

公立はこだて未来大学 2022 年度 システム情報科学実習 グループ報告書

Future University Hakodate 2022 Systems Information Science Practice
Group Report

プロジェクト名

生体信号を利用した身体拡張インタフェース ～ASHURA～

Project Name

Interface using biosignal to augment body ～ASHURA～

グループ名

グループ B

Group Name

Group B

プロジェクト番号/Project No.

24-B

プロジェクトリーダー/Project Leader

福留康介 Kousuke Fukudome

グループリーダー/Group Leader

藤原良一 Ryouichi Fujiwara

グループメンバ/Group Member

久保田柊哉 Syuya Kubota

成田悠真 Yuma Narita

飯田悠平 Yuhei Handa

指導教員

櫻沢繁 高木清二 辻義人

Advisor

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Yoshihito Tsuji

提出日

2023 年 1 月 18 日

Date of Submission

January 18, 2023

概要

“生体信号を利用した身体拡張インタフェース ASHURA ”では、2010年度から生体信号のひとつである「筋電位」を利用したインタフェースの製作を行ってきた。筋電位とは、筋繊維が収縮活動をする際に発生する活動電位である。本プロジェクトの目的は、装着者の意図と連動させた身体拡張デバイスの製作である。ここで、筋電位を利用することでそのようなデバイス制御が可能になる。今年度の活動では、プロジェクトメンバー全体で身体拡張に関する先行研究を調べ共有し、「筋電義手製作」と「新たな身体能力の拡張」という二つのテーマをもとにグループ分けを行った。本グループでは後者のテーマに基づき、どのようなデバイスを製作するか話し合った。この結果、後期では片手が不自由な人を対象とした、つまむ機能を拡張する親指型デバイスの開発を行った。つまむ動作は、握る、押すなどの他の動作に比べて、指の先端でつまむ、指の腹でつまむ、側面でつまむなど、応用の利く範囲が極めて広く、日常生活の様々な場面で多く用いられている。具体的には、爪楊枝や針の把持、皿やコップを固定、ペットボトルの蓋の開閉、洗濯ばさみの開閉、箸の把持などがある。また、折り紙やリボン結びなど両手でつまむ必要がある動作もある。そのため、片手が不自由になった場合、両手でつまむ動作ができなくなるため、日常生活に制限が生じる。そこで、手に親指を増やし、片手でつまむ動作を二つ行うことによって、多く物を保持したり、リボン結びを行うなど日常生活がより便利になるのではないかと考えられる。このデバイスの評価実験として、正確につまむことができるか、つまむ力が適切か、複雑な動作が可能かを調査した。その結果、デバイスを用いて与えられた課題をこなすことができたが、その後の意見調査で「薬指が曲がり切ってからデバイスが曲がり始めた」や「自由度が低く、靴ひもを結ぶのが難しかった」などの意見が見られた。これらの原因として、筋電位を読み取ってからのタイムラグがある、伸展・屈曲する機構しかないことが挙げられる。この結果から、回転速度がより速いモータの導入や、外転・内転の機構を加えるなどの改善案が示唆される。

キーワード 生体信号, 筋電位, 身体拡張, 親指, つまむ

(※文責: 久保田柊哉)

Abstract

Since FY 2010, "Interface using biosignal to augment body ASHURA" has been working on an interface that uses "myoelectric potentials," one of biological signals. Myopotential is an action potential generated when muscle fibers contract. The purpose of this project is to create a body augmentation device that is linked to the wearer's intention. The use of myoelectric potentials makes it possible to control such devices. In this year's activities, all project members investigated and shared previous research on body augmentation, and were divided into groups based on the two themes of "myoelectric prosthetic hand production" and "expansion of new physical abilities. This group discussed what kind of device they would make based on the latter theme. As a result, we developed a thumb-type device that extends the function of pinching for people with one-hand disabilities. Compared to other actions such as grasping and pushing, pinching has an extremely wide range of applications, such as pinching with the tip, belly, or side of the finger, and is widely used in various aspects of daily life. Specifically, they are used to grasp toothpicks and needles, hold plates and cups in place, open and close plastic bottle lids, open and close clothespins, and grasp chopsticks. Some activities, such as folding paper and tying ribbons, require grasping with both hands. Therefore, if one hand becomes impaired, the ability to pick up with both hands will be limited in daily life. Therefore, we thought that adding a thumb to the hand and performing two pinching actions with one hand would make daily life more convenient, such as holding many objects or tying a ribbon knot. As an evaluation experiment, we investigated whether the device could pinch accurately, whether the pinching force was appropriate, and whether it could perform complex movements. As a result, we found that the device was able to perform the given task, but in a subsequent opinion survey, we received comments such as "the device started to bend after the ring finger was fully bent," and "it was difficult to tie shoelaces because of the low degree of freedom. These were caused by the time lag after the muscle potentials were read and the fact that the device only has an extension and flexion mechanism. These results suggest the introduction of a motor with a higher rotation speed and the addition of abduction and adduction mechanisms.

Keyword biosignal,myoelectric potentials,body augmentation,thumb,Pinch

(※文責: 藤原良一)

目次

| | | |
|--------------|----------------------|-----------|
| 第 1 章 | はじめに | 1 |
| 1.1 | 背景 | 1 |
| 1.2 | 目的 | 2 |
| 第 2 章 | グループ活動概要 | 3 |
| 2.1 | プロジェクト内におけるグループの位置づけ | 3 |
| 2.2 | 課題設定 | 3 |
| 2.3 | 課題割り当て | 3 |
| 第 3 章 | 計測・制御の方法 | 5 |
| 3.1 | システム概要 | 5 |
| 3.2 | 筋電位計測回路 | 5 |
| 3.2.1 | アクティブ電極 | 6 |
| 3.2.2 | 差動増幅回路 | 6 |
| 3.2.3 | 4 次ハイパスフィルタ | 7 |
| 3.2.4 | 非反転増幅回路 | 7 |
| 3.2.5 | 半波整流回路 | 8 |
| 3.2.6 | 積分回路 | 8 |
| 3.3 | 制御回路 | 9 |
| 3.3.1 | マイコン | 9 |
| 3.3.2 | DC/DC コンバータ | 9 |
| 3.3.3 | 制御プログラム | 10 |
| 3.4 | 外装部品 | 11 |
| 3.4.1 | サーボモータ | 11 |
| 第 4 章 | 最終成果物 | 12 |
| 4.1 | 最終成果物について | 12 |
| 4.1.1 | 最終成果物の指部分 | 12 |
| 4.1.2 | 最終成果物の装着部分 | 13 |
| 4.2 | 最終成果物製作時の問題と改善 | 14 |
| 第 5 章 | 評価実験 | 15 |
| 5.1 | 実験準備 | 15 |
| 5.1.1 | 倫理審査の確認と実験承諾書の作成 | 15 |
| 5.1.2 | 作業課題の設定 | 15 |
| 5.1.3 | 意見調査の設定 | 16 |
| 5.2 | 本実験の目的 | 16 |
| 5.3 | 実験方法 | 16 |
| 5.4 | 実験結果 | 17 |

| | | |
|--------------|------------------|-----------|
| 5.4.1 | 作業課題の結果 | 17 |
| 5.4.2 | 意見調査の結果 | 18 |
| 5.4.3 | 全体の結果 | 18 |
| 5.5 | 考察 | 18 |
| 第 6 章 | 結論 | 21 |
| 第 7 章 | 個人の活動 | 22 |
| 7.1 | 藤原良一 | 22 |
| 7.2 | 久保田柊哉 | 22 |
| 7.3 | 成田悠真 | 23 |
| 7.4 | 飯田悠平 | 23 |
| 第 8 章 | 評価フィードバック | 25 |
| 8.1 | 成果発表会 | 25 |
| 8.2 | 良い点 | 25 |
| 8.3 | 悪い点 | 25 |
| 8.4 | まとめ | 25 |
| 付録 A | 新規習得技術 | 27 |
| 付録 B | 活用した講義 | 28 |
| 付録 C | 相互評価 | 29 |
| C.1 | 藤原良一からの評価 | 29 |
| C.1.1 | 久保田柊哉 | 29 |
| C.1.2 | 成田悠真 | 29 |
| C.1.3 | 飯田悠平 | 29 |
| C.2 | 久保田柊哉からの評価 | 29 |
| C.2.1 | 藤原良一 | 29 |
| C.2.2 | 成田悠真 | 29 |
| C.2.3 | 飯田悠平 | 29 |
| C.3 | 成田悠真からの評価 | 30 |
| C.3.1 | 藤原良一 | 30 |
| C.3.2 | 久保田柊哉 | 30 |
| C.3.3 | 飯田悠平 | 30 |
| C.4 | 飯田悠平からの評価 | 30 |
| C.4.1 | 藤原良一 | 30 |
| C.4.2 | 久保田柊哉 | 30 |
| C.4.3 | 成田悠真 | 30 |
| 参考文献 | | 31 |

