

# 生体信号を利用した身体拡張インタフェース～ASHURA～

## Body augmentation interface using biologic signals ~ASHURA~

池田孝太 Kota Ikeda

### 1. 背景

人間の身体は障害や負傷などにより特定の動作や活動が困難な場面がある。それに対して、人間は道具を使って解決してきた。例えば、手首の欠損障害を持っている人の中には電動義手などの身体拡張デバイスを使用している人もいる。我々は、身体拡張を「テクノロジーを活用して人間の肉体や感覚を強化・補完・付与すること」と捉えた。電動義手などの道具を使用する際にその道具を身体の一部として扱うことについて身体操作感を満たしていることと考える。身体操作感とは、自分の身体を動かすときに得られる感覚である。身体とは肉体だけでなく人間の感覚や意識も含めたものと定義し、道具を身体の一部として扱うためには、道具との相互作用がスムーズであり、まるで自分の身体の一部であるかのように認識できることが必要だと考えた。我々は、外部デバイスと身体の連動を行うために生体信号である筋電位を利用した。筋電位は、筋肉が収縮する際に筋肉の細胞内で発生する電位の変化である。この筋電位を利用するために身体とデバイスをつなぐインタフェースを製作し、筋電位をデバイスの操作方法に用いることで人間の動作の可能性を広げることを目指した。本年度は、人工筋肉を用いて様々な形状のものを把持できる筋電義手グループ、人間にはできない動物の機能を人間に付与する触手グループ、人間の感情を色や音で表現するバイブスグループの3つのグループに分かれ、それぞれが人間の動きや行動の可能性を広げるデバイスの開発を行った。

### 2. 課題の設定と到達目標

以下に、各グループが設定した課題と到達目標について記述する。

#### 2.1 筋電義手

本研究の目的は、様々な形状の物体を柔軟に把持できる筋電義手を製作することであり、従来の筋電義手技術の課題を解決することである。先行研究の概観を通して、従来の筋電義手に関する以下のような課題が

指摘されている。1つ目の課題は、適応性の欠如である。従来の筋電義手では、サーボモータを使用して各指の動作を制御しているが、モータの動作範囲が固定されているため、形状が不規則な物体や異なるサイズの物体に適応することが難しい。たとえば、球体や不規則な形状の物体を握る際、握力が均一に分散されず、物体を滑らせることがある。2つ目の課題は、制御の複雑さである。サーボモータを使用する従来の筋電義手では、各指の動作を精密に制御するために複雑な制御アルゴリズムが必要とされる。この結果、制御プログラムの設計が困難になり、装置全体のコストや重量が増加する問題がある。3つ目の課題は、バックドライバビリティの欠如である。サーボモータにはバックドライバビリティが欠けているため、握力を適切に調整することが難しく、握りすぎによって物体を破損させる可能性がある。本研究では、これらの課題の中でも特に、物体形状への適応性と制御の簡素化に関する問題に注目する。この問題を解決するために、本研究では指の動作を制御する手段としてマッキベン型人工筋肉を採用した。マッキベン型人工筋肉は、空気圧を利用して収縮する特性を持ち、物体の形状に応じて自然に指が動く。この特性により、従来のサーボモータを使用した技術に比べて複雑な制御を必要とせず、形状が異なる物体にも柔軟に対応できる。さらに本研究では、人工筋肉の素材、サイズ、配置、制御システムに工夫を行った。人工筋肉には、高い収縮率と耐久性を持つシリコーン素材を採用し、指の動きを自然に再現できるよう設計した。また、制御システムでは、筋電位を活用して指の動作を直感的に操作できるように工夫を加え、従来技術と比較して高い柔軟性と実用性を実現することを目指した。

#### 2.2 触手

地球上には約175万種類の生物が存在しており、これらは環境に適応するために進化を遂げてきた。進化の過程で、既存の機能を排除したり、新たな機能を取

り入れることで、多様な身体構造が生まれてきた。その結果、同じ器官が異なる形や機能を持つ相同器官や、異なる起源を持ちながら似た機能を持つ相似器官が存在する。そこで本グループは、動作の自由度が高く、柔軟に形を変えられるタコやイカの触手に着目した。これらの特徴を参考にし、人間の腕とは異なる機能を持つ第三の腕を開発し、より高度な作業支援や新たな身体表現の可能性を探ることを目的とした。本グループの目標は、人間の身体に装着可能な触手デバイスを設計し、物を掴むといった実用的な動作だけでなく、新たな表現手段として活用できるシステムを構築することである。特に、筋電位を用いた直感的な制御を実現し、従来の人間の運動機能を拡張することを目指した。

