「情報環境と人」研究領域 領域活動・評価報告書
－平成25年度中間評価実施研究課題－

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すものです。

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ます。

2．中間評価対象の研究課題・研究者名

件数： 4 件（うち、通常型 3 件、大挑戦型 1 件）

※研究課題名、研究者名は別紙一覧表参照

3．研究実施期間

平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月（※平成 28 年 3 月終了予定）

4．中間評価の手続き

研究者の研究報告書を基に、評価会（領域会議等）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。

（中間評価の流れ）

平成 25 年　1 月　領域会議の最終日を中間報告会と位置付け開催

平成 25 年　2 月　研究総括による中間評価

平成 25 年　2 月　被評価者への結果通知、研究計画見直し

5．中間評価項目

（1）研究の進捗状況と今後の見込み

（2）研究成果の現状と今後の見込み

（3）戦略目標に向けての貢献、成果の社会的インパクトの見通し

（4）大挑戦型については、さらに、大挑戦型として取り組む挑戦的な研究項目に対する進展についても評価項目とした。

6．評価結果

5 年型の 4 名の中間報告は、それぞれに個性があり優れたものです。分野横断的かつ実践的な研究が多く、「情報環境と人」の新たな研究領域を切り拓こうとする研究者のエネルギーを感じます。今後 2 年間で、それぞれの研究課題のゴールが、世界にインパクトのある業績・成果となるよう、一層の展開を期待したいと思います。

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」

自然言語処理を用いて診療記録を自動匿名化し、臨床情報を抽出する実践的な開発研究である。3年間の研究で、国際コンペティションで、医療表現抽出は22システム中1位、自動匿名化は15システム中3位という好成績を残すに至っている。また、この分野での研究コミュニティの形成に努めている。また、模擬病歴報告を言語資源協会（GSK）からデータとして提供し、このデータを利用した評価型ワークショップを 2013 年から始め、技術の普及を図っている。加えて、実際的な応用システムを開発している。例えば、糖尿病遠隔医療おける診断支援では、食事表現や運動表現を抽出するシステムを構築し、東大病院で臨床実験を行っている。ウェブ文章からの感染症把握の研究は、NHK ニュースや海外メディアで報道された。このように報告者は、社会的意義のある活動を展開し、自然言語処理の有用性を、医療・診療分野で如何なく発揮している。今後は、認知度の高い国際ジャーナルや国際カンファレンスでの研究成果の発表が望まれ

る。

2. 城戸　隆　研究者 「遺伝子解析と人口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」
（大挑戦型）

個人のゲノム情報から疾患リスクを予測するパーソナルゲノム時代が近づいている。本研究は、遺伝子の個人差に基づくオーダーメイド医療を実現していくための情報基盤を構築することを目指している。報告者の当初の研究計画は、疾患リスク予測手法の横断的評価、パーソナルゲノム情報が人に与える心理的影響の分析、パーソナルゲノム情報環境「MyFinder」の構築を含み、個人研究としては範囲が広い。このため、成果が出にくいのではないか、焦点を絞るべきではないかなどの意見が多かった。しかし、報告者の 3 年間の努力は、その懸念を覆しつつある。疾患リスク予測手法の評価では、3 社のパーソナルゲノムサービスを 22 疾患について比較した分析結果が国際ジャーナルに採択されている。他の 2 つのテーマについても精力的に進めているのに加え、Stanford 大学を場に Quantified Self コミュニティを形成し注目を得ている。大挑戦にふさわしい精力的な研究活動にブレーキを踏む理由はないと感じさせるに至ったことは高く評価できる。

3. 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」

従来、実験室環境でしか機能しなかった「人の動作認識技術」を、実世界で機能させるために実証的研究を進めている。加速度センサやジャイロセンサなどのモーションセンサを中心に、しかし、それに限らず、装着型デバイスを様々に活用するアイデアを生み出してきた。また、研究の基盤となる認識データベースの構築に努め、データ収集を補助するためのシステムやアルゴリズムを開発してきた。特筆すべきは、他に比類のないその活動量である。この 3 年間で、20 件以上の新聞等報道に加え、180 件を越える論文を国内外で発表している。研究室の多くの学生にモティベーションを与え、膨大とも言える実証的研究を通じて、実世界認識技術を蓄積してきたことは高く評価できる。トップカンファレンスで 6 件の論文が採択されていることは、その質においても、報告者の研究活動が並はずれたものであることを示している。

4. 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」

ナノ・マイクロ技術（要素技術）の研究者がインタラクションデザイン（イノベーション）にチャレンジするという極めて稀な研究である。「情報環境と人」というさきがけ研究の新しい形を示すものとして全面的にサポートしたい。報告者は 3 年の間に、人刺激・計測 MEMS の技術開発を背景に、触覚ディスプレイ、透過型ウェアラブル視線検出システム、角質層を貫くドライ電極などの多くの研究成果を生み、国際学会で発表してきた。その研究活動は、採択時の期待に添うだけでなく、周囲の研究者へのよい刺激となった。一方、イノベーションを期待されるインタラクションデザインへの切り込みは、現時点で成功しているとは言えない。先鋭的な要素技術とユーザ視点のデザインとのギャップをどう超えるか、持ち前の胆力を生かして思案しているのだろう。Google Glass への適用など、そのきっかけを探す努力を続けていることも評価できる。

7.　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 26 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	産東京大学大学院　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26年3月末現在。

（1）外部発表件数

	国　内	国　際	計
論　文	20	18	38
口　頭	150	47	197
その他	17	4	21
合　計	187	69	256

（2）特許出願件数

国　内	国　際	計
2	0	2

（3）受賞等

・荒牧　英治　研究者　（計 13　件）

1. 第 18 回言語処理学会　　優秀賞　（2011/03/09）
2. CLIO Healthcare Awards 2011　Gold Awards（最高賞）（2011/11/10）
3. 第 31 回社会言語科学会　　研究大会発表賞　（2013/09/08）　他

・寺田　努　研究者　（計 23　件）

1. 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（2011/10/01）
2. 情報処理学会(DICOMO2011)　最優秀論文賞（2011/08/28）
3. 情報処理学会(DICOMO2012)　最優秀論文賞（2012/10/02）
4. 第 13 回ユビキタスコンピューティング国際会議（UBICONP2011）Best Video Award（2011/9/21）
5. 4th Augmented Human International Conference (AH 2013)　Best Paper Award（2013/03/07）
6. 情報処理学会　　2013 年度論文誌ジャーナル/JIP 特選論文（2014/01/15 公表）

（4）招待講演(パネリスト含む)

国際　9 件　（荒牧英治研究者　1 件、城戸　隆研究者　3 件、寺田　努研究者　1 件、三木則尚研究者　4 件）
国内 37 件　（荒牧英治研究者　8 件、城戸　隆研究者　3 件、寺田　努研究者　26 件）

（5）出版物

・城戸　隆　研究者（著者）　ゲノムが解き明かす自分さがし「ぼくはどんなふうに生きるのだろうか」
出版：星の環会（2011/07/07）

・寺田　努　研究者（共著）　パーソナルヘルスケア「ウェアラブルコンピューティングに基づく
健康管理システム」　発行：（株）エヌ・ティー・エス（2013/10）

別紙

「情報環境と人」領域　中間評価実施　研究課題名および研究者氏名

研究者氏名 （参加形態）	研　究　課　題　名 （研究実施場所）	現　職（平成 26 年 3 月末現在） （応募時所属）	研究費（3 年間） （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 （京都大学）	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 特定准教授 （東京大学　知の構造化センター 講師）	53
城戸　　隆 （出向）	遺伝子解析と人口知能技術を 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）	株式会社　理研ジェネシス マネージャー （同上）	61
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）	神戸大学大学院工学研究科 准教授 （同上）	48
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 （慶応義塾大学）	慶応義塾大学理工学部　准教授 （慶応義塾大学理工学部 専任講師）	60

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

本研究のねらいは臨床現場で日常的に記述される診療録について、どのように自然文で自由記載されてもこれを自動匿名化し、臨床情報を抽出する技術基盤を研究開発することである。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よせられている。しかし、現状では、電子化された言語データを処理する枠組みがないため、データは活用されるどころか、情報過多を起こし現場の医療者の負担をさらに増しているケースさえある。以上の背景のもと、本研究では、カルテ文章について自動匿名化を行い、情報を抽出する技術を研究開発する。さらに、この技術を、ウェブ上のテキスト（ブログやソーシャルメディアなど）や患者が記述した闘病記など、電子カルテ以外のテキストにも応用する。

2． 研究成果

（1）概要

本研究は、電子カルテの匿名化，情報抽出を目指す。さらに、この技術を他の医療文章にも応用する。これらは以下の手続きを踏んで研究されている。
（1）本邦最高レベルのカルテ文章の言語解析（自動匿名化，日付表現，疾患表現，薬品表現などの医療表現抽出）を実現するシステムを構築する。
（2）上記技術とリソースを公開し、研究コミュニティを活性化させる。
（3）上記技術を他の文章（ウェブ上のテキスト（ブログやソーシャルメディアなど）や患者が記述した闘病記）に応用する。

以上の研究を統合すると、本研究の課題は，医療に関する言語処理の基盤となる課題を含んでおり、本邦における医療分野の自然言語処理を確立する活動そのものといってよい。研究開発／コミュニティ形成／応用の3つのサイクルを回す。

（2）詳細

1）本邦最高レベルのカルテ文章の言語解析を実現するシステムの構築

電子カルテの普及により、過去例を見ない大規模な統計的研究や医療支援システムが現実のものとなりつつある。このデータをさらに有効に利用するために、言語処理に対する需要は多い。主要なものとして、自動匿名化、医療表現（日付表現、疾患表現、薬品表現）の抽