第 1 章 はじめに

1.1 背景

“生体信号を利用した身体拡張インタフェース ～ASHURA～”では、プロジェクト発足から現在まで、生体信号のひとつである「筋電位」を利用した身体拡張インタフェースの製作を行っている。筋電位とは、筋繊維が収縮活動をする際に発生する活動電位であり、筋電位を利用することで装着者の意図と連動させたデバイス制御が可能になる。そのため、本プロジェクトの目的は、筋電位を利用して装着者の意図と連動させた身体拡張デバイスの製作である。また身体拡張に関して、暦本 (2020) は人の持っている運動や感覚、コミュニケーションなどの能力をテクノロジーで伸ばすことが人間拡張 (Human Augmentation) であると述べている。[1] その人間拡張の方向性について、身体・存在・知覚・認知の四つの分類をしており [2]、その中の一つである身体拡張とは、翼や第 3 の腕などの人間の身体能力の追加、義手や義足のようにハンディキャップを補うものも含んでいる。

近年、そのような身体を拡張する研究が多く行われている。例えば、人間の手の 5 本指に第 6, 7 の指として 2 本の人工指を追加し、7 本指で把持実験を行った研究 [3] や、動物の尻尾から着想を得た尻尾型デバイスを開発し、尻尾による感情表現の可能性を示した研究もある [4]。また、指の伸びた手など、現実の身体にはない部位をバーチャル空間に作り、そのバーチャルハンドを通じてピアノを演奏することで現実の身体的制約を超えた身体拡張体験を生起させた研究もある [5]。佐々木 (2021) は、自由に動かせる第 3, 第 4 の腕を開発した。これらの腕はユーザーの足先の位置情報を使っており、足の開閉や持ち上げる動作に応じて操作することができていた [6]。また、生来の手に人工の指を「第 6 の指」として追加する研究がある [7]。この研究では筋電位を利用した独立制御可能な人工指を装着することで、それを自身の身体の一部として感じるか否かを調べるための実験をしていた。実験では指の曲げ伸ばしやキータッピングを人工指を装着する前と後で行い、自身の手の感覚の変化を評価した。結果として被験者全員がこの人工指を使いこなせており、また自身の身体の一部と感じた度合いが大きい被験者ほど、人工指を装着していた手の小指側の位置感覚が曖昧になるということを示していた。この研究では、筋電位を利用した制御の人工指を思い通りに動かせたことにより、被験者に主観的な感覚が変化し、自らの身体の一部として認識したと言える。類似した研究として「第 3 の親指」を追加した研究もあった [8]。この研究では身体を拡張するデバイスが脳における身体のイメージにどう影響するのか調べるための実験をしていた。実験では、手の小指側に作製した親指を装着し、足の親指に取り付けられた圧力センサーによって操作した。20 人の被験者に 5 日間にわたり訓練した結果、片手でペットボトルを保持しながらキャップを開けたり、グラスを片手で一つ多く持つなど、かなり高度に第 3 の親指を使いこなせることが明らかになった。このように、身体拡張によって人間の身体能力を伸ばす研究が行われており、中でも手に関連した研究が多く行われている。

人間の手には 27 本の骨と筋肉、18 個の関節がある。そして、繊細な構造をしている人間の手は、身体から外界への活動に際して、叩く、擦る、つまむ、握る、押すなど、重要な役割を果たしている。特に、親指と示指を用いた物をつまむ動作は、握る、押すなどの他の動作に比べて、指の先端でつまむ、指の腹でつまむ、側面でつまむなど、応用の利く範囲が極めて広く、日常生活の様々な

場面で多く用いられている。具体的には、爪楊枝や針の把持、皿やコップを固定、ペットボトルの蓋の開閉、洗濯ばさみの開閉、箸の把持などがある。また、折り紙やリボン結びなど両手でつまむ必要がある動作もある。そのため、片手が不自由になった場合、両手でつまむ動作ができなくなるため、日常生活に制限が生じる。ここで、身体拡張の観点に基づき、親指の本数を増やすことで、つまむ能力をより発展させることが可能となる。具体的には、片手が不自由な人の不自由な手を補うのではなく、使い慣れている手に親指を増やし、つまむ動作を二つ行うことによって、片手で多く物を保持したり、片手でリボン結びを行うなど、日常生活がより便利になるのではないかと考えられる。

(※文責: 久保田柊哉)

1.2 目的

我々が製作するデバイスは、片手が不自由な人が不可能である「2点をつまむ」という動作を可能にするデバイスである。製作するに至った経緯として、不自由な手ではなく、使い慣れた健常な手を拡張することで、製作するデバイスが単純な機構になり、装着・操作が容易になると考えられるからである。また、「第6の指」の先行研究から人工指に身体との一体感が生まれたという結果とつまむ際に多く用いられる指が親指であることを踏まえて、親指の形に近づけたデバイスを製作する。つまり、本グループの目標は、筋電位を利用した片手のつまむ動作を拡張する親指型デバイスの開発である。そして、評価実験によって次の2つを明らかにすることを目的とする。

- ① 親指型デバイスに身体との一体感が生まれることを示す。
- ② 親指型デバイスが片手のみで2点をつまむデバイスとして適しているかを示す。

(※文責: 成田悠真)

第 2 章 グループ活動概要

2.1 プロジェクト内におけるグループの位置づけ

今年度の本プロジェクトは、手の身体拡張に着目し、二つのグループに分かれて「全指欠損者を対象とした 5 本指が独立に動く筋電義手」と「片手が不自由な人を対象としたつまむ機能を拡張する指型デバイス」を製作した。本グループが製作したデバイスは、もう一方のグループの製作物とは違って、不自由ではない方の手に身体拡張を行った。これは、使い慣れた手に身体拡張を施すことで、単純な機構となり、デバイスを扱うことが容易になるのではないかと考えられるからである。また、1.1 に挙げた「第 6 の指」の先行研究では、我々が生得的に持っている身体に新しい身体部位を付加することは可能なのか、その付加された身体部位は自身の身体の一部として感じるのか調べることを目的として研究が行われた。しかし、第 6 の指を装着することで生来の手では不可能な動きが可能になることに着目されていなかった。そこで、我々はその点に目を向け、話し合う中で生来の手のつまむ機能を拡張することに着目した。

(※文責: 成田悠真)

2.2 課題設定

我々は、「設計・制作」「筋電位計測回路」「マイコン」の三つの視点に分けて課題を設定した。
設計・制作

- 薬指とデバイスを用いてつまむという動作が難しくなるため、デバイスが曲がる方向や曲がる角度、手に装着する向き、固定方法を調整を考慮し、設計する必要がある。

筋電位計測回路

- 正確に筋電位を計測するため、回路を用いた計測の安定性向上が必要である。

マイコン

- 自身の指を動かす際の指の反応速度や動作速度と、親指型デバイスを操作する際の指部分の反応速度や動作速度に大きな差があり、自身の指とデバイスの指部分の動作にズレが生じ、親指型デバイスを用いたつまむ動作が困難になると考えられる。そのため自身の指とデバイスの指部分の動作との間に発生するタイムラグを解消する必要がある。

(※文責: 成田悠真)

2.3 課題割り当て

- 藤原 良一：成果物が意図通りの動きをするように設計を行い、3DCAD ソフトを用いて、成果物の 3D モデルを作成する。それらを 3D プリンタで印刷し、組み立てを行う。

Interface using biosignal to augment body ～ASHURA～

- 久保田 柁哉：安定性を向上させるため、ユニバーサル基板上に筋電位計測回路を作成する。
- 成田 悠真：安定性を向上させるため、ユニバーサル基板上に筋電位計測回路の作成を行う。
- 飯田 悠平：親指型デバイスを用いたつまむ動作を可能にするため、自身の指とデバイスの指部分の動作にズレが生じないプログラムを作成する。

(※文責: 藤原良一)

第 3 章 計測・制御の方法

3.1 システム概要

図 3.1 は本グループの制作物である「つまむ機能を拡張する親指型デバイス」のシステム図である。親指と示指や中指とのつまむ動きを阻害せず、片手のつまむ機能を拡張するために、本デバイスの指部分がつまむ動きをする際に使用する指は薬指となっている。そのため、薬指の伸展・屈曲と連動させるために尺側手根屈筋と総指伸筋に電極を手に貼り付け筋電位を計測する。次に、電極から送られてきた筋電位に対して筋電位計測回路を用いて増幅とノイズ除去の処理を行い、Arduino に送る。Arduino を用いて筋電位計測回路から送られてきた信号に対して閾値判別を行い、閾値を超えたときのみサーボモータを回転させる。モータがガットを引くことで指部分内部に通されたガットが引かれ、デバイスの指部分が伸展・屈曲する。薬指を屈曲させた場合、デバイスの指部分を屈曲させる。反対に薬指を伸展させた場合、デバイスの指部分を伸展させる。これにより、薬指と連動してデバイスが動き、デバイスと薬指によるつまむ動作が可能となる。

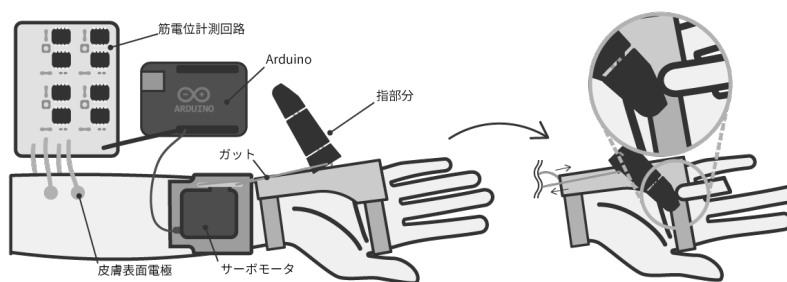


図 3.1 プロトタイプシステム図

(※文責: 藤原良一)

