

公立はこだて未来大学 2021 年度 システム情報科学実習
グループ報告書

Future University-Hakodate 2021 System 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

Body augmentation interface using biological signals～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-B

プロジェクトリーダー/Project Leader

宮尻琴実 Kotomi Miyajiri

グループリーダー/Group Leader

佐藤日向子 Hinako Sato

グループメンバ/Group Member

木下由紀乃 Yukino Kinoshita

佐々木晃大 Kodai Sasaki

平岡聡佑 Sosuke Hiraoka

指導教員

櫻沢繁 高木清二 辻義人

Advisor

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Yoshihito Tsuji

提出日

2022 年 1 月 19 日

Date of Submission

January 19, 2022

概要

“生体信号を利用した身体拡張インタフェース～ASHURA～”は、10年間にわたって主に筋電義手の製作に取り組んできた。筋電義手とは、残存肢の断端の筋が収縮する時に生じる筋電位によって、手先の開閉を制御する義手のことである。本グループは、筋電義手による身体拡張を目指し、前腕部欠損により生じた、日常生活における障害に着目した。前腕部欠損者は滑りやすい食材の包丁での処理について困難に感じていることが明らかになった。また、義手使用时、物を掴んでいるかの確認が目視に依存することについても困難に感じていることが明らかになった。加えて、周囲の人や物に義手が衝突した場合は事故の恐れがあり、義手使用时は周囲にぶつけないための注意が必要である。その際、死角において注意が効かないことに対する使用者の不安も明らかになった。よって、本グループは、調理する際の魚を押さえることに特化し、感覚をフィードバックできる筋電義手を製作した。義手は4本指の構造を持ち、魚を捕らえる鳥の趾をモデルとした。魚を掴んだ触角を圧力センサと振動モータを用いて使用者にフィードバックする機能と、義手の近くに物がある事を超音波距離センサとブザーを用いて使用者に知らせる機能の2つによって感覚をフィードバックすることとした。製作した義手の能力を評価するために、被験者に義手を装着した状態で魚一尾を3枚おろしにしてもらう実験を行った。実験後、義手を使用して魚を捌いたことによる疲労感、義手からフィードバックされた感覚について、被験者にアンケートを取り、成果物を評価した。結果として、被験者は義手を使用したことで、滑らずに魚を捌くことに成功し、無装着時よりも魚を押さえやすくなったと感じた。障害物の検知について、被験者は義手を後方に振り回そうとした際、死角にあった障害物にブザーによって気づき、回避することができた。触覚フィードバックについて、実験中に振動モータが振動することは無かった。これに関しては、実験中にケーブルの接触不良が起きたと考えられる。使用感の更なる向上を目指して、義手の手のひら部分の小型化が今後の展望である。

キーワード 生体信号, 筋電位, 筋電義手

(※文責: 木下由紀乃)

Abstract

"Body Augmentation Interface Using Biological Signals - ASHURA" has been mainly working on the fabrication of myoelectric prosthetic hands for 10 years. A myoelectric prosthetic hand is an artificial hand that controls the opening and closing of the fingers by using the muscle potential generated when the muscles at the end of the residual limb contract. This group focused on the obstacles in daily life caused by the missing forearm in order to extend the body with the myoelectric prosthesis. It was found that people with forearm deficiencies felt difficulty in handling slippery food with a knife. It was also found that they felt difficulty in checking whether they were grasping an object when using the prosthetic hand because they relied on their eyes. In addition, there is a fear of accidents when the prosthetic hand collides with people or objects around them, and it is necessary to be careful not to hit the surroundings when using the prosthetic hand. Therefore, it is necessary to be careful not to hit the surrounding objects when using the prosthetic hand. Therefore, our group has developed a myoelectric prosthetic hand that can provide sensory feedback and specializes in holding fish when cooking. The prosthetic hand has a four-fingered structure and is modeled after the digits of a bird that catches fish. The prosthetic hand has a four-fingered structure and is modeled after a bird's toe that catches a fish. It has two sensory feedback functions: one is to feed back the tactile sensation of grasping a fish to the user using a pressure sensor and a vibration motor, and the other is to notify the user of the presence of an object near the prosthetic hand using an ultrasonic distance sensor and a buzzer. In order to evaluate the ability of the prosthetic hand, we asked the subject to grate a fish into three pieces while wearing the prosthetic hand. After the experiment, the subjects were asked to answer a questionnaire about their fatigue from handling the fish with the prosthetic hand and the sensations fed back from the prosthetic hand. As a result, the subjects successfully handled fish without slipping by using the prosthetic hand, and they felt that it was easier to hold the fish than without it. As for the detection of obstacles, when the subject tried to swing the prosthetic hand backward, he was able to avoid obstacles in his blind spot by noticing the buzzer. Regarding tactile feedback, the vibration motor did not vibrate during the experiment. This is thought to be due to poor cable contact during the experiment. In order to further improve the usability of the prosthetic hand, the future prospect is to make the palm part of the hand smaller.

Keyword

Biological signal, Myoelectric potential, Myoelectric prosthetic hand

(※文責: 木下由紀乃)

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的	2
1.3	過去プロジェクト例	2
1.4	筋電義手の従来例	3
1.5	従来の問題点	4
1.6	課題	4
1.6.1	問題の設定	4
1.6.2	課題の設定	4
1.6.3	到達レベル	5
1.6.4	課題の割り当て	5
第 2 章	目的達成へのアプローチ	6
2.1	システムの全体像	6
2.2	筋電位計測	7
2.2.1	アクティブ電極	7
2.2.2	差動増幅回路	8
2.2.3	ハイパスフィルタ	8
2.2.4	半波整流回路・積分回路	8
2.2.5	非反転増幅回路	8
2.3	回路	9
2.3.1	前期回路	9
2.3.2	後期回路	9
2.4	感覚フィードバック	10
2.4.1	触覚	10
2.4.2	障害物	10
2.5	前期設計	11
2.5.1	義手のプロトタイプ	11
2.5.2	比較実験用のサンプル製作	12
2.5.3	サンプルの問題点	12
2.6	後期設計	12
2.6.1	義手本体の製作	12
2.6.2	外装部品製作	17
2.6.3	部品の組み立て	17
2.6.4	ソケットへの取り付け	18
2.7	プログラム制御	19
2.7.1	前期プログラム制御	19
2.7.2	後期プログラム制御	19

第 3 章	実験	20
3.1	実験方法	20
	3.1.1 実験評価方法	20
3.2	実験結果	21
	3.2.1 筋電義手装着時の魚の処理	21
	3.2.2 筋電義手非装着時の魚の処理	21
	3.2.3 筋電義手の動作	21
	3.2.4 感覚のフィードバック	21
3.3	考察	21
第 4 章	結論	23
4.1	プロジェクトの成果	23
4.2	考察	23
4.3	今後の課題	23
4.4	今後の展望	24
第 5 章	最終評価コメント	25
5.1	評価のフィードバック	25
5.2	良かった点	25
5.3	悪かった点	25
5.4	まとめ	26
第 6 章	プロジェクト内のインターワーキング	27
6.1	佐藤日向子	27
6.2	木下由紀乃	28
6.3	佐々木晃大	28
6.4	平岡聡佑	29
付録 A	新規習得技術	30
付録 B	活用した講義	31
付録 C	相互評価	32
	参考文献	37

第 1 章 はじめに

1.1 背景

義手とは、怪我や疾患などによって上肢もしくは手首を失った者が、本来のその部位の機能や外観を補うために装着する人工的な人体補助具である。義手の種類には、主に装飾用義手、作業用義手、能動用義手、電動義手の 4 種類がある [1]。実物図を図 1 に示す。

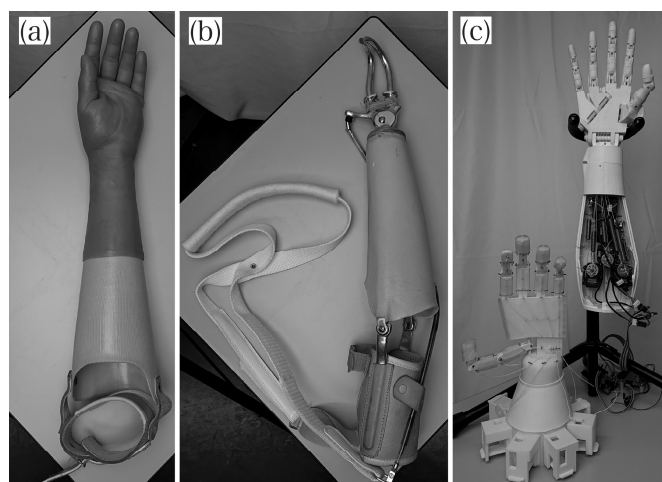


図 1 (a) 装飾用義手 (b) 作業用・能動用義手 (c) 電動義手 (筋電義手)

装飾用義手は外観的な復元を目的として使用されるため、指を動かしたり肘を曲げたりといった動作は義手を装着した腕と反対の手で行う。作業用義手は、基本的に手先が人間の手の形をしておらず、さまざまな作業に使用することを目的に作られている。また、装飾用義手と同じように操作は反対側の手を使う。能動義手は、義手の手先や肘関節などの可動部を使用者が自分で操作することで、本来の手の機能を再現することを目的としている。使用者の体の動きや肩の動きなどを使って操作するものと、電気や空圧などの力を利用するものがある [1]。

電動義手は、義手の手先や肘関節などの動きを電動モータ等を用いることにより再現することを目的としている。電動義手の中でも筋電位を用いてモータを制御するものを筋電義手という [2]。筋電位とは、筋細胞が収縮するときに発生する活動電位のことである。筋電位は身体を能動的に動かすと発生する。特定の部位を動かした際の筋電位を計測し、筋電義手およびモータの制御を行うことで、使用者の意図に合わせた動作を実現することができる。一般的には手先にハンド型（人間の手と同型）の装具が取り付けられており、装飾性と機能性を兼ね備えている。そのため、日常生活において有用であるといえる [2]。しかし、日本において筋電義手の普及はまだ十分に進んでいないといえない。片側前腕切断に対する筋電義手の使用割合は、米国で 25～40%、ドイツで 60%、イタリアで 16% であるのに対して、日本は 2% であった [3]。この普及率の低さの理由の一つに、筋電義手の価格が非常に高いことが考えられる。例えば、株式会社 ottobock の筋電義手「ミケランジェロハンド」はすべてのパーツを購入すると 4,464,600 円となり [4]、容易に購入できる金額ではないことがわかる。また、筋電義手の普及率の低さには公的支援制度の不備が主な原因だという [3]。日本における義肢装具の支給方法は、主に以下の 3 つである [3]。

