

1. はじめに

インタフェース(interface)とは「境界」あるいは「界面」、「接触面」といった意味を持つ言葉であり、そこから転じて、コンピュータとプリンタ等の周辺機器、あるいは人間と機械との間をつなぐための機器などを指し示す言葉として認識されている。特に人間を中心として考えた場合、インタフェースとは機械に限らず、人間と「外界」を繋ぐ役割を果たすものとして理解される。例えばマウスやキーボード、ディスプレイは、人間とコンピュータとを繋ぐ役割を担っており、身近なインタフェースの事例と言えるであろう。

人間とは存外不自由な生き物であり、周囲環境の情報を視覚・聴覚・触覚・味覚・嗅覚の、いわゆる五感を通じてしか得ることが出来ない。そして出力に関して言えば、音声ならびに身体活動のみである。つまり生来の人間と外界との間は、きわめて限られたチャンネルでしか情報伝達を行うことができず、両者の間には大きなギャップが存在する。そのギャップを埋め、人間と外界との間でのスムーズな情報のやりとりを可能とすることが、インタフェースに期待される役割である。

インタフェースに期待される役割、すなわち人間と外界との間でのスムーズな情報のやりとりは、人間からの情報取得ならびに人間への情報提示という二つの情報伝達方向に分離して考えることが出来る。コンピュータを例にとって考えてみると、キーボードは人間の意図をコンピュータに対して伝達するためのインタフェースであり、人間からの情報取得が主たる役割となる。一方でディスプレイは、コンピュータからの情報を表示するためのインタフェースであり、主要な役割は人間への情報提示となる。しかしながら人間の情報入力・出力のチャンネルは極めて限られてしまっている。そのためインタフェースには、外界からの情報を人間が理解しやすい形に加工する、人間からの出力を適切に外界に反映させるという、情報変換機能が求められることになる。例えばメガネは、そのよい事例であると言える。メガネは眼球の前に固定され、眼球に入射される光をゆがめる機能を担っている。さらに進化したメガネとしては、AR ディスプレイという形も考えられる。この時、たとえば AR ディスプレイを利用して現実世界へアノテーション情報を付加することで、人間の状況認識能力を向上する、といったことも可能になると期待される。本研究で掲げる Smarter Interface とは人間を中心とした、情報取得および情報表現手法に関する研究であり、人と人、世界と人との間の情報コミュニケーションをより円滑にすることを目指すものである。本研究の実施に関しては二つのフェーズが想定される。一つは人間の有するコミュニケーションチャンネルが極めて限定されているという状況を考慮して、その選択肢を増やすことである。コミュニケーションチャンネルを多様化することで、従来では不可能であったコミュニケーションが可能になると期待される。続いてのフェーズは、提案したものも含めた多様なコミュニケーションチャンネルにおいて、如何にして情報の入出力を行うか、というものである。新しいコミュニケーションチャンネルには、それに相応しい情報加工の方式が存在すると考えられる。その点について明らかにしていくことが求められる。

著者はこの Smarter Interface に関して、非侵襲的手段による、人間と外界との間の情報伝達手段の拡大、バリエーションの拡大にフォーカスして研究を行ってきた。本稿では特に、筋肉ならびにその振動を通じた情報入出力手段の基礎研究、そして衣服を通じた情報表現手段の基礎研究について報告する。筋肉は人間が行動するための直接的動力源であり、さらには心拍や呼吸など、生存に必要不可欠な活動のための動力源でもある。筋肉の活動を調べるための手段としてもっとも知られている手法としては、筋電(EMG:ElectroMyoGram)があげられる。これは筋活動に伴って発生する電気信号を測定する技術である。ただし筋活動を知るための手法はEMG以外にも存在する。筋肉はその活動時に電氣的な情報のみならず、振動を発生させることが知られている。そして体表・筋肉を伝搬する振動からは、人間の活動に関する多様な情報を抽出することができることが知られており[1]、振動情報も貴重な情報源として利用できること期待される。一方で、筋肉は人間にとって主要な情報表現装置でもある。筋肉は電気の刺激により、ある程度その活動を制御することが可能となっている。これは機能的電気刺激(Functional Electrical Stimulation)としても知られ、筋肉を電気刺激によって活動させ、所望の動作の合成が可能と期待される技術である。このような技術はインタフェースの構成技術としても研究され、利用が試みられている[2,3]。このように筋肉は人間活動に関する情報源として利用できるばかりでなく、人間の意図を外界に表現するための表現装置としての能力を有しているのである。本研究ではまず人間活動に関する情報源として筋肉とその計測手法について考えていく。

本研究では人間と外界との間の情報伝達手段として、もう一つ衣服の役割にも着目している。毛や羽毛を有する多くの動物は、その立毛状態を変化させることにより、例えば毛を逆立てて怒りを表現するな

