

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第24号】

2015年(平成27年)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 24 号

2015年9月(平成27年)

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。

1990年3月

助成研究成果集

目次

1. 理事長挨拶	2
2. 財団関係者寄稿	3
大阪大学 名誉教授 岩田一明 (評議員)	3
神戸大学 名誉教授	
3. 受領者投稿	4
宮崎大学 工学教育研究部 環境ロボティクス学科 教授 田村宏樹	4
大阪工業大学 工学部 電気電子システム工学科 准教授 田熊隆史	5
4. 研究室訪問	6
大阪府立大学大学院 工学研究科 助教 中川智皓	6
5. 研究助成成果の抄録一覧	9
6. 国際交流報告の抄録一覧	137
7. 2014年度活動報告 (業務日程・会計)	163
8. 2015年度助成報告	164
9. 2015年度助成金贈呈式	165
10. 2015年度助成課題一覧	166
11. 2015年度研究助成課題の紹介	174
12. 2016年度助成課題募集案内	181
13. 財団の概要	189
14. 評議員・役員・選考委員	192
15. 編集後記	194

ごあいさつ

助成研究成果集第24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㈱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平成2年（1990年）に設立しました。そして本年は25周年を迎え、第26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額は、累積でそれぞれ956件、約15億6千万円となりました。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や研究機関と共有することを目的とし、さらには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。今回ご寄稿いただいた研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた多くの方々に厚く御礼申し上げます。

また本年は、従来から実施してきました研究助成(A)及び研究助成(B)の38名に、新たに博士課程の学生向けに追加した研究助成(C)の15名を加えて、研究助成としては過去最高の合計53名の研究者の方々に助成させていただきました。さらに、3年間で3千万円を3件のプロジェクトに助成するという大型の研究助成(S)を新設し、第1回目の公募を終了しています。67件という多数のご応募をいただき、厳正なる審議を経て、本成果集がお手元に届く頃には、採択プロジェクトを公開しているとともに、来年度の助成に向けた公募を受け付けている予定です。

さて今日の日本は、長期に亘る経済不況からの回復途上にあり、大変に重要な岐路に立っております。そしていつ襲ってくるかわからない大災害の脅威にさらされています。さらに、少子高齢化も確実に進んでいます。これらを克服し、日本が活力を再び取り戻し国際社会に貢献するためには、卓越した科学技術の力を更に高めることが求められております。当財団は、それに対して微力ながらも寄与するために、「人間と機械の調和」を促進する研究活動への助成と顕彰を継続し、もって人間重視の視点に立った豊かで健全な最適化社会の実現に貢献していきたいと思っております。

今後も、助成事業の拡大、充実を図って参りますので、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

人工システムの想定外トラブルとレジリエンス

人間知性をベースとして創出された人工物や人工システムは想定外の人為的トラブルに直面することが少なくない。最近における国際的に頻発するサイバー攻撃は顕著な一例である。2014年、ドイツの製鉄所は溶鉱炉の異常停止に陥り、生産設備が損傷された。電子メールに添付されたマルウェアが起因と言われる。我が国でも公共インフラ、プラント等の制御システムへの攻撃事例には事欠かない。これら諸事象は産業界の経済的損失とともに社会や国民の不安などの問題を誘起する。



現出する諸問題の解釈にあたっては、人工システムが持つ本質的な特徴とともに、社会や人間の価値観の多様性と矛盾を孕んだ行動特性に注目する必要がある。前者では「技術依存性」と「創造性」が重視されるが、これらは使用する人間や環境によって種々の特性を発揮するという「非決定性」、「他者性」や「予測困難性」と深い関係性を有している。後者は「人間の闘争心・支配力」や「社会・文化依存性」とも絡んで、非倫理的行為が避けられない世界から脱却しきれない現実にかかわる。

想定外の人為的事象が忌避できないとの前提に立たねばならないとすれば、人工物や人工システムが被害に遭遇した場合の対策が不可欠となる。近年注視される「レジリエンス問題」である。すなわち、「変化や外乱の前、途中、後の各段階で、システムがそれ自体の機能を調整し、それによってシステムが想定内、想定外、いずれの状況に対しても必要な動作を維持することができる能力（E. Holland, 2006）」が要求される。

今後の人工物や人工システムの研究・開発にあたっては、使用下における本質的な脆弱性への耐性強化やレジリエンス力の確保を、デザインにおける初期段階から検討事項に含め、危機対応への可能性の幅を広げておくことが望まれる。言い換えれば、人工物や人工システムの構成を担う研究者や開発者には、問題発生の可能性とその対策に対する知性の涵養と人間に内在する暗黙知の強化が求められる。新しい時代を担う若手研究者・開発者への期待は大きい。

大阪大学 名誉教授・ 岩 田 一 明（評議員）
神戸大学 名誉教授

受領者投稿

重度障害者の生活の質改善のためのインターフェイス機器の 実用化を目指して

宮崎大学 工学教育研究部 環境ロボティクス学科担当 教授 田村 宏 樹
(2008年度受領者)

私は生体情報処理に関する研究を行う上で、病院や介護施設にて実際に障害者や高齢者に接することがあり、常に介護者と行動を共にすることが過大なストレスになり、個人で自由に室内外を移動するための移動支援システムを強く求めていることを知りました。障害者の意見として、「個人で移動する場合、階段回避、障害物回避、人などの移動物体回避を確実にできるシステムができないか」等の意見を多々聞いており、これらは今後開発しなければならない重要な研究テーマであると考えようになりました。

このような背景から私は、重度障害者の生活の質(QOL)改善のための顔の表面筋電位を用いたインターフェイス機器に関する研究を開始しました。本研究は実用化を目指しており、研究は現在も継続しています。そのような折、立石科学技術振興財団の研究助成に採択される幸運に恵まれました。研究テーマは、「学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置の開発」であり、筋電位計測装置を顔に装着できるサイズの小型化にすることと、時間変化する筋電位に対応できるアルゴリズムを開発することができました。これをもとに、障害者の顔に装着し、瞬きや顔の表情変化で電動車いすが操作可能なインターフェイス機器を開発することができました。

本研究は、研究助成を受けて研究・開発を行い、平成23年に九州経済産業局「新連携事業」に認定されています。「新連携事業」として、平成24年度から地元宮崎の企業と共に実用化に向けて、積極的に研究開発を行っています。製品化になる具体的なものとしては、顔の表面筋電位に加えて、眼電位を計測可能なインターフェイス機器です。そのデザインや機能は、モニタリングテストを行い、障害者、介護者や病院スタッフなどから意見を聞きながら、少しずつ試行錯誤して改良を行っています。実際に困っている障害者やその家族の方々に開発した製品が有効に活用していただけたらな、と強く感じています。障害者個々にカスタマイズする必要があるため、簡単に普及するというものではないですが、目に見えて役に立つものづくりはエンジニアとしては何物にも代えがたい喜びです。学生諸君にもそれを伝え、より積極的に工学の力で医療・福祉をサポートする体制を実現したいと思います。最後になりますが、立石科学技術振興財団によるこれまでのご支援にあらためて感謝申し上げます。



受領者投稿

人工筋肉の受動性を利用したロボットハンドのセンサレス化技術

大阪工業大学 工学部 電気電子システム工学科 准教授 田熊隆史
(2011年度受領者)

近年有人の工場や家庭など、人が作業する環境下で活動するロボットについて、研究が盛んに行われています。このようなロボットに求められる機能は様々にありますが、第一に必要な機能は、人や障害物と接触したときに安全性が確保できることです。そのためには「ロボットの接触箇所にとれぐらいの大きさの力がどの方向にかかったか?」「外力によって柔軟体がどれくらい変形したか?」を知ることは大変重要です。これまで多くの研究では接触する箇所や変形する箇所にセンサを取り付け、力の大きさ、向き、変形量を直接測定してきました。この方法である程度正確に測定ができますが、力や変形がセンサにも及ぶため、センサそのものが破損する可能性が大変高くなります。ロボットのメンテナンス性を考えると、力がかからず変形しない箇所にセンサを取り付け、力や変形量を間接的に測定する手法が必要となります。

私が2011年に立石科学技術振興財団に申請した研究テーマは、「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」でした。この研究では空気圧人工筋肉（以下「人工筋肉」）の受動性、すなわち人工筋肉に力を加えて変形させると内部の圧力が変化することを利用して、二本の人工筋肉によって支えられた1自由度関節機構に対して先端にかかる力の大きさ、変形量と各人工筋肉の内部の圧力の変化量の関係を求めました。またその有効性を確認するために実機を試作し、実際に与えた力の大きさ及び関節の変形量と、関係式で求

めた力の大きさ及び変形量を比較し、関係式によってある程度正確に力と変形量を計算できることを確認しました。これにより、力の加わる箇所や関節にセンサ

を取り付けることなく、人工筋内の圧力を測定することで、力と変形量が得られることを示しました。この結果を踏まえ、次年度は二つの関節を有する機構を開発し、力の大きさだけでなくその向きと、二つの関節の変形量が人工筋肉の圧力の変化量から求められることを数式により示しました。これについても実機を試作し、実際の力の大きさ、向き、関節の変形量と計算によって求めたそれぞれの値を比較し、その精度を確認しました。2011年度及び翌年度の成果については、それぞれ学術論文として発表することができました。

現在私は柔軟素材と剛体素材を適切に組み合わせた機構により、従来の剛体のみで構成されるロボットでは得ることが難しい運動……たとえば跳躍や走行といったダイナミックな運動や、凹凸の激しい不整地の踏破などを実現させる手法について研究をしています。このような運動の計測にも、当時申請した研究の成果が活かされようと考えています。このような研究を遂行する上で大きな支えとなりました、立石科学技術振興財団に改めて感謝申し上げます。



研究室訪問

大阪府立大学大学院 工学研究科

中川智皓 助教 訪問記

(2011 年度受領者)

6月24日、梅雨の晴れ間とはとても言えないどんよりとした曇り空の中、当財団の選考委員である榎木（さわらぎ）哲夫先生（京都大学大学院工学研究科教授）とともに蒸し暑い京都盆地を出発し、約1時間半かけて大阪府堺市にある大阪府立大学に、2011年度研究助成を受けられた中川智皓（ちひろ）助教を訪問しました。海に近いためか少しさわやかな風に木々が靡く広大な中百舌鳥（なかもず）キャンパスが、我々を迎えてくれました。

○（事務局）まずは、先生の学科や研究室をご紹介下さい。

機械工学課程の中の機械力学研究室に所属しています。研究室は伊藤智博教授、新谷篤彦准教授と私の3名の教員が所属し、今年は学生としてD2が2名、M2が4名、M1が5名、B4が6名、さらには短期留学生在籍しており、全員で20名程度の研究室です。

研究室では、動くものの開発、運動・振動制御の研究、新設計手法の開発を通じて、人にやさしい機械・構造物の創出を目指しています。もう少し具体的には、防災技術に関する研究、基礎技術としてダンピングに関する研究、人間工学による福祉機器の開発、新技术として次世代移動・輸送システムの研究などを行っています。

今日は、私といっしょに研究している博士課程と修士課程の学生4名も同席させています。

○（事務局）先生は現在どのような研究テーマに取り組んでおられるかお聞かせ下さい。

私は、次世代移動・輸送システムであるパーソナルモビリティの研究、開発に、人間工学、特に人間との親和性を向上させる観点から取り組んでいます。

近年、持続的発展が可能な社会の形成のために、人にも環境にもやさしく、利便性と柔軟性を持った乗り物として、個人用の移動車両である新しいパーソナルモビリティ・ビークル（PMV）の開発、普及が期待されています。最も普及している身近なPMVは自転車で、ドアツードアの利便性、環境へのやさしさだけでなく、健康増進効果、経済性なども兼ね備えています。



榎木哲夫選考委員（中央）



中川智皓助教（中央）

そのほかにも、人間の重心移動により走行する倒立振り子型車両や、折りたたみ式小径自転車、電動アシスト自転車など様々な特徴をもったものが研究、開発されています。すでに市販および発表されているものとしては、米国製のセグウェイやトヨタ自動車のウイングレットなどの2輪の立ち乗り型車両があります。これらは、今までは特区や私有地のみでの走行しか認められていなかったのですが、今年の7月からは誘導員の配置や道路使用許可、小型特殊自動車としての認定などの条件のもとで公道での走行実験が可能という報道がありました。

そんな中で私の研究の目的は、人間にとって乗りやすく社会にとって受け入れやすいPMVの研究と開発を通じて、人間にも環境にもやさしい持続的発展が可能な社会の形成に貢献することです。

○（事務局）当財団が助成した当時の状況と助成課題についてお聞かせ下さい。

大阪府立大学に戻ってきた2010年度に、過去に採択された先輩研究者からの情報、また同時に大学からの案内から貴財団の研究助成を知り応募したところ、お蔭様で採択していただき、翌年度に助成していただきました。新任の助教にとって研究費を援助していただけることは、本当にありがたいことでした。



小型での安定性検討のために自作した電動立ち乗り式四輪型PMV



電動立ち乗り式四輪型PMV, Steeva (EVhonda株式会社製, 輸入元: 中国)

話は前後しますが、それまでは東京大学で博士課程として、PMVと操縦者の安定性と操縦性に関する研究をしていました。特に、車両の自己安定性から合理的なPMVの形態として、高速では電動アシスト式の自転車モード、低速では人力駆動式の並行二輪車モード、この2つのモードが折りたたみ式で切り替わる機構を提案し、特許も取得しました。

学位をいただき本学に着任して2年目に助成していただいたお蔭で、PMVと歩行者の心理的な相互作用の研究を深めることが出来ました。歩行者とPMV操縦者のパーソナルスペース(PS)の概念を導入して、道幅、PMVの車体幅、速度制御などとPSとの関係における多くの知見を得ました。PSとは、

他者の侵入によって心理的緊張が生じる領域のことです。当時は私と大学院生1名の体制で研究していました。

○（事務局）その成果は現在どのような方向に発展しているのでしょうか？

その後はお蔭様で、力学的な相互作用だけでなく心理的な相互作用の両面から研究を深耕させています。特に、小径自転車の安定化、人間の動きのモデル化による力学的解析、歩行者に不快感を与えないPMVの動き方などの研究に取り組んでいます。

今年は大学院生が5名となり研究体制も充実しました。詳細については同席している学生がそれぞれ発表します。〈各発表と質疑応答は省略し、以下にお名前と発表課題のみを記載します。〉

- (1) Development of an Intelligent Driving Assistance System for a PMV (Pham QuocThai さん, D2, ベトナムからの留学生)
- (2) 立ち乗り式四輪型PMVの開発 (森田悠介さん, M2, 就職活動で欠席のため中川助教が代理で説明)
- (3) マルチボディアダイナミクスを用いた倒立振り方車両と人間の3次元運動モデルの基礎検討 (岡本晃和さん, M1)
- (4) ステアバイワイヤ機構を用いた小径自転車の直立安定性に関する基礎検討 (谷和樹さん, M1)



Selfi (株式会社エフ・アイ・ティ製)の操舵部の機構を改造した自走式倒立振り型PMV



左から、田中常務理事、谷和樹さん、榎木選考委員、
中川智皓助教、岡本晃和さん、田中雅典さん、
Pham Quoc Thai さん

(5) 脳性麻痺児の立ち上がり同左支援機器開発に関する基礎研究（田中雅典さん，M1）

○（事務局）最後に発表していただいた福祉機器の課題は将来的には PMV の研究・開発につながるのでしょうか？

この研究はリハビリテーション学部の先生と共同で進めています。現時点では具体的なことは言えませんが、福祉機器に関する知見を蓄積して、障がい者や高齢者による PMV の操作にも取り込んでいきたいと思っています。

○（榎木選考委員）歩行者が予測しやすいような PMV の動作や、機械自身が人間からどう見られているかを理解する能力などが大切だと思います。

貴重なアドバイスありがとうございます。今はそこまで至っていませんが、今後そのような方向に持っていきたいと思っています。

○（榎木選考委員）人間・機械システムのデザインにおいて、機械の社会的関わりという意味で、操作・操縦者、機械、周囲にいる人間という 3 者の関係が今後重要になっていきます。そのような方向に踏み込める研究課題であると思いました。期待していますので、がんばってください。

○（事務局）最後に、当財団への要望などがありましたらお聞かせ下さい。

先ほども申しましたように、若手研究者への助成は本当に励みになるものです。今後もご支援を継続していただきたいと思っています。

2 時間程度のプレゼンテーションとディスカッションの後、実験用に自作または購入品を改造した PMV を数台見せていただき、写真にあるように我々も操縦させていただきました。倒立振り子型車両は、体重のかけ方などで最初は戸惑いましたが、すぐに慣れて気持ちよく移動することができました。

プレゼンテーションや PMV のデモンストレーションにおける大学院生の皆様の話し方や対応のよさに、研究室の指導が行き届いていると感じました。社会に出てまたは母国に帰って、ご活躍されることと期待します。

また中川様は、ご本人の口からは出ませんでしたが、周りの先生方に聞いたりインターネットで検索すると、英語のディベート力向上にも力を入れておられ、学生が短期間でスピーチできるようにテキストも作られていたり、ボランティアで英語を教えたりと、別の分野でもご活躍されています。さらに 2 児の母親でもあり、まさに時代を先取りされたライフスタイルを送っていらっしゃいます。

長雨の谷間での研究室訪問を楽しませていただき、心は晴れ晴れとしました。中川様と研究室の皆様のご活躍、ご発展を心より祈念致します。ありがとうございました。

（レポート：常務理事 田中敏文）

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 懐中電灯型プロジェクタカメラ系による視覚補助に関する研究 (2031001) 12
A study on a flashlight-like projector camera system for visual assistance
天 野 敏 之 和歌山大学 システム工学部 准教授
- ◆ 多様な環境における会議音声の音声認識と発言者識別に関する研究 (2031005) 17
Robust speech recognition and speaker diarization under various environments
王 龍 標 長岡技術科学大学 准教授
- ◆ MEMS3 軸力センサを用いた貼付型フレキシブル褥瘡予防シートに関する研究 (2031016) 21
Design of Flexible Triaxial Force Sensor Sheet for Pressure Ulcer Prevention
細 野 美奈子 静岡県工業技術研究所 沼津工業技術支援センター 研究員
- ◆ 運動の音変換による身体バランス制御誘導システムの開発 (2031019) 25
Development of a System for Body Balance Control Induced by Transformed Sound
from Activity Sensing
山 際 伸 一 筑波大学 システム情報系 准教授
- ◆ 分光スペクトル修飾に基づく機能性 LED 照明に関する研究 (2031901) 30
Functional LEDs illuminant based on spectral modification
中 内 茂 樹 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 教授
- ◆ 温水対応ウェアラブル手指リハビリテーション機器の研究開発 (2041001) 34
Development of Hot water compatible Wearable Rehabilitation support system for
Hand and finger motion
青 代 敏 行 松江工業高等専門学校 電子制御工学科 講師
- ◆ 低消費電力 BMI アレイセンサのためのアナログ圧縮技術 (2041002) 38
An analog-based compression technique for low-power brain-machine interface devices
秋 田 一 平 豊橋技術科学大学 助教
- ◆ 協調作業のチームワーク支援システム (2041004) 42
Teamwork Assist System for Human Cooperative Works
五十嵐 洋 東京電機大学 工学部 電気電子工学科 准教授
- ◆ Patient dependent な力覚体感型手術エミュレータシステムの開発 (2041006) 46
Patient dependent surgical emulator with haptic feedback
大 城 幸 雄 筑波大学 消化器外科 講師
- ◆ ブレインマシンインターフェース技術によるてんかん発作予防訓練システムの開発 (2041007) 50
Preventing epileptic seizure through brain machine interface training system
大 須 理英子 (株) 国際電気通信基礎技術研究所 主任研究員

◆	生体情報を活用した運動機能評価システムの開発 (2041008)	55
	Development of human motion assessment system with biological signal Information	
	河 西 理 恵 東京工科大学 医療保健学部理学療法学科 講師	
◆	脳-機械間高品質信号伝達のための高感度圧力センサ集積脳神経プローブの開発 (2041009)	59
	Neural Probe Integrated with Pressure Sensors for High Quality Signal Transfer between Brain and Machines	
	木 野 久 志 東北大学 助教	
◆	センサ付腹腔鏡下手術用把持鉗子を用いた粘弾性を考慮した生体組織の 硬さ計測法の研究 (2041010)	62
	Measurement method of viscoelastic properties of the grasped objects by a grasping forceps with sensors	
	桑 名 健 太 東京電機大学 工学部 助教	
◆	剛性楕円に基づく冗長自由度の立位平衡機能評価法の開発 (2041011)	66
	Development of assessment procedure for postural equilibrium based on stiffness ellipse	
	神 崎 素 樹 京都大学大学院 人間・環境学研究所 教授	
◆	高精度で長時間計測可能なウェアラブル非侵襲深部体温計の開発 (2041012)	69
	Development of a wearable deep body thermometer with high accuracy for long-term measurement	
	黄 銘 奈良先端科学技術大学院大学 特任助教	
◆	人間の動態観測に基づく多指ハンドロボットによる手渡し動作生成 (2041013)	73
	Handover Motion based on Observation of Human Motion	
	小 林 太 神戸大学大学院 准教授	
◆	物語記述によるセンサネットワークアプリケーション開発環境の構築 (2041014)	77
	A Development Environment for Sensor Network Applications based on Story Creation Approach	
	三 枝 亮 豊橋技術科学大学 特任准教授	
◆	ヒト iPS 細胞由来ニューロンのエレクトロセンシング技術の開発 (2041015)	82
	Development of electro-sensing techniques in human iPSC derived neurons	
	鈴 木 郁 郎 東北工業大学 講師	
◆	人工視覚システム開発のための基礎研究 ～失った光を取り戻す～ (2041016)	86
	Basic study for the development of artificial vision system —— Restoring the lost vision ——	
	相 馬 祥 吾 大阪大学大学院 医学系研究科 JSPS 特別研究員	
◆	会話型ヒューマンインターフェースに向けたナノ材料電子機械フレキシブルデバイス (2041017)	90
	Nanomaterial-based mechanical electro flexible devices toward human interactive interfaces	
	竹 井 邦 晴 大阪府立大学 助教	

- ◆ 情報共有型カーナビゲーションによる都市内交通渋滞の緩和プロトコル開発 (2041019) …………… 94
Development of a novel protocol for Car Navigation System helping mitigation of urban traffic jams by sharing information
谷 本 潤 九州大学大学院 教授
- ◆ グラフベースな教師なしおよび半教師付き学習法により前立腺癌画像の分析 (2014020) …………… 99
Analysis of prostate cancers in MR images with a graph-based unsupervised and semi-supervised learning
杜 偉 薇 京都工芸繊維大学 情報工学・人間科学系 助教
- ◆ 腹腔鏡手術用マスタスレーブ型5指ハンドロボットの開発と没入感に関する研究 (2041022) …………… 102
Development of a master-slave five finger robot hand for laparoscopic surgery to improve operator's sense of immersion
中 楯 龍 九州大学 先端医療イノベーションセンター 助教
- ◆ ダイナミック吸着燃焼挙動を利用した揮発性有機化合物 (VOC) 極微量検知の実現 (2041024) …… 106
Trace detection of volatile organic compound (VOC) by utilizing dynamic adsorption/combustion behavior
兵 頭 健 生 長崎大学大学院 工学研究科 准教授
- ◆ 高集積フレキシブル Si デバイス作製技術の開発 (2041025) …………… 111
Development of highly integrated flexible Si device technologies
福 島 誉 史 東北大学大学院 工学研究科 バイオロボティクス専攻 准教授
- ◆ 匂いの類似性を利用したセンサーによる泌尿器癌検査法, 及び測定情報共有法の開発 (2041026) …………… 116
Semiconductor and Metabolome Analyses of Metabolite derived from a Bladder Cancer Cell Line and Epithelial Cells
藤 岡 宏 樹 東京慈恵会医科大学 講 師
- ◆ 靴型足底圧マルチセンシングシステムによるジュニアアスリートの障害予防の研究 (2041027) …………… 120
Prevention of Sports Impediment by Plantar Pressure Multi-Sensing System
山 下 和 彦 東京医療保健大学 医療保健学部 医療情報学科 教授
- ◆ ウェアラブルコンピュータとモバイル脳波計を利用した没入型脳情報計測装置の開発 (2041028) …… 124
Development of immersive brain information communication system using wearable computer and mobile EEG
横 田 悠 右 国立研究開発法人 情報通信研究機構 研究員
- ◆ 分子インプリント高分子を利用した脳・機械インターフェースの開発 (2041030) …………… 129
Development of brain-machine Interface using molecularly imprinted polymer
吉 見 靖 男 芝浦工業大学 工学部応用化学科 教授
- ◆ 卵巣内の卵子活動を可視化するリアルタイム光干渉断層計の開発 (2041031) …………… 133
Development of real-time optical coherence tomography to visualize the ovum activity in the ovary
渡 部 裕 輝 山形大学大学院 理工学研究科 准教授

懐中電灯型プロジェクタカメラ系による視覚補助に関する研究

A study on a flashlight-like projector camera system for visual assistance

2031001



研究代表者

和歌山大学 システム工学部

准教授

天 野 敏 之

[研究の目的]

2007年にWHOが発表した“Vision 2020: The Right To Sight”^[1]によると、全世界で1億5300万人が白内障や緑内障などの視覚障害を患っており、矯正不可能な遠視や近視などの屈折異常を含めると、3億1400万人が視覚障害による問題を抱えている。このような視覚障害は治療により回復することができない場合も多い。

視覚障害を克服する手段として、弱視レンズや拡大機能を有する情報機器など、弱視者が保有する視機能を有効活用するための視覚補助具が用いられている。視覚補助具としては、ルーペや単眼鏡だけでなく、ビデオカメラとモニターテレビを組み合わせた機器もある。また、視覚補助のための画像処理の研究も行われている。

Peliら^[2]は中心暗点や白内障のための視覚補助技術として、デジタル画像強調技術を提案している。また、Wolffsohnら^[3]は汎用的な画像処理によるエッジ検出とビデオ合成によってテレビ視聴の視認性を向上させる方法を提案している。画像処理による視覚補助の研究は視覚障害に限らず、二色性色覚のための補助についても行われている。例えば、Jeffersonら^[4]は、LMS色空間において二色性色覚のシミュレーション^[5]を行い、色彩の線形変換によって混同色の問題を解決する手法を提案している。

これらの画像処理手法を視覚補助器具に搭載することで、視認性を向上させることができる。それだけでなく、色彩デザインの不備によって二色性色覚では識別が困難な図表の理解を補助することもできる。しかし、利用者の視線はモニタに拘束されるため、新聞や書籍、写真などを直接見ることができないという問題がある。

画像処理による視覚補助はスマートフォンなどのカメラ付きの携帯端末やヘッドマウントディスプレイを用いて行うことも可能であり、これらの機器に視覚補助アルゴリズムを実装すれば、視線やサイズ不一致の問題を軽減することはできる。しかし、解像度は著しく低下し、視野角も制限される。それだけでなく、実物が目の前に存在するにも関わらず直接見ることができないというフラストレーションが生じる。

そこで、我々はこのような問題を解決する方法として、プロジェクタカメラ系を用いた光投影による視覚補助技術を提案している。本研究課題では、プロジェクタとカメラをコンパクトな手持ち式の筐体の実装し、利用者が視認困難な場所へ懐中電灯のように照らす方法を提案した。これによって見かけを変化させ、視覚能力を補助する技術について研究した。このような光投影による補助は、利用者に特別な装置の装着や目の前にある実物体のモニタ越しでの観察も要求しないため自然であり、人間と機械の調和の促進に大きく貢献することが期待できる。

[研究の内容, 成果]

1. プロジェクタカメラ系を用いた視覚補助

図1に示すモデル予測制御を用いた見かけの制御では、投影画像とキャプチャ画像のある対応する画素において、 $\mathbf{I}_0, \mathbf{I}_P \in \mathbb{R}^3$ をRGBのカラーベクトルとして表現された環境照明と投影光とする。このとき、物体表面で反射され、カメラに入射される光を

$$\mathbf{I}_C = K(\mathbf{I}_P + \mathbf{I}_0) \quad (1)$$

として表現する。ただし、 $K \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ は物体表面の反射率であり、対角行列で表現する。また、撮影画像 $\mathbf{C} \in \mathbb{R}^3$ とプロジェクタからの投影画像 $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^3$ はそれぞれ $\mathbf{C} \propto \mathbf{I}_C$, $\mathbf{P} \propto \mathbf{I}_P$ と仮定する。ただし、プロジェクタとカメラの色空間は事前に較正を行い、色混合行列によって整合がとれているものとする。

目標画像の生成部 (Generator of Reference) では、物体の反射率を

$$\hat{K} = \text{diag}(\mathbf{C} ./ (\mathbf{C}_{full} - \mathbf{C}_0) \odot \mathbf{P} + \mathbf{C}_0) \quad (2)$$

として反射率を推定する。ただし、 \mathbf{C}_{full} , $\mathbf{C}_0 \in \mathbb{R}^3$ は最大および最小の輝度の光がプロジェクタから投影されたときに撮影された画像、 $./$ と \odot は要素毎の除算と積算を意味する。そして、この $\hat{K} \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ と白色基準面に白色光を投影したときに取得される画像 $\mathbf{C}_{white} \in \mathbb{R}^3$ を用いて、白色照明下での物体の見た目

$$\mathbf{C}_{est} = \hat{K} \mathbf{C}_{white} \quad (3)$$

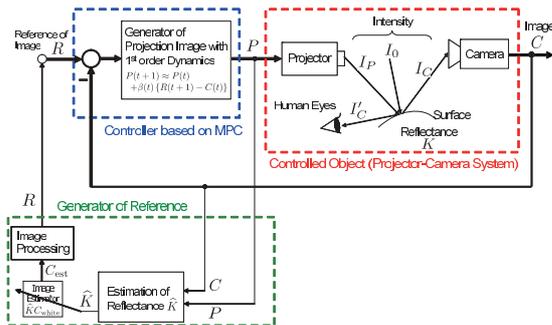


図1 見かけの制御の処理ダイアグラム

を推定する。制御のための目標画像 \mathbf{R} は、 \mathbf{C}_{est} に二色性色覚や白内障などに対する視覚補助のための画像処理を適用して得る。そして、この \mathbf{R} をモデル予測制御の目標値として入力し、生成された投影画像 \mathbf{P} をプロジェクタより投影することで、光投影による視覚補助を実現する。ただし、モデル予測制御では

$$\mathbf{P}(t+1) \approx \hat{K}(t)^{-1} (1-\alpha) \{\mathbf{R}(t+1) - \mathbf{C}(t)\} ./ (\mathbf{C}_{full} - \mathbf{C}_0) + \mathbf{P}(t) \quad (4)$$

によって投影画像を更新する。

2. 視覚補助のための画像処理

2.1 白内障のためのエッジ強調

Peliらの方法による視覚補助では、入力画像 $I_{in}(x, y)$ の低周波数成分 $I_L(x, y)$ と高周波成分 $I_H(x, y)$ を用いて出力画像

$$I_{out}(x, y) = g_h I_H(x, y) + g_l I_L(x, y) \quad (5)$$

を得る。ただし、 g_h, g_l はそれぞれ、高周波成分と低周波成分の重みであり、 g_h を大きくすることでエッジが強調される。また、低周波数成分 $I_L(x, y)$ は入力画像 $I(x, y)$ とガウシアンカーネル

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

との畳み込み積分で得る。また、高周波数成分は、 $I(x, y)$ から $I_L(x, y)$ を減算することで得た。この画像処理をプロジェクタカメラ系に実装してエッジ強調を行った結果を図2に示す。

Wolffshonらの方法による視覚補助では、Sobelオペレータで抽出したエッジを緑色の光彩として入力画像に足し合わせることで出力画像を得た。

2.2 二色性色覚のための補助

Jeffersonらの手法による視覚補助では、まずRGB色空間で表現された入力画像 $\mathbf{I}_{RGB}(x, y)$ の色彩表現を生理学的色空間であるLMS色空間で表された画像 $\mathbf{I}_{LMS}(x, y)$ に変換する。 $\mathbf{I}_{LMS}(x, y)$ の成分L, M, Sは、網膜上のL錐体、



(a) 白色照明下の見かけ



(b) 光投影によるエッジ強調結果

図2 Peli らの方法を用いた視覚補助

M 錐体, S 錐体の刺激値に対応している。

二色性色覚は L, M, S のうちの一つを欠落させることで表現でき, Jefferson らの手法ではこの欠落により失われた成分を, 知覚可能な成分に反映させる。そして, 混同色によって知覚が困難なパターンの色彩を知覚可能な色調の画像に変換する。

本研究ではこの画像処理アルゴリズムを見かけの制御に実装し, 光投影による二色性色覚のための視覚補助を実現した。

3. 手持ち式のプロジェクタカメラ系

本研究ではプロジェクタとカメラをコンパクトな手持ち式の筐体の実装し, 利用者が視認困難な場所へ懐中電灯のように照らすことによって見かけを変化させ, 視覚能力を補助する技術の実現を試みた(図3)。具体的には, 手持ち式のプロジェクタカメラ系の実現では以下の2点について研究を行った。

1) 小型軽量な同軸光学系の実現

装置と投影対象物体の距離が変化する状況で,



図3 手持ち式プロカム系による視覚補助

ずれなく光を重畳するためには, プロジェクタとカメラを同軸上に配置した光学系が必要となる。本研究では, この光学系を小型化し, 手持ち式装置としての実装を試みた。

2) 投影光の手振れ補償技術の確立

見かけの制御はプロジェクタカメラフィードバックにより実現されるが, 短くても 1/30 秒程度の投影遅延が生じる。手持ち式にすると, ユーザの手振れを避ける事はできない。そのため, 投影の画像がずれるという問題がある。本研究では手持ち式のプロジェクタカメラ系での手振れ問題の解決も試みた。

3.1 小型軽量な同軸光学系の実現

近年では, ポケットサイズのプロジェクタがいくつか発売されているが, 室内照明環境下で用いるには照度は十分ではない。そこで, LED 光源を採用したモバイルプロジェクタを用いて, 図4に示す手持ち式の同軸プロジェクタカメラ系を試作した。

この装置では, LED 光源を採用した小型の DLP プロジェクタ (DELL M115HD) と高速 IEEE1394b カメラ (Applied Vision Technology Pike F-100B) を採用した。これらの機器の投影中心は偏光ビームスプリッタ (Polarized beam splitter) によって光学的に同じ位置に配置されている。DLP プロジェクタからの投影光は偏光ミラー (Primary polarized mirror) と偏光ビームスプリッタで反射させてシーンに投影する。

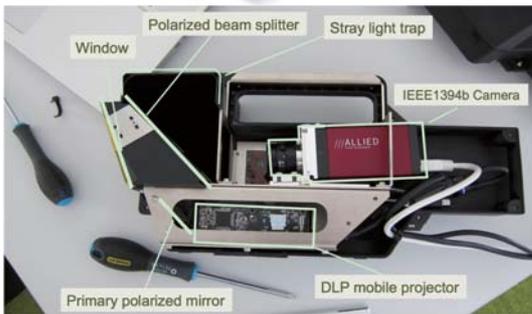


図4 手持式同軸プロジェクタカメラ

このようにプロジェクタとカメラを同軸に配置すると、ビームスプリッタで反射されずに装置内部で拡散するプロジェクタからの投影光（迷光）の処理が問題となる。この迷光はビームスプリッタを透過してカメラで観察されることによって撮影画像を白濁させ、制御性能を低下させるためである。そこで、本研究では偏光を用いた光学系を採用し、迷光の発生を抑制することでこの問題を解決した。

3.2 投影光の手振れ補償技術の確立

研究の結果、デジタルビデオカメラで用いられる一般的な手振れ補償技術を、プロジェクタカメラ系に応用することで、投影光のブレ補償を行うことは困難であることが明らかになった。

なぜなら、ビデオカメラなどで用いられている手振れ補償は、その時に撮影されたフレームに対するぶれ補償を行うものである。これに対して、プロジェクタカメラ系のブレ補償では、キャプチャ画像と投影画像の時間ずれを補償して投影制御のために反射率推定を正しく行うだけでなく、その後に投影画像が投影されるタイミングでの最適な画像を予測する必要もあるか

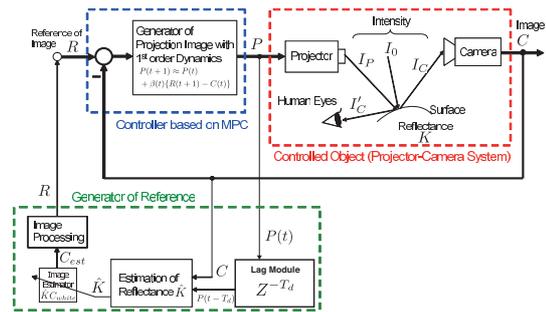


図5 スミス補償器を導入した見かけの制御

らである。つまり、ビデオカメラの振れ補償が現在と過去の画像から現在の画像を補償する問題であることに対し、プロジェクタカメラ系では過去と現在から現在の観測画像の補償だけでなく、未来における適切な投影画像の予測も要求される問題だからである。

何らかの仮定を用いてこの問題を解決する方法も考えられるが、そのようなアプローチは人の動き、すなわち使用方法を限定する事となり、「懐中電灯のように扱える」というコンセプトに反する。そこで、本研究ではスミス補償器を制御系に導入することでむだ時間の補償を行い、投影ずれを低減させることで投影画像の手振れの軽減を試みた。

具体的には、図5に示すように見かけの制御ダイアグラムにスミスの補償器を実装した。スミスの補償器では、撮影画像の遅延と同じだけ過去の投影画像を用いて反射率推定を行う。このように撮影画像の遅れを補償すると収束速度が改善されることから手振れに対する追従性が向上する。

[今後の研究の方向・課題]

本助成によって、完成度の高い手持式プロジェクタカメラのプロトタイプを製作することができた。また、偏光を用いた同軸光学系やスミス補償器を用いたむだ時間補償による手振れ問題の改善方法は、本研究課題のためだけに限定されない成果であり、プロジェクタカメラ系のための新たな基盤技術が得られたと言える。

しかし、研究期間内に試作した装置を用いた視覚補助の評価実験は実施できなかった。

そこで、今後の研究ではまず被験者実験を実施し、製作した装置や手法の有効性を検証したい。また、評価実験では視覚補助に必要な最低照度を割り出し、利用を断念したポケットプロジェクタによる視覚補助の可能性についても検討したい。ポケットプロジェクタの光量で十分な視覚補助が出来るのであれば、装置を大幅に小型化できるからである。さらに、デスクライト型のプロジェクタカメラ系など、違う形での実装についても試み、日常生活のシーン適した、「プロジェクタカメラ系による視覚補助」のあり方を模索する予定である。

[参考文献]

- [1] VISION 2020: The Right to Sight, Global initiative for the elimination of avoidable blindness: Action Plan 2006-2011. World Health Organization, 2007.
- [2] E. Peli, E. Lee, C. L. Trempe and S. Buzney: Image enhancement for the visually impaired: the effects of enhancement on face recognition, J. Opt. Soc. Am. A, 11(7), pp. 1929-1939, 1994.
- [3] J. S. Wolffsohn, D. Mukhopadhyay and M. Rubinstein: Image enhancement of real-time tele-

vision to benefit the visually impaired, American Journal of Ophthalmology, 144(3): 436-440, 2007.

- [4] L. Jefferson and R. Harvey: An interface to support color blind computer users, Proc. of the SIGCHI conf. on Human factors in computing systems, pp. 1535-1538, 2007.
- [5] H. Brettel, F. Vieénot and J. D. Mollon: Computerized simulation of color appearance for dichromats, J. Opt. Soc. Am. A, 14(10), pp. 2647-2655, 1997.

[成果の発表, 論文等]

1. 河野邦起, 牛田俊, 天野敏之: 現実の環境に適した見かけの制御アルゴリズムの提案, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, 計測自動制御学会, 2015.
2. 笠谷昇平, 天野敏之, 大槻正樹: ピクセルマップ更新による動的な投影ずれ補償, 情報処理学会 CVIM 研究会講演論文集, CVIM-191(22), 2014.
3. 川口敬宏, 天野敏之, 大槻正樹: モバイルプロジェクタカメラ系のためのオンライン光学補償, 情報処理学会 CVIM 研究会講演論文集, CVIM-191(21), 2014.
4. (招待講演) 天野敏之: プロジェクタカメラ系による実世界の見かけ操作, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会論文集, pp. 371-372, 2013.
5. 天野敏之: プロジェクタカメラシステムへの誘い, 電子情報通信学会誌, Vol. 96, no. 6, pp. 435-440, 2013.

多様な環境における会議音声の音声認識と発言者識別に関する研究

Robust speech recognition and speaker diarization under various environments

2031005



研究代表者

長岡技術科学大学

准教授

王

龍 標

[研究の目的]

音声は訓練なしで誰もが使えること、情報伝達が高速であること、使用に際して特に道具を必要としないことなどの利点を持つ、自然で重要な人間のコミュニケーション手段である。人間と機械のコミュニケーションでは、音声情報処理が注目されて期待は大きい。最近、スマートフォンで音声認識や音声検索、音声翻訳など様々な技術が実用化され、大きく注目されている。

多人数の会議では、便利性・コストを考慮しマイクを意識せずマイクから離れた遠隔環境下の自然発話が多い。自動会議録作成支援システムは人手で作成する会議録に比べてコストが低く、アーカイブ化により会議内容の検索が容易になるなどの利点があり、学術的・商業的にも非常に意義がある。しかし、雑音・残響を含む多様な実環境下で、外乱の影響により遠隔発話音声認識は非常に難しくなる。さらに、会議録の作成では、発話内容の書き起し以外に、いつ誰が発話したか (speaker diarization: 以降、発言者識別と定義) も発話者毎の内容の整理・検索に重要な情報である。これに対して本研究は、申請者の世界先端の音声情報処理技術を発展させ、人間と機械の調和を促進するため、①音響信号処理と人間の音声認知の観点から遠隔環境下の自然発話に頑健な音声認識・話者認識・発言者識別手法および、②話者変動・チャ

ネル変動の補正技術を用いる話者識別に関する研究を行う。

[研究の内容, 成果]

・MCLMSに基づく残響環境下の話者認識

音声に含まれる残響を除去することは非常に困難である。残響 (伝達特性) を除去する方法として、ケプストラムのフレーム平均を全フレームから減算することで特徴量の段階で補正を行うケプストラム平均正規化 (Cepstral Mean Normalization: CMN) が一般的に用いられている。一般的に、短時間スペクトル分析窓長には 25 ms 程度の長さが用いられており、残響の長さが分析窓長よりも短い場合に CMN は有効な方法となる。しかし、一般的な室内の遠隔環境下では、残響の長さは 100 ms から 1000 ms 程度の範囲をとり、短時間スペクトル分析窓長より非常に長くなってしまふ。そのため、CMN を用いることで、フレーム内の初期残響は除去できるが、フレーム長より長い後部残響は除去できないという問題がある。そこで、申請者の先行研究において、マルチチャンネル最小平均二乗 (Multi-channel Least Mean Square: MCLMS) アルゴリズムに基づくスペクトル減算法を用いた残響除去法という音声認識のための残響除去技術が提案された。これは、スペクトル領域における後部残響が付加雑音とみなし、MCLMS アルゴリズムに基づいて推

定したインパルス応答から得られる後部残響を雑音除去技術であるスペクトル減算法を用いて除去する方法である。本研究は MCLMS 手法を遠隔環境下の話者認識へ発展させた。しかし、MCLMS に基づく後部残響除去手法では、残響を除去するが、話者の特性も除去してしまう。この問題に対して、話者モデルを作るときに、人工的に雑音・残響を音声に付加して、スペクトル減算による雑音・残響を除去する。270 名の話者で様々な残響環境で、話者認識実験を行った。提案法は、学習段階と評価段階の話者のひずみを軽減できるため、性能を従来法の 88.4% から提案法の 91.7% に改善した。さらに、残響除去の補正パラメータの自動選択と高速化の方法（提案法の改善法）も提案し、認識結果がさらに良くなって、93.6% になった。以上の結果は EURASIP の海外論文誌に採択し、掲載された「成果 4」。

・ DAE に基づく雑音・残響環境下の音声認識

MCLMS は線形変換に基づく手法で、残響による非線形の伝達関数の悪影響を軽減するのは限界がある。そこで、本研究は Deep Neural Network (DNN) の非線形変換の特徴を活かして、残響除去に発展させた。Denoising Autoencoder (DAE) はニューラルネットワークの 1 種で、入力にノイズを付与したデータを、教師信号にデータに対応するクリーンなデータを与えることで、ノイズの乗ったデータをクリーンなデータに変換させるモデルであり、画像処理の分野でのノイズ除去技術として利用された。本研究では、入力に残響を畳み込んだ音声特徴量を、教師信号に対となるクリーン音声特徴量を与えることで残響音声をクリーン音声に変換するような非線形変換関数を学習する。一般的に、残響は観測フレームよりも過去のフレームに依存しているため、本研究では観測フレームに加えて、前方数フレームを入力特徴量として与え、教師信号として観測フレームのクリーン信号を与えるようなモデル構

造を使用する。DAE で使用するニューラルネットワークのモデル構造を図 1 で示す。DAE によって出力される特徴量は以下の式で計算できる。

$$O_i = f_L(\dots f_i(\dots f_2(f_1(X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-N}))))$$

ここで、 f_1 は 1 層における非線形変換関数、 N は入力特徴量として使用する前のフレーム数、 X_i と O_i はそれぞれ i フレーム番目の残響を畳み込んだ音声特徴量と変換した特徴量を表す。学習は制限付きボルツマンマシン (Restricted Boltzmann Machine: RBM) による事前学習を行った後に、特徴量と教師信号間のクロスエントロピー誤差を最小にするために誤差逆伝播法を用いてパラメータを更新する。事前学習後、誤差逆伝播法によって各パラメータの調整を行う。誤差逆伝播法とは、1 対の信号 (入力信号と教師信号) が与えられたときに、出力値と教師信号の誤差を減らすようにネットワークの重みを調整するアルゴリズムである。本研究では、この誤差をクロスエントロピーで定義する。誤差を最小にするためのアルゴリズムは conjugate gradients を用いる。

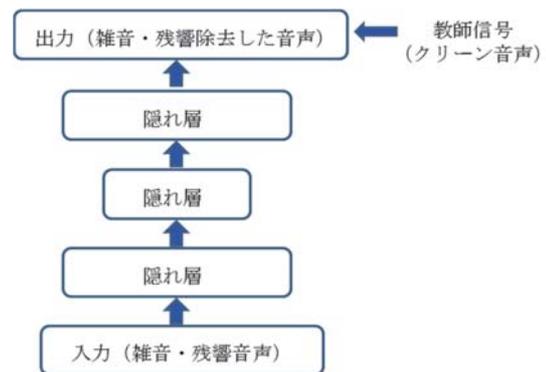


図 1 DAE の流れ図

本研究では、“REVERB-challenge” (残響音声の強調と認識ベンチマーク) が提供する学習データセットを使用する。このデータセットは、WSJCAM0 学習セットとマルチコンディション (MC) 学習セットで構成されている。MC 学習セットは、WSJCAM0 学習セットのク

リーン音声に室内インパルス応答と背景雑音を重畳することで作成される。ここでの室内インパルス応答の残響時間は、0.1秒から0.8秒の範囲のものを使用する。この学習セットは、DAEと音響モデルの学習の両方に使用する。評価データも学習データと同様に“REVERB-challenge”が提供するデータセットを用いる。このデータセットは、人工的に雑音と残響を重畳した音声（SimData）と実環境で収録した音声（RealData）から構成されている。SimDataはWSJCAM0コーパスの音声から生成され、RealDataはMC-WSJ-AVコーパスの音声を用いている。ここでの室内インパルス応答や雑音は、学習データの環境とは異なるものを使用している。認識結果を表1に示す。DAEによる雑音・残響除去を用いることで、単語の正解精度が改善していることがわかる。“SimData”においては17.3%から11.4%までの削減，“RealData”においては54.0%から37.0%までの削減を達成した「成果1」。

表1 雑音・残響音声の単語正解精度 (%)

	Sim Data	Real Data	平均
CMN (従来法)	82.7	46.0	64.4
DAE (提案法)	88.6	63.0	75.8

また、ニューラルネットワークとマイクロフォンアレイの併用により、会議中の同時発話音声をも目的話者のクリーン音声に変換した方法も提案した。認識率を従来法の72.0%から提案法の88.0%に改善した「成果2」。

・DAEによる特徴量変換手法を用いた発言者識別

一般的な発言者識別では、ある話者の発話区間セグメントの音声特徴を統計モデルで表し、類似する特徴のセグメントを統合するbottom-up型クラスタリングの手法で発言者識別を実施する方法が一般的である。このような方法では、用いる特徴量や統計モデルなどの与え方が重要な要素となる。また、各発話区間の比較を

行う音声特徴量にメル周波数ケプストラム係数(MFCC)が用いられることが多いが、単純なMFCCだけでは雑音や残響の影響を低減したクラスタリングを行うことは困難である。そこで、本研究ではDNNを用いた特徴量変換手法を発言者識別システムに利用する。残響に頑健な特徴量変換手法としてDenoising Auto Encoder (DAE)を提案し、会議や討論のような複数の話者が存在する長時間収録音声の発言者識別実験において評価を行う。これにより、雑音や残響により頑健なシステム構築が可能となることを示す。本研究の評価実験にはNIST RT-05Sデータベースを利用した。このデータベースには収録環境が異なる5箇所、各2回の計10回の会議音声収録されており、会議毎に遠隔発話音声と近接発話音声複数チャンネルで収録されている。DAEについて、コンテキストサイズは入力として与えるフレーム数を表し、現在フレームだけでなく、前後のフレームを含めることにより、残響の影響も考慮した特徴変換を学習することができる。表2は評価実験の結果を示す。この結果より、平均DER (Diarization Error Rate)において、提案法(DAE-frontend-based System)は従来法を上回ることが示された。各Set毎に結果を比較してみても、Set1において若干の悪化が見られるものの、他のSetにおいては改善が見られている。

表2 従来法及び提案法におけるDER比較 (%)

手法	NIST RT-05 S データベース					平均
	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	
従来法	19.9	20.3	26.1	20.4	21.8	21.7
提案法	20.4	11.2	19.7	15.3	15.7	16.4

・チャンネル変動に対して頑健な話者認識

登録発話とテスト発話間でチャンネル変動(収録設備、収録環境の変動など)があると、従来の混合ガウスモデル(GMM)の話者認識性能が低下してしまう。会議音声では、会議毎にチャンネルや発話様式が変動するため、二つ発

話セグメント間の距離が大きく変動し、この二つのセグメントが同じ話者が発言するかどうかを判定する閾値の決定は難しくなる。最先端の話者認識では、音声の特徴空間を話者独立の特徴空間とその以外のチャンネル・話者変動による全変動空間に分解し、話者の情報を全変動空間から次元圧縮して数百次元の固定長ベクトルで表現する。しかし、全変動空間から次元圧縮して、一部の話者の情報がなくなる。そこで、全変動空間から次元を圧縮しないベクトル抽出の方法を提案した。さらに、大きい行列の高速な計算方法を提案し、確率線形判別分析を使って、どの環境のどの発話様式でも同じ閾値を使って頑健な話者認識を行った。標準な NIST SRE 08 データベースを用いて、評価実験を行った。話者照合の等誤り率を従来法の 6.6% から 4.4% に軽減した「成果 3」。

[今後の研究の方向, 課題]

最近、音声認識の様々な技術が実用化され、大きく注目されている。しかし、残響・雑音による環境変動や発話スタイル、発話者によるアクセント（方言や日本人英語発音など）などによる発声変動などに対しては技術がまだ不十分である。大量の音声を用いて機械学習技術に基づいて近接発話で高い性能が得られているが、実環境による音声認識の性能がまだ非常に低い。

一方、グローバル化が進むに従い実環境で多様な発話様式による音声コミュニケーションの

重要性がますます高まっている。例えば、2020年の東京オリンピックで、実環境の会場で多様な発話スタイル（読み上げ音声や自由発話など）や多様なアクセント（native 話者の英語、中国人英語、日本人英語など）の音声コミュニケーションをとる機会が予想され、音声処理技術を利用して人間同士のコミュニケーションを支援する技術が必要となる。そこで、実環境の環境変動と発声変動を同時に効率よく除去する手法の確立が非常に重要であり、今後の研究の課題である。

[成果の発表, 論文等]

1. 上田雄磨, 王龍標, 甲斐充彦, “Cepstral domain denoising autoencoder および DNN-HMM による雑音・残響下音声認識”, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会講演論文集, 2-1-2, Mar. 2015.
2. W. Li, L. Wang*, Y. Zhou, J. Dines, H. Bourlard and Q. Liao, “Feature Mapping of Multiple Beamformed Sources for Robust Overlapping Speech Recognition Using a Microphone Array”, IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing, Vol. 21, No. 12, pp. 2244-2255, Dec. 2014.
3. Y. Jiang, K. Lee, L. Wang*, “PLDA for Speaker Verification in the I-supervector Spaces”, Eurasip Journal on Audio, Music and Speech Processing, 2014: 29, 2014.
4. Z. Zhang, L. Wang* and A. Kai, “Distant-talking speaker identification by generalized spectral subtraction-based dereverberation and its efficient computation”, Eurasip Journal on Audio, Music and Speech Processing, 2014: 15, 2014.

MEMS3 軸力センサを用いた貼付型フレキシブル 褥瘡予防シートに関する研究

Design of Flexible Triaxial Force Sensor Sheet for Pressure Ulcer Prevention

2031016



研究代表者

静岡県工業技術研究所
沼津工業技術支援センター

研究員

細野 美奈子

[研究の目的]

本研究の目的は、直交する3軸方向の力の計測が可能なセンサチップを貼付可能な緩衝剤に埋め込むことで、褥瘡好発部位にかかる力の分散かつ外力の検出を可能とするフレキシブル褥瘡予防シートを開発することである。

褥瘡とは、血流障害によって生じる創傷のことである。血流障害のおきる要因の一つに、身体に持続的に働く力が挙げられる。特に、安静や不活発のため長時間同じ体勢を保持することで、椅子やベッド等と身体との接触面に働く力が原因となり褥瘡が発生することが多い。褥瘡の発生を予防するため、クッションの導入や一定時間ごとの体位変換の他に、骨突出部を代表とする褥瘡の発生しやすい場所、いわゆる褥瘡の好発部位に対して、シリコンゴムやポリウレタンゴムから成る緩衝剤シートの貼付といった対策が取られている。しかし、各個人の体型や体勢によって好発部位に働く力は大きく異なるため、統一的な予防対策では十分な効果を発揮できない問題点がある。

本研究では、好発部位に用いられる緩衝剤シートに微小な力センサチップを埋め込むことで、貼付部位に働く力のモニタリングが可能な褥瘡予防シートの開発を目指す。力センサチップを埋め込む緩衝剤のサイズは有限要素法による解析結果をもとに設計する。また、シートの厚さを抑えられるよう、埋め込む力センサチッ

プは MEMS 技術によって製作した厚さ数百 μm のものを用いる。この褥瘡予防シートを貼付することによって、各個人の好発部位に働く力が計測可能となり、より効果的な褥瘡予防の実現につながると考えられる。

[研究の内容、成果]

埋め込む力センサチップおよび力センサチップを埋め込んだ緩衝剤を図1に示す。図1(a)

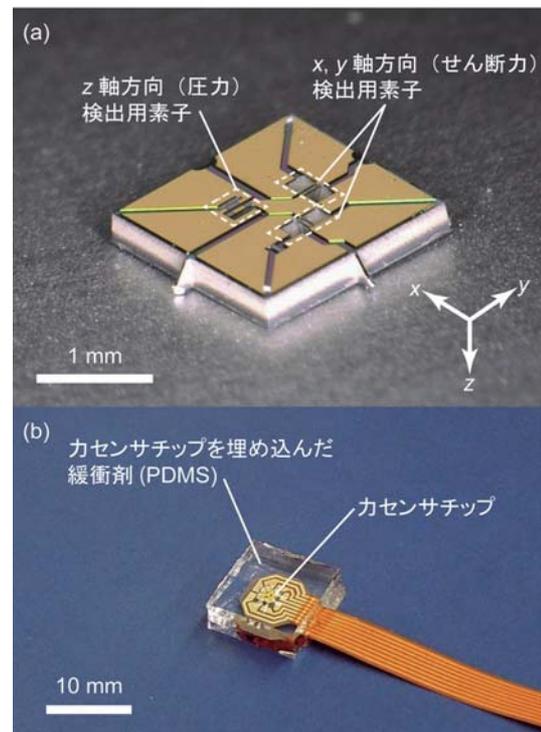


図1 (a) カセンサチップ, (b) カセンサチップを埋め込んだ緩衝剤

に示すように、力センサチップ上には、一対のビームからなる力検出用素子が計3組構成されている。各ビームにはピエゾ抵抗素子が形成されており、ビームに生じるひずみを抵抗値変化として読み取ることができる。力センサチップのサイズは2.0 mm×2.0 mm×0.3 mmである。この力センサチップを図1(b)に示すように緩衝剤に埋め込むことで、緩衝剤の変形とともにビームにひずみが生じ、緩衝剤の表面にかかる直交3軸方向の力が計測可能となる^[1]。本研究では、緩衝剤の材料として、生体親和性を持つため市販の緩衝剤にも使用されているシリコンゴム (Polydimethylsiloxane, 以下 PDMS) を用いることとした。本研究で用いた PDMS の動的粘弾性解析 (以下, DMA) の結果を図2に示す。図2に示す結果より、0.1 Hz から10 Hz の範囲内において、PDMS の弾性率に周波数依存性は見られなかった。このことから、想定する褥瘡予防シートの利用環境下において、PDMS の機械的特性は一定値を保つと考えられる。また、 $\tan\delta$ も0.1以下であったことから、粘性による影響を無視して本研究ではPDMSを弾性体とみなすこととした。

DMAによって得られたPDMSの機械的特性をもとに、力センサチップを埋め込む緩衝剤(PDMS)のサイズを決定するために有限要素法解析(使用したソフトウェア:COMSOL Multiphysics)を行った。解析では、PDMSの形は直方体とし、厚さを0.5 mmから6 mmまで、底面を正方形としたときの一辺の長さを5

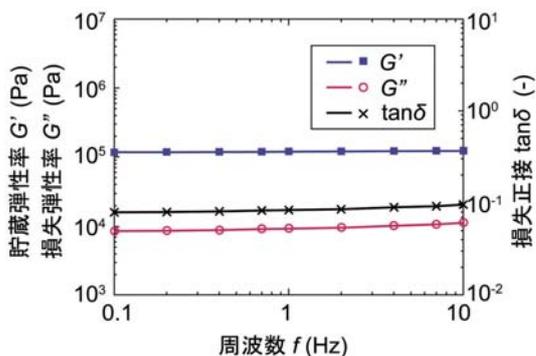


図2 PDMSの動的粘弾性解析

mmから40 mmまで変化させた。このとき、埋め込んだ力センサチップの各軸方向の力検出用素子に生じるひずみの変化に着目した。

解析結果の例として、厚さ2 mm、底辺の長さ10 mmのPDMS上面に対して、y軸方向にせん断応力1 kPaをかけたとき埋め込んだ力センサチップの各軸方向検出用素子に生じたひずみの様子を図3に、z軸方向に圧力1 kPaをかけたときのひずみの様子を図4に示す。ピエゾ抵抗は、x,y軸用素子では各ビームの内側側面に、z軸用素子では各ビーム上面に形成されている。図3に示す結果より、y軸方向せん断応力に対して、対応するy軸用素子のピエゾ抵抗に大きくひずみが生じた(図3(c))。一方で、別の2軸用の検出素子ではほとんどひずみが生じなかった(図3(b)(d))。同様に、図4に示す結果より、z軸方向圧力に対して、対応するz軸用素子以外ではほとんどひずみが生じな

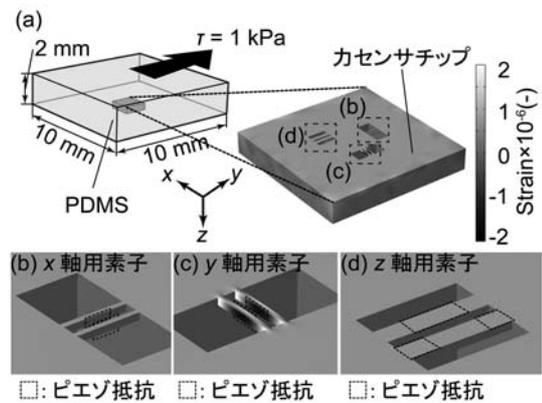


図3 (a) 力センサチップを埋め込んだPDMSモデル, (b) (c) (d) PDMS上面にせん断応力1 kPa 負荷したときに各軸方向素子に生じるひずみ

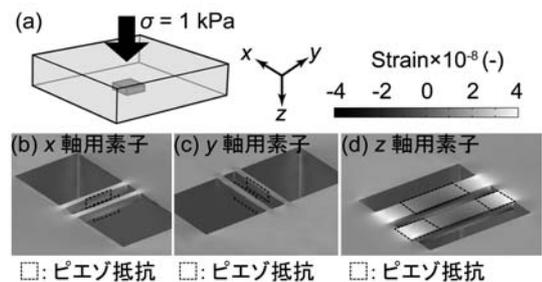


図4 (a) 力センサチップを埋め込んだPDMSモデル, (b) (c) (d) PDMS上面に圧力1 kPa 負荷したときに各軸方向素子に生じるひずみ

かった。また、結果は省略するが、 y 軸用素子と力センサチップ上で対称的な位置に配置されている x 軸用素子は、 x 軸方向せん断応力に対してのみひずみが大きく生じることが分かった。以上の結果から、力センサチップは直交する 3 軸方向の力を分離して計測できることを確認した。

続いて、PDMS の厚さおよび底辺長さを変化させたとき、PDMS 上面に働く y 軸方向せん断応力 1 kPa に対して、 y 軸用検出素子の片側のビームに生じたひずみの比較結果を図 5 に、 z 軸方向圧力 1 kPa に対して z 軸用検出素子の片側のビームに生じたひずみの比較結果を図 6 に示す。図 5 に示す結果より、PDMS 底辺の長さに対して PDMS 厚さが十分に小さいとき、

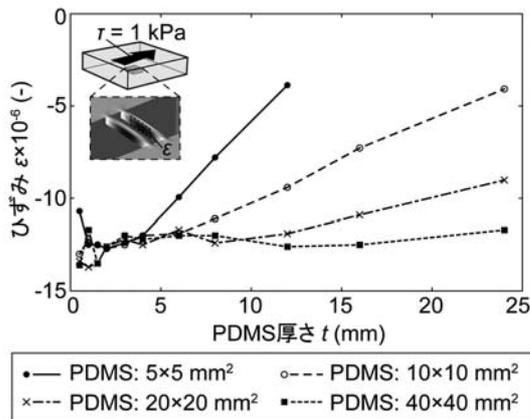


図 5 PDMS サイズによって y 軸用素子に生じるひずみの変化 (せん断応力負荷時)

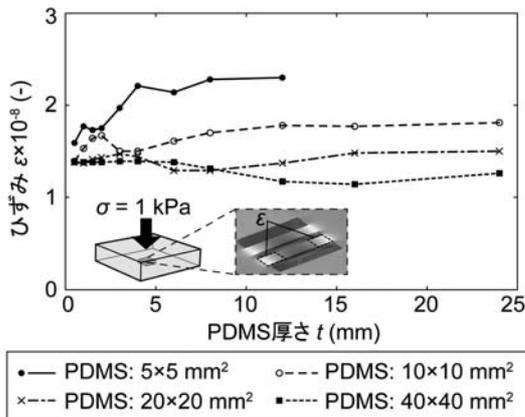


図 6 PDMS サイズによって z 軸用素子に生じるひずみの変化 (圧力負荷時)

y 軸用検出素子の片側のビームに生じたひずみの大きさは底辺長さや厚さに依らずほぼ同じ値をとった。しかし、厚さが底辺長さの 1/2 を超えると、厚くなるにつれてひずみの大きさが小さくなる傾向が見られた。一方、図 6 に示す結果より、圧力に対しては、PDMS 厚さと底辺長さの比が z 軸用検出素子のビームに生じるひずみに与える影響はほぼ見られず、ひずみの値は大きく変化しないことが分かった。以上の結果から、PDMS の厚さが底辺長さの 1/2 を超えないように対象部位に合わせて PDMS のサイズを設計すれば、力センサチップの感度を落とすことなく褥瘡予防センサシートが実現できることが分かった。

有限要素法解析の結果から、PDMS のサイズを 40 mm×40 mm×2 mm として力センサチップを埋め込み、褥瘡予防センサシートを製作した。製作したセンサシートを肩甲骨に貼付し、椅子に座って (i) 背中をずり上げる、(ii) 背中をずり下げる、(iii) 背中を右へ傾ける、(iv) 背中を左へ傾ける、と順番に姿勢を変化させた。このとき、背もたれと肩甲骨の間に働く力をセンサシートによって計測した。センサシートの応答結果を図 7 に示す。センサシートの各軸方向の出力は、あらかじめ 6 軸力センサを用いて行ったキャリブレーション結果をもとに応力値に変換した。図 7 に示す結果より、製作したセンサシートは肩甲骨と背もたれの間にある直交 3 軸方向の応力を分離して計測可能で

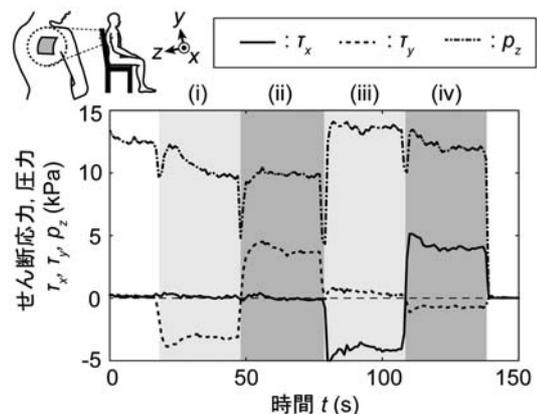


図 7 肩甲骨に貼付した褥瘡予防センサシートの応答

あることが分かった。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 貼付部位に働く力のモニタリングが可能な褥瘡予防センサシートの開発を行った。また, 予防センサシートを設計する上で緩衝剤のサイズがセンサ応答に与える影響を有限要素法解析によって示した。今後は, 各褥瘡好発部位に合わせたサイズのセンサシートを製作し, 貼付の有無によって部位に働く力の変化を比較することによって, 開発した褥瘡予防センサシートの有効性を評価する予定である。

[参考文献]

- [1] H. Takahashi, A. Nakai, *et al.* “A triaxial tactile sensor without crosstalk using pairs of piezoresistive beams with sidewall doping.” *Sensors and Actuators A : Physical*, Vol. 199, pp. 43-48, 2013.

[成果の発表, 論文等]

- M. Hosono, K. Noda, *et al.* “Dynamic performance analysis of a micro cantilever embedded in elastomer.” *Journal of Micromechanics and Microengineering*. Vol. 25, No. 7, article no. 075006, 2015.

