化

TDCCによっても有限整定ができることを今回見出したので報告する。

TDCCによる有限整定化への基本式は, 巻末の付録(A31)式に示すように, 次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} x(i) \\ z(i) \end{bmatrix} = S^i \begin{bmatrix} x(0) \\ z(0) \end{bmatrix} - \sum_{j=1}^i S^{i-j} g H^{j-1} r(0) \quad (65)$$

ここに, $x(i)$ は, プラントの状態変数ベクトルであり, $z(i)$ は積分器の状態変数である。ただし, S , g , H , F , 及び $r(0)$ は次のように定義される。なお, y_0 は y の初期値である。

$$S = \begin{bmatrix} A - BF & -f_n B \\ C & 1 \end{bmatrix} \quad (66)$$

$$g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_1 & a_2 & \dots & a_k \end{bmatrix} \quad (67)$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & & \\ 0 & 1 & & \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (68)$$

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_{n+1}] \quad (69)$$

$$r(0) = [0 \quad 1 \quad \dots \quad 1]^T y_0 \quad (70)$$

なお, 制御対象の次数を n として, S は次式を満たすことに注意しなければならない。

$$\text{rank } S \leq n \quad (71)$$

$t = NT$ で有限整定がなされたとすると, (65)式より,

$$\begin{bmatrix} x(i) \\ z(i) \end{bmatrix} = 0 \quad (i \geq N) \quad (72)$$

および,

$$0 = S \begin{bmatrix} x(i) \\ z(i) \end{bmatrix} \quad (i = N-1) \quad (73)$$

これより,

$$\begin{bmatrix} x(i) \\ z(i) \end{bmatrix} = S^i \begin{bmatrix} x(0) \\ z(0) \end{bmatrix} - \sum_{j=1}^i S^{i-j} g H^{j-1} r(0) \quad (i = N-1) \quad (74)$$

また, 有限整定がなされる時間 N は次のようになるが, システムによっては異なる場合があり研究の余地が残されている。

$$N = n + k - 1 \quad (75)$$

ここで, n は制御対象の次数, k はTDCCの分岐数である。このように, 我々は(73)式と(74)式の関係を解くことによって有限整定効果が得られる。 $k=2$ のときが最短時間有限整定となるが, 操作量 u のピーク値が大きくなる。 k を多分岐にすることによって整定時間を伸ばすことが可能となり, かつ, 4.1節で述べた方法で操作量の各ピーク値を平坦化することにより, u のピーク値を低減できる。

5. 応答シミュレーション結果

プラントのむだ時間 L が $L=0$, $L=T$, $L=2T$ の各場合について, 前節までの解析を元にC++言語によるコンピュータシミュレーションを行い, 前節までの設計計算を検証し, 有限整定効果と操作量低減効果を確認, 従来の最適制御の場合と比較する。

コンピュータによる解析の手順として, まず, (34)式のリカッチ方程式をサブルーチンによって繰り返し解くことで定常解 P' を導出する。得た定常解 P' を(33)式に代入して F_e を求め, (35)式によって最適レギュレータ F および f_{n+1} を求める。その値を用いてシミュレーションを行う。評価関数(1)式の重み行列 Q' は(30)式によるので, 以降, その $i-1$ 成分 q_{i1} のみで表記する。一方の重み量 R は前述のようにスカラー量であり, すべての特性が q_{11} との比で決まるので,

$$R = 1 \quad (76)$$

とする。また, q_{11} の値によらず有限整定が可能であるが, 紙面の関係で

$$q_{11} = 5 \quad (77)$$

の例を扱う。

5.1 $L=0$ の場合

プロセスのむだ時間 L が $L=0$ のシステムで有限整定を行った場合のステップ応答例を扱う。TDCCの分岐数 k を, $k=2$ で設計した場合を図4に, $k=3$ で設計した場合を図5に示す。 $k=2$ のときの有限整定時間のサンプル点番号 N は $N=2$ となり, $k=3$ のときの有限整定時間のサンプル点番号は $N=3$ となる。外乱(disturbance)応答は従来の最適制御と全く同じである。

図4は, 最短時間で有限整定が行われている。このとき操作量のピーク値は大きなものとなるが, 出力 y は従来の応答に比べ,

立ち上がり時間が大幅に短縮されて有限整定されている。このときの設定パラメータ a_1, a_2 の設計公式は、(2), (73), および (74) の各式を解くことによって以下のように求められた。

$$a_1 = f_1\beta - \alpha - (f_1 + 1)\left(\beta - \frac{1}{f_2}\right) \quad (78)$$

$$a_2 = 1 - a_1 \quad (79)$$

ただし、 α, β は、それぞれ(24), (25)式で与えられる。

次に、 $k=3 (N=3)$ で設計した場合の図5では、有限整定時間が伸ばされた分、操作量のピーク値が低減されている。このときの設定パラメータ a_1, a_2, a_3 の設計公式は、(63), (64), (73), および、(74)の各式を解くことによって以下のように求められた。なお、 Δu は(73)と(74)式から決まる値であり、設計者が与える値ではないので、(62)式は使わない。

$$a_1 = \frac{\alpha^2 + \alpha + (2 + \alpha)\beta - 1 + f_1\beta(1 - \alpha - \beta) - (f_1 + 1)/f_2}{(f_2 - f_1)\beta - 1} \quad (80)$$

$$a_2 = (f_2 - 1)a_1 \quad (81)$$

$$a_3 = 1 - a_1 - a_2 \quad (82)$$

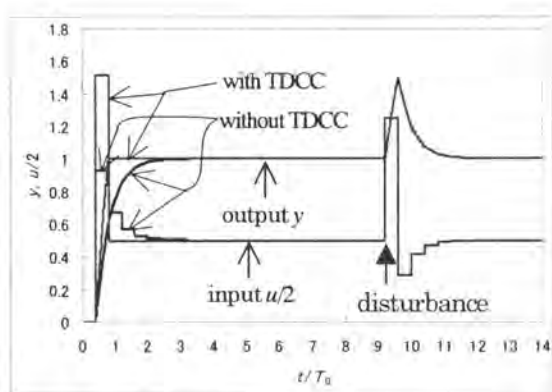


図4 TDCCによる有限整定化($L=0, q_{11}=5, k=2, N=2$)

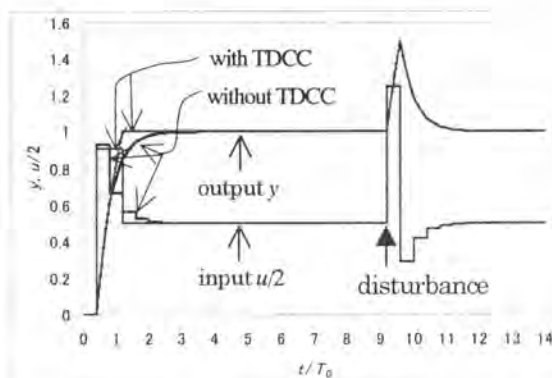


図5 TDCCによる有限整定化($L=0, q_{11}=5, k=3, N=3$)

5.2 $L=T$ の場合

プロセスのサンプル時間 T をむだ時間 L に合わせた $L=T$ のシステムで有限整定を行った場合のステップ応答波形の例を扱う。 $k=2 (N=3)$ の場合を図6に、 $k=3 (N=4)$ の場合を図

7に、 $k=4 (N=5)$ の場合を図8に示す。

図6の場合、最短時間で有限整定が行える。操作量のピーク値は大きい。また、図4と応答 y の形が同じであるが、応答が1サンプル時間遅れているこれは、プロセスにサンプル時間と同じ長さのむだ時間があるためである。このときの5.1節と同様に、パラメータ a_1, a_2 の設計公式は、(2), (73), および、(74) 式より次のように得られる。

$$a_1 = \frac{\alpha^3 + \alpha\beta(\alpha + 1) + f_1\alpha(1 - \alpha - \beta) + 1}{f_3\beta} \quad (83)$$

$$a_2 = 1 - a_1 \quad (84)$$

図7において、操作量 u の高さを平坦化させることにより、操作量 u の立ち上がりピーク値をやや低くすることができ、出力 y は従来よりも速い応答の有限整定がなされている。このとき得られたパラメータ設計公式も5.1節と同様に、(63), (64), (73), および、(74)の各式を解くことによって以下のように得られる。

$$a_1 = \frac{f_2 - 1}{f_3(f_1\beta - 1)} \quad (85)$$

$$a_2 = (f_2 - 1)a_1 \quad (86)$$

$$a_3 = 1 - a_1 - a_2 \quad (87)$$

図8においては、操作量のピーク値に大幅な低減効果が得られている。出力 y も従来よりもやや速い応答の有限整定が

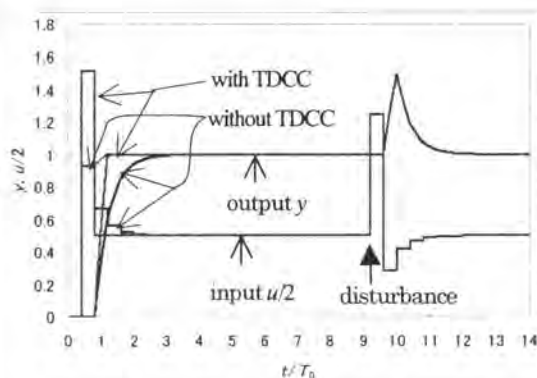


図6 TDCCによる有限整定化($L=T, q_{11}=5, k=2, N=3$)

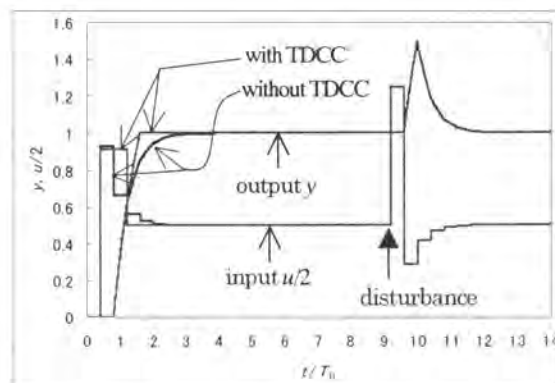


図7 TDCCによる有限整定化($L=T, q_{11}=5, k=3, N=4$)

なされている。このとき得られたパラメータ設計公式を以下に示す。

$$a_1 = \frac{f_3 - 1}{f_3 \{ \beta(f_1 \alpha + f_3) - 1 \}} \quad (88)$$

$$a_2 = (f_2 - 1)a_1 \quad (89)$$

$$a_3 = \{ \beta f_1 - f_2(f_2 - 2) - 2 \} a_1 - (2 - f_2)a_2 \quad (90)$$

$$a_4 = 1 - a_1 - a_2 - a_3 \quad (91)$$

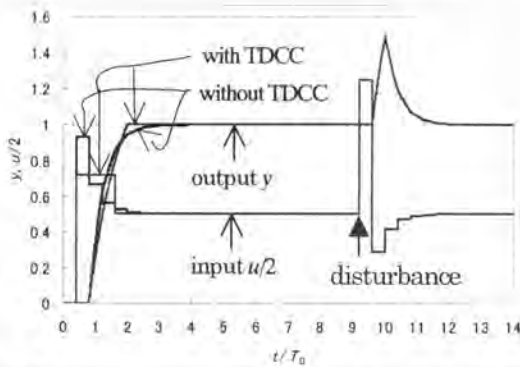


図8 TDCCによる有限整定化(L=T, q₁₁=5, k=4, N=5)

5.3 L=2Tの場合

プロセスのむだ時間Lがサンプル時間Tの2倍であるL=2Tのシステムで有限整定を行った場合のステップ応答波形の例を扱う。k=2(N=4)の場合を図9に、k=3(N=5)の場合を図10に示す。

図9においては、最短時間で有限整定がなされている。また、図6と応答の形が同じだが、応答が丁度2サンプル時間遅れていることが分かる。理由は5.2節と同様である。このときのパラメータa₁、a₂の設計公式を以下に示す。

$$a_1 = \frac{f_1 + f_2 + f_3 + 1}{f_4} - \alpha^3 - \alpha^2(\beta + 1) - \alpha(2\beta + 1) - 3\beta \quad (92)$$

$$a_2 = 1 - a_1 \quad (93)$$

図10において、操作量uのピーク値を揃えることによって低減効果が得られ、また出力yにおいても立ち上がり時間の短縮が見られる。ここでのパラメータ設計値を以下に示す。

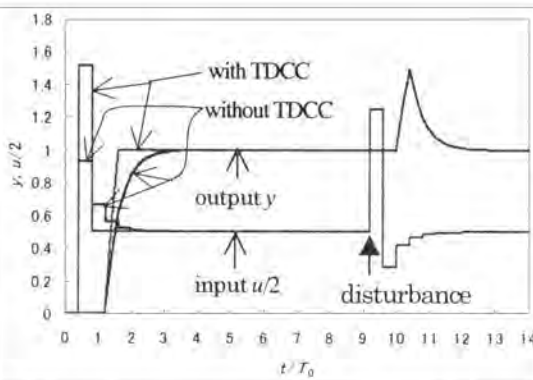


図9 TDCCによる有限整定化(L=2T, q₁₁=5, k=2, N=4)

$$a_1 = \alpha^4 + \alpha^3(\beta + 1) + \alpha^2(2\beta + 1) + \alpha\beta(3 - f_1) + \alpha - \beta(f_2 + f_3) - f_1\beta^2 - \frac{1}{f_4}(1 - f_4\beta)(f_1 + f_2 + f_3 + 1) \quad (94)$$

$$a_2 = (f_3 - 1)a_1 \quad (95)$$

$$a_3 = 1 - a_1 - a_2 \quad (96)$$

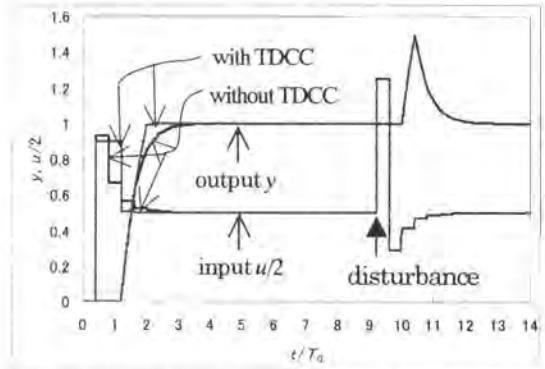


図10 TDCCによる有限整定化(L=2T, q₁₁=5, k=3, N=5)

6. 考察および討論

前節のシミュレーション結果を見ると、すべての場合に有限整定制御がなされていて、本論文の目的の1つを達成できたことが分かる。もう1つの目的である操作量のピーク値の低減効果は図8に典型的に現れている。最短時間有限整定制御である図4、図6、図9を見ると、操作量のピーク値は反対に大きく増大している。よって、有限整定時間を増やすほど、操作量のピーク値を低減させることができるといえる。

以上、有限整定はTDCCによって必ず可能になるが、操作量のピーク値低減効果が出現させるためには、有限整定時間を遅らせる必要がある。

プロセスのむだ時間Lが大きく(22)式のm値を大きく取るほど、(73)、(74)式による設計計算が困難になる。前節に掲げた設計例が少ないのはこの理由による。従って、今後、(73)、(74)式に代わる設計理論の構築が必要と思われ、例えば、z変換を用いる方法を探ることを考えているが、成功する確証は今の所ない。

(22)式のmとプラント(プロセス系)の次数nとの関係は前節までに明確に記さなかったが、(27)式を見て分かるように、

$$n = m + 1 \quad (97)$$

である。

有限整定時間のサンプル点番号NとTDCCの奇数kとの関係を(75)式に示したが、これは、現時の研究段階での暫定的な結果であって、確定は未だできていない。大部分の場合は正しいといえるが、変更されることがあり得る。これについては、今後の研究により解明する予定である。

7. あとがき

時間差比較補償器(TDCC)を導入した最適制御において、有限整定が行えることを理論とシミュレーションの両方で確かめた。TDCCの分岐数を加減することにより、整定時間 N を変えることができることも確かめた。最短時間有限整定制御では操作量のピーク値は極めて大きくなるが、TDCCの分岐数を増すことにより、ピーク値を低減できることも確かめた。ただし、設計理論にはまだ、不完全なところが残されている。また、TDCCの分岐数を増すと、我々が求めた設計理論での設計は極めて困難になるので、これに代わる理論の構築も待たれる。

謝辞

本校自然科学科の山本茂樹教授には、マトリックスの計算に関して有益なご教示を戴きまして、ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 美多 勉：デジタル制御理論, pp.15-26, 昭晃堂 (1986).
- (2) 山本信雄：「制御系の汎用性時間差比較補償法」, 第30回自動制御連合講演会(前刷), pp.185-186(1987).
- (3) 山本信雄, 大内等：「時間差で比較する機能を導入した2自由度PID制御」, 電気学会論文誌D, Vol. 123, No.3, pp.247-256 (2003).
- (4) 山本信雄：「内部モデル協調型フィードフォワードおよび汎用性時間差比較補償法」, 日本自動制御協会シグナル・システム・コントロール・シンポジウム講演論文集, pp.25-28 (1988).
- (5) H. Masuda, H. Tokoro & N. Yamamoto: "Suppression Effect of Manipulation Variables using Time-Difference Comparison Compensation in LQ Optimal Control of Process System", SICE Annual Conference 2002 in Osaka, TEA-08-4 (2002).
- (6) H. Masuda, N. Yamamoto & H. Oouchi: "Dead-Beat Effect of LQ Optimal Control with the Use of Time-Difference Comparison Compensation in Process Systems", SICE Annual Conference 2003 in Fukui, WPI-7-5 (2003).
- (7) A. Kawahara, A. M. Whiandar and N. Yamamoto: "Suppression Effect of Manipulation Variables Using Time-Difference Comparison Compensation in LQ Optimal Control of Servo System", SICE Annual Conference 2002 in Osaka, EA08-3 (2002).