3.2 筋電位計測回路

筋電位計測には侵襲的計測と非侵襲的計測の 2 種類があるが、本制作物では非侵襲的計測のひとつである表面筋電位計測を行った。しかし表面筋電位計測には、計測できる筋電位が非常に微弱であることや、同相ノイズが多く混入するなどの問題点がある。同相ノイズとは、電源のプラス側とマイナス側で同位相のノイズが同一方向へ進み、大地を介してノイズ源まで戻ってくるノイズのことである。これらの問題点を解決し、マイコンで取り扱うことが可能な信号にするためには、図 3.2 に示す回路を用いて筋電位を増幅、同相ノイズを除去する処理が必要である。

(※文責: 久保田柊哉)

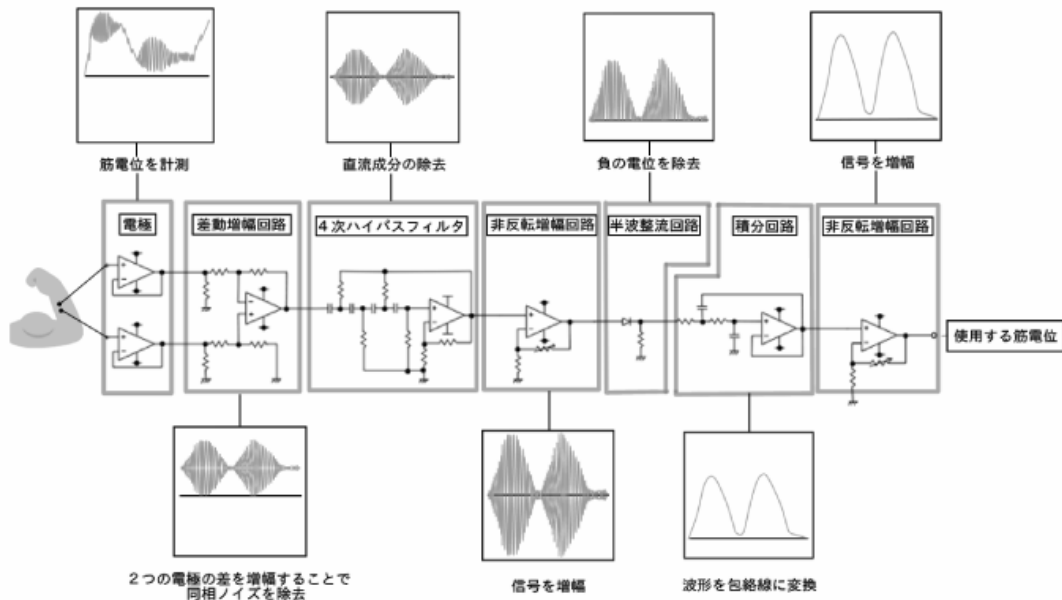


図 3.2 筋電位計測回路の回路図

3.2.1 アクティブ電極

表面筋電位を計測するためにアクティブ電極を用いる。皮膚はインピーダンスが高いため、そのままでは皮膚に電流が流れにくい。このため、微弱な筋電位の計測は難しい。そこで図 3.3 に示すアクティブ電極を用いることで極側の入力抵抗を皮膚の抵抗より大きくし、筋電位計測が可能になる。

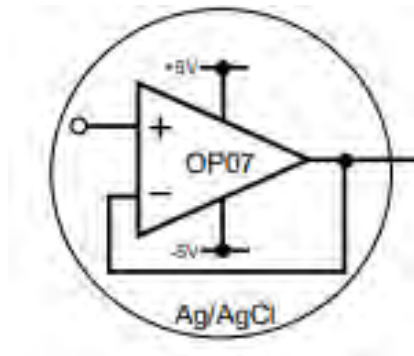


図 3.3 アクティブ電極

(※文責: 久保田柊哉)

3.2.2 差動増幅回路

差動増幅回路とは、二つの入力信号の差を増幅して出力する回路である。計測したときに筋電位と同時に出力されるノイズを正確に取り除く必要があるため、誤差 0.1 % の精密な抵抗器を用いて二つの入力信号の差を増幅させた筋電位のみを出力した。

(※文責: 成田悠真)

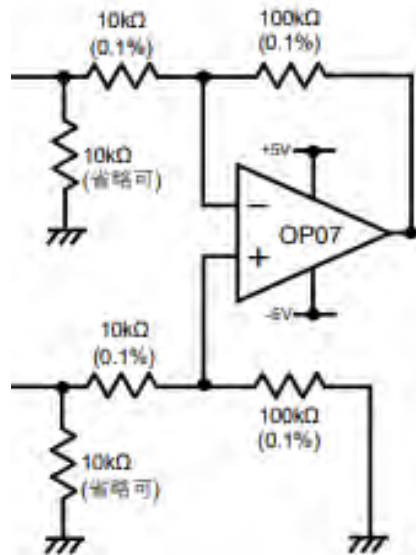


図 3.4 差動増幅回路

3.2.3 4次ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタとは、設定した周波数より低い周波数帯域の信号を減衰させて高い周波数帯域の信号のみを取り出すフィルタ回路である。

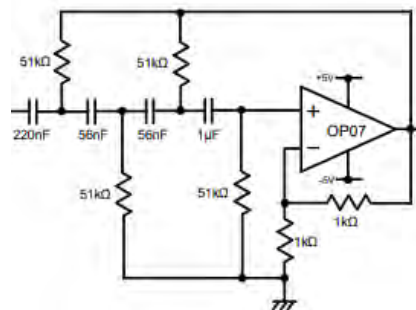


図 3.5 4次ハイパスフィルタ

(※文責: 成田悠真)

3.2.4 非反転増幅回路

非反転増幅回路とは、入力信号に対して出力信号が反転せずに増幅する回路である。この回路では非常に微弱な信号である筋電位を、マイコンで取り扱うことができる大きさに増幅することを目的としている。筋電位信号は使用者によって電位の大きさが異なるため、これに対応する必要がある。そのため図 3.6 に示すように、ここでは可変抵抗器を用いている。

(※文責: 久保田柊哉)

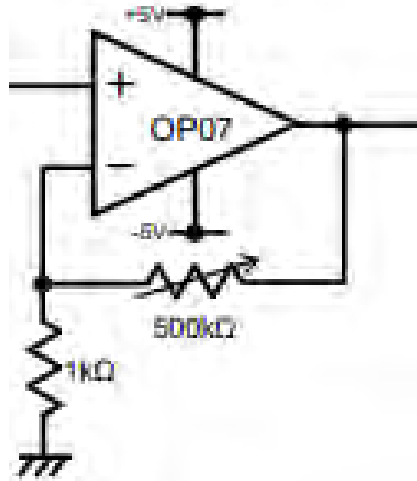


図 3.6 非反転増幅回路

3.2.5 半波整流回路

図 3.7 に示す半波整流回路とは、二種類ある整流回路のうちの一つであり、交流電流の正負の方向に流れている電流のどちらか一方だけを流す回路である。これを用いることで、交流電流を直流電流に変換し、3.3 の制御回路で扱うことが可能な電流にしている。

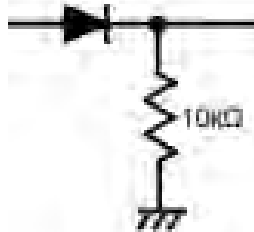


図 3.7 半波整流回路

(※文責: 久保田柊哉)

3.2.6 積分回路

図 3.8 に示す積分回路とは、入力電圧の時間積分に等しい波形の電圧を出力する回路である。また、積分回路はローパスフィルタとしての役割があり、一定の周波数を境にしてそれよりも低い周波数のみ通過する。これを用いることで、高域ノイズを除去している。

(※文責: 久保田柊哉)

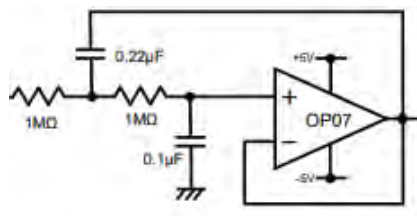


図 3.8 積分回路

3.3 制御回路

3.3.1 マイコン

Arduino は、電子工作や IoT (Internet of Things) デバイスの開発などに用いられる、AVR ポートや入出力ポートを備えた基板、および Arduino 言語とその統合開発環境から構成されるオープンソースのマイコンボードシステムである。Arduino 言語は C 言語や C++ に似た文法で構成されている。Arduino には、小型で軽量の Arduino Nano や、Wi-Fi や Bluetooth などのネットワーク機能を備えた Arduino MKR など用途に応じていくつかのタイプがあり、このグループではそのうちの 1 つである”Arduino Uno”を使用している。Arduino Uno は、AVR マイコンを搭載した基本的な Arduino ボードである。以下の図は本プロジェクトの B グループが使用した Arduino Uno である。

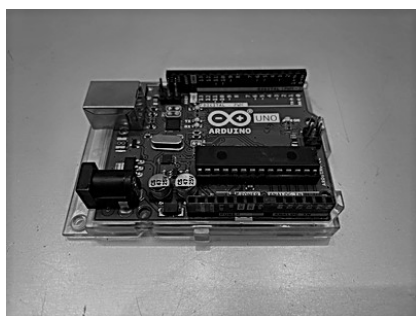


図 3.9 使用した Arduino Uno

(※文責: 飯田悠平)

