

「情報環境と人」研究領域 領域活動・評価報告書
—平成27年度終了研究課題—

研究総括 石田 亨

1. 研究領域の概要

本研究領域は、人とのインタラクションが本質的な知的機能の先端研究を行い、その成果を情報環境で共有可能なサービスの形で提供し、さらに研究領域内外の他のサービスとのネットワーキングにより複合的な知能を形成していくことを目指している。

具体的には、人とのインタラクションが本質となる、ユビキタスコンピューティング、アンビエントインテリジェンス、知能ロボット、コミュニケーションやグループ行動支援などを実現するための知的機能の先端研究、ユーザビリティテスト、エスノグラフィ、統計分析など、利用現場における知的機能の評価研究、さらに研究成果を社会に提供するためのサービスコンピューティングを用いた知的機能のネットワーキング研究を対象としている。

2. 事後評価対象の研究課題・研究者名

件数：6件(内、大挑戦型 2件)

※研究課題名、研究者名は別紙一覧表参照

3. 事前評価の選考方針

選考の基本的な考えは下記の通り。

1) 選考は、「情報環境と人」領域に設けた選考委員(領域アドバイザー)12名の協力を得て、研究総括が行う。

2) 選考方法は、書類選考、面接選考及び総合選考とする。

3) 採択候補者の地域性、男女共同参画の視点について、昨年以上に重視することを申し合わせた。

4) 選考に当たっては、さきがけ共通の選考基準(URL: <http://www.jst.go.jp/pr/info/info825/besshi4.html>)に加え、2期生では、以下の点を重視した。フィールド研究は、問題解決の技術手段が明確さ深さと共に、フィールドへのコミットメントの深さを評価の基準とする。フィールドが技術開発の単なる例題に過ぎないと思われる申請は採択対象とせず、場合によっては、当初想定した技術手段を捨ててでもフィールドの問題を解こうとするモチベーションがあるかどうかを見極めながら選考を進める。先端技術研究は、知的機能を実現する先鋭的な切り口と、研究が成功したときのネットワーク社会へのインパクトを評価基準とする。基礎研究は、今後の情報環境と人に関わる重要な研究で、他のさきがけ研究者にも大きな影響を与えるものを厳選する。また、3期生では、領域独自の5段階の総合評価基準を策定し以下の点を重視した。「基礎研究」は、情報学の基礎研究として、他のさきがけ研究者にも大きな影響を与えるものを厳選した。「要素技術」や「システム技術」などの先端技術研究は、新しい情報環境を構築・促進する観点から知的機能を実現する先鋭的な切り口や研究が成功したときのネットワーク社会へのインパクトを重視した。フィールド研究は、問題解決の技術手段の明確さや深さと共に、フィールドの問題を解こうとするモチベーションがあるかどうかを見極めながら選考を進めた。また、「大挑戦型」は、挑戦すべきゴールが明確で大きな発展が期待できるテーマかどうかを基準とした。

4. 事前評価の選考の経緯

(1) H22年度(第2期生)募集件数・採択件数・・・2期生5年型・大挑戦3年型延長対象者

一応募課題につき領域アドバイザー12名が分担して各申請の書類査読(書類審査)を行い、51件(申請全体の1/2)を選定した。次に、書類選考会議においてアドバイザー全員が一堂に会して議論を行い、26件(申請全体の1/4)を面接対象とした。2日間に亘る面接および総合選考の結果、最終的に採用候補課題12件を選定した。今年度も当初予定していた知的機能のネットワーキングに関する研究課題は採択に至らなかった。なお、上記選考を経た課題の内、大挑戦型審査会(書類選考会議)へ2課題を推薦した。

選考	書類選考	面接選考	採択数			
			12件	内訳	3年型	8件(1件)
対象数	106件	26件			5年型	4件(1件)

()内は大挑戦型としての採択数。

備考:

1) 加えて、以下を今年度の事後評価対象とする。

・寺澤 洋子研究者

ライフイベントにより、研究を一時中断したが、今年度終了するため。

5. 研究実施期間

平成 22 年 10 月～平成 28 年 3 月(5 年型および 3 年型大挑戦・延長)

平成 23 年 10 月～平成 27 年 11 月(3 年型・ライフイベントによる延長)

6. 領域の活動状況

(1) 領域会議: 16 回 (うち、3 回は「ミニ領域会議」)

平成 21 年度 1 回

平成 22 年度 2 回 (うち、1 回はさががけ「知の創生と情報社会」研究領域との合同開催)

平成 23 年度 2 回

平成 24 年度 3 回 (うち、1 回は参加希望者のみによる「ミニ領域会議」を開催)

平成 25 年度 3 回 (うち、1 回は参加希望者のみによる「ミニ領域会議」を開催)

平成 26 年度 3 回 (うち、1 回は参加希望者のみによる「ミニ領域会議」を開催)

平成 27 年度 2 回

「ミニ領域会議」は、硯川研究者が、障がいのため地方開催の領域会議に参加できないことを補うために、国立障害者リハビリテーションセンターで硯川研究者を交えて開催しているものである。

(2) 研究報告会: 3 回 (公開)

平成 24 年度 1 回 (公開 終了報告会・領域単独開催)

テーマ: ～未来社会に向けた若き情報技術者たちの挑戦～ にてデモ・実演も実施。

平成 25 年度 1 回 (公開 研究報告会) 情報処理学会 インタラクション 2014 と連携開催

テーマ: ～突き抜けるさががけ研究の成果から～ にてデモ・実演も合同実施。

平成 26 年度 1 回 (公開 研究報告会) 情報処理学会 第 77 回全国記念大会でのイベント企画共催。

テーマ: さががけ「情報環境と人」～研究に翼を! さががけ最終報告会～

平成 27 年度 1 回 (非公開 研究報告会) 第 13 回領域会議にて実施。

(3) 合同セッション&シンポジウム: 7 回 (公開 一般参加)

平成 21 年度 1 回 JAWS2009 にて、「知の創生と情報社会」研究領域と合同開催。

平成 21 年度 2 回 情報処理学会 50 周年記念大会で「知の創生と情報社会」領域と合同セッション開催、JAWS2010 にて、「知の創生と情報社会」領域と第 2 回目の合同開催)

平成 23 年度 1 回 CREST シンポジウムでの連携発表

平成 24 年度 2 回 第 1 回 さががけ&CREST 3 領域合同シンポジウム開催。

3 年間連続開催の共通コンセプトテーマ: 情報学による未来社会のデザイン

第 1 回テーマ: ～大量データにもとづく未来社会のデザイン～ デモ・展示

※電子情報通信学会全国大会でのさががけ合同セッションは準備するものの開催直前の東日本大震災で中止(提出論文・発表資料は学会にて受理公開)

平成 25 年度 1 回 第 2 回 さががけ&CREST 3 領域合同シンポジウム開催。

3 年間連続開催の共通コンセプトテーマ: 情報学による未来社会のデザイン

第 2 回テーマ: ～情報が拓くヘルス&ウェルネス～ 大会場での体験型デモ展示

平成 26 年度 1 回 第 3 回 さががけ&CREST 3 領域合同シンポジウム開催。

3 年間連続開催の共通コンセプトテーマ: 情報学による未来社会のデザイン

第 3 回テーマ: ～人間力・社会力を強化する情報技術～ デモ・展示

(4) 研究総括(技術参事)の研究実施場所訪問:

①全研究者の研究室訪問と上司への挨拶を早期に完了した。(サイトビジット)

荒牧研究者: 東京大学 堀井教授(知の構造化センター センター長)を訪問 H23.10.21

城戸研究者：理研ジェネシス株式会社(塚原代表取締役社長、河原取締役 COO)を訪問 H23.11.30
館 研究者：東京大学 加藤教授(生活文化研究科 学科長)を訪問 H23.11.30
三木研究者：慶応大学 澤田教授(機械工学科 学科長)を訪問 H23.12.16
寺田研究者：神戸大学 塚本教授(領域アドバイザー)を訪問 H23.2.1
寺澤研究者：筑波大学 牧野教授(生命領域学際研究センター)および大学委託研究事務担当(2名)を訪問 H23.10.11

②サイトビジット以外の研究総括(または技術参事)の研究実施場所訪問：

- ・研究総括が、城戸研究者(2期生)面談を2回開催。
 - ・技術参事が、必要により別途訪問した。
- 主な内容は、
- ・荒牧研究者・・・異動に伴う研究環境の確保手続きならびに研究室訪問確認(東京大学→京都大学、京都大学→奈良先端技術大学院大学への昇任に伴う研究室)など。
 - ・城戸研究者・・・研究計画・進捗および海外出張を含む予算執行について(出向元の経理処理含む)、週刊誌取材相談対応および取材同席、特許出願促進検討(相談～出願、JST 海外特許出願委員会対応)、領域会議後の総括・アドバイザーコメントに対するフォローなど。
 - ・館 研究者・・・大挑戦延長申請相談対応、特許出願促進検討(事前相談～出願)、研究成果個展確認(東大駒場博物館)、サイエンスアゴラ制作物出展フォロー(日本科学未来館)など。
 - ・寺澤研究者・・・さががけ研究計画・予算執行フォロー、ライフイベント申請手続き相談対応、サイエンスアゴラ展・女性研究者としてのポスター発表フォロー(日本科学未来館)、国際ワークショップ参加支援(つくば国際会館)など。

7. 事後評価の手続き

年2回の領域会議開催前には、研究者が作成した領域独自の半期毎の研究報告書をアドバイザーにも配布して、適時・適切な評価とアドバイスを行った。また、最終年度は、領域会議での発表・質疑応答、領域アドバイザーの意見などを参考に、下記の流れで研究総括が評価を行った。

(事後評価の流れ)

平成 27 年 12 月～1 月	研究報告書提出
平成 28 年 1 月～2 月	研究総括による第一次評価および修正報告書の提出要請
平成 28 年 2 月	第 13 回領域会議(研究成果報告会を兼ねる)の発表・デモにおいて、研究総括・アドバイザーの助言・指導
平成 28 年 2 月	修正報告書に対する対象者全員への評価フィードバックとフォロー

8. 事後評価項目

- (1) 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況
- (2) 得られた研究成果の科学技術ならびに社会への貢献など
- (3) 成果の科学的・技術的インパクト、特に情報環境におけるネットワーク社会へのインパクト
- (4) 業績については、海外の類似研究との相対的なレベルや国際競争力および本人の主動度

9. 評価結果

「情報環境と人」領域を今回終了した研究は実世界を対象としたものが多い。寺田氏は、実世界での動作認識技術の研究を行い、開発した様々な技術をウェアラブルコンピューティング向けプラットフォームとして統合している。三木氏は、小型、軽量の MEMS (Microelectromechanical Systems) を用いた触覚ディスプレイや透過型視線検出システムを開発している。また、荒牧氏は、自然言語処理技術をヘルスケアに適用し、認知症と発話の関係を明らかにした。寺澤氏は、脳波や心電図の可聴化に成果を上げた。さらに、今回終了した研究には2件の大挑戦型が含まれている。城戸氏は、到来するパーソナルゲノム時代を先取りし、遺伝子情報がもたらす新たな情報環境と、人々に与える影響の解明に果敢に取り組んだ。館氏は、折り紙研究を発展させ、一枚の紙や金属シートから自由な形状を実現すると共に、制御しやすい展開機構を実現した。こうしたテーマは、数年で終了するものではない。今後の継続した研究活動を期待したい。

- (1) 荒牧 英治研究者「自然言語処理による診断支援技術の開発」(5年型)



本研究は、自然言語処理技術をヘルスケアに適用する試みである。まず、ソーシャルメディアのデータを用いて感染症の監視を行う研究を行った。この研究は、従来ない大規模かつ即時的なもので、高精度の疾病監視を実現している。研究論文としてまとめる一方で、実際に Twitter データを用いたシステムを開発すると共に、気象情報との統合を図り、その有用性を高めている。また、産業界の注目を集め国際的な広告賞を受賞するなど、成果の社会展開に成功した。さらに重要な研究成果は、認知症の診断支援である。この研究は、語彙量などの統計的な指標を用いて、病状が進行する早い段階で認知症を検出するもので、デイケア施設や大学病院での臨床実験を行い、医学会からも関心を集めている。認知症と発話の関係に着目し、ヘルスケアに対する自然言語処理のより本質的な活用を拓くものとして高く評価できる。現時点では、比較的簡単な定量的指標を用いているが、今後、より高度な自然言語処理を援用し、発話の質的な分析を行うことを期待している。

(2) 城戸 隆研究者「遺伝子解析と人工知能技術を用いたパーソナルゲノム情報環境の提案と評価」
(5 年型・大挑戦)

本研究は、到来するパーソナルゲノム時代を先取りし、遺伝子情報をもたらす新たな情報環境の構築と、人々に与える影響を研究したものである。申請当時、将来の展開を予測することが難しかったパーソナルゲノムに果敢に取り組んだこと自体、リスクを取った研究として評価できる。研究成果は大きく2つに別れる。一つは、遺伝子情報環境構築のための疾患リスク予測の研究で、人種によりリスクが異なることを明らかにした。具体的には、約3割の疾患で、日本人のリスクが、欧米人のデータに基づくパーソナルゲノムサービス3社のリスク予測と異なることを示し、国際ジャーナルで発表している。さらに、パーソナルゲノム情報が人々に与える心理的影響を体系的に調べるため、4000 名規模の Web 調査を 4 年間にわたり実施し、倫理問題を含む調査結果をデータベース化した。この結果、リスクの伝え方により、人々の行動に変化が生じることを見出している。

本研究の特徴は、学術的研究に加え、社会の啓蒙活動にも力を注いだことにある。啓蒙書「ゲノムが語る自分探し—僕はどんなふう生きるのだろうか」の出版、日本における Quantified Self コミュニティの立ち上げ、米人工知能学会における継続的なシンポジウムの開催など、その活動の質と量は特筆に値する。本テーマは数年で終了するものではない。今後の継続した研究活動、啓蒙活動に期待したい。

(3) 舘 知宏研究者「物理ベースデザインのためのインタラクティブ情報環境の構築」(3年型・大挑戦延長)

本研究は、設計の自由度が増すパーソナルなもののづくりにおいて、物理に基礎をおくデザインが重要であるとし、そのためのインタラクティブ環境の実現を目指したものである。デジタルファブリケーションの普及を先取りした挑戦的なテーマの設定であったと言える。研究内容は、申請時に計画された「形のデザイン」と、期間を延長して行った「動きのデザイン」からなり、それぞれ驚くべき進展を見せている。まず、形のデザインでは、一枚の紙や金属シートから自由な形状を実現するシステムを構築している。また、剛体折紙と呼ぶ、厚みのある実際の素材に対する変形メカニズムを提案している。次に、動きのデザインでは、剛性と柔軟性の両立に加えて、一様で制御しやすい展開機構を実現している。本研究成果はマイクロメートルから数十メートル級の構造に応用可能で、建築、航空宇宙、ロボット、材料など、当初想定したパーソナルなもののづくりをはるかに超える展開が期待できる優れたものである。

これらの学術的成果に加えて Freeform Origami と呼ぶソフトウェアを公開した。このソフトウェアは数多くダウンロードされ、世界の教育研究現場で広く利用されている。また、国際的な研究コミュニティの形成に尽力し、留学生や研究者を多数受け入れ、研究分野として急成長する Origami の国際協働の中心となったことも高く評価できる。今後の研究のさらなる進展を期待したい。

(4) 寺田 努研究者「実世界指向ユーザインタフェース実現のための動作認識基盤の確立」(5年型)

本研究は、研究室内実験では高精度の認識率を誇る技術が、実世界に適用すると期待される性能を出せないことに対する疑問から出発している。現場で利用可能な動作認識技術を蓄積すべく、研究室の学生と共に、数多くの技術開発と実証実験を積み重ねた。特に、自己相関関数を用いて動作を適切に分類して認識する技術、認識遅れを解消する早期認識アルゴリズム、加速度センサに加えてにおいセンサやフォトリフレクタを組み入れた動作認識技術などを提案している。さらに、ラベル付きモーションデータを含む動作認識データベースを、海外のデータ収集体と協力して構築している。また、開発した様々な技術をウェアラブルコンピューティング向けプラットフォームとして統合した。このプラットフォームを用いて入出力インタフ

エースを多数実装すると共に、プロフェッショナルなアーティストを含む多くの人々に提供している。

本研究が、実世界に適用可能な技術を開発すると共に、他の研究者やアーティストに利用可能なデータベースとプラットフォームを提供したことは高く評価できる。発表論文数は、論文誌 30 編、国際会議 57 件を数え、質の高い豊かな研究が行われたことを示している。

(5) 三木 則尚研究者「人刺激・計測 MEMS を用いた効果的な環境知能伝達方法の開発」(5年型)

本研究は、小型、軽量の MEMS (Microelectromechanical Systems) の研究を通じて情報環境に変革を起こすことを目指した研究である。具体的な研究成果は次の 3 点である。まず、多数の微小針アレイからなる触覚ディスプレイを開発し、ウェアラブル環境に適するよう薄型化を実現している。次に、透明光センサを用いた軽量、低消費電力の透過型視線検出システムを開発し、瞳や瞼の動きから疲労の推定を行うことに成功している。最後に、角質層を貫くキャンドル形状の針電極を有する脳波計測システムを開発し、有毛部である後頭部からの脳波計測に成功している。これらの研究は、来たるべきウェアラブルコンピューティングへの適用を想定している。

本研究は、要素技術の研究でありながら、次世代の情報環境での利用を強く意識して進められた。技術的な困難さに加えて、評価尺度などの方法論が異なる研究領域に参画し、成果を上げてきたことは高く評価できる。イノベーションは、研究領域を横断するところから生まれることが多い。今後も、研究領域を横断し、研究者自身が目指す、「使う」側の視点をもった「作る」研究の展開を期待したい。

(6) 寺澤 洋子研究者「生命のうごきが聞こえる: 生命動態情報の可聴化による「生き様」の理解」
(3年型・ライフイベント延長)

本研究は、生命動態情報の可聴化により、視覚に頼りがちな生命動態の観察に新たなメディアをもたらそうとするものである。申請当初は、線虫の動きを可聴化する小規模な実験を行っていたが、さきがけの期間中に、脳波、運動、心電図、笑顔などに可聴化の対象が広がった。工学的にも、脳波や心電図の可聴化は、視覚による観察を補佐するレベルに達している。一方で、データ可聴化の研究は、それ自体、理論的に体系化されている段階ではない。そこで、音楽心理学を含め、音の構造認知や知覚、情動反応に関わる基礎研究を英文論文にまとめ、国際会議で Best Speaker Award を受賞している。こうした基礎研究は、聴覚を通じて音データを再構成する認知過程の解明に資するものである。また、理論的課題を俯瞰する国際ワークショップを開催し、学術コミュニティの形成に寄与したことも高く評価できる。

本研究は、その成果として優れた作品をも生み出している。実際に脳波音楽の作品製作プロジェクトに参画し、音色合成、聴覚ゲシュタルト生成などで貢献した。この作品は音楽と映像を融合した芸術性が評価され、コンピュータ音楽の国際会議に採択されると共に、世界各地での著名な会場で上演されている。

10. 評価者

研究総括 石田 亨 京都大学大学院情報学研究科・教授

領域アドバイザー(五十音順。所属、役職は平成 27 年 3 月末現在)

五十嵐 健夫	東京大学 大学院情報理工学系研究科・教授
井佐原 均	豊橋技術科学大学 情報メディア基盤センター・教授
石黒 浩	大阪大学 大学院基礎工学研究科・教授
片桐 恭弘	公立はこだて未来大学 副学長・教授
葛岡 英明	筑波大学 大学院システム情報工学研究科・教授
竹林 洋一	静岡大学 創造科学技術大学院・教授
塚本 昌彦	神戸大学 大学院工学研究科・教授
中小路 久美代	京都大学 学際融合教育研究推進センター デザイン学ユニット・特定教授
橋田 浩一	東京大学 大学院 情報理工学系研究科 ソーシャルICT研究センター・教授
美濃 導彦	京都大学 学術情報メディアセンター・教授
森川 博之	東京大学 先端科学技術研究センター・教授
山田 敬嗣	Senior Vice President, NEC Asia Pacific Pte. Ltd.

(参考)

件数はいずれも、平成28年1月末現在。

(1)外部発表件数

	国 内	国 際	計
論 文	29	64	93
口 頭	373	150	523
その他	41	17	58
合 計	438	231	652

(2)特許出願件数

国 内	国 際	計
4	1	5

(3)受賞等(主要受賞のみ掲載)

計 41 件(3 研究者)

・舘 知宏研究者(5 件)

1. 科学的卓越性と独創性を反映した論文として認める PNAS 論文賞を受賞。(2016 年 5 月 1 日に NAS 年次総会にて授賞式)
2. 科学技術への顕著な貢献 2014(ナイスステップな研究者), 文部科学省 科学技術・学術政策研究所, 2014 年 12 月
3. Tsuboi Award, International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2013 年 9 月 23 日 (三浦公亮と共同) [2012 年 Journal of the IASS 最優秀論文]
4. 優秀研究発表賞 (2011 年度日本図学会秋季大会), 日本図学会, 2012 年 5 月 12 日
5. 形態創生コンテスト 2011 最優秀作品, 日本建築学会 2011,10/27 (増淵基, 岩元真明と共同)

・寺田 努研究者(34 件)

1. 4th Augmented Human International Conference (AH 2013), Best Paper Award (Mar. 2013).
2. 情報処理学会 2013 年度長尾真記念特別賞(2014)
3. 12th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2014), Best Short Paper Award (Dec. 2014).
4. ヒューマンインタフェース学会 2015 年度論文賞 (Feb. 2015).
5. 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2015), Best Paper Award (Dec. 2015).

・寺澤洋子研究者(2 件)

1. 日本認知科学会奨励賞 (2014/09/16)
2. Best Speaker Award, Japan-America Frontier of Engineering Symposium (2014/06/11)

(4)招待講演

国際 21 件

国内 78 件

(5)国際会議(シンポジウム)、国際ワークショップの主催・開催

・城戸 隆研究者 米国人工知能学会 5 年連続主催(AAAI Spring Symposia, 2012~2016)

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss12symposia.php#ss05>

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss13symposia.php#ss03>

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss14symposia.php#ss02>

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss15symposia.php#ss01>

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss16.php> (採択済み・プログラム準備中)



・館 知宏研究者 第6回折紙国際会議を東京で開催しプログラム副委員長担当。(2014年8月)
http://www.origami.gr.jp/6osme/6osme_1st_circular_jp.pdf

・寺澤洋子研究者 -International Workshop on Time Series Data Sonification (in conjunction with Tsukuba Global Science Week), 29-30 September, 2015.
国際可聴化会議日本への誘致(つくば国際会議場)
<http://slis.tsukuba.ac.jp/lspc/events/TSDS2015.html>

(6) さきがけ研究期間に発足した主な共同プロジェクト・連携研究活動

【さきがけ領域内】 16件

- ・荒牧英治研究者 3件(2期生・岡崎研究者、3期生・森嶋研究者、静岡大学・狩野研究者)
- ・寺田 努研究者 9件(1期生・長谷川研究者、2期生・荒牧研究者、2期生・高野研究者、2期生・塚田研究者、2期生・中澤研究者、2期生・三木研究者、2期生・森嶋研究者、3期生・栗田研究者、竹林アドバイザー)
- ・三木尚則研究者 3件(1期生・山岸研究者、2期生・城戸研究者、3期生・栗田研究者)
- ・寺澤洋子研究者 1件(3期生・鈴木研究者)

【さきがけ領域外】 6件

- ・三木尚則研究者 1件(慶應義塾大学)
- ・寺澤洋子研究者 5件(さきがけバイオ領域、ERATO 情動情報プロジェクト、筑波技術大学2、東京藝術大学)

【産業界・企業】 4件

- ・館 知宏研究者 2件(建設会社、建築系メーカー)
- ・三木尚則研究者 2件(ヘッドマウントディスプレイメーカー、視線検出・脳波検出システムメーカー)

【海外研究チーム】 5件

- ・館 知宏研究者 3件(イリノイ大学、ハーバード大学、ニューイングランド大学)
- ・三木尚則研究者 2件(MIT Media Lab、Microsoft、Microsoft Research Asia)

■ プレスリリース、出版(TV、新聞などメディア報道含む)

・荒牧英治 研究者(TV、雑誌)

1. 2016/01/02 NHK NEWS Web にて感染症研究の紹介.
2. 2015/12/26 NHK NEWS Web にて、認知症研究の紹介
3. 2013/11/29 ABC 放送「キャスト」にて、ソーシャルメディアを用いたインフルエンザの流行推定「インフルくん」の紹介.
4. 2015/03/30 2015年3月30日発売号『AERA』にて認知症研究の紹介.
5. 2014/04/09 NHK Eテレ「オイコノミア〜そのデータ、どう読み解きますか?〜」にて「インフルくん」の紹介
6. 2013/10/31 TBS 放送「ひるおび!」にて、ソーシャルメディアを用いたインフルエンザの流行推定「インフルくん」の紹介.
7. 2013/10/21 NHK 放送「ニュースウオッチ9」にて、ソーシャルメディアを用いたインフルエンザの流行推定の紹介.
8. 2012/11/15 テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」にて「匿名コピー」の紹介

・城戸 隆 研究者(雑誌)

週刊誌「AERA」1月20日号特集、「ゲノム新時代・変わる医療」〜ビッグデータとパーソナル医療〜 pp. 34 - pp. 38, 2014

・館 知宏 研究者(プレスリリース)

「固くて柔らかいオリガミ展開構造物」東京大学, 2015.9.14



<http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=395468&>

<http://ascii.jp/elem/000/001/048/1048180/>

・寺田 努 研究者(TV)

NHK テレビ、番組名:サイエンスZERO「ウェアラブルセンサーが起こすスポーツ革命」にて、
【解説・コメンテーター】として出演。放送日:2015.7.19

著作物

・城戸 隆 研究者著

- 1.城戸 隆, ゲノムが語る自分探し -僕はどんなふう生きるのだろうか「単行本」, 星の輸出会, 2011
- 2.城戸 隆, 鎌谷直之, パーソナルゲノム医療の科学的根拠, 医学のあゆみ, 250 巻5号, 2014
- 3.鎌谷直之, 城戸隆, パーソナルゲノムサービスの科学的吟味, 遺伝医学 MOOK28 号, 2014

・三木則尚 研究者著

- 1.三木則尚, 色素増感素子を用いた透過式ウェアラブル視線検出システム, ウェアラブル・エレクトロニクス, 株式会社エヌ・ティー・エス, pp.54-65, 2014.
- 2.三木則尚, MEMS 技術を用いた触覚ディスプレイ, パワーアシスト・ロボットに関する材料、電子機器、制御と実用化、その最新技術, 第 3 章第 9 節, 技術情報協会, 2015.