- 身体障害者福祉法に基づく義肢装具給付
- 労災保険の労働福祉事業としての義肢等補装具の支給
- 厚生年金保険の福祉施設としての義肢及び補助機などの支給

最後に示した厚生年金保険では、筋電義手は支給の対象になっていない。日本での筋電義手普及のためには、これらの支給方法を見直す必要がある [3]。

本プロジェクトでは例年、筋電位を用いた身体拡張インタフェースを製作してきた。今回本グループでは、長年にわたり取り組まれてきた筋電義手のさらなる改良に挑戦し、従来よりも使用者に寄り添った義手を作成することにした。日常生活において、義手を装着していないとどのような不安があるかを知るために被験者と対話した。対話の中で、義手の装着者が実際にどのようなことに困っているか、何を必要としているかを知ることができた。そして、被験者との対話の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 日常生活のほとんどのことは片手で済ませることができる。
- (2) 調理をする際に魚などの滑りやすい食材をうまく押さえられない。
- (3) 義手使用時はものに触れている（掴んでいる）感覚がわからない。
- (4) (3) の理由から、ものを押さえたつもりでも固定できているか不安である。

(※文責: 佐藤日向子)

1.2 目的

日常生活において、料理は両手を使わないと困難な行為である。その中でも、「切る」という動作は包丁を使う手と食材を押さえる手に役割が分かれ、さまざまな手の使い方（捌き方）がある。そして、食材の中でも魚は、包丁の動作が特に多彩である。そのため、手で押さえにくく捌きにくい。実際に、被験者の方に魚を捌いてもらった結果、滑りやすいこと以外にも問題があることがわかった。この問題については、1.6 節にて記述する。以上のことから、本グループでは魚などの滑りやすい食材を調理するときに、食材を扱いやすく滑らずに固定できる義手を作ることを目的とした。

(※文責: 佐藤日向子)

1.3 過去プロジェクト例

過去のプロジェクトの概要を、以下の表 1.1 に示す。

表 1.1 過去プロジェクト概要

年度	目的	方法と成果
2015	実生活での利用を想定 部品の義手本体への内蔵	モータ数を 5 から 2 つに削減 モータや基板の内蔵を実現
2016	筋電義手を前腕欠損者に理解してもらう	義肢製作所と協力して開発 装着に特化した義手の作成 コップや積み木の運搬・ロープ締結の実現
2017	身体的負担が小さい筋電義手の開発	部品の腰への移動 指先の素材をプラスチックからシリコンに 変更（素材の軽量化）
2018	筋電義手の性能向上 対象物との接触面積を増やす	柔らかい素材の取り付け ワイヤーを特殊な結び方で締結 義手の動作の安定
2019	筋電義手の性能向上	人間の手の動作を詳しく分析 分析した動作の再現 親指の内転動作の実現
2020	伸縮・把持機能を持つ伸びる義手の製作 デバイスを使用した際の身体感覚の調査	伸びる腕の製作 離れた物体の把持を実現

2019 年度までは、主に被験者に実際に扱ってもらうことを想定して筋電義手を製作した。どの年度でも過去の問題点から目標を立て、それらの問題と新たに設定した問題の解決に取り組んだ。一方 2020 年度では、健常者が可能な動作以外の動作に着目し、日常生活をより便利に過ごせるような「伸びる義手」の製作を行った。

(※文責: 佐藤日向子)

1.4 筋電義手の従来例

一般に販売されている筋電義手の例としては、ottobock 社の「ミケランジェロハンド」やパシフィックサプライ株式会社の「i-limb」が挙げられる [4][5]。ミケランジェロハンドは、人間の指の細かい動きだけでなく、手首の柔らかさも再現している。i-limb では、事前にそれぞれの動作に合うように指の動きがプログラムされているうえに、使用者の生活に適した動きを登録することができる。また、誰でも利用・作成が可能な筋電義手として、exiii 株式会社の「HACKberry」が挙げられる [6]。HACKberry は、部品の 3D データだけでなく、回路図・配線図や Arduino のソースコードなども公開している。複数の過去プロジェクト製作物では、HACKberry の一部データを利用した製作を行っていた。

(※文責: 佐藤日向子)

1.5 従来の問題点

一般に販売されている筋電義手の問題点は、どれも非常に高価であり、容易に購入することができないためにあまり普及していないことである。過去のプロジェクト製作物の共通している問題点は、義手が重たいことである。義手の素材自体が重かったり、部品が密着していないために義手が不安定になり実際よりも重く感じたりと、問題提起はされているものの解決はまだできていない。また、2017年度の製作物では、軽量化により耐久量が下がっており、強い力のモータでは破損してしまうおそれがあった。次年度の2018年度では、2017年度の強度・把持握力の問題を分析し、改善を試みていた。義手の外側に柔らかい素材を用いたことで把持対象物が滑りにくくなったものの、指の動作が阻害されたり外側の素材が破れたりするなどの問題が新たに発生していた。さらに、弾力を持たせるために外側の素材を厚くした結果、義手が重くなってしまい筋電義手が扱えらなくなってしまう。そして、過去製作物での一部の義手は、実際に把持などの動作は行えるものの人が装着できないという問題も抱えていた。また、「物を掴む」「把持し続ける」という動作は日常生活における基本的な動作ではある。しかし、日常生活にはそれらの動作だけでなく、さらに複雑な動作を必要とする場面（料理など）が存在する。過去のプロジェクトでは「物を掴む」「把持し続ける」といった動作に主に着目されており、「物を押さえる」という動作には着目されていなかった。そこで、本グループでは「装着できない」「物を押さえる動作の事例がない」問題に着手した。

(※文責: 佐藤日向子)

1.6 課題

1.6.1 問題の設定

被験者の方が魚を捌いている様子を観察したところ、魚を固定するために体重を乗せて魚を押さえていた。そのため、腕や腰に大きな負担がかかることが分かった。また、被験者との対話から義手使用時に、義手に触っている感覚や動かしている感覚がないため、周りのものにぶつかる危険性や、ものを握った感覚がないため不安感を感じるということが分かった。このことからグループBは、魚を捌く際、魚を固定しにくい点と、触った感覚が存在しない点が被験者の義手使用時における問題点として設定した。

(※文責: 平岡聡佑)

1.6.2 課題の設定

五本指の義手よりも別の機構のほうが魚を押さえやすいのではないかと考え、グループBでは魚を押さえるのに特化した義手の機構を模索した。さらに、筋電位を測定する際、健常者とは違い前腕欠損者の前腕部の筋電位は測定しにくい。また、計測した筋電位を処理し、モータに命令を送らなければならない。そこで、魚を押さえやすい筋電義手を作製するために、より押さえやすい義手の機構を考えること、微弱な筋電位を正確に計測すること、そして計測した筋電位で筋電義手の手指を制御するためのプログラムを製作することを本グループの課題とした。

(※文責: 平岡聡佑)

1.6.3 到達レベル

1.6.1 節で述べた問題を解決する筋電義手を製作するために、より魚を押さえやすい義手の機構を考え、モデリングすること、筋電義手で物を握ったときに振動モータで感覚のフィードバックを実現する。そして、周囲のものを超音波センサで距離を測定し、ぶつかりそうになる時にはブザーで知らせる仕組みを製作する筋電義手の機能として加えることを到達目標とした。また、自身の身体の一部として外部のデバイスを扱うことができ、従来とは異なる身体の構造や能力を手に入れることができることが身体拡張を扱うプロジェクトとしての到達目標とした。そのため、製作した義手を被験者の方に装着してもらい、義手未装着時と装着時のそれぞれの状態で魚を捌いてもらう。そして「義手を装着したことで魚が扱いやすくなった」という感想が得られることをプロジェクトとしての最終目標とする。

(※文責: 平岡聡佑)

1.6.4 課題の割り当て

1.6.2 節で述べた課題を解決するために、本グループのメンバーで課題を役割分担した。まず、魚を押さえやすい義手の機構をメンバー全員で話し合い義手の機構を決定した。それをもとに佐藤が Fusion360 を用いた 3D モデルの作製と、筋電義手作製を担当した。また、微弱な筋電位を正確に計測するために、木下は筋電位を測定するための電子回路の作製、そして、佐々木、平岡は測定した筋電位を処理するプログラムとモータを制御するプログラムの作製をそれぞれ担当した。

(※文責: 平岡聡佑)

第 2 章 目的達成へのアプローチ

2.1 システムの全体像

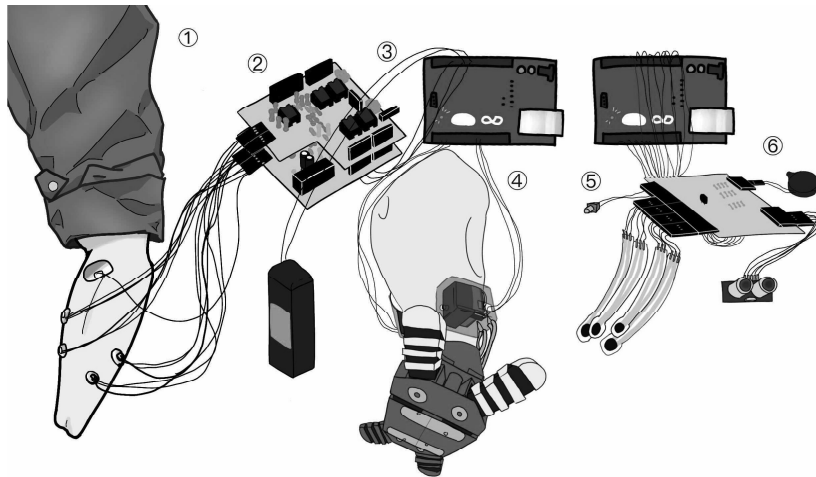


図 2 製作物の全体像

図 2 製作物の全体像の①から⑥の説明を以下に示す。

- ① 電極は使用者の筋電位を計測する。今回の実験では前腕欠損部付近の筋電位を 2 箇所を計測することとした。筋電位を計測する位置は他の動作の支障にならない部位、筋電位を計測しやすい部位、以上の 2 条件を満たす部位が良いと考えた。その結果他の動作の支障にならない部位は欠損した前腕部しかないという結論に至った。そして、前腕部の中でも筋電位を計測しやすい部位を探すために、被験者の方から前腕欠損部で力がいれやすい部位はどこなのかいくつか候補を挙げてもらい、その候補を 1 つずつ試して、筋電位を計測しやすい部位を探し、その部位を計測することとした。
- ② 筋電位計測回路は①から読み取った微弱な信号を増幅し、フィルタによってノイズを除去後、整流平滑化のために半波整流、積分の処理を行う。
- ③ 電源入力 (バッテリー) は小型化と持ち運びができるようにするために、携帯可能なバッテリーから電源を供給する。このバッテリーは arduino2 つとサーボモータ 2 つの電源供給に使用した。
- ④ サーボモータ 2 個はどちらも同じ物を使用していて、義手の指を動かすのに力は強いほうが良いという理由から、トルクの大きなサーボモータ (最大トルク 90.9kgf・cm 最大スピード 0.23/60°) を採用した。最大角度と最小角度は 2.7.2 後期プログラム制御に記載する。サーボモータが接続されている arduino は①の信号によりサーボモータを制御するプログラムが書き込まれている。プログラムの詳細は 2.7.2 後期プログラム制御に記載した。
- ⑤ 圧力センサ・振動モータの動作として 4 本の圧力センサはそれぞれ義手の 4 本の指に対応していて、義手でものを掴んだり、ものを押さえることなどにより、1 つでも圧力センサが反応すると arduino からの信号により振動モータが振動するようにしている。
- ⑥ 超音波距離センサ・電子ブザーの動作としてはまず初めに超音波距離センサが超音波を発して、返ってくるまでの時間により、対象物との距離を計測する。またそのときの距離が 70cm 以内であった場合に電子ブザーを鳴らすことで、義手が衝突する危険性があることを使用者