### 2.3 バイブス

演奏者は自身が理想とする演奏ができることを望んでいる。演奏者は理想の演奏の実現を求めて、エフェクターといった装置を用いて楽器の音を変化させたり、照明の演出などで、異なる表現を可能としている。そして、そういった期待しているイメージと実際の対象の再現率の高さに起因する高揚感を、バイブスという言葉として定義した。今回はこのバイブスの向上、つまり演奏者が期待する演奏と、実際の演奏の再現率を高めることを目的とした。そのうえで、エフェクター等の装置は、演奏者が演奏中に自ら操作することが難しい。この問題を、装置を演奏者の演奏表現と連動させ、演奏者自身でも操作可能にすることで解決することで、演奏者の演奏表現を拡張し、今までの演奏者にはできない演奏ができるようにならないか考えた。そして本グループは、筋電位を用いた身体拡張に着目した。そのため、筋電位をエフェクターや光の色の変化の制御に利用するうえで、どの箇所の筋電位をどのように利用して、どのようなエフェクターの制御を行うことで、演奏者が演奏表現の幅が拡張されたと感じるかを調べることを課題とした。

## 3. 課題解決のプロセスとその結果

本プロジェクトでは、最初に筋電位に関する講義が担当教員によって行われた。その後、筋電位計測回路と筋電位計測に使用する電極の作製方法に関する講義が行われた。担当教員による講義が終了すると、各グルー

プで成果物の設計及び作製などの活動を行った。以下に各グループの課題解決プロセスとその結果を記述する。

### 3.1 筋電義手

マッキベン型人工筋肉とは編組チューブの中にゴムチューブを挿入したもので、内部の空気圧を高めると長軸方向に収縮する。マッキベン型人工筋肉を利用するメリットはすべての指に同じ制御量をかけてもそれぞれの人工筋肉が物の形状に沿って収縮する。また、義手の指先にナイロン線を固定し、指の腹側に沿って義手の中にナイロン線を通していく。そして、義手の手首部分まで通したナイロン線の先をマッキベン型人工筋肉の片方に固定している。空気圧ゴム人工筋肉の収縮により人工筋肉に固定したナイロン線を引っ張ることで指が曲がり、さまざま形状のものを把持できる筋電義手を製作することに成功した。製作物を用いて、様々な形状の物体を形状に沿った把持が可能であるか検証を行った。アクティブ電極を健常被験者の前腕に付け、筋電義手を物体に近づけた状態で筋電位を計測し、物体を把持できるかどうかを確かめた。用意した物体はレモン、にんじん、ワイングラスである。これらの物体を使用した理由は、これらの物体を用いて実験を行った結果、いずれの物体も形状に沿って把持することができた。レモンを把持したときの様子、にんじんを把持したときの様子、ワイングラスを把持したときの様子をそれぞれ図 3.1.1-3 に示す。指の関節角度についても、図 3.1.1、図 3.1.2、図 3.1.3 のように物体に沿って指が受動的に屈曲する、柔軟な把持が可能であることが確認された。

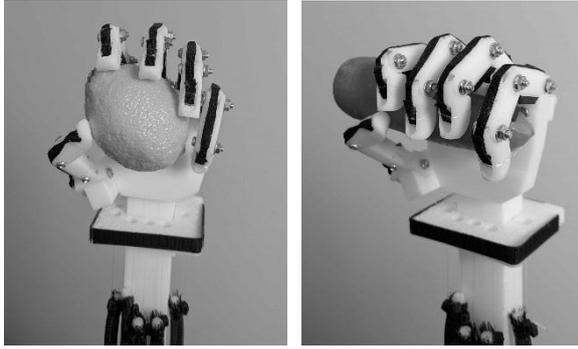


図 3.1.1 レモンを把持したときの様子 図 3.1.2 にんじんを把持したときの様子



図 3.1.3 ワイングラスを把持したときの様子

### 3.2 触手

本グループは前期に簡易的なプロトタイプを制作し、筋電触手への理解を深めた。先行研究(Zhanchi Wang (2023) [1], Elastic Mind(2014) [2])を参考に、空気の圧力で動かすシリコン製の機構(図 3.2.1)と、背骨状に組み合わせたひもを引っ張る機構(図 3.2.2)の 2 つを制作した。比較した結果、ひも型が耐久性や柔軟性に優れているため採用した。これを筋電位測定回路で取得した数値で制御できるよう、サーボモータと Arduino を用いてシステムを構築し、プロトタイプを完成させた。



