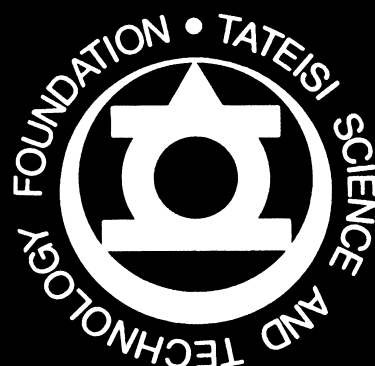


立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第25号】

2016年(平成28年)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 25 号

2016 年 10 月 (平成 28 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	
(株)オプトクエスト 顧問 山下 牧 (評議員)	3
3. 立石賞受賞記念講演概要	4
立石賞 功績賞 東京大学大学院 工学系研究科 教授 染谷隆夫	4
立石賞 功績賞 京都大学 CentraleSupélec (パリ) 名誉教授 客員教授 山本 裕	7
立石賞 特別賞 日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所 IBM フェロー 浅川智恵子	13
4. 受領者投稿	17
熊本高等専門学校 情報通信エレクトロニクス工学科 准教授 石橋孝昭	17
群馬大学大学院 理工学府 知能機械創製部門 准教授 鈴木孝明	18
5. 研究室訪問	19
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授 杉山 将	19
京都大学 医学部附属病院 医療情報企画部 教授 黒田知宏	24
6. 研究助成成果の抄録一覧	30
7. 国際交流報告の抄録一覧	203
8. 2015 年度活動報告 (業務日程・会計)	225
9. 2016 年度助成報告	226
10. 第 4 回立石賞表彰式・記念講演及び 2016 年度助成金贈呈式	227
11. 2015 年度・2016 年度助成課題一覧	228
12. 2016 年度研究助成課題の紹介	234
13. 2017 年度助成公募のご案内	240
14. 財団の概要	247
15. 評議員・役員・選考委員	248
16. 編集後記	250

ごあいさつ

助成研究成果集第25号の発行に際し、ひとことご挨拶申し上げます。

当財団は、オムロン(株)の創業者であります故立石一真が卒寿を迎えましたのを機に、科学技術の分野で「人間と機械の調和」を促進することを趣意として平成2年(1990年)に設立しました。そして本年は第27回目の助成金の交付をとり行うことができました。設立以来の助成件数と助成金は、立石賞も含めて累積でそれぞれ1,035件、約18億2千万円となりました。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課題の成果を、財団設立の趣意に沿って方向を同じくする研究者や研究機関と共有することを目的とするとともに、研究者の相互交流の一助となることを願って、毎年実施しております。今回ご寄稿いただきました研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

また本年は、隔年で実施している立石賞の第4回目の表彰を行いました。受賞者のお三方とも、当財団の趣意である「人間と機械の調和」を促進する研究に真正面から取り組まれて、世界の第一線でご活躍されている研究者で、その真摯な研究姿勢は受賞記念講演を通してひしひしと伝わってきました。研究助成を受けられた皆様には、近い将来の立石賞を目指して、引き続き研究に邁進されることを期待します。

ところで今日の日本は、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

人間と機械の調和を目指して

若者が新しい価値創造を目指して自然科学の分野でチャレンジすることを助成する当立石科学技術振興財団は、単に結果に対して賞を与えるのとはひと味違う素晴らしい取り組みだと思う。

結果に対して評価するのは比較的簡単だが、これから取り組む先進的な研究に対して適切に評価する事は至難の業と言えよう。だからこそ評価の対象は、その中味以上にその人の志の高さ、具体的には世の中のどんな役に立ちたいというレベルの高さに注目すべきだと言える。なぜなら分野が違えば中味は当然異質のものになるが、インパクトの大きさは相応の共感を万人に与えるからである。



若い時は相対的に世の中の事は考えずに自ずと湧き上がる自然現象への興味が研究者の動機となるが、成長と共に社会との関連を意識するようになる。研究を進めるというのは、その成果がどんなインパクトを社会に対して与えるのかの検証の過程であるとも言える。正に当財団はそのことを「人間と機械の調和」という財団趣意の中で明確に位置付けている。考えてみれば自然の究明は最終的に人の役に立たないといけけないのに、研究そのものに目を奪われ少しずつ本来の目的を離れ研究のための研究ということに成りがちな行為を、当財団に応募する人が自ら見直してくれることに役立っているとしたら大いに嬉しい事である。

最近では、ひとつの研究結果が直ちに世の中の役に立つ結果につながり難しくなっている。個別の技術が世界中に通用するものよりも、社会の取り組み、人と社会の関わりの中で新しい価値を創造することを求めるニーズが高くなっている。自分の研究が成功した時にどのような社会が造れるのかを大局的な視点で考え、場合によってはチームを作って多面的に取り組む事が求められる時代になりつつある。

当財団が毎年行っている助成金贈呈式では、いろんな分野の研究者が一堂に集い研究の目的と実現手段についての発表と議論が行われているが、その中から新しい取り組みや協創チームが生まれてくれば幸いである。

株式会社オプトクエスト顧問 山下 牧（評議員）

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

人間と機械を調和する伸縮性エレクトロニクス

東京大学工学系研究科電気系工学専攻 染 谷 隆 夫

20 世紀における半導体エレクトロニクスの飛躍的發展は、我々の生活を一変させ、人類社会の発展に大きく貢献した。21 世紀になって、エレクトロニクスは、Internet of Things (IoT)、人工知能 (AI)、ロボットなど高度に発展する情報社会の基盤を支えることが期待されており、単に演算速度や記憶容量を向上するだけでなく、地球環境やそこで暮らす人類との調和を同時に実現することが求められている。その背景の中、従来の無機半導体と相補的な有機材料の軽量性・柔軟さ・大面積性を活かした新たな応用分野への期待が高まっている。

これまで筆者らの研究グループでは、有機半導体分子など分子性ナノ材料に着目し、光・電子デバイスの機械的柔軟性を向上する研究を進めてきた。例えば、有機トランジスタと呼ばれる柔軟い電子スイッチは、シリコンなど従来の無機材料素子とは違い、低温プロセスで高分子フィルム上に形成できるため、軽量かつ曲げられる電子機器を作ることができる。また、印刷技術で製造することができるため、シリコンに比べて格段に安い製造コストで大面積シート上に作ることが可能である。このような有機デバイスの優れた特徴——すなわち、大面積・低コスト・軽量性・柔軟性——を活用して、筆者らは大面積センサや大面積アクチュエータに応用する研究に取り組んできた [1-5]。

まず、2003 年に、「大面積化の容易さ」と「曲げやすさ」という有機半導体の二大特徴を巧みに捕らえ、世界で初めて「アクティブマトリックス方式（格子状に並べられた薄膜トランジスタ）による大面積なフレキシブルセンサ」の開発に成功した。高性能な有機トランジスタ

を駆使して実現されたこのセンサは、皮膚のように伸縮自在で、自由曲面上で温度分布と圧力分布をリアルタイムで同時に計測でき、次世代ロボット用の電子人工皮膚 (E-skin) として有望視される (図 1 左)。



E-skin を実現するために、ディスプレイの駆動方式にヒントを得て、フレキシブルな有機トランジスタのアクティブマトリックスを使って、膨大な数のセンサからデータを読み出す方式を考案した。人間の皮膚は 2 m^2 の表面に 200 万個以上の痛点がある。この規模のセンサは、個別に実装してそれぞれに配線を施すという従来法では実現できない。また、シリコンのような既存素子は固くて曲面に貼り付け難いため大きな課題となっていた。本手法によって、各センサに個別の配線を施すことなく、数十本にまで配線数を減らすことができるようになり、解決に明確な道筋が示された。

その後も E-skin の研究を皮切りに、シート型スキャナー (2004 年)、超薄型点字ディスプレイ (2005 年)、ワイヤレス電力伝送シート (2006 年)、通信シート (2007 年)、超音波シート (2008 年)、フラッシュメモリ (2009 年) を実現するなど、有機デバイスの様々な新用途を提案し、フレキシブル大面積エレクトロニクスに応用する可能性を示してきた。

フレキシブルデバイス分野では、2000 年頃から世界中で活発に研究開発がなされてきたが、そのすべてが電子ペーパーのようなフレキシブ

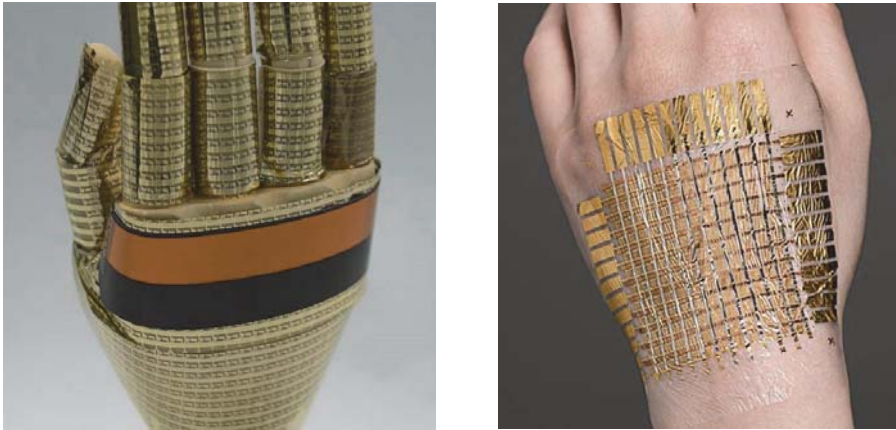


図1 (左) ロボットの手に貼り付けられた電子人工皮膚 (E-skin) のイメージ写真。(右) 厚さ1マイクロメートルの高分子基材の上に作製された超薄型有機トランジスタ集積回路が人の手に貼り付けられている。

ルディスプレイもしくは無線タグ (RFID) の実現を目指した研究, または単体デバイスの基礎研究であった。一方, 筆者らは, 世界で初めてアクティブマトリックスを「フレキシブルセンサ」に応用し, フレキシブルエレクトロニクスが大きく発展するきっかけとなった。これらの研究を通じて, 「人間と機械の調和を実現するためには, “人間と親和性の高い柔軟なエレクトロニクス” が本質的に必要である」という認識を確立し, 伸縮性エレクトロニクスの実現に向けた開発を進めてきた。

さらに, 筆者らは, E-skin の高機能化と高性能化を進めるため, 多様なフレキシブルセンサ, 伸縮性導体, 極薄デバイスなど世界初となる電子素材や電子部品を開発した。最近では, 厚さ1ミクロン (キッチンラップの厚さの1/10) という極薄の高分子フィルム上に高性能な有機集積回路, 有機太陽電池, 有機発光デバイスを含む世界最薄の有機デバイスを実現した (図1右)。候補者が開発した大面積なフレキシブルセンサは, ヒトの表面に貼り付けて装着感なく生体情報を計測するシート型システムへと発展している。これらは, ウェアラブルエレクトロニクスやヘルスケア・医療への応用が期待されるなど, 人間と機械を調和する新しいエレクトロニクス分野を拓いている。

有機デバイスは, 柔軟性に優れており生体と

の親和性が高いと期待される。人間がその存在を感じるできないくらい薄くて軽量のエレクトロニクス (Imperceptible electronics) が実現されたことによって, ヘルスケア, 医療, 福祉への応用が促進されると期待される。

まず, 皮膚の上から生体情報を取り出す「ウェアラブルエレクトロニクス」への応用が進むと考えられる。例えば, センサーシステムの薄型化や軽量化が進み, 身に着けても装着感を感じさせないセンサによって, 通常の生活をしながら, 24時間ストレスなく生体情報の計測ができるようになるであろう。また, 耐衝撃性に優れるセンサとして応用することにより, 運動中を含む日常のどのような場面でも生体からの情報 (例えば, 体温や心拍数) を計測できるようになる。薄型筋電計測シートは, 車椅子や介護ベッドなど福祉機器の入力インタフェースとして有用であろう。

次に, fMRI, 超音波診断装置, 内視鏡など医用画像機器 (モダリティ装置), カテーテル, スtentなど医療機器への応用も重要である。例えば, この高耐熱性の超薄型有機センサを細径のカテーテルの側面に適応することで, 腫瘍や炎症, 初期のがんを検出できる新しい薄膜センサの開発が可能となり, 医療用デバイスとした新たな用途が拡大するものと考えられる。このような医療デバイスへの応用には, 柔らかさ

に加えて、大面積でかつ電気的特性にも優れている必要があり、今後の医療用デバイスの開発に向けて有機デバイスの重要性が増すと考えられる。

さらに、体の中に埋め込むことにより直接的に生体情報を取り出す「インプラントブルエレクトロニクス」への応用が期待される。体内にデバイスを埋め込むことで侵襲度が高くなるが、一方で体内埋め込みでなければ計測できない化学的情報や、より微弱な信号の時間発展を高空間分解能で計測できる。

このように「ウェアラブルエレクトロニクス」「医療機器」「インプラントブルエレクトロニクス」へと段階を経て有機デバイスの用途が広がると考えられる。これに伴い、デバイスの複合化や高集積化も進むであろう。今回の研究開発によって、様々な有機デバイスを、厚さ1 μm 級の高分子フィルムに作製できるようになった。このような薄型化・軽量化技術により、有機LEDを新しい光源としたユニークな薄型センサへの応用が期待される。実際に、最近では、薄型の有機LEDと有機光検出器を集積化して、脈波や血中酸素濃度など生体情報の計測に成功している。生体情報を計測するための装置が、今後、急速に軽量化・薄型化されるであろう。その結果、装着してもストレスなく計測できる“装着感のないヘルスケア・デバイス”など伸縮性エレクトロニクスの大きく発展していくものと期待される。

謝辞

立石科学技術振興財団より平成15年度に「情報活用社会に整合するプラスチック高集積回路の試作研究」で助成を頂いた。多くの方のご支援のお蔭で、その研究

が飛躍的に発展し、今回第4回立石賞の功績賞を頂くことになった。立石科学技術振興財団関係者をはじめとして本研究にご理解とご支援を頂いた方々、ならびに本研究に携わった共同研究者全員に厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- [1] Takao Someya, Tsuyoshi Sekitani, Shingo Iba, Yusaku Kato, Hiroshi Kawaguchi, and Takayasu Sakurai, “A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 101, 9966–9970 (2004).
- [2] Takao Someya, Yusaku Kato, Tsuyoshi Sekitani, Shingo Iba, Yoshiaki Noguchi, Yousuke Murase, Hiroshi Kawaguchi, and Takayasu Sakurai, “Conformable, flexible, large-area networks of pressure and thermal sensors with organic transistor active matrixes”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 102, 12321–12325 (2005).
- [3] Martin Kaltenbrunner, Tsuyoshi Sekitani, Jonathan Reeder, Tomoyuki Yokota, Kazunori Kuribara, Takeyoshi Tokuhara, Michael Drack, Reinhard Schwodiauer, Ingrid Graz, Simona Bauer-Gogonea, Siegfried Bauer, and Takao Someya, “An ultra-lightweight design for imperceptible plastic electronics”, *Nature*, 499, 458–463 (2013).
- [4] Tsuyoshi Sekitani, Hiroyoshi Nakajima, Hiroki Maeda, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, Kenji Hata, Takao Someya, “Stretchable active matrix organic light-emitting diode display using printable elastic conductors”, *Nature Materials*, Volume 8, 494–499 (2009).
- [5] Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Kenji Hata, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, Takao Someya, “A Rubberlike Stretchable Active Matrix Using Elastic Conductors”, *Science*, Volume 321, 1468–1472 (2008).

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

サンプル値制御からデジタル信号処理へ

—— 人にとって自然な情報処理とは ——

京都大学名誉教授 山 本 裕

立石科学技術振興財団より 1992 年度に「デジタル制御系の最適化・知能化の研究」というテーマで研究助成を頂きました。それ以後主としてデジタル制御の手法を用いて、人間にとってより自然な信号の処理方法、ことに音響と画像の処理について研究して参りましたが、このたび立石賞功績賞をいただくことになりました。立石科学技術振興財団他関係者の皆様に篤く御礼申し上げます。

デジタルによる音響処理

1982 年、ソニーとフィリップスの共同開発による、コンパクトディスク (CD) が導入、発売されました。アナログレコードに取って代わる初めての商用デジタル音楽メディアとして、CD は様々な規格を導入し、その後のデジタル信号処理の規格に大きな影響を与えたといえます。代表的なものとして、サンプリング周波数 44.1 kHz、記録ダイナミックレンジ 16 bit が上げられます。

このうち、サンプリング周波数 44.1 kHz というのは、1 秒間に 44,100 回、音の信号を計測し記録するということです。詳しいことは省きますが、Shannon が文献 [1] においてサンプリング定理に基づいてデジタル信号の伝送を問題にして以来、サンプリング周波数の半分の周波数、いわゆるナイキスト周波数、が伝送できるデータの高域（この場合は高音）の限界とされてきました。以後、この理論、仕組みは広くデジタル機器に採用され、いわば事実上のスタンダードとなっています。お手持ちのデジタル音響機器の殆どはこれによっていると

言って過言ではありません。

CD のその後

このデジタルメディアの登場によって、音楽メディアは一挙にデジタル処理に方向を変え、それまでのアナログレコードに急速に取って代わるようになりました。

ただし CD の音質、品質については、取り扱いやすさ、音の安定性（音程の揺れのなさなど）などの肯定的な評価の反面、音が硬い、金属的、あるいはシャープにすぎる、冷たい、雰囲気や質感に乏しい等といった批判的あるいは否定的な意見も主としてオーディオマニアと言われる人々から数多く寄せられことになりました。本来目指したはずの音楽の感動を伝えるのに適していないのではないかと、その原因は何かといった議論も数多く聞かれました。

そもそもこの規格は人間の聴くことのできる周波数の上限が 20 kHz であるという知見に基づいており、そこにサンプリング定理を持ち込んで、その倍の 40 kHz、余裕を見てその 10% 増しの 44.1 kHz をサンプリング周波数に選んだところから始まります。しかしその後人間の聴くことのできる周波数上限は本当はどこまであるのか、上記サンプリング周波数は妥当だったのかという疑問が提出されるようになります。通常の実験ですと一定周波数の正弦波を被験者に聴かせて聞こえたかどうかを答えさせるのですが、これですと定常状態におけるいわゆる定



常応答のみの試験になってしまいます。一方音の立ち上がり特性を反映する過渡応答についてはいろいろな意見があり、一定していません。一つには過渡応答は瞬時に消え去るものであり、その一対同時比較は困難であることが挙げられるでしょう。また 20 kHz 以下の超高域が人にとって心地良いかどうかについても、大橋氏の研究 [2] などがあり、その効果の一部が解明されつつあると思えますが、詳しいことは未だ明らかにはなっておらず、諸説あります。一つには音と音響の評価というものは、究極は聴取者の脳の中にしかないものであり、客観的なデータとして表すことが困難であるという事情が影響しているといえるでしょう。この点は画像などに比べて随分困難なところ です。

しかし超高域が実際に「聴こえる」のかどうかはひとまず措くとしても、現実の音、自然音は 20 kHz よりはるかに高いところまで周波数成分を持っていることが多いのは事実です。図 1 はあるアナログレコードの周波数成分を取り出してみたものですが、20 kHz 以上の高域まで分布しているらしいことがわかります。

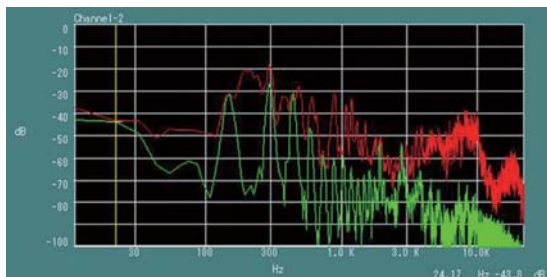


図1 アナログレコードの周波数特性例

現実の CD の録音などでは、この超高域成分があるとエイリアスという歪の原因になる（サンプリング定理に基づく）というので、この部分をすべてフィルターでカットして録音します。その結果どうなるかという、次の図 2 のような副作用が発生するのです。これはフーリエ解析という分野で Gibbs 現象として知られているものですが、周波数成分を急峻にカットすると、

このように急峻なジャンプがある場合、必ずその周りにオーバーシュートやアンダーシュートによる波打ち現象が発生します。

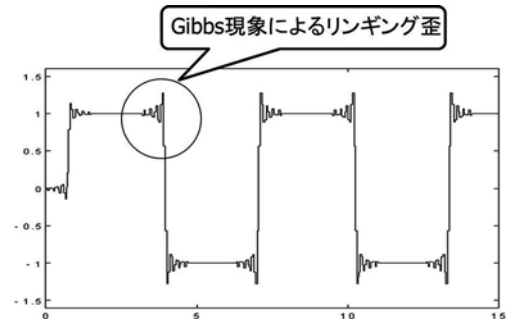


図2 Gibbs 現象による歪

音の場合には鐘のような音がするというので、リングング歪とも言われます。現実にはこのような高周波や不連続な信号は発生しないではないかという意見もあるかもしれませんが、そうではありません。例えば無音から急激に立ち上がるピアノのアタック、また画像では暗い部分から急に明るい部分になる境界部分はこのような信号となり、この歪が常に発生するのです。残念ながら、この部分はこれまで余りまともに議論されてきていませんが、CD の音が金属的であるとか、冷たいとか言う評判はこれが大きく関わっていると思われます。

自然な周波数復元に向けて

超高域が人間に聞こえるにせよ、そうでないにせよ、現在のデジタル音響処理が自然音の周波数特性を正しく反映していないのは確かです。それならそれをなるべく元に近く戻してやれば良い。最近の SACD フォーマットなどは、それを目指してサンプリング周波数を 44.1 kHz より高いところに設定し、超高域までをカバーするようになっています。しかしすでに CD フォーマットで録音されたものではそうは行きません。高周波の情報はサンプル点間の情報として、録音されずに漏れ落ちてしまっているのです。

ではその失われてしまったサンプル点間の信号をどのように復元するかということになります。もしも周波数成分がナイキスト周波数以下にしか分布していない仮定すると、サンプリング定理により、可能な限りの低周波信号で復元することが唯一正しい解であることになります。Shannon がこの論文を書いた時、元の信号の周波数分布に対して、サンプリング周波数、したがってナイキスト周波数も十分に大きく、余裕を持っている状況を想定していたと思われます。そうであれば、Shannon によるこの考え方はほぼ間違いのない結果を与えますし、実装上の問題を別にすれば（Shannon のこの方式はそのまま実装するには多くの困難があります）、完結した結果と言っても差し支え無いでしょう。

しかし現実にはしばしば我々のそうした期待を裏切るもので、多くの音楽信号ではその周波数分布は 20 kHz を超えて分布しますし、よしんば 20 kHz 以下にしかエネルギーがなかったとしても、ナイキスト周波数はその 10% 上の 22 kHz でしかありません。とても余裕を持ってサンプリング定理を適用できる、あるいは Shannon のパラダイムを実現できる状況ではないのです。

それではどうすれば良いのでしょうか。サンプル点間にどんな信号があったかを録音した後から知ることは出来ません。従って、Shannon はナイキスト周波数以下に分布すると仮定したのでした。しかし我々は実はもう少し詳細な情報を持っているのです。

次の図 3 を見てみましょう。この図 3 のような正弦波が与えられ、かつそれが丸印で与えられたような間隔でサンプルされたとします。しかしこうして得られたサンプル信号はもはや元の高周波の信号要素とは独立で、実際この図 3 の下図のようなよりゆっくりとした正弦波とも同調してしまいます。これがエイリアシングという現象で、だからこそ Shannon は周波数成分を限って、この上のような高周波が信号成分

に入っていないような条件を設定せよと言ったのでした。

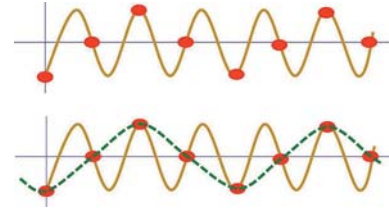


図 3 エイリアシング現象

しかしここでもし、この低周波が 80%、高周波が 20% の割合で混じっていると先験的に仮定出来たらどうでしょう。低周波のみの復元を行うのではなく、図 4 の一番下の信号が正しいということになるのではないのでしょうか。

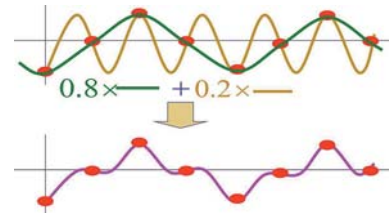


図 4 先見情報を仮定した信号復元

無論現実には与えられた信号に対してこのような情報がわかることはあり得ません。しかし平均的に、あるいは蓋然的には周波数特性というものは高域に向かって徐々に減衰していくもので、殆どの場合次の図 5 のような特性になっているものと考えられます。

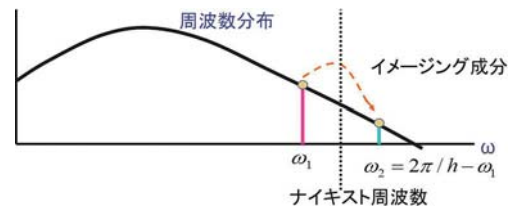


図 5 信号の周波数分布

であるならば、この周波数特性を参考にして、ナイキスト周波数以上の信号成分を上手く加えあわせてやれば、20 kHz 以上まで特性の伸びた信号復元ができるのではないかと想像されま

す。実際その通りなのですが、話はそう簡単ではありませんでした。というのは、サンプル点間をこのような周波数特性に従って、高域まで伸ばす、あるいは補間するという理論はそれまでになかったからなのです。それこそが、Shannon 以来 60 年以上の永きにわたって帯域制限された信号復元が続けられてきた理由でもあります。それをどうするかについては、少しさかのぼってデジタル制御のお話をせねばなりません。

デジタル制御またはサンプル値制御の基本問題

私達が制御したいプラントあるいは信号系は多くは連続な時間で動作します。通常これらは同じ連続時間で動作するコントローラあるいはフィルタなどで処理されてきました。これに対し、コントローラとセンサが離散的な時間で動作するものをサンプル値制御系、あるいはデジタル制御系と呼びます。これらがデジタル計算機で行われることが多いためです。このサンプル値制御系は旧くからあった概念なのですが、困った問題を抱えていました。すなわち、連続と離散の二つの時間要素を内包しているということです。この時間要素の混在は数学的取り扱いを非常に厄介な、見通しの悪いものにしていました。そのため、サンプルされた時刻の間にプラントがどのような応答をするかは、あまりうまく扱うことが出来なかった、少なくとも設計の時にはそれを上手く設計に取り込むことが出来なかったのです。それでサンプル時間を短く取れば良いだろうということになっていました。ところが実はサンプル点間を無視して設計すると、サンプル時間が短くなればなるほど応答が悪くなる例もあるのです。例えば次の図 6 です。ここで青の実線で表したのが、離散時間設計によるものですが、サンプル点の間で 0 に収束して欲しい応答が大きなリップル（波打ち）現象を起こしています。（赤の実線については後述。）

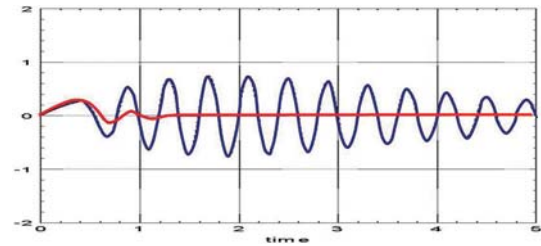


図 6 離散時間設計の応答例

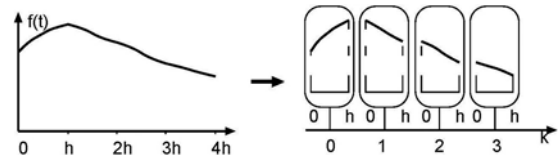


図 7 リフティング

これはそもそも、サンプリングという操作によって、連続時間の信号を落としてしまったことに原因がある。だったらせめて設計用のモデルだけでも、サンプル点間応答を落とさないようにしましょう。そう考えて提唱したのが、図 7 に示す現在リフティングと呼ばれている手法です。

専門的になるので詳しい話は省略しますが、一口に言って連続時間の信号 $f(t)$ を離散時間の関数の列 $\{f(kh)\}_{k=1}^{\infty}$ として離散時間で扱えるようにしたのがその核となるアイデアです。今となってはコロンブスの卵なのですが、当時私がこれを導入した時は、わざわざ問題を難しくしている、と非難を浴びたものでした。幸い、このアイデアが認められ、IEEE の Control Systems Society の論文賞もいただき、いまではこの業界の標準手法として確立しています。

現代的サンプル値制御系の成立

このリフティングの手法の導入とともに、現代的なサンプル値制御理論が瞬く間に展開し、成立していきました。1990 年代前半のことです。しかも同じサンプリング周期を用いていても、サンプル点間応答を最適化するコントローラを得ることができることがわかりました。図 6 において赤の実線で表示したのがそうして得られた最適コントローラによる応答です。また矩形波に対して、図 2 とは対照的に次の図 8 の

ようなリングングのない応答が得られることも分かっています。

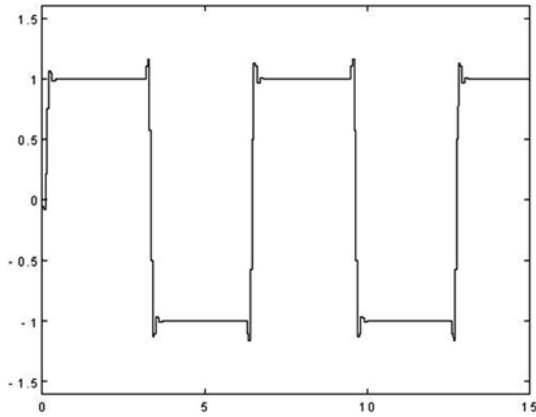


図8 サンプル値最適設計による矩形波応答

サンプル値制御から信号処理へ

上に述べた信号処理の問題、すなわちサンプル点間の（失われた）信号をどうやって復元するか、という問題に戻ります。上で述べたように、サンプル値制御理論ではサンプル点間応答を最適に補間できるということがわかりました。これを信号処理に応用するとどうなるでしょうか。これまでのデジタル信号処理の理論で、使われていなかった仮定あるいは理論は、おおまかに言って2つあります。一つはリフティングによる現代的な制御理論です。これは制御の部門ではもはやスタンダードとなっているにも関わらず、残念ながらデジタル信号処理の分野では、まだわずかししか知られておらず、理論としては広く用いられているとはいえないのが現状です。2012年に文献[3]を発表し、新しい方法論を提起しましたが、これが浸透していくにはまだ後10年単位の時間がかかるでしょう。

もう一つ、Shannonが想定しなかったものに、元のアナログ信号の生成モデルがあります。実はここにこそ、サンプル値制御理論がShannonのパラダイムに対して優位性を主張できる根拠があるのです。対象が音楽であれば、その音には必ず発生源があり、それらは物理的

特性に基づく特有の周波数減衰パターンを持っているのです。ギターのような楽器を考えてみてください。例えば基音として440 Hz, Aの音を鳴らしたとしても、それに付随してその倍音、3倍高調波があり、ギターの特性に従って高周波が減衰していきます。（これ以外にも過渡特性というものがありますが、ひとまず無視します。）この特性を反映した減衰曲線を物理モデルとしてモデル化し、サンプル値制御系におけるプラントの役割をさせることによって、平均的に最適な高周波の復元ができるのではないかと考えたのが始まりでした。このフィルタによって、CDでは20 kHz以上のはるか上の高周波まで復元できるようになりました。そのための実験装置として作成したのが、図9に示す375 kHzまでの再生能力をもったDAコンバータです。



図9 試作 DA コンバータ

これと前後して、この新しいアイデアの商品化、普及に取り組みました。しかしながら多くのオーディオメーカーからの反応は芳しいものではありませんでした。まだその当時図9のようなプロトタイプが出来上がっていなかったこともあります。一方では、信号処理の教科書をそのまま鵜呑みにして最初から結論ありきという拒否反応にも悩まされておりました。そうした中で、三洋電機（当時）からのアプローチがあり、当初は画像処理への応用からスタートしたのですが、まもなく圧縮オーディオの高品位化に目標を転換し、幸い3年の検討期間を経てチップに組み込んでいただけることになり

ました。この間、研究所におられた藤山晃司氏と二人三脚で開発に従事し、時には社内の反対に遭いながら、最終的に LSI チップとして製品化できることになったのは、藤山氏の協力無くしては考えられないことでした。深く感謝している次第です。幸いこれまでに 6,500 万石以上を出荷する成功を納めています。

おわりに

サンプル値制御理論を用いたこの新しい信号処理理論とその応用は、まだその端緒に終わったばかりともいえます。我々の処理する信号の結果は、畢竟アナログ領域で評価されるものであり、処理結果がどれだけ原信号に近いかが評価されねばならないでしょう。デジタルだからといって、安易にデータを間引いてしまうと後で問題を抱えることにもなりかねません。しかし一方では、ますます負荷の大きくなる処理に対して、データの圧縮は不可避であり、そこにこそアナログ特性を最適とするこのサンプル値処理方式の将来の発展があるべきでしょう。既

存の定説などに左右されることなく、信号処理のスタンダードが、ちょうど現代的サンプル値制御理論が旧来のサンプル値理論を書き換えたように、この新しい方式に書き換わる日を待ち望んでやみません。この新しい信号処理方式の研究を通じて、協力いただいた上記藤山氏を始め、永原正章氏、P. P. Khargonekar 氏、その他多くの大学院学生諸氏、並びに関係の各位に御礼申し上げます。

文 献

- [1] C. E. Shannon, "Communication in the Presence of Noise," *Proc. IRE*, vol. 37, pp. 10-21, 1949.
- [2] T. Oohashi et al., "Inaudible high-frequency sounds affect brain activity: hypersonic effect," *Proc. Amer. Physiological Soc.*, pp. 3548-3558, 2000.
- [3] Y. Yamamoto, M. Nagahara & P. P. Khargonekar, "Signal reconstruction via sampled-data control theory-beyond the Shannon paradigm," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-60, pp. 613-625, 2012.

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

情報世界のアクセシビリティから現実世界のアクセシビリティへ

—— 障害者や高齢者の社会参加のあり方を変える情報技術 ——

日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所 IBM フェロー 浅川 智恵子

アクセシビリティ・ニーズによってイノベーションが生み出される

「アクセシビリティ技術」とは、障害者や高齢者、あるいは非識字者といった情報へのアクセスに困難を持つ人々の社会参加を手助けする技術の総称である。そのため一般にマイノリティのための技術と解釈されがちだが、必ずしもそうではない。

古くは19世紀に発明された電話は、グラハム・ベルの家族に聴覚障害者がいたことがきっかけとなり、コミュニケーション手段としての信号技術を模索していた過程で生み出されたと言われている。TV番組の字幕も元々は聴覚障害者のために発明された技術だが、言語に不慣れな移民にも歓迎され、今では空港や役所など公共空間でのTV視聴でも重要な役割を果たしている。私たちがコンピューターを利用する上で欠かせない入力装置であるキーボードも、上肢の動作の困難な人々のために開発された技術にルーツがあるとされている。また、音声認識技術や光学文字認識(OCR)技術といった種々の認識技術も、当初は障害者を支援する目的で開発されたものが多いが、現在はスマートフォンの音声対話インターフェースや業務文書の電子化等、様々な用途に活用されている。自動運転車の開発に鎬を削る各社は、全盲のドライバーが運転できる自動車の実現を目標の一つに掲げる。

私たちアクセシビリティ分野の研究者にとっての究極の挑戦(グランド・チャレンジ)は、このような歴史に残るシステムを生み出すことだ。

視覚障害者の持つ情報源の増加と指数爆発

情報技術はあらゆる人々にとって生活やビジネスの様々な場면을効率化し、遠く離れた人々の心理的な距離を劇的に縮める力を持つ

が、障害者にとってはこれまでにはない職種で就労するなど新たな社会参加を可能にする手段ともなる。視覚障害者を例にとると、その変化は革命的ともいえるものだ。

図1は、視覚障害者のアクセス可能な情報源の急速な拡大を示すイメージである。1980年代前半まで、視覚障害者の情報源は紙の点字とカセットテープに録音された音声図書しかなかった。私はこの時代に学生生活を送ったのだが、教科書を読む、ノートを取る、辞書を引く、すべてに大変な労力を要した。授業中のノート作成には重さが5kgもある点字タイプライターが必要で、一冊の辞書が点訳されると数百巻にもなった。どちらも容易に持ち運べるもの

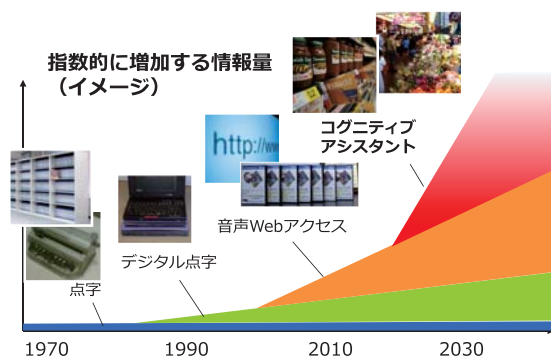


図1 視覚障害者のアクセス可能な情報源の拡大

ではない。もちろん、現在では 300 g ほどの携帯点字デバイスを使い簡単にメモを取り辞書を引くことができるようになっているが、情報源拡大の主因はこうした点字機器の進化ではなく、パーソナル・コンピュータ（PC）やインターネットに代表される情報技術の台頭である。

1980 年代後半には点字がデジタル化され、ネットワークを介して点字図書や音声図書もタイムリーに入手できるようになった。1990 年代には音声合成による情報アクセスとインターネットという二つの新技術により、入手可能な情報量が爆発的に増加した。

この情報革命の過程で、私たちのグループでは様々なアクセシビリティ技術を開発してきた。1980 年代には点字編集システムや点字辞書システム、点字情報ネットワークの開発と普及を推し進めた。タブレット端末で誰でも簡単に電子書籍が読める現在ではあまり驚きはないかもしれないが、30 年前に点字は既にデジタル化されていた。「本を自由に読みたい」という視覚障害者の強い願いが、30 年前に書籍をデジタル化するというイノベーションを成し遂げたのである。

やがて 1990 年代になり、インターネットの時代が到来した。初めて Web にアクセスしたときの衝撃は今でも忘れることができない。いつでも新聞が読めるようになり、どんな情報でも独力で探せるようになったのである。すべての視覚障害者にこの素晴らしい情報源を届けたいと願い、1997 年に「ホームページ・リーダー」を開発した。この製品は世界初の実用的な音声 Web ブラウザ製品である。最終的に世界 11ヶ国語に対応し、各国で多くのユーザーを得たが、当時ユーザーから寄せられたコメントの中に「私にとってインターネットは社会に開かれた窓です」というものがあつた。情報にアクセスするということはまさに社会に参加することに他ならないのである。音声ブラウザ技術により、視覚障害者にとっての情報世界のアクセシビリティは大きく向上した。今では、

この技術は、料理中にレシピを参照する、運転中のドライバーが業務メールにアクセスするなど、当初の想像を超えた多くのシーンで活用されている。

このような技術の活用により、私は以前に比べはるかに自立したと感じているが、まだまだ不可能なこともある。印刷された新聞や本を読む、人の顔を認識する、ウィンドウ・ショッピングする——これらを行うためには晴眼者のサポートが必要となる。私たちの身の回りはありとあらゆる情報にあふれていて、その情報量はインターネットの比ではない。しかし、そうした情報に視覚障害者はアクセスできない。街の中で良いレストランを探したり、店の中でセール品のポスターを見つけたり、といったことが難しい。こうした身の回りの世界を「読む」技術が実現できれば、視覚障害者だけでなくすべての人の生活を一変させる可能性がある。

現実世界へのアクセスを可能にする「コグニティブ・アシスタント」

皆さんは「光速エスパー」をご存知だろうか。1960 年代に放送されていた私も大好きな子供番組だが、主人公の肩の上に、近付いてくる敵の情報や明日のお天気など知りたいことを何でも教えてくれる小鳥型のロボット「チカ」が乗っていた。研究者になってからこのロボットのことをよく思い出すようになった。たとえば、道を歩く視覚障害者に信号や障害物の情報を知らせてくれる、会議室の中に誰がいるか伝えてくれる、洋服のコーディネーションを教えてくれる——チカは、現実世界とユーザーをつなぐインターフェースの新しいモデルになり得るのではないだろうか。

一言でいうと、それは「私たちの身の回りの物事を理解してくれるコンピューター」だ。いわゆるビッグデータ革命によって、さまざまな技術が進歩しつつある。たとえば、Wikipedia から知識を学習したコンピューターである Watson はクイズ・チャンピオンに勝利した。



図2 コグニティブ・アシスタント

また、膨大なデータからの機械学習は音声認識や画像認識の飛躍的な精度向上をもたらしている。Apple 社の Siri や Microsoft 社の Cortana をはじめとする音声対話インターフェースがここ数年でついに一般へ普及してきたし、いわゆるディープ・ラーニング技術によりこれまでにない複雑な画像認識も可能になってきた。こういった技術を組み合わせることで、障害者の感覚を補うコンピューターを実現できる。たとえば、目が見えなくてもコンピューターの助けを借りて周囲のモノやヒトの様子を理解できるようになるだろう。また、同様の技術が障害者のみならず、災害時の避難情報提供や現地語を読めない旅行者への商品案内などに活用できるという期待もある。こうした技術を私たちは「コグニティブ・アシスタント」と名付け、研究開発を推し進めている。

2014 年より、私はカーネギーメロン大学 (CMU) に客員教授として赴任し、視覚障害者を最初のターゲットとしてコグニティブ・アシスタントの開発に取り組んでいる。コンピューター・ビジョン、自然言語処理、機械学習、ロボット工学といった様々な分野の研究者の協力を得た活動であり、図2に示す通りいくつもの要素技術を含む横断的プロジェクトである。

まず、基本となるのは屋内・屋外を含む正確な測位だ。これには、BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンとスマートフォンを利用した技術を開発した。CMU キャンパス内のいくつかの建物およびその周辺での運用を開始しており、実環境での測定で、屋内外を含め

平均約 1.5 m の精度となっている。ナビゲーション・アプリは「NavCog¹⁾」という名前で App Store にて公開しており、環境内にセンサを設置して地図を用意すれば CMU 以外の場所でも利用可能だ。必要となる一連のソフトウェアを「Human-Scale Localization Platform (HULOP)²⁾」という名前でオープンソース公開し、広く活用されることを願っている。

他に、コンピューター・ビジョン技術による人物や物体の認識も重要な要素である。同じ部屋の中に誰がいるのか、話し相手がどんな表情を浮かべているのか——視覚障害者の経験する典型的な困難の一つだが、人物の顔や表情を認識するエンジンを使い、晴眼者のサポートなしでそうした情報を知ることができるようになる。あるいは、同一の形状のパッケージに入った異なる味のポテトチップスを区別することができるようになる。単に品物を認識するだけでなく、「昨日より 2 キロ太ったからポテトチップスをやめてリングにしろ」とアドバイスを提供するなど様々な応用も考えられる³⁾。

こうした様々な支援情報をユーザーへ提示する手段として、スマートフォンのように既に広く普及した機器を活用すれば、導入のハードルを下げ、普及を促すことができるだろう。一方、

1) <https://itunes.apple.com/jp/app/navcog/id1042163426>

2) <https://hulop.mybluemix.net/>

3) デモビデオ：

https://www.ted.com/talks/chieko_asakawa_how_new_technology_helps_blind_people_explore_the_world?language=ja#t-335000

たとえばウェアラブル・デバイスのような最新の機器をインターフェースとすることで、また異なる価値を生み出せる。私が次に注目しているのは「ロボット」として自律移動可能な実体を持つコグニティブ・アシスタントだ。もし、盲導犬のように物理的な誘導を提供しながら、人間のガイドのように周囲の状況を説明してくれるロボットがいれば、視覚障害者がもっと街を楽しみ、社会との関わりを深めていけるようになるだろう。

コグニティブ・アシスタントの背後には、ネットワークで人々をつなぐソーシャル・コンピューティングの力も生きている。コンピューターを「学習」させるためには教師データが必要となるからだ。様々な認識技術の進歩には、アルゴリズムやハードウェアの進化だけでなく、人々が生み出してきた大量のデータが大きな役割を果たしている。Twitter の書き込み、レストランのレビュー、写真や動画サイトへの投稿など、人々の活動ひとつひとつがコンピューターの進化の源泉なのである。企業や組織の中に蓄積された情報も、貴重な知見の宝庫として今後ますます活用されていくようになるだろう。

おわりに～ダイバーシティはアドバンテージである

様々な研究プロジェクトの活動を通し実感することは、ダイバーシティの価値である。たとえば、障害のダイバーシティ——目が見えない私は、感覚機能を補う IT の活用について一日の長があり、他のメンバーとは異なる観点から意見やアイデアを提供できる。また、年齢のダイバーシティ——プロジェクト・メンバーの大多数は 30 代の研究スタッフや 20 代の学生であり、私は貴重な年長メンバーのひとり。高齢化に伴う問題を最も深く理解できる。さらには、ジェンダーのダイバーシティ——ワーキング・マザーとして様々な悩みを乗り越えてき

た経験は、男性の多いプロジェクトの中で際立った価値を持つ。

日本 IBM では、2015 年から障害を持つ若者のための新たなインターンシップ・プログラム「Access Blue Program」を実施している。視覚や聴覚に障害を持つ学生の就業環境は依然として厳しく、職種の広がりも十分ではない。企業で就業を体験しながらプログラミングや英語といった社会の中で活躍するためのスキルを身に付けることのできるプログラムの提供によって、少しでも就業のハードルを下げることを目指している。社内 SNS や遠隔会議システムなど、障害のため通勤の難しい人材の在宅就業を支える情報技術の活用方法の習得に取り組む中で、音声認識技術によるリアルタイム字幕といった新たな支援技術の効果も実証されてきた。

日本社会はまだまだダイバーシティを活用できていないと常々感じている。障害者は就労もままならず、女性や高齢者のスキルを十分に活用できていないとも言いがたい。LGBT（同性愛など性的多様性）についてはようやく取り組みが始まったばかりである。ダイバーシティの活用とは、単に障害者や女性、高齢者のための方策ではない。異質な視点をどう取り込んでいけるのか、企業や社会の能力が試されているとも言える。ダイバーシティを活用できていない組織は実は組織全体としてスキルを活用できていないのではないか、ダイバーシティを活用できていない社会は、社会全体としてスキルを活用できていないのではないかと——そんな問いかけを、機会があるごとに投げかけてきた。イノベーションが多様な視点の交差点から産まれることはよく知られている。ダイバーシティを、イノベーションを生み出す推進力として活用する。そんな、ダイバーシティを活かしたイノベーションの輪が日本で大きく広がっていくことを切に願っている。

受 領 者 投 稿

人間と機械のコミュニケーション

熊本高等専門学校 情報通信エレクトロニクス工学科 准教授 石 橋 孝 昭

(2009 年度受領者)

人間と機械のコミュニケーションにおいて、ユーザーに負担が少なく、高速に情報伝達できるインターフェースは音声です。そのため近年では、コンピュータやスマートフォンをはじめとして、多くの音声認識システムが実用化されています。さらに、雑音のある環境で発話したときに音声認識率が低下することを防ぐため、周囲の雑音を含めて学習させる認識方法や、音声認識の前処理である雑音除去の研究が進められています。

このような背景の下で、騒音環境下で発話された音声から目的とする話者音声の抽出に関して研究を進め、熊本高等専門学校（赴任時は熊本電波工業高等専門学校）で助教として研究室を立ち上げたばかりのときに、立石科学技術振興財団からご支援をいただきました。当時は、話者の発話開始や終了、発話人数の変動のある環境での話者音声抽出を目的として、「時々刻々と変動する音環境下での音源分離」のテーマを立ち上げたときでした。研究費はもちろんのこと、研究テーマを認めていただいたことが非常に嬉しく、研究に対して自信を持つことができました。また、将来を期待していただいたという喜びとともに身が引き締まる思いでした。

音源分離に関する研究では成果を挙げることができ、研究成果発表のための国際交流助成でも立石科学技術振興財団からご支援いただきました。自ら立ち上げた研究内容での発表であり、当時は個人で研究を進めていましたので、非常に緊張して発表したことを覚えています。

現在では、研究の応用にも力を注いでおります。具体的には、荷物や資料などを持って両手がふさがっているときに電子機器を操作したい状況を想定して、電

子機器やウェアラブルデバイスに取り付けたマイクロホンを用いて、発話者の音声指令で制御できる機器を開発しています。また、音声信号にこだわらず、電子機器制御のための簡易的な生体信号の計測技術とその信号処理に関する研究を進めており、生体医工学や福祉工学でも積極的に活用していきたいと思っています。さらに、これらの技術を伝えるため、教育工学の観点から、技術者の育成と教材の開発にも取り組んでいます。

ものづくりの技術を応用して福祉や支援の機器を開発するときには、利用者の願いを大切にする必要があります。例えば、座ったままで全てのことができるような支援ではなく、自分で立ち上がりたい、自分で歩きたいという願いをサポートするものを作ることが重要であると考えています。このような視点から、今後も、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と開発を進めていく所存です。最後に、立石科学技術振興財団によるこれまでのご支援に対しまして、あらためて感謝申し上げます。



受領者投稿

3次元リソグラフィ技術とその医療・バイオ・環境応用

群馬大学大学院 理工学府 知能機械創製部門 准教授 鈴木 孝 明

(2010年度受領者)

遺伝子検査は、ウイルス、細菌検査などの感染症を中心に急速に広まり、ヒト遺伝子検査についても白血病を代表とする血液疾患を中心に利用されています。遺伝子検査法においては、従来の核染色法（nucISH：Nuclear In Situ Hybridization）から核酸増幅や増感法への移行と平行して、サンプルの微量化・検査の高感度化のニーズが高まっています。

このような背景から私は、従来の nucISH による遺伝子検査の時間短縮と検査精度の向上、サンプルの少量化を主な目的として、1)伸張染色体の区画化・少量化、2)蛍光プローブ DNA 拡散の効率化、3)解析効率の向上などの技術的課題を解決することによって、従来法より短い検査時間、高い分解能、多数サンプルの同時観察が可能なマイクロデバイスの開発を行っています。

本研究に関連した基礎研究は、2006 年頃に微細加工技術を中心に開始し、3次元リソグラフィ（日米特許取得）により作製するマイクロデバイスの応用先について検討を開始した頃、2010 年に立石科学技術振興財団の研究助成に採択頂きました。研究テーマは「テーラーメイド医療を実現する染色体ファイバ FISH 解析のためのマイクロチップ」であり、遺伝子検査において用いられる染色体特定部位の高速解析を目的として、染色体の伸張制御性、複数サンプル同時操作を行うデバイスを提案しました。研究の結果、作製したデバイスは、臨床診断を初めとする遺伝子検査において、特定項目の高速遺伝子解析に有効であることが分かりました。

その後は、得られた研究成果に基づいて、

2011 年に日本学術振興会の科学研究費補助金・基盤研究(B)に採択頂き、検査のさらなるシステム化、高速化を目的として、細胞の固定から、染色体の抽出、

伸張、懸架、解析までをワンチップ上で実現する方法の検討を行いました。その成果は、2012 年に電気学会第 29 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム最優秀技術論文賞、2014 年に電気学会第 70 回電気学術振興賞論文賞を受賞し、さらにそれらの成果をまとめ、2015 年には文部科学大臣表彰・若手科学者賞を受賞しました。

現在は、特定遺伝子をターゲットとしたデバイスの有効性を個別検証したり、人体の老化に関連したテロメア解析などへの応用を検討したりしています。また、3次元リソグラフィ技術の応用先を環境分野に広げ、2015 年に科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業さがけ「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」領域に採択頂き、身につける薄型発電機である「柔軟な 3 次元微細構造を用いたポリマー振動発電」の研究なども始めており、研究のさらなる展開に取り組んでいます。

本研究の応用検討開始初期にご支援を頂いた、立石科学技術振興財団にあらためて感謝申し上げます。



研究室訪問

東京大学大学院 新領域創成科学研究科

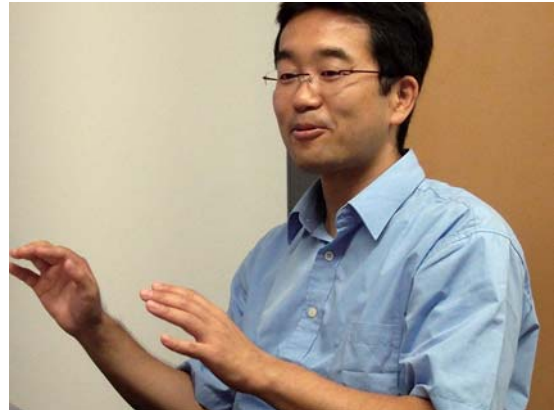
杉山 将 教授 訪問記

(2007 年度受領者)

7月7日木曜日、梅雨の晴れ間でとても暑い午後でした。当財団の阿草清滋選考委員長（南山大学大学院理工学研究科研究科長、京都大学学術情報メディアセンター客員教授）、臼井支朗選考委員（理化学研究所神経情報基盤センター特別顧問、豊橋技術科学大学名誉教授）、勅使川原正樹選考委員（オムロン株式会社）らとともに、東京大学の杉山将（まさし）教授の研究室を訪問しました。都会の喧騒からは隔離されているものの、暑いことには変わりはない本郷キャンパスとそこに聳え立つ安田講堂が我々を迎えてくれました。なお杉山先生は、文部科学省が進める AIP プロジェクトの実施を担う研究開発拠点として理化学研究所に設置される「革新知能統合研究センター」のセンター長にご就任され、その準備で大変ご多忙な中で我々の訪問を受け入れていただきました。

○（事務局）まずは、先生のご所属や研究室をご紹介します。

組織が複雑なのですが、大学院は新領域創成科学研究科の複雑理工学専攻と情報理工学系研究科のコンピュータ科学専攻、学部は理学部情報科学科に所属しています。研究室は「杉山・佐藤研究室」ということで、講師の佐藤一誠先生といっしょに運営しています。またロケーションが柏キャンパスと本郷キャンパスに分かれており、特任助教、研究員、博士・修士の学生、その他支援・補佐のスタッフがいます。東京工業大学から1年半前に異動してきた関係で修士2年生はまだいないのですが、逆に東京工業大学時代の学生もいて、総勢25名程度の人員で研究を進めています。この中の3分の1程度が外国人です。また冬学期になると学部生も配属され、そのうちの何人かは来年修士に上がり、昨今の AI ブームにも乗って、今後ますます増えていきそうです。



○（事務局）先生の技術的な背景をご紹介します。

私は子供のころからプログラミングが好きでプログラマを目指して大学は情報工学科に入学しました。学部の頃、ただ単にプログラムを書いていても面白くないと思っていた時に、計算量理論の研究室でアルゴリズム解析の卒論を書き、それで理論に興味を持ちました。修士でニューラルネットの研究室に配属され能動学習の理論で論文を書き、博士論文で統計の勉強をしてモデル選択、その後共変量シフトなどを経てその流れで今に至っています。修士1年の時からテーマはあまり変わっていないですね。

○（事務局）研究内容はどういったものでしょうか？ また研究へのこだわりは？

研究内容は一言でいえば、“機械学習と統計的データ解析”であり、それにより“データの背後に潜む知識を自動的に学習”することを目標としています。具体的な研究テーマとしては、“学習アルゴリズムの開発”と“学習理論の構築”に分かれます。

“学習アルゴリズムの開発”は、人間がコンピュータの学習を手伝う“教師付き学習”，人間を介さずにコンピュータが学習する“教師なし学習”，エージェントが自発的に意思決定する“強化学習”などに取り組んでいます。また“学習理論の構築”は、これらの技術的背景として重要なもので、確率、統計、最適化などに基づき、機械学習の仕組みを数学的に解明することに取り組んでいます。



さらには、これらのテーマを通じて研究スタイルとしてこだわりたいことが3つあります。一つ目は、テキスト、音声、画像、ロボット、医療、生命など幅広い実データを対象としている中で、特定の応用に依存しない汎用性を常に意識して開発したいと思っています。

二つ目は、理論的な裏付けと実用性を両立したいと考えています。理論のための理論、理論のない応用は研究の対象から排除します。一方で研究者や学生には、確率、統計、最適化などの高度な数理知識を要求するとともに、実用化のために最低限のプログラミングスキルも必須としています。

三つ目は国際性を重視しています。日本はこの領域ではやや遅れているので、海外のレベルやスピードについていくために、研究室のミーティングやセミナーは全て英語で行い、論文も英語で執筆し、そしてトップレベルの国際会議での論文発表を研究者や学生の目標としています。海外からの留学生が多いのもそのためです。前任の東京工業大学では、博士課程の学生が全て留学生だったこともありました。

○（事務局）先生のご研究における代表的な理論的アプローチをご紹介します。

機械学習には様々なタスクがありますが、最も汎用的なアプローチは“生成的アプローチ”とよばれるものです。これは、データを生成する規則である確率分布を推定すれば、あらゆる機械学習タスクが解決できるというもので、各クラスの確率分布からパターン認識することです。ところが、確率分布の推定は容易でなく、必ずしも高い学習精度が得られるとは限りません。

これに対して、確率分布の推定を行わずに各タスクを直接解く“識別的アプローチ”とよばれる方法もあります。例えば、1960年代にアイデアが提案され、1990年代後半にアルゴリズムが確立された手法である“サポートベクトルマシン”では、各クラスのデータ生成分布を推定せずに、パターン認識に必要な決定境界のみを学習します。このように各タスクに特化したアルゴリズムを開発した方が良い性能が出るのですが、様々なタスクに対して個別に研究開発を行うことになり、アルゴリズム考案、理論的性能評価、高速かつメモリ効率の良い実装、エンジニアの技術習得などの面で多大な労力を要します。

そこで我々はこれらの中間的なアプローチとして、全てではなくあるクラスのタスク群に対して、抽象的な量の推定によってデータ解析を行うことに着目しました。抽象的な量としては、確率密度比、確率密度差、距離、情報量、確率密度微分などが考えられます。そして、複数の確率分布を含む多くのタスクを解くためには、それぞれの確率分布を知る必要はなく、抽象的な量の中でも確率密度関数の比、つまり確率密度比が分かれば十分であるという知見に至りました。

バブニックが1998年に「ある問題を解くとき、それより一般的な問題を途中段階で解くべきではない」という原理を提唱しました。定理ではないので反例は存在するのですが、これを我々の知見にあてはめると、「確率密度比を推定している時に、個々の確率密度を求めるべきではない」ということになります。

実際に、この確率密度比を推定する方法は、密度比の二乗誤差を最小にする密度比モデルを学習する“最小二乗密度比適合”という問題に落とし込むことができ、多次元の場合では多様体次元割

減効果が得られ、MATLAB ではわずか3行のプログラムで書けるものでした。その結果、タスクに特化した“識別的アプローチ”よりもはるかに汎用性が高く、必要な個々の確率分布を求める“生成的アプローチ”よりもはるかに精度の高い方法として多くのタスクに適用できました。しかも、パラメトリックモデルにおいてもノンパラメトリックモデルにおいても、データが多くなると最適な収束率を達成していることが証明できました。



○（選考委員）確かにこの理論は非常にすっきりしているとともに、最適性を担保していて素晴らしいですね。

具体的な応用例にはどんなものがあるのでしょうか。

はい、この確率密度比推定法という理論を抽象化していくつかの機械学習アルゴリズムに展開することにより、様々な事例に応用できます。《以降、詳細な解析手法とともに応用例をご説明いただきましたが、ここでは詳細を割愛して、アルゴリズムと応用例の列挙に留めます。》

学習アルゴリズム	汎用的手法	具体的な応用例
重点サンプリング	共変量シフト、ドメイン適応、多タスク学習	顔画像からの年齢予測、話者認識、テキスト分割、ブレインマシンインタフェース
確率分布間距離推定	二標本検定問題、外れ値検出、変化点検知	製鉄プロセスの異常診断、光学部品の品質検査、ローン顧客の審査、画像中の注目領域抽出、動画からのイベント検出、ツイッターデータ解析
相互情報量推定	独立性検定、変数選択、独立成分分析、次元削減、因果推定、クラスタリング、オブジェクト適合	遺伝子解析、画像認識、音響認識、モーションキャプチャデータの適合、半導体の内部検査、医療画像の位置合わせ、写真の自動レイアウト
条件付き確率推定	可視化、状態遷移推定、確率的パターン認識	ヒューマノイドロボットの制御、加速度データからの行動認識



このように密度比は最小二乗法で精度よく、効率よく推定できるので、多くの学習アルゴリズムが実は“最小二乗密度比適合”で解けることを実証し、上述のようにブレインマシンインタフェース、ロボット制御、音声認識、画像認識、自然言語処理、バイオインフォマティクス、データマイニングなどに応用してきました。一つの理論から多くの論文や特許が生まれ、多くの企業と応用研究を積み重ねてきました。

○（事務局）先生は2007年度に当財団の研究助成を受けられていますが、それはどのような研究だったのでしょうか？

当時は、今述べてきた研究と並行して、次元削減の研究をやっていました。「次元の呪い」という言葉がありますが、高次元空間では通常の幾何学的な直感が成り立たないので非常に扱いにくいことから、データの特徴を保持しつつ次元を減らしたいというのが動機です。その頃に貴財団から「複雑な構造を持つ高次元データに対する機械学習」という課題で助成していただきました。

教師なし次元削減としては、元のデータを保存する古典的な“主成分分析（PCA）”と、元のクラス構造を保存する“局所保存射影（LPP）”が、教師付き次元削減としては、元のクラス間の分離性を保存する“フィッシャー判別分析（FDA）”がよく知られています。この助成課題では、FDAにLPPを組み合わせて、類似したデータを自動的にグルーピングする“局所フィッシャー判別

分析 (LFDA)”を開発し、その有効性を甲状腺疾患データの可視化によって示しました。この課題を達成した後、LFDA と PCA を組み合わせることにより“半教師付き局所フィッシャー判別分析 (SELF)”を開発しました。

LFDA の成果で、2010 年人工知能学会 DMSM 研究会の研究会優秀賞をいただきました。また LFDA の国際会議論文とジャーナル論文は、合わせて 800 回以上引用されており、インパクトの高いものでした。

余談になりますがこの LFDA の論文はどちらかというと小ネタなのですが、理論に関する 50 ページの大作かつ自信作よりも、引用数が多いのです。そんなものなのですね。



○ (選考委員) 基礎理論の論文は数式も多くて、どうしても大作になり難解になりますね。応用している側にとっては、簡単な方がとっつきやすいということでしょうね。ところで、それらの成果がどのように今の研究につながったのでしょうか？

この時に確立した次元削減の手法は、それと並行して進めていた確率密度比の推定においても生きました。各確率密度から生成されたデータを LFDA で分けるように次元削減すると、実は密度比推定の意味でも有用な次元削減になっていることを示したのです。このアルゴリズムで 2011 年に日本神経回路学会の論文賞をいただきました。

○ (選考委員) とところで、AI (人工知能) ブームは、コンピュータや通信技術の進歩とともに過去に 20 年から 30 年の周期で到来しています。最初は 1960 年代、2 回目が 1980 年代でエキスパートシステムという言葉がその代表でした。今回はディープラーニング (深層学習) に牽引されて 3 回目のブームとなっています。今の AI ブームについてどのように見ておられますか？

ディープラーニングは、若い研究者と企業が中心になってアグレッシブにやって、役立つ事例がたくさん出ています。したがって否定するものではありませんが、高次元のデータをそのまま力づくで解析していて、それ以外の問題に対してはまた別のアプローチが必要といったように、汎用性や理論的背景が希薄なように感じます。あんな複雑なモデルでやらなくてももっと簡単なモデルでできる、実はこっちの方が近道だったというようなことを示せばいいと思います。

また、AI という言葉の定義や範囲があいまいで、セキュリティ、IoT、ロボット、脳情報など諸々を AI に含めよう、もしくは AI ブームにあやかろうという傾向があるように見えます。

○ (選考委員) 理化学研究所の「革新知能統合研究センター」センター長として日本の AI をどのように牽引して行こうとお考えでしょうか？

日本はこの領域に弱いと言われています。世界に通用する人材も少ないです。だからこそ、限られた予算と人材で、選択と集中により、基礎理論を強化して汎用的な手法を確立すべきと考えています。

特に「革新知能統合研究センター」は、もちろん内外との調整は必要ですが、基礎理論の追求と構築、そして汎用的な手法の開発に注力しつつ、他の省庁、研究機関、企業と連携して、応用面で成果が出るような目標設定とそれに向かった運営ができればと思っています。また人材面では、海外から研究者をリクルートする必要もあり、実際に何人かとは交渉中ですが、給与格差の問題もあるので、日本人の若手研究者を育成しながら進め



左から、田中理事、勅使川原選考委員、杉山先生、白井選考委員、阿草選考委員長、菅原常務理事

ていくことになると思います。

- （選考委員）是非とも基礎理論に軸足を置いて、応用でより多くの成果が出ることを期待します。
- （事務局）最後に当財団へのご要望がありましたらお願いします。

私の場合もそうだったのですが、若手研究者の基礎理論研究を支援していただきたいと思います。どうしても、見た目の華やかな応用研究を行なっている方に研究費が集中しがちで、基礎理論研究者の予算獲得機会は限定的です。ぜひ若手の基礎理論研究者も手厚く助成して頂ければと思います。私自身も若いころにサポートしていただき、非常に助かりました。

杉山先生の確固たる研究スタンス（信念と言ってもいいでしょう）に触れ、軸足を基礎理論に置きながら長期的展望に立って、応用領域で成果を次々とあげていらっしゃることをお聞きして、訪問者一同大変感銘を受けました。また今や時の人となっていらっしゃることに納得しました。そして当財団の9年前の助成が、少なからず現在の先生の研究につながっていることも大変うれしく思いました。

記事中の賞以外にも、最近では2011年長尾真記念特別賞（情報処理学会）、2012年船井学術賞（財団法人船井情報科学振興財団）、2014年文部科学大臣表彰若手科学者賞と次々と受賞されており、いかに先生の研究が高く評価されているかが分かります。

また先生からいただいた当財団へのご要望については、研究助成の募集案内で「若手研究者による萌芽的な基礎研究活動も歓迎します」と言っていますので、今後も当財団としてその部分にはこだわっていききたいと思います。大変お忙しい中、ありがとうございました。

（リポーター：理事 田中敏文）

研究室訪問

京都大学 医学部附属病院 医療情報企画部

黒田知宏 教授 訪問記
(2012 年度受領者)

7月11日月曜日、当財団の萩田紀博選考委員（株式会社国際電気通信基礎技術研究所取締役、知能ロボティクス研究所長）らとともに、京都大学の黒田知宏教授の研究室を訪問しました。ちょうど祇園祭の鉦が立ち始めた折でした。京都では前祭（さきまつり）の山鉦巡行（17日）の頃が梅雨明けと言われており（今年も実際にそうになりました）、からっとした夏空とまではいかなかなり蒸し暑い午後でした。京都駅から北東へ、下京、中京とお祭りの中心部を抜けて、丸太町橋から鴨川を渡ると、京都のもう一つの夏の風物詩である五山送り火の主峰、東山如意ヶ嶽が「大」文字とともにその姿を現し、その手前に広がる京都大学のキャンパスと病院が、我々を迎えてくれました。なお黒田先生には、学内外、国内外の業務・活動に大変ご多忙な中、特に前日まで海外出張というタイトなスケジュールにもかかわらず、我々の訪問と取材を受け入れていただきました。

○（事務局）まずは、先生のご所属や研究室をご紹介して下さい。

大変複雑なのですが、私は大きく三つの組織に所属しています。主所属は医学部附属病院の医療情報企画部です。併せて大学院医学研究科の医学・医科学専攻と大学院情報学研究科の社会情報学専攻に講座を持ち、どちらの学生も指導しています。

病院内でも三つの役割を担っています。一つ目は医療情報企画部長として、病院内の情報ネットワークや情報システムの企画・導入・運営を任されています。二つ目は病歴管理室長として、紙や電子のカルテの管理を任されています。そして三つ目は病院運営企画室長および病院長補佐、つまり病院執行部の一員として、経営分析をして経営戦略等を立案する役割を負っています。さらには関わりの深い情報・病歴・経営担当の事務スタッフを取りまとめています。

このフロアには情報部門の事務スタッフと教員・学生がいます。教員（教授、准教授、講師、助教）は、医学、工学、情報学、文学などをバックグラウンドとする多様な人材が、関係省庁、関連学部・研究科から集まり、四つの研究室（講座とセンター）を構成しています。教室の教員数は、2014年度以降7名、9名、11名とどんどん増えています。また学生も、情報学研究科と医学研究科の研究生、博士、修士を合わせて、2014年以降6名、9名、11名と増えています。さらに、他研究室や他大学の学生が、共同研究や研究指導委託により毎年10名前後出入りしています。

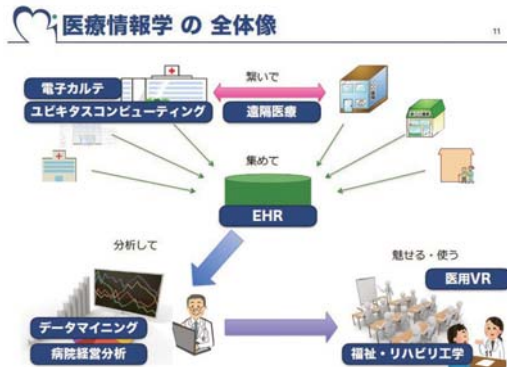
○（事務局）先生の技術的背景と、医学部のお仕事を始められた経緯をご紹介して下さい。



学部では京都大学工学部情報工学科で並列計算機アルゴリズムに、修士・博士では奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科でVR（バーチャルリアリティ）に取り組みました。元々手話をやっていたこともあり手話をモーションキャプチャーでとらえて、相手方のコンピュータにリアルタイムでCG（コンピュータグラフィックス）人形を表示することで、手話通信のできる電話機を実現して博士論文を書きました。

また ME（メディカルエンジニアリング）を専門にされていた恩師（当時の教授）が進めておられた、遠隔超音波診断や遠隔ロボット手術研究のお手伝いをしました。その時の遠隔ロボット手術の研究拠点の一つが京大病院でした。

2001 年に留学していたフィンランドにいきなり恩師から送られてきた「急な話」というタイトルのメールで、恩師の先輩が教授をされている京大病院でネットワークの面倒を見てくれないか、その先生が退官されて後任教授が来るまでのワンポイントリリーフをしてくれないかと言われて、京大病院に赴任しました。ですが、後任教授が着任されるより前の 2003 年にスタートした電子カルテ導入プロジェクトを私が担当することになり、結局後任教授にもそのまま仕えて、今に至っています。



○（事務局）現在の研究内容はどういったものでしょうか？

医療情報学全般が研究対象です（左スライド）。まずは、電子カルテを中心とした病院内の業務の情報化です。ユビキタスコンピューティング技術を適用することでスタッフの業務効率化などを図っています。また、医療機関の間にマルチメディア技術通信を導入して行う遠隔医療システムの開発。これは滋賀県長浜市等と共同で進めています。さらには、多くの医療機関からカルテのデータを集めて EHR（Electronic Health Record）、即ち一生涯の電子カルテを構築する研究。これは、内閣官房に設置されている次世代医療 ICT 基盤協議会の国家プロジェクトとして実行しています。電子カルテや EHR に収集したデータを解析する「データマイニング」の研究などは今の流行りです。適応範囲は疫学など医学分野だけでなく、病院経営分析などの分野にも及びます。他にも医用 VR や福祉・リハビリ工学などにも手を広げています。良くこれだけのことを少ないメンバーでやっているなという感じです（笑）。

○（事務局）2012 年に助成した時の研究はどんなもので、どのように発展したのでしょうか？

2011 年版の電子カルテでは看護師さんの三点認証等を実現するセンサーネットワークを導入していました。病棟内での患者さんの位置計測や位置情報とセンサ情報の結びつけなど、さらに突っ込んだことをしたいと思い、「人と機械の共創で高い安全性を実現するバイタルデータ自動入力システム」というタイトルで申請しました。助成いただいた研究費で、デバイスと患者さんの位置情報を紐付けして、データを電子カルテに半自動で入力するシステムを開発しました。

その後さらに研究をすすめて、各ベッドの近くに設置した電波灯台のそばにいる看護師さんや患者さんを自動的に検出し、医療機器から得られたバイタルデータと結びつけて、いつどこで誰が誰のバイタルを計測しているかが自動的に記録されるシステム VDT（Vital Data Terminal）（右写真）を構築し、今年 5 月に現場に導入しました。最初の 1ヶ月は安定して動かなくて、逆に不便になったとえらく怒られました（笑）。今はシステムが安定して、端末をナースステーションにも備えてほしいという要望まで出ています。



○（選考委員）医療情報の研究の背景や意義について先生はどのようにお考えでしょうか？

歴史を紐解くと、紀元前 180 年頃のエジプトでは処方箋や手術器具の使用方法などの医療情報が石板に人手で書かれていました。今は電子カルテになって、医療情報はパソコン(PC)に人手で記録されています。メディアは変わりましたが、人が手で記録しているということについては何も変わっていないのです。

京大病院の電子カルテシステムは、無線 LAN で繋がった何千台という PC など構成されています。謂わば病院全体が巨大な一個のパソコンのようになっているわけです。これに計測装置のデータを入力したいのなら、丁度いろいろなデバイスをパソコンの USB ポートに挿すように、いろいろな計測装置を直接電子カルテに繋いでしまえばいいわけです。

今のカルテには、計測情報も医師が考えたこともごちゃまぜに人間の手で書かれています。医療機器から直接データが記録されれば、改めて医師が手で記載する必要はありません。丁度飛行機のブラックボックスのように、事実 (Fact) つまりセンシングデータと、認識 (Recognition) つまりパイロットや医師の意識を分離して記録すれば良い。そうでないとデータを分析しても意味がないし、人工知能も何もあったものではないと思っています。

病院というところは、ICT の導入が世の中より約 20 年遅れています。病院では 100% の安全性が担保されないと使えないからです。私たちも先端技術の導入を試していますが、その技術が現場に導入できるレベルまで枯れるのに 5 年は寝かせています (笑)。一方で、現場の医師や看護師の意識は高く、情報技術を早く導入して業務を効率化し、余った時間で患者さんのケアをもっとすべきであると思っています。枯れた技術をうまく使って「さりげない情報支援」を早く実現しなければと考えています。

○ (事務局) その他に実用化してきた、実用化されつつある取り組みをご紹介します。

従来の患者呼出機と位置計測を結びつけて、診察室の前に患者さんが居るかどうかを医師に示すことで、医師が近くにいる患者さんだけを呼び込めるシステムを 2011 年に導入し、患者さんと医師の待ち時間の短縮を達成しました。

今研究費を取りに行っているのは、先ほどご説明した VDT を発展させて、医療機器のカルテをつくるという研究です。医療機器の使用状況とメンテナンス状況を記録しておいて、看護師がある機器を使おうとしたときに、「その機器はまだメンテナンスされていないので使用不可」などのアラームを看護師に提供するものです。さらに発展して医療機器の設定情報を取得できるようになると、カルテの情報と比較して点滴の流量などの設定情報が正しいのかも確認できるようになるはずです。さらには、この患者さんは明日右手を手術するので、右手から投与してはいけないなどのアラームを、針を刺す直前に発することもできます。このように当意即妙にアラームを出せると、情報世界と現実世界の界面が近付いて使い勝手も良くなり、医療現場の安全性も向上します。

○ (事務局) ここで、学生の研究内容のプレゼンテーションおよび実際のデータや現場でのデモを準備していただいているので、お願いします。

《修士課程 2 年の江指未紗さん (右写真内左) から「医療機器と病院情報システムを接続する試み」について発表していただきました。輸液ポンプ・シリンジポンプの作動情報と病院情報システム内のデータの統合、利用を提案されています。》

《同じく修士課程 2 年の福士雄太さん (右写真内中央) から「外来病棟における位置情報とオーダー情報を用いた患者の待ち時間の分析」について発表していただきました。患者のライフログから病院都合による待ち時間を試算されています。》



《この後、講師の岡本和也さんに電子カルテをパソコンの画面で見せていただきました。》

《さらに、看護師長からバイタルデータ自動入力システムのデモをいただき (左写真)、「パソコンに向かう時間が短縮されて、患者さんに注意が向けられるようになったことは良い事です。医師のタイムリーな判断につながるだけでなく、看護師にとってもやりたいことが一杯あるので、時間ができることは嬉しい。》

との貴重で嬉しい現場の声を頂戴しました。》

《その後も、受付にて外来患者さんの再来受付機と呼出端末（右写真）、患者さんの位置を特定する電波灯台、自動精算機、紙カルテの管理の様子などを見学させていただきました。》



- （選考委員）最後まで自分でやるというのは大変だったと思います。ここまで現場に入り込む大学の先生珍しいですね。

医療情報企画部は病院に対するサービス部門です。私たちの顧客は医師と看護師です。彼らが、患者さんに対して、十分なサービスを気持ちよく提供できるようにサポートするのが使命です。実際、現場つまり医師や看護師に評価されていない病院の医療情報部隊は淘汰されつつあります。電子カルテができたから医療情報部隊は不要だろうという認識もあり、院内からあてにされていなければ存在できなくなっていると思います。

私がこう考えるのは、恩師から「使ってもらえないものを作っても意味がない、使ってもらってなんぼ」、「論文書くよりも売れたかどうかで決まる」と指導を受けていたからかも知れません。私たちがやっているのは応用研究ですから、正に使って頂かないと意味が無いんですよ。

- （選考委員）学生にはすごく勉強になると思います。

学生にとっては、現場や顧客と一緒に仕事することが良い経験になっていると思います。彼ら彼女らは医療機器やシステムを開発する会社に就職して行くことが多いですね。

- （選考委員）ここまでやっている事例はあまりないと思います。病院内の組織のうち、情報システム関連部門を全てとりまとめて、責任権限を付与されているのも大きいですね。

そうですね、被験者を対象に実験を行っている医療情報研究者はおられますが、ここのように実業務で使っている例は殆どないと思います。今流行りのIoT（Internet of Things）が実運用されている貴重な事例ですから、国内だけでなく海外からも紹介してくれとよく呼ばれます。

現場に味方して頂いているのは大きいですね。本院の医師・看護師は、ここは大学病院であるという使命感が強く、世界初のことへのチャレンジには大変協力的です。5月のシステム導入でも、最初の1ヶ月はうまく動かずにずいぶん迷惑をかけましたが、その先にどんな未来があるかを看護師さん達と共有できているので、我慢して使ってもらえました。

- （選考委員）長期展望に立ってシステム設計して、実行されていることは凄い事です。システムを将来どうして行きたいですか？

実際には場当たり対応の連続ですが、その中から次はこうしたい、こうしようというのを蓄積して、五年おきにやってくるシステム更新や入れ替えに反映しています。

産業革命とはエネルギー革命であると一般的に考えられがちですが、情報革命でもあります。あるものが大量生産できるかどうかは、その作り方を機械に分かるように記述できるかどうかで決まります。今我々がやっている事実と認識の分離は、医療そのものを記述する仕事の一部です。記述が進めば、CAD（Computer-Aided Diagnosis）やCDSS（Clinical Decision Support System）が実現され、やがて医療の世界に情報革命が起こるだろうと思っています。

実際、今年の診療報酬改訂で、家庭で測ったデータを病院で遠隔モニタリングすることで管理料をとることが認められる事例が現れました。情報化が進展すると、医師や看護師の役割も仕事の仕方、法的制度すらも変わります。情報化された未来の姿を描いて、そこに人も社会も連れて行く方法を考えて実践する。情報科学は社会科学そのものなのです。

- （選考委員）まさに当財団の趣意である「人間と機械の調和」を推進されていますね。そしてそれは人材育成でもあるのですね。

電子カルテ導入に反対していた医師が、導入して二年も経つと、「こんなことはコンピュータにさせるべきだ」と言い出します。多分電子カルテの使い方のイメージがつくからですね。それを実現すると次は事故が起こります。そこではじめて、機械を入れるとこんな事故がおこるんだと気づ



左から、菅原常務理事、丸山様（オムロン）、
黒田先生、萩田選考委員、田中理事

く、ではどうやって人間と機械の調和を取ろうかと考えるようになります。

電子カルテを導入した2005年から11年間、京大病院の職員はずっと学習してきました。情報化の過程は、正に人材育成であり社会改革でもあります。経験の積み上げで人も仕事もジワジワ変わっていくので、いずれは社会も法律も変わらざるを得なくなると思います。

○（事務局）最後に当財団へのご要望がありましたらお願いいたします。

一番しんどい時期に助成していただいたので、本当に助かりました。当時はまさに「死の谷」にかかった瞬間でした。「死の谷」というのは、実用化の直前に落ち込む谷間です。基礎研究がはじまった派手な時は研究費が付いて、論文も出ます。実用化に入る前というのは、論文が出切って目立った成果が出なくなる一方、現実的な細かい技術的な調整を繰り返さねばならない一番大切で苦しい時です。日本では、死の谷に橋を架けるような資金が少ないので、なかなか研究が実用化に結びつかないのだと思います。是非こういう研究への積極的助成を続けてください。

もう一つのありがたい助成は、若手の時にいただくものです。少額であっても「認められた」と感じて、めちゃめちゃ嬉しいものです。こういう助成も継続していただきたくお願いします。

博士課程の学生や研究員には、貴財団の研究助成を取りに行くように勧めています。私自身も、ここ一番の時には、また貴財団の大型助成を取りに行きたいと思っています。

黒田先生のお話を伺って、企業のシステム部門の部長と同じことを言ってらっしゃると感じました。現場や顧客を第一に考え、現場を巻き込み、味方につけ、目的・目標を共有されています。ご自身で「しつこい性格」とおっしゃっていましたが、かなり泥臭いところまでやっていらっしゃいます。また修士2年生の江指さんも福士さんも、学生とは思えないぐらいしっかりされているのは、やはり先生の考え方や目的・目標を共有されているからだと思います。

大学の研究者、教授として、病院の経営者（CIO：Chief Information Officer）として、そしてシステム開発・構築の陣頭指揮者（プロジェクトマネージャ）として、一人三役も四役もこなしておられ、しかも国家プロジェクトへの参画や国内外でのご講演で東奔西走と、大変お忙しい中、ありがとうございました。

（リポーター：理事 田中敏文）

研究室訪問あとがき

研究室訪問は例年1つの研究室を対象に行っていました。2014年に初めて2つの研究室を訪問したのに続き、今年も2つの研究室を訪問させていただきました。

今回訪問させていただいたお二人は、それぞれ41歳、45歳とお若くて、国家レベルでもまた国際的にもご活躍されていて、まさに新進気鋭の研究者です。本当にお忙しい中、お時間を調整していただき感謝しています。

いずれの取り組みも、技術的なハードルが高いことには変わりないのですが、片や基礎理論の研究と汎用的な手法の開発、片や種々の技術の統合による大規模かつ世界初のシステム開発・構築と、技術的な困難さの種類もしくは軸が異なる分野での課題解決です。

しかしながら、実用化や応用に向けて情熱というか覚悟をもって社会の役に立とうとされていることがお二人に共通していて、お話しからも迫力がひしひしと伝わってきました。杉山先生には9年前に、黒田先生には4年前に、今の取り組みのベースとなる部分で助成させていただき、当財団としても大変誇らしく思いました。

もう一つ共通していることは、学部の研究室配属の時にじゃんけんで負けて、志望する研究室に入れなかったことです。人気の研究室への配属と、将来の研究者としての活躍とは、必ずしも関連しないことを、お二人は奇しくも示されています。これも若い研究者の励みになるのではないのでしょうか。

お二人のさらなるご活躍をお祈りします。また今後も、先生方のように世界を牽引する研究者や技術者を世に送り出すことに対して、当財団が少しでも貢献できるようにがんばっていきたくと決意を新たにしました。

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

[研究助成(A)(B)]

- ◆ 駆動力を人体の自然な動作から抽出する柔軟メカニズムによる手指動作支援装置 (2031002) …… 34
Compliant mechanism based hand exoskeleton device that can be actuated by user's natural motion
荒 田 純 平 九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 准教授
- ◆ 言語情報と音響情報の統合的利用による感情音声コーパスの大規模化 (2041003) …… 38
Automatic emotional labeling using linguistic and acoustic information
towards large-scale emotional dialog speech corpus
有 本 泰 子 国立研究開発法人 理化学研究所 客員研究員
- ◆ 筋音図を用いた咀嚼筋の非侵襲的機能評価法の確立 (2041005) …… 43
Establishment of noninvasive evaluation method for masticatory
muscle function using mechanomyography
伊 東 保 志 愛知県心身障害者コロニー 発達障害研究所 主任研究員
- ◆ 迅速なマルチモーダルカテゴリ推定のための能動的行動選択法 (2041018) …… 47
Active Perception for Quick Multimodal Category Recognition
谷 口 忠 大 立命館大学 情報理工学部 准教授
- ◆ 運動学習に基づく脳機能再建を目指した手指リハビリデバイスの開発 (2041021) …… 51
Design of Finger Rehabilitation Device based on Motor Learning
永 瀬 純 也 龍谷大学 理工学部機械システム工学科 講師
- ◆ 超解像技術に基づく冠動脈 MRA (磁気共鳴血管画像) の高解像度化 (2041023) …… 55
Increase of Image Resolution in Whole Heart Coronary Magnetic Resonance
Angiography Using Super Resolution Technique
中 山 良 平 立命館大学 理工学部 准教授
- ◆ 糖尿病患者の「汗」計測による常時容態管理システムの開発 (2041029) …… 59
Development of diabetes condition managing system by sensing
sweat ketone using a novel enzyme electrode
横 山 直 幸 沼津工業高等専門学校 制御情報工学科 講師
- ◆ 力学解析による義足の調整方法および、セルフリハビリテーション方法の基盤開発 (2041901) …… 63
A biomechanical research of the alignment adjustment on the above-knee prosthetic leg
and the development of the self-rehabilitation methodology
仰 木 裕 嗣 慶應義塾大学 政策・メディア研究科 教授
- ◆ 人間と機械の協調制御による遠隔操作ロボットの研究 (2041902) …… 67
Research of a Remote-Operated Robot Based on Human-Machine Cooperative Control
並 木 明 夫 千葉大学大学院 工学研究科 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 (2151001) …… 71
Development and evaluation of self-posture adjustment system with haptic sensation
上 岡 玲 子 九州大学 芸術工学研究院 准教授

◆ 「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 (2151002)	76
New skill assessment and training system for laparoscopic surgery	
植 村 宗 則 国立研究開発法人 日本医療研究開発機構 主幹	
◆ 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 (2151003)	79
Development of high sensitive semiconductor detectors enabling flame detection like human beings	
大 島 孝 仁 佐賀大学大学院 工学系研究科 特任助教	
◆ 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 (2151004)	82
Study on a “Eye contact” system for realization of human symbiotic type mobile robot	
小木津 武 樹 群馬大学大学院 理工学府 助教	
◆ 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 (2151006)	86
BMI rehabilitation for stroke patients with Unilateral Spatial Neglect	
小 野 弓 絵 明治大学 理工学部 専任准教授	
◆ 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 (2151007)	90
Fabrication of graphene field effect transistors on flexible substrates by laser annealing	
金 井 康 大阪大学 産業科学研究所 助教	
◆ 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～ (2151008)	94
Human-Adaptive Operated Machines with Automatic I/O Gain Tuning	
亀 崎 允 啓 早稲田大学 理工学術院総合研究所 講師	
◆ シリコンフォトニ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 (2151009)	98
Investigation of Silicon Photonic Wavelength Tunable Laser Diode for Medical Imaging Application	
北 智 洋 東北大学 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 (2151010)	102
Measurement of eye movements for difference between visual distances of real visual target and augmented reality image and processing of images	
工 藤 博 章 名古屋大学大学院 情報科学研究科 准教授	
◆ 健康長寿促進のためのアバター育成環境の構築 (2151013)	106
Life Style Reflection Support based on Avator Caring Environment	
小 尻 智 子 関西大学 システム理工学部 准教授	
◆ 医療診断用分光映像の高時間分解能化の研究 (2151016)	110
Temporal Super Resolution for Medical Hyper-spectral Video	
島 野 美保子 国立情報学研究所 特任助教	
◆ 発達障害児童向けのセラピーデバイスの研究開発 (2151017)	114
Research and Development Novel Digital Therapy Device for Developmental Disorders Children	
菅 谷 みどり 芝浦工業大学 准教授	

- ◆ 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基盤の構築 (2151018) 119
A Cloud Robotics Platform for Human-Robot Real-World Interactions
杉 浦 孔 明 国立研究開発法人 情報通信研究機構 主任研究員
- ◆ 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 (2151019) 122
Spatial Augmentation of Human Perception System and Logical Body Sensation
高 汐 一 紀 慶應義塾大学 環境情報学部 准教授
- ◆ 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 —— (2151021) 126
Emerging a field of neural control engineering
—— Developing a foundation of applying electric control technology of
adaptive loop type to nervous systems ——
舘 野 高 北海道大学 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 (2151022) 131
Low Cost, Space-saving and High Performance Brain-Machine Interface
田 中 一 男 電気通信大学 教授
- ◆ 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 (2151024) 135
Development of electrochemical measurement systems for degranulation monitoring on
immunological mechanism
田 畑 美 幸 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所
日本学術振興会特別研究員 (PD)
- ◆ 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 (2151025) 139
Development of Nested Chamber Pneumatic Artificial Muscle for Cable Transmission
野 田 智 之 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 主任研究員
- ◆ 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 (2151026) 143
Development of Transporter with Remote-control for Realizing Platform Leveling on Uneven Terrain
野 田 善 之 山梨大学大学院 総合研究部 准教授
- ◆ 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 (2151028) 147
A method of elucidation of phenomena using tactile information of
controlling expansion/compression in time direction
橋 本 悠 希 筑波大学 システム情報系 助教
- ◆ 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 (2151031) 151
Impairment of internal representation of tool dynamics by task-specific focal dystonia
古 屋 晋 一 上智大学 理工学部 准教授
- ◆ 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 (2151035) 155
Development of Brain-Machine Interface without dependence on EEG sensor position errors
森 重 健 一 富山県立大学 講師

◆ 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 (2151037)	158
Development of All Round Two-Wheeled Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with Automatic Battery Exchanging Device for Long-hour Remote Watching System	
山 田 学 名古屋工業大学大学院 教授	
[研究助成(C)]	
◆ 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 (2157001)	162
Development of screening system for knee osteoarthritis using an in-shoe device	
安 在 絵 美 お茶の水女子大学大学院 博士後期課程	
◆ 「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 —— (2157003)	167
Constructing Foundation for Quantitative Measurement of a Sense of “Being in Sync” : an Approach Using Nonlinear Time-series Analyses	
岡 野 真 裕 東京大学大学院 総合文化研究科 博士後期課程	
◆ 体内遺残事故防止のための手術用ガーゼカウントシステムの開発 (2157004)	172
Development of surgical sponge counts system to prevent retained foreign objects	
楠 田 佳 緒 お茶の水女子大学大学院 博士後期課程	
◆ 人と機械の調和を促進する協調構造学習理論の研究 (2157007)	176
A study of the collaborative structure learning theory for promoting harmony of man and machine	
恒 川 裕 章 横浜国立大学大学院 工学府 博士課程後期	
◆ 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 (2157009)	180
Study on Sheet Manipulation by Soft Fingertip using Fluid	
藤 平 祥 孝 室蘭工業大学 助教	
◆ センサ欠損に頑健な多チャネル生体信号処理に基づくロボット制御 (2157010)	185
Development of multi-channel biosignal based robot control under sensor failure situations	
古 川 淳一郎 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所 ブレインロボットインタフェース研究室 専任研究員	
◆ 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 (2157013)	189
Development of quantitative diagnostic method for liver fibrosis using ultrasound B-mode image	
森 翔 平 東京工業大学大学院 理工学研究科 博士後期課程	
◆ 産業応用に向けた二次元画像照合によるパターン認識 (2157014)	193
Pattern Recognition by 2D Image Matching for Industrial Applications	
矢 田 晃嗣郎 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程	
◆ 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 (2157015)	198
Natural User Interface for Unmanned Aerial Vehicle Control	
リュージュンファイ 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	

駆動力を人体の自然な動作から抽出する柔軟メカニズムによる 手指動作支援装置

Compliant mechanism based hand exoskeleton device
that can be actuated by user's natural motion

2031002



研究代表者

九州大学大学院 工学研究院
機械工学部門

准教授

荒 田 純 平

[研究の目的]

近年、高齢者の増加、また糖尿病、高脂血症などの生活習慣病の増加により、脳卒中患者が増加傾向にある。国内の総患者数は2005年の段階で137万人に及ぶとされる。脳卒中患者の多くは、手足に麻痺による機能障害を発症することが知られている。手指の機能低下に伴う弊害としては、食事・排泄・入浴・更衣・整容などのADL (Activities of Daily Living) に関する支障がある。このように、手指運動に関するADLは、患者のQOL (Quality Of Life) に大きく関与すると考えられる。よって、これまでに本課題実施者らは、手指運動に関するADLを支援するため、3層の連結スライドばね機構を考案し、一つのアクチュエータで拇指を除く、4本の手指それぞれの3関節を同時に屈曲・伸展させることが可能な、小型・軽量のハンドエグゾスケルトン装置プロトタイプを開発した。本課題では、過去に開発した装置をより発展させ、駆動源を有さないことでより軽量とし、かつ時間、場所に捉われずに使用可能なハンドエグゾスケルトン装置を開発した。

[本課題で活用する過去成果]

申請者らがこれまでに開発した3層の連結ス

ライドばね機構について、図1に示す。本機構は、駆動部を押し引きする直動運動のみで指の3関節(DIP, PIP, MP)それぞれを同時に屈曲・伸展させる運動に変換することにより、ヒトのような指動作を生成する。3層のばねをそれぞれSi, Sc, Soとし、その役割を以下に示す。Siは装着者に対して内側のばねであり、剛体部に固定されている。Scは中央部のばねであり、直接駆動部に接着され、動力を各関節へ伝達する。Soは外側のばねであり、受動的にスライドし、機構関節部の曲がりすぎを抑制するストッパーの役割を担う。駆動部に直動入力を与えると、これらのばねは機構関節部でのみ屈曲することが可能であり、1自由度でヒトの指動作のような屈曲・伸展動作が行える。また、3層の板ばねが柔軟な変形をすることで、屈曲時に扇形の円弧となり、その中心がヒトの指関節の関節中心と一致する。これによりヒトの自然な動きを妨げずに動作できる。また、ばねの

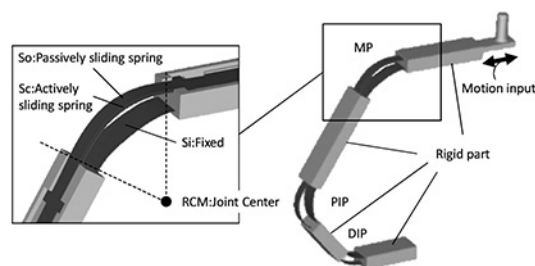


図1 3層の連結スライドばね機構

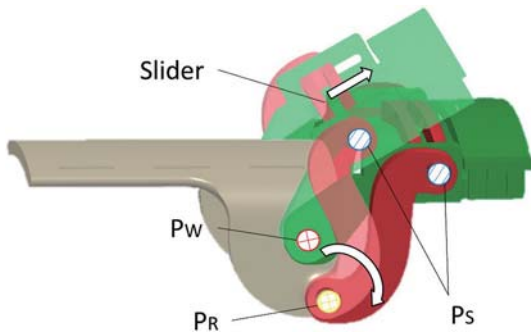


図2 動作変換機構

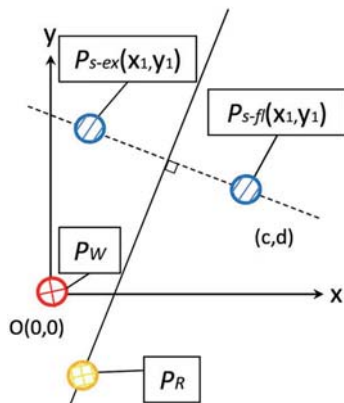


図3 機構代表点の位置関係

柔軟性を有しているため、様々な対象物を把持できる。

〔開発した機構概要〕

ヒトの自然な把持動作に着目した際に、僅かながらに手首は対象物に近づくように屈曲しながら動作している様子が観察される。そのため、本研究では手首の屈曲動作を把持動作のアシストに変換するメカニズムを考案した。提案機構を装着した際においても、手首の動作域は、可動域に対して、無理のない範囲で屈曲伸展動作を行う必要がある。そこで、ヒトの手首の可動域（屈曲方向に 90° 、伸展方向に 70° ）をもとに設計を行った。自然な把持動作を行う姿勢として、手首と腕が水平となる時に把持姿勢をとるように、また、無理なく手指が伸展できる動作域として、背屈の限界値 70° の半分の大きさである 35° の時に掌が開くように設計した。た

だし、目標の出力は、ADLに必要な力の大きさである 10 N 程度とし、各種寸法は、AIST 人体寸法・形状データベース記載の手指寸法をもとに作成した。なお、ここでは人体の標準的なデータをもとに設計を施したが、各患者の状態などに合わせて、設計パラメータを変更して実装することも可能である。

本研究で提案する動作変換機構を図2に示す。本装置の特徴は、手首の屈曲伸展動作を、まずは直動動作へ変換することである。これにより、前述した3層の連結スライドばね機構によって、さらにこの直動動作を手指の把持動作へ変換する。つまり、3層の連結スライドばね機構を駆動するために必要な直動動作を、手首の屈曲伸展動作によって生成することで、駆動源無しに装置を構成することができる。なお、本機構は、図中緑色で示した部品を手の甲に、乳白色で示した部分を腕に固定するように装着する。

図3に、本研究で提案する動作変換機構の機構代表点の位置関係を示す。本機構は、点 P_W を装着者手首の屈曲伸展関節へ一致するように装着する。この時、手首の屈曲伸展に合わせて図中青色で示した部品が、手の甲に合わせるように回転する。

P_W の下方向に配置した P_R を支点として回転するリンクは、点 P_W と共に回転するスライダ部に接続される。よって、手首の回転はスライダでの直動運動に変換される。図2(b)は、最大屈曲・伸展それぞれの時の提案機構の状態図を重ね合わせた際の回転軸の位置関係を示したものである。 P_{S-fl} 、 P_{S-ex} は、それぞれ最大屈曲・伸展時のスライダの回転軸位置である。 P_R は、スライダを駆動させるための回転軸であり、最大屈曲・伸展時のスライダの回転軸 P_{S-fl} 、 P_{S-ex} から等距離な位置となるように設計する。ゆえに、 P_R は、 P_W を原点とする x - y 座標系を考えると、 $P_{S-fl}(a, b)$ 、 $P_{S-ex}(c, d)$ として、次式のように、その二点を繋いだ線分の垂直二等分線上に位置すればよい。

$$y = \frac{a-c}{d-b} \left(x - \frac{a+c}{2} \right) + \frac{b+d}{2}$$

軽量化のため、本研究では試作機のリンク等を ABS 樹脂により製作した。回転軸については、摩擦力軽減のためベアリングを挿入した。

上式により得られる P_R の位置は、装置の小型化も合わせて考慮し、 P_W から 20 mm 下方に設定した。

力の入出力の関係を図 4 に示す。手首の力と、スライダの移動方向への力の関係に必要なパラメータを手首の力: F_1 、荷重点と軸間距離 L 、手首のトルク T 、スライダの移動方向の力 F_2 、回転軸間距離 d 、角度 θ とすると、図 4 中の (a) に示すように、手首のトルク T と手首の力 F_1 は次式の関係にある。

$$T = F_1 \times L$$

また、図 4 中の (b) より、手首のトルク T とスライダの移動方向への力 F_2 の関係は、次式のように得られる。

$$T = F_2 \cos \theta \times L$$

よって、手首の力 F_1 とスライダの移動方向への力 F_2 は次のように与えられる。

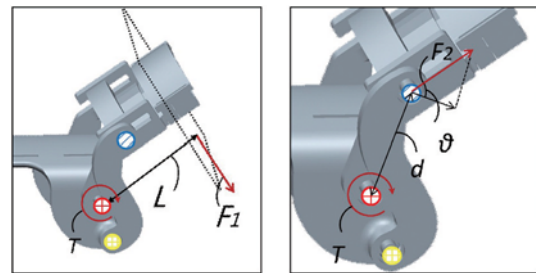
$$F_1 = \frac{F_2 \cos \theta}{L}$$

〔評価実験〕

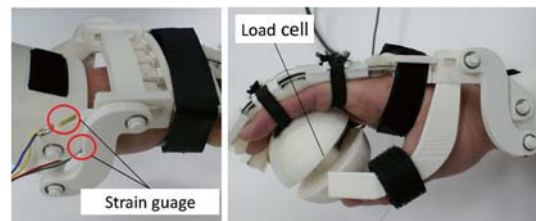
図 5 に試作機を示す。装置全体の質量は 130 g であり、軽量に製作可能であった。開発機構の有用性を評価するため、手首トルクと把持力の関係を調べる実験を行った。実験方法として、健常者（21 歳、男性、右利き）の右手に装置を装着し、把持動作を行った。この時、試作機のリンク部にひずみゲージ（共和電業社製、FP-2-120-C1-65）を貼り付け、手首のトルクを測定した。把持対象物として、直径 60 mm の球状の物体を用いた。材質は ABS 樹脂であ

り、内部にロードセル（共和電業社製、LMA-A-20N）を有し、把持力を測定可能である（図 5(b)）。被験者には、快適に感じる範囲で手首を屈曲・伸展運動し、対象物を把持するよう指示した。

実験結果を図 6 に示す。装置に内在する摩擦の影響により、多少のばらつきは見られるものの、ほぼ手首トルクと把持力には直線的な関係があることが明らかになった。結果にヒステリシスは見られず、試作機は良好に動作することが分かった。一方で、最大屈曲時の静止状態での把持力を測定したところ、7.0 N 程度



(a) 支点と把持位置 (b) トルクと出力
図 4 力の入出力関係



(a) 手首トルクの算出 (b) 把持力測定器
図 5 実験装置外観

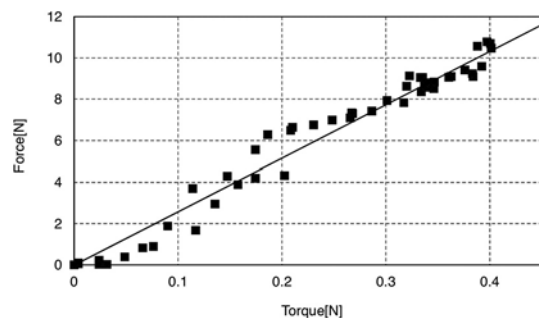


図 6 実験結果

であった。

過去の研究から、ADLに必要な把持力は10 N程度であることが示されており、本試作機では、健常者が快適に動作させられる範囲では、ADLに必要な7割程度の出力は支援可能であることが分かった (Smaby, 2004)。

[今後の研究の方向, 課題]

これらのことから本課題で提案する機構が、電源を必要とせずに小型・軽量の装置で日常生活動作のアシストが可能であり、対象物の形状、質量、大きさによっては安定した把持動作を行

えることが実証された。

今後は、様々な物体把持による試験によって、その有用性を検証する必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 荒田純平, 三矢 駿, 坂口正道, 和田郁雄: 手首の屈曲伸展動作を把持動作へ変換する駆動源を有さないハンドエグゾスケルトン装置, 1A1-D03, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, 1A1-D03, 2013.
- [2] 荒田純平, 三矢 駿, 坂口正道: 3層の連結スライドばね機構を用いた手首の回転動作を手指の屈伸動作に変換する機構を有する装置の開発, 第31回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3C3-04, 2013.

