

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、触覚を活用するべきであり、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 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、ピリピリとした電気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、体の複数の箇所にも貼れるような、薄型ウェアラブルな触覚ディスプレイを開発した。

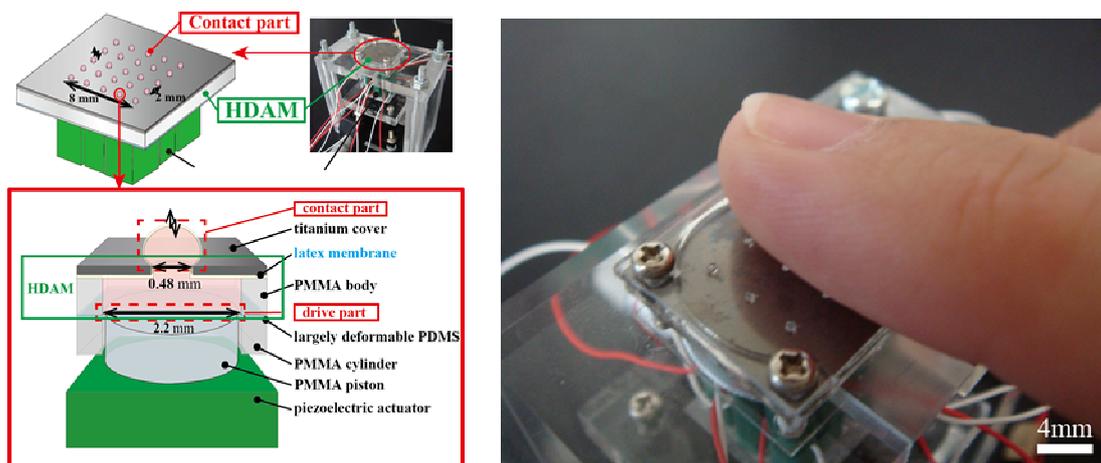


図 1. 開発した触覚ディスプレイ。変位増幅機構と圧電素子からなるアクチュエータの 3 x 3 アレイにより皮膚を機械的に変形させる。

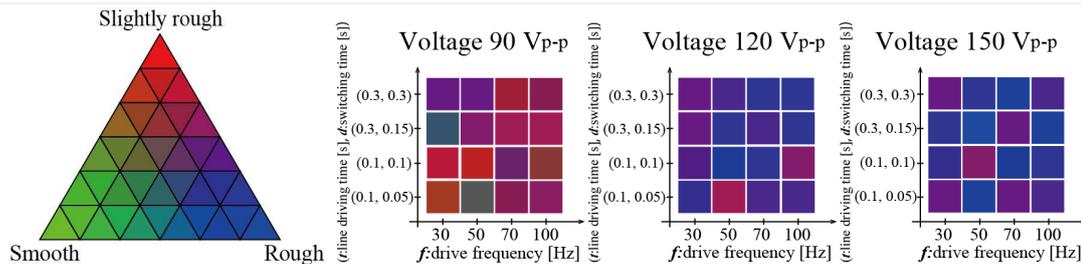


図 2. サンプル比較法により導出した駆動電圧、振動周波数、素子駆動パターンによる呈示される表面粗さの変化。実験に用いるサンプルの表面粗さを計測し、Rough、Slightly rough、Smooth に分類し、RGB コーディングしてある。被験者は呈示された表面と近いサンプルを選ぶ。触覚ディスプレイの制御パラメータと、選ばれたサンプルの RGB を示すことで、一目で傾向を把握することができる。例えばこの図では、駆動電圧を挙げることで、呈示される表面の粗さが増加していることがわかる。また表面粗さは、サンプルの表面粗さから定量的に推定することができる。

