

公立はこだて未来大学 2024 年度 システム情報科学実習 グループ報告書

Future University Hakodate 2024 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ーフェース～ASHURA～

Project Name

Body augmentation interface using biologic signals

グループ名

グループ B

Group Name

Group B

プロジェクト番号/Project No.

14-B

プロジェクトリーダー/Project Leader

池田孝太 Kota Ikeda

グループリーダー/Group Leader

大津祐太 Yuta Otsu

グループメンバ/Group Member

大津祐太 Yuta Otsu

明石悠佑 Yusuke Akashi

蝦名築 Kizuku Ebina

内藤美紗希 Misaki Naito

指導教員

櫻沢繁 高木清二 山田恭史 辻義人 山田浩

Advisor

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Yasufumi Yamada Yoshihito Tsuji Hiroshi Yamada

提出日

2025 年 1 月 21 日

Date of Submission

January 21, 2025

概要

生命は、環境に適応するために形態を進化させてきたと考えられている。その中には、人類とは異なった進化を行った結果、彼らだけが備えている機構が存在する。その一つが触手である。触手は主にイカやタコなどの生物が持ち、伸縮や屈曲が可能であり動きの自由度が高い。このことから本グループでは、触手を人間に取り付けることにより、日常生活で両手が塞がっているときに触手でドアを開けることがなったり、動物では思いつかない人間ならではの動きができるのではないかと考えた。そこで、「生物の触手を模した自由自在に動く多関節の余剰肢」の制作を目標とし開発を行った。実際に過去にどのような余剰肢が設計されているのか、自由自在に動く機構の情報収集を行った結果、過去に作られた余剰肢は主に義手を模したものが多く、空気を利用し1方向に動く機構、ひもを利用し2方向に動く機構などが存在した。前期では、2つの機構を作成し、問題点を挙げた。この結果を用いて、最終的に制作するインターフェースにどちらの機構が適しているのか考察した。その結果、1方向に動く機構はシリコンで作られているため、壊れやすく壊れた際に復元を行うことが不可能であると考察した。また、2方向に動く機構は小さい部品を複数個繋げていることから、作りやすく形を変えることで応用が可能であると考察した。前期の制作では、2方向に動く機構を筋電位を利用し動くインターフェースの作成を行った。後期では、4方向に動く機構のアイデアを考え実際に3Dモデルを体に身に着けることができるように制作を行った。後期の制作物では、部品をまとめ左側に触手を固定しているMDFボードをジャケットに固定した。この結果、二点の問題点が発生した。一つ目は、3Dモデルのねじれである、触手に使用した3Dモデルはサイズを少しずつ変えた同じパーツを複数連ねたものである。そのためパーツが連なっている位置が少しずつずれ、ねじれてしまった。二つ目は、大きな物を持ち上げることができないことである。3Dプリントで作成した触手はプラスチックで作成されている。そのため、グリップ力が足りず物を持ち上げる際に滑ることが問題点として発生した。後期の制作物発表を行った際、参加者から触手と握手を行いたいと申し出があった。このことから参加者は触手を体の一部として認識していることが分かった。このことから触手を使用して日常生活を便利にするだけでなく、新しいコミュニケーションの形になるのではないかと我々は考察した。

キーワード 筋電位, 身体拡張, 触手型デバイス, 制御システム, 3D プリント

(※文責: 大津祐太)

Abstract

Life is believed to have evolved its morphology to adapt to the environment. Among these adaptations, some organisms have developed unique mechanisms that humans do not possess. One such mechanism is tentacles, which are mainly found in organisms like squid and octopuses. Tentacles are capable of extending and bending, providing a high degree of movement flexibility. Based on this concept, our group hypothesized that attaching tentacles to humans could enable them to perform tasks such as opening doors when both hands are occupied, or performing movements unique to humans that animals would not consider. Thus, we set the goal of developing "a highly flexible, multi-jointed surplus limb that mimics the tentacles of living organisms." We conducted research on previously designed surplus limbs and mechanisms capable of free movement. Our findings revealed that most previously developed surplus limbs were modeled after prosthetic arms, utilizing mechanisms such as air-driven one-directional movement and string-driven two-directional movement. During the first semester, we created prototypes of both mechanisms and identified their issues. Based on our analysis, we evaluated which mechanism would be more suitable for the final interface. It was concluded that the one-directional movement mechanism, made of silicone, was fragile and could not be restored once damaged. On the other hand, the two-directional movement mechanism, composed of multiple small interconnected parts, was easier to manufacture and could be adapted by changing its shape. In the first semester, we developed an interface that utilized myoelectric signals to control the two-directional movement mechanism. In the second semester, we explored ideas for a four-directional movement mechanism and worked on creating a wearable 3D model. The final prototype incorporated an MDF board, which fixed the tentacle on the left side and was attached to a jacket. However, two main issues arose with this prototype. First, the 3D model experienced twisting. The tentacle was constructed by connecting multiple identical parts of slightly varying sizes, leading to slight misalignment and twisting. Second, the tentacle was unable to lift heavy objects. Since it was 3D printed using plastic, it lacked sufficient grip strength, causing objects to slip when attempting to lift them. During the presentation of the second-semester prototype, some participants expressed their desire to shake hands with the tentacle. This response indicated that participants perceived the tentacle as an extension of their body. Consequently, we concluded that tentacles could not only make daily life more convenient but also introduce a new form of communication.

Keyword EMG, Body Augmentation, Tentacle Device, Control System, 3D Printing

(※文責: 大津祐太)

目次

第 1 章	背景	1
第 2 章	到達目標	2
2.1	本プロジェクトにおける目的	2
2.1.1	触手のデザイン	2
2.1.2	制御システムの開発	3
第 3 章	関連技術	4
3.1	筋電位	4
3.2	筋電位測定回路	4
3.2.1	アクティブ電極 (ボルテージフォロワ)	4
3.2.2	差動増幅器	5
3.2.3	4 次ハイパスフィルタ	6
3.2.4	非反転増幅器	6
3.2.5	半波整流器	7
3.2.6	積分回路 (2 次ローパスフィルタ)	7
3.2.7	電源回路	7
3.3	制御回路	9
3.3.1	Arduino	9
3.3.2	サーボモータ	9
3.3.3	制御プログラム	9
3.3.4	3D プリント	9
第 4 章	課題解決のプロセスの詳細	11
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	11
4.1.1	大津祐太の担当課題	11
4.1.2	明石悠佑の担当課題	11
4.1.3	蝦名築の担当課題	11
4.1.4	内藤美紗希の担当課題	12
4.2	担当課題と他の課題の連携内容	12
4.2.1	大津祐太	12
4.2.2	明石悠佑	12
4.2.3	蝦名築	13
4.2.4	内藤美紗希	13
第 5 章	成果物	14
5.1	前期成果物	14
5.1.1	紐で動かすロボットアーム構造	14
5.1.2	空気で動かすロボットアーム構造	15