別紙

「情報環境と人」領域 事後評価実施 研究課題名および研究者氏名

(3年型・大挑戦延長含む)

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職(平成27年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
舘 知宏 (兼任)	「物理ベースデザインのためのインタラクティブ情報環境の構築」 (東京大学 大学院総合文化研究科)	東京大学 大学院総合文化研究科 助教 (東京大学 大学院総合文化研究科 助教)	50
寺澤 洋子 (兼任)	生命のうごきが聞こえる:生命動態情報の可聴化による「生き様」の理解 (筑波大学 図書館情報メディア系)	筑波大学 図書館情報メディア系 助教 (筑波大学 生命領域学際研究センター 研究員)	39

(5年型)

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職(平成27年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
荒牧 英治 (兼任)	自然言語処理による診断支援技術の開発 (奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構)	奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構 特任准教授 (東京大学 知の構造化センター 講師)	78
城戸 隆 (出向)	遺伝子解析と人工知能技術を用いたパーソナルゲノム情報環境の提案と評価 (株式会社理研ジェネシス バイオインフォマティクス部)	株式会社理研ジェネシス 研究マネージャ (株式会社理研ジェネシス バイオインフォマティクス部 マネージャ)	86
寺田 努 (兼任)	実世界指向ユーザインタフェース実現のための動作認識基盤の確立 (神戸大学 大学院工学研究科)	神戸大学 大学院工学研究科 准教授 (神戸大学 大学院工学研究科 准教授)	83
三木 則尚 (兼任)	人刺激・計測 MEMS を用いた効果的な環境知能伝達方法の開発 (慶應義塾大学 理工学部)	慶應義塾大学 理工学部 准教授 (慶應義塾大学 理工学部 専任講師)	92

研究報告書

「自然言語処理による診断支援技術の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成22年10月～平成28年3月

研究者: 荒牧 英治

1. 研究のねらい

情報処理技術が医療現場で生かされていない。近年、電子カルテやインターネットに接続可能な健康器具により大量の医療データ、いわゆる医療ビッグデータ、が利用可能になりつつある。これらを活用することで、過去に例を見ない大規模な統計的研究や、大規模データに基づいた医療支援システムを実現可能であるとして大きな期待が寄せられている。しかし、現実には、大量のデータ、特に自然言語文(テキスト)を処理する基盤技術がないため、情報過多となったデータは逆に業務の障害となることさえありうる。本研究では、自然言語処理技術を活用し、病院内のテキストのみならず、Web 上のテキスト、患者の音声発話などさまざまなテキストを材料に、医療に関する情報を抽出し、リアルタイムな疾患の流行把握や早期発見を実現し、診断の一助とすることを目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

5年型の研究期間をとおして、院内データ、Web テキストデータ、音声発話の書き起こしデータなど様々なテキストを材料に、診断支援を始めとした研究を実施した。特に重点的に研究を行ったテーマは2つあり: (1) ソーシャルメディアデータを用いた感染症の疾病監視(サーベイランス)(研究テーマ A)、及び、(2) 患者の音声発話を用いた認知症の診断支援(研究テーマ B)である。

(研究テーマ A) 感染症サーベイランスは、ソーシャルメディアを用いて、従来ない大規模かつ即時的な疾病監視システムを実現する研究である。すでに、さきがけ研究開始時に着手していた Twitter を用いたインフルエンザ監視システムをベースとして、この高性能化と適用範囲の拡大を行った。結果、当時、最先端であった Google Flu Trend と統計的に差がない精度を出すことに成功した[文献 1]。さらに、これをベースに、風邪症状判定手法の研究開発(「カゼミル」)や、天気や温度といった気象情報との統合(「カゼミル+」)など、研究の幅と深さを拡大した。同時に、エスエス製薬のウェブサイトにて利用されるなど、広告/商用面での注目も集め、当該サイトは国際的な広告賞2つを受賞した。

本研究成果をもとに、今後は、国立感染症研究所・病原体ゲノム解析研究センターと共同研究を行うことが決定している。具体的には、オリンピックに向けて海外からの渡航者が増加する中、日本での発症例のない感染症を中心とした危機事象監視体制の高度化について研究し、成果を実社会に還元する予定である。

(研究テーマB)認知症の診断支援は、語彙量や意味密度といった統計的な言語指標による認知症の進行度合いの推定手法を行った。これは、欧米にて理論的には実証されているものの英語話者のみが主な対象となっており、本研究は、これを日本語話者かつ音声にて検証した。先行研究においては、音声の書き起こしや意味密度の人手による集計が必要であり、非常に時間／金銭コストがかかっていた。これに対して、本研究では、音声認識と独自の意味冗長性計測手法(2月特許出願予定)により、臨床現場の負担を限りなく低減して導入できる技術を開発した。また、デイケア施設や大学病院での臨床実験を行い、その効果を実際に証明した(特許出願後、英文誌投稿予定)。また、本技術の社会への発信として、関西医学会総会「未来医 EXPO2015」への出品、京都市デイケア施設における認知症相談会へのシステム提供、開発したアプリケーションの報道なども行っている。今後は、認知症以外の言語に関連した疾患への応用可能性も含めて、さらに研究を発展する余地がある。

研究テーマA「ソーシャルメディアデータを用いた感染症の現状把握についての研究」

感染症の流行は、毎年、百万人を越える患者を出しており、常に重要な国家的課題となっている。特に、インフルエンザは、新型／亜種を早期に発見することにより、危機を避けることが可能となるため、感染状態の把握は各国における重要なミッションである。しかし、本邦の監視体制は、提携する医療施設からの報告に頼っており、1週間程度のタイムラグが問題視されてきた。そこで、本研究は、ソーシャルメディアである Twitter を用いて、インフルエンザの流行把握を実現した。これまでも Google や Yahoo! の検索クエリを用いる類似システムは、いくつか存在していた。しかし、その多くが、単純な単語の頻度情報をもとに流行を調査するというものであり、精度に限界があった。そこで、本さがけ研究のベースになった研究[EMNLP2011]では、この集計結果に、発言者が実際に罹患しているかどうかの判定処理を加え、劇的に精度を向上させた。本さがけ研究では、さらに、患者はどこにいるか、患者自身の経験かなど様々な臨床的に重要な情報を自然言語処理により分類し、さらに、ネット上での発言は、一定量拡散すると、加速的に話題に上がらなくなるというモデルを導入し[文献 1]、これまで、十分な精度が得られなかった過疎地域においても、感染症情報センター報告の患者数に極めて高く一致するシステムを実現した。本システムは、多くのソーシャルメディアベースのシステムが国単位で集計しているのに対し、都道府県単位での集計を行っており、2011 年以降、常に高い精度を上げている(図 1)。

本研究は、メディアからの注目も高く(NHK「ニュース・ウォッチ9」など国内TV報道4回、海外報道1回)、この技術を応用した製薬会社のサイト「カゼミル」は世界的な広告コンクールである CLIO Healthcare Awards 2011 での Gold Awards (最高賞)、及び、Spikes Asia Advertising festival 2011、デジタル部門 Gold Awards (第二位)など、学術的な面以外でも高い評価を受けた。

今後は、様々な医療機関、政府と連携して社会実装を行う予定である。まずは、平成28年度から、国立感染症研究所病原体ゲノム解析研究センターと共同研究を行い、2020年の東京オリンピック開催に備えた感染症監視体制の高度化を目指す予定である。

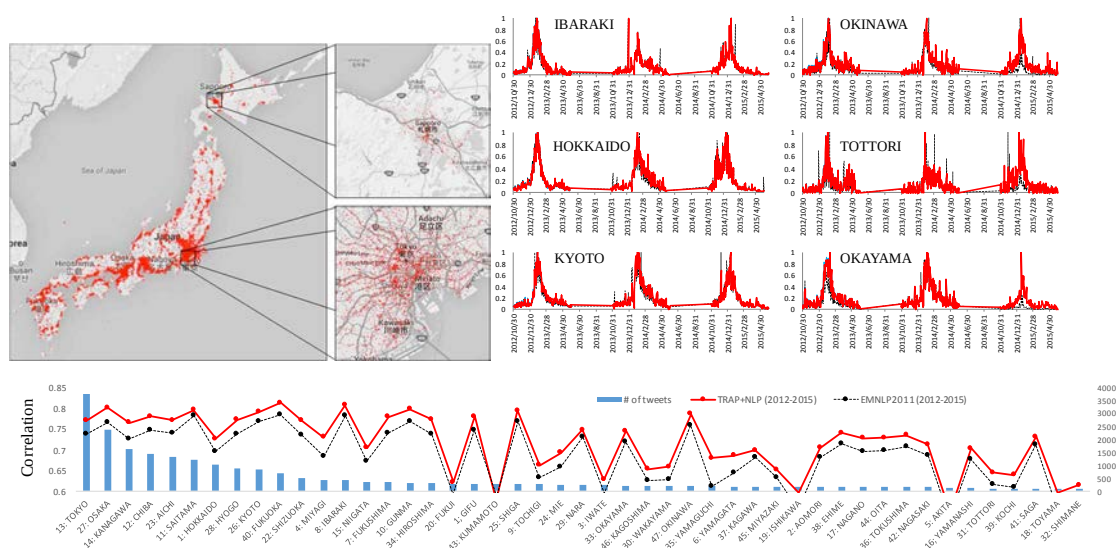


図 1:(左)2012年から2015年まで 70 万のインフルエンザ関連の発言の分布; 多くは東京に集中し、地方での発言は疎である。(右) 提案手法によるインフルエンザ現状把握。薄赤領域は、感染症情報センターの報告数を示す。赤線は提案手法による推定を示す(赤色)。黒線は従来手法(EMNLP2011@ARAMAKI; さきがけ研究着手時の言語処理による集計)を示す。従来、流行よりも前倒しの傾向があった推定値が、提案手法においては改善されている。(下)都道府県別の Twitter 発言数(水色)と提案手法の精度(相関係数)(赤色)と従来手法(EMNLP2011@ARAMAKI)の精度(相関係数)。すべての都道府県で従来の精度を上回っている。特に、

[文献 1] 荒牧英治*, 増川佐知子, 森田瑞樹: 文章分類と疾患モデルの融合によるソーシャルメディアからの感染症把握, 自然言語処理, Vol.19, No.5, 2012.

研究テーマ B「患者の音声発話をを用いた認知症の診断支援」

世界に先駆けて高齢化社会を迎える日本にとって、高齢者への医療対策は重要な課題である。中でも認知症は医療費が 10 兆円規模と算定され(平成22年 厚生労働省)、国家的問題となっている。早期に症状を発見する研究については、近年、血液検査など新たな方法が提案されている。しかし、それらは身体的侵襲を伴うものが多い。そこで、この負担を低減するため、認知症の症状である記憶能力や言語能力の低下を調査する研究が欧米で注目されている。しかし、日本においては、認知症患者の記述を分析した例が極めて少なく、十分な研究がなされていると言えない。本研究では、言語による認知症診断支援を日本語にて検証した。

まず、言語の測定法については、英語圏にて研究されていた語彙量を日本語にて測定する手法を提案し、認知症との関連の可能性を示した[文献 2]。さらに、語彙量だけでなく、発話した内容における冗長性を測定する手法を新たに考案し、これが語彙量と同程度に認知症と関連することを示した。なお、考案した測定手法は、特許出願を行った(2 月出願予定)。

また、これまでの欧米の先行研究では、音声の書き起こしや専門家によるコーディングな

ど、人手による集計が必要であり、臨床現場で容易に利用可能な技術からは程遠い状態であった。本研究では、臨床現場の使用シーンを考慮して、負担なく測定できるように、音声認識による測定が可能なことを検証した。

さらに、上記のような学術的な成果を社会的に広め、そこから実際にデータを得る試みも行った。提案する認知症診断支援を実用化させるにあたっては、どの程度の言語能力が日本人の平均なのか、また、どれくらいの分散があるのかといった統計量が必要となる。本研究では、この統計データを得るために、発話のきっかけとなる質問セットを選定し、3回の京都の特別養護老人ホームにおける認知症相談会での試用、及び、医学会総会「未来医 EXPO2015」への出品を行った（図2）。特に後者の、「未来医 EXPO」では、1200名以上もの参加者が言語力測定プログラムを体験し、今後の研究の基盤となる語りの統計が得られた。

上記のような語りのアーカイブは、医療応用としての観点のみならず、そもそも語ることで、生活の質（QOL）が改善する可能性が、これまで、看護学、心理学、精神医学など、さまざまな分野で指摘されてきた。本研究では、本邦でもっとも大きな患者ソーシャル・ネットワーク・サービスであるメディエイド社「ライブパレット」と共同研究を行い、語りがQOLを改善することを定量的に示した[文献3]。

さらに、今後、さまざまな研究者が多様な観点で、集積された語りのデータを利用できるように、患者/クライアント/当事者による記録を活かす意見交換会を有志とともに設立し、2回の交換会を行った。この会をきっかけとして、新学術領域提案など様々な活動が生まれつつある[文献4]。

今後は、より大規模な集計、及び、他の疾患、特に発達障害やうつ病といった言語に関連した疾患についても応用可能性を検証している。すでに、発達障害については語のレベルと症状との関連を明らかにしており[文献5]、今後の多くの発展の可能性が見込まれる。



図2: (上)医学会総会「未来医 EXPO2015」での語彙測定システムの展示, (下)語彙測定シ

テムの出力

- [文献 2] 宮部真衣, 四方朱子, 久保圭, 荒牧英治: 音声認識による認知症・発達障害スクリーニングは可能か?—言語能力測定システム“言秤”の提案—, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2014. (山下記念賞)
- [文献 3] 荒牧英治, 四方朱子, 富井美子, 矢島弘士: SNS は患者の Quality of Life を向上させるのか, 医療情報学 Vol.36, No.1, 2015. (2016 年 4 月発行予定)
- [文献 4] 荒牧英治, 荒木健治, 石井保志, 上松幸一, 北嶋志保, 熊谷晋一郎, 櫻井公恵, 瀬戸山陽子, 高橋由光, 富井美子, 堀里子, 西舘澄人, 森田瑞樹, 矢島弘士, 和田恵美子, 則のぞみ, 島本裕美子: 患者/クライアント/当事者による記録を活かす意見交換会の活動報告, 医療情報学 34 巻 4 号, 2014.
- [文献 5] Eiji Aramaki, Shuko Shikata, Mai Miyabe, Yasuyuki Usuda, Kousuke Asada, Satsuki Ayaya, Shin-ichiro Kumagaya: Understanding the relationship between social cognition and word difficulty: a language based analysis of individuals with autism spectrum disorder, Methods of Information in Medicine, 2015 (Impact Factor=1.08)

3. 今後の展開

ソーシャルメディアからの感染症把握について、日本ではめずらしい感染症の初期症状やバイオテロに対応できるように、国立感染症情報センターと共同研究を行い、発展させる予定である。認知症の研究については、特許出願した技術を用いた簡便な測定装置、スマートフォン・アプリケーションやハードウェアへの実装を行い、より簡易に測定できるよう発展させる。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

自然言語処理を医療分野にて応用し診断支援まで実現するという研究目的について、感染症サーベイランスシステムについては平成28年度から感染症情報センターとの共同研究が予定されている点が大きな成果であると考えている。ソーシャル・メディアを用いた医療研究はこれまで多々あったが、実際に応用事例まで至った例は少なく、知る限り日本の公共医療機関における初めてのソーシャル・メディア応用事例となると考えている。また、認知症診断にて小規模ながらも有効性を示した点にて、いずれも実用化が近く、一定以上の達成があったと考えている。

研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)については、各種の実験、実装に人的リソースが必要なことから、5 年間に渡る安定した研究費が役に立った。ただし、研究期間内に2度の異動があり、このため、研究場所の確保、雇用、予算執行における品目の切り替えなどについて、一部遅延が生じた。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果については、本さがけ研究の結果、国立感染症情報センター、京都大学 iPS 細胞研究所、京都大学医学部附属病院神経内科、東京大学医学部附属病院精神科など多くの共同研究を実施することができた。さらに、認知

症診断方法の特許化など、一定の成果を上げたと考えている。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、自然言語処理技術をヘルスケアに適用する試みである。まず、ソーシャルメディアのデータを用いて感染症の監視を行う研究を行った。この研究は、従来ない大規模かつ即時的なもので、高精度の疾病監視を実現している。研究論文としてまとめる一方で、実際にTwitter データを用いたシステムを開発すると共に、気象情報との統合を図り、その有用性を高めている。また、産業界の注目を集め国際的な広告賞を受賞するなど、成果の社会展開に成功した。さらに重要な研究成果は、認知症の診断支援である。この研究は、語彙量などの統計的な指標を用いて、病状が進行する早い段階で認知症を検出するもので、デイケア施設や大学病院での臨床実験を行い、医学会からも関心を集めている。認知症と発話の関係に着目し、ヘルスケアに対する自然言語処理のより本質的な活用を拓くものとして高く評価できる。現時点では、比較的簡単な定量的指標を用いているが、今後、より高度な自然言語処理を援用し、発話の質的な分析を行うことを期待している。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

著者、発表論文タイトル、掲載誌名、発行年、巻号、始頁-終頁、その他

1. [原著論文] Eiji Aramaki*, Shuko Shikata, Mai Miyabe, Yasuyuki Usuda, Kousuke Asada, Satsuki Ayaya, Shin-ichiro Kumagaya: Understanding the relationship between social cognition and word difficulty: a language based analysis of individuals with autism spectrum disorder, *Methods of Information in Medicine*, 2015, Vol 54 (6), 522–529.
2. [原著論文] Akira Sato, Eiji Aramaki *+, Yumiko Shimamoto, Shiro Tanaka, Koji Kawakami: Blog Posting after Lung Cancer Notification: Content Analysis of Blogs Written by Patients or their Families, *Journal of Medical Internet Research (JMIR)*, 2015, Vol1. * corresponding author, [+ equal contribution to the first authors.](#)
3. [原著論文] Yumiko Shimamoto, Mai Miyabe, Shuko Shikata, Eiji Aramaki*: Mind the Gap between Self-Reported QOL by Patients and Estimated QOL by Medical Staff, *Studies in Health Technology and Informatics*, 2015, Volume 216, 511–514.
5. [原著論文] 荒牧英治*, 四方朱子, 富井美子, 矢島弘士: SNS は患者の Quality of Life を向上させるのか, *医療情報学* Vol.36, No.1, 2015. (2016 年 4 月発行予定)
6. [原著論文] 荒牧英治*, 増川佐知子, 森田瑞樹: 文章分類と疾患モデルの融合によるソーシャルメディアからの感染症把握, *自然言語処理*, Vol.19, No.5, 2012.
7. [国際会議] Eiji Aramaki, Sachiko Maskawa, Mai Miyabe, Mizuki Morita and Sachi Yasuda: A Word in a Dictionary is used by Numerous Users, *International Joint Conference on Natural Language Processing (IJCNLP2013)*, 2013 (2013/10/18, Nagoya, Japan).
8. [国際会議] Eiji Aramaki, Mizuki Morita, Yoshinobu Kano, Tomoko Ohkuma: Overview of the NTCIR-11 MedNLP task, *In Proceedings of NTCIR-11*, 2014. (2014/12/13, Tokyo, Japan)

(2)特許出願

研究期間累積件数:1件

(3)その他の成果(主要な学会発表, 受賞, 著作物, プレスリリース等)

【学会発表】

- (1) Eiji Aramaki, Sachiko Maskawa, Mizuki Morita: Influenza Patients Are Invisible in the Web: Traditional Model Still Improves the State of the Art Web Based Influenza Surveillance. AAAI Spring Symposium: Self-Tracking and Collective Intelligence for Personal Wellness 2012
- (2) Eiji Aramaki, Mai Miyabe, Kayo Waki, Hideo Fujita, Yuji Uchimura, Koji Omae, Masayo Hayakawa, Takashi Kadowaki, Kazuhiko Ohe: Smartphone-Based Self Management System for Type-2 Diabetes Patients. AAAI Spring Symposium: Self-Tracking and Collective Intelligence for Personal Wellness 2012
- (3) 荒牧英治: 医療ビッグデータの深い言語解析による疾患サーベイランスへ向け
て,
日本医療情報学会「医用知能情報学研究会」人工知能学会「医用人工知能研究 (SIG-AIMED) 合同研究会, 2015. (2015/09/29, 東京)
- (4) 荒牧英治, 四方朱子, 渡部恵理子, 宮部真衣, 臼田泰如, 綾屋紗月, 熊谷晋一

郎：

クラウドソーシングによる疾患リスク研究の全自動化の試み，第 35 回医療情報学

連合大会，2015. (2015/11/5, 沖縄)

- (5) **荒牧英治**，宮部真衣：音声認識を想定したサジェスト機能の可能性の検討，第 34 回医療情報学連合大会，2014. (2014/11/7, 千葉)

- (6) **荒牧英治**，四方朱子，宮部真衣，臼田泰如，浅田晃佑，綾屋紗月，熊谷晋一郎：自閉スペクトラム症者の自伝的記憶の語りの言語処理，情報処理学会 第 215 回自

然言語処理研究会 (SIG-NL)，2014. (2014/12/15, 東京工業大学)

- (7) **荒牧英治**，久保圭，四方朱子：老いとくことば＞：ブログ・テキストから測る老化，

電子情報通信学会データ工学研究会 (DE) / 情報処理学会 第 159 回 データベースシ

ステム研究会 (SIG-DBS) / 情報処理学会 第 115 回 情報基礎とアクセス技術研究会

(SIG-IFAT) 連立研究会，2014. (2014/08/01, 福岡)

- (8) **荒牧英治**，久保圭，仲村哲明，島本裕美子，宮部真衣：Augmented Copy：自然言語処理を重畳するコピー機，インタラクション，2014. (2014/02/27, 東京)

- (9) **荒牧英治**，森田瑞樹，仲村哲明，島本裕美子，宮部真衣：使いやすい言語処理の

ための実装例の提案，第 33 回医療情報学連合大会（第 14 回日本医療情報学会学術大会），(2013/11/21, 神戸)

- (11) **荒牧英治**，増川佐知子，宮部真衣，森田瑞樹：テキストの k 匿名化，第 155 回データベースシステム研究発表会，2012. (2012/11/19, 秋葉原コンベンションホール)

- (12) **荒牧英治**，増川佐知子，森田瑞樹，保田祥：日本人のオンライン・コミュニケーション上での平均使用語彙数は 8,000 語である，情報処理学会 第 208 回 自然言語処理研究会 (SIG-NL)，2012. (2012/09/03, 仙台)

- (13) **荒牧英治**，増川佐知子，森田瑞樹，保田祥：オンライン・コミュニケーション上での平均使用語彙数に関する研究，コーパス日本語学ワークショップ，2012. (2012/09/07, 国立国語研究所)

【著作物】

- (1) **荒牧英治** (奥村学監修)：自然言語処理シリーズ 医療言語処理，コロナ社，2016 (5 月刊行予定)

- (2) **荒牧英治**，島本裕美子，久保圭，仲村哲明，四方朱子，宮部真衣：もう一つの医療ビッグデータ ―闘病記を医療に活かす―，人工知能学会特集号 29(1)，599-603，2014.

- (3) **荒牧英治**，荒木健治，石井保志，上松幸一，北嶋志保，熊谷晋一郎，櫻井公恵，瀬

戸山陽子, 高橋由光, 富井美子, 堀里子, 西舘澄人, 森田瑞樹, 矢島弘士, 和田恵美子, 則のぞみ, 島本裕美子: 患者/クライアント/当事者による記録を活かす意見交換会の活動報告, 医療情報学 34 巻 4 号, 2014.

- (4) **荒牧英治**, 増川佐知子, 宮部真衣, 森田瑞樹: 患者と医師が使う言葉の違い ～闘病記の医学的な応用に向けて～, 人工知能学会特集号 28(6), 857-861, 2013.
- (5) **荒牧英治**: 言語処理による分析—支援物資の分析, 「日本栄養士会雑誌」12 月号, Vol. 55, No 12. pp.8, 2012.

