

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第21号】

平成24年(2012)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 21 号

平成 24 年 9 月 (2012)

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

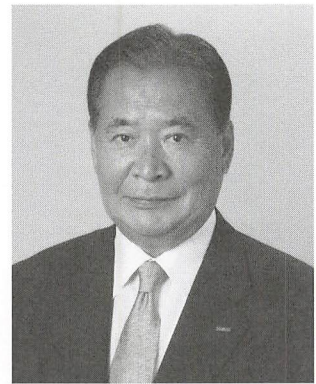
1. 理事長挨拶	2
2. 特別寄稿	
前理事長 立石信雄	3
3. 財団関係者寄稿	
北海道大学名誉教授・北海学園大学名誉教授 NPO 法人北海道ジェロントロジー推進協会 理事長 朝倉利光（評議員）	4
4. 立石賞の受賞記念講演概要	5
立石賞 功績賞 下山 勲	5
立石賞 功績賞 西尾章治郎	9
立石賞 特別賞 川人光男	13
5. 研究助成成果の抄録一覧	16
6. 国際交流報告の抄録一覧	101
7. 平成 23 年度活動報告（業務日程・会計）	113
8. 平成 24 年度助成報告	114
9. 第 2 回立石賞表彰式並びに平成 24 年度助成金贈呈式	115
10. 受領者投稿	116
千葉大学 大学院 融合科学研究科 准教授 堀内隆彦	116
横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授 馬場俊彦	117
11. 研究室訪問	118
慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 専任講師 宮田昌悟	118
12. 第 23 回（平成 24 年度）助成課題一覧	121
13. 平成 24 年度研究助成課題の紹介	125
14. 平成 25 年度助成候補募集案内	129
15. 財団の概要	135
16. 評議員・役員	136
編集後記	137

ごあいさつ

この度6月12日付けで当財団の三代目理事長に就任させていただきました。何とぞよろしくお願い申し上げます。

さて、助成研究成果集第21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）の創業者であります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1990年に設立しました。そして本年は第23回目の助成金の交付をとり行うことができました。設立以来の助成件数と助成金は累積でそれぞれ747件になり、12億4千万円を超えました。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ともに、研究者の相互交流の一助となることを願って、毎年実施しております。今回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。

また本年は、隔年で実施している立石賞の第2回目の表彰を行いました。受賞者の3名は、いずれも当財団の趣意である「人間と機械の調和」を促進する研究に真正面から取り組まれて、世界の第一線でご活躍されている研究者です。助成を受けられた皆様には、将来の立石賞を目指して、引き続き研究に邁進されることを期待します。

今日本は、昨年の未曾有の大震災からの復興、少子高齢化や新興国台頭の中での国際競争力の維持・向上など大きな課題に直面しています。これらを克服し、日本が国際社会に貢献するためには、従来以上に卓越した技術を開発し早急に実用化することが求められています。当財団は、このような日本の科学技術力の向上に対して微力ながらも寄与していくために、「人間と機械の調和」を促進する研究への助成と立石賞の表彰を継続していきます。

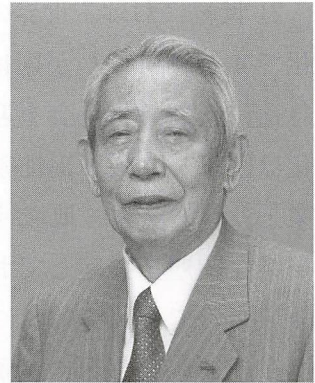
今後も引き続き、より一層のご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

理事長 立 石 義 雄

22 年間助成を継続して

この度、理事長を退任いたしました。理事長として 16 年間、その前は評議員に就いていましたので、当財団の運営には設立以来ずっと関わってきたことになります。

この 22 年間「人間と機械の調和」を促進する研究活動に対する助成を継続し、一昨年からは隔年で立石賞の表彰も開始しました。長年助成してきたのだから、その成果は「人間と機械の調和」を促進した研究として広く社会で評価されているはずだということ で立石賞を設立しました。



果たしてその期待通りに、当財団設立当初は若手だった助成金受領者の皆様が、今まさに世界をリードする研究者として立石賞に推薦されてきました。そして、その中から厳選された受賞者の講演では、研究成果もさることながら、その真摯な研究姿勢もまた聴講者の心を打つものでした。助成を継続してきてよかったという手応えを感じました。

もう一つ長年助成してきて感じていることは、「人間と機械の調和」の意味合いが拡大し、しかも重要性が増していることです。当初は、機能的で利便性の高い機械やシステムを開発するための研究課題が多かったように思いますが、次第に安心、安全、健康、環境などに関するテーマが増加し、研究分野としても理学・工学・情報学から医学や社会科学との学際領域に広がっていききました。

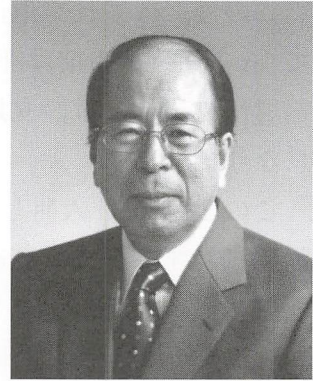
そして昨今、世界規模での災害や経済危機が続く、人間が積み上げてきた科学技術や知見が微力であることを目の当たりにするにつけ、忘れてならないのは人間が主人公の社会の回復、すなわち人間と自然環境と科学技術が調和した社会システムの実現だと考えております。「人間と機械の調和」とは、そのような人間重視の視点に立った豊かで健全な最適化社会の創造であるという広い解釈のもと、当財団の活動が少しでも人類が直面している課題の克服に寄与できるよう願っております。

最後になりますが、理事長在任中は格別のご懇情を賜り、心より厚く御礼申し上げます。後任の立石義雄に対しても倍旧のご支援、ご交誼を賜りますようお願い申し上げます。

前理事長 立 石 信 雄

高齢社会を豊かにするジェロンテクノロジーの創成

21 世紀における世界の最重要課題は、人口の高齢化です。特に、わが国は世界で最も長寿化が進み、急速に超高齢化社会を迎えております。人口の高齢化は医療・介護・福祉領域にとどまらず、経済・産業・教育・文化・地域社会などの広い分野にわたり複雑な問題を提起しております。特に、医療・介護領域だけでも、高齢者に関わる診断技術や知識の向上、認知症など老年症候群予防の確立、在宅医療や地域介護力の飛躍的拡充、高齢者食生活の問題改善などがあります。



いまこそ、高齢者と高齢社会が抱える多くの問題を包含・熟慮して、超高齢社会へ向けて将来を予測し、計画し、設計し、発明すべきです。超高齢社会の広範な諸問題の解決には、医学・生理学・看護学・福祉学・社会学・経済学・法学・科学・工学・人文学などの広い諸科学の知見を統合しつつ、総合的な連携体制が求められます。このような高齢者や高齢社会の抱える諸問題を多角的にとらえ、統合的・総合的に研究する分野がジェロントロジーと呼ばれ、日本語では少々狭義の感がありますが「老年学」や「加齢学」とも呼ばれております。わが国では、ジェロントロジーに関する理解が余りありませんが、成熟した超高齢社会の実現へ向けてのジェロントロジーの役割は重大となっております。

今まで、ジェロントロジーは医療・介護領域や社会学などが中心となってきましたが、これからは高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成、すなわちジェロンテクノロジーの創成により、健康で長寿で安心して暮らせる社会、いわゆる成熟社会の実現への貢献が期待されます。具体的な例としては、高齢者への医療・福祉技術（ロボット技術などを含む）の開発とそれらを利用するための高齢社会システムの構築などがあり、これらの発展は社会の経済発展と高齢者個人の生きがいへと連動することでしょう。ジェロンテクノロジーは高齢者と高齢社会における人間と機械の調和を基盤としており、その基盤関係を科学・技術を通して促進することが当財団の趣意となっています。従って、当財団の役割は将来へ向けてさらに重要性が増して行くことでしょう。

北海道大学 名誉教授・北海学園大学 名誉教授
NPO 法人北海道ジェロントロジー推進協会 理事長

朝 倉 利 光（評議員）

人を支援するロボットとセンサ

東京大学 大学院 情報理工学系研究科 教授 IRT 研究機構長 下山 勲

日本は 2055 年に 65 歳以上の人口が占める割合が約 40% と推定され、また、1990 年生まれの女性が孫を持たない確率は約 50% と推定されている（国立社会保障・人口問題研究所）。人口の分布だけでなく、家族の構成も変わると推定されている将来、社会を持続的に発展させ、QoL (Quality of Life) を高めていくためには、社会制度の改革や、社会と家族の理解などとともに、科学技術が果たす役割も大きい。とくに、GDP に反映されない家庭内活動（Home Production）の生産性の向上のためには、科学技術の中でも情報技術（ICT）とロボット技術（RT）を融合した技術（IRT）によって、機械が代替することが適切である仕事を、家庭用ロボットで行うことが有効であると考えられる。たとえば図 1 に示すように、洗濯ものを洗濯メニューに合わせて仕分けし、洗い終わって乾燥がすむと、畳んで収納したり、テーブルの食器を片づけて食洗機の中に入れ、自動的に洗ったあとで収納するなどである。

図2に、電通総研とIRT研究機構でおこなった、家事負担感とロボットのニーズについて

ての調査の結果を示す。

これによると、食事の後片付けや掃除など、グラフ右上の家事は、負担感を感じてロボットに対するニーズがあるものと分類された。今後、男女共同参画社会のなかで、子育てを家庭がさらに増加し、家事負担が大きくなると考え



東京大学 IRT 研究機構では、図 3 の家庭用キッチンロボットを企業と共同研究した。この

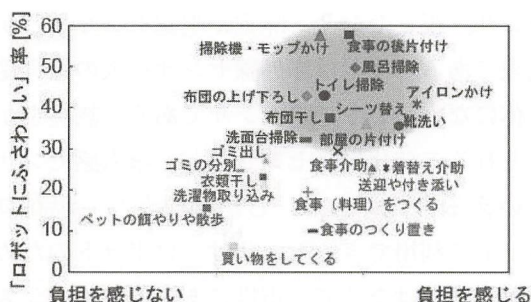


図2 ロボットの家事支援のニーズの大きな作業

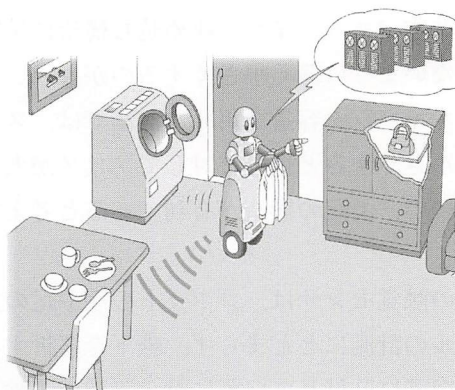


図1 人を支援するロボットの働くシーン

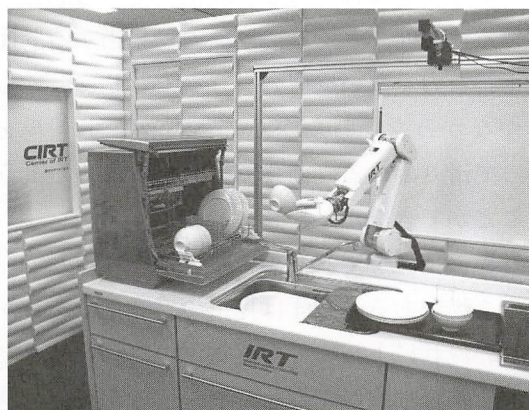


図3 食洗機を使うキッチンロボット

ロボットは触覚をもち、手探りで食器を把持して、食洗機に入れ、食洗機のスイッチを入れるというものである。将来の家庭用ロボットを垣間見るものであるが、実際に実用化されるまでの技術以外の課題も多々ある。

ロボットにはさまざまなセンサが取り付けられて安全性、信頼性を確保すると同時に、人や環境の状態の検知にも使うことができる。たとえば、視覚情報を使って、ハンドバックやTVのリモコンの位置を検知したり、日常生活をいつもと同様におくっているかを判断したりできる。触覚センサは、ロボットがものを器用に扱うときや、人と接触するときの、重要な接触情報を提供する。また、これらのセンサで得られた情報は、インターネットを介してコンピュータシステムにアップロードして、必要に応じて共有したり、再利用したりできる。

ロボットが必要とするセンサは、人の触覚、視覚、聴覚、味覚、嗅覚の五感に相当する感覚と、人が持っていない感覚であり、前者は、触覚センサ、近接覚センサ、角速度（ジャイロ）センサ、視覚センサ、味覚や嗅覚センサなどが代表である。後者は赤外線センサや人の感覚受容体になく匂いや味のセンサである。無臭をかぎとれる二酸化炭素センサなど、第六感センサといえるものである。しかしながら、現在ロボットで利用できるセンサは、ロボットのためのセンサではなくて、市場にあるセンサをシステムに組み込んだものであり、たとえば、手でペットボトルを扱うときに、指や掌の力感覚を与えるセンサ、とくに、摩擦力に相当する、面に平行な力を薄い皮膚のようなセンサでとるものがなかった。したがって、ペットボトルを握って滑り始める直前まで握力をゆるめるようなことができなかった。

外界の情報を得るために感覚毛を利用している生き物がある。図4は昆虫の感覚毛であるが、空気の流れによってこの感覚毛が倒れ、ねもとにある神経細胞が変形し、その信号が神経細胞を伝わって情報を神経系に送っている。

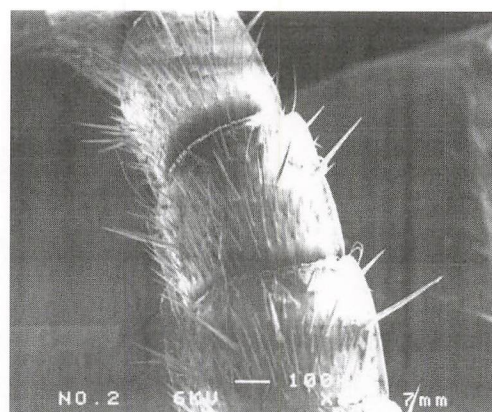


図4 昆虫の尾葉上の感覚毛

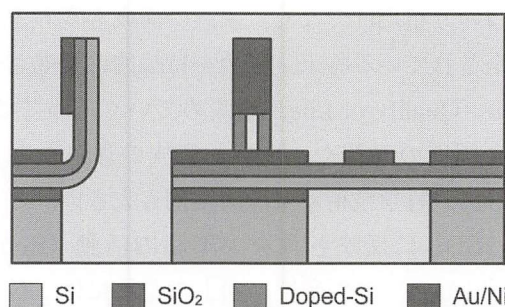


図5 触覚センサの原理図

同様な構造は、SOI ウェハのシリコンデバイス層に厚さ 300 nm のカンチレバーを形成し、そのねもとにピエゾ抵抗層を形成し、カンチレバーを折り紙のように曲げ、樹脂で表面を覆うとすることができる。樹脂の変形に応じてカンチレバーが変形し、抵抗変化が生じ、その変化量から樹脂の変形、さらには樹脂にかかる力が計算できる。圧力方向の力は、MEMS のダイアフラム構造でも計れるが、摩擦方向の力は、その方向に垂直な平面にピエゾ抵抗層をつくるのが基本である。また、埋め込む構造に影響を与えないように薄く小さくするのがよい。さらに、キャパシタ容量を用いた計測では、スケールを小さくすると信号に対してノイズが大きくなるので、上記の構造が有利であると考えている。

この触覚センサは、ロボットの手や足の力ベクトルの計測にとどまらず、嚙下を解析するために口蓋に貼付して口蓋に対する舌の運動を計測したり、蝶が飛翔しているときに翼面にかか

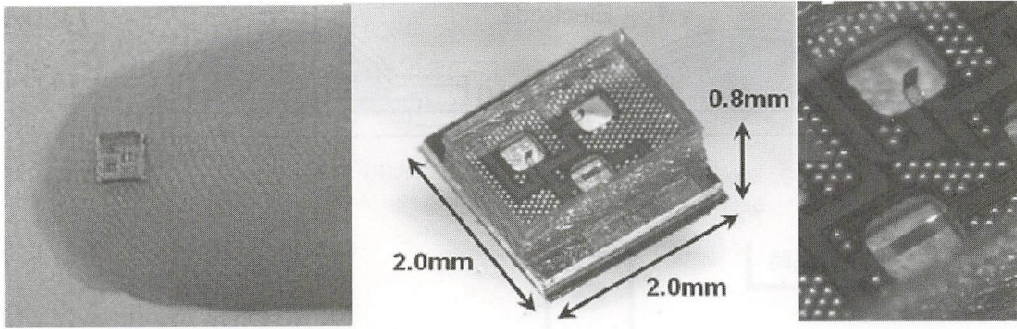


図6 触覚センサの外観

る圧力を計測したり，ゴルフのクラブがボールに与える撃力を計測したり，10 cm の高度差による圧力変化を計測したり，パーティクルがカンチレバーに当たったときの信号からパーティクルの数を数えたり，マイクとして使うことができる。

生物は薄い膜で覆われた構造を持っている。人の目のように，この膜構造が変形して焦点を調節する例もある。昆虫では個眼が集まって複眼を形成している（図7）。図9のように蒸気圧の小さい液体，たとえば，シリコンオイル上

に蒸着装置でパリレンを蒸着すると一様な膜が形成され，液体を封止することができる（図8）。封止した構造の上面に薄い電極を付け，上下面に電圧を加えると，静電気力によって曲率半径が小さくなるように変形する。これによって可変焦点のレンズができる（図10）。

可変焦点レンズを使って，図11の距離センサを試作した。原理は，レンズの焦点距離を変えながら物体で反射する光の輝度を共焦点系で検出し，輝度が最大になるときのレンズの変形量をもとに物体までの距離を計測するものである。

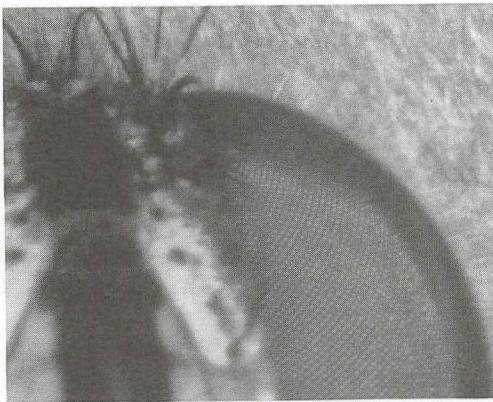


図7 はえの複眼

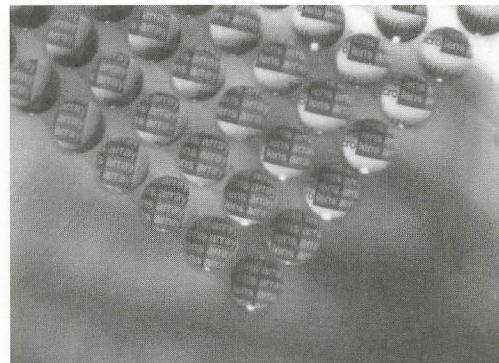


図8 液体封止マイクロレンズ

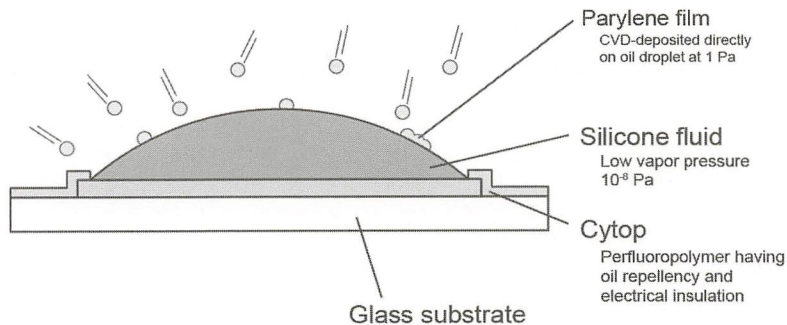


図9 パリレン蒸着による液体封止

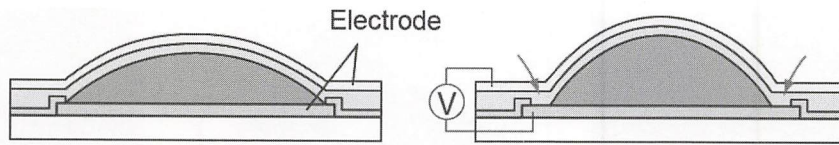


図10 静電気力による可変焦点液体レンズ

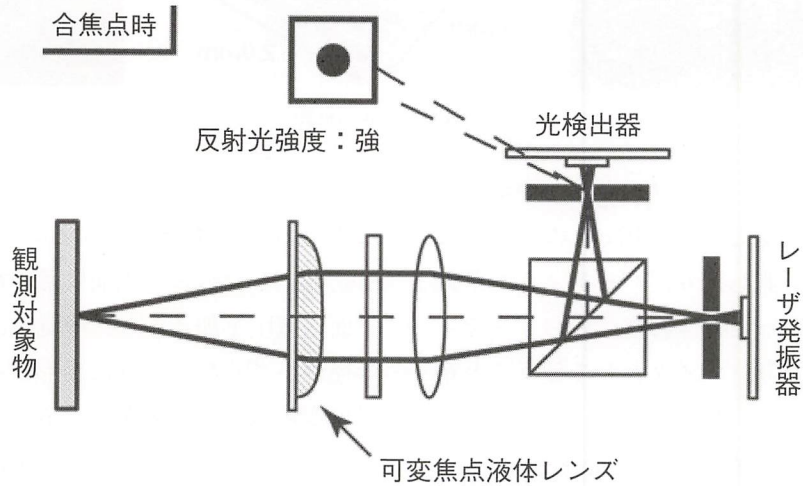


図11 距離センサ

パリレンによる液体封止技術は、距離センサだけでなくプリズムや導波路などの光学部品や、機能性液体を封止することで化学量センサや発光素子なども実現できる。

今回の受賞後も、ロボットとセンサを中心にオリジナルな研究を続け、人材の育成にもさらに貢献していきたい。最後になりましたが、大学院入学以降ご指導いただきました三浦宏文名

誉教授、井上博允名誉教授、研究活動でお世話になりました研究室の同僚と学生、IRT 研究機構、情報理工学系研究科の皆様、共同研究を通して明快な課題を提示いただきました企業の皆様、産学官の連携を促進していただきました(財) マイクロマシンセンタの皆様に心からお礼を申し上げます。

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

データベース技術およびアンビエント情報環境の構築

大阪大学 大学院 情報科学研究科 教授 西 尾 章治郎

立石科学技術振興財団から1995年度に「移動体計算環境におけるデータベースシステム構築に関する研究」に対して助成をいただき、自身の研究が飛躍的に進展しました。そして本日、図らずも第2回立石賞功績賞拝受の栄誉に浴することができました。ここに、立石信雄理事長をはじめ、立石科学技術振興財団の皆様、ご来賓、ご来場の方々に深甚なる謝意を表します。

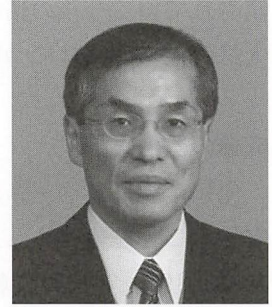
プロローグ

私は、1970年代初頭から18年間余りを、大学生および大学教員として京都で過ごしました。その間、京都大学工学部の長谷川利治先生に、言葉に尽くせない程のご指導、ご薫陶を受けて参りました。長谷川先生は立石科学技術振興財団の評議員も務めておられ、オムロン株式会社の素晴らしさをしばしばお話し下さいました。誠に残念ながら、昨年11月28日に逝去されましたが、長谷川先生はヒューマニティに大層富んでおられた方でした。特に専門分野におけるコンピュータの高度化によって進展する情報化社会における「人間と機械の調和」の大切さを、自らの日々のお言葉、行動で示されました。そのご厚情にお応えする大切な機会を、思い出の京都の地で頂戴しましたことは身に余る光栄であり、感謝の念に堪えません。

私の研究と本日の話題

データベースは、人間の諸活動の所産である電子データをコンピュータに格納する「器」の役割を果たすものであり、人間社会の「写し絵」とも言えます。近年のコンピュータ・ハードウェアの目覚しい高速化および著しい低価格

化は、大規模なデータベースの構築を容易にし、またインターネットおよびウェブ技術の発展に伴い、人間の生活向上に資する新たな形態でのデータベースサービスも実現されて



おります。このような状況のもと、高度情報化社会の基盤として、有用な情報源の役割を果たすデータベースシステム構築技術の重要性が増しています。

私は、1980年代初頭から今日に至るまで、データベースシステムの重要諸技術に関して、現実システムに立脚した創造性豊かな研究を目指してきました。その内容を要約しますと図1のようになり、600編に及ぶ論文を、学術論文誌、国際会議録に査読を経て公表してきました。

本日は最初に、自らの研究のなかで、特にパラダイムシフトを先導する重要な内容と考える三つの内容に焦点を絞って紹介します。

次に、私がオピニオンリーダーとして推進し

並行処理制御における直列化可能性の概念定義
マルチバージョンによる並行処理制御
分散データベースシステムの構築技法
完全冗長性に関する考察
LAN上の分散DBの結合演算における新たな性能評価指標
相互排除 (Mutual Exclusion) アルゴリズムの提案
演繹、オブジェクト指向、演繹オブジェクト指向データベース
データマイニング(データベースからの知識獲得・知識発掘)
知識ベース独立
データベース移動
データ放送型環境、モバイル計算環境、P2Pネットワーク
マルチメディアコンテンツとデータベース

図1 これまでのデータベース研究の歩み

てきました「アンビエント情報環境」の構築について述べます。これは、ポスト「ユビキタス情報環境」と言えるものであり、情報技術がより深く生活空間に溶け込み、人間が安全で豊かな生活を享受できることを目指したもので、自身が関わってきた研究の集大成でもあります。

最後に、「人間と機械の調和」がより強く要請されている今後の情報分野の研究開発および人材育成の方向性について論じます。

究極の器の設計

先に、データベースが「器」としての役割を有することを述べました。その「器」の設計として、1970年代は、帳簿のような表形式でデータ間の関係を表す「関係データベース」がビジネス分野を中心に広く採用されました。

1970年代後半には、関係データベースの設計は維持したまま、データベース内にルール記述も格納し、これらをもとに知識処理（演繹）を行うことで、より複雑な問合せに対応可能な「演繹データベース」の研究が推進されました。例えば、「親子」の関係を表すデータが格納されている場合、そのデータに対して「親は先祖である」、「先祖の親は先祖である」という二つのルールを追加することで、データベース内のすべての人の先祖を演繹的に導くことができます。

一方、1980年代半ば以降、関係データベースのような二次元の表構造では直接的に格納できない複雑な対象（オブジェクト）を、より直接的かつ柔軟に表現可能な「オブジェクト指向データベース」が開発されました。これは、器の設計を厳格に行ってからデータを入れ込むという発想を180度転回して、個々のデータを中心に据えて、その他のデータとの関連などを柔軟に表現しようというものです。

私は、演繹データベースおよびオブジェクト指向データベースの双方の長所を有する器の設計として、「演繹オブジェクト指向データベース」を提唱しました（1989年）。このデータ

ベースは、対象を直接的かつ柔軟に表現可能としつつ、さらに、オブジェクトに対する知識処理を可能とする数学的基盤を有しています。つまり、表現の柔軟性および問合せ対応能力の観点から、最も強力に設計されたデータベースの「器」とも言えます。

私達のグループをはじめ、世界の該当分野の研究者達がオブジェクトの構造と演繹ルールを統一的に表現できる数学的基盤の確立に邁進し、この新たなデータベースを実現するための研究が大きく進展しました。

1989年に第1回演繹オブジェクト指向データベース国際会議（DOOD）を京都で、しかも京都高度技術研究所（ASTEM）開所のお披露目行事の一環として開催するという幸運に恵まれました。テーマへの注目度の高さから、世界中から著名な研究者達が会議場に収容できない程参集し、その会議録の引用回数は1200を越えております。実際、このデータベースの設計指針に基づくシステム実装が、日本の国家プロジェクトや欧州のプロジェクトにおいて推進されました。

定説を覆す成果

広域ネットワーク環境下でのデータベース利用が本格的に検討されていた1980年頃、遠隔サーバがもつデータベースへのアクセス時間を節約するために、全てのサーバシステムにデータのコピーを配置する「完全冗長性」が定説的に仮定されていました。しかし、私達のグループは、その仮定に大きな疑問をいただきました。コピーを作成することで、本体のデータベースが書込み（更新）された際に、更新情報を全てのコピーに反映する必要がある、実行時間の観点からは性能が大きく低下すると考えたからです。

そこで、この問題の特性が明確になる定式化を行い、計算実験により、「書込みアクセスが全体のアクセスのうち1割を超えるような状況ではデータのコピーを置かない方がよい」と

いう、定説を覆す結果を導きました（1983年）。つまり、データベースへの「書込み」および「読み込み」アクセスのうち「書込み」が1割を超えると、更新情報をコピーに反映するための通信負荷によって、データベース処理の平均実行時間がむしろ長くなる結果が得られました。

この結果は、ネットワーク環境におけるデータベースシステム構築技術に大きな影響を与えました。特に、当時、金融業界や旅行関連企業などが「書込み」アクセスを頻繁に行う大規模データベースの構築を開始した時期であり、その設計に対して貴重な指針を与えることができました。爾来、このような業界では完全冗長性に基づくシステム構築はなされておられません。

先を読む概念の提唱

1990年代に入ると、ネットワークの高速化が急速に進展しました。私は、このように超大量のデータが瞬時に転送可能になった状況を活用し、データベースそのものを移動するという斬新なアイデアを基盤とした「データベース移動」の概念を提唱しました（1995年）。実際、1万人規模の会社で1人当たりの人事データが10KB程度である場合、その人事データ全体を実効速度100Mbpsのネットワークで転送すれば10秒もかかりません。この「データベース移動」の概念は、ネットワーク上に分散するデータベースは特定のサーバシステム上に固定されているという従来の概念を覆す画期的なものと言えます。

私達のグループでは、データベースを移動することで新たに生じる「移動の適切なタイミングの決定」および「移動中のデータベースに対するアクセスを停止しない並行処理制御」など、困難な課題を解決するためのさまざまな技法を考案しました。また、これらを机上の理論で終わらせることなく、5年余りの年月を要して実環境上に実装し、実測評価を行って実現性を確認しました。

最近、経済効果的な観点から新聞誌上等で注

目を集めている「クラウドコンピューティング環境（インターネット上にさまざまなサービスが存在し、それらを連携して利用できる環境）」では、広域に配備された高速ネットワーク上でさまざまなサービスがデータベースにアクセスするため、「データベース移動」が効果を発揮するものと考えられます。そのため、私達の研究成果は、クラウドコンピューティング環境を予見する先見性のある成果として、その有効性が見直されつつあります。

集大成の情報環境

私は、これまでの自身の研究・開発を含む情報技術全体を駆使して実現される環境とはどういうものかを考え続けてきました。その結果として、「ユビキタス情報環境」よりもさらに進展した「アンビエント情報環境」を提唱しています（2005年から）。

情報技術の発展が、人間に対して安全・安心・快適な環境を提供することを主要な目的の一つとするならば、それによって実現される究極の姿とはどのようなものなのでしょう。例えば、自らアクセスしなくても、必要な時に瞬時にその場で自らの安全を促すような情報を察知して、肩をトントンとたたくように知らせてくれる。また、歩いていて、ある電子ボードの前を通ると、その場において自分にとって安心感が得られる情報が「さりげなく」表示されている。このような環境が実現すれば快適感は増すでしょう。このように、人間を中心にしてその「周囲の（ambient）」環境が、その人間を「取り巻く」ようにして、「いまだから、ここだから、あなただから」有益な情報を提供する高度に情報化された社会を「アンビエント情報社会」といいます。いまでは、「アンビエントエアコン」、「アンビエント照明」、「アンビエント音楽」というように、「アンビエント」という用語が快適な生活環境を実現する多様なものに冠せられています。

ユビキタス情報社会では、情報システムが日

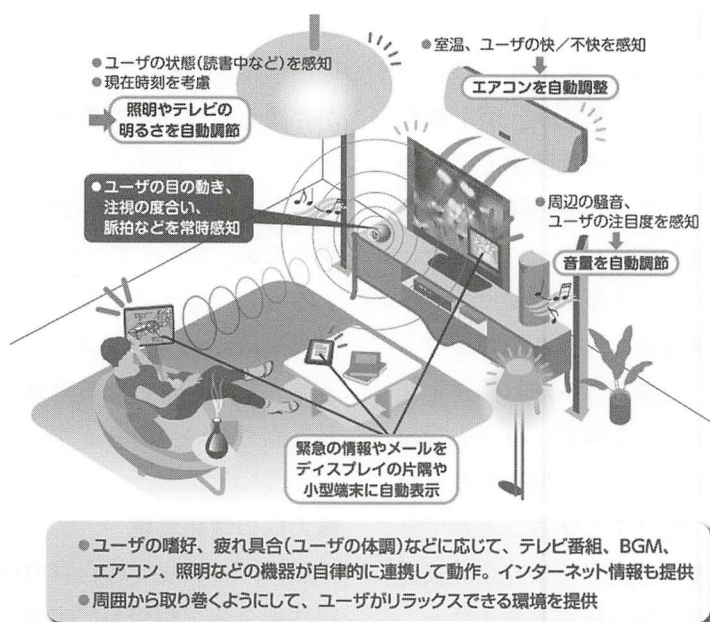


図2 アンビエント情報社会(リビングルームの例)

常生活の隅々まで普及し、簡単に利用できる社会が構築されますが、情報機器はサービスを提供可能な状態で待機しています。つまり、ユーザからの操作を待つという点では受け身(PULL型)です。一方、アンビエント情報社会では、PULL型サービスは当然のことながら、周囲の情報機器がユーザの状態を感知し、ユーザに自律的に働きかけるPUSH型サービスが可能なことが大きな特徴です。このような社会におけるリビングルームの例を図2に示します。

情報・生体・認知のクロスにより未来を拓く

従来の理工系における博士人材は、高効率性を目指した社会システムにおけるイノベーション創出に大きく貢献してきました。しかし、そのための新技術の開発により、環境や人のメンタルな面における重い負荷が促進されてしまうというジレンマから逃れることは困難でした。また、先般の東日本大震災の事例一つをとっても、単に高効率性を重視した技術ではなく、事前予測が困難な多様な事象に、柔軟かつ頑強に対応し、新しい価値を生み出す技術の重要性が明らかになりました。

そこで、生命システムなどがもつ仕組み(柔軟性、頑強性、持続発展性)を有し、人間・環境に調和した情報社会を構築するための「情報ダイナミクス」を扱う技術の重要性が増しています。この技術を習得するには、情報を受け取り、理解し、生み出す人間の脳機能のダイナミクスである「認知ダイナミクス」を理解するとともに、人や環境に柔軟に適応する機能を与える「生体ダイナミクス」を扱う必要があります。これら三つのダイナミクスを包括的に理解し、生活・文化・社会の発展や、新産業・サービスの創造に資する新しい情報システムをデザインする研究の重要性が増しています。

また、これら三つのダイナミクスを包括的に理解する高度人材を育成することにより、複雑化し続ける社会において人間や環境へ強い制御を加えて負荷を上げるのではなく、人間中心の情報技術によって、世代や立場を超えた人間同士のコミュニケーションやコミュニティ形成、人間とロボットが共生する高度な福祉、災害時にも自律復旧が可能な社会ネットワークの実現など、イノベーションの方向性を大きく転換することが可能になると確信します。

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

脳神経科学と情報工学の融合による BMI の研究開発

(株) 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所長 川 人 光 男

私は、脳機能を情報処理と計算理論の観点から研究し、腕の到達運動における平衡位置制御仮説を批判的に検証し、小脳内部モデル理論を提案し、更にそれを発展させたモザイク理論でコミュニケーションや見まねなどを含めた高次認知機能も説明しました。また、大脳皮質の低次と高次の視覚野の間に存在する前向きと後ろ向きの神経結合、あるいは視覚野内の神経結合が光学の順逆モデルや、外界の内部モデルを提供していると考えた視覚の双方向性理論を提案しました。これらの理論を自ら実験的に検証すると共に、様々な関連する理論的あるいは実験的な研究を呼び起こすなど、計算論的神経科学とシステム神経科学の分野に『内部モデル』というキーワードを中心とした研究分野を作り出すことに貢献しました。また、これらの知見を応用して、ヒトの脳を傷つけずに、脳活動から必要な情報を抽出し、考えるだけで、遠隔にあるヒューマノイドロボットやコンピュータなど情報通信機器を学習させて動かす革新的なブレ

イン・マシン・インターフェース (BMI) 技術の開発を行ってきました。

BMI は、脳の感覚、中枢、そして運動機能を電気的な人工回路で補綴、再建、そして増進するものです。感覚と中枢に関してはすでに実用化しています。例えば、人工内耳は世界で20万人の方の失われた聴覚を再現しています。私が主に研究をしているのは、失われた運動、あるいはコミュニケーション機能の代償、回復に関する、いわゆる運動型の BMI です。約10年前に運動型 BMI の基礎論文が出版されましたが、それから僅か数年のうちに、臨床試験が始まりました。脊髄損傷の患者さんの脳に、4ミリ×4ミリほどの非常に小さな剣山型の電極を差し込みます。この電極を使って得られたニューロンの活動を用いて、コンピューター画面上のカーソルを動かせるようになったのです。

このような BMI は、医学用語で「侵襲型」と呼ばれています。脳に針を刺すことでどうしても脳を傷つけてしまいます。さらに、電極と脳の間の位置関係が安定せず、電極をグリア細胞が取り囲んでいわば絶縁するので、長期的に安定に記録はできません。平成20年度から始まりました文部科学省脳科学研究戦略推進プログラムの課題 A『日本の特長を活かした BMI の総合的研究開発』の拠点長として、私は侵襲型ではなくて低侵襲型、あるいは非侵襲型に力点を置いて研究を進めてきました。

BMI が成功するためには、いろいろな要素

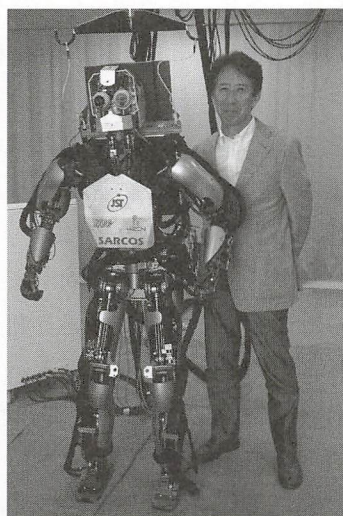


図1 ヒト型ロボット, CB-i (JST-ICORP)

が必要です。1つは、神経科学の知識で、例えばBMIで運動を実現しようと思えば、大脳皮質の中で運動に関わる部位（運動野）からニューロンの発火頻度を記録し、しかもたくさんのニューロンから情報を取ることが必要となります。2つ目は、IT技術、コンピュータサイエンス、機械学習を脳科学に応用した脳情報解読（デコーディング）です。脳の活動信号値から、脳から読み出したい情報への対応関係を、コンピュータのアルゴリズムで自動的に発見します。3つ目は、ユーザーの訓練です。ユーザーの脳がシナプスの可塑性によって変化することで、最初はあまり上手に使えなかったBMIが自由自在に使えるようになります。

非侵襲型の脳活動計測方法は、大型で主に医療、研究用として用いられる機能的磁気共鳴画像法（fMRI）、脳磁計から、比較的小型で携帯可能な近赤外光計測（NIRS）までいろいろな種類があります。fMRI、NIRSは、脳のどこから活動があるかが高い精度で分かります。脳磁計、脳波は時間の分解能が高いです。そこで、ATRの佐藤雅昭所長らは、fMRIと脳磁計を組み合わせる、あるいは近赤外光計測と脳波の同時計測により、脳のどの部分にどれだけ電流が流れているかを、正確に推定することに成功しました。佐藤雅昭所長、大須理英子室長、そして私たちは、このような脳活動推定の先進的な手法を用いて、非侵襲型で、さらに携帯型でさえも、脳活動の時空間パターンを正確に推定し、それを用いて高性能のBMIを構築することに成功しました。

ニューロフィードバックトレーニングとは、バイオフィードバックトレーニングの一種で、被験者が自身の脳活動に関するフィードバックを受けることで、脳活動を操作する方法を学ぶというものです。これまで、単一ニューロン活動記録、脳波など、様々な脳機能計測モダリティを利用して、ニューロフィードバックが行われてきました。私は、脳情報デコーディング技術とニューロフィードバックを組み合わせ、

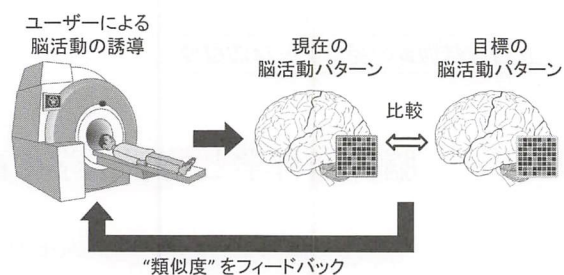


図2 DecNefの仕組み

DecNef（Decoded neurofeedback）法を開発しました。

DecNef法で用いられる脳情報デコーディング技術とは、脳活動信号から脳の中で表現されている情報を解読する技術です。ものを見たり音を聞いたりするなど、外界からの刺激入力や認知の変化に伴い、脳活動は変化します。例えば、知覚に話しを限定しますと、知覚刺激に誘発された脳活動を解析し、脳活動と知覚刺激の対応関係を見つけ出し、脳活動から知覚刺激を予想するのがデコーディング、脳情報復号化・脳情報解読です。このデコーディング技術をニューロフィードバックと組み合わせたDecNef法には、これまでのニューロフィードバックにはなかった利点があります。第一に、これまでのfMRIニューロフィードバックよりも複雑な脳活動を扱える、という点です。これまでのfMRIニューロフィードバックは、ある脳領域の活動の変化量や、2つの脳領域の活動間の相関を扱うなど、脳領域単位の操作でした。一方、DecNef法では、ミリメートル程度の大きさのボクセルという細かい単位で、空間的なパターンをフィードバックの計算に用いることで、これまでの脳領域単位の操作よりもずっと高度な情報の操作が可能になります。第二に、フィードバックに使う脳活動を効率よくかつ自動的に決めることができる、という利点もあります。これまでのニューロフィードバックでは、活動を操作する領域はある程度の事前知識によって決められてきましたが、デコーディング技術を用いることで、外界刺激や認知状態を表している脳活動を見つけ出し、フィードバック

に使うことができます。

脳科学では、脳活動を原因として結果として行動を引き起こす、因果関係の研究は従来行いませんでした。そこで、脳活動のデータから脳内の情報を解読し、それを短い時間遅れで脳に報酬として帰還し、結果として特定の空間的脳活動パターンを誘起する、DecNef法を開発しました。

このDecNef法を用いて、ヒトの大腦皮質初期視覚野に特定の空間的な活動パターンを引き起こして、特定の視覚刺激に対してだけ知覚能力が向上する、いわゆる視覚知覚学習を導きました。経験を積んだ医師は、身体の高層画像から、一般のヒトには認識できないような異常を瞬時に読み取ることができます。このような専門家の持つ視覚能力は、例えば何度も体の断層画像を見るといったような、経験・訓練によって培われたものです。この訓練に伴う視知覚能力の向上について、心理物理実験によって、コントラストの低い縞模様でも、繰り返し縞模様を見せられることで、縞の方向を知覚できるようになるということが分かっています。しかし、視知覚能力の向上の神経基盤についてはよく分かっておらず、とりわけ初期視覚野の可塑的变化が関連しているかどうかは、長い間議論がありました。そこで、DecNefを用いて、縞模様を見たときの脳活動を初期視覚野で繰り返し発生させることが、視知覚能力の向上の十分条件であることを明らかにしました。被験者は、自分自身の初期視覚野の脳活動を、ある視覚刺激（縞模様）を見ているときの脳活動に近づける訓練を行いました。この研究は、視覚刺激・誘導した脳活動パターンの意味・実験の仕組みについての自覚が被験者になくても、初期視覚野における特定の活動パターンの繰り返しが、そのパターンに対応する視覚特徴に対する知覚学習を引き起こすことを示したという点が画期的です。

これは、脳活動パターンを原因として、知覚

学習が結果としてえられたという意味で、因果関係を証明したことになります。従来は、ヒトやサルに知覚学習をしてもらい、その時の脳活動とニューロン活動をfMRIや刺入電極による単一ニューロン記録法で調べる研究がほとんどでした。このような研究は学習と脳活動の相関を調べているに過ぎないので、ある脳領域、あるニューロンの活動が学習の原因なのか結果なのかについては、いつまで経っても結論が出ません。今回のDecNef法を用いた研究によって、初期視覚野の空間活動パターンだけで知覚学習を起こし、十分条件を示したことで、この論争に決着がつけました。また、臨界期を過ぎると神経回路が固定されシナプス可塑性がなくなると考えられていた初期視覚野でさえ、大人でも十分なシナプス可塑性を保持し、それによって知覚能力が向上する、つまり知覚学習が可能なことを示しました。

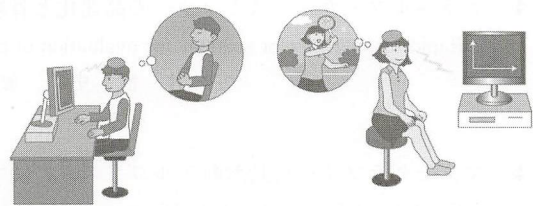


図3 DecNefで自分の脳を自在に制御する

1960年代あるいは80年代に行われたサルの電気生理学の基礎研究からBMIの素晴らしい応用分野が切り拓けてきました。私は、応用が先か、基礎研究が先かということにこだわらず、応用と革新的基礎研究の両方に役立つ技術と方法論を開発することを目指しています。例えばDecNef法を応用して、今まで治せないと言われていた精神疾患、神経疾患の全く新しい治療法やリハビリテーション法が開発できる可能性があります。脳の仕組みも、脳活動からころへという意味での因果律も含めてより深く理解することができると期待されます。今後も、応用としても基礎研究としても革新的な研究・技術開発を続けていきたいと思っています。

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 快適な仮想現実の構築のための動揺病発生メカニズムの解明 (1091018) 18
 Elucidation of neurophysiological mechanisms of the motion sickness to develop a comfortable virtual reality system
 中 川 誠 司 (独) 産業技術総合研究所 主任研究員

- ◆ 人間の操舵特性・認知特性を考慮した次世代SBW 制御系の構築 (1091021) 23
 Design of Steer by Wire System considering Human's Steering and Detection Characteristics
 松 永 信 智 熊本大学 大学院 自然科学研究科 教授

- ◆ 能動的行動にもとづくロボットの知覚システムの開発 (2001005) 27
 Perceptual system of a robot based on active motion
 郷 古 学 東北学院大学 工学部 機械知能工学科 准教授

- ◆ 補正機能を持つ近赤外生体計測手法の研究 (2001015) 31
 Research on reducing artifact for fNIRS
 福 田 恵 子 東京都立産業技術高等専門学校 准教授

- ◆ 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 (2001016) 35
 Rapid terahertz color scanner for evaluation of bone tissues
 安 井 武 史 徳島大学 大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 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 (2001901) 39
 Fundamental Study for Auto Diagnosis of Mammography
 来 見 良 誠 滋賀医科大学 医学部 教授

- ◆ 超高感度 MI センサを用いた非接触携帯型脳波計の開発 (2011001) 43
 Non contact portable type brain wave detection system using highly sensitive MI sensor
 内 山 剛 名古屋大学 大学院 工学研究科 准教授

- ◆ 触診機能搭載型オーダーメイド手術支援マニピュレータの開発 (2011003) 48
 Development of made-to-order surgery support manipulator with tactile sensing function
 河 合 俊 和 大阪工業大学 工学部 ロボット工学科 准教授

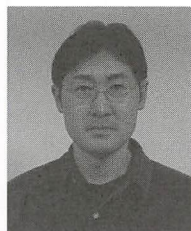
- ◆ 経鼻胃管挿入時における管先端位置の電磁モニタリング法の開発 (2011004) 52
 Development of Electromagnetic Monitoring Method of Tip Position of Tube in Inserting a Nasogastric Tube
 後 藤 雄 治 大分大学 工学部 機械・エネルギーシステム工学科 准教授

◆ 3次元スペクトル解析と3次元動画顕微鏡の一括計測の実現 (2011007)	56
Simultaneous Measurement Technique for 3-dimensional Spectroscopy and Tomography	
塩田 達 俊 長岡技術科学大学 工学部 電気系 准教授	
◆ 近赤外画像計測による睡眠中の非拘束眼球運動検出 (2011004)	62
Unrestricted eye movement detection employing infrared imaging during sleep	
下ノ村 和 弘 立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 准教授	
◆ 新規光造影剤を用いた早期乳癌の非侵襲近赤外蛍光検出法の開発 (2011009)	66
Development of a near-infrared noninvasive detection of early breast cancer tumors using a novel contrast agent	
神 隆 (独)理化学研究所 生命システム研究センター チームリーダー	
◆ 空気圧人工筋の受動性を利用した頑健な外力・姿勢変化推定機構の開発 (2011011)	70
Development of the Estimation Mechanism of the External Force and Displacement of the Joint utilizing the Passivity of the Artificial Muscle	
田 熊 隆 史 大阪工業大学 工学部 講師	
◆ 小腸内圧計測制御装置の開発 (2011013)	74
Development of instrument and control device for a small intestine interal pressure	
長 縄 明 大 秋田大学 大学院 工学資源学研究所 教授	
◆ 帯状物体のマニピュレーションに関する研究 (2011015)	78
Manipulation of Belt Objects	
平 井 慎 一 立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 教授	
◆ 筋シナジーに基づく運動支援インタフェースの開発 (2011016)	83
A Human-machine Interface for Enhancing Motor Skills through Muscle Synergy Evaluation	
平 井 宏 明 大阪大学 大学院 基礎工学研究科 講師	
◆ 移動ロボットによる教師なし学習に基づく一般物体認識の研究 (2011017)	87
Generic Object Recognition Based on Unsupervised Learning Using Mobile Robot	
間 所 洋 和 秋田県立大学 システム科学技術学部 助教	
◆ 読唇技能保持者をモデル化した機械読唇のための特徴的口形検出方法に関する研究 (2011018)	91
A Detection Method of Distinctive Mouth Shapes for Machine Lip-reading Modeled on Lip-reading Skill Holders	
宮 崎 剛 神奈川工科大学 情報学部 准教授	
◆ 障害物回避歩行における肢運動の適応制御に関わる小脳機能の解明 (2011020)	96
Cerebellar contributions to the adaptive control of limb movements in obstacle avoidance during locomotion	
柳 原 大 東京大学 大学院 総合文化研究科 准教授	

快適な仮想現実の構築のための動揺病発生メカニズムの解明

Elucidation of neurophysiological mechanisms of the motion sickness to develop a comfortable virtual reality system

1091018



研究代表者

(独) 産業技術総合研究所

主任研究員

中 川 誠 司

[研究の目的]

仮想現実 (Virtual Reality: VR) が産業, 教育, 医療などの様々な場面で広く利用されるようになった。VR 体験時には, しばしば身体的不快感 (吐き気などを伴う「酔い」症状=動揺病: motion sickness) が生じることが報告されているが, これらの発生メカニズムには不明な点が多い。今後, VR が一層普及していくのは必至であり, その快適性・安全性の確保は不可欠である。

VR と動揺病の発生の関係を調べた研究は, 過去にごく少数ながら存在する (秋月ら, 2002, 中川・大須賀 1997 など)。しかしながら, 報告数が限られていることに加えて, 動揺病発生の様式は VR のタイプに依存して変化する。そのため, 様々な VR に共通するような構築指針は存在しなかった。本質的な対策のためには, 個々の VR についての主観的 (心理学的) な調査だけでなく, 動揺病発生の神経生理基盤そのものに対する理解が不可欠であると思われる。

動揺病は, 前庭覚 (内耳に存在。頭部の加速度を検知), 深部知覚 (関節や足の裏に存在。自らの体の動きや重力を検知) および視覚, それぞれの感覚情報の融合が阻害されて生じるものと考えられている (Brandt 1991)。動揺病発生の神経生理メカニズムについては動物実験による検討が数多く行われてきたが, それらの実験では動物に振動や回転運動を与えることに