付録

時間差比較補償器(TDCC)によるLQ最適制御の有限整定化の条件

図A1に、TDCCを用いた多入力、多出力システムのLQ最適制御のブロック線図を示す。入出力の次数を m (本文(22)式)の

の m とは異なることに注意), プラントの次数を n とする。目標値の個数は入出力の次数に等しい。よって, TDCCの個数も m となる。 p ($1 \leq p \leq m$) 番目のTDCC内にある各分岐の目標設定値(本文の図2参照)を要素にする p 番目の目標値ベクトルを次のように定義する。

$$r_p(i) = [r_{p1}(i) \ r_{p2}(i) \ \dots \ r_{pM_p}(i)]^T \tag{A1}$$

p 番目のTDCCの分岐数を M_p とするとき, 各分岐での配分率を要素とする配分率ベクトルを次のように定義する。

$$a_p = [a_{p1} \ a_{p2} \ \dots \ a_{pM_p}] \tag{A2}$$

ただし, 本文(2)式と同様に,

$$\sum_{j=1}^{M_p} a_{pj} = 1 \tag{A3}$$

p 番目の偏差量は,

$$e_p(i) = a_p r_p(i) - y_p(i) \tag{A4}$$

(A1)式を要素とする全体の目標値ベクトルを次式で定義する。

$$r(i) = [r_1^T(i) \ r_2^T(i) \ \dots \ r_p^T(i) \ \dots \ r_m^T(i)] \in R^{(\sum M_j) \times 1} \tag{A5}$$

次に, TDCCすべての配分率を示すマトリックス Λ を, (A2)式を各要素で構成して, 次のように定義する。

$$\Lambda = \begin{bmatrix} a_1 & & & & & & \\ & a_2 & & & & & \\ & & \dots & & & & \\ & & & a_p & & & \\ & & & & \dots & & \\ & & & & & & a_m \end{bmatrix} \in R^{m \times (\sum M_j)} \tag{A6}$$

図A1の偏差量と出力も(A5)式と同様に

$$e(i) = [e_1^T(i) \ e_2^T(i) \ \dots \ e_p^T(i) \ \dots \ e_m^T(i)]^T \tag{A7}$$

$$y(i) = [y_1^T(i) \ y_2^T(i) \ \dots \ y_p^T(i) \ \dots \ y_m^T(i)]^T \tag{A8}$$

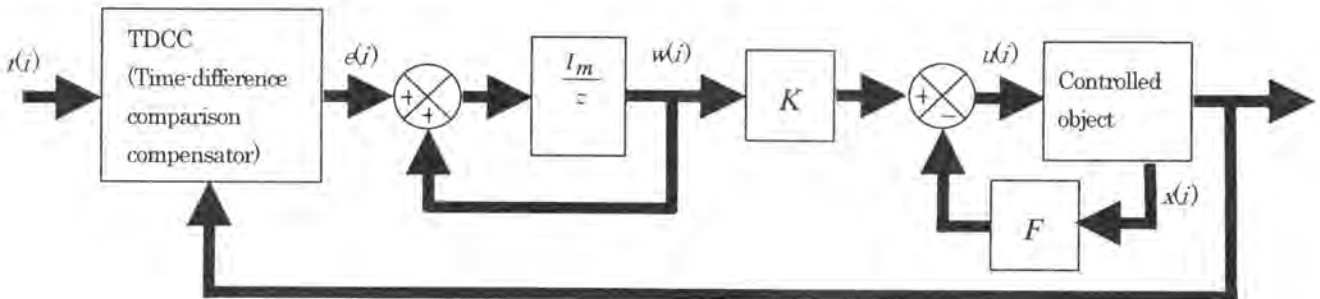
で表す。すると,

$$e(i) = \Lambda r(i) - y(i) \tag{A9}$$

図A1中のプラント(control object)のデジタル状態方程式は,

$$x(i+1) = Ax(i) + Bu(i) \tag{A10}$$

ここに, $x \in R^{n \times 1}$, $A \in R^{n \times n}$, $B \in R^{n \times m}$, $u \in R^{m \times 1}$ 。



図A1 有限整定化のためにTDCCを用いた多入力、多出力LQ最適制御システムのブロック線図

図A1により操作量は次のようになる。

$$u(i) = -Fx(i) - Kw(i) \tag{A11}$$

ここに, $F \in R^{m \times n}$, および, $K \in R^{m \times m}$ であり, 本文の LQ 最適制御を満足するように決める。また, 積算器は,

$$w(i+1) = w(i) - e(i) \tag{A12}$$

以上より,

$$r(i+1) = Hr(i) + \Phi v(i) \tag{A13}$$

ただし, r は(A1)式であり, 他のマトリックスやベクトルは,

$$H = \begin{bmatrix} H_1 & & & & 0 \\ & H_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & H_p & \\ 0 & & & & \ddots \\ & 0 & & & & H_m \end{bmatrix} \in R^{(\sum M_i) \times (\sum M_i)} \tag{A14}$$

ここに,

$$H_p = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \ddots \\ & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \in R^{M_p \times M_p} \tag{A15}$$

であり, また,

$$\Phi = \begin{bmatrix} h_1 & & & & 0 \\ & h_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & h_p & \\ 0 & & & & \ddots \\ & & & & & h_m \end{bmatrix} \in R^{(\sum M_i) \times m} \tag{A16}$$

ここに,

$$h_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \in R^{M_p \times 1} \tag{A17}$$

であり, また,

$$v^T(i) = [v_1(i) \ v_2(i) \ \dots \ v_m(i)]^T \in R^{m \times 1} \tag{A18}$$

ここに,

$$r_{p1}(i+1) = v_p(i) \tag{A19}$$

のように, $v_p(i)$ は p 番目のTDCCに1サンプル時間前に用意された目標値を表す。

次に,

$$M_0 = \max\{M_p\} \quad (1 \leq p \leq m) \tag{A20}$$

のとき,

$$H_p^{M_p} = 0 \quad (\forall p) \tag{A21}$$

が成り立つ。

(A9)-(A12)式より,

$$\begin{bmatrix} x(i+1) \\ z(i+1) \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} x(i) \\ z(i) \end{bmatrix} - \Gamma r(i) \tag{A22}$$

ただし,

$$S = \begin{bmatrix} A-BF & -BK \\ C & I_m \end{bmatrix} \in R^{(n+m) \times (n+m)} \tag{A23}$$

および,

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0_{n \times \sum M_j} \\ \Lambda \end{bmatrix} \in R^{(n+m) \times (\sum M_j)} \tag{A24}$$

ただし, Λ は(A6)式で与えられる。

(A22)式より, サンプル時刻 N と初期時間との各場合の間の関係は,

$$\begin{bmatrix} x(N) \\ z(N) \end{bmatrix} = S^N \begin{bmatrix} x(0) \\ z(0) \end{bmatrix} - \sum_{j=1}^N S^{N-j} \Gamma H^{j-1} r(0) - \sum_{k=0}^{N-2} \sum_{j=0}^{N-k} S^{N-j-k} \Gamma H^j \Phi v(k) \tag{A25}$$

本文の(34)式の解を

$$P' = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}$$

のように分解する。ただし, $P_{11} \in R^{n \times n}$, $P_{12} \in R^{n \times m}$, $P_{21} \in R^{m \times n}$, $P_{22} \in R^{m \times m}$ である。このとき, (A23)式は次式となる。

$$S = \begin{bmatrix} A - I_n - B(R + P_{22})^{-1} P_{21} & \\ & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ & \end{bmatrix} E^{-1} \tag{A26}$$

ただし,

$$E = \begin{bmatrix} A - I_n & B \\ C & 0 \end{bmatrix} \in R^{(n+m) \times (n+m)} \tag{A27}$$

なお,

$$rank S \leq n \tag{A28}$$

であることに注意が必要である。

サンプル点 $N+1$ で有限整定させるためには, 各変数の初期値等を考慮して(A25)式において

$$\begin{bmatrix} x(N+1)^T & z(N+1)^T \end{bmatrix}^T = 0 \tag{A29}$$

とおけば, 次式の関係を得る。

$$S \begin{bmatrix} x(N) \\ w(N) \end{bmatrix} = 0 \tag{A30}$$

および,

$$\begin{bmatrix} x(N) \\ w(N) \end{bmatrix} = S^N \begin{bmatrix} x(0) \\ w(0) \end{bmatrix} - \sum_{j=1}^N S^{N-j} \Gamma H^{j-1} r(0) = 0 \tag{A31}$$

時間差比較補償(TDCC)法を用いたデジタル設計

山本 信雄, 上野 悦史*

Digital Design of Feedback Control with the Use of Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) Method

Nobuo YAMAMOTO and Etsushi UENO*

Abstract: Digitalized design method of two-degrees-of-freedom PID control with the use of the time difference comparison compensator (TDCC) is researched by using expansion method of the denominator in pulsed transfer function of a control system. Continuous time analysis of the continuous system is compared with the results by this digitalized design method.

1. はじめに

目標値と帰還量の時間差比較の概念を導入した時間差比較補償器 (TDCC) ⁽¹⁾を用いた連続時間の2自由度制御を提案し⁽¹⁾⁻⁽³⁾, 従来の2自由度制御⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾に比べて優れた応答特性を与える可能性を示してきたが, 今回, デジタル制御においてTDCCを用いた2自由度PID制御の設計法を開発した。設計の手段として, TDCC補償器とPIDコントローラを含めたシステム全体を z 変換を用いたパルス伝達関数で表現し⁽⁷⁾, 分母系列表現によって応答モデルに合わせるように^{(11),(12)}, TDCCパラメータを調節する。

従来のPID制御は, 我々のTDCCを用いた2自由度制御を含めて連続時間制御を扱い, 解析してきたが, この連続制御の設計結果とを比較する。

2. 制御系の構成

2.1 PIDコントローラのパルス伝達関数

図1にPIDサーボ制御のブロック図を示す。 $G_c(z)$ はPI

Dコントローラで $G(z)$ は制御対象である。ただし, r, e, u, d, y はそれぞれステップ状目標値入力, 偏差量, 操作量, 外乱入力, および, 制御出力を表す。

0次ホールドでデジタル化したときのPIDコントローラの各動作部は, 次のようになる。まず, デジタル表現の状態方程式は

$$P \text{ 動作: } v[i] = K_p e[i] \tag{1}$$

$$I \text{ 動作: } w[i+1] = w[i] + \frac{T}{T_I} v[i] \tag{2}$$

$$D \text{ 動作: } z[i+1] = \frac{(v[i+1] - v[i])T_D}{T} \tag{3}$$

上式を z 変換してパルス伝達関数の形で表現すると,

$$P \text{ 動作: } V[z] = K_p E[z] \tag{4}$$

$$I \text{ 動作: } W[z] = \frac{1}{z-1} \frac{T}{T_I} V[z] \tag{5}$$

$$D \text{ 動作: } Z[z] = \frac{z-1}{z} \frac{T_D}{T} V[z] \tag{6}$$

上3式から, PIDコントローラのパルス伝達関数は次式になる。

$$G_c(z) = K_p \left(1 + \frac{1}{z-1} \frac{T}{T_I} + \frac{z-1}{z} \frac{T_D}{T} \right)$$

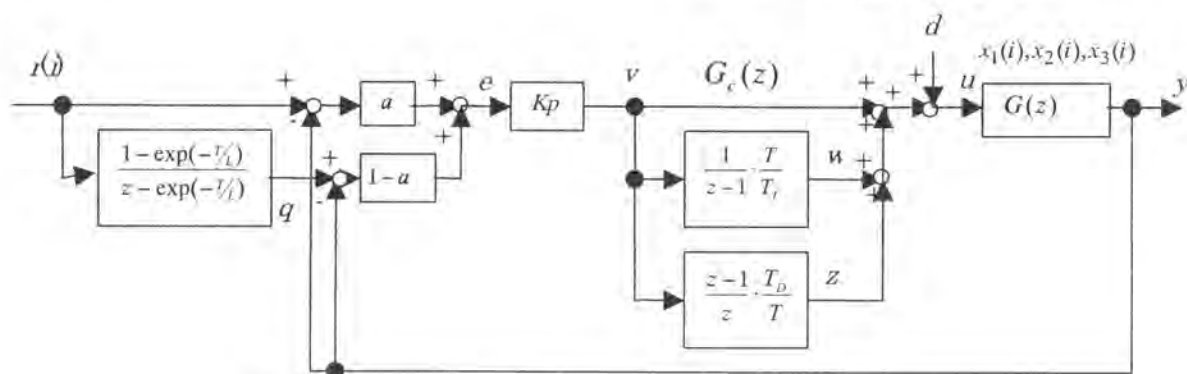


図1 TDCCを用いた z 変換表現によるPID制御のブロック線図

* 多賀工事社。平成15年度に本校電気工学科を卒業

(註) これは, United States Patent No.4,953,076 (1990), U. S. Patent No.5,182,703 (1993), および, 国内特許 No.2,716,437 (1997) を取得している。

$$= \frac{K_P \left\{ 1 + \frac{T_0}{T} z^2 - \left(1 - \frac{T}{T_1} + 2 \cdot \frac{T_0}{T} \right) z + \frac{T_0}{T} \right\}}{z(z-1)} \quad (7)$$