言語情報と音響情報の統合的利用による感情音声コーパスの大規模化

Automatic emotional labeling using linguistic and acoustic information
towards large-scale emotional dialog speech corpus

2041003



研究代表者 (助成金受領者)	国立研究開発法人 理化学研究所 客員研究員	有 本 泰 子
共同研究者	宇都宮大学 工学部	准教授 森 大 毅

[研究の目的]

大規模音声コーパスを必要とする音声認識や感情認識などの人間と機械との対話の円滑化を念頭にした研究では、複数のコーパスを併用することが求められる。実際の会話コーパスの開発では、収録の対象が特定の状況でのインタラクションに限定されることが多く、またコーパスの規模も比較的小さいことが多い。これらのコーパスを統合し、大規模なコーパスとして扱うことができれば、多様な感情表出をより高精度にモデリング出来ると考えられる。しかし、実際には感情の記述はコーパスごとにそれぞれ独自の方法でなされており、互換性を持たない。これは、感情という現象がまだ十分に理解されておらず、その記述方法が確立していないためである。

感情の記述には、大きく分けて、次元に基づく方法と、感情カテゴリに基づく方法がある。これらはそれぞれ、次元説と基本感情説という、感情心理学において長く対立してきた二つの理論を背景に持つ。前者は感情状態を2次元、または3次元空間上のベクトルと考え、感情の類似性をベクトルの類似性として表す。一方、後者は少数の感情カテゴリを仮定する。感情カテゴリラベルが付与されたコーパスには、Berlin Database of Emotional Speech (Emo-DB) [1],

Parameterized & Annotated CMU Let's Go (LEGO) Database [2], Surrey Audio-Visual Expressed Emotion (SAVEE) Database [3], FAU Aibo Emotion Corpus [4], 感情評定値付きオンラインゲーム音声チャットコーパス (OGVC: Online Gaming Voice Chat Corpus with Emotional Label) [5] がある。一方、感情次元ラベルが付与されたコーパスには Vera am Mittag (VAM) German Audio-Visual Spontaneous Speech Database [6], 宇都宮大学パラ言語情報研究向け音声対話データベース (UUDB: Utsunomiya University Spoken Dialogue Database for Paralinguistic Information Studies) [7] があり、さらに、両方のラベルが付与された The Interactive Emotional Dyadic Motion Capture (IEMOCAP) Database [8] が存在する。

このような感情の記述方法が異なる複数のコーパスを統合し、大規模なコーパスとして扱うことを可能にするためには、感情ラベルの共通化が必要である。すなわち、コーパス A にはコーパス B と同じ枠組で、コーパス B にはコーパス A と同じ枠組で感情ラベルを付与することになる。しかし、この作業を全て人手により実施することは極めて高コストである。そこで、音声からの感情認識の技術を利用し、異種コーパスへの感情ラベルを自動的に付与する

ことでコーパスを共通化することが考えられる。

本研究では、現在人手により付与されている感情ラベリングを自動化することで、コーパス間で共通した感情ラベルを自動付与し、感情ラベルにおけるコーパス間共通化基盤の確立を目指す。これにより、研究の資料として利用できる音声資源が爆発的に増加し、人間と機械との対話における感情研究の発展が見込まれる。

[研究の内容, 成果]

コーパス共通化のための感情推定は、一般的な感情認識とは異なり、適用先のコーパスに既に何らかの感情ラベルが存在する。つまり、感情推定器への入力に適用先のコーパスが持つ感情ラベルが利用でき、音響特徴量や言語情報のみを入力とするより感情推定精度が向上することが期待できる。本研究では、音響特徴量と感情ラベルを感情推定器への入力とすることを提案し、この手法が音響特徴量のみを入力とした一般的な感情認識手法より高い精度での推定を行えることを示す。

本論文では、感情音声コーパス共通化のモデルケースとして、UADB [7] と OGVC [5] の感情ラベル共通化を想定する。UADB は感情が次元で評価され、OGVC は感情がカテゴリで評価されている。UADB では以下の感情 6 次元が付与されている。

- (1) 快－不快 (pleasant－unpleasant)
- (2) 覚醒－睡眠 (aroused－sleepy)
- (3) 支配－服従 (dominant－submissive)
- (4) 信頼－不信 (credible－doubtful)
- (5) 関心－無関心 (interested－indifferent)
- (6) 肯定的－否定的 (positive－negative)

OGVC は喜び (JOY), 受容 (ACC), 恐れ (FEA), 驚き (SUR), 悲しみ (SAD), 嫌悪 (DIS), 怒り (ANG), 期待 (ANT) に加えて感情が表出していない平靜 (NEU), さらに、これらのどの感情にも分類できないその他 (OTH) の 10 種類の感情カテゴリが付与され

ている。

1. クロスコーパス感情ラベリング

コーパス共通化のための感情推定は、それぞれのコーパスが持たない種類の感情ラベルを推定することが目的であるが、推定された感情ラベルの評価には正解ラベルが必要となる。そこで、UADB と OGVC に対して次元とカテゴリの両方の枠組みで人手による感情ラベリングを行った。

まず、ラベル評価者のスクリーニングテストを行った。両コーパスからそれぞれ 54 発話ずつを用いて、コーパスの対話者と同年代の 10 名 (女性 6 名, 男性 4 名) に、UADB の次元と OGVC のカテゴリの両方の感情ラベルを評価させた。この実験により、3 名のラベル評価者を選定した。そして、本評価では、UADB の 4840 発話と OGVC の 6578 発話の計 11418 発話に対してスクリーニングテストと同様に両コーパスの両方の感情ラベルを評価させた。

本研究における実験ではこの本評価で得られた評価を使用し、コーパスに元々付与されている感情ラベルは使用しない。感情次元評価値は、単純に評価者 3 名の平均値を使用する。UADB の 6 感情次元評価の結果のうち、横軸に快－不快と縦軸に覚醒－睡眠をとった分布図と横軸に快－不快と縦軸に支配－服従をとった分布図を図 1 に示す。どちらのコーパスも似た分布となったが、OGVC では不快で覚醒の発話が UADB より多い傾向であった。また、UADB は不快で服従の発話が OGVC よりも多い傾向を示した。

感情カテゴリは評価者 3 名のうち 2 名以上の評価が一致した感情カテゴリ (以下、過半数一致ラベル) を使用する。3 名全員の評価が異なった発話は以降の実験データから除いた。表 1 に過半数一致ラベルのカテゴリごとの数を示す。過半数一致ラベルはコーパスごとに異なる分布であった。特に、受容や恐れ、嫌悪の数がコーパスごとに顕著に異なる傾向があった。

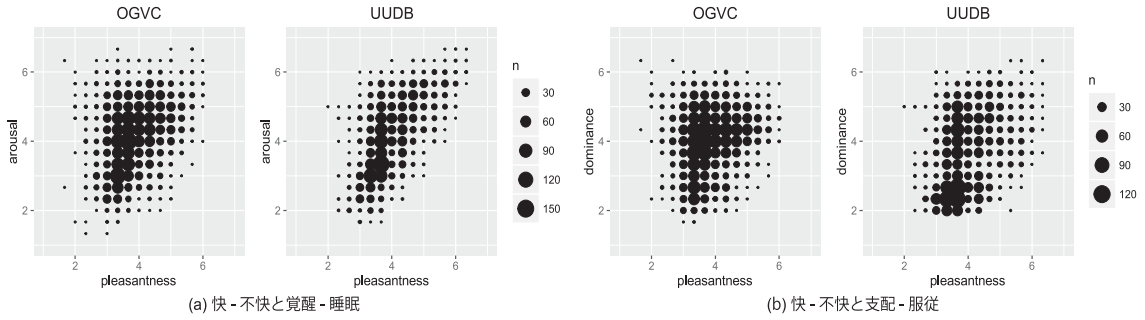


図1 感情評価値の分布図

表1 感情カテゴリごとの発話数

Emotion	OGVC	UADB	Total
JOY	438	259	697
ACC	623	1030	1653
FEA	282	94	376
SUR	313	120	433
SAD	488	331	819
DIS	970	406	1376
ANG	128	39	167
ANT	186	59	245
OTH	0	0	0
NEU	18	13	31
Total	3446	2351	5797

2. クロスコーパス感情ラベル推定

UADB と OGVC に既に付与されている種類の感情ラベルを併用することで、音響特徴量のみを用いる感情推定より高い精度での推定ができると期待できる。ここでは、感情ラベルを併用する感情推定手法を説明し、音響特徴量のみを入力とする場合、感情ラベルのみを入力とする場合、およびその両方を入力とする場合の比較を行う。

2.1 特徴量

OGVC の感情次元推定と UADB の感情カテゴリ推定のどちらも音響特徴量抽出には openSMILE [9] を用いた。本研究では、事前検討において最も精度の高かった Interspeech 2010 Paralinguistic Challenge ベースラインシステム [10] と同様の 1582 次元の音響特徴量を使用した。音響モデルの学習や適用時に使用する特徴量はベクトルである必要があるため、それぞれの感情ラベルは、以下の方法でベクトル

化を行なった。感情次元ラベルは、UADB に付与されている 6 感情次元に対応する 6 次元ベクトルに変換した。感情カテゴリラベルは、OTH（その他）を除く 9 感情カテゴリに対応する 9 次元ベクトル（正解のカテゴリに対応する要素のみ 1、それ以外が 0 のベクトル）に変換した。

2.2 モデル学習

回帰モデルと分類モデルはそれぞれサポートベクター回帰とサポートベクター分類によって学習した。学習にはフリーソフト R の kernlab パッケージ [11] の ksvm 関数を用いた。カーネル関数にはガウシアンカーネルを用い、そのパラメータは kernlab により自動推定した。感情次元推定におけるハイパーパラメータは $C=1, \epsilon=0.1$ 、感情カテゴリ推定におけるハイパーパラメータは、感情ラベルのみを入力とする場合では $C=8$ 、それ以外では $C=5$ とした。

本研究では、実験条件の数が増えて結果の解釈が煩雑になるのを避けるため、話者正規化やクラスごとのサンプル数の不均衡の補正などを行わない最も単純な条件での実験結果のみを記す。

2.3 実験結果

感情次元の推定精度は、推定されたラベルと正解ラベルの相関係数 R 、および平均二乗誤差 (RMSE) によって評価する。表 2 に、音響特徴量のみを使用した場合、感情ラベルのみを使用した場合、音響特徴量と感情ラベルを併用した場合の感情次元推定精度を示す。表中、太

表2 感情次元推定精度

		Pleasantness	Arousal	Dominance	Credibility	Interest	Positivity
Acoustic features only	R	0.312	0.764	0.703	0.339	0.613	0.207
	RMSE	0.677	0.602	0.630	0.650	0.544	0.638
Emotion labels only	R	0.607	0.426	0.346	0.510	0.419	0.545
	RMSE	0.579	0.886	0.892	0.593	0.634	0.548
Acoustic features + Emotion labels	R	0.478	0.774	0.709	0.458	0.648	0.364
	RMSE	0.619	0.591	0.626	0.606	0.525	0.591

表3 感情カテゴリ推定精度 (%)

	WAR	UAR	ACC	FEA	SUR	SAD	DIS	ANG	ANT	JOY	NEU
Acoustic features only	34.0	23.1	31.6	6.4	36.7	58.3	40.4	2.6	8.5	23.6	0.0
Emotion labels only	50.4	29.3	58.7	4.3	35.0	40.2	56.7	2.6	1.7	64.9	0.0
Acoustic features + Emotion labels	40.2	26.6	40.0	11.7	40.8	59.5	46.1	2.6	6.8	32.0	0.0

字はこれら3条件での最も良い精度を示している。覚醒－睡眠，支配－服従，関心－無関心の各次元では，音響特徴量と感情ラベルを併用した場合の相関係数が最大となり，それぞれ0.774, 0.709, 0.648となった。快－不快，信頼－不信，肯定的－否定的の各次元でも，音響特徴量と感情ラベルを併用する方が音響特徴量のみを使用するよりも相関係数をそれぞれ0.166, 0.119, 0.157ポイント大きくすることができたが，感情ラベルのみを使用した場合には及ばなかった。平均二乗誤差についても，音響特徴量のみを使用する場合に比べ，音響特徴量と感情ラベルを併用する方が，より小さい誤差が得られている。

感情カテゴリの推定精度は，Weighted Average Recall (WAR) と Unweighted Average Recall (UAR) によって評価する。WARはカテゴリごとのテストデータ数の偏りを考慮しない再現率であり，UARはカテゴリごとのテストデータ数の偏りを平均化した再現率である。 N カテゴリの分類問題では，カテゴリごとのテストデータ数を $c_1, c_2, \dots, c_N$ ，カテゴリごとの正解数を $t_1, t_2, \dots, t_N$ とすると，WAR と UAR は以下の式となる。

$$\text{WAR} = \frac{\sum_i t_i}{\sum_i c_i}$$

$$\text{UAR} = \frac{1}{N} \sum_i \frac{t_i}{c_i}$$

表3の二重線で区切った左側に，音響特徴量のみを使用した場合，感情ラベルのみを使用した場合，音響特徴量と感情ラベルを併用した場合の感情カテゴリ推定精度を示す。音響特徴量のみを使用した場合に比べ，感情ラベルを併用することで，WARでは34.0%から40.2%と6.2ポイント改善し，UARでは23.1%から26.6%と3.5ポイント改善した。しかしながら，この性能は音響特徴量を使用せず感情ラベルのみを使用した場合に比べ低いものとなった。感情ラベル併用の効果をより詳細に検討するため，感情カテゴリごとの再現率を表3の二重線で区切った右側に示す。受容，恐れ，驚き，悲しみ，嫌悪，喜びの各感情では，音響特徴量のみを使用した場合に比べ，音響特徴量と感情ラベルを併用した場合により高い再現率が得られていることがわかる。しかしながら，受容，嫌悪，喜びの各感情では，むしろ音響特徴量を使用しないほうが再現率は高くなっている。

[今後の研究の方向，課題]

本報告では，プロジェクト期間内に検証を行った実験の一部について報告した。報告した内容以外にも実験を行い，検証してきた。成果

の発表として挙げた[1]では、学習用のコーパスが本来持っていない種類の感情ラベルを、音響特徴量から推定した感情ラベルで代用する手法を提案しているので、参照されたい。また、現在は音響特徴量のみを用いたモデルを検証したが、今後は言語情報も利用してモデルを作成し、さらなる精度向上を目指す予定である。

[参考文献]

- [1] F. Burkhardt, A. Paeschke, M. Rolfes, W.F. Sendlmeier, and B. Weiss, "A Database of German Emotional Speech," in *Proceedings of Interspeech 2005*, 2005, pp. 3-6.
- [2] A. Schmitt, S. Ultes, and W. Minker, "A parameterized and annotated spoken dialog corpus of the CMU Let's Go bus information system," *Proc. Lr. 2012*, pp. 3369-3373, 2012.
- [3] S. Haq and P. J. B. Jackson, "Multimodal Emotion Recognition," in *Machine Audition: Principles, Algorithms and Systems*, IGI Global, 2010, pp. 398-423.
- [4] A. Batliner, C. Hacker, S. Steidl, E. Noth, S. D'Arcy, M. Russell, and M. Wong, "' You stupid tin box ' — children interacting with the AIBO robot: A cross-linguistic emotional speech corpus.," in *Proceedings of LREC 2004*, 2004, pp. 171-174.
- [5] Y. Arimoto, H. Kawatsu, S. Ohno, and H. Iida, "Naturalistic emotional speech collection paradigm with online game and its psychological and acoustical assessment," *Acoust. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 6, pp. 359-369, 2012.
- [6] M. Grimm, K. Kroschel, and S. Narayanan, "The Vera am Mittag German audio-visual emotional speech database," in *2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2008, pp. 865-868.
- [7] H. Mori, T. Satake, M. Nakamura, and H. Kasuya, "Constructing a spoken dialogue corpus for studying paralinguistic information in expressive conversation and analyzing its statistical/acoustic characteristics," *Speech Commun.*, vol. 53, no. 1, pp. 36-50, Aug. 2011.

- [8] C. Busso, M. Bulut, C. C. Lee, A. Kazemzadeh, E. Mower, S. Kim, J. N. Chang, S. Lee, and S. S. Narayanan, "IEMOCAP: Interactive emotional dyadic motion capture database," *Lang. Resour. Eval.*, vol. 42, no. 4, pp. 335-359, 2008.
- [9] F. Eyben, M. Woellmer, and B. Schuller, *openSMILE the Munich open Speech and Music Interpretation by Large Space Extraction toolkit*. 2010.
- [10] B. Schuller, S. Steidl, A. Batliner, F. Burkhardt, L. Devillers, M. Christian, and S. Narayanan, "The INTERSPEECH 2010 Paralinguistic Challenge," in *Proceedings of Interspeech 2010*, 2010, no. September, pp. 2794-2797.
- [11] A. Karatzoglou, A. Smola, K. Hornik, and A. Zeileis, "kernlab — An S4 Package for Kernel Methods in R," *J. Stat. Softw.*, vol. 11, no. 9, pp. 1-20, 2004.

[成果の発表, 論文等]

- [1] 永岡 篤, 森 大毅, 有本泰子, "感情音声コーパスへの異種感情ラベル自動付与における既存感情ラベル併用の効果," 日本音響学会誌, 2016. (投稿予定)
- [2] H. Mori and Y. Arimoto, "Accuracy of Automatic Cross-Corpus Emotion Labeling for Conversational Speech Corpus Commonization," in *Proceedings of LREC2016*, 2016, pp. 4019-4023.
- [3] 有本泰子, 森 大毅, "クロスコーパス感情ラベリングによる対話音声の比較," 日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集, pp. 359-360, 2016.
- [4] 【招待講演】有本泰子, "コミュニケーション場面におけるリアルな感情表出の分析," 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 1317-1320, 2015.
- [5] 永岡 篤, 森 大毅, 有本泰子, "複数の対話音声コーパスにおける感情ラベルの相互推定," 日本音響学会 2015 年春季研究発表会講演論文集, pp. 415-416, 2015.
- [6] 永岡 篤, 森 大毅, "サポートベクター回帰による自発音声の感情次元推定," 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 389-390, 2014.

筋音図を用いた咀嚼筋の非侵襲的機能評価法の確立

Establishment of noninvasive evaluation method for masticatory muscle function using mechanomyography

2041005



研究代表者

愛知県心身障害者コロニー
発達障害研究所

主任研究員

伊 東 保 志

〔研究の目的〕

わが国は平成 19 年に高齢化率が 21.5% に達し、その後も高齢化率の上昇が続いている。こうした社会では健康寿命を延ばすことが課題であり、近年では加齢に伴う様々な身体機能の低下とその予防が重要視されている。本研究で注目した摂食・嚥下機能もその一つである。

厚生労働省の発表によれば、人口の高齢化とともに肺炎の発症が増加しており、平成 23 年には肺炎が脳血管障害を抜いて死亡原因の第 3 位となった。加えて、肺炎で亡くなる方の 9 割近くが 65 歳以上の高齢者であり、高齢者の肺炎の多くが誤嚥性であるとも云われている。誤嚥とは、摂食・嚥下の過程において、本来食道へ導かれるはずの飲食物が誤って気管へ流入することであり、直接的には、嚥下反射が機能しない、あるいは不十分に機能することによって発生する。一方で、誤嚥をする人の多くは食塊形成の機能が十分に働いていないとの指摘もあり、誤嚥の問題を考える上では、咀嚼筋の機能評価も重要であることが示唆されている。ところで、近年、骨格筋の筋機能評価の指標として“筋音図”なる信号が注目されている。筋音図は、筋収縮に伴って発生する体表面微細振動の記録であり、計測技術の躍進を背景に研究が本格化し、近年では運動単位レベルでの筋活動を分析できる新たなツールとして期待されている。

本研究の目的は、この新たなツールの実用的な利用方法として、摂食・嚥下に関連する筋、その中でも特に咀嚼に関わる咬筋を対象とした機能評価法の確立を目指すことである。

〔研究の内容、成果〕

一般に、筋機能には、筋力（どれだけ大きな力を出せるか）と筋持久力（どれだけ長く力を出し続けられるか）がある。これまでの報告で、長時間にわたる持続収縮中の筋音図は時間に伴って特徴的な変化することが報告されている。本研究では、この特徴に注目し、以下の方法で筋音図による咬筋の疲労耐性評価の可能性を検討した。

被験者は健常成人 8 名（平均 21.2 ± 0.4 歳）とした。なお、研究に参加するにあたり、すべての被験者には、予め研究の目的および危険性を十分に説明した後、書面による同意を得た。実験では、咬筋を対象に、疲労困憊に至る等尺性持続収縮中の筋音図（MMG）と表面筋電図（EMG）の計測を行った。持続収縮中の目標発揮筋力は、最大咬合力の 35% と 75%（以降、35%MVC、75%MVC と表記）とした。MMG の導出は、左右の咬筋の筋腹に貼付した加速度計（メディセンス、MP101-10-101）と専用の増幅器（メディセンス、MPS110、バンドパスフィルタ：1-250 Hz）を介して行った。EMG

の導出は、左右ともに、筋線維の走行に沿って上述の加速度計を挟むように貼付した2枚の表面電極と筋電図検査装置（日本光電，WEB-9104，バンドパスフィルタ：5 Hz-10 kHz）を用いて行った。咬合力の導出は、被験者毎に作成したマウスピースを利用した咬合力導出デバイスを用いて行った。なお、デバイスの作成では、試行錯誤の結果、安定して咬合力を導出するために、上下歯のマウスピースの第一・二大臼歯付近を薄くコーティングし、その上面を平らに加工して直径1 cmの咬合面を確保し、ここにシート型圧力センサ（ニッタ，FlexiForce A201-100）を装着することとした（図1）。導出された各信号はAD変換装置（ADInstruments，PowerLab 8sp，サンプリング周波数：4 kHz）を介してパーソナルコンピュータに記録した。また、咬合力については、実験中、被験者が目標の咬合力を保持し易いように、導出と同時にターゲットとともにモニタに表示した。

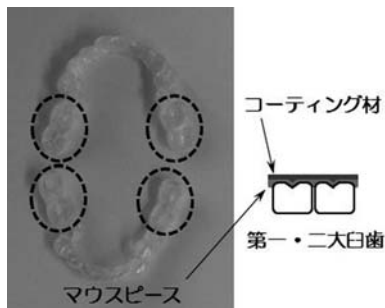


図1 咬合力導出のためのマウスピース

処理として、まず、発揮している咬合力が目標咬合力に達した時点から目標咬合力から5%MVCを超えて低下した時点までを持続時間と定め、これを算定した。また、MMGおよびEMGについては、短時間フーリエ変換法による時間一周波数解析を行った。すなわち、記録信号から0.1秒毎に1秒間の区間データを切り出し、FFT法により各区間のRMS値とパワースペクトルを算出した。さらに、各パワースペクトルからは、その平均周波数（MPF）を算出した。

結果として、持続時間は35%MVCで79.5±25.3秒、75%MVCで45.8±11.0秒であった（平均値±S.D.）。また、35%および75%MVCにおける咬合力、EMG、MMGの典型的な時間推移は図2に示したとおりであった。すなわち、EMGは、持続時間内（図中のsからeまで）において、35%と75%MVCの両方で、RMSが終始増加傾向を示し、MPFが終始減少傾向を示した。一方、MMGのRMSは時間とともに直線的に減少する傾向を示したが、MPFは50Hz付近で変動するものの、時間に伴う変化傾向はみられなかった。なお、図中の直線は時間とMMGのRMSの関係から求めた回帰直線であり、35%と75%MVCのいずれも相関係数は0.86以上であった。

筋の収縮活動において、収縮強度の増加とともに持続時間が減少することはよく知られており、本研究の結果も同様であった。また、75%MVCでの持続時間が45秒程度であった本結果は、咬筋以外の筋を対象とした他の報告[1]と概ね一致するものであった。一方、35%MVCでの持続時間は他の報告よりもやや短かった。言い換えれば、咬筋を対象とした本結果では75%MVCに対して35%MVCの持続時間は約1.7倍であったが、それは上腕二頭筋や大腿四頭筋などの場合に比べてやや低いものであった。このことは、対象とした筋を構成する筋線維の組成に関連があると推察する。すなわち、筋を構成する筋線維には大別して遅筋線維と速筋線維が存在する。前者は後者に比べて疲労耐性が高いが、発揮する張力が低く、MMGの振幅も小さい。上腕二頭筋や大腿四頭筋は、これらの異なるタイプの筋線維が概ね1:1の割合で存在する。これに対して、咬筋は疲労耐性の低い速筋線維のみで構成されていると云われている。このことから、咬筋は、全筋としても上腕二頭筋などに比べて疲労耐性が低い傾向が予想され、特に、収縮強度が比較的低いときにその傾向が顕著に現われると考えられる。

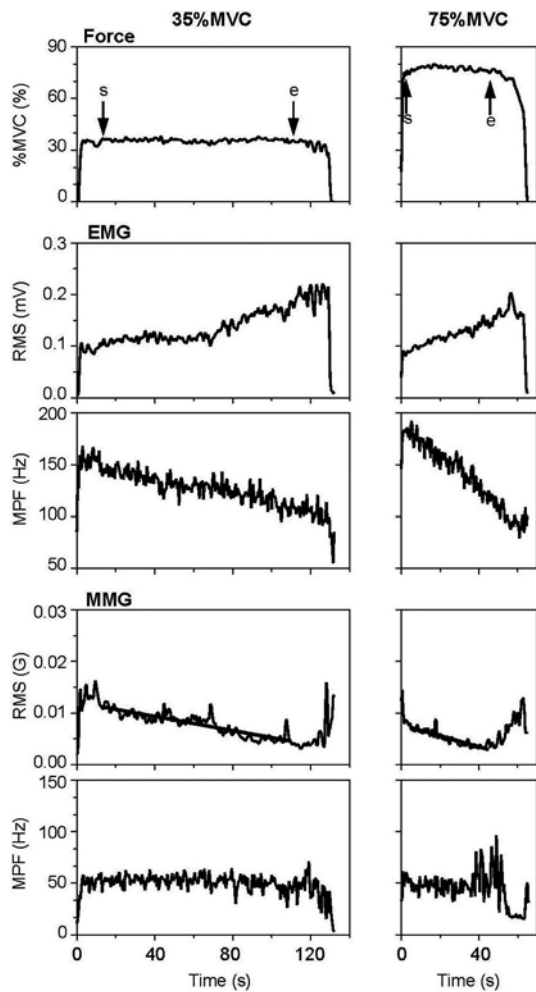


図2 35%および75%MVCでの持続的嚙締運動中の咬合力 (Force), 筋電図 (EMG), 筋音図 (MMG) の時間推移. 上段より, 咬合力, EMG の RMS, EMG の MPF, MMG の RMS, MMG の MPF を示している。

筋線維組成の違いによる影響は, EMG および MMG の RMS と MPF の時間推移にも関連すると推察する。すなわち, 上腕二頭筋や大腿四頭筋を対象にした報告 [1] では, 収縮強度による MMG の推移傾向の違いが顕著に現われていた。具体的には, 低収縮強度では MMG の RMS は時間とともに増加するが, 高収縮強度では減少する, などである。そして, その背景には, 低収縮強度では筋疲労に対する補償作用としてリクルートメントが主であり, 高収縮強度では発火頻度の調整が主であることが示唆されている。これに対して, 咬筋を対象とした本結果は, 35%MVC と 75%MVC の時間推移の傾向にほとんど違いはみられず, いずれも他

の筋の高収縮強度の場合と同様な減少傾向を示した。このことから, 速筋線維のみで構成される咬筋では 35% と 75%MVC のいずれの場合も筋疲労の発生に伴う運動単位活動様式に明らかな差異がないこと, さらに, 35%MVC という比較的低い収縮強度でも, 当初より, 筋を構成するすべての筋線維が活動しており, 筋疲労に対しての補償は主に発火頻度の調整で行っていることが予測される。

これまでの MMG に関する報告によれば, MMG の RMS の減少は加重が進んで完全強縮に近づいていることを示唆している。また, MMG の MPF は筋を構成する筋線維の平均的な発火頻度に比例している。一般に, 速筋線維は疲労し易く活動参加後間もなく筋疲労を発生する。筋線維の筋疲労に伴う変化としては, 発生張力の低下と収縮弛緩時間の延長であり, 結果, 筋線維の強縮亢進が起こる。強縮亢進の状態では, 発火頻度が同じでも加重が進み, 発生張力の低下による咬合力の低下を補償する効果がある。つまり, MMG の RMS が時間とともに低下した本結果は, 疲労の発生と進行に伴う速筋線維の収縮弛緩時間の延長とそれに伴う強縮亢進を反映していると考えられる。また, それに平行して MMG の MPF が変化を示さなかったことは, 目標咬合力を保持するにあたって平均発火頻度を概ね一定に保っていたことが反映されたのではないかと考えられる。そこで, 咬筋の疲労耐性評価の指標としては, MMG の RMS が時間とともに直線的に減少することに注目し, その傾きを指標候補として提案することを考えた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 8 名の被験者を対象に実験を行い, その結果から, 咬筋の疲労耐性を評価する指標として MMG の RMS の時間推移の傾きを提案することとした。今後は, 提案する指標の有効性をより詳細に検討するため, 被験者の数

を増やすとともにその年齢層も広げ、加齢に伴う影響などを分析しようと考えている。

〔謝 辞〕

本研究の遂行において様々な御助力、御助言を賜りました星城大学の久保金弥教授、三田勝己教授、ならびに朝日大学の藤原周教授、浦田裕介助教に心からの感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- [1] Y. Itoh, K. Akataki, K. Mita, M. Watakabe, K. Itoh : Time-frequency analysis of mechanomyogram during sustained contractions with muscle fatigue. Systems and Computers in Japan, 35(1), 26-36 (2004)

〔成果の発表，論文等〕

- [1] **Y. Itoh**, Y. Urata, S. Fujiwara, M. Yasubayashi, K. Kubo, K. Akataki, K. Mita : Assessment of swallowing function using surface electromyography and mechanomyography, LE2015, 2015.

迅速なマルチモーダルカテゴリ推定のための能動的行動選択法

Active Perception for Quick Multimodal Category Recognition

2041018



研究代表者

立命館大学 情報理工学部

准教授

谷口 忠大

[研究の目的]

ロボットが人間と共生するには、人間と似た物体概念をロボットが獲得する必要がある。マルチモーダルカテゴリゼーションはロボットが視覚、触覚、聴覚といった複数のモダリティ情報を統合し、物体概念を獲得し、認識するための理論である。Nakamura らは一般性の高いマルチモーダルカテゴリゼーション手法である、マルチモーダル LDA 及びマルチモーダル HDP (MHDP) を提案し、視覚、聴覚、触覚を持ったロボットが人間と極めて類似した物体カテゴリを形成しうることを示している。

しかし、先行研究ではロボットが物体の認識のプロセスにおいて、全てのモダリティ情報を取得することを前提としている。そのため、大規模な物体概念獲得と認識には、多大な時間がかかってしまう。マルチモーダルカテゴリゼーションでは、ロボットのモダリティ数が M であり、物体数が N であった時、全ての情報取得にかかる時間は $O(MN)$ であり、より多くのモダリティを持ち、より多くの物体を扱おうとするほど、多くの膨大な「情報取得時間」が求められる。

この情報取得時間を、短縮することができれば、ロボットによる人間の住環境下における様々な物体のマルチモーダルカテゴリゼーションをより現実的なものとする事が出来る。これは、ロボットが人間生活環境で共生する系を

考える上で重要な課題である。図1にタスクの概要図を示す。

マルチモーダルカテゴリゼーションについては Nakamura や Stoytchev, Takamuku など世界的にもいくつかのグループの研究があるが、いずれの研究もロボットに与えるセンサ情報は固定しており、マルチモーダルカテゴリゼーションにおける知覚の行動選択を扱っている研究は極めて少ない。本研究は知覚には行動を必要とするという実世界的な制約を組み込み、問題としている点で特徴的である。

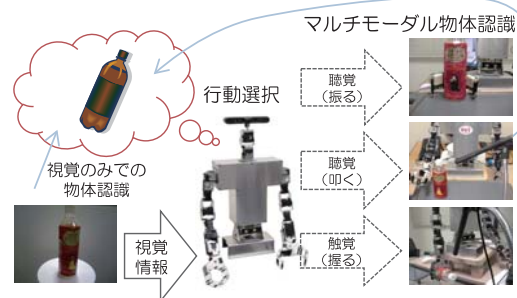


図1 タスクの概要図

[研究の内容, 成果]

本研究ではまず、図2に示すようなマルチモーダルカテゴリゼーション及びマルチモーダルカテゴリ推定のためのロボットシステムを構築した。ロボットは視覚情報、聴覚情報(叩いた時の音、振った時の音)、触覚情報を取得す

ることが出来る。ロボットはそれぞれの感覚情報から特徴量を抽出し、それをMHDPに渡す。図3に本実験で取り扱った認識対象の物体一覧

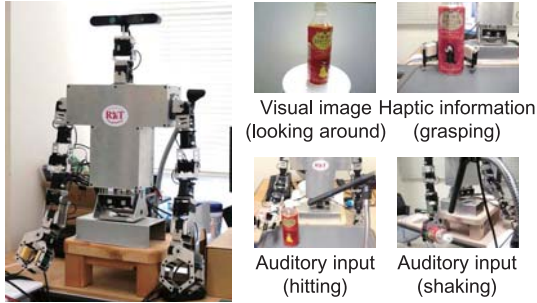


図2 構築したロボットシステム

Category (estimated)	Visual image
Category 7 Hard ball (Polyethylene)	
Category 1 Soft ball (Vinyl)	
Category 5 Cup (Plastic)	
Category 6 Cup (Metal)	
Category 4 Can (Steel)	
Category 2 Plastic bottle (Empty)	
Category 3 Plastic bottle (Containing bells)	

図3 認識対象物体の一覧

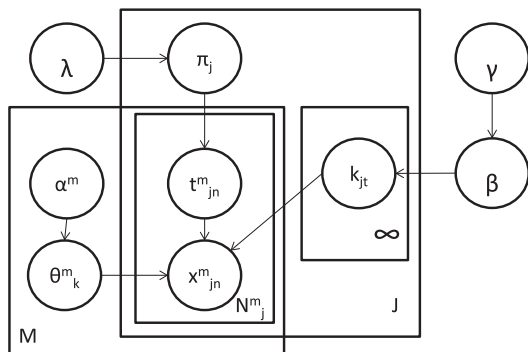


図4 MHDPのグラフィカルモデル

を示す。カテゴリ2（空のペットボトル）とカテゴリ3（ベルの入ったペットボトル）が示すように、視覚情報だけでは区別出来ない物体群になっている。

図4に一般化されたMHDPのグラフィカルモデルを示す。これはM個のモダリティを持つロボットのマルチモーダルカテゴリゼーションを表すグラフィカルモデルになっている。ここで、知覚のためのモダリティ数と知覚のための行動数は同一であるとしている。図3に示すカテゴリはロボットが推定したものであり、人間の区別と大筋で一致していることがわかる。

研究成果としては、まず、迅速なマルチモーダルカテゴリ推定のための能動的行動選択法として、物体カテゴリ事後分布のカルバックライブラー情報量（KL情報量）の期待値を最大化させるモダリティを選択する手法を提案した（成果発表1）。KL情報量は確率分布間の距離を表す値である。提案した尺度は情報利得（Information Gain）と等価である。また、そのような行動選択が全てのモダリティの情報を得た後の認識状態（カテゴリの事後分布）とのKL情報量の期待値を最小化させることを示した。これはある意味で本手法が最適であることを示している。

しかし、（成果発表1）では、次の一つの行動についてのみ扱っており、複数の行動を逐次的に取ることで、より確かな認識を得てくプロセスについて議論できていなかった。（成果発表2,3）ではMHDPのグラフィカルモデルを前提とした際には、情報利得が劣モジュール性を満たすということから、効率的な逐次意思決定手法を提案した。しかし、これらの手法では、情報利得の計算に、複数回の繰り返し学習を必要としており、計算効率上、非効率な面があった。

そこで、（成果発表4）ではモンテカルロ近似を利用した効率的な逐次行動選択を提案した。これにより計算量を劇的に削減することに成功

した。

これら全ての成果を統合し、学術論文として（成果発表5）に投稿中である。

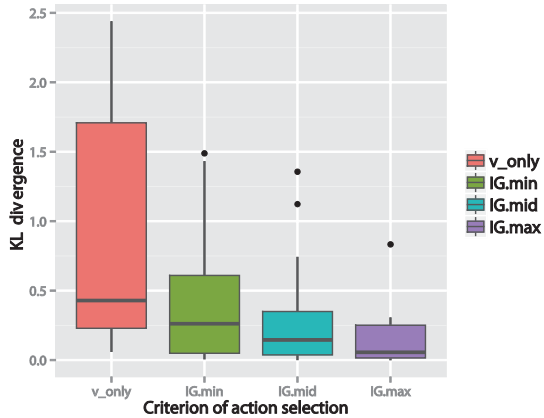


図5 各行動選択後の KL 情報量

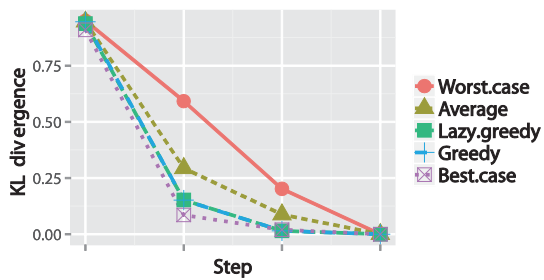


図6 逐次行動選択と KL 情報量

図5は各行動選択後の KL 情報量を示しており、v_only とした視覚情報のみを得た状態に比べて、情報利得最大の行動をとった場合、その最終的な認識状態までの KL 情報量が最も小さくなっていることが分かる。

図6は提案した能動的な逐次意思決定法の Greedy 法と Lazy greedy 法の性能を最適な行動 (Best case)、平均的なパフォーマンス (Average)、最悪な行動 (Worst case) の性能と比較している。全通りの試行を行い最適な行動を事後的に選んだ Best case に比べても提案手法は遜色ない性能を示していることが分かる。

この他にも人工データを用い、20 以上のモダリティ数を持ったロボットのマルチモーダルカテゴリ推定に関しても実験を行った。これら

の実験を通じて、本手法はむしろ、そのような大規模なデータになればなるほど、顕著に有効であることが確認された。この視点より、スケーラビリティに関しても問題はない。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究期間を通して、迅速なマルチモーダルカテゴリ推定のための能動的行動選択法のための理論を確立することが出来たと考えている。また、マルチモーダルカテゴリゼーションを行うグラフィカルモデルの性質と情報利得を用いた能動的行動選択の間には極めて良好な関係があることも示唆される結果を得た。

一方で、マルチモーダルカテゴリゼーションを行う自律ロボットを家庭やオフィスに導入する際に、最も、時間がかかるのは、本研究で扱った認識プロセス以上に、学習プロセスである。この時間削減も同様に求められる。理論的洞察に基づけば、一見全く異なる学習プロセスと認識プロセスも隠れ変数の推論という視点から見れば非常に類似しており、本研究期間を通して確立された迅速なマルチモーダルカテゴリ推定のための能動的行動選択法のための理論を拡張することで、構築可能であると考えている。

マルチモーダルカテゴリゼーションにおける能動学習理論を構築し、実環境において、ロボットが自律的に物体概念学習を行える理論的整備を行いつつ、その、実世界での有効性検証を行うのが今後の課題である。

[成果の発表, 論文等]

1. 谷口忠大, 福田 一, 高野敏明, マルチモーダルカテゴリ能動知覚のための行動選択法と最適性, 2014 年度人工知能学会全国大会, (2014)
2. 高野敏明, 谷口忠大, 劣モジュラ性に基づくマルチモーダルカテゴリ能動知覚の逐次的意思決定, 第 32 回 日本ロボット学会学術講演会, (2014)
3. 高野敏明, 谷口忠大, マルチモーダルカテゴリゼーションに基づく逐次的能動知覚, 計測自動制御学会

- システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014). (2014)
4. 吉野 遼, 高野敏明, 谷口忠大, マルチモーダル能動知覚におけるモンテカルロ近似を利用した効率的な逐次行動選択, 第 33 回 日本ロボット学会学術講演会. (2015)
5. Tadahiro Taniguchi, Toshiaki Takano and Ryo Yoshino, Active Perception for Multimodal Object Category Recognition Using Information Gain, IEEE Transactions on Autonomous Mental Development. (submitted)

運動学習に基づく脳機能再建を目指した手指リハビリデバイスの開発

Design of Finger Rehabilitation Device based on Motor Learning

2041021



研究代表者

龍谷大学
理工学部機械システム工学科

講 師

永 瀬 純 也

[研究の目的]

近年、高齢化社会に伴い脳卒中の患者は増加しており、その患者の多くが片麻痺などの運動障害を後遺症として発症している。とりわけ手指の運動機能が失われることは、患者の日常生活に大きな影響を与える。このため片麻痺のリハビリテーションが医師の指導のもと、作業療法士や理学療法士によって行われている。しかし、療法士の手数は片麻痺の患者に対して不足しているため、リハビリテーションを支援するロボットの需要が高まっており、これまでもリハビリテーション支援ロボットの開発が行われてきた。これらのロボットは、麻痺した手を他動的に動作させ、片麻痺による関節の拘縮を予防する。

一方で、これらの片麻痺においては脳の可塑的变化によって患者の運動機能を回復できることが示された。また、これを基にしたリハビリテーションはニューロリハビリテーションと呼ばれる。従来のリハビリテーション支援ロボットにおいては、片麻痺による関節の拘縮を予防することを目的としていたため、手指のものについては把持動作を行うものがほとんどである。しかしながら日常生活を送る上では、把持動作だけでなくピンチ動作も重要となる。そこで本研究では、脳機能再建を目的としたピンチ動作可能な手指リハビリテーションデバイスの設計・試作評価を行った。

[研究の内容、成果]

1. バルーン型腱駆動アクチュエータ

本研究で開発したリハビリデバイスは、アクチュエータにバルーン型腱駆動アクチュエータを使用している。バルーン型腱駆動アクチュエータは、図1に示すようにシリコンゴムで作られたバルーンと、その周囲に巻かれた帯状のポリプロピレンで作られた腱から構成されるアクチュエータである。このアクチュエータはバルーン内に空気圧を印加することでバルーンが膨張し、それに伴って腱がバルーンの周方向に膨らむことで、腱から引張力およびストロークを発生する。バルーンと腱の間には、摩擦力を低減するためナイロン繊維が巻かれている。また、腱の方向が変化する部分には固定点と腱の摩擦低減のためローラが取り付けられている。本アクチュエータは、0.2 MPa で駆動可能な低圧駆動型のソフトアクチュエータであり、120 N 以上の引っ張り力を発生可能である。

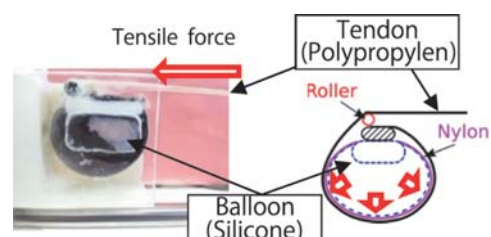


図1 バルーン型腱駆動アクチュエータ

2. リハビリテーションデバイスの設計

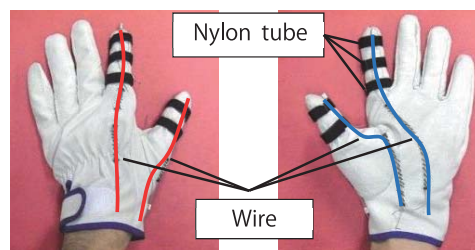
本バルーンアクチュエータを用いて、片麻痺患者に対する手指リハビリテーションへの応用を目的としたリハビリテーションデバイスの機構部分の設計および試作を行った。本章では試作したデバイスの駆動原理、設計手法および基礎特性について述べる。

2.1 基本構成と駆動原理

本リハビリテーションデバイスは、片麻痺を有する患者のピンチ動作の機能回復を行うことを目標としている。このためには、デバイスにより麻痺側の指に他動的なピンチ動作を行わせる必要がある。また、リハビリテーションを効率的に行うためには、デバイスにより行われるピンチ動作は、人間の行う自然なピンチ動作に近いことが望ましいと考えられる。このため本研究では、図2のように柔軟な革製グローブを装着部とした。人体の指においては腱の一端が指先に固定され、各関節にあるトンネル状の腱鞘を通りながら、手首まで伸びていき前腕にある浅指屈筋および深指屈筋につながった構造となっている。本デバイスではこれを参考に、グローブの手の平側と手の甲側の各関節部分にナイロンチューブを取り付け、チューブ内部にワイヤを通した腱駆動構造とした。ワイヤは指先から手首まで伸びており、その一端は指先に固定されている。指はグローブの手の平側に配置されたワイヤを引っ張ることで屈曲し、反対に、手の甲側のワイヤを引っ張ることによって伸展する。

このような装着部を基に、図3に示すデバイスの駆動部の設計を行った。駆動部はバルーンアクチュエータと、その対向に配置された引張ばねにより構成されており、これらはグローブ上に配置されたワイヤの手首側に接続されている。本駆動部はこれらのバルーンアクチュエータの引張力とばねの復元力によってワイヤを引っ張ることで、指を屈曲および伸展させる1自由度の動作を行う。駆動部はベルトによって麻痺側の手首に巻きつけることで固定する。このように本デバイスはグローブとワイヤによる

腱駆動の装着部と、前腕に配置された生体筋と似た特性を持つバルーンアクチュエータによる駆動部から構成され人体の手指の動作と同様の原理によって動作する。この構造により自然なピンチ動作を行えるのではないかと考えられる。



(a) Back side (b) Palm side

図2 グローブ

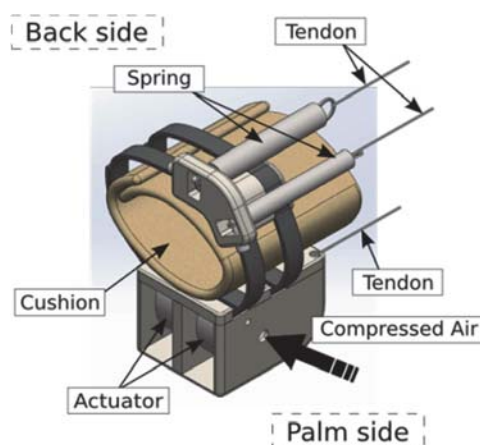


図3 デバイスの構造

2.2 設計

駆動部により指を動作させるには、アクチュエータを指の屈曲に、引張ばねを伸展に使用する場合と、アクチュエータを指の伸展に、引張ばねを指の屈曲に使用する場合の2通りが考えられる。ワイヤは手の表面に沿って配置されるため、指を屈曲した際の手の甲側と手の平側の周長が異なる場合、指の動作に必要なワイヤのストローク量も手の甲側と手の平側で異なると考えられる。これを検証するため、図4のような指の1リンクモデルを用いて指の屈曲時の、手の甲側と手の平側のストローク量について考える。図4において、 θ は指の角度、 b は指の

厚み, l は指の関節の長さを表している。このとき指は, ワイヤによって指の先端にかかる力 F_{back} および F_{palm} によって伸展または屈曲する。ワイヤが指の表面に沿って変位することを仮定すると, 指を θ 度屈曲させるために必要な手の甲側のストローク量 S_{back} および, 手の平側のワイヤのストローク量 S_{palm} はそれぞれ以下のように得られる。

$$S_{back} = -\frac{b}{2}\theta \quad (1)$$

$$S_{palm} = b\left\{1 - \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}\theta\right)\right\} \quad (2)$$

ただし $0 \leq \theta \leq \pi/2$ (rad) である。

式(1)においては S_{back} は伸展側の変位であるため, 値が負となっている。初期位置からのストロークの変化量を見るため, S_{palm} の最大値で正規化し絶対値を取ると, 両者のストローク量は図5のように得られる。

これより, 指を同じ角度だけ屈曲させた際, 手の甲側より手の平側の必要ストローク量が大きくなり, 1 関節あたり $\theta = \pi/2$ のとき最大で 21% の差が生じる。本デバイスではアクチュエータ数を減らすため, 屈曲または伸展動作の片側に引張ばねを使用する。ばねの復元力は指の屈曲および伸展時のストローク量に比例するため, 引張ばねの配置によって, 指先にかかる力は異なる。ばね定数 k のばねを, 手の甲側に配置した場合の指先にかかる力を $F_{back} = kS_{back}$, 手の平側に配置した場合の力を $F_{palm} = kS_{palm}$ とすると, 同じ角度だけ動作させた際にばねによって指先にかかる力の大きさは図5より以下の関係にある。

$$F_{back} < F_{palm} \quad (3)$$

本リハビリテーションデバイスは, 外骨格を持たないグローブ構造であるため, 指先に掛かる力が大きい場合には使用者の負担となる可能性がある。指先にはばねの復元力とアクチュエータの合力が作用するが, 本バルーンアク

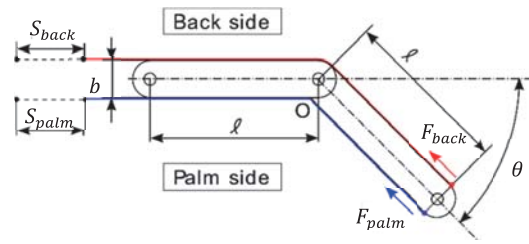


図4 1リンクフィンガモデル

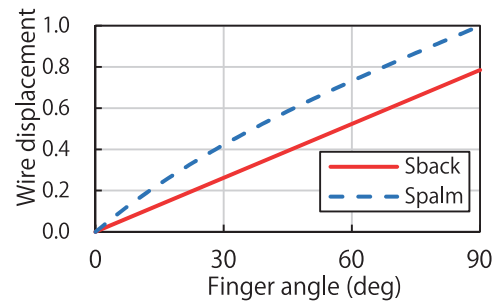


図5 フィンガ角度とワイヤー位置

チュエータはストロークごとの発生力がほぼ一定となっているため, 必要なストローク量が手の甲側, 手の平側で異なる場合においても, アクチュエータによって指先にかかる力は一定と考えられる。このため本デバイスでは式(3)より, ばねにより指先に作用する力の小さい手の甲側にばねを配置する構造とした。

2.3 評価

本章では開発したデバイスの動作実験について述べる。前章の設計を基に試作したデバイスの外観を図6に示す。本デバイスは各指にワイヤの配置されたグローブからなる装着部と, バルーンアクチュエータおよび引張ばねによる駆動部から構成されており, 空気圧により動作する。デバイスの駆動部はベルトにより手首部分に巻きつけられるコンパクトな構造となっている。本システムではエアーコンプレッサの空気圧は空気圧レギュレータにより調節され, 電磁弁によって ON-OFF 制御されアクチュエータに入力される。空気圧が印加されることでバルーンアクチュエータの発生力によって指が屈曲し, 空気圧を止めることで対向に配置された引張ばねの復元力によって指が伸展する。電磁

弁は筋電位信号（EMG）の絶対値をローパスフィルタによって平滑化した積分筋電位信号（IEMG）の大きさをトリガとして ON-OFF 制御を行っている。

動作実験は健常な 20 代男性 1 名により行った。実際のリハビリテーションにおいては患者が健常側（Sound side）の鏡像を見することで麻痺側（Affected side）が動いていると脳に錯覚させ刺激を与えるミラーセラピーが行われている。本実験ではこのミラーセラピーへの応用を目指し片側の手を麻痺側とみなして本デバイスを装着し、健常側であるもう片側の手筋電位センサを取り付け、健常側の筋電位信号によって麻痺側の指を動作させるミラー動作を想定した。筋電位センサは浅指屈筋上に配置することで示指の屈曲動作により発生する筋電位を取得した。バルーンアクチュエータへの印加圧力は実験的に決定し、示指には 0.15 MPa、拇指には 0.12 MPa の圧力とした。指の角度は動作中の動画から画像処理により取得した。

動作中の麻痺側の様子を図 7 に示す。このように、柔軟なグローブ上に配置されたワイヤを手首に配置したバルーンアクチュエータにより引っ張る、人体の動作原理と似た構造によりデバイスを構成することで、指先同士が接触するようなピンチ動作を行えていることが確認できた。次に、そのときの指の角度および IEMG 波形を図 8 に示す。図 8 において、実線は麻痺側、破線は健常側の指の角度であり、点線は健常側の IEMG 波形を表している。この結果から、健常側の筋電位により麻痺側に他動的なピンチ動作が行えていることがわかる。また、指の伸展についても、引張ばねの復元力によって完全に伸展できていることが確認できた。

〔今後の研究の方向、課題〕

本デバイスは装着部となるグローブと、空気圧アクチュエータ、引張ばねから構成されるシンプルな構造である。本デバイスは 0.15 MPa

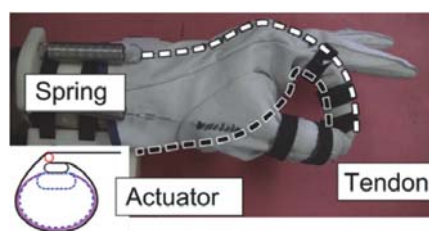


図 6 試作したリハビリデバイス

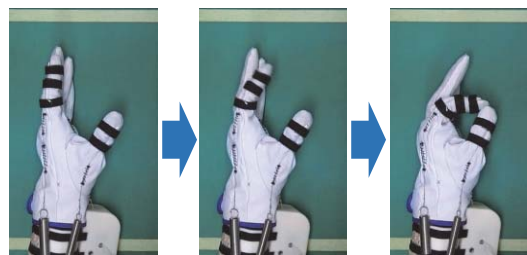


図 7 ピンチ動作実験

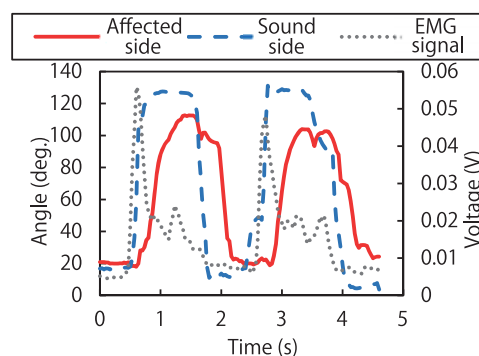


図 8 筋電位と関節角度

の低圧で動作する。本デバイスを装着し動作実験を行った結果、デバイスにより他動的なピンチ動作を行うことが確認できた。今後はフィードバック制御により左右の手で遅れの無いミラー動作を実現することが必要である。さらに、実際に疾患を有する患者に対するデバイスの有効性についても今後検証していく必要がある。

〔成果の発表、論文等〕

永瀬純也，濱田一貴，佐藤俊之，嵯峨宣彦，“バルーン型腱駆動アクチュエータを用いた手指ピンチ動作リハビリテーションデバイスの設計”，設計工学，Vol. 51, No. 1, pp. 41-50, 2016.

超解像技術に基づく冠動脈 MRA（磁気共鳴血管画像）の高解像度化

Increase of Image Resolution in Whole Heart Coronary Magnetic Resonance
Angiography Using Super Resolution Technique

2041023



研究代表者

立命館大学 理工学部

准教授

中山 良 平

[研究の目的]

冠動脈 MRA（magnetic resonance angiography）は、放射線被曝や造影剤投与を行わずに冠動脈を非侵襲的に描出できる画期的な画像診断法である。しかし、その空間解像度の不足から冠動脈末梢部の描出が不鮮明な場合があり、解像度の向上（高解像度化）が望まれている。MR 装置の撮像センサーの画素サイズをハードウェア的に小型化することにより、冠動脈 MRA の高解像度化が可能であるが、装置の機構的な制約やコストの観点から容易ではない。

撮影された画像を後処理としてソフトウェア的に高解像度化する技術として、超解像技術がある。脳 MR 画像を対象とした超解像技術の研究開発は、これまでにいくつか論文報告があるが、冠動脈 MRA を対象としたものはない。超解像技術により、高解像度化した冠動脈 MRA を医師に提供することにより、末梢部の細い血管も詳細に評価することが可能となり、狭窄検出診断の正確度の向上が見込まれる。したがって、早期発見、早期治療を実現でき、患者のクオリティオブライフの向上や医療費削減につながる可能性がある。また、超解像技術の有用性を臨床の立場から実証したものはなく、本研究の観察者実験により有用性が示されれば、臨床現場における超解像技術の普及および多くのモダリティ画像への応用とその発展につながる

ると期待する。

そこで本研究では、冠動脈 MRA をソフトウェア的に高解像度化する超解像技術を開発し、その有用性を検証することを目的とする。

[研究の内容、成果]

超解像技術は再構成型と学習型の大きく二つの手法に分類される。再構成型は、わずかに位置ずれのある複数枚の画像から高解像度画像を推定する手法である。一方、学習型は、参照画像を用いて低解像度画像と高解像度画像の対応関係を学習し、その関係に基づき高解像度画像を推定する手法である（図 1 参照）。本研究で

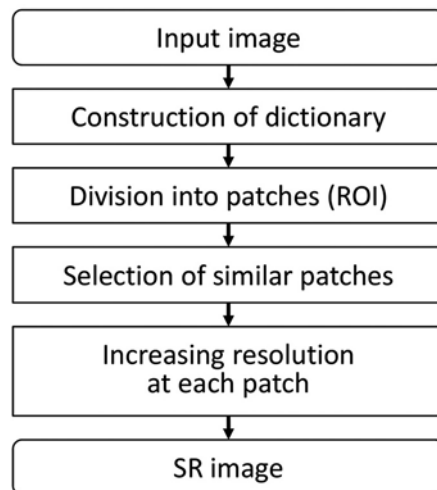


図 1 学習型超改造技術の処理手順

は、まず、どちらの手法がより忠実に冠動脈 MRA を高解像度化できるかを再構成型、学習型の 2 次元超解像技術を用いて比較した。ここでは、患者 35 名の冠動脈 MRA を対象に、1.5 T MR 装置で再構成された 512×512 画像をダウンサンプリングにより縮小し、 256×256 サイズの低解像度画像を生成した。次に、この低解像度画像を再構成型、学習型超解像技術を用いて 512×512 サイズの画像に復元し、元画像と各復元画像の Root Mean Squared Error (RMSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index (SSIM) により、その忠実度を比較した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{k \in Q} |I - I'|^2}$$

$$PSNR = 20 * \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{RMSE} \right)$$

$$SSIM = \frac{(2\mu_I\mu_{I'} + c_1)(2\sigma_{II'} + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_{I'}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{I'}^2 + c_1)}$$

その結果、学習型超解像技術の RMSE, PSNR, SSIM の平均は 2.52, 22.2 dB, 0.989, 再構成型超解像技術は 2.87, 21.6 dB, 0.985 であり、各指標において学習型超解像技術が再構成型超解像技術より有意に復元の忠実性が高いことが明らかとなった ($P < .001$)。さらに通常、医用画像の拡大に用いられる双三次内挿法による拡大画像との比較も行った。その結果、双三次内挿法の RMSE, PSNR, SSIM は 3.08, 20.2 dB, 0.984 であり、学習型超解像技術の忠実度が有意に高い結果 ($P < .001$) が得られ、超解像度技術の有用性が示された。

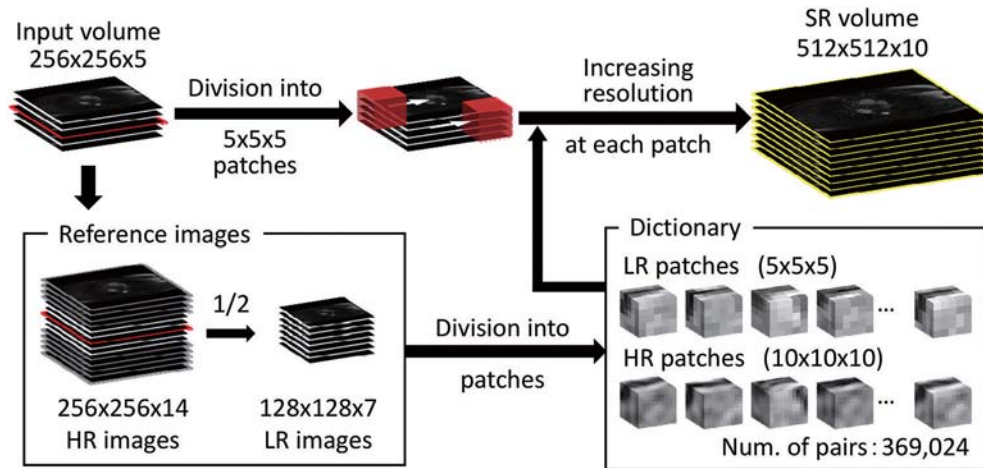


図2 3次元超解像技術の概略図

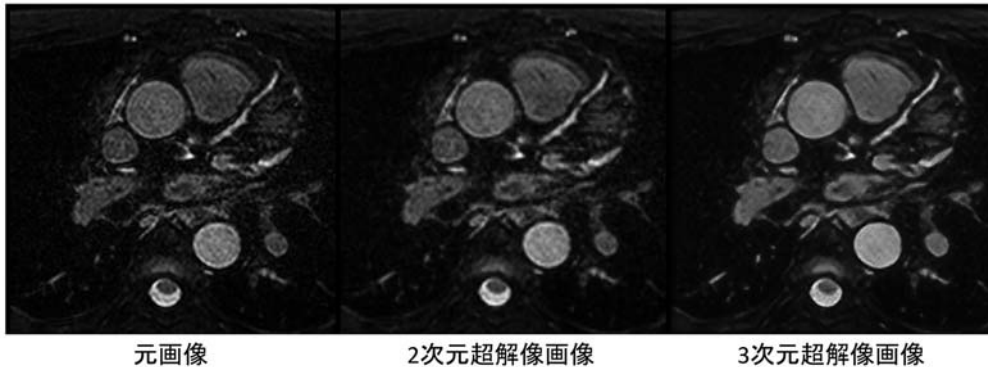


図3 元画像と超解像画像の比較

表1 忠実度の比較

n=46	2次元 超解像技術	3次元 超解像技術	P
RMSE	3.28	2.75	<.001
PSNR	21.4dB	23.6dB	<.001
SSIM	0.982	0.987	<.001

2次元超解像技術はスライス面に垂直な方向の解像度の向上が出来ない課題がある。そこで、学習型超解像技術を3次元に拡張し（図2参照）、冠動脈MRAの高解像度化に対する有用性を検討した。ここでは、患者46名の冠動脈MRAを対象に、1.5T MR装置で再構成された $512 \times 512 \times 150$ 画像をダウンサンプリングし、 $256 \times 256 \times 75$ （2次元超解像技術の場合、 $256 \times 256 \times 150$ ）の低解像度画像を生成した。この縮小画像を3次元および2次元学習型超解像技術を用いて、元画像サイズに復元したときの元画像に対する忠実度を比較した（図1参照）。3次元超解像技術のRMSE, PSNR, SSIMは2.75, 23.6 dB, 0.987で、2次元超解像技術（3.28, 21.4 dB, 0.982）より復元の忠実度が有意に高い結果が得られた（ $P < .001$ ）。さらに、画質評価の指標であるSignal-to-Noise Ratioは、3次元超解像技術が 66.7 ± 11.5 であったのに対し、2次元超解像技術が 61.7 ± 10.5 （ $P < .001$ ）で、画質においても3次元超解像技術の方が良好な画像が得られることが明らかとなった（図3参照）。

2次元超解像技術に比べ、演算量が飛躍的に増加する3次元超解像技術の演算時間は、患者データ1人分で約6時間と非常に長く、臨床で使用するのは困難である。そこで、マルチコアCPU（中央演算処理装置）のマルチスレッドプログラミングとGPGPU（グラフィックスプロセッシングユニット）のピクセルシェーダ機能を用いた並列処理により、3次元超解像技術の高速化を実施した。その結果、約1.5時間で患者データ1人分を処理することが可能となり、臨床で許容できる処理時間に抑えることができた。

[今後の研究の方向、課題]

今後の計画としては、以下の研究を順次進めていく予定である。

- ① 画質が低い低解像画像を入力した場合、超解像技術により高解像度化した画像も画質が低い課題がある。そこで、本超解像技術にAI（人工知能）を組み込み、低い画質を高画質に変換しながら高解像度化できるよう展開する。
- ② 超解像技術の有用性の実証、および厚労省の薬事申請のための試験として、大規模な評価実験を実施する。

[成果の発表、論文など]

- 1) 中山良平, 市川泰崇, 石田正樹, 宇野美緒, 後藤義崇, 永田幹紀, 北川覚也, 佐久間肇, “時空間超解像 (STSR : Space-Time Super Resolution) 技術によるシネMRIの時間分解能の向上,” 第79回日本心臓血管放射線研究会, 広島, July 2014.
- 2) 市川泰崇, 蟹井善統, 中山良平, 宇野美緒, 後藤義崇, 石田正樹, 北川覚也, 佐久間肇, “Targeted spatial frequency filtration 遅延造影CT (TSFF CTDE)における超解像度技術の応用,” 第79回日本心臓血管放射線研究会, 広島, July 2014.
- 3) 中山良平, 市川泰崇, 石田正樹, 宇野美緒, 後藤義崇, 永田幹紀, 北川覚也, 佐久間肇, “シネMRIにおける時空間分解能の向上のための時空間超解像技術,” 第42回日本磁気共鳴医学会大会, 京都, Sept. 2014.
- 4) Ryohei Nakayama, Masaki Ishida, Yasutaka Ichikawa, Mio Uno, Yoshitaka Goto, Motonori Nagata, Kakuya Kitagawa, Hajime Sakuma. “Three-dimensional super-resolution technique based on self-similarity : usefulness in whole heart coronary magnetic resonance angiography,” RSNA 2014, Chicago, Dec. 2014.
- 5) Masaki Ishida, Mio Uno, Ryohei Nakayama, Yoshitaka Goto, Tatsuro Ito, Motonori Nagata, Yasutaka Ichikawa, Kaoru Dohi, Kakuya Kitagawa, Hajime Sakuma. “Additive diagnostic value of coronary MRA in the stress cardiac MR protocol including stress myocardial perfusion MRI and late gadolinium enhanced MRI for the detection of coronary artery disease,” RSNA 2014, Chicago, Dec. 2014.

- 6) Ryohei Nakayama, Masaki Ishida, Yasutaka Ichikawa, Yoshitaka Goto, Motonori Nagata, Kakuya Kitagawa, Hajime Sakuma. "Three-dimensional Super-Resolution Technique for Whole-Heart Coronary MRA by Utilizing Graphical Processing Unit," ISMRM 23rd Annual Meeting & Exhibition, Toronto, June 2015.
- 7) Yoshinori Kanii, Yasutaka Ichikawa, Ryohei Nakayama, Masaki Ishida, Yoshitaka Goto, Motonori Nagata, Kakuya Kitagawa, Hajime Sakuma. "The usefulness of a dictionary learning post-processing technique for improving image quality of low-dose chest CT," RSNA 2015, Chicago, Dec. 2015.
- 8) Ryohei Nakayama, Yasutaka Ichikawa, Yoshinori Kanii, Masaki Ishida, Yoshitaka Goto, Motonori Nagata, Kakuya Kitagawa, Hajime Sakuma. "Improved image quality in low-dose chest CT using a new dictionary-based post-processing," European Congress of Radiology 2016, Vienna, March 2016.

糖尿病患者の「汗」計測による常時容態管理システムの開発

Development of diabetes condition managing system by sensing sweat ketone using a novel enzyme electrode

2041029



研究代表者

沼津工業高等専門学校
制御情報工学科

講 師

横 山 直 幸

[研究の目的]

糖尿病の国内患者数は316万6000人(厚生労働省H26年調査)であり増加傾向にある。これら糖尿病患者の多くは、食物から摂取した糖をエネルギーとして利用することができないため、代替エネルギーとして脂肪酸を分解してケトン体を生成してエネルギーとする。本代謝系により過剰に生成されたケトンが血液中に高濃度で残留し、血中ケトン濃度が閾値を超えると、糖尿病性ケトアシドーシス(症状:腹痛・吐き気・低体温・意識障害・昏睡)となる。本症に対しては輸液による血液希釈が基本的治療方針であり、早期発見および予防が重要である。

ケトアシドーシスを予防するためには定期的な血中ケトン濃度計測が有効であるが、現在主流である採血による血液検査は痛みや感染症、皮膚硬化などの医学的課題のみならず、経済的負担が大きい。このため、尿を用いた間接計測が検討されているが、本測定方法は尿中のアセトンを選択とした化学反応を計測原理とするため選択性が低く、疑陽性が課題となっている。また、尿などの体液として湧出する低濃度のケトン体に対して計測精度の向上が見込めない。

本研究では、固定化酵素リアクタと過酸化水素電極を用いることで、汗の中に含まれるケトン体(3-Hydroxybutyric Acid, 3-HB)を高精

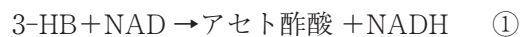
度に定量できる計測システムと、汗腺から湧出する汗の濃度を計測する電極を開発し、計測精度に対する実験評価を行った。

[研究の内容、成果]

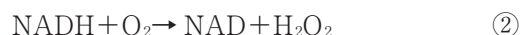
1. ケトン濃度計測システム

カラム内にて3-HB脱水素酵素(3-HBDH)と還元型NAD酸化酵素(NADHOD)を共同固定化し、NADおよびFADを微量添加した緩衝液を充填した固定化酵素リアクタと、H₂O₂選択透過膜にて隔離したPt電極とAg/AgCl参照電極からなる過酸化水素電極を試作した(図1)。以下①、②の反応は酸化還元反応であるため、緩衝液にはpHを調整したリン酸緩衝液を用いた。

[3-HBDHによる酵素反応]



[NADHODによる酸化触媒反応]



[H₂O₂電極で生じる電気分解]



以上の反応を連続的に発生させ、ポテンシオスタットにより0.6-0.7[V]の一定電圧を印加した過酸化水素電極(Pt)に流れる電流値をオシロスコープにより定量した。

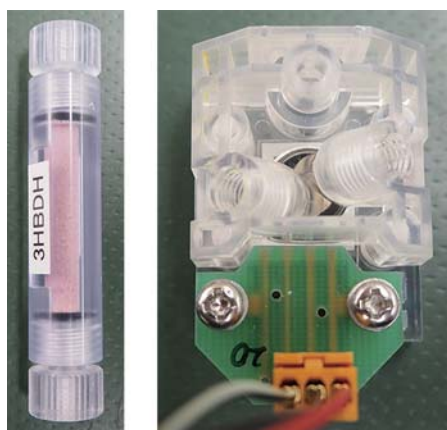


図1 (左) 酵素リアクタ (右) 過酸化水素電極

2. 汗濃度電極

汗が含有するイオン濃度と導電率の関係を利用して、汗濃度を定量する電極を試作した。BAS社の導電率測定用電極(図2)の電極間距離を30[μm]に調整し、電極間に流入した

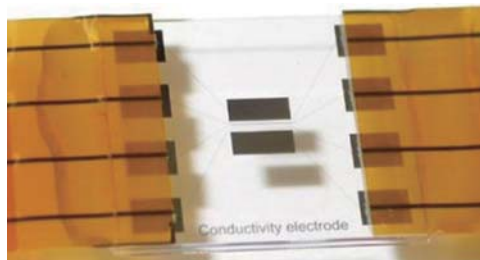


図2 汗濃度電極

汗の導電率を2端子法により定量するシステムとした。直流安定化電源を用いて、端子間に3[mA]の電流を流し、電圧値の測定を行った。

3. 計測システム構成

計測システムの概要を図3に示す。本システムの流路は内径 $\phi 0.5$ [mm]のシリコンチューブで構成し、連続流ポンプBFPU5(王子計測機器)により緩衝液の還流を行った。計測試料(ケトン含有汗)は流路途中に設置したマニュアルインジェクタBFM-300B(同)からマイクロピペット(30[μL])を用いて注入した。また、酵素リアクタと過酸化水素電極、汗濃度電極は空気式恒温槽BFTS2129(同)内に設置し、電気化学反応における温度管理を行った。計測試料の攪拌と回路流速の安定化を目的に、恒温槽の入口・出口にそれぞれミキシングコイルと末端背圧コイルを設けた。

4. 計測試料および評価方法

酵素リアクタおよび2つの電極の性能評価を目的に、ケトン体(3-HB)と汗イオン(NaCl)の濃度を調整した数種類の試薬30[μL]を、ポンプ流量1.0[mL/min]で還流している計測回路内に注入し、「ケトン濃度-H₂O₂電極起電流」と「イオン濃度-電気抵抗値」の関係をプロットした。

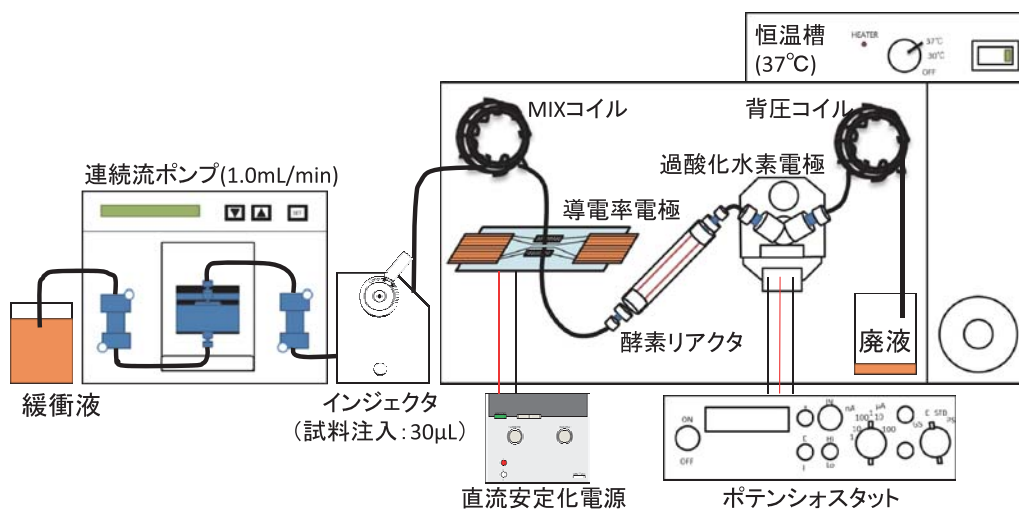


図3 ケトン計測システムの概要

5. 実験結果および考察

図4にケトン体(3-HB)濃度と過酸化水素電極のPt電極に発生した起電流の計測結果を示す。本実験では、酵素リアクタにおける酵素活性の持続期間について評価するため、実験は1週間刻みで合計12回行った。なお、酵素リアクタを含む計測システムは、3か月間常温で放置し、回路に充填する緩衝液のみ、実験毎の入れ替えを行った。

実験の結果、ケトン濃度：5.0 [mM] の計測において最も高い標準偏差(1.6 [nA])が観察されたが、酵素の放置日数との相関はなく、実験手技と試薬濃度の誤差による結果と考察された。この結果から、本研究にて新規に開発した酵素リアクタおよび過酸化水素電極を用いたケトン体計測システムは、3か月程度の酵素活性と計測精度を維持できる可能性が示唆された。また、糖尿病において医療措置を要する血中ケトン濃度である1.5 [mM]の前後において、高い測定精度を有していると考えられた。

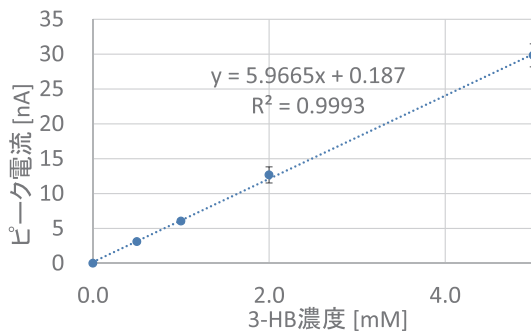


図4 ケトン体(3-HB)濃度と起電流

図5に試料注入後から過酸化水素電極上で電圧が生じるまでに要した時間を示す。グラフより、ケトン濃度と酵素リアクタにおける反応速度との間に相関は見られなかった。実験では100 [mM]以上の高濃度ケトンの計測も行ったが、同様の結果であった。

図6に汗濃度計測の結果を示す。導電率計測電極を用いて試作した汗濃度センサにおける電気抵抗値は、平均的な汗中のナトリウム濃度で

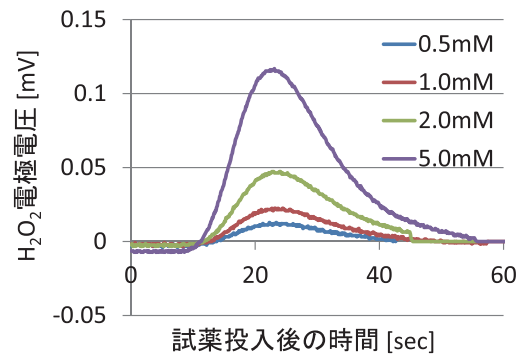


図5 試薬注入から定量までの時間

ある38.5-77 [mM]、血液中のナトリウム濃度の115.5-154 [mM]に対して線形相関($R^2 = 0.94$)を示した。

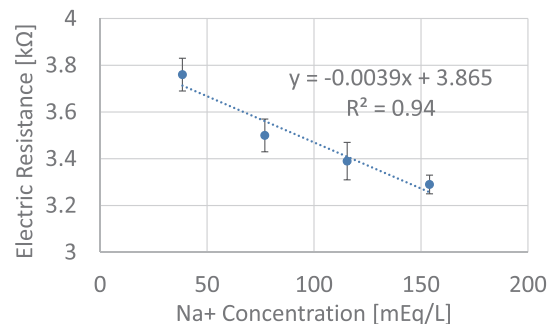


図6 Naイオン濃度と電気抵抗値

ケトン体とナトリウムを混合した試料を用いて行った計測の結果、本システムは、試料中に含有するケトン濃度とナトリウム濃度を高い精度で測定できることがわかった。また、酵素リアクタにおける酵素反応には即時性があり、酵素の活性期間も常温で3か月以上であることが証明された。また、ケトン濃度の違いによる汗(ナトリウムイオン)濃度の計測結果と、汗濃度の違いによるケトン濃度の計測結果には相互依存性は観測されなかった。

[今後の研究の方向、課題]

本研究にて開発を行った「酵素リアクタと過酸化水素電極を併用したケトン体計測法」は、酵素触媒反応を用いているため高い選択性と反

応速度を有しており、3-HBDH と NADHOD を共同固定化した酵素リアクタの酵素活性も3か月以上の長期耐久性を有することが判った。また、酵素反応により生じる過酸化水素の濃度を電気化学的に定量する多段階計測としていることにより、3-HB と NAD の反応のみから生じる起電力を増幅し、高精度に定量できる方法となっている。また過酸化水素電極については、医療現場で一般的に使用されている過酸化水素水を用いた電極のキャリブレーションも可能である。本計測法を用いることで、血液中ケトン濃度をさらに高精度に計測することが可能となり、血液成分が希釈されている体液（尿・汗）を用いた間接的な血中ケトン濃度計測も可能となると考えられる。

他方、体温や自律神経活動により日内変動する体液の濃度を定量するために考案した「汗濃

度電極」は、試料の導電率からナトリウム濃度を計算し、ナトリウム濃度から汗濃度を推定するものである。本研究では、ケトン体と生理食塩を純水で希釈したものを実験試料として用いたが、体液中に含まれる他のイオンが導電率に対して及ぼす影響については考慮できていない。また、本研究のテーマである“糖尿病患者の「汗」計測による常時容態管理システム”を実現するためには、30 [μ L] の汗を容易かつ精密に採取し、計測システムへ注入するための方法が必須となる。これらの点が今後の課題である。

〔成果の発表，論文等〕

Biophysical Society Annual Meeting における本研究成果に関する発表を計画している。

力学解析による義足の調整方法および、 セルフリハビリテーション方法の基盤開発

A biomechanical research of the alignment adjustment on the above-knee prosthetic leg
and the development of the self-rehabilitation methodology

2041901



研究代表者
(助成金受領者)

慶應義塾大学
政策・メディア研究科

教授 仰 木 裕 嗣

共同研究者

人間総合科学大学 保健医療学部
リハビリテーション学科
義肢装具学専攻

講師 富 永 修 一

〔研究の目的〕

義足は、患者本人がかつての歩行を自然に引きだせるものであるべきである。そのためには、義足のアライメントが本人に適合していかない。しかしながら、現在の義足の適合性評価は、理学療法士または義肢装具士による目視によってなされているのが一般的である。これは彼らが経験によって築き上げる義足アライメントの適合性の評価は暗黙知であると言える。この暗黙知とも言えるアライメント調節スキルを明らかにするためにも、アライメントの変化に対して生じる歩容の変化を定量化することが重要であると考えている。また施術後のある時期から、義足装用者のほとんどは、自身の努力による訓練を余儀なくされるが、このとき義足の適合性を自らの手で評価することが出来ない。

本研究の目的は、将来義足を着用した患者自ら、あるいは義肢装具士や理学療法士らが、義足アライメントの調節において必要とされる歩行時の運動学・運動力学データを取得するための基盤技術開発を進めることである。この目的のために実現しうる計測技法を駆使することで義足を始めとする歩行解析に新しい方法論を確立することを目指している。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、大腿義足を取りあげる。大腿義足において、その適合性は大腿断端部のソケットの調整および、膝継手接合部、足部アライメント調整が主たる課題として挙げられる。前者は広範囲にわたる皮膚接触面の感覚評価が必要であり、このセンシングは現状圧力計測については可能であるが、積分値としての正しい力を導き出すことは困難である。そこで、我々は、後者の膝継手部・足部のアライメント調整について、従来理学療法士らが目視で判断していた評価基準に対して、力学的根拠を持つ新たな方法を提案することを研究の目標とした。将来的には義足着用者が自宅でのリハビリテーションにおいて、その歩行の善し悪しを評価し、さらには義足のアライメントについても評価することが出来る環境づくりを目指している。この目標のために我々が取り組む研究は、光学式モーションキャプチャ技術を用いた関節座標計測および、フォースプレートによる床反力計測、さらには慣性センサや距離センサを用いた人体骨格の姿勢復元などの複数の計測手段の候補が挙げられるが、これらの方法論を横断的に取り組み、その利活用と長所・短所を明らかにすることを一つの提案とする。

(1) 義足アライメントの変化に伴う関節間力・関節モーメントの変化の定量化

大腿義足のアライメントとは主として、膝関節に相当する膝継手と大腿ソケット、下腿シャフトの3つのパーツの位置関係を意味する。そこで我々は、膝継手の大腿ソケットに対する位置関係を自由に変化させることのできる特殊な膝継手治具を用いて、膝継手を大腿部に対して、前後・左右・内外旋位・内外転位の各方向への微小な変位を恣意的に作り出し、その際に膝関節・股関節に生じる関節間力、関節モーメントの変化を捉えることにした。被験者は大腿義足被験者1名であった。被験者が自主的にきめた適度な歩行速度による歩行試技を約15m区間において行った。実験では、図1に示した膝継手を使用し、(1)標準、(2)(下腿が大腿部に対して)前方シフト、(3)後方シフト、(4)右シフト、(5)左シフト、(6)内転角不足、(7)外転角過大、(8)屈曲角不足、(9)屈曲角過大の9つの条件(図2)において試技を行った。光学式モーションキャプチャーシステム(Vicon MX)を12台用いた。立脚相時に足部に作用する床反力はフォースプレートによって測定した。下腿を3リンク剛体リンクセグメントモデルによってモデル化した(図3)。大腿部および下腿の慣性パラメータの推定方法は、健足についてはChandlerらの推定式を用い、義足については実測によって推定した。式(1)から式(6)は図2で示されたリンクセグメントモデルを記述



図1 自在治具による設定

するニュートン・オイラーの運動方程式である。

ニュートン・オイラー法による解析により、各リンクの角運動量変化分を構成する要素、すなわち筋力モーメント、関節間力モーメント、ジャイロ項によるモーメントをそれぞれ算出し、成分を比較検証した。

$$m_1 \ddot{x}_{1g} = F_1 - F_2 + m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_{2g} = F_2 - F_3 + m_2 g \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{x}_{3g} = F_3 + m_3 g \quad (3)$$

$$J_{1g} \dot{\omega}_1 + \omega_1 \times (J_{1g} \omega_1) = (x_1 - x_{1g}) \times F_1 + (x_2 - x_{1g}) \times (-F_2) - \tau_2 + \tau_1 \quad (4)$$

$$J_{2g} \dot{\omega}_2 + \omega_2 \times (J_{2g} \omega_2) = (x_2 - x_{2g}) \times F_2 + (x_3 - x_{2g}) \times (-F_3) - \tau_3 + \tau_2 \quad (5)$$

$$J_{3g} \dot{\omega}_3 + \omega_3 \times (J_{3g} \omega_3) = (x_3 - x_{3g}) \times F_3 + \tau_3 \quad (6)$$

各条件下での実験の結果、左シフト時、すなわち右下腿が右大腿部に対して左に位置する場合、において股関節外転トルクが標準状態及び他の条件に対して明瞭に大きくなることが確認された。この事実は義肢装具士による所見と一致する。義肢装具士の主観的評価を定量データによって確認することができたと言える。この成

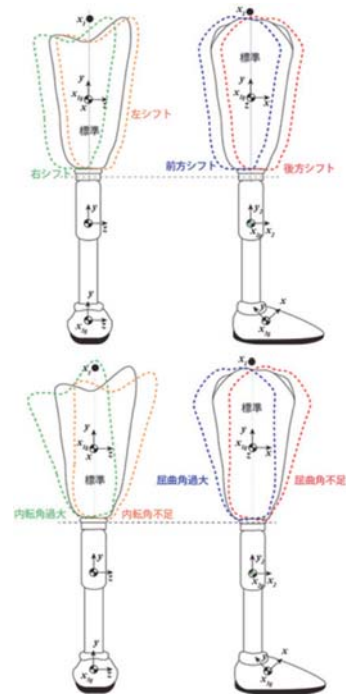


図2 下肢のアライメント調整条件

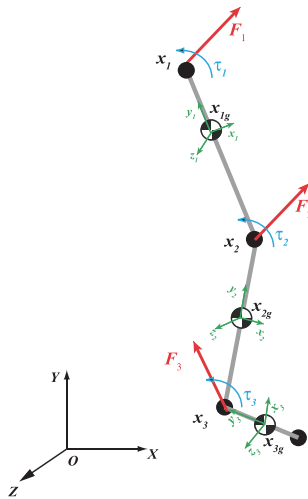


図3 下肢のリンクセグメントモデル

果をもとに同様の判断をより迅速に、臨床現場で実現できるようなシステム開発に取り組むことを課題 (2), (3)とした。

(2) フォースプレート及び光学式モーションキャプチャ装置による動力学解析

前項で述べたように歩行解析は、通常関節位置座標を取得する光学式モーションキャプチャ装置とフォースプレートによる床反力の測定によって、床に接地した足部に作用する力から体幹に向けて逆動力学を用いて関節間力、関節モーメントを解くが、ヒトの慣性パラメータは過去の先行研究によって紹介されている推定式に頼っている。ところが切断された義足患者の場合にはこの推定式を用いることはできない。そこで我々は、義足の慣性パラメータについては実測により同定し、このパラメータを計算処理に投入できるアプリケーションの開発を進め、義足歩行における逆動力学解析を実現するソフトウェア環境を構築した。義足の各パーツ重心は実測によって求められているが、それらの合成重心位置は常に運動中に変化することから、合成重心位置はアプリケーション内で「仮想点」として取り扱うようにできるようにした。図4は計測中のスクリーンショットである。今後、典型的な膝継手、下腿シャフト、足部の組み合わせで求められる合成質量・慣性

モーメントを自動的に計算し簡易入力できるようにする予定である。このように健康者の身体パラメータ以外を想定し、それを解析できるようなツールは国内外を見ても存在しないことから、今後義足装用者の運動解析に用いて、患者本人に対してのリハビリテーションへの示唆や、義肢装具士、理学療法士らが定量的な評価に基づいて訓練プランを考えて行くことが期待される。

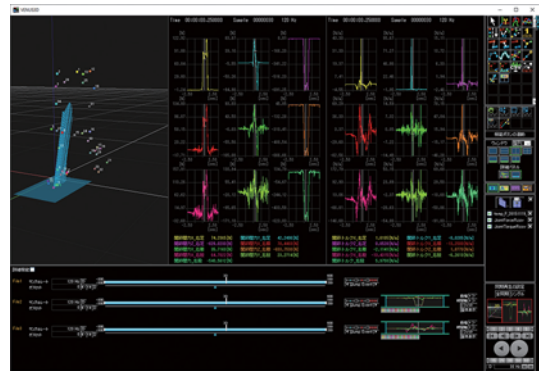


図4 義足の歩行解析を実現する歩行解析アプリケーション

(3) 深度センサを用いた運動学解析

高い空間位置精度を誇る光学式モーションキャプチャの課題の一つは、標識マーカーの装着に要する時間である。また全身タイツを着用した身体にマーカーを装着することは自然な歩行を損なう可能性が十分に考えられる。そこで光学式モーションキャプチャには位置精度では劣るものの、マーカーを装着せずに関節の位置座標を取得することのできる、Microsoft社製深度センサ、Kinectを用いた歩行解析アプリケーションの開発を(2)に並行して進めた。従来では座標の取得後に必要であった関節標識点のラベル付けを深度センサによって得られたヒトの骨格推定データから自動的に行ってくれることに特徴と優位性がある。図5は、計測中の様子である。被験者はカメラ正面から約3m-6m区間にわたる歩行路を歩くことで、全身の関節標識点、並びにセグメントの姿勢角を算出しリアルタイムで画面上に表示する。本研究では、歩行の運動学データとして重要と考え

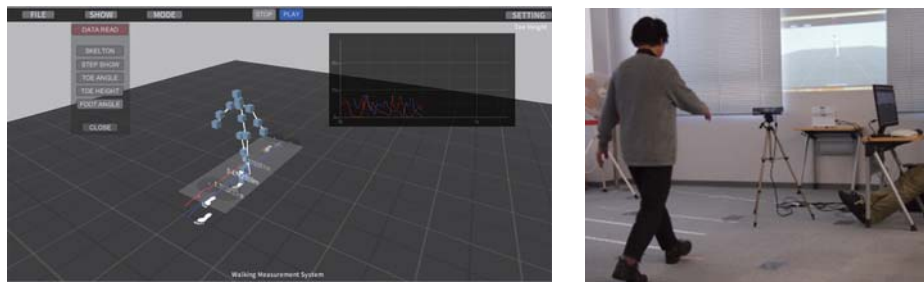


図5 Microsoft Kinect を用いたリアルタイム歩行解析アプリケーションと高齢者による検証実験中の映像

られる, i) 歩幅, ii) つま先高さ, ii) つま先の向き, iv) 足関節角度を歩行後直ちにアニメーション画面に重ね描きする機能を設け, 歩行者並びに観察者が定量データを確認できるものとして完成させた。義足装用者だけでなく, 健常者に対しても用いることができるため, 今後は医学部と連携した幅広い被験者を対象にした検証実験を進めていく予定である。

[今後の研究の方向, 課題]

(1) 今後の研究の方向

定量データに基づき, 経験と勘によらない客観的歩行診断を実施する体制づくりが今後の研究の方向性である。義肢装具士の力量が経験によるものであれば選ぶ選択肢のない患者にとっては不利であろう。これを解消する一助になるように, 患者・義肢装具士・理学療法士, そしてさらには医師がアライメント調整の影響を視覚的に理解し, 共有できるシステムを目指す。また認知症の前駆症状として現れる歩行時に見られる特異な挙動を診断するためのツールとしても有用であると考えている。従って, 今後は歩行解析から認知症患者に対してアプローチすることにも活用することを学内協力者とともに進めていく。

(2) 課題

これまでに取り組んだ研究方法論, 光学式モーションキャプチャならびに深度センサを用いた方法では, 基本的原理が光を用いているた

めにカメラや深度センサから被写体が確実に捉えられる撮影範囲にあることが求められる。従ってカメラを配置するための広範囲の場所の確保や, 見えないマーカーや関節位置によるオクルージョンが発生することは今後も課題となる。これに対して, 慣性センサはその計測場所にこだわる必要がなく一見便利であるが, 計測最初に必ず行わなければならない, 静止状態の確保や, そもそもセンサを身体セグメントに精度よく固定し関節からの位置を正しく同定しなければならない, という欠点を有している。身体関節角度データは得られないが, 床面に敷き詰める圧力センサシートは, 歩幅やピッチ・速度, 立脚時の荷重分布とその時間変化などを明らかにすることができるが, 未だ歩行路と呼べるほどの大きなサイズは流通していないことから, これも今後の開発が期待される。我々は被験者に与える身体的・心理的負荷を最小限にしつつ, 光学式センサ, 慣性センサ, センサシートなど複数の計測センシング方法を駆使して, 歩行を毎年の健康診断のような恒例のイベントとして確立することを目指す。

[成果の発表, 論文等]

- (1) 仰木裕嗣, 富永修一, 大腿義足のアライメント調整によって変化する下腿の運動に関する考察, 第31回日本義肢装具学会学術大会講演集, p276, 2015.
- (2) 仰木裕嗣, 大腿義足の遊脚相に観察される下腿の内外旋と関節間力・関節モーメント及びジャイロモーメントとの関係性, 第30回日本義肢装具学会学術大会講演集, p273, 2014.