よって動揺病を発症させており, 主として前庭覚, 深部知覚を刺激している。対して, VR で生じる動揺病症状は主に視覚入力のみ起因するものであり, 動物実験での発症メカニズムをそのまま当てはめることはできない。また, VR による動揺病発生の神経生理メカニズムを検討した例は過去にも存在しない。

本研究では, 申請者らが持つヒトを対象とした非侵襲計測の技術を応用して, 動揺病に関連した中枢神経生理メカニズムの解明を目的とする。しかしながら, 動揺病発生時の脳活動の計測は容易ではないうえ, いくらかの危険性を伴う。そこで, 本研究では, その発生メカニズムに関して, 動揺病と類似した神経機序を持つと考えられる, 視覚誘導性自己運動感覚 (vection) の中枢神経メカニズムの解明に取り組んだ。

[研究の内容と成果]

1. 方法

脳磁界計測を用いて vection の中枢神経メカニズムの解明に取り組んだ。vection は, 自らが回転運動しているかのように知覚される回転 (circular) vection と, 自らが直線運動しているかのように知覚される直線 (linear) vection に分けられる。回転 vection と直線 vection を誘起するような視覚刺激を被験者に呈示し, その際の vection 強度の主観評価および脳活動を

記録した。

1-1. 刺激

Fig. 1 に示した刺激装置を用いて、以下の 4 条件の視覚刺激を被験者に呈示した (Fig. 2)。

- (a) 画面中心点に向かって直線加速度運動するドット群 (LV)
- (b) 画面上の無作為な点に向かって直線加速度運動するドット群 (no-LV)
- (c) 画面中心点を軸として反時計回りに回転運動するドット群 (CV)
- (d) 画面上の無作為な点を軸として反時計

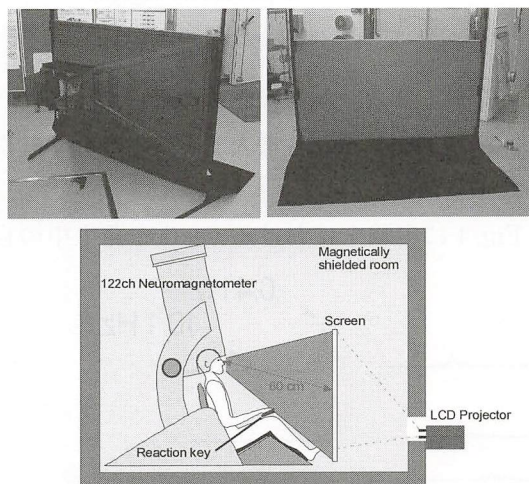


Fig. 1 視覚刺激呈示用スクリーン

Vection を惹起するため、広い視野を刺激可能な視覚刺激装置を開発した。被験者にスクリーンを覗き窓から見させることで、呈示刺激以外の視覚情報が入力されないようにした。

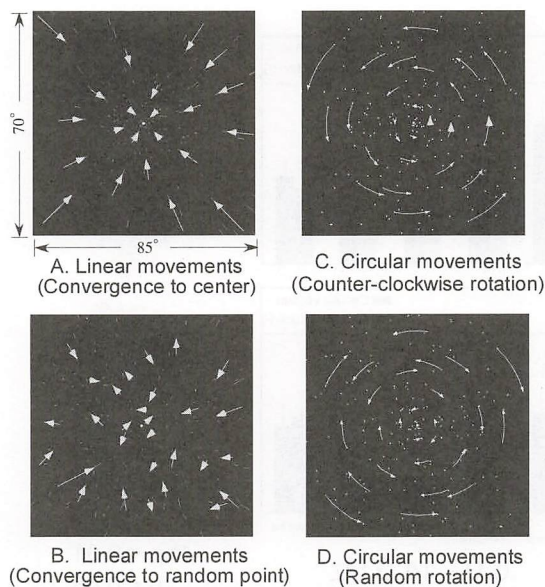


Fig. 2 呈示された視覚刺激

刺激 A および B に対して vection が発生する

回りに回転運動するドット群 (no-CV)

LV および no-LV 刺激の回転角速度を 10, 20, 40, 80, 160 deg/s, CV および no-CV 刺激の視角速度を 1.05, 2.1, 4.2, 8.4, 16.8 deg/s と変化させた。以下の二種類の条件で実験を行った。

実験 I : それぞれの視覚刺激のドット群の速度は一定とし、vection 発生時の自発脳磁図の計測を行った

実験 II : それぞれの視覚刺激のドットの運動速度をときおり変化させ、速度変化に対する誘発脳磁図を計測した。

1-2. 被験者

事前のテストにおいて、刺激条件 (a) に対して“自らの身体が後退運動する感覚” (backward linear vection), および刺激条件 (c) に対して“自らの身体が時計回りに回転運動する感覚” (clockwise circular vection) が知覚された被験者 7 名 (男性 5 名, 22-34 歳, 右利き) を用いた。被験者には、vection 発生中はボタンを押しておくこと、また刺激呈示中は固視点を注視するように教示した。

また、脳磁界計測に先立った実験において、定速条件における LV および CV の強度比較、刺激の運動速度を変化させたときの主観的運動速度の計測を行った。

1-3. 脳磁図計測と解析

誘発脳磁図は 122 ch 全頭型 DC-SQUID 磁束計 (Neuromag-122TM) を用いて計測された。計測データは 0.03-100 Hz のアナログフィルタを通してサンプリング周波数 400 Hz で A/D 変換したのち、100 回以上の加算平均を行った。なお、磁界が 3,000 fT/cm, 垂直眼電図が 150 μ V を越えた epoch は加算平均から除外した。

計測されたデータに対して、以下の解析を施した。

実験 I : 自発脳磁図の周波数スペクトル変化を

観察した。

実験Ⅱ：加算平均で得られた脳磁図データから、Minimum Norm Estimation 法 (L2-MNE 法) によって脳内活動源を推定した。さらに、脳内各部位において被験者間の検定 (voxel-by-voxel paired-T test) を行い、vection 発生に伴って有意な活動が見られた部位を同定した。

2. 結果

2-1. 主観評価

Fig. 3にLVおよびCVに対するベクション強度を示す。LVにおける強度を1.0とした場合の相対値を示す。CVに対する相対強度は1.03で、LVとはほぼ同等となっている。また、コントロール条件ではほとんどベクションは発生し

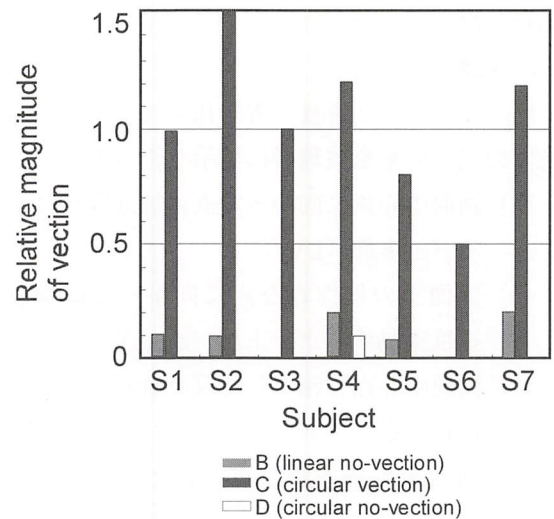


Fig. 3 回転/直線vectionの強度比較

ていない。また、刺激の運動速度の増大に伴って、主観的運動速度も増大することがわかった。

2-2. 皮質活動

Fig. 4に実験Ⅰにおけるvection発生中の自

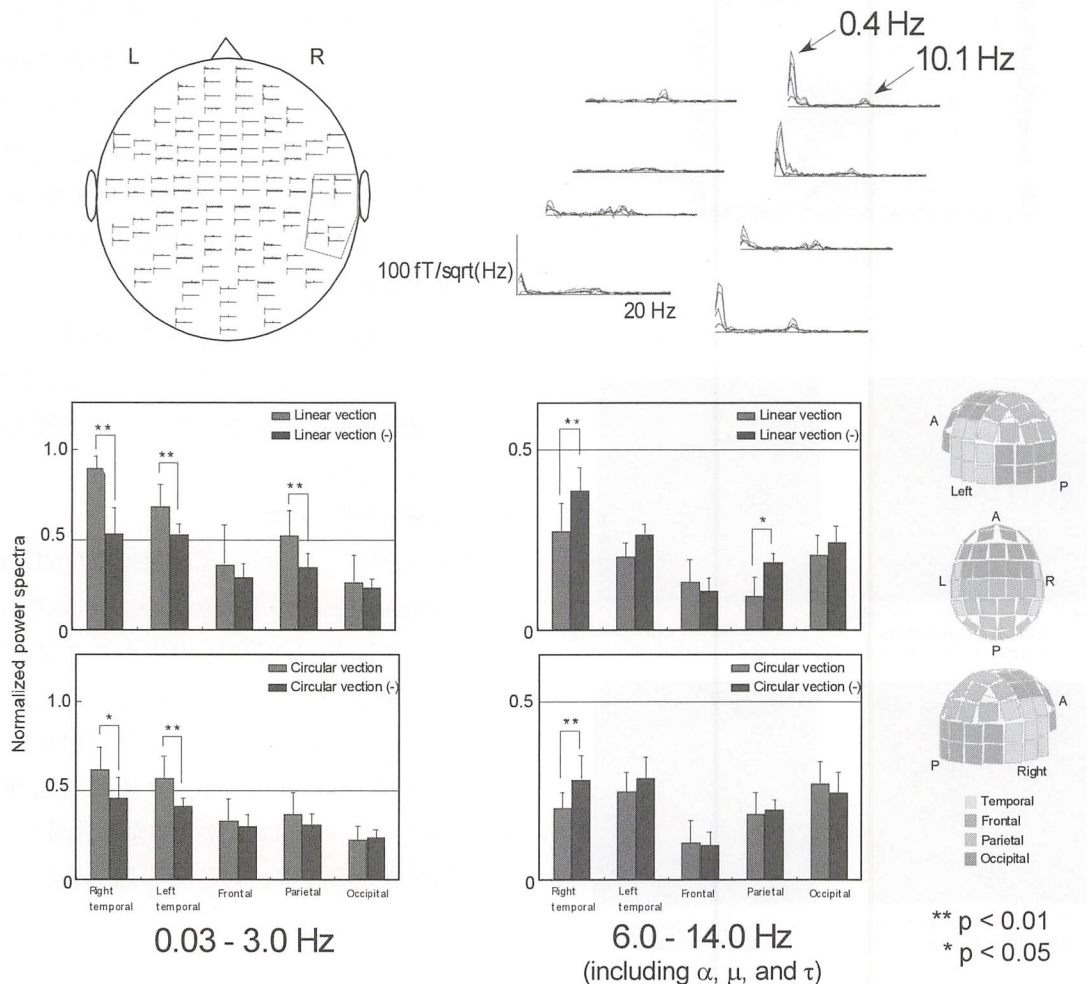
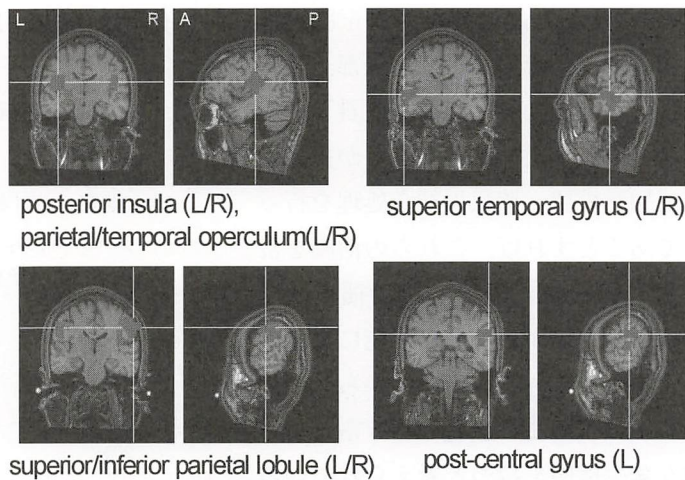


Fig. 4 実験Ⅰにおける自発活動の解析結果

Linear vection



Circular vection

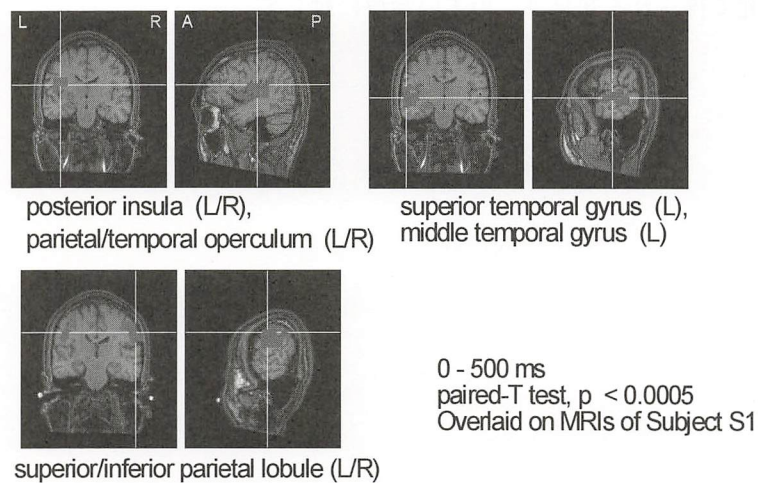


Fig.5 実験IIにおいて計測された誘発脳磁界から推定されたvectionに関与する脳内活動部位

発活動の解析結果を示す。Vection が知覚される条件 LV および CV においては、vection が知覚されない条件 no-LV および no-CV に比べて、それぞれ側頭部や頭頂部における自発活動の周波数パワーが 0.03-3.0 Hz において上昇し 6.0-14 Hz において減少した。

Fig.5 に L2-MNE 法による脳内活動源推定結果を示す。条件 LV および CV においては、no-LV および no-CV に比べて島後部、頭頂葉、中心溝付近の活動が有意に増大した。LV と CV の間の差異は観察されなかった。

3. 考察

いくつかの先行研究によって、高次機能処理に伴って低周波成分が出現することが報告されている。また、感覚入力によって、その感覚処

理に携わる領野の律動活動が減少するという報告もある。本研究において側頭部や頭頂葉で観察された周波数スペクトルの変化は、vection 発生に関わる脳活動を反映していると考えられることができる。

vection 発生時の有意な活動増加が観察された島後部、頭頂葉、中心溝付近は、先行研究によってヒトにおける前庭皮質とされている部位である。この結果は、前庭皮質がvection 発生にも関与していること、さらには視覚や前庭覚、深部知覚などの情報の統合的処理を行っていることを示唆する。

4. まとめ

本研究では動揺病の生理メカニズムの解明を目指して、類似した神経機序を持つとされる

vection 発生中の中枢神経メカニズムを脳磁界計測によって調べた。その結果、島後部、頭頂葉、中心溝付近といった所謂“前庭皮質”が活動していることを見いだした。これらが視覚や前庭覚、深部知覚の感覚情報の統合処理を行っている部位であるとすれば、これらの活動を計測することで、vection、ひいては動揺病の発生状況を客観的に評価することが可能になるかもしれない。また、これまでの研究から、動揺病は中枢性めまい（めまい患者の約3割を占める）と同様な発生機序を持つと考えられている。本研究で得られる知見は、めまい治療に対して

も有用な情報を与える可能性がある。

[研究の発表、論文等]

口頭発表

中川誠司，中川あや，ベクシヨンの脳内メカニズム：
脳磁界計測による検討，第57回日本宇宙航空環境
医学会大会予稿集，pp.39-39，2011

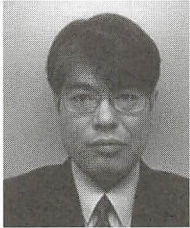
誌上発表

中川誠司，中川あや，ベクシヨンの脳内メカニズム：
脳磁界計測による検討，宇宙航空環境医学，48（1），
2012

人間の操舵特性・認知特性を考慮した次世代 SBW 制御系の構築

Design of Steer by Wire System considering Human's Steering and Detection Characteristics

1091021



研究代表者 熊本大学 大学院 自然科学研究科 教授 松 永 信 智

[研究の目的]

次世代の自動車では、高齢者、身体障害者などの個々のドライバの状況に応じて最適な性能を得ることが期待されている。そのためには人間がシステムに物理的に介入することを考慮した制御システムの構築が必要である。

現在の自動車の操舵系は、ドライバのハンドル操作量をアシストする電気式パワーアシストシステムであり、操舵量が試行錯誤で決められる。近年、自動車の高度化に伴い操舵の機械的結合をエレクトロニクスに置き換えたステアバイワイア (SBW) が注目されている。

SBW は人と路面の特性を双方向に与えることが可能で、人間にとって運転しやすいスキームを容易に構成することが期待される。今後、安全な特性の実現はもちろんのこと、人の操舵特性・認知特性を考慮した SBW の調整手法がさらに重要になると思われる。

本研究では、小型電気自動車を対象に人間の動的な認知特性を実現する動的なスケーリング手法を明らかにする。まず、系の受動性に基づくロバストな SBW システムの構成手法を示す。次に、SBW システムはハンドル角の操舵特性や反力の特性を任意に調整もできることから、機械が任意の特性にゲインを調整する際の適応事例として、走行中の反力調整の実験を行った。さらに、実験を通して操舵パラメータが人間の操作に与える影響の解明に取り組んだ。

[研究の内容・成果]

1. SBW 制御系の設計

SBW システムでは、ハンドルに対して前輪が追従するだけでなく、前輪に加わる反力を操舵者に操舵反力として伝えることが重要となる。そこで、ハンドル側・前輪側双方向の情報を伝達する力帰還型バイラテラル制御系を構成する。まずトルクと角度の理想応答を次式で与える。

$$\begin{cases} \tau_h(t) = \gamma \tau_e(t) \\ \delta_s(t) = \sigma \delta_h(t) \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

なお、は環境から発生したトルク $\tau_e(t)$ からハンドルトルク $\tau_h(t)$ への伝達特性、 σ はハンドル操舵角 $\delta_h(t)$ からピニオン軸角度 $\delta_s(t)$ までの伝達特性を示す。

このとき、式 (1) の理想特性を満たす力帰還型のバイラテラル制御系のブロック図を図 1 に示す。なお、一般にユニバーサルジョイントを経由して前輪が操舵される現在の機械結合の車両の場合、 $\sigma = \gamma = 1$ である。

操舵者がハンドルを操舵するとき、タイヤからの外乱は環境との物理的な干渉によって発生する。環境のインピーダンスを $Z_e(s)$ とすると操舵インピーダンス $G_e(s)$ は、カスケードゲイン γ と位置スケーリングゲイン σ の積として認識することになる。

$$\frac{\mathcal{L}(\delta_h(t))}{\mathcal{L}(\tau_h(t))} = G_e(s) = \frac{1}{\gamma \sigma Z_e(s)} \dots\dots\dots (2)$$

なお、 $\mathcal{L}$ はラプラスオペレータである。

このように、SBW は同じインピーダンスを実現する場合でも、操舵角・操作量を任意に決定できる点に特徴がある。

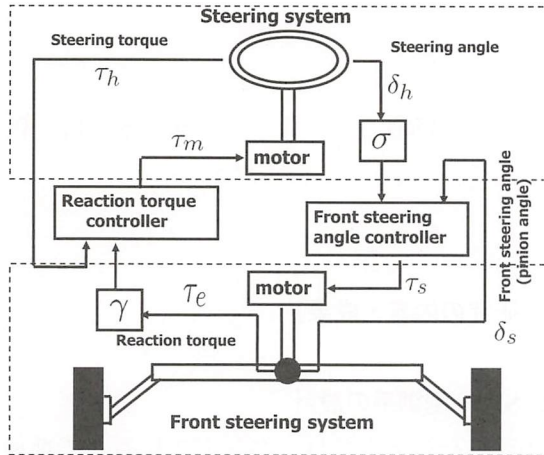


図1 力帰還型のバイラテラル制御系

2. パッシブコントローラの設計

操舵において、ハンドルの急な操舵や遅れのある反力をフィードバックすると、操作性の劣化から事故につながる恐れがある。SBW システムは人間-機械系システムの典型例であり、人間が介入することから安定性の確保が重要である。人間-機械システムの安定性を保証する手法として様々な方法があるが、本報告では系の受動性に基づくコントローラ設計を行う。

操舵トルク $\delta_h(t)$ および速度ベクトル $\nu_h(t)$ の任意の時間の積分値が正となれば、系のエネルギーが消散され受動的となる。そこで、

$$E_{obs}(t) = \Delta T \sum_{k=0}^t \tau_h(t) \nu_h(t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

を計測する。この観測量に従ってパッシブコントローラ (PC) のゲインを

$$\alpha(t) = \begin{cases} -\frac{E_{obs}(t)}{\Delta T \nu_h(t)^2} & \text{if } E_{obs}(t) \leq 0 \\ 0 & \text{if } E_{obs}(t) > 0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

と設定し、

$$\tau_h'(t) = \tau_h(t) + \alpha(t) \nu_h(t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

となるように反力 $\tau_h'(t)$ を生成できれば系は

安定となる。ここで $\nu_h(t)$ はハンドルの操舵速度である。本式は、路面の変化で急激な操舵を誘発する場合に、電子的な粘性負荷を追加して不安定な動作を防止するような制御を行う。

3. SBW の実験検証

図2に実験に使用する小型電気自動車を示す。

図3に $\sigma=\gamma=1$ として据え切り実験を行った

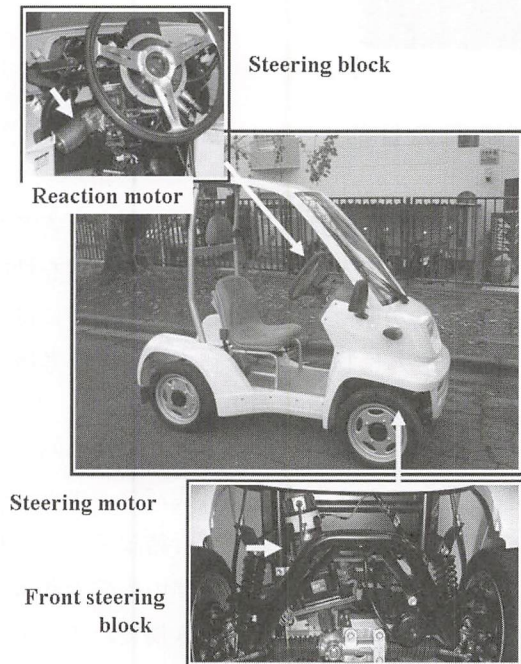


図2 SBW 実験車両 (COMS)

場合のSBW 制御系の応答特性を示す。図において、実線が従来の機械リンクの場合、点線がSBW の特性である。詳細な応答波形は省略するが、良好な反力特性が得られている。

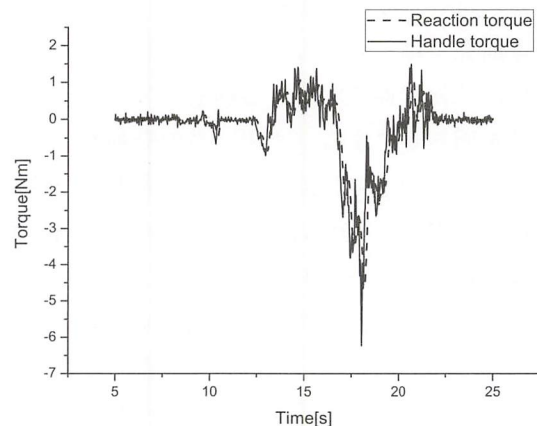
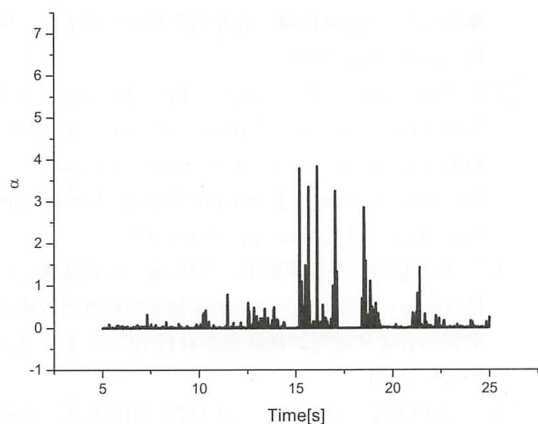


図3 走行時のハンドルトルク

図4 PCの係数 α

実際に走行した場合は路面状態により反力が変化するが、図3にその時のハンドトルクを示す。なお、同図は時速15[km/h]でのアスファルト路面を走行中に15~20[s]で左に90[deg]旋回している。

走行状態の変化に伴い受動性も変化する、それに従いコントローラが動作する。図4に設計したPCの係数を示すが、運転状況により変動していることがわかる。なお、走行中の車両の受動性は十分条件であり、ゲイン調整は保守的になる場合が多い。

4. 状態に応じた双方向ゲインの調整

SBW制御系の特性は操舵特性 σ と反力特性 γ を調整できる点に特徴があり、これらのパラメータを路面や走行状態や運転者の特性に合わせて修正することにより、様々な操舵感を実現できる。

本章では、最も簡単な例として操舵特性 $\sigma=1$ を固定し、反力特性 γ を任意調整できるコントローラを示す。前章で構築したSBW系を改めて制御ループで図示すると、図5のようにPCにより反力ゲイン γ を微分補償している構造となる。

ここで、走行条件に応じて反力ゲイン γ を任意に変更することを考える。たとえば平地での動作は直進しやすい反力の大きな特性、山岳地は急カーブが多く反力の小さな特性が適するなど、路面状態により運転特性を再配置する効果

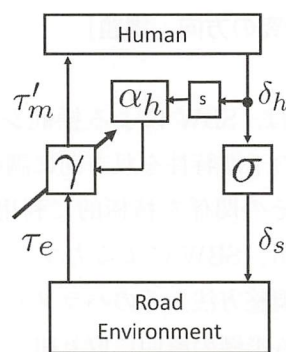


図5 反力特性による能動的な修正法

が大きい。

前章で設計したSBWの操舵特性に影響を与えないように、走行中に反力特性 γ の調整ができれば望ましい。そこで、任意に反力特性 γ を変えた場合の基礎実験として、ディスプレイに表示されるターゲットを車のステアリングで追従し、そのときの人の自己調整速度を計測した。図6に模擬実験システムの外観を示す。

実験の結果、追従におけるむだ時間は0.5秒前後であり、人間の操舵インピーダンスの調整に少なくとも数秒以上（最短で5秒前後）が必要となる。また、反力特性の変更が早いと操作の違和感があることがわかった。このように、人間の操舵インピーダンスの調整時間は明らかになったが、走行中の反力特性の調整機構の実装においては、最適な γ の変更タイミング、 γ の変更幅の決定や安全のために操作不感帯の設定など更なる検討が必要となる。



図6 人の操舵特性計測装置外観

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, SBW による操舵システムが, 人間と環境の干渉特性を双方向に調整できる点に注目し, その関係を積極的に利用する SBW 制御系の設計, SBW による力フィードバック特性の動的調整方法, そのパラメータが人間の操作に与える影響の解明に取り組んだ。

SBW 制御系の設計に関しては, 人間の定性的な特性が明らかになったところであり, 今後は人の操舵モデルのパラメータ同定やそのモデルに応じた設計法が今後の課題である。

[研究の発表, 論文等]

- [1] 吉田達郎, 任 宰成, 中田泰志, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: 非線形スケーリングゲインを用いた Steer-by-Wire 制御系の操舵特性の評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '09 講演論文集, 1P1-D06 (1-2), 2009
- [2] 与那覇翔平, 岡島寛, 松永信智, 川路茂保: 直接ヨーモーメント制御による後輪独立駆動車両の操舵実験, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '09 講演論文集, 2P1-E17 (1-2), 2009
- [3] 堀口充輝, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: タイヤ発生力限界を考慮した 4 輪独立駆動車両の最適駆動力配分, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '09 講演論文集, 2P1-E13 (1-2), 2009
- [4] 堀口充輝, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: 4 輪独立駆動車の制駆動力配分と前輪操舵の協調制御,

第 28 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 福岡, pp.61-62, 2009

- [5] Nobutomo Matsunaga, Im Jaesung and Shigeyasu Kawaji: Control of Steer-by-Wire Vehicles using Bilateral Control Designed by Passivity Approach, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 4, No. 1, pp. 50-60, 2010
- [6] 松永信智, 与那覇翔平, 岡島 寛, 川路茂保: 直接ヨーモーメント法による後輪独立駆動車両の制御, 電気学会産業計測制御研究会資料 IIC-10-178, pp. 29-34, 2010
- [7] 吉田達郎, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: 路面反力の伝達特性を考慮した Steer-by-Wire システムの設計, 平成 22 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 熊本, pp.1179-1184, 2010
- [8] 与那覇翔平, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: DYC による所望のステアリング特性の実現, 平成 22 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 熊本, pp.1191-1196, 2010
- [9] Hiroshi Okajima, Shohei Yonaha, Nobutomo, Matsunaga and Shigeyasu Kawaji: Direct Yaw-Moment Control Method for Electric Vehicles to Follow the Desired Path by Driver, SICE Annual Conference 2010 in Taiwan, pp.642-647, 2010
- [10] 吉田達郎, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: 路面反力係数の調整に伴う Steer-by-Wire 車両の操舵特性の評価, 第 29 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 宮崎, pp.61-64, 2010
- [11] 与那覇翔平, 岡島 寛, 松永信智, 川路茂保: DYC を用いた後輪独立駆動車両の制御実験, 第 29 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 宮崎, pp.53-56, 2010

能動的行動にもとづくロボットの知覚システムの開発

Perceptual system of a robot based on active motion

2001005



研究代表者

東北学院大学 工学部
機械知能工学科

准教授

郷 古 学

〔研究の目的〕

少子高齢化社会において、ロボットが人間の生活支援を行う、「人間と機械との調和にもとづく社会」の実現が熱望されている。このような要求に応えるため、ヒューマノイドロボットに代表される多くの生活支援型ロボットの研究が進められている。しかし、我々の生活環境で自律的に活動可能な適応型のロボットの実現は未だ困難である。

一方、生物は様々な環境に適応することが可能である。このような適応能力は、知覚や運動など各機能が相互作用をしながら発達することで発現すると考えられている。本研究では、人間と機械との調和を実現する適応型ロボットの構築を目指し、知覚と行動の相互作用にもとづく適応システムとしてのロボットの実現を目指す。

従来のロボットシステムは、知覚・行動などの各システムを独立して設計し統合することで実現してきた。しかし、この方法では、各システムが高機能であっても、統合システムとしてのロボットが必ずしも高性能となるとは限らない(図1, 上)。

そこで本研究では、各システムの相互作用を考慮してロボットを設計することが適応機能の発現の鍵となると考え(図1, 下), 能動的行動を利用した知覚システムを構築する。

一般に、ロボットはセンサからの情報にもと

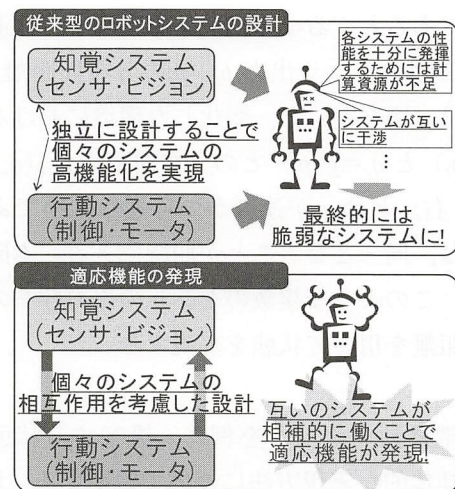


図1 従来型のロボットシステム(上)と適応機能の発現を実現する設計(下)

づき、外部環境を状態として表現する(state representation)。そして、状態ー行動写像により行動を生成しタスクを達成する。外界を状態としてどのように表現すべきかは、タスクに応じて異なる。本研究では、照明条件などの環境変化によりセンサ情報が変化しても、その変化したセンサ出力を類似した状態と表現可能な状態表現手法を提案する。

〔研究の内容・成果〕

本章では、提案する状態表現について説明する。統計学や情報理論において、二つの分布の違いを計る量として、 f -divergence (以下、 f -div., 分布間距離と記す) と呼ばれる尺度が知られている [1]。二つの分布 $p_i(x)$, $p_j(x)$

の f -div. は次式で定義される。

$$f_{div}(p_i(x), p_j(x)) = \int p_j(x) f\left(\frac{p_i(x)}{p_j(x)}\right) dx \quad (1)$$

ここで、 $f(y)$ は $y > 0$ で定義する凸関数で、 $f(1) = 0$ を満たす関数である。Y. Qiao *et al.* は、式 (1) の形式で表現される二分布の分布間距離は、各分布に同一な連続かつ可逆な変換を行っても不変となることを示した [2]。

本研究では、このような f -div. の変換不変性を状態表現に利用する (図 2)。センサ出力が分布であるとするならば、ある環境下で観測される二つのセンサ出力 p_i, p_j の分布間距離 $f_{div}(p_i, p_j)$ (図 2 左) と、変化した環境における $q_i = g(p_i)$ と $q_j = g(p_j)$ との分布間距離 $f_{div}(q_i, q_j)$ (図 2 右) とは g が連続かつ可逆な変換であるならば、同一となることが期待できる。本研究では、このような複数のセンサの出力分布の分布間距離を用いて状態を表現する。

自律移動ロボットを例に、提案する状態表現の具体的な実現方法について説明する。図 3 に実験で用いる自律移動ロボット e-puck

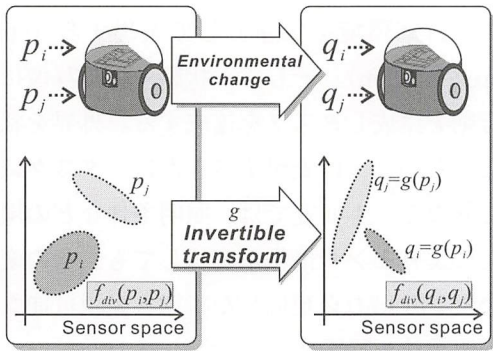


図 2 f -div. の変換不変性を用いた状態表現

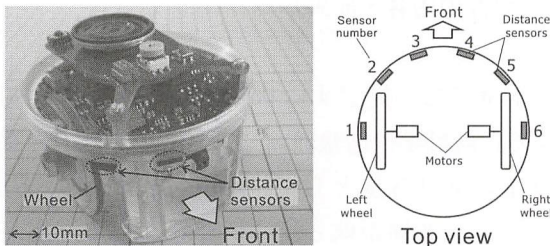


図 3 e-puck

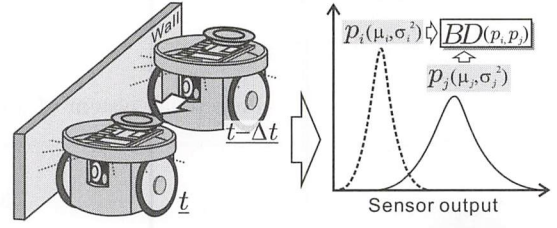


図 4 e-puck を用いた状態ベクトルの求め方

(EPFL 製) を示す。ロボットは計測範囲が 40 mm の 8 つの赤外線距離センサを持っている。ただし、後述の実験では図 3 右に示す 6 つのセンサのみ用いる。

図 4 に提案する状態の求め方を示す。まず、ロボットが微小時間 Δt 動く間に、センサ毎に M 個の出力値を取得する。続いて、得られた各センサ出力分布の分布間距離を求める。分布間距離は f -div. の一種で、対称性を持つバタチャリヤ距離 (Bhattacharyya distance 以下 BD と記す) を用いて計算する。二つのセンサ i, j の出力分布 $p_i(\mu_i, \sigma_i)$, $p_j(\mu_j, \sigma_j)$ 間のバタチャリヤ距離を次式に示す。

$$BD(p_i, p_j) = \frac{1}{4} \frac{(\mu_i - \mu_j)^2}{\sigma_i^2 + \sigma_j^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}{2\sigma_i^2\sigma_j^2} \quad (2)$$

本研究では、時刻 $t - \Delta t$ から t まで動く間に得られたセンサ出力分布をもとに、異なるセンサ i, j 間の $BD(p_i, p_j)$ を求め、それらを要素とするベクトル v を時刻 t における状態ベクトルと呼ぶ。本研究では、次のように状態ベクトル v を定義した。

$$v = [v_{1,2}, v_{1,3}, v_{1,4}, v_{1,5}, v_{1,6}, v_{2,3}, v_{2,4}, v_{2,5}, v_{2,6}, v_{3,4}, v_{3,5}, v_{3,6}, v_{4,5}, v_{4,6}, v_{5,6}]^T \quad (3)$$

ここで、 $v_{ij} = BD(p_i, p_j)$ である。

提案する状態表現では、計測対象がセンサの計測範囲外にある場合などに、微小時間のセンサ出力分布の分散が 0 となると、分布間距離を求めることができない。そのため、出力分布の分散が 0 となるセンサに関しては、そのセンサと他のすべてのセンサとの分布間距離は 0 とするとした。

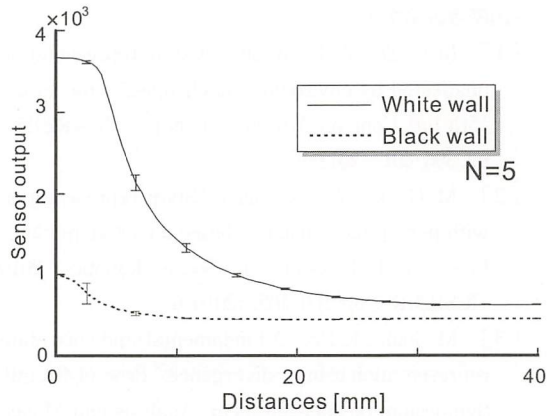


図5 壁の色の違いに対するセンサ出力(センサ No.3)

移動ロボットを用いた実機実験により、提案する状態表現の有効性を検証する。実験では、実ロボットを用いて環境の変化に対する有効性を確認した。

図5は表面が白と黒のポリスチレンボードの壁に対するセンサ (No.3) の距離とその出力の5回分の平均と分散である。図より距離が同一であっても、色の違いによりセンサ出力が大きく異なることが確認できる。

実験では、まず図6に示す環境（表面が白色のポリスチレンボードにより作成）でロボットが壁沿い移動できるように状態一行動写像を構築した。続いて、壁の色を黒に変更し、同様の状態一行動写像を用いて壁沿い移動が可能かどうかを確認した。実験では Δt を 1sec, $M=20$ とした。

図6は白色の壁でできた環境における、ロボットの壁沿い移動の様子である。続いて、同じ状態一行動写像を用いて、黒い色の壁でできた環境でロボットを動作させた(図7)。図7を見ると、壁の色が変わっても壁沿い移動が実現できていることが確認できる。

各環境下でロボットが移動中に観測する状態を比較した結果、壁の色によりセンサ情報は大きく異なるにもかかわらず、壁に対するロボットの距離や向きが同じ場合には、両環境において類似度の高い状態が観測されることを確認した。

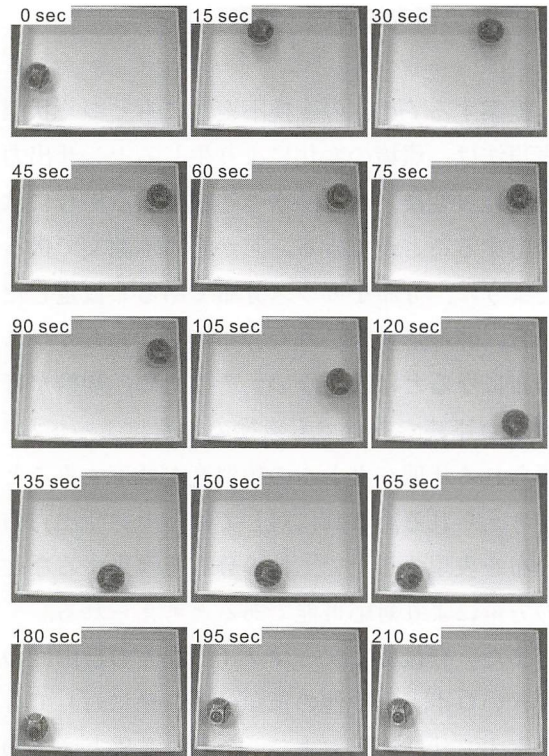


図6 白い壁に対する壁沿い移動

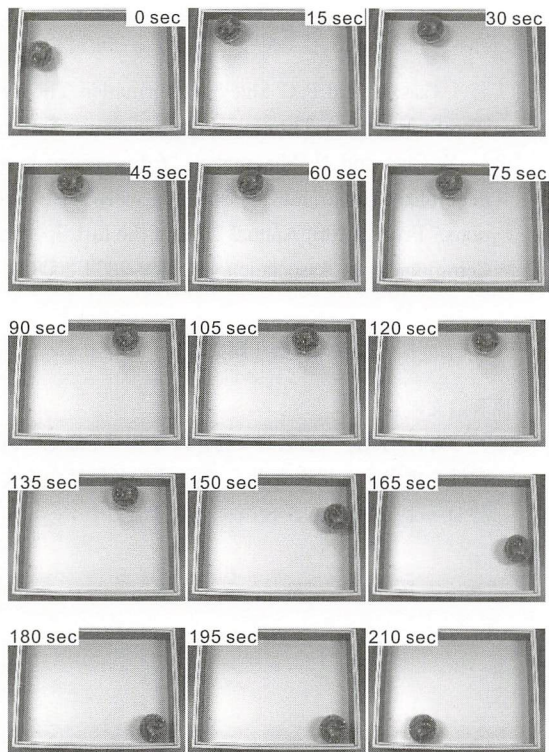


図7 黒い壁に対する壁沿い移動

[今後の研究の方向・課題]

提案する f -div. の変換不変性にもとづく状態表現法は、環境の変化により生じるセンサ出力の変化（変換）が可逆かつ連続である場合には対応することができる。しかし、本論文で扱ったように、分布をガウス分布であると仮定した場合、非線形変換された分布が必ずしもガウス分布になるとは限らない。そのため、変換が可逆かつ連続であっても変換の性質によっては、得られる状態ベクトルの類似度が低下することが考えられる。これに対しては、センサ出力の分布を表現する上で、他の分布を導入するなどの方策により対応可能であると考えられる。

また、今後はヒューマノイドなどの自由度の大きいロボットや他の種類のセンサに対しても提案する状態表現および、それを基礎とする知覚システムを適用していく予定である。

参考文献

- [1] I. Csiszar and P. C. Shields, Information Theory And Statistics: A Tutorial, Now Publishers, 2004.
- [2] Y. Qiao and N. Minematsu, " f -divergence is a generalized invariant measure between distributions," Proc. of 10th Annual Conf. of the Intl. Speech Communication Association, pp. 1349-1352, 2008.

[成果の発表・論文等]

(原著論文)

- [1] 郷古, 小林, "能動的な動きにもとづく知覚の恒常性を実現する状態表現," 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J94-D, no. 5, pp. 862-871, 2011.

(国際会議論文)

- [1] M. Gouko, Y. Kobayashi, "A state representation unaffected by environmental changes," Proc. of the 15th Intl. Conf. on Advanced Robotics (ICAR2011), pp. 396-401, (2011-6).
- [2] M. Gouko, Y. Kobayashi, "State representation with perceptual constancy based on active motion," Proc. of Intl. Conf. on Social Robotics 2010 (ICSR2010), pp. 100-109, (2010-6).
- [3] M. Gouko, K. Ito, "A fundamental study of a state representation using f -divergence," Proc. of 4th Intl. Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, pp. 84-89, (2010-6).

(口頭発表)

- [1] 郷古 学, 小林祐一, "能動的な動きにもとづく不変量を用いた状態表現," 第11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 (DVD), 1G1-1, (2010-12).
- [2] 郷古 学, 小林祐一, "恒常性を有するロボットの状態表現," 日本生態心理学会第3回大会発表論文集 (CD-ROM), (2010-9).
- [3] 郷古 学, 小林祐一, "恒常性を実現する能動知覚と行動学習," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMEC2010), 講演論文集 (DVD), 2P1-F19, (2010-6).
- [4] 郷古 学, 小林祐一, "能動的な動きにもとづく知覚の恒常性の実現と行動学習," 第24回人工知能学会全国大会, 講演論文集 (CD-ROM), 2E3-1, (2010-6).

補正機能を持つ近赤外生体計測手法の研究

Research on reducing artifact for fNIRS

2001015



研究代表者

東京都立産業技術高等専門学校

准教授

福田 恵子

[研究の目的]

近赤外光生体計測 (NIRS: near infrared spectroscopy) は、生体組織内での血液中の酸素化・脱酸素化ヘモグロビンの局所的な変化を測定する方法であり、脳の局所的な働きを捉えることができることから、ALS 患者の意思表示手段のインターフェースとして利用されている。さらに、ブレインマシンインターフェースとして機械や装置の遠隔操作に役立つ可能性を持っている。しかしながら、姿勢変化に伴う血液量変化などの外乱の影響を受けるため、測定精度の向上が求められている。そこで、障がい者の機能代行のインターフェースに利用できる高性能な NIRS の手法を確立し、人間と機械の調和を促進することを目的とした補正機能を持つ近赤外生体計測手法に関して検討している。

本研究では、提案する外乱補正手法の生体計測への適用を目指して、3チャンネルのシステムを試作して生体を模擬したファントムによる実験と計算機シミュレーションを行い、補正係数の導出方法を検証した。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. 外乱の補正手法

近赤外生体光計測では波長による吸光特性の違いから物質の酸素化状態を推定する。酸素化、

脱酸素化状態での光の吸収量が等しい点を挟んだ2波長の近赤外光を頭表上に照射して生体内を拡散反射により伝搬した光の強度変化(後方散乱光強度変化)から酸素代謝を調べる。具体的には図1に示すようにA点から光を照射してB点で受光することにより、A-B間の組織血流の変化から酸素代謝を推定する。しかしながら、頭部の比較的浅い領域(表層近傍)には皮膚血流が存在し、生体内を伝搬する光は必ずその領域を通過することから、皮膚血流の変化の及ぼす影響を無視することができない。このように、表層近傍の吸収体領域(血液量の変化領域)の大きさが補正係数の決定に影響を与えることから、表層近傍の血液量の変化領域の体積を推定し、体積に応じた最適な補正を行うことが重要である。そこで、補正手法と補正係数の推定に関して検討する。

まず、2種類の受光を用いた外乱の補正方法を提案する(図1)。補正信号として、(1) 光の照射と同一開口部からの受光(以下、同一開口補正: Cancel 1)と、(2) 従来の照射・受光点から等距離の位置での受光(以下、等距離点

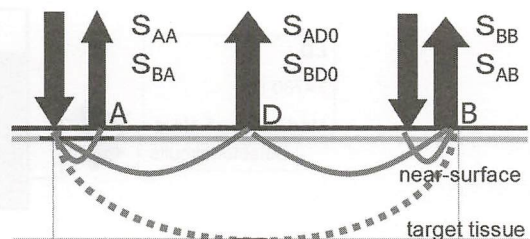


図1 二種類の受光を用いた外乱の補正方法

補正：Cancel 2) を用いる。同一開口補正は、照射及び受光点近傍の表層の影響の検出と補正に適し、等距離点補正は、吸収体の大きさや位置の把握に適する。これらの2種類の補正方法を選択的に利用することで表層付近の吸光度変化を選択的に検出して簡便な補正を行うことができる。

ここで、組織血流変化に相当する深部信号はA-B間での照射-受光による受光強度変化率 $S_{AB}(r)$ 、 $S_{BA}(r)$ により与えられる。同一開口補正に用いる補正信号はA-A間及びB-B間の各開口での照射-受光による受光強度変化率を $S_{AA}(r)$ 、 $S_{BB}(r)$ により与えられる。また、等距離点補正に用いる補正信号はA、Bから等距離の位置Dで受光強度変化率を $S_{AD}(r)$ 、 $S_{BD}(r)$ により与えられる。このとき、位置 r における補正後の受光変化率 $S_{correct}(r)$ は次式で示される。

$$S_{correct}(r) = (S_{AB}(r) + S_{BA}(r))/2 - \alpha(S_{AA}(r) + S_{BB}(r))/2 - \beta(S_{AD}(r) + S_{BD}(r))/2 \quad (1)$$

α 、 β はそれぞれ同一開口補正、等距離点補正における補正係数である。

次に、光の照射と受光を行う光ファイバのプローブの配置法を提案する(図2)。各頂点A、B、Cでは各辺の中点近傍の深部信号と同一開口の補正信号を受光する。重心Dでは等距離点の補正信号を受光する。等距離点補正の検出

点を重心に配置して共有することで、補正を行わない場合に比べて1つのプローブ数の増加のみで3チャンネルの深部信号と6種類の補正信号を得て、補正機能を備えることができる。また、プローブは現行法の正方形配置と比べてより高密度な配置が可能となり、信号源位置の推定精度を高められる。

2. ファントム実験

図2に示すプローブ配置を実現するために、3チャンネルのシステムを試作し、生体を模擬したファントムによる実験を行った。実験システムの構成を図3に示す。

ファントムには、吸収体として青色染料(WB-3)、散乱体としてポリスチレン($1.6\mu\text{m}$ 径)を混ぜた水溶液(吸収係数 $\mu_a: 0.01\text{ mm}^{-1}$ 、換算散乱係数 $\mu_s': 0.50\text{ mm}^{-1}$)を用いた。皮膚血流の変化及び組織血流の変化による局所的な吸光度特性の変化は、半径5mmの黒いプラスチックを配置することで模擬した。実験では、正三角形の各頂点から周波数変調した780nm

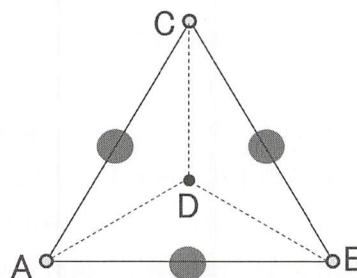


図2 プローブの配置法

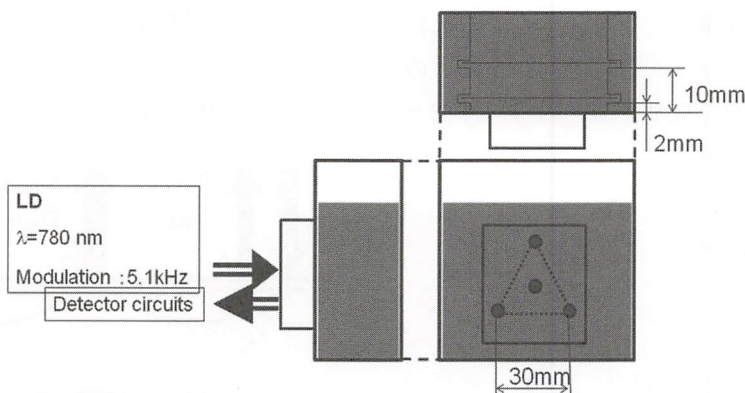


図3 実験方法

のレーザ光をファントムに照射して、頂点 A, B, C, 等距離点 D にて受光し、局所的な吸収体変化の有無による受光強度の変化を測定した。

まず、実験系のプローブ配置の確認実験を行った。等距離点となる重心 D の直下の深さ 2 mm の位置に表層吸収体を配置して D 点より光を照射して各頂点 ABC で受光した。感度 S_{AD} , S_{BD} , $S_{CD}(r)$ はいずれも約 0.1 となり、光ファイバプローブが対称に配置されていることを確認した。

次に、吸収体の変化を示す表層吸収体 [N], 表層+深部吸収体 [N] + [T], 深部吸収体 [T] による受光強度の変化率（感度）を求めて、補正信号の特性を調べた。深部吸収体の位置はいずれも AB 間中点の深さ 10 mm の位置とした。

表層吸収体が頂点 A に存在する場合（図 4）には、深部信号（A から B）の感度が高く、深

部信号が照射点近傍の表層吸収体の影響を高く受けることが確認できる。また、等距離点補正信号（A から D）の感度が高く、同一開口補正信号（A から A）も感度を持つことから 2 種類の補正信号を用いて、照射点近傍に吸収体が存在することを検出できる。

表層吸収体が重心 D に存在する場合（図 5）には深部信号（A から B）における表層吸収体の影響は約 20% 程度である。これは、表層吸収体の位置が深部信号の検出における伝播経路からずれているためである。一方、等距離点補正信号（A から D）の感度は高く、同一開口補正信号の感度はほぼゼロである。従って、二種類の補正信号を併用することで、表層吸収体が照射及び受光プローブの近傍の表層領域には存在しないが、測定に影響を及ぼす位置に存在することを推定できる。

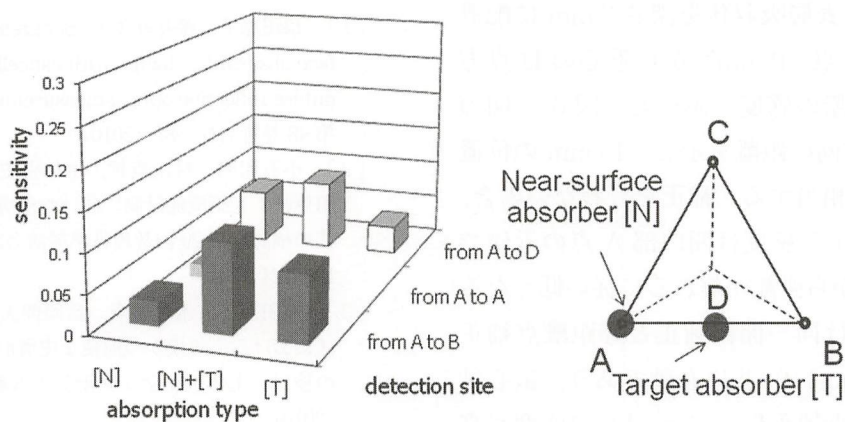


図 4 補正信号の特性：表層吸収体を頂点 A に配置した時

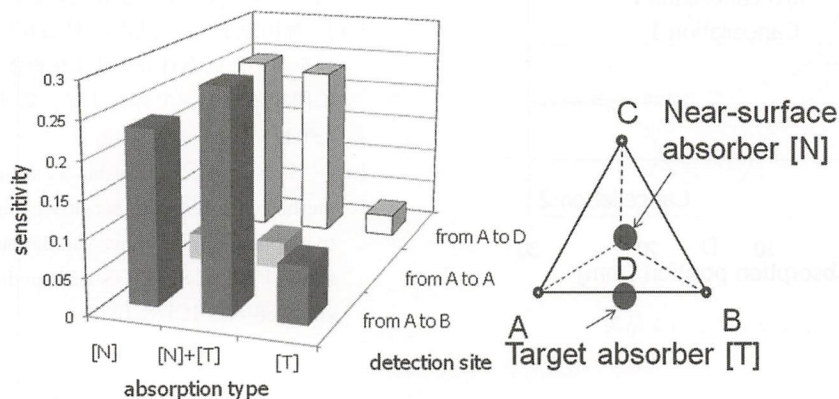


図 5 補正信号の特性：表層吸収体を重心 D に配置した時

3. シミュレーション

2種類の補正信号の有効かつ簡便な活用のために、その第一段階として、表層吸収体の位置により、補正係数 α 、 β のいずれかの補正係数を選択する方法を拡散方程式近似によるシミュレーションにより検討した。等距離点補正において吸収体の変化領域がD点の直下にあると感度が高い点に着目して、(1)式における深部信号の感度と等距離点補正信号の感度の比 $(S_{AD}+S_{BD})/(S_{AB}+S_{BA})$ を指標として選択条件を決める。この値が著しく小さい場合（局所的な変化がA点あるいはB点直下）と大きい場合（局所的な変化がD点直下）には同一開口補正をそれ以外には等距離点補正を適用する。

吸収係数 $\mu_a=0.01\text{ mm}^{-1}$ 、換算散乱係数 $\mu_s'=1.0\text{ mm}^{-1}$ とした。図2のプロープ配置において、正三角形の一辺の長さを30 mm、照射・受光の開口部の半径を3 mmとした。8 mm×8 mm×1 mmの表層吸収体を深さ2 mmに配置してこれをA点(0 mm)から重心のD点方向へ移動した際の感度を調べた(図6)。図の横軸はA-B方向の距離を示し、15 mmの位置が重心D点に相当する。補正を行わない場合、表層吸収体による感度は開口部A点の近傍で高く、開口部から距離が離れるに従い低くなる。開口部近傍では同一開口補正と等距離点補正(Cancel 1, Cancel 2)共に有効であり、重心付近では等距離点補正信号 Cancel 2の感度が高

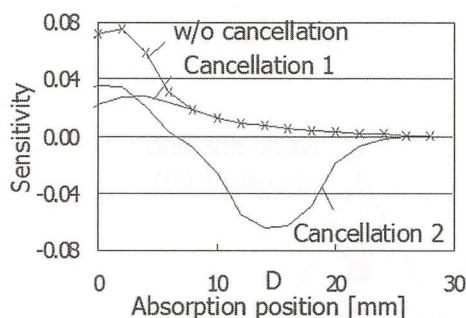


図6 シミュレーション結果

く、過補正の可能性がある。選択条件に従い補正を行った結果、開口部近傍で同一開口補正、5-10 mm 付近では等距離点補正が適用され、全領域において表層吸収体の影響が最も小さくなるように補正が行える。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、提案する二種類の補正信号を用いる外乱の補正技術が、外乱となる表層付近の吸収体の位置と大きさの検出に有効であることを明らかにした。小チャネルの測定における簡便な皮膚血流の影響把握と低減に有効な手段と考える。今後、プローブ固定法の改良やシステムの改良を行い、本手法を生体機能計測へ適用して手法の有効性を評価する。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 福田恵子, 藤井麻美子: Suppression of near-surface absorption change with cancellation signals for diffuse reflective optical measurement, 生体医工学, 第48巻特別号, 81 (2010)
- [2] 小石和明, 村山貴信, 木村啓史, 富岡伸夫, 福田恵子: 光脳機能計測に向けた皮膚血流変化の低減法の検討, 第29回数理科学講演会講演論文集 C501, 123-124 (2010)
- [3] 福田恵子, 木村啓史, 富岡伸夫: 近赤外分光法における小規模かつ簡便な皮膚血流変化の低減法の検討, 生体医工学シンポジウム講演予稿集, 381 (2010)
- [4] 福田恵子: 光脳機能計測における表層近傍信号の低減手法の効果とプローブ配置に関する検討, Optics and photonics Japan, 608-609 (2010)
- [5] 福田恵子, 小石和明, 村山貴信: 2種の補正信号を用いた近赤外分光法生体機能計測の精度向上に関する検討, 生体医工学, 第48巻特別号, 81 (2011)
- [6] K. Fukuda, K. Koishi, T. Murayama: Simple method of improving sensitivity for diffuse reflective optical tomography: simulation and a phantom study, Proc. of SPIE-OSA Biomedical Optics, SPIE vol. 8088, 80881C1/8 (2011).

