

公立はこだて未来大学 2016 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書  
Future University Hakodate 2016 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.**

21-B

**プロジェクトリーダー/Project Leader**

1014239 古谷望 Nozomu Kotani

**グループリーダー/Group Leader**

1014204 長坂尚樹 Naoki Nagasaka

**グループメンバ/Group Member**

1014256 山代大木 Taiki Yamashiro

1014036 千場叡 Akira Chiba

1014254 米代拓真 Takuma Yoneshiro

**指導教員**

櫻沢繁 高木清二 伊藤精英

**Advisor**

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Kiyohide Ito

**提出日**

2017 年 1 月 18 日

**Date of Submission**

January 18, 2017

## 概要

筋電義手とは、皮膚表面から読み取った筋電位を用いて動作制御を行う義手のことである。これに対し能動義手とは身体の機械的な動きを利用して動作を制御する義手のことである。市販されている筋電義手は150万円以上と高価であるため、実際に前腕欠損者が筋電義手を入手するときには、その費用が大きな負担となる。国から金銭的な補助もあるが、その補助を受けるためには、筋電義手を使いこなすことができるという医学的な評価が必要になる。しかし、その評価を受けるための訓練にかかる費用は補助の対象外である。補助を受けることができなかつた場合に購入者が受けるリスクが高すぎるため、筋電義手に興味がある前腕欠損者が購入に踏み切ることができない問題がある。そこで本グループでは、そのリスクの軽減のために、訓練の前に筋電義手の使用感を試すための、試装着用の筋電義手の開発を目指した。

筋電位を利用した身体拡張インタフェースの開発として、本グループでは前腕欠損者のための筋電義手の製作を目指した。まず、exiii 株式会社が開示している情報をもとに、3Dプリンタを用いてプロトタイプを製作した。その義手を筋電位で動作するよう改良した。また、指先に人肌ゲルを塗装し、物を掴んでも滑らないように工夫した。加えて、実際に前腕欠損者が装着できるようにバッテリーの位置を変更した。また、このプロトタイプは前腕欠損者の欠損部に適応した形状ではないため、欠損部と義手とを接続するソケットと呼ばれる部品を製作する必要がある。そのために、馬場義肢製作所に協力していただきながら、筋電義手を製作した。

そして、その筋電義手の使用感を調べるために、前腕欠損者に義手を装着していただき、評価実験を行った。具体的には、①積み木を掴み特定の場所へ移動させる実験 ②ペットボトルをつかみ、中身をコップに注ぐ実験 ③エビ結びをしたロープをほどこき、そのロープで箱を縛る実験 の3つの課題を行っていただき、能動義手と筋電義手それぞれを用いた場合における課題の達成度を調べた。

(※文責:長坂尚樹)

## Abstract

The myoelectric hand is an artificial arm controlled by the myoelectric potential detected from skin surface. In contrast, the active artificial arm is an artificial arm controlled by physical mechanical body movement. For the person who lost one's forearm, the purchase of a myoelectric hand is big burden because a commercially available myoelectric hand is expensive more than 1,500,000 yen. There is the financial assistance from the government, but a medical evaluation to be able to operate a myoelectric hand is required to receive the assistance. However, the costs for training to receive the evaluation is exempted from the application of the assistance. Hence, even if the disabled people is interested in a myoelectric hand, he/her is concerned about the financial high risk in the case of losing fair evaluation. Therefore, we aimed at the development of the myoelectric hand for trial wearing to test the usability of the myoelectric hand before training for the reduction of the risk.

As a development of the physical augmentation interface using myoelectric potentials, we aimed at production of the myoelectric hand for the people who lost forearm. At first, using the information provided from exiii Co., Ltd., we produced an artificial arm as a prototype using 3D printer. We improved the artificial arm to work with myoelectric potential. And we painted pseudo-skin gel on a finger-tip for slip resistance while catching something. In addition, we changed the position of the battery in consideration of actual application of the myoelectric hand. Also, we produced the socket to fit the myoelectric hand to selected disabled person's forearm with cooperation of Baba Prosthetics & Orthotics MFG. Ltd. And we applied the myoelectric hand to the person who lost forearm to check usability of it. Detailed tasks were as follows, ①Catching a block and moving it to the specific place, ②Gripping a plastic bottle and pour plastic beads in the bottle into a cup, ③tying a rope up and tying a box up with the rope. We checked each achievement degrees in both case of the myoelectric hand and subject's ordinary active artificial arm.

(※文責:長坂尚樹)

# 目次

<b>第 1 章 背景</b> .....	<b>1</b>
1.1 現状における問題点 .....	1
1.2 課題の概要 .....	2
<b>第 2 章 到達目標</b> .....	<b>3</b>
2.1 本グループにおける目的 .....	3
2.1.1 通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点 .....	3
2.2 具体的な手順・課題設定 .....	3
2.3 課題の割り当て .....	4
<b>第 3 章 課題解決のプロセスの概要</b> .....	<b>5</b>
<b>第 4 章 課題解決のプロセスの詳細</b> .....	<b>6</b>
4.1 各人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ .....	6
4.2 担当課題解決過程の詳細 .....	10
4.2.1 千場叡 .....	10
4.2.2 山代大木 .....	11
4.2.3 長坂尚樹 .....	12
4.2.4 米代拓真 .....	13