ど、感情表現手段として利用している。人間は目立つ形で毛の状態を変化させることは難しいが、その代わりに衣服を利用することが可能である。衣服とはもともと着用者の感性あるいは所属組織を表現可能な、表現ツールである。ここにアクティブな動作要素を付加することにより、衣服の表現ツールとしての機能向上を狙う動きが見られるようになってきている。例えば Anouk Wipprecht 氏の開発する Spider Dress は、6本の動くツメを有するドレスであり、着用者の脳波など生体信号に基づいて動作するように創られている。同氏に限らず類似の衣服は複数提案されているが、そこには大きな二つの問題が存在する。一つは利用する情報源、動作、表現内容の基本的アルゴリズムが定まっていないという点である。すなわちどのような情報を利用して、同表現すれば、何を伝えることが出来るのか、この点について詳細に研究された事例はまだ存在しない。それを明らかにするためには、数多くの試行が求められるであろう。しかしながら衣服の製作とアクティブな動作要素の製作に求められる技術的背景が大きく異なるため、その開発には困難が伴う。これが問題点の二つ目である。情報伝達のための機能設計・研究のため、あるいはデザインを洗練させるため、そのような衣服は、服飾の専門家であるかどうかにかかわらず、試作が容易に出来るべきである。そのため、衣服にアクティブな動作要素を付加することが出来るような機材に対しては、衣服に容易に組み込むことが可能であり、かつその動作設計が容易であるといった特徴が求められる。しかしながらこれまでに作り出されたアクティブな動作要素を有する衣服に関しては、ほとんどが一点ものであり、試作の容易性に関して考慮されたものは存在しない。本研究ではこの点に関して研究を行い、解決策を提案する。

2. 筋活動を通じた人間情報計測に関する研究

筋電は代表的な筋肉活動情報取得手段であるが、電極を身体表面に密着させる必要があるという点は、装着性・快適性と言う観点で問題であると考えられる。例えばスポーツにおける筋活動計測など、一時的な情報取得手段として利用する場合、装着性・快適性はそれほど強い要求とはなり得ない。しかしながらインタフェースとして、人間の恒常的情報伝達手段として利用することを考えるならば、その装着性・快適性は重視されてしかるべきである。この点に関して、EMG はまだ解決すべき課題が多くあると考えられる。そこで本研究では、装着性・快適性を重視しつつ、筋肉を情報入出力チャンネルとして活用するための手段について検討し、システムの試作、妥当性検証を行ったので、それについて述べる。具体的には筋音(MMG: MechanoMyoGram)と呼ばれる、筋活動に伴って発生する振動を筋活動情報源として活用することを目指す。筋音は振動情報であるため、EMG と異なり対象物との電気的接続性は不要であるという特性がある。そのため例えばTシャツのような薄い布越しであれば、信号劣化は免れ得ないものの、一定レベルの筋活動信号の測定が可能であると期待される。つまり衣服の上から装着できる可能性があるということであり、計測装置の装着性・快適性に大きく影響する特徴である。

2.1. Mechanomyogram (MMG)

MMG とは日本語で「筋音」ともよばれ、筋繊維が収縮する際に発生する、筋繊維と直交する方向に発生する(周期的)機械的変位のことを意味する。類似のものとしては EMG (Electromyogram) が広く知られている。筋繊維は運動神経からの指令により活動電位が発生し、長軸方向に収縮して力を発揮する。多数の筋繊維が発生した活動電位を加算測定したものが EMG である。一方で筋繊維が収縮する際、繊維が収縮する方向と直交する方向に変形・振動が発生する。それらの機械的変位が伝搬し、皮膚表面上で観察・記録されたものが MMG であるとされる。

MMG を実際に体験するのみであるならば、特別な機材は不要である。静粛環境下で、まず人差し指を耳に入れて栓をする。そしてそのまま人差し指以外の指を握りこみ、拳形状を作る。するとその際、地鳴り、あるいは遠くの雷鳴とも形容される、ごろごろとした音を聞くことができる。これが筋肉の振動によって作り出された音とされる。このように特別な機材なく体験できる現象であることも影響してか、MMG に関する研究は古くは 17 世紀中期にまでさかのぼることができる。いま述べたような現象は、イタリアの修道士ならびに科学者であった、Francesco Maria Grimaldi によって最初に報告された[5]。当時彼は、この音が聞こえる原因として、身体運動にともなって動物精気が体内を駆け巡るためだと記述している。その後数百年を経て計測機材が発達した結果、MMG が筋肉の機械的な活動を反映する信号であることが明確になっている。このような特性を持つ信号であることから、筋音は、例えば筋疾患の診断、パーキンソン病の発見[6]や、効率的な筋肉トレーニングといった分野への利用が期待されている。

2.2. MMG の発生機序について

MMG が筋肉の機械的な活動を反映すると前述したが、実際にはその詳細はそれほど明確になっているわけではない。その発生機序については大きく二つの主張がある。まず筋繊維が収縮する際、各繊維の径は側

方へ拡大する。その結果発生する圧力波が、MMG であるという説がある[7, 8]。これが第一の説である。この考えに基づくならば、MMG とは、多数の筋繊維の圧力波が時空間的に集合した波形を体表面上で記録したものということになる。もう一つの説は、筋肉収縮時、全ての筋繊維が完全に均一に収縮しないことで発生する、筋肉中心部分の粗大な横方向の変位によって発生する、というものである[9, 10]。

3. MMG 取得システムの試作

3.1. 基礎データ取得システム試作と簡易的な評価

基礎データ取得のために試作したシステムについて紹介する。まず、MMG を計測するための振動センサとして、圧電振動板（村田製作所，7BB-20-6，図 1）を用いた。この圧電振動板を左前腕部の内側に密着させ、手掌部の開閉動作にともなって発生する筋肉の変形・振動計測を試みる。振動板はリストバンドにて固定され、筋肉の変形・振動に応じた信号を出力する(図 2)。信号はインタフェース社，csi-320416 AD 変換ボード(最大入力電圧±10V，分解能 16bit)にて計算機に取り込まれる。取り込まれたデータ例を図 3 に示す。