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

Rapid terahertz color scanner for evaluation of bone tissues

2001016



研究代表者

徳島大学 大学院
ソシオテクノサイエンス研究部

教授 安井 武 史

[研究の目的]

骨粗鬆症とは、骨形成速度よりも骨吸収速度が高いことにより骨に小さな穴が多発し骨量が減少する症状のことであり、骨の変形（腰が曲がる等）や痛み、さらに骨折の原因となる。特に、大腿骨や股関節の骨折は高齢者の寝たきりにつながり、QOL（Quality of life）を著しく低下させる。今後日本が直面する高齢化社会において豊かなQOLを実現するためには、骨粗鬆症の計測手段は極めて重要である。骨や歯のカルシウムはハイドロキシアパタイト（HOA）の結晶構造で存在するが、組織学的な骨粗鬆症の進行過程は、①HOAの結晶構造が変化し、②それによりカルシウムの流出が加速され、③骨量が減少すると考えられる。したがって、骨量低下の前段階であるHOA結晶構造変化を検出できれば、超早期の骨粗鬆症診断が可能になる。

近年、光波と電波の境界に位置し、長らく未開拓電磁波領域とされてきたテラヘルツ領域の電磁波（THz波）が注目されている。THz波は、良好な物質透過性を有する一方で極めて低侵襲であるため、X線に替わる安心安全な電磁波としてバイオ分野で注目されている。また、THz帯は様々な結晶構造の格子振動が吸収を示す電磁波帯とされている。もし、THz分光を用いて、骨粗鬆症初期段階でのHOA結晶構造変化を検出できれば、超早期の骨粗鬆症診断

が可能になる。本研究では、我々が開発したTHzカラスキャナーをリアルタイム計測可能なレベルまで高速化し、骨組織結晶構造の診断に応用する。

[研究の内容、成果]

我々はカラスキャナーを日常よく利用する。これは可視領域の分光画像を取得する機器であると言える。しかし可視光の物体浸透度の制限により表面近傍のみの情報しか得られないため、書類や写真の読み取りなどに利用が限定されていた。このような技術を物質透過性の良好なTHz領域（周波数0.1~10 THz、波長30 μm ~3000 μm ）まで拡張できると、物体内部の情報も取得可能になる。さらに、カラー（分光）画像も取得できるので、各種物質固有の吸収スペクトル（THz指紋スペクトル）を利用して『どこに』『なにが』あるかを識別できる。このようなTHz波を用いた成分分析型内部透視イメージング技術は、セキュリティ分野、バイオ分野、製薬分野等における有力な検査ツールと期待されている。しかし、通常の点計測に基づいたTHz分光イメージング装置では、スペクトル取得（時間遅延走査）及びイメージ取得のために複数の機械的走査機構が必要となり、長い測定時間（数時間以上）を要する。その結果、測定対象が静止物体のみに限定され、実用を損ねてきた。

ここで、THz波の光としての並列性に注目

し、電気光学的時間-空間変換による実時間 THz 時間波形計測と線集光 THz 結像光学系による実時間 THz ライン・イメージングを複合すれば、機械的走査機構が不要になり大幅な時間短縮が実現できる。本研究では、THz ビームをサンプルに対してライン状に集光し、一般のカラースキャナーと同じくラインの動き（または測定対象の動き）に合わせて実時間で分光ラインイメージを連続測定することにより、従来法と比較して大幅な高速測定が可能な THz カラースキャナーを開発した。さらに、骨組織サンプルに適用し、その有用性を評価した。

まず、可視光を用いた一般的なカラースキャナーの測定原理を考えてみる（図 1）。空間 2 次元と波長（色）1 次元の 3 次元情報（カラーイメージ）を取得するカラースキャナーでは、まずカラー CCD ラインセンサーで空間 1 次元および波長 1 次元（分光ラインイメージ）の 2 次元データを実時間測定し、更に実時間取得した空間 1 次元イメージと直交方向にラインセンサーを連続走査することにより、2 次元カラーイメージを取得している。

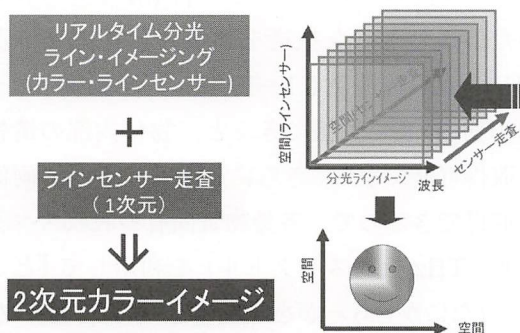


図1 カラースキャナーの測定原理

この原理に基づいて THz カラースキャナーを実現するためには、実時間で THz 分光ラインイメージを取得することが肝となるわけであるが、我々は電気光学的時間-空間変換による実時間 THz 時間波形計測と線集光 THz 結像光学系による実時間 THz ライン・イメージングを複合することにより達成した。実験装置を図2に示す。フェムト秒チタン・サファイア再

生増幅器からのレーザー光（ポンプ光）を非線形光学結晶に入射することにより、高強度 THz パルスを発生させる。サンプルを透過した THz パルスとプローブ光を THz 検出用電気光学結晶に非共軸入射することにより、THz パルス電場の時間波形がプローブ光の空間複屈折量分布に変換される（電気光学的時間-空間変換）。クロスニコル配置の偏光子・検光子ペアによってプローブ光の空間強度分布に変換された THz パルス電場時間波形は、結像レンズを介して高速 CMOS カメラの水平座標に展開される。一方、CMOS カメラの垂直座標は 1 次元イメージングに利用可能であるので、円筒 THz レンズ 1 を用いて THz ビームをサンプルに線集光し、それを THz レンズペア（平凸 THz レンズ及び円筒 THz レンズ 2）で電気光学結晶に結像することにより、サンプルの 1 次元 THz イメージを CMOS カメラの垂直座標に展開する。このように、水平座標に時間軸、垂直座標に空間軸が展開された 2 次元時空間 THz イメージを、高速ロックイメージング検出する（500 fps）。2 次元時空間 THz イメージの時間軸（水平座標）を高速フーリエ変換することにより周波数（色）情報とし、THz 分光ラインイメージを得る。したがって、測定サンプルを THz 集光ラインと直交する方向にベルトコンベヤー等で連続走査すれば、通常のカラースキャナー同様、その移動に合わせて、順次、THz 分光イメージが生成されていくことになる。

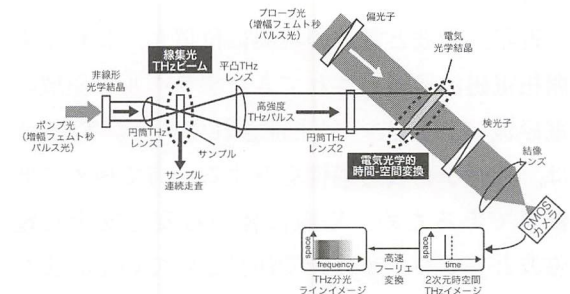


図2 実験装置

THz カラースキャナーの高速化を実現するための技術的課題の 1 つが、THz パルスの高

出力化による測定ダイナミックレンジの大幅な向上である。従来は、非線形光学結晶（テルル化亜鉛結晶）の共軸位相整合型光整流により THz パルスを発生させていたが、生体硬組織を十分に高い測定ダイナミックレンジで実時間測定をするのに強度が十分であるとは言い難かった。そこで、高効率非線形光学結晶（ニオブ酸リチウム結晶）からのチェレンコフ放射において傾斜パルスフロント型位相整合法を適用することにより、高出力 THz パルスの発生を試みた。この手法では、回折格子とレンズ・ペアを用いてパルスフロント面を傾斜させた増幅フェムト秒レーザー光をニオブ酸リチウム結晶に入射することにより、結晶内で位相整合を保ちながらチェレンコフ放射を起こすので、効率的な THz パルス発生が可能になる。図 3 は、従来装置と今回の開発装置における測定ダイナミックレンジの比較を示している。本手法を用いることにより、従来のテルル化亜鉛結晶を用いた共軸位相整合型光整流による THz パルス発生と比較して、大幅な測定ダイナミックレンジの向上が達成された。

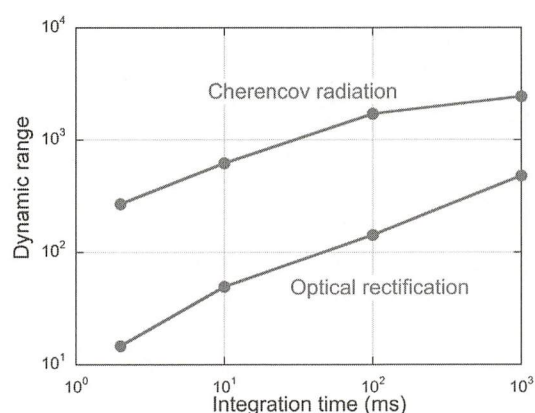


図 3 測定ダイナミックレンジ

骨を始めとした生体硬組織の診断では、内部の様子を階層的に検査できる断層画像撮影技術（トモグラフィー）は極めて有用である。特に、様々な角度からの投影データに対して画像再構成アルゴリズムを適用するコンピュータ・トモグラフィー（CT）を用いると、内部構造を 3

次元的に可視化することが可能である。そこで、高速 THz カラー スキャナー 装置 に対して、様々な投影角度での THz カラー 投影 イメージ が取得可能なように改造を加えることにより、THz カラー CT 装置を構築した。開発装置では、発生させた高出力 THz パルスを円筒レンズでサンプルに線集光し、サンプル透過 THz ビームに対して実時間 2 次元 THz 時空間イメージング光学系を適用することにより、THz カラーのライン投影イメージがリアルタイムで取得できる。したがって、THz 線集光ビームがサンプル断面を横切るような光学配置を用いると、サンプルの連続回転のみで 2 次元断層イメージが取得できる。その結果、最短 6 秒での 2 次元断層イメージ取得に成功している。これは、点計測で機械式時間遅延走査を用いた従来 THz-CT 装置に対して、100 倍以上の高速化が実現できていることになる。図 4 は、THz-CT によって得られた鳥骨サンプルの再構成断層イメージ（2 次元断層および 3 次元ボリューム）を示しており、内部構造の詳細な分布が可視化できている。本結果から、THz-CT が生体硬組織の診断に対して有用であると言える。

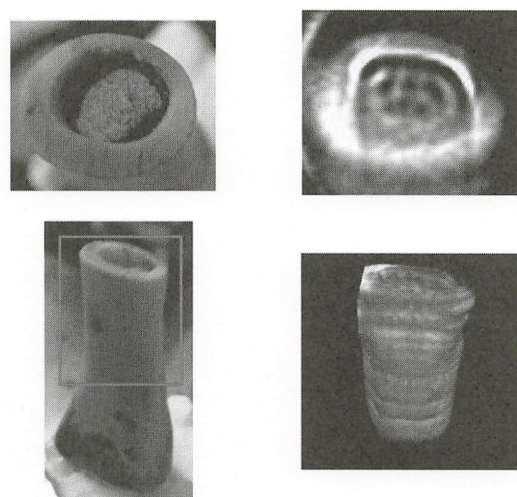


図 4 測定結果

[今後の研究の方向，課題]

開発した THz カラー スキャナー 装置 および THz カラー CT 装置の骨組織診断に対する適用性を評価するため，各種骨サンプル（ヒト解剖献体，動物）の計測を行う。X 線 CT との比較より，内部構造計測の精度を評価する。さらに，薬品を用いて骨組織の HOA 結晶構造に化学的修飾を加え，その効果を開発装置で検出することにより，骨粗鬆症診断への応用性を評価する。

[成果の発表，論文等]

雑誌論文

- (1) M. Schirmer, M. Fujio, M. Minami, J. Miura, T. Araki, and T. Yasui: Biomedical applications of a real-time terahertz color scanner, *Biomed. Optic. Express*, Vol. 1, Issue 2, pp. 354-366, 2010.
- (2) E. Abraham, Y. Ohgi, M. Minami, M. Jewariya, M. Nagai, T. Araki, and T. Yasui: Real-time line projection for fast terahertz spectral computed tomography, *Opt. Lett.*, Vol. 36, Issue 11, pp. 2119-2121, 2011.
- (3) T. Yasui, M. Jewariya, T. Yasuda, M. Schirmer, T. Araki, and E. Abraham: Real-Time two-dimensional spatio-temporal terahertz imaging based on

non-collinear free-space electro-optic sampling and application to functional terahertz imaging of moving object, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.* Vol. 19, Issue 1, in press, 2013.

学会発表

- (1) (Invited talk) T. Yasui, T. Iwata, and T. Araki: Real-time terahertz color scanner, 35th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (2010/9/6, Rome).
- (2) 扇 佳之, 南 雅昭, 安井武史, 荒木 勉: パルス傾斜型チェレンコフ放射によるテラヘルツ・カラー スキャナーの高速化, *Optics & Photonics Japan 2010* (2010/11/8, 中央大学駿河台記念館).
- (3) (招待講演) 安井武史: 高速 THz イメージング技術, テラヘルツテクノロジーフォーラム ビジネスセミナー (2011/1/12, 理化学研究所).
- (4) E. Abraham, Y. Ohgi, T. Araki, and T. Yasui: Real-time line projection for fast terahertz computed tomography, *CLEO: Science & Innovations 2011, CThV6* (2011/5/5, Baltimore).
- (5) (Invited talk) T. Yasui: THz color scanner for moving objects, *Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2011* (2011/8/30, Sydney).
- (6) E. Abraham, Y. Ohgi, M. Minami, M. Jewariya, M. Nagai, T. Araki, and T. Yasui: Fast terahertz computed tomography for continuously rotating object, 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (2011/10/6, Houston).

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

Fundamental Study for Auto Diagnosis of Mammography

2001901



研究代表者 滋賀医科大学 医学部 教授 来 見 良 誠
共同研究者 立命館大学 理工学部 教授 山 内 寛 紀

[研究の目的]

乳癌は、女性の人口10万人に対して60人の罹患率と18人の死亡率が報告されている。しかも、年齢別死亡割合は、40歳から60歳までがその大部分を占めている。公的負担による乳癌検診の年齢層の引き下げは、早期発見に大きく寄与していると考えられるが、その一方でマンモグラフィーによる乳癌検診の絶対数の増加は、画像診断を行なう医師の労働量を急増させている。

マンモグラフィー画像の読影技術は、きわめ

て特殊な技術で、専門医が高輝度のシャウカステンを用いて読影するが、微細な所見を見逃さずに検出することは、1日に数100枚の画像を読影しなければならない状況では、人間の限界を超えてしまうことになる。診断医を補助するマンモグラフィー自動診断アルゴリズムを確立することにより、安定した読影精度が担保できると考えられる。滋賀医科大学医学部附属病院では、年間約1000件(4000枚)のマンモグラフィーの読影を行っている。精検施設であるため、癌の発見率は約8%(乳癌検診では1%以下)と高値で、精密な読影が要求される。本研究では自動診断用のフィルターを作成し、各々の正診率と読影補助への寄与率を算出し、自動診断アルゴリズムを確立することを目標としている。

《チーム構成》

専門医のもつ特殊技能と自動診断装置のハイブリッド診断を目指す本研究は、人間と機械の調和の促進の最も適したテーマである。医療チームは、滋賀医科大学医学部附属病院・乳腺一般外科が担当し、日常の診療に当たりつつ研究に取り組む。画像処理チームは、立命館大学理工学部教授(滋賀医科大学医学部外科学講座客員教授)が担当し、専門としている個人認証技術を応用し、フィルターの開発に当たる。マンモグラフィーの読影に関しては、専門医が当

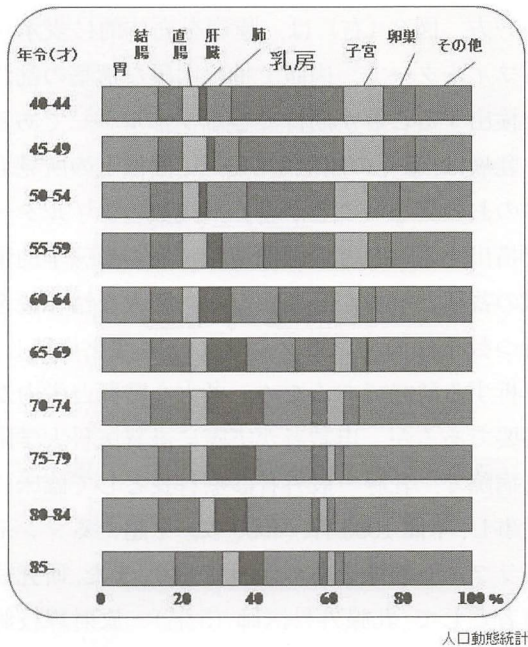


図1 年齢・部位別のがん死亡割合数(40歳以上2004年)女性

する専門家により構成されている研究チームであるため、短期間での開発と長期間のデータ解析が可能になる点において特色を有している。

マンモグラフィーの自動診断は、欧米において進みつつあるが、乳房のサイズが根本的に異なる本邦女性にそのまま応用できるものではない。また、クリアビジョンをはじめとするいくつかのフィルターが開発されているが、医師側（特に実際に手術をする外科医）の関与の低さにより、正確なアルゴリズムが構築されず、有効に機能していないと考えられる。本研究では、毎日癌と向き合っている外科医が主体となって研究を進めることにより精度の高いマンモグラフィー自動診断の開発研究が進むものと考えている。

本研究の課題は、① 診断用フィルターを作成し、数種類の異なる観点から診断を行う。② 現在診療中の画像を用いて、リアルタイムに検討する。③ 将来的には、検診時の感度 95%、特異度 70%、精検時の感度 90%、特異度 90%のように状況に応じた感度・特異度を設定できる機能を搭載する。（フィールドテストにより機能強化を図る）

今後、研究の成果により、本研究の延長として、過去画像を用いた巨大データベースを構築し、自動診断機器を開発する（図2）。

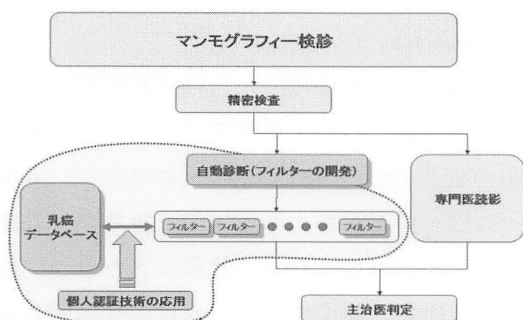


図2

[研究の内容、成果]

マンモグラフィー自動診断に関連するフィルターの開発に着手して以来、いくつかのフィル

ターを開発している。従来最も多用されていたアイリスフィルターは、石灰化を検出するフィルターとして用いられていたが、実際の診療においては、マンモグラフィーの所見として ① 石灰化、② 腫瘤、③ 構築の乱れ、が重要である。

これらのフィルターを、フィルターごとの特性により、従来の画像において、肉眼で感知し得なかった情報の収集も可能になり、診断能力の向上が期待できる。また、多くのフィルター情報を統合することによって、高精度の自動診断アルゴリズムの開発が可能になる。

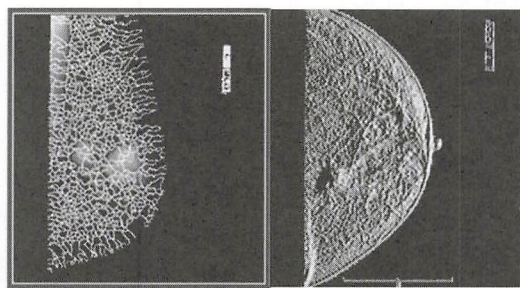


図3

図3（左）は、腫瘤の領域を推測するためのものである。自動的に網目状に腫瘤を取り囲むソフトウェアで、これを進めて自動診断に応用する方針である。

一方、図3（右）は、腫瘤を立体的に表示するフィルターで、肉眼で抽出困難な構築の乱れを検出することが期待できるフィルターである。

乳癌は、多くの組織型があり、画像上の所見もおおの異なることが多く、複数のフィルターで描出することと、画像情報・癌の形態学的情報の蓄積と解析が必要になる。膨大な情報量を持つ数千件のマンモグラフィー画像を集積し、解析する研究であるため、多大な時間と労力が必要であるが、申請者が実際に滋賀医科大学附属病院で、乳腺一般外科診療科長として臨床に従事し、年間 1000 件（4000 枚）を超えるマンモグラフィー画像をあつかつており、また、研究協力者として、乳腺外科医師（5 名）・放射線技師（2 名）の協力も保証されており、研究に必要な人員は確保できている。画像処理に関しては、

申請者が立命館大学大学院理工学研究科客員教授を兼務し、かつ共同研究者とは5年前より画像処理分野で共同研究をしているため、良好な関係がすでに構築されており、研究を開始するための十分な準備がなされていると考えている。

図4は様々な画像処理を用いてマンモグラ

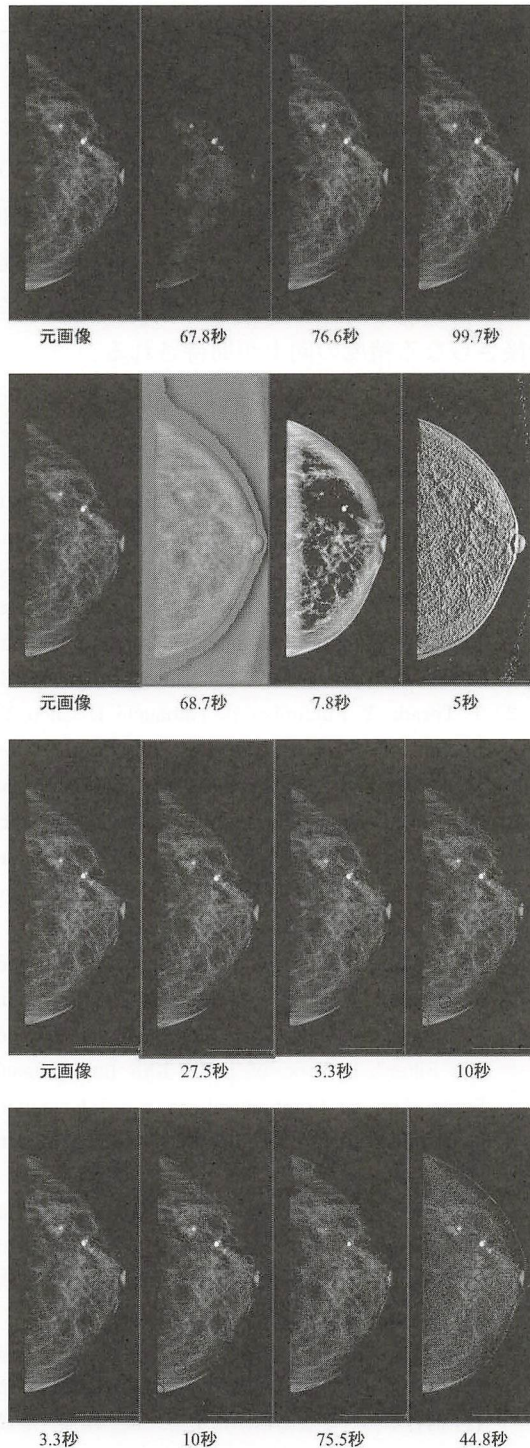


図4

フィーの解析を行っているものである。処理の所要時間をそれぞれ示している。適切な処理方法を抽出し、適切な組み合わせによって実用化される技術になるものと思われる。

現在までの画像処理技術を駆使し、乳腺外科の医師5名によるマンモグラフィーの読影結果との相関を検討し、自動診断アルゴリズムによるフィールドトライアルを実施した。120枚のマンモグラフィー画像をフィールドテストに用いた。腫瘍の検出率は75% (21/28)、石灰化の検出率は100% (35/35)であった。構築の乱れについては、症例が非常に少なく、現在適切なフィルターを検討中である。

図5は、腫瘍あるいは構築の乱れを検出するフィルター候補となる可能性のある画像である。

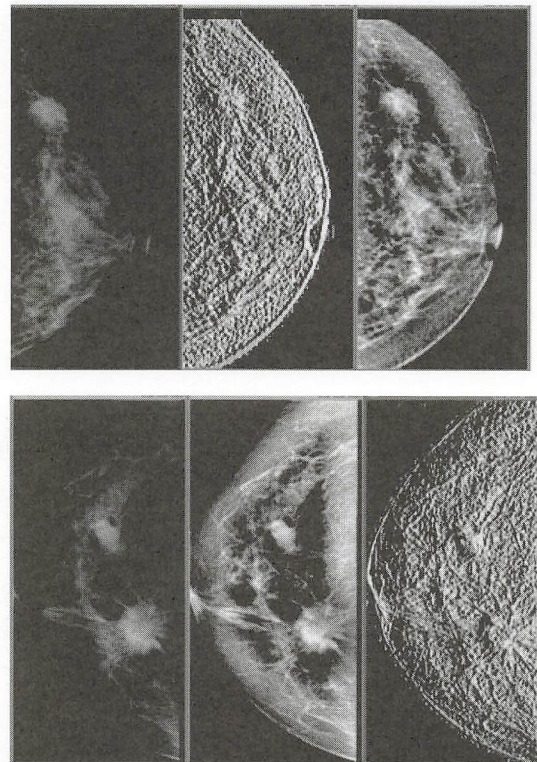


図5

《腫瘍検出》左右比較を加味した集中度画像による腫瘍検出法では、元画像より検出が容易になった(図6)。

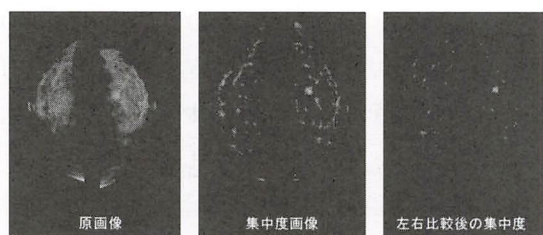


図 6

《構築の乱れ》

誤検出を少なくするための工夫として、前処置の改善を行った。コントラスト画像算出手法において、距離による重みの追加とヒストグラムの標準偏差を使用し、精度が向上した（図 7）。

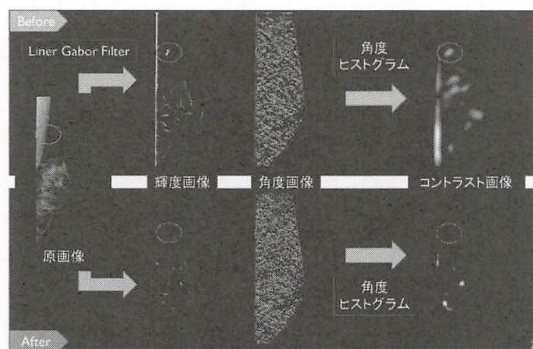


図 7

【今後の研究の方向，課題】

マンモグラフィーの自動診断所見の精度を向上させるために、現在までに作成したフィルターを単独で使用するのではなく、フィルターによる解析の前に、画像処理フローを決定することが重要であることが明らかになった。今後以下の点に着目しながら、さらに研究を深めていく予定である。

- 画像処理の高速化
- 左右の位置合わせ
- 画像処理の組み合わせ
- 基本的な画像処理技術開発
- 石灰化検出システム
- Gabor Filter
- 歪の検出
- スピキュラの検出

マンモグラフィーの読影には、① 腫瘍、② 石灰化、③ その他の所見に分けて記載されるが、最終的には総合的な判定として、カテゴリー 1（異常なし）、カテゴリー 2（良性）、カテゴリー 3（両氏、しかし悪性を否定できず）、カテゴリー 4（悪性の疑い）、カテゴリー 5（悪性）の 5 段階のいずれかに決定されるものである。画像処理技術における ① ノイズ除去、② コーナー検出、③ 境界検出、④ 鮮明化、⑤ 画像強調、⑥ 高解像度化、⑦ 画像分離などの技術をもとにマンモグラフィー読影に適した画像解析法の開発が必要である。乳癌患者数はますます増加しており、マンモグラフィー検診も増加の一途をたどっている。診断医の労力を省くとともに、今後さらなる精度の向上が期待される。

【成果の発表，論文等】

1. Y. Hiramatsu, Y. Fukumizu, H. Yamauchi, H. Chau, Y. Kurumi, T. Tani, : "Detection of Architectural Distortion based on Angles of Aberrant Mammary Gland", in Proc. of 2012 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing, pp. 45-48, Waikiki, Hawaii, MArch 2012.
2. T. Terada, Y. Fukumizu, H. Yamauchi, H. Chou, Y. Kurumi, T. Tani, : "Mass Detection Method for Mammography Using Bilateral Difference of Gradient Concentration", in Proc. of 2011 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing, pp. 25-28, Tianjin, China, pp. 25-28, March 2011.
3. T. Terada, Y. Fukumizu, H. Yamauchi, H. Chou, and Y. Kurumi, : "Detecting Mass and its Region in Mammograms Using Mean Shift Segmentation and Iris Filter", in Proc. of IEEE 10th International Symposium on Communications and Information Technologies 2010, pp. 1176-1179, Tokyo, Japan, Oct. 2010.
4. 野木 武, 平松祐樹, 福水洋平, 山内寛紀, 張 弘富, 来見良誠, "マンモグラムにおける石灰化陰影検出法と粗大石灰化像の抽出", 電子情報通信学会技術報告, Vol. 110, No. 28, pp. 131-136, May 2010.
5. 来見良誠, 張 弘富, 山内寛紀, 阿部 元, 谷 徹, ほか: マンモグラフィー自動診断の基礎的検討: 第 111 回日本外科学会定期学術集会, 紙上開催 (平成 23 年 5 月 25 日付): 外科学会雑誌

超高感度 MI センサを用いた非接触携帯型脳波計の開発

Non contact portable type brain wave detection system using highly sensitive MI sensor

2011001



研究代表者 名古屋大学 大学院 工学研究科 准教授 内 山 剛

共同研究者 名城大学 理工学部 准教授 山 田 宗 男

[研究の目的]

人間の意志を外部につなぐことにより、失われた機能を再建するシステムや、意志の表示を可能とするシステムが脳機能計測技術の応用として提案されている。また、ゲームや情報通信の分野では、操作端末の代わりに脳波を利用したインターフェース開発の取り組みがあり、製造業では、脳の活動情報に基づいた機器制御技術に関する研究が始まっている。従来、簡易的な脳機能の計測装置として用いられている脳波計では、電極を頭皮に設置する作業が煩雑であること等からその使用において負担が大きい。本研究では、超高感度 MI センサを用いた非接触携帯型脳波計を開発し、脳波計測を人間に親和性の高い汎用的な技術とすることが目的である。

さて、脳細胞の電気活動に伴う磁気信号を検出する方法としては超伝導量子干渉磁力計 (SQUID) による脳磁図 (MEG) の計測が知られているが、常温で動作する小型磁気センサを用いて MEG を計測した例は、これまでほとんどない。本研究では、携帯電話やスマートフォンに内蔵される電子コンパスとして実用化されている MI センサを高感度・安定化することにより、低温や電磁シールド装置など特殊な環境の構築によらず、通常的环境下での微小磁界を計測する MI グラジオメータ (勾配磁界計測装置) の開発を行い、その MI グラジオメー

タにより、MEG 計測を行うことを目標とした。

また、人体後頭部に近接させて置いた MI グラジオメータとデジタル脳波計 (EEG) との同時計測の実験を行い、MI グラジオメータの出力信号が脳活動による電気的特性を反映しているかどうかについて調査した。

[研究の内容、成果]

①高精度 MI グラジオメータの試作開発

SQUID による脳磁図の計測結果では、 α 波 (8-13 Hz) の磁気信号の大きさは、約 1 pT とされている。しかし、我々の予備実験により、頭部表面から距離が 10 mm 以下の α 波磁場の大きさは、数 10 pT 程度であると推定された。その理由として、通常 SQUID による計測では検出コイルの位置から頭部まで約 50 mm 離れていることによると考えた。すなわち、MEG の磁気信号は、距離の二乗で減衰することが知られており、信号源からの距離が 4~5 倍違うことを仮定すれば、SQUID による MEG 計測と MI センサによる MEG 計測における磁場の大きさの違いを合理的に説明することができる。そこで、本研究では、磁気シールド等の特殊な環境を構築することなく pT オーダーの生体磁気を計測するグラジオメータの開発を行った。

本実験で試作開発した、MI 素子を用いた磁界センサの基本回路を図 1 に示す。方形波発振回路により得られる電圧波形を狭いパルス幅の

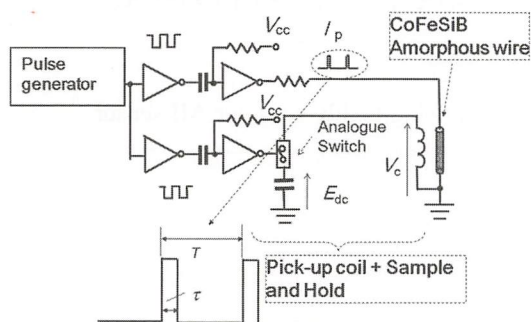


図1 超高感度 MI センサの基本電子回路

正パルス電圧に変換するために微分回路を R と C により構成している。微分回路により整形されたパルス電圧は C-MOS インバーターを介すことにより電流に変換され、パルス幅 τ およびパルス間隔 T のパルス列電流としてアモルファスワイヤへ通電される。通電電流の立ち上がりが早いパルス励磁によりアモルファスワイヤには強い表皮効果が生ずる。コイルに誘導されるパルス電圧 V_c はアナログスイッチによる同期整流回路により、直流的な出力電圧 E_{dc} に変換される。試作 MI 磁界センサの磁界検出特性を図 2 に示す。ワイヤの長さは 1 cm でありワイヤに周回したピックアップコイルの巻数は 300 ターンとした。磁界の範囲が $\pm 7 \mu\text{T}$ ($\pm 0.1 \text{ Oe}$) の範囲で、良好な線形性と 70 kV/T という非常に高感度で線形性良い磁界検出特性が得られている。MI センサによるグラジオメータの構成を図 3 に示す。図 1 の基本回路を対にして、測定用ヘッドと参照用ヘッドに印加される磁界の差を出力信号とするものである。すなわち、このグラジオメータでは、測定用ヘッドと

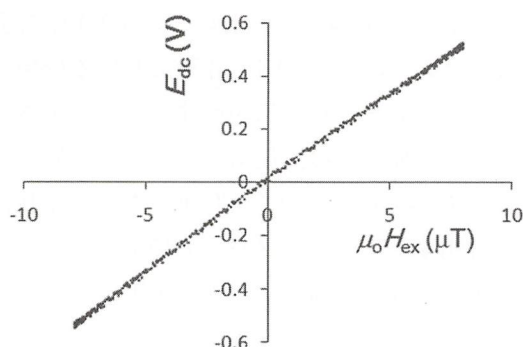


図2 超高感度 MI センサの磁界検出特性

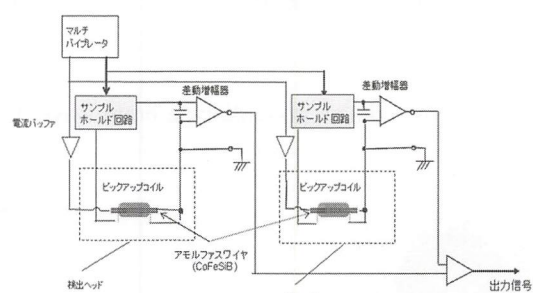


図3 超高感度 MI センサによるグラジオメータの構成

参照用ヘッドの磁界に対する感度を精度良く揃えることにより、地磁気など一様な外乱の磁界を相殺し、検出ヘッドのみに印加される局所的な磁界に比例した信号を出力として得ることができる。

さて、アモルファスワイヤ磁気インピーダンスセンサの原理的な磁気ノイズは次式で表わされることが報告されている。

$$\beta = \sqrt{\frac{2\alpha k_B T}{\gamma M_s \pi a^2 l}} \quad (1)$$

ここで T は温度、 α は磁気ダンピン定数、 k_B はボルツマン定数、 γ はジャイロ比、 M_s は飽和磁化、 a はワイヤ半径そして l はワイヤ長さである。バンド幅を 1 Hz として測定した Co-rich のアモルファスワイヤの磁気ノイズの値を (1) 式に基づいて計算すると、室温で約 10 fT と見積もることができる。すなわち、外乱磁界によるノイズや電子回路のノイズが無視できる場合には、MI センサの最高性能として、室温で fT オーダーの磁界検出分解能が得られる可能性を理論的に示すものである。

図 4 は周波数に依存する、環境磁場の大きさを調査した NASA による公表データである。周波数が 1 Hz から 40 Hz の間では、地磁気による外乱 (Geo-magnetic noise) は 1 pT 程度と小さくまた、実験室ノイズ (Laboratory noise) の大きさも数 10 pT ~ 1 nT 程度であることが示されている。例えば、周波数 1 Hz ~ 40 Hz の生体信号を検出する場合に、図 5 の参照受信部と測定用の受信部の感度差を 0.1%

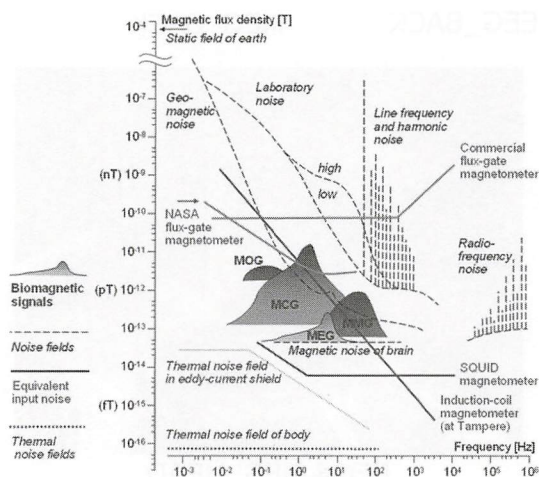


図4 外乱磁界の周波数依存性

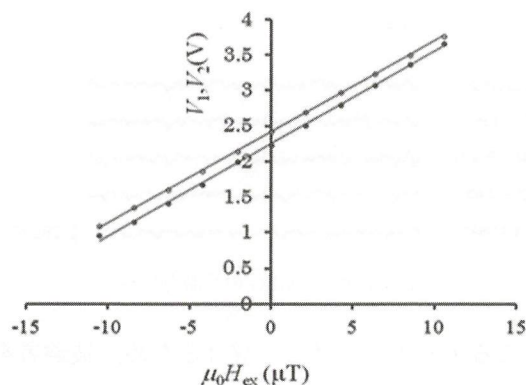


図5 グラジオ型センサにおける測定用ヘッドと参照用ヘッドから検出電圧の磁界依存性

とするグラジオセンサ構成により、磁界検出分解能として1 pT は、達成可能な目標であると分かる。図5は、500 ターンのピックアップコイル（機械巻きで）作製した測定用コイルからの検波電圧 V_1 および参照コイルからの検出波電圧 V_2 の磁界依存性を調べた結果である。両者の傾きはほぼ一致して、 V_1 と V_2 の感度の差は1 % 程度である。またその直線の傾きから感度を求めると、130 kV/T が得られる。即ち、1 pT の印加磁界から 100 nV 以上の出力信号が得られる感度である。計装用のアンプの雑音スペクトルが通常 $10 \text{ nV/Hz}^{1/2}$ であることを勘案すれば、1 pT の磁場に対して信号出力として得られる 100 nV は、帯域を 1 Hz に制限した計測システムの電子回路ノイズに比べて十分に大きい。図6はシールドレスの環境で、グラジ

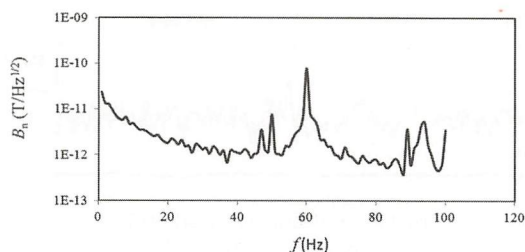


図6 試作開発した MI グラジオメータのノイズスペクトル

オメータを動作させた場合の出力ノイズ特性をスペクトル解析した結果であり、スペクトル密度 ($\text{V/Hz}^{1/2}$) を磁界検出感度 (V/T) で割って縦軸とし、横軸は周波数として表してある。この図から、周波数が 20 Hz ~ 40 Hz の領域ではノイズフロアがほぼ $1 \text{ pT/Hz}^{1/2}$ であることが分かる。

②試作 MI グラジオメータによる MEG 計測

MEG 計測システムでは 60 Hz 以上のパワーラインノイズの影響を避けるため、図7ように 1.5 Hz から 40 Hz に周波数帯域を制限して実験を行った。図8に示すように、座った状態の被験者に対して、計測用のセンサヘッドは後頭部に垂直な磁場 B_z を計測する方向として、後頭部表面から 5 mm 離れた距離に設置した。図9

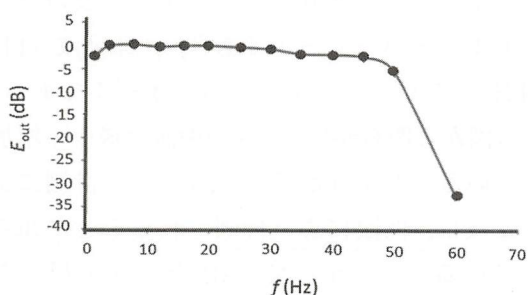


図7 脳磁場 (MEG) 計測システムの周波数特性

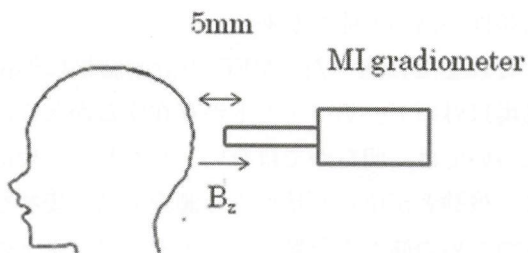


図8 後頭部 MEG 測定系

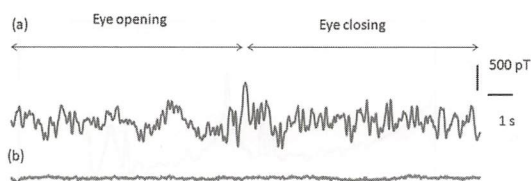


図9 (a) 後頭部 MEG 測定波形
(b) バックグラウンド

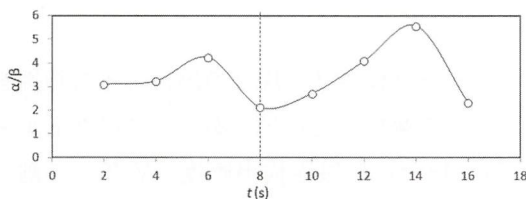


図10 α/β の時間依存性

は、計測した後頭部磁場の時系列をバックグラウンドノイズと比較して示している。後頭部磁場は、前半の8秒間は眼を空けた状態での計測を行い、その後の8秒間は眼を閉じた状態での計測を行った。後頭部磁場信号の大きさは、バックグラウンドノイズに比べて10倍以上大きいことが分かる。また、開眼時と閉眼時の後頭部磁場波形の比較から、閉眼による α 波(8-13 Hz)の増加が示唆される。閉眼による α 波の増加を定量的に確かめるため、後頭部 MEG のスペクトル解析を行った。図10は α/β の時間依存性を示すものであり、ここで α は α 波のパーシャルオーバーオールであり、 β は β 波(14-30 Hz)のパーシャルオーバーオールである。この図から明らかに、 α/β が閉眼直後から増加していることが分かる。EEG による計測により α 波は、開眼により抑制されることが知られている。したがって、MI センサを用いた MEG 計測は、非接触で脳活動を評価する手法として、磁気シールド装置を用いない環境でも、信頼性が高い可能性がある。

これまでに述べた、MEG の計測結果に外乱磁場以外のアーチファクトが存在するかどうかについては、明らかではない。しかし、一般的に、被験者が座った状態での測定では、姿勢を保つための筋電の影響などがアーチファクトの原因として考えられる。したがって、次に筋電

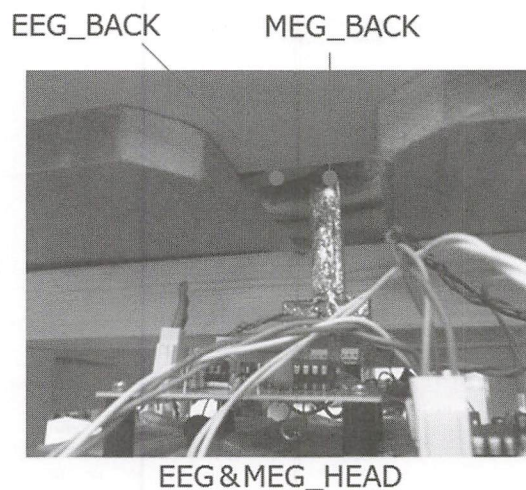


図11 EEG と MEG の当時測定

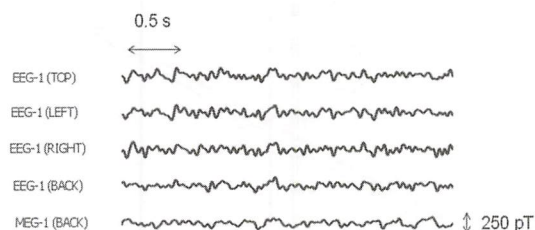


図12 EEG と MEG の当時測定結果

によるアーチファクトを避けるため、被験者を寝かせた状態で MEG の計測を試みた。図11は、後頭部における MI センサによる MEG と EEG の同時計測点を示す写真である。EEG と MEG の計測の干渉が生じないように 10 mm 程度の距離を置いて設置した。図12に EEG と MEG の同時測定の結果を示す。EEG の後頭部(back)に加え EEG の上部(Top)、右(Right)および左(left)部分での測定結果も合わせて表示している。EEG と MI センサによる MEG の結果には類似性が観測され、特にその傾向が EEG の後頭部と MEG の後頭部との間で強いことから MEG の後頭部の測定結果が後頭部における脳の電気的な活動を反映した出力信号であることを裏付ける結果となっている。

[ま と め]

非接触で脳機能を評価する携帯型の計測システムの構築を目指して、超高感度 MI センサに

よるグジオメータの試作開発を行った。試作機による実証実験により、日常の環境下における超高感度 MI センサを用いた非接触脳波 (MEG) 計測の有用性を裏付ける結果を得た。

[成果の発表論文等]

論文

- (1) T. Uchiyama, K. Mohri, S. Nakayama "Measurement of spontaneous oscillatory magnetic field of guinea-pig stomachmuscle preparation using pico-Tesla resolution amorphous wire magneto-impedance sensor", IEEE Trans. Magn. **47**, 10, 3070-3073 (2011).
- (2) T. Uchiyama, K. Mohri, Y. Honkura, and L. V. Panina, "Recent Advances of Pico-Tesla Resolution Magneto-Impedance Sensor Based on Amorphous Wire CMOS ICMI Sensor", IEEE Trans. Magn., to be published.
- (3) K. Mohri, M. Yamada, K. Endo, T. Suzuki, Y. Mohr and T. Uchiyama, "Physiological Magnetic

Stimulation for Arousal of Elder Car Driver Evaluated with Electro-encephalogram and Spine Magnetic Field", IEEE Trans. Magn., to be published

国際会議 (発表予定を含む)

- (1) T. Uchiyama, K. Mohri, Y. Honkura, and L. V. Panina, "Recent Advances of Pico-Tesla Resolution Magneto-Impedance Sensor Based on Amorphous Wire CMOS IC MI Sensor", Intermag, FF-01, Vancouver, Canada, 05/07-11, 2012, **INVITED**.
- (2) K. Mohri, M. Yamada, K. Endo, T. Suzuki, Y. Mohr and T. Uchiyama, "Physiological Magnetic Stimulation for Arousal of Elder Car Driver Evaluated with Electro-encephalogram and Spine Magnetic Field", Intermag 2012, DE-04 Vancouver, Canada, 05/07-11, 2012
- (3) T. Uchiyama, K. Mohri, S. Nakayama, "A MEG measurement using pico-Tesla Sensitivity amorphous wire magento-impedance sensor for brain activity evaluation", PIERS, Moscow, Russia, 08/19-23, 2012, **INVITED**.