2.2 制御対象の状態方程式と出力方程式

制御対象はサーボ系を扱うことにし、その伝達関数は、

$$G(s) = G_a(s)G_B(s) \quad (8)$$

ただし、

$$G_a(s) = e^{-sL} \quad (9)$$

および、

$$G_B(s) = \frac{K_0}{s(sT_0 + 1)} \quad (10)$$

(9)式の z 変換は、

$$G_a(z) = z^{-\frac{L}{T}} \quad (11)$$

となる。次に、伝達関数 $G_B(s)$ で表現される内部での状態方程式は、この入力変数を v として

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_0}{T_0} \end{bmatrix} v \quad (12)$$

これをサンプル時間 T でデジタル化して、0次ホールドを行うと、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} x_1(i+1) \\ x_2(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_0(1-e^{-\frac{T}{T_0}}) \\ 0 & e^{-\frac{T}{T_0}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_0\{T-T_0(1-e^{-\frac{T}{T_0}})\} \\ K_0(1-e^{-\frac{T}{T_0}}) \end{bmatrix} v(i) \quad (13)$$

また、制御出力 y は、

$$y(i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \end{bmatrix} \quad (14)$$

以上より、駆動、入力、及び出力マトリックスはそれぞれ、

$$A_B = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$B_B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$C_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

ここに、 $a_{22} = e^{-\frac{T}{T_0}}$ 、 $a_{12} = T_0(1-a_{22})$ 、および、

$$b_2 = K_0(1-a_{22})、b_1 = K_0\{T-T_0(1-a_{22})\}。$$

(13)式を z 変換すると、

$$zX(z) - zX(0) = A_B X(z) + B_B V(z) \quad (18)$$

入力応答を扱うので初期値 $X(0)$ を無視すると、

$$\therefore X(z) = (zI - A_B)^{-1} B_B V(z) \quad (19)$$

(14)式とにより、出力は、

$$Y(z) = C_c (zI - A_B)^{-1} B_B V(z) \quad (20)$$

となり、伝達関数 $G_B(z)$ は、次のようになる。

$$G_B(z) = C_c (zI - A_B)^{-1} B_B \quad (21)$$

(15)、(16)、および、(17)式を用いて、次のように求まる。

$$G_B(z) = \frac{b_1 z + (a_{12} b_2 - a_{22} b_1)}{(z-1)(z-a_{22})} \quad (22)$$

(11)式と上式より、制御対象の伝達関数 $G(s)$ は、次のようになる。

$$G(z) = G_a(z)G_B(z) \\ = z^{-\frac{L}{T}} \frac{b_1 z + (a_{12} b_2 - a_{22} b_1)}{(z-1)(z-a_{22})} \quad (23)$$

2.3 目標値フィルタのパルス伝達関数

時間差比較補償器(TDCC)の第2分岐は1次遅れ要素⁽⁹⁾が伝達要素として用いられているが、このデジタル状態方程式は、通常の1次系と同様に、次のようになる。ただし、 r は目標値入力であり、 q はこの1次遅れ要素の出力となる。

$$q(i+1) = e^{-\frac{T}{T_r}} q(i) + (1 - e^{-\frac{T}{T_r}}) r(i) \quad (24)$$

図1左側のブロック線図より、

$$e(i) = ar(i) + (1-a)q(i) - y(i) \quad (25)$$

(24)、(25)式を各々、 z 変換すると次のようになる。

$$q(z) = \frac{1 - \exp(-\frac{T}{T_r})}{z - \exp(-\frac{T}{T_r})} r(z) \quad (26)$$

$$e(z) = ar(z) + (1-a)q(z) - y(z) \quad (27)$$

(26)式を(27)式に代入して整理すると、TDCC補償器の $r(z)$ と $e(z)$ の間のパルス伝達関数 $F(z)$ は次のようになる。

$$F(z) = \frac{e(z)}{r(z)} = \frac{az - \{a - 1 + \exp(-\frac{T}{T_r})\}}{z - \exp(-\frac{T}{T_r})} \quad (28)$$

これはTDCCによる目標値フィルタ⁽⁹⁾のパルス伝達関数となる。

2.4 s 平面上の安定領域と新変換変数 ε の導入

連続系の伝達関数を分数多項式に展開するときには、 $s=0$ を中心に展開する^{(11),(12)}。それに対応するパルス伝達関数の分数多項式への展開を考える。ラプラス変換変数 s は複素平面上で次式で表される。

$$s = re^{j\varphi} \quad (29)$$

これと z 変換変数 z とは次式の関係がある。

$$z = e^{sT} \quad (30)$$

上2式より、

$$z = \exp(rT \cos \varphi) \cdot \exp(jrT \sin \varphi) \quad (31)$$

この式で、 $r \rightarrow 0$ のとき $s=0$ となるが、 z 値は $z=1$ となって文献(11)の連続系における $s=0$ の周りで分数多項式に展開できたようには、 $z=0$ の周りで展開することができない。

そこで、我々は、デジタル系においてもゼロの周りで展開できるように、次式のような新たな変数 ε を定義する。

$$\varepsilon = 1 - z \quad (32)$$

(29)、(30)、および、(32)式の関係から、各複素平面の対応関係を図2に示す。

2.5 パルス伝達関数 $G_0(z)$ 、 $G_c(z)$ の ε を用いた表現

(8)式のPIDコントローラのパルス伝達関数 $G_c(z)$ に(32)式の変形 $z = 1 - \varepsilon$ を導入すれば次式のようにになる。

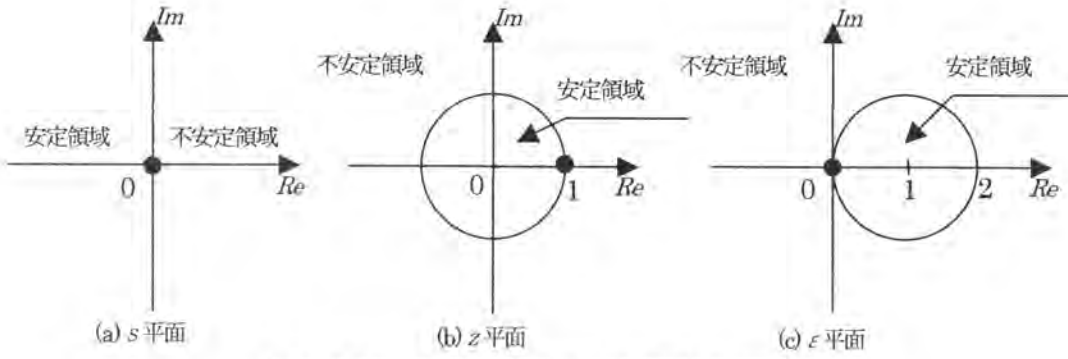


図2 各複素平面における安定・不安定領域の写像関係

$$G_c(\varepsilon) = \frac{K_P \left\{ (1 + T_D/T)(1-\varepsilon)^2 - (1 - T_D/T) + 2 \cdot T_D/T(1-\varepsilon) + T/I_D \right\}}{(1-\varepsilon)(1-\varepsilon-1)}$$

$$= \frac{K_P \left\{ -2\varepsilon + \varepsilon^2 + T_D/T - 2T_D/T\varepsilon + T_D/T\varepsilon^2 - 1 + T/I_D - 2T_D/T + \varepsilon - T/I_D\varepsilon + 2T_D/T\varepsilon + T/I_D \right\}}{-\varepsilon(\varepsilon-1)}$$

$$= \frac{K_P \left\{ T/I_D - (T/I_D + 1)\varepsilon + (T/I_D + 1)\varepsilon^2 \right\}}{\varepsilon(\varepsilon-1)}$$

$$= \frac{K_P \left\{ T/I_D - I\varepsilon + D\varepsilon^2 \right\}}{\varepsilon - \varepsilon^2} \quad (33)$$

ただし、

$$I = T/I_D + 1 \quad (34)$$

$$D = T_D + 1 \quad (35)$$

次に、(22)式に $z = 1 - \varepsilon$ を導入すれば、次式となる。

$$G_B(\varepsilon) = \frac{b_1(1-\varepsilon) + (a_{12}b_2 - a_{22}b_1)}{\{(1-\varepsilon)-1\}\{(1-\varepsilon)-a_{22}\}}$$

$$= \frac{(b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1) - b_1\varepsilon}{-\varepsilon(1-a_{22}) + \varepsilon^2} \quad (36)$$

以上より、(23)式の制御対象の伝達関数 $G(z)$ は、次のようになる。

$$G(\varepsilon) = G_a(z)G_B(\varepsilon)$$

$$= z^{-\frac{1}{T}} \frac{(b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1) - b_1\varepsilon}{-(1-a_{22})\varepsilon + \varepsilon^2} \quad (37)$$

2.6 閉ループ・パルス伝達関数 $W(\varepsilon)$

目標値フィルタを含まない制御系の閉ループ伝達関数 $W(\varepsilon)$ は、次の式で求められる。

$$W(\varepsilon) = \frac{G_c(\varepsilon) \cdot G(\varepsilon)}{1 + G_c(\varepsilon) \cdot G(\varepsilon)} \quad (38)$$

先ず、

$$G_c \cdot G = z^{-\frac{1}{T}} \cdot \frac{K_P \left\{ T/I_D - I\varepsilon + D\varepsilon^2 \right\} \left\{ (b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1) - b_1\varepsilon \right\}}{-(\varepsilon - \varepsilon^2) \left\{ -(1-a_{22})\varepsilon + \varepsilon^2 \right\}}$$

$$= z^{-\frac{1}{T}} \cdot \frac{K_P \left\{ T/I_D (b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1) - T/I_D b_1 + I(b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1)\varepsilon \right\}}{\left\{ b_1 + D(b_1 + I(b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1)\varepsilon^2 - Db_1\varepsilon^3) \right\}}$$

(39)

よって、閉ループ伝達関数 $W(\varepsilon)$ は次のように求まる。

$$W(\varepsilon) = z^{-\frac{1}{T}} \frac{\delta_0 + \delta_1\varepsilon + \delta_2\varepsilon^2 + \delta_3\varepsilon^3}{(1-a_{22})\varepsilon^2 - (2-a_{22})\varepsilon^3 + \varepsilon^4 + (1-\varepsilon)^{-\frac{1}{T}} (\delta_0 + \delta_1\varepsilon + \delta_2\varepsilon^2 + \delta_3\varepsilon^3)} \quad (40)$$

ただし、

$$\delta_0 = K_P C T/I_D \quad (41)$$

$$\delta_1 = -K_P (b_1 T/I_D + IC) \quad (42)$$

$$\delta_2 = K_P (Ib_1 + DC) \quad (43)$$

$$\delta_3 = -K_P Db_1 \quad (44)$$

$$C = b_1 + a_{12}b_2 - a_{22}b_1 \quad (45)$$

と置き、 I 、 D は(34)、(35)式で与えられる。

(40)式の分母にある $(1-\varepsilon)^{-\frac{1}{T}}$ を、ゼロの周りのテーラー展開を行い、整理すると次のようになる。

$$(1-\varepsilon)^{-\frac{1}{T}} = 1 + \tau\varepsilon + \frac{1}{2}\tau(\tau+1)\varepsilon^2 + \frac{1}{6}\tau(\tau+1)(\tau+2)\varepsilon^3 + \frac{1}{24}\tau(\tau+1)(\tau+2)(\tau+3)\varepsilon^4 \quad (46)$$

ここに、 $\tau = T/L$ である。

以上より、(40)式は次のようになる。

$$W(\varepsilon) = \frac{\delta_0 + \delta_1\varepsilon + \delta_2\varepsilon^2 + \delta_3\varepsilon^3}{q_0 + q_1\varepsilon + q_2\varepsilon^2 + q_3\varepsilon^3 + q_4\varepsilon^4} \quad (47)$$

ここに、 q_0, q_1, q_2, q_3, q_4 は次式で表される。

$$q_0 = \delta_0 = K_P T/I_D C \quad (48)$$

$$q_1 = \delta_1 + \delta_0\tau \quad (49)$$

$$q_2 = (1-a_{22}) + \delta_2 + \delta_1\tau + \frac{1}{2}\delta_0\tau(\tau+1) \quad (50)$$

$$q_3 = (a_{22}-2) + \delta_3 + \delta_2\tau + \frac{1}{2}\delta_1\tau(\tau+1) + \frac{1}{6}\delta_0\tau(\tau+1)(\tau+2) \quad (51)$$

$$q_4 = 1 + \delta_3\tau + \frac{1}{2}\delta_2\tau(\tau+1) + \frac{1}{6}\delta_1\tau(\tau+1)(\tau+2) + \frac{1}{24}\delta_0\tau(\tau+1)(\tau+2)(\tau+3) \quad (52)$$

(47)式を書き換え、2次までの分母系列表現に直す。

$$W(\varepsilon) = z^{-\frac{1}{T}} \frac{1}{1 + p_1\varepsilon + p_2\varepsilon^2 + \dots} \quad (53)$$

ここに、

$$p_1 = \frac{q_1 - \delta_1}{\delta_0} \quad (54)$$

$$p_2 = \frac{1}{\delta_0} \left\{ (q_2 - \delta_2) - \frac{\delta_1(q_1 - \delta_1)}{\delta_0} \right\} \quad (55)$$

2.7 TDCCによる目標値フィルタのパルス伝達関数 $F(\varepsilon)$

(28)式の目標値フィルタのパルス伝達関数 $F(z)$ に $z = 1 - \varepsilon$ を導入すると、次のようになる。

$$F(\varepsilon) = \frac{-a\varepsilon + \{1 - \exp(-\frac{T}{T_r})\}}{-\varepsilon + \{1 - \exp(-\frac{T}{T_r})\}} \quad (56)$$

ここで、

$$a_r = 1 - \exp(-\frac{T}{T_r}) \quad (57)$$

と置くと、

$$F(\varepsilon) = \frac{-a\varepsilon + a_r}{-\varepsilon + a_r} \quad (58)$$

これを分母系列表現に直すと、次式を得る。

$$F(\varepsilon) = \frac{1}{1 + c_1\varepsilon + c_2\varepsilon^2 + \dots} \quad (59)$$

ただし、

$$c_1 = -\frac{1-a}{a_r} \quad (60)$$

$$c_2 = \frac{-a(1-a)}{a_r^2} \quad (61)$$

2.8 規範モデル $M(\varepsilon)$

規範モデル $M(\varepsilon)$ を次のように表す。

$$M(\varepsilon) = z^{-\frac{L}{T}} \frac{1}{1 + \alpha_1\varepsilon + \alpha_2\varepsilon^2 + \dots} \quad (62)$$

図1の全系の伝達関数 $F(\varepsilon) \cdot W(\varepsilon)$ がこの規範モデル $M(\varepsilon)$ に等しいと置く。即ち、

$$F(\varepsilon)W(\varepsilon) = M(\varepsilon) \quad (63)$$

これに(47)式と(59)式を代入すると次式を得る。

$$(1 + c_1\varepsilon + c_2\varepsilon^2 + \dots)(1 + p_1\varepsilon + p_2\varepsilon^2 + \dots) = 1 + \alpha_1\varepsilon + \alpha_2\varepsilon^2 + \dots \quad (64)$$

$$(64) \text{ 式の左右両辺との係数合わせをするために書き換えると、} \\ 1 + (c_1 + p_1)\varepsilon + (c_2 + c_1p_1 + p_2)\varepsilon^2 + \dots = 1 + \alpha_1\varepsilon + \alpha_2\varepsilon^2 + \dots \quad (65)$$

