

公立はこだて未来大学 2017 年度 システム情報科学実習
最終グループ報告書

**Future University Hakodate 2017 System Information Science Practice
Group Report**

プロジェクト名

身体拡張筋電インタフェース～ASHURA～

Project Name

Body augmentation myoelectric interface - 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.

22

プロジェクトリーダー/Project Leader

1015076 小坂明日香 Asuka Koita

グループリーダー/Group Leader

1015218 安部秀哉 Syuya Abe

グループメンバ/Group Member

1015038 仲村一平 Ippei Nakamura

1015243 岸本勇太 Yuta Kishimoto

指導教員

櫻沢繁 高木清二 辻義人

Advisor

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Yoshihito Tsuji

提出日

2018 年 1 月 19 日

Date of Submission

January 19, 2018

概要

筋電義手とは、筋肉の収縮によって発生する微小な電位差を読み取り、動作制御を行う義手のことである。筋電義手は、一般的な能動義手に比べ外観が良く、把持力が強いなどの利点がある。その一方で、筋電義手の国内における普及は、決して十分ではない。その理由は、筋電義手が高価であること、また、国からの補助金支給に壁があること、などが挙げられる。これらの理由により、前腕欠損者は筋電義手に興味があっても購入に際してリスクを感じ、導入に踏み切れないという問題がある。そこで、昨年度のプロジェクトでは、筋電義手の普及を意図し、筋電義手の試装着が可能なデバイスの開発を行った。これにより、購入希望者は、筋電義手の購入に向けた検討が容易になることが期待される。その一方で、評価実験の結果より、筋電義手が重くて使いにくいという感想が得られた。本グループでは、昨年プロジェクトを引き継ぎ、残された課題である、使用者が腕に感じる重量感の小さい筋電義手の製作を目標とした。まず、exiii[1] 株式会社が公開している HACKberry のデザインファイルとソースコードを基に、3D プリンタで出力したパーツでプロトタイプを製作した。そして、昨年度プロジェクトの課題であった装着時に腕にかかる負担の軽減を目指した。第一に、掌部に収納されているモータや回路基板等の部品を新たに作成したケースに移し、腰部ケースに装着することとした。これにより、義手全体の重量バランスの見直しを試みた。第二に、腰部ケースに移動させたモータによって、指の動きを制御することとした。これにより、従来と同等の把持力の維持が期待される。その後、株式会社馬場義肢製作所と前腕欠損者の協力を得て、実際に義手を装着して実験を行っていただくことで、使用感や機能面についての確認を行った。実験の内容は、1. 昨年度の義手と、今年度製作した義手の装着時に感じる重さを比べるタスク 2. 箱を掴み特定の場所に移動させるタスク 3. 重さの異なるペットボトルを持ち上げるタスク 4. ペットボトルを掴み、中身をコップに注ぐタスクの4つのタスクを行っていただき、それぞれの達成度を調べた。タスク1では、今年度に製作した筋電義手の方が軽く感じられるという結果が得られた。また、ワイヤを固定させていない場合では、コイル状のピアノ線が動くことで非常に重く感じるということがわかった。タスク2では、箱の移動自体は困難ではなかったため、把持力に問題はなかった。タスク3では、ペットボトルの容量が70gまでであれば、持ち上げられることができた。タスク4では、ペットボトルの重さに負けて手首が回内してしまい、注水することができなかった。以上の結果から、把持力や手首を捻る動作については改善され、また、昨年度の筋電義手よりも軽く感じるということができたという結果が得られたので、使用者の負担の少ない筋電義手に近づけることができたと考えられる。新たな問題点としては、昨年度の義手に比べ、今年度の義手は、手首が回りやすい構造になっていたため、手首の構造を改善する必要がある。

(※文責: 岸本 勇太)

Abstract

The myoelectric hand is an artificial arm controlled by the myoelectric potential detected on the skin surface. Now, it has not sufficiently become popular in Japan because it is very expensive and it is hard to receive the subsidy to purchase it from the government. Hence, even if the disabled people is interested in a myoelectric hand, they can not try myoelectric hand casually. The previous year's project team aimed to make a myoelectric hand for trial in order for the disabled people to take the plunge and buy a myoelectric hand. We aimed to make the myoelectric hand which user don't feel heavy. At first, using the design file and source program of HACKberry provided from exiii Co., Ltd., we produced an artificial arm as a prototype with parts made by 3D printer. And to lighten it, we moved motors and substrates from the hand part of it to the waist. We also implemented a mechanism to control the fingers by connecting the motor. Then to check usability of a myoelectric hand which we made, we will apply it to the person who lost forearm. Detailed tasks to check the usability are as follows. 1.Comparing the myoelectric hand we made and last year's one. 2.Catching boxes and moving it to the specific place 3.Holding up plastic bottles of various weight. 4.Gripping a plastic bottle and pour plastic beads in the bottle into a cup. We checked each achievement degrees in the myoelectric hand we made.

(※文責: 岸本 勇太)

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	従来の問題点	1
1.3	昨年度の問題点	3
第2章	グループの目的	4
2.1	製作の流れ	4
2.2	プロジェクト学習で行う利点	5
2.3	最終的な到達点	5
2.4	課題の割り当て	7
第3章	課題解決のプロセス	8
3.1	各人の課題の内容とプロジェクト内における位置づけ	8
3.2	担当課題解決過程の詳細	12
3.2.1	小坂 明日香	12
3.2.2	安部 秀哉	13
3.2.3	仲村 一平	14
3.2.4	岸本 勇太	15
3.3	担当課題と他の課題の連携内容	16
3.3.1	小坂 明日香	16
3.3.2	安部 秀哉	16
3.3.3	仲村 一平	16
3.3.4	岸本 勇太	16
3.4	計測機器	17
3.4.1	電極	17
3.4.2	導電布	17
3.5	筋電計測回路	18
3.5.1	差動アンプ	18
3.5.2	ハイパスフィルタ	19
3.5.3	非反転増幅回路	20
3.5.4	半波整流回路	21
3.5.5	積分回路	22
3.5.6	反転増幅回路	23
3.6	制御回路	24
3.6.1	Arduino	24
3.6.2	DC/DC コンバータ	24
3.7	外装部品	25
3.7.1	3D プリンタ	25
3.7.2	Autodesk Fusion 360	25
3.8	サーボモータ	26
3.9	制御プログラム	27

3.10	ワイヤ機構	28
3.10.1	屈曲・伸展の仕組み	28
3.10.2	力の伝達	29
3.10.3	リール	29
3.10.4	ケース類	30
3.10.5	腰回り	30
3.11	評価実験	31
3.11.1	被験者	31
3.11.2	実験方法	31
第4章	結果	32
4.1	評価実験の成果	33
4.2	担当分担課題の評価	34
4.2.1	小坂 明日香	34
4.2.2	安部 秀哉	34
4.2.3	仲村 一平	35
4.2.4	岸本 勇太	35
第5章	今後の課題と展望	36
	付録	37
A	新規獲得技術	37
B	活用した講義	37
	参考文献	38