国内会議発表 (5 件)

触診機能搭載型オーダーメイド手術支援マニピュレータの開発

Development of made-to-order surgery support manipulator with tactile sensing function

2011003



研究代表者

大阪工業大学 工学部
ロボット工学科

准教授

河 合 俊 和

共同研究者

香川大学 医学部 消化器外科

助 教

西 澤 祐 吏

[研究の目的]

内視鏡下手術支援ロボット da Vinci を使った手術が日本でも広まり始めた。多自由度の専用術具を備えるアームをマスタスレーブ制御することで、高い位置決め精度の手術が可能である。一方で、力覚が無いため医師に過度の負担を強いると考えられる。また、臓器の硬さには個人差があり、安全な手術を行うには患者に応じて最大把持力を設定できることが望ましい。

そこで、本研究では、個々の患者の臓器硬さに応じたロボット支援手術が行える、触診機能搭載型オーダーメイド手術支援マニピュレータの実現を目指している。まずは臓器硬さの計測方法を確立すべく、駆動用ステッピングモータが過負荷で空回りする脱調現象に注目した。すなわち、ロータ過負荷時にステータの位相と同期せず空回りする、位相差を利用した硬さ計測方法を考案した。本研究の目的は、ステッピングモータの位相差を利用した臓器硬さ計測の原理確立およびグリッパの試作である。

[研究の内容、成果]

1. 臓器硬さの計測原理

計測する硬さは、材料特性として一般的な縦弾性係数のヤング率と定義した。考案した計測原理を Fig.1 に示す。モータ位相差発生時点においては、試験片に対する作用力と反作用力が

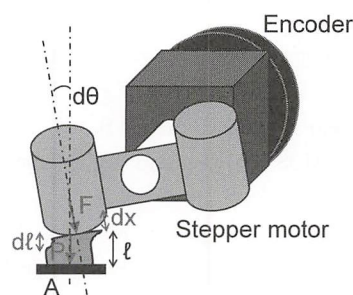


Fig.1 Measurement method for stress and strain using the phase difference of the stepper motor

釣り合い静的な平衡状態になる。この時、モータから試験片へ印可する接線方向の力 F は、トルク T とアーム長 L より、 $F=T/L$ である。垂直方向の圧縮力 P は、アーム回転角度を微小 $d\theta$ として、 $P=F \cos d\theta$ と表せる。よって、圧縮応力 σ は、試験片の断面積 A より、 $\sigma=P/A$ となることから、 $\sigma=T \cos d\theta/LA$ と算出できる。

一方、モータ位相差発生までに微小変位した試験片の接線方向の変位量 dx は、アームが描く円弧の直線近似で、 $dx \doteq L d\theta$ と表せる。垂直方向の微小な変位量 $d\ell$ は、 $d\ell=dx \cos d\theta$ である。よって、圧縮ひずみ ε は、試験片の高さ ℓ より、 $\varepsilon=d\ell/\ell$ となることから、 $\varepsilon \doteq L d\theta \cos d\theta/\ell$ と算出できる。

以上の手順で、モータ位相差発生時点における、試験片の圧縮応力とひずみが算出できた。試験片にはせん断応力も発生しているが、アーム回転角度が微小なため無視できるとした。

2. 実験方法

計測原理を確認するため、Fig. 2 に示す簡易な装置を試作した。本要素試作機では、ステッピングモータ（ステップ角： 2.88×10^{-3} deg, 励磁最大静止トルク：0.033 Nm, CFK523BP2, Oriental motor）の両軸に、回転角度を得るエンコーダ（分解能： 1.125×10^{-3} deg, 5000 ppr+ 内部回路 16 通倍, MES-30-5000PST16, MTL）とアームを取り付けた。モータ回転中心から 30 mm の位置にあるアーム先端には、試験片への印可力を確認する 6 軸力センサ（分解能： $F_x, F_y; 0.008$ N, $F_z; 0.025$ N, 寸法： $\phi 17 \times 12$ mm, 重量：約 70 g, ThinNANO 1.2/1-A, Bl. Autotec）を取り付けた。力センサと同重量のカウンタウエイトをアームの他端に取り付けた。試作機の寸法は $136 \times 55 \times 59$ mm, 重量は 490 g, アーム先端での駆動分解能は $1.5 \mu\text{m}$, 最大把持力は 1.1 N である。

試作機による硬さ計測の実験は次の手順で、Fig. 3 に示す実験装置を構築して行った。

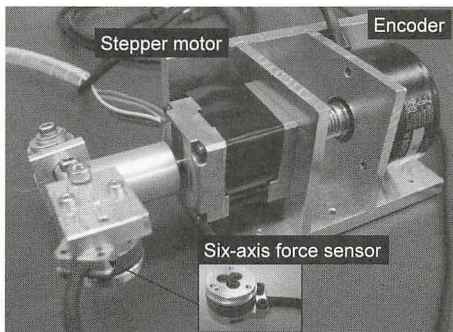


Fig. 2 Prototype of measuring device

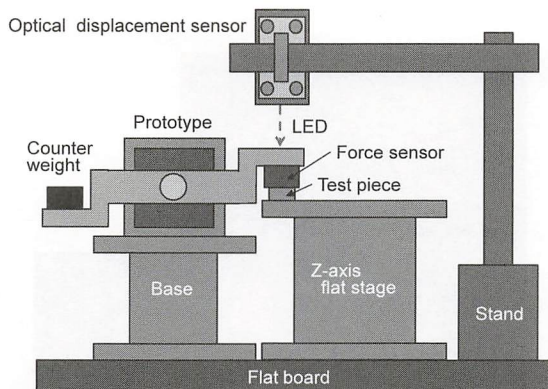
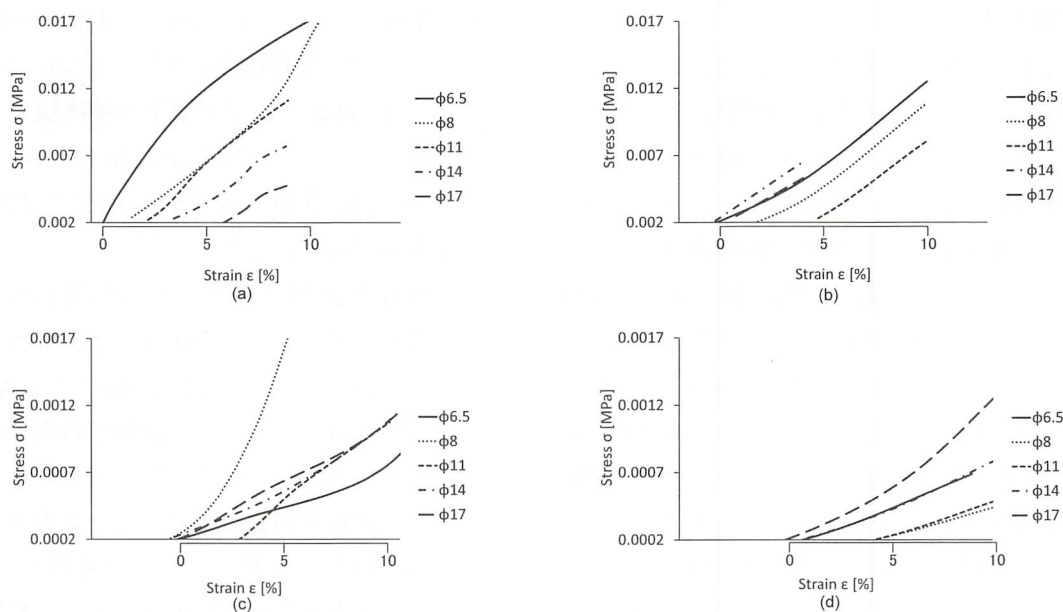


Fig. 3 Experiment for measuring stress and strain

- (1) 実験環境は温度 25~30℃, 湿度 70~80 % とした。対象物はヤング率一定のゴム盤, *in vitro* 組織として食用牛の解凍臓器（第一胃）とした。試験片は外径 17, 14, 11, 8, 6.5 の 5 種類, 高さ 5 mm として自作の採取器で切り出した。
- (2) 試験片を Z 軸ステージ上に配置した。光学式変位センサ（測定距離： ± 30 mm, 分解能： $20 \mu\text{m}$, LH-512, Sunx）で試験片までの距離を測定した。試験片の直上に試作機の力センサを配置して、力センサ上部までの距離を同様に測定した。算出された空隙に対して Z 軸ステージを昇降させて、試験片と力センサを接触させた。試験片は滑らないように、水やすりで固定した。
- (3) 力センサの上部に荷重を置き、負荷応力 1000 Pa で 60 s の負荷と 60 s の除荷を行った。
- (4) ファンクションジェネレータからモータへ励磁最大トルクとなる 4 kHz の回転信号を入力し、アームを角速度 11.52 deg/s すなわち接線速度 6 mm/s で回転させて、試験片に力を印加した。
- (5) エンコーダからアーム回転角度を、6 軸力センサから印加力と力の分散を測定した。
- (6) 各試験片に対して 1 回を試行した。
- (7) 試験片の圧縮応力を力センサの垂直方向の計測値から、ひずみ量を提案手法から求めて、モータ位相差が発生するまでの圧縮応力-ひずみ線図を作成した。
- (8) 試験片が持つ真の硬さを知るため、市販の試験機（ロードセル容量：20 N, 分解能：0.08 N, EZ-Test, Shimazu）で圧縮応力-ひずみ線図を計測した。クロスヘッドの設定速度は、モータの接線速度と同じにした。

3. 結果と考察

ゴム盤の圧縮応力-ひずみ線図について、試作機での結果を Fig. 4 (a) に、試験機での結果を Fig. 4 (b) に示す。与圧 0.002 MPa をひ



(a) for rubber measured by the prototype. (b) for rubber measured by the testing machine.
(c) for rumen of cattle measured by the prototype. (d) for rumen of cattle measured by the testing machine

Fig. 4 Stress-strain curve

ずみ 0 % と考える。食用牛の解凍臓器の圧縮応力-ひずみ線図について、試作機での結果を Fig. 4 (c) に、試験機での結果を Fig. 4 (d) に示す。与圧 0.0002 MPa をひずみ 0 % と考える。

試作機での結果において、外径 6.5 mm と 8 mm の試験片で座屈による影響が見られた。試験片の外径は高さの 2 倍以上で安定することが分かったので、以降、外径 11 mm 以上の試験片について述べる。

ゴム盤では、試作機と試験機ともに同様のヤング率を持つ線形関係が見られた。食用牛の解凍臓器では、生体組織が持つ非線形性が見られた。モータから試験片へ印可する接線方向の力は、力センサの垂直方向の計測値より 0.98～1.32 N で、力の分散は最大 0.05 N であった。モータ最大トルクより算出される印可力は 1.1 N であるので、最大 20% の誤差を含むが、本提案手法で臓器硬さの傾向を掴めることが示された。

4. グリッパ試作

提案手法を用いたグリッパの試作にあたり、

臓器硬さを臨床現場で直感的に分かりやすいバネ定数 K と再定義した。垂直方向の圧縮力 P と微小変位量 dl から、 $K = P/dl \doteq T/L^2 d\theta$ と算出できる。

モータ出力軸に傘歯車を直接接続した片開きグリッパを Fig. 5 のとおり試作した。本試作グリッパでは、ステッピングモータ（ステップ角： 2.88×10^{-3} deg, 励磁最大静止トルク：0.0231 Nm, CFK513PBP2, Oriental motor）の両軸に、エンコーダ（要素試作機と同じ）と傘歯車（BS 35L-001, 協歯歯車工業社）、把持部として長さ 20 mm のジョーを取り付けた。臓器との接触はジョーの把持面に設けた静電容量

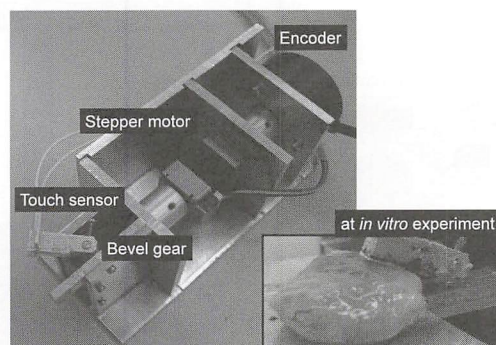


Fig. 5 Prototype of the gripper with bevel gear

型センサで検出した。試作グリッパの寸法は $150 \times 56 \times 60$ mm, 重量は 425 g, ジョー先端での駆動分解能は $1 \mu\text{m}$, 最大把持力は 1.2 N である。

試作グリッパによる硬さ計測の実験を次の手順で行った。

- (1) 実験環境は温度 $25 \sim 30^\circ\text{C}$, 湿度 $70 \sim 80\%$ とした。対象物は摘出後 12 時間以内のビーグル犬の新鮮臓器 7 種類 (大網, 脾臓, 胃, 肝臓, 小腸, 大腸, 膀胱) とした。
- (2) グリッパの把持面と対象物の接触を静電容量型センサで確認した後, ファンクションジェネレータからモータへ励磁最大トルクとなる 5 kHz の回転信号を入力し, ジョーを角速度 14.4 deg/s すなわち接線速度 5 mm/s で回転させて, 対象物に力を印加した。
- (3) エンコーダからアーム回転角度を測定した。
- (4) 各対象物に対して 5 回ずつ試行し, バネ定数 Kp を算出した。
- (5) 対象物が持つ真の硬さ知るため, 市販の試験機でバネ定数 Kt を計測した。クロスヘッドの設定速度は, モータの接線速度と同じにした。

試作グリッパと試験機で計測した臓器硬さの結果を Fig. 6 に示す。 Kp は Kt と比べて小さくなる傾向となった。これは, 把持部のジョーが対象物に対して接線方向に力を印加するため, 垂直成分の力が小さくなるためである。小腸,

肝臓, 大網, 膀胱, 大腸は, Kp と Kt で近接した値かつ同様の上昇傾向を示した。膀胱と大腸において Kp の標準偏差が大きかったのは, 計測する部位の弾性が一様でないことを示していると考えた。胃と脾臓において Kp と Kt の差が大きかったのは, 対象物とジョーの把持面に滑りが生じたと考えた。

[今後の研究の方向, 課題]

計測原理のさらなる確立に向け, セン断応力を無視できる直線系の原理確認装置の構築, 座屈しにくい試験片を対象とした試行回数の増加, 弾性体の平均ヤング率測定および生体組織のひずみ 10% 程度での接線剛性測定, による基礎データを収集する課題が残されている。臨床適用に向けては, 滑らかな伝達機構を備える長軸形状のグリッパ機構, 計測と把持を切り替える減速機構, 硬さを自動計測して提示するシステムの開発により, 触診機能搭載型オーダーメイド手術支援マニピュレータの実現が近付くと考ええる。

[成果の発表, 論文等]

1. Toshikazu Kawai, Kensuke Nishio, Yusuke Morita, Yuji Nishizawa, Tatsuo Nakamura: Elasticity sensing forceps with stepper motor, Int J CARS Computer Assist Radiol Surg, Vol. 7, Suppl 1, pp. 454-455, 2012.
2. 西尾建佑, 河合俊和, 森田有亮, 西澤祐吏, 中村達雄: 臓器硬さ計測可能なステッピングモータ駆動グリッパの開発, 第 24 回ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, p. 165, DVD-R (2A1-S10), 2012.
3. 上田貴大, 河合俊和, 森田有亮, 西澤祐吏, 中村達雄: ステッピングモータ位相差による生体組織の圧縮応力一ひずみ線図の計測原理, 生体医工学, Vol. 50, Suppl. 1, p. 227, CD-R (P1-01-3), 2012.
4. 西尾建佑, 河合俊和, 西澤祐吏, 中村達雄: ステッピングモータによる臓器硬さ自動計測システムの開発, 日本コンピュータ外科学, Vol. 13, No. 3, pp. 402-403, 2011.

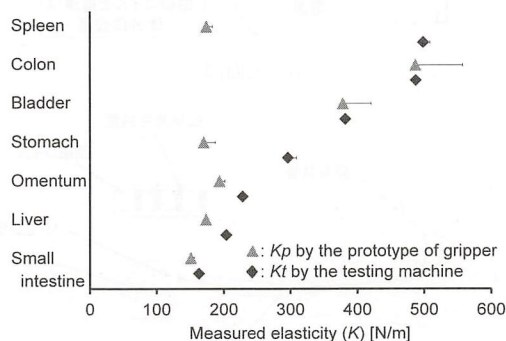
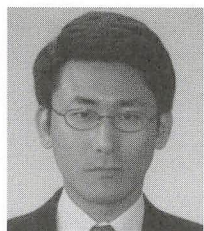


Fig. 6 Comparison of measured elasticity between Kp by the prototype of gripper and Kt by the testing machine

経鼻胃管挿入時における管先端位置の電磁モニタリング法の開発

Development of Electromagnetic Monitoring Method of Tip Position of Tube in Inserting a Nasogastric Tube

2011004



研究代表者

大分大学 工学部
機械・エネルギーシステム工学科

准教授

後 藤 雄 治

共同研究者

(財)厚生年金事業振興団
湯布院厚生年金病院

内科部長

宮 崎 吉 孝

[研究の目的]

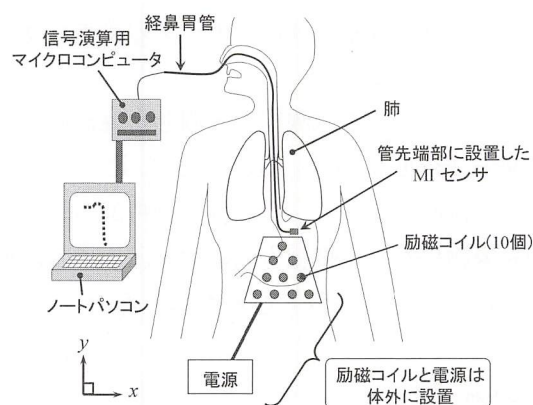
脳卒中患者の約 10% に嚥下障害が後遺し、経鼻胃管での栄養注入が必要となる。鼻から胃まで管を挿入する際、正しく胃に入らず咽頭でとぐろを巻くケースや、肺に入る等の誤挿入が多々ある。誤挿入のまま栄養を注入すると致命的な事態となる。そこで、管先端部が正しく胃へ到達したかを確認をする手法が必要となる。一般的には、咽頭と胃の付近で 2 回 X 線撮影を行う 2 段階 X 線撮影法が推奨されているが、労力がかかり、毎食 2 回、計 1 日 6 回 X 線撮影を行うので人体への影響が懸念されている。本研究では経鼻胃管先端部に 3 軸 MI センサを設置し、体外に設置した 10 個の励磁コイルが発生させる静磁界を、それぞれ MI センサで測定することにより管先端部位置を推定する手法について検討を行った。

[研究の内容、成果]

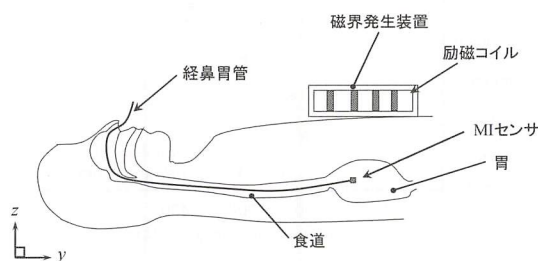
1. 基本検査原理

本研究では、経鼻胃管先端部に 3 軸 MI センサを設置し、体外に設置した 10 個の励磁コイルが発生させる静磁界を測定することで管先端部位置を推定する手法を提案する。なお、本提案手法では、励磁コイル 3 個を一組として位置推定を行う。検査原理は次の通りである。

まず、図 1 に示すように経鼻胃管先端部に GPS 機能付き携帯電話等に搭載されている 3 軸の地磁気を正確に検出できる 3 軸 MI (Magneto Inductance) センサを設置し、体外の 10 箇所に微小静磁界発生用励磁コイルを設置する。そして、励磁コイルに順番に数秒間のみ直流電流を流し、各励磁コイルが発生させる静磁界を体内に挿入された MI センサにより測定し 3 箇所からの磁界強度を使用して MI セン



(a) 上面図



(b) 側面図

図 1 検査概念図

サ位置を推定するものである。

2. 実験方法

人体における臨床実験の前に湯布院厚生年金病院において実験を行った。図2に検査装置の写真を示し、図3に励磁コイル配置、表1に各励磁コイルの位置座標を示す。まず、同じ形状をした10個の励磁コイルを図3のように配置する。次に、各励磁コイルに順番に直流電流を流し、各励磁コイルが発生させる磁界を3軸MIセンサで測定し、3箇所からの磁界強度を使用して、経鼻胃管先端部（MIセンサ）位置を計算する。そして、検査装置で求めた管先端部位置座標とCTで測定した位置座標の比較を行う。

標準的な体型の患者の場合は体の表面から深さ10 cm程度までが胃の領域で、それより深い領域が肺となる。

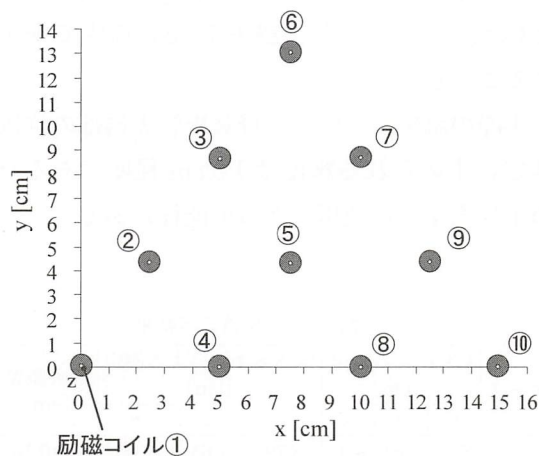
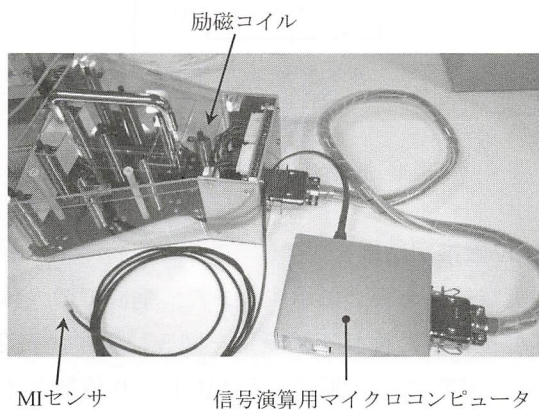


表1 励磁コイルの座標

	座標 [cm]		
	x	y	z
励磁コイル①	0.0	0.0	0.0
励磁コイル②	2.5	4.3	0.0
励磁コイル③	5.0	8.7	0.0
励磁コイル④	5.0	0.0	0.0
励磁コイル⑤	7.5	4.3	0.0
励磁コイル⑥	7.5	13.0	0.0
励磁コイル⑦	10.0	8.7	0.0
励磁コイル⑧	10.0	0.0	0.0
励磁コイル⑨	12.5	4.3	0.0
励磁コイル⑩	15.0	0.0	0.0

3. 3軸MIセンサの位置推定方法

本研究では、各励磁コイルに直流電流を流したときに発生する磁界を3軸MIセンサで測定し、進化戦略法¹⁾を用いてMIセンサ位置を推定する手法を検討した。本提案手法におけるMIセンサ位置推定の手順を図4に示す。進化戦略法を使用したMIセンサの位置推定計算手順は以下の通りである。

①初期値としてMIセンサ座標が既知の点 (x, y, z) を与え、この座標値とこの位置で測定した3個の励磁コイルからの磁界の強さから、各励磁コイルの磁気モーメント m を求める。次に、任意の位置に置かれたMIセンサで得られた磁束密度の絶対値 $|B_k|$ と、任意の座標位置で計算した磁束密度の絶対値 $|B'_k|$ で、目的関数 W の計算を行う。

$$dB_k = |B_k| - |B'_k| \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W = \sum_{k=1}^{10} |dB_k| \quad \dots\dots\dots (2)$$

(k=0~10: 励磁コイルの番号)

ここでの $|B_k|$ は3軸MIセンサで測定された磁束密度の絶対値を示し、 $|B'_k|$ は任意の3軸MIセンサ位置での、計算で得られた磁束密度の絶対値を表す。なお、 $|B'_k|$ は以下の式を求める²⁾。

$$|B'_k| = \sqrt{B_{kx}^2 + B_{ky}^2 + B_{kz}^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

(k=0~10)

$$\left. \begin{aligned} B'_{kx} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3m}{r_k^5} (z - Z_k)(x - X_k) \\ B'_{ky} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3m}{r_k^5} (z - Z_k)(y - Y_k) \\ B'_{kz} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3m}{r_k^5} \left[(z - Z_k)^2 - \frac{r_k^2}{3} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$(k=0 \sim 10)$$

$$r_k = \sqrt{(x - X_k)^2 + (y - Y_k)^2 + (z - Z_k)^2} \quad (k=0 \sim 10) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 (x, y, z) は推定する MI センサの座標を示し、 (X_k, Y_k, Z_k) は磁界を発生させる既知の励磁コイル座標をそれぞれ示す。また、 r_k は各励磁コイルと MI センサとの距離を示す。

② MI センサ位置 (x, y, z) の各座標に正規乱数を加え、目的乱数 W を計算する。もし、 W の値が 1 回前に計算した目的関数 W の値よりも小さければ目的関数 W の値を更新する。この操作を x, y, z それぞれに関して 10 回ずつ繰り返す。

③ 繰り返し終了後に、目的関数が小さくなる確率が $1/5$ 以下ならば、正規乱数の標準偏差 σ に定数 C_d ($0.817 \leq C_d < 1$) を乗じて探索範囲を狭め、確率が $1/5$ 以上ならば C_d で除して探索範囲を拡げて②を行う。なお、ここでの $1/5$ はレッヘンベルグの $1/5$ 成功則¹⁾の確率統計論に基づいた値を用いている。

④ 正規乱数の標準偏差 σ の値が収束判定値 ε よりも小さくなった場合に、収束したとみなして探索を終了する。収束していない場合は、②へ戻る。また目的関数 W を計算する範囲は各座標 $0 \text{ cm} \sim 100 \text{ cm}$ とした。標準偏差 σ は、3 個の励磁コイルで構成される正三角形の範囲内で正規乱数が発生するように 2.25 とした。また、定数 C_d は 0.85 とし、収束判定値 ε は 0.005 とした。なおこれらの値は経験値を用いている。

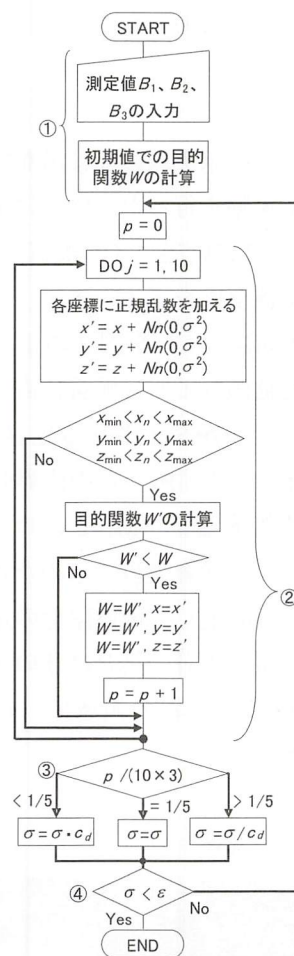


図 4 進化戦略法フローチャート

4. 位置推定結果

実験結果を表 2 に示す。また、病院での人体模型を使った検証実験風景を図 5 に示す。表 2 から、CT により測定した MI センサ位置と本提案手法により測定した推定位置では、ケース (2) の y 座標で誤差が 1.10 cm で最大となった。その他のケースでは、誤差 1.0 cm 以内で推定することができた。

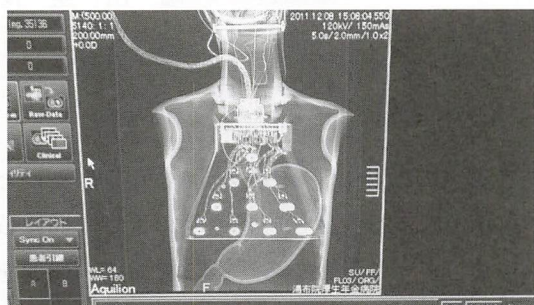
実際の臨床において、経鼻胃管先端部の位置推定に求められる精度は 1.0 cm 程度であるため本提案手法が使用できる可能性がある。

表 2 MI センサ位置推定結果

ケース	CT による測定 [cm]			本提案手法による測定 [cm]			最大誤差 [cm]
	x	y	z	x	y	z	
(1)	8.78	7.64	8.82	8.79	7.64	9.00	$z=0.18$
(2)	7.33	0.00	8.38	7.10	1.10	8.65	$y=1.10$



(a) 位置測定時の様子



(b) CT 画像

図5 検証実験風景

5. まとめ

本研究で得られた知見、今後の方向・課題を以下に示す。

- 1) 10 個の励磁コイルそれぞれが発生する磁界の強さから、経鼻胃管先端部に設置した MI センサの位置を臨床の範囲内で推定することができた。
- 2) 今後はより実用化に向けて、装置全体の小型化やコストの改善を行う。

[今後の研究の方向、課題]

本提案検査システムによって、研究室レベルで十分に安全性、機能性を確かめた後、実際の臨床実験による検討を行う。本研究では、体内に磁界センサを挿入するため臨床実験を行う際には共同研究先である（財）厚生年金事業振興団湯布院厚生年金病院での倫理委員会で許可を得る必要がある。倫理委員会の承認が得られ次第、臨床実験を実施して、より実用的な装置開発を行う予定としている。

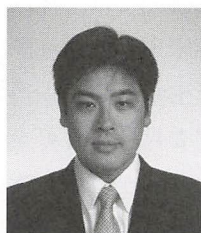
[成果の発表、論文等]

- (1) 松岡 綾，舘 雄也，森元雄大，後藤雄治，宮崎吉孝，高橋則雄：“電磁気を用いた経鼻胃管先端部の非接触位置推定法の提案”，第 14 回表面探傷シンポジウム，（社）日本非破壊検査協会，pp.108-111，2011【新進賞受賞】
- (2) 中村敦司，古川寛人，後藤雄治，宮崎吉孝，高橋則雄：“交流磁界を用いた経鼻胃管先端部の非接触位置推定法の提案”，第 15 回表面探傷シンポジウム，（社）日本非破壊検査協会，pp.59-64，2012【新進賞受賞】

3次元スペクトル解析と3次元動画顕微鏡の一括計測の実現

Simultaneous Measurement Technique for 3-dimensional Spectroscopy and Tomography

2011007



研究代表者

長岡技術科学大学 工学部
電気系

准教授

塩田 達俊

[研究の目的]

マイクロメートル領域の断層計測に用いられる低コヒーレンス干渉計測法は、様々な物体・生体の微細な構造や形状を測定する技術として広く知られている。多くの低コヒーレンス干渉計測法による断層計測ではマイケルソン干渉計が用いられている。基本的な構成としては、光源から出た光は干渉計内に入射し、干渉計内のビームスプリッターで分割された片方の光路に試料を設置し、その反射光（信号光）と参照光との干渉波形から伝搬時間の情報を取得することで、物体の構造（トモグラフィー画像）を計測する。このような光学干渉計を用いて得られるトモグラフィー画像を取得する具体的な方法としては時間領域法（TD法）とフーリエ領域法（FD法）が知られている。TD法は光の遅延時間を掃引するために参照鏡の機械的な走査を必要とし、直接トモグラフィー画像を取得することができる。FD法は、計測した周波数領域のデータを離散逆フーリエ変換することによって干渉波形が得られるため、コンピュータによる演算処理が必要となるがTD法に比べ感度が高い。

工業分野において製品の形状検査及び塗装条件をリアルタイムかつ高速で取得することが求められているが、本研究室では測定結果として直接断層画像が得られるTD法による計測での研究を進めてきた。しかし、先ほども述べた

がTD法の問題は参照鏡の走査が必要なことであり、測定時間はこの参照鏡の走査時間に依存してしまうこととなる。そこで、この問題を解決するため、本研究室ではVIPA（Virtually imaged phased array）と空間位相変調器（SPM）を用いたシングルショットでのTD法による低コヒーレンス干渉計測法を発表している。これによれば、参照鏡を無走査でのTD法による計測が可能となる。

一方、現在、広く利用されている分光技術としてフーリエ分光法（FTS法）がある。FTS法として挙げられるのは赤外分光計（FT-IR）、近赤外分光計（FT-NIR）等があるが、どれも光のコヒーレンスを用いた計測技術である。FTS法に使われる光学系は、先ほど説明した断層計測に用いられるTD法による低コヒーレンス干渉計測法と非常に類似している。唯一異なる点は、試料が干渉計の外部に設置されているという点である。そのため、干渉計内の信号光と参照光は自己相関の関係となる。したがって、FTS法で得られる干渉波形（インターフェログラム）は自己相関出力となる。FTS法では、その名の通り、測定によって得られるインターフェログラムをフーリエ変換することで、干渉計に入射した光のスペクトルが得られることとなる。これはウィナー＝ヒンチンの定理から証明される。FTS法は、光源に広帯域光源を用いて、干渉計外部光路上に試料を設置すれば、光源の波長帯域においての試料

の透過または反射スペクトルが得られる。

ここで、低コヒーレンス干渉計測法による断層計測とフーリエ分光法の光学系を比較すると、前述したように非常に類似していることがわかる。そのため、これまでにトモグラフィー画像から試料の断層構造を測定し、かつ、試料のスペクトル情報までも得られるという内容の研究が報告されている。これらの研究では、低コヒーレンス干渉計で得られるトモグラフィー画像をフーリエ変換、又はウェーブレット変換することで得られたスペクトルを試料の反射スペクトルとしている。しかし、これらの手法は光学干渉計内に試料を設置しているため、その干渉出力は相互相関出力波形となり、ウィナー＝ヒンチンの定理を満たさない。そのため、得られたスペクトルは傾向を捉えるために限定すれば利用できるが、厳密なスペクトルを得ることはできない。そこで、我々は、TD法による低コヒーレンス干渉計で得られたトモグラフィー画像から、厳密に複素電界スペクトルを得る方法を提案する。

[研究の内容、成果]

Fig. 1 にマイケルソン干渉計を用いた提案手法の計測概念図を示す。パワースペクトル $|e_i(\omega)|^2$ の光源から出射された光は干渉計に入射し、ビームスプリッターによって信号光側と参照光側に分波される。信号光側は試料の界面によって複数の波が反射される。参照側は振幅反射率 r_M の参照鏡を走査して遅延時間 t を掃引

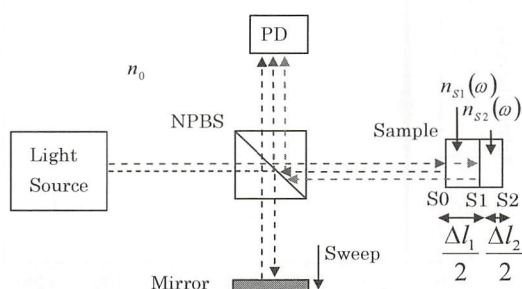


Fig. 1 The schematic of experimental setup with multi layer sample

する。信号光と参照光を再度ビームスプリッターで合波させ、その干渉波形をフォトディテクターによって観測すれば、試料の断層画像を取得できる。

ここで、Fig. 1 において試料を振幅反射率 r_M の平面反射鏡に取り換えたときに得られる干渉出力 $I_0(\tau)$ は、

$$I_0(\tau) \propto \int_0^\infty |e_i(\omega) r_M|^2 \text{Re} [\exp \{i(\omega\tau - kn_0 r_{SR})\}] d\omega. \quad (1)$$

として得られる。ここでは直流成分を無視して記述する。また、(1) 式のフーリエ変換は

$$F[I_0(\tau)] \propto |e_i(\omega) r_M|^2 \exp(-ikn_0 r_{SR}) \quad (2)$$

となる。 $F[\dots]$ はフーリエ変換の記号で、 r_{SR} は測定開始位置における参照鏡と信号側に設置した鏡の距離差である。(2) 式から鏡の反射率を無視すれば、光源のパワースペクトルが与えられていることが確認できる。

次に、信号側に複数の界面を持つ試料を設置することを考える。参照光を掃引すると試料の断層構造に応じた複数の干渉ピークが取得されるが、試料の光の入射側の界面から順にスペクトルを取得していく。具体的には注目するピーク以外は0点で補完する作業を行う。このようにして試料の界面 S_0 による反射波から得られる干渉出力 $I_{S0}(\tau)$ は、

$$I_{S0}(\tau) \propto \int_0^\infty |e_i(\omega)|^2 \times \text{Re} [r_M r_{S0} \exp \{i(\omega\tau - kn_0 r'_{SR})\}] d\omega \quad (3)$$

として得られ、そのフーリエ変換は

$$F[I_{S0}(\tau)] \propto |e_i(\omega)|^2 r_M r_{S0} \exp \{-ikn_0 r'_{SR}\} \quad (4)$$

となる。 r_{S0} は試料の界面 S_0 における振幅反射率を示し、 r'_{SR} は参照鏡と試料界面 S_0 の距離差を表す。また、試料界面 S_1 の反射による干渉波形 $I_{S1}(t)$ は、

$$I_{S0}(\tau) \propto \int_0^\infty |e_i(\omega)t_{S1}|^2 r_M r_{S1} \times \exp \{-ik(n_0 r'_{SR} + n_s(\omega)\Delta l_1)\} d\omega \quad (5)$$

として得られ、フーリエ変換することで得られるスペクトルは、

$$F[I_{S1}(\tau)] \propto |e_i(\omega)t_{S1}|^2 r_M r_{S1} \times \exp[i\{\omega\tau - k(n_0 r'_{SR} + n_s(\omega)\Delta l_1)\}] \quad (6)$$

となる。 r_{S1} は界面 S1 における振幅反射率である。

ここで各界面による反射パワースペクトルを厳密に求めるにはそれぞれの以下の補正式を用いなければならない。

$$P_{S0}(\omega) = \frac{|F[I_{S0}(\tau)]|^2}{|F[I_0(\tau)]|}, \quad (7)$$

$$P_{S1}(\omega) = \frac{|F[I_{S1}(\tau)]|^2}{|F[I_0(\tau)]|}. \quad (8)$$

また、屈折率 $n_s(\omega)$ が周波数に依存しないと仮定すれば、界面 S0 と界面 S1 による強度反射率はそれぞれ、

$$|r_{S0}|^2 = |r_M|^2 \frac{|F[I_{S0}(\tau)]|^2}{|F[I_0(\tau)]|^2}, \quad (9)$$

$$|r_{S1}|^2 = |r_M|^2 \frac{|F[I_{S1}(\tau)]|^2}{|F[I_0(\tau)]|^2} \quad (10)$$

で得ることができる。

次に、(4) 式の位相部分を $\phi_{S0}(\omega)$ 、(6) 式を $\phi_{S1}(\omega)$ と置くと、界面 S0 と界面 S1 によって構成される層の光路長 $n_{S1}\Delta l$ は、

$$n_{S1}\Delta l = -c \left\{ \frac{d\phi_{S1}}{dk} - \frac{d\phi_{S0}}{dk} \right\} \quad (11)$$

で求めることができる。

Fig. 1 に示す実験系にて断層計測と空間分解スペクトル計測を同時に行った。光源はスーパーミネッセントダイオード（中心周波数：193.9 [THz]、FWHM: 9.0 [THz]）と周波数 229.141 [THz]（周波数カウンタ計測による）の DFB-LD を使用した。この DFB-LD は断

層画像に含まれる光学干渉計の揺らぎを補正するために用いた。SLD と DFB-LD の強度比率は 5.3 [dBm] : -15.5 [dBm] とし、低コヒーレンス干渉計測法によって得られるトモグラフィ画像に単色光の成分が影響しないよう注意した。試料には Fig. 2 に示す光路長 220 [μm] のガラス板の両端に金を蒸着させた光共振器を使用した。

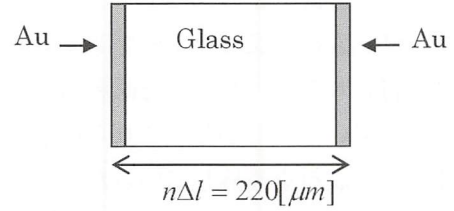


Fig. 2 Structure of resonator (Au-coated glass plate)

Fig. 3 に測定によって得られた試料の位置に平面反射鏡を設置した場合の自己相関出力の干渉波形を、Fig. 4 に試料の断層画像を示す。なお、どちらも一定値のベースラインを差し引いた結果である。Fig. 3 は参照鏡と平面反射鏡との干渉出力であるため干渉ピークがただ一つである。Fig. 4 は複数の干渉ピークが確認できるが、R1 が界面 S0、R2 が界面 S1、R3 以降が多重反射による干渉ピークである。それぞれの干渉ピークの間隔が試料の光路長に対応しており、平均で光路長 223 [μm] が得られた。また、式 (1)、式 (3)、式 (5) より、トモグラフィ画像からも界面 S0 と界面 S1 による強度反射率を算出することができる。Fig. 5、Fig. 6 は Fig. 3、

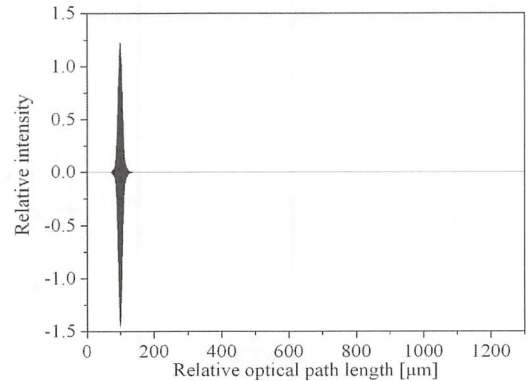


Fig. 3 The measured tomographic image of mirror-sample

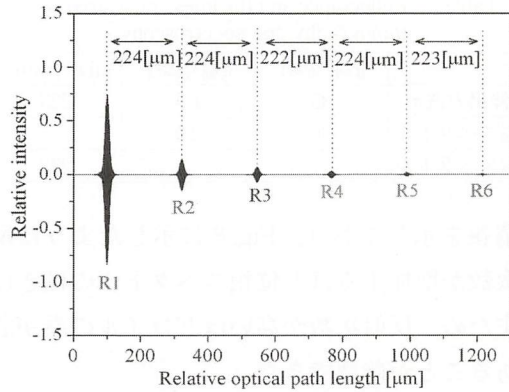


Fig. 4 The measured tomographic image of Au-coated cavity

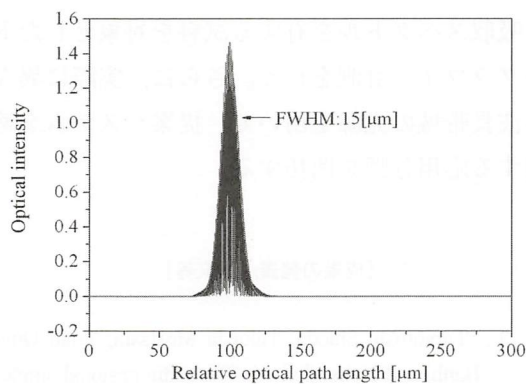


Fig. 5 The absolute reflection profile of Fig. 4

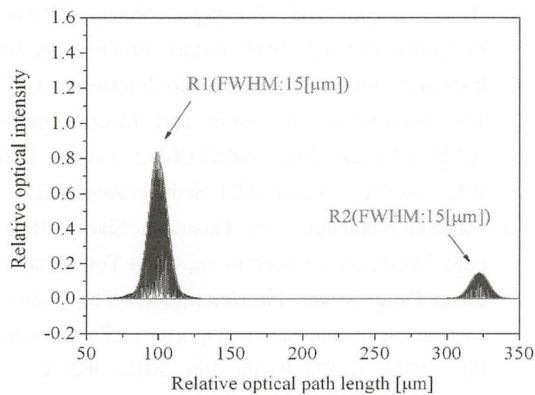


Fig. 6 The absolute reflection profile of Fig. 5

Fig. 4 の反射ピークの絶対値を取ったものであるが、包絡線を検波してその面積を比較した結果、界面 S0 による強度反射率は 35%，界面 S1 による強度反射率は 1.9% が得られた。

Fig. 7 に Fig. 3 のフーリエ変換した結果（光源のパワースペクトル）と、Fig. 4 の R1 と R2

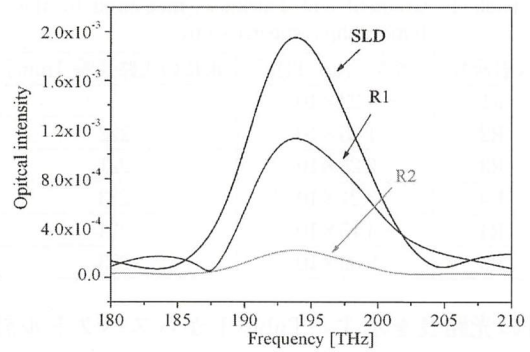


Fig. 7 The power spectrum of SLD, reflected light from R1, and R2

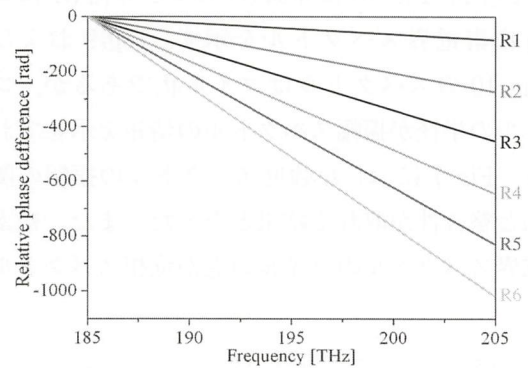


Fig. 8 Relative phase spectra of each peak

をそれぞれ個別に切り出し、それ以外を 0 置換したものをフーリエ変換した結果（界面 S0 と界面 S2 による反射パワースペクトル）を示す。干渉画像で得られた振幅の大小関係と、パワースペクトルの振幅の大小関係の整合性が取れていることが確認できる。また、(9) 式、(10) 式から界面 S0、界面 S1 による強度反射率を得ることができ、 $|r_{S0}|^2$ と $|r_{S1}|^2$ はそれぞれ 36% と 2.0% であった。

また、Fig. 8 に Fig. 4 に示した試料の断層画像の各ピークを切り抜きその他を 0 置換したものを個別にフーリエ変換した結果を R1 から R6 までまとめて示す。反射次数が増加すると位相スペクトルの直線の傾きが負の方向に大きく傾いているが、これは測定開始位置からの群遅延の情報を表しており、それぞれの傾きの差を求めることで試料の光路長を求めることができる。Table 1 に Fig. 8 に示した位相スペクトルの傾きと、(11) 式によって計算した試

Table 1 Gradient and Thickness measured by the tomographic spectroscopy

反射次数	傾き [rad/THz]	前後の光路長差 [mm]
R1	-4.22×10^{-12}	
R2	-1.35×10^{-11}	222
R3	-2.28×10^{-11}	221
R4	-3.21×10^{-11}	223
R4	-4.15×10^{-11}	224
R6	-5.09×10^{-11}	223

料の光路長を示す。Table 1 からスペクトル計測によって試料の光路長は平均 223[μm] が得られた。

Fig. 9, Fig. 10 に界面 S0 および界面 S1 による複素電界スペクトルを示す。Fig. 9 および Fig. 10 のスペクトルはコイル状であるが、コイルの半径が振幅スペクトルの情報を示しており、Fig. 7 に示した強度スペクトルの振幅の関係と整合性が取れる結果となった。また、複素電界スペクトルのコイルの巻が位相スペクトル

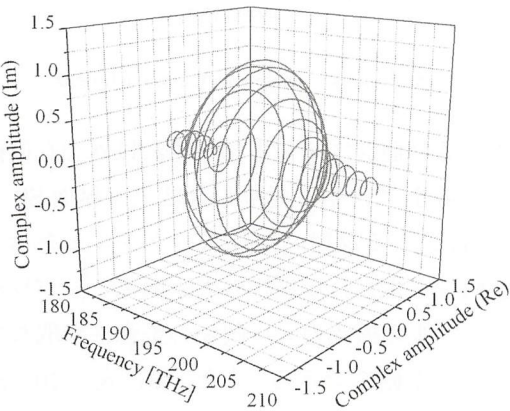


Fig. 9 Complex electrical spectrum of R1

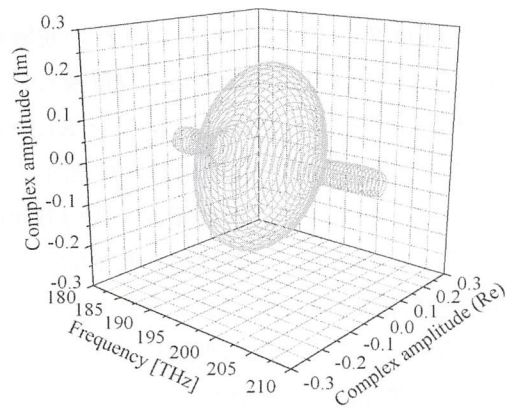


Fig. 10 Complex electrical spectrum of R2

Table 2 Reflectance and thickness measured by tomography and spectroscopy

	$ r_{sol} ^2$ [%]	$ r_{sol} ^2$ [%]	nDI [mm]
干渉出力波形	35	1.9	223
振幅スペクトル	36	2.0	
位相スペクトル			223

の情報を示しており、Fig. 8 に示したように反射次数が増加するほど位相スペクトルの傾きは増すため、反射次数が高いほどコイルの巻が急であることが確認できた。

[今後の研究の方向, 課題]

吸収スペクトルを有する試料を対象としたトモグラフィー計測を行う。さらに、実際に異なる波長帯域の光源を用いて、提案システムを適用する応用分野を開拓する。

[成果の発表, 論文等]

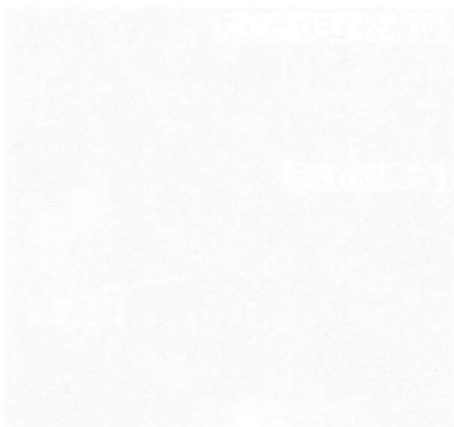
1. Tatsutoshi Shioda, Takashi Morisaki, Tuan Quoc Banh, and Kohei Suzuki, "Two-dimensional single-shot tomography using a virtually imaged phased array and a spatial phase modulator," Appl. Opt. Vol. 51, no. 21, pp. 5224-5230 (2012).
2. Kohei Suzuki and Tatsutoshi Shioda, "Range Expansion of Single-Shot Surface Profilometry by Installing Optical Resonator into Interferometer," The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) Pacific Rim (IQEC/CLEO Pacific Rim 2011) 3620-CT-3 Aug. 2011, Sydney, Australia.
3. Masaya Sakatsume and Tatsutoshi Shioda, "Spatially Distinguished Spectroscopy and Tomography using Time-domain Interferometer," The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) Pacific Rim (IQEC/CLEO Pacific Rim 2011) 3620-CT-2 Aug. 2011, Sydney, Australia.
4. 坂詰将也, Quoc Tuan Banh, 塩田達俊, "トモグラフィック分光計測法の提案と周波数補正による精度向上" 2012 年春季 第 59 回 応用物理学関係連合講演会, 18a-B9-3, 2012 年 3 月 18 日, 早稲田大学.
5. Quoc Tuan Banh, 鈴木康平, 木村宗弘, 塩田達俊, "Development of Tunable-Liquid Crystal Resonator for Frequency Comb Interferometry" 2012 年春季 第 59 回 応用物理学関係連合講演会, 18a-B9-4, 2012 年 3 月 18 日, 早稲田大学.
6. Banh Quac Tuan, 鈴木康平, 木村宗弘, 塩田達俊,

“Utilization of an optical tunable resonator for expanding the emasurement range of a single-shot surface profilometry and tomography”, 光波センシング技術研究会, LST48-26, 2011 年 12 月 7 日, 東京理科大学 (森戸記念館).