4.3 担当課題と他の課題の連携内容 .....	15
4.3.1 千場叡 .....	15
4.3.2 山代大木 .....	15
4.3.3 長坂尚樹 .....	15
4.3.4 米代拓真 .....	15
4.4 計測機器 .....	16
4.4.1 電極 .....	16
4.4.2 リード線 .....	16
4.4.3 導電布 .....	16
4.5 筋電測定回路 .....	17
4.5.1 差動アンプ .....	17
4.5.2 ハイパスフィルタ .....	17
4.5.3 非反転増幅回路 .....	17
4.5.4 半波整流回路 .....	17
4.5.5 積分回路 .....	18
4.5.6 反転増幅回路 .....	18
4.6 制御回路 .....	19
4.6.1 Arduino .....	19

4.6.2 DCDC コンバータ .....	19
4.7 外装部品 .....	20
4.7.1 3D プリンタ .....	20
4.7.2 Metasequoia 4 .....	20
4.8 サーボモータ .....	21
4.9 制御プログラム .....	22
4.10 評価試験 .....	23
4.10.1 被験者 .....	23
4.10.2 実験方法 .....	23
<b>第 5 章 結果 .....</b>	<b>24</b>
5.1 評価実験の結果 .....	24
5.2 担当分担課題の評価 .....	26
5.2.1 千場叡 .....	26
5.2.2 山代大木 .....	26
5.2.3 長坂尚樹 .....	26
5.2.4 米代拓真 .....	27
<b>第 6 章 今後の課題と展望 .....</b>	<b>28</b>
<b>付録 .....</b>	<b>29</b>

A 新規習得技術 .....	29
B 活用した講義 .....	29
C 相互評価 .....	30
<b>参考文献 .....</b>	<b>31</b>

# 第1章 背景

人間が身体を動かそうと意図する時、その命令は脳から神経を伝わって筋に到達し、筋が収縮する。このとき、筋細胞の細胞膜に生じる電位が筋電位である。筋電位の計測方法には外科的手段により電極を体内に埋め込んだり針電極を皮膚に刺したりして直接的に計測する侵襲的計測法と皮膚表面と電極を取り付けることで間接的に計測する非侵襲的計測がある。

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(fig.1.1-1)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(fig.1.1-2)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である。



fig.1.1-1 能動義手

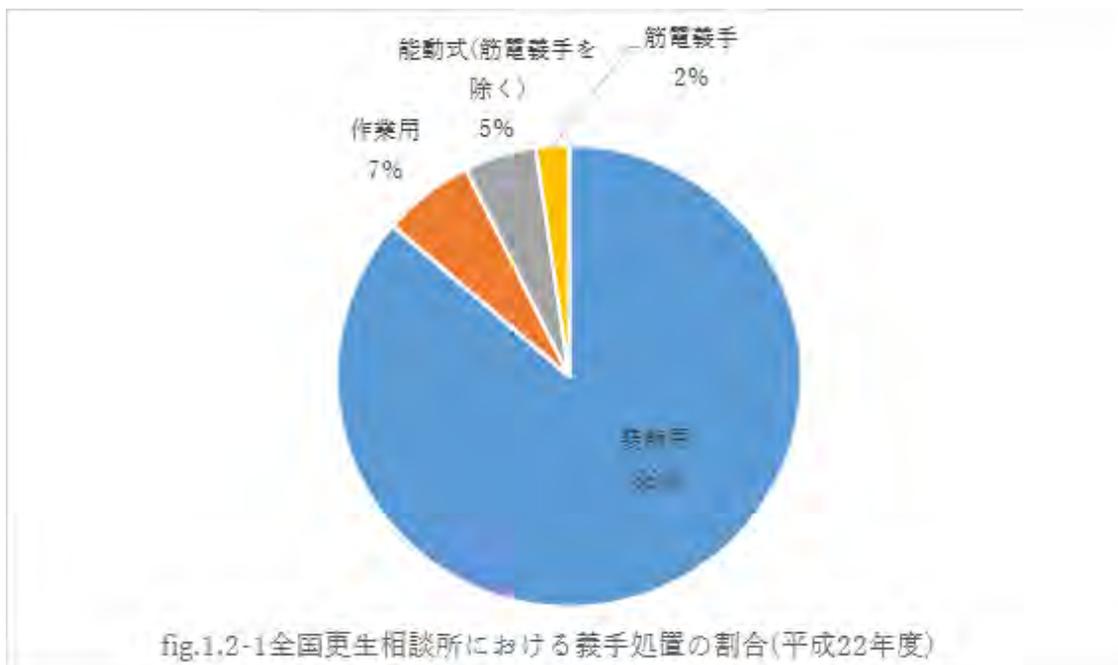


fig.1.1-2 筋電義手

(※文責:山代大木)

## 1.1 現状における問題点

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。欠損者が仕事や通勤中に受傷している場合、障がい者自立支援法に基づき筋電義手を入手するための還付金を国から受給できる。その場合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というリスクがある。以上の背景から我が国における筋電義手の普及は進んでおらず、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[1](fig.1.2-1)。



(※文責:山代大木)

## 1.2 課題の概要

筋電義手が普及するためには購入を希望する欠損者が筋電義手の購入前に使いこなせることを確認し購入を決断する機会が必要である。そこで本プロジェクトではその機会を提供するため試装着を目的とした筋電義手を開発した。試装着を目的とする筋電義手には第一に安価であること、第二に市販されている筋電義手の操作感にできるだけ近づけることの二点が課題となる。