出、正規化がある。これらの多くの技術は、従来から言語処理で扱われてきたタスクと類似したものである。

本研究では、自動匿名化と医療表現抽出に関して、固有表現抽出技術を応用したシステムを開発し、国際コンペティション（NTCIR 評価型ワークショップ）にて、好成績を残した（医療表現抽出にて22システム中1位、自動匿名化にて全15システム中3位）。また、これを簡便に利用できるように、OCR と組み合わせたシステムなどを実現し、普及に務めた。

2） 研究コミュニティの確立

米国を始めとした海外では 1960 年代から医療分野における言語処理研究が盛んに進められている。しかしながら，他の分野と比べて進展が遅いという問題点が指摘されている。その問題の原因として、Chapman 等は次の2点を挙げている。（1）入手可能なデータ（コーパス）が不足している。（2）データ（コーパス）の仕様の方針が統一されていない。我が国においても、これらへの懸念は同様であり、日本語で書かれたアノテーション済みの医療文書を研究者が共有できるようなシステムや体制が望まれる。

本研究では、有志の医師により模擬病歴報告を記述し、これを配布することで、基盤となるデータを利用可能にした。これらは昨年度から（特定非営利活動法人）言語資源協会（GSK）から配布されている。さらに、この一部を利用した評価型ワークショップを 2013 年開始、2014 年開催予定し、技術の普及を図っている。

図1（左）評価型 WS NTCIR-MedNLP1，（中）医療情報学会連合大会 オーガナイズドセッション「本邦初の医療分野の言語処理コンテスト」、（右） The First Workshop on Natural Language Processing for Medical and Healthcare Fields.

□

3） 応用事例の構築

医療では、実用化、応用が重視される。そこで、本研究においても、さまざまな応用を試みた。これは，電子カルテ文章にとどまらず、多角的に試行した。

<u>（A）糖尿病遠隔医療おける診断支援</u>

世界に先駆けて超高齢化社会を迎える本邦において，生活習慣病である糖尿病を可能な限り患者が自己管理することは重要な課題である。しかし、自己管理の要である運動や食事の記録は従来困難とされてきた。

本研究では、言語処理を用いて、テキストデータや音声データから食事表現や運動表現を抽出するシステムを構築した。平成22年度，平成24年度の東大病院での臨床実験に利用さ

れ、言語処理部を含む、システム全体の有効性が確認された。

(B)ウェブ文章からの感染症把握

国際化とともに、新型インフルエンザやバイオテロの脅威などさまざまな医療クライシスが問題になりつつある。迅速な対応を行うためには，これまでのサーベイランスに加え、 ICT を活用した迅速な状況把握の可能性が注目されている。

本研究では、位置情報が付与されたソーシャルメディアのテキストから、インフルエンザや風邪の症状(鼻水、発熱など)の流行を把握するシステムを構築し、運用を継続している。中でも、インフルエンザに関しては、感染症情報センターの実測値との高い相関を示し、50報を超える引用をはじめ、NHK ニュースや海外メディアから報道された。現在、感染症を把握することが、医療として有効であるのか、実際にインフルエンザ・ワクチン接種率の調査を行っている。

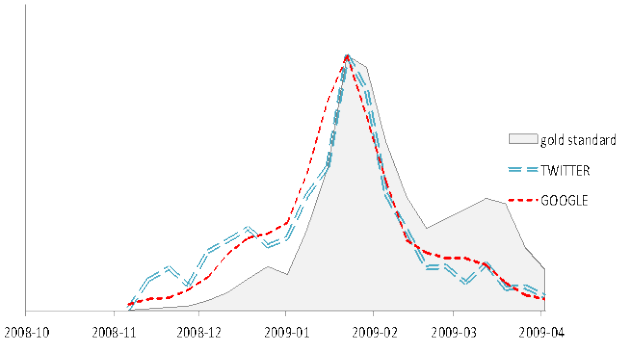


図2(左)風邪流行把握サイト「カゼミル・プラス」、(右)Twitter によるインフルエンンザ流行把握の予測(TWITTER)、Google Flu trend (GOOGLE)、感染症情報センター(gold standard)報告の比較。

(C)患者主導の記録の利活用:

研究班が存在しないため、実態把握が困難な希少難治疾患、患者の心理面での検討が重要な緩和ケア，医療政策の評価など、患者が発信する情報が有用となる問題は多くある。しかし、専門的な知識をもたない患者の記述する文章の正確性、信頼性も同時に危惧されている。

本研究では、闘病 SNS サイトのデータを用い、闘病記にどの程度の医学的表現が使用されているか、読み手が得られる患者像はどの程度正確であるのか、といった基礎調査、及び、闘病記執筆と生活の質(QOL)の関係を明らかにした。

3.　今後の展開

今後は主に研究テーマを2つに絞る。

（1）ウェブ文章からの感染症把握のコホート研究

本研究の応用先で、もっとも注目をあびたものはソーシャルメディアからの感染症把握であった．そこで、この研究をさらに推し進め、情報装置としては世界的にもまれな医学的見地からの妥当性を検証する。具体的には，サービスを利用した群、利用しなかった群の間で、ワクチン接種率、および、インフルエンザ罹患率に差があるかどうかを調査し、インフルエンザ予防における妥当性を検証する。これは、医学的には前向きコホートの一種であると言える。京都大学附属病院や学外の e ヘルスの専門家と共同し、これを進める。

（2）持続する研究コミュニティの確立

本プロジェクトは医療言語処理コンテストや模擬電子カルテ・データ配布など研究コミュニティ確立にも力を入れた。これらは，競争的獲得資金、有志の研究協力者やボランティアの支援により維持されている。今後、体制を整えることで、持続可能な活動とし、医療言語処理という分野が根付くように図る。

4.　評価

（1）自己評価

研究開始当初は、糖尿病遠隔医療といった臨床的介入を伴う情報技術を構築し、情報技術が患者を治癒することを評価することを目指した。これは、創薬の情報版とも考えることができ、＜情報処理という薬＞の医学的評価といってもよい。

しかし、このスキームは患者、医師、情報研究者と3者のすべての合意が必要であり、研究サイクルが早い情報との共同が難しい。そこで，後半（平成25年度以降）からは、闘病記や SNS など直接、患者からデータを提供してもらい、これを医師との連携のもと研究者主導で研究を行うというスキームに徐々にシフトしてきた。どちらのスキームが本邦の医療体制に向いているのかは研究終了時に、その成果で明らかになるであろう。

一方、医療言語処理という研究分野は国内に競争相手がほぼいないという小さなコミュニティである。そこで、成果や精度を競うのではなく、模擬電子カルテといったリソースの公開やワークショップ開催にも努めた。模擬電子カルテは3回のリリースを行い、国際ワークショップは3回、国内テーマセッッションは2回を主催した。このような活動は、さきがけ研究という恵まれた環境を得た研究者の義務として継続したいと考えている。

（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、中間評価を行った）。

自然言語処理を用いて診療記録を自動匿名化し、臨床情報を抽出する実践的な開発研究である。3年間の研究で、国際コンペティションで、医療表現抽出は22システム中1位、自動匿名化は15システム中3位という好成績を残すに至っている。また、この分野での研究コミュニティの形成に努めている。また、模擬病歴報告を言語資源協会（GSK）からデータとして提供し、このデータを利用した評価型ワークショップを 2013 年から始め、技術の普及を図っている。加えて、実際的な応用システムを開発している。例えば、糖尿病遠隔医療おける診断支援では、食事表現や運動表現を抽出するシステムを構築し、東大病院で臨床実

験を行っている。ウェブ文章からの感染症把握の研究は、NHK ニュースや海外メディアで報道された。このように報告者は、社会的意義のある活動を展開し、自然言語処理の有用性を、医療・診療分野で如何なく発揮している。今後は、認知度の高い国際ジャーナルや国際カンファレンスでの研究成果の発表が望まれる。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. Mizuki Morita, Yoshinobu Kano, Tomoko Ohkuma, Mai Miyabe, Eiji Aramaki: Overview of the NTCIR-10 MedNLP task, In Proceedings of NTCIR-10, 2013.
2. 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, 2012, 自然言語処理, Vol.19, No.5.
3. 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.
4. Eiji Aramaki, Sachiko Maskawa and Mizuki Morita: Twitter Catches The Flu: Detecting Influenza Epidemics using Twitter, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 2011.

(2)特許出願

研究期間累積件数: 1件

1.

発　明　者: 荒牧英治, 颯々野学, 牧野恵, 内海慶, 塚本浩司

発明の名称: 情報処理装置、情報処理方法、及びプログラム

出　願　人: ヤフー株式会社

出　願　日: 2011 年 08 月 03 日(非公開希望)

出 願 番 号: 2011-170493

(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)

<u>招待講演</u>

(1)荒牧英治, 北雄介, 仲村哲明, 久保圭, 島本裕美子, 臼田泰如, 宮部真衣: 100 人マップ: 100 人で作る京都地図, 第5回集合知シンポジウム (2013/12/04, 東京)

(2)Mizuki Morita, Kano Yoshinobu, Ohkuma Tomoko, Mai Miyabe, Eiji Aramaki: MedNLP Task at NTCIR2012-13 & 2013-14, 2013. (2013/09/27, Valencia, Spain)

(3)「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 年 7 月 7 日, 滋賀県大津).

(4)「医療テキストの可能性 ～0／1でないデータを活かす～」, G-pro 講演, 2012 (2012 年 12 月 18 日, エーザイ茗荷谷).