7. 鈴木康平, 塩田達俊, “可変光共振器によるシングルショット干渉計の距離計測範囲の拡大” 日本光学

会年次学術講演会 (Optics & Photonics Japan 2011) 29AF7, 2011 年 11 月 29 日.

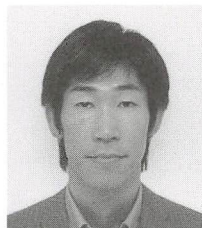
8. 鈴木康平, 塩田達俊, “干渉次数判別による複数次数を利用した形状計測範囲の拡大”, 光波センシング技術研究会, LST47-9, 2011 年 6 月 14 日, 東京理科大学 (森戸記念館).



近赤外画像計測による睡眠中の非拘束眼球運動検出

Unrestricted eye movement detection employing infrared imaging during sleep

2011004



研究代表者

立命館大学 理工学部
ロボティクス学科

准教授

下ノ村 和 弘

〔研究の目的〕

近年の高ストレス、24時間型社会化から、睡眠に関する悩みを抱える人が増加しており、日本では、成人の5人に1人が睡眠になんらかの不満をもつといわれている。さらに、これらの睡眠障害が引き起こす日中の注意低下が重大な事故の要因となり得ることが指摘されている。従来より用いられてきた睡眠状態の検査法であるポリグラフ検査では、頭部や顔部に多数の電極の装着が必要であり、専門の施設において専門家のもとで実施することが必須であるが、普段の睡眠状態を日常的に評価するために、在宅で簡便に利用可能な睡眠状態評価技術が求められている。

睡眠状態評価に必要な生体情報のうち、心拍や呼吸、体動については、非拘束で比較的簡便に計測できる技術が開発されている。これに対して、睡眠中の眼球運動は、電極等の装着なしに非拘束で検出することは極めて難しく、今までほとんど試みられていない。睡眠中は目を閉じるため検出対象の眼球が露出しないことから、画像により非接触で眼球運動を計測するシステムは利用できない。さらには、睡眠中に顔の向きや位置が様々に変化し得ることも問題を困難にしている。

本研究では、被験者の頭部周囲に、近赤外照明とカメラを設置し、閉眼時の眼球運動を画像から顔表面の動きとして検出する方法を提案す

る。また、画像計測による頭部姿勢の検出と照明および撮影方向の制御により、頭部の姿勢によらず、瞼の小さな動きを安定して検出できることを目指す。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、まず、設置したカメラにより顔正面の画像が撮影できると仮定した場合、すなわち睡眠中の対象者の頭部がほとんど動かないことを仮定した場合に、画像解析により眼球運動を検出するアルゴリズムを構築した。

図1に、本研究で用いた実験環境の様子を示す。実験は暗室を用いて、一般的な睡眠中の環境を模した薄暗い環境で行った。このような環境でも解析可能な質の画像を取得するために、近赤外帯域のLEDランプを照明に用いた。カメラは、IRカットフィルタを装着していな

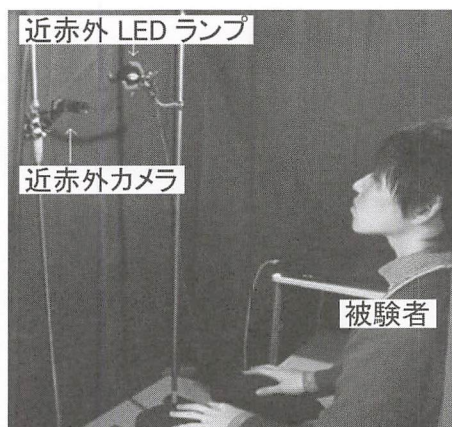


図1 実験環境

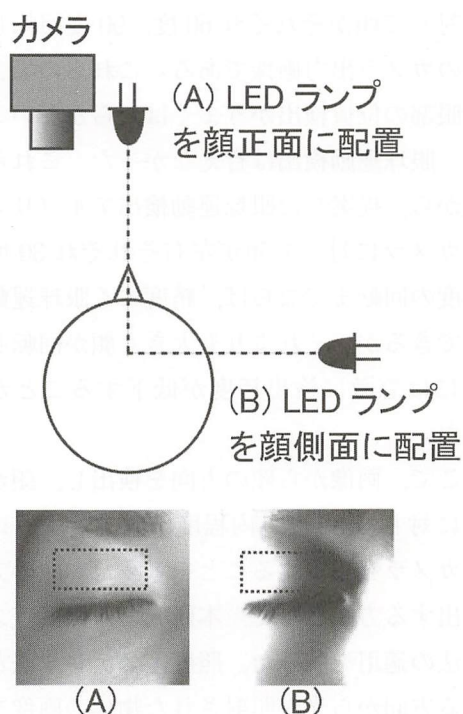


図2 カメラおよび近赤外 LED ランプの配置

い CMOS カメラを用いた。被験者は椅子に着座しているが、照明やカメラとの相対的な位置、姿勢は横になって寝ている際と同じになるようにカメラ等を設置した。

図2に、カメラおよび近赤外 LED ランプの配置を示す。カメラは被験者の顔を正面からとらえられるように設置した。これに対して、近赤外 LED ランプは、顔正面に向けて設置する場合と、顔側面から照らす場合とを比較した。(A) および (B) はそれぞれ、顔正面に向けて設置した場合、顔側面に向けて設置した場合のカメラ出力画像である。一般的な画像の品質の観点からは、(A) の正面から照明を当てた場合の方がよい画像が取得できている。しかしながら、眼球運動検出を目的とする場合には、その特徴が明確に現れる画像の方がよい。後に述べるように、本研究では、眼球運動による瞼表面のわずかな動きを画像処理によりとらえる。瞼表面は丸みを帯びているため、(B) のように側面から照明を当てた場合には、照明が直接当たった部分と影になる部分が生じ、その境界では大きな濃度変化がみられる。眼球が動き瞼表面

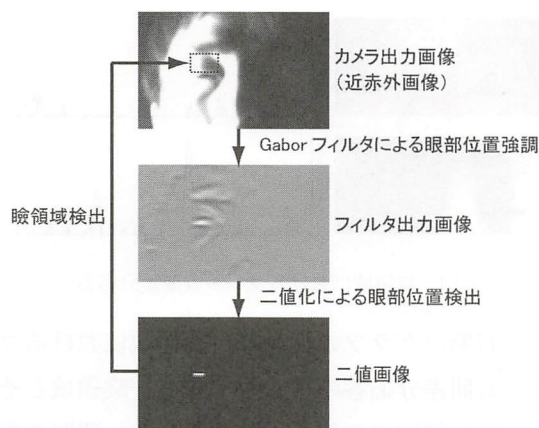


図3 瞼領域検出のアルゴリズム

形状が変化した場合、この高い濃度差をもつ部分が動くため、感度良くこれを検出できる。したがって、本研究では (B) のように顔側面から照明をあてることを選択した。

カメラでとらえた被験者の顔全体の画像の中から、まず瞼領域を検出する必要がある。図3にこのための手順を示す。カメラ出力画像に対して、まず、水平方向に伸びた形状のガボールフィルタを適用することで、閉じた眼の部分に対応する黒い水平方向の線分を強調する。フィルタ出力画像において、眼の部分が白く示され、抽出されていることが分かる。さらに二値化処理により眼の部位を特定する。このようにして検出された眼部のすぐ上の領域が瞼に対応するため、この画像領域を切り出して後続の処理を行う。続いて、この瞼領域においてフレーム間差分計算を行う。これにより、眼球が動いていない場合はほとんど変化がないが、眼球が動いている場合には、前述のようにこの領域が大きな濃度差をもっていることから、大きな応答が得られる。瞼領域のフレーム間差分応答を領域内で積分することで、この値を眼球運動の有無の指標とした。図4に、瞼領域におけるフレーム間差分応答の積分値のフレームごとの変化の例を示す。本研究で用いた顔側面からの照明を用いた場合 (B) に加えて、比較のために、照明を顔正面から当てた場合の結果も (A) に示している。太線の丸は瞼領域を、細線の丸は比較のために指定した瞼ではない領域を示してい

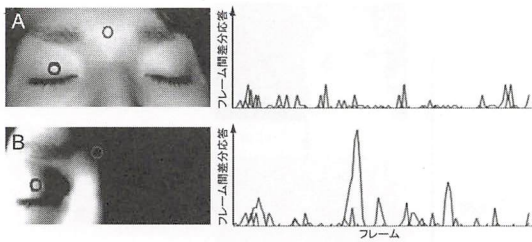


図4 眼領域におけるフレーム間差分応答

る。右側のグラフの縦軸は、眼領域におけるフレーム間差分応答の積分値である。眼領域とそうでない領域での値を重ね描きした。照明を顔正面から当てた(A)の場合では、もともと眼領域に大きな濃度変化がないため、フレーム間差分の結果は眼領域ではない場所で計算したそれ(バックグラウンドノイズ成分と見なせる)とほとんど見分けがつかない。一方、照明を顔側面から当てた(B)の場合では、眼球運動時に大きな応答が見られ、バックグラウンドノイズとの弁別が容易になっている。このような値に対してしきい値処理を施すことで、眼球運動の検出を行った。

図5に、眼球運動検出の結果を示す。(A)は、カメラを顔の正面に配置した場合である。左側のカメラ出力画像を、右側のグラフは100フレーム間(およそ3秒間)の眼球運動検出結果を示す。図中、4回の眼球運動が検出されているが、顔がカメラに対して正面を向いている場合には正確に眼球運動を検出できた。さらに、カメラに対して顔の方向が変化した場合について検討した。(B)は、カメラに対して顔が30度回転した場合の結果である。図中4回の眼球運動が検出されているが、この場合にも検出結果は正確であった。(C)および(D)は、カメ

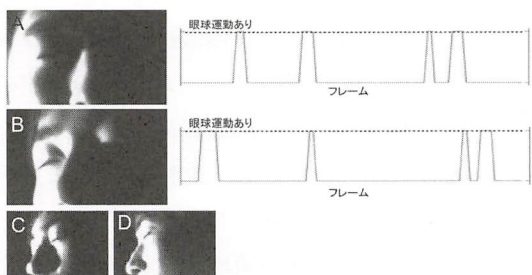


図5 眼球運動検出結果

ラに対して顔がそれぞれ60度、90度回転した場合のカメラ出力画像である。これらの場合には、眼部の位置検出がうまくはたらかないことから、眼球運動検出は行えなかった。これらの実験から、提案した眼球運動検出アルゴリズムは、カメラに対して顔が左右それぞれ30度以内程度の回転までならば、精度よく眼球運動を検出できるが、それよりも大きく顔が回転した場合には急激に検出精度が低下することが分かった。

そこで、画像から顔の方向を検出し、顔がカメラに対して30度以内程度に収まるように複数のカメラを設置することを考えた。顔の方向を検出する方法として、本研究では照度差ステレオ法の適用を試みた。照度差ステレオ法とは、異なる方向から光が照射された物体の画像を複数枚利用して物体面の方向を推定する方法である。物体表面の明るさは、その面の光源に対する方向によって変化する。このことを利用して、3方向以上の異なる方向の光源のもとで撮影された物体表面の明るさからその面の方向を推定する。推定された面の形状から鼻先の向く方向を推定し、顔の向きとして利用することを考えた。これは、複数のカメラおよび複数の照明を顔のまわりに設置することを想定し、顔に対して異なる方向に設置した複数の照明を切り替えて顔画像を撮影することで、照度差ステレオ法が利用できると考えたためである。

図6に、照度差ステレオ法による顔方向検出の実験結果を示す。(A)は、顔正面にカメラを設置し、照明を左右それぞれ30度の方向、および正面の3方向から順にあてながら撮影し

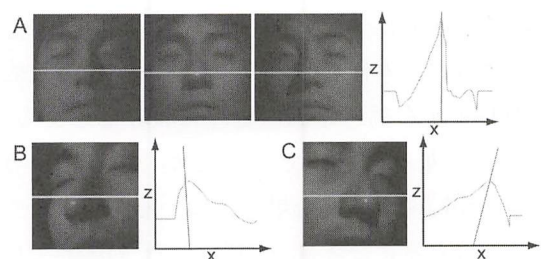


図6 照度差ステレオ法による顔方向の推定

た画像である。これら3枚の画像から照度差ステレオ法により推定した顔表面の形状を右側のグラフに示す。画像上で白い線で示されたラインのプロファイルである。顔形状を正確には復元していないものの、おおよそ鼻の形状は分かる。(B) および (C) は、カメラに対して顔をそれぞれ左右に30度回転させた場合の結果である。これらの場合も同様に、顔全体の形状は正確には推定できていないが、鼻の方向を推定することはかろうじて可能である。顔をカメラに対して60度回転させた場合では、表面形状の推定結果は著しく不正確であった。照度差ステレオ法による形状推定は、光源位置の設定に非常に敏感であり、これに誤差があると形状推定結果は大きく変化する。睡眠時の顔の方向の推定において、カメラや照明は固定できるとし

ても、測定対象者が動くことで相対的な位置を正確に知ることは困難であると考えられる。これらの実験より、顔方向の推定には別の手法を用いる必要があると結論した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、カメラに対して正面に近い向きで顔画像が撮影できる条件では、正確に眼球運動を検出することができた。今後、ポリグラフ検査で用いられる眼球運動検出方法との比較による検証が課題である。また、カメラに対する顔の方向を推定することで、頭部姿勢の変化に対応できる可能性があるが、そのために適切な手法を選択し実験により利用可能性を検証することは今後の課題である。

新規光造影剤を用いた早期乳癌の非侵襲近赤外蛍光検出法の開発

Development of a near-infrared noninvasive detection of early breast cancer tumors
using a novel contrast agent

2011009



研究代表者	(独) 理化学研究所 生命システム研究センター	チー ム リー ダー	神 隆
研究分担者	(独) 理化学研究所 生命システム研究センター	研究員	塚 崎 克 和
研究分担者	(独) 理化学研究所 生命システム研究センター	特別研究員	中 根 優 子

[研究の目的]

生体を個体レベルで非侵襲的にイメージングする方法として、MRI（核磁気共鳴画像法）、X 線 CT、ET（ポジトロン断層法）等が悪性腫瘍の検出や血管造影など臨床画像診断法としてすでに実用化されている。しかし、上記の非侵襲イメージング法を早期癌腫瘍の検出や免疫応答や癌転移など生体内における動的な生命現象の解析に応用する場合には、空間分解能および時間分解能が問題となる。たとえば、MRI は比較的高い空間分解能（50 μm ）を有するが時間分解能が低いため、細胞レベルの生命現象をとらえるのは困難である。また、X 線 CT、PET では放射性同位体を含む造影剤による被爆の問題が避けられず、長時間にわたる生体現象の解析には適用できない。現在考えられる生体イメージング技術の中で、細胞レベルでの生命現象を非侵襲的に解析する方法としてあげられるのが、蛍光イメージングである。

生体での光特性として唯一高い組織透過性を示す光として知られているのが 700-1100 nm 付近の近赤外光（生体組織の光学窓）である。しかし依然近赤外光域は、ヘモグロビンなどによる吸収、自家蛍光があり、バックグラウンドノイズが高くなる領域である。そのため、より吸

収・発光効率の高い蛍光プローブの開発と、その波長域を長波長側に拡張することが不可欠である。上記技術開発によって、これまで不可能であった癌やウイルス感染を細胞レベルでの超早期診断への可能性が開ける。また、生体蛍光イメージング法は、MRI や PET のように大型でかつ施設の整備や維持管理に多額のランニングコストを必要しないので、非常に利便性、汎用性が高く、次世代の非侵襲生体イメージング技術として臨床医学および基礎生命科学分野で活躍する期待は大きい。本研究課題では、従来の二光子顕微鏡では計測不可能な生体深部（ $\sim 1\text{ cm}$ ）を高い空間分解能（細胞レベル）で近赤外蛍光イメージングするための高輝度近赤外蛍光プローブおよび近赤外蛍光イメージング装置の開発をおこなった。

[研究の内容、成果]

本研究課題では、近赤外蛍光生体イメージングを実用化するため基礎研究として以下の研究項目を実施した。1) 近赤外波長領域（700-1100 nm）ににおいて励起・発光特性を持つ高輝度蛍光プローブの開発：発光性金クラスター（図 1）、2) 高輝度半導体量子ドットへの生体分子修飾による近赤外蛍光プローブの開発、3)

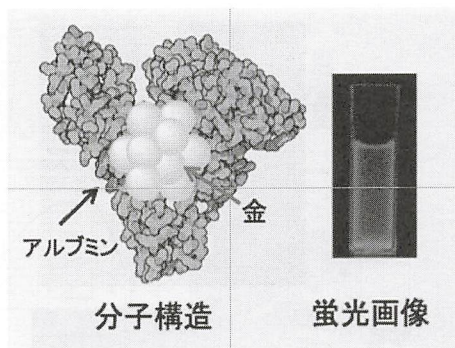


図1 近赤外蛍光発光金クラスター

Anti-HER2 抗体修飾（乳癌プローブ）、RNA、DNA 修飾、Anti-TLR（免疫細胞特異的プローブ）、4) 生体深部を観察できる近赤外励起（半導体レーザー）による近赤外蛍光イメージング装置の開発：蛍光検出波長 800-1500 nm。その結果、発光性金クラスターを蛍光プローブとして用いて、ヒト乳がん細胞（KPL-4）を移植しヌードマウスの乳がん腫瘍（直径約 5 mm）の近赤外蛍光イメージングに成功した。発光性金クラスター蛍光プローブの合成方法及びこれを用いた乳がん腫瘍（直径約 5 mm）の近赤外蛍光イメージングに関する研究成果が得られた。

1) 近赤外発光金ナノクラスターの開発

新規近赤外蛍光材料として、ヒトアルブミンを鋳型タンパク質とする蛍光性金ナノクラスターの合成方法を開発した。金のナノクラスターは、生理的緩衝液中非常に安定で、発光の量子収率が極めて高い（水溶液中で 2-20%）（図 2）。開発した近赤外発光金ナノクラスターは、アルブミンタンパク質中に形成されているため生体親和性が高く、抗体やリガンドなど様々な生理活性物質を修飾することが可能である。我々は同様な還元反応によって蛍光性の白金ナノクラスターも合成可能であることを確認した。

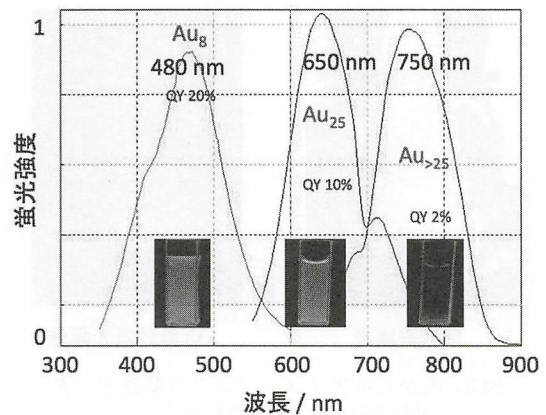


図2 可視、近赤外発光金ナノクラスターの蛍光スペクトル

2) 近赤外発光金ナノクラスターへの抗体修飾法の開発

アルブミン中に形成された金ナノクラスターに抗体を修飾するために、これまで2つの方法を検討した。第1の方法は、メルカプト酢酸により配位子交換をおこない、金ナノクラスターに表面修飾されるメルカプト酢酸のカルボキシル基に対して EDC などのカルボジイミドをクロスカップリング剤として抗体を結合させる方法である。この場合、配位子交換により金ナノクラスターの蛍光性が消失したため抗体修飾法としては不適であった。第2の方法としてアルブミンのアミノ酸残基のカルボキシル基に EDC カップリングにより抗体を結合させた。これによって、抗体の活性を維持したまま金ナノクラスターへ抗体を修飾する方法が確立できた。

3) 抗体修飾金ナノクラスターでのモデルマウスによる乳癌腫瘍の蛍光イメージング

乳癌細胞表面に過剰発現している HER2 受容体に対する抗体を修飾した金ナノクラスターをプローブとして、ヒト乳癌移植マウスにおいて腫瘍の近赤外蛍光イメージングに成功した。図 3 は、直径 5 mm 程度のヒト乳癌腫瘍を蛍光波長 700 nm の近赤外領域で蛍光イメージングした結果である。金ナノクラスターはマウス尾静脈より約 100 ml（濃度 1 mM）を注入し、3

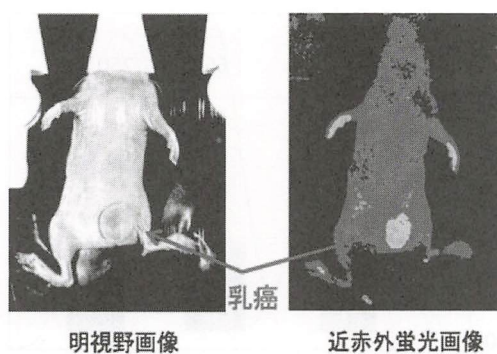


図3 乳がん蛍光イメージングの基礎データ
(励起 530 nm, 蛍光 700 nm)

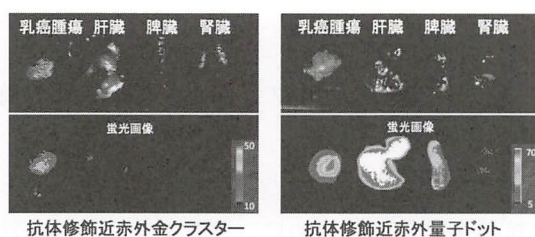


図4 近赤外金クラスターの乳がん腫瘍集積性

時間後に撮影した。この結果から、抗 HER2 抗体修飾金ナノクラスターが乳癌腫瘍の近赤外蛍光イメージング蛍光プローブとして有効であることが明らかになった。ここで、注目すべきは、金ナノクラスターの場合、量子ドットなどに比べ肝臓への集積が少なく腫瘍特異的な集積がみられたことである（図4）。

以上のように、早期乳癌の非侵襲近赤外蛍光イメージングのための新規光造影剤である近赤外発光金ナノクラスターの開発をおこない、動物実験レベルでの乳癌腫瘍の生体イメージングの実証試験に成功した。近赤外発光プローブはアルブミン中に形成される金ナノクラスターであり、ヒトアルブミンを使用しても合成することが可能である。抗体やリガンドなどの生体分子の修飾が容易なためテーラーメイドな近赤外発光分子プローブとして有望である。また、本研究課題では、組織深部（～1 cm）観察のため発光波長 700 nm から 1550 nm まで計測可能な近赤外蛍光実体顕微システム（図5）の開発をおこなった。この蛍光イメージングシステムでは、市販の2光子蛍光顕微鏡 in vivo イメー

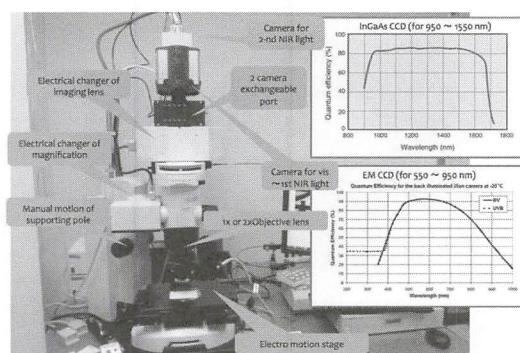


図5 近赤外蛍光実体顕微鏡システム（700-1550 nm）

ジング装置では実現が困難な組織深部での細胞イメージングが可能である。

[今後の研究の方向，課題]

ヒトを対象とした生体イメージングにおいては、プローブの生体毒性（免疫毒性）、蛍光輝度の持続性（安定性）の問題を詳細に検討する必要がある。現在、生体毒性の低い近赤外蛍光プローブは有機系の色素を除くと限られており、ヒトへの応用を考えた場合、近赤外発光性金ナノクラスターは非常に有望なプローブ材料である。今後、近赤外発光金ナノクラスターを生体イメージング用蛍光プローブとして実用化し、ヒト生体での早期乳癌検出システムの開発をすすめていく予定である。

最後に、本研究課題を遂行するにあたり研究助成をいただいた立石科学技術振興財団に深く感謝申し上げます。

[成果の発表，論文等]

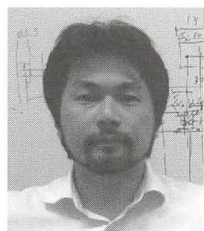
- 1) Y. Nakane, S. Sasaki, M. Kinjo, and T. Jin, "Bovine serum albumin-coated quantum dots as a cytoplasmic viscosity probe in a single living cell", *Anal. Methods*, 4, 1903-1905, 2012.
- 2) M. Ohmachi, Y. Komori, A. H. Iwane, F. Fujii, T. Jin, and T. Yanagida, "New fluorescence microscopy for simultaneous observation of 3D orientation and movement and its application to quantum rod-tagged myosin V", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 109, 5294-5298, 2012.

- 3) Yurika Saitoh, Nobuo Terada, Sei Saitoh, Nobuhiko Ohno, Takashi Jin, Shinichi Ohno, "Histochemical analyses and quantum dot imaging of microvascular blood flow with pulmonary edema in living mouse lungs by "in vivo cryotechnique", *Histochemistry and Cell Biology*, 137 (2), 137-51, 2012.
- 4) Q. Ma, Y. Nakane, Y. Mori, M. Hasegawa, Y. Yoshioka, T. M. Watanabe, K. Gonda, N. Ohushi, and T. Jin, "Multilayered, core/shell nanoprobe based on magnetic ferric oxide particles and QDs for multimodality imaging of breast cancer tumors", *Biomaterials* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.07.051>

空気圧人工筋の受動性を利用した頑健な外力・ 姿勢変化推定機構の開発

Development of the Estimation Mechanism of the External Force and Displacement of the
Joint utilizing the Passivity of the Artificial Muscle

20110111



研究代表者

大阪工業大学 工学部

講師

田熊隆史

〔研究の目的〕

ヒトや物体と接触するロボットに求められる機能のひとつは、対象者・対象物と常に接しながら力の調和をとって作業を遂行することである。力・姿勢計測において、これまで多くの研究では対象との接触面や接触による関節などの姿勢変化箇所にセンサを配置してそれらを直接測定してきた。しかしこの手法ではセンサに直接外力が加えられるためセンサの破損が避けられず、実用化が難しい。

申請者はこれまで、マッキベン型空気圧人工筋（以下空気圧人工筋）によって駆動する二脚ロボットやロボットハンドを扱ってきた。空気圧人工筋は圧縮空気の供給弁を閉気後、外力を加えてアクチュエータを伸展させると、空気を給排気していないにもかかわらず内部の圧力が受動的に変化するという特徴を有する。申請者は空気圧人工筋のこのような特徴に着目し、人工筋で駆動するロボットハンドに外力を加え、それに伴う空気圧人工筋内の圧力変化から外力および変化した各関節の角度の推定を試みた。この結果、一部の関節の姿勢については推定可能であったが、その他の関節および外力は十分な精度で推定できなかった。

正確な推定が難しい原因の一つは、圧力変化から外力や変化した関節角度を求めるモデルが

適切でなかったことであり、もう一つは加えた力の影響が人工筋の圧力変化にダイレクトに伝えられなかった（バックドライバビリティが低かった）ことが考えられる。平成23年度はバックドライバビリティの高い関節機構の設計開発および、圧力と外力・関節に関するより正確なモデルの導出を目指した。

〔研究の内容・成果〕

正確なモデルを導出するにあたり、平成22年度で扱っていた多関節機構ではモデルが複雑になることが分かった。そこで対象を、1関節を拮抗配置した空気圧人工筋で姿勢維持する機構に変更した。またバックドライバビリティ向上のため新たに関節機構を設計し、小さい外力であっても空気圧人工筋が伸展できる、不感帯の小さい機構を試作した（図1参照）。

人工筋の圧力と外力・関節確度変化の関係については、平成22年度はニューラルネットを用いたモデルや、線形近似したモデルが考案された。しかし両モデルとも正確な外力や関節角度推定には至らなかった。そこで厳密な非線形モデルを構築し、そこから圧力と外力・確度の関係を導いた。図2左に力を加える前の関節の状態、右に力を加えたあとの関節の状態を示す。図2右における両人工筋の幾何拘束条件、力の

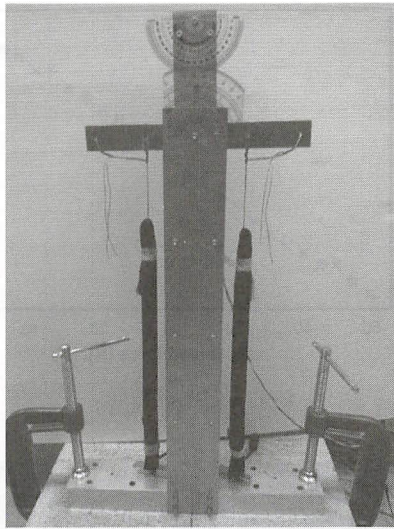


図1 試作した1関節機構

釣り合い、および力を加える前後での両人工筋におけるボイルの法則（圧力と体積の積一定）を用い、外力 F と角度 θ を次の式のように、人工筋内の圧力で表現した。

$$F = \frac{rk_R(l_{R0}L_R^2 - l_{R0}^3)\cos(\theta - \alpha_R)}{r_F(L_R^2 - 3l_{R0}^2)}(P_{R0} - P_R) - \frac{rk_L(l_{L0}L_L^2 - l_{L0}^3)\cos(\theta + \alpha_L)}{r_F(L_L^2 - 3l_{L0}^2)}(P_{L0} - P_L)$$

$$\theta = \sin^{-1}(\xi)$$

$$\xi = \frac{l_{L0}^2L_L^2 - l_{L0}^4}{2rh(L_L^2 - 3l_{L0}^2)}\left(\frac{P_{L0}}{P_L} - 1\right) + \frac{l_{R0}^2L_R^2 - l_{R0}^4}{2rh(L_R^2 - 3l_{R0}^2)}\left(\frac{P_{R0}}{P_R} - 1\right) + \frac{l_{R0}^2 - l_{L0}^2}{4rh}$$

ここで l_{L0} , l_{R0} はそれぞれ図2左側、右側の人工筋の、力を加える前の長さを表す。また L_L , L_R は両人工筋を覆うナイロンスリーブの繊維長, k_L , k_R はそれぞれの人工筋固有の値を表す。 h は土台から空気圧人工筋上部付着位置までの高さ, r , r_F はそれぞれ、回転関節から筋付着位置および外力を加える位置までの距離（モーメントアーム長）を表す。また P_{L0} , P_{R0} は外力を加える前の左側・右側人工筋内の圧力を表し, P_L , P_R は外力を加えた後の両圧力を表す（図2参照）。 α_L , α_R は人工筋の傾きであり、以下のように表される。

$$\alpha_L = \tan^{-1}\left(\frac{r - r \cos \theta}{h - r \sin \theta}\right)$$

$$\alpha_R = \tan^{-1}\left(\frac{r - r \cos \theta}{h + r \sin \theta}\right)$$

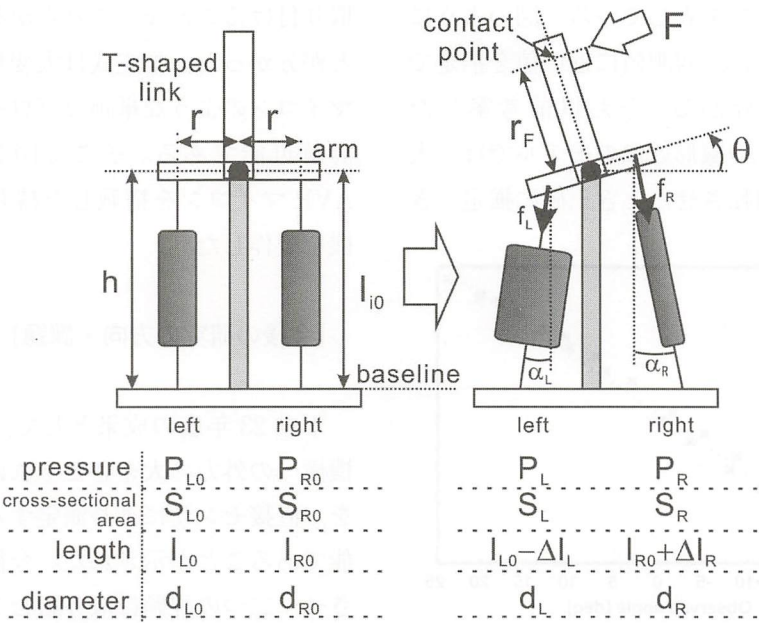


図2 外力を加える前後の人工筋の圧力、断面積、長さ、直径

これらの非線形式より、力を加える前後の圧力を測定することで外力および関節角度の計算は可能であることが分かる。しかし l_{L0} などの長さを正確に測定することは困難であるため、上式を以下のような式に置き換え、複数の観測結果から最小自乗法を用いて係数 $\beta_{\theta L}$, $\beta_{\theta R}$, $\beta_{\theta C}$ および β_{FL} , β_{FR} を求める。

$$\sin \theta = \beta_{\theta L} \frac{P_{L0}}{P_L} + \beta_{\theta R} \frac{P_{R0}}{P_R} + \beta_{\theta C}$$

$$F = \beta_{FL} \cos(\theta + \alpha_L)(P_{L0} - P_L) + \beta_{FR} \cos(\theta - \alpha_R)(P_{R0} - P_R)$$

ただし α_L , α_R は θ の情報が必要なため、最初に θ に関する推定式の係数 $\beta_{\theta L}$, $\beta_{\theta R}$, $\beta_{\theta C}$ を求め、その推定式を元に人工筋内の圧力値から α_L , α_R を計算して、係数 β_{FL} , β_{FR} を求める。

係数は 108 セットの観測値（外力、角度、外力を加える前および後の人工筋の圧力）から求めた。これにより得られた角度および力の推定式の精度を検証するために、更に 24 セットの観測値を用意し、推定式から得られた角度、力と実測値の比較を行った。比較結果を図 3 および図 4 に示す。各図とも横軸は観測した角度もしくは力を示しており、縦軸は推定した値を示している。図中の対角線は観測値と推定値が一致したときの点集合を表している。図のように角度および力ともに、観測値に近い値を推定できていることが分かる。なお以前考案したニューラルネットや線形近似のモデルでは、大きな力で関節を回転させたとき正確に推定でき

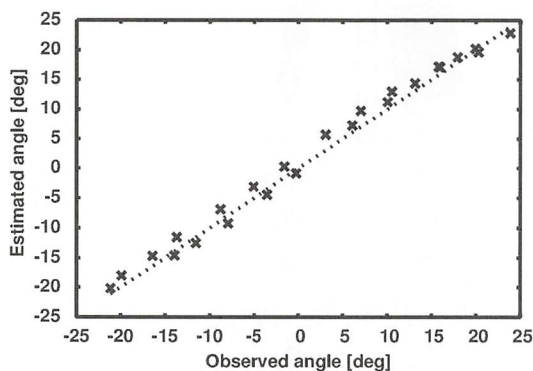


図 3 角度推定結果

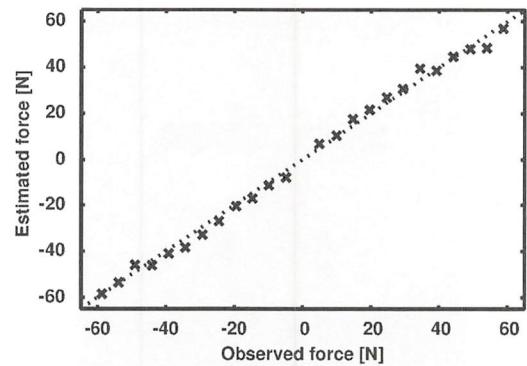


図 4 外力推定結果

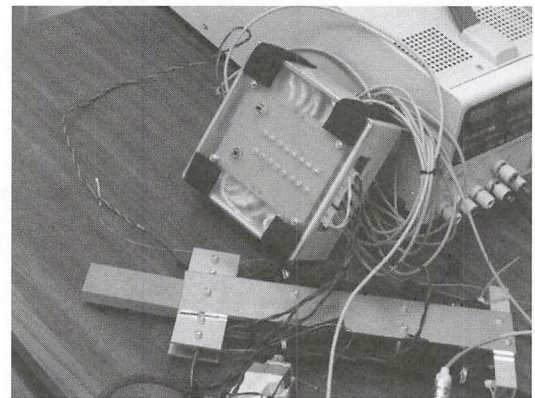


図 5 デモ機（ボックス内にマイコン搭載）

ないことも確認した。

以上の結果より、提案した外力およびそれに伴う関節角度変化の推定モデルを用いることで、外力の加わる接触点および関節に直接センサを取り付けることなくこれらが推定可能であることが分かった。推定式は大変単純なものであり、マイコンのような単純なプロセッサでも瞬時に計算可能である。そこで図 5 に示すような、AVR マイコンを搭載した持ち運び可能なデモ機を製作した。

[今後の研究の方向・課題]

平成 23 年度の成果として、一関節を有する機構への外力の大きさとそれによる関節の変化を、直接センサにより測定することなく推定可能であることが示された。今後は本研究を発展させ、二つの課題に取り組むことを考えている。一つはこの関節機構を用いて、未知物体の弾性

を推定することである。本研究で扱った関節機構は、外力およびそれにより受動的に回転した関節角度が推定可能である。よってこの関節機構を未知物体に押しつけて外力と関節角度を推定すれば、接触部にセンサを取り付けることなく弾性が推定可能であると考えられる。

もう一つ課題は、二つもしくはヒトと同様三つの関節機構に対して外力と関節角度の関係を求めることである。図2に示すように、本研究で扱った一関節機構では、力を加える向きがリンクに対して垂直でなければならなかった。そのため加えた力の大きさは推定できても、力の向きについては推定することができなかった。複数の関節を取り付け、垂直以外の成分でも関節が受動的に回転するようになれば、力の向きも推定可能であると考えられる。現在図6に示すような二関節機構を試作し、人工筋内の圧力と力の大きさ、関節角度に加えて力の大きさの関係を求めているところである。

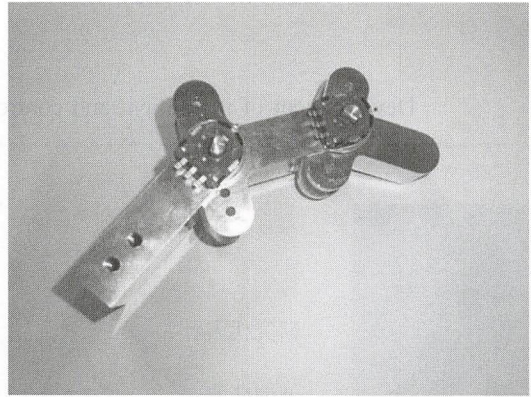


図6 二つの関節を有する機構

[成果の発表・論文等]

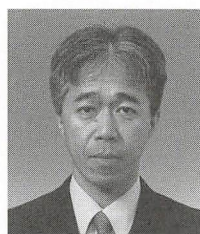
高峰 健, 田熊隆史, 増田達也:「拮抗筋駆動関節モデルを利用した対象物接触情報の推定」, 第56回システム制御情報学会研究発表講演会

K. Takamine, T. Takuma, and T. Masuda, "Robust Estimation of Contact Information for Recognition of the Physical Properties of an Object", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (投稿中)

小腸内圧計測制御装置の開発

Development of instrument and control device for a small intestine interal pressure

2011013



研究代表者

秋田大学 大学院
工学資源学研究科

教授

長 縄 明 大

共同研究者

日本原子力研究開発機構

研究主幹

岡 潔

〔研究の目的〕

小腸は、ダブルバルーン内視鏡やカプセル内視鏡によって全域検査が可能となり、各種小腸疾患の診断に用いられているが、癒着や狭窄が存在するイレウス症例では、使用が制限されることが多い。一方、イレウス症例の内科的治療法として、イレウスチューブを用いた方法があり、患部で詰まった消化物などを、チューブ先端部の側孔より吸引排出して治療をする。

研究代表者らは、このイレウスチューブと外径 1.1 mm の極細光ファイバ스코ープを組み合わせ、イレウス症例の患者に適用可能な小腸内視鏡を研究開発した。さらに、医師による臨床試験を通して、チューブ先端部付近の腸内観察が可能であることを確認した。しかし、これまでは腸管内の一部の映像のみが取得可能であったため、これを全域検査に拡張することができれば、まだ明らかになっていない病気を発見できることが期待されている。一方、消化器官の多くでは機能的疾患の診断や治癒の判定などの目的で内圧計測が行われているが、小腸においては十分に内圧を計測することはできなかった。

本研究では、体内に挿入されたイレウスチューブのバルーンが、腸管に直接接触することに着目し、(1) 腸管がバルーンを加圧することによるバルーン内圧変化を小腸運動として計測する装置、(2) この内圧計測結果を利用して、体内に挿入されたイレウスチューブを引き抜く

際、バルーン内圧を一定値に制御して全域検査を可能とする装置を開発することを目的とする。

〔研究の内容、成果〕

1. 内圧計測装置の開発と臨床計測

1.1 計測方法

イレウスチューブは、全長が約 3 m のシリコン製のチューブであり、その先端部には1つあるいは2つのバルーンが取り付けられている。使用する際は、鼻からチューブを挿入し、先端部が十二指腸を超えたあたりで、チューブ末端部のバルーン用バルブより、滅菌蒸留水を注入してバルーンを膨らませ、蠕動運動により深部に挿入する。本研究では、このチューブ用バルブに圧力センサを取り付け、バルーンが腸管により加圧される際の圧力変化をデータロガーで測定し、小腸運動の検討を行った。

1.2 臨床計測

健常ボランティア男性 3 名の被験者に、イレウスチューブ（クリエートメディック製 16 Fr）を、前方バルーンがトラエツト靱帯を超えたところで前後方バルーンに蒸留水を満たし留置した。その後、約 1 時間の安静の後、前後方バルーン用バルブに直結した圧力センサを用いて 30 分間の圧力を計測した。データ解析は体動などのノイズを考慮し、15 分間のデータを用い周波数分析を行った。

1.3 計測結果

3名の被験者とも1.0 kPa程度の振幅で約7.5秒周期(約8 cycle/分)の律動的な圧力波形を観測した。さらに、2名の被験者には、30~80秒間で最大1.5~2.0 kPaのゆっくりとした圧力変化が数回認められ、また後方バルーン(口側)から前方バルーン(肛門側)に伝播するような波形も観察した。この波形の伝播速度を計算したところ、伝播速度は0.4~1.5 cm/秒であった。

1.4 考 察

小腸運動は、自動運動(分節運動と振子運動)と蠕動運動に分類される。今回観察された圧力波形のうち、前者は小腸における自動運動の波形と考えた。小腸の蠕動運動の伝播速度は1-2 cm/秒であり、このことから後者の波形は蠕動運動の波形と考えた。これまで行われてきたwater perfusion法による小腸内圧測定を検討では、持続的な圧力変化を伴う蠕動運動に主眼が置かれてきた。しかし、本研究の手法では、腸管に密着したバルーンの圧力を捉えることができたため、より詳細に小腸運動を検討できる可能性があることがわかった。

2. 内圧制御装置の開発

2.1 制御の方法

本イレウスチューブ型小腸内視鏡では、体内に挿入されたイレウスチューブと光ファイバスコープを同時に引き抜く際に、バルーン内圧が一定値を保持するように制御を行い、挿入時に蠕動運動により手繰り寄せられた腸管を、一定の速度で開放しながら内視を行う方法を考えている。これを実現する方法として、チューブ用バルブに三方活栓を取り付け、さらに圧力センサと小型シリンジを接続し、計測したバルーン内圧が一定値になるようにシリンジを用いてバルーン内水量を調整する装置を開発した。

2.2 制御装置の構成

Fig.1に開発した小型シリンジを用いたバルーン内圧制御装置を示す。本バルーン内圧制

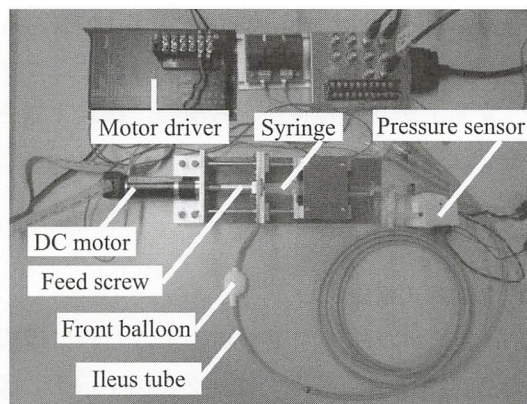


Fig.1 開発した内圧制御装置

御装置は、チューブ先端に2つのバルーンを有する親水性イレウスチューブ(クリエートメディック製16 Fr)、滅菌蒸留水をバルーンに注入するための医療用シリンジ(10 ml)、シリンジのプランジャを駆動するためのDCモータと送りねじ、バルーンからの圧力を計測するための圧力センサで構成されている。腸管からバルーンへ力が加わった場合、バルーン内圧変化として圧力センサが読み取り、AD変換器を介してPCにデータを取り込む。PCでは、バルーン内圧を一定値に保持するように制御演算が行われ、DA変換器を介してモータドライバへと駆動電圧が出力される。本装置では、モータと送りねじを用いて、シリンジのプランジャを引くことにより減圧し、押すことにより加圧して、バルーン内圧を調整することができる。

本研究では、過度にバルーンを膨らませることが無いように安全性に配慮し、容量が10 mlのシリンジを用いた。なお、イレウスチューブのバルーンには、あらかじめ約10 mlの蒸留水を注入し、定常圧力値が約15 kPaとなった状態を初期状態として性能検証の実験を行った。

2.3 装置のモデル化

制御系設計に必要な内圧制御装置の数学モデルは、ステップ応答から同定した。実験は、時刻1.0秒のときにPCから0.1 Vのステップ状の波形を、モータドライバへ出力することにより行った。実験結果より、初期圧力値13.1 kPaから徐々に圧力が上昇し、その後、時間の経過

とともに約 21.6 kPa に収束した。本研究では、ステップ応答が約 21.6 kPa に収束したことから、立ち上がり時の特性を考慮し、次式で表される 2 次遅れ系としてモデル化を行った。

$$P(s) = \frac{649.62}{s^2 + 4.98s + 7.64} \quad (1)$$

2.4 制御系の構成

Fig. 2 にバルーン内圧を制御するために構成した 2 自由度制御系のブロック線図を示す。図中の $P_a(z)$ が実際の内圧制御装置、 $P(z)$ が前節で求めたモデル伝達関数を離散化したもの、 $C(z)$ がフィードバックコントローラ、 $F(z)$ がフィードフォワードコントローラ（規範モデル）である。また、 u がモータドライバへの指令電圧、 y がバルーン内圧を示している。この制御系では、実際の制御対象に変動がなく（ $P_a(z) = P(z)$ ）、外乱も存在しない場合には、偏差 e は常にゼロとなるため、出力 y は規範モデル $F(z)$ の出力 v に一致し、理想的な目標値応答特性が得られる。しかし、制御対象に変動がある場合（ $P_a(z) \neq P(z)$ ）や外乱が存在する場合、偏差 e はゼロにならないため、フィードバックコントローラ $C(z)$ により、その影響を抑制する。

規範モデル $F(z)$ は、これまでに行った内圧計測の臨床結果より、過度に立ち上がりが速くならないように次式を離散化した伝達関数とした。

$$F(s) = \left(\frac{1}{s+1} \right)^2 \quad (2)$$

一方、 $C(z)$ は次式の PID コントローラ $C(s)$ を離散化した伝達関数とした。

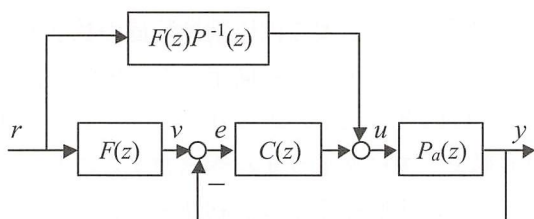


Fig. 2 2 自由度制御系のブロック線図

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{s + \alpha} \quad (3)$$

ここで、 $K_p=0.15$ は比例ゲイン、 $K_i=0.85$ は積分ゲイン、 $K_d=0.03$ は微分ゲインであり、試行錯誤により決定し、 $\alpha=10$ はローパスフィルタのカットオフ周波数であり、高周波域のノイズを考慮して決定した。なお、サンプリング周期は 50 ms とした。

2.5 目標内圧変更応答の検証

実際の臨床試験において、イレウスチューブを引き抜く際、その引き抜き速度が一定値になるように、医師がバルーン内圧値を変更し、腸管の把持状態を調整することが考えられる。そこで、初期内圧値 15 kPa に対して、実験開始 10 秒後に目標圧力値を 17 kPa に変更し、さらに、初期内圧値 15 kPa に戻す目標内圧値変更の制御実験を行った。Fig. 3 に実験結果を示す。図より、バルーン内圧値 y は、規範モデルの出力 v に良く一致していることがわかり、目標としていた応答特性を実現することができた。なお、目標内圧に対して $\pm 2.0\%$ 以内の高精度な整定性能を実現することができた。

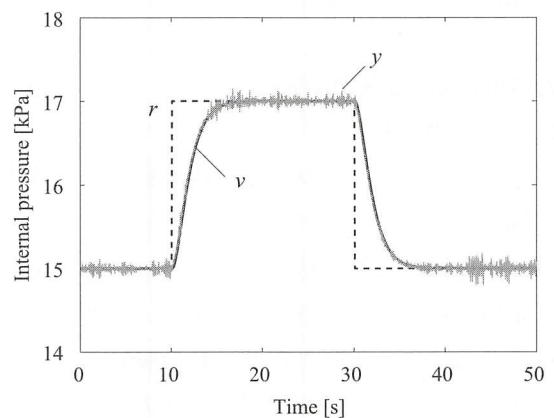


Fig. 3 目標内圧変更応答の実験結果

2.6 腸管モデル引き抜き試験の結果

Fig. 4 に腸管モデルからの引き抜き試験の様子を示す。腸管モデルは、レントゲン写真から幅 2 mm、高さ 3 mm の輪状ひだを 5 mm 間隔に配置し、腸管内径を 27 mm としてシリコンで製作した。なお、腸管モデルの内側には、小

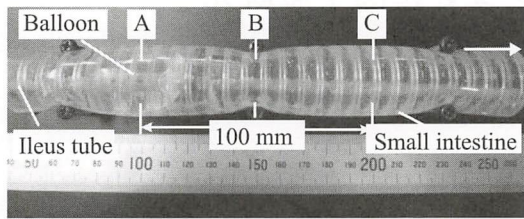


Fig. 4 腸管モデルを用いた引き抜き試験の様子

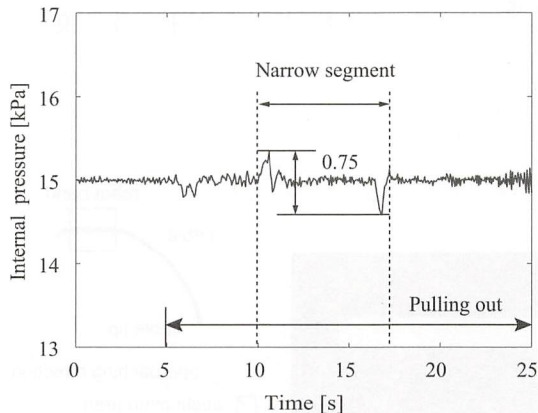


Fig. 5 引き抜き試験の実験結果

腸内の様子を再現するため、市販の人体用潤滑剤と水を塗布した。引き抜き試験は、図中のAの部分に設置されているバルーンに対して、AC間を約20秒の時間をかけて右方向に引き抜くように行った。なお、腸管からの加圧は、Bに示すようにプレート上にネジを用いて狭窄部を作ることにより再現した。

Fig. 5に内圧制御を行った場合の結果を示す。図より、初期状態15 kPaを保持された状態から、試験開始5秒後、引き抜きを開始したが、狭窄部を通過する際にも内圧変化量は、0.75 kPaまで抑えられており、制御を行わない場合(1.82 kPa)に比べて約40%まで抑制することができた。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、イレウスチューブのバルーン内圧を測定する方法について検討を行い、被験者3名に対して内圧計測を行った。その結果、小腸運動の特徴的なデータを計測することができたが、今後は、さらに臨床計測を行い、統計的なデータ解析を行う予定である。

また、バルーン内圧制御については、小型シリンジを導入した装置を開発し、その制御性能を示した。しかし、実際の現場では、医療機関ごとに異なるシリンジを用いると考えられるため、今後は、制御系に適応手法を導入し、性能向上について検討する予定である。

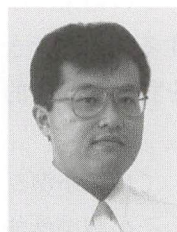
[成果の発表、論文等]

- 1) 佐藤憲康, 長縄明大, 関 健史, 岡 潔, 芳野純治: 小型シリンジを用いたイレウスチューブのバルーン内圧制御, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011, OS2-3-1~4 (2011.11).
- 2) Takeshi Seki, Akihiro Naganawa, Kiyoshi Oka, Noriyasu Sato and Junji Yoshino: Development of balloon pressure control device for observing the complete small intestine using an ileus tube type endoscope, 8th Asian Conference on Computer Aided Surgery (2012.05).
- 3) 成田賢生, 芳野純治, 乾 和郎, 若林貴夫, 小林隆, 三好広尚, 小坂俊仁, 友松雄一郎, 山本智支, 松浦弘尚, 鳥井淑敬, 森 智子, 長縄明大, 岡 潔: 医療用イレウスチューブを用いた小腸内圧測定による小腸運動の検討, 日本消化器病学会東海支部第116回例会 (2012.06).