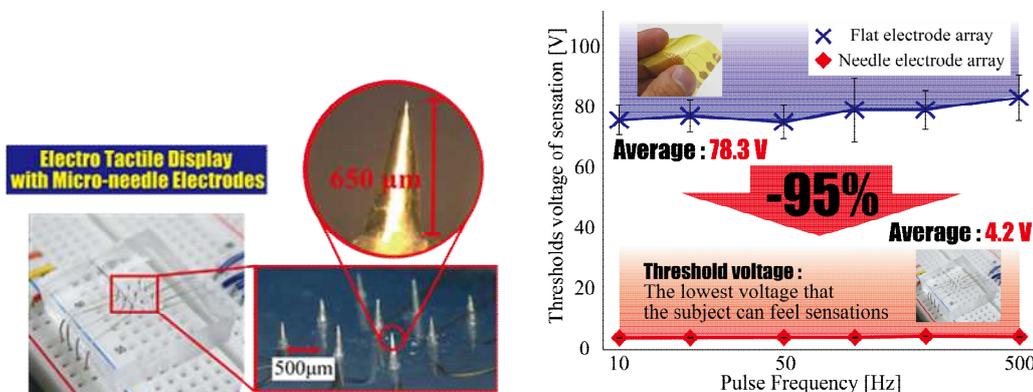


図 3. 針型電極を有する電気式触覚ディスプレイ。角質層を貫通することで、平面型の電極と比較し、およそ 20 分の 1 の電圧で触覚刺激することに成功した。

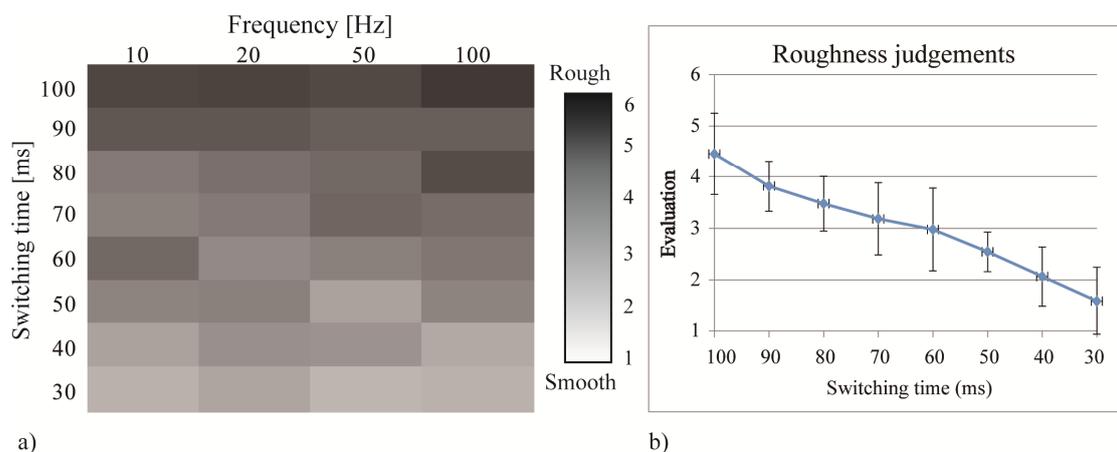


図 4. 電気式触覚ディスプレイによる粗さの異なる表面の呈示。Switching time により、粗さが変化する傾向を官能試験により明らかにした。

【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し、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て、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。

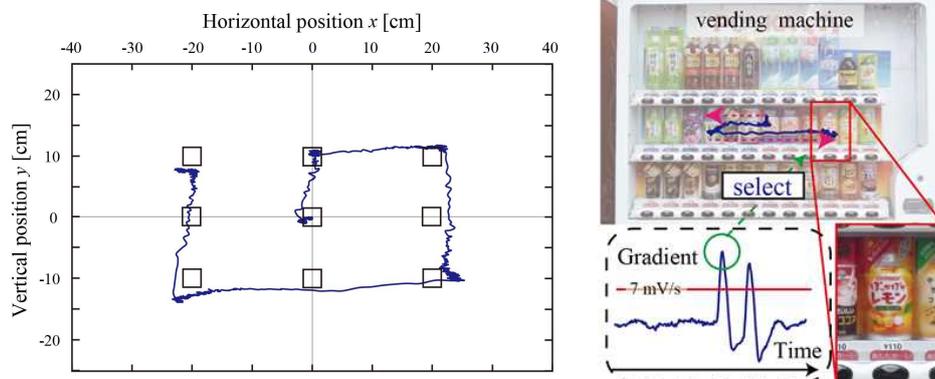


図 6. 開発した視線検出システムを用いた視線検出評価実験ならびにまばたきと組み合わせた入力システムへの応用。

【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鑄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、針鑄型の深さ（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。