ε の N 次まで上式の各係数 α_i は、次のように得られる。

$$c_1 + p_1 = \alpha_1 \quad (66-1)$$

$$c_2 + c_1p_1 + p_2 = \alpha_2 \quad (66-2)$$

⋮

$$c_i + \sum_{j=1}^{i-1} c_j p_{i-j} + p_i = \alpha_i \quad (66-3)$$

$$c_N + \sum_{j=1}^{N-1} c_j p_{N-j} + p_N = \alpha_N \quad (66-4)$$

TDCCの調節パラメータは、配分率 a と時間差 T_r の2個なので、 ε の取り扱う次数は、

$$N = 2 \quad (67)$$

である。したがって、(60)式と(61)式を用いて、(66)式の連立方程式は次のようになる。

$$-\frac{1-a}{a_r} + p_1 = \alpha_1 \quad (68-1)$$

$$-\frac{a(1-a)}{a_r^2} - \left(\frac{1-a}{a_r}\right)p_1 + p_2 = \alpha_2 \quad (68-2)$$

ただし、 a_r は(57)式で定義される。

(68)式から、2個のTDCCパラメータ a と T_r が α_1 と α_2 によって決まることを示す。

規範モデル $M(\varepsilon)$ として、オーバーシュートのない Binomial モデルを考えよう。連続系では、これは次式で表される。

$$M(s) = \frac{e^{-sL}}{(s\sigma + 1)^m} \quad (69)$$

次数 m は、(47)式で表される有理多項式表現における閉ループ伝達関数 $W(\varepsilon)$ の分母と分子との次数の差に等しくとる。今回の場合、次数の差は1であるので、 $m = 1$ となる。

(69)式を z 変換し、(32)式により $M(\varepsilon)$ に変換すると、次のようになる。

$$M(\varepsilon) = z^{-\frac{L}{T}} \frac{1}{1 - \frac{1}{1 - \exp(-T/\sigma)} \varepsilon} \quad (70)$$

これを次の分母系列表現

$$M(\varepsilon) = z^{-\frac{L}{T}} \cdot \frac{1}{1 + \alpha_1\varepsilon + \alpha_2\varepsilon^2 + \dots} \quad (71)$$

と比較して

$$\alpha_1 = -\frac{1}{1 - \exp(-T/\sigma)} \quad (72-1)$$

$$\alpha_2 = 0 \quad (72-2)$$

のようにモデルの係数が決定される。

2.9 目標値フィルタのパラメータの設計

(72)式から(68)式は次のようになる。

$$-\frac{1-a}{a_r} + p_1 = -\frac{1}{1 - \exp(-T/\sigma)} \quad (73-1)$$

$$-\frac{a(1-a)}{a_r^2} - \left(\frac{1-a}{a_r}\right)p_1 + p_2 = 0 \quad (73-2)$$

(73-2)式より、 a と a_r の関係を得る。

$$a_r = \frac{(1-a)p_1 + \sqrt{(1-a)^2 p_1^2 + 4p_2 a(1-a)}}{2p_2} \quad (74)$$

また、(57)に式より、

$$T_r = \frac{T}{\ln \frac{1}{1-a_r}} \quad (75)$$

(74)、(75)式より、TDCCパラメータ (a, T_r) の最適な組み合わせ

わせが得られるが、このうち、1次おくれ時間 T_r が最小のものが目標値応答として即応性が最もよいと考えられる。即ち、

$$T_r = \min T_r \text{ in Eqs. (57) and (75)} \quad (76)$$

結局、(76)式のように、 T_r が最小となるTDCCパラメータ (a, T_r) の1組を最適設計値として採用する。

3. コンピュータシミュレーション結果

3.1 シミュレーション方法

PIDコントローラの調節は、系全体のゲイン余裕を指定し、外乱応答を最小に行った。連続制御との比較をするために、文献(3)で得られたPIDパラメータ設定値 (K_c, T_I, T_D) を用いた。

次いで、(57)、(75)式を用いて、TDCCの最適パラメータである a と T_r の関係をグラフに表示し、このグラフから T_r を最小にする (a, T_r) の組み合わせを求め、目標値応答についてシミュレーションを行った。グラフ表示を含めた一連の結果を、連続制御として実施してきた文献(3)の結果と比較検討する。使用言語はC++である。

3.2 PIDパラメータの設定

3.1に述べたように、文献(3)で得られた制御対象の各定数、ゲイン余裕 g_M 、およびPIDパラメータ設定値を用い、次の値とした。

$$K_0 = 1 \quad (77)$$

$$T_0 = 1 \quad (78)$$

$$L = 3 \quad (79)$$

$$g_M = 5dB \quad (80)$$

$$K_P = 0.29 \quad (81)$$

$$T_I = 11.5 \quad (82)$$

$$T_D = 1.52 \quad (83)$$

3.3 TDCCパラメータの設定と目標値応答

(77)–(83)式で与えられる条件のもとに、(57)、(75)式を満たすTDCCパラメータの関係を図示すると図3のようになる。一番上の曲線は、文献(3)で得られた連続制御として設計するときの最適曲線を示し、残りの5本の曲線が重なってはいるが、これらは(57)式と(75)式によるデジタル設計の関係を5種のサンプル時間で示したものである。

概要的には連続設計とデジタル設計はほぼよく似た曲線関係を示している。しかし、デジタル設計における $T = 0.001$ の場合は連続設計に限りなく近づくと思われたが、図3を見て分かるように、両者に開きがあり、むしろ、デジタル設計はサンプル時間 T に依らず、ほぼ同一の特性が示されている。この理由は不明である。

次に、サンプル時間を $T = 0.3$ を選んでデジタル設計を行い、図3において(76)式を満足するTDCCパラメータの最適値は

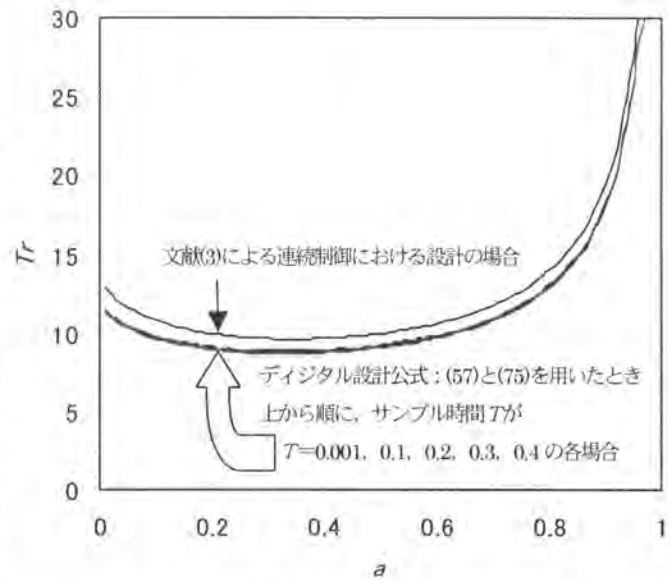


図3 TDCCパラメータ (a, T_r) の最適な関係。ただし、(77)–(83)式の場合の例

$$a = 0.33 \quad (84)$$

$$T_r = 8.73 \quad (85)$$

となった。このときのステップ状目標値応答を図4に示す。

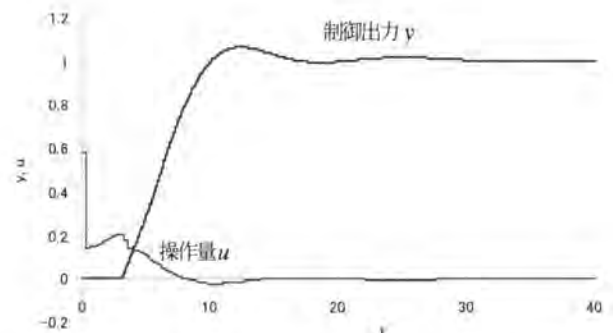


図4 図3中の $T = 0.3$ 曲線の最小点(84)、(85)式にTDCCパラメータ値を調節した場合の目標値応答

一方、ステップ状目標値に対する応答シミュレーションにおいて、偏差量の絶対値の面積を最小にするようにTDCCパラメータを探索すると次の値を得た。

$$a = 0.26 \quad (86)$$

$$T_r = 9.4 \quad (87)$$

このときの目標値応答を図5に示す。

図4と図5の両応答を比較すると、図4の方がややオーバーシュートが大きいが大差はない。また、(84)、(85)式と(86)、(87)式とを比べるとほぼ近い値になっている。このことは(57)、(75)、および(76)式によるデジタル設計の近似理論が妥当であるといえる。

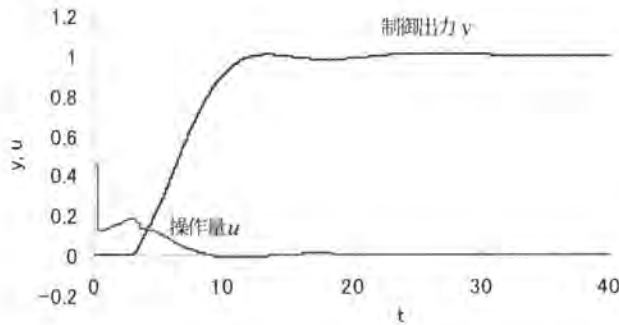


図5 偏差量の面積の絶対値を最小に調節した場合の目標値応答でTDCCパラメータ値は(86), (87)式

連続制御の場合の目標値応答は文献(3)にも示したが、図6のように得られ、デジタル設計による応答の図5とほとんど同じになった。このときのTDCCパラメータの探索値は

$$a = 0.36 \quad (88)$$

$$T_r = 10.2 \quad (89)$$

を得、図3中の連続制御による設計曲線の最小点に近い、

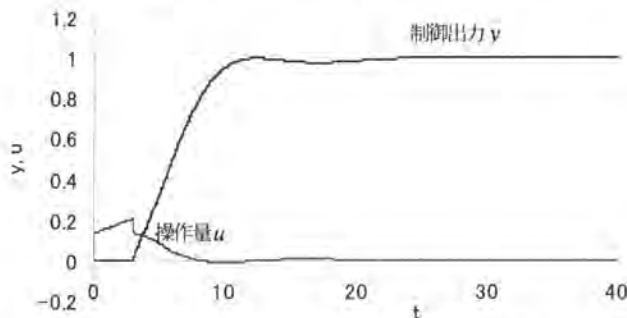


図6 連続制御としてTDCCパラメータを偏差量の面積の絶対値を最小に調節した場合の目標値応答

4. 考察および討論

図3より、連続設計とデジタル設計は概略的には同じようなTDCCパラメータ関係を示している。このことより、(57)式と(75)式によるデジタル設計はほぼ妥当であると言え、我々が(32)式で導入した ϵ 表示とその取り扱いも妥当であることを示している。

しかし、デジタル設計において $T \rightarrow 0$ のとき漸近的に連続設計の特性曲線に移行すると考えられたが、そのようになっていない。また、デジタル設計においてもサンプル時間 T に対してほぼ同一の特性曲線を示している。この理由は、 z 変換の取り扱いミス、計算ミス、C++言語のプログラムミス、または、連続設計とデジタル設計の間に本質的なギャップが存在する、等が考えられるが、現在、不明である。最も可能性の高い理由は、連続設計でもデジタル設計でも、分母系列表現にして、最初の数項だけを取り上げると言う近似の仕方が、前者はラプラス変換に寄り、後者は z 変換から我々が導入した ϵ 表示であるが、それ

らの近似誤差が異なるのではないかと、ということである。

具体的な目標値応答については、図4、図5、図6の3者ともほぼ同様の応答を示し、これら各応答のTDCCパラメータ値、および、図3の曲線の最小点から得られるTDCCパラメータ値が皆近い値で得られている。即ち、連続設計でもデジタル設計でも、図3中の曲線の最小点から求めても、応答シミュレーションの偏差面積最小という条件から求めても、TDCCパラメータ値が皆ほぼ一致している。従って、(57)式、(75)式、および、(76)式で与えられるデジタル設計近似理論の信頼性は高いといえる。

5. あとがき

時間差比較補償器 (TDCC) のデジタル設計に、 z 変換法によるシステムのパルス伝達関数表現を用いた。しかし、それを分母系列表現に変えるために、我々は(32)式で定義される新変数 ϵ を導入した。制御モデルを(70)式のように設定し、このモデルに一致させるようにTDCCパラメータを設定した。この結果、TDCCのデジタル設計近似理論(57)式、(75)式、および、(76)式を得た。

文献(3)と同じ条件で設計を行い、検討した結果、得られたデジタル設計近似理論は十分妥当性のあることが分かった。

参考文献

- (1) 山本信雄：「制御系の汎用性時間差比較補償法」, 第30回自動制御連合講演会(前編), pp.185-186(1987).
- (2) 山本信雄：内部モデル協調型フィードフォワードおよび汎用性時間差比較補償法。日本自動制御協会シグナル・システム・コントロール・シンポジウム講演論文集, pp.25-28(1988).
- (3) 山本信雄, 大内等：「時間差で比較する機能を導入した2自由度PID制御」, 電気学会論文誌D, Vol. 123, No.3, pp.247-256(2003).
- (4) 広井和男・戸苅吉孝：「複合フィルタ形2自由度PIDアルゴリズム」, 計測自動制御学会論文集, Vol. 27, No.4, pp.402-408(1991).
- (5) 伊藤正紀・阿部健一：「モデルマッチング法による2自由度制御系の設計」, 計測自動制御学会論文集, Vol. 23, No.10, pp.1103-1105(1987).
- (6) 田口秀文・土居正照・荒木光彦：「2自由度PID制御系の最適パラメータ」, 計測自動制御学会論文集, Vol. 23, No.9, pp.889-895(1987).
- (7) 荒木光彦：「2自由度制御系-I-PID・微分先行-I-PD制御系の統一の見方などについて」, システムと制御, Vol. 29, No.10, pp.649-656(1985).
- (8) 重政 隆・飯野 稔・神田雅工：「2自由度PIDコントローラのオートチューニング方法」, 計測と制御, Vol. 27, No.4, pp.305-311(1988).
- (9) 古谷栄光・荒木光彦：「開ループ周波数応答のオンライン同定と2自由度PID制御系の自動調整法」, システム制御情報学会論文誌, Vol. 11, No.1, pp.41-49(1998).
- (10) 美多 勉：デジタル制御理論, pp.15-26, 昭晃堂(1986).
- (11) 北森俊行：「制御対象の部分的知識に基づく制御系の設計法」, 計測自動制御学会論文集, Vol. 15, No.4, pp.549-555(1979).
- (12) 北森俊行：「PID制御システムの設計」, 計測と制御, Vol. 19, No.4, pp.382-391(1980).