(5)「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 年 10 月 11 日, 京阪奈 NICT).

(6)「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 年 3 月 2 日, 日本教育会館, 東京).

（7）「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 年 2 月 24 日, 筑波大学).
（8）「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 プログラム, 2011 (2011 年 12 月 1 日, けいはんなプラザ(京都府相楽郡精華町)).
（9）「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 年 4 月 29 日, パシフィコ横浜).

受賞

- 2013, 京都大学 学際研究着想コンテスト 奨励賞 （研究主導者(PI)として） .
- 2013, 第 12 回情報科学技術フォーラム (FIT2013), FIT 奨励賞 （12%=1 件/約 8 件）（研究主導者(PI)として） .
- 2013, 第 32 回医療情報学連合大会, 優秀口演賞 （3%=数件/200 件）（共著者として).
- 2013, 第 31 回社会言語科学会, 研究大会発表賞 （3%=1 件/30 件）（研究主導者(PI)として).
- 2012, WebDB フォーラム, 企業賞（チームラボ賞）（共著者として）.
- 2012, 言語処理学会 第 18 回年次大会, 優秀賞 （2-3%=数件/約 340 件)（研究主導者(PI)として）.
- 2012, 言語処理学会 第 18 回年次大会, 若手奨励賞 （2-3%=数件/約 340 件）（共著者として）.
- 2012, テキストアノテーションワークショップ 2012, 奨励賞 （16%=3 件/18 件）（研究主導者(PI)として).
- 2012, マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), ヤングリサーチャ賞 （10%=30 件/300 件）（研究主導者(PI)として).
- 2012, 第 31 回医療情報学連合大会, 優秀賞 （1.5%=5 件/300 件） （共著者として).
- 2011, CLIO Healthcare Awards 2011, Gold Awards (最高賞) （技術提供サイト「カゼミル」による）（世界最高峰の広告コンクール）
- 2011, Spikes Asia Advertising festival (スパイクス アジア 広告祭) 2011, デジタル部門 Gold Awards (第二位)（技術提供サイト「カゼミル」による）
- 2011, 第 81 回グループウェアとネットワークサービス研究会, 優秀発表賞 （研究主導者(PI)として)（10%=2 件/19 件）.

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
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、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） 疾患リスク予測手法の評価

2） パーソナルゲノム情報の社会心理学的評価

3） パーソナルゲノム情報環境の提案

（2）詳細

1） 疾患リスク予測手法の評価

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、すでに実用化され有望な技術だが、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。

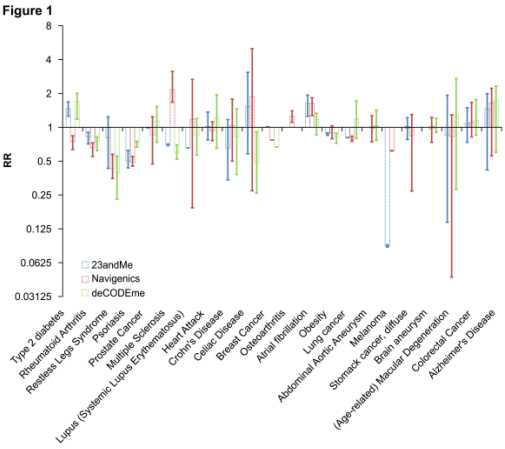
Venter らの先行研究(Nature, Oct 2009)で示されているように、現在の疾患のリスク予測には様々な不整合がある。また、人種差によっても疾患リスクは大きく変わってくる。そこで我々はパーソナルゲノムによる予測能力が、どのような項目でどの程度期待できるのかを理論的、実証的、体系的に評価していくための研究を行った。この目標に向けて我々は下記の解析を行った。

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

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	
Type 2 diabetes	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑	23andME, deCODEme are customized for East Asian
Rheumatoid arthritis	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	23andME, deCODEme are customized for East Asian
Restless legs syndrome	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	
Psoriasis	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	deCODEme is customized for East Asian
Prostate cancer	=	↑	↑	NA	NA	↑	=	↓	↓	23andME, deCODEme are customized for East Asian
Multiple sclerosis	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓	
Lupus (systemic lupus erythematosus)	NA	↑	↑	↓	↓	↓	NA	↓	↓	
Heart attack	↓	↓	=	↑	↑	↑	↓	↓	↓	deCODEme is customized for East Asian
Crohn's disease	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	
Celiac disease	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	
Breast cancer	NA	NA	NA	=	↓	↓	NA	NA	NA	
Osteoarthritis	NA	↑	NA	NA	↑	NA	NA	↑	NA	
Atrial fibrillation	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	deCODEme is customized for East Asian
Obesity	↓	↓	↓	↓	=	↓	↓	↓	↓	
Lung cancer	↓	↓	=	↓	↓	↓	↓	↓	↑	deCODEme is customized for East Asian
Abdominal aortic aneurysm	NA	=	↓	NA	↑	↑	NA	↓	↓	
Melanoma	↓	↓	NA	↓	↓	NA	↓	↓	NA	
Stomach cancer, diffuse	↓	=	NA	=	↑	NA	↑	↓	NA	23andME is customized for East Asian
Brain aneurysm	NA	=	↓	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 1 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が得られた。例えば、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、現在我々は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ている。

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。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。どのような遺伝子リスク知識が、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。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ている。また、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2年間にわたり実施し、データを蓄積している。同時に、伝え方のコンテンツの開発も進めている。(学会発表 3, 5, 6) これらのデータや伝え方のコンテンツは、今後の研究に重要な手掛かりを与えるものである。

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、規制すべきとする意見に分かれているが、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も行った。(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。

3) パーソナルゲノム情報環境の提案

パーソナルゲノム情報環境「MyFinder」の構想と新たな研究フレームワークを提案した。(学会発表 1)(特許出願 1)(論文 2)

これは人工知能における知的エージェントの概念と、生命医科学におけるパーソナルゲノム研究を融合させるものである。 近年のパーソナルゲノム研究が、主に疾患リスクや薬剤応答性といったオーダーメイド医療の実現を主眼にしているのに対し、MyFinder では現代の急速なライフスタイルの変化が、心身にどのような進化的影響を与えているのかなど、ウェルネスや精神医科学、行動科学などの側面も重視している点が異なる。この構想のコンセプトを図 2. に示す。

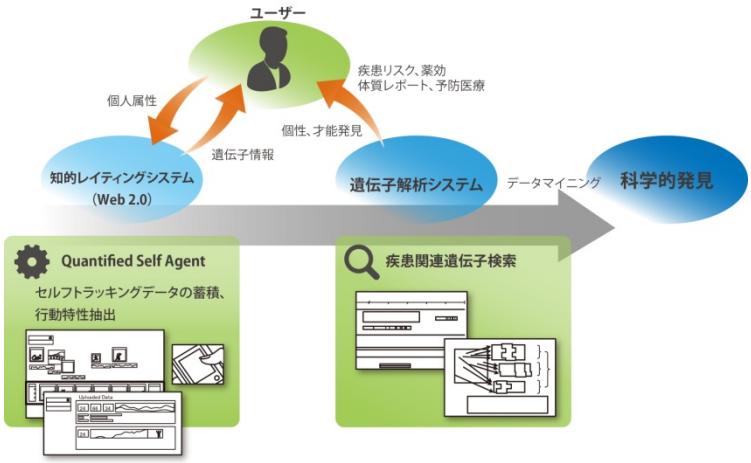


図 2　MyFinder 構想

MyFinder には2つの大きな目標がある。一つは「人に気づきを与える情報環境」の実現である。MyFinder 構想では、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日々、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ていく。 この目的を遂行するために、自分自身の遺伝子データ、及び様々なセルフトラッキングデータを用いて図 3 に示すような項目の評価を行ってきた。(講演　2,3,4)

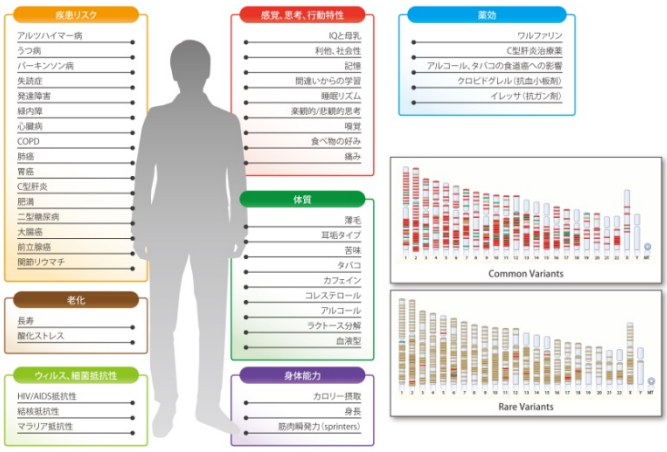


図 3　パーソナルゲノムデータの解析と評価

もう一つは、「コミュニティコンピューティングによる科学発見」を目指すものであり、我々が Citizen　Science とよんでいる様々なプロジェクトを開始している。特に我々は、メタボリック(糖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ており、参加型の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)

以上の活動は、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、1件の国内ジャーナル誌、3 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。 また上述した新たな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ら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)(論文誌特集 1)

また同時に、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。 これからも研究活動と並行して、パーソナルゲノムをめぐる啓発活動を行い、社会発信と同時に社会貢献を意識する活動を継続していきたいと考えている。