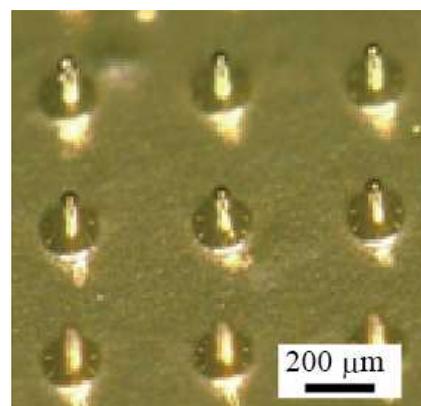
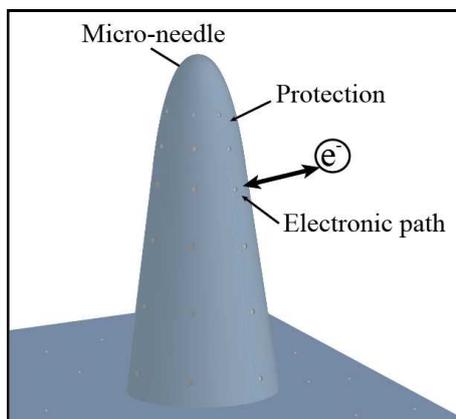


図 7. ポリマー針型基材上に成膜された銀膜のナノポラスパリレンによる保護プロセス。導電性を維持しつつも、銀膜の基材からの剥離を防止することに成功した。



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。

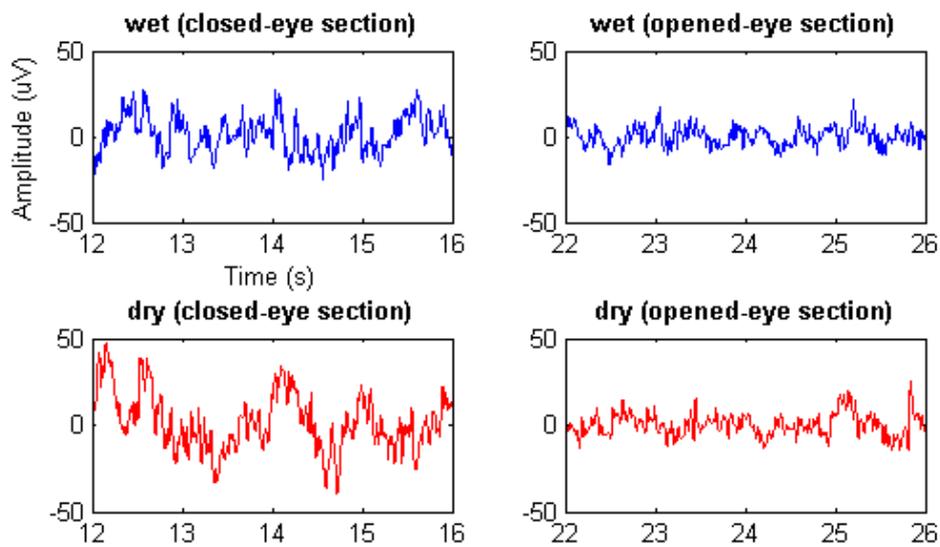


図 9. 開発した電極による生体信号計測結果とウェット電極との比較。市販のウェット電極と同等の高品質な脳波ならびに眼電の計測に成功した。



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、さき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。さきがけに参加せず、自らの専門分野に関する学会にのみ参加していたら、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、さき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. <i>Sensors and Actuators A: Physical</i> . 2014, 205, 208-214. |
| 2. Y. Kosemura, H. Ishikawa, J. Watanabe, and N. Miki. Characterization of surfaces virtually created by MEMS tactile display. <i>Japanese Journal of Applied Physics</i> , 2014, 53, 06JM11. |
| 3. N. Kitamura, J. Chim, and N. Miki, Electrotactile display using microfabricated micro-needle array, <i>Journal of Micromechanics and Microengineering</i> , 2015, 25, 025016. |
| 4. M. Arai, Y. Nishinaka, and N. Miki, Electroencephogram measurement using polymer-based dry micro-needle electrode, <i>Japanese Journal of Applied Physics</i> , 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, <i>Micromachines</i> , 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, <i>PLOS ONE</i> , 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.