

## 身体拡張インタフェース ～ASHURA～

## Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

b1014239 古谷望 Nozomu Kotani

## 1 背景

もし片方の腕を失ったとする。我々の生活は片腕を失う前と比べて大きく変化することは想像に難くない。つまり我々の生活は我々の身体の構造に強く依存している。では逆に阿修羅のように腕が6本あったならば我々の生活はどのように変化するだろうか。

我々のプロジェクトでは現状の生活をよりよくするために、情報機器を身体に装着することで身体を拡張することを目指した。新たに身体に取り付けられる機器が我々の新たな身体となるためには、それらの機器が意のままに直感的に動作する必要がある。そこで我々は身体を動かそうとする際に筋肉から発生する電気信号、つまり筋電位から装着者の意図を読み取り機器を制御することで、装着者が直感的に機器を制御することができるのではないかと考えた。

我々はこの筋電位を用いた具体的応用例を考察した。するとまず腕を想定する一方で、人間の身体にとらわれないことなく仮想的な腕を想定する必要があると考えた。そのためにプロジェクト内で二つのグループに分かれ、「リアルタイムパフォーマンス用 筋電 MIDI コントローラ」(図1)と「試装着用筋電義手」(図2)を開発した。

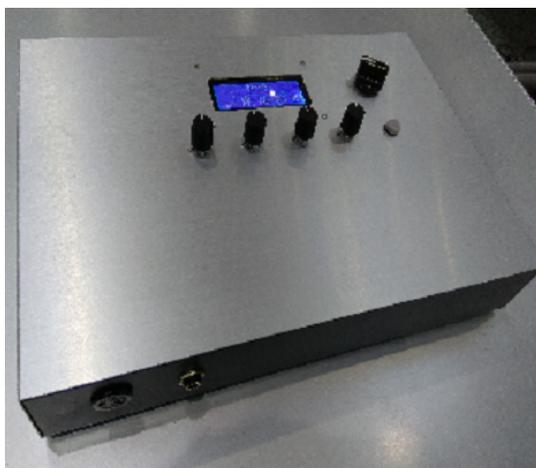


図1 筋電 MIDI コントローラ



図2 試装着用筋電義手

## 1.1 筋電 MIDI コントローラ

腕が3本あったなら楽器の演奏はどのように変化するだろうか。腕が2本の場合と比較すると演奏の幅が大きく広がることは明らかである。例えば、鍵盤楽器であれば同時に弾くことのできる音の数が増加しその組み合わせも増える。打楽器であれば組み合わせが増えるだけでなくより早いリズムを刻むこともできるようになるだろう。電子楽器には演奏中に音を変化させるコントローラを制御するものがあり、両手で鍵盤を弾きながら音を変化させることができるようになるだろう。

我々はこの演奏中にコントローラを制御する電子楽器に着目した。演奏中に音を変化させるためにコントローラを制御する必要があるが、これが腕である必要はない。そこで我々は身体から発生する電気信号でコントローラを制御するシステムを開発した。電子楽器にシンセサイザを使用した。

シンセサイザ奏者は演奏中にコンソール上に並ぶツマミ (コントローラ) を操作して音色や音程を変化させることがある。しかし、両手で鍵盤を弾きながらコントローラを操作することはできない。そこで、咬筋から計測した筋電位信号によってシンセサイザを制御することで、新しい腕が増えたかのように身体を拡張し、演奏表現の可能性を広げることを試みた。

## 1.2 試装着用筋電義手

義手とは怪我や疾患により上肢及び手腕を切断した患者に装着する代替物である。義手は外見の復元を目的とする装飾用義手、特定の作業の動作を行うための機能を復元した作業用義手、残された身体の動作により上肢及び手腕の機能を復元した能動義手の三つに分類される。ハーネス等を用い身体の機械的な動きを利用して動作を制御する一般的な能動義手に対し筋電位を用いて動作制御を行う能動義手のことを筋電義手とよぶ。筋電義手は装着者の意思に沿って動作することから、一般的な能動義手に比べより忠実な身体機能の復元が可能とされている。

## 2 課題の設定と到達目標

本プロジェクトでは、筋電位を計測し利用することで装着者が直感的に制御することが可能なインタフェースの開発を到達目標とした。二つのグループに共通する具体的な課題は以下の通りである。