運動の音変換による身体バランス制御誘導システムの開発

Development of a System for Body Balance Control Induced by Transformed Sound from Activity Sensing

2031019



研究代表者 (助成金受領者)	筑波大学	システム情報系	准教授	山 際 伸 一
共同研究者	名古屋大学	総合保健体育科学 センター	教 授	山 本 裕 二
共同研究者	大阪大学	医学研究科	助 教	門 田 浩 二

[研究の目的]

本研究では以下の3つの成果達成を目標とし、音をガイドとした身体バランス誘導システムの実現を目指す。

(1) センサーシステムから取得したデータから音をつくるソフトウェアを開発する

近年のスマートフォンといったモバイルデバイスは3軸の加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサに加えGPSといった人のモーションを捉えることが可能なデバイスを搭載している。この機能を利用し、さらに、その動きデータから音に変換する機能をもった、システムを開発し、運動スキルの獲得への有効性を示すことを目標にする。具体的には、それぞれのセンサーデータを音空間にマップして、動きを音で表現し、その表現から身体制御のイメージを獲得できるソフトウェアを開発する。

(2) センサで捕らえた動きデータから、運動の得点化が可能なシステムを開発する

上記のセンサで捉えた動きデータから、スキルの得点化が可能なシステムを開発する。具体的には、これまで多くの知見を得てきた動きであるスキーパラレルターンに着目し、動きデー

タから得点を計算できるシステムを開発する。

(3) 身体バランス→音変換データベースを開発する

上記の(1)のソフトウェアでの変換アルゴリズムを使って、センサーデータをアップロードすると、音へ自動変換するWebサイトを作成する。動きから音を作成する、という単純な道具としてだけでなく、音から動きのイメージングがどこまで可能か、また、どの音マッピングが動きを想像させる原因となるのかを検証する。

(4) 身体バランス→音変換をリアルタイムに行うセンサーシステムを開発する

動きをセンサで捉えた直後に、次の動き、しかも、スキルアップを促すことができる動きを予測して、その方向性等の情報を音で知らせるソフトウェアを開発することを目標とする。

本研究は以上の4項目を目標とし、スマートフォンやタブレットといった、普及にインパクトのある携帯端末を対象として、課題を進めた。

[研究の内容、成果]

本研究からは以下の成果が得られた。

- (1) 前述の研究目的 (2) に関して、スキーパラレルターンを対象に、スキル獲得のための動きの得点化に成功し、論文発表及び、特許出願を行った。
- (2) 動きデータを音変換するソフトウェアを開発し、上記 (1) の得点化ソフトウェアに統合した。
- (3) 音変換のためのセンサーデータのデータベースのプロトタイプを開発した。

また、本研究からは設定課題のうち、以下の項目に関しては成果達成を試みたが困難に直面し、議論を行い解決できるであろう糸口をつかむことはできた。

- (1) 動きをとらえたセンサーデータを音へとリアルタイムに変換し、スキル獲得のための次の動きの方向性を示すことはできなかった。
- (2) 運動を行ったあと、多くの時間が経過してからは、音のみからはイメージをつかむことができないことがわかった。

以上の得られた成果と、本課題の研究者間で行った議論を以下に順に示していく。



図1 スキートレーナーシステム

- (成果 1) 動きの得点化が可能なスマホアプリを開発

本研究では、スキーパラレルターンに注目し、その運動技能を得点化する仕組みを開発できた。スキーパラレルターンは、周期的な運動である

と共に、見た目の華麗さが評価される運動である。雪山での動き計測という難関があるため、これまで、研究課題としては十分に取り上げられることがなく、動きを数値化する、さらに、動きの得点化までを行った事例はない。そこで、本研究は、スマートフォンに搭載された加速度センサを使って、テンポ、対称性、ダイナミックさという観点から評価することで、見た目の華麗さを得点として表現できることを発見し、さらに、音での運動の引き込みで、それらの評価観点に関し、得点を向上することがわかった。

図1に開発目標のシステム全体像を示す。スマートフォンで捉えた動きのデータを音変換し、ユーザがリアルタイムに動きのイメージを確認できる。スマートフォンに保存されたデータは、野外での計測であっても、4Gなどの携帯電話回線からインターネットを介してサーバに送られ、ランキング等の事後情報として蓄積され、動きから生成される音を再確認することができる仕組みをもつ。このスマートフォンアプリとサーバに関して以下順に解説する。



図2 Ski Trainer アプリ

図2に開発したスマートフォンアプリ Ski Trainer の外観を示す。Ski Trainer は、スマホに搭載されたセンサーデータを棒グラフで表現し、さらに、計測を開始すると、そのデータをリアルタイムにストレージに保存する。動きは定期的な音刺激に誘導され、いわゆる音の引き込みという現象が発生することが知られているが、これをスキーパラレルターンに利用し、

周期的な運動のタイミングを制御できると考え、メトロノーム音を指定されたテンポでならず機能を Ski Trainer には搭載した。



図3 スマホを装着した様子

スキーパラレルターンに応用するため、測定軸を固定した。Ski Trainer で計測する軸は上下方向と左右方向を図3に示すように装着した場合に限定した。この場合、スマホの上下方向(Y軸)は重力方向、左右方向(X軸)は左右方向としてデータに現れる。スキー指導員から初心者までの10人ほどに実験を行ったところ、華麗さを表現するファクタは、スキーパラレルターンは左右方向の加速度に密接に関わることがわかった。それが大きければ大きいほど滑りは華麗に見える。また、上級者は突発的な雪面の変化に対応できる能力が高く、ターンのテンポを一定にする課題を与えても、そのタイミングが崩れることはなく、初心者の場合、雪面の変化に戸惑い、一定のテンポを刻めないことがわかった。以上の基礎実験結果から、テンポ、対称性、ダイナミックさ、の観点から、センサーデータを使って、スキーパラレルターンを得点化することができることがわかった。

図4にテンポの比較を示す。加速度センサのX軸(体の左右軸)のデータを、加速度がゼロになるところ中心にグラフを描くと、スキーパラレルターンの動きはsin波を描く。実験参加者には自分の心地よいタイミングを決めて、パラレルターンを実施してもらった。図4の左側のグラフは、上級者のグラフで、安定して、

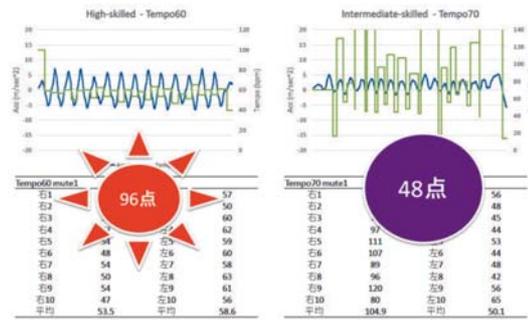


図4 テンポでスキルを比較する

一定のテンポを刻んでいる。右側は中級者のグラフで、テンポが乱れているのがわかる。この加速度のX軸データから得られたテンポの分散を計算すると、得点化が可能である。例えば、図4では上級者は分散が常に一定であり、高い得点を得ている。

また、スキーパラレルターンの動きを加速度センサで捉えた場合、データのX軸、Y軸方向、つまり、身体の上、下、左右方向の値を散布図にマップすると、華麗でダイナミックな滑りができている上級者はハートマークを描くことがこれまでの知見として得られていた。これは、上級者であれば、ターンの際に左右の偏りがなく、さらに、サイドエッジに体重をかけ回することで、華麗に見えているという理由がある。そこで、その性質を使って、対称性とダイナミックさを得点化する仕組みを開発した。

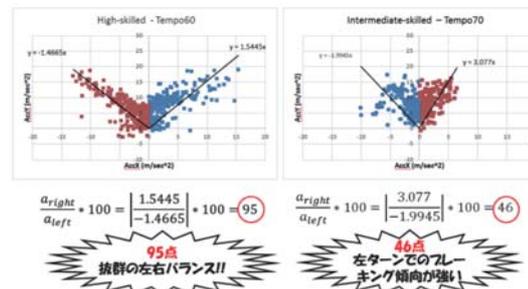


図5 対称性、ダイナミックさでスキルを比較

図5にSki Trainerで得られた加速度データを散布図にマップした結果を示す。左側のグラフが上級者であり、右側が中級者である。上級者の結果は、横軸方向(身体の左右方向)に大きく広がりがあることがわかる。この広がりを

ダイナミックさとして評価し、得点化する。この広がり、10人の被験者での統計を取って見たところ、大きくて2Gであることから、それに近い最大加速度を実現できているときには最高点を得られるように計算する。さらに、対象に関しては、ターンのときの身体の左右の偏りを、散布図にプロットされた点の数の、グラフ内での左右差をカウントすることで評価する。偏りの多い方向に多くの点がプロットされることになるため視覚的に確認することができる。また、対称性は、グラフの左右にプロットされた点の近似直線を求め、それぞれの近似直線の左右差を得点とする。つまり、左右の近似直線の傾きが異なる時には、ターンの際に身体のどちらかに偏りが生じているということになるためである。

以上から、Ski Trainerを図3のように装着し、パラレルターンを実行するとスマートフォンにそのデータが蓄積される。そのデータを図4に示すインタフェースで解析し、視覚化することで、テンポ(図6右)、対称性/ダイナミックさ(図6左)を評価し、リアルタイムにフィードバックするシステムが開発できた。さらに、その得点ごとに、改善すべき点をメッセージ変換し、図6中央に示すような三角形のグラフを示しながら、スキル獲得のためには何が足りないかをレポートするようにした。

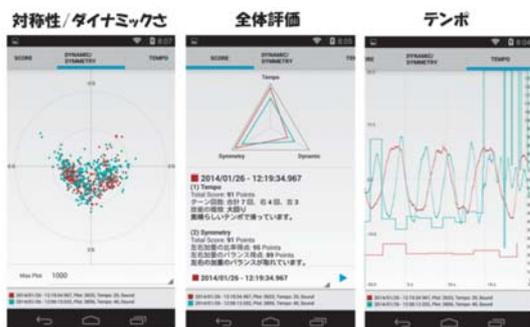


図6 Ski Trainerのスキル評価画面

Ski Trainerを利用することで、動きのどの部分が足りないかを視覚的に示し、さらに、前述のメトロノーム音を聞きながら、スキーパラ

レルターンを実施することで、テンポが改善された。さらに、ダイナミックさ/対称性がそれに伴い改善されていき、上達のための道具として十分使えることがわかった。

(動きデータを音変換するソフトウェアの開発)

加えて、図6中央の画面で音再生ボタンを押すと、その動きデータのX軸方向のデータを音変換して聞くことができるようにした。この機能によって、身体の動きがまだ記憶に残っているうちに、音でそのイメージをフィードバックし、不足点の発見とともに、左右の偏りを感覚的に知ることができるとわかった。

この音変換には、加速度データを可聴域内にマッピングすれば良いが、そのまま変換を実装すると、ノイズが平均律の中間音にマップされ、耳障りな音に変換される。そこで、可聴域をピアノの鍵盤以内にし、さらに、平均律で得られる音階の音に近似した。さらに、加速度のX軸をステレオの左右にシームレスにマップすることで、身体の左右の運動を表現した。この変換した音からの動きをイメージとしては、音のステレオ方向の動きは人は感受性が弱く、差を聞き取りにくい特性があり、細かな身体の動きをイメージできない。しかし、音の高低差は敏感に感じ取るため、音程のファクタは動き表現には重要であることがわかった。

(音変換のためのセンサーデータベースのプロトタイプ開発)

Ski Trainerで採取したセンサーのデータを、アップロードし、事後に音で動きを確認できるデータベースサーバのプロトタイプを開発した。しかし、本データベースから動きの音を確認するにあたり、動きから時間が経過した後は、実際に動いたときの身体の記憶が少なく、イメージをつかめない、という問題があることがわかった。これを解決するためには、客観的に撮影された映像を示すなど、動きを提示する仕組みが必要である。Ski Trainerでは加速度とジャイロのデータが採取できているため、これらのデータを使って、動きを3次元再構成した

アニメーションを示すことができると考えられる。今後はこのような改善を行っていきたい。

[今後の研究の方向, 課題]

以上から、動きをセンサで捉え、そのデータを元に、音に変換し、スキル獲得を促すシステムを開発することができた。特に、スキル獲得のためには得点化という機能が必要であることがわかり、得点提示をおこなう機能を開発した。さらに、音提示によるテンポの引き込みで運動スキルの向上が見られることもわかった。運動を音変換し、イメージを再確認することは運動の直後に効果があることもわかった。

一方、本研究ではリアルタイムに動き予測をする機能を携帯端末で実現できなかった。リアルタイムに音変換することにも本研究では挑戦してみたが、どんなに高速に変換しても人の動

きから聴覚への感覚の伝搬遅延があり、動きに対し、音が遅れて聞こえてしまう、ということがわかった。これを改善するには動きを予測し、音を生成する事が必要であるため、今後、深く研究をしていく。

[成果の発表, 論文等]

本研究の成果は以下の国際会議論文として公表され、さらに、特許出願した。

- [1] Shinichi Yamagiwa, Hiroyuki Ohshima and Kazuki Shirakawa, Skill Scoring System for Ski's Parallel Turn, In Proceedings of International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2014), pp.121-128, SCITEPRESS, October 2014.
- [2] 特願 2014-216756・山際伸一・評価値算出プログラム、評価値算出方法、情報処理装置・筑波大学・平成 26 年 10 月 23 日。

分光スペクトル修飾に基づく機能性 LED 照明に関する研究

Functional LEDs illuminant based on spectral modification

2031901



研究代表者

豊橋技術科学大学大学院
工学研究科

教授 中内 茂 樹

[研究の目的]

これまで照明として一般に利用されてきた蛍光灯や白熱電球は、色温度の選択は可能であったが、基本的に照明光スペクトルを変更することはできず、またその必要性も認知されていなかった。現在広く用いられるようになった LED は、様々な照明スペクトルを持つものが安価で入手可能であり、それらを組み合わせることによって照明光スペクトルを自由に設計することが可能となっている。我々は、こうした特徴に着目し、製品の中の異物夾雑物の見えを目立たせたり、傷を検出し易くするなど、目視評価のパフォーマンスを向上させたり、物体の質感を変更する照明など、目的に特化した LED 照明（機能性照明）の分光設計手法について提案してきた。

しかしながら、これまでの方法では、機能性照明を設計するために高価な分光輝度計測器やスペクトルカメラなどによって、対象物の分光情報を測定する必要があり、さらには分光シミュレーションによる設計値と実際の LED の分光特性の違いが、設計照明によって実際に照射した場合の効果に与える影響を推定することが困難であった。そこで本研究課題では、様々な分光特性の LED を用いてプログラマブルに照明光スペクトルを設定でき、またその照明装置とキャリブレーションされたカメラ（XYZ カメラ）を組み合わせることによって、対象物を呈

示するだけで分光計測と LED 照明設計を自動的・迅速に実施できるシステムの開発を行うことを目的とする。

[研究の内容, 成果]

1. 機能性光源の原理

対象物の色（色彩値）は、次式のように分光反射率および照明光スペクトルの内積によって決まる。

$$C_i(x, y) = \int c_i(\lambda) S(\lambda, x, y) I(\lambda) d\lambda$$

ここで、 $C_i(x, y)$ は物体表面の位置 (x, y) における色彩値、 $c_i(\lambda)$ は等色関数 ($i=1, 2, 3$)、 $S(\lambda, x, y)$ は物体表面の分光反射率、 $I(\lambda)$ は照明光のスペクトルである。このように、物体の色はその物体表面の反射率のみならず、照明光のスペクトルによっても変化し、これが分光スペクトル修飾に対応する。

機能性光源とは様々な位置における $C_i(x, y)$ で定義される評価量 $E[\{C_i(x, y)\}]$ を最大化（あるいは最小化）するように設計された $I(\lambda)$ をスペクトルとする照明光源を指す。

$$I(\lambda)_{func} = \arg \max_{I(\lambda)} E[\{c_i(x, y)\}]$$

ここで、評価量 E に関しては、例えば、ある領域の平均彩度や、2つの領域の平均色の色差など、目的に応じて設計することが可能である。

一方、設計対象である照明光スペクトル $I(\lambda)$ については、ブロードなスペクトルを有する白色光源前面に分光透過率を変更できるフィルタを設置したスペクトルシンセサイザ等を用いることで、自由にスペクトルを生成することが可能ではあるが、装置が大型化すること、LEDを用いた実利用を想定した場合に、設計時との照明光スペクトルの差が性能に影響を与える可能性があることが懸念される。

本研究では、これらの問題を解決するとともに、機能性光源をより簡便に設計、実装可能とするために機能性光源自動設計システムを開発することを目的とする。また、本システムを用いて、具体的にいくつかの例について機能性光源を設計・実装した例について示す。

2. 開発した装置の仕様と概要

本装置の外観を図1に示す。本装置は、対象画像の画素毎に CIE 三刺激値である XYZ 値を取得可能なカメラ、分光的にも空間的にも一様な照明強度分布を得るための積分球（直径 12in）、積分球内部の赤道上に設置した LED（17種類）で構成される。カメラを積分球の北極位置に設置し、南極位置には LED によって生成された照明を対象物に照射し、かつ上部カメラによって撮像するための穴（直径 10 cm）を開けた。搭載した 17 種類の LED の色度を図2に示す。可視波長帯全域をカバーするようピーク波長を選択しており、全ての LED を照射した場合に白色となるようにしている。また

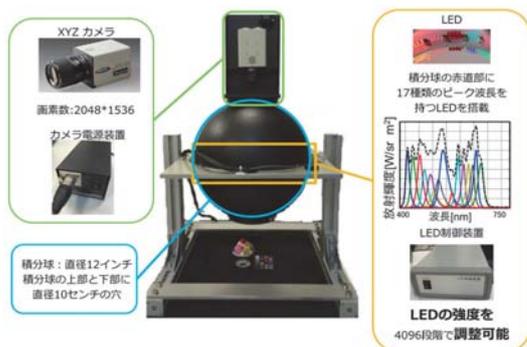


図1 装置外観と概要

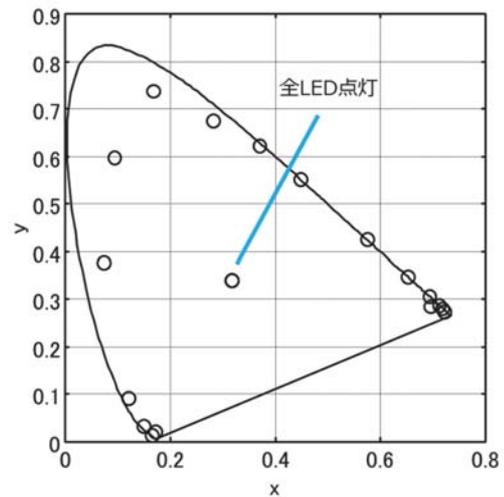


図2 各LEDの色度

十分に彩度が高い LED を選ぶことで、極めて広い色域を実現した。

3. 照明設計の例

3.1 対象物の彩度を変調する照明

対象物の質感をコントロールする照明の例として、対象物の鮮やかさを修飾する照明を本システムにより設計した。ここで、対象物中の無彩色点は、全種類の LED を点灯させた基準白色照明 W を照射した際と変化しないように制約し（白色照明制約）、それ以外の色（あるいは特定のターゲット）のみの平均彩度を上昇、降下させる白色照明を設計する。このように、対象物の無彩色点を固定した状態で全体の彩度を変更することが可能となれば、異物夾雑物などの発見を補助する照明や、さまざまなディスプレイ照明における新しい演出効果として利用することができる。

本実験では、食品サンプル（基準白色照明下）を撮影し、無彩色点を固定しつつ、食品サンプルを上部から撮影した際の平均彩度を変化させることとした。

設計手順は以下の通りである。

1. 17 種類の LED を単独で照射した際の XYZ 画像を取得する。
2. 17 種類の LED から、任意の 3 種類の LED ($1 \leq i, j, k \leq 17$) を選び、これらを

組み合わせた照明によって、同時に撮影したカラーチェッカーの無彩色の三刺激値が基準白色照明下での X_w, Y_w, Z_w と一致するように、各3種のLEDの輝度比率 (C_i, C_j, C_k) を求める。すなわち、

$$\begin{bmatrix} C_i \\ C_j \\ C_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & X_j & X_k \\ Y_i & Y_j & Y_k \\ Z_i & Z_j & Z_k \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}$$

ここで、 X_*, Y_*, Z_* ($*=i, j, k$) は各LEDの色彩値である。

これら3種類のLEDの組み合わせにより作成された白色照明の分光スペクトルは

$$P(\lambda) = C_i l_i(\lambda) + C_j l_j(\lambda) + C_k l_k(\lambda)$$

により得られる。ここで、 $l_i(\lambda), l_j(\lambda), l_k(\lambda)$ はそれぞれ i, j, k 番目のLEDのスペクトルである。

- 全てのLEDの組み合わせについても同様に手順2より輝度比率を求め、機能性白色照明群を作成する。このとき、輝度比率が負になるものについては、物理的に実現できない照明として対象から除外する。
- 手順3により得られた照明群について、それぞれを照射した際のターゲットの平均彩度 (CIELAB) を計測し、最小および最大のものを設計照明スペクトルとする。

図3に設計した白色照明群のうち、ターゲットの平均彩度を最大化、最小化する場合について結果を示す。マクベスカラーチェッカーの無彩色は変化しておらず、ターゲットの彩度が大きく変化していることが確認できる。特に、赤



図3 照明光による彩度変化
(左：最小彩度照明，右：最大彩度照明)

色のソース部分は彩度を最大化する照明下では、蛍光色のように自発光しているような印象を与えるほどである。またマクベスカラーチェッカーについても、いくつか有彩色の彩度が上がっており、設計した照明光によって、特定の色の彩度を効果的に変調できることが確認された。

3.2 対象物の色弁別を変調する照明

次に対象物の色弁別の容易さを変調する照明光スペクトルを設計した。ここでは、石原色覚検査色票をターゲットとして選び、数字部分と背景部分の群間色差 (複数色同士の色差をマハラノビス距離で定義したもの) を最小化および最大化する照明光をそれぞれ設計した。

図4に結果を示す。白色照明光下 (図左) では (色覚正常の場合) 中央に「2」を判読できるが、この文字部分のコントラストが変調されることで、ほとんど読めなくなったり (図右上)、逆に判読しやすくなったり (図右下) する様子が確認できる。特に色弁別を最大化する照明 (図右下) は、色覚のタイプによらず、カラー表記された様々な情報を伝えるためのカラーユニバーサルデザインを促進するためのツールとして応用できるものと考えている。

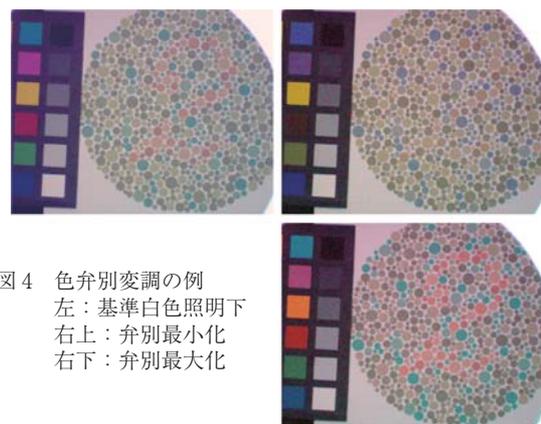


図4 色弁別変調の例
左：基準白色照明下
右上：弁別最小化
右下：弁別最大化

[今後の研究の方向，課題]

本システムを用いて、目的に応じて評価関数を設定さえすれば、上述した例に依らず、様々

な事例に応用することが可能である。今後は本手法および設計した機能性照明の社会実装に注力したいと考えている。すでにそのいくつかについては取り組みを開始しており、腕の静脈を強調するような照明（図5）や干渉色のような真珠質感（図6）の違いを強調するような照明をすでに設計している。今後はこれらの性能評価とさらなる機能向上・社会実装を進めたい。



図5 静脈の弁別を補助する照明
（上：基準白色照明，下：設計照明）



図6 真珠干渉色の弁別を補助する照明
（上：基準白色照明，下：設計照明）

[成果の発表，論文等]

- 谷 和信，中内茂樹：機能性光源のための自動分光設計装置，日本色彩学会第2回大会，pp.408-409，2014
- K. Ito, Y. Ota, H. Higashi, S. Nakauchi, Spectral-Difference Enhancement Illuminant for Improving Visual Detection of Blood Vessel, The 2015 International Conference On Advanced Informatics: Concepts, Theory And Application (ICAICTA 2015), Chonburi, Thailand (to appear).

温水対応ウェアラブル手指リハビリテーション機器の研究開発

Development of Hot water compatible Wearable Rehabilitation support system for Hand and finger motion

2041001



研究代表者

松江工業高等専門学校
電子制御工学科

講師

青代敏行

[研究の目的]

生活習慣病患者の増加に伴い脳卒中患者数は、増加している。患者の後遺症に手指などの上肢運動、歩行に代表される下肢運動の障害が挙げられる。脳卒中により運動障害を抱えた患者にとって、生活の質（QOL）の向上、社会復帰するために早期のリハビリテーションが有効である。また近年、リハビリテーション分野において、血行促進、筋肉硬直の緩和を目的に温水療法が注目されている。しかし、経験豊富な理学療法士の慢性的な不足などの理由で多くの脳卒中患者は、早期リハビリテーションが行えていない。そのため、患者の機能回復レベルにあわせてリハビリテーション機器が必要である。

これまでに様々な研究機関によって、多くのリハビリテーション機器について研究開発されてきた。しかし、従来までのリハビリテーション機器は、ヒトと協調して動作させるために装置が大きくなる、複雑なシステムになる、アクチュエータが温水使用に対応していないなどの問題があった。そこで本研究では、ヒト骨格をリハビリテーション機器の運動機構の一部に組み込む新しい概念より、各指が機構により駆動する機器開発を行った。患者に合わせた運動を実現するために表面筋電位を使用した制御システムの構築を図った。試作型手指リハビリテーションシステムの動作について確認を行った。

[研究の内容, 成果]

1. 手指リハビリテーション用リンク機構

指動作は、対象物との相互作用で決定されることに注目し、指を組み込んだリンク機構は、対象物形状に合わせて動作するように構築した。

図1に人差し指から小指の4指用に構築したリンク機構動作概略を示す。本リンク機構は、中手指節間関節（MP 関節）、近位指節間関節（PIP 関節）と遠位指節間関節（DIP 関節）のそれぞれに4節リンク機構を応用した機構を適用し、MP、PIP、DIP 関節の屈曲/伸展を実現した。ただし、MP 関節の外転/内転は対象物に対して受動的に動作するため、外転/内転用にフリーな回転軸を Link A 内部に設けた。MP 関節用リンク機構は、Link A を原動節、Link A 回転軸と MP 関節間を固定節、基節骨

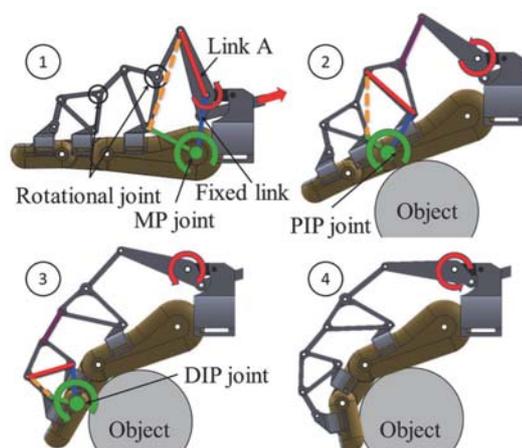


図1 4指運動用リンク機構動作概略図

とリンク機構固定部に設けた回転軸と MP 関節間を従動節，中央部に回転関節を追加した中間節で構成されている。ただし，対象物と基節骨が接触するまで 4 節リンク機構として成立するように中間節内の回転関節中心に各中間節角度を 170 度とした。Link A を回転させることで，MP 関節を中心として指全体が屈曲する。(図 1 ①)そして，基節骨に対象物が接触したとき，中間節中央部に設けた回転関節により回転関節より先の中間節が屈曲し，原動節と変化する。Link A の回転を続けることで原動節と化した MP 関節用中間節によって PIP 関節が回転する。(図 1 ②)このとき，PIP 関節用リンク機構は MP 関節と同様な構造となっている。中節骨が対象物に接触することで PIP 関節用リンク機構内の中間節が屈曲し，中間節の先にある中間節が原動節に変化する。そして，中節骨とリンク機構固定部に設けた回転軸と DIP 関節間を固定節，末節骨とリンク機構固定部に設けた回転軸と DIP 関節間を従動節とした 4 節リンク機構によって，DIP 関節は屈曲する。(図 1 ③)これらの動作によって，ヒト指は，対象物形状に合わせた屈曲/伸展を実現する(図 1 ④)。各関節の伸展は，屈曲手順を逆にした手順によって行われる。図 2 に拇指用リンク機構の動作手順概略を示す。拇指用リンク機構は CM 関節の屈曲/伸展動作を実現する。Link T を原動節，Link T 回転軸と手根中手関節 (CM 関節)間を固定節，基節骨とリンク機構の固定部

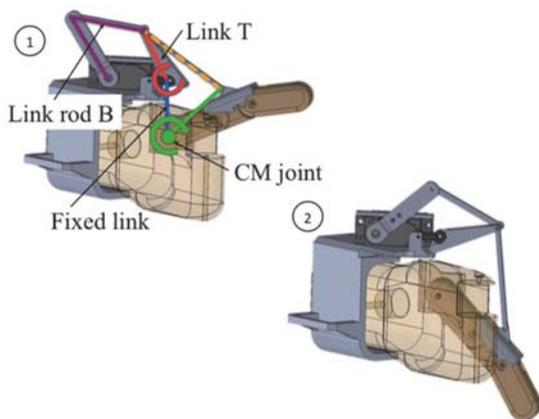


図 2 拇指運動用リンク機構動作概略図

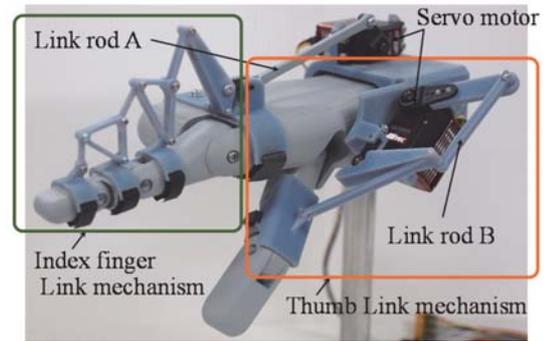
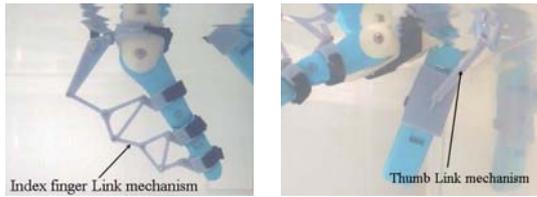


図 3 試作型手指用リンク機構

に設けた回転軸と CM 関節間を従動節とした 4 節リンク機構により動作する。

4 指，拇指用リンク機構の動作確認などを実施するために，成人男性の指寸法をもとにリンク機構を設計した。人差し指と拇指を対象とした試作型手指用リンク機構を図 3 に示す。人差し指 MP 関節，PIP 関節，DIP 関節，拇指 CM 関節の屈曲/伸展可能角度はそれぞれ図 1，2 中の各リンク機構初期姿勢から 77 度，69 度，73 度，120 度である。これらの角度は，ヒト指可動範囲とほぼ同程度であるため，試作型リンク機構は十分な可動範囲を有していると言える。人差し指，拇指の各リンク機構は，それぞれサーボモータ (HSB-9380TH, Hitch 社製) により駆動される。このとき人差し指，拇指の各リンク機構は，温水対応を考慮し，各サーボモータホーン，Link rod A，Link rod T と Link A，Link T で構成される各平行リンク機構により Link A，Link T はそれぞれの回転軸で回転する。試作型手指用リンク機構を用いてリンク機構動作確認実験を行った。各リンク機構は，サーボモータ駆動により対象物形状 (直径 50 mm 円筒) に合わせて各関節中心に所定動作可能であることを確認した。温水中における各リンク機構の挙動を確認するために，温水中にリンク機構を挿入し，駆動実験を行った。図 4 に温水中における動作の様子を示す。各リンク機構は，水の抵抗によってリンク機構が成立しない，動作しないなどは見られず，安定した動作が可能であった。



(a) 人差し指 (b) 拇指
図4 手指リンク機構の水中動作確認実験

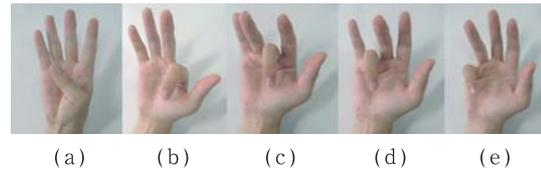


図5 各指動作の様子
(a) 拇指, (b) 人差し指, (c) 中指, (d) 薬指, (e) 小指

2. 表面筋電位による制御システム

本研究では2つの表面筋電位センサを使用し、各出力信号より指動作を識別し、対応したリンク機構をON/OFF制御するシステムを構築した。筋電位センサは、EMG信号とEMG信号の積分値 i-EMG 信号が出力されるIW2PADW（湿式表面電極、(有) 追坂電子機器社製）を使用した。筋電位センサのEMG、i-EMG 信号に対して、30、500 Hzの2次ハイパス、ローパスフィルタをかけた。そして、マイコン ATMEGA328-PU のAD変換を用い、10[bit] で周波数1[kHz] でサンプリングした。また i-EMG 信号に対して50点の単純移動平均 (SMA) のデジタルフィルタを追加した。

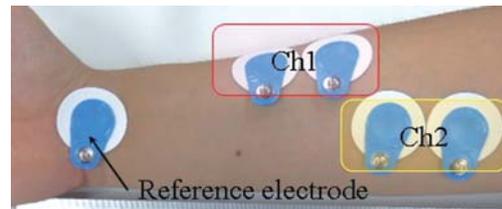


図6 表面筋電位電極の装着箇所

被験者は19~34歳の男性5名とし、図5の各動作を3回ずつ行い、各筋電位信号を取得した。ただし各筋電位電極は、図6に示す位置に貼り付けた。またリファレンス電極は筋のない手首部に貼り付けた。ただし、長拇指屈筋、浅指屈筋の直上に貼り付けた表面筋電位センサをそれぞれ筋電位チャンネル1、2とした。

図7に代表的な各筋電位出力信号の波形を示

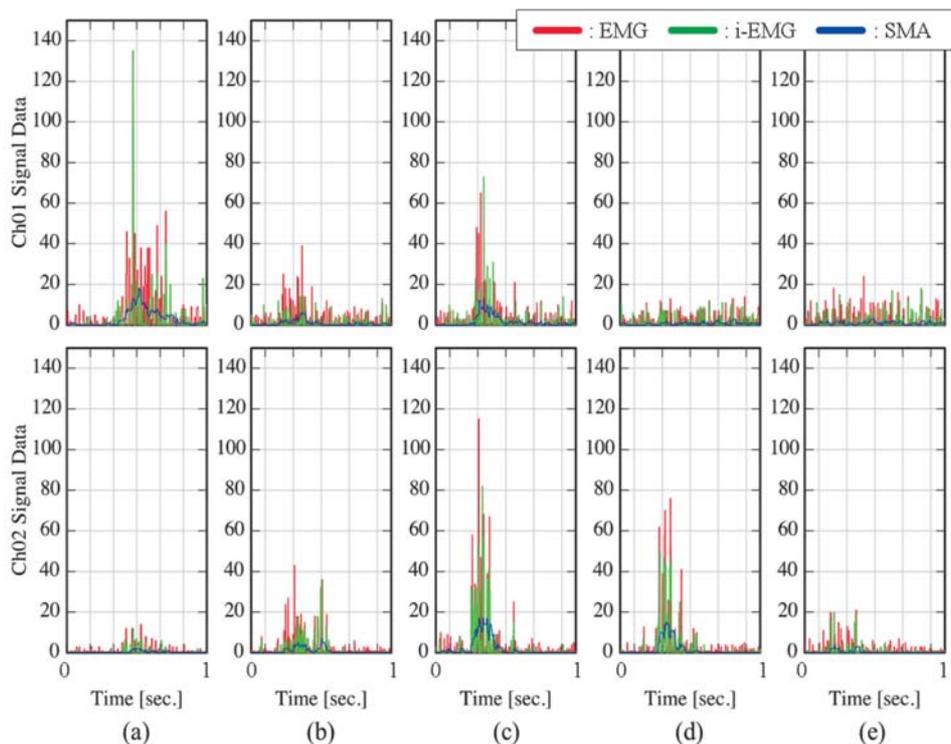
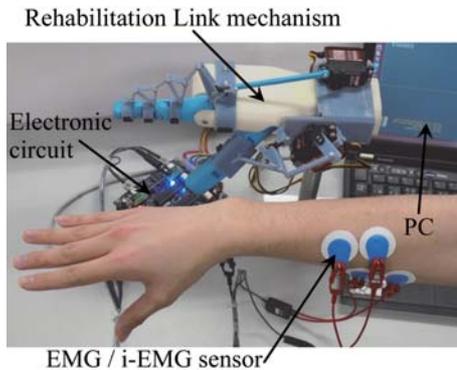
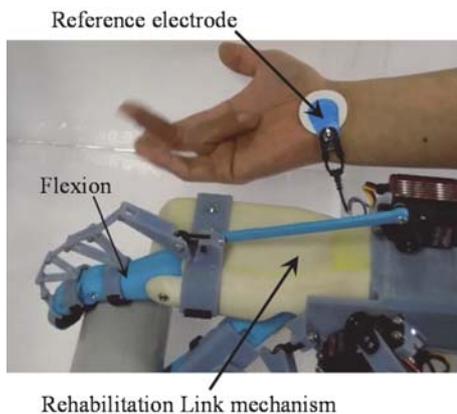


図7 各指運動におけるEMG/i-EMG信号
(a) 拇指, (b) 人差し指, (c) 中指, (d) 薬指, (e) 小指

す。筋電位チャンネル 1, 2 の SMA 信号において、各指動作で差異があり、各指動作間に特徴的な信号パターンが見られた。この信号パターンを使用し、試作型手指リンク機構の駆動実験を行った。各指動作の SMA 信号に閾値を設け、試作型手指リンク機構の各モータを ON/OFF 制御により駆動した。図 8 に表面筋電位センサによる手指リンク機構の駆動実験を示す。動作実験の結果より、本システムは、筋電位によって各指動作を認識し、試作型手指リンク機構を駆動可能であることを確認した。



(a) 筋電位による駆動実験系



Rehabilitation Link mechanism

(b) 中指動作によるリンク機構駆動の様子

図 8 筋電位によるリンク機構駆動実験

[今後の研究の方向, 課題]

本研究において、ヒト指をリンク機構に組み込み、対象物体との相互作用に駆動するリンク機構を考案した。そして、人差し指、拇指用のリンク機構を構築し、筋電位信号によるリンク機構の ON/OFF 制御に成功した。今後は、人差し指用リンク機構を他指に適応し、リンク機構全体の構築を行う。また本研究で構築した筋電位信号による各指動作の識別は、被験者に応じて調整を要するため、今後は SMA 信号をトリガとした EMG 信号の FFT 解析結果による指動作のパターン認識を実装し、様々な被験者に対応出来る筋電位を用いた手指リハビリテーション機器を構築する。

[成果の発表, 論文等]

青代敏行, 把持動作を目的とした手指リハビリテーション機器の開発, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2015 (発表予定)

低消費電力 BMI アレイセンサのためのアナログ圧縮技術

An analog-based compression technique for low-power brain-machine interface devices

2041002



研究代表者

豊橋技術科学大学

助教

秋田 一平

[研究の目的]

Brain-Machine-Interface (BMI) における、脳や神経系から生体信号を長期間・安全に取得するためのセンシングチップをより実用のレベルまで押し上げるためには、ワイヤレス電力伝送技術を駆使した完全埋込みデバイスを実現することが必須である。しかし一方で、高精度な情報を得るための多チャンネル化（アレイ化）も望まれることから、相反するこれらを両立するためには「超低消費電力なセンシングチップ」を実現しなければならない。

よって、本研究テーマは、多チャンネル化により多くの生体情報を取得しながらも、データ量を効果的に圧縮可能な「圧縮センシング (CS)」理論^[1]を用いて、このハードウェア化を通じて高いエネルギー効率を有するセンシングチップの実現を目指すものである。図1は研究代表者が想定する完全埋込み BMI システムと、これにおけるセンシングチャンネル数増大と低消費電力化のトレードオフの様子を示している。同図において、体内に埋め込まれる LSI チップは、センサ電極から取得した電圧信号（神経電位）を増幅、AD 変換し、これを体外に無線通信を以って送信する。このとき、センサ電極は数 10 チャンネル以上あり、また、これらが同時に計測されなければならないため、チャンネル数だけ増幅器や AD 変換器などのアナログフロントエンド (Analog frontend:

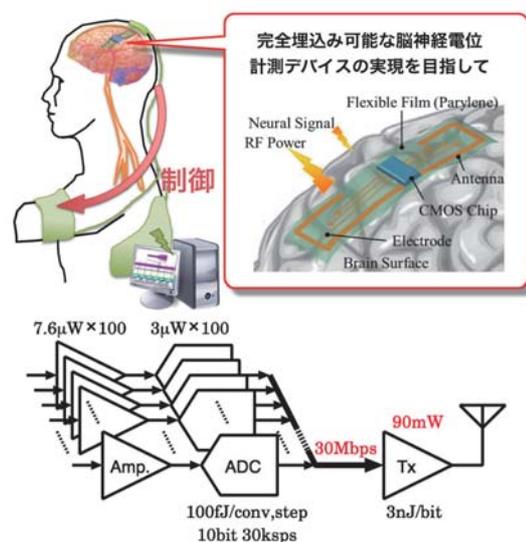


図1 完全埋込み BMI システムとアレイ AFE の課題

AFE) が必要となる。一般的に、神経電位計測における AD 変換では、20~30 kHz でのサンプリングが必要とされるため、仮に 10 bit 精度で 100 ch の信号を取得する場合、そのデータレートは 30 Mbps にもなり、これを無線データ送信すると、最大 90 mW もの電力を消費してしまう^[2]。これでは、体内埋め込みデバイスとしては、電力や発熱の観点から問題となるため、送信データレートを削減するための様々なデータ圧縮アルゴリズムが提案されているが、多くは AD 変換後のデジタル領域での信号処理となるため、100 ch も並列化されたアンプ、AD 変換器などの AFE は変わらず数 mW 以上の電力を消費しなければならない。

特に、AFEの消費電力に関しては単純にチャンネル数に比例してしまうため、抜本的な低消費電力化のためには、アンプやAD変換器を個別に低消費電力化する必要がある。

本研究は、そのようなデータ取得や処理を一體的に捉え、アナログ・デジタルシステム全体の低消費電力化を実現し得る新規のアーキテクチャ創出を目的としており、後述する通り「時間領域アナログ」信号処理を以って、アナログ領域においてCS理論を実装する回路技術を提案する。

[研究の内容, 成果]

本研究においては、本研究の目的を達成するために、取り組むべき具体的な技術課題は主に、(1) CS理論のLSIチップ実装技術の創出と、(2) AFEの低消費電力化となる。

まず、(1)については、CS理論をハードウェア化(つまりLSI化)するために、どのような演算を実現しなければならないかについて考える必要がある。図2(a)はCS理論を適用した原理(圧縮エンコード)を示しており、(b)はその具体的な回路実装例となる。CSエンコードにおいては、センサの各チャンネルから入力される神経電位信号 $v_1 \sim v_N$ を要素として持つ N 次元の入力ベクトルとみなし、これに ± 1 から成るランダムな $N \times M$ 行列 A (観測

行列)を掛けることにより、圧縮された M 次元ベクトル($s_1 \sim s_M$)を得るという処理が行われる。ここで $N > M$ である。つまり、図2(a)のベクトル・行列演算(つまり、並列な積和演算)処理を具体的にアナログ回路で実装することを考えると、同図(b)のようなオペアンプをベースとした加算回路や積分回路を用いなければならない。ただし、ここで出力電圧 v_o は同図(a)における各要素 s_i に相当しており、さらに、これが並列処理されるためには、時間分割か並列配置が求められるため、直接的にCSエンコードをアナログ回路で実現することは現実的ではない。そのため、本研究では図3に示すように、センサ信号である入力ベクトルの物理量を「時間遅延」に変換し、これに対して線形観測を行う手法を提案している^[3]。これまでアナログ電圧として信号を表現していたものを、時間として表現し直す「時間領域アナログ信号処理」を適用することで、加算処理を時間遅延の伝搬のみで実現することが出来るため、非常に単純な回路構成でアナログ線形観測を実現することが可能となる。このように、CSエンコードをハードウェア化することを考えた場合、提案する手法は現実的なアーキテクチャであると考えられる。ここで、遅延伝搬された総遅延時間量は、時間・デジタル変換器(Time-to-digital converter: TDC)を用いることで計測可能であり、これまでに研究代表者らが行ってきた時間領域アナログ信号処理の知見を利用している^[4]。図4は入力ベクトルの次元数を100(つまり、100チャンネル)として試作したLSI

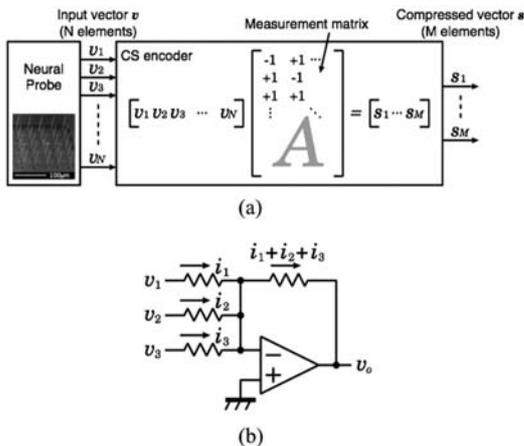


図2 CSエンコーダの動作原理と回路実装例

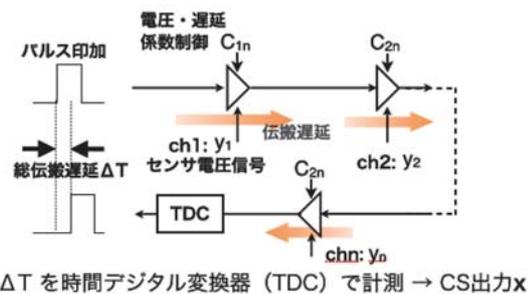


図3 時間領域アナログ信号処理を利用したCSエンコーダの動作原理

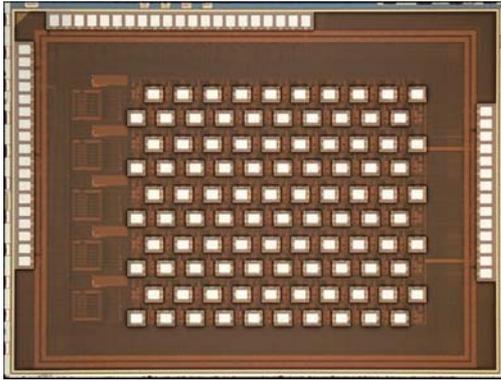


図4 時間領域アナログ信号処理を利用したCSエンコーダLSIのチップ写真

のチップ写真である。

次に(2) AFEの低消費電力化に関しては、神経電位計測用電極(センサ)と信号処理LSIのインターフェースとなるプリアンプの低消費電力化と低雑音化が最も重要な検討項目となる。(1)で提案した時間領域アナログ信号処理のアーキテクチャは、センサ直下で精度の高い電圧・時間変換を必要とするため、これを実現するためのプリアンプがシステム全体の性能を左右すると言える。また、プリアンプは各ch毎に配置されることから、低消費電力化は必須の検討項目と成る。これまでに、著者はアレイセンサに向けたAFEとして、低電力・小チップ面積なプリアンプの開発を行ってきた^[5]。これを基軸にした、さらなる低雑音化したプリアンプの設計指針の導出^[6]や、図5に示すような64chアレイプリアンプをLSI試作している^{[7],[8]}。

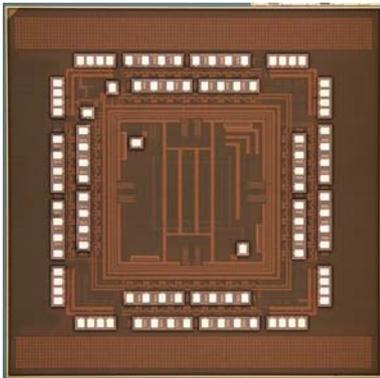


図5 AFEアレイ(64ch)LSIのチップ写真

[今後の研究の方向, 課題]

CS理論の応用については、近年、様々な分野の研究者がその可能性を実証するために、具体的な実装手法を提案している。ただし、それらの多くはデジタル領域での信号処理のみ議論されており、現実のサンセ～AD変換器におけるアレイ化に伴う諸問題についてはほとんど議論されていない。特に、アレイセンサ系への適用においては、AFE部に対する負荷が増大してしまうのが現状であるため、本研究のような新しい概念の信号処理アーキテクチャが重要となってくると考えられる。本研究成果に関して、現状においては、提案した時間領域アナログ信号処理がCSエンコーディングに適切であることを実証するまでに留まっているため^{[3],[8]}、今後は、これらの試作LSIを詳細に評価し、国際学会・論文発表等行う予定である。また、本アーキテクチャをより高精度化(理論計算に基づく信号分解能の向上、低雑音化など)、高機能化(多チャンネル化やキャリブレーションモードの導入など)、低消費電力化するための技術開発が必要である。さらに、本LSIをBMIシステムに適用可能であることを実証するためには、動物実験などを通じての検証が必要であり、そのためには、実験者が使用しやすい形に実装する方法を考案・実現することが重要である。今後は、完全体内埋込みBMIシステム実現に向けて、特に上記2点に留意して研究開発に取り組む予定である。

[参考文献]

- [1] D.L. Donoho, "Compressed sensing," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 52, no 4, pp. 1289-1306, Apr. 2006.
- [2] F. Chen, A. P. Chandrakasan and V. M. Stojanovic, "Design and Analysis of a Hardware-Efficient Compressed Sensing Architecture for Data Compression in Wireless Sensors," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 47, no. 3, pp. 744-756, Mar. 2012.

[成果の発表, 論文等]

- [3] 岡澤貴之, 石田誠, 秋田一平, “時間ドメインアナログ信号処理回路を用いた神経電位計測向け圧縮センシングエンコーダ,” 電子情報通信学会 LSI とシステムのワークショップ, 北九州市, 5/11-13, 2015.
- [4] T. Okazawa, I. Akita, M. Ishida, “A digitally calibrated dynamic comparator using time-domain offset detection,” *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 81, no. 3, pp. 561-570, Dec. 2014.
- [5] I. Akita, M. Ishida, “A chopper-stabilized instrumentation amplifier using area-efficient self-trimming technique,” *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 81, no. 3, pp. 571-582, Dec. 2014.
- [6] I. Akita, M. Ishida, “A current noise reduction technique in chopper instrumentation amplifier for high-impedance sensors,” *IEICE Electron. Express*, vol. 12, no. 17, pp. 1-5, June 2015.
- [7] 秋田一平, 石田誠, “センサ AFE アレイに向けた AB 級アンプの小面積・低消費電力化設計手法,” 電子情報通信学会 第 28 回 回路とシステムワークショップ, Ba1-1-2, 淡路市, 8/3-4, pp.100-104, 2015.
- [8] 石森健人, 藤澤良太, 石田誠, 秋田一平, “3 進ハフマン符号化圧縮を用いた 64 ch 神経電位計測 SoC の提案,” 電子情報通信学会 LSI とシステムのワークショップ, 北九州市, 5/11-13, 2015.

協調作業のチームワーク支援システム

Teamwork Assist System for Human Cooperative Works

2041004



研究代表者

東京電機大学
工学部 電気電子工学科

准教授

五十嵐 洋

[研究の目的]

従来の人間機械系研究は、主に個人技能の向上に焦点があてられていた。しかし、複数の人間が介在する協調作業では、個人スキルに加え、互いを考慮したチームワークが必要となる。そこで、本研究はチームワーク支援を工学的に実現することを目指す。

複数の人間が介在する協調作業は、大規模な建設作業や搬送作業、チームスポーツなど多岐にわたる。さらに近年、他者の意図抽出が苦手な自閉症児に対し、簡易的な協調作業を通じた社会スキルトレーニングが行われている。このように複数の人間がかかわる作業では、他者の意図をくみ取り、さらに自分の行動が相手に与える影響を想定しながらの行動決定が求められる。これは、個人スキルとは異なる要因である。例えば、個人スキルの高い人間同士の協調作業が必ずしも高いパフォーマンスを発揮できるとは限らない。

人間と機械システムのつながりに着目した人間機械系とよばれる研究分野がある。従来の人間機械系研究では、主に個人スキルを対象に、いかに作業効率を高め、人為的ミスの低減を図るかに主眼が置かれてきた。このため、上述のチームワークを工学的に論じた例はほとんどなかった。チームワークを数値として評価し、それを支援する枠組みは、世界的に例のない新しいアプローチであると考えられる。

これまでに、教育学やスポーツ科学分野において、チームワークの因子分析を試みた多くの研究報告がある。しかし、これらはアンケートなどの主観評価が中心であり、具体的なチームワーク支援へ応用例は少ない。この原因として、客観的なチームワーク因子の特定が困難である点あげられる。つまり、チームワークを物理的に支援するためには、チームワークの因子を数値として評価する必要がある。

本研究では、このチームワーク因子を「気づかい」とよび、独自に定義した。そして、協調作業パフォーマンスと「気づかい」の相関解析により、チームワークを定量的に評価する。さらに、「気づかい」を用いた新しい協調作業アシスト（チームワークアシスト）に向けた考察を行う。

[研究の内容、成果]

1. 「気づかい」の定義

本研究では、チームワークを工学的に支援する新しいアシストシステムを提唱する。協調作業において、個人スキルと協調スキル（チームワーク）は、それぞれ独立であり、必ずしも個人スキルの高いチームが高い協調パフォーマンスを発揮できるとは限らないと本研究では考える。この協調スキルの要因として、チームワーク因子を定量的に定義する。

図1に、単独作業と協調作業時における操作

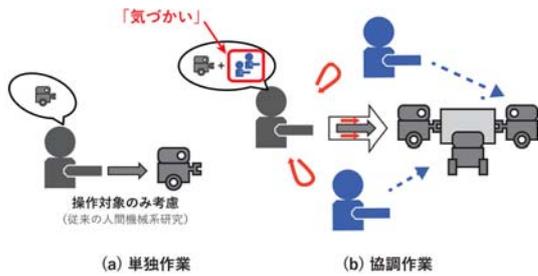


図1 単独作業と協調作業

者の考慮すべき情報を比較したイメージを示す。従来研究が主に対象としていた単独作業では、図1(a)のように、人間は操作対象の機械のみを考慮すればよかった。そのため、操作者からの入力指令値を解析することで、比較的容易に操作者の意図を推定することができる。ところが、複数の人間が介在する協調作業では、他者の意図や自分の行動が他者へ与える影響など、単独作業時に考慮する必要のなかった要因が含まれる。

本研究では、この要因を「気づかい」とよぶ。そして、「気づかい」とは、単独作業時に含まれない協調作業のみで発現する行動と考える。「気づかい」という日本語は、他者を助けるニュアンスが強いが、図1(b)に示した本研究の想定では、必ずしも他者の助けとは限らず、結果的に他者の妨害となる場合も包括する概念である。

このように定義した「気づかい」は、図2に示す実験フローにより定量的に計測することが可能となる。まず、各操作者は事前に単独作業を実施する。このとき、操作者の操作入力パターン（単独操作モデル）をリカレントニュー

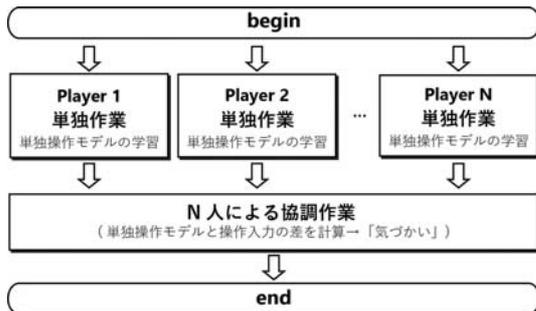


図2 「気づかい」の計測フロー

ラルネットワークにより学習する。学習が完了した単独操作モデルは、あたかも操作者のコピーのようにそのときの作業状況に応じた操作指令予測値を出力することが可能となる。

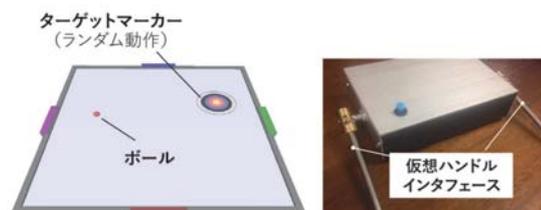
次に、N人による協調作業を実施する。このとき、事前実験で構築した単独操作モデルは、この操作者が、もし単独作業ではどのような操作指令を送っていたかの予測値を出力する。この予測値（単独操作予測値）とN人協調作業で実際に操作入力された指令値との差が、協調作業で発現した行動指令、すなわち「気づかい」と見なすことができる。本研究課題では、このように抽出した「気づかい」と協調作業パフォーマンスの関係に加え、「気づかい」を考慮した新しいチームワークアシストの可能性について議論する。

2. 実験プラットフォーム

提案する「気づかい」の定量化手法を検証するための協調作業プラットフォームを構築した。本研究で想定する協調作業のイメージを図3に示す。本実験では、協調作業パフォーマンスを定量的に評価するため、単純な協調ゲームを想定する。図4に開発した実験プラットフォーム



図3 検証タスクのイメージ



(a) 操作者の視点(HMD) (b) 開発したインタフェース

図4 実験プラットフォーム

ムを示す。各操作者は、それぞれの視点に応じて図4(a)に示すような3次元CGがHMD(ヘッドマウントディスプレイ)に提示される。このタスクの目的は、複数の操作者が協力して、プレート上のボールをランダムに動作するターゲットマーカに近づけるよう制御することである。

この仮想プレートのエッジにはそれぞれ2つのハンドルが設置されており、操作者は図4(b)に示す仮想ハンドルの操作インターフェースを通じて、プレートを操作することができる。今回、操作インターフェースはプロトタイプとして設計されており、現在、力覚フィードバックの実装に向けてテストを行っている。

3. 実験結果

上述した「気づかい」の定量化のためには、単独作業時の操作入力パターンを単独操作モデルとして学習する必要がある。同時に、単独操作モデルの予測精度を高めることが「気づかい」を正確に定量化するために必要である。本研究では、ニューラルネットワークとPrediction based Filteringを用いて、単独操作モデルの高精度化を図る。

図5に単独作業学習のブロックダイアグラムを示す。ここで、学習器として人間内部の記憶も考慮したりカレントニューラルネットワークを採用し、その一般的な学習手法として知られるBPTT(Back Propagation Through Time)により学習する。さらに、初心者の操作入力パターンにノイズ成分が多いことを考慮し、Prediction Based Filteringを導入することで、

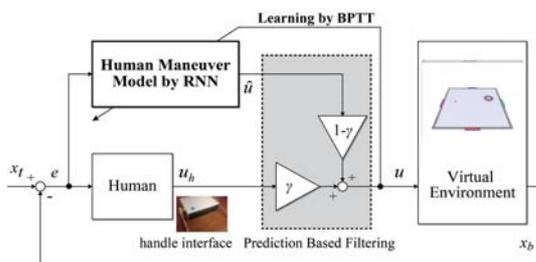


図5 単独操作モデルの学習

短時間での単独操作モデル学習を実現した。

図6に単独操作モデル学習における操作予測値とその精度の一例を示す。単独操作は60secとし、前半45secのみで学習を行い、評価のため残り15secでの予測精度の検証を行っている。結果より45秒程度の学習でも単独モデルの学習を実現できていることがわかる。また、図7に被験者12名の単独モデルの予測誤差を示す。図7(a)はPrediction Based Filteringを用いない場合、図7(b)はPrediction Based Filteringを用いた場合($\gamma=0.8$)をそれぞれ示す。この結果より、Prediction Based Filteringが予測精度向上に寄与していることを確認した。

図8には、ランダムに抽出した8グループのボールコントロール精度と「気づかい」のバランスの相関関係を示す。グループ内での「気づかい」の差と和についてそれぞれ正の相関が認められた。これより、互いの「気づかい」が大

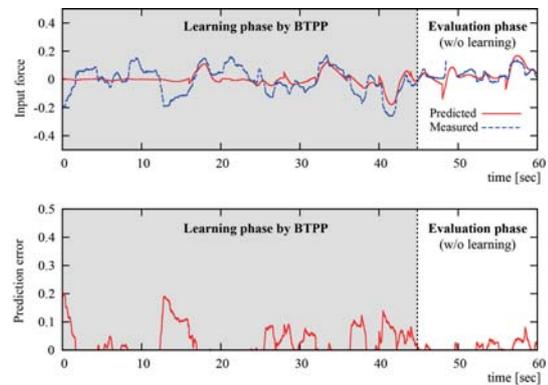


図6 単独操作モデル学習経過

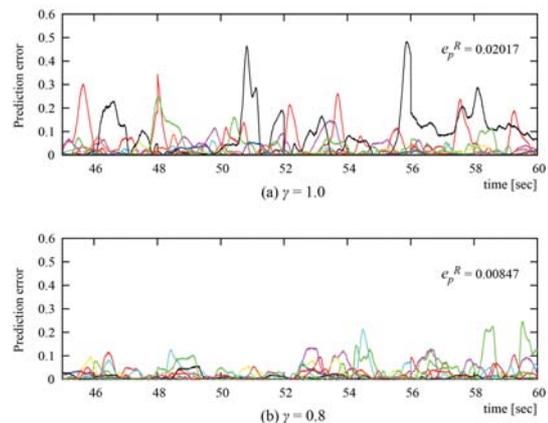
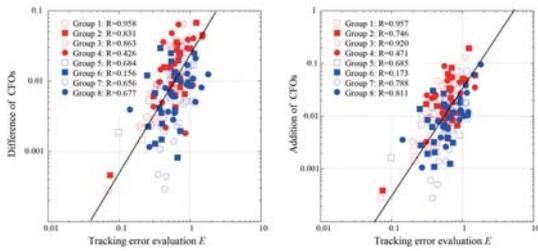


図7 単独操作モデル検証(12名)



(a) Relation between tracking evaluation and difference of CFOS: $|\sigma_1 - \sigma_2|$ (b) Relation between tracking evaluation and addition of CFOS: $|\sigma_1 + \sigma_2|$

図8 「気づかい」とパフォーマンスの相関

きすぎる場合には、ボールコントロールの制御パフォーマンスが低下する傾向が示唆された。これは、タスクがまだ単純であることや、フォースフィードバックが実装されていないため、「気づかい」がかえってパフォーマンスの低下を招いたと考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

本課題では、実験プラットフォームの構築および単独作業モデルの高精度化に注力した。その結果、リカレントニューラルネットワークと Prediction Based Filtering を併用することで、単独モデルの予測精度が向上することが明らか

となった。今後、フォースフィードバックを実装し、その影響も含めた単独作業モデルを導入する。

また、現段階では「気づかい」と作業パフォーマンスの相関解析が中心であり、その結果を踏まえたアシストの実装には至っていない。今回の実験結果である、過剰な「気づかい」が協調作業パフォーマンスの低下を招くことから、前述のフォースフィードバックを「気づかい」を低減させる方向へ加えた際のパフォーマンス解析が今後の課題である。さらに、タスクの複雑化・一般化により、幅広い応用分野への拡張を目指す。

[成果の発表, 論文等]

〈Proceedings〉

- [1] N. Tsujita and H. Igarashi: "Estimation of Concern for Others and Consideration of Its Evaluation Focused on Individual Skill," 2014 2nd International Conference on Control, Mechatronics and Automation, MA017, 2014
- [2] H. Igarashi: "Teamwork Assist with Concern for Others in Human Cooperative Works," The 1st IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, IS3-2-4, 2015

Patient dependent な力覚体感型手術エミュレータシステムの開発

Patient dependent surgical emulator with haptic feedback

2041006



研究代表者 筑波大学 消化器外科
(助成金受領者)
共同研究者 筑波大学 消化器外科

講師 大城 幸雄
教授 大河内 信弘

[研究の目的]

これまでわれわれは、市販の3D画像解析ソフトを使用してCTを基に肝臓の3D画像を作成し「肝切除手術におけるシミュレーション・ナビゲーション」を施行してきた。最近では、実際の手術工程をよりリアルに可視化するため、肝臓の変形が可能な新肝切除エミュレータソフトを開発した。これにより手術のリハーサルが可能となり手術をより安全に施行できるようになった。さらにわれわれは、「人間と機械の調和の促進」を掲げて、力覚を統合した「力覚体感型手術エミュレータシステム」の開発を目指す。外科医の減少が危惧されているわが国において、魅力ある外科医養成システムとなる。さらにバーチャル外科手術体験として若き青少年のリクルート活動の一環として活用できる。

[研究の内容, 成果]

1. ハプティクスの統合

ソフトウェア面において、ハプティックシステムの制御プログラムにLiversimと連携する機能を開発・実装し手術シミュレータにハプティックシステムを追加することを実現した。自由度や機能性が高いシステムは、その複雑さゆえにデモの際ナビゲーターが必要不可欠である。そのためユーザーの外科医の意見を基にし



図1

て自由度や機能を限定し、システムの信頼性、安定性を高め、またハードウェアの機構部分を目立たなくすることでデザイン性も向上させたハードウェアを開発した(図1)。

ハードウェアは平面内の2自由度の動きが可能なゲルモデルと位置測定用マーカ、振動子が内蔵されたバーチャル超音波メスとフットスイッチ及びそれらとディスプレイ等配置する筐体で構成されている。これによってゲルモデルを直接手で動かすことでLiversim上の肝臓を動かすことが可能になった。また同時にフットスイッチを押しながらバーチャル超音波メスを動かすことでLiversim上の肝臓を切離することが可能になった。

それらのハードウェア(図2, 3)はハーフ



図 2

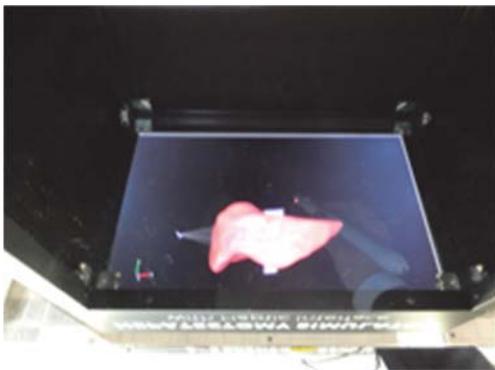


図 3

ミラーを用いて Liversim の映像が統合されておりマウス・キーボードによる操作よりも現実に近い形で手術訓練を行うことができる。

またそれらの開発成果を用いて ASIA-HAPTICS 2014 や第 115 回日本外科学会定期学術集会 (図 4) においてデモ展示を行った。

その結果、肝臓を変形させるには限定された機能でもほぼ十分であることや、切離処理は入力に対する応答速度が重要であることが明らか

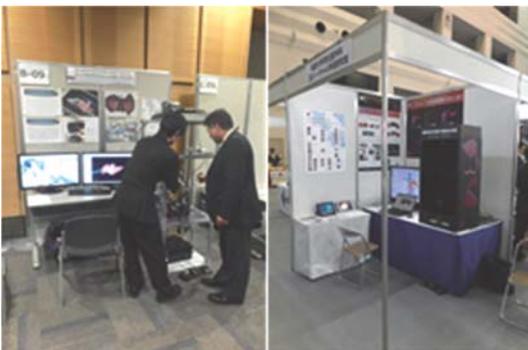


図 4

となった。その一方で、肝臓の回転の必要性や切離処理を重ねていくと応答が遅くなる問題が明らかとなった。これらは今後の研究開発課題となった。

2. 肝変形が可能な肝切除エミュレータソフトの改良

肝切除エミュレータソフトの改良, 改善に取り組んだ。問題点として, 肝臓モデルの表示法として, リアリティに欠けるという問題点があった。さらに, ユーザインタフェースが, 未だ十分成熟しているとは言えず改良が必要であった。有限要素法により変形して切離する際に, 切離操作が 7~8 回を超過すると四面体の数が急激に増加するため, フレームレートが極端に落ちローディングの時間が長くなるという問題があった。ローディング時間が長時間になると, リアルタイム切離処理とはかけ離れるために, 改良が必要であった。また, 支配領域体積の自動計算, 血管切離時の表示にも, たまに計算されないなどの問題があり, 改良が必要であった。よって, 以下のような改良を行った。

- ・肝臓モデルの表示改善
- ・ユーザインタフェースの改善
- ・処理の高速化
- ・支配領域体積の自動計算
- ・血管切離時の表示改善

以上の改善を行い, よりリアルな切離エミュレーションの表現を可能とした (図 5)。

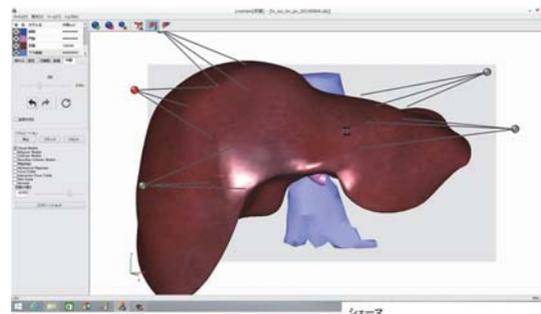


図 5

[今後の研究の方向, 意義]

当開発システムは、外科医の減少が危惧されているわが国において、魅力ある外科医養成システムとなる。さらに青少年のリクルート活動の一環として、外科体験としても活用できる。

われわれが開発した新肝切除エミュレータは、肝臓を牽引・変形して切離面の展開を表現することができ、出現してくる亜区域枝の方向、深さ、タイミングをリアルタイムに体感することが可能であり、力覚装置とインタラクションしてバーチャルリアリティを体感することができる。市販のシミュレーションソフトにはない斬新な独創的なシステムである。本研究によって術前患者の手術予行が可能となり、若手外科医であってもスムーズに手術を行える。外科医の自立が早くなり、従来であればあと3年はOJTが必要な外科医でも手術ができるようになる。これは手術可能な外科医が増えることと同義であり、実際に3年前倒しされた場合は1万人に対して2000~3000人の増強を意味する。外科業界全体の底上げにも貢献することが予想、期待される。

[成果の発表, 論文等]

論文

- 1) Yukio Oshiro, Hiroaki Yano, Jun Mitani, Sangtae Kim, Jaejeong Kim, Kiyoshi Fukunaga, Nobuhiro Ohkohchi. A novel 3-dimensional virtual hepatectomy simulation combined with real-time deformation World J Gastroenterol. in press
 - 2) 大城幸雄, 大河内信弘: “コンピュータ支援による近未来型手術エミュレーション・システム” を活用した革新的外科学教育システム構築の取り組み 日外会誌 115 臨時増刊号 (3): 24-26 2014
 - 3) Miyamoto R, Oshiro Y, et al. Three-dimensional imaging identified the accessory bile duct in a patient with cholangiocarcinoma World J Gastroenterol. 20(32): 11451-11455 2014
 - 4) Miyamoto R, Oshiro Y, Hashimoto S, Kohno K, Fukunaga K, Oda T, Ohkohchi N. Three-dimensional imaging identified the accessory bile duct in a patient with cholangiocarcinoma. World J Gastroenterol 28; 20(32): 11451-5 2014
 - 5) Hiroaki Yano, Hiromi Nagasu, Naoki Tanaka, Hideyuki Saito, Hiroo Iwata, “Development of a Portable Gait Rehabilitation System for Home-visit Rehabilitation”, Scientific World Journal (In press) 2015
 - 6) 山下貴之, 矢野博明, 岩田洋夫: LRF を用いた低自由度遠隔触覚システムにおける形状と表面粗さの複合提示”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 19, No. 4, 513-522 2014
 - 7) 2自由度力覚提示装置による間接力覚提示. 谷口将一郎, 矢野博明, 岩田洋夫. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19 No. 4, 585-588 2014
- 発表
- 1) キム ゼジョン, 金 尚泰, 大城幸雄, 福永 潔, 宮本良一, 中山 健, 岡田俊之, 三谷 純, 伊藤正博, 大河内信弘: 医工芸連携による「iPad 用次世代型ダイナミック手術書」の開発 SAT テクノロジー・ショーケース 2015 つくば 2015-01
 - 2) 大城幸雄, 圓崎祐貴, キムゼジョン, 明石義正, 榎本剛史, 小田竜也, 金 尚泰, 工藤博幸, 滝沢徳高, 三谷 純, 岩田洋夫, 矢野博明, 掛谷英紀, 清徳省雄, 坂本堪亮, 大河内信弘: 医工芸産連携による次世代型コンピュータ外科手術支援 つくば医工連携フォーラム 2015 つくば 2015-01
 - 3) 田村宏樹, 櫻井啓子, 程 玉, 黒木更花, 大城幸雄: 生体信号計測装置 FARG を用いた医用画像操作システムの開発 つくば医工連携フォーラム 2015 つくば 2015-01
 - 4) Miyamoto R, Oshiro Y, et al. Three-dimensional surgical simulation contributes to anatomical visualization in pancreatobiliary surgery IASGO 2014, 2014-12
 - 5) 宮本良一, 大城幸雄: 肝胆膵領域における当科での3D手術ナビゲーションの取り組み第76回日本臨床外科学会総会 郡山 2014-11
 - 6) 金 在禮, 金 尚泰, 大城幸雄, 福永 潔, 大河内信弘: タブレット端末を用いた「次世代型ダイナミック手術書」開発 第23回日本コンピュータ外科学会 東京 2014-11
 - 7) 宮本良一, 大城幸雄: 胆膵領域における3D手術シミュレーションの検討 第9回肝臓治療シミュレーション研究会 大阪 2014-09
 - 8) 大城幸雄: 新規肝切離3Dエミュレータ開発・導入と評価 JDDW2014 神戸 2014-10
 - 9) 大城幸雄: 腹腔鏡手術における‘あったらいいな’——次世代型 image guided laparoscopic surgery 第27回日本内視鏡外科学会 2014-10
 - 10) 中山 健, 大城幸雄: 筑波大学における肝切除3Dシミュレーションの取り組み 第9回肝臓治療

- シミュレーション研究会 大阪 2014-09
- 11) 金 在樺, 金 尚泰, 大城幸雄, 福永 潔, 大河内信弘, 三谷 純, 伊藤正博: 次世代型ダイナミック医学書コンテンツ開発への試み, 日本デザイン学会 第 61 回春季研究発表大会, 福井工業大学 2014-07
 - 12) 大城幸雄, 大河内信弘: “コンピュータ支援による近未来型手術エミュレーション・システム” を活用した革新的外科学教育システム構築の取り組み 第 114 回日本外科学会 京都 2014-04
 - 13) 大城幸雄: 「医工芸産連携による次世代型コンピュータ外科手術支援と革新的外科教育システムの構築」第 80 回 つくば科学・技術産業イニシアティブ (Tsukuba Science and Technology Industry Initiative: TSTI) 2014-08
 - 14) 大城幸雄: 臓器抽出, モデル作成から肝変形までを実現した肝切除エミュレータ「Liversim」の開発と展開 第 69 回日本消化器外科学会総会 2014-07
 - 15) 大城幸雄: 血管抽出, モデル生成からリアルタイム切離までを実現した肝切除エミュレータの開発と運用 第 26 回日本肝胆膵外科学会 和歌山 2014-06
 - 16) 大城幸雄: リアルタイム肝変形が可能な肝切除 3D エミュレータ開発と使用経験 第 50 回日本肝癌研究会 京都 2014-06
 - 17) K Nakayama, Y Oshiro, R Miyamoto, K Kohno, S Hashimoto, K Fukunaga, T Oda, N Ohkohchi The effect of three-dimensional preoperative simulation on liver surgery APASL プリスベン 2014-03
 - 18) 中山 健, 大城幸雄: 肝切除 3D シミュレーション導入の効果」第 114 回 日本外科学会 京都
 - 19) 中山 健, 大城幸雄: 肝切除 3D シミュレーション画像の pit fall が考えられた 1 例 第 26 回 日本肝胆膵外科学会 和歌山
 - 20) Y. Enzaki, H. Yano, Y. Oshiro, J. Kim, S. Kim, H. Iwata, N. Ohkohchi, “Development of the haptic device for a hepatectomy surgery simulator”, Asia Haptics, p. 35, Tsukuba, Japan 2014-11
 - 21) Haptic Interface for Shape and Texture Recognition of Remote Objects by Using a Laser Range Finder. Yamashita, Y. Yano, H. Iwata, H. Asia Haptics 2014, Tsukuba 2014-11
 - 22) Ryoichi Miyamoto, Yukio Oshiro, Shinji Hashimoto, Ken Nakayama, Keisuke Kohno, Kiyoshi Fukunaga, Tatsuya Oda, Nobuhiro Ohkohchi 『Three-Dimensional Surgical Simulation before Pancreatectomy.』日本肝胆膵外科学会学術集会, 和歌山 2014-06
 - 23) 宮本良一, 大城幸雄, 橋本真治, 中山 健, 高野恵輔, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 隣切除術における 3D 手術シミュレーションの手術成績への寄与 日本消化器外科学会総会 郡山 2014-07
 - 24) 宮本良一, 大城幸雄, 中山 健, 高野恵輔, 橋本真治, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 胆膵領域における 3D 手術シミュレーションの検討 肝臓治療シミュレーション研究会 大阪 2014-10
 - 25) 宮本良一, 大城幸雄, 中山 健, 高野恵輔, 橋本真治, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 肝胆膵領域における当科での 3D 手術ナビゲーションの取り組み 日本臨床外科学会総会, 郡山 2014-11
 - 26) 宮本良一, 大城幸雄, 中山 健, 高野恵輔, 橋本真治, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 肝胆膵領域における当科での 3D 手術ナビゲーションの取り組み 茨城外科学会 (1 月, 茨城県阿見)
 - 27) 大城幸雄: 医工芸産連携による次世代型コンピュータ外科手術支援 第 11 回色材 IT (インクジェットテクノロジー) 講座 東京都 2014-12
 - 28) 大河内信弘: IT 利用ナビゲーション外科手術と周辺技術 つくばサイエンスアカデミー情報交換会 つくば 2014-02
 - 29) 大城幸雄: 本特別プロジェクトについての概要 筑波大学バーチャル手術シミュレーションプロジェクト第 3 回講演会 つくば 2014-2
 - 30) 大河内信弘: IT 利用ナビゲーション外科手術と人材育成 つくばサイエンスアカデミー情報交換会 つくば 2014-07
 - 31) 大河内信弘: IT 利用ナビゲーション外科手術と人材育成 東京大学工学部化学科同期会講演会 つくば 2014-07
 - 32) 大城幸雄: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール出前講義 筑波大学附属駒場中学校 つくば 2014-02
 - 33) 中山 健: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール講義 山形県立鶴岡南高校 つくば 2014-03
 - 34) 宮本良一: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール出前講義 筑波大学附属高校 つくば 2014-05
 - 35) 大城幸雄: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール出前講義 筑波大学附属駒場高校 つくば 2014-07
 - 36) 大城幸雄: みらいの手術を体験しよう! 3D バーチャル手術シミュレーション 第 26 回ミーツサイエンス つくばエキスポセンター つくば 2014-08

ブレインマシンインターフェース技術による てんかん発作予防訓練システムの開発

Preventing epileptic seizure through brain machine interface training system

2041007



研究代表者 (助成金受領者)	(株)国際電気通信基礎技術研究所 主任研究員	大 須 理英子
共同研究者	(株)国際電気通信基礎技術研究所 客員研究員	安 田 恒
共同研究者	東京医科歯科大学大学院 保健衛生学研究科 助 教	原 恵 子

[研究の目的]