に知覚させる。超音波距離センサの測定可能距離は 2cm から 450cm で、電子ブザーが反応する距離は遠すぎると、普段人や物が近くなって、常時スピーカが鳴ってしまうことから危険性を知覚させる役割を果たすことができていない。反対に電子ブザーが反応する距離が近すぎると電子ブザーが鳴ったと感じた直後に義手がぶつかってしまって、音に反応することができないという問題点があった。以上のことからある程度余裕をもって電子ブザーにより音を鳴らして、普段人や物が近くなって鳴ってしまうことが少ない距離を実際に腕を振って試して調整した結果 70cm とした。⑤の圧力センサ・振動モータと⑥の超音波距離センサ・電子ブザーは同じ Arduino に接続した。

(※文責: 佐々木晃大)

2.2 筋電位計測

非侵襲的に計測できる表面筋電位を採用した。計測対象者の皮膚表面に電極を貼り、表面筋電位を計測する。表面筋電位計測において、信号が非常に微弱であることや、ノイズが混入することなど、いくつかの問題点がある。よって、電極からマイコンに送信する間で信号にいくつかの処理をする必要があった。

(※文責: 木下由紀乃)

2.2.1 アクティブ電極

インピーダンス変換を行う電極のことをアクティブ電極という。皮膚のインピーダンスは非常に高く、微弱な信号を正確に計測するためには、計測器の入力インピーダンスを上げる必要があった。図 3 のように、オペアンプの反転入力端子と出力端子を接続し、入力インピーダンスが ∞ であるのに対し、出力インピーダンスが 0 となるインピーダンス変換器を作製した。オペアンプと同程度の大きさに丸く切った銀板にその入力端子を接続し、皮膚に貼り付け計測した。

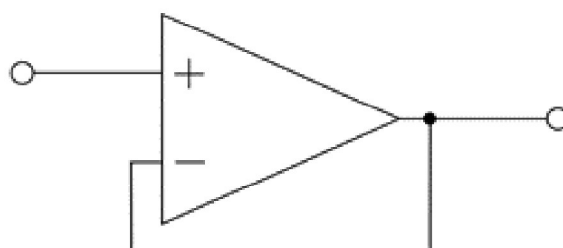


図 3 インピーダンス変換器

(※文責: 木下由紀乃)

2.2.2 差動増幅回路

微弱な生体信号の計測に際して、商用電源による誘導ノイズを除去する必要がある。商用電源の電圧は一般に 100V、周波数は東日本では 50Hz、西日本では 60Hz である。建物内を通る商用電源の影響で、漂遊容量を經由して計測機器や計測対象者に電圧がかかっている。この時、計測対象者のどの部位の計測においても一律 50Hz（または 60Hz）のノイズが混入している。これを同相ノイズといい、2箇所信号を計測し、その2つの信号の差を取ることで除去できる。差動増幅回路は、正確に除去・増幅するために、精密抵抗器を用いた。

（※文責: 木下由紀乃）

2.2.3 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信号を通過させ、それ以下の周波数の信号を除去する機能を持つ。電極に接続している信号線の揺れや、筋を動かしたことによる皮膚と電極の接触抵抗の変化などによって、0～約 10Hz 程度のノイズが生じる。これをモーションアーチファクトという。今回、モーションアーチファクトを除去するためにカットオフ周波数 20Hz の 4 次のサレンキー型ハイパスフィルタを使用した。

（※文責: 木下由紀乃）

2.2.4 半波整流回路・積分回路

今回、計測回路から出力される信号はマイコンに送られる。マイコンが制御するサーボモータは、義手使用者の筋の収縮力に応じて駆動する必要がある。よって、筋の動作分析に係る代表的な信号処理として、整流平滑化を採用した [7]。整流平滑化とは、振幅の絶対値を求めるために信号を整流し、その後、平滑化するために一定の時間範囲で信号を積分する処理のことである。今回の計測回路内において、半波整流回路と積分回路が整流平滑化の機能を果たしている。

（※文責: 木下由紀乃）

2.2.5 非反転増幅回路

非反転増幅回路は、入力信号を反転させずに増幅する回路のことである。ダイオードの動作は信号のプラス成分のみ通過させ、マイナス成分を除去することが理想である。しかし、実際の動作では、いくらかのマイナス成分を通過させてしまう。これを逆電流という。整流平滑化するにあたって、マイナス成分を含んだ信号を積分すると正負の成分同士で相殺してしまい、期待通りの出力が得られない。逆電流は本来通過させたくない成分だが、これはダイオードの電気特性の一つであり避けることができない。そこで、信号を半波整流回路に入力する前に非反転増幅回路で増幅させることでこの問題を解決した。マイナス成分が整流平滑化において十分無視できる値とみなせるほど、ここで信号を非反転増幅させる。

（※文責: 木下由紀乃）

2.3 回路

2.3.1 前期回路

筋電位を計測し，その信号を差動増幅回路で同相ノイズの除去を行い，4次ハイパスフィルターで直流成分と電極のズレによるモーションアーチファクトの除去をして，半波整流回路で負電位を除去し，最後に積分回路で包絡線に変換する回路を組んだ．実際の回路を図4に示す．

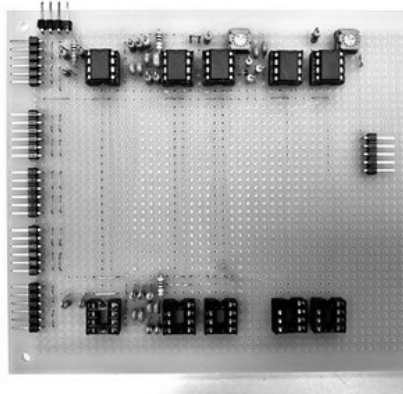


図4 筋電位計測回路

(※文責: 佐々木晃大)

2.3.2 後期回路

前期の成果である図4筋電位計測回路と振動モータ，圧力センサ，超音波距離センサ，電子ブザーに繋がっている回路を省スペース化し，Arduinoへ被せる形にした(図5). また，これらの回路やモータ，センサはバッテリーと一緒にカバンへ入れ，電極や超音波距離センサなどのカバンから離れた位置に配置するものは，被験者の体の大きさを計測し，コードの延長と微調整をした．

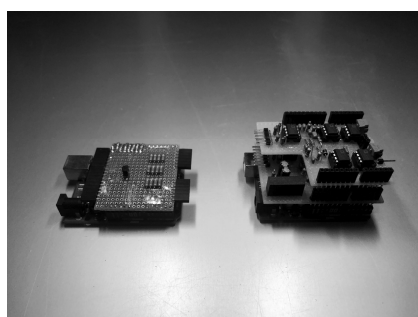


図5 筋電位計測回路と感覚のフィードバック基板

(※文責: 佐々木晃大)

2.4 感覚フィードバック

2.4.1 触覚

義手で魚を押さえた時の触覚を被験者にフィードバックするために、圧力センサを義手の指先に設置した。従来開発されてきた触覚フィードバック装置において、電気刺激や振動刺激が用いられてきた。電気刺激は痛覚として使用者に感じられることがあり、また、刺激の提示位置によっては取得する筋電位信号に影響を及ぼす [8]。そのため、本グループでは、比較的使用者にとって不快感が少なく、義手の動作に影響を及ぼさない振動刺激を用いた。圧力センサが圧力を検知すると Arduino に信号が伝わり、被験者の上腕部に貼り付けた振動モータが振動する。義手を腕に固定するために被験者の肘までソケットで覆うので、振動刺激の提示位置は肘より上である必要があった。

(※文責: 木下由紀乃)

2.4.2 障害物

周囲の障害物に義手を衝突させてしまった場合、障害物の種類によっては義手に傷が付き、義手が破損する恐れがある。また、衝突した相手が物でなく人であった場合、義手の衝突によって相手に怪我を負わせる恐れがある。特に使用者の死角において、その危険性が非常に高い。使用者の死角にある障害物を検知するために、図 6 のように義手の肘部分に超音波距離センサを設置した。超音波距離センサの領域を図 7 に示す。超音波距離センサが障害物を検知すると Arduino に信号が伝わり、ブザーが鳴る。

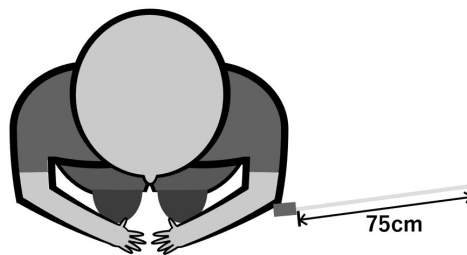


図 6 超音波距離センサの設置

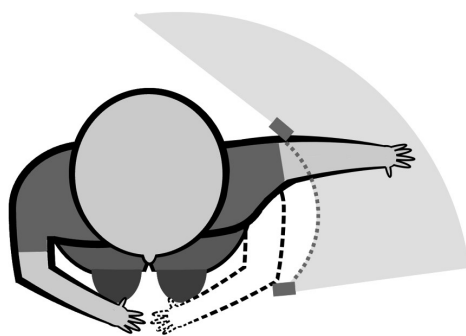


図7 超音波距離センサの領域

(※文責: 木下由紀乃)

2.5 前期設計

2.5.1 義手のプロトタイプ

1.1 の背景や 1.2 の目的, 2.5.2 の比較実験用のサンプル製作を経て, 鳥の趾を参考に設計を進め, 指の配置を検討するためにモデルを作成した. そして, 3D プリンターで印刷し, 図 8・9 のように比較実験用のサンプルを組み立てた. 関節を曲げるために各関節にヒートン (糸を通す金具) を取り付け, 指先のヒートンに糸を結び付けた. そして, 各関節のヒートンに糸を通し, 中心の穴に向かって通した. これを他の指にも適用し, 4 本すべての糸をリングに結び付けた. このリングを引っ張ると, 全ての指が同時に曲げられる設計にした. サンプル 1 と 2 それぞれに手を固定するための支えを取り付け, そこに手のひらを乗せてリングを引っ張ることで, サンプルの手のひら部分を安定させることができる. 実際に引っ張ってみると, 想定通りの動作をした.