3. 今後の展開

今後、提案した MyFinder 構想を具現化し、プラットフォームの開発とフレームワークの評価を進めていく予定である。これまでの3年間で自分自身の全ゲノム解析データと、様々なセンシングデータを収集し解析を行ってきたが、今後は遺伝子と環境からのセンシング情報を統合し、社会心理学的な知見を踏まえて「人に気づきを与える情報環境」を評価していく。遺伝子解析においては、パーソナルゲノム情報の評価指標(疾患リスク予測や人種差の影響の特徴付けなど)について重要な手掛かりが得られつつあり、国際ジャーナルへの投稿を目指す。

4. 評価

(1)自己評価

研究開始当初は、Web 検索とのアナロジーから、「Google」に匹敵する画期的なイノベーションを、パーソナルゲノムの分野で生み出すことを意識していた。MyFinder 構想を提案し、国際シンポジウムの開催など、新しい研究領域の開拓に向けたフレームワークを作りあげている点、国際ジャーナル誌に掲載された遺伝子リスクの評価に関する研究が、学際的、社会的にも注目され、軌道にのってきていることは、当初の狙いに沿って進んでいるといえる。またスタンフォードを始めとするグローバルな研究環境や 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、今後の飛躍にむけた大きな財産であると考えている。一方で、MyFinder 構想で「自分とは何か」という問題と向き合う中で、当初想定していなかった新らたな視点や問題意識も生じてきた。今後更に洞察を進めていきながら、これまで得られた気づきや知見をもとに、社会的意義が高く、パラダイムシフトを起こすことが可能な研究として展開させていきたい。

(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、中間評価を行った)。

個人のゲノム情報から疾患リスクを予測するパーソナルゲノム時代が近づいている。本研

究は、遺伝子の個人差に基づくオーダーメイド医療を実現していくための情報基盤を構築することを目指している。報告者の当初の研究計画は、疾患リスク予測手法の横断的評価、パーソナルゲノム情報が人に与える心理的影響の分析、パーソナルゲノム情報環境「MyFinder」の構築を含み、個人研究としては範囲が広い。このため、成果が出にくいのではないか、焦点を絞るべきではないかなどの意見が多かった。しかし、報告者の3年間の努力は、その懸念を覆しつつある。疾患リスク予測手法の評価では、3 社のパーソナルゲノムサービスを 22 疾患について比較した分析結果が国際ジャーナルに採択されている。他の 2 つのテーマについても精力的に進めているのに加え、Stanford 大学を場に Quantified Self コミュニティを形成し注目を得ている。大挑戦にふさわしい精力的な研究活動にブレーキを踏む理由はないと感じさせるに至ったことは高く評価できる。

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, 2014, in press.

（2）特許出願

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

（2）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)

著作物

1. **城戸　隆**, 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「単行本」, 星の輪出会, 2011

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

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.

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

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 27 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、フォトリ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，一般公開準備中である。

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。提案者らは主にデータ蓄積の際に必要となるラベリング処理に関する研究を推進した。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、疲労によるジェスチャの軌道変化調査、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 20 編(国際 4 編)、国際会議発表 32 編、国内発表 135 編など多くの成果を挙げ、国際会議の論文賞を含む 20 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。本サブテーマではこの 3 年間で、(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。

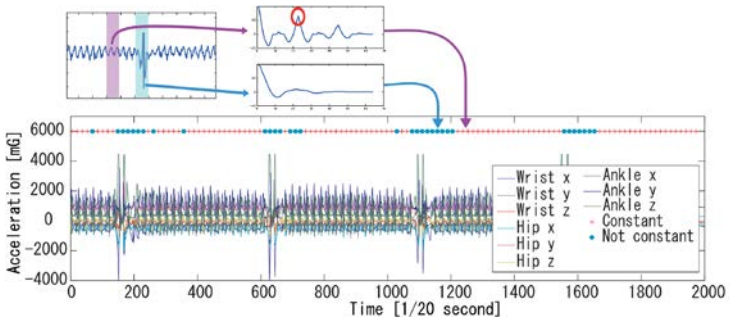
直観性: ジェスチャなどの身体動作は言葉で表現しにくいため、覚えることが難しく、また覚えてから時間が経つほどに動作が変化してしまう。

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。

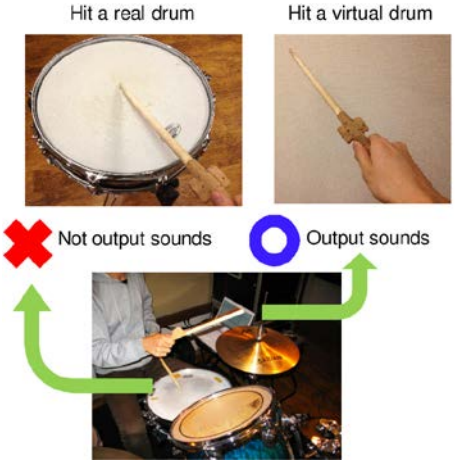
本サブテーマの目的は、これらの性質を備えた認識基盤を構築することである。例えば、多様性の問題に対処するために、自己相関を用いた認識高度化技術を確立した。従来の動作認識技術では、「ジェスチャと一般動作が同時に認識できない」「認識前に静止しないとジェスチャを正しく認識できない」といった問題があった。そこでこの研究では、下図に示すように、繰り返し動作を含む運動波形の自己相関にはピークが現れる一方、ジェスチャにはピークが現れない(図上部)ことを利用し、該当区間にジェスチャが行われたと判断した場合のみ(図下部)、ジェスチャ認識アルゴリズムを使用する。この手法により、運動中の 7 種類のジェスチャ認識にお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



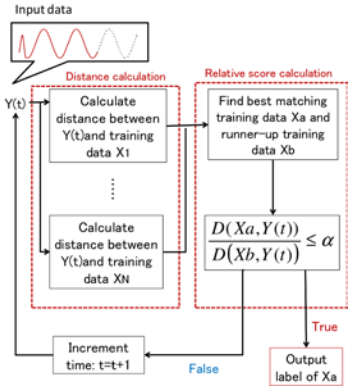
さらに、この技術を体の部位ごとに個別に適用し、例えば「歩く動作」と「投げるジェスチャ」を個別に学習した場合でも、「歩きながら投げる」という行動を認識できるようになった。日常

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こ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、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でい

る。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に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。

状況に特化した認識技術としては、2013 年度より、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の提案を始めており、最終年度までにはさらなる成果が挙がる予定である。

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て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、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を構築した。

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。現在は、表面体温を用いて人間のストレスを認識するシステムや、ポケットの中に入れたものを認識するデバイス、筋電センサを用いて日常生活に潜む筋力トレーニングを検出するシステムの構築に取り組んでおり、1 年以内に成果をまとめる予定である。

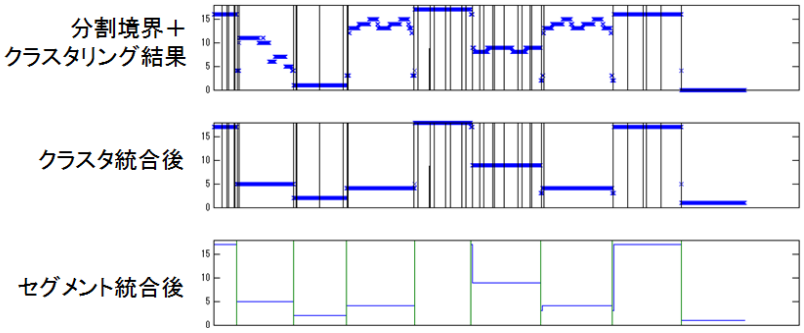
[1] 寺田 努, ``ウェアラブルセンサを用いた行動認識技術の現状と課題,'' コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 28, No. 2, pp. 43--54 (May 2011).

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、現在ラベリング作業のゲーム化に取り組んでいる。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可能性がある。

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
円を描く	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
三角を描く	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
四角を描く	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
星印を描く	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

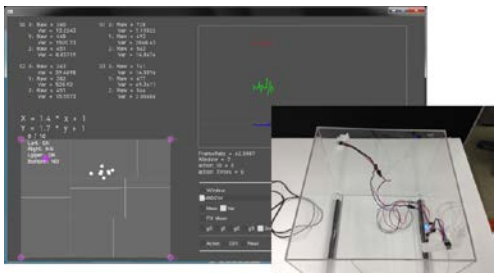
*具体度 4 は図形，具体度 5 は動画

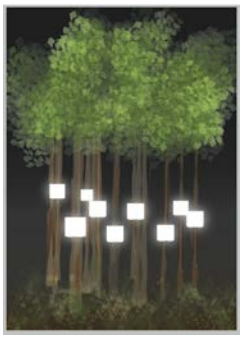
そのほかにも、演劇家においてマイム動作と実動作の違いを調べるためのセンサデータセットの構築や、プロジェクタを装着する際の、装着部位ごとのプロジェクタの揺れ情報、のべ 30 時間以上の会議中の頭部動作など、さまざまな状況における加速度データをこの 3 年間で蓄積した。加速度データ以外では、上記会議データにおける音声・画像等のデータ、観光地における会話データ、状況別のヘッドマウントディスプレイの注視データなど、実世界システムを構築するにあたって重要なデータを多数蓄積した。

