

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第19号】

平成22年(2010)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 19 号

平成 22 年 9 月 (2010)

公益財団法人 立石科学技術振興財団

Tateisi Science and Technology Foundation

設 立 趣 意 書

今日、日本の科学技術の進歩・発展は著しいものがありますが、エレクトロニクス及び情報工学の分野における技術革新も、いまでは社会的・経済的にきわめて大きな影響を及ぼしています。たとえば、工場では各種工程のオートメーション化が進むとともに、オートメーション機器をコンピュータや通信機器とつなぎ、工場全体を統合的に動かすシステムの実現へと向かっています。

一方、オフィスでは、ワークステーションやパソコンなどのOA機器の普及が目覚ましく、また通信技術を利用することにより、データベースへのアクセスや情報交換も盛んになりつつあります。さらに、家庭においても、いわゆるホームオートメーション機器が浸透しはじめています。

このように、人間が働き生活する環境に、エレクトロニクス技術に支えられた各種機器がどんどん入ってきており、しかもその技術は年々高度化・システム化してきています。しかしながら、その技術革新のスピードが速いだけに、技術革新がそれら機器やシステムを使う主体である人間に及ぼす影響が十分考慮されない傾向があります。このため、本当に使いやすい機器・システムの開発が大きな課題になっています。

一方、今後の技術の飛躍的な発展のためには、人間の素晴らしい知識能力を規範にしたファジィなどの人工知能技術を確立し、使いやすい機器・システムの提供はもちろん、人間がより楽しく創造的な活動をするのに広く役立たせることが期待されます。

このような情勢に鑑み、オムロン株式会社、立石一真及び立石孝雄の醸出資金により「立石科学技術振興財団」を設立し、エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成をおこない、技術革新を人間にとって真に最適なものとすることに寄与せんとするものであります。

助 成 研 究 成 果 集

目 次

1. 理事長挨拶	2
2. 財団関係者寄稿	
石油資源開発株式会社 代表取締役会長 棚橋祐治（理事）	3
3. 立石賞の受賞記念講演概要	5
立石賞 功績賞 都甲 潔	5
立石賞 特別賞 金出 武雄	9
4. 研究助成成果の抄録一覧	12
5. 国際交流報告の抄録一覧（平成 21 年度）	135
6. 平成 21 年度活動報告（業務日程・会計）	145
7. 平成 22 年度助成報告	146
8. 第 1 回立石賞授賞式並びに第 21 回助成金贈呈式	147
9. 受領者投稿	148
羽多野正俊 日本大学 理工学部 精密機械工学科 准教授	148
平田 豊 中部大学 工学部 情報工学科 教授	149
10. 研究室訪問	150
石黒章夫 東北大学大学院 工学研究科 電気・通信工学専攻 教授	150
11. 第 21 回（平成 22 年度）助成課題一覧	153
12. 平成 22 年度研究助成課題の紹介	157
13. 平成 23 年度助成候補募集案内	160
14. 財団の概要	163
15. 評議員・役員	164
編集後記	165

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第19号の発行に際し、ひとことご挨拶申し上げます。

当財団は、オムロン（株）の創業者でありました、故立石一真が卒寿を迎えましたのを機に、科学技術の分野で人間と機械の調和を促進することを趣意として設立し、本年5月には第21回目の助成金贈呈式をとり行うことができました。これも日頃からの皆様のご支援の賜と感謝いたすところでございます。



本成果集の発行は、助成研究の成果普及活動のひとつとして行うもので、助成対象となった研究課題の成果を、財団設立の趣意に沿って、方向を同じくする研究者・研究機関と共有することを目的とすると共に、研究者の相互交流の一助となることを願って、毎年継続的に実施しております。

第19号の発行にあたり、ご寄稿いただきました研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

また、当財団設立20周年を記念し立石賞を創設しました。今年は5月の助成金贈呈式と同時に立石賞の表彰式と受賞者による記念講演を行いました。今後も隔年で実施して参ります。研究成果をご寄稿いただいた皆様には、その成果をベースに将来の立石賞受賞を目指して、引き続き研究に邁進されることを期待します。

21世紀の今日、情報化と科学技術の進歩がさらに加速し発展する中で、忘れてならないのは人間が主人公の社会の回復、すなわち人間と科学技術の高次元での調和だと考えております。この人間重視の視点に立った豊かで健全な最適化社会の創造に向けて、私ども財団の助成活動がいささかでも寄与できればと願っております。

なお政府の公益法人制度改革の動きの中で、当財団は今年7月に公益財団法人に移行することができました。これを機会に、さらなる公益性を追求して参ります。今後も引き続き、より一層のご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

理事長 立 石 信 雄

先端技術を生み出す知的財産権の強化

わが国の産業競争力は、この45年間、企業のあくなき技術開発への努力に支えられてきました。そのための企業の莫大な人的・物的投資とその成果は、特許権を中心とする知的財産権法によって保護され、市場で得た利益を企業に還元してきました。

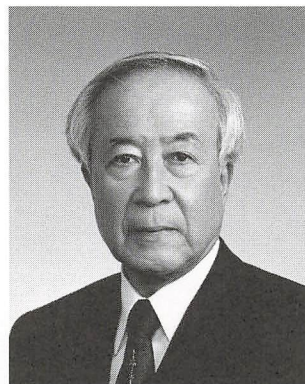
近年、知的財産権を巡る環境は国内外において大きく変化しております。

特許権についてみれば、内外に強い特許権にするよう特許行政上さまざまな改革が行われ、進歩性判断などで客観的な基準を作成し、時代の要請に応える特許権の査定がすすめられてきました。日米欧の3極の中で、日本の特許政策は一番秀れたものと評価されています。特許権以外に、ノウハウなどの技術情報について、不正競争防止法上、営業秘密の保護に関し、民事上・刑事上の規律が一段と強化されています。

しかし、近年わが国の特許権について、特許出願件数の落ち込みが懸念されています。2001年には約45万件あった出願数が2009年には約35万件にまで減少しています。世界一であった出願件数の減少は、量より質への特許戦略の転換があるとの指摘もありますが、2008年に米国が約45万件、中国が約29万件、韓国が約17万件とそれぞれ大幅に増加しているのに比べて、かつての勢いに翳りがでてきています。

また、グローバル化が一段と進展し、産業構造にオープンテクノロジーの新しい波が押し寄せてくるなかで、国も民間企業も特許戦略の再構築が迫られています。

オムロン株式会社は、売上高研究開発比率が年間8パーセント前後と高い水準で、毎年800件から900件の特許権を新規に登録し、5000件以上を保有する代表的な知財志向企業であります。立石科学技術振興財団は、1990年から、エレクトロニクスおよび情報工学の分野で人間と機械の調和を促進する研究や国際交流に対する助成を行い、新進気鋭の研究者の育成を行ってきました。新公益法人として、これから更なる貢献を行うことが期待されます。



石油資源開発株式会社 代表取締役会長 棚 橋 祐 治 (理事)

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

生体を模倣した感性バイオセンサの研究開発と実用化

九州大学大学院 システム情報科学研究院 主幹教授・研究院長 都 甲 潔

「味」とは

私たちが感じる「味」という観念は非常にあいまいである。それは、人が「味」を感じる要因が非常に多岐に渡っていることに起因する。

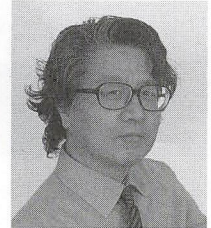
図1においしさを構成する要因を示す。舌で感じる味(味覚)、聞こえてくる音(聴覚)、鼻で感じる匂い(嗅覚)、舌触りとか歯ごたえ(触覚)、見た目(視覚)といった五感に加え、その場の雰囲気やその時の体調や気分、さらにその人が生まれ育った食環境などの要因が複雑に絡み合って「味」の評価が行われる。人はその食品から入ってくる情報全てを統合して「味」を感じるのである。

ここで、このあいまいな「味」を客観、主観という観点からみると2種類に分類することができる。一つは「舌で感じる味」であり、もう一つは「脳で感じる味」である。「脳で感じる味」は主観であり、現代科学では数値化・定量化できない。一般に私たちが「味」と言うときには、「脳で感じる味」のことであり、これは味覚のみならず、聴覚、嗅覚、触覚、視覚がすべて融合した感覚となっている。ところが「舌で感じる味」は客観である。それは人がどのよ

うにして味を感じるのかをみることで判る。

舌には味蕾(みらい)を構成する味細胞があり、化学物質を甘味、塩味、酸味、苦味、うま味の五つの味に選別して受容す

る。水に溶けた化学物質は舌の味細胞にくっつく。そして、図2に示すとおり、その情報が電気的变化となり、神経を伝わり(ここまでが客観)、脳で知覚される。味細胞をおおう生体膜は、タンパク質が埋まった脂質膜の構造をしている。そこでこの生体膜を模倣した人工の膜を作り、舌で味を感じるプロセスを機械で再現し、電圧の変化を捉えることに成功したのが味覚センサである。



味覚センサ

九州大学発のベンチャー会社である(株)インテリジェントセンサーテクノロジーから販売され

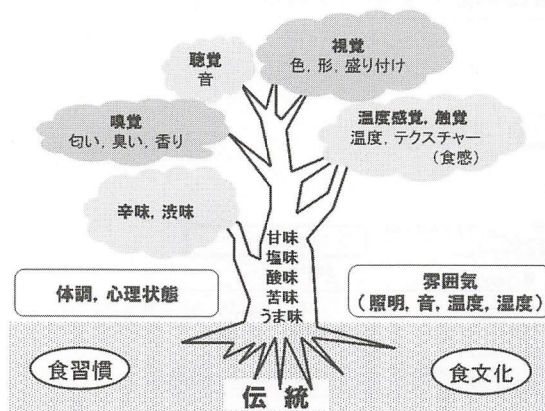


図1 おいしさの構成要因

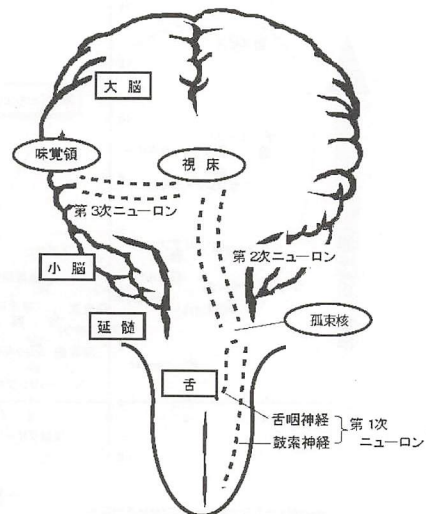


図2 化学物質の受容から味の認識まで

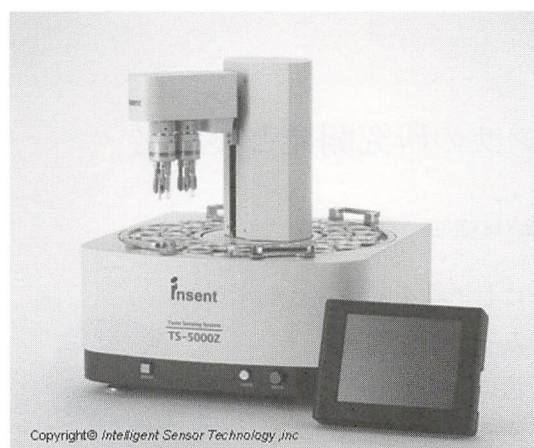


図3 味認識装置 TS-5000 Z
(インテリジェントセンサーテクノロジー社製)

ている味認識装置 TS-5000 Zを図3に示す。本装置はタッチパネルを使うことでどんなに機械に疎い人でも操作できるようになっている。また、1台のサーバーで複数の味認識装置をコントロールできる。

味覚センサの原理は生体系とほとんど同じである。化学物質が膜と相互作用し、それが電圧に変換され、その情報がケーブルを伝ってコンピュータに行く。20年前の開発当初は、8本のセンサ出力のパターンから味を判定するという方法をとっていたが、改良を重ね、最近では各センサ（脂質／高分子膜）が各味質に対応するという広域選択性（global selectivity）を実

現している。つまり、各々の膜は酸味によく応答、塩味に応答といった具合に各味質に特異的に応答する。複数種類の脂質／高分子膜の電圧出力から、味質と味強度が判定できる。味細胞の寿命は約10日だが、味覚センサの受容膜では1年以上であることからわかるように、安定して味の計測を行うことができる。

この味覚センサを用いることで、人が感じている味を、客観的に測ることができる。例えば、「苦い」とか「キレ・コクがある」などと感覚的に捉えているビールの味もグラフで表すと図4のように一目瞭然である。とてもわかりやすく比較することができる。

また、測ったデータから、その食品に似た味のものを探すことも可能となる。その例として、巷でよく知られている「プリンに醤油を足すとウニの味」、「麦茶＋牛乳＋砂糖はコーヒー牛乳」（図5）など。この味の不思議を解説した著書が『プリンに醤油でウニになる』（ソフトバンククリエイティブ、2007年）。また、2009年に飛鳥新社より出版した『ハイブリッド・レシピ』では、味の足し算の事例を実験により実証し、驚きのレシピとして70例ほど解説している（図6）。2004年に設立された味香り戦略研究所では、味覚センサを用いた食品データや食に関わるサービス・コンテンツを提供して

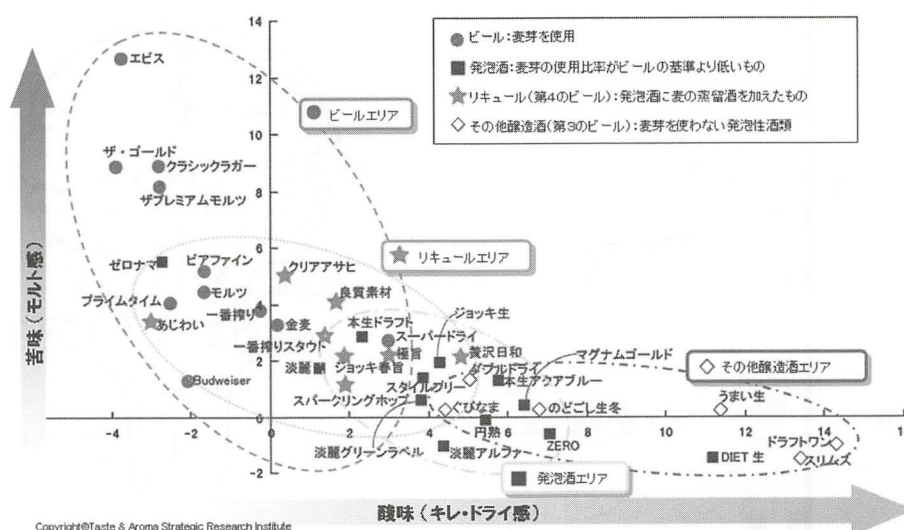


図4 ビール、発泡酒、リキュール、その他醸造酒のテイストマップ

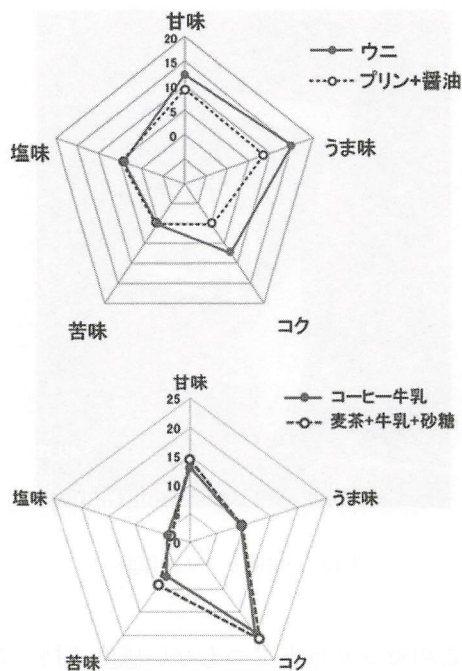


図5 味パターン (上) ウニと「プリン+醤油」、
(下) コーヒー牛乳と「麦茶+牛乳+砂糖」

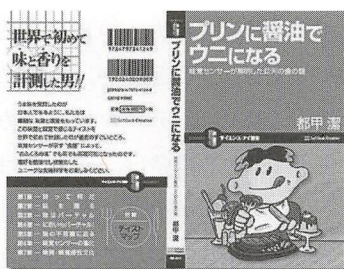


図6 都甲 潔の著書

いるが、これらの本を著作するにあたっては協力を受けている。図4も同社の提供である。

味覚センサは今まで客観的に捉えることが困難だった味の世界にもものさしを持ち込むことに成功した。実用・商品化された味覚センサは食品業界や医薬品業界、研究機関等でも数多く利用され、商品開発や製品検査の現場で活躍して

いる。

また、食の安全・安心が強く求められる昨今、味覚センサを用い食品製造過程における異物の混入等を簡易迅速に検出できるため、味覚センサは食品の安全管理や品質維持にも利用されている。これをさらに発展させ、味覚センサにより、食品の感性情報ならびに安全性に関する情報を客観的かつ定量的に指示するルール及びマニュアルを作ることが可能である。この「品質記述ツール」の創造により、日本は高品質な食糧生産のための国際的リーダーシップを形成し、かつ世界をリードする食に関する知識集約型社会を作り上げることができる。もちろん、味覚センサ技術と食品の品質記述ツールは、今後世界のデファクトスタンダードとなる可能性を大いに持っている。

さらに、味覚センサは人によって感じ方に違いのある味に対する主観的尺度を客観的な数値で表せるため、自分の味の許容度や好みを確認でき、新しい味への挑戦や苦手と感じている食品を克服、他の食品に置き換えるといった「食育」の観点でも利用されている。

医療分野では、味覚センサを利用することで常に安定した医療介護食の供給を可能とし、また将来は味覚障害者のためのインプラント型味覚センサの実現につながるといった重要な効果も期待でき、医療福祉の方面にも大きな福音をもたらすものである。

以上のように、味覚センサはこれまで主観の支配していた食品の世界に客観的ものさしを初めて提供し、広く食品、医薬品、流通、情報通信、教育関連等の業界に大きな貢献をなすものである。

匂いセンサ

最近では嗅覚の分野にも著しい発展が見られる。匂い分子は、嗅細胞の受容体に結合し、嗅球という脳神経で匂いの識別がなされるが、1種類の匂い分子はいくつかの受容体に結合し、また1つの受容体は複数種類の匂い分子を受容する、

ということが見いだされている。これは匂い分子の部分構造や特徴を複数のレセプターで受容するというメカニズムに至る。

このような受容機構を模倣することで、匂いも味と同様に識別できないかと考え、匂いセンサの研究を行っており、2007年には匂いセンサを搭載したロボット（図7）を開発した。このロボットは、匂いセンサ、カメラ、接触センサを搭載し、各部屋を巡回し、目で見、鼻で匂いを嗅いで安全を確認し、もし火災臭があれば通報する、というものである。

また、爆薬を超高感度で検出する匂いセンサ（electronic dog nose）の開発にも成功している（図8）。爆薬分子を受容する部分に抗体を用い、その変化を表面プラズモン共鳴法（SPR）で検出する、というものである。このセンサを用いることで、数pptから数十pptという低濃度のTNTを検出することができる。1pptという濃度は、ドーム球場を角砂糖で埋め尽くし、その中の角砂糖1個にあたるというのだから、このセンサはとてつもない感度を持つことになる。現在このセンサのポータブル化を進めているところである。

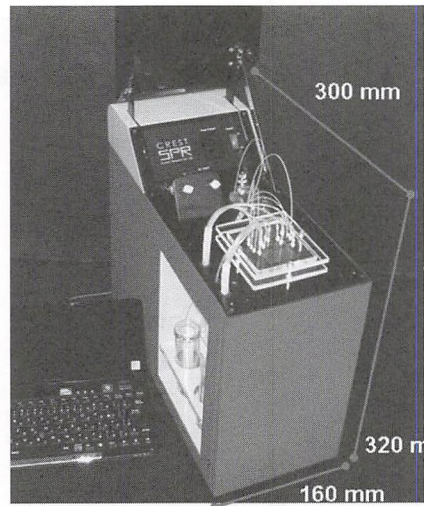


図8 SPR センサ試作器

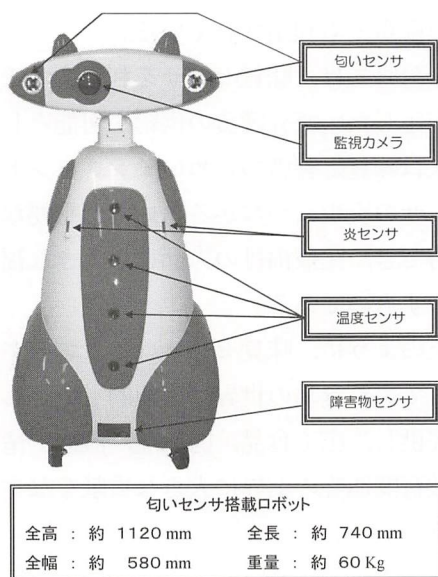


図7 匂いセンサ搭載ロボット

以上、味覚センサと匂いセンサ、つまり感性バイオセンサについて紹介してきたが、人間の感性である「味」と「匂い」をテーマに、人から学び人を模倣する形の研究開発は、それをまた人に還元するという一つのサイクルを生み出すことで、人間と機械の調和を図ることに貢献していると言えよう。今後、開発を推し進めることで、この人間と機械の関係がさらに深く結びついていくものと確信するものである。

[参考文献]

- 1) 都甲 潔：ハイブリッド・レシピ，飛鳥新社(2009)
- 2) 都甲 潔：プリンに醤油でウニになる，ソフトバンククリエイティブ(2007)
- 3) 都甲 潔：感性の起源，中央公論新社(2004)
- 4) 都甲 潔編著：感性バイオセンサ，朝倉書店(2001)
- 5) K. Toko: "Biomimetic Sensor Technology", Cambridge University Press (2000)

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

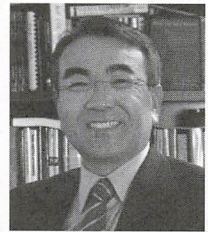
デジタルヒューマン技術の提唱とその発展への先駆的貢献

カーネギーメロン大学 生活の質工学研究センター所長, ワイタカー記念全学 教授 金 出 武 雄
(前 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターセンター長)

本日は、第一回立石賞特別賞をいただく光栄にあずかり、立石信雄理事長はじめ立石科学技術振興財団の皆様、ご来賓、ご来場の方々に厚く御礼申し上げます。

私は1980年に渡米以来30年、米国ペンシルバニア州ピッツバーグにありますカーネギーメロン大学というところを主勤務地として研究に従事してまいりました。そんな私にとりまして、今回の受賞は、第一回立石賞特別賞という荣誉ある賞であることの上に、特別なうれしさを与えてくれるものであることをまずお話ししたいと思います。実は渡米後すぐの1983年でしたか、帰国しました際に、今から思うとわれながら若造の厚顔と言うべきですが、オムロン創業者の立石一真氏を当時の本社の会長室に訪ね、その後嵐山の料亭で食事までご馳走になるという幸運に浴しました。その時、技術討論や歓談の間に、生活を向上し、よりよい社会をつくることに貢献する技術開発のあり方を熱く語られ教えていただいたことを今でもまざまざと覚えております。そして、今回、私が9年前に日本の産業技術総合研究所において新たに創設し、以来展開して参りましたデジタルヒューマン研究を、「人間と機械の調和」という趣旨に沿った日本発の研究・技術であると多少なりとも評価いただいたことは、立石一真氏の技術哲学を直接伺った私にとって何よりもうれしいことです。また、私は京都大学の出身でありまして、大学生と大学院生として9年、そして教官として7年、全部で16年間を京都ですごしました。その京都の地で賞をいただけることはこの上ない幸運と考えます。

さて、前置きが長くなりましたが、私は京都大学大学院での研究以来、目の機能を実現する計算機視覚の研究を中心に様々な自律知能ロボットの研究に従事してまいりました。ロボット研究者として私がカーネギーメロン大学で手がけた研究には、カメラを使って自動運転する車でアメリカ大陸横断、手術部位を正確に位置決めしガイドする手術支援ロボット、アメリカンフットボールの選手権試合（スーパーボウル）で使われた30台のロボットカメラによって、映画マトリックスのようにぐるっと回転するプレー再生システム「アイビジョン」などがあります。また画像処理機能としては、人の顔の検出・認識・表情解析、動き画像の解析、きわめて多数の画像を使って実空間の4次元モデル化技術として提唱した仮想「化」現実（Virtualized Reality）などを研究してきました。



私はこのような、様々なシステムの知能化の研究を通して、「システムにおいて最も重要な要素であるにもかかわらず最も理解されていない要素は人である」という事実を観察してきました。自動車を例にとると、「タイヤのスリップ、エンジンの制御、車体の安定性などは工学的に深く調べられているが、運ばれるという直接の受益者であり、その動きの制御者（運転者）でもあるという、二重の意味でシステムの最も重要な要素である人が、どのように反応し行動するかはほとんど知られていない。実は、

人と関わるあらゆるシステムにおいてこのことが言える」という実感です。私はこれを「人、それはシステムにおける最も脆弱な鎖の輪」という標語にまとめました。そして、人に奉仕し人と関わるシステムが適切に機能するための人機能のモデル確立というデジタルヒューマン技術研究を提唱し、2001年、独立行政法人産業技術総合研究所に拠って東京お台場にデジタルヒューマン研究ラボ（後にセンターに昇格）を設立しました。センターにおいては人を観察する技術、観察データを計算機モデルに昇華する技術、そのモデルを使ってシステムを設計する、あるいはシステムに埋め込んで実時間にシステムの働きを高める技術開発とその応用の研究をしてまいりました。

ではどのような成果が得られたのか。センターでの活動は極めて多岐にわたるので、わかりやすい例によって、主に考え方の進歩を見たいと思います。まず、人体のモデルです。日本人の全身モデルとして身長・体重といった静的データはもちろん今までも集められてきました。デジタルヒューマンではそれだけではなく、肩運動モデル、腕到達モデルなど人体の「機能」モデルを含むデータを大規模に収集し、それらを「計算機モデル化した人」として動く動的データシステムが開発されました。その結果、日常装着具のサイズ設計はもちろん、自動車メーカーによる人の乗降動作の自動評価、遊具会社による安全遊具の設計などに実際に応用されるようになりました。ここで、わかってきたひとつの重要な観点は実験室だけでなく、実社会でデータが計測され、蓄積され、サービスを生むことで、さらに良いデータが生まれるという循環の考えです。たとえば、足の形をmm単位で数秒の間に計測する装置が開発され、靴屋さんに常時置かれるようになりました。すると、単に自分にあった靴を選んだり、注文生産するのに便利というだけではありません。そのようなシステムがゆきわたれば、同じ人の足を計り

続けるわけですから、いまから何十年後には人の足はいったいどのような成長と経年変化をするか、その要因は何かという今までなかった知識を手に入れることが可能なのです。

指と手の詳細な機能モデルも生まれつつあります。手指は全部で20以上の自由度を持つ極めて精巧な操作器です。その変形、摩擦、動き、感触がどのような仕組みで起こるのかを屍体実験を含め詳細に調べ、機能モデルを構成していくのです。その結果、指の切断といった事故の生体力学的仕組みを通じての環境の安全設計の検討、扱いやすい容器やカメラや携帯装置のインターフェースの自動シミュレーションなどが可能となり、それらの設計に新しい組織的な方法論を提供します。これらの人体の全身から個々の機能モデルやグラフィック表示機能は総合的人体モデルDhaibaとして少しずつ作りこまれつつあります。

人のすばらしい機能を人工のシステムとして実現するヒューマノイドの研究も含まれます。最初はスクリプトに従った動きしかできなかったヒューマノイドですが、今では、非常に高速にプランニングと歩行安定化のサイクルをまわすことで段差のある不整地でも転げずに歩けたり、階段を認識し斜めの方向から上っていくようなこともできてきました。また、ヒューマノイドの環境認識やプランニング、制御といった内部状態をMixed Realityの手法で実世界に投影し、人と共有できるユニークなシステムも作られました。

デジタルヒューマン研究の人のモデルはこういった形や動きというレベルから、もっと日常の行動のレベル——日常生活インフォマティクスと呼んでいます——にも広がっていきました。センターには台所、居間、寝室の環境がつくられています。そこでは、センターで開発・特許化・製品化されたGPS干渉位相法を応用した超音波式ロケータセンサーが極めて多数うめこまれ、人につけられた動きと生理センサーと協調して、環境における人の動作行動を長時間に

わたり正確に計測できます。そのような時空間の行動情報処理技術により、たとえば、部屋の中での幼児と家具、玩具、母親とのインタラクションに関する行動モデルが開発されたり、睡眠時の計測の研究から無拘束に睡眠時無呼吸症候群を検査する医療機器が開発され商品化もなされました。

こういった人行動のさらに社会レベルでのデータ収集として、幼児の家庭での事故がどのようにして起こりどのような傷害が起こっているのかを地域のいくつかの病院と協力してオンラインで収集する仕組みをうちたてました。これによって、具体的な事故を把握して、その解決に必要な技術的課題を速くつきとめ解決することができるということです。実際すでに、公園内の遊具による事故発生から、子供の行動と事故の構造解析、それに基づいた新しい遊具設計と安全指針の策定にいたる循環が起こっています。センターではこの仕組みを傷害予防工学と名づけ事業として運営しています。これは、一般化すると、社会ニーズを具体的なデータとして速く把握し、その解決に必要な技術的課題にブレークダウンし、関連するコア技術を育て、開発・洗練された技術によって一層深く実問題を理解し解決することを繰り返す、基礎と応用を同時進行させる新しい「知識循環型サービスの研究スタイル」と言えるのではないかと考えています。実際、われわれのこの考えと事業は、経産省による基礎、応用、事業を結びつける安全知識循環型社会構築事業として発展しており、2009年4月の国会「消費者問題に関する特別委員会」においてもあるべきスタイルの事業として取り上げられました。

以上、デジタルヒューマン研究としてやってまいりました研究活動の一部を例にアウトプットよりもその社会的アウトカムを中心に述べさせていただきました。人はさまざまな機器や設備を製作し、使用します。機器や設備は、人間を取り囲み、サービスを提供します。しかし、人工物を作る工学は、対象の物理的性能に注目しがちで、システムの中にある人にとって、使いやすく、安全であるかという観点が薄れがちで、その評価法も必ずしも確立していません。問題は、人はどういう機能を持ち、機械の特性が人にどういう反応を呼び起こすか、使いやすいとはどういうことか、人は何が得意で何が不得意か、多くの人々の間の個人差はどのように分布しているか、何を補助してやればよいかがよくわかっていないことにあります。デジタルヒューマンの研究は、人間の機能を科学し、情報技術によって効率よく取り扱えるような人間のコンピュータモデルを作る活動です。そのモデルは、最も普通に考えられる解剖生理的なレベルだけでなく社会行動的レベルにまでおよぶべきものです。

デジタルヒューマンの研究は端緒についたばかりですが、その考えはこれから世界的に起こる高齢化社会に向けて必要な「生活の質工学」と呼ぶべき人の自立生活に本当に貢献する技術に不可欠と考えています。今から30年前にオムロン創業者の立石一真氏にお眼にかかり、教えていただいた氏の「人間と機械の調和」という技術哲学に私なりに多少なりとも答えることできたと思えば私のもっとも喜びとするところであります。

本日はまことに有難うございました。

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 自由運動を利用した歩行ロボットの制御理論と実験 (1051005)..... 16
Control Theory and Experiment of a Walking Robot Utilizing Free Motion
大 塚 敏 之 大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授

- ◆ 筋疲労を軽減させるメカニズムとしての
協働筋間活動交替の可視化・定量化に関する研究 (1071006) 20
Visualization and quantification of the alternations in synergistic muscle activation
as a mechanism for diminishing muscle fatigue
衣 笠 竜 太 早稲田大学スポーツ科学学術院 助教

- ◆ 手話アニメーションを用いた聴覚障害者に対する乳がん検診受診支援システムの研究 (1081007)
..... 24
Survey on Communication Support System at Mammographic Screening for Hearing-Impaired
People by Using Interactive Sign Language Animation System
北 原 照 代 滋賀医科大学 社会医学講座 衛生学部門 講師

- ◆ 胸部 MDCT 画像の経時差分法の開発と病変部候補領域の抽出 (1081008) 29
Development of Temporal Subtraction Technique on Thoracic MDCT Image and
Detection of Abnormal Candidate Regions
金 亨 燮 九州工業大学大学院 機械知能工学科 准教授

- ◆ 乗り物の加速・減速中における錯覚現象に関する基礎的研究 (1081011) 33
A Basic Study on Illusory Perception of Acceleration and Deceleration of Vehicles
柴 田 智 広 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授

- ◆ ファイバー状形状記憶合金を応用した低侵襲な消化管蠕動運動デバイスの開発研究 (1081014)..... 37
Development of Low-invasive Artificial Peristaltic Device for Digestive Organs applying
Fibred Shape Memory Alloy
関 根 一 光 徳島大学大学院 ヘルスバイオサイエンス研究部 助教

- ◆ Time-lapse 画像を用いた生体情報計測デバイス (1081016) 42
A vital-sign monitor based on the time-lapse images
高 野 千 尋 秋田大学 工学資源学部 特任助教

- ◆ 多チャンネル脳波からの効率的な律動信号抽出法 (1081018)..... 46
An Effective Method for Extracting a Rhythmic Signal from Multi-Channel EEG
田 中 聡 久 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 准教授

- ◆ 学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置の開発 (1081019) 51
Development of the Small Surface-Electromyogram Measurement System with Learning Function
田 村 宏 樹 宮崎大学 工学部 助教
- ◆ 脳波による新しいライフログ検索技術 (1081020) 56
A New Method of Life log Retrieval Toyama Prefectural University
唐 山 英 明 富山県立大学 工学部 情報システム工学科 准教授
- ◆ プラントオペレータの認知情報処理モデルによる
ヒューマンエラー解析と事故予防策立案 (1081021) 59
Human Error Analysis in Plant Operation using Virtual Subject
野 田 賢 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授
- ◆ 残存機能を十分に活かすためのリハビリ機器と運動解析技術の統合化 (1081027) 63
Integration of Rehabilitation Apparatus and Kinematic Analysis Tools to Utilize Remaining
Motor Function
三 浦 弘 樹 一関工業高等専門学校 制御情報工学科 講師
- ◆ 経時的差分体表面温度を用いた新規運転ストレス評価法に関する研究 (1081031) 67
Feasibility Study on Driver's Stress Detection from Differential Skin Temperature Measurement
山 越 健 弘 金沢大学大学院 自然科学研究科 特任准教授
- ◆ 喉頭高速ビジョンスコープによる声帯振動のリアルタイム音声化の研究 (1091001) 73
Real-time Auditorization of Vocal-Cord Vibration by Using a High-speed Laryngoscope
石 井 抱 広島大学 工学研究科 システムサイバネティクス専攻 教授
- ◆ 時々刻々と変動する音環境下での音源分離 (1091002) 78
Blind Source Separation under a Dynamic Acoustic Environment
石 橋 孝 昭 熊本高等専門学校 情報通信エレクトロニクス工学科 准教授
(熊本電波工業高等専門学校 情報通信工学科 助教)
- ◆ 大規模脳 MRA 画像を用いた
未破裂動脈瘤検出技術の高度化とその実用化システムの開発 (1091003) 82
Improvement of computerized method for detection of unruptured aneurysms in MRA
images using large image database and development of prototype for practical use
内 山 良 一 岐阜大学大学院 医学系研究科 准教授
- ◆ 完全埋込型人工心臓用生体共振式体内-体外間通信システムの開発 (1091004) 86
Development of Intrabody Communication System for Totally Implantable Artificial Heart by
means of Electrical Resonance between Human Body and Electrical Circuit
岡 本 英 治 東海大学 生物工学部 生体機能科学科 教授

- ◆ 粒子フィルタを用いた注意の相互制御による注視動作モデルの検討 (1091005) 91
Gaze Control by Particle Filter-based Visual Attention Model
尾 関 基 行 京都工芸繊維大学 情報工学部門 助教
- ◆ 環境モニタリングのためのマイクロ化赤外分光器 (1091006) 95
Miniature Infrared Spectrometer for Environment Monitoring
小 野 崇 人 東北大学大学院 工学研究科 教授
- ◆ 未活用エネルギーを利用した熱音響発電システムに向けた基礎研究 (1091010) 100
Basic study for thermoacoustic power generation system using unutilized energy
坂 本 眞 一 滋賀県立大学 工学部 准教授
- ◆ 視覚移動ロボットと環境カメラの協調による複数人物追跡 (1091011) 103
Multi-person tracking by cooperation of a mobile robot and environmental cameras
佐 竹 純 二 豊橋技術科学大学 工学部 情報・知能工学系 助手
- ◆ 強磁場 MRI における高周波電流分布の画像計測に関する研究 (1091012) 109
Imaging of high-frequency electric currents in high-field MRI
関 野 正 樹 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 助教
- ◆ 高精度高速シミュレーションと実環境数値モデルによる電波環境可視化システム (1091013) 113
Visualization System for Radio Wave Environment by High Accuracy and
Fast Simulation and Realistic Numerical Model
園 田 潤 仙台高等専門学校 知能エレクトロニクス工学科 准教授
- ◆ 糖尿病発症の危険性を電気化学的手法で効率的に診断するための新規デバイスの開発 (1091017) 118
Development of a novel device to efficiently detect the probability of the diabetes
by electrochemical methods
鳥 越 秀 峰 東京理科大学 理学部 応用化学科 准教授
- ◆ 高速ハイパーヒューマン技術に基づく
レオロジー物体のダイナミック塑性変形分布制御 (1091019) 122
Dynamic Plastic Deformation Control of a Rheological Object Based on High-speed Hyper
Human Technology
東 森 充 大阪大学大学院 工学研究科 准教授
- ◆ 超短パルスレーザーによる光コムを用いた高度距離センシング技術の研究 (1091022) 126
Development of high-performance distance sensing technique using an optical comb of
ultrashort pulsed laser
美濃島 薫 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 室長

◆ 新規な規則合金および磁化配列を有する

磁気抵抗薄膜による医療用微小磁気ビーズの検出 (1091025) 130

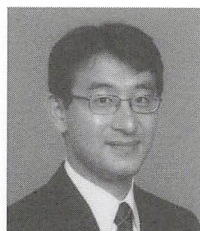
Detection of nano-scale magnetic beads for medical application using magnetoresistive multilayer with a new ordered alloy and magnetization configuration

吉 村 哲 秋田大学大学院 工学資源学研究科 准教授

自由運動を利用した歩行ロボットの制御理論と実験

Control Theory and Experiment of a Walking Robot Utilizing Free Motion

1051005



研究代表者

大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授

大塚 敏之

[研究の目的]

近年、2足歩行ロボットがいくつも開発されているが、それらは常に曲げた膝で体重を支えつづけるため消費エネルギーが大きくなってしまふ。人間と共に活動する歩行ロボットの実現には、消費エネルギーを抑え長時間の作動を可能とする歩行原理の開発が必要である。

そこで、本研究は、何ら力を加えない自由運動を積極的に利用した機構と制御によって、できるだけ消費エネルギーの少ない歩行ロボットを開発することを目的とする。歩行運動に潜む対称性などの力学的原理を利用して、運動の途中でほとんど力のいらない制御手法を確立し、簡便な機構の実機を開発する。主目的は歩行ロボットの効率的な運動制御を確立することであるので、人間を模擬することには拘らずに力学的な特徴を捉えたロボットを設計する。

[研究の内容、成果]

1. 自由運動を利用した制御理論

1.1 歩行制御の基本的考え方

歩行運動の力学的特徴を捉えるモデルとして、本研究では図1のようなコンパス型歩行モデルを用いた。このモデルの自由運動は、脚の角度を表す θ_1 - θ_2 平面において原点对称な軌道を持つことが示せる。したがって、図2のように、前方に振った脚が地面と衝突するときのみ適

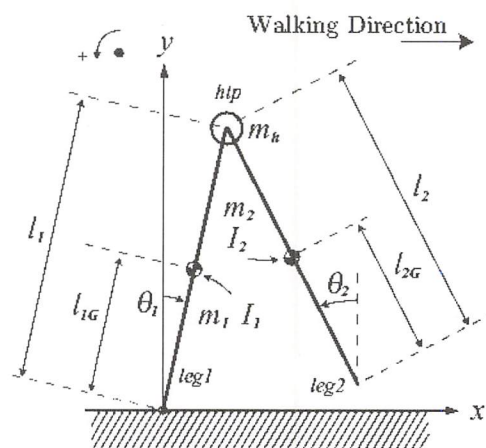


図1 コンパス型歩行モデル

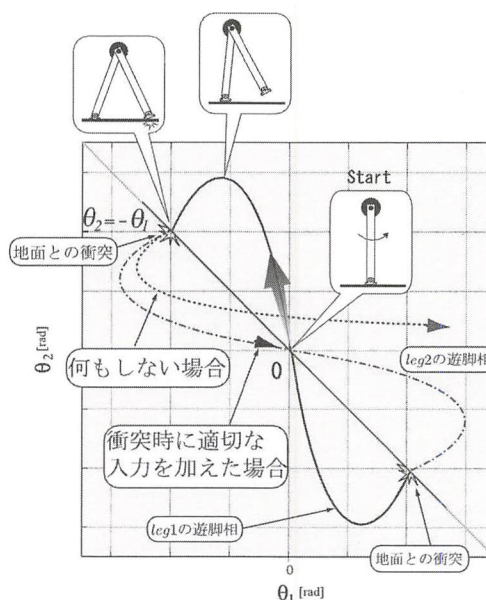


図2 歩行運動の例

切な入力を加えれば周期軌道を実現できる。これが自由運動を利用した歩行制御の基本的な考え方である。衝突の瞬間に加える入力は蹴り動作に相当する。ただし、力積（撃力）であるため正確に実現することが難しい。また、脚を前方に振っている間に腰関節で小さいトルク入力を加えることも考えられる。

1.2 歩行軌道の最適化

まず、蹴り動作と腰関節トルクの役割について、消費エネルギーの観点から検討した。与えられた平均速度を達成するという拘束条件の下で歩行運動の消費エネルギーを最小化する最適化問題を定式化し、数値解法によって最適解の性質を調べた。数値的に得られた最適解は、大部分のエネルギーを蹴り動作で与えており、腰関節トルクの寄与はわずかであった。腰関節トルクも含めた最適制御問題をオンラインで解くのは困難なので、蹴り動作のみでの歩行は、低消費エネルギーとアクチュエーションの簡便さとを兼ね備えていることになる。

つぎに、より実機に即した問題設定として、瞬間ではなく有限な時間区間にわたる有限な大きさの力ないしトルクのみを入力とする最適化問題も考えた。具体的には、地面から浮いた片方の脚を振っている間（遊脚相）にのみ、脚を伸縮させる力と腰関節トルクとを与えることとした。その結果、振った脚が地面に衝突し両脚で接地する直前と直後に入力が大きくなる傾向が見られ、両脚接地時に瞬間的な力積を加える蹴り動作との類似が見られた。その一方で、遊脚相における入力として、脚の伸縮よりも腰関節トルクを主に使った方が歩行の実現する条件は広いことが分かった。前述の結果と併せて考えると、蹴り動作が重要であるものの、安定した歩行のためには腰関節トルクを積極的に活用する駆動方法が望ましいことになる。

1.3 フィードバック制御

歩行軌道最適化の結果を踏まえて、腰関節トルクを制御入力とし、さらには各時刻におけるシステムの実際の状態をフィードバックする制

御手法を検討した。歩行ロボットは非線形システムである上に脚と地面との衝突現象を含むが、遊脚相中の腰関節トルクによって非線形性をキャンセルする入出力線形化手法を導入した。これにより、十分短い時間内で所望の歩幅まで脚が開くように応答を指定可能なフィードバック制御則が設計できた。ただし、完全に指定通りの応答は過大な制御入力を要する場合があるので、制御入力の大きさを制限する方法も検討し、小さい入力でも図3のように継続的な歩行軌道が得られることを確認した。したがって、腰関節トルクを利用するものの、あくまでも自由運動に対して補助的に入力を加える制御手法となっている。さらに、歩行運動の安定性を向上させる手段として、歩幅を拘束する機構を想定し、シミュレーションによって大きな効果が確認できた。

これらの結果を組み合わせ、さらに腰関節トルクを低減させる制御方法も検討した。その結果、歩幅を拘束する機構を想定し、単に脚を前に振り出す一定トルクを与える制御手法によって、継続的な歩行が実現できることが分

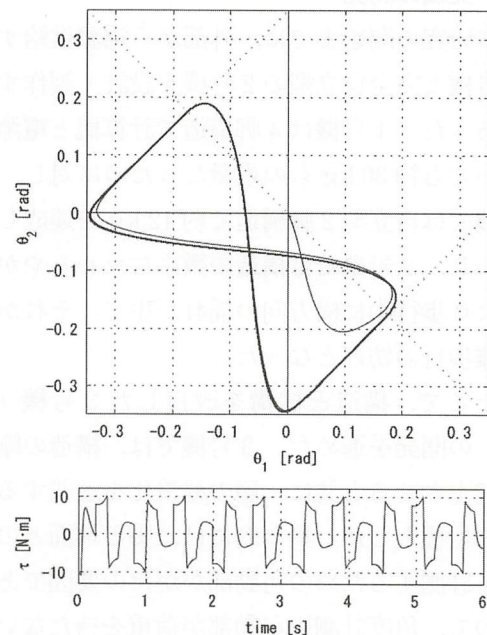


図3 腰関節トルクによるフィードバック制御の歩行軌道（入出力線形化）

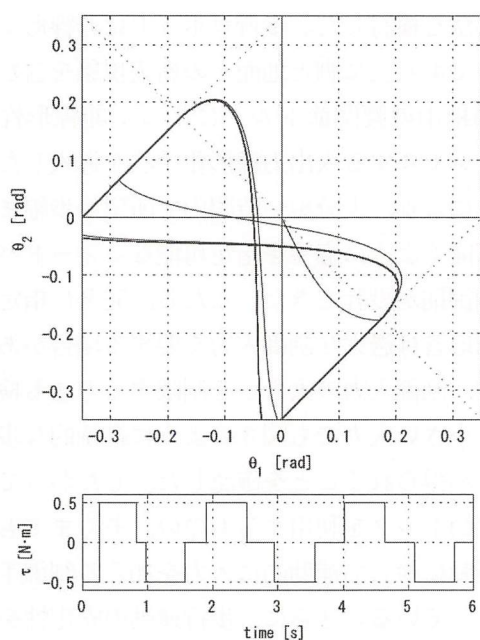


図4 腰関節トルクによるフィードバック制御の歩行軌道 (拘束機構付)

かった。さらに、その際のトルクは従来手法に比べて大幅に低減できた。図4にシミュレーション結果の一例を示す。図3と同様8の字型軌道を描いているが、腰関節トルクの絶対値は従来手法の1/20になっている。

2. 実機の開発

本研究の開始までに、外部から電源供給する1号機と完全自立型の2号機を設計・製作済みであった。1号機は4脚構造で計算機と電源を除いても約30 kgもの重量だったのに対し、2号機では自立型2脚構造で約12 kgを達成した。しかし、2号機では構造の微小なたわみやがたにより歩行中に横方向の揺れが生じ、それが長距離歩行の妨げとなった。

そこで、構造と機構を改良した3号機(図5)の開発を進めた。3号機では、構造の剛性を向上させると共に一層の軽量化を達成することを目標とした。具体的には、脚と地面との角度を計測するための可動部ががたの要因であったので、角度計測用可動部が荷重を持たないように、図6のように構造を工夫した脚先を開発した。他の改良点として、片脚で自重を支持する

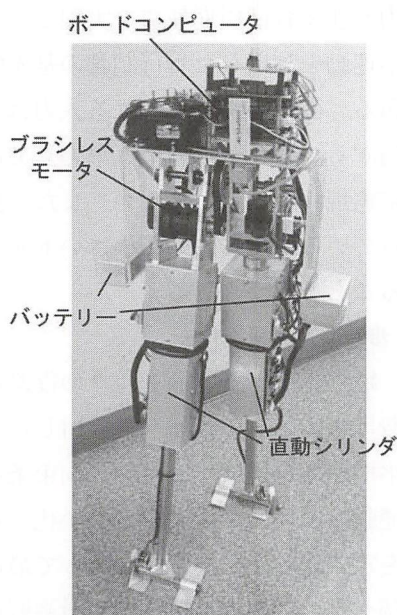


図5 3号機

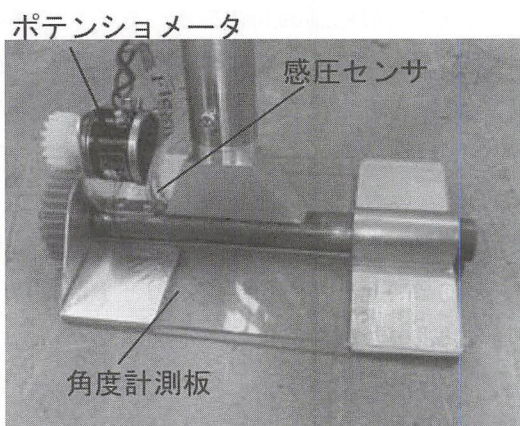


図6 3号機の脚先

際の消費エネルギーを低減するために超音波モータを用いた直動アクチュエータを自主開発した。さらに、方向制御用の機構においても超音波モータを採用し、一定角度を保持する際の消費エネルギーを低減した。3号機はほぼ完成し、センサー/アクチュエータ周辺の回路系やプログラムを開発・調整中である。

コンパス型の実機によって歩行が実現できることは、簡易型の制御則によって確認した。図7のように、遊脚が地面に衝突する直前にオンラインでシミュレーションを行い、適切な歩幅が達成されるように直動アクチュエータの駆動

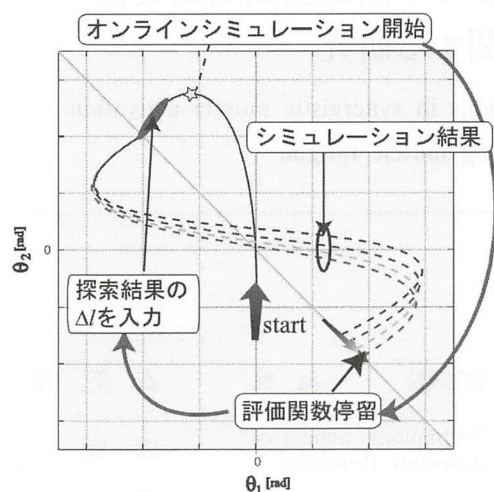


図7 歩行制御則

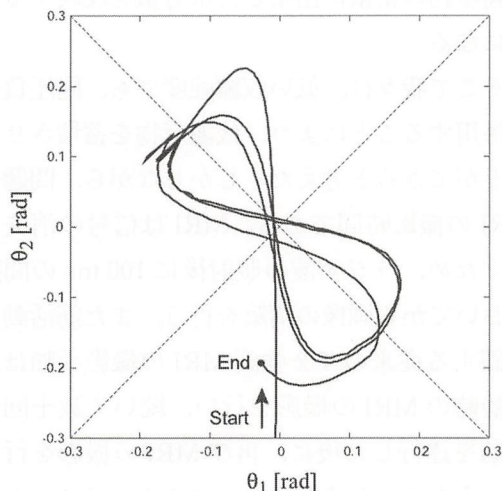


図8 歩行実験結果

量を探索する制御則を2号機に実装したところ、図8のような歩行運動が実現できた。

[今後の研究の方向，課題]

簡便な機構を用いた歩行制御手法については、シミュレーションを通じて有効性が確認できた。また、低ギヤ比のモータや自由関節を用いた実機において、わずかな制御入力によって歩行が

実現できることも確認できた。ただし、新しい歩行制御手法を実機に実装するには至っていない。したがって、今後の課題は、歩行制御手法の解析と改良を進めつつ、実機への実装も行うことである。

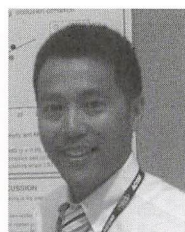
[成果の発表，論文等]

- 1) 大塚敏之：“力学原理に基づいた‘自然な’運動生成”，日本機械学会東北支部特別講演会，仙台（2005.10）
- 2) 小曳孝志，岡崎振一郎，角口謙治，大塚敏之：“コンパス型歩行機械のオンライン探索による制御実験”，第48回自動制御連合講演会，長野，pp. 389-392（2005.11）
- 3) 大塚敏之：“自由運動を活用した歩行機械の制御理論と実験”，第6回計測自動制御学会システム・インテグレーション部門講演会論文集，熊本，pp. 913-914（2005.12）
- 4) 森田晋，大塚敏之：“Hamiltonの原理に基づく自然な軌道の計画手法 — 力学変数の変数変換 —”，計測自動制御学会論文集，Vol. 42，No. 1，pp. 1-10，Jan. 2006.
- 5) 藤井秀典，大塚敏之：“コンパス型歩行モデルにおけるエネルギー最適軌道の探索”，第6回計測自動制御学会制御部門大会資料，名古屋，Vol. 1，pp. 169-172（2006. 5）
- 6) 角口謙治，岡崎振一郎，大塚敏之：“自由運動を利用したコンパス型歩行機械 HW-III の開発”，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，札幌，pp. 15-16（2006.12）
- 7) 岡崎振一郎，大塚敏之：“コンパス型歩行モデルにおける遊脚相中入力の最適化”，第7回計測自動制御学会制御部門大会，調布，No. 81-3-5（2007. 3）
- 8) 寺山充実，大塚敏之：“股関節角の拘束機構を用いたコンパス型歩行機械の制御”，第52回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集，京都，pp. 67-68（2008. 5）
- 9) Hodaka Kato, and Toshiyuki Ohtsuka, “Walking Control of a Compass-like Biped Robot with a Constraint Mechanism”, *Proceedings of ICROS-SICE International Joint Conference 2009*, Fukuoka, pp. 51-55, Aug. 18, 2009.

筋疲労を軽減させるメカニズムとしての協働筋間活動交替の 可視化・定量化に関する研究

Visualization and quantification of the alternations in synergistic muscle activation
as a mechanism for diminishing muscle fatigue

1071006



研究代表者	早稲田大学スポーツ科学学術院	助 教	衣 笠 竜 太
共同研究者	Georgia Institute of Technology, School of Applied Physiology, Associate Professor		篠 原 稔

【研究の目的】

疲労は日常生活における様々なストレスの延長線上にあり、疾病への下地となる。本研究は、疲労状態で生体系、特に骨格筋、が働くための指令や信号などの生体情報を検出する技術を開発し、国民の疲労回復・予防に役立てたい。人間が疲労状態に陥ると筋力の低下がみられ、それを軽減するために協働筋内で“交替で休息をとる”ような現象（協働筋の活動交替）が起こる。しかしながら、活動交替の発現部位については不明であり、これを計測するための技術開発が求められている。本研究は、筋力発揮中における筋内部の活動分布を計測する方法論を確立し、協働筋間活動交替の発現部位を可視化・定量化することを目的とする。

【研究の仮説】

ヒト骨格筋の神経・筋の活動特性を評価するため、運動誘発性の磁気共鳴画像法（MRI）の横緩和時間（T2）強調シーケンスが用いられてきた。この方法は、1）最大筋力の40%以上の収縮強度で運動を実施しなければならない、2）3分間以上の撮影時間を要する、という測定上の制約があった。MRIのT2は、比較的高い収縮強度で運動を実施することにより、

代謝産物の蓄積に由来した水分量を反映することになる。

そこで我々は、低い収縮強度でも、陽圧負荷を併用することにより、代謝産物を蓄積させることができると考えた。しかしながら、問題はMRIの撮影時間である。MRIは信号の消失を防ぐため、ラジオ波の照射後に100 msの間隔をおいてから画像の構築を行う。また筋活動を評価する従来のT2強調MRIの撮影手順は、安静時のMRIの撮影を行い、続いて数十回の運動を遂行した後に、再びMRIの撮影を行うというものである。エコープラナーイメージング（EPI）は単一のラジオ波パルス照射後、10 ms以内に画像構築を完了できる特殊な撮影方法である。このEPIは収縮中の筋活動をリアルタイムに評価できる可能性がある。そこで本研究は、EPIと陽圧負荷の組み合わせが、低い収縮強度での運動中の筋活動をリアルタイムに計測できる、という仮説を立てた。

【研究の方法】

7名の健康な若年男性（平均年齢29歳、身長173 cm、体重68 kg）が本研究に参加した。被験者はMRIのベッドに仰臥位となり、右足を膝関節180度、足関節90度の状態でMRI対応の筋力計に固定した（Figure 1）。足関節

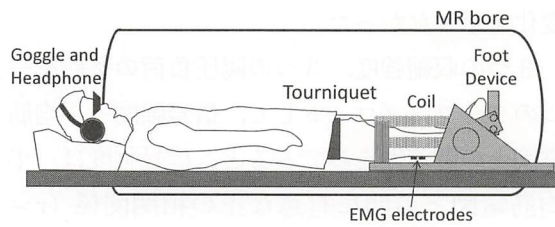


Figure 1 Experimental setup.

底背屈の関節軸は筋力計の回転軸と一致させた。筋力計の足部背面には、ファイバーのストレインゲージを貼付し、足底屈力を計測した。被験者は最大随意足底屈力の測定後、陽圧負荷有り（100 mmHg と 150 mmHg）と無しの状態で最大筋力の 5 %、10 %、20 % の収縮強度で 60 秒間の等尺性足底屈収縮を行った。100 mmHg の陽圧負荷は静脈流出の遮断、150 mmHg の陽圧負荷は更に動脈流入を減少させることを意図した。また、陽圧負荷と収縮強度の順番は被験者間でランダムとした。

MRI の撮影には、1.5 テスラの超伝導型装置 (Signa, GE 社製) を用いた。コイルは頭部用コ

イルを用いた。EPI は、繰り返し時間 6000 ms、エコー時間 15.4 ms、スライス厚 10 mm、関心領域 40×40 cm、 64×128 マトリクスの設定で、60 秒間の収縮中、6 秒毎に横断画像を得た (Figure 2)。画像解析には、ImageJ (NIH 社製) を用いて、筋腹中央部に位置する一横断面における腓腹筋内側頭の信号強度を算出し、これを筋活動の指標とした。MRI の撮影は全被験者 2 回行い、安静時の信号強度の再現性を確認した。

筋電図 (EMG) は、双極誘導の表面電極法により記録した。電極は、MRI に対応した直径 5 mm の銀円盤の銀-塩化銀電極 (ユニークメディカル社製) を用い、20 mm の電極間距離にて腓腹筋内側頭の筋腹中央部の皮膚表面に貼付した。EMG の信号は、生体アンプ (MEG-6108 M, 日本光電社製) で増幅し、時定数 0.03 秒で導出した。

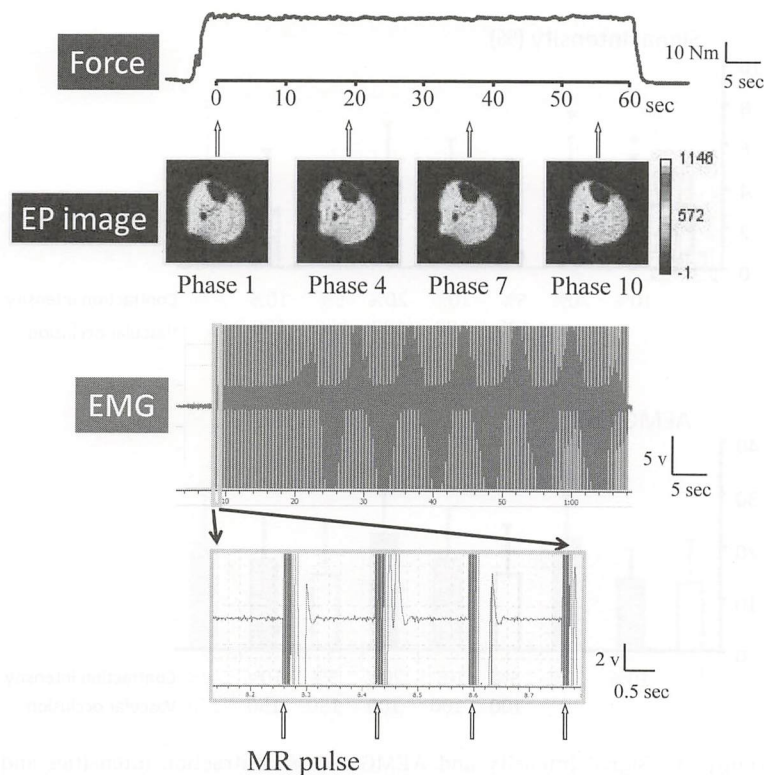


Figure 2 Example recordings of force, EP image, and EMG during 60-s muscle contraction.

〔研究の成果〕

信号強度の級内相関係数は 0.99 であった。信号強度は一回目と二回目の値との間に有意な差を示さなかった。従って、EPI を用いた信号強度の再現性は高いと判断した。

第一フェイズ（最初の 6 秒間）における信号強度は全ての収縮強度において、他の 9 つのフェイズよりも有意に高値であった。2 フェイズ目から 10 フェイズ目の信号強度には有意差が認められなかった。1 フェイズ目に観察された信号強度の高さは今後検討することとするが、これ以降は、6 フェイズ目から 10 フェイズ目（30 秒～60 秒）を分析の対象とした。

陽圧負荷なしの状態において、信号強度は安静時（ 607.1 ± 56.9 ）よりも 10% と 20% の収縮強度で有意に高値であった（Figure 3）。一方、100 mmHg と 150 mmHg で陽圧負荷した場合、信号強度はいずれの収縮強度でも有意な

変化を示さなかった。

3 つの収縮強度、3 つの陽圧負荷の条件を一つのグラフにプロットして、信号強度と平均筋電図との関連性をみると、信号強度は、平均筋電図との間に有意な正の相関関係（ $r = 0.69$, $P < 0.05$ ）を示した。

150 mmHg の陽圧負荷時において、両者は収縮強度の増加に対して漸増的な増加を示した（Figure 4）。一方、陽圧負荷なしと 100 mmHg での陽圧負荷の場合、両者は収縮強度の増加に対して漸増的な変化を示さなかった。このことから、100 mmHg の陽圧負荷は静脈流出を完全に遮断できず、静脈流出の抑制具合は筋収縮自体による効果と同等であったと考えられる。また、動脈の流入量の減少が、信号強度変化を誘発する代謝産物の蓄積に必要であることが伺える。

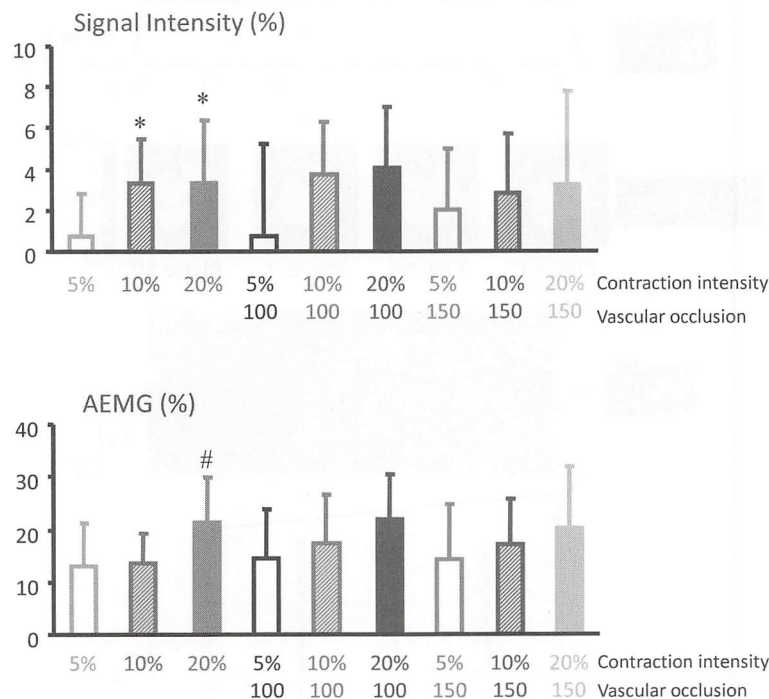


Figure 3 Signal Intensity and AEMG across contraction intensities and conditions for vascular occlusion. Values are means and SD
* $P < 0.05$ vs. 5 % in the respective condition; # $P < 0.05$ vs. 5 % and 10% in the respective condition.

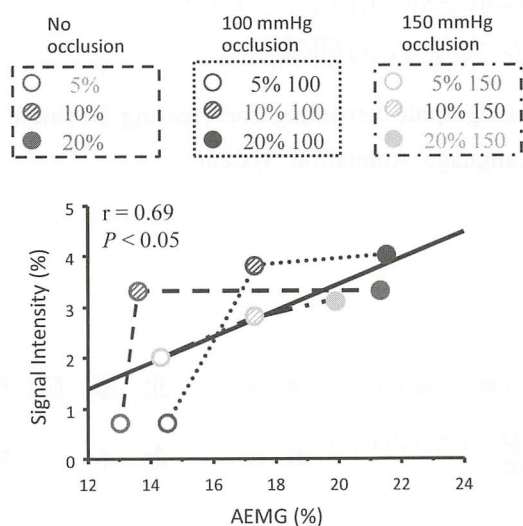


Figure 4 Association between signal intensity and AEMG for the mean values.