3.3.2 DC/DC コンバータ

DC/DC コンバータは、直流電圧を別の直流電圧に変換する電子回路である。電圧の変換は、トランジスタやインダクタを使用して実現される。DC/DC コンバータは、電力を変換するだけでなく、電圧のステップアップやステップダウンを行うこともできる。本グループでは 9.0V のリチウムイオン電池を使用しており、またサーボモータの駆動電圧が 4.8V 6.6V であるため、5V に降圧する際 DC/DC コンバータを用いた。また筋電位を計測するための電極は ±5V の両電源を必要とするため DC/DC コンバータを用いて +5V から ±5V に変換した。以下の図は本プロジェクトの B グループが使用した DC/DC コンバータである。

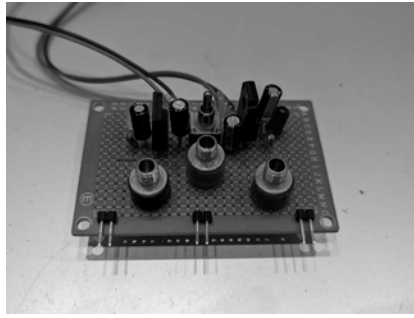


図 3.10 使用した DCDC コンバータ

(※文責: 飯田悠平)

3.3.3 制御プログラム

開発環境に Arduino IDE を用い、サーボモータの制御を行った。主な制御方法は筋収縮の強弱を基にした閾値判別を Arduino を用いて行い、閾値を超えたときのみサーボモータを回転させるというものである。モータがガットを引くことでデバイスの伸展・屈曲を操っている。閾値判別の詳細については、初めに指の伸展・屈曲にそれぞれ関わる総指伸筋と尺側手根屈筋に電極を手に貼り付け筋電位を計測し、電極から送られてきた信号に対して筋電位計測回路を用いて増幅とノイズ除去の処理を行い、処理された筋電位を Arduino に送信する。次にこの二つの信号を、Arduino Uno のアナログピンに入力し、Arduino Uno 内のアナログ - デジタル (AD) 変換器を用いて、0～5V の範囲で行われる信号の入力を 0～1023 の範囲の数値に変換する。変換後の 2 つの信号の差を $-1023 \sim 1023$ の範囲で取り、任意で設定した正の閾値、負の閾値を超えたとき指が伸展、屈曲したと判別する。この理由としては、尺側手根屈筋と総指伸筋は指の伸展・屈曲に関して互いに過度に干渉しない筋肉であるが、腕全体に力が加わった場合、もしくは腕に微小な力が加わっている場合を判別から除外するためこのような処理をしている。この判別に基づいて Arduino Uno から命令を出力し、サーボモータを動作させる。以下では上記で記した閾値判別を、具体的な式を用いて説明する。前提として、任意の電極を貼り付け筋電位を計測し、電極から送られてきた信号に対して筋電位計測回路を用いて増幅とノイズ除去を行うという過程を経て得られた信号を S とする。このとき尺側手根屈筋に電極を貼り付けて得られる信号を S_A 、総指伸筋に電極を貼り付けて得られる信号を S_B とする。また任意で設定する閾値を T_A, T_B 、任意で設定するサーボモータの回転角度を D_A, D_B 、 $N = S_A - S_B$ と設定する。このとき各数値の範囲については、 $S_A, S_B \in [0, 1023]$ 、 $N \in [-1023, 1023]$ 、 $T_A \in (0, 1023)$ 、 $T_B \in (-1023, 0)$ 、 $D_A \in [0, 90)$ 、 $D_B \in (90, 180]$ となる。これらの数値を用いて閾値判別を行う。初めにサーボモータの角度を 90° に設定する。 $N \geq T_A$ のときサーボモータの角度を D_A に変更し、 $N \leq T_B$ のときサーボモータの角度を D_B に変更する。このように N を設定することで腕全体に力が加わった際にサーボモータを動かす処理を除外できる。また T_A, T_B を設定することで身体や腕全体を動かした際、尺側手根屈筋と総指伸筋に無意識に微小な力が加わることで引き起こされる誤作動を減少させることができる。この閾値判別に基づいて Arduino Uno から命令を出力し、サーボモータを動作させる。このような制御プログラムにより、薬指を屈曲させた場合、モータが反時計回りにガットを引き、デバイスの指部分を屈曲させる。反対に薬指を伸展させた場合、モータが時計回りにガットを引き、デバイスの指部分を伸展させる。腕全体に力が入っている、または極僅かな力しか入っていない場合はモータを操作しない。これに

より、薬指に力を入れたときのみデバイスによるつまむ動作を可能としている。

(※文責: 飯田悠平)

3.4 外装部品

3.4.1 サーボモータ

サーボモータは、電気信号を受け取ることで、制御プログラムによって設定された目標値に合わせて、位置と速度を角度を精密に制御することができるモータである。また一般的なモータと異なり、角度を検出するために内蔵されたエンコーダを持っており、エンコーダは、モータの回転角度を数値で取得することができる。サーボモータには、制御信号を送るためのコントロール端子があり、ここに信号を送ることで、モータを回転させることができる。本グループでは、第6の指を伸展、屈曲させる機構を実装するため、TowerPro サーボ MG996R をサーボモータとして使用した。以下の図は本プロジェクトのBグループが使用したMG996Rである。

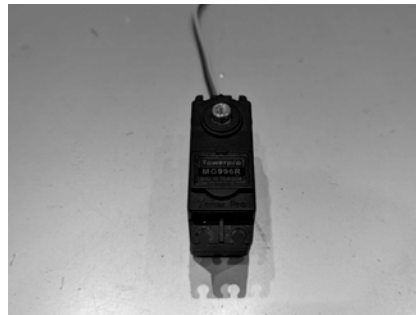


図 3.11 使用したサーボモータ

(※文責: 飯田悠平)

第 4 章 最終成果物

4.1 最終成果物について

図 4.1 は最終成果物を手に装着した時の図である。成果物は指部分と装着部分があり、主に 3D プリンタを用いて作成されている。また、成果物は成人男性の右手に装着することを想定している..

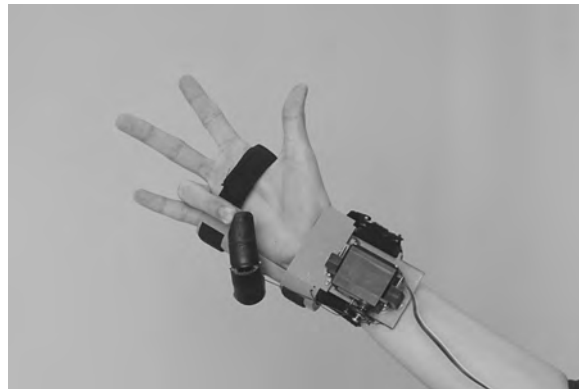


図 4.1 最終成果物

(※文責: 藤原良一)

4.1.1 最終成果物の指部分

図 4.2 は、最終成果物の指部分の図である。つまむ行為は親指とそれ以外の指で行われるため、手のつまむ行為を増やすにはもう一つの親指が必要である。このデバイスの指部分が親指の代わりとなり、薬指とつまむ行為を行うためにデバイスは小指球に装着することを想定している。また、指部分の形状は曲がる方向や動きの関係上左手の親指の形状を模しており、指先は角を斜めにしてつまむ行為を行いやすくしている。内部には指を伸展・屈曲させるためのガットを通すための穴が開いており、穴の大きさは 1.3mm である。ガットは YONEX 社製の” EXBOLT 63” のブラックを使用しており、太さは 0.63mm となっている。金属製のワイヤの場合プラスチックで作成した指部分が破損する可能性があるため、ガットを用いている。制作物は主に 3D プリンタを用いて製作が行われており、指部分を製作した 3D プリンタは研究室内に設置された Anycubic 社製の” Anycubic Photon” である。このプリンタは液体状のレジンに紫外線を当てて固める光造形方式の 3D プリンタであり、レジンには Anycubic 社製の” Colored UV Resin 1KG” の Black を使用した。指部分は小さな部品や小さな穴が多いため、印刷後に寸法が変わりにくく、熱でゆがみにくいこのプリンタを使用した。

(※文責: 藤原良一)