【招待講演／セミナー】

- (1) **荒牧英治**: 「語りを活かす～ライフログとしてのニフティ・テキスト～」, NIFTY-Serve フォーラム研究報告会 基調講演, 2016. (2016/03/29, 東京)
- (2) **荒牧英治**: 「言語処理がつくる医療と情報のシナジー」, Synergy!LIVE2015, 2015. (2015/12/08, 東京)
- (3) **荒牧英治**: 「情報処理技術が変える医療 ～ソーシャルメディア・クラウドソーシング・シェアードタスクの応用事例～」, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2015, 2015. (2015/11/27, 栃木県那須塩原)
- (4) **荒牧英治**: 「ウェブテキストからみえる医療倫理」, 京都大学 iPS 細胞研究所 (CiRA), 2015. (2015/9/25, 京都)
- (5) **荒牧英治**: 「ビッグデータが変える暮らし ～街歩きから花火大会まで～」, 鳥取大学公開講座, 2015. (2015/9/8, 鳥取)
- (6) **荒牧英治**: 「テキストデータを対象にした医療に関するビッグデータ解析の動向」, 医療の質安全学会・学際的医療研究入門 WS, 2015. (2015/9/5, 東京)
- (7) **荒牧英治**: 「twitter 解析における現実と言語の差異」, コーパス日本語学ワークショップ サテライトシンポジウム, 2015. (2015/9/4, 東京)
- (8) **荒牧英治**: 「医療における自然言語処理応用 ～ビッグデータからディープデータまで～」, 情報処理学会東海支部主催講演会 2015. (2015/7/22, 名古屋)
- (9) **荒牧英治**: 「ことばが救う命」, 奈良 SSH フェスティバル, 2015. (2015/3/15, 奈良)
- (10) **荒牧英治**: 「産業日本語としての医療カルテ文章」, 産業日本語シンポジウム, 2015. (2015/2/24, 東京)
- (11) **荒牧英治**: 「Web ビッグデータが変える医療」, 鳥取大学公開講座, 2014. (2014/12/19, 鳥取)
- (12) **荒牧英治**: 「Web ビッグデータの可能性 ～3つの事例をもとに～」, 第 34 回医療情報学連合大会大会企画, 2014. (2014/11/7, 千葉)
- (13) **荒牧英治**: 「医療分野ビッグデータの可能性」, 四国組込みソフトウェア研究部会 (SE S) 講演会, 2014. (2014/6/6, 愛媛)
- (14) **荒牧英治**: 「言語処理が拓く医療の可能性」, 人工知能学会セミナー, 2014. (2014/4/18,

東京)

- (15) **荒牧英治**:「患者と医師が使う言葉の違い: ~工学的アプローチからの闘病記の医学的な応用に向けて~」, 闘病記研究会シンポジウム「闘病記を科学する」, 2014. (2014/3/2, 東京)
- (16) **荒牧英治**:「ソーシャルメディアで命を救う」, ヒューマンインタフェースシンポジウム・ワークショップ, 2013. (2013/9/10, Tokyo, Japan)
- (17) **荒牧英治**:「人間と自動翻訳機, その長所と短所」, びわ湖国際医療フォーラム, 2013. (2013/7/7, 滋賀)
- (18) **荒牧英治**:「医療ーソーシャルメディアー言語」, NAIST 先進ゼミナール, 2013. (2013/12/3, 奈良)
- (19) **荒牧英治**:「ソーシャルメディアの自然言語処理」, 高度言語情報融合フォーラム (ALAGIN)セミナー, 2012. (2012/11/14, 東京)
- (20) **荒牧英治**:「災害と医療情報」東日本大震災ビッグデータワークショップ, 2012. (2012/10/28, 東京)
- (21) **荒牧英治**:「ソーシャルメディアを用いた自然言語処理の応用」, NICT, 2012. (2012/10/11, NICT, 京都)
- (22) **荒牧英治**:「テキスト世界は必ずしも現実世界を反映しない」, 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012. (2012/3/6, 名古屋工業大学)
- (23) **荒牧英治**:「言語処理によるシグナル検出に向けて」, 製薬協/医薬品評価委員会, 2012. (2012/3/2, 日本教育会館, 東京)
- (24) **荒牧英治**:「テキスト世界の歪み: 文章から現実世界を測るということ」, 筑波大学/知的コミュニティ基盤研究センター・コロキウム 2012. (2012/2/24, 筑波大学)
- (25) **荒牧英治**:「自然言語処理と Twitter」, 高度言語情報融合フォーラム(ALAGIN)セミナー講師, 2012. (2012/1/5, 東京)
- (26) **荒牧英治**:「災害対応の革新に向けた情報通信技術」, けいはんな情報通信オープンラボシンポジウム, 2011. (2011/12/1, 京都)
- (27) **荒牧英治**:「文字情報と病理」, 第 100 回日本病理学会総会ワークショップ, 2011. (2011/4/29, 横浜)
- (28) **荒牧英治**:「医療クラウドに向けての動向」, 言語グリッドシンポジウム, 2011. (2011/2/21, 京都大学)

【プレスリリース・報道】

- (1) 2016/01/02 NHK NEWS Web にて、感染症研究の紹介。
- (2) 2015/12/26 NHK NEWS Web にて、認知症研究の紹介。
- (3) 2015/03/30 2015 年 3 月 30 日発売号『AERA』にて認知症研究の紹介。
- (4) 2014/04/09 NHK E テレ「オイコノミア~そのデータ、どう読み解きますか? ~」にて「インフルくん」の紹介。
- (5) 2013/11/29 ABC 放送「キャスト」にて、ソーシャルメディアを用いたインフルエンザの流行推定「インフルくん」の紹介。
- (6) 2013/10/31 TBS 放送「ひるおび!」にて、ソーシャルメディアを用いたインフルエンザの

流行推定「インフルくん」の紹介。

(7) 2013/10/21 NHK 放送「ニュースウォッチ9」にて、ソーシャルメディアを用いたインフルエンザの流行推定の紹介。

(8) 2012/11/15 テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」にて「匿名コピー」の紹介

研究報告書

「遺伝子解析と人工知能技術を用いたパーソナルゲノム情報環境の提案と評価」

研究タイプ: 大挑戦型(※大挑戦型課題として延長無/増額無)

研究期間: 平成 22 年 10 月～平成 28 年 3 月

研究者: 城戸 隆

1. 研究のねらい

遺伝子解析技術の急速な進展により、個人のゲノム情報から病気のリスクが予測出来るパーソナルゲノム時代が到来しつつある。遺伝子の個人差を医療に生かすオーダーメイド医療を実現していくためには、遺伝子情報がもたらす新たな情報環境と人とのインタラクションの理解が本質的である。本研究では遺伝子解析と人工知能技術に基づく画期的な遺伝子情報サービスの基盤技術構築を目指す。特にレイティングシステムによって蓄積された個人属性と遺伝子情報との関連性をもとに、より信頼性の高い遺伝子リスクを予測するための計算モデルを構築し、さらに個人のゲノム情報が人々に与える影響を評価する。個人のゲノム情報から病気のリスクや個性を予測し、病気の原因解明や、新たな科学発見につながる技術である。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、パーソナルデータと個人の遺伝子変異との関連性を解析し、病気のリスクや認知・行動特性を予測する「パーソナルゲノム情報環境」(図1)を提案した。(学会発表 1) (特許 1) (論文 2, 6, 7) また本提案を実現するための基盤技術と「人がどう感じるか」に関する評価研究を行った。これまでに得られた研究成果は以下の3点にまとめられる。

(1) 疾患リスク予測の信頼性を高めるための評価指標体系と数理モデルの構築

遺伝子の個人差に基づく疾患リスク予測は、予測精度の信頼性や結果の解釈が大きな課題で、これまで予測結果の信頼性を、客観的に評価する基準は確立されていなかった。そこで我々はパーソナルゲノムによる予測能力が、どのような項目でどの程度期待できるのかを理論的、実証的、体系的に評価し、予測に重要な影響を与える4つの指標を見出した。先行研究(Nature, Oct 2009)では主に欧米人を対象にしていたが、我々は、人種差によって疾患リスクは大きく変わってくることを示し、日本人のリスク予測の一致率の程度や各手法のリスク予測差の定量化に成功した。また我々は、疾患リスク予測に数理解釈を与えるために疾患リスク予測の数理モデルを構築し、人種差が生じやすい領域を定量的に可視化する方法を開発した。更に我々は多因子疾患のパーソナルゲノム医療の科学的根拠をより高めるため、既知の疾患関連解析におけるリスクアレル頻度分布を解析し、遺伝統計学上の新たな知見を得た。

(2) パーソナルゲノム情報の社会心理学的評価

パーソナルゲノム情報にはどんなものがあり、それが人にどういう影響を与えるかを体系的

に調べた研究は数少ない。遺伝子リスクに関する知識が、異なる背景の人に、どのようにして伝わるかを明らかにしていくことは重要なテーマである。我々は、4000名規模のWeb社会意識調査を過去4年間にわたり実施し、倫理問題を含む100項目以上の課題を作成し調査結果をデータベース化した。同時に、伝え方の影響を評価するためのコンテンツを開発した。分析の結果、遺伝子検査として最もニーズが大きいのは、「アルツハイマー病」になるリスクであること、遺伝子リスクの伝え方により、人々がとりうる行動パターンに変化が生じること等を見出した。

(3) 「コミュニティコンピューティングによる科学発見」を目指す情報環境の提案と試作

我々は、「人に気づきを与える情報環境」の実現を目指し、パーソナルデータと個人の遺伝子変異との関連性を解析し、病気のリスクや認知・行動特性を予測するパーソナルゲノム情報環境（特許1）を提案した。我々の提案の従来モデルとは異なる特徴は、(1) 我々の食生活、睡眠、仕事のスタイル、時間の使い方、ソーシャルなインタラクションや趣向や好みなどを知的エージェントが観測し解析することにより、我々の日々の物理的、化学的、心的なストレスをモニタリングし自己発見を促す情報環境であり、(2) 自発的な参加者によって参加型コミュニティ（Crowd Sourcingによる）を形成し科学データの収集、解析、ツール開発を行いながら科学発見を目指す仕組みを有することである。我々は、セルフトラッキングデータの取得、統合、可視化を支援するソフトウェア「MyFinder」を開発し、参加型のオンラインコミュニティを作り、科学発見を目指す複数のプロトタイププロジェクトを遂行し、候補遺伝子変異との関連性を報告した。

本研究成果は人工知能及び遺伝子解析の学術領域で、1件の海外ジャーナル誌、3件の国内論文誌、5件の国際会議論文誌に掲載され、国内外での依頼講演も6件行っている。提案した研究フレームワークは、AAAI 国際会議や Quantified Self コミュニティの場などにおいても国際的な注目を得ている他、複合領域にまたがる新たな学際領域の開拓につながっている。（国際会議主催 1,2,3,4,5）（論文誌特集 1,2,3）同時に啓発活動として、パーソナルゲノムに関する一般向けの本を出版し（著作物1）、日米において参加型の市民科学のコミュニティの立ち上げを推進するなど、一般雑誌（一般雑誌1）などでも取材記事として紹介されている。

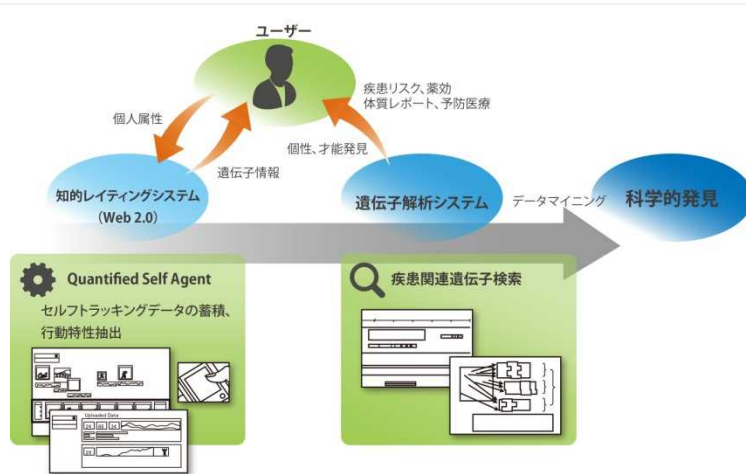


図1 パーソナルゲノム情報環境「MyFinder」の提案 [特願 2012-067762]

(2) 詳細

(1) 疾患リスク予測の信頼性を高めるための評価指標体系と数理モデルの構築

本研究の動機の一つは、パーソナルゲノム情報の質（例えば、疾患リスクの予測）を評価する客観的で体系的な指標を開拓していくことである。これは、1998年当時、Laurence らが、Web検索エンジンの性能評価を行った研究が Science 誌に発表され、Google のその後の飛躍にも貢献したことから着想を得ている。我々は、当時の「Web 検索」領域と現在の「パーソナルゲノム」領域は類似した状況にあると捉えており、パーソナルゲノムの分野で、Laurence らが行ったような貢献をしていくことを目指している。

遺伝子の個人差に基づく疾患リスク予測は有望な技術だが、予測精度の信頼性や結果の解釈が大きな課題で、現状では予測結果の信頼性を、客観的に評価する基準は確立されていない。

Venter らの先行研究(Nature, Oct 2009)で示されているように、現在の疾患のリスク予測には様々な不整合がある。また、人種差によっても疾患リスクは大きく変わってくる。そこで我々はパーソナルゲノムによる予測能力が、どのような項目でどの程度期待できるのかを理論的、実証的、体系的に評価することを目的とし、下記の解析を行った。

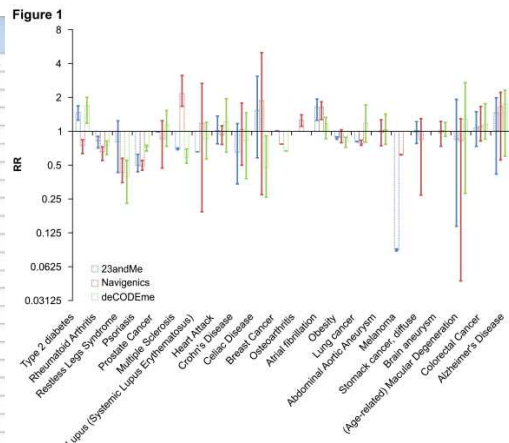
- ① 現状の疾患リスク予測の体系的で定量的な比較評価
- ② リスク予測結果に差が生じる原因の解析
- ③ 疾患リスク予測能力を評価するための理論的分析

(a) 疾患リスク予測手法の比較評価。

①と②に関して、パーソナルゲノムサービス3社の 22 疾患について、日本人3名の疾患リスク予測結果を比較解析した論文が国際ジャーナル誌に採択された。(論文 1) (学会発表 2)

図3に、比較解析結果の一部を示す。我々は客観的で体系的な評価手法を用いて、疾患を発症するリスクについての全体の傾向は一致している($\kappa=0.58$)ものの、22のうち8疾患ではリスクが逆転していることを報告した。(図 1a)

	A				B				C				Ethnicity
	23	N	D	23	N	D	23	N	D	23	N	D	
Type 2 diabetes	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Rheumatoid arthritis	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Restless legs syndrome	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Potomac	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	deCODEme is customized for East Asian
Prostate cancer	=	↑	↑	NA	NA	↑	=	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Multiple sclerosis	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Lupus (systemic lupus erythematosus)	NA	↑	↑	↑	↑	↑	NA	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Heart attack	↓	↓	=	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	deCODEme is customized for East Asian
Crohn's disease	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Celiac disease	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Breast cancer	NA	NA	NA	=	↓	↓	NA	NA	NA	NA	NA	NA	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Osteoarthritis	NA	↑	NA	NA	↑	↑	NA	NA	↑	↑	↑	↑	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Alcoholism	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	deCODEme is customized for East Asian
Obesity	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Lung cancer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	deCODEme is customized for East Asian
Abdominal aortic aneurysm	NA	=	↓	NA	↑	↑	↑	NA	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Melanoma	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Stomach cancer, diffuse	↓	=	NA	=	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Brain aneurysm	NA	=	↓	NA	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	deCODEme is customized for East Asian
Age-related macular degeneration	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	deCODEme is customized for East Asian
Colorectal cancer	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	23andMe, deCODEme are customized for East Asian
Alzheimer's disease	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	deCODEme is customized for East Asian



(a) 22 疾患のリスク予測結果の一致率

(b) 22 疾患のリスク予測値(RR)の分布

図 2 パーソナルゲノムを用いた日本人における疾患リスク予測の比較評価

この論文において我々は、日本人のリスク予測の一致率の程度や各手法のリスク予測差の定量化に成功し、予測差が生じるメカニズムに関する重要な知見を得た。予測結果に影響を与える要因として、(1) SNP 選択、(2) 平均リスク疾患リスクの推定、(3) 疾患リスク予測アルゴリズム、(4) 人種差の影響の4つの指標が大きいことを数値的に示した。また22疾患において、3社で共通して用いられた SNP は7.1%のみで、予測に大きな影響を与えるコア SNP を東アジア人で整備していくことが日本人の疾患リスク予測精度を高める上で重要であることを論じた。さらに、我々は③の数理モデルの構築とパーソナルゲノムの新たな指標を用いた疾患や人種差の特徴づけに関する理論的考察を進め下記の成果を得た。

(b) 予測の信頼性を高めるための統計数理的エビデンスと進化的洞察。

この研究は、日本人類遺伝学会第60回大会の大会賞の候補として、365件中5件に選ばれた。これまでに、ゲノムワイド関連解析(GWAS)によって17000以上の遺伝子変異と疾患との関連性が報告されている。単一遺伝子疾患とは異なり、多因子疾患では複数の遺伝要因や環境要因が相互に複雑な影響を及ぼしあうことで発症に至る。我々は、多因子疾患のパーソナルゲノム医療の科学的根拠をより高めるため、多因子疾患の既知の疾患関連解析におけるリスクアレル頻度分布の解析を行った。その結果、特に、マイナーリスクアレル頻度が0.1未満の時に、マイナーアレルがリスクアレルとなる傾向が高くなることを見出し、その理由として、GWAS研究のバイアスと進化的理由の両方が考えられることを数理統計的に示した(学会発表 9)。リスクアレル頻度が低い疾患(近視や心突然死など)は、原始時代であれば生死に関わるものが多い一方で、リスクアレル頻度が高い疾患(統合失調症、アルツハイマー病など)は、生活習慣病や精神疾患などの現代病が多い。これらの疾患は、比較的最近の環境変化のため、かつては環境に対して有利、あるいは中立の遺伝的変異(アレル)が、現代の環境では有害に作

用し、リスクアレルとなっている可能性を論じた。(論文投稿準備中)

(c) リスク場を用いた疾患リスクの人種差評価。

疾患リスクに人種差があることは知られているが、疾患関連 SNPs のリスクアレル頻度(p)、リスクアレル数、オッズ比(r)と人種差への影響の程度を定量的に評価した研究はなされていなかった。我々は、リスクアレル頻度(p)、有病率(q)、オッズ比(r)の関係性を数理モデル化し、物理学における「電磁場」のようなアイデアを遺伝統計学に適用した「リスク場」の概念を提案した。リスク場を用いると、様々な要因による差が比較可能な一つの場合を作ることが出来る。このリスク場の概念を用いることによって、疾患リスクの人種差が生じやすい領域と生じにくい領域を可視化する方法を開発した(学会発表 8)。

(2) パーソナルゲノム情報の社会心理学的評価

パーソナルゲノム情報にはどのようなものがあり、それが人にどのような影響を与えるかを体系的に調べた研究は数少ない。例えば、遺伝子解析結果の解釈の適切な伝え方は、心理的・文化的・宗教的背景にも関わってくる。遺伝子リスクに関する知識が、異なる背景の人に、どのように伝わるかを明らかにしていくことは、パーソナルゲノム時代を迎えるにあたり重要なテーマの一つである。多様な意見や価値観を集約するために、我々は倫理問題を含むテーマを設定し、合計で約100項目にわたる社会意識調査項目を作成した。またその質問項目をもとに、大学の授業やフォーカスグループのディスカッションなどを行った。更に、それらの回答などをもとに、4000 名規模の Web 社会意識調査を過去 4 年間にわたり実施した。同時に、伝え方の影響を評価するためのコンテンツも開発した。(学会発表 3, 5, 6)

例えば、各国の有識者の間でもパーソナルゲノムサービス(PGS)に肯定的で推進する立場と、規制すべきという立場に分かれるが、我々はこれらの意思決定に影響を与えうる統計分析や米国先行研究との比較を行った(学会発表 6)。2012 年 3 月時点で、日本人のパーソナルゲノムサービスの利用率は 1.5%、関心度は 40.6%で米国(6%, 64% [2009])よりも低かった。また PGS の高関心層は、健康意識の高い層、遺伝子への興味関心が高い層、20 代の若い層、ネットユーザー層などで高い傾向があった。子供の才能検査は一般的な関心は高くないが、高関心層(4%)もあった。PGS の低関心層の主な理由は「信頼できる結果を得られるとは思わない」(34.3%)、「価格が高い」(34.1%)、「得られる情報が自分にとって役立つとは思えない」(30.4%)、プライバシーの保護や個人情報の保護(23.9%)への不安などがあった。遺伝子検査として最もニーズが大きいのは、「アルツハイマー病」になるリスクであった。(学会発表 6)

またある疾患になる確率を伝えられたとき、そのリスクの伝え方により、人々がとりうる行動パターンに変化が生じることを見出した。(学会発表 10, 11)人間は確率を直観的に知覚することが苦手であり、情報の伝え方によっても意思決定が変わる傾向がある。我々の日本人 4 千名を対象にした社会意識調査では、「乳がんになる確率が 87%」と伝えられた群と「乳がんにならない確率が 13%のみ」と伝えられた群では、前者の方が手術を受けようと思う人の割合が有意に増加(4.9%→7.2%; $p<0.0001$)するという結果が得られた。4種類の伝え方と10種類の疾患について比較調査した結果、最も行動変容につながりやすいのは、「平均より N 倍のリスクが

尿病などの生活習慣病の予防)、睡眠、利他心(認知特性や性格)といったテーマのプロジェクトに注力し、参加型のオンラインコミュニティを作り、科学発見を目指すプロトタイププロジェクトを進めている。(論文 3,4,5,6,7,8,9) これらのプロジェクトを通して、予備的な結果ではあるが、MTHFR 遺伝子多型によるビタミン剤の効果予測(論文 3)、OXTR 遺伝子多型と楽観性/悲観性傾向との有意な関連(論文 4)、DRD2 遺伝子多型と損失回避傾向との有意な関連(論文 6)を見出した。

3. 今後の展開

本研究の今後の展開としては2つの方向がある。一つは疾患リスク予測などに関わる遺伝子解析技術の開発と応用である。パーソナルゲノム医療の科学的根拠を高めていくには、不確実性や多様性を前提とした確率的理解が重要となる。パーソナルゲノムのリスクを正しく推定し、個人にとっての意味を適切に解釈していくための評価指標体系の構築は非常に重要なテーマである。また予測率を高めるだけでなく、その医学的根拠を客観的に示す技術も重要である。

もう一つは「人に気づきをもたらす情報環境」に関わる人工知能技術の開発である。MyFinder 構想が究極的に目指すのは、知的エージェントが、人の無意識の行動や状態を見守り、人の「気づき」(無意識下の行動を意識化するプロセス)を支援していくことである。これは、知的エージェントが、人間の無意識のシグナルを読み取り、そこからパターンを見出し、そのパターンからモデルを構築し、そのモデルをもとに予測し、適切なタイミングでその予測を人間に提示し、人間からの対話的なフィードバックを受けてそのモデルを修正し続けていくことを意味する。今後の重要な工学的課題の一つに「適切な対話的フィードバックを行う推論エンジン」がある。このような推論エンジンを実現するには、人間の認知の仕組みを理解し、その仕組みを計算モデルとして表現していくことが重要となると考えている。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

「疾患リスク予測」に関して議論を深め、パーソナルゲノム医療の科学的根拠を高める学術的成果が得られた点、MyFinder 構想を提案し特許や論文として大枠を示すことが出来た点では当初の目標を達成したと考える。一方で、「人がどう感じるか」に関する学術的成果の活用や「コミュニティコンピューティングによる科学発見」で目指した社会的インパクトのあるMyFinder 構想の実装は、まだ課題が多く当初目標通りではない。設定したテーマが非常に大きい課題であり、当初想定していなかった新たな視点や問題意識の気づきもあり、さががけ期間中にどこまでの成果が上がるか想定しにくかったがアドバイザーの先生方や領域内の協力者の皆様のフィードバックはとても刺激になり、研究助成を受けなかったら出来なかったであろう部分まで進めることが出来た。特に協力者とともに新しい研究領域の開拓に向けて AAAI 国際会議を5年にわたり主催し2014年には最大の参加者数を集めたことはさががけの領域連携

にも貢献できたと考えている。一般向けに本を出版したこと、スタンフォードを始めとするグローバルな研究協力を得ながら、Quantified Self(QS)のような参加型コミュニティを立ち上げてきた点は、まだ社会に画期的なインパクトを与えるまでには至っていないとの認識でいるが、今後の飛躍にむけて大きな財産になるものと考えている。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、到来するパーソナルゲノム時代を先取りし、遺伝子情報がもたらす新たな情報環境の構築と、人々に与える影響を研究したものである。申請当時、将来の展開を予測することが難しかったパーソナルゲノムに果敢に取り組んだこと自体、リスクを取った研究として評価できる。研究成果は大きく2つに別れる。一つは、遺伝子情報環境構築のための疾患リスク予測の研究で、人種によりリスクが異なることを明らかにした。具体的には、約3割の疾患で、日本人のリスクが、欧米人のデータに基づくパーソナルゲノムサービス3社のリスク予測と異なることを示し、国際ジャーナルで発表している。さらに、パーソナルゲノム情報が人々に与える心理的影響を体系的に調べるため、4000名規模のWeb調査を4年間にわたり実施し、倫理問題を含む調査結果をデータベース化した。この結果、リスクの伝え方により、人々の行動に変化が生じることを見出している。

本研究の特徴は、学術的研究に加え、社会の啓蒙活動にも力を注いだことにある。啓蒙書「ゲノムが語る自分探し—僕はどんなふうに生きるのだろうか」の出版、日本におけるQuantified Selfコミュニティの立ち上げ、米国人工知能学会における継続的なシンポジウムの開催など、その活動の質と量は特筆に値する。本テーマは数年で終了するものではない。今後の継続した研究活動、啓蒙活動に期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. **Takashi Kido**, Minae Kawashima, Seiji Nishino, Melanie Swan, Naoyuki Kamatani, and Atul J Butte, Systematic evaluation of personal genome services for Japanese individuals, Journal of Human Genetics, 2013 Nov, 58(11): pp. 734-41.
2. **城戸 隆**, MyFinder 構想: パーソナルゲノムによる自己の探究, 人工知能学会誌, 2013, 28 巻 6 号, pp.840-850.
3. **Takashi Kido**, Self-tracking Mindfulness Incorporating a Personal Genome, The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2012 Spring Symposia, Self-tracking and Collective Intelligence for Personal Wellness, 2012, pp. 31-36.
4. **Takashi Kido**, Melanie Swan, Exploring the Mind with the aid of personal genome, The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2013 Spring Symposia, Data Driven Wellness: From Self-Tracking to Behavior Change, 2013, pp. 12-17.
5. **Takashi Kido**, Melanie Swan, Know thyself: Data driven Self-Awareness for Understanding our Unconsciousness Behaviors, The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2014 Spring Symposia, Big data becomes personal: From Knowledge into Meaning, 2014, pp. 28-28.

6. **Takashi Kido**, Melanie Swan, Ambient Intelligence and Crowd sourced Genetics for Understanding Loss Aversion in Decision Making, The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2015 Spring Symposia, Big data becomes personal: From Knowledge into Meaning, 2015, pp. 19-27.
7. **城戸 隆**, パーソナルゲノムは心の理解に迫れるか? -コミュニティコンピューティングで「手放したくない心理」の個人差を探る-, 人工知能学会誌, 2014, 29 巻 6 号.
8. **城戸 隆**, 遺伝子を用いて疾患リスク、認知の偏り、幸福感を推定する情報技術, 人工知能学会誌, 2015, 30 巻 6 号.
9. **Takashi Kido**, Melanie Swan, Machine Learning and Personal Genome Informatics contribute to Happiness Science and Wellbeing computing, The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2016 Spring Symposia, Wellbeing computing: AI meets Health and Happiness Science, 2016, (In press)

(2)特許

研究期間累積件数:1 件

1.