人間と機械の協調制御による遠隔操作ロボットの研究

Research of a Remote-Operated Robot Based on Human-Machine Cooperative Control

2041902



研究代表者

千葉大学大学院 工学研究科

准教授

並 木 明 夫

[研究の目的]

近年、危険作業などの用途でマスタ・スレーブ型の遠隔操作ロボットの重要性が増している。一方、マスタ・スレーブ間の動作の通信遅れの影響やロボットのダイナミクスの影響などから、従来の開発されたシステムでは、作業の速度が低速となってしまうことが多かった。

実用化のためには、作業のもたつきをなくしスムーズに作業ができるように作業速度を高速化することが必要となる。そこで、本研究では、スレーブロボット側の自律アシスト制御を導入することで、作業速度の高速化を目指す。

[研究の内容、成果]

1. 遠隔操作ロボットシステムの開発

本研究に用いるマスタ・スレーブシステムの構成図を図1に示す。

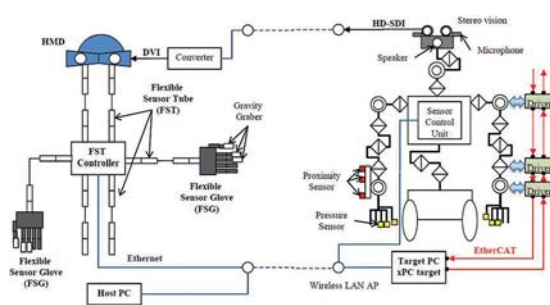


図1 システム構成図



図2 マスタ



図3 スレーブ

本研究では、マスタ装置としてFST (Flexible Sensor Tube) システム (図2) を使用する。このシステムでは、手先と頭部の位置姿勢をFSTと呼ばれる多関節チューブ型センサによって計測するとともに、指関節の形状計測と触感提示のためのデータグローブ、視聴覚提示のためのヘッドマウントディスプレイを統合することで、操作者の直接的な操作を可能とする。

一方、スレーブロボットは、図3に示すような上半身型ヒューノイドロボットであり、7自由度双腕アーム、5本指多指ハンドを持つ。人間と同等のサイズであるが、アームの肘部分と胴体の干渉を防ぐために、胴体部が細くなるように改造した。

アーム手首には6自由度力トルクセンサ、ハンド指先には圧力センサを備え、加えてハンド指先と前腕部に衝突回避のための近接覚センサを備えている。頭部には視覚提示用のGbit Ethernet カメラ2台とロボットの動作制御用

の 500 Hz 高速カメラ 2 台が備えられている。

マスタ側からスレーブ側へ 5 ms のレートで操作者の手先位置姿勢、手形状と頭部の姿勢が送られる。スレーブ側では送られた目標位置姿勢を逆運動学計算によりロボットアームに適した位置姿勢に制御する。ハンド形状、頭部位置姿勢についてもロボットの構造を考慮して最適な位置姿勢に制御する。一方、スレーブ側の視覚センサ、力センサ、非接触センサは自律制御に用いることができ、操作者の操作をアシストする。ただし、単純に自律的な制御フィードバックを加えるだけでは、操作制御と自律制御が干渉して使いづらくなるため、下記に述べるようなリーチング動作対応のアシスト制御法を開発した。

2. リーチング動作のアシスト制御の開発

マスタ・スレーブロボットでは、スレーブのダイナミクスの違いや通信の遅れから、操作に遅れが生じる。また、スレーブとマスタの身体構造の差異から、操作の位置姿勢の誤差も生じる。この「遅れ」と「位置姿勢誤差」は、操作性を著しく損なってしまう。そこで、操作者の手の動きを予測し、スレーブロボット側で遅れを補償しマスタとスレーブで動作の「同期」させる。同時にスレーブの視覚センサや力センサにより、マスタとスレーブ間の位置姿勢誤差を自動補償する。具体的な処理は下記ようになる。

① 前画像処理による把持候補対象物体の検出

スレーブ側ロボットにより、把持対象候補物体をあらかじめ検出する。

② 把持対象および把持動作検出

操作者の手の動きを検出し、確率フィルタによる動作方向予測の確率分布と、把持対象候補の確率分布を合成することで、把持動作と把持対象を検出する。

③ 把持動作軌道、把持時間の推定

躍度最小モデルにより操作者の把持動作軌道を予測・推定する。

④ リーチングのアシスト制御

操作者の把持動作予測軌道に応じて、ロボットのアシスト制御軌道を生成する。

⑤ プリシェーピング制御

把持対象の形状に合わせて、ロボットハンドの形状をあらかじめ変化させる。まず、把持対象を円柱形か球形かに判別し、対象物体の向き、大きさに合わせて、リーチング動作中に最適な把持形状にロボットハンドの形状を変化させる。

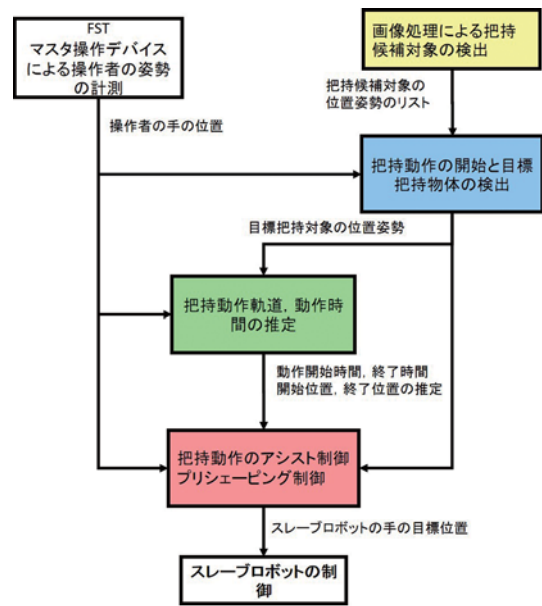


図4 処理の流れ

2.1 把持対象および把持動作検出

操作者の動作予測は、人間の動作が2階差分トレンドモデルに別途加速度による補正項を付与した形で表せるとしてパーティクルフィルタを用いて行う。リーチング判定は予測粒子と物体間の距離を評価することで行う。リーチング判定のための評価値は次式で表される。対象物体 $\mathbf{p}_{obj}$ と k ステップ先の各粒子の予測位置 $\mathbf{p}_{pre}^{(i)}$ との距離 $d^{(i)}$ を用いて評価値 $q^{(i)}$ を計算し、その総和 Q_2 が閾値を超えたらリーチングと判定する。

$$Q_2 = \sum_{i=1}^N q^{(i)} = \sum_{i=1}^N v_M^{(i)} \exp \left\{ -\frac{d^{(i)2}}{2\sigma_{d^2}} \right\}$$

ここで,

$$v_M^{(i)} = \begin{cases} |v_M^{(i)}| & \text{if } \cos\theta^{(i)} > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

であり, $v_M^{(i)}$ は現在の手先位置を表す各粒子 $p_M^{(i)}$ の速度粒子の速度, $\theta^{(i)}$ は $p_{\text{obj}} - p_M^{(i)}$ と $p_{\text{pre}} - p_M^{(i)}$ のなす角度である。さらに, この評価値に視線方向の評価も加えることで予測精度を上げる。

2.2 把持動作軌道, 把持時間の推定

次式の躍度最小モデルを操作者の手先軌道にフィッティングすることでリーチング終了時刻を予測する。

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + (6\tau^5 - 15\tau^4 + 10\tau^3)(\mathbf{r}_f - \mathbf{r}_0)$$

ただし, $\mathbf{r}_0$ と $\mathbf{r}_f$ はリーチング開始時と終了時の手先位置を表す。また, $\tau = \frac{t - t_0}{t_f - t_0}$ であり, t_0 および t_f はそれぞれリーチングの開始時刻と終了時刻を表す。フィッティングには最小二乗法を用いて, 操作者の手先軌道と躍度最小モデルとの位置, 速度, 加速度の誤差を最小にするように躍度最小モデルのパラメータを決定する。リーチングの初期段階では予測結果が実際とずれやすいため, フィッティングは1回のみではなくリーチングが終了するまで逐次的に行う。

2.3 リーチングのアシスト制御

フィッティングにより操作者のリーチング動作の開始時刻 t_0 と終了時刻 t_f が予測される。ロボットがこの時間に合わせてリーチング動作を終了させるためには, 軌道を補正する必要がある。本研究では軌道補正を, 躍度最小モデルを用いて行うこととした。まず, 時刻 k に予測されたリーチングの開始・終了時刻 $t_{0,k}$, $t_{f,k}$ と目標物体の位置 $\mathbf{r}_f = \mathbf{r}_{\text{obj}}$, 1サンプル前にスレーブに与えていた手先目標値 $\mathbf{r}_{\text{mod},k-1}$ を用いて, ロボット側でリーチングが開始されたと推定される位置 $\mathbf{r}_{0,k}$ を求める。

$$\mathbf{r}_{0,k} = \frac{\mathbf{r}_{\text{mod},k-1} - \mathbf{r}_f(6\tau_k^5 - 15\tau_k^4 + 10\tau_k^3)}{1 - (6\tau_k^5 - 15\tau_k^4 + 10\tau_k^3)}$$

これより, スレーブに与える手先目標値 $\mathbf{r}_{\text{mod},k}$ が次式で算出される。

$$\mathbf{r}_{\text{mod},k} = \mathbf{r}_{0,k} + (6\tau_{k+1}^5 - 15\tau_{k+1}^4 + 10\tau_{k+1}^3)(\mathbf{r}_{f,k} - \mathbf{r}_{0,k})$$

3. 実験結果

操作者がリーチング後, 素早く手を引き上げる実験を行い, その時にマスタとスレーブの動作のタイミングが合っているかを確認する。まず, 図5に操作者のリーチング軌道とフィッティングされた躍度最小モデルを示す。縦の一点鎖線は躍度最小モデルのリーチング開始時刻と終了時刻を表す。躍度最小モデルは操作者のリーチング軌道に対してよくフィッティングしており終了時刻が予測できていることがわかる。

図6に操作者の手先軌道と補正軌道を示す。2つの軌道をつなぐ一点鎖線は同時刻の位置同士をつなぐものである。また, x軸は上下方向, z軸は左右方向を表す。一点鎖線がほぼ水平になっていることから引き上げるタイミングがマスタとスレーブで合っていることがわかる。これはリーチング終了時刻を予測しそれまでに軌道補正を終わらせたことで次の動作にスムーズ

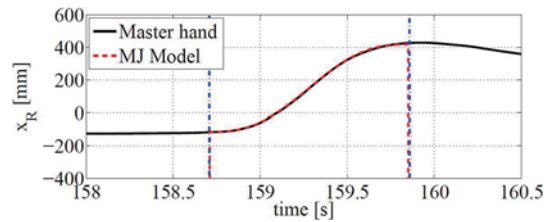


図5 操作者の手の軌道と躍度最小モデル

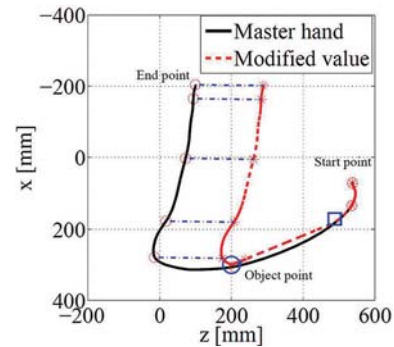


図6 操作者の手の軌道と修正軌道

に入れたことを表している。リーチング終了時刻を予測することでリーチングと次の動作をスムーズにつなげられることが確認できた。実験時の連続写真を図7に示す。

図8に3次元空間におけるリーチング軌道を示す。図中の丸は物体の位置、四角はリーチング判定の瞬間を表す。操作補助が入らないと正確に物体に対しリーチングできていないが、補正によって物体に正確にリーチングできていることがわかる。

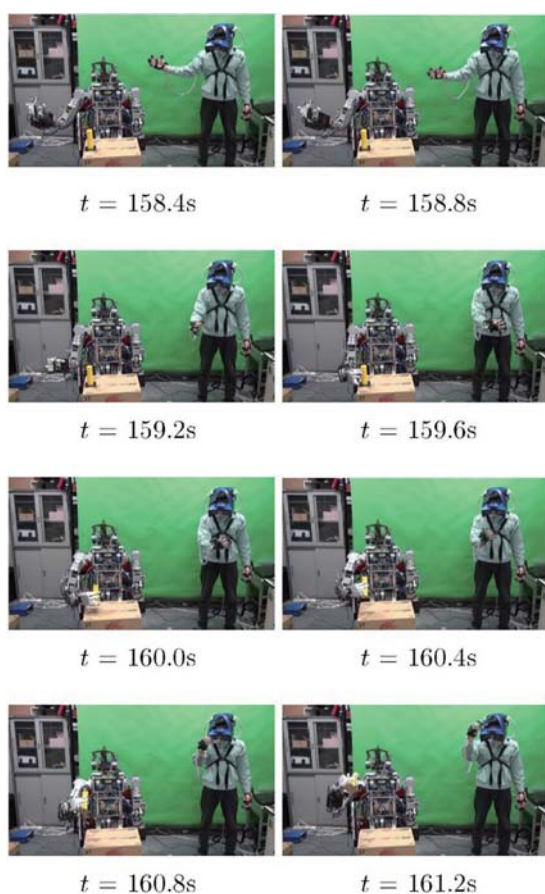


図7 リーチング動作の連続写真

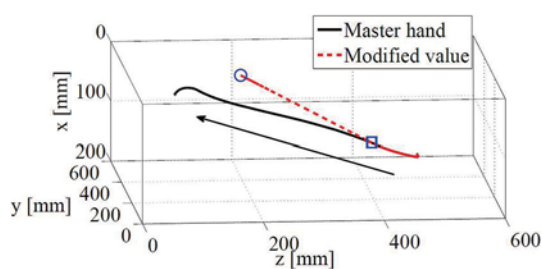


図8 リーチング動作の修正軌道

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、マスタ・スレーブにおいて高速動作を実現することを目標として、リーチング動作に対し操作補助を導入し、その有効性を示した。今後の課題として、①スレーブロボットにおける把持候補対象の自動抽出、②操作アシストにおける修正軌道の最適化、③4リーチング以外の各種作業へのアシスト制御を導入、が挙げられる。

[成果の発表, 論文等]

1. Yosuke Matsumoto, Akio Namiki, and Kenta Negishi, Operation assist for a teleoperated robot system controlled with a lightweight and high-operable master device, 2015 IEEE/SICE Int. Symp. System Integration, pp. 552-557
2. Akio Namiki, Yosuke Matsumoto, and Kenta Negishi, Development of Real-Time Control System for a Remote-Controlled Robot with a Lightweight and High-Operable Master Device, The 2015 Int. Conf. Real-time Computing and Robotics
3. 根岸健多, 松本庸佑, 高橋史泰, 並木明夫, マスタ・スレーブ制御における操縦者の意思を考慮した視覚フィードバックによる操作補助, 第20回ロボティクスシンポジウム講演論文集, pp. 512-519, 2015
4. 松本庸佑, 根岸健多, 見上慶太郎, 並木明夫, 軽量・高操作性マスタ装置を備えた遠隔操作ロボットのための実時間制御システムの開発, 第20回ロボティクスシンポジウム講演論文集 pp. 520-525, 2015
5. 見上慶太郎, 松本庸佑, 根岸健多, 並木明夫, 物体中心座標の操り制御を導入したマスタ・スレーブシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015/5/18

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

Development and evaluation of self-posture adjustment system with haptic sensation

2151001



研究代表者

九州大学 芸術工学研究院

准教授

上 岡 玲 子

〔研究の目的〕

我々はコンピュータにより便利で快適な生活を享受しているがその一方で長時間のデスクワークによる座り姿勢やモニターを見るための前傾姿勢から姿勢は悪化傾向にある。厚生省の国民生活基礎調査によると、有訴者の自覚症状の上位2位は「腰痛」と「肩こり」であることから、悪姿勢から生じる身体の不調を減らすために姿勢改善が急務であることが伺える。根本的な姿勢改善のためには普段から正しい姿勢を心がけ、自らの筋肉で正しい姿勢を維持することが重要である。そこで本研究では、コンピュータが人の姿勢状態を判別し悪姿勢時に背部に直線的に触覚刺激を提示することで生じる反射応答からユーザーの能動的な背筋運動を誘発し姿勢を矯正するシステムを実現することを目指す。

〔研究の内容、成果〕

姿勢矯正システムの試作の予備実験として最適な触覚刺激の提示パラメータを決定する予備実験を行った。

はじめに、背部反射応答を誘発する方法として、一般的に背中をなぞることで人がゾッと背中を立てる行為に着目し、その様子を観察したところ、刺激物の提示速度と方向、形状、提示箇所（背骨に沿うか左右肩甲骨の下角直下

に沿うか）が誘発しやすい刺激の提示パラメータとして整理できた。

そこで速度と提示方向について予備実験としてビデオ映像から適切な反応がおきた時の速度を初速、等速、終速と分類し映像から速度を算出した。図1に速度を算出のため定義した3つのエリア領域を示す。算出結果より、Section2の等速度領域は10回の試行の平均速度から300 mm/secであり、初速、終速の加速度はほぼ同等の加速で平均800 mm/sec²となった。また刺激提示の向きについては背中下部から上部へ向かって刺激提示を行う場合に背中をたてる現象がおこることが観察から明らかとなった。

次に適切な提示刺激の端点の形状について予備実験を行った。端点形状は図2にあるように直径3 mmの円形、2 mm×4 mmの長方形、18 mm角の正方形を3Dプリンターで製作した。これを用いて3種類の刺激物と刺激提示を1もしくは2箇所とし計6種類の提示の組み合わせで背部の適切な動きを誘導する形状と刺激提示数を決定する実験を行った。

実験では被験者5名（男3、女2、平均23.4歳）に形状と刺激提示数を被験者ごとにランダムな順番で5回ずつ提示した。刺激慣れを防ぐために刺激提示ごとに1分間の間隔をあけて刺激を提示した。刺激提示した時に背部に反応があり姿勢が変化した時は1を反応がなかった場合は0とし記録を行った。記録データをBartlett検定より等分散であることを確認した

後、形状と刺激提示数の2要因の反応の平均を分散分析したところ、図3に示すように直径3mmnの円形状で2本の刺激提示の刺激提示パターンが最も背部の反射応答を誘導する形状であることが明らかになった ($F=7.86, p<0.001$)。

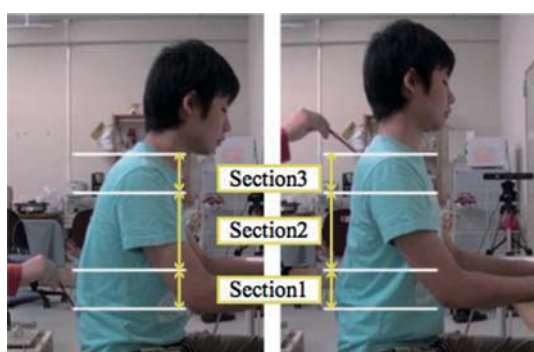


図1 刺激提示予備実験の様子

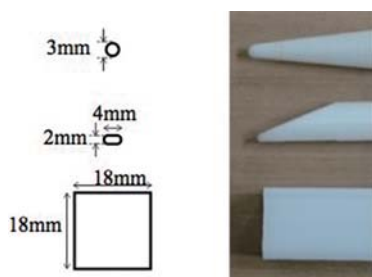


図2 3種類の先端形状

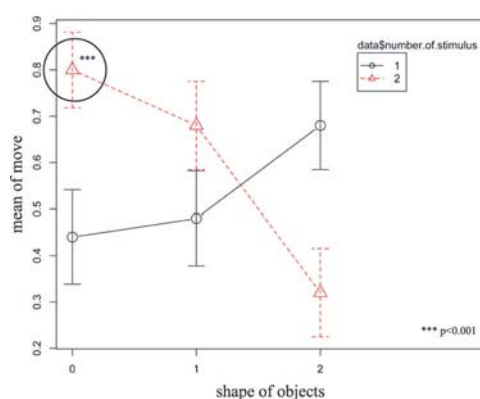


図3 形状と提示数の2要因分散分析の結果

2. 装置の試作

背部の姿勢を誘導する刺激の提示速度、向きと形状、刺激数を予備実験より明らかにし、その結果をもとに装置の試作を行った。図4に試

作システムを示す。悪姿勢検出時に背部へ刺激を水平移動し、身体下方向から上方向へ向かって刺激を提示することが可能な2自由度の動きを持つ装置を試作した。水平方向移動の機構はバイポーラ型ステッピングモーター (Mercury Motor ST-57BYG076-0604) を使用し、アクリル材料で製作したリンク機構により移動制御をした。具体的には悪姿勢継続時間が設定した閾値を超えた時に背部に刺激を提示するためにステッピングモーターを制御し刺激端点を背中に押し当てるところまで動かす仕組みである。背中への刺激物があたっていることを確認するためにピエゾフィルムの圧力センサー (FlexiForce A201-25) の値を50サンプルごとに平均し、事前に設定した最大と最小閾値内に算出された平均圧力値が出力されているか常時モニタリングし、閾値を外れた場合、ステッピングモーターを時計周りもしくは反時計周りに動かすことで凹凸のある背中に一定の力で刺激が提示されるよう制御した。人により刺激に対しての鋭敏さが異なったため、3種類の閾値設定値を決め、被験者ごとにあてる強さを調整できるように設計した。

垂直方向の運動制御にはリニアアクチュエーター (THK, ESS-12-D) を用い臀部から背中を垂直方向に動かした。予備実験より決定した速度や加速度については THK のリニアアクチュエーターのドライバー (TSC, THK) にプリセットし、Arduino の信号出力により制御した。

悪姿勢検出に関しては過去の研究より構築した Microsoft の簡易モーションキャプチャシステムである Kinect センサーを用いてパソコン作業時に前傾姿勢による悪姿勢を検出するシステムを利用した。

刺激を提示するために椅子の背もたれ部をフレーム型にした椅子を製作し、ユーザーの衣服と接触物との摩擦抵抗を低減するためサテン布をフレームに挟む機構とした。

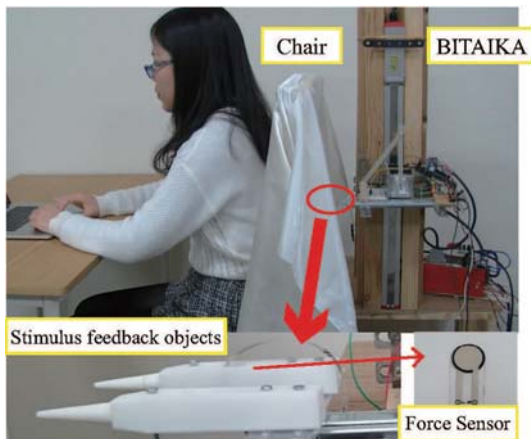


図4 姿勢矯正のための触覚提示試作システム

3. 視覚刺激との比較

試作システムの有効性を評価するため、悪姿勢時に作業時のパソコン画面に視覚刺激を提示する方式と本提案方式を被験者内実験により評価した。有効性評価の方法として 1. 悪姿勢時に刺激提示されることで刺激に注意が向くか 2. 刺激に気づいた場合、姿勢に変化があるか 3. 姿勢の変化により良姿勢になったかを定量評価した。図5の左が比較実験の視覚刺激提示時の画面を示す。320×240 pixelの被験者の横側からの姿勢の状態と良姿勢と悪姿勢を示す指示線が提示されており、悪姿勢を20秒以上検出した時に画面が赤く点滅し、指示線を見ながら被験者自身が姿勢を正すよう指示した。図5右が触覚刺激提示の様子を示す。視覚刺激と同様に20秒以上悪姿勢を検出した場合、背中に刺激が提示される。被験者は30分間PCを使用した作業やPC画面上で電子書籍による読書などしてもらった。システムの動作音などに意識が向かないよう、視覚、触覚の両方の実験中イヤホンで音楽を聞いてもらった。被験者は11名の大学生（男6、女5、平均22.8歳）である。被験者は両方の刺激提示実験に参加し、別日に各刺激条件の実験を行った。また、順番効果をなくすため、被験者ごとにランダムな条件で実験を行った。



図5 提示刺激（視覚（左）・触覚（右））

4. 結果、考察

(1) 刺激への注意

刺激提示への注意に関しては触覚刺激に対しては刺激提示に対し100%刺激に気付いたのに対し、視覚刺激については、刺激提示に気づかなかった割合が刺激提示全体の10%あった。視覚・触覚刺激の刺激提示に気づいた割合を図6に示す。結果より作業に集中している場合、注意が作業中のPC画面の特定領域に集中するため、視覚刺激による姿勢矯正の警告サインには気づきにくい傾向にあることがわかった。

(2) 姿勢の変化

両条件での姿勢の変化について分析するため、刺激提示後の頭部の動きを被験者の耳の位置を基準とし、図7に示すように前後での姿勢変化を耳の位置の変化とし距離と角度から分析し評価した。距離の分析では姿勢矯正前の耳の位置を中心に右方向をプラス、左方向をマイナスとして算出した。角度の分析については、姿勢矯正前を中心に耳の位置の前後に接線を引き内角を算出した。表1に各条件の距離と角度の変化の平均の結果を示す。これより両条件とも頭部は後傾にかつ前姿勢よりも上方向に頭部の位置が変化していることが明らかになった。両条件の平均に有意差は認められなかったが、視覚刺激の方が姿勢の変化がやや後傾姿勢で頭部の位置は触覚刺激よりも低い位置に姿勢が変化するという結果が得られた。

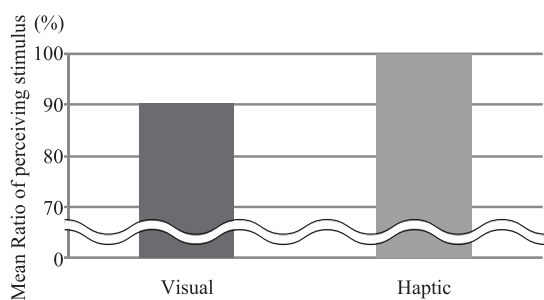


図6 視覚・触覚刺激に気づいた割合

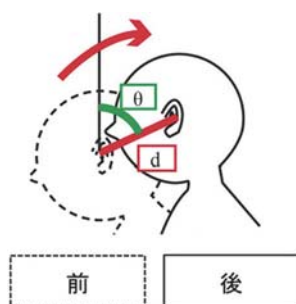


図7 姿勢の変化の定量化指標

表1 各刺激の姿勢変化の結果

	Distance (mm)	Angle (°)
視覚刺激	24.6	65
触覚刺激	17.4	45.8

(3) 良姿勢への変化

両刺激ともそれらを提示することにより頭部の位置の変化から姿勢が変化することが定量的に評価できた。そこで、各刺激で姿勢の変化で良姿勢に変化するかを評価するため記録ビデオから各刺激で身体の動かし方に特徴が異なるかを観察した。図8(上)に赤線で示すように視覚刺激の場合、提示画像にある指示線を見ながら自身の姿勢を修正する行動を首から肩甲骨にかかる身体上部を後方へ移動させて姿勢を直し、身体下部の骨盤付近の位置に変化が見受けられないことが観察された。2で分析した姿勢変化の結果からもうかがえるように、上半身を中心とした姿勢変化のため、頭部の位置の変化は触覚刺激提示よりも大きく、下半身の変化が少ない。それに反して触覚刺激の場合、図8(下)の赤線で示す通り、背骨下部の骨盤付近が刺激提示によりが立ち上がり、姿勢が変化している。

正しい座位姿勢を獲得するためには骨盤がしっかりと起きその結果、背中がまっすぐに伸びることが重要である。触覚刺激の場合前かがみ姿勢により骨盤が後ろに倒れがちなPC作業中の悪姿勢を骨盤の矯正から働きかけ背中への刺激を与えることから正しい良姿勢に誘導できていると考えられる。そこで全被験者の記録データからシステム提示刺激による姿勢変化が骨盤から起き上がる下からの向き(1)からおこっているか、肩から背中を後方に移動する上からの向き(-1)からおこっているかを得点化し平均した。結果を図9に示す。視覚刺激の場合は平均-0.3で肩から後方に背中を移動する動きになりやすく、触覚刺激の場合は平均0.2であったことから骨盤から姿勢を変える傾向があった。t検定より条件間の平均の結果の違いの有意差を検定したところ有意差が認められた($F=21.6, p<0.001$)。

[今後の研究の方向、課題]

本研究でははじめに背部触覚刺激を引き起こしやすい要素を導き出し姿勢矯正の装置を試作



図8 姿勢変化の動きの違い(視覚(上)・触覚(下))

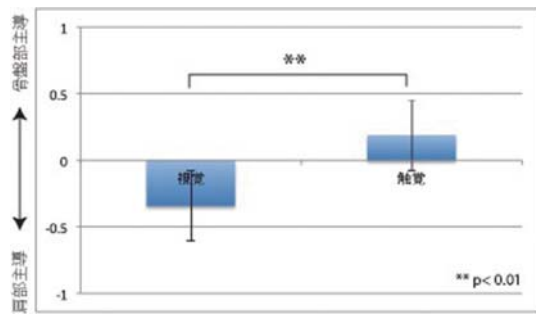


図9 各刺激の姿勢変化時の動きの向き

した。姿勢矯正の効果を検証するため30分間のPC作業を行う実験を視覚刺激提示の手法と比較した。実験の結果から刺激の提示方法により姿勢の正し方に違いがあり、触覚刺激提示の場合、正しい姿勢の正し方を誘導する可能性が

示唆された。

今後は振動触覚などを他の触覚刺激との効果の違いを視覚刺激とあわせ比較し評価することで、本提案システムの刺激の提示手法の有効性を検討するとともに、長期実験による姿勢矯正の効果を実証実験により明らかにしたい。

[成果の発表，論文等]

1. 石松，上岡，美体化装置のための効果的な触覚刺激の検討，第20回バーチャルリアリティ学会大会，pp. 106-109, 2015. 9.
2. H. Ishimatsu, R. Ueoka, Finding the right feedback for self-posture adjustment system for “BITAIKA”, Article No. 26, Siggraph Asia 2015 Posters, 2015, 11.

「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

New skill assessment and training system for laparoscopic surgery

2151002



研究代表者

国立研究開発法人
日本医療研究開発機構

主 幹

植 村 宗 則

〔研究の目的〕

内視鏡外科手術は、1990年に腹腔鏡下胆嚢摘出術が発表されて以来爆発的な発展を遂げており、その低侵襲性ゆえに今後もますます適応が広がっていくものと考えられる。その一方、最近本手術に関する医療事故が相次ぎ、社会的にも問題になっている。これは多くの場合、医師の内視鏡外科手術や先端医療機器に対する理解や認識の不足、未熟な技術に起因するものであり、このような事故の防止のためには低侵襲手術治療における専門的な教育・訓練が重要であることは論を待たないところである。

本研究では、高度なデータ処理・提示システムを機械としての対象とし、これが人間と極限まで調和するための基礎実験を目的とする。熟練した医師の経験と勘を頼りにした、いわゆる「名人芸」といわれる客観的には伝えがたい技術を、新しい手術手技評価方法と新しい情報処理システムにより、医師の得意、不得意、医師の技量、何が身に付いており、何が身に付いていないのかを明確にし、具体的かつ定量的にフィードバックする事が可能な、より進化した内視鏡外科手術トレーニング支援システムを開発する。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、全体を3つのステップに分け、

段階的に遂行した。

(1) 手術手技自動評価エンジンの構築：Neural Network を利用した、手術手技自動評価エンジンを構築した。本エンジンを構築するにあたり、まず、先行研究で得られたゆらぎ解析等カオス解析を用いた8つの評価パラメータを用いて技術レベルに応じて医師を「熟練者」か「初心者」に振り分けるための学習を行った(図1)。その結果を、図2に示す。

(2) 手術手技自動評価エンジンの検証：次に、学習した Neural Network を用いて、九州大学病院内視鏡外科手術トレーニングセンターの全受講者1,800名の中から、熟練者群(技術評価タスクを完遂できた経験症例数500例以上かつ経験年数10年以上の医師、11名)と初心者群(同タスク未完の経験症例数15例未満かつ経験

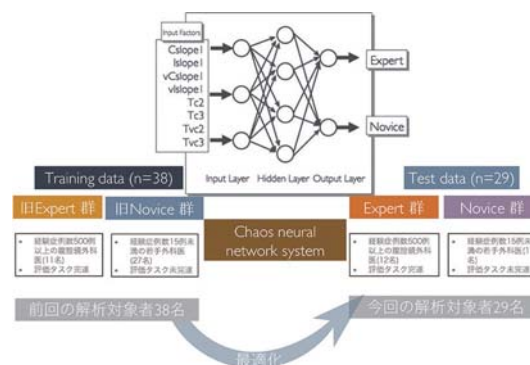


図1 手術手技自動評価エンジン構築の概念図

(Newral Networkは入力層、隠れ層、出力層の3層構造。入力パラメータは、両手鉗子の重心、相対距離、重心速度、相対速度、移動距離における不安定軌道第2周期および、第3周期、移動速度における不安定軌道第2周期および、第3周期)

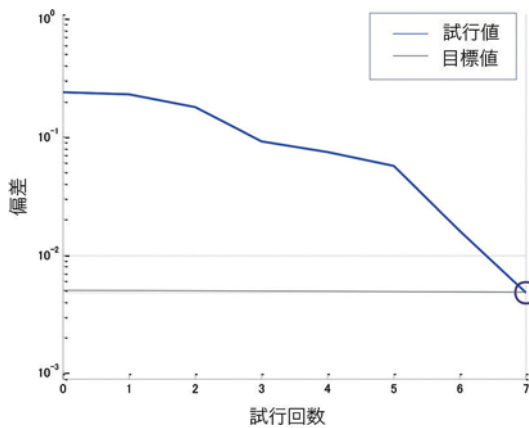


図2 手術手技自動評価エンジンの学習結果
(学習: 7回, 相関係数: 0.99)

年数5年未満の医師, 17名)を選出し, 各群の鉗子先端の位置データをそれぞれ先行研究で得られた解析手法によって, 入力されたデータがいずれの群に振り分けられるかブラインドによ

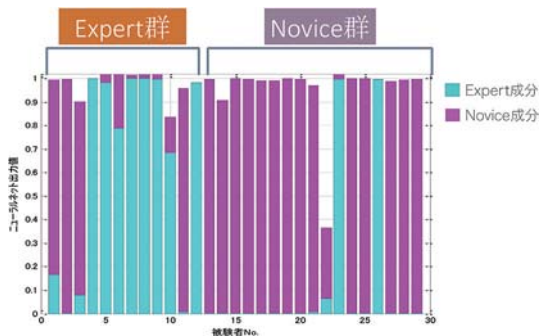


図3 手術手技自動評価エンジンの検証結果
(青色が熟練者成分, 赤色が初心者成分として機械が判別した。左側1-11番目までが真の熟練者, 12-29番目が真の初心者。本エンジンによる判別の正答率は79.9%であった)

る判別分析を行った。その結果を図3に示す。
(3)手術手技自動評価システムの構築: 手術手技自動評価エンジンを応用し, 手術手技自動評価システムを構築した(図4)。本システムは, 術者の鉗子の軌跡を入力するだけで, 技術評価結果を提示するシンプルなアプリケーションを実装している(図5)。

[今後の研究の方向, 課題]

手術手技自動評価システムの最適化と臨床的有用性の検証: 上述の手術手技自動評価システムの評価結果が, 臨床的な意義を有しているかどうかを検証する。検証方法として, 日本内視鏡外科学会の全面的な協力の下, 技術認定医と未



図5 手術手技自動評価アプリケーション

(左右鉗子のそれぞれ時系列 x, y, z 座標を入力すると鉗子の安定性, 柔軟性, 両手協調性が評価される)

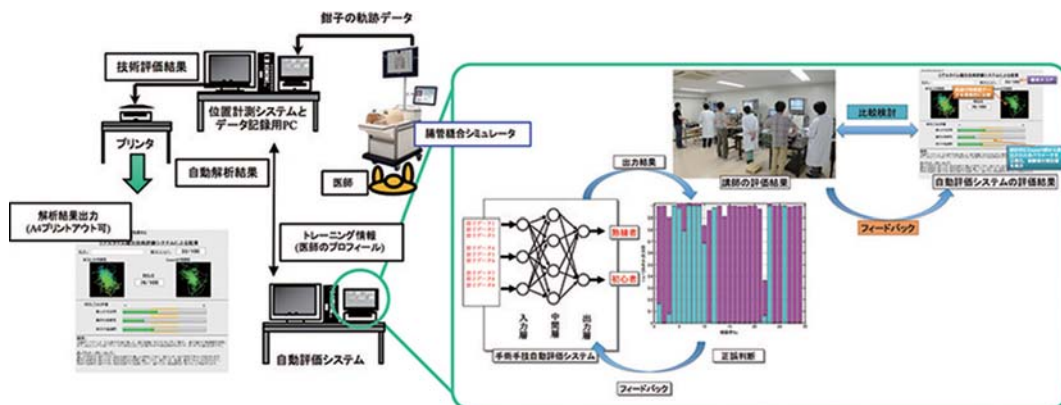


図4 手術手技自動評価システムの概要

(本システムは九州大学病院内視鏡外科手術トレーニングセミナーにて稼働中)

認定医の評価結果の比較を行う。既に、日本内視鏡外科学会における技術認定医は、未認定医と比較して有意に患者の術後成績が良いことが報告されている。このことから、本システムで評価された結果が、技術認定医と未認定医の成績を正しく反映するかを検証することによって、本システムの臨床的な有用性を検討できると考えられた。

また、本システムを実用化し普及させるためには、より簡便な構成とし、ユーザフレンドリなインタフェースが必要となる。そのため、鉗子先端の軌跡を計測するために現在使用している磁気式位置計測装置やワークステーションを簡素化すべきである。次期モデルとして録画画像のみから鉗子先端の位置を特定できるセンサレス技術を開発する予定である。

[成果の発表，論文等]

1. **Uemura M***, Jannin P, Yamashita M, et al., Procedural surgical skill assessment in laparoscopic training environments. Int J Comput Assist Radiol Surg. (in press)
2. Tomikawa M, **Uemura M**, et al., Evaluation of the 10-year history of a 2-day standardized laparoscopic surgical skills training program at Kyushu University. Surg Today. (in press)
3. **Uemura M***, Sakata K, Tomikawa M, et al., Novel surgical skill evaluation with reference to two-handed coordination. Fukuoka Igaku Zasshi. 106 (7) : 213-22. 2015
4. 山下 実, **植村宗則**, 松岡紀之, 家入里志, 大内田研宙, 赤星朋比古, 富川盛雅, 池田哲夫, 橋爪 誠, 内視鏡外科手術における縫合技術評価法の有用性に関する研究. 日本コンピュータ外科学会誌 17: 15-22. 2015

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

Development of high sensitive semiconductor detectors enabling flame detection like human beings

2151003



研究代表者

佐賀大学大学院 工学系研究科

特任助教

大 島 孝 仁

〔研究の目的〕

人間と機械の調和を促進するための第一歩は、人間と同じ認識力を機械が持つことである。機械は、各種半導体、MEMS センサの研究開発によりほぼ人間と同じ認識力をすでに獲得しているが、炎の認識については不得手である。人間は経験により容易に炎を識別できるが、機械にとって炎を照明光（可視光）や高温物体からの熱線（赤外線）と区別して識別することは困難であり、現状、機械は炎を取り扱う調理や燃焼炉での作業を人間と同じようには行えない。この問題の解決には、炎から放射される微弱な深紫外線を高感度で選択検出する必要がある。

この炎検出について、我々は、世界で初めて酸化ガリウム（ Ga_2O_3 ）単結晶を用いたショットキーフォトダイオードを作製し（図1を参照）、さらに図2,3に示すように室内照明下における炎の選択的検出に成功した。しかしながら、ライター炎に対する検出可能距離はわずか5 cm 程度であり、前述の炎を扱う機械に搭載するセンサとしては性能が不足していると言わざるをえない。この低感度の原因は、ショットキーフォトダイオードへの印可電圧がゼロであり、増幅作用が期待できず光電変換効率（光感度に相当）が約20%と低いためである。

そこで、我々は検出距離のさらなる延長のために感度増幅が必要であると考え、増倍作用を有する受光素子作製に本研究で取り組んだ。

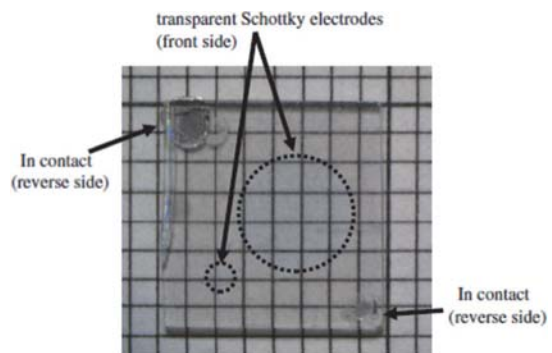


図1

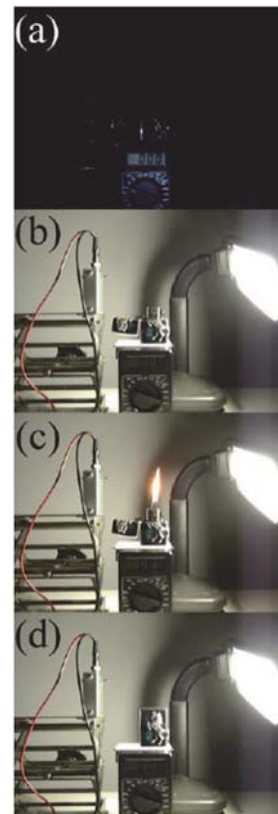


図2

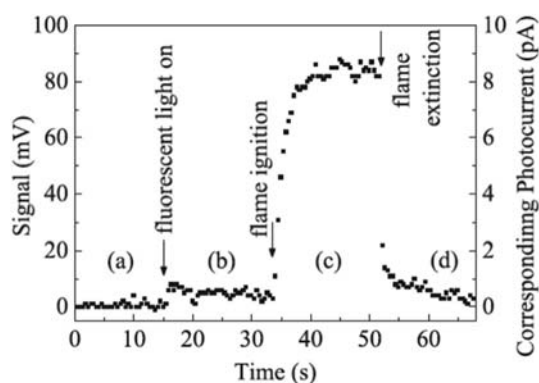


図 3

〔研究の内容, 成果〕

1. 増幅機構の付与

高感度化, すなわち光電流増倍のためには, 高逆電界をショットキーバリアダイオードに印可する必要がある。しかし, Ga_2O_3 単結晶プレートに直接形成したショットキーバリアダイオードは, 逆バイアス時のリーク電流が大きくかつばらつきが大きい。この解決には, 単結晶にエピタキシャル成長などにより低キャリア濃度の層を作製する必要がある。代表者は, さらに簡便な熱酸化により表面付近に絶縁層を形成して, 高逆バイアス電圧に耐えうる構造を作製し, その光応答を評価した。

ショットキーフォトダイオード作製プロセスを図4に示す。熱酸化は大気中で行い, 同時に裏面にあるIn電極をオーミック化した。ショットキー電極にはPtを選択し, 十分に光透過可能な10 nmに厚みを設定した。

作製した素子に対して, 暗示と光照射時(温度依存性含む)の特性を図5に示す。なお, 測定にはプローバーを用いている。-80 V印可時にも流れた逆電流は1 pA程度と微少であり, リーク電流のレベルが非常に小さかった。これは絶縁層が挿入された効果である。また, 素子は, 254 nmの低圧水銀灯の輝線に応答したが, その光電流は逆バイアスが増大するとともに, また素子温度上昇とともに増大することが分かった。

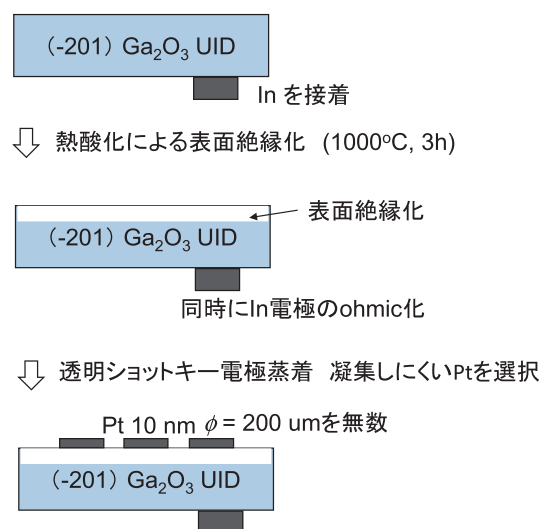


図 4

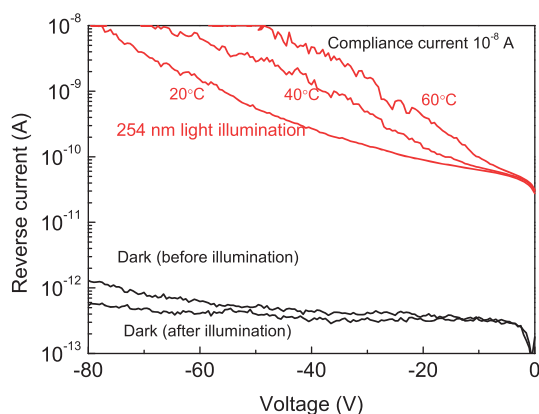


図 5

得られた結果に対して, 増幅率を(光電流量)/(5 Vのときの光電流量)と定義し, その増幅率をプロットした結果を図6に示す。一見して判断できるように, 高逆バイアス側で100倍を超える高い増幅率が得られた。また, 温度上昇とともに増幅率が増大した。

温度に対して正の相関を示すことから, 増幅機構はいわゆるアバランシェ増幅とは異なりトンネル機構で説明できる。すなわち, 光生成キャリア(特に遅い正孔)がショットキー電極界面に偏析し, その偏析した電荷により障壁にさらに逆バイアスが印可される構造となり, トンネル電流を増大させたと考えられる。

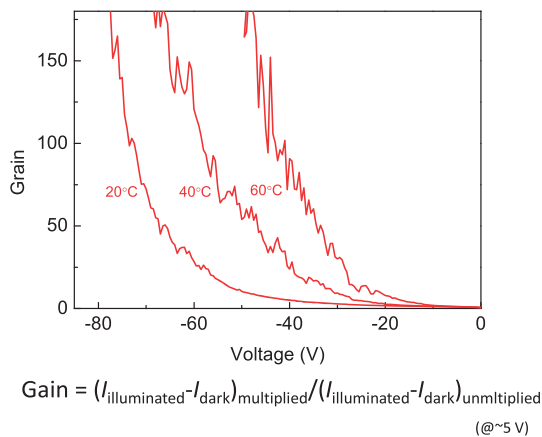


図 6

2. 実用プロセス検討

我々は、増幅機構の他に実際のデバイスプロセス適合性も検討した。高感度光素子は基本的にステム上に取り付け、その電極に対して配線が必要である。我々は、図7に示すプロセスでGa₂O₃ショットキーフォトダイオード受光素子を複数作製した。そして、そのショットキー素子の電流電圧特性を評価において、プローバーで評価後、ステム台に取り付けさらに配線をワイヤーボンディングにつけて評価した。図8は、そのボンディング前後における暗時の電流電圧特性である。逆方向バイアス時における電流が、ボンディング後では3桁以上増大し、ショットキー性が極端に低下していることが分かった。これは、ボンディングによるダメージでショットキー電極が劣化し、ショットキー性が低下したと考えられる。量産デバイスはすべてワイヤーボンディングで配線する必要があるため、実際に応用を目指す際にはボンディング部をショットキー電極から遠ざけるように、電極を形成する必要があることが分かった。

〔今後の研究の方向，課題〕

高性能のGa₂O₃半導体炎検出素子を目指して、増倍機構を有するショットキーフォトダイオードが作製できた。しかしながら、その増幅

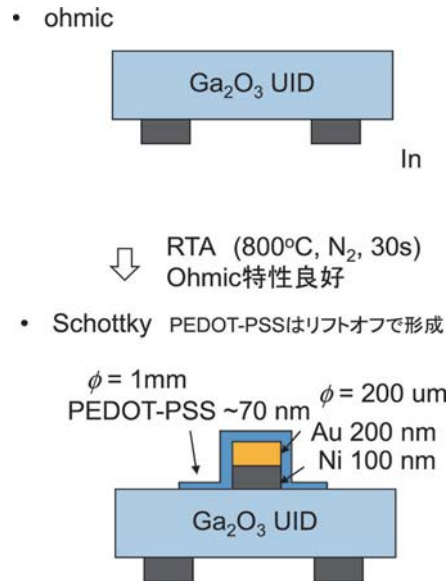


図 7

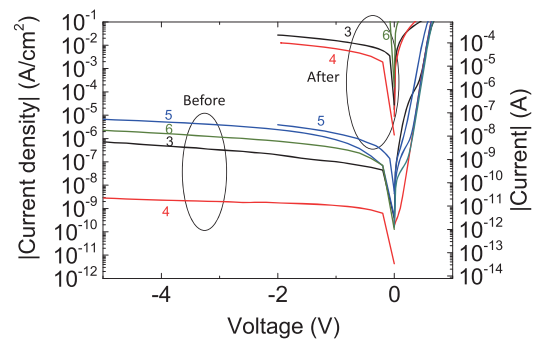


図 8

はトンネル機構に支配されており、アバランシェ増幅ではなかった。また、ショットキー電極に対して直接ワイヤーボンディングするとボンディングダメージにより特性が著しく劣化することが分かった。今後は、デバイスの設計を見直し、ボンディング箇所とショットキー電極を空間的に分離し、かつトンネルを抑制できる構造の作製を進めている。

〔成果の発表，論文等〕

- 1) 大島孝仁，“酸化ガリウムの研究とエレクトロニクスへの応用”グリーンエレクトロニクス研究所セミナー，佐賀大学（2015年10月21日）。

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

Study on a “Eye contact” system for realization of human symbiotic type mobile robot

2151004



研究代表者

群馬大学大学院 理工学部

助 教

小木津 武 樹

【研究の目的】

本研究は、移動に係る人間の習性や本能行動に基づく所作から生まれた社会規範を抽出し、移動ロボットに模倣させることで、人間と移動ロボットの円滑な移動を実現することを目指す。

本研究の背景には、昨今の移動ロボットが急速に人間の生活空間に進出していることがある。家庭では掃除ロボットが利用され、会社では警備ロボットが巡回し、公道では間もなく自動運転の車が実用化する。これらの移動ロボットは、人間の生活空間とは隔離されずに利用される、人間共生型ロボットである。

人間共生型ロボットは愛玩用として利用が始まった。愛玩用ロボットは人間に対する精神的な作用を主目的にしている。愛玩用ロボットが人間に対する精神的な作用を及ぼすのに、大きな物理的作用をもたらす能力は必須ではない。そのため、今日存在する愛玩用ロボットは、移動能力は極めて乏しく、子供でも十分に扱えるように出力が厳しく制限されている。

一方で、ロボットをより多くのシーンで利用可能とするためには、ロボット自身の移動、すなわち移動ロボットとしての機能が求められる。

移動ロボットは、ロボット自身を物理的に移動させて人間が必要とする仕事を実施する。移動ロボットは移動できる範囲は広ければ広いほどその価値は高まることは言うまでもない。例えば、特定の部屋の中でしか移動できない場合

は、掃除ロボット程度しかアプリケーションを見いだせないが、家屋全体を移動できるのであれば、家事や福祉などの家屋内の生活支援を行うアプリケーションが考えられ、さらに屋外を自由に移動できるのなら、買い物や宅配など、総合的な生活支援を行うアプリケーションにまで利用範囲が広がるだろう。

しかし一方で、ロボットの移動範囲が広がるということは、より多くの人間と空間を共有することとなり、それだけ「人間社会の一員」として、その規範を守って行動することが要求される。ここでいう規範とは、人間は様々な習性や本能行動を無意識に共有して形成されるものである。この規範があるからこそ、渋谷のスクランブル交差点の様な複雑かつ高密度であっても円滑な移動ができる。人間であっても例えばスマートフォンを操作しながら移動すると、その場の交通流が乱れたり衝突してしまうのは、規範を守らないためである。これは当然移動ロボットにも当てはまる。現代の技術を以って移動ロボットを渋谷のスクランブル交差点を通過させようとしても、移動ロボットは動けなくなったり、他の歩行者と衝突したりして、人間社会に迷惑をかけることになる。

そこで人間共生型ロボット普及の黎明期たる今、本研究を推進して、人間とロボットの良好な共生関係を築く基盤とする。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、人間の習性や本能行動に基づく所作から生まれた社会規範を抽出する手始めとして、人間の移動時の目の所作を研究対象とした。本研究でアイコンタクトを対象とする理由は、人間の移動時の所作のなかでも最も基本的なためである。ここでいうアイコンタクトは、お互いが目を合わせているか否か、意識的か無意識的に関わらず、人間の社会規範を形成する目の所作のすべてを指す。人間は移動時に、相手への注意喚起や移動方向の提示などの意思疎通を社会規範に従ったアイコンタクトで瞬時に行い、円滑な交通流を形成することが知られている。すなわち、移動ロボットが人間と同様のアイコンタクトを行うことができれば、人間同士のような円滑で自然な移動が実現できる可能性がある。

本研究では、上記仮説を立証するために、大学建屋内に実験環境を構築して、人間同士、あるいは人間とロボットがすれ違う際の、人間の目の活動を観測することとした。

人間の目の活動を観察するにあたっては、株式会社ディテクト社製の視線計測システム ViewTrackerII を利用した。このシステムは図1のように視線計測装置を被験者に装着して用いる。この装置は下部に取り付けられたミラーを介して上部に取り付けられた赤外線カメラで両眼球の動きを撮像する。そして連続的に撮像された両眼球の向きから視線の軌道を得る



図1 本研究に用いた視線計測装置

ことができる。また、装置最上部には被験者の前方に向けられた可視光カメラが取り付けられており、このカメラで得られた撮像と視線の向きと対応付けて記録することができる。

次に、すれ違う際の位置関係や姿勢に表れる所作を計測するにあたっては、Occular Robotics 社製の超高速 3D システム RobotEye RE05-3D をはじめとする複数のセンサを建屋に設置して用いた。RE05-3D は、赤外線レーザーを使って周辺物体との三次元距離点群を高精度・高密度に得ることができる。この装置を用いて移動物（被験者やロボット）が存在しない時の背景距離点群を得る。加えて既所有のセンサを組み合わせることで背景距離点群との差分を取り、移動物の距離点群から、位置関係や姿勢を推定する。

本研究ではまず、上記の装置を使って人間同士のすれ違い時の人間の目の活動を観測する実験を行った。実験では、大学建屋内の長さ約 50 m、幅 3 m の廊下で図2のようにすれ違う。すれ違う人間の一人は十分訓練した実験補助者あるいは被験者、もう一人が被験者とする。被験者にはあらかじめ実験の内容を説明し、インフォームドコンセントを得た。また、図で示すように、被験者の順路は L 字になるように設計した。これは実験前の被験者同士のアイコンタクトをはじめとした意思疎通を避けるためである。また、全実験ですれ違うタイミングや位置を統一するために、床面にテープで順路を示すようにして、被験者に極力順路に従うように指示した。

そして上記の条件に加え、すれ違いの条件を以下の 4 パターンとした。

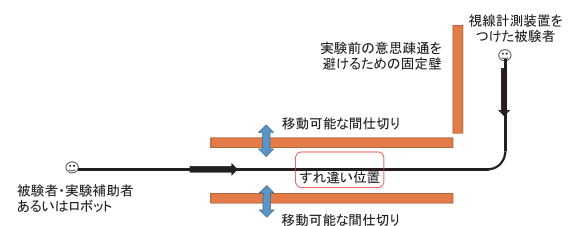


図2 実験環境

- ・被験者同士がすれ違うパターン
- ・視線を正面に固定した実験補助者と被験者がすれ違うパターン
- ・すれ違う際に実験補助者が視線を進行方向に向けるパターン
- ・すれ違う際に実験補助者が視線を進行方向と逆に向けるパターン

なお、実験補助者がすれ違う際、進路を譲るタイミングは同じになるように十分調整している。さらに廊下の幅を3通りに間仕切りで調整し、計12種類の実験を各5名ずつ行った。なお、実験の際被験者の学習による影響を少なくするため、実験の順番はランダムに行っている。

実験の結果、全ての実験パターンにおいて、被験者は必ず一度はすれ違う相手の目、ないしは顔に視線を向け、通路の幅が狭くなるほど、その行動が増える傾向が見て取れた。また、個々の被験者ですれ違い行動のタイミングや方向に癖があり、通路の幅が広くなるほど、癖に従って行動し、逆に通路の幅が狭くなるほど相手の行動に従って行動する傾向が見て取れた。上記の結果から、人間は通路の幅が狭い時に相手とのアイコンタクトをはじめとする所作から生まれた社会規範に従う可能性が示唆された。

次に、すれ違う相手が人間かロボットかに因って変化するかを検証する。本研究のために図3のような目を持つ移動ロボットを開発した。このロボットは、Yujin Robotics 社製 kobuki をベースとして、無線 LAN を介して遠隔操縦ができるように改造を施してある。また、被験者とのすれ違いの際にロボットは目の向きを以下のパターンで操作できるようにした。

- ・視線を正面に固定したパターン
- ・視線を3秒後の進行方向に向けるパターン
- ・視線を3秒後の進行方向と逆に向けるパターン

このロボットを用いて行った実験は前述の人間同士のすれ違い実験と基本的に同様である。ただし、前述の実験における被験者同士がすれ違うパターンに代わり、目が表示されない状態

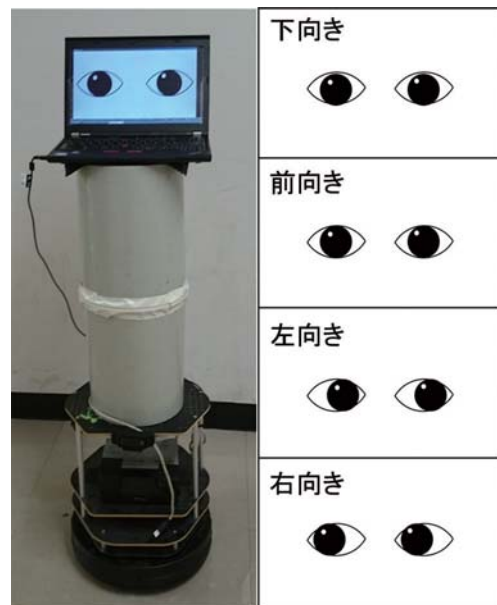


図3 実験用に開発したロボット

でロボットとすれ違うパターンを追加している。他の実験は前述の実験における実験補助者の担当をロボットと入れ替え、実験補助者は実験スペースから見えないところから遠隔で移動ロボットを操作する。なお、ロボットはすれ違う際、進路を譲るタイミングは同じになるように十分調整した。

実験の結果、ロボットに目がある場合、被験者は必ず一度はすれ違う相手の目に視線を向け、通路の幅が狭くなるほど、その行動が増える傾向が見て取れた。また、個々の被験者ですれ違い行動のタイミングや方向に関する癖はロボットであっても変わらないことが分かった。さらに、通路の幅が広くなるほど、癖に従って行動し、逆に通路の幅が狭くなるほど相手の行動に従って行動する傾向も人間とすれ違う場合と同様に見て取れた。

ただし、通路が狭く、ロボットに顔がない場合、被験者が他の実験より早く進路を譲る行動が多くみられた。上記の結果から、人間共生型移動ロボット実現のために、移動ロボットが人間の目の所作を模倣することは、通路が狭い場合で円滑に移動する際に有効であることが示唆された。

〔今後の研究の方向，課題〕

これまでの研究で，移動ロボットが人間の移動時の目の所作を模倣することで，人間との共生を円滑にする効果があることが示唆された。この結果は，人間の習性や本能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しており，ロボットが人間と共生する上においても重要である可能性を示している。

今後はまず，幅広い目の所作の模倣を可能するために，より複雑な目や顔の動きを表現可能とする，プロジェクションマッピングを用いた

立体的な「アイコンタクト」システムの開発を進める。また，現在と同様に移動時の相互作用に焦点を当てながらも，目の所作だけでなく，人間の習性や本能行動に基づく様々な所作を抽出，モデル化し，ロボットに実装していくことで，移動ロボットの人間共生力の去らなく向上を図っていきたい。

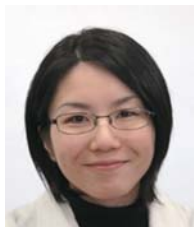
〔成果の発表，論文等〕

現在，国際学会論文誌に投稿中である。

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

BMI rehabilitation for stroke patients with Unilateral Spatial Neglect

2151006



研究代表者
(助成金受領者)

明治大学 理工学部

専任准教授

小 野 弓 絵

共同研究者

穂翔会村田病院

リハビリテーション室長

富 永 孝 紀

[研究の目的]

脳内の血管が詰まったり、血管が破れて出血する脳卒中（脳血管障害）は日本の総医療費の第4位、高齢者医療費の第1位を占める国民病であり、社会の高齢化に伴う患者数の増加が予測されている。なかでも脳卒中の後遺症で、空間の半側に注意が届かなくなる半側空間無視（USN）は、脳卒中などの右大脳半球の損傷で生じる高次脳機能障害の1つである。右大脳半球の損傷によるUSNでは左側空間に提示された刺激の発見や反応が障害され、車イスに左足を巻きこんだり、左側の障害物をよけられないなど生活に支障を生じる。このようにUSN患者は転倒などのリスクが大きいため、患者の注意を回復させる手法の確立が急務である。

本研究は患者の無視側への注意強度を視覚誘発脳波から指標化し、「注意の低下」を即時にフィードバックするブレイン・マシン・インターフェース（BMI：Brain Machine Interface）を開発することを目的とした。注意の強度を患者が理解できる手段で可視化することで、セラピストの指導なしでも、機械の助けを借りて患者が自律的・能動的にリハビリを行える、効率的なシステムを構築することが本研究の目指す最終的なゴールである。

[研究の内容、成果]

助成金を得て行われた2015年度の研究では以下の成果が得られた。

(1) USN患者に特異的な注意依存性視覚誘発反応の特徴の抽出

注意の強度を定量的に評価する手法として、視覚刺激を周期的に与えた時に視覚野に発生する定常状態視覚誘発電位（SSVEP：Steady State Visual Evoked Potential）に着目した。Morganらの先行研究（Proc Natl Acad Sci U S A. 93(10): 4770-4774, 1996）では、視覚刺激への注意により、SSVEPの強度が増強することが報告されている。本稿では、脳卒中患者と健常者において注意の有無条件におけるSSVEP強度を計測し、半側空間無視患者の空間注意の低下がSSVEP計測により検出可能かどうか検討した。

若年健常者10名、脳卒中患者22名の協力を得て実験を行った。脳卒中患者のうち半側空間無視のある患者が9名、半側空間無視がない患者が13名であった。また、すべての患者が右脳損傷による脳卒中患者であった。

計測では、被験者に脳波計（g. Tec, g. BCIsys32USB）を装着し、視野の中央に配置された固視点を注視させた。固視点の側方に6 Hzで点滅する白色LEDを設置して、視野に

入ってくる点滅光が視覚野に引き起こす SSVEP 反応を計測した。LED の位置は、健常者では視度 45 度、患者では視度 15 度の位置とした (図 1)。注意ありとなしの 2 条件を設け、注意あり条件では白色 LED の近傍に間欠的に光る赤色 LED を設置し、固視点の注視を行っている 30 秒間に、側方の赤色 LED が何回点滅したかを数えさせることで半側空間に注意が向くようにした。注意なし条件では赤色 LED は設置せず、被験者には固視点をただ眺めているように教示した。測定された脳波はウェーブレット変換を用いた時間周波数解析によって SSVEP に相当する 6 Hz 付近のパワースペクトル強度を抽出した。

赤色 LED の点滅回数を正しく回答できた正答率は、右視野注意の場合はどの群でも 98~100% であったのに対し、左視野注意の場合は健常者群が 100%, USN なし患者群が 96%, USN あり患者群が 46% と USN あり患者で有意に低下する結果となり、半側空間無視の病態が確認された。健常者、USN なし患者、USN あり患者の左視野注意依存性の SSVEP 強度の増加率を図 2 に示す。健常者は空間への注意により SSVEP 強度が増大したが、無視なし患者、無視あり患者の順に、注意による SSVEP 強度

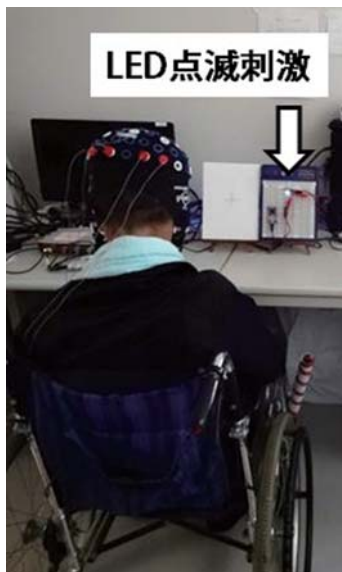


図 1 脳卒中患者の脳波計測風景

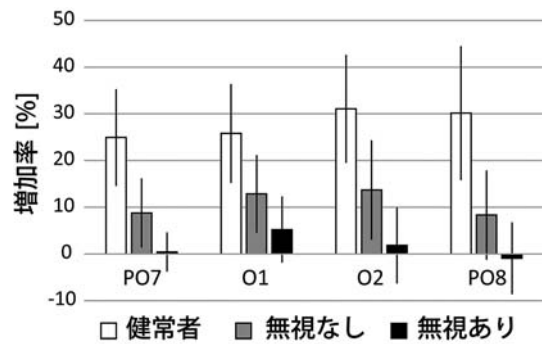


図 2 被験者群の違いによる平均 SSVEP 強度増加率の変化

の増加率が低くなっていることがわかる。脳卒中の障害により USN の有無に関わらず視覚刺激に対する注意の維持能が低下していること、さらに USN 患者ではその傾向が強いことが示された。

この結果から、能動的注意による SSVEP の増加量を脳活動の指標として用いることで、半側空間無視患者の空間注意の低下を検出できる可能性が示されたといえる。

(2) USN リハビリテーションを目的とした SSVEP 強度のオンラインフィードバックシステムの開発と検証

前項の研究結果より空間への注意を SSVEP 強度変化によって定量化できる可能性が示された。よって次の研究ステップとして、SSVEP 強度を被験者へフィードバックし、意識的に SSVEP 強度を増大させるニューロフィードバックトレーニングの可能性について検討した。トレーニングシステムのプロトタイプを図 3 に示す。被験者が点滅光を注視している際の SSVEP 強度を随時システムが評価し、一定の強度を超えたときに聴覚のフィードバック (音刺激) を与えた。聴覚フィードバックによって、被験者が自らの SSVEP 強度の状態を知ることができるため、SSVEP を増加させるための方策を練習することができる。このフィードバックシステムを健常若年成人 10 名に適用し、20 秒間の空間注意のトレーニングを 1 日 10 回、4 日間連続で施行することによって、SSVEP 強



図3 開発した SSVEP フィードバックシステムのプロトタイプ

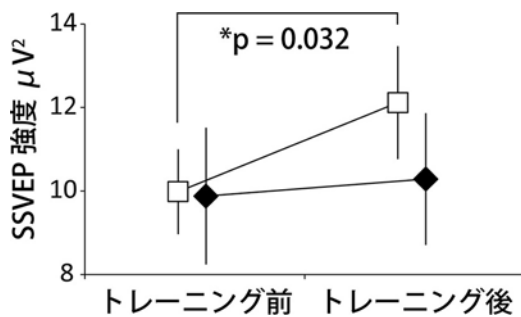


図4 SSVEP 強度のトレーニング結果

度を増大させることが可能かどうかについての検討を行った。また、被験者を2群に分け、自らの脳活動が反映された正しいフィードバックを与える群と、反映されない偽のフィードバック（あらかじめ測定された他者の脳活動に基づいたフィードバック）を与える群に分けて比較を行った。

トレーニングの前後における SSVEP 強度の変化を図4に示す。正しいフィードバックを得た群は4日間のトレーニングにより平均 SSVEP 強度が統計的に有意な増大を示したのに対し、偽のフィードバックを与えられた群では増大がみられなかった。このことは自らの脳活動の増減を本人が確認・意識しながら行うトレーニングが、SSVEP 強度の増大に有効であることを示しており、本開発システムの妥当性が示されたといえる。

(3) システムのポータブル化に向けた取り組み

医用福祉機器としての応用を目指す BMI 技術の研究においては、上記の (1, 2) の研究も含めて、病院などでの臨床検査に用いられる医用脳波計が用いられることが多かった。

しかし医用脳波計は1台あたりの価格が数百万円するものがほとんどであり、こうした装置でリハビリ用の BMI を構築しても多くの患者が利用することは難しい。そこで研究期間の後半では、近年ゲーム用途などを目的に市販されている簡易脳波計 (Emotiv EPOC, 約 10 万円) を利用し、SSVEP を検出する BMI システムの構築を行った。本研究結果については論文投稿準備中であるため詳細は別の機会に譲るが、簡易脳波計に混入するノイズを制御することにより、SSVEP を利用した安価な BMI システム構築の可能性は十分にあると考えている。

[今後の研究の方向, 課題]

超高齢化社会に突入した我が国では今後脳血管障害患者の増加が推測される一方で、医療費の削減、在院日数の短縮、在宅復帰率の向上、在宅医療の充実などが求められている。本研究は USN における注意の欠損を BMI 技術によって可視化することで、これまで確認するすべのなかった患者自身の注意強度を本人が確認しながら、無視側への注意を引き戻す訓練を自主的に行えるシステムを構築することで、こうした医療の肥大化にまつわる諸問題の解決に貢献することを目的とした。開発した SSVEP のトレーニングシステムの妥当性を健常者で確認することができたので、今後は USN 患者へ適用し、机上検査との比較などを行っていく予定である。また研究期間の後半で検討した BMI 機器のポータブル化によって、在宅でも自律的に継続可能なセルフ・リハビリテーションの構築も十分可能であることが示された。これによって、従来セラピストの指導や視点追跡装置など数百万円規模の計測機器を必要としていた

高次脳機能障害患者に、安全・安価に自分のペースでリハビリに取り組めるシステムを提供できる可能性がある。患者の元の生活を取り戻したいという願いを、身近な機械を通じて実現できるシステムの開発に今後も取り組んでいく予定である。

[成果の発表, 論文等]

Shimura M, Ono Y, Omatsu S and Tominaga T:
Suppressed SSVEP strength in stroke patients with
unilateral spatial neglect, *Front. Hum. Neurosci.*

Conference Abstract : 2015 International Workshop
on Clinical Brain-Machine Interfaces (CBMI2015),
2015. doi : 10.3389/conf.fnhum.2015.218.00027

志村真郷, 小野弓絵, 大松聡子, 富永孝紀: 左半側空間無視を伴う脳卒中患者の注意による SSVEP 強度の抑制. 第 32 回日本脳電磁図トポグラフィ研究会・第 3 回宮古島神経科学カンファレンス 合同学術集会 要旨集, pp.55, 2015.

Morota S, Ono Y : Effect of neurofeedback training of steady-state visual evoked potentials on Canonical Correlation Analysis parameter. *The 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, submitted.

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

Fabrication of graphene field effect transistors on flexible substrates by laser annealing

2151007



研究代表者

大阪大学 産業科学研究所

助 教

金 井

康

〔研究の目的〕

形状が可変なフレキシブルな基板上にセンサや電子回路を作製し、人間に直接装着して生体情報を測定できるウェアラブルなデバイスを作製する研究が近年盛んに行われている。このようなウェアラブルデバイスでは形状変化に強い有機半導体が使用されることが多いが、一般的に移動度が低いという問題がある。グラフェンは高移動度であることから半導体として優れているとともに、形状の変形にも強いため、ウェアラブルデバイスへの応用が期待されている。しかしながら、そのようなデバイスでは、銅箔等に合成したグラフェンをフレキシブルな基板上に転写する必要があるが、直接フレキシブルな基盤に合成することは困難である。そこで、本研究では直接フレキシブル基板上にグラフェンを合成するためにレーザーアニーリング法を用いた。この手法は基板上に予め炭素と触媒金属を蒸着し、レーザーを照射することで局所的に過熱して、グラフェンを合成する手法である。この手法であれば局所的な加熱であることから耐熱性が低いフレキシブルな基板上にも直接グラフェンを合成できる可能性がある。また、フレキシブルな基盤は炭素を含んでいることから、触媒となる金属を基板上に蒸着してレーザー照射するだけで、他に炭素源を使用せずに、容易にグラフェンを合成できる可能性がある。

以上より、本研究ではフレキシブル基板上に

移動度が従来の有機半導体よりも非常に高い物質であるグラフェンを直接合成し、高感度な歪みセンサ、電子回路を作製することを目的とした。

〔研究の成果〕

フレキシブルな基盤として厚さは125 μm のポリエチレンナフタレート (PEN) を用いた。PEN は約180度の耐熱性や化学的に安定であることため、フォトリソグラフィーが可能である。PEN を1 cm $\times$ 2 cm に切り取り、PEN 基板上に触媒金属として、Ni を電子線蒸着器により30 nm 堆積させた。図1に示すように、この基板に対してNiの表面に514.5 nmの波長のAr-ionレーザーを50倍の対物レンズをつかって直径2 μm に絞り、10 mW $\sim$ 100 mW の元出力で5 $\sim$ 600秒間連続照射し、グラフェンの合成を行った。レーザー照射は酸化を防ぐために 2.1×10^{-2} Paの真空チャンバー内で行った。レーザー照射によって形成された部分に対

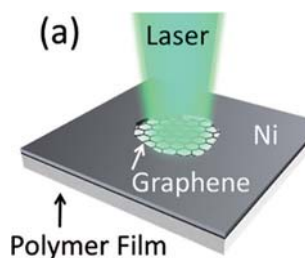


図1 レーザーアニーリングによる
グラフェン合成の模式図

して Raman 分光測定を使って膜質の評価を行い、その上でグラフェン FET 及び、グラフェン歪みセンサを作製した。

図 2(a) にレーザーを 10 mW の強度で 600 秒間照射した際の試料の光学顕微鏡写真を示す。レーザー照射されていた領域に直径約 $3.3\ \mu\text{m}$ のホールが形成されている。これはレーザーの熱によって Ni が凝集を起こし、レーザーの照射点を中心に円形状に広がりエッジがクレーター状になったからであると考えられる。この時ホールの内部には触媒金属である Ni は無く、グラフェンが形成されている。また、ホールの周囲にはレーザーの熱によってできたと考えられる Ni 表面にシワができていたことが確認できた。

図 2(b) と (c) は Ni を蒸着した後レーザーアニーリング前後のレーザーを照射して測定したラマンスペクトルを示している。レーザーアニーリング前のラマンスペクトルは PEN の構造を反映したものとなっている。レーザーアニーリング後のラマンスペクトルでは前に見えていた PEN による鋭いピークは消えて、三箇所にピークが見られる。これらのピークはそれぞれグラフェンに見られる D, G, G' ピークの位置に対応している。つまり、PEN が変化、グラフェンが合成されたことを示している。この

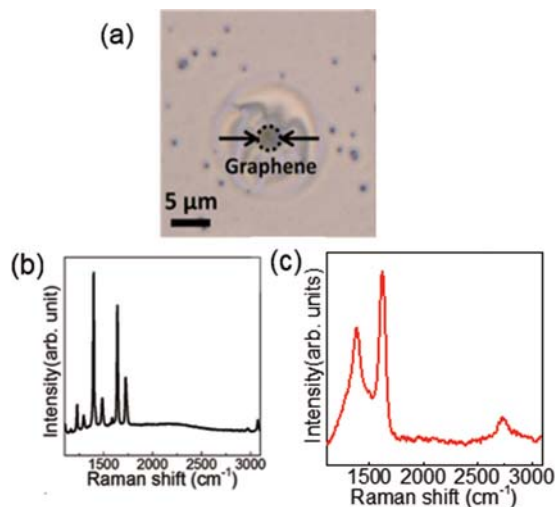


図 2 (a) レーザーアニーリング後の試料の光学顕微鏡写真。(b, c) レーザーアニーリング前後の試料のラマン分光測定。

結果から Ni を蒸着した PEN 基盤にレーザーを照射することにより PEN が変化し、グラフェンが合成されることがわかった。

図 3(a) は 600 秒のレーザー照射時間の下で、レーザー強度を 10 mW から 100 mW まで変化させたときのラマンスペクトルを示している。どの条件においてもグラフェンが PEN 表面上に合成されていることがわかる。図 3(b) は 600 秒のレーザー照射時間の下で、レーザー強度を 10 mW から 100 mW まで変化させて合成を行い、形成されたグラフェンのラマンスペクトルから D/G 比、及び G'/G を plot したものを示している。10 mW ~ 50 mW では D/G 比が小さくなり、グラフェンの欠陥の割合が減っていると考えられる。また、G'/G が増加し、より単層に近いグラフェンができていると考えられ、膜質が向上していることがわかる。しかし

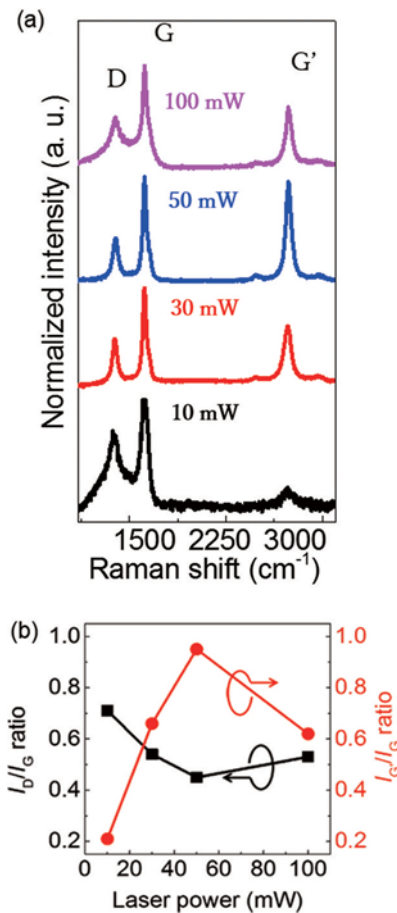


図 3 (a) レーザーの出力 10, 30, 50, 100 mW でのラマン分光。(b) I_D/I_G , $I_{G'}/I_G$ のレーザー出力依存性

ながら、100 mW では逆に変化し、グラフェンの膜質が低下している。すなわち強度を上げすぎても膜質が下がることがわかる。

レーザーの強度を上げていくと、Ni の温度がより高くなり、PEN から Ni 層への C 原子の固溶量が増大し、より多くの C 原子がグラフェンとして析出すると考えられる。100 mW で膜質が低下したのはレーザー強度を上げたことにより Ni の凝集スピードが早くなり、C 原子が十分に Ni 層に固溶し、グラフェンとして析出する前に凝集してしまうからではないかと考えられる。同様な結果はシリコン基板上にレーザー合成した場合にも見られる。これらの結果からグラフェンの品質はレーザー照射強度に明瞭に依存し、50 mW 程度のレーザー強度において最適化され、欠陥が少なく、層の薄いグラフェンが得られることがわかった。

次に照射時間を 5 秒に固定し、様々なレーザー条件の下でグラフェン FET の単プロセス作製を行った。フォトリソグラフィと電子線蒸着により PEN 基板上にチャンネル幅を 10 μm として Ni を 30 nm 堆積させた。Ni で配線された基板の適当な場所にレーザーを 10 mW ~ 100 mW まで変えて照射を行った。

図 4(a) は 50 mW のレーザーを 5 秒間照射した後の試料の写真を示している。チャンネル長 17 μm のグラフェンが中央部分に形成された。残留した触媒金属である Ni をソース・ドレイン電極として FET として動作した。つまり、レー

ザー照射法を使用することで、CVD 法のようにグラフェンを任意の基板に転写・エッチングした後に、電極を新たに形成すること無く、単プロセスでグラフェン FET 等の電子デバイスを作製することができた。この試料に DEME-TFSI のイオン液体を滴下し、グラフェンとは接触していない Ni 電極をサイドゲートとしてイオン液滴中で 2 端子のサイドゲート測定を行った。

図 4(b) は 30 と 50 mW のレーザー強度で作製したグラフェン FET の伝達特性を示している。30 mW, 50 mW ではグラフェンに現れる両極性特性が確認された。50 mW で最も電界効果移動度が高く、その値は 37 cm^2/Vs だった。この結果は上記のラマン分光測定の結果と一致する。10 mW の場合は、レーザーの出力が弱いいため、Ni が残り、チャンネルが導通したことによって抵抗が低く、サイドゲート変調が確認できなかった。100 mW においては導通を確認することができず、断線していた。これはチャンネル周辺がレーザーの熱によって温度が急激に上昇し、Ni のリトラクションが早く電極とグラフェンの界面あるいはグラフェン絶縁チャンネルが途中で断線したと推察される。

最後に、最適化された 50 mW のレーザー強度の下で、PEN 基板のフレキシビリティを活かしてグラフェンをチャンネルとした歪みセンサを作製した。図 5(a) はグラフェン歪みセンサを凹方向に対して曲げた図を示している。Ni 電極とグラフェンのチャンネルからなるサンプルを用意し、Ni と Cu 線のコンタクト材料に銀ペーストを使用している。このサンプルについてグラフェンチャンネルの変形による電気的特性の変化を測定した。

図 5(b) はサンプルを 1 cm の曲率半径で凹方向に曲げた前後の $I_{\text{sd}}-V_{\text{sd}}$ カーブを示している。凹方向にまげを加えたところ、フラットな状態から電流値が減少し、抵抗の変化が観測された。測定前後の抵抗変化率は 35% だった。また、図 5(b) の挿入図は基板を凹方向に変形した際の模式図を示している。この結果は多数のドメイ

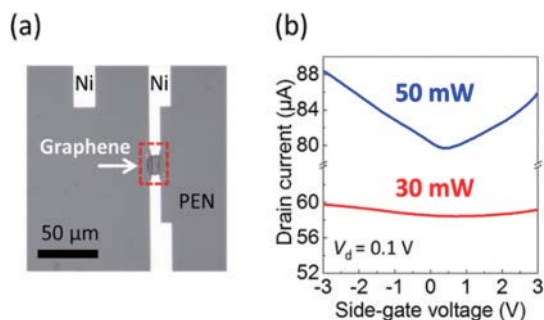


図 4 (a) レーザーアニーリングにより作製したグラフェン FET の光学顕微鏡写真。(b) 作製した試料のゲート電圧特性

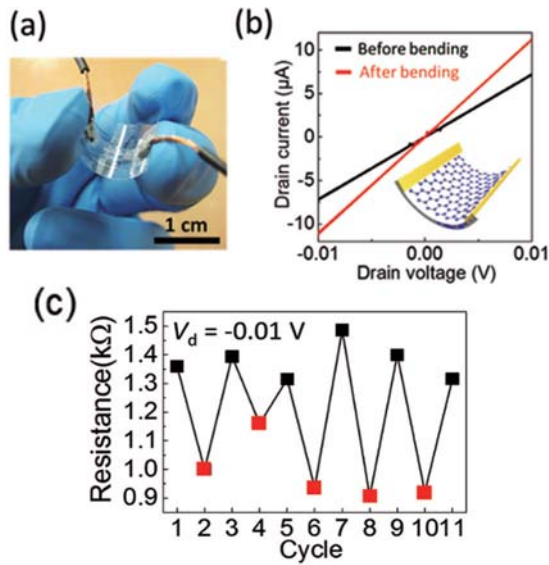


図5 (a) 歪特性を評価する試料の光学顕微鏡写真。(b) 平らな状態と凹方向に曲げたときのI-V特性。(c) 曲げを繰り返しときの抵抗変化の様子

ンからできたグラフェンのチャンネルが凹方向の曲げによって圧縮され、グラフェンのドメイン間の距離が近くなったことで、電流のパスが増大し、その結果抵抗値が減少したと推察される。

図5(c)は凹方向に対する曲げを曲率半径1 cmで固定した上で繰り返し行なった際の、抵抗値の変化を示している。曲げると抵抗が減少するが、元の平らな状態に戻すと抵抗が上昇し、元の状態に戻り、再現していることがわかる。フラットな状態での抵抗値は平均値で1.4 kΩなのに対して、凹方向に曲げた状態では平均で0.98 kΩとなった。この結果から、曲げたことでグラフェンのドメイン間距離が近接し抵抗が減少するが、次にフラットな状態に戻すと、ドメイン間距離が再び開き元に戻り、繰り返し使用可能であることを意味している。

本研究では、PEN基板上に、追加の炭素源を準備せずに、触媒金属のみを堆積させ、その上でレーザー照射法によって位置形状制御したグラフェンを転写レスで作製することに成功した。また、形成されたグラフェンに対して、合成条件の最適化をラマン分光測定により行い、最適な合成条件を調べた。最適な条件の下で、グラフェンのデバイス応用として、グラフェン

FETをレーザー照射のみで作製し、イオン液滴中で約 $37 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の移動度を得た。また、単プロセスでグラフェン歪みセンサを作製したところ、凹方向の曲げに対して、 $I_{\text{sd}}-V_{\text{sd}}$ カーブの変化を観測した。曲げによる抵抗変化の繰り返し性を調べたところ、再現数することがわかり、グラフェン歪みセンサとして応用可能であることがわかった。

[今後の研究の方向、課題]

今後の課題としてはグラフェンFETのレーザーアニーリング法によって合成されたグラフェンは剥離法などによって作られたグラフェンと比較すると質が悪い。そこで、合成条件をより最適化することで、より高品質なグラフェンが合成可能であると考えられる。レーザーのパワーをより詳細に変化させて、移動度を評するとともに、合成時の温度等の条件を変化させることでより高品質なグラフェンを合成できる可能性がある。高品質なグラフェンを合成することで、歪みセンサ以外にもガスやバイオセンサ等へ応用するなどの可能性が高まる。歪みセンサとしてもまだ、数回程度の繰り返し特性を調べた段階であり、今後より詳細に性能を調べる必要がある。

[成果の発表、論文等]

- Y. Ishibashi, Y. Kanai, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue, and K. Matsumoto: "Laser annealing technique for graphene synthesis on polymer and its application for strain sensor", The 19th SANKEN International Symposium Osaka 2015-12
- 石橋祐輔, 金井康, 大野恭秀, 前橋兼三, 井上恒一, 松本和彦: 「ポリマーフィルム上のグラフェン直接合成とフレキシブルデバイス応用」, 第76回応用物理学会秋季学術講演会 名古屋 2015-09
- Y. Ishibashi, Y. Kanai, T. Ono, Ohno, K. Maehashi, K. Inoue and K. Matsumoto: "Direct Graphene Synthesis on Polymer Films and its Application to Flexible Devices", 73rd Device Research Conference Ohio, USA, 2015-06
- 石橋祐輔, 金井康, 大野恭秀, 前橋兼三, 井上恒一, 松本和彦: 「プラスチックフレキシブル基板上でのグラフェン直接合成」, 第62回応用物理学会春季学術講演会 東京 2015-03

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～

Human- Adaptive Operated Machines with Automatic I/ O Gain Tuning

2151008



研究代表者

早稲田大学
理工学術院総合研究所

講 師

亀 崎 允 啓

[研究の目的]

人間が操作する作業機械（手術支援ロボットや災害対応重機など）において、人間の操作入力に対するアクチュエータ出力（入出力ゲイン）は、作業パフォーマンスを左右する大きな要因となっている。これまでの操作型機械では、利用者や作業内容によらず固定であったため、人間と機械のミスマッチ（使いにくい）が生じていた。本研究は、「長期間データから抽出した人間特性に徐々になじんでいく入出力ゲインの自動適応手法」の開発を行う。完全自動ではなく人間を中心に据え、知能情報処理をベースとした個々人になじむヒューマンインタフェースを構築することで、人間と機械の関係はより密接になり、人に優しい機械システムとなる。

本研究では、複軸マニピュレータとジョイスティックで構成されるマスタ・スレーブシステムを対象として、長期間の作業履歴に基づき、人間特性（スキルなど）になじんでいく入出力ゲインの自動適応手法を構築する。本研究では、この入出力ゲインを Basic Input-Output Gain (BIOG) と呼ぶ。そのため、以下の3つの技術課題に取り組む必要がある。

1つ目は、人間特性の定量化手法である。人間が機械をどのように使っているのかを長期間のデータから定量化する。個々人の違いが表れやすいことに加え、作業内容や環境に依存しない特徴量の抽出がポイントとなる。2つ目は、

目標値の設定手法である。人間特性を表す特徴量をどのように変えると使いやすさが向上するのかを分析し、目標値を設定する。個々人によって異なる使いやすさの基準を扱う共通の方法論の構築がポイントとなる。3つ目は、BIOGの自動適応手法である。1つ目の特徴量を2つ目の目標値に近づけるための、具体的なBIOG調整手法を開発する。

[研究の内容、成果]

1. BIOG パラメータの設定

BIOG マップを以下のようにモデル化する。操作入力 x とアクチュエータ速度 y を用いた単調増加関数 $y=G(x)$ で表す。 $x=0$ から始動点までを不感帯、最大速度となる点 (P_{sx} : 飽和点) から $x=100$ までを飽和帯として設定する(図1 上部中央)。 $G(x)$ の次数が高いほど適応性が高くなるが、理想的次数は現時点で分からないため、本研究では、2つの区分を有する1次関数で表現する。区分を接続する点を変傾点 P_b (P_{bx}, P_{by}) と呼ぶ(図1a)。本研究では、変傾点の2次元位置と飽和点を調整した。各操作軸につき正負の2枚定義される。

2. 人間特性の定量化手法

操作者だけでなく作業内容を大局的特徴として捉えられる物理量を選定し、使用条件やスレーブの仕様に依存しない共通の定量化手法が

求められる。操作傾向を直接的に表現できること、作業傾向としてフロント動作を間接的に表現できる物理量として、操作レバーの入力量に着目する。さらに、大局的特徴を作業時間や使用条件に非依存に把握するために、操作量の全滞在時間が全作業時間に対して占める割合、滞在頻度（ヒストグラム）化（ $h(x)$ ）する（図 1b）。

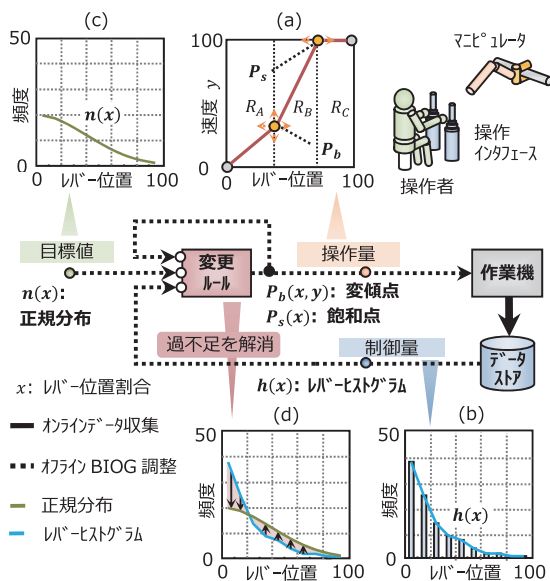


図1 BIOG 自動調整システム

3. 目標値の設定手法

微操作の多い作業ではレバー入力量の小さい範囲に操作が集中する一方、大操作の多い作業では大きい範囲に集中する。前者では、低速度領域が狭く応答が敏感（慎重な操作が必要）、後者では、応答が鈍い（頻繁に大操作が必要）と感じてしまう。このように、身体的・精神的に負荷がかかる操作の場合、操作量ヒストグラムの頻度が一部の領域に偏ってしまう。そこで、操作者や作業内容によらず、操作頻度の偏りをなくし、ヒストグラム波形を平準化させる基本適応側を考える。作業内容によらずレバーの全帯域を満遍なく利用させることで、操作感覚が統一化され、作業へのスムーズな適応、総体的な使いやすさ向上が期待できる。本研究で対象とするばね復帰型の操作レバーでは、満遍ない利

用を表す波形は、正規分布となる（図 1c）ことから、正規分布波形 $n(x)$ を基準波形（目標値）とする。

4. BIOG 調整手法

操作量ヒストグラム波形 $h(x)$ を任意の基準波形（ここでは、正規分布波形 $n(x)$ ）に近づける BIOG 自動適応手法を開発する（図 1d）。ヒストグラム波形整形の基本となる頻度移動の概念図を図 2 に示す。ヒストグラム波形は、長時間データにより構成されるため、局所的特徴に起因した短期間での大きな変化は生じにくい。また、作業結果は BIOG の出力に相当する速度ヒストグラムに現れる。この 2 点から、BIOG の調整前後で操作量ヒストグラムが整形されても速度ヒストグラムは保持されるという仮説が立てられる（図 2 中央）。この条件により、BIOG パラメータの調整量に応じた操作量ヒストグラム移動量が定量的に推定できる（図 2 右下）。以上をまとめた BIOG 自動変更システムの概念図を図 1 に示す。

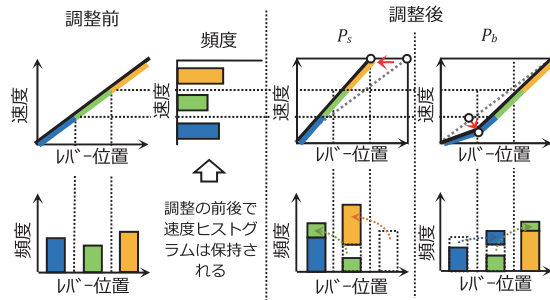


図2 調整によるヒストグラムの平準化

5. 実機を用いた評価実験

実験は、ピッチ 3 軸を有するマニピュレータをスレーブ、速度指令型操作レバーをマスターとして利用し、位置決めに支配的なピッチ軸第 1 関節と第 2 関節の BIOG 調整を行った（図 3a）。微細操作が要求されるブロック積上げ（図 3b）および高速動作が求められるボールの運搬を行った。被験者は 6 名、10 回×2 セットを 1 日

とし、5日間連続で行った。タスク初日は、設定できる最も急峻な BIOG で行い、このときの遂行時間の合計と分散が同じになるように被験者6名を3名ずつのグループに分類した。グループ1では、変更規範を用いた BIOG 変更を行い、グループ2では、変更を行わない。BIOG 変更は、当該日の全施行データを用いて終了時に行う。最終5日目には、グループ1には、デフォルト BIOG での再試行、グループ2には、4日目の作業データを用いて調整した BIOG を提供する。操作者の主観的な使いやすさを評価するために、NASA-TLX を用いたアンケートを行った。初日の1セット終了後、4セット終了後、5回目作業終了後にそれぞれ行なう。変更システムに関する説明は、被験者には一切しない。

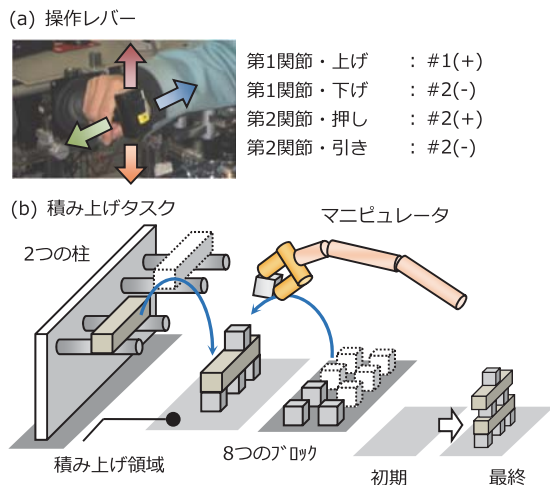


図3 実験条件

図4に、ブロック積み上げタスクにおける実験の結果を示す。面積差分において、グループ1では、1日目から4日目にかけて確実に面積差分が減少しているが、デフォルト BIOG に戻した5日目では増えてしまっている。一方、グループ2では、面積差分の減少はまったく見られなかった。しかしながら、4日目の作業データへ適応した BIOG マップで行った5日目では、面積差分が減少した（図4a）。作業効率においては、両グループともに減少傾向はあるものの、

グループ1のほうが大きく減少し続けている。グループ2では、3日目以降に作業時間の減少が見られず、自己改善が頭打ちになったものと予想される。4日目においてグループ1-2間で統計的な有意差が得られたことから、BIOG 調整の支援効果により、初日には確認されなかった作業時間差がグループ間に現れたことが分かった（図4b）。支援の有無を切り替えた5日目において、グループ1では、すべての被験者でタスク時間が増加し、グループ2では、すべての被験者で減少することが分かった。精神的作業負荷において、グループ1では、BIOG 変更に伴い使いやすさが向上している。グループ2では、慣れの影響（自己適応）により多少の改善はあるがその程度は小さい（図4c）。また、ヒアリングの結果、BIOG 調整に気付いた操作者はおらず、調整によって操作に違和感を覚えるものはいないということも分かった。

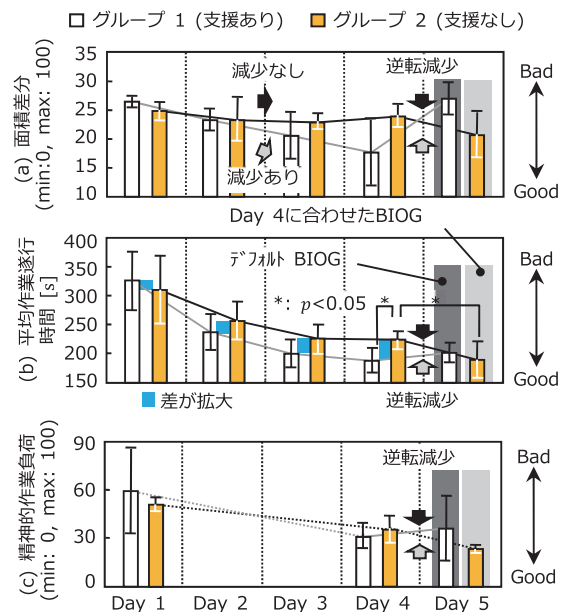


図4 BIOG 調整による作業パフォーマンスの向上

6. 本研究の成果

作業は時々刻々変化していくこと、人間は非線形性やばらつきが多いことから、局所的な作業データでは、作業や操作者の特性を把握しきれないだけでなく、局所適応的な I/O ゲイン

調整では、頻繁かつ大幅な変更を余儀なくされるため、機械システムの動特性理解を阻害することが懸念される。そこで、作業および操作者の特性を大局的に捉えた上で、操作者に違和感を与えないよう緩やかに馴染ませていく I/O ゲイン (BIOG) の自動調整システムを開発した。速度制御型のマススレーブを利用した実験の結果、BIOG 調整によってヒストグラム波形が目標基準波形に整形されること、作業効率が向上すること、主観的な使いやすさが向上することがそれぞれ示唆された。

【今後の研究の方向、課題】

本実験では、速度指令型ジョイスティックによる油圧マニピュレータの操作を対象に BIOG 調整システムの開発を行ったが、基本的な考え方は、その他の HMI においても応用できると考えている。今後は、被験者数の増加および被験者特性の多様化（技能など）を行うとともに、調整システムのパラメータ（ヒストグラム階級数や BIOG マップ形状など）と調整効果の関係性を整理する。また、調整後に残る面積差分を用いて次回以降の調整量を修正する機械学習システムの導入も検討している。局所適応的 I/O ゲイン調整を含めた階層的な I/O ゲイン調整システムについても検討する予定である。

【成果の発表、論文等】

論文

- [1] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano: An Adaptive Basic I/O Gain Tuning System for Human-Machine Systems, IEEE Trans. Human-Machine Systems, 2017. (to be submitted)
- [2] Kui Chen, Mitsuhiro Kamezaki, Takahiro Katano, Junjie Yang, Tatsuzo Ishida, Masatoshi Seki, Ken Ichiryu, and Shigeki Sugano: Development of a Virtual Reality Simulator for Four-Arm Disaster

Rescue Robot OCTOPUS, in Proc. 2016 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2016), July 2016. (to be published)

- [3] 亀崎允啓, 石井裕之, 石田健蔵, 関 雅俊, 一柳 健: 4 腕式極限作業ロボット OCTOPUS の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 論文集(Robomec'16), 2016 年 6 月. (to be published)
- [4] 亀崎允啓, 片野貴裕, 陳 奎, 石田健蔵, 関 雅俊, 一柳 健, 菅野重樹: 4 腕式極限作業ロボット OCTOPUS のための遠隔操作シミュレータの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 論文集(Robomec'16), 2016 年 6 月. (to be published)
- [5] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyuki Ishii, Tatsuzo Ishida, Masatoshi Seki, Ichiryu Ken, Yo Kobayashi, Kenji Hashimoto, Shigeki Sugano, Atsuo Takanishi, Masakatsu G. Fujie, Shuji Hashimoto, Hiroshi Yamakawa: Design of Four-Arm Four-Crawler Disaster Response Robot OCTOPUS, in Proc. 2016 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA2016), pp. 2840-2845, May 2016.
- [6] 亀崎允啓, 岩田浩康, 菅野重樹: 操作入力量ヒストグラムの波形整形に基づく基本入出力ゲインの自動調整システム, 日本ロボット学会誌, vol. 34, no. 1, pp. 56-64, 2016 年 1 月.
- [7] 亀崎允啓, 小坂拓未, 岩田浩康, 菅野重樹: BIOG 調整システムにおける入出力情報を用いた作業および操作者の特性分析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 論文集 (Robomec'15), paper no. 2P1-P05, 2015 年 5 月.