文部科学省科学研究費補助金(平成16年度)

研究種目	学科(目)名	職名	氏名	研究課題	備考
[継続] 基盤研究(C)一般(2)	自然科学科	講師	松久 隆	認識論理による相互意志決定理論 基礎論の研究	
[継続] 基盤研究(C)一般(2)	人文科学科	助教授	瀬尾 邦雄	東北における狙徠学の継承と変化に ついてー庄内藩学を中心として	
[継続] 基盤研究(C)一般(2)	人文科学科	助教授	飯島 博之	EFL読解における読解阻害要因と その学年差に関する研究	
[継続] 基盤研究(C)一般(2)	機械システム工学科		鯉 潤 弘 資	分子の内部自由度と溶液の存在を 考慮したモデルによる脂質分子膜の 形状変動相転移	
[新規] 基盤研究(C)一般(2)	物質工学科	教授	谷口 昭三	ビルディングブロックを用いた β 、 β - 縮合ポルフィリンオリゴマーの構築	
[新規] 基盤研究(C)一般(2)	機械システム工学科	助教授	柴田 裕一	マイクロチャンネル内の微小流量制御 方法と制御装置の開発	
[継続] 萌芽研究	人文科学科	講師	箱山 健一	バイエルンの産業革命——先進農業 地域の工業化・ポスト工業化・高度福祉 社会への展開	
[継続] 若手研究(B)	電子情報工学科	講師	弘畑 和秀	k連結グラフの指定した頂点集合を通る 長い通路の存在性とハミルトン閉路に 関する研究	
【新規】 若手研究(B)	人文科学科	講師	奥山 慶洋	Webを利用した語彙サイズ測定テスト の開発	
【新規】(追加) 若手研究(B)	物質工学科	講師	宮下 美晴	多糖誘導体/ポリラクチド系生分解性 ポリマーブレンドの作製と特性評価	

教員事績（平成15年10月～平成16年9月）

人文科学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
箱山健一	松島隆裕編『技術者倫理』	学術図書出版社. 2004.P.10-17.	共著
箱山健一	「韓国大企業にみる「地方」発「国際化」の諸戦略—POSCO社および現代グループを視察して—」	『報告要旨集』No.38. 日本高専学会第10回全国大会ポスターセッション(2004, 8), 予稿集付全国学会発表	
箱山健一	「バイエルンの産業革命—先進農業地域の工業化—」	経済空間史研究会第3回研究会(2004, 3),	口頭発表
箱山健一	「バイエルンの工業化について—先進農業地域型産業革命の試み—」	『報告要旨集』P88-89. 社会経済史学会2003年度大会(2003, 6), 予稿集付全国学会発表前年度未分	記載
平本 留理	日本中世説話文学の世界—『古今著聞集』における「不思議」話を中心に—	韓国外国語大学開校50周年記念日本研究所国際学術発表会 発表論文集P3-9 (2004. 5)	
平本 留理	日本中世説話文学の世界—『古今著聞集』における「不思議」話を中心に—	韓国外国語大学開校50周年記念日本研究所国際学術発表会 (2004, 5)	口頭発表
奥山 慶洋	ビジネス向けソフトを利用した教材作成 マイクロソフトパワーポイントを例に	外国語教育学会 第7回大会 (2003. 10)	口頭発表
奥山 慶洋	英語語彙サイズ測定テストWeb発信のための基礎研究—試作版語彙サイズ測定テストの再検討—	筑波英語教育学会 第24回大会 (2004. 6)	口頭発表
奥山 慶洋	Webを利用した語彙サイズ測定テストの開発	関東甲信越英語教育学会 第28回東京研究大会 発表要綱 p.25 (2004. 8)	

教員事績（平成15年10月～平成16年9月）

自然科学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
中川 英則 堀 宗朗 ¹⁾	ベクトル確率有限要素法の地表地震 断層問題への適用	土木学会、第58回年次学術講演会講演論文集、 I-292, 2003(9)	¹⁾ 東京大学地震研究所
中川 英則 堀 宗朗 ¹⁾	スペクトル確率有限要素法を用いた 地表地震断層の危険度評価	土木学会地震工学論文集、Vol. 27, 論文No. 183, 2003(12)	¹⁾ 東京大学地震研究所
松久 隆	Communication Leading to Nash Equilibrium III	研究会「代数・言語・計算(ALC2003)」 東邦大学(千葉)(2003年12月)	国内会議研究発表要
松久 隆	No Trade under Rational Expectations in Economy: A Multi-modal Logic Approach	A. Lagana, M.L. Gavrilova, V. Kumar, et al (Editors): Computational Science and Its Applications - ICCSA 2004, Springer Lecture Notes in Computer Science, Volume 3045, pp. 915 - 925, Springer-Verlag(2004年5月)	国際会議報告論文 (査読付)
松久 隆	Communication Leading to Nash Equilibrium without Acyclic Condition -S4-Knowledge Model Case-	M. Bubak, G.D.van Albada, P. M. A. Sloot, et al (Editors): Computational Science - ICCS 2004, Springer Lecture Notes in Computer Science, Volume 3039, pp.884-891, Springer-Verlag (2004年6月)	国際会議報告論文 (査読付)
堀江 謙 ¹⁾ 松久 隆	No Speculation under Expectations in Awareness	M. Bubak, G.D.van Albada, P. M. A. Sloot, et al (Editors): Computational Science - ICCS 2004, Springer Lecture Notes in Computer Science, Volume 3039, pp. 915-922, Springer-Verlag (2004年6月)	国際会議報告論文 (査読付) ¹⁾ 茨城高専専攻科DE 専攻1年
松久 隆 石川竜一郎 ¹⁾ 星野良明 ²⁾	Core Equivalence in Economy under Generalized Information	Abstracts of the First Asian Workshop of Equilibrium Theory (GETA2004), Tokyo (Japan) < http://www.kier.kyoto-u.ac.jp/~geta2004/Core (Matsuhisa).pdf >, (2004年5月)	国際会議研究発表 要旨(査読付) ¹⁾ University of California, Berkeley ²⁾ 香川大学経済学部
堀江 謙 ¹⁾ 松久 隆	Communication in Awareness Reaching Consensus without Acyclic Condition	T. E. Simos/ Ch. Tsitouras (Editors): ICNAAM 2004- International Conference on Numerical (Greece), Proceedings, pp. 169-172, Wiley- VCH, Berlin(2004年9月)	¹⁾ 茨城高専専攻科DE 専攻1年
松久 隆	Core in Economy under Generalized Information	Book of Abstracts, International Conference of Public Economic Theory 2004 (PET 04) , August 25 - 29, 2004, Beijing (China) p.54 (2004年8月)	国際会議報告論文 (査読付)
松久 隆	Communication Leading to Nash Equilibrium without Acyclic Condition	P.S. Krasnoschekov and A.A. Vasin (Editors): Proceedings of the Fourth Moscow International Conference on Operations Research 2004, pp.141-148, Russian Academy of Sciences (2004年9月)	国際会議報告論文 (査読付)
福田恵美子 ¹⁾ 松久 隆 笹沼久寿 ²⁾	Awareness, Belief and Communication Reaching Consensus	Journal of Applied Mathematics and Decisionpp. Sciences, Volume 8 (3) 2004, 175 - 190(2004年9月)	学術論文(査読付) ¹⁾ 東工大大学院 博士課程価値システム 工学科 ²⁾ 茨城高専電気工学科 平成12年度卒業生

教員事績 (平成15年10月～平成16年9月)

機械システム工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
根本 栄治 ¹⁾ 張替 寛司 ¹⁾ 根本 剛至 ²⁾	スタンプ型熱流計式加熱プローブ法 による異方性固体の主軸熱物性測定	Proceedings of the 24th Japan Symposium on Thermophysical Properties, Okayama Univ., pp.297-299, (2003,10).	¹⁾ 平成15年度専攻科卒業 ²⁾ 平成16年度専攻科2年
張替 寛司 ¹⁾ 根本 剛至 ²⁾ 根本 栄治	ヒーター型熱流計式点状熱源加熱法 による二次元異方性物質の主軸熱 物性測定	Proceedings of the 24th Japan Symposium on Thermophysical Properties, Okayama Univ., pp.411-413, (2003,10).	¹⁾ 平成15年度専攻科卒業 ²⁾ 平成16年度専攻科2年
根本 栄治 根本 剛至 ¹⁾	岩石混合物蓄熱剤の熱物性測定 装置の開発研究	日本機械学会茨城講演会講演論文集, pp.133-134,(2004.9).	¹⁾ 平成16年度専攻科2年
H. Koibuchi, N. Kusano ¹⁾ A. Nidaira ¹⁾ K. Suzuki ¹⁾	String Tension and Surface Tension of Elastic Membranes with Fluidity	The 3rd International Symposium on Slow Dynamics in Complex Systems, AIP Conference Proceedings 708, Eds. M.Tokuyama and J.Oppenheim, pp.144-145,(2003,11).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年
H. Koibuchi N. Kusano ¹⁾ A. Nidaira ¹⁾ K. Suzuki ¹⁾ M.Yamada ²⁾	Grand Canonical Monte Carlo Simulations of Elastic Membranes with Fluidity	Physics Letters A, Vol. 319, pp. 44-52, (2003.12).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年 ²⁾ 茨城大理
鈴木 孔明 ¹⁾ 草野 宣幸 ¹⁾ 仁平 敦士 ¹⁾ 鯉淵 弘資	液膜モデルにおける形状変動相転移 の動的3角形分割依存性	機械学会関東支部第10期講演会講演論文集 pp. 479-480, (2004.3).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年
仁平 敦士 ¹⁾ 草野 宣幸 ¹⁾ 鈴木 孔明 ¹⁾ 鯉淵 弘資	曲げエネルギーの新しい定義による 結晶界面モデルの相転移	機械学会関東支部第10期講演会講演論文集 pp. 469-470, (2004.3).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年
草野 宣幸 ¹⁾ 仁平 敦士 ¹⁾ 鈴木 孔明 ¹⁾ 鯉淵 弘資	粘性を持つ水溶液中の液膜の 分子動力学シミュレーション	機械学会関東支部第10期講演会講演論文集 pp. 329-330, (2004.3).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年
佐藤 功平 ¹⁾ 仁平 敦士 ²⁾ 草野 宣幸 ²⁾ 鈴木 孔明 ²⁾ 鯉淵 弘資	液膜の弦張力と界面張力の測定に 関する数値的研究	機械学会関東支部第10期講演会講演論文集 pp. 327-328, (2004.3).	¹⁾ 平成15年度機械工学科 5年 ²⁾ 平成15年度専攻科2年
仁平 敦士 ¹⁾ 草野 宣幸 ¹⁾ 鯉淵 弘資	Monte Carlo Simulations of Branched Polymer Surfaces	高分子学会計算機科学研究討論会講演要旨集 p.28, (2004.3).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年
鈴木 孔明 ¹⁾ 鯉淵 弘資			
鯉淵 弘資 ¹⁾ 草野 宣幸 ¹⁾ 仁平 敦士 ¹⁾ 鈴木 孔明 ¹⁾	粘性抵抗力を受ける膜モデルの 分子動力学シミュレーション	日本物理学会2004年次大会講演概要集第2分 p.361, (2004.3).	¹⁾ 平成15年度専攻科2年
H. Koibuchi, N. Kusano ¹⁾ A. Nidaira ¹⁾ K. Suzuki ¹⁾ M.Yamada ²⁾	First-order phase transition of fixed connectivity surfaces	Physical Review E, Vol. 69, 066139 (2004)	¹⁾ 平成15年度専攻科2年 ²⁾ 茨城大理
鯉淵 弘資 ¹⁾ 佐々木 嗣音 ¹⁾ 篠原 啓介 ²⁾	バンド数が固定された膜モデルの 1次相転移	京大基礎物理学研究所研究会 「ソフトマターの物理学2004」, 物性研究11月号 (2004.7).	¹⁾ 平成16年度専攻科2年 ²⁾ 技術支援センター

機械システム工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
佐々木 嗣音 ¹⁾ 黒岩 見法 ²⁾ 篠原 啓介 ²⁾ 鯉淵 弘資	新しい曲げ剛性エネルギーに基づく 液膜モデルの相転移	日本機械学会2004年次大会講演論文集 Vol. II, pp.195-196, (2004.9).	¹⁾ 平成16年度専攻科2年 ²⁾ 技術支援センター
鯉淵 弘資 佐々木 嗣音 ¹⁾ 黒岩 見法 ²⁾ 篠原 啓介 ²⁾	細長く伸びた液膜モデルの Monte Carloシミュレーション	日本機械学会2004年次大会講演論文集 Vol. II, pp.197-198, (2004.9).	¹⁾ 平成16年度専攻科2年 ²⁾ 技術支援センター
鯉淵 弘資 佐々木 嗣音 ¹⁾ 篠原 啓介 ²⁾	膜モデルにおける弦張力の Monte Carloシミュレーション	日本物理学会2004年秋季大会講演概要集 第2分冊p.287, (2004.9).	¹⁾ 平成16年度専攻科2年 ²⁾ 技術支援センター
佐々木 嗣音 ¹⁾ 篠原 啓介 ²⁾ 鯉淵 弘資	ボンドの連結が固定された膜モデルの 一次相転移	日本機械学会茨城講演会講演論文集 pp.7-8, (2004.9).	¹⁾ 平成16年度専攻科2年 ²⁾ 技術支援センター
篠原 啓介 ¹⁾ 佐々木 嗣音 ²⁾ 鯉淵 弘資	2種類の曲率エネルギーで定義される 弾性膜モデルの相転移	日本機械学会茨城講演会講演論文集 pp.9-10, (2004.9).	¹⁾ 技術支援センター ²⁾ 平成16年度専攻科2年
Peter M.-Y. Chung ¹⁾ Masahiro Kawai ¹⁾ Akimaro Kawahara ²⁾ Yuichi Shibata	Two-Phase Flow Through Square and Circular Microchannels Effects of Channel Geometry	ASME J. of Fluid Engineering, Vol.126, Issue 4 pp546-552, july, (2004)	¹⁾ トロント大学 ²⁾ 熊本大学
Y. Shibata K. Arahara ¹⁾ T. Oshikubo M. Kawai ²⁾	A Study on the Response of a Ferrofluid in a Microchannel under the Influence of External Magnetic Field	5th ICMF, Yokohama, Japan, May 30 (2004)	¹⁾ 平成14年度機械工学科 卒業 ²⁾ トロント大学
柴田 裕一 関口 雅弘 ¹⁾ 神永 文人 ²⁾	超撥水面上に設けた微細な親水流路 上の水滴の流動	日本機械学会, 茨城講演会講演論文集, No.040-3 607, pp143-144 (2004)	¹⁾ 平成15年度機械工学科 卒業 ²⁾ 茨城大学
佐々木 嗣音 ¹⁾ 富永 学 押久保 武 豊岡 了 ²⁾	DESPIによるステンレス鋼SUS304 疲労過程観察	日本非破壊検査協会・応力ひずみ測定と 強度評価シンポジウム講演論文集、第35回 pp.155-160, (2004, 1)	¹⁾ 平成15年度専攻科1年 ²⁾ 埼玉大学
齋藤 隆行 ¹⁾ 孫 蒞 ¹⁾ 肥塚 正敏 ¹⁾ 松田 信一 ¹⁾ 豊岡 了 ²⁾ 門野 博史 ²⁾ 白石 知久 ³⁾ 富永 学	材料評価用DESPI解析装置 (DESPI system and its application for material testing)	光計測シンポジウム2004 論文集, pp.4-6, (2004, 6)	¹⁾ 富士写真光機(株) ²⁾ 埼玉大学 ³⁾ 埼玉県産業技術総合 センター
富永 学 佐々木 嗣音 ¹⁾ 成井 章記 ²⁾ 豊岡 了 ³⁾	動的ESPIによるステンレス鋼SUS304の 疲労過程の検討	日本機械学会M&M材料力学 カンファレンス講演論文集、No.04-6, pp.533-534, (2004, 7)	¹⁾ 平成16年度専攻科2年 ²⁾ 平成16年度専攻科1年 ³⁾ 埼玉大学
Isao SHIMIZU Fumitake KATO Kohi KEDA Yoshisada OHASHI	A technique for making holograms easily and for measuring simultaneously the behaviour of particles of different sizes and /or shapes	Meas. Sci. and Technology 15, Institute of Physics, p656-663, (2004.3) kyou	
葛西 友子 ¹⁾ 加藤 文武 清水 勲	空間分布粒子群の光学的計測技術の 開発研究	第21回エアロゾル科学・技術研究討論会 p.35-36 (2004-8)	¹⁾ 平成16年度専攻科2年
加藤 文武 石川 裕次郎 ¹⁾ 藤枝 雅広 ²⁾	レーザーアブレーションを用いた酸化ナノ 粒子作成技術の開発研究	第21回エアロゾル科学・技術研究討論会 p.101-102 (2004-8)	¹⁾ 平成15年度機械工学科 卒業 ²⁾ 平成16年度機械工学科 5年