[研究の結論]

150 mmHg で陽圧負荷しながら低い収縮強度で運動している際、MRI の信号強度は筋電図の値と関連する。

[今後の研究の方向性、課題]

本研究では、低い力発揮レベル時の筋活動を評価する方法論の開発に一部成功した。しかしながら、なぜ 150 mmHg の陽圧負荷時において、信号強度と平均筋電図が全ての実験条件の中で最も高値を示さなかったのか？、という疑問が残る。今後は、収縮時間と陽圧負荷の条件を変えながら、疑問点の解決を目指す。

一方で、当初本研究の目標として掲げた、「協働筋間活動交替の発現部位の可視化・定量化」を実現するには到らなかった。上記の方法論が確立した段階で、研究の焦点を協働筋の活動交替に移し、活動交替の発現部位を同定し、骨格筋の解剖学的形状の特性との関連性を明らかにしたい。そして、活動交替発現の機能的意義の解明を目指したい。

[成果の発表、論文等]

受賞

- ACSM Vendor's Innovation in Research Award (2009)

招待講演

- 衣笠竜太：ヒト筋収縮中における筋・腱ユニットの力学特性と神経・筋の活動特性の in vivo 計測. シンポジウム「神経筋系・呼吸循環系の生体信号処理」, 日本機械学会 第 22 回バイオエンジニアリング講演会 (2010)

国際学会発表

- Kinugasa R. Shinohara M.: Possibility for assessing low-force muscle activation with real-time magnetic resonance imaging combined with vascular occlusion. The American College of Sports Medicine 56 th Annual Meeting (2009)

[謝 辞]

本研究課題に対して助成頂いた財団法人立石科学技術振興財団に謝意を表する。

手話アニメーションを用いた聴覚障害者に対する 乳がん検診受診支援システムの研究

Survey on Communication Support System at Mammographic Screening for Hearing-Impaired
People by Using Interactive Sign Language Animation System

1081007



研究代表者 滋賀医科大学 社会医学講座 衛生学部門 講師 北原 照代

共同研究者 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 教授 森本 一成
先端ファイブ科学専攻

〔研究の目的〕

聴覚障害者（以下、聴障者）は、医療を受ける時、コミュニケーション障害に起因して様々な不便や困難を感じている。これまでに筆者は、京都工芸繊維大学と共同で、手話アニメーションを用いた医療者と聴障者の意思疎通を支援するシステムを検討してきた。また、聴障者ではマンモグラフィー併用乳がん検診受診率が健聴者よりやや低い傾向にあることを明らかにした。そこで、乳がん検診において聴障者と医療者が手話アニメーションを介して対話できるシステムを構築することを目的に本研究を実施した。

〔研究の内容、成果〕

滋賀医科大学倫理委員会の承認を得て、以下の調査を実施した。

1. 聴覚障害者における乳がん検診受診時のバリアを把握するための調査

〈対象と方法〉

本調査は、1) 乳がん検診における問診表記入・マンモグラフィー検査・診察の所要時間測定および放射線技師の被曝量測定と、2) 質問紙調査から成る（図1）。対象は、本調査への協力について文書で説明し同意を得た、滋賀県

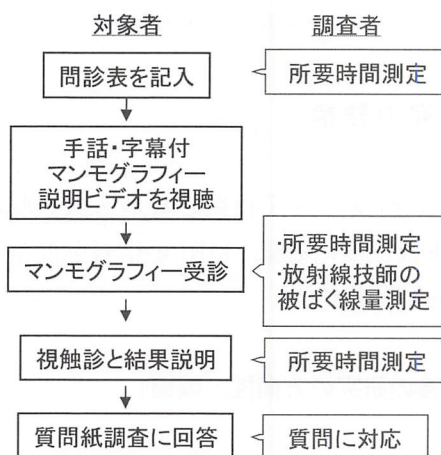


図1 調査の流れ

内の聴障者 22 名および健聴者 43 名。

聴障者が検診を受診するにあたり、① カルテに「耳マーク」（聴障者であることを示すシール）を貼付、② 検査前に、手話・字幕付きのマンモグラフィー解説 DVD で検査手順を学習、③ 検診会場に手話通訳者と要約筆記者を配備、④ 顔の向きを指示する紙を検査室の壁に貼付、⑤ 診察ベッドの横に「上着を脱いで横になって下さい」というイラスト付の紙を貼付、などの配慮を行った。また、聴障者の診察はすべて同一の医師が筆談と簡単な手話や身ぶりを交えて行い、必要に応じて手話通訳者が通訳した。

質問紙調査の項目は、過去の乳がん検診受診

の有無、受診・未受診の理由、今回の乳がん検診の感想などとした。検診終了後に、自記式調査票を配布し、その場で全員から回収した。必要な場合は手話通訳者を伴う面接法を用いた。

健聴者と聴障者の比較について、平均値の差は対応のないt検定、率の差は χ^2 検定（いずれも有意水準5%）を用いた。

〈結果と考察〉

1) 問診表記入・マンモグラフィー検査・診察の所要時間、および放射線技師の被曝量の測定

問診表記入時間は、健聴者で平均3.5分（最長6分）に対し、聴障者では平均7.5分（最長20分）要し、有意な差があった。聴障者の質問にスタッフが筆談や手話通訳者を介して説明したためと考えられる。一方、検査および診察の所要時間は、健聴者と聴障者で有意差がなかった。検査では、事前に見た手話・字幕付きビデオが聴障者の円滑な受診に有効であったと思われる。ただ、診察時、聴障者では、触診中に医師へ質問しにくい、診察後の医師への質問が少ない、といった質的な違いが観察された。

放射線技師の被曝量はすべて測定限界（0.001 μ Sv）未満だった。

2) 質問紙調査

今回マンモグラフィー併用乳がん検診を初めて受診した人は、聴障者16人（受診者の73%）、健聴者26人（同60%）であった。初めて受診した人に過去未受診の理由を尋ねたところ（図2）、情報のバリアが聴障者の受診を妨げていることが示唆された。

今回の検診での医師・看護師とのコミュニケーションは、健聴者全員が「ほぼ通じた」とした一方、聴障者では「ほとんど通じなかった」が13%いた。また、結果説明の理解度は、健聴者では「よくわかった」が97%に達したが、聴障者では74%にとどまった。総合評価は概ね好評で、「このような検診が行われるのであれば、また受診したい」という感想が相次

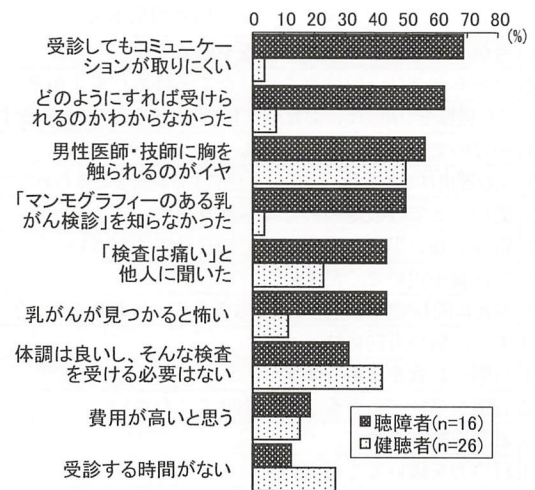


図2 今まで受診しなかった理由（初めて受診した人の回答）

いだ。

本調査から、医療者と聴障者の円滑なコミュニケーション支援の必要性が示された。

なお、本調査結果については、報告書を協力団体に郵送し、その後、調査結果報告会を兼ねた学習会を実施した。学習会では、自己触診の教材として、手話・字幕付きの自己触診解説DVDや乳がん模型など、視覚的にわかりやすいものを準備し、参加者から好評を得た。

2. マンモグラフィー検査に必要な手話アニメーション生成と評価

2-1. 手話アニメーションの作成

上述の調査で行った乳がん検診時の記録等を基に、放射線技師の指示文を抽出（39文、表1）。聴覚障害者に同指示文の手話表現を依頼し、撮影したビデオ画像から、京都工芸繊維大学にて、先行研究で確立されている手話日本語間相互翻訳システム（図3）を用い、手話アニメーション（図4、5）が作成された。

手話表現にあたっては、全国手話研修センター職員1名（聴覚障害者）の監修を受けた。また、指示文の内容と作成した手話アニメーションについては、手話のわかる放射線技師2名が見て改善点を助言した。

表1 マンモグラフィー検査用指示文

1	今からマンモグラフィの検査を始めます
2	マンモグラフィの検査を受けたことはありますか？
3	この機械をつかって、お乳を上下方向と斜め方向に挟みます
4	挟むので痛いかもしれません
5	挟む理由はお乳を薄くのばして見やすい写真をとるためです
6	挟むことで放射線の被ばくも減ります
7	痛みが強い場合は手を挙げて知らせてください
8	では服を脱いでください
9	お乳に関して特に自分で気になるところはありますか？
10	まずは斜め方向に挟みます
11	右側のお乳を撮影します
12	右腕を挙げてわきをここへ乗せてください
13	お乳を触ります
14	肩の力を抜いてください
15	右足を一步右に出してください
16	お乳をひっぱります
17	押さえていきます
18	息をゆっくり吐いてください
19	大丈夫ですか？
20	反対のお乳を左手で外側に押さえてください
21	そのまま動かないでください
22	楽にして、一步後ろに下がってください
23	次に、左側のお乳を撮影します
24	左腕を挙げてわきをここへ乗せてください
25	左足を一步前へ出してください
26	反対のお乳を右手で外側に押さえてください
27	次は、上下方向を挟みます
28	体は台に向かってまっすぐ立ってください
29	右耳を板にあててください
30	左手を前のほうに出してください
31	左耳を板にあててください
32	右手を前のほうにだしてください
33	終了します。服を着てください
34	お疲れ様でした
35	気になるところはどこですか？
36	線のところに立ってください
37	もう少し押さえます
38	少し緩めますね
39	息を止めて、そのまま動かないでください

2-2. 評価実験

〈目的〉

作成した手話アニメーションがどの程度読み

取り可能であるか、また、どういった点にわかりにくさの要因があるかを明らかにする。

〈対象と方法〉

被験者はコミュニケーションの手段として手話を日常的に使用している30代から50代の女性の聴覚障害者24名。被験者には、予め実験内容に関して文書で説明した（必要に応じて手話通訳者に通訳を依頼）。

1) 一文毎の読み取り

マンモグラフィー検査の指示文を手話アニメーションで表現したものを、パソコンのディスプレイに一文ずつ1回だけ被験者に提示し、一文毎に読み取った内容を解答用紙に記入させた。

2) 一文毎の手話文の主観評価

39文について1)が終了した後、指示文と対応する手話アニメーションを一文毎に提示し、手話アニメーションの分かりやすさについて（手話の意味が読み取れる、表情が意味を読み取るのに役立つか、手話表現は自然か、単語の切れ目は分かりやすいか、手の動きの速さは適切か）、5段階で評価をさせた。ここでは、被験者が希望すれば、手話アニメーションの繰り返し再生は可とした。

3) 手話文全体に対しての主観評価

最後に手話文全体の評価（口話が読み取れるか、指の動きは判断できるか、人物画像の表情は豊かだったか）を5段階で主観評価させた。また、手話表現や手話文全体に関して何か気付いた点、改良が必要な点などを評価用紙に任意

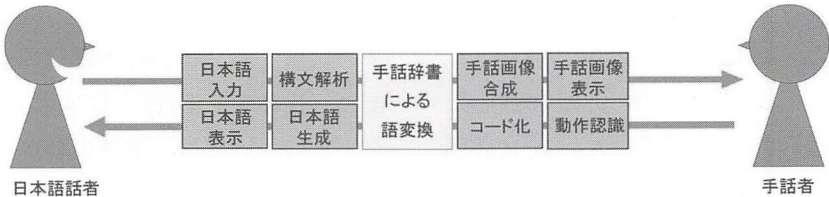


図3 手話日本語間相互翻訳システム

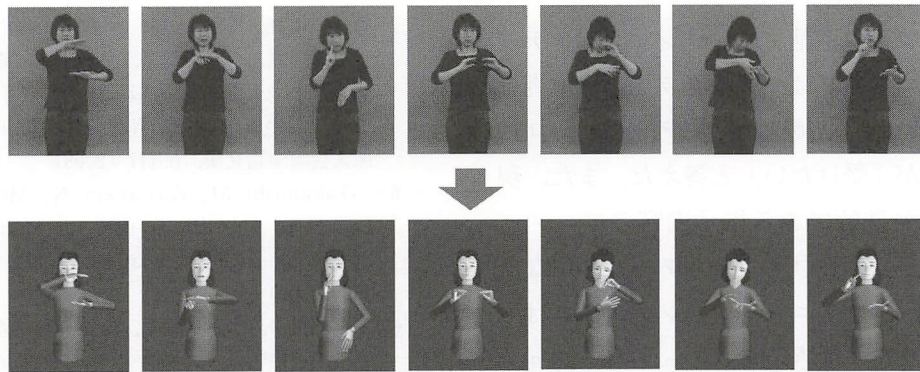


図4 ビデオ映像からの手話アニメーション作成例

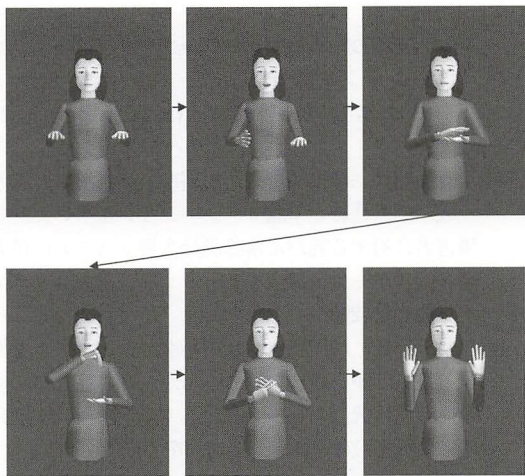
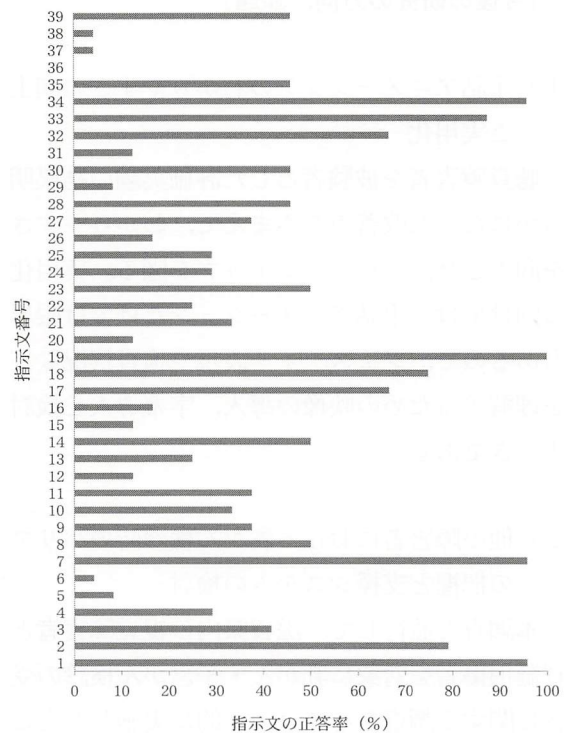
図5 手話アニメーション例
「今からマンモグラフィーの検査を始めます」

図6 指示文平均正答率

で記入するよう依頼した。

〈結果と考察〉

手話アニメーションの指示文と聴障者の読み取りとが合致した率（正答率）は39文の平均で41%であった。

指示文正答率（図6）が90%以上の指示文は、「今からマンモグラフィー検査を始めます」「痛みが強い場合は手を挙げて知らせてください」「大丈夫ですか?」「お疲れ様でした」の4文。一方、正答率10%未満の指示文は、「挟む理由はお乳を薄く伸ばして見やすい写真を撮るためです」「挟むことで放射線の被曝も減ります」「右耳を板にあててください」「線のところに立ってください」「もう少し押さえます」「少し緩めますね」の5文であった。

〈まとめ〉

本研究では、マンモグラフィー検査用手話アニメーションの初版が完成したが、作成した手話アニメーションは、平均正答率が約41%と、手話者の手話に比べると表現力が低かった。手話アニメーションのわかりやすさを向上させるために、手話アニメーションアバターの表現力を上げる、手話表現をより自然にする、評価実験から得られた聴障者の意見をふまえ手話表現や指示文の修正する、などが課題として挙げら

れた。

実験後に「この手話アニメーションシステムが検査の現場にあればマンモグラフィー検査を受けてみたいか」と尋ねたところ、24人中19人(79%)が「受けたい」と答えた。また、現段階で「十分理解できる指示内容のアニメーションもある」とのコメントもあった。更なる改善により、手話アニメーションシステムは、マンモグラフィー検査時のコミュニケーション支援に貢献するものと考えられる。

[今後の研究の方向、課題]

1) 手話アニメーションのわかりやすさの向上と実用化

聴覚障害者を被験者とした評価実験の結果明らかになった改善点をふまえて、わかりやすさを向上させ、バージョンアップを図る。実用化に向けては、手話アニメーションだけでは限界もあるので、ジェスチャー表現や検査状況などを理解するための映像の導入、字幕導入を検討すべきである。

2) 他の障害者における乳がん検診時のバリアの把握と支援システムの検討

本調査と並行して、滋賀県内の視覚障害者と脊髄損傷者を対象に乳がん・子宮がん検診の受診に関する調査をパイロット的に実施したところ、障害のために受診が阻害されている現状が示唆された。こうした障害者に対する支援システムの検討も課題である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 北原照代, 埴田和史, 田中彰恵, 森本一成, 藤田保, 辻村裕次: 聴覚障害者にとって乳がん検診受診のバリアとは? 社会医学研究, 特別号 (第49回日本社会医学会総会講演集), p. 37 (2008)
- 2) 北原照代: 特集・聴覚障害者と医療〜聴覚障害者の医療に関心をもつ医療関係者のネットワークの活動について。手話通訳問題研究, Vol. 104, pp. 59-61 (2008)
- 3) 森本一成, 桑原教彰: 聴覚障害者のための ICT

デザイン. 日本デザイン学会誌デザイン学研究特集号, Vol. 15-3, No. 59, p. 47 (2008)

- 4) 高橋昌憲, 今西恵理子, 桑原教彰, 森本一成: マンモグラフィー検診の指示に用いる手話アニメーションの生成. 平成20年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, p. 117 (2008)
- 5) Takahashi M., Kuwahara N., Morimoto K.: Design of Sign Animation for Mammographic Screening. HCI International 2009, Elsevier, p. 759 (2009)
- 6) 高橋昌憲, 今西恵理子, 桑原教彰, 森本一成: 検査技師と患者のインタラクションのための手話アニメーションの生成 — マンモグラフィー検査の場合 —. ヒューマンインタフェース学会研究報告集 11 (1), pp. 53-56 (2009)
- 7) 高橋昌憲, 桑原教彰, 森本一成: コミュニケーション支援のためのマンモグラフィー検診用手話アニメーションの設計と評価. ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 11 (6), pp. 7-10 (2009)
- 8) 北原照代, 埴田和史, 辻村裕次, 高橋昌憲, 森本一成, 桑原教彰: 手話アニメーションを用いた聴覚障害者に対する乳がん検診受診支援システムの研究. 第2回スポーツ・健康イノベーション研究会 (ポスター発表) (2009)
- 9) 北原照代, 埴田和史, 辻村裕次, 保田淳子: 滋賀県の視覚障がい者における子宮がんおよび乳がん検診受診の状況. 社会医学研究, 特別号 (第51回日本社会医学会総会講演集), p. 97 (2010)
- 10) Kitahara T., Communication in a Hospital Supported by Sign Animation. The 2nd ETH-Z & KIT Joint Workshop of a Good Life in Health and Work —Posture, Movement and Communication— にて発表予定 (2010)

[謝 辞]

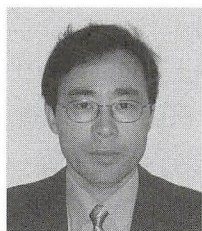
本調査の実施あたり、以下の皆様にご協力いただきました。心から感謝いたします。

- ・調査に参加いただいた、滋賀県中途失聴難聴者協会、滋賀県ろうあ協会、滋賀県手話通訳問題研究会、滋賀県要約筆記サークル連絡会、および京都府聴覚障害者協会の女性会員の皆様
- ・手話通訳者・要約筆者の派遣調整をしてくださった滋賀県立聴覚障害者センター様と京都市聴覚言語障害者センター様、および実際に派遣され聴覚障害者とのコミュニケーションにご支援いただいた手話通訳者と要約筆者の皆様
- ・手話アニメーションの作成と監修にご協力いただいた全国手話研修センター様および放射線技師の舟田緑様と渡辺恵美様
- ・ともに調査を実施した滋賀医科大学医学部医学科の学生諸君

胸部 MDCT 画像の経時差分法の開発と病変部候補領域の抽出

Development of Temporal Subtraction Technique on Thoracic MDCT Image and Detection of Abnormal Candidate Regions

1081008



研究代表者 九州工業大学大学院 機械知能工学科 准教授 金 亨 燮

[研究の目的]

肺がんなどの診断では、フィルムやコンピュータ画像診断による長時間の読影による、医師の疲労や個人差による見落としが懸念され、医療現場からは QOL (quality of life) の高い機械装置や診断支援用解析法の開発が求められている。

そこで我々は、診断の際に撮影された画像(現在画像)から、それ以前に撮影された画像(過去画像)間の経時変化を、画像上に強調表示することにより、新たに発症した病変部を見やすく表示し、診断精度の向上、読影時間の短縮等を図るための手法を開発した。

[研究の内容、成果]

1. Voxel マッチング法による経時的差分像の生成と結節状陰影の検出

経時的差分技術とは、現在画像と過去画像との差分演算を行うことにより、経時的変化の少ない血管、骨、筋肉などの正常構造を消去すると同時に、新たに生じた病巣や既存陰影の経時的変化を強調した画像を生成する手法である。血管、骨、筋肉等の正常構造はこれらの両画像に共通して出現するため、差分処理により消去することができる。これにより、現在画像に新たに出現した病巣陰影や既存陰影の形状変化と

いった経時変化が、経時的差分画像上に強調表示される。また比較的大きな経時変化だけではなく、検出が困難な低コントラストの経時変化に対しても、経時的差分画像を利用することにより、その変化分の検出が容易となり、病巣陰影の検出精度や読影速度の向上が期待できる。

経時的差分像の生成では、これまでに我々が開発した胸部 MDCT における Voxel マッチング法による経時的差分像技術を用い、その差分像上の結節状陰影の経時変化の検出法を開発した。さらに、実験結果を元に、経時的差分像技術を用いた結節状陰影の検出結果について考察を加える。

まず、検出対象の結節状陰影の寸法に応じた検出処理を行う。本処理では、直径 20 [mm] 以上の結節状陰影を検出するため、はじめに現在画像及び過去画像から経時的差分画像を生成する。次に、経時的差分画により結節状陰影候補領域を特定する。一方、直径 20 [mm] 以下の結節状陰影を検出対象とした処理では、経時的差分画像を生成した後、多重閾値処理により結節状陰影の経時変化の拾い上げを行う。続いて、選択強調フィルタ処理と特徴量分析により、拾いすぎ結節状陰影候補領域の絞り込み処理を行う。

初期陰影の拾い上げでは、はじめに胸部 MDCT 画像から肺領域をセグメンテーションする。次に、経時的差分画像の結節状陰影の候

補領域を拾いあげるため、多重閾値を用いた2値化処理を行い、それぞれのラベル画像に対し、面積、円形度、複雑度の特徴量を計算する。それぞれの値が全て閾値以上であれば、結節状陰影の初期候補領域として拾い上げる。

次に、結節状陰影の最終候補領域の抽出を行う。経時的差分画像から拾い上げた結節状陰影の初期候補領域には、血管影等の偽陽性陰影が多く含まれる。これは、経時的差分像技術の位置合わせが不十分な場所では、血管影が差分により消去されず、経時的差分画像にアーチファクトとして残存するためである。そこで、結節状陰影の候補領域を絞り込むため、選択強調フィルタの出力値を利用した閾値処理を行う。選択強調フィルタは、画像に含まれる点成分と線成分を選択的に強調することができるため、点強調処理により円形を呈する結節状陰影を強調できる一方、線状を呈する血管影を抑制することが可能である。最後に、結節状陰影の候補領域に対し、濃度及び形状特徴量を計測し、それぞれの特徴量に対し固定上限値及び下限値による閾値処理を行うことにより、最終的な結節状陰影の候補領域を特定する。さらに、結節状陰影の初期候補領域に対し特徴量の分析を行うことにより、結節状陰影候補陰影を絞り込み、最終的な候補陰影を特定する。

上記で述べた経時的差分像技術による結節状陰影検出の有効性を検証するため、提案法を現在画像上に新たに出現した94個の結節状陰影を含む、5症例の胸部MDCT画像に適用した。その結果、直径20 [mm] 以上の結節状陰影については、感度96.9 [%] のとき偽陽性陰影数が1.2 [個 / scan] と比較的良好な結果が得られた。一方、直径20 [mm] 以下の結節状陰影については、感度85.5 [%] のとき偽陽性陰影数は16.0 [個 / scan] であり、偽陽性陰影数が多い結果となった。

しかし、経時差分後に未だアーチファクト、すなわち偽陽性陰影が存在するため、さらなる偽陽性陰影を除去するための処理が必須である。

結節状陰影の経時変化を精度良く検出するためには、経時的差分像技術の位置合わせ精度の向上と、偽陽性陰影の除去能力の向上が必要であり、改善が求められる。

2. ニューラルネットワークによる経時的差分像上の結節状陰影の検出

上記1. での経時的差分画像上には、残存するアーチファクトは未だ多く、医師による読影の際に偽陽性の原因となる可能性がある。従って、経時的差分画像から結節状陰影を自動的に検出することができれば、読影医師による陰影の経過観察に効果的な診断支援が実現できる。しかし、胸部CTの時系列画像データを利用した結節状陰影の検出法はほとんど提案されておらず、特に、直径20 [mm] 以下の結節状陰影の検出は困難である。本研究では、新たな特徴量の導入とANNによる識別器を構築し、識別率の向上を図る。特に本研究では、直径20 [mm] 以下の結節状陰影を対象とした異常陰影の検出を行う。検出対象の陰影の大きさを限定している理由として、経時的差分画像に出現する偽陽性陰影は比較的に小さい寸法のものが多いため、大きな結節状陰影は比較的容易に高精度で検出できるアルゴリズムが開発できるためである。そこで、結節状陰影の寸法による処理を20 [mm] 以下としてルーチン化している。具体的には、自動生成された経時的差分画像を読み込み、多重閾値処理による結節状陰影の経時変化の拾い上げを行う。

続いて、選択的強調フィルタと特徴量分析による、拾いすぎ結節状陰影候補領域の除去処理を行う。本研究では、拾いすぎの結節状陰影の候補領域の除去処理に重点をおく。

〈初期候補領域の抽出〉

結節状陰影の候補領域を抽出するため、はじめに胸部MDCT画像から肺領域をセグメンテーションする。本法では、CT値に基づく閾値処理とモルフォロジー演算により、肺領域のセグメンテーションを行う。結節状陰影の初期

候補領域抽出には、経時的差分画像において多重閾値を用いた2値化処理を行う。経時的差分画像上の強調された陰影候補領域は、値0以上のピクセル値をもっており、値0以上の閾値による2値画像で円形を呈している可能性が高い。そこで、経時的差分画像から濃度ヒストグラムを作成し、ヒストグラムの高濃度側からヒストグラムの面積の0.5%おきに2.5%までの閾値処理を行う。得られた2値画像に対しラベリング処理を行い、それぞれのラベル画像に対し、面積、円形度、不規則度の特徴量を計算する。それぞれの値がすべて閾値以上であれば、結節状陰影の初期候補領域として拾い上げる。次に、選択強調フィルタによる結節状陰影の絞り込みを行う。

〈特徴量分析による偽陽性陰影の除去〉

結節状陰影の初期候補領域に対し特徴量の分析を行うことにより、さらに結節状陰影候補陰影を絞り込み、最終的な候補陰影を特定する。具体的には、結節状陰影候補領域の座標を取得し、関心領域(ROI)を設ける。ROI画像から結節状陰影候補領域をセグメンテーションするため、マスク画像を生成する。その座標情報、ROI画像、マスク画像を用い、特徴量を算出する。未知画像からの異常陰影の候補領域を自動抽出するため、濃度特徴量や形状特徴量を用いる。濃度特徴量として、最大4位平均値、最大値、平均値、分散値を用いる。形状特徴量として、円形度、不規則度、修正細長さおよび、15度間隔における重心位置から端点までの距離の分散値と、45度間隔のガボールフィルタ出力の分散値を用いる。

提案法の有用性を検証するため、現在画像上に新たに出現した87個の結節状陰影を含む、6症例の胸部MDCT画像に適用した。実験結果から、ANNによる識別法により、直径20[mm]以下の結節状陰影の検出は、感度80.5[%]のとき、偽陽性陰影数は7.5[個/scan]であり、多くの偽陽性陰影数の低減が可能であった。

[今後の研究の方向、課題]

本手法を臨床例に適用した結果、比較的良好な検出特性が得られたが、課題も幾つか残っている。特に、画像位置合わせの精度向上は必要不可欠であり、非剛体の画像変形手法の導入も検討する必要がある。今後は、本研究で明らかになった問題点を改善し、胸部画像診断のためのCADシステムを開発し、臨床実験を経て実用化を図る予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 板井, 金, 石川, 桂川, 土井: “胸部 MDCT における経時的差分画像を用いた結節状陰影の検出”, 第 27 回日本医用画像工学会大会抄録集 CD-ROM (7 頁) (2008. 8).
- 2) 勝間田, 板井, 金, タン, 石川: “ニューラルネットワークを用いた胸部 CT 像からの GGO 候補領域の自動識別”, 第 27 回日本医用画像工学会大会抄録集 CD-ROM (6 頁) (2008. 8).
- 3) 前田, 金, 板井, タン, 石川, 山本: “胸部 CT 画像からの経時差分画像の生成法～階層的 VOI の細分化による計算時間の軽減法～”, 信学技報, MI 2008-38, pp. 15-20 (2008).
- 4) 板井, 金, 石川, 桂川, 土井: “経時的差分画像を用いた CT 画像からの結節状陰影の検出”, Medical Imaging Technology, Vol. 26, No. 4, pp. 217-224 (2008. 9).
- 5) Itai, Kim, Ishikawa, Katsuragawa, Doi: “Reduction of FPs for Lung Nodules in MDCT by Use of Temporal Subtraction with Voxel-Matching Technique”, International Conference on Neural Information Processing, Part I, LNCS 5506, pp. 504-512 (2008. 11).
- 6) Kim, Katsumata, Tan, Ishikawa: “Automatic detection of GGO in lung images by using statistical features and neural networks”, The 24 th International Technical Conference on Circuits/ Systems, Computers and Communications, pp. 705-708 (2009. 7).
- 7) 板井, 金, 石川, 桂川: “構造マッチング法による胸部 CT 画像からの結節状陰影の検出”, 第 28 回日本医用画像工学会大会抄録集 CD-ROM (7 頁) (2009. 8).
- 8) 三宅, 板井, 金, タン, 石川, 桂川: “ニューラルネットワークによる経時的差分技術を利用した胸

部 CT 画像からの結節状陰影の自動抽出法”，第 28 回日本医用画像工学会大会抄録集 CD-ROM（9 頁）（2009. 8）.

- 9) 前田, 金, タン, 石川, 山本: “関心領域の細分化による胸部 CT 画像からの高速な経時差分画像の生成法”, バイオメディカル・ファジィ・システム学会第 22 回年次大会講演論文集, pp. 179–182 (2009. 10).
- 10) Kim, Syed, Tan, Ishikawa: “Detection of GGO candidate regions by using edge enhancement filter and statistical features”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 5, No. 11 (B), pp. 4267–4274 (2009. 11).
- 11) Shiozawa, Kim, Tan, Ishikawa: “Automatic

classification of GGO regions employing linear discriminant function from the thoracic CT images”, ICIC Express Letters, Vol. 3, No. 4 (A), pp. 963–968 (2009. 12).

- 12) Miyake, Kim, Itai, Tan, Ishikawa, Katsuragawa: “Automatic detection of lung nodules in temporal subtraction image by use of shape and density features”, International Conference on Innovative Computing, Information and Control, CD-ROM（4 pages）（2009. 12）.
- 13) Kim, Katsumata, Itai, Tan, Ishikawa: “Automatic detection of GGO candidate regions by using density and shape features”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 6, No. 1, pp. 255–262 (2010. 1).

乗り物の加速・減速中における錯覚現象に関する基礎的研究

A Basic Study on Illusory Perception of Acceleration and Deceleration of Vehicles

1081011



研究代表者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	准教授	柴田 智 広
共同研究者	奈良県立医科大学 第一生理学教室	講 師	和田 佳 郎
共同研究者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	助 教	池 田 聖

〔研究の目的〕

乗物に乗っている人間の認知能力は、静止時や自律歩行している時に比べて異なることが知られており、様々な角度から差異を発見し、定量的に理解することは人間と機械の調和の促進上極めて重要である。

本研究では、共同研究者である和田らの研究(Wada, et al. Neuroscience Research, 2007)に基づいて乗物の加速や減速中における錯覚現象に関する基礎的研究を行った。和田らはサルを用いた行動実験により

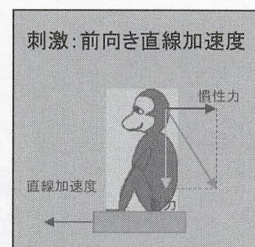
- ・前方向に直線運動している前庭情報によって輻輳眼球運動が誘発される
- ・前方向に直線運動している前庭情報によって後方向の傾きを代償する下向き眼球運動が誘発される

ことを明らかにしている。この時の実験の様子を図(a)に示す。サルが座る台座が、直線運動制御がされ、サルの眼球運動が同時計測された。直線運動することで物体が自身に近づいてくると考えると、輻輳眼球運動が生じるのは自然であると考えられる。また、直線加速度によって生じる慣性力と重力の合力を直線加速度センサである耳石器が感知し、その合力を重力方向だと脳が錯覚するとすれば、下向き眼球運

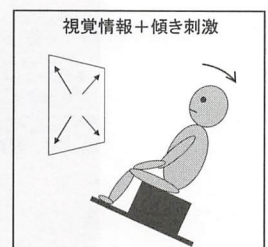
動が生じるのは自然であると考えられる。

また、図(b)左側に示したように、画像中の運動成分が画面中央から発散する場合や、逆に中央に吸引される場合、ヒトやサルでは輻輳眼球運動が誘発されることが知られている。これはそのような画像中の運動成分が自身の前進や後退から生じると考えると自然な眼球運動である。

そこで本研究では図(b)のようにヒトを対象にして、画像刺激だけでなく「姿勢傾き刺激」を与えた場合、耳石器が関連した直線加速度感の錯覚を誘引することによって輻輳性眼球運動が強化されるであろうという仮説を立て、複合現実環境を用いて検証することを目的とした。



図(a) 過去の実験



図(b) 提案する実験

〔研究の内容、成果〕

本研究では複合現実環境を用いて、静止中の被験者に対して実験を行った。具体的には、広視野ディスプレイ（図(c)）に、屋外で撮影した自然画像、あるいは脳科学で用いられるランダムドット刺激などを用いて、前進に対応する運動成分をもつ映像や静止映像を被験者に提示し、両眼の運動を計測した。さらに、耳石器が関連して錯覚を誘引すると期待される「姿勢傾き刺激」を、制御可能な椅子（図(d)）によって与え、眼球運動を計測する。実験条件による眼球運動の違いを解析した。

視覚刺激は、以下の3要件を考慮して取得・生成した。

- (1) 映像内の環境のスケールが認知できるものである。
- (2) 大きな直線加速度感を与える映像である。
- (3) 注視点が大きく動きにくいコンテンツである。

本研究では、ビデオカメラを用いて取得した実環境の動画像を被験者に提示し、実環境中での視界が再現される複合現実環境下で眼球運動を計測した。

本実験では、図(C)に示すように、被験者はスクリーン正面に設置した傾斜可能な椅子（Joychair, 川田工業）に座り、傾斜角度を制御することで前庭感覚刺激を与えた。椅子の制

御角は、動画を取得した際に同時に計測した自動車の加速度から算出した。

この実験では、事前に実験の目的と内容を十分に説明し、同意が得られた健常成人5名を対象とした。視覚刺激には、前章で述べた動画（Movie）とその初期フレームである静止画（Picture）の2種類を設定した。椅子の動きには、後方向の傾き（Tilting）と静止（Stationary）の2種類を設定した。両者の組み合わせから以下の4種類の条件を設定し、実験はダミー刺激（2条件）を加えた6条件を各6回ずつ、計36回繰り返した。各刺激は1回約8秒であり、刺激の直前まで視点を固定するためのマークが表示された。同一刺激を連続して与えるとadaptationが起きて反応が減少する可能性があるため、刺激条件はランダムな順序で提示し、36回を1セットとし、各セット間は十分な時間をあけて計8セット実施した。

O : Picture + Stationary (control condition)

A : Movie + Stationary

B : Picture + Tilting

C : Movie + Tilting

椅子の前後方向の直線加速度を直線加速度センサ（CXTA 01, Crossbow）、前後方向の回転角速度をジャイロセンサ（CRS 03-04, Silicon Sensing System）にて測定し、データ収集解析システム（PowerLab system, ADIn-



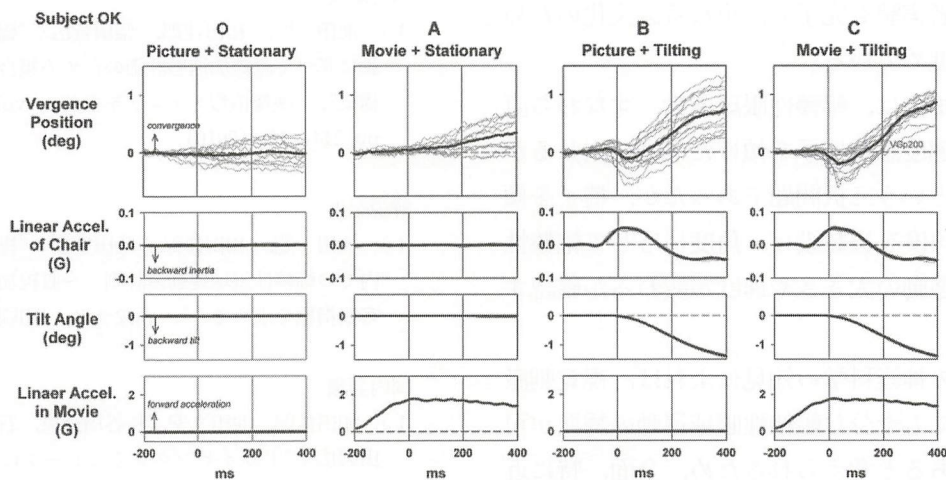
図(c) 広視野を持つ球面ディスプレイ

図(d) 傾き制御可能な椅子および眼球運動計測装置

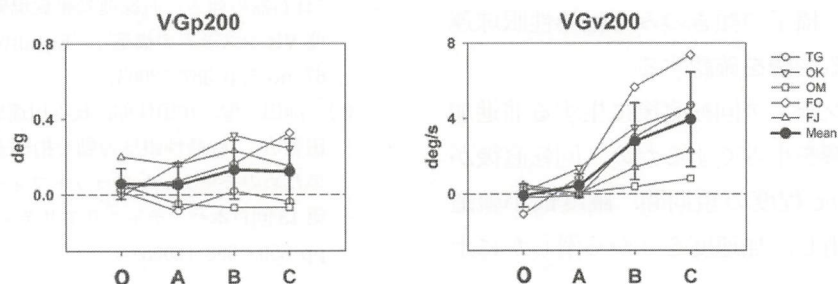
ment) にて眼球運動, 刺激の開始信号と共に 1 kHz で記録した。データ解析は Matlab (Mathworks) を用いておこない, 刺激開始 200 ms 前から 400 ms 後の間に衝動性眼球運動 (Saccade) や瞬目があるデータは削除した。データの差の検定には, Tukey-Kramer 法により多重比較を行った。

刺激開始 200 ms 前から 400 ms 後のデータを刺激条件ごとにまとめて重ね書きしたのが図(e) である (被験者 OK の例)。左から条件 O, 条件 A, 条件 B, 条件 C, 上段から輻輳性眼球運動 (左眼球運動 - 右眼球運動) の位置波形 (輻輳時正), 椅子の前後方向の直線加速度 (前方向为正), 回転角速度から計算で求めた椅子の傾き (前方向为正), 動画撮影時に計測した加速度から算出した車の速度を表す。各データの太線は平均を表す。条件 B, 条件 C では椅

子は刺激開始と同時に後方向へ直線的にゆっくりと傾斜し, 400 ms 後には約 1.5 度の傾きとなった (図 e, 3 段目)。椅子の直線加速度波形は刺激開始 50 ms 前から 150 ms 後にかけて前方向への慣性力を記録している箇所 (図 e, 2 段目) は, 椅子の回転により生じる並進加速である。被験者 OK (図 e) の場合, 条件 O では輻輳性眼球運動に変化は見られなかったが, 動画 (条件 A) を提示すると刺激開始から約 100 ms 遅れて非常に小さな輻輳性眼球運動が誘発された。また, 椅子を後方へ傾ける (条件 B, C) と前段落で述べた並進加速に起因する小さな開散性眼球運動の後に大きな輻輳性眼球運動が認められた。刺激開始 200 ms 後における輻輳性眼球運動の位置成分を VGp 200, 速度を VGv 200 と定義し, 条件ごとに被験者全員の結果をまとめたのが図(f) である。VGp



図(e) 各刺激条件における眼球運動



図(f) 被験者全員の結果

200 に対する多重比較の結果、O、A、B、C の間に有意な差はなかった ($p < 0.05$)。一方、VGv 200 に対する多重比較の結果は、O と B、C の間、A と B、C の間に有意な差があり、また B と C の間にも有意な差があった ($p < 0.01$)。すなわち、動画のみによる刺激では、輻輳性眼球運動があるとは言えなかったが、椅子を傾ける条件では、輻輳性眼球運動の速度が大きく、しかも動画を組み合わせるとさらに速度が大きくなることが示唆された。

以上のように我々は、実写映像を用いた複合現実環境内でモーションチェアによる傾斜刺激が直線運動と錯覚されることを裏付ける現象の観測に、初めて成功した。

[今後の研究の方向、課題]

以上の結果から、次のような追加実験を考え、現在被験者実験も完了し、更なる論文化のための解析を進めている。

- これまでは、輻輳性眼球運動、すなわち直線加速度感が椅子を傾けた場合に生じるか否かという二択問題であったが、椅子を傾ける角度を複数設け、角度に応じて輻輳性眼球運動の大きさや速度が変わるか確認する
- 従来の神経科学の知見によれば、視覚刺激のみでも十分な輻輳性眼球運動の誘発が可能であると考えられるため、全面、特に近景に豊富な視覚情報を含む映像を作成し、輻輳性眼球運動の大きさや速度を確認する
- 視覚情報を提示しない暗所条件を実験条件に追加し、椅子の傾きのみが輻輳性眼球運動に与える影響を確認する
- モーションチェア回転直後に生ずる並進加速度の影響を小さくするため、回転直後から 100 msec 程度の短期間、躍度最小軌道などを利用し、加速度を 0 から滑らかに上

昇させる制御方法を検討する。

本研究により、実際に乗り物を直線加速させずとも、直線加速度感が与えられること、また直線加速度感を定量的に計測できることが示唆された。これにより、例えば次のような応用が考えられる。画像と椅子の傾きによって直線加速度感を与える要素のあるドライビングシミュレータやエンターテインメント施設において、施設側が設定したある一定の直線化速度感を参加者全員に対して実現するために、参加者各人の輻輳性眼球運動の計測値に基づいて、各人の椅子の傾きを独立に制御できる可能性がある。また、自動車を運転する運転手が加速や減速をする際の眼球運動を計測し、結果を比較することも重要な今後の課題である。

[成果の発表、論文など]

原著論文

- 1) 池田 聖, 和田佳郎, 柴田智広: “輻輳性眼球運動に基づく直線加速感評価のための複合現実環境の構築”, 映像情報メディア学会誌, vol. 64, no. 2, pp. 244 – 247 (2010)

解説記事

- 1) 池田 聖, 和田佳郎, 柴田智広: “複合現実環境内での輻輳性眼球運動の計測 ～直線加速感を測る客観指標を求めて～”, 画像ラボ, (印刷中)

国内会議

- 1) 和田佳郎, 池田 聖, 長谷川達央, 石田純一, 柴田智広: “ドライビングシミュレータにおける傾き－直線運動錯覚,” 電子情報通信学会技術報告 [ニューロコンピューティング] NC 2008 – 34, vol. 108, no. 130, pp. 13 – 18 (2008)
- 2) 和田佳郎, 長谷川達央, 池田 聖, 柴田智広: “耳石器の傾き－直線運動錯覚現象を利用した加速度 VR システムの構築”, Equilibrium Res., vol. 67, no. 5, p. 387 (2008)
- 3) 池田 聖, 和田佳郎, 長谷川達央, 石田純一, 柴田智広: “輻輳性眼球運動を指標とした加速感増強のためのモーションプラットフォームの傾斜制御”, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 650 – 653 (2008)

ファイバー状形状記憶合金を応用した低侵襲な 消化管蠕動運動デバイスの開発研究

Development of Low-invasive Artificial Peristaltic Device for Digestive Organs applying
Fibred Shape Memory Alloy

1081014



研究代表者 徳島大学大学院 ヘルスバイオサイエンス研究部 助教 関根 一 光

[研究の目的]

我が国の死因の上位であるガンについては、近年ではその半数以上が消化器系ガンである。消化器系ガンの内の半数は食道や腸といった生理的に蠕動運動を伴う消化管であり、その70%以上の患者は60歳以上の高齢域患者である。消化器系ガンの治療には近年では内視鏡的な粘膜切除術等の低侵襲治療も目立っているが、消化管蠕動運動の喪失によるQOLの低下が特に問題となる。

そこで、我々は、特殊な形状と寸法で作成された形状記憶合金ファイバーを人工筋肉とし、また生体親和性の高いシリコンゴム材料を人工消化管として採用し、リニアアクチュエータとして内視鏡的に不全となった消化管内部への挿入と留置術の可能な、消化管蠕動運動の電氣的補助装置の開発に至り、本助成を受けたので報告する。

[研究の内容、成果]

基本構成 蠕動運動デバイスは、コイル状形状記憶合金(BioMetal Helix: 以下BMX, トキ・コーポレーション)及びシリコンゴム(KE-1300 T, 信越シリコン)製の自作人工消化管からなる。ここで、BMX 150は線径0.15 mmに

線材加工された双方向性Ni-Ti系形状記憶合金を螺旋構造となるように心線に巻付け加工し、外径0.62 mmに作成したコイル状の形状記憶合金である。なお、変態温度は約70℃である。

基本的な駆動に関しては、円筒形状に作成した人工消化管の円周にBMX 150を巻き付ける。この周状のBMX 150で構成されたリングを、人工消化管の近位から遠位に向かって一定間隔に複数段になるよう配置する。複数段に渡って配置された各BMX 150の端部は人工消化管表面にそれぞれ固定し、BMX 150に直流電流を連続的に通電することでジュール熱による収縮変態をおこなう(Fig. 1)。この収縮力を弾性体である人工消化管に、中心軸方向にかつ時間

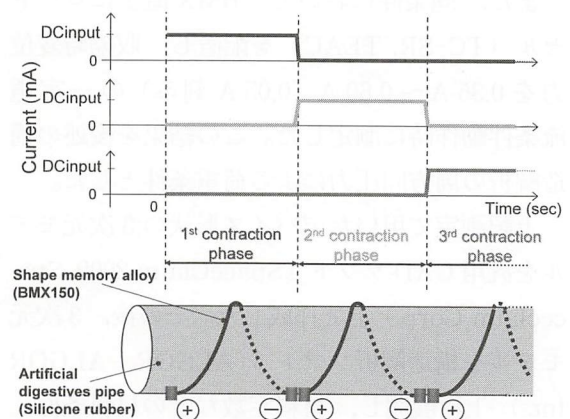


Fig. 1 Schematic structure and movement of peristaltic actuator

遅れを伴って連続的に伝えることで、人工的蠕動運動を作成し、ヒトの嚥下時蠕動運動を模倣する。ヒトの食道は内径およそ 19～22 mm 程度とされており、それらに基づき人工消化管寸法を内径 ϕ 19 mm 厚み 1.0 mm で作成した。

試作モデルー構造解析整合性評価 上述形状を基に、まずは収縮部を 1 段持つ内径 19 mm×外径 21 mm×長さ 50 mm の収縮評価用デバイスを作成した。また、BMX 150 の端部表面には T 型熱電対をシリコンスプレーで接着固定し、温度変化測定用ラインとした。直流電源からの入力、BMX 150 のジュール熱予備試験から得たデータを基に、電流値を 0.35 A～0.60 A (0.05 A 刻み)、通電時間を 0.6 s とした。

観察は同一の作業台上に試作アクチュエータ及びデジタルビデオ (30 fps; DCR-HC 41, Sony) を人工消化管内腔が観察できるように固定し、蠕動運動デバイス端部は円周表面を円筒のまま台上に固定した。上記条件での収縮の様子をビデオカメラにて 5 回ずつ録画し、録画動画から収縮前及び最大収縮時のフレームを画像 (720 x 480 pixel) として抽出した。抽出画像は画像編集ソフト (photoshopCS, adobe) にて展開後、2 値化処理の後にデバイス内腔輪郭の抽出処理をおこなった。輪郭内部の面積を Pixel 数で計数し、最大収縮時と収縮前画像の内部 Pixel 数の比を実験収縮変化率 Sm とした。

また、同条件において、BMX 直上にロードセル (TC-SR, TEAC) を配置し、収縮時変位力を 0.35 A～0.60 A (0.05 A 刻み) の一定電流条件動作時に測定した。この結果を後述の構造解析の周方向圧力による荷重条件とした。

上記測定で用いたデバイス形状の 3 次元モデルを汎用 CAD ソフト (SpaceClaim 2009, Spaceclaim Corp.) 上で作成した。その後、3 次元モデルを構造解析ソフト (ALGOR, ALGOR Inc.) 上に展開し、材料定数などの材料条件、拘束及び上記予備測定に基づく荷重などの解析条件及び境界条件は以下の通りである。

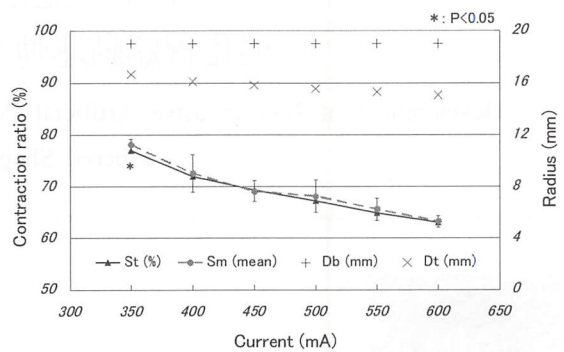


Fig. 2 Ratio of contraction and variation of inner radius against direct current input

シリコンゴム：密度 1.05 g/cm³, ヤング率；0.3 MPa, ポアソン比；0.48

荷重条件：周方向圧力,

拘束条件：両端部 5 mm を完全拘束, 端部境界輪郭を完全拘束

上記条件において、0.35 A～0.60 A の各電流値を通電した場合での収縮を想定した変位解析をおこなった。本解析は最大変位を導く荷重条件を用いた静解析である。解析において、重力方向は上述の断面変化測定と一致させるため、「-y 方向 (=デバイス底面方向)」とした。

計算後の結果を基に、収縮前モデルおよび計算結果より、それぞれモデルの内腔の面積を計算し、計算結果と収縮前モデルの内腔面積の比を計算結果からの収縮時変化率 St とした。また、計算結果については、デバイスの 3 次元モデルの内径と相似した円形の内腔変化となったため、各電流値での結果より内径も算出した。結果を Fig. 2 に示す。試作デバイスにおける収縮観察結果 Sm と構造解析結果 St の比較について、0.4 A 以上の動作条件の全てにおいて両結果間での有意差は確認されず、試作アクチュエータ動作と構造解析の間の高い整合性を確認できた。また、構造解析より算出された半径 Rt については、電流量の増大と半径方向収縮に線形関係を確認した。

構造解析による改良評価 次に、3 種類のアクチュエータモデルについて、最適化問題の前段

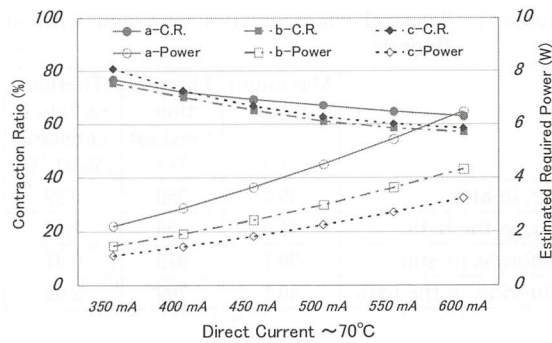


Fig. 3 Results of contraction ratio variation and estimated required power

階とした形状評価をおこなった。解析をおこなった3モデルについては、上記の収縮評価用デバイス形状（以下（a））に加え、人工消化管の外径1/3にBMX 150（収縮部）、外径2/3にpolyethylene terephthalate（PET；非収縮部）を配したモデル（b）、同様に外径1/2にBMX 150とPETをそれぞれ配したモデル（c）の計3種類とした。

3種類のモデルについては、使用するBMXの長さが異なることから、駆動に必要な電力も異なる。そこで、解析計算を基に上述の整合性評価と同様に収縮時変化率を算出した。また、解析条件及び境界条件は整合性評価と同様であるが、追加材料であるPETについて材料定数を以下に示す。

PET：密度 1.34 g/cm³、ヤング率；1.84 kPa、ポアソン比；0.32

結果及び必要電力値をFig. 3に併せて示す。収縮時断面積変化率については、モデル（b）が各電流値を通じて最も大きく変化（＝収縮）し、逆にモデル（a）が最も収縮の悪い結果を示した。また、対必要電力で考察した場合には最もBMX 150使用量の少ないモデル（c）が最大収縮を示す結果となった。

試作機による耐久性評価 構造解析による改良評価より最大収縮量を示したモデル（b）について、試作機を作成し、水道水を搬送液体に用いた耐久試験回路を作成し、デバイスの蠕動運

動時に発生する一回拍出量（積算流量）、デバイス出口圧及びデバイス表面温度の測定をおこなった。デバイスはモデル（b）の寸法形状で作成し、かつBMX 150の防水のため、BMX 150を内部に封入する形で外筒を端部接着した、2層型人工消化管を採用した。流量測定には流量センサ及びアンプ（FD-F 04, FD-V, KEYENCE）をデバイス端部近傍の回路中に設置し、また出口圧測定には圧センサおよびアンプ（AP-10 S, AP-V 80, KEYENCE）を同じくデバイス近傍回路中に設置した。温度測定にはT型熱電対をデバイス中央表面に接着し、データ収集装置（GR-3000, KEYENCE）により測定した。いずれのデータもノートPCへ出力し、同期測定をおこなった。デバイスは0.6 A（4.3 W）、0.6 s通電、1回の収縮を10秒間隔でおこなう動作条件とした。デバイス動作前にデバイス出口圧負荷を10 mmHgとなるように回路内水量を調整し、試験は室温（実験中平均26.2℃）下にておこなった。試験終了条件は動作回数5万回もしくは断線および10%前後での電流値変化で終了とした。

結果、5例の試験で5万回の動作回数を達成して終了した。各試験での試験開始250回および試験終了前250回の動作について、一回拍出量、出口圧及びデバイス表面温度の平均値を5例の試験について算出した。いずれにおいても、試験開始250回と比較して、試験終了前250回では一回拍出量、出口圧において5～10%程度での減少が確認された。これらは5万回の繰り返し動作によって、BMX 150の塑性変形が多少なりとも起こっていることを示す結果とみた。

試験片の熱量測定 上記5例で使用したBMX 150について、分解の後に0.5 mm程度の細切り、示差走査熱量計（DSC 8230, Rigaku）による熱分析をおこなった。比較対照として、未使用のBMX 150の細切片についても同様に熱分析をおこなった。実験条件は開始温度30℃

～終了温度 120℃ の昇温分析とし、昇温温度は 10℃ / min, 対照試料には同質量の Al 製プレートを用いた。

結果, いずれの試験後試料についても未使用の BMX 150 と比較して熱量が増加する傾向があり, 確かに塑性変形が進んでいると考察される。しかし, 変態温度については, $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ と変化が無く, 形状記憶効果に影響の少ない部分, 例えば酸化被膜の有無による影響も考えられる。

液体封入による熱平衡評価 BMX 150 を用いた蠕動運動デバイスはジュール熱による発生力を利用しているため, BMX 150 近傍は収縮時には当然変態温度 (70°C) に近い環境に晒される。上術の耐久性評価において, 内腔に充満した内部液体の存在, および生体内温度よりも低い室温での試験条件により, デバイス表面温度は 30°C 台に保てたが, 生体内, とりわけ粘膜層周囲での局所的な温度上昇は病巣や生理機能の悪化に繋がりがかねない。そこで, 耐久性評価に用いた 2 層型人工消化管の内部に絶縁性フッ素系流体フロリナート (FC-3283, 住友 3 M) を充満し, 内部を空気層のままとしたものを比較対照とした室温下 (実験中平均 22.4°C) 及び水中恒温槽内 (37°C) での試験をおこなった。温度測定には T 型熱電対をデバイス両端, 中央表面に接着し, データ収集装置により測定した。デバイスは 0.6 A (4.3 W), 0.6 s 通電, 1 回の収縮を 10 秒間隔でおこなう動作条件とした。なお, フロリナートの材料定数を以下に示す。

沸点 $123-133^{\circ}\text{C}$, 比重 1.8, 動粘度 0.7 cst また, 測定結果より, 熱時定数及び熱放射定数の算出をおこなった。熱放射定数の算出には以下の式より算出した。

$$\delta = \frac{P}{(T - T_a)} = \frac{I^2 R}{(T - T_a)}$$

ここで, I: 動作電流, R: 回路抵抗, T: 熱平衡点温度, T_a : 周囲温度である。結果を Table 1 に示す。

Table 1 Thermal characteristics with and without fluoride

	Maximum temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Thermal time constant (s)	Thermal radiation constant ($\text{Watt}/^{\circ}\text{C}$)
air, in atm	45.2	359	0.29
air, in the bath	41.5	98	1.44
fluoride, in atm	36.7	970	0.47
fluoride, in the bath	40.1	709	2.09

結果より, フロリナートの充填により, 室温及び恒温槽内いずれにおいても最大点温度の低下, 熱時定数及び熱放射定数の上昇が確認できた。とりわけ熱放射定数の上昇はデバイス全体での熱放射効率の効率化を示しており, BMX 150 の冷却媒体として液体を用いることの利点を見いだすことができた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 有限要素法を用いて蠕動運動としての高効率化を目指し, これまでと異なる新しい形状のデバイスを作成し, その耐久性, 熱効率等について評価した。研究当初目指していた水準の電氣的動作条件には満たなかったものの, 耐久性評価試験ではヒトの一回の嚥下で搬送されるであろう流体流量が確認でき, 過去のデータと総合してもヒト食道の蠕動運動に相当する能力を得られたと考えている。しかし, 現状では液体もしくは液体を多く含む流動体程度の搬送までが限界と考えている。今後は, 収縮量だけでなく収縮力についても検討を進めることで, 例えば食道であれば食塊, 腸であれば大便等, 負荷の大きいものを想定した蠕動運動の模倣を達成できるデバイスへの改良が必要であると考ええる。

[成果の発表, 論文等]

- (1) 関根一光他: 形状記憶合金ファイバーを用いた消化管蠕動運動補助アクチュエータの耐久性評価, 第 46 回日本人工臓器学会大会 (2008. 11)
- (2) 関根一光他: 形状記憶合金を駆動力とした人工食

第48回日本生体医工学会大会 (2009. 4)

(4) 関根一光他：コイル形状記憶合金を応用した機能代行型補助デバイスの開発，四国歯学会雑誌，22，2（2010. 1）

Time-lapse 画像を用いた生体情報計測デバイス

A vital-sign monitor based on the time-lapse images

1081016



研究代表者

秋田大学 工学資源学部

特任助教

高野 千尋

共同研究者

お茶の水女子大学 生活科学部 准教授

太田 裕治

[研究の目的]

わが国はこの30年間に急速な高齢化が進行した。高齢者率（全人口に占める65歳以上の高齢者の比率）は2020年には26.9%となることが予測されている。この超高齢社会においては、介護・医療の需要供給バランスの維持が困難となることが予測されており、各個人が自ら健康管理を行うことが強く求められる。そのため、現在、日常生活下で健康管理を行うための様々な計測システムやデバイスの研究開発が盛んに行われている。

普段の生活中で無理なく簡便に健康管理を行うためには、計測機器が非接触（non-contact）、非侵襲（non-invasive）、無拘束（ambulatory）という性質を有することが望ましいと考えられる。本研究ではこれらの諸条件を満たす画像計測（動画画像計測）に着目した。すなわち、計測対象である生体に負担の少ないTime-lapse画像を用いた各種生体情報収集のためのデバイスを開発するとともに、本デバイスを利用することで、日常生活下で簡便に健康管理を行うための遠隔システムに関する検討を行うことを目的とした。

[研究の内容、成果]

図1にTime-lapse画像にもとづく生体情報計測手法の概略図を示す。人体皮膚（頬など）の特定領域（Region of Interest, 以下ROI）を、カメラにより30～100fps程度のTime Lapse画像として30秒間程度撮影する。先行研究を通じ、同図に示すように、そのROI内に含まれる画素の平均輝度値の時間変化に心拍波形が出現すること、さらにこの波形を解析処理することにより平均心拍数と呼吸数が得られることを見出している。以下ではこの計測原理をさらに発展させ、脈波計測などに関する検討を行った。

(1) 撮影時の照明光源に関する検討

Time-lapse画像による生体信号解析に先立ち、撮影の際の照明に関する検討を行った。実

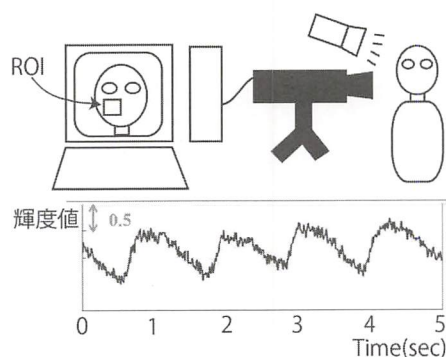


図1 画像計測原理図

際の住環境での利用を想定し、商用交流を利用した光源、すなわち、蛍光灯、白熱電球、ハロゲンライトなどに関し、おのおのの光源が Time Lapse 画像計測に与える影響を検討した結果、商用交流を利用した光源はすべて、100 Hz の周期変動成分を含むことがわかり、本デバイスの撮影光源としては不適當であることがわかった。適切な光源としては太陽光ないし LED 光源、もしくは直流駆動光源であった。以後の実験では、直流電流駆動のハロゲン光を利用している。

(2) Time-lapse 画像による脈波計測

図 2 に計測方法を示す。高速度ビデオカメラ (VCC-H 1600/DigiMo) を 2 台用い同期撮影を行った。高速度ビデオカメラの撮影条件は、フレームレート 250 frame/sec, シャッタースピード $1/1000$ sec とした。被験者は健常 20 代女性 1 名とし、ベンチ上で仰臥位を指示した。撮影部位は手首と足首とした。

画像計測の比較対照として、光電脈波計を用いた計測を実施した。すなわち、Time Lapse 画像計測と平行して、心拍動に伴う測定部位(指先)の容積変化を透過光の減衰変化として検出すべく、市販脈波センサによる脈波速度計測を実施した。脈波センサの選定に際しては、計測と画像計測を同時に行う必要があるため、カフ式ではなく光学式トランスデューサを直接皮膚拍動部に接触させて計測する方式とし、PHOTO ELECTRIC PLETHYSMOGRAPH (MPP-4 V, 日本光電) を用いた。その計測部位は手の人差し指の指尖と足の人差し指の指

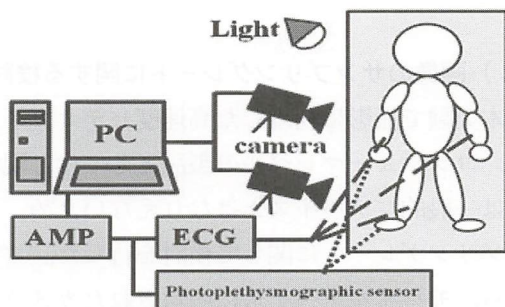


図2 計測方法

尖とした。以上の構成のもとで、高速度ビデオカメラ撮影ならびに脈波計測を同期させ10秒間記録を行った。

10秒間の撮影で得られた Time Lapse 画像に対し、関心領域 (Region of Interest: ROI) を設定し、ROI 内の平均輝度値の時間変化を算出した結果を図3に示す(10秒間のうちの4秒間)。上から順に、(a) Time Lapse 画像解析結果(部位:手首)、(b) 同画像解析結果(部位:足首)である。縦軸は平均輝度値であり、横軸は時間(sec)である。また、輝度値は相対値(1目盛:0.2)であり、その波形は Savitzky-Golay Smoothing Filter を用いて平滑化した。また、(c) は、脈波計で計測された脈波波形(部位:手の指尖)であり、(d) は同様の脈波波形(部位:足の指尖)である。

次に、これらのデータに基づき脈波速度(伝播時間)の算出を行った。伝播時間差を求める

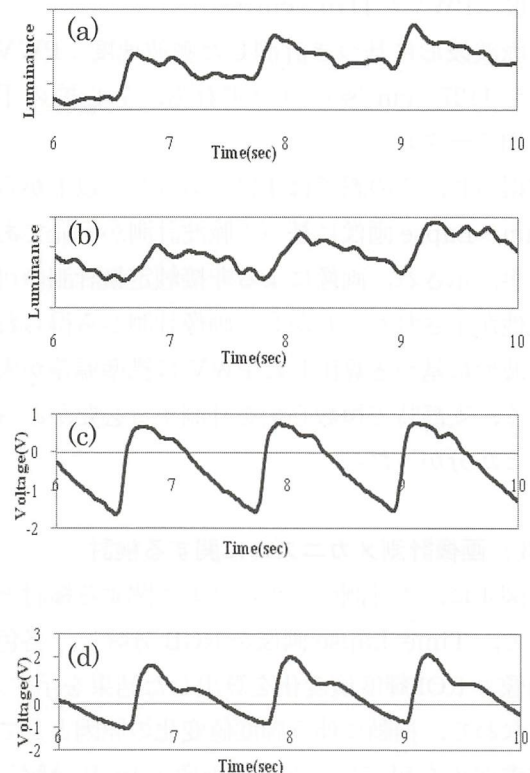


図3 脈波速度計測結果

際には、圧伝播に伴い減衰・分散・反射などから脈波波形が変化することを考慮し、これらの影響が最も少ないと考えられる脈波立ち上がり時点における差をとることとした。すなわち、手首と足首における ROI 平均輝度値の波形の立ち上がり位置の差 ΔT_L 、また、手の指尖と足の指尖の脈波波形の立ち上がり位置の差 ΔT_p を求めた。さらに、計測部位である 2 点の心臓からの距離の差 L を以下の式から求めた。その際には、両計測における計測位置、すなわち、手の指尖と手首までの距離、足の指尖と足の甲までの距離の差を加味した。