(※文責:山代大木)

## 第2章 到達目標

### 2.1 本グループにおける目的

本グループの目的は、前腕欠損者に試装着用として開発した筋電義手を装着してもらい、筋電義手がどのようなものか理解してもらうこととした。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。

(※文責:米代 拓真)

#### 2.1.1 通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点

通常の授業では学生が独立に作業を行うことが多いが、プロジェクト学習では学生同士が協力して活動を行うことができるという点である。また、試装着を可能とする筋電義手を少人数のグループで協力して製作することで、情報共有を円滑に行うことができ、チームで協力して効率よく活動することができる点である。さらに学外の機関の協力を得て訪問する場合も、通常の講義を受講する人数では適していないという点も挙げられる。

(※文責:米代 拓真)

### 2.2 具体的な手順・課題設定

試装着のため筋電義手を製作するために、まず実用的な筋電義手のプロトタイプを製作することにした。

1. exiii 株式会社[2]が開発した"HACKberry"という義手の情報を基に3Dプリンタを用いて部品の出力を行う。
2. 出力した部品を組み立てて、プロトタイプを完成させる。
3. プロトタイプの動作テストを行い、実用的な動作を行なえる成果物を製作できたか確認する。動作テストでは、物を掴むための指の動きが予想通り動くかを確認する。
4. 製作したプロトタイプは距離センサを用いて動作制御を行っているので、それを筋電位センサに置き換え、筋電位で動作制御できるように改良する。筋電位の測定に用いる筋電測定回路には、昨年プロジェクト学習で製作された筋電測定回路に測定効率を上げるためのサレンキー型ハイパスフィルタを追加する。また製作した筋電義手内に筋電測定回路を収めるため、できる限り回路の小型化を図る。
5. 読み取った信号をマイコンボードに送り、モータを動かす信号に変換する動作制御基板を製作する。
6. 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。

(※文責:米代 拓真)

## 2.3 課題の割り当て

1. 3D プリンタを用いた外装部品の出力は主に千場が行った(前期). 後期の部品出力については, 学内にない高性能な 3D プリンタを使用したので, プロジェクト担当教員の研究室に所属している院生に協力していただき出力を行った.
2. 出力した部品の組み立ては主に長坂, 千場が行った. 組み立てに際しては, 部品を組み合わせる課題が含まれる.
3. 動作テストについては主に山代, 千場, 長坂が行った.
4. 筋電位への動作制御の置き換えは主に千場, 山代が行った. 筋電位を計測する筋電計測回路の製作は主に米代が行った. 筋電計測回路の小型化については知識が不十分だったため, プロジェクト担当教員の研究室に所属している学部生に協力していただき製作した.
5. 動作制御基板及び回路の作成は主に山代が行った. これには, モータを正常に動かすという課題が含まれる.
6. Arduino のコードの書き換えは主に千場が行った. 中間発表に使用したポスター及びスライドの製作についてはポスターを長坂, スライドを米代が行った. 前期の成果発表会の発表は長坂, 山代, 千場が, 後期の成果発表会の発表は長坂, 山代, 千場, 米代が行った.

(※文責:米代 拓真)

## 第3章 課題解決のプロセスの概要

本グループはまず exiii 株式会社が公開している情報を参考にプロトタイプを製作した。その後プロトタイプに改良を加えた筋電義手「滯」の製作を行った。「滯」とは筋の英語である「myo」に由来する。その際義肢装具に関する基礎的な知識の習得のため義肢装具士である安田義幸先生による講義を受けた。その後プロトタイプの改良を行った。改良点は入力信号を筋電位にすること、被験者に適応した形状にすること、把持力の向上のために部品表面にひと肌ゲルを塗布した点である。また被験者の協力を得ながら改善点の洗い出しと改良を繰り返し行った。この中でまた完成した筋電義手を前腕欠損者の協力を得て一般的な能動義手との比較による評価実験を行った。

(※文責：山代大木)

## 第4章 課題解決のプロセスの詳細

### 4.1 各人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ

千場 叡の担当課題は以下の通りである.

#### <前期>

4月

必要な知識の習得・情報収集

5月

3Dプリンタを用いたプロトタイプ用部品の印刷

6月

プロトタイプの組み立て

7月

プロトタイプの組み立て・動作テスト

#### <後期>

9月

改善案の検討

10~11月

筋電義手「溍」の組み立て・制御プログラム改良

12月

評価実験・最終発表準備(実験動画編集)

(※文責: 千場 叡)

Body extension myoelectric robot ~ASHURA~

山代大木の担当課題は以下の通りである.

**<前期>**

**4月**

プロトタイプ制作に必要な情報の収集

**5月**

3Dプリンタによる部品の印刷と回路基板の作成

**6月**

プロトタイプの組み立て

**7月**

プロトタイプの動作テスト・プロトタイプを筋電位で動作するよう改良

**<後期>**

**9月**

計画書の作成

**10月**

回路製作

**11月**

バッテリーケースの改良

**12月**

最終発表の準備

(※文責:山代大木)

## Body extension myoelectric robot ~ASHURA~

長坂尚樹の担当課題は以下の通りである.