5.1.3	作成したプロトタイプ	15
5.1.4	制御プログラム	16
5.2	前期の結果	16
5.3	前期の考察	16
5.3.1	紐が頻繁に機構部品から外れてしまった	17
5.3.2	芯を固い素材にしたところ復元力は強くなったものの、しなやかな動きが できなくなった	17
5.3.3	現在使用している機構では三次元的な動きが不可能である	17
5.3.4	現在筋電を計測している箇所が適切でない可能性がある	17
5.4	最終成果物	17
5.4.1	触手部分	17
5.4.2	巻きつけ機構	18
5.4.3	身体に装着するための構造	19
5.4.4	プログラム	20
第 6 章	結果	21
6.1	筋電位を用いたデバイスの制御	21
6.2	触手の固定位置	21
6.3	触手を用いた動作	21
第 7 章	考察	23
7.1	人間の動作補助についての考察	23
7.2	感情表現についての考察	23
7.3	行動範囲の拡大についての考察	23
第 8 章	結論	25
8.1	本取り組みの結果	25
8.2	今後の課題	25
8.2.1	触手の可動域と操作性の向上	25
8.2.2	耐荷重性能の強化	25
8.2.3	装着性と快適性の向上	25
8.2.4	制御システムの多機能化	25
8.2.5	コミュニケーションツールとしての発展	26
付録 A	新規習得技術	27
付録 B	活用した講義	28
付録 C	ソースコード	29
付録 D	相互評価	31
D.1	前期	31
D.1.1	大津祐太からの相互評価	31
D.1.2	明石悠佑からの相互評価	31
D.1.3	蝦名築からの相互評価	32

D.1.4	内藤美紗希からの相互評価	32
D.2	後期	33
D.2.1	大津祐太からの相互評価	33
D.2.2	明石悠佑からの相互評価	33
D.2.3	蝦名築からの相互評価	33
D.2.4	内藤美紗希からの相互評価	34
参考文献		35

第 1 章 背景

地球上には約 175 万種類の生物が存在しており、それぞれの生物が環境に適応するために独自の進化を遂げてきた [1]。この進化の過程では、環境への適応に伴い既存の身体機能が排除されたり、新たな機能が追加されたりしている。人間の手とクジラの胸鰭のように、現在の形や機能が異なっても元は同じ器官であったものは「相同器官」と呼ばれ、鳥の翼と昆虫の羽のように異なる生物が似た環境で同様の機能を獲得したものは「相似器官」と呼ばれる [2]。この相似器官と相同器官は進化の多様性と適応力を示す代表例である。我々は相似器官の機能に着目することで、人間の身体機能を拡張することが可能ではないかと考えた。人間の身体機能を拡張することで、私たちの生活において行動のステップが減ることや、人間の行動の幅が増えるのではないかと考えた。したがって我々は、タコやイカの触手のように自由自在に動かすことが可能である第三の腕の開発を行い身体拡張インターフェースを作成することを目標にした。この第三の腕を触手で制作することで人間が普段使っている物をつかむなどの動作だけではなく、人間には想像がつかない動作を行うことが可能なのではないかと考えた。我々がタコやイカの触手に着目した理由にタコやイカは、人間とは異なり自由に動かすことが可能な触手を持つことが挙げられる。これに対し、人間の腕は上腕骨、尺骨、橈骨といった骨格によって構成され、関節を持つことで可動範囲が制約されている [3]。触手は、人間の腕と同様に意図的な動作が可能である。しかし、人間の腕と触手の根本的な違いとして「関節を持たない」という特徴がある。この構造の違いにより、触手は人間の腕よりも柔軟性に優れ、さまざまな方向へ自由自在に動くことが可能である。このように、触手と人間の腕は構造的に大きく異なるが、その違いが触手の柔軟性や多機能性を生み出している。この特性に注目し、我々は触手の機能を持つ第三の腕を用いることで、人間の身体の可能性を広げられると考えた。

(※文責: 蝦名築)

第2章 到達目標



図 2.1 触手を付けた際のイラスト

2.1 本プロジェクトにおける目的

本プロジェクトでは、生体信号である筋電位を活用し、触手型デバイスを用いた身体拡張技術の実現を目指す。この技術は、人間の身体機能を補助・拡張し、新たな行動や感情表現を可能にするインターフェースの開発を目標とする。触手型デバイスの設計にあたっては、タコやイカといった頭足類の触手の特徴を参考にしており、特に関節のない柔軟な構造を模倣することで、人間の腕にはない動きの自由度を再現することを目指す。具体的には、触手を活用して精密な作業や危険物の遠隔操作を行うことにより、人間の能力を物理的に補完・拡張する可能性を模索する。また、触手の動きを通じて喜怒哀楽や威嚇といった感情を視覚的に表現することで、これまでにない形のコミュニケーション手段を提供することも狙いとする。さらに、触手の柔軟性や操作性を活かし、人間の腕では不可能な複雑な動作や空間での操作を可能にするデバイスの設計を進める。

(※文責: 大津祐太)

2.1.1 触手のデザイン

触手型デバイスのデザインでは、タコやイカの触手の構造を詳細に分析し、その特徴を取り入れることを意識する。特に、頭足類の触手は人間の腕とは異なり関節がないため、滑らかで自由度の高い動きが可能である。これを再現するため、柔軟性のある素材を用いて、動作範囲を広げる設計を採用する。また、触手を立体的に動かすためには、直感的に動かしやすいデザインが必要であり、筋電位信号を活用して使用者の意図を即座に反映できる操作性を追求する。素材選びにおいては、柔軟性と耐久性を両立しつつ、軽量化により装着時の負担を軽減することを重視する。試作を通じて、形状や可動範囲を評価し、頭足類の触手の特性を活かしたデザインを完成させる。

(※文責: 大津祐太)