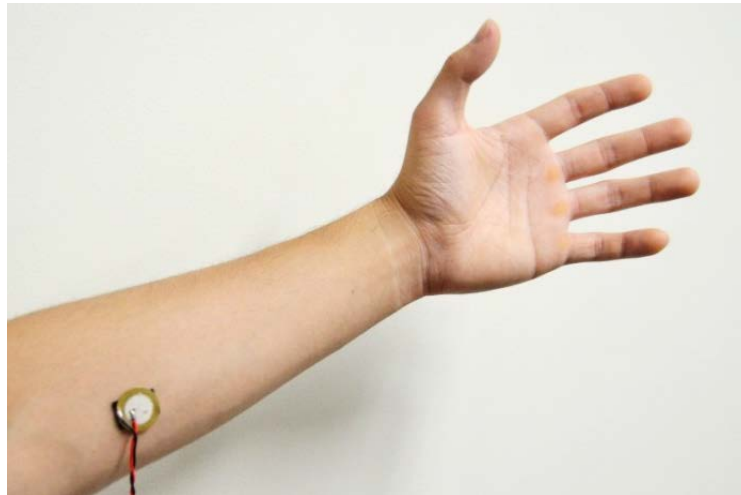


図 1 圧電振動板と装着部位

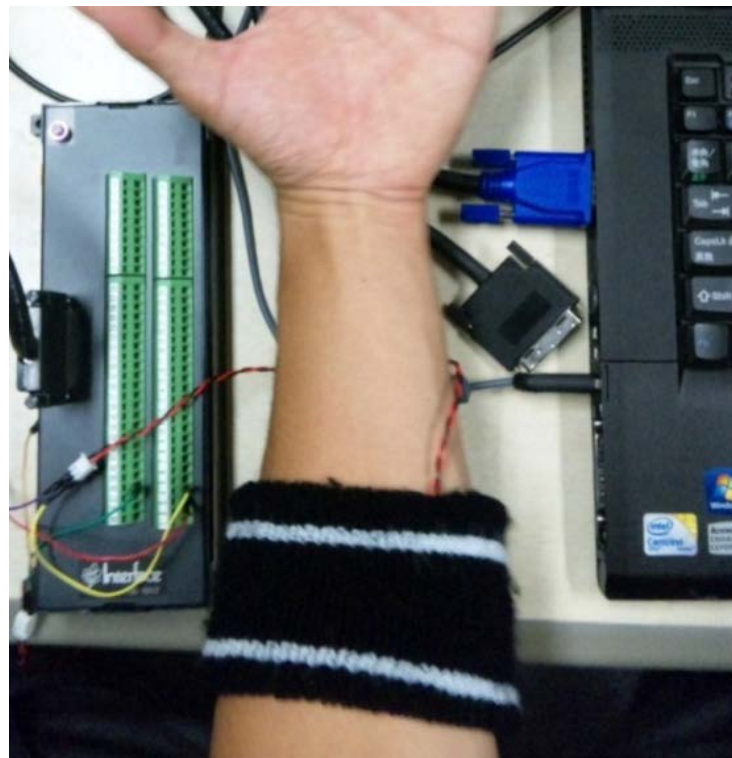


図 2 試作システム

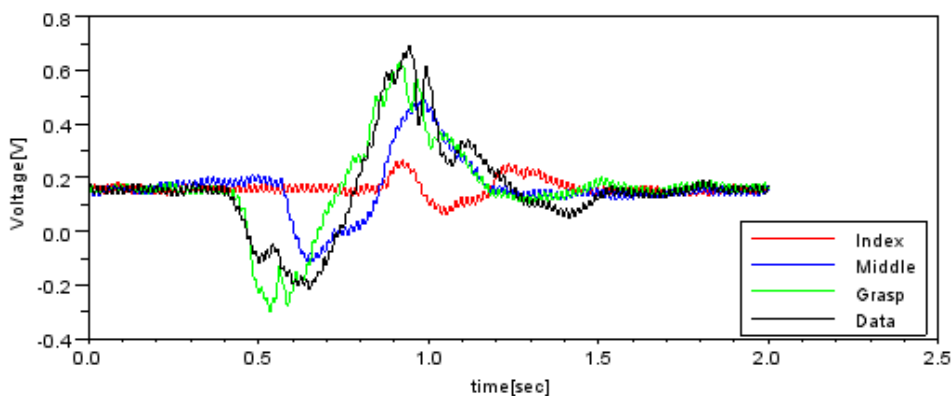


図 3 各指屈曲時に得られるデータ例

得られたデータに関して、その再現性・動作識別可能性についての簡易な検証を試みる。センサを装着後、無負荷での示指屈曲、中指屈曲、および手の開閉動作を行い、指標となる MMG データを記録する。その後前述の 3 動作のうちの一つを実行し、参照用データとして記録する。指標データと参照用データの間で相関係数をとったところ、80%以上の確率で 3 動作の識別が可能であることが分かった。指標となる MMG データは個人毎、あるいはセンサ位置に依存するデータの差が観察されたが、適切な条件を設定すれば、その信号再現性は高く、動作の識別が可能であると言える。

3.2. チャンネル数の増加・モバイル化

当初試作機においては、簡易的実装のため、圧電振動板は一つのみを利用していった。しかしながらより詳細な筋活動情報の取得のためには、チャンネル数の増加が必須である。また、日常的に利用すると言うことを考慮すれば、モバイル化も必要であろう。これらの点を踏まえて試作されたシステムを図 4 に、その装着の様子を図 5 にそれぞれ示す。図 4 のシステムは最大で 6 チャンネルの同時計測が可能であり、Bluetooth によりデータがサーバ計算機に送信されるようになっている。このシステムにより測定された MMG データの例を図 6 に示す。図 6 では、各指を 1 本ずつ屈曲させたときの MMG データに関して、6 つのセンサのうち 2 つ分をサンプルとして表示している。大域的には図 3 に示される従前の試作機から得られると類似の形状が見て取れる。一方で同一の動作でありながら、センサが異なる(場所が異なる)ことで、異なる情報が得られている様子が見て取れる。