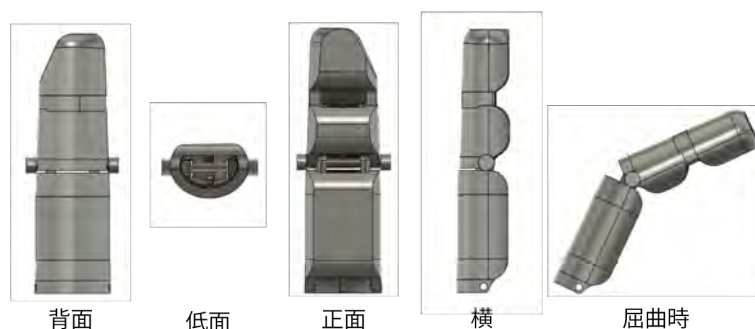


図 4.2 最終成果物の指部分

4.1.2 最終成果物の装着部分

装着部分は右手の掌の小指球と手首に装着するように製作されており、掌との取り付け部分は指部分の下部と合わさるようになっている。指部分の第二関節は装着部分の突起部分と指部分からなっており、掌との装着部分は子宮に沿うような形になっている。掌との取り付け部分に使用した 3D プリンタは大学内の工房に設置された株式会社 システムインナカゴミ社製の“Zortrax M200Plus”であり、熱溶解積層方式の 3D プリンタである。このプリンタを用いた理由として、装着部分は光造形式で印刷するには大きすぎたことと耐久性の面を考慮したためである。フィラメントには、“Zortrax M200 Materials: Z-ULTRAT”の COOL GLAY を用いた。掌との装着部分は設計上負荷がかかるため、高硬度で低変形な Z-ULTRAT を使用した。内部には指を伸展させる際に使用する手の甲側のガットを通すことのできる穴が開いている。また、手首との取り付け部分は腕に強く当たるため、プラスチックよりも柔らかな 6mm 厚の MDF 板を用いて製作しており、サーボモーターが取り付けられる。これらは、レーザーカッターを用いて裁断したパーツを木工用ボンドで固定している。使用したレーザーカッターは大学内の工房に設置された株式会社ヨコハマシステムズ社製の“VLS3.75”である。これらの部品を掌や手首に取り付けるために、両端に面ファスナ部分がついた黒のゴムバンドを使用し、掌部分には幅 20mm の手首部分には幅 38mm のものが使用されており、伸縮することで様々な手の大きさに対応できる。

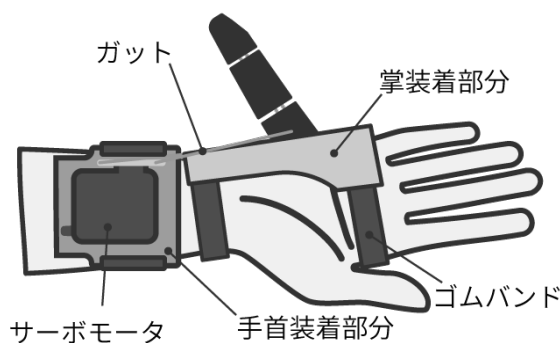


図 4.3 最終成果物の装着部分

4.2 最終成果物製作時の問題と改善

以下には最終成果物の製作過程において、発生した問題と改善について記述する。初めに、筋電位計測に関する問題である、前期の課題でブレッドボード上に作成した筋電位計測回路を使用すると、ジャンプガットの接触不良などが原因で、計測不良が相次ぎデバイスの動作が不安定になるという課題があった。これに対し、後期の活動では基板上に筋電位計測回路を作製した。これにより、筋電位の計測が安定し、それに伴い親指型のデバイスの動作も安定した。次に、設計に関する問題である。後期活動の初期段階では動作する親指型デバイスとサーボモータを前腕に装着する部分の二つをガットで繋げる構造だった。しかし、実際にデバイスを装着し操作すると手首や腕の動きに伴い、ガットが意図せず撓む、過剰に張った状態となってしまう、操作時に指が曲がらない、ガットが切れるなど親指型デバイスに致命的な動作不良が発生するという結果となった。このことを踏まえて、親指型デバイスとモータ装着部分の間に、これら二つを接合し固定する部品を新たに3Dプリンタを用いて作成した。これによって、ガットが常に一定の状態に保ったままモータと接続され、親指型デバイスの動作が安定するようになった。次に、計測部位に関する問題である。最初は、伸筋の計測部位を尺側手根伸筋としていた。しかし、この伸筋は手首の尺屈にも関わっているため、手首を動かした際にノイズを生じ、誤作動を起こしてしまう。そのため、伸筋の計測部位を総指伸筋とすることで、指以外を動かしたときに計測されるノイズが減少した。最後に、制御プログラムに関する問題である。後期活動の初期段階ではデバイスを伸展・屈曲させる制御プログラムの案として、薬指の屈曲にかかわる即尺手根屈筋から筋電位を計測し、任意に設定した時間内で、同時に設定した閾値を一定回数超過したとき、デバイスの状態を伸展と屈曲を交互に遷移させる、筋電位を用いたスイッチング処理を考案した。これは一度の状態遷移に時間制限、階数、閾値という多くの制限を設けることで、微細な筋収縮すら計測してしまう筋電位計測に基づくデバイスの意図しない動作を回避するため、より安定した動作が可能となるスイッチング処理を採用した。具体的な例として、3秒間という時間制限において、Arduinoに入力された筋電位計測回路からの信号の大きさが800を超えた回数が3回計測されたとき、デバイスの状態を変化させるという処理である。しかし、この処理を用いてデバイスを操作すると、伸展・屈曲における状態遷移が、自身の指を動かす際と比較して、多くの時間がかかり、結果的に装着者が操作しにくいと感じてしまう結果となった。これにより直感的な動作を実現するという身体を拡張するインタフェースの製作という目的に反することとなった。この結果を踏まえて尺側手根屈筋に加えて、指の進展にかかわる総指伸筋からも筋電位を計測し3.3.3のような制御プログラムを用いることで、スイッチング処理と比較して自身の指の動作に近い感覚で、デバイスを操作することが可能となった。

第 5 章 評価実験

5.1 実験準備

5.1.1 倫理審査の確認と実験承諾書の作成

本学が示した「実験・調査に関する倫理審査の要/不要チェック・フローチャート」に基づくと、本実験が倫理審査の対象になることが分かった。また、そのフローチャートによると、「対象に参加の同意を取らなければならない」という旨の文言が記載されていたため、実験承諾書を作成した。実験承諾書に記載した内容は以下の通りである。

実験内容

- この実験では、指型身体拡張デバイスを装着し、座った状態でピンポン玉をつまむ、キャラメル式箱 (大きさ 9cm 程度) を開ける、靴紐をリボン結びする作業を行っていただきます。
- 実験中、あなたが装着し操作するデバイスを写真及びビデオで記録させていただきます。
- 実験後、デバイスの使用感及び、改善点をアンケートさせていただきます。
- 実験の所要時間は 30～40 分程度を予定しています。
- 本実験は、個人の特性を評価するものではありません。

実験に想定される危険性についての対策

- 実験で装着していただくデバイスには、筋電位を計測するための電極が付属します。電源は電池で駆動され電極も乾式で皮膚上に貼付しますので感電する心配はありません。
- 銀（電極）に対する金属アレルギーがある場合はお申し出ください。万一、皮膚にかぶれ、湿疹等が生じた場合は実験中、実験後に関わらずご連絡ください。
- 実験中に気分が悪くなった場合や、装着部分にかゆみ、痛み等を感じた場合は、すみやかにお申し出ください。直ちに実験を中止します。

データの利用

- 実験を通じて計測されたデータ、回答いただいた内容、写真及びビデオ、本承諾書に書かれた情報は、研究目的以外に使用することはありません。研究発表などにおいて直接それらを用いる場合には、研究発表のプロジェクトのメンバーという情報は公表され、被験者が特定されうることを承諾していただきます。尚、記録したデータや写真については請求があればいつでもお見せいたします。

(※文責: 成田悠真)

5.1.2 作業課題の設定

評価実験に際して、本グループの 2 つの目的を明らかにするために 3 つの作業課題を設定した。まず、製作したデバイスに身体との一体感が生まれることを示すため、装着者の意思に従って正確

につまむ動作ができるか確かめる必要があると考えられる。そこで一つ目の課題として、机の上に置かれたピンポン玉をデバイスと薬指の先端を使って10秒間つまみ続ける課題を設定した。つまむものの設定は、メンバー内でつまみにくいものの特徴を話し合い、小さい球体であるという特徴をもつピンポン玉となった。次に、デバイスに力を加えてつまんでいる状態のときに、余った指を使って他の動作ができるか確かめるため、二つ目の課題として、デバイスを支えにして右手のみでキャラメル式箱のフタを開ける課題を設定した。そして、製作したデバイスが片手のみで2点をつまむデバイスとして適しているか、そして複雑な作業に適しているかを示すために、三つ目の課題として右手のみを使ってリボン結びをする課題を設定した。また、1つ目の課題に5分、2つ目の課題に10分、3つ目の課題に15分の時間を設定した。0分、3つ目の課題に15分の時間を設定した。

(※文責: 成田悠真)

5.1.3 意見調査の設定

評価実験に際して、本グループの2つの目的を明らかにするために3つの作業課題を設定した。まず、製作したデバイスに身体との一体感が生まれることを示すため、装着者の意思に従って正確につまむ動作ができるか確かめる必要があると考えた。そこで一つ目の課題として、机の上に置かれたピンポン玉をデバイスと薬指の先端を使って10秒間つまみ続ける課題を設定した。つまむものの設定は、メンバー内でつまみにくいものの特徴を話し合い、小さい球体であるという特徴をもつピンポン玉となった。次に、デバイスに力を加えてつまんでいる状態のときに、余った指を使って他の動作ができるか確かめるため、二つ目の課題として、デバイスを支えにして右手のみでキャラメル式箱のフタを開ける課題を設定した。そして、製作したデバイスが片手のみで2点をつまむデバイスとして適しているか、そして複雑な作業に適しているかを示すために、三つ目の課題として右手のみを使ってリボン結びをする課題を設定した。また、1つ目の課題に5分、2つ目の課題に10分、3つ目の課題に15分の時間を設定した。