2.1.2 制御システムの開発

測定した筋電位をどのように制御し、触手の立体的な動作を実現するかが、本プロジェクトの課題の一つである。触手が滑らかに意図通り動作するためには、筋電位の信号を正確に処理し、その結果を動作に反映させる仕組みが求められる。まず、触手を直感的に操作するために、どの部位の筋電位を測定するのが適しているかを調査し、適切な信号を取得する方法を検討する。例えば、指や前腕など、動作に関連する筋肉から信号を取得することが考えられる。さらに、複数の箇所から筋電位を測定する場合には、測定回路を増設し、それぞれの信号を同時に処理する仕組みを構築する必要がある。制御プログラムでは、筋電位の強弱に応じてサーボモータの回転角度や速度を調整することで、触手の動作にリアルタイムで反映できるシステムを開発する。これにより、触手が使用者の意図を正確に反映し、直感的な操作を可能にすることが期待される。また、リアルタイム処理を実現することで、触手がまるで自分の体の一部であるかのように操作できる制御システムを構築する。

(※文責: 大津祐太)

第 3 章 関連技術

3.1 筋電位

筋電位とは生体信号の一つであり、生物の筋繊維が収縮する際に発生する活動電位である。筋肉が収縮する際、脳の神経細胞で生じた電氣的信号が運動ニューロンを介して筋細胞に到達し、この信号によって筋細胞のナトリウムチャンネルが開く。通常、筋細胞の静止膜電位は細胞内が負の電位を持つ状態であるが、ナトリウムイオンが細胞内に流入することで膜電位が一時的に正に変化する。これを活動電位と呼び、筋収縮の直接的な引き金となる。筋電位の計測は、身体拡張技術の基盤として特に重要である。筋電位を利用することで、使用者が身体の一部を動かすように直感的にデバイスを操作できるという特長がある。この直感的操作性は、デバイスを身体の延長として自然に使える点で他の制御方法に比べ大きな利点を持つ。一方で、筋電位信号は非常に微弱かつ小さいため、計測時には外部ノイズや動作アーティファクトの影響を受けやすい。また、信号はそのままではデバイスの制御に適していない場合が多く、信号処理が必要である。信号処理には、計測した筋電位信号をノイズや外乱を除去して正確な信号を得る目的だけでなく、デバイス制御に適した形式へ変換する役割もある。このように、筋電位は生体信号として自然な操作性を可能にするだけでなく、ノイズ除去や信号変換の課題を解決することで、身体拡張デバイスの制御において大きな可能性を持つ。

(※文責: 大津祐太)

3.2 筋電位測定回路

本グループは筋電位を計測対象者の皮膚表面に電極を貼り、表面筋電位を測定するが、信号が非常に微弱であること、電源ノイズや動作アーティファクトが混入すること、電極のインピーダンスが変動することなどの問題がある。本プロジェクトでは、筋電位信号を精度高く計測し、ノイズ除去を行う回路設計を行った。以下に各回路の概要を示す。

(※文責: 大津祐太)

3.2.1 アクティブ電極 (ボルテージフォロワ)

筋電位を計測する際に、グループで製作したアクティブ電極を使用した。アクティブ電極とは、皮膚と電極間の接触インピーダンスが高いために発生するノイズを抑えるために、電極側で高インピーダンスを電氣的に作り出している。インピーダンスとは電流の流れにくさを表す言葉である。内蔵されている回路は、バッファ回路であり入力電圧がそのまま出力される。

(※文責: 大津祐太)

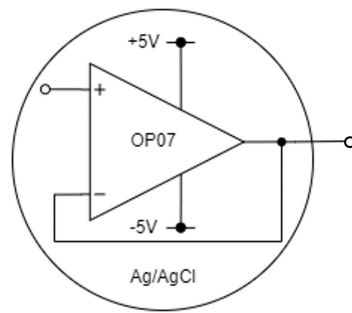


図 3.1 アクティブ電極

3.2.2 差動増幅器

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。誤差 0.1 %の精密な抵抗器を用いることで二つの入力信号の差を正確に増幅し、ノイズを効果的に除去した筋電位信号のみを出力する。信号の差が純粋な筋電位信号に一致するため、ノイズの影響を受けにくくなる。

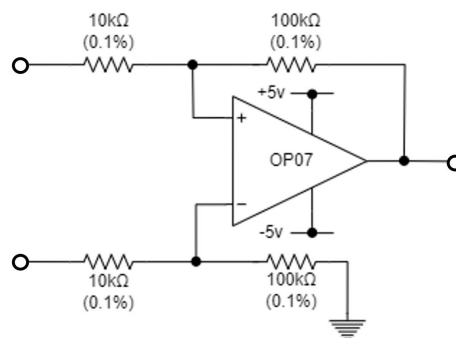


図 3.2 差動増幅器

(※文責: 大津祐太)

3.2.3 4次ハイパスフィルタ

4次ハイパスフィルタは特定の信号よりも弱いものを効果的に除去し、それより強い信号を通過させるフィルタである。これにより微弱な信号の精度が向上し、ノイズの影響を最小限に抑えることが可能となる。

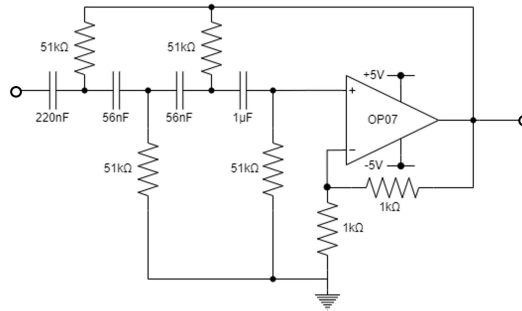


図 3.3 4次ハイパスフィルタ

(※文責: 大津祐太)

3.2.4 非反転増幅器

ハイパスフィルタを通過した筋電位は、依然として微弱な信号（数十ミリボルト）であり、デバイスに利用するには不十分である。そこで、非反転増幅回路を用いることでこの微弱な筋電位を数百ミリボルト以上に増幅でき、デバイスが利用できる十分大きな信号となる。

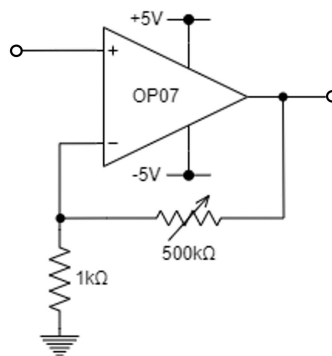


図 3.4 非反転増幅器

(※文責: 大津祐太)

3.2.5 半波整流器

半波整流器は、交流電圧の負の電圧のみを削除し、正の電圧のみの信号を出力させるものである。今回使用する Arduino では負の電圧を測定することができないため、半波整流器を使用する必要がある。今回はダイオードを利用して半波整流を実現している。