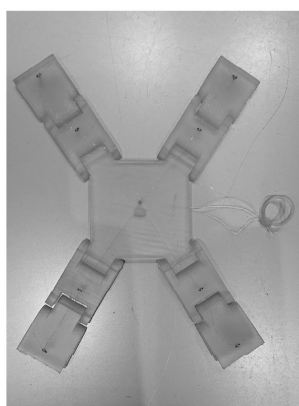


図8 サンプル 1 (2 対 2 足)

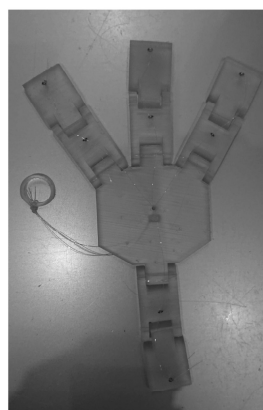


図9 サンプル 2 (3 対 1 足)

比較実験は, 作成した 2 つのサンプルを用いて実際に魚を押さえて, どのくらい固定されるかなど安定性を比較した. この実験の結果を分析し, 義手の構造の改善点を見つけ, より押さえることに特化した義手を作成した.

(※文責: 佐々木晃大)

2.5.2 比較実験用のサンプル製作

魚類を捕らえる典型的な動物として、鳥類が挙げられる。猛禽類とは、他の動物を捕食する習性のある鳥類の総称である。魚類を捕らえる猛禽類の一種であるミサゴは可変対趾足を持っており、第4趾を前後に動かすことができる。今回、魚を押さえるのに適した指の構造を調べるために、ミサゴの趾を参考に2パターンの模型を製作した。3DCADソフトについてはFusion360、3DプリンターについてはFormlabs社製Form2を使用した。作成したモデルを図10に示す。

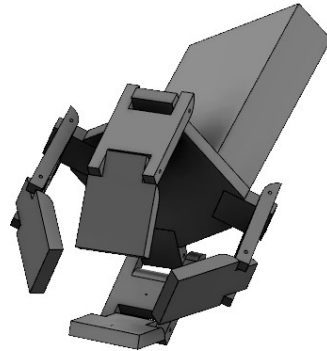


図10 Fusion360でのサンプルモデリング

(※文責: 木下由紀乃)

2.5.3 サンプルの問題点

製作したサンプルの問題点は、指の関節数が少ない点である。掴む対象に沿うように指が曲がらないため、掴んだ際の接触面積が小さい。製作したサンプルでは対象物を押さえるのに十分な力を伝えることができず、上手く固定ができなかった。また、糸とヒートンが表面に剥き出しになっているため、ヒートンに過剰な圧力がかかったり触れた物体と糸が干渉したりという問題がある。

(※文責: 木下由紀乃)

2.6 後期設計

2.6.1 義手本体の製作

前期の問題を踏まえ、義手全体の構造を見直した。変更した部分を以下に示す。

(1) 1個のパーツだった手掌部の分割

魚をしっかり固定するためには、摩擦を大きくするだけでなく、義手が対象に密着しなければならない。魚の表面は曲面になっているため、前期のように手掌部が平面のままでは接触面積が小さく、密着しにくい。この問題を解決するためには手掌部を湾曲させ、接触面が曲面になるようにし

なければならない。しかし、ただ湾曲した形状にするだけでは個体差のある魚には対応できない。そこで、図 11 のように手掌部を 3 つに分割し、厚さ 3mm のゴムで 3 つのパーツを接続した。ゴムの使用により手掌部が湾曲し、圧力をかけると対象に密着するようになった。また、3 分割したことにより対象に密着するだけでなく圧力をかけやすくなった。



図 11 手掌部

(2) 指同士の接続にゴムを使用した。
形状を図 12 に示す。

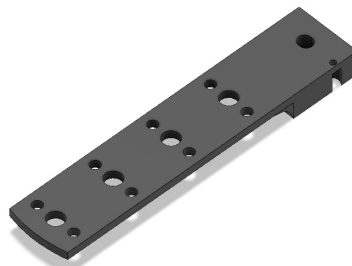


図 12 接続用ゴム

(1) の手掌部連結と同様、厚さ 3mm のゴムを使用した。当初は前述の Form2 でエラストティックレジンを用いて接続部を作成したが、強度が不十分で裂けてしまい、長期使用には耐えられないと判断したため素材をゴムに変更した。指の長さは、物体を固定するときの安定性と義手の指幅から、第 2 指長（人差し指）と第 3 指長（中指）の平均長に設定した。日本人男性の平均第 2 指長は 71.3mm、平均第 3 指は 79.5mm[9]、その平均長は約 75mm であったため、この値を基準に製作した。柔らかい素材を使用することにより、屈曲時に指をなめらかに曲げることができた。また、ゴムの弾性が高いため、指を用意に初期状態（伸展状態）へ戻すことができた。

(3) 指関節数を 3 個から 4 個に変更した。

(2) でなめらかに屈曲させることができ、図 13 のように関節の数を増加させることで魚との接触面積が増えたため、押さえたときの安定度が前期よりも増加した。

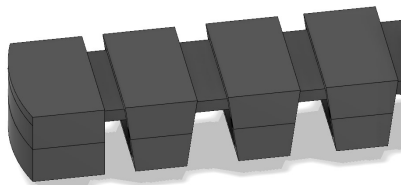


図 13 4 関節の指

(4) 指構造の改良

触れる物体にヒートンと糸が干渉しないように、指の内側に包むようにして設計を行った。指部分は、手掌側とその背側で二つに分け、分解・修正を行いやすいようにした。分解したものを図 14 に示す。

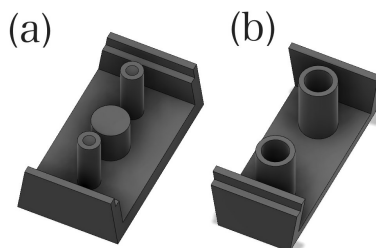


図 14 指パーツの内部

(b) は手掌側，(a) はその背側である。(a) の中心には、ヒートンを固定するための円柱を配置してある。実際にヒートンを固定し、糸を通したものを図 15 に示す。糸を図 15 の右に向かって引くことで、指が屈曲する。

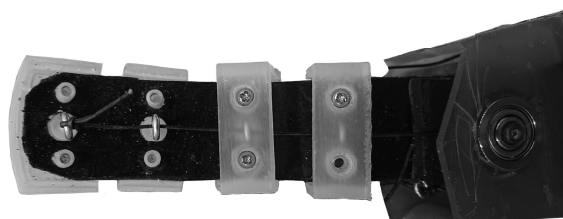


図 15 実際の指パーツ内部

手掌側では、屈曲時に指同士の距離が小さくなる。指同士が干渉せず屈曲の角度を大きくするために、手掌側の面積を小さくした。図 16 のように、横から見ると逆台形になっている。実際の義手の指部側面を図 17 に示す。図 17 の右に向かって下糸を引くことで指が屈曲し、引いた量だけ上糸が左側に送り出されるようになっている。

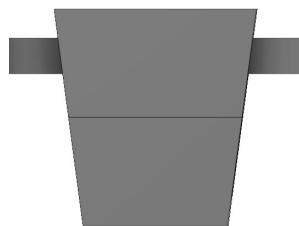


図 16 指部（側面）

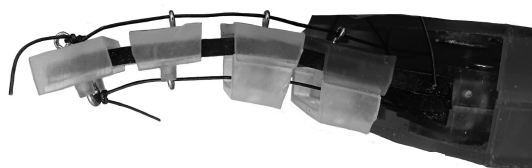


図 17 実際の指部側面

(5) 指の内転・外転運動を再現することができなかつたため、ベアリングを用いた回転を実装した。

前期の段階では歯車を用いて内転・外転を実現しようとしたが、配置場所の計算ミスや印刷の誤差などにより、実現は難しいと判断した。そこで担当教員に相談したところ、「ベアリングを使用すれば滑らかに回転が行える」とのアドバイスをいただいた。ベアリングの設置場所は、(1) で述べた手掌部の上下に設定した（図 18 の左右パーツの穴）。また、義手の指と手掌部、ベアリングを組み合わせるために図 14 のようなパーツを製作した。

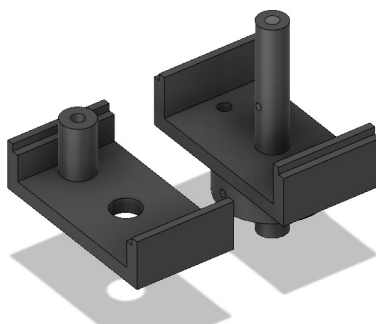


図 18 回転軸（指の基底部）

(6) 糸の摩擦を小さくし、滑らかに引けるように手掌部に回転軸を実装した。

屈曲・伸展、内転・外転の 4 種類の糸が 4 本存在するため、合計 16 本の糸を使用することになる。この量の糸を一点に集約して引くと大きな摩擦がかかり、糸にも義手本体にも強い負荷がかかる。そこで、(5) 同様担当教員からアドバイスをいただき、ベアリングを使用することにした。ベアリングの設置場所は、手掌部の中心モデル内部と側面に設定した。手掌部中心モデルを図 19 に示す。

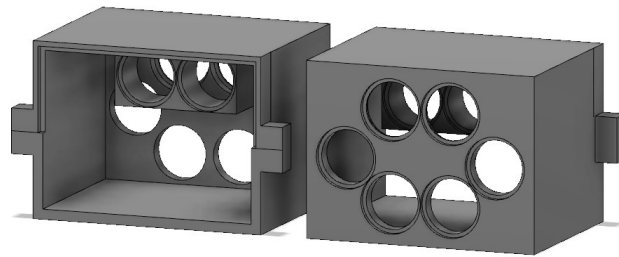


図 19 手掌部中心内部

(7) 新たに後述のソケットへの接続部を設計した。

義手を装着するにはソケット（後述）が必要となる。そこで、義手本体とソケットを接続するためのパーツを製作した。接続部位は、(1) で述べた手掌部上下パーツとソケットの先端である。接続角度は、担当教員からアドバイスをいただき、手で魚を押さえるときの角度を再現することにした。作成したモデルを図 20 に示す。