■ 招待講演

- [1] Design of Intelligent Human-Machine Systems focusing on Human-Machine Interfaces, Invited Lecture in University of Moratuwa, Sri Lanka, May 2016.
- [2] 次世代ロボットのための知的ヒューマンマシンインタフェース, 次世代ロボットと RT 技術の未来～次世代ロボット開発の最前線～, 東京, 2016 年 3 月.

■ 受賞

- [1] 第 30 回日本ロボット学会学術奨励賞, 2015 年 9 月.

シリコンフォトニ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

Investigation of Silicon Photonic Wavelength Tunable Laser Diode for Medical Imaging Application

2151009



研究代表者

東北大学

准教授

北

智 洋

【研究の目的】

現在の医療検査装置において低侵襲でありながら高感度、高解像度を有するイメージング装置は、必要不可欠なものとなっている。とりわけ光干渉断層法（Optical Coherent Tomography：OCT）は、数 μm オーダーの高い空間分解能によって生体内部の特性を検査できることから、眼底検査や食道癌検査などの分野で実用化が進んでいる。干渉法によって断層イメージングを行うためには、広い波長帯域を持つ光源、狭いスペクトル線幅を持つレーザ光源など検査目的に見合った光源が求められる。これまでに OCT 光源として MEMS 技術、KTN 結晶の電気光学効果等を利用した波長可変レーザ光源などが開発されているが、高価・大型で OCT の広い普及の妨げとなっている。本研究においては、シリコンフォトニクスを用いる事で、高い空間分解能を有する OCT 用光源を安価かつ超小型に実現する事を目的とする。

【研究の内容、成果】

本研究課題の具体的な目標は、OCT 分野において実用化が進んでいる広波長帯域光源をシリコンフォトニクスを用いる事で非常に小型・低消費電力で実現することである。

OCT における空間分解能は、光源の波長帯域に反比例することから、波長可変帯域ができ

るだけ広い波長可変レーザが望ましい。また、現行の OCT 光源は、数 10 cm 程度の大型の筐体と大きな消費電力を必要とするが、シリコンフォトニクスを利用する事で、バタフライパッケージに搭載可能な超小型・低消費電力波長可変レーザを実現する。本研究によって開発する OCT 光源によって従来では、大型で高価であった OCT 検査装置の大幅な省スペース化、低コスト化が可能になる。

これまでに申請者が開発してきたシリコンフォトニクス波長可変レーザの構造模式図を図 1 に示す。本レーザは、シリコンフォトニクスを用いて作製した波長可変フィルタチップと化合物半導体材料からなる光増幅（SOA）チップとを端面結合させた構造を持つ。

波長可変フィルタは、幅 400 nm 高さ 220 nm 程度の微細なシリコンのコアを持つシリコン細線光導波路によって形成された二つのリング共振器で構成されている。

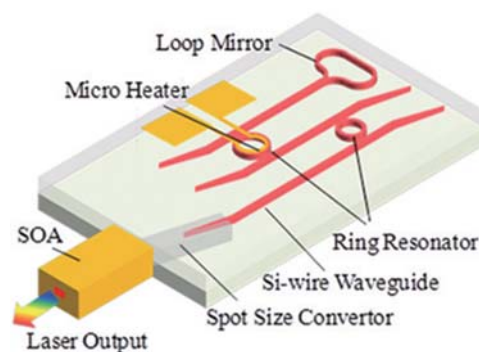


図 1 シリコンフォトニクス波長可変レーザ

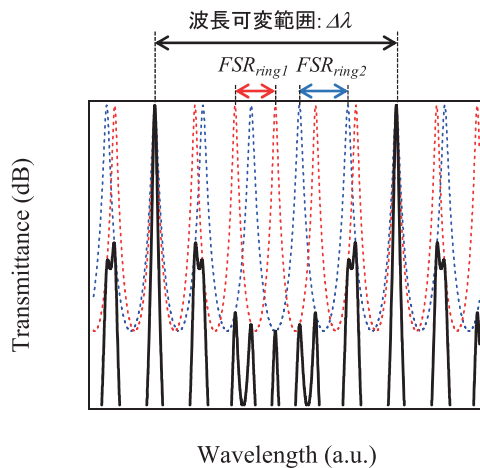


図2 シリコンフォトニクス波長可変フィルタの透過スペクトル

シリコンフォトニクスを用いて作製した二重リング共振器の透過スペクトルの模式図を図2に示す。リング共振器は、波長に対して周期的に透過率が変化するが、二つのリング共振器の周囲長をわずかにずらす事で広い波長範囲において単一の共振波長のみが透過するバーニア効果を利用する事で、単一波長の選択が可能になる。リング共振器上に設置したマイクロヒータを通电加熱する事で、シリコンの熱光学効果によって屈折率が変化しリング共振器の共振波長も変化し、透過波長を制御する事が可能である。

1.3 μm 帯において 80 nm の波長範囲で任意の波長のみを透過する波長フィルタの設計を行った。バーニア効果によって選択できる波長範囲 $\Delta\lambda$ は、二つのリング共振器の共振周波数間隔 (FSR_{ring1} 及び FSR_{ring2}) を用いて以下のように表わせる。

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 (FSR_{ring1} \cdot FSR_{ring2})}{c (FSR_{ring1} - FSR_{ring2})}$$

ここで FSR_{ring1} は、シリコン細線光導波路を用いたリング共振器によって作製しやすい約 800 GHz とした。これより FSR_{ring2} は 740 GHz と設計した。選択された波長の透過率と隣の共振モードの透過率差の差（モード利得差）が大きいほど波長選択性の良い波長フィルタとなる。

ここでモード利得差は、シリコン光導波路とリング共振器の光学的な結合の強さ（結合効率）を小さくするほど大きくとれ、波長選択性の高いフィルタを構成することが可能になる。しかしながら小さすぎる結合効率は、選択波長の透過率も減少させるので、選択波長は高い透過率を維持しつつ大きなモード利得差を実現できる 0.2 程度の結合効率のリング共振器を設計した。

このようにして設計、試作した波長可変フィルタの顕微鏡写真を図3に示す。本フィルタは、モード径の小さなシリコン細線光導波路とモード径が大きな半導体光増幅器とを効率的に結合するために、端面部分にスポットサイズコンバータを形成してある。また、リング共振器上には、融点の高いタンタルを用いたマイクロヒータを設置している。

波長フィルタと結合させる半導体光増幅器は、光通信における O バンドにおいて大きなゲインを持つソーラボ社製ゲインチップを用いた。波長フィルタと半導体光増幅器を結合させ、

光増幅器に注入する電流を変化させた時の出力光強度を図4に示す。閾値電流 50 mA 程度の明瞭なレーザ発振が確認できる。次にマイクロヒータに通电加熱を行い発振波長を変化させた時の波長スペクトルを図5に示す。様々な発振波長でのスペクトルを重ねており、最大 79.8 nm の範囲で波長を変化させる事ができた。図6にマイクロヒータ投入電力と発振波長の関係を示す。ヒータ加熱によってほぼ線型に波長が

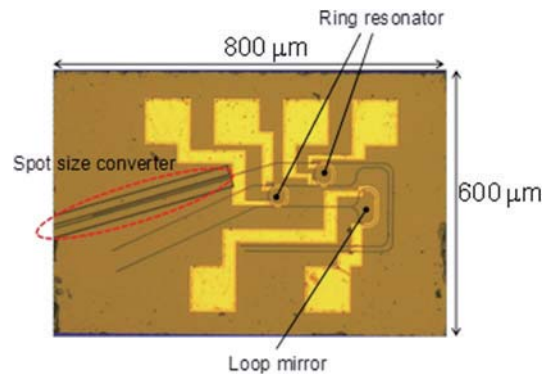


図3 試作した波長可変フィルタチップ

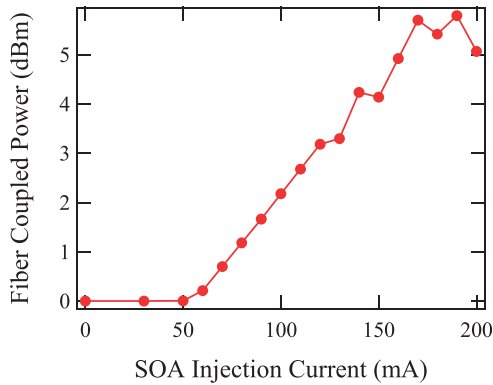


図4 光出力強度の注入電流依存性

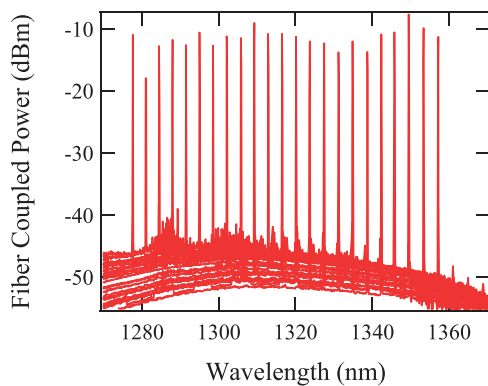


図5 波長可変特性

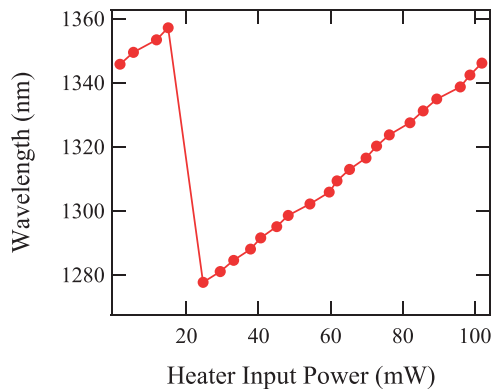


図6 ヒータ電流による発振波長の制御

変化しており、ヒータによる波長変化の効率は 0.86 nm/mW という結果が得られた。本実験で得られた波長可変範囲 79.8 nm は、周波数に換算すると約 14 THz に対応し一般的な光通信に用いられる C 帯の周波数範囲 4.4 THz の約 3 倍であり非常に広い周波数範囲である。

このように波長フィルタの設計値である 80

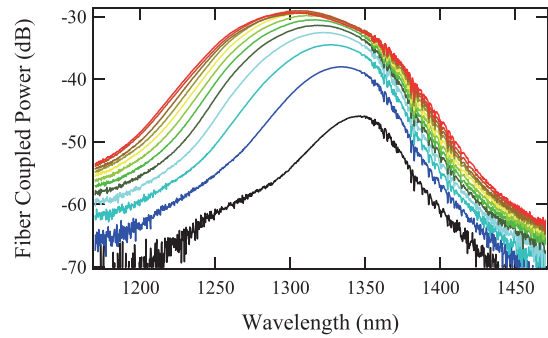


図7 光増幅チップの ASE スペクトル

nm の波長可変範囲をほぼカバーする範囲での波長可変動作の実証に成功した。本レーザに用いた光増幅チップの ASE スペクトルを図7に示す。大電流注入時に ASE スペクトルの波長帯域が増加し、半導体光増幅器のゲイン波長範囲は約 150 nm に及ぶことがわかる。

本実験では、波長可変フィルタの制約により 80 nm 程度の波長可変範囲であったが、より広い波長可変範囲を持つフィルタを設計、試作する事で、さらに広い波長範囲で利用できる波長可変レーザの作製が可能になる。本研究で試作した波長可変レーザのデバイスサイズは、シリコンフォトニクスチップのサイズが $800 \mu\text{m} \times 600 \mu\text{m}$ 、光増幅チップのサイズは、 $2 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ であることから、約 $3 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ である。このように非常に小型でありながら広い波長可変範囲を有する波長可変レーザの作製に成功した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究によって非常に小型でありながら、 80 nm という広い波長範囲の任意の光を出力できる波長可変レーザの開発が可能になった。また、波長可変フィルタの構造を最適化する事で、 150 nm 程度まで波長可変範囲を拡大できる可能性が示された。以上から波長可変範囲に関しては、これまでに開発されてきた OCT 用波長可変光源に対する本レーザの優位性を確認できた。本レーザを OCT 用光源として実用化する

にあたっての今後の課題は、波長切り替え速度の高速化である。現状の波長切り替え速度は、数百 μ 秒程度であり波長をスキャンする周波数は 1 kHz 程度が限界である。今後はマイクロヒータ構造を改良することで、波長スキャン速度の高速化を図っていく。

〔成果の発表，論文等〕

北 智洋，松本 敦，山本直克，川西哲也，山田博仁，
「シリコンフォトニクス——量子ドット波長可変
レーザ」電子情報通信学会 LQE 研究会，2016 年 1
月 28 日，神戸市産業振興センター（神戸）

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

Measurement of eye movements for difference between visual distances of real visual target
and augmented reality image and processing of images

2151010



研究代表者 (助成金受領者)	名古屋大学大学院 情報科学研究科	准教授	工 藤 博 章
共同研究者	名古屋大学大学院 情報科学研究科	教 授	大 西 昇

[研究の目的]

近年、拡張現実感（AR）技術の広がりにより、実世界とともに人工的な映像を同時に視聴する機会が増えてきた。視線移動は瞳孔位置を変化させ光学系の幾何の変更を生じさせるため、一定の奥行の画像面での映像の視聴時と、実映像と人工的な映像とで視距離が異なる映像の視聴時では、状況が大きく異なる。このような状況のもとで、視線移動を計測・分析し、それに応じた映像提示法の提案を、本研究の目的とする。

また、AR映像の表示の際には、実世界注視とAR表示面注視とでは、本来、網膜像差やぼけ具合が異なるが、現状では視線移動とは無関係に同じ位置に表示するため、不自然な像の提示とも言える。この映像を制御することで不自然さを低減することを目指す。

[研究の内容, 成果]

視線移動により生じる視差

本研究では、2次元表示と3次元立体映像の提示条件の違いによる輻輳運動等に注目して分析を行う。このような分析は、通常のディスプレイやプロジェクタを用いた視距離での研究は、従来にも行われているが、ヘッドマウントディ

スプレイ（以下、HMD）ではあまり見られない。HMDで映像を提示した際の眼球運動と奥行き知覚について、研究代表者らの研究[1]では、眼球運動時に眼球の回転運動の中心と光学系の軸が一致していないことにより生じる視差[2]（ocular parallax [3]）に着目している。

図1で、遠くの実物体に視線を向けた時、映像表示面が眼に近い距離にあるHMDの像 I_{AR} は、両眼映像の融合や焦点距離などにより、映像面より遠くで結像したARに位置することに相当する。ここで、ARの位置に視線を向けようとする、瞳孔位置をはじめとして、光学系に変化が生じる。

実世界の幾何と同等にするには、ARと眼球の回転中心を結ぶ I_{True} の位置に、像を提示しなければならない。これに対応する視線移動前の網膜での像の位置は $[I_{True}]$ であり、 $[I_{AR}]$ との間にずれが生じている。これは、 I_{True} の位置への視線移動に必要な回転角 $[I_{True}]_{post}$ が、 I_{AR} の回転角 $[I_{AR}]_{post}$ よりも大きいことを示してい

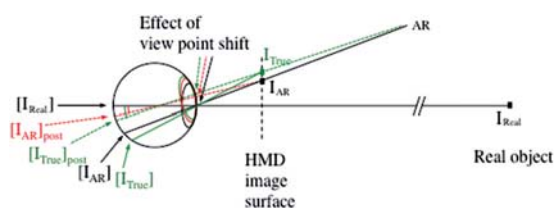


図1 ocular parallax

る。言い換えれば、実世界の経験に基づいて、視線移動を行うと、視線移動が過大になるということになる。この効果は通常の両眼視差と同じく、映像面が遠くにあれば、ずれは小さく、近くであれば、ずれは大きい。HMD の映像提示面が眼に近いことで効果が大きい。[1] では、視線の移動の際に映像の提示位置を操作し、映像が元の位置に表示されていると知覚されるかを検証した。本研究では、眼球運動、調節力を計測し、他覚的に分析する。

実験 1 HMD 像と視距離の異なる固視点の間の視線移動

提示刺激として、光学シースルー方式 HMD (960×540 画素、画角約 23 度) の、左側 (中央から約 9.6 度) の位置に AR 像として、4 画素の線幅、線長 20 画素の十字型の指標を描画した。実対象として、同様の十字型の指標をモニタの表示面 59.6×33.5 cm の中央に描画した。作業距離を想定し、被験者から 40 cm の位置にモニタを配置した。設置式の眼球運動計測を用いた。

被験者は、HMD を装着し、あご台で姿勢を保って実験を行った。眼球運動はモニタの画素位置として記録される。モニタ中央の実指標 3 秒間、HMD の左の AR 指標 3 秒間の注視を記録した。HMD 映像の十字指標に相当する位置にカーソルを表示し HMD を外し、モニタ中央の指標 3 秒間、モニタ上カーソル 3 秒間の注視を、同様に記録した。

眼球運動の記録の例を、図 2 に示す。上図が実映像と AR 像との間の注視、下図がモニタ上の十字指標とカーソルとの間を注視した結果である。横軸はフレーム番号 (30 Hz サンプリング)、縦軸は画面上の水平画素位置であり正が右側となる。図から、AR 指標の方が安定するまでに時間を要していることがわかる。また、ばらつきも大きい。右眼では、AR 指標とカーソルへの視線移動の大きさはほぼ同じであるので、これについて見てみると、実指標から AR

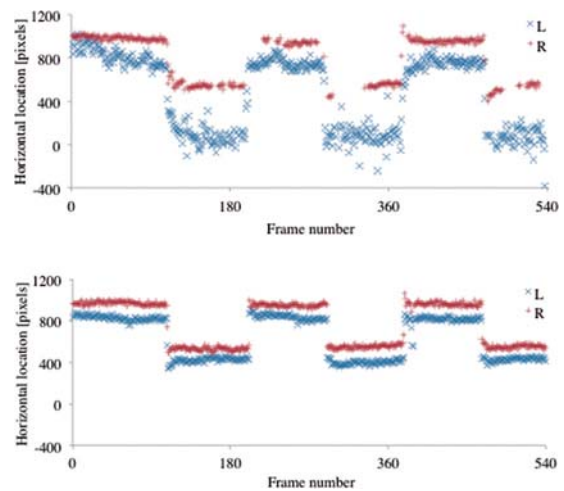


図 2 眼球運動の計測例
上：HMD (AR) とモニタ (固視点)
下：モニタ上の 2 点

への視線移動の際にオーバーシュートが見られ、安定するまでの時間も長くなる傾向が見られる。

Ocular parallax の幾何に従うと、オーバーシュートは、AR 像への視線移動に必要な実際の回転角度が、AR 像の視角方向で、遠くに実対象があることを仮定した際の回転角度より小さいことから、眼球運動の回転角度が過大に計画されることによる可能性がある。あるいは像の位置ずれによる必要な回転角度が異なること自体により、安定するまでの時間を要する可能性も考えられる。

実験 2 変位させた HMD 像と視距離の異なる固視点の間の視線移動

実験 1 では、AR 像は、静止像であった。ここでは、視線移動の際に AR 像の位置を変化させる (像の位置を制御する) ための刺激提示環境を構築し、両眼の眼球運動から算出される 3D での注視位置についての計測を行った。

グラスタイプの眼球運動計測器を装着し、その上から光学式シースルー方式 HMD (960×540 画素、画角約 23 度) を装着して測定を行った。HMD への刺激提示は、無線アダプタによって、映像生成 PC の HDMI 出力を伝送する方式とした。

ブロック組み立て作業を行うことを想定し、

AR 像として、ブロックの組立図を HMD 表示領域の左側に表示した。その組立図の中央付近に注視対象となる部品の図が、周囲と異なった色で示されている。これを、視線移動の間に、左に 10 画素、変位なし、右に 10 画素ずらした計 3 種を注視対象とした。HMD の左右眼それぞれの提示面に対して、同一映像を描画した。

被験者は、眼球運動計測器と HMD を装着し、あご台で姿勢を保って実験を行った。最初に、被験者から 50 cm の位置にあるモニタに固定された校正用カードを注視する。その後、実験用プログラムにより、合図音の出力と映像切替が行われ、被験者は、3 秒ごとの合図音に従って、以下の順で注視を行った。映像切替は、合図音の後、0.25 秒後に行われるように設定した。

1. HMD の中央に十字型の指標が表示され、これを注視する。
2. HMD に標準の位置のマニュアルの図が表示され、中央の校正用カードを注視する。
3. HMD のマニュアルの図が更新（変位なし、10 画素右、10 画素左）され、指定部分を注視する。

注視位置記録の例を、図 3 に示す。計測器の中央上部にある記録カメラを原点とした時の 3D での注視位置の X（左が正）、Z（遠方が正）座標（単位は mm）を示す。十字指標、校正カード、マニュアルを 3 秒ずつ注視し、これ

を 1 セッション（9 秒間）の試行として表している。横軸は、表示の際の遅延などを含んだものである。X 軸の値で、横軸が 1, 2, 3 の位置で 0 に近く、1.3, 2.3, 3.3 の位置で大きな値であり、それぞれ、校正カード、マニュアル（左領域）の注視に相当する。

校正カードは視距離 50 cm のモニタ面の距離にあり、確かに奥行き方向を示す Z の値が 500 mm で安定していることが確認できる。

この時間経過の区分に従うと、1 セッション内では校正カードからマニュアルへの視線移動で Z の値が若干小さくなることを示唆している。また、十字指標注視時よりも小さくなっている。

一方、水平方向の移動である X の値を見ると、マニュアル表示位置への視線移動の際、1.4, 2.4, 3.4 付近の比較では、2.4 の値が矩形波状に近くなっている。すなわち、安定するまでの時間が早い。3 セッションで、いずれもオーバーシュート状の概形は見られないため、この実験条件では、一度で視線移動が終了するのではなく、徐々に対象の注視位置に収束するような振舞いと考えられる。映像の制御を行う上で、考慮が必要な点であろう。

実験 3 HMD 像と視距離の異なる固視点の間で視線移動した際の水晶体調節力の測定

映像のぼけも奥行知覚に影響を及ぼす。実験 1 では、AR 像と視距離の異なる固視点との間の視線移動時の眼球運動を計測した。ここでは、視距離の異なる視対象間での視線移動の際の水晶体調節力の測定を行った。実験 1 と同様に、3 秒ごとに視距離の異なる対象を注視する課題とした。なお、眼球運動の同時測定ではない。

被験者は、HMD を装着し、あご台で姿勢を保って実験を行った。実験 1 と同様の刺激提示を行い、モニタ中央の実指標 3 秒間、HMD の左の AR 指標 3 秒間の注視を行い、オートレフラクトメータで調節力を記録した。実験 1 と同

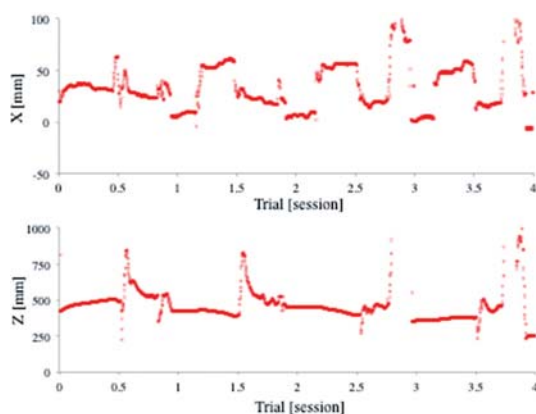


図 3 3D 眼球運動の計測例
上：水平方向、下：奥行き方向

表1 調節力（視距離換算）

	Left eye		Right eye	
	L	C	L	C
H-M			0.33	far
			0.33	0.50
	0.20	far		
	0.20	0.33		
H-H			far	far
			far	far
	far	far		
	far	0.40		
M-M			0.20	0.33
			0.20	0.33
	0.20	0.50		
	0.20	0.40		

様に、40 cm の位置にモニタを配置した。比較のため、ディスプレイ上の固視点（中央）と別の位置（左側）の点の間の視線移動と、HMDの中央のAR像と別の位置（左側）のAR像の間の視線移動時について、計測を行った。

計測された調節力から被験者の個人特性を補正し、対象の視距離に換算した値の例を、表1に示す。単位は[m]で、0.50はモニタの位置に相当する。farはモニタより遠方を意味する。H-MがHMDとモニタに注視対象の提示を行った場合、H-HがともにHMDに注視対象2点を、M-Mがモニタ上の2点とした条件を表す。Lが左側、Cが中央の注視対象を、注視した時である。H-M条件で、HMDに表示された左側の対象の注視時には、M-Mの左側の対象の注視の結果に近く、モニタに表示された中央の対象の注視時にはH-Hの中央の対象の注視の結果に近い結果が得られた。

[今後の研究の方向、課題]

実験1で映像提示と視線計測の環境を整え、実験2で映像制御を含めた視線計測の環境を整

えた。実験1では過大な視線移動の傾向が、実験2では過大な視線移動ではなく、徐々に視線を注視対象の位置に収束させる傾向が見られた。今後は、これらの特性も考慮すべく視線計測結果に応じた映像の制御が行えるようにするとともに、実験1及び2の結果を詳細に検討していく。実験3では調節力の測定を行った。調節力も映像の知覚の上で重要な要因であり検討を進める。視線と調節力などの信号の同時計測も進めていく予定である。

[参考文献]

- [1] H. Kudo, N. Ohnishi: Effect of the Sight Line Shift when a Head-Mounted Display is used, CD-ROM Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 1-4 (2000)
- [2] 工藤博章, 齋藤雅也, 山村 毅, 大西昇: 単眼観察時の近距離に位置する視対象の奥行き知覚, 映像情報メディア学会誌, 54(9), 1311-1314 (2000)
- [3] A. P. Mapp, H. Ono, The rhino-optical phenomenon: Ocular parallax and the visible field beyond the nose, Vision Research, 26, 7, 1163-1165 (1986)

[成果の発表、論文等]

- [1] 工藤博章, 大西 昇: 実世界と拡張現実感映像との視距離の違いに着目した視線計測, 2015年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会基礎・境界講演論文集, 160 (2015)
- [2] Hiroaki Kudo, Noboru Ohnishi: Accommodation measurement for differences between visual distances of real visual target and augmented reality image, The proceedings of The Eighth International Workshop on Image Media Quality and its Applications, 56-61 (2016)
- [3] 工藤博章, 大西 昇: “実世界と拡張現実感映像との視距離の違いに着目した3D注視位置の計測”, 2016年電子情報通信学会総合大会基礎・境界講演論文集, 233 (2016)

健康長寿促進のためのアバタ育成環境の構築

Life Style Reflection Support based on Avator Caring Environment

2151013

研究代表者
(助成金受領者)

関西大学 システム理工学部

准教授

小 尻 智 子

共同研究者

大阪府立大学
人間社会システム科学研究科

教 授

瀬 田 和 久

[研究の目的]

様々なセンサ・デバイスの発達に伴い、人は日々の活動情報を記憶し、振り返ることが可能となった。既存のデバイスは活動の記録が目的であるため、ユーザの健康意識の促進や、健康になるための活動へのモチベーションを与えることは困難である。

本研究では、センサ・デバイスなどから取得されたユーザの活動情報を入力とし、ユーザが自身の活動に関して見直したり、より楽しく健康的な活動を自主的に行うことができるようにしたりする環境を構築する。ユーザの活動に関して、モチベーションを高めるようなアドバイスを出すだけでなく、ユーザの活動情報に基づいて健康状態が変化するアバタを構築する。ユーザの活動情報より推定されるユーザの健康情報の変化をアバタの変化として可視化することで、自身の活動に関して内省させることを意図している。

図1にシステムの全体像を示す。システムは、健康状態解析モジュール、アバタ可視化モジュール、健康アドバイス提示モジュールから構成される。センサなどの様々な入力デバイスから取得されたユーザの活動/体調データに基づいて、健康状態解析モジュールはユーザの現在の状態、および予測される体調の変化を解析し、健康状態モデルとして表現する。アバタ可

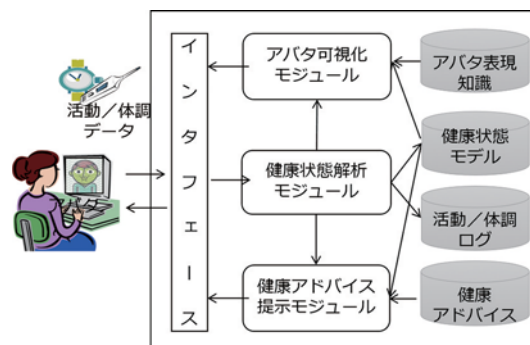


図1 システムの枠組み

視化モジュールでは、生成された健康状態モデルをもとに、アバタの可視化手法を決定し、インタフェース上に表示する。一方、健康アドバイス提示モジュールでは、ユーザの健康改善に関する直接的な支援として、不適切な行動を改善してもらうための、健康に関するアドバイスをユーザに提示する。

[研究の内容、成果]

健康アドバイス提示モジュール

健康的な生活習慣へと行動を変えるきっかけとして、正しい健康知識を明示的に与えることは効果的である。人は正しいと思っている行動をとる可能性が高いため、健康に良い行動をとるためには正しい健康知識を知る必要がある。人が不適切な生活習慣で過ごしている要因としては、自分の中で正しいという信念に基づいた

行動を持っていないということが考えられる。一方で、行動を変える負担や仕事等の都合により、悪影響を及ぼすと理解した上で不適切な行動をとっていることもある。改善を継続させるためには可能な健康知識から徐々に改善していくことが望ましい。

本研究では認知的不協和理論に基づいて、システムが提示する健康知識を決定する。認知的不協和理論とは社会心理学の一種であり、人が自分の信念やそれに基づく行動と矛盾する“事実”を突き付けられると不快な感情を引き起こす現象である。人は“自分の信念や行動”もしくは“事実”のどちらかを否定することで矛盾を解決しようとする。認知的不協和が発生すると、「自分の信念や行動」もしくは「事実」のどちらかを否定するが、どちらを否定するのかは信念の強さに依存する。信念や行動に対する意識が強ければ事実を否定する可能性が高く、弱ければ行動が改善される可能性が高い。したがって、人が信念に基づいている行動を否定するよりは、人が知識を意識していないでとっている誤った行動を修正するほうが容易である。

そこで本研究では、活動/体調ログおよび、ユーザの持つ健康知識を取得し、信念に基づいていない行動を改善する知識を健康アドバイスから取得して提示する。誤っていることを知ったうえで過ごしている生活習慣、つまり行動は誤っていても正しい知識を保持している生活習慣は信念に基づいて過ごしている生活習慣であると考えられる。従って本研究では、知識と行動がともに誤っている生活習慣に関する知識を提示する。

健康アドバイス提示モジュールのみ独立で動くようにしたシステムを構築し、評価実験を実施した。本システムは Android 端末向けに Java で開発した。図 2 に活動・体調ログの入力画面を示す。各項目に入力し、保存ボタンを押すことで、入力した内容が活動/体調ログに保存される。「入力完了」ボタンを押すことで

図 2 健康アドバイス提示モジュール 入力画面

図 3 健康アドバイス提示画面

それぞれの正しく行動されていない、かつ誤っていることを認知していない健康知識がアドバイスとして出力される。図 3 に食事についての出力例を示す。大学生 3 名ずつからなる 3 つのグループ (A, B, C) を作成し、5 日間以下をしてもらった。

- ・グループ A：健康に関する健康知識を調べる。
- ・グループ B：システムに体調/行動を入力する。システムは不適切とは判断された知識を出力する。
- ・グループ C：システムに体調/行動を入力する。システムは認知的不協和に基づいて知識を出力する。

グループごとの改善率を表 1 に示す。分母が不適切な知識の数、分子が改善された数を示す。

表 1 行動の改善率

グループ	改善率
A	6/16
B	9/16
C	16/16

グループ A とグループ B, C をそれぞれ比較すると、認知的不協和を用いたシステムを用いたグループ C が改善率が一番高かった。したがって、アドバイスの提示のみでも一定の改善が見込まれることがわかった。ただし、今回は 5 日間のみの実験であったため、今後はより長期間で実験する必要がある。

健康状態解析モジュール

本研究では、現在の行動に対して将来どのような傾向になるかをアバタで表現することを目的とする。そのためには、現在の行動/体調から将来の体調を推測する必要がある。健康状態解析モジュールでは、過去の活動/体調データから、ユーザの体調に与える活動パターンを抽出する。

パターンの抽出に Apriori アルゴリズムを用いる。Apriori アルゴリズムは、共起性のあるデータの発見して相関ルールを生成する。本研究では、体調、もしくは活動と関連のある項目を調べるために活用する。

Apriori アルゴリズムによってパターンを抽出する機能を実装し評価実験を実施した。評価実験では 5 名の大学生に体調-活動データを 30 日分入力してもらった。そのデータに Apriori アルゴリズムを適用し、3 回以上生じていた体調-活動パターンを抽出して提示した。アンケートを取得した結果、2 名が自身が気づかなかった納得のいくパターンが提示されたと回答した。しかし、人によっては 40 ものパターンが提示されてしまった。これらすべてを納得することはできなかったため、残りの 3 名の被験者はあまりよくない評価となった。このことから、膨大な量のパターンが抽出された場合、アバタを変更させるのに用いる知識を選別する必要があることが明らかになった。

アバタ可視化モジュール

健康状態解析モジュールで抽出された、ストレス、体重、頭痛、腹痛に関する体調の変化に

基づいて、アバタの表出方法を変更する。本研究ではプロトタイプ的にアバタを顔のみで表し、ストレスを髪の毛の量に、体重を顔の膨らみに、頭痛・腹痛を目と口の形状に反映する。

- ・顔の膨らみ：顔を楕円で表現したとき、幅の大きさが顔のふくらみを示す。1 つ前の状態の幅を W_1 とすると、体重が増加した場合の半径 W_2 を $W_2 = W_1 * 1.05$ 、減少した場合の半径を $W_2 = W_1 * 0.95$ で計算する（図 4）。

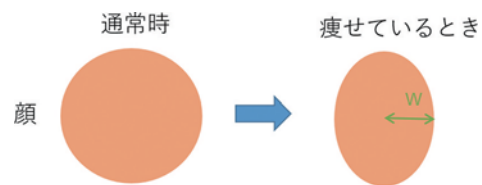


図 4 顔の膨らみの変更例

- ・目の角度：頭痛や腹痛が起こると、目をしかめる表情となる。楕円で作成した目の x 軸との角度を、1 つ前の状態を θ_1 とすると、頭痛・腹痛が発生したときの角度 θ_2 を $\theta_2 = \theta_1 + 5$ とする。逆に、治った場合は -5 をたす（図 5）。



図 5 目の角度の変更例

- ・口の形状：口を表す形状も上向きの「く」の字から下向きの「く」にする。中心点と左右の点を結ぶ線と x 軸との角度を θ とすると、目の角度と同様に頭痛・腹痛の発生に応じて $\theta_2 = \theta_1 \pm 5$ とする（図 6）。



図 6 口の形状の変更例

- ・髪の毛領域：ストレスの増減に応じて髪の毛を表す半円の高さを変化させる。ストレスが発生した際、楕円の縦の長さ h_2 を一

つ前の長さ h_1 を用いて $h_2 = h_1 * 0.95$ で変化させる (図 7)。

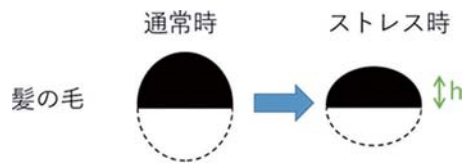


図 7 髪の毛領域の変更例

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では各モジュールを別々で開発し、別々に評価実験を実施したのみである。今後は各モジュールを統合し、一つのシステムとして

実現する必要がある。また、現時点ではアバターは顔のみで表現される非常にシンプルなものとなっている。体や顔色なども表現できるようにし、より様々な状態を考慮したアバター表現を実現したい。

[成果の発表, 論文等]

1. 川口直人, 小尻智子: 「生活習慣改善のための認知的不協和理論に基づいた健康知識提示システム」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 492, pp. 221-226 (2016 年 3 月)
2. 住谷泰正, 小尻智子: 「ランナーの運動レベルを考慮したランニング用デフォルメ地図生成手法の提案」, 2016 年電子情報通信学会総合大会 講演論文集 1, p. 37 (2016 年 3 月)

医療診断用分光映像の高時間分解能化の研究

Temporal Super Resolution for Medical Hyper-spectral Video

2151016

研究代表者
(助成金受領者)

国立情報学研究所

特任助教

島 野 美保子

共同研究者

東京大学 生産技術研究所

教 授

佐 藤 洋 一

共同研究者

国立情報学研究所

教 授

佐 藤 い ま り

[研究の目的]

医用分光撮像装置のように、人体を傷つけることなく診断可能な可視化技術は、我々の生活において、非常に有効な診療支援を担う。一般に、このような医用分光撮像装置は、光学に基づく撮像系および補償光学による制御等（ハード）と、イメージング技術（ソフト）の2つから成り立つ。近年、医用分光撮像装置のハード面も著しく進歩し、診療に実用化されてきた[1]。しかし、依然、撮影対象はノイズを多く含む微弱信号のため、画像撮影には長時間露光が必要となり、画像に被写体の動きぶれが存在するという問題がある。

そこで本研究では、波長領域の異なる映像間では被写体の見え方が大きく異なるが、映像間の動きぶれの“見え（パターン）”に着目し、これらの相関性を利用することで、動きぶれを低減した高時間分解能化を目指す。これにより、撮影中に動いてはいけないというユーザ負担を軽減し、更には静止画のみならず、動的な解析による医療診断も可能にすると期待される。

[研究の内容、成果]

本研究では、医用分光映像等（例えば、分光

眼底映像や蛍光観察等を想定）における高時間分解能化の開発に取り組んだ。高時間分解能化とは、図1左図のようなフレーム補間を行うのではなく、図1右図のように、動きぶれを含む長時間露光の画像から露光時間を分割した短時間露光の画像を復元するものである。高時間分解能化によって、動きぶれが低減された鮮明な映像が得られ、上述のようにユーザ負担を減らすと共に、診療レベルの向上をもたらす。

しかし、高時間分解能化は、単一映像しかない場合、被写体の動き方には様々な可能性があり、解が一意に定まらない不良設定問題である。従って、波長領域の異なる映像（分光映像等）間の動きぶれの“見え”の相関性に着目する。分光映像間の被写体の見えは大きく異なるため、そのままの映像では統合できなかったところを、

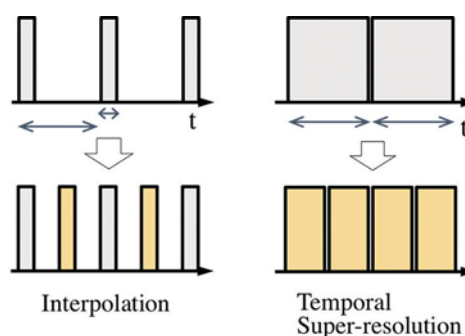


図1 フレーム補間（左）と高時間分解能化（右）

動きぶれの見えの相関性に基づくことにより、複数の映像の情報を統合して動き補償を行うという高時間分解能化を実現した。

また昨今、様々な分野においてデータ量の大幅増大が言われているが、医療データも例外でなく膨大な容量を占めると予想される。加えて、高時間分解能化を実施する場合、データ量は更に増大傾向にある。従って、高時間分解能化を実現しつつもデータ圧縮を可能にする技術は、このような情報の大規模化と限られたハードやネットワーク容量とのせめぎ合いを緩和する有効な手段になり得る。高時間分解能化映像の圧縮技術の可能性も検討した。

1. 異なる時間分解能映像間の自己相似性

自然画像には、空間的に自己相似なテクスチャパターンが様々なスケールで多数存在している。同様に、自然映像では時間方向にも、この自己相似性を観察することが可能である。ここで言う自己相似性とは、異なる時間分解能映像間で、各露光時間中の動きぶれの見えパターンが相似になることを指す。

最近、この連続露光映像の特性である自己相似性を利用した映像の高時間分解能化手法が提案されており、その概要を説明する [2]。自己相似性を観察できる例として、図のようにヨットが等速で動いている映像を考える。図2の左のフレーム画像よりも2倍の露光時間を持つ右のフレーム画像では、ヨットが2倍の距離を移

動する。このヨットの動きぶれを局所領域で観察すると、左のフレーム画像のパッチは、2倍の距離を動いたぶれを持つ右のフレーム画像のパッチと、実は相似の関係になっている。つまり、このような露光時間の異なる映像間には、相似な微小パッチが多数存在していることがわかる。この異なる時間分解能映像間の相似な関係は、空間方向や時間方向のスケールを適応的に調整することにより、様々な運動やテクスチャの微小領域に拡張することが可能である。

2. 分光映像の高時間分解能化アルゴリズム

2.1 高時間分解能化の基本原則

高時間分解能化の基本原則は、1章に記載した自己相似性を活用することにより、最大事後確率 (MAP) 推定の枠組みで1つの映像のみからの高時間分解能化を実現するというものである。露光時間 $2e$ のフレーム画像 F_{2e} が与えられた露光時間 e のフレーム画像 F_e の事後確率 $P(F_e|F_{2e})$ は、ベイズ則に従い、 F の事前確率 $P(F)$ と F_e が与えられたときの F_{2e} の尤度 $P(F_{2e}|F_e)$ を用いて、

$$P(F_e|F_{2e}) = \frac{P(F_{2e}|F_e)P(F_e)}{P(F_{2e})}, \quad (1)$$

と与えられる。このとき、求める MAP 推定値は、

$$F_e^{MAP} = \arg \min_{F_e} [-\ln P(F_{2e}|F_e) - \ln P(F_e)]. \quad (2)$$

高時間分解能映像のフレーム平均が低時間分解能映像のフレームを成すという時間分解能映像間の映像復元条件を、高時間分解能フレームから低時間分解能フレームを構成する尤度 $P(F_{2e}|F_e)$ として採用する。また、映像内の、ある動きぶれパターンに対応する相似なパターンを同一映像内から探索し、これを適応的にスケール変換することにより、動きぶれを半減させたパターンが生成できる。このような自己相

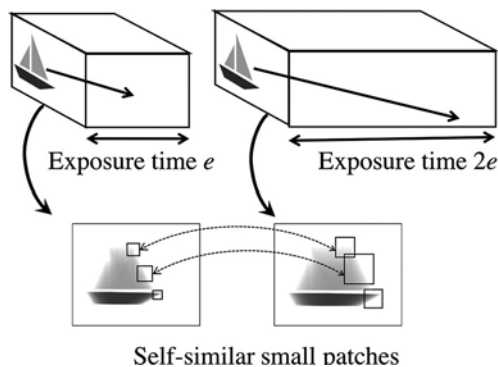


図2 自己相似性

似な事例を事前確率 $P(F_e)$ として利用する。これらの事前確率と映像復元条件を考慮した確率モデルによって、撮影映像の低時間分解能フレームを複数フレームに分解した高時間分解能映像を生成することができる。

また、自己相似な事例については、スパース表現を用いて、効率良く学習 DB を表現することも可能である [3]。更に、時間方向の高時間分解能化のみではなく、同時に空間方向への超解像化へと拡張することも可能である。

2.2 分光画像間の自己相似性

前節の異なる時間分解能映像間における自己相似性について、分光画像における波長の異なる画像間の自己相似性へと拡張を行う。

対象とする医療用の分光画像は、前述のとおり、ノイズを多く含んだ微弱信号のため、露光時間を長くとることにより動きぶれを含む画像であり、依然ノイズを含んでいる画像と考えられる。ノイズを含む画像の場合、自己相似な事例を探索して活用する際に、ノイズまで高時間分解能化により復元するという問題がある。加えて、対象は医療用映像であるため、一般自然映像とは異なり、自己相似な事例（微小パッチ）を探索するための、自身の映像から抽出できる事例 DB として十分量があるとは限らない。従って、以上のような動きぶれ、ノイズ、自己相似な事例のデータ不足について、考慮する必要がある。

分光画像の近接波長間では画像内の見えと動きぶれが類似しているとみなすことが可能である。また、波長が近接していない分光画像間においても、同一の被写体では動きぶれが類似しているとみなすことができる。従って、適応的に近接波長間画像の平均和を取ることで、ノイズの影響を削減すると共に、十分ではない自己相似な事例データを補うことが可能である。動きぶれについては、全ての波長画像および前述の近接波長平均和画像間における自己相似な事例を探索することで、データ不足を補いつつ、推定精度を向上する。

2.3 高時間分解能化映像のデータ圧縮

撮影された連続露光映像よりも高時間分解能の映像を提供することを目的とし、符号量（レート）と予測誤差（歪み）のトレードオフを最適化するために、適切な時間分解能と符号化に必要なパラメタ（量子化パラメタ：QP）を選択して符号化するという適応的な圧縮方法が提案されている [4]。この圧縮手法の基本的な考え方について具体例を用いて以下に示す。デコーダで高時間分解能化による生成が容易なフレームについては、符号量を節約するため、低い時間分解能で、且つ粗い QP によって符号化する。一方、圧縮後に生成することが難しいフレームについては、画質を保つため、高い時間分解能で、且つ精細な QP によって符号化するというものである。これらの異なる時間分解能と異なる QP のフレームの選択方法を、無閉路有向グラフ（DAG）の最短経路問題として解くことが可能である。

3. 評価実験

分光カメラ画像について、高時間分解能化手法の有効性を確認する実験を行った。今回は、評価実験用として、サンプル分光画像について人工的に等速直線運動により移動した、動きぶれを含む合成画像を生成した。また、実際の医療画像を想定し、ノイズを付加した合成画像についても実験を行った。本実験では、時間方向の高時間分解能化のみでなく、空間方向の超解像化も同時に行う実験も試みた。

図 3 に時間方向および空間方向を共に 2 倍拡大した推定画像の部分画像例を示す。細部の見えにくかった縞の構造が推定した画像では鮮明

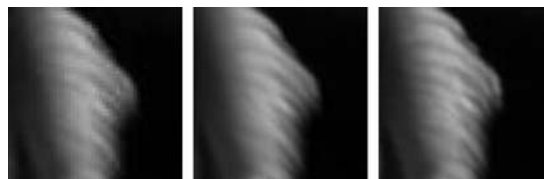


図 3 推定結果例（輝度補正済み） 左）拡大した入力画像、中）推定画像、右）正解画像



図4 ノイズ付加画像における推定結果例（輝度補正済み）
左）拡大した入力画像，中）推定画像，右）正解画像

になっている様子がわかる。また、この実験の推定結果と正解との PSNR は 39.68 が得られている。図4に、ノイズ付加合成画像についての推定画像の部分画像例を示す。この実験の推定結果と正解との PSNR は 37.58 である。学習を利用した高時間分解能化により、ノイズの影響を抑制しつつ高精細化を実現できる効果も確認できた。以上により、スパース表現による高時間分解能化アルゴリズムの有効性を確認した。

伝送時やデータ保存の際には、このような分光高時間分解能映像についても、2. 3 章のデータ圧縮手法を適用でき、有効である。

[今後の研究の方向、課題]

本研究によって、動きぶれを含む分光画像に対して、高時間分解能化手法の有効性が確認された。しかし、個人情報保護の観点から、実際の医療用データについて十分量の評価実験は実施できなかった。

そこで、今後の研究では、動きぶれの自己相似性や相関性について、実データの解析および理論的考察を行い、脈動や被写体のマクロでランダムな動きなど、実際の動きパターンに合わせた動きぶれ自己相似性や相関性の表現方法を検討する。また、動きだけでなく、蛍光の減衰等のように対象の観測値に時間的変化がある場合には、それら時間変動の特性も含んだ動き特徴抽出の検討も必要である。更には、現在の高時間分解能映像の圧縮技術を発展し、将来的に大規模データになると予想される分光高時間分解能化映像の圧縮技術の開発を目指す。

[参考文献]

- [1] 板谷正紀, 眼底用光干渉断層計の進歩, MEDICAL PHOTONICS No. 007 (2011 年秋号)
- [2] M. Shimano, T. Okabe, I. Sato, and Y. Sato, "Video temporal super-resolution based on self-similarity", Advanced Topics in Computer Vision, Springer, 2013.
- [3] J. Yang, J. Wright, T. Huang, and Y. Ma, "Image super-resolution via sparse representation", IEEE Transactions on Image Processing, Vol 19, Issue 11, pp. 2861-2873, 2010.
- [4] M. Shimano, G. Cheung, and I. Sato, "Adaptive Frame and QP Selection for Temporally Super-Resolved Full-Exposure-Time Video", Proc. ICIP 2011, pp. 2253-2256, 2011.

発達障害児童向けのセラピーデバイスの研究開発

Research and Development Novel Digital Therapy Device for Developmental Disorders Children

2151017

研究代表者

芝浦工業大学

准教授

菅 谷 みどり

〔研究の目的〕

学習障害、発達障害においては、脳をはじめとする中枢神経に何らかの機能障害があることが推定され、学習面のみならず、対人関係や運動面においても様々な困難が生じる。こうした困難を緩和するためには、日常的に、その困難を緩和させるための社会的スキルの育成の訓練を行うことが重要である。

訓練では、能力を安定化させることを目的とするため、繰り返し行うことが重要である。一方、訓練は、専門知識を持った指導者やセラピストの同席、高価な機材が必要とされることが多く、頻繁に行えない問題がある。本研究は、日常的に訓練を行うためのデジタルデバイスを用いたプレイセラピーであるデジタルプレイセラピーを提案する(図1)。具体的には、家の形の模型をセンサーにより拡張し、かつ部屋の中をCGでPCに表示し、訓練者と子どもの感覚の共有を促進するものである。



図1 デジタルプレイセラピー外観

〔研究の内容、成果〕

我々は、子どもが表現をしたいという最初の欲求をかきたて、自然な形で学習に取り組むための教材提供を目的とし、伝統的なプレイセラピーを応用した、新しいデジタルプレイセラピーを提案した。身近な家でおままごとをする環境はなじみがあり、ごっこ遊びという形で没入することで、より状況に適した言葉を選ぶ力を得ることに適していると考えた。

対象と想定する前操作期段階の子どもは、具体的な事物を通して直観的に思考する段階であり、“実際に見て触る”という動作に対して関心を抱きやすい。そのため、具体物を使いながら訓練を行うプレイセラピーは、広く行われている。ただし、箱庭などを用いたプレイセラピーによって話す力や聞く力を育てるためには、何らかの状況設定を行い、その状況についてセラピストと子どもが相互にやりとりを繰り返すことで訓練を促すことが一般的である。しかし、このような方法で訓練を行おうとする際には、子どもの想像力だけで設定をイメージすることが難しいため、セラピストは状況設定を詳細に説明する必要がある。このように、子どもが自発的に言葉を発したり、耳を傾けて訓練に没頭させるように、誘導するために高い経験や技術が必要となり、家庭で気軽に使うことに障害があった。

これに対して、我々は、家の模型を用いるこ

とで、触れられるデバイスを提供するだけでなく、家の中の状況を CG により PC 上に表示し、画像により補うことで、高度な経験と知識をもつセラピストではなくても、気軽に訓練をできるのではないかと考えた。家の形の模型の中には、センサーを多数取り付け、子どもがスイッチなどにふれて変化が生じた場合、それが左側の CG で PC 画面に表示される。本デバイスの使用例を図 2 に、表示される CG の例を図 3 にそれぞれ示す。本デバイスは、PC 画面を通じて、セラピストと子どもの情報共有を助けるものである。

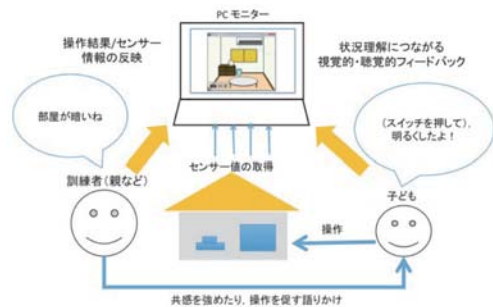


図2 PC画面を通じた、セラピストと子どもの視覚と触覚の共有



図3 家の中の様子（左：電気ON、右：電気OFF）

また、触ることによりもたらされる変化を感じられるように、家の模型にセンサーを取り付け、その変化をCGにより表現できるようにした。具体的には、まず、温度センサーや、光センサーにより、天気や、温度をCGで表現された部屋に反映した。屋根をあけると明るくなる、電気を消すと暗くなる、といった動作を、CG画面を通じて体感する。CGのコンピュータ画面は、子どもが現在感じている寒暖、明暗などの外界の情報を、分かり易く表現することで、

子どもが共感を持ち、客観的な立場で言葉を選ぶことにより、訓練が促されると考えた。次に、積極的に聞く、話す力を育てるためには操作に対してリアクティブな仕組みを提供するものとした。具体的には、センサーやスイッチにより、家の中の様子を変化させるものとした。子どもが行った操作の影響により状況が変わることで、その感動を伝えたいという気持ちを育て、言葉につなげることを目指した。最後に、季節の移り変わりをCG内の窓に再現するものとした。季節は、温度や光量などの微妙な変化により変化する。こうした変化に気づき、その変化を表現する訓練を行えることを目指した。

訓練内容

提案する新しいセラピーデバイスの機能を用いて、訓練方法を考案した。訓練の基本形式は、本デバイスを中心に、子どもと訓練者（セラピスト）が対話を通して行うものとした（図2）。訓練内容は、言語・コミュニケーション発達スケール（Language Communication Developmental Scale：以下、LCスケール）[15]に則って定めた。LCスケールとは、典型的な発達をしている子どもが0歳～6歳の間に示す観察可能な言語・コミュニケーション行動に沿った課題であり、発達段階をアセスメントするためのスケールである（A.付録）。表1にそれぞれの機能と、それに対応づくLCスケール領域、そこで獲得されるスキルと内容、トレーニングの例を示した。

表1 教材の機能とその利用方法の一例

教材の機能	LCスケールの領域	スキル	内容	教材での具体的なトレーニング方法
光センサー：周辺環境の明るさを検知（屋根の有無等）	① 彙領域	位置の理解【聞くこと】 動作指示の理解【聞くこと】	位置を表す言葉で要求する、その要求を理解する	①「屋根をおうちの上にのせてあげて」などという指示を子どもに出す。 ②対応するリアクションを子供に要求する

プロトタイプデジタル教材の評価と議論を基にしてデジタルプレイセラピーのためのデジタル教材「橙色の屋根のお家」を作成した。本教材の評価は、教材の機能と評価実験の結果の2つの観点から評価を行う。訓練内容の評価は、実際の子どもに、通常のデバイスと、提案機能を設置したデバイスの両方で訓練を比較体験してもらい、いずれの訓練について、効果があったかという比較により評価するものとした。

本教材がデジタルプレイセラピーを実行するための必要要件を満たしているかでその機能の評価を行った。具体的には、提案するデジタルプレイセラピーの教材の機能と、LCスケール中から抽出した課題との対応づけを行った。表1は本教材の機能の一部（光センサー）と、対応する訓練領域（語彙領域/語連鎖・統語領域/談話・語操作領域）を割り当てた内容である。

子どものリアクションによる評価

評価の軸とするのは1)反応の回数と2)反応のタイミングの二つとした。実験では実験協力者に対し、提案機能を搭載しているものと、していないものの2つの同型のドールハウスを用いて比較を行うことで、従来型のセラピーと、本提案のセラピーのどちらがより高い効果を示すかを評価し、効果が高いものを、セラピストの負担軽減の指標とすることとした。また、訓練内容としては、同一の訓練内容を行い、その様子を録画、映像を分析しその結果を表にまとめた。1)反応回数からは、子どもが教材に興味を持っているか、発話により訓練に自主的に関わろうとしているかを読み取ることができ、2)ミスコミュニケーションからは訓練者と子どもとの間で正しく状況を共有できているか、子どもが訓練に没入できているかを判断することができる。実験の協力者は定型発達の女兒（5歳）。本実験は発達障害を持つ児童の協力を受けてのものではないが、本教材が対象とする前操作期は定型発達の子どもにおける2～6歳にあたるため、実験の有意性は保証されている。



図4 実験の様子

実験結果として、訓練の継続時間で全体の反応発生回数を平均化した数値を採用している。評価項目は具体物に反応した回数、抽象概念に反応した回数、ミスコミュニケーションが発生した回数の3つである。協力者の反応を、その元になった訓練者の発言や行動が具体物についてのものなのか、抽象概念についてのものなのかの2つに分類し、また、この2つに当てはまらない、訓練者の発言や行動の意図が協力者に伝わっていない状態でのリアクションについてはミスコミュニケーションに分類した。なお、ここでの抽象概念とは、工学分野でのそれとは異なり、具象性の低い抽象的な概念を意味している。

表2 実験結果

評価項目	ノーマル	橙屋根
具体物に反応した回数	約 1.9 回/分	約 3.1 回/分
抽象概念に反応した回数	約 1.1 回/分	約 2.3 回/分
ミスコミュニケーションが発生した回数	約 4.3 回/分	約 0.4 回/分
継続時間	4 分 37 秒	10 分 20 秒

実験の結果を表2に示した。橙屋根をノーマルと比較すると、具体物に反応した回数はノーマルの約1.6倍、抽象概念に反応した回数は約2.0倍、ミスコミュニケーションが発生した回数は約0.1倍というように、大きな差異が生じた。特に、抽象概念に反応した回数における約2.0倍となった差異は、橙色の屋根のお家の、抽象概念をセンサーとCGの連携が、子どもの想像力の補助として一定の効果を示したことを

表していると考ええる。このことから、市販のドールハウスを利用するよりも、センサーとCGの連携による子どもの想像力の補助機能を備えた橙色の屋根のお家を利用した場合の方が、子どもの興味や没入感をより引き出し、訓練への自主的参加を促すことに成功したと言える。

表3 反応速度の比較

	ノーマル (4分9秒)			橙 (10分20秒)		
	質問回数	MC回数	反応速度(平均)	質問回数	MC回数	反応速度(平均)
炉	7回	6回	約3.7秒	10回	0回	約1.7秒
電気	1回	1回	—	9回	1回	約2.1秒
エア	5回	2回	約3.8秒	13回	2回	約1.8秒

表3の反応速度は、訓練者の質問が終了した時点から、子どもの発話の開始時点までの時間を測ったものである。この項目についてノーマルと橙屋根を比較すると、全体的に反応速度が約二倍になっていることがわかる。このことから、橙屋根を利用することで、訓練者の質問の意図を子どもが理解しやすくなった可能性が示された。また、質問回数とミスコミュニケーションの回数の項目を比較する。質問の内容はノーマル、橙屋根ともに共通でありながら、子どもが質問に対してミスコミュニケーションを発生させた回数は橙屋根のほうが少ない。特に、温度や季節などの、抽象概念に質問に対するミスコミュニケーションが大きく減じた。このことから、本教材の、抽象概念をセンサーとCGでの可視化機能は、子どものおまごとの状況把握を助け、訓練者と子ども間の情報の共有を促進し、子どもから状況に応じた発話を引き出すことができる可能性が示された。本評価項目における2つの要求を満たしたことから、本教材は言語コミュニケーション能力の発達段階を向上させるための機能を備えている可能性が示唆された [1, 2, 3, 4]。

〔今後の研究の方向、課題〕

・Haptic Virtual Methodの開拓

本研究の発展的な研究として、提案手法の基本的な動作原理である触覚（Haptic）と仮想（Virtual）情報の連動について Haptic Virtual というメソッドを確立することを目的とした研究を行った。実証のために、脳波計、心拍計測器を用いた計測実験を行った（図5）。実験では、Haptic Virtual と、Haptic のみ、Virtual のみのデバイスを被験者に使用してもらい、その結果を比較することで、集中や興味への効果を分析することを目的とした。右図は覚醒度（Attention）の比較結果である。

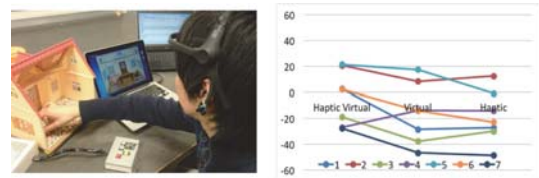


図5 脳波計を用いたデバイスの測定（左）および比較実験結果（右）

生体情報を比較した結果、Haptic のみに比べ、覚醒度が高い（有意差有り）という結果となったことから、さらなる認知への効果検証をすすめる。

・発達障害児童向けセラピーシステムの実用化

発達障害を持つ親との交流から、自宅で簡易に実施できるデバイスへの需要が高いことがわかった。このことから、さらに機能を拡張し、ソーシャルスキルトレーニングと連携したセラピー手法を実現することを次の大きな課題とし



図6 キャラクタの導入

ている。機能強化（キャラクタの導入，図6），センサによる認識率の向上やRFIDの利用，ミドルウェアの開発などの情報基盤の強化，とその基盤を利用した新しいセラピーメソッドを確立する。

・Augmented Cognition 研究への発展

本研究で用いた生体情報の収集とフィードバックについては，教育に応用するにあたり，認知をどうフィードバックするか基礎的な研究を強化する必要がある。よりBCI（Brain Computing Interface）の知見を取り入れ研究を強化する必要がある。

・ロボットを用いた実験の強化

発達障害の子どもに関する文献調査では，本質的な結果を得るために，ロボットを用いた研究が数多くなされている。このことから，本研究の発展として，様々なロボットを用いた子どもの実験，評価を行うものとしており，こうした方面での研究を強化している。

・研究分野の発展

また，研究を拡張する事を目的とし，多くの学生に知見を広めるための研究会への参加を促した。研究を継続的に行うためには，より多くの研究者や未来の研究者になりうる学生に本研究を知ってもらい，興味を持ってもらう必要があることから，機会を増やすなどの対策を今後もし、研究のさらなる発展を目指す。

[成果の発表，論文等]

- [1] Yukako Watanabe, Yoshiko Okada, Hirotaka Osawa, Midori Sugaya, Digital Play Therapy for Children With Developmental Disorders, 17th International Conference on Human-Computer Interac-

tion (HCII), 2015, Los Angeles.

- [2] Midori Sugaya, Yoshiko Okada, Hirotaka Osawa, Irini Giannopulu, Feel as Agent: Immersive Doll-house Enhances Sociality of Children with Developmental Disorders, The 3rd International Conference on Human-Agent Interaction (HAI), 2015, Daegu Korea.
- [3] Midori Sugaya, Digital Play Therapy for children with Learning Disabilities, IEEE, The 24th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2015, Workshop of Toy Robots/Digital environments and Cognitive Developmental Neuroscience, 2015, Kobe
- [4] 渡辺柚佳子・檜村健人・岡田佳子・大澤博隆・菅谷みどり（2015）. 橙色の屋根のお家：発達障害を持つ子ども向けのデジタルプレイセラピーの提案 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム（UBI）2015-UBI-45(24), 1-8, 学生奨励賞受賞
- [5] 保科篤志, 渡辺柚佳子, 檜村健人, 岡田佳子, 菅谷みどり, 橙色の屋根お家：デジタルプレイセラピーの科学的評価法の検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル（DICOMO2015）シンポジウム, 2015 年.
- [6] 岡田明帆, 菅谷みどり, ロボットの能動的な行動設計によるユーザの印象評価の向上, 情報処理学会, インタラクシオン 2016, インタラクティブ発表, 3 月, 2016 年.
- [7] Atsushi Hoshina, Yoshiko Okada, Japan; Irini Giannopulu, Midori Sugaya, Haptic Virtual Approach: Biological Effect on Touching and Viewing, Human Computer Interaction International 2016 (HCII 2016), Toronto, Canada.
- [8] Estimate Emotion Method to Use Biological, Symbolic Information Preliminary Experiment, Yuhei Ikeda, Yoshiko Okada, Midori Sugaya, Human Computer Interaction International 2016 (HCII 2016), Toronto, Canada.
- [9] Okada Akiho, Midori Sugaya, Impression Evaluation for Active Behavior of Robot in Human Robot Interaction, Human Computer Interaction International 2016 (HCII 2016), Toronto, Canada.

サービスロボットのための実世界知識を扱う クラウド型音声基盤の構築

A Cloud Robotics Platform for Human-Robot Real-World Interactions

2151018



研究代表者

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

[研究の目的]

スマートフォンへの音声インタフェース機能の導入は、音声言語処理機能を広く一般に認知させた。2013年の音声認識分野の市場規模は世界全体で約880億円であり、2018年には1700億円程度へと増加すると予測されている[1]。この背景には、機械学習手法の進展とその大規模データへの適用とともに、音声認識機能がクラウドサービス化され、非力な端末でも高品質なサービスを利用できるようになったことがある[3]。

一方、クラウド基盤のログとして収集される大規模なデータを用いてサービスの品質を向上することは、音声認識分野に限らず一般的に行われてきた。例えば、ユーザの購買情報から推薦精度を向上させたり、クリック数から検索精度を向上させるなどの応用は幅広く行われている。これらは、検索・推薦・認識等について高性能なサービスを行うと同時に、多く利用されることでさらに性能改善を行うものである。つまり、クラウドサービスを提供することでスパイラル的改善が可能であるため、クラウドサービス提供者にもメリットがある。音声認識分野においても、クラウドサービスの提供と大規模ログコーパスを用いた精度改善が行われている。

今後、ネットワークに接続されるロボットやIoTデバイスが増加するに従い、それらの機器を対象としたクラウドサービスも増加すると考

えられる。実際に、クラウドロボティクス分野においては、物体認識や軌道計画などの応用について研究が始まりつつある。一方、人と共存するロボットにおいては音声対話機能の構築が高コストであり、現状では高品質なサービスが難しい[4]。ロボット向けのクラウドロボティクス基盤を構築することで、開発コミュニティに貢献できると考えられる。ただし、このような基盤構築は、音声認識・合成についての基礎技術からクラウド基盤の構築・運用やロボットへの適用に至るまでの包括的な技術開発が必要であり、簡単な課題ではない。

上記の背景から、音声対話向けクラウドロボティクス基盤 rospeek を我々は構築し、ロボットのコミュニケーション機能の開発者に提供してきた。本研究では、rospeek の高速化を行うとともに、ヒューマノイド型ロボットにおける画像処理との統合を行う。

[研究の内容, 成果]

Rospeek は、4か国語（日英中韓）の音声認識・合成に対応しており、学術研究目的に限り無償・登録不要で公開している。2016年1月までに3万ユニークユーザに利用されている。図1に rospeek のユニークユーザの分布を示す。

本研究では、rospeek の高速化を行うとともに、高精度化に向けた検討のため、クラウド基盤上に得られたログを解析した。また、概念実

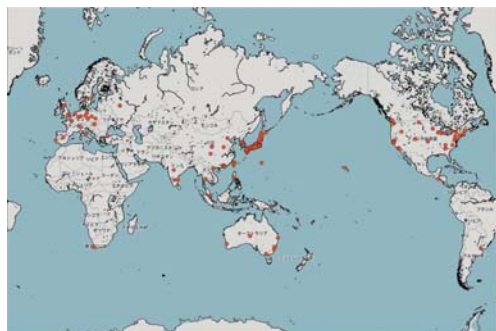


図1 rospeech ユーザの IP 分布



図2 rospeech を用いたロボット

証として、ヒューマノイド型ロボット（図2）に rospeech を導入し、画像処理との統合を行った。図2に示すロボットは、カメラ画像を入力として[2]の手法を用いて説明文を生成し、rospeechにより音声で説明を行う。本報告では、これらの成果について述べる。

1. 分割送信による高速化

音声認識を高速化する手段のひとつに音声の分割送信がある。これは、入力中の音声をセグメントに分割し、サーバへ逐次送信するしくみである。分割送信によるレスポンス時間の改善について評価を行った[5]。

本実験の目的は、代表的な使用環境における分割送信と一括送信の時間差の調査である。代表的な使用環境を模擬するため、無線 LAN 環境を用い、rospeech サーバとは異なるネットワーク上からサービスを使用した。本実験ではあらゆる帯域および使用状況におけるクラウドサーバとの通信速度を計測することを目的としていない。各国・各ユーザに依存して異なる通

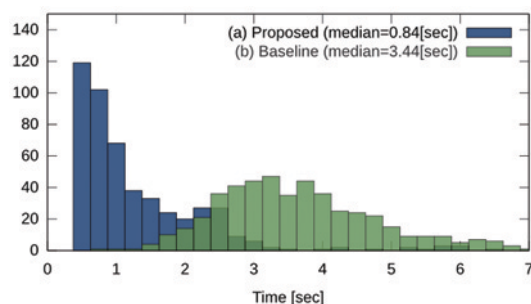


図3 音声認識レスポンス時間のヒストグラム。(a) 分割送信, (b) 一括送信。

信環境をすべて模擬することは合理的ではないためである。実験に用いたサーバの CPU は Intel 製 X5690 (12 コア, 3.47 GHz), メモリは 200 GB であった。

コーパスとして ATR503 文を用い、声優 1 名による収録を行った。そのうち発話区間検出に問題がない 495 文についてレスポンス時間を求めた。レスポンス時間とは、クラウドサービスからのレスポンスが得られた時刻から発話検出 (VAD) 終了時刻を引いたものである。

実験の結果を図3に示す。一括送信でのレスポンス時間の中央値は 3.44 秒であったが、分割送信では 0.84 秒に短縮されている。我々の経験では、ロボットとのインタラクションにおいて 1 秒以内にレスポンスを返せない場合、話者が再度発話を行ってしまい、それが誤認識されるなど、望ましくない挙動に陥りやすい。本実験より、分割送信によって待ち時間を減らせることが示唆された。

2. 音声合成に関する個人依存性の解析

これまでロボティクスにおいてはスタンドアロンアプローチが採られてきたため、ロボット開発者が求める音声処理機能の性質について、多様かつ多人数のユーザを扱った定量的な解析が困難であった。クラウドロボティクス基盤を構築することで、ロボット対話開発における個人依存性を調査することが初めて可能になる[6][7]。

いま、あるユーザ u_i の音声合成リクエスト履

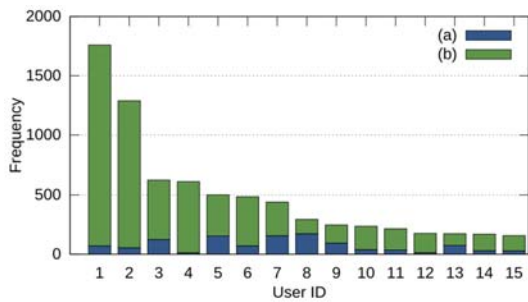


図4 上位15ユーザの音声合成リクエスト数のヒストグラム。(a) N_{uniq} および (b) N_c を表す。

歴全体を文集合 S_i と定義する。 S_i に含まれる文の種類を N_{uniq} とすると、 S_i 中でキャッシュを利用できるリクエスト数 N_c は、 $N_c = \|S_i\| - N_{uniq}$ と表すことができる。ここで、擬似キャッシュヒット率 r_p を $r_p = N_c / \|S_i\|$ と定義する。 r_p が高いユーザは、同じ言い回しを繰り返し使っていると考えられる。2014/1/1 から2015/5/31 までの rospeek のユーザのうち、10回以上合成リクエストを行ったユーザを抽出した。そのうち、上位15ユーザについて解析した結果を図4に示す。

図において、(a)は文の種類 N_{uniq} 、(b)は N_c を表す。 N_{uniq} は N_c に比べて小さく、上位ユーザは100~200種類の文を繰り返し使っていることがわかる。実験の詳細については、[6][7]を参照されたい。上位88ユーザについて平均 $\bar{r}_p = 0.504$ であった。

rospeek をヒューマノイド上に実装し、画像処理と統合した音声対話を行わせた。

[今後の研究の方向, 課題]

クラウドロボティクス技術は屋内レベルから屋外、都市に至るまで多岐に亘る応用を持つ。代表的な応用対象としては、スマートホームデバイス、ドローン、プロブカーなどが挙げられる。

社会展開の手段としてのクラウドサービス提供には、知財であるデータセットを公開する必

要がないというメリットがある。また、ソフトウェアの影響を計測したい場合、ダウンロード数では実際に使用したユーザ数を反映していない可能性がある。一方、クラウドサービスではサーバ上へのアクセス数からユーザが使用した回数を計測することができる。

一方、クラウドサービス提供にはデメリットも存在する。クラウドサービスの知名度が高くなると、サービスそのものやウェブサイトが攻撃や不正利用の対象になりやすい。また、ロボットの機能が全てクラウド化されるべきなのではなく、リアルタイムの衝突回避など、クラウド化が容認されにくい機能も存在する。

ユーザ数の増加が見込めないようであれば、クラウドサービス化以外の方法が費用対効果の面で有利になる場合もある。

[参考文献]

- [1] NEDO 技術戦略研究センター, “TSC Foresight vol.8”, 2015.
- [2] Karpathy, Andrej, and Li Fei-Fei. “Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions,” In Proc. of IEEE CVPR, pp. 3128-3137, 2015.

[成果の発表, 論文等]

- [3] 杉浦孔明: “ビッグデータの利活用によるロボットの音声コミュニケーション基盤構築”, 電子情報通信学会誌, to appear.
- [4] 杉浦孔明: “ロボカップ@ホーム: 人と共存するロボットのベンチマークテスト”, 人工知能, Vol. 31, No. 2, pp. 230-236, 2016.
- [5] K. Sugiura and K. Zettsu: “Analysis of Long-Term and Large-Scale Experiments on Robot Dialogues Using a Cloud Robotics Platform”, In Proc. ACM/IEEE HRI, pp. 525-526, 2016.
- [6] K. Sugiura and K. Zettsu: “Rospeek: A Cloud Robotics Platform for Human-Robot Spoken Dialogues”, In Proc. IEEE/RSJ IROS, pp. 6155-6160, 2015.
- [7] 杉浦孔明, 是津耕司: “クラウドロボティクス基盤 rospeek の長期実証実験と大規模ロボット対話データの解析”, 第33回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC3D1-03, 2015.

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

Spatial Augmentation of Human Perception System and Logical Body Sensation

2151019



研究代表者

慶應義塾大学 環境情報学部

准教授

高 汐 一 紀

〔研究の目的〕

生体固有の知覚機能の解明が進み、コンピュータシステム上で人間の五感を模倣することも可能になりつつある。そのときロボットは、人間と同等の知覚機能を持ち、ネットワークを通してその情報を人間と共有することが可能になるだろう。必要なとき必要なロボットの必要な感覚を適切に選択し、感覚情報の伝達と知覚機能の一部を担う知覚ネットワークをダイナミックに構成、ユーザとロボットが知覚機能を共有することができれば、より密なヒューマン・ロボット・インタラクションを実現できるだけでなく、人間の感覚の空間的拡張、すなわち、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が可能になる。

本研究課題における第1の目標は、人間にとっての遠隔知覚プローブとして機能するロボット、外部レセプタ(exo-Receptor)を設計・実装することにある。併せて、生体神経網をモデルとし、外部レセプタを有機的に結合、知覚情報をユーザに効率的に伝送可能な無線アドホック・ネットワーク、外部知覚共有ネットワーク(exo-Neuronet)を提案する。

本研究課題での第2の目標は、実装されたプロトタイプを用いて、提案手法による論理的な身体性の体感可能性を検証することにある。具体的には、四肢麻痺状況のユーザを想定し、外部知覚共有ネットワークにより顔の微表情とロ

ボットの動作をリンクさせる、会話表現力増強システムを実装し、評価実験を通して本提案の有用性を検証する。

〔研究の内容、成果〕

1. 外部知覚共有ネットワークの構築

“Making robots more acceptable.” ミュンヘン工科大学(TUM)で研究機関ICS(Institute for Cognitive Systems)を率いるGordon Cheng教授の言葉である。報告者は、2012年度の1年間、同研究所にて、マルチモーダル感覚センサの研究に従事していた。ロボットへの装着を想定したパッド型人工皮膚(Artificial Skin Pad)である。次世代のロボットには高度な社会性(Sociality)が求められるが、ロボット自身が持つ知覚能力は、人とのインタラクションの中でロボットの所作を決定する重要なファクターとなる。同センサ・パッドは高度にモジュール化されており、皮下受容細胞に相当する触感センサ(近接、直接の2種)、温感センサ、さらには運動感覚、平衡感覚を受容する高精度な動きセンサを備え、複数のパッドを接続して使用することで、人間の皮膚に近いレベルでの実世界情報収集と状況認識を可能とした(図1)。

本研究課題では、このマルチモーダル感覚センサを受容器として備えたヒューマノイド型の外部レセプタを実装し、それらを有機的に結合

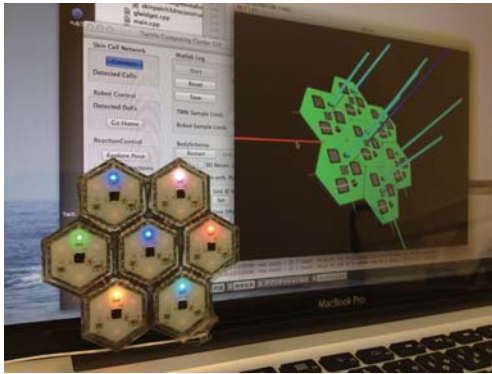


図1 Artificial Skin Pad (ミュンヘン工大)

させる外部知覚共有ネットワークのプロトタイプを設計・実装した。同ネットワークは、KEIO USN SOX (Keio Universal Sensor Network with Sensor-over-XMPP) アーキテクチャ上での実装を意識して設計されており、外部レセプタだけでなく、リンクしたセンサ・ネットワーク上のデータも感覚情報として利用可能である。さらに、クラウド上の多様なサービスを中継ノードとして活用することも可能とした(図2)。

外部レセプタは、外部知覚共有ネットワークの末梢ノードとして、皮膚受容器センサ・データや視覚センサ・データ、統合感覚データ、位置情報等を実時間に圧縮エンコーディングする実体として機能する。外部レセプタの筐体としては、ソフトバンクロボティクス社 Pepper 3 台と Aldebaran 社 NAO 3 台の計 6 台を用意し、

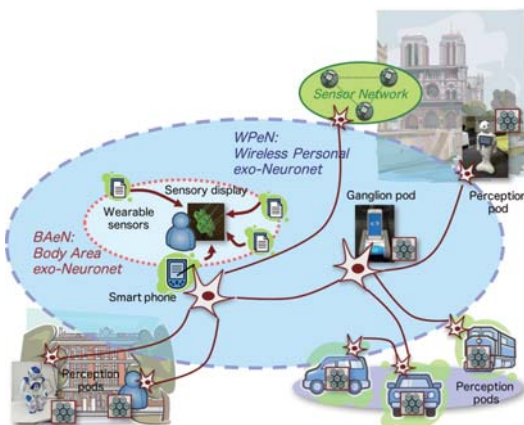


図2 外部知覚共有ネットワーク

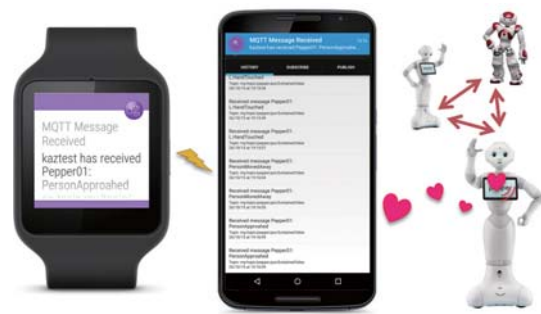


図3 知覚ディスプレイ・プロトタイプ

ベースとなるロボットが個々に持つセンサのデータも、感覚情報として併用することとした。

ユーザ側終端としては、スマートウォッチ (Android Wear 機, Apple watchOS 機) をベースに、ウェアラブル知覚ディスプレイ (Sensory Display) のプロトタイプを実装した(図3)。同ディスプレイは、知覚コンテキスト推論エンジンを実装したスマートフォン (Android 機, iOS 機) を中継ノードとして利用する。中継ノードは、取得された知覚情報ごとに異なる振動パターンを生成し、通知機能を利用して知覚信号ディスプレイを鳴動させ、ユーザに状況を認識させる。

2. 四肢麻痺患者の会話力増強支援

外部知覚共有ネットワークのプロトタイプを、四肢麻痺状況のユーザを想定したコミュニケーション支援システムに適用し、評価実験を実施し、提案手法の有用性を検証した。

事故や退行性の病によって首から下が麻痺している人々は、運動神経の麻痺により身体を使ったコミュニケーションが困難である。「コミュニケーションの 55% は身体表現 (ボディランゲージ) によりなされている」との報告もあるように、運動麻痺を患う人々は、健常者と比較して、他者とのコミュニケーションの自由が著しく損なわれている状況に置かれていると言える。さらに、感覚神経の障害による感覚麻痺 (知覚麻痺) が伴う場合は、触れ合いの欠如という意味でも対話の自由度はさらに下がる。

本検証実験で用意した会話力増強システム

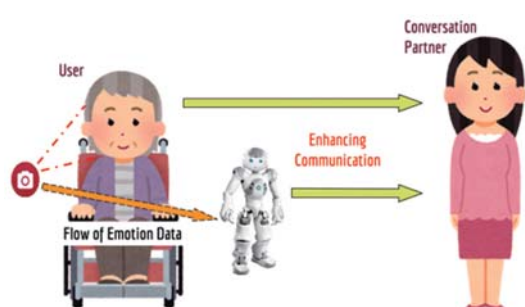


図4 会話力増強システムの概略

(ex-Amp Robot) (図4) は、外部知覚共有ネットワークを双方向に利用したものであり、ヒューマノイド型のロボットが、画像センサからの情報に基づきユーザの表情（感情）を検知し、それを身振りやスピーチといった身体性を持った表現に翻訳し、ユーザの感情表現を増強する。言わば、ヒューマノイド型ロボットをアバタとして使う、身体性の拡張である。これにより、身体表現が困難なユーザでも自分の伝えたいメッセージに適切な動き（ボディランゲージ）を付加することが可能となる。

同時に、ネットワークに接続されたロボットは、外部レセプタとして機能する。ロボットが取得した感覚情報は、中継ノードを介して知覚ディスプレイの振動パターンとしてユーザに通知される。本機能により、ユーザと対話者の会話の中での触れ合いを擬似的に実現することになり、論理的な身体感覚の形成を意識することが可能になると期待できる。

図5に検証実験のレイアウトを示す。ソファ



図5 検証実験の様子

に座った被験者には、体を使って感情を表現できないという設定で会話を進めてもらい、対話相手は、被験者とロボット（外部レセプタ）の両方を正面に見る位置に座ってもらった。表情認識用画像センサとして、そして外部知覚共有ネットワーク中継ノードとして機能するスマートフォンは、被験者の視界の妨げにはならないように設置した。ロボットは対話相手の目の高さに合う位置に設置した。被験者は7名（女性6名／男性1名）で、全員にロボットに仲介された対話者との会話を5分間ずつ経験してもらい、個々の実験セッションの終わりにアンケートによるユーザ調査を実施した（表1）。

結果、「被験者（四肢麻痺患者役）にとって会話がエンハンスされたと感じた」、「対話者として相手の意図理解に役立った」との一定の評価を得た。一方で、一部の被験者からは「話し相手の立場になったとき、どこに視線を置けばよいか迷った」とのコメントもあったが、総じて、会話力増強支援システムとして、外部知覚共有ネットワークとその付随システムを利用することには肯定的であり、アバタ・システムという側面からは「身体性が拡張された」と感じ、知覚の共有システムという視点からは「論理的な身体感覚の形成を意識できた」と感じていることが明らかとなった。

表1 ユーザ評価（抜粋）

質 問	平均値
ユーザとしてコミュニケーションの質が高まったと感じましたか？	7.5
会話パートナーとして相手の発言内容が分かりやすくなったと感じましたか？	6.0
システムに煩わしさを感じましたか？	2.8
会話を楽しむことができましたか？	8.1
ロボットの動作・言動は会話の内容に適切であったと思いますか？	4.0
ロボットの動作・言動が会話内容から外れたことはありましたか？	4.3
再びこのシステムを使いたいと思いましたか？	7.5
システムの反応速度は適切だと感じましたか？	9.3
会話の流れを中断する形でロボットの動作・言動にコメントをする必要があると感じましたか？	7.5
表情認識の正確さについてどのように評価しますか？	7.8

[今後の研究の方針，課題]

ロボットを身体性拡張のツールとして使用する代表的な事例としては、サイバネティクス (Cybernetics) やサイバニクス (Cybernics) が存在する。しかし、ロボットと人との感覚の共有、知覚能力の空間的拡張に関しては、まだまだ未知の要素も多く、神経工学の分野で大がかりな侵襲式のブレイン・マシン・インタフェース (BMI) がようやく実験段階にある状況である。我々は、人間と同等の感覚を持ち、周囲の状況を正しく認識し、個体同士だけでなく人ともその情報を正しく共有し、個々の行動・動作に反映できるロボットを、ソーシャブル・ロボット (Sociable Robot) と呼び、今後のロボティクス・デザインの目標としている。

今後は、生体神経網をモデルにネットワーク上での知覚処理アルゴリズムの見直しを進め、システム・アーキテクチャとして完成、その有用性をより実証的に検証したい。上記した成果に加え、生体神経網をモデルとする「ネットワーク内中継ノードにおける知覚反射機構」の詳細を実装、より一般化された問題下にあっても、外部レセプタの適切な選択により、感覚情報の伝達と知覚機能を効率的に提供可能なシステム・アーキテクチャを完成させ、遠隔コグニティブ・システムとしての完成度を高める。

本研究の意義は、提案した外部レセプタ実装技術と、外部知覚共有ネットワーク構築技術、さらにウェアラブル知覚ディスプレイ実装技術のいずれもが、ロボットへの知覚能力の付与のみならず、人間そのものの知覚の空間的強化をも可能にする技術であるという点にある。今後、媒体としてのユビキタス情報空間、ソーシャルなロボット、そして空間的に拡張される人の知覚能力、それらが三位一体となったインタラクションの研究もまた、新たなフェーズに移行するだろう。本研究課題の成果を、オフィスや家庭、公共空間といった人間の生活環境全般を対象として適用することで、実用的な知的生活空間、ユビキタス情報空間、ロボットとのより自然な共同生活空間の実現に向けて大きなインパクトを与えることが期待できる。

[成果の発表，論文等]

1. 樫井亜依, 高汐一紀, 徳田英幸: Expression Amplifying Robot —— 会話の中での表現力を増強するロボット ——, 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会, 2016 年 6 月 (印刷中).
2. Ai Kashii, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda: Robot Avatar for Enhancing the Communication of Physically Disabled Humans, IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2016), Interactive Session, August 2016 (accepted).