### <前期>

4月

問題調査

5月

目的の決定,電極の製作

6月

exiii 株式会社が公開している情報をもとに, 3D プリンタを用いて部品の印刷, 組み立てを行い, プロトタイプを製作

7月

発表会に向けてのポスター作成, 報告書の作成, 製作したプロトタイプを用いてどのようなことができるかを検討

### <後期>

9月

馬場義肢製作所の協力を得て, 筋電義手に関する講義, 前腕欠損者の紹介や義手製作に必要な部品の用意の依頼

10月

筋電義手部品組み立て

11月

筋電義手部品組み立て, ポスター作成

12月

評価実験, 発表練習, ポスター作成

(※文責: 長坂 尚樹)

## Body extension myoelectric robot ~ASHURA~

米代拓真の担当課題は以下の通りである．なお，4月~7月はCグループとして活動していたためCグループでの活動について記述する．

### <前期>

#### 4月

中間発表までのスケジュール立て，材料のリストアップ

#### 5月

筋電測定回路の勉強と作製

#### 6月

筋電測定回路の作製

#### 7月

発表練習，ポスター作製

### <後期>

#### 9月

筋電測定回路の改良(ハイパスフィルタの追加)

#### 10月

筋電測定回路の改良(小型化)

#### 11月

基板印刷

#### 12月

スライド製作

(※文責: 米代 拓真)

## 4.2 担当課題解決過程の詳細

### 4.2.1 千場 叡

#### <前期>

##### 4月

担当教員による講義を通じて、筋電位の発生原理および計測方法について理解した。  
プロトタイプ制作に必要な情報を収集した。

##### 5月

工房の3Dプリンタを用いてプロトタイプ用の外装部品を印刷した。その際3Dプリンタの基本的な操作方法を習得した。

##### 6~7月

プロトタイプを組み立て、実際に装着して動作確認を行った。

#### <後期>

##### 9月

筋電義手「澁」を製作するにあたり、前期制作したプロトタイプをもとに改善案を検討した。

##### 10~11月

筋電義手「澁」の製作を行った。具体的には、外装部品の組み立てと可動部分の改良を行った。これによって手首の回内・回外を可能とした。また、制御プログラムの改良を行い、母指対立を可能とした。

##### 12月

筋電義手「澁」を完成させた後、使用感評価のための実験を行った。その様子を記録した動画を、最終発表で放映できるように編集する作業を行った。これによって、効果的な映像編集技術を習得した。

(※文責: 千場 叡)

## 4.2.2 山代大木

### <前期>

4月

課題設定のために

インターネットを利用してプロトタイプ制作に必要なと思われる情報を収集した。

5月

工房で3Dプリンタによる部品の印刷と回路基板の作成を行った。

3Dプリンタの使用法や基盤加工機の操作方法を習得した。

6～7月

プロトタイプを装着し動作確認をおこなった。

プロトタイプを筋電位で動作するように改良を行った。

### <後期>

9月

協力者に向けたプロジェクト計画書を作成した。

10月

制御回路基板の製作を行った。

11月

プロトタイプではバッテリーケースが腕部分にバッテリーを内蔵する構造になっていたため被験者の腕に巻きつけられる形状に改良した。

12月

筋電義手を被験者の身体に適合するよう計測回路の増幅率等を改善した。

製作した筋電義手の評価試験の際に被験者に実験内容を教示した。最終発表の原稿を作成した。

(※文責: 山代 大木)

### 4.2.3 長坂尚樹

#### <前期>

##### 4月

プロジェクトにおける問題調査を行った。

##### 5月

目的の決定，電極の製作を行った。

##### 6月

exiii 株式会社が公開している情報をもとに，3Dプリンタを用いて部品の印刷，組み立てを行い，プロトタイプを製作した。このプロトタイプは筋電位を読み取って動作制御するシステムが実装されていないため，筋電位を読み取って動作制御できるよう改良を行った。

##### 7月

発表会に向けてのポスター作成を行った。発表後には報告書の作成に取り組んだ。そして，夏休み以降の活動についての計画を立てた。

具体的には製作したプロトタイプを用いてどのようなことができるかを検討した。

#### <後期>

##### 9月

馬場義肢製作所の協力を得て，筋電義手に関する講義，前腕欠損者の紹介や義手製作に必要な部品の用意を依頼した。

##### 10月

前期に製作したプロトタイプは前腕欠損者の欠損部に適応した形状ではないため，欠損部と義手とを接続するソケットと呼ばれる部品を製作する必要がある。そのために，馬場義肢製作所に協力していただきながら，筋電義手を製作した。

##### 11月

協力して下さった前腕欠損者の方は，左手を欠損していた。そのため，左手用の義手が必要となった。しかし，前期に製作したプロトタイプは右手用の義手であったため，新たに部品の印刷を行い左手用の義手を製作した。

##### 12月

馬場義肢製作所に用意して頂いたソケットと製作した左手用の義手を合体させ，新たな筋電義手を完成させた。

その筋電義手の使用感を調べるために，前腕欠損者に義手を装着していただき，評価実験を行った。具体的には，①積み木を掴み特定の場所へ移動させる②ペットボトルをつかみ，中身をコップに注ぐ③エビ結びをしたロープをほどき，そのロープで箱を縛る の3つの課題を行っていただき，能動義手と筋電義手それぞれを用いた場合における課題の達成度を調べた。