脳と機械やコンピュータを直接つなぐブレインマシンインターフェース (BMI) 技術は、脳が機械を制御すると同時に、機械の助けによって脳をよりよい状態に誘導する技術であり、人間の意思や行動を司る脳と機械が調和を目指す究極の形である。BMI 技術は、これまで、病院で侵襲的に計測した脳情報で機械やコンピュータを制御する技術が先導し、非侵襲で、一般家庭で使用可能な脳波で脳を改善する技術は開発途上である。そこで、脳波に特徴的な異常が観察されるてんかんを具体的なターゲットとし、BMI 技術、特に機械学習を導入することで、脳波を改善し発作を予防する訓練システムを開発する。それにより人間と機械の調和の促進を目指す。

[研究の内容, 成果]

脳波ニューロフィードバック (以下 NF) によっててんかんの治療が可能となれば、副作用が少ない、手術が不要である、薬の減量が可能となり経済的、といった大きなメリットがある。しかし、これまでの脳波 NF 治療の手法は、導入に手間と時間がかかる、習熟度やアドヒアランスに個人差が大きく、効果が見られるのが

1/3~2/3 程度、といった点から一般的ではなかった。これは、人間の脳にのみ学習を強要し、機械が人間に歩み寄る試みをしてこなかった点に問題があると考えられる。そこで、BMI 技術である、多チャンネル脳波計測と機械学習によるデコーディングを導入してこれらの問題を解決し (精度向上、個人対応)、脳波の検出力を上げることを目標とする。それにより、訓練時間を短縮すると同時に、個人に合わせることで適応範囲を広げることが可能になる。そこで、専門医の判読を参照した発作間欠期てんかん性異常波の判別を新たに開発し、個人別の判別器を設計することを目指す。また、従来の NF でターゲットとなっていた感覚運動リズム (12-15 Hz) の訓練装置も検証し、疾患に総合的にアプローチすることを目指す。脳活動に患者自身が介入することで、発作の発生、または発作の広がり (単純部分発作から複雑部分発作・二次性全般化) の予防を患者自身が習得することが期待できる。本研究は、東京医科歯科大学の倫理審査委員会の承認を得て実施された。

1. 専門医の判別を教師とした訓練システム

てんかん患者例においては、てんかん発作が起こっていない期間 (発作間欠期) においても、脳波の異常が見られる場合がある。この発作間欠期異常波の出現頻度は、てんかん発作の頻度

が減少するとともに低下する場合がある。逆に、発作間欠期異常波の頻度を低下させることで発作の頻度が低下することを期待して、異常波の出現をフィードバックすることでそれを抑制することを訓練する。発作間欠期異常波が観察される患者1例を対象に、脳波を計測し、異常波を判別するデコーダーを設計した。

【被験者】 29歳女性

〈病名〉 局在関連てんかん（左側頭葉てんかん）

〈病歴〉 24歳 感覚性失語の部分発作で発症。てんかんと気が付かず放置し次第に頻度が増加。24～25歳 初回の全身けいれん。26歳にかけて合計4回の全身けいれんを認めたため26歳東京医科歯科大学医学部付属病院初診。てんかんの診断で治療を開始した。その後全身けいれんは認めないが部分発作は抑制されず難治に経過。

〈対象とした理由〉 ①抗てんかん薬を複数使用しても発作は抑制されず、明らかに難治てんかんである。②今のところ手術で改善する見込みが低い（MRIで明らかな異常所見を認めない）③本人が手術を希望しない。④発作が週数回と多く、またきちんと発作記録をつけており、効果判定が比較的短期間に可能。⑤発作型が単純部分発作（意識減損しない発作）と複雑部分発作（意識減損する発作）が主でありNFによる発作拡張予防の効果判定も可能。⑥知的に問題なく同意可能であり、本人の積極的な協力が期待できる。

【装置】

ニューロファックス（日本光電, 16チャンネル）Active Two（BIOSEMI社, 64チャンネル）

【実験手続き】

通常の脳波結果からのスクリーニングの後、NF作成のための患者の脳波計測を2～3時間×2日間行った。閉眼覚醒条件、開眼覚醒条件でそれぞれ20分～30分程度記録した（図1）。開眼覚醒条件では、アーチファクトの混入が多



図1 計測の様子

かったため、閉眼覚醒条件でのデータを以下の解析に用いた。

【解析と結果】

以下の流れでデコーダーを設計した。①計測した脳波からモニタージュを作成 ②閾値による異常波候補時間帯のピックアップ ③てんかん専門医である原医師による異常波かどうかのラベリング ④③を教師信号とした機械学習 個々のプロセスを説明する。

① モニタージュ

今回の疾患例の異常波は、疾患部位である左側頭葉を中心としたスパイク波である。これを検出するにあたって適切な電極の組み合わせ（モニタージュ）はFz-F7, F7-F8, Cz-T3, T3-T4となり、このモニタージュを今後のデコーディングのターゲット波形とした（図2）。

② 閾値によるピックアップ

異常波の例を参考に、急峻な立上がりと立下りが4つのモニタージュ全てに生じた時間帯を候補として抽出した。具体的には、絶対値で $20\mu\text{V}$ 以上の値をとったところをピークとみなし、上昇時、0.05秒以内にピーク値基準で10dB以上の変化/下降時、0.2秒以内にピーク値基準で10dB以上の変化が見られた場合について、異常波候補とした。なお、ピークが検出されたら、その後1秒間はピークを検出しないこととした。20分の計測において、各計測装置において検出された異常波候補の数は、表1上段の通りである。なお、異常波候補の数の違い

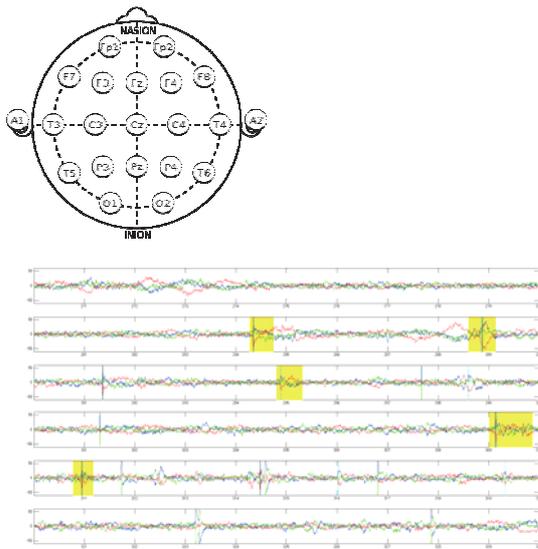


図2 チャンネル配置とスパイク波の例

各行 10 秒間のモニター波形を示す。青：Fz-F7, 赤：F7-F8, 緑：F8-Fz。黄色は専門医によりスパイク波と判断された部分を示す。

表1 閾値により抽出された異常波の候補数とそのうち専門医により異常波と判定された数

	日本光電	Biosemi
候補数	88	90
正答数	40	32

は、装置の計測精度によるものではなく、そのときの患者様の状態によるものである。

③ ラベリング

上記の候補部分について、原医師による目視によって、てんかん異常波に相当する (1) かそうでない (0) かのラベル付けをおこなった。各装置で正答 (1) と判定された数を表1の下段に示す。なお、日本光電のデータで、②で抽出された候補部分以外においてスパイク波であると原医師が判断したもの (false negative) は 10 個あった。

④ 機械学習

4つのモニターズのピーク時刻前後1秒を特徴量とした。特徴量の次元は、日本光電は500 Hz サンプリングのため4000、Biosemiは2048 Hzのため16384であった。候補部分について、③のラベルを教師信号としてサポートベクターマシン (線形/非線形) で判別した (libsvm, <http://www.csie.ntu.edu.tw/>

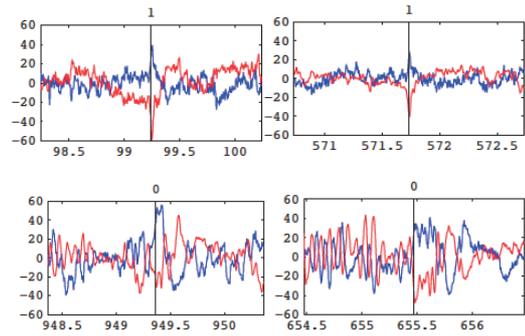


図3 (1) (上段) (0) (下段) の例

青：Fz-F7, 赤：F7-F8

表2 クロスバリデーションによる判別率 (%)

	日本光電	Biosemi
線形	75.7±10.5	82.1±9.7
RBF	78.6± 9.4	85.2±8.9

cjlin/libsvm/)。評価は、データの80%を学習に20%をテストに使用するクロスバリデーションを1000回行った時の平均判別率とした。表2に、線形カーネルを使用した場合とRBFカーネルを使用した場合の判別率 (±SD) を示す。

2. 感覚運動リズム訓練装置の検証

従来のNF訓練と比較し、また相乗効果を狙うため、Sterman (2010) によって開発された感覚運動リズムの訓練システムを簡便な脳波計を使用して検証した。感覚運動リズムとは、脳の感覚運動野付近、国際10-20法でC3, C4に相当する部位から観察される12~15 Hzの脳波であり、運動を開始する前にはそのパワーが低下することが知られている。Sterman (2010) は、安静時にそのパワーを上昇させる訓練をすることで、てんかん発作の頻度を低減させることができると報告している。この手法の場合は、見るべき電極も特徴もあらかじめ決まっているので、機械学習を適用する必要がなく、自宅で訓練可能である。しかし、NFは環境や装置、個人差など影響を受けやすく、訓練効果が必ずしも再現できないことが知られているため、患者例に適用する前に健常者において

感覚運動リズムのパワーを上昇させることができるかを検証した。

【装置】EPOC (Emotiv 社, 14 チャンネル)

【実験手続き】

EPOC の F3 チャンネルが 10-20 法で C3 の位置にくるよう装着する。このチャンネルのデータのみを使用してフィードバックを行う。3 次の 5-40 Hz バンドパスバターワースフィルターを適用した後に、タイムウィンドウ 2 秒で 12-15 Hz の平均 PSD を算出し、それを 10 Hz で呈示することでリアルタイムフィードバックとした。

実験は 1 日 1 セッション、1 セッションは 8 ブロックで構成されており、各ブロックで 3 分間 NF を行う。ブロック間では被験者は任意に休憩時間を取ることが出来る。

セッション開始前に、開眼安静で 60 秒間のベースラインを取得し、その 12-15 Hz 平均 PSD の 2 倍を第 1 ブロックの目標値とした。目標値を 10 回連続 (=1 秒間) 上回った場合をクリアとし、各ブロックにおいて、目標値をクリアした回数が 15 回以上であったら、次のブロックの目標値が 1.2 倍となり、5 回以下であったら 0.8 倍となるようにした。尚、各タイムウィンドウ中で $60 \mu\text{V}$ 以上の変動があった場合はアーチファクトとみなし、青い線を赤い線で表示することにより被験者にも伝わるようにした。アーチファクト発生中のデータは目標値を上回っていてもカウントしない。健常者 5 名で実施し、1 名は 10 セッション、1 名は 7 セッション、3 名は 5 セッション訓練を行った。



図4 実験の様子とフィードバック画面

*は固視点、赤い bar が目標値、青いラインがフィードバック値。

【解析と結果】

以下に、10 および 7 セッション実施した被験者 (A, B) について、各セッションにおけるベースラインに対するブロックごとの達成値 (目標クリア時のフィードバック値、すなわち 2 秒間の平均 PSD) の平均と標準偏差を示す。縦線はセッションの切れ目を示す。被験者 A は、最終日で成績が低下しているものの、訓練を継続するにつれて達成値が上昇した。被験者 B は、中盤までは達成値が上昇したものの、その後、低迷した。このことから、この NF については、学習が進む場合もあるが、個人差および日による調子の差が大きいことが判明した。

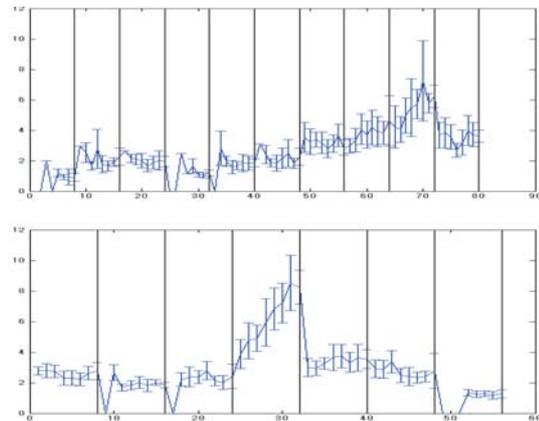


図5 目標クリア時の 12-15 Hz 平均 PSD の変化
横軸は目標クリア回数、縦線はセッションの切れ目を示す。
上: 被験者 A 下: 被験者 B

【今後の研究の方向、課題】

本研究では、てんかんのスパイク状異常波を閾値と機械学習を組み合わせることで NF 訓練に十分な精度で判別できることが示された。今後は、閉眼時に効果的なフィードバックを与える訓練インターフェースを設計する。閉眼覚醒状態での訓練になるため、聴覚フィードバックが適切であると考えている。なお、聴覚入力によりフィードバックに影響がないことは確認済みである。感覚運動リズムについては、NF で訓練できる場合もあるが個人差、日による差が大きいため、より効果的なフィードバック手法

の工夫, より長期的な訓練などを健常者で検証を続け, 平行して患者例における訓練実施を試みる。発作回数の減少等の臨床的な効果の検証を経て実用化を目指す。

[成果の発表, 論文等]

日本てんかん学会, 日本臨床神経生理学会にて発表を計画している。

[参考文献]

Sterman, MB (2010). Biofeedback in the treatment of epilepsy. Cleveland Clinic Journal of Medicine, 77, S60-S67.

生体情報を活用した運動機能評価システムの開発

Development of human motion assessment system with biological signal Information

2041008



研究代表者 (助成金受領者)	東京工科大学 医療保健学部理学療法学科	講 師	河 西 理 恵
共同研究者	早稲田大学 理工学研究所	招聘研究員	武 田 朴

[研究の目的]

リハビリテーションの対象となる患者の多くは様々な運動機能の問題を抱えており、歩行や立ち上がり等の日常動作の改善がリハビリテーションの目標となることが多い。有効なリハビリテーションを行うには、個々の患者の動作や姿勢を適切に評価することが不可欠だが、臨床現場におけるこれらの評価は、理学療法士らによる視覚的な観察が中心となっている。観察に基づく記述評価は簡便で費用もかからない等のメリットはあるが、個人の能力や経験に影響されやすく、評価の信頼性の担保や第三者による検証が困難である等の問題も多い。

近年、リハビリテーションの世界でも「根拠に基づくリハビリテーション」が重視され、その効果を科学的に示すことへの関心が高まっている。従来の科学的な動作分析手法には、複数の高性能カメラと床反力計を組み合わせた三次元動作解析装置があるが、これらの装置は高額で操作や解析方法も複雑なため、一般のリハビリテーション施設で使用されることは少ない。

そこで、本研究では小型加速度計を用いて一般のリハビリテーション施設でも利用可能な定量的運動機能評価システムを試作し、試作システムの再現性と妥当性について検討することを目標とした。

[研究の内容, 成果]

本研究では、以下の3つのテーマについて検討を行った。

1. 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システムの試作
2. 試作システムを用いた立ち上がり動作の再現性と妥当性の検証
3. 患者を対象とした実用性の評価

1. 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システムの試作

本システムの特徴は、小型加速度センサをヒトの体幹に固定し、動作に伴い発生する重力加速度の変化から体幹の角度を算出し、立ち上がり動作の定量評価を可能にすることである。計測器機には、3軸加速度センサと専用受信機（ロジカルプロダクト社製、LP-MS1002, LP-RF24TR1：計測範囲：±4 G, 感度：1V/G, 周波数特性：DC～50 Hz, 分解能： $10^{-3}G$ ）を用いた。図1に試作した評価システムの概要を示す。加速度信号は無線で受信機に送られ、復調信号をUSB経由でパーソナルコンピュータに送り、Labviewにて作製されたプログラム（ロジカルプロダクト社製、ワイヤレスセンサモジュール）で受信し、表示・記録される。

加速度信号を解析するため、MATLABによる解析プログラムを作製した。3軸の加速

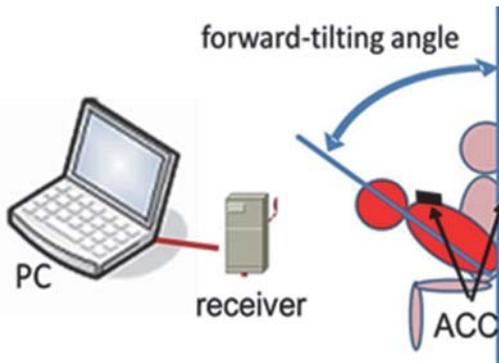


図1 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システム

度のうち前後方向の加速度を解析対象とし、 $0V=90^\circ$ として出力電圧から角度を算出した。体幹が最大前傾角に達する 1.5 秒前の角度を動作開始角、最大前傾角から 1.5 秒後の角度を動作完了角とし、最大前傾角と動作開始角の差を前傾角とした。また、動作開始角から前傾角の 10% まで前傾した時刻を 10% 前傾時刻、角度を 10% 前傾角、動作完了角と最大前傾角の差を立ち上がり角とし、立ち上がり角の 90% に達した時刻を 90% 立ち上がり時間、角度を立ち上がり角度とした。また、10% 前傾時刻から 90% 立ち上がり時刻までを動作時間とした。

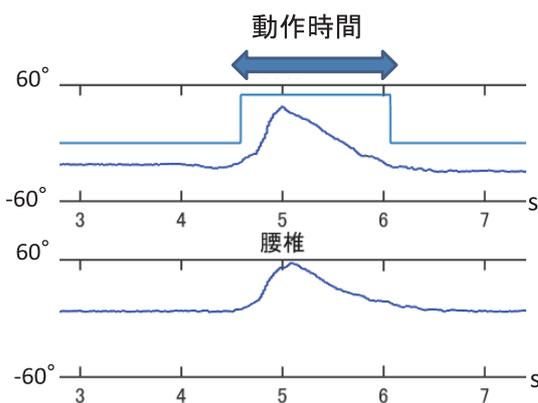


図2 立ち上がり動作時間の設定

2. 試作システムを用いた立ち上がり動作の再現性と妥当性の検証

試作システムの再現性と妥当性を検証するため、健常成人 16 名（男性 11 名，女性 5 名，平

均年齢：20.5 歳）の立ち上がり動作を測定した。本研究は東京工科大学倫理委員会の承認を得て実施し（承認番号：E14HS-016），被験者には事前に本研究の趣旨を説明し，口頭および書面にて同意を得た。

測定には高さ 45 cm の背もたれなしの椅子を使用した。被験者は裸足で両腕を身体の前で軽く組み，体幹中間位で前を向いた姿勢を開始肢位とし，測定者の合図に合わせて立ち上がり動作を 3 回行った。足の接地位置と動作スピードは被験者の任意としたが，足の位置は被験者が測定前に何回か立ち上がり動作を行い，最も立ち上がりやすい位置を決め，毎回その位置に足を接地して立ち上がり動作を行った。動作スピードについては，なるべく普段通りの立ち上がり動作を行うよう指示した。

立ち上がり動作に伴う腰部の角度変化を測定するため，加速度センサ 1 台を被験者の第 3 腰椎棘突起に水平に装着し，測定中に加速度センサの位置がずれないように粘着力の強い外科用テープにて固定した。

試作システムによる立ち上がり動作の再現性を確認するため，腰部の前傾角に対する 2 回測定および 3 回測定の級内相関係数（Intraclass Correlation Coefficient：以下 ICC）， $ICC(1, 2)$ ，および $ICC(1, 3)$ を求めた。さらに，一元配置の分散分析を用いて被験者間の立ち上がり動作の差について検討した。

次に，試作システムの妥当性の検証方法について述べる。直径 20 mm の蛍光マーカーを，被験者の前頭部，右側頭部，胸骨柄，右肩峰，第 3 腰椎（加速度センサ上に貼付），右股関節，右膝関節外側および右足関節外果に貼付し，2 次元の動画計測を行った。各マーカーの位置をデジタルカメラ（CASIO 社製，EXILM）にて 30 frame/sec で撮影し，市販のソフトウェア（ビューテック社製，ICPRO）を用いて軌跡を求めた。解析には Matlab にて自作したプログラムを用いた。右肩峰の座標と腰部の座標を結んだ線を体幹の傾斜とし，垂直面からの角度を

算出した。なお、解析対象とした角度の算出方法は、加速度センサと同様な解析プログラムを用いて行った。

動画像から得られた角度を x 軸、加速度センサから得られた角度を y 軸にとり、動作開始角と最大前傾角について、全被験者の 3 回の測定結果から散布図を描き、その回帰直線の傾斜と相関係数を求めた。

結果

1. 試作システムを用いた立ち上がり動作の再現性

立ち上がり動作 2 回測定における腰部前傾角の ICC は、0.884 (95% 信頼区間：以下 95% CI : 0.677-0.959)，立ち上がり動作 3 回測定における ICC は、0.852 (95% CI : 0.664-0.944) であった (表 1)。ICC は、0.25~0.5 の範囲で信頼性が低く、0.5~0.75 で中等度、0.75 以上で良好と考えられており¹⁾、試作システムを用いた健常者の立ち上がり動作の再現性については、良好な結果を得ることができた。一方、分散分析の結果では、被験者間の立ち上がり動作に有意差が認められた ($P < 0.01$)。

表 1 健常者における立ち上がり動作の再現性

測定回数	ICC (1,2)	95% CI
2 回測定	0.8840	(0.677-0.959)
3 回測定	0.8520	(0.664-0.944)

2. 評価システムを用いた健常者における立ち上がり動作の妥当性

加速度センサから得た腰部の動作開始角および最大前傾角と、動画から得た動作開始角および最大前傾角の間に良好な相関関係 ($r=0.94$) が得られたことから (図 3)、本システムが画像測定システムに代用できる可能性を示すことができた。

3. 実用性の評価

試作システムを用いて、介助の違いが立ち上がり動作に与える影響について検討した。患者は左大腿骨顆上骨折を呈した 70 代の女性で、立ち上がり動作は自立で可能だが、動作時に膝

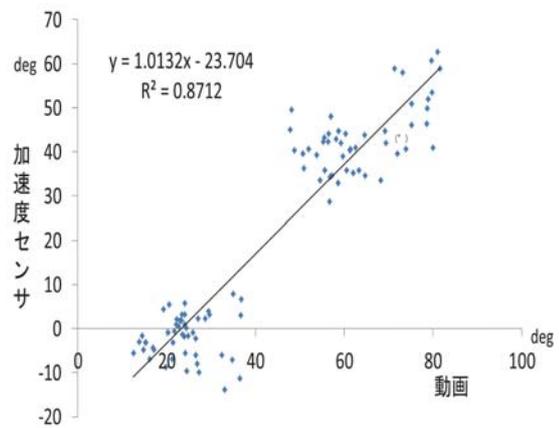


図 3 加速度センサと動画の角度の相関

の痛みを訴えていた。加速度センサ 3 台を患者の第 3 腰椎棘突起、胸骨柄、前頭部に水平に装着し、外科用テープで固定した。同じ介助法を用いて、始めに新人理学療法士の介助で立ち上がり動作を行い、次にベテラン理学療法士の介助で立ち上がり動作を行った。試作システムを用いて、立ち上がり動作中の腰部、胸骨、頭部の角度変化と左右外側広筋の筋電図を測定した。

測定結果を図 4 に示す。加速度データから、同じ介助を行っても、新人とベテランでは様々な違いがあることが示された。主な違いとして、ベテランでは動作に要する時間が新人の半分程度と短く、効率の良い立ち上がり動作が行われており、前傾角や立ち上がり角も正常パターンに近いことから、動作中の体幹の前傾や後傾が適切なタイミングでアシストされていることが示された。また、加速度信号も全体的に安定しており、安定した動作が行われていることが推察できた。一方、筋電図からもベテランの介助では、筋活動に左右差が少なく、患側への荷重が多く行われている様子が確認できた。

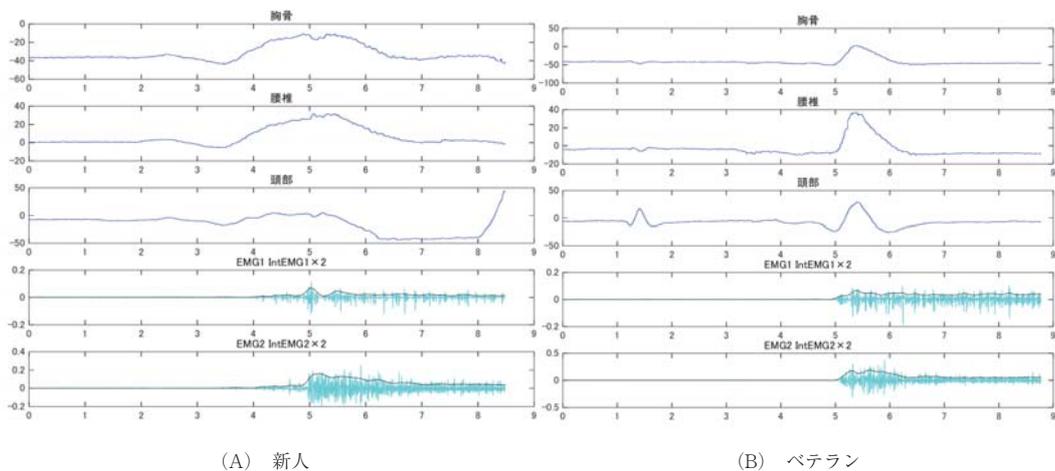


図4 新人 (A) とベテラン (B) の介助の違いによる加速度と筋電図の違い

[今後の研究の方向, 課題]

本研究により、小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システムには良好な再現性と妥当性があることが確認できた。また、数は少ないが患者に適用した結果、本システムがリハビリテーションの現場で簡便に動作や姿勢を定量評価できる可能性を示すことができた。今後の課題として、加速度計による健常者の立ち上がり動作や立位姿勢のデータ収集を進め、一定数のデータが得られた段階で、健常者を基準とした加速度計による立ち上がり動作の基準データを作成する。同時に患者データの収集を進め、健常者の基準データと患者データの比較から、立ち上がり動作能力の判定尺度を考案し、その有効性について検証していきたい。また、ジャイロセンサ等を併用し、歩行やバランス評価な

ども測定できる動作を増やしていきたいと考えている。

[参考文献]

- 1) Portney LG, Watkins MP: Foundations of Clinical Research Application to Practice 2nd ed. Prentice Hall Health, New Jersey, 2000, pp. 560-567.

[成果の発表・論文等]

- 1) 河西理恵, 武田朴, 山口凌: 脳卒中患者を対象としたロボットスーツ HAL の動作支援効果に関する研究. 第 49 回日本理学療法学会大会, Yokohama, Japan, June, 1, 2014.
- 2) Rie Kasai, Sunao Takeda: The Effect of Robot Suit HAL on Trunk Posture in Standing-up Movement. World Confederation of Physical Therapy Congress 2015, RR-PO-20-16 Singapore, May, 4. 2015

脳－機械間高品質信号伝達のための高感度圧力センサ 集積脳神経プローブの開発

Neural Probe Integrated with Pressure Sensors for High Quality Signal Transfer between Brain and Machines

2041009



研究代表者

東北大学

助教

木野久志

[研究の目的]

生体情報、特に脳神経疾患の診断治療に不可欠な脳神経情報の記録および脳神経への電気刺激の重要性は年々高まってきており、その精度の向上が強く要求されている。本研究では従来開発されてきた活動電位記録用および脳神経刺激用の脳神経プローブに高感度圧力センサを集積した図1に示すような高感度圧力センサ集積脳神経プローブシステムの実現を目標とし、図2に示す高感度圧力センサ集積脳神経プローブを作製することで、脳神経プローブの刺入・留置時に脳から印加される圧力を測定し、その印加圧力の影響をリアルタイムでキャリブレーションすることで高品質・高効率な脳－機械間の信号伝達を実現する。脳－機械間信号伝達の高品質・高効率化により、人間と機械の親和性

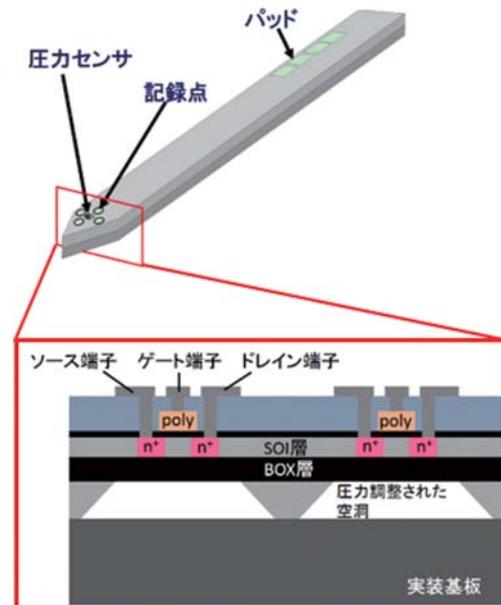


図2 高感度圧力センサ集積脳神経プローブの模式図

を向上させ、脳神経プローブによる脳深部刺激療法の治療効果増大や脳機能解析の深化に大きく貢献する。

[研究の内容, 成果]

本研究では結晶ひずみによる半導体素子の特性変動を応用した高感度圧力センサの試作、およびダイアフラム構造を有する脳神経系信号取得シリコンプローブの試作を行った。

半導体素子にひずみが加わるとピエゾ抵抗効果により電気抵抗が変化する。特にバルク半導

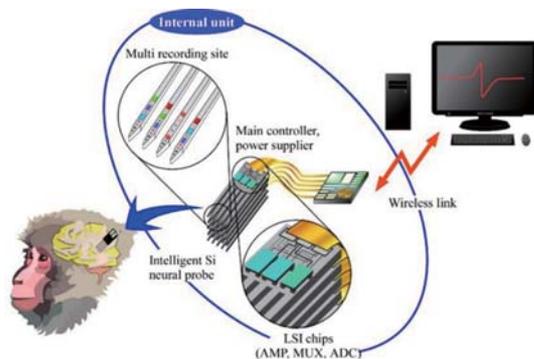


図1 高感度圧力センサ集積脳神経プローブシステムの概要図

体ではなく Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) に形成された反転層にひずみを与えると反転層内のサブバンド構造の変化により通常のピエゾ抵抗効果以上の電気抵抗変化が生じる^{[1],[2]}。本研究ではピエゾ抵抗素子以上の高感度圧力センサを試作した。試作方法は次のとおりである。まず、MOSFET が形成された IC チップを $30\ \mu\text{m}$ まで薄化する。その後、凹凸形状を形成した Si 基板上に薄化した IC チップを接合する。基板の凹部と薄化 IC チップで囲まれた空間内外の差圧により薄化 IC チップには曲げ応力が発生する。この曲げ応力により単結晶 Si にひずみが発生し、MOSFET の駆動電流が変化する。この駆動電流の変化を測定することで圧力変化を測定することが可能となる。本研究では凹部と薄化 IC チップで囲まれた空間にエポキシ樹脂を注入することで差圧を発生させ、MOSFET の駆動電流の変化を測定した。

観測した駆動電流の特性変動を図 1 に示す。図に示すようにエポキシ樹脂の注入前後で駆動電流が変化している様子が観測される。この増加量から Split-CV 法を用いて移動度の変化量を導出すると 14% 増加していることが判明した。このときの薄化 IC チップに印加されている曲げ応力を測定するためにラマン分光法による分析を試みた。結果、装置の測定可能下限値以下であり、多くのラマン分光装置の下限である 200 MPa 以下の曲げ応力であることが判明した。仮に 200 MPa の応力が Si に印加されていると想定した場合、Si の $\langle 110 \rangle$ 方位のヤン

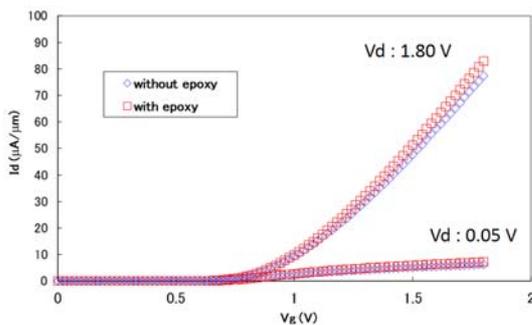


図 3 エポキシ注入前後での MOSFET の駆動電流特性変動

グ率は 169.7 GPa であるのでフックの法則より Si の歪み量は 0.117% と求まる^{[3],[4]}。以上から本研究で試作した圧力センサはゲージ率 120 以上であることが判明し、一般の半導体ピエゾ抵抗型圧力センサのゲージ率 100 と比較すると本研究で試作した圧力センサが非常に高感度であることが確認できた。

本研究では実際に圧力センサを集積のためのダイアフラム構造を有する脳神経系信号取得シリコンプローブを試作した。作製は神経信号記録用の電極を形成した Si 基板を薄化し、凹部が形成された Si 基板上に接合後にプローブ形状に加工した。

試作したシリコンプローブの光学顕微鏡写真および断面 SEM 写真を図 4 に示す。図に示すようにシリコンプローブ内部に空洞が存在し、ダイアフラム構造を有していることが確認できる。この空洞内の圧力は調整可能であるため状況に応じた測定感度を有する圧力センサを搭載することが可能である。

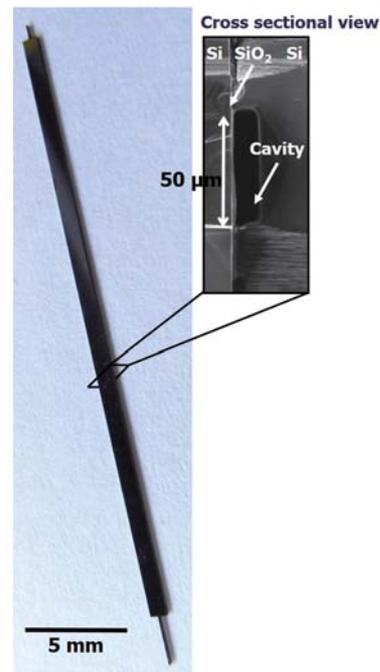


図 4 ダイアフラム構造を有するシリコン神経プローブ

[今後の研究の方向, 課題]

本研究により, ピエゾ抵抗素子以上の感度を有する高感度圧力センサを集積した脳神経系信号取得シリコンプローブの基盤技術が確立された。確立した基盤技術により生体内圧と脳神経系信号を同時記録可能なシステムを構築可能となった。今後は実際に圧力センサを有する脳神経系信号取得シリコンプローブを試作し, 医用生体工学や神経生理学の研究者と共に生体活動と体内での圧力変動及び生体信号との関係を説明する。

[参考文献]

- [1] M. Rashed, W. K. Shih, S. Jallepalli, T. J. T. Kwan and C. M. Maziar, Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet., pp. 765-768 (1995).
- [2] 高木信一, 応用物理, 第 74 巻, 第 9 号, pp. 1158-1170 (2005).
- [3] W. A. Brantley, J. Appl. Phys. Vol. 44, pp. 534-535 (1973).
- [4] H. J. McSkimin, et al., Phys. Rev. Vol. 83, p. 1080 (L) (1951).

[成果の発表, 論文等]

種々の国際会議および論文誌での発表を予定している。

センサ付腹腔鏡下手術用把持鉗子を用いた粘弾性を考慮した 生体組織の硬さ計測法の研究

Measurement method of viscoelastic properties of the grasped objects by a grasping forceps with sensors

2041010



研究代表者

東京電機大学 工学部

助教

桑 名 健 太

[研究の目的]

昨今、低侵襲である内視鏡下手術が急速に普及している。内視鏡下手術は、体を開けた小さな穴から専用の手術器具を挿入し、体内で治療を行う手術法である。この手術法では、患部を含む臓器を直接手で触れることができない。そのため、処置対象の硬さ等の触覚情報を得ることが難しい。この問題に対して我々は、圧縮力・せん断力を同時に計測可能な MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 3軸触覚センサ及び開閉量を計測するための変位量センサを内視鏡下手術用把持鉗子に取り付け、把持対象の変位量とその時に対象に加わる圧縮力から、把持対象の弾性率を算出する手法の研究を行ってきた¹⁾。しかし、生体組織は粘弾性体のため、把持速度や把持量の違いにより計測される弾性率にばらつきが生じる。そこで本研究課題では、すでに開発したセンサ付鉗子が圧縮力と変位を経時的に計測できることに着目し、粘弾性を考慮した簡易的な圧縮試験法の実現を目的とする。

[研究の内容, 成果]

1. 粘弾性体のモデル化とパラメータの同定法

粘弾性体は、一定の応力を加え続けた際に対象の変形が進行するクリープ挙動と、一定のひ

ずみを与え続けた際に、応力が時間とともに減少する応力緩和現象を示す。本研究課題では、把持対象の応力緩和現象を計測することで粘弾性の評価を行う。粘弾性の評価を行うにあたって、計測対象をモデル化する必要がある。本研究課題では、粘弾性体の特徴であるクリープと応力緩和の両方の挙動をもっとも少ない要素で表現できるモデルの一つである3要素 Maxwell モデルを使用する(図1)。3要素 Maxwell モデルは2つの弾性要素と1つの粘性要素によって構成される(図1a))。このモデルに一定のひずみ ε_0 を与え、時間 t 経過後のモデル全体の弾性率 $E(t)$ 、及び応力 $\sigma(t)$ は直列要素の緩和時間 τ_1 を用いて、次式であらわされる。

$$\tau_1 = \eta_1 / E_1 \quad (1)$$

$$E(t) = E_\infty + E_1 \exp(-t/\tau_1) \quad (2)$$

$$\sigma(t) = E(t) \varepsilon_0 \quad (3)$$

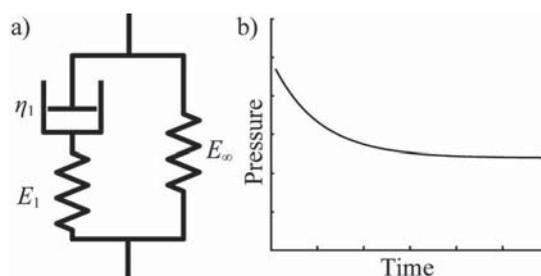


図1 a) 3要素 Maxwell モデル, b) 3要素 Maxwell モデルにおける応力緩和

応力 $\sigma(t)$ は図 1b) に示すように時間とともに減少する。応力の計測値を最小二乗近似法により式 (3) で近似することで、 E_{∞} 、 E_1 、 η_1 を算出する。

2. 鉗子開閉量を制御可能な実験系の製作

すでに開発したセンサ付鉗子を図 2 に示す。鉗子先端部の二つの先端把持部にはそれぞれ MEMS 3 軸触覚センサが取り付けられており (図 2b)), 対象を把持した際の圧縮力の計測が可能となっている。また、鉗子の駆動軸には鉗子先端部の開閉量を計測するためのポテンシオメータが取り付けられており (図 2c)), ポテンシオメータの出力と鉗子の幾何学的な関係より、鉗子先端部の開閉量の算出が可能となっている。

このセンサ付鉗子を利用した圧縮試験の概要を図 3 に示す。対象を把持すると MEMS 3 軸触覚センサには対象に加える圧縮力の反力が計測される。この時の鉗子先端部の開閉量と圧縮力の時間変化を計測することにより硬さの評価が可能となる。

これまでに我々が開発したセンサ付把持鉗子は市販の把持鉗子にセンサを取り付けているため、開閉操作を手動で行っていた。しかし、粘弾性の評価にあたり、応力やひずみを一定に保つことが求められ、手動での操作には限界がある。そこで、鉗子の開閉を自動で行うことが可能なセットアップの製作を行った (図 4)。鉗

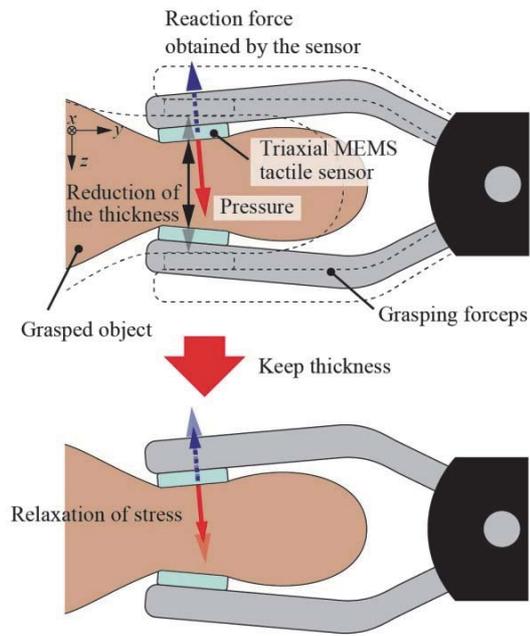


図 3 センサ付鉗子による圧縮試験の概要

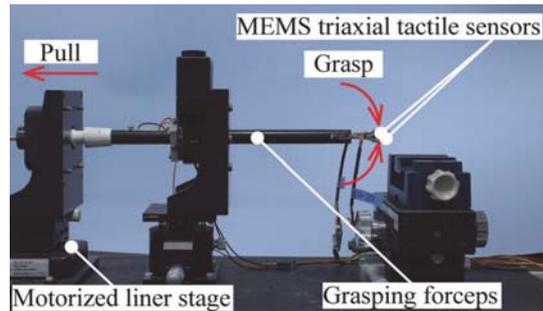


図 4 把持操作制御用セットアップ

子開閉用の駆動軸を 1 軸の直動自動ステージに固定し、駆動することによって鉗子の開閉を行う。把持鉗子の先端把持部にはこれまでと同様に MEMS 3 軸触覚センサが取り付けられている。これにより、鉗子の開閉量を一定に保ちながら圧縮力の計測が可能となる。

3. フォースゲージを用いた圧縮試験による基礎評価

センサ付把持鉗子で算出された粘弾性パラメータの妥当性の評価方法として、通常の圧縮試験による評価との比較を行う。通常の圧縮試験は、平行に配置した 2 枚の板で対象を挟んだうえで圧縮していき、その際の圧縮力と変形量

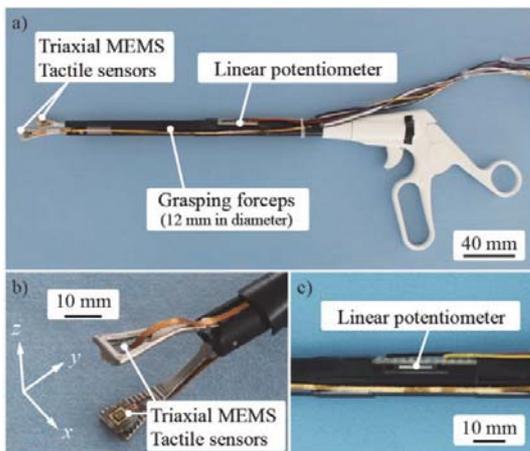


図 2 センサ付鉗子

の関係から対象の硬さパラメータを見積もるものである。本研究課題では図5に示すようなフォースゲージを含む圧縮試験機を試作した。自動直動ステージに固定したフォースゲージに圧子を取りつけ、対象を圧縮する。その際の圧縮力と変位量の計測が可能である。圧子のサイズは直径13 mmのものを使用した。この試験機により対象の応力緩和を計測し、圧縮力の時間変化から粘弾性パラメータを算出する。同じ対象に対して算出した粘弾性パラメータを比較することで、提案手法であるセンサ付鉗子を用いた圧縮試験の妥当性を評価する。

把持対象として、生体モデルとしてよく用いられるゼラチンを使用した。ゼラチンサンプルは直径50 mm、厚さ10 mmとし、水に対し重量%で30%となるようにゼラチンを加えたものをモールドイングにより作成した(図6)。

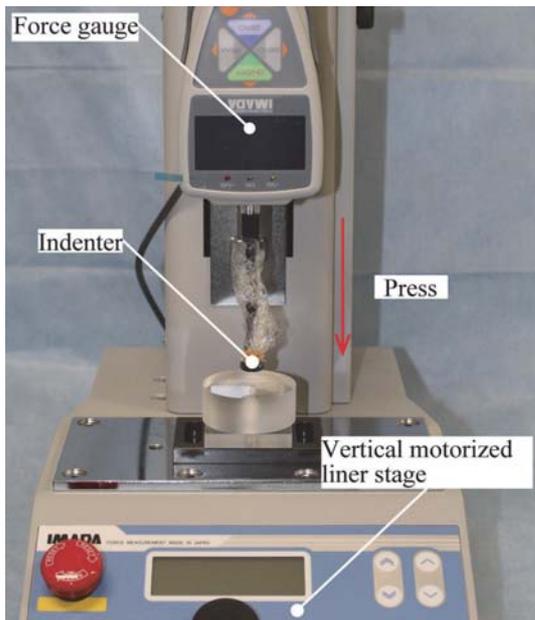


図5 フォースゲージを用いた圧縮試験機

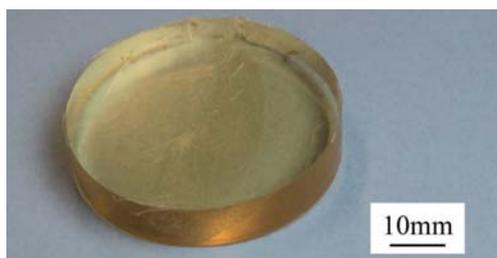


図6 計測対象 (30%ゼラチン)

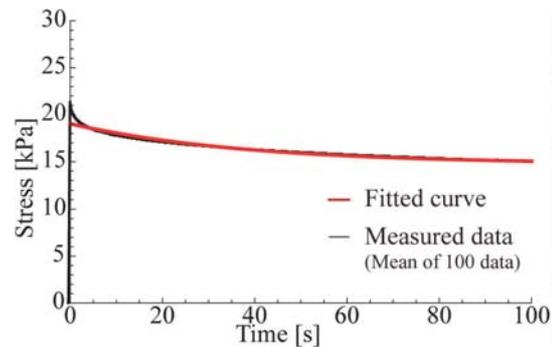


図7 フォースゲージを用いた圧縮試験における圧力の時間変化 (圧縮開始点: $t=0$)

フォースゲージを用いた圧縮試験機により圧縮試験を行った際の典型的な圧力の時間変化の様子を図7に示す。圧縮試験は、圧縮速度5.0 mm/sで、0.20のひずみを加えたのち、2分間ひずみを一定に保つことにより行った。対象を圧縮した直後から、圧力が徐々に弱くなり、応力緩和が確認された。1個のゼラチンサンプル内の5点において圧縮試験を行い、粘弾性パラメータの平均値・標準偏差を算出したところ、 $E_{\infty}=65\pm 9$ kPa, $E_1=21\pm 3$ kPa, $\eta_1=1.65\pm 0.47$ MPa·s, $\tau_1=57\pm 6$ sであった。

4. センサ付鉗子による粘弾性評価

フォースゲージによる圧縮試験と同様にセンサ付鉗子を用いて圧縮試験を行った。典型的な圧力の時間変化の様子を図8に示す。圧縮試験は、平均把持速度12 mm/sで0.51のひずみを加えたのち、2分間ひずみを一定に保つことにより行った。フォースゲージによる圧縮試験と同様に把持開始から徐々に圧力が減少し、応力

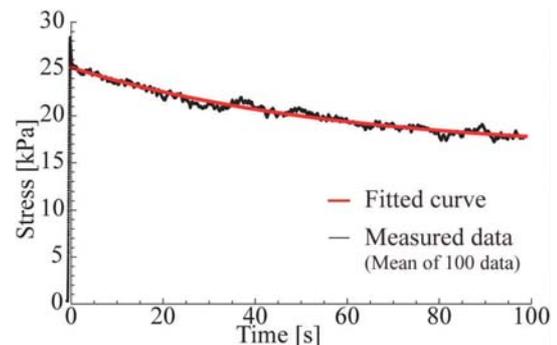


図8 センサ付鉗子を用いた圧縮試験における圧力の時間変化 (把持開始点: $t=0$)

表1 30%ゼラチンの粘弾性パラメータの比較

	センサ付鉗子	フォースゲージ
E_{∞} [kPa]	32±5	100±7
E_1 [kPa]	13±3	31±3
η_1 [MPa·s]	0.77±0.41	1.8±0.4
τ_1 [s]	56±20	57±6

緩和が観察された。3個のゼラチンサンプル内の5カ所ずつ、計15点において圧縮試験を行い、粘弾性パラメータの平均値・標準偏差を算出したところ、 $E_{\infty}=12\pm5$ kPa, $E_1=12\pm6$ kPa, $\eta_1=0.47\pm0.61$ MPa·s, $\tau_1=56\pm20$ s となった。フォースゲージの結果と合わせて表1に示す。 E_{∞} , E_1 , η_1 の値について、センサ付鉗子により算出された値はフォースゲージを用いた方法により算出された値に比べ小さな値をとったもののオーダーが一致した。また、緩和時間 τ_1 は二つの手法で同程度の値をとった。粘弾性パラメータ E_{∞} , E_1 , η_1 が小さくなった主な要因は、センサ付鉗子の把持面が平行でないことがあげられる。これにより、圧縮試験中に圧縮面内にひずみ量・ひずみ速度・圧力に分布が生じる。特に圧力に関して、センサ面に均一に圧縮力が加わっているとして計算しているため、実際より圧力が小さく算出されていると考えられる。これは、ポテンシオメータにより算出される開閉角度による補正や鉗子の構造の改良により解決できる。

以上の結果より、センサ付鉗子を用いて簡易的な圧縮試験が可能であることが示された。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究課題において、センサ付鉗子により粘弾性を考慮した硬さ計測の可能性が示された。実際の手術環境下で、粘性を考慮した硬さ計測

が可能となれば、把持している臓器の種類・状態を判断する一つの触覚情報になると考える。今後は体内での計測に向け、研究を行っていく。

体内での使用にあたり、通常の手術を行う中での計測が求められる。本研究課題において、粘弾性パラメータは、2分間のデータを取得したのちに理論式で近似することで算出している。実際の環境で使用するにあたり、2分間ひずみを一定に保つことは難しい。今後は、通常の使用に影響を与えないよう、リアルタイムに粘弾性の評価ができるようなシステムの実現を目指す。また、現状では、市販の鉗子にセンサを取りつけただけの構造であるため、計測対象に制限がある。今後は対象臓器に応じた鉗子の設計を行っていく。

[参考文献]

- 1) Kenta Kuwana, Rintaro Goto, Akihito Nakai, Ken Masamune, Takeyoshi Dohi, "Stiffness measurement of the grasped object by a grasping forceps with sensors," The 28th International Congress and Exhibition, Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2014), pp. 322-323, Fukuoka, Japan, June 25-28, 2014.

[成果の発表, 論文等]

- [1] 後藤麟太郎, 中井亮仁, 正宗 賢, 土肥健純, 桑名健太, "センサ付鉗子による把持対象の粘弾性計測," 第23回日本コンピュータ外科学会, pp. 288-289, 大阪, Oct. 8-9, 2014.
- [2] Rintaro Goto, Akihito Nakai, Ken Masamune, Takeyoshi Dohi, Kenta Kuwana, "Measurement of viscoelastic properties of the grasped objects by a grasping forceps with sensors," 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micro-mechatronics for Information and Precision Equipment, accepted, Kobe, Japan, Jun. 14-17, 2015.

剛性楕円に基づく冗長自由度の立位平衡機能評価法の開発

Development of assessment procedure for postural equilibrium based on stiffness ellipse

2041011



研究代表者

京都大学大学院
人間・環境学研究所

教授 神崎素樹

[研究の目的]

平均寿命の増加により高齢者の健康が社会問題となっている。一般に、老化に伴う歩行時の転倒は高齢者のQOL (Quality of Life) に直接関与すると考えられている。高齢者の転倒には立位平衡機能の低下が最も関連していることが指摘されているため、立位平衡機能のスクリーニングは高齢者の転倒予防策として有意義である。これまで、立位平衡機能のスクリーニング検査には、力学的な観点から平衡機能の評価方法は皆無である。力学的観点から立位評価法を確立できれば、具体的な平衡機能改善策を提言することが可能となる。そこで本研究では、高齢者のQOL向上を念頭に置き、剛性楕円の観点から力学的二足立位平衡機能の評価法を開発することを目的とする。

ヒトの二足立位姿勢は狭い支持面に身体重心が高い位置にあるために、立位を安定させることは実に困難な作業である。ヒトの二足立位姿勢を「倒立振子モデル」で近似した場合、身体重心の動揺に応じた適切な足圧中心点を決める制御機構が立位安定性に重要である。足圧中心点は、神経的および力学的な調節による各関節のトルクによって制御されている。しかし、力学的な調節には着目されておらず、力学的変数は、動物実験やヒト屍体データを定数として代入されているにすぎない。また、これまでは二足立位は単純な倒立振子とみなし、簡略化した

観点から平衡機能を評価してきた。本研究では、転倒にはつまずきなどによる突然の立位不安定に関与することから、外乱立位時における水平面の剛性楕円を定量することを具体的な目的とする。

[研究の内容、成果]

実験課題は外乱に対する立位の保持とした。被験者は床反力計上で静止立位を行った。立位維持中に、スライドテーブルを水平面12方向に移動(外乱)させた(図1)。外乱の振幅は50 mm, 速度500 mm/s, 加速度0.6 Gとした。立位の足幅は0 cm (narrow), 10 cm (normal), 20 cm (wide) の3種類とした。試行回数は足幅3種類×外乱12方向×5セットの計180試行であった。課題中、ヒラメ筋, 腓腹筋内側頭, 前脛骨筋, 長腓骨筋, 外側広筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋長頭, 中殿筋の筋電図データを両脚から導出し、床反力計からの反力の3分力を取得した。さらに、三次元動作解析装置(オプティトラック)より、各関節の三次元座標を取得した。解析は取得したデータから下肢終端位置での外乱に対する抵抗力と足圧中心点の変位, 速度, 加速度に関する関係式を解き、剛性を表す K , 粘性を表す B を求めることを目的とした。2×2行列で表される K, B (次ページの式)を特異値分解して得られた固有値, 固有ベクトルがそれぞれ軸の大きさ, 軸の向きを表してお

り、楕円を図示することで立位の粘弾性特性を定量した。

$$K = \begin{pmatrix} K_{XX} & K_{XY} \\ K_{YX} & K_{YY} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} B_{XX} & B_{XY} \\ B_{YX} & B_{YY} \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} C_{XX} & C_{XY} \\ C_{YX} & C_{YY} \end{pmatrix}$$

外乱立位時の下肢終端位置での粘弾性楕円を定量することができた。その結果、粘弾性をもっとも大きく働いている方向を表す長軸が外乱の方向を向いていた(図2)。このことから外乱の方向に合わせて粘弾性を制御することによって立位の安定性を獲得していることが示唆された。特に、長軸の長さが前後左右方向の外乱に対して長くなっていることから、粘弾性は前後左右方向に強く発揮されることがわかった。また、足幅が小さくなるにつれて長軸方向の試行間のばらつきが大きくなっており、足幅の違

いは粘弾性の発揮する方向のばらつきに表れた。このことから、立位の不安定性は粘弾性の大きさではなく、発揮する方向のばらつきによって特徴づけられることが示唆された。斜め方向に対して粘弾性が小さいため、斜め方向には力学的にヒトは倒れやすいこと意味している。神経的な立位安定を定量するために、外乱立位時の各筋電図の振幅を水平面上にプロットした(図3)。その結果、解剖学的至適方位を前後左右方向にもつ筋であっても、外乱立位の保持には斜め方向に神経的至適方位を持つことがわかった。これは、ヒトは前後左右方向に粘弾性が大きく、斜め方向には力学的に倒れやすいため、倒れやすい斜め方向を神経系により補っていると考えられた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究により、外乱立位維持課題において立位の水平面の安定性に粘弾性が大きく寄与していること、粘弾性楕円という指標が立位の安定性を評価するのに有用であることが示された。今後は、立位安定性の劣る高齢者の粘弾性楕円を定量すること、その見解から高齢者の具体的な転倒予防策を提言する。また、本研究では、下肢終端位置での粘弾性特性のみの定量である

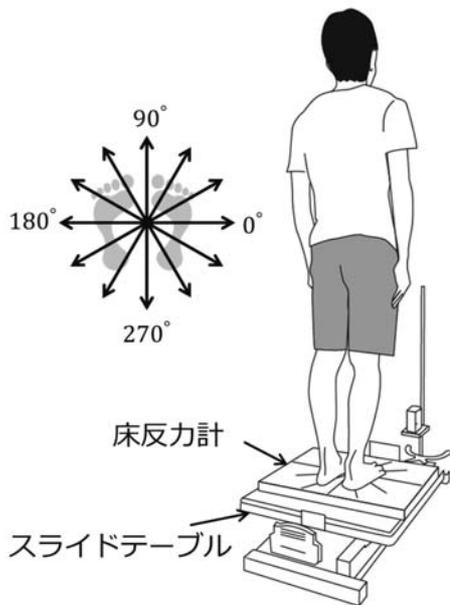


図1 実験方法

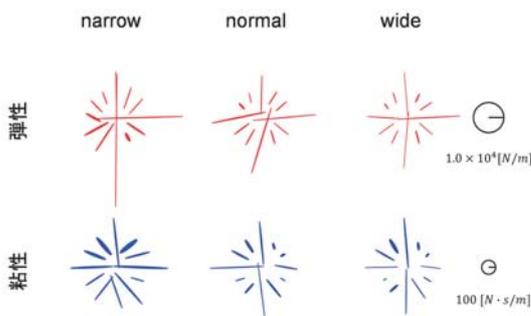


図2 3つのスタンス(narrow, normal, wide)での弾性(上段の赤色)および粘性(下段の青色)楕円

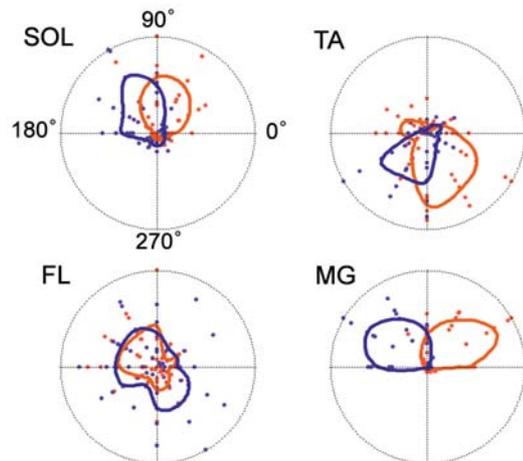


図3 normal スタンスの外乱立位時におけるヒラメ筋(SOL)、前脛骨筋(TA)、長腓骨筋(FL)、腓腹筋内側頭(MG)の左脚(橙色)および右脚(紫色)の筋電図振幅の分布

が、関節レベルでの粘弾性特性を定量することが今後の課題である。

[成果の発表, 論文等]

- (1) Tomida S, Tanabe H, Hagio S, Moritani T, and Kouzaki M. Viscoelastic control for Human Standing. 20th annual congress of the European College of Sport Science, Malmö (Sweden), 2015.
- (2) 神崎素樹, 萩生翔大, 寺田昌弘, 石岡憲昭,

JAXA 宇宙医科学研究シンポジウム: 宇宙からの帰還後における立位動作の運動制御の変化. 第52回日本リハビリテーション医学会学術集会, 新潟, 2015.

- (3) Kouzaki M. Muscle synergies are important for controlling human movements. International symposium on hand movement and muscle synergy "New approaches to complex musculoskeletal systems", National Center of Neurology and Psychiatry, Tokyo, 2015.

高精度で長時間計測可能なウェアラブル非侵襲深部体温計の開発

Development of a wearable deep body thermometer with high accuracy for long-term measurement

2041012



研究代表者

奈良先端科学技術大学院大学

特任助教

黄

銘

[研究の目的]

概日リズムは、最も重要なバイオリズムの一つであり、深部体温の変動と同期する。この概日リズムを簡単に計測できると、概日リズムに合わせた人に優しい照明や室温制御など人と機械とが調和した快適な生活環境を作ることが可能になる。また、体温計を装着する人の日常生活を妨げることなく深部体温を常に監視することが可能となる。そして高齢者に多発する熱中症の危険度の監視や、発症率が増加傾向にある低体温症の防止に重要な役割を果たすことができ、高齢者の見守りや人々の健康増進に大きく貢献できる。

しかし、従来の非侵襲型深部体温計は検温プローブにヒータを必要とし、装置も高消費電力、大型で重い構成となっているため、日常生活を妨げずに長時間に渡る連続計測は不可能であり、長時間皮膚に装着し測定すると低温やけどを与える恐れがある。したがって、主として、管理の行き届いた病院内において使われている。

本研究は、上述のように現在は病院で拘束された状態でしか計測できない深部体温計を改善し、日常生活を妨げずに長時間連続計測できることを目指し、ヒータレスで小型、軽量、低消費電力、長時間計測及びリアルタイム・フィードバック可能な非侵襲深部体温計の開発を目標とした。

[研究の内容、成果]

従来の加熱型深部体温計の計測原理は、熱流補償法を応用し、体表面からの熱の放散を見かけ上ゼロにするため、検温プローブにヒータを用い体表面と体深部を熱平衡状態にする。その状態で体表面温度を測ることにより、深部と同じ温度を計測できるというものである。しかし、従来方式ではすでに説明したように、高消費電力かつ大型になるという問題があった。そのため、本研究ではまずヒータが不要な双熱流法という原理に基づき、ウェアラブル化を可能にさせた。さらに、本開発の目標を達成するため、次に示す三つのプロセスにより、研究を進めた。

- (1) ヒータレスを採用しながらも測定精度を保つこと
- (2) 長時間データの保存やリアルタイム・フィードバックができる電子回路の開発
- (3) 開発した試作機に対する実験検証に分けた。

これら三つのプロセスに対して、以下のよう
な手順により取り組んだ。

1. ヒータレス深部体温計の開発・設計

高精度非侵襲深部体温計の設計は、体温計のプローブとプローブに接触する皮膚の内部における温度の分布、熱流の動向、熱量の状態など

細かい情報を把握することが必要となる。よって、まず体温計の3次元モデル(図1)を構築し、有限要素法を用いてシミュレーションを実施した。これにより、深部体温計の計測精度に影響がある要素を洗い出し素材および構造を決定した。

シミュレーション結果として、まず、水平方向に熱流があったことで、計測誤差が出るという状況(図2)を確認した。

さらに、プローブ寸法の影響を考察するため、シミュレーションでは、プローブ半径を11 mmから66 mmまで変更し、さらに高さは4.5 mmから29 mmまで変更した。以上のサイズの組み合わせで、水平の熱流の強さはプローブの直径や高さに影響され、直径が短いあるいは高さが高いほうが強いことが分かった(図4)。

しかし、寸法の最適化のみでは、一定の精度(例えば0.5℃)を保持するにはウェアラブル化に向かないが、大きな面積にするか、極薄の構造にする必要があった。

この問題を克服するため、寸法の最適化に加

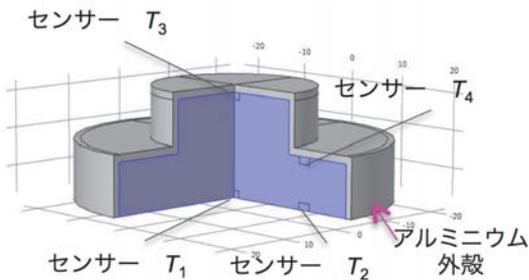


図1 深部体温計の3次元モデル

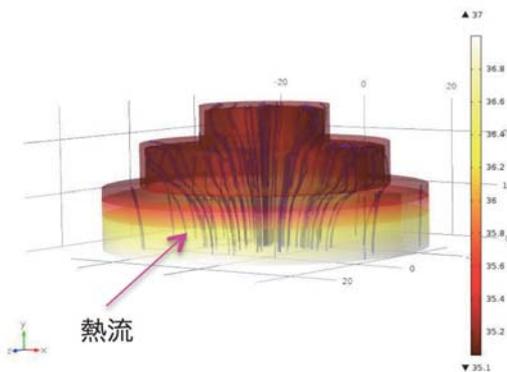


図2 深部体温計内部の熱流の状況

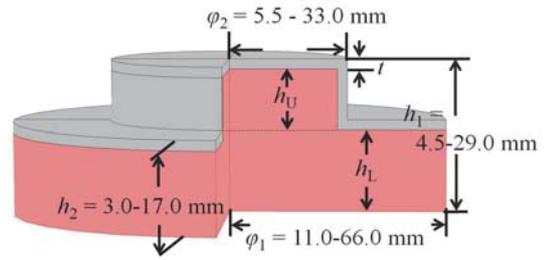


図3 深部体温計の本来の設計のモデル

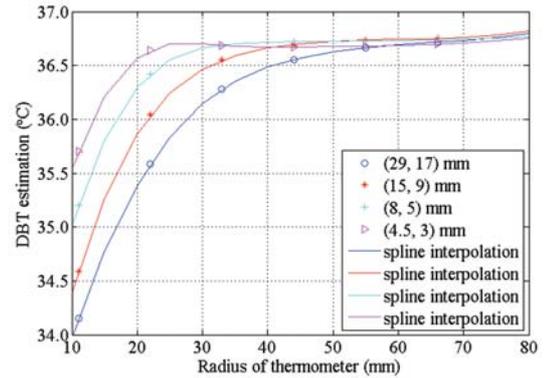


図4 本来の設計の計測精度

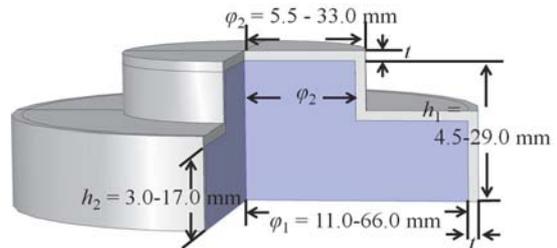


図5 深部体温計の改良設計のモデル

え、アルミニウム外殻を追加することにした(図1, 5)。1 mm厚のアルミニウム外殻を追加するだけで、精度を大幅にあげられることはシミュレーションの結果から分かった(図6)。

2. プローブの試作や計測回路の開発

シミュレーションの結果に従い、プローブの試作を実施した。ウェアラブル化を考慮したため、半径は22 mmにし、高さは15 mmの標準型と9 mmの薄型を試作した(図7)。内蔵する複数の温度センサは、小型低消費電力を考慮し、デジタルセンサ LM73 (11-14 bit; Texas Instruments, Dallas, TX)を使用した。プローブ本体はクロロプレン・ゴムで充し、外殻は

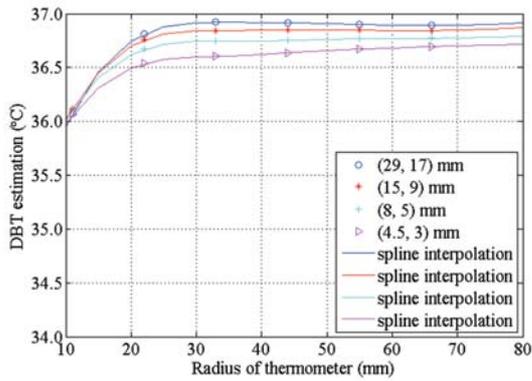


図6 改良設計の精度



図7 プローブ本体

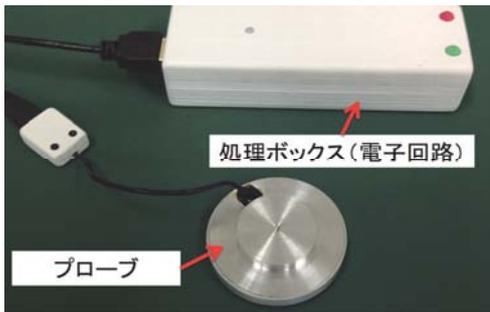


図8 ローカルシステム

アルミニウム合金 2017 を用いた。

一方、体温を連続的に図るため、相応しいボックス型の電子システムを開発した。低消費電力の MPU (ATmega164A, Atmel RISC Micro-controller; Amtel, San Jose, CA) を中心にして、計測の継続 (3日間可能) や計測データの保存 (8Mb Flash memory) ができる実装とした。また、保存した計測データは CSV フォーマットで PC に読み出すこともできるようにした。

3. 試作機の実験検証

試作機の機能を検証するため、模擬実験と実測実験を実施した。

模擬実験では、恒温室において機器の精度を確認した。図9のような基礎実験システムを構築した。試作機はゴム・シート (皮膚とみなす) の上に乗せ、計測値と恒温水槽の水温 (深部体温とみなす) を比較した。この実験は、アルミニウム外殻が付いている状態と、ついていない状態の両方で実施し、その結果、カバーが付いている状態の方が精度向上が図れることを確認した。

図10や11は、標準型や薄型の実験結果であり、Aはアルミニウム外殻があり、Nはなしと指す。室温は Comb1=20°C, Comb2=20°C および Comb3=30°C。

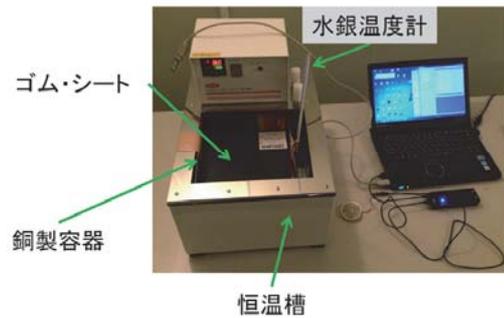


図9 基礎実験システム

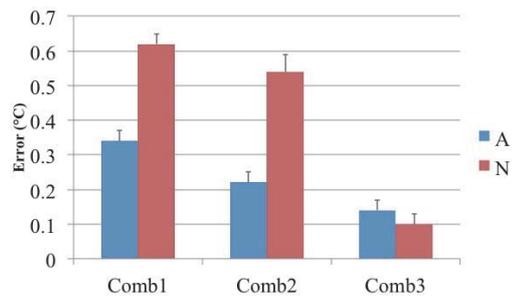


図10 標準型の実験結果

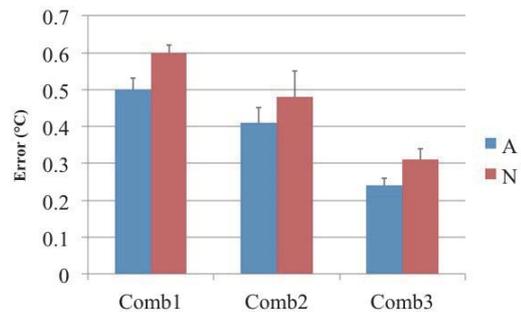


図11 薄型の実験結果



安静座位 運動状態
図 12 実測実験の風景

実測実験は、既存の医療用に使われている高精度の深部体温計であるテルモ社のコアテンプと比較を行った。実験は1人の被験者に対して55分間の深部体温を測定記録した。体温を変化させるため、15分の自転車エルゴメーターの運動負荷をかけた。

12人の実験結果によると、一旦初期応答が安定すると、標準型、薄型の両方において体温の変化に迅速に応答した。12名の学生の結果によって、薄型はコアテンプとの平均差が 0.06°C 、95% CI: $[-0.31, 0.20]^{\circ}\text{C}$ 、標準型は平均差が 0.04°C 、95% CI: $[-0.24, 0.17]^{\circ}\text{C}$ の精度を示した。

短時間の実測実験で精度を確認した後、終日(48時間、室内)の着用実験で、さらに日常生活における機器の性能を確認する実験も実施した。被験者数はまだ十分ではないが(3人計144時間)、これまでのところ、0.98の相関で、平均差 0.14°C となった。

[今後の研究方向, 課題]

本研究は、人間の深部体温の非侵襲的な計測方法の確立に、良好な結果をもたらした。改良した深部体温体温計はウェアラブルセンサにとって基本的な要素であり、低消費電力、非侵襲性、日常生活に耐えるなど、要求仕様を満たすことを示した。熱中症の予防、バイオリズムの算出における活用を期待する。

これらの成果をもとに、今後は以下の三つの方向に取り組む予定である。

まず、長時間着用のためシステムの改良及び小型化。特にセンサの取り付け方式の改良及び電子回路の小型化を進め、さらに、無線通信でローカル・システムをスマートデバイスに繋げるシステムを構築し、最後は、システムのエビデンスをさらに蓄積していく。24時間の実測実験を続けるが、さらに侵襲的な計測方法との比較も実施する予定である。

[成果の発表, 論文等]

1. 黄銘, 田村俊世, 陳文西, 金谷重彦: Evaluation of structural and thermophysical effects on the measurement accuracy of deep body thermometers based on dual-heat-flux method, *Journal of Thermal Biology*, 47巻, 26-31頁, 2015
2. 黄銘, 田村俊世, 唐尊一, 陳文西, 金谷重彦: Structural Optimization of a wearable deep body thermometer: From theoretical simulation to experimental verification, *Journal of Sensors*, 2015 (投稿した)
3. 黄銘, 田村俊世, 唐尊一, 陳文西, 吉田正樹, 金谷重彦: Dynamic Experimental Verification for a New Noninvasive Wearable Deep Body Thermometer based on In-vivo Comparison, 国際学会: uHealthcare2014, 2014

人間の動態観測に基づく多指ハンドロボットによる手渡し動作生成

Handover Motion based on Observation of Human Motion

2041013



研究代表者

神戸大学大学院

准教授

小林 太

[研究の目的]

人間と協調して共同作業するロボットにおいて、人に危害を加えないことは当然である。また、人間の作業を妨げることも避けなければならない。特に、「ロボットが人間の作業を補助する間接的な作業」では、人間が主体となり作業を実施するため、ロボットが補助することにより人間の作業効率が下がることはあってはならない。本研究は、ロボットと人間との共同作業において、人間の動きや姿勢（動態）を観測し、ロボットから支援対象者に道具などを手渡しする動作を生成するシステムを構築することを目的とする。人間とロボットとの共同作業の形態として、「ロボットが人間の作業を補助する間接的な作業」を挙げることができる。本研究で取り上げる手渡し動作は、ロボットから人に作業に必要な道具などを手渡す作業であり、ロボットが人間の作業を補助する上で欠かすことのできない動作である。手渡し動作において、人間の動態を観察することにより、人間がロボットの動作に影響されることなく、作業を円滑に遂行することが可能となる。