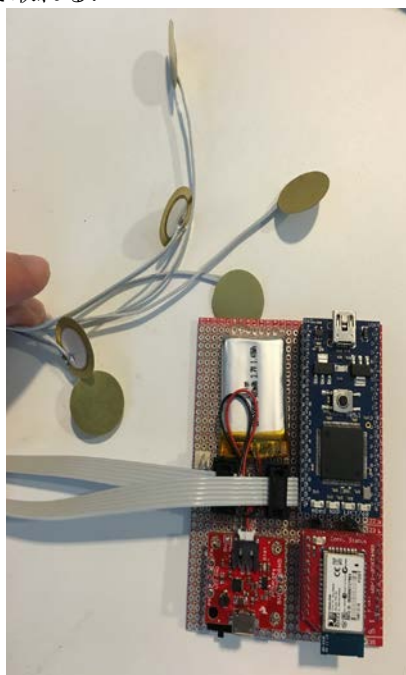


図 4 MMG 第二試作機

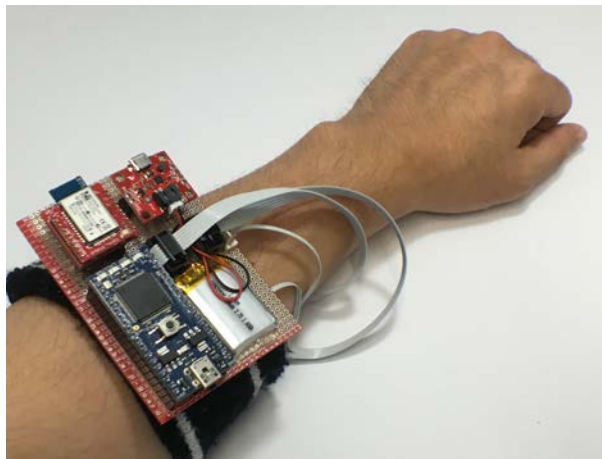


図 5 装着の様子

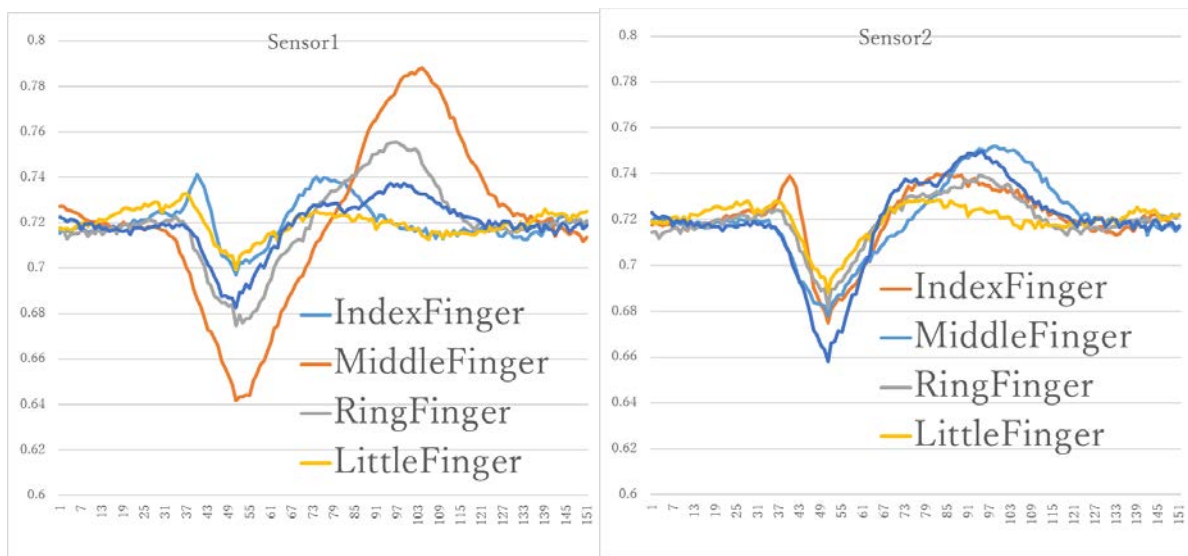


図 6 MMG データ例(2ch分)