大動脈弁口～足首間距離： L_a (cm)

$$L_a = 0.8129 \times \text{身長} + 12.328$$

大動脈弁口～上腕間距離： L_b (cm)

$$L_b = 0.2195 \times \text{身長} - 2.0734$$

$$L = L_a - L_b \text{ (cm)}$$

以上から 2 点間の距離を求め、これを計測で得られた時間差で除すことで脈波速度 (PWV) を算出した。その結果、

Time Lapse 画像に基づき計測した脈波速度：PWV = 1176 (cm/sec)

脈波波形に基づき計測した脈波速度：PWV = 1127 (cm/sec) (いずれも、7 心拍の平均データ)

が得られ、その誤差は 4 % であった。以上から Time Lapse 画像に基づく脈波計測が可能である事が示され、画像による非接触定量計測の可能性が示された。しかし、画像計測から得られた波形に基づき算出した PWV は標準偏差が大きく、安静時で複数心拍を計測する必要があることが分かった。

(3) 画像計測メカニズムに関する検討

図 4 に、本計測のメカニズムに関する検討として、Time Lapse 画像を RGB 分解し、各色画像の ROI 輝度値変化を算出した結果を示す。すなわち、拍動に伴う輝度値変化の原因として皮膚血流を想定し、カラー画像を RGB 分解し、各々の画像における ROI の輝度値を計測した。

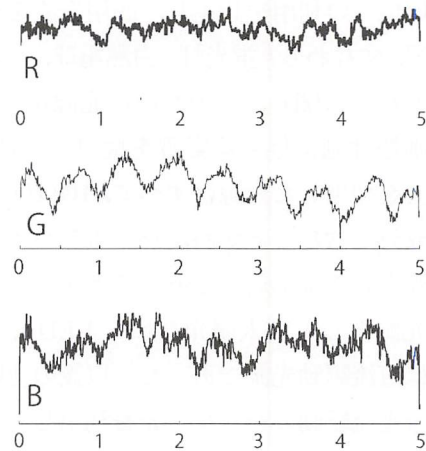


図 4 RGB 分解結果

図に示すように G 画像の輝度値変化にとくに良好な拍動波形が見られたことから、皮膚表面の循環血流の反映が要因の一つと考えられた。緑色 LED による反射光を利用した脈波計に関する研究 (前田, 田村ら, 第 7 回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, 18, 2009, NDFutran et al. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2000, 126, 659-62) が近年行われ、田村らは緑色光の方が皮膚侵入距離が浅く良好な血流信号を捉えることができていることから、同様の計測メカニズムが示唆された。その一方で、前腕皮膚拍動感知部位の動画像を Optical flow 解析した Nakajima らの研究 (Rev. Sci. Instrum. 68 (2), 1331-6, 1997) は、拍動による皮膚振動を鏡面反射強度の変化としてとらえたものであり、また、著者らの予備実験からも、レーザ変位計による皮膚振動変化と画像輝度値波形の間には関連性を示すデータも得られており、画像計測のメカニズムとしては、今後、両者の詳細な検討が必要と考えられた。

(4) 画像のサンプリングレートに関する検討

本実験で撮影に利用した高速度ビデオカメラは、コンシューマレベルの製品としては、現状では一般的なデバイスとはなりえないため、サンプリングレートに関して検討を行った。すなわち、モバイルデバイスに内蔵されたカメラなどに、本計測技術を組み込む際の設計指針を得

る目的で、画像計測条件をどこまでダウンスケールすることが可能か検討した。具体的には、以下の方法にて、故意にサンプリングレートを落とした画像データを作成し、そのデータからバイタルサイン情報の抽出可能性を検討した。

100 frame/sec の撮影速度により ROI の画像データを得て、さらにそのデータを故意に間引くことで (downsampling), 5, 10, 20, 25, 50 frame/sec の輝度値変化データを作成した。次にこのデータを補間することにより (up-sampling), 再度 100 Hz のデータを作成した。それぞれの輝度値変化データの周波数解析を行うことで 10 秒間の平均心拍数の算出を行った。その結果、平均心拍数の算出結果のばらつきとしては $\pm 1\%$ 以下であることがわかり、低速度の撮像デバイスであっても、10 秒間 (10 心拍程度) 撮影し、平均心拍数を算出するのであれば、十分計測が可能であることが示された。

[今後の研究の方向、課題]

カメラデバイスによる画像計測を応用した非接触バイタルサイン計測技術は他に類を見ない。たとえば血圧脈波検査装置 (オムロンコーリン form PMV, フクダ電子 Vasera VS-1000) などはカフ、マイク、電極等を身体装着する必要がある。画像計測を利用しない競合技術、すなわち、通常のバイタルサイン計測技術には、非接触・非侵襲・無拘束を満たすものが無く、本シーズ技術が優位性を有する。画像を用いる計測方法では被計測者のプライバシー侵害が懸念されるが、本法は ROI 内の平均輝度値に基づく計測手法であるため、故意にピントを外したばけ画像からも血流信号が得られることを確認している。この点は、生活環境への導入に際して大きなメリットと考える。

本計測デバイスの今後の展開として 2 つの方向性をあげたい。まずは、住宅環境へのインストールが考えられる。実験住宅に関しては、著

者らは、過去のさまざまな実験住宅を参照したうえで、Real Life 生体計測技術のインストールにふさわしい住宅設計を 2007 年度に開始し、2009 年に実験住宅として完成させた (<http://ochahouse.com/>)。その住宅の特徴としては、skeleton-infill 構造による大空間の創出、計算機スペースと居住スペースの完全分離、配線を考慮したフレーム構造などがあげられる。これにより、技術革新が著しいユビキタスコンピューティングに対しても、容易なデバイスやシステムのインストール、メンテナンス、機器更新が保証されると考えられる。また、居住空間には計算機やデバイスが露出されることがない設計となっており、「被計測意識」が局力生じない様にも配慮している。この住宅において、実際に、本研究で開発を行ったデバイスを持ち込み、計測実験を進めてきたが、実験室環境とは異なり、現在ではまだ、十分な照明条件等の計測頑健性が得られておらず、住環境下における計測に関しては、今後さらに検討する必要がある。住宅以外の生活者への還元手法としては、モバイルデバイスへのインストールがあげられる。カメラの撮影条件に関する検討は先に述べたが、それ以外にも、エンドユーザへの情報の提示方法を考案する必要がある。すなわち、計測により得られたバイタルサインデータそのものを一般ユーザに提示しても理解しにくいいため、それらを有益な情報・サービスへと変換する応用技術 (例えば、健康アドバイスやストレス度チェックなど) などの開発もあわせて行う必要がある。

[成果の発表、論文等]

近藤早紀, 高野千尋, 太田裕治: Time lapse 画像を用いた脈波速度計測手法の確立. 第 7 回生活支援工学系学会連合大会, 19 (2009)

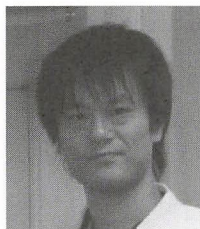
[謝 辞]

本研究に関わる実験やデータ解析に際し、お茶の水女子大学大学院近藤早紀さんはじめ、同大学人間工学研究室の皆様にはたいへん協力頂きました。記して感謝いたします。

多チャンネル脳波からの効率的な律動信号抽出法

An Effective Method for Extracting a Rhythmic Signal from Multi-Channel EEG

1081018



研究代表者 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 准教授 田中 聡 久

[研究の目的]

脳コンピュータインターフェイス (BCI; Brain Computer Interface) や一部の臨床診断では、人間の脳の活動を解析する必要がある [1]。脳活動を観測するために、脳波計 (EEG; Electroencephalogram) や、脳磁計 (MEG; Magnetoencephalography), 機能的磁気共鳴画像装置 fMRI (Functional Magnetic Response Imaging) といった、非侵襲の計測装置が広く用いられている。特に、BCI においては、その時間分解能の高さや計測の簡易性から EEG の使用が好ましい。しかしながら、EEG は空間分解能が低かったり、雑音の影響を強く受けたりするため、所望の特徴量を効率的に抽出できる信号処理技術が必要である [2]。

そこで、多チャンネル脳波から律動成分、また、その時間変化を直接抽出するために、研究代表者らは律動成分抽出法 (RCE; Rhythmic Component Analysis) を提案し、その有効性を示している [3]。RCE は被験者の違いや学習の方法に関わらず、測定した脳波から律動成分を抽出することが可能である。

本研究では、この RCE について以下の拡張、実験を行うことを目的とした。1 つ目に、脳波のように動的に状態が変化する信号を解析するための適応化手法を提案する。2 つ目に、RCE を実測脳波の BCI に適用し、有効であることを確認する。

[研究の内容、成果]

1. RCE の定式化と解 [3]

RCE は、各チャンネルの重み付き線形和により、特定の周波数帯域にエネルギーが集中する成分を抽出する手法である。チャンネル i , ($i=1, \dots, M$) における有限長の観測信号を $x_i[k]$, ($k=0, \dots, N-1$), 重み係数を w_i として、律動成分 $\hat{x}[k]$ を

$$\hat{x}[k] = \sum_{i=1}^M w_i x_i[k] \quad (1)$$

により抽出する。 $\hat{x}[k]$ がもつ特定の周波数帯域におけるエネルギーを大きくしながら、それ以外の周波数帯域におけるエネルギー小さくすることで w_i を決める。 $\hat{x}[k]$ の離散時間フーリエ変換を $\hat{X}(e^{j\omega})$ とし、抽出したい信号の周波数帯域を $\Omega_1 \subset [0, \pi]$, 抑制したい周波数帯域を $\Omega_2 \subset [0, \pi]$ とすると、RCE の評価関数は以下ようになる：

$$J_1[\mathbf{w}] = \frac{\int_{\Omega_1} |\hat{X}(e^{j\omega})|^2 d\omega}{\int_{\Omega_2} |\hat{X}(e^{j\omega})|^2 d\omega}$$

ここで、 $\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_M]^T$ ($\cdot^T$ は転置を表す) とする。 $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{M \times N}$, $[\mathbf{X}]_{ik} = x_i[k]$ と

$$[\mathbf{W}(\Omega)]_{l,m} = \int_{\Omega} e^{-j\omega(l-m)} d\omega, \quad (3)$$

を定義する。ここで、 $l, m=0, \dots, N-1$ である。また、 $\Omega \in [0, \pi]$ である。これらを用いると、式 (2) で示した評価関数 $J_1[\mathbf{w}]$ は

$$J_1[\mathbf{w}] = \frac{\mathbf{w}^H \mathbf{X} \mathbf{W}(\Omega_1) \mathbf{X}^T \mathbf{w}}{\mathbf{w}^H \mathbf{X} \mathbf{W}(\Omega_2) \mathbf{X}^T \mathbf{w}} \quad (4)$$

と表すことができる。このとき、評価関数を最大にする最適解は、一般化固有値問題

$$\mathbf{X} \mathbf{W}(\Omega_1) \mathbf{X}^T \mathbf{w} = \lambda \mathbf{X} \mathbf{W}(\Omega_2) \mathbf{X}^T \mathbf{w} \quad (5)$$

の最大固有値に対応する一般化固有ベクトルによって与えられる。

2. 適応化

RCE はフレーム処理により適応処理を容易に実現できる。 $x_i[n]$ を i チャンネルの観測信号とし、 n を時間インデックスとする。この場合、時間インデックスは有限でも無限でもかまわない。式(1)と同様に、律動成分を以下のように抽出する。

$$\hat{x}[n] = \sum_{i=1}^M w_i^{(n)} x_i[n]. \quad (6)$$

ここで、 $w_i^{(n)}$ は、サンプル n に対する重みである。 $w_i^{(n)}$ は、式(4)におけるサンプル行列 $\mathbf{X}$ を、次のように定義する行列 $\mathbf{X}(n)$ で置き換えることで得られる。

$$[\mathbf{X}^{(n)}]_{ik} = a[k] x_i[n+k-d]. \quad (7)$$

ここで、 $a[k]$ ($k=0, \dots, N-1$) は、長さ N をもつ適切な窓関数であり、 d は適切な時間ずれである。たとえば、 N が奇数であれば、 $d=(N-1)/2$ とすることで、時刻 n はフレーム中央に対応する。

したがって、

$$\mathbf{w}^{(n)} = \arg \max_{\mathbf{w}} J_1[\mathbf{w}] \mid \mathbf{x} = \mathbf{x}^{(n)} \quad (8)$$

により、時刻 n における重みを得る。さらに、 $J_1[\mathbf{w}^{(n)}]$ は、時刻 n における、所望周波数 Ω_1 のエネルギーの時間変化を表すので、時間一周波数解析が可能になる。この際、フレーム長が短いと応答速度はよくなるが安定した抽出が難しくなり、逆に長すぎると抽出精度が落ち、計算時間も長くなる。

3. 適応 RCE における正則化

このように適応化した RCE を用いた時間一周波数解析では、隣接するフレーム間で、独立に重みを求めている。したがって、 $n-1$ 番目と n 番目のフレームにおいて、それぞれ抽出した律動成分が大きく異なる可能性がある。しかしながら、ニューロンの電氣的活動の同期によって生じると言われている律動的な脳波の形や位相が瞬時に変わるとは考えにくい¹。そこで本節では、前のフレームで抽出した律動成分と現フレームにおける律動成分の相関を考慮した評価関数を用いて律動成分を抽出する方法を提案する。

$n-1$ 番目と n 番目のフレームにおける重み係数をそれぞれ $\mathbf{w}^{(n-1)}$ と $\mathbf{w}^{(n)}$ とすると、それぞれのフレームにおける律動成分同士の相関は

$$\mathbf{r}^{(n)} = \mathbf{w}^{(n)H} \mathbf{X}^{(n)} \mathbf{P}_1 \mathbf{P}_0^T \mathbf{X}^{(n-1)T} \mathbf{w}^{(n-1)} \quad (9)$$

で与えられる。ここで、 $\mathbf{P}_1$ と $\mathbf{P}_0$ は、 $\mathbf{X}^{(n)}$ と $\mathbf{X}^{(n-1)}$ の重複している部分のみを切り出すサイズ $l \times (l-1)$ の行列である。例えば、ずれが 1 サンプルの場合、単位行列 $\mathbf{I}_{l-1}$ と零行列 $\mathbf{0}_{1 \times (l-1)}$ を用いて以下のように与えられる：

$$\mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{l-1} \\ \mathbf{0}_{1 \times (l-1)} \end{bmatrix}, \mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{1 \times (l-1)} \\ \mathbf{I}_{l-1} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

重み係数ベクトル $\mathbf{w}$ は、時間とともにゆっくり変化すると仮定すると、この相関が大きくなるように $\mathbf{w}$ を逐次推定すべきであろう。したがって、 $|\mathbf{r}^{(n)}|^2$ を正則化項とした評価関数

$$J_2[\mathbf{w}] = \frac{\mathbf{w}^H \mathbf{X}^{(n)} \mathbf{W}_1 \mathbf{X}^{(n)T} \mathbf{w} + \varepsilon |\mathbf{r}^{(n)}|^2}{\mathbf{w}^H \mathbf{X}^{(n)} \mathbf{W}_2 \mathbf{X}^{(n)T} \mathbf{w}} \quad (11)$$

を最大にする $\mathbf{w}$ を求めることにする。つまり、

$$\mathbf{w}^{(n)} = \arg \max_{\mathbf{w}} J_2[\mathbf{w}]. \quad (12)$$

ここで、 ε は正則化の係数である。 $\varepsilon = 0$ の

1 脳波を 1 kHz でサンプリングすれば、時刻 $n-1$ と n の間には 1000 分の 1 秒の間隔しかない。

場合は $J_1[w]$ に一致する。

ここで、ランク 1 の行列

$$C^{(n-1)} = P_1 P_0^T X^{(n-1)T} w^{(n-1)} w^{(n-1)H} X^{(n-1)} P_0 P_1^T \quad (13)$$

を定義すると、 $|r^{(n)}|^2$ を

$$|r^{(n)}|^2 = w^{(n)H} X^{(n)} C X^{(n+1)T} w \quad (14)$$

と表せることから、

$$J_2[w] = \frac{w^H X^{(n)} (W_1 + \varepsilon C^{(n-1)}) X^{(n)T} w}{w^H X^{(n)} W_2 X^{(n)T} w} \quad (15)$$

を得る。この評価関数を最大化する最適解 $w^{(n)}$ は $J_1[w]$ の場合と同様に、一般化固有値問題の解として与えられる。

4. BCI 実験結果

RCE による特徴抽出の有効性を示すため、運動想像部位の識別を行う。左手運動想像、右手運動想像を行った脳波を用いて、脳波から左手、右手の 2 クラスを識別する。

4. 1. 実験に用いるデータ

実験データは測定した脳波から、確実に運動想像、安静が行われている箇所を切り出し作成する。被験者は 2 名の男性（20 代男性、右利き）である。被験者はディスプレイの指示を受け、左手、右手の動作想像を行う。以下に、詳細を述べる。

被験者の動作 被験者への動作指示は液晶ディスプレイに表示される矢印を用いた視覚呈示を用いる。視線は液晶ディスプレイを注視した状態で、液晶ディスプレイに左矢印、右矢印を映し、被験者は同方向への運動想像を行う。図 1 に被験者の動作、および液晶ディスプレイに表示される図を示す。4 秒の左手、右手の動作想像を 3 秒の安静状態を挿みながら行う。

脳波測定 測定は特別なシールドなどを用いず、日常環境下で行った。

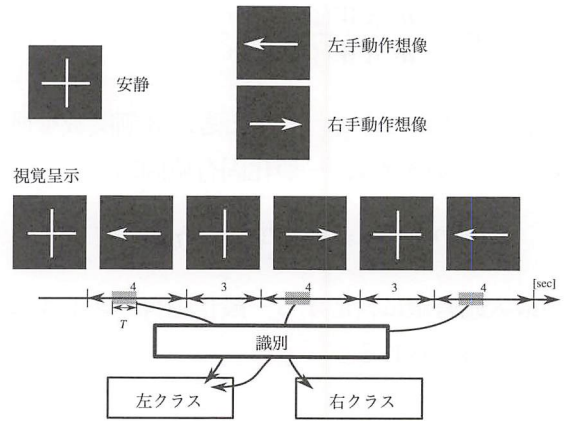


図 1 視覚呈示と運動想像のタイミング

電極配置 電極は銀-塩化銀皿電極を生理食塩水に半日程度浸し、乾かして使用する。頭皮と電極は導電ペーストで固定する。リファレンス電極は $A_1 + A_2$ を使い、電極は中心部、頭頂部、側頭部に 14 ch を配置した。これは運動野 (motor cortex) を中心とした測定を行うためである。

生体アンプ 信号増幅用のアンプとして MEG-6166（日本光電）を用いる。これは 16 ch から成り、ノッチフィルタ（50 Hz/60 Hz）、それぞれのチャンネルで増幅器、ハイカットフィルタ、ローカットフィルタを内蔵している。増幅率は $20 \mu V/V$ 、ハイカットフィルタは 100 Hz、ローカットフィルタは 0.08 Hz と設定した。

A/D コンバータ 信号のデジタル化を行うために AIO-163202 F-PE（CONTEC）を用いる。サンプリング周波数は 500 Hz と設定した。

5. 各手法による識別率の比較

本節では、既存の手法による特徴抽出を行い、複数の識別手法を用いた識別を行う。また、RCE によって抽出する特徴量として以下の値を用いる。

- 観測記号 $X_{f_1-f_2}$ (f_1-f_2 Hz の FIR バンドパスフィルタを適用)。

- f_1-f_2 Hz における観測記号のフーリエスペクトル $F_{f_1-f_2}$ 。
- RCE (12-15 Hz) によって抽出した特徴量。
 - 重みベクトル $w=[w_1, w_2, \dots, w_{14}]$ 。
 - 抽出信号と各チャンネル信号との正規化相関
 $c=[c_1, c_2, \dots, c_{14}]$ 。

表1 各手法による識別率

Sbj	Feature value	Accuracy [%]			
		TM	5-NN	FDA	CSP
S 1	Band-pass	51.0	64.5	52.2	82.5
	Fourier spectra	67.1	62.9	77.3	50.5
	RCE (12-15 Hz)	81.1	82.8	83.1	
S 2	Band-pass	50.5	50.9	51.9	70.1
	Fourier spectra	63.2	58.6	68.1	51.1
	RCE (12-15 Hz)	71.8	67.1	74.9	

周波数帯域 12-15 Hz は、全ての手法で一番良い識別率を示したものである。

以下の手法を用いて、識別を行う。

- テンプレートマッチング (TM) 法：入力ベクトルと各クラスの代表ベクトルとの距離を評価し、最も近いクラスに識別を行う。
- k -最近傍識別 (NN) 法：学習データを全て記憶し、入力ベクトルから近い順に k 個を取り、それらの多数決を行い識別する。
- フィッシャー判別分析 (FDA)：特徴ベクトルを低い次元に射影することで識別を行う。
- 共通空間パターン (CSP) 法：左手運動想像時脳波 (Class 1)，右手運動想像時脳波 (Class 2) の抽出信号をそれぞれ最小とする重みベクトル w_1, w_2 を導出する。観測信号 X が左手運動想像時脳波の場合、 $\text{var}(w_1^T X) < \text{var}(w_2^T X)$ の関係が成り立つと推定できる。したがって、以下の様に識別を行う。

$$\text{Left hand } \text{var}(w_1^T X) < \text{var}(w_2^T X)$$

$$\text{Right hand } \text{var}(w_1^T X) > \text{var}(w_2^T X)$$

識別率は 5 分割交差検証によって求めた。

表 1 に実験結果を示す。識別率は 5 分割交差検証によって導出した。RCE による特徴量、正規化相関 c を用いることで、一番高い識別率を得ることができた。これは、12-15 Hz のバンドパスフィルタ適用後の観測信号を CSP によって識別した結果とほとんど同等の結果である。RCE による特徴量を比較すると、正規化相関 c を用いる場合の方が、重みベクトル w を用いる場合と比べ、識別率が高い。被験者 1 と被験者 2 の識別率の違いは、律動成分変化に個人差や電極位置など、測定環境の違いと考えられる。

6. フレーム処理による識別

BCI においては、実時間で特徴量を抽出し、識別を行うがある。RCE を特徴抽出法として用いる場合、入力される多チャンネル信号をフレームで切り出し、フレーム開始時間をずらしながら適用していくことで、実時間適用が容易に行える。

図 1 の動作における脳波に RCE によるフレーム処理を行った場合の識別の結果を図 2 に示す。フレーム長は 1 秒、フレームのずれは 0.1 秒である。特徴量として RCE (適用帯域：12-15 Hz) によって抽出した正規化相関 c を用い、FDA による 3 クラス識別 (左手運動想

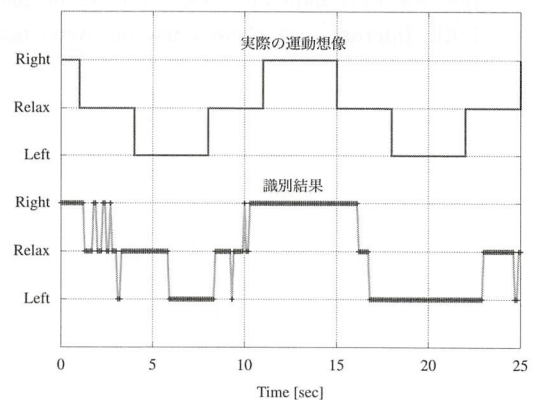


図2 フレーム処理による識別結果。フレーム長 1 秒、フレームのずれ 0.01 秒、RCE 適用帯域は 12-15 Hz、特徴量は c 、FDA を用いて識別

像, 右手運動想像, 安静) を行い, それぞれの動作で 300 秒程度のデータを学習した。識別結果における時間はフレームの最後に含まれる時間である。図 2 を見ると, 安静状態は正確に識別していないが, 左手, 右手の識別は 1 秒から 2 秒程度の遅れはあるが, 良く識別している。識別結果の遅れはフレーム処理によって生じる遅れであり, 安静状態の誤識別は測定時に厳密に安静の状態を指示していないことが原因でと考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

被験者を 2 人のみで行ったので, 複数の被験者で実験を行い, 個人差を確認し, 視覚呈示による識別率の影響を検証する必要がある。また, 電極位置や測定環境の改善による識別率の上昇が期待できる。さらに特徴抽出の実時間化を行い, BCI システム構築へ発展させる必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- H. Higashi, T. Tanaka, and A. Funase, "Classification of single trial EEG during imagined hand movement by rhythmic component extraction," in Proc. of the 31st Annual International IEEE EMBS Conference (EMBC 2009), pp. 2482–2485, Minneapolis, USA, Sept.
- Y. Saito, T. Tanaka and H. Higashi, "Adaptive rhythmic component extraction with regularization for EEG data analysis," in Proc. of 2009 IEEE International Conference on Acoustics,

Speech, and Signal Processing (ICASSP 2009), pp. 353–356, Taipei, Taiwan, Apr. 2009.

- Y. Saito and T. Tanaka, "Rhythmic component extraction for phase shifted multi-channel signals," in Proc. of 2009 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP '09), pp. 427–430, Hawaii, USA, Mar. 2009
- Y. Tomita, S.-I. Ito, Y. Mitsukura, T. Tanaka, J. Cao, "Rhythmic component extraction for sleeping electroencephalogram analysis," in Proc. of 2009 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP '09), pp. 443–446, Hawaii, USA, Mar. 2009
- 田中聡久, 齊藤祐樹, 東広志: "律動成分分析の適応高速アルゴリズムに関する一検討", 信学技報, SIP 2009–27, pp. 49–53, July 2009
- 齊藤祐樹, 田中聡久, 東広志: "適応律動成分抽出法と脳波解析への応用", 第 23 回信号処理シンポジウム論文集, pp. 58–63, 金沢, Nov. 2008

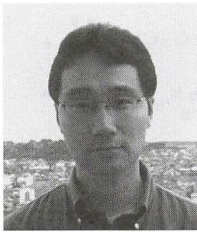
[参考文献]

- [1] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control," Clin. Neurophysiol., vol. 113, pp. 767–791, 2002.
- [2] S. Sanei and J. Chambers, EEG Signal Processing. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007.
- [3] T. Tanaka and Y. Saito, "Rhythmic component extraction for multi-channel EEG data analysis," in Proc. 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2008), (Las Vegas, NV), pp. 425–428, Apr. 2008.

学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置の開発

Development of the Small Surface-Electromyogram Measurement System
with Learning Function

1081019



研究代表者

宮崎大学 工学部 助教

田村 宏樹

共同代表者

宮崎大学 工学部 准教授

淡野 公一

[研究の目的]

近年、脳の研究が盛んであり、脳で発生している信号（脳波など）を計測する技術も確立されつつある。それらの技術を用いて生体信号の情報でロボットを制御するヒューマンインターフェイスの研究が近年注目を集めている。しかし、脳波を用いたインターフェイスは雑音に弱く、実用化はまだ困難である。

我々はこれまで、ニューラルネットワークなどを用いて人の表面筋電位信号を計測し、解析する研究を行ってきている。本研究では、今までの研究をさらに発展させ、障がい者、特に下半身不随の患者や ALS（筋委縮性側索硬化症）患者を対象とし、それらの人たちが電動車椅子の制御やパーソナルコンピュータの操作を簡単にすることができる人に優しいヒューマンインターフェイスの開発を行い、障がい者の役に立つものづくりを目指して研究を行った。

本研究報告では長時間連続使用可能で小型の表面筋電位計測装置の開発とその応用について検討したので報告する。

[研究の内容、成果]

1. 組込み Linux を用いた学習可能な小型表面筋電位計測装置の製作

表面筋電位信号は数 mV で、0 ～ 500 Hz 程度の周波数特性を持っている。表面筋電位計測装置では表面筋電位信号を数 100 倍から 1000 倍ほど増幅することが必要である。本研究では図 1 に示すように電極、オペアンプ、組込み Linux と Bluetooth モジュールを用いて、表面筋電位信号を計測、増幅し、組込み Linux のシステムで解析、動作識別した結果を Bluetooth 信号で送信できるシステムを製作した。

本システムでは表面筋電位信号を 1000 倍に増幅できる。また、解析する方法を単純な解析

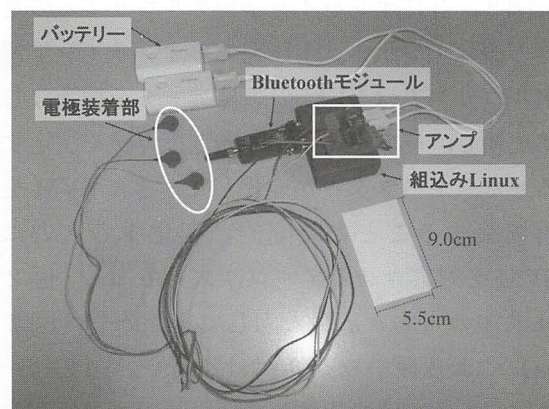


図 1 小型表面筋電位計測装置

方法にすれば、組み込み Linux でなく PIC マイコンでもシステムを製作することができている。また、組み込み Linux で表面筋電位信号から筋積分値を算出し、筋積分値の情報からニューラルネットワークを用いてどのような動作をしたのか動作パターンの識別をすることができる [3]。図 1 のように小型で表面筋電位信号を計測でき、なおかつその信号の解析ができるシステムは、ヒューマンインターフェイスとして多くの応用の可能性があると考えている。

2. 表面筋電位の変化に対応可能なオンライン学習アルゴリズムの提案

表面筋電位は強い筋収縮状態が持続する場合に代謝物として乳酸が蓄積され、表面筋電位の低域のパワースペクトルが変化する。これは筋疲労と呼ばれ、この筋疲労によって表面筋電位を用いたアプリケーションの識別性能が低下することによって、信頼性に支障をきたす問題が生じる。実社会で用いるためにはこの問題点を克服する必要がある。

本研究では、高い性能を持つ 2 クラス識別の学習機械の Support vector machine (abbr. SVM) の学習構造に着目した教師なしオンライン学習法を提案し、従来の表面筋電位信号のパターン識別の問題点であった筋疲労などによる表面筋電位信号の変化に対応する効果的な識別システムを提案した [5]。

・オンライン学習アルゴリズム

図 2, 3 にオンライン学習アルゴリズムの処理の概念図を示す。本研究でのオンライン学習アルゴリズムは SVM の訓練データを教師なしで更新し、その更新により識別境界線を決定するサポートベクターが変化したときに SVM を再構築することで時間的に変化する入力に SVM を対応させるアルゴリズムである。図 2 は未知の入力 X_n が入力してきたとき、図 2 (a) により仮のラベル付けを行い、図 2 (c) の d_0 と d_w の値を比較して仮のラベル付けがどの程度信頼できるのか判断し、図 2 (d) のよ

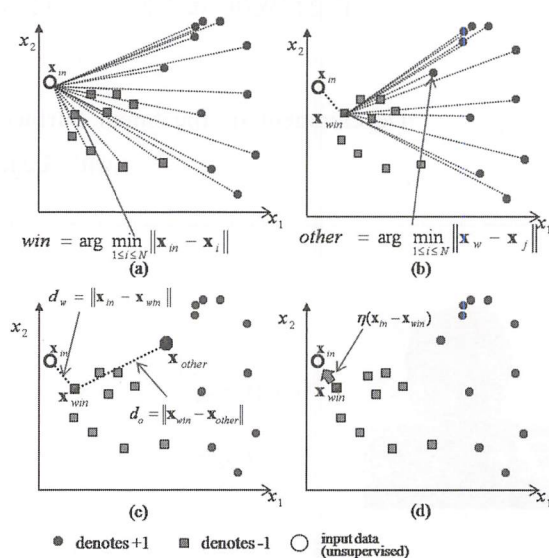


図 2 自己組織化のアルゴリズム

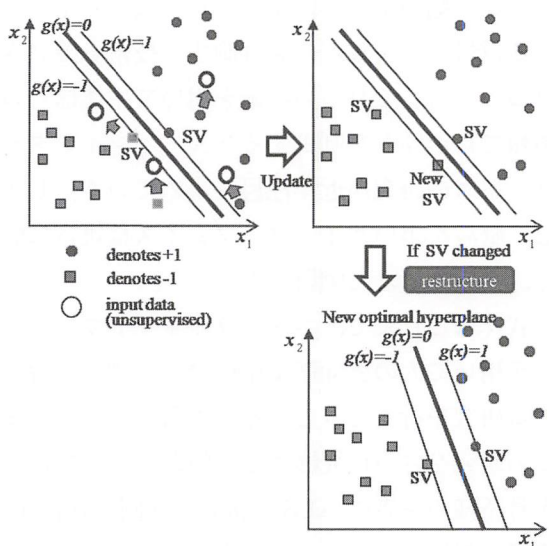


図 3 SVM の再構築のルール

うに未知の入力 X_n に対応できるように訓練データを更新する方法である。図 3 は図 2 の更新により SVM のサポートベクターが変化したときに SVM を再構築する処理を示した概念図である。

・動作識別実験

腕曲げ動作 (図 4) の 6 パターンの識別実験を長時間行ったときのオリジナルの SVM の識別率とオンライン学習アルゴリズムを用いた SVM の識別率の比較を行った結果を図 5 に

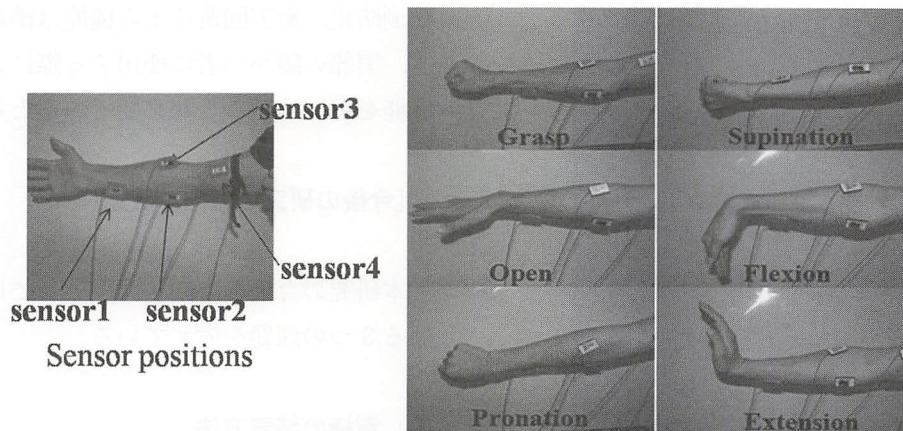


図4 腕曲げ動作識別実験

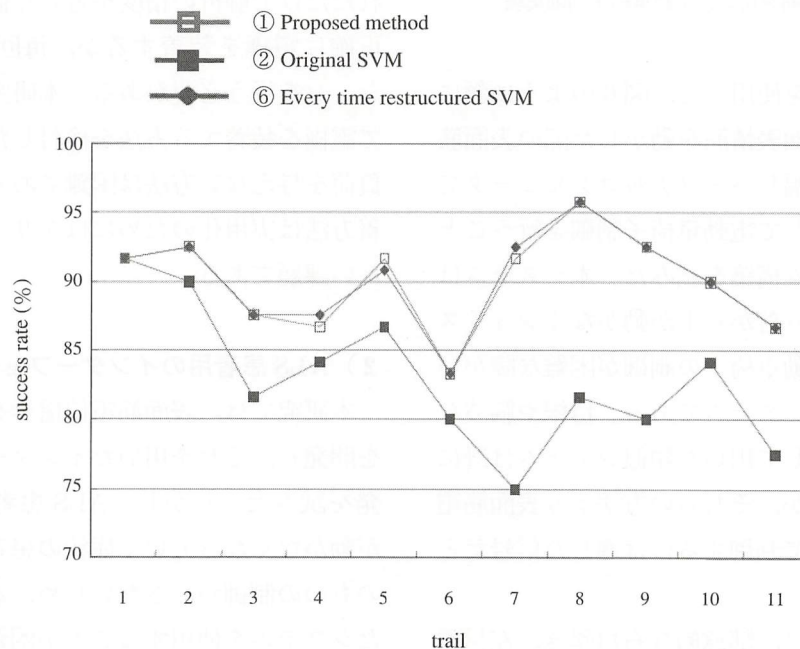


図5 腕曲げ動作識別実験の結果

示す。

図5より、オリジナルのSVMでは時間が経過すると識別率が低下していく方向へ変化していくことがわかる。しかし提案アルゴリズムは時間変化してもオリジナルのSVMほど識別率の低下は見られない。また、毎回SVMを構築する方法と提案アルゴリズムを比較しても識別率は同等であることがわかる。これにより少ない計算量でオンラインで対応できる提案アルゴリズムは、長時間連続して表面筋電位信号を解析し続けることができるといえる。

本アルゴリズムはまだ1. で報告した小型表面筋電位計測装置に実装して実験を行っていない。しかし、本アルゴリズムの有効性は既に計算機実験で確認されており、またオンラインで処理する計算量は少ないことから、組み込みLinuxに本アルゴリズムを実装して実験することは容易であると考えている。

3. 小型表面筋電位計測装置を用いた電動車椅子制御システム

本研究では、1. で報告した小型表面筋電位



図6 顔表情筋を用いた電動車椅子制御実験

計測装置の一部を使用して、図6のように顔に電極を装着し、顔表情筋を動かした際の表面筋電位を計測、増幅しパーソナルコンピュータでその信号を解析して電動車椅子制御を行うことができるシステム構築を試みた。本システムは、下半身不随により首から下が動かないジョイスティックによる電動車椅子の制御が困難な障がい者を対象としたシステムである。目線や脳波などを入力情報として用いた類似システムは既に提案されているが、それらの方法より表面筋電位信号は直接的で制御するには適した信号だと考えている。

本システムでは、随意的な右目瞬き、左目瞬き、両目瞬きと口を動かす動作の4パターンの動作識別を行い、電動車椅子の右旋回、左旋回、直進、停止の制御を行うシステムである。事前の計算機実験の結果、正確に顔表情筋を動作することができる人であれば、4パターンの動作識別が約94%、口の動作を除外した3パターンの識別であれば約98%の識別が可能であり、高い識別率で電動車椅子を制御することが可能である[4]。また、不随意運動の瞬きや会話時の口の動きではほとんど誤識別が生じない。また、仮に誤識別した場合でも、停止にするような制御ルールを用いている。

本システムでは、電動車椅子を制御する際に

転倒防止、衝突回避などの機能は備わっておらず、実際の障がい者に使用する際にはそれらの機能を追加することが必要であると考えている。

[今後の研究の方向、課題]

本研究の今後の方向、課題としては下記に挙げる3つの課題を考えている。

1) 電極の装着方法

表面筋電位信号を計測するには電極を複数箇所装着する必要がある。電極は1cm程度ずれただけで解析の精度を著しく低下させるため、正確に電極を装着するか、毎回キャリブレーションを行う必要がある。本研究でも、安定して電極を装着する方法を検討したが、被験者に負荷を与えない方法は困難であった。電極の装着方法は実用化のためにはクリアしないといけない課題である。

2) ALS患者用のインターフェイス開発

本研究では、表面筋電位信号を計測する装置を開発し、それを用いたインターフェイスの開発を試みた。しかし、ALS患者のように筋肉が動かなくなっていく症状の患者では、筋肉そのものの制御ができないため、本研究で提案したシステムを使用することが困難である。そこで我々は、ALS患者が随意的に制御できる眼球の動きに着目し、本研究で提案したシステムを眼電位信号を計測するシステムに応用し、図7のように目線の動きを判断してパーソナルコンピュータを制御可能なシステムを開発中である。現在の問題点として、眼電位信号は表面筋電位信号と異なり、周波数特性が50Hz以下と低周波であるため、ドリフト現象より長時間連続的に安定した計測が困難である点が挙げられる。今後この問題を克服して、より多くの患者が安定して使用できるシステムを開発する必要があると考えている。

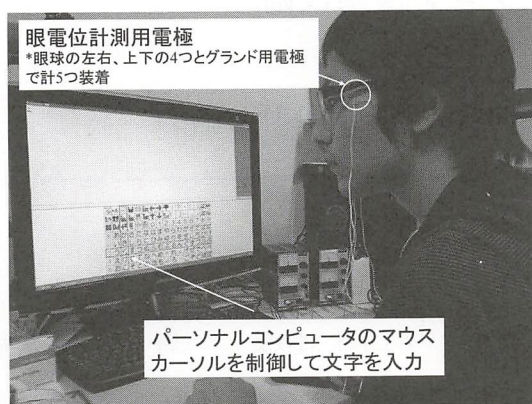


図7 眼電位を用いたマウスカーソル制御実験

3) 実際の障がい者での検証実験

本研究では、実験の被験者は全て健常な人を用いて実験を行っている。今後は、実際の障がい者で実験を行い、システムの改善等を行っていく必要があると考えている。

[成果の発表, 論文等]

1. 後藤孝文, 奥村大, 田村宏樹, 淡野公一, 田中寿, 外山貴子, 石塚興彦: 顔表情筋電位のパターン認識

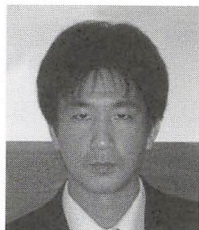
に関する研究, 第61回電気関係学会九州支部連合大会, No. 01-2 A-04 (2008)

2. H. TAMURA, K. TANNON: Midpoint-Validation Method for Support Vector Machine with Margin Adjustment Technique, ICICIC 2008, Proceedings CDROM, June 20, 2008 / International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 5, No. 11 (A) pp. 4025 - 4032 (Nov. 2009)
3. H. TAMURA, T. GOTOH, D. OKUMURA, H. TANAKA, K. TANNON: A Study on the s-EMG Pattern Recognition using Neural Network, ISII 2008, Extended Abstracts pp. 46, 2008 / International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 5, No. 12 (B) pp. 4877 - 4884 (Dec. 2009)
4. 眞鍋考雄, 田村宏樹, 淡野公一: 顔表情筋電位を用いた電動車椅子の制御実験, 第8回情報科学技術フォーラム, pp. K-008 (2009)
5. S. KAWANO, H. TAMURA, K. TANNON: Unsupervised Learning Method for Support Vector Machine and its Application to s-EMG Recognition, ARQB 14 th '09, Proceedings CDROM, pp. 168 - 171, 2009/Artificial Life and Robotics (in press.)

脳波による新しいライフログ検索技術

A New Method of Life log Retrieval Toyama Prefectural University

1081020



研究代表者 富山県立大学 工学部 情報システム工学科 准教授 唐山英明

〔研究の目的〕

近年、ウェアラブルコンピュータやユビキタスコンピューティングに関連する技術開発、さらには携帯電話をはじめとするモバイル機器の爆発的な普及により、ライフログといわれる概念が浸透しつつある [1]。例えば、Gordon Bell らによる MyLifeBits のように、人生のすべてを記録する、といった概念が提唱されている。('MyLifeBits is a lifetime store of everything.') これに伴い、個人が扱うメディア・データ量も爆発的に増え、膨大となり、これらコンテンツを効率よく検索する、あるいはこれらに適切な索引を付与する技術が求められている。

一方で、脳神経科学分野の発展に伴い、工学的応用の見地から新しいヒューマンインタフェース技術が注目を集めている。いわゆる脳-コンピュータインタフェース (Brain-Computer Interfaces: BCI) である [2]。この研究は分野横断的に発展が進んでおり、現在、様々な種類の BCI が報告されている [3]。BCI 研究においては、特に、脳活動を記録し、これを適切に解釈するための高度な情報処理技術が要求される。このような脳活動情報処理によって、人間の意図をある程度抽出することは可能である。

本研究においては、以上のような BCI 研究における脳活動情報処理技術をライフログ分野

に適用し、新しいデジタルメディア検索、あるいは索引付与技術を提案することが目的である。仮想的なライフログとして、写真データセットを準備し、この中の特定の写真を、考えるだけで検索・抽出する試行実験を行い、その性能について調査した結果について述べることとする。

なお本実験においては、特定の写真を提示した際に発生する事象関連電位 (P 300 電位) を利用する [4]。これは、特定の刺激の知覚に伴い、特に注意や記憶などの内因的脳活動によって生じる電位の変化とされている。また、P 300 電位は BCI を実現するための一つの脳活動としても知られ、これを利用した文字入力装置が開発されている。

〔実験手法〕

1. 被験者

複数の健康な男性が被験者として実験に参加した。すべての被験者は実験中、リラックスした状態で、体動なく、写真画像提示装置に向かい、椅子に座っていた。

2. 脳波計測

脳活動として脳波を採用した。今回の脳波計測実験においては、電極数を 3 個から 10 個程度とした。(より多くの電極数が有利と考えられるが、実用性を鑑み、P 300 電位がよく出現するとされる少数頭部位置における評価が重要

と考えた。) 拡張国際 10/20 法の Cz, CPz, Pz 位置に電極を装着し、信号増幅器において増幅後、128 Hz でサンプリング、A/D 変換して PC に脳波データを蓄積していった。この際、0.5-30 Hz のバンドパスフィルタを適用した。

3. 実験プロトコル

実験のプロトコルは次のとおりである。写真は全 9 枚であり、これらは筆者により事前に選定されたものであった。被験者は、この中から好きな写真を 1 枚、もしくは複数枚、実験前に選んでおいた。時刻 $T = 0$ 秒において安静、 $T = 2$ 秒から写真提示を行い、0.5 秒ごとに一枚ずつ、写真をパラパラ漫画のように切り替えていった。 $T = 6.5$ 秒で一区切りとなり、以上を繰り返してデータを蓄積していった。この間、実験前に選んでいた写真が提示されたとき、被験者は頭の中でこの写真（目標刺激）が出現した回数を累積する課題であった。また、それ以外の写真（非目標刺激）の場合には、これを無視した（オドボール課題）。

[実験結果]

1. 加算脳波形

典型的な加算脳波形を図 1 に示す。加算は、得られたデータすべてにわたって実施された。

これより、写真提示からの時刻 $t = 0.3$ 秒以降において、期待のとおり、目標刺激に対して P 300 電位が出現しており、また非目標刺激に対しては、そのような電位成分は見られないことが確認できた。

2. 脳波処理アルゴリズム

実用性の検討においては、いかに短時間に目的の写真を選択できるか、索引を付与できるかが重要となる。本研究では、少数加算脳波から被験者が頭の中で選んだ写真を推定する問題に取り組んだ。

今回、加算なし、2 回加算、4 回加算の 3 つの加算条件について調べた。少数加算脳波データを準備し、これに主成分分析を適用し、次元削減を行った。その後、線形判別分析手法により、目標刺激、非目標刺激の識別率を算出した。その結果を図 2 に示す。

以上の解析により、加算回数が増えるとともに識別率が向上していることが分かった。これは、加算処理により、P 300 電位成分以外のノイズ成分が低減されたためと考えられる。被験者 3 名の平均値としては、加算なしで目標（非目標）刺激認識率 72.7 (75.8) %，2 回加算で 76.2 (81.1) %，4 回加算で 82.7 (86.6) %であった。被験者によっては、90% を超える精度で写真検索が可能であることが分かった。

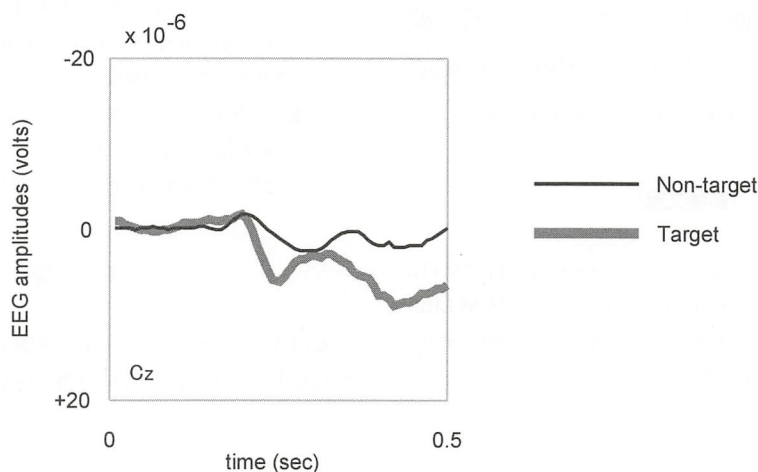


図 1

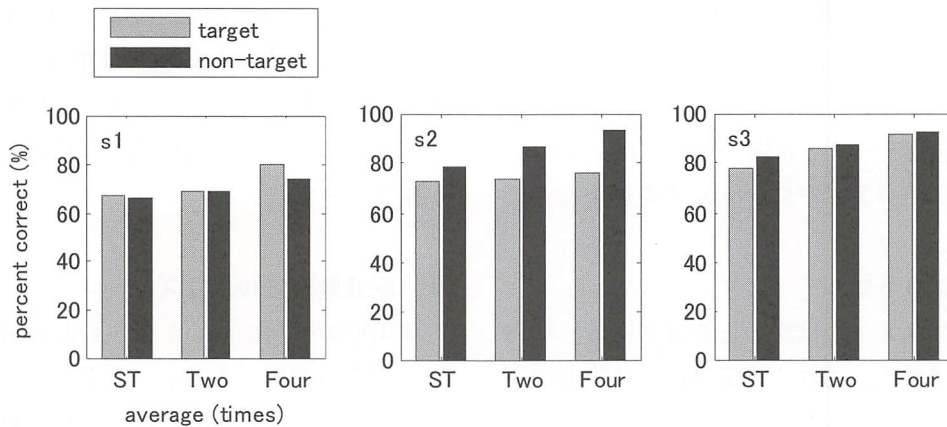


図2 目標・非目標刺激の識別率
ST：加算なし，s1-s3は被験者を表す。

今後は、データ解析手法を改善し、より精度の高い写真検索技術を追及していく考えである。また以上の結果は、写真データ検索に限らず、写真データへの索引付与の問題にも適用できると考えられる。この場合の索引については、人間の注意といった高次脳活動に関連しており、従来にない索引付与へ発展することが期待できる。今後は他の複数の生体情報の導入を行い、実際の問題に適用していく考えである。

【ま と め】

本研究においては、BCI研究における脳活動情報処理技術をライフログ分野に適用し、新しいデジタルメディア検索、あるいは索引付与技術を提案した。簡便な実験によって、3名の被験者の平均において、比較的高い精度で、脳活動のみで特定の写真を選ぶことができた。

【参考文献】

- [1] G. Bell, R. Lueder, S. Drucker, C. Wong, "MyLifeBits: Fulfilling the Memex Vision", ACM Multimedia '02, December 1-6, 2002, Juan-les-Pins, France, pp. 235-238.

- [2] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, "Brain-computer interfaces for communication and control", *Clinical Neurophysiol.*, 113 (6), pp. 767-791 (2002)
- [3] M. Middendorf, G. McMillan, G. Calhoun and K. S. Jones: Brain-Computer Interfaces Based on the Steady-State Visual-Evoked Response, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* 8 (2), 2000, 211-214.
- [4] L. A. Farwell, E. Donchin, "Taking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials", *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 70 (6), pp. 510-523 (1988)

【研究成果】

- [1] H. Touyama, Photo data retrieval via P 300 evoked potentials, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E91-D, No. 8, pp. 2212-2213 (2008)
- [2] 唐山ら：脳波によるライフログの検索・索引付与技術，日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文予稿集（2008）

【謝 辞】

本研究は、財団法人立石科学振興財団の助成によって行われたものであり、ここに感謝の意を表します。

Human Error Analysis in Plant Operation using Virtual Subject



研究代表者

本研究では、プラントシミュレータを使ってプラント異常を再現し、異常診断中のオペレータの視線移動を計測することで、オペレータの認知情報処理モデル（オペレータモデル）を構築する。ヒューマンエラー発生から誤った異常診断を防ぐために、オペレータモデルを用いたプラントアラームシステムの評価法を提案する。

1. 異常診断時のプラントオペレータの視線移動計測実験

オペレーターコンソール

アイカメラ

被験者

監視画面映像

スキャンコンバータ

視線分析装置

DVDレコーダ

4画面分割ユニット

DVDレコーダ

図1 実験環境

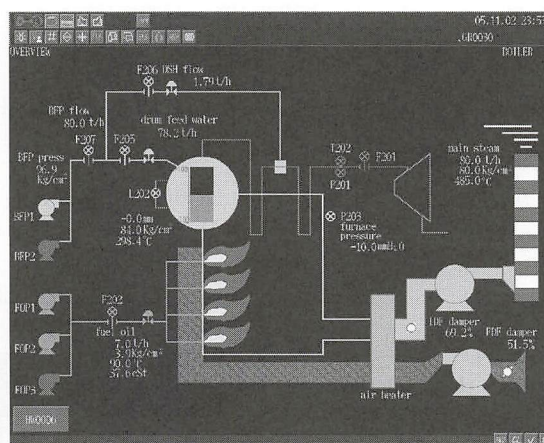


図2 オペレータコンソールオーバービュー

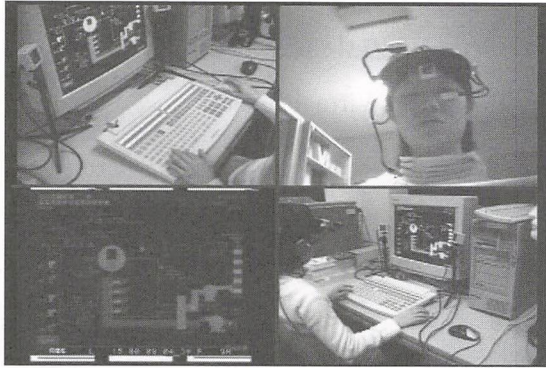


図3 4画面分割ユニット記録映像の例

2. プラントオペレータの認知情報処理モデルの構築

異常診断時のプラントオペレータの視線移動計測実験結果を参考に、異常監視時の認知プロセスの動作を決定するすべての動作ルールを記述した状態監視知識データベースを作成した。そして、プラントアラームシステムを介して獲得した監視操作画面の情報とイベント知識データベースに記述された知識を用いて、プラントの異常原因を特定するオペレータの認知情報処理モデル（オペレータモデル）を構築した。オペレータモデルの構造を図4に示す。

オペレータモデルを用いた異常診断シミュレーションの結果として、図5に示すような異常診断過程が得られる。異常診断過程は知覚、認知、フィジカル、短期記憶、長期記憶のサブタスクから構成される。異常診断過程を詳しく解析すれば、仮想オペレータがどのような過程を経て異常原因の特定に至ったのかを調べることができる。各サブタスクに標準時間を与え

ば、異常診断終了までの時間を推定することができる。

ダイナミックプロセスシミュレータに、オペレータの異常診断過程を模擬するオペレータの認知情報処理モデル（PSE Enterprise社製gPROMS Model Builder）を結合し、異常診断シミュレータを構築した。HAZOP解析によりプラント異常を網羅的に生成し、様々な知覚系エラーや思考系エラーが発生したときのオペレータの異常診断シミュレーションを行い、ヒューマンエラー発生から異常の診断ミス、プラント事故発生までのメカニズム解明のための基礎データを収集した。

3. オペレータモデルを用いたアラームシステム評価

プラント事故を防ぐ仕組みの一つにプラントアラームシステムがある。本研究ではオペレータのプラント異常診断場面に限定した認知情報処理モデルを、アラームシステム評価のための仮想的なオペレータとして、アラーム発生から異常原因特定までの過程を認知情報処理のレベルで細かく分析することで、プラントアラームシステムの評価を試みた。

図6に示すボイラープラントで想定される10種類の異常の早期検出および診断を目的とするアラームシステムの評価を行った。アラームシステムの設計は、異常とその結果生じるプラント状態の変動との関係を整理した異常伝播図に基づく方法（アラームシステムA）と、プラント内のすべての計測点をアラーム変数と

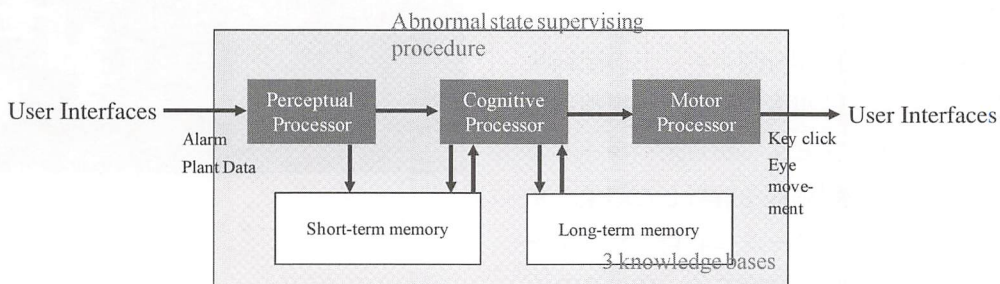


図4 オペレータモデル

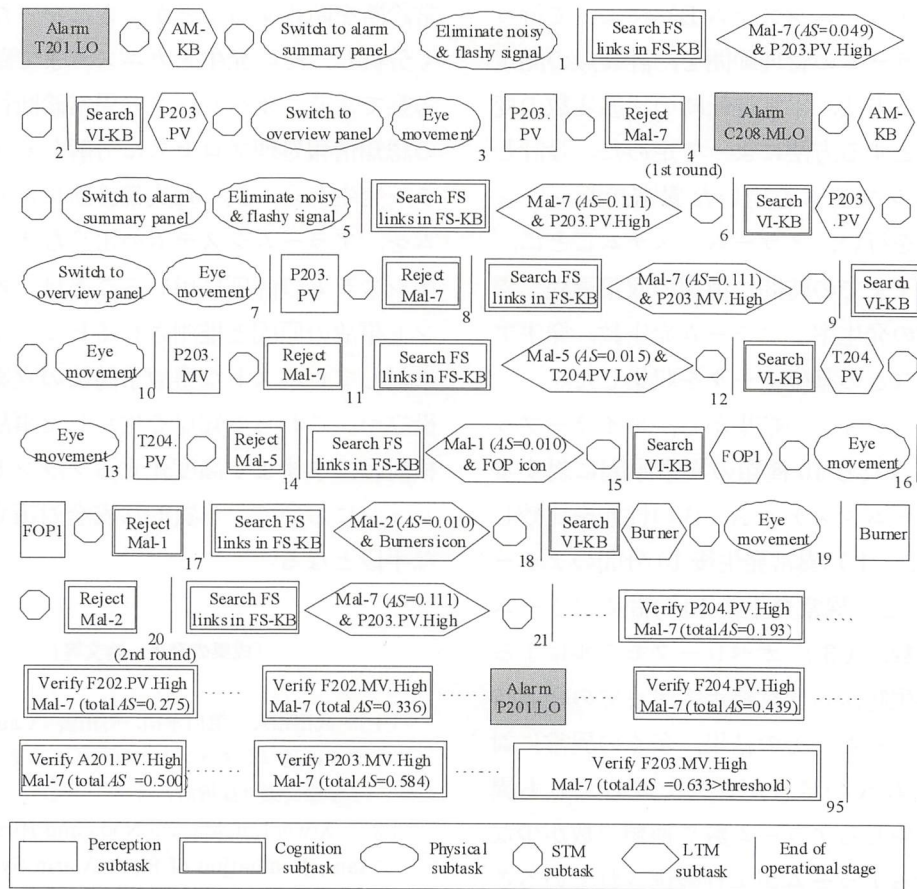


図5 異常診断過程のシミュレーション結果

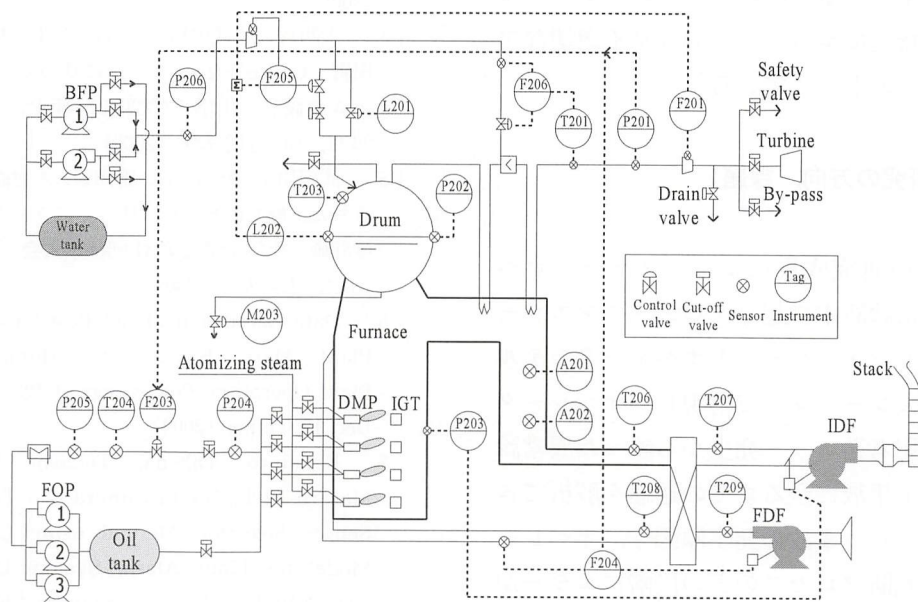


図6 ボイラープラントのプロセスフロー

する方法（アラームシステム B）によって行った。緊急アラームの管理範囲を、計装点の測定レンジとする方法、平常運転時の状態変数の変動幅を基準とする方法によって定めた。設計したアラームシステムを用いた異常診断シミュレーションを行い、アラームシステムごとに、異常診断終了までの時間、情報の収集過程、異常診断ミスの発生率、アラーム発生数、発生アラーム種類などの基礎データを収集した。

シミュレーションの結果から、ボイラープラントで想定される 10 種類の異常原因に対する二種のアラームシステム A、B の性能を比較した。評価は、（1）異常発生後 10 分間のアラーム発生数、（2）異常発生後 10 分間のアラーム発生種類の数、（3）オペレータモデルによるアラーム発生時から異常特定完了までの経過時間（秒）で行った。その結果、多くの異常に対してシステム A のほうがシステム B よりも異常発生後に生じるアラーム数や種類の数が少なく、発生するアラームがより厳選されていることがわかった。システム B で全くアラームが発生しなかった異常 No. 7 は、システム A ではアラームが発生している。さらに、システム B は、異常 No. 9 発生時 10 分間で 57 回のアラームを発生させるものの、オペレータモデルは異常原因特定に至ることはできず不適切なアラームシステムとなっている。

【今後の研究の方向、課題】

これまでの研究成果により、プラントオペレータが異常診断中に起こすヒューマンエラーを、プラントシミュレータとオペレータモデルを用いたシミュレーションで再現し、オペレータの知覚系、思考系エラー発生から誤った異常診断、プラント事故に至るまでの過程を解析できるようになった。事故の発生原因を、オペレータの認知・判断プロセスのどの段階にエラーが発生すると事故に至るのか、またアラームシステムによってなぜエラーの連鎖を止め誤った異

常診断を防止することができなかったのか詳しく分析し、その発生メカニズムまで踏み込んで考察できる。オペレータの異常診断行動を複数の認知情報処理プロセスに分解しヒューマンエラー発生から、誤った異常診断に至るメカニズムを、アラームシステムのようなオペレータ支援システムの評価に用いることは、多くのプラント事故の原因と推測されるヒューマンエラーに対してロバストな事故予防策の立案の実現に役立つ。これらの知見を生かした事故防止策の検討は、ますます高度化するプラントオペレーションにおいて、本質的な安全対策立案の有力な手段となる。

【成果の発表、論文等】

- [1] 武田和宏, 濱口孝司, 野田賢: Cause-Effect モデルに基づくプラントアラームシステム設計, 化学工学論文集 (採択済)
- [2] Xiwei Liu, Masaru Noda and Hirokazu Nishitani: Evaluation of Plant Alarm Systems using a Virtual Subject, *Computers & Chemical Engineering* (採択済)
- [3] Masaru Noda and Hirokazu Nishitani: Design of Plant Alarm Systems on the Basis of Operator's Workload, *Proceedings of AE International 2008* (CD-ROM), July 14-17, Las Vegas (2008)
- [4] 大西智士, 武田和宏, 濱口孝司, 木村直樹, 野田賢: Cause-Effect モデルに基づくアラームシステムの設計, 化学工学会第 74 年会, 3 月 18 日～20 日, 横浜国立大学 (2009)
- [5] 武田和宏, 濱口孝司, 野田賢, 木村直樹: 構造化された二層 CE モデルに基づくアラーム変数の選好度評価, 化学工学会第 41 回秋季大会, 9 月 16 日～18 日, 広島大学 (2009)
- [6] Data-Based and Model-Based Evaluation of Plant Alarm Systems for Human-Centered Plant Operation, *Proceedings of PSE symposium*, Dec. 18, Taipei (2009)
- [7] Kazuhiro Takeda, Takashi Hamaguchi, Masaru Noda, Naoki Kimura and Toshiaki Ito: Sensor Selection Method using Cause-Effect Model for Plant Alarm System Design, *PSE Asia 2010*, July 25-28, Singapore (2010)

残存機能を十分に活かすためのリハビリ機器と 運動解析技術の統合化

Integration of Rehabilitation Apparatus and Kinematic Analysis Tools to
Utilize Remaining Motor Function