発 明 者: **城戸 隆**

発明の名称: パーソナルゲノム情報環境提供装置、パーソナルゲノム情報環境提供方法、および、プログラム

出 願 人: JST(独立行政法人科学技術振興機構)

出 願 日: 2012/3/23

出 願 番 号: 特願 2012-067762

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

学会発表

1. **Takashi Kido**, Genetics and Artificial Intelligence for Personal Genome Service -MyFinder: Intimate Community Computing for Scientific Discovery, In proceeding of Modeling Complex Adaptive Systems as if They were Voting Processes. AAAI 2011 Spring Symposium (SS-11-08), 2011, p8-11. (Mar 21-23, 2011, Stanford University)
2. **Takashi Kido**, Minae Kawashima, Seiji Nishino, Gavin Sherlock, Atul Butte, Comparisons of Risk Estimation of Direct Consumer Genetics Services for Japanese Individuals, ASHG (American Society of Human Genetics) 2011, 2011. (Oct 11-15, 2011, Montreal)
3. **Takashi Kido**, Minae Kawashima, Japanese Networkers' attitudes toward Personal Genome Services, ASHG (American Society of Human Genetics) 2012, 2012. (Nov 6-10, 2012, San Francisco)
4. **城戸隆**, 川嶋実苗, 鎌谷直之, 個人ゲノムにおけるリスク推定の数理的考察, 日本人類遺伝学会第 57 会大会, 2012. (2012 年 10 月 24 日-27 日, 新宿)
5. **Takashi Kido**, Melanie Swan, The potential power of personal genomics in Reducing Social Stereotypes: Attitudinal Study and Computer Animation of Results for 4,000 Japanese Respondents, ASHG (American Society of Human Genetics) 2013, 2013. (Oct 22-16, 2013, Boston)
6. **城戸隆**, 川嶋実苗, パーソナルゲノムサービスをめぐる日本人の意識と価値観に関する

- 社会調査, 日本人類遺伝学会第 58 会大会, 2013. (2013 年 11 月 20 日-23 日, 仙台)
7. 城戸 隆, 遺伝子解析と人工知能技術を用いたパーソナルゲノム情報環境の提案と評価, 「知のコンピューティング -人と機械が共創する社会を目指して-」 Wisdom computing summit 2013 pp. 143. (2013 年 7 月 25 日-26 日, 川崎)
 8. 城戸隆, 菊池進一, 川嶋実苗, 鎌谷直之, 個人ゲノムを用いた疾患リスク予測と人種差に関する数理的考察, 日本人類遺伝学会, 2014.
 9. 城戸隆, 菊池進一, 川嶋実苗, 鎌谷直之, 疾患リスクアレル頻度の統計数理分析と進化論的考察, 日本人類遺伝学会, 2015.
 10. 城戸隆, 川嶋実苗, 日本人 4000 人を対象としたパーソナルゲノム情報の社会心理学的評価, 日本人類遺伝学会, 2014.
 11. 城戸隆, 川嶋実苗, 日本人 4000 人を対象とした社会意識の変化と疾患リスク情報の伝え方に関する洞察, 日本人類遺伝学会, 2015.
 12. Swan, M., Kido, T. and Ruckenstein, M, BRAINY – Multi-modal Brain Training App for Google Glass: Cognitive Enhancement, Wearable Computing, and the Internet-of-Things extend Personal Data Analytics, Workshop on Personal Data Analytics in the Internet of Things, 40th International Conference on Very Large Databases, Hangzhou, China, September 5, 2014.
 13. Takashi Kido, Big data becomes Personal: AI and personal genome research for data driven wellness, World Congress of Advanced Materials -Dream of Ubiquitous Smartness-, Chongqing, China, 2014, June 6-9.

著作物

1. 城戸 隆, ゲノムが語る自分探し -僕はどうなふうに生きるのだろうか「単行本」, 星の輪出会, 2011
2. 城戸 隆, 鎌谷直之, パーソナルゲノム医療の科学的根拠, 医学のあゆみ, 250 巻5号, 2014
3. 鎌谷直之, 城戸隆, パーソナルゲノムサービスの科学的吟味, 遺伝医学 MOOK28 号, 2014

国際会議主催

1. Takashi Kido, Keiki Takadama, , Self-Tracking and Collective intelligence for Personal Wellness, AAAI 2012 Spring Symposia, 2012. (March 24-26, 2012, Stanford University)
<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss12symposia.php#ss05>
(Reports of the AAAI 2012 Spring Symposia, AI MAGAZINE, Vol 33, No 3, pp. 109-114)
2. Takashi Kido, Keiki Takadama, Data driven wellness: From Self-Tracking to Behavior Change, AAAI 2013 Spring Symposia, 2013. (March 25-27, 2013, Stanford University)
<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss13symposia.php#ss03>
(Reports of the AAAI 2013 Spring Symposia, AI MAGAZINE, Vol 34, No 3, 2013, pp. 93-98)
3. Takashi Kido, Keiki Takadama, Big data becomes Personal: Knowledge into meaning,,

AAAI 2014 Spring Symposia, 2014. (March 24–26, 2014, Stanford University)

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss14symposia.php#ss02>

4. **Takashi Kido**, Keiki Takadama, Big data becomes Personal: Knowledge into meaning, AAAI 2014 Spring Symposia, 2014. (March 24–26, 2014, Stanford University)

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss14symposia.php#ss02>

5. **Takashi Kido**, Keiki Takadama, Ambient Intelligence for Health and Cognitive Enhancement, AAAI 2015 Spring Symposia, 2015. (March 23–25, 2014, Stanford University)

<http://www.aaai.org/Symposia/Spring/sss15symposia.php#ss01>

論文誌特集

1. **城戸 隆**, 高玉圭樹, 特集:「パーソナルデータに基づく気付きの創発」, 人工知能学会誌, 2013, 28 巻 6 号.
2. **城戸 隆**, 高玉圭樹, 特集:「Big Data Becomes Personal: 発見情報学が拓くヘルス&ウェルネス」, 人工知能学会誌, 2014, 29 巻 6 号.
3. **城戸 隆**, 高玉圭樹, 特集:「人の認知を拡張し健康を促進する環境知能」, 人工知能学会誌, 2015, 30 巻 6 号.

講演(招待及び依頼)

1. **Takashi Kido**, Community Computing for Biomedical Scientific Discovery: Citizen Science Approach in Personal Genome, The Workshop for Asian Biopoleis: Biotechnology & Biomedicine as Emergent Forms of Life and Practice, 2011. (Jan 6–8, 2011, Singapore University)
2. **Takashi Kido**, Exploration of my Mind through Personal Genome, QS (Quantified Self) San Francisco, 2012. (April 18, 2012, San Francisco)
3. **Takashi Kido**, Data Driven Wellness: From Self Tracking to Behavior Change, PMWC 2013 ISRAEL, 2013. (Jun 30, 2013, Hertzelia, ISRAEL)
4. **城戸 隆**, パーソナルデータからの気づきの創発, 柏森情報科学振興財団 第13回Kフォーラム, 2013. (2013 年 8 月 1 日–8 月 3 日, 高山)
5. **城戸 隆**, パーソナルゲノム: 遺伝子解析と人工知能技術, AET eHealth フォーラム「未病社会を創る」, 2013. (2013 年 11 月 8 日, 秋葉原)
6. **城戸 隆**, パーソナルゲノム: 遺伝子解析と人工知能技術, JCCNC (Japanese Chamber of Commerce of Northern California) セミナー, 2013. (Oct 29, 2013, Palo Alto, USA)

一般雑誌

1. 週刊誌「AERA」1 月 20 日号, 「ゲノム新時代・変わる医療」 ～ビッグデータとパーソナル医療～ pp. 34 – pp. 38, 2014

研究報告書

「物理ベースデザインのためのインタラクティブ情報環境の構築」

研究タイプ: 大挑戦型(※大挑戦型課題として延長有/増額有)

研究期間: 平成22年9月～平成28年3月

研究者: 舘 知宏

1. 研究のねらい

3DプリンタやCNC加工機械の助けにより、少品種大量生産から多品種少量生産へ、さらに個人が様々な目的や趣向のためにオリジナルなものを作るパーソナル・ファブリケーションへと、ものづくりの多様化が進んでいる。これを成り立たせているデジタル・ファブリケーション技術は、「何でも作れる」技術として捉えられることもある。しかし、実際にはものの立体的な私たちは、それを成り立たせている物理的性質から逃れることはできない。むしろ設計の自由度が格段に上がることで、物理的に成立しないデザインや悪いデザインに陥る危険性も高まっている。このような背景におけるデザインにおいては、立体的な形状とその物理的なふるまいの関係に根ざして設計を行う、「物理ベースデザイン」が本質的に重要である。

本研究では、物理ベースデザインをパーソナルなものづくりに展開するための、インタラクティブな情報環境の構築を目指した。さらに、期間中の研究の進展を受けて、折紙の折り畳み・展開・変形の機構を大スケールでも成立できるための理論とその設計方法という、延長テーマを提案した。利用者自身がその時々ニーズにあわせて空間を折り畳み・展開して使うフレキシブルな住まい方、あるいは天気や気候変化に呼応して変形し、光や空気を調整するようなアダプティブな建築空間実現のためのブレイクスルーをねらった。

2. 研究成果

(1) 概要

平面を折るだけで作れる折紙構造や、力のつり合い状態を満たす張力構造のような合理的構造は、材料の変形特性や力のつり合いなどの条件によってとりうる形状が大きく制限される。このような形状は試行錯誤では得られず、素材の物理的な性質や欲しい性能から、それを満たす形状を得るという逆問題を解くアプローチが有効である。一方でデザインとは、数理的に表現できる物理的な制限以外に、コンテキストや身体感覚、美的センスなど、明示的でない条件を含んだ問題であり、本質的に試行錯誤を繰り返して発見的に解く必要がある。物理的な制約と、デザインプロセスの試行錯誤の両立は、デザイナーとエンジニアが長期間協働してはじめて実現できる困難な問題であった。

そこで、本さがけ研究テーマでは、このように両立困難な物理ベースデザインを計算機と人のインタラクティブ環境を構築することで実現した。計算機が物理的制約の問題をリアルタイムで解くことで、デザイナーが部分空間のみを直感的に探索できるシステムを構築した。シートの折り曲げのみで作れる自由形状と、自己釣り合い安定となるテンセグリティ構造を初めてインタラクティブにデザインできるようにした。

さらに、折紙の「かたち」だけに注目するのではなく、折紙の折り畳み・展開変形の「うごき」を建築スケールで成立させれば、用途に応じて、あるいは環境変化に応じて、開閉／伸縮する建築空間を実現できるはずである。このようなコンセプト自体は 1960 年ごろから提案されてきているが、実際には、既知の折り畳みパターンは構造的剛性・強度が足りず、大きなスケールへの展開が合理的にできないという問題を含んでいた。そこで、剛性をもち、かつ必要な展開動作が意図通りに制御できる「うごきのデザイン」を挑戦目標として研究期間延長を行った。剛体折紙メカニズムの理論研究を深め、複数の折紙機構を並列に複合させたセル状構造を世界に先駆けて発見した。この構造は、剛性と柔軟性を両立する機械的メタマテリアルの性質を持つ。さらに、展開の動きが構造全体にすみやかに伝わり、変形制御が可能な折り畳み構造を発見し、これらを自由な曲面形状に沿って設計する手法を提案し、折紙構造を用いたアダプティブな建築を実現可能とした。

(2) 詳細

■当初の研究テーマ:「かたちのデザイン」

折りのかたち:折紙テセレーションと呼ばれる折り目のパターンを持つ曲面は、素材の伸び縮みがないにもかかわらず、実質上ヒダが入ることで縮んだ状態となっている。このような立体構造に着目して、自由な三次元形状を立体的な折紙形状で実現することで、一枚のシート材料を折るだけで自由な形状を実現する手法を提案した [4]。与えた三次元メッシュから、自動的に立体的パターンを生成することで、得られる三次元形状を拡張した。さらに、材料の厚みと折りの角度の処理、折りの重なりと衝突の回避を実現することで、たとえば金属シートによる自由形状の実現など、今まで不可能であった新しい製造方法を可能とするシステムを構築した(図 1)。この成果は Freeform Origami システムとして実装され、公開した (www.tsg.ne.jp/TT/software/)。延べ 15000 回程度ダウンロードされ、建築・デザイン教育・研究目的で利用されている。展示 1 では、実際に板金への CNC 加工と手作業を組み合わせ自由な立体造形を行うオリガミ・ファブリケーションを発表した。解析曲面への折紙テセレーションのフィッティングの解析[14]や曲線の折り線を複数含む複雑な立

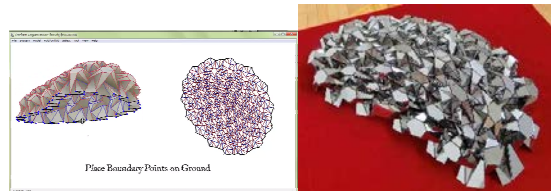


図 1: 自由折紙システムとステンレススチールでの実現 [3]

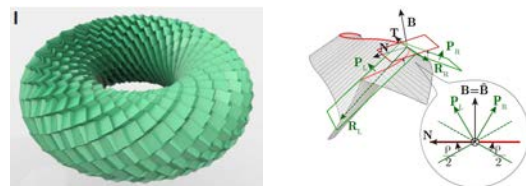


図 2: 解析曲面の折紙 [14] 図 3: 曲線折りの数理 [5]



図 4: 自由形状テンセグリティデザインと建築提案 [2]

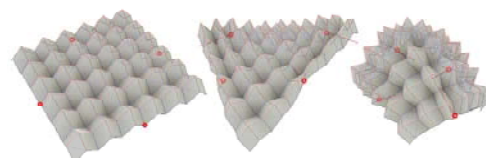


図 5: 曲げが形状を支配する卵箱型形状の形態探索 [10]

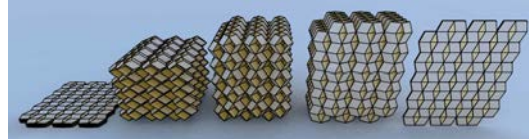


図 6: 剛体折り可能なセル状構造 [1]

体形状のレビューおよび数学的定理の導出 [6,13]など、折紙の理論を深化させた。**釣り合いのかたち**:曲げを含む折紙や、張力の加わった構造は力が釣り合った状態にある。このような形を求めるには力学的解析を繰り返す試行錯誤が必要であったが、形態と力を同時に幾何条件として解くことで、インタラクティブに扱えるようにし、デザインのバリエーションを拡張した[3,9](図2)。また曲げが支配するモーフィング構造の形態が扱えるようにした[8](図3)。これらの研究により、当初の研究テーマであった、「物理ベースのかたちのデザイン」に関して当初目的を達成した。

折りのメカニズム:折りのかたちの研究を進める中で、紙を厚みのある実際の素材に変えても成立する変形メカニズムの研究が必要となった。これは**剛体折紙**と呼ばれる研究テーマである。剛体折紙メカニズムを自在に設計する手法を提案したほか、剛体折紙がメカニズムとなるかを判定するアルゴリズムの研究を行った。これらの研究を深めることで、さらに、折紙の形を対称性に基づいて組み合わせることで過拘束メカニズムを作る手法を得た[5](受賞 2)。ここに、**延長期間研究テーマへつながる発見**があった。すなわち、従来の折紙構造では、シート材料自体が曲がることで意図しない変形が容易におき、展開時に構造的強度が得られなかったが、これらを複合させることで強固な構造となるということである[7,10]。薄いシート材料を縫って制作した実証モデル(図7 展示2)は、自立したヴォールト構造であるが、折り畳むと非常にコンパクトになり、ある種の剛性と柔軟性を両立する。用途に応じてアダプティブに変化できる建築空間 ([1]受賞4 図8) を構造的に実現する手段となりうる。

■延長期間研究テーマ:「うごきのデザイン」

アダプティブな空間を作るためには、剛性と柔軟性を両立するだけではなく、展開の挙動を制御可能としなくてはならない。従来の構造では、展開収縮を駆動するアクチュエータ周辺で部分的な展開が起きてしまい、展開動作が意図通りに制御できないという課題があった。そこで、設計通りの折り畳みモードと望ましくない変形モードの剛性比を解析し、この比が劇的に高くなる(従来の4倍から400倍、まであげた)構造を考案した [5][11](プレス1 図9 特許1)。この「究極の折紙構造」は、軽くて構造的な剛性が得られ、一様で制御しやすい展開機構を持つことから、可動式の屋根(図10)や折り畳める建築、ロボットのアクチュエータ、マイクロスケールの材料として応用の展望がある。また、自在に変形可能なサンドイッチパネル[5](図11)



図7: 自立し平坦に折り畳める複合構造[7]



図8: 用途に応じて変形する建築提案[1]

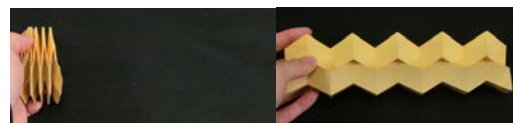


図9: 端部から駆動できる新折紙構造[11]

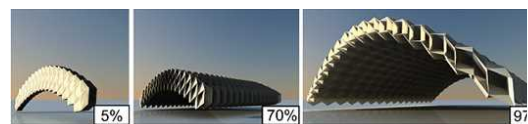


図10: 展開屋根の提案。既存構造の100倍の剛性



図11: モーフィングするサンドイッチパネル[5]

は航空宇宙分野のモーフィング構造につながる。

■**アウトリーチ**:本研究は、論文発表・学会発表のみならず、4件の科学展示と6件のアート展示、ワークショップを通して、実際に触って計算折紙の研究を体感できる工夫をした。コンピュータショナル・デザインや最先端の科学研究と、伝統性のある「折紙」のテーマが融合する未来を提示した。

■**研究の波及**:本さがけの研究をきっかけとして国際的な交流や共同研究も活発となった。Origami のテーマで研究する留学生や研究者を受け入れ国際協働の中心となっている。現在 Origami は数学・計算機科学・材料科学・生命科学・工学・建築・アートなどの領域を横断するテーマとなっており、国際的な競争分野として急成長している。本研究で得られたソフトウェアがこの分野におけるデファクト・スタンダードとなっているなど、本さがけ研究はこの分野の形成に貢献している。

3. 今後の展開

従来、変形する構造物を大きなスケールで実現する際にボトルネックとなっていた剛性の確保という問題を本質的に解決する成果が得られた。この研究がブレイクスルーとなって、建築・ロボット・航空・宇宙・医療・材料など様々な分野での応用が展望される。さがけ研究期間は、理論と設計手法、モックアップによる実証にとどまっていたので、今後は様々な分野での応用と、実用化を含めて、研究を計画している。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

当初の計画では「かたちのデザイン」のためのシステムに絞った研究目標が立てられていた。この目標のコアとなっていた、折紙などの幾何拘束を持った曲面形状、力のつり合いを持つ張力構造、曲げを含む構造について十分に達成することができた。一方で研究スタート時には、折紙と張力構造の形だけではなく、例えば編む・組むといった別のしくみを含めて物理ベースデザインへ裾野を広げ汎用性の高いシステムを作る展望もあった。しかし実際に折紙の研究を深めるに従い、その基本的かつ重要な理論が得られたため、折紙にフォーカスして深く掘り下げる研究に重点を置いた。

その結果、物理ベースデザインを広くカバーするには至らなかったが、高い独自性と先進性を持った研究を主導することができた。論文発表・国際コラボレーション・ソフトウェア公開・アート・科学展示などを通して、国際的に現在発展しつつある学際的学問分野「Origami」の形成に貢献することができた。さらに、折紙のメカニズムに関する研究を深めたことで、「かたくてやわらかい」物理的性質を持つセル型折紙構造の発見につながり、「うごきのデザイン」という、延長期間の研究テーマへとつながった。

延長期間では、「究極の折紙構造」とよべる飛躍的・画期的な成果を得た。これまで、構造強度が担保できなかった折り畳みの仕組みを、構造的に解決し、マイクロメートルから数十メートル級の構造まで応用ができる構造システムの基本コンセプトを提案できた。最終報告時点では、具体的な建築応用提案までは至らなかったが、今後実用化において鍵となる未公開の

成果とあわせて、今後実用化研究などを経て、ロングスパンでの社会への波及効果が見込まれる成果が得られた。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、設計の自由度が増すパーソナルなものづくりにおいて、物理に基礎をおくデザインが重要であるとし、そのためのインタラクティブ環境の実現を目指したものである。デジタルファブリケーションの普及を先取りした挑戦的なテーマの設定であったと言える。研究内容は、申請時に計画された「形のデザイン」と、期間を延長して行った「動きのデザイン」からなり、それぞれ驚くべき進展を見せている。まず、形のデザインでは、一枚の紙や金属シートから自由な形状を実現するシステムを構築している。また、剛体折紙と呼ぶ、厚みのある実際の素材に対する変形メカニズムを提案している。次に、動きのデザインでは、剛性と柔軟性の両立に加えて、一様で制御しやすい展開機構を実現している。本研究成果はマイクロメートルから数十メートル級の構造に応用可能で、建築、航空宇宙、ロボット、材料など、当初想定したパーソナルなものづくりをはるかに超える展開が期待できる優れたものである。

これらの学術的成果に加えて Freeform Origami と呼ぶソフトウェアを公開した。このソフトウェアは数多くダウンロードされ、世界の教育研究現場で広く利用されている。また、国際的な研究コミュニティの形成に尽力し、留学生や研究者を多数受け入れ、研究分野として急成長する Origami の国際協働の中心となったことも高く評価できる。今後の研究のさらなる進展を期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|---|
| [1] Tomohiro Tachi, Motoi Masubuchi, and Masaaki Iwamoto, "Rigid Origami Structures with Vacuumatics: Geometric Considerations", in Proceedings of the IASS-APCS 2012, Seoul, Korea, May 21-24, 2011. |
| [2] Tomohiro Tachi and Koryo Miura, "Rigid-Foldable Cylinders and Cells", Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 53(4), pp. 217-226, 2012. |
| [3] Tomohiro Tachi, "Interactive Freeform Design of Tensegrity", Advances in Architectural Geometry 2012, pp. 259-268, 2012. |
| [4] Tomohiro Tachi, "Designing Freeform Origami Tessellations by Generalizing Resch's Patterns", Journal of Mechanical Design, 135(11), 111006 (Oct 03, 2013) |
| [5] Tomohiro Tachi, Evgueni T. Filipov and Glaucio H. Paulino, "Deployable Folded-core Sandwich Panels Guided by a Generating Surface", in Proceedings of IASS 2015, Amsterdam, August 17-20, 2015. |

(2)特許出願

研究期間累積件数: 1 件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

受賞

1. 科学的卓越性と独創性を反映した論文として認める PNAS 論文賞を受賞。(2016 年 5 月 1 日に NAS 年次総会にて授賞式)
2. 科学技術への顕著な貢献 2014(ナイスステップな研究者), 文部科学省 科学技術・学術政策研究所, 2014 年 12 月
3. Tsuboi Award, International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2013 年 9 月 23 日 (三浦公亮と共同) [2012 年 Journal of the IASS 最優秀論文]
4. 優秀研究発表賞 (2011 年度日本図学会秋季大会), 日本図学会, 2012 年 5 月 12 日
5. 形態創生コンテスト 2011 最優秀作品, 日本建築学会 2011,10/27 (増淵基, 岩元真明と共同)

主要な学会発表

- [6] Erik D. Demaine, Martin L. Demaine, Duks Koschitz, Tomohiro Tachi (著者アルファベット順): "Curved Crease Folding – a Review on Art, Design and Mathematics", in Proceedings of the IABSE-IASS Symposium 2011, London, UK, September 20–23, 2011.
- [7] Tomohiro Tachi, "Composite Rigid-Foldable Curved Origami Structure", in Proceedings of Transformables 2013, Seville, Spain, September 18–20, 2013.
- [8] Tomohiro Tachi, "Interactive Form-Finding of Elastic Origami", in Proceedings of IASS 2013, Wroclaw, Poland, September 23–27, 2013.

他原著論文

- [9] Tomohiro Tachi, "Design of Infinitesimally and Finitely Flexible Origami Based on Reciprocal Figures", Journal for Geometry and Graphics, 16(2), 223–234, 2012.
- [10] Kenneth Cheung, Tomohiro Tachi, Sam Calisch, Koryo Miura, "Origami Interleaved Tube Cellular Materials", Smart Materials and Structures, 23 (2014) 094012 (10pp)
- [11] E. T. Filipov, T. Tachi, G. H. Paulino, "Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and metamaterials", *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1509465112 2015
- [12] Tomohiro Tachi: "Rigid Folding of Periodic Triangulated Origami Tessellations," in Origami6, pp. 97–108, 2016.
- [13] Erik D. Demaine, Martin L. Demaine, David A. Huffman, Duks Koschitz and Tomohiro Tachi : (著者アルファベット順) "Characterization of Curved Creases and Rulings: Design and Analysis of Lens Tessellations , " in Origami6, pp. 209–230 2016.
- [14] Levi H. Dudte, Etienne Vouga, Tomohiro Tachi, L. Mahadevan, "Programming curvature using origami tessellations", *Nature Materials*, 2016.
- [15] Evgueni T. Filipov, Glaucio H. Paulino, Tomohiro Tachi, "Origami tubes with

reconfigurable polygonal cross-sections”, *Proceedings of the Royal Society A*, volume 472, issue 2185, 2016.

- [16] T. Tachi, “Designing Rigidly Foldable Horns using Bricard’s Octahedron”, *Journal of Mechanisms and Robotics*, doi:10.1115/1.4031717, 2015.

招待講演

1. “Computational Design of Freeform Origami”, Keynote Speech at NICOGRAPH International 2013, Fukuoka Japan, June 2–3, 2013
2. “The Science of Origami”, Tomohiro Tachi and Erik Demaine, Keynote Speech at The 9th International FAB LAB conference, Yokohama Japan, August 28th, 2013
3. 剛体折紙の形態創生”, 第 36 回 情報・システム・利用・技術シンポジウム, 建築学会, 東京, 2013 年 12 月 6 日
4. “Geometric Design of Rigid Origami and Curved Origami”, 16th International Conference on Geometry and Graphics, Innsbruck, Austria, August 5th, 2014.
5. “Designing Rigid Origami Structures”, Invited Speech of 26th International Conference on Adaptive Structures and Technologies (ICAST 2015), October 14–16, 2015 Kobe, Japan

解説記事

1. “かたい形、やわらかい形 —折り紙の構造形態学—” 『建築と社会』, 日本建築協会, 2015
2. “折紙の形と構造,” 特集 機能とかたち——製造限界から生まれるディテール 折版構造, 建築技術, 2014
3. “剛体折紙”, 応用数理ハンドブック, 薩摩順吉, 大石進一, 杉原正顯(編), pp. 268–269, 2013 年
4. “デジタルファブリケーション: 6. 折紙ファブリケーションとコンピューテーション,” 情報処理, 情報処理学会, 54(2), pp. 114–120, 2013.