発表会に向けた，発表練習，ポスターの作成も行った。

(※文責: 長坂 尚樹)

## 4.2.4 米代拓真

### <前期>

#### 4月

中間発表までのスケジュール立て、材料のリストアップ  
OneDrive でグループ間の情報共有を行った。  
中間発表までのスケジュールを考え、計画立てて行動できるよう話し合った。

#### 5月

筋電測定回路の勉強と作製  
担当教員から講義を受け、筋電測定回路の構造について理解した。  
ブレッドボード等を使って回路を組んだ。  
電源やオシロスコープの使い方を習得した。

#### 6月

筋電測定回路の製作  
ユニバーサル基板上で電気回路を組んだ。  
電気回路の設計を習得した。  
はんだ付けの方法を学び、はんだ付けの技術を習得した。

#### 7月

発表練習、ポスター作製  
担当教員とプロジェクトメンバーに向けて発表練習をした。  
どうすれば聞き手に理解してもらえる発表にできるか学んだ。  
グループのポスターを作製した。  
ポスター作製の際の決まり事やマナーについて学んだ。

### <後期>

#### 9月

昨年プロジェクト学習で製作された筋電測定回路にサレンキ型ハイパスフィルタを追加した。  
"eagle"というプリント基板製作ソフトを使用して、印刷するプリント基板のデータを製作した。  
"eagle"を使用した基板の設計方法について学んだ。

#### 10月

筋電測定回路の小型化について検討、製作を行った。  
製作したプリント基板データにさらに改良を加え、機能をそのままにしてより小型の基板を製作した。

#### 11月

基板加工機による基板印刷、はんだ付けを行った。

## Body extension myoelectric robot ~ASHURA~

工房にある基板加工機を使用して製作した基板を印刷した。  
基板を印刷するために必要な知識を習得した。

### 12月

最終発表に使用するスライドの作製を行った。

発表スライドの流れについて担当教員からアドバイスをいただき、見る側が理解しやすいスライドの作り方について学んだ。

(※文責: 米代 拓真)

## 4.3 担当課題と他の課題の連携内容

### 4.3.1 千場 叡

掌部を長坂と組み立て、そこに山代が製作した制御回路および米代が製作した筋電計測回路を組み込んだ。

(※文責: 千場 叡)

### 4.3.2 山代大木

千場、長坂が組み立てた掌部に米代が製作した計測回路を組み込んだ。

(※文責: 山代 大木)

### 4.3.3 長坂尚樹

山代、米代が製作した筋電計測回路を組み立てた掌部に組み込んだ。

(※文責: 長坂 尚樹)

### 4.3.4 米代拓真

千場、長坂が組み立てた掌部に収まるサイズを共有し、それにあつた筋電測定回路を製作した。

(※文責: 米代 拓真)

## 4.4 計測機器

### 4.4.1 電極

これまでのプロジェクトでは、プロジェクトグループで製作したアクティブ電極を使用して筋電位を計測していた。塩化銀メッキを施した銀板を皮膚表面に貼ることで、電極の分極を防ぎ、さらに小型化もなされていた。だがアクティブ電極の製作にあたり、銀板の歪みや配線のショートなどの理由から筋電位計測の安定性が不十分であるという問題が出た。そこでBグループは、電極の部分を日本光電が販売している「ディスポ電極 F ビトロード」を使用した。この電極は導電性粘着ゲルで皮膚に密着して貼り付けることができるので、安定した計測が可能となる。大きさは従来の電極より大きくなってしまいが、貼り付けるスペースが十分に確保されていたのでこちらを採用した。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.4.2 リード線

これまでのプロジェクトで使用されていたアクティブ電極は皮膚に貼り付ける銀板と皮膚から生じる高いインピーダンスに対応するためのボルテージフォロアが一体となったものだった。今回は市販のディスポ電極が使い捨てであるため、電極部分とボルテージフォロアを分離させる必要がある。そこで、電極素子をクリップで挟むことで接続し、そのクリップにボルテージフォロアを取り付ける。この際リード線と筋電計測回路を繋ぐコネクタを従来使用していた2.54mmピッチから2mmピッチに変更して小型化を図る。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.4.3 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。金属布に比べて劣化やはんだ付けできないという欠点はあるものの、柔軟性と伸縮性に富み、容易に腕への装着が可能であることから導電布を採用している。導電布を装着する目的は、基準電位を定めるためとノイズを軽減させるための2つがある。導電布をグラウンド線に接続することで、人体と機器との基準電位を合わせることができる。

(※文責: 米代 拓真)

## 4.5 筋電測定回路

### 4.5.1 差動アンプ

差動アンプは、2つの入力信号の差を取り、その差を増幅する。正確に同相ノイズを取り除くために、この部分では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しまい、正確に増幅することができなくなる可能性があるので注意が必要である。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.5.2 ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタは、カットオフ周波数より高い周波数の成分を通過させ、それ以下の周波数は遮断させるフィルタである。今回製作した筋電測定回路では、4次のサレンキー型ハイパスフィルタを使用している。モーションアーティファクトと呼ばれる、電極と皮膚のずれによって生じる約20Hzのノイズをカットする役割を持つ。ハイパスフィルタの次数が高いほど減衰特性も大きくなり、フィルタ効果が高いということになる。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.5.3 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プラスマイナスとは逆転させずに増幅できる回路のことである。半固定抵抗を使用することで、筋電位を測定する人によって増幅率を変更することができるようにした。増幅率を変更することで筋電位の正確な測定が容易になる。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.5.4 半波整流回路