1081027



研究代表者

一関工業高等専門学校 制御情報工学科 講師

三 浦 弘 樹

〔研究の目的〕

機能回復などの用途で使用するリハビリ機器と、機能障害に対する支援機器開発およびそのための運動解析はこれまでそれぞれ個別に取り扱われてきた。たとえばリハビリ装置は様々なものがその効果と検証方法とともに提案されている。しかしながら、なぜそのような効果が出るのか、どこが機能が回復してきているための影響かなどまで踏み込んでいないため、効率的な訓練計画や支援機器設計指針を打ち出せておらず、セラピストが行なう経験に基づいた処方の数値的裏付けも与えていない。一方、運動解析で用いられる身体力学モデルは、国内外の多くの機関で開発され、新しいモデリング手法なども発表されているが、動作中の空間的配置まで考慮できるような構成にはなっておらず、また、そのようなデータすら存在しないため、状態推定精度は低いものとなっているし、計算効率も良いとは言えない。さらに、支援機器は個人の自立支援を目指して構築されているはずだが、現状では現在の身体状態のみを観測して機器が構築されているため、将来の機能回復を予測し、残存能力を十分に活用できるような構築方法はとられていない。

本研究の目的は、個別に取り扱われてきたリハビリ機器と運動解析技術を統合し、訓練により生じる身体内部の運動機能の回復予測および

回復状態を把握し、効率的に個人に適合した残存機能を十分に活かした支援機器の設計につなげるシステムを構築することである。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、身体内部状態の把握に必要な身体力学モデルとして、上肢と下肢の筋骨格モデルを構築し、これらを組み込んだ訓練システムの構築を目指した。

1. MRI 計測による各筋形状の抽出

身体内部の運動機能の状態推定精度を高めるため、姿勢ごとの骨と骨、骨と筋、筋と筋の相対的变化を、MRI 画像診断装置を用いて計測する。これによって、姿勢による各筋の相対的变化や骨格に対する位置関係を把握することが可能となる。ただし、姿勢変化による計測は前腕部のみとする。上腕と関連する体幹部および下肢は、前腕部ほど複雑な空間変化を伴わないことから一姿勢の計測のみで形状抽出を行った。

MRI 撮影は全身を行い、抽出は上肢および下肢の動作に必要な 75 筋（上腕：17，前腕：19，大腿：25，下腿：14）とした。撮像断面は水平断、シーケンスは STIR 像とし、10 mm スライス厚で撮影した。その後、3 次元画像処理ソフト Mimics (Materialise Co. Ltd) を用いて筋領域を抽出し、それぞれの断層画像をス

ライス位置に従って積層することによって3次元の筋形状として構築した（図1）。抽出した筋を部位ごとに3次元化した様子を図2に示す。

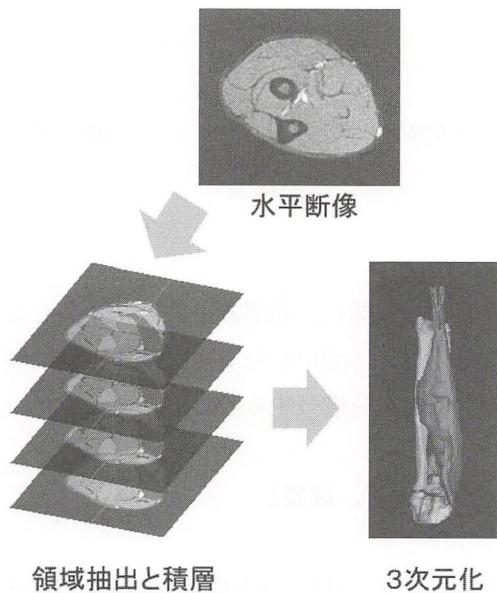


図1 MRIによる筋形状の3次元化

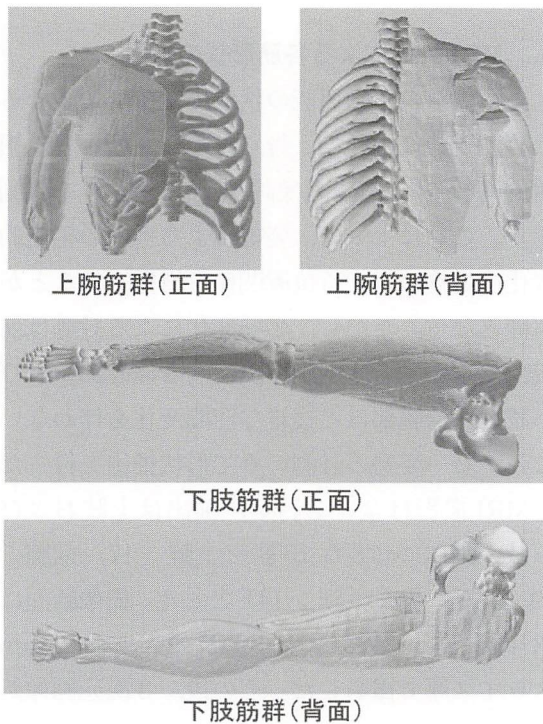


図2 抽出した各筋

2. 筋走行の導出

筋骨格系をモデル化するには、経由点と呼ばれる特徴点の間を線分で結んで筋走行として表現する方法が用いられている。そこで、構築した筋形状から筋走行を導出する。はじめに、構築した3次元の各筋モデルを、Autodesk Inventor（Autodesk社）を用いて筋繊維に垂直な面で間隔10mmでスライスし、各スライス面の重心座標点を求める。その後、すべての重心点を順に線分で結び、若干の修正を行うことで筋走行経路として定義した（図3）。ここで定義した走行経路はモデル構築の際の参考値となる。

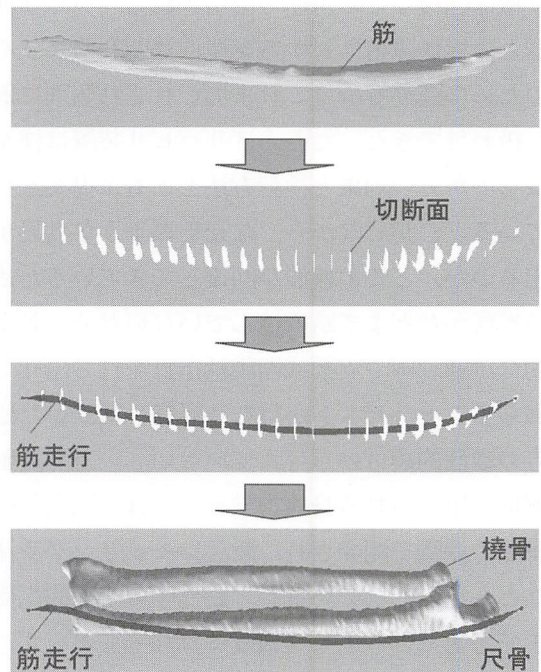


図3 筋走行の導出

3. 身体モデルの構築とモデル化技術の開発

計測した動作中の筋骨格の空間変化をコンピュータ上で再現可能なモデル化技術と、その技術を用いた身体モデルを構築する。これまでボリュームをもつ筋を表現するために空間中に設定した楕円形状に沿って曲線を表現するラッピングアルゴリズムを構築した（図4）。これにより、姿勢変化とともに筋走行を滑らかに変

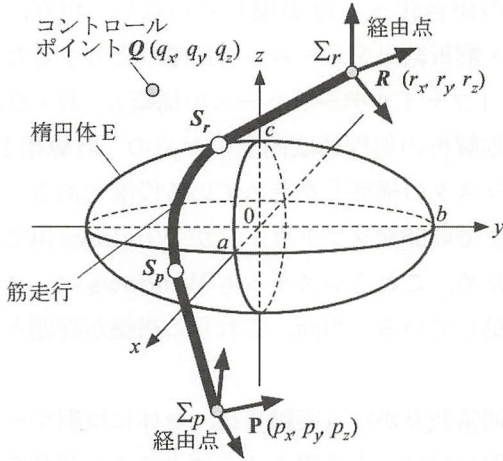


図4 ラッピングによる筋走行表現法

化させることが可能となったが、アルゴリズムの性質上、平面内での曲線表現にとどまっていた。そこで、3次元的な筋走行を表現する方法としてB-スプラインを導入した。

B-スプライン曲線は、 $n+1$ 個の $q_i (i=0, \dots, n)$ を制御点とする位数 k 、次数 $k-1$ のB-スプライン曲線 S は、一様増加のノットベクトル $t \in [x_0, \dots, x_{k+n}]$ ($x_0 \leq x_1 \leq \dots \leq x_{k+n}$) を用いて次のように再帰的に表現される。

$$S(t) = \sum_{i=0}^n N_i^k(t) q_i \quad (1)$$

ただし、

$$N_i^1(t) = \begin{cases} 1 & (x_i \leq t \leq x_{i+1}) \\ 0 & (t < x_i, t > x_{i+1}) \end{cases}$$

$$N_i^k(t) = \frac{(t-x_i)N_i^{k-1}(t)}{x_{i+k-1}-x_i} + \frac{(x_{i+k}-t)N_{i+1}^{k-1}(t)}{x_{i+k}-x_{i+1}}$$

ここで、曲線が両端の制御点 S_0, S_n を必ず通るようにするため、ノットベクトルは両端で位数分だけ重複させている。

いま、図5に示すように、B-スプライン曲線で結ぶ2点の筋走行の経由点を $P(p_x, p_y, p_z)^T$, $R(r_x, r_y, r_z)^T$ とし、それぞれ隣り合う経由点を $\bar{P}(\bar{p}_x, \bar{p}_y, \bar{p}_z)^T$, $\bar{R}(\bar{r}_x, \bar{r}_y, \bar{r}_z)^T$ とする。このとき、 $\alpha (0 \leq \alpha \leq 0.5)$ を用いて、

$$Q = P + \alpha |P - R| \frac{P - \bar{P}}{|P - \bar{P}|} \quad (2)$$

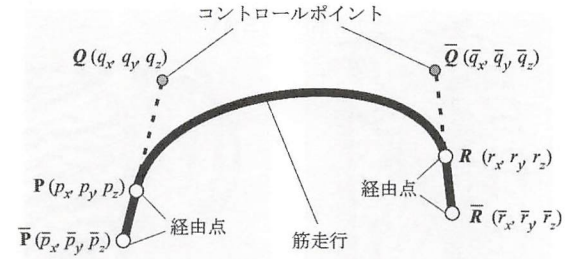


図5 B-スプラインによる筋走行表現法

$$\bar{Q} = P + \alpha |P - R| \frac{R - \bar{R}}{|R - \bar{R}|} \quad (3)$$

なる点 $Q(q_x, q_y, q_z)^T$, $\bar{Q}(\bar{q}_x, \bar{q}_y, \bar{q}_z)^T$ を定義し、これらを制御点とする。

つぎに、 $P, Q, \bar{Q}, R$ の4点を制御点 q_i とするB-スプライン曲線上の点 $S(t)$ を(1)式により求める。

最後に、求めた $S(t)$ を順に経由点として追加することで筋走行を表現する。

$P, \bar{P}, R, \bar{R}$ は本来の筋走行経由点、 $Q, \bar{Q}$ はそれぞれの筋走行線の延長線上の点であるため、 α を適切に選択することで $P-R$ 間の筋走行は P 点、 R 点で屈折することなく自然になめらかに結ばれることになる。

スプライン法はラッピングアルゴリズムとは機能上独立しており、それぞれの設定する筋経由点区間での入れ子使用は不可だが共存できるようになっている。そのため、ラッピングで主要な部分を表現し、それらの間をスプラインで接続するという方法が可能となる。

図6にB-スプラインのみを用いて作成した筋走行例を示す。初期経由点は筋付着位置に設定した。広範囲に及ぶ広背筋は複数の線で、三角筋は前面、中部、後面をそれぞれ1本の線で表している。これらの線は、1本ごとにスプライン法が施されている。筋付着付近の経由点の配置と係数 α の値をうまく設定することにより、図のような広範囲でもなめらかな曲線が表現される。

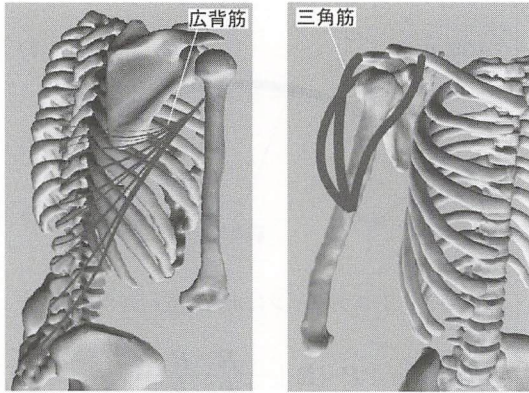


図6 B-スプラインを用いた筋走行例

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、効率的に個人に適合した残存機能を十分に活かした支援機器の設計につなげるシステムを構築することを目指した。今回、身体力学モデルに関しては、計測からモデル化技術の構築までできているが、訓練システムとし

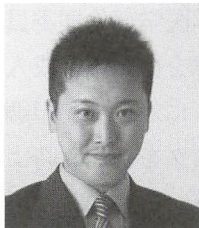
ての統合化までは実現していない。現在、計測・解析結果をシームレスにやりとりするための「ファイルデータベースの構築」、および、運動解析の処理速度向上のための「計算用 PC クラスターの構築」を進めている段階である。これまでの開発ソフトウェアが Windows 用であるため、これらシステムも Windows ベースで構築している。当面、これらの構築が課題となる。

通常我々が行う実験では、身体に反射マークを取り付け、赤外線カメラによりその運動を計測する。しかしながら、この方法を一般の患者さんの訓練時で使用するのは非常に難しい。そのため、今後訓練システムを活用してくための課題として、マークなどを身体に取り付けることなく、直接 3 次元の動作をある程度の精度を保証しながら取得する方法を検討していかなければならない。

経時的差分体表面温度を用いた新規運転ストレス評価法に関する研究

Feasibility Study on Driver's Stress Detection from
Differential Skin Temperature Measurement

1081031



研究代表者 金沢大学大学院 自然科学研究科 特准准教授 山 越 健 弘
共同研究者 金沢大学 理工研究域機械工学系 教 授 山 越 憲 一

〔研究の目的〕

交通事故防止に対する技術は、すでに多くの試み、そしてその実用化も進められているが、単調な運転中における“運転ストレス”，特にその反映である“運転者の生体情報”に着目したヒューマン・マシン・インターフェースとしての安全対策はかなり立ち後れており，具体的前例は国内外を通してほとんどない。その理由としては，運転中に（生理状態を如実に反映する）生体情報を取得するという難しさにある。従来からは脳波を用いた指標^[1]が利用されていたが，その装着の煩わしさや体動アーチファクトがしばしば問題となり，運転中の計測には不向きであった。また，眠気検知の指標であれば，心電図を利用したもの^[2]，瞬きを利用したもの^[3]などがあるが，運転最中の生体計測という技術的難題も多く実用化には至っていない。そこで，本研究では生体情報の中では遙かに計測しやすい体表面温度情報（皮膚表面温度；以後，皮膚温と呼ぶ）に着目し，従来にない新たな運転中ストレス評価法としての方法論を提案，そしてその妥当性を検証し，将来的には適切なストレス緩和システムに組み込むことも視野に入れながら実用化に結びつけることを目的とする。

〔研究の内容、成果〕

本研究では，運転シミュレーターを用いた単調運転ストレス負荷実験を行い，各種循環器系の生体情報を説明変数として本研究で提案するストレス評価法の有用性の基礎的検討を行った。また，皮膚温は環境外乱の影響を受けやすい生体情報であることから，実車実験を通して提案評価法の妥当性を基礎検証した。

1. 運転ストレス評価法の提案

人間がストレスを感じると自律神経を介し，内分泌系・免疫系・心臓血管系などに影響を与える。研究代表者らが着目している皮膚温情報も「交感神経の亢進→末梢血管の収縮→末梢部血流量減少→末梢部皮膚温低下」というストレスに対する生体反応の一つであり，ストレス評価に末梢部皮膚温を用いる研究はしばしば見られる^[4,5]。皮膚温の決定因子は約80%が皮膚下血流量に依存すると言われている^[6]が，その他の外的因子による温度変化も無視できない。ここで挙げた外的因子というのは人体2要素（着衣量・代謝量）と環境4要素（気温・湿度・風速・放射温度）である。

本研究がターゲットとしている自動車運転中という状況で皮膚温を用いたストレス評価を行う場合，先に述べた外的因子をキャンセルする

ことが極めて重要となる。ただし、運転中に着衣量・代謝量の人体要素が大きく変わるとは考えにくいので、環境要素をキャンセルしてストレス評価を行う手法をとる。ここでは、末梢交感神経活動の影響（ストレスによる血管収縮）が大きい細動脈、および動静脈吻合血管（AVA 血管）の豊富な部位を“末梢部”，それ以外の部位を“体幹部”と呼ぶことにする。以下に本ストレス評価の理論的な方法を示す。

まず、体幹部においては、安静時の皮膚温 ($T_{st-rest}$) と環境外乱による皮膚温変化分 (ΔT_{st-d}) により定常時の皮膚温 (T_{st}) が決定される。

$$T_{st} = T_{st-rest} \pm \Delta T_{st-d} \quad (1)$$

末梢部においては、安静時の皮膚温 ($T_{sp-rest}$) と環境外乱による皮膚温変化分 (ΔT_{sp-d}) に加えてストレス由来の血管収縮・拡張による温度変化分 ($\Delta T_{sp-stress}$) が発生すると考えられる。

$$T_{sp} = T_{sp-rest} \pm \Delta T_{sp-d} \pm \Delta T_{sp-stress} \quad (2)$$

ここで、外乱による皮膚温変化分がほぼ等しくなる末梢部と体幹部 ($\Delta T_{sp-d} \doteq \Delta T_{st-d}$) が存在すると仮定すれば、その差分値はほぼストレスのみに依存したものになると考えられる。

$$T_{st} - T_{sp} = \pm \Delta T_{sp-stress} + \alpha(\text{const.}) \quad (3)$$

ただし、 α ：安静時の 2 部位間の温度差 [°C]
本研究では、末梢部位として鼻、体幹部とし

て $\Delta T_{sp-d} \doteq \Delta T_{st-d}$ の条件を満たすと期待できる頬、額、顎、顔面下半分の 4 ヶ所に着目して実験および解析を行った。

2. 模擬運転実験

図 1 に実験システムの概要を示す。運転シミュレーターを用い、金沢大学医学部倫理委員会の承認を得た後、実験の同意を得た健常成人男女 25 名 (26.8 ± 8.0 SD 歳) に対して、単調なテストコースを走行するタスクを午前 9 時より最長 120 分間（指定走行レーンを逸脱した場合は実験終了）してもらい、このときの各種生体情報を計測した。実験前 10 分間（Baseline Period）と実験後 5 分間（End Period）は被験者に安静にってもらい、走行中（Simulated Driving Period）は実際の車を運転しているつもりで可能な限り眠気を我慢しながら安全運転してもらった。なお、本実験の主たる目的は運転ストレスと提案ストレス評価手法との相関関係を確認することにあるので、実験室の環境条件は一定とした。計測項目は、容積補償法を用いた一心拍毎の最高、平均、最低（SBP, MBP, DBP）血圧（自作）、心拍間隔時間 RR（WEB-5000, 日本光電(株), 東京）、心拍出量 CO（自作）、 α アドレナリン作動性の局所的な末梢交感神経の働きを示す基準化脈波容積 NPV（MPN 1001, メディセンス(株), 東京）、全身の末梢循環抵抗（ $TPR = MBP/CO$ ）、サーモグラフィー（TH 9100-MLN, NEC 三栄(株),

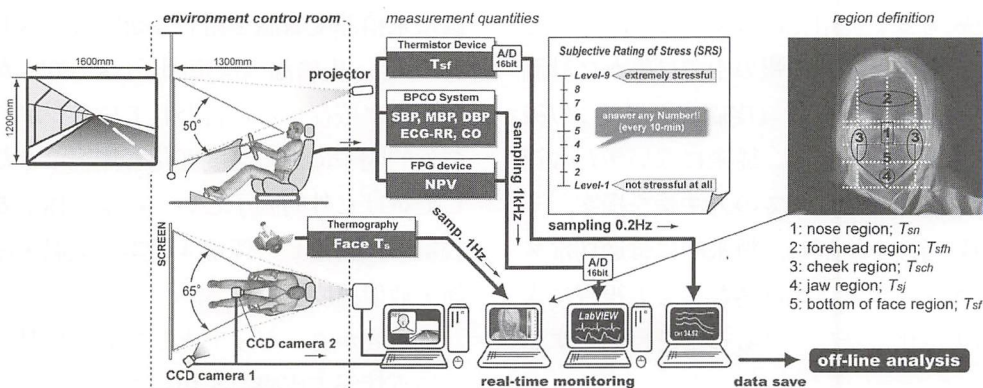


図 1 実験システムと顔面皮膚温計測領域

東京)を用いて計測した鼻 (T_{sn}), 頬 (T_{sch}), 額 (T_{sfh}), 顎 (T_{sj}), 顔面下半分 (T_{sf}) の温度 (解析領域は図1を参照), 参考としてサーミスタ温度計 (DS 100, テクノセブン(株), 横浜)を用いた末梢部である指尖皮膚温 (T_f), さらに運転中のストレス度として, 10分間隔で9段階の主観ストレス評定値 (Subjective Rating of Stress; SRS) も測定した。また, 実験で得られた一心拍毎のSBPとRRの時系列データに対しては最大エントロピー法により時間周波数解析も行い, 自律神経活動 (交感-迷走) の推定も試みた。

図2に全被験者の各種循環器系情報とサーモグラフィーの解析より得られた顔面の温度情報を整理した結果を示す。横軸の時間軸は正規化を施してあり, 実験期間中10%ごとの各測定項目の素値を時系列的に表している。同図の各プロットは平均値 (ISEM) を示している。また, ベースラインを基準とするDunnett検定を施した結果も示されている。循環器系情報からは, 心拍出量 (CO) および心拍間隔時間 (RR) はほぼ一定で推移していることが判る。また全身の末梢抵抗 (TPR) が増加, 基準化脈波容積 (NPV) 低下より末梢血管の収縮, それを反映して末梢部である指尖の温度 (T_f) が低下している様子が判る。また血圧 (BP) とRRの時間周波数解析の結果より交感神経系が有意に亢進していたことが確認された。そのような生体反応を反映して最終的にBPが上昇していることが判る。この単調運転中の生理反応は, 従来からの知見^[7]と一致する。つまり, 交感神経の亢進→末梢血管の収縮→末梢部血流量減少といった機序で末梢部皮膚温が低下したことが確認された。同図の顔面温度情報からは, 実験後半になるにつれて徐々に末梢部である鼻の温度 (T_{sn}) が低下している。しかしながら体幹部である頬 (T_{sch}), 額 (T_{sfh}), 顎 (T_{sj}), そして顔面下半分 (T_{sf}) の温度はほぼ一定, 或いはわずかな上昇を示した。それらの各温度差分値は次第に上昇しており,

SRSおよびストレスの生理学的指標とされるBPの上昇に良好な追従を示していることが確認された。

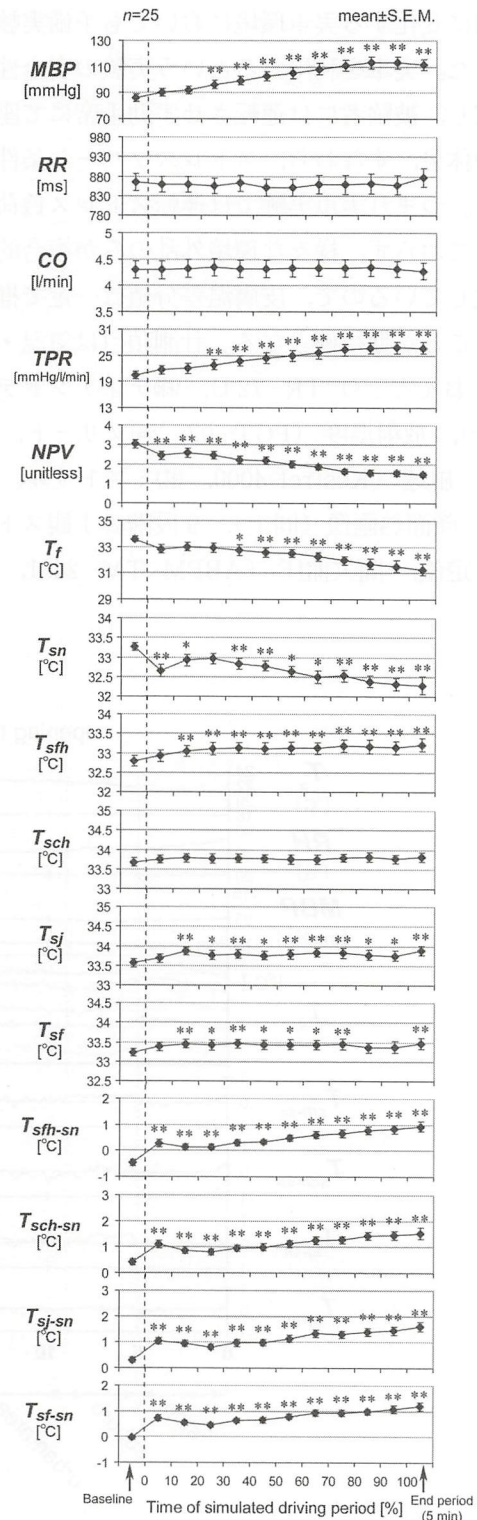


図2 計測対象と各皮膚温差分値の時系列変化

3. 実車運転実験

以上は、環境外乱変化を与えないシミュレーター環境でのストレス評価試験であった。提案するストレス評価法は環境外乱を含む状況下でも適応できると考えられるため、環境外乱が複合的に変化する実車環境においても予備実験を行った。実車を利用するという実験の安全性を考慮し、被験者には運転させず助手席にて座位安静休息、すなわち、ストレスフリーな条件とした。つまり実車実験では運転ストレス負荷を与えておらず、様々な環境外乱のみが複合的に変化しているので、皮膚温差分値は一定で推移することが期待値となる。計測項目は気温・湿度（おんどとり TR-72 U, (株)ティアンドデイ, 長野), 放射温度（PGT-02, (株)プリード, 東京), 風速（Kestrel 4000, (株)ミストラル, 宮城), 顔面熱画像（同上）, 9段階の主観ストレス評定値, 間欠血圧（ABPM TM-2431, (株)

ティアンドデイ, 東京）であった。実験車両はオートエアコンを有するミニバン（StepWGN DBA-RG 1, (株)本田, 東京）とし、車内に生体計測実験環境を構築した。実験体制は、助手席に被験者, 運転歴 10 年以上の運転手, そして後部座席に測定者 2 名であった。実験時間は 35 分間とし, 山道, 市街地, トンネルなど環境が変化するように様々な場所を走行した。実験結果の一例を図 3 に示す。薄いシャドーの部分では車窓を開けて強制的に風負荷を行った。温度差分値の結果から判るように, 顔下半分と鼻との温度差分値は最も変動が少なく安定していたことが確認された。以上より, 今後更に被験者数を増やして検証する必要があるが, 提案ストレス評価法は環境外乱が複合的に変化する実車環境でも十分に環境外乱の影響を除去できることが示唆された。また, リファレンスとする皮膚温は顔下半分が有用であるという知見も

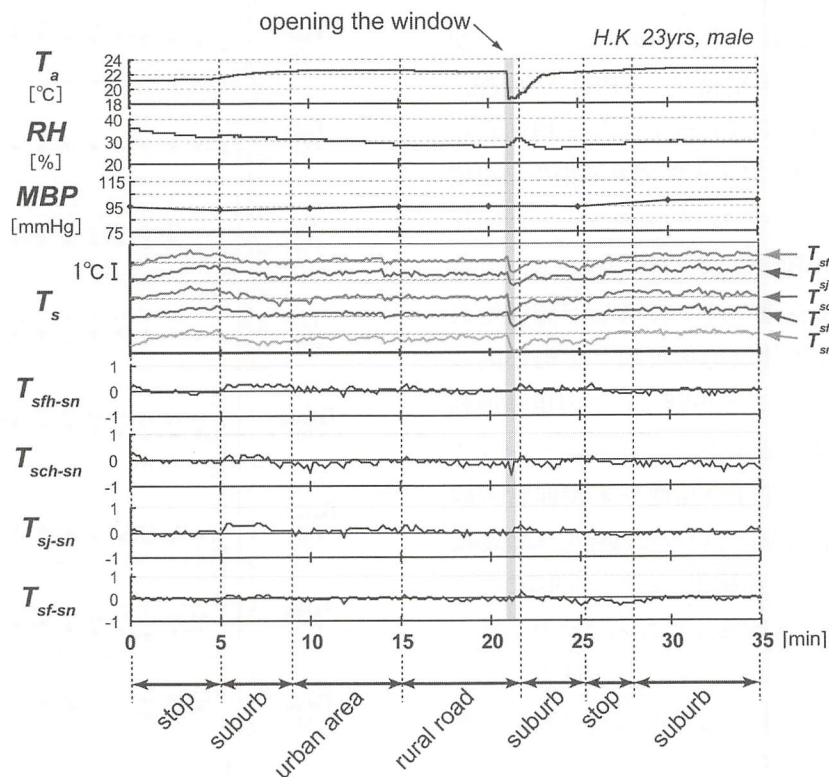


図 3 実車実験の結果例

得られた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究より, 周囲環境変化一定の下では, 体幹部と末梢部との温度差分値がドライバーの運転ストレスを反映する有用な情報であることが確認された。また, 環境外乱が複合的に変化する実車環境でも十分に環境外乱の影響を除去できるストレス評価法であることが予備実験を通して確認された。今後は最適リファレンス部位の明確化, 外乱と運転ストレスを同時に負荷した条件での提案ストレス評価法の妥当性を検証していく予定である。ただし, ストレス検知だけでは交通事故の本質的な解決にならない。今後は本法でストレスを検知した場合にドライバーに対してどのようなフィードバック対処(ストレス緩和)をすべきかを探究していくことも重要な課題である。

[成果の発表, 論文等]

学術論文

- 1) T. Yamakoshi, S. B. Park, W. C. Jang, K. Kim, Y. Yamakoshi, H. Hirose: Relationship between Salivary Chromogranin-A and Stress Induced by Simulated Monotonous Driving, *Journal of Medical & Biological Engineering & Computing*, 47 (4), 449-456 (2009)
- 2) 山越健弘, 松村健太, 小林寛幸, 後藤雄二郎, 廣瀬元: 差分顔面皮膚放射温度を用いた運転ストレス評価の試み—単調運転ストレス負荷による基礎的検討—, *生体医工学*, 48 (2), 163-174 (2010)
- 3) 山越健弘, 後藤雄二郎, 小林寛幸, 廣瀬元: 顔面皮膚温に着目した運転ストレス評価法—環境外乱影響除去の検討—, *生体医工学* (投稿予定)

国際会議

- 1) T. Yamakoshi, K. Yamakoshi, S. Tanaka, M. Nogawa, S. B. Park, M. Shibata, Y. Sawada, P. Rolfe, Y. Hirose: Feasibility Study on Driver's Stress Detection from Differential Skin Temperature Measurement, *Proceeding of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 1076-1079

(2008)

- 2) T. Yamakoshi, S. B. Park, W. C. Jang, K. Kim, Y. Yamakoshi and H. Hirose: Levels of Salivary Chromogranin-A Secreted During Simulated Monotonous Driving Stress, *Proceeding of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, 25, 275-278 (2009)

国内会議

- 1) S. B. Park, T. Yamakoshi, K. Yamakoshi, H. Kobayashi, Y. Hirose, W. C. Jang, K. Kim, Y. Yamakoshi, Y. Sawada, Change of Salivary Chromogranin-A Following a Stressful Situation Induced by Simulated Monotonous Driving, *Japanese Society for Medical & Biological Engineering*, 46 (1), 360-361 (2008)
- 2) 山越健弘: 単調運転時の循環動態反応, 第23回生体・生理工学シンポジウム論文集, 217-220 (2008)
- 3) 山越健弘, 小林寛幸, 後藤雄二郎, 山越憲一, 田中志信, 野川雅道, 広瀬幸雄, 山越康弘, 澤田幸展: 差分体表面温度法を用いた単調運転ストレス評価—環境外乱影響除去の検討—, 第48回日本生体医工学会大会生体医工学論文集, 47 (1), 200 (2009)

解説・資料

- 1) 山越健弘, 野川雅道, 山越憲一: ストレスの物理的評価, *BIO INDUSTRY*, 25 (6), 東京: シーエムシー出版, 7-17 (2008)

書籍

- 1) 山越健弘: 第6章生理量の物理計測 第2編 ヒューマンセンシング, ヒューマンインタフェースのための計測と制御, 東京, シーエムシー出版, 1-14 (2009)

受賞

- 1) 平成20年 日本生体医工学会 神戸新聞賞・研究奨励賞・坂本研究刊行助成賞・阿部賞受賞
- 2) 平成20年 IEEE EMBS Japan Young Investigators Competition for EMBS 2008 受賞
- 3) 平成20年 計測自動制御学会 生体・生理工学シンポジウム研究奨励賞受賞

[参考文献]

- [1] T. Åkerstedt *et al.*: Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual, *International Journal of Neuroscience*, 52, 29-37 (1990)

- [2] 柳平ら：ドライバー状態検出装置の開発, *バイオニア技報*, 11 (1), 67-72 (2001)
- [3] 杉山ら：画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知, *豊田中央研究所 R&D レビュー*, 3 (2), 51-60 (1996)
- [4] H. Genno and K. Ishikawa: Using Facial Skin Temperature to Objectively Evaluate Sensations, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 161-171 (1997)
- [5] K. Nakayama *et al.*: Decrease in Nasal Temperature of Rhesus Monkeys (*Macaca mulatta*) in Negative Emotional State, *Physiology & Behavior*, 84, 783-790 (2005)
- [6] 中山昭雄：温熱生理学, (株)理工学社, 東京 (1981)
- [7] T. Yamakoshi *et al.*: A Novel Physiological Index for Driver's Activation State Derived from Simulated Monotonous Driving Studies, *Transportation Research Part C*, 17 (1), 69-80 (2009)

[謝 辞]

本研究を遂行するにあたり、勸立石科学技術振興財団の研究援助を賜りましたことをここに記して深謝致します。

喉頭高速ビジョンスコープによる声帯振動の リアルタイム音声化の研究

Real-time Auditorization of Vocal-Cord Vibration by Using a High-speed Laryngoscope

1091001



研究代表者

広島大学 工学研究科
システムサイバネティクス専攻 教授

石 井 抱

〔研究の目的〕

本研究は、数百 Hz レベルの声帯振動について、高速ビジョンを用いて時空間振動分布として計測することにより、腫瘍等により生じる声帯異常振動をリアルタイム音声化・定量化可能とする喉頭高速ビジョンスコープの研究開発を目的とする。本研究で開発した喉頭高速ビジョンスコープの最終的な目標は、喉頭温存率向上など癌患者の QoL 向上に向け、人間の目や耳で直接観察が難しい声帯異常振動を含む喉頭部位の新たな診断装置として実現することにある。

〔研究の内容、成果〕

a) 研究の背景

声帯は、図1のように喉頭の上にある左右一対の襞状の粘膜組織からなる発声器官であり、襞の隙間に肺からの呼気が通過することにより、数百 Hz といった周波数で自励振動を行う。声

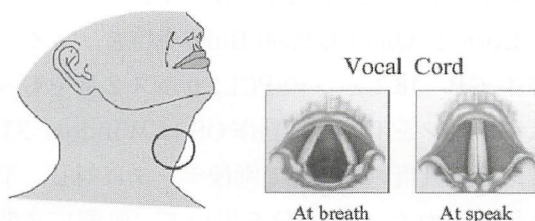


図1 声帯

帯疾患には、喉頭癌、声帯麻痺、声帯ポリープ等があり、頭頸部外科診療現場では、患者の QoL を低下させる喉頭摘出を回避した治療を行うために、病態の進行状況を把握する声帯検査が重要視される。声帯疾患がある場合、腫瘍などの声帯上の病変に伴い、左右非対称な異常振動分布が出現するため、声帯振動の画像検査は静的な外観検査とともに意味を持つ。疾患と声帯振動での左右非対称性の関係は、オフライン高速ビデオ画像を用いた声帯振動の数理モデリングなどの研究でも報告されている。

声帯振動を画像検査する方法としては、声帯振動に近い周波数でのストロボ照明点滅により、検査者にスローモーション画像提示を行うストロボスコープが広く使われている。この診断法は、高速な声帯振動を目視検査による定性的な検査を可能とする一方で、既知の周期振動を前提とし、不規則及び未知周波数の声帯振動には必ずしも適していない。本研究では、これらの問題点を踏まえ、4000 fps (frames per second) で実時間動作する高速ビジョンを導入し、声帯振動の周波数帯域をカバーする高速画像処理を施すことにより、声帯における振動分布をリアルタイム観測する高速喉頭ビジョンスコープを開発した。また人工声帯モデルを用いて、左右非対称の異常振動の定量化及びリアルタイム音声化が可能であることを検証し、実際に健常者に対する動作検証実験を行い、その

基本的な機能を検証した。

b) 開発した喉頭高速ビジョンスコープ

開発した喉頭高速ビジョンスコープは、硬性声帯鏡、照明源、高速カメラヘッド、専用FPGA画像処理ボード、パソコンから構成される。喉頭ビジョンスコープの構成を図2に示す。

硬性声帯鏡にマウントされた高速カメラヘッドでは、 512×256 画素の8ビット濃淡画像を4000 fpsで撮影することが可能であり、これらの画像データは専用FPGA画像処理ボード(IDP Express ボード)を介し、パソコン上の汎用メモリに高速転送される。パソコン上には、声帯の振動分布を自動抽出する画像処理アルゴリズムが実装され、処理結果は入力画像とともに実時間モニタ表示されるとともに、定量化されたデータとして記録される。

硬性声帯鏡には、町田製作所製のLY-CS 30を用いた。LY-CS 30は全長218 mm、外径8 mmの前方斜視型(視野方向 70°)の硬性声帯鏡であり、観察深度が30 mm～70 mm、視野角が 40° に設定されている。Cマウントレンズアダプタが装着されており、各種カメラヘッドがマウント可能である。ライトガイドを介して同軸落射照明が可能であり、本システムでは照明源としてILH-2 A(オリンパス)を用いた。

カメラヘッドにはフォトロン社の高速度カメラMH 4-10 K用カメラヘッドを用いた。このカメラヘッドでは、8ビット濃淡画像につい

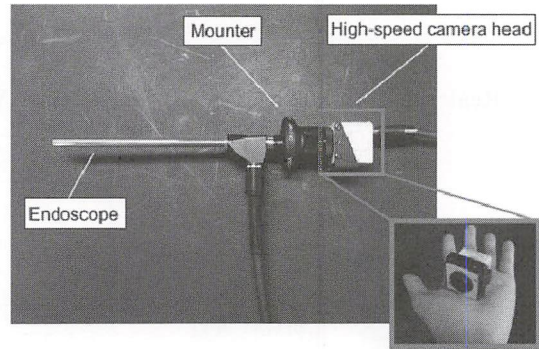


図3 喉頭高速ビジョンスコープの外観

て、 512×512 画素で2000 fps、 512×256 画素で4000 fpsでカメラヘッド外部に転送可能とする。大きさ $35 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \times 34 \text{ mm}$ 、重量300 gと小型軽量であり、硬性声帯鏡にカメラヘッドを直接マウントしても操作性に影響を与えない。図3にカメラヘッドを装着した硬性声帯鏡の外観を示す。

IDP Express ボードは、MH 4-10 K用カメラヘッドに対応した形で、高フレームレートでの実時間画像処理と映像記録の同時実現を目的に設計された専用FPGA画像処理ボードである。このボードは、ユーザカスタマイズ可能なアルゴリズム回路実装機能、8レーンのPCI-eバスを介して、4000 fpsで 512×256 画素画像といった大量データをパソコンの汎用メモリに高速転送する機能を特徴として持つ。本研究ではこれらの機能のうち、パソコンの汎用メモリへの高速画像転送機能を用いた。

パソコンは、IDP-Express ボードの高速画像転送機能に対応し、8レーン以上のPCI-eバス及びPCI-eバスから汎用メモリに対するDMA機能を持つものを用いた。具体的には、メインボードASUSTek P5 E、CPUチップセットCore 2 Quad Q 9300 Bulkを持ち、メモリが4-GB、16レーンのPCI 2.0バス2基をもったパソコンを用いた。動作OSはWindow XPである。汎用メモリ上の画像データに対し、予め用意されたAPI関数を用いて、処理に必要な画素だけを選択することが可能であり、ソフ

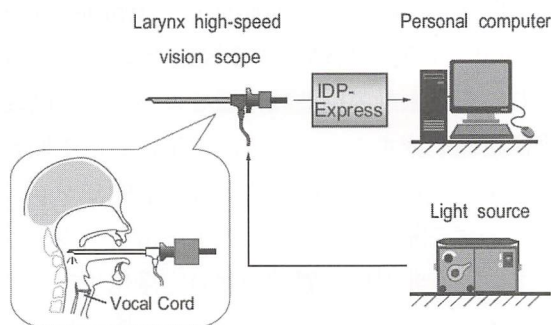


図2 喉頭高速ビジョンスコープの構成

トウェアによる画像処理の高速化を可能としている。

本研究では、次に述べる声帯振動パラメータ抽出処理をパソコン上のソフトウェアで実現し、その処理結果を入力画像とともに実時間モニタ表示・記録するものとした。

c) 声帯振動抽出アルゴリズム

喉頭高速ビジョンスコープでは、図4のように、画像から声門領域を抽出した上で、その左右端位置の速度分布を声帯振動分布として計測し、声帯振動における左右非対称性を定量化する。以下にこれらの処理について説明する。

1) 二値化による声門領域抽出

最初に喉頭ビジョンスコープ画像 $l(x, y, t)$ に対し、閾値 θ に基づく二値化処理を行い、輝度が暗い領域を声門領域とする二値化画像 $B(x, y, t)$ を計算する。

$$B(x, y, t) = \begin{cases} 1 & (l(x, y, t) > \theta) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

2) 声門左右端位置の検出

一定間隔 d に設定されたライン $y = y_i (i = 1, \dots, N)$ に対し、声門領域に対応した $B(x, y, t)$ を走査し、声門左端 / 右端の x 座標 $l_i(t), r_i(t)$ を検出する。

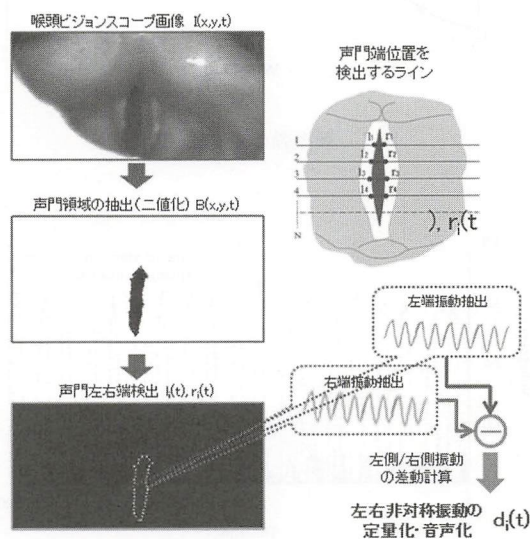


図4 声帯振動抽出アルゴリズム

(t) を検出する。なお声門が閉じた状態や計測ライン上に声門が存在しないなど、声門領域が検出されない場合には、最後に声門位置を検出した時刻 $t = t_0$ から動きがないものとして、時刻 $t = t_0$ で検出された左右端の x 座標値を保持するものとする。

3) 声門振動における左右差動成分の検出

ライン x に対し声門中心位置 x を基準にした左右声門位置の振動成分を検出した上で、その振動成分の差分計算を行うことにより、声門振動における左右非対称性を示す左右差動成分 $d_i(t)$ を検出する。

$$L_i(t) = m_i - l_i(t) \quad (2)$$

$$R_i(t) = r_i(t) - m_i \quad (3)$$

$$d_i(t) = |L_i(t) - R_i(t)| \quad (4)$$

ここで声門中心位置の x 座標 m_i は2値画像の水平方向の重心成分により決定し。左右声帯弁の距離が極小となる場合に声門中心位置を更新するものとした

本研究では、声門に対する計測ライン数は $N = 20$ として、高速ビジョン IDP Express 上に前述アルゴリズムをソフトウェア実装した。この場合、声門振動における左右差動成分が、4000 fps でリアルタイム検出できることを確認した。

d) シリコン膜振動モデルを用いた検証実験

声帯に模したシリコン膜振動モデルを用いて、喉頭高速ビジョンスコープが実時間で声帯振動分布を検出し、声帯振動における左右非対称性を定量化及びリアルタイム音声化できることを示す。振動モデルの外観を図5に示す。

振動膜となるシリコンゴムには、成人男性の声帯の大きさに対応した長さ 14 mm の切り込みがあり、エアコンプレッサからの空気噴流により振動数 400 Hz 前後で自励振動が発生するようにした。振動膜左側中心付近に重りをつけ、その重さを変えることにより、異常声帯振動に対応した膜振動における左右非対称性の定量化

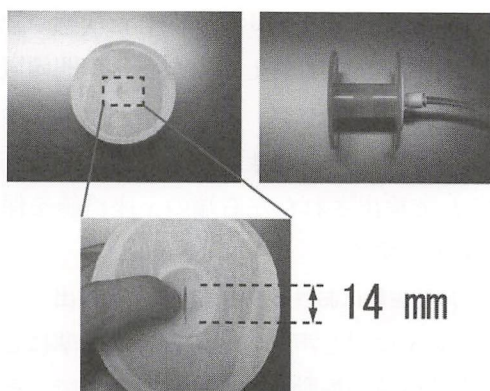


図5 シリコン膜を用いた声帯振動モデル

及びリアルタイム音声化実験を行った。

正常振動（重り 0 g）と異常振動（重り 4 g）について膜振動の左右端振動波形を 0.1 s 間示したものを図 6 に、重りを 0 g から 4 g まで 0.5 g ずつ変化させたとき定常的な膜振動における左右振幅比を図 7 に示す。なおこれらのデータは、計測点 20 点の平均値を計算したものである。図 6 から、400 Hz 前後の膜振動が検出され、正常振動ではほぼ左右対称な振動が計測される一方で、異常振動では左端振動が右端振動よりも振幅が小さくなるのが計測された。図 7 では、正常振動時には左右対称に対応した 1 に近い値である左右振幅比が、重りの重さが増加するにつれてその比が大きくなり、重さに対応した形で左右非対称な振動が実時間で

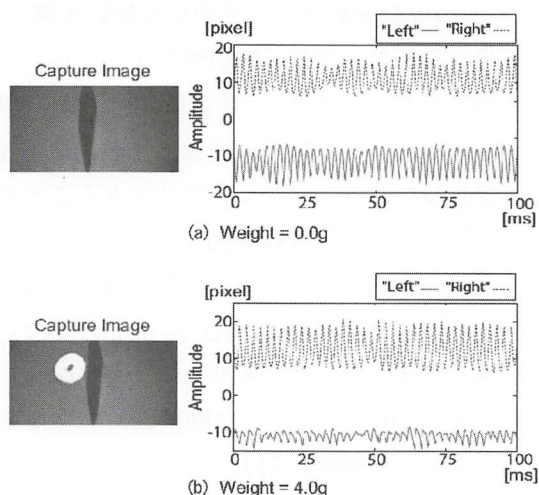


図6 膜振動の左右端振動波形

定量化可能であることがわかる。また、正常 / 異常振動それぞれに対し、左右端の差動信号をリアルタイム生成し、図 8 で示す信号波形を音声としてスピーカーに出力し、振動における左右非対称性が強調された音声出力されることを確認した。

e) 被験者を用いた動作確認実験

人間の声帯に対し、高速喉頭ビジョンスコープを動作確認するために、広島大学病院耳鼻咽喉科の協力を得て、健常者（20 代の男性）に対する臨床実験を行った。図 9 に実験の様子、図 10 に声帯振動の高フレームレート画像を示す。これらの画像から抽出された声帯の左右端の 0.05 s 間の振動波形を図 11 に示す。人間の声帯に対しても、周波数 150 Hz 前後の声帯振動の左右成分を検出し、左右端振動の差動信号のリアルタイム定量化・音声化を確認した。

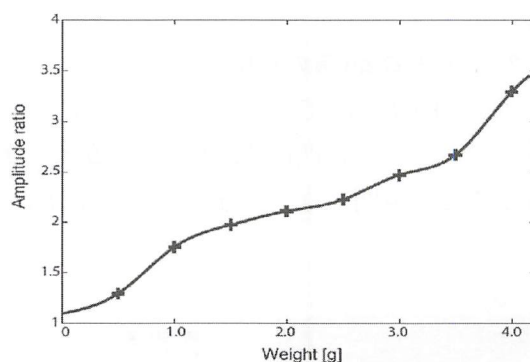


図7 膜振動の左右振幅比

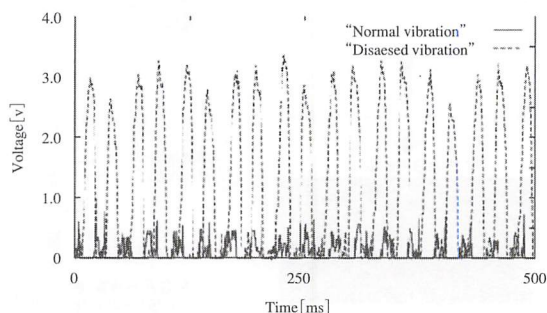


図8 音声化された差動信号

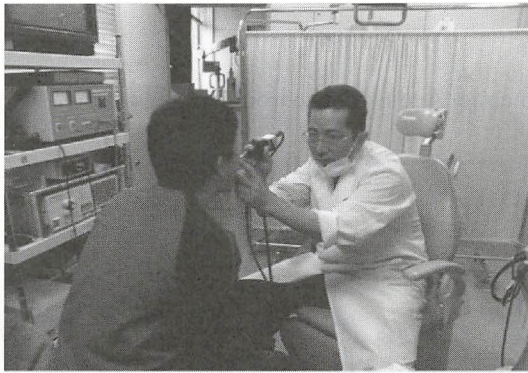


図9 健康者に対する臨床実験の様子

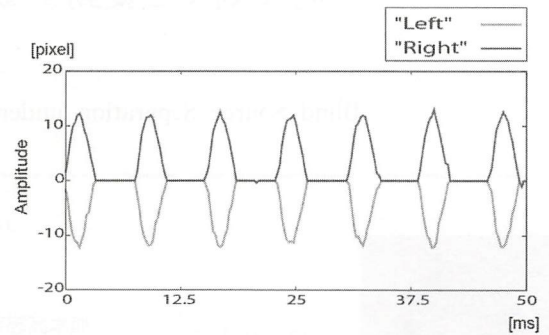


図11 人間の声帯の左右端振動波形

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では高速喉頭ビジョンスコープを開発し、その基本的機能の動作確認に成功した。今後は、臨床現場において、喉頭に疾患を持つ被験者に対する動作検証を行い、疾病の程度と定量化された声帯異常振動の関係を解析する予定である。

[成果の発表, 論文等]

竹本ら：高速ビジョンスコープを用いた実時間声帯振動解析システムの開発, 生体医工学シンポジウム 2009, pp. 421-422 (2009)

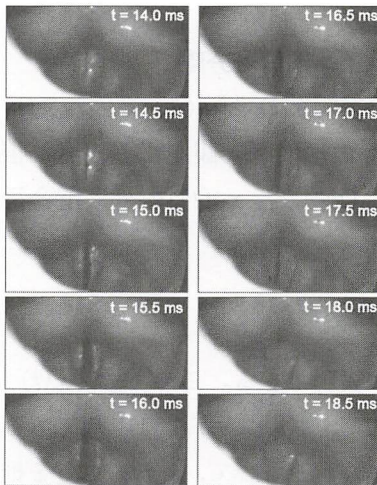


図10 撮影された声帯振動画像

時々刻々と変動する音環境下での音源分離

Blind Source Separation under a Dynamic Acoustic Environment

I09I002



研究代表者

熊本高等専門学校
情報通信エレクトロニクス工学科 准教授

石橋 孝 昭

(熊本電波工業高等専門学校 情報通信工学科 助 教)

[研究の目的]

人間と機械のコミュニケーションにおいて、ユーザーに負担が無く、高速に情報伝達できるインターフェースは音声であり、多くの音声認識システムが実用化されている。しかし、現存の音声認識は、雑音のある環境では認識率が低下するため、雑音を含めて学習させる認識方法や、認識の前処理である雑音除去の研究が進められているが、音環境の変動で性能が低下する問題がある。

その原因の一つは、既存の音源分離では音源の情報は未知と設定しているにもかかわらず、音源数や音源の特徴が分かっている条件下で研究が進められているからである。このことが、実用化するときの大きな問題として立ちはだかり、音源分離はなかなか実用化できない。そのため、音源分離の前処理として、これまでに固定された環境下で音源の数を推定する研究はいくつか報告されているが、処理時間がかかる問題がある。また、時々刻々と変動する音源数をリアルタイムで推定する研究の報告は見当たらない。さらに、音環境の変動を考慮した分離アルゴリズムに対する研究報告も無いようである。

そこで本研究では、音環境の変動と音源数を推定し、その結果に基づいて音源分離や雑音除去を行って、目的信号を抽出することのできるシステムの構築を目的とする。

[研究の内容、成果]

1. ブラインド信号分離

N 個の音源 $\mathbf{s}(t) = [s_1(t), \dots, s_N(t)]^T$ を M 個のマイクロホンで観測するとき、混合信号 $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), \dots, x_M(t)]^T$ は、混合行列 A によって

$$\mathbf{x}(t) = A\mathbf{s}(t) \quad (1)$$

のように表現できる。このとき、 $\mathbf{x}(t)$ と M のみが既知で、 $\mathbf{s}(t)$ 、 N 、 A は未知である。

$\mathbf{x}(t)$ のみを用いて、 $\mathbf{s}(t)$ と A を推定することがブラインド信号分離の目的である。 A の逆関数 W を推定すれば、分離信号 $\mathbf{y}(t) = [y_1(t), \dots, y_N(t)]^T$ は

$$\mathbf{y}(t) = W\mathbf{x}(t) \quad (2)$$

のように得られる。

ブラインド信号分離問題を解く方法の一つに独立成分分析がある。独立成分分析は、混合信号が互いに統計的に独立な音源の重ね合わせであるという仮定の下で、混合信号から独立成分を分解する統計的手法であり、様々なアルゴリズムが提案されている。独立成分分析は音源のパワーに依存せず、非定常信号も分離できる特徴を持つ。

しかしながら、一般に、音源数 N はマイクロホン数 M と等しい仮定の下で導出されたア

ルゴリズムが多く、 $N \neq M$ のときに分離性能が低下するという問題がある。したがって、ブラインド信号分離を行うには、音源数を知るための前処理が必要となる。以降では、観測信号から音源数 N を推定し、目的音声を抽出する方法について報告する。

2. 変動する音環境下での音源分離

2.1 音環境の変動検出

音源は Fig. 1 のような話者音声で、観測信号は複数話者の同時発話となる場合を考える。また、二つのマイクロホン ($M=2$) による観測信号を用いる。

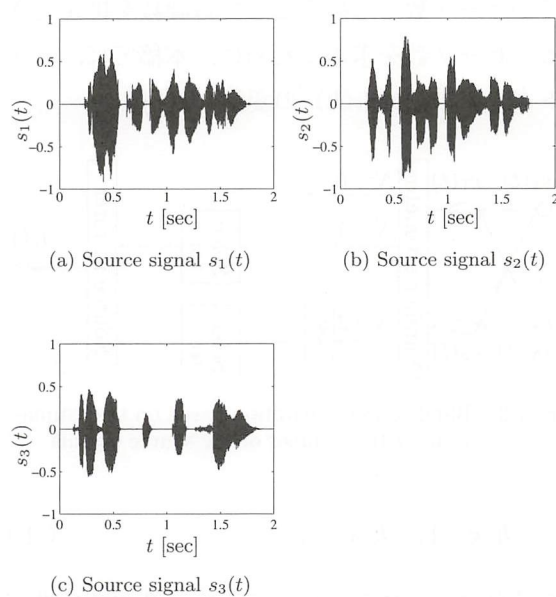


Fig. 1 source signals

まず、音源が存在しない場合、観測信号 $x_1(t)$ と $x_2(t)$ は共に振幅が 0 の信号となることは明らかである。したがって、全ての観測信号の振幅が 0 と判断できるときには、音源数は $N=0$ と容易に推定できる。

次に、音源が一つ (Fig. 1 の $s_1(t)$ のみが存在) の場合、観測信号 $x_1(t)$ と $x_2(t)$ は Fig. 2 のように得られる。観測信号は音源からマイクロホンまでの減衰率が異なるだけなので、振幅のスケールが異なる波形となる。

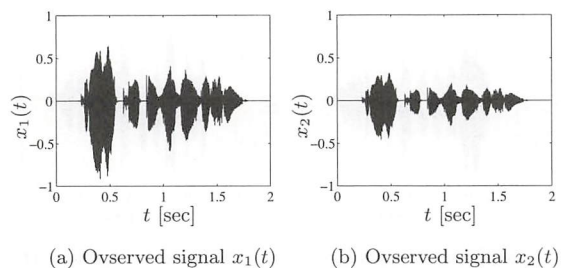


Fig. 2 Observed signals ($N=1$)

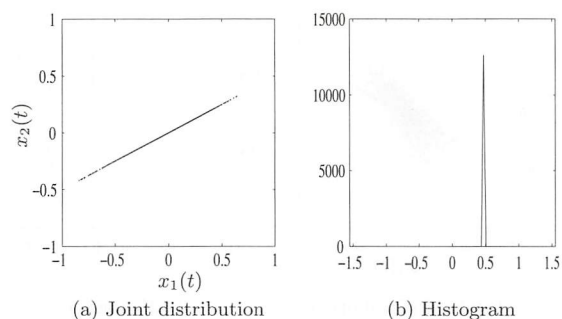


Fig. 3 Joint distribution and histogram ($N=1$)

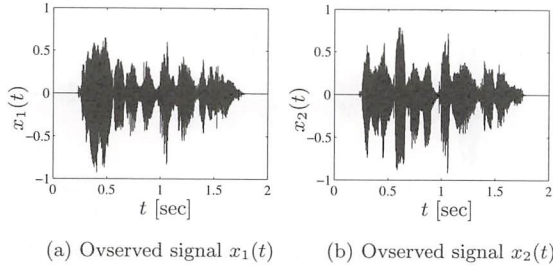
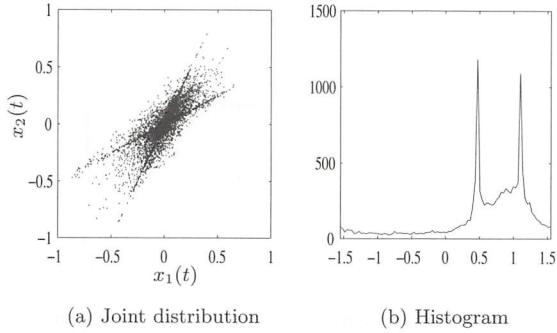
このときの観測信号の同時分布を Fig. 3 (a) に示す。グラフの横軸は $x_1(t)$ 、縦軸は $x_2(t)$ である。図から、スケールのみが異なるため同時分布は直線になることが分かる。また、この分布の方位に対するヒストグラムを Fig. 3 (b) に示す。すなわち、各観測時刻における角度 θ を

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{x_2(t)}{x_1(t)} \quad (3)$$

を計算して、その角度に対するヒストグラムを作成する。横軸は $-\pi/2 \sim \pi/2$ [rad] の同時分布の方位、縦軸はその方位に対する頻度を示す。同時分布が一方向のみに存在するため、ヒストグラムは一つの尖ったピークを持つ。

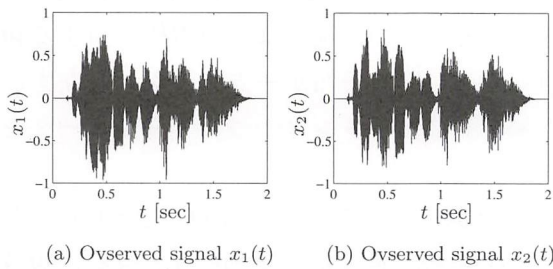
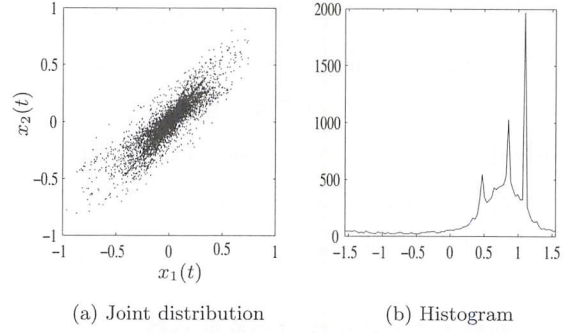
音源が二つ (Fig. 1 の $s_1(t)$ と $s_2(t)$ が存在) の場合、観測信号は Fig. 4 となる。複数の音源が混合したため、二つの観測信号の波形は全く異なる形状になることが分かる。

観測信号の同時分布を Fig. 5 (a)、そのヒストグラムを (b) に示す。(a) の同時分布から二本の直線上に多く分布していることが分


 Fig. 4 Observed signals ($N = 2$)

 Fig. 5 Joint distribution and histogram ($N = 2$)

かる。このことは、(b) のヒストグラムが二つの尖ったピークを持つことから明確である。

最後に、 $N = 3$ (Fig. 1 の $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$ が存在) の観測信号は Fig. 6 のように得られる。この同時分布を Fig. 7 (a) に、そのヒストグラムを (b) に示す。(a) の同時分布では特徴を見出すことが困難であるが、(b) のヒストグラムでは三つの尖ったピークの存在を確認できる。


 Fig. 6 Observed signals ($N = 3$)

 Fig. 7 Joint distribution and histogram ($N = 3$)

2.2 音源数推定

上述の事実から、観測信号の同時分布から作成されるヒストグラムは、音源数と等しい数の尖ったピークを持つことが分かる。したがって、このピーク数を求めることで音源数を推定できる。ピーク数を求めるために、本稿では、ヒストグラムの振幅 $h(k)$ の変動に着目し

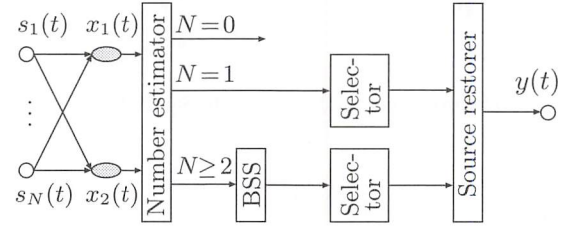


Fig. 8 Blind source separation based on the estimation for the number of the source signals

$$h(\kappa+1) - h(\kappa) \geq \varepsilon \quad (4)$$

を満たす点の数を求めることで、音源数を推定する。ここでは、 κ はヒストグラムのフレーム番号、 ε は閾値である。

2.3 変動する音響環境下での音源分離

音源数を推定した後、その数によって Fig. 8 のように音源分離や雑音除去の処理を行う。すなわち、音源数が 0 と推定された場合、何も出力しない。音源数が 1 と推定された場合、その音が目的音源と判断したときのみ出力する。音源数が 2 以上の場合、ブラインド信号分離によって音源分離し、分離記号から目的音源を選択し、出力する。以上の処理によって、変動する音響環境下での音源分離が実現可能となる。

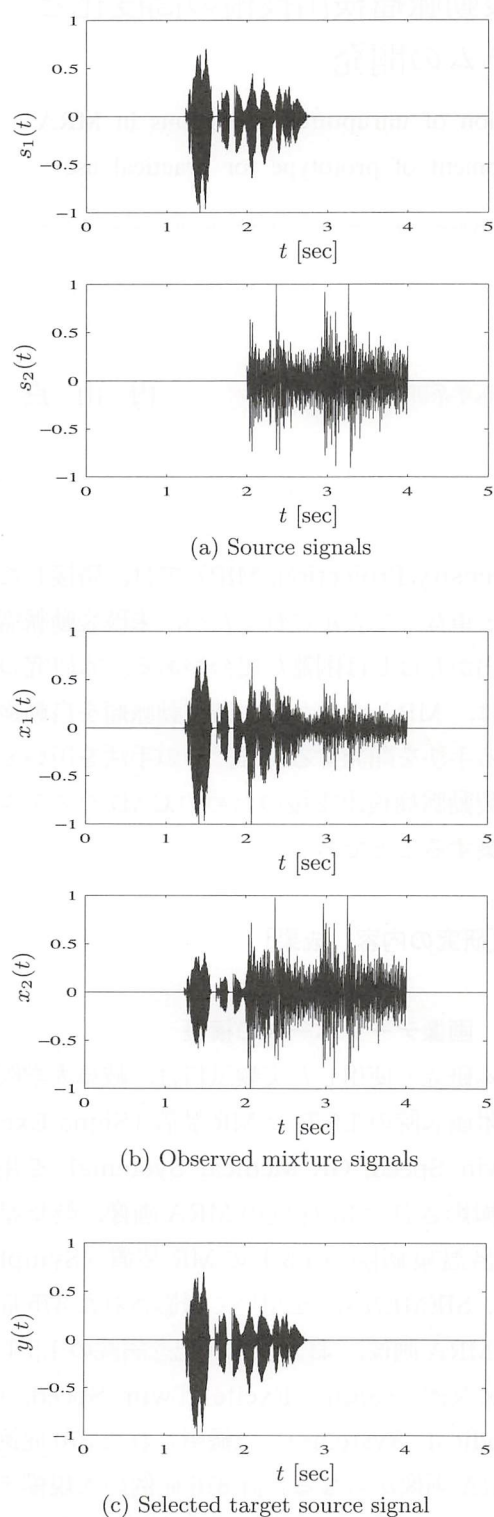


Fig. 9 Experimental results on blind source separation under a dynamic acoustic environment

3. 実験結果

本研究手法の有効性を検証するために実験を行った。音源は Fig. 9 (a) のように音源数が変動する音声を用いた。すなわち、混合信号の

約 0 ～ 1 秒は $N = 0$ ，約 1 ～ 2 秒は $N = 1$ で目的音声のみが存在し，約 2 ～ 3 秒は $N = 2$ ，約 3 ～ 4 秒は $N = 1$ で雑音のみが存在し，約 4 ～ 5 秒は $N = 0$ とした。また，目的音声は $s_1(t)$ とした。これらの観測信号は (b) であり，観測信号から音源の波形や発話区間を判断することは困難である。観測信号を 0.5 秒ごとに分離した結果が (c) である。提案法は目的信号 $s_1(t)$ を抽出可能であり，その有効性が確認された。