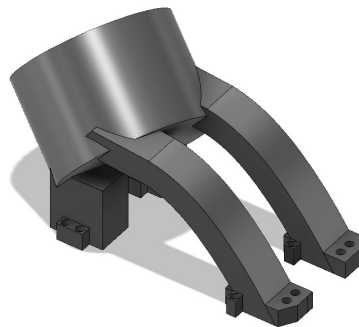


図 20 接続パーツ

(1) ～ (7) の部品を全て組み合わせたモデルを図 21, 22 に示す。これらの部品は前期と同様すべて Form2 で印刷した。

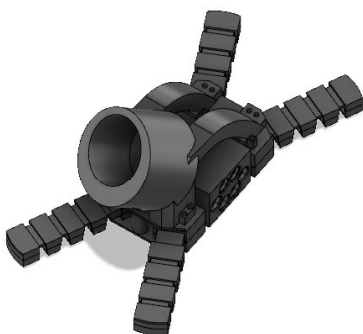


図 21 後期の義手モデリング（上部）

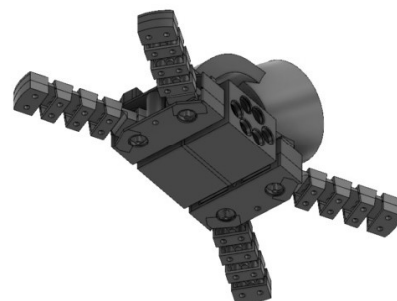


図 22 後期の義手モデリング（上部）

(※文責: 佐藤日向子)

2.6.2 外装部品製作

義手本体以外に、モータを固定するケースと糸を巻き取る部品（サーボホーン）を2つずつ製作した。それぞれ、近藤科学が配布している3Dモデルデータ [10][11] をもとに作成した。これらの部品をサーボモータにそれぞれ取り付けてモータ制御を行うことで、糸の巻取りと送り出しを行う。作成したモデルを図23, 24に示す。

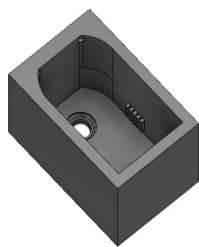


図23 モータケース

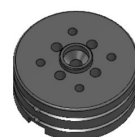


図24 サーボホーン

モータケースには後述の密着コイルばねが通るように直径3mmの穴を2か所開け、サーボホーンは直径を30mmに設定した。前者はForm2で印刷し、後者はANYCUBICのPHOTONで印刷した。両者ともに印刷形式は光造形式である。

また、モータケースとサーボホーンのほかに、前述のエラストティックレジンを用いて表面にポロノイ図の溝をつけた滑り止めを製作した。滑り止めの3Dモデルを図25に示す。



図25 滑り止め

さらに、衛生と防水の観点から、ゴム風船を加工したカバーを製作した。

(※文責: 佐藤日向子)

2.6.3 部品の組み立て

2.6.1, 2.6.2で製作した部品と、糸、サーボモータ、密着コイルばねを組み立てた。糸には、YONEX製のガット「EXBOLT63」を使用した。ヒートンとガットは、ほどけないようにもやい結び [12] を行った。組み立ての段階で設計ミスがいくつかあったため、やすりがけやルータ、エポ

キシパテで調整を行った。また、2.1 の圧力センサを指先に接着し、義手の上部分を通るように配置した。そして、2.3.2 で製作した省スペース回路やケーブルをカバンに収納した。

(※文責: 佐藤日向子)

2.6.4 ソケットへの取り付け

国立障害者リハビリテーションセンターによると、ソケットとは、「切断端を差し込んで、義手を身体に固定する部分。切断端と義手との接触部分で重要な要素」のことである [13]。ソケットの内部には、Ottobock 製のシリコンアームライナーを連結させる必要がある。連結部品はソケットから突出しており、取り外しが可能である。このソケットに義手本体と連結した図 20 の接続パーツを取り付ける。取り付け方法は、ソケット押し込みによる圧着と、前述の突出した部品を通すことによる固定である。

また、2.6.2 で組み立てたサーボモータ（ケース）をカバンに収納した。しかし、動作確認を行ったところ、ガットの距離が一定にならず、うまく巻き取ることができず指が動かなかった。そこで、義手本体との距離を縮めてガットの長さを一定にしやすくするために、モータケースをソケットに装着することにした。モータケースが平面であるのに対してソケットが曲面であったため、そのままでは固定できない。この問題を解決するために、スポンジを用いた。ケースとソケットの間にスポンジを挟み込むことで、がたつきを抑えて固定することができた。モータが動く反動によるがたつきを抑えるために、布ガムテープと布用両面テープを用いた。

最後に、2.6.2 で製作したカバーと滑り止め、サーボモータの電源ケーブル、圧力センサの入力ケーブル、距離センサ、振動モータを固定し、ケーブルの調整を行った。筋電義手の全体像と装着時の姿を図 26 に示す。

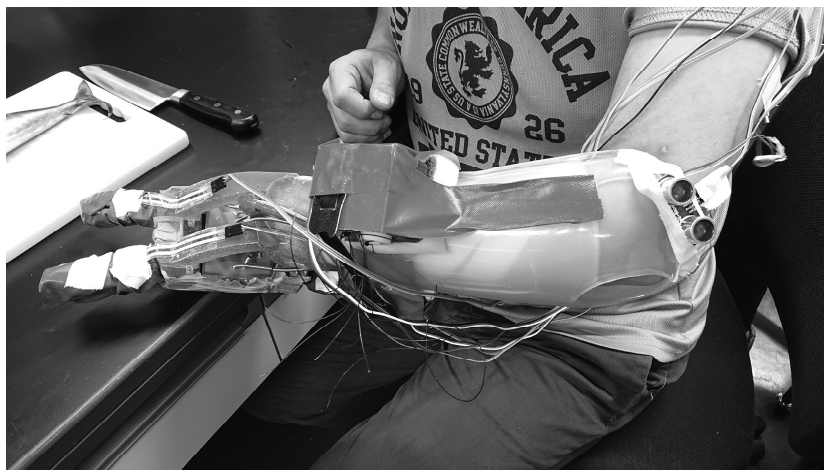


図 26 筋電義手装着

(※文責: 佐藤日向子)

2.7 プログラム制御

2.7.1 前期プログラム制御

筋電位を測定し、筋電位回路 (1ch) を通した信号を Arduino へ入れた。その信号 (0 から 5V) を Arduino の analogRead 関数を用いて 0 から 1023 の値へ変換を行った。(1 秒間で約 1000 回) その平均値が任意で決めたある閾値よりも大きい値になったら、筋肉が動いたと判定できた。

(※文責: 佐々木晃大)

2.7.2 後期プログラム制御

サーボモータを制御するプログラム

2 箇所の筋電位を測定し、筋電回路で処理した信号 (0 から 5V) をそれぞれ Arduino に入力し、サンプリング周波数下で A/D 変換 (1 秒間で約 1000 回) を行い、それぞれ平均を求める。

2 箇所の平均値が任意で決めた 2 つの条件を満たしているのかそれぞれ判定し、条件を満たすと

サーボモータの状態を [状態 1] のときは [状態 2] へ [状態 2] のときは [状態 1] へ遷移する。

サーボモータの可動域は -135° から $+135^{\circ}$ までの 270°

初期状態は [状態 1] であり、

1 つ目のサーボモータは [状態 1] $+135$ 度 [状態 2] $+73$ 度

2 つ目のサーボモータは [状態 1] $+135$ 度 [状態 2] -19 度

と設定している。

サーボモータの制御方法は PWM 制御を用いている。

仕様 $700 \mu \text{ sec}(+135^{\circ}) \sim 1500 \mu \text{ sec}(0^{\circ}) \sim 2300 \mu \text{ sec}(+135^{\circ})$

前期との変更点としては、角度と条件を決めたことで、サーボモータの状態が遷移する条件は、筋電計を装着するたびに微調整をしている。理由は、装着するたびに位置が少しでもずれると筋電回路で処理した信号が変わることで、誤動作が発生し、うまく動かすのが困難になってしまうからである。

(※文責: 佐々木晃大)

第3章 実験

3.1 実験方法

本プロジェクトで制作した筋電を被験者に装着する。その義手を用いて、魚(鯖)を三枚おろしにしてもらった。記録として、魚を捌く被験者から見て、正面、右、左、上の4方向からカメラで撮影した。図27に実験の様子を示す。(a)は右図、(b)は上図、(c)は正面図である。

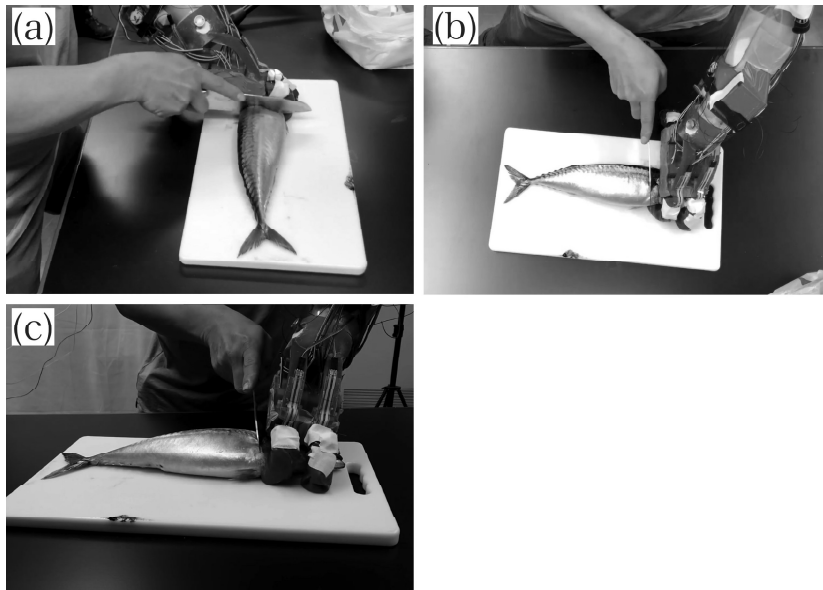


図27 実験の様子

(※文責: 佐々木晃大)