教員事績 (平成15年10月～平成16年9月)

電気電子システム工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
T. Imai ¹⁾ T. Kurihara ¹⁾ S. Yagi ¹⁾ Y. Kurokawa ¹⁾ M. Endo ¹⁾ T. Tanabe	Orthogonal aperture multiplexing for multilayered waveguide holographic read-only memories	Appl. Opt. Vol.42, No.35, pp. 7085-7092 (2003.12).	¹⁾ NTT
T. Motoyama ¹⁾ Y. Sugiyama ¹⁾ N. Ooue ¹⁾ M. Yamamoto ¹⁾ M. Endo ²⁾ T. Tanabe	High-Speed Data Position Detection Method Using Template Matching for Hologram Memory	Jpn. J. Appl. Phys Vol. 43, No. 7A, pp.4216-4220 (2004.7).	¹⁾ Tokyo University of Science ²⁾ NTT
山田 真 土川 洋宏 大坪 友信 篠原 啓介 須田 猛 吉成 偉久 滝沢 陽三 吉成 偉久 滝沢 陽三 森 龍男	インターネット利用に関するアンケート の分析 ～茨城高専生のネットワーク知識と 経験～	高等専門学校 情報処理教育研究委員会 発表論文, 第24号, p43-46(2004.11)	
新田 光広 ¹⁾ 橋本 茂男 ¹⁾ 金内 博伸 ²⁾ 青柳 陽一郎 ²⁾ 関口 直俊 ³⁾ 幸地 保秀 ⁴⁾ 谷内 利明 ⁴⁾ 谷 辰夫 ⁵⁾	水素製造用小型風力発電システムへ 導入するEDLC容量の検討	平成15年度日本太陽エネルギー学会 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, No.89, (2003.11)	¹⁾ 東京理科大学大学院院生 ²⁾ 東京理科大学学生 ³⁾ 日の出建設 ⁴⁾ 東京理科大学教授 ⁵⁾ 諏訪東京理科大学教
平田 陽一 ¹⁾ 谷 辰夫 ¹⁾ 関口 直俊 ²⁾ 新田 光広 ³⁾ 山本 修司 ³⁾	太陽エネルギーを用いた様々な水素 利用システム	平成15年度日本太陽エネルギー学会 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 特設4(2003.11)	¹⁾ 諏訪東京理科大学 ²⁾ 東京理科大学大学院院生
林 聖 ¹⁾ 関口 直俊	固体高分子型燃料電池の出力特性評価	平成15年度電気学会東京支所茨城支所 研究発表会講演予稿集, C12 (2003.11)	¹⁾ 平成15年度情報・電気 電子工学専攻修了生
角 陽介 ¹⁾ 関口 直俊	太陽電池モジュールによる水素製造と 貯蔵に関する基礎研究	平成15年度電子情報通信学会東京支部 学生会研究発表会, 32 (2004.3)	¹⁾ 平成15年度情報・電気 電子工学専攻

教員事績（平成15年10月～平成16年9月）

電子制御工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
金子 紀夫	知的財産戦略と教育	茨城高専 研究彙報 第39号 p.67 (2004.3)	
金子 紀夫	職務発明とは何か？何が問題か？	SEMI News Vol.20 No.2 p.16 (2004.4)	
金子 紀夫	地域コーディネーターを活用した 産学連携の形態	第2回全国高専テクノフォーラム プログラム p.78 (2004.7)	
住谷 正夫 鈴木 賢昭	音呈示におけるラブラシアン解析を 用いたK.L.展開法の効果	電子情報通信学会2004年総合大会D-7-17 -2004.3	
住谷 正夫 岡本 芳三 鴨井 新生 ¹⁾ 安久 正紘 ²⁾ 滝沢 かほる ³⁾ 山崎 建 ³⁾ 坂下 玲子 ⁴⁾	人体の可視および赤外線による運動 計測とその解析	可視化情報学会;第32回可視化情報 シンポジウムA307(2004.7)	¹⁾ 東亜大学 ²⁾ 福島高専 ³⁾ 新潟大学 ⁴⁾ 熊本大学
岡本 芳三 住谷 正夫 安久 正紘 ¹⁾ 滝沢 かほる ²⁾ 山崎 建 ²⁾ 坂下 玲子 ³⁾ 鴨井 新生 ⁴⁾	可視および赤外線による人体の動的 運動計測とその解析	日本機械学会福祉工学シンポジウム2004, 13-141-18(2004.9)	²⁾ 福島高専 ³⁾ 新潟大学 ⁴⁾ 熊本大学 ¹⁾ 東亜大学
菊池 誠 白石 昌武 ¹⁾	操縦型力帰還マイクロマニピュレータの 制御問題－スレーブの小型化と系の 安定性－	2004年度精密工学会春季大会学術講演会 講演論文集, pp.1187-1188, (2004.3)	¹⁾ 茨城大学
菊池 誠 白石 昌武 ¹⁾	Positioning Stability on Operative Force Feedback Micromanipulator	Proceedings of the 1st International Conference on Positioning Technology, Act-city, Hamamatsu, Japan, pp153-157, (2004.6)	¹⁾ 茨城大学
菊池 誠 白石 昌武 ¹⁾	Effect of Grasping Musculoskeletal System on Operative Force Feedback Micromanipulator	Proceedings of 2004 JUSFA 2004 Japan - USA Symposium on Flexible Automation, Denver, Colorado, CD- ROM pp.1-4, (2004.7)	¹⁾ 茨城大学
Junji Hirasawa Masayoshi Kakikura ¹⁾	Motion Analysis of Motorecycles	The 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control Proceedings p.53 (2004.3)	¹⁾ 東京電機大
平澤 順治 柿倉 正義	自動2輪車の運動解析	自動車技術会2004年春季大会 学術講演会前刷集 No61-04 p.1 (2004.5)	
鈴木 拓央 ²⁾ 平澤 順治	介助者の負担軽減を目的とした 電動車椅子に関する研究	日本機械学会関東支部・精密工学会茨城講演会 講演論文集 p.227 (2004.9)	²⁾ 平成16年度本科5年
川又 考紘 加藤 真也 金成 守康	機械摺動部用セラミックス薄膜の トライボロジー特性	日本機械学会茨城講演会講演論文集 p.195(2004.9)	
金成 守康 狩野洋逸 高根沢大松 ¹⁾	ナノインデンテーション平端面圧子に よる粘弾性材料の弾性特性評価	日本金属学会講演概要p.295(2004.9)	¹⁾ 平成15年度専攻科卒業
M. Kanari R. Sasaki ¹⁾ N. Hiyama ²⁾	Measurement of Mechanical Properties of Two Electroplating Films by Nanoindentation Test	International Symposium on Micro-Mechanical Engineering, Dec. , Tsuchiura and Tsukuba, Japan(2003).	¹⁾ 平成15年度専攻科卒業 ²⁾ 平成14年度本科卒業
伊藤 伸英 ¹⁾ 大森 整 ²⁾ 根本 昭彦 ³⁾ 長谷川 勇治 加藤 照子 ⁴⁾ 堀切川 一男	ELID研削用メタルレス砥石の開発 -第4報 RBセラミックスボンド砥石の 試作	2003年度精密工学会秋季大会講演論文集, E02 (2003.10)	¹⁾ 茨城大学 ²⁾ 理化学研究所 ³⁾ 日本工業大学 ⁴⁾ 東北大学

電子制御工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
伊藤 伸英 ¹⁾ 加藤 照子 ²⁾ 大森 整 ³⁾ 根本 昭彦 ³⁾ 長谷川 勇治 ⁴⁾ 堀切川 一男 ⁴⁾	RBセラミックス粒子を配合した環境 配慮型鏡面研削砥石の開発 -第1報 トライボロジー特性の検討	2003年度精密工学会秋季大会講演論文集, E03 (2003.10)	¹⁾ 茨城大学 ²⁾ 理化学研究所 ³⁾ 日本工業大学 ⁴⁾ 東北大学
長谷川 勇治 ¹⁾ 篠崎 洋輔 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 加藤 照子 ³⁾ 大森 整 ³⁾	ELID研削用RBセラミックボンド砥石の 開発	2003年度日本機械学会山梨講演会論文集, 703 (2003.10)	¹⁾ 平成15年度専攻科1年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所
佐々木 崇 ¹⁾ 長谷川 勇治 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 大森 整 ³⁾	電極内蔵型ELID両面ラップ研削特性	2003年度日本機械学会山梨講演会論文集, 704 (2003.10)	¹⁾ 平成15年度専攻科2年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所
長谷川 勇治 ¹⁾ 南川 丈夫 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 根本 昭彦 ³⁾ 大森 整 ⁴⁾	ELID研削特性に及ぼす研削液の 希釈倍率の影響	2003年度日本機械学会山梨講演会論文集, 705 (2003.10)	¹⁾ 平成15年度5年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 日本工業大学 ⁴⁾ 理化学研究所
長谷川 勇治 ¹⁾ 大部 省吾 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 大森 整 ³⁾ 山形 豊 ⁴⁾ 根本 昭彦 ³⁾	効率的ELIDラップ研削の構築 -電極のインプロセスクリーニング-	2003年度精密工学会東北支部講演会論文集, 106 (2003.12)	¹⁾ 平成15年度5年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所 ⁴⁾ 日本工業大学
根本 昭彦 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 加藤 照子 ³⁾ 堀切川 一男 ⁴⁾ 佐々木 哲夫 ¹⁾ 長谷川 勇治 ¹⁾ 大森 整 ³⁾	ELID研削用メタルレス導電性砥石の 開発 -第5報 RBセラミックボンド 砥石による加工特性-	2003年度精密工学会春季大会学術講演会 論文集,B66 (2004.3)	¹⁾ 日本工業大学 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所 ⁴⁾ 東北大学
加藤 照子 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 大森 整 ¹⁾ 篠崎 洋輔 ³⁾ 長谷川 勇治 ⁴⁾ 根本 昭彦 ⁴⁾ 堀切川 一男 ⁵⁾	RBセラミックス粒子を配合した環境 配慮型鏡面研削用砥石の開発 - 第2報 電解・加工特性の検討-	2003年度精密工学会春季大会学術講演会 論文集,B68 (2004.3)	¹⁾ 理化学研究所 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 平成15年度専攻科1年 ⁴⁾ 日本工業大学 ⁵⁾ 東北大学
伊藤 伸英 ¹⁾ 大森 整 ²⁾ 根本 昭彦 ³⁾ 長谷川 勇治 ⁴⁾ 片平 和俊 ²⁾	DLCコーティング材の電解ドレッシング 特性	2003年度精密工学会春季大会学術講演会 論文集,B69 (2004.3)	¹⁾ 茨城大学 ²⁾ 理化学研究所 ³⁾ 日本工業大学
佐々木 崇 ¹⁾ 長谷川 勇治 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 大森 整 ³⁾	電極内蔵型ELID両面ラップ研削特性 -第2報 加工システムの構築-	2003年度精密工学会春季大会学術講演会 論文集,B78 (2004.3)	¹⁾ 平成15年度専攻科2年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所
伊藤 伸英 ¹⁾ 加藤 照子 ²⁾ 大森 整 ²⁾ 根本 昭彦 ³⁾ 長谷川 勇治 ⁴⁾ 堀切川 一男 ⁴⁾	環境調和型ELID研削用砥石の開発 -第3報 電解条件の検討-	2004年度砥粒加工学会学術講演会論文集 ,A07 (2004.9)	¹⁾ 茨城大学 ²⁾ 理化学研究所 ³⁾ 日本工業大学 ⁴⁾ 東北大学
根本 昭彦 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 加藤 照子 ³⁾ 堀切川 一男 ⁴⁾ 佐々木 哲夫 ¹⁾ 大森 整 ³⁾	ELID研削用メタルレス導電性砥石の 開発 -第6報 硬脆材料の加工特性	2004年度精密工学会秋季大会学術講演会 論文集,177 (2004.9)	¹⁾ 日本工業大学 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所 ⁴⁾ 東北大学

電子制御工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
長谷川 勇治 ¹⁾ 大部 省吾 ¹⁾ 林 芳幸 ²⁾ 大森 整 ³⁾ 伊藤 伸英 ⁴⁾	DLC 被膜を用いたELID 研削用 砥石の開発	2004年度日本機械学会東北支部講演会 論文集, 702 (2004.9)	¹⁾ 平成16年度専攻科1年 ²⁾ 平成16年度5年 ³⁾ 理化学研究所 ⁴⁾ 茨城大学
長谷川 勇治 ¹⁾ 大部 省吾 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 大森 整 ³⁾ 山形 豊 ³⁾ 根本 昭彦 ⁴⁾	超音波援用電極を用いたELID ラップ 研削特性	2004年度日本機械学会東北支部講演会 論文集, 703 (2004.9)	¹⁾ 平成16年度専攻科1年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所 ⁴⁾ 日本工業大学
長谷川 勇治 ¹⁾ 塚越 広光 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 高橋 平四郎 ³⁾ 上井 久雄 ⁴⁾ 萩原 嘉伸 ⁵⁾ 大森 整 ⁶⁾	ELID 研削用アルミニウムボンド砥石 開発	2004年度日本機械学会東北支部講演会 論文集, 705 (2004.9)	¹⁾ 平成16年度5年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 太平洋セメント ⁴⁾ 曙ブレーキ ⁵⁾ 日本工業大学 ⁶⁾ 理化学研究所
島田 紘樹 ¹⁾ 内田 光宣 ¹⁾ 塚越 広光 ¹⁾ 長谷川 勇治 ¹⁾ 伊藤 伸英 ²⁾ 大森 整 ³⁾	放射状鑄鉄ボンド砥石によるELIDラッ 研削特性	2004年度日本機械学会茨城講演会論文集, 611 (2004.9)	¹⁾ 平成16年度5年 ²⁾ 茨城大学 ³⁾ 理化学研究所
清水 博貴 ¹⁾ 岡本 修 ²⁾ 広瀬 篤 ²⁾	小型測量システムの開発	GPS/GNSS国際シンポジウム2003 ビギナーズ セッション, P.146 (2003.11)	¹⁾ 平成15年度電子制御 工学科卒業 ²⁾ 大輝測量株式会社
大内 良孝 ¹⁾ 岡本 修 ²⁾ 棚井 雅信 ²⁾	GPS速度計測における高架の影響	GPS/GNSS国際シンポジウム2003 ビギナーズ セッション, P.144 (2003.11)	¹⁾ 平成15年度機械・電子 制御工学専攻科卒業
武藤 好史 ¹⁾ 岡本 修 ²⁾	GPSによる4足歩行ロボットの ナビゲーション	GPS/GNSS国際シンポジウム2003 ビギナーズ セッション, P.145 (2003.11)	¹⁾ 平成15年度機械・電子 制御工学専攻科卒業
岡本 修 ¹⁾ 浅子 正浩 ¹⁾	GPSとIMUによるハイブリッド測位	電子情報通信学会技術研究報告, Vol.104, No.230 (2004.7)	¹⁾ 測位衛星技術株式会社

教員事績 (平成15年10月～平成16年9月)