带状物体のマニピュレーションに関する研究

Manipulation of Belt Objects

2011015



研究代表者

立命館大学 理工学部
ロボティクス学科

教授

平井 慎一

[研究の目的]

带状物体の操作は、電子機器産業や自動車産業をはじめとする産業で多く見受けられる。現在、带状物体の操作は人手に頼る部分が多く、その自動化が求められている。また、人間の生活空間の中には、多くの带状物体が存在している。人間の生活空間を支えるために、リネンサプライ産業やリサイクル産業では、多くの带状物体を扱っている。これらの操作は人手に頼る部分が多く、衛生面から自動化が望まれている。本研究では、带状物体の操作における力学を明らかにし、機械システムによる带状物体の操作を目指す。

[研究の内容・成果]

1. 带状物体の操作

本研究では、带状物体としてフラットケーブルの挿入を対象とする。フラットケーブルの挿入では、ケーブルの一端を把持し、他端の位置と姿勢を操作する。図1にフラットケーブルの例と、フラットケーブルの先端の操作を示す。本節では、ケーブルは鉛直面内で曲げ変形すると仮定する。

带状物体の操作が困難である原因の一つは、带状物体の形状のばらつきである。図2に、6本のフラットケーブルの静的な変形形状を示す。ケーブルの厚みは0.1 mm、幅は16.0 mm、線

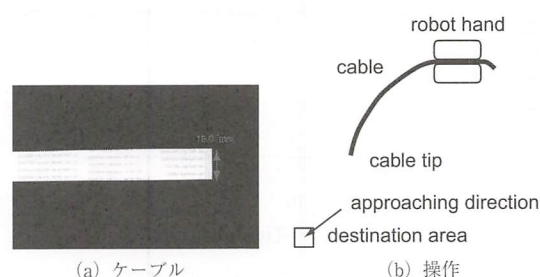


図1 フラットケーブル先端の位置と姿勢の操作

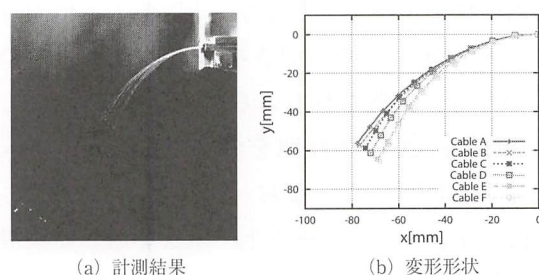


図2 フラットケーブルの変形形状のばらつき

密度は7.4 g/mである。先端から100 mmの箇所を把持し、変形形状を計測した結果、先端のばらつきは13.1 mmに達した。フラットケーブルの挿入では、このばらつきが穴のサイズより大きいことが多く、挿入が困難となっている。

二つめの原因は、操作中における带状物体の変形である。図3-(a)に、把持部の姿勢を変えたときの静的な変形形状を示す。把持部の姿勢を変えると、静的な変形形状が異なり、結果として先端の位置や姿勢が異なる。把持部を動かすと、带状物体は動的に変形する。把持部の位置をある軌道に沿って動かしたときの先端の軌跡を、図3-(a)に示す。図に示すように、先端の運動軌跡は把持部の姿勢に依存する。

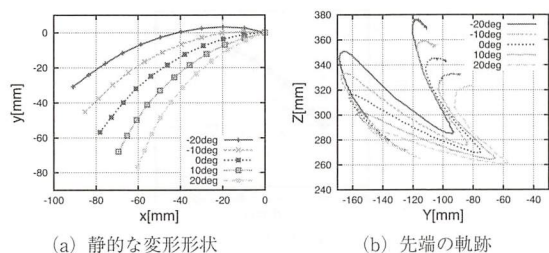


図3 把持姿勢による変形形状の変化

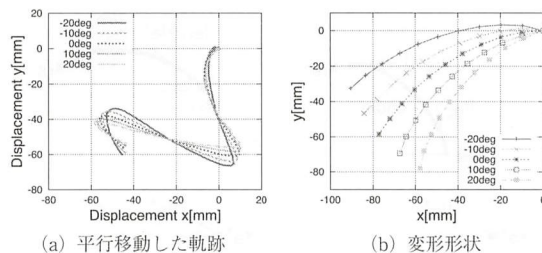


図5 平行移動した先端軌跡の交点

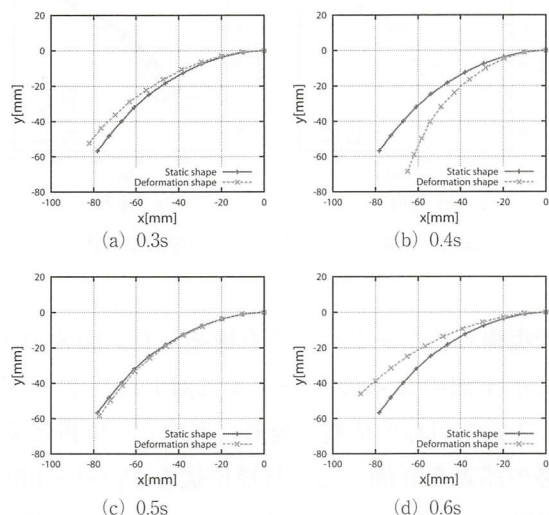


図4 フラットケーブルの動的な変形

図4に、フラットケーブルの動的な変形を示す。把持部の姿勢は 0° である。図4-(c)に示すように、ある時刻において動的な変形形状が静的な変形形状に近い。

以上に示すように、帯状物体の操作では、変形のばらつきと動的な変形の双方に対応する必要がある。また、フラットケーブルの動的な変形形状が、静的な変形形状に戻ることを示唆される。

2. 形状復帰点

図4に示すように、帯状物体の操作の際に、ある時刻の動的な変形形状が静的な変形形状に一致する。この現象を調べるために、様々な把持姿勢に対してフラットケーブルを操作し、ケーブル先端の軌跡を計測する。先端の軌跡を平行移動し、操作開始時の先端の位置を原点に揃える。平行移動した軌跡を、図5-(a)に示す。このとき、すべての軌跡は、点 $(x, y) = (-23.3, -51.3)\text{mm}$ で交わる。この点にお

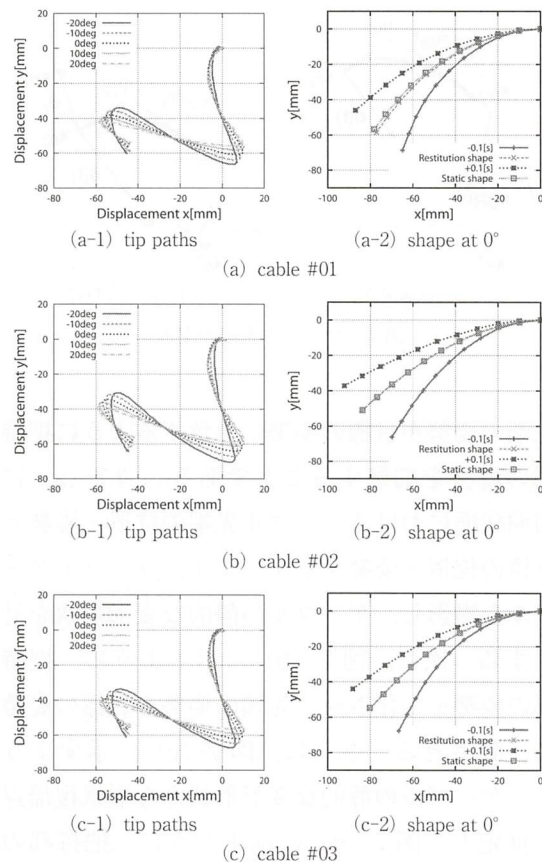


図6 形状復帰現象

る動的な変形形状を、図5-(b)に示す。この図と図3-(a)を比較すると、交点における動的な変形形状が静的な変形形状に一致することがわかる。この交点を形状復帰点とよぶ。

図6に、別のフラットケーブルで形状復帰現象を検証した結果を示す。いずれのケーブルにおいても、軌跡の交点における変形形状が、静的な変形形状に一致することがわかった。

形状復帰点の概念を基にして、フラットケーブル先端の位置と姿勢を目標の位置と姿勢に案内する手続きを構築する。基本的な考えは、形状復帰点を目標の位置に一致させるとともに、

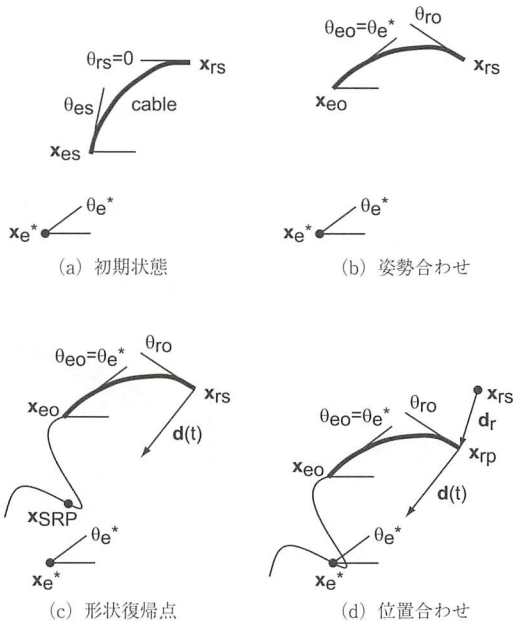


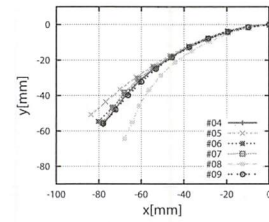
図7 ケーブル先端の案内

先端の姿勢が目標の姿勢に一致するように把持部の姿勢を制御することである。図7-(a)に初期状態におけるケーブル先端の位置・姿勢と目標の位置・姿勢を示す。まず、フラットケーブルを撮影し、ケーブルの静的な変形形状を計測する。次に、図7-(b)に示すように、把持部の姿勢を変化させ、先端の姿勢を目標の姿勢に一致させる。さらに、図7-(c)に示すように、ケーブルの静的な変形形状から形状復帰点を推定し、図7-(d)に示すように、把持部の位置を変化させ、形状復帰点を目標の位置に一致させる。ここでケーブルに運動を与えると、形状復帰点でケーブル先端の位置・姿勢は目標の位置・姿勢に一致する。

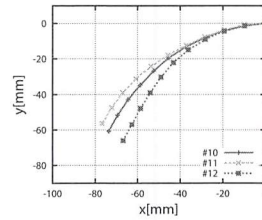
静的な安定形状から形状復帰点を推定するために、あらかじめ複数のフラットケーブルの静的な形状と形状復帰点を求め、データベースを構築する。データベース内の形状を補間することにより撮影した形状を近似する。同じ補間を用いて撮影した形状の形状復帰点を推定する。

3. 実験結果

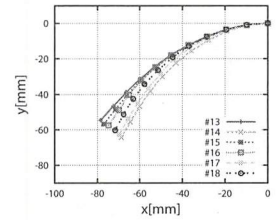
提案した手法を実験的に検証した。図8-(a)に示す3本のケーブルから静的な変形形状と形



(a) サンプル



(b) 案内



(c) 挿入

図8 実験で用いたケーブルの静的な形状

状復帰点のデータベースを構築した。図8-(b)に示す別の3本のケーブルに対して、ケーブル先端を目標の位置・姿勢に案内し、位置と姿勢の誤差を評価した。目標位置を $P_1 = (-140, 310)$ mm, $P_2 = (-140, 300)$ mm, $P_3 = (-130, 310)$ mm の3通り、目標姿勢を 55° , 65° , 75° の3通りに設定した。すなわち、9通りの位置・姿勢に対して案内を評価した。その結果、最大位置誤差は2.1mm, 最大姿勢誤差は 4° であった。

図8-(c)に示す別の6本のケーブルに対して、スリットへの挿入実験を行った。図9に示すように、左下部にケーブルを挿入するスリットを設置した。ケーブル先端位置のばらつきは14.0mmであり、これはスリットの高さ5mmより大きい。このような状況で、すべてのケーブルをスリットに挿入することに成功した。図10に挿入時の動的な変形形状を示す。図10-(d)に示すように、スリットに挿入する時刻において、ケーブルの動的な変形形状は静的な変形形状に一致する。

4. 帯状物体の変形シミュレーション

帯状物体の操作過程を解析するために、帯状物体の変形シミュレーションを試みた。帯状物体は伸縮しないと仮定し、変形としては曲げと

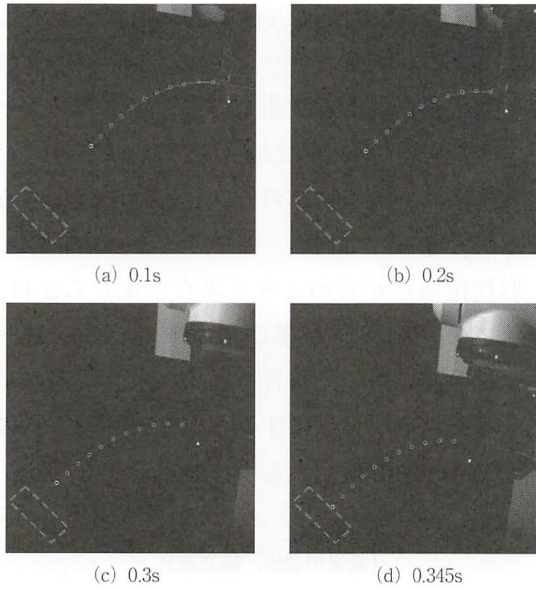


図9 挿入実験

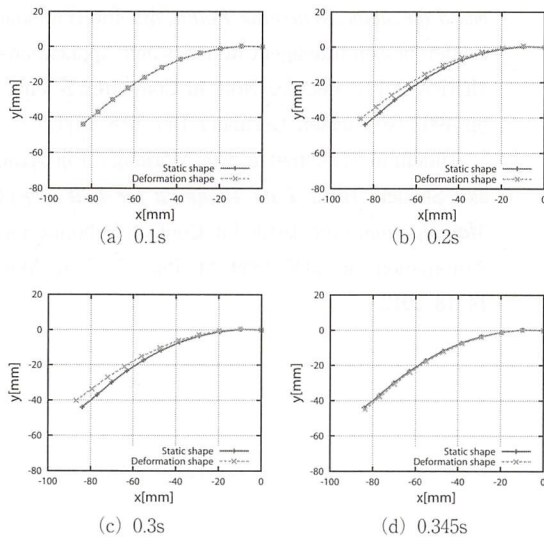


図10 挿入時の変形形状

ねじれのみを考える。物体は、長さに対して十分に小さい幅を持つものとし、幅方向には一様に変形するものと仮定する。带状物体の長さを L 、幅を b 、厚さを h とし、物体の一端から長手方向中心軸に沿った距離を u とし、物体中心軸上の点を $P(u)$ と表す。

物体中心軸上の点 $P(u)$ に物体座標系 $P(u)$ $-\xi\eta\zeta$ を設定する。物体座標系の各軸方向単位ベクトル $\xi(u)$, $\eta(u)$, $\zeta(u)$ の微分は

$$\frac{d}{du} [\xi(u) \ \eta(u) \ \zeta(u)] =$$

$$[\xi(u) \ \eta(u) \ \zeta(u)] \begin{bmatrix} 0 & -\omega_\zeta & \omega_\eta \\ \omega_\zeta & 0 & -\omega_\xi \\ -\omega_\eta & \omega_\xi & 0 \end{bmatrix}$$

と表される。ここで、 $\omega_\xi(u)$ は物体中心軸の $\eta\zeta$ 平面内での曲率、 $\omega_\eta(u)$ は物体中心軸の $\xi\zeta$ 平面内での曲率、 $\omega_\xi(u)$ は物体中心軸回りのねじれ率に相当する。带状物体が伸縮しないという仮定から、 $\eta\zeta$ 平面内での変形は許容されないで、上式は

$$\frac{d}{du} [\xi(u) \ \eta(u) \ \zeta(u)] = [\xi(u) \ \eta(u) \ \zeta(u)] \begin{bmatrix} 0 & -\omega_\zeta & \omega_\eta \\ \omega_\zeta & 0 & 0 \\ -\omega_\eta & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

となる。物体中心軸上の各点の空間座標は

$$x(u) = x(0) + \int_0^u \eta du$$

で求めることができる。

带状物体のヤング率を E とすると、带状物体のポテンシャルエネルギー U は

$$U = \frac{Ebh^3}{24} \int_0^L \frac{(\omega_\eta^2 + \omega_\zeta^2)^2}{\omega_\xi^2} du$$

と表わされる。

带状物体の変形形状は二つの変数 $\omega_\eta(u)$ および $\omega_\zeta(u)$ によって表わされ、幾何学的な制約条件の下でポテンシャルエネルギー U が最小となる二つの変数を求めることにより、静的な変形形状を導出できる。

長さ $L=200$ mm、幅 $b=20.0$ mm、厚さ $h=0.14$ mm のポリスチレン製带状物体の変形形状を計算する。左端を固定し、右端の位置ベクトルと姿勢行列をそれぞれ

$$\begin{bmatrix} 0.0L \\ 0.7L \\ 0.0L \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -1/2 \\ 0 & 1/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix}$$

で与えたときの計算結果を図11に示す。带状物体を実際に変形させた時の形状を計測した結果を図12に示す。計算結果と計測結果はよく一致しており、提案したモデリング手法により、

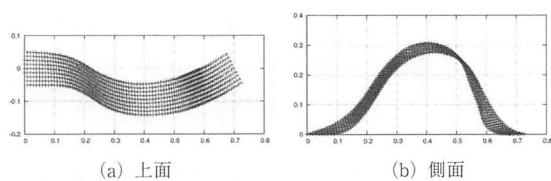


図 11 計算結果

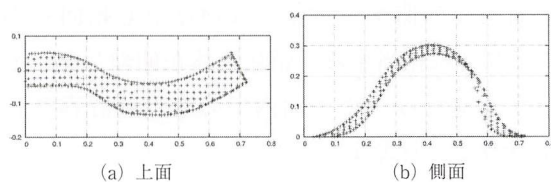


図 12 計測結果

帯状物体の三次元変形形状の予測が可能である
と考える。

[今後の研究の方向・課題]

本報告では、形状復帰点の概念に基づく帯状物体のマニピュレーション手法を述べるとともに、帯状物体の変形をモデリングする手法を示した。形状復帰点は帯状物体のダイナミクスに基づく概念である。提案手法は、帯状物体の形

状のばらつきに対応して帯状物体を案内することが
ができる。変形モデリングでは、帯状物体の変形形状を表現する手法を提案し、ポテンシャルエネルギーの最小化により変形形状を求めた。提案手法は、帯状物体の三次元形状を計算することができる。

形状復帰点がどのような場合に生じるかは、現状では不明の点が多い。今後はシミュレーション手法を用いて解析を進め、形状復帰点が生じる条件を明らかにするとともに、効率的にデータベースを構築する手法を見出したい。

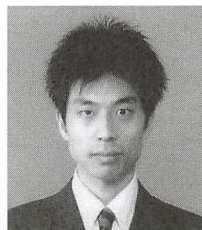
[成果の発表、論文等]

- [1] Yuuki Kataoka and Shinichi Hirai, *Dynamic Insertion of Bendable Flat Cables with Variation based on Shape Returning Points*, 4th International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA 2011), Lecture Note in Computer Science, pp. 496–508, Aachen, Germany, Dec. 6–8, 2011.
- [2] Hidefumi Wakamatsu, Eiji Morinaga, Eiji Arai, and Shinichi Hirai, *Path Planning for Belt Object Manipulation*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 4334–4339, St. Paul, U.S.A., May 14–18, 2012.

筋シナジーに基づく運動支援インタフェースの開発

A Human-machine Interface for Enhancing Motor Skills through Muscle Synergy Evaluation

2011016



研究代表者	大阪大学 大学院 基礎工学研究科	講師	平井 宏明
共同研究者	大阪大学 大学院 基礎工学研究科	教授	宮崎 文夫

[研究の目的]

本研究は、冗長筋骨格系を有するヒトおよびロボットの運動制御や運動支援を「筋シナジー」の概念で解釈し、その抽出・予測結果をもとにヒトと機械の調和を考察するものである。ここでは、筋拮抗比・筋活性度の2つの新概念を導入し、冗長筋群の活動を運動タスク固有の筋シナジーと関連づけることで、(1) 身体の運動制御モデルを確立するとともに、(2) マスタ(ヒト)の運動意図をリアルタイムに読み取り、スレーブへの運動指令に変換する「ヒトと機械をつなぐ知的インタフェース」の開発を行う。本課題では、運動生理学の未解決問題であるベルンシュタイン問題への解決の糸口を筋シナジーに基づく階層制御モデルとして提示し、これをインタフェースとすることでヒトと機械の融合の具現化を図る。

[研究の内容, 成果]

少子高齢化が急速に進む現在、国民の関心は健康管理・スポーツトレーニングなど自身の身体に向けられる傾向にある。こうした中、ユーザの運動技能の評価や支援といった熟練指導者の経験を要する作業をロボット技術によって代替しようとする試みが盛んである。これらの試みにおいて、ヒトと機械をつなぐインタフェー

スの構築は重要課題の1つであり、現在、その技術の進展が期待されている。こうした中、近年、申請者らは随意運動中の筋電位信号から筋シナジーを抽出し、中枢神経系が選択する身体の運動解、および、運動実現のための運動戦略や適応過程をリアルタイムに可視化できる「筋シナジー抽出・予測技術」を発明している。本研究では、この独自技術をヒトと機械のインタフェースに応用することで、ヒトの身体運動の評価・支援を行う知的システムの実現を目的とし、筋シナジー評価に基づき、身体運動を力学的に支援するロボットシステムの開発を行った。特に、期間内では以下の3課題を行ない、筋シナジー技術の有用性について良好な結果を得た。

筋シナジーに基づくヒト随意運動の評価

随意運動時の複数筋群に働く筋電位情報から特許技術を用いて筋群活動のバランス(筋シナジー)を測り、これを指標として対象運動を評価する運動評価システムを開発した。Fig. 1は、ヒト歩行運動時の筋電位信号より抽出した筋シナジーを示したものである。(右下のレーダーチャートが筋シナジーを表している。)本システムにより、タスク固有の筋活動バランスをリアルタイムに可視化することができ、筋バランスの観点から対象運動の良し悪しを評価することができる。また、後述の運動支援システムへの応用も考慮に入れ、運動支援時のユーザ状況

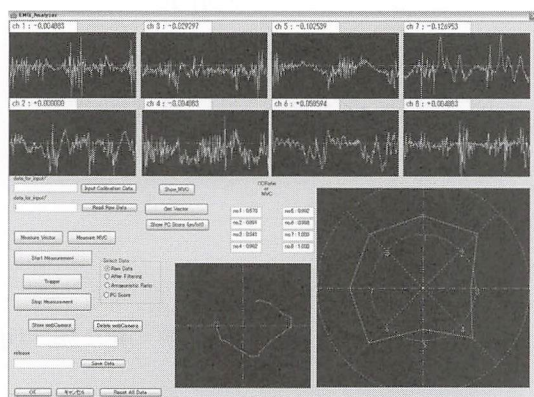


Fig. 1 Muscle synergy monitor

および目標達成までの支援量もグラフィカルに提示できるようにインターフェースが工夫されている。本システムを用いることで、ヒトが目標運動を実現するために特定の筋シナジーを獲得していく過程をリアルタイムにモニターできる。

筋骨格構造体のシナジー制御

特許技術により抽出される筋シナジーと生成される身体運動の関係から、身体運動制御モデル（中枢において数少ないタスク変数で表現された運動指令が筋シナジーを介して多くの筋群活動指令に変換されるモデル）を構築した。様々な身体運動（上肢：到達運動、力場下における到達運動、手先力制御^{1,4)}、下肢：平地歩行²⁾、傾斜歩行、免荷歩行、走行^{3,5)}、ペダリング^{8,9)}）から筋シナジーを抽出し、身体運動（運動学・動力学）との関係性を解析したところ、いずれのタスクにおいても（1）2～3種類の筋シナジーによって対象運動が実現されていること、（2）筋拮抗比・筋活性度の概念^{6,7)}の下で抽出される筋シナジーが身体運動の機能単位となっていること、（3）タスク間で共通の筋シナジーが存在することが明らかとなった。また、これらの解析結果を基に、身体筋シナジー制御モデルを構築し、筋骨格ロボットにてその妥当性を検証した。Fig. 3は、ヒトのペダリング運動から抽出した筋シナジー（Fig. 2）を筋骨格ロボットへ移植した例である⁹⁾。現在、提案モデルを介し、ヒトの筋群と同様な仕組み

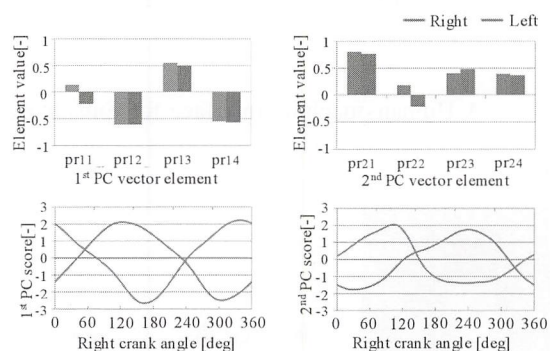


Fig. 2 Muscle synergies extracted from human pedaling

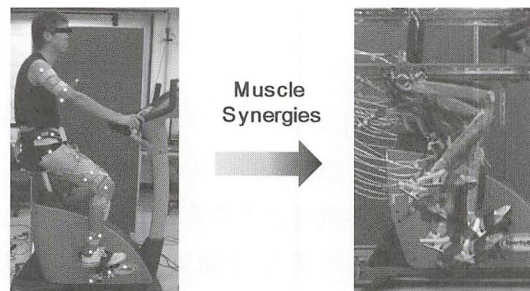


Fig. 3 Implementation of human muscle synergies into a musculoskeletal robot

でロボットのアクチュエータ（人工筋肉群）を駆動させることで、ヒトの巧みな運動を再現することに成功している¹¹⁾。なお、これらのコアとなる技術については特許出願（PCT 国際出願移行手続）し、国際的な知的財産権の確保を行っている^{12,13)}。

筋シナジーに基づく運動支援システムの開発

筋シナジーに基づく運動制御モデルをインターフェースとして、ヒトの運動評価・支援を行うロボットシステムの開発を行った。ここでは歩行運動に焦点を当て、膝関節運動を力学的に支援するロボットシステム（Fig. 4）を開発し、

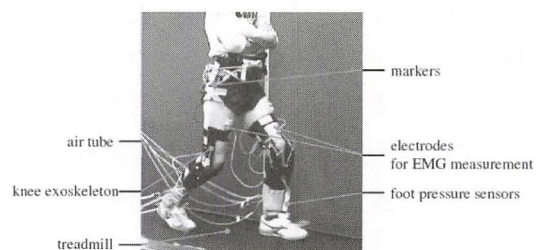


Fig. 4 Human walking with exoskeleton assistance

その運動支援効果について筋シナジの観点から評価を行った¹⁰⁾。現在、人工的に操作できる筋対群をロボット装具として外的に付加し、筋拮抗比・筋活性度の概念の下で適切に制御することで、人に内在する筋群の活動を支援することに成功している (Fig. 5)。Fig. 6 は装具の筋活性度調整 (剛性調節) に伴うヒトの筋シナジー変化を示したものである。ヒトが装具支援に適応するにつれて、下肢筋群および人工筋群の活動バランスに変化が生じ、活動の多くを占める筋協調パターン 1 (寄与率 76%) において、人工筋群への依存度 (p_{a15}) が高くなる傾向にあることが分かる。また、このとき筋群全体の平均活動量は確かに減少しており運動支援に効果があったことが確認できる (Fig. 7)。以上より、筋シナジーが運動支援効果の新たな指標になり得ることが確認された。今後は多くの被験者で開発システムの検証実験を行い、実用化へ向けた実証データの取得を行う。また運動支援法の改善により、より効果的な結果を得られる可能性もあり、更なる研究の余地がある。

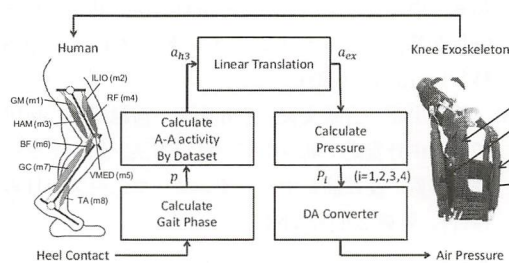


Fig. 5 Signal flow in the exoskeleton control system

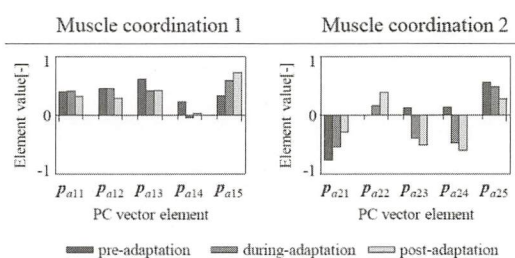


Fig. 6 Change in muscle synergies during walking with exoskeleton assistance

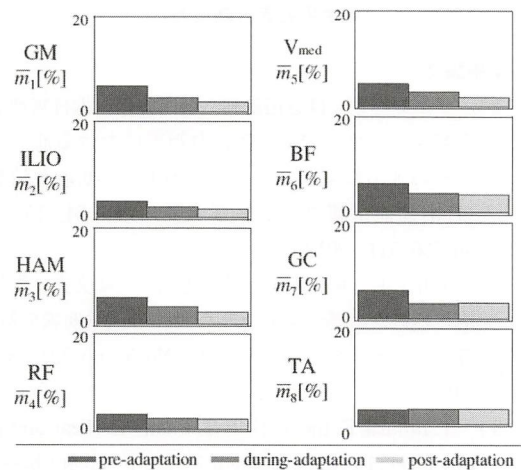


Fig. 7 Average of % MVC of lower limb muscles during walking with exoskeleton assistance

[今後の研究の方向]

本研究で得られた要素技術をもとに、実用化に向けた技術開発へ展開を図る方針である。応用用途としては、(1) スポーツコーチングやリハビリテーションにおけるユーザの運動技能評価や支援、(2) 新たなコーチング・リハビリテーション手法 (運動技能支援法) の確立、(3) 運動機能を支援する各種商品の支援効果の定量評価が考えられる。現在、提案技術の実用化へ向けて、以下の研究体制を整えている。

・スポーツウェアの開発と評価

大手スポーツ用品メーカーと共同研究の契約締結を行っている。今後、筋シナジーの視点を取り入れたスポーツタイツやスポーツサポーターの開発に向けて研究を進める予定である。

・リハビリテーションへの応用

リハビリ専門病院と共同研究を始める予定となっている。現在までに培ってきた基礎技術のリハビリ現場への応用が期待される。今後は、筋シナジーの概念を「運動技能の支援」のみならず「運動学習の支援」へ展開を図り、既存の知的財産の価値を高め、拡張していく予定である。

[成果の発表, 論文等]

学術論文

- 1) ファンハン, はぎ田政利, 前田大輔, 木村真理子, 宮崎文夫, 平井宏明: 手先力制御における筋シナジーの抽出およびロボットへの実装, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 24, No. 1, pp. 536-544, 2012.
- 2) 平井宏明, 飯村太紀, 井上恵太, 宮崎文夫: 筋拮抗比の概念に基づくヒト歩行動作の運動要素分解, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 5, pp. 524-533, 2012.
- 3) T. Iimura, K. Inoue, H. T. T. Pham, H. Hirai, and F. Miyazaki: Decomposition of Limb Movement based on Muscular Coordination during Human Running, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, No. 15, Vol. 8, pp. 980-987, 2011.

国際会議

- 4) H. T. T. Pham, M. Kimura, H. Hirai and F. Miyazaki: Extraction and Implementation of Muscle Synergies in Hand-Force Control, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011), pp. 3658-3663, 2011.
- 5) T. Iimura, K. Inoue, H. T. T. Pham, H. Hirai and F. Miyazaki: A Preliminary Experiment for Transferring Human Motion to a Musculoskeletal Robot —Decomposition of Human Running based on Muscular Coordination —, Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp. 4496-4501, 2011. (IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award)
- 6) Y. Ariga, H. T. T. Pham, M. Uemura, H. Hirai and F. Miyazaki: Novel Equilibrium-Point Control of Agonist-Antagonist System with Pneumatic Artificial Muscles, Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 1470-1475, 2012.

- 7) Y. Ariga, D. Maeda, H. T. T. Pham, M. Uemura, H. Hirai and F. Miyazaki: Novel Equilibrium-Point Control of Agonist-Antagonist System with Pneumatic Artificial Muscles: II. Application to EMG-based Human-machine Interface for an Elbow-joint System, Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012. (accepted)

他 1 件

国内会議

- 8) 井上恵太, 飯村太紀, 奥 貴紀, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫: ヒトのペダリング運動における筋協調解析, 第 12 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2011), pp. 1666-1668, 2011. (優秀講演賞受賞)
- 9) 奥 貴紀, 井上恵太, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫: ペダリング運動における筋協調解析と筋骨格ロボットへの移植, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集 (ROBOMECH2012), 2A2-F04, 2012.
- 10) 前田大輔, 富永健太, 奥 貴紀, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫: EMG 変化に基づく剛性支援へのヒトの運動適応 —— 空気圧人工筋を用いた拮抗駆動型膝関節装具の応用へ向けて ——, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 2012.

他 8 件

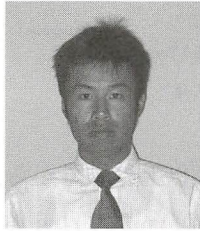
その他

- 11) 日経産業新聞, 2012 年 5 月 28 日 11 面記事.
- 12) 特許出願: 宮崎文夫, 平井宏明, 河越祥平, 松居和寛, 中野貴之: 筋シナジー解析方法, 筋シナジー解析装置, 及び筋シナジーインターフェース (US 移行), 13/395, 600.
- 13) 特許出願: 宮崎文夫, 平井宏明, 河越祥平, 松居和寛, 中野貴之: 筋シナジー解析方法, 筋シナジー解析装置, 及び筋シナジーインターフェース (日本移行), 特願 2011-530848.

移動ロボットによる教師なし学習に基づく一般物体認識の研究

Generic Object Recognition Based on Unsupervised Learning Using Mobile Robot

2011017



研究代表者

秋田県立大学
システム科学技術学部

助教

間 所 洋 和

共同研究者

SmartDesign 株式会社

代表取締役

高 橋 淳 一

[研究の目的]

近年、人と生活し活動する人間共生型ロボットが、身近な存在になりつつある。このようなロボットにとって、環境中に存在する多種多様な一般物体を認識することは、人間とロボットの知覚レベルでの調和において必要不可欠な機能である。一般物体認識はコンピュータビジョンの分野で活発に研究されているが、ロボットへの応用を考えた場合、教示に伴う負荷が増大する。そこで本研究では、教師なし学習に基づく一般物体認識法を提案し、視覚センサを搭載した移動ロボットによる実環境での評価を目的とする。教師なし学習により、ユーザの負荷が軽減できるとともに、ロボットとのインタラクションを通じた、人間と機械の調和の実現を目指す。

[研究の内容、成果]

1. 教師なし学習に基づく物体認識法

一般物体認識において、画像の特徴表現から識別器の構築までを、単独の理論や手法で扱うことは困難な課題と言われている。このため本研究では、各段階の処理に対して複数の手法を組み合わせることにより、教師なし学習に基づく一般物体認識法を構築する。提案手法のネットワーク構成を図1に示す。

処理手順は6段階から構成され、1) SIFT

(Scale-Invariant Feature Transform) による特徴点の抽出と特徴量の記述、2) OC-SVM (One Class-Support Vector Machines) による特徴点の選択、3) SOM (Self-Organizing Maps) を用いた VW (Visual Words) と画像ヒストグラムの作成、4) ART-2 (Adaptive Resonance Theory-2) を用いたラベルの生成、5) CPN (Counter Propagation Networks) を用いたカテゴリマップの形成、及び6) U-Matrix を用いたカテゴリ境界の抽出となる。

画像の特徴表現に相当する1)~2)はBoF (Bag of Features) に基づいている。SIFTの特徴点はOC-SVMにより2分割され、物体が含まれる注目領域が絞り込まれる。VWの作成には、k-meansではなくSOMを用いる。ART-2とCPNを組み合わせることにより、大

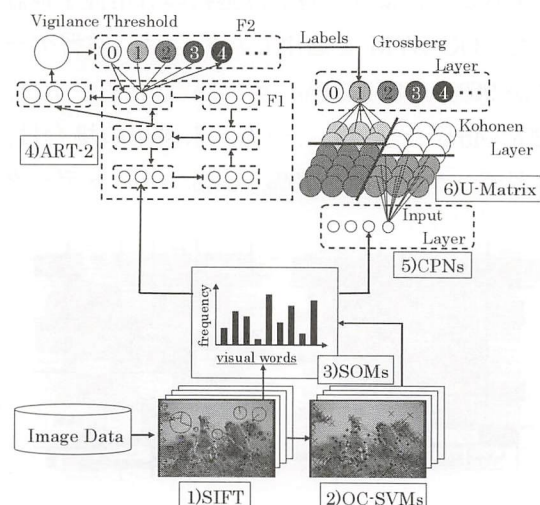


図1 提案手法の全体構成

量の画像から自動でラベルを生成するとともに、カテゴリマップを形成する。最後に、U-Matrix を用いてカテゴリマップ上から境界を抽出し、カテゴリ数を同定する。

2. 標準データセットを用いた評価実験

一般物体認識においてベンチマークテスト用の標準データセットとして広く普及している Caltech256 を用いて、提案手法の基本的特性を評価した。本実験では、256 種類のカテゴリから、データ数が多い上位 20 カテゴリを評価対象とした。各カテゴリからランダムに 5 枚の画像を取り出し、合計 100 枚の画像を用いて学習を行った。

CPN によるカテゴリマップの生成結果を図 2 に示す。カテゴリマップ上には、ユニットに写像された代表画像を表示している。5 カテゴリにおける分類では、同一カテゴリの画像は隣接したユニットに写像された。また、独立した領域が形成された。20 カテゴリにおける分類では、11 カテゴリの画像が隣接したユニットに写像された。また、ART-2 では複数のラベルに分割されていたカテゴリが、CPN では隣接したユニットに統合された。

続いて、5, 10, 20 カテゴリにおける学習とテストの認識率を図 3 に示す。ここでは、OC-SVM を適用した場合と未適用の場合を比較することにより、特徴点選択の有用性を検証した。OC-SVM を適用した場合は、学習データが 96%, 94%, 81%, テストデータが 76%, 42%, 45% となった。一方、未適用の場合は、学習データが 84%, 70%, 64%, テストデータ

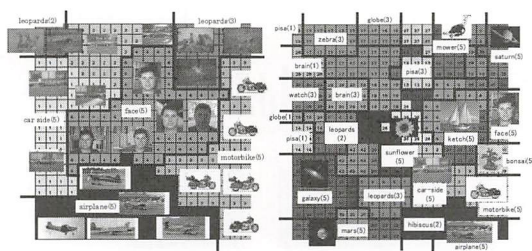


図 2 カテゴリマップ
(左: 5 カテゴリ, 右: 20 カテゴリ)

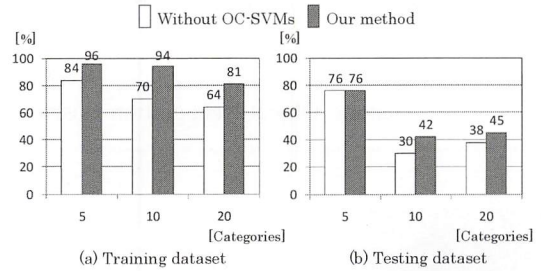


図 3 認識率の比較結果

が 76%, 30%, 38% であった。以上の結果から、学習データでは 18%, テストデータでは 6% の精度向上がみられ、OC-SVM による特徴点選択の有用性が示された。

3. 移動ロボットの試作

視覚に基づく自律移動と物体認識のためのプラットフォームとして、図 4 に示す視覚機能を搭載した移動ロボット「MEGURI」を試作開発した。設計指針としては、人間と同じ目線で物体認識や環境理解が実現できるように、ロボットの全高を成人男性の平均身長と同程度の 170 cm にした。

ロボットの上部には、ステレオ視のためのカメラ Bumblebee2 と、全方位センサ VS-C14U を搭載した。また、下部に深度センサ XTION を搭載し、超音波センサとともに障害物検知を

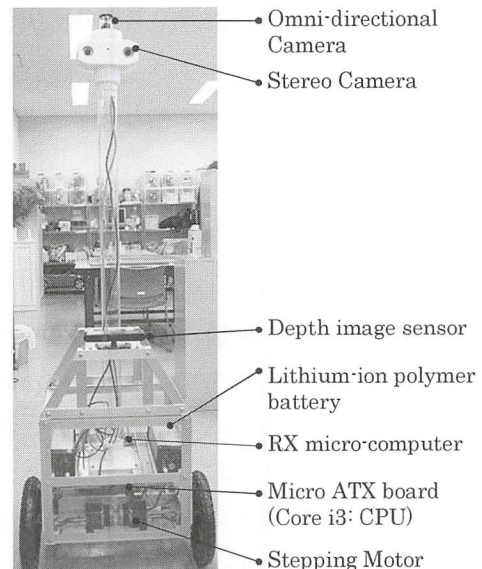


図 4 試作した移動ロボット「MEGURI」

担う。駆動系は、ステッピングモータ 2 機による 2 軸独立駆動とした。また、安定性を考慮して補助輪は後部に 2 輪設置した。

計算機環境としては、モータの制御用に RX マイコン、画像処理用に CPU ボードを搭載した。データのストレージには、消費電力と耐振性を考慮して SSD を搭載した。電源は 20Ah のリチウムイオンポリマ電池を 2 機搭載し、約 2 時間の連続走行が可能となっている。ロボットの重量は約 20 kg、最高移動速度は 4.0 km/h である。

4. 移動ロボットを用いた評価実験

試作したロボットを用いて一般物体認識の評価実験を実施した。実験環境は、研究代表者が所属する研究室内とした。2.5×2.5 m の格子状の区画に、4 カテゴリの物体を配置し画像を取得した。認識対象とした物体は、事前にアンケートを実施し、研究室内で一般的な物体として選ばれた Chair, PC, Robot, Book の 4 物体とした。

ロボットは物体に向かって移動し、画像を取得する。なお、物体の大きさを考慮して、画像を取得はロボットの本体に搭載した XTION の RGB カメラを用いた。各物体の大きさは不揃いのため、画像中の物体が小さく、あるいは大きくなり過ぎないようにロボットの行動を制御した。また、視野内の認識対象は 1 物体とした。ロボットは環境内を 5 回走行し、走行毎に同一カテゴリの異なる物体に入れ替えた。このため、各カテゴリは異なる 5 種類の物体から構成される。これをデータセット D1~D5 として評価対象とした。取得した画像を図 5 に示す。

認識率の評価は、交差検定法によって全ての組み合わせに対して実施した。Caltech-256 などのコンピュータビジョン分野における一般物体認識用のデータセットでは、対象物体は 1 画像中に 1 物体のみであり、画像中央に位置するように撮影されている。したがって、本実験においても画像中に認識対象となる物体全体が写

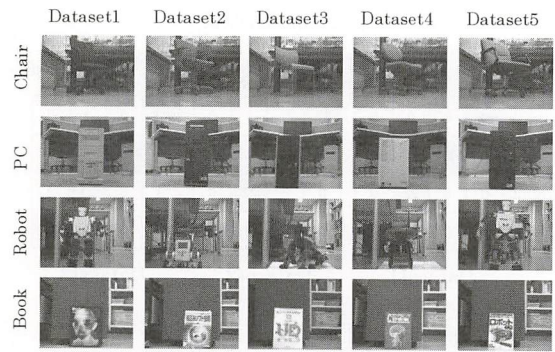


図 5 ロボットから取得した画像

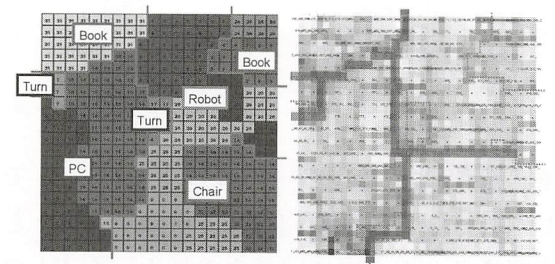


図 6 カテゴリマップと U-Matrix の結果

表 1 認識率

Dataset	Chair	PC	Robot	Book	ALL
D1	100	100	100	58	91
D2	97	96	100	88	96
D3	97	89	78	92	90
D4	100	100	74	88	92
D5	100	96.4	100	83	96
Ave.	99	96	90	82	93

るように制約条件を設けた。
認識率を表 1 に示す。なお、旋回時の画像はテスト対象から除いて認識率の算出し評価した。平均認識率は、Chair が 99%, PC が 96%, Robot が 90%, Book が 82% となった。また、データセット別では、D1 が 91%, D2 が 96%, D3 が 90%, D4 が 92%, D5 が 96% であった。全テストデータの平均認識率は、93% となった。

各データセットにおける混同対照表を表 2 に示す。横方向を基準として、識別に成功した画像枚数が対角線上に表示される。それ以外には、誤識別となった枚数が表示される。縦方向のカテゴリ名を参照することで、誤識別したカテゴリを特定することができる。最も低い認識率となった D1 の Book は、9 画像が Robot と

表 2 混同対照表

	Chair	PC	Robot	Book	Chair	PC	Robot	Book	Chair	PC	Robot	Book
Chair	38	0	0	0	37	0	1	0	37	0	1	0
PC	0	27	0	0	0	27	1	0	0	24	1	1
Robot	0	0	27	0	0	0	27	0	3	0	21	3
Book	1	0	9	14	0	0	3	22	0	0	2	22

Dataset1 Dataset2 Dataset3

	Chair	PC	Robot	Book	Chair	PC	Robot	Book
Chair	38	0	0	0	38	0	0	0
PC	0	28	0	0	1	27	0	0
Robot	2	5	20	0	0	0	27	0
Book	1	0	0	21	0	0	4	20

Dataset4 Dataset5

誤認識された。他のデータセットでは、D2 で 3 画像、D3 で 2 画像、D5 で 4 画像が Robot と誤認識された。次に認識率の低かった D4 の Robot は、2 画像が Chair と、5 画像が PC と誤認識された。D3 では、3 画像が Chair、3 画像が Book と誤認識された。D1 と D5 の Book の表紙には、顔のイラストやロボットパーツのイラストが描かれていたため、Robot と誤認識されたと考えられる。

次に、見え方の変化に対するロバスト性を検証した。D5 の Chair に対して向きの異なる画像を取得し、D5a 及び D5b とした。両データセットの画像を図 7 に示す。OC-SVM により選択された特徴点は、向きが異なっても対象となる物体を中心に同心円状に分布している。背景領域は、椅子の背もたれ位置が異なるため、特徴点の分布に違いが現れた。

認識率は、D5a は 100% であったものの、D5b は 42% に低下した。D5b における誤認識は、Robot のラベルが影響を与えていると考えられる。ロボットは、D1～D4 を学習データとした場合の CPN によるカテゴリマップで、Chair と隣接したユニットに写像された。本実験では、ロボットの行動パターンが直進と 90 度の右旋回に限られており、前後進以外の見え方の変化を学習していないため、認識率が低下

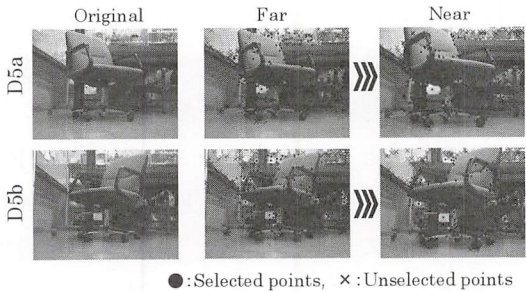


図 7 ロバスト性検証用の画像

したと考えられる。そのため、より柔軟な物体認識を実現するには、ロボットによる物体認識のための多様な行動様式の生成が必要であると考えている。

[今後の研究の方向性、課題]

本研究では単一物体のみを対象としたため、今後は複数物体認識への拡張について提案手法の改良を進めたい。具体的には、画像中から複数の物体を検出するために、画像の輝度勾配や方位選択性等の特徴空間から視覚的に注意を引く領域を表現する顕著性マップの適用を検討している。更に、ロボットビジョンにおけるリアルタイム処理を実現するためのハードウェア環境の構築し、本試作ロボットに実装するとともに、実環境での評価実験を進めたい。また、本ロボットを情景分類にも応用したいと考えている。

[成果の発表、論文等]

[1] H. Madokoro, M. Tsukada and K. Sato: Unsupervised Feature Selection and Category Formation for Generic Object Recognition, Proc. 14th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP), pp. 427-434, Aug. 2011.

[2] H. Madokoro, M. Tsukada, and K. Sato: Unsupervised Feature Selection and Category Formation for Mobile Robot Vision, Proc. IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pp. 320-327, Jul. 2011.