3.1.1 実験評価方法

実験方法で撮影された動画を基に義手が魚を押さえていたかや、義手が魚を押さえているとき、振動モータによる触感のフィードバックがあるかを確認する。また筋電義手装着時と無装着時でそれぞれ魚を捌くのにかった時間を計測する。計測はそれぞれ「筋電義手が魚に触れたとき」「前腕が魚に触れたとき」を開始とし、「魚を捌き終わり、まな板に3枚おろしされた魚のみが置かれたとき」を終了とした。そして、実験終了後被験者にもものを掴んだ感覚が得られたか、義手を使った際の疲労感をヒアリングした。

(※文責: 佐々木晃大)

3.2 実験結果

3.2.1 筋電義手装着時の魚の処理

捌くのにかかった時間は2分38秒で、初めの方は義手の操作に慣れていない様子があった。また筋電義手非装着時に比べると、魚をしっかり押さえることができていた。義手が体に密着していたことから、体への負担が軽減された。そのため魚を捌く際の疲労感は義手をつけている方が少なかった。被験者が意図しない動作をすることがあった。

(※文責: 佐々木晃大)

3.2.2 筋電義手非装着時の魚の処理

捌くのにかかった時間は1分39秒で、義手装着時に比べると、魚を押さえるのは困難であった。義手装着時に比べると魚が滑っていたが、滑ることを考慮しているのか押さえ方に特徴があり、丁寧にゆっくり押さえていた。また義手装着時に比べると体勢が前傾になっていて、義手の重さがないので動きが速いことから身軽そうに見えた。

(※文責: 佐々木晃大)

3.2.3 筋電義手の動作

実験前の試動作ではうまく動かすことができていたが、実際に魚を捌いてみると、魚を押さえているときに無駄な力が入って、ずっと反応してしまうということがあった。また、握る動作の後に開く動作をしてもうまく開かないことがあった。

(※文責: 佐々木晃大)

3.2.4 感覚のフィードバック

テスト段階では振動モータが動いていたが、実験の際には反応がなかった。試動作時に圧力センサは反応していたが、振動モータが反応しないことがあった。

(※文責: 佐々木晃大)

3.3 考察

筋電義手装着時と非装着時で非装着時の方がタイムが短かった。これは、被験者が筋電義手を用いて魚を捌いたことがなかったため、魚を捌く際に無駄な力が入ってしまった。その結果筋電位がでてモータが意図しない動作をしてしまったこと。被験者が非装着時に魚を捌くことに慣れていること。以上の2点だと考えられる。また筋電義手装着時では全体的に一つ一つの動作が遅かった。筋電義手非装着時では魚を押さえることに難があったが、全体的に1つ1つの動作と次の動作への移る時間が短かった。その結果タイムに差ができてしまった。今回の実験では1回しか魚の処理を

Body augmentation interface using biological signals～ASHURA～

行っていない。しかし1回だけではなく、複数回筋電義手を用いて魚を処理して被験者が筋電義手の扱いに慣れることで、魚の処理時間が短縮される。そして、最終的には筋電義手非装着時と筋電義手装着時の差である魚を押さえやすいことを生かすことによって、筋電義手非装着時の魚の処理時間よりも短いタイムを筋電義手装着時にだすことも可能であると予想される。また感覚のフィードバックがうまくいかなかった原因としては、試動作時に見られた現象から接触不良が原因なのではないかと考えられる。

(※文責: 佐々木晃大)

第4章 結論

4.1 プロジェクトの成果

前期の活動では、筋電位についての講義を受けたり、電子回路の作製方法など、生体信号を利用した身体拡張インターフェースを製作するための基礎的な知識を学んだ。また、実験協力者の方の話から、メンバー間でどんな問題を解決することができる筋電義手を製作するのかを話し合った。そして、それぞれのメンバーが筋電義手を製作するためにそれぞれの課題を進めた。電子回路はユニバーサル基板にはんだ付けを行い、筋電位を測定するチャンネルを1つ作製した。そしてプログラムは計測した筋電位を処理するアルゴリズムを考え、実装した。そして、モーターを動かすプログラムを作製した。最後に3DモデルはFusion360で構造を作り、3Dプリンターで印刷し、義手のプロトタイプを作製した。

後期の活動では、前期の筋電位測定チャンネルを増設したり、コンパクトな回路を作成したりした。また、プログラムの改良、Fusion360で3Dモデルの作成・3Dプリンターで印刷・組み立てを行った。組み立てた筋電義手はいくつか問題が発生したものの、1.6.1節での（触った感覚が存在しない点以外の）問題の解決と1.6.2節での課題の達成をすることができた。

（※文責: 平岡聡佑）

4.2 考察

1.6.1より、腕や腰に大きな負担がかかることと、魚を固定できないことにより包丁がうまく入らないことが問題点として挙げられた。従って、この問題を解決するために、摩擦力を大きくすることが重要であると考えた。そのために、義手へ指紋のような溝や細かな突起のついたカバーをつけることが必要である。

（※文責: 佐々木晃大）

4.3 今後の課題

今後の課題として圧力センサを作動させることと、筋電義手の機構の見直しを行うことがある。今回、圧力センサを触覚のフィードバックを再現するため装着した。しかしながら、接触不良により実験時、圧力センサと振動モータが反応しなかった。また、筋電義手の機構における問題点が2点存在する。1つ目に指の開閉が上手くいかないことである。筋電義手の指を開閉する際にガットを巻き取るのと同時にガットを送り込む必要がある。そのため、指の開閉をスムーズにするには、その時に生じるガットを巻き取る長さを送り込む長さの差を考慮する必要がある。2つ目に義手の手のひら部分が大きく、魚を掴む動作が上手くいかなかった。この問題点は筋電義手の機構をもう一度見直し、大きさや長さを調節する必要がある。

（※文責: 平岡聡佑）

4.4 今後の展望

今年度の本プロジェクトでは魚を押さえやすく、感覚のフィードバックを得ることができる筋電義手の作製を行った。その結果、魚を押さえることは成功したと考えられる。そのため、今後は筋電義手の機構の見直しと、ものを触れている感覚のフィードバックを実現させることを目的とする。義手の機構の見直しとして、義手の手のひら部分の小型化が挙げられる。それによって、大型の魚だけではなく、小型の魚に対応できるようにすれば実用性が上がると考えられる。ものを触れている感覚のフィードバックを実現するためには、圧力センサと振動モータの結合部分を強化、修正する必要がある。また、ものを触れている感覚のフィードバックが今回の実験で確かめることができなかつたため、再度実験を行い、適切に感覚のフィードバックが実現できているかを実験協力者の方の意見をもとに評価する必要がある。

(※文責: 平岡聡佑)

第 5 章 最終評価コメント

5.1 評価のフィードバック

2021 年 12 月 10 日 (金) に 2021 年度プロジェクト学習の成果発表会が行われた。成果発表会ではまず、本プロジェクトと各チームの概要を説明した。その後、各グループが製作した成果物の詳しい説明と、実際の実験動画を流した。各グループの説明が終了しだいグループごとの製作物についての質疑応答を行った。この一連の発表の間に聴衆の方々に我々の発表の評価をしていただいた。集計した結果、本プロジェクトの総評価者数は 40 名であった。発表技術に関する評価の平均値は 10 点満点中 8.55 点。発表内容に関する評価の平均値は 8.65 点であった。以下に具体的な良かった点、悪かった点を示す。

(※文責: 平岡聡佑)

5.2 良かった点

成果物発表会において評価者から以下のような良かった点が挙げられた。

- ・義肢を作成するのが素晴らしく完成度も高かった
- ・発想が面白かった
- ・実際にその義手を使用している様子を撮影し、そこからまた改善という流れを繰り返し替えていたのはとても良かった
- ・Web サイト内の筋電義手実験動画があることで内容が理解しやすかった
- ・具体的に困っている人の手助けをしていて、成果がはっきりと見えていた内容だったので感心した
- ・評価実験を行ってちゃんと良かった点と悪かった点がわかりやすくまとめられていたので、内容が初めて知ることで理解しやすかった

(※文責: 平岡聡佑)

5.3 悪かった点

成果物発表会において評価者から以下のような悪かった点が挙げられた。

- ・タコやウナギといった普通の魚とは形が少し特殊なものでも大丈夫なのか気になった
- ・義手の真ん中のパーツは小さくならないのか、また爪部分は動かないのか気になった
- ・魚を捌くだけなら、針みたいなので固定してしまうのが早い気がする
- ・身体拡張感を得るには慣れるまで少し時間がかかると思う
- ・結局魚を捌くことができたかがわからない

(※文責: 平岡聡佑)

5.4 まとめ

これらのコメントをまとめると、発表の仕方に関する評価は高かった。反対に、悪かった点をまとめると義手が4本指であることが不明確であることと、義手の機構に関する改善案が挙げられる。特に筋電義手の機構に関する意見が非常に多かった。後期の期間では筋電義手の作製に時間がかかり、実験が1度しか出来なかった。そのため、実験で得られた筋電義手の機構に関するフィードバックを生かすことができなかった。ゆえに実験前期の期間内でプロトタイプを製作することと、5本指の義手を製作し、魚を捌く比較実験を行うことが望ましいと考えられる。

(※文責: 平岡聡佑)