書籍編集

1. K. Miura, T. Kawasaki, T. Tachi, R. Uehara, R. Lang, P. Wang–Iverson, Origami6 parts 1 and 2: Proceedings of the Sixth International Meeting on Origami Science, Mathematics, and Education, AMS, 2016

主な展示

1. フリーフォーム・オリガミ (Freeform Origami), マテリアライジング展 (Materializing Exhibition), 東京藝術大学陳列館, 東京, 2013/06/08–06/23, <http://materializing.org/> (招待)
2. 東京大学大学院総合文化研究科・教養学部 自然科学博物館, 『計算折紙のかたち』展, 駒場博物館, 東京, 2013/07/20–09/16 (監修)
3. 『折り紙の呼吸 Breathing of ORIGAMI』, 竹尾見本帖本店, 東京, 企画・監修, 2014 年 8 月 8 日 – 9 月 26 日

4. Stiff and Flexible Material, マテリアライジング III (Materializing III), @KCUA(京都市立芸術大学ギャラリー), 京都, 2015/05/16-06/21, <http://materializing.org/> (招待)
5. 『計算するオリガミ - 舘知宏 かたちの探索』, 竹尾見本帖@Itoya イベントスペース, 東京, 2015/06/16-08/31 (個展・招待)

プレスリリース

1. 「固くて柔らかいオリガミ展開構造物」東京大学, 2015.9.14

研 究 報 告 書

「実世界指向ユーザインタフェース実現のための動作認識基盤の確立」

研究タイプ：通常型

研究期間：平成 22 年 10 月～平成 28 年 3 月

研 究 者：寺田 努

1. 研究のねらい

本研究の目的は、実世界指向なマルチモーダルインターフェース実現のための高度な動作認識基盤を構築することである。既存の状況依存サービスやジェスチャインタフェースは現場での実用レベルに至っていないものが多い。その原因は、認識精度そのものの悪さや、認識ディレイの存在、認識対象の増大による認識率低下、認識の計算コストの高さなどさまざまである。提案者はこれまでに、動作認識技術の研究開発および実運用を行ってきた。もし現状の動作認識技術の問題点を解消した動作認識基盤を確立できれば、インタフェース研究者は高精度な動作認識技術に基づいてジェスチャインタフェースを構築したり、状況に応じて普段はボタン操作を用いつつ、歩行中で周囲がうるさくない場合は音声入力に切り替えるといった状況依存インタフェースが容易に構築できるようになる。本研究では「動作分類に基づく高精度な動作認識」「ハードウェア・ソフトウェア連動型低消費電力化技術」「ジェスチャルールに基づく高度ジェスチャ解析」「即時性の高いリアルタイム動作認識」「サーバ・クライアント連動型動作認識」「大規模動作認識データベース」の 6 つの要素技術に基づく動作認識基盤を構築する。動作認識技術に関しては国内外で活発に研究が行われているが、本提案におけるそれぞれの要素技術はこれまでにほとんど行われてこなかった独自性および新規性の高い研究サブテーマである。加えて、提案者らのグループでは認識システムを積極的に実環境に適用する事例を積み上げることで、実運用のノウハウ獲得及びそこから得た知見を認識基盤にフィードバックし、実践的な認識基盤を確立する。

本研究が狙う波及効果としては、動作認識基盤を一般公開することにより、ユーザインタフェース研究者が気軽に認識に基づくインタフェースを構築できるようになるため、インタフェース設計への注力が行え、また、本認識基盤を用いたインタフェース同士のアルゴリズム比較が容易になる点が挙げられる。さらに、認識技術の高度化により、状況認識やジェスチャ認識技術を例示プログラミングや健康管理、エコロジー技術に転用することでそれぞれの分野におけるシステム基盤としても利用できると考えている。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究は、(1)動作認識技術の確立、(2)認識データベース構築、(3)システムプラットフォーム構築と実世界応用、の 3 つのサブテーマからなる。(1)は動作認識自身の性能向上を目指すものであり、(2)はデータ収集技術に関するものである。(3)は、それらの認識基盤を統合するプラットフォームおよび実応用に関するものである。

(1) 動作認識技術の確立

これまでの動作認識技術では、「ジェスチャと一般動作が同時に認識できない」といった問

題があった。そこで提案者らは、自己相関関数を用いて行動を分類し、あらゆる動作を適切に認識する手法を実現した。また、装着型センサのサンプリング周波数を可変にし、足りないデータを補完する低消費電力化技術を提案した。さらに、現場で認識技術を使う際に問題となる認識遅れを解消した早期認識アルゴリズムの開発や、加速度センサに加えて、においセンサや超音波センサ、フォトフレクタを組み合わせた動作認識技術を多数提案し、多くの成果を挙げた。これらの一部はライブラリ化し、報告者らの指導により他者利用可能である。

(2) 認識データベース構築

実用的なシステムを構築するには動作の傾向や特性を調べるために大量のデータが必要となる。提案者らはデータ蓄積の際に必要なラベリング処理に関する研究や実際のデータ公開を行った。具体的には、順序制約を与えてラベリングを自動化するアルゴリズムや、ラベリングをゲーム化して効率的に行う手法を提案した。蓄積したデータとしては、携帯端末を把持して行う 27 種類のジェスチャデータや疲労により変化するジェスチャデータをウェブサイト上で公開した。また、ジェスチャが社会性に与える影響の調査、センサの装着性を考慮したセンサ配置調査、ジェスチャを言葉で説明したときのセンサ軌道調査など、これまでにないデータを多く蓄積した。

(3) システムプラットフォーム構築と実世界応用

上記認識基盤を提案者らがこれまでに開発したウェアラブルコンピューティング向けプラットフォームに統合した。さらに、実際に実世界指向入出力インタフェースを多数実装した。また、着ぐるみやアート作品、司会、演劇、野外学習、筋力トレーニング、楽器などさまざまな対象に対してシステムを構築し、プロを含む多数の人々に利用された。

これらの成果は、ジャーナル論文 30 編(国際 11 編)、国際会議発表 57 編、国内発表 267 編など多くの成果を挙げ、情報処理学会長尾真記念研究賞を含む 30 件以上の学術賞を受賞した。

(2) 詳細

研究テーマ(1) 動作認識技術の確立

動作認識技術は本提案の核となる部分である。本サブテーマでは本研究期間において、(1-1)加速度センサを用いた実践的な認識技術の確立、(1-2)加速度センサ以外のセンサも統合した新たな認識技術の提案、を行った。

(1-1) 加速度センサを用いた実践的な認識技術の確立

加速度センサを用いた行動認識技術はこれまでに数多く提案されてきたが、従来研究で用いられている行動認識技術は、ステージパフォーマンスなどの実践的な場で用いることが難しかった。提案者は文献[1]において、従来技術の何が問題なのかをクリアにし、認識機構が備えるべき性質をリストアップした。以下に列挙する。

多様性: 登録された行動数が多くなるほど認識精度は低下する。また、歩きながらジェスチャ入力など、多様な状況を想定する必要があるが、学習した状況から少しでも異なる行動だと精度が大幅に悪化する。

正確性: 行動認識の精度はそれほど高くないため、重要な操作に使用しづらい。認識エラーとしては、そもそも認識しない(未認識)、他の動作と認識する(誤識別)、動作していないのに認識する(誤認識)、が考えられ、それぞれ重大な問題を引き起こす。

即時性: 一般に、認識はその動作終了後に過去一定時間分(ウインドウサイズ分)のセンサ情報を用い、特徴量抽出やDTWによる処理を行う。そのため、実際の動作から機能の発動までにタイムラグが生じ、快適さが低下する。

導入容易性: システム利用前に、可能性のあるすべての動作を学習させる作業は困難である。一方、他人の登録した動作をもとに認識を行うと、ほとんどの場合で認識精度が大幅に悪化する。

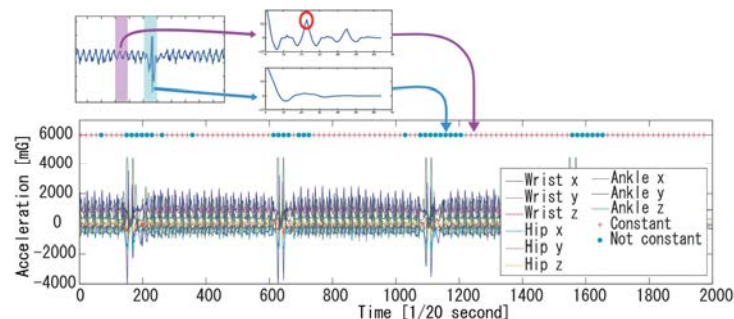
直観性: ジェスチャなどの身体動作は言葉で表現しにくいいため、覚えることが難しく、また覚えてから時間が経つほどに動作が変化してしまう。

常時利用性: 認識システムを常時利用するためには、センサやデータ処理システムを常時稼働させる必要があるが、バッテリー切れや故障によりシステムが利用できなくなる可能性がある。

汎用性: アルゴリズムやシステムが汎用性をもつかを確認するためには多様なデータを用いてテストを行う必要があるが、現状では動作認識の基礎データが存在せず、汎用性を確認できない。

ハードウェア連動性: 従来から用いられている汎用のセンサではなく、状況認識に特化したハードウェア(センサ)が開発されれば、より高度な認識が行える可能性がある。

本サブテーマの目的は、これらの性質を備えた認識基盤を構築することである。例えば、多様性の問題に対処するために、自己相関を用いた認識高度化技術を確立した。従来の動作認識技術では、「ジェスチャと一般動作が同時に認識できない」「認識前に静止しないとジェスチャを正しく認識できない」といった問題があった。そこでこの研究では、下図に示すように、繰り返し動作を含む運動波形の自己相関にはピークが現れる一方、ジェスチャにはピークが現れない(図上部)ことを利用し、該当区間にジェスチャが行われたと判断した場合のみ(図下部)、ジェスチャ認識アルゴリズムを使用する。この手法により、運動中の 7 種類のジェスチャ認識において従来手法は再現率 0.75、適合率 0.59 であるのに対し、提案手法では再現率 0.93、適合率 0.93 を得ることに成功した。



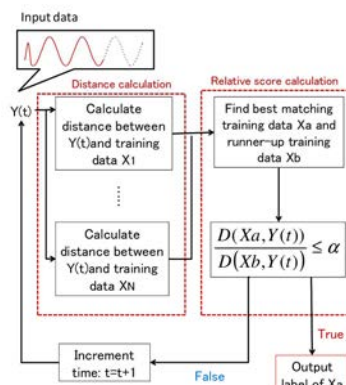
さらに、この技術を体の部位ごとに個別に適用し、例えば「歩く動作」と「投げるジェスチャ」を個別に学習した場合でも、「歩きながら投げる」という行動を認識できるようになった。日常生活を含め実践的環境では多種多様な動作が起こりうるため、このような技術が必要にな

る。

認識の即時性に関して、従来研究では例えばジェスチャ入力において、実際の動作から機能発火までの遅延についてはほとんど考慮されていなかったが、実サービスを提供するにあたってはその遅延が致命的なユーザビリティ低下を招く。例えば、我々が構築した AirStick Drum(下図)は、叩打動作を加速度センサを用いて認識するドラムスティックである。空間をスティックで叩いたときには電子音を鳴らし、本物のドラムを叩いたときには電子音を鳴らさない(本物のドラムが鳴る)ため、既存のドラムセットに自由に電子音を組み合わせて演奏できる。一般に叩打動作を用いて認識する場合、打撃時の振動等を認識するのが容易である。しかし、本システムも叩打のタイミングで遅延なしに音を出す必要があるため、叩打の前に認識処理を終えておく必要がある。そのため本システムでは、空中を叩く際には無意識にユーザが振り下ろす動作にブレーキをかける一方、本物のドラムを叩く際にはそのブレーキが起らないことを利用し、100%の識別率で叩打の数 10ms 前に認識を終えることに成功した。



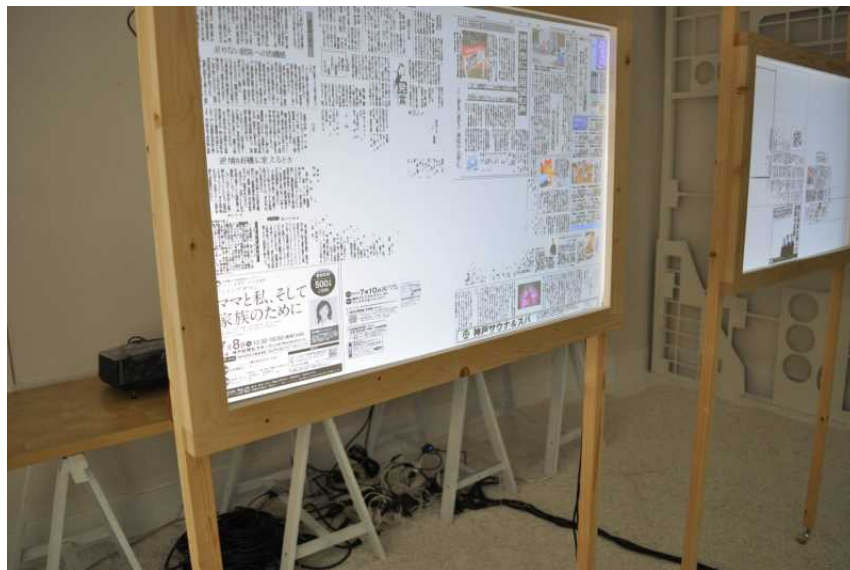
このように、実世界で認識システムを利用する際には行動終了の前に認識を終えることが重要になる場合がある。提案者らは、上記の例等を踏まえて、認識高速化の一般化も行った。下図に示すこの手法では、ジェスチャ認識において一般的に用いられている波形比較アルゴリズム DTW を拡張し、入力波形と教師データとの距離を逐次的に計算しつつ、最近傍の教師データと次点の教師データとの距離の差が相対的に大きくなった時点で認識結果を出力する。この方式を用いることで高い認識率を保ったまま認識時間を平均 65%削減できた。



常時利用性に関しては、まず認識精度と低消費電力化の両立をはかる研究に取り組んだ。具体的には、装着センサの電源を制御し、OFF にしたセンサの値を補完することで低消費

電力化を実現する手法および、センサのサンプリング周波数を可変にし、足りないデータを補完することによる低消費電力化を実現する技術を提案した。事前にセンシングデータのデータベースを構築し、装着しているセンサのうち ON のセンサから得られた値と最も距離が近いサンプルをデータベースから検索する。ここでの距離とはユークリッド距離にセンサ間の相関係数を乗じたものである。検索したサンプルの OFF にしたセンサに該当する値で補完することでデータは完全なものとなり、認識システム側からセンサはすべて稼働中に見えるため追加の変更を必要とせず高精度で認識できる。OFF にするセンサを増やすことで認識精度は若干低下するが省電力効果は大きくなる。その際、最適なセンサの組合せを事前に収集したデータから自動的に判断する機構を備えている。また、このデータ補完手法とサンプリング周波数制御を併用することで、サンプリング周波数を低下させても補完できるようになり、より柔軟に認識精度と消費電力のバランスを制御できる。

導入容易性および耐故障性に関しては、加速度センサを複数備えた認識システムにおいて一部のセンサが異常値を発した場合、認識アルゴリズムを自動調整したり、あるいは一般のユーザがインタラクティブな作品を作る場合にセンサと作品を展示した状態で実際に認識させたい動作を行うと認識学習及び認識器の生成を自動で行う仕組みを開発した。この仕組みはアーティスト迫一成氏が 2 件の長期アート展示(下図はそのうちの 1 件。展示物に息を吹きかける動作を認識している)で利用するなど有用性が示されている。



さらに、これまでに存在しなかった「ジェスチャ中の特定タイミングを高精度に認識」する方を提案した。これは加速度データ処理において、波形マッチングと特徴量処理を並列で行い、確信度を計算する仕組みを導入することで実現したものである。この仕組みを用い、競技カルタの札取得者判定システムを構築した。構築したシステムは札取得タイミングを平均 8 ミリ秒の誤差で特定できる。

状況に特化した認識技術としては、頭部装着型加速度センサを用いた会議状況の認識システムや、自転車ペダルに装着した加速度センサを用いたペダリング状況認識システム、加速度動作からユーザの酸素摂取量を推定する方式など、新たな認識アルゴリズムを多数実現した。

(1-2) 加速度センサ以外のセンサも統合した新たな認識技術の提案

本提案の中心は加速度センサやジャイロセンサなど体の動きを直接的に取得するものであるが、目的によってはそれらのモーションセンサではなく、別の装着型デバイスを用いた方が効率よく正確な行動や状況を取得できる可能性がある。例えば、ウェアラブルセンシングの有力なアプリケーションの一つであるライフログギング(行動記録)を考えた場合、加速度センサによって得られる動作以外に、本人の感情の変化や、食事、排泄、人と会った、といったような記録すべき情報は多様である。この場合、加速度センサと他の方式を組み合わせる利用することが有力である。

例えば、下図のように、メガネに装着した数ミリ角のフォトリフレクタを用いたデバイスによって装着者の笑顔を認識し、微笑みや笑いなど日常生活にとって大事なシーンを切り出す笑顔ライフログシステムや、鼻部表面温度を用いてストレスを計測するメガネ型デバイス、首飾り型で数センチ角のにおいセンサを用いて食事や排泄など人間の健康にとって重要なイベントを記録するにおいライフログシステム、超音波を用いてボイスレコーダに場所・行動・対面人物すべての情報を埋め込む音響ベースライフログシステム、ロードセルを用いて机上動作を高精度に認識するシステム、導電ゴムを用いて体の周径を計測し、呼吸などの状況を高精度に認識するシステム、赤外線フォトランジスタアレイを用いてポケットの中身を認識するシステムを構築しており、それぞれ大きな成果となっている。



また、音響情報を用い、ユーザが主観的に感じる音量と実際の音量のずれを認識して音量を調整するシステムや、ユーザがヒザを叩く動作から文字入力の内容を予測するシステムを構築した。

[1] 寺田 努、`ウェアラブルセンサを用いた行動認識技術の現状と課題、`コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 28, No. 2, pp. 43--54 (May 2011).

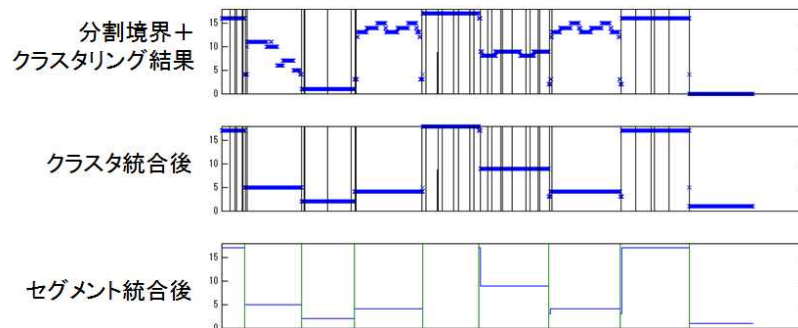
研究テーマ(2) 認識データベース構築

実用的なシステムを構築するにはユーザの一般的な傾向や特性を調べ、評価するために大量のユーザデータが必要となる。動作認識データベースは、大量のユーザのラベル付きモーションデータを含み、各種のモーションデータ、ジェスチャルールや重み付け情報などを管理するデータベースである。このデータベースは少なくとも数百人規模のデータ蓄積を想定している。実際の加速度データ蓄積に関しては、Human Activity Sensing Consortium (HASC)などのデータ収集団体と協力しながら進めることとなったため、本サブテーマの主な役割は

(2-1)データ収集を補助するためのシステムやアルゴリズムの作成、(2-2)特殊なデータの収集、である。

(2-1) データ収集を補助するためのシステムやアルゴリズムの作成

加速度センサ等のセンサデータはそのまま蓄積するだけでは利用価値が薄く、そのセンサ値が得られたときにユーザが何をしていたかをラベルとして同時に記録する必要がある。この作業をラベリングと呼ぶが、その作業は例えば 10 分の 3 軸加速度データへのラベリングに 30 分かかるなど、大変コストが高い。そこで、提案者らは、日記のように漠然と「**をして**をした」といったような行動の順序制約を入力としてラベリングを自動化するアルゴリズムを確立した。これは、センサデータをもとに下図のように境界分割、クラスタリング、セグメント統合を行っておおまかな行動遷移を得た後、順序制約によって行動内容を決定している。この成果をまとめた学術論文は情報処理学会特選論文に選ばれるなど高い評価を受けた。



また、このような自動化を行っても最終的にチェックする作業が残っていたり、提案手法ではうまく分離できない行動群も存在する。そこで、ラベリング作業をゲーム化することで、人間がラベリング作業を楽しく行えるシステムの開発にも取り組んだ。例えばセンサデータを基準とした株売買のゲーム等を行うことで、集合知的に高精度なセンサデータクラスタリングが行えると考えられる。現在その有効性はまだ確認出来ていないが、ラベリング作業はあらゆるデータ収集研究において重要な作業であるため、このような先駆的な取り組みは重要な研究テーマであると考えている。

(2-2) 特殊なデータの収集

これまでに収集されていないが、多くの研究者が必要とするわけではないデータに関して独自に収集し、一部を一般公開している。具体的には、まず公開しているデータとして、携帯端末を把持した状態で行いうる 27 種類のジェスチャをそれぞれ 7 人が 10 回ずつ行ったデータセットを公開している(内容は左下図)。これらのデータをもとに、例えば右下図にあるようなジェスチャベースのブラウザなどが実現できる。

ID	Description	Illustration
1	Tilt to the near side	
2	Tilt to the far side	
3	Tilt to the left side	
4	Tilt to the right side	
5	Tap upper side twice	
6	Tap left side twice	
7	Swing twice to the left side quickly	
8	Swing twice to the right side quickly	
9	Shuffle cards	
10	Tap lateral edge as though sifting	
11	Scoop	
12	Lay cards	
13	Gather cards	
14	Rap table with the longer lateral edge	
15	Rap table with the surface of the board	
16	Knock the board twice	
17	Turn the board over	
18	Rotate clockwise on the table	
19	Shift up	
20	Shift down	
21	Shift left	
22	Shift right	
23	Shift diagonally up	
24	Shift diagonally down	
25	Draw a circle	
26	Draw a triangle	
27	Draw a square	



また、同じジェスチャを行っていても疲労や繰り返しによりジェスチャ軌跡は変化すると思われるが、それを調査した研究が存在していなかった。そこで提案者らは、5 人の被験者に対し、同じジェスチャを 200 回連続で行うことを 7 日間繰り返すデータセットを蓄積し、公開した。データ分析の結果から、確かに疲労や忘却の影響によってジェスチャが変化し、従来研究で行われているように最初の数回のジェスチャを学習データとするようなアプローチでは正しい結果が得られないことを示した。また、ジェスチャの単純な認識精度だけではなく、そのジェスチャが社会的に受け入れられるかどうかの調査を行った。例えば頭を振ることによって行うジェスチャは認識精度が高いものの、周囲の人からは奇異に見られるためなるべく使わない方がよい、など、ジェスチャ設計の指針となるデータを提供できた。さらには、体の部位ごとに、センサを装着すること自体の快適さも踏まえた認識精度の評価を行った。これは、体に 20 個の加速度センサを装着した 4 人の被験者にトレーニングやヨガを含む 36 種類の行動を行わせ、装着性の評価と動作認識精度の評価を行ったものである。このとき、首など装着性の低い部位にセンサを付けない場合は、他の部位についてもセンサの最適配置が異なることをデータから示した。

そのほかにも、さまざまなジェスチャをユーザに言葉で教示し、その言葉の詳細度(表現)が認識精度に与える影響を調査している。たとえば「手を振る」という動作で多数のユーザが同じ動き(バイバイをするように手を振る)をする場合、そのジェスチャは汎用性が高く直観的な動作であると言える。このようなジェスチャは他のユーザの学習データでも十分な認識精度が得られるため、「あらかじめ学習させないと使えない」というジェスチャインタフェースの欠点を解消できる。この実験では、下図に示す 10 種類のジェスチャそれぞれに 5 段階の具体度を設

け、13 名の被験者にそれぞれの指示に対するジェスチャを行わせた。結果として指示が具体的になるほど被験者は想定するジェスチャを行うが、「ボール」や「ドア」などの語が入ると逆に動作に一貫性がなくなることが分かった。

ジェスチャ	具体度	指示
	1	円を描いてください
	2	上を起点に円を描いてください
	3	上を起点に反時計回りの円を描いてください
	1	三角を描いてください
	2	上を起点に三角を描いてください
	3	上を起点に反時計回りに三角を描いてください
	1	四角を描いてください
	2	左上を起点に四角を描いてください
	3	左上を起点に反時計回りに四角を描いてください
	1	星印を描いてください
	2	上を起点に星印を描いてください
	3	上を起点に左下の方向から星印を描いてください
パンチ	1	手を前に出してください
	2	手をまっすぐ突き出してください
	3	パンチしてください
ドアを押す	1	手を前に出してください
	2	手を押し出してください
	3	ドアを押してあけるように手を押し出してください
引き出しを引く	1	手を手前に引いてください
	2	掌を上に向けて手前に引いてください
	3	引き出しを開けるように手を手前に引いてください
ドアを引く	1	手を手前に引いてください
	2	掌を下に向けて手前に引いてください
	3	ドアを引いてあけるように手を手前に引いてください
投げる	1	腕を振ってください
	2	投げてください
	3	ボールを投げてください
チョップ	1	腕を振ってください
	2	チョップしてください
	3	斜めにチョップしてください

*具体度 4 は図形、具体度 5 は動画

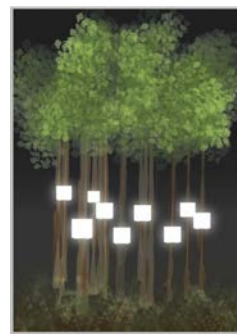
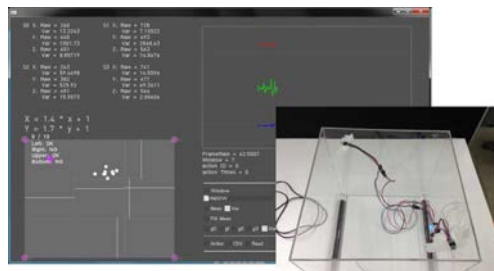
そのほかにも、演劇家においてマイム動作と実動作の違いを調べるためのセンサデータセットの構築や、プロジェクタを装着する際の、装着部位ごとのプロジェクタの揺れ情報、のべ 30 時間以上の会議中の頭部動作など、さまざまな状況における加速度データをこの 3 年間で蓄積した。加速度データ以外では、上記会議データにおける音声・画像等のデータ、観光地における会話データ、状況別のヘッドマウントディスプレイの注視データなど、実世界システムを構築するにあたって重要なデータを多数蓄積した。

さらに、取得情報のフィードバック効果についてもデータ蓄積および検討を行っている。例えば、ジェスチャの学習データ 10 回分を作成するときに、単純に 10 回を行った場合と比べて、前回との波形の差異を視覚フィードバックした方が結果としてテスト時の認識精度も高くなった。このような学習時フィードバックの効果についてもさらなる調査が必要である。

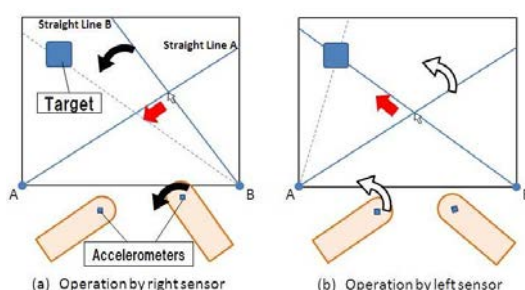
研究テーマ(3) システムプラットフォーム構築と実世界応用

上記の動作認識基盤に基づき、いつでもどこでも状況依存インタフェースの利用およびカスタマイズが行えるシステムプラットフォームを開発した。システムプラットフォームは、動作認識基盤およびアプリケーション実行ミドルウェア、ディペンダビリティインタフェースからなる。アプリケーション実行ミドルウェアは、提案者らがこれまでに開発したウェアラブルコンピューティング向けシステムプラットフォームである Wearable Toolkit を改良して用いた。このミドルウ