第 1 章 はじめに

1.1 背景

義手とは、怪我や疾患により上肢を失った者が、上肢本来の機能や外観を補完するものである。一般的な義手には、外見の復元を目的とする装飾用義手、特定の作業に使用することを目的とする作業用義手、上肢の機能を再現する能動義手(図 1)の 3 種類がある。また、筋収縮時に生じる電気信号で制御することによって、意のままに動かせる能動義手のことを筋電義手(図 2)とよぶ。これは一般的な能動義手に比べ外観が良く、把持力が強い。また、筋電義手は装着者の意思に沿って動作することから、忠実な身体機能の再現が可能と考えられている。先行事例として、オットーボック株式会社のミケランジェロ [2] などが挙げられる。



図 1 能動義手



図 2 筋電義手

(※文責: 岸本 勇太)

1.2 従来の問題点

筋電義手は多くの利点があるにも関わらず、全国更生相談所の義肢処方例における筋電義手の割合は 2 % と極めて少ない [3](図 3)。この理由として 2 つ挙げられる。1 つ目は経済的な問題である。筋電義手は、約 150 万円以上と非常に高価であるため、前腕欠損者が購入前に自分が使いこなせるのかどうか試すことが困難であることが挙げられる。欠損者が筋電義手を購入するために国から経済的な補助を受ける場合、訓練を行った上で筋電義手が使いこなせるという医学的な評価を受ける必要があるが、訓練にかかる費用は、使用者の自己負担となる。2 つ目は安全性の問題である。筋電義手には、侵襲的計測方法で筋電位を計測するものがある。この場合、外科的な手術を施し、電極を体内に埋め込む必要があるため、感染症にかかる可能性がある。このように、筋電義手の普及に関しては、経済的支援の制度に関する問題に加えて、安全性の問題が存在するといえる。

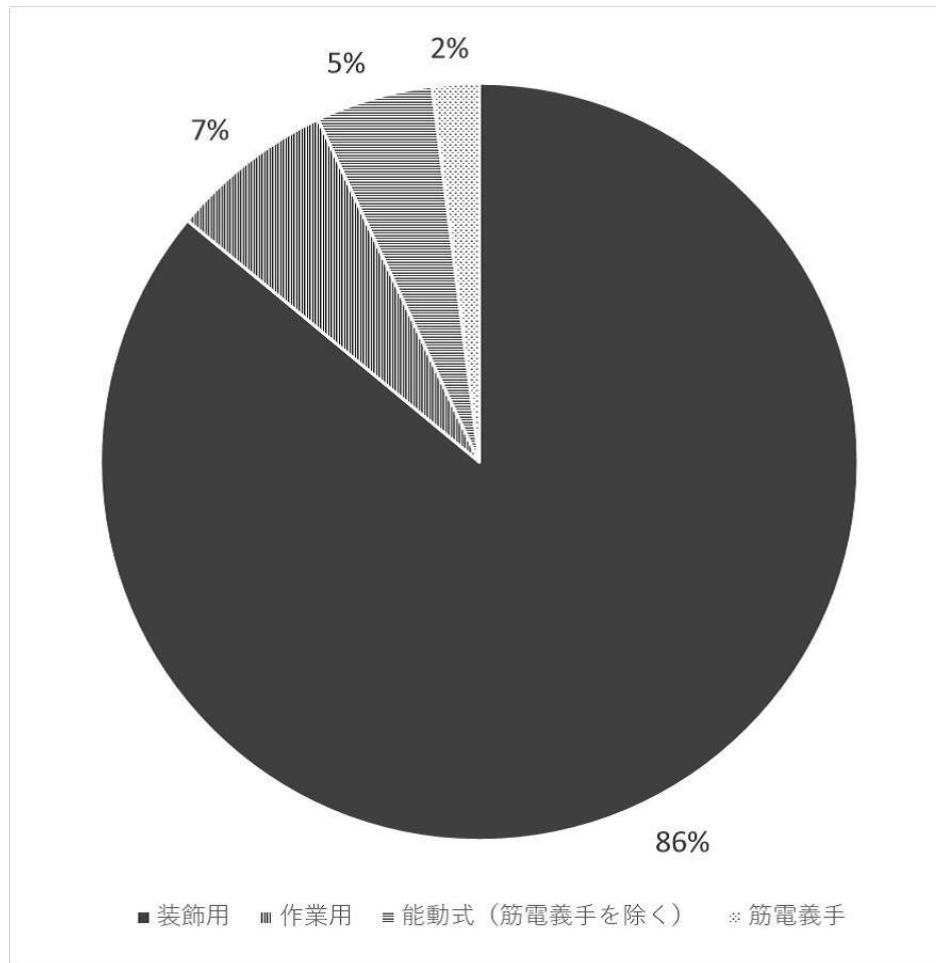


図3 全国更生相談所における義手処置の割合 (平成 22 年度)

(※文責: 岸本 勇太)

1.3 昨年度の問題点

昨年度のプロジェクトでは、筋電義手の普及のために、購入を希望する人に事前に決断できる機会を提供するための試装着できる義手の製作を目指した。昨年度の活動では、開発した筋電義手を被験者に装着していただき、被験者が普段使用している能動義手との装着感や使用感を比較するための実験を行った。実験の内容は、積み木を持ち上げ目標の場所へと移動させる、ペットボトルに入っている水に見立てたビーズをコップに注ぐ、ロープを結ぶ、の3課題であった。昨年度グループの報告書で指摘されている課題として、次の2点が挙げられた。1つは、筋電義手装着時に感じる重さが実際の重量よりも遥かに重く感じるという点である。これはモータや基板などの部品が掌部分に集中し、筋電義手本体の重心が先端に偏ってしまっていることが原因である。そのため、今後は重心の偏りをなくすことが課題となる。改善にあたって、より適切かつ効果的な部品配置になるよう工夫する必要がある。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り、これは小指の把持力が弱いことが原因と考えられる。小指を動かすモータは駆動力の大きいものを使用し、指先をプラスチックからシリコンに替え、物を掴んだ時に滑りにくくすることによって改善が期待される。

(※文責: 岸本 勇太)

第2章 グループの目的

本グループの目的は、昨年度のプロジェクトを引き継ぎ、使用者が感じる身体的負担が小さい試装着用筋電義手の開発を行うことである。昨年の筋電義手の重量では、使用者が装着時に感じる身体的負担が大きく、日常生活で使用することが困難であることがわかった。そこで、今回は、重量バランスの見直しを通して、重量感の軽減を実現することを目標とする。そのために、重量感の原因である、掌部に収納されているモータや回路基板等の部品を腰に移動し、手の先端にかかる負担を減らす。その後、株式会社馬場義肢製作所と前腕欠損者の協力を得て、実際に義手を装着して実験を行った際の感想をいただくことで使用感や機能面についての確認を行う。なお、前述の把持力の強化に関しては、本グループでは検討の対象としないこととする。

(※文責: 岸本 勇太)

2.1 製作の流れ

昨年度の取り組みから残された課題として、使用時に感じる義手の重量感が挙げられる。日常生活で義手を使用するには、義手の重量は大きな問題となる。そのため、今年度の取り組みとして、使用者の身体的負荷の小さい試装着用の筋電義手を製作することを目的に活動を開始した。まず、昨年度と同じ筋電義手のプロトタイプを製作し、次に軽量化のための改造を行った。以下に具体的な流れを示す。