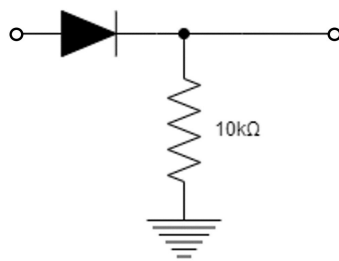


図 3.5 半波整流器

(※文責: 大津祐太)

3.2.6 積分回路 (2 次ローパスフィルタ)

積分回路は、入力された筋電位を時間積分して出力する回路である。ここでは、筋電位の情報を包絡線として表すために積分回路を用いた。積分回路は、入力された筋電位を時間積分して出力する回路であり、筋電位を積分することで信号の変動を平滑化し、全体的な活動量を把握・計測しやすくなる。これにより、筋電位の情報を包絡線として分かりやすく表現できる。

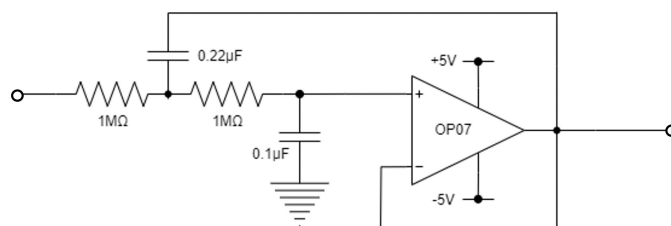


図 3.6 積分回路

(※文責: 大津祐太)

3.2.7 電源回路

前期では筋電位の測定に外部電源を用いたが、今回は筋電触手を人に取り付けることを想定しているため、外部電源と比べ軽くコンパクトな電源回路を制作し、筋電位測定回路と接続した。2つ

の 9V 電池を入力とし，三端子レギュレータを用いることで 5V，-5V の安定した信号を取り出すことができる．

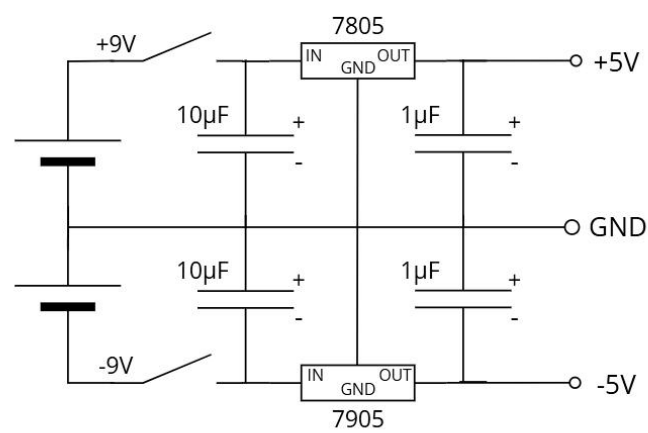


図 3.7 電源回路

(※文責: 大津祐太)

3.3 制御回路

3.3.1 Arduino

本製作物では、筋電位計測回路によって処理された信号をデジタル信号に変換し、サーボモータを制御する必要があった。そこで、A/D 変換を行うことができる Arduino Uno というマイコンを用いた。デジタル化された筋電位信号は Arduino のプログラムで解析され、サーボモータを制御するための PWM (パルス幅変調) 信号に変換された後、サーボモータに送信される。筋電位の強度に応じてサーボモータの回転角度や動作速度が制御される。精度の高いサーボモータ制御を実現するためにも、以上の回路を組み合わせ、信頼性の高い信号を得る必要があった。

(※文責: 大津祐太)

3.3.2 サーボモータ

サーボモータとは、目標とする位置や速度を設定すると、その設定値に自動的に追従するように動作する。具体的には、現在の位置や速度をセンサーで計測し、そのデータを基に制御システムが計算しモータの動きを調整する。こうして目標値に近づくように動き、最終的に目標位置や速度に到達するまで動作を続ける。

(※文責: 大津祐太)

3.3.3 制御プログラム

筋電位を用いて手の力の入れ具合に応じて触手を立体的に動かせる仕組みを目指している。そのためには、複数の筋電位測定回路から得られる信号を同時に制御し、触手の複雑な動作を可能にする必要がある。具体的には、筋電位信号が閾値を超えた場合にサーボモータを一定速度で駆動し、触手を滑らかに曲げる動作を実現することを目標とする。また、信号が閾値を下回り、かつ触手が初期位置にない場合には、サーボモータを逆方向に駆動して触手を初期位置へと戻す設計を考えている。さらに、触手パーツの破損を防ぐために、動作範囲を制限する仕組みも取り入れる予定である。これらの要素を組み合わせることで、筋電位信号を活用した直感的で高精度な触手の動作を実現したいと考えている。

(※文責: 内藤美紗希)

3.3.4 3D プリント

本プロジェクトでは、触手の構造を設計するために 3D プリント技術を活用した。具体的には、Fusion360 を用いて 3D モデルを作成し、Zortrax M300 Plus を使用してプリントを行った。また、Fusion360 で作成した 3D モデルをプリント用にデータ変換する際には、Zortrax M300 Plus と互換性の高いデータ変換ソフトウェアである Z-suite を使用した。このワークフローにより、モデル設計からプリントまでの一貫したプロセスを実現し、高精度かつ効率的な製作が可能となった。

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

4.1.1 大津祐太の担当課題

前期

5 月 担当教員の指導の下、筋電位に関する基礎知識を習得した。

6 月 筋電位測定回路を設計した。

7 月 作成したプロトタイプの触手、制御システムと回路を組み合わせ、動作確認。発表会の資料を作成した。

後期

10 月 筋電位測定回路の増築に合わせ、電極や電源端子を制作した。

11 月 新しいサーボモータに合わせた Arduino の制御システムを開発した。

12 月 作成したプロトタイプの触手、制御システムと回路を組み合わせ、動作確認。発表会の資料を作成した。

(※文責: 大津祐太)

4.1.2 明石悠佑の担当課題

前期

5 月 担当教員の指導の下、筋電位に関しての基礎知識を習得した。

6 月 習得した知識をもとに、筋電位測定回路の設計を行った。

7 月 中間発表に向けてプロジェクトリーダーなどと協力し、発表資料の制作を行った。中間発表後は評価のフィードバックから良い点と悪い点を確認し、後期の活動に向けての話し合いを行った。

後期

10 月 回路を拡張し 2 チャンネルで筋電位を測定できるようにした。

11 月 制作物を持ち運んだまま動かすために電源回路を製作した。

12 月 プログラム周りの見直しなどの制作物の最終調整を行った。

(※文責: 明石悠佑)