半波整流回路は、プラスとマイナスの半サイクルを交互に繰り返す交流電圧のうち、マイナス電圧に反応してその部分を削除し、プラス電圧のみの信号を出力させるものである。今回はダイオードを使用して半波整流を行っている。

(※文責: 米代 拓真)

#### 4.5.5 積分回路

積分回路は、入力された電圧を時間で積分し出力する回路である。積分された値が大きければ、筋肉の活動量が大きく、逆に値が小さければ筋肉の活動量も小さいと言える。今回使用している積分回路の問題点としては、入力電圧と出力電圧でプラスマイナスが逆転する点がある。その問題点を後述の反転増幅回路で解決する。

(※文責: 米代 拓真)

#### 4.5.6 反転増幅回路

反転増幅回路は、出力電圧を入力電圧のプラスマイナスと逆転させ、増幅させる回路のことである。積分回路で生じたプラスマイナスの逆転をこの回路で元に戻す役割を担っている。

(※文責: 米代 拓真)

## 4.6 制御回路

### 4.6.1 Arduino

Arduino とは AVR マイコンと入出力ポートを備えた基板及び Arduino 言語とその統合開発環境から構成されるシステムである。本プロジェクトでは測定回路から出力されたアナログ信号をデジタル信号に変換する処理を Arduino で行っている。また入力信号が設定された閾値を超えるとサーボモータを駆動させる処理も Arduino で行っている。本プロジェクトでは制御回路の小型にするため Arduino の中で最も小型な規格の Arduino micro を使用した。

(※文責: 山代 大木)

### 4.6.2 DCDC コンバータ

DCDC 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。本プロジェクトでは DC7.2V のバッテリーを使用したためサーボモータの駆動電圧である 5V に降圧する際 DCDC 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  $\pm 5V$  の両電源を必要としたため DCDC コンバータをも用いて  $+5V$  から  $\pm 5V$  に変換した。

(※文責: 山代 大木)

## 4.7 外装部品

### 4.7.1 3Dプリンタ

本グループで製作したプロトタイプおよび筋電義手「滯」の外装部品は3Dプリンタを用いて出力した。3Dプリンタとは、紙などに印刷する平面的な二次元プリンタに対し、三次元形状の立体物を出力する機器のことである。材料を下部から一層ずつ連続して積層していく方式が用いられていることが多いため、積層造形技術とよばれることもある。

プロトタイプ用の部品を出力する際に使用したのは、大学工房に設置されているMakerbot社製の3Dプリンタ"Makerbot Replicator 2X"である。この機種は熱溶解積層法(FDM法)と呼ばれる方式で積層を行っている。熱溶解積層法とは、ABS樹脂などの熱可塑性樹脂を細長い線状にしたフィラメントを加熱して溶かし、エクストルーダとよばれる押し出し機で押し出しながら積層する方式である。後述の光造形法と比較すると仕上がりは粗く精度は劣るが、出力が比較的容易であることから、個人向けに普及している3DプリンタにはFDM法がよく用いられている。

筋電義手「滯」の部品を出力する際に使用したのは、高木研究室が所有するFormlabs社製の3Dプリンタ"Form 2"である。この機種は、紫外線によって硬化する樹脂を用いた光造形法(STL法)とよばれる方式で積層を行っている。光造形法では、液体状の光硬化性樹脂にレーザー光を当て、一層分の樹脂を硬化させる。一層目が硬化したらステージを下げ次の層にレーザー光を当てる。この作業を繰り返しながら積層を行っていく。0.05ミリメートル単位で積層を行うため、精度が高く滑らかな仕上がりとなるが、直射日光や強い衝撃に弱いいため破損・劣化しやすいという欠点がある[3]。

(※文責: 千場 亅)

### 4.7.2 Metasequoia 4

Metasequoia 4は、3DCGや3Dプリント、ゲーム向けの素材制作などに用いる立体形状データ3を作成するための、ポリゴンベースのモデラーである。また、作業効率とデータ可搬性を重視している。他にも、ポリゴンの基本的な編集機能や、より細かい処理を補助する機能を備えている。面に開いた穴を自動で埋める「穴埋め」、指定した穴と穴の間にパイプ状のポリゴンを生成する「ブリッジ」、丸まった角の生成を行う「ベベル」等さまざまな機能が追加・改良された。面は三角形と四角形に制限されず、5角以上でも作成することが可能である。これにより、エッジの追加・削除が自由に行えるようになった。多角形を必要としない場合でも、自由度の高いモデリングが可能となった。得られたオブジェクトをそのまま最終出力として利用するのみでなく、通常のポリゴン編集機能でより詳細な修正・加工を行うことも可能である。

(※文責: 長坂 尚樹)