ウェアは、エンドユーザであっても容易にサービスが記述でき、システムを稼働させたままサービスの追加・削除・変更が行えるようにイベント駆動型ルールによる動作記述を採用している。Wearable Toolkit は、すでに一般公開され、多数の実践利用においてその有効性が示されたミドルウェアであり、このミドルウェアを利用することで信頼性が高く実践的なシステムを構築できた。ディペンダビリティミドルウェアに関しては、提案者が科学研究費補助金において取り組んでいるウェアラブル OS 構築プロジェクトの成果を流用している。具体的には、高信頼化のために OS フリーズ時にも入出力デバイス間のデータ転送を継続する入出力ハードウェアおよびデータ変換管理機構を含んだ OS を構築しているが、この信頼性確保の仕組みを提案するプラットフォームにもミドルウェアとして備えさせる。このシステム構成をとることで、いつでもどこでもインタフェース改変や状況依存インタフェースの構築を高信頼に行えるようになった。この 3 年間では、基本的なシステムのプロトタイプを完成させ、その場プログラミングシステムと呼ぶインタフェースを実現した。また、同様の仕組みを用いて Flash でジェスチャを用いた体感ゲームを簡単に作成できるプラットフォームを作成した。また、壁面やカーテンなど好きなものに加速度センサを付け、叩くなど認識したい動作を数回行うだけで認識結果に基づく処理が行えるツールキット(左下図)を作成した。これを用いて、アーティストの迫一成氏が韓国でのインスタレーション(右下図)を行うなど、認識に不慣れな設計者とともにシステムを作ることが可能であることを示した。



実際に構築した実世界指向インタフェースの例としては、左下図に示すように体に装着した加速度センサにより画面上の直線の角度制御を行い、交点をポインティングする Xangle や、腹囲の大きさや変化を用いた入力インタフェース(右下図)を構築した。



実践的なシステム提供例としては、司会進行の支援システム、プロジェクタパフォーマンス支援システム、着ぐるみ装着者支援システム、野外学習システム、観客参加型演劇など多数の実践環境でシステムを運用してきた。例えば下図に示すのは観客参加型演劇 YouPlay における提案者らのシステム利用例である。YouPlay は、基本的には 1 ステージ 10 名の演者(一

一般人)が10種類のキャラクタのどれかを割り当てられ、さまざまなイベントをこなしつつインタラクティブにストーリーを進めていくものである。2013年11月16日～24日、全40公演が行われた。観客参加型演劇は新しいエンタテインメントの形を示唆しており、そこでセンシング技術が重要な役割を果たしている。YouPlay Vol.1では、演者が装着するヘルメットの頭頂部に複数の赤外線LED、内部に加速度センサやジャイロセンサ、ヘッドセット等を含んでいる。会場の天井に装着された赤外線カメラにより演者の位置をリアルタイムでトラッキングし、加速度センサにより演者の動き(歩く、ジャンプ、宇宙空間のようにゆっくり歩く)を認識する。また、手に持つアイテム(銃や虫取り網などキャラクタによって異なる)にもセンサが仕込まれており、アイテムの使用を検出できるようになっている。行動の認識は各演者の機器に仕込まれたArduinoのみで行い、結果をサーバに集約する。加速度センサは歩いたときの音を出したり、他の演者と一緒にジャンプすることによってクリアできる仕掛けに用いられている。このように、観客参加型演劇は「システムを使った人が楽しくなる」ものであり、そのために、どう動かわからない演者の動きをロボастに検出する必要がある、という点でセンサを用いたインタラクティブシステムに適した構成になっているといえる。



野外学習のシステムでは、虫眼鏡を模したオリジナル端末(3Dプリンタを用いて作成、左下図)を用い、表示される課題(「大きな石を探せ」など)をクリアしていくものである。端末は加速度センサを内蔵し、子供安全状態などを監視する機能をもつ。このシステムは2013年8月に大阪万博記念公園で実運用し、多くの参加者に体験された(右下図)。



このように、提案する技術は研究室内だけで閉じることなく、さまざまなイベント等で一般人が利用するなど信頼性の高いものになりつつある。

3. 今後の展開

これまでに述べたように、本研究課題ではセンサを用いた実世界指向システムを構築するにあたって、アルゴリズム面からの問題解決、データ蓄積からの問題解決、システム構築からの問題解決など広い範囲にわたって研究を推進し、大きな成果を挙げてきた。認識のためのシステム基盤は出来つつあるが、引き続き認識技術の確立、データの蓄積、応用研究の推進を行っていく予定である。また、認識技術と情報提示技術は表裏一体であり、認識技術の確立によって情報提示技術においても革新的な成果を創出するための下準備が整ったと言える。今後はそれらの各要素において、この研究成果をもとにさらなる飛躍を目指し、商用を含めた多くのインタラクティブシステムにおいて本提案の仕組みが活用されることを目指す。以下、各要素についての今後の展開についてまとめる。

(1) 動作認識技術の確立

本研究課題において、早期認識や疲労性解決、ジェスチャの特定タイミング推定など新たな概念を多数提案した。これらの概念は実際のシステム利用において大きな意味をもったが、他分野への応用を進めるにつれてさらなる解決すべき課題が登場すると思われる。本研究課題において培った実践と理論提案のサイクルを引き続き回していくことで新たなアルゴリズム提案が今後行えると考えられる。当面の目標としては、システムの長期運用における問題点の抽出、さらには高レベル(抽象化された)コンテキストの認識における問題点の洗い出しとその解決を行うことを考えている。

(2) 認識データベースの構築

当面蓄積する予定のデータはフィードバックが認識にどういった影響を与えるかを計測したものを考えている。これは、認識時の環境によってデータの質が大きく異なるのであれば、認識研究においてテストデータや学習データの決定方法が大きく変化する可能性があるためである。また、演劇における人の動きデータ、スポーツにおけるフィードバックの効果測定など、新たな分野開拓につながるデータ蓄積を積極的に行っていく予定である。

(3) システムプラットフォーム構築と実世界応用

本研究課題で構築したシステムプラットフォームをさまざまな場所において利用し、実証していく予定である。マラソンや自転車を含めたスポーツのメンタル制御、教育における集中度測定や授業のビデオ化における自動タグ付け、神戸市における高齢者の活動支援、観光案内システム、演劇やエンタテインメントにおける観客・演者支援、美容センシング、など応用範囲は広く、大きな成果が期待できる。

(4) 情報提示技術への展開

装着型ディスプレイなどを装着していると、画面を常時閲覧しながら生活するようになる。このような画面閲覧において、画面の配色や提示する数値、提示するオブジェクトの種類や形などさまざまな要素が意図せずともユーザの心身に影響を与えている。報告者はこれまで、例えば生体情報を常時閲覧する場合、虚偽情報の提示によりユーザの心拍値を制御できることを明らかにしている。ユーザの状況が適切に認識できるようになると、それを適

切に活用したフィードバックによって人間の生活がより快適になる可能性が高い。今後は、ユーザ状況の認識と、それに対してどのようなフィードバックを行えばユーザにいい効果が得られるのかを様々なフィールドにおいて調査し、健康やメンタルの向上に貢献したい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本課題は、実践的な動作認識システムの構築が目的であり、そのためには実運用と、それに基づいて必要となった認識アルゴリズムの開発両面が必須である。その観点から考えると、この5年間で演劇やパフォーマンス、アート制作、野外学習、募金箱を含めた多数の実戦投入が行えたことは大きな成果である。これらの活動は情報技術の広報活動にもつながっており、30件以上の新聞等報道にて採り上げられている。実運用から得られた知見に基づく学術的成果としては、これまで重要視されていなかった動作分離や早期認識等の新たなアルゴリズムを開拓し、学術論文誌 30 編(うち海外 11 編)、国際会議発表 57 件、その他の発表約 300 件の成果を挙げており、特にウェアラブルコンピューティングにおけるトップカンファレンスである ISWC には 5 年間で 6 件採択され、日本人採択件数としては最多である。また、学長表彰、情報処理学会山下記念研究賞(2 回)、ヒューマンインタフェース学会論文賞、情報処理学会 2013 年度特選論文、Augmented Human Conference 2014 や MoMM2015 ベストペーパーを含め、30 件以上の学術賞を受賞しており、研究の質・量ともに満足いくレベルである。

成果の公開に関しては、現在携帯端末把持ジェスチャおよび疲労によるジェスチャ軌道の変化データを一般公開している。これらのデータは複数件利用されていることを確認している。今後は、研究成果の章で述べたように、提案者らだけがもつデータは多数あり、それを順次公開していくことが必要になる。また、ライブラリに関しては当初予定していた一般公開ではなく、報告者らがライブラリを保持し、必要に応じてシステム開発を支援するという方式にした。これは、初期設定を専門家以外が行うと認識精度が上がらず、認識技術が正しく活用されないと考えたためである。一方、メンテナンス性を高めたシステムの提供は積極的に行っており、長期的なシステム運用において専門家を必要としない仕組みを構築した。この結果、多くの実運用システムを稼働させることに成功し、社会的なインパクトを与えられたと考えている。

さきがけの研究期間に挙げた成果は、量・質・インパクトともにさきがけ研究前までの報告者の研究成果をはるかに凌駕しており、さきがけにおける統括・アドバイザー・他メンバとのディスカッションや切磋琢磨が報告者の研究活動のレベル向上に大きく寄与したと確信している。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、研究室内実験では高精度の認識率を誇る技術が、実世界に適用すると期待される性能を出せないことに対する疑問から出発している。現場で利用可能な動作認識技術を蓄積すべく、研究室の学生と共に、数多くの技術開発と実証実験を積み重ねた。特に、自己相関関数を用いて動作を適切に分類して認識する技術、認識遅れを解消する早期認識アルゴリズム、加速度センサに加えてにおいセンサやフォトリフレクタを組み入れた動作認識技術など

を提案している。さらに、ラベル付きモーションデータを含む動作認識データベースを、海外のデータ収集団体と協力して構築している。また、開発した様々な技術をウェアラブルコンピューティング向けプラットフォームとして統合した。このプラットフォームを用いて入出力インタフェースを多数実装すると共に、プロフェッショナルなアーティストを含む多くの人々に提供している。

本研究が、実世界に適用可能な技術を開発すると共に、他の研究者やアーティストに利用可能なデータベースとプラットフォームを提供したことは高く評価できる。発表論文数は、論文誌 30 編、国際会議 57 件を数え、質の高い豊かな研究が行われたことを示している。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. 寺田 努, ``ウェアラブルセンサを用いた行動認識技術の現状と課題,” コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 28, No. 2, pp. 43--54 (May 2011). 招待論文
2. Kazuya MURAO, Tsutomu TERADA, Ai YANO, and Ryuichi MATSUKURA, ``Evaluating Sensor Placement and Gesture Selection for Mobile Devices,” The Transactions of Human Interface Society, Vol. 15, No. 3, pp. 281--292 (Aug. 2013). ヒューマンインタフェース学会論文賞
3. 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦, ``行動の順序制約を用いた加速度データのラベリング手法,” 情報処理学会論文誌 (2014). 推薦論文, 2013 年度情報処理学会特選論文
4. Ryo IZUTA, Kazuya MURAO, Tsutomu TERADA, and Masahiko TSUKAMOTO, ``Early Gesture Recognition Method with an Accelerometer,” International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 11, Issue 3, pp. 270--287 (Aug. 2015). 推薦論文
5. 磯山直也, ウォーリー木下, 出田 怜, 寺田 努, 塚本昌彦, ``YOUPLAY: インタラクティブな演出を用いた観客参加型演劇,” 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 11, pp. 2151--2164 (Nov. 2015). 推薦論文

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

(3-1) 受賞

1. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2011)シンポジウム, 最優秀論文賞 (July 2011).
2. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2011)シンポジウム, 優秀論文賞(3 件) (July 2011).
3. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2011)シンポジウム, 優秀プレゼンテーション賞 (July 2011).
4. International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2011), Best Video Award (Sep. 2011).

5. 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング 2011, 最優秀論文賞 (Sep. 2011).
6. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム, 最優秀論文賞 (July 2012).
7. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム, 優秀論文賞 (July 2012).
8. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム, 優秀プレゼンテーション賞 (July 2012).
9. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム, ベストカンバーサント賞 (July 2012).
10. 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング 2012, カンテレー賞 (Sep. 2012).
11. 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング 2012, 優秀デモンストレーション賞 (Sep. 2012).
12. The Advances in Computer Entertainment Conference (ACE 2012), Bronze Paper Award (Nov. 2012).
13. 平成二十四年度「神戸大学のミリオク」シンポジウム, 学長表彰 (Jan. 2013).
14. 4th Augmented Human International Conference (AH 2013), Best Paper Award (Mar. 2013).
15. 情報処理学会 山下記念研究賞(2 件) (Mar. 2013).
16. 情報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 第 37 回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会研究会奨励賞 (Mar. 2013).
17. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム, 功労賞 (July 2013).
18. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム, 最優秀論文賞 (July 2013).
19. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム, 優秀論文賞(2 件) (July 2013).
20. 情報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 第 39 回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会優秀論文賞 (Sep. 2013).
21. 情報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 国際会議発表奨励賞 (Nov. 2013).
22. 情報処理学会 2013 年度特選論文 (Jan. 2014).
23. 5th Augmented Human International Conference (AH 2014), Honorable Mention (Mar. 2014).
24. 情報処理学会 モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, 2014 年度優秀論文 (May. 2014).
25. 情報処理学会 モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, 2014 年度優秀発表 (May. 2014).
26. 情報処理学会 2013 年度長尾真記念特別賞 (June 2014).
27. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, 優秀プレゼンテーション賞 (July 2014).
28. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, 優秀

論文賞(2 件) (July 2014).

29. 情報処理学会 2014 年度特選論文 (Aug. 2014).
30. 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング 2014, 優秀論文賞 (Sep. 2014).
31. 12th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2014), Best Short Paper Award (Dec. 2014).
32. ヒューマンインタフェース学会 2015 年度論文賞 (Feb. 2015).
33. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム, 最優秀論文賞 (July 2015).
34. 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2015), Best Paper Award (Dec. 2015).

(3-2) 作品・システム提供

1. 迫一成, ``34°-41.38'N 135°-30.7'E," 作品への技術協力 (Aug. 2012).
2. ``大阪水辺バル 2012 水先あんない帳," システム提供 (Oct. 2012).
3. ``Designer Show House 2012," 2 件のシステム展示 (Oct. 2012).
4. ``AR 宝探し in 万博記念公園," システム提供 (Nov. 2012).
5. ``YouPlay Vol.0," システム提供 (Mar. 2013).
6. 迫一成, ``SYMBIO(共生)," 作品への技術協力 (Aug. 2013).
7. ``大阪水辺バル 2013 水先あんない帳," システム提供 (Oct. 2013).
8. ``触って楽しい! 未来のインタラクティブ・ルーム!," いしかわ夢未来博 2013, 3 件のシステム展示 (Nov. 2013).
9. ``YouPlay Vol.1," システム提供 (Nov. 2013).
10. ``タッチ&ウェア デジタル体験祭り," グランフロント大阪, 研究展示 (May. 2014).
11. ``未来の日記は勝手にできあがる? ライフログGINGに関する研究," ディスカバリーラボ ISHIKAWA2014, 4 件のシステム展示 (Nov. 2014).

【プレスリリース、出版(TV, 新聞などメディア報道含む)】

NHK テレビ、番組名:サイエンスZERO「ウェアラブルセンサーが起こすスポーツ革命」にて、
【解説・コメンテーター】として出演。放送日:2015.7.19

研 究 報 告 書

「人刺激・計測 MEMS を用いた効果的な環境知能伝達方法の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 22 年 10 月～平成 28 年 3 月

研 究 者: 三木 則尚

1. 研究のねらい

デスクトップコンピュータから、ラップトップコンピュータ、携帯電話や携帯ゲーム機などに端末が進化する中で、人は移動しながらも web にアクセスし、情報を取得することができるようになった。今後は、行きかう車、道路や店舗、ポスターなど、人を取り巻く環境が智能化され、移動中の人に直接的にインタラクションし、情報を伝達ようになる。これにより、ナビゲーションから、商品、サービス、イベント、求人などの情報、さらには移動中の安全や、健康管理に至るまで、様々な有益情報を、人は移動しながらに、オンサイト・リアルタイムで取得することができる。このような環境知能の有効活用のためには、環境知能の効果的な人への伝達方法を確立しなくてはならない。

環境知能伝達においては、視聴覚情報はすでに飽和しているため、触覚を活用すべきであり、かつ、伝達用デバイスはウェアラブルかつ高解像度が望ましい。そこで本研究課題では、まず(1)人刺激・計測 MEMS (Microelectromechanical Systems) 基盤技術開発を行い、(2)開発した基盤技術による環境知能伝達実験を行う。本研究で開発する革新的な基盤技術により、これまでにない高解像度、小型、軽量のウェアラブルデバイスが実現される。本研究は、環境知能の開発、応用展開におけるブレークスルーを生むものであり、人間と調和する情報環境実現に大きく資するものである。

人刺激 MEMS として、多数のアクチュエータアレイからなる機械式 MEMS 触覚ディスプレイ、微小針アレイからなる電気式 MEMS 触覚ディスプレイを開発する。それぞれ高解像度に皮膚を変形、もしくは触覚受容器を直接電氣的に刺激する。

次に、刺激に対する人の応答を計測するための人計測 MEMS として、透過式のウェアラブル視線検出システムならびに微小針電極を用いた脳波計測システムを開発する。視線検出システムは、眼鏡レンズ上に微細パターンニングされた透明光センサを有し、眼球からの反射光により目の動きを検出するもので、超軽量、低消費電力が特徴である。脳波計測電極は、微小針形状を有することで、髪の毛を避け、さらには高インピーダンスな角質層を貫き、高品質な脳波を計測することができる。

最後に、開発した基盤技術群を用い、環境知能伝達実験および評価を行う。MEMS 触覚ディスプレイを用い、触感、ならびに部位を変えながら人に刺激を与える。その刺激に対する人応答を視線、脳波から取得し、環境知能伝達の有効性を定量的に評価する。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題においては、まず情報伝達ならびにそれに対する人の応答を計測するための、人刺激・計測 MEMS 基盤技術開発を行った。これまでにない時間・空間解像度で人触覚を刺

激できる触覚ディスプレイ、透明光センサを用いた極めて軽量、低消費電力な透過型ウェアラブル視線検出システム、角質層を貫く微小針を有する長時間脳波計測可能なドライ電極の開発を行った。いずれもマイクロ・ナノ技術を駆使し、従来にはない機能を実現している。まず、小型大変位アクチュエータアレイからなる機械式触覚ディスプレイにより、粗さや硬さの異なる表面テクスチャの呈示、さらにアクチュエータの制御パラメータと触感との定量的な相関付けに成功した。次に、針型電極を用いた電気触覚ディスプレイにより、低電圧触覚刺激に成功するとともに、これまでの電気触覚ディスプレイではできなかった触感の呈示を実現した。また透過型ウェアラブル検出システムでは、光センサに太陽電池である色素増感素子を用いることで超低消費電力化を実現、さらにはまばたき検出と組み合わせることで情報入力へ応用した。微小針からなるドライ電極では、ポリマー針型基材の一括製作プロセス、その基材上に成膜された電極用金属膜を導電性を維持しながら保護する保護膜成膜プロセスを開発し、ウェット皿電極と同等の高品質脳波電極計測に成功した。

次に開発した人刺激・計測 MEMS による、環境知能伝達実験を行ったが、触覚により呈示できる情報の少なさと、開発した人計測 MEMS の確度、という問題が明らかになった。そこで、電気触覚ディスプレイの薄型化、ウェアラブル化を実現し、体の複数個所を刺激することによる情報量の増加を試みた。また、人計測 MEMS である視線検出システムでは、人の内部状態計測の一例として、瞳や瞼の動きを検出することによる精神的な疲労の推定実験を行い、その可能性を示した。脳波計測では、より多点、特に有毛部からの脳波計測のために、キャンドル形状の針電極を開発し、有毛部である後頭部からの脳波計測に成功した。これらの実験により、環境知能伝達のための十分な情報呈示、さらに情報呈示に対しての人応答の計測ができるプラットフォームが構築できた。

以上の成果を、原著論文 18 件(国際 16 件)、招待講演 9 件(国際 6 件)、国際学会 46 件(招待講演含む)、国内学会 62 件(招待講演含む)を通じて発表した。

(2) 詳細

本研究の主な研究成果は、次の 4 つの項目からなる。

【研究テーマ A: 人刺激 MEMS である触覚ディスプレイの開発】

人刺激 MEMS として、機械式触覚ディスプレイ、電気式触覚ディスプレイの研究を行った。機械式触覚ディスプレイは、マイクロアクチュエータが高密度にアレイ化されたもので、皮膚を機械的に変形、皮膚内部の触覚受容器を刺激することで、触覚を呈示するデバイスである。マイクロアクチュエータには、ヒト触覚受容器の特性に対応して、200 Hz 程度までの周波数で、数 10 μm の変位が要求される。我々は周波数応答、発生力に優れるが大変位出力を苦手とする圧電素子と、非圧縮性流体を封入した油圧式の変位増幅機構を組み合わせることで、素子間隔 4 mm、3 × 3 の 9 素子からなる機械式触覚ディスプレイを開発した(図 1)。これまでの触覚ディスプレイにはない、空間的・時間的な高解像度を実現した。本触覚ディスプレイを点字ディスプレイに応用すると、素子を振動させることでより効率的に点字を伝えることができることが明らかになった。これは、ヒトの触覚受容器が数 10 Hz の振動に対して高い感度を有するためである。また、素子のある時間差で順に駆動することで、ディスプレイ上に置いた指に、表面テクスチャを呈示することに成功した。振動周波数、駆動電圧(アクチュエータ変位)、素子の駆動

時間差を制御することで、表面テクスチャの粗さを変えられることが明らかになった。しかし、呈示された表面の例えば粗さや、硬さなどの特徴量を定量的に評価することは、従来の SD (Semantic Differential) 法や一対比較法などの評価手法では困難であった。そこで本研究では、物理的な特性が明らかになっている触覚サンプルとの比較から特徴量を定量的に明らかにするサンプル比較法を新たに提案し、ディスプレイが呈示可能な表面についての定量評価を進めている。図2に示すように、比較するサンプルをその特性値から3群に分類し、これをRGBコーディングすることにより、一目で傾向が把握できる。

また、触覚ディスプレイのウェアラブル化を視野に入れて、機械式触覚ディスプレイよりも薄型化が可能な電気式触覚ディスプレイの開発を行った。すでに平面型の電極を用いた触覚ディスプレイが実現されているが、インピーダンスの高い角質層のため、触覚刺激には数 10 V の電圧が必要であった。そこで本研究では、微細加工技術を用い、図 3 に示すような角質層を貫く針電極を製作、これをアレイ化し電気式触覚ディスプレイを開発した。本ディスプレイは、平面型電極と比較しおよそ 20 分の 1 の低電圧で、触覚刺激を可能とした。針電極形状に着目すると、針先端が鋭利でないと角質層を貫くことができないが、針が鋭利すぎる(細すぎる)場合は表面積が小さくなりインピーダンスが高くなる。そこで、実験的に針形状の最適化を行い、先端の曲率半径が 20 μm が最も効率が良いことを明らかにした。電気式触覚ディスプレイの問題点として、触感として、ざらざら、つるつるのような表面ではなく、ピリピリとした電氣的な触感しか与えられないことが知られている。これは、皮膚表面近傍のみを刺激電流が通過し、指の深い位置にある触覚受容器の刺激ができないためだと考えた。そこで、アクティブ電極を指腹部、グランドを爪上に配置し実験したところ、電気触覚ディスプレイによる粗さの異なる表面の呈示に初めて成功した(図 4)。また、体の複数の箇所に貼れるような、薄型ウェアラブルな触覚ディスプレイを開発した。

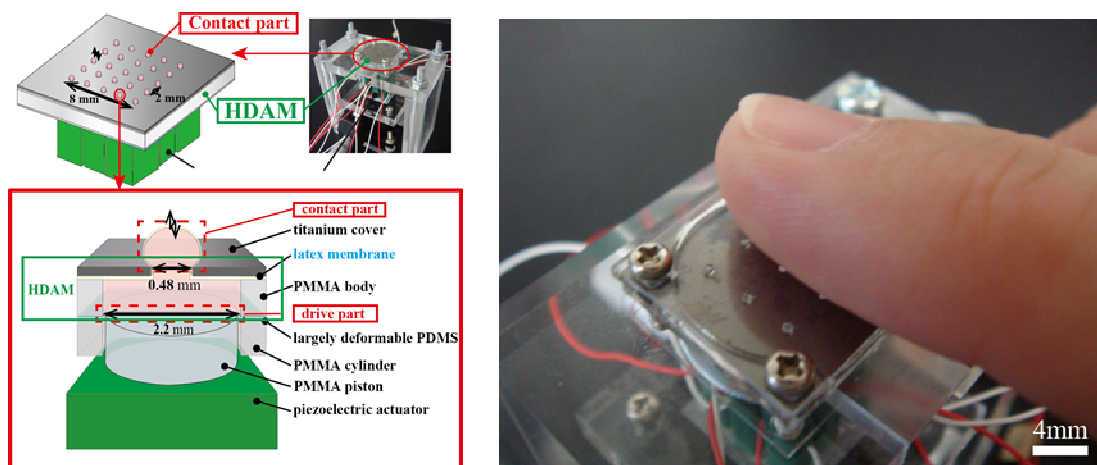


図 1. 開発した触覚ディスプレイ。変位増幅機構と圧電素子からなるアクチュエータの 3 x 3 アレイにより皮膚を機械的に変形させる。

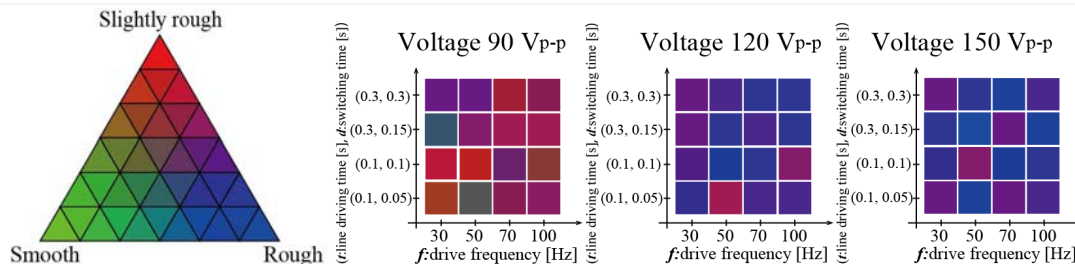


図 2. サンプル比較法により導出した駆動電圧、振動周波数、素子駆動パターンによる呈示される表面粗さの変化。実験に用いるサンプルの表面粗さを計測し、Rough、Slightly rough、Smooth に分類し、RGB コーディングしてある。被験者は呈示された表面と近いサンプルを選ぶ。触覚ディスプレイの制御パラメータと、選ばれたサンプルの RGB を示すことで、一目で傾向を把握することができる。例えばこの図では、駆動電圧を上げることで、呈示される表面の粗さが増加していることがわかる。また表面粗さは、サンプルの表面粗さから定量的に推定することができる。