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。

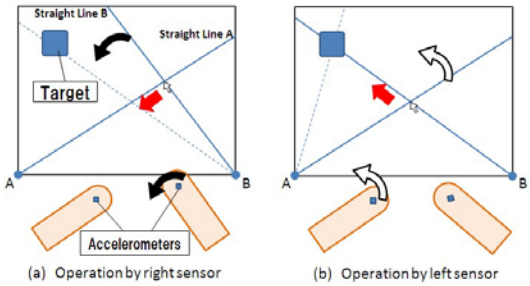
研究テーマ 3) システムプラットフォーム構築と実世界応用

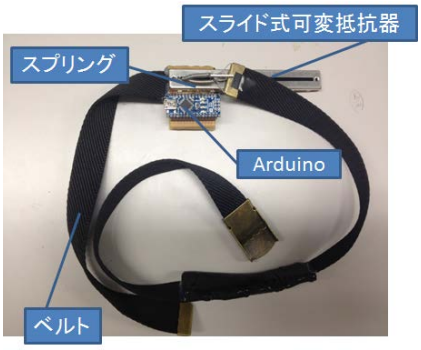
上記の動作認識基盤に基づき、いつでもどこでも状況依存インタフェースの利用およびカスタマイズが行えるシステムプラットフォームを開発した。システムプラットフォームは、動作認識基盤およびアプリケーション実行ミドルウェア、ディペンダビリティインタフェースからなる。アプリケーション実行ミドルウェアは、提案者らがこれまでに開発したウェアラブルコンピューティング向けシステムプラットフォームである Wearable Toolkit を改良して用いた。このミドルウェアは、エンドユーザであっても容易にサービスが記述でき、システムを稼働させたままサービスの追加・削除・変更が行えるようにイベント駆動型ルールによる動作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、腹囲の大きさと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、どう動くかわからない演者の動きをロバスト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

残り 2 年間に関しては，それぞれのサブテーマに関して、下記のように進めていくことを考えている。基本的にはこれまでの 3 年間の進め方と同様に、実世界に適用し、適用によって生じた問題点がデータ不足であればデータベースを構築し、根本的な問題であればそれを解決するアルゴリズムを構築するというサイクルを継続・加速していく予定である。

(1) 動作認識技術の確立

引き続き、現在解決していない認識技術に関する提案を続ける。特に、4 年目に関しては早期認識技術を拡張し、ジェスチャの早期認識だけではなく、姿勢の早期認識やさらには高次のコンテキストの早期認識に取り組んでいく予定である。これら即時性に関する技術だけでなく、正確性、直観性、汎用性において解決していない問題についてそれぞれ取り組んでいく予定である。ただし、4 年目前半時点で一度機能拡張を止めて、ライブラリのリリースを行う。以降はライブラリの拡張と新規提案を並行して行っていくことになる。

(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

システムプラットフォームに関しては、(1)において構築する統合ライブラリが完成し次第、現在のシステムプラットフォームに採り入れ、アーティスト含めたさまざまな人たちがシステムを使いやすいように改良を重ねていく予定である。また、実利用に関しては，他大学(大阪府立大学の GPS 経路予測グループ、北陸先端大学の看護情報記録のグループ)や、他機関(NTT の音楽療法システム、神戸観光協会の観光案内システム)と積極的に連携し、実世界指向インタフェースを活用したシステム作りを進めていく。その他、スポーツ、お笑い、音楽ライブ、などにおいて認識技術を活用する取り組みを進めていく予定である。

4.　評価

（1）自己評価

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 3 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。4 年目以降においてもすでに新たに取り組む予定になっている実践が控えており、実運用を中心とした活動はさきがけ期間中安定して行えると確信している。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、20 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 20 編(うち海外 4 編), 国際会議発表 32 件、その他の発表 180 件を越える成果を挙げており、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 3 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)、情報処理学会 2013 年度特選論文、Augmented Human Conference ベストペーパを含め、20 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。

一方、成果の公開に関しては想定よりも遅れており、蓄積データの公開は現在携帯端末把持ジェスチャのみである。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も公開が遅れており、中間報告には間に合っていない。これは、機能が随時追加されており、ライブラリの作成にはいったん機能追加を止める必要があるためである。4 年目の早い時期に最初の公開を行いたいと考えている。

まとめると、学術的成果および実践利用に関しては想定以上の成果を挙げているが、プラットフォームの提供・公開に関しては想定より遅れているため、改善が必要である。

（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、中間評価を行った）。

従来、実験室環境でしか機能しなかった「人の動作認識技術」を、実世界で機能させるために実証的研究を進めている。加速度センサやジャイロセンサなどのモーションセンサを中心に、しかし、それに限らず、装着型デバイスを様々に活用するアイデアを生み出してきた。また、研究の基盤となる認識データベースの構築に努め、データ収集を補助するためのシステムやアルゴリズムを開発してきた。特筆すべきは、他に比類のないその活動量である。この 3 年間で、20 件以上の新聞等報道に加え、180 件を越える論文を国内外で発表している。研究室の多くの学生にモティベーションを与え、膨大とも言える実証的研究を通じて、実世界認識技術を蓄積してきたことは高く評価できる。トップカンファレンスで 6 件の論文が採択されていることは、その質においても、報告者の研究活動が並はずれたものであることを示している。

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. 村尾和哉, 寺田 努, ``加速度センサの定常性判定による動作認識手法,'' 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 6, pp. 1968--1979 (June 2011).
3. 寺田 努, 小林泰貴, 塚本昌彦, ``においに基づくコンテキストアウェアシステム,'' 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. 29, No. 4, pp. 324--334 (Dec. 2012). 推薦論文
4. 中村憲史, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦, ``虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法,'' 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1433--1441 (Apr. 2013). 推薦論文, 2012 年度山下記念研究賞受賞
5. 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

（2）特許出願

なし

（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）

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, カンテーレ賞 (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「神戸大学のミリョク」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).

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. ``Designger 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).

3）招待講演・パネリスト等

1. ``Activity Recognition 関係の国際研究動向,'' 加速度センサを用いた行動識別のための HASC チュートリアル，招待講演 (Oct. 2010).
2. ``行動認識に関するチュートリアル,'' 加速度センサを用いた行動識別のための HASC チュートリアル，チュートリアル (Oct. 2010).
3. ``2030 年の人の「わ」を考える,'' まほろばワークショップ，パネリスト (Nov. 2010).
4. ``Technology → Design of New Rules,'' Technology x Art x Design, 講演 (Sep. 2011).
5. ``行動センシングのエンタテインメント・身体拡張への応用,'' 電子情報通信学会関西支部専門講習会～人間行動の理解から産業・生活・エンタテインメント等への展開～，招待講演 (Nov. 2011).

6. ``ウェアラブルセンシングとエンタテインメント,'' 若手グローバル研究リーダー育成プログラムシンポジウム, 招待講演 (Nov. 2011).
7. ``ウェアラブルセンシングを活用したジェスチャ・状況認識技術について,'' 第 2 回 HASC Challenge シンポジウム ～携帯端末を利用した行動認識・センシングを目指して～, 招待講演 (Jan. 2012).
8. ``実世界で「使える」装着型センサデータの処理技術,'' 第 4 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM 2012), チュートリアル (Mar. 2012).
9. ``地域イベントと連携した研究活動の事例紹介,'' 第 8 回サイバー関西プロジェクト研究会, 講演 (July 2012).
10. ``センシングフィードバックと健康・エコ支援,'' 特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構 2012 年度 8 月交流会, 招待講演 (Aug. 2012).
11. ``実世界パフォーマンスのための動作認識基盤とその運用事例,'' 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 招待講演 (Oct. 2012).
12. ``第 3 回研究 100 連発: 01--20,'' 第 3 回ニコニコ学会βシンポジウム, 登壇者 (Dec. 2012).
13. ``実世界イベントで活躍するウェアラブル・ユビキタスシステム,'' 電子情報通信学会ユビキタス・センサネットワーク研究会, 招待講演 (Jan. 2013).
14. ``五感情報を活用したウェアラブルユーザインタフェース,'' 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, 招待講演 (Jan. 2013).
15. ``豊かな生活を実現する五感通信サービスを目指して,'' 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, パネリスト (Jan. 2013).
16. ``ウェアラブルコンピューティングが世界を変える ～ダンス・パフォーマンス・音楽・アート～,'' 神戸大学のミリョク シンポジウム, 講演 (Feb. 2013).
17. ``ウェアラブルセンシング技術を応用した健康・パフォーマンス支援,'' 第 33 回 KOBE 工学サミット, 講演 (Mar. 2013).
18. ``主催者要求を考慮した歩行者ナビについて,'' おおさかユビキタスシティ推進協議会を振り返る シンポジウム, ビデオ講演 (Mar. 2013).
19. ``ウェアラブルセンシング技術の健康・パフォーマンス支援への展開,'' はりま産学交流会 創造例会 2013, 招待講演 (June 2013).
20. ``情報提示が人間行動に与える影響を考慮したソーシャルイベント運営の実証実験,'' 第 4 回ソーシャルコンピューティングシンポジウム (SoC2013), 招待講演 (June 2013).
21. ``ウェアラブルコンピュータ: 健康, 音楽, アート, パフォーマンス,'' 京都産業大学コンピュータ理工学部シンポジウム -脳と心と IT-, 招待講演 (Sep. 2013).
22. ``脳と心とIT,'' 京都産業大学コンピュータ理工学部シンポジウム -脳と心とIT-, パネリスト (Sep. 2013).
23. Tsutomu TERADA, ``Wearable Devices,'' Panel at Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications in the 6th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics (SIGGRAPH ASIA 2013) (Nov. 2013).
24. ``ウェアラブルセンサを用いた実世界インタフェース構築技術,'' 日本ロボット学会第 82 回ロボット工学セミナー「一挙手一投足に反応する実世界インタフェース技術」, セミナー講

演 (Nov. 2013).