1. 3D プリンタを用いて、義手を構成する部品を作成する。その際、既存の義手の構造情報 (HACKberry) を利用した。この部品の組み立てを行い、筋電義手のプロトタイプを作成する。
2. 実際に機構や掌部の重さを確認し、改善案を考える。
3. プロトタイプにワイヤ機構を実装し、実際にワイヤを引くことで指の屈曲と伸展が行えるかを検証する。
4. プロトタイプでの検証の結果を基に、実際に完成形とする義手にワイヤ機構を組み込む。
5. 筋電位で動作制御基板が動作するように、Arduino のコードを書き換える。
6. 筋電計測回路をオシロスコープに接続し、筋電位が検出できるか、義手を操作できるか、必要な電力が足りているかなどを確認する。
7. 動作確認の結果から指の動く方向がそろうように、Arduino のコードを再び書き換える。

(※文責: 岸本 勇太)

2.2 プロジェクト学習で行う利点

筋電義手を製作するにあたり、回路の作成や外装の設計を行う必要がある。そのため、それぞれ異なる分野で学習をしていた学生が、それぞれの経験したことを活かし、協力して活動することが必要である。具体的には、システムの設計や調整は、情報システムコースの学生が、論文の調査や生体の知識などは複雑系コースの学生が、外装の設計や図の作成などは情報デザインコースの学生が担当する。このことにより、各自が得意とする分野において、知識や技能を効果的に発揮することが可能である。また、異なる分野で活動をして来たことによる視点の違いにより、技術的な意見や使用者目線での意見などを交換することができる。さらに、プロジェクト学習を通して得られる筋電位や電子工作についての知識や技術について、それぞれが習得したものを相互に交換することで、各個人のスキルの向上も期待できる。学外訪問や、被験者に協力していただく評価実験なども、通常の講義内で行うよりもより柔軟に行動ができる。

(※文責: 小坂 明日香)

2.3 最終的な到達点

中間発表時では掌部に収納されている計測回路、制御回路、DC/DC コンバータを掌部の外に出して、3D プリンタで印刷した箱の中に収納し、サーボモータのギアが回転することにより指を動かす機構を実装し、軽量化を行った(図 4)。後期では、プロトタイプの時点では掌部に残っていたサーボモータを掌部の外に出し、さらなる軽量化を試みた。具体的には、サーボモータを固定させるためのケースを 3D プリンタで製作し、それらをポーチに収納して腰部に固定させた、また、サーボモータから指にかけてワイヤを張り、そのワイヤをサーボモータが引くことで、指を動かす仕組みを実装した(図 5)。それによって、重心を移動させることで、使用者の腕の負担を軽減させることを試みた。また、被験者の方に装着して頂く際には、昨年度の義手と今年度の義手の両方を用いて評価実験を行った。評価実験で被験者の方から昨年度の義手よりも軽く感じるという評価を得られたならば、使用者が感じる身体的負担が少ない筋電義手が開発できたと考え、これを最終的な到達点とした。

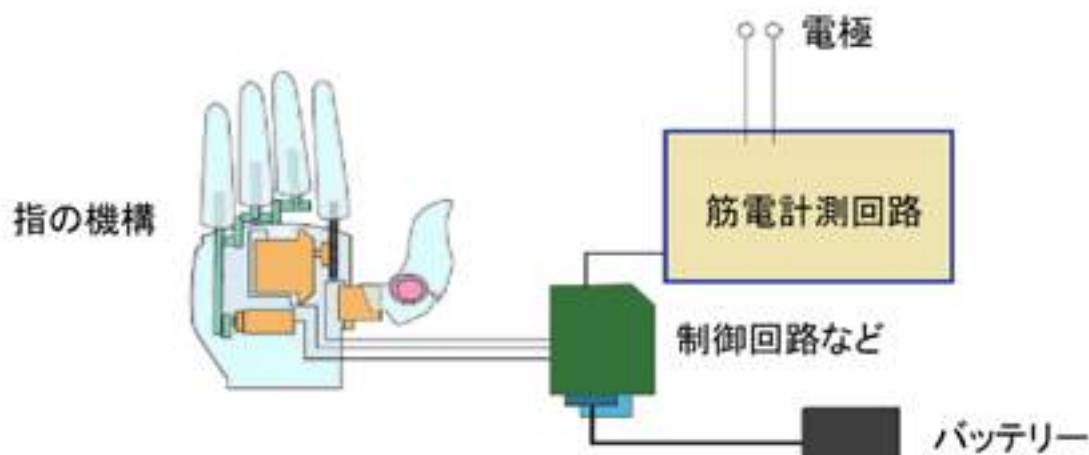


図 4 プロトタイプの図

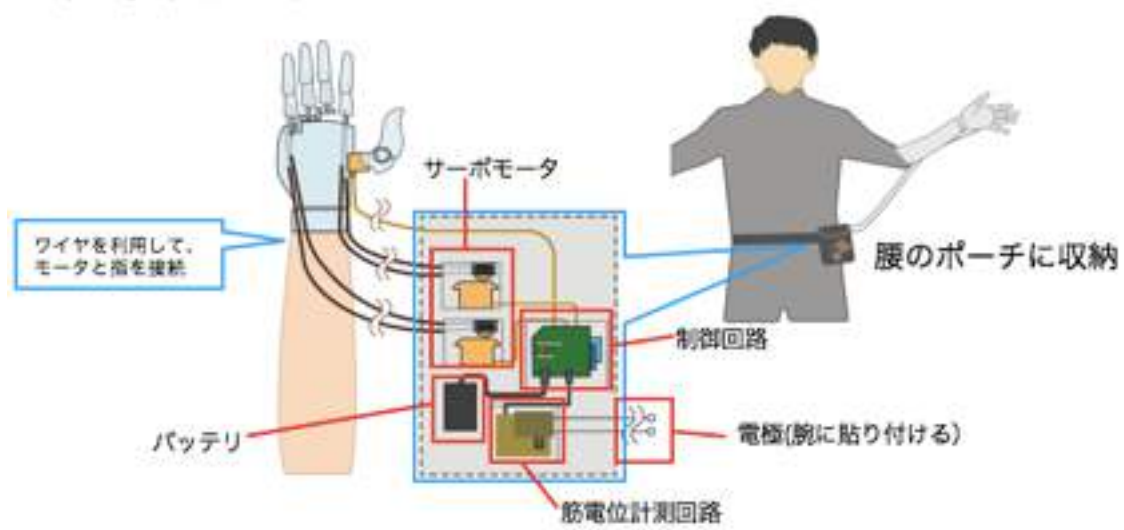


図5 最終成果物の図

(※文責: 安部 秀哉)

2.4 課題の割り当て

筋電義手を開発するにあたり、前期では外装部品の製作と動作制御基板や回路の作成を行った。また、作成した部品の組み立てや動作のテストを行った。各課題の割り当ては以下の通りである。