図 3.2.1 空気の圧力で動かす構造

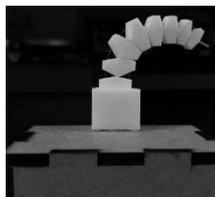


図 3.2.2 紐で動かす構造

後期は本格的な筋電触手を作成した。立体的かつ滑らかな動作が可能な骨組みを 3D プリントで制作した(図 3.2.3)。パーツには 5 点の穴が開いており、中心に軸となるゴムひもを通し、他の 4 点には操作用のひ

もを通した。1 か所で測定した筋電位で 1 台のサーボモータと 2 本のひもを制御できるため、4 本のひもを制御するためにはサーボモータと筋電位測定回路を 2 つに増やし、同時に制御できるよう Arduino のプログラムを改良する必要がある。後期の筋電触手は物を持つなどの動作を想定しているため、強力なサーボモータを使用しているが、通常の Arduino プログラムでは動作させることができないため、専用の変換基盤を Arduino 機体に装着した。さらに、外部電源に依存せず動作させるため、コンパクトな電源回路を制作して導入した。これらを板にまとめて固定し、ベストに取り付けることで背負える筋電触手を完成させた(図 3.2.4)。

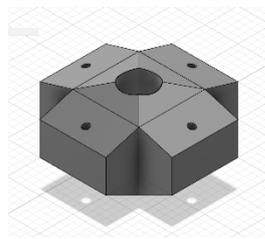


図 3.2.3 骨組みの 1 パーツの 3D モデル

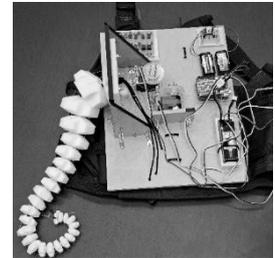


図 3.2.4 各部品をベストに固定した全体像

### 3.3 バイブスグループ

今回のプロジェクト学習では、演奏者が演奏に伴って行う動作を、筋電位を用いることで楽器の音と演奏者に装着させた LED テープの光の色に反映できるようにする。そうすることで既存の演奏では困難な表現が可能になると考えた。そのために、演奏者の筋電位を計測するための回路を製作した。また、計測した筋電位をシリアル信号に変換し、プログラムで利用できるようにするために Arduino を導入した。そして、計測した筋電位によってサーボモータの回転や LED の色を制御するためのプログラムも制作した。これら成果物の動作機構は演奏者の筋電位を電極や計測回路を通して計測し、Arduino がシリアル信号に変換する。そして計測した筋電位の値に応じて、プログラムがモータの回転角度と LED の色を決定する。モータはエフェクターのつまみを操作する役割である。これらの関係を図 3.3 のシステム図に図示した。そして、先行研究 [3] を参考に、計測した筋電位の値がどのようなときに、モータの回転角度と LED の色をどうするかを決定し、成果物を用いて実際に演奏してもらった実験を行っ

た。今回制御を行ったエフェクトはディレイ、ディストーション、オーバードライブの3種類だった。これらは、手でエフェクトの調整を行ったとき、通常では成らない音の変化を示したり、音の変化が分かりやすいものだったため採用された。実験の結果は、動きを抑え抑えて演奏してもらった場合では、3V未満の筋電位を計測した時間は全体22秒に対し約20秒であった。そして、LEDの色が青から緑であった時間の割合は全体が22秒に対し、約20秒だった。緑だった場合を除くと14秒だった。また、動きを加えて演奏してもらった場合では、3V以上の筋電位を計測した時間は全体44秒に対し、約42秒だった。LEDの色は、黄（緑から橙にかけて変化する場合の筋電位を計測するとなる場合がある）から赤であった割合が、全体44秒に対し、約17秒だった。実験の初期時点では、エフェクトのかかり具合にも差は確認できた。しかし、実験の途中から筋電位を計測していない場合でもサーボモーターが回転してしまうことがあったため、筋電位によるエフェクトのかかり具合の調整ができていくか確認しづらくなった。また、LEDの色も筋電位が最大値を計測していても、本来なる筈の赤にならない場合があった。今回の実験に協力してくれた演奏者からは、荒削りな技術だが、普通のギター演奏では有り得ない音に、この技術の可能性を感じた、という意見を得た。