(※文責: 成田悠真)

5.2 本実験の目的

本実験では、製作したデバイスを用いて正確につまむことができるか、つまむ力が適切か、そしてデバイスを用いて複雑な動作が可能か確かめることが目的である。

(※文責: 成田悠真)

5.3 実験方法

実験を行う前に被験者に、5.1.1に示した実験承諾書に記載した実験内容と実験で想定される危険性についての対策、データの利用について確認してもらい、承諾を得た。そして被験者にデバイスを装着し、デバイスの操作に慣れてもらうトレーニングを10分間行った。それにより、実験の際に自分の意思に沿って動かすことができるようにした。その後、5.1.2に示した三つの作業課題を課した。また、それぞれの課題を行うときにグループが想定した目安の時間を予め設けて、改善

点を検討しやすいようにした。最後に、5.1.3 に示した意見調査を行った。

(※文責: 成田悠真)

5.4 実験結果

5.4.1 作業課題の結果

この実験は、プロジェクトの作業スペースを使用した。また、プロジェクト内の違うグループから被験者として1人に参加してもらった。このようになってしまった理由として、デバイスを製作し終えた段階で、我々が想定していたスケジュールから大幅に時間を費やしてしまい、被験者を募集する期間に猶予が無くなってしまったためである。一つ目の課題は、デバイスを薬指と同じタイミングで曲げ、図 5.1 のようにピンポン玉をつまむことができた。そして、この課題は3分42秒かかっており、こちら側が想定していた5分以内に終わった。二つ目の課題は、一つ目の課題のつまみ方を生かして図 5.2 のように薬指とデバイスを箱の側面からつまみ、親指と人差し指を使って箱を開けることができた。また、この課題にかかった時間は5分2秒であり、この課題も想定した10分以内に終わった。三つ目の課題は、最後に行う二つの輪をそれぞれつまんで両側に引っ張るときに、図 5.3 のようにデバイスと薬指、親指と人差し指を使って結ぶことができた。しかし、こちら側が想定した時間より大幅に時間がかかり、47分かかってしまった。

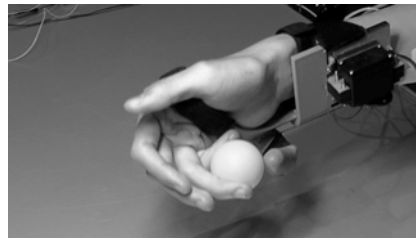


図 5.1 一つ目の課題をこなしている様子

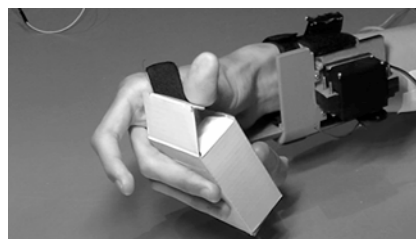


図 5.2 二つ目の課題をこなしている様子



図 5.3 三つ目の課題をこなしている様子

(※文責: 成田悠真)

5.4.2 意見調査の結果

実験後に実施した意見調査では、まず長所について、「操作に慣れるとデバイスを思い通りに動かすことができ、片手では行えない動作を行うことができるのが良かった」という意見が得られた。しかし、短所として「薬指を動かして計測部位に力が加わり始めたときに、第6の指も同時に曲がり始めてほしかったが、実際は薬指が完全に曲がり切ってから第6の指が曲がり始めたのが残念だった。」という意見が得られた。また、感覚の変化について「薬指と小指と一緒に動いてしまうときのような感覚が、デバイスにも感じられた。」と話しており、改善案については「靴紐を結ぶ課題において、紐を両側に引っ張るのが難しかったため、デバイスの指の長さが足りないと思った。」と話していた。

(※文責: 成田悠真)

5.4.3 全体の結果

以上の結果をまとめると、三つの作業課題は全て達成することはできたが、靴紐をリボン結びする課題のみ想定していた時間を過ぎてしまった。また、意見調査の結果、短所や問題点として筋電位を計測してからデバイスが動くまでに若干のタイムラグが生じることと紐を引っ張る行為が難しかったことが報告された。

(※文責: 成田悠真)

5.5 考察

本グループのプロジェクト学習における目的は以下の二つである。

- 親指型デバイスに身体との一体感が生まれることを示す
- 親指型デバイスが片手のみで2点をつまむデバイスとして適しているか示す

この二つの目的を踏まえて、5.4.2に示した実施した評価実験における意見調査の結果から主に以下の成果が挙げられた。

- トレーニング次第でデバイスを思い通りに動作させることができ、デバイスの動作を通して自分の身体を動かしている際の感覚を感じることができる

このことから、使用者は親指型デバイスを使用することで自分の身体を動かしている際の感覚、すなわちデバイスに対し身体との一体感を感じ取ることができ、身体感覚という側面で身体拡張が可能となると言える。加えて評価実験の指標である「正確さ」、「つまむ力」、「複雑な動き」に対しても、有効な結果が得られたと考える。

しかし一方で、実施した評価実験からは主に以下の二つの問題点が挙げられた。

- トレーニングを行い、デバイスを使用した場合においても、二か所紐をつまんだ状態で引っ張るといった行為が困難であること

- 自身の指を動かしてからデバイスが動くまでにタイムラグが生じること

初めに紐を引っ張る行為が困難であるという問題点について考察を行う。実験のリボン結びを行う過程で紐を親指と人差し指、薬指とデバイスの指部分の二組を用いて計二か所つまむことができた。しかしリボン結びは、結ぶ過程で紐を引っ張るという行為が必要だが、デバイスを使用して紐を二か所つまんだ状態では、自身の指を屈曲させた状態から思うように動かさず紐を結ぶことが困難となった。この原因として、親指以外の指は屈曲させた状態において指の外転・内転が困難となることが考えられ、結果として紐を二か所つまんだ状態のまま自身の指を動かさず、リボン結びにおける紐を結ぶという行為が困難となったと推測できる。改善策として、原因である屈曲させた状態における指の外転・内転が困難ことを踏まえて、自身の指の屈曲を最小限にした状態で、デバイスの指部分を用いて紐をつまむことが可能となれば指の外転・内転を行うことが可能となる推測できる。そのため、デバイスの指部分の長さを伸ばすことで自身の指の屈曲度合いを少なくでき、安易な外転・内転が可能となると考える。加えて、自身の指の動作とデバイスの指部分の動作を対応させるため、デバイスの指部分に外転・内転の機能を加えることも必要と考えられる。外転・内転の機構については、デバイスの指部分の内部における橈側、尺側に4.1.1で示したように二つの穴を開けそれぞれに新たに二本のガットを通し、またデバイスの装着部分にも新たに二つの穴を開けてそれぞれにガットを通し、通した二本のガットを新たに追加したモータに接続することで動作が可能となると考えられる。制御プログラムについては小指・薬指の外転を行うための小指外転筋に電極を貼り付け、計測した信号が新たに設定した閾値を超えたときモータを回転させる処理を3.3.3に追加することで動作が可能となると考えられる。次に自身の指を動かしてからデバイスが動くまでにタイムラグが生じることについて考察を行う。この問題点に関して、主に二つの可能性が考えられる。一つ目はモータの回転速度が遅いことである。二つ目は制御プログラムにて設定した閾値の調節が適正でないことである。この二つの可能性のうち、どちらが原因として適しているかを判断するため、自身の指を屈曲させた時刻とモータが回転を開始した時刻の差を求める。以下の表は計測した自身の指を屈曲させた時刻とモータが回転を開始した時刻の差である。

「自身の指を屈曲させた時刻とモータが回転を開始した時刻の差(秒)」の表

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.62秒 | 0.58秒 | 0.56秒 | 0.52秒 | 0.56秒 | 0.46秒 | 0.61秒 | 0.53秒 | 0.54秒 | 0.55秒 |
| 0.5秒 | 0.59秒 | 0.48秒 | 0.59秒 | 0.45秒 | 0.45秒 | 0.54秒 | 0.63秒 | 0.45秒 | 0.46秒 |
| 0.49秒 | 0.46秒 | 0.49秒 | 0.5秒 | 0.53秒 | 0.55秒 | 0.45秒 | 0.51秒 | 0.55秒 | 0.53秒 |
| 0.56秒 | 0.58秒 | 0.48秒 | 0.51秒 | 0.48秒 | 0.49秒 | 0.51秒 | 0.55秒 | 0.55秒 | 0.45秒 |
| 0.55秒 | 0.49秒 | 0.51秒 | 0.5秒 | 0.49秒 | 0.45秒 | 0.55秒 | 0.54秒 | 0.44秒 | 0.62秒 |
| 0.55秒 | 0.54秒 | 0.45秒 | 0.56秒 | 0.53秒 | 0.67秒 | 0.55秒 | 0.44秒 | 0.44秒 | 0.51秒 |
| 0.64秒 | 0.47秒 | 0.52秒 | 0.56秒 | 0.42秒 | 0.5秒 | 0.5秒 | 0.57秒 | 0.57秒 | 0.37秒 |
| 0.52秒 | 0.5秒 | 0.51秒 | 0.51秒 | 0.52秒 | 0.5秒 | 0.49秒 | 0.52秒 | 0.56秒 | 0.48秒 |
| 0.57秒 | 0.58秒 | 0.52秒 | 0.48秒 | 0.53秒 | 0.5秒 | 0.55秒 | 0.53秒 | 0.45秒 | 0.56秒 |
| 0.44秒 | 0.44秒 | 0.48秒 | 0.55秒 | 0.52秒 | 0.51秒 | 0.46秒 | 0.55秒 | 0.48秒 | 0.53秒 |