[研究の内容, 成果]

上記目的を達成するため、本研究計画では、

- ① 支援対象者のリアルタイム動態認識

- ② ハンド/アームロボットリアルタイム動作計画

の、2つの研究項目を実施した。以下に、それぞれの研究内容、成果を述べる。

1. 距離画像センサ Kinect による動態計測

「ロボットが人の作業を補助する関節的な作業」では、人間の動作に合わせてロボット自身の動作を計画することが重要であることから、支援対象者の動作を逐次認識する必要がある。これまでの研究では、人間や物体の3次元点群情報を祝可能な距離画像センサを用い、人間の骨格追跡から図1に示す手の3次元点群情報を取得した。次に、この3次元点群情報から手の位置・姿勢を推定し、手の位置・姿勢から手渡し動作のための軌道生成を行った。本研究計画では、手の位置・姿勢を推定した手法を拡張し、人間の全身を複数台の距離画像センサ Kinect (図1) によりリアルタイムで計測する。

距離画像センサ Kinect は、人間に専用の機器を装着することなく、人間の動きを高精度に認識可能なセンサとして、多くの分野から注目されている。距離画像センサ Kinect に搭載さ



図1 距離画像センサ Kinect



図2 画像距離センサ Kinect により取得した RGB 画像と距離画像

れている距離情報取得センサは PrimeSense 社によって開発され、赤外線プロジェクターと赤外線センサの組み合わせで動作している。このセンサは、赤外線プロジェクターで特徴的なパターン (Light Coding) を照射し、その反射光の歪みから 3 画測定の方式で距離を導出する。距離画像センサ Kinect により計測した距離画像を図 2 に示す。

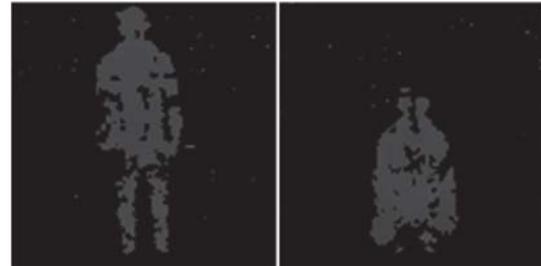
距離画像センサ Kinect の照射パターンの各点は一意的に識別できるようになっており、複数の距離画像センサ Kinect を同時に使用することが可能である。そこで、2 台の距離画像センサ Kinect を隣同士水平に並べて、2 視点分の距離情報を計測する。距離画像センサ Kinect の取得する 1 視点分の距離画像は 80x60 ピクセルであり、2 台の距離画像センサ Kinect を使用することにより、9600 ピクセルの距離情報を獲得することができる。

2. 深層ネットワークによる動態認識

距離画像センサ Kinect により取得した距離情報を基に、人間の動態認識を行う。ここで、人間の動態を認識するため、人間が日常的に行う姿勢を識別し、動的な姿勢変化を追跡する。本研究で識別する姿勢として、下記の 4 つの姿勢とした。

- ・直立姿勢
- ・しゃがみ姿勢
- ・中腰姿勢
- ・手を広げる姿勢

これらの動作は、人間が日常的に行う動作であ



(a) 直立姿勢

(b) しゃがみ姿勢



(c) 中腰姿勢

(d) 手を広げる姿勢

図3 各姿勢の距離画像

り、中腰姿勢は直立姿勢としゃがみ姿勢の中間的な姿勢である。それぞれの姿勢の距離画像を図 3 に示す。

これらの姿勢を識別する手法として、深層ネットワークを利用する。深層ネットワークは、識別問題に用いられる代表的な手法である階層型ニューラルネットワークであり、通常 3 層である階層型ニューラルネットワークの階層を十分に多くしたニューラルネットワークである。

十分に多くの層を持つニューラルネットワークは学習により識別を行うことが可能となるが、その学習法は深層学習 (Deep Learning) として知られている。これまでの識別問題では、特徴はあらかじめ決められ、その特徴に基づいて識別が行われており、その特徴が不適正な場合、識別ができないこともあった。深層学習は、表現学習とも呼ばれ、ビッグデータのような生データから、その内容を表現する特徴を学習することが可能であり、識別性能が向上する。深層学習においては、階層型ニューラルネットワークと同様、いくつかの方法が提案されているが、ここでは Restricted Boltzmann Machine を用いて、各層間の事前学習を行い、逆誤差伝播法により全体のネットワークの学習を行う。

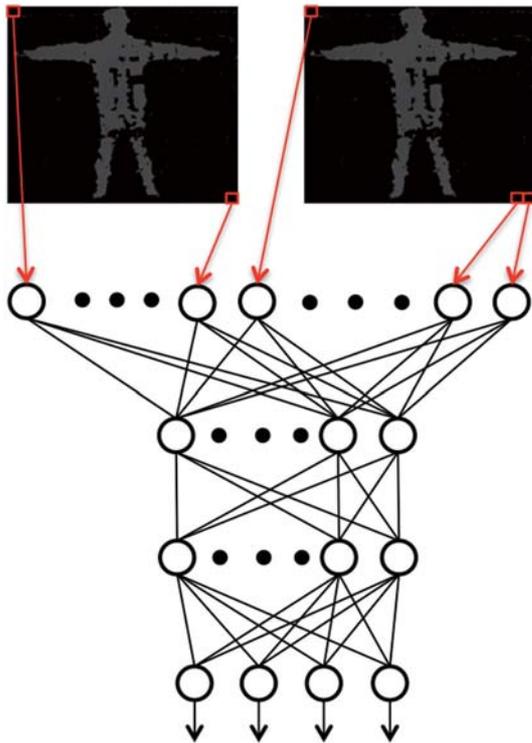


図4 深層ネットワークによる姿勢識別

深層ネットワークによる姿勢識別の概念図を図4に示す。先に述べたように、2台の距離画像センサ Kinect を使用することから、深層ネットワークの入力は、2視点分の9600ピクセルの距離情報となる。深層学習にはあらかじめ取得していた280セットの姿勢距離情報を用い、深層ネットワークの構造を獲得した。ここで、深層ネットワークは4層構造とし、第2層のニューロン数を変えて、比較実験を行った。また、3層構造のニューラルネットワークとの比較も行った。表1に学習に用いた姿勢距離情報とは異なる100セットの姿勢距離情報を用いて姿勢を識別したエラー率を示す。この結果より、ニューロン数を多くした構造(9600, 1000, 1000, 4)を持つ深層ネットワークが姿勢をよく識別できることを示している。

表1 姿勢識別におけるエラー率

Network Structure	Error Rate
(9600, 100, 1000, 4)	27.0%
(9600, 1000, 1000, 4)	21.0%
(9600, 100, 4)	37.0%

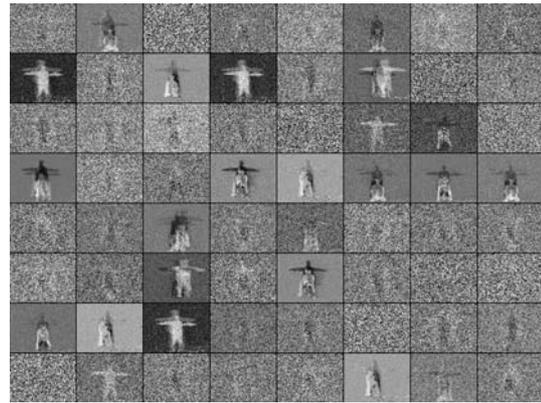


図5 入力層と中間層の重み

深層ネットワークの学習において、層間の重みがどのような反応を示しているか、可視化を行った。図5に入力層と中間層の重みを可視化した結果を示す。この結果を見てみると、人間の形をとった重みが得られていることが分かる。これより、距離情報から姿勢識別を行うための特徴が学習により獲得され、高精度な識別が可能となることが分かる。

3. ハンド/アームロボットリアルタイム動作計画

深層ネットワークによる姿勢識別により、人間の動態認識における姿勢の推移がある程度推定することができた。この姿勢の推移を基に、人間の手の位置や姿勢を推定し、人間の手の位置や姿勢に基づいた手渡し動作のためのリアルタイム計画を行う。ここで、人間は手のある程度伸ばした姿勢で手の位置や姿勢を変化させ、それに合わせたハンド/アームロボットの動作生成を行う。

図6にハンド/アームロボットによる手渡しの様子を示す。ハンド/アームロボットは、動態認識に基づき動作計画を行い、人間の手の位置や姿勢に合わせて、手渡しを行っていることが分かる。また、図7にハンド/アームロボットが手渡し動作を行った際のロボットハンドの軌跡を示す。手渡し動作中に人間の手の位置や姿勢が変化しても、リアルタイムで動作計画を実施していることが分かる。



図6 ハンド/アームロボットによる手渡し動作

これらの結果より，人間の動態計測を行うことで，ハンド/アームロボットが人間の動態に合わせ，手渡し動作が可能となった。

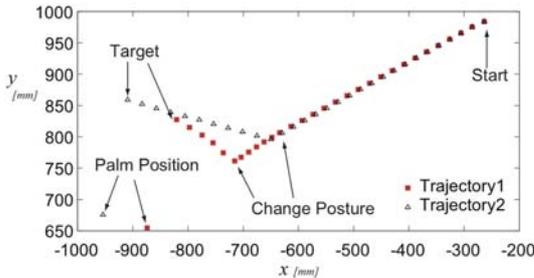
[今後の研究の方向，課題]

ロボットから人間への手渡し動作において，人間の手の動態に合わせた手渡し動作の生成が可能となったが，ハンド/アームロボットは床に固定されており，実際の人間の作業を想定した場合，作業において人間は動き回ることが多いと予想され，手渡し動作が十分に行えないことが分かった。

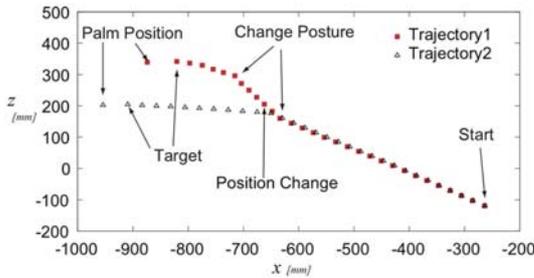
人間の動きに合わせた手渡し動作の実現のためには，移動ロボットによる手渡し動作が必要になる。今後は，環境に設置された距離計測デバイスとロボットに搭載された距離計測デバイスを用いることにより，人間の動態計測を行う。

[成果の発表，論文等]

1. Kouki Okamoto, Futoshi Kobayashi, and Fumio Kojima: Robot-Human Handover for Home-living-assistance Robot, Proc. of International Conference on Functional Materials and Applications, 2014
2. Futoshi Kobayashi, Kouki Okamoto, and Fumio Kojima: Robot-Human Handover Based on Position and Posture of Human Hand, Proc. of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 918-921, 2014



(a) yx 座標



(b) zx 座標

図7 手渡し動作におけるロボットハンドの軌跡

物語記述によるセンサネットワークアプリケーション開発環境の構築

A Development Environment for Sensor Network Applications based on Story Creation Approach

2041014



研究代表者 (助成金受領者)	豊橋技術科学大学	特任准教授	三 枝 亮
共同研究者	豊橋技術科学大学	講 師	大 村 廉

[研究の目的]

現在、一般の家庭にもセンシング能力、計算能力、通信能力を持った製品（デバイス）が普及してきており、ホームネットワークを構成して各デバイスを連携させ、人の生活を支援する技術の開発が進められている。しかし、このようなネットワークが構築できたとしても、家庭毎に使用されるデバイスの種類の違いが生じたり、種類が同じだとしても家の大きさや部屋の間取りなどが異なり、各デバイスの設置状況はそれぞれ異なることになる。同様に、家庭毎に家族構成や生活習慣は異なり、ユーザがホームネットワークに対して要求する支援の内容やその方法にもそれぞれ大きな違いが生じる。このため、ホームネットワーク上で稼働するアプリケーションは、それぞれの家庭環境や要求に応じて個別に作成したり、カスタマイズすることが求められる。

このアプリケーションの作成やカスタマイズを「誰が行うか」という点について、大きく2つの方針を考えることができる。一つは、機器のメーカーや専門業者が行う方針であり、もう一つは、家の住人が自身で行う方針である。前者の場合、専門的な技能を持つ者がアプリケーションを作成することになるため、複雑な制御を伴う質の高いアプリケーションを作成できる可能性が高い。しかし、住人の要求の伝達が上

手く行われぬ可能性も高く、結局のところ住人にとって本当に使いやすいアプリケーションを構築することは難しい。また、軽微な修正を行うような場合もその修正に時間や多大なコストがかかることになる。一方、家の住人が自身で行う場合、複雑な実行制御などを伴う高度なアプリケーションの構築は困難を伴うものの、住人自身が十分に使いこなせる開発環境が存在すれば、自分たちの生活形態に合わせた住人にとって使い心地の良いアプリケーションが構築できる可能性が高まる。また、軽微な修正を自分たちで繰り返し、頻繁に調整を行うといったことも可能になるであろう。

そこで、本研究では住人が自らホームネットワークアプリケーションを開発できるようにすることを目的とし、そのためのアプリケーション開発環境を提案する。一般的な家庭を考えた場合、最も長く家に滞在するのは主婦（母親）や子供である。このため、本研究ではターゲットユーザを主婦や子供達と考え、アプリケーション開発を「おはなし（物語）をつくる」、という幼少期に誰もが経験したであろう「遊び」に落としこむアプローチでこれを行う。

[研究の内容、成果]

本研究では、一連のアプリケーションにおける各デバイスの動作を「おはなし」として定義

できるようにするため、ホームネットワーク上の各デバイスを、物語における「登場人物」として扱えるようにする。そして、デバイスの動作を登場人物の「様子や動作の記述」として自然言語（日本語）で定義できるようにする。また、デバイス間の情報伝達を登場人物同士の「会話」として、これも自然言語（日本語）で定義できるようにする。そして、これらの一連の流れを記述することが、アプリケーション開発となるようにする。

動作記述において、自然言語（日本語）での記述の自由度を制限するため、本研究では簡潔なルール記述でありながら広範な応用が可能な方法として知られている、ECA（Event-Condition-Action）ルールに基づいて各デバイスの動作記述を行うこととした。ECAルールでは「ある出来事（Event）が起きたとき、ある状態（Condition）であれば、ある動作（Action）を行う」というルールを記述してプログラムの動作を定義する。具体的には、物語記述において各デバイスのECAルールのEventに相当する部分を「〇〇のとき」と表現するようにし、Conditionに相当する部分は「〇〇（な）ので」と表現するようにした。また、Actionに相当する部分は「〇〇（し）ました」と表現するようにした。そして、「〇〇」に相当する部分は、各デバイスの設定から読み込めるようにし、あらかじめ設定された語句から選択されるようにした。

さらに、Eventとして、他のデバイスから「『〇〇』と聞いたとき（メッセージを受け取ったとき）」、や、Actionとして「『〇〇』と言いました（メッセージを送りました）」という内容を扱えるようにし、デバイスの発話をトリガとして、別のデバイスの動作を引き起こせるようにした。これにより、デバイス同士の会話によって各デバイスが動作をすすめる状況を生み出す事ができるようにした。なお、発話内容『〇〇』については、その内容に自由度を持たせるため、ユーザが自由に決定できるようにし

た。

あるデバイスのActionが別のデバイスの動作のトリガ、すなわちEventとなるとき、そのままECAルールを書き下せば、各々に対してほぼ同じ内容を記述することになる。たとえば、「デバイスAは……『〇〇』と言いました。」と記述し、その直後に「デバイスBは『〇〇』と聞いたので……」と記述する必要がある、冗長、かつ、日本語としても不自然となる。本研究では、接続詞を利用してこの冗長性を排除した。たとえば、「すると」という接続詞でつなげば、前のデバイスのActionに記述される内容が、次のデバイスのEventと自動的に設定されるようにした。

例として、温度計とストーブがそれぞれ存在し、「室温が10度になった時、ストーブをつける」という動作をするアプリケーションを考える。これを本研究の手法では、「温度計さんは、気温が10度になったとき、『寒い！』と言いました。すると、ストーブさんは、電源が入っていませんでしたので、電源を入れました。」というように、一つの短い「おはなし」として書くことになる。なお、「温度計さん」や「ストーブさん」という名称は、「太郎」などの固有名詞としても構わない。

上記を実現するアプリケーション開発環境をAndroid Tablet 端末上に構築した（図1）。アプリケーション開発環境では、物語を記述する雰囲気を出すため、文章を記述していく流れでデバイスの動作と会話の定義を逐次的に行える

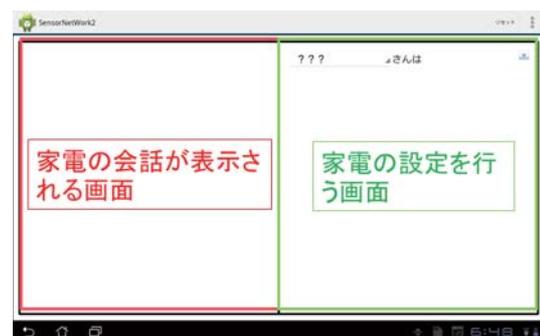


図1 初期画面

ようにした。そして、記述されたデバイス同士の会話の様子をユーザが直観的に理解できるように、同画面上に各デバイスのアニメーションアイコンを表示し、記述された会話内容をチャット形式で吹き出しに表示するようにした。図1に示すように、画面を二等分し、右側にデバイスの動作を記述する部分を設け、左側にデバイス同士の会話を表示する部分を設けた。

シナリオを実現するにあたり、図1の状態から、まず、右画面のプルダウンからデバイスの選択を行う。プルダウンにはデバイスの名前が格納されている。プルダウンを押したときの画面を図2に示す。図2の例では分かりやすさのため、「コーヒーメーカー」や「温度計」など一般名詞が記載されているが、前述のように固有名詞を割り当てても構わない。

デバイスの選択を行うと、図3に示すように、選択したデバイスに対応する Event, Condition, Action に対応する語句が含まれたプルダウンが表示される。このプルダウンから、適切なものを選択する。上記の例に従い、温度計の

Eventとして「部屋の温度が???度だったとき」を選択した場合の画面を図4に示す。なお、「???」の部分は変数として扱うことができるようになっており、ここでは「10」を設定した。

イベントの選択を行うと、再度 Action と Condition のプルダウンが挿入される。その中から「???と言いました」を選択すると、エディットボックスが挿入され、自由なメッセージを入力することができる。これが終了すると、図5に示すように、左画面にはデバイスのアイコンが表示され、吹き出しにメッセージの文字が反映される。ここまで完了すると、接続詞のプルダウンが表示され、接続詞のプルダウンから「すると」を選ぶと、最初に戻り、デバイスを選択するプルダウンが挿入される。以下は上記と同様の手順をくり返し、最終的に接続詞のプルダウンにおいて「終了」を選択すると、一連の流れの定義が終了する。

このアプリケーション開発環境、および、ECA ルールが動作する実行環境を搭載した各



図2 デバイス選択



図4 Event の設定



図3 Event の選択



図5 接続詞の選択

種デバイス（空気清浄機、オーディオ、ライト、ストーブ、扇風機、テレビ、コーヒーメーカーなど）を、豊橋市子供未来館にて開催された「青少年のための科学の祭典」にて展示を行った。そして、実際に来場者に本研究で作成したアプリケーション開発環境を用いてアプリケーションの作成を行ってもらい、使用後にアンケート調査を行った。この時の被験者は計23名（小学生以下18人、高校生1人、社会人5人）である。なお、アンケートは大人向けと子供向けに分けた。これらは、内容は同じであるが、子供用のものは漢字の量を減らすと共に、なるべく平易な質問のしかたとなるよう心がけて作成した。子供向けアンケートの質問項目を表1に示す。また、アンケートの結果を図6に示す。

全体を通して、子供と大人ではほぼ同様の傾向を示し、Q1やQ5以外は平均4点以上と良好な結果を得た。特に、Q2やQ4では高い点数を獲得している。このことから、被験者は楽しんでアプリケーション開発が行えていること

表1 アンケート質問内容

	質問内容
Q1	「おはなし」を作るのはかんたんだとおもいましたか？
Q2	「おはなし」をつくるのはたのしかったですか？
Q3	いえのモノたちの「おはなし」をつくっているような感じがしましたか？
Q4	モノどうしがおはなしすることは、おもしろいと感じましたか？
Q5	ともだちにつかいかたをおしえてあげられますか？
Q6	ともだちといっしょにつかいたいですか？
Q7	お母さんやお父さんといっしょにつかいたいですか？
Q8	これをつかって、べつ「おはなし」をつくってみたいとおもいましたか？

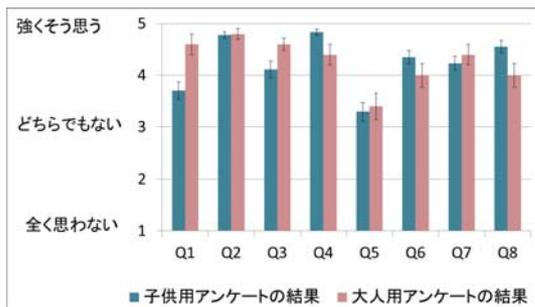


図6 アンケート結果（大人と子供）

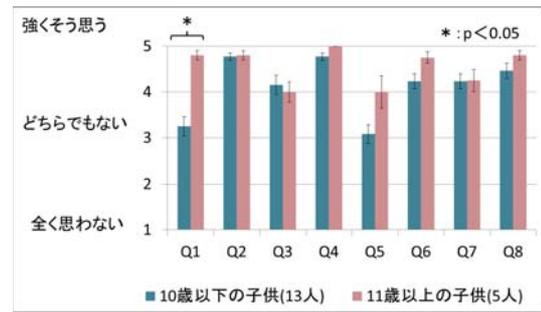


図7 アンケート結果（10才以下と11才以上の子供）

がわかり、本研究での物語記述アプローチの有効性が示された。

一方で、Q1、Q5は、3点以上を獲得しているものの、多少低めの結果が出た。Q1について、実験中、低学年の子は文字の理解が困難である様子やタブレットの文字入力に難儀するケースが見られた。このため、子供内で10才以下と11才以上に分けて結果を集計したところ、図7のように、Q1には優位な差が現れた。このことから子供についてQ1の結果が低く出たことは低学年の子供に対する文字の表示や入力が入力原因だったと推察出来る。また、Q5については、自由記述の結果などから、被験者が開発環境に触れていた時間は僅か数分から数十分であるため、他人にその使い方を教えられる程には習熟できず、結果が低くなったものと考えられる。

これらの結果から、特に低学年のユーザに対しては、文字の表示や入力方法に対して考慮は必要であるものの、ホームネットワークアプリケーションの作成において、物語記述によるアプローチは小さな子供にも有効であり、楽しみながらその開発を行うための有効なアプローチとなることが示唆された。

[今後の研究の方針、課題]

上記のように、物語記述によるアプローチはホームネットワークアプリケーション開発のきっかけとして良好な結果をえることができたが、継続的な利用に対しての評価は未知であ

る。今後、ホームネットワークアプリケーションを継続的に利用する中で、ユーザに受け入れられるかどうか、を調査する必要がある。

特に、本研究では、多くのユーザは一意的なアプリケーションの動作で満足するであろう、と推測し、条件分岐など複雑な動作の流れを伴う要素を排除した。今後、この推測の妥当性について確かめる必要がある。また、併せて、継続的に利用した場合の、ルールの改変方法など

を検討して行きたいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

大村 廉, 吉澤 実, 三枝 亮: 物語記述によるセンサネットワークアプリケーション開発環境の提案, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2015), 7月, 2015 (発表予定)

ヒト iPS 細胞由来ニューロンのエレクトロセンシング技術の開発

Development of electro-sensing techniques in human iPSC derived neurons

2041015



研究代表者

東北工業大学

講師

鈴木 郁 郎

[研究の目的]

ヒト iPS 細胞の大量培養法と各細胞への分化技術の発展により、ヒト細胞を用いた疾患メカニズムの解明や創薬スクリーニングにおける動物実験を代替する評価モデルとしての応用が期待されている。ヒト iPS 細胞から分化させた神経系においても、その潜在需要は非常に高いが、培養した神経細胞の機能に着目した評価系が確立していないことがボトルネックとなっている。本研究では、神経ネットワークの情報伝達場であるシナプス機能（プレシナプスから放出される神経伝達物質とポストシナプス電位）を培養細胞から非侵襲、長期間、リアルタイムに定量計測可能なオンチップエレクトロセンシング技術の開発を目的とする。具体的には、カーボンナノチューブ微小電極を用いた神経伝達物質計測技術と人工的に構築した3次元脳組織モデルによるシナプス後電位計測技術の開発である。

[研究内容, 成果]

1. 微小櫛型カーボンナノチューブ電極を用いた神経伝達物質のリアルタイム計測技術の開発

培養細胞から放出される神経伝達物質を計測するために、電極上に細胞を培養し、電気化学

計測にて計測する手法に着目した。微量な神経伝達物質をリアルタイムに計測するためには、高感度な電極を作製する必要がある。我々は、電極材料としてカーボンナノチューブ、電極構造として微小櫛型電極に着目し、独自に開発したカーボンナノチューブ電解めっき法を用いて電極の開発を行った。櫛型電極は、酸化電極と還元電極が交互に配置されており、電気化学活性種の酸化還元が繰り返し行われるレドックスサイクルにて、検出される電流値を増大させる技術である。

微細加工技術で作製した ITO 櫛型電極上に竹筒型構造を有している多層カーボンナノチューブを電解めっきによりコーティングした。作製した電極上にヒト iPS 細胞由来ニューロンを培養し、電気化学計測であるクロノアンペロメトリー法で計測を行った。図 1A はカーボンナノチューブ櫛型電極上に培養したヒト iPS 細胞由来ニューロンを計測後に免疫化学染色した画像である。神経細胞のマーカーとして MAP2 抗体 (緑)、ドーパミンニューロンのマーカーとして Tyrosine Hydroxylase 抗体 (赤) を用いて染色した。約 20% のニューロンがドーパミンニューロンであり、電極上に培養されていることが確かめられた。図 1B はドーパミンの酸化電位である 0.3 V に片側の酸化電極を固定し、-0.25 V に対する還元電極を固定して電流計測した結果である。神経細胞からの

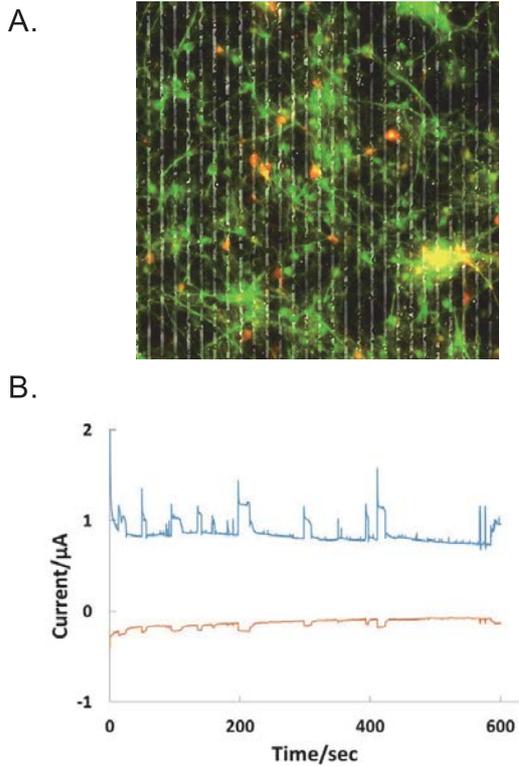


図1 カーボンナノチューブ微小櫛型電極上に培養したヒト iPS 細胞由来ニューロンとドーパミン放出のリアルタイム計測

ドーパミン放出が電流値の変化として観察された。青が酸化電極でオレンジが還元電極から得られた電流値である。0 V 固定化では電流値は得られず、ドーパミン取り込み阻害薬投与において、電流値の上昇が得られたこと、ドーパミンニューロンが混在しない、グルタミン酸ニューロンおよび GABA ニューロンからは電流値の変化は見られなかったことから、ドーパミンの反応であることがわかった。

これらの結果により、作製したカーボンナノチューブ微小櫛型電極によりヒト iPS 細胞由来ニューロンから放出されるドーパミンをリアルタイムかつ高感度に計測できることが示唆された。

2. 3次元人工脳スライスモデルを用いたシナプス後電位計測技術の開発

神経ネットワークの情報伝達場であるシナプス機能を調べる上で最も重要な計測としてシナ

プス後電位計測がある。しかしながら、培養細胞から非侵襲、長期間、リアルタイム計測できる技術はなく、長期的な薬剤効果や神経回路動態を評価することはできない。そこで、本研究開発では、人工的に脳スライスモデルを3次元再構築することで、集合シナプス後電位を発生させ、細胞外で電位計測する技術の開発を行った。3次元組織化することで微弱なシナプス電流を集合させて計測するアイデアである。

コラーゲングルとゼラチンの相転移温度を利用して人工脳スライスを作製した。PDMS シートに $2 \times 2 \times 2$ mm のマイクロチャンバを作製し、チャンバ内の壁面にゾル状のゼラチン溶液を薄く塗布後、 4°C 環境下で冷却しゼラチンをゲル化させた。次に、細胞を懸濁したゾル状のコラーゲンを PDMS チャンバ内に適量播種後、 CO_2 5%, 37°C 環境下で30分間インキュベーションした。ゼラチンがゾル化し、コラーゲンはゲル化することで人工3次元脳スライスを得ることができた。

ゲル内での細胞の生存と密度を確かめるために、切片を作製し、HE染色を行った。(図2)

HE染色の結果、厚さ約2mmの組織モデルであり、満遍なく細胞が分散し、3次元ゲル内に生存していることがわかった。また、密度を計算したところ $58,867 \pm 2,016$ cell/mm³であり、ヒト大脳皮質の細胞密度 30,000~80,000 cell/mm³と同等の細胞密度を有していた。

作製した人工脳スライスモデルから集合シナ

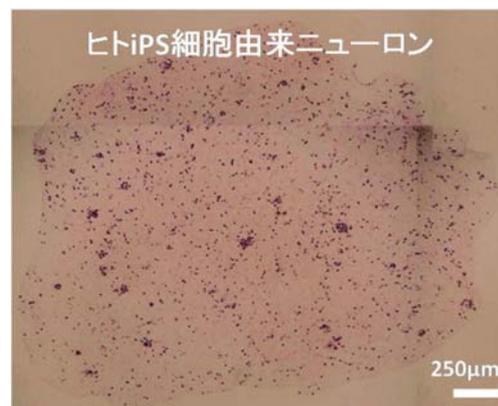


図2 人工3次元神経組織モデルのZ軸断面のHE染色画像

プス後電位 (fPSP) を計測するために、平面微小多電極アレイチップ上に脳スライスモデルをマウントし、計測した (図 3)。計測装置は MED64 (Alpha Med Scientific Inc.) を使用した。fPSP を計測するため、Low cut filter 1 Hz に設定し、37°C, CO₂ 5% のインキュベーター内で計測を行った。刺激応答実験は、Single Pulse 刺激を人工脳スライスに $-50 \mu\text{A}$ から $-70 \mu\text{A}$ の電流値で与え、刺激後の応答を計測した。また、取得波形が細胞由来であることを確かめるために、計測後、サンプルを 4°C で 1 時間冷蔵し、同様の計測を行った。図 3A は得られた自発活動データを示している。

自発活動計測をした結果、ゆったりとした成分の波形が観察された。緩やかな波形の変動中にスパイク成分 (活動電位) が観察されたこと、4°C では波形が見られなかったことから、細胞由来の波形であることが確認された。また、電気刺激計測においても、同様の波形成分が観察された。電気刺激に対する応答が観察されたことから、脳スライスで行われているシナプス後電位の解析と同様のことが、人工 3 次元神経組織モデルにおいてもできることが示唆された。

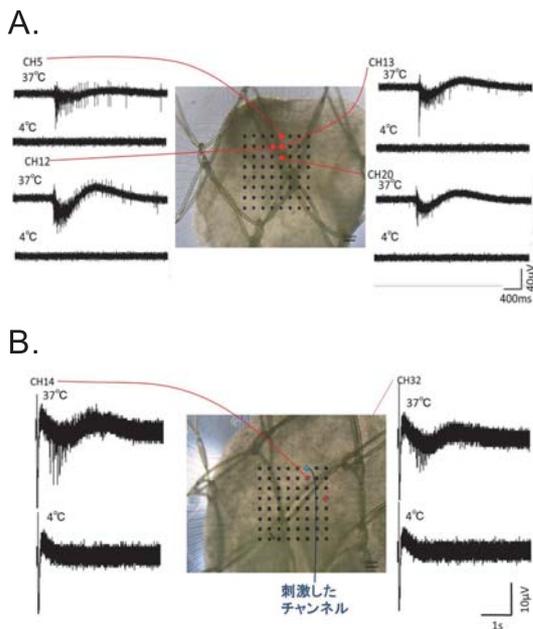


図 3 人工 3 次元神経組織モデルを用いた平面微小多電極アレイによる細胞外電位計測

得られた波形がシナプス活動の変化によってどのように変化するかを調べるために、代表的なシナプス受容体阻害剤の投与実験と高頻度電気刺激による効果を検討した。電気刺激に対する応答に着目して得られた波形 (緩やかな成分) の面積、高さ、深さ、傾きとスパイク成分であるスパイク数、バースト発火時間をそれぞれ比較解析した。

図 4 は、GABA-A 受容体の阻害剤である Bicuculline, NMDA 型グルタミン酸受容体の阻害剤である D-AP5, AMPA 型グルタミン酸受容体の阻害剤である CNXQ を投与した時に得られた波形を解析した結果である。波形の面

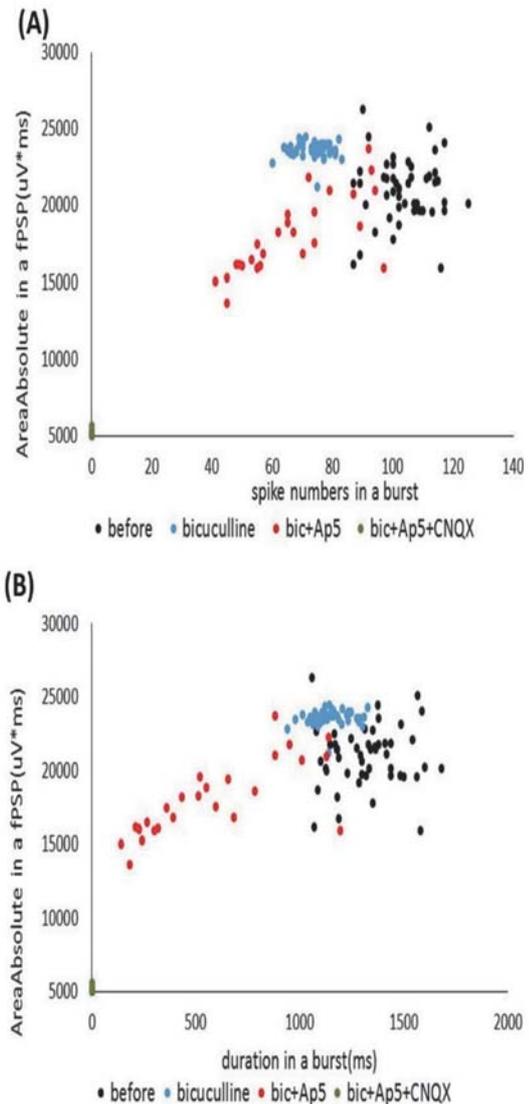


図 4 波形成分解析

積 v. s. スパイク数, 波形の面積 v. s. バースト発火時間を示しているが, スパイク成分と波形の面積には相関関係は見られなかった。また, 薬剤により, 分布が分かれていることがわかった。これらの結果より, 緩やかな波形成分はスパイク数に必ずしも依存しないことがわかり, シナプス電流由来である可能性が示唆された。

[今後の研究の方向, 課題]

カーボンナノチューブの電解めっき技術を用いて, カーボンナノチューブ微小櫛型電極を作製した。作製したカーボンナノチューブ櫛型電極チップ上にヒト iPS 細胞由来ドーパミンニューロンを培養したところ, 培養 2 週間目以降において, 細胞から放出されるドーパミンのリアルタイム計測に成功した。ヒト iPS 細胞由来ニューロンからの神経伝達物質をリアルタイムに計測した世界初の事例であり, 本技術は今後のヒト神経疾患メカニズムの解明や薬剤スクリーニング技術などへの応用が期待できると考えている。得られた波形からのドーパミン濃度の算出やより少数のドーパミンニューロンからの応答を検出することが今後の課題である。

人工的に神経細胞を集積化させた 3 次元脳スライスモデルを用いることで, 脳スライスで見られる fPSP 波形と類似の波形が観察された。

その波形は細胞由来の波形であり, 薬剤投与において変化が見られた。本研究により, 培養細胞からシナプス後電位を計測できる可能性が示唆された。今後, 得られた波形がシナプス後電流由来の波形であるかを脳スライスデータとの比較検証, およびパッチクランプ法との同時計測などによる直接的検証が必要であると考えている。

[成果の発表]

- (1) M. Fukuda, K. Shirakawa, H. Jiko, I. Suzuki: Carbon nanotube multi-electrode array chips for noninvasive real-time measurement of dopamine, action potentials, and postsynaptic potentials, 9th MEA meeting, 2014
- (2) I. Suzuki: Noninvasive real-time measurement of dopamine, action potentials, and postsynaptic potentials using carbon nanotube electrodes chip, 第 52 回日本生物物理学会, 2014
- (3) 長谷川裕士, 北村渉, 鈴木郁郎: 高感度神経伝達物質計測を可能にするカーボンナノチューブ平面微小電極アレイの開発, H27 年度東北地区若手研究者研究発表会
- (4) 港広大, 北村渉, 長谷川裕士, 鈴木郁郎: カーボンナノチューブ微小平面電極を用いた H₂O₂ の高感度計測法の開発, H27 年度東北地区若手研究者研究発表会
- (5) 船橋祐貴, 青木俊輔, 小田原あおい, 鈴木郁郎: 3 次元人工脳スライスモデルの用いたシナプス後電位計測技術の開発, H27 年度東北地区若手研究者研究発表会

人工視覚システム開発のための基礎研究

～失った光を取り戻す～

Basic study for the development of artificial vision system

—— Restoring the lost vision ——

2041016



研究代表者 大阪大学大学院 医学系研究科 JSPS 特別研究員 相馬 祥吾

[研究の目的]

視覚系において、網膜色素変性などによる視細胞変性、緑内障などによる神経節細胞変性、視神経への外傷、脳梗塞などのように、網膜から視覚皮質に至る視覚神経回路の一部の機能が損なわれると、永続的な視覚機能障害を発生する。これらの障害により失われた視覚機能を回復する治療法は未だに確立されておらず、その開発は急務の重要課題である。こうした患者の視覚機能回復をめざして人工視覚システムの研究開発が行われているが、大きな成果は得られていない。

これまで、網膜色素変性モデル動物である RCS (Royal College of Surgeons) ラットを用いて視覚機能の低下抑制や回復のための様々な研究が行われてきたが、それらの多くは、細胞レベルの研究であり、実際に RCS ラットがどの程度の視覚機能を有し、経時的にその機能が低下し、現在の人工視覚システムによりどの程度まで回復できるのかを体系的に調べた研究はない。その原因の一つとして、正常な視覚機能を有するラット (例えば、Long-Evans ラット) を含めたげっ歯類に視覚機能を測定するための視覚刺激検出課題や視覚刺激弁別課題などの行動実験課題を学習させるのが困難であり、多大な時間 (通常 2ヶ月程度) を必要とすることがあった。このことは、成長に伴い視覚機能を

失っていく RCS ラットで特に問題となり、課題を学習する以前に視覚機能の低下が進行してしまい、その機能を測定することが困難であった。そこで本研究では、げっ歯類において短期間に視覚機能を測定するための行動実験装置とプロトコルを開発し、RCS ラットの視覚機能と初期視覚野における神経細胞の応答性を経時的に測定することで、ヒトにおける人工視覚システム発展のための基礎データを提供可能とする基盤作りを目指す。

[研究の内容、成果]

動物実験において人工視覚システムの研究・開発を行うにあたり、RCS ラットが短期間で視覚刺激検出課題を学習可能な実験システムを構築する必要がある。本研究室では、新規の行動実験装置を開発することで学習期間の短縮 (約 2 週間) に成功している (図 1A, B, Soma et al., *Behav. Brain. Res.*, 2013)。ラットは、この装置内に設置された 3 つのレバーを手や口を使って操作することができる。中央の開始レバーを操作すると、眼前にあるモニターの左右どちらかに縞刺激が呈示される。刺激を検出し、刺激側のレバーを操作すると報酬としての水がレバー先端から与えられる。このとき、ラットが正解する毎に、縞刺激のコントラストを徐々に小さくしていくことで (階段法)、

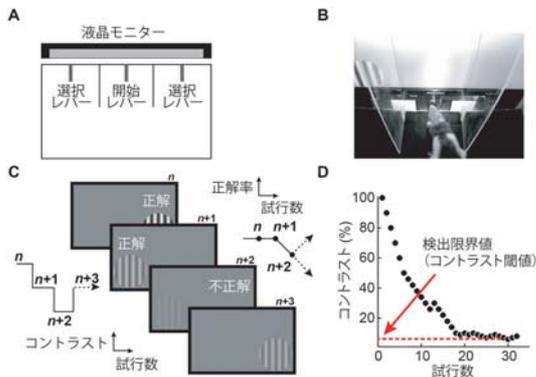


図1 げっ歯類における視覚刺激検出課題用オペラント装置 A-B, オペラント装置の図解 (A) と写真 (B)。C-D, 階段法によるコントラスト感度の測定。二者択一強制選択課題において、ラットが正解した場合は報酬として水が与えられ、次の試行のコントラストは低下し ($n, n+1$)、一方、不正解の場合は、報酬は与えられずに次の試行のコントラストが上昇する ($n+2$; C)。これを繰り返すことでラットのコントラスト検出限界能を評価することが可能となる。ここに示した典型例では、7%のコントラストを検出できたため (\leftarrow)、コントラスト感度は $100/7=14.3$ と評価される (D)。Soma et al., Behav. Brain Res., 2013 より改変。

ラットの視覚刺激検出限界能 (コントラスト感度) を直接的に測定することができる (図 1C, D)。

しかし、この装置において、我々は学習の効率化には成功したものの、個々の動物の学習速度はコントロールすることができなかった。つまり、この装置を使用しただけでは、個々の動物の学習度合いが大きく異なってしまう、結果として視覚機能の測定を開始できるラットの週齢に大きな差が生じてしまう問題があった。RCS ラットの視覚機能は日々低下していくため、その視覚機能を評価する上で、個体差なく短期間で課題を学習可能なプロトコルを新たに開発する必要があった。個体差の生じる原因として、学習過程において各ラットが最適であると学習してしまった戦略に固執していることが推測されたため、これを自動で修正するプログラムを考案し、これを正常なラットにおいて試したところ、ほとんど個体差なく短期間で視覚刺激検出課題の学習に成功した [図 2, 論文 (1) Soma et al., *Physiol. Rep.*, 2014]。

これを RCS ラットに適用したところ、短期

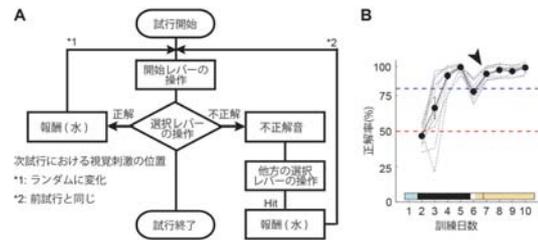


図2 短期訓練による視覚刺激検出課題の学習

A, 二者択一視覚刺激検出課題における訓練用プロトコル。ラットが開始レバーを操作することでモニターの左右どちらかに視覚刺激が呈示される。視覚刺激が呈示されている側の選択レバーを操作することで報酬が与えられ、その試行は終了する。正解の場合、次の試行の視覚刺激はランダムに呈示される (*1)。不正解のレバーを選択した場合は、不正解音のみが与えられ、視覚刺激はそのまま呈示され続ける。このときラットは選択しなかった側のレバーを操作することで報酬が得られ、次の試行の視覚刺激は同じ側に呈示される (*2)。このプロトコルにより、正解・不正解に関わらず、ラットは1試行で必ず1度報酬を獲得でき、訓練初期のラットにおいてもモチベーションを損なうことなく短期間で学習が可能となる。B, 新規考案プロトコルを用いた場合のラットの学習曲線。ラットは個体差無く7日で視覚刺激検出課題を学習できた。Soma et al., *Physiol. Rep.*, 2014 より改変。

間で視覚刺激検出課題を学習させることに成功した。生後6週間のRCSラットは正常なラットと類似した低空間周波数通過型のコントラスト感度曲線を有していたが、その感度は正常ラットよりも劣っていた。その後、さらに、コントラスト感度の計測を続けた結果、RCSラットのコントラスト感度が低下する過程を観察することに成功した (図 3A-C)。

また、同じ週齢のRCSラットの視覚脳領域において、コントラスト感度の測定に用いた視覚刺激に対する視覚応答を測定し、逆相関法で解析した結果、初期視覚系である上丘、外側膝状体、一次視覚野においてコントラスト反応曲線の低下と類似した視覚応答の減弱を観察できた (図 3D-F)。これら形態視における心理物理学、および電気生理学のデータは、人工視覚システムにおいて電極の設置領域や時期特異的にそのパラメータを調節する上で重要な基礎情報となると期待できる。

また、我々は形態視の経時変化だけでなく、明暗視の経時変化を測定するための行動実験装置を開発した (図 4A)。六角形の装置内には

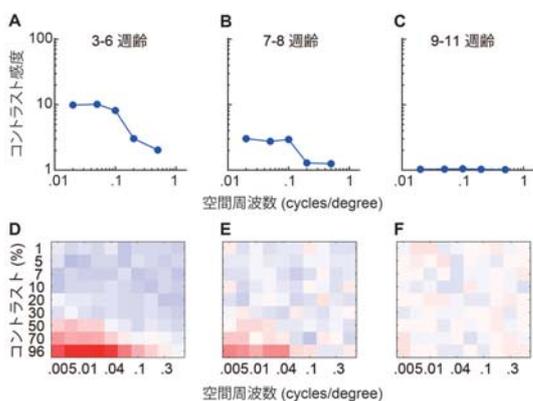


図3 RCS ラットにおける形態視の減衰 (3-6 週齢: A, D; 7-8 週齢: B, E; 9-11 週齢: C, F) A-C, RCS ラットにおけるコントラスト感度曲線の経時変化。D-F, 一次視覚野ニューロンにおけるコントラスト-空間周波数応答関数の経時変化。コントラスト感度曲線と類似して高コントラスト・低空間周波数での応答性が強かったが(赤色表示), 週齢が増えるに伴い応答性が消失していく様子が分かる。

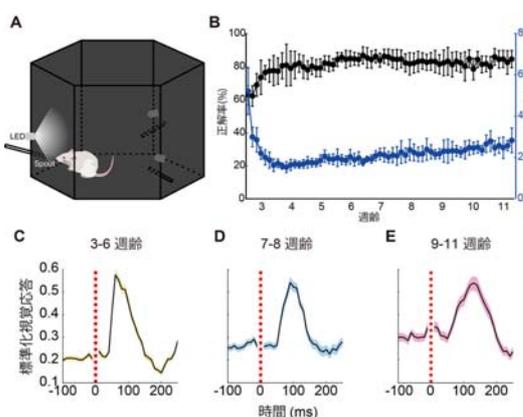


図4 RCS ラットにおける明暗視の経時変化 A, 明暗視の機能評価用行動装置, B, 明暗視の経時変化。11 週齢目においても光刺激の検出能は低下していないが(正解率), 正解のスパウトを選択するまでの時間(反応時間)が長くなっている。C-E, 高輝度光刺激に対する一次視覚野ニューロンの視覚応答経時変化。視覚応答の強度に変化は見受けられないが, 応答潜時(ピークに達するまでの時間)が徐々に遅くなっている。

3ヶ所に LED とスパウト (ラットが水を得るための給水口) が設置されており, ラットは LED が点灯した箇所のスパウトをリッキングする(舐める)ことで報酬としての水を得られるようになっていく。この装置を用いて RCS ラットの明暗視を 3 週齢から 11 週齢まで測定した結果, その成績は低下しなかったが, 反応速度(LED 点灯からリッキングまでの時間)は徐々に遅れていくことを明らかにした(図

4B)。これは, 視細胞の死滅に伴い, 視覚領野の神経細胞が活動するのに必要な入力強度が減少し, 明暗情報が視知覚にのぼるまでの時間が遅延したことによると考えられる。実際, 高輝度光刺激を用いて, 明暗に対する視覚応答を測定した結果, 先の 3 つの視覚領野において, 視覚応答の潜時(視覚刺激呈示から視覚応答が生じるまでの時間)が遅れることを確認できた(図 4C-E)。

以上の結果は, 形態視が先行して低下し, その後, 明暗視が失われていくことを明らかにしており, 人工視覚システムの刺激電極位置として上丘, 外側膝状体, 一次視覚野のいずれも候補となりうることを示唆している。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 短期間でげっ歯類が視覚刺激検出課題を学習可能な装置とプロトコルを開発することで, 網膜色素変性モデル動物である RCS ラットの明暗視・形態視がどのような時間スケールで減衰していくのかを行動レベルと神経細胞レベルの両方で明らかにした。これらの基礎情報は, RCS ラットにおいて人工視覚システムを開発・評価していく上で有用であると考えられる。

人工視覚システムを開発する上で, 明暗視の機能回復を実現することは最初のステップとして重要であるが, 最終的には形態視の機能を回復させることが必要である。げっ歯類を用いた人工視覚システムの研究では, 研究者らが人工的に動物の視覚を剥奪し, その後, 視覚神経回路を賦活することで人工視覚システムの評価をしてきた。これらの研究は視神経への外傷や脳梗塞などの急性的な失明を模倣しており, 視覚神経回路の大幅な再構築が起らない状況での研究である。一方, RCS ラットは進行性に視覚機能消失するため, 進行に伴った神経回路の再構築が生じると考えられる。実際, 本研究にて, RCS ラットは 9-11 週齢で完全に形態視の

機能を失うが、明暗視の機能は残存していることが明らかとなった。このような状態は人における進行性の視細胞や神経節細胞変性と類似しており、この時期の RCS ラットを用いて人工視覚システムの刺激パラメータを評価することが重要であると考えられる。現在、本研究室にて、視覚機能を回復するための人工視覚システムを開発中である（図5）。この装置の機能評価を9-11週齢の RCS ラットにて行うことで、残存する視覚システムを有効に生かした人工視覚システムの開発にも取り組みたい。

今後は、本研究で得られた行動実験装置や学習プロトコル、並びに、基礎データを有効活用して、急性的な失明に対するアプローチと進行性の失明に対するアプローチを区別した上での人工視覚システムの研究開発を実施することで、その開発・改善が大きく進展することが期待できる。

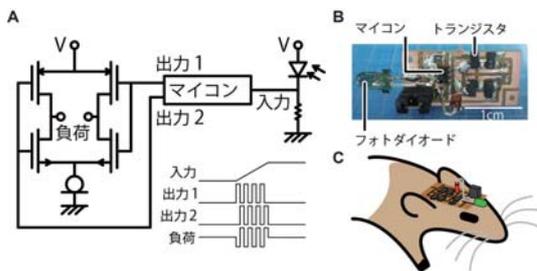


図5 RCSの視覚機能を回復するための人工視覚システムの開発。A, 人工視覚システム回路図。右下はタイミングチャート。フォトダイオードを用いて輝度変化を検出し、変化量に応じて電気刺激パルスを一次視覚野に与える。マイコンから位相を逆にした2つのパルス列を出力し、4つのトランジスタを用いて二相性電気刺激パルスを負荷部に生じさせる。B, 人工視覚システム写真。使用前にはポリアミド樹脂で包埋することで防水処理を行う。C, 人工視覚システム装着想定図。一次視覚野に埋植した刺激電極と頭部に固定した人工視覚システム負荷部を繋ぐ。電源にコイン型電池を用いることで、自由行動下でも使用可能。

[成果の発表, 論文等]

論文

- (1) Shogo Soma, Naofumi Suematsu, and Satoshi Shimegi. "Efficient training protocol for rapid learning of the two alternative forced-choice visual stimulus detection task", *Physiological Reports*. (2014), 2 (7), e12060, pp. 1-11. doi: 10.14814/phy2.12060.

国際会議

- (1) Shogo Soma, Naofumi Suematsu, and Satoshi Shimegi. "Behaviorally measured visual contrast sensitivity of Royal College of Surgeons Rats and its temporal loss", The 44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, 433.05, Washington D.C., U. S. A, Nov, 17, 2014.
- (2) Naofumi Suematsu, Akinori Sato, Akihiro Kimura, Satoshi Shimegi and Shogo Soma. "Quantitative evaluation of perceptual and neuronal brightness vision of retinitis pigmentosa model rat", The 45th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Chicago, U. S. A, Oct, 2015.

国内会議

- (1) 佐藤彰典, 相馬祥吾, 末松尚史, 七五三木聡, "網膜色素変性モデル動物におけるコントラスト感度の経時的評価", 平成26年度視覚科学フォーラム, 群馬, Session V. 15, 2014年8月19日.
- (2) Shogo Soma, Naofumi Suematsu, and Satoshi Shimegi. "Measurements of contrast sensitivity in the Royal College of Surgeons Rats", The 37th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, P2-134, Kanagawa, Sep, 12, 2014.
- (3) 末松尚史, 相馬祥吾, 佐藤彰典, "網膜色素変性モデルラットの経時的に減弱する視覚機能", 人工視覚ミーティング, O1, 大阪, 2014年10月9日.
- (4) Akinori Sato, Naofumi Suematsu, Satoshi Shimegi, and Shogo Soma. "Gradual loss of visual ability in the animal model of Retinitis pigmentosa", The 92th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Hyogo, Mar, 21, 2015.

会話型ヒューマンインターフェースに向けた ナノ材料電子機械フレキシブルデバイス

Nanomaterial-based mechanical electro flexible devices toward human interactive interfaces

2041017



研究代表者

大阪府立大学

助教

竹井 邦 晴

[研究の目的]

本研究では、次世代のエレクトロニクスそしてヒューマンインターフェースとして期待されているウェアラブル・フレキシブルデバイスの実現を目指し、フレキシブル基板上への各デバイスの集積化技術の確立を行うことを目的とする。特に、ナノ材料を用いた歪みセンサや温度センサ、さらにフレキシブル回路としてCMOS回路の提案及び作製技術の開発を行う。ウェアラブル・フレキシブルデバイスには、「低価格」且つ「使い捨て」が重要な要素になる。そこでまずセンサ形成技術として、完全印刷法による大面積、低価格化を実現する作製方法を提案する。集積回路については現状、印刷法のみによる作製は困難であるため、プロトタイプとして一般的な半導体プロセスを用いることでその可能性を示唆する。本デバイスの応用としては、図1のような絆創膏のように人の皮膚に違和感無く添付することで、リアルタイム

に体の状態の観察などを可能にする「安心・安全・快適なデバイス」及び「人・環境に優しい次世代デバイス」の可能性を示唆する。

[研究の内容, 成果]

本研究では、将来のウェアラブル・フレキシブルデバイス実現へ向けた、各デバイスの要素技術の開発を行った。その詳細について以下に述べる。

1. 印刷技術によるフレキシブル歪みセンサ

高感度フレキシブル歪みセンサ実現に向け、本研究ではカーボンナノチューブ (CNT) インク (SWeNT, USA) と銀ナノ粒子 (AgNP) インク (Paru, Korea) の混合インクを形成することで、フレキシブル基板上へスクリーン印刷によるセンサ形成を目指した。本歪みセンサは抵抗変化型であり、抵抗の変化率を計測することで歪み量を算出することが可能となる。これまでの実験で、CNT インクと AgNP インクの混合比を変化させることで歪み感度を調節可能であることがわかっている。本研究では図1に示すような健康管理を実現するウェアラブル・フレキシブルデバイスとして、本歪みセンサを脈拍計測へ応用することを提案した。脈拍計測には、CNT/AgNP インク=5:3の混合比を用いた。これまでの研究で、5:4の混合比



図1 将来のフレキシブル・ウェアラブル健康管理デバイスのイメージ図

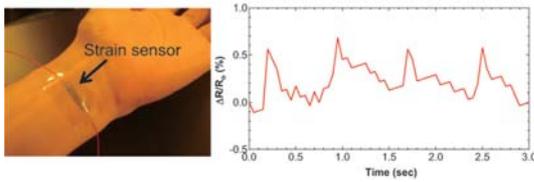


図2 印刷形成した歪みセンサを用いた脈拍計測

で感度が最大になることがわかっているが、5:4の混合比では人間の僅かな動作や振動も計測してしまうため、今回は感度が若干落ちる5:3の混合比を用いた。このように用途に応じて、本歪みセンサはデザインを変えることなく感度を調整することが可能である。実際に本歪みセンサを手首に添付することで測定した脈拍の結果を図2に示す。被験者は、34歳の男性であり、脈拍は～75 BPM（1分間当たりの脈拍数）であることがわかり、本歪みセンサがウェアラブルデバイスとして脈拍の測定が可能であることを示すことができた。

2. 印刷技術によるフレキシブル温度センサ

印刷形成する温度センサとして、これまでCNTインク（SWeNT, USA）と導電性ポリマーのPEDOT:PSS（Sigma Aldrich, USA）溶液を混合させることで実現してきた。本温度センサも、歪みセンサ同様、抵抗変化型のセンサである。本温度センサは、CNTとPEDOT:PSS界面による電子の温度に対するホッピング伝導の確率を計測する原理となっている。そこで本研究では、温度センサのさらなる高感度化を目指しホッピング伝導確率の向上へ向けCNTインクとPEDOT:PSS溶液の混合比の最適化を行った。実験は、単純に混合比を変化させた場合のそれぞれの温度に対する抵抗変化率の計測を行った。図3に混合比と温度に対する感度（1℃の変化に対する抵抗変化率）を示す。本結果から混合比3:1（=PEDOT:PSS溶液:CNTインク）で最大感度～0.8%/℃を得ることができた。このように印刷形成した温度センサであっても、一般的に市販されているPt温度センサ（～0.6%/℃）と比べ、若干であるが

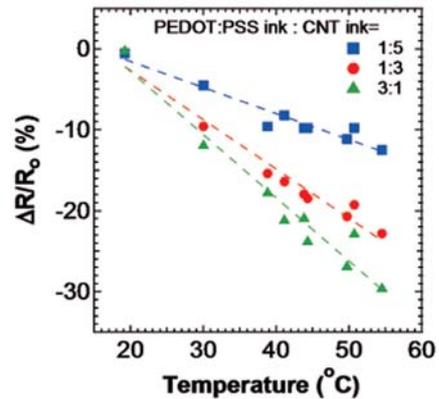


図3 温度センサ印刷用インクの混合比による温度に対する抵抗変化率

高感度化を実現できた。本感度は人の皮膚温度の変化0.1℃程度であれば容易に計測可能であり、ウェアラブルデバイス応用としての利用も大きく期待できる。

3. フレキシブルセンサの集積化とその応用

上述した印刷形成による歪みセンサと温度センサの集積化技術を開発することで、フレキシブルセンサシートとしての可能性を示す。第一段階として、現在盛んに研究が行われている電子皮膚デバイスに着目した。現状の電子皮膚デバイスは「触覚」と「温度」の検出は可能であるが、人の皮膚機能として重要なせん断応力である「摩擦」検出を可能とする低価格・大面積電子皮膚デバイスは報告されていない。そこで本研究では、大面積フレキシブルセンサシートの開発により「触覚」「摩擦」「温度」分布検出可能な電子皮膚デバイスの実現を目指した。まず「触覚」と「摩擦」の同時検出を実現する方法として、SiのMEMS技術の知見を融合することで、3次元突起物を形成し、その周辺に歪みセンサを集積化させる構造を提案した。図4aの有限要素法の結果からも明らかのように、「触覚」と「摩擦」応力印加時では、全く異なる歪み分布が突起物周辺には形成される。これを歪みセンサで読み取ることで、「触覚」と「摩擦」の同時検出を提案した。なお、本構造では、その歪み応力の大きさを読み取ることで

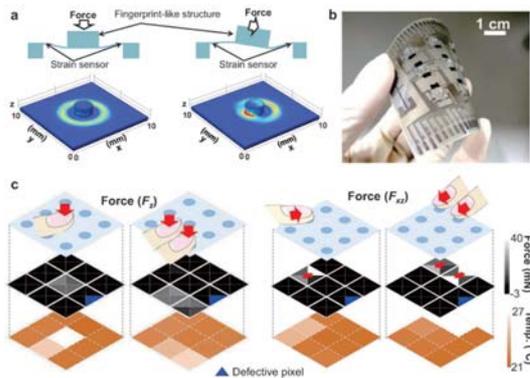


図4 「触覚」「摩擦」「温度」分布計測を可能とする電子皮膚デバイス
 (a) 有限要素法による触覚及び摩擦印加時の歪み分布
 (b) デバイス写真
 (c) 「触覚」「摩擦」「温度」分布計測結果

印加された力の大きさも読み出すことが可能となる。さらに温度分布検出には、上記の温度センサを歪みセンサと集積化させることで、人の皮膚のような「触覚」「摩擦」「温度」分布の計測を実現させた。図4b-cには、実際に作製した電子皮膚デバイスとデバイスを人の手で実際に触った際の「触覚」「摩擦」「温度」分布結果を示す。このことから印刷技術のみを用いて異なるセンサを集積化させることで多機能なフレキシブルセンサシートの作製に成功した。

4. フレキシブル CMOS 回路

フレキシブルデバイスシステムの可能性を示すにはフレキシブル基板上での集積回路の実現が必要となる。そこで本研究では、n型半導体の InGaZnO 薄膜と p型半導体の CNT ネットワーク膜をフレキシブル基板上に集積することで CMOS 回路を形成した。トランジスタの特性を示す移動度は、n型で約 $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、p型で約 $2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であった。次にこれらのトランジスタを集積化させることで CMOS インバータ回路を作製し、その特性評価を行った。その結果、良好なインバータ特性を示し、その電圧ゲインは 60 程度であり、フレキシブル基板上に高性能な CMOS インバータ回路の作製に成功した。次にフレキシブルデバイスとして重要であるフレキシブル基板の機械的曲げ

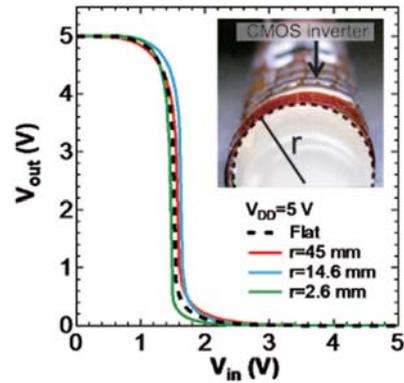


図5 フレキシブル CMOS インバータ回路の基板の曲げによる入出力特性

に対する CMOS 回路の特性の変化の解析を行った。ここで、基板は局率半径 2.6 mm 程度まで曲げており、これは本研究が目指すウェアラブルデバイスとしては十分な曲げ量である。図5に示すように、基板の曲げに対しても、CMOS 回路の特性が変化することなく動作することを確認した。これは、CMOS 回路上にパッシベーション層を形成することで曲げ時に CMOS 回路にかかる応力を出来る限り緩和したためである。さらにナノ材料を用いることで、曲げによる応力の影響をできる限り軽減している。実際、有限要素法で CMOS 回路部分の最大応力を計算すると、その応力は、約 0.08% 程度と非常に小さい応力であり、CMOS 回路が曲げから保護されていることがわかる。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、将来の低価格、多機能なフレキシブル・ウェアラブルデバイス実現へ向けた基礎技術としてフレキシブル基板上に印刷形成したセンサの集積化技術、また主に無機ナノ材料を用いた CMOS 論理回路の集積化技術の開発を行ってきた。今後は、本研究にて開発した基礎技術を応用展開システムとしてのフレキシブルセンサシートの実現を目指す。現状、フレキシブルデバイスに関する研究が非常に盛んに行われているが、まだシステム化レベルでの実証実験が行われておらず、その実用化への道は

見えていない。そこで本研究を継続し、さらに発展応用を目指すことでフレキシブルデバイスの実用化への可能性を示すことが必要不可欠である。もし例え本材料技術が最終的に採用されなくても、本研究によって得られたフレキシブルデバイスの作製技術や応用用途など今後のエレクトロニクス分野への貢献は大きいものであると期待できる。

[成果の発表, 論文等]

1. S. Harada, K. Kanao, Y. Yamamoto, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Fully printed flexible fingerprint-like three-axis tactile and slip force and temperature sensors for artificial skin", *ACS Nano*, **8**, 12851-12857, 2014.
2. K. Takei, W. Honda, S. Harada, T. Arie, S. Akita, "Toward flexible and wearable human-interactive health-monitoring devices", *Adv. Healthcare Mater.*, **4**, 487-500, 2015.
3. K. Kanao, S. Harada, Y. Yamamoto, W. Honda, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Highly selective flexible tactile strain and temperature sensors against substrate bending for an artificial skin", *RSC Advances*, **5**, 30170-30174, 2015.
4. S. Harada, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Highly stable liquid-solid metal contact toward multi-layered detachable flexible devices", *Advanced Electronic Materials*, in press 2015.
5. W. Honda, S. Harada, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Printed wearable temperature sensor for health monitoring", *Proc. IEEE Sensors 2014*, 2227-2229, 2014.
6. K. Kanao, S. Harada, Y. Yamamoto, W. Honda, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Printable flexible tactile pressure and temperature sensors with high selectivity against bending", *Proc. MEMS 2015*, 756-759, 2015.
7. W. Honda, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Inorganic material-based flexible CMOS circuit and optical sensor", *18th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2015)*, accepted 2015.
8. S. Harada, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Flexible, printed tactile, friction, and temperature sensor array for artificial skin", *18th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2015)*, accepted 2015.
9. 原田真吾, 本田航, 有江隆之, 秋田成司, 竹井邦晴, 「大面積印刷技術を用いた歪み, 温度センサ集積人工電子ウイスキー」第31回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2015 (優秀ポスター賞).
10. 本田航, 有江隆之, 秋田成司, 竹井邦晴, 「異種無機材料集積によるフレキシブルCMOS回路」第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015.
11. 原田真吾, 金尾顕一郎, 山本祐輝, 有江隆之, 秋田成司, 竹井邦晴, 「触覚, 摩擦, 温度センサ集積人工電子皮膚」第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015.
12. 金尾顕一郎, 原田真吾, 山本祐輝, 本田航, 有江隆之, 秋田成司, 竹井邦晴, 「触覚と曲げに対する高い選択性を有した電子皮膚デバイス」第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015 (注目講演に選出).