4.1.3 蝦名築の担当課題

前期

5 月 筋電位の発生方法や筋電位測定回路の機能や制作方法を学んだ。

6 月 筋電位測定回路の簡易的な作成、グループ内での制作物の全体像のアイデアを共有した。前期制作物を作成するため 3D プリンタや fusion360 の使用方法を学んだ。

7 月 前期成果物を作成するため 3D モデルを作成し、実際に筋電位で動かすための周辺物を製作

した。

後期

10月 プロジェクト最終制作物を作成するためのアイデアを再共有し、後期制作物の 3D モデルを試作した。

11月 3D モデルを作成し、制作したものを実際に体に身につけることができるような周辺物の制作した。

12月 実際に筋電位で動かすことができるか実験した。実験中に部品が壊れてしまったため、より強固なものを作成できないか模索した。

(※文責: 蝦名築)

4.1.4 内藤美紗希の担当課題

前期

5月 筋電位の発生過程や測定回路などの基礎的な知識を学んだ。

6月 簡易的な筋電位測定回路の作成、製作物のイメージの作成、プロトタイプの構造の考案・製作。

7月 引き続きプロトタイプの製作、完成。

後期

10月 後期製作物の構造の考案、購入物品の洗い出し。

11月 製作したものを装着するための周辺物品の製作、制御プログラムの作成。

12月 最終発表に向けた調整

(※文責: 内藤美紗希)

4.2 担当課題と他の課題の連携内容

4.2.1 大津祐太

前期はグループリーダーとしてスケジュール管理や各班の進捗確認を行いながら、筋電位測定回路の作成を担当した。また、発表会用の資料作成も行い、プロジェクト全体の進行を円滑に進める役割を担った。後期は筋電測定回路の拡張を進めるとともに、特殊なサーボモータに対応した制御システムの開発を行い、成果物が問題なく動作するよう調整を実施した。さらに、全体の進捗を管理しつつ、発表会用の最終資料を作成し、プロジェクトの完成度を高めた。

(※文責: 大津祐太)

4.2.2 明石悠佑

前期では、筋電位を計測するための筋電測定回路と電極の制作方法を学び、筋電位を計測して信号を得ることで、デザイン班が設計した腕を動かすための信号に使うことができるようになった。後期では、筋電測定回路の拡張をし、デザイン班が Arduino を用いて作成した筋電でモータを制御するプログラムと合わせた。また、電源回路の制作を担当し、制作物本体に直接つけることがで

きるように、それぞれの回路を固定した。

(※文責: 明石悠佑)

4.2.3 蝦名築

前期では、筋電位を計測するための筋電測定回路とアイデアを形にすることが可能な 3D モデルを学んだ。その結果、前期では筋電位を利用してサーボモーターを動かし、筋電位で動かすことが可能な触手を作成した。後期では、より触手に近い 3D モデルを作るために、色々な形の 3D モデルを作成した。また、触手を体と認識できるように触手、筋電位測定回路、電源回路が一体になったジャケットを作成した。その際に必要になった周辺物の 3D モデル行った。

(※文責: 蝦名築)

4.2.4 内藤美紗希

前期では、筋電位の発生過程や測定回路などの基礎的な知識を学び、最終的に製作予定のものより小さいサイズでプロトタイプを製作した。後期では、前期に製作したプロトタイプを元に最終成果物の製作に取り組んだ。

(※文責: 内藤美紗希)

第 5 章 成果物

5.1 前期成果物

筋電位を用いて自らの意志のままに動かせる触手型デバイスを製作するために、前期では以下の目標をもってプロトタイプを作成することとした。

(※文責: 内藤美紗希)

- 筋電位を用いて、手の力の入れ具合に応じて触手の曲げ伸ばしが制御できること
- 過去に提案されている 2 つの触手構造を作成し、課題点を分析すること

これらの目的を達成するために、Zhanchi Wang (2023) が作成した紐で動かすロボットアーム構造 (図 5.1) と、Elastic Mind(2014) が作成した空気で動かすロボットアーム構造 (図 5.2) をそれぞれ 10cm ほどの大きさに作成した。また、この二つの構造を分析した結果、紐で動かすロボットアーム構造が我々の目的を達成するために適していると考えられたため、筋電位を用いて動かすことができる紐で動かすロボットアーム構造のデバイスを作成した。(図 5.3)

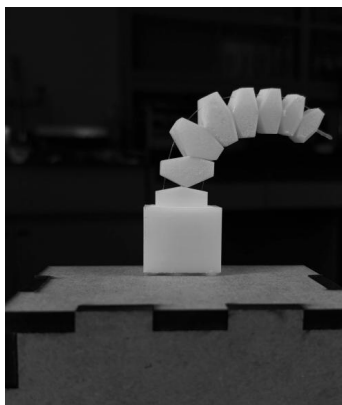


図 5.1 紐で動かす構造



図 5.2 空気の圧力で動かす構造

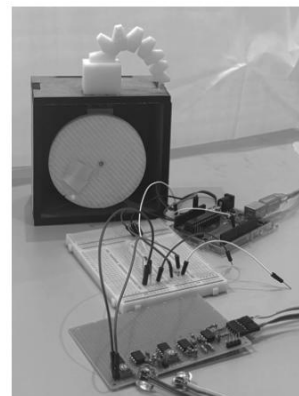


図 5.3 製作したプロトタイプ

(※文責: 内藤美紗希)

5.1.1 紐で動かすロボットアーム構造

紐で動かすロボットアーム構造は図 5.4 のように六角柱が複数連なって構成されている。中心に復元力のある芯が通っており、左右に紐が通っている。紐を片方引くことによって引っ張った方向に曲がるようになっている (図 5.5)。プロトタイプは 3D プリンタを使用して製作した。また、引っ張る紐にはテグスを使用した。

(※文責: 内藤美紗希)

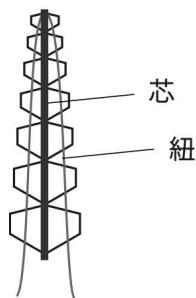


図 5.4 紐型の内部構造

図 5.5

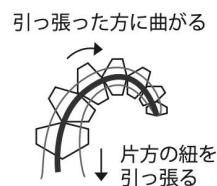


図 5.6 曲げた際の構造

図 5.7

5.1.2 空気で動かすロボットアーム構造

空気で動かすロボットアーム構造は (図 5.6) のような構造になっており、シリコンといった柔らかい素材が使用される。空気を入れることにより、アームが膨張し互いに押し合う。このとき内側は膨張しないように厚く作られているため、外側のみが膨張して曲がる (図 5.7)。