図 5.4 「自身の指を屈曲させた時刻とモータが回転を開始した時刻の差(秒)」の表

計測したデータは評価実験後、評価実験と同様のトレーニングを行った本グループのメンバーがデバイスを使用して計測したものである。表より平均は0.51秒と計測できた。厚生労働省によると尺骨神経運動神経電動速度と年齢は $Y = -0.18X + 64.29$ (X が年齢, Y が尺骨神経運動神経電動速度) の回帰直線で表せると述べている。[9] このときデータ計測者の年齢は21歳のため、尺骨神経運動神経電動速度は60.51m/sになると考えられる。一方でデータ計測者の前腕に張り付けた電極からデバイスの指部分までの距離は0.10m 0.15mであるので、親指型デバイスを使用した際の計測データを基に算出した見かけの尺骨神経運動神経電動速度0.19m/s～0.29m/sとなる。この回帰直線から算出した尺骨神経運動神経電動速度 V_A と、見かけの尺骨神経運動神経電動速度 V_B を比

較すると、 V_B は V_A の 0.0031 倍～0.0047 倍と計算できる。このことから、 V_A と V_B に小さくない差が生じているため、自身の指を屈曲・伸展させてからデバイスの指部分が屈曲・伸展するまでに大幅なタイムラグが発生することが分かる。また差が生じることについてはモータの回転開始前に大幅なタイムラグが生じていることからモータの回転速度が遅いことが原因ではなく、制御プログラムにて設定した閾値の調節が適正でないことであると推測できる。この改善点として、閾値の調節が挙げられる。しかし閾値の調節は意図しない筋肉の動きによるデバイスの誤動作の許容とタイムラグの発生とのトレードオフであるため、最適な数値を算出することは困難であるが、一案として 3.3.3 で示した正の閾値 T_A 、負の閾値 T_B が取り得る値の全ての組み合わせで親指型デバイスの伸展・屈曲を十分な回数繰り返すことで最も誤作動が少ない閾値の組み合わせを算出できると考える。

以上のことから、本グループの目的の一つである親指型デバイスが片手のみで 2 点をつまむデバイスとして適しているか評価するという観点において、現段階では製作したデバイスは片手のみで 2 点をつまむデバイスとして未だ適していないと考えられる。また動作におけるタイムラグの発生や二か所紐をつまんだ状態で行う紐を引っ張るといった行為が困難であるという問題点を踏まえ、デバイスの動作や機構に問題がある状態で評価実験を行ったため、評価実験の指標の内「正確さ」、「複雑な動き」に対して、適切な評価ができなかったと考えられる。上記で挙げた問題点に対して以下の改善点が挙げられる。

- デバイスの指部分の長さを伸ばし、親指型デバイスに外転・内転の機能を追加すること
- 3.3.3 で示した正の閾値 T_A 、負の閾値 T_B が取り得る値の全ての組み合わせで親指型デバイスの伸展・屈曲を十分な回数繰り返し、最も誤作動が少ない閾値の組み合わせを算出すること

これらの改善を行うことで本グループのプロジェクト学習における目的の達成に近づくと考えられる。

(※文責: 飯田悠平)

第 6 章 結論

本グループのプロジェクト学習における目的は以下の二つである。

- 親指型デバイスに身体との一体感が生まれることを示す
- 親指型デバイスが片手のみで 2 点をつまむデバイスとして適しているかを示す

この目的を達成するために、本グループは 1.1 に挙げた先行研究を参考にして、指を動かす筋肉の筋電位を利用して制御し、物をつまむことができる親指型デバイスの製作を行った。得られた成果として以下が挙げられた。

- トレーニング次第でデバイスを思い通りに動作させることができ、デバイスの動作を通して自分の身体を動かしている際の感覚を感じることができる

しかし問題点として、以下の二つが挙げられた。

- トレーニングを行い、デバイスを使用した場合においても、二か所紐をつまんだ状態で行う紐を引っ張るといった行為が困難であること
- 自身の指を動かしてからデバイスが動くまでにタイムラグが生じること

またデバイスにこれらの問題点が内在する状態で、評価実験を行ったため評価指標の一部に対して適切な評価ができなかったという問題があり、より一層上記の問題点の改善が必要である。

(※文責: 飯田悠平)

第7章 個人の活動

7.1 藤原良一

- 5月 プロジェクト全体で何を行いたいかを話し合い、案を2つにしたうえでグループ分けを行った。そのため、そのアイデアをもとにどのような技術や機構を用いて製作を行うか、前期のスケジュールや達成目標などについて話し合った。
- 6月 5月に行ったスケジュールや達成目標の通りに、プロトタイプの作成に取り組み始めた。Fusion360でモデリングを行い、研究室内にある光造形方式の3Dプリンタを用いてプロトタイプを作成した。また、中間発表のポスターでは全体とグループのレイアウトを考え、Adobe illustratorを用いてポスターの作成を行った。
- 7月 作成したポスター3枚の印刷を行った。また、中間発表ではgroupBの発表を担当した。
- 8月 夏休み中は、定期的にボイスチャットアプリのDiscordを用いて定期的な報告会を行いつつ、個人の活動として成果物のモデリングやほかメンバーの活動を確認し、指示出しなどを行った。
- 9月 夏休み中に行った作業や後期のスケジュールを基に今後の作業内容の分担や、活動について話し合った。
- 10月 今後の活動を行っていくうえでのゴールの見直しを行い、それに向けた設計やモデリング作業、作業分担の見直しを行った。また、高校生が来航するイベントもあったため、それに向けたスライド作成などを行った。
- 11月 10月のうちに話し合った方針のもと成果物の作成を行うために、モデリングや3Dプリンタを用いた印刷、レーザーカッターを用いた加工作業などを行った。また、グループメンバーが分担して作成してきたものを合わせて最終的な微調整などを行った。
- 12月 作成した成果物の評価実験を行った。また、中間発表のポスターのレイアウトを少し変更し作成したポスター3枚の印刷を行った。最終発表ではプロジェクト全体とgroupBの発表を担当した。

(※文責: 藤原良一)

7.2 久保田柊哉

- 5月 筋電位や筋電位測定回路について講義を受け、身体拡張に関する先行研究を調べ、何を作るか話し合った。
- 6月 グループ内での役割分担として回路設計を担当し、ブレッドボード上で筋電位計測回路を製作した。
- 7月 中間発表に向けてポスターの文章やスライドを作成した。
- 8月 ユニバーサル基板上での筋電位計測回路の制作を行うため、EAGLE上で回路図を設計した。
- 9月 ユニバーサル基板上での筋電位計測回路の制作を行った。
- 10月 グループメンバーで最終成果物について目的を明確にするため話し合いを行い、今後のス

ケジュールを再確認した。

- 11月 評価実験の内容を考案し、電極やジャンパ線を適宜追加制作した。
- 12月 最終発表に向けて、ポスターやスライドの原稿を推敲し、発表会ではプロジェクトとグループ活動の発表を担当した。

(※文責: 久保田柊哉)

7.3 成田悠真

- 5月 表面筋電位について講義を受け、身体拡張に関する先行研究を基にプロジェクトでの製作物を決定した。
- 6月 機械学習に関する知識を深めつつ、ブレッドボード上での筋電位計測回路の制作を手伝った。
- 7月 中間発表に向けてポスターの文章や発表用スライドを作成した。
- 8月 目的の見直しを行い、後期の課題を再設定した。
- 9月 グループの成果物に機械学習を使わなくなったため、ユニバーサル基板上に筋電位計測回路を製作した。
- 10月 最終成果物の製作目的を改めて話し合い、それを踏まえて筋電位の計測部位を検討した。
- 11月 評価実験の内容を考案し、実験後に使うアンケートやプロジェクトポスターを作成した。
- 12月 評価実験を行い、最終発表に向けてポスターやスライドを推敲した。

(※文責: 成田悠真)

7.4 飯田悠平

- 5月 グループ全体で何を作るか、また何に活かしたいか等の開発方針を議論した。マイコンやモータの基本的な知識の習得に努めた。
- 6月 6月前半に作成したプロトタイプを、実際に Arduino Uno とステッピングモータを用いて操作し、逐次改善した。また6月後半は中間発表に向けたポスター作り、発表内容の推敲を行った。
- 7月 中間発表に向けてポスターの文章やスライドを作成した。中間発表ではプロトタイプの動作を聴衆に見せる実演を担当した。
- 8月 5月、6月、7月の活動において作成した製作物の動作プログラムの最適化について設計を担当するメンバーと話し合い、再度プログラムの改善を行った。
- 9月 設計班のメンバーとともに、Arduino やサーボモータ、DC/DC コンバータ、電池などの必要な物品についての話し合い、発注を行った。加えて Arduino や回路、電池を接続し机上での動作に問題がなくなるよう、配線やプログラムを調整した。
- 10月 10月も9月と同様に、Arduino や回路、電池を接続し動作に机上での問題がなくなるよう、配線やプログラムを調整した。またプロジェクト担当教員と前期成果物について背景や目的の再度話し合いを行った。これにより最終成果物の再考案に伴う、設計の再考案をグループメンバー全員で行った。
- 11月 設計班のメンバーとともに実際に手に装着し、最低限動作が可能となるように機構の再調整、部品の印刷や、制御における閾値などのパラメータの調整を行った。