第 6 章 プロジェクト内のインターワーキング

各メンバーがプロジェクト内で行ったことを記述する。

6.1 佐藤日向子

- 5月 3 グループに分かれたのち、B グループリーダーに任命された。そして、5 月以降のスケジュールを確認し、計画を立てた。「触覚を利用したい」と考えていたため、触覚を用いた筋電義手の既存技術や論文の下調べを行ったり、アイデア出しをしたりと義手作成に向けての下準備を行った。
- 6月 6 月上旬に、実際の義手使用者の方にお話を伺い、何に困っているのかを詳しく知ることができた。この対話をもとに、義手のおおまかな構造を考えた。その上で、魚を掴むには鳥の趾構造が適していると考えたため、魚を脚で捕らえることができ可変対趾足も持つ猛禽類のミサゴに着目した。また、グループ内での役割分担を回路・プログラム設計に決定し、設計班に配属した。中旬には前述のミサゴの足を参考にして設計図を描き、細かな構造や動作方法を考えた。この際にプログラム班とモーター動作方法の確認を行った。下旬では、想定していた構造が本当にものを掴んだり押さえたりしやすいのかを確かめるために、2 つの構造のサンプルを作成し比較実験を行うことを決定した。そして、Fusion360 にてそれぞれの 3D モデル作成に着手した。
- 7月 6 月に着手した 3D モデルの作成を完了させ、高木先生の 3D プリンターをお借りして印刷を行った。印刷後、設計通りに組み立てることができた。中間発表に向けて、説明に必要な 3D モデルの画像や製作物のイメージ図、全体図のイラストを担当した。中間発表終了後、被験者が日常生活でどのように魚を処理しているのかを体験するためにプラスチックコップで左手を包んで固定し、実際にホッケを処理した。この体験から、被験者が魚を処理する際どのようなことで苦労しているのかを実感でき、さらなる問題点を発見することができた。
- 8月 プロジェクト全体の目的を話し合った。また、7 月に作成した義手のサンプルを用いて本グループメンバーとともに実際にホッケを処理した。この結果から、本製作への着想を進めていった。
- 9月 前期で作成したサンプルの構造を一新した義手の設計図を考えた。また、本印刷用の 3D モデルの作成を進めた。
- 10月 9 月に描いた設計図の修正を行ったり、引き続き 3D モデルの作成を進めたりした。また、被験者への聞き取り調査や連絡を行った。
- 11月 3D モデルの作成を進めた。また、高木先生の 3D プリンターをお借りして、作成した 3D モデルの印刷を行った。印刷したのから順に組み立てていった。部品の再確認を行った。
- 12月 トライアンドエラーを繰り返し、すべての部品印刷を完了した。また、回路班とプログラム班との最終連携を行い、筋電義手を完成させた。実験の準備と本実験、分析を行った。実験完了後、web サイトの加筆・修正を行い、全体図イラストの修正を担当した。最終報告会終了後、いただいたコメントをもとに今後の展望を考え、最終報告書を執筆した。
- 1月 最終報告書を執筆した。

(※文責: 佐藤日向子)

6.2 木下由紀乃

- 5月 活動方針のアイデア出しを行った。
- 6月 被験者へのヒアリングを行った。活動方針が決定した後、グループ内での役割分担として、回路設計を担当した。プログラムのテスト用の1チャンネルの筋電位計測回路を作製した。
- 7月 中間発表に向けて、プロジェクト全体の概要文執筆、筋電位計測回路の図の作成を主に担当した。
- 8月 プロジェクト全体の目的を話し合った。
- 9月 プロジェクト全体の目的を話し合った。
- 10月 プロジェクト全体の目的を話し合った。
- 11月 本番用の筋電位計測回路と、感覚フィードバックを制御する回路を作製した。
- 12月 実験準備、実験を行った。最終報告書を執筆した。
- 1月 最終報告書を執筆した。

(※文責: 木下由紀乃)

6.3 佐々木晃大

- 5月 筋肉が動く仕組みや筋電位計測を行う回路を学習し、生体信号を用いたインターフェースについて調べ、被験者の方にどのような機能があればよいか話を伺った。また全体で義手の仕様を話し合い決めた。
- 6月 モータの種類とそれぞれのモータの特徴を調べ、サーボモータを使用することを決め、担当教員との相談とグループ内で情報共有をして、サーボモータの発注を行った。実際に筋電位を測定し、その信号を Arduino UNO へ入力し、筋肉に力が入っているか入っていないかの ON と OFF の判定ができるようにした。超音波センサーのサンプルプログラムを元にソースコードを追加した。
- 7月 中間発表へ向けた WEB や発表原稿など準備を行った。
- 8月 プロジェクト全体の目的を話し合った。
- 9月 プロジェクト全体の目的を話し合った。また、設計担当に義手の回路をどのように配置するか聞くことで、持ち運びが可能なバッテリーから電源を取る必要があることを確認や、2つ目のサーボモータは何を使用するのか設計担当、担当教員との相談を元に決め、発注した。
- 10月 前期に決めた目標をどのように実現するのかを考え、回路はどのようにすればよいか担当教員へ相談し、調べた結果を回路担当へ共有した。以上の結果を元に使用する電子ブザー、振動モータ、圧力センサを決め、発注し、これらを用いた回路を想定し、プログラムを書き、実験計画書の目的を考えるなどの訂正を行った。
- 11月 10月に発注した部品と超音波距離センサを用いた回路をブレッドボード上で組み、プログラムを実行し、想定した動作になることを確認し、回路がどのようなになっているのか回路担当へ引継ぎした。また、発表スライドと発表原稿の大まかな構成を書き、これについて担当教員へ直接話を伺いどのようにすればよいかアドバイスをいただいた。
- 12月 実験準備、実験を行い、実験で撮影した動画を編集し、発表スライドへ乗せ、発表スライドと

発表原稿を完成させた。最終報告書を執筆した。

1月 最終報告書を執筆した。

(※文責: 佐々木晃大)

6.4 平岡聡佑

5月 筋電位を使ったインタフェースの先行研究を調べた。また、筋電位の測定方法や電子回路作製についての講義を受けた。

6月 Arduino UNO を用いて実際にモーターを動かしたり、3D モデル作製の手伝いを行った。

7月 Web やポスター作製を進めた。

8月 プロジェクト全体の目的を話し合った。

9月 プロジェクト全体の目的を話し合った。また、筋電義手の機構のモデリング作製の手伝いを行った。

10月 プロジェクト全体の目的を話し合った。また、印刷を終えた義手の部品のやすり掛けや軸の作製を進めた。それと同時に義手の機構の見直しを行い、修正部分のモデリングの手伝いを行った。

11月 できた義手の部品の結合を手伝った。特に指部分の部品を製作、義手のカバー作製、指部分のひも通し作業をメインに進めた。それと同時にポスター作製や Web の作成を進めた。

12月 筋電義手が想定より動かないことがあったので、動かない原因を探し、修正を行った。実際に動くようになったら被験者の方に装着してもらい実験を行った。また、発表資料や Web 作成、最終報告書を執筆した。

1月 最終報告書を執筆した。

(※文責: 平岡聡佑)

付録 A 新規習得技術

本節では、課題解決過程に習得した技術について記述する。

- Fusion360 による 3D モデルの作成
- 3D プリンターによる印刷
- 特殊な紐の結び方
- 回路作製技術

(※文責: 佐藤日向子)

付録 B 活用した講義

課題解決過程において活用した講義について、講義名・活用内容を記述する。

- 担当教員による生体信号に関する講義
- 人体生理学
- 情報表現基礎

(※文責: 佐藤日向子)

付録 C 相互評価

課題解決過程で分担し、連携した前期と後期の作業全般について、互いに客観的に評価する。

【前期】

佐藤

登校日の他グループとの調整、プロジェクト全体ミーティングでの進捗報告、グループ内ミーティングの開催、各種提出物のアナウンス、活動の計画等、グループの代表として行うべき仕事をすべてやってくれました。アナウンスしてくれる人がいないと物事を忘れてしまうので、個人的に大変助かりました。担当であった 3D モデリングをはじめとして、割り当てられた仕事に責任を持って必ず役目を果たしており、グループメンバー全員から確実な信頼を得ていました。後期では、モデリングについて、途中段階の簡単なスクリーンショットのみでいいので、進捗状況を定期的にメンバーと共有してもらえると助かります。

(※文責: 木下由紀乃)

登校日程調整や、登校日の連絡、グループ週報、次回の活動内容、教員からのアドバイスのメモや、イラスト、初めての 3D モデルで試作品を作ったことや、お互いに言いたいことが伝わらなくても、あきらめずに話そうとしたり、理解しようとしてくれたことが良かった。たまに次回することを勘違いするなどがあったので、お互いにプロジェクト内での確認をより意識し、確認不足がないようにしたい。

(※文責: 佐々木晃大)

グループリーダーとして率先してプロジェクトの計画を考えたりとグループを引っ張っていた。また作業に関しては、初めて 3D モデルを作製したりと難易度が高い作業を任された。それでも最終的には 2 つの構造の異なる義手のモデルを作製し、任された作業を完遂した。

(※文責: 平岡聡佑)

木下

担当である回路設計だけでなく、教員とのコミュニケーションを積極的に行ってくれていた。「こうしたい」「こうしてほしい」といった意見がはっきりしており、それをしっかり伝えてくれた。また、グループのその時点での問題点に対してさまざまな視点から解決策を考えてくれていた。誰よりも危機感をもって行動していた。ほかにも、余裕があるときにはほかのメンバーの手伝いを積極的に行ってくれた。自分の中で考えていることや、悩んでいることがあれば、もっと相談をしてほしいと感じた。

(※文責: 佐藤日向子)

筋電義手や回路を深く理解していて、筋電位回路を組む際にわからないことがあっても、丁寧に教えてくれたことや、筋電位回路を組む工程すべてを一人で行ったことや、センサーを制御するサンプルプログラムのリンクを教えてくれることや、アイデアだしの際に積極的に意見を発言するな

ど、作業に積極性であったのが良いところで、考えるのに時間がかかるなど、しっかり言葉にできるまで一人で考えている様子で、周りに配慮して、頭で考えていることを伝えきれていない印象があったので、もっと意見を言ってくれてもいいと感じた。

(※文責: 佐々木晃大)

筋電位測定のための電子回路を回路設計からはんだ付けまですべて行ってもらった。また、電子回路や筋電義手の知識を活かして、私たちに的確なアドバイスや指示を送っていた。さらに、話し合いの際には司会者的な立場となり議論がスムーズに進むようにしていた。

(※文責: 平岡聡佑)

佐々木

疑問に思ったことをすぐに質問したり、自分の意見を率先して発言したりと積極的だったため、議論がしやすかった。自分の行ったことをその都度報告していたため、状況把握がしやすかった。作業に早めに取り組んでおり、自分の作業を終わらせた後にグループ全体の終わっていない作業に取り組んでくれていた。全員と意思確認をする際に、なぜその意見になったのか具体的な理由がわからないときがあった。

(※文責: 佐藤日向子)

主に任せられていたプログラムに関して、責任を持って取り組んでいました。自分の仕事の進捗を他メンバーにその都度共有しているのがグループにとってとても良かったです。グループの目的や中間発表の論の構造等を議論したグループ内ミーティングでは、積極的に意見し、議論を活発にしていました。メンバーどうしで意見が対立したとしても、落ち着いて話し合い、必ず相手の意見を理解しようとしていたのが良かったです。

(※文責: 木下由紀乃)

アルゴリズムからプログラムの設計までを早い段階で終わらせており、他の作業の手伝いをしてもらい非常に助かった。また、話し合いや意見交流の際、様々な視点からの意見を挙げてもらい新しい気づきを得た。

(※文責: 平岡聡佑)