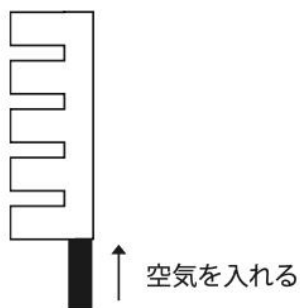


図 5.8 空気型の内部構造

図 5.9

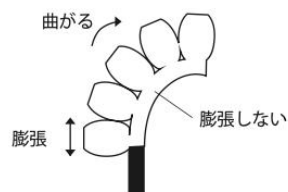


図 5.10 曲げた際の構造

図 5.11

(※文責: 内藤美紗希)

5.1.3 作成したプロトタイプ

紐で動かすロボットアーム構造を使用して、サーボモータで紐を引っ張る構造を作成した (図 5.8)。滑車のような構造に紐を巻き付け、それをサーボモータで回すことで紐を巻き取ることができる。触手部分が約 10cm、土台の部分が 12cm、滑車のような構造が直径 8cm である。滑車のような構造は 3D プリンタで作成した。

(※文責: 内藤美紗希)

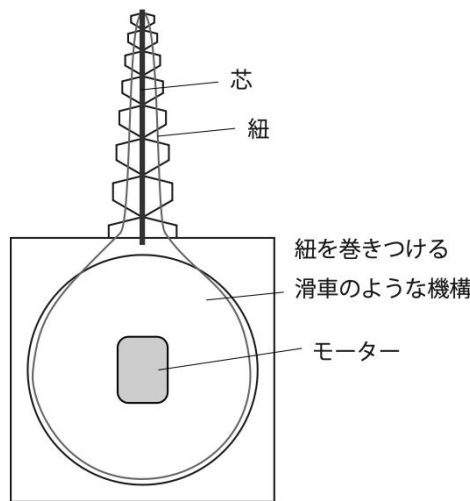


図 5.12 プロトタイプの内部構造

図 5.13

5.1.4 制御プログラム

筋電位を用いて手の力の入れ具合に応じて触手型デバイスの曲げ伸ばしが制御できることを目的としているため、筋電位測定回路から取得した信号が閾値を超えた場合、モータが一定速度で動作し、触手を曲げる動作を実現する。一方、信号が閾値を下回り、かつ触手型デバイスが初期位置にない場合には、モータが逆方向に動作し、触手型デバイスを初期位置へと戻す。また、触手型デバイスの破損を防止するため、触手の動作範囲を制限している。この設計により、筋電位信号に基づく触手型デバイスの制御が可能となる。

(※文責: 内藤美紗希)

5.2 前期の結果

前期ではプロトタイプとして全長 10cm ほどの触手型デバイスを制作した。また、計測した筋電によって触手を動かすことを可能にした。製作物を動作させた結果以下の問題点が挙げられた。

- 紐が頻繁に機構部品から外れてしまった。
- 芯を固い素材にしたところ復元力は強くなったものの、しなやかな動きができなくなった。
- 現在使用している機構では三次元的な動きが不可能である。
- 現在筋電を計測している箇所が適切でない可能性がある。

(※文責: 内藤美紗希)

5.3 前期の考察

目標達成に向けて、問題点を解決するために以下の問題とそれに対する改善案が挙げられた。

5.3.1 紐が頻繁に機構部品から外れてしまった

改善策：紐をひっかけている溝を深くする，外れないように抑えをつけるなど紐が外れにくい構造にする．

（※文責: 内藤美紗希）

5.3.2 芯を固い素材にしたところ復元力は強くなったものの，しなやかな動きができなくなった

改善策：触手の重さや芯の長さによって動きが変わると考えられるため，実際に使用するサイズの触手を制作したのち，現在使用している材料を含め最も目的を達成するために適している素材を調査する．

（※文責: 内藤美紗希）

5.3.3 現在使用している機構では三次元的な動きが不可能である

改善策：現在使用している機構では，図 1 のように中心に芯が通る穴があり，その左右に紐が通る穴が開いている．三次元的な動きを可能にするために，図 2 のように紐が通る穴を 1 つ増やした機構を作製する．

（※文責: 内藤美紗希）

5.3.4 現在筋電を計測している箇所が適切でない可能性がある

現在，腕から筋電を計測する想定であるが，実際にデバイスを動かしてみてほかの場所も検討する。また，今後検討すべき問題として以下の点が挙げられる．

- 現在の機構で物を持ち上げることができるのか．
- 触手型デバイスを背中に背負う予定であるが，それが本当に最適であるか．
- 大きさと重さはどうするのか．

（※文責: 内藤美紗希）

5.4 最終成果物

5.4.1 触手部分

前期に制作したプロトタイプは，左右方向の動作に限定された構造であった．しかし，本研究の最終的な目標として三次元的な動作を実現することを掲げている．その目標を達成するために，後期では図 5.9 に示す構造のパーツを設計・製作した．この構造により，従来の左右方向の動作に加え，上下方向を含む三次元的な動作が可能となった．さらに，パーツの中心には芯としてヘアゴムを使用した．具体的には，4 本のヘアゴムをパーツ中央の穴に通し，図 5.10 に示すように，それ

ぞれのヘアゴムをパーツに結びつける構造とした。この方法により、ヘアゴムが過度に伸びることを防ぎつつ、適度な張力を保持することで、しなやかな動きが失われないよう配慮した。また、前期に製作したプロトタイプの大きさでは物を把持するといった腕のような役割をすることができない。そのため後期に後期に製作した触手構造は、人間の腕に近い 55cm の長さを目標に設計・製作した。後期の構造は前期に比べてサイズが大きくなった結果、重量が増加した。このため、前期に引っ張る紐として使用していたテグスでは、伸びやすく強度が不足していることから適していないと判断した。そこで、伸びにくく高い強度を有する PE ラインを新たに採用した。しかし、PE ラインそのままでは摩擦が大きく、一部で引っかかりが発生する問題が確認された。これを解消するため、PE ラインに潤滑剤を使用し、スムーズな動作を実現した。