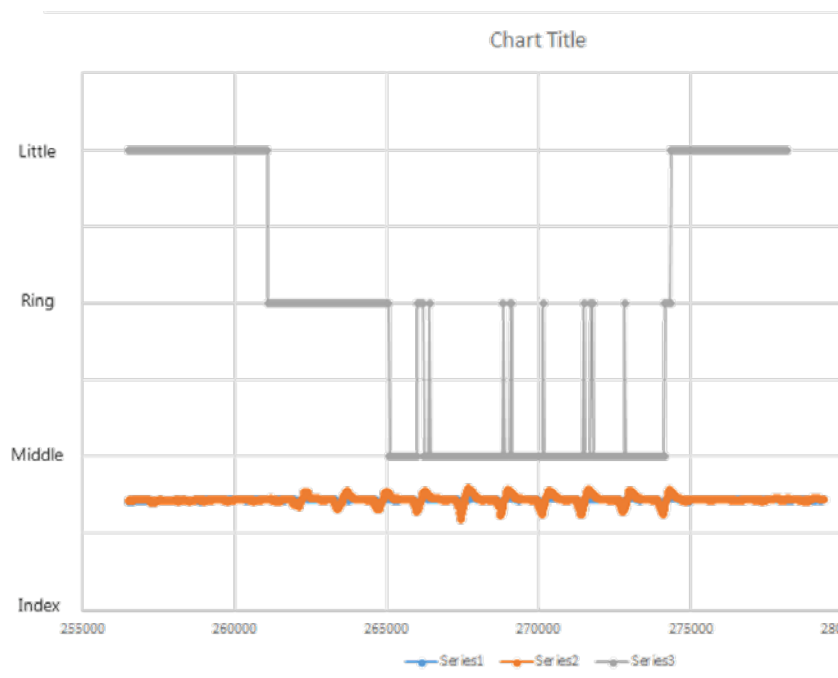


図 7 試作した識別器による動作の識別結果

つづいて得られた MMG データより、動作の識別可能性を検証する。得られたデータを学習させることで識別器を構成し、未知のデータの識別可能性を検証した。その結果を図 7 に示す。図 7 では得られた識別器に対して、中指の屈曲データを入力し、その識別結果を示したものである。図 7 は縦軸が識別結果のラベルであり、横軸は時間軸である。グラフは 2 種類表示されており、上段が識別器が認識した結果を示す。下段ののこぎり型のデータは、未知データとして入力した、中指を複数回屈曲させた時の MMG データである。図 7 上部に表示されている識別結果を参照すると、当初は小指ないしは薬指の屈曲データとして認識されていることが分かる。一方、その時の MMG データを見てみると、信号がほとんど動いておらず、実際に指を動作させる前の静止状態であることがわかる。そのため小指・薬指が動作しているという識別結果は、主にノイズによる識別機の誤動作によるものと推定される。そして中指が動作開始してしばらくすると、識別器からの識別結果も、中指を指し示すようになった。このことから、当該識別器は、MMG データからの動作の識別能力を有していると言えることが出来る。しかしながら途中所々で薬指が動作したという識別結果が出力されている、無動作時に「無動作」という判定が出来ていないなどの問題があることから、今後の性能向上が必要であると考えられる。

3.3. まとめ

第 2 章および第 3 章を通じて、筋肉を通じた人間活動情報の取得・再構築に関する研究について報告した。しかしながら既に述べたとおり、筋肉は単なる情報源としてではなく、表現装置として利用できる可能性を有している。そのため将来的な SmarterInterface 構成のために、筋肉を通じた人間の状態認識および FES 技術を利用した情報出力の統合について引き続き研究を実施していく。次章からは人間のための情報表現手段のもう一つの可能性である、衣服の機能向上に関する研究について報告する。

4. 衣服を通じた情報表示

人が人と対峙したとき、その身体全体の形状や動作は、その人の感情や意図に関する重要な情報が隠されている。そこで人が日常的に着用する衣服に対してアクティブな動作要素を付加し、新たなコミュニケーションチャンネルとしての活用を目指す。例えば図 8 は Breathing cloths[11] という、著者を含めたグループによってデザイン、開発された、アクティブな動作要素を有する衣服である。この衣服では、着用者の呼吸に応じて、首回りの羽状の装飾が動作するという機能が実現されている。このような、衣服に対してアクティブな動作要素を付加する試みは、この Breathing clothes 以外にも既に多くの取り組みが存在する。しかしながらその多くは、ある一つの作品を生み出すためにアドホックな技術開発がされており、残念ながら再利用性に低いのが現状である。一方で衣服に対してアクティブな動作要素を付加する試みは徐々にではあるが広まってきており、そのような技術を広く活用できるようにするという要求は高まりつつあるといえる。また、新たなコミュニケーションチャンネルを開発するという観点においても、衣服の適切なデザイン、それに相応しい動作要素の設計と、それによって可能となるコミュニケーション内容についてなど、多くの点について試作しつつ明らかにしていくことが求められている。そのため、アクティブな動作要素を有する衣服に関しては、その制作が容易となることが極めて望ましい。そこでここでは、特に衣服にアクティブな動作要素を素簡単に付与できる、基本となるツールキットの開発について報告する。



図 8 アクティブな動作要素を有する衣服の試作(Breathing Clothes).

4.1. SmartHair 技術について

本研究では SmartHair と呼ばれる技術を用いて、衣服に形状変化機能を付与するためのツールキット開

発を行った。先に紹介した Breathing Clothes もこの SmartHair 技術によって構成されている。本章ではこの SmartHair について紹介する。

SmartHair は、形状記憶合金(SMA:Shape Memory Alloy)を動力源とする、小型軽量の屈曲専用アクチュエータである。図 9 左がその全景であり、図 9 右がその構造を示す。SmartHair は基本駆動回路(図 9 の青点線枠)と SMA による屈曲部(図 9 の赤実線枠)により構成されている。その特徴としては、以下の 3 点があげられる。