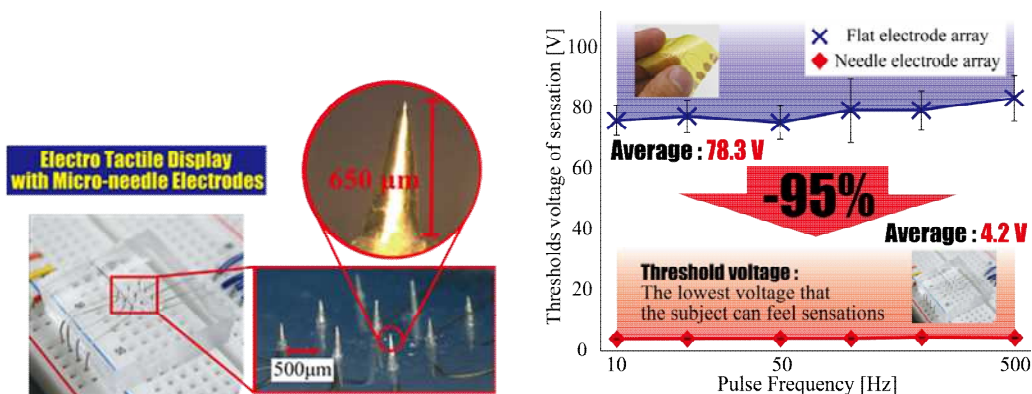


図 3. 針型電極を有する電気式触覚ディスプレイ。角質層を貫通することで、平面型の電極と比較し、およそ 20 分の 1 の電圧で触覚刺激することに成功した。

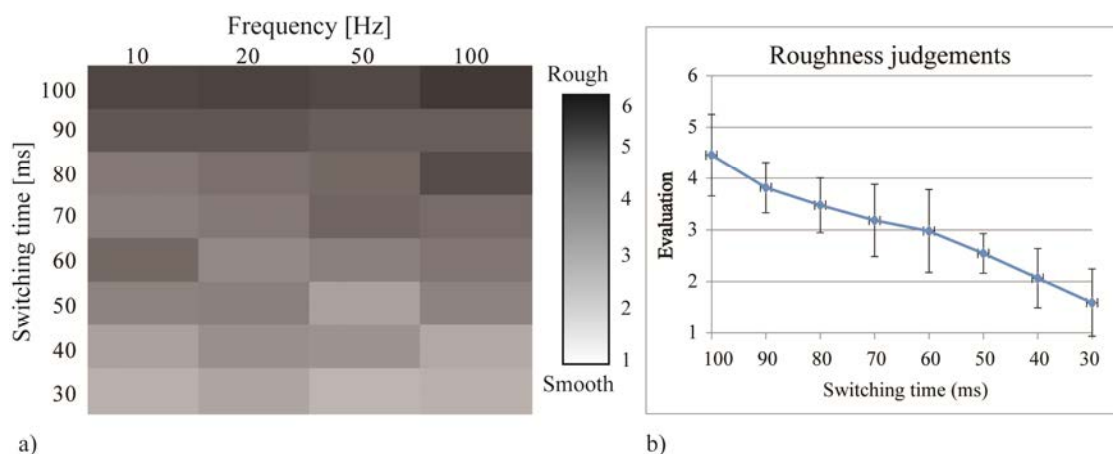


図 4. 電気式触覚ディスプレイによる粗さの異なる表面の呈示。Switching time により、粗さが変化する傾向を官能試験により明らかにした。

【研究テーマ B: 人計測MEMSである視線検出システムの開発】

本研究で開発する視線検出システムは、眼鏡レンズ上に色素増感素子がパターンニングされている。色素増感素子は透明光センサとしてはたらく、黒目からの反射光と白目からの反射光の違いから、瞳の位置を検出する。これと眼鏡に取り付けられた CCD カメラによって取得された前方画像から、被験者の視線を検出することができる。色素増感素子は太陽電池であり、入射光に応じて出力するため、消費電力が 0 である。また、負極側からの入射光に強く反応する特性があるため、負極側を目の方に向けることで、目からの反射光を効率的に検出することができる。前方画像を取得するための CCD カメラは必要となるが、それ以外は極めて軽量であることも特徴である。まず色素増感素子の数、形状について検討を行い、素子の出力をアナログ的に利用することで、精度良く素子の数を減らせることが分かった。最終的には図 5 に示すように、4 素子とした。これにより、構造や配線が簡素化し収率が向上するとともに、視線検出のための処理も容易となった。開発した視線検出システムは最高で精度 1.5 度での視線検出を実現した。視線検出システムは被験者のまばたきの検出も可能である。視線情報とまばたきを組み合わせることで、被験者の視線の記録だけでなく、特定の物体を選択することも可能であり、図 6 に示すように、情報の入力システムとしての応用も期待される。一方で、被験者の身体的特徴、特に目と眼鏡レンズの距離が、視線検出システムの精度に影響することが明らかになった。眼鏡位置を自由に変えられるフレームを開発した。



図 5. 色素増感素子を眼鏡レンズ上にパターンニングした透過式ウェアラブル視線検出システム。超低消費電力かつ軽量である。

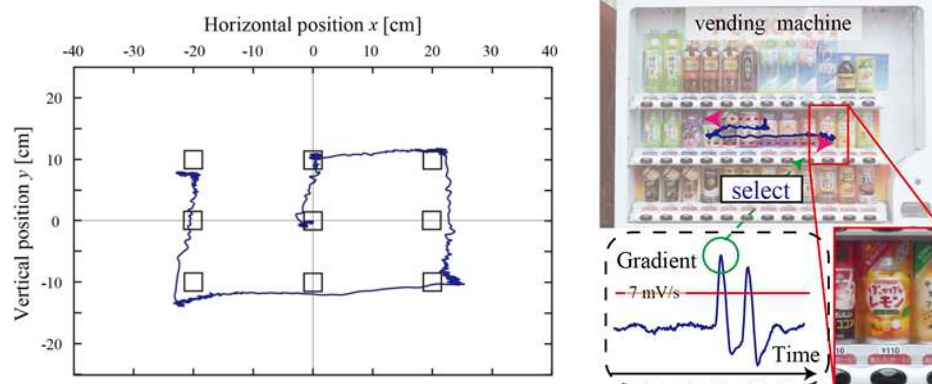


図 6. 開発した視線検出システムを用いた視線検出評価実験ならびにまばたきと組み合わせた入力システムへの応用。

【研究テーマ C: 人計測MEMSである脳波計測システムの開発】

脳波検出用の電極には、脳波の特徴を示す 10 Hz 前後の周波数に対し 10 k Ω 程度の低いインピーダンスが求められる。従来用いられる皿電極は、これを達成するために角質層を除去し、そこに導電性ペーストを用いて電極を貼りつける必要がある。そのためウェット電極とも呼ばれる。ウェット電極の問題点は、時間と共にペーストが乾燥しインピーダンスが高くなるため長時間計測ができないことに加え、ペーストの使用が被験者にとって極めて不快であることである。これらを解決するために、ペーストを用いないドライ電極が開発され、特に MEMS の微細加工技術を応用し、角質層を貫く針型電極が開発されてきた。しかし、その主たる材料は加工し易いが脆性材料であるシリコンであり、被験者の動きにより針電極が破壊される恐れがある。そこで本研究では、長期間、被験者が動きながらも脳波計測できるポリマー製微小針を有するドライ脳波電極の開発を行った。まず電極基材となるポリマー製微小針の製作に向け、光の回折を利用した複数針鋳型の一括露光成型技術を開発した。露光に用いるマスクパターン、露光強度、現像時間により、針鋳型の深さ（針の長さ）、形状を制御できる。次にポリマー製微小針に導電性を持たせるプロセスの開発を行った。電極金属としては銀／塩化銀が多く用いられるが、ポリマー基材上に銀を真空蒸着などで成膜した際、極めて密着性が悪く、例えば塩化のためのエージング処理中や、刺入時のせん断力により剥離してしまう。そこで我々は、図 7 に示すように、ナノサイズの孔を有するパリレン膜を被膜することで、電子のアクセスを維持しつつも、膜の剥離を防ぐプロセスを開発した。開発した微小針電極は、角質層を貫くが、自重に耐えられるほど固定性は良くない。3D プリンタを用いて図 8 に示すような電極保持治具を製作し、左右前頭極部から脳波ならびに眼電の計測に成功した。図 9 に示すように、市販のウェット電極での検出結果と同等の高品質な脳波が検出されている。一方で、有毛部からの脳波計測は髪の毛の影響により困難であった。そこで、図 10 に示すような、キャンドル型の脳波電極を開発した。円柱形状部により髪をかき分け、先端部の針形状部が角質層を貫く。髪の毛を効果的にかき分け、かつ、痛みを与えない最適形状を実験的に導出し、後頭部からの脳波計測に成功した。

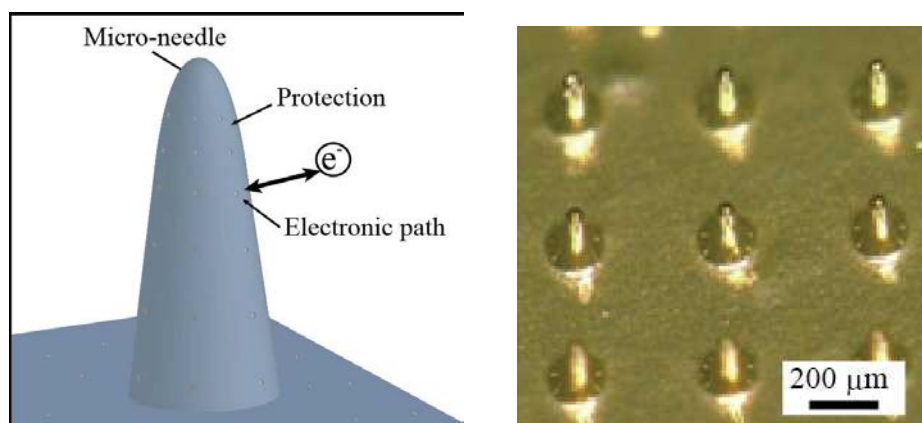


図 7. ポリマー針型基材上に成膜された銀膜のナノポーラスパリレンによる保護プロセス。導電性を維持しつつも、銀膜の基材からの剥離を防止することに成功した。

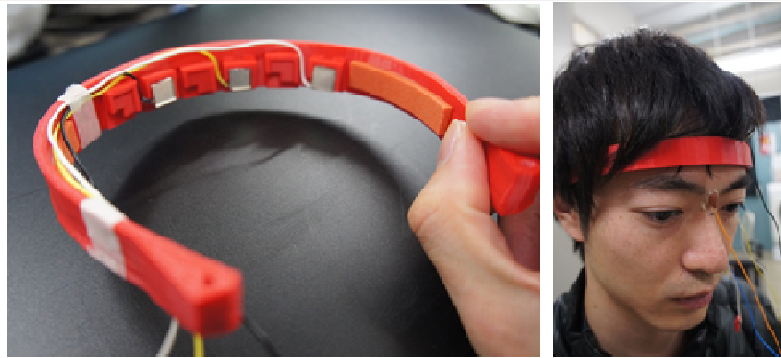


図 8. 電極保持用治具に電極を取り付け、装着した図。ウェット電極と同等の低インピーダンスを示した。装着においては、治具の下に髪の毛がはさまっていても安定した脳波計測が可能であった。

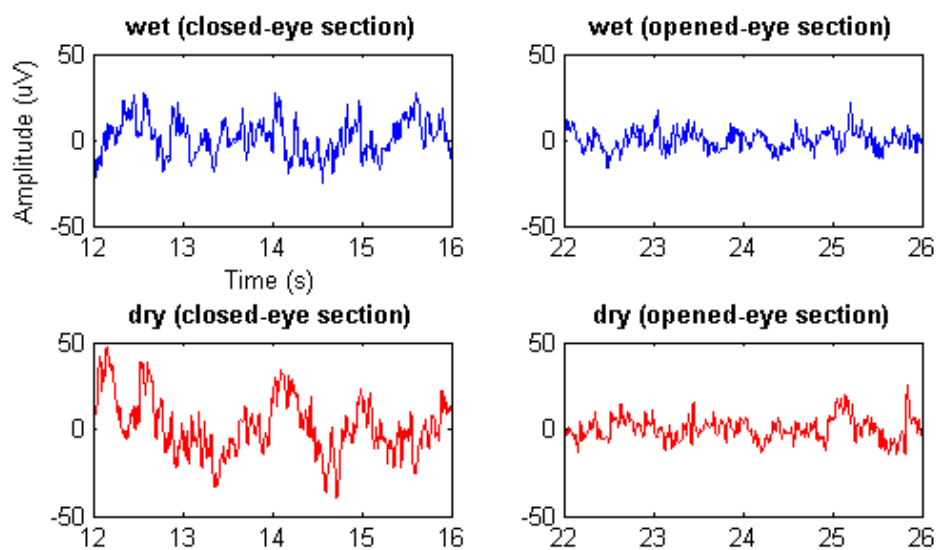


図 9. 開発した電極による生体信号計測結果とウェット電極との比較。市販のウェット電極と同等の高品質な脳波ならびに眼電の計測に成功した。



図 10. キャンドル型脳波電極。円柱形状部（0.6 mm 径）により髪の毛を避け、針電極部が角質を貫き、高品質な脳波を計測する。後頭部からの脳波計測に成功した。

【研究テーマ D: 人刺激・計測 MEMS を用いた環境知能伝達技術の開発】

触覚による指先への情報呈示実験を行ったところ、少し複雑な刺激になるだけで、被験者はその情報を認識できないことが明らかになった。そこで、人刺激 MEMS による、より多くの情報伝達のために、図 11 に示すように薄型で貼り付け可能な触覚ディスプレイを開発した。本デバイスにより体の複数の箇所を刺激することができる。腕部においても、針電極を用いることで、数 V と低い電圧で、触覚刺激を行うことができた。隣り合う触覚ディスプレイによる刺激を、異なるものとして認識するには、5 cm の間隔が必要であった。これは機械式の触覚ディスプレイでも同様であった。腕部には、おおよそ 6 か所(裏表に配置すると 12 か所)に触覚ディスプレイを配置できる。すなわち、6 bit(裏表の場合は 12 bit)の情報伝達が可能となる。

次に、人計測 MEMS すなわち、視線検出システムならびに脳波検出電極による触覚刺激に対する応答を試みた。しかしながら、瞳の動きや脳波と、触覚刺激やそれにより生じられる内的状態との対応を明らかにするには、unknown な要素が多すぎた。そこで、人計測 MEMS により計測される特徴量と、人の内的状態、特に精神的な疲労との関連を実験的に調査した。視線検出システムを用いた実験においては、被験者に課すタスクの負担(Workload)を NASA-TLX 法により推定し、タスク中に計測した瞳情報の中で相関があるものを、多重回帰分析により抽出した。被験者 5 名に対し、3 名が瞳情報との相関を示し、そのうち 2 名では、特に瞳情報の中でまばたき回数が、Workload との相関を示した。Workload は被験者に与える疲労との相関があると考えられるため、まばたき回数も疲労との相関があると考えられる。今後、被験者数ならびに瞳情報の種類を増やし実験を行うことで、より陽に疲労と相関する瞳情報を確定できると考えられる。本研究で開発した視線検出システムにより、人内的状態の推定が可能であることを示すことができた。同様の実験を開発した脳波電極を用いて計測した脳波に対しても行った。疲労と相関を有する特徴量の候補が発見され、現在その統計的な評価を行っているところである。



図 11. ウェアラブル電気式触覚ディスプレイ。フレキシブル基板上に針電極を形成することにより、皮膚に貼り付けられる薄さとフレキシビリティを有する。

以上まとめると、本研究において、人刺激・計測 MEMS に関する基盤技術を確立し、開発した人刺激・計測 MEMS を用いて人への情報伝達、人の内部状態の推定を行うためのプラットフォームを構築した。

3. 今後の展開

本研究の最初の成果は、人刺激・計測 MEMS 基盤技術が大いに蓄積されたことである。開発した視線検出システム、触覚ディスプレイ、脳波計測電極は、革新的ハードウェアとして新たなアプリケーションを提案することができる。例えば視線検出システムは、その軽量、低消費電力である特徴を生かし、他ウェアラブル機器と融合し、瞳を使った操作に応用できる。また、瞳の動きによる人の疲労や集中などのモニタリングに関する研究を行っていく。これまでにない高解像度な触覚ディスプレイは、触覚に関する基礎研究への貢献が期待される。さらに、本研究が目指す情報伝達への応用に向けて、本研究では薄型化、フレキシブル化を推進したが、今後デバイスの大面積化を行うとともに、情報伝達に用いる具体的な触覚刺激についての研究を行っていく。脳波電極は、人モニタリングや病気診断への応用研究を行っていく。そのためには、ノイズ除去アルゴリズムや無線通信システムの構築も不可欠である。

上記デバイスに代表されるような、マイクロ・ナノ工学を駆使した ICT、医療デバイスについて、研究者は学会でのオーガナイズドセッションや、研究会を企画し、本領域を先導している。今後、マイクロ・ナノ工学をバックグラウンドとする研究者や、ICT や医療を専門とする応用側の研究者が参入し、同様の革新的な ICT、医療用ハードウェアが開発されるであろう。

本研究で開発した人刺激・計測 MEMS を情報通信実験のプラットフォームとして用いることで、環境知能を始めとする、これからの情報通信技術開発を加速することができる。人刺激・計測 MEMS の開発をさらに進めより高度なプラットフォームを構築するとともに、環境知能伝達技術の実験的な探索を進めていく。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本研究は、人刺激・計測 MEMS 基盤技術の開発を行い、これを用いて情報伝達実験プラットフォームを構築し、さらに環境知能伝達手法を開発することを目的とした。研究の達成状況としては、プラットフォームを構築はできたものの、環境知能伝達手法を確立するには至らなかった。しかしながら、開発した人刺激・計測 MEMS は、革新的なハードウェアとして、国際論文誌や国内外の学会に採択され、研究を行った学生たちが、機械学会フェロー賞を始めとして、延べ 13 件の受賞をうけた。また人刺激・計測 MEMS の完成度が高まるにつれ、共同研究も多くなり、社会実装が見えてきた。特に、人の内的状態モニタリングへの応用は、社会における緊喫の課題であり、今後も進めていきたい。

3 年目から挑戦した、「作る」から「使う」へのフェーズの転換は、まさに試行錯誤、模索しながらのものであったが、さががけ領域会議でのアドバイスもあり、うまくいったといえる。これまでに参加したことのない情報系の学会に参加、発表することで、共同研究に発展したこともあった。また最終年度の Ubicomp では Gadget Show + に学生とともに参加し、設備一式を運搬し、デモを行うことができた。さががけに参加せず、自らの専門分野に関する学会にのみ参加していたは、決して経験できないことである。「使う」側の視点をもった「作る」研究を推進すべく、マイクロ・ナノ工学の ICT 応用や、医療応用について、学会でのオーガナイズドセッションや、研究会の立ち上げを行った。新たな研究の潮流となることを期待する。

このように、基盤技術の確立、研究のフェーズ転換、新たな研究テーマ立ちあげ、研究領域

の提唱など、さがけ研究に参加したことによる効果は極めて大きく、またうまく活用できたと感じている。今後はこの流れを止めることなく、より一層加速していけるよう、邁進したい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、小型、軽量の MEMS (Microelectromechanical Systems) の研究を通じて情報環境に変革を起こすことを目指した研究である。具体的な研究成果は次の 3 点である。まず、多数の微小針アレイからなる触覚ディスプレイを開発し、ウェアラブル環境に適するよう薄型化を実現している。次に、透明光センサを用いた軽量、低消費電力の透過型視線検出システムを開発し、瞳や瞼の動きから疲労の推定を行うことに成功している。最後に、角質層を貫くキャンドル形状の針電極を有する脳波計測システムを開発し、有毛部である後頭部からの脳波計測に成功している。これらの研究は、来たるべきウェアラブルコンピューティングへの適用を想定している。

本研究は、要素技術の研究でありながら、次世代の情報環境での利用を強く意識して進められた。技術的な困難さに加えて、評価尺度などの方法論が異なる研究領域に参画し、成果を上げてきたことは高く評価できる。イノベーションは、研究領域を横断するところから生まれることが多い。今後も、研究領域を横断し、研究者自身が目指す、「使う」側の視点をもった「作る」研究の展開を期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. M. Ozawa, K. Sampei, C. Cortes, M. Ogawa, A. Oikawa, and N. Miki. Wearable line-of-sight detection system using micro-fabricated transparent optical sensors on eyeglasses. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2014, 205, 208-214.
2. Y. Kosemura, H. Ishikawa, J. Watanabe, and N. Miki. Characterization of surfaces virtually created by MEMS tactile display. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2014, 53, 06JM11.
3. N. Kitamura, J. Chim, and N. Miki, Electrotactile display using microfabricated micro-needle array, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2015, 25, 025016.
4. M. Arai, Y. Nishinaka, and N. Miki, Electroencephalogram measurement using polymer-based dry micro-needle electrode, *Japanese Journal of Applied Physics*, 2015, 54, 06FP14.
5. K. Sampei, M. Ogawa, C.C.C. Torres, M. Sato, and N. Miki, Mental fatigue monitoring using a wearable transparent eye detection system, *Micromachines*, 2016 (accepted for publication).
6. M. Tezuka, N. Kitamura, K. Tanaka, and N. Miki, Presentation of various tactile sensation using micro-needle-based electrotactile display, *PLOS ONE*, 2016 (accepted for publication).

他 12 件(合計 18 件)(+3 件査読中)

(2)特許出願

研究期間累積件数:0 件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

【招待講演】 計 9 件

1. N. Miki. Polymer-based microsystems – from biomedical to human interface applications –. IEEE International Conference on Mechatronics (ICM 2011). Istanbul, Turkey, April 14, 2011.
2. N. Miki. MEMS-based human interface devices. International Union of Materials Research Societies – International Conference on Electronic Materials 2012. Yokohama, Japan, September 24, 2012.
3. N. Miki. Innovative biomedical devices enabled by micro/nano fabrication technologies. The 6th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (IEEE-NANOMED 2012). Bangkok, Thailand, November 5, 2012.
4. N. Miki, Y. Kosemura, H. Ishikawa, J. Watanabe. MEMS tactile display: from fabrication to characterization. SPIE 2014 Photonics West. San Francisco, USA, February 3, 2014.
5. N. Miki, MEMS enabling ICT, Regional Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering (RCMME) 2015, Yogyakarta, Indonesia, November 6, 2015.
6. N.Miki, MEMS based information communication technology, 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2015), Toyama, Japan, November 13, 2015.

他国内 3 件

【国際会議発表(招待除く)】 計 40 件

1. A. Oikawa, T. Muro, and N. Miki. MEMS-based wearable line-of-sight detection system using micro-patterned transparent optical sensors on eyeglasses. The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2011). Cancun, Mexico, January 2011.
2. M. Ozawa, A. Oikawa, K. Sampei and N. Miki. Design of micro-fabricated transparent optical sensors for accurate line-of-sight detection and their applications in information communication technology. The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2013). Barcelona, Spain, June 2013. (Outstanding Paper Award Finalist)
3. M. Ozawa, A. Oikawa, K. Sampei and N. Miki. Wearable line-of-sight detection system using transparent optical sensors on eyeglasses. The 40th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2013). Anaheim, USA, July 2013.
4. Y. Kosemura, J. Watanabe, H. Ishikawa, and N. Miki, Virtual surface textures created by MEMS tactile display, EuroHaptics 2014, Versailles, France, June 2014.
5. M. Ogawa, K. Sampei, C. Cortes, and N. Miki, “Examination of human factors for wearable line-of-sight detection system” The 18th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2014), Seattle, US, September 2014.
6. N. Kitamura and N. Miki, Micro-needle-based electro tactile display to present various tactile sensation, The 28th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical

Systems (MEMS2015), Estoril, Portugal, January 2015.

7. M. Arai, Y. Nishinaka, and N. Miki, Long-term electro-encephalogram measurement using polymer-based dry microneedle electrode, The 18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2015), Anchorage, US, June 2015.

8. M. Tezuka, N. Kitamura, and N. Miki, Micro-needle electro-tactile display, 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'15), Milano, Italy, August 2015.

他 32 件

【国内学会】計 59 件

【著書】計 2 件

1.三木則尚, 色素増感素子を用いた透過式ウェアラブル視線検出システム, ウェアラブル・エレクトロニクス, 株式会社エヌ・ティー・エス, pp.54-65, 2014.

2.三木則尚, MEMS 技術を用いた触覚ディスプレイ, パワーアシスト・ロボットに関する材料、電子機器、制御と実用化、その最新技術, 第 3 章第 9 節, 技術情報協会, 2015.