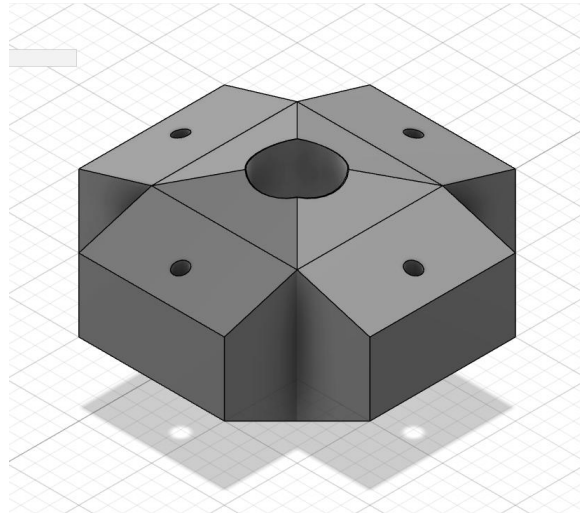


図 5.14 後期に製作したパーツの 3D モデル

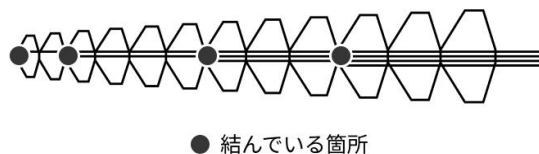


図 5.15 触手デバイスの構造

(※文責: 内藤美紗希)

5.4.2 巻きつけ機構

前期に製作していた巻きつけ構造では、紐が頻繁に機構部品から外れてしまう問題が生じていた。この問題を解決するため、後期では溝をより深く設計した構造を採用した。また、前期では 3D プリンタを使用して部品を製作していたが、出力に時間がかかる点や細い部分の強度が不足している点が課題として挙げられた。これらの課題を踏まえ、後期ではアクリル板を切り出して部品を製作し、製作時間の短縮と部品強度の向上を図った。さらに、紐の位置を調整するためのガイド

を新たに製作した (図 5.11). このガイドにより, 紐が巻きつけ構造から外れることを防止した。

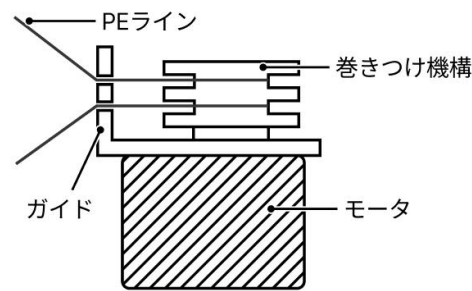


図 5.16 巻き付け機構の構造

(※文責: 内藤美紗希)

5.4.3 身体に装着するための構造

製作した触手, 巻きつけ構造, モータなど, 触手を動かすのに必要なすべての部品を一つにまとめて身体に装着できるようにするため, 横 30cm, 縦 40cm の MDF ボードに各部品を固定した. この MDF ボードは, 救命胴衣に結束バンドを用いて固定した. また, 触手を固定する際, 当初は上向きに固定する計画であった. しかし, 製作した触手の軸が柔らかい素材であるため, 重力の影響で触手をまっすぐに立たせることが困難であることが判明した. この結果, 上向きに装着した場合の制御が不安定になるという課題が生じた. そのため, 触手を横向きに固定する設計に変更した.

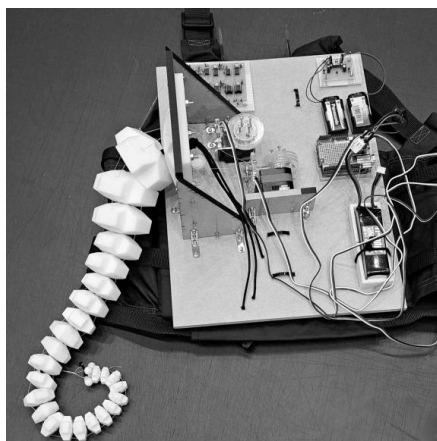


図 5.17 各部品をベストに固定した全体像

(※文責: 内藤美紗希)

5.4.4 プログラム

動きは前期に製作したプロトタイプと同様であった。しかし、後期では 3 次元的な動きが可能な構造を製作したため、引っ張る紐の数が二倍になった。それに伴いモータを 2 つに増やしたため、筋電位測定回路も 2 つに増やした。また、2 つのモータを同時に制御するためのプログラムを新たに実装した。さらに、最終成果物においてはプロトタイプよりも高い出力が求められるため、近藤科学社製の KRS-9004HV ICS サーボモータを採用した。このサーボモータは Arduino で直接動作させることができないため、専用の変換基板および対応するライブラリを使用して制御を行った。

(※文責: 内藤美紗希)

第 6 章 結果

本プロジェクトでは、生体信号である筋電位を活用し、触手型デバイスを用いた身体拡張技術の確立を目指している。具体的には、触手を活用して精密な作業や危険物の遠隔操作を行うことにより、人間の能力を物理的に拡張できる。また、触手の動きを通じて喜怒哀楽や威嚇といった感情を視覚的に表現することで、これまでにない形のコミュニケーション手段を提供することも目指している。さらに、触手の柔軟性や操作性を活かし、人間の腕では不可能な複雑な動作や空間での操作が可能となることで、行動範囲の拡大が期待される。これらの目標を実現するため、触手の滑らかな動作と筋電位信号を利用した直感的な操作性を融合させ、身体拡張インターフェースとしての新しい可能性を探ることを本プロジェクトの目的としている。

(※文責: 内藤美紗希)

6.1 筋電位を用いたデバイスの制御

筋電位を用いたデバイスの制御が成功した。しかし、立体的かつ滑らかな動きを実現することはできなかった。製作した触手は同じ形のパーツが複数連なったものであるが、それらがずれて触手がねじれてしまう事態が多発した。これにより紐を巻きつける構造に負荷がかかり、壊れてしまった。また、製作した触手が想定以上に重くなってしまった。これにより当初考えていた感情表現に使用できるほどの激しい動きをさせると使用者にリスクが及ぶ可能性や、破損してしまう可能性があった。そのため、モーターの速度を遅くし、使用者にリスクが及びそうになった際、使用者がすぐに止めることが可能なようにした。

(※文責: 内藤美紗希)

6.2 触手の固定位置

最初の想定としては触手を上向きに固定しようと考えていた。しかし、製作した触手を上向きに固定しようとしたところ、軸が柔らかい素材であるため重力の影響によりまっすぐに立たせることが難しかった。上向きに装着した際の制御は困難であったため横向きに固定したが、これによって上向きに引っ張る紐にかかる負担のみが極端に高くなってしまった。

(※文責: 内藤美紗希)

6.3 触手を用いた動作

使用者が単独で物を持ち上げることは重さに関わらず困難であった。ただし、ほかの人が位置を調整するなど補助することでペンを持ち上げることに成功した。さらに、触手が背面に位置しているため使用者がその動きを視認できず、力の加減の調整が困難であるとの意見が得られた。