[今後の研究の方向，課題]

音源分離や雑音除去に限らず，音響信号処理の分野における大きな問題に，高残響下で高精度に機能する処理方法の確立が挙げられる。本研究においても，高残響下で機能するアルゴリズムを開発することが今後の研究の方向である。また，本研究の実用化へ向けたアプリケーションの開発についても研究を進める予定である。

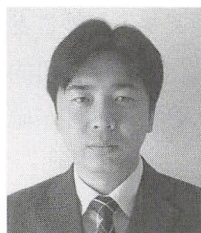
[成果の発表，論文等]

1. 石橋孝昭，井上勝裕，五反田博：ブラインド信号分離の基本的手法とその応用，システム制御情報学会誌，Vol. 54, No. 8 (2010)
2. T. Ishibashi, K. Inoue, H. Gotanda and K. Kumamaru: Frequency Domain Independent Component Analysis Without Permutation and Scale Indeterminacy, Proceedings of the 41 st ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp. 190 – 195 (2009)
3. 石橋孝昭，中島栄俊，岩崎宣生，五反田博：独立成分分析の初期値設定に関する考察，第 53 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集，pp. 721 – 722 (2009)
4. 石橋孝昭，五反田博：音響信号のリアルタイムブラインド信号分離に対する試み，第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集，pp. 519 – 520 (2010)

大規模脳 MRA 画像を用いた未破裂動脈瘤検出技術の高度化と その実用化システムの開発

Improvement of computerized method for detection of unruptured aneurysms in MRA
images using large image database and development of prototype for practical use

1091003



研究代表者

岐阜大学大学院 医学系研究科 准教授

内 山 良 一

【研究の目的】

1日に数百枚の読影を行う環境では、時として疲労による見落としが起こる。そこで、コンピュータを用いて異常陰影を自動的に検出し、その場所を“第二の意見”として医師に提示することによって診断の正確度を高めることを目的としたコンピュータ支援診断(Computer-Aided Diagnosis, 以下, CAD)に関する研究開発が行われている。これまでは、おもに胸部、乳腺、大腸のCADに関する研究開発が活発に行われ、CADソフトウェア企業も登場した。CADの概念は、他の臓器の疾患に対しても応用可能であり、近年、脳を対象としたCADが注目されている。

胸部、乳腺、大腸のCADがスクリーニングにおける病巣の検出支援を目的に研究開発が行われ実用化が進んできたことから、脳の病気のスクリーニングへの応用が最初のステップとの考えが自然であろう。本邦では、脳の病気を早期に発見し対処することを目的とした脳ドックが行われてきたことから、まず、脳ドックにおけるCADに着目した。

脳ドックの第一の目的は未破裂動脈瘤の発見である。未破裂動脈瘤の破裂は、くも膜下出血の主な原因であるため、破裂する前に発見することが重要である。しかし、MRA画像の読影に使用されている最大値投影表示(Maximum

Intensity Projection, MIP)では、隣接した血管と重なって表示されるため、未破裂動脈瘤の検出がしばしば困難な場合がある。本研究の目的は、MRA画像から未破裂動脈瘤を自動検出する手法を開発すること、その手法を用いて未破裂動脈瘤検出支援のためのCADシステムを構築することである。

【研究の内容、成果】

1. 画像データベースの構築

本研究で使用した実験試料は、岐阜大学医学部附属病院の1.5TのMR装置(Signa Excite Twin Speed, GE Medical Systems)を用いて撮影された31症例のMRA画像、岐阜県立下呂温泉病院の1.5TのMR装置(Symphony, SIEMENS)を用いて撮影された475症例のMRA画像、および木沢記念病院の1.5TのMR装置(Signa Excite Twin Speed, GE Medical Systems)で撮影された370症例のMRA画像からなる合計876症例の大規模データベースである。これらのMRA画像は正常症例と未破裂動脈瘤を含む異常症例が含まれている。すべての未破裂動脈瘤の位置は2名の神経放射線科医によって決定した。

収集したMRA画像は病院間で撮影のための仕様が異なるため、すべてのMRA画像を線形補間法によって3次元の等方性のボリュー

ムデータに変換した。ボリュームデータは $400 \times 400 \times 200$ ボクセル、ピクセルサイズを 0.5 mm とした。

2. 動脈領域の抽出手法の高度化

2.1 濃度階調変換による画素値の補正

MRA 画像の画素値は症例ごとに異なる。そこで、濃度階調変換処理を適用することによって画素値を 0 から 1024 になるように補正した。まず、3次元 MRA 画像から画素値の濃度ヒストグラムを作成し、画素値の高い方から上位 0.1% の面積になる画素値を求め、この画素値以上の値を持つボクセルをすべて 1024 に変換した。つぎに、残りのすべてのボクセル値を最小値 0 から最大値 1023 になるように線形濃度階調変換を行った。濃度階調変換処理を加えることによって、動脈領域とそれ以外の領域の分離が良くなり、以降の動脈の抽出処理を適用しやすくなる効果がある。

2.2 SSDA 法による位置の補正

本研究で使用した画像データは、3つの施設で撮影されたため、施設の違いにより脳の表示位置が異なる。具体的には、画像の中心に脳の位置を合わせたもの、画像の左上が基準になるように脳の表示位置を合わせたものである。各人の動脈の解剖学的位置は、ほぼ同じであるため、動脈領域の抽出に解剖学的な位置情報を利用することは有用である。しかし、位置情報を利用するためには共通の座標軸で表現できるように位置情報を補正しなければならない。3次元的に位置情報を補正した場合には多くの計算時間がかかるため、本研究では XY 方向についてのみ位置の補正を行った。Z 方向の補正を行えば Z 方向の情報を使用できるため、動脈領域を正確に抽出しながら、さらに多くの偽陽性を削除することが可能である。しかし、実用化の観点からは、前処理である動脈領域の抽出に多くの処理時間をかけることは好ましくないため、ここでは精度を下げて処理時間を優先した。位置の補正は、参照画像と処理対象画像の

動脈領域をマッチングすることにより平行移動量を求める手法を用いた。

画像データベースから動脈が認識しやすい標準的な症例を参照画像として 1 症例選択し、XY 方向の MIP 画像を作成した。つぎに、2次元 MIP 画像の動脈領域を手動で抽出して 2 値化を行い、動脈領域を取り囲む矩形領域からなるテンプレート 2 値化画像を作成した。処理対象画像は前節で述べた濃度階調変換により単純な閾値処理で大まかな動脈領域を抽出することが可能である。処理対象画像の動脈領域を閾値処理で抽出したのち、処理対象画像の動脈領域と参照画像のテンプレート画像が重なる領域を計測することによって処理対象画像の動脈領域の位置を特定し平行移動量を求めて位置の補正を行った。本研究では探索時間を短縮するために SSDA 法を用いた。

2.3 動脈領域の抽出

太い動脈は血流量が多いために高いボクセル値を持っている。そこで閾値 700 以上のボクセル値を持つ領域を閾値処理により抽出し太い動脈領域とした。しかし、血流量の少ない細かい動脈領域は低いボクセル値であるため、細かい動脈領域を抽出するために低い閾値を適用した場合には多くの偽陽性領域も同時に抽出させる問題が起こる。細かい動脈領域は先に抽出した太い動脈領域と血管によって結合した領域であることから、領域拡張法を用いて太い血管領域を拡張することにより細かい動脈領域が抽出できると考えた。そこで、閾値処理で抽出した太い動脈領域をシード点とし、各シード点の 26 近傍のボクセル値を調べ、そのボクセル値が 350 以上である場合にそのボクセルを動脈領域として新たに追加する処理を領域拡張が終了するまで繰返し行った。この処理により太い動脈領域から細い動脈領域に抽出領域を拡張することが可能である。

2.4 偽陽性領域の削除

上記の処理で多くの動脈領域を抽出することが可能である。しかし、抽出した領域には偽陽

性領域が含まれる。そこで、抽出した各領域から体積と位置に関する特徴量をそれぞれ計測し、それらを用いたルールベース法によって偽陽性領域を削除した。体積は候補領域のボクセル数として与えた。偽陽性領域の一部は、動脈領域と比較して、明らかに小さいものがあるため、体積の情報を用いることによって、これらの偽陽性領域を削除することができる。また、位置情報は、候補領域の2値画像の重心のX、Y座標として与えた。前節で述べた位置の補正を行った位置情報は、共通の座標軸で表現できているため、ここで求めた位置情報は解剖学的な場所と一致している。抽出すべき動脈領域は画像の中心に存在しているため、求めた候補領域の重心座標が脳の周辺部に位置する場合には、偽陽性領域として削除することができる。

3. 未破裂動脈瘤検出手法の高度化

3.1 初期候補領域の決定

未破裂動脈瘤を強調するために、抽出した動脈領域に対してベクトル集中度（Gradient Concentration, GC）フィルタを加えた。GCフィルタとは、画素値の濃度勾配の集中度合いを計測するものであり、未破裂動脈瘤のように形状が球形のものに対して大きな値を出力する。正常な血管は形状が円筒形に近いため、GCフィルタの出力値は球形状である未破裂動脈瘤の領域と比較して小さい。そこで、GCフィルタの出力値が決められた閾値以上の領域を抽出することによって、未破裂動脈瘤の可能性の高い初期候補領域を検出した。

3.2 画像特徴量の計測

上述した手法を適用することによって未破裂動脈瘤を検出することができる。しかし、これらの初期候補領域には、正常な血管の一部も含まれる。そこで、これらの偽陽性を削除するために、それぞれの候補領域から4つの画像特徴量を計測した。これらの画像特徴量は、体積、球形度、候補領域内のGCフィルタ出力値の平均値、および候補領域内のGCフィルタ出力値

の最大値である。いくつかの偽陽性の体積は、動脈瘤の体積よりも、より小さいか、またはより大きい場合、体積を特徴量として用いることによって偽陽性を除去できる。また、いくつかの偽陽性の形状は、線状、または動脈瘤と比べて歪であるため、球形度を用いることによってこれらの偽陽性を削除できる。また、体積が小さくGCフィルタの出力値が小さい偽陽性が含まれているため、特徴量を組み合わせた情報を用いることによって、これらの偽陽性を削除することもできる。

3.3 偽陽性の削除

初期候補領域から偽陽性を削除するために、まず、ルールベース法を適用した。各特徴量における最大値と最小値を経験的に決定したのち、初期候補領域から計測した画像特徴量が決められた最大値と最小値の範囲内にある場合には、未破裂動脈瘤の候補とし、範囲外にある場合には偽陽性として削除した。ルールベース法では、はずれ点（Outlier）を効果的に削除するため、この処理により明らかな偽陽性が除去される。

つぎに、画像特徴量を入力した2次識別器を適用した。2次識別器は特徴量空間を2つのクラス、すなわち未破裂動脈瘤クラスと偽陽性クラスに分割する識別境界を生成する。2次識別器の出力値は、未破裂動脈瘤の可能性を示すため、その出力値を閾値処理することによって最終的な未破裂動脈瘤の候補を決定することができる。

4. 本研究の成果

(1) 脳MRA画像における動脈領域抽出の手法を高度化した。大規模データベースを用いた評価では、98.1%の症例で正確に動脈領域が抽出できることを示した。

(2) 動脈領域の抽出手法を改良することができたため、未破裂動脈瘤と正常な血管の形状に関する特徴を計測する精度が向上した。実験の結果、未破裂動脈瘤の検出率が100%のとき、1症例当たりの偽陽性数1.54個（従来手法で

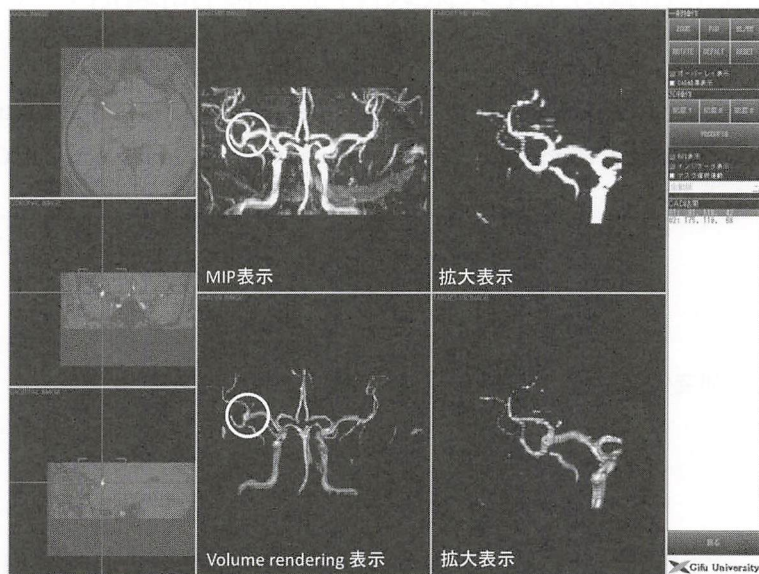


図1 未破裂動脈瘤の検出支援システム

は2.12個)を実現することができた。

(3) 図1は、本研究で開発した未破裂動脈瘤検出支援システムである。上段に脳MRA画像のMIP表示を、下段にボリュームレンダリングによる表示を出力することができる。未破裂動脈瘤の候補領域を自動的に検出ことができ、その候補領域をクリックすることによって、右側のウィンドウに拡大画像を出力することができる。医師は、コンピュータの出力結果を参考にして最終判断を下すことができるため、見落としを防ぐ効果が期待できる。

〔今後の研究の方向、課題〕

(1) 未破裂動脈瘤を含んだ症例を多く収集し、画像データベースの内容を充実させる必要がある。この画像データベースを用いて未破裂動脈瘤の検出手法を評価し、改良を加えることによってシステムの検出性能を高める必要がある。(2) また、開発した未破裂動脈瘤の検出支援システムを使用した場合に、診断の正確度が向上するかを調べるための読影実験を行い、その効果を検証する必要がある。

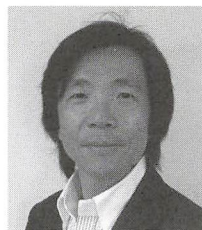
〔成果の発表、論文等〕

- [1] Y. Uchiyama, T. Asano, T. Hara, H. Fujita, Y. Kinoshita, T. Asano, H. Kato, M. Kanematsu, H. Hoshi, T. Iwama: Performance evaluation of an automatic segmentation method of cerebral arteries in MRA images by use of large image database, SPIE Medical Imaging: Computer-aided diagnosis, vol. 7260, pp. 72602 J-1 ~ 72602 J-7 (2009)
- [2] 浅野龍紀, 内山良一, 浅野隆彦, 加藤博基, 原武史, 周向栄, 岩間亨, 星博昭, 紀ノ定保臣, 藤田広志: MRA画像における脳動脈領域の抽出法—大規模データベースを用いた評価—, 医用画像情報学会雑誌, 27(3), pp. 55-60 (2010)
- [3] 浅野龍紀, 内山良一, 横山龍二郎, 原武史, 藤田広志, 岩間亨, 星博昭: 大規模データベースを用いたMRA画像における脳血管領域の検出法の開発と評価, 電子情報通信学会技術報告, 109(65), MI 2009-25, pp. 135-139 (2009)
- [4] Y. Uchiyama, T. Hara, H. Fujita, T. Iwama, H. Hoshi, Y. Kinoshita: Computer-aided diagnosis scheme for detection of intracranial unruptured aneurysms in MR angiography, 13th Asian Oceanian Congress of Radiology (AOOCR), Taipei, p. 481 (2010) (The Best Paper Awardを受賞)

完全埋込型人工心臓用生体共振式体内－体外間通信システムの開発

Development of Intrabody Communication System for Totally Implantable Artificial Heart by means of Electrical Resonance between Human Body and Electrical Circuit

1091004



研究代表者 東海大学 生物工学部 生体機能科学科 教授 岡本 英 治

〔研究の目的〕

経皮的情報伝送システムは、体内に埋め込んだ人工臓器のモニタリングとパラメータ設定などのため埋込型人工臓器の鍵となる要素技術の一つである。そこで本研究では生体組織の電気伝導性を利用し、生体に直接に電流を流し体内－体外間の通信を行う新たな経皮的情報伝送システムを考案した。生体に直接に電流を流し通信を行う研究は、ウェアラブルコンピュータのデータ通信用にすでに研究が行われているが、生体のコンデンサとしての性質まで考慮した通信システムはない。また生体に電流を流し通信する方式の体内－体外間双方通信への応用に関する研究はない。

そこで生体の電気的特性をより積極的に利用する体内－体外間高速通信システムに関する研究を行ったので報告する。

〔電子回路－生体共振系に関する検討〕

細胞の等価的電気回路は、抵抗とコンデンサの直並列回路により表現される。従って細胞の集合体である我々の身体は、導体としての特性のみならずコンデンサとしての性質も利用できる可能性がある。そこでコイルを介して生体に高周波電流を流し生体を電子回路の一部とし共振回路系を構築できるか検討した。

最初に生体を電子部品の一つとする共振回路

に関する実験を行った。図1に概要を示す。ヒト体表上に銀－塩化銀電極（ライフメッド、S-30、東京）を装着し、長さ70 cm程度のシールド線を介しコイルから高周波電流をヒトに供給し電極部位の電位を測定した。その結果、同調用コンデンサを変化させることで共振回路を構築できた。しかしシールド線を20 cmとしたところ共振は起きなかった。そこでシールド線部分がコンデンサとして機能していたと推測し図1下段に示す様にコンデンサを挿入したところ再び共振を確認した。

図1下段の回路系で同調用可変コンデンサを変化させた時の電極部電圧の変化を図2に示す。被験者は体重の異なる二人の健康男性であるが、両者とも410 pFで同調がとれ共振が成立した。

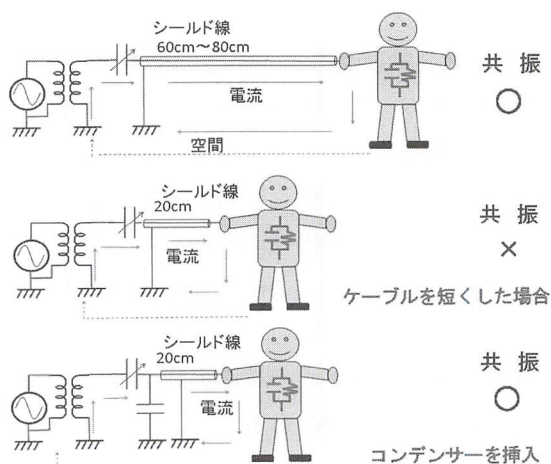


図1 生体－回路系共振回路の実験

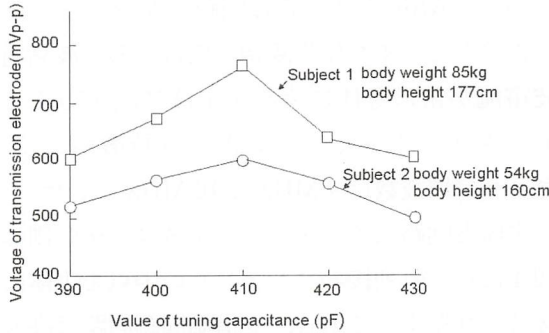


図2 ヒト一回路共振系の同調特性

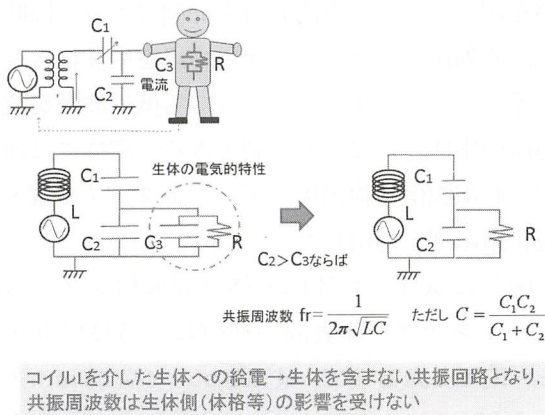


図3 生体一電子回路系共振回路の検討

体格が異なれば異なる静電容量をもつはずである。そこで生体を含む共振回路系において、体格の異なるヒトでなぜ同じ同調用コンデンサの値で共振がとれたのかについて検討した(図3)。図1下段のヒトを含めた回路系は図3の右図として記すことができる。ここで外付けコンデンサ C_2 と生体内在のコンデンサ C_3 の容量を比較した時、 $C_2 > C_3$ の場合は図3右図の回路図となり、回路系共振周波数は外付けするコンデンサ C_1 、 C_2 で決定され、生体を一部とする回路系における共振周波数は生体の体格の影響を受けないと考えた。

図3の推論を検証するために、図3上段の回路にて、 $C = C_1 = C_2$ とし C を変化させ共振特性を測定した。使用したトランスの出力側インダクタンスは $11.5\mu\text{H}$ である。また生体に供給した高周波電流は 4MHz であり、共振時のコンデンサ容量は図3中の式より、計算上は 138

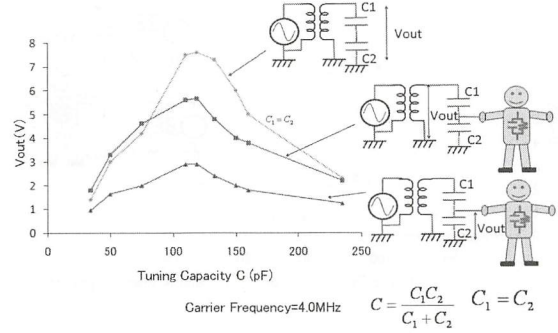


図4 電子回路一体系の共振特性の比較

pF となる。実験の結果を図4に示す。生体を接続せずにコイルとコンデンサのみで共振を取った場合が上段のグラフ、生体を接続し共振を取った場合のコイル両端電圧が中段のグラフ、そして生体の電極位置での電圧が下段のグラフである。3つのグラフより生体の接続の有無にかかわらず共振時のコンデンサ容量は計算値に近い約 120pF で一致していることより図3の推定が正しいことが示されている。

生体の電子回路系の共振に与える影響は図4の生体なし(上段グラフ)及び生体接続時(中段グラフ)のコイル端電圧の比較でわかる。同調用コンデンサの容量が小さい $40\text{pF} \sim 80\text{pF}$ の周波数領域において生体を接続した方の振幅が大きくなっている。これは同調用コンデンサに生体のコンデンサ分が加わり共振に近づいた効果と考えており、生体のコンデンサ成分の大きさは 10pF 程度と推定している。

図4より共振時の電圧はコイル端が大きいことよりコイル端を生体に接続する方法も考えられる。そこで図5に示すようにコンデンサ一つで可変にし出力端の電圧特性を測定した。その結果、生体に接続しない場合は図4と同じ特性となるが、生体を接続した場合出力端の電圧は共振カーブを描かず共振点より低い周波数帯域では波形のひずみが生じ振幅が小さくならなかった。ただし波形は 120pF 近傍で最もきれいな正弦波波形となり、図4と同様に 120pF 近傍で共振していた。

以上の実験結果より、生体に電流を流し通信

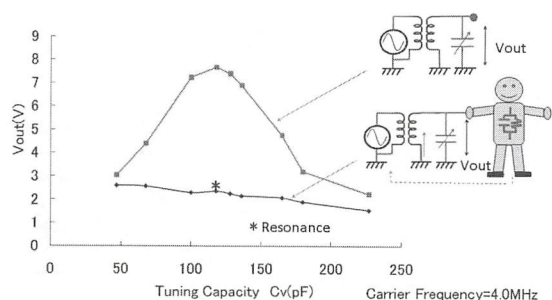


図5 コンデンサーつでの同調特性

をするシステムでは生体のコンデンサ分の影響は小さいが、コイルを介して生体に電流を流しコンデンサを設置して共振回路系を構成することで効果的に電流を生体に流すことができると思われる。

生体に流した電流の受信にはできる限り高いインピーダンスで受けることが最適であり、受信回路の生体インターフェイス部分においても生体と並列にコイルとコンデンサを配置し並列共振系を構築することとした。

〔体内－体外間通信システムの開発〕

図6に体内－体外間高速通信システムの構成を示す。体内側および体外側の通信ユニットは、ASK 変調回路、ASK 復調回路、フローティング回路、電極から構成し、電極を介して ASK 変調電流を流し、双方向全二重通信を行うもの

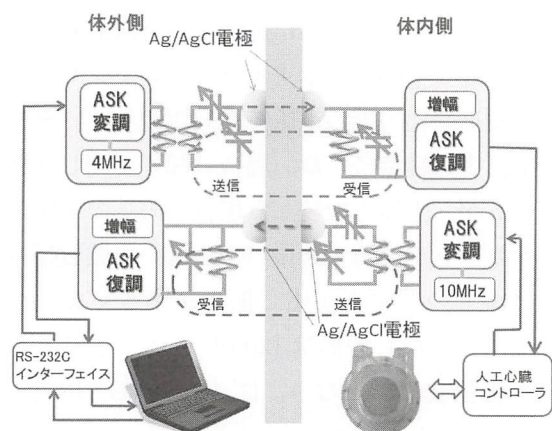


図6 体内－体外間通信システムの構成

である。ASK 変調方式は回路系をシンプルにできること、また位相変調と異なり搬送波高周波電流が常に身体に流れず生体に流す電流をトータルで小さくできるという特徴がある。キャリア周波数は 4 MHz と 10 MHz とした。

生体と回路系インターフェイスは、送信側は図4に示す直列接続コンデンサの midpoint を生体に接続し共振をとる方式、受信側同調回路は高入力インピーダンスで受信する並列共振方式とした。トランスを介して給電することで生体に感電を起こしやすい直流成分を抑制できると同時に、直列接続のコンデンサの midpoint を生体に接続することでコンデンサによっても低周波数交流電流の生体への侵入も抑制できる。電極には前述の心電図信号検出用のディスポタイプの銀・塩化銀電極を使用した。

図7に試作した体内－体外間通信システム ver. 1 を示す。体表間の通信による性能評価を目的としたもので、縦 100 mm×横 60 mm×高さ 35 mm である。プラスチックケース表面に送信用及び受信用の銀－塩化銀電極を配置している。

この試作した体内－体外間通信システムをヒトの体表上に装着し通信特性を測定した。被験者は身長 177 cm で体重 88 kg の成人男性である。体内側ユニットと体外側ユニットにそれぞれパーソナルコンピュータを接続し伝送実験を行った。両ユニットの電源は別電源を使用した。

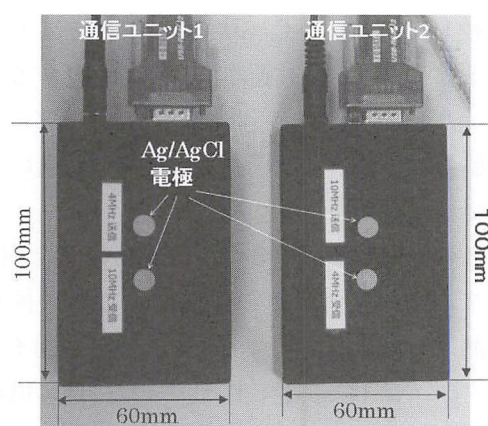


図7 試作した体内－体外間通信システム ver. 1

通信条件は、全二重通信下に、データ長 8 ビット、ストップビット 1、パリティなしとして、双方向に 8 ビットバイナリーデータ (0 ~ 255) を同時に送信し、それぞれの受信データの誤り率から通信特性を評価した。体表間通信の起点を左前腕部とし、前腕部間、左右の前腕部間、左前腕-腹部間、そして左前腕-左足脛部間で通信実験を行った。その結果を図 8 に示す。左前腕部を起点に 3315 バイトのデータ送受信を全二重通信で双方向に同時に行ったところ、最短の左前腕部間から最長の前腕部-左足脛部まで通信速度 115.2 kbps でデータ誤り率 0 % で情報通信を行うことができた。このときの生体に流れた実効電流は 7 mA であった。

次に体内-体外間通信や体内-体内間通信が可能か検証するために体内-体外間通信システ

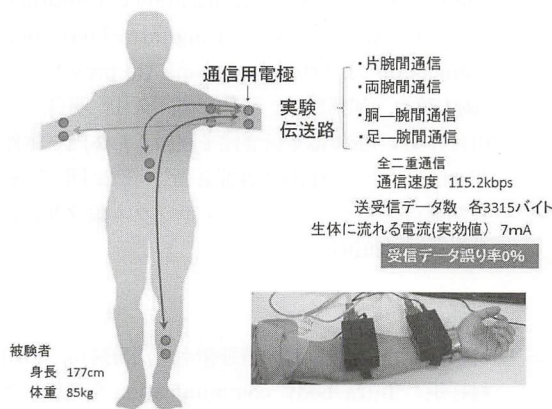


図 8 ヒト体表間の通信実験と結果

ム ver. 2 を試作した。その外観を図 9 に示す。試作した回路は ver. 1 と同じものを体内に埋込易いよう円形プリント基板化し、それを直径 62 mm で厚み 22 mm のポリウレタン樹脂で製作したケースに設置し、その後にエポキシ樹脂を流し込封入したものである。送受信用の電極には前述の銀-塩化銀電極を使用した。

この試作した体内-体外間通信システム ver 2 をプラスチックケースに満たした生理食塩水中に沈めて水中間通信実験を行った (図 10)。通信条件及び通信方法は図 8 の実験と同様である。その結果、水中間距離 25 cm で 115.2 kbps で全二重通信で双方向同時にデータ伝送を行うことができた。

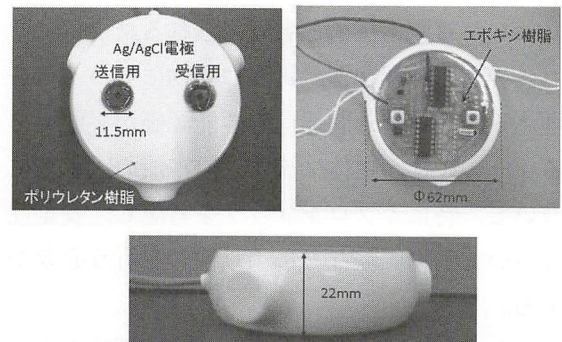


図 9 体内-体外通信システム ver. 2 の試作

通信条件 全二重通信

通信距離 250mm

通信速度 9.6k~115.2kbps

通信データ(双方向同時送信)
1024バイト(00~FFH)

結果

通信速度115.2kbpsで通信エラー 0%

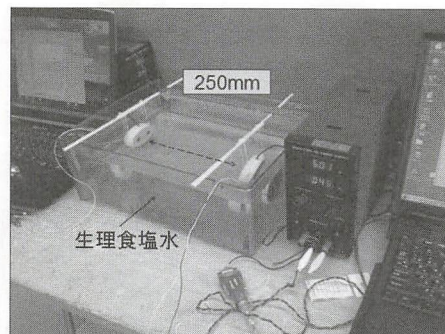


図 10 体内-体外間通信システムの生理食塩水における通信特性

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、生体に直接高周波電流を流し体内－体外間通信を行う新しいコンセプトの経皮的体内－体外間通信システムの開発を行った。その結果、従来に開発を行ってきた電磁誘導方式及び微弱無線方式の経皮的情報伝送システムより生体に電流を流す本方式の方が遙かに優れた通信性能を有することが明らかになった（図8）。本研究で開発した体内－体外間通信システムは、人工心臓のみならず、ペースメーカや埋込型除細動器などの体内埋込型人工臓器、カプセル内視鏡、その他の体内埋込型治療計測機器の体内－体外間テレメータ装置として最も期待できる方式の一つと考えている。また本研究の通信技術は、体表間通信において優れて通信特性を有するため、心電図計測のように体表上に有線的に電極を配置する生体計測機器において、有線式に変わる新たな医療計測機器の実現につながる要素技術とも考えられる。

今後の研究課題は、実際に動物にデバイスを埋込み体内－体外間通信の性能評価が必要である。その後に、生体に流す通信電流の大きさについて、特にマイクロショックを考慮し、安全性について動物実験などにより検討を行う必要がある。

また人工心臓をはじめとする体内埋込み人工臓器のモニタリングに使用する場合、生体－電子回路のインターフェイス部、すなわち電極部分の長期安定性が重要である。現在、ブレイ

ンマシシインターフェイス等で、生体電気信号 pickup 用電極は多くの研究がなされているが、生体に電流を長期にわたり流す電極に関しては生体電気刺激装置用白金イリジウム電極以外に存在しない。しかし生体電気刺激に用いる電流と比較し遙かに周波数の高い通信電流を生体に印加することに適した電極に関する研究は行われていない。体内側通信ユニットは体内の何処に埋め込んでよいが、通信の安定化には電極－生体組織間の電氣的安定性が要求され、既存にはない新たな体内埋込み通信用電極の開発が必要になると考えている。

[成果の発表、論文等]

論文等

1. Eiji Okamoto, Yusuke Sato, Kazuyuki Seino, Takashi Kiyono, Yoshikuni Kato, Yoshinori Mitamura: “Basic study of transcutaneous information transmission system using intra-body communication”, J. Artificial Organs (in press)
2. 岡本英治, 加藤良都, 清野隆司, 久住 明良, 三田村好矩: “生体電気伝導性を利用した体内－体外間通信システムの試作と性能評価”, 第22回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム論文集, p. 418-421 (2010)

研究発表

1. 岡本英治, 加藤良都, 情野和幸, 清野隆司, 三田村好矩: “Intra-body communicationを適用した経皮的情報伝送システムの開発”, 第47回人工臓器学会大会 (2009年11月12日～14日, 新潟)

他7件

粒子フィルタを用いた注意の相互制御による注視動作モデルの検討

Gaze Control by Particle Filter-based Visual Attention Model

1091005



研究代表者

京都工芸繊維大学 情報工学部門 助 教

尾 関 基 行

〔研究の目的〕

本研究では、トップダウン/ボトムアップ相互制御による注視動作を備えたロボットを構築する。ここでは、これら2種類の注意のうち、主にトップダウン注意のモデル化を行う。ヒトはトップダウン注意によって、何/何処/どんな風に注意を払うかを制御している。しかし、従来の注視制御モデルでは「何/何処」にのみ焦点が当てられており、「どんな風に」については明確に扱われてこなかった。そこで本研究では、「何/何処」に加え、「どんな風に注意を払うか」まで制御することのできる新しい注視動作モデルを提案する。

〔研究の内容、成果〕

1. 視覚的注意

ヒトの視覚的注意には2種類あり、反射的・刺激駆動的に引き起こされるボトムアップ注意と、意図的・知識駆動的に引き起こされるトップダウン注意がある。ボトムアップ注意は視覚情報処理と並行して一次視覚野から脳の前方に上っていき、トップダウン注意は前頭葉-頭頂葉ネットワークから脳の後方に下っていくと考えられている。

ボトムアップ注意については、KochやIttiらのSaliency Mapをはじめとして、多くのモデルが提案されており、その有効性が確かめら

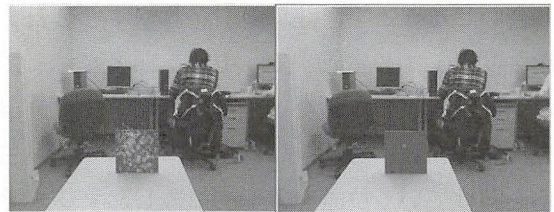


図1 赤い物体に対する注意（左：粒子フィルタによる注意領域の表現、右：注視点）

れている。一方で、注意を意図的に制御するトップダウン注意については、〔研究の目的〕にも述べたように、「どんな風に注意を払うか」を制御できるモデルがない。そこで本研究では、ボトムアップ注意についてはIttiらのSaliency Mapを用い、それと相互作用するトップダウン注意のモデルを独自に提案する。

本モデルでは、視覚的注意の工学的表現として粒子フィルタを用いることを特徴とする。図1左に示すように、粒子フィルタを物体追跡に適用すると、追跡対象となる物体が多数の粒子によって追跡される。これをロボットの視点映像と考えると、その粒子群の様子は追跡物体に向けられた“注意”のようにもみえる。そこで我々は粒子群をロボットの注意と見做し、「〇〇に対する注意」を「〇〇を追跡する粒子フィルタ」として表現することを考えた。

2. 提案モデル

システムの概要を図2に示す。まず、固定カメラからの入力画像を複製分岐して種々の特徴

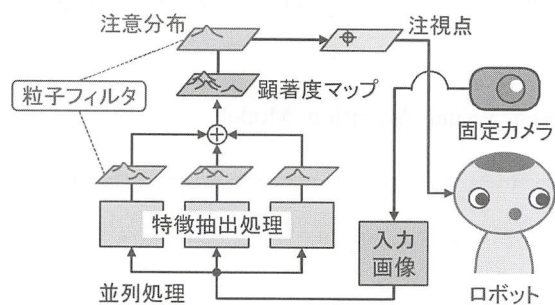


図2 システムの概要

抽出を行い、各処理の上で粒子フィルタを走らせる。次に、各粒子フィルタの粒子の分布を足し合わせることで、注意の引かれやすさを表す顕著度マップを生成する。更に、顕著度マップの上で粒子フィルタを走らせ、その粒子の分布を注意分布とする。注意分布は、ロボットが注意を向けている位置を確率的に表したマップである。最後に、注意分布の期待値を注視位置とし、ロボット頭部（首振りカメラで代用）に制御命令を送る。図2の粒子フィルタを除いた部分（青色で示した部分）はIttiらのSaliency Mapによるボトムアップ注意のモデルであり、その上に粒子フィルタを走らせることで注意の相互制御を実現している。

図3に示すように、粒子フィルタは、「各粒子の位置の予測→各位置での尤度計算→粒子群のリサンプリング」という手順を繰り返すことで、注目対象を多数の粒子で追跡する。以下、処理の流れについて概説する。

まず、予測に用いるシステムモデルによって、注意の動きのダイナミクスを決めることができる。現時点では、以下の等速運動モデルのみを

固定的に用いている。

$$x_t = x_{t-1} + d_t + N(0, v_t^2)$$

ここで、内部状態 x は視野空間における二次元座標ベクトルである。また、 d_t を《移動量》、正規分布に従う白色雑音 $N(0, v_t^2)$ の標準偏差 v_t を《システムノイズ》と呼ぶ。各粒子の位置は予測の際に《移動量》の値だけ移動され、更に《システムノイズ》の標準偏差を持った白色雑音によって微調整される。

顕著度マップ上の粒子フィルタの尤度関数は、粒子の位置 x を中心とした15画素四方の顕著度の平均値を返す関数とした。また、特徴抽出を兼ねる尤度関数を定義すれば、粒子フィルタで特徴抽出を同時に行うことができる。本実験で用いた赤色（緑色）を抽出する粒子フィルタは、粒子の位置 x を中心とした7画素四方の平均色を c_t 、検出対象とする赤色（緑色）を C として、以下のように尤度関数を定義した。

$$I_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}w_t} e^{-\frac{(c_t - C)^2}{2w_t^2}}$$

ここで、正規分布で表された尤度関数の標準偏差 w_t を《観測ノイズ》と呼ぶ。また、色の数値化にはHSV色空間のHue（色相）を用いた。

なお、リサンプリングの際、粒子フィルタではすべての粒子を復元抽出するのではなく、一部を一様分布に従って生成することによって、粒子が局所的な状態に集中することを回避する。その割合をここでは《ランダム粒子率》と呼ぶ。また、粒子フィルタでば撒く粒子の数を《粒子数》と呼ぶ。

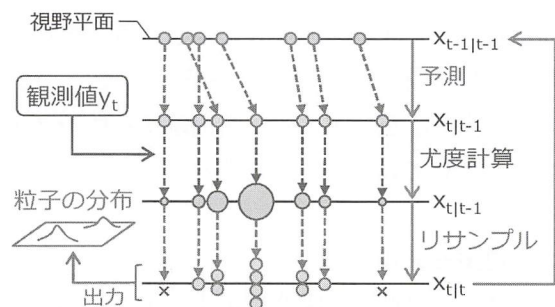


図3 粒子フィルタの処理の概要

3. 注視制御（パラメータ調節）

以上の説明において《・》で表していたものが粒子フィルタのパラメータである。本モデルのトップダウン注意は、特徴抽出処理上の粒子フィルタのパラメータを調整することで特徴抽出の結果に影響を与える。各パラメータと注意の特性の関係を以下に示す。

粒子数：重視する特徴を変化させる。《粒子数》

が大きい特徴ほど顕著度マップへの影響も大きくなる。

移動量：注意探索の方向性を変化させる。値を大きくすれば移動速度が増す。

システムノイズ：視野空間において注意の引かれる範囲を変化させる。《システムノイズ》が大きいほど視野空間の広い範囲に渡って特徴抽出処理を行うが、一方で粒子の密度が低くなって注意の強度が弱くなる。

観測ノイズ：特徴空間において注意の引かれる範囲を変化させる。《観測ノイズ》が大きいほど特徴空間の広い範囲に渡って尤度を付与するが、一方で与える尤度の値が小さくなる。

ランダム粒子率：周辺視野への注意の配分を変化させる。《ランダム粒子率》が大きいほど視野全体に注意を払うが、一方で一か所に注意を留めることが難しくなる。

4. 実験

4.1. 注視制御の例

3章で述べた注視制御によって、本モデルの注意分布が意図どおりに変化することを簡単な例によって確かめた。図4に、「どんな風に注意を払うか」を制御した一例として、「集中し

て」という注視制御を与えた例を示す。上段は入力画像に粒子と注視点を描画したもの、下段は注意分布を透過率で示したものである。パラメータの調整方法は図の右側に示した。

これらの結果より、粒子フィルタのパラメータを調整することによって、目的とする注意の振る舞いが実現されていることがわかる。

4.2. 「集中」と「散漫」の比較

「集中」と「散漫」という、相対する注視制御を行い、それぞれが人に与える印象を調べた。10人の被験者（20代の大学生・院生、男9/女1）を5人ずつの2グループに分け、注視点を描画したロボット視点映像（固定カメラ映像/図1右）と、ロボット頭部の様子（首振りカメラで代用/図5）をそれぞれ見せた。まず、被験者に「集中」と「散漫」が混在した6パターンの注視行動を見てもらった後、改めて2種類の制御結果をそれぞれ見せ、8組の形容詞対の5段階評価によって印象を答えてもらった。

8組の形容詞対より「集中しているー散漫な」を抜き出した結果を図6に示す。ロボット頭部を見て評価したグループでは意図したとおりの印象を与えた（両側検定、 $t(8)=4.74$, $p<.01$ ）が、ロボット視点映像を見て評価した

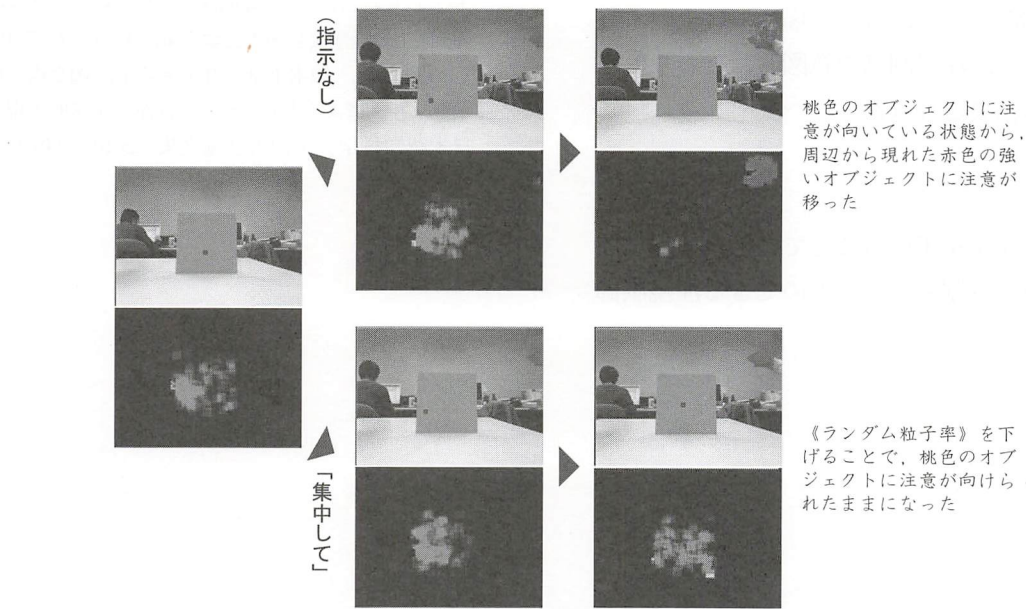


図4 「集中して」という注視制御を行った例

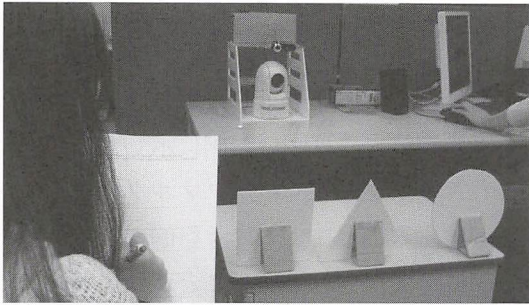


図5 実験の様子（ロボットに見立てたカメラが手前の3つのオブジェクトを追跡する）

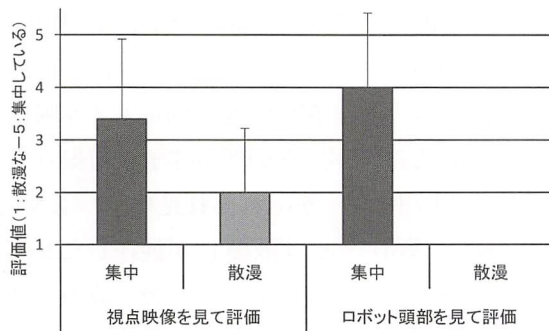


図6 実験結果（最右の散漫は全員が1を選んだ）

グループでは有意な差が出なかった。前半課題の自由記述によると、ロボット視点映像が被験者自身の視点と混同され、「散漫」の注意制御を「探索している」という能動的な行為と受け取った被験者がいたことが原因と考えられる。ロボット頭部を外部から見た場合にはそのような認識はなく、注視制御で意図したとおりの印象を与える結果となった。

5. まとめ

粒子フィルタを用いることで「どんな風に注意を払うか」を制御することのできる注視制御

モデルを提案し、ロボット頭部に見立てた首振りカメラに実装した。また、「集中」と「散漫」をそれぞれ表現する注視制御を施したロボット頭部の様子を被験者に見せたところ、意図したとおりの印象を与えていることが確認できた。

〔今後の研究の方向、課題〕

今後は、注視領域を切り出して画像認識を行い、認識結果をワーキングメモリに保持して、ロボットの語意獲得などに利用していくことを予定している。また、図4に示したように、本モデルによって抽出された注目領域は、我々の視覚的イメージに近い。これを応用し、視覚のワーキングメモリ（視空間スケッチパッド）の内容の映像表現についても取り組んでいきたい。

〔成果の発表、論文等〕

- [1] 尾関基行, 井上茉莉子, 柏木康寛, 岡夏樹: 粒子フィルタを用いた視覚的注意モデルの検討, HAIシンポジウム 2009 予稿集, 2C-2 (2009)
- [2] 尾関基行, 柏木康寛, 井上茉莉子, 岡夏樹: 特性をトップダウンに変更可能な視覚的注意モデルの検討, 第37回 知能システムシンポジウム論文集, pp.237-242 (2010)
- [3] 尾関基行, 井上茉莉子, 柏木康寛, 岡夏樹: 粒子フィルタを用いた視覚的注意モデルによる注視制御, 人工知能学会全国大会論文集, 3E1-3 (2010)
- [4] 尾関基行, 柏木康寛, 井上茉莉子, 岡夏樹: 粒子フィルタによるトップダウン注意の工学的表現, 日本認知科学学会全国大会論文集 (2010) (2010/9 発表予定)

環境モニタリングのためのマイクロ化赤外分光器

Miniature Infrared Spectrometer for Environment Monitoring

1091006



研究代表者

東北大学大学院 工学研究科 教授

小野 崇 人

[研究の目的]

工場、化学プラントや人間が作業する危険な場所で、ガスをモニターし、より安心・安全な社会の実現に貢献するためのマイクロ化赤外分光器センサの開発を行っている。本研究では、通常はデスクトップサイズのフーリエ変換型赤外分光器 (FTIR) の干渉計を、シリコンのマイクロ加工技術により、7 mm 角程度にまで小型化したので報告する。

フーリエ変換型の分光は、一般の分光に比べて感度が高く、高感度にガスや、液体、固体の化学成分を振動分光により調べることができる。FTIR では一般にマイケルソンモーレー型の干渉計が使われるが、この干渉計の分光できる波長帯は広く、近赤外領域から遠赤外領域の波長帯で使われる。

通常用いられる FTIR はデスクトップサイズであり、持ち運んで使えるものではない。もしこの FTIR がデスクトップサイズから手のひらに乗るサイズに小型化、かつ低コスト化できれば、この分光センサを様々な場所に設置し、ガスをモニタリングして、工場や化学プラントなどシステムの安全・安心のためのセンサとして応用できる。小型センサ群はネットワークで結ばれ、システムの高効率運用にも役立つ。二酸化炭素や一酸化炭素の排出なども同時にモニタリングでき、システムの温暖化ガス放出を抑えるのにも利用できる。また、空港などでのセ

キュリティー検査で麻薬や爆発物を検出するのに利用できるほか、リサイクルの現場で作業員がプラスチックの種類を選別するなどの応用も考えられる。赤外検査は非破壊で、人体にも全く影響なく安全である利点を有する。

以上の背景を踏まえ、本研究では半導体微細加工技術を用いて干渉計の小型化を試みた。干渉計を動作させるために静電アクチュエータを集積化したほかに、ミラーの平行度が不要ないコーナーキューブミラーを使うなどの工夫をした。以下に研究内容の詳細と成果について述べる。

[研究の内容、成果]

1. マイクロ干渉計の設計

マイクロ化 FTIR に使うための、静電回転駆動型の干渉計の模式図を図 1 に示す。Au をコーティングしたコーナーキューブミラーが 2 つのアームの先端に載せてあり、櫛歯型静電アクチュエータによりセンターリングを中心として回転する。

センターリングは、外側に形成したアンカーから伸びる細いばねで支えられており、機械的に可動となっている。この回転によりハーフミラーとコーナーキューブの距離が変化する。つまり、光学的な 2 つの行路差に差が生じる。なお、2 つのコーナーキューブは可動であり、この様なタイプの干渉計は、Wishbone 型干渉計

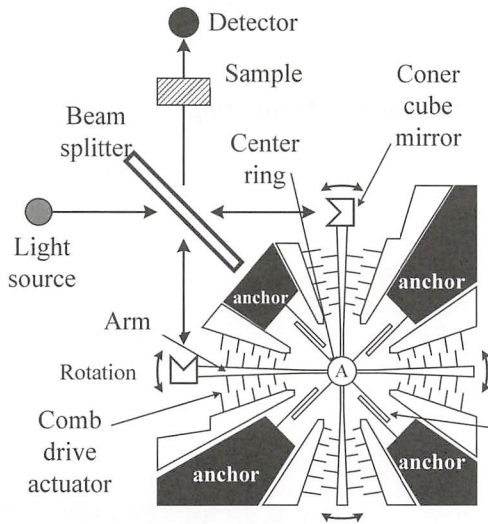


図1 マイクロ干渉計の模式図

と呼ばれる。この干渉計は $\pm 1^\circ$ の回転で $480\text{ }\mu\text{m}$ の変位が生じる設計となっている。

楕円型静電アクチュエーターによるアームの回転角を計算してみる。楕円のトータルの容量を C とすると、電圧 V を印加したとき蓄えられた静電エネルギー W は以下で与えられる。

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

電圧 V を印加したときの回転トルク T_E は回転角 θ の微分で与えられる。

$$T_E = \frac{\partial W}{\partial \theta} = \frac{\partial C}{\partial \theta} V^2 \quad (2)$$

楕円電極が N 個のバーから構成され、その楕円電極が n 対あるとする。またリング中央からの楕円への平均距離を r_{ave} 、真空誘電率を ϵ_0 、楕円のギャップと厚さをそれぞれ g 、 t とすると回転トルクは以下で与えられる。

$$T_E = \frac{nN\epsilon_0 t r_{ave} V^2}{g} \quad (3)$$

この静電引力による回転トルクは支持しているばねに働く。ばねの回転ばね定数 k_m は以下で与えられる。

$$k_m = \frac{2EI(2L+3R)}{L^2} \quad (4)$$

E 、 I 、 L 、 R はそれぞれビーム材料のヤング率、慣性モーメント ($I = w^3 t / 12$; w はビームの幅)、

ビームの長さおよびセンターリングの径である。設計したビームの回転ばね定数の計算値は、 $1.4 \times 10^{-7} \text{ Nm}$ であった。

トルクと回転角の関係は以下の式で与えられる。

$$T_E = k_m \theta \quad (5)$$

(2) 式と (5) 式より、駆動電圧と回転角の関係は以下の式で与えられる。

$$V = \sqrt{\frac{2k_m \theta}{\partial C / \partial \theta}} \quad (6)$$

2. シリコンマイクロ干渉計の作製

図2にマイクロ干渉計の作製方法の模式図を示した。この干渉計はシリコンのマイクロ構造がガラス（テンパックスガラス）上に形成された構造をもつ。シリコン部分とガラス部分を別々に形成した後、陽極接合により張り合わせている。

$200\text{ }\mu\text{m}$ の厚さのシリコン基板を酸化し、酸化膜をパターンニングした。裏面にフォトリソグラフィでパターンニングした後、反応性イオンエッチングでシリコンをエッチングし、Alを堆積した。表面にフォトリソグラフィを行った後、反応性イオンエッチング（RIE）を、レジストマスクおよび酸化膜マスクの2段階で行う。AlはRIEの際にガラスのチャージアップ

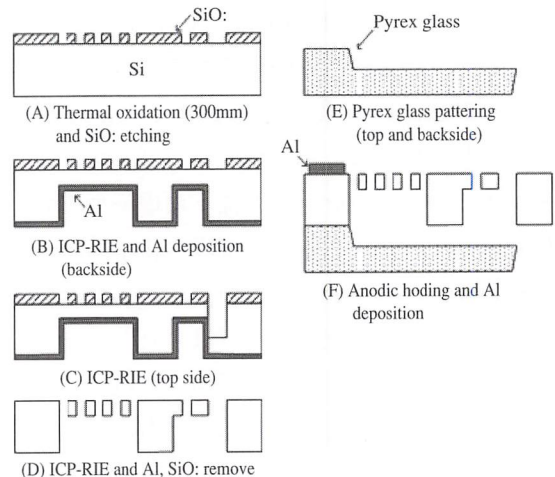
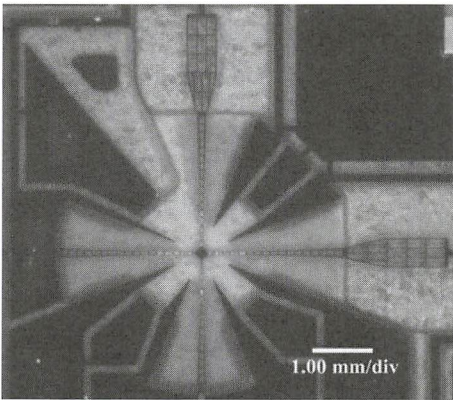


図2 マイクロ干渉計の作製方法を示す模式図

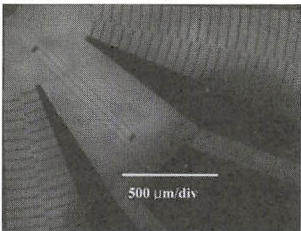
によるイオンの跳ね返りでパターンの底がエッチングされるのを防ぐために形成してある。レジストや酸化膜を除去した後に、ガラスの支持基板に陽極接合する。ガラス基板はあらかじめサンドブラストで加工している。

最後に作製したマイクロ干渉計に 1 mm 程度の大きさのコーナーキューブミラーをマウントする。

図 3 は作製した静電回転駆動型のマイクロ干渉計である。干渉計のサイズは 7.5 mm × 7.5 mm の大きさである。櫛歯アクチュエータやばねの寸法を表 1 にまとめた。



(a)



(b)

図 3 (a) マイクロ干渉計, および (b) 櫛歯電極部分の拡大

表 1 櫛歯アクチュエータのパラメーター

Number of comb fingers, n	36
Gap between comb fingers, g	15 μm
Comb fingers and spring thickness, t and h	50 μm
Spring width, w	5 μm
Total spring length, L	2350 μm
Ring radius, R	100 μm

3. アセンブリ

コーナーキューブは金をコーティングしたガラスのモールドにエポキシ樹脂を塗布し、剥離して作製した。エポキシ側に金が転写され、コーナーキューブミラーが形成される。このミラーは、回転しても入射と同じ方向に反射し、その際の行路差が変わらないというメリットがある。

コーナーキューブミラーは 1 mm 角程度の大きさに切りだし、干渉計のアームの先端に接着剤で固定した。このとき干渉計の破損を防ぐため、アームの先端は細いシリコンビームで支えておく。細いシリコンビームを YAG レーザーで切断し、アームを自立させ、干渉計として動作させるようにした。図 4 はこのようにして作製した、ミラーをマウントした干渉計である。

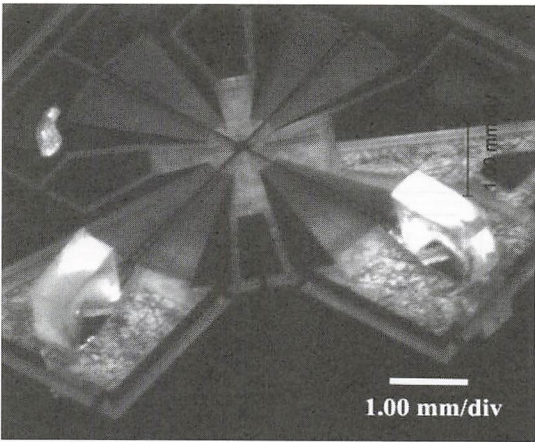
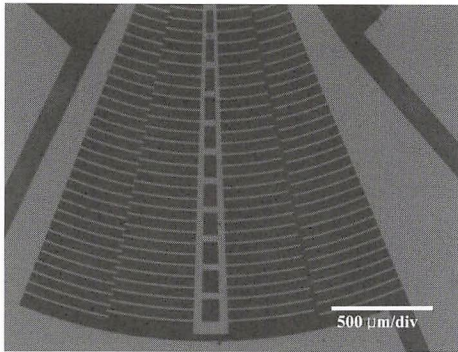


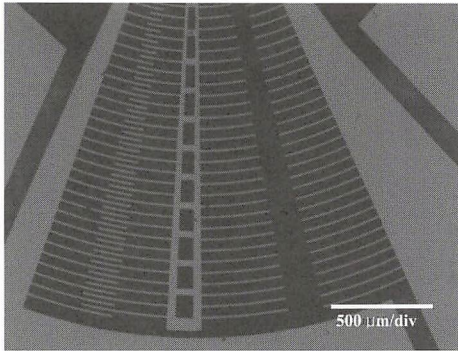
図 4 作製したコーナーキューブミラーを持つマイクロ干渉計

4. 駆動実験

マイクロ干渉計の駆動実験を行った。ビームを支えているアンカーは接地し、櫛歯アクチュエータに 0 ～ 80 V の電圧を印加して、その駆動状態を顕微鏡で観察した。図 5 に示すように電圧印加によってスムーズな駆動が得られた。実験的に得られた回転櫛歯アクチュエータの回転角の駆動電圧依存性、およびその計算値を図 6 に示した。80 V の電圧でおよそ 4° の回転が



(a)



(b)

図5 静電駆動による変位
(a) 駆動電圧 0 V (b) 駆動電圧 80 V

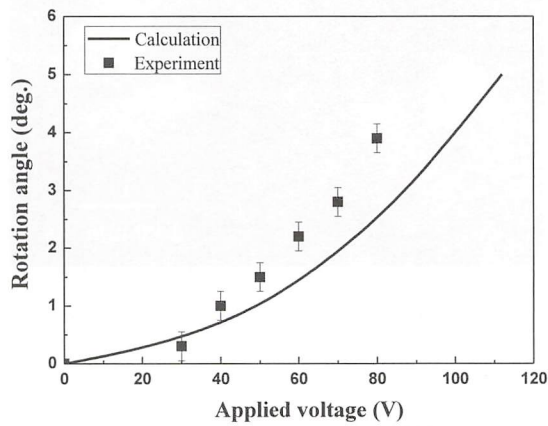


図6 駆動電圧と干渉計の回転角の関係

得られた。実験値と計算値が若干異なるのは、駆動に伴う支持梁が大きく変形したためと考えられる。 $\pm 4^\circ$ の駆動により発生できる行路差は $1920 \mu\text{m}$ である。フーリエ変換型の分光器として用いた場合、分光器の理論的な分解能は最大行路差 δ_{max} により以下の式で与えられる。

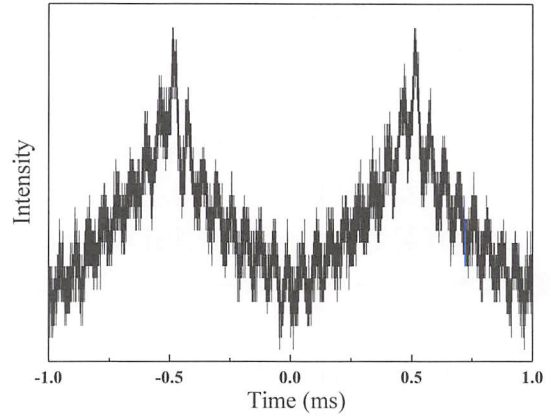


図7 He-Ne レーザーを用いた干渉計の干渉実験

$$\Delta\sigma = \frac{1}{\delta_{\text{max}}} \quad (7)$$

この式から計算すると、本分光器を 80 V の印加電圧での駆動した時、予想される分解能は 5.2 cm^{-1} となり、分光器として十分な特性が得られると期待できる。

次に干渉計として動作するかを調べるため、ハーフミラーを干渉計に組み込み、光源として 632 nm の波長の He-Ne レーザーを干渉計に入射し、干渉計の出力光をフォトダイオードで検出した。図7は 12 V の三角波を駆動電圧として入力した時に得られた波形である。小さな干渉波形のピークからピークまでの変位が $\lambda/2$ であり、ピークの数から約 $3 \mu\text{m}$ であることが分かる。

[今後の研究の方向、課題]

マイクロ加工技術により非常に小型の干渉計を作り、その基本特性を評価した結果、小型でも十分な分解能が得られることが期待できる。今後、赤外光源や検出器などを、組み込み、実際の分光実験を行う。

[成果の発表、論文等]

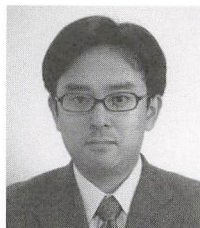
- (1) Young-Min Lee, Masaya Toda, Masayoshi Esashi and Takahito Ono: Fabrication of rotary comb drive actuator for micro wishbone

- interferometer, 第26回センサ・マイクロマシンと応用システム, pp.18-621 (2009)
- (2) Young Min Lee, Masaya Toda, Takahito Ono, and Masayoshi Esashi: Fabrication of Electrostatic Actuated Rotary for Micro Interferometer, Abstracts of the 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, pp.681-682 (2009)
- (3) Y.-M. Lee, M. Toda, M. Esashi, T. Ono, Micro: Wishbone Interferometer for Miniature FTIR Spectrometer, 電気学会 E 部門誌, 130 (2010) 印刷中.