読唇技能保持者をモデル化した機械読唇のための 特徴的口形検出方法に関する研究

A Detection Method of Distinctive Mouth Shapes for Machine Lip-reading
Modeled on Lip-reading Skill Holders

2011018



研究代表者	神奈川工科大学 情報学部	准教授	宮 崎 剛
共同研究者	椋山女学園大学 文化情報学部	教 授	中 島 豊四郎

[研究の目的]

本研究では、情報処理技術を用いた機械読唇の実現において最も基本となる特徴的口形の検出を目指す。その方法として、読唇技能保持者（読唇者）の読唇技法を究明し、モデル化する（読唇者モデル）。そして、この読唇者モデルに基づいた機械読唇システムを構築するための基礎を固める。上記モデル（機械）により、話者の発話内容を認識できれば、その内容を文字等で表示することが可能となり、病氣や加齢等によって失われた聴覚機能を補完することができる。また、この技術は騒音環境下でのコミュニケーションにも利用できる。このように、上記モデルができれば、社会的弱者も社会の一員として活躍できるなど、人間と機械の調和の促進が図れる。

[研究の内容、成果]

1. はじめに

本研究では、日本語の発話時に形成される口形を、基本口形 *BaMS* として式 (1) に定義する [1]。式 (1) は、日本語の母音口形に相当する、“あ”、“い”、“う”、“え”、“お” の各口形と、唇を閉じた“閉唇口形”を表している。

$$BaMS = \{A, I, U, E, O, X\} \quad (1)$$

本研究で提案している機械読唇では、日本語を発話する際に形成される基本口形を、発話映像の中から検出し、その口形順から発話内容の推測を目指している。

2. 従来の口形検出方法

著者がこれまで行ってきた口形の検出方法は、発話者の基本口形の画像を予め撮影し、発話映像の各画像（フレーム）の口形と基本口形画像とのマッチングを取る、“テンプレートマッチング”を使用していた [2]。しかし、この方法は、終口形と呼ぶ母音に相当する口形の検出はできるが、初口形と呼ぶ口形の検出が困難な場合があるという問題があった。初口形とは、日本語の音を発声する際、その初期に形成される母音とは異なる口形のこと、例えば“マ”を発声させる際の最初に形成される閉唇口形がそれにあたる。

初口形の検出が困難になる原因の一つとして、その口形が形成されている時間が短いことがある。これまでの研究で実験に使用していたカメラは、一般に販売されているものと同等の、1秒間に30枚の画像を撮影する（30 fps）タイプであったため、初口形を形成する画像をとることが困難であったと考えられる。

この問題の一つの解決策として、より高いフレームレート（1秒間に撮影できる画像数が多い）のカメラを使用することにした。最近では、

一般家庭向けに販売されているビデオカメラでも、ハイビジョンの映像を撮影できる機種が増えてきており、1秒間に60枚の映像を撮影できるようになってきている。そこで、これと同等の60fpsの映像から口形を検出する実験を実施した。その結果、詳細な口形変化の画像が得られるようになったため、初口形が形成されていないにもかかわらず、ある終口形から別の終口形へ変形している過程の口形を、初口形として誤検出してしまうという新しい問題が発生した。例えば、閉唇口形から“ア”の口形へ変形する過程で“イ”に近い口形が形成されるため、この口形を検出してしまうといった具合である。

そこで、口唇の動きに着目して、口形が変形している間は、初口形を検出しないようにすれば、この誤検出の問題を回避できるのではないかと考えた。

3. 口唇の動きと口形の検出

先述した、初口形の誤検出問題を解決するための口唇の動きを検出する方法として、“オプティカルフロー”を利用する。オプティカルフローでは、画像中にいくつかの計測点を設定し、時間的に連続したフレーム間で、計測点にあった画像が次のフレームでは、どこに移動したかを検出することによって、移動した距離と方向を取得することができる [3]。

そこで、口唇の動きを検出するために、口唇周辺に計測点を設定し、口唇の変化量（距離）を計測する。そして、従来のテンプレートマッチングと組み合わせた方法で、口形の検出を実現する。図1に、発話映像から基本口形を検出するプロセスを示す。基本口形画像は、同じカメラを用いて予め撮影しておく。

まず、カメラで取得したフレームに対して、メジアンフィルタを適用してノイズを除去する。その後、顔の位置を検出する [4]。口唇の領域は、通常、顔の下の方にあるため、顔領域の中心から50%の幅と、下から40%の領域を口唇領域とする。オプティカルフローやテンプレ

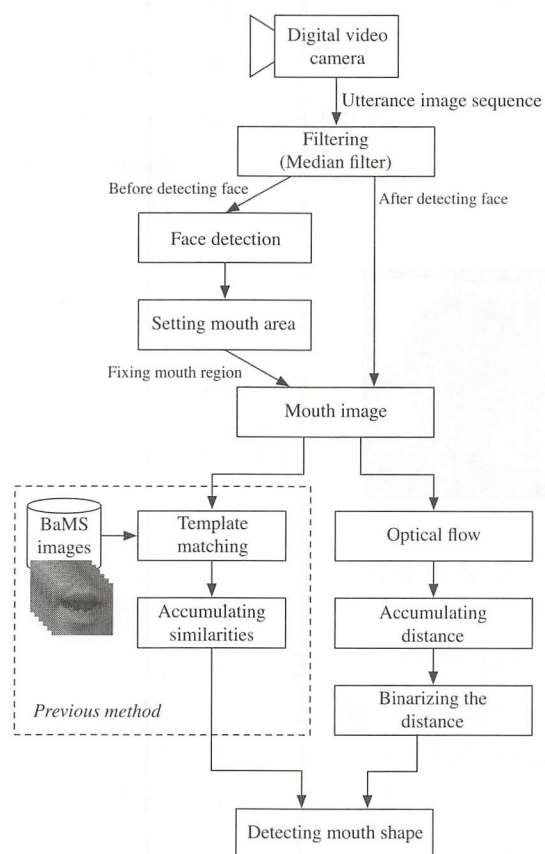


図1 口形検出の処理過程

トマッチングは、この口唇領域に対して行う。テンプレートマッチングについては、これまでと同様の方法で基本口形との類似度を計算する。

この方法において、1回の発話が終了すると、時系列の基本口形との類似度データと口唇の動きの変化量が取得できる。この口唇の変化量に対して、判別分析法 [5] を用いて、口唇が変形していたフレームと変形していなかったフレームの2クラスに分類する。変化量の閾値を t としたとき、変化量が t 以上となるフレームの平均の変化量を m_1 、そのフレーム数を ω_1 とし、 t 未満となるフレームの平均の変化量を m_2 、そのフレーム数を ω_2 とすると、式 (2) の σ_t^2 を最大にする t で2つのクラスに分類することになる。図2に、判別分析法を用いて2クラスに分類した例を示す。変化量が閾値以上のフレームを口形が変形しているクラスとし、この期間を“口形変形期間”とする。そして、閾値未満のフレームを口形が変形していないクラ

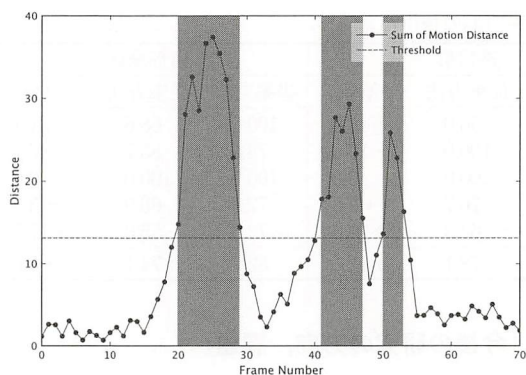


図2 判別分析法による2クラスへの分類
(灰色の期間が口形変形期間)

スとし、口形変形期間の口形は検出しないようにする。

$$\sigma_b^2 = \frac{2\omega_1\omega_2(m_1 - m_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \quad (2)$$

4. 実験

提案方法を評価するため、日本語の口形変化のパターンのうち、よく使用されるパターンが含まれる5～7文字から成る単語を発話し、そこから口形を検出する実験を実施した。実験に使用した単語とその口形順序コード(MSSC; Mouth Shapes Sequence Code)を表1に、テンプレート画像を図3に示す。口形順序コードとは、日本語の語句を発話する際に順に形成される口形を、各基本口形の記号列で表記したも

表1 実験の発話単語とそのMSSC

#	単語	MSSC
1	カタツムリ	-AIA-UXU-I
2	川下り	-AUA-UIA-I
3	紙芝居	-AXIXA-I
4	アセスメント	-AIE-UXE-IUO
5	スポットライト	-UXO-U-OIA-IUO

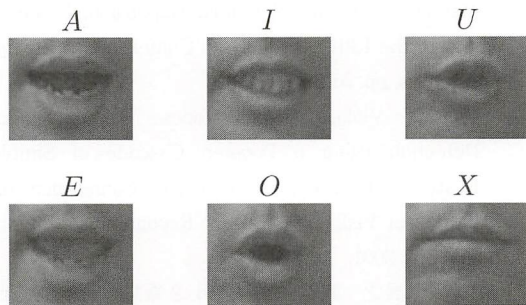


図3 基本口形のテンプレート画像

のである。口形順序コードでは、1つの音を2つの記号で表記し、それらを順に結合させた構成になっている。そのため、奇数番目の記号は初口形を表し、偶数番目は終口形を表す。口形順序コード中の“-”は、初口形を形成しないことを表している。

取得した画像から顔の領域を検出し、そこから口唇領域を設定した例を図4に示す。そして、その口唇領域内での口唇のオプティカルフローを図5に示す。

本実験では、各単語を4回ずつ発声し、口形種類別の検出率を求めた。表2に、実験に用いた各単語に対する口形の検出率を示す。実験の結果、表2に示すように、ほとんどの口形で検出率の向上を確認することができた。さらに、従来の方法では、初口形の誤検出が約4.0%発生していた[2]が、提案手法では、この誤検出を防ぐことができた。ここで、誤検出は、初口形が形成されないところで、誤って初口形を

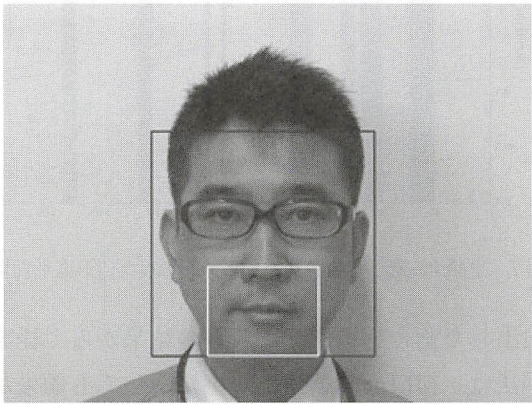


図4 検出した顔領域から口唇領域の設定



図5 口唇のオプティカルフローの様子

表 2 実験単語の発話に対する基本口形の検出結果 (%)

#	単語	初口形			終口形			口形全体		
		提案方法	従来方法	差分	提案方法	従来方法	差分	提案方法	従来方法	差分
1	カタツムリ	100.0	100.0	0.0	100.0	56.0	+44.0	100.0	68.6	+31.4
2	川下り	50.0	50.0	0.0	90.0	100.0	-10.0	78.6	85.7	-7.1
3	紙芝居	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0
4	アセスメント	58.3	53.3	+5.0	79.2	76.7	+2.5	72.2	68.9	+3.3
5	スポットライト	33.3	33.3	0.0	89.3	64.3	+25.0	72.5	55.0	+17.5
平均		64.6	64.9	-0.3	90.7	78.1	+12.6	82.7	74.1	+8.6

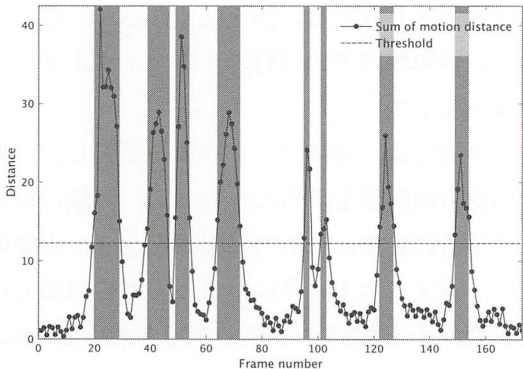


図 6 単語 #1 の発話時の口形変形期間

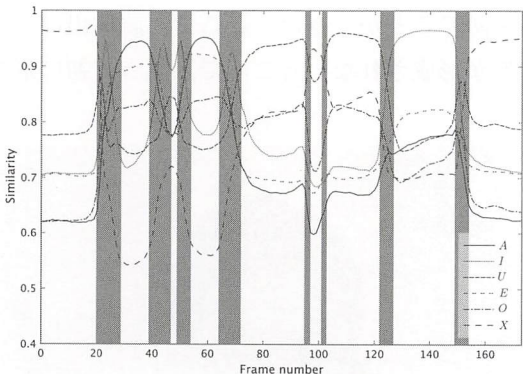


図 7 単語 #1 発話時の各基本口形の類似度と口形変形期間

検出した割合を指す。これらの結果から、提案手法は、初口形の誤検出防止に関しても効果があると言える。

例として、実験に用いた表 2 の単語 #1 を発話した際の、口唇の動きの変化量から口形変形期間を検出したグラフを図 6 に示す。そして、この口形変形期間を各基本口形の類似度変化のグラフにあてはめた結果を図 7 に示す。図 6 と図 7 より、初口形や終口形が形成されていた期間を正しく検出できていることが確認できる。

[今後の研究の方向、課題]

今回の研究の実験結果から、提案手法が、日本語の発話映像から基本口形を検出するのに有効であると確認できた。特に、初口形の誤検出防止には効果があった。しかし、初口形が形成される所での検出率向上には繋がらなかった。これは、前の終口形から初口形、初口形から次の終口形への変形が連続的でなめらに行われる場合に起こる。特に、前後の終口形と初口形が、“ウ”の口形と“オ”の口形のように、口形が似ている場合に発生する。

そこで、今後は、この問題を解決するため、口唇の動きの変化量だけではなく、移動方向も加味する必要があると考える。口唇の移動方向が変化する時点で、初口形が形成されたととらえることができると考える。

[参考文献]

[1] 宮崎 剛, 中島豊四郎: 日本語発話時の特徴的口形のコード化と口形変化情報表示方法の提案, 電気学会論文誌 C, Vol. 129, No. 12, pp. 2108-2114, 2009.

[2] 宮崎 剛, 中島豊四郎: 日本語の発話映像における初口形の検出方法提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 4, pp. 1472-1479, 2012.

[3] Gunnar Farneback: Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion, Proceedings of the 13th Scandinavian Conference on Image Analysis, pp. 363-370, 2003.

[4] Paul Viola, Michael Jones: Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001, pp. 511-518, 2001.

[5] 大津展之: 判別および最小 2 乗規準に基づく自動しきい値選定法, 電子情報通信学会論文誌 D,

Vol. J63-D, No. 4, pp. 349-356, 1980.

[成果の発表, 論文等]

1. Tsuyoshi Miyazaki, Toyoshiro Nakashima and Naohiro Ishii: An Improvement of Basic Mouth

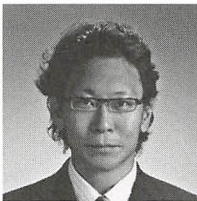
Shape Detection Rate from Japanese Utterance Image Sequence Using Optical Flow, 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2012).



障害物回避歩行における肢運動の適応制御に関わる小脳機能の解明

Cerebellar contributions to the adaptive control of limb movements in obstacle avoidance during locomotion

2011020



研究代表者 東京大学 大学院 総合文化研究科 准教授 柳 原 大
共同研究者 京都大学 大学院 工学研究科 助教 青 井 伸 也

[研究の目的]

現代社会においてバリアフリー化は推進されてきたが、未だ不整地や段差など歩行中に乗り越えなければならない障害物が多い。また、高齢化に伴う歩行機能障害、それに起因した転倒なども社会的に重要な問題となっている。歩行中、前方に認知された障害物を跨ぎ越して回避する際、障害物に対して歩行して接近していくアプローチ相と障害物を跨ぎ越す回避相の2つの重要な局面に分けることができるが、障害物へのアプローチの際には歩幅の調節、障害物を跨ぎ越す際には肢先の軌道の調節、支持肢を含む姿勢の維持など時間的・空間的に統合された適応的な神経制御機構が必要とされる。歩行の適応制御には中枢神経系、特に小脳皮質が重要な役割を有する。

本研究では、歩行中の障害物回避動作に関わる小脳機能について、神経生理学的な解析のみならず、神経・筋骨格モデルに基づく動力学シミュレーションを構築することにより構成論的にも理解することを目的とする。

[研究の内容、成果]

I. ラットにおける障害物回避歩行の神経生物学的実験

小脳皮質はその内側から虫部、中間部、外側半球部と区分されるが、虫部と中間部は脊髄との入出力関係が強く、脊髄小脳ループを形成している(図1)。虫部および中間部は、歩行において筋緊張の調節や肢内協調(intralimb coordination)、さらには左右肢や対角肢における肢間協調(interlimb coordination)に重要な役割を果たしていることが我々の研究成果をはじめとして示されている。

本研究において対象としている障害物回避動

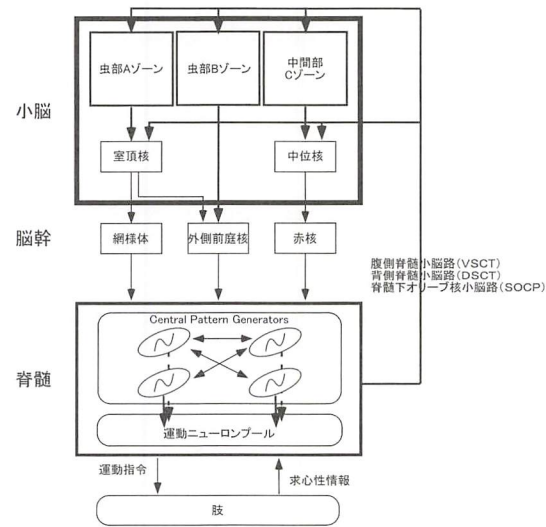
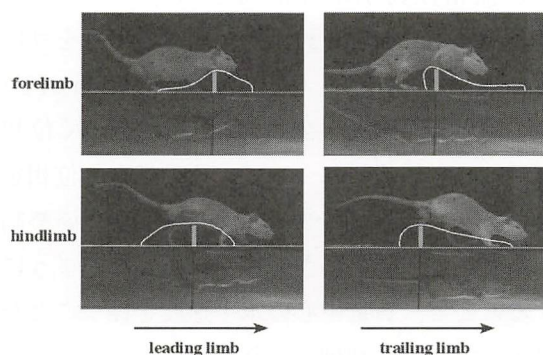


図1 歩行制御に関わる脊髄小脳ループ

作は、障害物を目標物として視覚的に認知し、それに足をぶつけることなく跨ぎ越す動作を生成しなければならない、これには通常の歩行動作に加えて肢先の軌道を適切に制御することが必要になる。小脳において、外側半球部は頭頂連合野から入力を受けて、出力を1次運動野に送るという解剖学的知見があり、これらの入出力関係は肢運動の適切な制御に深く関与していることが推測されているが、その詳細は未だ不明である。そこでまず、小脳皮質外側半球部の片側微小破壊を行い、通常の床上での歩行動作および障害物回避動作に対する影響について調べた。実験動物としては Wistar rat (Male, 250-350 g, n=25) を用いた。東京大学動物実験倫理委員会によって承認され、実験における麻酔・外科的手術ならびに飼育等の処置は東京大学動物実験委員会の定めるガイドラインにして準拠して行われた。水平に置かれた歩行路の中央に障害物（高さ：2, 3, 4 cm）を設置し、障害物回避動作を両側から高速度ビデオカメラ（200 frames/s, HAS-220, DITECT Inc., Tokyo, Japan）にて撮影し（図2を参照）、後に前肢においてはつま先の軌道、肘関節角度変位について、また後肢においては、股関節、膝関節、足関節角度変位およびつま先の軌道について解析した。



白色実線は、障害物回避時のつま先軌道を示している。水平方向の実線は歩行路面を表し、鉛直方向の太い実線は障害物（3 cm）を表す。矢印は進行方向を示す。

図2 障害物回避時の前・後肢のつま先軌道の典型例

前肢においては、肘関節屈筋として上腕二頭筋、伸筋として上腕三頭筋の筋電図活動を記

録・解析した。外側半球部の第5-7小葉を吸引除去することにより局所的に破壊した後においても、通常の床上での歩行動作においては前肢、後肢ともに運動障害は観察されなかった。しかしながら、障害物を跨ぎ越し回避する際には、破壊側の前肢が leading limb として最初に障害物を跨ぎ越す際にのみそのつま先軌道に顕著な影響が観察され、一方で trailing limb として2番目に障害物を跨ぎ越す際にはそのようなつま先軌道への影響は観察されなかった。肘関節屈筋および伸筋の筋電図解析から、小脳外側半球部の微小破壊後にその破壊側前肢が leading limb として用いられる場合には、上腕二頭筋の筋放電活動が破壊前と比較して延長し、上腕三頭筋の筋放電活動の開始が遅延する傾向が観察された。以上より、外側半球部の機能傷害は、前肢特異的に、かつ、その leading limb として精度の高いつま先軌道の生成に影響を及ぼし、特に肘関節屈筋および伸筋の活動の切り替えのタイミングに影響を及ぼすことが示された。

小脳皮質からの出力はプルキンエ細胞の軸索により、外側半球部のプルキンエ細胞はその軸索を歯状核に投射する。ここで、歯状核から脳幹緒核への出力は無く、その多くは視床を介して反対側の大脳皮質運動関連領域に出力を送っている。上述した前肢が障害物を跨ぎ越す際の上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋放電活動は、大脳皮質運動関連領域からの脊髄への下行性の出力によって生成されていると推測され、その大脳皮質運動関連領域のニューロン活動の調節に小脳外側半球部からの入力大きな影響を及ぼしている可能性が推測された。そこで、ラットにおける大脳皮質運動関連領域において上腕二頭筋および上腕三頭筋の活動に関係付けられる部位を電気刺激実験により同定し、その部位のニューロン活動を歩行中に記録することができる実験システムを構築した。床上での歩行時および障害物回避時のニューロン活動の記録・解析は現在も進行中であり、さらなる実験が必要とされている。

ところで、プルキンエ細胞へのシナプス入力としては、脊髄、脳幹、橋などからの苔状線維、顆粒細胞、そしてその軸索である平行線維系の入力のほかに、延髄の下オリーブ核を起始とする登上線維系がある。目標到達運動課題において、下オリーブ核を薬理的に不活化すると肢先軌道が障害されることが報告されている。また、登上線維からプルキンエ細胞への興奮性シナプス伝達を薬理的に阻害するとプルキンエ細胞の自発的な発火活動に変調を生じることから、登上線維からのシナプス入力はプルキンエ細胞の発火活動、またその可塑性に重要な役割を有している。そこで、本研究においても、延髄下オリーブ核を選択的に破壊し、プルキンエ細胞への登上線維入力を傷害した際の床上での歩行動作および障害物回避動作を調べた。その結果、下オリーブ核を破壊されたラットは、障害物の無い床上での歩行において特に後肢に顕著な運動障害が観察された。遊脚相における膝関節角度および足関節角度の過度な屈曲に伴い、過度なつま先の挙上を示した。また、障害物回避動作において、下オリーブ核を破壊されたラットは、不安定なつま先の軌道を示し、特につま先の離地から障害物直上までの軌道に著しい影響が確認された。以上より、下オリーブ核―登上線維系の機能障害は、通常の歩行動作に対する影響に加え、より正確な肢先の軌道の生成が必要とされる障害物回避動作に大きな影響を及ぼしたことが示された。

II. 筋・骨格モデルによる動力学シミュレーション

本研究においては、ラットの詳細な解剖データに基づく後肢筋骨格モデルと、神経生理学的知見に基づいた歩行の神経制御モデルを構築し、それらを統合することで、ラットの後肢歩行運動に関する神経筋骨格モデルを構築した。

股関節・膝関節・足関節の回転関節で結合された平面直鎖型剛体リンク系として後肢の筋骨格モデルを作成した。骨格モデルに対応する各

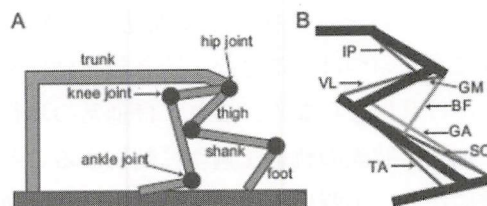


図3 ラットの後肢の筋骨格モデル

部の重量、関節位置、関節間の距離などを計測した。この骨格モデルに対して、図3のように歩行生成に主要な7本の筋を用いる。そのうち5本の筋が1関節筋であり、それぞれ股関節屈筋 (iliopsoas: IP), 股関節伸筋 (gluteus maximus: GM), 膝関節伸筋 (vastus lateralis: VL), 足関節屈筋 (tibialis anterior: TA), 足関節伸筋 (soleus: SO) に対応している。また、2本の筋が2関節筋であり、それぞれ股関節伸筋と膝関節屈筋 (biceps femoris: BF), 膝関節屈筋と足関節伸筋 (gastrocnemius: GA) に対応している。各関節のトルクはこれらの筋が発生する張力によって生成される。

神経制御モデルとして、各筋の運動ニューロンに投射される運動指令は以下の3つの要素から構成されるものとしてモデル化した。1) 脊髄における中枢パターン生成機構 (Central Pattern Generator: CPG) としては、歩行運動の基本的なリズムと位相情報の生成を担う2つの位相振動子から構成されるリズム発生部 (Rhythm Generator: RG) と、その出力を受け取るパターン形成部 (Pattern Formation: PF) の2階層から成る。2) 接地情報に基づく位相調整: 感覚情報に基づいて、運動指令の位相をシフトしてリズムをリセットする。3) 姿勢制御系として、腰の高さを保ち転倒しないようにすることと、質量中心の水平速度を保つことをフィードバック制御により行う。

障害物回避動作においては、leading limbが最初に障害物を乗り越えて接地してから、trailing limbが離地するように左右対側肢の間での位相調整、すなわち肢間協調 (interlimb coordination) による位相調整が重要な役割を

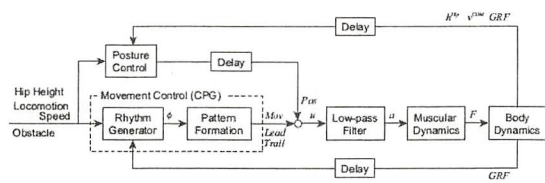


図4 神経モデル

果たすと考えられそのように設定してある。安定な歩行運動が実現されるようにパラメータを設定し、構築した神経筋骨格モデルに基づいて障害物回避動作の動力学シミュレーションを行った結果、転倒することなく安定な障害物回避が実現された。図5Aは動力学シミュレーションで実現された障害物回避動作のスティック線図であり、図5BとCは実際にラットの障害物歩行動作における leading limb と trailing limb のスティック線図である。

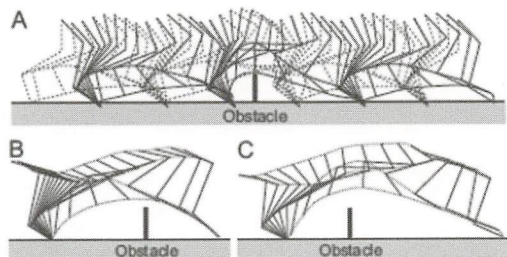


図5 障害物回避動作の動力学シミュレーション

障害物回避動作においては leading limb と trailing limb が障害物に衝突することなく跨ぎ越すこと、そして跨ぎ越した後に通常の歩行動作に素早く戻ることが重要である。障害物が高ければ高いほど、脚を高く上げる必要があるため、全身の姿勢が通常の歩行より乱れて転倒しやすくなる。すなわち、障害物回避においては高い障害物を跨ぎ越すことと、跨ぎ越した後で

安定に通常の歩行に戻ることは相反することになる。以上より、本研究で着目した肢間協調に基づく位相調整はより高い障害物の跨ぎ越しに関するパフォーマンスに寄与し、接地情報に基づく位相リセットによる調整は跨ぎ越した後の歩行の安定化に寄与することを確認することができた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究の期間において、障害物回避動作の際の大脳皮質運動関連領域におけるニューロン活動については十分なデータを得ることができず、今後も継続して実験を行う必要がある。また、現在、前肢の筋骨格モデルを測定・作成しており、今後は前・後肢を含む全身筋骨格モデルを構築する。これらの研究を基盤として近い将来には、ネコ・ラットなどの四足歩行動物の歩行・走行および障害物回避動作をシミュレートできる神経筋骨格モデルを構築し、脚型ロボットの制御系への応用を進めていく。

[成果の発表, 論文等]

Aoki, S., Yanagihara, D.: Effects of a unilateral lesion in the lateral cerebellum on limb movements of rats stepping over an obstacle during locomotion. The Society for Neuroscience annual meeting 2011, Washington, DC (2011年11月)

林 直宏, 青井伸也, 近藤学宏, 柳原 大, 青木 祥, 山浦 洋, 萩原直道, 船戸徹郎, 富田 望, 泉田 啓, 土屋和雄: ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢障害物回避歩行. 第24回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市 (2012年1月)

尚, 成果の一部については2つの論文として国際誌に投稿中である。

国際交流報告の抄録一覧

〔派遣〕

- ◆ ① 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2011)
② 3rd Annual Workshop on Brain-Machine Interfaces (Featured BMI Workshop) (2012101) 103
柏原考爾 徳島大学 大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 准教授
- ◆ RSNA 97th Scientific Assembly and Annual Meeting (2012102) 103
杉本真樹 神戸大学 大学院 医学研究科 内科学講座 消化器内科学分野 特命講師
- ◆ 2011 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011) (2012104) 104
西尾公裕 津山工業高等専門学校 電気電子工学科 准教授
- ◆ 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and
Communication Technologies (2012105) 104
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
- ◆ 2012 The ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2022002) 105
金石煥 筑波大学 システム情報工学研究科 博士後期課程3年
- ◆ DIGITAL HOLOGRAPHY AND 3-D IMAGING (DH), Biomedical Optics and 3-D Imaging :
OSA Optics and Photonics Congress (2022003) 105
田原樹 京都工芸繊維大学 大学院 工芸科学研究科 博士後期課程3年

〔特別招聘〕

- ◆ 第2回 文化とコンピューティング国際会議 (2013101) 106
石田亨 京都大学 大学院 情報学研究科 教授

〔国際会議〕

- ◆ The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence (2015001) 106
石井裕剛 京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 助教

◆ Laser Display Conference 2012 (LDC '12) (2015002)	107
黒田 和 男 東京大学 生産技術研究所 教授	
◆ 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) (2015004)	107
酒井 英 昭 京都大学 大学院 情報学研究科 教授	
◆ The 7th IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technologies in Education (WMUTE 2012) & The 4th IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL 2012) (2015005)	108
垂水 浩 幸 香川大学 工学部 信頼性情報システム工学科 教授	
◆ 第22回 IEEE ソフトウェア信頼性工学国際シンポジウム (ISSRE 2011) (2015006)	108
土肥 正 広島大学 大学院 工学研究院 情報部門 教授	
◆ ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2011 (2015007)	109
福地 健太郎 明治大学 理工学部 情報科学科 特任准教授	
◆ 9th IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (2015009)	109
松野 文 俊 京都大学 大学院 工学研究科 教授	

〔派遣〕

派遣研究者	徳島大学 大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 准教授 柏原 考爾	2012101
研究集会名	① 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2011) ② 3rd Annual Workshop on Brain-Machine Interfaces (Featured BMI Workshop)	
出張期間	平成 23 年 10 月 8 日～平成 23 年 10 月 15 日	
開催場所	アメリカ合衆国 アンカレッジ市	
発表論文	① Development of Automatic Filtering System for Individually Unpleasant Data Detected by Pupil-Size Change (瞳孔面積の変化に基づいた不快情報の自動フィルタリングシステムの開発) ② An Analytical Method for Face Detection Based on Image Patterns of EEG Signals in the Time-Frequency Domain (時間－周波数領域における脳波信号の画像パターンに基づいた BMI 解析手法の検討)	

概要：

今回の国際会議参加により、(研究テーマ1) 瞳孔面積から個人的な不快感情を推定できる自動フィルタリングシステムの開発 及び (発表テーマ2) サポートベクターマシンの特徴量抽出に Bag of Keywords 法を適用し、脳波信号をリアルタイムに解析できる新たな手法についての研究発表を行い、各国の研究者と意見交換を行った。この様なヒューマンインタフェースに関する先駆的な研究成果を全世界に向けて配信するためには、人間と機械の調和に関して多くの重要テーマが発表される IEEE SMC が最も適していた。特に、ブレイン・マシンインターフェース (BMI) に関連した開発研究 (研究テーマ2) は、本国際会議のワークショップとして重要テーマに取り上げられた。この BMI や個々の感情状態を反映するデバイスの開発は、筋萎縮麻痺の患者への応用はもとより、我々の日常生活の質を向上させる可能性を有する。また、種々の関連テーマを聴講し、情報交換を行うことにより、新たな研究テーマへの手掛かりとすることも国際会議参加の大きな目的であった。情動情報を反映させ、システム設計まで考慮した研究は、今後の重要課題であるため、本研究を応用することで、介護士や患者間の心の通ったコミュニケーション (通常、四肢麻痺患者などでは困難) を実現するシステムの構築を目指す。

〔派遣〕

派遣研究者	神戸大学 大学院 医学研究科 内科学講座 消化器内科学分野 特命講師 杉本 真樹	2012102
研究集会名	RSNA 97th Scientific Assembly and Annual Meeting	
出張期間	平成 23 年 11 月 27 日～平成 23 年 12 月 3 日	
開催場所	アメリカ合衆国 シカゴ市	
発表論文	Biotexture Modeling by Multimaterial 3D Printing System for Personalized Surgical Simulation, Navigation, and Actual Medical Education (多素材三次元プリンターを用いた生体質感造形技術による個別外科支援と実践的医療教育)	

概要：

〔国際会議等に参加する目的と意義〕
本研究は、人体医用画像のデジタル情報化という技術革新を、実際の医師による診療や医療教育に役立てるために三次元造形に活用し、個人の臓器に触れながら把握し診療や健康管理に役立てることできるという、人間を重視した真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的としている。
我々が開発した生体質感造形技術 (特許出願済) は、CT などの医療画像情報を用いて、人体の臓器を三次元プリンターにより硬さの異なる多素材樹脂にてコピー造形し、生体の柔らかさや微細な表面構造、内部構造を最小 16 マイクロメートルの精度で再現することに成功した。この独自の技術は世界でも他に類が無く、情報化と科学技術の進歩と、日本の高度なものづくり技術の調和により成しえた成果であり、国際会議にて広くアピールし、世界規模でさらに研究開発を促進し、国際社会へ貢献したいと考えている。
この技術によって正確な診断治療と手術精度向上、安全性確保、医療教育発展に貢献したという結果は、まさに人と機械の調和を促進し、豊かで健全な社会を創造すると考えている。
〔意義と得られた成果／効果〕
本研究はエレクトロニクス及び情報工学を医用画像解析に応用し、人体の構造をデジタルデータとして完全理解したのちに立体造形として正確に再現することで、人間が五感を持って最も認知しやすいアナログの形へ還元するという、まさに人間と機械の調和を促進する革新的研究である。このたび研究成果を発表したことにより、日本国外の医師、技師との多数の交流を持つことができた。そして言葉の壁を越え、国際的な医療技術や医療機器開発の格差や手技の比較、臨床導入してゆく上での医療現場での問題点などを検討できた。これは日本での臨床応用の導入を円滑に進める一助となった。また、今後米国を初めとした海外研究機関との共同研究を進める基盤となる国際的友好関係を構築でき、情報共有化と機器開発の促進に貢献した。新たなコンピュータ 3 次元医用画像解析による腹腔内および内視鏡機器のナビゲーションシステムを臨床応用する上で、人と機械の調和による安全な最先端医療の発展が期待できる。

〔派遣〕

派遣研究者	津山工業高等専門学校 電気電子工学科 准教授 西尾 公裕	2012104
研究集会名	2011 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011)	
出張期間	平成 23 年 11 月 15 日～平成 23 年 11 月 17 日	
開催場所	中華人民共和国 上海市	
発表論文	Analog-Digital Circuit for Motion Detection Based on Vertebrate Retina and Its Application to Mobile Robot (網膜に基づくアナログ-デジタル混在型動き検出回路とその移動ロボットへの応用)	

概要：

脳の情報メカニズムを知ることは、さまざまな可能性を生み出すものとして大いに注目されている。本国際会議 (ICONIP) では、毎年、生理、心理、理工学の学際分野における神経科学、脳の情報処理、ニューロコンピューティング技術、ハードウェアなどの発表が行われている。

私はこれまでに、網膜に基づき、よりシンプルでより安定に動作する動き検出電子回路の構築を試みてきた。また、電子回路から得られた出力信号を用いたロボットの制御方法を検討し、ロボットビジョンへの適用も試みてきた。

これまでの研究成果を多くの研究者の前で発表し、議論することで、今後の電子回路を発展させるためのヒントを得ることが、今回の国際会議に参加する一つの目的とした。また、本研究で構築したセンサは、動物の脳機能と比較すると一部分の機能であり、将来の脳型ロボットを実現させるためには、いろいろな技術を集結させる必要があると考えられる。よって、将来のロボットを実現させるためには、新しい成果を大きな国際会議などで発表する必要がある、情報発信することも今回の国際会議に参加する目的であ果を大きな国際会議などで発表する必要がある、情報発信することも今回の国際会議に参加する目的であった。国際会議では、他研究者の最新の研究発表を聴講することができる。今後の研究のための情報収集を行うことも目的とした。

この国際会議では、発表時間が2時間のポスター発表を行った。多くの研究者に聴講してもらうことで、情報発信をすることができたと考えられる。また、多くの研究者と議論をすることで、今後のためのヒントを得ることができた。さらに、多くの発表を聴講することで、今後のための情報収集を行うことができた。

〔派遣〕

派遣研究者	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	2012105
研究集会名	4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies	
出張期間	平成 23 年 10 月 24 日～平成 23 年 10 月 31 日	
開催場所	スペイン国 バルセロナ市	
発表論文	Automated lesions detection in retinal images (眼底画像における病変の自動検出)	

概要：

本会議は、生体医工学とコミュニケーションに関する技術を対象にした欧州で開催される国際会議である。近年、人間のジェスチャーを自動認識し、情報機器のインタフェースとする手法が実用化されつつあったり、生体情報の認識技術が実用化されていたりするなど、両分野の関わりが強まっている中、欧州の研究者が立ち上げた新しい分野の国際会議である。申請者は医用画像上の病変を自動検出する手法開発が専門であり、従来は医用画像の国際会議、もしくは生体医工学の国際会議に出席しているが、本国際会議には初めて出席した。申請者にとっては、通常は参加しない分野の講演が数多くあり、幅広い研究発表を一度に聴講できたことが一番の収穫であった。本会議にて、申請者は眼底画像から糖尿病性の病変と動脈疾患を一度に自動検出する技術に関する招待講演を行った。糖尿病性の病変について、本講演では出血を対象としたが、眼底出血の自動検出に関しては、欧米でも盛んに行われているために、強い印象を与えることはできなかった。しかしながら、本講演では動脈疾患として細動脈狭窄のために動静脈口径比を自動計測する手法についても講演したところ、申請者の知る限りでは世界で他に成功した事例がないことから、高く評価された。また、同じく眼底画像を取り扱った研究発表について興味を引かれた。経時的に撮影された2枚の眼底画像を使って、高解像度の眼底画像を作成する技術であり、申請者も類似の研究の準備を行っていたところであったため、非常に参考になった。以上のことより、本国際会議への参加は、申請者の研究活動に対して有意義であった。

[派遣]

派遣研究者	筑波大学 システム情報工学研究科 博士後期課程 3 年 金 石 煥	2022002
研究集会名	2012 The ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems	
出張期間	平成 24 年 5 月 3 日～平成 24 年 5 月 14 日	
開催場所	アメリカ合衆国 オースティン市	
発表論文	Enabling Concurrent Dual Views on Common LCD Screens	

概要：

CHI は HCI (Human Computer Interaction) の分野でトップ国際学会であり、関連する色々な分野の研究成果が発表される。今回約 3000 人が参加して 370 件の論文が発表された。個人的にこの学会に参加する目的は、自分の論文の発表、実際のシステムのデモ、学生ボランティア活動である。論文の発表は、200 人くらいのオーディエンスを前に少し緊張したが、オーディエンスがよく理解してくれて成功的な発表だったと思われる。実際のシステムのデモでは Google, Microsoft, MIT, CMU 等から来た世界的な研究者の前で自分のシステムを直接説明してコメントをいただき、意見交換が出来た。例えば、MIT の MEDIA 研究室でディレクタである石井裕先生からは、面白いアイデアで既存の物の弱いことを長点にする良い研究だとのコメントがあった。学生ボランティア活動を通して色々な国の大学から来た学生と会う良い機会だった。

[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 博士後期課程 3 年 田原 樹	2022003
研究集会名	DIGITAL HOLOGRAPHY AND 3-D IMAGING (DH), Biomedical Optics and 3-D Imaging : OSA Optics and Photonics Congress	
出張期間	平成 24 年 4 月 28 日～平成 24 年 5 月 4 日	
開催場所	アメリカ合衆国 マイアミ市	
発表論文	High-speed 4-D biological microscope based on parallel phase-shifting digital holography (並列位相シフトデジタルホログラフィに基づく高速 4 次元生体顕微鏡)	

概要：

本会議は、3 次元イメージング技術、特に単一露光 3 次元イメージング可能な技術であるデジタルホログラフィにおいて世界トップクラスの研究者たちが一堂に会し、世界各国から 3 次元イメージング技術、3 次元顕微鏡、デジタルホログラフィなどの最先端科学技術に関して議論を交わす場である。また、本年は生細胞イメージング顕微鏡技術を始めとする生体医用光学の国際会議と合同開催された。

この会議で、申請者が世界で初めて考案し構築した、微視的領域における 3 次元動的現象の高画質動画イメージング(4D イメージング)を可能にする並列位相シフトデジタルホログラフィック顕微鏡とその性能を世界に向けて紹介し、世界最先端の研究者と議論することを目的・意義とした。本会議では、当該顕微鏡を構築し生体の 3 次元動画イメージングにおいて世界最高速となる毎秒 15 万コマで 3 次元動態記録に成功したことを発表した。発表・議論した結果、構築した顕微鏡において画質を劣化させる原因の一端が明らかとなり、また構築顕微鏡に対し装置のコンパクト化、低コスト化に工夫の余地があるという知見を得た。また、撮像システム、デジタルホログラフィック顕微鏡の研究者だけでなく生細胞イメージング顕微鏡開発の研究者とも議論を交わすことができ、生細胞内物質の可視化に構築顕微鏡が有望であることが明らかとなった。

本会議の参加・発表により、構築顕微鏡が、微小な病理細胞などの人間が観察し得ない実世界の微視的領域の 3 次元シーンを記録し、人間も知覚可能にする次世代マン＝マシンインターフェースとして『人間と機械の調和の促進』へ貢献し得ることを示し、意義を果たすことができた。

〔特別招聘〕

招 聘 者	京都大学 大学院 情報学研究科 教授 石田 亨	2013101
研究集会名	第2回 文化とコンピューティング国際会議	
出張期間	平成23年10月18日～平成23年10月23日	
開催場所	京都市	
被 招 聘 者	Sarah Kenderdine, City University of Hong Kong（香港城市大学）・客員准教授	

概 要：

情報学と文化との関わりには様々なものが考えられる。情報学の研究成果を用いて歴史的文化を保存する方向、人文科学の研究を進める方向、文化的活動を促進する方向、多文化共生に寄与する方向などである。国際社会は、今後、人口、エネルギー、環境、食糧などの多くの問題に直面することが考えられる。こうした課題を克服するために、地球規模の合意形成が必要となることが求められ、他国の文化を理解し、対話を通じてその違いを越えてゆくために情報学の寄与が考えられる。そこで、本会議は文化とコンピューティングに関わる問題意識や研究成果を共有することを目的とし、開催する。

そのため、情報工学系の研究者に加え、人文科学、メディア芸術など幅広い分野からの参加があり、分野を超えた新たな連携がうまれそうである。

Sarah Kenderdine 教授は、博物館や美術館における対話的な没入体験の研究の前線で活躍しており、幅広い展示作品を通じて、歴史的文化財と近代的メディアアートを融合させてきた。当会議で Kenderdine 教授が行ったインタラクティブ性の高い没入型文化遺産展示システムでは、香港城市大学に新設された Applied Laboratory for Interactive Visualization Embodiment (ALiVE) にて研究開発された様々な事例を紹介するとともに、システムのデータ取得技術や、アーカイブ素材の再利用、巨大3次元ディスプレイ装置についての課題や今後について講演がなされた。

Kenderdine 教授を当会議に招聘することにより、教授の独創的な視点や最先端の技術を用いた新しい展示環境について学ぶということだけではなく、多分野の参加者からの広い観点からの討論がされるなど、会議開催者が期待した以上の成果を得ることができた。

〔国際会議〕

申 請 者	京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 助教 石井 裕剛	2015001
研究集会名	The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence	
開催期間	平成23年11月28日～11月30日	
開催場所	大阪大学基礎工学部 国際棟	
申請者の役割	Financial Chair	

概 要：

本会議は、人工現実感とテレプレゼンス（遠隔臨場感・存在感）に関する世界で最も歴史のある国際会議であり、今回が21回目の開催となる。対象とする研究は、機械操作訓練や機械操作支援にも応用可能な人工現実感、遠隔機械操作支援に資するテレプレゼンスに加え、人と機械との間の新しいインタラクション形態を模索するユビキタス・ウェアラブルコンピューティング等、人と機械の調和の促進に関わる問題を多く扱う会議である。これらの研究分野は進歩が非常に速く、毎年定期的に世界の研究者・技術者が集い、情報交換を行うことは極めて重要であり、当会議はその適切な場を提供することを目的としている。

東日本大震災の影響で、例年と比べて参加者が減少することが懸念された中での開催であったが、フルペーパー20件、ポスター21件、デモ17件が採択され、例年よりも多い113名の参加者を集めた開催となり、参加者間で非常に活発な議論がなされた。

本会議では特に、Keynote 講演で「Toward Improved 3D Telepresence」と題して、遠隔地間で自由移動かつ裸眼立体視をしながらコミュニケーションできる最新のシステムが紹介され、また、災害時の遠隔ロボット操作に応用可能な技術として「TouchMe: An Augmented Reality Based Remote Robot Manipulation」が Honorable Mention に選ばれるなど、社会が早急に必要としている遠隔操作やコミュニケーションの技術レベルの向上が顕著である印象を受ける会議となった。

〔国際会議〕

申請者	東京大学 生産技術研究所 教授 黒田 和男	2015002
研究集会名	Laser Display Conference 2012 (LDC '12) レーザーディスプレイ国際会議	
開催期間	平成 24 年 4 月 26 日～4 月 27 日	
開催場所	パシフィコ横浜	
申請者の役割	組織委員長	

概 要：

本国際会議は世界で始めて開催された、レーザーディスプレイに関する会議である。研究開発と実用化が急速に拡大しているレーザーディスプレイに関する、広範な技術を深く統合的に議論し、新規な産業領域の創造に資する事を目的として、公益社団法人応用物理学会日本光学会レーザーディスプレイ技術研究グループが関係学会のスポンサーシップ並びに立石科学技術振興財団等の援助を得て企画開催した。2 日間の開催ではあるが、日本を含め 12 の国々から計 152 名の研究者が集まり、採択された論文とポスターは夫々 31 件と 30 件であった。日本を除く各国の参加者は台湾 10 名、米国 5 名、ドイツ 5 名、中国 5 名、韓国 4 名、イスラエル 2 名、ノルウェー 2 名、カナダ、チェコ、アイルランド、ポーランドが各 1 名であった。基調講演として緑色半導体レーザーの開発状況がオスラムより、レーザーテレビが三菱電機より行われ、活発な質疑応答があった。口頭発表は 8 セッションあり、各セッションで 1 ないし 2 名の招待講演が行われた。セッションは項目別で、小型から大型までの光源技術、MEMS 系スキャナー、空間変調器、光導波、信号処理と雑音低減技術等、広範な要素技術分野で活発な議論と意見交換が持たれた。オーラルセッションでの質疑応答は、まれに見るほど活発であり、参加者の熱意と知見の高さが窺えるものであった。また、一回のポスターセッションを行ったが、他の同時開催会議参加者が議論に参加する等、この技術領域に関する多方面からの関心の高さが分かる。優秀論文賞三件をプログラム委員会が投票で決定、顕彰した。受賞各位は、Dr. U. Hofmann 等 (Fraunhofer Institute for Silicon Technology ISIT, Germany), Dr. S. Kato 等 (CITIZEN Holdings Co., Ltd, Japan), 及び Dr. T. Suzuki 等 (TOYO GLASS Co., Ltd.) である。

〔国際会議〕

申請者	京都大学 大学院 情報学研究科 教授 酒井 英昭	2015004
研究集会名	2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) (2012 年米国電気電子学会 音響・音声・信号処理に関する国際会議)	
開催期間	平成 24 年 3 月 25 日～3 月 30 日	
開催場所	国立京都国際会館	
申請者の役割	共同組織委員長	

概 要：

信号処理は、視覚や聴覚で知覚される映像や音声等を主な対象として、電気工学や通信工学を中心に発展してきた技術であり、従来から人間と機械の調和の促進に貢献してきた。今日では工学のみならず、経済学、医学などの人間社会に深く関わる分野でも必要不可欠な基盤技術となっている。特に最近では、安全や安心、最適化社会実現に関わる話題など、より人間側の視点からの応用が注目されている。本会議の目的は、これら広い学問分野の世界第一線の研究者が一堂に会し、最新の成果や産業界での新展開について議論する場を提供することである。本国際会議は、アジア諸国の経済発展や IT 産業の活性化に伴い、2009 年の台北での開催に続き、2012 年に再びアジアの「日本」での開催されることで、近隣諸国の研究者にとって大きな目標となっている。特に、我が国にとっては、この分野で引き続き世界をリードしていくためにその意義は非常に大きいと考えられる。本会議では、国内から 500 名以上、海外からは 50 を越える国及び地域から、当初の予想を大幅に上回る 1,500 名以上、合計 2,000 名以上の参加者があり、今後の IT 社会に必須な上記学問分野の発展に我が国が貢献すると同時に、学生を中心とした若手研究者に対し大きな刺激を与えるまたとない機会となった。さらに、音声信号処理の分野において国内から多数の優れた研究成果が発表され、この分野での我が国の主導的役割をさらに強固なものとする事ができた。同時に、重要な領域で我が国の研究者層の比較的薄い分野でも、世界中から参加した主要研究者の最新の研究成果に刺激を受けて、当該分野の研究の発展が今後期待できる。また、本会議には多くのアジア・太平洋地域の主要研究者が参加しており、この地域での研究交流がますます盛んになるきっかけともなった。

〔国際会議〕

申請者	香川大学 工学部 信頼性情報システム工学科 教授 垂水 浩幸	2015005
研究集会名	The 7th IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technologies in Education (WMUTE 2012) & The 4th IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL 2012)	
開催期間	平成 24 年 3 月 27 日～3 月 30 日	
開催場所	かがわ国際会議場およびサンポートホール高松	
申請者の役割	General Chair	

概要：

本合同会議は情報と通信に関する科学・工学の教育応用（教育工学）に関するトップレベル会議である。WMUTE（無線、移動、ユビキタス技術と教育に関する国際会議）は教育にモバイル・ユビキタスコンピューティングなどを応用する技術と教育実践に関する論文発表の場である。DIGITEL（デジタルゲームと知的玩具による教育に関する国際会議）はデジタルゲームや知的玩具の教育応用に関する技術と実践に関する論文発表の場である。この二つの会議はいずれも隔年開催となり、関連が深いので前回（2010 年）から合同開催となっている。いずれも質の高い会議であり、今回もフルペーパー採択率が WMUTE で 25%、DIGITEL で 30.4% と難関になった。教育は人間を対象とする分野であるが、教育を効果的に行うための技術導入については技術と教育という学際的な検討が必要である。本合同会議は技術的先進性と現場での教育効果のバランスのとれた議論が行われる場である。

本研究分野は東アジア、特に台湾・香港が研究コミュニティを形成している。今回は特に台湾からの参加者が多かった。参加者数は総合計で 156 名、うち日本からは 55 名、台湾からは 52 名であった。一方でヨーロッパからの参加者数も多く、ベテラン研究者から若手までが国際色豊かに交流し、研究コミュニティの活性化とグローバル化に大きく寄与した。このような会議を日本で開催することにより、当該研究分野における日本のプレゼンスを高めることができた。

〔国際会議〕

申請者	広島大学 大学院 工学研究院 情報部門 教授 土肥 正	2015006
研究集会名	第 22 回 IEEE ソフトウェア信頼性工学国際シンポジウム (ISSRE 2011)	
開催期間	平成 23 年 11 月 29 日～12 月 2 日	
開催場所	広島国際会議場	
申請者の役割	実行委員長	