1. 3D プリンタを用いた外装部品の出力は主に岸本が行った。
2. 出力した部品の組み立ては主に岸本が行った。
3. ワイヤによる指の機構の実装は小板が行った。
4. 動作テストについては主に安部が行った。
5. 動作制御基板及び回路の作成は主に仲村が行った。
6. 評価実験の計画と進行については主に安部と小板が行った。
7. 最終発表に使用したポスタ及びスライドの製作については主に小板が行った。成果発表会の発表は安部、仲村が行った。

(※文責: 岸本 勇太)

第3章 課題解決のプロセス

3.1 各人の課題の内容とプロジェクト内における位置づけ

小坂 明日香の担当課題は以下の通りである。

<前期>

5月

現在開発されている筋電デバイスや義手の問題を調査し，それを元に目的を決定すること
担当教員とその研究室の方の協力のもと，筋電測定回路についての知識と技術を習得すること

6月

3Dプリンタで外装部品の印刷を行うこと
部品を組み立てて指が動く機構を実装すること
中間報告書の作成に着手すること

7月

中間発表会で使用するポスタとスライドの製作

<後期>

9月

後期に解決すべき課題を，前期に制作したプロトタイプをもとに検討すること
また，解決にかかる時間などを考慮してのスケジュール調整

10月

掌部の中に収納されていた部品を外部に出すためにはどのようにすべきかの検討
必要なパーツの検討と発注作業

11月

掌部の外部に存在するモータから指へ動力を伝えるためのワイヤ機構の設計と実装

12月

評価実験の計画を立てること
最終発表におけるポスタ，スライドの作成

(※文責: 小坂 明日香)

安部 秀哉の担当課題は以下の通りである。

<前期>

5月

現在の筋電義手の様々な問題点や現状を調べ、本グループの活動の目的に対する解決策を提案すること

担当教員や櫻沢研究室の方の協力の下で、筋電計測回路や力学の基礎知識を習得すること

6月

櫻沢研究室の先輩方に協力していただき、はんだ付けの技術を習得し、制御回路のはんだ付けをすること

本学の工房にて、基板加工機を使用して回路製作をすること

7月

筋電位を計測して、プロトタイプが動くか動作確認を行うこと

中間発表で使用する原稿の作成し、発表練習をすること

<後期>

9月

最終発表までの活動スケジュールを立て、メンバ間で共有すること

10月

制御回路のはんだ付けを行うこと

バッテリーのケースを製作すること

11月

サーボモータを固定させるためのケースの設計を行い、印刷を行うこと

櫻沢先生に評価実験の申請を依頼すること

12月

評価実験の目的、内容、評価項目について設定すること

最終発表での原稿の作成をし、発表練習をすること

(※文責: 安部 秀哉)

仲村 一平の担当課題は以下の通りである。

<前期>

5月

問題調査, 目的の決定, 筋電測定回路の学習

6月

電極の作成, 回路基板の製作, はんだ付け

7月

発表練習, 原稿の作成

<後期>

9月

基板のはんだ付け

10月

基板のはんだ付け

11月

基板のはんだ付け

義手とソケットの接続部の製作

12月

評価実験, 原稿の作成, 発表練習

(※文責: 仲村 一平)

岸本 勇太の担当課題は以下の通りである。

<前期>

5月

現在の筋電義手の様々な問題点や現状の調査，本グループの活動の目的に対する解決策の設定

6月

3Dプリンタでパーツの印刷，パーツ組み立て

7月

筋電位の計測，プロトタイプ動作確認

中間発表で使用する原稿とスライドの作成

<後期>

9月

前期の成果を踏まえ，最終発表会までのスケジュールの設定

10月

パーツの印刷と組み立て

11月

モータケース，バッテリーケースの製作

12月

評価実験，最終発表で使用する原稿とスライドの作成

(※文責: 岸本 勇太)

3.2 担当課題解決過程の詳細

3.2.1 小坂 明日香

<前期>

5月

実際に存在する筋電義手の事例や、筋電デバイスの問題点を論文などを元に調査した。それらをグループ内で共有し、解決すべき問題を検討した。さらに、プロトタイプ作成に必要な情報の収集も行った。また、筋電位の計測に関して、教員や研究室の方の協力を受け筋電計測回路と計測に必要な電極の製作方法を学習し、実際に製作した。また、3Dプリンタの使い方を教わり、外装部品の印刷を開始した。

6月

外装部品の印刷を行った。部品は印刷が終わるごとに研磨し、印刷の誤差が動作に影響出ないように加工した。また、印刷が終わったパーツを実際に組み立て、親指、人差し指、その他3指がモータによって動くように実装した。一方で、中間報告書にも着手した。

7月

プロトタイプが完成したため、実際に筋電位を計測し、それを元に動くかを調べる動作テストを行った。また、それに伴って、プログラムの書き換えも行った。中間発表会で使用するポスタとスライドの製作も行った。成果物の最終的な完成形の図解などを作図している。

<後期>

9月

後期に解決すべき課題を検討し、最終到達地点に対して、現在ほどの程度進んでいるかなどをグループ内で話し合った。それらの結果を元に、後期に行う作業とスケジュールを決定した。

10月

掌部に収納されていた部品を外部に移動するために、移動した部品を収納するボックスや動力を伝えるために必要なワイヤ機構などが明らかになった。そのため、3DCADソフトと3Dプリンタを用いて、課題を解決するために新たに必要になったボックスの設計から印刷までを行った。また、ワイヤ機構を実装するために必要な部品を調査し、注文した。指のどこにワイヤを繋げば正しく動作するかなどを、前期に製作したプロトタイプなどを使用しながら実験した。

11月

ワイヤの動作実験を元に、実際に成果物となる筋電義手にワイヤ機構を実装した。また、その際に新たに明らかになった巻き取りが少ないという問題を解決するためのリールを設計、モデリングし3Dプリンタで出力した。

12月

実際に製作した成果物が目標を達成しているか評価実験を行った。最終発表におけるポスタ、スライドの作成を行った。

(※文責: 小坂 明日香)

3.2.2 安部 秀哉

<前期>

5月

現在の筋電義手の様々な問題点や現状についての論文を調査し、グループ内で共有して解決する問題の設定を行った。また、プロトタイプ製作に向けて、解決策を決定するために、論文の収集を行った。それにより、設定した問題の解決策の提案を行った。

担当教員や櫻沢研究室の方に協力していただき、筋電計測回路の作成の方法や電極の作成方法を学び、実際に作成することで技術を習得した。

6月

本学の工房にて、職員の方から基板加工機の使用方法について指導していただき、回路製作を行った。また、櫻沢研究室の先輩方に協力していただき、はんだ付けのやり方を学習し、制御回路のはんだ付けを行った。

7月

製作したプロトタイプを用いて、筋電位によってプロトタイプが正常に作動するか動作確認を行った。また、並行して中間発表の原稿を作成し、発表練習を行った。

<後期>

9月

最終到達地点をメンバと議論して改めて確認し、解決策を決定した。それを元にして、最終発表に向けて活動スケジュールを練り、各自の担当を決めて、グループメンバと共有を行った。