未活用エネルギーを利用した熱音響発電システムに向けた基礎研究

Basic study for thermoacoustic power generation system using unutilized energy

1091010



研究代表者	滋賀県立大学 工学部	准教授	坂本 眞一
共同研究者	同志社大学 生命医科学部	教授	渡辺 好章

〔研究の目的〕

地球温暖化を肌を感じるようになり、また、エネルギー資源の枯渇も日々の生活を直撃している。これからの未来において、地球環境の保護とエネルギー資源の有効利用は、日本だけでなく、地球全体の喫緊の課題である。われわれは、日々の生活を便利で快適にするのと引き換えに、更なる環境破壊を知らず知らずに加速している。コンピューターやサーバーなどに代表される電子機器からの廃熱は、高速化、高性能化や小型化により、今後上昇し続けると予想されており、現状のところ、発生する廃熱を放熱するために、さらなるエネルギー（電気）を投入している。人間を快適にするはずの機械が人類の未来をゆっくりと破壊している。これら上記の課題を解決し、人間と機械の調和を促進することはこれからの人類において必ず必要となる。『未活用エネルギーを利用した熱音響発電システム』はそのすべてを解決する可能性を持っており、重要な課題と考える。

〔研究の内容、成果〕

概要

熱エネルギーと音エネルギーを相互エネルギー変換することが可能な熱音響現象を利用した冷却システムの実用化に向けて研究を進めて

いる。このシステムは、新たなエネルギーを投入することなく、廃熱を駆動エネルギー源として活用することが可能なため、新しいシステムとなる可能性を秘めている。熱音響冷却システムについては、現在、世界各地で精力的に実用化に向けた研究が進められている[1-2]。我々の実験において、室温から約40℃の温度低下に成功している[3-5]。このシステム内に発生する音波は、全長と共鳴し、音圧、粒子変位が非常に大きくなる。この音波を利用することで、圧電素子や磁気誘導を用いた発電システムを構築することが可能であると考えられる。

熱音響現象を利用した発電システムは、構造がシンプルで、エネルギー源に廃熱の利用が可能である大きなアドバンテージを持つ。熱音響発電システムの実用化が実現可能となれば、従来の発電技術では使用不可能な場所や、これまでは見過ごされていた価値の低い廃熱による発電が可能になると考えられる。そこで、本報告では熱音響システムに、電気音響変換の基礎的な装置であるスピーカーを接続し、本システムでの発電の可能性について考察を行った。

測定

熱音響発電システムの検討には、これまでに熱音響冷却システムとして用いているシステムのヒートポンプを取り外したものを利用した。本実験で用いた実験系をFig. 1に示す。ルー

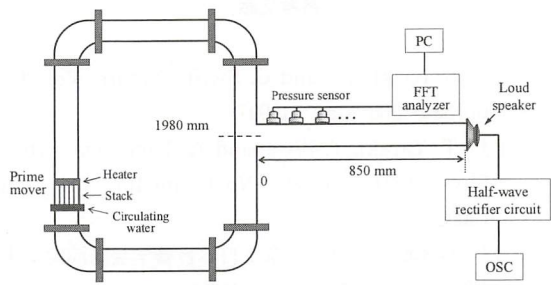


Fig. 1 Diagram of measurement system ; a prototype of thermoacoustic power generation system

ブ管部分の全長を 3, 300 mm, 直管部分の全長を 850 mm, 管内作業流体は大気圧空気とした。Fig. 1 に示すように、直管部分はヒーターから 1, 980 mm の位置とし、直管の右端にコーン形フルレンジのスピーカーを取り付けた。スタックには流路半径 0.45 mm, 長さ 50 mm のハニカムセラミックスを用いた。スタック上方に設置したエレクトリックヒーターより 330 W の熱エネルギーの供給を行った。プライムムーバー上端の温度変化を K 型熱電対にて測定した。システム内に発生する音波の測定には PCB 社製圧力センサを用いた。2 センサパワー法によって、上記センサの測定値より、インテンシティ、音圧、粒子速度、ならびに音圧と粒子速度の位相差を算出した [6]。熱エネルギー供給開始と同時に音圧と温度の測定を開始し、測定時間は 600 秒とした。スピーカーのインピーダンスはループ管の自励発振周波数である 100 Hz において 50 Ω である。スピーカーに整流回路を接続し、電圧の測定を行った。

測定結果ならびに考察

ループ管内の音場を Fig. 2 に示す。また、直管部分の音場を Fig. 3 に示す。Fig. 2 より、ループ管内は一波長共鳴しており、スピーカーや直管を取り付けた影響を受けず、これまでと同様に非常に大きな音圧が発生していることが確認された。音圧の腹で約 7 kPa であった。Fig. 3 より、直管内では 4 分 1 波長共鳴して

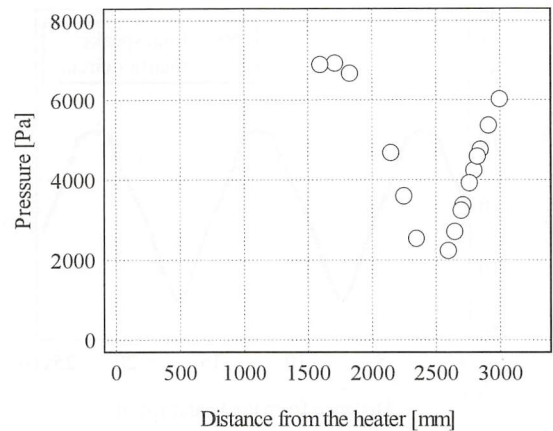


Fig. 2 Sound pressure distribution in a prototype of thermoacoustic power generation system

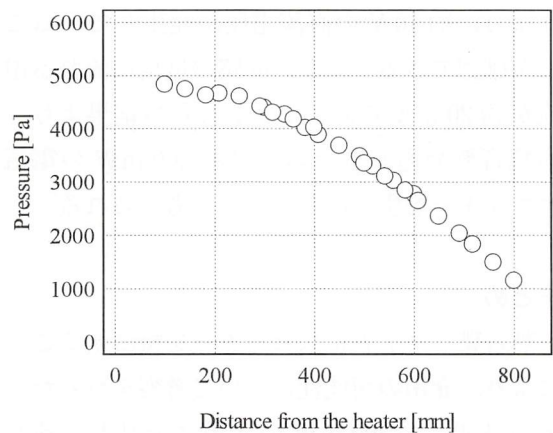


Fig. 3 Sound pressure distribution in a straight tube

おり、スピーカーを設置した位置では粒子速度の腹、音圧の節であることが確認された。ループ管との接続部付近が音圧の腹となり、約 5 kPa と非常に大きな音圧が発生していることが確認された。

スピーカーの出力電圧を Fig. 4 に示す。Fig. 4 の実線で示した電圧波形より、ピーク値で約 11 V の交流電圧が発生していることが確認できる。発生した電気エネルギーは熱音響発電システムの駆動条件に依存し、常に一定のパワーが得られるとは考えにくい。そこで将来的にはいったん充電し、その後の利用が最も実用には適していると考えられる。そこでスピーカーに整流回路を接続し、直流変換を試みた。整流された電圧を Fig. 4 に波線で示す。Fig.

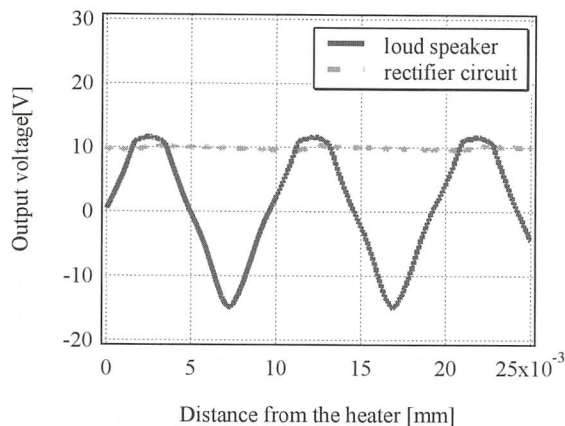


Fig. 4 Output voltage waveform in a prototype of thermoacoustic power generation system

4 より、約 10 V の直流電圧が発生していることが確認できる。また、回路の抵抗に流れる電流が約 20 mA であった。これらの結果より、本熱音響発電システムでは約 200 mW の電気エネルギーを生み出していると考えられる。

まとめ

熱音響システムにスピーカーを接続することにより、発電の可能性について考察を行った。その結果、約 200 mW の発電に成功し、熱音響発電システム実現への可能性を得た。

【今後の研究の方向、課題】

熱から音エネルギーへのエネルギー変換効率の上昇
熱音響システムに適した、音エネルギーを電気エネルギーへ変換するデバイスの開発
発電した電気エネルギーの充電方法についての検討

【参考文献】

- [1] S. Backhaus, and G. Swift : Nature, Vol. 399, pp. 335 – 338, May (1999)
- [2] T. Yazaki, T. Biwa, and A. Tominaga : Appl. Phys. Lett., vol. 80, No. 1, pp. 157 – 159, Jan (2002)
- [3] 坂本眞一, 渡辺好章 : 日本音響学会講演論文集 (春季), pp. 1173 – 1176 (2006)
- [4] S. Sakamoto, T. Tsujimoto and Y. Watanabe : Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 5 A, pp. 2751 – 2753 (2004)
- [5] 坂本眞一, 今村陽祐, 渡辺好章 : USE 講演論文集 pp. 511 – 512 (2006)
- [6] T. Biwa, Y. Tashiro, H. Nomura, Y. Ueda, and T. Yazaki : J. Acoust. Soc. Am. 124 (3), pp. 1584 – 1590 (2008)

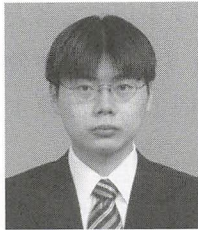
【成果の発表、論文等】

1. 北谷裕次, 坂本眞一, 小宮慎太郎, 渡辺好章 : “太陽熱エネルギーを利用した熱音響発電の試み—熱音響システムの実用化に向けた基礎研究—”, 日本太陽エネルギー学会講演論文集, pp. 189 – 192, 日本太陽エネルギー学会 2009 年, 長崎 (2009) (2 番目)
2. 北谷裕次, 坂本眞一, 堀田浩平, 渡辺好章 : “熱音響現象を利用した熱から電気へのエネルギー変換の試み—熱音響発電システムの実用化に向けた研究—”, 平成 21 年 電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G 15 – 5, 電気学会関西支部連合大会, 大阪 (2009) (2 番目)
3. 坂本眞一, 北谷裕次, 堀田浩平, 渡辺好章 : “熱音響システムの実用化に向けて—熱音響発電システムについての基礎検討—”, 日本音響学会講演論文集, pp. 1499 – 1500, 日本音響学会 2010 年春季研究発表会, 東京 (2010) (1 番目)

視覚移動ロボットと環境カメラの協調による複数人物追跡

Multi-person tracking by cooperation of a mobile robot and environmental cameras

1091011



研究代表者 豊橋技術科学大学 工学部 情報・知能工学系 助手 佐竹 純二

共同研究者 豊橋技術科学大学 工学部 情報・知能工学系 教授 三浦 純

[研究の目的]

本研究では、移動ロボットにカメラを取り付け、撮影した動画像から複数の人物を検出・追跡することを目的とする。ショッピングセンターのような広い空間の中で、人やロボットが様々な方向へ自由に移動する状況を想定し、安定な追跡方法を検討する。カメラで撮影した動画像から人物を追跡する技術は、行動認識や監視システムなどに利用でき、非常に重要な技術の一つである。

移動ロボットに取り付けたカメラで撮影した動画像を用いる場合、歩行者が他の歩行者に完全に隠されてしまうような複雑なオクルージョンが頻繁に発生する。そこで、本研究ではステレオカメラを用い、距離情報を利用して複数人物の分離や追跡を行う。予測位置をもとに複数人物の重なりあったシルエット形状を認識することで、複数人物を正確かつ安定に追跡する方法を提案する。

本研究では、まず、移動カメラを用いた人物追跡の単体性能を向上させるため、ステレオカメラから得られる距離情報を利用した追跡方法を開発する。それから、静止障害物などによるオクルージョンに対応するため、ロボットカメラと周囲環境に設置されたカメラを併用して人物を追跡する方法について検討する。

[研究の内容、成果]

1. ステレオカメラを用いた複数人物追跡

1.1 距離情報を利用した人物検出

移動カメラで撮影した動画像を用いて安定に人物を追跡するため、本研究では距離画像テンプレート(図1)を用いる。このテンプレートはステレオカメラから得られた距離画像をもとに背景領域と人物領域を2値とするシルエット画像であり、人物がカメラからの距離2[m]の時の距離画像から作成している。画像探索時にはカメラから対象人物までの距離に応じてテンプレートの大きさを変更することで、画像上でのスケールの変化に対応する。また、テンプレート中の人物領域の画素値はカメラから人物までの距離とする。背景領域の画素値については、カメラが移動するため、各フレームの入力画像から背景の距離を推定する(距離のヒストグラムを求め、累積90%となる距離を背景の距離とした)。

サイズ $H \times W$ の距離画像テンプレートを

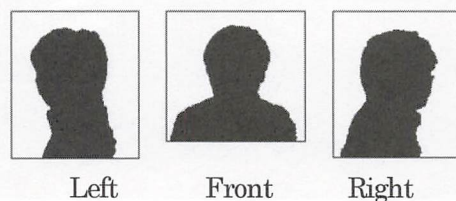


図1 距離画像テンプレート

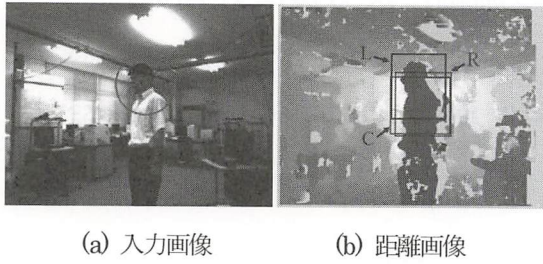


図2 距離画像テンプレートを用いた検出例

$T(x, y)$, 入力された距離画像を $I_D(x, y)$ とした時, テンプレートマッチングの相違度 d は次のように求められる。

$$d = \frac{1}{HW} \sqrt{\sum_p \sum_q [T(x, y) - I_D(x+p, y+q)]^2}$$

なお, 体の向きの変化に対応するため, 図1のような4方向3種類のテンプレートを併用し, 最も相違度が低いものをマッチングの結果として使用する。

距離画像テンプレートを用いた人物検出の例を図2に示す。3種類のテンプレートの探索結果の内, 最も評価値の良いもの(相違度の低いもの)を太線で表示しており, 複数のテンプレートを用いることで体の向きの変化に対応できていることが確認できた。

1.2 パーティクルフィルタを用いた3次元位置推定

使用したロボットやカメラと, 各座標系の関係を図3に示す。時刻 t における人物の3次元位置を (X_t, Y_t, Z_t) とし, 状態変数 x_t を次の

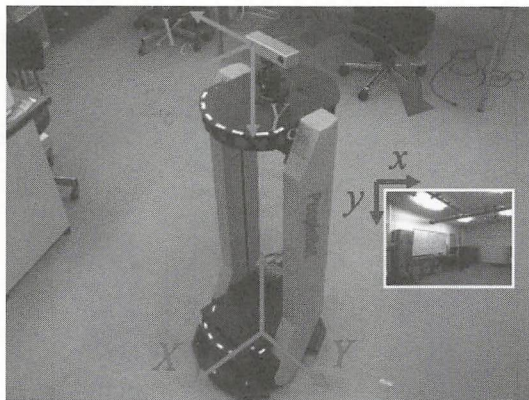


図3 各座標系の定義

ように定義する。

$$x_t = [X_t \ Y_t \ Z_t \ \dot{X}_t \ \dot{Y}_t]^T$$

ただし, $\dot{X}_t, \dot{Y}_t$ は XY 平面上の移動速度である。

自由に移動する人物を安定に追跡するため, 本研究ではパーティクルフィルタを用いて各人物の3次元位置を推定する。各パーティクルの尤度 L は相違度 d を用いて次のように計算する。

$$L = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right)$$

1.3 シルエットの重なりを考慮した複数人物追跡

接近した複数人物を正確かつ安定に追跡するため, シルエットの重なりを考慮した複数人テンプレートを作成する。まず, 追跡対象人物が他の人物と離れている場合には, N 個のパーティクルを用いて独立に追跡する。2人の人物A, Bが接近し, 領域の重なりが生じた時, それぞれの人物の状態変数 x_t^A と x_t^B を結合し, 新たな状態変数 x_t^{AB} を次のように作成する。

$$x_t^{AB} = \begin{bmatrix} x_t^A \\ x_t^B \end{bmatrix}$$

ここで, 各人物のパーティクル数が N 個の時, 組合せの総数は $N \times N$ となる。しかし, 全ての組合せについて評価(マッチング)を行うのは計算コストが大きいので, 本研究ではそれぞれの人物のパーティクルの中で尤度の高いもののみを結合に用いる。結合したパーティクルの初期の尤度 L^{AB} は結合に用いたパーティクルの尤度 L^A, L^B の積 $L^{AB} = L^A L^B$ とする。

複数人テンプレートを用いた追跡の手順を図4に示す。まず, 結合したパーティクルそれぞれについて, 2人のシルエットが重なりあったテンプレートを作成する。2人の3次元位置から画像上での位置関係を計算し, カメラから遠い人物のテンプレートの上に, 近い人物の人物領域を上書きする。なお, ここでは計算コストを抑えるため, 図1の3方向のテンプレートの内, 各人物の移動方向に対応するテンプレート

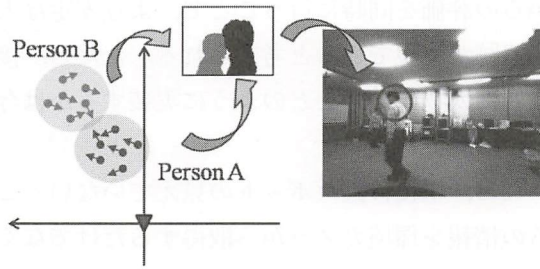


図4 複数人テンプレートを用いた追跡の手順

1つのみを用いる。そして、個別テンプレートの場合と同様に複数人テンプレートと距離画像とのマッチングを行い、尤度 L^{AB} を計算する。

接近していた人物 A, B が離れ、画像上のテンプレートが重ならない距離になった時、状態変数 x_t^{AB} を x_t^A と x_t^B に分離する。分離時には、結合された N^{AB} 個のパーティクルの内、尤度の高い N 個のパーティクルを用いる。

複数人テンプレートを用いた場合と、それぞれ個別のテンプレートを用いた場合の追跡結果の比較を図5に示す。複数人テンプレートを用いた追跡結果を白色、個別テンプレートを用いた追跡結果を赤色と青色の円で描画している。個別のテンプレートを用いた追跡では奥の人物（赤色）の推定位置がずれており、これはシルエットの一部が手前の人物によって隠されてしまったためと考えられる（図5左）。また、奥の人物が完全に隠されてしまった場合には、対象人物を見失い、誤って別の人物を追跡してしまった（図5右）。一方、複数人テンプレートを用いた場合にはそれぞれの人物を正しく追跡することができており、シルエットの重なりを考慮することで他の人物に隠された場合でも安

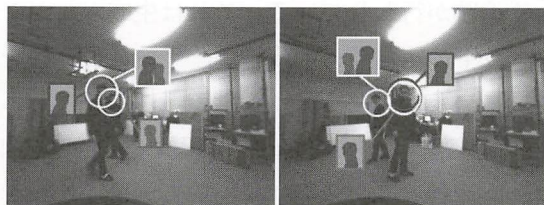


図5 複数人テンプレート（白枠）と個別テンプレート（赤枠・青枠）の追跡結果の比較

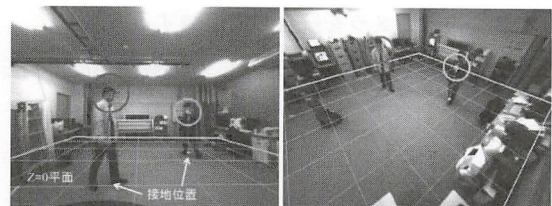
定な追跡が実現できていることが確認できた。

2. 複数台カメラへの拡張方法の検討

静止障害物が多く存在し、ロボットカメラだけで人物追跡を行うことが困難な状況では、周囲環境に設置されたカメラ（以下、環境カメラと呼ぶ）を併用する必要がある。複数のカメラやレーザレンジセンサを用いた研究も数多く行われているが、本研究では特に移動カメラによる人物追跡を主とし、ここでは提案手法を複数台カメラで併用する場合の拡張方法について検討する。ロボットカメラ1台と環境カメラ2台を併用した場合の例を図6に示す。このシステムは各カメラ画像を処理する追跡モジュールとそれらの結果を統合する統合モジュールで構成され、カメラ1台は移動ロボットを想定しているため、各追跡モジュールは別PCで実行するものとする。以下では、図7に示した2種類の統合方法について述べる。

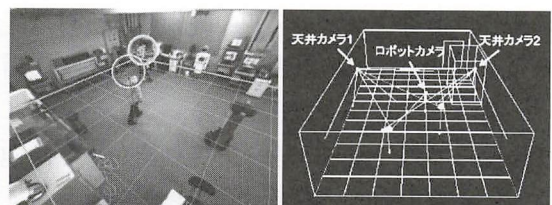
2.1 各カメラで個別に追跡する方法

まず、各カメラで個別に追跡を行う方法を述べる（図7(a)）。この方法では、それぞれの追跡モジュールは各人物について N 個のパーティクルを保持し、それぞれ追跡を行う。なお、図6(c)のようにカメラ上で複数の人物が接近した場合には、提案手法を用いて人物シルエット



(a) ロボットカメラ

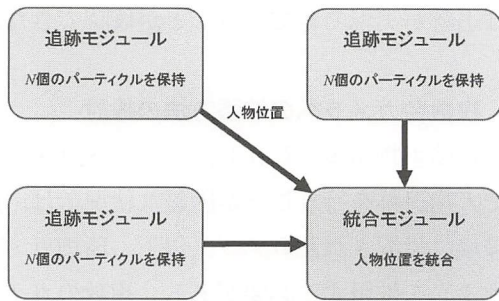
(b) 天井カメラ1



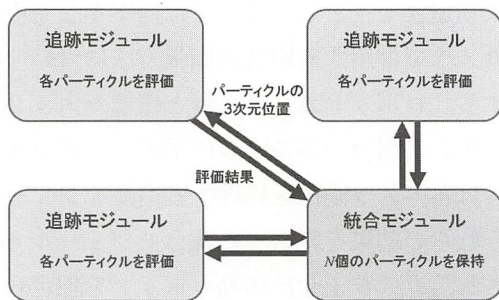
(c) 天井カメラ2

(d) 統合結果

図6 複数台カメラを用いた人物追跡



(a) 各カメラで個別に追跡する方法



(b) 複数カメラを統合して追跡する方法

図7 複数台カメラを用いた追跡の統合方法

トの重なりを考慮した追跡を行う。そして、推定した人物の3次元位置を統合モジュールへ送信する。統合モジュールでは、各追跡モジュールで推定された人物位置の情報を統合する。この時、各カメラ間の人物の対応付けを行い、あるカメラでの追跡に誤りがある場合には、その情報を該当の追跡モジュールにフィードバックする。

2.2 複数カメラを統合して追跡する方法

次に、複数カメラを統合して追跡を行う方法を述べる(図7(b))。この方法では、統合モジュールで各人物について個のパーティクルを保持する。各パーティクルの3次元位置をそれぞれ全ての追跡モジュールに送信し、追跡モジュールは各パーティクルの評価のみを行う。そして、その評価結果を統合モジュールに送信し、統合モジュールで統合する。この時、カメラの視界の外に居る人物や、評価値が低く、他の人物や静止物体に隠れていると判断される人物については、そのカメラの評価結果を破棄する。このように複数台のカメラを用いて多方向

からの評価を同時に行うことで、より安定な人物追跡が実現できると考えられる。ただし、接近した人物の結合をどのように実装するかは今後の課題である。

なお、単に移動ロボットの見えていないところの情報を環境カメラから取得するだけでなく、オクルージョンの状況に応じてロボットをうまく移動させることで、固定カメラだけでは不十分な情報を補うことができると考えられる。このように、視覚移動ロボットと環境カメラとの相互協調によって安定な人物追跡を実現する方法について今後検討する。

3. 実験結果

3.1 ロボットカメラ1台を用いた人物追跡

図3に示した車輪移動ロボットとステレオカメラを用い、複数人物の追跡実験を行った。ロボットはMobileRobots社製のPeopleBotを用い、その上部にPointGreyResearch社製のステレオカメラBumblebee2を設置した。1台のノートPCにより、ステレオ処理、人物検出・追跡、ロボット制御の全ての処理を行っている。処理に用いた画像サイズは 512×384 である。

ロボットの動き情報の誤差(滑りや遅延)の影響を排除するため、まずはロボットを移動させず、10 [fps]で撮影したオフライン画像を用いて追跡を行った結果を図8に示す。パーティクル数は $N=100$ 、 $N^{AB}=25 \times 25$ とした。白縁の付いた人物はパーティクルを結合していることを表している。#160～#202の人物Bや#310～#324の人物Aのように、他の人物に隠された状態で移動方向が変化した場合でも正しく追跡が行われている。これは生成されたシルエットの重なり方の仮説が、十分な多様性を持っていたためだと考えられる。

60回のオクルージョン(12ケースの画像セットを各5回テスト)について追跡の比較を行った結果を表1に示す。それぞれの画像セットは2人の人物が近づき、交差して離れるまで



図8 オフライン画像を用いた人物追跡の結果

表1 パーティクル数を変化させた場合の追跡結果の比較
(a) 個別テンプレートを用いた場合

number of particles	success rate	positional error	processing time
$N = 100$	73.3 [%]	9.56 [pixel]	248 [ms]
$N = 200$	75.0 [%]	9.95 [pixel]	383 [ms]

(b) 複数人テンプレートを用いた場合

number of particles	success rate	positional error	processing time
$N^{AB} = 15 \times 15$	86.7 [%]	7.09 [pixel]	226 [ms]
$N^{AB} = 20 \times 20$	90.0 [%]	6.74 [pixel]	314 [ms]
$N^{AB} = 25 \times 25$	93.3 [%]	6.64 [pixel]	436 [ms]
$N^{AB} = 30 \times 30$	90.0 [%]	6.53 [pixel]	568 [ms]
$N^{AB} = 100 \times 100$	91.7 [%]	6.43 [pixel]	4993 [ms]

のオフライン動画であり、各人物の移動方向や移動速度が様々に変化している。追跡の成功率は、のべ60回の交差の内、最後までそれぞれの人物を正しく追跡できたものの割合とした。また、2次元画像上の追跡誤差と1フレーム当たりの平均処理時間の計算には追跡に成功した画像セットのみを用いた。なお、各フレームにおけるそれぞれの人物の正解位置は手動で与えた。以上の結果から、シルエットの重なりを考慮した複数人テンプレートを用いた追跡は、個別のテンプレートを用いた場合よりも正確な人

物位置を推定できていることが確認できた。

最後に、実際にロボットを制御し、特定人物を追従した結果を図9に示す。この実験では $N = 100$, $N^{AB} = 20 \times 20$ とし、ロボットは最初に検出した人物Aを追従対象とするようにした。別の人物Bがロボットと人物Aの間を横切り、オクルージョンが発生した場合でも正しく追従が行われていることが確認できた。

3.2 ロボットカメラと環境カメラを用いた人物追跡

図6に示したロボットカメラ1台と環境カメラ2台を併用して人物追跡実験を行った。3つの追跡モジュールと統合モジュールはそれぞれ別のPCで実行し、4台のPC間でTCP/IPを用いて情報を通信した。図7(b)の統合方法を用いて追跡を行った結果を図10に示す。ロボットカメラの画像中で人物位置を示す円が黒くなっているものは、全パーティクルの評価値が小さく、オクルージョンが発生していると判断されたことを示している。これらの結果から、他の人物や静止障害物によってオクルージョンが発生した場合でも、正しく追跡できていることが確認できた。



図9 特定人物追従の結果

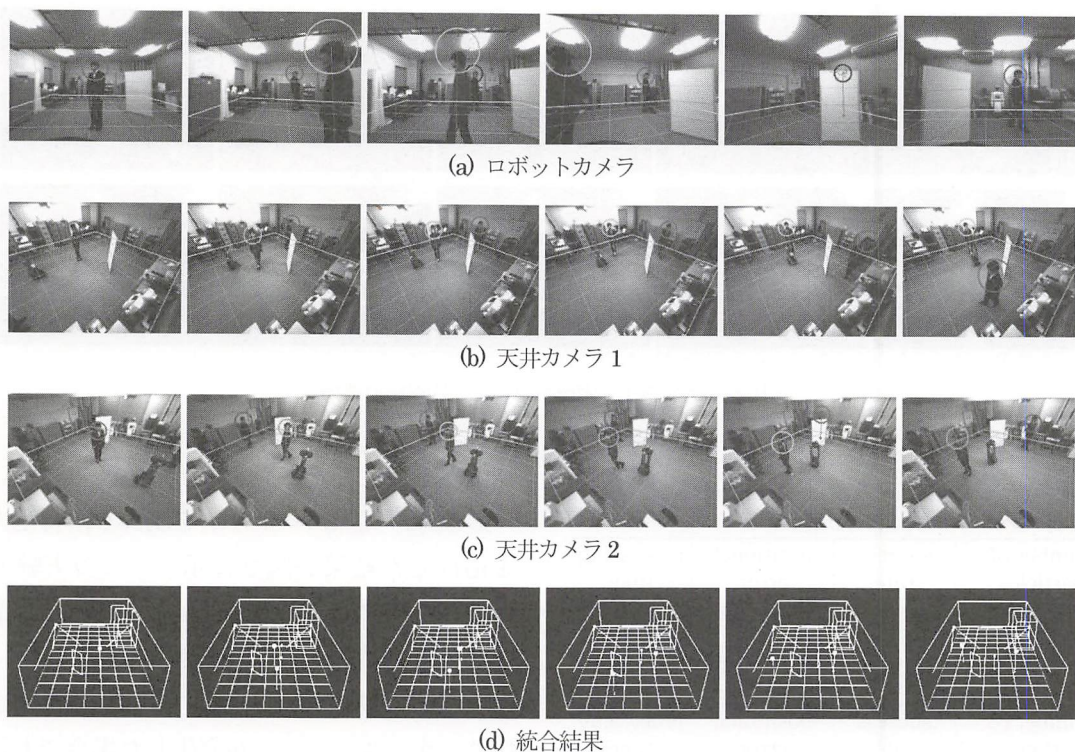


図10 複数台カメラを用いた人物追跡結果

4. まとめ

本研究では、まず、移動カメラを用いた人物追跡の性能を向上させるため、ステレオカメラから得られた距離情報を利用して複数人物を追跡する方法を提案した。シルエットの重なりを考慮した距離画像テンプレートをを用いることで、正確かつ安定な追跡を実現した。そして、実際に移動ロボットによる特定人物の追従実験を行い、提案手法の有効性を確認した。また、複数台のカメラへ拡張する方法を検討した。1台のロボットカメラと2台の環境カメラを併用した追跡実験を行い、静止障害物によってオクルージョンが発生した場合でも正しく追跡できていることを確認した。

【今後の研究の方向、課題】

今後の課題としては、まず、人物の素早い動きに対応するために処理速度を向上させる必要

がある。また、複数人テンプレートを人物の検出に拡張し、既知の人物2人が接近した場合だけでなく、追跡中の人物の後ろに重なっている未知の人物を検出できるようにする。そして、3人以上の人物が接近した場合の追跡方法について検討し、より複雑な状況での複数人物追跡の実現を目指す。

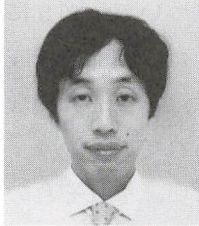
【成果の発表、論文等】

- [1] J. Satake and J. Miura: "Stereo-Based Multi-Person Tracking using Overlapping Silhouette Templates", Int. Conf. Pattern Recognition (ICPR 2010), Aug. (2010)
- [2] 佐竹純二, 三浦純: "人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートをを用いたステレオビジョン複数人物追跡", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2010), Jul. (2010)
- [3] 佐竹純二, 三浦純: "移動ロボット制御のための人物シルエットの重なりを考慮した複数人物追跡", 情報処理学会研究報告, 2010-CVIM-172, May (2010)

強磁場 MRI における高周波電流分布の画像計測に関する研究

Imaging of high-frequency electric currents in high-field MRI

1091012



研究代表者 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 助教 関野 正 樹

[研究の目的]

近年の超電導技術の進歩により、磁場強度 10 T (テスラ) を超える大型超電導磁石を用いた医療用 MRI (magnetic resonance imaging) 装置の開発が、現実味を帯びてきた。この装置は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ に迫る超高分解能と、代謝などの従来に無い画像情報を提供することで、診断技術のブレークスルーとなることが期待されている。この装置の開発において、人間と機械の調和の観点から最大の課題の一つが、強磁場 MRI 装置に特有の、人体の発熱による安全性の問題である。本研究では、発熱の原因である体内の高周波電流をモニターするための手法を開発し、発熱を抑制するための基礎データを得ることを目的とする。

[研究の内容、成果]

1. 複数チャンネルを有する MRI 信号送受信コイルの開発

MRI の信号は、高周波電磁場の形で測定体から発生し、信号送受信コイルで検出される。

この電磁場の波長は、超電導磁石から加えられる静磁場の強度に反比例して短くなり、10 T 級の MRI 装置ではヒトの頭部と同程度以下のサイズになる。そのため、電磁場の山と谷に相当する信号の強弱が画像上に現れ、画像の均一度が損なわれることが問題となっている。これ

を解決する方法の一つが、信号送受信コイルの多チャンネル化である。本研究では、東京大学に設置されている実験用 MRI 装置 (図 2) に合わせて、6 チャンネルの信号送受信コイルを独自に開発した。図 3 は各チャンネルの回路図、図 4 は、完成したコイルの外観写真である。

各チャンネルは四角形のループコイルを基本

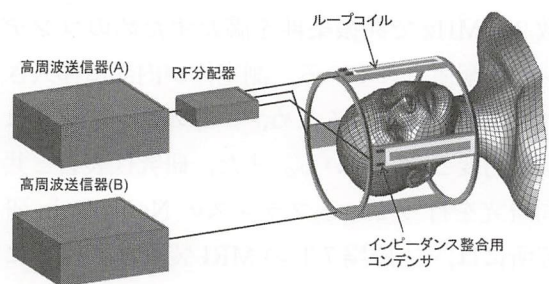


図1 複数チャンネルを有する信号送受信コイル

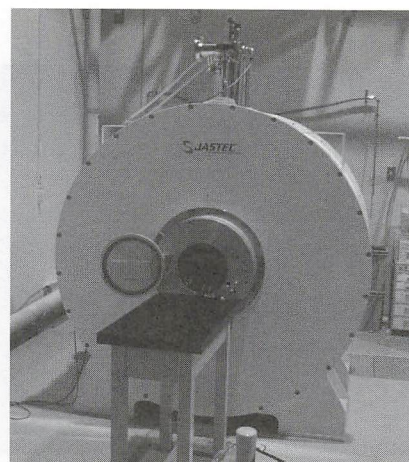


図2 主磁場 4.7 T の実験用 MRI 装置

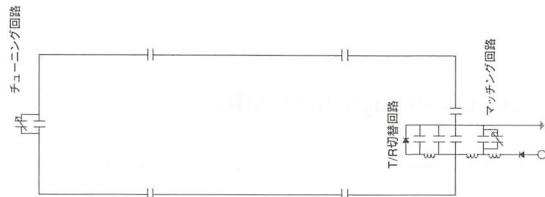


図3 信号送受信コイルの1チャンネル分の回路図

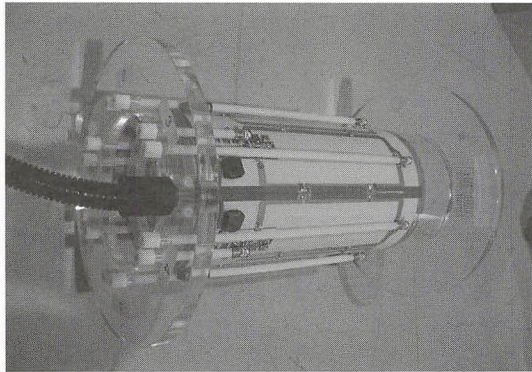


図4 本研究で開発した信号送受信信用コイル

構造として、主磁場4.7 Tに対応する動作周波数200 MHzで共振条件を満たすためのコンデンサが配置されている。測定体が内部に挿入された影響を補正するため、一部のコンデンサは容量可変となっている。また、研究代表者と共同研究を行っているフランスのNeuroSpin研究所には、主磁場7 TのMRI装置と、図5に示す8チャンネルの信号送受信信用コイルがある。

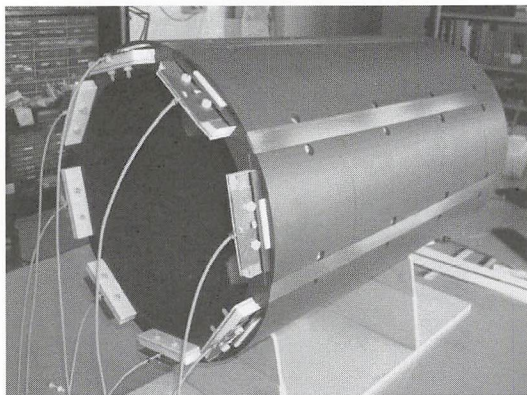


図5 NeuroSpin 研究所の信号送受信信用コイル

2. 高周波磁場分布・電流分布の数値解析

上記のコイルを使ってMRIの測定を行うときに、測定体の内部にどのような磁場分布や電流分布が形成されるのかを、数値解析によって予測した。図5に示した8チャンネルのコイルでヒトの頭部を測定する場合について、図6に示すような解析モデルを作成した。頭部を構成する脳や骨などの生体組織には、それぞれ異なる誘電率や導電率が割り当てられている。

解析は有限要素法によって行い、それぞれのチャンネルから高周波電磁場を照射したときの、頭部の内部における磁場と電流の分布を求めた。

結果は図7および図8に示すように、各チャンネルのループコイルの近傍で、強い磁場や電流が得られた。8つのチャンネルの照射領域を合わせると、脳断面の全体をカバーすることができる。

画像診断や脳機能研究などの目的で実際の画像を取得するときには、8つのチャンネルをそれぞれ異なった波形のパルスで動作させて、パルス終了時に、撮像断面上の照射量（フリップ角）が均一になるように調整を行う。パルス波形の設計にはTransmit SENSE法が有効で、この方法により設計した波形を図9に示す。また、この波形を使った場合の、電磁場吸収による発熱の時間変化と空間分布を、図10および11に示す。頭部で平均した吸収量は、安全上、3 W/kg以下に抑えるように規定されている。

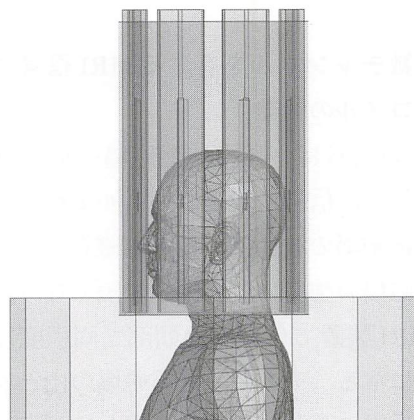


図6 ヒト頭部とコイルの解析モデル

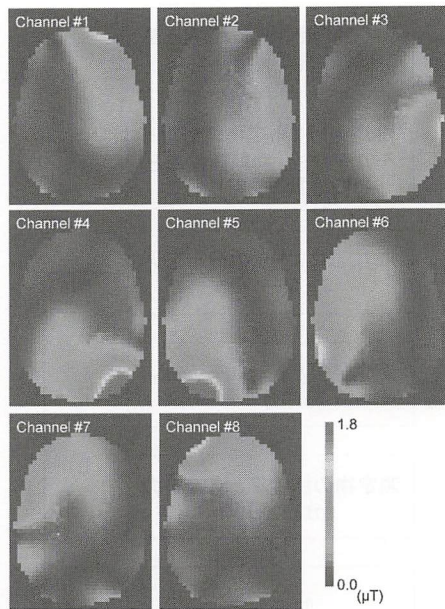


図7 数値解析から得られた高周波磁場の分布

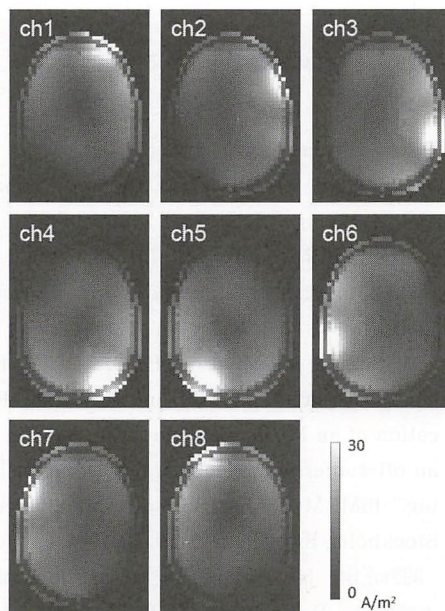


図8 数値解析から得られた高周波電流の分布

今回想定した撮像条件では規定値未満に収まっているが、条件によっては規定を上回る可能性もあり、注意が必要である。

3. 実験

円柱形容器の中に硫酸銅水溶液を満たし、磁場強度 7 T の MRI 装置において、図 5 に示し

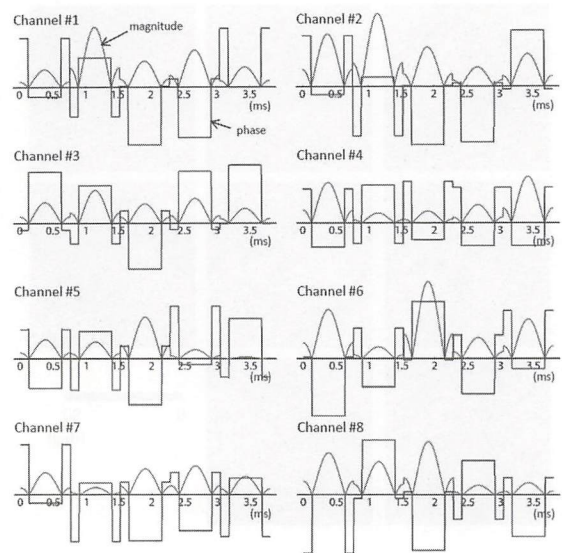


図9 各チャンネルから送信される電磁場の波形

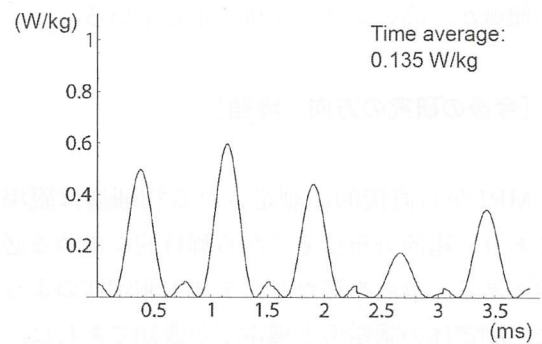


図10 頭部の電磁場吸収量の時間変化

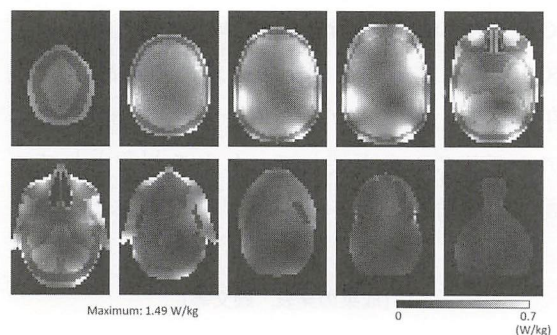


図11 頭部の電磁場吸収量の分布

た信号送受信用コイルを使って MRI 測定を行った。AFI (actual flip angle) 法を用いて、磁場の照射量に比例する物理量であるフリップ角の分布を得た。各チャンネルを単独で動作させた時の結果を図 12 に示す。テスト容器の円

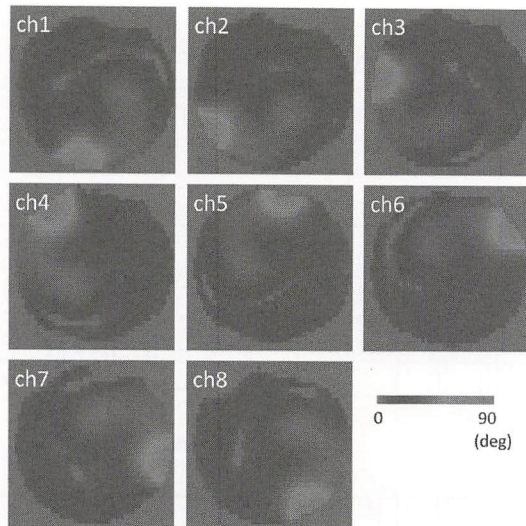


図 12 実験から得られたフリップ角の分布

形断面上で、各チャンネルのループコイルに近い領域が、高いフリップ角を示している。

[今後の研究の方向、課題]

MRI から直接的に測定される物理量は磁場であり、電流分布はそこから解析的に求める必要がある。溶液を満たしたテスト測定体のように、測定体の誘電率と導電率が既知であれば、電流分布は直ちに計算できる。しかし、ヒトなどの生体組織の場合は、誘電率と導電率が未知であるため、電流分布の計算は容易ではない。図 13 に、誘電率と導電率を求めるための、現在考えているアルゴリズムを示す。今後、このアルゴリズムを実装して、ヒトを対象として高周波電流分布のイメージングを実現したい。

[成果の発表、論文等]

1. S. Ueno and M. Sekino: "Recent advances in new MRI methods for electrical impedance and current imaging of the brain," Joint Meeting of the Bioelectromagnetics Society and European Bioelectromagnetics Association (BioEM 2009),

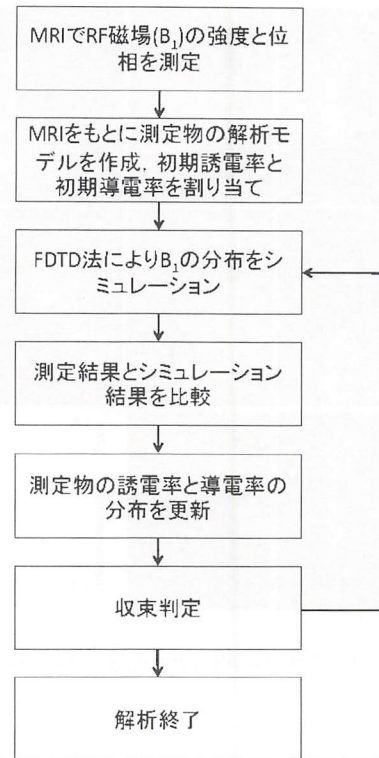


図 13 測定体の誘電率を求めるアルゴリズム

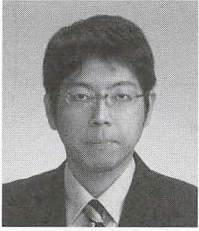
Davos, Switzerland, 15 June (2009)

2. N. Boulant, M. Sekino, M. Cloos, A. Amadon, and M. Luong: "T1 and T2 effects during RF pulses in MRI sequences," 7th Bi-Annual High Field Workshop, Minneapolis, USA, 9 October (2009)
3. M. Sekino, A. Miyazoe, H. Ohsaki, T. Hisatsune, O. Ozaki, T. Kiyoshi, and H. Wada: "Fabrication of an MRI superconducting magnet with an off-center homogeneous field zone for imaging," ISMRM-ESMRMB Joint Annual Meeting, Stockholm, Sweden, 5 May (2010)
4. 関野正樹, N. Boulant, M. Luong, A. Amadon, 大崎博之, D. Le Bihan: 7 T 装置でのパラレル送信において RF 照射中の緩和が信号均一度に与える影響. 第 37 回日本磁気共鳴医学会大会, 横浜, 2009 年 10 月 1 日 (2009)
5. 竹内道広, キムドンミン, 関野正樹, 上野照剛, 大崎博之, 入口紀男: スピンエコー法による MR 画像の定量化誤差の検討. 第 37 回日本磁気共鳴医学会大会, 横浜, 2009 年 10 月 2 日 (2009)

高精度高速シミュレーションと実環境数値モデルによる 電波環境可視化システム

Visualization System for Radio Wave Environment by High Accuracy and
Fast Simulation and Realistic Numerical Model

1091013



研究代表者

仙台高等専門学校
知能エレクトロニクス工学科 准教授

園 田 潤

[研究の目的]

近年、携帯電話、無線 LAN、GPS、ETC など電波を使った様々なデバイスは、我々の生活に欠かせないものになっている。このような電波を使ったデバイスは今後も増加すること、また、高速・大容量通信の要求から高周波化することが予想されるため、電波の局所集中による人体への影響や、周囲の機械の誤作動など、電波環境の悪化が懸念され問題視されている。本研究では、この問題を解決するために、実際の使用環境における数値シミュレーションベースの電波環境可視化システムの開発を目的とする。本システムが実現できれば、空間の電波分布を事前に把握できるため、電波を使ったデバイスを安全に使用でき、人間や周囲の機械との調和が促進できる。

本研究では、数値シミュレーション手法として FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法を、実環境モデル構築にはステレオカメラによる 3 次元計測を用い、(1) FDTD 法の高精度化・高速化と、(2) ステレオカメラによる室内環境数値モデルの構築を研究課題とする。

[研究内容, 成果]

1. 研究内容

1.1 最適 2 次 FDTD 法とその高精度化

4 点の空間 M 次精度中心差分は、 $f(\xi)$ のテーラー展開の高次項を考慮すれば、式 (1) になる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\xi)}{\partial \xi} = & a_1 \frac{f(\xi + \frac{1}{2}\Delta) - f(\xi - \frac{1}{2}\Delta)}{\Delta} \\ & + \frac{1-a_1}{3} \frac{f(\xi + \frac{3}{2}\Delta) - f(\xi - \frac{3}{2}\Delta)}{\Delta} + O(\Delta^M) \end{aligned} \quad (1)$$

最適 2 次 FDTD 法は数値分散誤差を最小にする a_1 を探索する。一方、従来手法である空間 2 次、4 次精度の FDTD 法、FDTD(2,4)法では、式 (1) を用いれば、FDTD(2,4)法は $a_1 = 9/8$ 、従来の FDTD 法は $a_1 = 1$ である。

式 (1) の両辺をフーリエ変換すると、式 (2) の数値的波数 $\tilde{k}$ が得られる。ここで、 k は物理的波数である。

$$\begin{aligned} \tilde{k} = & \\ & \frac{2}{\Delta} \left[a_1 \left(\sin \frac{k\Delta}{2} - \frac{1}{3} \sin \frac{3k\Delta}{2} \right) + \frac{1}{3} \sin \frac{3k\Delta}{2} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

最適2次FDTD法は、式(2)の数値的波数 $\tilde{k}$ を物理的波数 k に近づくように、すなわち、式(3)に β を与え、 Θ が最小になるような係数 a_1 を求める方法である。

$$\Theta = \int_{-\beta}^{\beta} (k\Delta - \tilde{k}\Delta)^2 d(k\Delta) \quad (3)$$

ここで、 $0 \leq \beta \leq \pi$ である。Tamらは $\beta = \pi/2$ 、Wangらは $\beta \approx 0.6\pi$ とし、 $\partial\Theta/\partial a_1 \rightarrow 0$ となる a_1 を式(3)から数値的に求め、それぞれ $a_1 = 1.15505040$ 、 $a_1 = 1.17036295$ を得ている。一方、FDTD(2,4)法は $\beta \rightarrow 0$ で $a_1 = 1.125$ である。

我々は、TamらやWangらが式(3)に β を与えることで数値的に求めた a_1 を、式(3)を解析的に解くことにより式(4)に示す β の値による係数 a_1 を導出している。

$$a_1 = \frac{8(27\sin\frac{\beta}{2} - \sin\frac{3\beta}{2}) - 12\beta(9\cos\frac{\beta}{2} - \cos\frac{3\beta}{2})}{60\beta - 90\sin\beta + 18\sin2\beta - 2\sin3\beta} + \frac{6\beta - 18\sin\beta + 9\sin2\beta - 2\sin3\beta}{60\beta - 90\sin\beta + 18\sin2\beta - 2\sin3\beta} \quad (4)$$

係数 a_1 の取りうる範囲は、おおよそ $1.125 \leq a_1 \leq 1.289$ であり、全伝搬角で数値分散誤差が最小になる係数 a_1 を分散関係式から算出した結果 $\Delta = \lambda/5$ のとき $a_1 = 1.144770296$ 、 $\Delta = \lambda/10$ で $a_1 = 1.129655712$ 、 $\lambda/20$ で $a_1 = 1.126134825$ を得た。

図1に全伝搬角 θ 、 ϕ の平均誤差 $e_{\theta\phi}$ のクーラン数依存性($\Delta = \lambda/5$)を示す。図1より、 $e_{\theta\phi}$ の最小値と比較すると、従来のFDTD法、最適2次FDTD法、FDTD(2,4)法に比べ数値分散誤差を小さくできる。また、セルサイズが大きいほど数値分散誤差を小さくできる。

高精度最適2次FDTD法の計算コストを、図1に示した全伝搬角 θ 、 ϕ の平均誤差 $e_{\theta\phi}$ で評価する。図1より、高精度最適2次FDTD法は $\Delta = \lambda/5$ 、クーラン数0.1で $e_{\theta\phi} = 1.5 \times 10^{-3}$ となるが、FDTD(2,4)法で $e_{\theta\phi} = 1.5 \times$

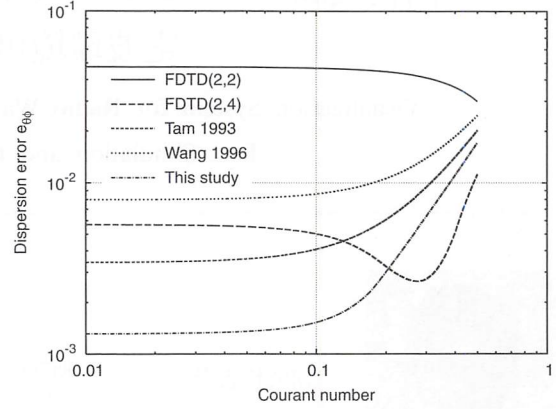


図1 各FDTD法における数値分散誤差 $e_{\theta\phi}$ のクーラン数依存性($\Delta = \lambda/5$)

10^{-3} を得るには $\Delta = \lambda/10$ 、クーラン数0.3にする必要がある。このことから、FDTD(2,4)法と比較すると、使用メモリは $1/8$ 、計算時間は $3/8$ に軽減できる。

1.2 ステレオカメラを用いた3次元計測

本研究では、ステレオカメラによる3次元計測の取得データを用いて空間の数値モデルを構築する。ステレオカメラによる3次元計測では、測定対象の3次元座標 (x, y, z) は式(1)で求まる。

$$\begin{cases} x = \frac{x_l + x_r}{2(x_l - x_r)} B \\ y = \frac{f}{x_l - x_r} B \\ z = \frac{z_l + z_r}{2(x_l - x_r)} B \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 (x_b, z_b) 、 (x_r, z_r) は左右2枚の画像の対応座標、 f は焦点距離、 B はカメラ距離である。

1.3 3次元計測情報による室内環境数値モデルの構築

式(5)のようなステレオカメラを用いた3次元計測により得られた3次元座標をもとに、FDTD法用の数値モデルを構築する。本手法では任意方向に置かれた物体にも対応できるように、物体の内外判定に平面の方程式を用いる。FDTD法用の数値モデル構築の手順は、(1)物体の特徴点座標を入力し、(2)特徴点の座

標をもとに物体を構成するすべての面の方程式を求める。ここで、3点 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) を通る平面の方程式は式(6)で、また式(6)の各成分 a, b, c, d の導出は式(7)で表される。(3)算出した面の方程式に不等号を組み合わせることで物体の内部を表す条件式を作成し、(4)物体の内部に位置するセルにその物体の電気定数 ϵ, μ, σ を与える。

$$ax + by + cz = d \quad (6)$$

$$a = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}, b = \begin{vmatrix} x_1 & 1 & z_1 \\ x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$c = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}, d = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$$

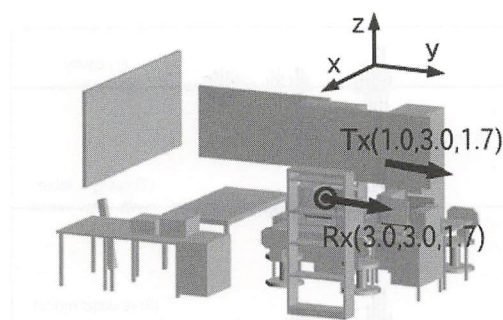
2. 研究成果

2.1 FDTD 数値モデルの構築

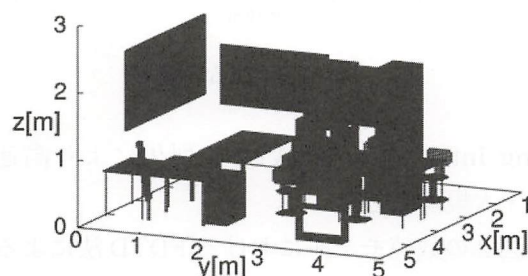
1. 2, 1. 3 節で示した実環境数値モデル構築法により、例として、実際の研究室の数値モデルを構築する。研究室の大きさは、 $x = 4.5 \text{ m}$, $y = 4.5 \text{ m}$, $z = 3.0 \text{ m}$ であり、室内にはPCなどの直方体の物体が25個、テーブル7個、イス5個、棚2個が存在するものとする。ここでは、室内の物体の電気定数はすべて $\epsilon_r = 5.0$, $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$ とした。セルサイズは 0.01 m と 0.03 m とした。

図2に構築したFDTD用数値モデルを示す。図2(a)は物体の内外判定のもととなる平面を3次元表示させたものであり、図2(b)はセルサイズ 0.03 m で構築したFDTD法用数値モデルである。図2より、室内環境のFDTD法用数値モデルを構築できることが確認できる。

数値モデル構築に要する時間を評価する。評価にはCPUがCore 2 Duo 1.86 GHz、メモリ2 GBのPCを用いた。図2のモデルにおいて、座標入力から数値モデル構築までに要する時間は、セルサイズ 0.03 m で15.8秒、 0.01 m では425.2秒であった。数値モデル構築に要する時間は、解析領域の大きさのほか、モデル化する



(a) 平面の方程式による3Dモデル表示



(b) FDTD 法用数値モデル

図2 研究室内の数値モデル

物体の個数に比例して増加する。また、物体の内外判定に使用する平面の方程式の数が物体の形状によって違うため、物体の種類によってモデル構築時間が異なる。直方体、テーブル、イス、棚1個あたりのモデルに要する時間は、それぞれ0.13, 0.67, 0.79, 1.07 sであり、複雑な形状ほど数値モデル構築に時間を要することが分かる。

2.2 室内環境数値モデルを用いたFDTD法による電波伝搬散乱解析

図2の数値モデルを用いてFDTD法による電波伝搬散乱解析を行う。解析空間は $4.5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ とし、上下面と側面3面に10セル分の厚さの壁を設けた。セルサイズは $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01 \text{ m}$, $\Delta t = 10^{-11} \text{ s}$ とした。壁にはコンクリート ($\epsilon_r = 6.0$, $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$)、物体には木材 ($\epsilon_r = 3.0$, $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$) の電気定数をそれぞれ与え、(1)空間内に物体が存在しないとき、(2)テーブルのみ配置したとき、(3)すべての物体を配置したときの3条件で解析を行った。計算はMPI (Message Pas-

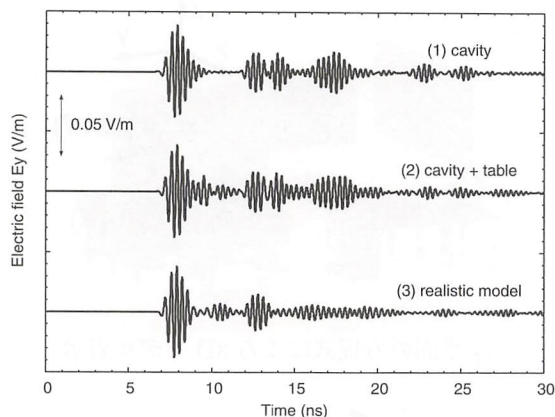


図3 FDTD法による解析結果

sing Interface) を用いた並列化により高速化・大規模化を行った。

図2の数値モデルにおけるFDTD法による解析結果を図3に示す。図3は、波源から x 方向に2.0 m離れた観測点における電界 E_y の波形である。図3より、室内のモデル化により解析結果に違いが生じていることがわかる。例えば、9 ns付近の電界 E_y を見てみると、(1) モデルを使用しなかった場合の E_y は0.015 V/m程度であるのに対し、(2) テーブルのみ、(3) すべての物体を配置した場合では、それぞれ0.02 V/m, 0.01 V/mとなっている。今回の解析から、数値モデルの精度を上げることで、解析した電磁界応答も現実になることが確認できた。

2.3 高精度化した最適2次FDTD法の並列計算による電波伝搬散乱解析

図4にFDTD法、FDTD(2,4)法、高精度最適2次FDTD法で計算した図2のモデルの波源から2.0 m離れた観測点における電界 E_y を示す。

計算パラメータは、 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.05$ m, $\Delta t = 10^{-11}$ sとした。図4より、従来のFDTD法は数値分散誤差が大きいこと、また、高精度最適2次FDTD法とFDTD(2,4)法は細部で一致しないことが分かる。図1で高精度最適2次FDTD法の方が数値分散誤差は小さいことを示したが、図4においても、高精度最適2次

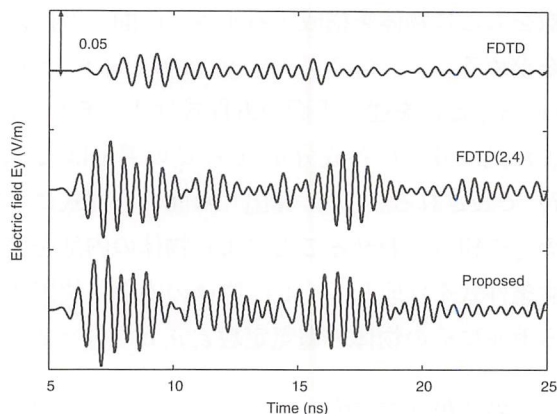


図4 高精度化した最適2次FDTD法を用いた実環境室内モデルにおけるパルス解析 ($\Delta = \lambda/5$)

FDTD法の方が数値分散誤差は小さく計算結果の精度も高いと考えられる。

ここまでは計算結果の確認のために、1点の観測点における電界値の時間応答を示したが、FDTD法では時間毎の全領域の電磁界値すべてを計算できるので、電磁界分布を可視化可能である。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、従来手法に比べ高精度で高速に計算する電磁界解析法として、最適2次FDTD法の高精度化と並列計算による高速化・大規模化を試み、さらに、これまで実現できていなかった実環境モデルにおける高精度な電磁界解析を行った。この結果、(1) 従来手法より使用メモリを12%、計算時間を38%に削減できる手法を開発し、(2) 精度の高い実環境モデルを用いることにより精度の高い電磁界解析が可能になることを示した。

今後の課題・展開として、(1) ビデオ画像を用いた実環境モデルの全領域・高速自動構築、(2) GPGPUやCell/B.E.など高速ハードウェア実装によるリアルタイムシミュレーション、(3) 計算した電磁界分布を実シーンに重ねて表示する超現実感システムへの展開が挙げられる。

[成果の発表, 論文等]

論文発表

1. J. Sonoda, H. J. Kim, and M. Sato: "High-Accuracy Optimal Second-Order FDTD for Analysis of Large-Scale Three-Dimensional Electromagnetic Wave Propagation" IEEE Trans. on Antennas and Propagation, (manuscript in preparation).
2. J. Sonoda, T. Oyamada, Y. Kanazawa, H. J. Kim, and M. Sato: "Analysis of Electromagnetic Wave Propagation on Large-Scale and Realistic Model Using High-Accuracy Optimal 2nd-Order FDTD Method" IEEE Trans. on Antennas and Propagation, (manuscript in preparation).
3. 小山田拓司, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之: "実環境数値モデルを用いた FDTD 法による電波伝搬解析", 電気学会論文誌 (投稿中)

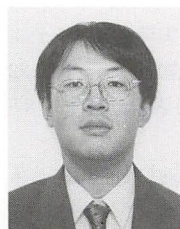
学会発表

1. 園田潤, Hee Joon Kim, 佐藤源之: "高精度最適 2 次 FDTD 法による大規模実モデル電波伝搬解析", 信学総大・講演論文集 CS-1-6 (2010. 3)
2. 小山田拓司, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之: "実環境電波伝搬散乱解析のための FDTD 数値モデル構築", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 信学総大・講演論文集 B-1-42 (2010. 3)
3. 小山田拓司, 園田潤, 金澤靖: "実環境数値モデルを用いた FDTD 法による電波伝搬解析", 平成 22 年東北地区若手研究者研究発表会講演資料 YS-8-C2, pp.71-72 (2010. 2)
4. 小山田拓司, 園田潤: "実環境電波伝搬解析のための FDTD 数値モデルの構築", 平成 21 年度第 3 回情報処理学会東北支部研究会, 資料番号 09-3-10 (2009. 12)

糖尿病発症の危険性を電気化学的手法で効率的に診断するための 新規デバイスの開発

Development of a novel device to efficiently detect the probability of the
diabetes by electrochemical methods

1091017



研究代表者

東京理科大学 理学部 応用化学科 准教授

鳥 越 秀 峰

〔研究の目的〕

メタボリックシンドロームの言葉に代表されるように、生活習慣病である糖尿病の発症が社会問題となっている。また、ヒトゲノムの解析が進行し、個人ごとに遺伝子の塩基配列が異なる1塩基多型(SNP)が、糖尿病など生活習慣病の発症と密接に関連することが明らかである。II型糖尿病の発症には、インシュリン遺伝子とアディポネクチン遺伝子のSNPが密接に関連する。具体的には、インシュリン遺伝子の開始コドンの23塩基上流のSNPが相同染色体でT/Tの場合には、インシュリンの分泌量が正常であるが、T/A及びA/Aの場合には、インシュリンの分泌量が低く、II型糖尿病の発症の危険率が高い。また、アディポネクチン遺伝子の開始コドンの11377塩基上流のSNPが相同染色体でG/Gの場合には、アディポネクチンの分泌量が正常であるが、C/C及びC/Gの場合には、アディポネクチンの分泌量が低く、II型糖尿病の発症の危険率が高い。この糖尿病発症の危険因子であるインシュリン遺伝子とアディポネクチン遺伝子のSNPを効率的に検出する新規の診断方法を開発できれば、遺伝子由来の糖尿病発症の危険性を被験者が容易に知ることができ、自らの食生活・食習慣を改善し、糖尿病発症の予防に役立てることができると考えられる。

SNP検出方法としてヘテロデュプレックス法が知られている(図1)。SNPに該当する塩基対がタイプI(ex. T:A)である2本鎖DNAとタイプII(ex. A:T)である2本鎖DNAを混合・加熱して、1本鎖にほどいた後、徐冷して2本鎖を再形成すると、元の2本鎖以外に、互いの鎖を交換したミスマッチ塩基対(ex. T:T, A:A)を含む2本鎖を生成する(図1)。この新たに生成したミスマッチ塩基対の種類を同定できれば、元の2本鎖のSNPを検出できる。T:Tミスマッチ塩基対に Hg^{2+} が1:1のモル比で高い親和性で特異的に結合すること(図2)、C:Cミスマッチ塩基対に Ag^+ が1:1のモル比で高い親和性で特異的に結合すること(図2)を、申請者は世界で初めて見つけている。本研究では、このミスマッチ塩基対と金属イオンの特異的結合を利用して、糖尿病発症の危険因子である上記のインシュリン遺伝子とアディポネクチン遺伝子のSNPを効率的に検