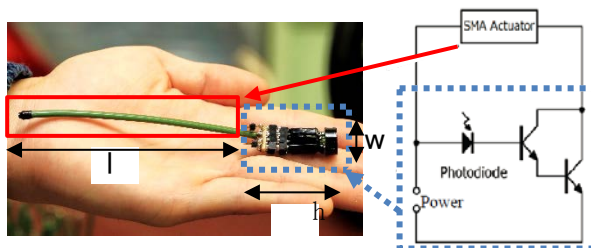


図 9 Smart Hair の基本構造

- 小型軽量・構造がシンプルである
 - 基本駆動回路部サイズが $h : 2\text{cm} \sim 3\text{cm}$, $w : 0.6\text{cm} \sim 1\text{cm}$, 重量約 1g, 毛状部分は直径 2.5mm の細いシリコンチューブにより構成されている
- 柔らかく生き物を感じさせる特徴的な動作が可能
 - SMA の動特性に起因する動作であり、特別な制御が不要
- 高いデザイン自由度・豊富なバリエーション
 - 通常は単一方向への屈曲。ただし SMA を 3 本組み合わせることで、任意方向へ屈曲が可能
 - 図 9 の毛状部分の長さ(l)は 5cm~10cm 程度の範囲であれば、サイズを変えての構成が可能
 - 表面に装飾を施すことが容易

図 8 の Breathing clothes においては、まず SmartHair の装飾性の高さを利用して、図 10 に示すように、SmartHair に羽状の装飾カバーをかぶせることで、一つの動作要素を構築している。そしてその軽量性を活用して、羽状装飾カバーにおさめられた SmartHair を約 20 本、襟まわりに配置して作られている。

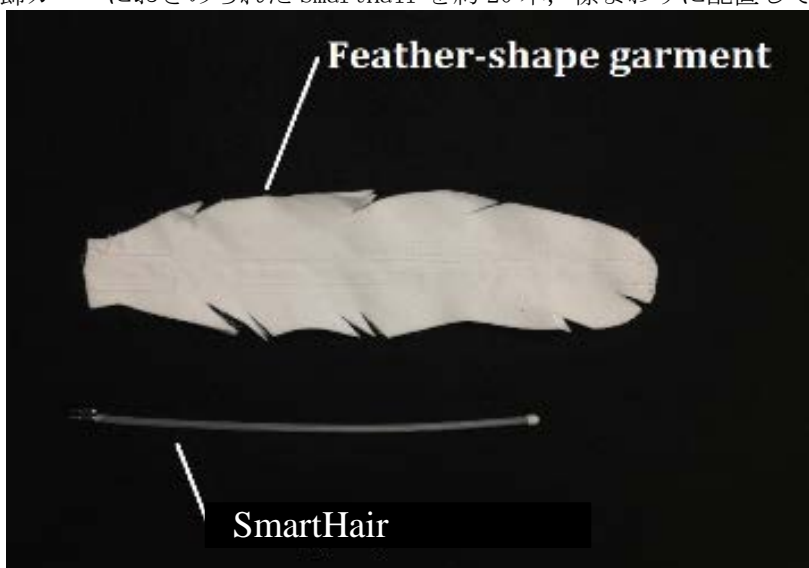


図 10 動作部分詳細

4.2. デザイン例

ツールキット開発にあたり、デザイナーと共に幾つかの試作を行ったので、それについて報告する。ここでのデザインを通じて、ツールキット開発のための必要要素を抽出している。まず取り外しの容易さなどを鑑みて、アクセサリ・ブローチという形式での実装を試みた。図 11 は、魚の尾部に SmartHair を搭載し、泳いでいるかのように動かすことの出来るアクセサリを検討したときの様子である。この時点では既存の駆動回路を利用しており、残念ながら消費電力・サイズともに衣服ないしはブローチに利用するには大きすぎるものとなっていた。

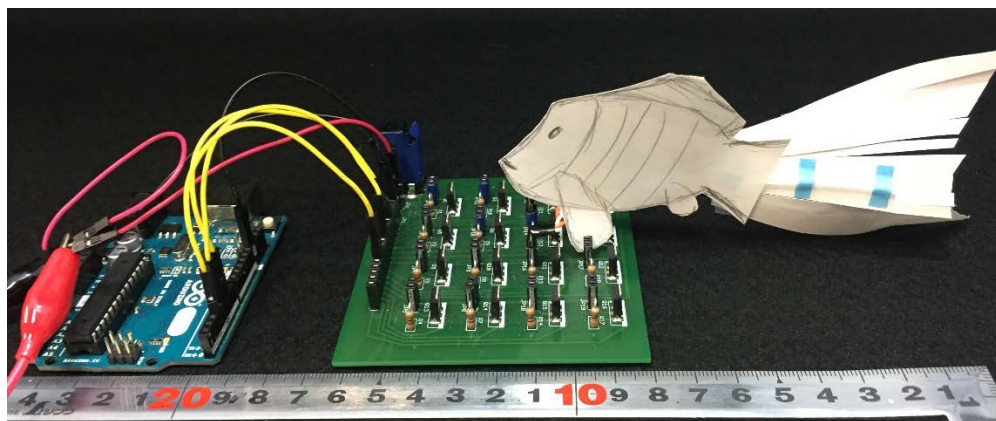


図 11 魚型アクセサリ試作

また図 12 では、立体形状を意識して蓄型のアクセサリを試作した様子を示す。このアクセサリ(図 12 右)は SmartHair によって蓄が開閉するという動作をするように設計されている。この時のツールキットサイズ(図 12 左)は約 10cm 四方であり、小型化には一定の成果が見られるものの、制御できる動きの要素が少なく、動作設計の自由度という観点では大きく制限されたものとなっていた。