図3.3 システム図

## 4. 今後の課題

以下に各グループの今後の展望について記述する。

### 4.1 筋電義手グループ

まず提案した、マジックテープによる固定と腕を支柱とする方法について実験を行い、使用感や安定性を評価する必要がある。ユーザからのフィードバックをもとに、改良を進めることが必要である。また、筋電義手の装着感を向上させるためには、通気性のある素材

やデザインの工夫を検討し、長時間使用における快適さを確保することが求められると考察した。

### 4.2 触手グループ

結果として、筋電位を用いてデバイスを動かすことに成功した(図4.2.1)。しかし、触手は予測と異なる動きをする場合があり、意図通りに制御することは難しかった。物を把持する点では、使用者が単独で物を持ち上げることは重さに関わらず困難であったが、位置を調整するなどの補助がある状態ではペンを持ち上げることに成功した。これを安定して直感的に動作させることが今後の課題として挙げられる。筋電位で触手を動作させることには成功しているため、触手の取り付け位置や耐久性の高い素材への変更など、余計な負荷が掛からない設計や制御プログラムの改善が必要である。安定した動作が可能になれば、目標で述べたように、様々な動作ができる触手の実現が期待できると考えた。

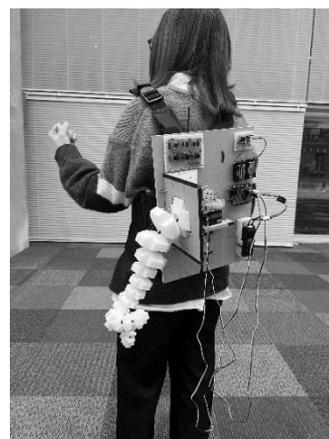


図4.2.1 装着し、動作させた画像

### 4.3 バイブスグループ

今回の実験では、モーターとLED共に不安定な挙動が多かった。モーターが筋電位を計測していないときでも動いてしまうのは、速度制御サーボモーターをプログラムの制御で角度制御モーターのように扱う必要があったが、その制御方法では、複数の筋電位計測回路とパソコンをつないだことによって生じた電氣的ノイズの影響を受けてしまったためと考えられる。LEDの色が本来なる筈の色に変化しなかったのは、プログラム側の条件で筋電位が最大値になると赤にするとしていたが、実験時の回路によって計測される最大値が、想定して最大値に僅かに届かず、最大値を計測しても赤に

ならないということが考えられる。総じて、今回使用した筋電位計測回路等の筋電位計測機能が不安定だったことが原因だと考えられる。しかし、エフェクトをプログラムで再現する場合に存在した音の遅延はなく、そもそも演奏することができないということはない。また、一か所から筋電位を計測し、種類のエフェクトを制御することは可能ということも分かったため、上記の問題点を改善することができれば、筋電位によるエフェクターとライティングの制御は不可能ではなく、演奏者に更なる演奏表現をもたらすことが可能だと分かった。そのためには、より緻密なモータ制御を行い、LEDの色の変化の条件を更に正確にする必要がある。また、問題点を改善したうえで実際に演奏に利用し、演奏者が期待する演奏の実現の補助がどれほど可能なかを調べる必要があると考える。

## 参考文献

- [1] 著 Wang, Zhanchi, and Nikolaos M. Freris. "Bioinspired Soft Spiral Robots for Versatile Grasping and Manipulation." arXiv preprint arXiv:2303.09861(2023). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.09861>
- [2] Elastic Mind. "ソフトロボティクスの未来: 触手型ロボット." Elastic Mind Blog. September 15, 2014. [https://elasticmindblog.com/2014/09/15/softrobotics04\\_tentacles/](https://elasticmindblog.com/2014/09/15/softrobotics04_tentacles/)
- [3] 星野喜久三. 色とテンポの関係に関する研究. 北海道學藝大學紀要. 第一部, 1959, 10(1), pp. 233-239. [Yurl {https://doi.org/10.32150/00000602%7D](https://doi.org/10.32150/00000602%7D)