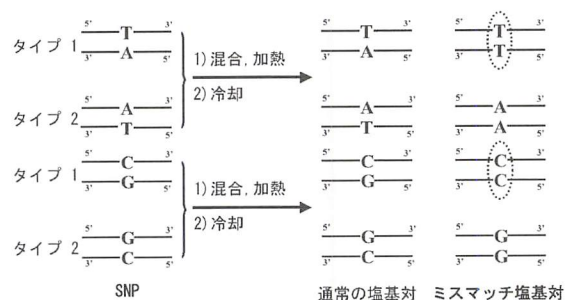


図1 ヘテロデュプレックス法の原理

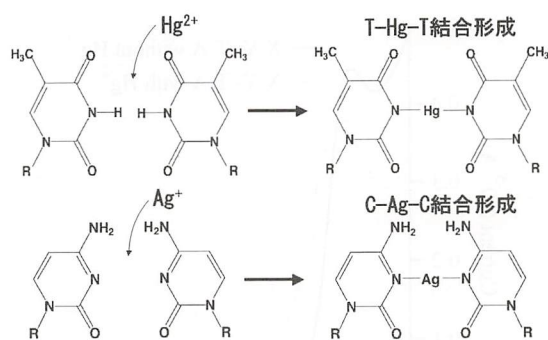


図2 ミスマッチ塩基対と金属イオンの結合形成

出できる、新規の診断方法を開発することを目的とした。

〔研究の内容、成果〕

糖尿病発症の危険因子である上記のインシュリン遺伝子とアディポネクチン遺伝子の SNP を含む 2 本鎖 DNA を金基板上に固定化し、電気化学的検出を行う (図 3, 図 4)。Watson Crick 塩基対のみを含む 2 本鎖 DNA の片鎖の 5' 末端を電子授受可能なアントラキノン誘導体で標識し、3' 末端をチオール化して金基板に固定化する (図 3 (a), 図 4 (a))。この軸方向に電圧を加えると、アントラキノン誘導体から放出された電子が DNA 塩基の π 共役を介して 2 本鎖内を伝達し、電流値を観測できる。 Hg^{2+} 及び Ag^+ を添加しても 2 本鎖に結合せず、2 本鎖構造は不変であるので電流値は変化しない。

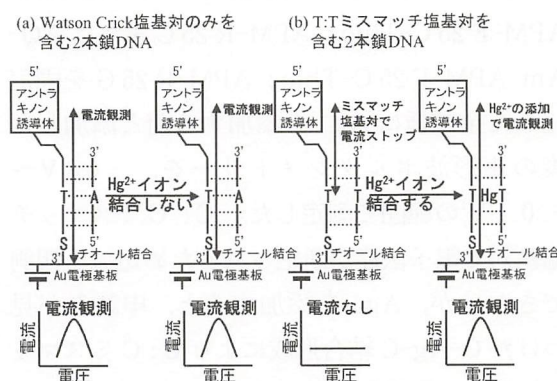


図3 電気化学的検出の原理

- (a) T:A Watson Crick 塩基対の場合
(b) T:T ミスマッチ塩基対の場合

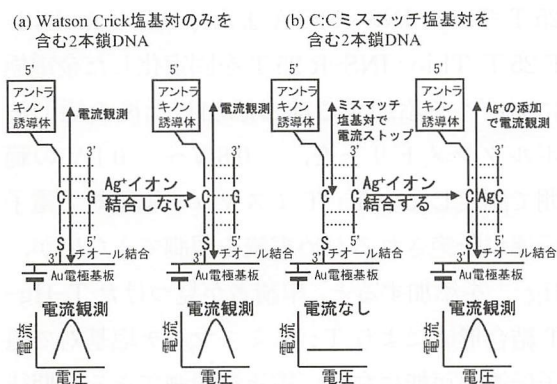


図4 電気化学的検出の原理

- (a) C:G Watson Crick 塩基対の場合
(b) C:C ミスマッチ塩基対の場合

一方、T:T 及び C:C ミスマッチ塩基対を含む 2 本鎖 DNA も同様に、金基板に固定化する (図 3 (b), 図 4 (b))。この軸方向に電圧を加えても、ミスマッチ塩基対の部位で電子伝達が断絶されるため、電流値を観測できない。しかし、 Hg^{2+} 及び Ag^+ を添加すると、申請者が世界で初めて発見した T-Hg-T と C-Ag-C 結合形成によりミスマッチ塩基対の部位での電子伝達が可能になり、電流値を観測できる。以上のように、 Hg^{2+} 及び Ag^+ 添加前後の電流値の変化の有無より、T:T 及び C:C ミスマッチ塩基対を簡便・正確・迅速に同定でき、SNP を効率的に検出できる、新規の診断方法を開発することを目指した。

(1) インシュリン遺伝子の SNP の電気化学的検出

5' 末端をアミノ基で標識し、3' 末端をチオール基で標識した、インシュリン遺伝子の SNP を含む領域のオリゴヌクレオチド DNA、5'-GCCCTGCCTGTCTCCCAGATCACTG-3' にアントラキノン誘導体 (AQ) を反応させ、5' 末端を電子授受可能な AQ で標識した AQ-Am-INS-F 25 T-Thio を調製した。また、相補鎖である通常の DNA、INS-R 25 T: 5'-CAGTGATCTGGGTGACAGGCAGGGC-3', INS-R 25 A: 5'-CAGTGATCTGGGAGACAGGCAGGGC-3' を調製した。AQ-Am-INS-F

25 T-Thio: INS-R 25 A または AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 T を固定化した金電極に Hg^{2+} を添加する前と添加した後の矩形波ボルタンメトリーを, $-0.8 \text{ V} \sim -0.1 \text{ V}$ の範囲で測定した。T: T ミスマッチ塩基対で電子伝達が断絶されるため電流を観測できないが, Hg^{2+} を添加すると, 申請者が見つけた T-Hg-T 結合形成により T: T ミスマッチ塩基対で電子伝達が可能になり, 電流を観測できると期待された。これに合うように, AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 T に Hg^{2+} を添加する前は電流を観測できなかったが (-0.7 V 付近のピークはアーティファクト), Hg^{2+} を添加すると -0.67 V 付近に電流を観測できた (図 5)。一方, Watson Crick 塩基対では電子伝達により電流を観測でき, Hg^{2+} を添加しても 2 本鎖に結合せず, 2 本鎖構造は不変であるので電流値は変化しないと期待された。AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 A に Hg^{2+} を添加する前は, 理由は不明だが, 電流を観測できず (-0.7 V 付近のピークはアーティファクト), Hg^{2+} を添加すると -0.66 V 付近でわずかなではあるが, 電流を観測できた (図 6)。 Hg^{2+} 添加に伴う電流変化が, AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 A と AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 T の間で, あまり差が

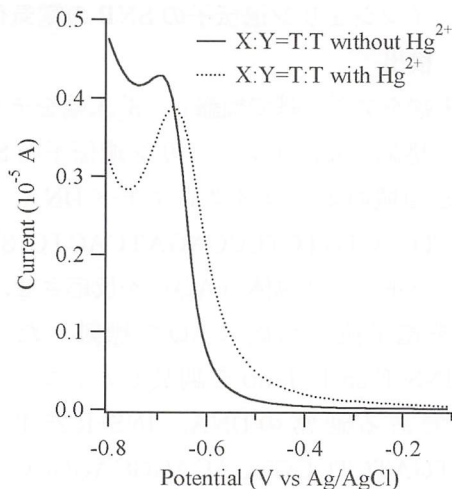


図 5 Hg^{2+} 非存在下, 存在下の AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 T の矩形波ボルタンメトリー

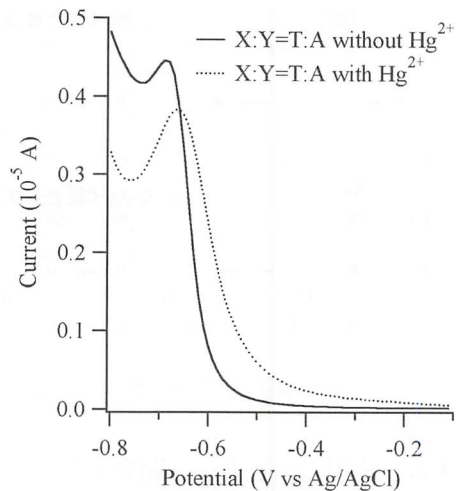


図 6 Hg^{2+} 非存在下, 存在下の AQ-Am-INS-F 25 T-Thio: INS-R 25 A の矩形波ボルタンメトリー

なかった。

(2) アディポネクチン遺伝子の SNP の電気化学検出

5' 末端をアミノ基で標識し, 3' 末端をチオール基で標識した, アディポネクチン遺伝子の SNP を含む領域のオリゴヌクレオチド DNA, 5'-CTCAGATCCTGCCCTTCAAAAACAA-3' にアントラキノン誘導体 (AQ) を反応させ, 5' 末端を電子授受可能な AQ で標識した AQ-Am-APM-F 25 C-Thio を調製した。また, 相補鎖である通常の DNA, APM-R 25 C: 5'-TTGTTTTTGAAGCGCAGGATCTGAG-3', APM-R 25 G: 5'-TTGTTTTTGAAGGGCAGGATCTGAG-3' を調製した。AQ-Am-APM-F 25 C-Thio: APM-R 25 C または AQ-Am-APM-F 25 C-Thio: APM-R 25 G を固定化した金電極に Ag^+ を添加する前と添加した後の矩形波ボルタンメトリーを, $-0.8 \text{ V} \sim -0.1 \text{ V}$ の範囲で測定した。C: C ミスマッチ塩基対で電子伝達が断絶されるため電流を観測できないが, Ag^+ を添加すると, 申請者が見つけた C-Ag-C 結合形成により C: C ミスマッチ塩基対で電子伝達が可能になり, 電流を観測できると期待された。これに合うように, AQ-Am-APM-F 25 C-Thio: APM-R 25 C に Ag^+

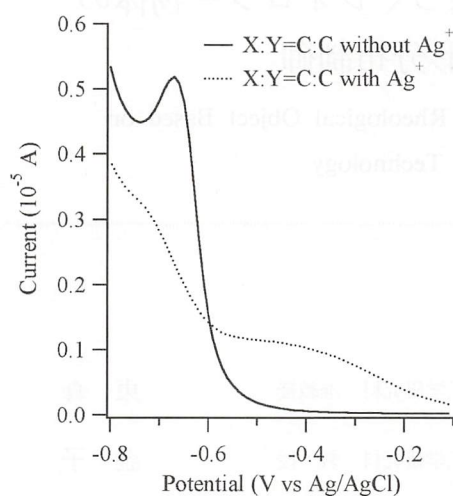


図7 Ag^+ 非存在下, 存在下の AQ-Am-APM-F25C-Thio: APM-R25C の矩形波ボルタンメトリー

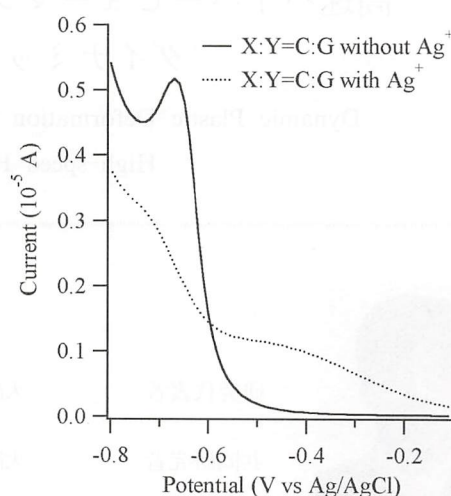


図8 Ag^+ 非存在下, 存在下の AQ-Am-APM-F25C-Thio: APM-R25G の矩形波ボルタンメトリー

を添加する前は電流を観測できなかったが (-0.7 V 付近のピークはアーティファクト), Ag^+ を添加すると -0.4 V 付近でわずかなではあるが, 電流を観測できた (図7)。一方, Watson Crick 塩基対では電子伝達により電流を観測でき, Ag^+ を添加しても2本鎖に結合せず, 2本鎖構造は不変であるので電流値は変化しないと期待された。AQ-Am-APM-F 25 C-Thio: APM-R 25 G に Ag^+ を添加する前は, 理由は不明だが, 電流を観測できず (-0.7 V 付近のピークはアーティファクト), Ag^+ を添加すると -0.4 V 付近でわずかなではあるが, 電流を観測できた (図8)。 Ag^+ 添加に伴う電流変化が, AQ-Am-APM-F 25 C-Thio: APM-R 25 C と AQ-Am-APM-F 25 C-Thio: APM-R 25 G の間で, あまり差がなかった。

[今後の研究の方向, 課題]

II 型糖尿病の発症に関連する, インシュリン遺伝子とアディポネクチン遺伝子の SNP の電気化学的検出方法に関する基礎的知見を得ることができた。今後は, Hg^{2+} または Ag^+ を添加する前の電流挙動を中心に解析を進め, 実用化の基礎となる検出系を確立する必要がある。

[成果の発表, 論文等]

1. Torigoe, H., Miyakawa, Y., Fukushi, M., Ono, A., and Kozasa, T.: "Development of a novel device to trap heavy metal cations: Application of the specific interaction between heavy metal cation and mismatch DNA base pair" *Nucleic Acids Symp. Ser.*, 53, 23–24 (2009)

高速ハイパーヒューマン技術に基づくレオロジー物体の ダイナミック塑性変形分布制御

Dynamic Plastic Deformation Control of a Rheological Object Based on
High-speed Hyper Human Technology

1091019



研究代表者

大阪大学大学院 工学研究科 准教授

東 森 充

共同研究者

大阪大学大学院 工学研究科 教授

金 子 真

[研究の目的]

食品などのレオロジー物体は、外力の与え方により、一時的で後に復元する変形（弾性変形）と永久的な変形（塑性変形）のバランスが変化する。塑性変形は、食品の見た目を魅力的な商品として維持するための要素となるだけでなく、実際に消費者が口にした際の食感にも影響を及ぼす繊細で重要なポイントと成るが、単純なグリッパ方式の生産ラインでは塑性変形まで操る技術は実現できていないのが現状である。本研究では、『人間と機械の調和の促進』として、従来、職人の技巧に依存していた塑性変形制御技術の自動化・高速化を目的とし、食品分野に留まらず、装飾・芸術分野にまで及んだロボットシステムによる高速成形技術の確立という意義を持つ。

[研究の内容、成果]

本研究では、未知レオロジー物体に対し、変形特性をセンシングした上で目標塑性変形量を生成するための一連のハンドリング戦略について考察した。はじめに、レオロジー物体の変形特性を、4要素粘弾性モデルで近似し、粘弾性変形と塑性変形の関係を定式化した。次に粘弾性パラメータを推定した後、粘性要素の1つと

接触力積分値に基づいて目標塑性変形量を生成する戦略を提案した。最後に、提案手法の有効性を実機実験により定量的に確認した。

1. モデル化

1.1 解析モデルと定式化

レオロジー物体の変形特性の近似モデルとして、Fig. 1 (b) の4要素粘弾性モデル（弾性×2、粘性×2）を用いる。Fig. 1 (b)において、 x_h , x , f はそれぞれグリッパの変位、対象物の変形量、グリッパと対象物間の接触力である。

Fig. 1 (b) のモデルにグリッパの把持操作によって接触力 f が作用した場合を考える。Fig. 1 (b) から得る力学的関係式から、次式を得る。

$$a_2 \ddot{x}(t) + a_1 \dot{x}(t) = b_2 \ddot{f}(t) + b_1 \dot{f}(t) + f(t) \quad (1)$$

$$a_2 \equiv \frac{c_1 c_2 (k_1 + k_2)}{k_1 k_2}, a_1 \equiv c_1,$$

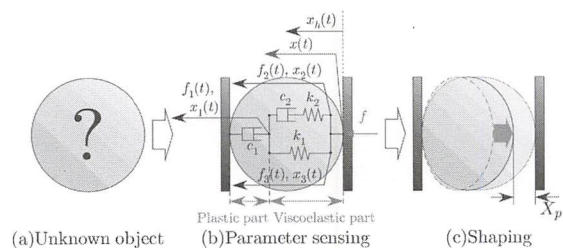


Fig. 1 Active shaping of a rheological object

$$b_2 \equiv \frac{c_1 c_2}{k_1 k_2} \quad b_1 \equiv \frac{c_1 k_2 + c_2 (k_1 + k_2)}{k_1 k_2}$$

式 (1) より, グリッパからの接触力 u に対する対象物全体の変形量 x の応答を得ることができる。

1.2 弾 / 塑性変形の分離性

Fig. 2 (i)～(iv) に示すように, グリッパから対象物へ加える接触力 f を以下のように与える場合を考える。

- (i) 増荷重 ($0 \leq t < t_1$): 接触力 $f = f_c$ まで増加。
- (ii) 定荷重 ($t_1 \leq t < t_2$): 接触力 $f = f_c$ に維持。
- (iii) 除荷重 ($t_2 \leq t \leq T_h$): 接触力 $f = 0$ まで減少。
- (iv) 無荷重 ($T_h < t \leq \infty$): 接触力を $f = 0$ に維持。

また, グリッパと対象物が実際に接触している時間をハンドリング時間 T_h とする。Fig. 2 下部実線に式 (1) より得られる対象物の変位応答 $x(t)$ を示す。 $x(t)$ の応答より, 把持解放後に変形の一部が復元し, 一部が残存するレオロジー物体の特徴が表現できていることが分かる。

ここで, Fig. 2 (a) の 4 要素の働きに着目し, k_1, k_2, c_2 で構成される部位の変位 $x_2 = x_3$ と, c_1 の変位 x_1 に分離して考える。前者については, 除荷重終了後に, 時刻 $t \rightarrow \infty$ で変位が完全

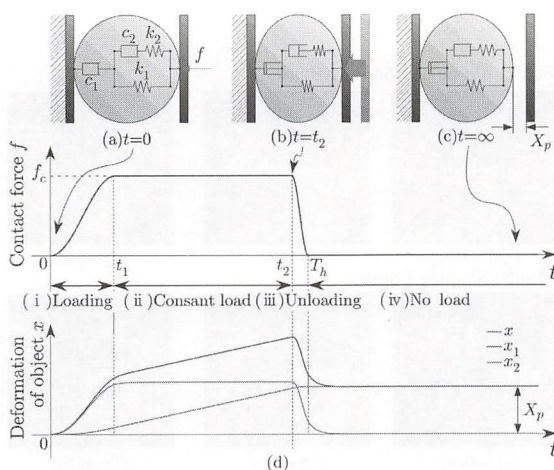


Fig. 2 Decomposition of object's response

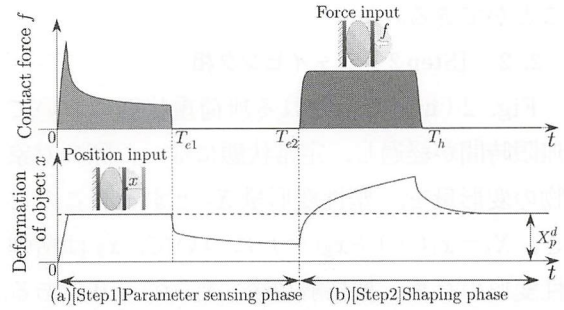


Fig. 3 Two-step strategy for generating the desired plastic deformation

に復元する。一方, 後者については, 除荷重終了時の変位が維持される。以上の性質を踏まえると, Fig. 1 (a) に示すように, レオロジー物体全体の変形応答 $x(t)$ を塑性変形 $x_1(t)$ と弾性変形 $x_2(t)$ に分離して, 次式のように表現することができる。

$$x_1(t) = \frac{1}{c_1} \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (2)$$

$$x_2(t) = x(t) - x_1(t) \quad (3)$$

2. 未知レオロジー物体のシェイピング戦略

2.1 [Step 1] パラメータセンシング相

粘弾性パラメータが未知の状態では, 1.2 節のように接触力を入力として対象物に変形を与えると, 変位応答が推測できないため, 最悪の場合, この時点で塑性変形量が目標値を超えてしまう危険性がある。Fig. 1 に示すような引っ張り力を生成できないグリッパ方式のハンドでは, 目標値を超えて定常状態となった変形を復元することができない。一方で, 対象物の変形動特性を精度よく推定するためには, できるだけ大きな変形を観測することが望ましい。以上の点を踏まえ, 本ステップでは目標塑性変形量 X_p^d を最大値とした位置入力を用いて対象物に変形を与える。この操作により, パラメータがどのような値であっても, 把持解放後の塑性変形量が目標値を超えないことが保証される。以上の操作の間 ($0 \leq t \leq T_{e2}$) の接触力情報, 対象物変位情報および式 (1) より, 式 (1) の係数パラメータの最小自乗近似解を算出する

ことができる。

2.2 [Step 2] シェイピング相

Fig. 2 (iv) で示される無荷重状態において無限時間が経過し、定常状態になった際の対象物の変形量を、塑性変形量 X_p とする。このとき、 $X_p = x_1(\infty) + x_2(\infty)$ について、 x_2 は粘弾性変形のため、把持解放後、 $x_2(\infty) = 0$ である。一方、 x_1 は塑性変形であり、 $f(t) > 0$ 、すなわち $0 \leq t \leq T_h$ の間のみ変形するので、 $x_1(\infty) = x_1(T_h)$ となる。したがって、 $f = f_1 = c_1 \dot{x}_1$ より、対象物に最終的に残存する塑性変形量 X_p は、次式で与えられる。

$$X_p = x_1(T_h) = \frac{1}{c_1} \int_0^{T_h} f(t) dt \quad (4)$$

式 (4) および c_1 を用いて、目標塑性変形量 X_p^d を生成するための接触力積分値 $F^d(X_p^d)$ を次式で求めることができる。

$$F^d(X_p^d) = c_1 X_p^d - \int_0^{T_h} f(t) dt \quad (5)$$

式 (5) 右辺第 2 項は、[Step 1] で既に対象物に与えられた接触力積分値である。式 (5) に基づき、接触力 f をセンサ系からリアルタイムで取得しながら接触力積分値を監視することで、本ステップでは、レオロジー物体の全変形量に含まれる塑性変形量をアクティブに管理する。これにより、対象物の変形が $x = X_p^d$ で定常となるには、理論上 $t \rightarrow \infty$ が必要となる一方で、グリッパの操作を有限時間 T_h で完了することができる。

3. 実験

3.1 実験システム

Fig. 4 に実験装置の概要を示す。把持部分は並行グリッパで構成されており、一方を土台に固定し、もう一方を PC で制御可能な一軸スライダで駆動する。スライダは、位置および力フィードバック制御が可能である。また、ビジョンセンサにより、対象物全体の变形情報 $x(t)$ を得ることができる。実対象物として、概形で幅 44 [mm] × 奥行き 22 [mm] × 高さ 22

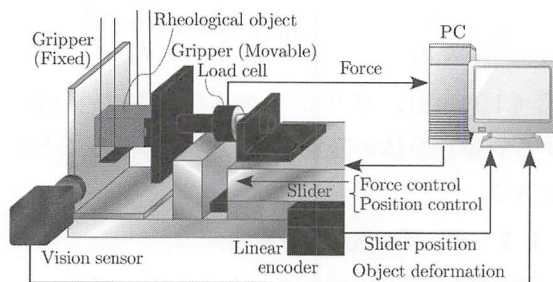


Fig. 4 An overview of experimental system

[mm] の直方体形状の小麦粘土を用いた。

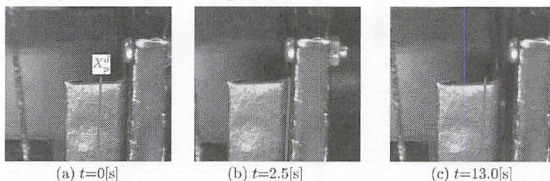
3.2 実験結果

Table 1 に、 $f_c = 5.0$ [N] の下で目標塑性変形量 $X_p^d = 5.0$ [mm] を与えた際の実験結果として、4 回の試行 I ~ IV における粘弾性パラメータの推定値と塑性変形量を示す。目標値 $X_p^d = 5.0$ [mm] に対し、平均値 $X_p = 4.7$ [mm] が実現できている。Fig. 5 に試行 I における実験の様子を示す。Fig. 6 に、同試行時の接触力 f と対象物の変形量 x の時系列データを示す。なお、Fig. 6 (a) ~ (f) の時刻はそれぞれ Fig. 5 (a) ~ (f) の状態と対応している。Fig. 6 の破線は、[Step 1] によって得た推定値と接触

Table 1 Experimental results

	c_1	c_2	k_1	k_2	X_p
I	5.13	1.49	1.04	1.76	5.1
II	4.11	0.915	1.11	2.28	4.3
III	3.46	0.500	0.622	1.41	4.8
IV	3.08	0.364	0.661	1.46	4.6
Avg.	3.95	0.817	0.858	1.73	4.7

[Step1] Parameter Sensing Phase



[Step2] Shaping Phase

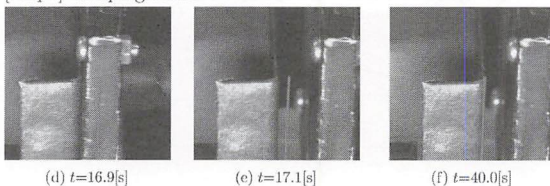


Fig. 5 A series of photos during an experiment

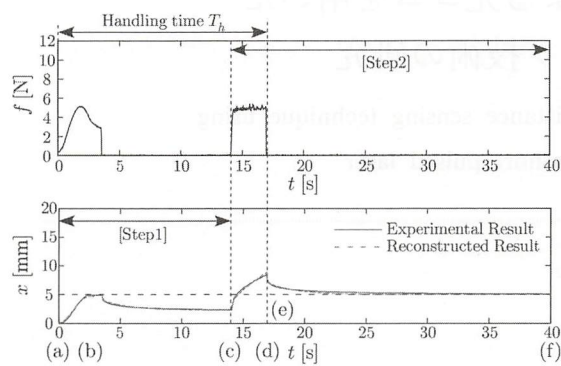


Fig. 6 Contact force and deformation of object with respect to time

力 f を式 (1) に代入して得た変形量 x の再現波形である。[Step 1] での力-変形情報のみで推定した粘弾性パラメータにもかかわらず、再現波形は全域で実験値波形とよく一致した。また、[Step 2] では対象物の変形が目標値を一度超えてしまうが、グリッパを離すと対象物が徐々に復元し、目標塑性変形量に近づいていくことが確認できた。Fig. 6 (f) に示すように、最終的な目標塑性変形量 X_p^d の生成が完了する時刻は $t \sim 40$ [s] にも及ぶが、実際にグリッパが対象物を操作しているのは、Fig. 6 (d) に示すように $t = T_h = 16.9$ [s] までであった。

このように、本手法では対象物全体の変形に含まれる塑性変形をアクティブに管理することによって、ハンドリング時間 T_h を短縮できるという利点を有することを、実験的に確認することができた。

[今後の研究の方向，課題]

今後は、食品等の実対象物への適応性を考慮し、非均一モデルおよびシェイピング問題の多軸化を検討する予定である。

[成果の発表，論文等]

[1] 吉本佳世，東森充，金子真：未知レオロジー物体の弾／塑分離性に基づくアクティブシェイピング，第 27 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1 A 2-05 (2009)

[2] M. Higashimori, K. Yoshimoto, and Makoto Kaneko: Active Shaping of an Unknown Rheological Object Based on Deformation Decomposition into Elasticity and Plasticity, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 10), pp.5120-5126 (2010)

超短パルスレーザーによる光コムを用いた 高度距離センシング技術の研究

Development of high-performance distance sensing technique using
an optical comb of ultrashort pulsed laser

1091022



研究代表者 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 室長 美濃島 薫

[研究の目的]

本研究の目的は、超短パルスレーザーという高機能な光源を用いて、高精度、高効率な高度センシング技術を開発することである。多次元性と精密性を兼ね備えた光源を用いることで、高精度なセンシングに伴う膨大なデータ処理なしに、計測自体から直接的に精密な結果を得ることができれば、人間と機械の双方にとって省力化につながる。

上記の目的を達するため、本研究では、距離センシング技術に特化し、超短パルスレーザーに内在する多数の等間隔な光周波数モード（光コム）を基準とした、高精度かつ高効率な計測技術の開発を目標としている。

その中で、本助成研究期間内には、光源の特性の向上によって、光コムのモード間隔を拡大することにより、従来に比べて信号検出効率を向上させ、実用的な計測に不可欠な高速化と高感度化に資する基礎技術を確立することを目的として研究を行った。

[研究の内容・成果]

超短パルスレーザーは時間軸では短いパルスが繰り返し発生するパルス列であるが、フーリエ変換した周波数軸で見ると、広い範囲にわたり、多数の鋭い光周波数モードが櫛の歯のよう

に並んでいる。これはその形状から光コム（櫛）と呼ばれている。

光コムにおいては、各モードが精密な周波数基準となっており、さらにそれらがMHz～GHz程度の周波数間隔で、厳密に等間隔で整列していることが特徴である。そのため、光コムを光検出器によって検出すると、それらの多数の光周波数モード同士がビート（うなり）を生じ、電波（RF）の領域に多数の等間隔な周波数成分が発生する（RFコム）。RFコムの周波数成分も、多数の精密な基準となる。

本研究の距離センシング原理は、RFコムの精密な周波数基準を用い、そのRF波長をものさしの目盛りとして、距離を測定するものである。具体的には、光コムを伝播させて測定対象との間の距離を往復させ、到達したRF波長の位相を測定する。多数のコム成分から波長の短い高周波成分を容易に利用できるため、高精度測定が実現できる。また、RFコムの複数のレンジの目盛りを用いることで、絶対距離（変位ではなく2点間の距離）を決定できる。実際に、これまで、RF成分として、基本周波数の50MHzと200次高調波10GHzを用いて、200mの距離に対して2 μ mの世界最高分解能を実現している。さらに、800次高調波40GHzを用いて、短距離では、200nmの分解能を実現している。

しかし、これまで広く使われている光コムの

周波数モード間隔は、50 MHz 程度であり、上記原理に従って距離測定する際には、50 MHz ごとに整列する RF コムの多数の成分の中から、測定に使用する成分のみを切り出す必要がある。そのため、周波数軸上の光の利用効率が低く、さらに実際の信号検出においては多数の周波数成分が同時検出されるため、検出器の飽和のために、検出信号強度が低下するという課題があった。これは、同じ信号感度を得るためには、信号の積算時間を長く取る必要があることを意味し、計測速度の制限要因ともなっていた。

近年、モード同期レーザーの高繰り返し化（コム間隔の拡大）に関する研究は盛んに行われており、基本次モード同期においても繰り返し 1 GHz の高精度な光コムが報告されている。しかしながら、高繰り返し化は同じ平均パワーであればパルスエネルギーの低下を意味し、モード同期レーザーとしての安定性を損なうと同時に、非線形光学効果を利用した広帯域光発生など、超短パルスや光コムとしての応用性を制限しかねないため、レーザー共振器を直接高繰り返し化するのには限度がある。

そこで、本研究では、上記の課題解決のため、繰り返し周波数 50 MHz のモード同期ファイバレーザーにおいて、ファブリー・ペロー (FP) 共振器による光コムのモードフィルタリングを行い、1.5 GHz 間隔の光コムの生成を行った。光コムのモードフィルタリングは、チタンサファイアレーザーを中心に、近年、研究が盛んになってきており、200 MHz の高繰り返しファイバレーザーにおいても報告があるが、本研究では、より汎用性のある低繰り返し周波数のファイバレーザーに注目した。モード同期ファイバレーザーを用いた光コム（ファイバ・コム）は、長期安定性が高く、操作が容易であるなど実用性に優れた特長を持つ。

光コムの出力を FP 共振器に入射させると、FP 共振器のモードと一致した周波数を持つ光コムのモードのみがフィルタリングされる。このとき、FP 共振器の Free Spectral Range

(FSR) と光コムの繰り返し周波数 (f_{rep}) の通倍が等しいと、多数の光コムのモードが同時に出力され、実効的に周波数間隔の広がった光コム出力が得られる。ここで、FP 共振器により抜き出される光コムモード本数の割合 N は、 $N = \frac{\text{FSR}}{f_{\text{rep}}}$ の様に与えられる。

このとき、光コムの FP 共振器透過後の平均光パワーは透過前と比較し $1/N$ となるが、検出器の飽和抑制により、結果として RF 信号の増強効果が期待できるため、応用上のメリットが大きい。

実際には、FP 共振器の分散のため、FSR は周波数依存性を持つ。一方で、光コムの周波数間隔はモード同期の特性により一定であるため、FSR とコム間隔の一致する帯域は制限され、FP 共振器を透過する光コムのスペクトル帯域も制限される。そのため、低分散光学系を用いて共振器を構成している。

Fig. 1 に実験系を示す。ファイバ・コムとして、中心波長 1,560 nm のモード同期エルビウム (Er) ファイバレーザーを用いた。繰り返し周波数 f_{rep} は 50 MHz である。ファイバ・コムの出力は Er ファイバ増幅器 (EDFA) で増幅され、平均出力 50 mW となる。増幅されたファイバ・コムの出力は、モードマッチレンズを透過後、FP 共振器に入射される。FP 共振器は、曲率半径 50 cm の 2 つの低分散誘電体ミラー ($R=99\%$) で構成した。共振器の FSR は 1.5 GHz、フィネスは 300 である。FP 共振

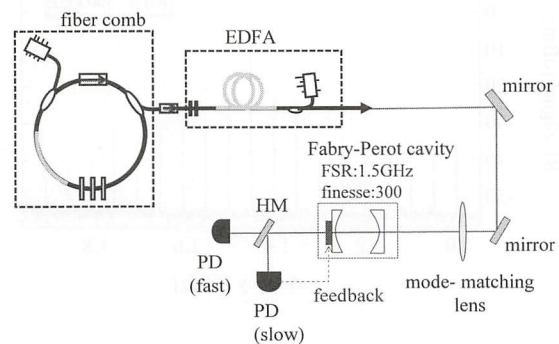


Fig. 1 Experimental setup
HM: half mirror; PD: photodetector

器からの光コムの透過パワーを応答の遅い検出器によって受光し、共振器長にフィードバック制御をかけている。

FP 共振器を透過する光コムの出力を高速光検出器（応答周波数 10 GHz）と高周波アンプによって検出した際の RF スペクトルを Fig. 2 (a) に示す。これから、1.5 GHz 間隔のモード間ビート信号が主として生成されている事が確認できる。残存する光周波数モードにより生成される 50 MHz 離れた隣接ビート信号は、選別された 1.5 GHz のビート信号に対し 30 dB 抑圧されていた (Fig. 2 (b))。

次に光検出器の飽和の抑制効果を調べた。光検出器に入力される光コムの平均光パワーを変化させながら、1.5 GHz のモード間ビート信号の RF 出力を測定した。FP 共振器によるフィルタリングを行った場合と行わない場合について、それぞれ測定した結果を示す (Fig. 3)。どちらの場合も光コムの強度に比例して信号レ

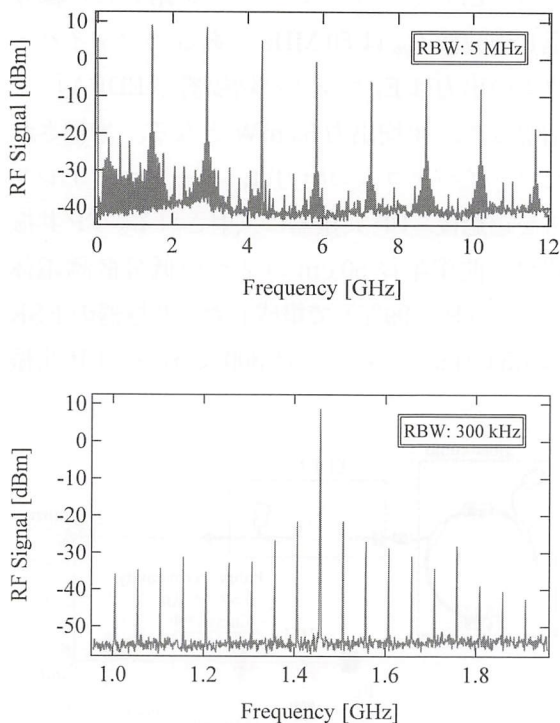


Fig. 2 RF spectra of intermode beats of frequency comb after filtering with a 1.5 GHz Fabry-Perot cavity detected with 10 GHz photodetector (a) Full span and (b) near 1.5 GHz.

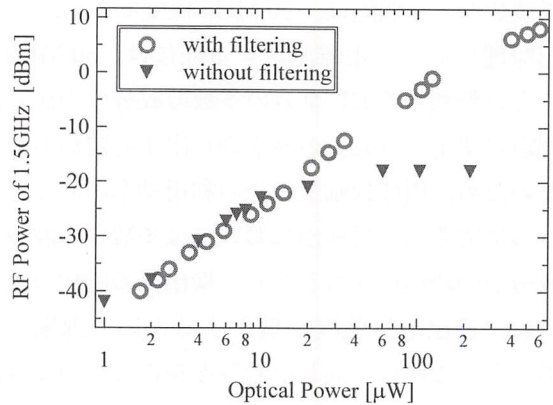


Fig. 3 Power in 1.5 GHz RF comb as a function of detected average optical power for 50 MHz comb without filtering and after filtering with Fabry-Perot cavity

ベルが上昇するが、フィルタリングを行わない場合には、光パワー 10 μ W 以上で RF 出力の飽和が観測される。それに対し、フィルタリングを行った場合には、測定範囲において明らかな飽和が見られず、検出器の飽和の抑制が確認された。その結果、光検出器への入射光パワー 0.6 mW において、1.5 GHz のモード間ビート信号に、フィルタリングによる 26 dB の増強が見られた。

[今後の研究の方向、課題]

以上のように、本助成研究によって、距離計測に用いられる光コムのモード間ビートの RF 信号において、26 dB の大幅な増強を実現した。これにより、計測信号の S/N 比向上、及び、クロストークの抑制が期待される。

今後は、本成果を具体的に距離計測に適用し、その高感度化、高速化を実現していく予定である。そのためには、本研究で実現した技術の可搬性を高め、実用的環境において安定に実現する技術を確立していく必要がある。

本研究の距離計測手法は、研究代表者が原理開発し、既に静止した反射鏡ターゲットでは世界最高精度を実現しているが、計測の高効率化により、目的とする計測の高速化のみならず、

対象となるターゲットの拡大によって、より汎用性のある技術に近づくものと期待できる。

【成果の発表，論文等】

1. 岩本裕，中嶋善品，稲場肇，美濃島薫：“低繰り返しモード同期ファイバレーザにおける光コムモード選別による検出器の飽和抑制”，Optics Pho-

tonics Japan 2009, 26 pPD 15, 新潟（2009）

2. 岩本裕，桜川寛大，早崎芳夫，谷田貝豊彦，稲場肇，美濃島薫：“モードフィルタリングによる低繰り返し光ファイバ・コムを検出器の飽和の抑制”，応用物理学会，19 aF 6，東海大学（2010）
3. 岩本裕，稲場肇，美濃島薫：“ファイバ・インライン型外部共振器による低繰り返し光ファイバ・コムのモードフィルタリング”，応用物理学会（2010）（予定）



新規な規則合金および磁化配列を有する磁気抵抗薄膜による 医療用微小磁気ビーズの検出

Detection of nano-scale magnetic beads for medical application using magnetoresistive multilayer
with a new ordered alloy and magnetization configuration

1091025



研究代表者

秋田大学大学院 工学資源学研究科 准教授

吉 村 哲

〔研究の目的〕

次々と新種が生まれいつ猛威を振るうかも判らないウイルスの検出や、難病予防の研究における DNA 等の検出技術は、我々人間社会の安全確保には必要不可欠である。微小な生体物質の検出を行う方法の1つとして、それらに磁気ビーズ（生体物質への親和性が高い分子がコーティングされている微小磁石）を吸着させ、その磁気ビーズを磁界センサーで検知する方法が行われている。より最先端な生体研究には、より微小な生体物質の検知が可能、つまり超微小な磁気ビーズの検出が可能な、高感度・高出力超微細磁気センサーの開発が求められている。

本研究では、ナノメートルサイズの超微小磁気ビーズの検出が可能な磁気センサーの実現を目的として、種々の規則合金を用いた新規な磁化配列を有する磁気抵抗積層膜の作製を行った。本センサーの動作原理を図1および以下に記す。

1. ビーズが磁化していない場合、磁化固定層である $L1_0$ 規則構造を有する合金薄膜は膜面垂直方向に磁化しており、そして磁化自由層である $L2_1$ 規則構造を有するフルホイスラー合金薄膜は膜面内方向に磁化しており、磁化方向に大きな角度差が存在するため、磁気抵抗は大きい（積層膜を流れる電流が小さい）。2. ビーズが磁化し、その漏れ磁界により磁化自由層の磁化方向が膜面垂直方向へと変化する。3. 上下磁

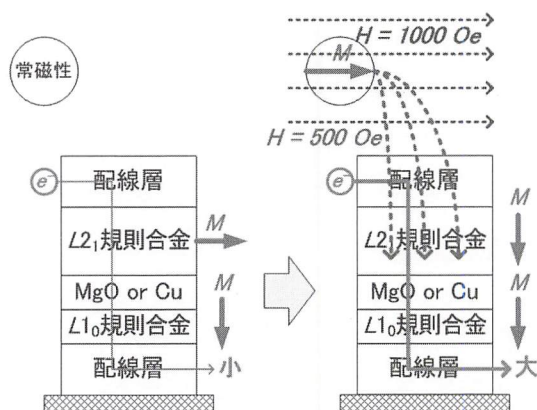
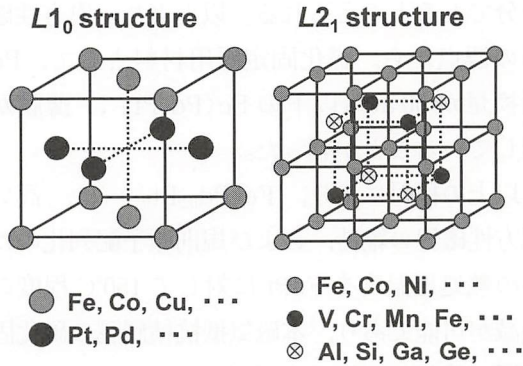


図1 超微小磁気ビーズの検出用磁気センサーの模式図

性層の磁化方向が平行化して磁気抵抗が減少する（積層膜を流れる電流が増大する）。4. 積層膜を流れる電流の変化を読み取ることで、ビーズの存在を認識できる。

本センサーにおいて、上記のような動作が効果率的に行われるためには、磁化固定層の磁化方向は外部磁界の有無に係わらず変化させない、その一方で磁化自由層の磁化方向は膜面垂直方向に向き易くさせる、磁気抵抗変化率を大きくする、などの課題を解決しなければならない。そして、各薄膜の形成において、生産に適したプロセスで実現しなければならない。

図2に、 $L1_0$ 規則構造および $L2_1$ 規則構造の模式図を示す。原子が規則的に配列することにより特長的な物性を示し、 $L1_0$ 型規則合金は、 c 軸（ (001) 配向した薄膜では膜面垂直）方向

図2 L₁₀型およびL₂₁型規則構造を有する合金の模式図

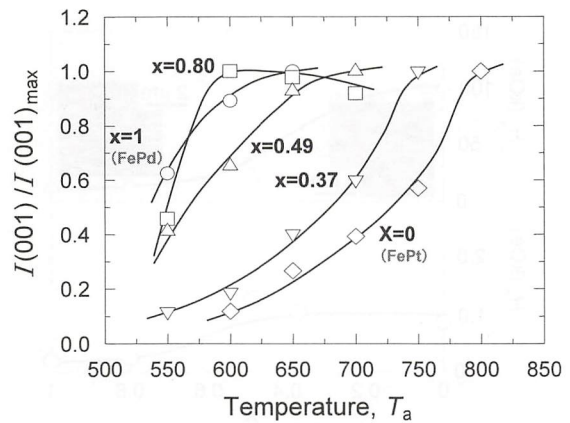
に大きな異方性磁界を持つ材料が多く、L₂₁型規則合金は、スピン分極率が高い材料が多いことが知られている。それぞれの代表的な材料として、FePt, Co₂MnSi などがある。これらを使用することにより、磁化固定層の磁化方向は膜面垂直方向から変化しない、磁気抵抗変化率が大きい、ことがそれぞれ期待される。しかしながら、これら既存の材料を用いた場合では、飽和磁化値が大きいために磁化自由層の磁化方向が膜面垂直方向に向きにくいこと (Co₂MnSi)、規則原子配列化のための熱処理温度が高く生産に適さないこと (FePt, Co₂MnSi)、が課題として残る。

本研究では、これらの課題を解決し得る材料を新規に開発し、そしてそれらの薄膜を生産に適したプロセスで作製する手法を開発することを目的とした。

【研究の内容、成果】

1. L₁₀型規則合金について

前述の通り、L₁₀型のFePt薄膜は、異方性磁界が極めて大きいものの、規則原子配列化のための熱処理温度が高いことが問題である。ここで、L₁₀型のFePd合金バルクは、FePt合金バルクに対して、異方性磁界は1/4程度と小さいものの、L₁₀構造からfcc構造への変態温度、融点が、それぞれ500℃、200℃程度低いことから、FePd薄膜において、規則原子配

図3 Fe(Pd_xPt_{1-x}) 薄膜におけるX線回折ピーク（規則格子線）強度の熱処理温度依存性

列化のための熱処理温度がFePt薄膜よりも低いことが期待される。

そこで本研究では、(001)配向のL₁₀型Fe(Pd_xPt_{1-x})薄膜を作製し、その規則原子配列化のための熱処理温度、ならびに異方性磁界について調べた。

図3に、MgO(100)単結晶基板上に作製したFe(Pd_xPt_{1-x})薄膜(10nm)における、X線回折装置により測定した(001)規則格子からの回折強度比の、薄膜成膜後の熱処理温度(T_a)依存性を示す。各熱処理温度の回折強度は、熱処理条件が最適化されて高い規則度を有する同一組成の試料における(001)からの回折強度で規格化されている。ここで、いずれの薄膜も、MgO(001)単結晶基板上にエピタキシャル成長して(001)配向していることを確認しており、回折強度比が高いほど、規則度が高いことを意味する。いずれの組成の薄膜も、熱処理温度の増大に伴い規則原子配列化が進行するが、FePt薄膜の場合は高い規則度を得るために800℃程度の熱処理が必要であるのに対し、Ptに対するPd置換量の増大に伴い高い規則度を得るための熱処理温度が低下し、FePd薄膜の場合は600℃程度の熱処理で高い規則度が得られることが判った。

以上より、Fe(Pd_xPt_{1-x})薄膜において、Pd置換量の増大により、規則原子配列化のための

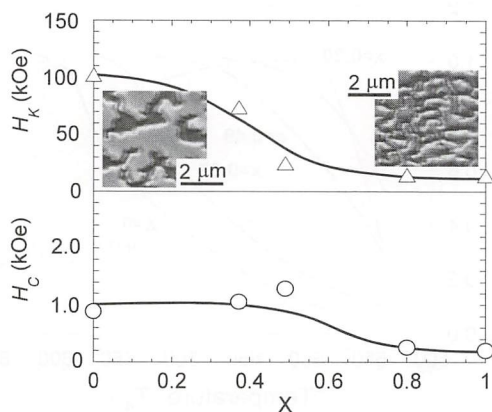


図4 Fe(Pd_xPt_{1-x}) 薄膜における異方性磁界および保磁力の組成依存性

熱処理温度が減少し、Pd 置換量が 50 at% において約 150°C 程度、Pd 置換量が 100 at% において最大 200°C 程度低減できることが判った。

図4に、(001) 配向した Fe(Pd_xPt_{1-x}) 薄膜における異方性磁界 (H_k) と保磁力 (H_c) の、Pt に対する Pd 置換量依存性を示す。図中に、FePt, FePd それぞれの薄膜の直流消磁状態の磁区構造も併せて示す。いずれの薄膜においても熱処理条件は最適化されており、規則度は 0.8 程度であった。異方性磁界は Pd 置換量の増大に伴い、102 kOe から 14 kOe へとほぼ単調に減少した。保磁力もおおよそ同様の傾向を示し、2.0 kOe から 0.3 kOe まで減少した。また、FePd 薄膜の磁区サイズは、FePt 薄膜の場合に比較して小さい傾向を示しており、これは異方性磁界の相違によるものと考えられる。尚、最も異方性磁界の小さい FePd 薄膜においても磁区サイズは 1 マイクロメートル近くあり、これは磁気ビーズ用磁界センサーサイズに対して十分に大きいため、素子化された磁気抵抗積層膜の Fe(Pd_xPt_{1-x}) 磁化固定層の保磁力は異方性磁界と同程度になることが期待される。

ここで、本磁気抵抗積層膜の磁化固定層に求められる磁気特性は、磁気ビーズからの漏れ磁界程度では磁化方向が変化しないこと、安定的に膜面垂直方向に磁化すること、などが要求され、20 kOe 以上の異方性磁界を有していれば

十分であると考えられる。以上より、異方性磁界の観点から、磁化固定層用材料として、Pd 置換量が 50 at% 以下の Fe(Pd_xPt_{1-x}) 薄膜が適していることが判った。

以上の検討により、Fe(Pd_{0.5}Pt_{0.5}) は、高い異方性磁界の維持、および規則原子配列化のための熱処理温度を FePt に対して 150°C 程度の低減が可能であり、本磁気抵抗積層膜の磁化固定層に適していることが判った。

2. L₂₁ 型規則合金について

前述の通り、L₂₁ 型の Co₂MnSi 薄膜は、スピン分極率が高いものの、飽和磁化値が大きいため磁化自由層に用いた場合に磁化方向が膜面垂直方向に向きにくいこと、規則原子配列化のための熱処理温度が高いことが問題である。ここで、新規に開発した L₂₁ 型の Fe₂(Mn,Cr)Si 合金は、Co₂MnSi と同様に高いスピン分極率を有しながら、Co₂MnSi 合金に対して、飽和磁化値は 1/3 程度と小さいことが理論的に予測されている。よって、Fe₂(Mn,Cr)Si 薄膜は、磁化方向が膜面垂直方向に向き易く磁化自由層に適することが期待される。しかしながら、規則原子配列化のための熱処理温度は高いままであることが懸念される。

ここで、本合金の規則構造は、本来は室温において安定に形成されるものである。それにも拘わらず実現されない要因は、薄膜を形成しようとする原子が平衡状態になる前に運動エネルギーを失うためである。失った運動エネルギーを熱エネルギー（熱処理）で補うことにより、薄膜を構成する原子が平衡状態になり、規則構造が実現される。よって、この失った運動エネルギーを熱エネルギー以外のものでも補うことが可能となれば、規則構造化のための熱処理温度を低減できることが期待される。

そこで本研究では、Fe₂(Mn,Cr)Si 薄膜成膜中における薄膜へのプラズマ（エネルギー）照射を行い、規則構造化のための熱処理温度を低減することを試みた。

図5に、本実験で用いた薄膜作製装置（スパッタリング法）の模式図を示す。スパッタリングカソード2基（スパッタリングターゲット）は真空装置内で切り替え可能で計11元、基板ステージ1基に対して、DC電源、RF（13.56 MHz）電源、VHF（40.68 MHz）電源の接続を切り替えることが可能である。本薄膜作製装置の最も特長的な点は、スパッタリング成膜中に、基板ステージにVHFバイアスもしくはDCバイアスを印加できることである。これにより、基板ステージ付近にプラズマを励起したり電位を制御することが可能で、薄膜表面に制御された運動エネルギーを有するプラズマ（イオン）を照射することが可能となる。

図6に、成膜中にVHFプラズマ照射を行わない一般的な場合と、VHFプラズマ照射を行った場合の、成膜後の熱処理温度に対するFe-Mn-Cr-Si薄膜の飽和磁化値を示す。基板

にはMgO（100）単結晶基板を用い、成膜は室温で行った。作製したFe-Mn-Cr-Si薄膜の組成は $\text{Fe}_{52}(\text{Mn}_{60}\text{Cr}_{40})_{24}\text{Si}_{24}$ であった。ここで、本Fe-Mn-Cr-Si薄膜は、原子が規則配列構造を形成していない場合は磁性を持たず、規則化して初めて強磁性を示し、完全規則化したときの飽和磁化値は、理論上 525 emu/cm^3 である。VHFプラズマ照射を行わない場合、熱処理温度の上昇に伴い、Fe-Mn-Cr-Si薄膜の飽和磁化値は単調に増大し、 500°C において約 480 emu/cm^3 が得られた。このことは、熱処理温度の上昇に伴い、Fe-Mn-Cr-Si薄膜の規則原子配列化が進行したことを意味する。この変化の傾向および高規則化に必要な熱処理温度が 500°C 程度であることは、強磁性フルホイスラー合金薄膜においては一般的なことである。これに対し、成膜中にVHFプラズマ照射を行った場合、熱処理温度が 300°C においても高い飽和磁化値が得られた。このことから、成膜中のVHFプラズマ照射により、Fe-Mn-Cr-Si薄膜の規則原子配列化のための熱処理温度を 500°C から 300°C へと低減することに成功したと言える。

以上より、規則原子配列構造を有する高機能薄膜の高品位化を、生産プロセスに適用可能な温度で実現できることを示した。

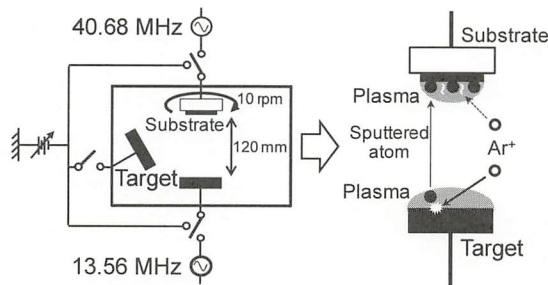


図5 薄膜作製装置およびVHFプラズマ照射の模式図

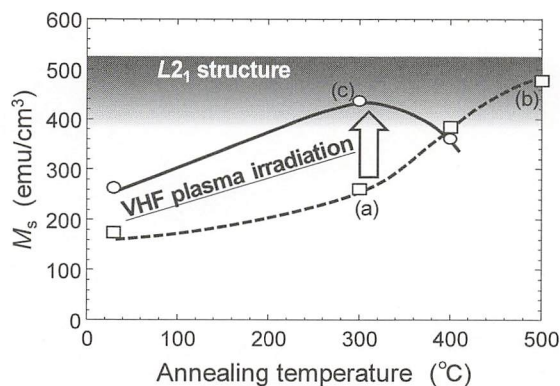


図6 VHFプラズマ照射を用いて作製したFe-Mn-Cr-Si薄膜の磁気特性

【今後の研究の方向、課題】

超微小磁気ビーズ用磁気センサーを実現するためには、高い機能を有する磁性材料の開発およびその薄膜を高品位に作製する成膜技術の確立が必要不可欠である。これまで述べてきたように、本研究で作製した $\text{Fe}(\text{Pd}_{0.5}\text{Pt}_{0.5})$ 薄膜および $\text{Fe}_2(\text{Mn,Cr})\text{Si}$ 薄膜が、そしてVHFプラズマ照射成膜プロセスが、これらに適していると言える。今後は、これらの薄膜材料および成膜プロセスを用いて磁気抵抗積層膜を形成し、本センサーの実現を目指す。

[成果の発表, 論文等]

- 1) S. Yoshimura et al.,: "Perpendicular magnetic anisotropy and ordering temperature of $L1_0$ -Fe (Pd, Pt) thin films for high", 11 th Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, January 19 (2010)
- 2) S. Omiya, S. Yoshimura et al.,: "Control of

magnetic anisotropy field of (001) oriented $L1_0$ -Fe(Pd_xPt_{1-x}) films for MRAM application", 2 nd ISAMMA, Sendai, Japan, July 14 (2010)

- 3) S. Yoshimura et al.,: "Reduction of $L2_1$ ordering temperature for Fe₂(Mn,Cr)Si alloy films by VHF plasma irradiation", 2nd ISAMMA, Sendai, Japan, July 14 (2010)

国際交流報告の抄録一覧

(平成 21 年度)

〔派遣〕

- ◆ 2009 IFSA World Congress, 2009 EUSFLAT Conference (1092001) 137
 円 谷 友 英 高知大学 教育研究部 人文社会科学系 准教授
- ◆ The 13th International Conference on Human-Computer
 Interaction (HCI 2009) (1092002) 137
 西 原 陽 子 東京大学大学院 工学系研究科 助教
- ◆ The 13th International Conference on Human-Computer
 Interaction (HCI 2009) (1092003) 138
 橋 爪 絢 子 筑波大学大学院 人間総合科学研究科 博士後期課程 2 年
- ◆ IEEE International Conference on Communications (ICC 2009) (1092004) 138
 韓 承 鎬 電気通信大学 電子工学科 助教
- ◆ RSA Conference 2009, Cryptographers' Track (CT-RSA 2009) (1092005) 139
 松 田 隆 宏 東京大学大学院 情報理工学系研究科 電子情報学専攻
 博士課程 2 年
- ◆ The 13th International Conference on Miniaturized Systems for
 Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2009) (1092101) 139
 桑 名 健 太 東京大学大学院 情報理工学系研究科 博士課程 3 年
- ◆ AUSTRAMA 2010 (109202) 140
 酒 井 利 奈 北里大学 医療衛生学部 講師
- ◆ The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent
 Robots and Systems (IROS) (1092103) 140
 瀬 戸 文 美 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 主任研究員
- ◆ The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent
 Robots and Systems (IROS) (1092104) 141
 辻 俊 明 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科 助教

- ◆ The 24th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance
in VLSI Systems (1092105) 141

野 地 亮 志 広島市立大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻
博士後期課程 2 年

- ◆ The 13th International Conference on Miniaturized Systems for
Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2009) (1092106) 142

元 祐 昌 廣 東京理科大学 工学部 機械工学科 助教

- ◆ Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH) 2010,
Optical Society of America (OSA) (2002002)..... 142

角 江 崇 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 設計工学専攻
博士後期課程 2 年

〔招 聘〕

- ◆ The 26th SENSOR SYMPOSIUM (1093101) 143

石 田 誠 豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 教授

〔国際会議〕

- ◆ The 7th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2009) (1085005) ... 143

徳 田 英 幸 慶應義塾大学 環境情報学部 学部長・教授

- ◆ The 11th IEEE International Conference on Rehabilitation
Robotics 2009 (ICORR 2009) (1085006) 144

永 井 清 立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 教授

- ◆ ACIS International Workshop on e-Activity (1085008) 144

松 尾 徳 朗 山形大学大学院 理工学研究科 准教授

〔派遣〕

派遣研究者	高知大学 教育研究部 人文社会科学系 准教授 円谷 友英	1092001
研究集会名	2009 IFSA World Congress, 2009 EUSFLAT Conference	
出張期間	平成 21 年 7 月 18 日～平成 21 年 7 月 29 日	
開催場所	ポルトガル共和国リスボン市	
発表論文	Interval AHP for a group of decision makers (グループ意思決定における区間 AHP)	

概要：

IFSA は、1985 年から 2 年に一度開かれており、ファジィに関連する研究者が一堂に会する大規模な世界大会である。本大会の前日（7 / 20）には、Instituto Superior Tecnico 大学でチュートリアルが開かれた。午前には 3 つと午後には 2 つがそれぞれパラレルで組まれていた。この分野の第一人者の講義を、じっくりと腰をすえて受けることができ非常に充実感があつた。

本大会は、4 日間（7 / 21～24）に渡り、毎朝 9 時から 1 時間のプレナリートークに続いて、4～5 つのパラレルセッションが、午前と午後にそれぞれ 2 回ずつ開催されていた。発表論文数は延べ 500 件を超えており、内容は工学的・実用的アプローチ、数理的アプローチ、経済学的アプローチと多岐にわたっていた。私が参加した意思決定や不確実性に関するセッションでは、いくつかの応用・実用に関する研究報告があり、これらを自分の研究と重ね合わせて、応用可能性を探る上でヒントが得られた。

私自身は、“Interval AHP for a group of decision makers” について発表した。聴衆は、最終日にもかかわらず、20 名程度と予想以上に多かった。質疑応答の最後に、司会者から、自分ではあまり意識していなかったこの研究のおもしろい点を指摘してもらうことができ、これは今後、さらに掘り下げて考えていく余地がある課題だと思っている。また、セッション終了後に別の参加者から、違った角度からのアプローチの可能性についてのアイデアをもらい、これも今後の研究テーマとして取り組んでいくつもりである。このような次の研究への方向が見えたことが、大きな収穫である。

〔派遣〕

派遣研究者	東京大学大学院 工学系研究科 助教 西原 陽子	1092002
研究集会名	The 13 th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2009)	
出張期間	平成 21 年 7 月 20 日～平成 21 年 7 月 26 日	
開催場所	アメリカ合衆国カリフォルニア州サンディエゴ市	
発表論文	Event Extraction and Visualization for Obtaining Personal Experiences from Blogs (ブログから体験談を獲得するためのイベント抽出とその可視化手法)	

概要：

HCI 2009 はヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際会議で、2 年に 1 回開催されている。第 13 回目となる本会議には 73 カ国から 1800 人の参加者が集まり、5 日間に渡って議論が行われた。本国際会議はこの分野に関する会議の中で、最も規模が大きい会議の一つであり、他の国際会議やシンポジウムも併設開催されているため、幅広い分野の研究を総覧することが可能となっている。

申請者は、日本語のブログテキストを画像を用いて要約する研究を発表した。発表したセッションが情報視覚化のセッションであったためか、視覚化に関する質問が多かった。提案したシステムで用意した画像の枚数を問われたため、合計 2000 枚の画像を人手により集めて用意した旨を回答した。また、要約の対象としている言語を問われたため、現在は日本語にしか対応していないこと、今後他の言語にも対応し、異文化コミュニケーションを支援するツールとして改良をすすめる旨を回答した。

他に興味を持った発表としては、検索エンジンで使われる検索キーワードを集め、ユーザの嗜好を推定し、更新された Web ページの中からユーザが興味を持ちそうなページを推薦するシステムに関する発表があった。システムにおけるユーザインタラクションや、視覚化の方法に工夫を凝らすことにより、ユーザの情報獲得を支援する点に新規性があり、大変興味を持った。

印象に残ったことは、年々、会議の規模が大きくなっており、この分野だけではなく、関連する諸分野の情報を集めることが可能になりつつあることである。引き続き参加し、自らの研究の糧にしたいと考えている。

〔派 遣〕

派遣研究者	筑波大学大学院 人間総合科学研究科 博士後期課程2年 橋爪 絢子	1092003
研究集会名 出張期間 開催場所	The 13th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2009) 平成21年7月18日～平成21年7月26日 アメリカ合衆国カリフォルニア州サンディエゴ市	
発表論文	Regional Difference in the Use of Cell Phone and Other Communication Media among Senior Users (高齢者におけるコミュニケーションメディアの利用に関する地域差の分析)	

概要：
HCI 2009 は、人間と機械の相互作用に関する代表的な国際会議の1つである。この国際会議は隔年で開催され、HCIの周辺領域で研究に携わる幅広い分野からの研究者に発表の機会を提供している。今回の会議では、73カ国から合計1927人の参加者が集まり、215セッションと23コースのチュートリアルが行われた。論文著者は64カ国から合計4110人で、1435件の一般発表と208件のポスター発表が行われた。
この国際会議には9つの国際会議が併催された。そのうち、今回新たに加わる The 1st International Conference on Human Centered Designのセッションにて、日本での人間中心設計の取り組みの事例として、申請者は「Regional Difference in the Use of Cell Phone and Other Communication Media among Senior Users」という題目で発表を行った。人間と機械との調和をはかり心地よい人工物を提供するために、ユーザの多様性を重視する研究が盛んに行われており、今回はその1事例として、高齢者における多様性を示す目的で発表を行った。
発表後に、長野短期大学の先生から、今後の研究で調査対象者を探す際には協力をする、と連絡先を教えてくださいました。また、発表に関連して、地域差や世代差も含めたあらゆる文化差について研究をする者同士が集まり、お互いの研究の情報や自分の国などの情報を提供し、協力・支援し合うネットワークを構築し、それを維持する方法について検討するミーティングをアメリカ・ドイツ・デンマーク・カナダ・フィンランド・南アフリカ・日本の7カ国16名で行い、メーリングリストとサイトの作成、定期ワークショップの開催について検討した。

〔派 遣〕

派遣研究者	電気通信大学 電子工学科 助教 韓 承鎬	1092004
研究集会名 出張期間 開催場所	IEEE International Conference on Communications (ICC 2009) 平成21年6月13日～平成21年6月22日 ドイツ連邦共和国ドレスデン市	
発表論文	Constellation Rotated Vector OFDM and Its Performance over Rayleigh Fading Channels (CRV-OFDMとそのレリー通信路上での性能評価)	

概要：
今回参加した ICC 2009 は、Global Communicationsと並べて米国 IEEE Communication Society が主催する旗艦学会である。ICCでは、世界中の企業および大学などの研究機関で活躍している情報通信関連の研究者が集まり、通信のあらゆる分野について広く議論を行う。今年は、投稿された3,000ぐらいの論文の中、3人以上の査読者によって厳選された1,046の論文が発表された。これらの論文は、17以上のセクションでパラレルに発表され、今年は50ヶ国を超える国や地域から2,000人を超える研究者達が参加登録をし、発表された論文について議論や意見交換を行ったほか、会場以外でも広い範囲で交流を行った。
その中で我々は、スペクトル拡散通信と通信理論の二つのセクションで研究成果の発表を行ったが、それぞれのセクションに20人以上の専門家が足を運んでくださって、最新の研究成果を広くアピールすることができたと思っている。特に企業の研究者から我々の研究について大変有益なコメントをいただいて、大学とは異なる角度からの考察ができ、とてもよい経験だと思っており、ぜひ今後の研究活動で生かしていきたい所存である。
今回の参加を通じて、世界の通信領域での研究最前線の動向を把握できたほか、世界中の多くの研究者と意見交換ができて、大変貴重な経験となった。特に、企業の研究者との交流を通じて、産業界の発展状況や関心が集まる分野について勉強できる機会となった。その中で、現在の産業界では、装置化技術の著しい発展により、送信側で通信路状況が分かっている状況についてのより早く安全な通信方式を求めていることが分かり、今後の研究方向の修正について大変参考になると信じている。