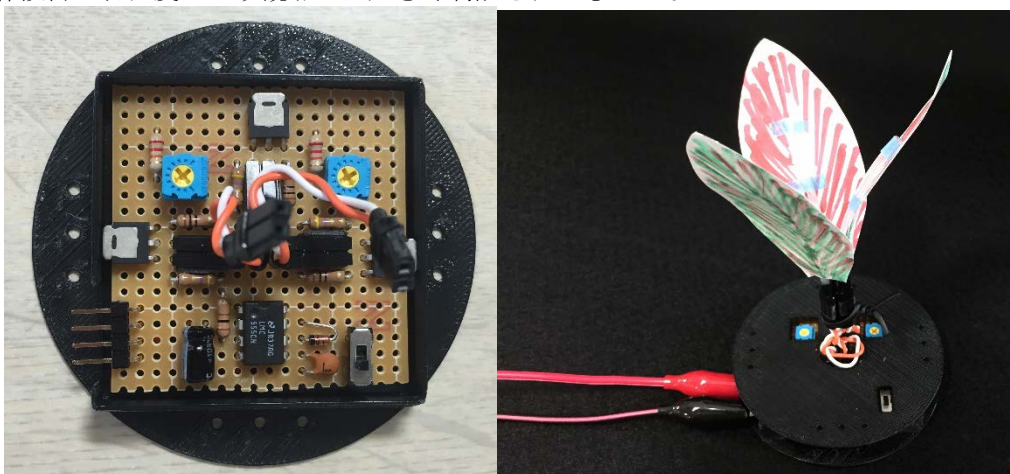


図 12 蓄型アクセサリ試作

これらの試作を通じて、SmartHair を用いてアクティブな動作要素を有する衣服を製作する際、幾つかの問題点が明らかとなった。本稿では特に、動きのデザインの問題に焦点を絞ってその詳細と対策について記述する。

4.3. SmartHair の動作デザインについて

SmartHair の衣服への適用に際しては、駆動回路の設計、衣服への装着・装飾、そして動作のデザイン、という流れになる。まず駆動回路の設計に関しては、電子工作・プログラミングに関する知識・経験がない人にとっては、やや困難な課題となってしまっている。そのためベースとなる駆動回路を設計し、パッケージ化した。その試作機を図 13 に示す。このパッケージでは 4 本の SmartHair を電池にて動作可能な能力を有している。このパッケージを用いることで、電子工作の知識が無くとも SmartHair を動かすことが出来るようになると思われる。つづく装飾に関しては、SmartHair の発揮力を考慮する必要がある。製作工程上の理由から、主として利用するのは SMA 部分が 7cm のものであり、その先端部で発生可能な力は、理論上最大で 8gf 程度である。そのため SmartHair への装飾物の重量は、せいぜい数 g 程度におさえることが求められる。例えばレース状の装飾であれば容易に動作可能であるが、フェルト地など厚めの生地を装飾に利用した場合、SmartHair が動かなくなる可能性が高い。