10月

最終成果物で使用する制御回路を製作するために、前期と同様に工房の基板加工機に必要な基板を切り出し、はんだ付けを行った。その後、正常に作動するか動作確認を行った。

11月

10月に小坂が行ったワイヤを用いた実験により、サーボモータを固定させるためのケースの設計を行った。ケースは Fusion360 という 3DCAD ソフトを用いて、データを製作し、3D プリンタで印刷を行った。また、櫻沢先生から実験に関する申請書をいただき、実験の申請を櫻沢先生に依頼した。

12月

製作した筋電義手が目標を達成できたか検証するための評価実験の目的、内容、評価項目についてメンバと議論をして設定した。評価実験では、実施したタスクの結果及び、被験者の方の意見の記録を担当した。また、最終発表に向けて、原稿の作成と発表練習を行った。

(※文責: 安部 秀哉)

3.2.3 仲村 一平

<前期>

5月

担当教員から筋電位の仕組みおよび計測方法について理解した。

どのような筋電義手にしたいかの目標を設定した。

目標とする筋電義手を製作する上での問題について調査した。

6月

筋電位に必要な電極の作成を行った。

回路基板の印刷および基板に部品のはんだ付けを行った。

7月

プロトタイプの組み立てと、動作確認を行った。

<後期>

9月

新しい基板のはんだ付けを行った。

10月

計測回路の基板へのはんだ付けを行った。

11月

計測回路の基板へのはんだ付けを行った。

義手とソケットを接続する部分の製作をした。

計測回路へ $\pm 5V$ の両電源を供給するための基板を製作した。

義手を動かすプログラムの調整を行った。

12月

実験での機器の調整を行った。

最終発表の原稿を作成した。

(※文責: 仲村 一平)

3.2.4 岸本 勇太

<前期>

5月

文献を調査して、筋電義手の問題点や現状について学び、グループ内で共有して解決する問題の設定を行った。筋電計測回路の作成の方法や電極の作成方法を学び、実際に作成することで技術を習得した。

6月

3D プリンタを用いてパーツの印刷を開始し、それらを実際に組み立てた。

7月

製作したプロトタイプを用いて、筋電位によってプロトタイプが正常に作動するか動作確認を行った。また、並行して中間発表の原稿とスライドの作成を行った。

<後期>

9月

メンバと話し合い、最終目標を決定した。最終発表に向けて活動スケジュールを練り、各自の担当を決めて、グループメンバと共有を行った。

10月

3D プリンタを用いて、改めてパーツを印刷し、義手の掌部を作成した。

11月

義手の組み立てと同時に、課題を解決するために新たに必要になったボックスの設計、印刷を行った。

12月

製作した筋電義手が目標を達成できたか検証するための評価実験の目的、内容、評価項目についてメンバと議論をして設定した。評価実験では、被験者の撮影を行った。また、最終発表における原稿とスライドの作成を行った。

(※文責: 岸本 勇太)

3.3 担当課題と他の課題の連携内容

3.3.1 小板 明日香

前期は、掌部のパーツの印刷と組み立てを行い、それに仲村及び安部が製作した回路基板を組み込んだ。後期は、ワイヤ機構を岸本が製作した外装部品に組み込み、3D プリンタで製作したボックスに仲村及び安部が製作した回路基板を収納した。

(※文責: 小板 明日香)

3.3.2 安部 秀哉

回路基板の製作とはんだ付けを仲村と行い、それを小板及び岸本が製作したパーツに組み込んだ。

(※文責: 安部 秀哉)

3.3.3 仲村 一平

安部、小板が作成したケースに製作した計測回路を組み込んだ。

(※文責: 仲村 一平)

3.3.4 岸本 勇太

3D プリンタを用いて掌部の印刷と組み立てを行い、それに小板がワイヤ機構を実装した。

(※文責: 岸本 勇太)

3.4 計測機器

3.4.1 電極

本プロジェクトでは、グループで作成したアクティブ電極を用いて筋電位を計測した。アクティブ電極とは、皮膚のインピーダンスに比べ十分に高い入力インピーダンスを持ち、出力インピーダンスを十分に下げるためのインピーダンス変換器を搭載している電極である。また電極の皮膚との接触部には銀・塩化銀電極を用いた。塩化銀の面を皮膚表面に貼ることで、分極（金属と皮膚の界面で生ずる電解質の偏り）を防止している。

(※文責: 仲村 一平)

3.4.2 導電布

導電布は、繊維布の表面に金属メッキを施したものである。金属布と比べると劣化しやすいことやはんだ付けできないという欠点がある。しかし、柔軟性と伸縮性に優れており、容易に腕へ装着することが可能である。導電布を使用する目的として2点が挙げられる。第一に、基準とする電位を定めるためである。第二に、ノイズを軽減するためである。導電布をグラウンド線に接続することで、人と機器との基準電位を合わせることができる。

(※文責: 仲村 一平)

3.5 筋電計測回路

筋電計測回路は、以下に示す「差動アンプ」、「ハイパスフィルタ」、「非反転増幅回路」、「半波整流回路」、「積分回路」、「反転増幅回路」の組み合わせにより構成され、皮膚の表面から検出した筋電位の信号を増幅する。また、ノイズの除去も行う。

(※文責: 仲村 一平)

3.5.1 差動アンプ

差動アンプは、2つの入力信号の差を取って、その差を増幅する。同相ノイズを正確に取り除くには、抵抗値が正確な精密抵抗を用いる必要がある。2つの入力信号の配線の長さが変わるとインピーダンスに変化が生じて、うまく増幅できなくなる可能性がある。

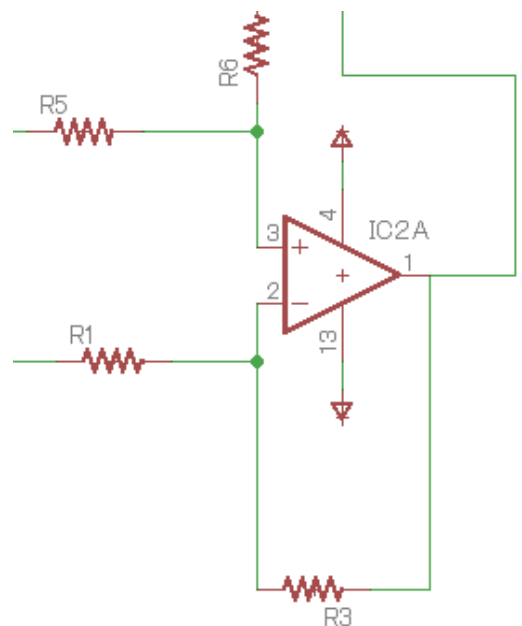


図6 差動アンプ

(※文責: 仲村 一平)

3.5.2 ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタは、遮断周波数よりも高い周波数信号のみを通過するフィルタである。遮断周波数とは入力電力に対し出力電力が1/2に減衰する周波数のことである。今回製作した筋電計測回路においては、4次のサレンキ型のハイパスフィルタを用いた。通常、サレンキ型は2個の抵抗と2個のコンデンサーと1個のオペアンプなどで構成されている。ハイパスフィルタは、次数が高いほどフィルタの効果も高くなるため、今回は4次のサレンキ型を採用している。このフィルタは電極と皮膚のずれによる低周波のモーション・アーティファクトを除去する役割を持っている。