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 ——

Emerging a field of neural control engineering

—— Developing a foundation of applying electric control technology of
adaptive loop type to nervous systems ——

2151021



研究代表者

北海道大学

教授

館 野

高

【研究の目的】

本研究課題では、神経制御工学の基盤となる電磁気による神経活動の記録と刺激の方法の基礎技術の開発を目的としている。特に、本研究課題を通じて、神経工学、制御理論、電気生理学の3領域の融合を図った新たな学際領域として、神経制御工学の創成を目指している。

体内埋め込み型の電子医療機器として、現在、脊髄電気刺激器、脳深部刺激装置、心臓ペースメーカー、人工内耳等が利用されている。こうした電子機器の多くの特徴は、組織や臓器等に一方的に制御信号を送信するが、その結果として誘発される生体情報を取得できない。このために、制御信号の印加が適切であったか否かを推定するには、他の信号計測機器もしくは別の制御機構を通じて計測を行う必要がある。

また、近年、薬剤を用いずに生体内埋め込み電子装置により神経や分泌細胞を直接刺激し、神経伝達物質やホルモンの放出を促して病気を治療する「電気薬学治療」が特に注目されている。体内産出物質ではない「人工的」薬剤は、投与後に予期せぬ副作用が生じる可能性があるために、神経活動を電氣的に制御し、体内産出物質を必要な部位に必要な量を効果的に送ることが可能になれば、安全に治療効果を高めることができると思われる。

本研究課題では、神経制御工学が対象とする例として、代表的な耳疾患である「耳鳴り」を抑制制御するための閉ループ型システムの構築を通じて、その基盤となる技術と制御法を開発する。

【研究内容、成果】

A. 研究の方法

【実験系の概要】

本研究課題では、まず、脳活動の記録系（図1①）、および、誘発（刺激）系（図1②）を構築し、その後、それら2つを連結して、閉ループ型の制御システム（図1③）を構築する。そして、制御システムに必要な基礎的なハードウェアとソフトウェアの技術を開発する。本研究課題では、特に、聴覚中枢系を対象にして、

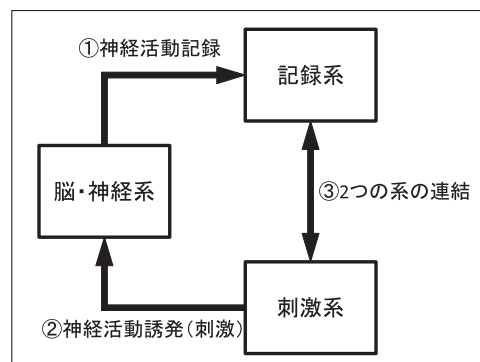


図1 記録系および刺激系の連結の概略

閉ループ型の制御システムのプロトタイプを構築する。

【記録系】

記録系の構築に当たって、音刺激および電気刺激により誘発された神経応答を記録するシステムを実験室内に構築し、モデル動物を使って2つの刺激方法による誘発応答の差異を明らかにする。モデル動物として、げっ歯類のラットおよびマウスを用いた。雄の成熟ラット (Wistar/ST, 6-9 週齢), もしくは、マウス (C57BL/6J, 10-14 週齢) にミダゾラム (10 mg/kg), キシラジン (12 mg/kg), 生理食塩水の混合液を腹腔内注射し、麻酔を施した。実験中の麻酔の状態を安定に保つため、以後1時間ごとにその半分の量を筋注射した。体温は、温度コントローラーを使用して 37℃ に保った。左脳聴覚皮質を露出させた後 (7 mm×5 mm), 硬膜を除去し、膜電位感受性色素 (RH-1691, 1 mg/ml in ACSF: 135 NaCl, 5 KCl, 5 HEPES, 1.8 CaCl₂, 1 MgCl₂, in mM) を滴下し、約 60 分間染色を行なった。残留した色素を十分に洗い流した後、約 37℃ に温めたアガロースゲルを流し込み、カバーガラスで押さえ、脳表の不動化処置を行なった。また、自家蛍光フラビンタンパク質のイメージングを行う場合には、脳表に生理食塩水もしくは流動パラフィンを 30 分程度間隔で滴下し、脳の表面の乾燥を防いだ。

音刺激には、最も単純な純音刺激を用い、その周波数は 1, 2, 4, 8, 16, および、32 kHz とした (50 ms; 5 ms rise and 5 ms fall, 50 or 70 dB)。また、音刺激の作成には、Tucker-Davis Technologies (TDT) 社のハードウェア (System 3) とソフトウェア (RPvdsEX) を用いた。刺激のタイミングや回数は、数値計算ソフト Matlab (MathWorks 社) の自作プログラムで制御した。音刺激は、実験動物の外耳から約 20 cm 離れたスピーカー (MF-1, TDT) からオープンフィールドで呈示した。音刺激の音圧レベルについては、動物の右耳の位置におい

て、メジャリングアンプ (2636 型, Bruel and Kjaer 社) と 1/4 インチマイクロフォン (4939-L-002, Bruel and Kjaer 社) を使用してキャリブレーションした後に実験を行なった。

膜電位感受性色素 (RH-1691) で染色された蛍光強度変化は、高速 CMOS イメージングシステム (MiCAM02-CMOS, Brainvision 社) で計測した。励起光として 150 W のハロゲンランプを使用し、励起フィルタ (632±11 nm) を通過させ、ダイクロックミラー (550-640 nm) で入射光に対して 90 度反射後、脳表に照射させた。脳表から生じた蛍光はダイクロックミラーと蛍光フィルタ (665 nm 以上通過) を通過させ、顕微鏡 (THT, Brainvision 社) の上部に取り付けられた CMOS カメラで記録した。また、フラビンタンパク質イメージングには、同様のシステムでフラビンタンパク質の励起および蛍光の波長に適合したフィルタセットを用いた。

刺激前の蛍光量 (F_0) を基準として、刺激後の蛍光量の変化量 ($\Delta F = F - F_0$) を F_0 で割って規格化した $\Delta F/F_0$ を算出した (脱分極における ΔF を正とした)。データ取得および解析ソフトウェア BV_Ana (Brainvision 社) を用いて、サンプリング間隔 4~6 ms, 脳表上の 5.8 mm×4.8 mm の領域を 188×160 ピクセルで計測し、記録したデータを PC に保存した。呼吸や心拍の拍動ノイズを最小限に抑えるため、それぞれの刺激を 10-20 回ずつ呈示し、平均加算の処理を行った。得られたデータは、数値解析ソフト Matlab (MathWorks 社) で自作したプログラムを用いて解析した。閾値は、各刺激に対する全ピクセル内での最大反応値を基準とし、その 40% 以上の誘発応答領域をカラーマップに応じて色付けした。

さらに、神経細胞の集合電位および活動電位の細胞外記録には、信号増幅システム (OmniPlex, Plexon 社, および, RHD2000, Intan Technology 社) を用いた。

【電気刺激系】

電氣的刺激を印加する実験系は、制御用ノート PC (図 2A), トリガー信号の入力と電力供給に用いるトリガー基板 (図 2B), 電源 (リチウムイオンポリマー電池, 図 2C), および、刺激インターフェースを有するインプラント用基板 (図 2D) から構成した。トリガー基板 (図 2B) では、外部信号を入力、もしくは、神経活動の生起の事象を基に、電氣的刺激印加を開始できる。また、インプラント用基板には、報告者が既に試作した多電極配列基板 (チャンネル数, 16 もしくは 32) および制御回路用 CMOS chip を組み込んだシステムを利用した。電源は、3.7 V の電圧をインプラント基板に供給しており、通常、3 時間以上の刺激印加が可能である。本システムは、神経組織に対して、単独でも刺激印加システムとして利用できる。

【2つの実験系の連結】

上記の記録系と刺激系の間の信号伝達には、簡易的に、デジタルシグナルプロセッサ (sBOX2 DSP, MTT 社) を用いて、各機器への出力信号の変換を行った。記録系における活動電位の発生事象の検出には、多電極配列基板もしくはタングステン電極で計測した細胞外記録電位を利用した。光計測における神経活動発生を検出には、高速 CMOS イメージングシステムの出力信号を一旦 PC に書き込んだ後に、神経活動の最大値がある一定の閾値を超えた時点

を神経活動が発生した時点とした。

B. 研究の結果

【純音刺激に対する誘発応答】

ラットの聴覚皮質 (図 3A) に対して、2~32 kHz の純音刺激を呈示し、その結果として応答した神経活動の領域を図 3B に示す。図 3B 内の各色は、特定の周波数に対して、蛍光変化を示した中心部位とその活動領域を示している。各周波数の純音に応答する場所は、聴覚皮質上で少しずつ中心方向に遷移する。図 3A の中心からやや左上の位置に近づくに従って高周波数音に応答し、周波数の地図 (トノトピーマップ) を形成している (図 3B)。特に、明瞭なトピーマップは、聴覚皮質上で、主に、2つの異なる部位に形成されることが既に先行研究から知られている。本研究でも2つの主要な応答領域が確認された (図 3B)。次に、2つの応答領域を区別するために、先行研究に従って、聴覚野に位置するコア領域内の2つの領域である一次聴覚野 (primary auditory field, A1) と吻側聴覚野 (anterior auditory field, AAF) を定めた。時間的な活動の伝搬では、純音刺激に

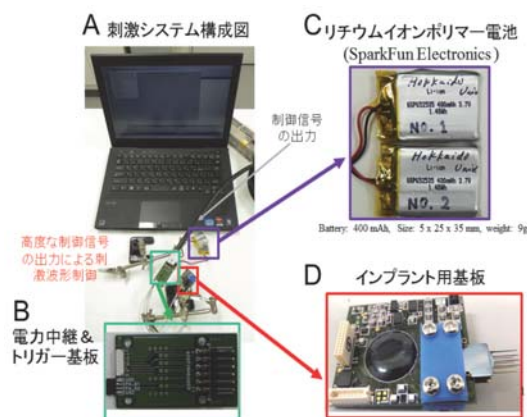


図2 記録系および刺激系の連結システムの概略

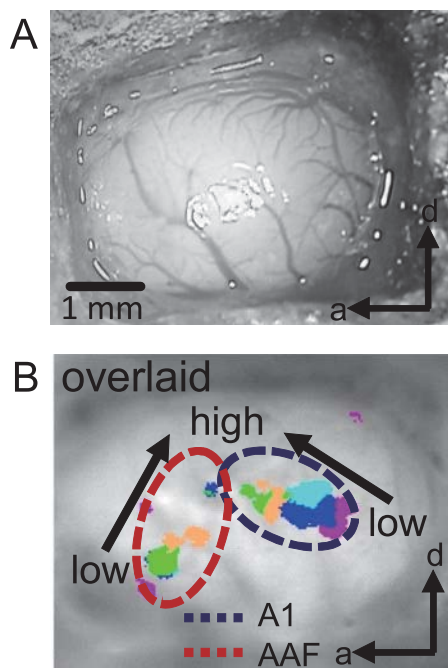


図3 A 聴覚皮質, B 周波数地図

誘発されて、A1 から開始された神経活動は、腹側後方と腹側方向へ活動が伝播した。また、AAF から始まった活動は、腹側前方に活動が伝播した。これらの結果は先行研究とほぼ一致した。膜電位感受性色素やフラビンタンパク質の光計測によってマウスにおいてもラットと同様に聴覚皮質の中心付近に2つの領域と各々にトノトピーマップの存在を確認できた。

【電気刺激の効果とその誘発応答】

次に、刺激系の動作を確認するために、電気的刺激によりマウス聴覚皮質の神経活動を誘発する実験を行った。聴覚皮質に多電極配列基板の先端部を 300 μm 程度刺入させ、フラビンタンパク質イメージングを用いて皮質表面の神経誘発活動を計測した (図 4A)。フラビンタンパク質は、細胞のミトコンドリアに内在する自家蛍光物質である。神経活動によってミトコンドリアの酸素代謝が促進し、フラビンタンパク質が酸化型に変化すると、青い照射光に対して緑色の自家蛍光を発する性質がある。また、自然還元により、還元型のフラビンタンパク質に戻ることから、退色の影響を受け難いことが知られている。また、電気的刺激後には、刺激電極の近隣で蛍光変化量が大きく一過性に増加す

るが、電極位置から離れた位置ではその変化量が小さくなる。この観察結果から、聴覚皮質における誘発刺激応答の記録が可能となった。

【2つの実験系の連結】

記録系における活動電位の発生事象の検出に、多電極配列基板もしくはタングステン電極で計測した細胞外記録電位を利用した場合では、信号検出に 1 ms 程度の遅れが生じた。一方、光計測の記録結果を用いた場合には、信号が一旦、光計測用の制御 PC を経由するために、検出には 3~5 ms 程度の遅れが生じた。何れの場合にも神経活動の発生に応じて、脳組織に刺激系から電圧の印加が可能となった。

【研究の方向と課題】

本研究では、脳活動の記録系、および、刺激系を構築し、その後、それら2つを連結して、脳活動の閉ループ型制御システムの構築を目的とした (図 1)。

その実現のために、研究課題期間の前半では、まず、音刺激に対する誘発応答の記録系を構築した。純音刺激に対するラットおよびマウスの聴覚皮質の神経応答を、膜電位感受性色素とフラビンタンパク質の蛍光強度の変化を計測することによって、聴覚皮質の領域を特定化した⁽¹⁾。特に、純音刺激に対する神経応答は、2つのコア領域 (A1 及び AAF) から始まり、それぞれ腹側後方、腹側、腹側前方へと活動が伝播した。純音刺激を呈示したときにみられた複数の活動伝播経路は、他の動物種でも報告されている。例えば、モルモットでは、コア領域から腹側、背側、後側の3方向に広がる活動伝播が見つかっている。モルモットの後側の領域が両耳の違いに敏感であることから、後側への活動伝播は場所特定に特化した機能経路を持っていることも推測されている。同様に、純音刺激に対するマウスの誘発応答も観察した。神経活動の伝搬経路は、ラットと類似していたが、詳細な違いを明らかにするためには、今後、引き続き

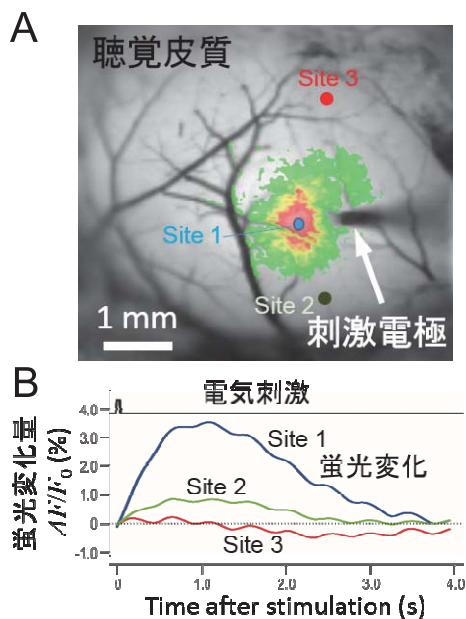


図4 電気的刺激の応答領域

実験が必要である。

次に、研究課題期間の後半では、聴覚皮質における電氣的刺激を行う実験系を構築した（図2）。そして、本課題で構築した実験系と齧歯類のモデル動物を用いて、実際に電氣的刺激が神経活動を誘発可能かについて、聴覚皮質を対象に実験を行った。その結果、本実験系で神経応答を十分に誘起できる結果を得た。AAFの刺激では、神経活動はA1に向かい伝搬していく様子が観察された。A1刺激では逆にAAF方向に活動が伝搬する傾向があることが判明した。今後はより微少な電氣的刺激に対して、神経活動がどの様に伝搬しているかを観察することにより、聴覚皮質の神経回路網の機能的な結合関係を詳細に明らかにしたい。

さらに、閉ループ型制御システムの構築を目指して、記録系と刺激系の連結を図った。記録系における神経活動検知の方法には、未だ開発の余地が十分にあり、単純な閾値による処理から複雑な検出機構を備えたシステムの構築が今後の課題である。特に、本システムでは、記録系から刺激系の遅延時間が長く、実時間処理に十分とは言えない点で更なる改良が必要である。しかし、本研究課題を通じて閉ループ型制御システムにおける問題点の多くが浮き彫りになった点は、課題実施における大きな収穫であった。

最後に、本報告書では、内容の詳細は報告できなかったが、本研究課題の期間中には、耳鳴りの発生機序に関する生理学実験を中心とする研究も行った。その結果から、聴覚皮質におけ

る神経回路網に依存して、耳鳴り関連活動が生じることを示唆する結果を得ている⁽²⁾。この現象は、聴覚皮質の可塑性とも深く関連しており⁽³⁾、更なる今後の研究が必要であると考えられる。今回の結果を基に、聴覚補償器の開発⁽⁴⁾と共に耳鳴り発生の機序の解明とその抑制法の研究を今後も継続して行っていく予定である。

[成果の発表・論文等]

- (1) M. Noto, J. Nishikawa, and T. Tateno, An analysis of nonlinear dynamics underlying neural activity related to auditory induction in the rat auditory cortex, *Neuroscience*, Vol. 318, No. 24 March 2016, pp 58-83 (2016).
- (2) A. Sano and T. Tateno, Sodium salicylate and muscimol differently regulate inhibitory synapses in the senescence-accelerated mouse auditory cortex, *Oral Sessions: Auditory System* (No.20-10-2-3), 2015/07/29, The 38th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuroscience2015), July 28-31, 2015, Kobe, Japan.
- (3) T. Tateno and A. Sano, Spatial distribution patterns of short term potentiation induced by microelectrode stimulation in the mouse auditory cortex in vitro, *Program#/Poster#*: 596.09/J22, October 20, 2015; Abstracts of the 45st Annual Meeting of Society of Neuroscience, Chicago, IL, USA, October. 17-21, 2015.
- (4) 岩城遼, 村上修一, 佐藤和郎, 館野高, 齧歯類動物の聴覚中枢神経刺激に向けた周波数選択的音響センサの開発とその特性評価, *電子情報通信学会, ニューロコンピューティング研究会, 信学技報*, vol. 115, no. 514, NC2015-100, pp. 179-184, 2016年3月23日

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

Low Cost, Space-saving and High Performance Brain-Machine Interface

2151022



研究代表者

電気通信大学

教授

田 中 一 男

[研究の目的]

本研究の目的は低コスト・省スペース・高パフォーマンス次世代型 Brain-Machine Interface (BMI) の開発を行い、生活支援ロボット群操作を実現することである。携帯可能(省スペース性)である特徴を最大限に活かして、最終的な目標として、生活支援汎用 BMI システム開発を目指している。本研究では、比較的安価な小型脳機能計測装置と1台のノートパソコンのみで駆動する低コスト・省スペース BMI を構築し、脳波指令によりロボット操作が可能となるブレインコントローラを試作した。また、そのシステムの適用事例として R/C ヘリコプタの脳波指令操縦を試み、その性能を検証した。

[研究の内容、成果]

本開発システムは、周期的に点滅する視覚刺激を観察中に誘発される脳波を利用した定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visually Evoked Potentials: SSVEP) 型 BMI^[1] となっている。新皮質の錐体細胞において、視覚刺激の周波数に同期した活動が誘発されることで、SSVEP が観測されることが知られている。

SSVEP 型 BMI の先行研究では、視覚刺激のデバイスとして、ディスプレイを用いている。したがって、システム自体を携帯することが難しく、脳波を用いた BMI の最大の利点である、

利便性に欠けてしまう。本研究では、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いた BMI を構築することで、携帯型 BMI の構築を実現した。さらに、開発した携帯型 BMI システムの適用事例として、マイクロヘリコプタ (Micro helicopter: MH) の操縦タスクを通して本開発システムの性能を検証した。本システムは、被験者の個人的技能によらず、トレーニングをまったく行っていない初心者でも簡単に利用可能であることも実験により明らかにした。図1は構築したシステムの概略を示している。

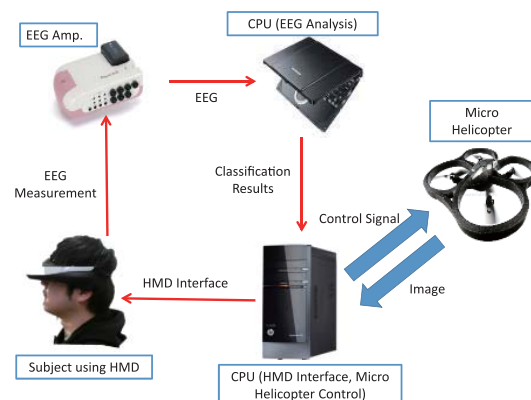


図1 システム構成の概略

図1のシステムを構築するにあたり、MHを前後左右に操縦できるように、4クラス識別 SSVEP 型 BMI を前提とした。脳波計測は Polymate II を用い、電極の位置は国際 10-20 法に従い、Pz, POz, Oz, Iz, PO3, PO4, O1, O2, I1,

I2, PO7, PO8 に取り付けた。この電極の位置選定は SSVEP による神経細胞の発火が主に一次視覚野 (V1) 周辺で起こるとされることによる。

脳波計測では、スタート画面が2秒間表示され、つぎに、赤い十字線画面が表示されて、待機状態となる。このとき、被験者がスペースキーを押すことで、6秒間の刺激が提示され、その後、4秒の休憩画面を表示した。これを1ブロックと定義し、4ブロックで1トライアルを構成した。4ブロックは周波数の異なる4つの点滅刺激を提示しており、刺激の点滅周波数は 6.67, 7.5, 8.57, 10 Hz を用いた。被験者は 20 代の健康な成人男性 6 人とし、本実験では各被験者に対して計 40 トライアル分のデータを計測した。

脳波データは前処理を行ったのち、FFT 後に点滅周波数とその倍周波数のパワースペクトル密度を特徴量として機械学習を行った。このように定義した特徴空間で、判別分析による 4 クラス識別 (10-fold cross validation) を行った結果、被験者 6 人の識別率平均は $97.50\% \pm 3.30\%$ であった。図 2 に SSVEP の実験結果における各被験者の識別率およびその平均を示す。この結果より、本実験で使用した SSVEP 型 BMI はすべての被験者に対して高識別率を確保できる有用なインターフェースであると判断できる。また、今回の実験では、被験者は事前にトレーニングを一切行っていないため、初心者でも簡単に利用できることも特徴の一つである。

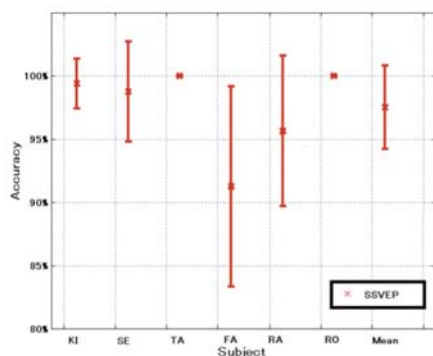


図 2 識別結果

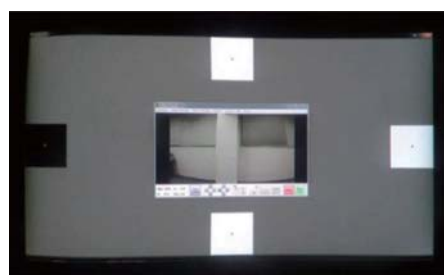


図 3 HMD 内での提示

る。

構築した BMI システムの HMD での視覚刺激提示を図 3 に示す。中央には MH に搭載したカメラの映像が映し出され、飛行状態がモニタリングできる。その映像の上下左右に点滅の刺激ブロックが用意され、それぞれが、MH の前進、後退、左移動、右移動に対応させた。被験者から計測された脳波は機械学習の結果に応じて識別され、その識別結果をもとに MH へ信号を送る。よって、被験者は進みたい方向に対応する刺激を見ることで、MH の方向を制御できる。なお、MH の姿勢は内部の加速度、ジャイロセンサなどにより、マイコンで安定化されており、脳波によって飛行方向が制御される。MH はコンピュータと無線により、常時接続されているため、MH に搭載されたカメラからの映像を被験者へ常にフィードバックしている。このため、離れた場所でも遠隔でヘリコプタ操縦が可能なシステム構成となっていることも本システムの特徴である。HMD を利用する利点として、外部のノイズ的な視覚情報を遮断できること、また、従来の LCD による BMI では、周囲の明るさに影響されてしまう可能性があり、実験時に室内の照明を暗くするなどの対策が必要であるが、HMD ではその必要がなくなるなどが挙げられる。さらに、被験者とともにシステム全体が移動できる利点もある。SSVEP 型 BMI は視覚刺激を被験者に提示する必要がある、従来ではディスプレイを用いて刺激提示を行っていた。しかし、本システムでは刺激提示がウェアラブルデバイスにより行われるので、被験者と共に移動が可能になる。これ



図4 操縦実験の様子

らの点から、本システムは従来の BMI よりも使用範囲の拡大が見込める。

本システムの特徴は被験者の個人的技能によらず、トレーニングをまったく行っていない初心者でも利用できる点である。そこで、上記の実験に参加した被験者ではなく、全く別の被験者を選定し、操縦タスク実験を行った。

操縦タスク実験を行う前に、4 クラス（前後左右）の識別テスト実験を行った結果、20 回（4 クラス×5 回）で 95% の識別率が得られ、HMD ベースド BMI の有用性を再確認した。操縦タスクは、中央におかれたボールの周りを右回り、左回りで飛行させるものである。図4 は提案した HMD ベースド BMI を用いた MH 操縦実験の様子を示している。図5 は右回りのタスクにおける操縦結果の連続写真を示している。右回りのタスクに限らず、左回りのタスクも完全に成功し、脳波だけでヘリコプタの方向制御を実現できた。



図5 操縦実験の結果

[今後の研究の方向、課題]

本システムでは、MH 上のカメラから送られてくる映像を見ながら、MH を操縦できるので、MH の遠隔操作も可能である。今後は、遠隔場所で行う MH の脳波操縦実験を行う予定である。

今後の課題として、構築したシステムの詳細な評価、HMD の無線化と計算機部分の小型化による完全ウェアラブル型 BMI の構築、など

が挙げられる。また、このシステムを用いた両眼視野闘争に関する研究^[1]や視覚像推定の研究^[2]も実施しており、このシステム利用した新たな研究成果を示すことで、本研究で開発したシステムの有効性を明らかにする。

[成果の発表、論文等]

- [1] K. Tanaka, M. Tanaka, T. Kajiwara and H. Wang, A Practical SSVEP-based Algorithm for Perceptual Dominance Estimation in Binocular Rivalry, IEEE

-
- Transactions on Cognitive and Developmental Systems, submitted.
- [2] K. Tanaka, et al., Visual Image Estimation from Electroencephalogram using 3-Dimensional Current Density Analysis, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, submitted.

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

Development of electrochemical measurement systems for degranulation monitoring on immunological mechanism

2151024



研究代表者

東京医科歯科大学
生体材料工学研究所日本学術振興会特別
研究員 (PD)

田 畑 美 幸

[研究の目的]

一連のアレルギー反応における物質移動の既存の解析としては、カルシウムイオン選択的蛍光イメージングプローブや、顆粒内が酸性環境であることを利用した酸性蛍光イメージングプローブを用いた細胞工学的イメージング法が用いられている。これらの方法は多段階の操作によって行われ、専門の手法や専用の検出デバイスを必要とする課題がある。一方で、電気的な計測法は非標識でラベリ化剤を必要としない計測が可能であるため、光学的な検出デバイスが不要でありシステムの小型化に有利である。また半導体技術や微細加工技術との親和性からセンサ部分の並列化が容易であり、高感度検出を実現する。

最近では医療・創薬研究分野において様々な動物実験代替法が提唱されており、培養細胞を用いた解析技術が評価法として大きな役割を担っている。培養細胞を用いた解析では、微量の試料でも解析可能であることが望ましく、反応場、検出場の微小化が必要であり、トランジスタと組み合わせた評価デバイスの利点と合致する。

そのため本研究では、アレルギー反応を誘発する脱顆粒現象についてラベルフリーでリアルタイムモニタリングを実現する電気化学的計測法を用いて従来法とは異なるアプローチを行う

ことにより、細胞外におけるプロトンの動態を簡便に調査し、将来的に診断や創薬に貢献する知見を得るデバイス開発の基盤技術を確立することを目指し、プロトン応答 ISFET 上での細胞培養法の確立、リアルタイムモニタリング用のサンプル溶液フローシステムの構築に取り組んだ。本研究で提案する細胞ートランジスタデバイスは特に脱顆粒の生体分子動態に着目しているが、アレルギー・自己免疫疾患の発症および抑制の仕組みは今現在も活発に研究がなされている領域であり、今後、免疫性疾患の複雑な制御機構を簡便・迅速に解明し、医療変革を支える新たなプラットフォーム技術へ大きく貢献すると考えられる。

[研究の内容、成果]

I 型アレルギー反応は、組織中の肥満細胞や血液細胞中の好塩基球の細胞膜上にあるレセプターの FcεR I に IgE 抗体 (イムノグロブリン E) が結合し、小胞体から Ca^{2+} が一過性に放出され、枯渇後さらにカルシウムチャネルが活性化されることにより細胞外から Ca^{2+} が流入することが知られている。細胞内の Ca^{2+} 濃度が $1 \mu\text{M}$ 以上になると脱顆粒現象により顆粒と細胞膜が融合し酵素やヒスタミンが細胞外に放出さる。また、顆粒内 pH は 5 程度に維持されており、脱顆粒現象により細胞外の pH (7.4)

が局所的に低下することが知られている。よって脱顆粒のモニタリングには酸性蛍光イメージングプローブを用いた細胞工学的イメージング法が用いられているが、先に述べたように煩雑で専門的な操作を必要とするため簡便な解析方法が必要とされている。本研究では細胞外プロトンセンシングデバイスの創製とフローシステムの構築を行い、脱顆粒現象のリアルタイムモニタリングを行った。具体的には、アレルギー関連細胞であるラット好塩基性白血球由来マスト細胞株（RBL-2H3）について、細胞膜近傍で生じた pH 変動を捉えることが可能な ISFET の測定条件を最適化し、刺激剤であるイオノマイシンを作用させ、脱顆粒モニタリングを電気化学的に捉えることを試みた。

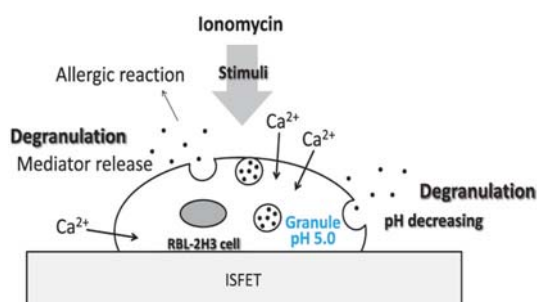
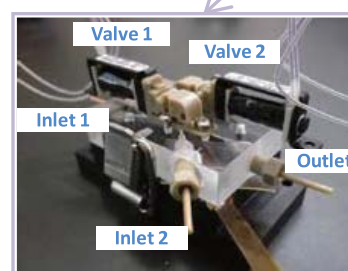
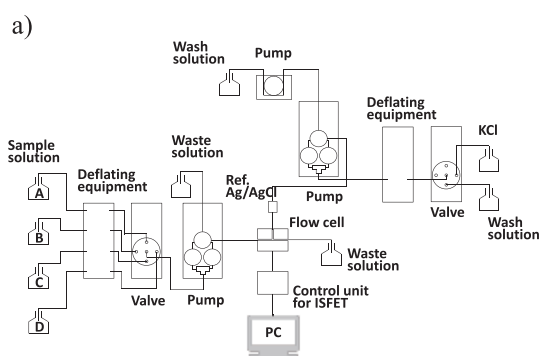


図1 脱顆粒モニタリング模式図

1. フローシステムのデザインと構築

デバイスを含む流路システム、細胞機能評価の自動化シーケンス制御、得られたデータの析システムをデザインし、マイクロ流路システムを作製した（図2）。ゲート絶縁層に五酸化タンタル（Ta₂O₅）（340 μm x 10 μm）を用いた ISFET（ISFETCOM Co. Ltd., Japan）を使用し、V_{DS}およびI_Dはそれぞれ0.8 Vと500 μAに固定した。このバイオトランジスタ計測システムを用いることで、定常時から試薬導入時における細胞挙動の非破壊・連続モニタリングを実現した。



c)

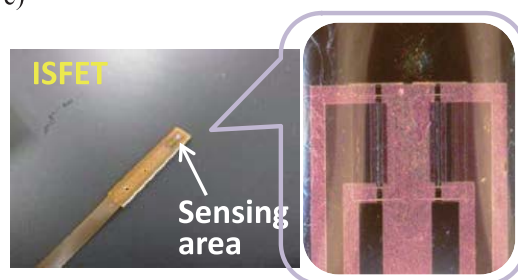


図2 計測システム a) デザインしたフローシステム, b) 構築したフローシステム, c) プロトンセンシングエリア画像

2. プロトンセンシングによる脱顆粒のラベルフリーモニタリング

ISFET センサ表面上に RBL-2H3 細胞をコンフルエントに接着させるため、センサへの細胞固定化法を検討した。1 x 10⁵個の RBL-2H3 細胞を ISFET センサ上に播種した。センサ表面は予め典型的な細胞固定化試薬である

poly-L-lysine (Sigma-Aldrich, US) または BD matrigel matrix (BD Biosciences, US) で処理しておき, Tyrode's buffer を 1 時間流した後の細胞接着の様子をコーティング剤なしの条件と, 比較した結果を図 3 に示した。BD matrigel を用いた場合において, モニタリング後も十分に細胞が維持されていることが示された。このことより以降の実験には BD matrigel を用いることとした。

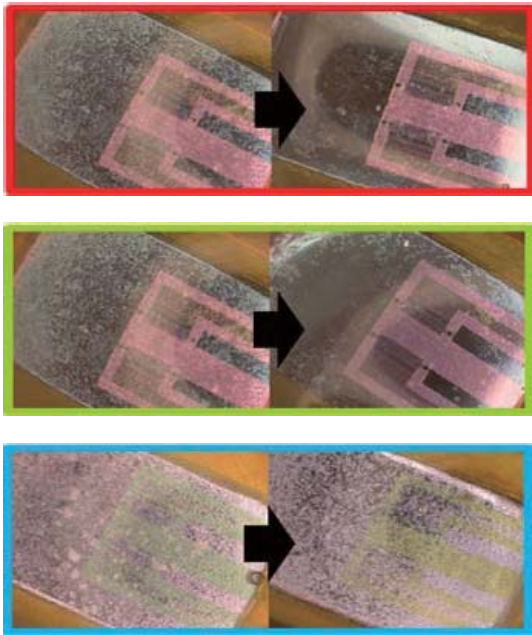


図 3 細胞接着試薬の効果 a) bare Ta₂O₅, b) Poly-L-lysine, c) BD matrigel

細胞固定化後のプロトン感度を評価するため, pH4, 7, 9 の標準緩衝溶液に 1 分ずつ暴露し, 出力電位のモニタリングを行った。Ta₂O₅ のプロトン応答はネルンスト式に従う。

$$E = E_0 + (RT/zF) \ln a_{ox}/a_{red} \quad (1)$$

ここで, E は電極電位, E_0 は標準電極電位, R は気体定数, T は温度, z は移動電子数, F はファラデー定数, a は活量それぞれ示す。細胞がない場合の典型的なプロトン感度は -58.0 mV/pH[1] であるのに対して, 細胞固定化後は -53.1 mV/pH (with $R^2=0.994$) であった。これらの値は Nernst の傾き (-59.2 mV/pH

at 25°C) に近く, 細胞固定化後も十分な pH 感度を有していることが示された。

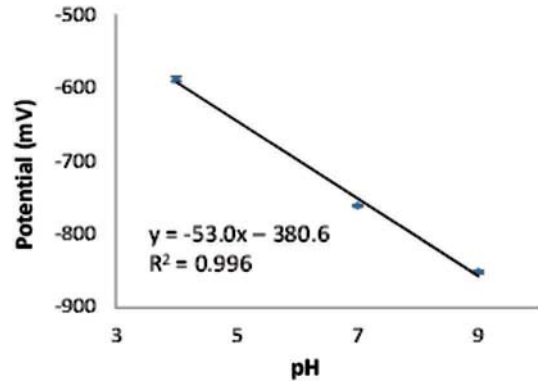


図 4 RBL-2H3 細胞固定化後の ISFET の pH 感度

Tyrode's buffer に溶解したイオノマイシンを RBL-2H3 に暴露し, 細胞膜近傍で生じた pH 変化を電位変化としてモニタリングした。参照電極には Ag/AgCl を用いた。また, ISFET での測定から得られたイオノマイシンにより誘起される脱顆粒の挙動は, 従来法である蛍光定量法と比較した。図 5a) に, $1 \mu\text{M}$ イオノマイシンを RBL-2H3 に 1 時間暴露したときの電位測定の結果を示した。ISFET 上の RBL-2H3 にイオノマイシンを作用させると, 30 分程度緩やかな電位の上昇が続いた。一方で, 細胞のない系では電位の上昇は確認されなかった。ISFET において電位の上昇はプロトン濃度の上昇を示すため, イオノマイシンにより脱顆粒が誘起されたことで細胞外の pH が酸性側にシフトしたことを捉えた結果だと示唆される。また, pH 変化に依存して蛍光を発する RBL-2H3 細胞を用いて蛍光定量法による結果と比較したところ (図 4b)), 同様の時間スケールでの脱顆粒が確認され, ラベル化を必要としない ISFET での評価の可能性を見出した。試薬濃度, 高 S/N 比の実現など測定条件の最適化を行うことで更なる測定系の改善が期待される。

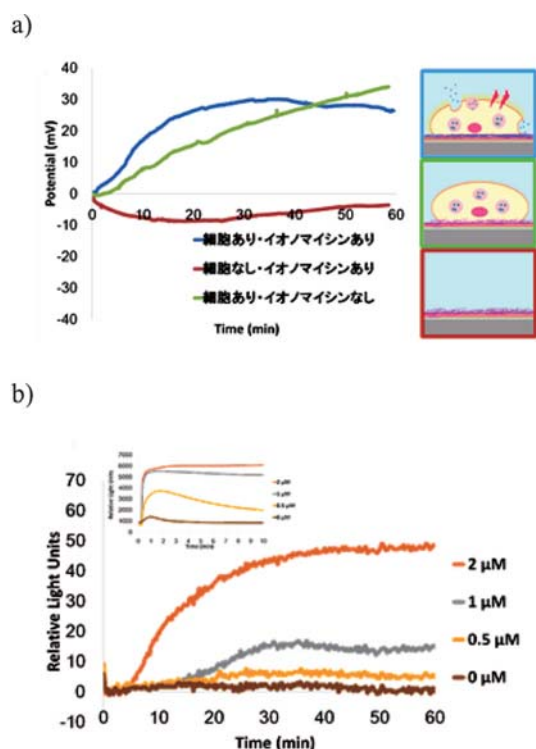


図5 マスト細胞の脱顆粒リアルタイムモニタリング a) ISFETによるラベルフリー電位変化計測, b) Ca^{2+} およびpHイメージングプローブを用いた蛍光強度測定。上図は Ca^{2+} の細胞内取り込み, 下図はpH上昇に伴う脱顆粒の様子をそれぞれ示す

[今後の研究の方向, 課題]

Ca^{2+} の流入が生体反応の引き金となることが明白であるが, カルシウムチャネルがどの程度カルシウムイオン動態やその後の物質動態に影響を及ぼしているか直接的に定量する

技術の開発は未だ研究の余地がある。そのためカルシウムセンシング技術または多項目センシング技術と本研究を組み合わせることで, 今後大きく発展していくと考えられる。

このように, 本研究で得られた基盤技術は, 免疫疾患の早期診断や予後診断への展開が見込まれるだけでなく, ポイントオブケアを目指した医療システムのイノベーションにつなげていくことが可能である。また, エレクトロニクスと医療・生命科学分野の融合という観点において特色を持つ本研究は, 一見対称的な間領域の技術・概念を融合することで幅広い医療分野に貢献していくと考えられる。

[参考文献]

- [1] D. Schaffhauser, M. Patti, T. Goda, Y. Miyahara, I. Forster, P. Dittrich, "An Integrated field-effect microdevice for monitoring membrane transport in *Xenopus laevis* oocytes via lateral proton diffusion", *Plos One*, 2012, 7 (7), e39238.

[成果の発表, 論文等]

- [1] M. Tabata, T. Goda, A. Matsumoto, Y. Miyahara, "Electrochemical label-free degranulation monitoring for in-situ evaluation of cellular function", the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Milan, Italy, August 25-29, 2015 (査読有, 国際学会)

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

Development of Nested Chamber Pneumatic Artificial Muscle for Cable Transmission

2151025



研究代表者

株式会社 国際電気通信
基礎技術研究所

主任研究員

野 田 智 之

〔研究の目的と背景〕

近年の少子化・高齢化社会に伴い、リハビリテーションや日常生活支援に利用可能なシステムとして、外骨格型ロボットを始め、人と近接もしくは接触するロボットの開発が盛んになってきている。工場の柵内部での作業に必要とされたのは高い位置決め精度の固い関節機構であったため、現時点で広く普及している駆動装置は、高減速比のギアドモータである。しかし、リハビリ医療・工場などのアシスト機器を始め、ヒトと協調するロボットに必要なのは、ヒトの関節と互換性のある力強くやわらかい駆動関節である。本研究では、外骨格型ロボットなどのアシスト装置の駆動関節に応用するための、力強さとしなやかさを両立するコンパクトな駆動関節の開発を目的とする。

本研究では柔軟ロボットの駆動要素として、空気圧人工筋 (Pneumatic Artificial Muscle, PAM) に注目する。PAM は最も高い出力重量比が達成可能な空圧アクチュエータの一つとして注目されている。圧縮空気の柔軟性は人と接触する場合に有効で、例えばリハビリ用アシスト装置^[1,2]などへ応用されている。空圧のためパワーウェイトレシオを高くすることができるため、大きな力を出し続けても、関節が固くならず、しなやかさを失わない特徴がある。さらに、拮抗に冗長配置すれば、近年注目されている剛性・粘性などの固有インピーダンスが制

御可能なアクチュエータとしても利用できる。

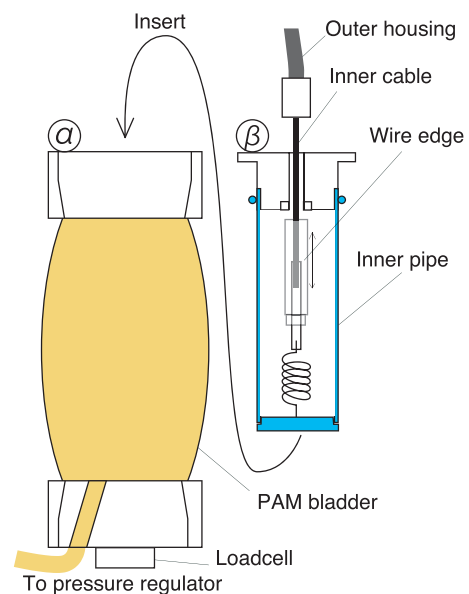


Fig. 1 Concept of proposed structure: Nested-chamber Pneumatic Artificial Muscle

〔提 案 手 法〕

空気圧人工筋でロボットの関節を駆動するにはワイヤ（腱）と組み合わせる必要があるが、ここでの課題は、ワイヤの弛みである。従来式の PAM は筋が弛緩した時のワイヤの取り回しが基本課題となっており、弛みが起こるとプリーアの溝から外れるなど実用上の問題となる^[3]。外部にバネで弛みを取る構成が取られることがあるが、露出した可動部やバネの可動空間は設計およびロボットの運用の制約となり、制御に

よって対応する場合は収縮可能範囲を超えて関節を動かすことはできない。

さらに、膨張に必要な圧縮空気量はバルブの性能に依存し遅れなどが課題となる。流量の大きなバルブを使って応答性を維持するか、小型の流量の少ないバルブにより応答性を犠牲にするかの選択が必要であり、システム構成におけるトレードオフの一つとなっている。これらの点は従来研究では十分に議論されてこなかった。

Fig. 1 に示すように、本研究ではシリンダ構造を空気圧人工筋に入れ子状に埋め込むことでこれらの課題を解消する。このコンセプトは圧縮空気のエネルギーを張力に変換する人工筋の膨張空間と、ワイヤの格納空間を一体化する入れ子構造が特徴で、本研究ではこれを「入れ子構造を有する空気圧人工筋」(*Nested-chamber Pneumatic Artificial Muscle: NcPAM*) を呼ぶことにする。

Fig. 2 (a)～(d) に提案する NcPAM の実際の構成と外骨格型ロボットへの適用用例を示す。Fig. 2 (a) は NcPAM の組み立て後の構造で、PAM の内部にワイヤに常にテンションをかけるためのバネと取り回しの空間が設けられている。ここで、バネは人工筋の収縮に比べてずっと小さい力で良い。バネ収縮力が NcPAM の発生力より小さい場合は、ワイヤストップは NcPAM 端部に接しており、NcPAM の収縮力をそのままワイヤで伝達している。NcPAM の収縮力がバネの引っ張り力を下回った時のみ内部に配置されたバネの収縮が有効になる。つまり、PAM の収縮範囲を超えてワイヤを取り回すことができる。さらに、Fig. 2 (a) のように NcPAM をさらに筒状もしくは箱状の構造に格納することで、可動部が露出しにくい構成を取ることができる。

さらに、副次的効果として膨張空間の容積が小さくなることで、応答性が向上し、収縮と弛緩に必要な吸排気量が小さくできる。Fig. 2 (b) に示すように、ワイヤとの接合を人工筋内部に配置できるため、同じ長手方向の空間に

対して PAM の長さで有利である。

Fig. 2 (c) および Fig. 2 (d) に示すように、ロボットの駆動関節に適用する場合はプーリーなどと組み合わせることで駆動関節が実現できる。ボーデンケーブル（自転車ブレーキなどに採用されているワイヤシステム）とシームレスに組み合わせることができ、外部駆動の関節はコンパクトで力強く軽量で、人工筋のしなやかさを生かしたロボット関節を実現可能である。

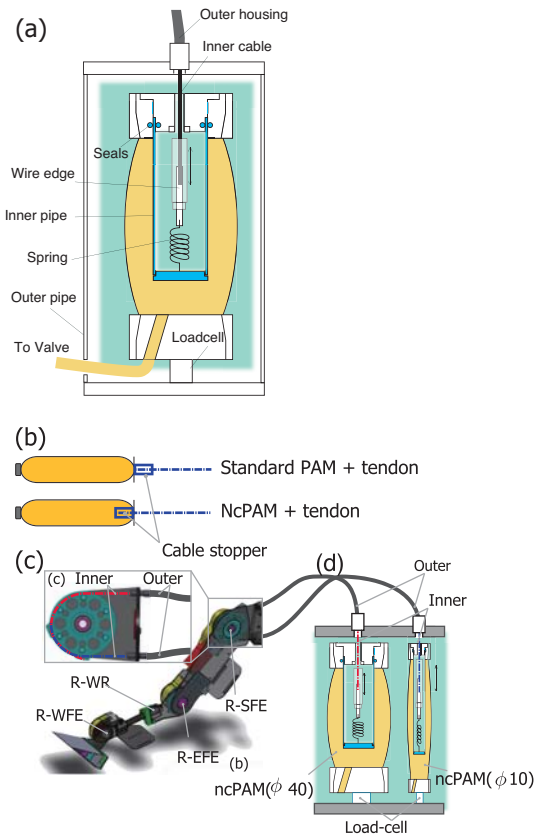


Fig. 2 Implementation of NcPAM to air exoskeleton robot

[実 験]

本節では、提案する NcPAM の試作および実験による評価について示す。まず空気圧人工筋のゴム部分は工業製品として入手可能な FESTO 社製の空気圧人工筋（MAS シリーズ $\phi 40$ 、公称最大収縮力は 5000 N）を利用し、端部の部品は樹脂切削で製作した。シリンダは外径・内径を精度加工し、NcPAM 端部の部品と

は O リングにより圧縮空気と大気圧のシールを行っている。空圧の制御バルブは Norgren 社製の圧力比例弁 (VP50) を使用し、外径 $\phi 8$ のウレタンホースで接続した。

Fig. 3 に試作した NcPAM を収縮させた時の流量特性を示す。流量は FESTO 製流量センサ (SFAB シリーズ) により計測し、計測値はバルブ制御圧力を 0 MPa を初期値として 0.6 MPa をステップ的に入力した。Table 1 にこの結果を含め、試作した NcPAM と FESTO 社製の PAM を比較する。計測は片方の端部をフレームに固定し、ワイヤ側は無負荷としている。計測は熱式 (ヒートロスプロセス) による計測のため、計測の下限値 (約 50 l/min) を閾値としてそれを越えた区間の単位流量について数値積分した。今回は端部を固定していないため、PAM の収縮率の動作点は最小 (自然長) から最大 (最大圧における収縮状態) の間の状態をとる。この場合、内部の体積は最大収縮時におよそ 2 倍程度増加するため、総流量は自然長での体積減少に比べて Fig. 3 の実験値は低い値を示すことに注意されたい。

収縮前の自然長の状態で拘束される条件 (この条件で最大力を発生) では、体積の比と同じだけ総流量の削減 (最大で約 50% 程度、ただし等温過程) が見込め、エネルギー消費を大幅に減らすことができる。ここで、エア配管が短ければ内部体積の影響は十分小さいため無視している。

さらに Fig. 4 (a) および Fig. 4 (b) に示すように、Fig. 2 (c) に示した構成で上肢外骨格型ロボット^[3]に肩関節の屈曲関節に実装した。

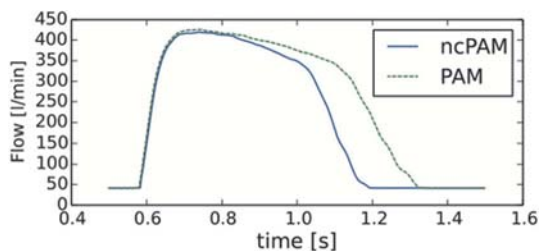


Fig. 3 Comparison of flow rate of PAM and NcPAM during contraction process

Table 1 Summary of comparison NcPAM and PAM.

	PAM (*1)	NcPAM	improve
Bladder length (*2)	243 mm	283 mm	+14.4 %
Unit Weight	700 g (+2)	450 g	-40 %
Theoretical internal volume (at initial length)	0.349 L	0.167 L	-52.32 %
Measured sum of flow (at the contracted length)	—	—	-19.4 %

(*1) The values are taken from our previous model [3] (*2) Compared to the original off-the-shelf model of FESTO Inc. (MA S/DMAS40 series).

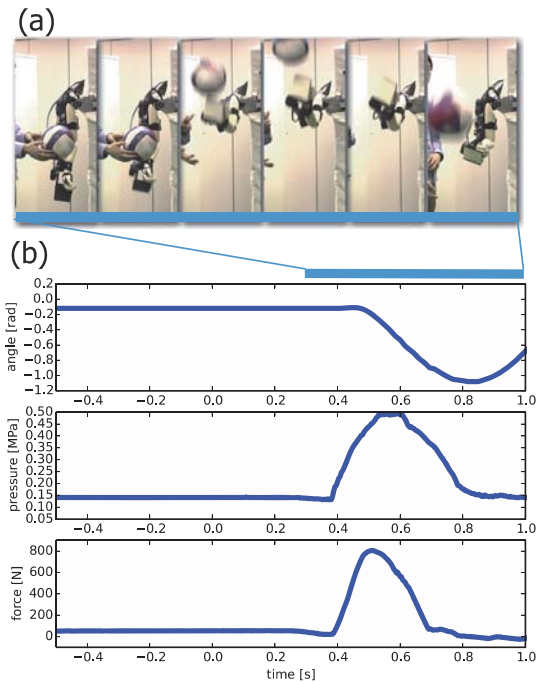


Fig. 4 Ball Hitting Experiment

試作した NcPAM の収縮力をプーリーにてトルクへ変換し駆動する構成となっている。実験では、外骨格型ロボットにマネキンの腕 (肘関節にフリーの受動関節を有し重量 1.65 kg) をベルトで固定している。まず、NcPAM を制御しない PAM が弛緩した状態で関節側を動かし、ワイヤの張力が NcPAM の内部のバネで維持できることを確認した。駆動実験のタスクとしてはバレーボールをサーブするように所定の位置・速度を目標とする目標入力を、最適制御のフレームワークを用いて実装した。Fig. 4 (a) に示すように、ボールを打つことのできるだけの速度に達しており、Fig. 4 (b) に示すように最大約 800 N の張力が発生しているが、イン

パクトの瞬間も推力にピークが発生していないことがわかる。

[今後の研究の方向, 課題]

本項では、圧縮空気のエネルギーを張力に変換する人工筋の膨張空間と、ワイヤの格納空間を一体化する入れ子構造が特徴の「入れ子構造を有する空気圧人工筋 (NcPAM)」とその応用例として上肢外骨格型ロボットへの実装について報告した。ワイヤシステムと空気圧人工筋 (PAM) をワイヤ力伝達システムと組み合わせてシームレスに運用するための要素技術として、NcPAM の構造はワイヤ弛緩の基本課題を解決するとともに内部の空間が空気圧人工筋体積の減少に寄与する。発生する収縮力を落とさずに理論上のエア消費を最大で約半分に削減できる画期的な構造が特徴である。

実験では提案する NcPAM の構造を実際に試作し、NcPAM を収縮させて流量を計測する実験に加え、CAD モデルから算出した PAM の体積比の比較により有効性を検証した。動作点によって異なるものの、約 20% から最大 50% 程度の消費される圧縮空気量を削減することが可能であることを示した。この結果は、圧縮ガスの供給源として高圧タンクをロボットに搭載する場合や、最大流量が制限される小型のバルブで制御する場合に特に有効である。また、実現される駆動関節はコンパクトで、関節固有の剛性をヒト身体の力強さとしなやかさに整合できる。このようなロボットの駆動関節がヒトと互換になることで、アシスト装置などの人—ロボット間の物理的相互作用を、快適かつ

安全に実現できるようになる。

入れ子構造を有する空気圧人工筋は圧縮ガスの使用量が減少しており NcPAM の静的な発生力の特徴は理論上 PAM のそれと変わらないものの、内部体積が大幅に削減されているため、収縮時の体積変化量は相対的に大きくなる。今後は、力および剛性の特徴に関して周波数特性を計測する予定である。また、力伝達のボトルネックは特にワイヤとストッパの部分の強度に依存するため、これを改良することでアクチュエータの力の伝達を最大源まで高めることができる。

今後は、上記のような NcPAM の制御に取り組むとともに、上肢だけでなく下肢用の外骨格型ロボットに適用し、リハビリテーションを目的としたロボットにおいて有効性を検証する予定である。

[参考文献]

- [1] T. Aida, et al., Proc. of IEEE-ICMA2009. pp. 1027-1032, 2009.
- [2] D.G. CALDWELL and N.G. TSAGARAKIS, J. Humanoid Robotics, vol. 4, no. 3, pp. 549-573, 2007.
- [3] T. Noda et al, in Proc. of IEEE-IROS2014, WeA1.17, 2014.

[成果の発表, 論文等]

- T. Noda and J. Morimoto, "Development of upper-extremity exoskeleton driven by pneumatic cylinder toward robotic rehabilitation platform for shoulder elevation," *2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Singapore, 2015, pp. 496-501.

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

Development of Transporter with Remote-control for Realizing Platform Leveling on Uneven Terrain

2151026



研究代表者

山梨大学大学院 総合研究部

准教授

野 田 善 之

〔研究の目的〕

農地や建設現場において、作物や資材の運搬作業は欠かせない。しかしながら、農地における畝間や果樹の間、建設現場における建築物の近傍のようにトラックの乗り入れが困難な場所が多く存在し、そこでの運搬作業は、台車などを用いた人力運搬が主に行われている。この人力運搬では、車体中心旋回が可能で狭い環境での取り扱いが容易な一輪台車が主に用いられている。しかし、荷台が水平になるようにバランスを取りながら運搬するため、運搬労力のみならず、荷台姿勢を水平化するための気配りも必要となる。特に、不整地での一輪台車は高齢者や女性には取り扱いが困難である。そこで、狭い環境での移動や方向転換が可能で、かつ操作が容易であり、不整地や傾斜地での荷台水平化を可能にする運搬ビークルの開発が望まれている。

著者らは上記の課題に対して、図1に示す低

重心型平行二輪運搬ビークルを開発している。この運搬ビークルは車体重心が車軸よりも低位置にあることから、安定な振子構造を有する平行二輪ビークルである。したがって、制御系や駆動系が故障しても転倒しない安全な平行二輪ビークルを実現している。そして、車体にはアクティブマスシステムを内蔵し、加減速時に生じる車体のピッチ方向揺動を抑制している。また、車体のロール方向の傾斜や揺動にはフレキシブルラック&ピニオンによる荷台ロール方向姿勢制御機構を開発し、荷台のロール方向姿勢水平化を実現している。このビークルの操作は、力覚センサを基台とした操作ハンドルに操作力を与えることで、操作力を増幅した車輪駆動力を発生させるパワーアシスト操作である。これらのシステム統合により、不整地や傾斜地でも荷台を水平にし、安全に、かつ自在に荷物運搬が可能となる運搬ビークルを実現している。

本研究ではパワーアシスト操作機能に加えて、広範囲での運搬作業を効率化するために、遠隔操作機能を導入した低重心型平行二輪運搬ビークルを開発する。遠距離移動では遠隔操作を行い、近距離ではパワーアシスト操作を行うことで、効率的な運搬作業が実現できる。

〔研究の内容、成果〕

1. 低重心型平行二輪運搬ビークルの概要

本研究で開発している低重心型平行二輪運搬



図1 低重心型平行二輪運搬ビークル

ビークルの概要を図2に示す。この運搬ビークルは全長 0.80 m, 全幅 0.85 m, 全高 0.73 m で車体質量は 50 kg である。大径車輪を用いることで車軸下の空間を確保し、車体重心位置を車軸よりも低くすることを可能にし、かつ高い走破性を実現している。ここで、運搬ビークルの主要要素技術を次に示す。

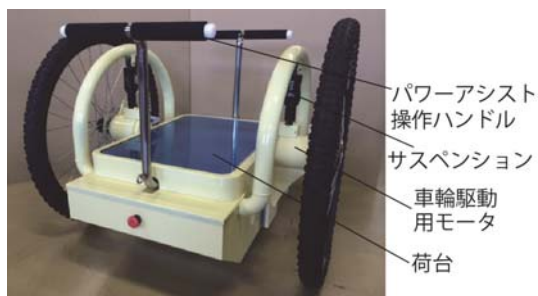


図2 低重心型平行二輪運搬ビークル外観

1.1 パワーアシスト操作

重量物を搭載したビークルを自在に扱うことを目的に、パワーアシスト操作システムを開発している。本研究では力覚センサを車体中央に配置することで、一つの力覚センサでビークル前後に設置された操作ハンドルに与えられる操作力を検出し、その操作力に応じた車輪駆動力をモータが生成する。ビークル前後に操作ハンドルを設置することで、狭い畝間でもビークルを旋回させることなく、パワーアシスト操作を可能にしている。

1.2 アクティブマスシステムによる車体ピッチ方向の荷台水平化

低重心型平行二輪ビークルは、運搬物を含めた車体重心を車軸よりも低位置に配置することで、構造的な安定姿勢を実現している。しかしながら、振り構造のため、ビークル加減速時に車体がピッチ方向に揺れてしまう。そこで、図3に示すように車体内部のウェイトを前後方向に搬送制御することで、車体揺動を抑制するアクティブマスシステムを開発している。

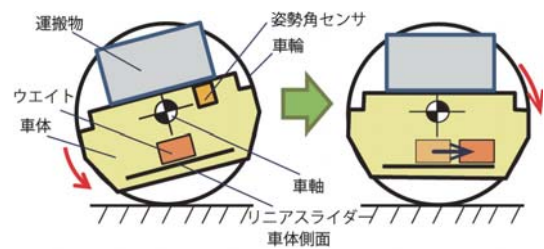


図3 アクティブマスシステム

1.3 荷台ロール姿勢制御機構による荷台ロール方向の荷台水平化

傾斜面を横行する際には荷台をロール方向に対して水平に保つことが求められる。そこで、図4に示す荷台ロール方向姿勢制御機構を開発している。姿勢角センサによって、荷台角度を検出し、曲線ラック&ピニオンとモータで荷台のロール方向姿勢制御を可能にしている。

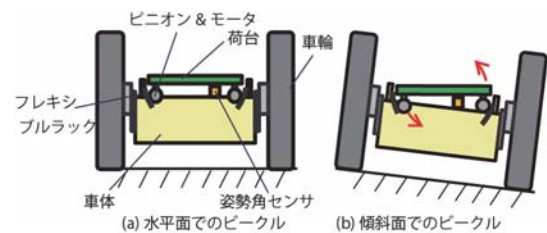


図4 荷台ロール方向姿勢制御機構

2. 障害物衝突回避を可能にする力覚提示ジョイスティックを用いた操作支援システム

運搬ビークルの遠隔操作において、誤操作により障害物へ衝突する危険性がある。そこで、安全な遠隔操作を実現する目的で、力覚提示ジョイスティックを用いた障害物衝突回避を可能にする操作支援システムを開発する。開発システムは、図5に示すようにビークル車体前方に設置されたレーザ測域センサで周囲環境を計測し、生成された環境マップを基にビークルと障害物の最短距離を算出し、最短距離に基づいて力覚提示ジョイスティックにより反力提示を行う。障害物との距離が近づくにつれて、ジョイスティック反力が増大し、ジョイスティック操作が動的に制限される。以降では、開発され

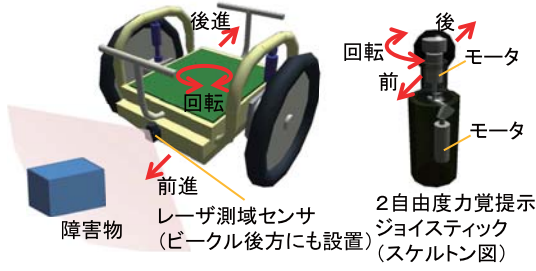


図5 運搬ビークル遠隔操作の概要

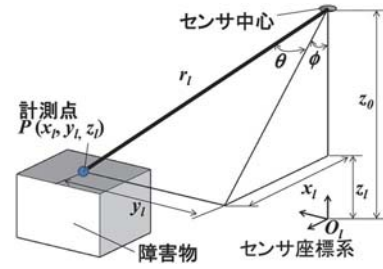


図6 レーザ測域センサ設置環境

た操作支援システムを構成する環境認識システムと反力提示制御システムの詳細を示す。

2.1 環境認識システム

図5に示すレーザ測域センサによって周囲環境を計測する。レーザ測域センサを図6に示すように、斜め下方を照射するように設置する。これにより、センサより低位置の障害物の計測も可能になる。レーザ測域センサでは照射距離 r_l [m] とセンサ回転角 θ [rad] が計測され、センサ設置角度 ϕ [rad]、センサ設置高さ z_0 [m] からセンサ座標系における計測点が次式のように得られる。

$$x_l = r_l \sin \theta, \quad (1)$$

$$y_l = r_l \cos \theta \sin \phi, \quad (2)$$

$$z_l = z_0 - r_l \cos \theta \cos \phi \quad (3)$$

(1)～(3)式によって得られた計測点を基に環境マップを構築する。ここでは、全体座標系における運搬ビークルの位置 (x_0, y_0) 、運搬ビークル中心からセンサ中心までの距離 (x_c, y_c) を加えて、全体座標系における環境マップを生成する。環境マップには次式のグリッドマップ $M_g(i_x, i_y)$ を用いる。

$$i_x = [(x_0 + x_c + x_l) / \Delta x], \quad (4)$$

$$i_y = [(y_0 + y_c + y_l) / \Delta y], \quad (5)$$

$$M_g(i_x, i_y) = z_l \quad (6)$$

ここで、 Δx および Δy は x 軸、 y 軸それぞれのグリッドマップの分解能を示す。

上述に示される環境認識システムによって構築された環境マップの結果を図7に示す。また、

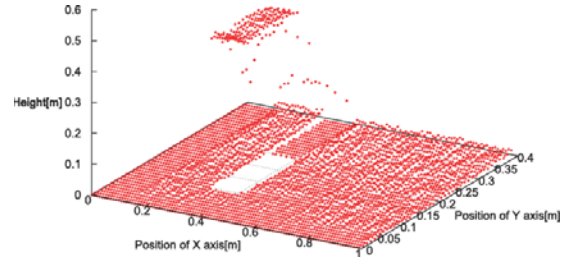


図7 環境マップ

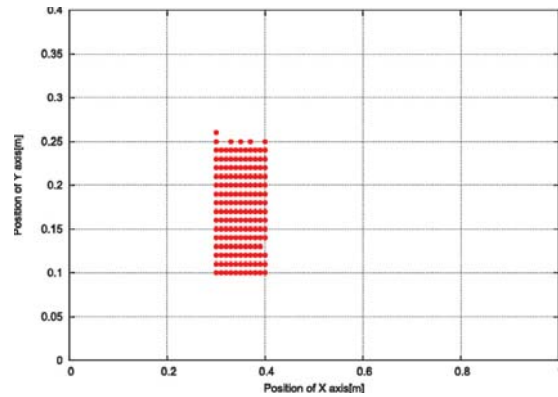


図8 2次元障害物マップ

環境マップから障害物の有無を判別する2次元障害物マップを構築した結果を図8に示す。2次元障害物マップは環境マップの要素である高さ情報を $z_l > \delta$ で1とし、それ以外は0として表現している。ここで、 δ は閾値を示す。この2次元障害物マップを用いて、運搬ビークルと障害物との距離を算出し、反力提示を行う。

2.2 反力提示制御システム

力覚提示ジョイスティックは図5に示すようにジョイスティック内部にモータが内蔵されており、モータのトルク制御によりジョイスティック操作端に反力を提示する。ジョイス

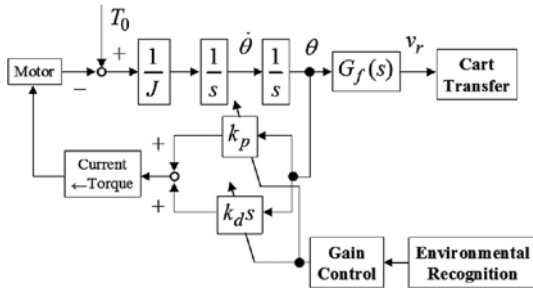


図9 反力提示制御システム

ティックは前後傾動および回転操作が可能である。各操作軸に図9に示すインピーダンス制御を構成する。図9に示すようにジョイスティック傾動角度 θ [rad] に対してPD制御を構成し、比例ゲイン k_p を増大させることでジョイスティックの復元力が増大し、反力が増大することとなる。微分ゲイン k_d は力覚提示ジョイスティックの振動現象を抑制するために、次式のように与えられる。

$$k_d = 2\zeta\sqrt{k_p J}, \quad (7)$$

ここで、 ζ は減衰比であり、本研究では振動現象を抑制し、良好な応答性を得るために、 $\zeta=0.7$ を与える。 J はジョイスティック可動部の慣性モーメントを示す。(7) 式より、微分ゲイン k_d は比例ゲイン k_p に従属することがわかる。比例ゲインと障害物との距離の関係を図10に示す。図10からわかるように障害物に近づくにつれて、比例ゲインが増大する。これに伴い、ジョイスティック反力も増大する。

反力提示制御システムによるジョイスティック

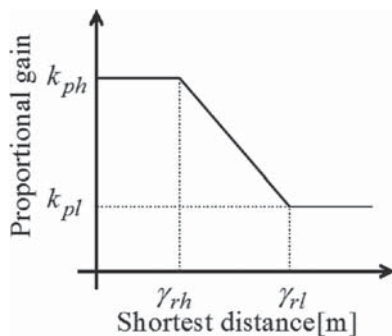


図10 障害物との距離と比例ゲインの関係

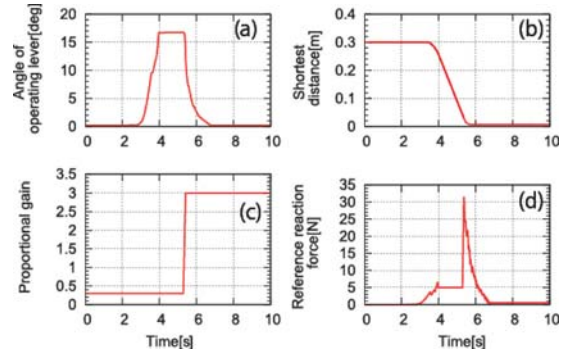


図11 反力提示制御システムの実験結果

ク動的操作制限の実験結果を図11に示す。図11において、(a) はジョイスティック傾動角を示し、(b) は障害物までの最短距離、(c) は比例ゲイン、(d) は提示反力を示す。5秒付近で比例ゲインが増大し、提示反力も増大した結果、ジョイスティック操作が抑制され、ジョイスティックが直立状態へ戻されることで障害物に衝突する前にビークルが停止していることが確認できる。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、低重心型平行二輪運搬ビークルを安全に遠隔操作可能な操作支援システムを開発した。現状では、操作支援システムの環境認識システムおよび反力提示制御システムの各要素技術が実現しているが、運搬ビークル搭載の車載PCの性能が低いため、システム統合までには至っていない。今後は、本開発システムが実装可能な車載PCを搭載して、運搬ビークルの安全遠隔操作が可能な操作支援システムを実現する。

[成果の発表、論文等]

- [1] 野田善之, 佐郷幸法, 柿原清章, 傾斜面での荷台水平化を実現する低重心型平行二輪運搬ビークル, 日本ロボット学会学術講演会, 3K2-05, 2015年
- [2] 大阿久善仁, 野田善之, 荷台水平化を実現する平行二輪運搬ビークルの荷台ロール方向姿勢制御, 日本機械学会関東学生会第55回学生会卒業研究発表講演会, p.802, 2016年

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

A method of elucidation of phenomena using tactile information of
controlling expansion/ compression in time direction

2151028



研究代表者

筑波大学 システム情報系

助 教

橋 本 悠 希

【研究の目的】

本研究は、触覚情報を時間伸張/縮小し、人間が触知覚可能な周波数帯域に触覚情報をシフトさせて皮膚に提示することで、ユーザに対して実時間では触知覚が難しかった物体の物性や様々な物理現象を知覚させ、その判断・理解をアシストする手法を確立することが目的である。

記録された情報を時間方向に伸縮する手法は、物理現象の詳細な解明、実験データの多面的な分析、装置のデバッグ等、科学技術の分野において長年用いられ多大な功績を挙げてきた。また近年、半導体技術の大きな進展により高速度撮影が極めて低コストで行えるようになったこともあり、芸術やエンタテインメントの分野において高速度撮影&時間伸縮再生の利用が広まりつつある。例えば静止画では、高速シャッターによって一瞬の出来事を高精細に切り出し、美しさや異様さが混在する不思議な感覚をもたらすことに成功している。また動画では、スローモーション映像を用いて高い臨場感を演出したり、タイムプラス映像によって雲の流れなど実時間では知覚しにくい変化を克明に捉えることに成功している。

このように、情報の時間伸縮効果は広い分野で用いられている。しかしながら、最終的な出力は全て視覚に頼っている現状がある。聴覚の分野においてはセキュリティや AV 関連分野

において音声の基本周波数を変化させる変声機が存在するが、あくまでも変調であるため映像と同じような時間伸縮とは言い難い。また、人間の聴覚は周波数に対する知覚能力が非常に高いため音声を単純に時間伸縮してしまうと変質された別物の音に聞こえてしまうという問題がある。

このような背景を受けて我々は、時間伸縮された情報出力先として新たに触覚が利用できるかと考えた。なぜなら触覚の場合、異なる速度で物性を提示しても判別が可能であるという特性を持つためである。我々が実際に物を触る場合、様々な速度で手を動かす。その場合、発生する振動周波数は異なるはずなのに、同じ物質として感じるができる。この特性を利用することで、物の特性を損なうことなく現象を捉えやすくし、感動を呼び起こすような触覚提示が可能であると推測される。

以上から、本研究では、視覚や聴覚の分野で行われてきた「人間が見える速度、聞こえる周波数」となるように情報を時間方向に伸縮させるという操作を触覚情報にも適用することで、今まで視覚や聴覚の操作だけでは理解・判断が難しかった物性や物理現象に対し、「触る」という新たな尺度与えることを目指す(図1)。

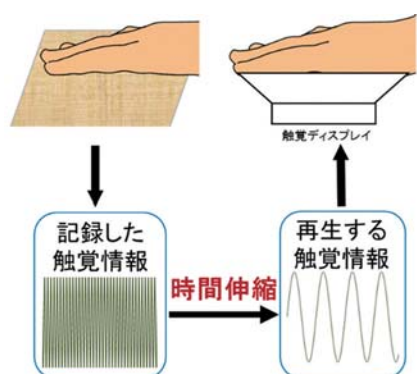


図1 本研究の概要

[研究の内容, 成果]

時間伸縮時の知覚特性および効果の検証

物体が落下・衝突したときに生じる触覚情報の記録及び時間伸縮再生を行い、得られた振動情報の特徴と理解しやすい伸縮倍率の関係を明らかにすることを試みた。

記録装置は図2に示す通りであり、板に対して物体を落下させ、その際に生じる板の振動をレーザー変位計（KEYENCE, LK-H50, LK-G3000V）で計測した。また高速カメラ（Sony, RX100 MK4）を用いて動画も同時に記録した。サンプリングレートは、レーザー変位計=1000 kHz, カメラ=1 kHzであった。再生装置は図3に示す通り、音響スピーカを用いて手とスピーカコーン内の空気圧を制御し、手のひら全体に振動を提示した。記録した

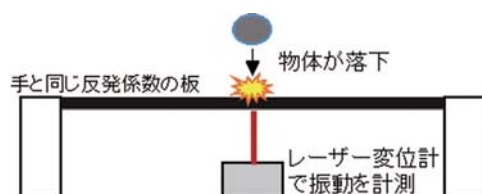


図2 衝突時の触覚情報記録システム

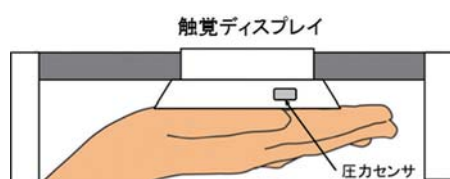


図3 衝突時の触覚情報提示システム

触覚情報の時間伸縮率の制御はPCで行い、インタフェースボード（Interface Corporation, PCI-3523A）から出力した。

上記の装置を用いて、物体衝突時の振動情報を記録し、物体の判別実験を行った。対象物体は、特徴を3種類（カテゴリ1=剛体・粒，カテゴリ2=弾性体・球，カテゴリ3=粘弾性体）に分けたサンプルを各3種類ずつ、計9種類とした。実際に使用した物体は以下の通りである。

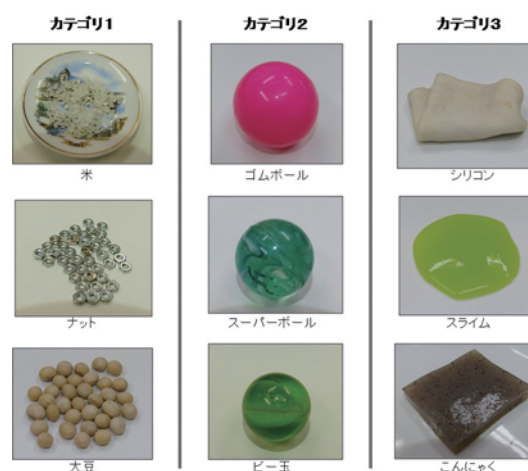


図4 本研究の概要

実験方法は、ある再生速度においてランダムに衝突振動を提示し、最もイメージに合うと思った物体を選択するというものとした。再生速度は伸長時で1/3倍、1/10倍、1/30倍、収縮時で3倍、10倍、30倍、基準速度1倍の7通りとし、各再生速度に対して物体の触覚提示それぞれ5回ずつランダムに提示した。被験者は20代男性10名であった。

実験結果を表1、2に示す。

表1より、基準となる1倍時と比較して他の倍率の方が高い正答率となる場合が存在することが分かった。また、似通ったカテゴリの物体は正答率の変化に近いことも分かった。次に表2より、カテゴリ別の正答率を見ていくと、カテゴリ1では1/10倍再生時、カテゴリ2では1倍時、カテゴリ3では3倍時がそれぞれ最も正答率が高かった。以上から、物性によって最適が再生倍率で触覚情報を提示することで、実

表1 平均正答率(物体別)

1:米 2:ナット 3:大豆
4:ゴムボール 5:スーパーボール 6:ビー玉
7:スライム 8:シリコン 9:こんにゃく

		再生速度の倍率						
		1	1/3	1/10	1/30	3	10	30
対象物体	1 (%)	50	60	65	50	31	20	10
	2 (%)	23	30	50	23	20	15	13
	3 (%)	35	25	43	40	17	14	20
	4 (%)	40	43	25	35	35	21	23
	5 (%)	28	23	33	20	38	26	18
	6 (%)	30	18	25	18	32	21	11
	7 (%)	33	38	18	25	52	53	46
	8 (%)	48	35	28	23	50	55	39
	9 (%)	38	40	43	10	56	34	22
平均 (%)		33	35	37	27	33	27	23

表2 平均正答率 (カテゴリ別)

		カテゴリ 1 (%)	カテゴリ 2 (%)	カテゴリ 3 (%)
再生速度の倍率	1	36	33	39
	1/3	38	28	38
	1/10	53	28	29
	1/30	38	24	19
	3	23	32	51
	10	16	23	47
	30	14	17	36

時間での判別が難しいことが判別しやすくなるというアシスト効果が認められた。

能動触に対応した装置の実装

我々が触覚情報を取得する際には、能動触（触る）と受動触（触られる）という2つの条件が存在し、それぞれ触知覚特性に相違点が存在することは既に明らかになっている。そこで、これまで行っていなかった能動触における知覚特性を検証するため、新たに記録・再生装置を設計・実装した。

記録側では、加速度センサを爪上に装着し、なぞり動作時における指の振動を記録することとした。また、マイクロフォンを別途取付け、加速度センサでは記録しきれない情報があれば利用することとした（図5）。

提示側では、爪上に振動子を取付け、なぞり動作時に振動させることで指腹側に振動を知覚するという錯覚現象を用いた提示手法を用いた

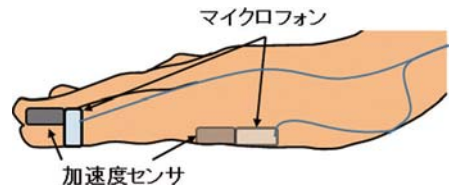


図5 能動触用記録装置

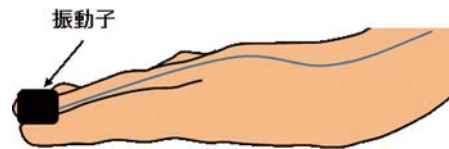


図6 能動触用記録装置

（図6）。本錯覚現象を用いることにより、指での作業を邪魔せず、必要な触覚情報を重畳提示することが出来る。

また、手のなぞり動作は、モーションキャプチャシステムで記録した。

実際に製作した装置を図7に示す。

本装置は、小型振動子、加速度センサ、小型アンプ、マイク、バッテリー、無線通信モジュールで構成されている。本装置は記録と提示両方に対応している。記録時は、加速度センサとマイクを有線で接続し、モーションキャプチャシステムによる腕や手の軌跡と同時に記録した。提示時は、腕の自由な動作に対応するため、無線通信によって振動波形を送る仕様とした。無線の場合は時間遅れが問題となるが、aptX Low Latency 技術を採用することで、概ね 40 ms 以下の時間遅延に収めることを可能とした。振動生成のための波形は音声ファイル

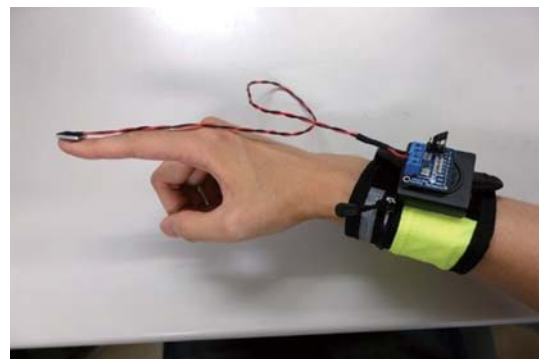


図7 製作した装置

として PC から出力した。出力の流れは以下の通りである。

- ・ なぞり時の腕の速度と振動情報を記録
- ・ 提示装置を装着して滑らかな面をなぞる
- ・ 腕の速度に対応して再生倍率を変更された振動情報を提示する。

本システムを複数の被験者に体験して頂いた結果、腕の動作に合わせてリアルタイムに再生速度が変化するため、触覚情報を判別しやすい再生倍率に合わせることが容易になったという意見がほぼ全ての被験者からあった。そこで、予備実験としてなぞり時の触覚情報をなぞらずに知覚させた場合と比較させてみたところ、運動という手がかりが追加されたことによる判別率への影響は今のところ無かった。

最後に、本研究成果を筑波大学の専攻公開でデモ発表し、多くの方に提案手法について体験して貰う機会を設けた（図 8）。

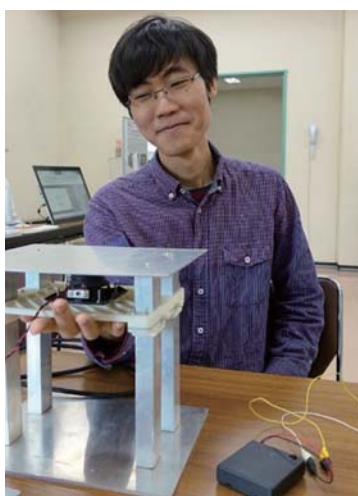


図 8 デモ発表での体験風景

[今後の研究の方向, 課題]

本研究において、触覚情報を時間伸張/縮小させ、人間にとって分かりやすい触覚情報にすることで様々な物性や物理現象への判断・理解をアシストする手法を提案した。本研究機関では、実際に触覚情報を時間伸縮提示することで物性が判別しやすくなることを示した。また、能動触にも対応したシステムを製作し、提案手法の使い勝手を向上させることが出来た。今後は、本研究機関では見つけることが出来なかった能動触と受動触による違いについて、より詳細な比較を行なうと共に、実用化に向けて実際の作業現場での使用実験を行いたいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

筑波大学大学院知能機能システム専攻・専攻公開にてデモ発表, 2016/5/7, 2016/6/4.
第 17 回 SICE SI2016 にて発表予定.