概要：

平成 23 年 11 月 29 日～12 月 2 日において、ソフトウェア信頼性工学の分野では世界最高水準の国際会議である第 22 回 IEEE ソフトウェア信頼性工学国際シンポジウム (22nd IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering: ISSRE 2011) を広島市において開催した。19 カ国 200 名の参加者が集結し、ソフトウェア信頼性工学における高い水準の研究論文の発表や研究討論を行うことができ、会議を成功裏に終えることができた。ソフトウェア信頼性・安全性・セキュリティ、ソフトウェアプロジェクト管理、メトリクス計測、ソフトウェアテスト等に関する最新の話題にふれることができた。情報社会インフラの根幹を支えるソフトウェアの信頼性を検討することは、安心・安全を最高の価値基準とする情報システム技術の発展に大きく寄与する。ISSRE を我が国で初めて開催したことで、ソフトウェア信頼性工学の我が国における産学連携事業が活性化され、安心・安全を最高の価値基準とする情報システム技術の進展に繋がることが期待される。我が国におけるソフトウェア信頼性工学のコミュニティも立ち上がり、産学連携の立場から高信頼化ソフトウェアの開発を重要視する機運がこれまで以上に高まってきたと言える。研究成果は電子媒体 IEEE Explore を通じて世界中に公開されており、近々、電子情報通信学会論文誌においてもソフトウェア信頼性工学の特集号が掲載される予定である。

〔国際会議〕

申 請 者	明治大学 理工学部 情報科学科 特任准教授 福地 健太郎	2015007
研究集会名	ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2011	
開催期間	平成 23 年 11 月 13 日～11 月 16 日	
開催場所	神戸国際会館	
申請者の役割	実行委員長	

概 要：

当会議は「ヒューマンコンピュータインタラクション」、すなわち人間とコンピュータシステムとの相互作用についての研究分野の一つであり、近年成長が著しい「テーブルトップ」と呼ばれる分野に関する、唯一の国際会議である。テーブルという日常生活で誰もが常に触れている領域を情報世界への一アクセス手段とすることで、従来のコンピュータの使用形態に囚われない、生活環境における新しい人間と機械との関わり方を提案していくことを目的としている。

これまでこの分野では米欧に加え日本でも多くの研究がなされてきており、その帰結として 2011 年度の日本開催が決定した。特に日本では家電メーカーや事務機器メーカーなどの民間企業が積極的に当該分野での製品開発を進めているため、産学の交流が強く期待されている。

今回の会議では基礎的な技術から応用まで幅広い内容の発表が集まった。ベストペーパー賞を受賞した発表はバイオ系のラボでのテーブルトップシステムの応用についての研究であり、本分野の応用範囲の広さを示すものであった。また、今回は 19 カ国から 147 名の参加があった。うち海外からの参加者は 83 名で、韓国・中国・台湾・インド・オーストラリア・ニュージーランドと、アジア・オセアニア圏からの参加者が増加した。また、国内の多数の企業・大学から協賛があり、本分野での日本の存在感をアピールすることができた。

〔国際会議〕

申 請 者	京都大学 大学院 工学研究科 教授 松野 文俊	2015009
研究集会名	9th IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics	
開催期間	平成 23 年 11 月 1 日～11 月 5 日	
開催場所	京都大学吉田キャンパス	
申請者の役割	実行委員長	

概 要：

本国際会議では、警備・安全・災害対応分野のロボットシステムを対象として研究発表と討議を行い、国際交流とそれに基づく研究の発展を目的とする。本国際会議により得られた成果として、社会的効果と学術的效果を挙げる。

社会的効果としては、東日本大震災が発生した年に世界各国の研究者が集い、実際に行われている災害対応を議論できたことは意義が大きいことである。特に本国際会議で発表されたロボットが福島第一原子力発電所に投入されており、その活動を公開した。さらに、世界中の災害に関わる研究者の英知を結集して今後のあり方を議論した。

学術的效果としては、本国際会議は、米国電気電子学会（IEEE）と NPO 法人国際レスキューシステム研究機構の共催で開催した。発表される全ての論文は IEEE のウェブサイト「IEEE Xplore」で公開されるため、世界 150 カ国 38 万人以上の IEEE の会員だけでなく、多くの研究者や学生にも公開される。本会議の成果を広く公開することは今後の当該分野の学術的発展に大きく寄与すると考えられる。



-
- 平成 23 年度活動報告
 - 平成 24 年度助成報告
 - 第 2 回立石賞表彰式並びに平成 24 年度助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 23 回 (平成 24 年度) 研究助成課題一覧
 - 第 22 回 (平成 23 年度後期) 国際交流助成課題一覧
 - 第 23 回 (平成 24 年度前期) 国際交流助成課題一覧
 - 平成 24 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 25 年度助成候補募集案内

平成 23 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成 23 年 4 月 1 日	平成 23 年度後期国際交流助成、国際会議等開催助成、第 2 回立石賞の申請応募受付開始
5 月 17 日	予定していた第 22 回（平成 23 年度）助成金贈呈式を中止
6 月 3 日	第 7 回理事会、第 3 回評議員会開催 ・平成 22 年度事業報告及び決算報告の承認 ・平成 24 年度助成課題募集方法の承認
6 月 30 日	平成 23 年度後期国際交流助成の申請締切（32 件受付） 平成 23 年度国際会議等開催助成の申請締切（14 件受付） 第 2 回立石賞（功績賞 15 件、特別賞 4 件受付）の申請締切
8 月 1 日	平成 24 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
9 月 1 日	平成 24 年度研究助成課題の申請応募受付開始
9 月 9 日	平成 23 年度夏季選考委員会 ・平成 23 年度後期国際交流助成課題候補の選考 ・平成 23 年度国際会議等開催助成課題候補の選考
9 月 30 日	助成研究成果集第 20 号発行
10 月 1 日	平成 24 年度前期国際交流助成の申請応募受付開始
10 月 31 日	平成 24 年度研究助成課題の申請締切（124 件受付）
12 月 31 日	平成 24 年度前期国際交流助成の申請締切（16 件受付）
平成 24 年 1 月 27 日	平成 23 年度冬季選考委員会開催 ・平成 24 年度研究助成課題候補の選考 ・平成 24 年度前期国際交流助成課題候補の選考 ・第 2 回立石賞候補者の選考
3 月 9 日	第 9 回理事会、第 4 回評議員会開催 ・平成 24 年度事業計画及び収支予算案の承認 ・平成 24 年度助成課題及び第 2 回立石賞の承認

収 支 計 算 書

(自 平成 23 年 4 月 1 日 至 平成 24 年 3 月 31 日)
(単位：千円)

I 事業活動収支の部	
1. 事業活動収入	
基本財産運用収入	78,750
特定資産運用益	14,618
寄付金収入	20,500
雑収入	9
2. 事業活動支出	
事業費支出	74,654
管理費支出	8,878
事業活動収支差額	30,345
II 投資活動収支の部	
1. 投資活動収入	
助成事業積立資産取崩収入	20,000
2. 投資活動支出	
助成事業積立資産取得支出	50,000
投資活動収支差額	△ 30,000
III 財務活動収支の部	
1. 財務活動収入	0
2. 財務活動支出	0
財務活動収支差額	0
当期収支差額	345
前期繰越収支差額	28,701
次期繰越収支差額	29,046

貸 借 対 照 表

(平成 24 年 3 月 31 日)
(単位：千円)

I 資産の部	
1. 流動資産	
現金	9
普通預金	29,037
有価証券	0
2. 固定資産	
(1) 基本財産	
有価証券	4,672,500
(2) 特定資産	
事業運営資産	1,100,000
事業積立資産	130,000
(3) その他の固定資産	150
資産合計	5,931,696
II 負債の部	
1. 流動負債	0
2. 固定負債	0
負債合計	0
III 正味財産の部	
1. 指定正味財産	5,902,500
寄附金	1,100,000
寄附株式	4,672,500
事業積立資産	130,000
2. 一般正味財産	29,196
正味財産合計	5,931,696

平成 24 年度助成報告

本年は、平成 24 年度研究助成課題に対し平成 24 年 5 月 24 日助成金贈呈式と合わせて第 2 回立石賞表彰式を開催し、次の助成・表彰を行なった。

研究助成	26 件	5,501 万円
国際交流助成（前期）	4 件	122.5 万円
立石賞（功績賞）	2 件	1,000 万円
立石賞（特別賞）	1 件	500 万円
合 計		7,123.5 万円

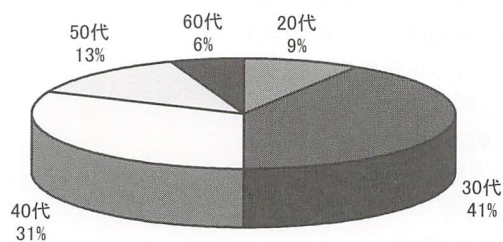
なお、後期国際交流助成と国際会議等開催助成は、平成 24 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成顕彰事業は、研究助成 496 件、国際交流助成 251 件、立石賞 5 件、助成総額約 12 億 6741 万円となった。

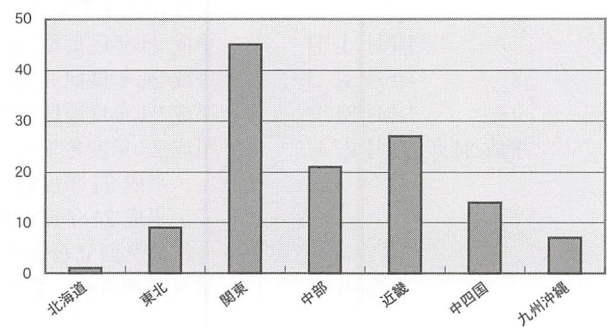
● 平成 24 年度助成の応募状況

(1) 研究助成（平成 24 年度）

① 年令別

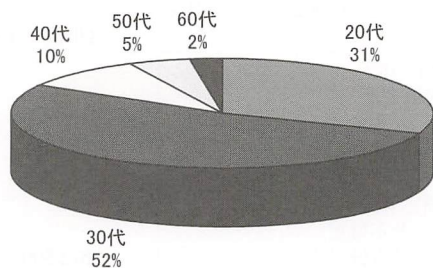


② 地域別

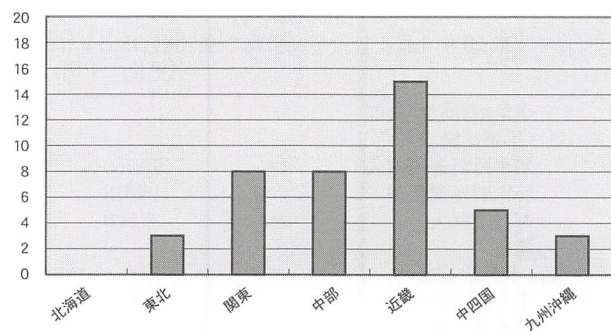


(2) 国際交流（派遣）助成（平成 23 年度後期～平成 24 年度前期）

① 年令別

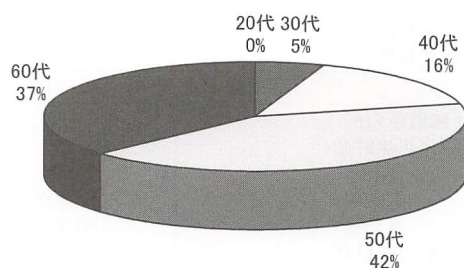


② 地域別

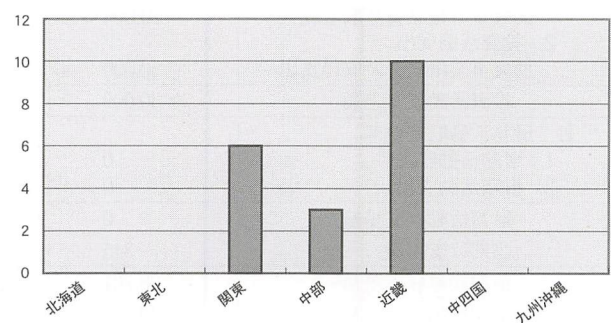


(3) 第 2 回立石賞（功績賞・特別賞）

① 年令別



② 地域別

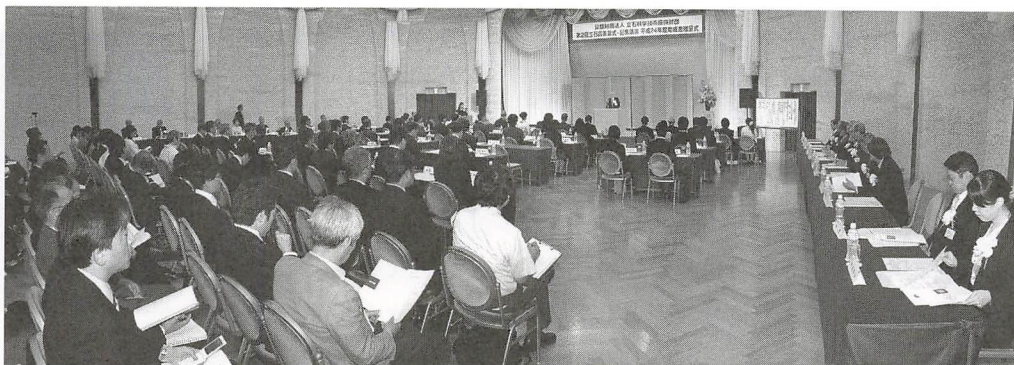


第2回立石賞表彰式並びに平成24年度助成金贈呈式

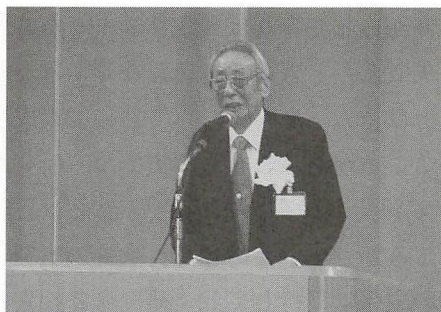
日時：平成24年5月24日（木）

場所：グランドプリンスホテル京都

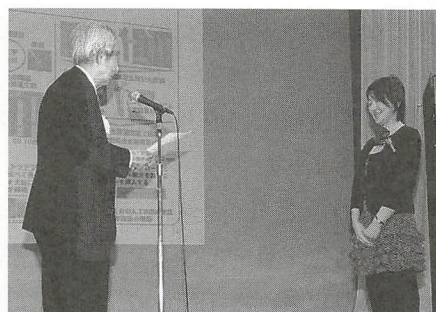
第2回立石賞表彰式並びに平成24年度助成金贈呈式は、来賓の文部科学省 大臣官房審議官 森本浩一様、京都府 商工労働観光部 部長 田中準一様、はじめ、第2回立石賞受賞者及びその関係者、平成24年度研究助成金受領者、財団関係者、一般聴講者を含めて、約200名の出席のもとに開催しました。立石信雄理事長より立石賞表彰と研究助成金目録の贈呈を行ないました。



表彰式・贈呈式会場



立石理事長挨拶



研究助成目録の贈呈



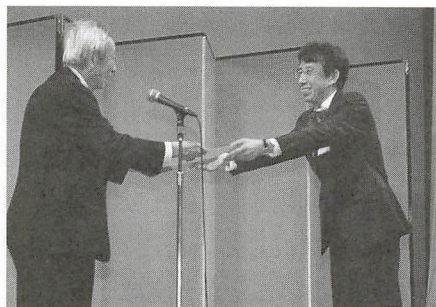
立石賞功績賞の表彰



立石賞功績賞の表彰

なお、立石賞受賞者には記念講演を実施していた
だき、研究助成受領者には懇親交流会の中で研究課
題の内容や目標についてポスターを用いてご説明い
ただきました。

※課題発表は、125～128 頁に掲載



立石賞特別賞の表彰

受 領 者 投 稿

「とにかくやらせてくれる」ことの有難さ

千葉大学 大学院 融合科学研究科 准教授 堀 内 隆 彦

(第16回受領者)

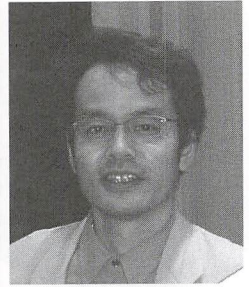
デジタル画像処理の研究に携わっていると、最後に避けて通れない課題が処理結果の評価です。画像処理は、長年にわたって信号処理の学問分野の延長として捉えられ、発展してきました。したがって、処理結果の評価に関しても、信号処理分野で用いられてきた信号対雑音比などの誤差評価が主流であり、信号波形としての類似性が重要視されてきました。しかしながら、実際に画像を見ているのは我々人間であり、人間が主体となった画像処理と評価を行うべきであるとの考えに至ったのが30歳。それ以来、視覚情報処理を積極的に取り入れたスタンスで、研究を行ってきました。

研究助成の対象となった私のテーマは、「脳での見えの最適化を目的とする新しい画像符号化」です。標準化されたJPEGなどの画像圧縮を目的とした符号化技術は、画素がもつ色信号の冗長性を信号処理の立場から取り除くことを目的として作られました。しかし、脳で見ている画像は、視距離によって異なることから、評価尺度が異なることは明らかです。そこで、脳での見えを最適化する画像符号化手法の研究を開始しました。研究を行うためには、実験設備を構築するための研究資金が必要となりましたが、新しい着想の研究は過去の関連研究業績が乏しいため、競争的研究資金を獲得することが困難であり、途方に暮れていました。ちょうどそのとき、過去の研究業績よりも将来の発展に期待してくれる研究支援として、立石科学技術振興財団の研究助成が目にとまり、背水の陣で応募したところ採択していただくことができ、薬をも掴むとはこのことかと実感しました。

家庭での子供の躾けから会社における社員教育まで、頭で考えて試行錯誤するよりも、「とにかくやらせてみる」ことは、時として重要であると言われていま

す。しかし、結果が見えないその方法は、やらせる側からしてみれば大変リスクなことであり、失敗したときの覚悟をしなくてはなりません。とは言え、やらせてみて初めて大成功につながることもあることも事実です。研究助成に限って言えば、高額な研究資金を「とにかくやってみなさい」との如く、過去の実績よりも将来の成果に期待して我々研究者に投資してくれる財団は、立石科学技術振興財団の他に、残念ながらお目にかかったことがありません。そのような意味で、大変貴重なご支援をいただけたと思っています。

私への研究助成が大成功であったか否かはわかりませんが、研究助成の成果として、主に高圧縮域において、JPEGよりも良好な画像符号化結果が得られ、災害時通信などへの応用が期待できる結果が得られました。そして、現在においても、視覚情報処理を考慮した画像処理研究が、私のライフワークとなりました。研究人生において、大きな節目となった貴財団の研究助成にあらためて感謝するとともに、大学における学生教育においても「とにかくやらせてみる」ことの重要さを意識しながら、今後も取り組んでいきたいと考えています。



受領者投稿

フォトニック結晶による超高感度バイオセンシング

横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授 馬場俊彦

(第17回受領者)

フォトニック結晶は光学波長程度の周期をもつ多次元構造であり、発光や光伝搬を強力に制御できるという特長をもつ。また最も汎用な構造である2次元フォトニック結晶スラブは構造が露出されており、周囲の媒質に対して特性を敏感に変化させる。これを利用すれば、高感度センサを構成することができる。本研究では特に微量のタンパク質の付着、あるいは抗原抗体反応を検出するバイオセンサの実現を目指した。

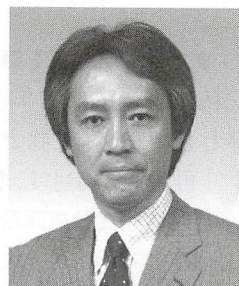
周囲媒質に敏感な特性として、当初、二つの候補が考えられた。一つは光伝搬角度が大きく変化するスーパープリズム効果、もう一つは光を3次的に閉じ込め鋭いスペクトルを示す微小共振器効果である。立石財団に援助いただいた当時は主に前者を検討したが、伝搬角度が変化したときのビーム広がり著しいためセンサとして高分解能が得られないという問題が明らかになり、研究を断念した。一方、並行して研究を進めていた後者にも光の入出力が難しいという問題があったが、本研究では微小共振器をIII-V族半導体ウエハに形成して微小レーザとすることで問題を解決した。この場合、簡単な顕微光学系によりレーザを光励起すれば鋭敏な発振スペクトルが得られ、その波長を観測することでタンパク質の付着が容易に検知される。

本研究では、さらにレーザの中央にナノスロットと呼ばれる50ナノメートル以下の細い溝を導入し、感度を大幅に高めることに成功し

た。その機構は未解明であるが、スロット中に強く局在したレーザ光による光ピンセット効果（光によるタンパク質の捕獲）が候補として考えられる。試験的に

ビオチン-ストレプトアビジンという疑似抗原抗体反応の検出を試したところ、ストレプトアビジンが100 zM (10^{-19} M) 以下という前例のない超低濃度でも検出できることが確認された。これは光学的なバイオセンサとしてしばしば議論される表面プラズモン共鳴センサの1,000倍以上の高感度である。またストレプトアビジンと共に100 μ M という大量の不純物タンパク質（アルブミン系）を混入させても、100 zM のストレプトアビジンを選択的に検出できることがわかった。これは選択比10兆倍に相当する。

人の血中には重度疾病の兆候を示すマーカータンパク質が数多く存在する。各疾病を高確度で診断するためには、対応する微量のマーカーを高感度かつ高選択比で検知する必要があり、そのための高性能センサが待望されている。上記のセンサ性能はこの条件を満足する可能性があり、今後の医療応用への発展が大いに期待される。



研究室訪問

慶應義塾大学 理工学部機械工学科

宮田昌悟専任講師 訪問記

(18回受領者)

7月10日、難波啓一選考委員（大阪大学生命機能研究科教授）にご同行いただき、慶應義塾大学理工学部機械工学科宮田昌悟専任講師の研究室を訪問させていただきました。

まだ梅雨明け前でしたが、この日は夏を思わせる青空が広がり、横浜市日吉の山の中腹に位置する慶應大学の矢上キャンパスが我々を迎えてくれました。

○ まずは貴研究室を簡単にご紹介願います。

私の研究室は本年度、私と4回生と修士の12名の学生とともに研究を推進しています。研究内容としては、「生物とキカイの融合」ということで、主に細胞を用いて生体外で骨や軟骨を作り出す「再生医工学」に取り組んでいます。

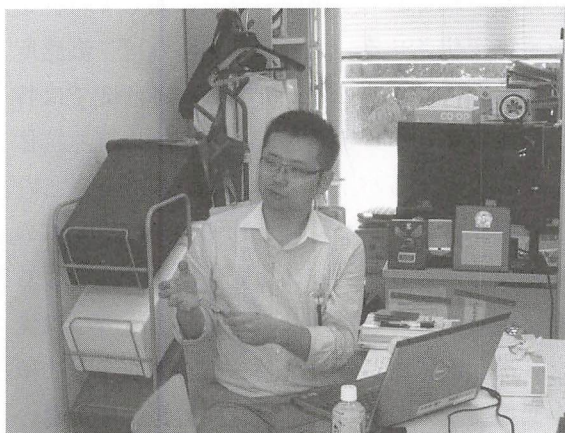
○ 当時の研究助成課題についてご説明願います。

2007年当時は、九州工業大学大学院の生命体工学研究科に所属しており、「磁気共鳴緩和現象を応用した生体軟組織のマイクロ構造評価システムの構築」という課題で助成していただきました。

膝などの関節の軟骨疾患を治療するための再生医療として、患者の健常な細胞組織を取り出して、生体外で培養した軟骨組織を損傷部に移植します。再生治療における効果は、生体外で培養した組織が生体内環境に耐えるか、言い換えると健常な軟骨と同等の特性を持つかに依存します。

課題の一つは3次元培養でした。通常の培養だと組織は2次元に広がっていきます。仔牛の関節を無菌室で切り裂いて細胞を取り出し、基盤材料としてアガロース（寒天のようなもの）と混ぜて細胞入りゼリーを培養液で培養しました。最初はほとんど透明ですが、4週間経過したものは白くなってきます。今でもこの方法で3次元培養しています。

もう一つの課題は、再生した軟骨組織の特性を非侵襲的に測定する方法の確立でした。弾性率、破断強度などの直接的な計測では組織にダメージを与えてしまいます。軟骨が、スポンジ状の固体



宮田昌悟先生

成分が水分を多量に含むような高含水性の物質であることに着目し、水分子の拡散係数という特性を q-space MRI（磁気共鳴画像法）によって測定しようとしてしました。九州工業大学が保有している磁場強度の高い4.7 TeslaのMRI装置を利用しました。

そして、単に拡散係数（水分子の動きやすさ）を数点測定するのではなく、多点測定することにより、拡散係数が複数の成分からなり、それを分析することが関節軟骨のマイクロ構造を測定・評価する手法として有効であることが検証できました。



3次元培養：0日目（左）と28日目（右）

○ 当事の研究助成課題はその後、どのように進みましたでしょうか？

この中間成果を日本磁気共鳴医学会で発表したところ、お陰様でEポスター優秀大会長賞という賞をいただきました。そしてこの研究期間中ではありましたが2008年4月に現在の慶應義塾大学に赴任してきました。ちょうどその頃に生体軟組織の測定・評価に目処が立ったこともあり、私自身の研究対象は治療効果の高い軟組織の再生・抽出にシフトしていきました。

助成課題の成果はその後、共同研究者であった東京大学大学院医学系研究科の牛田多加志先生が継続されていて、国際標準化機構（ISO）に登録される予定です。

現在取り組んでいる研究の一つは、生体組織に限りなく近い組織を再生するためのメカノ・バイオリアクター（圧縮刺激型培養装置）の開発です。3次元培養については助成課題の手法を継承しながら、次世代型培養装置として、機械的な刺激を与えることで培養した細胞と人工材料から再生した軟組織を鍛えて、健全な組織と同等の再生組織を作り込む装置です。歩行時の膝の負荷を模擬して0.5~1 Hzで圧縮の刺激を与えることにより、軟らかくて脆い組織が硬くてしなやかな組織に鍛えられていきます。

もう一つの研究は、治療効果の高い細胞を選別（セルソーティング）するためのマイクロセルプロセッシング装置の開発です。既存の装置は非常に高価で、大量処理ができて高分離精度を有する一方で細胞へのダメージが大きいという難点があります。現在開発中の装置は、細胞の誘電泳動現象を利用して、安価で細胞へのダメージの低いものを狙っています。

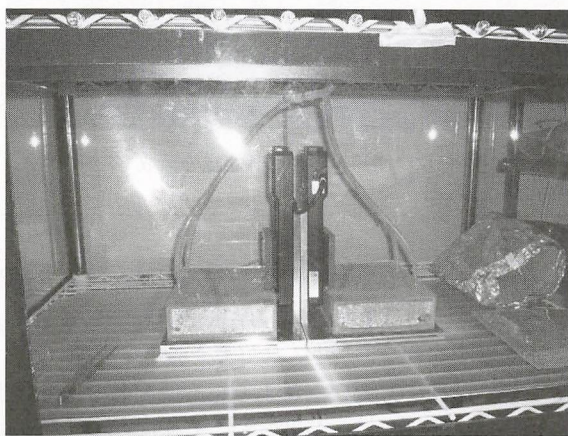
今後は、これら開発中の装置で再生・選別した組織を、助成課題で開発した測定・評価技術で測定・評価し、その結果を装置や手法にフィードバックしていきます。もちろん測定・評価技術を改良していくことも必要だと思っています。再生・抽出と測定・評価を繰り返しながら、実用化を目指します。

○ 研究成果の活用される分野、そして長期的な目標についてお聞かせ下さい。

関節軟骨の再生医療はもともと米国で開発され、日本でも臨床応用の段階にまで来ています。私の研究は、再生医療に対する工学的アプローチにより、生体組織に限りなく近い再生組織を創り、治療効果の高い細胞を抽出することが目標です。

また我々のセルソーティング技術は、細胞を選り分ける、特に小容量を低ダメージで選り分けるニーズに対応できます。血液関係や創薬分野への応用を狙っています。さらに日本発の技術であるiPS細胞の周辺技術として応用範囲は広いと思われます。

私自身は機械工学分野の出身なので、医療機器の分野で日本の覇権を取り戻したく、それに微力ながら貢献したいと思っています。私が作った機器が世界の医療現場で活用されることを夢見ています。

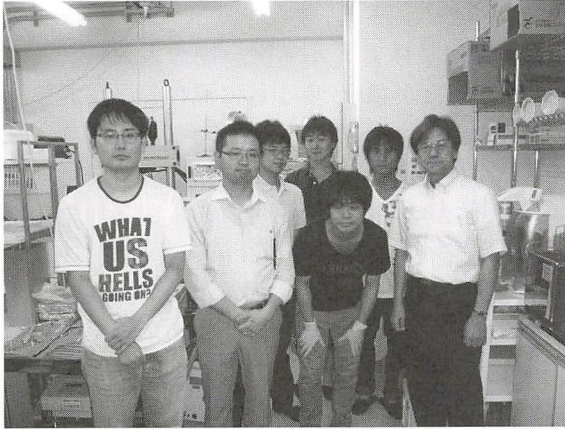


圧縮刺激型培養装置

○ 研究室では多くの学生を指導されていますが、教育者として留意されていることは？

最近の学生はスマートに振る舞い過ぎます。やる前にこれは無理だとあきらめてしまうのです。まずは手を動かす、泥臭く、こつこつと積み上げていくという指導をしています。何回かやっていると学生も分かってくれます。また一人の学生に、装置作成から実験、評価までやるよう指導しています。企業に就職しても必ず役立ちはずです。

私自身もそうだったのですが、機械系の実験は最後には成功するものという予測ができますが、生物系は相手次第。つまり装置は動くが、培養はその通りにならないのです。そのカルチャーショックを払拭してやることも大切です。



宮田先生（左から二人目）と研究室の皆さん
（一番右は難波選考委員）

○ 最後に、当財団に望まれることがあればお聞かせ下さい。

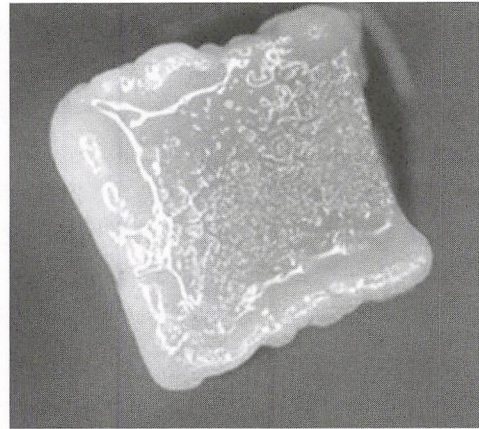
御財団の助成は、研究者として駆け出しの頃だったので大変助かりました。時間と場所はあるが人と金がなかったので貴重でした。これで1、2年がんばれると思い、研究が一気に加速しました。

従って、若手研究者の支援を継続していただきたいと思います。アイデア、構想で判断していただくと実績のない若手には嬉しいものです。特に任期付きポストでは短期の成果が求められるので、大変ありがたいです。是非よろしくお願いします。

また、京都の宝ヶ池のプリンスホテルで開催された贈呈式は、大変立派でした。その時に発表したパネルを記念に持って帰りましたが、あの贈呈式に出席し大変励みになりました。是非これも継続して欲しいと思います。



仔ウシ関節からの軟骨組織の採取



研究室で生み出された再生軟骨

あとがき

宮田先生のお話をお聞きして、所属と研究課題が変遷する中で、軸がぶれずに着実に進んでいるという印象を受けました。また学生の指導にも気を使っていらっしゃって、自由闊達な雰囲気の中にも礼儀正しさを忘れない皆さんに好感を抱きました。

短い時間でしたが、将来を担う研究者であり後進を指導する教育者でもある宮田先生、そして研究室の皆様に触れることが出来て、まさしく梅雨の晴れ間のような清々しい気持ちになりました。

宮田先生と研究室の益々のご活躍、ご発展を祈念申し上げます。ありがとうございました。

（レポート：常務理事 田中敏文）

平成 24 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
生嶋 健司 東京農工大学 大学院 工学研究院 物理システム工学専攻 准教授	音響誘起電磁（ASEM）法の医療応用へ向けた開発
石井 克典 大阪大学 大学院 工学研究科 助教	中赤外ナノ秒パルスレーザーを用いたう蝕の選択的除去技術の開発
伊藤 聡志 宇都宮大学 大学院 工学研究科 知能情報研究部門 准教授	圧縮センシングを導入したホログラフィック MRI による超高速イメージング
牛尾 宗貴 東京大学 耳鼻咽喉科・聴覚音声外科 特任講師	傍半規管膨大部刺激型の人工前庭器開発に関する基礎的研究
梅舘 拓也 広島大学 大学院 理学研究科 数理分子生命理学専攻 博士研究員	振る舞いの多様性に基づいた適応的運動機能を発現するロボットの開発
片平 和俊 （御理化学研究所 基幹研究所 大森素形材工学研究室 専任研究員	メディカルデバイスの表面親水性向上のためのナノ改質加工法の研究
金田 さやか 大阪府立大学 大学院 航空宇宙工学分野 助教	環境推定・適応機能を有しオペレータ協調する自律型ロボットのための制御方策の確立
川波 弘道 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助教	音声対話情報案内システムにおける機械学習理論に基づく自律的精度改善の研究
木寺 正平 電気通信大学 大学院 情報理工学研究科 助教	多重散乱波を用いた超波長分解能 誘電体内部 UWB レーダセンサの研究
木室 義彦 福岡工業大学 情報工学部 情報システム工学科 教授	視覚障害をもつ児童生徒のための移動ロボットを用いたプログラミング教育
黒田 知宏 京都大学 医学部附属病院 医療情報部 准教授	人と機器の共創で高い安全性を実現するバイタルデータ自動入力システム
上瀧 剛 熊本大学 大学院 自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 助教	主成分分析と画像エッジを用いたロバストかつ高速なパターンマッチング手法の開発
境野 翔 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科 助教	人間支援ロボットのための座標変換を用いたタスクの抽象化技術の開発
酒井 利奈 北里大学 医療衛生学部 講師	大腿部痛の予防を目的とした人工股関節固定性の定量的評価法の構築

平成 24 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
杉原 知道 大阪大学 大学院 工学研究科 准教授	「硬くて柔らかい」人の運動特性を模したモーターサーボ制御
高橋 英俊 東京大学 IRT 研究機構 特任研究員	ピエゾ抵抗型両持ち梁を用いた 3 軸触覚センサに関する研究
滝本 裕則 岡山県立大学 情報工学部 情報通信工学科 助教	色覚バリアフリーインタフェースの実現にむけた個人色覚モデルと再配色手法の提案
寺本 篤司 藤田保健衛生大学 医療科学部 放射線学科 講師	検診用 PET/CT 画像を対象とした肺がん自動検出システムの開発
中本 高道 東京工業大学 大学院 理工学研究科 電子物理学専攻 准教授	弾性表面波デバイスを用いた悪臭計測用匂い濃縮素子の研究
平林 晃 山口大学 大学院 医学系研究科 応用分子生命科学系専攻 准教授	圧縮センシングに基づく磁気共鳴画像 (MRI) の高速撮像法の開発
南 哲人 豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端 融合研究所 特任准教授	眼電位操作デバイスのための基礎技術
村松 千左子 岐阜大学 大学院 医学系研究科 知能イメージ情報分野 研究員	眼底画像における緑内障診断補助ツールの開発
保田 俊行 広島大学 大学院 工学研究院 機械システム・応用力学部門 助教	人間機械協調系のための自律ロボット群における知識獲得・利用法の開発
吉川 雅博 ㈱産業技術総合研究所 知能システム研究部門 特別研究員	デザイン性と作業性を両立した対向 3 指を備えた作業用電動義手の開発
依田 育士 ㈱産業技術総合研究所 サービス工学研究センター 主任研究員	画像距離センサによる脳性麻痺者インタフェースの開発
長谷川 良平 ㈱産業技術総合研究所 ヒューマンライフ テクノロジー研究部門 研究グループ長	アバターロボットを制御する脳波コミュニケーション技術の開発

助成件数：26 件

助成額：5,501 万円

平成 23 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
柏原 考爾 徳島大学 大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 専任講師	2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2011) 3rd Annual Workshop on Brain-Machine Interfaces (Featured BMI Workshop)
杉本 真樹 神戸大学 大学院 医学研究科 内科学講座 特命講師	RSNA 97th Scientific Assembly and Annual Meeting (第 97 回北米放射線学会学術会議)
西尾 公裕 津山工業高等専門学校 電気電子工学科 准教授	2011 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011)
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	4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies

〔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 亨 京都大学 大学院 情報学研究科 教授	国際会議：第 2 回 文化とコンピューティング国際会議 講演：文化データ仮想彫刻：文化遺産のための没入型のビジュアル化

助成件数：5 件 助成額：115 万円

平成 24 年度前期 助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
河合 俊和 大阪工業大学 工学部 ロボット工学科 准教授	Computer Assisted Radiology and Surgery 26th International Congress and Exhibition (CARS2012) 主催者名：ISCAS, EuroPACS, CAR, CAD, CMI（共同主催）
金 石煥 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 博士課程後期	The ACM SIGCHI 2012 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012) 主催者名：ACM SIGCHI, Joseph A. Konstan（General Chair）
田原 樹 京都工芸繊維大学 工芸科学研究科 設計工学専攻 博士課程後期	DIGITAL HOLOGRAPHY AND 3-D IMAGING (DH), Biomedical Optics and 3-D Imaging: OSA Optics and Photonics Congress 主催者名：The Optical Society (OSA)

〔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
染谷 隆夫 東京大学 大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 教授	国際会議：フレキシブル・プリントド・エレクトロニクス国際会議 (2012 International Conference on Flexible and Printed Electronics) 略称：ICFPE2012 講演：Flexible Thin Film Sensitized Solar Cells

助成件数：4 件 助成額：122.5 万円

平成 23 年度 助成課題一覧

〔国際会議等〕 (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
石井 裕剛 京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 助教	The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence
黒田 和男 東京大学 生産技術研究所 教授	レーザーディスプレイ国際会議
郷 健太郎 山梨大学 大学院 医学工学総合研究部 准教授	APCHI2012: The 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (第 10 回人間とコンピュータとの相互作用に関するアジア・パシフィック会議)
酒井 英昭 京都大学 大学院 情報学研究科 教授	2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) (音響・音声・信号処理に関する国際会議)
垂水 浩幸 香川大学 工学部 信頼性情報システム工学科 教授	The 7th IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technologies in Education (WMUTE 2012) & The 4th IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL 2012)
土肥 正 広島大学 大学院 工学研究院 情報部門 教授	第 22 回 IEEE ソフトウェア信頼性工学国際シンポジウム (ISSRE 2011)
福地 健太郎 明治大学 理工学部 情報科学科 特任准教授	ACM Interactive Tabletops and Surfaces 2011
寶珍 輝尚 京都工芸繊維大学 大学院 工芸科学研究科 情報工学専攻 教授	第 13 回 ACIS ソフトウェア工学, 人工知能, ネットワークと並列分散処理に関する国際会議 (SNPD2012)
松野 文俊 京都大学 大学院 工学研究科 機械理工学専攻 教授	9th IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics

助成件数：9 件 助成額：500 万円

掲載順は、助成課題一覧〔研究助成〕の掲載順

圧縮センシングを導入したホログラフィMRIによる超高速イメージング(1年間)

宇都宮大学 大学院工学研究科 知能情報研究部門

准教授 伊藤 聡志

[MRIによるイメージング]

従来: 平面的に撮像 時間を要する問題があった
本研究: 少数の観測信号から画像を再生する
圧縮センシングのMRI応用

+

ホログラフィの原理を利用した撮像

[実用化に向けた課題の解決]

実行方向の分解能改善(近1年, 注目されている圧縮センシングの研究により, 少数の信号から画像再生を図る(圧縮センシングの適用例)を図る。)

計算時間の短縮化 - 圧縮センシングは、計算時間が膨大なる。特に3次元撮像の場合は大きい。高速処理処理性能を有する画像処理デバイス(GPU)の汎用目的としての利用により高速化を図る。

ホログラフィと圧縮センシングの融合による
超高速MRIの研究開発

図1 ホログラフィMRIによる圧縮センシングによる3次元画像の再生

(a) フラワーID番号 (b) 信号率30%の再生像
(c) 信号率10%の再生像 (d) 信号率5%の再生像 (e) 信号率30%の観測データ (f) 観測データから3次元画像を再生

**振る舞いの多様性に基いた適応的運動機能
を實現するロボットの開発 (1年)**

広島大学大学院理学研究科 博士研究員 梅館拓也

【目的】 ロボットの形態や粘弾性などの力学的特性を活用することで、ロボット自身に多様な振る舞いを自発的に発生させ、環境やタスクに応じた振る舞いを自発的に獲得させる

多様な振動パターンを生成する粘弾振動子 (例)

(早稲田 高松 数教研の提供による実験結果)

多様な振動パターンを遷移現象を数理モデル、実機ロボットで実装した

・生物の「振る舞いの多様性を自ら獲得し、状況によってそれらを使い分ける」ことが出来る根源的な仕組みをモデル化し、数値計算・粘弾ロボット実験にて検証する
 ・四脚ロボット、六脚ロボットなどに応用することで、実業活用と知識活用行動を自律的に切り替える「現実世界に稼働した人工知能」を持つロボットを開発する

環境適定・適応機能を有しオペレータ協調する 自律型ロボットのための制御方法の確立

大阪府立大学工学部 航空宇宙工学学科

助教・金田 さやか

(研究期間:1年間)

【未知環境の探査ロボット】

既存の自律型ロボットは基本的に
本研究で想定する未知環境で十分
動作する。目的は以下の2点

- ロボットは環境情報を取得可能
- オペレータは作業目的を告知

相互主導的な制御が必要

目的: 自律型ロボットが環境を探索

不安定に実行される行動探索を導出

→ 情報探索能力に限りある人(人間)・情報網の認知制約が
作業を実現

【研究開発における目標】

意思決定と行動探索の要素

	探索	意思決定
目的	知る 知る	知る 知る
手段	観測 観測	推定 推定

✓ 作業環境の具現化
✓ 制御方法に関する自律生成 が必要

【研究に関する自律機能】

- 経路計画
- 状況認識
- 経路再計画
- SLAM
- 状況認識生成
- 経路、PFC、...

(環境探索と経路計画の
実行例)

【アロー】

- 各目的達成に必要とする制御の回数値
- アローの制御値を各目的の達成度としてモデル化
目的の達成度(0~1)を各アローとして
→ 人間とロボット、各目的の達成度分布も同時で一対二
で表現可能
- 達成度の割合を決定する必要
- 達成度の割合を決定するアルゴリズム
- 実行の遅い=反復、ex. 台よう
- 入力値と動作の目的達成度制御はフィードオフ

平成 24 年度研究助成課題の紹介

デザイン性と作業性を両立した対向3指を備えた作業用電動義手の開発(1年間)

(独)産業技術総合研究所 特別研究員
吉川 雅博

外観デザインと作業性を両立する対向3指の作業用電動義手を開発

【開発する義手と従来義手との違い】

	開発する作業用義手	従来義手	従来義手
作業性	○(指関節より優れる)	○	△(指関節動作は困難)
重量	○(指関節より軽量)	△(指関節より軽量)	△(指関節動作は困難)
装着感	○	△(ハートスにより両足部)	△(両足がキック)
動力	リニアモーター	圧力油圧	モーター
動作意図の検出	筋電の形状変化(2対1フレック/圧力)	ケーブルコントロールで調節	圧電
デザイン	○(手とは異なる見た目のデザイン)	×	○(手に近いデザイン)

道具としての義手の機能とデザインを突き詰め、ユーザのQOLを向上

実現する課題

- (1) 高い作業性を備えた対向3指の手先
- (2) シンプル・軽量・小型の手先開閉機構
- (3) ユーザの動作意図のセンシング手法
- (4) 見栄えの良い外観デザイン(慶應山中研)
- (5) 前腕切断者でのユーザ評価(国リハ・神経科学的検証)



コンセプトイメージ



ベースとなるプロトタイプ

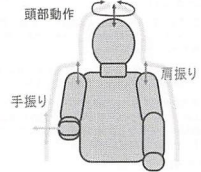
24

画像距離センサによる脳性麻痺者インタフェースの開発(1年間)

産業技術総合研究所 サービス工学研究センター
主任研究員 依田 育士

【画像距離センサの進展】

従来：ステレオビジョンによる距離センサ
本研究：パターン光投影法による画像距離センサの出現により障害者が取得可能な低価格が実現
ステレオビジョンによって培った技術を活用し、四肢麻痺者で痙攣や不随意運動のある脳性麻痺者に適応可能なインタフェースを開発。
プロトタイプの開発により、脳損傷後遺症者など、他の四肢麻痺者向けへの適応も検討可能に。



【ジェスチャーインタフェースのアジャイルソフトウェア開発】

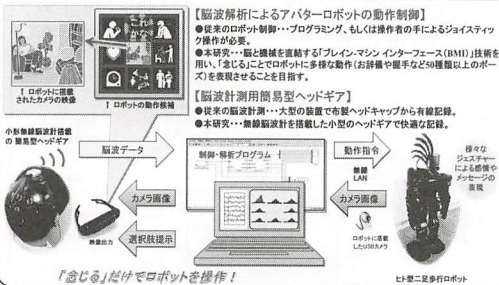
脳性麻痺患者を対象としたジェスチャーインタフェースの反復型開発。
実ユーザ、作業療法士、リハビリ工学士と協調しながら実環境で評価しながら
残存能力を生かしたプロトタイプインタフェースの開発を進める。

現状入力手段を持たない人のためのインタフェース開発

25

アバターロボットを制御する脳波コミュニケーション技術の開発

(研究期間:2年間)

(独)産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門 ニューロテクノロジー研究グループ
研究グループ長・長谷川 良平

26

公益財団法人 立石科学技術振興財団 平成 25 年度 研究助成 (A, B) 候補 募集案内

公益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 25 年度の研究助成 (A), (B) の候補募集を行ないますので、お知らせいたします。(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します。

「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) 募集期間と助成金交付時期

募 集 期 間：平成 24 年 9 月 1 日～平成 24 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 25 年 4 月 1 日～原則 1 年

研究助成 (B) 平成 25 年 4 月 1 日～原則 2 年

助成金交付時期：平成 25 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（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 25 年度前期 国際交流助成候補 募集案内

公益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 25 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。（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な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します。

「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、当財団から研究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	} 前期助成件数 5 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 24 年 10 月 1 日～平成 24 年 12 月 31 日（郵便局消印有効）

助 成 対 象 期 間：平成 25 年 4 月 1 日～平成 25 年 9 月 30 日

助成金交付時期：平成 25 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（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 25 年度後期 国際交流助成候補 募集案内

公益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 25 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。(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な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します。

「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、当財団から研究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	} 後期助成件数 5 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 25 年 4 月 1 日～平成 25 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助 成 対 象 期 間：平成 25 年 10 月 1 日～平成 26 年 3 月 31 日

助 成 金 交 付 時 期：平成 25 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（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 25 年度 国際会議等開催助成 候補募集案内

公益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 25 年度の国際会議等開催に対する助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。（詳細については募集要項をご覧ください）

～ 記 ～

（１）助成対象

国際会議等開催の助成

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国際会議等の開催を対象として助成します。

「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当財団の願いからきているものです。上記の分野で、開催されるシンポジウム、ワークショップ、フォーラム等の国際的な会議等を歓迎します。

（注）国際会議等での講演発表への助成は、対象外です。別途、当財団の「国際交流（派遣）助成募集」にご申請ください。

（２）金額および件数

国際会議等開催の助成金

1 件 50 万円で 10 件程度を標準としますが、特段の事由がある場合は、上限を 100 万円として助成金を交付します。

「特段の事由」とは、当該会議の目的や意義が、当財団の趣意に合致し、その内容や成果波及が大と認められる場合に限ります。なお、優れた申請が多数である場合は、申請額より減額して採択されることがあります。

（３）応募条件

- ① 当該会議の開催場所は必ずしも日本国内に限定はしませんが、応募資格者（申請者）は、日本人研究者とし、次の要件を満たすこととします。
応募資格者（申請者）の要件は、当該会議において、組織委員長もしくはプログラム委員長ならびにこれに準じた責任ある役割を担っていること、あるいは国際会議からセッション・オーガナイザー等の役割を依頼されていること、とします。小規模の国際会議（100 名未満）で若手の方の応募を歓迎します。
- ② 当該会議に対する他の財団等からの助成（予定を含む）、あるいは共催または後援等の有無は問いませんが、申請前に先方での問題の有無をご確認願います。

（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 25 年 4 月 1 日～平成 25 年 6 月 30 日 （郵便局消印有効）

助 成 対 象 期 間：平成 25 年 10 月 1 日～平成 26 年 9 月 30 日

助成金交付時期：平成 25 年 10 月の予定

（５）その他

当該会議の開催期間が助成対象期間をまたがる場合や募集期間内に開催日程が確定しないなどの場合には事務局にご相談ください。（但し、助成交付までに開催日程が確定しない場合は、助成対象外となりますのでご留意願います。）

（６）申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（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。

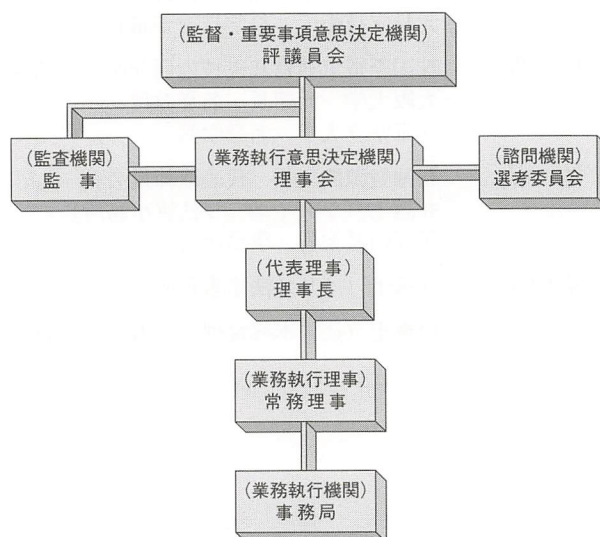
URL : <http://www.tateisi-f.org/>



-
- 財団の概要
 - 評 議 員 ・ 役 員

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) 361-4771 FAX. (075) 365-3697
http://www.tateisi-f.org/
- 理 事 長 立石 義雄
- 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、もって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



評 議 員 ・ 役 員

評 議 員		(平成 24 年 6 月現在)
評 議 員	朝 倉 利 光	北海道大学 名誉教授 北海学園大学 名誉教授
評 議 員	荒 木 光 彦	京都大学 名誉教授 松江工業高等専門学校 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	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 脳情報通信融合研究センター長 (独)理化学研究所 生命システム研究センター長

役 員		(平成 24 年 6 月現在)
理 事 長	立 石 義 雄	オムロン(株) 名誉会長
常務理事	田 中 敏 文	オムロン(株) 参与
理 事	荒 卷 禎 一	京都府公立大学法人 理事長 弁護士 (烏丸法律事務所) 元京都府知事
理 事	石 田 隆 一	(株)イシダ 取締役会長
理 事	沖 村 憲 樹	(独)科学技術振興機構 顧問 (財)全日本地域研究交流協会 理事長 元科学技術庁 科学技術審議官
理 事	熊 谷 信 昭	(株)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 (シティユーワ法律事務所) 元通商産業省 事務次官
監 事	愛 知 菜穂子	弁護士 (イリス法律事務所)
監 事	尾 尻 哲 洋	税理士 (辻・本郷税理士法人 特別顧問)

(50 音順)

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、助成研究者の皆様はじめ、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約 800ヶ所に拝送させていただいておりますが、今号で第 21 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 2 回立石賞受賞者の記念講演・概要に加え、第 22 回（平成 23 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平成 23 年度後期から平成 24 年度前期に助成いたしました成果報告の抄録を収録し、国際会議等開催助成は平成 23 年度の成果報告抄録を収録しております。

ご寄稿いただきました朝倉評議員、投稿文をお寄せいただきました千葉大学 大学院 融合科学研究科 准教授 堀内隆彦様、横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授 馬場俊彦様、事務局取材に快く応じていただきました慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 専任講師 宮田昌悟様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 25 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いただければと思います。

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 21 号
平成 24 年 9 月 (2012)

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ください。)