〔派遣〕

派遣研究者	東京大学大学院 情報理工学系研究科 電子情報学専攻 博士課程 2 年 松田 隆宏	1092005
研究集会名	RSA Conference 2009, Cryptographers' Track (CT-RSA 2009)	
出張期間	平成 21 年 4 月 20 日～平成 21 年 4 月 26 日	
開催場所	アメリカ合衆国カリフォルニア州サンフランシスコ市	
発表論文	“An Efficient Encapsulation Scheme from Near Collision Resistant Pseudorandom Generators and Its Application to IBE-to-PKE Transformations” (近衝突困難性を持つ擬似乱数生成器を用いた Encapsulation 方式と、その IBE-to-PKE 変換への応用)	

概要： RSA Security 社が主催する RSA Conference は、“情報セキュリティ”に関する会議では最大規模である。例年、5 日間でのべ 2 万人以上が参加している。今回は複数の並行して進む“トラック”とともに、参加者全員に向けられた Keynote Session がいくつも開催された。Keynote Session の一つ“The Cryptographers Panel”では、公開鍵暗号の著名な発明者や研究者の 5 人が議論を交わし、3000 人以上が入れる会場がほぼ満席の大盛況であった。また 200 以上の企業による展示コーナーも設けられていた。

私が参加したトラック、CT-RSA 2009 は“暗号技術・暗号理論”の最新成果を発表する場である。総投稿数は 93 件であり、採録はそこから 31 件であり、例年並の採録率と思われる。常時 50 名以上、多いときで 200 名が聴衆として参加していた。トラック内は、2 つまたは 3 つの発表毎にセッションという単位に区切られ、合計 13 セッション行われた。各論文の第一著者の所属は、米国からが 7 件、フランス、イスラエル、日本、及びブルクセンブルクからが 3 件、その他は欧州とアジアからという内訳である。

私の発表は、ID ベース暗号を扱うセッションで、聴衆は 200 人程度とかなり多かった。本研究の成果は、最強の安全性である選択暗号文攻撃に対する安全性を証明可能な公開鍵暗号の構成法とその暗号文サイズの効率化に関する発表である。発表後、招待講演をされたロンドン大学 Royal Holloway 校の Kenneth G. Paterson 教授及び第一線で活躍されている Jörn Müller-Quade 教授と、研究成果について議論することができ、彼らに成果を評価していただけたことは私自身がこれから研究活動をしていく上での大きな自信となった。

〔派遣〕

派遣研究者	東京大学大学院 情報理工学系研究科 博士課程 3 年 桑名 健太	1092101
研究集会名	The 13 th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2009)	
出張期間	平成 21 年 11 月 1 日～平成 21 年 11 月 5 日	
開催場所	大韓民国済州島	
発表論文	Measurement Method of Cell-surface Receptor Concentration Using Antibody Conjugated Piezoresistive Cantilever (抗体修飾したピエゾ抵抗型カンチレバーを用いた細胞膜受容体密度計測法)	

概要： μ TAS 2009 参加の目的は、現在行っている研究である、細胞表面における細胞膜受容体密度計測法に関して、多くの研究者とディスカッションし、研究の課題を確認することである。発表した手法は、細胞表面における細胞膜受容体密度を機械的な計測により実現する手法であり、従来生物学的なアプローチで行われてきた細胞生物学研究に機械要素を導入する先端的な研究の一つである。本研究が実現すると、細胞分化・細胞分裂の各過程での受容体密度の経時的な変化を 1 つの細胞レベルで計測することが可能となり、細胞レベルでの病気の解明の一助となる。そのため、ライフサイエンス分野の研究者が多く参加する μ TAS 学会に参加し、議論を行うことは研究の実現のために非常に意義深い。

当初ポスター発表の予定であったが、学会の申し出により口頭発表に変更となり、多くの研究者に研究発表を聞いてもらうことができた。質疑応答においては、計測の際の温度などの条件管理について非常に有意義なコメントをもらった。また、招待講演の中で、生体組織の機能を模倣し、MEMS 技術により製作した機器内でその機能を再現しようとする研究について発表があり、自分の研究の応用先を考える上で刺激となった。そのほかにも、66 件の口頭発表を含む 666 件の発表を通し、MEMS 技術から細胞に関する研究まで幅広い内容の研究に関して多くの研究者と話をすることができた。今回 μ TAS 2009 へ参加したことは、私にとって大変貴重な経験となった。

〔派遣〕

派遣研究者	北里大学 医療衛生学部 講師 酒井 利奈	109202
研究集会名	AUSTRAMA 2010	
出張期間	平成 22 年 2 月 10 日～平成 22 年 2 月 14 日	
開催場所	オーストラリア連邦シドニー	
発表論文	Establishment of the fixation method of evaluation standard based on stress and micromotion between the prosthesis stem – osseous tissue (人工股関節ステム－骨組織間の応力と変位量に基づく固定法評価基準の確立)	

概要：

人工関節の固定は人間と機械の調和の問題であり医学分野と工学分野にまたがった複雑な様相を呈する。生体インプラントは工学的な性能が長期臨床成績を左右することが多く、新製品の性能の優位性を正しく、すばやく判断できる基準の作成が必要となる。本助成金受領者がこれまで用いてきた研究手法である有限要素解析（以下 FEM）は疲労試験に費やす時間、労力を大幅にカットできるため、審査の迅速化、臨床試験の省略、効率化が期待できる。

本活動の目的は FEM による生体インプラントの性能評価について研究を行うため国際的なガイドライン作成にむけた基礎データを収集することである。インプラント分野は我が国の先進的な技術力からなるものが多数あり、日本が戦略的に国際規格への提案を行い、国際的な優位性を確立することが可能な分野である。したがって本交流活動の中で明らかとなる課題を解決し研究課題を発展させることができれば、国際規格化を視野に入れたインプラント評価法を確立することができる。

- 上記の国内外における現状を鑑み当該研究において以下の 2 つの項目を検討課題とし重点的に推進した。
- (1) 数値モデルによる有限要素解析により固定部に生じる応力と変位量の最適化について検討した。
 - (2) オーストラリアにおけるインプラント分野の標準化の動きを AUSTRAMA 2010 学術集会に参加し調査した。

〔派遣〕

派遣研究者	千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 主任研究員 瀬戸 文美	1092103
研究集会名	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	
出張期間	平成 21 年 10 月 10 日～平成 21 年 10 月 17 日	
開催場所	アメリカ合衆国ミズーリ州セントルイス市	
発表論文	Online Reference Shaping with End-point Position Feedback for Large Acceleration Avoidance on Manipulator Control (マニピュレータ制御における速度急変動防止のための手先位置フィードバックを伴うオンライン目標位置整形)	

概要：

本国際会議は知能ロボットに関する国際会議の中でも世界 1、2 を争うレベル及び規模のものであり、1988 年から続く実績のある会議である。今回は約 40 カ国より 1650 件の投稿があったが、その中から 900 件の論文が採択となり、採択率は約 55％という厳しいものであった。参加者は 1400 名を超え、5 日間の会期中に 19 の Workshop/Tutorial と 200 近い Regular Session、3 件の Plenary Talk が行われた。

私は“Control of Robot Manipulation”という Regular Session において口頭発表を行った。内容は人間と作業空間を共有し人間と共存・協調するロボットアームのために、滑らかな速度プロファイルを実現し、かつ外乱存在下においてもある程度外力に倣いつつ、外力解消後も速度の急変動を起こすことなく目標手先位置へと収束する動作が可能な制御手法を提案するものである。

私の発表は貴財団の平成 20 年度研究助成を受けて実施された研究の成果をまとめたものであり、その研究成果はシミュレーション結果を示したムービーとともに聴衆の関心を大きく引いた。会場からも数件の質問が出、さらに発表終了後にも意見交換を行うことができた。

また、私は当セッションで Co Chair を務め、会議の運営に貢献した。また、“Haptic Human-Robot Interaction”の Workshop に参加し、特にヨーロッパを中心に行われている人間とロボットの協調に関する研究・プロジェクトについての研究発表を聴講した。さらに、Banquet や Party にも積極的に出席して、国内外の多くの研究者と研究そのものや各国の研究支援制度、教育制度の違いなどについてディスカッションできたのも大きな刺激となった。

〔派遣〕

派遣研究者	埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科 助教 辻 俊明	1092104
会議名 出張期間 開催場所	The 2009 IEEE / RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 平成 21 年 10 月 9 日～平成 21 年 10 月 17 日 アメリカ合衆国ミズーリ州セントルイス市	
発表論文	Command Recognition by Haptic Interface on Human Support Robot (人間支援ロボットの触覚インタフェースによる命令認識)	

概要：

本学会に参加した目的は、第一に立石科学技術振興財団の助成を受けて実施された研究プロジェクト「人間支援機器の高効率化のための触覚信号処理」の研究成果の一部を発表し、国際的に情報発信することである。また、ロボット工学に関する最近の世界の研究動向を調査し、研究を展開する上での新たな知見を得ることを第二の目的とする。

国際会議の開催前日に 10 個の Workshop が実施され、受領者らはそのうち Human Robot Interaction を課題としたものに参加した。ロボットの汎用化を実現するためには人間とロボットの間に生じる力学的干渉を処理する能力をロボットが獲得する必要がある。このような挑戦的な課題に取り組むドイツ、米国、日本の最近の研究動向が紹介された。また、本領域の今後の発展のために、具体的に何を解決する必要があるかを講演者、聴衆の間で議論する場が設けられ、受領者本人の研究に還元され得る多くの知見が得られた。

受領者は「HapticsⅢ」のセッションで発表を行った。本発表は全身が触覚検知機能を持つロボットに対して操作者がなぞる動作を行い、なぞり動作の軌跡や力情報に基づいて命令を認識する技術に関するものである。本発表に対して様々なコメント、質問が得られた。また、これらのコメントや質問に基づいて今後の研究を更に発展させる様々なアイデアを得ることができた点で収穫の多い発表となった。

〔派遣〕

派遣研究者	広島市立大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻 博士後期課程 2 年 野地 亮志	1092105
会議名 出張期間 開催場所	The 24 th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems 平成 21 年 10 月 6 日～平成 21 年 10 月 11 日 アメリカ合衆国イリノイ州シカゴ市	
発表論文	Reliability and Performance Analysis of FPGA-Based Fault Tolerant System (FPGA を用いた耐故障システムの信頼性および性能解析)	

概要：

人が日常生活で利用する電化製品や車、医療で利用される機器に至るまで、身の回りのあらゆるところで人間は機械を利用して生活しています。中でも近年急速に発展したデジタルシステムは、半導体集積回路が組み込まれたコンピュータで制御されています。車や航空機、医療機器などシステムのエラーが人命に直結するものや、メインフレームやサーバのエラーなどの組織のシステムに影響を与えるものも存在し、単に高性能だけでなく、安全に安心して使える、信頼できるコンピュータシステムの設計が重要な課題となっています。

今回私が参加した DFT シンポジウムは、半導体集積回路の信頼性設計に特化した会議であり、回路の故障を検出するためのテスト技術など、信頼性に関する様々な研究発表が行われます。我々は FPGA に代表される再構成可能デバイスを用いた耐故障設計に関する研究を行っており、今回の論文では、FPGA を用いた高信頼システム（漸次縮退システムと待機冗長システム）の性能と信頼度に関する解析結果を発表しました。同じ分野の研究者や開発者が集まるこの会議において、我々の研究や現在注目されている技術に関して広く議論することを目的としました。

私の発表では、同じ分野の研究者に私の提案するモデルを理解してもらい、このモデルの利点と欠点について議論することができました。また、他分野の研究者とも異なる視点で議論することもでき、貴重なコメントを得ることができました。さらに、このシンポジウムで発表された論文の中には、我々が行っている研究に類似したものもあり、本研究の価値を確認でき、今後の研究に繋がるものとなりました。

[派遣]

派遣研究者	東京理科大学 工学部 機械工学科 助教 元祐 昌廣	1092106
会議名	The 13 th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2009)	
出張期間	平成 21 年 10 月 30 日～平成 21 年 11 月 5 日	
開催場所	大韓民国済州島	
発表論文	Optical methodology for flexible bubble manipulation in microfluidic device based on photothermal Marangoni effect (光熱誘起マランゴニ効果を用いたマイクロチップ内気泡の光学的操作)	

概要：

μ TAS は、微小分析システムに関する世界最大の会議であり、各国から最先端の研究結果が発表される。参加者は約 1000 人、発表研究約 650 件と大規模でありながら、採択率は約 6 割とセクションは比較的厳しく、学術的にも産業的にも注目度の高い会議である。会議の主眼であるマイクロシステムは次世代型ウェアラブル診断・分析チップ等への応用が期待されており、学術的・産業的にも注目度が高いが、チップへの送液や内部の反応によって発生した微細気泡の付着はしばしば問題となり、デバイスの安定稼働にとって障害となる。

本研究では、光熱効果によるマランゴニ対流を利用することで、光を用いて外部からの操作で気泡を制御する技術を開発し、その成果について発表を行った。自由な相互討論が可能なポスター発表ということもあり、発表割り当て時間を大きく超過して、世界各国の研究者達との活発な議論並びに意見交換を行うことができた。そのいくつかは今後の研究遂行への大きなヒントとなり得るものを含んでおり、非常に有意義な研究発表の機会を得ることができた。

他のポスター発表については、興味深い発表が非常に多く、わずか 2 時間で約 200 件ものポスターを見ることは困難だったが、特に興味深い発表のいくつかについては研究者と直接対話することができ、非常に良い経験となった。口頭発表は 2 室で並行して行われ、質の高い発表を聞くことができた。

また、会議前に Chonbuku 国立大学の B. J. Baek 教授の研究室を訪れ、施設見学や意見交流、さらにはバイオチップでの液滴操作に関するディスカッションを行い、今後の共同研究への足がかりを得た。

[派遣]

派遣研究者	京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 設計工学専攻 博士後期課程 2 年 角江 崇	2002002
会議名	Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH) 2010, Optical Society of America (OSA)	
出張期間	平成 22 年 4 月 11 日～平成 22 年 4 月 16 日	
開催場所	アメリカ合衆国フロリダ州マイアミ市	
発表論文	Single-Shot Optical-Path-Length-Shifting Color Digital Holography (シングルショット光路長シフトカラーデジタルホログラフィ)	

概要：

本会議は、デジタルホログラフィ及び 3 次元イメージングに関して世界最大規模かつ最高峰の国際会議であり、世界各国から 3 次元計測、3 次元イメージング、3 次元顕微鏡を始めとする 3 次元画像工学に関して最先端科学技術に携わる研究者が集まって活発な議論を交わす場である。この会議で、筆者が考案した、世界初の瞬時の高精度カラー画像計測を可能にするシングルショット光路長シフトカラーデジタルホログラフィ（以下、提案技術）を世界に向けて紹介し、世界最先端の研究者と討論することが目的である。3 次元計測技術に対する世の中のニーズが高まる中、共焦点顕微鏡等の従来技術が成し得ない、動くカラー物体の 3 次元カラー動画画像計測が可能な提案技術は、世界で類を見ない独創的な技術である。提案技術は、獲得した情報を 3 次元画像として表示可能であり、実世界と人間とを繋ぐ次世代のマン＝マシンインターフェースとなり得る画期的な技術である。本会議で発表し討論を行うことにより、提案技術が『人間と機械の調和の促進』に貢献できる分野を拡大すると共に、その具体的な応用を明確にすることを目指す。

本会議で発表することで、3 次元画像工学に関する世界最先端の研究者に対して提案技術の有用性をアピールでき、提案技術を世界的に広めることができた。また、本会議に参加して、3 次元画像工学における最先端の研究について知識・理解を深めることで、提案技術の応用先として、生体細胞の働きの解明や理解、血液の流れの計測や解析等のバイオ医療分野が適しているという知見を得ることができた。

[招 聘]

招 聘 者	豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 教授 石田 誠	1093101
会 議 名	The 26 th SENSOR SYMPOSIUM 第 26 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム	
出張期間	平成 21 年 10 月 15 日～平成 21 年 10 月 16 日	
開催場所	東京都江戸川区タワーホール船堀	
被 招 聘 者	Prof. Clark Nguyen, Director of the Berkeley Sensor & Actuator Center, UC Berkeley	

概 要：

「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムは 1981 年に第 1 回目を開催して以来、学・協会を超えた研究グループ間の情報の交換、アイデアの討議の場として重要な役割を担っている。本会議はこれまで、新たな社会ニーズの創造を目指して、新しい物理・化学現象や効果を生かした新センサ・マイクロマシンおよびその基礎技術、センサの固体化、集積化、多機能化および新しい計測分野に望まれるセンサのインテリジェント化、それらに関連する信号処理技術、アクチュエータ、センサ応用システム、ユビキタス情報ネットワークなど、エレクトロニクス・情報工学に関する先端的な研究に取組み、安全な社会、安心な生活、豊かな地球環境、人々の健康に寄与してきた。

第 26 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムは平成 21 年 10 月 15 日（木）から 10 月 16 日（金）の 2 日間、東京都江戸川区タワーホール船堀で開催され、マイクロマシン分野における第一人者であるカリフォルニア大学バークレー校の C. T. C Ngyuen 教授、イタリア ST マイクロの B. Vigna 氏およびアメリカ・ジョージア工科大学 Mark G. Allen 教授の 3 名を招聘し、招待講演を行った。本年は日本機械学会マイクロナノ工学専門会議、応用物理学会集積化 MEMS 技術研究会との協力により、同時開催シンポジウムが開催されるなど、国際色豊かに学会横断的で活発な議論が展開された。

[国際会議]

申 請 者	慶應義塾大学 環境情報学部 学部長・教授 徳田 英幸	1085005
研究集会名	The 7 th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2009) 第 7 回パーベイシブコンピューティング国際会議	
出張期間	平成 21 年 5 月 11 日～5 月 14 日	
開催場所	奈良県奈良市 奈良県新公会堂	
申請者の役割	実行委員長	

概 要：

本会議は、同分野における世界有数の国際会議である。本会議は、毎年同技術分野の第一線の研究者、技術者 200 ～ 300 名程を集め、最先端の研究発表機会を提供すると同時に、そこでの議論を通して、同技術分野の研究推進を行うものである。パーベイシブコンピューティングとは、ユビキタスコンピューティングとも呼ばれ、コンピュータを実世界中にあまねく存在させるコンセプトを表した言葉である。コンピュータの小型化、高性能化、センサ技術の発達、および無線通信技術の急速な発展を背景に、実世界と機械・人間の調和を担う同技術は、エレクトロニクスおよび情報処理の分野において最重要技術の一つと考えられている。本会議は、学会主催ではない単独の会議であるが、毎回 100 編以上の論文投稿を集め、10％ 台の採択率を誇る著名会議として知られており、本会議の国内開催は、我が国の同技術分野の発展において極めて重要である。

今回の開催では、21 カ国から 230 名の参加者（うち海外からの 101 名）を集め、フルペーパー 20 編（採択率 18％）、ノート 7 編（採択率 21％）の論文発表が行われた。この他、TENORI-ON 開発者、岩井俊雄氏の招待講演、計 50 件のポスター・デモ・ビデオ発表、5 つのワークショップが行われ、活気のある会議となった。リーマンショックに続く世界的不況で国際会議への出張が世界的に絞られているなか、多くの参加者を集めることができた。特に国内からは多くの学生、若手研究者が参加し、最先端の研究成果に触れる機会を得た。これは我が国の同分野の将来的な国際競争力の向上に大きく寄与すると考える。

〔国際会議〕

申請者	立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 教授 永井 清	1085006
研究集会名	The 11 th IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics 2009 (ICORR 2009)	
出張期間	平成 21 年 6 月 23 日～ 6 月 26 日	
開催場所	国立京都国際会館 アネックスホール	
申請者の役割	実行委員長	

概要：
本会議（ICORR 2009）では，“Reaching Users & the Community”（「届けよう，ユーザと地域のもとに」）をメインテーマとしました。このテーマを設定した理由は，リハビリロボット分野の研究が，それを必要としている人（ユーザ）と，その人を支える家族や友人，医療従事者などから構成される地域のもとに届いて初めて大きな意味をなすということを改めて参加者に呼びかけたかったからです。このため，ICORR 2009 では主な開催目的を，（A）リハビリロボットやアシストロボットなどに関する研究発表の場を提供し，リハビリテーション・ロボティクス分野の技術開発と臨床応用を促進すること，および（B）ロボット付き電動車いすのユーザ等にも参加してもらい，現場や現実在即した意見交換を行う場を提供すること，としました。基礎研究を重視するだけでなく，臨床応用やユーザとの意見交換も重視することが本会議の大きな特徴でもあり，学術的意義でもあります。
論文募集（締切：2009 年 2 月 7 日）に対して 211 編の研究論文（Full Paper）が投稿されました。その後，プログラム委員会が構成した査読委員による査読プロセスにより，162 編の優秀な研究論文が採択され，ICORR 2009 において報告されました。これらの研究論文は，会議後には，ICORR の主催機関である IEEE（電気電子学会）が運用する Xplore（論文データベース）により，IEEE の会員等に幅広く公表されますので，リハビリロボット分野の研究を大きく促進することになります。また，本会議の参加者間で行われた知見や技術，あるいはノウハウなどの情報交換は，リハビリロボット分野の今後の研究開発の展開に貢献するものと考えています。

〔国際会議〕

申請者	山形大学大学院 理工学研究科 准教授 松尾 徳朗	1085008
会議名	ACIS International Workshop on e-Activity	
出張期間	平成 21 年 5 月 27 日～ 5 月 28 日	
開催場所	大韓民国 大邱カソリック大学	
申請者の役割	会議長	

概要：
本会議の目的は，近年のコンピュータの人間のかかわり合いを技術的な側面だけではなく，社会科学的側面，フィールドワークを通じた研究の報告等多方面から議論をする場を提供することである。とりわけ，インターネット関連は参加者にとって関心がある研究領域である。事実，技術は人間により利用されるので，利用される地域の文化，慣習および制度等を含めた考察が必要である。一方で，技術面においては，そのものの改良法だけではなく，導入手法や支援方法まで考えることで，真に技術が人間を支援することができると考えられる。このように，人間とのかかわり合いが真の技術発展においては重要な課題である。
本会議で得られた成果は，上記のことをテーマとして，基調講演（サムスン電子の研究者 IP Park 博士）および一般講演を得られたことである。また，大学（ソウル大学，シュトゥットガルト大学等）からの参加者と企業（Hewlett Packard など）からの参加者の比率が望ましい比率であり，会議における質疑は予想以上に盛り上がった。また，非常に望ましいことであるが，企業からの参加者と大学からの参加者の交流が晚餐を通して盛況であり，今後の当該分野の研究や実用化のための社会科学と工学の関係に関する意識の高まりが期待できる。
参考データとして，今回の会議の投稿論文数は 31 編，採択論文数 10 件（これに加えて研究報告は 5 編）で採録率は 32％であった。参加者はおよそ 50 人であった。

-
- 平成 21 年度活動報告
 - 平成 22 年度助成報告
 - 第 1 回立石賞授賞式並びに第 21 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 21 回（平成 22 年度）研究助成課題一覧
 - 第 20 回（平成 21 年度後期）国際交流助成課題一覧
 - 第 21 回（平成 22 年度前期）国際交流助成課題一覧
 - 第 1 回（平成 22 年度）立石賞受賞者
 - 平成 22 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 23 年度助成候補募集案内

平成 21 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成 21 年 4 月 1 日	第 1 回立石賞受賞の推薦募集受付開始
	平成 21 年度後期国際交流助成の申請応募受付開始
5 月 12 日	第 20 回（平成 21 年度）助成金贈呈式及び懇親交流会開催
6 月 16 日	第 42 回理事会、第 42 回評議員会開催
	・平成 20 年度事業報告および決済報告の承認
	・平成 22 年度助成課題募集方法の承認
6 月 30 日	第 1 回立石賞受賞の推薦募集締切り
	平成 21 年度後期国際交流助成課題の申請締切
8 月 1 日	平成 22 年度助成課題募集のための公募案内発送
	財団ホームページでの募集案内開始
8 月 28 日	平成 21 年度夏季選考委員会開催
	・平成 21 年度後期国際交流助成課題候補の選考
9 月 1 日	平成 22 年度研究助成課題の申請応募受付開始
9 月 30 日	助成研究成果集第 18 号発行
10 月 1 日	平成 22 年度前期国際交流助成の申請応募受付開始
10 月 6 日	臨時理事会・臨時評議員会（第 43 回）の開催
10 月 31 日	平成 22 年度研究助成課題の申請締切（143 件受付）
12 月 31 日	平成 22 年度前期国際交流助成の申請締切（25 件受付）
平成 22 年 1 月 16 日	各選考委員による応募課題の書面審査完
1 月 22 日	第 22 回選考委員会開催
	・第 1 回（平成 22 年度）立石賞受賞候補者の選考
	・平成 22 年度研究助成課題候補の選考
	・平成 22 年度前期国際交流助成課題候補の選考
	第 44 回理事会・第 44 回評議員会開催
	・平成 22 年度事業計画及び収支予算案の承認
	・平成 22 年度助成課題の承認
	・第 1 回立石賞（平成 22 年度）受賞候補者の承認
3 月 12 日	

(2) 会計報告

収 支 計 算 書		貸 借 対 照 表	
(自 平成 21 年 4 月 1 日 至 平成 22 年 3 月 31 日)		(平成 22 年 3 月 31 日)	
(単位：千円)		(単位：千円)	
I 事業活動収支の部		I 資産の部	
1. 事業活動収入		1. 流動資産	
基本財産運用収入	49,930	現金	108
特定資産運用益	769	普通預金	22,605
寄附金収入	9,200	有価証券	0
雑収入	7	2. 固定資産	
2. 事業活動支出		(1) 基本財産	
事業費支出	79,821	有価証券	6,680,500
管理費支出	11,335	定期預金	100,000
事業活動収支差額	- 31,250	(2) 特定資産	
II 投資活動収支の部		助成事業引当資産	100,000
1. 投資活動収入		(3) その他の固定資産	150
助成事業引当金取崩収入	23,500	資産合計	6,903,363
2. 投資活動支出		II 負債の部	
助成事業引当金積立支出	0	1. 流動負債	0
投資活動収支差額	23,500	2. 固定負債	0
III 財務活動収支の部		負債合計	0
1. 財務活動収入	0	III 正味財産の部	
2. 財務活動支出	0	1. 指定正味財産	
財務活動収支差額	0	寄附金	1,100,000
当期収支差額	- 7,750	寄附株式	5,680,500
前期繰越収支差額	30,464	指定正味財産合計	6,780,500
次期繰り越し収支差額	22,713	2. 一般正味財産	122,863
		正味財産合計	6,903,363

平成 22 年度助成報告

本年は、第 21 回目の助成となる平成 22 年度助成課題に対し、平成 22 年 5 月 18 日、第 1 回立石賞授賞式と第 21 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

立石賞	2 件	1,000 万円
研究助成	19 件	4,152 万円
国際交流助成（前期）	4 件	143 万円
合 計		5,295 万円

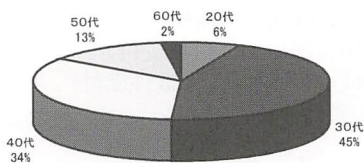
なお、後期国際交流助成は平成 22 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 448 件、交際交流助成 212 件、立石賞 2 件、助成総額約 11 億 3,398 万円となった。

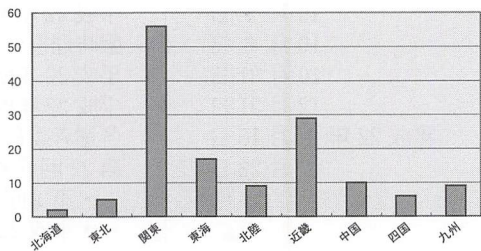
● 平成 22 年度助成の応募状況

（１） 研究助成（平成 22 年度）

① 年令別

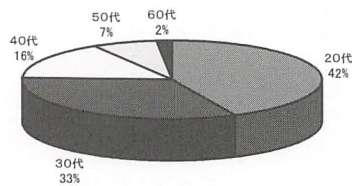


② 地域別

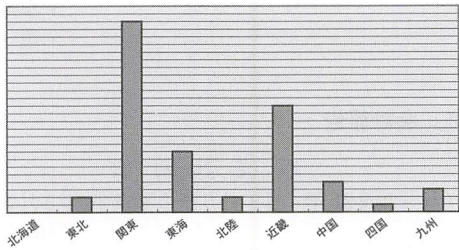


（２） 国際交流助成（平成 21 年度後期～平成 22 年度前期）

① 年令別

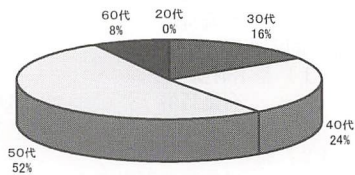


② 地域別

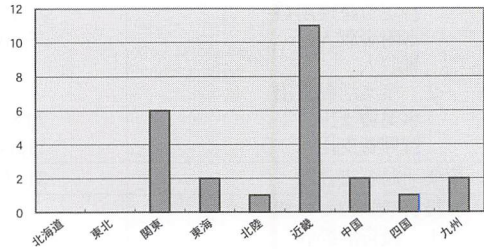


（３） 第 1 回立石賞功績賞

① 年令別

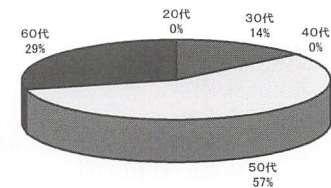


② 地域別

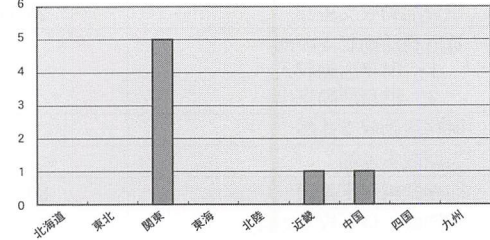


（４） 第 1 回立石賞特別賞

① 年令別



② 地域別



第1回立石賞授賞式並びに第21回助成金贈呈式

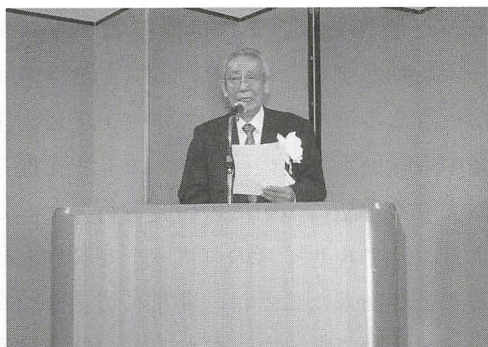
日 時：平成22年5月18日（火）

場 所：グランドプリンスホテル京都

第1回立石賞授賞式並びに第21回助成金贈呈式は、来賓の文部科学省大臣官房審議官 倉持隆雄様、京都府労働観光部部長 山下晃正様、はじめ、平成22年度研究助成金受領者、財団関係者等約100名並びに一般聴講参加者約100名の出席のもとに開催し、立石理事長より立石賞表彰並びに研究助成受領者に助成金目録贈呈を行った。



贈呈式会場



立石理事長挨拶



目録贈呈



立石賞贈呈



立石賞贈呈

なお、立石賞受賞者の皆様には受賞記念講演を各自約1時間程度実施して頂き、研究助成受領者には懇親交流会の中で助成研究課題の目標や内容をポスターを用いて説明いただいた。

※ 課題発表ポスターは、157～159頁に掲載

受領者投稿

工学的立場からの人命救助をめざして

日本大学 理工学部 精密機械工学科 准教授 羽多野 正 俊
(第15回受領者)

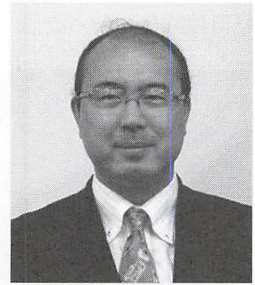
移動と作業を同時に行う移動マニピュレータというロボットの研究で学位を取得した後、幸いにも富山大学で助手の職を得て、一研究者として自立するために新しい分野の研究を模索していた10数年前、阪神淡路大震災が起こった。その頃、工場等の産業用ロボットは学術・技術的には成熟を迎え、新たな活躍の場として、ペットロボットやアミューズメントロボットが一般家庭に入ろうとしていた。しかし、災害現場の様子を移すニュース番組には、幼い頃からテレビやマンガで見ていた、例えば英国ドラマのような、救助ロボット隊は現れなかった。この瞬間、工学的立場から人命救助を行う仕事、レスキューロボットの研究開発、に携わりたいと思い立ち、それが今の私の主要研究テーマとなった。

レスキューロボットに求められる作業には大別して、探索・救助・搬送、がある。現在、主に研究が行われているのは探索ロボットであり、私も研究を行っているが、さらに平行して、救助ロボットの研究も同時に行っている。救助作業を行うレスキューロボットは、探索型ロボットに対し、必要なアクチュエータの数が飛躍的に増え、またレスキュー作業そのものの難易度も一気に高くなる。このような中、立石科学技術振興財団から「次世代型レスキューロボットによる瓦礫撤去作業に関する研究」というテーマで助成して頂いた。この助成により、全長2(m)、総重量250(kg)の油圧駆動型双腕レスキューロボットを一から製作し、研究することができた。このロボットは左右独立クローラ式

の移動機構や、上部にはそれぞれ4個の油圧シリンダーで駆動されるアームを2本持ち、100(kg)の物体(ガレキ)を持ち上げ、作業することができる。また

アクチュエータの総数は11個となり、それらを同時に操作しながらレスキュー作業を行うことは困難である。そこで、マスター・スレーブというロボットと同じアーム構造を持つコントローラを製作した。これは操縦者がマスターアームを動かすことにより、同じ動きをロボットが行うものである。このロボットでは、主に、作業中の転倒安定性の研究や、ガレキを崩さずに撤去する手法についての研究を行った。これにより、リアルサイズのロボットを製作し研究することが出来たことは、非常に貴重かつ有益な経験・活動であった。なお、この研究は現在も継続中である。さらに、このロボットは各種の産業展示会やイベント等でもデモンストレーションを行い、非常に好評価を頂いている。

日本大学に移った現在も、これらの研究を継続的に行っている。災害現場のような状況が千差万別な環境下においても、人間のように考え自律的に作業を行うための知的制御手法について研究を進め、今この瞬間に起こるかもしれない大震災・大災害の現場で活躍するレスキューロボット隊の実現を目指し、研究活動を行っている日々である。



受 領 者 投 稿

中部大学 工学部 情報工学科 教授 平 田 豊
(第 15 回受領者)

平成 12 年 3 月末、私は米国でのポスドク生活を終え、現在の大学に講師として赴任しました。講師から独立した研究室を持てるところに最大の魅力を感じ、大きな希望を胸にしておの帰国でした。しかし、現実には甘くなく、赴任早々壁に当たることになります。

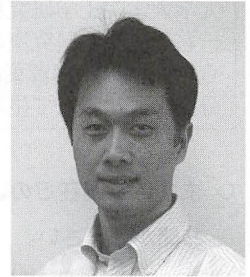
新任教員に対し、米国では 2000 万円ほどの研究室立ち上げ資金が支給されると聞いていたのに対し、本学では、PC が一台支給されただけでした。その一方で、初年度から 14 名の卒業生が研究室に配属され、一体彼らとどんな研究をすればいいのかと途方に暮れました。

こうして、がらんとした暗い小さな部屋で、1 台の新しい PC と先輩教員から頂いた数台の中古 WS を、埃とカビまみれで大学倉庫に眠っていた机の上に並べた状態で、私の研究室はスタートしました。春学期から担当した 2 つの講義科目と 1 つの演習科目の準備に追われながら、米国で取り溜めた実験データを学生達と解析するスタイルの研究から取りかかり、残りの時間を使って、目に付いた研究助成募集に片っ端から申請しました。

平成 13 年度には科研費をはじめ、応募した全ての財団からの助成を頂くことができ、PC の数も増え、安価な実験装置も購入できました。次の年も同様の幸運に恵まれ、複数の助成財団

からご支援を頂き、ようやく研究室らしい研究室になってきました。助成額が大きくなり、競争率が高いと聞いていた立石科学技術振興財団には、平成 15 年度の助成募集に初めて応募しました。結果は不採択。その年、基礎データをさらに増やし、平成 16 年度の助成に再度挑戦。今度は見事、採択して頂きました。その時、購入させて頂いた神経生理実験の装置は、今も現役で毎日実験に使用しています。

立石財団については、他の財団と比べ助成額が大きかったことの他に、強く印象に残っていることがあります。それは、助成金交付式でのことでした。交付式は、私が助成を受けた全ての財団で開催されましたが、立石財団の式では、オムロンの若手の研究員の方も大勢参加され、大変積極的に我々に話しかけられ、研究内容についてご質問やコメントをくださいました。オムロンが革新的な研究開発を次々に展開される源泉がここにあるのだと合点したことを今でも覚えています。



研究室訪問

東北大学大学院 工学研究科 電気・通信工学専攻 石黒章夫 教授 訪問記
(第15回受領者)

7月16日、阿草清滋選考委員長(名古屋大学大学院情報科学研究科・教授)にご同行いただき、東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻の石黒章夫教授(システム制御工学分野)を訪問しました。石黒先生の研究室は、杜の都仙台市の中心部から西に、広瀬川を渡り、青葉城址を左に見つつ、さらに西に進んだ青葉山キャンパス内に位置しています。梅雨明け直前の曇り空ではありましたが、水分を十分に吸って生い茂る木々の青葉たちが、我々を迎えてくれました。

○ まずは、現在どのような研究テーマに取り組んでおられるか
お聞かせ下さい。

生物の知能を研究しています。と言っても、生物に電極を刺したり、解剖したり、薬を与えたり、遺伝子を調べたりするのではなく、「ロボットを創りながら理解する」という構成論的アプローチを採用しています。

その目的は、原始的な生き物ですら示す生き生きとした動きのからくりを理解し、どう見ても生きているとしか思えないような人工物(ロボット)を創ることです。そしてその先には、知能だけでなく生命現象の発現原理(モノからコトへ)を理解するという壮大な夢があります。

従って、生物学だけでなく、数理、そして材料、機械、電気、情報などの工学を融合した新しいタイプの生物学の研究といってもいいでしょう。

○ そのような研究テーマに至った動機は何でしょうか？

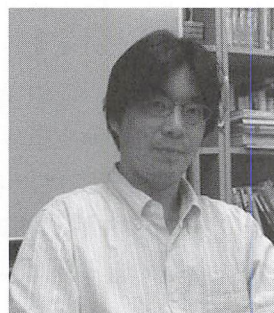
今のロボットは、なまじ人間に似せようとして逆に変な動きをします。また想定した環境から逸脱すると機能しなくなります。それが、何万行にも及ぶプログラムで最適に制御されているにもかかわらず。その反面、人間や生物がやっているような単純な動作ができない。このような最適化のアプローチの線上に、壮大な未来は描けないと思いました。

一方で小さな虫は、神経細胞の数もさほど多くないにもかかわらず、複雑な振る舞いをして、環境の中で生き残ります。しぶとくて、したたかで、打たれ強くて、実世界で生き残る低次脳機能を研究しようと思いました。最適化を金科玉条の思想にせず、耐えて耐えて最後にダウンするというしぶとさ、そのからくりを、ロボットを作り実験しながら、理解することが重要だと思いました。

○ その中で現在注力しているテーマについて詳細をお聞かせ下さい。

生物における自律分散制御の解明に注力しています。生物のからくりを実現するには、脳だけの中央制御では限界で、制御の地方分権化、すなわち自律分散制御が重要であると思っています。自律分散は、(1) 個々の要素は比較的単純であるが全体からはきわめて興味深い特性が生み出される(2) 大規模なシステムに対しても適用可能である(3) いくつかの要素が故障しても他の要素が機能を代替することができるといった利点を持つ制御手法です。

そのために、真正粘菌の変形体という多核単細胞生物をお手本にして、粘菌型アメーバロボットを作っています。真正粘菌というのは、ある時は孢子として飛んでいき植物のような振る舞いをしますが、ある時は動物のように環境に反応して動きます。その動物の状態を変形体というのですが、



石黒章夫 教授



石黒章夫教授と粘菌型アメーバロボット

これには脳がなくて、各部分の協調性と自律性が絶妙に絡み合って、餌などの誘因刺激に向かって進んでいきます。まさに自律分散制御のお手本なのです。

このようなアメーバロボットを作っているのは、世界でも唯一だと思います。原形質の量がほぼ保存されているので、それを風船で模して作りました。各部分が隣同士では圧力などの力学的情報で通信し、全体的には波を作りながら、誘因刺激に向かって動いていくことに成功しました。

次に、真正粘菌変形体で言えることは他の生物でも正しいのかを確かめるために、蛇型ロボットを作成しています。体は多節の蛇ですが、心（制御のからくり）は真正粘菌変形体というもの。オペレータが進む方向だけを入力すると、その時の床との摩擦係数に対応して、各節の協調性と自律性により全体をくねらせながら、その方向に進んでいきます。これも、各節の力学的なコミュニケーションを通じて環境に適応するという地方分権のからくりを示しています。

○ 立石財団の助成テーマは、その後どのように進みましたでしょうか？

あのテーマは、初めて外部からまとまった金額の助成金をいただいた研究でした。それがその後、科研費（科学研究費補助金）、特定領域研究、そして今の CREST（戦略的創造研究推進事業）と繋がっていきました。まさに立石財団の助成が起爆剤になったわけです。

助成テーマでは「脳と体のカップリング」ということで、以下のコンセプトで研究に取り組みました。（１）脳だけが全てではない、体だけが全てではない、有機的に連関することで面白い知能が創発する。（２）生物知能は、ハードとソフト、制御とその対象の明確な線引き区別はない、脳と体が自律分散して、有機的に連関することで生物に近い面白い知能が実現できる。

現在の研究の基本的な考え方がこの時に確立しました。ただ助成テーマでは、目的関数を与えすぎて、自明性が高くなってしまい、紙芝居になりました。目的関数を与えれば与えるほど紙芝居（きれい）になります。でも目的関数がないとうまくいかない。そのバランスが難しいのです。そういう意味で、一度壁にぶつかりましたが、それがその後の研究に繋がっていきました。いい失敗をしたと考えています。

○ その他にどのような点が難しく、それをどのようにブレイクスルーされましたか？

自律分散制御には設計論がないという問題に直面しました。すなわち協調しつつも自己主張するようなお手本をいかに見つけるかが問題でした。その時に、協調性と自律性が絶妙に絡み合ったいいお手本として、真正粘菌の変形体を見つけました。脳がなく、原始的であるだけでなく、各部分（かけら）が切り貼りできるという性質が、実験・観察を容易にしてくれました。この作戦は成功して、個の振る舞いと全体の振る舞いを結ぶロジックのからくりが明らかになりました。

○ 研究成果は、どのような分野で活用され、社会や人類にどんな貢献をするのでしょうか？

具体的な応用については、今は考えていません。もちろん、フィールドロボティクス、医療福祉などに役立つとは思っています。実世界の知能、リアルワールドで動くからくりなのだから使える



蛇型ロボットを前に、左から、石黒章夫教授、阿草清滋選考委員長、佐藤貴英さん(D1)、武田光一さん(M2)、田中敏文常務理事。

いはずがない、原理を究めれば必ず何かの役に立つはず、という確信はあります。しかし今は、そういうことを考えるよりも、生物のからくりを究めることが私の使命だと思っています。

○ 最後に、当財団へのご要望などがありましたらお聞かせ下さい。

萌芽的な研究、海のものとも山のものとも分からない研究へのサポートを、3割程度でいいので是非お願いします。アウトカムがでてくるかどうか分からないようなコンセプチャルなレベルでも、勢いがあり面白い申請書を採用して欲しいです。それにより、これまでの研究業績に左右されないような研究、また科研費では拾えないような研究を拾って欲しいと思います。

あとがき

石黒先生からは、研究テーマの意義からはじまり、この報告書には書き切れないほどの技術的な詳細内容を、大変分かりやすく説明していただきました。

特に、当財団からの助成テーマでの失敗をバネにして、考え方は間違っていないとの信念のもと、国家レベルの補助金やプロジェクトにまで発展させた、それこそ「しぶとくて、したたかで、打たれ強い」研究への情熱に深く感銘を受けました。

また、ロボットのデモをしていただいた佐藤貴英さん（D1）と武田光一さん（M2）の説明からも、真摯な研究姿勢や活気のある研究室の風土を垣間見ることができました。

短時間ではありましたが、真夏間近な「学びの杜」で、明日の日本を背負う研究者の熱き思いと気概に触れることができ、一足早く晴れ晴れとした嬉しい気持ちになりました。

石黒先生と研究室の益々のご活躍、ご発展をご祈念申し上げます。ありがとうございました。

（レポート：常務理事 田中敏文）

.....

第 21 回（平成 22 年度）助成課題一覧

[研究助成] (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	申 請 課 題 名
秋山 庸子 大阪大学大学院 工学研究科環境・エネルギー工学専攻 講師	生体信号を利用した体性感覚の客観評価システムの開発
岩瀬 英治 東京大学大学院 情報理工学系研究科 助教	金属・液体ハイブリッド型 MEMS 配線
桂 誠一郎 慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 専任講師	人間支援空間構築のためのテレリアリティーロボット技術の開発
河野 英昭 九州工業大学大学院 工学研究院 電気電子工学研究系 助教	眼表情からの意図推定を伴う弱視者向けウェアラブル視覚支援システムの開発
郷古 学 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 助教	能動的行動にもとづくロボットの知覚システムの開発
小林 洋 早稲田大学 理工学術院 研究助手	乳がんに対する RFA 治療支援システムの開発
小山 大介 東京工業大学 精密工学研究所 助教	超音波による外部モニタリングおよび制御可能な局所的薬剤投与用カプセルの開発
鈴木 孝明 香川大学 工学部 知能機械システム工学科 准教授	テーラーメイド医療を実現する染色体ファイバ FISH 解析のためのマイクロチップの開発
竹市 博臣 (協)理化学研究所 脳科学総合研究センター 脳数理研究チーム 研究員	人間と機械のリズムの調和に関する基礎研究
豊浦 正広 山梨大学大学院 医学工学総合研究部 助教	物体検出のための周波数スペクトルマーカに関する研究と開発
中村 亮一 千葉大学大学院 工学研究科 人工システム科学専攻 特任准教授	高密度情報誘導手術環境を支援する手術工程解析法の開発
畑中 裕司 滋賀県立大学 工学部 電子システム工学科 准教授	検診を対象とした眼底病変の自動検出システムの開発
羽石 秀昭 千葉大学 フロンティアメディカル 工学研究開発センター 教授	最適設計 LED 照明による血行の明瞭化と定量化

第 21 回（平成 22 年度）助成課題一覧

〔研究助成〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	申 請 課 題 名
深山 理 東京大学大学院 情報理工学系研究科 助教	ブレイン・マシン・インタフェースの制御パフォーマンスに基づく神経 接続技術の性能評価
福田 恵子 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 准教授	補正機能を持つ近赤外生体機能計測手法の研究
安井 武史 大阪大学大学院 基礎工学研究科 助教	テラヘルツ・カラスキャナーの高速化と骨組織診断への応用
山下 馨 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 電子システム工学部門 准教授	人に優しいロボットのための触覚センシングデバイス
和田 隆広 香川大学 工学部 知能機械システム工学科 准教授	慣性運動誘発度に基づく大腿義足の慣性適合性評価
来見 良誠 滋賀医科大学 外科学講座 准教授	マンモグラフィー自動診断アルゴリズムに関する基礎的研究

研究助成件数 19 件 合計 4,152 万円

第 20 回（平成 21 年度後期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
桑名 健太 東京大学大学院 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 博士課程	The 13th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μTAS 2009) 主催：Tae Song Kim,Yoon-Sik Lee
酒井 利奈 北里大学 医療衛生学部 講師	AUSTRUMA 2010 主催：Dr. Valerie Malka
瀬戸 文美 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 主任研究員	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 主催：米国電気電子学会（IEEE）
辻 俊明 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科 助教	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009) 主催：IEEE Robotics and Automation Society, IEEE Industrial Electronics Society, Robotics Society Japan の共同開催
野地 亮志 広島市立大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻 博士課程	24th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT 2009) 主催：IEEE Computer Society
元祐 昌廣 東京理科大学 工学部 機械工学科 助教	The 13th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μTAS 2009, 第 13 回マイクロシステム国際会議) 主催：μTAS 2009 実行委員会

〔国際交流（特別招聘）〕

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
石田 誠 豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 教授	The 26th SENSOR SYMPOSIUM Prof. Clark Ngyen 所属・職名：UC Berkeley, Prof. Director of the Berkeley Sensor & Actuator Center プレナリー講演

〔国際交流（一般招聘）〕 なし

助成件数 7 件 合計 189 万円

第 21 回（平成 22 年度前期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
石戸 優美子 京都大学大学院 情報学研究科 数理工学専攻 博士課程	2010 American Control Conference 主催者名：Glenn Y. Masada
角江 崇 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 設計工学専攻 博士課程	Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH) 2010 主催者名：Optical Society of America (OSA)
田村 宏樹 宮崎大学 工学部 電気電子工学科 助教	The 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2010) 主催者名：電子情報通信学会, 非線形問題研究会

〔国際交流（特別招聘）〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
甘利 俊一 (協理)化学研究所 脳科学総合研究センター 特別顧問	3rd INCF Congress of Neuroinformatics: Neuroinformatics 2010 及び Neuro 2010

〔国際交流（一般招聘）〕 なし

助成件数 4 件 助成額総額 合計 143 万円

第 1 回（平成 22 年度）立石賞受賞者

〔功績賞〕

受賞者／所属機関・職位	賞の対象業績表題と分野／推薦者
都甲 潔 九州大学 システム情報科学研究院 主幹教授／研究院長	生体を模倣した感性バイオセンサーの研究開発での貢献 有川 節夫 九州大学 総長

〔特別賞〕

受賞者／所属機関・職位	賞の対象業績表題と分野／推薦者
金出 武雄 前 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン 研究センター センター長	デジタルヒューマン技術研究の提唱とその発展 吉川 弘之 (独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター センター長

助成件数 2 件 総額 合計 1000 万円

平成 22 年度研究助成課題の紹介

テラーメイド医療を実現する染色体ファイバFISH解析のためのマイクロチップの開発(1年間)

香川大学 工学部 知能機械システム工学科
准教授 鈴木孝明

【遺伝子検査】感染症、血液疾患などの検査
従来法：核染色体w核増幅・増感法
→ ニーズ、サンプルの微量化・検査の高感度化
本研究：マイクロチップによる染色体伸張・懸架
→ 独自技術(PCT出願中)による樹脂製マイクロ構造

【技術課題と解決法】
1)染色体の平面化・少量化→遠心法で伸張した染色体を、多数配列したマイクロチップ上で均等に懸架固定できる
2)プローブDNA拡散の効率化→チップをメッシュ状にすることで、細胞間をプローブが自由に拡散できる
3)FISH効率の向上→染色体を液中に浮かせることで、固体表面の影響を受けにくい(構造自由度、シグナルの明確化)

簡単な操作で少量・高分解能・高速検査 → テラーメイド医療、POCT

人間と機械のリズムの調和に関する基礎研究(研究期間:1年間)

独立行政法人理化学研究所
研究員・竹市 博臣

目的:人間と機械の協調において、
【従来】機械によって調和的なリズムに人間が合わせる
【提案】人間によって調和的なリズムに機械が合わせる
その実現の鍵を、脳活動計測に基づき、解明・モデル化

技術的課題とその解決
1.客観的リズムと主観的リズムの独立操作
→心理学的錯覚の応用
物理的に等間隔でない音が等間隔に聞こえる
2.脳活動の時空間表現の計測
→脳波・脳磁場計測
聴取時の脳活動時空間分布を正確に測定
3.定常的脳活動反応の効率性の抽出
→最適な多変量解析手法の適用
例:関心成分の周波数特性によるフィルター

物体検出のための周波数スペクトルマーカに関する研究と開発(1年間)

山梨大学大学院 医学工学総合研究部
助教 豊浦 正広

従来の画像マーカ
→エッジ位置の配置を検出する
→観測画像のぶれによって検出に失敗
提案する周波数スペクトルマーカ
→低周波～高周波成分に特徴を持つ
→観測画像のぶれに頑健

ロボットがより詳しく人間世界を理解
移動ロボットが認識できる物体が増える

高密度情報誘導手術環境を支援する手術工程解析法の開発(研究期間:1年)

千葉大学大学院 工学研究科 人工システム科学専攻
特任准教授 中村 亮一

手術現場に「工程管理」「生産管理」の概念を持ち込み
効用・効率・安全の向上と医療人の労働環境改善を達成する

研究開発項目
①手術工程解析のための作業情報収集技術
②情報解析技術
③標準工程データ作成技術

●手術スタッフ・環境に親和した新しい情報取得・解析・環境技術の創出
●細密な手術分析による効用上・問題抽出&改善・医学教育への応用

検診を対象とした眼底画像診断支援システムの開発(1年間)

滋賀県立大学 工学部 電子システム工学科
准教授 畑中 裕司

【眼底検査】
眼底:人体で唯一、血管を直視できる領域
現状:人間ドックや特定健診で眼底検査が導入
→検査件数の激増
→眼科医の疲労の増加
→診断品質が維持できるか?

本研究:①高血圧性網膜症の病変検出
動脈と静脈の自動認識
動脈の口径変化の自動計測
血管の交叉部位の詳細解析
②糖尿病網膜症の病変検出
出血、白斑、毛細血管瘤の自動検出

大規模な画像データベースと機械学習の活用により、既存アルゴリズムの識別性能の向上

糖尿病網膜症と高血圧性網膜症の自動病変検出の実現

最適設計LED照明による血行の明瞭化と定量化(1年間)

千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター
教授 羽石 秀昭

目的と意義
LED照明を最適に設計して、肉眼やカメラを通して血行を明瞭に視認、定量的に記録する技術を開発する。対象物を照明する光のスペクトルを工夫することで、知覚や撮影の際、これまで類似して区別がつかなかった色が区別できるようになる。本提案は、機械(照明装置)が人間の目の能力を補うように働くものであり、まさに人間と機械の調和の促進と見える。

2つの課題
A.静脈の明瞭化
静脈が見えづらい、特に子供に対する静脈注射で苦痛する
従来の白色照明下での見え
B.臓器の血行の定量化
手術で自家移植を行う際、臓器の健全性判定が必須
従来は、血行の微妙な色の違いから経験的に判断

研究の流れ
1.分光特性の測定
2.差を強調するようにLED照明を最適設計
3.照明装置を試作

期待される成果
最適設計LED
静脈が明瞭に見える!
最適LED照明下での見え
最適照明とカメラ撮影により、微妙な色の違いも正確に定量化、健康部位の正確な判断へ。

LED照明光の医療応用は世界的にもこれからの分野であるが、期待は大きい!

ブレイン・マシン・インタフェースの制御パフォーマンスに基づく神経接続技術の性能評価(1年間)

東京大学大学院 情報理工学系研究科
助教 深山 理

【ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)】
・生体と人工物の直接的な情報交換を実現
・身体・物理特性に拘束されない
究極のマン・マシン・インタフェース
⇒安定した神経信号の入出力技術の確立が急務

広域多点電極
神経信号と歩行速度の相関付アルゴリズム(探索系)
パレン製柔軟電極
電極の構造(形状・配置)に応じたBMIによる歩行推定性能の比較
BMIとしての実用に耐えうる神経インタフェースの条件を導出

【RatCarシステム】
・ラットを車載して移動する車体型BMI
・ラットの自由歩行に並走する運用も可能(両者の比較→歩行推定性能の評価)

補正機能を持つ近赤外生体計測手法の研究(1年6ヶ月)

東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科
准教授 福田 恵子

【研究の目的と意義】
障害者の機能代替のインターフェースに利用できる高性能な近赤外生体計測NIRSの手法を確立し、人間と機械の調和を促進する。

【研究の目標】
現代法の課題
・表層近傍の皮膚血流の変化等の外乱
・脳の活動を過大評価
提案
・光源の照射部での受光 $S_{A, S_{AB}}$ による補正
・皮膚血流を選択的に低減

【具体的研究手法】
3チャネルシステムによる補正効果の検証
・表層近傍の吸収体の変化領域体積の推定
・補正係数 α の導出
・生体ファントム実験による補正効果の検証

補正手法
$$S_t = S_{A'} + S_{B'} - \alpha \cdot (S_{A'} + S_{B'})$$

公益財団法人 立石科学技術振興財団 平成 23 年度 研究助成（A，B）候補 募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 23 年度の研究助成（A），（B）の候補募集を行いますので、お知らせいたします。（さらに詳細については募集要項をご覧ください）

記

（1） 助成対象

研究助成

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動に助成する。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動も歓迎します。

（2） 金額および件数

研究（A）助成金	1 件 250 万円以下	20 件程度
研究（B）助成金	1 件 500 万円以下	2 件程度

なお、研究助成（B）については、審査の結果採択無しの場合もあります。

（3） 応募資格

- ① 日本国内に居住する研究者であれば、個人またはグループを問いません。
- ② 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているか、或いは受ける予定になっている方は、ご遠慮下さい。

（4） 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募 集 期 間：平成 22 年 9 月 1 日～平成 22 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助 成 対 象 期 間：研究助成（A） 平成 23 年 4 月 1 日～原則 1 年

研究助成（B） 平成 23 年 4 月 1 日～原則 2 年

助成金交付時期：平成 23 年 5 月の予定

（5） 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい）に記入して応募して下さい。

〒 600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地

公益財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 365 4771 FAX (075) 365 3697

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

URL：<http://www.tateisi-f.org/>

公益財団法人 立石科学技術振興財団

平成 23 年度前期 国際交流助成候補 募集案内

（財）立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 23 年度前期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。（さらに詳細については募集要項をご覧ください）

記

（1） 助成対象

国際交流助成（派遣と招聘）

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動を行う研究者の海外派遣または外国人研究者の招聘。派遣は応募者本人に、招聘は被招聘者に助成する。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。ことに、当財団から助成を受けた方の成果発表のための渡航、渡航経験の少ない若手からの応募を期待します。

（2） 金額および件数

国際交流助成金（派遣と招聘）	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 23 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

（3） 応募資格

- ① 派遣の応募は、日本国内に居住する研究者であれば、国籍・所属機関を問いません。
- ② 招聘の応募は、日本で開催される学会・研究集会の関係者であれば、国籍・所属機関・団体または個人のいかなを問いません。
- ③ 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

（4） 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募 集 期 間：平成 22 年 10 月 1 日～平成 22 年 12 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 23 年 4 月 1 日～平成 23 年 9 月 30 日です。

助成金交付時期：平成 23 年 4 月の予定

（5） その他

渡航期間が助成対象期間をまたがる場合、募集期間内に被招聘者が確定しないなどの場合には事務局にご相談ください。

（6） 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい）に記入して応募して下さい。

〒 600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地

公益財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 365 4771 FAX (075) 365 3697

E-mail: tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

URL: <http://www.tateisi-f.org/>

公益財団法人 立石科学技術振興財団 平成 23 年度後期 国際交流助成候補 募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 23 年度後期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

国際交流助成（派遣と招聘）

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動を行う研究者の海外派遣または外国人研究者の招聘。派遣は応募者本人に、招聘は被招聘者に助成する。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。ことに、当財団から助成を受けた方の成果発表のための渡航、渡航経験の少ない若手からの応募を期待します。

(2) 金額および件数

国際交流助成金（派遣と招聘）	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 23 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

(3) 応募資格

- ① 派遣の応募は、日本国内に居住する研究者であれば、国籍・所属機関を問いません。
- ② 招聘の応募は、日本で開催される学会・研究集会の関係者であれば、国籍・所属機関・団体または個人のいかんを問いません。
- ③ 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募集期間：平成 23 年 4 月 1 日～平成 23 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 23 年 10 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日です。

助成金交付時期：平成 23 年 10 月の予定

(5) その他

渡航期間が助成対象期間をまたがる場合、募集期間内に被招聘者が確定しないなどの場合には事務局にご相談ください。

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい）に記入して応募して下さい。

〒600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地

公益財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 365 4771 FAX (075) 365 3697

E-mail : tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

URL : [http : //www.tateisi-f.org/](http://www.tateisi-f.org/)

■ 財 団 の 概 要

■ 評 議 員 ・ 役 員

評 議 員 ・ 役 員

(平成 22 年 7 月 1 日現在)

評 議 員

評 議 員	朝 倉 利 光	北海学園大学 学長 北海道大学 名誉教授
評 議 員	荒 木 光 彦	松江工業高等専門学校 校長 京都大学 名誉教授
評 議 員	岩 田 一 明	大阪大学 名誉教授 神戸大学 名誉教授
評 議 員	川 路 茂 保	(株)システムインテグレーション研究所 代表取締役 熊本大学 名誉教授
評 議 員	立 石 峯 子	(財)京都能楽養成会 理事 (財)楽美術館 理事
評 議 員	立 石 義 雄	オムロン(株) 代表取締役会長
評 議 員	葉 原 耕 平	(株)国際電気通信基礎技術研究所 顧問
評 議 員	柳 田 敏 雄	大阪大学大学院 生命機能研究科 特任教授 (独)情報通信研究機構 上席客員研究員

(平成 22 年 7 月 1 日現在)

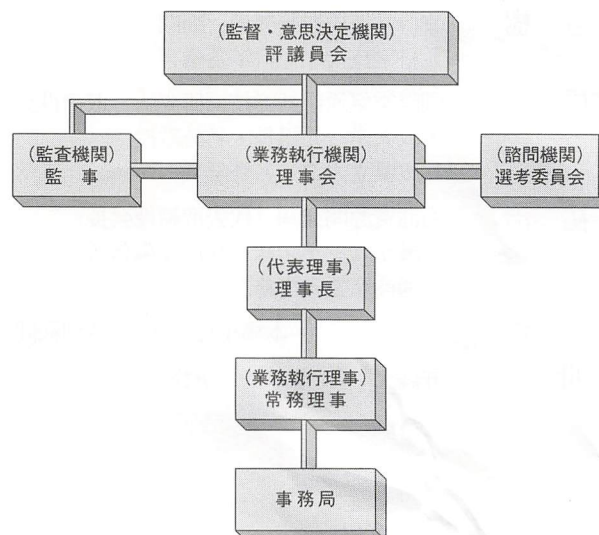
役 員

理 事 長	立 石 信 雄	オムロン(株) 相談役
常務理事	田 中 敏 文	オムロン(株) 参与
理 事	荒 巻 禎 一	弁護士(鳥丸法律事務所) 京都府公立大学法人 理事長 元京都府知事
理 事	石 田 隆 一	(株)インダ 代表取締役会長
理 事	沖 村 憲 樹	(独)科学技術振興機構 顧問 元科学技術庁 科学審議官
理 事	熊 谷 信 昭	国際電気通信基礎技術研究所 取締役会長 大阪大学 元総長・名誉教授 兵庫県立大学 名誉学長
理 事	棚 橋 祐 治	石油資源開発(株) 代表取締役会長 弁護士(シティニューワ法律事務所) 元通商産業省事務次官
監 事	尾 尻 哲 洋	税理士(辻・本郷税理士法人 特別顧問)
監 事	中 川 朋 子	弁護士(イリス法律事務所)

(50 音順)

財 団 の 概 要

- 名 称 公益財団法人 立石科学技術振興財団
(英文名 Tateisi Science and Technology Foundation)
- 所 在 地 〒600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地
TEL. (075) 365-4771 FAX. (075) 365-3697
<http://www.tateisi-f.org/>
- 理 事 長 立石 信雄
- 設立年月日 1990 年 3 月 6 日
- 目 的 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究に関する活動を支援し、技術革新と人間重視の両面から真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事業内容 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に関する活動を支援する事業内容
 1. 研究への助成
(研究 A 助成: 20 件程度 / 年, 250 万円以下 / 件)
(研究 B 助成: 2 件程度 / 年, 500 万円以下 / 件)
 2. 国際交流への助成
(研究者の海外派遣及び外国人研究者の招聘
10 件程度 / 年, 派遣 40 万円以下 / 件, 招聘 50 万円以下 / 件)
 3. 研究成果に対する顕彰
(立石賞 功績賞 2 件程度 / 隔年, 副賞 500 万円 / 件)
(立石賞 特別賞 2 件程度 / 隔年, 副賞 500 万円 / 件)
 4. 研究成果の普及
(成果集の発行 1 回 / 年)
 5. その他, 本財団の目的を達成するために必要な事業
- 基 本 財 産 オムロン株式会社株券 2,625,000 株
- 特 定 資 産 現金 11 億円
- 財団の組織



編 集 後 記

本助成研究成果集は、当財団の助成研究成果普及事業の一環として毎年秋に継続発行して、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関ならびに同図書館等の400ヶ所に拝送させていただいておりますが、今号で第19号を数えるに至りました。これもひとえに皆様のご支援の賜と感謝いたしております。

本助成研究成果集では、第20回（平成21年度）助成研究課題を中心にこの1年間に研究計画の終了した研究成果報告を収録しています。また、国際交流助成につきましては第20回（平成21年度）に助成いたしました成果報告の抄録を収録しております。

ご寄稿いただきました棚橋理事様、投稿文をお寄せいただきました日本大学 理工学部 羽多野 正俊准教授、中部大学大学院 工学研究科 平田 豊教授、事務局取材に快く応じていただきました東北大学大学院 工学研究科 石黒 章夫教授の各位をはじめ編集にご協力いただきました研究者の皆様や関係各位に紙面をお借りして御礼申し上げます。

本号がお手元に届くころ、平成23年度の助成候補の募集期間になっていますので、当財団ホームページをご覧くださいと思います。また、国際交流助成については前期と後期の2回に助成期間を分けて募集いたしておりますので合わせてご覧くださいと思います。

当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見などお待ちしております。

公益財団法人 立石科学技術振興財団 事 務 局

公益財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
助成研究成果集 第19号
平成22年9月(2010)

発 行 公益財団法人 立石科学技術振興財団
〒600-8234 京都市下京区塩小路通掘川東入南不動堂801番地
TEL (075) 365-4771 FAX (075) 365-3697
E-mail: tateisi-f@omron.com
URL: <http://www.tateisi-f.org/>

印 刷 明文舎印刷株式会社
〒601-8316 京都市南区吉祥院池ノ内町10
TEL (075) 681-2741

(本紙の一部又は全文の掲載を希望される時は、財団と研究代表者の許可を得て下さい。)