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

Impairment of internal representation of tool dynamics by task-specific focal dystonia

2151031

研究代表者
(助成金受領者)

上智大学 理工学部

准教授

古屋 晋一

共同研究者

ハノーファー音楽演劇大学

教授

Eckart Altenmuller

[研究の目的]

人間は、進化に伴い、巧みに道具を使用する能力を獲得し、産業の発展や、文化の醸成を実現してきた。ハンマーやナイフといった原始的な道具から、楽器や手術支援ロボットといった高度な機械に至るまで、様々な道具を人間は訓練を通して使いこなすことができる。その背景には、道具の大きさや形状、重さや慣性モーメントといった物理特性を脳内に記憶する機構（内部モデル）の存在が知られている（Kawato 1999）。内部モデルは、ある道具を用いて思い通りの動きを実現するために必要な脳信号（運動指令）を計算する脳内機構である。

道具の習熟の過程で、過剰な訓練を行うと、特定の身体部位が震える振戦や、筋肉が意図せず収縮する局所性ジストニア（以下、FD：図1）といった脳神経疾患を発症する。これらは、人間と機械（道具）の調和を妨げる疾患であり、外科医がメスを使用する際や、ゴルファーのパッティング、音楽家が楽器を演奏する際に症状が現れる。しかし、訓練を積んでいない課題を行う際には、症状を発症しない。この症状の「道具特異性」の神経機序を明らかにすることは、道具の巧みな操作を実現する脳情報処理の仕組みを解明する上で不可欠である。

本研究は、FDの課題特異性が、道具の内部モデル表現の異常によるものであると仮説立て、当該仮説を検証するため、運動適応実験と生体情報計測を用いる。対象とするFDの患者群として、音楽家を選択した。その理由は、書痙をはじめとするFDの発症率に対して、音楽家のFDの発症率が非常に高いことが挙げられる。次に、内部モデルを調べるための実験系として、ピアノの鍵盤に外力を印加するシステムを構築する。適応実験では、鍵盤に外力を印加し、被験者が適応した後、外力を切ることで現れる事後効果から、内部モデルを評価する。

本研究では、力覚インターフェースを鍵盤と接合する実験装置を作成し、通常より重い鍵盤を一定回数打鍵した後、重さを元に戻す。事後効果を評価するため、指先が鍵盤に発揮する力を各指で計測するセンサーを開発した。本研究



図1 局所性ジストニア(FD)

を通して、FD が道具の内部モデルに及ぼす影響を明らかにすることを目指す。

〔研究の内容、成果〕

〈手法〉

健常なピアニスト 6 名および右手示指に FD を患ったピアニスト 6 名に、短い音列を右手で弾いてもらった。本実験は、「プレテスト」、「力場適応」、「ポストテスト」の順に行った。

被験者は、ピアノが自動生成するメロディ（ターゲット音刺激）を聴取し、同じテンポと同じ音量でその音列を演奏する（図 2）。これを 1 試行とし、プレテスト、力場適応、ポストテストのそれぞれにおいて、50 試行ずつ行う（計 150 試行）。課題は全て右手で行い、各試行終了の 5 秒後に、次の音刺激が提示される。打鍵間隔は 250 ミリ秒とする。



図2 実験課題（1 試行）

力場適応時の 50 試行に限定して、示指による打鍵時にのみ、打鍵に抗する力場を鍵盤に印加する（図 3）。即ち、示指では、ターゲットの音量を生成するためには、通常以上の力を発揮する必要がある。50 試行の力場適応を行った後、ポストテスト時には外力の印加を切る。すると、ターゲットの音量を生成するために必要な力以上の打鍵力の発揮が期待される（＝事後効果）。なお、鍵盤に印加する外力の大きさは、2 ニュートンとする（※通常、鍵盤は 0.6 ニュートンの力で下降する）。

〈計測〉

データグローブ（CyberGlove。旭エレクトロニクス社）を用いて、手指の関節運動の時系列データを計測した。当初、手指の筋活動計測を計画していたが、プレ実験の結果、手指の内在筋の筋活動を表面筋電図によって精度良く計測できなかったため、手指の動作計測に研究計画を変更した。また、打鍵時の発揮力を、力センサーを用いて計測した（最先端研究開発支援センター）。さらに、ピアノから打鍵のタイミングおよび鍵盤の下降速度（音量）を MIDI 情報として計測した。

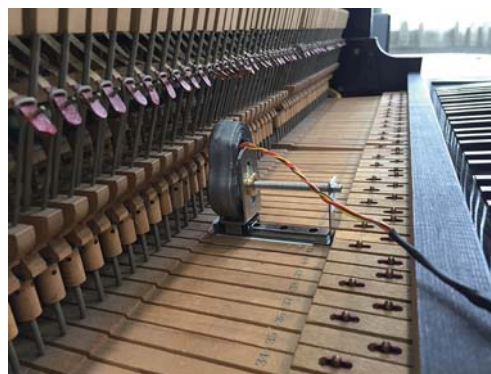


図3 力場生成システム

〈解析・統計〉

各指において、プレテスト、力場適応、ポストテストの各試行において、①打鍵間間隔（打鍵と次の打鍵の時間間隔）、②離鍵間隔（鍵盤が指から離れる時刻の連続打鍵間の時間間隔）、③打鍵力を評価した。「試行」と「群」を独立変数とした混合デザインによる二要因の分散分析（Mixed-design ANOVA）を行い、多重比較は Benjamini & Hochberg の方法を用いて行った。

〈結果〉

プレテスト、力場適応、ポストテストのそれぞれ初めの 5 打鍵のグループ内平均を示す。図 4 は健常ピアニストおよび FD を罹患したピアニストの打鍵間隔の結果を示す。全ての打鍵に

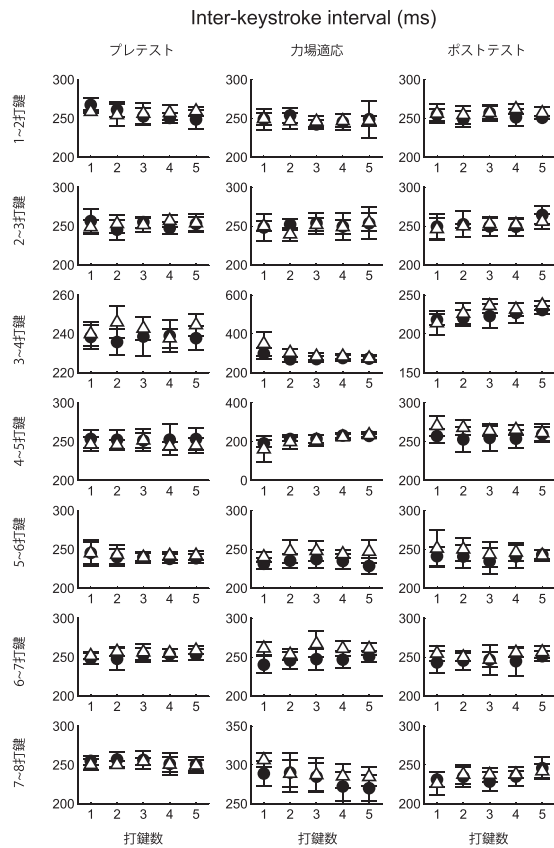


図4 打鍵間隔

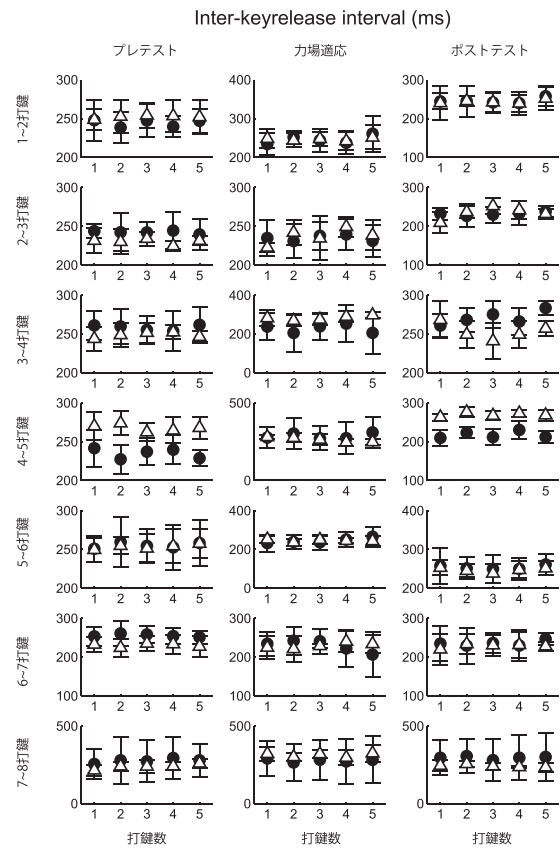


図5 離鍵間隔

において、群間の有意差は認められなかった ($p>0.05$)。

図5は健常ピアニストおよびFDを罹患したピアニストの離鍵間隔の結果を示す。プレテストおよびポストテストでは、4～5打鍵の離鍵間隔において、全ての試行で群間の有意差が認められた ($p<0.05$)。即ち、FD患者の方が、健常ピアニストよりも、離鍵間隔が有意に短かった。しかし、力場適応時には、全ての試行および全ての打鍵において、打鍵の離鍵間隔の群間の有意差は認められなかった ($p>0.05$)。したがって、力場印加中のみ、罹患指による打鍵(4打鍵目)の離鍵間隔の群間差が消失することが明らかとなった。

図6は健常ピアニストおよびFDを罹患したピアニストの打鍵力の結果を示す。分散分析の結果、全ての打鍵において、群間の有意差は認められなかった ($p>0.05$)。

〈考察〉

FD患者は健常者に比べて、離鍵間隔が短かった。しかし、力場を印加した鍵盤を打鍵する時のみ、患者と健常者の間の差が消失した。ある鍵盤を打鍵する際、鍵盤の力学情報を考慮に入れて、脳は筋に運動指令を出力する計算機構を備えている(内部モデル)。内部モデルの処理異常が、通常打鍵時の動作異常と関連があるとすると、力学特徴の異なる力場印加時の鍵盤を打鍵する際には、FDの影響を受けていないために、症状が一時的に消失して正常な打鍵が可能になると考えられる。そのため、本研究結果は、FD患者の内部モデル異常を示唆する結果と考えられる。

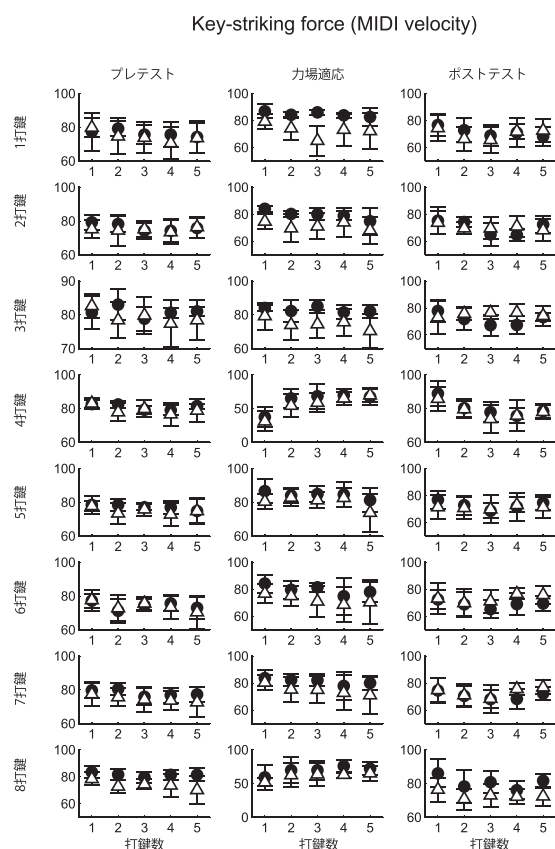


図6 打鍵力

[今後の研究の方向, 課題]

当該研究は、被験者数が不十分であるプレリミナリーな結果であるため、大規模数の被験者を対象とした心理物理実験を行う。その際、非侵襲脳刺激や脳波計測といった神経生理学的計測を行い、当該行動実験では明らかにすることが困難であった脳内情報処理の生理学的機序についての理解を深めることを目指す。

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

Development of Brain-Machine Interface without dependence on EEG sensor position errors

2151035



研究代表者

富山県立大学

講師

森 重 健 一

【研究の目的】

本研究の目的は、脳波ヘッドキャップを毎日被り直しても、短時間で精度よく脳活動を解読できるブレイン・マシン・インタフェース(BMI)を開発することである。脳波を異なる日に計測する際、頭皮表面のまったく同じ位置に電極を取り付けることは困難であり、電極の位置ずれは避けられない。そのため、これまでのBMIでは、電極を頭に取り付けるたびに、脳活動の解読器を計算し直していた。この計算には長い時間を要するため、インタフェースとして毎日使い続けるには大きな障害であった。研究代表者らは、位置ずれがあっても、精度良く短時間で脳活動を解読する方法を開発することで、毎日使い続けられるBMIを実現することを目指す。

【研究の内容, 成果】

研究代表者らは、これまで、電極の位置ずれが無い条件下で、被験者の脳内時系列情報を脳波とfMRIデータを用いて復元することを行ってきた。具体的には、被験者が実験課題を行っているときの脳波とfMRIデータを計測し、脳波逆問題を解くことによって、脳波の発生源である脳電流と複数のノイズ源の電流に変換する。得られた脳電流から、実験課題に関する電流源のみを選び、機械学習を用いて時系列信号を

再構成する。そのことによって、被験者が「何をやっているのか」という脳内時系列情報を再構成してきた。

しかし、脳波ヘッドキャップを毎日繰り返し装着する場合は、電極の位置ずれを避けることができない。そのような、電極の位置ずれがある条件下で、脳内時系列情報を短い計算時間で脳波とfMRIデータから復元する。異なる日に同一のタスクを行っているときの脳波を記録する際、電極を貼付ける位置はわずかに異なるが、脳活動そのものは同じであることが期待される。そのため、脳と複数のノイズ源と電極の位置関係(リードフィールド行列)のみを計算し直すことで、脳波データを脳電流と複数のノイズ源の電流に短時間で変換することが可能である。さらに、1のスパース推定によって選ばれた場所と同じ電流源の電流を用いることで「どの方向に注意を向けているか」という情報を再構成することを行った。

1. 方法

10人の被験者がEEGおよびfMRI実験の両方に参加した。実験に先立って、被験者には実験内容についての説明を行い、書面による同意を得た上で実験を行った。本実験は富山県立大学の研究倫理委員会、および株式会社国際電気通信基礎技術研究所の安全委員会の承認を得て行われた。

実験課題として、被験者には目の前に提示さ

れた白い点を眼でゆっくりと追いかけて視覚的注意を向け続ける課題を遂行してもらい、脳の中で起こる神経活動に伴って生じる血流変化、および実験課題遂行中に生じる頭皮表面の電気的な変化を記録した（図1）。

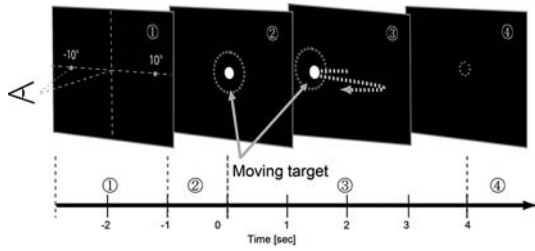


図1 実験課題の流れ

観測される電位は、左右の眼球に由来する複数のノイズ源に大きく歪められている。申請者らは、脳波・脳磁図データを脳電流と複数ノイズ源電流に一度に変換する方法を見だし、眼球運動や心拍ノイズに乱されたデータであっても、ノイズを分離し脳電流のみを抽出した（Morishige et al. *NeuroImage* 2014）。脳電流だけでなく歪みの原因である複数のノイズ源の電流も同時に計算することで、歪んだ脳波から歪みの無い脳活動を取り出した。

被験者の視覚的注意を反映した脳電流が得られることで、その脳電流から「どの方向に注意を向けているか」という情報を復元することが可能である。そこで抽出した脳電流から「どの方向に注意を向けているか」という情報を再構成する。

推定した皮質電流から視標速度の時系列データを再構成する際に、スパース推定方を用いた。具体的には以下の回帰式（1）を用いた。

$$v(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{D_{au}} w_{ij} J_i(t - j * \text{Tau}) + w_0. \quad (1)$$

ここで、 v は視標の速度、 w は重み係数、 j は推定された皮質電流、 T_{au} は脳活動の視標運動の時間遅れ、 D_{au} は次元の数、 w_0 は残差、 N は皮質表面に配置したダイポールの数を表す。

解析に用いる全試行を10分割し、そのうち

の9つをトレーニングデータとし、残りをテストデータとするクロスバリデーションを行った。

1日目に推定した皮質電流と2日目に推定した皮質電流の誤差を計算するため、次式を用いた。

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^T (\bar{J}_{Day2,i}(t) - \bar{J}_{Day1,i}(t)). \quad (2)$$

ここで、 $\bar{J}_{Day1}$ と $\bar{J}_{Day2}$ はそれぞれ1日目と2日目の皮質電流の試行平均値を表す。

2. 結果

2.1 電極の位置ずれの大きさ

最初に、EEG センサの位置ずれがどのくらい生じているか調べた。

3日分のセンサ位置にはずれがあり、1日目を基準として距離を計算したところ、2日目は 1.06 ± 0.43 [cm] であった（図2）。

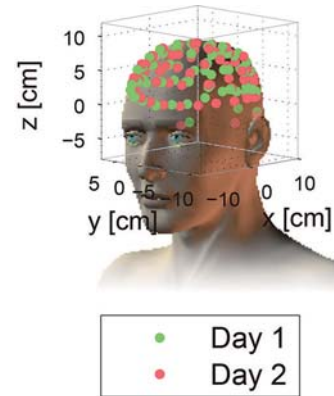


図2 1日目と2日目に計測した EEG センサの位置ずれの比較

2.2 皮質電流の誤差

計測した EEG データから皮質電流を計算し、式（2）を用いて誤差の指標を計算した。位置ずれがない場合に比べて、位置ずれがある場合は推定電流の誤差が大きかった。また、その大きさは、センサ位置のずれの大きさと対応していた。

それに対して、提案手法（generalized inverse filter）を用いた場合、誤差は位置ずれがない場合と同じレベルであり、日による違いは小さかった（図3）。

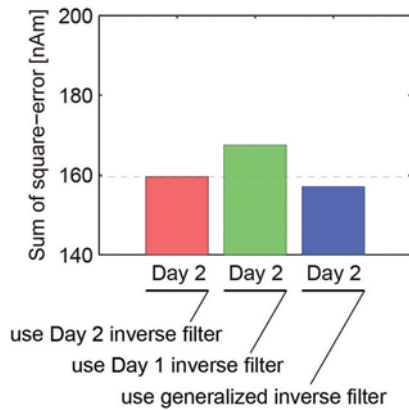


図3 推定電流の誤差（皮質電流）

2.3 眼電流の誤差

計測した EEG データから眼電流を計算し、式 (2) を用いて誤差の指標を計算した。

位置ずれがある場合は推定誤差が大きかった。それに対して、提案手法を用いた場合は、位置ずれが無い場合と同程度の誤差だった (図 4)。

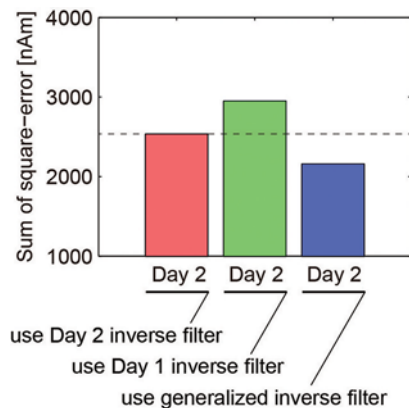


図4 推定電流の誤差（眼電流）

2.4 視標速度の再構成

得られた脳電流から、実験課題に関する電流源のみを選び、スパース推定を用いて時系列信号を再構成する。そのことによって、被験者が「何をやっているのか」という脳内時系列情報を再構成した。その結果、よく再構成することができた ([Day 1] 決定係数: 0.88, 相関係数: 0.94, [Day 2] 決定係数: 0.91, 相関係数: 0.96)。

提案手法を用いて再構成した場合も、その特徴をよく再構成できた。([Day 1 の電流分散を再利用して Day 2 の視標速度を再構成] 相関係数: 0.96)。しかし、振幅に関しては十分に再構成することができなかった (決定係数: 0.07)。この点に関しては、今後の課題として取り組んでいく必要がある。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、電極の位置ずれがある脳波データから、短時間で精度良く脳活動のみを抽出する方法を提案し、実データを用いて検証した。研究代表者等が提案するノイズ除去手法と1日目の脳活動情報（電流分散）を2日目に再利用する方法を組み合わせることで、実現可能であることを示した。今後は様々なデータで提案手法の検証を行い、振幅の大きさも再現できるように改良した上で、実用化を目指す。

[成果の発表, 論文等]

1. Ken-ichi Morishige, Nobuo Hiroe, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, "Evaluation of artifact removal method using measured EEG data during overt/covert visual pursuit tasks," 第38回日本神経科学大会 (Neuroscience2015), 神戸国際会議場 (神戸市), 2015年7月.
2. Tomoki Ishikawa, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, Ken-ichi Morishige, "Reconstructing two-dimensional visual target trajectories from EEG cortical currents during smooth pursuit eye movements," 第38回日本神経科学大会 (Neuroscience2015), 神戸国際会議場 (神戸市), 2015年7月.
3. Ken-ichi Morishige, Takaki Kikuchi, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, "Evaluation of EEG denoising method based on generalized invers filter for sensor position errors on different days," 第39回日本神経科学大会 (Neuroscience2016), パシフィコ横浜 (横浜市), 2016年7月.
4. Ken-ichi Morishige, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, "EEG denoising and decoding of smooth pursuit eye movements by using Extra-Dipole Method," 46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016). (発表確定)

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

Development of All Round Two- Wheeled Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with
Automatic Battery Exchanging Device for Long-hour Remote Watching System

2151037



研究代表者

名古屋工業大学大学院

教授

山田 学

〔研究の目的〕

近年、ドローンと呼ばれる無人飛行ロボット (UAV) が数多く開発され、空撮などに利用されている。しかし従来の UAV は飛行しかできないため、障害物の少ない屋外に限定されている。本研究代表者は、既存の任意の飛行体を空陸水で万能化する車輪型ドローンを発明した。この発明は飛行体に車輪型保護フレームを取付けるだけで空陸水の移動や壁も天井も走行できる画期的な装置である。本研究の目的は、屋内での子供や高齢者の見守りサービスロボットへの応用を目標とした実用化研究であり、具体的な研究課題は以下である。

- 1) 屋内用小型の車輪型ドローンの開発：
屋内で手軽に利用できるように、全長 25 cm 程度（従来機は 60 cm 以上）に小型化する。
- 2) 自動電池交換装置の開発：
長時間の見守りを可能にするため確実に電池交換を実施できる自動システムを開発する。
- 3) 自動制御システムの開発と実験実証：
空中・陸上等、どこでも移動でき、位置精度 10 cm 以内を達成する自動制御システムを開発する。

〔研究の内容、成果〕

1. 屋内用小型車輪型ドローンの開発

本章では、飛行ロボット（ドローン）を用いた新しい空陸両用ロボットを提案する。

提案する装置は図1のとおりである。図1の(1)は空陸で使用したい飛行体（この図ではクアドロータヘリコプタであるが、他の飛行体でも可能）であり、(4)と(5)はそれぞれ左右2つの独立なプロテクトフレーム、(2)は飛行体とフレームを連結する軸、(3)は(2)の軸を支える軸受、(6)は重りである。左右2つのプロテクトフレームは、(1)の飛行体を立体的にカバーすると同時に、(3)の軸受により自由回転するため、フレームのみ転がりながら地上を走行できる。しかも左右のプロテクトフレームは、独立に回転できるため、二輪車のよ

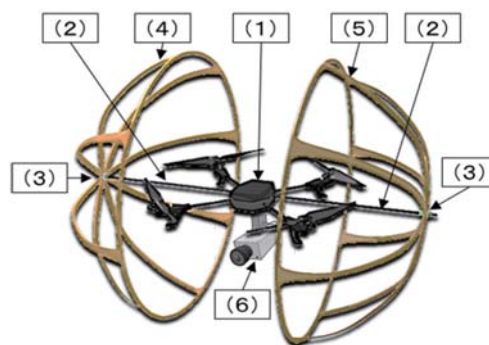


図1 屋内用車輪型ドローン (1) 飛行体 (任意), (2) 固定軸, (3) 回転部 (ベアリング), (4) (5) 受動回転する保護フレーム, (6) カメラ

うに、直進や回転運動も容易で、(1)の飛行体の推力のみで、全方位走行可能である。(6)の重りは、着陸時や墜落時を含め、いかなる姿勢で着陸しても、無推力時に地表面の形状とは無関係に飛行体を真上に向かせ、自動的に発射時に都合のよい姿勢に落ち着かせる働きをする。

製作した飛行ロボットは、風のない屋内用に設計することで、全長30[cm]の小型化を達成し、大幅に小型化できた。機体フレームはカーボンとアルミ角管を組み合わせることで、軽量化と冷却性を両立させた。車輪はテクセルとカーボンを組み合わせることで、軽量であるだけでなく柔軟性と剛性をあわせもち、人に衝突しても安全な設計とした。

2. 自動バッテリー交換装置の開発 [1]

一般的なドローンはリチウムポリマーバッテリーで駆動するが、稼働率が悪く稼働可能な時間がおおよそ10分程度なのに対してバッテリーの充電にはおおよそ90分もかかってしまうという問題があった。この問題点を解決するため、自動でバッテリーを交換できる装置を提案する。この装置は、複数バッテリーの充電と、そのバッテリーと機体のバッテリーとの交換を自動で行えるもので、充電の時間を省けるため長時間の継続的な稼働が可能になるシステムである。図2は開発した装置を示す。図3のように充電可能なバッテリー置き場とガイドレールをもち、車輪型ドローンの車輪がガイドに沿って入り、スイッチに車

輪が乗るとバッテリーの交換が自動で開始される。図4に示すように、バッテリー交換の手順は、まずアームが上下移動して空のバッテリーを4ロータから取り外してバッテリー置き場に置くと、回転テーブルが回転し、充電された新たなバッテリーを取り付け部まで移動する。アームが再度上下し、充電されたバッテリーをとりつけるという流れでバッテリーの交換を自動で行うことができる。図5と図6に示すように、バッテリーを覆う

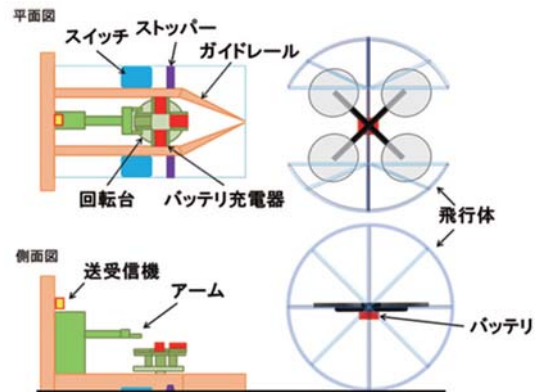


図3 自動バッテリー交換装置の見取り図

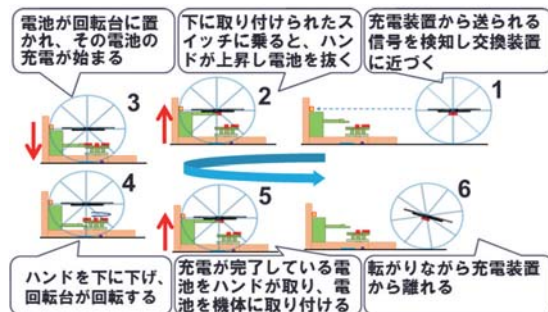


図4 自動バッテリー交換システムの手順

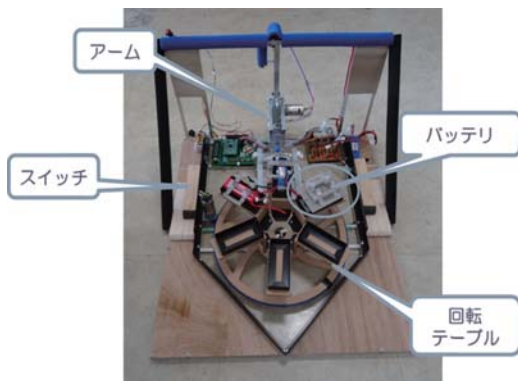


図2 開発した自動バッテリー交換装置

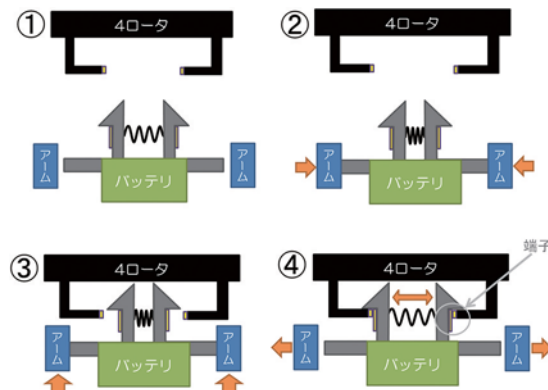


図5 自動バッテリー取り付けの手順

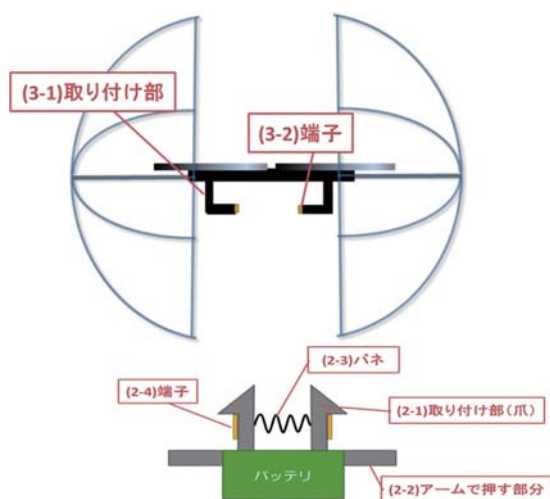


図6 バッテリーボックスと機体の取付け機構

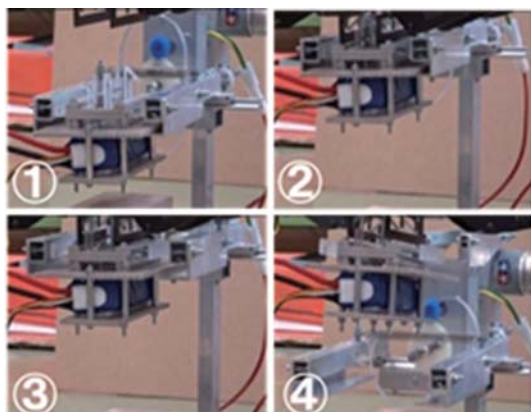


図7 自動バッテリー交換の実証実験

バッテリーボックスには爪が取り付けられており、アームによってこの爪の間隔を広げたり縮めたりして機体の取り付け部に引っ掛けるようにして装着させることで、アームによる取り付け、取り外しが簡単になるような仕組みになっている。この爪には端子が取り付けられており、バッテリーの電力をモータに送る役目を担っている。図7は自動バッテリー交換実験の様子であり、バッテリーボックスが取り付け様子の連続写真を示しており、確実に自動バッテリー交換できることを実験で実証した。

3. 自動制御システムの開発と実験実証

本章では、車輪型ドローンの自動制御システムの開発と飛行実験による性能評価を行った。

本研究の自動制御の難しさは、制御対象（車輪型ドローン）が通常のドローンと異なり、飛行だけでなく地上・壁面を接触しながら移動することである。この点を解決するため、線形化手法を応用し、制御目標（追従偏差 10 cm 以内）を達成する自動制御コントローラを製作した。制御法の詳細は文献 [2, 3] を参照されたい。

まず、地上走行実験を行った。図1の飛行体のプロペラにより推力を与え、進みたい方向に傾ければ、車輪型ドローンは、左右2つのフレームが車輪の役割を果たすため、車輪のみが転がりながら地上走行する。また飛行体にヨー方向の力を与えれば、左右のフレームがお互い反対向きに回転して、車輪型ドローン全体が自由に姿勢を変え、任意の希望の方向に転がりながら移動できる。図8と図9は地上走行実験の結果を示す。地上座標 $(x, y) = (-1350, 100)$ からスタートし、 x - y 平面上を自動操縦で巧みに前・後進を切返し、目標の原点に到達しており、制御目標（追従偏差 10 cm 以内）の達成を実証した。

つぎに、飛行実験を行った。実験は希望の高さまで上昇し、一定時間ホバーリング（高度維持）をした後、着陸させる動作を行った。実験結果を図10と図11に示す。図10のように、機体は目標の高さ 900[mm] 付近で約 10 秒間高度維持し、その後安全に着陸した。図11から、飛行中のロール角は $\pm 5^\circ$ の範囲に収まっており、安定な飛行性能を達成していることがわかる。

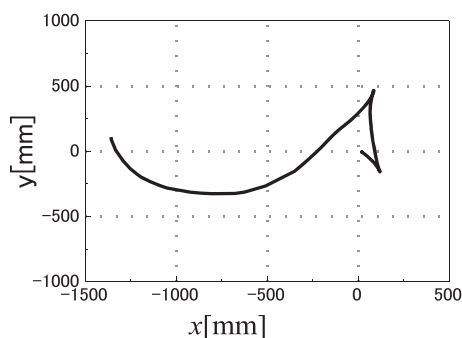


図8 地上での制御実験の結果（軌跡）

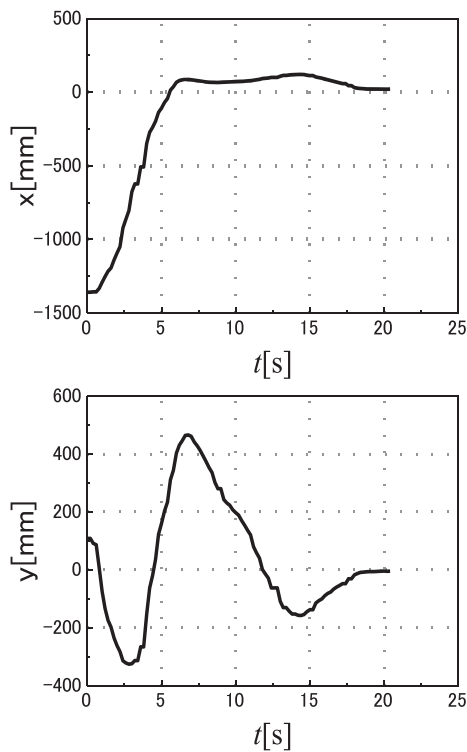


図9 地上での制御実験の結果（時間応答）

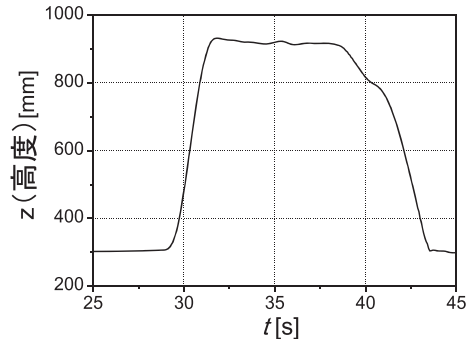


図10 飛行実験結果（機体の高度）

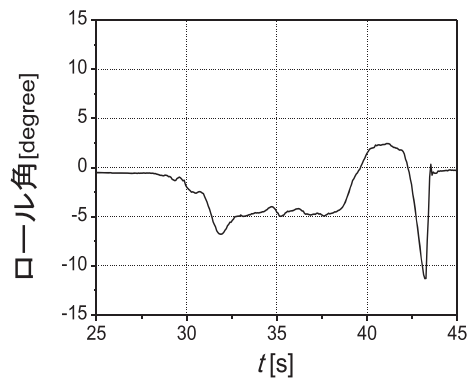


図11 飛行実験結果（機体の姿勢）

〔今後の研究の方向性，課題〕

本論文では車輪型ドローンを小型化し，地上・空中飛行実験を行い，自動バッテリー交換装置を製作した。今後は，子供や高齢者の見守りサービスロボットへの応用のため，より小型・軽量化し，自動制御装置も天井や階段など，屋内どこでも高精度な位置制御できる機能への拡張や静音・安全機構の開発が必要である。

〔学会発表と学会賞〕

- [1] 大塚真生，小澤愛，高橋七奈，朽名佑太，山田学，“空陸水万能な2輪型4ロータヘリコプタ”，ROBOMECH2015 in Kyoto 講演論文集，2015. 日本機械学会「若手優秀講演フェロー賞」受賞
- [2] 井藤光博，朽名佑太，山田学，“斜面走行時における2輪走行型飛行ロボットの適応制御”，第14回「運動と振動の制御」シンポジウム論文集，pp. 78-81，2015.
- [3] 井藤光博，朽名佑太，山田学，“地上走行時における2輪走行型飛行ロボットの適応制御”，第3回制御部門マルチシンポジウム論文集，Paper No. PS-30，2016.

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

Development of screening system for knee osteoarthritis using an in-shoe device

2157001



研究代表者 (助成金受領者)	お茶の水女子大学大学院	博士後期課程	安 在 絵 美
共同研究者	東京医療保健大学	教 授	山 下 和 彦
共同研究者	お茶の水女子大学大学院	教 授	太 田 裕 治

[研究の目的]

変形性膝関節症は、膝関節軟骨がすり減ることと痛みが発生し、重度になると歩行困難となる。国内における大規模縦断的疫学調査によると変形性膝関節症の有病率は40歳以上の男性で42%、女性で61.5%と概算されており、患者数は2530万人（このうち有症状有病者数は約800万人）と推定されている。潜在的患者を含めた有病者数は非常に多く、予防対策が急務である。一方で、変形性膝関節症の診断・評価は、X線による医学的指標によるため、すでに痛みを有する対象者のみの適用となることから、地域で適用可能なスクリーニング指標が求められる。

変形性膝関節症のリスク（重症化）を高める因子として、バイオメカニクスの観点では、歩行時における過剰な膝への力学的負荷が関連することが示唆されている。本研究では、膝と運動連鎖の関係にある足部構造に着目し、変形性膝関節症の重症度との関連を検討することで、足部の解剖学的構造まで踏み込んだ変形性膝関節症のリスクスクリーニング指標を構築する。

[研究の内容、成果]

研究概要

変形性膝関節症の多くを占める内側型変形性膝関節症（Medial Knee Osteoarthritis, 以下KOAとする）では膝の内反変形が見られ、床反力ベクトルに対するレバーアームが増加する。歩行立脚期（接地～離床）においては、急激な膝の外転によるlateral thrustが発生する。このような膝への力学的負荷はさらなるKOA進行や疼痛につながる。そのため、力学的負荷による疼痛を減少させるために、足部の運動軸を変えることで代償を行う。特にKOAを持つ対象者では健常者に比べて、足部を回内させ、COPを内側に移動させる歩行パターンを示すことが報告されている。また、この代償運動は長期的な足部変形につながることから、足部の後足部の外反変形が見られるといった報告もある[Riegger K C *et al.* 1996]。以上から、歩行中における足部の運動学的、力学的作用は変形性膝関節症の症状や重症度と密接に関連すると思われる。

本研究では、膝と足部の運動連鎖のメカニズムの観点から、静的および動的な足底圧力および足部構造に着目し、足部・歩行機能評価を行った。

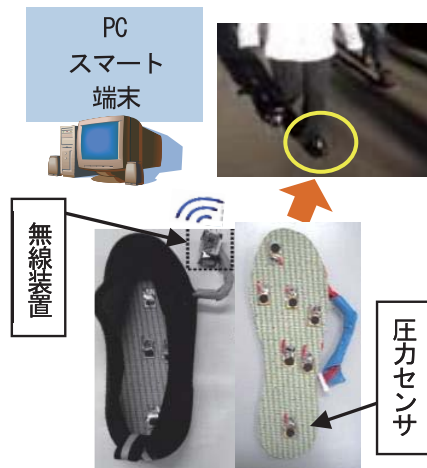


図1 靴型足底圧計測システム

研究方法

1. 靴型足底圧計測システムの製作

我々は、これまでに図1に示した靴型足底圧計測システムの開発を進めてきた。本装置は片足7点の圧力センサを靴のインソールに設置し、解剖学的な足部構造に基づいた歩行機能評価が可能となるよう構成している。そして、本デバイスのセンサの相対位置から両足14点および片足7点のセンサ信号に基づく足底圧中心（CoP）の導出が可能である。本装置から得られるCoPは、従来の測定装置と比較して十分な相関が認められている。

加えて、計測は無線（通信方式：Bluetooth、通信距離：約50m、サンプリング周波数：100Hz）方式であるため、日常的環境下、あるいは多くの高齢者が集まる教室等でも歩行機能測定が可能である [Anzai E *et al.* 2014]。本研究では、変形性膝関節症のスクリーニングシステムとして応用することとした。

2. 変形性膝関節症患者の臨床実験

本実験では、KOA患者を対象に1で開発・製作した靴型足底圧計測システムを用いて足底部・歩行機能を測定し、KOA重症度と関連のあるパラメータを検討する。

対象者は、KOAと診断されている27名（平均年齢：73.0±6.9歳、56～85歳）とした。参

加者は事前の説明を受け、同意を得ている。本研究は倫理委員会の承認を受けて行った。

重症度を把握するため、全ての対象者は立位X線画像検査（下腿部、大腿部、膝関節部、下肢全体における前額面での撮影）により大腿脛骨角（Femoro Tibial Angle: FTA）を測定した。FTAは膝の内反変形の程度を示し、170～176度が正常範囲であり、それより低い値は外反膝、高い値は内反膝である。また、Kellgren-Lawrence（K-L）分類による重症度判定も行った。本指標はFTAと同様、単純X線画像から関節部の狭小化および骨棘形成の程度を観察し、グレード0～4に分類される。グレード2以上がKOA（グレード2：軽度、グレード3：中等度、グレード4：重度）と診断される。

足部・歩行測定では、靴型足底圧計測システムを用いて10m往復歩行における足底圧、CoPの測定および立位時の足底圧分布測定を行った。足部分析では、外反母趾、後足部回内外の有無の調査を行った。

分析では、①FTAに対する重回帰分析、②K-L分類に対する足部・歩行特徴分類を行った。①について、重症度の医学的指標であるFTAを従属変数とし、最小二乗法による重回帰分析を行った。②について、K-L分類の軽度、中度、重度者の足部・歩行機能の特徴を分類した。

3. フィールドテスト

2の臨床実験から得られた結果について、対照群を含めて比較検討する。

地域在住高齢者204名が本研究に参加した。対象者は独自で歩行可能な高齢者を対象とし、脳血管疾患等の麻痺や重度の心疾患者は含まなかった。対象者は、質問紙にてKOA診断歴の有無、手術経験の有無について回答した。本実験ではこれらの回答が得られたKOA群54名と対照群122名を対象に分析を行った。

測定では、2と同様、靴型足底圧計測システムを用いて10m往復歩行における足底圧およ

び CoP 測定, 立位時の足底圧分布測定を行った。

KOA 者と対照群を比較するため, KOA 群に対する対照群の年齢, 性別, 体重による多重ロジスティック分析を行った。マッチングでは, 多重ロジスティック分析後のプロペンシティスコアを用いて調整を行った。

成果

(I) 重症度 (FTA) と足部・歩行機能の関係

医学的重症度を示す指標の一つである FTA を従属変数としてステップワイズによる回帰分析を行った結果, 独立変数として, 歩行時の単脚支持期間 (Prediction Value (PV): 0.24, $p < 0.01$), 立脚時間 (PV: 0.02, $p < 0.05$), 立位時の中足部荷重割合 (PV: -0.40, $p < 0.05$) が挙げられた。つまり, 歩行時の単脚支持期間割合, 立脚時間, 立位時の中足部は FTA と独立して関連しており, 歩行機能, 足部特徴が KOA の重症度と関連していることが明らかとなった。

歩行時の立脚時間や単脚支持期間との関連は, 先行研究の結果と類似しており, 疾患による疼痛が本パラメータに影響したと考えられる。立位時中足部荷重は, 舟状骨の高さと関係しており, 重症度が高いほど, 回内足傾向を示していることが示唆された。先行研究においても, KOA は対照群と比較して足部の回内傾向を示し, 回内足変形が KOA の特徴の一つであり, 疾患による代償であることが報告されている。

KOA の重症度評価手法は, 一般的に X 線のような医学的手法や理学的検査などが用いられている。それに対し, 本研究の新しい発見として, 我々の重回帰モデルが医学的手法を用いることなく KOA 重症度を推定できることを明らかにした。

(II) 重症度 (K-L) 別の足部・歩行機能分類

足部分析では, ① 後足部外反, ② 外反母趾 (過剰な拇指荷重), ③ 歩行時過回外 (COP に

よる), ④ 歩行時過回内, ⑤ ハイアーチ, ⑥ 立位時足底圧の外側荷重に着目し, ①～⑥の有無によって下記に分類した。

A: ①+②+(③)

A+: ①+②+③+⑥

B: ④+⑥+(②)

C: ③+⑥

C+: ①+③+⑥

D: ③または⑥

その他: 上記に当てはまらない

上記の分類と重症度 (K-L 分類) の関連について図 2 に示した。結果より, 軽度 KOA では C, C+, D により当てはまり, 歩行時の過回外, 立位時の外側荷重を示した。軽度対象者の多くは罹患期間が少ないため, 後足部外反等の代償変形は少なく, 膝の内反変形あるいは lateral thrust の影響と考えられる歩行中過回外と, 足部内反に関連する外側荷重を示した。中にはすでに後足部外反変形が見られる対象者も含まれた。重度 KOA では A, A+, B がより多く見られた。A は図 3a のように, 後足部外反, 外反母趾が見られ, B では図 3b のように立位時外側荷重, 歩行時過回内が見られ, 対照

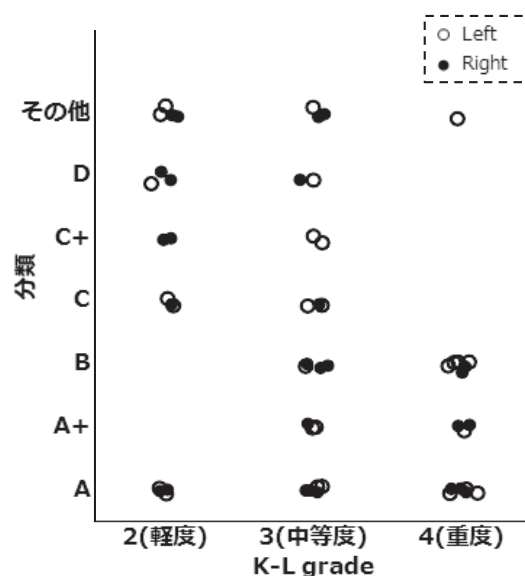
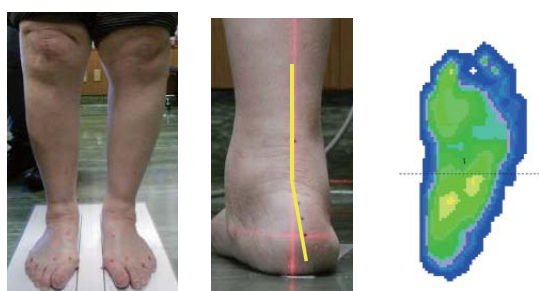


図2 重症度 (K-L 分類) 別の足部分類



(タイプ A：後足部外反変形，外反母趾)

図 3a 重度 KOA の足部



(タイプ B：足底部外側荷重，足部外転による回内歩行)

図 3b 重度 KOA の足部

的なタイプを示している。A では、KOA の特徴である内反膝を代償するために長期的に変形した状態を示していると考えられた。一方で、B は内反膝による直接的な影響（立位時外側荷重）を示しており、歩行時は足部を外転させるなどで COP を回内させるように代償運動を行っているものと考えられた。これらの違いは罹患期間の長さや足部靭帯・関節部の特性、可動域によって起こるものと推察された。前者は解剖学的に回内足等の足部変形には長い年月を要するため、疾患期間（疼痛期間）が足部の回内程度に関連している可能性がある。後者は、足部変形が距骨下関節や中足部関節、足首関節

の可動域に影響することが一部の先行研究で述べられている [Desai SS et al. 2007]。以上より、足部の変形しやすさや可動域について考慮する必要がある。

(Ⅲ) KOA 群と対照群の比較結果

地域在住高齢者 204 名を対象に、靴型足底圧計測システムを用いて測定を行った。本実験では、そのうちの計 176 名に対して多重ロジスティック分析を行いマッチングが得られた 40 名に対して比較を行った。

表 1 に年齢、性別、体重調整後の KOA 群と対照群の属性、歩行機能、足圧計測結果を示した。結果より、KOA 群は対照群と比較し、有意に歩行周期時間の増加、単脚支持期間割合の減少が見られた。また、立位時の足底圧については、KOA は中足部比率が大きい傾向があった。立位時の COP 総軌跡長には有意な差は確認されなかった。本結果は (I) で明らかにした足部・歩行パラメータと同様の結果であり、本パラメータを用いることで KOA を推定可能であることが示唆された。

また、本実験では重度の変形性膝関節症者を含め、計 204 名の対象者で靴型足底圧計測システムを用いた計測ができた。本研究で用いた手法は、先行研究により地域の中で大多数の被験者に対して有用であることが示されている [Nakajima K et al. 2014]。従って、地域の潜在的な患者に対して重症化予防のための早期発見が可能であると考えることが示唆された。

表 1 KOA 者と対照群における基礎データと立位歩行時の測定結果

		KOA	対照群	p value
年齢 (歳)		71.8±5.6	71.0±6.6	0.56
女性 (%)		(82.5)	(90)	0.33
BMI (kg/m ²)		23.2±3.2	22.4±2.8	0.27
(立位)	COP 総軌跡長 (45 秒間) (mm)	64.6±23.0	64.7±25.7	0.6
	中足部足底圧比率 (%)	9.9±8.0	6.7±4.3	0.03
(歩行)	立脚時間 (msec)	690.8±105.9	642.0±57.5	0.01
	立脚期に対する単脚期間 (%)	57.2±8.4	61.7±5.7	<0.01
	踵部最大圧力 (体重補正後) (N/kg)	0.31±0.1	0.33±0.1	0.51
	拇指部最大圧力 (体重補正後) (N/kg)	0.15±0.1	0.21±0.2	0.04

〔今後の研究の方向，課題〕

本研究で示唆された足部の代償変形に関するパラメータは重症度予測因子の一つの要素であり，足部と膝の運動連鎖の関係から重要な指標である。しかし，このような長期的な変形（後足部外反など）は疾患期間（疼痛期間）や距骨下関節や中足部関節，足首関節の可動域が関連していると考えられるため，我々の予測モデル

において，将来的に研究要素として含んで検討する必要がある。また，予測モデルの精度を高めるためにも縦断的調査が求められる。

〔成果の発表，論文等〕

安在絵美，山下和彦，太田裕治：靴型足圧測定システムによる変形性膝関節症の歩行機能評価，第54回日本生体医工学会大会，2015年5月7日－5月9日，名古屋，P3-3-18-E

「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 ——

Constructing Foundation for Quantitative Measurement of a Sense of “Being in Sync” :
an Approach Using Nonlinear Time-series Analyses

2157003



研究代表者 (助成金受領者)	東京大学大学院 総合文化研究科 博士後期課程	岡 野 真 裕
共同研究者	東京大学大学院 総合文化研究科 助 教	進 矢 正 宏
共同研究者	東京大学大学院 総合文化研究科 准 教 授	工 藤 和 俊

〔研究の目的〕

音楽のアンサンブルがよく整っていることは、しばしば「息が合っている」と表現される。しかし、演奏のどのような性質がこの「息が合っている」という感覚につながっているかは明らかでなく、定量的な測定も現在のところ不可能である。そのため、現状ではアンサンブル演奏の質の評価は、主観に頼るしかない。本研究の究極的な目標は『「息が合っている」状態を説明しうる変数を特定し、この状態を定量的に記述すること』である。この目標に向けた基礎的研究として、音楽演奏の時間的な協調という側面に着目し、2人組テンポ維持同期課題（後述）の実験の実施および解析を行った。

音楽演奏で要求される最も基礎的なスキルの一つとして、意図したテンポを維持することが挙げられる。この能力を評価する方法として、同期－継続課題がある。典型的な同期－継続課題では、最初にメトロノームで提示された目標テンポに合わせたタッピングを始め、途中でメトロノームが停止した後も、そのままのペースでタッピングを数分間続けることを求められる。この課題で目標テンポを維持し続けることは難

しく、タップ間隔（Inter Tap Interval: ITI）は通常 50～100 秒程度の長い周期で、目標テンポ（目標 ITI）の周りを動揺する。この課題を複数人で行った結果はこれまで報告されていなかったが、近年、様々な認知課題・運動課題で、単独で行う場合と2人組で行った場合でパフォーマンスに差が見られることが報告されていることから、テンポ維持のパフォーマンスも人数により変化する可能性が考えられた。そこで〈研究1〉では、この目標テンポ維持課題のパフォーマンスを、課題を単独で行った場合と、2人組で行った場合（2人組テンポ維持同期課題）とで比較した。

また、音楽の生演奏のテンポはランダムな揺らぎを伴うが、それでも演奏者は、タイミングを互いに同期することができる。〈研究2〉では、ITIがランダムに揺らぎながらも同期してタッピングを続ける2人のITIが、どのような相関構造を持っているかについて検討するため、〈研究1〉で得られた2人組テンポ維持同期課題のITI時系列に、非線形時系列解析の方法である Detrended Fluctuation Analysis（トレンド除去動揺解析：DFA）や、Detrended Cross-Correlation Analysis（トレンド除去相互相関解析：DCCA）を適用した。これらの方

法は、時系列の持つ $1/f$ ゆらぎや、長期相互相関といったダイナミクス構造を定量することができる。Rankin ら (2008) は、自然な抑揚の付いた演奏で、テンポのゆらぎが $1/f$ ゆらぎの構造を持つことを示した。また、Stephen ら (2008) は、ランダムな間隔のビートに対する同期タッピングで、ITI とビート間隔の揺らぎの複雑性が強く相関することを示した。さらに Hennig (2014) は、2 人の参加者による共同タッピング課題のビート間隔において、両参加者のビート間隔の時系列に長期相互相関が観察されたと報告した。これらの研究でも DFA や DCCA が用いられており、これらの手法から「息が合う」という感覚の定量という目的にとって示唆が得られると考えた。

[研究の内容・成果]

〈研究 1〉

参加者：26 名 (13 組) の一般大学生が実験に参加した。

装置：参加者は電子ドラム (WAVEDRUM mini, KORG) のセンサークリップを指でタップし、音声フィードバックを受けた。センサーの出力電圧を AD コンバーター (USB-6218BNC, National Instruments) を通し、PC で記録した。

実験課題：参加者は単独での同期-継続課題 (以下、ソロ条件) と、2 人組テンポ維持同期課題 (以下、ペア条件) を遂行した。ソロ条件では、実験参加者はメトロノームと同期して指タッピングを 10 秒間行い、メトロノーム停止後もそのままの ITI でタッピングを続けることを求められた (1 試行 200 秒間)。ペア条件ではこれを 2 人同時に行い、音楽の合奏で同じパートを演奏するように、目標 ITI に加えてパートナーとの同期も維持するよう求めた (図 1)。目標 ITI によって結果が異なる可能性を考慮し、目標 ITI には 800, 500, 300 ms の 3 条件 (それぞれ 75, 120, 200 beats per minute に

相当) を設定した。

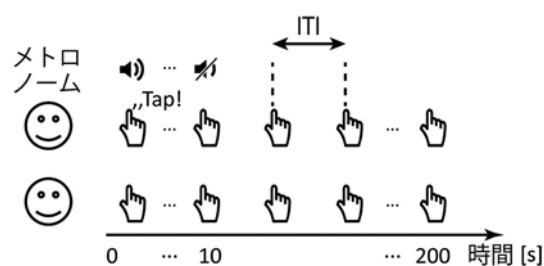


図 1 2 人組テンポ維持同期課題

結果：ソロ条件ではおよそ目標 ITI の近傍で長周期の変動が観察されたのに対し、ペア条件では ITI が徐々に短くなっていった (図 2 A)。800 ms 条件では、ソロ条件では全体として目標 ITI の近傍で ITI が変動したのに対し、ペア条件では ITI がほぼ単調に減少した。500, 300 ms 条件では、ソロ条件の ITI も単調に減少したが、ペア条件ではソロ条件以上に顕著に減少した (図 2B)。

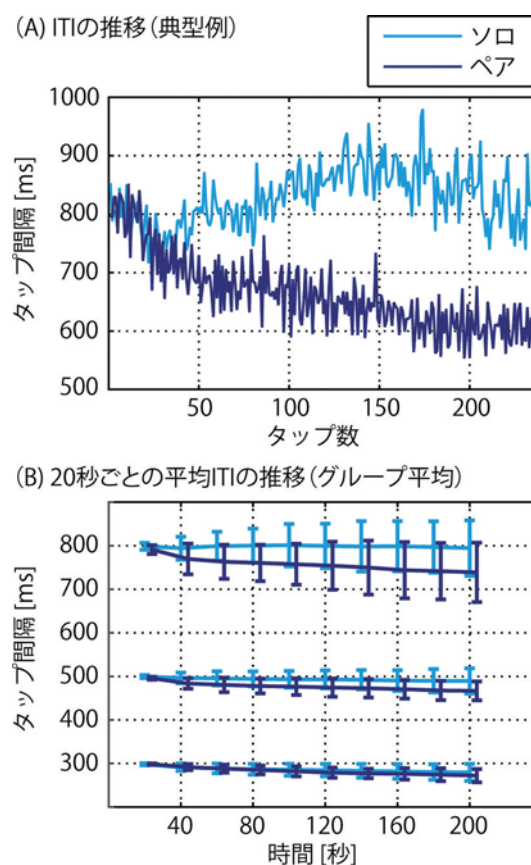


図 2 ITI の推移

以上から、テンポ維持のパフォーマンスは、単独で課題を遂行する場合と比べて、2人組という環境ではテンポが速くなりやすいことが示唆された。実際の音楽演奏でもテンポが意図せず速くなることがしばしば起こり（「走る」と呼ばれる）、減速に遅くはならない。この現象の原因として、高揚や緊張といった演奏者の心理状態との関連が演奏現場では指摘されるが、本研究の結果は、2人組という環境自体もその原因となりうる可能性を示唆している。

〈研究 2〉

DCCA・DFA の概要：DCCA は等しい長さを持つ 2 つの時系列間の様々な時間スケールにおける相関を評価するための解析手法で、2 つの時系列を $x(t)$, $y(t)$ とし、その長さが N であるとする、次のようなアルゴリズムで実行される。まず $x(t)$ と $y(t)$ から、その偏差の累積和の時系列 $X(t)$, $Y(t)$ を求める（式 (2)）。

$$\begin{aligned} X(t) &= \sum_{i=1}^t [x(i) - \bar{x}] \\ Y(t) &= \sum_{i=1}^t [y(i) - \bar{y}] \end{aligned} \quad \dots (1)$$

続いて $X(t)$ と $Y(t)$ を、オーバーラップしない長さ n のセグメント k 個に分割し、セグメントごとにローカルトレンドを除去した時系列を作成し、その共分散 $F_{\text{DCCA}}^2(n)$ を求める（式 (2)： $X_n(t)$ および $Y_n(t)$ はローカルトレンドの時系列、すなわち $X(t)$, $Y(t)$ の各セグメントにおける回帰直線をつなげた線上の値を表す）。

$$F_{\text{DCCA}}^2(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [X(t) - X_n(t)][Y(t) - Y_n(t)] \quad \dots (2)$$

式 (2) の手続きを、可能な全てのセグメント長 n について繰り返す。典型的には n が大きいほど $F_{\text{DCCA}}^2(n)$ も大きくなり、べき乗則が観察される。

$$F_{\text{DCCA}}^2(n) \propto n^{2\lambda} \quad \dots (3)$$

λ はスケーリング指数と呼ばれ、横軸に n 、縦軸に $F_{\text{DCCA}}^2(n)$ をとり両対数プロットした際、その近似直線の傾きになる。

式 (1) の $y(i)$ に $x(i)$ を代入すると、DFA のアルゴリズムが得られる。すなわち、

$$F_{\text{DFA}}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [X(t) - X_n(t)]^2} \quad \dots (4)$$

$$F_{\text{DFA}}(n) \propto n^\alpha \quad \dots (5)$$

さらに、異なる時間スケール（セグメント長 n に対応）における相互相関の指標として、DCCA 相互相関係数 $\rho_{\text{DCCA}}(n)$ が、次のように定義される。

$$\rho_{\text{DCCA}}(n) = \frac{F_{\text{DCCA}}^2(n)}{F_{\text{DFA}_x}(n) F_{\text{DFA}_y}(n)} \quad \dots (6)$$

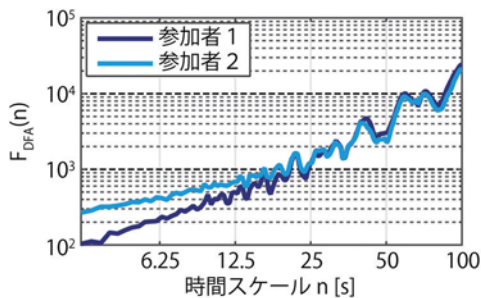
$F_{\text{DFA}_x}(n)$ および $F_{\text{DFA}_y}(n)$ は、 $x(t)$ および $y(t)$ に対する $F_{\text{DFA}}(n)$ をそれぞれ表す。 $\rho_{\text{DCCA}}(n)$ は時間スケール n における相互相関の強さを表し、 -1 （完全な負の相関）から 1 （完全な正の相関）の間の値をとる。 $\rho_{\text{DCCA}}(n)=0$ は、その時間スケール n では $x(t)$ と $y(t)$ の間に相互相関が全く存在しないことを表す。

DFA の α は時系列の自己相関に対応し、 $\alpha=0.5$ は時系列が自己相関を持たないホワイトノイズであることを示す。 $\alpha>0.5$ は、その時系列の変動が「持続的」（大きな値には大きな値、小さな値には小さな値が続きやすいという性質）であったことを示す。特に $\alpha=1.0$ を示す波形はピンクノイズあるいは $1/f$ ゆらぎと呼ばれる。 $\alpha=1.0$ は、時系列の定常性（どの区間について見ても、平均値や分散などの統計的性質が同一であること）が保持される最大の α 値である。 $\alpha<0.5$ は「反持続的」（大きな値には小さな値、小さな値には大きな値が続きやすいという性質）な変動を表す。なおサンプル点数が数百点程度の短い時系列に対する DFA は、スペクトル解析など、他の方法との併用が推奨されている。ホワイトノイズやピンクノイ

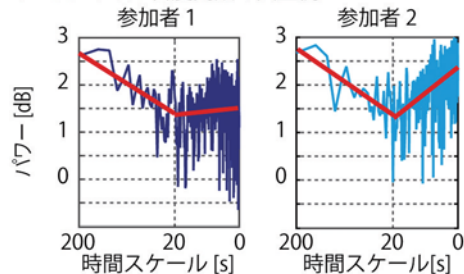
ズなどの複雑な時系列は、パワースペクトル密度関数（PSD）が周波数の対数に比例するため、 $1/f^\beta$ ノイズと総称される。PSD の回帰直線の傾き $-\beta$ と α との関係は、 $\alpha = (\beta + 1)/2$ となる。この α や β は、しばしば時系列の複雑性の指標として用いられている。ドリフトを伴う時系列で DCCA、DFA および PSD の算出を行うと長い時間スケール領域の値が不当に高まるため、これらの解析は線形トレンドを除去してから行った。

結果： $F_{DFA}(n)$ の値は長い時間スケールほど参加者間で一致する傾向が見られた（図 3 A）。

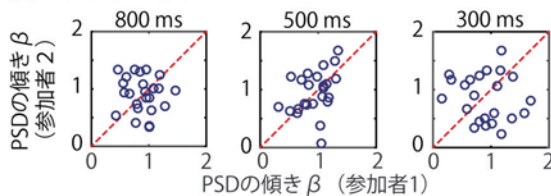
(A) DFAの結果の典型例



(B) パワースペクトル密度関数の典型例



(C) 20秒以下の時間スケール



(D) 20秒以上の時間スケール

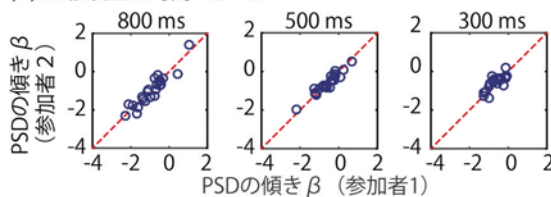


図3 DFA および PSD の結果

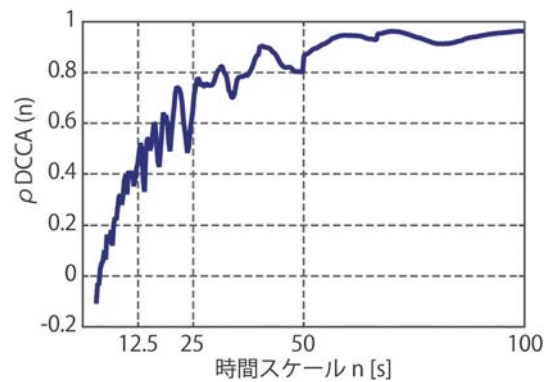


図4 DCCA の結果（典型例）

20 秒を境に時間スケールを分けて PSD の傾き β を算出したところ、20 秒以下の時間スケールでは参加者間でほとんど一致しない一方、20 秒以上では強く一致した（図 3 B～D）。

$\rho DCCA(n)$ の値も、最小に近い時間スケールではほとんど相関が見られない一方で、長い時間スケールになるほど相関が強くなっていった（図 4）。これらの結果は、2 人組テンポ維持同期課題の参加者組の ITI は、局所的にはあまり協調が見られないにもかかわらず、複雑性のような大域的な構造において強く協調していたことを示唆している。

[今後の研究の方向、課題]

助成期間内にはこれらの結果と実際の音楽演奏の性質との関連までは明らかにできなかった。今後、実際の音楽演奏から得られた演奏テンポのゆらぎの時系列にこれらの手法を適用し、得られたパラメータと演奏者や聴衆の主観評価との関連について検討していく必要がある。

[成果の発表、論文等]

〈研究 1〉

岡野真裕, 進矢正宏, 工藤和俊. 『走る』アンサンブル：2 人組リズム維持タッピング課題におけるテンポ高速化』, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-MUS111 No.58, 2016. (音学シンポジウム 2016 優秀発表賞受賞) 他

〈研究 2〉

Masahiro Okano, Masahiro Shinya, and Kazutoshi Kudo.

“Detrended Cross-correlation Analysis Reveals Long-range Synchronization in Paired Tempo Keeping Task.” *Proceedings of the 14 th Inter-*

tional Conference on Music Perception and Cognition, 2016 (p.794-797).

体内遺残事故防止のための手術用ガーゼカウントシステムの開発

Development of surgical sponge counts system to prevent retained foreign objects

2157004



研究代表者

お茶の水女子大学大学院

博士後期課程

楠 田 佳 緒

[研究の目的]

近年、ITの発展にともない治療技術が高度化するなか、医療安全に対する要求も高まり、医療従事者の精神的・身体的な負担が増加している。例えば、手術器械やガーゼの体内遺残事例は、手術1万件に対し約1件発生しており、そのうち69%がガーゼであると報告された[Gawande AA, et al. N Engl J Med, 2003]。体内遺残の予防策として、医療現場では複数の医療従事者によるダブルチェックが行われている。しかし、体内遺残事例が発生した事例の88%は、手術中のガーゼカウントは正しかったと記録されていた[Norton EK, et al. AORN J, 2012]。

体内遺残で考えられる要因として、手術を進行しながら手作業のみでガーゼカウントが行われていることが挙げられる。WHOは、手作業のみに頼ったカウントは体内遺残防止にはつながらないと言及しており[WHO Guidelines for Safe Surgery 2009]、人と機械の協働作業による患者安全への仕組みづくりが求められる。

そこで、ガーゼカウントの支援システムを開発し、看護師を支援できれば、手術の質向上に貢献できると考えた。つまり、人間と機械の調和が患者と医療従事者の双方を救うこととなる。

本研究では、臨床現場においてガーゼカウントが可能となるシステムを開発することを目的とした。これまでに、X線を用いたガーゼカ

ウンタのハードウェアの基礎部分を開発した。本報告では、ガーゼ枚数を特定するための画像処理プロトコルの開発、およびその記録を行うためのシステムを開発する。ガーゼ検出枚数の決定は、手術の運用上、10枚程度の検出ができれば使用に耐えうると考えられることから、まずはこの枚数を目標値とした。

[研究の内容、成果]

研究の方法

図1に示すように、手術中の使用済みガーゼは1ヶ所に集められ、10枚1束で保管される。さらに、手術中・手術後の複数回にわたり医療従事者によってカウントが行われている。

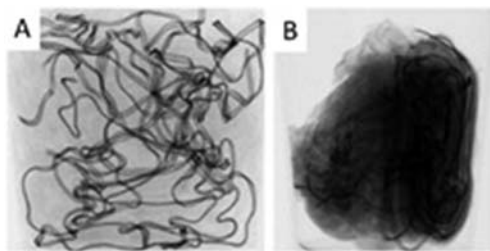
図2に示すように、従来の手術で使用されているガーゼにはすでに銅線が編み込まれている。銅線はX線を多く吸収するため、図3に示すように、X線撮影によって可視化できる。こ



図1 手術中の使用済みガーゼ



図2 鋼線入りの手術用ガーゼ



(A：乾燥時，B：血液付着時)

図3 X線撮影したガーゼ

の機能を利用し、医療機関では手術後に患者の術野を撮影することで、体内にガーゼの置き忘れがないか確認してきた。そこで、本研究ではこの鋼線部に着目することで、ガーゼ枚数をカウントする。

ガーゼカウントシステムの技術的課題として、得られた画像を処理する画像処理プロトコルが挙げられる。具体的には、ガーゼの状態が乾燥時、血液付着時、生理食塩水付着時にはX線透過率が異なり、鋼線（X線造影剤入りの繊維）との境界線が判断困難となる。すなわち、従来の画像処理によって行われてきた単純なノイズ処理は、適用できない。

そこで、ガーゼの鋼線検出を目的とした画像処理およびX線出力量等の最適値を算出する。さらに、手術前後でのガーゼ枚数の整合性を図るため、画像処理により得られたガーゼ枚数の結果を記録・表示するソフトウェアを開発する。

本研究で開発したガーゼカウンタによってガーゼ枚数算出を行う方法について述べる。まず、X線透過率の高いケースへガーゼを入れ、

ガーゼカウンタ内部の回転制御台へ固定する。回転制御台を回転させ、複数の異なる角度からガーゼ入りケースをX線撮影する。ここで、得られた複数のX線画像を3次元再構成し、ガーゼの鋼線部分を抽出する。その鋼線部分の座標値から3次的に鋼線の体積等を算出し、その値からガーゼ枚数を推定する。ガーゼ枚数や累積カウント数をモニタに表示する。ソフトウェアの開発には、Lab VIEWとMATLABを使用した。

本研究では、ガーゼカウントシステムにおける、最適なX線量の決定と、カウント精度の評価を行った。

まず、画像処理プロトコルの有効性を評価するため、抽出値の精度に大きく影響するX線出力量について検証した。管電圧40 kV、45 kV、50 kV、管電流400 μ A、500 μ A、600 μ Aを組み合わせた計9試行でガーゼをX線撮影した。乾燥したガーゼと血液（豚血液）が付着したガーゼを使用し、血液付着時はガーゼが十分に濡れるような血液量とした。乾燥したガーゼと血液が付着したガーゼは、それぞれ5枚用意し、同一のガーゼを1回ずつ撮影した。最適パラメータとして、各X線出力量のうち抽出値のばらつきが小さい条件を採用した。

さらに、ガーゼカウンタでガーゼ枚数を算出するため、画像処理により得られた抽出値からガーゼ枚数の推定が可能か検証する。使用するガーゼは1～10枚の合計10セットとし、各セットのX線撮影回数は1回とした。乾燥したガーゼ、および血液付着ガーゼの2種類を用意した。ガーゼカウント時のX線出力量は、前述した検証によって得られた最適なX線出力量を用いた。

ガーゼ枚数に対する抽出値との相関関係は、SPSS Ver. 20を用いて、Pearsonの積率相関係数により算出した。

研究の成果

X線の透過率は、ガーゼの状態（乾燥時、

血液付着時、生理食塩水付着時）によって異なる。すなわち、液体は綿（ガーゼの素材）に比べて X 線透過率が低く、液体付着時のガーゼの X 線画像は、乾燥時に比べて鋼線と布地の分離が困難となる。そこで、ガーゼカウンタの精度向上のためには高度な画像処理技術が求められる。

本研究では、ガーゼカウンタで得られた X 線画像から、二次元周波数解析やノイズ部分（液体が付着したガーゼの布部分）の除去等を行い、鋼線部分を抽出可能な最適なカットオフ値を決定するため、ガーゼの状態に影響されない画像処理プロトコルを開発した。ガーゼカウンタから算出される体積値や表面積の結果から、抽出値を得ることができる。本研究では、ガーゼカウンタから得られる抽出値を使用してガーゼ枚数を特定するため、その精度検証を行った。

図 4 に、各 X 線出力量に対するガーゼカウンタから得られる抽出値の結果を示す。乾燥したガーゼでは、管電圧と管電流がいずれの大きさでも、抽出値の誤差は小さかった。一方で、血液が付着したガーゼでは、管電圧が 40 kV の時、いずれの管電流の大きさでも抽出値の誤差が大きかった。管電圧が 45 kV の時、管電流が 400 μ A、500 μ A で抽出値の誤差が大きかった。管電圧が 50 kV の時、いずれの管電流の大きさでも、抽出値の誤差は小さかった。

図 5 に、ガーゼ枚数の算出実験の結果を示す。横軸に撮影したガーゼの枚数、縦軸にガーゼカウンタにより得られた抽出値を表す。ガーゼ枚

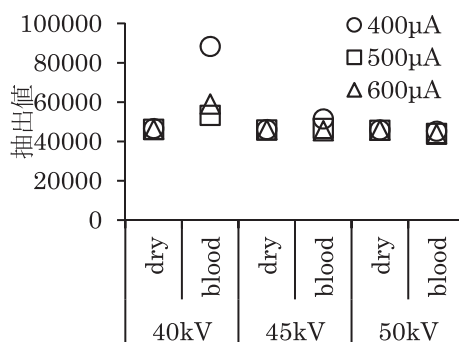


図 4 各電圧と電流における抽出値の結果

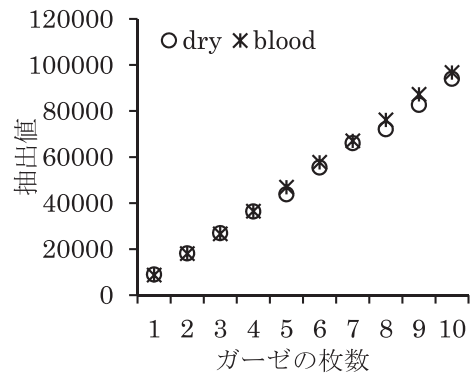


図 5 ガーゼ枚数に対する抽出値の結果

数の増加とともに、抽出値は線形に増加した。乾燥時と血液付着時ともに、ガーゼ枚数に対する抽出値の相関係数は 0.99 だった。

以上より、抽出値の結果からガーゼの枚数を特定するための画像処理プロトコルを構築できた。画像処理から得られたガーゼ枚数をシステム内で記録し、累積カウント枚数を提示するための基礎的なシステム開発が行えた。

考察

手術現場でガーゼの枚数確認を正確に行うことは、体内遺残事例の発生防止、および、手術のスムーズな進行につながると考えられる。本研究では、ガーゼカウンタを開発し、ガーゼ本体を撮影した X 線画像による枚数確認手法を提案し、その評価試験を行った。

本システムは、X 線画像から抽出値へと換算するため、X 線の放射量の影響を受ける。そこで、本研究では、ガーゼから鋼線部分を抽出するのに最適なパラメータを得るための評価実験を行った。

乾燥時では、管電圧 40 kV、45 kV、50 kV のすべてにおいて抽出値の誤差は小さかった。血液付着時では、管電圧 45 kV と管電流 500 μ A、600 μ A の組み合わせ時、および管電圧 50 kV の時に抽出値が安定した。すなわち、管電圧と管電流が 50 kV と 600 μ A が X 線出力量の最適なパラメータであることがわかった。以上より、X 線出力の最適パラメータにおけるガーゼカウンタの精度が検証できた。

実際に、ガーゼカウンタで得られる抽出値から、ガーゼ枚数を推定できるか検証するため、乾燥状態および血液付着状態の1~10枚のガーゼをX線撮影した。結果として、乾燥状態と血液付着状態ともに、ガーゼ枚数に対する抽出値の相関係数は高かった ($R=0.99$)。本研究で提案する、X線画像から得られる抽出値を用いた手法によれば、ガーゼの枚数を確認できると考えられる。

本実験の結果から、ガーゼに血液が付着しても、画像処理によりガーゼカウントへの影響は少ないことが明らかとなった。さらに、医療機関で一般的に運用されている鋼線入りガーゼを利用できるため、これまでの運用と比較して、ガーゼに対する新たなコストを必要としない。本研究で開発したガーゼカウンタは、これまでのガーゼカウント手法の課題を解決できると考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

ガーゼと同様に、針の体内遺残防止も求められる。従来、針のカウントが手術前後で一致しない場合は、手術を一時停止し、医療従事者がごみ箱やガーゼ束の中を手作業で探している。これは、手術時間の延長につながり、患者安全を下げる要因となる。さらに、針を探す際にそ

れが医療従事者の手に刺さることで二次感染の要因となる。そこで、異物が混入した場合、ガーゼカウンタで検知し、アラートを鳴らすことで、異物の場所を特定できると考えられる。針は金属製であり、ガーゼの鋼線部と比較してX線透過率は低く、画像処理でガーゼの鋼線部と識別可能であると考えられる。これがガーゼカウンタの機能として実現すれば、患者安全のみならず、医療従事者に対する安全にも寄与できると考えられる。

本システムで1回のガーゼカウントに要する時間は、約3分30秒である。通常のガーゼカウントは手術を進行しながら、10枚程度の使用済みガーゼが集まると、それを束ねて保管している。本研究では、このガーゼを手術進行中にカウントするため、3分程度であれば運用に影響はないと考えられる。しかし、緊急時に大量のガーゼを使用した場合などは、より迅速にカウントすることが求められる。回転テーブルの回転速度の最適化や、画像処理の効率化を図ることで、撮影時間の短縮につなげたい。

[成果の発表, 論文等]

K Kusuda, K Yamashita, et al. Development of a Surgical Sponge Counting System Using Radiographic Images (査読中)

人と機械の調和を促進する協調構造学習理論の研究

A study of the collaborative structure learning theory for promoting harmony of man and machine

2157007

研究代表者 (助成金受領者)	横浜国立大学大学院 工学府	博士課程後期	恒 川 裕 章
代 理	横浜国立大学大学院工学研究院	教 授	濱 上 知 樹

【研究の目的】

人と機械が相互に依存し合うことでますます大規模・複雑化するシステムの設計・構築・運用の困難さを克服し、社会の発展サイクルを持続し続けるために、高信頼・安全・堅牢・自律性の源となる新たな協調構造の学習理論を確立する。その核心技術として、人や機械を含む多様な学習主体（エージェント）の集団（マルチエージェント）における「群逆強化学習理論」を研究し、人と機械の調和を促進するための知的相互運用のメカニズムを明らかにする。

【研究の内容、成果】

1) 概要

本研究では、目的に掲げた協調知のモデルとして、非エキスパート集団からの見まね学習をアンサンブルによって高度化する「アンサンブル逆強化学習」のアルゴリズムを提案する。Ngらによって提案された逆強化学習の一手法である見習い学習は、エキスパート（EA）と呼ばれるタスク達成可能なエージェントの振る舞いを他の非エキスパートエージェント（sEA）が観測し、未知の報酬空間を推定（逆強化）する。本研究では、この報酬空間の推定を、高次の協調行動や相互干渉を伴う複雑なマルチタスクに応用する。さらに、エキスパート

が存在しない場合であっても、複数のエージェント同士の報酬関数をアンサンブルすることで、エキスパートに匹敵する行動が獲得可能な報酬空間を構成できることを示す。この手法を「アンサンブル逆強化学習」と呼ぶ。さらに、不完全知覚の存在する環境においても、アンサンブル逆強化学習は有効であることを明らかにした。

2) 逆強化学習とその課題

状態空間 S が k 個の特徴を要素とした特徴ベクトル $\phi: S \rightarrow [0, 1]_k$ を用いて表現可能であるとする。このとき、状態 $s \in S$ に与えられる報酬 $R^*(s)$ は、次式で表される。

$$R^*(s) = w^* \phi(s), w^* \in R^k \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 w^* は特徴の重みを表す。報酬の最大値を 1 以下に保つために、 $\|w^*\|_1 < 1$ とする。

方策 ϕ のもとで観測される特徴の期待値を特徴期待値を $\mu(\pi)$ と呼び、次式で定義される。

$$\mu(\pi) = E[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t \phi(s_t) | \pi] \in R^k \dots\dots\dots (2)$$

特に、エキスパートの m 個の状態遷移系列 $\{s_0^i, s_1^i, \dots\}_{i=1}^m$ が与えられたとき、エキスパートの特徴期待値 $\mu_E = \mu(\pi_E)$ は次式によって求められる。

$$\mu_E = \lambda_{1\mu(\pi_1)} + \lambda_{2\mu(\pi_2)} + \dots + \lambda_{n\mu(\pi_n)} \dots\dots\dots (3)$$

μ_E を他の特徴期待値の線形和で近似するア

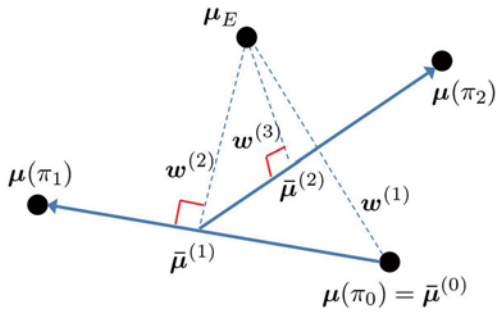


図1 見まね学習における Projection Method

ルゴリズムの一つが Projection Method (PM) である。PM による $\bar{\mu}^{(i)}$ の導出方法を図1に示す。

また PM による方策学習を以下に示す。

1. ランダムに選んだ方策 π_0 のもとで $\mu^0 = \mu(\pi_0)$ を計算し, $i=1$ とする。
2. PM によって $\bar{\mu}^{(i)}$, $w^{(i)}$, $t^{(i)}$ をそれぞれ求める。
3. $t^{(i)} \leq \epsilon$ のとき, アルゴリズムを終了する。
4. 報酬関数 $R = w^{(i)} \cdot \phi$ のもとでの最適方策 π_i を強化学習によって求める。
5. 方策 π_i のもとで $\mu^{(i)} = \mu(\pi_i)$ を計算する。
6. $i \leftarrow i+1$ としてステップ2に戻る。

環境中に不完全知覚がある場合は, 得られた報酬関数をもとにした強化学習は最適な振る舞いとはならず, 確率的にタスクが達成できるエージェントとなる。その振る舞いから推定される報酬推定は不完全知覚の影響を受けたものとなる。本研究では, このようなエージェントを, semi-EA (sEA) と呼ぶ。

一方, ノイズの影響を受ける学習の精度を向上させるメタアルゴリズムとして, 適応ブースティング (Adaboost) 等のアンサンブル学習法が知られている。このメタアルゴリズムを EA が存在しない場合の IRL に応用するために, Adaboost に準じた報酬関数の重み付き統合を行う。すなわち, 不完全知覚の影響により最適行動にはなっていない複数の sEA に対して IRL を行い, 得られる報酬関数を適切に統合す

ることを試みる。この操作によって, 報酬関数に含まれるノイズやランダムな振る舞いを取り除き, 不完全知覚の影響を避ける振る舞いの獲得が期待できる。

3) アンサンブル逆強化学習

アンサンブル逆強化学習の概要を図2に示す。前述した Adaboost では学習データに対する正誤判定によって学習器の信頼度を評価する。これに対応する処理として, 本研究では特徴期待値の分布から外れ値検出を行い, 各 sEA の振る舞いの信頼度を評価することにする。

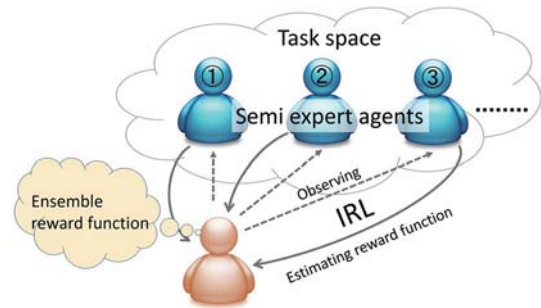


図2 アンサンブル逆強化学習

信頼度は sEA の振る舞いを表す特徴期待値ベクトル μ を用いる。ここで, タスクの達成に不可欠な振る舞いが複数の sEA に共通して観測されるのであれば, 特徴期待値の分散は小さくなる。そこで, 特徴期待値の分布から外れ値検出を行い, これを用いて信頼度を評価する。

本手法のアルゴリズムの概要を以下に示す。複数の sEA を, $sEA^{(1)} \dots sEA^{(K)}$ と表す。K は sEA の総数である。また, 特徴ベクトルの各要素を $l=1, 2 \dots L$ と表す。

1. K 体の sEA から見習い学習を行い, それぞれの特徴期待値と報酬関数を推定する。 $k=1$ とする。
2. $k=1$ から $k=K$ 番目の sEA の各特徴の分散 σ_l と偏差 $E_l^{(k)}$ を計算する。
3. 各特徴の重要度 $\beta^{(K)}$ と sEA $^{(K)}$ の信頼度 $\alpha^{(K)}$ を計算する
4. $\beta^{(K)}$ を更新する。

5. $k=K$ のとき信頼度の正規化後に報酬関数を統合しアルゴリズムを終了する。

図3に、アンサンブル逆強化学習のアルゴリズムを示す。

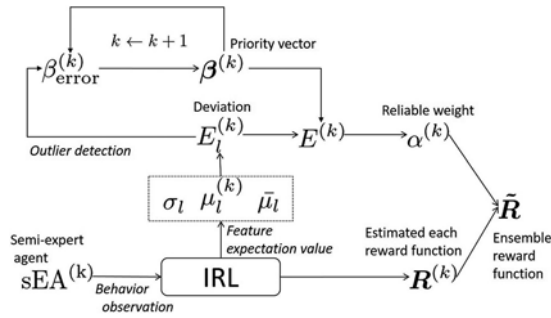


図3 アンサンブル逆強化学習アルゴリズム

4) 実験方法

実験に用いる縦18×横18セル（計324セル）のグリッドワールドを図4に示す。エージェントは、左下のスタートから1ステップにつき隣接する周囲の8セルのいずれかに移動しながら右上のゴールまで移動する。

グリッド中には不完全知覚エリア（4種類、計75セル）が存在する。sEA, LAともに、同じ番号がついた不完全知覚セル同士の区別はできない。また、すべてのsEAは不完全知覚セルではランダムな行動をとるものとする。できるだけ少ないステップでゴールに到達するためには、不完全知覚エリアを回避する報酬関数を推測する必要があるが、sEAはいずれも不

完全知覚エリアに侵入してしまい、最短での移動が保証されない程度の性能しかない。

本実験では、複数のsEAを、途中で進化を中断させた遺伝的アルゴリズムによって作成する。

各個体の遺伝子は、不完全知覚エリアとゴールを除く248セルにおける行動（8種）と定義し、各ステップにおけるゴールへの接近を評価値とする適応度を用いる。

集団の個体数を100とする。適応度の上位2体をエリートとして保存し、残りの98体をランキング選択と交叉、突然変異を用いて世代更新を行う。

ランキング選択は適応度上位20位のまでの個体を1.8%、21～40位の個体を1.4%、41～60位の個体を1.0%、61～80位の個体を0.6%、81～100位の個体を0.2%の確率で取り出し、これらを2回繰り返すことで交叉に用いる親個体とする。

100体の選択確率の合計は100%である。交叉は遺伝子ごとに20%の確率で交換し、突然変異確率は遺伝子ごとに1%とし、子の2体を次世代の個体とする。すなわち1世代当たりの交叉回数は49回である。進化の過程でエリート個体の適応度が335に達した時点で処理を打ち切り、そのときの遺伝子をsEAの行動ルールとして採用する。このようにして、10体の異なるsEAを作成する。

LAは、各sEAの行動をそれぞれ100エピソード分観測し、それぞれの特徴期待値を獲得する。LAの強化学習の繰り返し回数を50回、学習率は0.3、割引率は0.99とする。

1回あたりの学習ステップ数は100000回とし、価値更新アルゴリズムにはQ-learning, 方策には ϵ -greedy選択を用いる。またランダム行動率 ϵ は1.0からスタートし、10000ステップごとに0.1減少させ、 $\epsilon=0$ となってから学習エージェントの特徴期待値を100エピソード分観測する。1エピソードあたりの最大ステップ数は1000である。

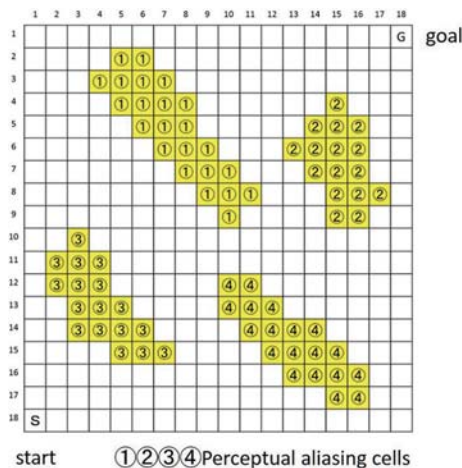


図4 不完全知覚を含むグリッドワールド

5) 実験結果

生成した 10 体の sEA を $sEA^{(1)} \sim sEA^{(10)}$ とする。それぞれの sEA の観測から、特徴期待値の計測と報酬関数の推定を個別に行う。 $sEA^{(1)}$ の振る舞いから推定された報酬関数と、sEA の典型的な行動例を図 5 に示す。図より、 $sEA^{(1)}$ は不完全知覚エリアに侵入をする振る舞いとなることがわかる。ランダム行動により不完全知覚エリアから脱出し、ゴールには到達できるものの、最適な行動にはなっていない。報酬関数をみると、不完全知覚エリアの周辺で価値が上昇していることがわかる。 $sEA^{(2)}$ 以降の振る舞いと報酬関数の経路中のどこかに周辺より高い価値が推定されており、不完全知覚による冗長な行動が間違った価値関数の推定につながっている。

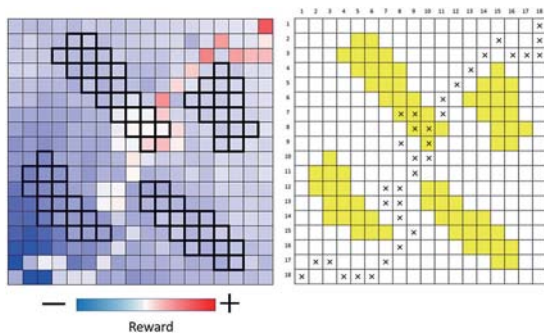


図 5 $sEA^{(1)}$ が獲得した報酬と経路

次に、10 体の sEA から推定した報酬関数の統合結果と、これを用いた LA の学習結果を図 6 に示す。図 6 より、不完全知覚エリア内に与えられる報酬は全て負となり、ゴール付近にの

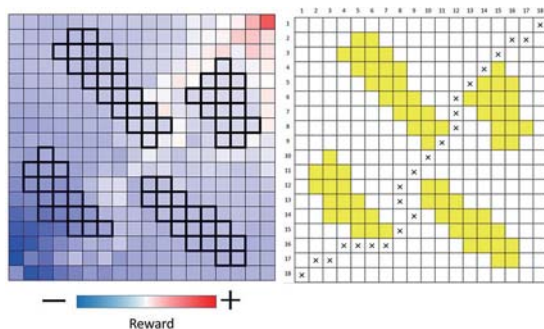


図 6 アンサンブル逆強化による学習結果

み正の報酬が現れていることが分かる。以上の結果から、推定された報酬関数を用いて得られる強化学習結果は、ほぼ最適な経路となっていることが明らかとなった。

6) 考察

図 5, 6 を比較すると、いずれもゴールに近い状態ほど高い報酬が推定されているものの、アンサンブル後の報酬関数の方が、ゴールに対して放射状に価値が分布しており、より自然な価値推定になっていることがわかる。

また、アンサンブル前の報酬関数は、経路の途中に局所的な報酬の極大点が存在するものの、アンサンブルされた結果は、スタートからゴールまで単調に価値が増加していることがわかる。さらに、不完全知覚エリアに隣接したセルの価値は経路より低くなっており、不完全知覚エリアを避ける振る舞いが獲得できている。

以上より、アンサンブル後の報酬関数を用いた学習結果は不完全知覚エリアを避けながら確実にゴールに到達する振る舞いが獲得できていることが明らかとなった。

[今後の研究の方向、課題]

アンサンブル逆強化学習は、エージェント間の報酬共有により、協調構造を自律的に学習できる新たな学習理論である。しかし、高次元空間における計算量の理論的解析や、タスクの規模に応じたスケール性については、まだ十分な検討が行われていない。今後はこれらの理論的側面を担保しながら、自動運転タスクへの応用をはかっていく

[成果の発表、論文等]

H. Tsunekawa, T. Suzuki, T. Hamagami, "Examination of skill-based learning by inverse reinforcement learning using evolutionary process", Intelligent Systems and Control (ISCO), 2015 IEEE 9th International Conference, pp. 1-4 Jan, 2015

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

Study on Sheet Manipulation by Soft Fingertip using Fluid

2157009



研究代表者 室蘭工業大学 助 教 藤 平 祥 孝
(助成受領時：金沢大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程)
共同研究者 金沢大学 准教授 渡 辺 哲 陽

【研究の目的】

日常生活や極限環境（宇宙等）で薄板を扱う場面は多い（例：ダンボール・厚紙の操作、フィルムの貼り付け作業）。工場では薄板の表面状態（濡れ）や表面形状（凹凸）が既知であるため、吸着機構を用いた専用のロボットハンドを用いることができる。しかし、日常生活等の環境では薄板の状態が未知であり、専用設計されたハンドでは対応することが困難である。汎用性のある多指ロボットハンドであれば、未知の状態の対象物体に人間のように幅広く対応することが可能である。本研究では、多指ロボットハンドによる表面形状・状態が未知である薄板のマニピュレーション手法の構築を目指す。この手法の構築のキーポイントは、個体差による影響が表面に比べ少ない薄板の辺の把持である（図1参照）。薄板は図1のように平置きされている場合が多く、その状態から薄板の上下を挟むように持つことは難しい。また、薄板の面に塗膜を塗布したときはその表面に触れることを避けたい。そこで、本研究では薄板の辺を把持することを試みる。このとき薄板に曲げ変形が生じる。この変形を積極的に活用するマニピュレーション手法も提案する。

マニピュレーションの中で変形を活用するためには、薄板の変形や薄板に加える力の制御がロボットに求められる。薄板の変形・力の制御

をするとき薄板の力学モデルが必要となる。本研究では、最初に薄板の力学モデルの構築を行う。薄板の辺を把持するとき、不安定な変形（座屈現象）による力の変動や薄板との接触点の不確かさが存在する。流体を用いた柔らかい指（流体指）の方が剛体を用いた硬い指（剛体指）よりも、上記のような把持を不安定にする要因を吸収できると考えられる。本研究では、次に流体指と剛体指のような指の剛性が薄板の把持に与える影響について検証を行い、薄板のマニピュレーションに適切な指の剛性の設計・制御の指針を明らかにする。得られた指針に基づいた薄板の把持戦略についても提案する。

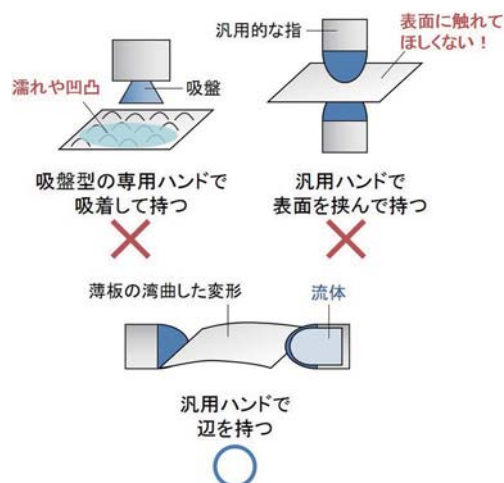


図1 汎用ハンドによる薄板の把持の方針

[研究の内容, 成果]

1. 薄板の力学モデル

薄板の力学モデルを導くために、まず多指ハンドによる把持で最も基本的な2本指での把持を再現した薄板の把持実験を行った。指の剛性による違いがあるのかを確認するために、図2に示す剛性の異なる素材を用いた3種類の指で実験を行った。次に、得られた実験結果に基づいて、オイラーの座屈時の大変位理論から把持時の薄板の2次元の力学モデルを導き、実験結果との比較を行いその妥当性の検討を行った。

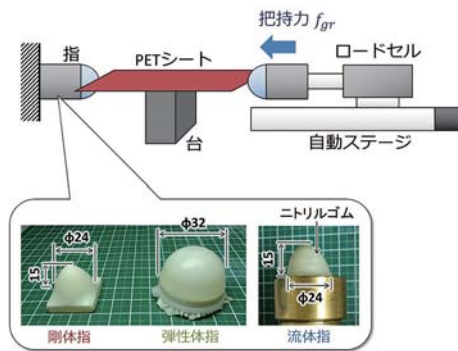


図2 把持実験装置の模式図と用いた指

図2のような実験装置を用いて薄板の把持実験を行った。片側の指は固定してあり、もう一方の指を自動ステージにより閉じていき、台の上に設置された薄板は把持され圧縮されていく。駆動側の指は自動ステージにロードセルを介して取付けられており、把持時の把持力を計測できるようになっている。薄板の変形の計測にはカメラを用いる。薄板の材質はPETであり、サイズはスマートフォンの画面フィルムに近いサイズ(100×70×0.41 mm)とした。剛体(ABS樹脂)、弾性体(シリコンゴム)でそれぞれ作成した指と、弾性膜の中を流体(機械油 ISO VG 100)で満たした指(流体指)の3種類を用いた(図2)。表面の状態を合わせるために、各指の表面は同じニトリルゴムで覆ってある。流体指は指の内圧を高くすることで指の剛性を高くすることができる。今回の実験で

は、初期内圧が3 kPaと6 kPaと2つの場合で実験を行った。指の剛性は剛体指、弾性体指、流体指(6 kPa)、流体指(3 kPa)の順に低い。指を閉じていく速度は3 mm/sとし、各指で3回把持が成功(滑らず把持)するまで実験を行った。各指での成功率は、剛体指は54.5%、弾性体指は37.5%、流体指はともに100%であり、把持するときの接触点の位置の不確かさに対して流体指が最もロバストであった。

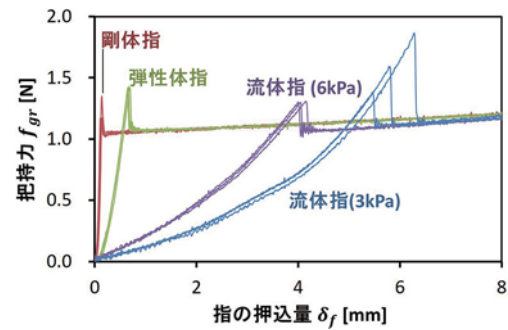


図3 指の押込量と把持力の関係

図3に各指での指の押込量と把持力の関係を示す。各指ともピークに達したときに薄板に座屈が発生し、その後薄板が曲げ変形する。ピークに達する前は指側が変形している領域である。そのため、ほとんど指が変形しない剛体指では、この領域がなくすぐに座屈してしまう。従って、図3を見て分かるように剛体指、弾性体指、流体指(6 kPa)、流体指(3 kPa)の順に座屈するまでの押込量が大きくなる。つまり、指の剛性が下がるにつれて、把持力の増加が緩やかになる。そのため、剛体指のように非常に硬い指では、接触の直後に把持力が座屈荷重に到達してしまい、座屈前の把持力の細かい制御が非常に難しい。さらに、少しでも接触点にズレがあると、把持力が摩擦円錐から外れてしまう。従って、接触点の位置の不確かさに対するロバスト性が低くなる(成功率54.5%)。一方で、流体指のように非常に柔らかい指では、細かい把持力の制御がしやすい。また、接触点のズレは指が変形することで吸収されるので、把持力は摩擦円錐内となり把持を維持しやすい。従っ

て、接触点の位置の不確かさに対するロバスト性が高くなる（成功率 100%）。

今回の対象となる薄板は、1) 薄板と指との接触点は回転自由な拘束、2) 曲げ変形が支配的、3) 軽く重力の影響とが無視でき等方弾性体である。よって、2 本指で把持された薄板は図 4 のような 2 次元のオイラー梁モデルで考えられる。

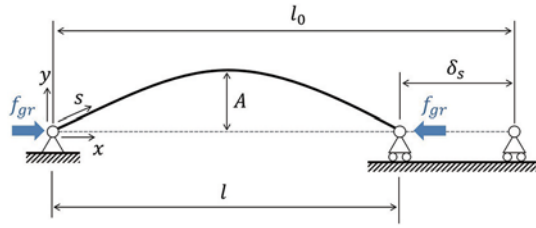


図 4 薄板の 2 次元モデル

薄板の力学モデルとして薄板座屈後の把持力 f_{gr} と薄板端点の変位 δ_s （薄板の変形を代表する変数）の関係を求める。座屈直後に薄板に生じる曲げ変形は大変形である。そこで、オイラーの座屈を対象とした大変位理論^[1]を用いる。まず、座屈後のポテンシャルエネルギー U は、

$$U = \frac{EI}{2} \int_0^{l_0} \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 ds - f_{gr} \delta_s + f_{dis} \delta_s \quad (1)$$

となる。ここで、 E はヤング率、 I は断面二次モーメント、 θ はたわみ角である、この式の第 1 項は曲げ変形により蓄えられるひずみエネルギー、第 2 項は端点に変位したことで把持力 f_{gr} がなした仕事である。ここで図 3 を見ると、座屈後に力が低下（散逸）している。そこで、今回は座屈時に散逸した力 f_{dis} のなした仕事を第 3 項で考慮する。この U を座屈点近傍（ $f_{gr} = f_{cr}$, $\theta = 0$ ）で摂動させ第 4 変分まで求める^[1]と、

$$\frac{f_{gr}}{f_{cr} - f_{dis}} = 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{\pi A(\delta_s)}{l_0} \right)^2 \quad (2)$$

を得る。 A は中心でのたわみ量、 l_0 は変形前の長さ、 f_{cr} は座屈荷重（図 3 のピーク値）である。

導出した把持力 f_{gr} と薄板端点の変位 δ_s の関係を表す式 (2) と実験結果との比較を行う。実験に用いた薄板のヤング率を $E = 3 \text{ GPa}$ とし、定数である f_{cr} と f_{dis} は、各実験データから求め平均化したものを用いた。図 5 にその結果を示す。

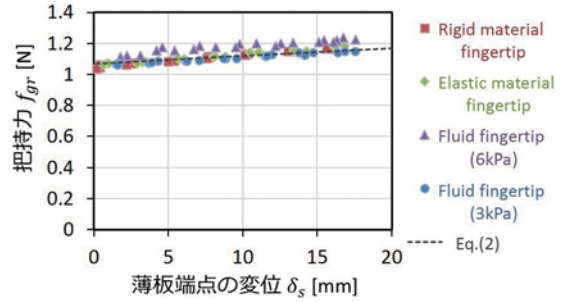


図 5 把持力 f_{gr} と薄板端点の変位 δ_s との関係

この図から実験値と式 (2) より求めた理論値とがよく合致していることが分かる。図 5 を見ると、変位の増加に対して把持力の増加が少ないことが分かる。つまり、把持力を増加させたいときに、薄板の把持では指を閉じこんで把持力を増加させようとしても、意図した把持力の増加が得られないことを示している。

3. 把持安定性

把持安定性を評価する指標として、どのくらいの外力に把持が耐えられるのかという指標（把持耐力）がある^[2]。本研究では、この把持耐力に着目をして、薄板把持時の剛体、弾性体、流体指ごとの把持安定性について実験的に検証を行った。

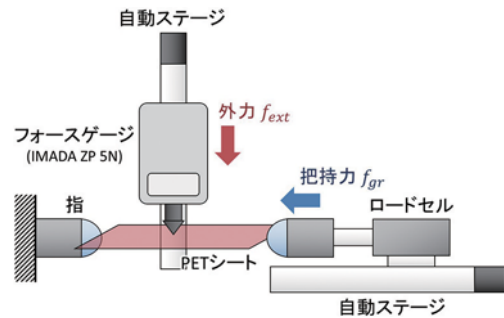


図 6 各指での把持力と把持耐力の関係

図6に把持耐力実験の装置の模式図を示す。把持した薄板に外力を負荷するための鉛直方向の自動ステージとその力を計測するためのフォースゲージを図2の装置に加えた構成となっている。この実験で使用した薄板と指は前述のものと同様である。今回の実験では流体指の初期内圧を3 kPaと設定した。実験手順は、指と薄板の接触点 ($f_{gr}=0$) から指を水平方向に5, 10, 15, 20, 25 mmと移動した位置で静止させ、下方向に凸になるように把持する。その後、鉛直方向のステージを駆動させ薄板の中央に鉛直方向の外力を薄板が落ちるまで与える。各指と各移動量で3回ずつ実験を行った。また、鉛直方向の外力を与えときの移動ステージの速度は1 mm/sとした。

把持力と把持耐力との関係を図7に示す。把持力の増加に対して把持耐力の増加が流体指の方が小さい。一方で、剛体指の方がその増加率が高いことが分かる。把持実験の結果(図3)も考慮すると、剛体指は座屈後の領域でしか把持力を制御できず $f_{cr}-f_{dis}$ 以下の把持力で把持できないが、大きな把持耐力を発揮できる。一方で、流体指は座屈前の領域 ($f_{cr}-f_{dis}$ 以下の把持力) で把持力を制御できるが、大きな把持耐力を発揮することができない。つまり、指の剛性によって長短所があり、作業に応じて選択する必要がある。

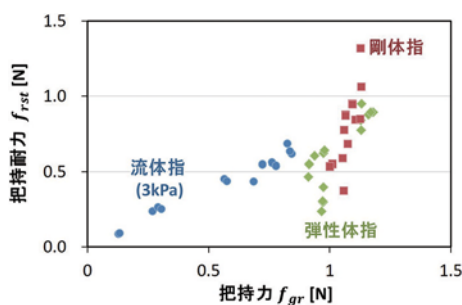


図7 各指での把持力と把持耐力の関係

4. 指の剛性と薄板の把持戦略

これまでの結果に基づいた薄板のマニピュレーションのための指の剛性を変化させた把持

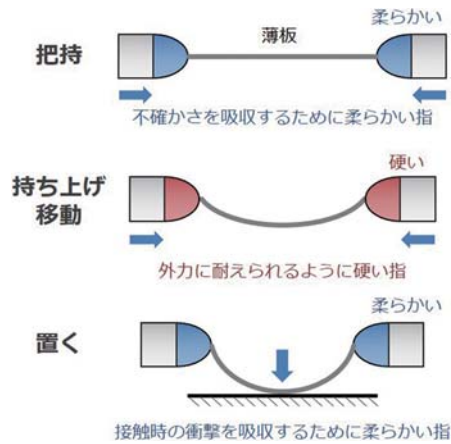


図8 指の剛性を変化させた把持戦略

戦略を図8に示す。まず、シートと接触するときは柔軟かい指が良い。上述のように柔軟かい指は小さい把持力の制御がし易く、接触点の不確かさにロバストであるためである。次に、シートを持ち運びするときは、外力(慣性力等)が作用するためより大きな把持耐力を発生できる硬い指が良い。最後に、シートを置くときは、接触時に衝撃や強制変位が加わるためそれらを吸収できる柔軟かい指が良い。従って、薄板のマニピュレーションには単純に柔軟かい指でなく、場面に応じて剛性を変化させられる指を用いることが望ましい。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、薄板の座屈変形後の力学モデルの構築とその検証のための把持実験と、把持耐力に着目した把持安定性の検証を行った。これらの検証実験より、流体を用いた柔軟かい指と剛体に近い硬い指の薄板の把持における長短所が明らかとなり、各指の長所を生かした指の剛性を変化させる把持戦略の提案をした。

今後、構築した力学モデルを用いて変形を活用したマニピュレーションを実現するための制御手法を構築する。また薄板のマニピュレーションに最適な指の開発や提案した戦略に沿ったマニピュレーションの実証も行っていく。

【参考文献】

- [1] B. Budiansky, "Theory of Buckling and Post-Buckling Behavior of Elastic Structures," in Advances in Applied Mechanics, Academic Press, (1974), pp. 1-65.
- [2] T. Watanabe and T. Yoshikawa, "Grasping Optimization using a Required External Force Set," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2007, vol. 4, no. 1, pp. 52-66.