情報共有型カーナビゲーションによる都市内交通渋滞の 緩和プロトコル開発

Development of a novel protocol for Car Navigation System helping mitigation of
urban traffic jams by sharing information

2041019



研究代表者 九州大学大学院 教授 谷本 潤

[研究の目的]

道路交通情報通信システムに対応した次世代カーナビゲーションシステム（CNS）では、道路の混雑情報を無線通信等により発信し、個々の車両のCNSがそれらの情報を受信、目的地までの経路選択に利用するシステムである。しかし、このシステムでは、個々の車両エージェントの効用最大化（旅行時間最小化）が目的関数にされるため、都市交通システム全体としてみると、必ずしも混雑緩和に繋がらない可能性がある。これは道路という有限の資源を「意志」を有する人間エージェントが奪い合うことで社会ジレンマが発生するためである。本研究ではこのメカニズムを機構的理解に理解し、ジレンマを克服する頑強なCNSプロトコルを開発する。

[研究の内容・成果]

本節ではカーナビゲーションシステムの経路選択戦略によって引き起こされる渋滞のメカニズムについて考察し、車両個々の効率を向上させ、かつ、システム全体の効率を向上させる経路選択戦略を考案する。

数値実験モデル

本研究における交通流動シミュレーションでは、スケールの異なるミクロ的な経路選択とマクロ的な現象である交通渋滞とを同時に扱う。時間および空間はマルチエージェントに基づく離散型モデル、速度については最適速度モデル（Optimal Velocity Model, OV モデル）に基づく連続型モデルで扱う。

街路モデル

交通網は道路を表すリンクと交差点を表すノードで構成されている。各リンクは車両が流れる方向が決まっており、ノード間は上りと下りの2つのリンクによって接続される。

車両エージェント

ブロックごとに定義される交通流特性に基づいて、ある時刻の車両密度から各車両エージェントの速度を求めて、単位時間ステップ間に走行する距離だけリンク下流側から順次移動させていく。各時間ステップにおける系内の車両エージェントの更新順序はランダムとする。

車両エージェントのブロックからブロックへの移動は次のような手順で行われる。

まず、ステップの最初に一定の行動時間 INT が各車両エージェントに割り当てられる。現在のブロックにおいて、 $V_i \times INT$ が1ブ

ロックの長さより大きく、かつ次のブロックの密度が飽和状態にない、つまりブロックの密度が1以下の場合、次のブロックに進むことができる。次のブロックに進んだ場合、1ブロック進むのに必要な時間を INT から引いた時間が次のブロックにおける行動時間となる。これを INT が0になるまで繰り返す。なお、ブロックの途中で INT が0になった場合、それまで移動した距離は次のステップに引き継がれる。

車両エージェントのナビゲーション戦略

各車両エージェントは経路選択戦略を有する。本研究では以下の戦略を想定した。

最短距離経路戦略 Shortest Distance (SD) 戦略

この戦略を採るドライバーは、目的地までの経路でもっとも経路長が短くなる経路を選ぶ。プログラム上では経路間の重み l_{ij} にノード間の距離をとり、 A^* アルゴリズムにより最短距離経路を算出する。

混雑経路記憶型最短距離経路戦略 Shortest Distance and Congestion Memorize (SD-CM) 戦略

この戦略をとるドライバーは記憶サイズ M のメモリを持つ。最初のトリップの間、通過したリンクの中で車両密度が上位 M 個のリンクとそのリンクの車両密度を記憶する。次のトリップでは、記憶したリンクを通らないという条件で最短距離となる経路を選択し、記憶したそれぞれのリンクの車両密度にある一定の忘却率 τ ($0 \leq \tau \leq 1$) を掛ける。そのトリップの間に通過したリンクと記憶したリンクの中で車両密度が上位 M 個のリンクを記憶し、これを繰り返す。

SD 戦略（出発地と目的地を決定した時点で利用する経路が決まる）は一般の地図を持ったドライバー（あるいは地図機能提示型カーナビゲーションシステム）を仮定しているが、実際

のドライバーは単純に最短経路を通るわけではなく、ある程度混雑を予測して、それを回避しようとすると考えられる。主にその混雑予想は過去の経験によるものと考えられるので、SD-CM 戦略は、より実際のドライバーの経路選択に近いものになると思われる。

最短時間経路戦略 Shortest Time (ST) 戦略

この戦略をとるドライバーは、各経路の渋滞情報を元に目的地に到達するまでの時間が最短になるような経路を選択する。そのためにはプログラム上では、経路間の重み l_{ij} に予想所要時間をとって、 A^* アルゴリズムにより最短時間経路を算出する。ST 戦略は現在の混雑情報を元にして経路選択を行うことができるため、通常の場合 SD に比べ短時間で目的地に到達できる。現実社会で言えば、VICS を搭載したカーナビゲーションにより経路決定するドライバーを模擬しているといえる。

経路共有型最短時間経路戦略 Shortest Time and Route Information Sharing (ST-RIS) 戦略

この戦略をとるドライバーは各経路の渋滞情報と合わせて、ST-RIS 戦略をとるドライバーの通過予定経路を集積した情報を用いて経路を選択する。

経路部分共有型最短時間経路戦略 ST and partial RIS (ST-pRIS) 戦略

情報画一化はカーナビゲーションシステムを介して付与する情報にばらつきを与えることで回避できる。そこで、この戦略では同じ ST-RIS 戦略を取る車両エージェントの情報共有の範囲を制限することで、各個エージェントの持つ情報にばらつきを与える。具体的には、自身が現在保持している予定経路上にいる先行車両の内、前方 N_f 台の ST-pRIS 車両の将来経路情報だけを収集し、ST-RIS と同様に予想混雑度を計量する。この戦略は、進行方向後方車

両エージェントの情報は無駄情報である可能性が高く、一方、前方車両の情報はこれから自身を通る予定経路に関するものであり有用である可能性が高いことを前提にしている。

各戦略の効率評価

異なる移動距離の車両エージェントの移動効率を評価するために、旅行時間効率を考える。

数値実験では、戦略毎の初期台数比に応じて、車両エージェントを発生させる。車両エージェントはエピソード当初、各ノードにランダムに配置され、目的地もランダムに決定される。各エージェントは、出発地・目的地決定→移動→目的地到着（1トリップ）を1エピソードが終わるまで繰り返す。トリップ毎に次出発地、目的地はランダムに定める。また、GSステップ毎に各戦略が経路選択に用いる情報を更新する。1エピソード終了した時点で、各戦略の旅行時間効率の全エージェント平均 ATTE を算出する。解析は5試行アンサンブルの評価とする。

社会システムの時間推移において、各戦略のシェアがどう変容していくか（シェア増減の推移）を考えるために、進化ゲーム理論で一般的なレプリケータ・ダイナミクスを導入する。

結果及び考察

Case1：図1にSD, STとST-RISの対戦組み合わせにおける戦略分布の変化ベクトルと社会全体効用を重ね併せた結果を示す。図の横軸、縦軸はSD-CM, STのシェアを示し、総台数5000から両シェアを差し引いた第3戦略（すなわちST-RIS）のシェアは図中右上から左下へ -45 deg 線に沿った軸で表され、原点は第3戦略が5000台を意味する。コンターは白ほどATTEの値が低い（すなわち社会全体効用は高い）ことを意味する。戦略比は最終的にはSTとST-RISの内部均衡点（図中②）に吸引されることがわかる。つまり、SD-CMはST-RISが存在しない社会（情報共有型カーナビゲーションシステム導入前の時代）において

は、内部均衡点①に吸引され、SD-CMとSTの安定な併存状況が実現する。しかし、ST-RISが少しでも混入すると、最終的には淘汰され、STとST-RISの併存平衡（となる。Case2, Case3でも同様に、第3の戦略が混入すると、SD-CMは淘汰されている。

Case2：SD-CM, ST, ST-RISの組み合わせで最短経路の再計算と渋滞情報の更新頻度が頻繁な場合を図2に示す。更新頻度がより頻繁になると、最終的な均衡点（図中④）では、ST-RISに対するST戦略の占める割合がCase1より大きくなる。更新により情報の確度が増進すると、ST-RISと同戦略エージェントの将来予測をする意義が逡減し、相対的には現

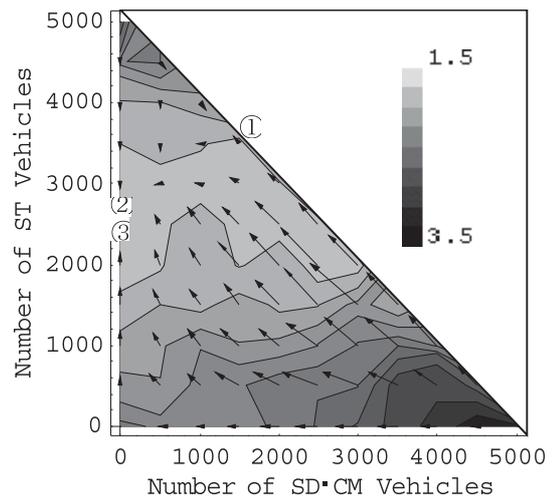


図1 SD-CM, ST, ST-RISの戦略組 (Case1)

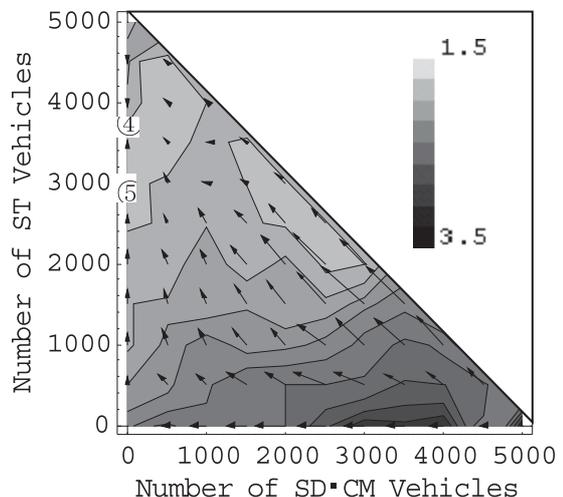


図2 SD-CM, ST, ST-RISの戦略組 (更新頻度大) (Case2)

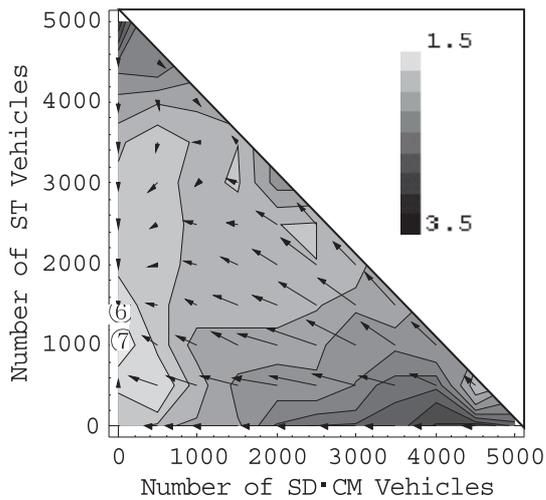


図3 SD-CM, ST, ST-pRISの戦略組 (Case3)

在の混雑状況だけで経路選択をするSTが強くなることを意味する。このことは、Case1ではST-RISが混入しなければ、SD-CMとSTとの併存平衡があり得たのに、Case2ではST-RISの存否に不拘、SD-CMが淘汰されてしまうことから理解される。また、Case1と比較すると社会効用最大点(図中⑤)と内部均衡点(図中④)の乖離が大きくなる(ある種の社会ジレンマが深甚になる状況)。

Case3 SD-CM, ST, ST-pRISの組み合わせの結果を図3に示す。第3の戦略であるST-pRISが混入するとSD-CMが淘汰される状況は前二者と同様である。また、STとST-pRISの内部均衡点(最終的内部均衡点、図中⑥)は、前二者と異なりSTが少ない側に大きくシフトしている。さらに、社会効用最大点(図中⑦)も内部均衡点(図中⑥)の近傍に存在し、ATTEの絶対値も前二者に比べて小さい(効用大)。つまり、最終的なシェアの推移は第3の戦略であるST-pRISがSTに対して優勢な状況に落ち着き、かつ前二者の第3戦略の場合よりも社会全体の効用は向上している。

ST-pRIS戦略では、部分情報共有により、STと異なる経路を通るため、STエージェントが多数派を占めることによって引き起こされる情報の画一化による渋滞を回避している。このことにより、STより低いATTEを上げるこ

とが出来ていると考えられる。

Case1の結果より、現在の社会、“現在普及途上にあるカーナビゲーションシステム(ST)は存在するが、情報共有型のカーナビゲーションシステム(ST-RIS)は存在しない状況(SD-CM戦略とST戦略のみの社会)では、ST戦略のシェアはある均衡点までしか伸長できないことがわかる。これは、ST戦略がある程度多くなると、ST戦略は画一的な渋滞情報を元に経路を探索するため、同じような経路を多数のカーナビゲーションシステムが選択してしまい、混雑が発生する状況が再現されていることを示している。しかし、これにST-RIS戦略が混入すると、様相は一変し、SD-CM戦略は最終的には淘汰されてしまう。つまり、将来、VICS搭載型カーナビゲーションシステムのシェアの伸長が停滞したとしても、情報共有型のカーナビゲーションシステム(ST-RIS)を導入することにより、カーナビゲーションシステム全体としては、VICS搭載車両のシェアを伸ばすことができると考えられる。しかし、図2の社会全体効用に注目し、SD-CM戦略とST戦略の内部均衡点(図1、図2の①)における社会全体効用と最終的な内部均衡点(図2の②)におけるそれを比較すると、やや後者が大であるが大きな差異はない。このことから、情報共有型カーナビゲーションシステム導入による社会全体としてみた便益は必ずしも著しく増大するわけではないことを示唆している。

また、Case2の結果より、渋滞情報の更新頻度が頻繁になると、ST戦略が比較優勢な戦略になることがわかる。現在のVICS情報はリアルタイムの情報とはいえない。しかし、今後、技術が進歩し、渋滞情報がリアルタイムに受け取れるようになれば、情報共有機能のないVICS搭載型カーナビゲーションシステム(ST)で混雑を解消することが可能であり、情報共有型のカーナビゲーションシステム(ST-RIS)が導入される余地は無くなると考えられる。ST-pRISの導入は、独占には至らな

いが、シェアを8割近くにまで伸ばすことができ、それが社会全体効用の向上にも繋がっている。これは、部分情報の共有が、個別情報に基づく経路選択を促し、予定経路上の近傍先行車両に関する情報のみを参照するため、時間遅れの影響が少なく、不必要な情報を排除して経路探索を行うため、より確度の高い情報による効率的経路選択が可能になったためと考えられる。

また、この戦略は現実社会に対するアプリケーションとしても実現可能性がある。ST-RISは情報を一極集中的に管理するため、大量の経路情報と渋滞情報を重ね合わせて予測渋滞情報を計算する巨大なコンピュータリソースが必要であると考えられる。これによる情報処理時間がVICS情報のフレッシュネス（更新頻度による情報の質）に重畳された時間遅れを系に惹起するため、さらなる情報画一化をもたらし、効率的な経路探索が出来なくなる可能性がある。ST-pRISの場合、ローカルな情報のみを要するから渋滞情報の処理は各車両個々のカーナビゲーション機器に任せた個別分散処理が可能となる。これを裏付ける組込型コンピュータの性能は年々向上している。また、現在ITSの重要なプロジェクトとして車両間のアドホックな通信システムの構築が考えられている。これはサーバーとの通信圏外にいるときも通信を可能にするため、他の車両を中継ポイントとするローカル通信のネットワーク機構である。この技術を用いれば、近隣車両の経路情報の取得は

可能であろう。既にこの通信ネットワークを用いて、渋滞情報を交換するシステムが実験されている¹⁾。これらの点から、ST-pRISカーナビゲーションシステムは十分実現可能性が高いと思われる。ただし、情報共有型カーナビゲーションには、個人情報扱いやフリーライダー問題など実用化にはクリアすべき課題もある。

[今後の研究の方向・課題]

応用面々から云えば、本論で明らかになったプロトコルのフィージビリティを担保するローカル通信機構を含めハードウェアの開発が課題である。また、研究面では、交通流動がもたらす社会ジレンマ機構には未だ未解明の部分が多く、統計物理学的にも興味のある課題であるため、この点の研究展開が望まれる。

[成果の発表・論文等]

- Tanimoto, J.; Impact of deterministic and stochastic updates on network reciprocity in prisoner's dilemma game, *Physical Review E* 890, 022105, 2014. 8.
- Tanimoto, J.; Dynamics of spatial traveler's dilemma games, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P11010, 2014.
- Tanimoto, J, Fujiki, T., Wang, Z., Hagishima, A., Ikegaya, N.; Dangerous drivers foster social dilemma structures hidden behind a traffic flow with lane changes, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P11027, 2014.

グラフベースな教師なしおよび半教師付き学習法により 前立腺癌画像の分析

Analysis of prostate cancers in MR images with a graph-based
unsupervised and semi-supervised learning

2014020



研究代表者 (助成金受領者)	京都工芸繊維大学 情報工学・人間科学系	助教	杜 偉 薇
共同研究者	シカゴ大学 放射科	研究員	王 石 揚
共同研究者	シカゴ大学 放射科	教授	Aytekın Oto

[研究の目的]

近年、前立腺癌は日本の癌死亡率で急増傾向にあり、2020年には男性で肺癌に次ぐ2位に躍り出ると予測されている。また、前立腺癌は癌の中では進行が遅く、生存率・治癒率が高い。そのため、前立腺癌を早期発見すると、生存率・治癒率が大幅に上がる。前立腺癌の進み具合は、病期(ステージ、浸潤度、進行度)と呼ばれ、近年では世界共通で臨床状況をより正確に伝えられるとされる「TNM分類」が用いられる。T (Tumor) は前立腺で癌がどれくらい広がっているか。N (Nodes) はリンパ節に転移があるかどうか。M (Metastasis) は骨、肝臓、肺など、前立腺から離れた他の臓器に転移があるかどうか。「TNM分類」により臨床病期はABCD分類となった。ステージAとは前立腺癌を疑わず、前立腺肥大症の手術の結果、癌が発見された場合で、「早期癌」という意味ではない。ステージBは一般的な早期癌を意味し、前立腺癌内に癌がとどまっている場合である。ステージCは前立腺外への進展が認められる場合である。ステージDは骨盤内への進展・転移がある場合である。本研究の目的はステージBとCの前立腺癌を見つけること。

前立腺癌の診断はまず、PSA(前立腺特異

抗原)検診を実施する。次にPSAの値が高い場合、画像診断にあるCT検査や、MRI検査を行う。最後に確定診断のための前立腺生検を行う場合もある。前立腺癌における画像診断において、T-病期診断と癌検出で使用されている。癌検出と言うのは針生検未施行の状態での癌病巣の有無あるいは局在診断を行うものである。過去の報告により、MRIにおける3Tの診断装置、T2強調像追加で正診率は70-80%、ダイナミック造影MRIのT2強調像追加で正診率は80-90%となっている。T2強調像では、前立腺内部と辺縁領域と移行域・中心域との間に信号差が生じる。正常な辺縁領域は高信号、癌は低信号となる。

本研究では、画像診断にある3TのMRIのT2強調像を対象とし、グラフベースな教師なし及び半教師付き学習法を用いて前立腺癌画像の分析法を提案した。本提案法によって医師を補助し、より正確に前立腺癌画像を読むことが考えられる。

[研究の内容、成果]

MRIのT2強調画像から抽出した前立腺の画素値をヒストグラムの図にする。このヒストグラムの図でステージBとCの特徴と合わせ

て前立腺癌の有無を医師に補助する。そのため、前立腺の抽出する方法は本研究の焦点である。前立腺を抽出するため、半自動および自動的な方法をたくさん提案されていたが、自動的な方法を用いた前立腺を抽出する方法といっても、アトラスなどの前処理が必要である。または、抽出された前立腺を直接に前立腺癌の検出と関係なく、前立腺抽出の精度を重視してしまった。一方、前立腺癌だけを抽出する方法も提案したが、アトラスなどの前処理と前立腺癌周囲の領域を考慮された。また、前立腺癌周囲の領域の大小も検討が必要となった。そうすると、前立腺の構造から考えた抽出方法も提案されていた。前立腺は辺縁域、移行域および中心域の組み合わせものである。過去の調査により、前立腺癌の75%は辺縁域で、25%は移行域である。そして、前立腺の辺縁域だけの抽出方法を提案されていた。移行域の考慮がないため、問題となる。

以上のことによって、本研究では、前立腺癌有無の判断を前提とし、前立腺の抽出方法を提案した。前立腺を複数のクラスタとして表すと考える。抽出したクラスタを組み合わせると、前立腺の自動抽出と言える。しかし、この組み合わせることは人工の労力が必要である。一方、前立腺を抽出するため、前立腺にヒントを与える半自動法も提案されていた。ヒントというのは、前立腺にストロークを与えること。ストロークを与える場所によって抽出した前立腺の領域が違ふ。そうすると、前立腺癌有無の判断が難しくなる。

以上の問題点に基づいて、本研究では、(1). 前立腺を表すクラスタ毎の領域がわかるため、グラフベースな教師無し学習を行い、図2が得られた(図1が原画像である)。(2). 画像2に基づいてストロークを置く。ストロークを置く原則が各クラスタを経由すること(ストロークは図3で表す)。(3). 書いたストロークに基づいてグラフベースな半教師付き学習法を用いて、前立腺を抽出する(図4である)。この前立腺

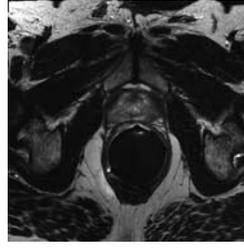


図1



図2

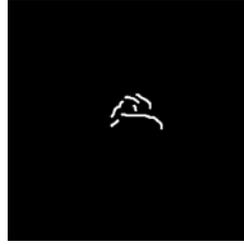


図3

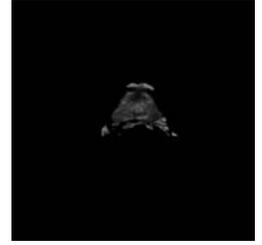


図4

の抽出するアルゴリズムを図5で表す。最後に抽出した前立腺をヒストグラムの図に書いて、前立腺癌有無の判断を行う。

A. グラフベースな教師無し学習

グラフベースな教師無しクラスタ抽出法の反復解法を利用して半教師付きクラスタでのストロークを置く場所を求める。画素*i*と*j*の類似度を $s_{ij} = e^{-\alpha \|a_i - a_j\|^2 - \beta \|g_i - g_j\|^2}$ とする。ここで a_i は画素*i*の座標で、 g はグレースケールである。 $s_{ii} = 0$ とする。 s_{ij} が大きい画素の連結領域である。すなわちクラスタである。前立腺は一般に複数のクラスタを含む。画素*i*がそのようなクラスタに含まれる割合 x_i は次式で求められる。

$$\begin{aligned} \max \sum_i \sum_{j \in W_i} s_{ij} x_i x_j \\ \text{subj.to} \sum_i d_i x_i^2 = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで $d_i = \max \{ \sum_j s_{ij} \epsilon \}$ であり、 W_i は画素*i*を中心とする $(2p+1) \times (2p+1)$ のサイズの正方形ウィンドウである。式(1)の解はLagrange関数の停留点:

$$\max_x \min_{\lambda} \sum_i \sum_{j \in W_i} s_{ij} x_i x_j - \lambda (\sum_i d_i x_i^2 - 1) \quad (2)$$

であり、 $x = [x_1, \dots, x_n]^T$ は $Sx = \lambda Dx$ の一般化固

有ベクトルとなる。ここで $S=[s_{ij}]$, $D=diag(d_1, \dots, d_n)$ である。 $x=[x_1, \dots, x_n]^T$ を求める簡単計算法はベキ乗法：

$$x_i^{\xi+1} = \frac{\sum_j \tilde{s}_{ij} x_j^{(\xi)}}{\sqrt{\sum_k d_k (\sum_j \tilde{s}_{kj} x_j^{(\xi)})^2}} \quad (3)$$

ここで $\tilde{s}_{ij}=s_{ij}/d_i$ であり、 ξ は反復回数である。 x_i が図 2 で表す。

B. グラフベースな半教師付き学習

ストロークが塗られた画素の集合を $i \in T$ とすると、それらの画素で $x_i=1$ に固定する。そうすると、式 (2) の Lagrange 乗数 λ は任意の値に固定してよく、ここでは $\lambda=1$ とすると、式 (2) は

$$\max_x \sum_{i \in T} \sum_{j \in W_i} s_{ij} x_i x_j - \sum_{i \in T} d_i x_i^2 \quad (4)$$

となる。この式も反復法

$$x_i^{(\xi+1)} = \sum_{j \in W_i} \tilde{s}_{ij} x_j^{(\xi)} \quad (i \in T) \quad (5)$$

で解を求める。反復が進むにつれてストローク ($i \in T$) から周囲画素へとメンバシップが伝搬していく。 x_i は図 4 で表す。

抽出した前立腺を図 4 で示した。それをヒストグラムを図 5 に示す。癌がある部分を低信号であり、 T2 強調画像で黒っぽいで表す。さらに、病期のステージ B と C を対象とし、この病期の癌を表す画素の数が限られている。これらの要因によって、ヒストグラムで癌の有無の判断がしやすくなった。

[今後の研究の方向, 課題]

ヒストグラムの図に関する分析が不完全であるため、症例を増やして実験行う予定がある。また、ヒストグラムの分析だけではなく、癌に

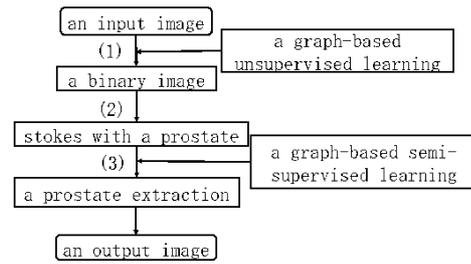


図 5

ある場所が分かるため、フーリエ変換や、ウェーブレット変換の解析も入れる予定がある。

また、前立腺を抽出するため、複数のパラメータ設定があったが、これらのパラメータの最適値の調査も必要である。以上は今後の本研究の方向・課題となる。

[成果の発表, 論文等]

[国内発表]

- [1] Weiwei Du, Shiyang Wang, Yahui Peng, Aytekin Oto: Graph-based unsupervised and semi-supervised learning for prostate extraction in MRI images, 生体医用画像研究会 第 2 回若手発表会.

[国際発表]

- [2] S. Wang, A. Oto, S. Sammet, W. Du, et al.: Ablation Zone Identification Using Multi-Gradient Echo MRI in Laser Focal Therapy for Prostate Cancer. Radiological Society of North America (RSNA), Dec. 2014.
- [3] S. Wang, Y. Peng, M. Medved, S. Sammet, A. Yousuf, W. Du, et al.: The Effect of Varying Diffusion-Encoding Gradient and Separation on Measured Apparent Diffusion Coefficient and T2 of Prostate, International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM), (Program number: 1071) Milan, Italy. May 2014.
- [4] Weiwei Du, Shiyang Wang, Aytekin Oto, Yahui Peng: Graph-Based Prostate Extraction in T2-Weighted Images for Prostate Cancer Detection, The 11th International Conference on Natural Computation and The 12th International Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, P1259-1263, Zhangjiajie, China, August 2015.

腹腔鏡手術用マスタスレーブ型5指ハンドロボットの開発と 没入感に関する研究

Development of a master-slave five finger robot hand for laparoscopic surgery to
improve operator's sense of immersion

2041022



研究代表者

九州大学
先端医療イノベーションセンター

助教 中 橋 龍

[研究の目的]

近年の外科手術は患者の負担の少ない低侵襲な術式が主流となってきており、体表を大きく切り開き内臓を露出させて行う開腹手術に代わって、体表に数か所設けた小さな穴から、細長いカメラと手術器具（鉗子）を挿入して行う腹腔鏡手術が主流になっている。この術式は患者にとってはQOLの増加というメリットがあるが、術者にとっては高度な鉗子操作の習得が要求され、負担が大きい。鉗子は一般的に操作部のつまみを開閉すると、エンドエフェクタの2本の爪が開閉して物を掴めるようになっている。この系で人間から見た入出力における信号伝達は、鉗子→カメラ・モニター→目→脳→手→操作部→鉗子、となっており、脳は鉗子と操縦桿の空間的な対応付け、および手から操作部への動作軸変換を行っている。術者は訓練により、これらの動作変換を意識せずに行えるよう、脳に覚えこませているものと考えられる。本研究では、人間側の出力インターフェースである手と、操作対象である鉗子が同一形状であることが、最も直感的なマスタスレーブ系となるのではないかという仮説に基づき、これを検証するため、操作部としてグローブ型センサ、鉗子として人の手にできるだけ近い形状と自由度をもつ腹腔鏡手術用ロボットハンドを開発する。腹

腔鏡手術において体表に設ける穴にはトロッカーと呼ばれるパイプが設置され、この一般的な最大内径が12mmである。従って、開発するロボットハンドは断面12mm径の円に収まるサイズを目標とする。人の手の形状・動作に似せることが目的であるため、5本指を備え、各指最低3自由度、計15自由度とする。これまで多くのロボットハンドの先行研究があるが、その多くが人の手と同じ大きさである。ミニチュアロボットハンドの研究はいくつか存在するが1指あたりせいぜい1自由度が限界であった。本研究では、独自のワイヤ駆動方法と精密な加工により、1指あたり多自由度をもつ世界最小のロボットハンドを実現する。

[研究の内容、成果]

図1に開発したスレーブロボットの外観、図2にマスタの外観を示す。



図1 開発したスレーブロボット

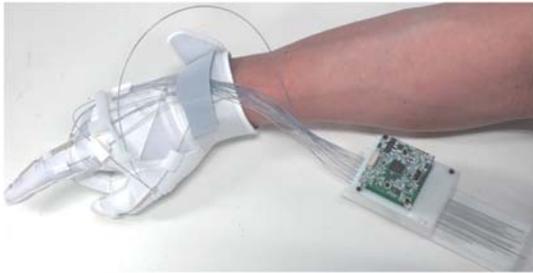


図2 開発したマスタ

1. スレーブロボットの開発

術中に発生し得る最も複雑な作業の一つである糸結びが出来る程度の自由度配置を目標とした。解剖学的には片手の中に30自由度程度が存在するが、これを全部模倣するのは困難であるため、最低限の自由度として、各指の先端を3次元空間内で任意の位置に位置決め可能な自由度である各指能動3自由度、計15自由度を持たせることとした。図3に自由度配置を示す。拇指はCM関節のx軸周り(内転)とz軸周りに1自由度ずつ、IP関節とMP関節を従動とし各1自由度配置し、計4自由度、能動3自由度とした。示指～小指の4本は、MP関節にてy, z軸の屈曲が可能なヒンジを設け能動2自由度、PIP, DIP関節は従動とし各1自由度配置し、同じく計4自由度、能動3自由度とした。

アクチュエータは遠位に配置せざるを得ないこと、指の径が2-3mmと微小であるため複雑な機構を搭載できないことから、ワイヤ駆動とし、関節に用いるヒンジは円弧状の凹凸を積み

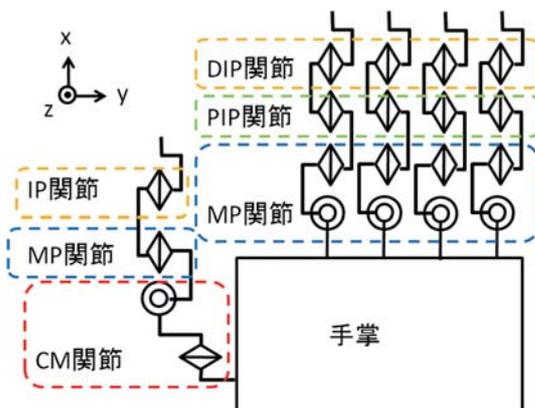


図3 スレーブの自由度配置

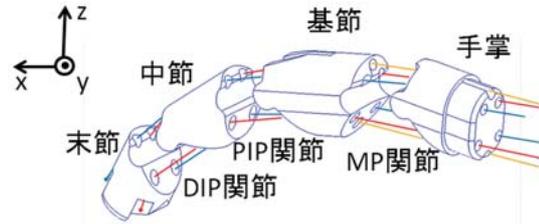


図4 スレーブ示指のCAD図

重ねる形状とした。このようにすることにより、ワイヤのテンションにより、回転中心にピンを設けなくともヒンジが構成できる。図4に示指を例に機構の詳細を示す。説明のため各リンクを離して図示してある。MP関節は凹面をさらにz軸周りの円弧状とすることで、y, z軸の2自由度を持っている。同色のワイヤは一对の拮抗駆動をなす。赤・青の2組のワイヤによりPIP, DIP関節の曲げとMP関節のz軸周りの2自由度を駆動し、橙のワイヤによりMP関節のy軸周りの1自由度を駆動する。なお、拇指の内転機構1軸のみピンでヒンジを構成し、ワイヤは手掌の表裏に設けた穴を経由させた。先端2自由度のワイヤ牽引力が内転用ヒンジにかからないよう、コイルチューブで内転用ヒンジとモータユニットを接続している。

素材は切削加工の容易な樹脂とし、PEEKを用いた。ワイヤは細径柔軟でかつ伸び(弾性)が少なく、さらに摩擦が小さい必要がある。金属ロープは伸びが少ない一方、指の屈曲半径になじまない。そこで釣り糸等に使用される高強度の合成繊維を用いた。

以上の設計手法により、12mmの円筒に収まるサイズの全20自由度、能動15自由度のロボットハンドの試作に成功した。モータを含めた全体の外観を図5に示す。

2. マスタの開発

手指の動作を多自由度で計測する装置はデータグローブと呼ばれ、複数市販されている。従来のデータグローブには、屈曲すると側面より光が漏れる光ファイバを各関節に配置して光量の減少を計測するもの、屈曲により抵抗値の変

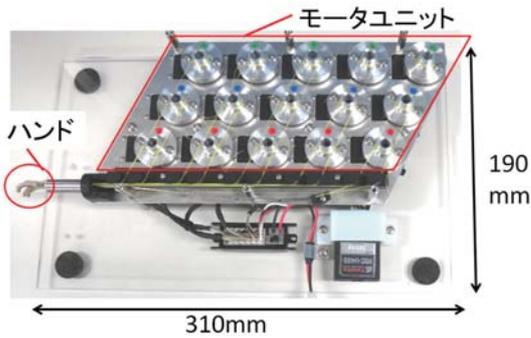


図5 スレープ全体外観

化する導電ゴムを用いるものなどがあるが、本研究に必要な1指あたり多自由度のセンシングが可能なのは非常に高価である。また導電ゴムでは例えば指を屈曲させているのか逸らせているのかは判別できない。2眼カメラにより手の立体画像を取得する安価な手指用のモーションキャプチャが市販されているが、指が掌に隠れてカメラで見えないときは計測ができない。そこで、本研究に必要な各指3自由度、計15自由度をもつ高精度、低コストのデータグローブを新たに開発した。

基本原理は、市販の手袋（野球の皮製バッティンググローブを採用した）を用い、指の各リンク間にワイヤとチューブを張り、関節の屈曲によるワイヤのチューブに対する変位を計測するものである。図6に例として示指の構成を示した。ワイヤ2（赤）は末節に断端が固定され、中節、基節に固定されたガイド用のパイプ（橙）を通る。ワイヤ1（青）の断端は基節に固定される。これらワイヤはそれぞれ手掌の甲に固定された柔軟チューブ（橙）に入り、柔軟チューブの反対端から突出する。この突出の変位を計測することで、関節の角度が求まる。ワ

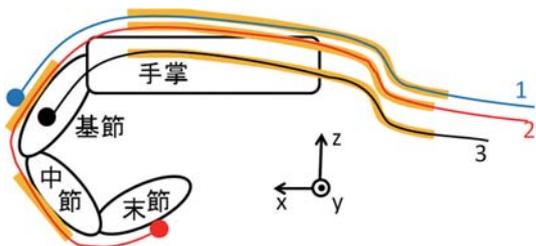


図6 マスタの機構概念図

イヤ2の変位はDIP, PIP, MP関節の3つの合計角度に依存する。ワイヤ1はMP関節の角度のみに依存するため、MPの角度が求まり、ワイヤ2の変位からワイヤ1の変位を減じることで、DIP, PIP関節の合計角を分離できる。ワイヤ3（黒）は基節の側面に固定される。MP関節のz軸周りの角度はワイヤ1, 3の変位の差から求まり、この差は同関節のy軸周りの角度に寄らず一定である。中指、薬指、小指のワイヤ配置は人差し指に同様である。拇指は内転の動きを計測するために手掌から拇指方向に梁を伸ばし、柔軟チューブ断端を固定している。拇指の3軸のワイヤは、互いに干渉の最も小さくなる配置とした。

ワイヤにはNi-Ti合金（超弾性と呼ばれるもの）線を用いた。糸やロープの場合、基端（手首側）で牽引が必要となるが、Ni-Ti剛金線は適度な剛性を持っており、座屈せずにチューブからの引き出し・押し戻しが可能であった。柔軟チューブには摩擦の少ないPTFEを用いた。

ワイヤ15本の変位の計測方法には、プーリ式のエンコーダや直線状の可変抵抗などが考えられるが、摩擦抵抗を極力排除すること、コストを抑えることを要求仕様とし、カメラでまとめて計測することとした。柔軟チューブから出たワイヤの両端をチューブで拘束し、ワイヤの1点に色を付けることで、15本の直線上を点が移動する画像（図7）が得られ、これをカメラで撮影することによりワイヤの変位が得られる。この利点は、ワイヤの本数が増えてもコストが変わらないことである。カメラの仕様は60 fps,

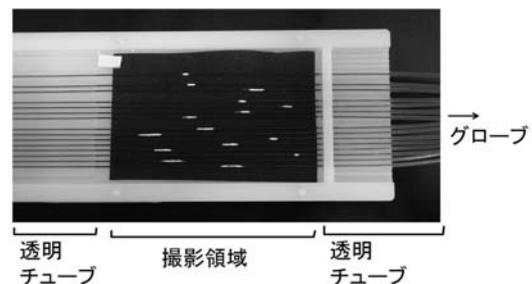


図7 カメラで撮像するワイヤ断端

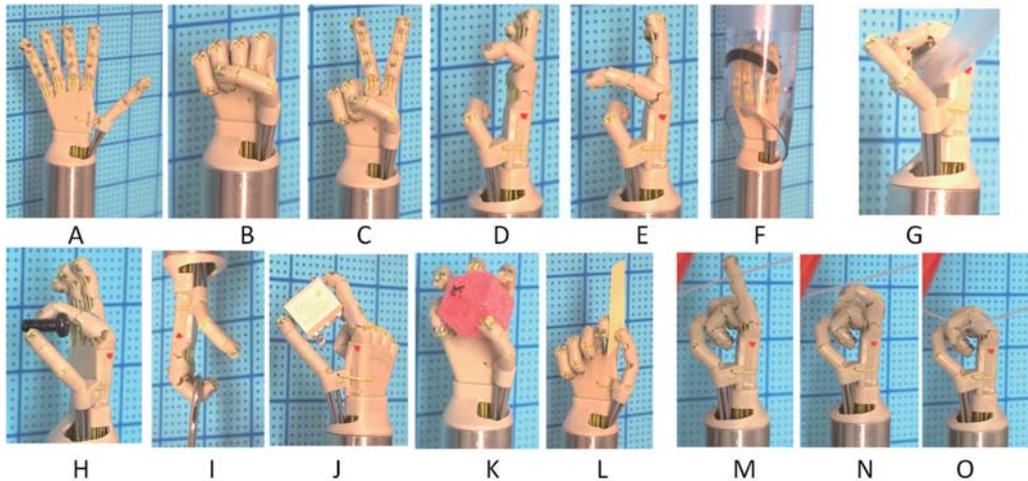


図8 ジェスチャおよび把持実験：A～C ジャンけんジェスチャ，D～E MP 関節と PIP+DIP 関節を独立して動作させている様子，F 内径 12 mm の円筒に挿入している様子，G～L Schlesinger の把持 6 形態を実現している様子，M～O 指の背後にある糸を引っ掛けて手繰り寄せる動作

魚眼レンズ，取り込み画像サイズ 640x480 である。画像処理はひずみ補正，2 値化の後，ワイヤ毎の ROI 内でマーカーの右端を検出する。ワイヤ 1 本あたり 10 ピクセル幅を割り当てている。画像の取込みによるレイテンシ，画像処理のフレームレート等の時間遅れの合計は 190 ms であった。マスタのコストの殆どはカメラのコストであり，安価で高精度の多自由度データグローブが実現した。

3. 性能評価

本マスタ，スレーブを用いた各ジェスチャおよび把持実験の様子を図 8 に示した。図中 G～L はハンドの評価でしばしば用いられる Schlesinger の把持 6 形態の全て（順に Cylindrical grasp, Tip, Hook, Palmar, Spherical grasp, Lateral）を実現している様子である。外科結紮の動作には手掌を動かさずに指だけで糸を引っ掛ける動作が頻繁に現れるが，M～O はそのデモの様子である。

[今後の研究の方向，課題]

1 指あたり多自由度をもつ世界最小のロボットハンドが実現し，加えて低コストで多自由度のグローブ型センサが実現した。

今後引き続き，腕（最低 6 自由度の手首・肘・肩関節）を開発し，本ハンドと統合したい。合わせて腕用のマスタを開発し，2 本の手と 3D カメラを備えたシステムを最終形として想定している。両手を用いたタスクが可能になった後に，人の手に似せた本マスタスレーブ系による操作没頭感への影響を調べ，新たな知見を得ることを期待する。手術器具としてのアプリケーションは，例えば別々の指に電気メス，糸切りはさみ，持針用指先等の機能を割り当てること，ミニチュアの鉗子等を体内に持ち込むこと，センサを付加し触診などを試みること，等様々な発展研究が考えられる。

ダイナミック吸着燃焼挙動を利用した 揮発性有機化合物 (VOC) 極微量検知の実現

Trace detection of volatile organic compound (VOC)
by utilizing dynamic adsorption/combustion behavior

2041024



研究代表者 (助成金受領者)	長崎大学大学院 工学研究科	准教授	兵 頭 健 生
共同研究者	長崎大学大学院 工学研究科	教 授	清 水 康 博

[研究の目的]

現在、様々なエネルギー設備や印刷塗装施設では、揮発性有機化合物 (VOC) による人体への悪影響が問題となっているが、これを防ぐためには極微量の VOC 発生を迅速検知し、その対策を立てることが効果的である。また、気管支疾患 (ガンを含む) など患っている患者の呼気中には独特の微量 VOC が存在することが知られており、これらを高感度検知することができれば、疾患の早期診断に非常に役立つと考えられている。我々の研究グループでは、以前より MEMS (マイクロマシン) 技術を用いて吸着燃焼式マイクロガスセンサを作製し、VOC を高感度・高選択的に検出する方法を検討している。本センサは、センサ触媒部 (VOC 吸着・燃焼場) に低温で VOC を吸着したのち、ミリ秒オーダーで急速昇温 (ダイナミック燃焼) させることで生じるガス検知部の熱伝導度の動的変化をモニタリングすることで VOC を検知する。即ち、VOC の多量吸着によりガス感度を稼ぎながら、VOC 種に依存する熱伝導度の動的変化の違いをガス選択性として検知する新方式のガスセンサである。そのため、原理的に従来 of ガスセンサに比べて VOC に対する高感度・高選択性が期待されているが、まだ実用的なレベルまで性能改善が進んでいない

のが現状である。そこで本研究では、センサ触媒部の材料を大きく見直し、ガス検知部のベース材料となる多孔質アルミナに担持する貴金属微粒子触媒や酸化物を最適化することで、高感度・高選択的に VOC を検知可能な吸着燃焼式ガスセンサを開発することを目的とした。成功すれば、上述した環境や診断現場においてリアルタイム・オンライン VOC 検知が可能となり、人体に優しい仕事環境の構築や健康管理に極めて役立つと期待される。

[研究の内容, 成果]

1. 吸着燃焼式ガスセンサの作製法・評価法

触媒膜・参照膜のベース材料である多孔質 γ -アルミナ ($mp\text{-Al}_2\text{O}_3$) は、所定量のベヘン酸とアルミニウム *sec*-ブトキシドを添加した 1-プロパノール溶液をソルボサーマル法 (110°C, 1 h) により処理することで調製した。硝酸塩あるいは塩化物の水溶液を用いた含浸法 (焼成条件: 700°C, 1 h) により酸化物担持 $mp\text{-Al}_2\text{O}_3$ ($t\text{MO}/mp\text{-Al}_2\text{O}_3$, t : MO 担持量 (wt%), MO: CeO_2 , CuO , Fe_2O_3 , Mn_2O_3 , NiO あるいは RuO_2) を得た。つぎに、主に貴金属塩化物を原料として超音波還元法 (200 kHz, 200 W) により貴金属ナノコロイド分散液を調製したのち、 $mp\text{-Al}_2\text{O}_3$ あるいは $t\text{MO}/mp\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末を

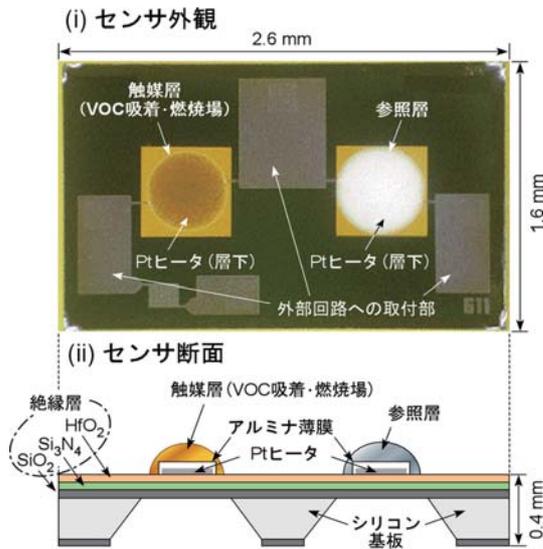


図1 吸着燃焼式ガスセンサの素子構造

加えて pH=4 に調整することで、貴金属 (N_1 , N_2 : Au, Pd あるいは Pt) を担持した mp- Al_2O_3 触媒粉末 ($rN_1/sN_2/mp-Al_2O_3$, $rPt/mp-Al_2O_3$ および $rPt/tMO/mp-Al_2O_3$ (r, s : 貴金属担持量 ($r+s=1.0$ wt%))) を得た。得られた触媒粉末と mp- Al_2O_3 参照粉末を有機ビークルに別途に添加してペーストを作製したのち、一対のセンサ基板電極にそれぞれ塗布し、700°C で 1 h 熱処理することで吸着燃焼式ガスセンサ (図 1) を得た。VOC 応答特性は、10 s 間に 0.4 s だけベース温度 (LT: RT あるいは 100°C) からパルス加熱 (HT: 450°C) をさせ、このときの応答波形を 6 種の VOC (エタノール, アセトン, 酢酸エチル, ベンゼン, トルエン, *o*-キシレン) について測定した。吸着燃焼式ガスセンサの典型的な応答波形を図 2 に示す。定温で作動する一般的な接触燃焼式ガスセンサが示す静的応答挙動に加えて、急速昇温により動的応答挙動が加味された応答波形が得られる。この波形より、通常に応答値 ΔV_{MAX} を $\Delta V_g - \Delta V_a$ (ΔV_g : 被検ガス雰囲気中のセンサ出力, ΔV_a : 空気中のセンサ出力) と定義した。また、応答波形を積分処理することで動的応答積分値 (*IDR*), 静的応答積分値 (*ISR*), 全応答積分値 (*TIR*) を算出するとともに (図 2 (ii) 参照), 応答波形を微分処理した際の効果も評

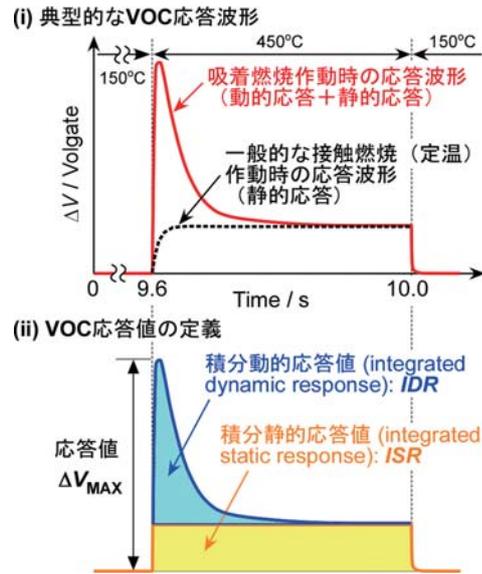


図2 吸着燃焼式ガスセンサの典型的な VOC 応答波形と応答値の定義

価した。さらに、触媒担体 (mp- Al_2O_3) への VOC 吸着特性は、粒状に整形した mp- Al_2O_3 (直径: 約 2 mm) を VOC 流通系に設置し、室温で空気希釈 VOC を流通させ、出口側ガスの VOC 濃度の経時変化をガスクロマトグラフにより測定することで評価した。

2. 吸着燃焼式ガスセンサの作製・評価

今回評価した 1.0Pt/mp- Al_2O_3 および $rN_1/sN_2/mp-Al_2O_3$ センサのエタノール応答値の濃度依存性 (LT: 100°C) を図 3 に示す。なお、この図には、これまでの研究で最もエタノール検知特性が優れていた 0.2Au/0.8Pd/mp- Al_2

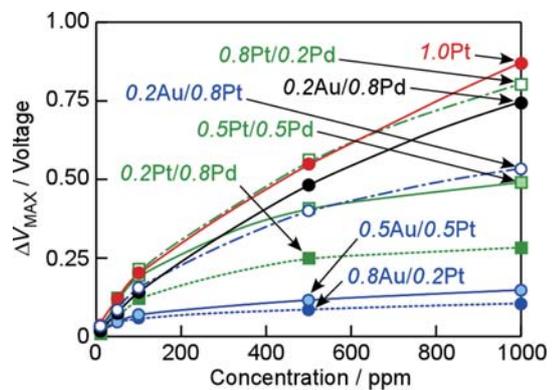


図3 1.0Pt/mp- Al_2O_3 , $rN_1/sN_2/mp-Al_2O_3$ および 0.2Au/0.8Pd/mp- Al_2O_3 センサのエタノール応答値と濃度との関係 (LT: 100°C)

O₃センサのエタノール応答値も比較としてプロットした。その結果、どの系においてもPt担持量を増やすことでエタノールに対する動的応答が大きくなること、*r*Pt/*s*Pd/*mp*-Al₂O₃センサは*r*Au/*s*Pt/*mp*-Al₂O₃センサよりも全体的に大きなエタノール応答値を示すことを確認した。その中でも、0.8Pt/0.2Pd/*mp*-Al₂O₃センサおよび1.0Pt/*mp*-Al₂O₃センサの2つが、0.2Au/0.8Pd/*mp*-Al₂O₃センサよりも良好なエタノール応答特性を示すことがわかった。

そこで、1.0Pt/*mp*-Al₂O₃センサをベースとして、MOを10 wt% 共担持することで更なるエタノール応答特性の改善を試みた(図4)。その結果、CuO, NiO, Fe₂O₃あるいはMn₂O₃を共担持しても1.0Pt/*mp*-Al₂O₃センサの応答値は低下するのに対して、CeO₂あるいはRuO₂を共担持することで1.0Pt/*mp*-Al₂O₃センサの特性を改善できること、その中でも1.0Pt/10CeO₂/*mp*-Al₂O₃センサがもっとも高いエタノール応答を示すことがわかった。この1.0Pt/10CeO₂/*mp*-Al₂O₃センサを用いて、他のVOC(アセトン, 酢酸エチル, ベンゼン, トルエン, *o*-キシレン)に対する応答特性を評価した。それぞれのVOCに対して得られた応

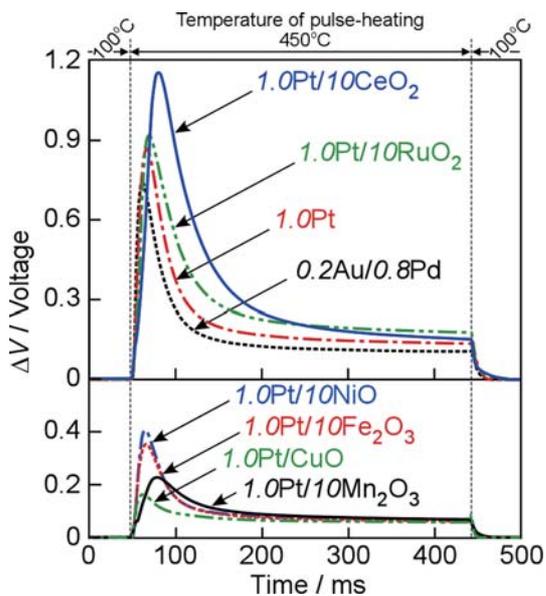


図4 1.0Pt/10 MO/*mp*-Al₂O₃, 1.0Pt/*mp*-Al₂O₃および0.2 Au/0.8 Pd/*mp*-Al₂O₃センサのエタノールに対する応答波形 (LT: 100°C)

答波形 (LT: RT および 100°C) を図5に示す。その結果、①アセトンに対してはエタノールより低い応答値を示したが、その応答波形は比較的類似していること、②酢酸エチルに対しては、エタノールやアセトンとかなり異なる動的応答挙動を示すこと(特に、RT 作動 (LT) の場合、初期にはっきりとした負の応答(吸熱反応に由来すると考えられる)を確認)、③ベンゼン, トルエンおよび*o*-キシレンに対しては、動的応答が静的応答に比べて極めて小さいこと、を確認した。

さらに、それらの応答波形を微分処理することで、より詳細な応答挙動の解析を試みた。図6に、各VOCに対する微分応答波形 (LT:

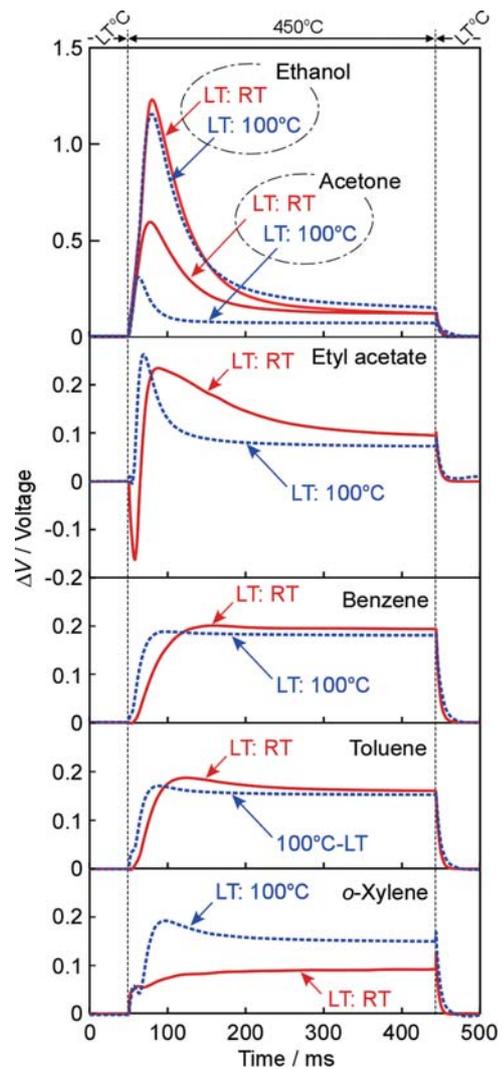


図5 1.0Pt/10CeO₂/*mp*-Al₂O₃センサの各VOCに対する応答波形 (LT: RT および 100°C)

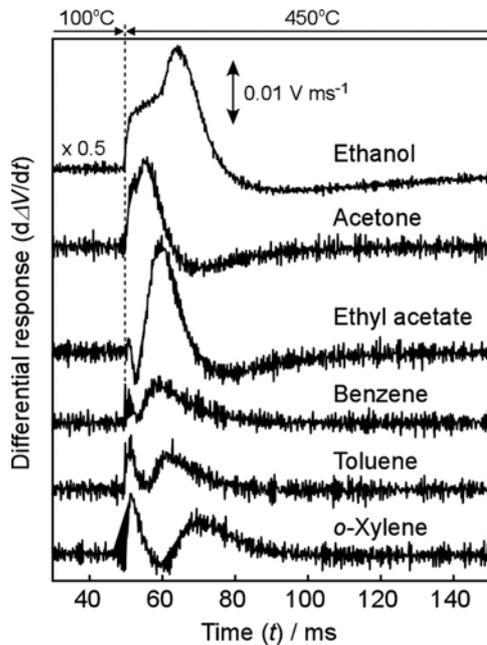


図6 $1.0\text{Pt}/10\text{CeO}_2/\text{mp-Al}_2\text{O}_3$ センサの各 VOC に対する微分応答波形 (LT: 100°C)

100°C) を示す。その結果、通常の応答波形では余り違いが見られなかったエタノールとアセトンに対する応答は、微分処理することで大きな違いが確認できた。また、通常の応答波形 (図5) においては RT 作動 (LT) の時のみ確認できていた酢酸エチルに対する負の応答が、 100°C 作動 (LT) した時でもしっかりと確認できた。さらに、類似の応答挙動を示していたベンゼン、トルエン、*o*-キシレンについては、分子量が大きくなる (メチル基の数が多くなる) とともに昇温直後の第1発熱ピークが大きくなり、その後続く第二発熱ピークのピークトップが遅くなった。このように、微分処理は、ガス種に依存する微小な応答の違いを可視化するのに効果的であることがわかった。

さらに、 $1.0\text{Pt}/10\text{CeO}_2/\text{mp-Al}_2\text{O}_3$ センサを RT 作動 (LT) した際の積分応答値を算出し、 ΔV_{MAX} とともに $\text{mp-Al}_2\text{O}_3$ 表面への VOC 吸着量 (測定温度: RT) に対してプロットした (図7)。その結果、① ΔV_{MAX} は、VOC 吸着量の増加とともに増加する傾向を示すものの、VOC 吸着量が大きく異なっても ΔV_{MAX} に違いが見られない場合があり、はっきりした相関が

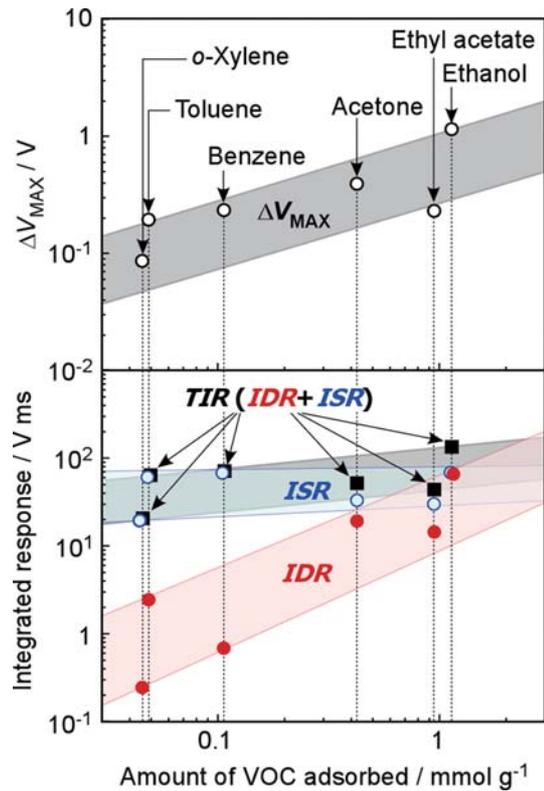


図7 $1.0\text{Pt}/10\text{CeO}_2/\text{mp-Al}_2\text{O}_3$ センサの RT-LT 作動時における各 VOC 応答値と $\text{mp-Al}_2\text{O}_3$ の VOC 吸着量 (測定温度: RT) との関係

確認できないこと、② *IDR* は VOC 吸着量に対して比較的良好な相関性を示すこと、③ *ISR* は VOC にはほとんど依存せず、そのため、*TIR* も VOC 吸着量に対する依存性は乏しいこと、などがわかった。

[今後の研究の方向、課題]

今回の研究で、 $1.0\text{Pt}/10\text{CeO}_2/\text{mp-Al}_2\text{O}_3$ センサの様々な VOC に対する応答挙動を明らかにできた。今後は、それらの昇温脱離特性や触媒活性を明らかにすることで、吸着燃焼式ガスセンサの応答メカニズムを明らかにするとともに、得られた知見に基づいて触媒材料の組成・微細構造をさらに最適化することで、VOC 応答特性 (特に選択性) を改善していく予定である。

[成果の発表, 論文等]

1. 論文

- T. Hyodo, Y. Yuzuriha, O. Nakagoe, T. Sasahara, S. Tanabe, Y. Shimizu, "Adsorption/combustion-type gas sensors employing mesoporous γ -alumina loaded with core (Au) /shell (Pd) nanoparticles synthesized reduction by sonochemical reduction, Sensors and Actuators B, Vol. 202, pp. 748-757 (2014).
- T. Hyodo, T. Hashimoto, T. Ueda, O. Nakagoe, K. Kamada, T. Sasahara, S. Tanabe, Y. Shimizu,

"Adsorption/combustion-type VOC sensors employing mesoporous γ -alumina co-loaded with noble-metal and oxide, Sensors and Actuators B, Vol. 220, pp. 1091-1104 (2015).

2. 招待講演

- T. Hyodo, T. Hashimoto, T. Ueda, O. Nakagoe, K. Kamada, T. Sasahara, S. Tanabe, Y. Shimizu, "Improvement of VOC-sensing properties of adsorption/combustion-type micro gas sensors, 11th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS-2015), Penang, Malaysia, Nov. 16-18 (2015).

高集積フレキシブル Si デバイス作製技術の開発

Development of highly integrated flexible Si device technologies

2041025



研究代表者

東北大学大学院 工学研究科
バイオリボティクス専攻

准教授

福島 誉 史

[研究の目的]

ウェアラブル端末に対する期待は年々高まり、フレキシブル有機デバイスの研究が活性化している。有機デバイスは印刷により作製できるため安価であるが、ディスプレイなど大面積の用途が多く、素子サイズや配線幅は先端の Si 半導体の微細加工と比べると 100 倍以上大きい。これは Roll-to-Roll などのフィルムプロセスを用いているためであり、Si 半導体で培った高生産性のウェーハプロセスでフレキシブルデバイスを作製できれば微細化は容易になる。一方、Si は薄化すると柔軟性が発現することは知られているがその特性はまだ十分に評価されていない。今後の医療・ヘルスケア等では小型で高性能なフレキシブルデバイスが必要となることを想定して、先端の微細加工技術を用い、厚い Si と同等の高い性能を有する薄く柔軟な人体に優しい Si デバイスを作製できるプロセス技術を研究する。

[研究の内容, 成果]

ここではフレキシブルな高集積 Si デバイスを作成するための 3 つの主要素技術の研究成果を報告する。

1. Si の低ストレス薄化技術

Si の薄化には、研削が行われるが、鏡面仕上げには、ドライポリッシュ、CMP（化学的機械研磨）、ウエットエッチ、ドライエッチ等、いくつかの方法が提案されている。我々の過去の研究結果から今回は CMP を採用し、その応力を評価した。ここでは、775 μm から研削し、50 μm 、さらに 10 μm まで薄化、鏡面化した Si チップを用い、 μ ラマン分光法により単結晶 Si の 520 cm^{-1} 近傍のピークシフトからその応力分布を測定した。Si-CMP にはコロイダルシリカ PLANERLITE（フジミインコーポレーテッド社製）、およびパッド IC1000（ニッタ・ハース社製）を用いた。研削、CMP した面と反対側の面（測定面積：60 μm × 60 μm ）の応力マッピングデータを図 1 に示す。

この図から、50 μm まで薄化した Si チップの応力は、引張方向、および圧縮方向を含む +15 MPa ~ -15 MPa 程度であるのに対し、10 μm まで薄化した Si チップの応力は、圧縮方向に約 40 MPa であった。デバイスが形成されていない Si の構造体でも、薄化により大きな応力を受けていることが分かった。

次いで、プレーナ構造のキャパシタを有する DRAM チップ（テクノロジーノード：90 nm）を用い、薄化した Si のヤング率と DRAM の保持特性、および薄化による応力の関係性を評価した。プレーナ型の DRAM は、スタック型

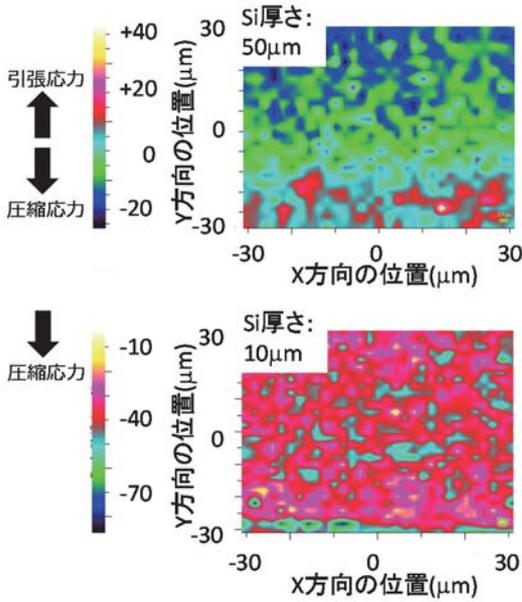


図1 薄化したSiの研削面と反対の面に発生した応力のマッピング

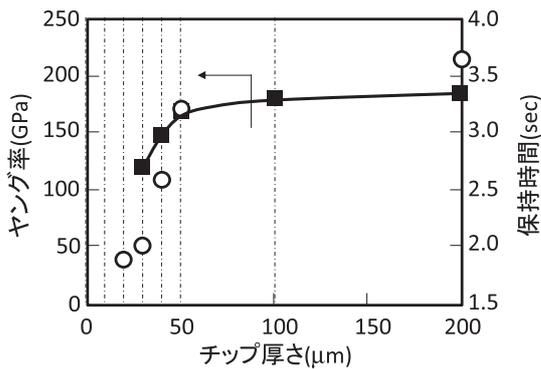


図2 研削、CMP処理により薄化したプレーナ構造のキャパシタを有するDRAMチップのヤング率と保持特性の関係

のキャパシタに比べて、応力やイオン性の不純物に敏感である。今回、表面粗さ Ra がおよそ 0.1 nm になるように CMP の処理条件を最適化した。図 2 に示す通り、バルクの Si のヤング率 180 GPa は厚さ 50 μm までは大きく変化していないが、厚さ 50 μm を下回るとヤング率が劇的に低下することが分かった。この結果に同期するように、DRAM の保持時間は Si の厚さ 50 μm を境界に著しく低下した。この結果から Si は厚さ 50 μm 以下で柔軟な特性を示すが、同時に、過度な Si の薄化はデバイスの特性変動を引き起こすこと

を示している。

2. 薄化 Si チップの自己組織化実装技術

ここでは、薄化された Si チップを液滴の表面張力を利用して、自己組織的に高精度に位置合わせ、および接合、電気的接続を行う技術に関する取り組みだ。この技術は、申請者らが 2005 年から三次元積層型の LSI チップ作製に向けて開発した技術が基盤となっている。今回、ポリイミド基板に薄化 Si チップを ±1 μm 以内の高精度で実装することを検討した。図 3 に自己組織化による Si チップのアセンブリ工程を示す。工程は単純であり、チップを搭載する領域を親水化し、その周辺領域を疎水化する。親水性領域に液体、ここでは水銀を除いて常温で最も表面張力が高い水を滴下し、その上にチップを放す。チップ下面が液滴に接触すると同時に、液体の表面積を最小化する駆動力が作用し、チップは親水性領域の中心に高い精度で位置合わせされる。ここで用いた液滴は 1 μl 以下の微量であるため、常温でも数分で揮発する。その後、チップと基板の金属バンプを熱圧着することにより接合され、電気的な接合が達成される（今回はバンプの導通試験結果の詳細を割愛する）。

疎水化はこれまでと同様に炭化フッ素系の極薄膜（厚さ約 15 nm）をリフトオフ法により堆積させた。一方、ポリイミドの表面は低親水性であるため、波長 172 nm の VUV を光源とし

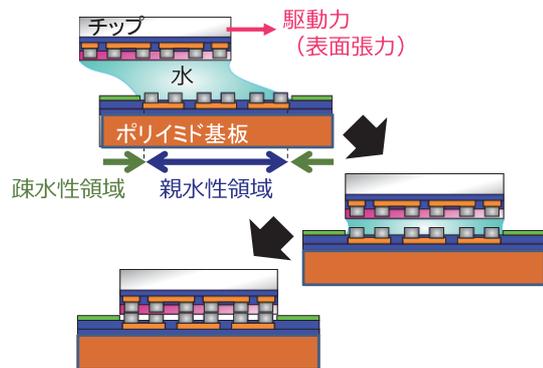


図3 自己組織化による薄化 Si チップの実装工程

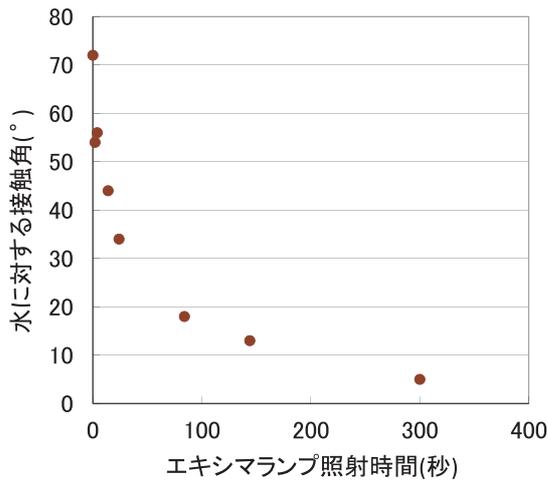


図4 VUV改質によるポリイミド基板上の接触角の変化

たエキシマランプで改質を試みた。図4にその結果を示す。VUV照射前のポリイミド表面の接触角は約70度を有する。これにVUVを照射するにつれて接触角は著しく低下し、5分照射した後では、接触角5度の高親水性を示した。疎水性領域の接触角は約100度である。このように高い塗れ性の差は水滴が親水性領域外へ拡張するのを抑制し、高い位置合わせ精度を達成する。

図5にチップが位置合わせされる過程のスナップ写真を示す。この図から分かるように、高親水性領域に滴下された水滴はこの領域全面に拡張している。この図では、手動でチップを搬送し、おおよそ目的の位置でチップを放し

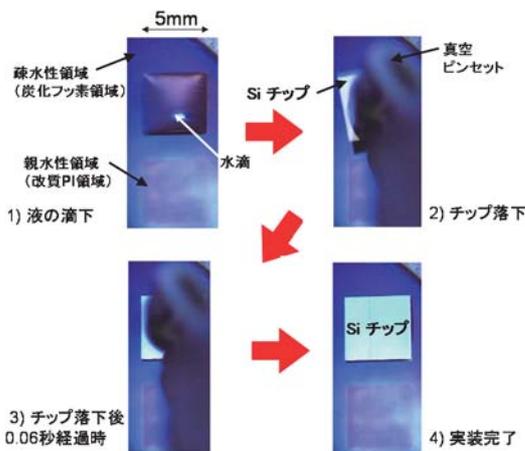


図5 水の表面張力により薄化チップがポリイミド基板に自己組織的に位置合わせされる過程

ている。したがって、XY方向に1mm以上、Z軸方向に3mm以上、また、θ方向にもある程度のオフセットを設けた状態でチップは落とされている。産業的には、ロボットを用いて±100μm程度の精度で高速に連続的に大量のチップを搬送して放すことは容易である。驚くべきことは、チップを放してから0.1秒以内の高速に位置合わせが完了している点である。電極のサイズが微細化する昨今のSiチップ実装では、この位置合わせに長い時間がかかり、精度と位置合わせ時間はトレードオフの関係にあることが問題視されている。この手法では、基板がポリイミドであろうとも、高速に位置合わせされることが分かった。

図6に位置合わせ精度に対する液量の効果を示す。液量が増大するにつれて、精度が徐々に低下する傾向がわかる。最適化することにより、平均位置合わせ精度1μmを達成できた。位置合わせ精度が低下する理由は、チップが位置合わせされる過程で生じるチップの傾きが生じ、チップと基板に生じる摩擦力により、最も自由エネルギーが安定化される位置に到達しないことが挙げられる。厚さ50μmに薄化した3mm角のSiチップをポリイミド基板上に高精度に実装したモジュールの上面写真を図7に示す。

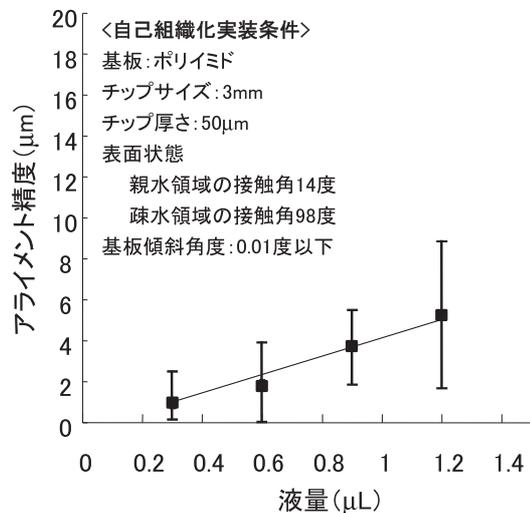


図6 液量が位置合わせ精度に与える影響

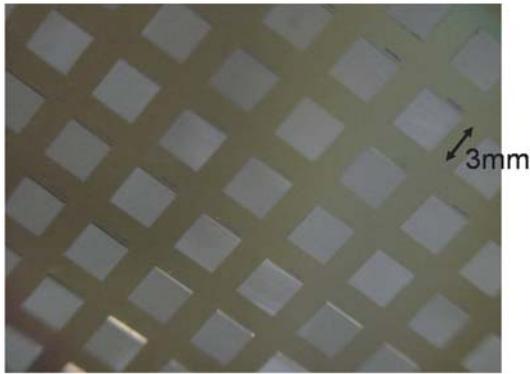


図7 3 mm 角の薄化 Si チップアレイを自己組織的に実装したポリイミド基板の写真

3. フレキシブル基板の剥離技術

ここではチップが実装されたポリイミド基板を Si ウェーハから剥離する技術について検討した。以下の2つの方法により、低ストレスでポリイミド基板を Si ウェーハから剥離することができた。1つは、Si ウェーハ上に低温 CVD で成膜した SiO₂ を犠牲層とし、この上に形成したポリイミド薄膜を緩衝フッ酸系の薬液で溶解除去する方法である。もう1つはシリコーン樹脂を粘着層とするポリイミドテープを Si ウェーハ上にラミネートし、犠牲層としてシリコーン樹脂を用い、スルホン酸系の薬液でこの層を溶解除去する方法である。いずれも大きな反りを発生することなくポリイミド薄膜を Si ウェーハから剥離することができた。前者の技術を応用して得られた薄化

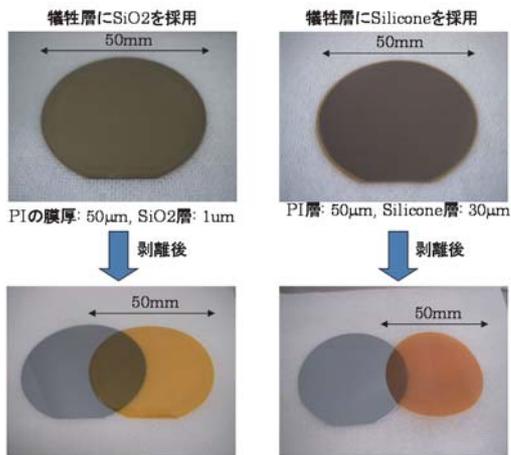
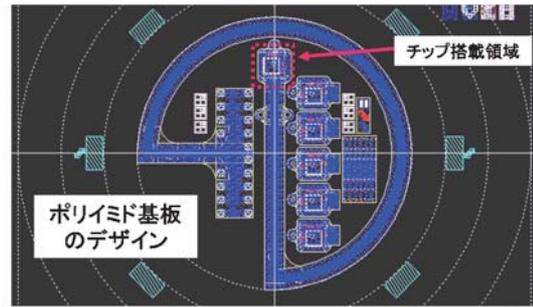


図8 Si ウェーハ上に形成した剥離前後のフレキシブルポリイミド基板の上面写真



フレキシブルポリイミド基板 Siチップ(3×3mm)

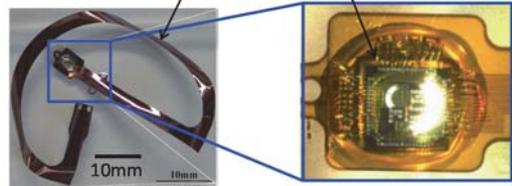


図9 フレキシブルポリイミド基板に実装した薄化 Si チップの写真 (ウェーハから剥離後)

Si チップ搭載のフレキシブルポリイミド基板の写真を図9に示す。このように Si ウェーハ上で先端の半導体微細加工技術を用い、高い精度で実装された高集積なフレキシブルデバイスを作製する要素技術の基礎を築くことができた。

[今後の研究の方向, 課題]

今回、Si ウェーハ上でポリイミド基板を作製し、薄化した柔軟な Si チップを高精度に実装して、高集積なフレキシブルデバイスを作製するための要素技術の研究に取り組んだ。薄化チップは柔軟であるが、50 μm を下回ると素子の特性変動が発生するため、特に敏感なデバイスでは Si の厚さも最適構造設計することが必要であることが分かった。チップサイズを小さくして多チップ化することで柔軟性を付与することを今後は検討していきたい。また、高い平均位置合わせ精度 1 μm が得られたものの、位置合わせ精度のばらつきを低くすることが今後の課題となる。精度低下の原因となる、チップの傾きを抑え、チップサイズ精度にも強く依存しない構造を提案して、今後の微細電極接続の研究を継続したい。チッ

プの剥離技術に関しては、Si チップが腐食されないような封止技術が必須であるため、剥離機構を温和にできるようにポリイミドの構造を含めて最適化する。

[成果の発表, 論文等]

Si の薄化と応力に関しては、2015 年 9 月に行われる国際会議 SSDM (International Conference on Solid State Devices and Materials) で発表を予定している。また、自己組織化実装に関する研究成果は、2015 年 12 月が投稿期日のオープンアクセス誌 Micromachins の特集号「Special Issue “Building by Self-Assembly”」で発表を予定している。

匂いの類似性を利用したセンサーによる泌尿器癌検査法、 及び測定情報共有法の開発

Semiconductor and Metabolome Analyses of Metabolite derived from
a Bladder Cancer Cell Line and Epithelial Cells

2041026



研究代表者

東京慈恵会医科大学

講師

藤岡宏樹

[研究の目的]

本研究は、泌尿器癌に由来する揮発成分の匂いをセンサーにより測定、基準試薬の匂いに対する類似度で表現し、再現性良く、高感度に癌を判別する方法を開発することを目的とする。

現行の泌尿器癌の検査法では、尿の細胞診、腹部エコー、PSAの血液検査などが行われている。しかしながら、これらの内、細胞診やエコー検査は診断予測をつけてから行う場合が多く、簡便なスクリーニングに適用することが難しい。そこで本研究では、尿の匂いをセンシングして絶対値で記録する、簡便な泌尿器癌のスクリーニング法を開発し、人への身体的負担を軽減した早期発見法を構築することを最終目標とする。

なぜ匂いに着目するのか？我々が匂いに着目した要因の一つにメタボローム解析とセンサー技術の発展がある。メタボローム解析は、LC、GC、CEなどと質量分析装置を組み合わせ、代謝物に含まれる物質の中から、バイオマーカー候補となる物質を網羅的に探索するものである。現在までに、多くの癌で候補物質が報告されてきた。

また、代謝物には揮発性のある物質も含まれており、センサーや犬の嗅覚などを使って、揮発成分のパターンを比較する研究も進んでいる。

これらの研究は、先述の成分を一つ一つ同定するメタボローム解析とは異なり、成分を一度に、またはいくつかの群として捉えて測定し、判別する方法である。成分の種類によっては、質量分析よりも高感度に検出できるものもあり、これまでに犬の嗅覚やセンサーを使った膀胱癌患者の尿の判別研究や、犬の嗅覚で大腸癌患者の呼気を判別する研究などが報告されてきた。これらの研究で得られた判別精度は、既存の血中マーカーと同様か、それ以上の精度を推移しているものが多く、匂いだけでも十分に診断に応用できることを示唆している。

しかしながら、センサーや犬の嗅覚による判別では、どのような成分が認識されているかを判断することが難しい。このため、センサーや犬の嗅覚から得られた結果とメタボローム解析から得られた結果との比較や、異なるセンサー間の認識成分の違いを考察する事が困難であった。

そこで、我々はセンサーによる香り表現法に着目し、正常と癌の代謝物などサンプル間の匂いの違いを表現させる方法を試みる。この表現法は、喜多らによって構築された方法であり、サンプルと基準となる成分(9種類)との類似度を計算することで、擬似的にどのような成分が含まれているか、またどのような匂いの質かを表現させることができる方法である。

近年、我々はこの手法を発展させ、ワインの香り表現キット (Le Nez du Vin) に含まれる 51 種類の香りをセンサー装置に記憶させ、匂いを判別する手法を構築してきた(藤岡ら, 日本味と匂学会誌, 2013)。この手法を用いることで、コーヒーや飲料のような複雑な香りでも、類似度で分かり易く表現させ、判別することに成功している (Fujioka et al, Sensors, 2015)。

本報告では、我々が構築したワインの香りキットによる表現法を応用し、泌尿器癌細胞株、及び正常上皮細胞を培養した培地の匂いの違いを匂いセンサーで判別することができるか、また癌細胞の増殖性と匂いとの関連性について検証した結果を報告する。

[研究の内容, 成果]

1. 方法

(1) 細胞：

正常膀胱上皮細胞は、Bladder Epithelial Cell Growth Medium (Cell Applications, Inc.) で培養を行なった。また、膀胱癌細胞株 (TCC-SUP, RT4, 及び T24), 及び前立腺癌細胞株 (DU145, 及び LNCaP) は、10% の牛血清を含む RPMI 培地で培養を行なった。

その後、代謝物を含む培地の匂いを比較するため、正常膀胱上皮細胞、及び膀胱癌細胞株 TCC-SUP については、75 cm²シャーレに 1×10⁶個の細胞を Bladder Epithelial Cell Growth Medium で 72 時間培養した。

また、Bladder Epithelial Cell Growth Medium で維持できなかった膀胱幹細胞株 RT4・T24, 及び前立腺癌細胞株 DU145・LNCaP は 25 cm²シャーレに 10% の牛血清を含む RPMI 培地で 5×10⁴個を 48 時間培養した。

培養後、これらの培地はガラス瓶に回収され、匂いセンサーによる測定まで、冷凍保存された。

(2) 匂いセンサーによる細胞代謝物の測定：

Bladder Epithelial Cell Growth Medium 培地で培養したものは 200 μL, また RPMI 培地で

培養したものは 2 mL 採取し、それぞれ 2L のサンプリングバッグに注入して 30 分以上静置した。その後、匂いセンサー FF-2A (島津製作所) の 10 個のセンサー (Ch_1~Ch_10) を使って、2つのモード (ダイレクトモード・捕集管モード) で測定した。

(3) Le Nez du Vin アロマキットと培地の匂いデータの比較：

Le Nez du Vin (Editions Jean Lenoir) のワインアロマ 54 種類のうち 51 種類の試薬を匂いセンサー FF-2A で測定して、記録したデータを用いた (藤岡ら, 日本味と匂学会誌, 2013)。培地の匂いをワインアロマ軸で表現させるため、類似度解析ソフト ASmell2 (島津製作所) で類似度を計算した。これらのデータが、複雑な匂い判別にも応用できることを確かめるため、飲料の判別を行ない、精度よく判別できることを確かめた (データ未掲載 : Fujioka K et al, Sensors, 2015)。

2. 結果と考察

(1) 正常膀胱上皮細胞と膀胱癌細胞株の培地の匂いの比較：

始めに、正常膀胱上皮細胞と膀胱癌細胞株 TCC-SUP のそれぞれを培養した培地を匂いセンサー装置 FF-2A で測定した (図 1)。

今回の測定では、2つのモード ((1) 直接センサーで測定するダイレクトモード、及び (2) 一度担体に捕集して熱放出させた成分を測定するキャプチャーモード) で測定を行なっている。

この結果、ダイレクトモードにおいて、FF-2A に搭載された 10 種類のセンサーのうち、Ch_2, Ch_8, 及び Ch_10 の抵抗値で正常細胞と膀胱癌細胞株に差が見られた (図 1)。一方、キャプチャーモードでは、どのセンサー抵抗値も、両者の細胞でほぼ同様の値を示していた。これらの結果から、正常上皮細胞と比較して膀胱癌細胞株には、キャプチャーモードで検出にくい揮発成分、つまり揮発性の高い、あるいは水溶性の高い成分に違いがあることが予測さ

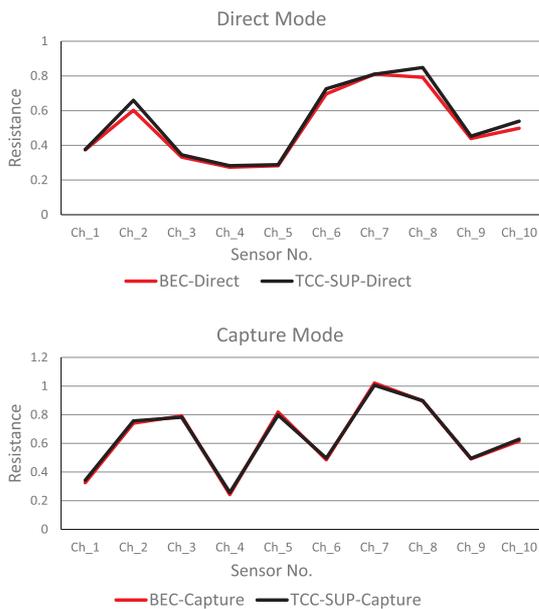


図1 正常膀胱上皮細胞 (BEC) と膀胱癌細胞株 (TCC-SUP) を培養した培地揮発成分の代表的なセンサー値。ダイレクトモード (上), 及び捕集管モード (下) で測定した結果。

れた。

次に、これらの電気抵抗値について、51種類のワインの香りに対する類似度を求めた。正常膀胱上皮細胞、及び TCC-SUP の類似度を比較した結果、28種類の香りに対して有意差が見られた ($p < 0.05$)。

有意差のあった香りのうち、アプリコット、メルカプタン、硫化水素、及びパイナップルの香りについては、膀胱癌と正常細胞の差が2倍以上、または、膀胱癌細胞株のみに対して類似度が見られた。

一方、これらの培地をメタボローム解析した結果からは、癌細胞においてピルビン酸などを含む酸の上昇や硫黄成分を含むシスチンやグルタチオンの上昇が示唆されており (データ未掲載)、これらの代謝成分の違いが培地の匂いに差をもたらしている可能性が考えられた。

(2) 膀胱癌細胞株と前立腺癌細胞株の匂いの比較、及び倍加時間との関連性：

本検討では、増殖速度の異なる2種類の膀胱癌細胞株 (T24：高増殖, RT4：低増殖)、及び前立腺癌細胞株 (DU145：高増殖, LNCaP：低増殖) を用いて、匂いの違いを比較した。

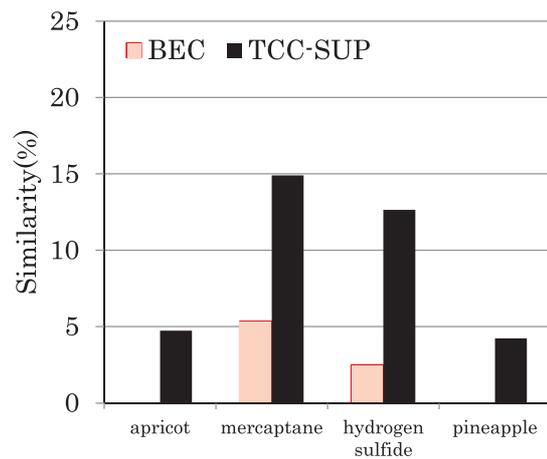


図2 Le Nez du Vin のワインアロマに対する、正常膀胱上皮細胞 (BEC) と膀胱癌細胞株 (TCC-SUP) を培養した培地揮発成分の類似度の代表的な結果。

まず始めに、膀胱癌細胞株と前立腺癌細胞株で、匂いを比較したところ、組織の違いによる匂いの差を見いだすことはできなかった。しかしながら、4つの細胞で RT4 のみ、タイムの香りへの類似性が見られ、特徴的な代謝を行っていることが示唆された。

次に、それぞれの組織で癌細胞の増殖性と匂いとの関連性を調査した。この結果、膀胱癌細胞株では高増殖性の T24 細胞でアプリコットに対する類似度が高く、また先述の通り RT4 でタイムの香りへの類似性が見られた (データ未掲載)。前立腺癌細胞株では、高増殖性の DU145 は松の香りへの類似度が、LNCaP と比較して低いことがわかった (データ未掲載)。

[今後の研究の方向、課題]

以上の様に、本研究では癌と正常細胞を培養した培地の匂いに対して、センサーによる計測を行ない、電気抵抗値に差があることを示すだけでなく、代謝物の匂いの違いを類似度という絶対値で記録し、比較できることを明らかにした。また、癌の増殖性との関連が示唆される匂いを同定することにも成功した。

一方、今回の結果は、細胞株での違いを検討した結果であり、今後、本法を臨床に展開して

実際に判別に適応できるかどうかを検討することが必要である。本検討で用いた培地自体にも揮発成分が含まれていたが、尿にも特有の揮発成分が多く含まれている。このため、これらの揮発成分が混在する中で、今回検出されたアプリコット、硫黄系、松のような香りが含まれた匂いの差を検出できる必要があるだろう。

本検討では、癌細胞株に特有な代謝揮発成分をセンサーで検出できること、また、ワインアロマのような試薬の匂いに対して類似度を使い絶対値で記録できることを示した。本法をさらに発展させ、泌尿器癌のセンサースクリーニング法を構築していきたい。

[成果の発表, 論文等]

1. 学会発表

- (1) Fujioka K, Tomizawa Y, Shimizu N, Manome Y, Learning Wine Aroma Descriptions Improved Ability of Expression in an Electronic Nose, Digital Olfaction Society World Congress 2014, Tokyo, 2014年12月.
- (2) 藤岡宏樹, 富澤康子, 清水信夫, 馬目佳信. 化学センサとワイン香料の組み合わせによる匂いの客観的評価法の構築. 電気化学会第82回大会. 横浜. 2015年3月.