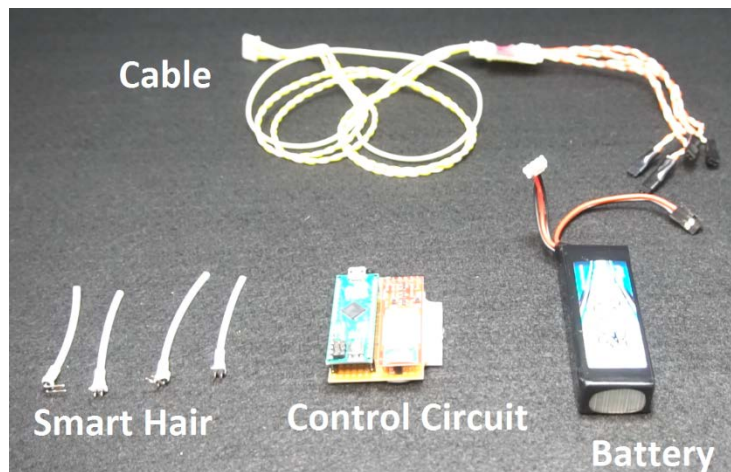


図 13 試作したツールキット

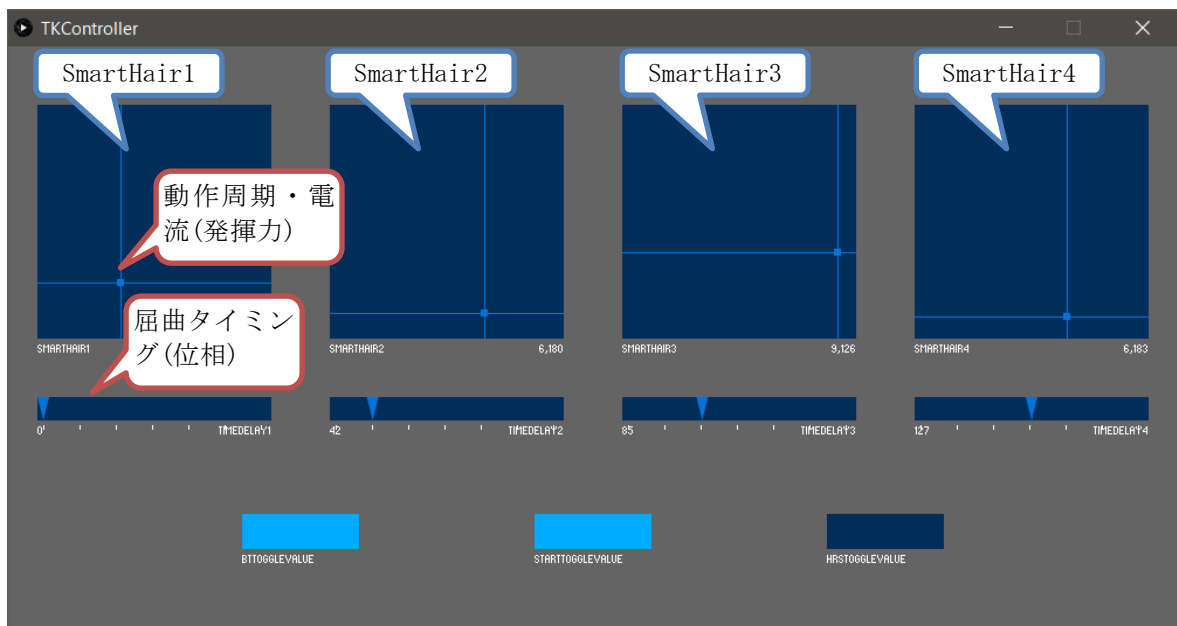


図 14 動作デザイン用インタフェース

つづいて動作のデザインについて考える。SmartHair における動作に関する主なデザイン要素は、屈曲周期、屈曲量、屈曲タイミング、である。これらのパラメータをプログラム経験の無い人であっても容易に操作できるようにするため、図 14 に示すようなプログラムインタフェースを開発した。最大で 4 本の SmartHair の動作が制御できるようになっている。まず上部の XY グラフ状インタフェースにて、動作の周期とそこに供給する電流を調整できるようになっている。所定の装飾をつけた状況において、装飾を含めて充分動作できるように最低限必要な電流を与えられるように考慮されている。電流が少ないと発揮力が不足し、十分な屈曲量を出せない場合があり得る。一方で電流を多めに設定した場合、屈曲量に対する心配は少なくなるが、消費電力が大きくなり、稼働時間低減を招く。そのため消費電力を抑えつつ、充分な屈曲動作を実現することを目的に、このパラメータを調整する。下部スライドバー風のインタフェースで、屈曲タイミングを制御する。屈曲タイミングは、例えば全部同時に動かす、1 本ずつ時間をずらして動かすなど、特に複数の SmartHair の動作デザインをする際に重要なパラメータとなる。

このツールキットを用いて作られた、アクティブな動作要素を有する衣服の試作を図 14 に示す。これは既存の女性用シャツの胸元に、動く Blob を搭載した形になっている。この Blob 動作の動力源として SmartHair を利用しており、柔らかい動きが実現されている。これらの研究成果は 2016 年 10 月開催の SUI にて発表が予定されている [12]。



図 15 アクティブな Blob 付シャツ

5. おわりに

本稿は 2015 年 8 月～2016 年 3 月までの 7 ヶ月間の在外研究期間中に実施された研究に関して、その背景も含めて詳細を述べた。限られた時間の中での研究ではあったが、Smarter Interface の基礎としてはむしろんのこと、研究者ネットワークの構築、研究に関する協力関係の構築など、今後につながる貴重な結果を残すことが出来たと考えている。今後はこれらの成果を活用し、Smarter Interface の研究をさらに発展させることに全力を注ぐ。

【参考文献】

1. 石光俊介, 北風裕教, 土伏悌之, 柳川博文, and 福島学. 2002. 体内伝導音認識システム構築のための基礎的検討. 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 102, 171: 25-28.
2. Sang-won Leigh, Ermal Dreshaj, Artem Dementyev, Pattie Maes, and V. Michael Bove. "LIMBO: Reprogramming and Augmenting Muscle Activities using Electrical Stimulation." Intl. Conf. Human Factors in Computing (CHI 2014), Workshop paper in "Workshop on Assistive Augmentation."
3. UnlimitedHand, <http://unlimitedhand.com/ja/>, (Visited 2016/7/1)
4. Masaru Ohkubo, Miki Yamamura, Hiroko Uchiyama and Takuya Nojima, "Breathing Clothes: Artworks using the Hairlytop Interface", Proceedings of Advances in Computer Entertainment Technologies, pp.187-188, 2014.
5. Francesco Maria Grimaldi, Physico-mathesis De Lumine, Coloribus, Et Iride, Aliisque Adnexis Libri Duo, 1665. pp.383
6. Jaroslaw Marusiak et al., "EMG and MMG Activities of Agonist and Antagonist Muscles in Parkinson's Disease Patients During Absolute Submaximal Load Holding.," Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology 19, no. 5 (October 2009): 903-14.
7. F V Brozovich and G H Pollack, "Muscle Contraction Generates Discrete Sound Bursts.," Biophysical Journal 41, no. 1 (January 1983): 35-40.
8. G Gordon and H S Holbournt, "The Sounds from Single Motor Units in a Contracting Muscle," The Journal of Physiology 107 (1948): 456-464.
9. Daniel T. Barry, "ACOUSTIC SIGNALS FROM FROG SKELETAL MUSCLE," Biophysical Journal 51, no. 5 (1987): 769-773.
10. J V Frangioni et al., "The Mechanism of Low-frequency Sound Production in Muscle.," Biophysical Journal 51, no. 5 (May 1987): 775-83.
11. Masaru Ohkubo, Miki Yamamura, Hiroko Uchiyama and Takuya Nojima, "Breathing Clothes:

Artworks using the Hairlytop Interface”, Proceedings of Advances in Computer Entertainment Technologies, pp.187-188, 2014.

12. Mage Xue, Masaru Ohkubo, Miki Yamamura, Hiroko Uchiyama, Takuya Nojima, Yael Friedman, “Development of a Toolkit for Creating Kinetic Garments Based on Smart Hair Technology”, Advanced Proceedings of Spatial User Interaction, 2016

(注書き) □□□□□□□□□□□□□□□□□□

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Development of a Toolkit for Creating Kinetic Garments Based on Smart Hair Technology	Advanced Proceedings of Spatial User Interaction	2016年10月(予定)