Interface using biosignal to augment body ～ASHURA～

12月 動作確認や実験から、より直感的な動作が可能となるプログラムの再考案を行った。また最終発表に向けて、原稿の一部推敲を担当し、発表では観客に向けての実演を担当した。

(※文責: 飯田悠平)

第 8 章 評価フィードバック

8.1 成果発表会

2022 年 12 月 9 日に、2022 年度プロジェクト学習の成果発表会が行われた。発表会では本プロジェクトの概要と各グループの成果物や実験結果などをスライドで説明した。説明が終了した後、グループごとに製作物の実演や動画を再生し、成果物の動きを示した。その後、発表内容に関する質疑応答を行った。この一連の発表の間に聴衆の方々に我々の発表を評価していただいた。集計した結果、本プロジェクトの総評価数は 47 件であり、発表技術の平均点は 10 点満点中 7.63 点、発表内容の平均点は 10 点満点中 8.07 点であった。

(※文責: 藤原良一)

8.2 良い点

成果発表会を経て評価者から以下のような良い点が挙げられた。

- 実演ができなかった時のために動画も準備していたので、用意がよいと思いました。
- 実際のものや、スライドにも、多くのイラストなどを使うことで、技術的に分からない人にも伝わりやすくなっていった。
- 固定指のほうが便利なのでは、と始めは思ったが、靴紐を見てその必要性が理解できた。
- 内容がうまくまとまっていると共によく研究していることが伝わった。

(※文責: 藤原良一)

8.3 悪い点

成果発表会を経て評価者から以下のような改善点が挙げられた。

- 実践がうまく出来ていなかったのが少し残念だった。
- やや、早口に感じました。話が途中で途切れる部分が気になりました。
- スライドの切り替えがスムーズだとよかった。
- 難しい内容を分かりやすく伝えようとしているのが伝わったが、発表時間が長くなってしまっていた。

(※文責: 藤原良一)

8.4 まとめ

成果発表会での発表技術に関する意見は、評価が良かった点として、実演ができない時のために動画を用意していた点が挙げられる。反省すべき点としては、発表内容が長く、指定された発表時

Interface using biosignal to augment body ～ASHURA～

間一杯になってしまったため、間に合わせようと説明が早くなった点や、進行に手間取ってしまい発表時間を過ぎた部分に関する点が挙げられる。また、他にも B グループの成果物の実演が上手くいかずに実演動画になってしまった点が残念だったという意見も多く見られた。発表内容に関する意見は、評価が良かった点として、図や写真などを多く使用したため、理解しやすいという点や発表を聞いているうえで浮かんだ疑問が解決されたという意見が挙げられる。また、反省すべき点としては、難しい部分の説明が長くなってしまった点が挙げられる。これらの意見から、発表内容の伝えるべき部分が上手く精査できておらず、発表内容が長くなることや伝わっていないことがあったため、伝えるべき内容をより理解し、発表時間も加味して発表内容を構築する必要があったと反省した。また、実演に関しても実演できなかった際に動画を用意しているのは良かったが、ただ動画を流すのではなく、成果物があるため、臨機応変に対応して成果物を手動で動かすなどをして説明することができればよかったと反省した。

(※文責: 藤原良一)

付録 A 新規習得技術

課題解決において習得した技術について記述する.

- 筋電位計測回路の作成技術
- 表面筋電位の計測技術
- Arduino のプログラミング技術
- Fusion360 を用いた 3D モデルの作成技術

付録 B 活用した講義

課題解決において活用した講義を記述する。

- 櫻沢先生による生体信号計測の講義
- 情報処理演習 II
- 複雑系科学実験

付録 C 相互評価

C.1 藤原良一からの評価

C.1.1 久保田柊哉

グループでは回路担当として夏休み中やプロジェクト学習の時間外も活動して筋電位計測回路や電極の作成を行なってきていた。また、リーダーとして与えた指示に倒して早急に的確な答えを出してくれるためとても助かった。

C.1.2 成田悠真

後期での話し合いから、機械学習が必要なくなったこともあり、回路担当のサポートを行ってくれた。また、電極の張り付ける筋肉の検討や実験に関することも担当してくれた。様々な部分で困ったときに頼れたためとても助かった。

C.1.3 飯田悠平

マイコンの担当としてプログラムを書くことや配線関係を行なってくれた。また、議論に関しては鋭い視点で疑問や反論を行なってくれたため、アイデアがより良いものとなった。歓声が近くなったときはプロジェクト時間外も多く活動をおこなってくれていた。

C.2 久保田柊哉からの評価

C.2.1 藤原良一

本グループのリーダーとしての的確な指示出しを行い、やるべき事を明確にしつつ話し合いを滞りなく進行していた。また、最終発表ポスターやわかりやすい図の作成、3Dモデルの製作を担当しており、仕事量が多いにもかかわらず遅れなく遂行していた。

C.2.2 成田悠真

担当予定だった機械学習が必要なくなったため、それ以外の多くの分野でサポートに徹していた。最終発表ポスター執筆や評価実験を担当し、特に筋電位計測回路の製作において、グループ問わず夜遅くまでその動作確認を行っていた。

C.2.3 飯田悠平

マイコン、モータ制御を担当しており、未経験にもかかわらず最終発表までに実際に作動するプログラムを作成していた。また話し合いにおいて率先して意見を述べ、新たな提案や代替案など、製作物の方向性を深く思索していた。

C.3 成田悠真からの評価

C.3.1 藤原良一

グループリーダーとして各自の進捗を確認しつつ、グループのスケジュールを細かく管理していた。また、3Dモデリングの設計やポスターの作成も担っており、グループでの存在はとても大きかった。

C.3.2 久保田柊哉

主に筋電位計測回路とそれに用いるアクティブ電極を早くから製作していたため、段取り良くプロジェクト活動ができた。また、実験に関する書類やポスターの文章作成の際にとっても助けられた。

C.3.3 飯田悠平

主にマイコンを用いた閾値判別の処理に関するプログラミングを担当し、システムの変更点が見つかりと瞬時に対応して、スムーズに実験に取りかかることができた。

C.4 飯田悠平からの評価

C.4.1 藤原良一

本グループのリーダーとして常に状況を正確に判断し、計画を提案してくれた。また最終成果発表時にはポスターや、スライドに用いるイラストの作成をほとんど一人で行っており、とても助けになった。

C.4.2 久保田柊哉

本グループの回路設計を担当してくれた。筋電位計測回路は一つ作成するのに時間がかかり、デバイスの動作に欠かせないものであることから、早い段階で完成を求められていたがスケジュール通りに筋電位計測回路を作成してくれた。

C.4.3 成田悠真

本グループの全体のサポートとして多くの活動を行ってくれた。前期、後期の活動を通してスライドや報告書の作成だけでなく、忙しい時には他のメンバーの作業も手助けしてくれた。

参考文献

- [1] 須藤龍也, “能力の定義変える人間拡張 暦本純一さんの妄想は現実”, 朝日新聞 DIGITAL, 2020-10, <https://www.asahi.com/articles/ASNB563B8NB4ULZU00Q.html/> (最終アクセス日:2022/12/25)
- [2] 木村 剛士, “人を“エンハンス”する技術。「人間拡張」による人間 × AI の新たな世界”, Business leaders square wisdom, 2019-12, <https://wisdom.nec.com/ja/article/2019122702/index.html> (最終アクセス日:2022/12/25)
- [3] Wu, F. Y. and Asada, H. “Bio-Artificial Synergies for Grasp Posture Control of Supernumerary Robotic Fingers”, MIT Press, 2014
- [4] 三橋 研人, 郭 琳, 櫻井 豊, 下野 純治, 鈴木 玄貴, 樋本 喬, 鳥居 拓馬, 謝 浩然, “RETAIL: 人の身体能力と感情表現を拡張する尻尾型デバイス”, 情報処理学会, 2019
- [5] 小川 奈美, 伴 祐樹, 櫻井 翔, 鳴海 拓志, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, “えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム”, 情報処理学会, 2016
- [6] 佐々木智也, “身体拡張 多腕人間方式”, 基礎心理学研究, 2021, 40, 1, pp.18-22
- [7] 梅沢昂平, 鈴木悠汰, Gowrishankar Ganesh, 宮脇陽一, “Bodily ownership of an independent supernumerary limb: an exploratory study”, Nature, 2022, 12(2339)
- [8] Paulina Kieliba, Danielle Clode, Roni O. Maimon-Mor, Tamar R. Makin, “Robotic hand augmentation drives changes in neural body representation”, SCIENCE ROBOTICS, 2021, 6(54)
- [9] 厚生労働省, “a 運動神経 - 記録電極は - 厚生労働省”, (発行年不明), <https://www.mhlw.go.jp/shingi/2006/03/dl/s0301-3-13.pdf>