- 筋電計測回路の作製
- 筋電センサの作製
- Arduino を用いた筋電位の処理・モータの制御

それぞれのグループの到達目標を以下に記述した。

### 2.1 筋電 MIDI コントローラ

キーボード奏者は、シンセサイザの演奏中に、コンソール上に並ぶツマミ（以下コントローラ）によって音色や音程を変更することがある。しかし、両手で鍵盤を弾きながら同時にコントローラを操作することは不可能である。このため、両手でのシンセサイザの演奏中にコントローラを操作するには、両手の内どちらかの片手を鍵盤から離さなければならない。このことが演奏表現上の制約となっている。この問題は、シンセサイザの演奏時に両手の内のどちらか片手を離すことなくコントローラの操作をすることができれば解決可能である。そこで、我々はシンセサイザの演奏時に直接必要のない部位である咬筋を利用し、片手でコントローラの操作を行うことなく、意のままにシンセサイザのコントローラの制御することを到達目標とした。

## 2.2 試装着用筋電義手

筋電義手は高価であるため欠損者が購入前に自分が使いこなせるのか試すことが困難である。筋電義手を入手するための還付金を国から受給できるが、そのためには筋電義手を装着し訓練を行ったうえで筋電義手を使いこなせるという医学的評価を受ける必要がある。しかし、訓練にかかる費用は受給対象外である。そのため購入を希望する者は医学的評価が得られなかった場合、筋電義手を購入した費用を負担しなければならない。このリスクがあるため筋電義手の普及は進んでいない。

我々は現状を改善するために、試装着用として筋電義手を開発することを目的とした。試装着用筋電義手を製作するために、株式会社馬場義肢製作所と前腕欠損者に協力をしていただき、前腕欠損者が実際に装着して実験を行うことで試装着用筋電義手に必要な要素を抽出する。

## 3 成果

2つのグループに分かれ筋電位を利用した直感的なインタフェースを開発した。そのうえで各グループに共通する成果物は以下の通りである。

- 筋電計測回路筋電 MIDI コントローラに使用した筋電計測回路 (図3) は次の5つの回路で構成されている。外部のノイズを除去するための差動増幅回路、身体の揺れによるノイズを除去するハイパスフィルタ、交流成分を直流に変化させるダイオード、複雑な信号を滑らかにする積分回路、整流された信号を増幅するメインアンプである。

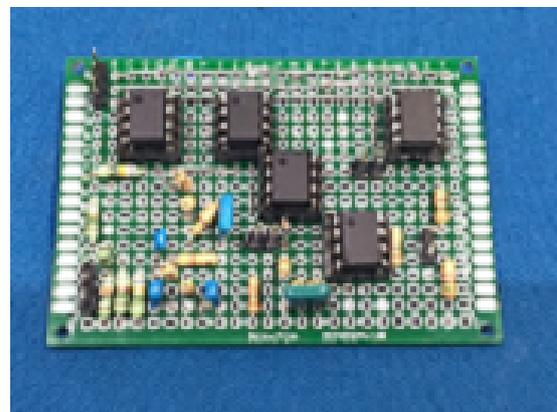


図3 筋電計測回路

- 筋電センサ筋電センサ内部で高インピーダンスを電氣的に生成し、皮膚と電極面の接触抵抗によって生

じるノイズを防ぐことが可能なアクティブ電極を作製した。

- Arduino を用いた筋電位の処理・モータ制御入力された値に応じて出力値を変化するプログラムを Arduino 上に記述しモータを制御した。Arduino を用いることで外部電源を接続するだけで動作することが可能である。

さらに各グループにおいて得られた成果を以下に記述した。

### 3.1 筋電 MIDI コントローラ

筋電位信号を用いたリアルタイムパフォーマンス用筋電 MIDI コントローラ（以下、筋電 MIDI コントローラと略す。）を開発した。この筋電 MIDI コントローラは、表面筋電センサおよび筋電計測回路により微弱な筋電位信号を Arduino で読み取れる電圧まで増幅し、それを MIDI 信号としてシンセサイザに出力するものだ。この MIDI 信号によってシンセサイザの音を変化させることが可能になっている。筋電 MIDI コントローラに実装されているエフェクトのコントロール機能は次の4種である。ピッチベンド、ビブラート、アンプエンベロープ・ジェネレータ リリースタイム、カットオフである。また、入出力インタフェースの1種としてコントロールする機能の切り替え用ツマミとペダルを取り付けた。ツマミは回したに応じ対応した機能が呼び出され、ペダルは一度踏むと機能が一つずつ変わるロータリー式となっている。これらはどちらも同じように操作が可能で、最後に操作した方の機能が呼び出される。