2. 論文

- (1) Fujioka K, Tomizawa Y, Shimizu N, Ikeda K, Manome Y.: Improving the performance of an electronic nose by wine aroma training to distinguish between drip coffee and canned coffee, Sensors, 15(1), 1354-64, 2015.

靴型足底圧マルチセンシングシステムによる ジュニアアスリートの障害予防の研究

Prevention of Sports Impediment by Plantar Pressure Multi-Sensing System

2041027



研究代表者

東京医療保健大学 医療保健学部
医療情報学科

教授

山下和彦

[研究の目的]

人間の足部は26個の骨と33個の関節で構成され、それをつなぐ筋や靭帯は複雑な構造となっている。さらに足裏には3つのアーチがあり、内側縦アーチ(土踏まず)、横アーチ(前足部の母指球から第5中足骨にかけてのアーチ)、外側縦アーチで構成される。これらは複雑な骨や筋の配列にて構築され、運動中の荷重や衝撃を緩衝する機能があると報告されている。

スポーツにおける足部の障害を予防するためには、足底が地面に接することで動作の起点となることからClosed kinetic chain(閉鎖運動連鎖:CKC)の観点より、足底部の機能に着目することが重要である。特に、内側縦アーチ、踵部の距骨下関節、横アーチ、外側縦アーチの状態はスポーツにおける下肢障害に関連していると考えられている。

一方、スポーツの中でもサッカーはスポーツ障害が発生しやすいものの1つであり、プロリーグに所属する38%に骨折の既往があったという先行研究もある。特に足第5中足骨の疲労骨折であるJones骨折は難治性であり再発例も多く見られる。そのため、Jones骨折に関連するパフォーマンスからのリスク因子を分析するのみではなく、CKCに基づく要因や身体的特徴を定量的に評価することが求められる。

そこで本研究では、高校生までのアスリート

のスポーツ障害に関連すると考えられる身体的特徴を評価する計測システムの開発とその特徴について明らかにすることを目的とした。

[研究の内容・成果]

研究方法

本研究では、Jones骨折等のスポーツ障害のリスク推定のために、CKCの観点から足底部の解剖学的特徴、さらに運動学的特徴を計測するための靴型足底圧マルチセンシングシステムを開発した。本システムは、前足部に4点、中足部に2点、後足部に1点の計7点の圧力センサを配置した。

本システムでは、静止立位中や歩行中の足圧中心(Center of pressure:COP)の計測が可能だけでなく、足底部の筋骨格系の動き、すなわち、解剖学的特徴を評価できるようセンサ位置を構成した。サンプリング周波数は100Hz、通信距離は約50mであり、歩行などの運動評価が可能である。

計測は、図1に示した計測システムによる静止立位時(45秒間の両足立ち、片足立ち)、歩行時の足底部の解剖学的・運動学的特徴の分析、図2に示した膝下の筋力を総合的に計測・評価する足指力計、股関節の内転・外転筋力を計測する膝間力計測器を用いて計測を実施した。さらに、アンケート、足底部の観察を実施した。

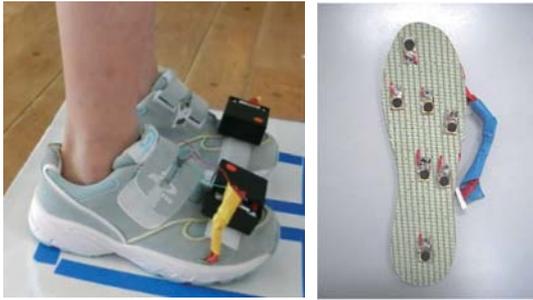


図1 靴型足底圧マルチセンシングシステム



図2 下肢筋力計測装置（左：足指力計，右：膝間力計）

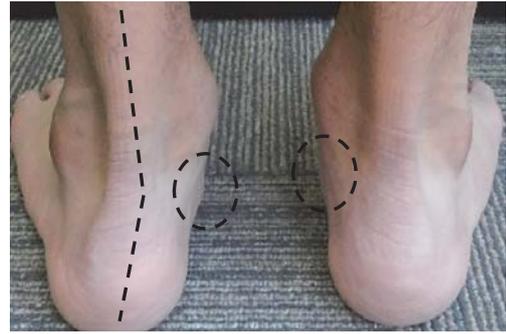
対象者

本研究では、幼稚園児から高校生までの2088人（スポーツ選手1012人）に対し、調査を行った。本報告では特徴的な男子高校サッカーのトップリーグに所属する複数チームの155名について述べることにする。本対象選手は、高校サッカーのインターハイやサッカー選手権大会の全国大会に出場しているチームに所属している。

成果

踵・足底部の変形によるスポーツ障害リスク群の調査

スポーツ障害を予防するために解剖学的側面から距骨下関節と踵の運動軸は重要である。そこで、図3のように足底部のアーチ構造に関連する後脛骨筋腱障害などの観点から内果下の骨の突出状況について調査した。さらに、図4のようにアーチ構造に関連する足底部に加わる圧力値の評価のために、静止立位時の特徴点を調べた。なお、ここでの骨の突出について、舟状骨、あるいは外頸骨などの可能性があるが、レントゲン等の画像診断的介入が行えないため、ここでは厳密に区別はしていない。その結果、内果下に左右どちらか、あるいは両方に骨が突



a. 踵の外反と骨の突出

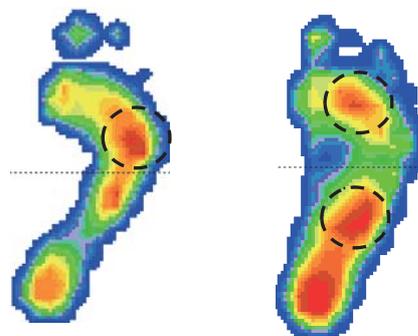


b. 骨の突出

図3 踵に観察される問題

出していたのは、108名（69.7%）であった。この割合は、本研究で調査してきた他の群と比べて高く、距骨下関節や踵などの解剖学的観点からより深く分析することが求められる結果であった。

図4左のように第5中足骨に荷重が観察されたのは、両足立ち時で78名（50.3%）、片足立ち時で101名（65.2%）、図4右のように横アーチに荷重が観察されたのは両足立ち時で106名（68.4%）、外側縦アーチに荷重が観察さ



第5中足骨，外側縦アーチ
中央への荷重

横アーチ，外側縦アーチ
中央への荷重

図4 静止立位時の足底部への荷重

れたのは両足立ち時で 86 名 (55.4%)、片足立ち時で 111 名 (71.6%) であった。

子どもの骨格構造は軟骨で構成され、成長とともに骨化が進むが、踵骨等の後足部の骨は 8 歳ごろに骨化が完成の域に達するとされる。本研究対象とした高校生は平均 6 歳でサッカーを始めていた。サッカー経験年数は 11.2 歳であり、幼少期からのスポーツ特性が発達に影響をおよぼしていることが推定できる。すなわち、表 1 のように過去にサッカー以外のスポーツ経験がない人は外側縦アーチに荷重がある割合が高いことがわかった。

図 5 に左右の足指力の計測結果を示した。足指力は図 2 のように計測部を足拇趾と足第 2 趾で挟み込み、足趾を丸めるように計測することで、膝から下、特に前足部の筋力や機能が評価できる。足趾は歩行や静止立位時の前方方向の姿勢制御に強くかかわっている。

斜線より下のプロットは右足が左足より値が高いことを示す。その結果、左右差が大きいタイプ、5 kgf を下回るような十分に足趾周辺の筋発揮力が機能しないタイプが存在することがうかがえた。すなわち右足は 45 名、左足は 78 名が該当した。図 1 の靴型の計測装置でも足拇趾の荷重が小さいタイプが多数存在しているこ

表 1 サッカー以外のスポーツ経験と足部構造

		サッカー以外のスポーツ経験	
		なし	あり
外側縦アーチ	なし	25	44
荷重の有無	あり	46	40

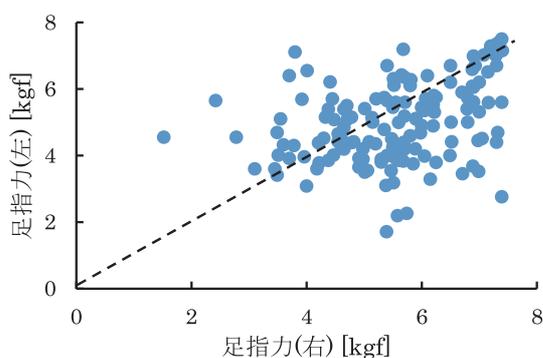


図 5 左右の足指力の計測結果

とから、前足部機能が低下していることが確認できた。すなわち、CKC の観点から足趾の機能を向上させ、運動中の安定な姿勢制御に寄与するためには、5 kgf を下回る対象者には柔軟性や可動域向上を図るケアプログラムの実施が求められることがわかった。

図 6 には膝間力の内転と外転筋力の計測結果を示した。内転筋力 40 kgf を下回ったのは 10 名、外転筋力 35 kgf を下回ったのは 18 名であった。膝間力に関連する筋力は比較的優れていることがわかった。

足指力に関する筋特性は足裏の 3 つのアーチ構造に密接に関連している。特に小学校などの時期に足指力や膝間力に関連する筋特性を向上させ、踵、舟状骨、距骨下関節などのアライメントを適切に構築することはスポーツ障害の予防に関連すると考えられる。今回の結果から、約半数が足指力の発達について十分でないことがわかった。

図 7 に 1 年間の追跡を行った対象者の足指力

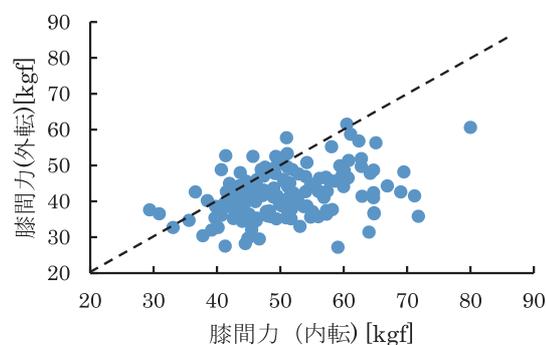


図 6 膝間力の内外転の関係

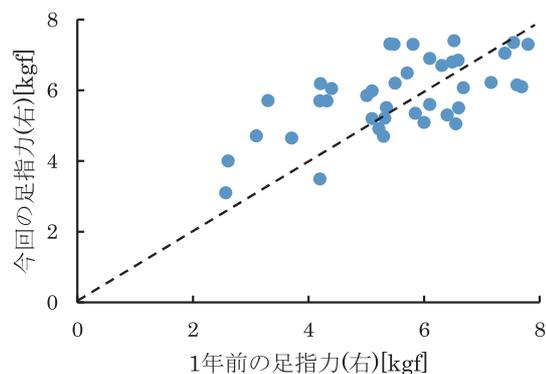


図 7 1 年間の足指力の変化

の変化を示した。1年前に足指力が5 kgfを下回っていたのは40名中の10名であった。本結果とそれぞれ対象者の特徴は追跡を行ったチームのコーチとトレーナーに説明し、それぞれのチームで練習メニューやプログラムを実践した。その結果、足指力の5 kgfを下回っていた対象者で1年後に低下したのは1名であり、5 kgfを上回ったのは6名存在した。すなわち、足趾の機能を高め、筋力の向上を図るトレーニングを組み合わせることが有効であり、計測結果を見える化し、フィードバックすることが重要であると考えられる。

さらに、靴型足底圧マルチセンシングシステムの第5中足骨、外側縦アーチの中間部、前足部の横アーチの中間部等のセンサ位置はJones骨折などのスポーツ障害のリスクを評価する上で有用であることが分かった。これらのセンサ情報を組み合わせることで踵や距骨下関節の運動軸を推定できる可能性があり、運動中のこれら解剖学的特徴に着目できることが期待できる。

[今後の研究の方向・課題]

本研究では、ジュニアを含むアスリートのスポーツ障害予防を目的とし、CKCの観点からスポーツ障害に密接に関連すると考えられる足底部の特徴点の圧力値を計測できる靴型足底圧マルチセンシングシステムを開発し、さらに、足指力と膝間力計測器による筋力計測装置を開発した。本報告では、Jones骨折などの足底部に関連するスポーツ障害が多い高校サッカーのトップグループに着目し、踵や距骨下関節の変形、運動軸の変化を推定するために骨の状況の観察、静止立位時の足底圧の特徴量抽出、下肢筋力について計測、解析した。

その結果、第5中足骨の荷重、前足部の横アーチと外側縦アーチの低下が高い割合で観察

され、あわせてくるぶしである内果の下に骨が突出している割合が高いこともわかった。足底部の3つのアーチの構成には、足底部や膝下の筋力の影響が関係するため、足指力と膝間力による筋力計測を実施した。その結果、左右差や十分に筋力が向上していない、あるいは足趾の機能が低下している事例が明らかになった。1年間の足趾等の機能向上の指導の結果、筋力などの機能低下が認められる対象者は概ね向上することがわかった。

本研究の今後の展開は、今回報告した155名の対象者、および比較対象や発達の評価を加えている2000人以上の対象者について追跡調査し、横断的な足底部の解剖学的、運動学的変化について明らかにする。さらに、踵や距骨下関節の運動軸の評価方法を確立し、簡単にスポーツ障害のリスク指標を構築し、それぞれの対象者の特徴により予防方策を提供できるように研究を組み立てる。

課題として、これまでサッカーのジュニアを含むアスリートに着目してきたが、水泳やライフセービングなどのサッカーとは全く異なる運動特性を持つアスリートにも視野を広げるべきである。実際に、外側縦アーチが確保されている対象者は小学生の頃に水泳などに取り組んでいる傾向にあり、足部の発達のメカニズムにまで踏み込んで、スポーツ特性を組み合わせた検討をCKCの観点から行うことが求められる。

[成果の発表]

- Yamashita K, Anzai E, Yamada K, Ohno Y, Ohta Y: Evaluation of lower extremity function for prevention of foot deformities on healthy children, LE2014, 2014
- Anzai E, Nakajima K, Yamashita K, Matsunaga Y, Sato M, Onishi T, Ohta Y: Evaluation of Foot Structure and Gait Feature of Knee-Osteoarthritis by the Shoe Type Stabilometer, LE2014, 2014

ウェアラブルコンピュータとモバイル脳波計を利用した 没入型脳情報計測装置の開発

Development of immersive brain information communication system using
wearable computer and mobile EEG

2041028



研究代表者

国立研究開発法人
情報通信研究機構

研究員

横田 悠 右

[研究の目的]

ヒトの脳活動を解読し、コンピュータに情報を伝達するブレインマシンインタフェース(BMI)の研究が世界中で盛んに行われている。例えば、海外では身体が麻痺した患者がロボットアームを脳信号から操作した例が報告されている。また日本では、脳波から文字入力を行い意志を伝達したり、車いすの操作する等の研究が行われている。しかしながら、こうした従来のBMIは主に有線型の大型脳波計とPCモニターによってシステムが構築されている。そのため、ユーザの行動範囲は機械が使用できる範囲内に限定されており、いつでも、どこでも自由にBMIを利用することは困難である。こうした現状を打破するため、本研究は機械が人間の行動を制限せず、一般生活で利用できるBMIシステムの構築を狙いとしている。

研究代表者は、手軽に脳情報を計測するインタフェースの開発および健常者も利用できる応用技術の研究を続けている。その成果の一環としてウェアラブル脳波計を開発した(図1)。この脳波計はワイヤレス通信、バッテリー駆動で動作するためユーザは機械に縛られることなく、どこでも好きな場所で脳波を計測できる。またアクティブ電極(電極内にアンプが設置されている)を採用しており、ノイズの多い実環



図1 ウェアラブル脳波計
ワイヤレス通信、アクティブ電極、バッテリー駆動
が特徴である

境下においても安定した計測が可能である。さらにジェルペーストを必要としないドライ電極を使用しており、脳波計測の準備に必要な時間を大幅に削減している。ドライ電極の使用は髪をジェルで汚すこともないため、ユーザの脳波計測に対する心理的抵抗感を下げることにも貢献している。より手軽な脳波計測を実現するための次なる狙いは、持ち運び可能な小型モニターを使用することで脳波計測システム全体の小型化を実現することである。そこで本研究では、小型モニターとしてヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用することを提案した。HMDと小型脳波計を組み合わせれば、システムのウェアラブル性は更に拡大する。また、HMDの装

着はユーザに高い没入感環境を与えるため、外部環境から受ける視覚ノイズの影響を小さくできる。ヒトが集中して脳波を計測できる環境を構築することも独創的なポイントである。

[研究の内容, 成果]

本研究では、HMD は Oculus Rift DK2 (Oculus VR 社製)、小型脳波計は Polymate Mini AP108 (ミュキ技研製)を用いてウェアラブル脳波計測システムを構築した。

1. HMD における脳波計測環境の構築

1.1. HMD への電極設置

一般的な脳波計測では図2に示したような電極が設置された専用のキャップを装着する。しかしながら、HMD を同時に装着する場合、こうした電極付きのキャップではHMD と物理的な干渉が発生する。また、キャップの上から無理にHMD を装着しようとすると、電極がHMD のバンドによって強く圧迫されるためユーザが強い痛みを感じる。HMD のバンドを緩めることで圧迫を軽減する解決法も考えられるが、頭に2つのデバイスを装着するため、ユーザに対して大きな負担がかかってしまう。

本研究ではこのハードウェア課題に対して、HMD のバンド上に3D プリンタで作成した電極専用のブラケットを設置することで解決した(図3)。専用ブラケットは、後頭部近傍に3つと頭頂近傍に1つ配置しており、それぞれのブ



図2 一般的な脳波キャップ

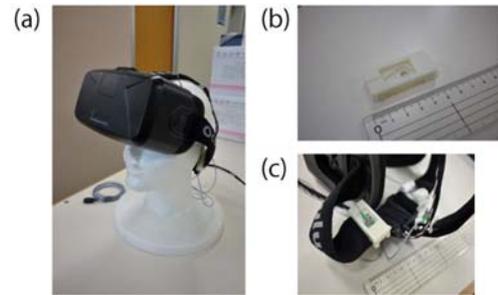


図3 (a) Oculus Rift DK2 と脳波計の装着例 (b) 電極専用ブラケット (c) HMD のバンドにブラケットと電極を設置。HMD 装着と同時に脳波が計測できるため利便性が大幅に向上した。

ラケットにはジェルペーストを使用せずとも脳波計測が可能になるドライ電極(ユニークメディカル社製)を設置した。ブラケットはドライ電極の利用を考慮した構造になっているおり、HMD のバンドで頭が強く締め付けられても電極が頭皮に痛みを与えることはない(図3(b)(c))。かえって、バンドによる締め付け効果によってドライ電極は頭皮にしっかりと接触するため、安定した脳波計測が実現できた。HMD に電極を直接設置したことで、HMD を装着するだけで脳波が計測可能になるため、従来の脳波計測システムよりも格段に利便性が向上した。

1.2. HMD のモニタ性能検証

脳波の特徴は、ミリ秒単位の高い時間解像度で脳活動を計測できることであるため、実験に使用するモニタには、出来る限り素早く刺激を描画できることおよび常に一定の時間間隔で映像の書き換えが行える性能が求められる。一般的な脳波実験では高速描画が可能なブラウン管モニタが使用されている。一方、本研究で使用している Oculus Rift DK2 は有機 EL ディスプレイを採用している。有機 EL ディスプレイは脳波実験において使用実績が少なく、ミリ秒単位での描画遅延や不定な間隔での映像の書き換えが発生する可能性も考えられる。

有機 EL ディスプレイの描画性能を検証するため、本研究では 15 Hz の一定間隔で刺激を呈示するようプログラムした場合のモニタの出力を HMD の画面上に設置した光センサにて検

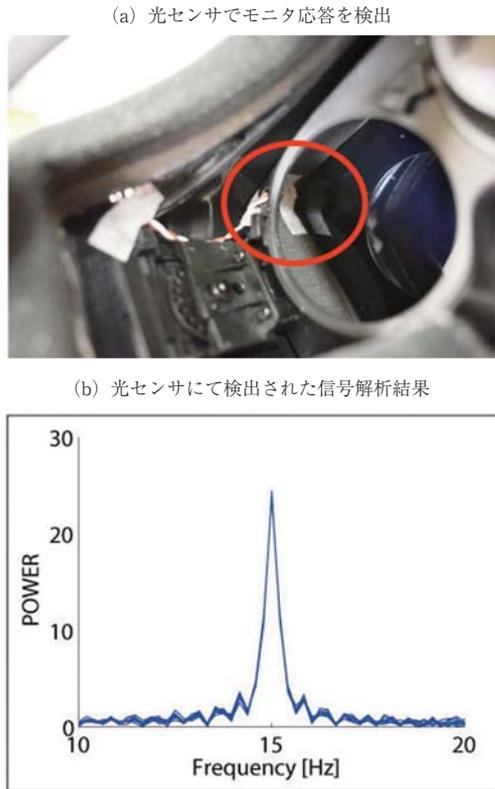


図4 (a) HMDの左上に光センサを設置し、モニタから出力される光情報を検出 (b) 光センサにて検出された信号のフーリエ解析結果。ユーザの意図したタイミングで刺激が描画されていることが確認された。

出した。HMDに取り付けた光センサの様子と光センサにて検出した信号のフーリエ変換解析結果を図4に示す。実験の結果、15 Hzのパワーが大きく増大しておりプログラムの想定通りの出力が得られていることが判明した。実験では、15 Hzの刺激は10回繰り返して呈示されているが、試行ごとのばらつきも発生しておらず、有機ELディスプレイにおいても安定した描画が実現できていることを確認した。

2. SSVEPを用いたウェアラブル脳波計測システムの検証実験

開発したウェアラブル脳波計測システムの有用性の検証を行うため、定常状態視覚誘発電位(SSVEP)と呼ばれる脳波成分を用いるBMI実験を行なった。SSVEPは、視覚誘発電位と呼ばれる視覚刺激を観測したときに生じる一過性の脳活動が連続的に生じた成分である。一定

の時間間隔で視覚刺激が呈示されると、視覚誘発電位も同じく一定の時間間隔で生じる。したがって、一定の時間間隔で刺激を呈示すると、その周波数に対応する脳活動が活性化する。この活動がSSVEPである。実験では、15 Hzおよび20 Hzの2種類の点滅する刺激を呈示して被験者がどちらの刺激を注視しているかを脳波から推定した。

実験は15名の健康で正常な、あるいは矯正視力の被験者(男性10名、女性5名、年齢20-24歳)によって行われた。1名の被験者については、計測トラブルから、もう1名の被験者については推定精度がチャンスレベルを著しく下回ったため解析から除外した。

検証実験では、SSVEPを誘発させるための視覚刺激として正方形のチェッカボード反転刺激を使用して、2択の識別課題を行なった(図5)。刺激サイズはそれぞれ視野角15度である。被験者は、1/2位相ごとに位相が異なる15 Hzで点滅するチェッカボードの反転刺激を左右に配置してタグ付けした条件と、15 Hzと20 Hzの周波数で点滅する刺激をそれぞれ左右に配置して周波数タグ付けした条件の二種類の識別を行なった。刺激は、チェッカボード中央に固視点が表示された静止状態から、定められた周波数での反転を繰り返す点滅状態に遷移するもので、15 Hzは4フレーム、20 Hzは3フレームごとに反転し、いずれも2秒間持続する。刺激間時間間隔は2.5秒から3.5秒の間でラン

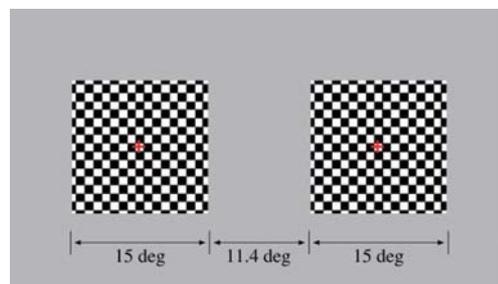


図5 脳波計測システムの検証実験において使用されたチェッカボード
位相タグ付け条件では、15 Hzの間隔で刺激が反転するが、1/2ごとに左右で位相が異なる。周波数タグ付け条件では、左のチェッカボードが15 Hz、右のチェッカボードが20 Hzで反転する。

ダムとした。視覚刺激は Matlab および Psychtoolbox によって生成され、60 Hz のフレームレートの HMD に呈示された。また、実験中の脳波は HMD の後頭部のバンドに装着されている3つのドライ電極からサンプリング周波数 500 Hz で計測された。

被験者が注視しているチェッカボードの識別は、位相テンプレートマッチングと呼ばれる手法によって行われた^[1]。位相テンプレートマッチングとは、識別対象となる視覚刺激に対応する脳活動から、あらかじめ対応するテンプレートを作成しておき、目標とする脳活動とのマッチングの適合度を図ることによって脳活動を識別する手法である。実験では、あらかじめ 15 Hz および 20 Hz で点滅するチェッカボードをそれぞれ 20 回注視したときの脳活動を計測し、被験者ごとに位相テンプレートを作成した。その後、作成した位相テンプレートを用いて 2 択の識別を行なった。識別課題は、点滅前にキューによって選択する刺激がランダムに呈示され、被験者は指示された側の点滅刺激を注視した。識別課題は 40 回行われた。

図 6 に、15 Hz 位相タグ付けと 15 Hz-20 Hz 周波数タグ付けのすべての被験者の識別結果を示す。15 Hz 位相タグ付けによる識別結果は 75% 以上の被験者において 80% 以上の識別精度が実現された。15 人のうち 2 人は 40 回すべての試行で正しい識別に成功した。被験者間平均は $84.9 \pm 13.1\%$ であった (図 6(a))。わずか 20 回の脳波データ学習から、80% 以上の識別性能は、過去の脳波実験の結果と比較しても、遜色ない結果であり、HMD とウェアラブル脳波計を用いたシステムが非常に有用であることが示された。一方、周波数タグ付けの被験者間平均は $72.6 \pm 16.4\%$ にとどまり、位相タグ付けより識別結果は低かった (図 6(b))。位相タグ付けと周波数タグ付けの識別結果の違いは、15 Hz の視覚刺激の方が、脳波のパワーと位相情報が安定しており、さらに刺激の視認性が優れていたためと考えられる。

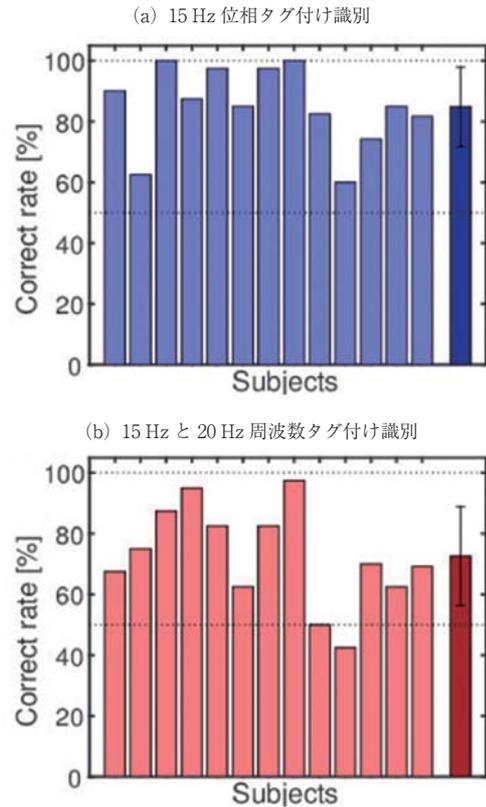


図 6 (a) 15 Hz 位相タグ付け識別結果。平均 80% 以上の高い精度で脳波から 2 択の行動が選択できた
(b) 15 Hz と 20 Hz 周波数タグ付け識別結果

[今後の研究の方向性, 課題]

HMD とウェアラブル脳波計によりかぶるだけで没入感の高い環境で手軽に脳波計の計測が可能になった。HMD による高い没入感呈示は、映画やゲームの体験において、ユーザがコンテンツに対してより一層集中して楽しめる環境を与える。ゲームを体験しているときの脳波データをゲームのパラメータとして設定できれば、ユーザは自らの脳活動を確認しながらゲームをプレイすることができる。従来の実験室で行うような単純な課題ではなく、ユーザのモチベーションを高めるコンテンツを導入することで長時間計測も可能になると考えている。

しかしながら、ウェアラブル化という観点から、現在のシステムではモニタへの刺激呈示や解析にはノート PC を使用しており、すべての機器がウェアラブル化されてはいない。さらな

るウェアラブル性を追求するため、今後はスマートフォンで脳波が解析できるシステムを制作する。研究代表者のグループは、既にスマートフォンおよびネットワークを介して脳波データを通信できるシステムを開発している。スマートフォンでワンタッチで脳波の計測、さらには得られた脳波データの解析結果をその場ですぐに参照できれば、脳情報を用いた社会産業への応用展開はさらに加速されるものと考えている。

[参考文献]

- [1] 篠崎隆志, 村田勉, 定常的視覚誘発脳活動の遷移状態における時間特性, 日本生体磁気学会誌, 24: 1, 84-85, 2011

[成果の発表, 論文等]

1. 横田悠右, 成瀬康, 脳波による脳使用率の定量評価システムの開発に向けた基礎的研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム2014, CD-ROM, 2014
2. 篠崎隆志, 横田悠右, 成瀬康, SSVEPの位相テンプレートマッチング解析を用いた可搬なBMIシステムの構築, 信学技報, 114, 514, 211-216, 2015
3. 篠崎隆志, 横田悠右, 成瀬康, ヘッドマウントディスプレイとSSVEPの位相テンプレートマッチング解析を用いたBMIシステム, 第38回日本神経科学大会, 2015

分子インプリント高分子を利用した脳・機械インターフェイスの開発

Development of brain-machine Interface using molecularly imprinted polymer

2041030



研究代表者 芝浦工業大学 工学部応用化学科 教授 吉見靖男

[研究の目的]

脳の意志に基づいて義肢や生活機器を操作する脳・機械インターフェイス (Brain Machine Interface: BMI) の開発が、障害者の生活向上のために大きく期待されている。従来の BMI では脳に埋め込んだ金属電極で、神経膜電位変化を検出する方法が用いられてきたが、ノイズに大きく影響され、複雑なシグナルを検出できない。神経細胞が放出する伝達物質を高速・高感度な化学センサで捉えれば、より複雑な神経シグナルの感知に期待できる。そこで申請者が開発した分子インプリント高分子固定電極を利用して、神経伝達物質を高選択的、高速かつ高感度に検出できるセンサを開発し、当該センサが BMI 用デバイスとして有用であることを証明する。

[研究の内容]

1. 分子インプリント高分子固定電極の微細化

分子インプリント高分子 (Molecularly imprinted polymer: MIP) は、重合の際に添加された任意の目的物質 (鋳型) に対する特異結合能を付与された合成高分子である。申請者は、グラフト重合法によって MIP を固定した電極が、鋳型の濃度に依存して透過速度を変化させる現象 (ゲート効果) を示すことを発見した。

この現象を利用することで、高感度 (μM オーダー)、高選択性 (キラル識別も可能) かつ高速応答 (数百ミリ秒～数秒) の鋳型のセンシング法の開発に成功しており、これらの特性は、BMI 用センサに適していると考えた。

今までは、インジウム・スズ酸化物 (ITO) 電極の表面に重合開始剤を固定し、鋳型、機能性モノマー、架橋性モノマーの溶液に浸し、ラジカル重合を生じさせることで、MIP 固定電極を得ていた。この電極で、鋳型を含むフェロシアン化カリウムの溶液でサイクリックボルタメトリーを行ってきた。鋳型の存在によって、MIP 層のフェロシアン化物イオンの拡散透過速度が変化することで、鋳型濃度に依存する電流が得られる仕組みである。

本研究では神経組織内に留置する電極を目指している。その目的のためには、侵襲を小さくするために、電極の大きさを数 μm 程度にまで微細化しなければならない。微細電極としては炭素繊維電極や金ワイヤ電極がよく使われているが、これらの材質に MIP を固定することには成功しなかった。

ガラスは加熱による引き延ばしが可能である。神経細胞の膜電位を測定したり、細胞に薬剤を注入したりするのは、ガラス管を加熱しながら引き延ばし、先端を 1~10 μm まで小さくしたガラス管電極によって行われている。そこで申請者はガラス管の代わりにガラス棒を引き延ば

し、その側面に ITO の層を形成し、さらには MIP をグラフトすることを考えた。しかし針状のガラスの先端側面に一般的なスパッタリング法で ITO 層を形成するのは難しい。そこで申請者は、ガラス針に ITO 層をゾル・ゲル法で作製し、その上に MIP をグラフトし、微細 MIP 電極を作製することを試みた。

直径 1.0 mm のマイクロガラスロッド（成茂科学器械研究所：東京）を、水酸化カリウムの飽和メタノール溶液で洗浄した。膜電位測定用微小ガラス管電極作製器 PN-3（成茂科学器械研究所）で、加熱しながら引き延ばし、図 1 のような針状にした。先端は約 30 μm であった。

このガラス針を、ITO 微粒子トルエン分散液（巴製作所：大阪）に約 1 s 浸した後、小型電気炉 mini-I（日陶科学：名古屋）で 60 min 加熱し（500 $^{\circ}\text{C}$ ）、ITO を焼結した。3-アミノプロピルトリメトキシシランの 30 wt% トルエン溶液中で 6 h 加熱して、ITO 層の表面にアミノ基を導入した。さらに 4-クロロメチル安息香酸と水溶性カルボジイミドのジメチルホルムアミド溶液に浸し、アミノ基をクロロメチルベンジル基に置換した。そして、ジメチルジチオカルバミド酸ナトリウムのエタノール溶液に浸し、光ラジカル重合開始剤として機能する、ジメチルジチオカルバミドベンジル基を導入した。この開始剤固定ガラス針を、セロトニン、メタクリル酸、アクリルアミド、メチレンビスアクリルアミドの混合溶液に浸し、キセノンランプ光を照射して、セロトニンを鋳型とした MIP を固定した。この電極で 5 mM フェロシアン化カリウムのサイクリックボルタメトリーを行

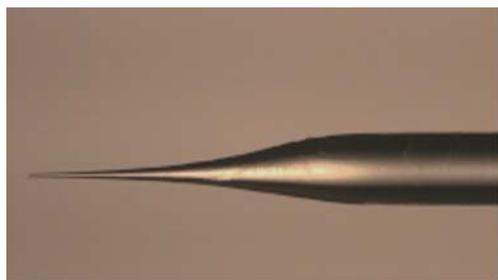


図 1 ガラス棒の引き延ばしによって得られたガラス針

い、電流に対するセロトニンの影響を観察した。

ゾル・ゲル法によって得られた ITO は、スパッタリングによって作られた市販のものに比べると導電性は低く、図 2 に示すようにボルタモグラム（ピークも鈍いものであった）。

しかし、得られた電流は図 3 のように、セロトニンの濃度の増大に伴って上昇したが、構造が類似する L-トリプトファンに対してはほとんど感受性を持たなかった。

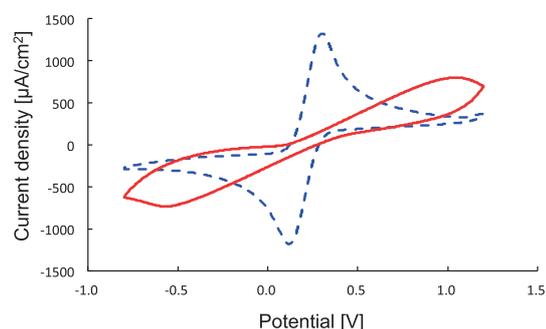


図 2 ガラス板の上にゾル・ゲル法で ITO 層を形成した電極（実線）とスパッタリングした電極（点線：フルウチ化学）における 5 mM フェロシアン化カリウムのサイクリックボルタモグラムの比較

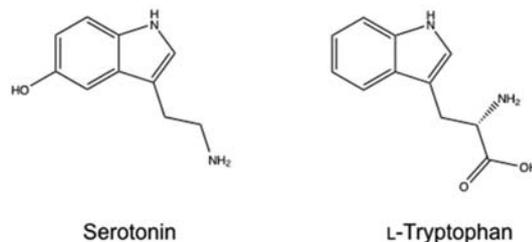
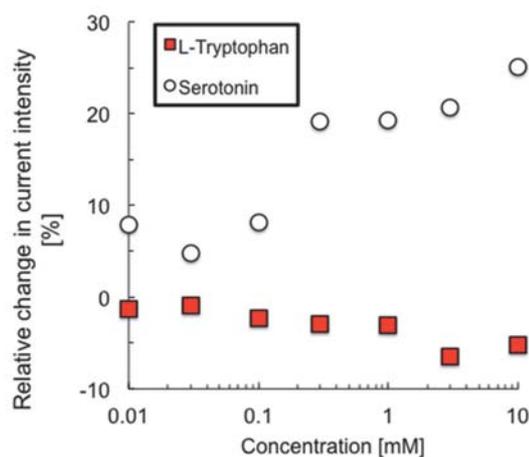


図 3 セロトニン MIP をグラフトした針状 ITO ガラス電極における 5 mM フェロシアン化カリウム酸化電流に与えるセロトニン（円）および L-トリプトファン（正方形）の濃度の影響

このように、ガラス針の側面に導電ITO層をゾル・ゲル法によって形成する手法は、MIP固定電極の微細化に有効である。

2. 分子インプリント高分子固定電極のリエージェントレス化

本研究では、MIP固定電極を神経組織内に留置することを目的としている。これまで試料にレドックスマーカを加えて、酸化電流を検出する方法を採ってきたが、組織内に留置する場合はマーカを加えるわけにはいかない。試薬を加えずに測定できるリエージェントレスセンシング法を新たに開発しなければならない。そこで、MIP電極にレドックス官能基を内在させ、その酸化電流から鑄型濃度を測定する方法を考案した。

ITOガラス電極（フルウチ化学）の表面に、2通りの方法で、レドックス性のフェロセニル基と、セロトニンに対するMIP薄膜層を共に固定した電極を作製した。

(A) フェロセニル基をITO表面に直接固定する方法：フェロセニル基と光重合開始剤であるジメチルジチオカルバミド酸ベンジル基を共にITO表面に固定した。一方、セロトニン、メタクリル酸、アクリルアミド、メチレンビスアクリルアミドを水-ジメチルホルムアミド混合溶媒に溶か

した。この液にレドックス基と開始剤を固定した電極を浸した。そこに紫外線を照射し、グラフト重合によってMIP固定電極を得た。

(B) MIP層の中にフェロセニル基を含ませる方法：光重合開始剤のみを固定したITOを、レドックス性のビニルフェロセンとセロトニン、メタクリル酸、アクリルアミド、メチレンビスアクリルアミドを水-ジメチルホルムアミド混合溶媒に溶かした。この中に重合開始剤ジメチルジチオカルバミド酸ベンジル基のみを導入したITOを浸した。そこに紫外線を照射し、グラフト重合によってMIP固定電極を得た。

得られたMIP電極を作用極として、0.1 Mの塩化ナトリウムと0.05 Mのリン酸緩衝塩(pH 7.4)を含むセロトニン水溶液中での微分パルスボルタメトリー(DPV)を行った。得られた酸化電流とセロトニン濃度の関係を観察した。

上記二つの方法でセロトニンを鑄型として作られたフェロセニル基含有MIP固定電極における酸化電流と、セロトニン濃度、およびそれに構造が類似するL-トリプトファンとの関係を図4に示す。いずれの方法で作られた電極においても、酸化電流はセロトニン濃度の増加と

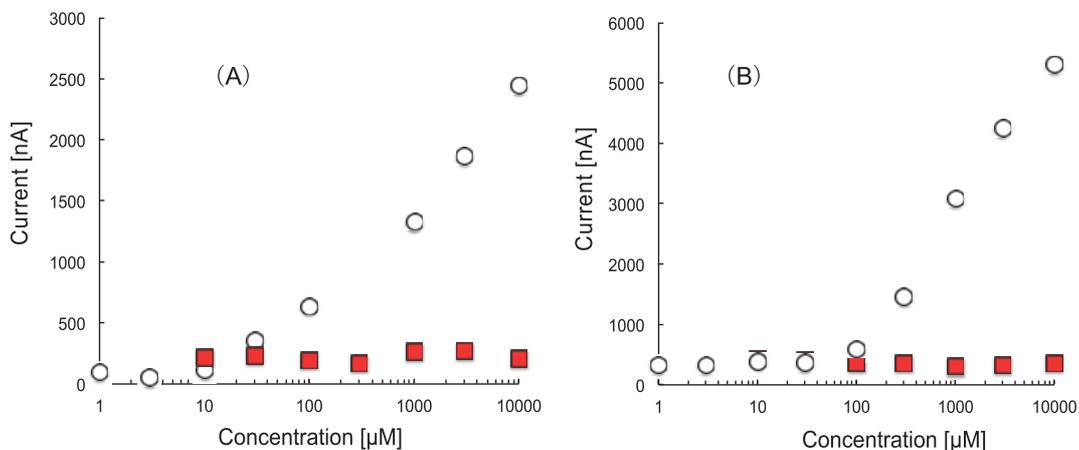


図4 セロトニンMIP固定電極の微分パルスボルタメトリーにおける酸化電流のセロトニン(□)またはL-トリプトファン濃度依存性
(A) フェロセニル基をITO表面に直接固定する方法, (B) MIP層の中にフェロセニル基を固定する方法

共に増大するのに対し、L-トリプトファン濃度には依存しなかった。いずれのMIPにおいても、鋳型とMIP中のサイトの特異的な反応が、フェロセニル基とITO電極との間の電子移動に強く影響することを示している。レドックス種を内在するMIP固定電極によって、試料溶液中に試薬を加えない簡便なリエージェントレスセンシングが可能になることが示された。

3. 神経シグナル解析法の確立

本研究の目的を遂行するためには、複数の神経の活動を同時に検出できなければならない。そこで申請者は、神経を膜電位感受性色素で染色し、高速蛍光顕微鏡で蛍光強度分布の変化を検出する膜電位イメージングを開発することにした。実験動物には、巨大な神経細胞を持つ米国産アメフラシ (*Aplysia californica*) を用いることにした。アメフラシの口(口球)の運動を司る口球神経節を、神経束による口球との接続を維持したまま、テトラエチルアンモニウム(TEA)を100 mM含む人工海水(ASW)に1.5 h浸漬した。続いて、TEAを100 mM含む膜電位感受性色素(Di-4-ANEPPS)の溶液に30 min浸して染色した。

アメフラシが好む海藻に豊富に含まれるアミノ酸(L-アスパラギン:L-Asn)、または嫌う海藻に豊富なアミノ酸(L-アスパラギン酸:L-Asp)を1 mM溶解したASW 200 μ Lを、口球の歯舌部位に投与した。各アミノ酸投与に対する口球神経節内Sクラスターの蛍光強度変化を、蛍光顕微鏡により検出した。

その結果、各アミノ酸投与に対し、Sクラスターの全領域の神経細胞が応答を示したため、味覚を司る神経のネットワークは、この領域内に存在するといえる。また、嫌忌物質であるL-Aspは、Sクラスター内の細胞を嗜好物質

であるL-Asnよりも投与後短時間で興奮させた。本結果は、摂取に不適な物は、咀嚼せずに即座に吐き出す必要がある事実と整合性がある。一方、この膜電位イメージングにより算出した応答タイムラグは、微小電極法(従来法)によって得られた値と変わらなかった。膜電位イメージングに必要な化学処理は、神経細胞の味覚応答速度には影響を与えないことが示された。

このように膜電位イメージングは神経活動分布を捉える方法として有効である。

[研究成果]

知的財産
特許出願「分子インプリント高分子薄膜を用いたセンサ」、特願2015-042755 吉見靖男

新聞報道
プレス発表
3月30日 日刊工業新聞
3月25日 化学工業日報

[学会発表]

レドックス種を内在した分子インプリント固定電極によるリエージェントレスセンシング, 吉見靖男 日本膜学会37年会, 東京2015年5月

レドックス基を導入した分子インプリント高分子電極による薬剤リエージェントレスセンシング, 吉見靖男 化学工学会80年会, 東京2015年3月

ドックス基を導入した分子インプリント高分子薄膜を用いた治療薬モニタリング用リエージェントレスセンサの開発, 吉見靖男 電気化学会82年会, 横浜, 2015年3月

Design of voltage sensitive dye imaging for analysis of taste-recognition neural network in *Aplysia buccal ganglion*, Y. Miyake, Y. Yoshimi, T. Nagahama, Annual Meeting of Society for Neuroscience, 2014年11月, Washington DC

ゾル・ゲル法でインジウム・スズ酸化薄膜を形成した分子インプリント高分子固定微小電極, 吉見靖男, 電気化学会秋季大会, 2014年9月, 札幌

卵巣内の卵子活動を可視化するリアルタイム光干渉断層計の開発

Development of real-time optical coherence tomography to visualize the ovum activity in the ovary

2041031



研究代表者

山形大学大学院 理工学研究科

准教授

渡部 裕輝

[研究の目的]

哺乳動物の卵巣には発達段階の異なる卵胞および卵母細胞が多数存在し、その数は個体の成長・加齢に伴って減少する。卵巣内に存在する卵胞の数の動的変化を把握することは生殖能力を判断する上で極めて重要である。繁殖生物や生殖医療の分野においては卵胞発育機構の解明が進み、初期卵胞の体外培養や卵巣組織の凍結保存技術が飛躍的に進歩している。初期卵胞の定量化は、これら技術の実用化に向けて大きな貢献を果たすとともに、不妊治療などで問題となっている卵巣予備機能の新しい評価として期待できる。

そこで本研究では、卵巣内の発達段階の異なる卵胞の形態の断面構造画像と同時に生命活動に基づく機能変化をリアルタイム観察するため、非接触、非侵襲、高分解能な光干渉断層計 (optical coherence tomography, OCT) と安価に並列演算が可能である GPU (graphics processing units) を用いた超高速画像処理を開発する。本研究により「生きたままで」診断できる画期的な解析技術を提供し、卵巣の機能評価への応用展開を促進させる。

[研究の内容、成果]

1. OCT システムの開発

本研究で構築した光ファイバを用いた OCT の実験系を図 1 に示す。光源には中心波長 854 nm, 半値全幅 56 nm の Exalos 社製の Super luminescent diode (SLD) を用いた。光源から射出した光はサーキュレータ、ファイバカップラを通り、光ファイバの細いコアから射出され、サンプル側と参照ミラー側へ 9:1 の割合で分波される。サンプルに照射された光は反射・散乱され、その一部が戻ってくる。戻ってきた光のうちレンズを通り光ファイバの細いコアに結合した光のみが光ファイバに入り、その光と参照ミラーからの反射光は再びファイバカップラで合波され、回折格子で分光された後、ラインスキャンカメラ (AViiVA EM4 1014, 1024 画素, 126 kHz, 12 bit) で 1 ラインの画像として検出され、フレームグラバを介してコンピュータに取り込まれる。2つのミラーで構成されたガ

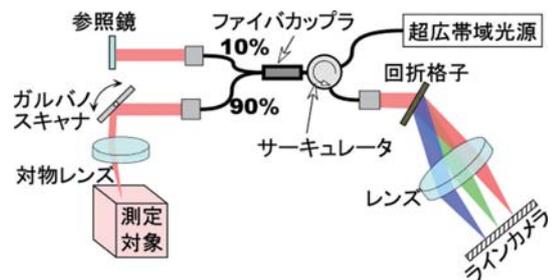


図 1 OCT システムの概要

ルバノスキャナにより X 方向、Y 方向にプローブ光が走査され、2 次元または 3 次元の干渉信号のデータとなる。干渉画像 (1024×1024 pixels) が 110 フレーム/秒で取得できた。

2. GPU プログラムの開発

本研究で開発した GPU を用いた画像処理システムのフローチャートを図 2 に示す。ホストコンピュータで干渉画像 (1024×1024 pixels, 16 bit) を取得し、GPU メモリへ転送、32bit 型変換、局所平均・差分処理、線形補間による軸変換、逆フーリエ変換を行い、構造 OCT 画像 (1024×512 pixels, 8 bit) を求める。機能画像を得るためドップラー OCT 処理を適応する。処理に必要なフレーム数の OCT 画像が生成された時、閾値以上の部分で計算を行わせる。算出された画像は、構造画像と共に 8 bit 型変換、ホストコンピュータへ転送される。GPU メモリ上の構造画像は次のフレームの計算に用いるため、データをコピーし保持しておく。

3. コントラストの比較

これまでの研究において、卵胞内の卵母細胞付近において、OCT 信号が時間的に変化することを確認している。本研究では、OCT 画像において時間的に変化領域のみをコントラストよく可視化するため、フレーム間での分散、相関、差の二乗をそれぞれ計算し、その違いを評価した。通常の OCT 画像はサンプル表面での反射強度が大きいため、log スケール (10 log

($\text{Re}^2 + \text{Im}^2$) で表示することで内部構造を見やすくする。ここで、Re 及び Im は逆フーリエ変換した実部及び虚部である。しかし、log スケールではわずかな変化が現れにくいので、さらに強度 ($\text{Re}^2 + \text{Im}^2$)、振幅 ($\sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}$) で表した OCT 画像を用いて評価した。

卵巣は、25.5 日齢のマウスから採取し、すぐに測定を行った。なお動物実験は山形大学動物実験委員会の承認のもと実施した。

同一箇所を 2 次元データを 100 フレーム取得した。図 3 は反射光強度を log スケールで表した構造 OCT 画像 (2.9 mm (横)×1.4 mm (深さ)) である。図 4 (a) - (c) は、強度、振幅、log スケールの構造 OCT 画像を用いて得られた分散画像である。ここで分散の計算には 4 フレームを用いており、強度、振幅においては表面付近の反射の影響が大きいため、それぞれ平均値で割った値を利用している。3 つの卵母細胞の領域が強調されたことが確認できる。コントラストを比較した結果、強度、振幅、log の順であった。図 5 は相関画像である。ここで相関は 3x3 の領域で計算をおこなっている。相関の計算では、いずれも場合においてもコントラストはよくなく、3 つの画像に違いは見られなかった。図 6 は画像の差の二乗による結果である。ここで SN 比をよくするために 3x3 の平

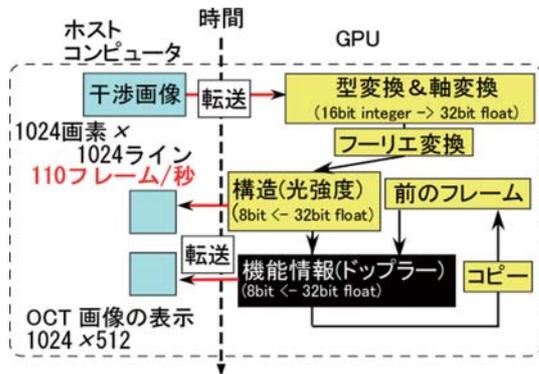


図 2 GPU 処理のフローチャート



図 3 マウス卵巣の OCT 画像

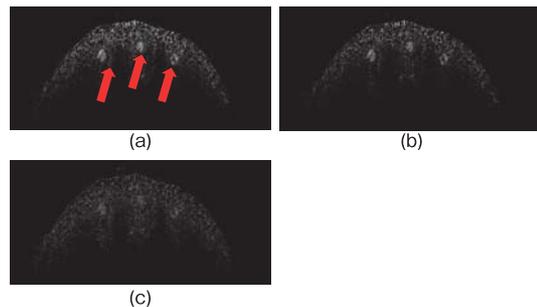


図 4 分散画像 (a) 強度 (b) 振幅 (c) log

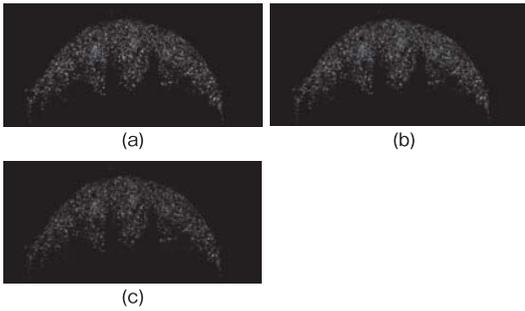


図5 相関画像 (a) 強度 (b) 振幅 (c) log

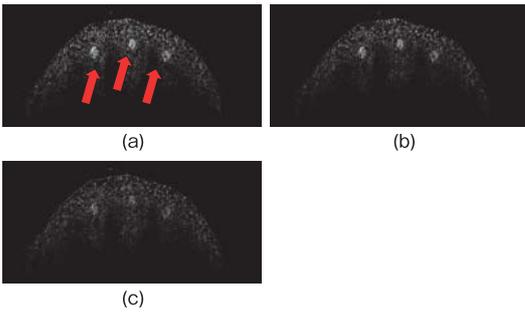


図6 差の二乗画像 (a) 強度 (b) 振幅 (c) log

均値を利用した。分散と同様に画像コントラストは、強度、振幅、Logの順でよかった。分散画像と比較した結果、差の二乗のコントラストのほうがよかった。

4. GPUによる処理時間評価

コントラストの評価で最も良かった画像の差の二乗による方法について、GPU処理時間を評価した。干渉画像のGPUメモリへの転送から処理結果をGPUから転送するまでの時間を測定した結果、1.48 msであり、これは、フレーム間隔時間 9.09 ms より十分短い時間であった。この結果より構造画像と機能画像がリアルタイムに表示できることがわかる。図7は各処理ごとの時間を評価したグラフである。

5. 3次元OCTによる評価

次に3次元OCT計測により卵巣の評価を行った。3次元計測はこれまでのX方向のプロープ走査に加えて、Y方向では250箇所4フレームずつ合計1000フレーム取得した。図8(a)は構造OCT画像をZ方向へ平均した画

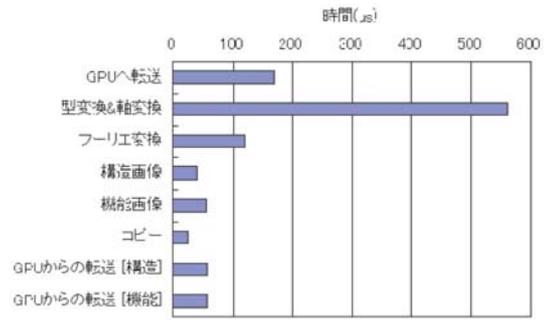


図7 GPUによる各処理時間

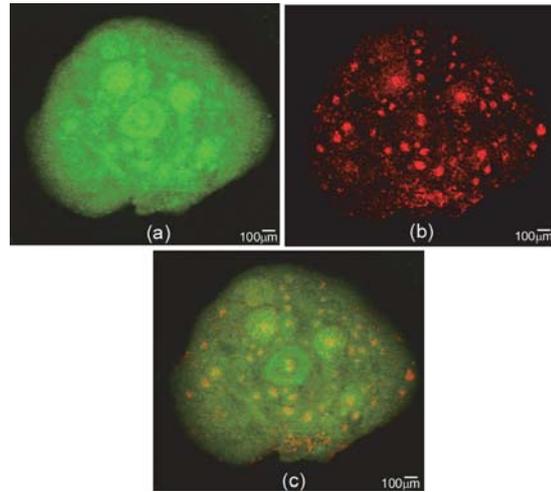


図8 卵巣の3次元OCT (a) 平均画像, (b) 差の二乗, (c) (a)と(b)の重ね合わせ

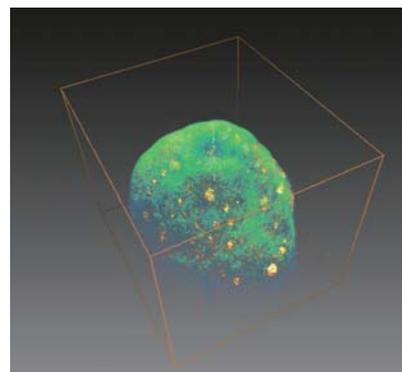


図9 ボリュームレンダリングした画像

像である。図8(b)は差の二乗を計算し、卵母細胞を強調した画像である。46個の卵母細胞が確認できた。図8(c)は図8(a)と図8(b)を重ね合わせた画像である。

また図9はこれらの3Dボリュームデータをレンダリングした画像である。これにより卵巣内の卵母細胞の位置が可視化できた。

[今後の研究の方向、課題]

現在は *ex vivo* の試料を用いて OCT 計測による卵巣の評価を行ったが、今後は *in vivo* 計測による評価が必要であり、それに向けた OCT システムの改良も必要となってくる。

OCT 画像の時間変化が卵母細胞の位置を描画するのに有効な情報であることがわかった。しかし、その詳細なメカニズムはわかっておらず、今後は OCT 計測のみならず他の計測技術も用いた調査が必要である。

[成果の発表、論文等]

学術論文

1. Yuuki Watanabe, Kei Takakura, Reiko Kurotani, Hiroyuki Abe, "Optical coherence tomography imaging for analysis of follicular development in ovarian tissue," *Applied Optics*, Vol. 54, Issue 19, pp. 6111-6115 (2015)

学会発表

1. Yuuki Watanabe, Kei Takakura, Reiko Kurotani,

Hiroyuki Abe, "Analysis of follicular development in ovary using optical coherence tomography," *Optics in the Life Sciences Congress, JT3A*. 22 (12-15 April 2015)

2. 太田拓実, 渡部裕輝, "GPU による OCT 画像のリアルタイム数値分散補償の検討", 日本光学会年次学術講演会 *Optics & Photonics Japan 2014*, 7pP27 (5-7 November 2014)
3. 鎌田あやね, 渡部裕輝, 高倉 啓, 黒谷玲子, 阿部宏之 "GPU-OCT によるマウス卵巣機能のリアルタイム画像化システムの開発", 日本光学会年次学術講演会 *Optics & Photonics Japan 2014*, 7pP28 (5-7 November 2014)
4. 渡部裕輝, 高倉 啓, 黒谷玲子, 阿部宏之 "OCT を用いたマウス卵巣内卵胞のリアルタイム計測", 日本光学会年次学術講演会 *Optics & Photonics Japan 2014*, 7aA2(5-7 November 2014)
5. 高倉 啓, 黒谷玲子, 渡部裕輝, 阿部宏之, "ドップラー光干渉断層画像化法を応用した高感度卵胞 3 次元イメージング," 第 32 回日本受精着床学会総会・学術講演会 基-6 (1 August 31 July 2014)
6. 高倉 啓, 黒谷玲子, 渡部裕輝, 阿部宏之, "ドップラー光干渉断層画像化技術を応用した 3 次元卵胞イメージングシステムの開発", 第 55 回日本卵子学会第 1 群卵巣・卵子① O-2 (17, 18 May 2014)

◆ 2014 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2014) (2042113)	146
永吉 雅人 新潟県立看護大学 看護学部看護学科 准教授	
◆ International Symposium on Optical Memory 2014 (2042114)	147
信川 輝吉 和歌山大学大学院 システム工学研究科 博士後期課程	
◆ IEEE SENSORS 2014 (2042115)	147
原田 祐希 東京工業大学大学院 理工学研究科 博士課程	
◆ IEEE Symposium on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space (RiiSS2014) (2042117)	148
増田 寛之 富山県立大学 工学部知能デザイン工学科 講師	
◆ IEEE Sensors 2014 (2042118)	148
松倉 悠 東京農工大学 生物システム応用科学府 特任助教	
◆ International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (2042119)	149
松田 健 静岡理工科大学 総合情報学部 講師	
◆ 40 th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2042120)	149
村松 聡 東海大学 情報理工学部 コンピュータ応用工学科 講師	
◆ IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2014 (2042112)	150
八木 直美 京都大学 医学部 特定研究員	
◆ IEEE SENSORS 2014 (2042123)	150
渡辺 真司 九州大学大学院 システム情報科学府 博士後期課程	
◆ International Conference on Robotics and Automation 2015 (ICRA2015) (2152006)	151
横田 諭 佐世保工業高等専門学校 電子制御工学科 講師	
〔短期在外研究〕	
◆ Performance improvement of ultrasonic motors using functional lubrication — Investigation of lubrication mechanisms (2046001)	151
邱 惟 東京工業大学 博士後期課程	
◆ Clarification of biomechanical characteristics using running-specific prostheses (2046002)	152
保原 浩明 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究員	
◆ A platform technology for formulation of an electrically driven plasmon chip (2046003)	152
山口 堅三 香川大学 助教	
◆ Modulation and detection of three-dimensional polarization distribution for multilevel holographic data storage (2156002)	153
信川 輝吉 和歌山大学大学院システム工学研究科 博士後期課程	

〔国際会議開催〕

- ◆ International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, 2014
(ISSAC 2014) (2035007) 153
長坂 耕作 神戸大学大学院人間発達環境学研究所人間環境学専攻 准教授
- ◆ 12th International Workshop on Breast Imaging (IWDM 2014) (2035009) 154
藤田 広志 岐阜大学大学院医学系研究科 教授
- ◆ 2013 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science
and International Micro Robot Maze Contest (2035010) 154
丸山 央峰 名古屋大学大学院工学研究科 准教授
- ◆ MSR Asia Summit 2014 (2045002) 155
伊原 彰紀 奈良先端科学技術大学院大学 助教
- ◆ 第4回機能性材料と構造物の力学に関するアジア会議 (2045004) 155
上田 整 大阪工業大学工学部機械工学科 教授
- ◆ 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (2045005) 156
尾知 博 九州工業大学 教授
- ◆ 22nd International Conference on Computers in Education (ICCE2014) (2045006) 156
柏原 昭博 電気通信大学 情報理工学研究所 教授
- ◆ 第10回グラニューラーコンピューティングに関する国際会議 (IEEE GrC 2014) (2045008) 157
工藤 康生 室蘭工業大学 准教授
- ◆ SCIS & ISIS 2014 (2045011) 157
重井 徳貴 鹿児島大学大学院 理工学研究科電気電子工学専攻 准教授
- ◆ 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2014) (2045013) 158
長谷 智弘 龍谷大学 理工学部情報メディア学科 教授
- ◆ 第33回信頼分散システム国際シンポジウム (2045015) 158
原 隆浩 大阪大学 情報科学研究科 准教授
- ◆ アジア南太平洋設計自動化会議 2015 (2045017) 159
松本 剛史 石川工業高等専門学校 電子情報工学科 准教授
- ◆ 第14回日本・中国・韓国合同ワークショップ (WS) Neurobiology
and Neuroinformatics 2014 (NBNI-2014) (2045018) 159
山口 陽子 国立研究開発法人 理化学研究所 神経情報基盤センター長
- ◆ Social Modeling and Simulations + Econphysics Colloquium 2014 (SMSEC 2014) (2045019) 160
山田 健太 東京大学工学系研究科 助教

〔国際会議発表〕

発表研究者	岐阜大学大学院 医学系研究科 知能イメージ情報分野 産官学連携研究員 村松千左子	2042004
参加会議	Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and biology Society	
出張期間	2014年8月26日～8月31日開催場所	
開催場所	アメリカ合衆国 シカゴ	
発表論文	Detection of cup border points for glaucomatous disc analysis using constrained local model Constrained local model を用いた緑内障性乳頭解析のための陥凹境界点の検出	