## 4.8 サーボモータ

サーボとは指定の位置や速度に素早く追従させる制御を行う装置である。サーボモータとはこのサーボ機構を備えたモータのことで回転角や回転速度を制御することができる。このような特性が一般に速度や制度を必要とされる工場の設備や自動機械に使用されている。今回製作した筋電義手はできるだけ市販されている高精度な筋電義手に近づけることを目標としたため、高精度であるサーボモータを採用した。今回製作した筋電義手は親指、人差し指、中指から小指までの三本の指をそれぞれ動作させるため3個のサーボモータを用いた。サーボモータが動作している際、制御回路に一定以上の電流が流れるモータが故障してしまう。これを防ぐために一定以上の電流が流れた際回路を短絡するポリスイッチを内蔵することでサーボモータの故障を防止した。

(※文責: 山代 大木)

## 4.9 制御プログラム

筋電義手の動作を制御するプログラムは、exiii 株式会社が公開しているソースコードに改良を加えたものを使用した。このプログラムは Arduino 言語で書かれており、指(サーボモータ)を動かすタイミングと、それぞれの指を握った時と開いた時の角度が記述されている。これらのうち、親指を握った時の角度を調整することによって、母指対立(親指と人差し指でつまむ動作)を可能にした。

(※文責: 千場 叡)

## 4.10 評価実験

プロジェクト学習で開発した、前腕部欠損障害者へ実際に装着することを目的とした筋電義手を、被験者に実際に装着してもらい、被験者が普段使用している能動義手と装着感や使用感を、3つの作業をそれぞれ行ってもらうことで比較してもらう。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.10.1 被験者

株式会社馬場義肢製作所の紹介によって、前腕欠損者に被験者になっていただいた。被験者は男性で、前腕を欠損してから6年が経過している。欠損部は左前腕で、元々親指があった場所から肘方向に約20cm欠損している。前腕を欠損したとほぼ同時に能動義手を使い始めており、仕事や日常生活で問題なく使用できるレベルまで達している。

(※文責: 米代 拓真)

### 4.10.2 実験方法

被験者は、個人所有の能動義手とプロジェクト学習で開発された筋電義手とのそれぞれを装着し、座位、立位それぞれの体位で以下の作業を行った。能動義手は被験者が6年間使用したものを使用した。1つめの作業は、一辺が0.5~5cmの立方体の木片をつまんで持ち上げ、半径1m以内の水平方向及び上下方向に異なる目標場所へと移動させ静置する作業を行った。2つめの作業は、500mlペットボトルのフタを開け、BB弾をコップに注ぐ動作を行った。被験者及び実験装置が濡れるのを防ぐために水の代わりにBB弾を用いた。3つめの作業は、ロープを結ぶ作業を行った。それぞれの動作条件において、動作を写真及びビデオにより撮影しながら、動作の様子を観察した。また、装着感や使用感、能動義手との比較に関する聞き取り調査を行った。実験装置の移動や休息时间を含め、被験者の拘束時間は90分程度であった。

(※文責: 米代 拓真)

## 第5章 結果

今回のプロジェクトではまず筋電義手の基本的な構造を知るためにプロトタイプの作成し次に被験者に適応した筋電義手にするためプロトタイプを改良し試装着可能な筋電義手「滯」を製作した。また製作した筋電義手を被験者の協力を得て評価実験を行い、製作した筋電義手が筋電義手を購入するために筋電義手の装着感及び使用感を実感することが可能であるか評価した。fig.5 に完成した試装着可能な筋電義手「滯」を示す。



Fig.5 筋電義手「滯」

(※文責:山代大木)

### 5.1 評価実験の結果

ペットボトルをつかみ、中身をコップに注ぐ実験(fig.5.1-1)において、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為に、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(fig.5.1-2)において、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(fig.5.1-3)において、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。被験者からは、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。

Body extension myoelectric robot ~ASHURA~



fig.5.1-1 ペットボトルの実験



fig.5.1-2 積み木の実験



fig.5.1-3 ロープの実験

(※文責:長坂尚樹)

## 5.2 担当分課題の評価

### 5.2.1 千場 叡

プロトタイプの製作では、3D プリンタを用いて外装部品を出力し、それらを組み立てた。

筋電義手「滯」の製作では外装部品の組み立て、可動部分の改良および制御プログラムの改良を行った。これによって手首の回内・回外、母指対立を可能にすることができた。

最終発表への準備作業では実験動画の制作を担当した。義手の製作スケジュールが遅延した影響で編集作業が発表直前までかかってしまったが、見ている人にとってインパクトの強いものに仕上げることができた。

(※文責: 千場 叡)

### 5.2.2 山代 大木

プロトタイプ製作では3D プリンタによる外装部品の印刷、回路基板制作、プログラムの変更、組み立て exiii 株式会社公式 GitHub 上からプロトタイプ制作に必要な情報を収集した。またその情報をもとに回路基板の製作し組み立てプロトタイプを完成させることが出来た。

馬場義肢製作所および実験協力者に向けたプロジェクト計画書を作成し説明を行った。筋電義手「滯」の製作では制御回路の設計及び部品の組み込みを行い完成させることができた。

評価実験では実験の進行を担当し被験者に実験内容を教示し適切に実験を行うことができた。

最終発表に向けた準備作業ではプレゼンスライドの作成を担当した。筋電義手の製作にかかる時間が大幅に超過してしまったためスケジュールが大幅に遅延してしまったことによりプレゼンスライドの作成に着手するのが遅れてしまった。そのため最終成果発表までに十分な発表練習ができなかった。

(※文責: 山代大木)