電子情報工学科

研究叢報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号 (年、月)	備考
井ノ上 渚佐 ¹⁾ 島山 巖	ホログラフィック光導波路分岐素子の作製	第11回電気学会東京支部茨城支所研究発表会講演予稿集,p.10(2003)	¹⁾ 平成15年度専攻科修了
菅谷俊文 ¹⁾ 島山 巖	位相共役光を用いたデジタルホログラフィ	電子情報通信学会論文誌C Vol.J87-C No.2 pp.272-273(2004)	¹⁾ 平成15年度専攻科修了
檜山 俊行 ¹⁾ 市毛 勝正	初心者のための日本語文字入力方式について	第11回電気学会東京支部茨城支所研究発表会講演予稿集p.14(2003.11)	¹⁾ 平成15年度専攻科修了
寛 純哉 ¹⁾ 村田 和英	MPIによるハイパーキューブネットワークの性能評価に関する研究	第11回電気学会東京支部茨城支所研究発表会講演予稿集p.12(2003.11)	¹⁾ 平成15年度専攻科修了
杉村 康	Linuxの詳細動作を解析するスーパートレーサとアナライザとその将来	日立テクノフェア, 財団法人日立地区産業支援センター, Oct,25, 2003.	
梅原 和芳 ¹⁾ 杉村 康	SMP上のLinuxの詳細動作を解析するスーパートレーサとアナライザ(STDB2)	電気学会東京支部茨城支所研究発表会, A10, Nov. 29, 2003.	¹⁾ 平成15年度専攻科修了
杉村 康 梅原 和芳 ¹⁾	SMP用スーパートレーサとアナライザ(STDB2)	産学共同中小企業合同技術交流会, 財団法人茨城県中小企業振興公社, Dec.4 2003.	¹⁾ 平成15年度専攻科修了

教員事績（平成15年10月～平成16年9月）

物質工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
鈴木 康司 小松崎 秀人 佐々木 香里 ¹⁾ 島田 明夫	レジオネラ菌を用いたチタン錯体殺菌効果の評価	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.15 (2003.11)	¹⁾ 平成15年度物質工学科卒業
K.Suzuki S.Sakasegawa ¹⁾ H.Misaki ¹⁾ M.Suziama ²⁾	Molecular Cloning and Expression of Uricase Gene from <i>Arthrobacter globiformis</i> in <i>Escherichia coli</i> and Characterization of the Gene Product	Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol.98, No.3, pp.153-158, (2004.9)	¹⁾ Asahi Kasei Co. ²⁾ Hiroshima University
佐藤 啓人 蝦名 不二夫	アルケン類のホルフィリン化合物への付加反応 — 金属ホルフィリン錯体を用いた付加反応系の検討 —	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.31 (2003.11)	ポスター奨励賞受賞
椎根 翼 蝦名 不二夫	ホルフィンのハロゲン化の試み	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.32 (2003.11)	ポスター奨励賞受賞
Y.Nishio ¹⁾ A.Yamada ²⁾ K.Ezaki ²⁾ Y.Miyashita H.Furukawa ²⁾ K.Horie ²⁾	Preparation and magnetometric characterization of iron oxide-containing alginate / poly(vinyl alcohol) networks	Polymer, Vol.45, pp.7129-7136, (2004).	¹⁾ Kyoto University ²⁾ Tokyo University of Agriculture and Technology
T. Yokozumi ¹⁾ Y.Miyashita K.Havashi ¹⁾ K.Ogino ¹⁾ H.Usui ¹⁾ M.Gonda ³⁾ H.Sato ¹⁾	Fabrication and characteristics of hole transporting materials-transition metal nanoparticle composites	Thin Solid Films, Vol.449, pp.173-179, (2004).	¹⁾ Tokyo University of Agriculture and Technology ²⁾ Nissan-arc Co.
宮下 美晴 他	高分子 熱物性・熱分析 ノウハウ集	技術情報協会, pp.292-295, (2004年3月)	分担執筆
古川 英光 ¹⁾ 堀江 一之 ¹⁾ 東 奈緒 ²⁾	走査型顕微光散乱による透明セルロースゲルの構造解析	Cellulose Communications, 10巻(4号), pp.154-159, (2003年12月).	¹⁾ 東京農工大学 ²⁾ 東京大学
宮下 美晴 大野 貴広 ¹⁾	セルロースアルキルエステルとN-ビニル	高分子学会予稿集, 53巻, (2004年5月)	¹⁾ 京都大学
宮下 美晴 西尾 嘉之 ¹⁾	ピロリドン含有合成高分子との相溶性および分子間相互作用		
三角 康子 富田 豊	RP-HPLC-UVによるビスフェノールA測定法の検討	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.66 (2003.11)	
富田 豊	地球規模の環境汚染	松島 隆裕(編)「技術者入門」学術図書出版 pp.61-70 (2004.2)	分筆担当
藤原 紀子 谷口 昭三	新規な2,3-ジメチルホルフィリンの合成および反応性の検討	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.30 (2003.11)	
笠原 文聡 斎藤 保夫	メタンおよびメタノールの改質による炭素循環型水素製造法	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.33 (2003.11)	ポスター優秀賞受賞
斎藤 保夫 高橋 克巳 ¹⁾	ディーゼル内燃機関の排気ガス処理装置及び処理方法	特許出願、特願2004-202163	¹⁾ 石川島播磨重工業(株)
斎藤 保夫	テクノロジーアセスメント	松島 隆裕(編)「技術者倫理」学術図書出版 pp.144-157 (2004.2)	分筆担当
後藤 聡 中島 淳子 砂金 孝志	ゾル・ゲル法による可視光応答型触媒作製の試み	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラムp.18(2003.11)	
清水 勲 大橋 慶勘 加藤 文武 砂金 孝志	複数形状ミクロンサイズ粒子群の大視野並列識別システムの開発	第22回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会講演論文集, No.22,243-245(2004.4)	

物質工学科

研究彙報記載分を除く

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
桑島 尚子 須田 猛	ピスマス薄膜電極—溶出ポテンシオメトリー法によるZn,Cd,Pbの定量	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会予稿集p.56(2003.11)	
須田 猛	論文読解力およびプレゼンテーション能力の向上を目指した化学文献情報検索授業の展開	平成16年度高専教育講演論文集p.45(2004.8)	
豊島 恵介 桜井 隆幸 濱方 大伸 小松崎 秀人 引地 史郎 ¹⁾ 穠田 宗隆 ²⁾ 諸岡 良彦 ²⁾	ニッケルチオラート錯体の合成と反応性	錯体化学討論会講演要旨集 pp156(2003.9)	¹⁾ 東大院工 ²⁾ 東工大資源研 前年度未記載分
塩田 明彦 伊藤 宗斉 宮村 紀子 木本 憲 小松崎 秀人 引地 史郎 ¹⁾ 稲垣 昭子 ²⁾ 穠田 宗隆 ²⁾	マンガンセキノナート錯体の合成と酸素分子との反応性	錯体化学討論会講演要旨集 pp170(2003.9)	¹⁾ 東大院工 ²⁾ 東工大資源研 前年度未記載分
豊島 恵介 桜井 隆幸 濱方 大伸 小松崎 秀人 引地 史郎 ¹⁾ 穠田 宗隆 ²⁾	ニッケルチオラート錯体による酸素活性化	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラム pp12(2003.11)	¹⁾ 東大院工 ²⁾ 東工大資源研
塩田 明彦 木本 憲 宮村 紀子 伊藤 宗斉 稲垣 昭子 ²⁾ 小松崎 秀人 引地 史郎 ¹⁾ 穠田 宗隆 ²⁾	マンガンセキノナート錯体の合成と酸素活性化反応	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラム pp13(2003.11)	¹⁾ 東大院工 ²⁾ 東工大資源研
小松崎 秀人 濱方 大伸 用田 章義 柴崎 貴雄 設楽 善彦 長洲 裕一 引地 史郎 ¹⁾ 穠田 宗隆 ²⁾	マンガンチオラート錯体の合成と反応性	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラム pp14(2003.11)	¹⁾ 東大院工 ²⁾ 東工大資源研
小松崎 秀人 鈴木 康司 島田 明夫	抗菌剤	特許 公開2004-131492(2004.4)	
山形 信嗣 館 典之	二酸化炭素を酸化剤とするエタンの酸化脱水素反応～Cr ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ 系触媒へのバリウム添加効果	日本化学会平成16年度化学系学協会東北大会プログラム 1P107(2003.10)	
山形 信嗣 館 典之	二酸化炭素を酸化剤とするエタンの酸化脱水素反応～Cr ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ 系触媒へのバリウム添加効果	日本化学会第14回関東支部茨城地区研究交流会プログラム pp69(2003.11)	

特別研究題目一覧表(平成15年度)

題 目	学 生 名	指 導 教 員
機械・電子制御工学専攻		
基準点ネットワーク方式RTK-GPS測位に関する研究	大内 良孝	岡本 修 滑川 英世
粘性を持つ水溶液中の液膜の分子動力学シミュレーション	草野 宣幸	鯉淵 弘資
薄型被加工物対応型ELID両面ラップ研削システムの開発	佐々木 崇	長谷川 勇治
ナノインデンテーション試験法による2つの電解メッキ膜の機械的性質の評価	佐々木 涼	金成 守康
液膜モデルにおける形状変動相転移の動的3角形分割依存性	鈴木 孔明	鯉淵 弘資
複数のモードを考慮した構造物の振動制御	関口 洸介	飛田 敏光
変位制御型ナノインデンテーション試験機の開発に関する研究	高根澤大松	金成 守康
液膜の弦張力と界面張力に関する数値的研究	仁平 敦士	鯉淵 弘資
プロセッサ・アレイの再構成に関する研究	橋本 翔	滑川 英世
T字型マイクロチャンネルを用いた気液二相流の可視化研究	羽成 敏秀	柴田 裕一
点状熱源加熱法による二次元異方性物質の主軸熱物性測定に関する研究	張替 寛司	根本 栄治
レーザアブレーションを用いたナノ粒子の発生・制御技術の基礎研究	藤咲 克弥	加藤 文武 清水 勲
屋外作業ロボットの研究 -GPSによるナビゲーション-	武藤 好史	岡本 修 菊池 誠
非定常燃料噴霧の着火遅れに及ぼす雰囲気組成の影響	横須賀 篤	小堀 繁治
画像フーリエ変換後の空間周波数を用いた情景画像中の文字列領域の抽出	吉村 裕一	荒川 臣司
情報・電気電子工学専攻		
エバネッセント光の検出と解析	曾澤 見斗	若松 孝
ホログラフィック光インターコネクションの研究	井ノ上渚佐	畠山 巖
SMP上のLinuxの詳細動作を解析するスーパートレーサとアナライザ (STDB2)	梅原 和芳	杉村 康
マルチモジュールニューラルネットワークによる連想記憶モデルの基礎検討	大関 正洋	荒川 臣司
MPIによるハイパーキューブネットワークの性能評価に関する研究	寛 純哉	村田 和英
宇宙空間における軌道シミュレーションの研究	笠間 滋	滝沢 陽三
介護用を目的としたセンサシステム	風間 悠	柴田 尚志
デジタルホログラフィを用いた位相共役光発生の研究	菅谷 俊文	畠山 巖
1波長円形ループアンテナの電磁波放射の可視化	関口 宗克	柴田 尚志
固体高分子型燃料電池の電気的特性に関する研究	林 聖	関口 直俊
初心者のための日本語文字入力方式の開発	桧山 俊行	市毛 勝正
プロセス系における時間差比較補償法を導入したLQ最適制御の有限整定効果に関する研究	増田 治哉	山本 信雄
ブロック積み上げ競技用プログラムの検討	伊藤 剛志	杉村 康
物質工学専攻		
フロン類水素化分解用Pd触媒のTPD等によるキャラクタリゼーション	笠原 文聡	斎藤 保夫
可視光応答型TiO ₂ -xNx光触媒薄膜の研究	後藤 聡	砂金 孝志
ニッケルチオレート錯体の合成と反応性	豊島 恵介	小松崎秀人
新規ジメチルポルフィリンを用いたπ-共役型ポルフィリンポリマーの設計と合成	藤原 紀子	谷口 昭三
マンガン(II)フタロシアニン錯体の電子状態と磁気的性質	谷津田 伸一	佐藤 稔

卒業研究題目一覧表(平成15年度)

機械システム工学科

題 目	学 生 名	指 導 教 員
ディーゼルエンジンにおける燃料噴射装置の噴射率測定器の開発	関川 篤	小堀 繁治
ジメチルエーテル空気予混合気の着火特性に及ぼす初期温度の影響	坪 洋紀	小堀 繁治
ジメチルエーテル-空気予混合気の爆発限界	大内 康裕	小堀 繁治
ナノ粒子の大視野計測法の開発	島崎 国男	小堀 繁治
スギ花粉等小粒子の大視野自動計測法の開発	根本 大介	小堀 繁治
プリント基板の外観自動検査法の開発	田上 直樹	清水 勲
サブミクロン物体の超光解像度遠隔場観察法の開発	黒田麻衣子	清水 勲
複数形状の光アナログ識別法(知的なロボットの眼)の開発	小林 知弘	清水 勲
燃料電池の開発に関する研究	矢吹 勉繁	清水 勲
無重力状態の沸騰熱伝達に関する研究	会澤 陽介	清水 勲
極微量のダイオキシン類検出装置の開発研究	高安 正郎	清水 勲
新高温酸化超伝導体の合成・開発に関する研究	海東 祐介	根本 栄治
グリセリン溶液中における金属粒子のふく射挙動に関する研究	川又 崇史	根本 栄治
温度計測による寿命予測について	アリオナー	根本 栄治
熱弾性応力測定法の応用について	中村 和央	根本 栄治
曲げエネルギーの新しい定義による液膜モデルの相転移	片岡 裕太	根本 栄治
表面張力を持たない液膜の形状変動相転移	立原 健司	押久保 武
スパイラル流路の流体抵抗に関する研究	加藤 徹	押久保 武
小型高速ターボポンプの開発研究	岡本 洋介	鯉淵 弘資
動的ESPIによる炭素鋼の塑性変形過程観察	安藤 勇作	鯉淵 弘資
X線回折による加工誘起マルテンサイトの定量分析	佐藤 功平	勝山 昭夫
生活環境における空気清浄度評価技術の開発	宮本 清人	勝山 昭夫
ナノ粒子生成技術の開発研究	高橋 直樹	富永 学
白色光再生ホログラムに関する研究	渡邊 悠太	富永 学
計算機合成ホログラムに関する基礎研究	高梨 直樹	加藤 文武
ステンレス鋼の高温腐食	船原 恒平	加藤 文武
炭素鋼の三相焼入れ	浦井 元徳	加藤 文武
鋼のセメンタイト粒径に及ぼす熱処理温度の影響	柳生 祥丈	加藤 文武
マイクロチャンネル内の磁性流体の応用研究	池本 丈記	谷山 久法
マイクロヒートパイプの応用研究	成井 章記	谷山 久法
凝縮技術の開発研究	仙波 貴章	柴田 裕一
超撥水面を利用した応用研究	石川裕次郎	柴田 裕一
マイクロリアクターの応用研究	田山 亮	柴田 裕一
	高橋 英里	柴田 裕一
	藤枝 浩史	柴田 裕一
	高峰 浩史	柴田 裕一
	伊藤 適	柴田 裕一
	萩野谷誠幸	柴田 裕一
	本田 成史	柴田 裕一
	久保田雄策	柴田 裕一
	軍司 老寿	柴田 裕一
	杉山 慎	柴田 裕一
	関口 雅也	柴田 裕一
	白石 貴志	柴田 裕一

卒業研究題目一覧表(平成15年度)