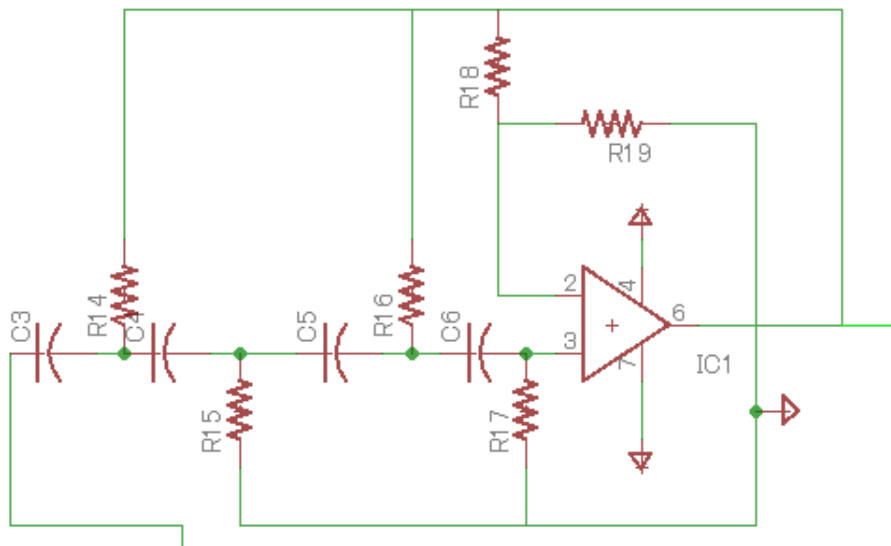


図7 ハイパスフィルタ

(※文責: 仲村 一平)

3.5.3 非反転増幅回路

非反転増幅回路は、出力電圧を入力電圧の正負を逆転させずに増幅することのできる回路である。

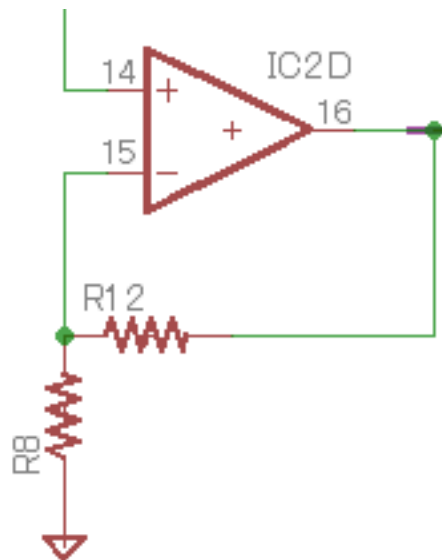


図 8 非反転増幅回路

(※文責: 仲村 一平)

3.5.4 半波整流回路

半波整流回路は、正と負の半サイクルを交互に繰り返す交流信号のうち、負の信号のみを除去し、正の信号のみを出力するものである。今回はダイオードを利用して半波整流を実現している。

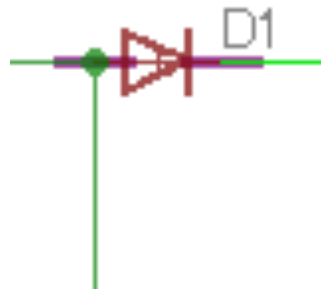


図9 半波整流回路

(※文責: 仲村 一平)

3.5.5 積分回路

積分回路は、入力された電圧を時間で積分して出力する回路である。ローパスフィルタの役割をしており、カットオフ周波数の高い周波数を減衰し、低い周波数を通過させることにより信号の包絡線を抽出する。今回の積分回路では、出力電圧と入力電圧の正負が逆転している。

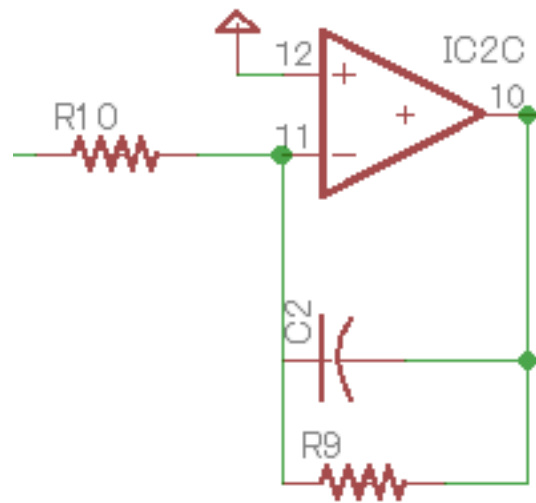


図 10 積分回路

(※文責: 仲村 一平)

3.5.6 反転増幅回路

反転増幅回路は、信号の正負を逆転させ、増幅する回路である。今回は積分回路により生じた正負の逆転を元に戻す役割をしている。

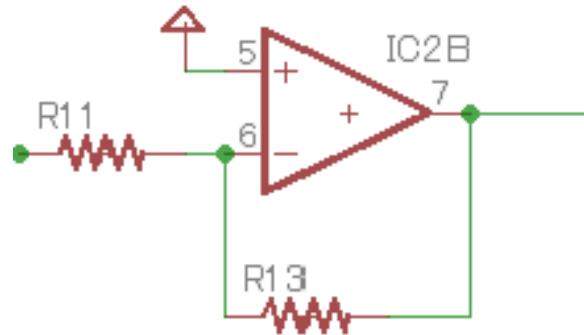


図 11 反転増幅回路

(※文責: 仲村 一平)

3.6 制御回路

3.6.1 Arduino

Arduino は、AVR マイコンと入出力ポートおよび C 言語に似た Arduino 言語から構成された 1 つのシステムである。今回はアナログで入力された信号をデジタル信号に変換する役割を担っている。この入力された信号が Arduino に設定された閾値を超えるとサーボモータが作動するように制御した。小型化および軽量化のために Arduino の中でも小型な Arduino micro を使用した。

(※文責: 仲村 一平)

3.6.2 DC/DC コンバータ

DC/DC コンバータとは、ある直流電源を別の電圧の直流電源に変換するための装置である。これを用いた理由として、以下の 2 点が挙げられる。第一に、使用していたバッテリーが電圧 7.2V であり、サーボモータの電圧の 5V に下げる必要があるためである。第二に、筋電計測回路では $\pm 5V$ の両電源を必要としており、+5V から $\pm 5V$ に変換する必要があるためである。

(※文責: 安部 秀哉)

3.7 外装部品

3.7.1 3D プリンタ

本グループでは、MakerBot Replicator 2X という 3D プリンタを使用し、製作を行った。手のモデル、ケース類などすべての 3D パーツをこの 3D プリンタにより出力している。3D モデルの変換は MakerBot が提供するソフトにより行っている。一度の印刷にかかる時間は複雑で大きなものになるほど長くなる欠点がある。また、精度もそれほど高くないため、印刷後は研磨によって整える作業が必要になる。そのため、掌部や指先などの直接使用者の目に触れ、また作業にも関わる部分は特に念入りにやすりがけなどを施した。