研 究 報 告 書

「生命のうごきが聞こえる:生命動態情報の可聴化による「生き様」の理解」

研究タイプ: 通常型(ライフイベントによる延長)

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 11 月

研 究 者: 寺澤 洋子

1. 研究のねらい

人間の聴覚は、時間的に変動する多数の音に対して、選択的に注意を払い、そこに込められた構造的な情報を瞬時に、直観的に理解することに長けている。このような特長を最大限に生かしたデータ可聴化を行い、評価を重ねるプロセスを通じて、「音による情報表現と理解」の方法論を確立し、同時に応用分野を開拓することが、この研究プロジェクトの狙いである。

時間的に変動するデータの代表例として、生体データに着目した。身体からうまれる様々なデータを音に変換し、その動的な時間構造、つまり「うごき」を忠実に反映し、かつ美的評価にも耐えうる可聴音を生み出すことを目標とした。

データ可聴化では、可聴音を通じて構造を理解するのは人間である。可聴音の聴取によって、我々のデータ構造の理解はどれくらい正確にされるのか、情報探索におけるストレスをどれくらい軽減できるのか、可聴音があることでどのような情動が生まれているのか、などの可聴音の認知と知覚に関する評価実験を徹底することも目標とした。

これらの狙いを達成するための指針となるのが、聴覚ゲシュタルト認知 (auditory scene analysis) と音楽情動の研究体系である。音楽心理学の枠組みの中で発展してきたこれらの研究体系を、よりインタラクティブで応用的な事例に適用した。データの構造が聴覚ゲシュタルトに置き換えられ、そのまま音のアンサンブルとして聞こえてくるような可聴音を作るメソッド、自分の動作が生き生きとした音の躍動として感じられ、思わずさらに手足を動かしたくなるようなインタラクティブシステム、そういった事例を開拓しつつ、各事例を音楽心理学の体系から紐解いて、応用的事例に適した形に理論を作り変えていく、そのような研究を行って、理論と現実の間の溝を埋めていくことを目標とした。

2. 研究成果

(1) 概要

「脳波の可聴化」「運動の可聴化のリハビリテーション応用」「心電図の可聴化」「笑顔の可聴化」などの応用的事例に取り組み、その中で、音の構造認知や知覚、情動反応をキーワードに、音楽心理学に立ち帰って議論・検討を行った。脳波の可聴化では、複数チャンネル間の相関の認知、運動の可聴化では視聴覚バイオフィードバックによるパフォーマンスの違い、心電図の可聴化では重要度の高い情報と音による注意喚起の関連付け、笑顔の可聴化では情動的反応、などの評価を行った。

「身体性を統合した音楽情動コミュニケーションのモデル」「データ可聴化の理論化」は、理

論研究の取り組みである。インタラクティブシステムにおける情動体験は今後の重要課題であり、その基盤となるような理論を構築したのが前者である。また後者は、データ可聴化におけるゲシュタルト認知、情動反応、注意喚起、などを検討したものである。これまでのデータ可聴化研究では、このような事象があることは広く認識されていたが、評価や理論化はされていなかったため、新規性のある貢献となった。

芸術と科学の学際研究において、その発表の形態は必ずしも論文には限られない。体験をテキストに抽象するのが研究論文の特色であるならば、芸術作品の形態では、体験をそのまま観客に提供できる強みがある。本プロジェクトでは、テーマごとに適した発表形態を探り、論文、コンサート作品、参加型インスタレーション、ワークショップなどの形で、成果発表を行った。この発表形態の幅広さもまた、学術的探索の一部であったと考える。

(2) 詳細

研究テーマ A: 脳波の可聴化

プロジェクト期間を通じて、脳波の可聴化を行った。通常、複数の電極によって測定された脳波は、エネルギー強度の分布と波形パターンの観点から、加算平均や相関、スペクトル解析などによって分析される。本テーマでは、複数チャンネル間での脳波の波形パターン相関、およびエネルギー強度が可聴音の聴取によって理解されるかを検証した。

これまでの脳波の可聴化は、Alvin Lucier、David Roseboom らの音楽作品のような、脳波をそのままに聞くものか、あるいは Thomas Hermann らによって提案されたような、詳細に分析した結果を聞くものが多かった。本研究では、コンピュータ音楽の手法、聴覚心理学の知見を活用し、多チャンネルデータを分析せずに、全体の傾向（共通点、インテンシティ、リズム）を理解できるような可聴化を実現した。これによって、多チャンネル間の相関を直観的に理解でき、また、脳活動の時間変化を体感できるようになった。評価実験を行い、チャンネル間相関係数と聴取実験での「まとまり感」指標の回帰分析を求め（決定係数 0.8 程度）、およびインテンシティの理解度の正答率を測定した（正答率 70%程度）。

脳波の可聴化では図1に示す手法がとられた。脳波の複数チャンネルデータをそのまま複数の可聴音にする。その際、同じようなマッピングを採用するので、類似したデータから作られれば類似した可聴音になり、お互いにマスキングしあい、聴覚上は融合した一つの音となる。また、特異なパターンを見せる脳波データからできた可聴音は、他のチャンネルと異なる可聴音となり、聴覚上は融合せず、浮かび上がって聞こえる。複数の電極間で似たようなパターンが全体的に測定され、相関が高い場合は、それぞれの可聴音が溶け合ってよく「揃った」印象になる。電極間で相関が低い場合は、音がバラバラに鳴り響くため、「揃っていない」印象になる。

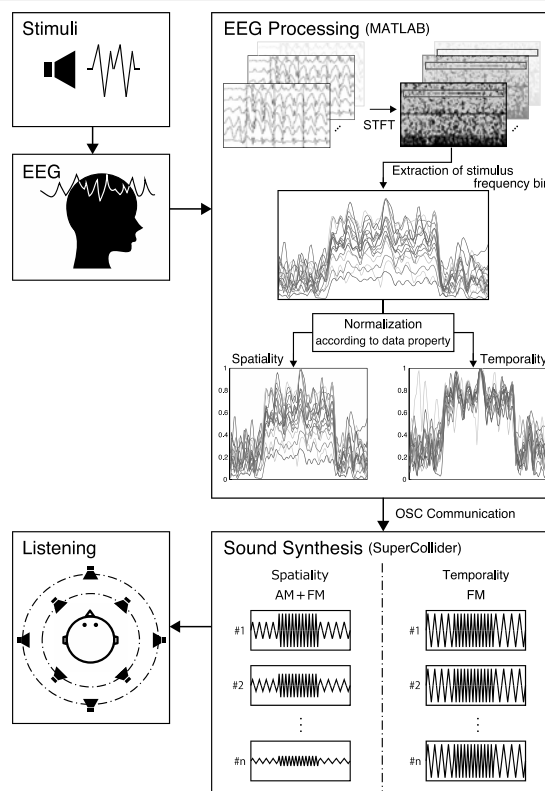


図 1: 脳波の可聴化の流れ

本テーマでは、このような音合成の手法を提案し、また、電極間の相関と「揃った・揃っていない」印象の関係性を検証し、電極間の相関が高いほど可聴音も揃った印象になることを示した。脳波データには、てんかん発作時の脳活動(EECoG: Electrocorticography で測定)、定常状態誘発反応(EEG: Electroencephalography で測定)を用いた。

研究テーマ B: 運動の可聴化のリハビリテーション応用

本テーマでは、筋活動や足関節運動のリアルタイム可聴化(バイオフィードバック)を行い、運動リハビリテーションへの応用可能性を検討した。視覚を用いたバイオフィードバックに比べて、可聴化を用いたバイオフィードバックでは、姿勢や視線の角度が固定されず、運動範囲の自由度が高くなるため、有用性が見込まれているためである。

従来提案されてきたバイオフィードバックによるリハビリテーションは、視覚によるものが主であるが、視点が固定されるので、運動しにくい。また、視覚障害をもつ人には使えない。そこで、我々は、バイオフィードバックが音で提示されるシステムを作り、評価を行った。提案システムでは、音によるフィードバックのため、姿勢が自由にとれ、視覚障害があっても使用可能である。これらの評価はトラッキングタスク(お手本の動きを真似するタスク)で行った。視覚フィードバックと音フィードバックで同等のパフォーマンス、フィードバックなしと比べると格段によ

いパフォーマンスを達成した。特に視覚障害者からは、「わかりやすい」「使い続けたい」などのポジティブな主観評価が得られた。

グリップングタスクの可聴化では、前腕に取り付けられた電極によって、筋電信号を取得し、可聴音を生成した。可聴音の音量がグリップングの強度を示すマッピングを採用した。比較対象として、グリップングの強度を可視化した条件、フィードバックなしの条件を用意した。視覚障害者の場合は、フィードバックなしと可聴化の条件間で有意にグリップングの精度が上がった。晴眼者の場合は、フィードバックなし、可聴化、可視化の順番でより精度が高くなる傾向が見られたが、有意差は見られなかった。また、フィードバックの好ましさに関する主観評価では、視覚障害者の場合に、聴覚フィードバックを強く好む傾向が見られた。この研究をきっかけに、複数の障害者支援研究を開始し、情報処理学会アクセシビリティ研究会の発足にも関わることになった。

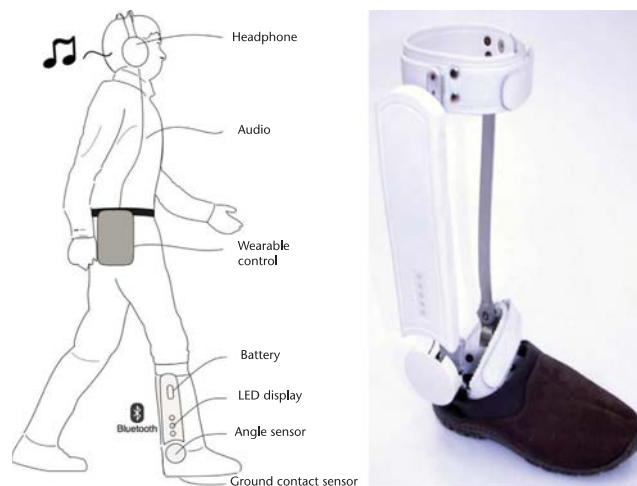


図 2: 足関節運動の可聴化システム

足関節の運動の可聴化では、曲げセンサを装着した足関節装具を使い、足首の角度を可聴化した(図 2)。リハビリテーションにおける基本的な足関節の運動(伸展と屈曲の繰り返し)のトラッキングタスク(お手本の真似をして運動する)を行い、その角度とタイミングの精度を、可視化と可聴化の条件間で比較した。その結果、可視化と可聴化でほぼ同等の精度となり、可聴化によるリハビリテーションの応用可能性が示された。この研究成果は、IEEE multimedia に掲載された。

研究テーマ C: 心電図の可聴化

本テーマでは、心電図の高機能な可聴化の開発を行った。心電図の波形は、PQRST 波に分かれており、従来の心電図可聴化では、メインのピークである QRS 波のみを音に変換しており、QRS の間隔、心拍の間隔しかわからなかった。しかしながら、P 波、T 波には、不整脈診断に関する重要な情報が多く含まれており、これらの波の状態を把握できるような可聴化が行えれば、術後患者のモニタリングなどに有益である。そこで我々は QRS 間隔の間に隠れて

いる、不整脈診断で重要な情報にフォーカスして可聴化を行った。P 波、T 波の状態が理解できるような高機能な可聴化が達成され、臨床応用を模索している。公式な評価実験はまだ行われていないが、医師とのデモセッションを通じ、様々な症例の聞き分けができることが確認されている。

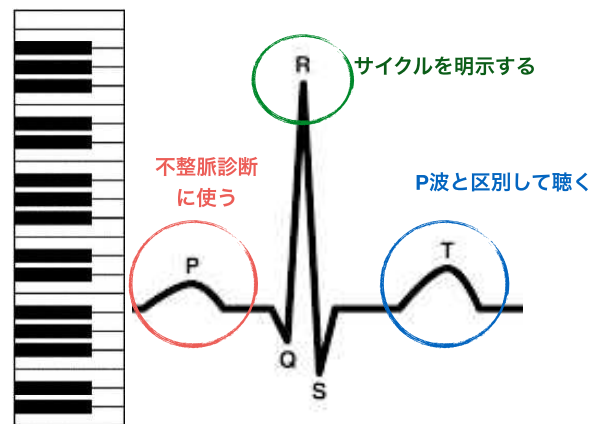


図 3: 心電図可聴化における各部分の役割

可聴化には波形の形を音高の変化に対応させ、メロディックな音の変化によって心電図が表されるピッチマッピングの手法をとった(図 3)。しかしながら、QRS波は非常に変動が大きいため、そのままでは「変動が速く、音量が大きく、音高が高い」可聴音となり、聴取において注意がそこにしか向かなくなってしまう。そこでその反対の特徴をもたせた「変動が遅く、音量が小さく、音高が低い」音を QRS 波の可聴音に割り当て、P 波と T 波の可聴音を際立たせるようにした。また、不整脈診断のためには、P 波の重要度が高いので、P 波の可聴音に高い音高を割り当てて、より注意を向けやすいようにした。

これにより、可聴音によるさまざまな病態の区別が可能になった。特許出願を行い、さらなる研究開発を進めている。

研究テーマ D: 笑顔の可聴化

筋電の可聴化の一展開として、笑顔の可聴化を行った(図 4)。従来システムは、笑顔があると LED が光るものであり、笑顔のオンオフ状態の表示にとどまる。我々の提案では、笑顔を、情動表出を妨げない心地よい音で可聴化し、強い表情はしっかりとした音、淡い表情は柔らかい音というように、表情の変化が音で聞き取れる。様々な顔表情がマルチモーダル表現されることになった。視覚情報の処理が不得手な、視覚障害や知的障害をもつ人々を対象に、応用の可能性があると考ええる。

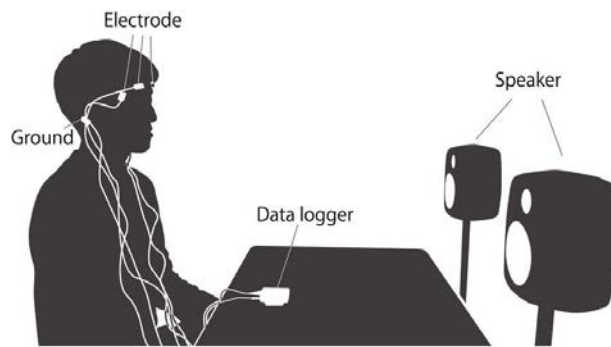


図 4: 笑顔可聴化システムの概要

目のまわりの表情筋(眼輪筋)の活動を筋電図で取得し、サポートベクターマシンで笑顔を判定した。笑顔と判定された時に、筋活動に対応させて泡がはじけるような音をリアルタイム合成し、笑うと泡の音になるシステムを構築した。筋活動が大きければ大きいほど、泡の音の数が大きくなり、音の高さも大きくなる。この研究では、ポジティブな感情の変化を邪魔せず、自然な表情表出を助けるような音デザインを目指した。表情表出の評価実験では、可聴化ありと可聴化なしの条件間で、筋活動の量的な差は見受けられなかったものの、主観評価ではポジティブな評価を得ている。

研究テーマ E: 身体性を統合した音楽情動コミュニケーションのモデル

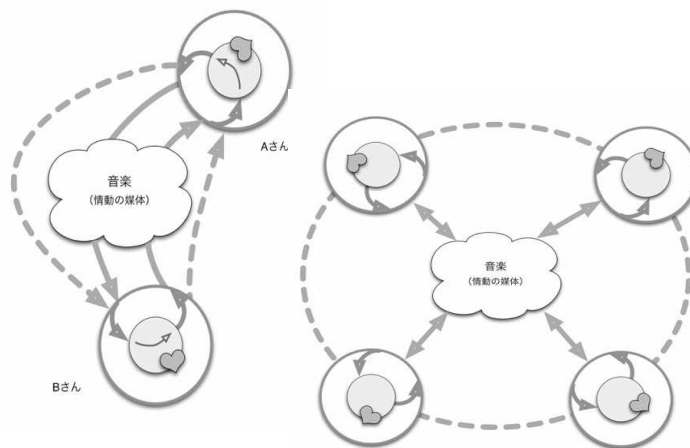


図 5: 音楽情動コミュニケーションのネットワークモデル

可聴化をはじめとする音のインタラクティブシステムでは、情動的な反応が見られることが多い。このような反応の根幹的なモデルとして、音楽情動の共有が挙げられる。本テーマでは、人々が音楽にのせて体をゆらしながら、音楽行動を楽しむようなシチュエーションにおける、音楽情動コミュニケーションのあり方を理論的に考察し、理論モデルの構築を行った。

従来の音楽情動の理論は、受動的・静的な聴取を扱ったものばかりだった、また、他者との情動のやり取りはほとんど考慮されていなかった。我々の提案では、他の人と一緒に、身体動作を伴う状態で、音楽を聞き、演奏するという能動的な音楽行動における音楽情動コミュニケーションの理論を作った。これは、わたしたちの日常の音楽活動に近い「やり取り」を中心にしたモデルであり、インタラクティブシステムなどにも応用可能な理論である(図 5)。この成果は「認知科学」誌に掲載され、また、この論文によって日本認知科学会奨励賞を受賞した。

研究テーマ F: データ可聴化の理論化

研究テーマ A-E を通じて、音色の知覚、データ構造の認知、視聴覚による情報認知の比較、バイオフィードバック、注意喚起、情動的反応、などの可聴音の認知と知覚に関する検討を行った。従来の可聴化は、大量のデータに関して、「そのまま音にする(けれどよくわからない)」「分析結果として抽出して、音にする」が主流だった。我々の取り組みを通じて、「ゲシュタルト認知」「注意」「情動」などの要因が検討され、データ構造を、聴覚上で認知される構造として再構成するための理論、枠組みが整備・構築されつつある。バラバラの音が「頭のなかで構造を取る」「頭のなかで統合・分析される」を実現した。このような新規的な枠組みは、未知数ではあるが、データ探索に適している、直観的なフレームワークだと考える。同時に、音楽心理学で展開されている「すでに作曲された音楽」の認知知覚に関する知見や、心理実験の手法が再検討され、インタラクティブシステムなどの開発に応用しやすい形に整備されつつある。

これらの取り組みをまとめた講演によって、Japan-America Frontiers of Engineering Symposium で Best speaker award を受賞した。また、データ可聴化の様々な理論的課題を俯瞰する二日間の国際ワークショップを 2015 年 9 月に筑波大学で実施した。ワークショップには 60 名が参加した。これらのトピックを一望できるよう、アブストラクトブックを作成した。

脳波音楽プロジェクト

脳波音楽の作品 “it’s almost a song…” の製作プロジェクトに共同研究で参加した。従来の脳波 (EEG) で作られる音楽は、脳波をそのまま音にするだけのものが殆どであった。また、ビジュアル面での完成度、インストラクション、ストーリー性も低かった。本プロジェクトでは、寺澤は音色合成、聴覚ゲシュタルト生成などで貢献した。他に、岡ノ谷 ERATO から最新の BMI 技術が提供され、東京芸術大学先端芸術表現学科から映像生成、作曲システム、インタラクティブデザインなどが提供され、没入感が高く、芸術作品として総合的に完成度の高い作品に仕上がった。コンピュータ音楽系のトップカンファレンスのコンサート(審査付き)に採択されたほか、世界各地での著名な会場での上演が行われた。東京芸術大学奏楽堂、ドイツ ZKM、International Conference on Music and Emotion(オーストラリア)、International Conference on New Instruments for Musical Expression(韓国)などのコンサート発表、また International Computer Music Conference(ギリシャ)、六本木アートナイトでのインスタレーション発表が行われた。

3. 今後の展開

さがけ研究をスタート地点として、それぞれのテーマに適した多方面への展開を行っていく予定である。例えば、脳波の可聴化では、より大人数の参加者を想定した音デザインに取り組み、作品発表につなげたい。また、他のテーマでは、障害者・高齢者支援に適切なものもあり、応用可能性を探っていきたい。心電図の可聴化では、特許出願を行ったので、企業と連携した研究開発を行いたい。可聴化の理論は、現在、複数の論文で様々なトピックがバラバラに検討されている段階であるので、これらを体系的にまとめた論文を出版したい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

従来のデータ可聴化研究で得られた可聴音は、「分析しなさすぎのため、データの存在感があるが、意味がわからない音」「分析しすぎて、意味はわかるがデータの全体像や詳細が失われた味気ない音」の両極端であった。音による情報理解のメカニズムが不明、あるいは評価や理論がない研究も多かった。そのような中、本プロジェクトでは、基礎研究「音の作り方、音の認知のされ方の理論」と応用研究「音をつけて評価する」を同時に推進し、「どうしてこのように聞こえるのか」「どうしたら聞こえるようにできるのか」を明らかにしつつ、情報の構造が、聴取によって理解が促されるような例を作ることができた。また、生体データに絞ったことで、応用可能性が逆に広がっていった。

基礎研究「音の作り方と認知の理論」では、聴覚心理学や音楽情動などをベースにした理論と、音合成の方法論ができつつある。応用研究「音をつけて評価する」では、音をつけることによるメリット(障害者支援、認知、情動)の評価(客観、主観)が行えた。これらにより、「意味がわかり、データの様子が手に取るように伝わる音」を達成し、また、可聴音の聴取による情報理解について、機序とエビデンスを明確にするアプローチを定着させた。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、生命動態情報の可聴化により、視覚に頼りがちな生命動態の観察に新たなメディアをもたらそうとするものである。申請当初は、線虫の動きを可聴化する小規模な実験を行っていたが、さがけの期間中に、脳波、運動、心電図、笑顔などに可聴化の対象が広がった。工学的にも、脳波や心電図の可聴化は、視覚による観察を補佐するレベルに達している。一方で、データ可聴化の研究は、それ自体、理論的に体系化されている段階ではない。そこで、音楽心理学を含め、音の構造認知や知覚、情動反応に関わる基礎研究を英文論文にまとめ、国際会議でBest Speaker Awardを受賞している。こうした基礎研究は、聴覚を通じて音データを再構成する認知過程の解明に資するものである。また、理論的課題を俯瞰する国際ワークショップを開催し、学術コミュニティの形成に寄与したことも高く評価できる。

本研究は、その成果として優れた作品をも生み出している。実際に脳波音楽の作品製作

プロジェクトに参画し、音色合成、聴覚ゲシュタルト生成などで貢献した。この作品は音楽と映像を融合した芸術性が評価され、コンピュータ音楽の国際会議に採択されると共に、世界各地での著名な会場で上演されている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Hiroko Terasawa, Jonathan Berger, and Shoji Makino. "In Search of a Perceptual Metric for Timbre: Dissimilarity Judgments among Synthetic Sounds with MFCC-derived Spectral Envelopes" Journal of Audio Engineering Society, vol. 60, No. 9, pp. 674-685. (2012)
2. 寺澤洋子, 星-柴玲子, 柴山拓郎, 大村英史, 古川聖, 牧野昭二, 岡ノ谷一夫: "身体機能の統合による音楽情動コミュニケーションモデル" 認知科学, Vol.20, No.1, p.112-129. (2013)
3. Takayuki Hamano, Tomasz Rutkowski, Hiroko Terasawa, Kazuo Okanoya, and Kiyoshi Furukawa: "Generating an Integrated Musical Expression with a Brain-Computer Interface" Proceedings of International Conference on New Interface for Musical Expression (NIME2013), pp. 49-54. Daejeon, Korea. (2013)
4. Hiroko Terasawa, Josef Parvizi, and Chris Chafe: "Sonifying ECoG Seizure Data with Overtone Mapping: a Strategy for Creating Auditory Gestalt from Correlated Multichannel Data." Proceedings of the International Conference on Auditory Display 2012 (ICAD2012), pp. 129-134. Georgia, USA. (2012)
5. Hiroko Terasawa, Yota Morimoto, Masaki Matsubara, Akira Sato, Makoto Ohara, Masatoshi Kawarasaki: "Guiding auditory attention toward the subtle components in electrocardiography sonification" Proceedings of International Conference on Auditory Display 2015 (ICAD2015), pp. 231-235, Graz, Austria. (2015)

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 1 件

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

論文誌

1. Masaki Matsubara, Takahiro Oba, Hideki Kadone, Hiroko Terasawa, Kenji Suzuki, and Masaki Iguchi: "Wearable Auditory Biofeedback Device for Blind and Sighted Individuals" IEEE Multimedia Magazine, Issue No.01 - Jan.-Mar. (2015 vol.22), pp. 68-73.

国際会議

1. Yuki Nakayama, Yuji Takano, Masaki Matsubara, Kenji Suzuki, Hiroko Terasawa: "Real-time smile sonification using surface EMG signal and the evaluation of its usability" Proceedings of International Conference on Auditory Display 2015 (ICAD2015), pp. 152-156, Graz, Austria.

(2015)

2. Takayuki Hamano, Hidefumi Ohmura, Ryu Nakagawa, Hiroko Terasawa, Reiko Hoshi-Shiba, Kazuo Okanoya, Kiyoshi Furukawa: “Creating a Place as a Medium for Musical Communication Using Multiple Electroencephalography” Proceedings of the 40th International Computer Music Conference, pp.637-642, Athens, Greece. (2014)
3. Teruaki Kaniwa, Hiroko Terasawa, Masaki Matsubara, Tomasz Rutkowski, Shoji Makino: “Electroencephalogram Steady State Response Sonification Focused on the Spatial and Temporal Properties” Proceedings of International Conference on Auditory Display 2014, pp. 1-7, New York, USA. (2014)
4. Masaki Matsubara, Hideki Kadone, Masaki Iguchi, Hiroko Terasawa, and Kenji Suzuki: “The Effectiveness of Auditory Biofeedback on a Tracking Task for Ankle Joint Movements in Rehabilitation” Proceedings of iSon 2013, pp. 81-86. Erlangen, Germany. (2013)
5. Masaki Iguchi, Masaki Matsubara, Hideki Kadone, Hiroko Terasawa, Kenji Suzuki: “How is auditory EMG biofeedback effective for blind people?” Proceedings of International Conference on Auditory Display 2013 (ICAD2013), pp. 307-310. (2013)
6. Teruaki Kaniwa, Hiroko Terasawa, Masaki Matsubara, Tomasz M. Rutkowski, and Shoji Makino: “EEG Steady-State Synchrony Patterns Sonification.” Proceedings of APSIPA Annual Summit and Conference, OS.6-BioSPS.1.5, pp. 1-6. California, USA. (2012)
7. Masaki Matsubara, Hiroko Terasawa, Hideki Kadone, Kenji Suzuki, Shoji Makino: “Sonification of muscular activity in human movements using the temporal patterns in EMG.” Proceedings of APSIPA Annual Summit and Conference, OS.6-BioSPS.1.2, pp. 1-5. California, USA. (2012)

受賞

1. 日本認知科学会奨励賞 (2014/09/16)
2. Best Speaker Award, Japan-America Frontier of Engineering Symposium (2014/06/11)

招待講演

1. Hiroko Terasawa: “Augmenting Signals against Noises: Understanding Human Body with Data Sonification” Japan-America Frontiers of Engineering Symposium. Tokyo, Japan. (2014.06)
2. 寺澤洋子: “生命のうごきを聴く:データ可聴化と音響合成のフロンティア” 日本ソフトウェア科学会 Future Technology Design (2014.09)
3. 寺澤洋子: “音楽情動コミュニケーションのメカニズム” 認知科学会芸術と情動分科会 (2013.07)
4. 寺澤洋子: “データ可聴化における情報の提示と理解” 日本音響学会春季研究発表会 (2013.03)
5. Hiroko Terasawa: “Toward an effective use of timbre in data sonification” Acoustics 2012 Hong Kong. J. Acoustical Society of America, Vol. 131, Issue 4, p. 3433. (2012)
6. 寺澤洋子: “データ可聴化による情報の表現と理解” ヒューマンインタフェース学会コミュニケーション支援専門研究委員会第7回研究談話会 (2012.03)

作品発表

“It’s almost a song...” a project by Kiyoshi Furukawa, Takayuki Hamano, Hidefumi Ohmura, Ryu Nakagawa, Reiko Hoshi-Shiba, Hiroko Terasawa, Tomasz Rutkowski.

- International Conference on Music and Emotion (Australia, 2011)
- 東京藝術大学 芸術大学交流演奏会（東京, 2012）
- International Conference on New Instruments for Musical Expression (Korea, 2013)
- International Computer Music Conference (Greece, 2014)
- 六本木アートナイト（東京, 2015）

ワークショップ開催

- International Workshop on Time Series Data Sonification (in conjunction with Tsukuba Global Science Week), 29-30 September, 2015. つくば国際会議場
<http://slis.tsukuba.ac.jp/lspc/events/TSDS2015.html>