電気電子システム工学科

題 目	学 生 名	指 導 教 員
Webによる学生向けデータベースを用いた情報発信	佐川 喜昭	吉成 偉久
Webアプリケーションによる課題演習システムの構築	鈴木 尚 青柳 裕大	吉成 偉久
ライントレースロボットとパソコン間の双方向通信を用いた情報収集及び制御	野上 紘 高見 将司	吉成 偉久
粒子群の光アナログ並列識別法の開発	葛西 友子	清水 勲
ナップザック暗号の安全性向上に関する研究	寺門 智之	安細 勉
公開鍵暗号系を用いたデジタル署名に関する研究	村山 貴光	安細 勉
環境半導体 β -FeSi ₂ 結晶の伝導型制御及び育成条件の検討	白澤 直之	原 嘉昭
真空蒸着法による β -FeSi ₂ 薄膜の作製	小堆 正人	原 嘉昭
表面電位測定装置の試作	大内 真二	若松 孝
EL用有機薄膜の光学的評価と素子作製	嶋崎 統彦	若松 孝
太陽電池アレイの温度依存性と出力係数	山下 佳織 木村 淳	関口 直俊
太陽光スペクトルを考慮した太陽電池アレイの変換効率	長久保 優	
住宅用太陽光発電システムにおける年間コストとCO ₂ 排出量の影響	横井 望	関口 直俊
サーボ系におけるLQ最適制御の再設計に関する研究	大貫 雅俊	関口 直俊
	天野 朋和	山本 信雄
	星野 守孝	
プロセス系におけるLQ最適制御の再設計に関する研究	永井 敦	山本 信雄
	吉田 章紘	
2自由度PID/PI制御のデジタル設計に関する研究	上野 悦史	山本 信雄
逆ミセル法による金属硫化物超微粒子の物性	磯崎 哲也	森 龍男
	川井 康平	
逆ミセル法によるAs-S系超微粒子の物性	本多 俊介	森 龍男
逆ミセル法による金属超微粒子の作成と物性	東原 洋匡	森 龍男
誘導電動機の回転磁界自動測定装置の開発	日下 優	皆藤 新一
	松本 章裕	
ガス中蒸発法によるCdSe微粒子の作成	飛田 美帆	皆藤 新一
	元光 邦彦	
デジタルシグナルプロセッサ(DSP)を用いたデジタルフィルタに関する研究	沼田 卓恭	遠藤 勲
	根本 信耶	
汎用回路解析プログラム(EMTP)に関する研究	坂口 貴紀	遠藤 勲
	宮本 和典	
ウィーンブリッジ発振回路の比例辺の自動調整に関する考察	秋田 篤史	渡部 磯雄
	川上 智史	
同期した三波形発振器の製作	三部 貴義	渡部 磯雄
	関 友浩	
OPアンプを用いたインダクタンスシミュレータの構成について	北山 雄一	木村 隼人
	丹 直 幸	
OPアンプを用いたNIC, ジャイレータ, ロテータの回路構成について	大石 泰広	木村 隼人
	宮寄 太陽	

卒業研究題目一覧表(平成15年度)

電子制御工学科

題 目	学 生 名	指 導 教 員
押し込み試験平端面圧子の開発に関する研究	高橋 健二	金成 守康
電解メッキ膜の密着強度評価に関する研究	白土 豪	金成 守康
高周波誘導加熱によるSKD61の質量効果	川又 考紘	長谷川勇治
管内検査ロボットの開発に関する研究	上田 満	長谷川勇治
効率的ELIDラップ研削の構築	榊原 光雄	長谷川勇治
ELID研削特性に及ぼす環境調和型研削液の希釈倍率の影響	大部 省吾	長谷川勇治
高感度GPSの測位性能の定性的評価	南川 丈夫	長谷川勇治
	黒澤 知嗣	岡本 修
小型測量システムの開発	清水 博貴	滑川 英世
		岡本 修
進化アルゴリズムを用いたスケジューリングシステムの研究	安寫 秀一	滑川 英世
進化・学習システムの産業応用に関する研究	今井 慎吾	飛田 敏光
	石川 智史	飛田 敏光
免疫システムを応用したオンライン学習制御の研究	中澤 広樹	飛田 敏光
画像演算を用いたアフィン変換文字の認識	石川聡一郎	荒川 臣司
	川上 広輝	
ニューラルネットワークを用いた文字認識	青木 久	荒川 臣司
2次元離散フーリエ変換後の振幅スペクトルの差分画像を用いた欠陥検出	来栖 旭	荒川 臣司
	高沢 森彦	
PSpiceによるレーザダイオードのマクロモデル化とシミュレーション	永沼 宙	滑川 英世
DSPを用いた変復調器の設計と実装	中村 翔	滑川 英世
MATLABによるスペクトル拡散通信システムのシミュレーション	小野 瀬遼	滑川 英世
重複直行変換によるフィルタバンクの実現	新納 弘隆	滑川 英世
VHDLを用いた乗算器および除算器の設計とFPLDへの実装	綱川 和樹	滑川 英世
小型紫外線計の製作	植松 洋介	菊池 誠
	住谷 洋詞	
航空機の姿勢制御と飛行状態の可視化	阿部 良祐	菊池 誠
	木下 俊	
力帰還形マイクロマニピュレータの制御方式に関する研究	内田 旭美	菊池 誠
	三浦二三高	
自動2輪車の安定化制御(走行制御に関する基礎研究)	井上 崇	平澤 順治
	大須賀孝弘	飛田 敏光
	麦島 和樹	
ギター自動演奏装置の開発(右手ストローク動作に関する研究)	杉上 光一	平澤 順治
		飛田 敏光
2次元ゆらぎ画像の作成	木村 優樹	住谷 正夫
脳波測定装置のシステム構築	照沼 久美	住谷 正夫
左右意識状態におけるEEGパワー変化の解析	影沢 直矢	住谷 正夫
左右意識状態における脳波のPCAを用いた解析	畠中 一	住谷 正夫
2次元画像の解析	山浦真一郎	住谷 正夫

卒業研究題目一覧表(平成15年度)

電子情報工学科

題 目	学 生 名	指 導 教 員
デジタルホログラフィ顕微鏡の研究	石井 俊樹	畠山 巖
デジタルホログラフィにおける歪像の矯正	高橋 優一	畠山 巖
ホログラフィックデジタル光メモリの研究	チャオ・ミンファイ	畠山 巖
ゾル・ゲル法による鉄添加酸化亜鉛薄膜の作製	三ツ井 英男	畠山 巖
反応性スパッタ法によるK-Fe-Bi-O系強磁性薄膜の作製	愛甲 隆史	山口 一弘
将来計画で提案されている粒子検出器をモデルとしたシミュレータの基礎研究	佐藤 綾子	山口 一弘
	川崎 邦晃	四王天 正臣
	江藤 大輔	
	鈴木 暁大	
高エネルギー加速器の構成についての考察	宇野 直樹	四王天 正臣
	富田 紀子	
待ち行列 G/G/1 シミュレータの作製と評価	飯村 大	野村 實
JAVA 言語によるステレオ写真の作成	黒沢 一樹	野村 實
最適化技法についての研究	五位 潤 裕	野村 實
JPEG 圧縮とフラクタル画像圧縮の研究	二瓶 浩美	野村 實
MPIによるトラスネットワークの性能評価に関する研究	飯塚 出	村田 和英
	佐久間 洋人	
マルチプロセッサによる並列処理に関する研究	吉澤 宏明	村田 和英
ダイポールアンテナによる電磁エネルギーの流れの可視化	庄司 祐之	柴田 尚志
運動する電荷による電磁波放射の可視化	沼田 晃明	柴田 尚志
MININECを用いたアンテナシミュレータの開発(No.2)	飯田 優	柴田 尚志
ブロックの展開図生成と最適敷詰め手法の検討	小瀧 功士	杉村 康
	住谷 恒介	
	中嶋 隆晴	
複数2次元データからの3次元モデルの作成	栗田 尚史	滝沢 陽三
遺伝的アルゴリズムを用いた巡回セールスマン問題の解法	檜村 賢治	滝沢 陽三
RSA法の安全性の検証について	渡邊 康弘	滝沢 陽三
3次元グラフィックスにおける形状モデリングに関する研究	方波見 尚之	滝沢 陽三
作曲支援システムの開発	遠藤 卓也	市毛 勝正
	金澤 宏哉	
音響信号のフラクタル性に関する研究	川又 夕希子	市毛 勝正
	吉田 泰子	
感情音声合成のためのパラメータに関する研究	大内 容美	市毛 勝正
光アシスト溶液プロセスにより作製した亜鉛酸化物の形態と溶液pHの関係	高木 翔悟	弥生 宗男
光アシスト溶液プロセスによる酸化イットリウム薄膜作製における溶液pHの影響	出口 悠輔	弥生 宗男
真空蒸着法により作製したニッケル薄膜の磁気特性および電気抵抗	海野 求己	弥生 宗男
ダイクストラ法による最短経路問題に関する研究	杉山 阿葵	弘畑 和秀
Awareness, Belief and Communication Reaching Consensus without Acyclic Condition	堀江 謙	松久 隆
No Speculation under Expectations in Awareness	小沼 豊	
	本田 将士	松久 隆
	黒羽 諒	

卒業研究題目一覧表(平成15年度)

物質工学科

題 目	学 生 名	指 導 教 員
ポルフィンの合成化学的研究(20) ーシッフ塩基を用いたポルフィン合成法の再検討ー	上田 智子	蝦名 不二夫
ポルフィンの合成化学的研究(21) ーマイクロフィーダーを用いたポルフィン合成の試み(2)ー	野内 弘一	蝦名 不二夫
1-クロロ-2-ブタノンの合成化学的研究	南城 圭吾	蝦名 不二夫
多機能性チトクロムp-450モデルの構築の試み(1)	八戸木 喬	蝦名 不二夫
PCR法を用いた16SrDNAによるグリセロールオキシダーゼ生産菌の同定	井坂 正博	鈴木 康司
Arthrobacter由来ウリカーゼの酵素化学的性質の検討	太田 康司	鈴木 康司
Pseudomonas putida 由来リパーゼ遺伝子のクローニング(2)	鈴木 和平	鈴木 康司
Ag化合物を用いたLegionella殺菌効果の検討	田村 晋一	鈴木 康司
Marinilactibacillus psychrotolerans由来グリセロールオキシダーゼ遺伝子のクローニング(2)	綿引 暁子	鈴木 康司
環境適合性を有する高分子複合材料の設計に関する研究	高橋 由美	宮下 美晴
天然高分子を用いた刺激応答性材料の作製と評価	藪下 さやか	宮下 美晴
磁気処理水の特性(1) ~ 非水系溶媒の分散特性 ~	小沼 裕希子	富田 豊
磁気処理水の特性(2) ~ アルコール類の分散特性 ~	細井 寛文	富田 豊
磁気処理水の特性(3) ~ 物理化学的性状の測定 ~	星 貴仁	富田 豊
磁気処理水の特性(4) ~ 酸化還元特性の変化 ~	中山 秀美	富田 豊
ファイトレメディエーションの研究~植物中における重金属吸収~	渡邊 亜紀子	佐藤 稔
トリフェニルホスフィンを軸配位子としてもつコバルト(II)ポルフィリンへの酸素付加反応	金石 眞理	佐藤 稔
コバルト(II)ポルフィリン/高分子ハイブリットの諸性質	菅波 直樹	佐藤 稔
マグネシウム(II)ポルフィリンの励起一重項状態	関根 和則	佐藤 稔
β, β -縮合型ポルフィリン合成の検討(3)~金属ポルフィリンを用いて~	稲田 剛俊	谷口 昭三
ポルフィリンのアルキル化条件の探索(1)	西谷 清寿	谷口 昭三
ジピラン合成法の検討およびそれを用いたポルフィリン合成	谷田部 道子	谷口 昭三
廃油の燃料化を目指した前処理と特性評価	廣澤 剛	斎藤 保夫
尿素または炭酸アンモニウム処理によるディーゼルエンジン排気NO _x の除去	福地 亮	斎藤 保夫
Pdの低減化を目指したメタノール水蒸気改質用Pd-ZnO/CeO ₂ 触媒の開発	国方 亜鶴美	斎藤 保夫
メタンの炭酸ガス改質反応用Ni/SrTiO ₃ 触媒の開発	香坂 拓亜	斎藤 保夫
Ta ₂ O ₅ 系光触媒薄膜作製の試み(2)	安達 正裕	砂金 孝志
Nb ₂ O ₅ 系光触媒薄膜作製の試み	郡司 由紀子	砂金 孝志
可視光応答型TiO ₂ -金属酸化物系光触媒薄膜作製の試み	小林 修一	砂金 孝志
塗布法による可視光応答型TiO _{2-x} N _x 光触媒薄膜作製の試み	藤枝 雅樹	砂金 孝志
溶出ポテンシオメトリーにおける銀薄膜電極の可能性について	木村 祥子	須田 猛
フロインジェクション分析法検出器としての溶出ポテンシオメトリー法の可能性	片寄 由佳	須田 猛
ポンタクロムバイオレット金属錯体の活性炭による固相抽出濃縮について	沼田 望	須田 猛
ビスマス薄膜電極を用いた溶出ポテンシオメトリー法による金属イオンの定量(2)	宮城 裕亮	須田 猛
XAD-2樹脂による水溶性金属錯体の吸着濃縮について(3)	山縣 征一	須田 猛
マグネシウムカテコールジオキシゲナーゼのモデル錯体に関する研究	谷口 智則	小松崎 秀人
マンガンセキノナート錯体の合成と反応性	深谷 佐久子	小松崎 秀人
コバルトセキノナート錯体の合成と性質	大久保 俊克	小松崎 秀人
ウレアーゼ活性中心モデルに関する研究	内沼 知佳	小松崎 秀人
光触媒によるエタン存在下での二酸化炭素還元(5)	小森 賢良	山形 信嗣
メソ孔を有する多孔物質の調製と光触媒への応用(2)	小林 英之	山形 信嗣
エタンの脱水素による二酸化炭素還元用触媒の開発(8)	鈴木 康太郎	山形 信嗣
エタンの脱水素による二酸化炭素還元用触媒の開発(9)	永井 瑞樹	山形 信嗣

卒業研究題目一覧表(平成15年度)

題 目	学 生 名	指 導 教 員
L-アラニン結晶の形状に対するL-フェニルアラニンの影響 リン酸二水素カリウム結晶の形状に対するCr(III)イオンの影響	本木 達也 佐川 功一	グスマン ルイス グスマン ルイス

平成17年3月16日 発行

編集兼
発行者 茨城工業高等専門学校

〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根866
TEL 029 (272) 5201

印刷所 いばらき印刷（株）

CONTENTS

A Study of the 19 th Century and Women — A Reconsideration of the Idea, 'Angel in the House' —	Yoko NAKAGAWA (1)
A Study of Making a Vocabulary Size Test for EFL Learners in Japan	Yasuhiro OKUYAMA (7)
Implementation of Dynamic Conversion to PDF File in Syllabus Database System	Yoshio OSAMOTO (13)
A Reconfiguration Algorithm for VLSI/WSI Arrays	Hideyo NAMEKAWA, Sho HASHIMOTO (19)
A New Collaboration System for the Local Industries	Toshio KANEKO (27)
Effects of K. L. Expansion Analysis using Laplacian EEG under Auditory Stimuli	Masao SUMIYA, Bin HE (35)
Two-Degrees-of-Freedom PID Control with the Use of 2 nd -Order Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) Method	Nobuo YAMAMOTO (43)
Simultaneous Effect for Both of Dead-Beat and Suppression of Manipulation Variable in LQ Optimal Control by Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) Method	Michiya MASUDA, Nobuo YAMAMOTO, Hitoshi OOUCHI, Makoto KIKUCHI (51)
Digital Design of Feedback Control with the Use of Time-Difference Comparison Compensation (TDCC) Method	Nobuo YAMAMOTO, Etsushi UENO (59)