平岡

グループで議論しているとき、話が脱線してしまったり論点がずれてしまったりしたときにすぐに軌道修正を行ってくれた。また、一歩引いたところから見ており、メンバーの意見をうまく集約して「こうじゃないか？」と鋭い意見を出してくれた。自分の作業がない時、他のメンバーの手伝いを積極的に申し出ている。中間発表に必要なポスターや web を主体となって作成してくれていた。もし、作業で困っていることがあれば、すぐにメンバーに相談してほしい。

(※文責: 佐藤日向子)

プログラム、設計、発表用 Web ページ作成と、人手が必要そうなところを自ら見つけ作業に取り組むなど、グループ全体を俯瞰してくれていました。また、グループの目的や中間発表の論の構造等を議論したグループ内ミーティングでは、要所要所で冷静かつ的確な意見を出していました。

そのお陰で本筋からそれずにスムーズに話し合いが進みました。

(※文責: 木下由紀乃)

グループでのアイデア出しで、その場の意見に流されずに、違った視点で意見を言ってくれることがあり、そのことで自身の意見を考え直すなど、狭い視野で物事を考えているときに、広い視野で物事を考え直す機会ができ、全体的に困っているところがあったら、手伝いに行ったり、発表用のWEBページの作成を行い、内容がこれでよいか確認をとったり、中間発表前にWEBの文章の細かな修正などを行ってくれた。

(※文責: 佐々木晃大)

【後期】

佐藤

リーダーとしていつもメンバーのようすを観察してくれていて、グループ全体のバランスを取ってくれた。作業が切羽詰まった状況でも暗い空気にならないための配慮を佐藤さんがしてくれたおかげでおだやかに成果発表会を迎えられたと思う。義手の組み立てに関して、各人に的確な指示を出してくれて、指揮を取ってくれた。発表準備も主に動いてくれて、イラストを用意してくれたり文章を考えてくれた。

(※文責: 木下由紀乃)

グループの作業方針を決めたり、実験の申請書などグループ全体での作業を積極的に進めてくれた。また初めて Fusion360 を用いて義手製作を行ったが、担当教員へ機構の相談をするなどにより、細かな部分を考慮してモデリングや、Fusion360 の使い方が分からないことがあれば先輩に聞くなど対応がしっかりしていた。成果発表前には web 製作で実験結果や考察の良かった点や悪かった点を書いたり、筋電義手の構成イラストを書くなどの作業を行ってくれた。

(※文責: 佐々木晃大)

主に Fusion360 を使用して筋電義手のモデリングを進めてくれた。前期の筋電義手の機構に変更点を加え、ほとんど一から機構を再び考え、モデリングを進めていた。数ヶ月という短い中でとてもクォリティーが高い義手を製作してくれた。またモデリングの作業量が本当に多いにも関わらず、実験の申請書や Web 製作など他の任された作業を責任をもって終わらせていた。

(※文責: 平岡聡佑)

木下

グループ内だけでなくプロジェクト全体で働きかけを行ってくれたり、意見を積極的に出してくれたり、誰もが意見を述べやすい状況を作り出してくれていた。また、担当教員との連絡・相談を頻繁に行ってくれていた。悩んでいることをすぐに相談してくれたり、逆に他メンバーの状況を見て相談を受けに行ったり、作業を手伝ってくれたりしていた。そして、担当の回路では、創意工夫を凝らして実用的かつ整った回路基板を作成してくれていた。

(※文責: 佐藤日向子)

プロジェクト内での話し合いを円滑に進めるために積極的に発言したり、どのようなことを考えれば良いのか方向性を示してくれていた。また、回路などの担当範囲で分からないことがあれば担

当教員へ相談していた。担当する回路の作業では、持ち運びができる 5V 電源を作ることや、回路をよりコンパクトにして Arduino の上に乗せるだけで動作するようにしたり、基盤を入れるためのケースを作るなどのアイデアを自分で考え、積極的に作業していた。

(※文責: 佐々木晃大)

後期の始めにはこのプロジェクトにおける身体拡張の定義を考えてくれた。その作業と同時平行で電子回路の製作を進めてくれた。作業に妥協を許さず、電子回路に何度も改良を加え、スペースを取らない電子回路の製作を行ってくれた。また、グループ内で話し合いでは常に先導に立って話し合いを進めてくれ、グループメンバーの意見に耳を傾けていた。

(※文責: 平岡聡佑)

佐々木

担当していた仕事を早めに終わらせて、他メンバーの仕事を手伝ってくれていた。発表用スライドの作成や実験動画編集、データの共有や次にやるべきことの確認など、グループ全体で重要な仕事を多く担ってくれた。また、作業を進めるごとに内容の確認を細かく行ってくれたため、進捗の把握がしやすかった。担当のプログラムでは、変更を行うごとにソースコードの共有を行ってくれていたため、試行がスムーズだった。

(※文責: 佐藤日向子)

担当であったプログラムを早くに完成させ、細かい変更にも毎回すばやく対応してくれた。直前でソースコードに大がかりな変更作業があり大変だったが、実験に間に合うようしっかり機能を果たしてくれた。また、他のメンバーの仕事をたくさん手伝ってくれた。発表に向けて、動画の編集をしてくれたことが大変助かった。プログラムの作業と並行して発表スライド作成も進めていてくれたおかげでスムーズに発表準備できた。

(※文責: 木下由紀乃)

主にプログラムの製作を進めており、ある程度プログラムが完成するたびプログラムのソースコードをグループメンバー全員に共有してくれた。プロジェクト後期の中ごろにはほとんどプログラムを完成させており、他のグループメンバーの作業を積極的に手伝っていた。また、グループ内での話し合いでも、積極的に意見を出し話し合いを進めていた。

(※文責: 平岡聡佑)

平岡

主にポスターや web、スライドや画像編集など、発表に向けた取り組みを行ってくれた。話し合いの際に論点がずれないように何度も修正をしてくれたり、具体的な代替案をいくつも出してくれたり、次の作業に移りやすいような取り組みをしていた。説明が非常にわかりやすく、わかるまで何度も(多様な手段で)説明してくれた。また、手が空いたときには積極的に作業を手伝ってくれたり、物品整理などの手が行き届いていない作業を行ってくれた。

(※文責: 佐藤日向子)

用事の依頼や、進め方の提案など、メンバーへの伝え方がとても丁寧で、平岡くんのおかげでグ

Body augmentation interface using biological signals～ASHURA～

グループ内のコミュニケーションがいつも円滑だったと思う。義手の組み立てに、グループの成果物としての責任を持ってくれていて、とても過酷な作業計画だったがたくさん貢献してくれた。作業だけでなく、グループを代表してポスターと Web を作成してくれた。前期から引き続き、一歩引いて見た冷静な判断をしてくれて、重要な役割を果たしてくれた。

(※文責: 木下由紀乃)

ポスターや web 作業を行っていて、困ったことやポスター web で書く内容に認識のずれがないかをメンバーに確認して、書いてほしいところや確認してほしい内容があれば連絡を取ってくれていたのも、実験終了後から発表資料を作るまでの作業をとてもスムーズに行うことができた。また、自分の作業が特になくときには、モデリングを手伝ったり、プログラムで試動作させるための回路を組むのを手伝うなど他の人の作業を手伝ってくれていた。

(※文責: 佐々木晃大)

参考文献

- [1] 公益財団法人 鉄道弘済会 義肢装具サポートセンター：一般的義手 | 義肢装具サポートセンター, 公益財団法人 鉄道弘済会 (オンライン), 入手先
< <https://www.kousaikai.or.jp/support/knowledge/g-prostheticand/> > (参照 2021-7-21).
- [2] 公益財団法人 鉄道弘済会 義肢装具サポートセンター：特殊な義手 | 義肢装具サポートセンター, 公益財団法人 鉄道弘済会 (オンライン), 入手先
< <https://www.kousaikai.or.jp/support/knowledge/g-prostheticand/s-prostheticand/> > (参照 2021-7-21).
- [3] 川村次郎：筋電義手の普及への展望, 日本義肢装具学会誌, Vol.17, No.4, pp.259-260 (オンライン), 入手先
< https://www.jstage.jst.go.jp/article/jspo1985/17/4/17_4_257/_pdf/-char/ja > (2001).
- [4] Ottobock：筋電義手：ミケランジェロハンド, Ottobock (オンライン), 入手先
< https://www.ottobock.co.jp/prosthetic_ue/myoelectric/axon_system/michelangelo/ > (参照 2021-7-21).
- [5] パシフィックサプライ株式会社：i-limb quantum ハンド — オズール製品・ソリューションカタログ, パシフィックサプライ株式会社 (オンライン), 入手先
< <http://www.p-supply.co.jp/ossur/catalog/touch-bionics/i-limb.html> > (参照 2021-7-21).
- [6] イクシー株式会社：HACKberry —3D-printable open-source bionic arm, イクシー株式会社 (オンライン), 入手先
< <http://exiii-hackberry.com/> > (参照 2022-1-7).
- [7] 増田正：～口伝 表面筋電図篇～-ただいま処理中の巻-, バイオメカニズム学会誌, Vol.25, No.2, pp.88-92 (オンライン), 入手先
< https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/25/2/25_KJ00000972720/_pdf/-char/ja > (2001).
- [8] 奥野竜平, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造：皮膚振動刺激による筋電義手感覚フィードバック装置の検討, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.116, No.11, pp.1246-1251 (オンライン), 入手先
< https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejc1987/116/11/116_11_1246/_pdf/-char/ja > (1996).
- [9] 人工知能研究センター：AIST 日本人の手の寸法データ-寸法項目一覧 — 研究チーム — 人工知能研究センター, 人工知能研究センター (オンライン), 入手先
< <https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/hand/data/list.html> > (参照 2021-12-23).
- [10] 近藤科学：KRS-9000 シリーズ 寸法図 — 近藤科学, 近藤科学 (オンライン), 入手先
< <https://kondo-robot.com/faq/krs-9000dimention> > (参照 2021-12-23).
- [11] 近藤科学：KRS-6100 シリーズ 寸法図 — 近藤科学, 近藤科学 (オンライン), 入手先
< <https://kondo-robot.com/faq/krs-6100dimention> > (参照 2021-12-23).

- [12] 千住消防団 第三分団：千住消防団 第三分団「もやい結び」, 千住消防団 第三分団 (オンライン), 入手先
< http://www.roy.hi-ho.ne.jp/asunoro/s3cont/r_work/moyai.html > (参照 2021-12-23).
- [13] 国立障害者リハビリテーションセンター 支援機器イノベーション情報・支援室：義手 — 用語解説 — 支援機器イノベーション情報・支援室, 国立障害者リハビリテーションセンター (オンライン), 入手先
< <http://www.rehab.go.jp/innovation/dictionary/gishu/> > (参照 2021-12-23).