25. ``次の時代にくるのはこれだ,'' 特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構 NPO 設立 10 周年記念シンポジウム, パネリスト (Dec. 2013).
26. ``ウェアラブルコンピューティングとウェアラブルセンシングの実世界応用,'' 2013 年度 KDDI 総研セミナー, セミナー講演 (Dec. 2013).
27. ``ウェアラブル情報提示技術の動向,'' ウェアラブルコンピューティングシンポジウム, 講演 (Dec. 2013).

4) 解説記事など

1. ``情報爆発時代のウェアラブルコンピューティング,'' 電子情報通信学会誌, Vol. 94, No. 8, pp. 695--699 (Aug. 2011).
2. ``ウェアラブルセンサを用いた行動認識技術とその応用,'' 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 2, pp. 201--208 (Mar. 2013).
3. ``ウェアラブルセンシングの実世界応用,'' 情報処理学会誌, Vol. 54, No. 6, pp. 592--595 (May 2013).
4. ``実世界パフォーマンスのための動作認識基盤とその運用事例,'' 日本工業出版 画像ラボ, Vol. 24, No. 11, pp. 21--27 (Nov. 2013).

5) 出版物

(共著) パーソナルヘルスケア「ウェアラブルコンピューティングに基づく健康管理システム」
発行:(株)エヌ・ティー・エス(2013/10)

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、さらには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知能化され、移動中の人に直接的にインタラクションし、情報を伝達するようになると考えられる。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。このような技術は環境知能（アンビエントインテリジェンス）と呼ばれている。

環境知能を有効に活用するためには、情報を効果的に人に伝達する方法を確立しなくてはならない。というのも環境知能の伝達には次のような問題があるためである。まず、人が、移動している、音楽を聴いている、携帯端末で web にアクセスしているなど、すでに何らかの作業を行っており、特に視覚、聴覚は占有されていると予想される。また、人が web などに能動的にアクセスし情報を取得する場合と比べ、環境知能からは受動的に情報を取得する。つまり、作業中の人に情報が来たことを伝えなくてはならず、かつ、その働きかけが強すぎたり、頻度が高すぎると不快となる。そのために、環境知能の効果的伝達方法として我々は、「触覚」を利用して、「さりげなく」人に情報を伝達する方法の開発を行う。

本研究の最も特徴的な点は、まず研究グループが得意とするナノ・マイクロ技術を駆使し、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計測可能なドライ電極を実現することである。そしてこれら新規に開発された人刺激・計測 MEMS（Microelectromechanical Systems: 微小電気機械）を用いて、環境知能伝達実験プラットフォームを構築し、実験的に環境知能の効果的な伝達方法を探索する。

2． 研究成果

（1）概要
本研究においては、まず新規に人刺激・計測 MEMS を開発し、それらを用いて環境知能伝達実験プラットフォームを構築し、実験的に環境知能の効果的な伝達方法を探索する。3 年間の研究において、人刺激・計測 MEMS として、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。いずれもナノ・マイクロ技術を駆使し、従来にはない機能を実現している。例

えば触覚ディスプレイでは、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る表面テクスチャの呈示、針型電極を用いた電気触覚ディスプレイによる低電圧触覚刺激に成功している。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。

また、触覚ディスプレイの刺激と視線検出を用いた環境知能伝達実験を開始した。開発した機械式触覚ディスプレイにより被験者の指先に触覚刺激を行い、被験者に方向を指示するものである。被験者の視線を検出することで、行動レベルの応答を調査した。これまでに得られた結果では、触覚刺激により方向を指示することができるが、触覚刺激パターンが複雑になるとかえって被験者がその意図を理解できないことがあった。すなわち触覚刺激で伝えられる情報量には限界があり、これを明らかにすることで環境知能伝達の指針となると考えられる。

以上の成果を、原著論文 9 件（国際 7 件）、招待講演 4 件（国際 4 件）、国際学会 21 件（招待講演含む）、国内学会 35 件を通じて発表した。

（2）詳細

研究テーマ A「人刺激・計測 MEMS の開発」

【A-1.触覚ディスプレイ】

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 x 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、素子を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。図 2 に示すように、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、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 3 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 4 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。実験的に針形状の最適化を行った。

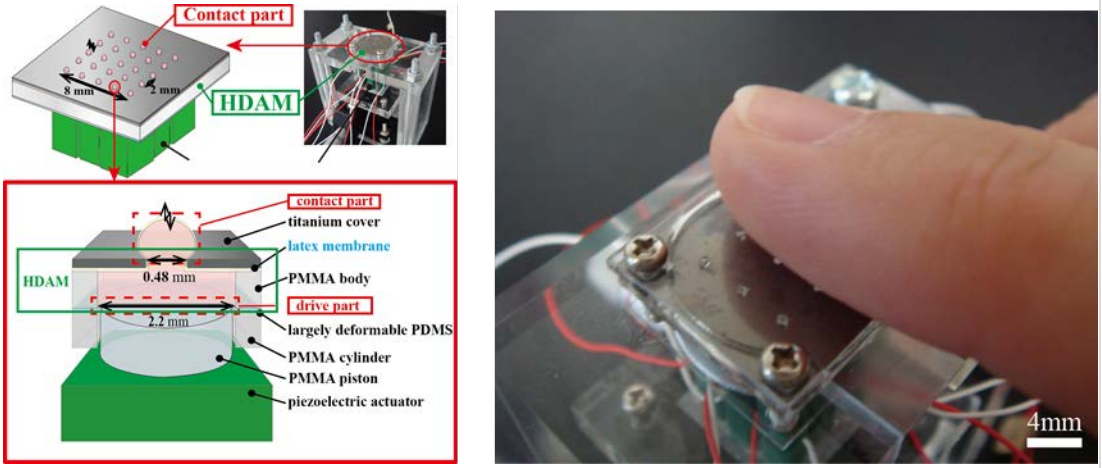


図 1. 開発した触覚ディスプレイ。変位増幅機構と圧電素子からなるアクチュエータの 3 x 3 アレイにより皮膚を機械的に変形させる。

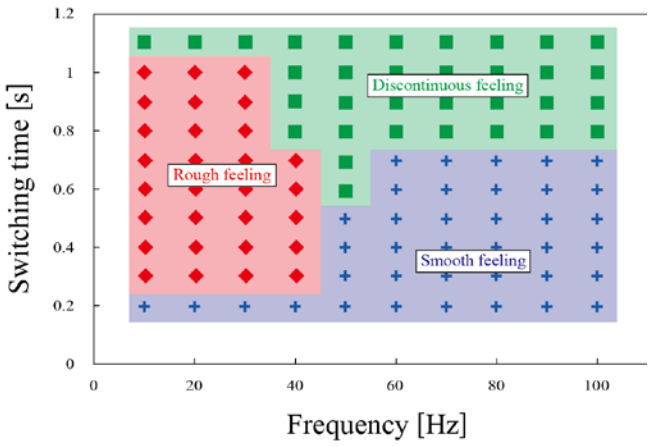


図 2. 振動周波数、素子駆動の切り替え時間による表面テクスチャの違い。被験者に粗い表面、滑らかな表面を呈示できた。

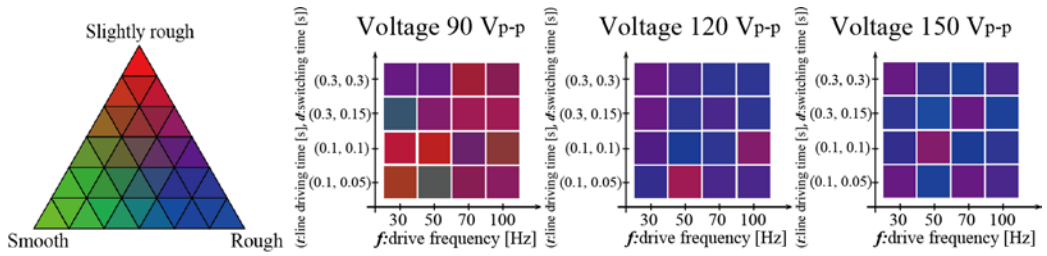


図 3. サンプル比較法により導出した駆動電圧、振動周波数、素子駆動パターンによる呈示される表面粗さの変化。実験に用いるサンプルの表面粗さを計測し、Rough、 Slightly rough、Smooth に分類し、RGB コーディングしてある。被験者は呈示された表面と近いサンプルを選ぶ。触覚ディスプレイの制御パラメータと、選ばれたサンプルの RGB を示すことで、一目で傾向を把握することができる。例えばこの図では、駆動電圧を挙げることで、呈示される表面の粗さが増加していることがわかる。また表面粗さは、サンプルの表面粗さから定量的に推定することができる。