【成果の発表，論文等】

(学術論文，査読あり)

- [1] Y. Fujihira, T. Nishimura and T. Watanabe: Bent Sheet Grasping Stability for Sheet Manipulation,

IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 1 (1), pp. 415-422.

(学会発表，査読あり)

- [2] 藤平祥孝，西村斉寛，渡辺哲陽：シートマニピュレーションのための把持安定性，第 21 回 ロボティクスシンポジウム，pp. 142-147, 2016
- [3] 西村斉寛，藤平祥孝，渡辺哲陽：把持耐力向上のためのマイクログリッパ内蔵の流体指の開発，" 第 21 回 ロボティクスシンポジウム，pp. 274-279, 2016 (学会発表，査読なし)
- [4] 藤平祥孝，西村斉寛，足立良太，渡辺哲陽：座屈を利用したシートマニピュレーション，SI2015, 2015
- [5] 西村斉寛，藤平祥孝，渡辺哲陽：流体指によるシートマニピュレーションのための指部の設計，SI2015, 2015

センサ欠損に頑健な多チャネル生体信号処理に基づくロボット制御

Development of multi-channel biosignal based robot control under sensor failure situations

2157010



研究代表者 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所 専任研究員 古川 淳一郎
 ブレインロボットインタフェース研究室
 (助成受領時：大阪大学大学院 生命機能研究科 博士課程)

[研究の目的]

本研究は多チャネル筋電信号に基づき安全にアシストロボットを操作するための頑健な制御技術の開発を目的とする。

近年、ロボット技術の発達により、ロボットによるヒトの運動支援が可能となってきた。その代表例として、ヒトの運動支援を目的とした外骨格型ロボットがある。このロボットは、ヒトが装着し操作することによって装着者の運動をアシストする。一般的にロボットは操作可能な範囲が広い反面、その操作は複雑となる。これまで、この複雑なシステムをヒトが直観的に操作できるようにするため、筋電信号による制御方策が盛んに取り組まれてきた。

これまでのロボット制御では、確実なセンサ情報取得を前提に筋電信号からヒトの運動意図を推定し、制御を行うのが一般的である。近年では、多チャネルセンサを用いたアシストロボットの多自由度制御が研究開発されている。しかし実環境の場合、センサ自体に断線や接触不良などの故障が起こりやすくなる。筋電信号のチャネル数が増えるとセンサ故障による情報欠損だけでなく、ヒトのセンサ配置ミスによって情報が欠損する確率も増える。これらの異常なセンサ情報はロボットの制御性能を低下させ、装着者にとって危険なロボット動作を生成し兼ねない。ヒトとロボットが物理的に接触している外骨格型アシストロボットでは、正常なセン

サ情報に基づき制御することが必要不可欠である。

本研究では、センサ情報の不確実性を想定し、正しい情報から効率よくヒトの運動意図を推定する。従来、センサの異常を検出するために、筋電信号の統計量を計算し閾値設定による検出方法や、事前知識として予め異常信号を使用して作成した判別器によるセンサの状態判別方法が提案されている。しかし、各チャネルの閾値や状態判別器を予め定めることはチャネル数が増加するに従って困難となる。そこで本研究では、多チャネル筋電信号を用いた場合における時空間特徴量により教師無し学習の枠組みで異常センサを検出し、正常なセンサ情報に基づく最適推定値を導くモデルを提案する。これにより、センサが欠損した場合でも頑健にヒトの運動推定が可能となる。

本報告では、多チャネル筋電信号からのヒトの運動意図推定に基づく多自由度アシストロボット制御時に、実際にセンサ情報を欠損させることで提案手法の有効性を確認した結果を報告する。

[研究の内容、成果]

正常な信号情報から効率よくヒトの運動意図を推定するモデルを提案する。本研究では図1に示すように、筋電信号を観測データ $u(k)$ とし、装着者の運動意図である内部状態 $x(k)$ を

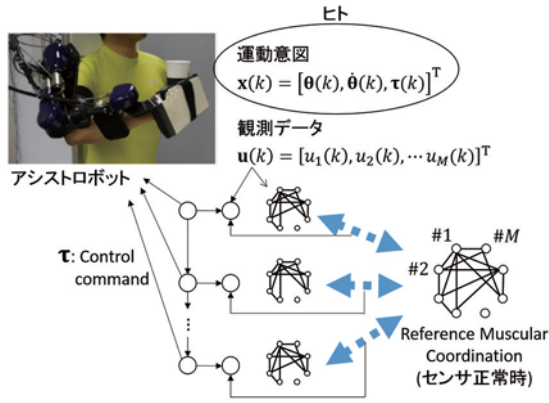


図1 センサ異常に頑健なヒトの運動推定に基づくロボット制御

$u(k) = h(x(k)) + \text{ノイズ}$ のように推定を行う。筋電信号に基づく制御問題を、観測した筋電信号からの装着者の運動意図推定問題と捉えることで、センサ信号の異常状態を観測問題として扱えるため、効率的にセンサから頑健に情報を抽出できる。具体的には、各センサは異常スコアに基づき状態推定に及ぼす寄与率が自動的に調整される。これにより、適切な観測信号を適切な寄与率で用いることができるため、一部のセンサ情報が信頼できない場合でも高精度な運動推定が可能となる。

異常なセンサは筋活動の協調性を観察することで検出する。あるタスクにおいて、筋は協調して筋張力を発生させる。この協調性により筋電信号間で相関構造が形成され、センサが欠損しない限りその構造はあるパターンに保たれると仮定する。その相関構造を確立分布から捉え、正常時のセンサから得られる筋の相関構造を基準に現在の筋協調の情報量変化をKL-ダイバージェンスによって算出することで異常スコアとしてセンサ欠損を検出する。これにより、正常時のセンサ情報さえ取得できていれば異常なセンサを見つけることができるため、多チャネルのオンラインロボット制御には有効な手法になることが期待できる。

本研究で提案するモデルを具体的に示す。

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{H}(\mathbf{x}(k)) + \mathbf{w}(k)$$

$$\mathbf{u}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k)$$

ここで、 $\mathbf{x}(k) = [\boldsymbol{\theta}^T(k), \dot{\boldsymbol{\theta}}^T(k), \boldsymbol{\tau}^T(k)]^T$ であり、 $\mathbf{w}(k) \sim N(0, \mathbf{Q}(k))$ は共分散 $\mathbf{Q}$ のガウシアンノイズである。 $\theta, \dot{\theta}, \tau$ はそれぞれ関節角度、関節角速度、関節トルクを表す。また、下処理した（全波整流後、ローパスフィルタをかけた）後の EMG $\mathbf{u}(k) = [u_1(k), u_2(k), \dots, u_i(k), \dots, u_M(k)]^T$ は M チャネルの電極から計測され、 $\mathbf{v}(k) \sim N(0, \mathbf{R}(k))$ は共分散 $\mathbf{R}$ の観測ノイズである。

観測ノイズを以下のように設計することでセンサ異常を状態推定に反映する。

$$\mathbf{R}(k) = \begin{pmatrix} \sigma_{e1} + a_1\sigma_a & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \sigma_{eM} + a_M\sigma_a \end{pmatrix}$$

ここで、 σ_{e1} はセンサ異常が無い時の EMG から発生する観測ノイズである。 σ_a は異常センサから発生するバイアスノイズであり、異常スコア a_M によってスケールリングする。

異常スコアは、正常時のセンサから計測された筋活動の相関構造を基準に、現在の相関構造の変化を捉えることで算出する。 M 次元 EMG データセット

$$D = \{z(k) | z(k) \in \mathbb{R}^{M \times M}, k = 1, 2, \dots, N\}$$

は多次元ガウス分布で下記のように表される。

$$N(\mathbf{z}|0, \Lambda^{-1}) = \frac{\det(\Lambda)^{1/2}}{(2\pi)^{M/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\mathbf{z}^T \Lambda \mathbf{z}\right)$$

ここで、 $\Lambda \in \mathbb{R}^{M \times M}$ は精度行列であり、共分散行列の逆行列である。

また、 $\mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_M]^T$ は EMG の生信号を表す。確率分布から相関構造を捉えることで、二つのデータセット D と $\bar{D}$ の相関構造の違いを KL-ダイバージェンスによって計算し、異常スコアを下記のように算出する。

$$d_i^{\bar{D}} \equiv \int d\mathbf{h}_i p_{\bar{D}}(\mathbf{h}_i) \int dz_i p_D(z_i | \mathbf{h}_i) \ln \frac{p_{\bar{D}}(z_i | \mathbf{h}_i)}{p_D(z_i | \mathbf{h}_i)}$$

$$a_i \equiv \max(d_i^{D\bar{D}}, d_i^{\bar{D}D})$$

ここで a_i は i -チャンネルの異常スコアを表す。

〈実験設定〉

提案手法は、16チャンネルの筋電センサからのヒトの運動推定による上肢外骨格型ロボット制御において、図2(a): 筋電センサ電極の断線 (Sensor DisConnected: SDC), 図2(b): 皮膚表面と電極の接触不良 (Sensor DeTached: SDT), さらに図2(c): センサ位置の配線ミス (Sensor Electrode Misplacement: SEM), の三種類のセンサ異常に対し、パターン判別による検出と閾値設定による検出の二つの従来法と精度を比較することで検証した。図2(a)(b)に関して、16チャンネルのうち二つのセンサに SDC と

SDT の二種類の欠損状態を起し、図2(c)においては16チャンネルのうち二つのセンサ位置を入れ替えた。(c)に関しては全ての可能な組み合わせを試した(120通り)。

検証は健常者5人(男性)による水飲み動作をタスクとした実験で行い、運動意図として肩2自由度(屈曲・伸展, 外転・内転), 肘1

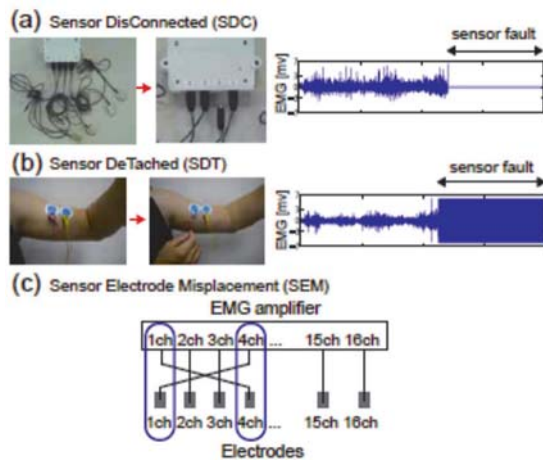


図2 3種類のセンサ欠損。(a): EMG電極の断線, (b): EMG電極と皮膚表面の接触不良, (c): センサ位置の配線ミス

自由度(屈曲・伸展), 手首1自由度(屈曲・伸展)の計4自由度の関節トルクを推定した。

〈結果〉

図3にSDCとSDTのセンサ異常に対する、提案手法による異常センサ検出、ロジスティック回帰による検出と閾値による検出の性能を比較した結果を示す。異常検出の精度はROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線のAUC (Area Under Curve) により比較する。このAUCが最大値1に近いと検出性能が高いことを意味する。これらの結果にBonferroniで補正されたWelchのt検定を行ったところ、SDCとSDT異常に対して提案手法とロジスティック回帰による検出法の間有意差がみられ($p < 0.05$), SDC異常に対して提案手法と閾値検出法の間有意差がみられた($p < 0.01$)。一方, SDT異常に対する提案手法と閾値検出法の間有意差はみられなかった。

次に, 図4にセンサ配線位置の入れ替え異常(SEM)における全被験者の4自由度の関節トルク推定誤差を合わせた結果を示す。この異常センサによる実験では, 16チャンネルのセンサのうち2チャンネルのセンサ配線を入れ替え, 被験者ごとに可能な組合せ全て(120通り)のセンサ入れ替え異常状態をテストした。ロジスティック回帰による判別では, 全組合せに対して予め判別器を用意しておく必要があるため,

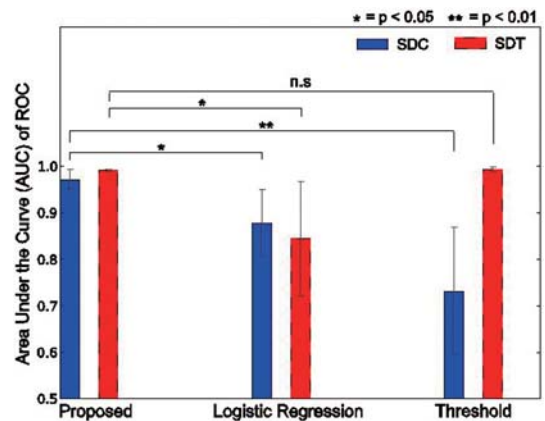


図3 AUC (Area Under Curve) による異常検出性能の比較

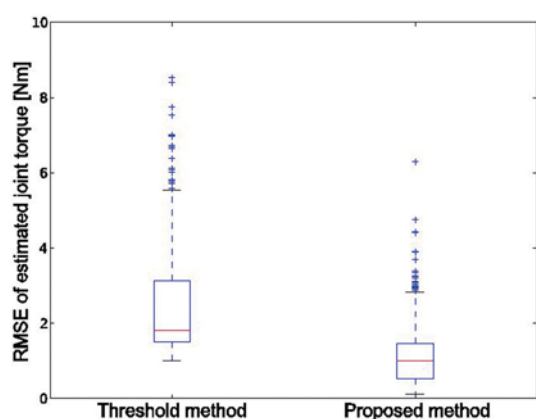


図4 推定トルクの誤差

オンラインロボット制御では現実的ではない。そこで提案手法と閾値設定による検出法との推定精度を比較した。この結果より、提案手法が閾値法よりも少ない誤差で推定できていることがわかった。この二つにマン・ホイットニー検定をかけたところ、有意に差があった ($p < 0.01$)。

最後に、実際に SDC と SDT のセンサ異常を上肢外骨格型ロボット制御中に起こした場合の制御性能の様子を図5に示す。ここでは、提案手法と確実なセンサ情報取得を前提にした一般的な制御方法を用いた場合を示す。一般的な方法では、センサ異常が起きた場合に制御不能

になった一方、提案手法では頑健に制御できていることが確認できた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、センサ欠損に頑健な多チャネル筋電信号によるヒトの運動意図推定モデルを提案した。提案手法は多自由度の上肢外骨格型ロボットの制御時に、実際にセンサを異常状態にすることで検証し、有効性が確認された。今後は多種多様な多自由度運動に対応できるようにモデルを拡張する。さらには、他のセンサ異常においても有効性を検証する。そしてこれら構築した技術をもとに、脳波などの他の生体信号における汎化性を検証し、ブレインマシンインタフェースへの応用を目指す。

[成果の発表, 論文等]

Jun-ichiro Furukawa, Tomoyuki Noda, Tatsuya Teramae, and Jun Morimoto, "Human movement modeling to detect bio-signal sensor failure for myoelectric assistive robot control", IEEE Transactions on Robotics, 2016, conditionally accepted.

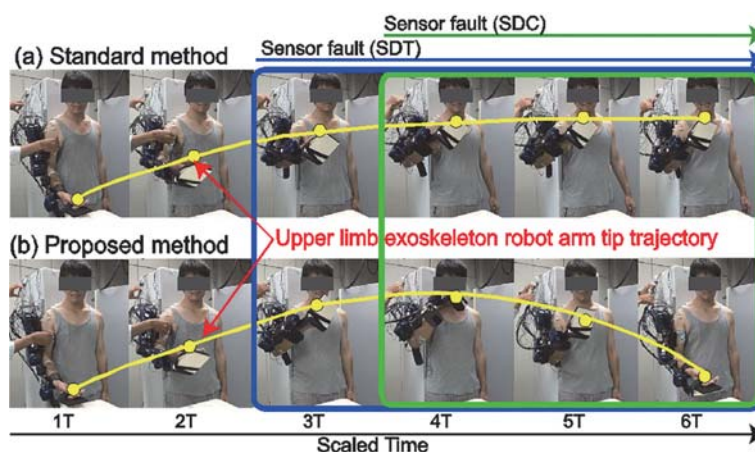


図5 提案手法と一般的な手法のセンサ異常時におけるロボットの制御性能

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

Development of quantitative diagnostic method for liver fibrosis using ultrasound B-mode image

2157013



研究代表者

東京工業大学大学院
理工学研究科

博士後期課程

森 翔 平

[研究の目的]

肝炎は肝がんに移行することもあり早期発見が重要な疾患であるが、初期の肝炎は自覚症状に乏しい。そのため、自覚症状が伴わない段階で健康診断などにより肝炎を早期発見する診断技術の開発が望まれている。超音波画像診断装置は低侵襲・無観血でリアルタイムに生体内部の断層画像を取得できる装置であり、また、CTやMRIなど他の画像診断装置に比べ低コストなことから臨床現場で広く用いられている。近年では持ち運びが可能な小型の超音波画像診断装置の開発も進んでおり、健康診断などでの簡易検査への応用も期待される。しかし、超音波画像は様々な要因の影響を受けるため、画像評価に読影者の技術や経験が必要とされており、定量的な画像評価技術の開発が強く望まれている。

本研究では、超音波画像の振幅（輝度）分布特性に着目した肝炎線維化の定量診断手法に関して研究を行った。

[研究の内容・成果]

先行研究では、超音波画像の振幅（輝度）分布特性に着目し、肝炎線維化による線維組織を可視化する手法を提案した。しかし、臨床で得られる腹部超音波画像中には肝臓以外に腹壁や他の臓器なども含まれており、定量的な診断を

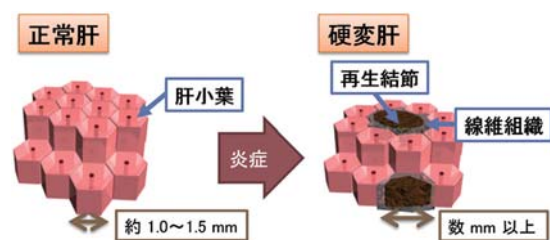


図1 肝線維化による肝組織構造の変化

行うには腹部超音波画像中から肝臓のみを抽出する必要がある。そこで、本研究では腹部超音波画像から肝臓を自動で抽出する手法を提案し、先行研究で提案した肝炎線維画像化手法と組み合わせることで、自動で定量的な肝炎線維画像を作成する手法を検討した。

1. 肝炎線維化による肝組織構造の変化

肝炎線維化による肝組織構造変化を図1に示す。正常な肝組織は、肝小葉が規則正しく並んだ構造をとる。アルコール接種やウイルス感染が原因で組織に炎症が生じると、肝小葉は壊死し、線維組織や結節といった肝臓としての機能を持たない組織に置き換わる。病変の進行に伴い線維組織や結節の量は増加する。

2. 肝超音波画像の振幅分布特性

肝組織は音響的には音波を反射する散乱体が密かつ均一に分布した状態だと考えられ、超音波画像中ではスペックルパターンと呼ばれる斑紋上の模様を呈する（図2 (a) (i)）。正常な肝組織は血管周辺を除けば均質媒質である肝実質

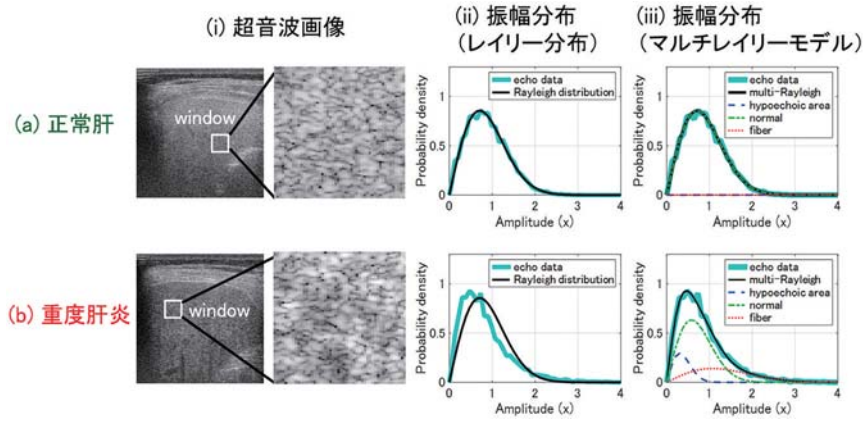


図2 肝超音波画像と振幅分布特性

から構成されているため、超音波画像中で均質なスペックルパターンを呈する。この均質なスペックルパターンの振幅（輝度）分布はレイリー分布で近似できることが知られている（図2 (a) (ii)）。

$$p_R(x) = \frac{2x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{\sigma^2}\right). \quad (1)$$

ここで、 x はエコー振幅、 σ^2 はエコー信号のパワーに対応する分散パラメータである。

一方、肝炎線維化により病変の進行した肝組織では、低エコー組織（結節・血管）、肝実質、線維組織などの複数の均質媒質が組み合わさっており、全体としては不均質な媒質となる。病変肝における各組織は異なる散乱体密度を持つため、その超音波画像は不均質なスペックルパターンを示し（図2 (b) (i)）、その振幅分布はレイリー分布から逸脱する（図2 (b) (ii)）。我々は、病変肝組織が散乱体密度の異なる均質媒質の組み合わせとなることに着目し、病変肝の振幅分布モデルとしてマルチレイリーモデルを提案している。マルチレイリーモデルは分散の異なるレイリー分布の足し合わせとして表現され、各成分は結節、肝実質、線維組織それぞれの振幅分布に対応する。マルチレイリーモデルは次式で表される。

$$p_{\text{mix}}(x) = \alpha_L \cdot p_{\text{LR}}(x) + \alpha_M \cdot p_{\text{MR}}(x) + \alpha_H \cdot p_{\text{HR}}(x). \quad (2)$$

ここで、 $p_{\text{LR}}(x)$ 、 $p_{\text{MR}}(x)$ 、 $p_{\text{HR}}(x)$ はそれぞれ低分散（低エコー） σ_L^2 、中分散（肝実質） σ_M^2 、高分散（線維） σ_H^2 のレイリー分布である。 α_L 、 α_M 、 α_H は各レイリー分布の混在率であり、 $\alpha_L + \alpha_M + \alpha_H = 1$ となる。図2 (iii) に示すとおり、マルチレイリーモデルにより正常肝と病変肝の振幅分布を表現することができる。マルチレイリーモデルの混在率パラメータは各組織の組織量に対応し、病変肝の振幅分布に対しマルチレイリーモデルのパラメータを推定することで病変肝組織の組織性状を評価することが可能になる。

3. 定量的な解析領域の決定に向けた検討

腹部超音波画像中から肝臓を抽出する手法について検討した。腹部超音波画像中には肝臓以外に腹壁や、探触子が身体に適切に接触できていないために生じる低エコー部などが存在する。図3に腹部超音波画像から肝臓成分を抽出する手順を示す。図3 (a) は腹部超音波画像中の振幅分布のレイリー分布の近似精度を、図3 (b) は推定されたマルチレイリーモデルの近似精度を、式 (3) で示される KL 情報量に基づき評価した結果である。

$$D_{\text{KL}}(p||q) = \sum_x p(x) \log_2 \frac{p(x)}{q(x)}. \quad (3)$$

ここで、 $p(x)$ 、 $q(x)$ は振幅確率密度関数である。本検討では、 $p(x)$ が超音波画像の振幅分布、 $q(x)$ がレイリー分布やマルチレイリーモ

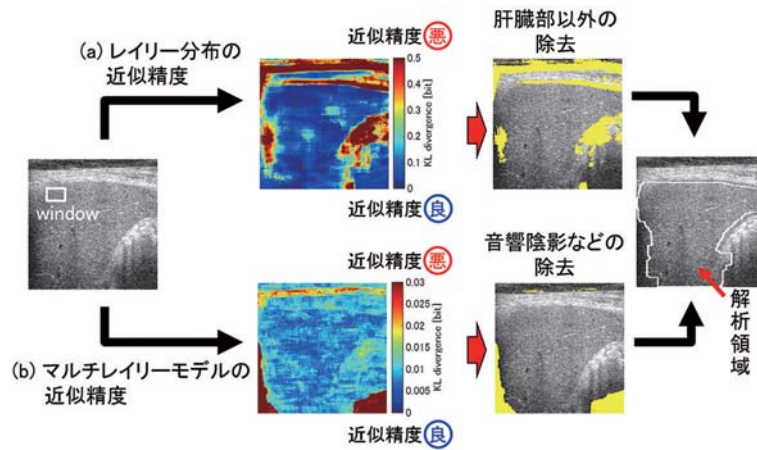


図3 肝臓成分の抽出手法

デルに対応する。KL 情報量は、 $p(x)$ と $q(x)$ が類似した分布であるほど値が小さくなり、 $p(x)=q(x)$ のとき値が 0 となる。図 3 (a) から、腹壁など肝臓以外の部位において超音波画像の振幅分布とレイリー分布の KL 情報量が大きくなっていることがわかる。これは、腹壁部などの振幅分布はレイリー分布と異なる分布になることを意味している。一方、図 3 (b) からは、音響陰影部や、探触子が身体に適切に接触していないために生じる低エコー部において、超音波画像の振幅分布と病変肝の振幅分布モデルであるマルチレイリーモデルの KL 情報量が大きくなることがわかる。これは、このような低エコー部の振幅分布は病変肝の振幅分布モデルであるマルチレイリーモデルでは表現できな

いことを示している。

以上の結果を踏まえ、解析領域を自動かつ定量的に決定する手法を提案した。レイリー分布の近似精度が悪い領域とマルチレイリーモデルの近似精度が悪い領域を閾値処理により抽出し、抽出した領域が含まれないように解析領域を設定する。

4. 肝炎線維画像による臨床画像の評価

肝生検における新犬山分類法により正常肝から重度肝炎まで分類された臨床画像に対し、提案した解析領域の決定手法を適用した。解析領域内のデータに対して先行研究で提案している肝炎線維画像化を行った結果を図 4 に示す。超音波画像の各画素の振幅値 x は次式により線維

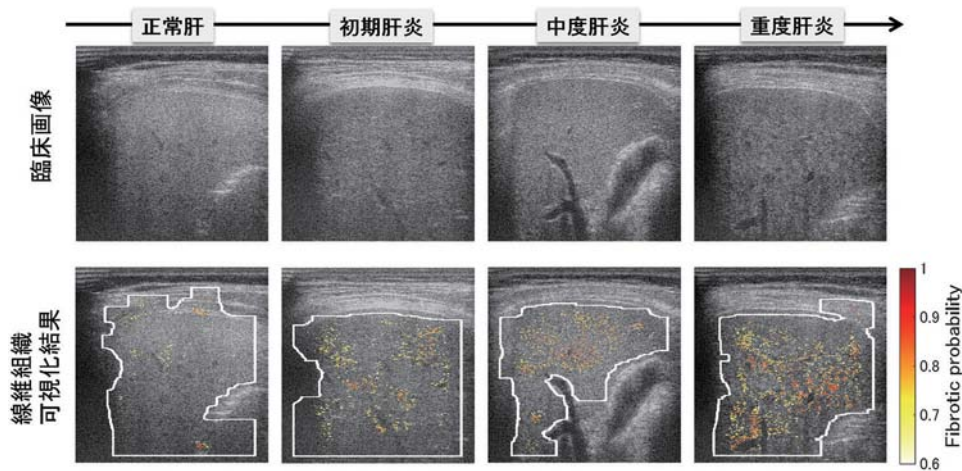


図4 臨床画像における解析領域の自動設定と肝線維化定量画像による評価

確率 $Prob_{\text{fib}}(x)$ に変換することができる。

$$Prob_{\text{fib}}(x) = \frac{\alpha_H p_{\text{HR}}(x)}{p_{\text{mix}}(x)}. \quad (4)$$

ここで、 $p_{\text{mix}}(x)$ はマルチレイリーモデル、 α_H $p_{\text{HR}}(x)$ はマルチレイリーモデルにおける高分散（線維）レイリー分布である。超音波画像の各画素の振幅値において式（4）により線維確率を計算することで、超音波画像から線維確率画像に変換することができる。

正常肝から重度肝炎まで、どの段階の臨床画像においても肝臓以外の成分を除外するように解析領域を設定することができている。また、病変の進行により、抽出される線維量が増加している。このように、マルチレイリーモデルを用いることで、線維組織に関する定量的な情報を持つ線維確率画像を自動で作成することができ、定量診断の実現が期待される。

[今後の研究の方向・課題]

本研究により、肝炎線維化を定量的に評価できる線維確率画像を自動で作成することが可能となった。今後は、病変肝ラットなどを用いて提案手法の精度を評価し、提案手法による病変進行度の判定能を検証していく予定である。

[成果の発表、論文等]

論文

1. Shohei Mori, Minori Ohashi, Shinnosuke Hirata, Hiroyuki Hachiya, "Stability evaluation of para-

meter estimation of multi-Rayleigh model for ultrasound B-mode image of liver fibrosis," Japanese Journal of Applied Physics 55, No. 7S1, 07kF09, Jun. 2016.

学会発表

1. Shohei Mori, Shinnosuke Hirata, Hiroyuki Hachiya, Tadashi Yamaguchi, "Evaluation of fibrotic probability image by multi-Rayleigh model for ultrasound image of liver using automatic region of interest selection," 2015 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 1-4, Nov. 2015.
2. Shohei Mori, Shinnosuke Hirata, Tadashi Yamaguchi, Hiroyuki Hachiya, "Stability evaluation of estimation method of multi-Rayleigh model using simulated ultrasound B-mode image for liver fibrosis," USE2015 The 36th Symposium on Ultrasonic Electronics, Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol. 36, 2P5-11, Nov. 2015.
3. 森 翔平, 平田慎之介, 山口 匡, 蜂屋弘之, "びまん性肝疾患の組織性状超音波画像のための種々の定量処理手法の比較," 日本音響学会 2016 年春季研究発表会, Feb. 2016.
4. 森 翔平, 平田慎之介, 山口 匡, 蜂屋弘之, "マルチレイリーモデルに基づく Extended-CFAR 処理によるびまん性肝疾患の線維抽出手法の検討," 日本音響学会 2016 年春季研究発表会, Feb. 2016.
5. 森 翔平, 平田慎之介, 山口 匡, 蜂屋弘之, "マルチレイリーモデルの成分数と肝線維化パラメータ推定精度の関係," 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会, Sep. 2015.
6. 森 翔平, 平田慎之介, 山口 匡, 蜂屋弘之, "臨床画像に含まれる非スペクル成分を考慮した肝線維化定量手法の推定精度の検討," 電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会, 信学技報, Vol. 115, No. 102, pp. 7-12, Jun. 2015.

産業応用に向けた二次元画像照合によるパターン認識

Pattern Recognition by 2D Image Matching for Industrial Applications

2157014

研究代表者
(助成金受領者)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

共同研究者

熊本大学大学院 先端機構

上 瀧 剛

共同研究者

熊本大学大学院 自然科学研究科

内 村 圭 一

[研究の目的]

画像内にある特定のパターンを認識する技術は、工業画像処理に広く応用されている。例えば、部品外観検査では、二次元画像中に多数存在する部品の中から、ターゲットの検出および種類（クラス）の識別を行う。このようなシーンでは、画像から複数ターゲットの位置姿勢推定を伴うマルチクラス識別が可能であるアルゴリズムが必要とされる。また、ターゲットの任意の姿勢変化を考慮する場合、三次元的な姿勢推定が可能であるアルゴリズムが求められる。

二次元画像から、ターゲットの位置姿勢検出および識別を行う場合、予めターゲットのクラスおよび姿勢変化を含むテンプレートを登録し、照合に用いるテンプレートマッチングが用いられる。ただし、予め登録するデータ量および処理コストの大きさが問題となる。データ量削減のために、主成分分析を応用した手法として、固有値テンプレート法が提案されている^[1,2]。この手法では、二次元的な平面回転を行うターゲットの位置および姿勢を同時に推定可能である。しかし、ターゲットの三次元的な姿勢推定およびマルチクラス識別ができない。

これに対し、本研究では、固有値テンプレ

ート法を拡張することでターゲットの三次元的な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実現を目的とする。また、固有値テンプレート法を応用した産業システムの実現を目指す。

[研究の内容、成果]

固有値テンプレート法によるクラス識別

図1に、マルチクラス識別に対応した固有値テンプレート法の概略を示す。図1右上の点線内の手法は、正規化相互相関法（NCC）と呼ばれるテンプレートマッチングの代表的な手法を表す。図1下は、固有値テンプレート法を表す。

ターゲットの姿勢変化を考慮した画像照合

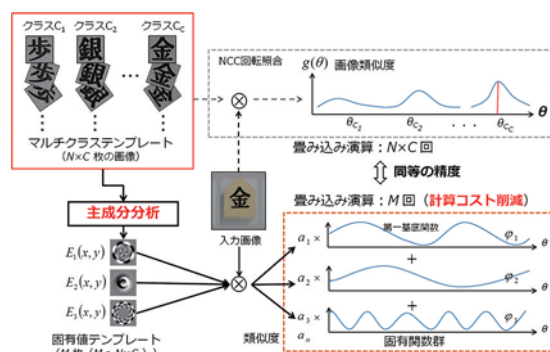


図1 固有値テンプレート法概略

を行う場合、従来法である NCC では、姿勢変化に対応したテンプレートを用いて、繰り返し照合を行う。この手法ではテンプレート数に応じて、データ量および処理コストが膨大となる。一方、固有値テンプレート法では、多量のテンプレート群に対し、主成分分析を適用することで固有値テンプレートと呼ばれる新たなテンプレートを得る。固有値テンプレートにより、元のテンプレート数よりも少ない枚数でターゲットのクラスおよび回転変化情報を表現可能である。固有値テンプレートを用いたクラス識別および回転角度推定には、近似近傍探索を用いることで高速な認識処理を実現する。具体的には、まず、テンプレート群の各テンプレートと固有値テンプレートを畳込んだ値を葉に持つ多次元の特徴空間を予め辞書として保存する。次に、入力画像が与えられた場合、入力画像と固有値テンプレートを畳込んだ値をクエリとして辞書空間に投入し、近似近傍探索によりクエリと近傍となる特徴ベクトルを求める。特徴ベクトルには、ターゲットのクラスおよび回転角度の情報が付与されているため、クエリのクラスおよび回転角度を推定可能となる。

テスト画像を用いて、固有値テンプレート法によるターゲットの位置姿勢推定性能および識別性能、処理時間を評価する。実験画像について、テンプレートとして、画像データセット COIL-20^[3]に含まれる 10 種類を用いた。ここで、1 クラスあたり 72 枚を登録する。テスト画像として、データセットに含まれている画像をランダムに 3 種類選択し、平行移動を加えた

ものを黒い背景に貼付した画像を 20 枚作成し、使用した。図 2 (a) および図 2 (b) にテンプレートおよびテスト画像の例を示す。画像サイズは、テンプレートが 128×128 pix, テスト画像が 512×512 pix である。実験環境は、CPU Corei7-3930K 3.2 GHz, 物理メモリ 16 GB である。

実験結果を表 1 に示す。EIGEN は固有値テンプレート法である。ここで、固有値テンプレート数は 60 枚である。EIGEN および NCC の識別成功率はいずれの手法も 100% であった。EIGEN は、NCC の約 4 分の 1 の処理時間で、同等の精度での位置姿勢推定結果を得ることが可能である。

将棋ロボットシステムへの応用

画像処理の産業応用の中でも、ピッキングシステムは、製造業を含む幅広い分野で用いられている。産業以外の応用として、将棋ロボットと呼ばれるシステムが提案されている^[4]。このシステムは、人間とロボットで将棋の対局を実現するシステムであり、ロボットアームにより盤上に指し手を再現するシステムである。このシステムは、認識ターゲットおよびアーム動作が限定されており、産業システムと比較して実現が容易である。

本研究では、まず、固有値テンプレート法を画像認識部に採用した将棋ロボットシステムの開発を通して、物体認識およびロボット制御を組合わせたピッキングシステムのフレームワークを作成する。その後、産業向けピッキングシステムの開発を目指す。

作成したシステムの外観を図 3 に示す。本システムでは、小型 4 軸ロボットアーム (uArm metal) および Web カメラの使用により、本将棋の指し手を実現する。装置フレームとして、幅 416 mm, 奥行き 463 mm, 高さ 400 mm のアルミフレームにアクリル板を固定する。盤面のマス目のサイズは縦 25 mm, 横 20 mm である。

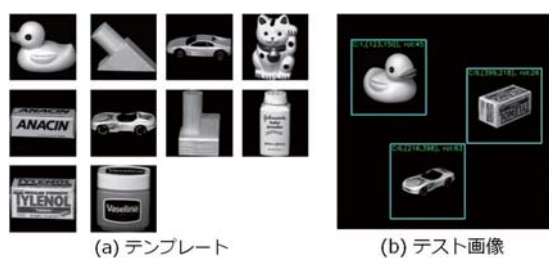


図 2 実験画像

表1 実験結果

手法	位置誤差 [pix]	姿勢誤差 [deg]	処理時間 [sec]
NCC	0.22	0.10	11.54
EIGEN	0.32	0.14	3.35

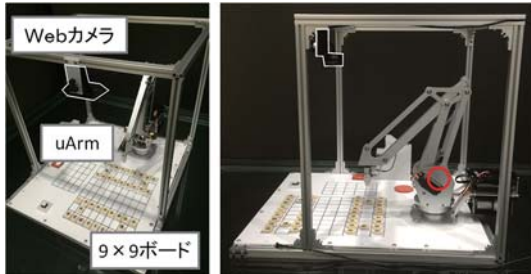


図3 将棋ロボット装置構成



(a) ターゲット



(b) 28クラステンプレート



(c) 回転テンプレート (±20[deg])

図4 認識ターゲット

図4 (a) に認識ターゲットとする駒の種類を示す。駒は全14種類である。ここで、先手および後手で駒の上下が逆に撮影されることを考慮する場合、図4 (b) に示すような合計28種類の駒の識別が必要である。また、駒の回転変化を考慮する場合、図4 (c) に示すような各駒に関する回転テンプレートが必要である。

例えば、±20度以内の回転変化を含む28種類の駒をターゲットとするテンプレートマッチングを行うことを考える。従来のNCCでは、28 (クラス) × 41 (±20度) = 1148枚のテンプレートが必要であるが、固有値テンプレート法では100枚程度の固有値テンプレートで元の

テンプレートを表現可能である。

本システムでは、4軸ロボットアーム「uArm」を使用する。物体の把持は空気吸引式で行う。ロボットアームの基本動作は、マスからマスへ駒を移動させる移動動作、駒の向きを180度回転させる回転動作、駒の表裏を反転させる反転動作の3種類とした。これらの基本動作を組合せることで、対局における様々なパターンの指し手を再現可能である。ここで、ロボットアームはシリアル通信によりPCから制御する。

駒の分類精度評価および対局テストにより、提案システムの評価を行う。使用テンプレートについて、クラス数は28である。また1クラスにつき、±20度の範囲で1度刻みに回転させたテンプレートを用いる。固有値テンプレート枚数は100とした。テンプレートサイズは36×36 pix、1マスあたりの画像サイズは90×107 pixである。

24枚の盤面画像を用いて、提案システムにおける駒の認識精度を評価する。使用画像および実験結果の一例を図5に示す。分類成功率は、100%であった。処理時間は、1マス辺り約110msecであった。

対局テストでは、ロボットアーム動作の安定性を評価した。対局数は、2局とした。実験結果を表2に示す。いずれの基本動作の成功率も94%以上の成功率であった。実際の対局における1局辺りのロボット側の指し手を平均50手とすると94%の動作成功率の場合、2, 3手は動作失敗することとなる。動作の失敗は、い

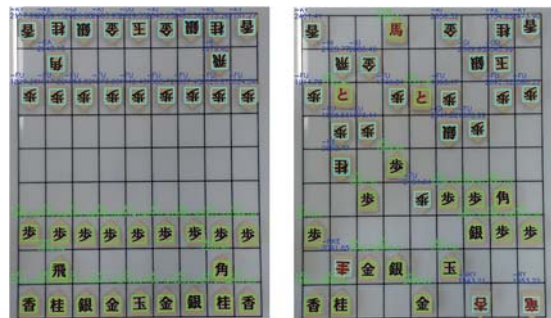


図5 盤面認識例

ずれもロボットアームのキャリブレーションに起因しており、今後、改良の余地があると考え

産業システムへの応用

産業用カメラおよびロボットアームと固有値テンプレート法を組合せたピッキングシステムの構築を行う。構築するシステムの外観を図6および図7に示す。本システムは産業用CMOSカメラおよびロボットアームから構築する。ロボットには、EPSON製の垂直多関節アームC3を用いる。本システムでは、図7に示すステージ上に複数のターゲットをランダムに置く。ターゲットには、ボルトやナットなどテクスチャレスの部品を用いる。ターゲット認識手法として、三次元検出に拡張した固有値テンプレート法を用いる予定である。

本システムのフローとして、まず、画像認識によりターゲットの三次元位置姿勢を推定する。ターゲットの三次元情報をロボット座標に変換

表2 対局動作テスト

動作種類	試行回数	成功回数	成功率 [%]
移動	123	116	94.3
回転	39	38	97.4
反転	19	17	94.4



図6 ピッキングシステム外観

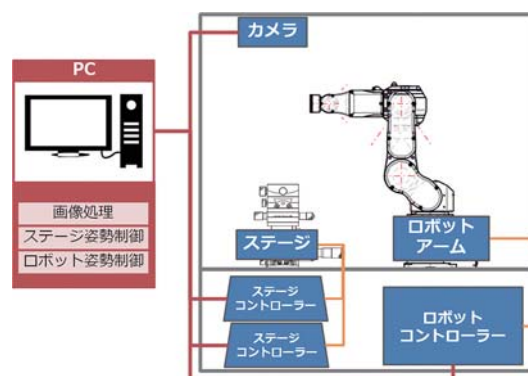


図7 ピッキングシステム構成図

後、PCからシリアル通信による命令の送受信を行い、その命令を基にロボットアームの移動および把持動作を行う。

[今後の研究の方向、課題]

固有値テンプレート法によるマルチクラス識別が可能なアルゴリズムを提案した。また、提案手法を認識部に応用した将棋ロボットシステムを提案した。しかし、三次元姿勢推定が可能なアルゴリズムの実現には至らなかった。

今後は、固有値テンプレート法による三次元姿勢推定の実現を目指す。また、テンプレート数の増加により、処理時間の増大が見込まれるため、高次元データに対しても高速な近傍探索が可能な手法の導入についても検討している。固有値テンプレート法の応用について、単眼カメラによるターゲットの三次元的な位置姿勢推定が可能な産業システムの実現を目指す。具体的には、ICチップなどの小型部品検査装置および前述したピッキングシステムの構築を目指す。

[参考文献]

- [1] 上瀧剛, 内村圭一: 明るさ変動および雑音に頑健な固有値分解テンプレート法, 電気学会論文誌C, Vol. 131, No. 9, pp. 1625-1632, 2011.
- [2] 矢田晃嗣郎, 上瀧剛, 内村圭一, 菅倫明, 浅井大介, 竹葉誠: 多段絞り込みによる固有値テンプレ

- ト法の高速化, 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No. 11, pp. 2110-2117, 2013.
- [3] S. A. Nene, S. K. Nayar, H. Murase: Columbia Object Image Library (COIL-20), Technical Report CUCS-005-96, 1996.
- [4] Denso News Release: <http://www.denso.co.jp/ja/news/newsreleases/2014/140312-01.html>, 2014.
- [成果の発表, 論文等]
- [1] Gou Koutaki, Koushiro Yata, Makoto Meno, Keiichi Uchimura: Multi-class Eigen Tempalate Matching for Shogi Robot System Proceedings of 22th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. P1-11-1-P1-11-5, 2016.
- [2] 矢田晃嗣郎, 目野誠, 上瀧剛, 内村圭一: 主成分分析を用いた多クラス分類と位置姿勢の同時推定～将棋ロボットシステムへの応用～, 画像の認識・理解シンポジウム, pp. DS2-8-1-DS2-8-2, 2015.
- [3] 目野誠, 矢田晃嗣郎, 上瀧剛, 内村圭一: 低コストなスタンドアロン型将棋ロボットシステム, 第21回画像センシングシンポジウム, pp. DS2-10, 2015.

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

Natural User Interface for Unmanned Aerial Vehicle Control

2157015



研究代表者
(助成金受領者)

共同研究者

東京大学大学院 工学系研究科
航空宇宙工学専攻

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

リユージュンファイ

准教授

矢 入 健 久

[研究の目的]

本研究の目的は、人間と無人飛行機 (UAV) の調和性と安全性を促進することである。現在、UAV は、航空写真、土地利用調査、災害救援など様々な分野で利用されているが、操縦が複雑で安全性が低いという問題がある。本研究では、最も自然な操縦方法、すなわちユーザーの体の動きで UAV を操縦する方法を確立することを目指す。また、LiDAR センサーの技術を使うことにより、UAV の安全性を高める。

これは、UAV の潜在力を活用し、平和な社会を実現する意義を持つ。例えば、操作方法が簡単であれば、多くの UAV ユーザーを動員した山や森林などでの遭難者探索ミッションに貢献できる。また、火山や原発などの災害地での観測を安全に行えるようになると期待される。

[研究の内容]

本研究の主眼点は UAV の安全性と人間との調和性にある。UAV の安全性に関しては、安定性が高くして操縦しやすいホロノミックヘキサコプターという新しいモデルを導き出した上で、開発した実機で実証実験をする。一方、人間と UAV の調和性に関しては、ユーザーが体の動きで UAV を操縦しながら、頭の動きでカメラジンバルを操縦する方法を実現する (図

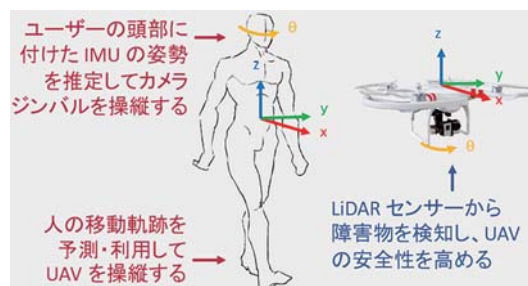


図1 操縦インターフェースのコンセプト

1)。この方法によって、ユーザーは直感的に UAV を操縦できる。

[研究の成果]

ホロノミックヘキサコプターの開発

安全で安心な UAV の飛行を目指し、我々はユニークなデザインで飛行姿勢を一定に維持しながら水平飛行することができるホロノミックヘキサコプターを開発した (図 2)。従来のヘキサコプターと異なるのは、各モーターが真上方向に対して少しずつ傾けて取り付けられている点である。ホロノミックヘキサコプターは従来のヘキサコプターと同様に機械的にシンプルで構築しやすいことに加えて、六つのモーターが異なる六つの方向に推進力を持つので、三つの並進および三つの回転力を生成することができる。その結果、ホロノミックヘキサコプターは



図2 開発したホロノミックヘキサコプター

以下の五つのメリットを持つ：

- (1) 操作方法が直感的なため、正確に誘導することができる
- (2) ジンバルや補正を必要とせずに、安定した画像を撮影できる
- (3) 低高度で飛ぶことができる
- (4) 常に水平姿勢を維持し、風の影響を受けにくいので、安全性が高まる
- (5) 姿勢を変えずに水平方向の力を加えることによって、周りの物との物理的な接触を容易に行なえる

式 (1) はホロノミックヘキサコプターの運動学の方程式である。 $f_1 \cdots f_6$ はモーターのスラスト、 r はヘキサコプターの半径、 α はアームとアーム間の角度、 β はモーターのチルト角度、 F_x, F_y, F_z は並進力、 τ_x, τ_y, τ_z は回転力である。ホロノミックヘキサコプターは従来のヘキサコプターを一般化したものとみなすことができる。すなわち、式 (1) に $\beta=0$ を代入した場合、行列の上二つの行がゼロになり、 x と y 方向の並進力が生じなくなる。これは、従来のヘキサコプターの運動方程式と等価である。

UAV の構築に関しては、頑丈で衝撃を吸収できるプロテクタを設計し、UAV の周りを取り付けた。設計したプロテクタは 3D プリン

ターで作った ABS パーツとアルミパイプから構成される。このプロテクタによって、プロペラが周りの物や人などを傷つける危険性が少なくなって、安全性を高めることができる。また、2D LiDAR センサーを UAV に載せ、その観測データをオンボードプロセッサによって処理することにより、周辺の人や障害物の距離を把握し、衝突を避けることができるようになっている。

高速な無線画像通信のプログラムの開発

従来、高速な画像通信の専用ハードウェアがあるが、普通の USB カメラと繋ぐことができず、値段も高い（約 20 万円）という問題がある。今回、UAV のオンボードプロセッサ (Odroid-XU4) を使って、USB カメラからの画像 (640×480, 30 Hz) を JPEG に圧縮して、WiFi 経由で Head-Mounted Display (HMD) に接続されたスマートフォンに送るようにした (図 3)。mjpg-streamer という効率的なライブラリを使って、無線で高速な画像通信の実験を

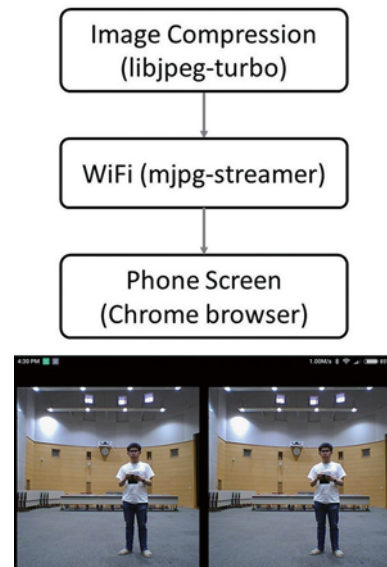


図3 無線で高速な画像通信の流れ

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\beta) & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) \\ -r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \cos(\beta) & r \cdot \cos(\beta) \\ r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & 0 & 0 \\ -(k+r \cdot \sin(\beta)) & -(k+r \cdot \sin(\beta)) & (k+r \cdot \sin(\beta)) & (k+r \cdot \sin(\beta)) & (k+r \cdot \sin(\beta)) & -(k+r \cdot \sin(\beta)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

実証した。この方法によって、普通の USB カメラ、プロセッサと WiFi 無線システムを組み合わせることで使うことが可能になった。このプラットフォームに基づいて、様々な有用な応用を実現することができる。

頭部姿勢の推定するプログラムの開発

UAV のジンバルを滑らかに操縦するため、ユーザーの頭部の姿勢を推定するアルゴリズムが必要である。本研究は Madgwick Filter を使って、加速度とジャイロレートの情報を融合して、ユーザーの頭部のヨー・ピッチ・ロールの角度を推定する。従来の Kalman Filter に比べると、Madgwick Filter のほうが計算量が少

なく、推定スピードが速いという長所を持つ。開発したプログラムは、x-IMU というセンサーを使って、Bluetooth 経由で UAV のプロセッサに繋げる。そして、ユーザーの頭部の姿勢により、プロセッサがジンバルの角度を調整する (図 4)。この方法によって、ユーザーは直感的にジンバルを操縦できる。

人の移動軌跡を推定するプログラムの開発

このサブテーマの目標は x-IMU センサーを足元に付けて、人の移動軌跡を推定利用して、UAV を操縦することである。理論上は、センサーの加速度を二重積分することで、人の移動軌跡を推定できるが、実際の観測データにはノ

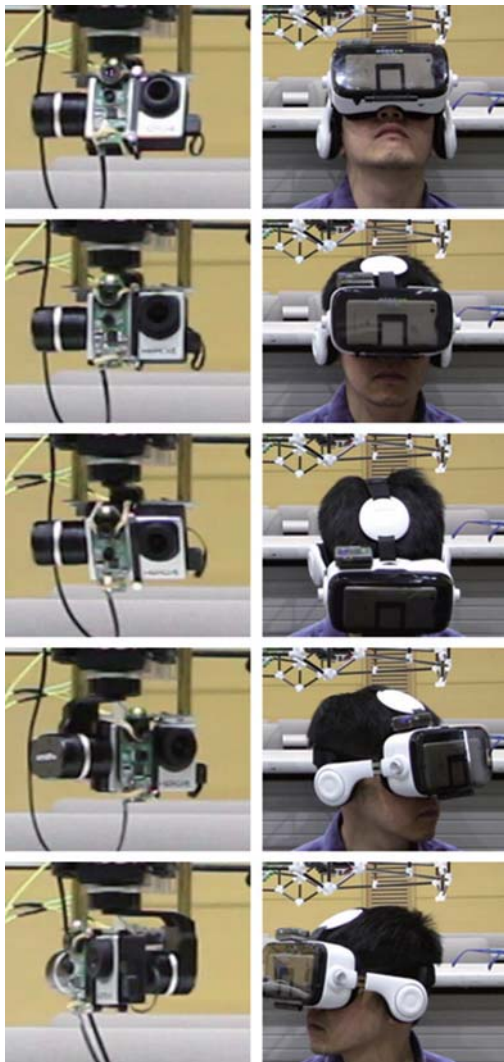


図 4 頭部の姿勢でジンバルを操縦する様子

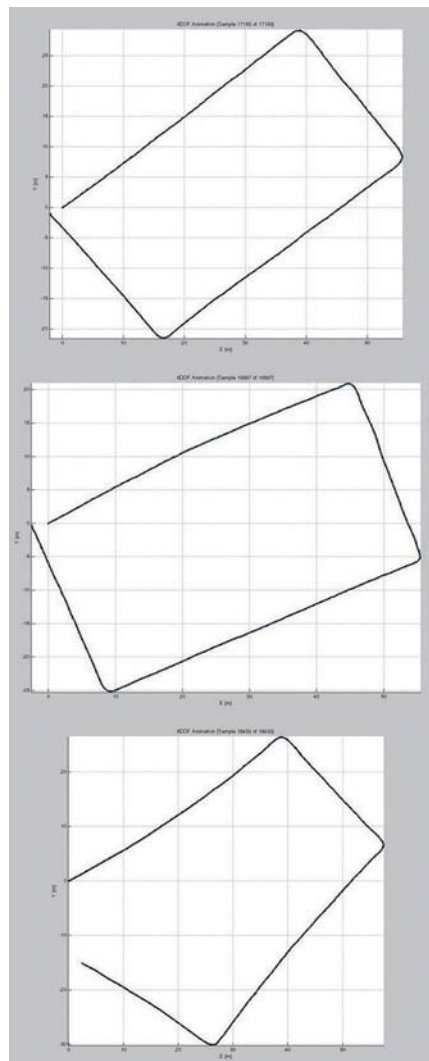


図 5 人の移動軌跡を推定した結果

イズがあり、二重積分の結果は信頼性が低い。しかし、センサーを足元に付けた場合、足の動きが止まる度に一重積分の累積誤差を消去することによって、人の移動軌跡を正確に推定する方法を実験により実証した。図5は建物を一周回した人の移動軌跡を示したものである。一方、一番下の画像は、センサーのヨー角のドリフトの問題によって、推定結果が悪かった例である。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究の実施期間内に、ホロノミックヘキサコプターが姿勢の維持しながら水平移動できることは実証したが、今後は定量的な評価も必要である。また、人の移動軌跡を推定することに成功したが、移動軌跡を利用して UAV を操縦

する追加実験が必要である。さらに、本研究で用いた 3D ジンバルの回転速度についての制限があるため、ユーザーが速く頭部の姿勢を変更すると、ジンバルが対応できないことも分かってきた。そこでより強力なジンバルの導入を検討している。

[成果の発表, 論文等]

- [1] C.F. Liew, T. Yairi, "Designing a Compact Hexacopter with Gimballed Lidar and Powerful Onboard Linux Computer," in Proceedings of IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), August 2015.
- [2] C.F. Liew, T. Yairi, "Towards a Compact and Autonomous Hexacopter for Human Robot Interaction," in 第33回日本ロボット学会学術講演会, 2015年9月。

国際交流報告の抄録一覧

〔国際会議発表〕

〈参加会議〉

- ◆ 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering
in Medicine and Biology Society (EMBC 2015) (2152001) 206
河本 浩明 筑波大学 システム情報系 准教授
- ◆ 18th International Conference of Solid-State Sensors,
Actuators and Microsystems (Transducers 2015) (2152004) 206
庄司 観 大阪大学大学院 工学研究科 博士後期課程
- ◆ ISSCR 2015 Annual Meeting (2152005) 207
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
- ◆ 30th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking
and Applications 2016 (IEEE AINA 2016) (2152101) 207
池田 誠 福岡工業大学 准教授
- ◆ Neuroscience2015 (2152102) 208
小田原あおい 東北工業大学大学院 工学研究科 博士後期課程
- ◆ HFES International Annual Meeting (2152103) 208
齊藤 裕一 東京農工大学 特任助教
- ◆ IEEE SMC 2015 (2152105) 209
長谷川達人 東京医療保健大学 助手
- ◆ 2015 IEEE/RSJ International Conference on
Intelligent Robots and Systems (IROS) (2152106) 209
HO ANH VAN 龍谷大学 理工学部 助教
- ◆ The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (2152107) 210
真栄城正寿 北海道大学大学院 工学研究院 助教
- ◆ Pacifichem 2015 (2015 環太平洋国際化学会議) (2152108) 210
茂木 俊憲 豊橋技術科学大学 研究員
- ◆ The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (2152109) 211
渡邊 智 熊本大学 助教

◆ IEEE WCNC (IEEE Wireless Communications and Networking Conference) (2162003)	211
Tran Thao Nguyen	九州工業大学 情報工学府 博士後期課程
◆ SPIE Commercial + Scientific Sensing and Imaging (2162005)	212
渡辺 果歩	和歌山大学 博士後期課程
〔短期在外研究〕	
〈研究課題〉	
◆ Optical imaging of microvasculature response to laser induced stress wave レーザー誘起応力波に対する微小血管反応の光学イメージング (2156101)	212
角井 泰之	慶應義塾大学大学院 理工学研究科 後期博士課程
〔国際会議開催〕	
〈開催会議〉	
◆ VINCI (Visual Information Communication & Interaction) (2045001)	213
伊藤 貴之	お茶の水女子大学 理学部情報科学科 教授
◆ IEEE International Conference on Mechatronics (ICM2015) (2045003)	213
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
◆ 第8回モバイルコンピューティングと ユビキタスネットワーキングに関する国際会議 (ICMU2015) (2045007)	214
清原 良三	神奈川工科大学 情報学部情報工学科 教授
◆ ICSSE2015 (2045009)	214
佐々木 淳	岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授
◆ 5th International Conference on Quantum Cryptography (QCrypt 2015), Updating Quantum Cryptography and Communications 2015 (UQCC 2015) (2045010)	215
佐々木雅英	国立研究開発法人 情報通信研究機構 量子 ICT 研究室長
◆ The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2015) (2045012)	215
中本 裕之	神戸大学大学院 システム情報学研究科 助教
◆ ICALP2015 及び LICS2015 (2045014)	216
長谷川真人	京都大学 数理解析研究所 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) (2045016)	216
間瀬 健二	名古屋大学 教授

◆ Optics & Photonics International Congress 2016 (2155002)	217
加藤 義章 光産業創成大学院大学 学長 教授	
◆ RAID 2015 (The 18th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses) (2155003)	217
門林 雄基 奈良先端科学技術大学院大学 准教授	
◆ The 15th International Symposium on the Science & Technology of Lighting (略称 LS15) (2155004)	218
川上 養一 京都大学 工学研究科電子工学専攻 教授	
◆ 国際マイクロマシンサミット (2155011)	218
下山 勲 東京大学 教授	
◆ 11th International Conference on Knowledge Management (2155012)	219
瀬田 和久 大阪府立大学 教授	
◆ 7th Int. Conf. of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2015) (2155013)	219
高木 英行 九州大学 教授	
◆ The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (2155015)	220
松野 文俊 京都大学 教授	
◆ The 11th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2015) (2155016)	220
森 周司 九州大学 教授	
◆ GNSS 国際シンポジウム (2155017)	221
山川 宏 IS-GNSS2015 組織委員会 委員長	

〔国際会議発表〕

発表研究者	筑波大学 システム情報系 准教授 河本 浩明	2152001
参加会議	37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015)	
出張期間	2015年8月23日～8月31日	
開催場所	Milano・Italia	
発表論文	Modification of Hemiplegic Compensatory Gait Pattern by Symmetry-based Motion Controller of HAL ロボットスーツ HAL による対称歩行制御による片麻痺患者の歩行改善	

概要：

我々はこれまでに、人と機械が一体となり身体機能を改善・補助・拡張するロボットスーツ HAL の研究開発を行っている。当財団の研究助成による研究開発により、片麻痺患者を対象に、HAL により非麻痺側の歩容を抽出し、その歩容を麻痺側により運動学的に非対称歩行を改善するという、これまでにない独創的な歩容改善手法を開発することができた。今回申請した研究成果は、この手法の研究開発を通じて得られた臨床研究成果であり、当該開発手法による麻痺側の歩容改善に加え、非麻痺側に見られた部分的な異常歩容を改善することを示したことである。

当該研究成果を発表する目的は、当該研究によって得られた独創的な歩容改善アプローチを生体医工学分野の世界最大規模の学会で発信し、多数の研究者による様々な視点から当該研究の評価を得ることである。また、当該研究成果を発表する意義は、国際会議で学術的に議論することで、当該研究をさらに深め、改良・発展させることである。

当該研究成果を発表する国際学会は、生体医工学分野の優れた工学者と医師を含めた医療関係者が一堂に会する会議であり、様々な情報収集および情報交換をすることができる絶好の機会であった。本研究成果を発表することで、装着型ロボットによる片麻痺患者の歩行改善方法に関する評価、改善点を得られるのみならず、現在進行している当該研究成果を核とした歩行機能回復支援システムの研究開発の方向性や位置づけに関する情報の取得、今後の国際共同研究にも発展させる可能性も十分あり、当該国際学会で発表する効果は極めて高かった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	大阪大学大学院 工学研究科 博士後期課程 庄司 観	2152004
参加会議	18th International Conference of Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2015)	
出張期間	2015年6月19日～6月28日	
開催場所	アンカレッジ USA	
発表論文	Stacked Biofuel Cells Separated by Artificial Lipid Bilayers 人工脂質二重膜を用いた積層型バイオ燃料電池の開発	

概要：

International Conference of Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers) は、微小電気機械システム (Micro electro mechanical systems: MEMS) に関する世界最高峰の国際会議である。本国際会議の採択率は約 40% であり、最先端の研究成果が発表されるため、本会議に参加し他の世界トップレベルの研究者とディスカッションすることで、本研究テーマを大きく発展させることが出来る。また、私は今後研究者として、日本の科学技術の発展に寄与したいと考えており、このように大規模な国際会議で発表することは自分自身にとって大変貴重な経験であり、多くの研究者との人脈を築くチャンスである。

グルコースを燃料としたバイオ燃料電池の出力電圧は数百 mV 程度であるため、従来の体内埋込型バイオ燃料電池では、昇圧回路を用いて昇圧し電子デバイスの駆動を行っていた。しかしながら、体内埋込型バイオ燃料電池の出力が 10 μ W 程度であるのに対し、昇圧回路の消費電力が数 μ W 程度と高く、ほとんどの電力をロスしていた。本国際会議で発表した、人工脂質膜を用いた積層型バイオ燃料電池は、人工脂質膜で電解液を分離することで体内環境においても電池を積層できる可能性を持つものであり、将来、ペースメーカーや体内埋込型の医療機器の半永久電源として応用可能であると考えられる。本発表では、人工脂質膜の耐久性やファブリケーションに関する質問が多く、今後の研究につながる大変有意義な議論が出来た。また、航空機の乗り継ぎの際に、UC Berkeley の Michel Maharbiz 先生と Ronald Fearing 先生、Stanford University の Richard Zare 先生の研究室を訪問し、研究に関するミーティングや講演を行った。海外の大学を訪問し、大学の雰囲気や肌で感じることでより一層海外で研究したいという気持ちが強くなりいい経験となった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 博士課程 榛葉 健太	2152005
参加会議	ISSCR 2015 Annual Meeting	
出張期間	2015年6月23日～6月29日	
開催場所	ストックホルム スウェーデン	
発表論文	In Vitro Monitoring of Human iPS Cell-Derived Neuron Growth with a Microfabricated Device 集積化培養デバイスを用いたヒト iPS 細胞由来ニューロンの成熟過程評価	

概要：

International Society for Stem Cell Research (ISSCR) Annual Meeting は、再生医療・幹細胞生物学分野において最も権威のある国際会議である。会議に参加する目的は、研究成果を発表し、幅広い分野の研究者と議論を行うことで、研究をさらに発展させることである。本会議は、大学や研究所に所属する研究者のみではなく、多くの医療従事者や技術者が世界中から参加する。そのため、多能性幹細胞の特性に詳しい生物学分野の研究者に加えて、工学分野の研究者・技術者や医療従事者との情報交換や議論を行うことが期待でき、発表を行う意義は大きい。

今回、マイクロ加工技術により作製した計測デバイスを用いたヒト iPS 細胞由来ニューロンの活動計測方法と、本手法によって取得した発達過程における活動の変化についてのポスター発表を行った。本研究では、開発したデバイスを用いて従来とは異なる部位から活動計測を行ったものの、デバイスの構造や特性については、共通の理解があった。今回、生物学・医学系の本会議に参加し発表を行うことで、これまで前提としてきたことに対しても多くの質問を受け、今後研究をまとめるうえで非常に有意義であった。また、講演の聴講を通して、最近の研究動向の調査が出来たことも収穫であった。以上のことから、本国際会議に参加し発表を行うことで得られた経験は、今後研究を発展させる上で、大変意義深いものとなった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	福岡工業大学 准教授 池田 誠	2152101
参加会議	30th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications 2016 (IEEE AINA 2016)	
出張期間	2016年3月21日～3月27日	
開催場所	クランモンタナ、スイス	
発表論文	An Enhanced Message Suppression Controller for Vehicular-Delay Tolerant Networks 車両を用いた遅延耐性ネットワークにおける強化型メッセージ抑制コントローラ	

概要：

スイスのクランモンタナ市内の Le Régent Congress Centre で開催された第 30 回 IEEE AINA-2016 国際会議の本会議に採録された「An Enhanced Message Suppression Controller for Vehicular-Delay Tolerant Networks」と題して論文発表を行った。3 日間通して開催された会議では本会議に加え約 22 個のワークショップが併催され、333 名以上の発表者及び参加者が参加した情報ネットワーク部門のトップの一つである国際会議であった。このように AINA は、ネットワークを中心としてその応用まで含めた幅広い分野での最先端の研究発表が行われ、研究者相互の意見交換、議論、交流を図る場を提供していた。今回の発表では車両間通信に遅延・途絶耐性ネットワークの蓄積型運搬転送方式を適用したときの問題点を解決するために「複製メッセージ抑制手法 (EMSC: Enhanced Message Suppression Controller)」を提案した。この論文では、従来手法の Epidemic Routing と提案手法を 3 つの評価指標 (転送成功率、遅延時間、メッセージ送信数) を用いて比較することでネットワーク全体に転送される複製メッセージの数を減らしながら、高い転送成功率を有していることを明らかにした。本発表に関して、種々の質問やコメントを会議中にうけ、発表時間内外で以下の 3 点について特に議論を行った。(1) バンドルメッセージ毎の抑制時間管理手法、(2) リソースをリセットするタイミング、(3) 確認応答処理の最適化手法等について。この議論の中から、提案手法の更なる改良点について非常に参考になることがあり、研究の更なる推進がはかれると考えている。また、国際会議に参加したことにより多くの研究者と繋がりを持つことができ、有意義な出張となった。本出張による成果は立石科学技術振興財団の国際交流助成なしには実現しなかった。ここに記して感謝している。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東北工業大学大学院 工学研究科 博士後期課程 小田原あおい	2152102
参加会議	Neuroscience2015	
出張期間	2015年10月17日～10月23日	
開催場所	Chicago USA	
発表論文	Long-term electrical activities and drug responses in hiPSC derived neurons ヒト iPS 細胞由来ニューロンの長期電気活動計測と薬剤応答	

概要：

本国際会議は、神経科学関連の国際会議の中で最も大規模な会議であり、世界への発信力が強い学会であるため、研究成果を発表し、プラオリティーの確保および議論を深め今後の研究に生かすことを目的に参加した。

本年は米国シカゴで開催され、78ヶ国から 29033 人の人々が参加し、私は、「Long-term electrophysiological activities and drug responses in cultured human iPSC derived neurons」という題目でポスター発表を行った。これまで難しかったヒト iPS 細胞由来ニューロンの 1 年以上の長期培養と連続活動計測を実現し、顕著な薬剤応答を示す培養日数および神経疾患現象である「てんかん」現象の誘発と抗てんかん薬の効果を見出したという内容で発表した。神経疾患の解明や創薬分野への応用を目指した研究内容であり、多くの研究者がポスターに集まり、研究内容に驚きと関心を持ってもらった。解析法を含めた手技に関する質問が多かったが、ヒト疾患ニューロンの使用などに関するディスカッションもでき、今後の具体的な研究テーマを考案する上でのヒントが得られた。

ヒト iPS 細胞由来ニューロンに関する研究発表件数が今年は上昇しており、大学の研究者のみならず企業の発表も増えていたことから、今後、ヒト iPS 細胞由来ニューロンを用いた研究が加速される兆候を感じた。本実験系を使ったヒト iPS 細胞由来ニューロンの研究を更に進め、多くの研究者が興味を引く成果を出し続けて行きたいとあらためて思い、今後の研究発展において大変有意義な経験となった。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京農工大学 特任助教 齊藤 裕一	2152103
参加会議	HFES International Annual Meeting	
出張期間	2015年10月26日～10月31日	
開催場所	ロサンゼルス USA	
発表論文	Effectiveness of a Dual Control Theoretic Driver Assistance for Attaining Safety and Identifying Driver State 車両安全制御とドライバ状態推定の機能を兼備した双対制御論的運転支援の有効性評価	

概要：

昨今、自動運転への関心の高まりのなか、人の能力を「補完」する運転支援技術は著しい進展を遂げつつある。現在の運転支援システムは、「人が運転の安全性の責任をもつ（ドライバ主体）」ことを前提としつつも、緊急時に限り、機械が自律的に事故回避のための意思決定を下すことが可能である。一方、「居眠り運転」は、自動車運転における古くからの懸案事項である。提案システムは、車線逸脱防止制御をシステムが部分的に行い、それに対するドライバの対応の有無によってドライバが状況認識不全状態にあるか推定し、必要ならば残る制御をシステムが行って安全を確保する。筆者は、人と機械のインタラクションを通じて、車両安全制御とドライバ状態推定を同時に達成する新しいシステムを開発した。

当会議では、筆者は、自動車領域における人間・機械協調性と安全性を議論し、システム安全性・信頼性・効率性向上に寄与することを目的とした。人の認知・判断の特性と限界、ならびに機械のセンシング・状況理解の能力と限界を考慮に入れ、人と機械のお互いが補完しあう高信頼性なシステムの確立に向けて、自動車領域の研究者に留まらず、人間機械協調性に関する国内外の研究者との議論・交流を図ることに大きな意義がある。得られた成果は、つぎの通りである。本システムは、車両情報のみを用いることから、1) 既存のドライバ状態推定がもつ人の生理特性の個人差等がなく、2) 生体情報計測等のための特別な装置を要求しないことから、一般自動車に搭載することが可能である。したがって、本報告は、学術的交流の促進に留まらず、現実社会の問題である事故削減の効果を期待できる。その結果、本論文は、Transportation Surface のテクニカルグループ分野における One of the TOP 4 paper にノミネートされた。残念ながら、Award の受賞は逃したが、本報告の内容が高く評価されたことは明らかである。

〔国際会議発表〕

発表研究者	東京医療保健大学 助手 長谷川達人	2152105
参加会議	IEEE SMC 2015	
出張期間	2015年10月9日～10月12日	
開催場所	香港 中国	
発表論文	Analysis of actual smartphone logs for predicting user's routine settings of application volume 定期的な音量設定予測に向けたスマートフォンのログ分析	

概要：

今回参加した IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2015) は投稿数 946 件、採択数 587 件という非常に大規模な会議である。ビッグデータやヒューマンセントリックシステム等、様々なセッションで議論が盛り上がっていた。私は「Emerging Technologies and Applications in Computer Intelligence」セッションにて発表を行った。発表内容はスマートフォンの音量設定自動化に関する研究であり、発表後には実運用を行う際に意識すべき点等、様々な議論やご意見をいただくことができた。特に、提案手法の評価方法に関して、「発表では 10-fold Cross-Validation という手法で評価を行っていたが、実環境で用いる場合はどの程度の期間で学習が収束するのか」という実用を意識した質問をいただき、今後の研究発展に参考にしていきたいと感じた。同セッションでは、深層学習やモバイルインテリジェントシステムに関する発表が複数あり、どの研究も非常に高度で、積極的な議論が行われていたように感じる。自身の今後の研究に活かせるような、新しい知見や技術を聴講できたことも含め有意義な会議参加となった。その他いくつかのセッションを聴講させていただいたが、別途行っている研究分野に近いセンシングシステムに関する研究発表等、新しい発想につながる刺激を得られたと思う。

〔国際会議発表〕

発表研究者	龍谷大学 理工学部 助教 HO ANH VAN	2152106
参加会議	2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	
出張期間	2015年9月27日～10月2日	
開催場所	Hamburg ドイツ	
発表論文	Multimodal Sense of Touch : Complexity and Feasibility in Human-Machine Interface (HMI) マルチモダリティのある触覚による HMI : 複雑性と可能性	

概要：

IROS で開催される「See and Touch : Multimodal Sensor-based Robot Control for Human-Robot Interaction and Soft Manipulation」と題されたワークショップに招待講演者として参加した。あらゆるセンシング技術のフュージョン（統合）に基づいて、人間とロボットとの接触における危険性を緩和し、人間と優しくインタラクションができるような機構を開発する研究を進めており、本ワークショップではこの課題を参加者と共有し活発に議論することを目的とする。私が『招待講演者』として発表する内容は、ハード面では過去に開発した感圧導電糸からなる布センサを「ロボティックスキン」とした構造、ソフト面では高度な信号処理に基づいて人間と機械とが安全に接触できる制御アルゴリズムを有する「柔軟なインターフェース」をテーマに設定している。これは現在のロボット分野における最重要課題の一つであり、40 分の発表の後多くの参加者による活発な議論を得た。

本招待講演は、感圧導電糸を用いて多機能（マルチモダリティ）、高密度（マルチセンシング）、かつ柔軟なロボティックスキンを開発し、人間に優しく接触できる全体センシングに基づいたロボットアームの制御を研究することが目的である。感圧導電糸を編み込んだ布センサは、静電容量の検出による近接のセンシングと、圧力による抵抗値変化に基づく触覚センシングとのマルチモダリティを特徴とする。また、開発した人工肌をロボットアームに装着することにより、ロボットに周辺のヒトまたは外部環境と接触する状態を感知できる全腕によるセンシング能力を与えることができる。

〔国際会議発表〕

発表研究者	北海道大学大学院 工学研究院 助教 真栄城正寿	2152107
参加会議	The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015	
出張期間	2015 年 12 月 15 日～12 月 20 日	
開催場所	ホノルル USA	
発表論文	A simple method for the preparation of high diffraction quality protein crystals using microfluidic devices マイクロ流体デバイスを用いた高品質なタンパク質結晶作製方法	

概 要：

The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem2015) は、環太平洋地域の化学会が共同で開催する国際学会でアメリカ合衆国のハワイで 5 年ごとに開催されている。Pacifichem2015 には、化学関連の多くの研究者（分析化学、材料化学、生命科学、有機化学、無機化学など）が集まって世界最先端の研究発表を行う。本国際会議では、半導体微細加工技術を駆使して精密に設計・結晶化チャンバーを集積化したマイクロ流体デバイスを作製して、高品質なタンパク質の単結晶を作製するための手法について発表を行った。タンパク質の結晶化と単結晶を用いた X 線結晶構造解析は、生命現象の解明や薬剤開発などにおいて重要であり、人間の健康維持や健康促進に大きな貢献を果たす。近年の高輝度な放射光 X 線の充実とは、これまで困難であったタンパク質ターゲットの構造解析を可能とした。一方で、その上流過程である高品質なタンパク質の単結晶作製は未だに熟練者の経験や手技に大きく依存している。本研究で開発したデバイスは、これまでにタンパク質の結晶化実験に必要な不可欠であった専門家の勘や経験を一切排除した新規な単結晶作製方法であり、多くの研究者との議論を行うことができた。特に、デバイスの末端利用者として想定している生命科学の研究者との議論によって、今後のデバイス開発を推進していくうえで重要なアイデアを得ることができた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	豊橋技術科学大学 研究員 茂木 俊憲	2152108
参加会議	Pacifichem 2015 (2015 環太平洋国際化学会議)	
出張期間	2015 年 12 月 15 日～12 月 21 日	
開催場所	ホノルル USA	
発表論文	Substrate-dependent asymmetric and anisotropic diffusion in supported lipid membrane	

概 要：

親水性固体基板に支持した人工脂質二重膜 (Supported Lipid Bilayer; SLB) の評価法として基板の光学的性質に依存しない、新規な高感度光イメージング法を用い、基板ごとに異なる膜構造が発現する仕組みを明らかにしたことについて発表を行った。本会議では生体膜や人工膜を用いたバイオエレクトロニクスデバイス作製技術や膜物性の理論的考察に長けている海外研究者が一堂に会した。この場での成果発表により、新規な測定手法と汎用性を広くアピールすることに意義があった。また、自身の光イメージングを主とした物理化学的技術・知識に基づく成果を元に、バックグラウンドの異なる海外の研究者と議論を行い、今後の人工膜研究を見据えた双方の研究発展へも貢献したいと考え、本会議に参加した。自身のポスター発表では、2 時間程度の発表時間に 15 人程度の研究者との議論を行う機会に恵まれた。本研究により、SLB を形成可能であることを示した酸化物固体基板 (単結晶 Al_2O_3 (0001); サファイア) は振動分光計測の分野で広く用いられている光学材料であることから、本研究結果の分光計測分野への貢献可能性を示すことができた。また金などの金属基板上での均一な SLB の作製についての重要性を議論することができ、本研究の電気化学的計測および表面増強分光計測への新たな発展指針を得ることもできた。様々な分野の研究者との意見交換に基づき、今後の本研究の発展を踏まえた他分野への波及効果を新たに見出し、共同研究に向けた具体的なきっかけを得ることができた。

〔国際会議発表〕

発表研究者	熊本大学 助教 渡邊 智	2152109
参加会議	The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies	
出張期間	2015年12月16日～12月21日	
開催場所	ホノルル USA	
発表論文	Fabrication of arrayed waveguide grating for upconversion transparent displays アレイ導波路格子を用いたアップコンバージョン透明ディスプレイの創製	

概 要：

本国際会議は環太平洋地域の化学関連学会が5年に1度開催する学会でセッションは無機化学、有機化学、化学工学、生化学、応用化学など非常に多岐にわたる分野で構成される。化学関連の国際会議では世界最大規模かつ権威のある学会の一つだと国内外の研究者に認識されている。約70ヶ国から参加があり、発表件数および参加人数は1万人を超える。本会議は、約20分口頭発表と約60分のポスタープレゼンテーションで構成されている。このように大規模で著名な研究者が多数出席する国際会議で研究成果を発表し、活発な議論をすることで本研究が新たな展開へ発展することが期待できる。

私が発表したセッションは、「Materials and Nanoscience」セッションの「Advanced Materials for Photonics and Electronics: Fundamentals and Applications」で有機材料、無機材料問わずにエレクトロニクスやフォトニクスデバイスをターゲットにした基礎研究から応用研究が対象であった。発表の多くが有機半導体に関連する電界効果トランジスタ、光トランジスタ、発光ダイオードに関するものが多かった。特に、フレキシブルエレクトロニクスに関する研究の多くがプラスチック基板上への有機半導体デバイスの作製手法の検討のみに留まっているのに対して、本発表の希土類元素含有発光材料とポリマー導波路を利用した新しいデバイス構造を作製するアプローチは当該分野の研究者から非常に高い評価を得られた。質疑応答では、本発表のアレイ導波路格子デバイスに関する希土類元素含有材料の発展性や課題の指摘が多数あり、これを解決していくことでフレキシブルデバイスの透明度増加と長寿命化を可能にする研究へと発展が期待できる。

〔国際会議発表〕

発表研究者	九州工業大学 情報工学府 博士後期課程 Tran Thi Thao Nguyen	2162003
参加会議	IEEE WCNC (IEEE Wireless Communications and Networking Conference)	
出張期間	2016年4月2日～4月7日	
開催場所	Doha, Qatar	
発表論文	MU-MIMO Channel Emulator with Automatic Channel Sounding Feedback for 802.11ac	

概 要：

この度は、立石科学技術振興財団様より九州工業大学の代表として IEEE WCNC 会議に参加する機会を与えていただいたことに、感謝いたします。IEEE WCNC には無線に関する最新の技術を共有するため、世界中から多くの技術者が集まります。また、IEEE WCNC は IEEE における無線通信関係会議の中でも規模の大きな学会です。そのため、私はこの学会で私の研究を発表できたことを誇りに思っています。

この学会では、私の研究に対して、多くの世界中の技術者と情報を共有する貴重な機会となりました。私は「自動チャネルフィードバックを有する IEEE802.11ac 向けマルチユーザ MIMO チャネルエミュレータ」という題名で発表を行いました。私の発表に対して、MIMO エミュレータ設計と検証結果についていくつかの質問やコメントがありました。普段、聞くことができない私の研究に対する意見などを聞けて、とても貴重な経験になりました。

また、私が発表を行ったセッションだけでなく、他のセッションの発表も聞きました。例えば、MAC 層の M2M 通信や私の研究に関連している物理層やワイヤレスネットワークのセッションに参加しました。そこで、私は疑問点について様々な技術者に質問をし、新しい発見を見つけることができました。

また学会中のお昼休憩などでは、アメリカ、トルコ、中国、カタールからの多くの学生や教授、技術者に会いました。そこでは、私の日本での生活、私の出身であるベトナムの科学の発達について、多くのことを話しました。これも普段の私の生活から得ることができない貴重な経験となりました。

〔国際会議発表〕

発表研究者	和歌山大学 博士後期課程 渡辺 果歩	2162005
参加会議	SPIE Commercial + Scientific Sensing and Imaging	
出張期間	2016年4月16日～4月23日	
開催場所	ボルチモア USA	
発表論文	Incoherent holography by a Michelson type interferometer with a lens for a radial shear ラディアルシアのためのレンズを導入したマイケルソン型干渉計によるインコヒーレントホログ	

概要：

本国際会議に参加する目的は、インコヒーレントホログラフィの記録手法を発表し、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、3次元イメージングやデジタルホログラフィ、ディスプレイ、センシング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、インコヒーレント光を用いたイメージングやデジタルホログラフィ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、申請者の研究を進め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、ホログラフィ・3次元ディスプレイ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、簡易な光学系を用い、品質の高い再生像が得られるインコヒーレントホログラフィの一手法として有用であることを示した。英語圏において初めてのポスター発表であったが、自分自身の研究を発表し、他の技術者と議論を交わすことができたことは自信になった。

また、本国際会議に参加する機会を利用し、ジョンス・ホプキンス大学モンゴメリーキャンパスを訪問、G. Brooker 教授の研究室を見学し、インコヒーレントホログラフィを用いた顕微鏡法について、今後の研究のための知見を得ることができた。加えて、自分自身の研究内容の紹介もおこない、議論を通じて、国際交流をおこなった。

本国際会議に参加して得たものは多く、インコヒーレントホログラフィの研究を進める上で良い刺激となった。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致します。

〔短期在外研究〕

派遣研究者	慶應義塾大学大学院 理工学研究科 後期博士課程 角井 泰之	2156101
共同研究者／所属・職名	Bernard Choi / University California Irvine・Associate Professor	
滞在期間	2015年11月22日～2016年3月9日(内90日間を助成)	
滞在地	アーバイン USA	
研究課題	Optical imaging of microvasculature response to laser induced stress wave レーザー誘起応力波に対する微小血管反応の光学イメージング	

概要：

これまで申請者は、レーザー誘起応力波を微小血管に作用させることで、高空間選択的な薬剤輸送技術の開発とその応用研究を展開してきた。しかし、レーザー誘起応力波が生体に与える影響はいまだ未解明であり、本治療方法の機序解明が必要である。渡航先の機関は、光医療に関する世界的研究拠点であり、共同研究者の Prof. Bernard Choi は血管の光イメージングの第一人者である。本研究では、微小血管反応の光学イメージング技術を構築すること、そしてレーザー誘起応力波適用時の血管反応を調査することを目的として開始した。

申請者らのこれまでの研究成果をもとに、本研究では生体の血流情報を広範囲で迅速に撮像可能なレーザースペckルイメージング法を採用した。レーザー誘起応力波を生体の上方から適用することを勧奨すると、スペースを取らない小型・軽量のシステムを構築する必要があるため、光学ユニットやカメラなどの構成素子をタブレット PC の裏面に設置した台座に取り付けることで一体化し、三脚に搭載して斜めから撮像する機構とした。生体ファントムを用いた評価で、連続的なspeckルパターンの画像100枚を約6秒以内に取得・解析し、十分な撮像の速度と領域の獲得を確認した。また、生体の血流速度を想定した1～5 mm/s で流した散乱溶液の流れとその変化を捉えられた。本システムで所望のイメージング性能を得るまでには様々な技術的課題が発生し、動物を用いた調査は今後の課題として残るものの、問題解決に必要な小型・軽量性を有し、かつ微小血管内の血流を迅速かつ半定量的にイメージングするためのシステムを構築した。すなわち、今後の継続的共同研究につながる成果を得た。

〔国際会議開催〕

申 請 者	お茶の水女子大学 理学部情報科学科 教授 伊藤 貴之	2045001
国際会議名称	VINCI (Visual Information Communication & Interaction)	
開 催 期 間	2015 年 8 月 24 日～8 月 26 日	
開 催 場 所	一橋講堂中会議室 (東京都千代田区)	
申請者の役割	実行委員長 (General Chair)	

概 要：

国際会議 VINCI (Visual Information Communication & Interaction) は 2008 年以降毎年開催されている国際会議である。これまで中国やオーストラリアなどの環太平洋地域で開催されたが、8 年目の 2015 年に初めて日本に誘致する機会を得た。VINCI では主に可視化、情報デザイン、HCI (Human Computer Interaction) などの専門分野における論文発表やディスカッションを企画している。これらの分野では機械 (計算機) から提供される情報を人間が探索・理解するための視覚提示技術や操作技術などに主眼をおいており、人間と機械 (計算機) の調和を促進することで生まれる知識の獲得や共有を目標としている。

当該分野は日本国内にも多数の研究室を有するにもかかわらず、日本国内での国際会議の機会はこれまで少なく、また海外開催での国際会議への日本人参加者もあまり多くなかった。今回の東京開催によって、当該分野における日本国内からの投稿数と参加者数が増加し、結果として当該分野における日本人研究グループの存在感を示せたと考えている。特にポスター発表において日本人学生の発表が多かったことから、当該分野の日本国内での成長が期待される。また VINCI の採択論文は ACM Digital Library に掲載されることから、当該分野における日本国内の研究成果の Visibility が高まることも期待される。

なお今回の実行委員長の伊藤貴之が VINCI の Steering Committee に加入依頼されて承諾している。このことは当該分野における継続的な会議運営と、当該分野の国際会議の日本誘致の機会につながるものと考えられる。

〔国際会議開催〕

申 請 者	名古屋工業大学大学院 工学研究科情報工学専攻 教授 岩崎 誠	2045003
国際会議名称	IEEE International Conference on Mechatronics (ICM2015)	
開 催 期 間	2015 年 3 月 6 日～3 月 8 日	
開 催 場 所	名古屋工業大学 (名古屋市昭和区)	
申請者の役割	実行委員長 (General Chair)	

概 要：

本国際会議の主要トピックスは「メカトロニクス」であり、メカニクスとエレクトロニクスを融合した横断的学問分野として、その周辺要素技術となる、制御技術、生産技術、工作機械やロボットなどに関する機械要素や、エレクトロニクス製品の設計・解析技術、さらに関連する情報通信技術までの幅広い研究課題をカバーした。本国際会議では特に、世界の最先端かつ実用的な研究成果や技術動向について議論を深めると共に、今後の研究、技術展望を明らかにすることを目的に掲げた。そして、会議を通して国際的な交流の場を多く提供して日本技術の情報発信を行い、将来的な世界の機械・電気・電子・情報産業の発展に寄与することを目指した。

メカトロニクスに関する質の高い論文投稿により、18 カ国から 107 件の口頭発表と、参加者 165 名 (国内 128 名、国外 37 名) を得て会議を実施した。その結果、最先端かつ実用的な技術を世界の研究者や技術者が集って議論を深めることができ、当該分野の技術進展および学術分野の発展に大きく寄与した。加えて、メカトロニクス分野で世界的に著名な研究者 (Prof. Janschek) による基調講演と、産業界の技術者を交えた「産学連携に関するパネルディスカッション」を開催し、世界的にも屈指の産業集積地名古屋から日本の技術を広く世界に発信すると共に、グローバルな産学連携共同研究開発のコラボレーションの創出を促した。会議内で発表された優れた論文に関しては、会議後に企画する学会誌特集号への投稿を促して掲載を予定しており、本学会から広く世界に情報発信でき、当該分野の発展に大きく寄与できると期待される。