概 要：

当国際会議は毎年開催され、生体医工学分野では世界最大規模の学会である。大きなテーマの一つとして医用画像撮影法・画像解析があり、例年眼科領域における医用画像解析の分野で著名な先生が中心となり、一連のセッションを設けている。そのため、当該分野における世界トップクラスの研究者が集う最大の国際会議である。当国際会議に参加し、眼科画像解析分野における研究の最新動向を知り、自身の研究成果を発表し、また関係者と意見交換・交流を行って会を盛り上げていくことは、当該研究分野の発展と自分の今後の研究の発展に対して非常に意義が高い。今回は眼科画像解析に特に焦点を当てたセッションは口述セッション2つ、ポスターセッション1つ、特別講演セッション1つの計4セッションあった。口述セッションでは、他の研究グループの研究の進展状況の情報などが得られた。ポスターセッションでは、各発表者から内容について詳しい説明を受け、意見交換などを行い研究のヒントが得られた。受領者はポスター発表を行い、参加者から質問や有用なご意見等を頂けた。今回の特別セッションは、直接画像処理に関する内容ではなく、低コスト眼底カメラの開発という観点から4名が講演後、30分以上延長するほど活発なパネルセッションが設けられ非常に興味深かった。どうすれば低コストで有効な検診が実現でき、病気の早期発見につながるか、またそこに画像解析がどう貢献できるか議論され、研究から実際に世の中の役に立つ製品への展開について改めて考えさせられた。そのほか医用画像処理に関する発表が多数あり、眼底画像に応用可能な技術や手法について学ぶことができ、とても勉強になった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	九州大学大学院 工学府地球資源システム工学専攻博士後期課程 Or Chanmoly	2042101
参加会議	The Greenhouse Gas Control Technologies conference (GHGT-12)	
出張期間	2014年10月4日～10月11日	
開催場所	オースチン USA	
発表論文	Numerical Simulation of CO ₂ Gas Micro-bubble of Foamy Oil CO ₂ マイクロバブルを含むフォーミオイルに関わる数値シミュレーション	

概 要：

“International Conference on Greenhouse Gas Technology (GHGT)”はCO₂などの温室効果ガスを制御するための科学技術、社会科学、経済、政策などの温暖化防止全般に関わる発表と議論を行う世界最大規模の国際会議であり、2年に一度開催されてきている。第12回目の2014年は、米国オースチン市で開催された。とくに、米国テキサス州ではCO₂を利用した石油増進回収(EOR)が実施されていることから、私が発表したEORセッションは注目度が高いセッションであった。私の発表テーマは、CO₂マイクロバブルを含む重質油フォーミオイルの数値シミュレーションに関するものである。CO₂のマイクロバブルを原油中に発泡させて重質油層からの油生産を行う手法について論文提出とオーラルによる講演を実施した。講演では、PVT試験において得られたCO₂圧入・溶解後のコア試料のCO₂溶解量および減圧に対する重質原油の発泡状態の実験結果を数値モデル化し、擬似的な反応によってそのガス溶解度、見掛け密度および見掛け粘度を段階的に変化する数値モデルを完成させ、油層シミュレータ STARS を用いたハフ・パフ法による油生産の数値シミュレーションについての説明を行った。砂岩コアを用いた排油実験結果のヒストリマッピングを行い、実験結果と一致することで数値モデルの妥当性を示し、その後、典型的な重質油層にアップスケールし、ハフ・パフ法による生産特性に関する数値シミュレーションにより、初期油飽和度が高いほど、またCO₂ガス溶解領域が拡大するほど油生産レートおよび油回収率が高まる結果を提示した。この発表では、実験と石油フィールドの生産予測までの一連の結果により、重質油に対するCO₂-EOR手法を示したことが評価された。

〔国際会議発表〕

発表研究者	福井大学子どものこころの発達研究センター 特命助教 熊崎 博一	2042102
参加会議	American Academy of Child and Adolescent Psychiatry (AACAP) 61st Annual Meeting	
出張期間	2014年10月18日～10月26日	
開催場所	米国 サンディエゴ	
発表論文	Assessment of Olfactory Detection Thresholds in Adolescents with Autism Spectrum Disorder Using New Olfactory Measurement System	

概 要：

AACAP61st Annual Meeting は世界最高峰の児童思春期精神医学分野の学術集会である。米国のみならず世界中から約4,000人の参加者が集まる。自閉症スペクトラム障害（Autism Spectrum Disorder: ASD）者の感覚特性については、米国精神医学会から2013年に刊行された精神科の世界的診断基準であるDSM-5の診断項目において新たに上げられることとなり、多くの科学者の関心を集めている。感覚特性の中でも嗅覚はASD者の社会的予後と関係することが推測され注目されていたが、嗅覚特性を客観的に検査することが困難であり解明は不十分であった。今回の論文を報告することで、ASD者の嗅覚特性と社会的予後との因果関係について多くの科学者と議論すること、ASD者の嗅覚特性に配慮した環境調整についても議論することが重要な目的であった。ポスター掲示の時間は二時間半であったが、多くの参加者から質問をいただくことができた。質問者の多くは臨床医であったが、ASD者が日常の場面で苦しんでいる嗅覚特性と本研究結果から想定される因果関係について熱心に考察してくれた。改めてにおいの濃度や種類、さらにはにおいに対する快・不快などの留意点について再確認したが、一方でASD者が生理的検査を行った際に、確かに定型発達群と嗅覚特性が異なるという事実を一つずつ明らかにしていくことこそが、ASD者の特性の解明・支援へとつながることを共有できた。カリフォルニア大学サンフランシスコ校のヘンドレンとはASD者の嗅覚特性と社会機能の関係について議論し、今後本研究をいかに臨床医に還元する形で結び付けていくかについて頭の中を整理することができた。研究の立ち位置、課題、今後の方向性について整理することができ大変有意義な機会となった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	都城工業高等専門学校 電気情報工学科 助教 小林 洋介	2042103
参加会議	43rd International Congress on Noise Control Engineering (Inter-noise 2014, 国際騒音制御学会第43回年次総会)	
出張期間	2014年11月15日～11月20日	
開催場所	メルボルン オーストラリア	
発表論文	Bootstrap masker generation method for speech masking systems (スピーチマスキングシステムのためのブートストラップ型マスキング合成法)	

概 要：

今回参加したInter-Noise 2014は、騒音制御に関するあらゆる内容を扱っている非常に規模の大きい国際会議で、様々な先端トピックが報告される。今回の会議テーマは“Improving the World through Noise Control（騒音制御を通じて世界をより良く）”であり、800件を超える研究報告があった。また、私が研究しているスピーチプライバシー分野についてセッションがある数少ない国際会議である。このため、私の研究へのフィードバックを得るのに最適であり、この分野の研究動向調査を目的に参加した。

私の研究報告内容は、パーティション等で区切られたオープンスペースから漏れる音声による情報流出を阻害するための音（マスキング音）を効率よく生成するアルゴリズムの提案とその聴取実験結果である。

提案法は本人の音声をフィードバックすることで効率的に音声をマスキングでき、既存のマスキング音よりも主音声とマスキング音のSN比で10dB程小さな音量にできることを明らかにした。私の研究のベースは音声の信号処理であり、情報通信工学的手法で行っているが、今回の発表内容は特に建築音響の研究者に非常に興味深く聞いていただけた。マスキングシステムに関しては、マスキングの合成法の改善だけでなく、部屋の吸音などを総合的に考慮する必要がある。音響情報系と建築音響系の学際的な交流が必要であり、様々な研究者が集まる本会議での発表は多くの有益な情報を得ることができた。

本研究は、マスキングシステムを用いて、人間生活における情報漏えいを防ぐという、「人間と機械との調和の促進」に貢献する研究であり、本会議への参加を通じて得た経験を反映することで、より研究を進展させていきたい。

〔国際会議発表〕

発表研究者	滋賀県立大学 工学部電子システム工学科 准教授 坂本 眞一	2042104
参加会議	Internoise 2014	
出張期間	2014年11月14日～11月21日	
開催場所	メルボルン オーストラリア	
発表論文	Basic study on inset position of stack in the system with branch tubes for applying thermoacoustic silencer to multi cylinder engine muffler 熱音響サイレンサーの分岐管におけるスタック設置位置についての研究	

概要：

INTER.NOISE 2014 で発表した研究成果は廃棄すべき熱エネルギーを用いて、不要な音を消すという新しい試みに関するものである。我々は熱音響サイレンサーと呼んでいる。この熱音響サイレンサーを国際的な学会にて発表することによって、新たな熱音響システムの提案を広く世界的にアピールすることを目的とした。

熱音響サイレンサーとは熱音響現象により、音から熱へエネルギー変換し消音するシステムを指す。熱音響システムに用いられる熱音響現象とは、熱と音を相互変換する現象である。熱音響現象のエネルギー変換には、音波の波長に対して十分小さい流路が必要となり、これをスタックによって実現している。熱音響サイレンサーは自動車のエンジン廃熱を利用したマフラーへの応用が考えられる。これまでの研究では一直線の直管で測定を行ってきた。しかし、熱音響サイレンサーを自動車のマフラーに利用する場合、スタックの設置場所として、エンジン後部にある複数の管をまとめるエキゾーストマニホールドと、管を合流した後のエキゾーストパイプの2箇所が考えられる。スタック設置場所による消音特性を比較することで、効果的に消音できるスタック設置場所を決定することを目的に検討を行った。本研究により、一定の入力熱量で消音効果を高めるために、音を合成させた後に1個のスタックで消音することが必要という結論に至った。これらの結果を INTER.NOISE 2014 で発表することによって、熱を利用して、音を消すという新たな試みを実行することができ、有効な議論などができた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	北海道大学 情報科学研究科 博士後期課程 ジョルダン・アルノ	2042105
参加会議	iCAST (International Conference on Awareness Science & Technology)	
出張期間	2014年10月27日～11月2日	
開催場所	パリ フランス	
発表論文	A Framework for Multilingual Real-time Spoken Dialogue Agents リアルタイム多言語対話システムの枠組み	

概要：

北海道大学の博士課程に在籍して、対話システムに関する研究を行っている。これまでに様々なシステムを開発して、新たな手法を提案した。今回、iCAST 2014 に参加して、新たな新規性の高い多言語を扱える対話システムを提案した。しかしながら、本システムはまだ未完成であるため、システムの基礎的な仕組みを発表することにより、様々な研究を行っている研究者から、意見やアドバイスをもらうことができた。

また、本会議のテーマは環境を意識できるシステムであったため、対話システムにも応用可能な手法を発見することができた。精度の高い対話システムを開発するためには、ユーザの入力文のみではなく、ユーザがいる環境を意識する必要がある。したがって、音声処理や画像処理などの手法が必要となると思われる。本会議では、その分野の発表が多様性に富んでいた。

さらに、発表後コンテキストの重要性に関する質問を受けたことから着想を得て、対話の文脈をより正確に扱えるシステムを今後提案する予定である。また、ロボットを開発している研究者もいて、共通研究の可能性もあるかと思われた。

また、フランス人としてフランスで開催される国際会議に参加して、日本の研究環境について話すという経験は、自分の将来の方向性を考えるよい機会になった。そして、国際会議という場において英語で発表することで、英語力が鍛えられた。

全体的に発言しやすい雰囲気での会議であったため、いろいろな人と、今後の研究に役立つような会話ができた。また、合間の時間を利用したパリ観光では、ルーヴル美術館など世界遺産を訪れ、非常に有意義な体験となった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	新潟大学 工学部機械システム工学科 助教 寒川 雅之	2042106
参加会議	IEEE Sensors 2014	
出張期間	2014年11月1日～11月8日	
開催場所	バレンシア スペイン	
発表論文	Texture Measurement and Identification of Object Surface by MEMS Tactile Sensor MEMS 触覚センサによる物体表面質感の計測と識別手法	

概要：

IEEE Sensors はセンサデバイス、信号処理回路、センサ応用等幅広いテーマを網羅する国際会議であり、本年はスペインのバレンシアで行われた。この会議ではセンサに関するあらゆるテーマが網羅されており、センサの検知原理、設計・評価から、化学、バイオ、光学、機械量等の各種センサデバイス、アクチュエータ、センサネットワーク、材料・プロセス、回路、信号処理・インタフェースまでカバーしている。中でも、近年、触覚センサは重要なテーマと認識されており、触覚センサデバイスに関する専用のセッションが設けられている上に、他のセッションにおいても応用例等の発表が多く見られるようになってきている。

本研究は人間が指先で感じる触覚による質感に近い分類をロボットの指先にも実装可能な超小型触覚センサを用いて実現する手法を提案し実証したものであり、感性工学や仮想現実、さらには生産技術の分野で、人間と機械の感覚を近づけるような新たな技術発展の可能性に繋がるものであると考えている。この会議での発表は、本研究の成果を幅広い専門分野の研究者に対し、技術のアピールと様々な観点からの議論や意見交換を行うことを目的とした。発表後の質疑応答では、質感計測時の動かし方への依存性と検知原理として合金薄膜のひずみゲージ抵抗を用いていることについての質問があった。いずれも本技術の本質を突くもので、実際に機械の自動制御等で应用する上で大変重要な質問であり、本研究の重要性と意義が十分に理解されたと考えられ、発表の手応えを感じる事ができた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程 田中 大介	2042107
参加会議	2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2014)	
出張期間	2014年11月17日～11月22日	
開催場所	マドリッド スペイン	
発表論文	An Optimal Control Approach for Exploratory Actions in Active Tactile Object Recognition 触覚情報に基づく能動的物体識別における探索行動設計に対する最適制御によるアプローチ	

概要：

IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids) はヒューマノイドロボットの専門会議として最も重要な国際会議である。2014年はスペインのマドリッドで開催され284件の投稿のうち170件の発表が採択(採択率59.9%)された。申請者はこの会議にて、人間の生活環境下でロボットが活動するために必要不可欠な、環境認識技術のためのロボット制御法に関する発表を行った。発表に際し、研究成果の国際的な周知と共に、有効性と実用可能性についての見識や議論を深めることを目的とした。

発表論文では、環境認識の一例として触覚情報に基づく物体認識問題を取り扱った。例えば硬さの違う2物体を区別する場合には押す動作により得られる情報が有益であるが、安易に設計された探索行動を実行すれば対象物体を壊してしまう、もしくはロボット自身が壊れてしまう可能性がある。発表論文は、有益さに加え、しなやかさ(安全性や柔軟性)を考慮した探索行動を設計するため、行動設計問題を最適制御問題として定式化する手法を提案するものである。

本発表は、本会議中でのインタラクティブセッションでの発表に加え、能動学習に関するワークショップでの口頭発表とポスター発表の3回に渡って行った。インタラクティブセッションでは制御の面からの意見を交換することができ、またワークショップでは能動学習を専門とする研究者とその面からの議論・情報交換を行うことができた。さらに、発表全体を通して、研究の方向性や必要性の確認を行うことができ、本研究を発展させる上で有意義な参加となった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授 田中 正行	2042108
参加会議	International Conference on Image Processing (ICIP)	
出張期間	2014年10月23日～11月1日	
開催場所	パリ フランス	
発表論文	SIGNAL DEPENDENT NOISE REMOVAL FROM A SINGLE IMAGE 一枚の画像のみを利用した信号依存ノイズ除去	

概要：

フランス・パリで開催された International Conference on Image Processing (ICIP) に参加した。ICIP 参加に先立ち、スイス・ローザンヌにあるスイス連邦工科大学ローザンヌ校 (École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL) の Sabine Süsstrunk 教授の Image and Visual Representation Group (IVRG) 研究室を訪問した。EPFL は世界有数の工科大学であり、2013 年度の QS 世界大学ランキングでは、工学部門で世界第 8 位、総合部門でも世界第 19 位にランキングされている。Süsstrunk 教授は赤外線画像を用いた画像処理に造詣が深く、関連する研究の紹介をいただいた。私の方からも ICIP で発表予定のノイズレベル推定の研究などを紹介し、有益な議論を行った。

国際会議 ICIP は、IEEE Signal Processing Society が主催する 2 つのフラグシップカンファレンスのうちの 1 つであり、画像処理分野では最大規模の国際会議である。画像処理関連の研究者・技術者が大勢あつまるため、本国際会議で研究成果を発表することは、技術を世界に向けてアピールするために非常に重要である。本発表は、画像のノイズ除去に関する研究であり、画像を研究する多くの研究者に共通する問題である。そのため、非常に多くの研究者と議論が行えた。特に、我々が参考にした研究を行ったグループの研究者と直接議論できたことは、今後の研究の発展に対して非常に有益であった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	藤田保健衛生大学 医療科学部放射線学科 准教授 寺本 篤司	2042109
参加会議	SPIE Medical Imaging 2015	
出張期間	2015年2月20日～2月25日	
開催場所	アメリカ、フロリダ州オーランド	
発表論文	Automated detection of lung tumors in PET/CT images using active contour filter 動的輪郭フィルタを用いた PET/CT 画像における肺がんの自動検出手法	

概要：

当国際会議に参加する目的は、立石科学技術振興財団の研究助成により進めることができた「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」の研究成果を国際学会にて公表することである。参加した「SPIE Medical Imaging 2015」では医用画像に関する幅広い分野が取り扱われており、撮像デバイスや画像処理技術、コンピュータ支援診断技術などに関する世界最先端の研究報告がなされている。参加者は医用画像処理に関する世界最先端の研究者であり、彼らとの質疑応答や議論を通じて本研究をさらに推進するための情報が得られる。

我々は、死亡率の高さから社会問題にもなっている肺がんの早期発見を実現するため、PET/CT 画像を用いた肺がんの自動検出手法について検討している。これまで医師の経験や勘に頼っていた画像診断作業の一部をコンピュータが支援することにより、病変の見落としなどの誤診を大幅に軽減することができる。今回の発表では、新たに動的輪郭技術を用いた肺がん検出手法を提案した。本手法を 100 症例の PET/CT 画像に適用したところ、検出率 89.3%、偽陽性（過剰検出数）が 6 個/症例となり、従来手法に比べ高い検出能力を有することが確認された。本発表はポスター発表であったが、期間中にディスカッションの時間が 1 時間半設けられ、海外の多くの研究者と意見交換を行うことができた。今後は学会にて得られた知識を基に手法の評価をさらに進めて改良し、臨床で役立つ技術を完成させたいと考えている。

〔国際会議発表〕

発表研究者	北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程	TRAN Thang Thanh (トラン タン タン)	2042110
参加会議	IEEE International Conference on Image Processing		
出張期間	2014年10月26日～10月31日		
開催場所	フランス パリ		
発表論文	Automatic Extraction of Semantic Feature for Real-time Action Recognition using Depth Architecture networks 「深層ネットを用いた実時間動作認識のための語義特徴の自動抽出」		

概要：

動作認識とは、カメラなどセンサーにより収集された人間の動作を理解し、次の動作を予測することである。映像監視システム、アニメーション制作、ゲーミング及び機械やロボットの自動制御に欠かせない基盤技術の一つである。本発表では、動作認識の精度を改善するために、分離度の高い特徴を抽出する手法を提案した。この手法には主に二点の特色がある。第一に特徴の分離度のみを重視するのではなく、語義上で意味のある特徴（例：左手が身体平面の前方にある）の母集合から分離度の高い特徴を抽出すること。その結果、小さいデータセットで起きやすい過学習が抑えられ、汎化性の高い特徴が得られる。第二に深層ネットを用いることで、動作の特徴に関する知識が階層的にまとめられる。それにより、特徴の比較や計算が高速化され、動作認識が実時間で実現できる。提案手法は審査員に高く評価され、口頭発表として採択された。

より良いサービスを提供する為には、機械が人間の動作を正しく認識し、適切に対応しなければならない。視覚情報による動作認識は、非接触で被撮影者に不自由さを与えず、撮影環境に対する要求が低いなどの利点が挙げられる。他方では、頑健・効率的手法実現にはまだ幾つかの課題がある。我々は動作認識に有意義な特徴を抽出する手法を提案したが、実用化までには引き続き改良が必要である。今回の会議に参加したことにより、同分野の研究者と深く交流し、有用なコメントを集め、動作認識分野の最新の進展を把握することができた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京大学大学院情報理工学系研究科 博士課程 中村 友彦	2042111
参加会議	The 15 th International Society for Music Information Retrieval Conference	
出張期間	2014年10月26日～11月1日	
開催場所	台湾・台北	
発表論文	Harmonic-temporal factor decomposition incorporating music prior information for informed monaural source separation インフォームドモノラル音源分離のための音楽事前情報付き調波時間因子分解法	

概要：

当該会議は、音楽に関わる情報処理および信号処理の研究者が一堂に会する音楽情報処理のトップ会議の一つであり、音楽情報検索のコンテストである Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX) も最終日に開催される。人間は混在する複数の音の中で個々の音源を聴き分けることができる。この能力を計算機で実現できれば、音メディアの検索・推薦など人々の生活を豊かにするシステムの基礎技術となりうる。そのため、我々はこの実現に必要なモノラル音楽音響信号から各音源の音響信号への分離（音源分離）に取り組んできた。この会議への参加目的および意義は、1) 人間の聴覚機能に着目したアプローチとスパース信号表現に基づくアプローチの利点を兼ね備えた提案法を多くの研究者に紹介し議論すること、2) 最新の音楽情報処理や信号処理の研究動向を探ること、3) 来年度の博士号取得に向けた発表実績を積むこと、の3つである。

当会議への参加者は去年よりも大幅に多かった。私自身の発表はシングルトラックのオーラルセッションで行われたため、多くの研究者に提案法を紹介することができた。また、質疑の時間は短かったものの海外の研究者から質問を受けたことから、国外の研究者にも興味を持っていただけたようである。また、発表後に数人から質問やコメントをいただき有意義な議論ができたことも成果である。また、以前に我々が提案した手法と類似した研究が紹介されていたり、今後の研究でも利用できる大規模データベースの情報が公開されており、情報収集としても有意義な会議であった。MIREXでも提出された手法についてポスター発表があり、それぞれのタスクについて性能やアプローチを調査できた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	広島市立大学大学院 情報科学研究科 助教 中山 仁史	2042112
参加会議	43rd International Congress on Noise Control Engineering (Internoise2014)	
出張期間	2014年11月13日～11月21日	
開催場所	Melbourne, Australia (メルボルン オーストラリア)	
発表論文	Improvement of body-conducted speech recognition using model estimation モデル推定を用いた体内伝導音認識の改善	

概要：

音声は会話などのコミュニケーションに加え、情報機器の入力手段など広く用いられている。そのため、円滑な音声コミュニケーションやストレスフリーな音声入力が求められている。特に、音声は気導雑音などの影響を受けやすいため、容易に雑音化音声となってしまう問題がある。このことから、雑音の影響を受けにくい音声抽出法が求められている。また一方で、音声は話者毎また発話毎に音響的特徴が異なるため、十分な音声認識性能を得るためには各話者の音声を音声認識システムに対して事前学習する必要がある。

このような問題を解決するために、申請者らは雑音の影響を受けにくい骨伝導音を用いた音声認識システムの研究を行っている。本研究では、より高い認識性能を実現するために、骨伝導音の音響的特徴を認識システムに事前学習する研究を行い、騒音及び振動分野における世界最大級の国際会議である Interoise 2014 にて発表することにした。

この度発表した論文では、98 dBSPL (−20 dBSNR) 環境下でも頑健に動作する認識システムの実現が確認できたため、本会議における多くの参加者にとって魅力的な内容であったといえる。(98 dBSPL の雑音環境下とはジェットエンジンの騒音レベルに匹敵するものであり、一般的なマイクロフォンでは騒音に音声埋没してしまう環境である。) また、−20 dBSNR 環境下で達成した音声認識性能は未だないことから、その意義の大きさが伺えるといえる。

〔国際会議発表〕

発表研究者	新潟県立看護大学 看護学部看護学科 准教授 永吉 雅人	2042113
参加会議	2014 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2014)	
出張期間	2014年11月1日～11月7日	
開催場所	クチン マレーシア	
発表論文	An Entropy-Guided Co-construction Adaptive Method of State and Action Spaces in Reinforcement Learning 強化学習における状態・行動空間のエントロピー駆動型適応的共構成法	

概要：

本国際会議 (ICONIP) では、例年、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おり、機械学習の一つである強化学習についてもハイレベルな研究者が参加している。

私はこれまでに、機械学習の一つである強化学習において、状態空間と行動空間の自律的共構成法の確立を試みてきた。そこで、これまでの研究成果を多くのレベルの高い研究者に知ってもらうこと、さらにそうした研究者と議論することで、今後の強化学習研究を発展するためのヒントを得ることを今回の国際会議に参加する目的とした。また、聴講者として最新の研究発表を聴講し、今後の研究のための情報収集を行うことも目的の一つとした。

この国際会議では、事前に座長の依頼を受け、20分間の自分の研究発表を含めて座長を2時間行った。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、座長を務めたセッション内において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。

〔国際会議発表〕

発表研究者	和歌山大学大学院 システム工学研究科 博士後期課程 信川 輝吉	2042114
参加会議	International Symposium on Optical Memory 2014	
出張期間	2014年10月19日～10月24日	
開催場所	新竹市 台湾	
発表論文	Shift multiplexing with uncorrelated computer-generated reference patterns in coaxial holographic storage コアキシャルホログラフィックメモリにおける相関のない計算機生成参照光パターンを用いたシフト多重記録	

概要：

本国際会議に参加する目的は、ホログラフィックメモリの大容量化手法を発表し、その研究内容に関して他の研究グループの研究者と議論をおこなうことである。本国際会議では、光メモリ分野で活躍する企業や大学の研究者が一堂に会しているため、ホログラフィックメモリや光メモリに関して活発に議論を交わすことができる。また、他の研究グループの最先端の研究動向・成果を知ることができ、今後、申請者の研究を進展する上で有意義な情報を収集できる格好の機会でもある。

本国際会議に参加して得られた成果は、光メモリ分野の研究者に申請者の研究成果を広めることができたことである。研究発表を通して、ホログラフィックメモリの大容量化を実現する一手法として、計算機合成ホログラムの応用が有用であることを示した。発表終了後にも、複数の研究者と議論を交わすことができ有用なコメントや情報を得ることができた。本研究発表で Best Student Paper Award を受賞することができた。初めての口頭による英語の発表であったが、光メモリ分野の権威ある本国際会議で受賞できたことは大変光栄であり、自信にもなった。

また、他の研究グループの研究成果を聴講し、今後の研究のための知見を得ることができた。本国際会議では、光メモリ技術だけでなく、デジタルホログラフィ、分光イメージング、コンピューティショナルフォトグラフィ、高速イメージングなど、イメージング技術に関するセッションや、光メモリ技術をバイオ分野に応用する講演が行われ、興味深く、刺激的な研究発表を多く聴講できた。

本国際会議に参加して得たものは多く、より一層、研究に邁進したいと気持ちを新たにしたい。今回、本国際会議に参加するためのご支援を頂いたことに心より感謝いたします。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京工業大学大学院 理工学研究科 博士課程 原田 祐希	2042115
参加会議	IEEE SENSORS 2014	
出張期間	2014年11月1日～11月7日	
開催場所	Valencia, Spain (バレンシア スペイン)	
発表論文	Response prediction of an insect's ORN by using parameters of odorant and SOM 自己組織化写像と香気物質の構造パラメータを用いた嗅覚受容神経細胞の応答予測	

概要：

嗅覚は五感の中で最も機構の解明が遅れている感覚であったが、現在、ヒューマン嗅覚インターフェースの開発の機運が高まっている。

本研究室は、昆虫由来の嗅覚受容体を導入したバイオセンサの研究に着手しており、本発表の受容体の応答予測は、より生体に近い特性を実現するバイオセンサの設計において必要である。

IEEE Sensors は国際学会の中でも、電気系またはセンサ系の権威のある研究者が多く参加する学会である。本研究の手法はまだ洗練された手法といえる状況ではないが、「生体の嗅覚情報の最前段である、嗅覚受容体による香気への応答の予測」というテーマに興味を持ってもらい、「香気物質の分子構造を市販ソフトウェアによりパラメータ化したうえで機械学習を利用する」手法の可能性を感じてもらえたと思う。

自分の生物・化学・香りの知識のバックグラウンド、そして最新の情報工学の技術を駆使し、今後も研究を進展させることが求められているように感じた。

学会終了後には機械学習の研究分野で権威を持つ先生の研究室も訪問することができた。現在非線形な予測手法として SOM を採用しているが、より高度なニューラルネットワークや多層パーセプトロンにおけるバックプロパゲーションの利用についてアドバイス下さるなど、本研究における今後の目標や研究に関する見通しなどについて意見を頂くことができ、良かったと思う。

私個人としても、生体の嗅覚の最前段の情報化の解析、バイオセンサの設計への貢献という目標がより明確になった。本研究を今後も学際的に検討を進めることで、人間と機械の調和に寄与するような嗅覚インターフェースの技術確立を目指したい。

〔国際会議発表〕

発表研究者	富山県立大学 工学部知能デザイン工学科 講師 増田 寛之	2042117
参加会議	IEEE Symposium on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space (RiiSS2014)	
出張期間	2014年12月8日～12月15日	
開催場所	オランダ州 米国	
発表論文	Unknown Object Extraction based on Plane Detection in 3D space	

概要：

参加した会議は、計算機知能全般に関する学会であり、ロボット知能と情報構造化に関するセッションでの発表を行った。本研究は、特にロボットの知覚機能に着目した知能化技術であり、従来困難であった事前知識の無い物体を環境中から高速に認識することを可能とした。本成果はロボットが作業をする上で必須の情報であり、多くのロボット研究者が必要とする情報の一つであるため、本学会で発表する事は意義があると考えられる。また、本発表を通して議論を行うことで、作業を行う上で本成果の利用方法や今後の改善点を明らかにする事を目的とする。あわせて、計算機知能に関する様々な研究者が一堂に会する機会であるため、ロボットの行動や学習など知覚の先に実施すべき研究内容を調査し、今後の研究に役立てることが目的である。

研究発表を通じた議論及びその他の研究発表の聴講を通して、次の通り成果を得た。まずは、研究発表において、時間の許す限り聴講者と議論を行った。議論のポイントとしては、大きな物体を認識したい場合、精度と計算量がどのようになるかという点であった。現実世界では広い空間になると周辺ノイズの影響やレンズの歪みなどの影響で期待する性能が出ない可能性があるという問題点を今後検証する必要があると認識した。以上のように、本研究成果の応用に対するニーズとしてより広い環境で利用したいという事を認識すると共に、そのような環境で利用する際の問題点が明らかになるという成果を得た。また、Deep Learningに関する講演などを中心に聴講し、今後のロボットの判断に関する研究で導入する可能性について検討した。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京農工大学 生物システム応用科学府 特任助教 松倉 悠	2042118
参加会議	IEEE Sensors 2014	
出張期間	2014年10月30日～11月8日	
開催場所	バレンシア スペイン	
発表論文	Olfactory Search Behavior of Human Wearing Olfactory Assist Mask 嗅覚アシストマスクを装着した人間の嗅覚探索行動	

概要：

今回参加した IEEE Sensors 2014 は、フィジカルセンサからケミカルセンサ、バイオセンサまでセンサ工学に関する幅広い内容をカバーしている。他のセンサ工学関連の国際会議とは異なり、デバイス製作だけでなくセンサネットワークやセンサ応用システムに関する研究発表も多いのが特徴である。センサ工学分野の第一線で活躍する研究者や技術者に自身の研究を広く伝え、各種センサに関する最新の研究動向を収集することを目的とし、IEEE Sensors に参加した。

今回は、報告者が開発した嗅覚アシストマスクに関して、ポスター発表を行った。嗅覚アシストマスクとは、人間の鼻では検出できない希薄な匂いをガスセンサで検出し、その匂いの濃度を数値として表示する代わりに、人間にも明確に感じられる強さの別の匂いを提示して使用者に知らせる装置である。希薄な匂いが漂ってきた際に、嗅覚アシストマスクを装着して周囲を歩き回ると、場所による匂い強度の変化を、実際にその匂いを嗅いでいるように確かめることが可能になる。今回の発表では、嗅覚アシストマスクを装着した被験者が希薄な匂いを辿って匂い源まで辿り着くことが可能であることを確かめた実験の結果を報告した。

匂いセンシングシステムの研究開発を行っている研究者達が他にも国際会議に参加していたが、本研究に興味を示してもらい、実験の方法や条件設定等に関し、今後の研究を進める上で重要な議論を行うことができた。また、今回の国際会議発表の直前に訪問したマラガ大学の Javier González 教授のグループとは、今後も連絡を取り合って互いに協力して研究を行う運びとなった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	静岡理科大学 総合情報学部 講師 松田 健	2042119
参加会議	International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	
出張期間	2014年10月4日～10月8日	
開催場所	サンディエゴ アメリカ	
発表論文	SQL Injection Attack Detection Method using the Approximation Function of Zeta Distribution	

概 要：

国際会議 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics では名前の通り、システムと人、サイバネティクスに関する研究発表が行われる。サイバネティクスとは通信と制御に関する工学を融合させた分野のことをいい、アメリカの数学者ノーバート・ウィーナー博士によって提唱されたものである。したがって、本国際会議では人間と機械の調和を目指す研究が多数発表されている。本研究発表では、SQL インジェクション攻撃という Web アプリケーションがもつデータベースに不正に侵入する攻撃を自動検出する方法を提案したのでそれについて紹介した。SQL インジェクション攻撃については、攻撃から Web アプリケーションを防御するための有効的な技術が確立されているものの、いまなお代表的なサイバー攻撃となっている。この攻撃に関する対策は Web アプリケーションの開発時に重要であるが、対策が十分に行われずに開発されたり、それでも対応が困難なケースが生じたりすることもあるため、本研究のようなこの攻撃から汎用的かつ未知の攻撃に対処しながら Web アプリケーションを防御する仕組みが必要であり、このことについて発表したことが当国際会議に参加した目的と意義である。本発表により、発表セッションの参加者と SQL インジェクション攻撃のデータに関する貴重な議論を行うことができた。本研究は、SQL インジェクション攻撃を検出するアルゴリズムを提案したものであり、今後は、提案手法を実装した攻撃検出のためのソフトウェアの開発を行うことが課題となる。本国際会議に参加することで、SQL インジェクション攻撃に関する有識者と議論は、今後の課題を進める上で重要なヒントとなったことが本国際会議に参加することで得られた成果である。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東海大学 情報理工学部 コンピュータ応用工学科 講師 村松 聡	2042120
参加会議	40 th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	
出張期間	2014年10月28日～11月2日	
開催場所	ダラス アメリカ	
発表論文	Mobile robot localization technique using road surface images	

概 要：

40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (以下、IECON) は、IEEE IES が主催する、電気電子や情報技術、機械設計・制御など産業分野への各種技術の応用に関する大規模な国際会議である。

IECON には、人間の活動を支援するための機器開発に関する研究を扱うセッションである「Human Support Technology for Human Factors」が存在する。当該セッションは、IECON の中でも発表件数や参加者の多い規模の大きいセッションであり、福祉工学やサービス工学をはじめとした数多くの研究者が参加していることから、情報工学を専門とする申請者とは異なる分野の専門家と交流し、議論を行うことで、より効果的、実用的な人間支援技術のあり方を模索することが当該会議への参加目的である。

申請者は、近年人間支援技術のひとつとして話題となっている自動運転に関する研究成果を報告し、国内外の研究者の方々と議論を行った。当該セッションには道路上の危険物体を検知する手法に関するものや道路標識を精度良く認識する手法のような申請者の研究成果に応用することでより安全な自動運転を実現するための手法を知ることができた。また、上記のような純粋な工学的なアプローチに関する研究の他にも、パーソナルスペースを考慮することで威圧感を与えないロボットの速度制御方法や、人間に親近感を与えるためのロボットの移動方法、振舞の設計方法などの心理学的アプローチに関する研究報告もなされており、申請者の研究成果に応用することで、より安全かつより親和性の高い高齢者のためのパーソナルモビリティを実現するという次の研究目標に対する多くの手がかりを得ることができた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	京都大学 医学部 特定研究員 八木 直美	2042112
参加会議	IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2014	
出張期間	2014年10月3日～10月10日	
開催場所	サンディエゴ アメリカ	
発表論文	Swallow-Monitoring System with Acoustic Analysis for Dysphagia 嚥下障害のための音声解析による嚥下モニタリングシステムの開発	

概要：

本研究では、人間の生存または生活の質にかかわる「飲み込む」という基本活動である摂食・嚥下機能をセンシングし、嚥下障害患者のための嚥下モニタリングシステムを開発した。嚥下機能検査として X 線造影検査が一般的であるが、本システムでは計測時の侵襲性をなくし、計測精度を担保した上で場所、技術を問わない簡便な検査を実現する。患者と医療従事者双方の身体、心理的負担を軽減させることが可能である。さらに健常者や嚥下障害患者の日常の嚥下をモニタリングすることで「人間と機械の調和」を促進する。

今回、IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2014 で企画されたスペシャルセッション「Medical and Health Care Engineering (4th Mini-Symposium on Medical and Health Care Technology)」にて発表した。私の国際会議発表の目的と意義は以下であり、大変有意義な機会となった。

- 1) 本研究を世界の学者に対して国際的にアピールし、海外研究者との交流をつくる
- 2) 自身の研究分野における最新の技術動向を知る
- 3) 若手研究者としての研究実績をつむ

また、発表することだけに捕らわれず、世界へ向けて研究意義を伝えることを念頭に目標にした。発表後の質疑応答では、広い分野の学者からの研究成果に対する評価、意見、指摘を得た。さらに医療工学分野での国際的な意見交換も出来た。今後の研究に向けたネットワーク作り、学術的知見の蓄積に有効となり、大きな収穫となった。

SMC 2014 国際会議では 900 名もの研究者が集まった。日本人研究者の参加も多く、日本のこの分野における先進性も感じられた。世界の第一線で活躍する研究者が集まり、議論できる国際会議で、最先端の研究を直接肌で実感した。研究の方向性を見据え、視野を広げる良い機会となった。積極的に研究活動することによって得られたこの貴重な経験を今後の研究に役立てていきたい。

〔国際会議発表〕

発表研究者	九州大学大学院 システム情報科学府 博士後期課程 渡辺 真司	2042123
参加会議	IEEE SENSORS 2014	
出張期間	2014年11月1日～11月5日	
開催場所	バレンシア スペイン	
発表論文	Functionalized AuNPs by Dye Materials for Chemical Sensor Application 化学センサ応用のための色素による金ナノ粒子の機能化	

概要：

IEEE SENSORS はセンサ関連会議の中でも最大規模の国際会議であり、あらゆるセンサに関する研究の発表が認められている。そのため、私の専門とする化学センサのみならず、全産業の中でセンサという分野が置かれている立ち位置、また、センサ全体の中で化学センサが担うべき役割を学ぶことができた。化学センサは、他のセンサと比べて実用化が遅れているのが現状であるが、化学物質はその環境の状態をモニタリングするために非常に有用な手掛かりである。当会議では先進的なセンサである金ナノ粒子を用いた光学的化学センサの高機能化に関する基礎的な研究結果を示し、海外に化学センサの可能性を発信するとともに、海外の研究者との交流を経て自らの研究にフィードバックすることを目的とした。

私の発表は、蛍光分子であるフルオレセインやエオシンの、化学物質の近接による蛍光強度の変化を利用した可視化センシングおよび、金ナノ粒子を加えることによる蛍光強度変化、さらにそれを利用したセンシング感度の向上に関する研究の結果および考察を示すものであった。これまでに、フルオレセインと金ナノ粒子の混合溶液がナノ粒子の濃度に応じて蛍光消光を示し、この機構を利用した数種類の化学物質に対する感度の向上を実証している。この結果は、金ナノ粒子と蛍光色素を複合させることで柔軟な物質選択性を持つセンサの開発が可能であることを示唆している。発表終了後、4名の海外研究者から私の実験の詳しい条件に関する質問や助言をいただき、この研究内容に興味を持っていただけたことを実感している。

〔国際会議発表〕

発表研究者	佐世保工業高等専門学校 電子制御工学科 講師 榎田 諭	2152006
参加会議	International Conference on Robotics and Automation 2015 (ICRA2015)	
出張期間	2015年5月25日～5月31日	
開催場所	シアトル アメリカ合衆国	
発表論文	Evaluation of Finger Configuration for Partial Caging 部分的な囲い込み把持のための指姿勢の評価	

概 要：

本国際会議は主催団体である IEEE が毎年開催するロボットと自動化に関する研究成果を発表する場であり、ロボット系としては世界最大規模かつ最も権威のあるものとして国内外の研究者に認識されています。私が本国際会議に参加した主目的は、自身の研究成果を発表、議論することでした。本年の会議では2,200件を超えるフルペーパーの投稿の中からピアレビューを経て41%が採択されました。そのような質の高い会議には国内外の一線の研究者が出席するため、そこで発表し意見をもらうことは本研究の進展に大きな役割を果たします。また同様に質の高い先端研究の情報を集めることは、新たな研究の発展が期待できます。

本会議の発表形式はインタラクティブ・プレゼンテーションと呼ばれるユニークな方法で、発表者全員による3分間の発表+1分の質疑応答の後、大型ディスプレイを用いて40分間の議論を実施しました。ポスターセッションに似ていますが、紙よりも多くの情報を提示できます。

私の発表は「Grasping (物体把持)」のセッション内で、内容はロボットによる物体操作において新たな物体拘束手法を提案するものでした。これまでの物体操作が力制御拘束によるものがほとんどだったのに対して、それが困難なロボットにも適用できるような幾何学的な拘束(囲い込み把持)の一種を提案し、コンピュータシミュレーションによってその効果を検証しました。質問では、より多くの対象物に対する考察や、実際のロボットへの適用方法などに関するものが多く寄せられ、今後の発展への期待感が感じられました。これらの意見を反映させてさらに発展させることで、学術誌での発表や、実ロボットへの応用が期待できます。

〔短期在外研究〕

派遣研究者	東京工業大学 博士後期課程 邱 惟	2046001
共同研究者/ 所属・職名	Prof. Hugh Spikes/Dr. Tom Reddyhoff/Tribology Group, Imperial College London・教授/講師	
滞 在 地	ロンドン イギリス	
出張期間	2014年8月9日～12月21日	
研究課題名	Performance improvement of ultrasonic motors using functional lubrication — Investigation of lubrication mechanisms 潤滑剤の機能性を利用した超音波モータの効率・寿命改善—潤滑メカニズムの解明	

概 要：

超音波モータは圧電超音波振動でロータを摩擦駆動するモータで、すでにカメラなどで実用化されているが、効率や寿命に課題があり、応用範囲が限定されている。我々は長年超音波モータ開発に携わって来たが、近年、摩擦駆動部に潤滑剤を導入する方法を考案し、シミュレーションや実験を通して、この手法により効率や寿命が大幅に改善されることを確かめつつある。従来、超音波モータの駆動部は乾燥状態で使われることが常識で、自動車の無段変速機の機構に範を得たこの方法はユニークなものとなっている。この方法に適したモータ構造や動作条件を明らかにするには、潤滑状態の詳細な観察が必要であるが、電気系である我々のグループでは潤滑に対する知識も実験装置も不足している。そこで、潤滑研究をリードしている Imperial College London のトライボロジー・グループとコンタクトをとり、この研究課題について申請者がディスカッションを行ったところ、大変興味をもたれ、共同研究に同意をいただいた。この共同研究では、超音波振動下での潤滑剤の挙動を詳細に観察することにより、超音波振動の最適な励振条件、この方式で潤滑剤に求められる特性、駆動部表面形状などを明らかにすることで、超音波モータの効率・寿命を大幅に改善することをめざす。

本研究では、駆動中の超音波モータにおける潤滑剤の膜厚を光干渉法により計測した。一般に超音波モータの駆動周波数は20 kHz以上と高いため、通常の光干渉法ではモータ動作中の膜厚を計測することは困難である。そこで我々は、ストロボ効果を応用した新たな光干渉法を開発、適用し、50 kHz以上の周波数で駆動中の超音波モータにおける潤滑剤の膜厚の時間変化を計測することに成功した。また、このデータを解析することで、駆動中の超音波モータでは混合潤滑および境界潤滑での潤滑機構が支配的であることを明らかにした。この結果により、従来実験的に観測されてきた高トルクや磨耗の原因を明快に説明できるようになった。本手法は、異なる潤滑剤を用いた場合の性能試験にも応用できるため、構造設計や最適化に役立つと期待される。また、超音波モータ以外の種々の機械における薄膜の厚さの時間変化を計測することができるため、トライボロジー分野自体への寄与も大きいと言える。

〔短期在外研究〕

派遣研究者	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究員 保原 浩明	2046002
共同研究者／所属・職名	Dr. Wolfgang Potthast / Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Professor	
滞 在 地	Cologne (Germany, Cologne)	
出張期間	2014年4月18日～7月2日	
研究課題名	Clarification of biomechanical characteristics using running-specific prostheses カーボン繊維製スポーツ用義足における生体力学的特性の全容解明	

概 要：

2012年のロンドン五輪男子400m走に、歴史上初めて両脚小腿切断者である“障害者”の選手が出場したことは記憶に新しい。このように、カーボン繊維製のスポーツ用義足を装着した障害者の中には、一般アスリートをも凌駕するレベルにまで達している者が多く存在している。一方、こうした義足の急速な進化は、「テクノロジー・ドーピング」という新たな倫理問題を社会に投げかけた。この疑問を解決すべく、世界中の研究者達が義足ランナーにおける生体力学的特性を調べてきたが、いまだ明確な結論は得られていない。世界全体で障害者に対する偏見を排除し、運動機会創出・社会参加促進を実現していく上で、こうした問題の解決は急務である。そこで本在外研究では、スポーツ用義足の研究を世界に先駆けて行っているケルン体育大学および国際パラリンピック委員会との共同研究を通じて、義足ランナーの生体力学的特性を分析し、スポーツ用義足装着によるアドバンテージの有無を明らかにすること目的とした。特に、近年のルール改正でアドバンテージに該当する事項とされてきた、身長（義足長）がパフォーマンスに与える影響について研究を行った。

従来の研究手法では、3次元動作解析あるいは力量測定によってアスリートの動きや力を解析することに主眼が置かれてきた。こうした手法は少人数の被験者を実験室で詳細に解析する上で有効である一方、ある特徴を持つ集団全体の特性を把握するには不向きという側面があった。そこで本研究では、義足スプリンターのランニング特性をwebコンテンツから大量に抽出し、データベースを構築することで上述した問題の解決に取り組んだ。具体的には、動画共有サイトに存在する義足スプリンターの100m走レース動画から各選手の歩数と公式タイムを割出し、平均速度、平均ピッチ（単位時間当たりの歩数）および平均ストライド（歩幅）を算出した。加えて、競技団体等が公表している選手プロフィールから各選手の身長データを取得し、上述した3つの指標との関連を調べた。その結果、男女8クラスから、のべ425名のデータベースを構築することができた。また、身長が高い選手ほど歩幅が長いこと、そしてタイムが早い傾向にあることが明らかとなった。こうした結果は健常者とは明らかに異なるものであり、義足長によっては、義足スプリンターが健常者をも上回るアドバンテージを有することが可能であることを示唆している。

〔短期在外研究〕

派遣研究者	香川大学 助教 山口 堅三	2046003
共同研究者／所属・職名	Jeremy Baumberg/University of Cambridge・Professor	
滞 在 地	イギリス・ケンブリッジ	
出張期間	2014年8月8日～9月26日	
研究課題名	A platform technology for formulation of an electrically driven plasmon chip 可変プラズモンデバイスプラットフォームの構築	

概 要：

本在外研究の目的は、微小電気機械システム（Nano Electro Mechanical Systems：以下、NEMS）技術を用い、表面プラズモンの動的光学特性を電氣的に制御可能な可変プラズモンデバイスのナノメートル以下の空間制御を実現し、その電子相関を明らかにすることである。そして、ナノスケールの光及び単一分子エレクトロニクスへの基盤構築にある。

共同研究者である Prof. J. J. Baumberg とは、2012年にスペインで開催された国際会議（The 12th International Conference on Near-field Optics, Nanophotonics and Related Techniques）において、本研究の基盤技術となる Active Plasmon Filter の口頭発表を機に、議論を開始し、現在の共同研究に至る。Baumberg は、サブナノメートルの間隙を制御できる2個の金ナノ構造体の電気特性と光学特性の両方を同時に測定し、トンネリングプラズモニクスの量子的特性を明らかにしている [Nature 491 574-577 (2012)]。しかしながら、構造体間の計測制御として～1.5 nm 間を8ヶ所の測定に留まっており、より高精度な空間制御を必要としていた。そこで、本研究の基盤技術である NEMS による可変プラズモンデバイスを用いると、電圧制御でサブナノメートル以下の任意の空間領域を実現できると考えた。このことから、量子領域のプラズモン系の新しい理論・実験研究を詳細に解明すると共に、ナノデバイス工学とナノ光化学の相乗的な発展が期待できる。これは、人間と調和する情報及び生体環境を実現する基盤技術の創出において密接な関係がある。

本在外研究により、可変プラズモンデバイスプラットフォームの構築の足掛かりとなる研究成果が得られた。また、実験的な研究成果に加え、研究に対する思考力や表現力、研究室の運営能力などをより一層養い、後30年の研究プランが大きく定まった。

〔短期在外研究〕

派遣研究者	和歌山大学大学院システム工学研究科 博士後期課程 信川 輝吉	2156002
共同研究者/ 所属・職名	譚小地／北京理工大学光电学院・教授	
滞 在 地	北京・中国	
出張期間	2015年3月28日～5月29日	
研究課題名	Modulation and detection of three-dimensional polarization distribution for multilevel holographic data storage 超多値記録ホログラフィックメモリのための3次元偏光分布の制御・検出技術の開発	

概 要：

近年の爆発的な情報量の増加により、ストレージ機器の消費電力の増大が問題視されている。一方で莫大な量のデータはビックデータと呼ばれ、工学、経済、医療等さまざまな分野で活用され、人類に恩恵をもたらしている。このような背景のもと、低消費電力、長寿命という特徴をもつ光メモリの大容量化が望まれている。ホログラフィックメモリはその要求に応える技術として期待されている。共同研究者である譚教授は、ホログラフィックメモリの分野で著名な研究者であり、光メモリ分野を牽引する研究者の一人である。ホログラフィックメモリの大容量化を目的とした譚教授との共同研究は、将来の高度情報化社会を支える基盤技術としての意義があり、ストレージ機器や情報機器をはじめとする機械と人間の調和の促進に貢献するものと期待される。

本在外研究では、光波の位相および偏光を情報とする超多値記録ホログラフィックメモリの基盤技術の開発を目的とし、3次元偏光分布の制御・検出技術の開発を実施した。提案する3次元偏光分布の制御技術では、計算機合成ホログラム技術と共通光路光学系を用いているため、レンズ、回折格子などの汎用の光学素子、および単一の空間光変調器により3次元偏光分布の制御が可能である。このことから従来の3次元偏光分布の制御技術と比較して、簡易、小型、廉価な光学系を実現可能である。さらに、偏光素子と、強度輸送方程式と呼ばれる非干渉の位相計測技術を用いることにより3次元偏光分布の検出に成功した。譚教授の研究グループと共同研究を実施し、当初の目的である3次元偏光分布の制御・検出技術の開発に成功した。

〔国際会議開催〕

申請者	神戸大学大学院人間発達環境学研究科人間環境学専攻 准教授 長坂 耕作	2035007
国際会議名称	International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, 2014 (ISSAC 2014)	
開催期間	2014年7月21日～7月25日	
開催場所	神戸大学百年記念館、神戸大学瀧川記念学術交流会館（神戸市灘区）	
申請者の役割	General co-Chair, Local Chair	

概 要：

自然科学や社会科学を含む基礎から応用までの幅広い分野での事象（例えば、車体設計や安全性評価など）の数理的な解明を厳密に行うとき、数式処理は誤差を伴わない厳密な計算を可能にすることで、研究開発を支援します（MathematicaやMapleなどの「数式処理システム」が多くの方に利用されています）。本会議ISSACは、この分野における最新の研究発表などを行う最高峰の国際会議であり、理論だけでなく、産業界などへの数式処理システムの幅広い応用までを対象としており、多様な問題を実際的に打開する理論や技術の発展を目的としています。近年では、代数的な処理による最適化設計支援ツール等が開発され、制御理論における数式処理の活用も進んでいますが、人間を取り巻く環境に即した開発を厳密かつ非破壊的な方法で行うことを数式処理は可能にしつつあります。

本会議は、主に日本人を対象とした数式処理ソフトに関するワークショップ（登録不要）の開催、数式処理のチュートリアル（登録不要）、数式処理に関するトップカンファレンスを融合し、神戸大学大学院人間発達環境学研究科の学術Weeks 2014の「Kobe Computing Week 2014」として拡大開催しました。特に、国立情報学研究所が進める「東大ロボットプロジェクト」に関する講演を3件設定し、数学の問題を解くうえで重要な数式処理について、内外の専門家に日本で行われている研究を幅広く周知することが出来たと考えられます。また、産業界への応用を視野に入れたチュートリアル講演を多く設定したことで、本会議をきっかけに、理論と応用を融合した研究開発がさらに進むと期待されます。

〔国際会議開催〕

申請者	岐阜大学大学院医学系研究科 教授 藤田 広志	2035009
国際会議名称	12 th International Workshop on Breast Imaging (IWDM 2014)	
開催期間	2014年6月29日～7月2日	
開催場所	じゅうろくプラザ（岐阜市文化産業交流センター）（岐阜県橋本町）	
申請者の役割	Workshop Chair	

概要：

ブレストイメージングに関する第12回国際ワークショップ（IWDM 2014）を、アジア初・日本初の大会として、6月29日（日）～7月2日（水）の4日間にわたり、岐阜JR駅前の「じゅうろくプラザ」にて開催した。参加者数は、学術関係者168名（国内より65、海外18カ国より103：内訳は豪州6、欧州53、米大陸27、アジア82）、その家族やスタッフ等を含めると、合計273名の参加となり、最大規模の参加者数であった。学術的内容として、東北大・大内憲明教授による特別講演、8件の基調講演（韓国、台湾、マレーシアからの講演者を含む）、2件のランチョン講演、口述セッション9（27演題）、ポスターセッション2（76演題）で構成され、ブレストイメージングに関する最新の情報の意見交換の場となった。アジアにおける大会の特徴として、超音波画像診断、高濃度乳腺、3次元乳房画像撮影（トモシンセシス）に関するトピックスに特に焦点を当て、多くの有益な討論が活発に行われた。本領域におけるICT利用にも焦点を当て、米国で行われている実施事例として「遠隔画像診断」をアリゾナ周辺地域で行っている研究者を招聘し、基調講演が行われた。採択論文はSpringer社発行の冊子として採録し出版した。学術面以外では、情報交換の場として、ウェルカムレセプションと懇親会（Gala Dinner）を企画し、日本文化を広く紹介した（岐阜の歴史や文化を紹介する講演、着物ショー、十二単のショー、岐阜大邦楽部学生演奏、岐阜大茶道部等によるお茶のセレモニーの実施）。次期大会IWDM 2016は、スウェーデンのマルメにて開催されることが決まった。

〔国際会議開催〕

申請者	名古屋大学大学院工学研究科 准教授 丸山 央峰	2035010
国際会議名称	2013 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science and International Micro Robot Maze Contest	
開催期間	2013年11月10日～11月13日	
開催場所	名古屋大学 野依記念学術交流館（名古屋市中種区）	
申請者の役割	会場担当 OS オーガナイザ	

概要：

近年の超高齢化社会、環境問題等がクローズアップされている現在、マイクロ・ナノメカトロニクス技術は、日本を支える新成長分野であるとともに情報化・ライフサイエンス・省エネルギー・高効率化に有効な革新的技術として多くの分野から大きな期待が寄せられている。マイクロ・ナノメカトロニクス産業は、ロボット・バイオ・医療・計測・情報処理等の広い分野に応用可能であり、当地域の大学・企業・公的機関において研究開発が盛んに進められており、マイクロ・ナノスケールに特有の物理現象や特性に着目した新機能を有する材料・機械システムの創出と、解析技術・設計技術、及び効率的な情報処理技術の確立を目的として研究が行われている。

本シンポジウムでは、マイクロ・ナノメカトロニクスのさらなる拡大・発展を目的として、工学や理学、医学といった異なる分野で活躍中の国内外の研究者、及び若手研究者による活気ある議論や情報交換だけでなく、更なるマイクロ・ナノメカトロニクス研究の新たなネットワークの創出を目指すものである。今年度のシンポジウムでは、120名を超えるナノテクノロジー・バイオテクノロジーからロボット・人工知能関連といった多岐にわたる分野の国内外から研究者・学生が参加し、活発な議論が行われた。また、30～40代の若手研究者によるオーガナイズドセッションを数多く企画したことで、若手及び学生間の情報交換及びネットワーク構築が活性化され、今後の諸分野を発展・新規分野を開拓するための基盤ができつつあり、新学術領域の開拓の活性化が期待される。

〔国際会議開催〕

申請者	奈良先端科学技術大学院大学 助教 伊原 彰紀	2045002
国際会議名称	MSR Asia Summit 2014	
開催期間	2014年11月24日	
開催場所	キャンパスイノベーションセンター東京（東京都港区）	
申請者の役割	Chair	

概要：

MSR Asia Summit 2014は、ソフトウェア開発・利用時に発生する膨大な非構造データから開発に役立つ知見の発見を目指す「マイニングソフトウェアリポジトリ（MSR）」に関する会議である。情報システムは社会生活の基盤を支え、機械という言葉は単に物理的な実体（ハードウェア）に限らず、その頭脳たるソフトウェアを同時に指し、ソフトウェアの責務は増す一方である。ソフトウェア開発への深い理解を通じ、人間と物理的な実体を持たないソフトウェアの調和を目指す本会議は、「人間と機械の調和の促進」という趣意に対し重要な役割を担う。特に、MSRはソフトウェア工学分野において近年急速に発展している領域である。本会議では、世界各地からMSRを専門とする海外トップ研究者5名を招聘し、日本人若手研究者（修士・博士課程学生含む）が最新の研究動向に触れる機会、及び、トップ研究者と共同研究を開始する会となった。

〔国際会議開催〕

申請者	大阪工業大学工学部機械工学科 教授 上田 整	2045004
国際会議名称	第4回機能性材料と構造物の力学に関するアジア会議	
開催期間	2014年10月10日～10月13日	
開催場所	奈良県新公会堂（奈良県奈良市）	
申請者の役割	組織委員長	

概要：

知的材料やスマート構造物等の高機能化設計に関する研究は、人間や環境に優しい機械を造るための先端技術であり、電子工学から機械工学まで幅広い分野で一層の発展が要望されている。この中でも、材料や構造物の高機能化のための応用固体力学は先端技術の基盤であり、欧米を始め中国やインド等の新興工業国でも国家的見地から研究者を育成している。このような背景から、我が国研究者の主導の下、主として東・南アジア諸国の若い研究者対象の応用固体力学を主要題目とした国際会議を開催する。これにより、世界最先端の研究成果の発表を通して新たな知見の普及を図り、より先進的な研究課題を探求すると共に、世界で活躍できる我が国若手研究者の育成を図ることが本国際会議の目的である。また、木質材料の力学に関するテーマを新設し、人間と機械が持続的に発展するための工業材料として新展開が期待される木質材料にも焦点を当てた新規性を有する会議とする。

〔得られた成果/効果〕

- ① 世界最先端の研究発表と討論によって工業材料や構造物の高機能化設計に関する力学的研究が発展する。延いては、新材料開発技術を始め先端工業技術の基盤が強化され、関連諸国における一層の工業進展に繋がる。
- ② 我が国研究者の主導の下に国際会議が継続されることによって、高機能化設計に関する力学的研究において、欧米に対して東・南アジア地域に第三の極が形成され、研究者間の交流と研究活動が一層活性化することが期待できる。
- ③ 本国際学術会議は、持続的発展のための工業材料として今後の新展開が期待される木質材料にも焦点を当てた新規性を有する会議であり、その成果は、工業材料の観点から環境問題の解決に資するものと考えられる。

〔国際会議開催〕

申請者	九州工業大学 教授 尾知 博	2045005
国際会議名称	2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems	
開催期間	2014年11月17日～11月20日	
開催場所	ANA インターコンチネンタル石垣リゾート（沖縄県石垣市）	
申請者の役割	実行組織委員会委員長	

概要：

本国際会議は、全ての社会基盤や人間と機械の調和の基礎となる回路とシステム、及びその要素技術に関する国際会議である。本会議が開始された1994年は、高性能化を目指して回路とシステムについて研究がおこなわれていたが、現在は人間や機械に近い部分でよりスマートに、より低省電力に動作することを目指して研究がおこなわれている。2014年は、早急に解決が必要である持続可能な社会を実現するために「The Smart and Green Circuits and Systems」をテーマとして開催された。

会議は、2014年11月17日～20日に沖縄県石垣市のANA インターコンチネンタル石垣リゾートで開催され、参加者は台湾、中国、韓国、インドなどアジアを中心に21の国と地域からの103名の研究者を含め総勢254名であった。

本国際会議では、2件の基調講演及び3件のチュートリアルその他、30セッションで193件の発表が行われ、多角的な議論が行われた。本会議では、最先端のスマート通信回路やマルチメディア回路、低消費電力化設計や低消費電力回路についての講演が集まり、アジア環太平洋地域のみならずグローバルな規模で研究者や技術者にインパクトを与えることができ、持続可能な社会を実現に寄与できたものとする。

本国際会議では優れた研究に対し、「Best Paper Award」を6件、若手研究者育成を目的として、「Outstanding Student Paper Award」を3件、「Student Travel Support」を10件、優れたライブデモンストレーションに対して、「Live Demonstration Award」を1件選出した。

〔国際会議開催〕

申請者	電気通信大学 情報理工学研究科 教授 柏原 昭博	2045006
国際会議名称	22nd International Conference on Computers in Education (ICCE2014)	
開催期間	2014年11月30日～12月4日	
開催場所	奈良県新公会堂（奈良県奈良市）	
申請者の役割	実行委員長	

概要：

22nd International Conference on Computers in Education（以下、ICCE2014）は、2014年11月30日から12月4日の5日間に渡って、コンピュータ技術を中心とするICTを教育に融合することを目指し、国際的な研究成果発信および議論のための場を提供することを目的として、奈良県新公会堂において開催された。アジア・環太平洋を中心に34の国と地域から当初の予想や例年の実績を大幅に上回る417名の参加者を得て、異なる文化・価値観を持つ研究者が互いにコラボレーションを行うことで新たな発見を得られる場を提供することができた。

本国際会議では、Constructing New Fundamentals of Computers in Education for the Futureという大会テーマの元、(1)人工知能ベースの学習支援、(2)協調学習環境、(3)先進的学習技術、(4)ユビキタス・モバイル学習環境、(5)ゲームベースの学習、(6)言語教育、(7)教育実践・FD、と多岐にわたるサブテーマを掲げ、教育におけるICT利活用の諸問題を網羅的に議論した。特に、本国際会議のフルペーパーについては採択率が約25%と教育におけるICT利活用に関する国際会議では突出して厳正な審査により、非常に質の高い発表が揃った内容となった。

現在、ICTを教育環境に融合する試みが世界的に推進される中で、日本でも教育現場へのICT機器導入における課題抽出・分析が実施されている。また、政府による世界最先端IT国家創造宣言や日本再興戦略でも、ICT基盤の教育環境整備が盛り込まれており、今後ますます情報通信と教育との融合が加速されようとしている。こうした良いタイミングで、日本において本国際会議を開催することができたことは極めて有意義であったと確信している。

〔国際会議開催〕

申請者	室蘭工業大学 准教授 工藤 康生	2045008
国際会議名称	第10回グラニューラーコンピューティングに関する国際会議 (IEEE GrC 2014)	
開催期間	2014年10月22日～10月24日	
開催場所	登別グランドホテル (北海道登別市)	
申請者の役割	実行委員長	

概要:

グラニューラーコンピューティングに関する国際会議 (Granular Computing (GrC) : 直訳 粒状計算) は、人工知能 (コンピュータやロボット) と人間との円滑な関わりなど、人間主体の知識表現の情報処理モデルとして有効性が期待される、情報の「粒」の概念に関する理論的基礎づけから実問題への応用まで、先端研究を公表し情報交換を行うことを目的とし、情報科学を中心に、人工知能、ファジィ理論、データマイニング、ヒューマンコンピュータインタラクションなど、幅広い分野の研究者が集う国際会議である。第10回となる今回の会議は、グラニューラーコンピューティングに特化した国際会議としては初の日本開催である。

会議は2014年10月22日から10月24日の3日間、北海道登別市の登別グランドホテルにて開催され、国内から33名、海外からは台湾、中国、ポーランドなど9か国から29名の計62名が参加した。会議の規模は小さいものの、グラニューラーコンピューティングやラフ集合に関する基調講演やチュートリアル、データマイニング、ソフトコンピューティング、クラスタリング、生体情報処理などに関する招待講演、一般、企画合わせて16個のセッションが開催され、充実した内容の議論が行われた。グラニューラーコンピューティングを介して国内外の研究者が討論・交流する場を提供することができ、また、国内外から多くの学生が発表者として参加できたことから、グラニューラーコンピューティングの今後の発展に多少なりとも寄与できたと考えている。

〔国際会議開催〕

申請者	鹿児島大学大学院 理工学研究科電気電子工学専攻 准教授 重井 徳貴	2045011
国際会議名称	SCIS & ISIS 2014	
開催期間	2014年12月3日～12月6日	
開催場所	北九州国際会議場 (福岡県北九州市小倉北区)	
申請者の役割	組織副委員長	

概要:

人間と機械の調和を促進するために、これまで以上に高度な情報処理技術が必要とされている。ソフトコンピューティングは、人間の理解や行動に則したやわらかい情報処理や、生物の進化や集団行動などの知的な振る舞いを模した最適化技術であり、高度知能化技術として注目され、様々な分野でその有用性が示されている。SCIS & ISIS 2014は、2年に1回開催されるアジア最大級のソフトコンピューティングに関する国際会議であり、最先端の成果、新たな挑戦につながる新規なアイデア、多様な観点からの将来的展望について議論するために、多様な専門分野を背景とする研究者、工学者、専門家が一堂に会することにより、オープンで活発な学術フォーラムを育むことを目的としている。

2014年12月3日～6日に北九州国際会議場において開催され、初日には4件のチュートリアル講演、その後の3日間では、4件のPlenary Talk、口頭発表の75セッション、そしてポスター発表の1セッションを実施した。予想を上回る423名が参加し、334件の招待講演および一般講演があった。海外からは、17か国から87名が参加した。日本のみならず海外からも多数の研究者、工学者、専門家が集まり、本国際会議の目的にそって、グローバルで活発な協議が行われた。これにより、システムの知能化に関する幅広い専門分野の国際的な技術者ネットワークの形成、知能化技術と知的システムに関する基礎技術の深化と発展、分野横断的視点が必要とされる応用分野における知的システムの深化と発展につながる実りある議論の場を提供できたと考えている。

〔国際会議開催〕

申請者	龍谷大学 理工学部情報メディア学科 教授 長谷 智弘	2045013
国際会議名称	2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2014)	
開催期間	2014年10月7日～10月10日	
開催場所	幕張メッセ 国際会議場（千葉市美浜区）	
申請者の役割	Founder & Director	

概要：

2014年10月7日から10日までの4日間、幕張メッセ国際会議場（千葉市美浜区）におきまして、2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2014) を開催しました。貴財団からのご支援のおかげで、本会議は20ヶ国・地域から400名を超える参会者を得て、大変盛況裡に終了することができました。本会議は、関連分野において世界最大で最も権威のある学会 IEEE の Consumer Electronics Society が主催し、世界各国の研究者・技術者を対象としたものであり、国際的な交流という点で大変有意義な学会となりました。また、GCCE は2012年の創立以来、同時期・同場所で開催される世界三大家電展示ショーの一つ CEATEC JAPAN と併催されています。本会議も CEATEC JAPAN 2014 と併催され、これにより複数の分野の研究者・技術者が一堂に会することにより、新たな研究交流を生じ、分野間にまたがる境界領域の課題解決と、将来の研究分野の探求する場が提供されました。会議の成果はプロシーディングとして IEEE から刊行されます。刊行物はデジタルライブラリ IEEE Xplore に収められるので、世界中の人がアクセスすることができます。

本会議で扱う分野は情報家電を支える技術です。また本会議の特徴は、専門技術の深さや新規性以上に、民生用途のアプリケーションとして『人間にとって本当に使いやすい機器・システムであるか』という有用性が重視される点にあります。その結果、本会議では、現代人の生活に欠かせない家電機器を高機能に、使いやすく改善するための最新の知見が数多く発表されました。これにより人と機械の距離を近づけ、より豊かな暮らしを支えることに貢献したと考えます。

〔国際会議開催〕

申請者	大阪大学 情報科学研究科 准教授 原 隆浩	2045015
国際会議名称	第33回信頼分散システム国際シンポジウム	
開催期間	2014年10月6日～10月9日	
開催場所	東大寺総合文化センター（奈良県奈良市）	
申請者の役割	シンポジウム委員長	

概要：

信頼分散システム国際シンポジウムは、情報通信（ICT）分野で世界最大規模の学術団体である IEEE が主催する分散システム（インターネットなどのネットワークで広域に接続されたコンピュータシステム）の信頼性に関する国際会議であり、毎年開催されている。複雑化する分散システムの信頼性・安全性に対する技術開発が学術的・社会的・産業的に急務である。第33回信頼分散システム国際シンポジウム（SRDS2014）は、このような社会の要求に応えるために、最近注目されているクラウドコンピューティング（ネットワーク上のサービスやコンピュータ資源を利用する仕組み）やビッグデータ（企業、個人などが生成する大規模なデータを扱う仕組み）におけるセキュリティやプライバシー保護、スマート・グリーン（コンピュータシステムの省電力化）、性能保証などを含む最新技術の動向などを、全世界の研究者で討論・情報交換することを目的としている。本国際シンポジウムを、平成26年10月6日（月）～9日（木）に東大寺総合文化センター（奈良県奈良市）にて開催し、132名（国内67名、海外65名）の研究者が参加した。投稿された106件の論文の内、30件を採択し（採択率28.3%）、分散システム、データベース、セキュリティ、信頼システムなど様々な分野に関する67件の研究発表を行い、新しい技術の創出について議論を行った。論文集は IEEE CS より USB メモリで本会議とワークショップに分けて出版された。

本国際シンポジウムは、貴財団の助成により十分な予算で運営でき、上記のとおり大変盛況な国際シンポジウムとなった。情報工学の今後のさらなる発展および普及に大きく寄与できたと考えている。関係者に謝意を示す。

〔国際会議開催〕

申請者	石川工業高等専門学校 電子情報工学科 准教授 松本 剛史	2045017
国際会議名称	アジア南太平洋設計自動化会議 2015	
開催期間	2015年1月19日～1月22日	
開催場所	幕張メッセ（千葉県千葉市）	
申請者の役割	財務委員長	

概要：

アジア南太平洋設計自動化会議（ASP-DAC）は、電子システムの一要素である LSI の物理設計、論理・機能設計、テストから、電子システムの仕様記述や設計方法論に至るまで、電子システムに関連する種々の技術分野を網羅した国際会議です。本会議では、設計自動化技術そのものに加えて、最先端の設計自動化技術を適用して開発された LSI・電子システム・情報通信システムの設計開発事例も含めて、半導体分野の最新の技術動向を議論・共有することを目的としています。

会議は全4日間の日程で開催され、19ヶ国からの外国人198名を含めて、433名が参加し、大変盛況のうちに開催されました。初日には6件のチュートリアルが行われ、各分野の第一人者がシステムレベルからデバイスレベルまで、基礎から現場で役立つ実践まで最新技術を講義しました。2日目以降は主に講演で構成される全36セッションが実施されました。基調講演では、ボッシュ株式会社取締役副社長（技術統括担当）の Udo Wolz 氏、NTT 未来ねっと研究所所長の高原厚氏、国立情報学研究所の新井 紀子教授に設計および設計技術の最新動向についてご講演いただきました。セッションは、一般講演が26セッション、招待講演が5セッション、Designers' Forum が4セッション、デザイン・コンテストが1セッションの全36のセッションで構成されました。318件の一般投稿論文から106件が採択（採択率33.3%）され、一般講演セッションでは質の高い最新の研究成果が多数発表され、海外研究者を交えて、非常に活発な技術的・人的交流がなされました。

〔国際会議開催〕

申請者	国立研究開発法人 理化学研究所 神経情報基盤センター長 山口 陽子	2045018
国際会議名称	第14回日本・中国・韓国合同ワークショップ（WS）Neurobiology and Neuroinformatics 2014（NBNI-2014）	
開催期間	2014年12月18日～12月20日	
開催場所	自然科学研究機構 岡崎コンファレンスセンター（愛知県岡崎市）	
申請者の役割	General Chair	

概要：

本ワークショップは毎年開催されるものであり、例年のテーマである計算論的神経科学とそれに関する細胞レベルから神経生理、行動、脳イメージングなどの計測、解析など広いテーマを設定した。特に今回は、神経科学からの人と機械の調和のための科学的アプローチを議論することを目的として、Special Topicsとして“Scientific and Engineering Approaches toward New Relationships between Human and Machine”を設定した。その結果、招待講演の18件中9件と一般公募のポスター発表18件中3件が、Special Topicsでの発表となった。General Topicsの中でもこのテーマに関する研究が多数あり、本会議の趣旨に沿った議論と意見交換をすることができた。この会議の目的である機械と人の調和に関する脳神経科学分野での計算論、実験解析、工学応用などの立場からの研究を広い視野で議論することができ、今後の研究発展のための有意義なアイデアを交換することができた。また国内外から多くの若手研究者が参加し、この分野が開拓され始めた当時の先人の辿った歴史を共有して一緒に将来を考える機会にもなった。今後の3カ国での協力の意義についても再認識された。