### 5.2.3 長坂尚樹

3D プリンタによる部品印刷をして、プロトタイプを完成させた。馬場義肢製作所および前腕欠損者の方の協力を得て、新たな筋電義手の開発を製作したプロトタイプを基に行った。そのために、部品印刷を一から行い、組み立て作業をして、前腕欠損者の方に合わせた筋電義手を製作した。また、3D モデリングを行い、必要な部品の製作を行った。そして、完成した筋電義手を用いて評価実験に取り組むことができた。最終発表に向けてポスターの作成を行った。先生や院生の方に見てもらい、納得のいくポスターを作成することができた。

(※文責: 長坂 尚樹)

## 5.2.4 米代拓真

主に筋電測定回路の製作を行った。昨年と同プロジェクトで製作された筋電計測回路を元に基板設計ソフト”eagle”を使用して、サレンキ型ハイパスフィルタの追加とさらなる小型化を行った。結果としては昨年と同プロジェクトで筋電測定回路の製作を担当していた学生に協力をしていただき、筋電義手の掌部分に筋電測定回路を収めることが出来た。

ディスプレイ電極と筋電測定回路を繋ぐクリップワイヤの製作も行った。回路とワイヤの接続部分を小型化したことで、省スペース化に成功した。

最終発表の準備作業では、プレゼンスライドの製作を担当した。成果物の製作の遅延と実験日時の都合によりスライド製作が遅れてしまった。

(※文責:米代 拓真)

## 第6章 今後の課題と展望

評価実験の結果から、次の2つが問題点として浮上した。1つは、筋電義手本体が実際の重量よりも遥かに重く感じるという点である。これはモーター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と考えられる。このことを踏まえ、今後は重心の偏りをなくすことが課題となる。改善にあたっては、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る。これは小指の把持力が弱いことが原因と考えられる。これを踏まえると、指の把持力向上についても今後の課題となってくる。改善にあたっては、よりトルクの強いモーターを導入することが重要かつ不可欠である。これらの課題を解決することによって、より市販品に近い試装着用筋電義手に改良することができると考えている。

本グループでは、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。これまでのプロジェクトでは実際に人体に装着した状態での動作実験は行われてこなかったが、今年度初めてそれを実現し成功させることができた。これは非常に大きな成果であると考えている。将来、我々が開発した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、その結果筋電義手が広く普及していくことに繋がっていけば、望外の喜びである。それを目指して、今後も改良が続けられていくことを期待している。

(※文責: 千場 叡)

# 付録

## A 新規習得技術

今回のプロジェクトを通して習得した技術は二つある。一つ目は電子工作に関する技術である。これは主に基板加工機を用いた基板制作やはんだ付けによる回路基板を製作する技術である。二つ目は 3D プリンタや部品の組み立て、加工による造形技術である。これは 3D プリンタを用いて 3D モデルを出力する際や、造形器具を用いた組み立て、加工作業に必要な技術である。

(※文責:米代 拓真)

## B 活用した講義

人体生理学

複雑系科学実験

## C 相互評価

### 千場 叡 に対する評価

- ・長坂と協力して部品の組み立てを行っている姿が印象的だった。また発表資料の作成では実験の様子を撮影した動画の編集を頑張っていた。(山代大木)
- ・部品の組み立てを丁寧に行っていた。制御プログラムの改良を積極的に行っていた。(長坂尚樹)
- ・部品の組み立てと動画編集に取り組んでいた。プロジェクト時間外での集まりの時に何度か欠席が続いたのが惜しい。(米代拓真)

### 山代大木に対する評価

- ・中心となって開発の方針を決定していた。制御回路の設計を懸命に行っていた。(長坂尚樹)
- ・協力していただいた株式会社馬場義肢製作所の方へのプロジェクトの説明など、積極的に説明する役に名乗り出るなど、グループを引っ張ってくれていた。回路面でも、問題の解決を手伝ってもらい、大変心強かった。(米代拓真)
- ・ほかのメンバーに指示を出したり、協力者との交渉を代表して行うなど、グループの中心的役割を果たしていた。自身の担当課題である制御回路の製作はもちろんのこと、それ以外の課題についても積極的にかかわり、提案・助言を行っていた。(千場叡)

### 長坂尚樹に対する評価

- ・部品の組み立て作業に黙々と取り組んでいた姿が印象的だった。また発表資料の作成の際はポスターの作成を頑張っていた。(山代大木)
- ・部品の組み立てとポスターの製作に取り組んでいた。特に部品の組み立ては、集中して行っていたのが印象に残っている。問題が出た時の解決策を積極的に提案していた。(米代拓真)
- ・部品の組み立てと3Dモデリングに取り組んでいた。また、発表用ポスターの製作を中心となって行っていた。(千場叡)

### 米代拓真に対する評価

- ・筋電計測回路の基板設計を頑張っている姿が印象的だった。また発表資料の作成では発表スライドの作成を頑張っていた。(山代大木)
- ・回路製作や基板設計を真剣に取り組んでいた。部品の小型化に貢献していた。(長坂尚樹)

Body extension myoelectric robot ~ASHURA~

・筋電計測回路の製作に取り組んでいた。時間外の活動の際にいないことが何度かあった。(千場叡)

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] handiii exiii <<http://exiii.jp/handiii.html>> (アクセス日 : 2016/7/22)
- [3] 門田和雄 (2015) 『門田先生の 3D プリンタ入門』 講談社ブルーバックス.