〔国際会議開催〕

申請者	神奈川工科大学 情報学部情報工学科 教授 清原 良三	2045007
国際会議名称	第8回モバイルコンピューティングとユビキタスネットワーキングに関する国際会議 (ICMU2015)	
開催期間	2015年1月20日～1月22日	
開催場所	ロワジールホテル 函館（北海道 函館市）	
申請者の役割	Financial Co-Chairs（財務担当）	

概要：

新世代の情報科学技術として注目されているモバイルコンピューティング技術およびユビキタスネットワークに関する研究促進と、研究者・技術者の国際的交流を目的として、当分野の最新の技術についての査読付き論文の研究発表を行う場を提供する会議である。

情報工学の中でもモバイルコンピューティングに関する各種研究発表や基調講演、パネル討論を実行し、モバイルコンピューティングについての有益な情報提供や意見交換を実施した。参加者がモバイルコンピューティングの現状や課題への理解をグローバルな視点で深める契機となった。また、予想以上に海外からの発表が多く、特に東南アジア圏からの参加が多く、函館で開催することにより、広く国内外からの参加者へ学術研究都市「はこだて」を周知することができた。

〔国際会議開催〕

申請者	岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授 佐々木 淳	2045009
国際会議名称	ICSSE2015	
開催期間	2015年7月6日～7月8日	
開催場所	いわて県民情報交流センター「アイーナ」（岩手県盛岡市）	
申請者の役割	Organizing Chair	

概要：

本国際会議は、IEEEのSMC（Systems, Man and Cybernetics）が共催するシステム科学・工学に関わる国際会議である。特に、近年注目されているソーシャルネットワーク、バイオインフォマティクス、災害時のシステム管理、ロボティクスなど、人間～インターネット～コンピュータの相互連携に関する研究発表と議論が活発に行われた。本会議を通じて、様々な分野の研究者が一同に集まり、複雑な課題について多角的な視点から議論されたことにより、学際的な新しい論点および研究テーマが発掘された。また、東日本大震災の復興途中にある岩手県において開催されたことは、海外の研究者からこの地域に関心を持たれることにもつながり、復興促進に対する間接的な効果もあった。本会議では、108件の論文投稿があり、1件につき3名の査読審査委員により審査された結果、54件の論文が採択された（採択率50%）。採録された論文は、事前に学術図書“NEW TRENDS ON SYSTEM SCIENCES AND ENGINEERING”（IOS Press）として出版され、本国際会議のProceedingsとしても配布・活用された。また、本国際会議は、Taiwan Association of System Science and Engineering（TASSE）とも共催が得られ、台湾からの論文投稿、参加者が多かった。参加者の合計は、外国人60名（内台湾人48名）、日本人40名であり、盛岡市にこの数の外国人研究者が結集することは稀有であり、学術レベルの向上、アウトバンドによる経済効果もあった。

〔国際会議開催〕

申 請 者	国立研究開発法人 情報通信研究機構 量子 ICT 研究室長 佐々木雅英	2045010
国際会議名称	5th International Conference on Quantum Cryptography (QCrypt 2015) Updating Quantum Cryptography and Communications 2015 (UQCC 2015)	
開 催 期 間	2015 年 9 月 28 日～10 月 2 日	
開 催 場 所	一橋大学一橋講堂（東京都千代田区）	
申請者の役割	会議運営委員会 委員長	

概 要：

〈目的〉

QCrypt 2015 の目的は、年に一度の最新の研究成果発表を通じた、量子暗号分野の研究者・学生の国際的な研究コミュニティの醸成である。量子暗号は、将来、暗号解読技術が進歩しても絶対に破られることのない次世代の暗号として期待されている新技術である。また、量子物理学、暗号学の基礎理論から、実装に関わる光通信・情報工学技術まで、広い分野の交流により発展している学際的な分野であり、学術・実用の両面で大きく発展しつつある分野である。

UQCC 2015 の目的は、量子暗号という新技術が今後どのように発展し、人間社会にどのような恩恵をもたらすのかについての展望を明らかにするため、研究者、通信技術者、及びその活用に興味を持つ潜在的ユーザーが一堂に会し、実用化の推進方策、具体的なアプリケーションなどを分野横断的に議論することである。

〈成果〉

QCrypt では、量子暗号に関する世界の主要研究者が集まり、最先端の研究成果発表や、研究者間の交流により、当該分野の学術的発展の加速を促すことができた。さらに UQCC を同時開催することで、量子暗号研究者が、通信技術者や量子暗号の潜在的ユーザーと交流する機会が提供され、量子暗号技術の実用化に向けた議論や、新技術である量子暗号と社会の今後の関わりについての広い視点からの関係者の相互理解が進み、量子暗号の実用的発展に向けても非常に有意義な議論の機会を提供することができた。

〔国際会議開催〕

申 請 者	神戸大学大学院 システム情報学研究科 助教 中本 裕之	2045012
国際会議名称	The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2015)	
開 催 期 間	2015 年 9 月 15 日～9 月 18 日	
開 催 場 所	淡路夢舞台国際会議場（兵庫県淡路市夢舞台 1 番地）	
申請者の役割	副組織委員長	

概 要：

本会議、第 17 回電磁気・機械技術の応用に関する国際会議は、発展が目覚ましい電磁気技術と機械系技術の基礎と応用を対象とし、各々の最新研究成果の情報交換と相互の関連を進展させることを目的として開催された。場所は兵庫県淡路市にある淡路夢舞台国際会議場で、会期は 9 月 15 日から 19 日であった。

学術的意義の大きい電磁気現象の定式化、逆問題、シミュレーションから、実用化を意識した電磁気応用のセンサやアクチュエータ、先端的電磁気技術、非破壊検査まで幅広いテーマを扱った。特に、適切な磁気の利用は人体に無害なことから生体医療応用、人間とのインタラクションが期待されるロボティクスや医療応用の研究発表が「Robotics for Health and Rehabilitation」や「Bio-medical Engineering」などのセッションで発表され、いずれも活発な議論となった。これら一般の参加者による口頭発表は 169 件、うちポスター発表が 114 件に加えて、基調講演が 2 件、招待講演が 2 件なされた。この発表件数は前回開催時よりも件数増となっており、今回の会議が盛大であったことを示している。発表件数に合せて参加者も 305 人を数え、参加国は 14 か国に上った。計画時の 2 倍近くの多くの参加者を得ることができ、本会議を大きな成功に導くことができた。

本会議は会期を終えたが、会期中の議論を反映させた論文の投稿を募り査読を経て International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics の特集号への掲載がプロセスとして残っている。これにより会議で発表した成果を会議中のみならずその後に渡って国内外に周知する予定である。

最後に、公益財団法人立石科学技術振興財団から国際会議助成を賜ることにより、このように本会議を成功裏に終えることができた。ここに同財団に厚く御礼を申し上げます。

〔国際会議開催〕

申請者	京都大学 数理解析研究所 教授 長谷川真人	2045014
国際会議名称	国際会議 ICALP2015 及び LICS2015	
開催期間	2015 年 7 月 6 日～7 月 10 日	
開催場所	グランドプリンスホテル京都（京都市左京区）	
申請者の役割	組織委員長	

概要：

理論計算機科学における中心的なふたつの国際会議 International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP2015) および Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS2015) を同時に開催し、最先端の研究の推進を行った。LICS と ICALP がアジアで開催されるのはいずれも今回がはじめてである。現在の社会において情報技術はほとんどすべての産業やインフラストラクチャおよび日常生活に深く浸透し必要不可欠なものとなっている。理論計算機科学はそれら情報技術の根本をなす理論的基礎であり、その成果は、長期および短期のスパンで、情報技術の革新・発展をもたらし続けている。理論計算機科学における最高峰の国際会議ふたつを京都で開催することにより、国内外の理論計算機科学の研究の推進と、国内の研究コミュニティの更なる発展に寄与することを目指した。特に、国内の若手研究者に刺激を与え、我が国の情報科学および関連諸分野の振興に貢献することを意図した。

幸い、ICALP2015/LICS2015 の開催は内外の研究者から広い支持と注目を集め、両会議あわせて 700 件を超える論文の投稿があった。本会議のプログラムはそれらの投稿論文から専門家の査読により精選された 204 件の論文の講演、および 7 件の招待講演と 4 件のチュートリアル講演からなる充実したものとなった。また、両会議および直前に開催された併設ワークショップ 8 件をあわせて、全体で 489 名（うち国内 161 名、国外 328 名）の参加があり、会議中は多くの活発な議論が行われた（本会議に限定した出席者数は国内 120 名・国外 290 名の計 410 名）。ICALP2015 の論文集は Springer-Verlag から、LICS2015 の論文集は IEEE Press からそれぞれ出版され、いずれも理論計算機科学の最高水準の成果として、今後当分野の重要な文献となることが期待される。

〔国際会議開催〕

申請者	名古屋大学 教授 間瀬 健二	2045016
国際会議名称	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)	
開催期間	2015 年 9 月 7 日～9 月 11 日	
開催場所	グランフロント大阪(大阪市北区)	
申請者の役割	組織委員長	

概要：

UbiComp は、パーベイシブコンピューティング、ユビキタスコンピューティング研究分野において最も著名な国際会議であり、コンピュータサイエンスの分野の中でもトップクラスの国際会議である。本会議は、毎年ユビキタスコンピューティングに関する第一線の研究者、技術者を集め、最先端の研究成果について発表機会を提供すると同時に、そこでの議論を通して、同技術分野の研究推進を行うものである。

今年は大阪のグランフロント大阪にて 2015 年 9 月 7 日～11 日の 5 日間開催（うち本会議は 9 日～11 日の 3 日間）された。総参加者数が歴代最多の 861 名となるなど、大変盛況な会議であった。併設の ISWC2015 (International Symposium on Wearable Computers) と併せて 157 件の口頭発表セッション（計 30 セッション）、68 件のポスターセッション、43 件のデモセッションが組まれた。

キーノートとして、2 名の招待講演者があり、ATR 脳情報通信総合研究所の川人 光男氏は脳活動の時空間活動パターン分析およびニューロフィードバックによる脳活動の制御の可能性を語った。Rhizomatiks Research の真鍋 大度氏は、画像処理技術、センシング技術、機械学習技術、CG 技術などのパフォーマンス分野への適用を紹介した。口頭発表のセッションでは、屋内位置推定、ユビキタスヘルスケア、行動認識手法等がテーマとして取り上げられた。また、22 の併設ワークショップが開催され、多数の参加者で活発な議論が繰り広げられた。

総計 861 名のうち、過半数が外国人の参加者であり、活発な討論がなされた。ユビキタスコンピューティングの基礎から応用までを広くカバーする優れた論文は、会議で公表されると同時に会議論文集として発行され、ACM のデジタルライブラリに登録された。

〔国際会議開催〕

申 請 者	光産業創成大学院大学 学長 教授 加藤 義章	2155002
国際会議名称	Optics & Photonics International Congress 2016	
開 催 期 間	2016 年 5 月 17 日～5 月 20 日	
開 催 場 所	パシフィコ横浜 会議センター（横浜市西区）	
申請者の役割	組織委員長	

概 要：

光・フォトンクス技術は、従来にない創造的・革新的なツールとして情報、エネルギー、制御、加工、バイオ等の科学・産業技術のあらゆる分野の基盤技術であり、『人間と機械の調和の促進』に必須な技術である。本国際会議では光・フォトンクスに関連した 11 専門国際会議を同時に開催し、異分野との交流を深め連携を促進して、光をいかに制御して人間社会に貢献できるかの観点から、最新成果を我が国から世界に向けて情報発信を行った。

本会議には国内外の 1,000 名以上（32ヶ国）の第一線の研究者が参加し、光源・光センシング技術、バイオイメージング技術、レーザー加工技術（3D プリンティング等）等の基礎から応用技術までの最新技術成果の発表・議論がなされ、発表論文総数は 700 件を越え、名実共に有意義な国際会議となった。

プレナリー講演では菅原充博士（QD レーザ社）の「虹彩結像レーザーアイウェア」による弱視補助への報告があり、SLPC2016 では独フランクフルト研究所長、R. Poprawe 博士の招待講演で「将来のスマートファクトリーを見据えたレーザプロセスの産業応用」と題した Industry4.0 プロジェクトの最新動向が紹介された。また、ALPS' 16 では、癌や血中の物資の THz イメージング/センシング、BISC' 16 では、補償光学技術による新たなバイオイメージングやドプラーと偏光依存性を利用した高速光コヒーレンストモグラフィーの臨床分野への寄与、発展の最新報告がなされた。LSSE2016 では、社会インフラの補修整備に関するプログラムを設け、人間社会への「レーザーソリューション」による成果が多数報告された。

〔国際会議開催〕

申 請 者	奈良先端科学技術大学院大学 准教授 門林 雄基	2155003
国際会議名称	RAID 2015 (The 18th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses)	
開 催 期 間	2015 年 11 月 2 日～11 月 4 日	
開 催 場 所	京都テルサ（京都府京都市南区）	
申請者の役割	実行委員長	

概 要：

RAID 2015 (The 18th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses) は学術、政府系および産業界においてサイバーセキュリティ分野を牽引する研究者ならびに実務家が集まる国際的なシンポジウムであり、世界各地のトップレベル大学、政府機関および IT 企業から参加者を集めた。

今日、人間と機械との不協和音がますます大きくなり、迷惑メールや情報漏洩、サイバー攻撃などの様々な問題を誘発しており、残念ながら、インターネットの商用化と普及から 20 年経った今でも無くなる気配がない。RAID はこれらの困難な問題に敢然と立ち向かう第一線級の研究者と実務家が世界中から結集し、近い将来サイバーセキュリティ分野において起こりうる問題を提起し分析するとともに、その解決策を模索し実データやシステム試作によって効果測定する、きわめて社会的意義の大きな国際会議である。

今回、RAID 2015 を京都にて開催することで、人材育成および研究水準の向上が急務であるサイバーセキュリティ分野において世界的なトップ研究グループと日本国内の研究グループとの研究交流の機会を設けることができ、日本ならびにアジア・太平洋諸国におけるサイバー人材の研究水準向上ならびに欧米とのプロフェッショナル・ネットワークの構築につなげることができた。

本シンポジウムには欧米およびアジアから 119 件の論文投稿があり、28 件の論文がプログラム委員会により採択された。欧米から日本への渡航費が高価であるため、財政的余裕があるとは言えない若手研究者らの発表辞退が懸念されたが、本助成制度を活用することにより 1 件の発表キャンセルもなく、シンポジウム開催を成功させることができた。

〔国際会議開催〕

申請者	京都大学 工学研究科電子工学専攻 教授 川上 養一	2155004
国際会議名称	The 15th International Symposium on the Science & Technology of Lighting (略称 LS15)	
開催期間	2016 年 5 月 22 日～5 月 27 日	
開催場所	京都大学医学部創立百周年記念施設, 芝蘭会館, 医学部構内 (京都市左京区)	
申請者の役割	実行委員長	

概要:

本国際会議は、照明用の光源に関する科学と技術に関するシンポジウムとして 1975 年に始まり、現在では隔年開催で今回 15 回目となります。現在では LED が広く実社会に普及しており、固体光源とその照明応用全般を扱う世界規模で開催される重要な国際シンポジウムに位置付けられます。本シンポジウムの開催目的と学術的意義は、次の 3 点に集約されます。

- ・照明に関する科学技術情報の発信と議論
- ・Academia と Engineering の交流の場の提供
- ・若手研究者・技術者の啓発と育成

今回の LS15 は京都大学および FAST-LS (非営利国際組織) と共催しましたが、2016 年は主催の照明学会が発足から 100 年目を迎えるため、照明学会 100 周年記念行事の一環としても位置付けられました。そのため 6 日間に亘り、国内外で第一線にて活躍する研究者、技術者、デザイナーの参加を得て白熱した議論がなされました。具体的には、国内から 135 名、海外は欧米、アジア、アフリカ、豪州の計 19 カ国から 70 名の参加を得ました。発表件数は、基調講演、特別講演、招待講演、一般講演およびチュートリアル講義を全て合わせて 150 件となり、口頭発表並びにポスター発表にて行われました。内容は LED 結晶成長、有機 EL、紫外線光源、ランプや照明器具のアプリケーション、制御技術、光の生物に与える影響、光と概日リズムの関係、視覚や色覚など、現在の照明の科学技術に必要なテーマのほとんどを網羅したと言えます。最終日の特別講演は京大生にも一般公開され、2014 年ノーベル物理学賞受賞の天野教授からは、最先端の GaN 研究の展望とともに若手への励ましの言葉も頂くことが出来ました。

〔国際会議開催〕

申請者	東京大学 教授 下山 勲	2155011
国際会議名称	国際マイクロマシンサミット	
開催期間	2016 年 5 月 25 日～5 月 27 日	
開催場所	ハイアットリージェンシー東京 (東京都新宿区) つくば (TIA) 地区	
申請者の役割	オーガナイザー, Japan 団長, General Chair	

概要:

国際マイクロマシンサミット (以下 MM サミット) は 1995 年にマイクロマシンセンターが提唱して始まり、その後は毎年継続されている国際会議です。通常の学会と異なり、各国の代表が産業や科学技術政策を議論することが特徴になっています。日本での開催は、第 1 回の京都、第 6 回の広島、今回が 3 回目になります。

今回のテーマは、「高齢化社会におけるセンサ・MEMS」であり、健康・医療やライフスタイルに対応するマイクロシステムに関する話題でした。参加者は世界 16 ヶ国のデリゲート 51 名、発表は 44 件でした。プログラムは、カントリーレビューと呼ばれる各国デリゲートの代表者による状況報告が 3 セッション、健康・医療応用が 3 セッション、IoT 関連と MEMS 産業化がそれぞれ 1 セッションでした。海外の状況では、Benelux からはフォトリソニック結晶と MEMS を組み合わせた機能デバイスとそれらの医療応用、EC からはデジタル化やスマート化による産業の変革、フランスからは極めてファインなシリコン共振器を用いた高精度センサと医療応用、イベリアからは PDMS デバイスの医療応用とナノテク発電素子等、イタリアから医療に使う様々なカプセルとマイクロロボット技術、日本からはインフラスマートセンシング技術、スイスからは最先端の MEMS とスマート時計、米国からはロードマップや NIST、また各セッションでは世界中で研究開発されている最先端の活動報告がありました。MM サミットは「マイクロ化の世界スナップショット」と言われ、2 日間で世界の状況が理解できる意義のある会合でした。次回 (2017) の開催場所はスペインに決定されました。

〔国際会議開催〕

申請者	大阪府立大学 教授 瀬田 和久	2155012
国際会議名称	11th International Conference on Knowledge Management	
開催期間	2015 年 11 月 4 日～11 月 6 日	
開催場所	i-site なんば 大阪市浪速区敷津東 2-1-41（大阪市浪速区）	
申請者の役割	（現地）実行委員会委員長	

概要：

知の創造活動のプロセスを明らかにするとともに、これを促進する知の管理技術は、組織経営の現場で盛んに導入され実践事例も豊富に蓄積されるに至っている。ICKM 2015 は、知識マネジメントに関する理論・応用・実践の総合的視野から研究交流を促すことを目的として開催した。

各日にキーノートスピーチを設定し、初日は日本から豊田紡織会長、豊田周平氏による「The Only Way of Our Growth Based on Craftmanship in Manufacturing」、2 日目はアメリカよりジョージア大学教授 Amrit Tiwana 氏による「Knowledge Management in the Era of Big Data: Problems and Opportunities」、3 日目はマレーシアから MIMOS 教授、Dickson Lukose 氏を招聘し「Application of Semantic Technology in Knowledge Management」と題したご講演を頂いた。一般セッションは、2 セッション並列で実施し、フルペーパー 38 件、ショートペーパー 18 件の講演があった。また、初日に開催したポスターセッションでは、19 件のポスター発表があった。

目的思考の情報交流を促すため、主として①知識マネジメント一般のトピックに加え、②知識マネジメントにおける教育・学習の役割、③組織知・個人知管理のための学習分析、④ビッグデータ・IoT 時代のデータサイエンス技術、⑤知識マネジメントにおける情報ネットワークアーキテクチャに関するオーガナイズドセッションから組織するプログラム構成とした。

会議 2 日目には、ホストである大阪府立大学、中百舌鳥キャンパスが位置する堺市の伝統工芸、堺打刃物の製造工程や仁徳天皇陵、お茶室などを見学し、日本の伝統技能やマインドに触れて頂く機会を持ち、研究者交流を図るバンケットを催した。

また、Best Paper Award に加えて、若手研究者育成のため、35 歳未満の発表者を対象とした Best Young Researcher Award, OPU President Award, Best Poster Presentation Award, 学生の発表者対象の Osaka Prefecture Governor Award および Sakai Mayor Award の各賞を授賞した。

〔国際会議開催〕

申請者	九州大学 教授 高木 英行	2155013
国際会議名称	7th Int. Conf. of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2015)	
開催期間	2015 年 11 月 13 日～11 月 15 日	
開催場所	九州大学大橋キャンパス（福岡市南区）	
申請者の役割	General Chair	

概要：

7th Int. Conf. on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2015) を、2015 年 11 月 13 日（金）～15 日（日）に九州大学大橋キャンパスで開催した。

ファジィシステム、ニューラルネットワーク、進化計算の要素技術に代表されるソフトコンピューティング研究とパターン認識の新しい学際協力が拡がることを目指して、本会議はこれまで世界各国で開催されてきた。

25 か国の 273 名の著者から 111 論文が投稿され、300 名強の査読者に依る論文審査、および、iThenticate/CrossCheck による剽窃チェックを経て、最終的に 72 論文を採択した（採択率 65%）。国別の著者数と採択率は、日本（76 名、65%）、Egypt（44 名、55%）、Malaysia（23 名、64%）、台湾（18 名、50%）、中国（15 名、82%）、India（14 名、33%）、Brazil（12 名、67%）、Indonesia（10 名、77%）等であり、地域別採択論文数割合と採択率は各々、アジア（65.6%、61.6%）、中東・アフリカ（18.3%、52.5%）、欧州（12.2%、94.5%）、その他（3.8%、76.5%）であった。

採択論文の代表的なキーワードは、機械学習（29 編）、画像処理（26 編）、コンピュータ・ビジョン（23 編）、データマイニング、（22 編）で、ニューラルネット、進化計算、群知能などがこれらに続く。

本会議への参加登録者は 95 名（日本から 41 名、海外から 54 名）であり、その他に 10 名の同伴者のバンケット参加もあった。

〔国際会議開催〕

申請者	京都大学 教授 松野 文俊	2155015
国際会議名称	The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics	
開催期間	2015 年 10 月 28 日～10 月 30 日	
開催場所	京都大学 百周年時計台記念館（京都市左京区）	
申請者の役割	実行委員長	

概要：

本国際会議の目的は、生物学分野の研究者と工学分野の研究者との交流を図り、生物の仕組みに倣った新しい工学の枠組みを創造する機会を提供することにある。

近年、科学技術の進歩により、利便性が著しく向上した一方で、自然破壊や環境汚染といった問題が深刻となり、如何にして持続可能な社会を構築していくかが大きな課題となっている。

一方、生物は、自然を破壊するのではなく、自然と共存し自然界に存在する様々な性質を利用することで自らの生息に適した環境を構築している。この生物が生存のために用いている方策を学び、これを工学に活かすことで、自然と調和した新しい工学の創造が期待され、またその成果は、持続可能社会の実現に大きく寄与することが期待される。

本国際会議は、この新しい学問領域の創造を目的とした第一回目の会議であったが、当初の想定を 2 倍ほど上回る約 200 名もの参加があり、138 件の発表（招待講演 6 件、口頭発表 89 件、ポスター発表 43 件）が行われるなど、非常に有意義な会議となった。

なかでも、既存の学問の領域を超え、情報科学分野、ロボット工学分野、並びに生物学分野といった様々な分野の研究者が互いに深いレベルで議論を行うことができ、今後、これらの学問領域が融合した新しい学問領域を創造する大変貴重な機会となった。

〔国際会議開催〕

申請者	九州大学 教授 森 周司	2155016
国際会議名称	The 11th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2015)	
開催期間	2015 年 11 月 26 日～11 月 27 日	
開催場所	JR 博多シティ会議室(福岡市博多区)	
申請者の役割	主催責任者	

概要：

Joint Workshop on Machine Perception and Robotics（略称 MPR）は、九州大学、北京大学、立命館大学の教員・学生・研究スタッフによる合同ワークショップであり、2005 年より毎年開催されている。その目的は日本と中国におけるパターン認識とロボット工学及び関連分野での研究及び技術交流と、両国の若手研究者の交流促進と育成である。11 回目となる今大会では、両国の若手研究者を中心として、19 件の口頭発表と 40 件のポスター発表があり、最近数年間の大会の中では最多の発表件数であった。また例年とは異なり、上記 3 大学以外の研究者からの発表も行われた。その発表内容は従来のパターン認識とロボット工学に加え、三次元実空間のモデリングと解析、バーチャルリアリティ、情報可視化など多岐に渡り、活発な質疑応答が行われた。2 件の基調講演では、それぞれ光環境と睡眠に関する生理心理学（樋口教授）と発展途上国での情報通信技術の活用（アシル准教授）に関する最新の知見が提供され、情報通信工学の実社会への応用に関して貴重な示唆が得られ、特に若手研究者に対し将来の研究の方向性に対し有意義な示唆が与えられた。また、MPR の創始者の一人で前九州大学教授の長谷川勉先生に特別講演をして頂き、発足よりおよそ 10 年目となる MPR の当初の目的を振り返るとともに、今後の MPR の発展に対し貴重なご意見を頂いた。以上の成果を基に、3 大学の参加者の間で、両国の若手研究者が緊密に交流して将来の MPR と日中での共同研究の発展を考えていくことが合意され、極めて有意義な会議となった。

〔国際会議開催〕

申請者	IS-GNSS2015 組織委員会 委員長 山川 宏	2155017
国際会議名称	GNSS 国際シンポジウム	
開催期間	2015 年 11 月 16 日～11 月 19 日	
開催場所	京都市勧業館「みやこめっせ」（京都市左京区）	
申請者の役割	組織委員長	

概要：

GNSS 国際シンポジウムは、アジア・オセアニア地域で各国持ち回りで開催する国際会議で、GNSS 研究の最先端の研究者や専門家が集まり、最新の研究成果を発表し、関連する知識の国際的な交換を意図しています。

オープニングでは京都市長による歓迎挨拶もあり、続いてキーノート・セッション、Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC) のアジア・太平洋地域ミーティング、衛星測位分野の国際的な状況・計画をはじめとして、政府機関等各界を代表する方々の講演がプレナリーセッションとして行われました。

2日目からは4会場に分かれて、24カ国からの351名（うち、海外からの参加者137名、学生63名、論文138編）の参加者による口頭発表、ポスター発表、企業ブースにおける情報交換と議論がなされました。

測位衛星による位置情報は安全保障の観点から国家の重要施策で有り、情報化社会における「人間と機械の調和」の促進のために必要不可欠な要素技術でもあります。

アジア・オセアニア地域では、日本と異なり、二期作や三期作を行っている国々も多く、効率的に農作業を進める必要があるため、特に精密農業では圃場における投入資源や収穫量を位置情報と連動させて正確に管理することが求められています。このため、準天頂衛星システムによる高精度な位置情報を利用してデータ収集・管理・分析、農機の自動操縦によるより高度で効率的な精密農業ニーズの高まりがみられました。さらには効率的な物流管理、災害防止のために正確な位置情報の入った地図作成、警報伝達システムの開発など安全で効率的な社会の形成に向けて衛星測位による位置情報活用の多くの課題が検討されました。

貴財団からの助成により、各国の有能な研究者6名を招聘する予算が確保できました。本シンポジウムが、彼らの研究を直接的にサポートし、アジア・オセアニア地域における測位衛星技術の活用が促進され、大きな社会貢献の一助となることを確信しています。

-
- 2015 年度活動報告
 - 2016 年度助成報告
 - 2016 年度助成金贈呈式
 - 2016 年度研究助成課題一覧
 - 2015 年度後期国際交流助成 課題一覧
 - 2016 年度前期国際交流助成 課題一覧
 - 2015 年度国際会議開催助成 課題一覧
 - 2016 年度研究助成課題の紹介
 - 2017 年度助成公募案内

2015 年度活動報告

(1) 主要業務日程

2015 年 4 月 1 日～	第 4 回立石賞候補の推薦受付開始 2015 年度研究助成(S)申請の受付開始 2015 年度後期国際交流助成申請の受付開始 2015 年度国際会議開催助成申請の受付開始 2015 年度助成金贈呈式、懇親交流会を開催 2015 年度研究助成(S)申請の受付締切 (67 件受付)
5 月 25 日	第 11 回評議員会 ・ 2014 年度事業報告及び決算報告の承認 ・ 株主権行使の承認 等
5 月 31 日	2015 年度後期国際交流助成申請の受付締切 (28 件受付)
6 月 19 日	2015 年度国際会議開催助成申請の受付締切 (35 件受付)
6 月 30 日	夏季選考委員会 ・ 2015 年度後期国際交流助成及び国際会議等開催助成の選考 ・ 2015 年度研究助成(S)の最終選考 (ヒアリング)
8 月 22 日	2016 年度研究助成(A)(B)(C)(S)の募集開始 第 27 回理事会 ・ 2015 年度研究助成(S)の承認 ・ 2015 年度国際会議開催助成及び後期国際交流助成の承認 ・ 理事長及び常務理事の職務執行状況報告 等
9 月 1 日～	助成研究成果集第 24 号発行
9 月 11 日	2016 年度後期国際交流助成、国際会議開催助成の募集開始 2015 年度研究助成(A)(B)(C)の受付締切 (157 件受付) 2015 年度研究助成(S)の受付締切 (31 件受付)
9 月 26 日	2016 年度前期国際交流助成、国際会議開催助成の受付締切 (19 件受付)
10 月 1 日～	第 28 回選考委員会 ・ 第 4 回 (2016 年度) 立石賞の選考 ・ 2016 年度研究助成(A)(B)(C)、前期国際交流助成の選考 ・ 2016 年度研究助成(S)最終選考 (ヒアリング)
10 月 31 日	第 28 回理事会 ・ 第 12 回評議員会召集の決議 ・ 第 4 回(2016 年度)立石賞の承認 ・ 2016 年度研究助成(S)の承認 ・ 2016 年度の各助成の承認 等
12 月 20 日	第 29 回理事会、第 12 回評議員会 ・ 2015 年度事業及び決算見込みの報告 ・ 2016 年度事業計画及び収支予算の承認 ・ 2017 年度の各助成募集の承認 等
2016 年 1 月 22 日	
2 月 9 日	
3 月 18 日	

収 支 計 算 書

2015 年 4 月 1 日より 2016 年 3 月 31 日まで

(単位：千円)

貸 借 対 照 表

2016 年 3 月 31 日現在

(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	194,250	現金	148
特定資産運用益収入	17,339	普通預金	8,523
寄付金収入	600	定期預金	37,000
雑収入	158	2. 固定資産	0
2. 事業活動支出		(1) 基本財産	0
事業費支出	223,827	投資有価証券	8,793,750
管理費支出	10,525	(2) 特定資産	
事業活動収支差額	▲ 26,188	事業運営資産合計	1,100,000
II 投資活動収支の部		事業積立資産合計	193,000
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	105,000	資産合計	10,132,571
2. 投資活動支出		II 負債の部	
助成事業積立資産取得支出	73,000	1. 流動負債	0
投資活動収支差額	32,000	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	10,086,750
財務活動収支差額	0	寄附金	1,100,000
当期収支差額	5,812	寄附株式 (オムロン 株)	8,793,750
前期繰越収支差額	39,859	事業積立資産	193,000
次期繰越収支差額	45,671	2. 一般正味財産	45,821
		正味財産合計	10,132,571

2016 年度助成報告

本年は、すでに研究助成(A)(B)(C)(S)、前期国際交流助成を実施すると共に、16年5月18日に2016年度研究助成金贈呈式と合わせて第4回立石賞表彰式を開催し、次の助成並びに顕彰を行った。

立石賞（功績賞）	2件	10,000千円
立石賞（特別賞）	1件	5,000千円
研究助成(A)	27件	73,716千円
研究助成(B)	3件	16,098千円
研究助成(C)	10件	10,533千円
研究助成(S)	2件	60,000千円
国際交流助成（前期）	6件	2,446千円
合計		177,793千円

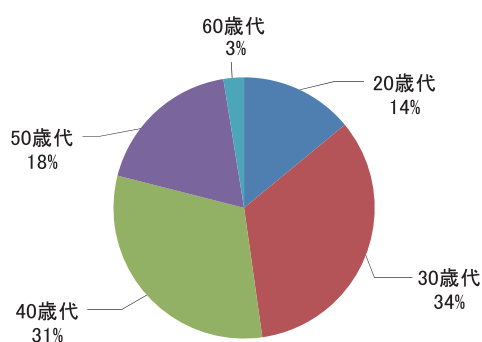
この結果、財団設立以来の助成・顕彰件数は、研究助成 644 件、国際交流助成 297 件、国際会議開催助成 80 件、立石賞 10 件、合計 1035 件数。助成・顕彰金総額は、18 億 1,975 万円となった。

なお、後期国際交流助成と国際会議開催助成は、2016 年 10 月に実施する。

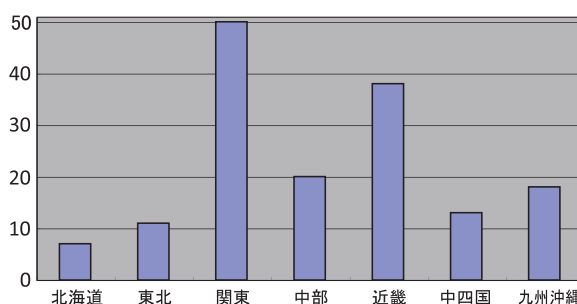
● 2016 年度助成の応募状況

(1) 研究助成(A)(B)(C)

① 年令別

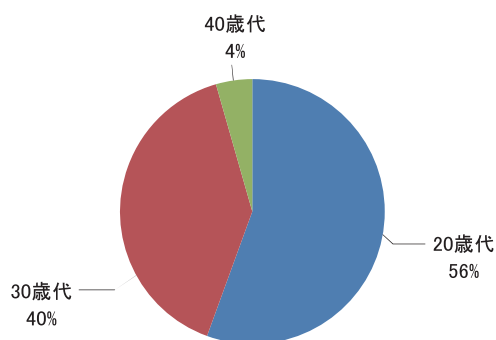


② 地域別

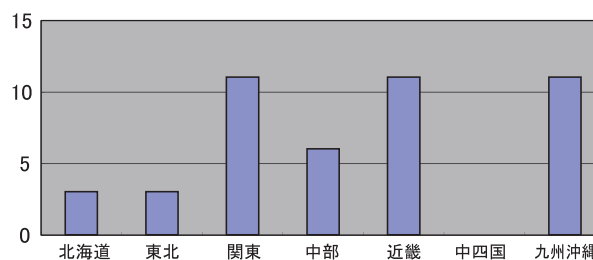


(2) 国、交流（国際会議発表、短期在外研究）助成（2015 年度後期～2016 年度前期）

① 年令別



② 地域別



第4回立石賞表彰式・記念講演及び2016年度助成金贈呈式

日時：2016年5月18日(水)

場所：グランドプリンスホテル京都

第4回立石賞表彰式・記念講演及び2016年度助成金贈呈式は、ご来賓の文部科学省大臣官房審議官 生川浩史様、京都府知事 山田啓二様、オムロン株式会社取締役副社長 作宮明夫様、2016年度研究助成金受領者、財団関係者を含めて、約170名の出席のもとに開催しました。立石義雄理事長より賞金目録及び研究助成金目録の贈呈を行いました。



立石理事長挨拶



立石賞（功績賞 染谷隆夫様）の表彰



立石賞（功績賞 山本裕様）の表彰



立石賞（特別賞 浅川智恵子様）の表彰



表彰式・贈呈式会場（立石賞 記念講演の様子）



研究助成受領者の挨拶

立石賞受賞者 染谷隆夫様（功績賞）、山本裕様（功績賞）、浅川智恵子様（特別賞）には、記念講演を実施していただきました。また研究助成受領者には懇親交流会で、課題についてポスターを用いた説明を実施していただき、参加者された技術者との活発な質疑が行われました。

※立石賞記念講演の内容は、4～16 頁に掲載

※研究助成課題の内容は、234～239 頁に掲載

2016 年度 助成課題一覧（研究助成）

【研究助成（A）】

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	課 題 名
荒川 貴博 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 講師	口腔内における唾液中グルコース連続計測のためのマウスピース型バイオセンサの開発
家入 里志 鹿児島大学学術研究院 医歯学域医学系小児外科学分野 教授	3D スキャナーを用いた患者体表形状取得による腹腔鏡ポータルレイアウトシステムの開発
香川 高弘 名古屋大学大学院 工学研究科 助教	歩行補助ロボットと協働する歩行器ロボットの開発
桑原 和代 慶應義塾大学 医学部 助教	職域におけるナトカリ計を用いた効果的な保健指導手法の開発
合田 達郎 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 助教	pH 応答性トランジスタへの浮遊細胞捕捉による補体活性のラベルフリー測定
小林 洋 早稲田大学 次世代ロボット研究機構 研究院准教授	生体組織の変形情報に基づく意図した関節の動作量推定手法の構築
小柳 健一 富山県立大学 工学部知能デザイン工学科 准教授	バーチャルミラーボックスによる新しい手指リハビリ手法の開発
櫻井 庸明 京都大学大学院 工学研究科 助教	外部刺激に応答して電気伝導軸が変調するスマートマテリアルを目指した高分子の開発
白松 知世 東京大学 先端科学技術研究センター 特任研究員	音の質感に対する選好性獲得の神経基盤の解明
棚橋 重仁 新潟大学大学院 自然科学研究科 助教	人工ニューラルネットワークによる映像酔い予測モデル確立と映像酔い予測装置の実用化
田村 昌也 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 准教授	給電困難な機器への給電を実現するワイヤレス電力伝送用送受電素子の基礎開発
都甲 薫 筑波大学 数理物質系 助教	ウェアラブルデバイスに搭載可能なナノ構造太陽電池のプロセス技術開発
西島 喜明 横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授	光の極限利用技術で実現する「Electronic Nose」
野瀧 一平 名古屋大学大学院 医学系研究科 助教	健常高齢者の転倒リスクを早期に発見する新しい姿勢評価システムの開発
橋本 幸二郎 熊本高等専門学校 制御情報システム工学科 助教	操作タイミングに着目した自動車の運転技量評価に関する研究
東森 充 大阪大学大学院 工学研究科 准教授	咀嚼圧力分布解析に基づく高齢者向けゲル状食品の食感評価システム
平井 宏明 大阪大学大学院 基礎工学研究科 准教授	筋シナジーの診断に基づくロボット介入とその効果 ——脳卒中リハビリテーションの新展開

2015 年度 助成課題一覧（研究助成）**【研究助成（A）】**

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	課 題 名
平田 慎之介 東京工業大学大学院 理工学研究科 助教	多重変調パルス圧縮による空中超音波を用いた呼吸・心拍の非接触計測
藤掛 英夫 東北大学大学院 工学研究科 教授	ゲル材料で構成した伸縮性液晶ディスプレイに関する先駆的研究
前田 佳弘 名古屋工業大学 おもひ領域 准教授	人間のパラメータ調整作業を効率化するフィードバック制御器設計法の研究
眞崎 義憲 九州大学 基幹教育院 准教授	人の測定値を元に個人最適化された助言を行うシステム構築のための二次指標の開発
梶田 晃司 東京農工大学大学院 生物システム応用科学府 准教授	湾曲アレイプローブを用いた生体内での音響放射力形成技術の開発
松永 信智 熊本大学大学院 自然科学研究科 教授	ビジュアルアシストを利用した福祉車両の運転支援制御系の構築
南川 丈夫 徳島大学大学院 理工学研究部 特任講師	ワンショット共焦点光学顕微鏡による病理組織観察法の創出
山下 晃弘 東京工業高等専門学校 情報工学科 助教	点字ブロック及び障害物の画像認識による視覚障がい者向けナビゲーションシステム
山田 篤史 滋賀医科大学 バイオメディカル・イノベーションセンター 特任助教	術者の繊細かつ巧みな操作に調和する 8 方向操舵型マイクロカテーテルの開発
LAM Antony 埼玉大学大学院 理工学研究科 助教	画像からの心拍数計測と表情認識を用いた感情状況の変動推定

申請件数 129 件 採択 27 件

（A）合計 73,716 千円

【研究助成（B）】

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	課 題 名
田淵 豊 東京大学 先端科学技術研究センター 特別研究員	磁性体を用いた量子中継器：信号処理超伝導回路の開発
平田 泰久 東北大学大学院 工学研究科 准教授	振動刺激を用いた環境情報フィードバック型ウェアラブル運動教示システム
許 允禎 東京農工大学大学院 工学研究院 准教授	マイクロニードル式蛍光血糖値センサパッチ及びウェアラブル小型デバイスの開発

申請件数 9 件 採択 3 件

（B）合計 16,098 千円

研究助成(A)(B) 金額 89,814 千円

（間接経費含む）

2016 年度 助成課題一覧（研究助成）**【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
浅田 麻菜 電気通信大学大学院 情報理工学研究科	課題に内包される「暗黙の了解」の種類が機械に対する相手モデルの適用に与える影響
長内 尚之 北海道大学大学院 情報科学研究科	耳鳴り治療のための小型磁気刺激装置の開発とモデル動物脳への応用展開
杉浦 友紀 大阪大学大学院 情報科学研究科	人工視覚系のための刺激座標情報圧縮技術に関する研究
杉野 貴明 千葉大学大学院 工学研究科	ナビゲーション技術を応用した内視鏡下手術の作業定量評価システムの構築
谷口 彰 立命館大学大学院 情報理工学研究科	確率的生成モデルを用いたロボットの空間概念と音声言語の獲得
照月 大悟 東京大学大学院 工学系研究科	昆虫嗅覚受容体を発現する培養細胞と電界効果トランジスタを融合した匂いセンサの開発
長江 祐樹 名古屋大学大学院 工学研究科	無給電侵襲型センサーデバイス応用を見据えた、環境調和型熱電モジュールの開発
原島 卓也 東北大学大学院 工学研究科	脳と機械の双方向通信を実現する多点光刺激可能な剣山状シリコン神経プローブの開発
双見 京介 神戸大学大学院 工学研究科	メンタル制御コンピューティング技術のための情報提示技術の確立
増田 容一 大阪大学大学院 工学研究科	H ∞ 最適性に基づく筋骨格構造の筋力釣り合い制御法の開発

申請件数 19 件 採択 10 件

研究助成(C) 金額 10,533 千円

（間接経費含む）

【研究助成（S）】

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	課題名／分野
澤田 和明 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科教授	バイオセンサアレイを用いた血液 1 滴・軽度認知障害超早期診断装置の開発とその実証／ヘルスケア・介護
高橋 宏知 東京大学 先端科学技術研究センター講師	オーダーメイド医療のための耳鳴診断システムの開発／ヘルスケア・介護

申請件数 31 件 採択 2 件

研究助成(S) 金額 60,000 千円

2015 年度 助成課題一覧（研究助成）**【研究助成（S）】**

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	課題名／分野
神田 崇行 国際電気通信基礎技術研究所 HRI 研究室 室長	「人らしいロボット」によるウォーキング支援／ヘルスケア
鈴木 達也 名古屋大学 グリーンモビリティ連携研究センター 副センター長／教授	行動予測を用いた制約充足判定に基づく行動誘導型運転支援／交通

申請件数 67 件 採択 2 件

研究助成(S) 金額 59,315 千円

2015 年度 助成課題一覧（後期国際交流助成）**【国際交流（国際会議発表）】**

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	派遣先国際会議
池田 誠 福岡工業大学 情報工学部情報通信工学科 准教授	30th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications 2016
小田原 あおい 東北工業大学大学院 工学研究科 博士課程	Neuroscience 2015
齊藤 裕一 東京農工大学 機械システム工学科 特任助教	HFES International Annual Meeting
長谷川 達人 東京医療保健大学 医療保健学部医療情報学科 助手	IEEE SMC 2015
HO ANH VAN 龍谷大学 理工学部 助教	IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)
真栄城 正寿 北海道大学大学院 工学研究院応用化学部門 日本学術振興会特別研究員 (PD)	The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015
茂木 俊憲 豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所 研究員	Pacificchem 2015（2015 環太平洋国際化学会議）
渡邊 智 熊本大学 工学部物質生命化学科 助教	Pacificchem 2015

【短期在外研究】

氏名・所属機関・職名	課題名／派遣先
角井 泰之 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 後期博士課程	レーザー誘起応力波に対する微小血管反応の光学イメージング /University California Irvine

申請件数 25 件 採択 9 件

後期国際交流助成金額 3,081 千円

2016 年度 助成課題一覧（前期国際交流助成）**【国際交流（国際会議発表）】**

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	派遣先国際会議
崔 高超 埼玉工業大学大学院 工学研究科 博士後期課程	IEEE World Congress on Computational Intelligence 2016
櫻井 啓子 宮崎大学大学院農学工学総合研究科 博士後期課程	World Automation Congress 2016（WAC 2016）
TRAN THI THAO NGUYEN 九州工業大学大学院情報工学府 博士後期課程	IEEE WCNC（IEEE Wireless Communications and Networking Conference）
森永 英二 大阪大学大学院工学研究科 助教	2016 International Symposium on Flexible Automation
渡辺 果歩 和歌山大学 システム工学研究科 博士後期課程	SPIE Commercial+Scientific Sensing and Imaging

【短期在外研究】

氏名・所属機関・職名	課題名／派遣先
張 浩 理化学研究所 計算科学研究機構 特別研究員	大規模ディープニューロン専用計算機に最適化した演算加速器の開発/ ケンブリッジ大学

申請件数 17 件 採択 6 件

前期国際交流助成金額 2,446 千円
（間接経費含む）**2015 年度 開催する国際会議一覧****【国際会議開催助成】**

（五十音順）

氏名・所属機関・職名	国際会議／申請者の役割
大石 潔 長岡技術科学大学大学院 工学研究科 教授	The 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society/ 実行委員長
加藤 義章 光産業創成大学大学院大学 学長	Optics & Photonics International Congress 2016/組織委員長
門林 雄基 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授	The 18th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses/実行委員長
川上 養一 京都大学 工学研究科 教授	The 15th International Symposium on the Science and Technology of Lighting/実行委員長
清川 清 大阪大学 サイバーメディアセンター 准教授	The 25th International Conference on Artificial Reality and Telexistence/ 大会長
佐々木 淳 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授	IEA/AIE 2016/事務局長

2015 年度 開催する国際会議一覧

【国際会議開催助成】

(五十音順)

氏名・所属機関・職名	国際会議／申請者の役割
澤田 和明 豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授	Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2016/実行委員長
重野 寛 慶應義塾大学理工学部情報工学科 教授	IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS2016)/プログラム委員長
嶋田 一夫 東京大学 薬学部 教授 学部長	第 27 回生体系磁気共鳴国際会議/実行委員長
下田 宏 京都大学大学院 エネルギー科学研究科 教授	13th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems/国内組織副委員長
下山 勲 東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授	国際マイクロマシンサミット/オーガナイザー, Japan 団長, General Chair
瀬田 和久 大阪府立大学大学院 理学系研究科 教授	11th International Conference on Knowledge Management (ICKM) /実行委員会委員長
高木 英行 九州大学大学院 芸術工学研究院 教授	7th Int. Conf. of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2015)/ General Chair
田中 秀治 東北大学大学院 工学研究科バイオロボティクス専攻 教授	IEEE-NEMS 2016 Matsushima Bay and Sendai MEMS City/General Chair
松野 文俊 京都大学 工学研究科 教授	The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio- Inspired Robotics/実行委員長
森 周司 九州大学 システム情報科学研究院情報学部門 教授	11th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics/主催責任者
山川 宏 測位航法学会内 IS-GNSS 2015 組織委員会事務局 委員長	IS-GNSS 2015 (GNSS に関する国際シンポジウム 2015)/組織委員長

申請件数 35 件 採択 17 件

国際会議開催助成金額 15,845 千円

2016 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

研究助成課題の紹介

2016年度 研究助成(A) (B)・・・30課題

公益財団法人 立石科学技術振興財団

口腔内の唾液中グルコース連続計測のための
マウスピース型バイオセンサの開発(1年間)

東京医科歯科大学 講師 荒川 貴博

(I) 唾液糖用のバイオセンサの開発

- 口腔内の唾液中の疾患由来成分グルコース(糖尿病・代謝障害)

(II) 口腔での無線計測技術

- 口腔内の無拘束モニタリング無線情報通信センサへの給電

(III) マウスピース型バイオセンサによる無線リアルタイム計測

口腔内化学情報
リアルタイム計測
無拘束・非侵襲

無線通信
歯科診察・医療

口腔生化学などの基礎歯学分野への展開
歯科診断、口腔内環境評価への応用

2161001_荒川貴博様

3Dスキャナーを用いた患者体表形状取得による
腹腔鏡ポータレアウトシステムの開発(1年間)

鹿児島大学学術研究院歯学域医学系 小児外科学分野 教授 家入里志

変形モデルを用いたEx Vivo実験

I: 変形モデルを使った術者鉗子操作領域(体腔外および腹腔内)の測定

II: 変形モデルでの体表形状スキャニングシステム開発

III: 術者鉗子操作領域測定システムと体表形状3Dスキャニングシステムの統合

患者を対象としたIn Vivo測定と検証

I: 術前画像の取得

II: 3Dスキャナーを用いた体表のスキャニング

III: 臨床応用およびシステム改良

干渉およびストレスのない腹腔鏡手術の開発

2161002_家入里志様

歩行補助ロボットと協働する歩行器ロボットの開発(1年間)

名古屋大学 大学院工学研究科 助教 香川高弘

従来の歩行補助ロボットの制御

- 歩行パターンがあらかじめ決まっている
- ユーザの重心移動をトリガとしてスイングを開始する
- 重心移動による腕の負担が大きく、歩行速度が遅い

本研究で開発する歩行補助システム

- 全方向移動機構を持つ歩行器ロボットを開発し、前後・左右の重心移動をアシストする
- 歩行器の操作に基づき、ユーザの意図する歩行パターンを推定する(歩行意図推定)
- 意図する歩行パターンを実現するように両ロボットの目標軌道を最適化する(軌道計画)

メリット1: 歩行器ロボットのアシストにより、腕の負担を軽減でき、歩行速度が向上する。
メリット2: ユーザは歩行器ロボットの操作を通して、所望の歩幅・歩行速度で歩行できる。

2161003_香川高弘様

職域におけるナトリウム計を用いた効果的な
保健指導手法の開発(1年間)

慶應義塾大学医学部 助教 桑原和代

【脳・血管疾患の最大のリスクファクター】

高血圧

減塩とカリウム(野菜・果物に多く含有)摂取の増加は高血圧予防に重要!

【これまでの課題】

- 減塩効果を簡便に評価するセンサがなかった
- 日本人の食生活の変化で、従来の減塩指導だけでは減塩効果に限界
- 新しく開発された「ナトリウム計」のセンサによるフィードバックをどう人間の生活習慣の改善・行動変容につなげるかは未開発

ナトリウム計による食生活センシング情報を人間にフィードバックし、その両者をベストマッチングすることを目指す

2161004_桑原和代様

pH応答性トランジスタへの浮遊細胞捕捉による
補体活性のラベルフリー測定(研究期間: 1年0ヶ月)

東京医科歯科大学 助教・合田達郎

pH応答性トランジスタ + 生細胞

特長: 高感度($\Delta pH=0.001$)・高時間分解能・単一細胞評価・高スループット解析

用途・応用

- ★トランスポータ活性(達成)・薬剤スクリーニング
- ☆化合物・ナノ材料の安全性評価法として独自に開発中
- ◎細胞膜障害性(達成)
- ◎補体活性・免疫応答(本課題)

★克服すべき点・技術的課題

- 半導体と細胞の融合(センサ表面への生細胞の捕捉)
- ◎接着細胞(達成)
- ◎細胞外マトリックス修飾(マトリゲル、コラーゲン等)
- ◎浮遊細胞(本課題で用いる細胞形態)
- ◎脂質膜に対するアンカー分子修飾
- ◎IPS細胞・ES細胞(未分化状態維持)
- フィーダー(下地)細胞など

脂質膜アンカー分子による浮遊細胞捕捉

2161005_合田達郎様

生体組織の変形情報に基づく意図した関節の動作量推定手法の構築
(研究期間: 1年)

早稲田大学理工学術院 / 次世代ロボット研究機構 研究助手 小林 洋

【装着型ロボットの操作】

- 操作者の意図通りにロボットを制御
 - × 不安定な生体信号の利用
 - × 連続的な動作量推定が困難

【提案手法】

- 操作者の意図する関節動作量推定
 - 皮膚表面計測システムの構築
 - 生体組織の機械的変形情報の利用
 - 動作推定アルゴリズムの構築・評価
 - 複合的かつ連続的な動作量推定

人間調和型ロボットへの応用

生体組織の微視的・巨視的な機械的変形情報の利用

■ 意図通りに操作可能な人間調和型ロボットへの展開

2161006_小林洋様

バーチャルミラーボックスによる新しい手指リハビリ手法の開発
(1年間)

富山県立大学 工学部 知能デザイン工学科
准教授 小柳健一

ミラーボックス療法の手指リハビリ

- 手指運動の座標計測
- 左右手の一致度評価
- 視覚刺激による非接触な運動の誘導
- 多自由度バールンアクチュエータによる力学・力覚刺激

簡便で高機能なバーチャルミラーボックス療法

2161007_小柳健一様

2016 年度研究助成課題の紹介

外部刺激に応答して電気伝導軸が変調するスマートマテリアルを
目指した高分子の開発 (研究期間:1年)

京都大学大学院工学研究科、櫻井 庸明

研究コンセプト: n共役系多関節高分子の折りたたみを利用した刺激による電気伝導方向の制御

新しい分子技術
と材料設計指針
の開発を行う基礎
研究

将来的に目指して行きたい応用展開

- フレキシブルエレクトロニクス材料としての応用
- ウェアラブルデバイスの素材となる有機材料

将来的に「人間と機会の調和」に貢献できる
ような素材開発を目指し、分子レベルの設計
によるアプローチによって基礎研究を行う。

2161008 櫻井庸明様

音の質感に対する選択性獲得の神経基盤の解明 (研究期間:1年)

東京大学先端科学技術研究センター 特任研究員 白松 知世

好まれやすい音の質感 (時間周波数構造) とは?

協和音程は不協和音程に比べて...
・選択性が高い! (ヒト: 生後4ヶ月~)
・聴皮質の定常的な神経活動の位相同期度が高い [ラット] (業績2, 3)
=聴覚系・情動系・高次認知系の相互作用

[仮説1] 協和音程・情動・高次認知系への高い訴求力・選択性を獲得しやすい?
[仮説2] 位相同期パターンは、音の質感の選択性の獲得しやすさを表現?
→[仮説1]を行動実験から、[仮説2]を神経活動から検証する!

1) 音程に対して獲得する選択性の定量化 2) 選択性を表徴する神経活動パターンの特定

1) 選択性の獲得しやすさを表徴する神経活動パターンの特定

2161009 白松知世様

(エンニューラルネットワークによる映像酔い予測モデル確立
と予測装置の実用化 研究期間:2年0ヶ月)

新潟大学大学院自然科学研究科 棚橋重仁

【映像酔い研究の2つの課題】

- 映像酔いの機序が不明
→映像酔いの発症後に初めて評価可能
→映像酔い発症前に評価する方法の開発
- 計測装置による負荷
→自律神経系指標に
情動反応の影響
→自律神経系指標に影響を与えない装置の開発

平成27年度 視覚刺激の運動成分を考慮した
ANNによる映像酔い予測モデル

平成28年度 小型映像酔い予測装置の実用化

エンターテインメントだけでなく産業・医療への映像技術の積極的応用

2161010 棚橋重仁様

給電困難な機器への給電を実現する
ワイヤレス電力伝送送受電素子の基礎開発 (1年間)

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 電気・電子情報工学系
准教授 田村 昌也

【人間の生活を支える機械の安全・安心な運用】

◆ 給電困難な機器へのワイヤレス給電がキー

- 境界方式: 中距離 (1 m程度まで) かつ異物無し
- 電界方式: 近距離 (1 cm程度まで) かつ異物無し
- アンテナ方式: 遠方 (数 m 程度まで) かつ見通しが良い

課題: 送受電間に金属体や異物があると電力伝送効率が大幅に劣化

【新しい電力伝送方式の開発】

- 複雑な構造を構成する金属筐体や外壁 = 外導体
- 内部の金属棒や絶縁体 = リアクタンス成分

研究内容:

- 送受電方法の設計構築
送電周波数、電力抽出方法 (電界、磁界、あるいは両方) の設計指針が必要
⇒ 電磁界モード分布から導出
- 情報伝送との干渉性評価
干渉対策を施すために電力伝送と情報伝送間の干渉性とその原因解明が必要
⇒ 電力伝送と情報伝送の電磁界モード分布から導出

リッジ導波管モードを基に様々な構造に対応可能な送受電素子の設計技術を開発

2161011 田村昌也様

ウェアラブルデバイスに搭載可能なナノ構造太陽電池の
プロセス技術開発 (研究期間: 1年間)

筑波大学 助教 都甲 真

ねらい: ウェアラブルデバイス用の太陽電池

- 軽い、柔らかい → プラスチック基板
- 小面積で大きな発電量 → ナノ構造による表面積拡大 + 多接合化

■ プラスチック上 Si/Ge多接合ナノワイヤ太陽電池を提案

研究内容: プラスチック上Geナノワイヤのデバイス実証

従来

申請者

結晶成長

表面改質
水素パッシベーション
高圧極薄酸化

ナノワイヤ構造
長さ・太さ・密度

フィールド

デバイス実証

ITO/SiO₂/Ge/Plastic

高分光感度の実証

2161012 都甲真様

光の極限利用技術で実現する「Electronic Nose」 (研究期間:1年0ヶ月)

横浜国立大学大学院工学研究院
准教授・西島 善明

犬の鼻を超える光ガスセンサー

移動ロボットに搭載した
におい探知・追跡システム

震災現場 空港や港湾

データ送信

解析結果の
フィードバック

発生源解析システム

幅広い分野へ展開できる「Electronic Nose」

港湾 空港 (税関) プラント・ガス産業 食品・薬品 品質管理 環境 家庭:ヘルスケア 診断・癌 車

2161013 西島善明様

健康高齢者の転倒リスクを早期に発見する新しい姿勢評価システムの開発
(研究期間:1年)

名古屋大学大学院医学系研究科 助教 野島 一平

高齢者の転倒予防は重要な課題

年間3人に1人は転倒する

【実験研究に必要なこと!】

- ・開発されたシステムの汎用性
- ・信頼性と妥当性の検証

大規模調査

自治体との共同研究体制の確立

早期から転倒予防にアプローチするための評価法開発

【APA評価システム】
Simon課題によるAPAエラー評価

【コホーレンス解析】
脳幹間の収縮特性の関係性から
中枢神経ネットワークを評価

2161014 野島一平様

操作タイミングに着目した
自動車の運転技量評価に関する研究 (1年間)

熊本高等専門学校 助教 橋本幸二郎

【目的】自動車の運転行動に対する技量評価指標を確立

【運転技量評価】

- ・認知症、または高齢ドライバーに対して
運転を中止する指標がない
- ・医師の診断や教習所教官の判断では
基準があいまい
- ・実際の運転行動に対する
評価指標が必要

【運転行動データの解析方法を確立】

- ・操作タイミングに焦点を当て、判断能力の低下を定量化
- ・操作信号を観測し、確率分布とその遷移関係より運転行動モデルを作成
- ・確率分布のパラメータより、タイミングに関する判断能力を評価

2161015 橋本幸二郎様

2016 年度研究助成課題の紹介

咀嚼圧力分布解析に基づく高齢者向けゲル状食品の食感評価システム
(研究期間:1年0ヶ月)
大阪大学大学院工学研究科 東森 充

【高齢者向けゲル状食品】

- 舌で押しつぶして摂食
- 咀嚼・嚥下における安全性と美味しさ

味・香り(化学的性質)、食感(物理的性質)

従来の機器を用いた食感評価法:

- 圧縮・破断時の力応答を計測
- 力学的食感(かたさ、もろさ、など)のみ

【本研究で提案する新しい食感評価システム】

- 人工咀嚼装置の開発 ⇒ 食品圧縮・破断過程の動的圧力分布センシング
- 圧力分布と食感官能評価値の数理モデル構築 ⇒ 食感推定式の導出
- 力学的食感に加え、幾何学的食感(つるつる感、ざらざら感、ねっとり感、など)の評価

圧縮・破断中の圧力分布に基づく食感評価システムの開発

2161016_東森充

筋シナジーの診断に基づくロボット介入とその効果
—脳卒中リハビリテーションの新展開(研究期間:1年0ヶ月)
大阪大学大学院 基礎工学研究科、准教授・平井宏明

- 筋シナジー抽出/予測/解析技術と先端ロボット技術の融合による脳卒中リハビリテーションの新しい運動療法の確立
- 脳卒中患者の運動回復・運動再学習の機序の解明

筋シナジーの概念



仮説「筋シナジーの診断に基づく身体の剛性と平衡点の調整訓練が脳卒中患者の運動再学習を促進し、運動機能回復に効果的である」を臨床試験を通じて検証する

2161017_平井宏明

多重変調パルス圧縮による空中超音波を用いた呼吸・心拍の非接触計測(研究期間:1年)
東京工業大学 大学院理工学研究科 助教 平田慎之介

空中超音波を用いた呼吸・心拍の非接触計測

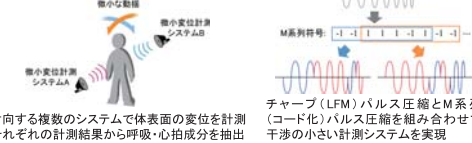
→ 低コスト、低侵襲なバイタルサインのリモートモニタリング

これまでの研究:

- 体表面の微小な変位(ミリ〜サブミリ)を計測する信号処理手法の検討
- 超音波の伝搬時間(計測点との位相差を算出)から距離を計測
- 仰臥位脱衣状態の被験者の呼吸・心拍計測

本研究の目標:

立位脱衣状態の被験者を対象とした計測



対向する複数のシステムで体表面の変位を計測
それぞれの計測結果から呼吸・心拍成分を抽出

2161018_平田慎之介

ゲル材料で構成した伸縮性液晶ディスプレイに関する先駆的研究
(研究期間:1年間)
東北大学大学院工学研究科 教授 藤掛英夫

【研究の背景】

今後の情報ネットワーク化社会では、人と機械のインタラクティブ性を高めるため、あらゆる生活環境の機械に装着できる伸縮性ディスプレイの実現が望まれる。例えば車に应用すれば、ビラードや天井などの曲面部位から、運転に有用な死角情報などを自然な形で提示できる。

【技術的課題】

ゲル材料を用いた新構造の液晶デバイス(下図)を提案・試作する

- 硬くて重い従来のガラス基板
- ↓
- 環境耐性の伸縮性透明ゲル基板(右写真)の開拓
- 既存の柱状スペーサーでは基板保持が困難
- ↓
- 低電圧動作の自立性液晶ゲル膜の開発

人と機械が調和した高度なインターフェース空間を実現するため、伸縮可能な液晶ディスプレイの基盤技術の世界に先駆けて構築する。

2161019_藤掛英夫

人間のパラメータ調整作業を効率化する
フィードバック制御器設計法の研究(1年間)
名古屋工業大学 准教授 前田佳弘

『産業メカトロニクス制御における人間による制御パラメータ調整』

- 【目的】 所望の機械制御性能の獲得
- ・人間 → 優れた知識能力を活かした試行錯誤
- ・制御 → 機械を動かすための方法論 (人間と機械の架け橋)

【課題】 人間のパラメータ調整作業効率の低下

理由)パラメータ調整時の安定性が保証されない

ことによる試行錯誤能力の制限

制御性能と安定性の相互低把握が困難

【提案法】 人間のパラメータ調整時の安定性を保証する

フィードバック(FB)制御器設計

特徴) 数値計画法の可塑性を利用した『人間へのパラメータ調整範囲の視覚的提示』

学術的新規性

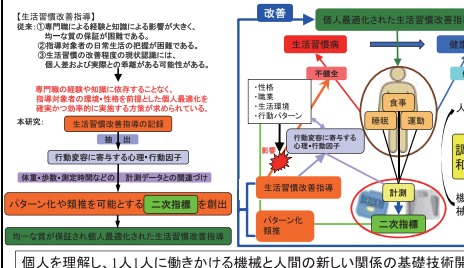
人間の作業性と機械制御性能の高度両立



Fig.1 人間による制御パラメータ調整作業イメージ

2161020_前田佳弘

人の測定値を元に個人最適化された助言を行うシステム構築のための二次指標の開発(研究期間:1年間)
九州大学 基幹教育院、真崎 義憲



個人を理解し、1人1人に働きかける機械と人間の新しい関係の基礎技術開発

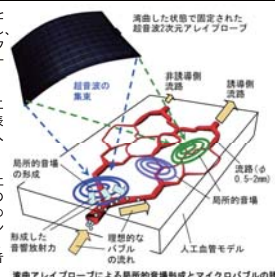
2161021_真崎義憲

湾曲アレイプローブを用いた生体内での音響放射力形成技術の開発
(研究期間:1年0ヶ月)
東京農工大学 准教授・樹田晃司

目的: 患者の体表面に貼り付けることのできる湾曲超音波プローブを開発し、通常の超音波診断だけでなく、マイクロバブルを誘導するドッキングデリバリー治療への応用を目指す。

特徴: アレイプローブが湾曲していることにより、従来の平面型に比べて体表面への装着が安定し、また超音波の入射エネルギー効率を改善できる。

技術的課題: 超音波素子が曲面に配置されているため、生体内の目的位置に超音波の焦点を形成するために各素子に与える電圧の位相(タイミング)を調整する必要がある。そのため、仮想アレイ面という概念を導入して音波照射を制御する必要がある。



湾曲アレイプローブによる局所的音場形成とマイクロバブルの誘導

2161022_樹田晃司

ビジュアルアシストを利用した福祉車両の運転支援制御系の構築
(研究期間:2年間)
熊本大学大学院 自然科学研究科 教授・松永信智

操作機能と認知機能を同時に補償する、ビジュアルアシスト制御系の構築

【本手法の原理】 従来の福祉車両 → 提案する支援制御系



【理論構築と応用に向けたプロトタイプの開発】

- ビジュアルアシスト制御系の設計(平成28年度)
- 仮想列隊制御を用いたビジュアルアシストシステムの設計法の有効性を検証する
- 実験システムの試作と評価(平成29年度)
- スマートグラス上の仮想列隊を生成できる実験システムを試作し、福祉車両を使って走行評価を行う

2161023_松永信智

ワンショット共焦点光学顕微鏡による
病理組織観察法の創出（研究期間：1年間）

2161024_南川丈夫様

2161025_山下晃弘様

2161026_山田篤史様

2161027_LAM Antony 様

2161901_田瀧豊様

2161902_平田泰久様

2161903_許允禎樣

2167001 浅田麻菜様

2167002 長内尚之權

2167004_杉野貴明様

2167005 谷口彰博

2167006_照月大悟様

2167007_長江祐樹様

2016 年度研究助成課題の紹介

**脳と機械の双方向通信を実現する
多点光刺激可能な剣山状シリコン神経プローブの開発（研究期間：2年）**
東北大学大学院工学研究科 博士課程後期 原島 卓也

【研究背景】
脳への外部入力（ニューロン刺激）は脳機能解明や感覚代行、BMI等への応用が期待されるが、電気刺激や従来の光刺激では大脳皮質の簡便・精緻な刺激が困難

【本研究の提案】
脳と機械の双方向通信のための精緻な興奮/抑制コントロールを可能にする大脳皮質の層別・垂直光刺激を実現する。そのために多点光刺激機構と多点記録電極を三次元的に配置した剣山状シリコン神経プローブを開発する。

【研究予定】
1年目：垂直光照射機能を有するシリコン神経プローブの作製
2年目：剣山状シリコン神経プローブ作製と動物実験による検証

2167008_原島卓也様

条件づけ刺激を用いたメンタル補強コンピューティングのための情報提示技術の確立
神戸大学大学院 博士後期課程2年, 双見京介, (2年間)

【本書環境における競技結果向上を目的とした、条件づけ刺激フィードバックを用いたメンタル補強技術】

提案手法は従来手法におけるスキル習得・活用の難易度及び投資資源量(時間・労力・資金)の課題の解消を狙った技術である。

(1年目)
・メンタルへの影響の調査
競技に応じたデバイス、システムの実験
本書時におけるメンタルへの影響調査

(2年目)
・実証実験と影響の一般化
システム及び情報提示技術の一般公開

システムの流れ

特定競技システム例

【日常生活におけるメンタルヘルス改善を目的とした、文脈一致効果を利用した認知誘導によるメンタル制御技術】

(1年目)
・メンタルへの影響の調査
情報取得及び提示デバイス、ライフログシステム実験
日常におけるメンタルへの影響の調査

(2年目)
・実証実験と影響の一般化
システム及び情報提示技術の一般公開

システムの流れ

装置システム例

2167009_双見京介様

H_{∞} 最適性に基づく筋骨格構造の筋力釣り合い制御法の開発（3年間）
大阪大学大学院 博士後期課程一年・増田 尊一

【従来（筋力二乗和最小化）】
手先荷重のみを考慮
非荷重時には筋力決定不可

【提案】
構造全体の荷重・外乱を考慮
 H_{∞} 最適性による性能評価
非荷重時に対応

【制御目的の候補】
最大ETSM最小化制御
(接続剛性行列の最大固有値最小化)

【制御論的最適性を考慮した非荷重時の筋力制御法の開発】

互いに釣り合う筋力を導入
→外乱に対して身構えの制御

1年目：制御目的の設定
2年目：筋間釣り合い制御法の開発
3年目：分散型適応制御法の開発

2167010_増田尊一様

研究助成課題の紹介
2016年度 研究助成(S)・・・2課題
2015年度 研究助成(S)・・・2課題

公益財団法人 立石科学技術振興財団

**バイオセンサアレイを用いた血液一滴・軽度認知障害超早期検出装置の開発とその実証
いきいき診断システムの開発**
豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授・澤田和明

【目的】 家庭における軽度認知障害の早期発見・予防医療の推進
健康でこころも豊かな社会
家族も含めた高いQOL
機械：診断を補助・積極的に促す「認知補助」

【保有技術・LSI・センサ出陣特許】
電荷転送バイオセンサ：電荷転送バイオセンサによる予備実験
アレイ化技術：アレイ化による高感度検出
2015年12月14日特許第5811024号
2016年1月14日特許第5811025号
2016年1月14日特許第5811026号
2016年1月14日特許第5811027号
2016年1月14日特許第5811028号
2016年1月14日特許第5811029号
2016年1月14日特許第5811030号
2016年1月14日特許第5811031号
2016年1月14日特許第5811032号
2016年1月14日特許第5811033号
2016年1月14日特許第5811034号
2016年1月14日特許第5811035号
2016年1月14日特許第5811036号
2016年1月14日特許第5811037号
2016年1月14日特許第5811038号
2016年1月14日特許第5811039号
2016年1月14日特許第5811040号
2016年1月14日特許第5811041号
2016年1月14日特許第5811042号
2016年1月14日特許第5811043号
2016年1月14日特許第5811044号
2016年1月14日特許第5811045号
2016年1月14日特許第5811046号
2016年1月14日特許第5811047号
2016年1月14日特許第5811048号
2016年1月14日特許第5811049号
2016年1月14日特許第5811050号
2016年1月14日特許第5811051号
2016年1月14日特許第5811052号
2016年1月14日特許第5811053号
2016年1月14日特許第5811054号
2016年1月14日特許第5811055号
2016年1月14日特許第5811056号
2016年1月14日特許第5811057号
2016年1月14日特許第5811058号
2016年1月14日特許第5811059号
2016年1月14日特許第5811060号
2016年1月14日特許第5811061号
2016年1月14日特許第5811062号
2016年1月14日特許第5811063号
2016年1月14日特許第5811064号
2016年1月14日特許第5811065号
2016年1月14日特許第5811066号
2016年1月14日特許第5811067号
2016年1月14日特許第5811068号
2016年1月14日特許第5811069号
2016年1月14日特許第5811070号
2016年1月14日特許第5811071号
2016年1月14日特許第5811072号
2016年1月14日特許第5811073号
2016年1月14日特許第5811074号
2016年1月14日特許第5811075号
2016年1月14日特許第5811076号
2016年1月14日特許第5811077号
2016年1月14日特許第5811078号
2016年1月14日特許第5811079号
2016年1月14日特許第5811080号
2016年1月14日特許第5811081号
2016年1月14日特許第5811082号
2016年1月14日特許第5811083号
2016年1月14日特許第5811084号
2016年1月14日特許第5811085号
2016年1月14日特許第5811086号
2016年1月14日特許第5811087号
2016年1月14日特許第5811088号
2016年1月14日特許第5811089号
2016年1月14日特許第5811090号
2016年1月14日特許第5811091号
2016年1月14日特許第5811092号
2016年1月14日特許第5811093号
2016年1月14日特許第5811094号
2016年1月14日特許第5811095号
2016年1月14日特許第5811096号
2016年1月14日特許第5811097号
2016年1月14日特許第5811098号
2016年1月14日特許第5811099号
2016年1月14日特許第5811100号
2016年1月14日特許第5811101号
2016年1月14日特許第5811102号
2016年1月14日特許第5811103号
2016年1月14日特許第5811104号
2016年1月14日特許第5811105号
2016年1月14日特許第5811106号
2016年1月14日特許第5811107号
2016年1月14日特許第5811108号
2016年1月14日特許第5811109号
2016年1月14日特許第5811110号
2016年1月14日特許第5811111号
2016年1月14日特許第5811112号
2016年1月14日特許第5811113号
2016年1月14日特許第5811114号
2016年1月14日特許第5811115号
2016年1月14日特許第5811116号
2016年1月14日特許第5811117号
2016年1月14日特許第5811118号
2016年1月14日特許第5811119号
2016年1月14日特許第5811120号
2016年1月14日特許第5811121号
2016年1月14日特許第5811122号
2016年1月14日特許第5811123号
2016年1月14日特許第5811124号
2016年1月14日特許第5811125号
2016年1月14日特許第5811126号
2016年1月14日特許第5811127号
2016年1月14日特許第5811128号
2016年1月14日特許第5811129号
2016年1月14日特許第5811130号
2016年1月14日特許第5811131号
2016年1月14日特許第5811132号
2016年1月14日特許第5811133号
2016年1月14日特許第5811134号
2016年1月14日特許第5811135号
2016年1月14日特許第5811136号
2016年1月14日特許第5811137号
2016年1月14日特許第5811138号
2016年1月14日特許第5811139号
2016年1月14日特許第5811140号
2016年1月14日特許第5811141号
2016年1月14日特許第5811142号
2016年1月14日特許第5811143号
2016年1月14日特許第5811144号
2016年1月14日特許第5811145号
2016年1月14日特許第5811146号
2016年1月14日特許第5811147号
2016年1月14日特許第5811148号
2016年1月14日特許第5811149号
2016年1月14日特許第5811150号
2016年1月14日特許第5811151号
2016年1月14日特許第5811152号
2016年1月14日特許第5811153号
2016年1月14日特許第5811154号
2016年1月14日特許第5811155号
2016年1月14日特許第5811156号
2016年1月14日特許第5811157号
2016年1月14日特許第5811158号
2016年1月14日特許第5811159号
2016年1月14日特許第5811160号
2016年1月14日特許第5811161号
2016年1月14日特許第5811162号
2016年1月14日特許第5811163号
2016年1月14日特許第5811164号
2016年1月14日特許第5811165号
2016年1月14日特許第5811166号
2016年1月14日特許第5811167号
2016年1月14日特許第5811168号
2016年1月14日特許第5811169号
2016年1月14日特許第5811170号
2016年1月14日特許第5811171号
2016年1月14日特許第5811172号
2016年1月14日特許第5811173号
2016年1月14日特許第5811174号
2016年1月14日特許第5811175号
2016年1月14日特許第5811176号
2016年1月14日特許第5811177号
2016年1月14日特許第5811178号
2016年1月14日特許第5811179号
2016年1月14日特許第5811180号
2016年1月14日特許第5811181号
2016年1月14日特許第5811182号
2016年1月14日特許第5811183号
2016年1月14日特許第5811184号
2016年1月14日特許第5811185号
2016年1月14日特許第5811186号
2016年1月14日特許第5811187号
2016年1月14日特許第5811188号
2016年1月14日特許第5811189号
2016年1月14日特許第5811190号
2016年1月14日特許第5811191号
2016年1月14日特許第5811192号
2016年1月14日特許第5811193号
2016年1月14日特許第5811194号
2016年1月14日特許第5811195号
2016年1月14日特許第5811196号
2016年1月14日特許第5811197号
2016年1月14日特許第5811198号
2016年1月14日特許第5811199号
2016年1月14日特許第5811200号
2016年1月14日特許第5811201号
2016年1月14日特許第5811202号
2016年1月14日特許第5811203号
2016年1月14日特許第5811204号
2016年1月14日特許第5811205号
2016年1月14日特許第5811206号
2016年1月14日特許第5811207号
2016年1月14日特許第5811208号
2016年1月14日特許第5811209号
2016年1月14日特許第5811210号
2016年1月14日特許第5811211号
2016年1月14日特許第5811212号
2016年1月14日特許第5811213号
2016年1月14日特許第5811214号
2016年1月14日特許第5811215号
2016年1月14日特許第5811216号
2016年1月14日特許第5811217号
2016年1月14日特許第5811218号
2016年1月14日特許第5811219号
2016年1月14日特許第5811220号
2016年1月14日特許第5811221号
2016年1月14日特許第5811222号
2016年1月14日特許第5811223号
2016年1月14日特許第5811224号
2016年1月14日特許第5811225号
2016年1月14日特許第5811226号
2016年1月14日特許第5811227号
2016年1月14日特許第5811228号
2016年1月14日特許第5811229号
2016年1月14日特許第5811230号
2016年1月14日特許第5811231号
2016年1月14日特許第5811232号
2016年1月14日特許第5811233号
2016年1月14日特許第5811234号
2016年1月14日特許第5811235号
2016年1月14日特許第5811236号
2016年1月14日特許第5811237号
2016年1月14日特許第5811238号
2016年1月14日特許第5811239号
2016年1月14日特許第5811240号
2016年1月14日特許第5811241号
2016年1月14日特許第5811242号
2016年1月14日特許第5811243号
2016年1月14日特許第5811244号
2016年1月14日特許第5811245号
2016年1月14日特許第5811246号
2016年1月14日特許第5811247号
2016年1月14日特許第5811248号
2016年1月14日特許第5811249号
2016年1月14日特許第5811250号
2016年1月14日特許第5811251号
2016年1月14日特許第5811252号
2016年1月14日特許第5811253号
2016年1月14日特許第5811254号
2016年1月14日特許第5811255号
2016年1月14日特許第5811256号
2016年1月14日特許第5811257号
2016年1月14日特許第5811258号
2016年1月14日特許第5811259号
2016年1月14日特許第5811260号
2016年1月14日特許第5811261号
2016年1月14日特許第5811262号
2016年1月14日特許第5811263号
2016年1月14日特許第5811264号
2016年1月14日特許第5811265号
2016年1月14日特許第5811266号
2016年1月14日特許第5811267号
2016年1月14日特許第5811268号
2016年1月14日特許第5811269号
2016年1月14日特許第5811270号
2016年1月14日特許第5811271号
2016年1月14日特許第5811272号
2016年1月14日特許第5811273号
2016年1月14日特許第5811274号
2016年1月14日特許第5811275号
2016年1月14日特許第5811276号
2016年1月14日特許第5811277号
2016年1月14日特許第5811278号
2016年1月14日特許第5811279号
2016年1月14日特許第5811280号
2016年1月14日特許第5811281号
2016年1月14日特許第5811282号
2016年1月14日特許第5811283号
2016年1月14日特許第5811284号
2016年1月14日特許第5811285号
2016年1月14日特許第5811286号
2016年1月14日特許第5811287号
2016年1月14日特許第5811288号
2016年1月14日特許第5811289号
2016年1月14日特許第5811290号
2016年1月14日特許第5811291号
2016年1月14日特許第5811292号
2016年1月14日特許第5811293号
2016年1月14日特許第5811294号
2016年1月14日特許第5811295号
2016年1月14日特許第5811296号
2016年1月14日特許第5811297号
2016年1月14日特許第5811298号
2016年1月14日特許第5811299号
2016年1月14日特許第5811300号
2016年1月14日特許第5811301号
2016年1月14日特許第5811302号
2016年1月14日特許第5811303号
2016年1月14日特許第5811304号
2016年1月14日特許第5811305号
2016年1月14日特許第5811306号
2016年1月14日特許第5811307号
2016年1月14日特許第5811308号
2016年1月14日特許第5811309号
2016年1月14日特許第5811310号
2016年1月14日特許第5811311号
2016年1月14日特許第5811312号
2016年1月14日特許第5811313号
2016年1月14日特許第5811314号
2016年1月14日特許第5811315号
2016年1月14日特許第5811316号
2016年1月14日特許第5811317号
2016年1月14日特許第5811318号
2016年1月14日特許第5811319号
2016年1月14日特許第5811320号
2016年1月14日特許第5811321号
2016年1月14日特許第5811322号
2016年1月14日特許第5811323号
2016年1月14日特許第5811324号
2016年1月14日特許第5811325号
2016年1月14日特許第5811326号
2016年1月14日特許第5811327号
2016年1月14日特許第5811328号
2016年1月14日特許第5811329号
2016年1月14日特許第5811330号
2016年1月14日特許第5811331号
2016年1月14日特許第5811332号
2016年1月14日特許第5811333号
2016年1月14日特許第5811334号
2016年1月14日特許第5811335号
2016年1月14日特許第5811336号
2016年1月14日特許第5811337号
2016年1月14日特許第5811338号
2016年1月14日特許第5811339号
2016年1月14日特許第5811340号
2016年1月14日特許第5811341号
2016年1月14日特許第5811342号
2016年1月14日特許第5811343号
2016年1月14日特許第5811344号
2016年1月14日特許第5811345号
2016年1月14日特許第5811346号
2016年1月14日特許第5811347号
2016年1月14日特許第5811348号
2016年1月14日特許第5811349号
2016年1月14日特許第5811350号
2016年1月14日特許第5811351号
2016年1月14日特許第5811352号
2016年1月14日特許第5811353号
2016年1月14日特許第5811354号
2016年1月14日特許第5811355号
2016年1月14日特許第5811356号
2016年1月14日特許第5811357号
2016年1月14日特許第5811358号
2016年1月14日特許第5811359号
2016年1月14日特許第5811360号
2016年1月14日特許第5811361号
2016年1月14日特許第5811362号
2016年1月14日特許第5811363号
2016年1月14日特許第5811364号
2016年1月14日特許第5811365号
2016年1月14日特許第5811366号
2016年1月14日特許第5811367号
2016年1月14日特許第5811368号
2016年1月14日特許第5811369号
2016年1月14日特許第5811370号
2016年1月14日特許第5811371号
2016年1月14日特許第5811372号
2016年1月14日特許第5811373号
2016年1月14日特許第5811374号
2016年1月14日特許第5811375号
2016年1月14日特許第5811376号
2016年1月14日特許第5811377号
2016年1月14日特許第5811378号
2016年1月14日特許第5811379号
2016年1月14日特許第5811380号
2016年1月14日特許第5811381号
2016年1月14日特許第5811382号
2016年1月14日特許第5811383号
2016年1月14日特許第5811384号
2016年1月14日特許第5811385号
2016年1月14日特許第5811386号
2016年1月14日特許第5811387号
2016年1月14日特許第5811388号
2016年1月14日特許第5811389号
2016年1月14日特許第5811390号
2016年1月14日特許第5811391号
2016年1月14日特許第5811392号
2016年1月14日特許第5811393号
2016年1月14日特許第5811394号
2016年1月14日特許第5811395号
2016年1月14日特許第5811396号
2016年1月14日特許第5811397号
2016年1月14日特許第5811398号
2016年1月14日特許第5811399号
2016年1月14日特許第5811400号
2016年1月14日特許第5811401号
2016年1月14日特許第5811402号
2016年1月14日特許第5811403号
2016年1月14日特許第5811404号
2016年1月14日特許第5811405号
2016年1月14日特許第5811406号
2016年1月14日特許第5811407号
2016年1月14日特許第5811408号
2016年1月14日特許第5811409号
2016年1月14日特許第5811410号
2016年1月14日特許第5811411号
2016年1月14日特許第5811412号
2016年1月14日特許第5811413号
2016年1月14日特許第5811414号
2016年1月14日特許第5811415号
2016年1月14日特許第5811416号
2016年1月14日特許第5811417号
2016年1月14日特許第5811418号
2016年1月14日特許第5811419号
2016年1月14日特許第5811420号
2016年1月14日特許第5811421号
2016年1月14日特許第5811422号
2016年1月14日特許第5811423号
2016年1月14日特許第5811424号
2016年1月14日特許第5811425号
2016年1月14日特許第5811426号
2016年1月14日特許第5811427号
2016年1月14日特許第5811428号
2016年1月14日特許第5811429号
2016年1月14日特許第5811430号
2016年1月14日特許第5811431号
2016年1月14日特許第5811432号
2016年1月14日特許第5811433号
2016年1月14日特許第5811434号
2016年1月14日特許第5811435号
2016年1月14日特許第5811436号
2016年1月14日特許第5811437号
2016年1月14日特許第5811438号
2016年1月14日特許第5811439号
2016年1月14日特許第5811440号
2016年1月14日特許第5811441号
2016年1月14日特許第5811442号
2016年1月14日特許第5811443号
2016年1月14日特許第5811444号
2016年1月14日特許第5811445号
2016年1月14日特許第5811446号
2016年1月14日特許第5811447号
2016年1月14日特許第5811448号
2016年1月14日特許第5811449号
2016年1月14日特許第5811450号
2016年1月14日特許第5811451号
2016年1月14日特許第5811452号
2016年1月14日特許第5811453号
2016年1月14日特許第5811454号
2016年1月14日特許第5811455号
2016年1月14日特許第5811456号
2016年1月14日特許第5811457号
2016年1月14日特許第5811458号
2016年1月14日特許第5811459号
2016年1月14日特許第5811460号
2016年1月14日特許第5811461号
2016年1月14日特許第5811462号
2016年1月14日特許第5811463号
2016年1月14日特許第5811464号
2016年1月14日特許第5811465号
2016年1月14日特許第5811466号
2016年1月14日特許第5811467号
2016年1月14日特許第5811468号
2016年1月14日特許第5811469号
2016年1月14日特許第5811470号
2016年1月14日特許第5811471号
2016年1月14日特許第5811472号
2016年1月14日特許第5811473号
2016年1月14日特許第5811474号
2016年1月14日特許第5811475号
2016年1月14日特許第5811476号
2016年1月14日特許第5811477号
2016年1月14日特許第5811478号
2016年1月14日特許第5811479号
2016年1月14日特許第5811480号
2016年1月14日特許第5811481号
2016年1月14日特許第5811482号
2016年1月14日特許第5811483号
2016年1月14日特許第5811484号
2016年1月14日特許第5811485号
2016年1月14日特許第5811486号
2016年1月14日特許第5811487号
2016年1月14日特許第5811488号
2016年1月14日特許第5811489号

公益財団法人 立石科学技術振興財団 2017 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 2017 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 2017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 2017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 2017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: 2016年9月1日～2016年10月31日(郵便局消印有効)

助成金交付時期: 2017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

2017 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 2017 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：2016 年 10 月 1 日～2016 年 12 月 20 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：2017 年 4 月 1 日～2017 年 9 月 30 日（日本出発日）

(5) 助成金の交付

交付時期：2017 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 2017 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 2017 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：2017 年 4 月 1 日～2017 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：2017 年 10 月 1 日～2018 年 3 月 31 日（日本出発日）

（５）助成金の交付

交付時期：2017 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-forg

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-forg/

公益財団法人 立石科学技術振興財団

2017 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 2017 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：2017 年 4 月 1 日～2017 年 6 月 30 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：2017 年 10 月 1 日～2018 年 9 月 30 日

(5) 助成金の交付

交付時期：2017 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

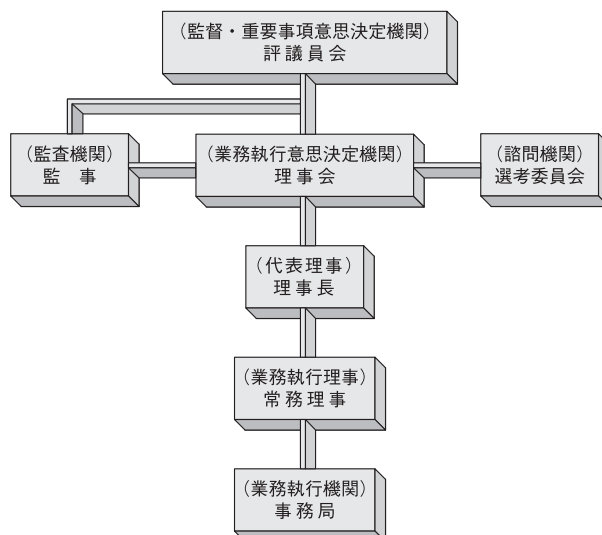
募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。
URL：http://www.tateisi-f.org/

■ 財団の概要

■ 評 議 員 ・ 役 員 ・ 選考委員

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
 - 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



評議員・役員・選考委員

評 議 員

(2016 年 6 月 20 日現在)

評 議 員	朝 倉 利 光	北海道大学 名誉教授 北海学園大学 名誉教授
評 議 員	荒 木 光 彦	大阪電気通信大学 理事 京都大学 名誉教授 松江工業高等専門学校 名誉教授
評 議 員	岩 田 一 明	大阪大学 名誉教授 神戸大学 名誉教授
評 議 員	川 路 茂 保	(株)システムインテグレーション研究所 代表取締役 熊本大学 名誉教授
評 議 員	立 石 峯 子	(公財)楽美術館 理事
評 議 員	葉 原 耕 平	(株)国際電気通信基礎技術研究所 顧問
評 議 員	柳 田 敏 雄	大阪大学大学院 生命機能研究科 特任教授 (独)情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター長 (独)理化学研究所 生命システム研究センター長
評 議 員	山 下 牧	(株)オプトクエスト顧問

理事

(2016 年 6 月 20 日現在)

理事長	立石義雄	オムロン(株) 名誉会長	非常勤
常務理事	菅原洋二	オムロン(株) 経営基幹職	常 勤
理 事	荒 卷 禎 一	弁護士（烏丸法律事務所） 元京都府知事	
理 事	石 田 隆 一	(株)イシダ 名誉会長	非常勤
理 事	今 仲 行 一	技術研究組合 NMEMS 技術研究機構理事長 (財)マイクロマシンセンター MNOIC 所長	非常勤
理 事	沖 村 憲 樹	(独)科学技術振興機構 特別顧問 (公財)全日本地域研究交流協会 理事長 元科学技術庁 科学技術審議官	非常勤
理 事	熊 谷 信 昭	(株)国際電気通信基礎技術研究所 取締役会長 大阪大学 元総長 名誉教授 兵庫県立大学 名誉学長	非常勤
理 事	田 中 敏 文	オムロン(株) 経営基幹職	常 勤
理 事	棚 橋 祐 治	石油資源開発(株) 相談役 弁護士（シティユーワ法律事務所） 元通商産業省 事務次官	非常勤
理 事	松 田 晃 一	(独)情報処理推進機構 顧問	非常勤

(50 音順)

監 事

(2016 年 6 月 20 日現在)

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

(2015 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	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	樫 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 教授
選 考 委 員	宮 田 喜一郎	オムロン(株)執行役員常務 CTO 兼技術・知財本部長
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 1200ヶ所に拝送させていただいております。今号で第 25 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ます。

本助成研究成果集では、2015 年度研究助成課題を中心にこの 1 年間に研究計画の終了した研究成果報告を収録しています。また、国際交流助成につきましては 2015 年度後期から 2016 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 2015 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山下評議員、投稿文をお寄せいただきました熊本高等専門学校情報通信エレクトロニクス工学科 准教授 石橋孝昭様、群馬大学 大学院理工学府 知能機械創製部門 准教授 鈴木 孝明様、事務局取材に快く応じていただきました東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授 杉山 将様、京都大学 医学部附属病院 教授 黒田 知宏様をはじめ、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、2017 年度助成の中で、研究助成(S)については 9 月 30 日をもって募集を終了しましたが他の研究助成、国際交流助成は募集期間にあたりますので、当財団ウェブサイトもご覧いただければと思います。

当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見などお待ちしております。

公益財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

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

E-mail : info@tateisi-f.org

TEL : 075-365-4771

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 25 号
2016 年 10 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。)

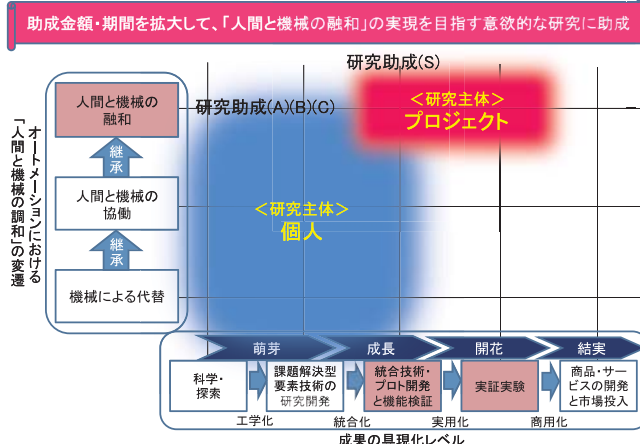


「人間と機械の調和」を促進する研究活動を支援する 公益財団法人 立石科学技術振興財団 2017年度助成 公募のご案内

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



2017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 (S)	3000 万円以下/件	3 件	2017 年 4 月から3年間	2016 年 9月30日をもって終了しました
		対象分野：①生活・健康 ②交通・物流 ③(広義の)生産 ④環境		
研究助成 (A)	250 万円以下/件	30 件/年	2017 年 4 月から1年間	2016 年 9月1日 ～10月31日
研究助成 (B)	500 万円以下/件	2 件/年	2017 年 4 月から2年間	
研究助成 (C)	50 万円/年・件	10 件/年	2017 年 4 月から最大3年間 (博士課程在学中)	
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 2017 年 4 月～9 月 短期在外研究滞在期間は最大3ヶ月	2016 年 10月1日 ～12月20日
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 2017 年 10 月～2018 年 3 月 短期在外研究滞在期間は最大3ヶ月	2017 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	2017 年 10 月～2018 年 9 月	2017 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) 日本国内に居住する研究者であれば応募できます。
(注3) 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ウェブサイトをご確認ください。
(注4) 第5回立石賞の募集は2017年4月～6月を予定しています。

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