(※文責: 小坂 明日香)

3.7.2 Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 は、Autodesk 社が提供しているクラウドベースの高機能 3DCAD ソフトのことである。通常の 3DCAD ソフトは数十万円以上の値段のものがほとんどであるが、Fusion360 は毎月数千円で利用することができる。ただし、非営利・趣味用途に限定すれば、無料で利用することができ、3D モデラやクリエイタによく使われている。Fusion360 ではスケッチを描いて、それを押し出したり、回転させるなどして立体のデータを製作することができる。また、シェル機能やスカルプト機能を備えているため、複雑な形状の物を簡単に作ることができる。本ソフトでは、STL 形式ファイルの出力が可能である。3D プリンタで印刷を行う際に、本ソフトを活用した。

(※文責: 安部 秀哉)

3.8 サーボモータ

サーボモータとはサーボドライバとセットで用いることでサーボシステムを構成している。一般的なサーボシステムは、命令値を任意に設定することができ、それによってトルクの制御が可能である。サーボシステムとは、このような機器制御に関するシステムを指す。今回作成した筋電義手では、3個のサーボモータを採用した。親指を動かすサーボモータは、昨年度と同じものを1個使用し、昨年度の筋電義手で人差し指を動かしていたサーボモータを2個使用した。それぞれのサーボモータで親指、人差し指、中指から小指までの3本の指を動作させる仕組みとなっている。なお、今回使用したサーボモータは、E-MAX社のS03N/2BBMG/J[4]とGrand Wing Servo-Tech社のEMX-SV-0273[5]である。

(※文責：安部 秀哉)

3.9 制御プログラム

筋電義手の制御プログラムは、exiii 株式会社が公開するソースコードに改良を加えたものを使用した。このコードは、Arduino 言語で書かれており、各指に対応するサーボモータを動かすタイミングと、指を握った時の角度が記述されている。また、計測する筋電位の最大値と最小値を基に、サーボモータの角度を決める計算式が記述されている。本グループが製作した筋電義手は、ワイヤとモータの関係から人差し指と小指の動きが反転しており、調節するためにプログラムを修正して使用している。

(※文責: 小坂 明日香)

3.10 ワイヤ機構

3.10.1 屈曲・伸展の仕組み

モータを掌部の中から外部に移動するにあたり，ワイヤによる動力伝達機構を用いることにした．モータからスリーブで保護したまま手の甲へつなぎ，そこから手の中にワイヤを通し，必要に応じて掌部に穴を開けそこから通すことで指につないだ．人差し指に関しては，モータとギアの噛み合わせにより回転を伝え，指を屈曲させていた従来の機構を基に，ギアの一部に穴を開けてワイヤを通した．これにより，従来の機構を活かしながらワイヤ機構へ変更することができた．親指に関しては，モータが指そのものと掌部をつなぐ役目を担っていることから，ワイヤに変更することが難しいと判断した．残りの3本の指に関しては，Hackberry が提供する元の義手が小指・薬指・中指全てが連動して動く仕組みであるため，小指の第2関節に当たる部分に，手の甲側と掌側それぞれワイヤを1本ずつ通し，モータで引っ張ることによって3指の屈曲と伸展を実現した．また，ワイヤが擦れて切断されるのを防止するために，手でワイヤが通る穴に金属のリングを挿入し，摩耗を防いだ．



図 12 リールの仕組み

(※文責: 小坂 明日香)

3.10.2 力の伝達

1つのモータに対し2本のワイヤを通し、それぞれを屈曲及び伸展を司る腱として人差し指と小指へつないだ。モータは3Dプリンタを用いて製作したケースにより固定した。ケースと手の甲の間では、ワイヤをピアノ線のスリーブによって保護した。スリーブの両端はモータケースと手の甲それぞれにスリーブと同じ径の穴を開け、これにはめることで固定した。これにより、手の甲からモータまでの距離が一定に保たれ、モータがワイヤを引く力が指まで伝わるようになり、手の外部のモータで指を制御することが可能になった。

(※文責: 小板 明日香)

3.10.3 リール

それぞれ巻き取り量を屈曲と伸展で別に調整する必要があるため、3Dプリンタを用いてリールを作成し、ワイヤを巻き取る機構にした。また同時に、ワイヤを引く距離を増幅し、モータの回転では限界がある動きを実現できるようにした。また、小指に接続しているモータか、人差し指に接続しているモータかを判別するために、それぞれ黒と白のフィラメントにより出力している。

(※文責: 小板 明日香)

3.10.4 ケース類

モータを固定するケースや、基板などの外部へ移動した部品を収納するためのケースは、3Dプリンタを用いて作成した。見た目を考慮し、黒いABSフィラメントを使用した。基となるデータは3DCADソフトであるfusion360を使用して作成し、数回のプロトタイピングを繰り返し作成した。制御回路を収納するケースに関しては、スイッチのオンオフや不具合の調整などのため、すぐに取り出せるよう蓋を工夫し、開閉可能なものにした。一方で筋電位の計測で特に重要な計測回路は、しっかりと保護する必要があるため完全にフタで覆い隠すような設計を行った。また、モータケースはリールの取り付けやワイヤを通す作業のために取り外し可能にする必要があり、モータそのものをネジで固定することが困難な設計のため、モータを固定する穴を極端にモータのサイズと合わせた設計にし、サーボモータがケースの中で移動しないよう工夫した。



図 13 制御回路用ケース

(※文責: 小坂 明日香)

3.10.5 腰回り

作成したケースやバッテリー類を収納するために、腰に巻く仕様のウエストポーチを使用した。その際、回路が他の金属部品に触れてショートしないように細心の注意を払い、使用者の動作によって筋電義手が誤作動しないような工夫をしている。

(※文責: 小坂 明日香)

3.11 評価実験

今年度に作成した筋電義手を前腕欠損者の方に装着していただき、昨年度の義手と比べて軽く感じられるか、新たに追加したワイヤが動作に影響しないか調べることを目的として以下に示す4つのタスクにより、検証を行った。

(※文責: 安部 秀哉)

3.11.1 被験者

昨年度に、株式会社馬場義肢製作所の紹介で被験者になって頂いた方に今年度も被験者になっていただいた。欠損部は、左前腕で手首の付け根辺りから先が欠損している。普段は能動義手を使用しており、日常生活で問題なく使用している。

(※文責: 安部 秀哉)

3.11.2 実験方法

今年度では次の4つのタスクを行い、昨年度の義手と比べて軽く感じられるか、新たに追加したワイヤが動作に影響しないか調べることを目的とし、以下の内容の実験を行った。

1. 上げた腕の維持

昨年度の義手、ワイヤを固定させた状態、ワイヤを固定させない状態での3つの条件において、義手を装着して、一定の高さで30秒間保持していただいた。その後、昨年度の義手と比べて軽く感じるか評価していただいた。

2. 箱の移動

大きさの異なる2つの箱を低い位置から高い位置へ移動させて、把持力の検証を行った。検証の際には成功回数と失敗回数をそれぞれ記録した。

3. ペットボトルの持ち上げ

徐々にペットボトルの中身を増やしていき、どこまで持ち上げられるか検証した。持ち上げられた場合はペットボトルに印をつけて記録した。

4. ペットボトルの注水

被験者に水に見立てたBB弾をペットボトルからコップに注水することで捻る動作ができるか検証した。

(※文責: 安部 秀哉)