### 3.2 試装着用筋電義手

我々はプロトタイプ之作製、被験者に適応した筋電義手の製作、評価実験を通し、試装着可能な筋電義手の開発を行った。

- ペットボトルをつかみ、中身をコップに注ぐ実験  
能動義手では、能動義手の特性上、ペットボトルを掴むときに正常な掴み方ができていなかった。そのため、掴んだペットボトルを傾ける際に、上体を不自然な形で動かす必要があった。一方筋電義手では、正常な掴み方ができておりペットボトルの中身をコップに移す動作が自然であった。

- 積み木をつかみ特定の場所へ移動させる実験

能動義手では、一つ目の積み木を掴んで台の上へと移動させる時に、積み木を落としてしまっており、苦勞している様子が伺えた。しかし、それ以降は順調に積み木を移動させることができていた。一方筋電義手では、どの積み木も落とすことなくスムーズに移動させることができていた。

- エビ結びをしたロープをほどき、そのロープで箱を縛る実験

能動義手では、ロープを強くつかむことができ、ロープを引っ張ることもできていた。一方筋電義手では、モーターや部品の都合上、ロープを強くつかむことができず、ロープを引っ張るときに苦勞している様子が伺えた。

評価実験後、被験者から、部品の軽量化をして欲しい、モーターをもっと強くして欲しいなどのコメントを頂いた。

## 4 考察・評価

本プロジェクトで作製したインタフェースは筋電位を利用して直感的な制御が可能である。そのため当初の到達目標に到達したといえる。それぞれのグループにおける成果物の考察を以下に記述した。

### 4.1 筋電 MIDI コントローラ

このグループの目的は仮想的な腕を開発することであり、応用例としてシンセサイザのコントローラを制御するインタフェースの開発であった。その為に我々は筋電 MIDI コントローラを開発した。これは上記の通り筋電位を用いてシンセサイザの音を変化させることが可能である。この筋電 MIDI コントローラの制御が直感的かを考察する。まず、音の変化の仕方は2種類のモードを実装しその人に合うような設定が可能となっている。このため使用者が自身で設定を行えば直感的な制御が可能であるといえる。また、この筋電 MIDI コントローラを利用することで両手で鍵盤を演奏しながらコントローラを制御することができるため、シンセサイザの演奏の幅は広がったといえる。

### 4.2 試装着用筋電義手

評価実験の結果、課題が二つ挙げられた。まず1つ

は、実際の重量よりもかなり重く感じるという点である。これは部品が先端部分に集中し、重心が偏ってしまっていることが原因と考えられる。この課題の解決には部品自体の軽量化や部品配置の工夫が必要である。もう1つは、物の形状によっては持てない場合や滑ってしまう場合があるという点である。これは指(特に小指)の把持力が弱いことが原因と考えられる。この課題を解決するには指先の塗装の強度を向上させるか、モータのトルクをより強くする必要がある。これらの改善によって、より市販品に近いものに改良することができると考えている。

## 5 今後の課題・展望

本プロジェクトで開発したインタフェースはどちらも装着に時間がかかるという課題が残っている。また、装着時に使用者による設定が必要であり、使用者の疲労や使用時間などの状態の変化に対応することはできていない。今後、使用していく過程で使用者の状態を取得し、状態の変化に応じて設定も少しずつ変わっていくシステムを開発することを目指す。さらに、本プロジェクトで開発したような身体を拡張するインタフェースを多数開発することで、我々の生活を変化させるような身体構造の変化を実現することができるだろう。

### 5.1 筋電 MIDI コントローラ

我々は、もし腕が3本あったらなどのように演奏の幅が広がるかを考察することを目的とし、仮想的な腕として筋電 MIDI コントローラの開発に取り組んできた。その結果、両手で鍵盤を演奏しながらコントローラを制御することに成功した。実際に筋電 MIDI コントローラがリアルタイムパフォーマンスで使用されれば、演奏表現の幅が広がりリアルタイムパフォーマンスの有力なインタフェースになり得ると考えられる。さらに今後このようなインタフェースの開発が進むことで、音楽だけでなく我々の生活も変化していくことを期待する。

### 5.2 試装着用筋電義手

我々は、筋電義手に興味を持つ人がその装着感や使用感を気軽に体験できるようにすることを目的とし、試装着に特化した筋電義手の開発に取り組んできた。この試装着用筋電義手が活用されることによって、筋電義手購

入の際のリスクやハードルが下がり、筋電義手のさらなる普及へと繋がっていけばこの上ない喜びである。そのために、今後もさらなる改良が続けられていくことを期待する。