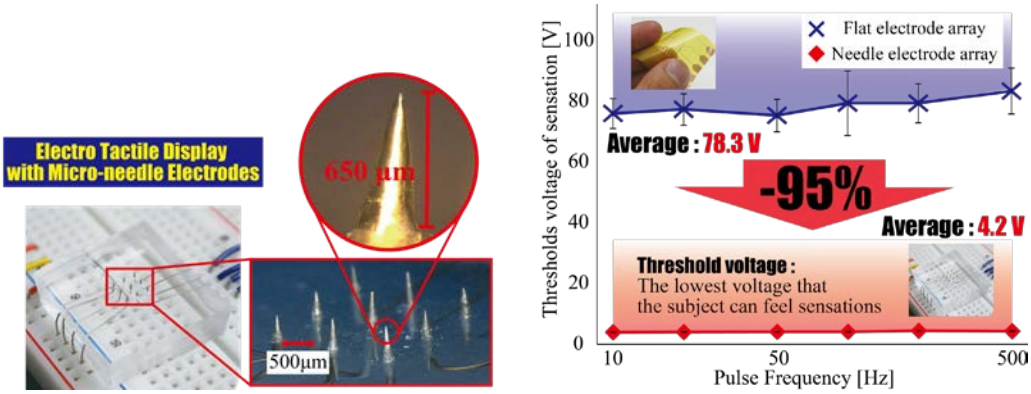


図 4. 針型電極を有する電気式触覚ディスプレイ。角質層を貫通することで、平面型の電極と比較し、およそ 20 分の 1 の電圧で触覚刺激することに成功した。

【A-2.視線検出システム】

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き、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。本研究期間中に、まず色素増感素子の数、形状について検討を行った。色素増感素子と瞳との間に 1 cm 程度の距離があるため、黒目の上部にある素子も、白目からの反射光の影響を受ける。そのため、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、情報の入力システムとしての応用も期待される。これらの実験結果を図 6 に示す。一方で、鼻や頬の高さなど、身体的特徴が視線検出システムの精度に影響することも明らかになった。実験を通じて、目と眼鏡レンズの距離が大きな影響を有することが分かった。この結果を踏まえ、眼鏡位置を自由に変えられるフレームを開発中である。

図 5. 色素増感素子を眼鏡レンズ上にパター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。

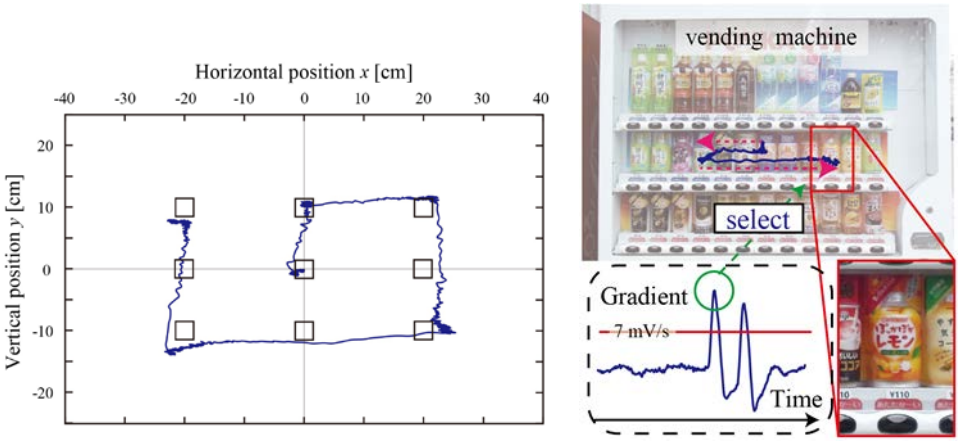


図 6. 開発した視線検出システムを用いた視線検出評価実験ならびにまばたきと組み合わせた入力システムへの応用。

【A-3.脳波検出用電極】

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 kΩ 以下の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(およそ 1 時間が限界と言われる)と、被験者が動いたときの電極の密着性である。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った。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すると、膜の密着性が極めて悪く、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。パリレン膜のナノ孔を成膜厚さを制御することで、図 8 に示すように、人工皮膚への刺入実験でも剥離せず、かつインピーダンス 10 kΩ 以下を実現した。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 9 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 10 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おり、また取り付けから 2 時間後もインピーダンスは低く保たれ、長時間脳波計測が可能であることを実験的に示した。

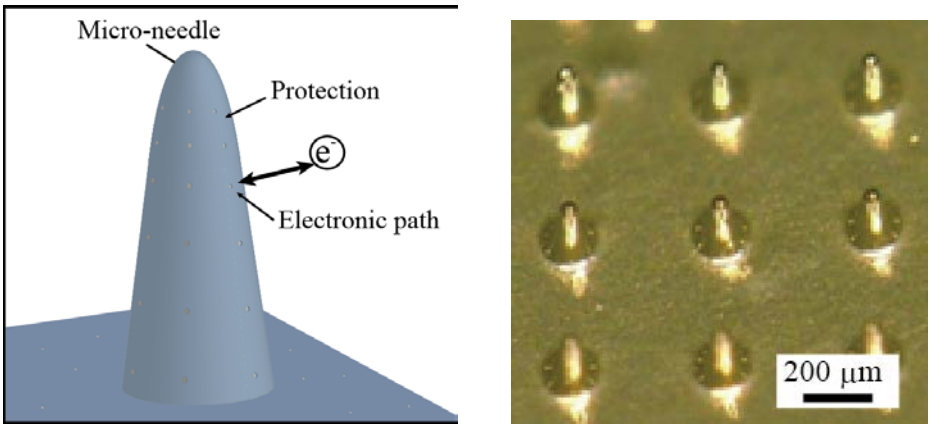


図 7. ポリマー針型基材上に成膜された銀膜のナノポーラスパリレンによる保護プロセス。導電性を維持しつつも、銀膜の基材からの剥離を防止することに成功した。

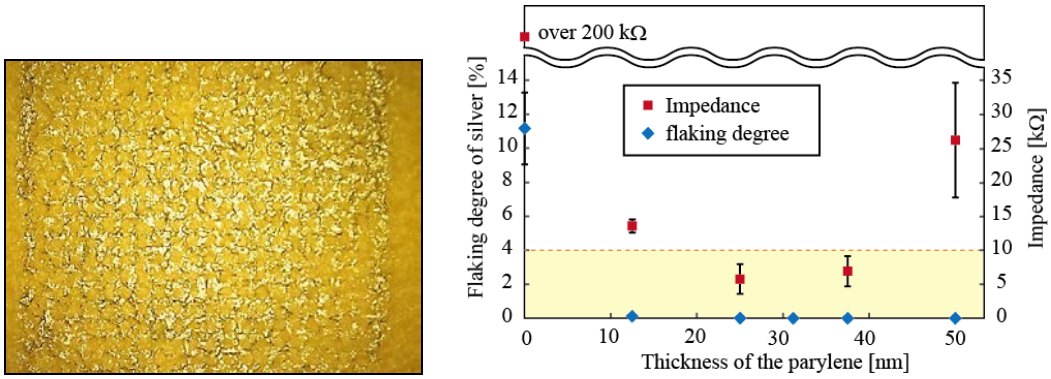


図 8. ナノポーラスパリレンによる保護プロセスの評価。皮膚を模したポリウレタンへ刺入したときの銀膜の剥離、ならびに 15 Hz における電気的インピーダンスを計測した。保護膜がない場合は左図に示すように刺入時に多くの銀が剥離してしまう。この剥離した銀の面積を剥離度（Flaking degree）とした。右図に示すようにパリレン膜厚を制御することで、導電性を維持しつつも、銀膜の基材からの剥離を防止することに成功した。

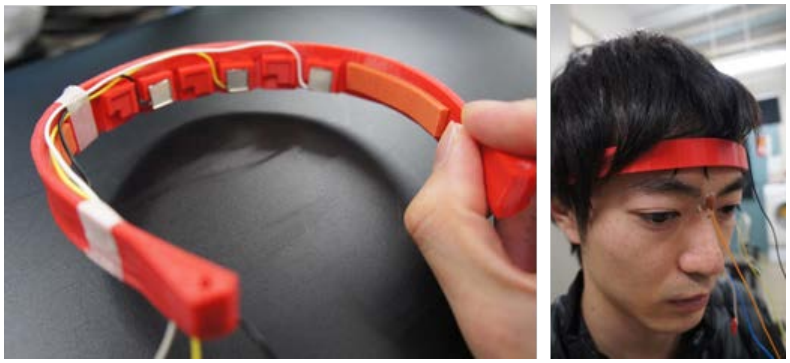


図 9. 電極保持用治具に電極を取り付け、装着した図。ウェット電極と同等の低インピーダンスを示した。装着においては、治具の下に髪の毛がはさまっていても安定した脳波計測が可能であった。

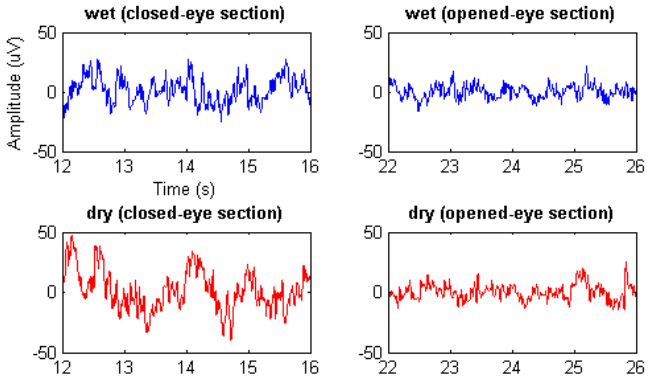


図 10. 開発した電極による生体信号計測結果とウェット電極との比較。市販のウェット電極と同等の高品質な脳波ならびに眼電の計測に成功した。

研究テーマ B「人刺激・計測 MEMS を用いた環境知能伝達実験プラットフォームの構築」

次に、環境知能伝達実験として、触覚ディスプレイによる触覚刺激による方向指示実験を行った。図 11 に示すように、被験者の周りに LED を 60 度ごとに配置し、そのうちの 1 つを点灯させる。その方向を触覚刺激により提示し、被験者は刺激に従って点灯している LED を探索する。被験者の視線を検出することで、被験者の反応を検証した。3 x 3 素子アレイの触覚ディスプレイを用い被験者の指腹部に触覚刺激を与えた。図 12 に結果を示す。まず単純に右側、中央、左側の素子をそれぞれ振動させることによる方向指示では、刺激無しの場合と比べ被験者が LED を発見する時間を短縮することができたが、一方で、素子を LED 方向に順に駆動させ被験者に伝えた場合、かえって LED 発見までに時間がかかってしまうことが分かった。被験者から、触覚刺激パターンが複雑であり何を伝えたいかが分からなかった、という回答を得た。すなわち触覚刺激により伝えられる情報量には限界があると考えられる。刺激パターン、刺激の強さ、また刺激箇所などを変え、実験的に触覚により伝達できる最大の情報量を明らかにしていく必要がある。これは、環境知能伝達における指針の 1 つとなると考えられる。