第4章 結果

本グループでは、昨年度のプロジェク学習で製作した義手が評価実験によって重く感じられた問題点を解決することを目的とした試装着用の筋電義手を開発した。被験者の方に装着していただいて評価実験を行い、昨年度の義手と比べて軽く感じられるか、新たに追加したワイヤが動作に影響しないか評価した。今年度に製作した筋電義手を以下に示す。



図 14 今年度製作した筋電義手

(※文責: 安部 秀哉)

4.1 評価実験の成果

3つの条件下において義手を装着していただき、一定の高さで30秒間維持するタスク(図15)において、今年度に製作した筋電義手の方が軽く感じられるという結果が得られた。また、ワイヤを固定させていない場合では、ピアノ線が動くことで非常に重く感じるということがわかった。2つ目の把持力の検証のタスク(図16)においては、箱の移動自体は困難ではなかったため、把持力に問題はないことがわかった。3つ目のペットボトルを持ち上げるタスク(図17)では、ペットボトルの中身の量を徐々に増やし、170gまで持ち上げられることがわかった。4つ目のペットボトルからコップへの注水のタスク(図18)では、ペットボトルの重さに負けて手首が回転してしまい、注水することが不可能である結果が得られた。以上の結果から、把持力や手首を捻る動作については改善点が見られたが、昨年度の筋電義手よりも軽く感じることができるという結果が得られたので、使用者の負担の少ない筋電義手に近づけることができたと考えられる。新たな問題点としては、昨年度の義手の手首の部分が回りにくい構造に作られており、一方で、今年の義手では回りやすい構造になっていたため、4つ目のタスクでは手首が回転してしまった。したがって、手首の構造を改善する必要があると考えられる。



図15 上げた腕の維持



図16 箱の移動



図17 ペットボトルの持ち上げ



図18 ペットボトルの注水

(※文責: 安部 秀哉)

4.2 担当分担課題の評価

4.2.1 小坂 明日香

後期も継続して、主に外装の設計と実装を行った。特にワイヤ機構についての実装を担った。ワイヤの仕組みについては、試行錯誤を繰り返すことで、しっかりと物を掴める義手になるように調整している。また、新たに必要となった部品の選定も行い、実際に使用している。筋電義手の動きにおける重要な部分であったが、慎重な調整やプロトタイピングが必要な過程であったため作業進捗に遅れが生じる場面が見られた。しかし、最終的に理想通りの動きをする義手を開発することができた。

(※文責: 小坂 明日香)

4.2.2 安部 秀哉

プロトタイプ製作では HACKberry の Wiki のウェブサイトからプロトタイプ製作に向けて必要な情報を収集した。得られた情報や先輩方のアドバイスをもとにプロトタイプを製作することができた。また、回路基板製作や 3D プリンタによる外装部品の印刷を行った。最終成果物製作に向けては、活動のスケジュールを立てて、メンバ間で共有を行い、活動全体の総括を主に担当した。製作においては、サーボモータを固定させるためのケースなどの外装部品の Autodesk fusion 360 を用いて、設計を担当し 3D プリンタで印刷を行った。また、コネクタなどの部品が壊れた際には状況に応じて、新たに作り直す作業をした。最終発表に向けては、評価実験の日程が遅くなってしまったのが原因で、スライドと原稿の作成に着手できる時間が十分に取れなかった。

(※文責: 安部 秀哉)

4.2.3 仲村 一平

プロトタイプ製作では、筋電を計測するために必要な計測回路とモータを制御する制御回路を製作した。ワイヤを用いた筋電義手の製作では、プロトタイプを製作した時点では、完成させられなかった計測回路を完成させた。また、プロトタイプで使用した制御回路をそのまま使えるようにするため、計測回路に $\pm 5V$ の両電源を供給する回路を製作した。義手とソケットを接続する部品の製作も行った。評価実験では被験者が装着する義手の調整など、機器の調整を行った。最終発表に向けての準備作業では原稿と実験動画の編集を行った。実験動画での編集は、今までやったことがなかった作業で完成させるまでに時間がかかったが、発表に間に合わせることができ、動画での必要な編集も漏れなくすることができた。

(※文責：仲村 一平)

4.2.4 岸本 勇太

主に、3D プリンタを用いて外装部品の印刷と出力されたパーツの組み立てを行った。プロトタイプの製作の際に印刷したパーツに歪みがあったため、ドリルなどで多少の加工を行った。また、最終発表会で使用するスライドの作成も行った。先生や研究室の先輩などからアドバイスをいただき、内容をわかりやすく伝えられるものにできた。

(※文責：岸本 勇太)

第5章 今後の課題と展望

評価実験の結果から、問題点として以下の2点が挙げられた。1つ目は、昨年度の義手よりも握力が弱くなってしまったことである。これは軽量化のために昨年度よりも軽い素材であるABS樹脂のフィラメントを用いたことが原因と考えられる。2つ目は、ワイヤの張りや強度が弱かったことが挙げられる。これを踏まえると、より強いワイヤを使用したり、コイルが動かないように長さなどを精密に設計する必要がある。軽量化と把持力の強化を両立させていくことが今後の課題であると考えている。

本グループでは、昨年度のプロジェクト学習で製作した義手が評価実験によって重く感じられた問題点を解決することを目的とし、使用者の腕の負担が少ない筋電義手の開発に取り組んできた。今年度の評価実験では、昨年度と比較してどのくらい軽く感じるか、新たに追加したワイヤが動作に影響しないか検証を行い、結果として、軽量化に成功させることができたため、来年度以降につながる結果が得られたと考えている。今後も筋電義手の本グループの取り組みが活かされ、改良が続けられていくことを期待している。また、筋電義手の普及の向上に向けて、今後も取り組みを続けて欲しいと考えている。

(※文責：安部 秀哉)

付録

A 新規獲得技術

今回のプロジェクトを通して習得した技術は2つある。1つ目は電子工作に関する技術である。これは基板加工機やはんだ付けを用いた回路基板を製作する技術である。2つ目は3Dプリンタや部品の組み立て、加工を行う技術である。これは、3Dプリンタを用いて3Dモデルを出力、組み立てを行う技術である。

(※文責: 岸本 勇太)

B 活用した講義

人体生理学, 信号処理基礎, 複雑系科学実験

参考文献

- [1] handiii exiii [<http://exiii.jp/handiii.html>] (アクセス日 : 2017/7/19)
- [2] オットーボック [<https://www.ottobock.co.jp>] (アクセス日 : 2017/12/29)
- [3] 檜本修, 2013, 職災医誌, 61 : 305 — 308, 障害者自立支援法における筋電義手の支給と課題 (アクセス日 : 2017/7/19)
- [4] S03N/2BBMG/J [<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-01793>] (アクセス日 : 2018/1/18)
- [5] EMX-SV-0273 [<https://www.emaxmodel.com/es08a-ii.html>] (アクセス日 : 2018/1/18)