〔国際会議開催〕

申請者	東京大学工学系研究科 助教 山田 健太	2045019
国際会議名称	Social Modeling and Simulations+Econophysics Colloquium 2014 (SMSEC 2014)	
開催期間	2014年11月4日～11月6日	
開催場所	ニチイ学館 神戸ポートアイランドセンター (神戸市中央区)	
申請者の役割	事務局長	

概要：

本会議は、社会シミュレーションと経済物理学が共同で行う世界初の国際会議であり、社会シミュレーション、情報科学、統計数理、経済物理などの第一線の研究者が一堂に会し互いの垣根を超えて議論を行い、諸分野における成果や課題を共有することにより、新たなアイデアが創発され、分野を超えた共同研究につながる研究者間のネットワーク構築を目指しました。

新たな試みでしたが、会議には当初の予定を上回る計174名（日本人：111、外国人：63）の参加者があり、151件（招待講演：21 口頭発表：77 ポスター発表：53）の発表が行われました。

黎明期からこの分野に関わってきたオーガナイザーらのネットワークを活用することにより、社会シミュレーション、統計数理、経済物理の各分野より世界的に著名な基調講演者を揃えました。その結果、各分野の研究者が集まり、活発に議論が行われ、社会シミュレーションと経済物理学、それぞれ単独の開催では不可能であった知識の共有やアイデアの創発がされました。

若手研究者にとっては、普段交流のないコミュニティーの研究者とディスカッションを行える貴重な機会となり、キャリア形成にも効果的でした。ポスター発表にはポスター賞を設定し3名の若手研究者が受賞し、若手研究者による萌芽研究を奨励する活動として有意義でした。また、京コンピュータの見学会を2回行いました。世界トップクラスのスーパーコンピュータを間近で見られたと大変好評でした。

本会議の内容は、Springerの特別号として2015年に上梓される予定です。

-
- 2014 年度活動報告
 - 2015 年度助成報告
 - 2015 年度助成金贈呈式
 - 2015 年度研究助成課題一覧
 - 2014 年度後期国際交流助成 課題一覧
 - 2015 年度前期国際交流助成 課題一覧
 - 2014 年度国際会議開催助成 課題一覧
 - 2015 年度研究助成課題の紹介
 - 2016 年度助成公募案内

2014 年度活動報告

(1) 主要業務日程

年 月 日	内 容
2014 年 4 月 1 日～	2014 年度後期国際交流助成候補の受付開始
5 月 22 日	2014 年度国際会議開催助成候補の受付開始 第 3 回立石賞表彰式・記念講演及び 2014 年度助成金贈呈式、 懇親交流会を開催
6 月 13 日	第 21 回理事会、第 9 回評議員会開催 ・2013 年度事業報告及び決算の承認 ・株主権行使の承認 ・評議員 理事の選任 等
6 月 30 日	第 22 回理事会開催 ・理事長、常務理事の選定
8 月 22 日	2014 年度後期国際交流助成候補の受付締切 (34 件受付) 2014 年度国際会議開催助成候補の受付締切 (35 件受付) 夏季選考委員会開催 ・2014 年度後期国際交流助成、国際会議開催助成の選考
9 月 1 日	2015 年度研究助成 (A)(B)(C) 候補の受付開始
9 月 27 日	助成研究成果集第 23 号発行
10 月 1 日	2015 年度前期国際交流助成 候補の受付開始
10 月 31 日	2015 年度研究助成 (A)(B)(C) 候補の受付締切 (178 件受付)
12 月 20 日	2015 年度前期国際交流助成候補の受付締切 (16 件受付)
2015 年 1 月 23 日	第 27 回選考委員会開催 ・2015 年度 研究助成 (A)(B)(C)、前期国際交流助成の選考 等
2 月 5 日	第 23 回理事会開催 ・第 10 回評議員会招集の決議 ・2015 年度 研究助成 (S) 候補募集の承認 ・第 4 回 (2016 年度) 立石賞候補募集の承認 ・2015 年度 助成課題 (採択候補) の承認 等
3 月 13 日	第 24 回理事会、第 10 回評議員会開催 ・2014 年度 事業報告及び決算見込みの報告 ・2015 年度 事業計画及び予算の承認 ・2016 年度 助成候補募集の承認 等

収 支 計 算 書

(自 2014 年 4 月 1 日 至 2015 年 3 月 31 日)

(単位：千円)

貸 借 対 照 表

(2015 年 3 月 31 日)

(単位：千円)

I 事業活動収支の部		I 資産の部	
1. 事業活動収入		1. 流動資産	
基本財産運用益収入	154,875	現金	70
特定資産運用益収入	18,017	普通預金	24,789
寄付金収入	600	定期預金	15,000
雑収入	65	2. 固定資産	
2. 事業活動支出		(1) 基本財産	
事業費支出	141,077	投資有価証券	14,227,500
管理費支出	9,076	(2) 特定資産	
事業活動収支差額	23,405	事業運営資産	1,100,000
II 投資活動収支の部		事業積立資産	225,000
1. 投資活動収入		(3) その他の固定資産	150
助成事業積立資産取崩収入	110,000	資産合計	15,592,509
2. 投資活動支出		II 負債の部	
助成事業積立資産取得支出	125,000	1. 流動負債	0
投資活動収支差額	△ 15,000	2. 固定負債	0
III 財務活動収支の部		負債合計	0
1. 財務活動収入	0	III 正味財産の部	
2. 財務活動支出	0	1. 指定正味財産	15,552,500
財務活動収支差額	0	寄附金	1,100,000
当期収支差額	8,405	寄附株式	14,227,500
前期繰越収支差額	31,454	事業積立資産	225,000
次期繰越収支差額	39,859	2. 一般正味財産	40,009
		正味財産合計	15,592,509

2015 年度助成報告

本年は、すでに研究助成（A）（B）（C）、前期国際交流助成を実施すると共に、15年5月25日に研究助成金贈呈式を開催した。

研究助成(A)(B)	38件	95,204千円
研究助成(C)	15件	13,500千円
国際交流助成(前期)	6件	2,410千円
合計	1件	111,114千円

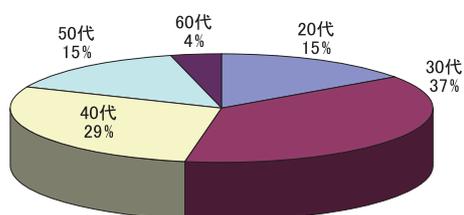
この結果、財団設立以来の助成・顕彰件数は、研究助成604件、国際交流助成282件、国際会議開催助成63件、立石賞7件、合計956件数。助成・顕彰金総額は、15億6,371万円となった。

なお、後期国際交流助成と国際会議開催助成は、2015年10月に実施する。

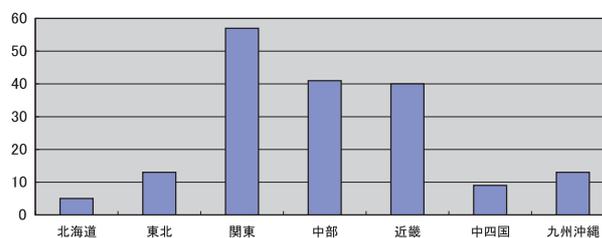
● 2015 年度助成の応募状況

(1) 研究助成（2015 年度）

① 年令別

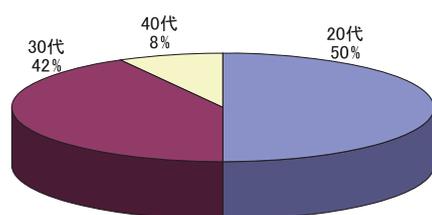


② 地域別

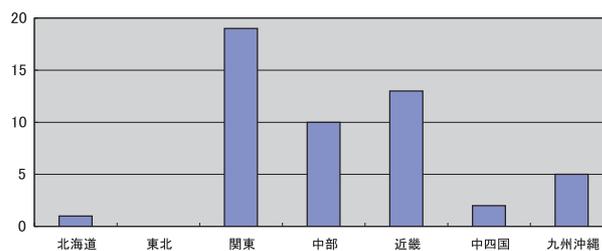


(2) 国際交流（国際会議発表，短期在外研究）助成（2014 年度後期～2015 年度前期）

① 年令別



② 地域別



2015年度 助成金贈呈式

日時：2015年5月25日（月）

場所：グランドプリンスホテル京都

2015年度助成金贈呈式は、ご来賓の文部科学省研究振興局参事官(情報担当) 榎本 剛様、京都府副知事 山下晃正様、京都府商工労働観光部部長 岡本圭司様、オムロン株式会社取締役副社長作宮明夫様、2014年度研究助成金受領者、財団関係者を含めて、約140名の出席のもとに開催しました。

立石義雄理事長より2014年度より新設された研究助成（C）（博士課程後期の若手研究者対象）に対して賞金目録の贈呈を行いました。



表彰式・贈呈式会場



立石理事長挨拶



研究助成（A）（B）受領者代表への目録の贈呈



研究助成（C）目録の贈呈



研究助成（A）課題発表



懇親交流会での研究助成受領者との質疑模様

後半には、研究助成（A）（B）の受領者から研究課題の発表と研究に取り組む意気込みを発表していただきました。懇親交流会では研究課題の内容や目標について各自の課題パネルを用いた説明を行い、参加者との活発な質疑が行われました。

※研究助成課題の内容は、174～180頁に掲載

2015年度 研究助成 (A)(B) 受領者

【研究助成 (A)】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	課 題 名
上岡 玲子 九州大学 芸術工学研究院 准教授	触覚提示による背部反射応答を利用した座位作業時の姿勢矯正システムの構築と評価
植村 宗則 九州大学大学院 医学研究院 特任助教	「神の手」の定量化と技術伝達のための内視鏡外科手術トレーニング支援システムの開発
大島 孝仁 東京工業大学大学院 理工学研究科 応用化学専攻 助教	人間と同じように炎を認識できる高感度半導体センサの開発
小木津 武樹 東京理科大学 理工学部機械工学科 助教	人間共生型移動ロボット実現のための「アイコンタクト」システムに関する研究
奥野 弘嗣 大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 助教	昆虫の神経系に学んだ視覚フィードバック制御を行う小型自律飛行ロボットの開発
小野 弓絵 明治大学 理工学部 准教授	BMI 技術を用いた半側空間無視リハビリテーションの構築
金井 康 大阪大学 産業科学研究所 半導体量子科学分野 助教	レーザーアニーリング法によるフレキシブル基板上でのグラフェントランジスタの作製
亀崎 允啓 早稲田大学 理工学術院総合研究所 研究院講師	人になじむ人間操作型機械 ～入出力ゲインの自動適応に関する基礎研究～
北 智洋 東北大学大学院 工学研究科 助教	シリコンフォトリック波長可変レーザを用いた医療イメージング用光源の開発
工藤 博章 名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 准教授	実世界と拡張現実感の映像との視距離の違いに着目した視線計測と映像の制御
熊崎 博一 福井大学 子どものこころの発達研究センター 特命助教	社交不安障害患者へのアンドロイドを用いた対面コミュニケーション訓練法の予備的研究
栗田 伸幸 群馬大学大学院 理工学府電子情報部門 助教	5自由度能動制御型磁気浮上モータを用いた全人工心臓の開発
小尻 智子 関西大学 システム理工学部 准教授	健康長寿促進のためのアバター育成環境の構築
小林 一郎 お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 教授	居住空間において生活者の日常生活を見守り支援するロボットの基盤技術開発
小林 博樹 東京大学 空間情報科学研究センター 助教	どうぶつタッチ & ゴー：環境センサ装着の野生動物から記録情報を NFC で回収する機構

2015年度 研究助成 (A)(B) 受領者

【研究助成 (A)】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	課 題 名
島野 美保子 東京大学 生産技術研究所 特任助教	医療診断用分光映像の高時間分解能化の研究
菅谷 みどり 芝浦工業大学 准教授	発達障害児童向けのセラピーデバイスの研究開発
杉浦 孔明 国立研究開発法人 情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 主任研究員	サービスロボットのための実世界知識を扱うクラウド型音声対話基盤の構築
高汐 一紀 慶應義塾大学 環境情報学部 准教授	知覚共有型ロボット群との協調による生体神経網の空間的拡張と論理的 身体感覚形成
竹原 宏明 奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構 特任助教	バイオ光学素子とフォトニック LSI チップが実現する生体内光通信技術
館野 高 北海道大学大学院 情報科学研究科 教授	神経制御工学の黎明：適応的閉ループ型の電氣的神経制御技術の基盤構築
田中 一男 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 知能機械工学専攻 教授	低コスト・省スペース・高パフォーマンスブレインコントローラの開発
田中 陽 国立研究開発法人 理化学研究所 生命システム研究センター ユニットリーダー	生物的手法によるクリーンかつ安全な革新的発電システムの創出
田畑 美幸 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 バイオエレクトロニクス分野 日本学術振興会 特別研究員 P D	脱顆粒の免疫学的機序に関する電気化学計測システムの創製
野田 智之 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所 専任研究員	入れ子構造を有するワイヤ引き空気圧人工筋によるやわらかい駆動シス テムの開発
野田 善之 山梨大学大学院 総合研究部 准教授	傾斜地や不整地での荷台水平化を実現する遠隔操作型運搬ビークルの開発
延原 肇 筑波大学 システム情報系 准教授	小型無人航空機による災害直後の迅速な通信インフラ復旧支援
橋本 悠希 筑波大学 システム情報系 助教	触覚情報の時間伸縮提示による物性・物理現象理解のアシスト手法の確立
針本 哲宏 豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所 特任助教	iPS 網膜における色覚機能再生過程の他覚的モニタリング法の開発に向 けた基礎研究
東 広志 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 情報・知能工学系 助教	高時間分解能な脳情報デコーディングのためのグラフ多次元配列信号処 理の構築

2015年度 研究助成 (A)(B) 受領者**【研究助成 (A)】**

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	課 題 名
古屋 晋一 上智大学 理工学部情報理工学科 准教授	人間と道具の調和を妨げる脳神経疾患の情報処理機構の解明
松本 光広 久留米工業高等専門学校 制御情報工学科 准教授	分光情報の三次元地図から消化器系の病変を発見する分光センサの開発
三浦 哲都 東京学芸大学大学院 教育学研究科 日本学術振興会 特別研究員P D	バイオロジカルモーションによる心を変化させる運動情報の解明
森 貴彦 岐阜工業高等専門学校 電子制御工学科 准教授	実用志向型電動義手のためのマグネシウム合金製可動式手関節継手の製作
森重 健一 富山県立大学 工学部知能デザイン工学科 講師	脳波電極の位置ずれがあっても使えるブレイン・マシン・インタフェースの開発
八木 直美 京都大学 医学部 特定研究員	非拘束生体計測における嚙下障害の簡易診断システムの開発
山田 学 名古屋工業大学大学院 工学研究科 教授	自動電池交換と長時間の見守りを実現する空陸水万能飛行ロボットの自動制御系開発

(A) 合計 90,764 千円

【研究助成 (B)】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	課 題 名
大野 暢亮 兵庫県立大学大学院 シミュレーション学研究科 教授	バーチャルリアリティ技術を用いた高齢者の交通事故・転倒のリスク評価装置の開発

(B) 合計 4,440 千円

申請件数 (A) 146 件 採択 37 件

申請件数 (B) 7 件 採択 1 件

研究助成(A)(B) 金額 95,204 千円

2015年度 研究助成 (C) 受領者

【研究助成 (C)】博士課程 (後期) 在学者への助成

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	課 題 名
安在 絵美 お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科	靴型足底圧計測システムによる変形性膝関節症リスクスクリーニング
大西 裕也 大阪大学 工学研究科知能・機能創成工学専攻	ビデオ会議を拡張する遠隔指差しロボットアームの開発
岡野 真裕 東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻	「息が合った演奏」の定量的評価のための基礎確立 ——非線形時系列解析による試み——
楠田 佳緒 お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科	体内遺残事例防止のための手術用ガーゼカウントシステムの開発
菅原 陽平 東北大学大学院 工学研究科	体内埋め込み型デバイス実現に向けた三次元集積化回路の信頼性に関する研究
土田 修平 神戸大学大学院 工学研究科	人と移動型オブジェクトの表現インタラクションの解明
恒川 裕章 横浜国立大学大学院 工学府	人と機械の調和を促進する協調構造学習理論の研究
徳永 清輝 神戸大学大学院 システム情報学研究科	位置および場所に基づく認知症者支援メモリーエイドプラットフォームの開発
藤平 祥孝 金沢大学大学院 自然科学研究科	流体を用いた柔らかい指による薄板のマニピュレーションに関する研究
古川 淳一郎 大阪大学大学院 生命機能研究科	センサ欠損に頑健な多チャンネル生体信号処理に基づくロボット制御の開発
堀江 和正 筑波大学大学院 システム情報工学研究科	表面筋電位からの関節角速度推定, 及び筋電入力インタフェースへの応用
森 翔平 東京工業大学 理工学研究科	超音波画像を用いた肝炎線維化定量診断手法に関する研究
矢田 晃嗣郎 熊本大学大学院 自然科学研究科 情報電気電子工学専攻	産業応用に向けた二次元画像照合によるパターン認識
リユー ジュンファイ 東京大学大学院 工学系研究科	無人飛行機操縦のためのナチュラル・ユーザ・インターフェースの研究
分部 寛道 東北大学大学院 医工学研究科	細菌の走化性システムを利用する超高感度・マルチセンシング可能なバイオセンサの開発

申請件数 (C) 25件 採択 15件

研究助成(C) 金額 13,500 千円

2014年度 後期国際交流助成受領者

【国際交流（国際会議発表）】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会名
オア チャンモリ 九州大学大学院 工学府地球資源 システム工学専攻 博士後期課程	12th International Conference on Greenhouse Gas Technology (GHGT-12)
熊崎 博一 福井大学 子どものこころの発達研究センター 特命助教	American Academy of Child and Adolescent Psychiatry 61st Annual Meeting
小林 洋介 都城工業高等専門学校 電気情報工学科 助教	43rd International Congress on Noise Control Engineering (Intrr-noise 2014)
坂本 眞一 滋賀県立大学 工学部 電子システム工学科 准教授	INTER.NOISE 2014
ジョルダン アルノ 北海道大学 情報科学研究科 言語メディア研究室 博士課程	International Conference on Awareness Science & Technology (iCAST)
寒川 雅之 新潟大学 工学部機械システム工学科 助教	IEEE Sensors 2014
田中 大介 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程	2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoids Robots (Humanoids2014)
田中 正行 東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授	International Conference on Image Processing (ICIP)
寺本 篤司 藤田保健衛生大学 医療科学部 放射線学科 准教授	SPIE Medical Imaging 2015
トラン タンタン 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程	The 21th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)
中村 友彦 東京大学大学院 情報理工学系研究科 博士後期課程	The 15th International Society for Music Information Retrieval Conference
中山 仁史 広島市立大学大学院 情報科学研究科 システム工学専攻 助教	43rd International Congress on Noise Control Engineering
永吉 雅人 新潟県立看護大学 看護学部看護学科 人間環境科学領域 准教授	The 21st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2014)
信川 輝吉 和歌山大学大学院 システム工学研究科 博士後期課程	International Symposium on Optical Memory 2014
原田 祐希 東京工業大学大学院 理工学研究科 博士後期課程	IEEE SENSORS 2014

2014 年度 後期国際交流助成受領者**【国際交流（国際会議発表）】**

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会名
増田 寛之 富山県立大学 工学部 知能デザイン工学科 講師	IEEE Symposium on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space
松倉 悠 東京農工大学 生物システム応用科学府 特任助教	IEEE Sensors 2014
松田 健 静岡理工科大学 総合情報学部 講師	International Conference on Systems, Man, and Cybernetics
村松 聡 関西学院大学 理工学部 人間システム工学科 助手	The 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society
八木 直美 京都大学 医学部 特定研究員	IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2014
渡辺 真司 九州大学 システム情報科学府 博士後期課程	IEEE SENSORS 2014

【短期在外研究】

なし

申請件数 34 件 採択 21 件

2014 年度後期国際交流助成金額 5,752 千円

2015 年度 前期国際交流助成**【国際会議発表】**

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	国際会議名称／主催者名
河本 浩明 筑波大学システム情報系 知能機能工学域 准教授	IEEE EMBC 2015 / IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
庄司 観 大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻 博士後期課程	Transducers 2015 / The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
榛葉 健太 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 博士課程	ISSCR 2015 Annual Meeting / International Society for Stem Cell Research
横田 諭 佐世保工業高等専門学校 電子制御工学科 講師	IEEE International Conference on Robotics and Automation / The Institute of Electric and Electronics Engineers

【短期在外研究】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	課題名／共同研究者氏名
中野 正浩 理化学研究所 創発物性科学研究センター 創発分子機能研究グループ 特別研究員	両極性を示す有機複合体材料を用いた、低電圧で駆動する相補型インバータの開発／Dmitrii Pereoichka
信川 輝吉 和歌山大学大学院 システム工学研究科 博士後期課程 1年	超多値記録ホログラフィックメモリのための3次元偏光分布の制御・検出技術の開発／譚小地

申請件数 16件 採択6件

2015年度前期国際交流助成金額 2,410千円

2014年度 国際会議開催助成受領者

【国際会議開催助成】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	開催する研究集会名／申請者の役割
伊藤 貴之 お茶の水女子大学 理学部情報科学科 教授	VINCI (Intl. Symposium on Visual Information Communication & Interaction)／ 組織委員長
伊原 彰紀 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科ソフトウェア工学研究室 助教	MSR Asia Summit 2014／運営委員長
岩崎 誠 名古屋工業大学 大学院工学研究科 情報工学専攻 教授	IEEE International Conference on Mechatronics (ICM2015)／実行委員長
上田 整 大阪工業大学 工学部機械工学科 教授	第4回機能性材料と構造物の力学に関するアジア会議 (略称: ACMFMS2014)／ 組織委員長
尾知 博 九州工業大学 大学院情報工学研究院 教授	2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems／General Chair
柏原 昭博 電気通信大学 大学院 情報理工学研究科 教授	22nd International Conference on Computers in Education (ICCE2014)／ 実行委員長
清原 良三 神奈川工科大学 情報学部情報工学科 教授	Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking／Financial Co-Chairs (財務担当)
工藤 康生 室蘭工業大学大学院 工学研究科しくみ 情報系領域 准教授	第10回グラニューラーコンピューティングに関する国際会議 (IEEE GrC2014)／ 実行委員長
佐々木 淳 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授	ICSSE／Organizing Committee Chair (事務局長)
佐々木 雅英 (独)情報通信研究機構 未来 ICT 研究所 量子 ICT 研究室 量子 ICT 研究室長	UQCC 2015 及び 2015 (正式名称と詳細日程は申請書に記載)／ QCrypt 2015 主催責任者, UQCC 2015 主催責任者

2014 年度 国際会議開催助成受領者

【国際会議開催助成】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	開催する研究集会名／申請者の役割
重井 徳貴 鹿児島大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 准教授	SCIS & ISIS 2014 / 組織副委員長
中本 裕之 神戸大学大学院 システム情報学研究科 助教	The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics / 副実行委員長
長谷 智弘 龍谷大学 理工学部情報メディア学科 教授	2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2014) / Founder & Director of IEEE GCCE, Vice President of IEEE Consumer Electronics Society
長谷川 真人 京都大学 数理解析研究所 教授	国際会議 ICALP2015 及び LICS2015 / LICS2015 Conference Chair (組織委員長)
原 隆浩 大阪大学 情報科学研究科 准教授	第 33 回信頼分散システム国際シンポジウム / シンポジウム委員長
間瀬 健二 名古屋大学 大学院情報科学研究科 教授	2015 年パーベイシブ・ユビキタスコンピューティング国際会議 (UbiComp 2015) / 組織委員長
松本 剛史 石川工業高等専門学校 電子情報工学科 講師	アジア南太平洋設計自動化会議 2015 (ASP-DAC 2015) / 財務委員長
山口 陽子 研究開発法人 理化学研究所 脳科学総合研究センター 神経情報基盤センター長	第 14 回日中韓合同ワークショップ Neurobiology and Neuroinformatics (NBNI) 2014 / 大会委員長
山田 健太 東京大学 工学系研究科システム創成学専攻 助教	Social Modeling and Simulations + Econophysics Colloquium 2014 (SMSEC2014) / 事務局長

申請件数 35 件 採択 19 件

国際会議開催助成金額 16,857 千円

2015年度研究助成課題の紹介

掲載順は、助成課題一覧〔研究助成〕の掲載順

2015年度 助成金贈呈式

研究助成課題の紹介

研究助成(A)(B)

2015年5月25日

公益財団法人 立石科学技術振興財団

触覚提示による背部反射応答を利用した座位作業時の姿勢矯正システムの構築と評価(研究期間:1年)

九州大学芸術工学研究院
准教授・上岡 玲子

デスクワークによる姿勢の悪化
→腰痛、肩こりなどの身体の不調に直結
→デスクワーク中の姿勢を正すことが健全な身体を取り戻すために必須

【従来】姿勢の悪化を視覚や聴覚で警告するシステム
→ユーザーの作業を妨げるため長続きしない

【本提案】
→背部に触覚刺激を提示する
→能動的に筋肉運動を誘発し姿勢矯正を実現
触覚刺激の最適パラメータを解明し、その知見から姿勢矯正システムを構築
*パラメータ:刺激素材、向き、速さ、刺激間の距離、刺激提示時間

悪姿勢時に背部に触覚刺激を提示することで、人の反射応答による能動的な背筋運動を誘発し姿勢を正すシステムの構築と評価

「神の手」の定量化と技術伝達のための内視鏡外科手術トレーニング支援システムの開発(研究期間:1年間)

九州大学大学院 医学研究院 先端医療医学講座
特任助教・植村 宗則

【脳神経軌跡の時系列解析(SPM, Chaos)学習型データマイニングサーバ(G2NC)】
熟練した医師の経験と動きを継承した、いわゆる「名人芸」といわれる客観的には伝えたい技術
→ 医師の技量に応じて具体的なかつ定量的にフィードバック

課題1 手術手技自動評価システムの構築
課題2 自己学習型データ管理システム(G2NC)の構築

目指す成果 ①画像技術評価法の確立 ②ビッグデータの簡単な取り扱い ③自己学習型内視鏡外科手術トレーニング支援システム

人間と同じように炎を認識できる高感度半導体センサの開発(1年間)

東京工業大学 助教 大島孝仁

【新規酸化ガリウム半導体炎センサ(深層外光選択検出素子)】
他の半導体と比較して高性能な申請者が開発したセンサ
現状:ゼロ電圧動作→増幅作用なし
低感度(炎検出距離~5cm)が課題
本研究:逆方向高電圧印可→増幅作用
高感度化(炎検出距離~50cm)→各種機器に搭載、炎を扱った機械作業

【基礎技術とその実証】
アバランシェ増幅作用を担うμmオーダーの空乏層が必要
→申請者が昨年度開発した簡便な熱酸化による単結晶表面空乏化技術を活用
→実際にセンサを作製し、増幅特性を評価

【研究フロー】
・デバイス作製、電気特性評価、受光特性評価を1年で実施

新規材料、新技術を用いた高感度半導体炎センサの実現

人間共生型移動ロボット実現のための「アイコンタクト」システムに関する研究(1年間)

東京理科大学 理工学部 機械工学科
助教 小本津 武樹

【本研究の着目点】
人間の習性や本能的行動に基づく所作は、社会規範を形成し、円滑な相互作用を生み出す
ロボットが人間の社会規範に従った所作を模倣することで、人間との円滑な調和が促進されるか?

【本研究の目標】
人間の移動時の目的所作を模倣して、移動ロボットが円滑に移動する「アイコンタクト」システムの実現

- 人間同士の交通流を円滑化している、人間の「アイコンタクト」の抽出とモデル化
- 乳用的利用が可能で、かつ人間に視線を知覚される「アイコンタクト」装置の開発
- 「アイコンタクト」装置の認識・制御アルゴリズムの開発
- 被験者実験により「アイコンタクト」システムを評価

⇒ 人間同士と変わらない円滑な交通流を達成

人間の所作の模倣によって移動ロボットの人間共生力向上を目指す研究の指標とする

昆虫の神経系に学んだ視覚フィードバック制御を行う小型自律飛行ロボットの開発(研究期間:1年6ヶ月)

大阪大学大学院工学研究科
助教・奥野弘嗣

【目的】上記のように、実環境等で自律的に飛翔し、人の活動をサポートする飛行ロボットを開発すること。本研究期間中には、屋内のある位置から別の位置のある位置まで、視覚制御で自律的に移動するロボットを完成させる。

【方法】視覚制御で自由に飛翔する昆虫の視覚系を模倣する。飛翔する昆虫は、オプティカルフローと呼ばれる網膜上の像の動き情報を利用して、自己運動の把握及び自律動作を実現している。本研究では、右に示すように、機体下と前方のイメージセンサから得られる画像を元に、右図に示す視覚制御に学んだアルゴリズム(画像中の局所運動検出→局所運動の空間統合→自己運動の推定→運動位相制御)によって、自律的な視覚制御を実現する。

BMI技術を用いた半側空間無視リハビリテーションの構築(1年間)

明治大学 准教授・小野弓絵 2015年度

【半側空間無視(USN)】
脳卒中などで生じる高次脳機能障害
空間・身体の半側に注意が向かない!
→転倒、事故のリスク
→生活の質の低下

【ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)による注意の定量的評価】
自らの注意強度を脳波から定量化
→注意の欠落を即時フィードバック
→身体の状態を「観て」確認できる
→患者の自律的な訓練を促すリハビリシステムの開発

「注意の可視化」による半側無視の病態解明と自律的リハビリテーションシステムの構築

レーザーアニーリング法によるフレキシブル基板上でのグラフェンランジスタの作製(研究期間:1年)

大阪大学 産業科学研究所
助教 金井 康

グラフェンの作製方法
従来の熱CVD法:全体を約1000℃に加熱
本研究:レーザーアニーリング法
レーザーによる局所的な加熱

耐熱性が低いフレキシブルな基板上にもグラフェンを直接合成可能

合成条件の最適化:触媒金属、温度、レーザー強度等
高移動度なグラフェンランジスタをフレキシブル基板上に作製

ウェアラブルセンサ、回路等へ応用

2015 年度研究助成課題の紹介

医療診断用分光映像の高時間分解能化の研究(1年間)

東京大学 生産技術研究所 島野美保子

【目的】
撮影対象：ノイズの多い微弱信号
長時間露光の撮影が必要(動きぶれを含む)
→ 動きぶれを低減した高時間分解能化の実現

【意義】
撮影中に動けないというユーザー負担の軽減
鮮明な(ぶれ少)映像により診療レベルの向上
動的な解析による医療診断へと発展

【キーポイント】
分光映像間の動きぶれの「見え(パターン)」の相関性に基づいた動き補償
不良設定問題(単一映像からの高時間分解能化を、見え方の大きく異なる複数の分光映像の相関情報を利用し、不良設定問題へ医用イメージングとCVの画質改善の学際領域研究ゆえの独自のアプローチ

2151016

発達障害児童向けのデジタルセラピーデバイス(1年間)

芝浦工業大学 工学部 情報工学科
准教授 菅谷 みどり

【発達障害児向けのセラピー】
従来：専門家、大掛かりで高価なデバイス → 日常的な訓練が困難
本研究：親などの非専門家による日常的な実施を支援
→ 子どもが楽しんで取り組み、かつ日常的な訓練が可能なデジタルセラピーデバイス

【プロトタイプの評価、開発】
発達心理学、認知神経科学の専門家と共同指標の策定と評価
訓練内容の開発および非専門家へのアドバイスの提示機能、LCスケールに準拠した複数機能の開発

2151017

サービスロボットのための実世界知識を扱うクラウド型音声対話基盤の構築(1年間)

国立研究開発法人 情報通信研究機構 主任研究員・杉浦 孔明

【目的】
豊富な機能を持つロボットを構築しても、ユーザが手軽に扱えなければ普及しない一方、手軽なインタフェースである音声対話機能は開発コストが高い

【本研究では実世界知識を扱うクラウド型音声対話基盤を構築し社会展開します】

1. 能動学習に基づく発話理解モデルの学習
収集したログコーパスの活用によるロボティクスに特化した発話理解
2. クラウド型音声対話処理と実世界知識処理の統合
発話中に省略された語があっても物体・動作の知識を用いて意図を推定
3. 家事タスクにおけるサービスロボットの行動生成

実世界知識を扱うクラウド基盤への拡張 収集された大規模ログコーパスの利活用

- ✓ クラウド型音声対話基盤 (rospeech) を無償公開し、9,000 ユーザーに利用された。申請者が開発した国内最高レベルの対話向け合成音声の特徴。
- ✓ 世界最大の家庭用ロボットベンチマークテスト (ロボカップ@ホーム) において優勝2回。頑健な音声認識が特徴。

2151018

知覚共有型ロボット群との協調による生体神経網の空間的拡張と論理的な身体感覚形成(研究期間:1年間)

慶應義塾大学 環境情報学部 准教授 高谷一紀

知覚ボンド(知覚共有型ロボット)
各種センサを導入、人間と同程度の知覚機能を持ち、その情報をネットワークを通して人間と共有するロボットネットワーク
外部知覚共有神経網(exo-NeuroNet)
生体神経網を模倣したアーキテクチャと、機能、プロトコルを備えた知覚情報共有アクティブネットワーク
非侵襲型感覚ディスプレイ
exo-NeuroNetからの感覚情報を低レイテンシーで伝送可能なウェアラブルインタフェース

人間の感覚の空間的拡張
物理的な身体構造や物理空間に制約されない論理的な身体感覚の形成

2151019

バイオ光学素子とフォトニックLSIチップが実現する生体内光通信技術(1年間)

奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構
特任助教 竹原 宏明

バイオ光学素子(ハイドロゲル製光ファイバー)の開発
目標値:伝送損失<1 dB/cm

- ・ 集光レンズ構造の形成、光ファイバー
- ・ フォトニックLSIチップへの実装

生体内光通信・光給電の原理実証

- ・ 光伝送S/N比
- ・ 光伝送エネルギー強度
- ・ 長期経路実験により長期動作安定性を評価

2151020

神経制御工学の黎明:適応的閉ループ型の電気的神経制御技術の基盤構築(研究期間:1年)

北海道大学
教授・館野 高

【研究目的】
「神経制御工学」の創成
「耳鳴り」の適応的抑制制御方法の開発

【従来機器との比較】
病院での大型の経頭蓋磁気刺激装置から、日常的に利用可能な小型携帯刺激装置へ(非接触型サブミリ磁気刺激デバイス)

【制御方法の開発】
通院による病院での治療から、耳鳴り発生時における適応的制御へ

【本課題での試作(モデル動物)と効果】

- ・ 「耳鳴り」発生検出の小型計測システム
- ・ 脳刺激用細胞インターフェース(磁気および電気)
- ・ 神経活動の抑制制御 (FPGAプログラム)

発生時に応じた「耳鳴り」抑制の実現 「神経制御工学」の創成

2151021

低コスト・省スペース・高パフォーマンスブレインコントローラの開発(1年間)

電気通信大学大学院情報理工学研究所
知能機械工学専攻 教授・田中一男 研究期間1年

低コスト MRIではなく脳波利用
小型脳波計

省スペース システム設計
携帯型BMIの完成

高パフォーマンス リアルタイム性向上
ロバストな脳波計測処理&解析

ブレインコントローラの開発

障害者への応用(安全面など長期的視野)
生活支援ロボット

健康者への応用(短期的に実用可能)
アミューズメント
ハンドフリーデバイス

2151022

生物的手法によるクリーンかつ安全な革新的発電システムの創出(研究期間:1年6ヶ月)

理化学研究所 生命システム研究センター
ユニットリーダー・田中隆

【着想】
従来：火力、原子力 → 危険性・環境問題など
人間にとっては脅威
水力、風力、地熱、太陽光 → 供給が不安定
本研究：生物の発電方式を再現するデバイスの開発
電気魚 = ATPと膜タンパクにより高効率・安全・クリーンな発電手法を実現(右図)
「電気魚の発電機構を人工的に再現したデバイス創出を着想」

【デバイス基本コンセプト】

- ・ 複雑な神経系をマイクロ流体デバイスで再現・制御
- ・ 電気魚の高度な発電機構をそのまま利用
- ・ パルス状の発生電力はエレクトロニクス技術で効果的に蓄電

右図: デバイス原理 (A)電気魚の一種-シビレイの全体図-電気柱 (B)発電原理 (C)デバイスの構造と発電原理

ATPのみで発電する画期的な人間・機械調和型発電システムの実現

2151023

2015年度研究助成課題の紹介

分光情報の三次元地図から消化器系の病変を発見する分光センサの開発 (1年間)
久留米工業高等専門学校 制御情報工学科
准教授 松本克広

分光情報から判断できる消化器系内壁の病変の全体像を医師が容易に把握するために

1. 医療用内視鏡の先端に開発した分光センサを設置
2. 消化器系内部において内視鏡を軸方向に移動
3. 内視鏡の側面360°の全方向にある消化器系内壁の分光情報を順次取得
4. これらを移動する軸方向につなぎ合わせて、消化器系内壁における分光情報の三次元地図を自動生成

過去と現在に生成した消化器系内壁の分光地図を比較して

1. 分光情報から判断できる細胞の変化による病変を容易にかつ早期に発見
2. 病変の変化も正確に把握

センサを内視鏡に設置するために直径10mmの分光センサを開発

1. 小型の内筒形状の反射型回折格子を開発
2. 光を集める外部光学系を開発
3. 小型の双曲面鏡を開発

2151022

バイオロジカルモーションによる心を変化させる運動情報の解明 (1年間)
東京学芸大学大学院教育学研究科 日本学術振興会特別研究員PD 三浦智都
2015年4月～2016年3月

【背景】人間は他者と向き合って運動をすると、相手の動きに引き込まれてしまい、その結果相手に対する心理変化(向社会的性、協調性、愛着、印象などの向上)が生じる。

【目的】他者の「運動」と「心」を引き込む運動情報の解明を目指す。

【方法】モニタを介して様々な刺激と運動を同期させ、同期率を運動科学的手法で心の変化を、社会心理学的手法により定量化し、両者の関係を探る。

提示刺激

実験1・・・人間相手
実験2・・・バイオロジカルモーション(ノイズや時差の付加、身体の一部だけを提示する、など操作を加える)
実験3・・・人工的な運動刺激(自分の運動に時差を加えたもの等)

人間の運動を引き込み、心を変化させることで、人間の心身健康を維持する良きパートナーとしてのロボットの開発に貢献

2151023

実用志向型電動義手のためのマグネシウム合金製可動式手関節継手の製作 (研究期間:1年)
岐阜工業高等専門学校 電子制御工学科
准教授 森 貴彦

【技術的課題】
現在製作中の電動義手には手関節がない為、獲得できるADL(日常生活動作)が少ない。本電動義手に市販の可動式手関節継手(重量149.2g)を適用すると、総重量が大幅にオーバーしてしまい、目標総重量800gを達成できない。

総合的に優れた特性を多く持つマグネシウム合金を用いた可動式手関節継手を製作する

【マグネシウム合金の特長】
-実用金属の中では最も軽い。
(※比重がアルミニウムの2/3、チタンの1/3、鉄の1/4)
-比強度(強度/比重)が最大の金属である。
-減衰能(振動吸収性)が優れている。
-アルミニウム合金や軟鋼に比べて小さく、くぼみが生じにくい。
-切削性(加工のしやすさ)が優れ、機械加工時間を短縮できる。
(※アルミニウムの1/1.8、鋼の1/6.3で加工可能)

2151024

脳波電極の位置ずれがあっても使えるブレイン・マシン・インタフェースの開発 (研究期間:1年)
富山県立大学 工学部 知能デザイン工学科
講師 森重健一

【電極の位置ずれが無い脳波データから脳内時系列信号の復号化】
従来：
ノイズが邪魔で解読できない

本研究：
逆問題を解くことで脳電流を計算し、解読

【電極の位置ずれがある脳波データから短時間で脳内時系列信号の復号化】
異なる日に測っても、短時間&高精度に脳情報を解読

電極の位置ずれがあっても短時間で高精度に脳活動を解読する手法の開発

2151025

非拘束生体計測における嚥下障害の簡易診断システムの開発
京都大学大学院医学研究科 (1年間)
特定研究員・八木直美

人間の生存に関わる基本活動である「モノを飲み込み胃に送り込む」

嚥下機能

ファジ理論を使って音や呼吸に関する情報を解析

高齢者にもやさしく生活のリズムを乱さない診断を実現

非侵襲かつ身体的・心理的ストレスフリーな方法でセンシング

【人間と機械の調和の促進】に貢献
- 個人適応したリハビリテーション
- 自主的な健康管理

嚥下障害の簡易診断システムを開発

2151026

自動電池交換と長時間の見守りを実現する空陸水万能飛行ロボットの自動制御系開発 (1年)
名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授 山田 学

1 研究開発の目的
研究の出発点
研究課題
2 研究開発の概要
フェーズ1 (前期) 自動電池交換システム
フェーズ2 (中期) 自動見守りシステム
フェーズ3 (後期) 自動見守りシステム

3 期待される研究開発成果およびその社会的意義

最終目標
自動電池交換で長時間使用できる実用的な見守りを実現できる空陸水万能飛行ロボットのための自動制御システムの研究開発

今後の見込み
- 屋外・屋内・屋根・壁・天井・水上、どこでも移動でき、応用範囲が広い。
- 自動電池交換で、一日中運用できる。
- 小型で安価で扱いやすく壊れにくい。

2151027

バーチャルリアリティ技術を用いた高齢者の交通事故・転倒のリスク評価装置の開発 (2年間)
兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科
教授・大野精亮 研究期間:2015年4月～2017年3月

【映像装置を用いた高齢者の認知に関する実験】
従来: 2Dディスプレイ
本研究: 没入型バーチャルリアリティ(VR)装置CAVE

CAVE装置の利点: 3D映像に被験者が体ごと没入できる

【初年度】
OCAVE装置用のリスク評価機能を備えた専用シミュレータの作成(道路横断、屋内移動)

【次年度】
○初年度に開発したシミュレータをもとに実験をおこない、高齢者の交通事故や転倒事故の要因を調査する。

社会還元の方法
○学術雑誌は勿論のこと、各種メディアを用いて高齢者への注意を喚起する
○被験者には、得られたリスクを提示して実生活中で役立ててもらおう(実際の事故の防止)

2151028

2015 年度研究助成課題の紹介

2015年度 助成金贈呈式

研究助成課題の紹介

研究助成(C)

2015年5月25日

公益財団法人 立石科学技術振興財団

靴型足底圧計測システムによる変形性膝関節症リスクスクリーニング (2年間)

お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 ライフサイエンス専攻
博士後期課程2年 安在 絵美

変形性膝関節症の国内患者数：潜在的患者も含め 約3000万人
 ▶ 潜在患者へ早期対策するためのスクリーニング技術が求められる

変形性膝関節症の評価

■従来：X線画像診断や大規模実験装置での運動学的評価
 ■本研究での提案：
 靴型足底圧計測システム(図1)による歩行機能・足部構造評価
 A 動的な運動学的特徴 ... 歩行後期の急激な側方変位(図2)
 B 静的な解剖学的特徴 ... 立位時の外側荷重(図3)

【1年目】 中規模フィールド実験(膝関節症含む高齢者100名)
 ①靴型足底圧計測システムによる歩行機能評価
 ②IKOM調査票による診断の推定
 変形性膝関節症の特徴抽出とアルゴリズム構築

【2年目】 大規模データに基づくリスク指標の構築
 →重症度別にA,Bの閾値を解析
 地域高齢者に適用可能なスクリーニングシステムの開発

人間の歩行メカニズムに基づく変形性膝関節症リスク評価技術の開発

ビデオ会議を拡張する遠隔指差しロボットアームの開発 (研究期間:3年)

大阪大学 工学研究科 知能・機能創成工学専攻
博士後期課程1年・大西 裕也

ビデオ会議... 意越しのシステムであるためソーシャルプレゼンスが不十分
 遠隔地にいる人と対面している感覚

対話相手の映像から境界面であるディスプレイを
 超えて身体の一部を実体化して提示

【双方向性のコミュニケーションデバイスの開発・評価】

- ビデオ会議+ロボットアーム
 - 映像から腕が飛び出ているように見える
 - 遠隔地の空間を直接指示できる
 - 遠隔地にあるロボットアームを自分の腕だと感じる

【ロボットアームの提示による振る舞いの変化の観察】

- 双方向による指示
 - 発話者の指示語の観察
 - 指示者のテリトリー分析

「息が合った演奏」の定量的評価のための基礎確立
 -非線形時系列解析による試み- (1年間)

東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻
博士後期課程 2年生 岡野真祐

現 状：「息が合う」...主観的、定義不明瞭、測定不能

【研究①：アンサンブル演奏実験】
 仮説：演奏の揺らぎから判断？
 ⇒ 揺らぎのダイナミクス関連変数と
 「息が合っている」の主観評価を取得
 ... 「息が合っている」を説明する変数の特定

【研究②：既存音源の分析】
 ・実際の演奏場面への適用可能性、
 ・他者からの評価との一貫性
 ⇒ 名演、拙演の解析・比較
 ... 説明変数の妥当性の検証

「息が合った演奏」の定量的評価

体内遺残事例防止のための手術用ガーゼカウントシステムの開発 (1年間)

お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科
博士後期課程3年・楠田 佳穂

【体内遺残事例防止の取り組み】
 体内遺残の発生：約7割が医療用ガーゼ→医療者・患者の心身の負担
 ・複数名でのダブルチェック、手作業でのカウント
 →体内遺残を防止できない事例が発生
 ・手術後の開腹部位に対するX線撮影
 →偽陽性のエラー 患者・医療者のX線曝露
 →人間が不得意な作業を機械がサポート

【ガーゼカウントによる医療者の支援】
 本申請の目的：ガーゼカウントによるガーゼ枚数カウント
 技術的な課題：X線画像を用いた縫線部の検出
 ・ガーゼの目標検出枚数は 20枚

【ガーゼカウントの画像処理プロトコルの開発】
 ●得られた画像から検出値を抽出する画像処理プロトコル
 ●ガーゼ枚数の記録部、およびガーゼカウントとフィードバックを行う表示部

人間と機械の協働作業 = 患者安全の実現

体内埋め込み型デバイス実現に向けた
三次元集積回路の信頼性に関する研究 (3年間)

東北大学大学院 工学研究科
菅原 陽平

3D ICの利点

- チップ面積の縮小
- 低消費電力化
- 並列処理
- 多機能化
- 高速化

3D ICの信頼性の問題

- プラズマダメージ
- TSVによる機械的応力
- TSVからのCu拡散

体内埋め込み型デバイスとして使用するには
 信頼性の評価・改善が必要

3D ICの信頼性の詳細な評価と
 高性能な三次元積層人工網膜の作製

- 人の網膜を模した構造により効率良い情報処理が可能
- 高画素数/高解像度および視覚情報処理機能付加

人と移動型オブジェクトの表現インタラクションの解明(2年間)

神戸大学大学院 工学研究科
博士課程後期課程・土田修平

【感性フィードバックを用いた人の身体表現に影響を及ぼす外的要素の解明】 (1年目)

- 外的要素の調査を実施
- 外的要素を再現するためのデバイスを作製
- 仮想ダンサーと踊るシステムの開発

(2年目)

- システムの評価実験
- 身体表現に影響を与える外的要素の解明

【移動ロボットを用いた人の身体表現に影響を及ぼす内的要素の数値化】 (1年目)

- 移動ロボットに付加する要素の列挙
- ダンス指導に適切なデジタル教材の設計、開発

(2年目)

- 身体表現に影響を与える内的要素の調査、解明
- デジタル教材の再設計、継続的な運用の検討

人と機械の調和を促進する協調構造学習理論の研究 (2年間)

横浜国立大学大学院工学府 博士課程後期2年
恒川裕章

【異種集団内の高度な協調関係創発のしくみを創る】

従来：強化学習・マルチエージェント進化
 ⇒ 変化に弱い、不安定、時間がかかる
 ⇒ 実システムでの応用は限定的

本研究：群知能+強化学習+スキルベース学習
 ⇒ 群行動の背後にあるメタ協調構造を得る
 ⇒ 復元力、頑健性、高速適応性、相互運用性
 ⇒ 群逆強化学習理論：
 System of Systems:SoS 研究の基礎へ

【人と機械の調和が必要な実システムへ展開する】

事例1：配電系統事故制御
 ⇒ 需要と動的変化に対するフェールセーフな人と機械の協調制御

事例2：動的配車ルーティング
 ⇒ 個々の利得最大化と全体効率の最適性のための人と機械の協調制御

群逆強化学習を用いた高度な協調構造獲得の方法論の確立へ

2015 年度研究助成課題の紹介

位置および場所に基づく認知症者支援 メモリー・エイドプラットフォームの開発 (2年間)

神戸大学大学院 システム情報学研究所
博士後期課程 徳永清輝

目的と意義
介護者の負荷軽減
認知症者の自立した生活を支援

対話を通じた情報支援
①対話型エージェント
②リマインド管理システム

各認知症者に特化したスケジュールの登録
③マイク管理システム

本研究によって実現されること
今後、増加すると予想されている認知症者の記憶支援を実現する
仕組みの開発・提供



215708

流体を用いた柔らかい指による薄板のマニピュレーションに関する研究 (1年間)

金沢大学 自然科学研究科システム創成科学専攻 博士後期課程3年 藤平祥孝

薄板は平置きの場合が多い
ロボットでは側面が掴み難い!

表面に触れたくない場合にも有効な掴み方

湾曲した状態
くしゃっと折れ曲がる結構

湾曲を用いたマニピュレーション
①目標位置に移動
②凸部を接触させる
③薄板を広げる
④作業終了

湾曲した状態から湾曲と破壊の予測を推定!

湾曲の力・圧力データから湾曲と破壊の予測を推定!



215709

センサ欠損に頑健な多チャンネル生体信号処理に基づくロボット制御の開発 (研究期間:1年)

大阪大学大学院生命機能研究科 5年一貫制博士課程5年 古川淳一郎

<生体信号に基づく安全なアシストロボット制御>
従来: 確実なセンサ情報取得が前提
本研究: センサ情報の不確実性をモデル化

観測される生体信号: y
運動意図から運動指令信号への変換関数: h
状態推定モデル: $x_{k+1} = f(x_k, u) + \text{システムノイズ}$
 $y_k = h(x_k) + \text{ノイズ}$

多チャンネル生体信号を持つ時空間特徴量のエンタローピーを制約としたコスト関数を設定し、遷移する状態の最適推定値を導く

状態推定に基づくアシスト制御



215710

表面筋電位からの関節角速度推定及び筋電入インタフェースへの応用 (2年間)

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 知能機能システム専攻
大学院学生・堀江和正

1年目:【表面筋電位による手の状態推定】
従来: 筋張力のつりあい → 関節の角度を推定
→ ○ 静止している関節の角度
→ × 動いている関節の角度
「動いている関節の状態も推定できる方法」
本研究: 関節の角速度を直接推定
→ 関節角速度と表面筋電位の複雑な関係
→ 選択的不感化ニューラルネットでモデル化

2年目:【筋電入インタフェースへの応用】
マニピュレータ操作筋電入インタフェースに実応用
実用性、応用可能性について検討

図1 提案システム構成図

関節角速度を推定し、動いている関節を正確に認識できる
筋電入インタフェースの開発



215711

超音波画像を用いた肝臓線維化定量診断手法に関する研究 (3年間)

東京工業大学 理工学研究科機械制御システム専攻
大学院博士課程 森 翔平

【超音波画像の振幅確率密度分布に着目した肝臓線維化診断】
正常肝の振幅確率密度分布 → レイリー分布
病変肝の振幅確率密度分布
→ 病変肝を構成するそれぞれの組織を示す
→ レイリー分布の足しあわせで表現可能

【1年目】
非肝臓成分の影響を考慮した診断手法の開発
肝臓成分(肝実質、線維組織、結節) → レイリー分布で近似可能
→ レイリー分布で近似できない成分を非肝臓成分として抽出

【2年目】
超音波分解能の影響を考慮した診断手法の開発
肝臓組織構造モデルを用いたシミュレーションにより、
分解能が与える影響における肝臓組織構造と分解能の体積
との関係性を明らかにする。

【3年目】
1~2年目で開発した手法を組み合わせた肝臓線維化診断手法を提案し、シミュレーション
モデル・生体類似ファントム・臨床画像に対して提案手法を適用し有用性を評価する



215713

産業応用に向けた二次元画像照合によるパターン認識 (1年間)

熊本大学大学院 自然科学研究科
博士後期課程・矢田 晃嗣郎

画像照合によるパターン認識
【背景】
・ 部品検査・計測、位置決めへの応用
・ 三次元位置姿勢推定、クラス識別性能の要求

【従来】
固有値テンプレート法等
主成分分析を応用した画像照合による手法
データ削減による効率的なパターン認識が可能
→ 位置姿勢推定を伴うクラス識別を実現していない

【本研究】
固有値テンプレート法の拡張
⇒ 姿勢変化固有値テンプレートおよび
マルチクラス固有値テンプレートの使用による
ターゲットの位置姿勢推定を伴うクラス識別の実現

位置姿勢推定を伴うマルチクラス識別可能なアルゴリズムの提案



215714

無人飛行機操縦のためのナチュラル・ユーザ・インターフェースの研究 (1年間)

東京大学大学院工学系研究科・航空宇宙工学専攻
博士課程2年・リウジュンフイ

1. 研究の背景
現在、無人飛行機(UAV)が様々な分野で応用されているが、操縦が複雑で安全性が低いという問題がある。

2. 研究目的
ユーザーの移動軌跡を予測・利用して、UAVを操縦する方法を確立する。これで、だれでもどこでも簡単にUAVを操縦することが可能になる。

3. 研究内容-Inertial Measurement Unit (IMU)の姿勢及び人の移動軌跡を予測・推定することによって、UAVとカメラジンバルを同時に操縦する。
Kalman Filterによりユーザーの頭部につけたIMUの姿勢を推定してカメラジンバルを操縦する
Dictionary Learningにより人の移動軌跡を予測・利用してUAVを操縦する
Bayesian Filteringにより、LIDARセンサーから障害物を検出し、UAVの安全性を高める

4. 独創的ポイント-Dictionary Learning手法により、IMUのデータを分析し、人の移動パターンを学習することによって、人の軌跡を予測・推定・利用し、無人飛行機を操縦する。



215715

細菌の定化性システムを利用する 超高感度・マルチセンシング可能なバイオセンサの開発 (2年間)

東北大学大学院 工学研究科
博士後期課程2年 分部寛道

化学物質の高精度検出
迅速・簡便・安価
POCT対応多成分同時分析システム
(例: アミノ酸組成分析による病理・健康診断)

細菌の定化性システムの利用
(分子認識機能・信号増幅機能)
・ 化学物質の受容体への結合に伴うプロトン温度変化をFETで検出
nmolオーダーの高精度 (従来: mmolオーダー)

アミノ酸のマルチセンシング
半導体集積化技術によるセンサシステムのチップ化
・ 各種アミノ酸受容体を指貫二分子膜に埋め込み
多成分同時計測 (従来: 単一成分計測)



215716

公益財団法人 立石科学技術振興財団 2016年度 研究助成 (A)(B)(C) 公募のご案内

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2016年度の研究助成(A)(B)(C)の候補募集を行なうことのお知らせいたします。(詳細については当財団ホームページの募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

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

研究助成(A)	1件	250万円 ^(注) 以下	30件程度	研究期間	2016年4月1日～原則1年
研究助成(B)	1件	500万円 ^(注) 以下	2件程度	研究期間	2016年4月1日～原則2年
研究助成(C)	1件	50万円 ^(注) /年	(1年, 2年または3年)	10件程度	
			研究期間	2016年4月1日～1年, 2年または3年	
			ただし	博士課程後期(または相当)への在学期間	に限定

注：この金額は直接経費(研究費)の上限です。付随する間接経費(管理費)もこれに加算して申請できますが、申請額(直接経費+間接経費)の上限は研究助成(A)312.5万円、(B)625万円、(C)62.5万円とします。申請額に対して間接経費が20%を超える場合は、申請額上限の範囲内で直接経費を調整して下さい。

(3) 応募資格

- ① 研究助成(A)と(B)には、日本国内に居住する研究者であれば応募できます。
- ② 研究助成(C)には、日本国内に居住する博士課程後期(または相当)の学生のみ応募できます。
- ③ 研究助成(A)(B)(C)とも、同一または重複内容で、現在公的機関からの補助金や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場合は、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成金交付

募集期間：2015年9月1日～2015年10月31日(郵便局消印有効)
助成金交付時期：2016年5月の予定
助成金受取方法：奨学寄附金(委任経理金)での受取りを原則とします

(5) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式(ホームページからダウンロードして下さい)に記入して、電子申請にて応募して下さい。
〒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：info@tateisi-f.org

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 2016年度 特別助成「研究助成(S)」公募のご案内

公益財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り特別助成として「研究助成(S)」の候補を募集することをお知らせいたします。詳細については当財団ホームページの募集要項をご覧ください。なお本助成は特別に募集し実施するものです。次回以降の募集時期については、今後の状況により判断いたします。

記

(1) 背景と目的

当財団は設立以来四半世紀にわたって、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」を促進する研究活動に助成してきました。これには、「機械に出来ることは機械に任せ、人間はより創造的な分野での活動を楽しむべきである」という当財団の設立者・立石一真の哲学が根底に流れています。機械は人間社会に益々普及するとともに、質的にも変化しています。特に質的側面である「人間と機械の調和」に関しては、古くは人間が担っていた仕事の「機械による代替」に始まり、「人間と機械の協働」を経てきました。そして今後は、科学技術のさらなる発展とも相俟って、「人間と機械の融和」という段階に向かっていくと考えられます。

この「人間と機械の融和」のために、機械には人間の認知や行動にうまく合わせる機能が求められます。その機能は、単独の要素技術としてではなく、他の技術も取り込んだ統合技術として機械に組み込まれます。一方で科学技術の研究においては、近未来社会における様々な重要課題を早期に解決するために、多様性に富む連携体制、例えば国際協働、異分野融合、産学連携、地域連携などが求められます。

当財団は、従来からの研究助成(A, B, C)に加え、特別助成「研究助成(S)」において、このような状況を踏まえて「人間と機械の融和」の実現を目指す意欲的な研究に対して助成します。

詳細については 当財団ホームページを参照下さい。

(2) 助成対象

- ① 「人間と機械の融和」のあるべき姿を想定または提示し、統合技術およびプロトタイプの開発と機能検証、さらに可能ならば実証実験を目標とする研究プロジェクト（以下、プロジェクト）に対して研究費を助成します。
- ② 人材や知見を広く内外に求めて多様性に富む連携体制をとるプロジェクトを優先します。
- ③ 2016年度の助成は、以下の分野を対象とします。
 - ①ヘルスケア・介護 ②交通・物流 ③農業・環境

(3) 助成金額、期間および件数

- ① 助成金額：プロジェクトあたり、助成期間を通して総額 30,000 千円を上限とする
- ② 助成期間：2016年4月1日から原則3年間とし、2019年3月31日までに終了すること
- ③ 助成件数：3プロジェクト程度

(4) 募集期間と選考スケジュール

- ① 募集期間
2015年9月1日 申請書類が期間末日までに電子メールにて当財団事務局に必着のこと。
～10月31日 一部郵送する資料については期間末日の消印有効。
- ② 選考スケジュール
11月1日～12月中旬 書類審査
12月中旬 ヒヤリング対象の決定・通知
1月下旬 ヒヤリング実施
2月中旬 採択プロジェクトの決定
2月下旬 選考結果の通知

(5) プロジェクト構成と代表者の要件

- ① プロジェクトは、代表者1名と複数メンバーで構成されるものとします。
- ② 代表者は次世代を担う日本在住の研究者とし、国内に継続的な研究拠点を有し、プロジェクトの申請書や報告書等の提出書類を日本語で作成し、研究期間中は当財団と日本語でコミュニケーションを取れる方とします。

代表者は、国際協働、異分野融合、産学連携などを念頭に置いて、メンバーを集めてプロジェクトを構成します。また助成期間中は、助成費の予算と実績を管理しながらプロジェクトを推進、管理します。

- ③ プロジェクトの代表者とメンバーは、本助成に申請中の他のプロジェクトもしくは既に本研究助成(S)に採択されて進行中のプロジェクトの代表者またはメンバーであってはなりません。

(6) 採択プロジェクトへの助成金交付

- ① 交付時期：選考結果通知後、事務手続き完了次第交付します。
- ② 交付方法：奨学寄附金等、代表者の所属機関に対する寄付金という形での交付を原則とします。間接経費(管理費)は助成金額に含ましますので、申請前に関連部門と調整した上で申請書類に記載して下さい。

(7) 採択プロジェクトの義務・条件

- ① 中間報告：助成開始から1年および2年経過後に、中間報告書類(研究・収支状況)を提出していただきます。また進捗状況をヒヤリングする場合があります。
- ② 助成の中断：助成金の不正利用等悪質な事態が発覚した場合は、助成金の全額または一部を返還していただきます。また研究の継続が不可能、もしくは研究内容が申請内容と著しく異なることが判明した場合は、助成の中断を求める場合があります。その場合は、助成金の一部を返還していただきます。
- ③ 終了報告：研究終了後2カ月以内に、終了報告書類(成果報告書と収支報告書)を提出していただきます。
- ④ 成果発表：2019年5月に開催する当財団の助成金贈呈式において、研究成果のプレゼンテーションをしていただきます。
- ⑤ 権利の帰属：プロジェクトの成果及び知的財産等については、プロジェクトの代表者またはメンバーに帰属するものとし、当財団が権利を主張することはありません。
- ⑥ 情報の公開：採択決定後は、プロジェクトおよび当財団の双方において、その事実をインターネットや書面で公開可能とします。
- ⑦ 成果の公表：プロジェクトは、プロジェクトの成果の一部もしくは全部を刊行物または学会等で発表する場合、当財団より助成を受けたことを明記し、その刊行物(あるいはコピー)の一部を当財団に送付するものとします。
また当財団の刊行物において、最終報告書に記載された成果を掲載します。

(8) 申請書類の入手・送付方法

- ① 申請書類の入手については、当財団のホームページの募集要項をご確認下さい。
URL：<http://www.tateisi-f.org/>
- ② 記入後、申請受付期日までに電子ファイルを当財団の事務局に電子メールにて送付して下さい。容量オーバー等の理由で電子メールでの送付ができない場合は、当財団事務局にお問い合わせ下さい。
E-mail：info@tateisi-f.org

その他、詳細については、当財団ホームページの募集要項等をご覧下さい。またご不明な点は当財団事務局まで、電話または電子メールにてお問い合わせ下さい。

〒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：info@tateisi-f.org

公益財団法人 立石科学技術振興財団 2016年度 前期国際交流助成公募のご案内

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2016年度前期国際交流助成の候補募集を行なうことをお知らせいたします。(詳細については当財団ホームページの募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

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、特に国際会議での論文発表及び短期在外研究のための海外派遣に対し、応募者本人に助成します。「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、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	国際会議発表	1件40万円 ^(注) 以下	} 合計10件程度
	短期在外研究	1件70万円 ^(注) 以下	

国際会議発表では、国際会議参加のための費用を助成対象とします。短期在外研究では、30日以上90日以下の滞在と渡航を助成対象とします。またその期間内の同一渡航先での国際会議参加のための費用を含むことも可能です。

注：この金額は直接経費(研究費)の上限です。付随する間接経費(管理費)もこれに加算して申請できますが、申請額(直接経費+間接経費)の上限は国際会議発表50万円、短期在外研究87.5万円とします。申請額に対して間接経費が20%を超える場合は、申請額上限の範囲内で直接経費を調整して下さい。

(3) 応募資格

- ① 日本国に居住する40歳以下(申請日の満年齢)の研究者とし、国籍・所属機関を問いません。
- ② 同一または重複内容で、現在公的機関からの補助金や他の財団等から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間

募集期間：2015年10月1日～2015年12月20日(郵便局消印有効)

助成対象期間：2016年4月1日～2016年9月30日(日本出発日)

(5) 助成金の交付

交付時期：2016年4月の予定

交付方法：奨学寄附金(委任経理金)での交付を原則とします

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式(ホームページからダウンロードして下さい)に記入して、電子申請にて応募して下さい。

〒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：info@tateisi-f.org

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

2016 年度 後期国際交流助成公募のご案内

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 2016 年度後期国際交流助成の候補募集を行なうことをお知らせいたします。(詳細については当財団ホームページの募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

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、特に国際会議での論文発表及び短期在外研究のための海外派遣に対し、応募者本人に助成します。「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、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	国際会議発表	1 件 40 万円 ^(注) 以下	} 合計 10 件程度
	短期在外研究	1 件 70 万円 ^(注) 以下	

国際会議発表では、国際会議参加のための費用を助成対象とします。短期在外研究では、30 日以上 90 日以下の滞在と渡航を助成対象とします。またその期間内の同一渡航先での国際会議参加のための費用を含むことも可能です。

注：この金額は直接経費（研究費）の上限です。付随する間接経費（管理費）もこれに加算して申請できますが、申請額（直接経費＋間接経費）の上限は国際会議発表 50 万円、短期在外研究 87.5 万円とします。申請額に対して間接経費が 20% を超える場合は、申請額上限の範囲内で直接経費を調整して下さい。

(3) 応募資格

- ① 日本国に居住する 40 歳以下（申請日の満年齢）の研究者とし、国籍・所属機関を問いません。
- ② 同一または重複内容で、現在公的機関からの補助金や他の財団等から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間

募集期間：2016 年 4 月 1 日～2016 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：2016 年 10 月 1 日～2017 年 3 月 31 日（日本出発日）

(5) 助成金の交付

交付時期：2016 年 10 月の予定

交付方法：奨学寄附金（委任経理金）での交付を原則とします

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（ホームページからダウンロードして下さい）に記入して、電子申請にて応募して下さい。

〒 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：info@tateisi-f.org

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 2016年度 国際会議開催助成公募のご案内

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2016年度国際会議開催助成の候補募集を行なうことをお知らせいたします。(詳細については当財団ホームページの募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

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ます。エレクトロニクス及び情報工学の分野で、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研究集会を歓迎します。

(2) 金額および件数

1件100万円以下で、10件程度を標準として助成金を交付します。

(3) 応募条件

- ① 当該会議の開催場所は日本国内とし、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)で若手の方のご応募を歓迎します。
- ② 当該会議に対する他の財団等からの助成(予定を含む)、また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：2016年4月1日～2016年6月30日(郵便局消印有効)
助成対象期間：2016年10月1日～2017年9月30日

(5) 助成金の交付

交付時期：2016年10月の予定
交付方法：奨学寄附金(委任経理金)または会議主催者へ寄附金での交付を原則とします

(6) 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。)

(7) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式(ホームページからダウンロードして下さい)に記入して、電子申請にて応募して下さい。
〒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：info@tateisi-f.org

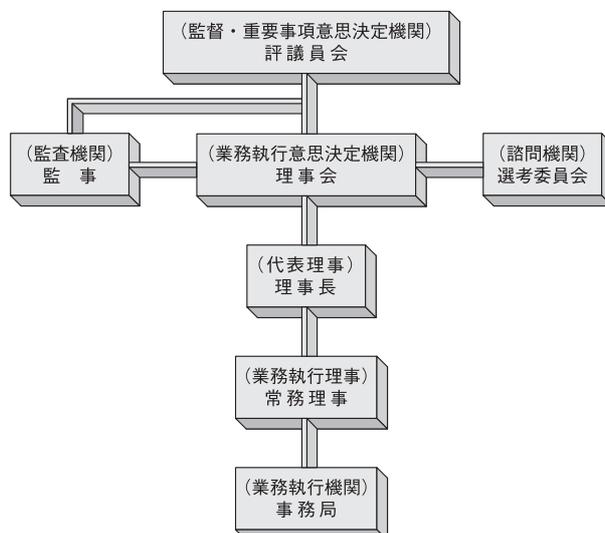
募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。
URL <http://www.tateisi-f.org/>

■ 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) 365-4771 FAX. (075) 365-3697
URL: <http://www.tateisi-f.org/>
E-mail: info@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
 1. 研究への助成
 - 研究助成(A) 2,500千円以下/件, 30件程度/年
 - 研究助成(B) 5,000千円以下/件, 2件程度/年
 - 研究助成(C) 500千円/年, 10件程度(博士課程後期 最大3年)
 - 研究助成(S) 30,000千円以下/件, 3件程度/年, 3年
 2. 国際交流への助成
 - 国際会議発表 400千円以下/件
 - 短期在外研究 700千円以下/件 } 合わせて10件程度/年
 - 国際会議開催 1,000千円以下/件, 10件程度/年
 3. 研究成果に対する顕彰
 - 立石賞 功績賞 副賞 5,000千円/件 2件程度/隔年
 - 立石賞 特別賞 副賞 5,000千円/件 2件程度/隔年
 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



監 事

(2015年6月現在)

監 事	愛 知 菜穂子 (山 本 菜穂子)	弁護士 (イリス法律事務所)	非常勤
監 事	尾 尻 哲 洋	税理士	非常勤

(2014年度)

選考委員

選考委員長	阿 草 清 滋	南山大学 理工学研究科長 教授 京都大学 学術情報メディアセンター 客員教授
選考委員	荒 尾 眞 樹	オムロン(株) 執行役員常務 技術・知財本部長
選考委員	臼 井 支 朗	豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所 特任教授
選考委員	里 中 忍	熊本県立技術短期大学 校長 熊本大学 名誉教授
選考委員	榎 木 哲 夫	京都大学大学院 工学研究科 教授
選考委員	難 波 啓 一	大阪大学大学院 生命機能研究科 教授
選考委員	畑 豊	兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科長 教授
選考委員	藤 田 博 之	東京大学 生産技術研究所 副所長 教授
選考委員	松 田 晃 一	(独)情報処理推進機構 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、助成金受領者の皆様のほか、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1300ヶ所に拝送させていただいております。今号で第24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、2014年度研究助成課題を中心にこの1年間に終了した研究活動の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2014年度後期から2015年度前期に助成いたしました成果報告の抄録を収録し、国際会議開催助成は2014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岩田評議員、投稿文をお寄せいただきました宮崎大学 工学教育研究部 教授 田村宏樹様、大阪工業大学工学部 准教授 田熊隆史様、研究室訪問では事務局取材に快く応じていただきました大阪府立大学大学院 工学研究科機械工学分野 助教 中川智皓様をはじめ、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厚く御礼申し上げます。

本号がお手元に届くころは、2016年度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もご覧いただければと思います。

大型の研究助成(S)について簡単にご報告させていただきます。今期4月～5月に初回募集を行い、予想を超える67件の応募をいただきました。8月下旬の選考委員会にて選考が行われ、9月には正式に決定の運びです。

また、2016年度2回目の研究助成(S)の募集を9月～10月の間に実施しております。

より大きな課題解決と実証に向けたチャレンジのためにお役立ていただければ幸いです。

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24号
2015年9月

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: info@tateisi-f.org
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。)

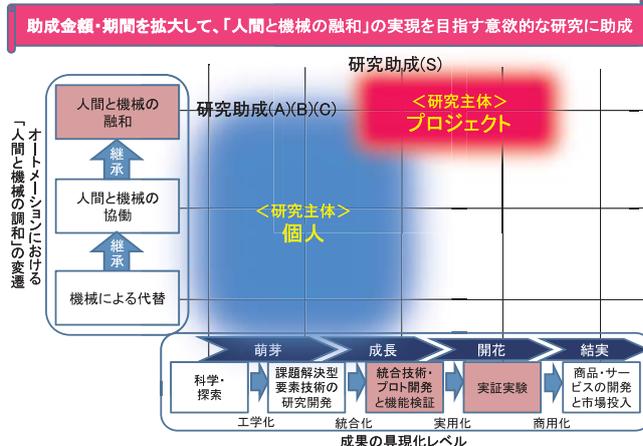


「人間と機械の調和」を促進する研究活動を支援する 公益財団法人 立石科学技術振興財団 2016年度助成 公募のご案内

当財団の目的

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。

研究助成(S)の位置付け



2016年度 助成内容と募集時期

助成プログラム	助成金額	助成件数	助成対象期間	募集時期
研究助成 (A)	250万円以下/件	30件/年	2016年4月から1年間	2015年 9月1日 ～10月31日
研究助成 (B)	500万円以下/件	2件/年	2016年4月から2年間	
研究助成 (C)	50万円/年・件	10件/年	2016年4月から最大3年間 (博士課程在学中)	
研究助成 (S)	3000万円/件	3件	2016年4月から3年間	2015年 10月1日 ～12月20日
前期国際交流助成 ・国際会議発表 ・短期在外研究	40万円以下/件 70万円以下/件	合わせて 10件/年	日本出発日 2016年4月～9月 短期在外研究の滞在期間は最大3ヶ月	
後期国際交流助成 ・国際会議発表 ・短期在外研究	40万円以下/件 70万円以下/件	合わせて 10件/年	日本出発日 2016年10月～2017年3月 短期在外研究の滞在期間は最大3ヶ月	2016年 4月1日 ～6月30日
国際会議開催助成	100万円以下/件	10件/年	2016年10月～2017年9月	2016年 4月1日 ～6月30日

- (注1) 助成件数は上述を標準とし、その年の状況により増減します。
(注2) 募集期間、助成対象期間にご注意ください。詳細については当財団ホームページをご確認下さい。
(注3) 立石賞の募集は、2016年度はありません。2017年4月募集予定。

公益財団法人 立石科学技術振興財団

URL: <http://www.tateisi-f.org/> e-mail: info@tateisi-f.org TEL: 075 (365) 4771