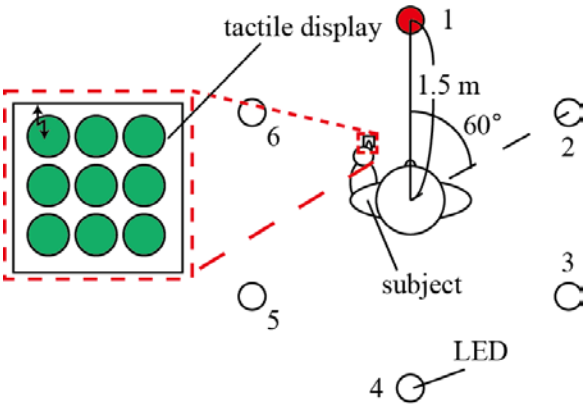


図 11. 触覚刺激に対する被験者の応答実験。開発した機械式触覚ディスプレイにより被験者の指腹部へ触覚刺激を行った。

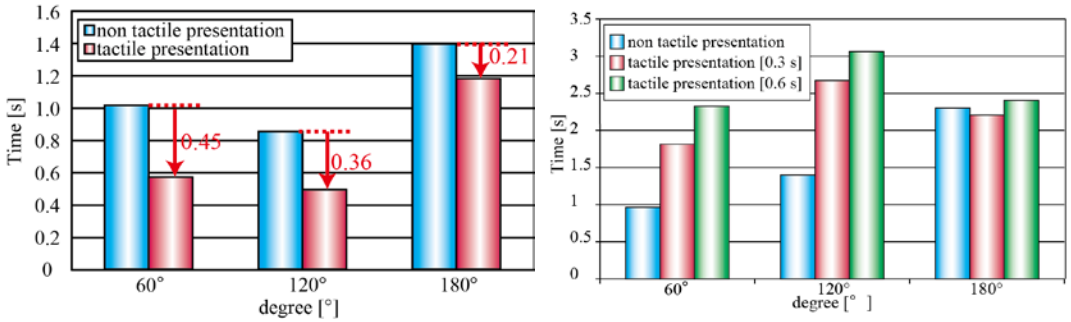


図 12. 触覚刺激に対する被験者の応答時間。左図は触覚ディスプレイ右側、中央、左側列の素子を振動させた時の被験者の応答時間であり、右図は、素子列を切り替え時間 0.3 s、0.6 s で順に駆動した時の応答時間である。複雑な触覚刺激は、被験者は理解できなかった。この限界を知ることは、効果的な環境知能伝達手法の開発に資すると考えられる。

3.　今後の展開

人刺激・計測MEMSについては、各デバイスの設計、製作プロセスの最適化により性能を上げるとともに、環境知能伝達実験プラットフォーム構築のために、ウェアラブル化を推進する。触覚刺激には、薄型化が可能な電気触覚ディスプレイも用いる。人計測 MEMS においては、無線化や、増幅回路など処理回路のシステム化を推進する。特に被験者が移動中でも脳波計測が可能になれば、その波及効果は極めて大きい。

そして本研究の最終目的である、効果的な環境知能伝達手法の開発に向けて、被験者への伝達実験を推進する。被験者への伝達実験では、触覚刺激のパターン、強さ、箇所をパラメータとする。これまでの実験で、触覚刺激により伝えられる情報量には上限があることが示唆されている。この伝達可能な最大の情報量について実験的に導出する。また、環境知能利用時には、すでに視覚、聴覚などが他の作業により占有されている状態を想定している。映像を見る、音楽を聴く、ゲームをする、さらには歩行する、などの行為を被験者が行っているときに情報を伝達するために要求される触覚刺激を実験的に導出する。被験者の応答は人計測 MEMS による視線、脳波の検出により評価する。実験結果を総括し、効果的な環境知能伝達手法を開発する。

4.　評価

（1）自己評価

これまでの研究期間において開発に成功した人刺激・計測 MEMS は、ナノ・マイクロ加工技術を駆使した革新的なデバイスと言え、国際論文誌や、競争的な国際学会に採択、招待講演されるなど高い評価を得ている。私のこれまでの専門分野であるナノ・マイクロ技術に関する本項目については極めて順調に研究が進んだと言える。一方で、触覚ディスプレイの被験者への官能評価や、3 年目後半から開始した環境知能伝達実験など、「作る」から「使う」フェーズでの研究は私にとって新しく、試行錯誤していることも多い。しかし、さきがけ領域会議などでの情報系の研究者たちからのアドバイスにより、徐々に視界が開けてきた感がする。また逆に情報系ではない私の視点を入れることで、新しい評価方法の提案もできた。これからの 2 年間では、この 2 つの視点を持ちながら研究を進め、本研究の目的である環境知能の効果的な伝達手法を明らかにしたい。

（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、中間評価を行った）。

ナノ・マイクロ技術（要素技術）の研究者がインタラクションデザイン（イノベーション）にチャレンジするという極めて稀な研究である。「情報環境と人」というさきがけ研究の新しい形を示すものとして全面的にサポートしたい。報告者は 3 年の間に、人刺激・計測 MEMS の技術開発を背景に、触覚ディスプレイ、透過型ウェアラブル視線検出システム、角質層を貫くドライ電極などの多くの研究成果を生み、国際学会で発表してきた。その研究活動は、採択時の期待に添うだけでなく、周囲の研究者へのよい刺激となった。一方、イノベーションを期待されるインタラクションデザインへの切り込みは、現時点で成功しているとは言えない。先鋭的な要素技術とユーザ視点のデザインとのギャップをどう超えるか、持ち前の胆力を生かし

て思案しているのだろう。Google Glass への適用など、そのきっかけを探す努力を続けていることも評価できる。

5. 主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. Y. Ami, H. Tachikawa, N. Takano, and N. Miki. Formation of polymer microneedle arrays using soft lithography. Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS (JM3). 2011, 10, 011513
2. 及川 啓, 室 貴之, 三木則尚. 透過型光センサアレイを用いたウェアラブル視線検出システム. 日本ロボット学会誌. 2011, 29, 369-375.
3. Y. Zhang and N. Miki. An optimal design of epidermal ridges to the tactile sensor for sensitivity enhancement during shear force detection. 電気学会論文誌 E. 2011, 131, 141-147.
4. Y. Hotta, Y. Zhang, and N. Miki. A flexible capacitive sensor with encapsulated liquids as dielectrics. Micromachines. 2012, 3, 137-149.
5. J. Watanabe, H. Ishikawa, X. Arouette, Y. Matsumoto, and N. Miki. Demonstration of vibrational braille code display using large displacement micro-electro-mechanical system actuators. Japanese Journal of Applied Physics. 2012, 51, 06FL11.
6. N.A.A. Ridzuan, S. Masuda, Y. Hotta, Y. Zhang, and N. Miki. Flexible capacitive sensor encapsulating liquids as dielectric with a largely deformable polymer membrane. Micro Nano Letters. 2012, 7, 1193-1196.
7. Y. Nishinaka, R. Jun, G.S. Prihandana, and N. Miki. Fabrication of polymer microneedle electrodes coated with nanoporous parylene. Japanese Journal of Applied Physics. 2013, 52, 06GL10.
8. 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.
9. Y. Kosemura, H. Ishikawa, J. Watanabe, and N. Miki. Characterization of surfaces virtually created by MEMS tactile display. Japanese Journal of Applied Physics. 2014 in press.

（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）

<u>招待講演</u>

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.

主な国際学会

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. Y. Hotta, Y. Zhang, and N. Miki. Flexible distributed capacitive sensor with encapsulated ferroelectric liquid. The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2011). Cancun, Mexico, January 2011.

3. J. Watanabe, H. Ishikawa, X. Arouette, Y. Matsumoto, and N. Miki. Artificial tactile feeling displayed by large displacement MEMS actuator arrays. The 25th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2012). Paris, France, February 2012.

4. J. Watanabe, H. Ishikawa, X. Arouette, Y. Matsumoto, and N. Miki. Surface texture and pseudo tactile sensation displayed by a MEMS-based tactile display. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012). Algarve, Portugal, October, 2012.

5. N. Kitamura, J. Chim, and N. Miki. Microneedle electrode array for electro tactile display. The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2013). Barcelona, Spain, June 2013.

6. Y. Nishinaka, R. Jun, G.S. Prihandana, and N. Miki. Fabrication of polymeric dry microneedle electrodes coated with nanoporous parylene. The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2013). Barcelona, Spain, June 2013.

7. 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.

8. 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.

9. Y. Kosemura, S. Hasegawa, H. Ishikawa, J. Watanabe, and N. Miki. Quantitative analysis of surface textures created by MEMS tactile display using microfabricated tactile samples. The 26th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2014). San Francisco, USA, January 2013.

10. N. Kitamura, J. Chim, and N. Miki. Effect of needle shape on performance of needle-type electro tactile display. The 26th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2014). San Francisco, USA, January 2013.

主な国内学会

1. 三木則尚 「マイクロ・ナノデバイスのICT技術への展開」日本機械学会 2012 年度年次大会, 金沢, 9 月 2012.