第 7 章 考察

得られた結果から、目的の達成度や改善すべき点を考察した。

7.1 人間の動作補助についての考察

「触手型デバイスを用いた人間の動作補助」という目標において、我々はこの目標を達成することができた。最終的にペンのようなものを持つことができるようになった。しかし、大きいものや重いものを掴もうとすると、うまく巻き付くことができなかつたり、支えきれずに抜け落ちてしまうことがあり、満足に達成したとは言い難い結果となった。これは、触手型デバイスを構成するパーツの接合部が凹凸を持っており、互いにかみ合うように交差して嵌まってしまうため、思い描いたような螺旋状に巻くことができなかつたためであると考えられる。また、パーツ本体の作成に用いた PLA フィラメントは、そのままだと摩擦力が足りず、滑り落ちてしまうことが分かった。これらの問題を解決するために、パーツを制作するためのモデルの見直しと、グリップ力を向上させるための粘着剤や布などの素材を付着させることで解決できると考えた。

(※文責: 明石悠佑)

7.2 感情表現についての考察

「触手型デバイスを用いた感情表現」という目標において、我々はこの目標を達成することができた。使用者が意図したとおりに触手型デバイスを動かすことができた。しかし、予想外の動きをした際に使用者の身体に当たってしまう危険性を考慮し、安全のためにモータ制御を緩やかにしていた。そのため、使用者が操作したいと思ってから操作が完了するまでの時間が長く、機敏に反応するような表現はできなかった。特に、重力に逆らった向きに巻き取る際、急に動き始めてしまうことが問題視されていた。よって、安全に制御しつつスピーディに駆動させるために、最初はゆっくりと巻き始め、次第にスピードを調節することで解決することができるのではないかと考えた。また、最終発表の際に、触手型デバイスと握手をしたいと求められたことから、聴衆が触手型デバイスのことを使用者の手として認識しているのではないかと考えた。このことから、触手を装着することによって新しい形のコミュニケーションが実現できるのではないかと考えた。

(※文責: 明石悠佑)

7.3 行動範囲の拡大についての考察

「触手型デバイスを用いた行動範囲の拡大」という目標において、我々はこの目標をあまり達成できなかった。ものを取ったりする際に動かしやすいよう、使用者が背負った箱の身体の左側から釣り下げる形で身体に触手型デバイスを取り付けた。本来の目標であれば、上下方向と前後方向へ触手型デバイスを動かせるような制御をする計画だった。しかし、試用中に回路の不備から破損し復旧に手間取ってしまったため、前後方向への制御を諦め、上下方向の制御だけとなってしまう、

行動範囲を広げることができなかった。この問題を解決するには、最終的に実装不可能となった前後方向への制御を実現することで本来の目的が達成できると考えた。

(※文責: 明石悠佑)

第 8 章 結論

8.1 本取り組みの結果

本プロジェクトでは、生体信号である筋電位を活用し、触手型デバイスを用いた身体拡張技術の実現のために、前期では「実際の動物の動きになぞらえた触手型デバイスの設計」を目的として、後期では「感情表現や人間の動作補助を実現するための制作」を目的として活動を行った。その結果、タコやイカなどの触腕に相当した触手型デバイスを作製することができた。しかし、動きが実際の触手とは違っていたり、物を拾い上げることができなかったりと、当初の目的を完全に達成できたとは言い難い結果となった。そのため、目的を十分に達成することはできなかったと結論付けた。

(※文責: 明石悠佑)

8.2 今後の課題

8.2.1 触手の可動域と操作性の向上

現状の触手型デバイスではねじれや位置のずれが発生し、スムーズな動作が制限される場面があった。今後は 3D モデルの設計精度を高め、各パーツの結合方法を見直すことで、ねじれの抑制と滑らかな動作の実現を目指す。また、筋電位信号の処理精度を高め、より直感的な操作を可能にするアルゴリズムの改善も必要となる。

8.2.2 耐荷重性能の強化

現在の構造では重い物体を持ち上げる際にグリップ力が不足し、滑ってしまう問題がある。触手の表面素材や構造の改良を行い、摩擦力を高めるとともに、内部補強材の選定を行うことで、より高い耐荷重性能を確保する。また、軽量かつ強度の高い材料を導入し、重量増加を抑えつつ性能を向上させることも検討する。

8.2.3 装着性と快適性の向上

現在のデザインでは触手の重量や装着位置による負担が課題となっている。特に触手を上向きに固定することが困難であり、制御に影響を与えているため、装着方法の見直しが求められる。最適な装着位置や固定方法を検討し、長時間の使用においても快適に装着できる設計を模索する。

8.2.4 制御システムの多機能化

筋電位を利用した制御の精度向上とともに、物をつかむ、振る、巻きつけるといった異なる動作モードを切り替えられる機能の追加を検討する。特にモーターの制御速度や応答性を向上させ、使用者の意図をより正確に反映するシステムを開発することが重要である。

8.2.5 コミュニケーションツールとしての発展

最終発表では触手と握手を行いたいという声があり、触手が新しいコミュニケーション手段としての可能性を示唆した。今後は感情表現や意思伝達をより豊かに行える動作の開発や、視覚・触覚フィードバック機能の追加を検討し、社会的なインタラクションの手段としての発展を目指す。

(※文責: 大津祐太)

付録 A 新規習得技術

筋電位測定回路の詳細

回路の制作技術

電源の制作技術

Arduino のプログラム作成技術

Fusion360 を用いた 3D モデル製作技術

付録 B 活用した講義

櫻沢先生による生体信号に関する講義

筋電位測定回路と電極制作講習

付録 C ソースコード

```
#include <IcsHardSerialClass.h> // ICS ライブラリのインクルード

const byte EN_PIN = 2;           // Enable ピンの指定（ピン 2 を使用）
const long BAUDRATE = 115200;    // UART 通信速度
const int TIMEOUT = 1000;        // 通信タイムアウト（ミリ秒）

int analogInputPin = 5;          // アナログ入力ピン 1
int analogInputPin2 = 4;         // アナログ入力ピン 2（未使用）

int val = 90;                    // サーボモータの目標値（未使用）
int lim = 0;                     // モータ位置の上限
int lim2 = 0;                    // モータ位置の上限 2（未使用）

int now = 0;                     // 現在のサーボモータ位置（未使用）

// ICS 通信を扱うクラスのインスタンス化
// 引数: UART インスタンス, EN ピン, 通信速度, タイムアウト
IcsHardSerialClass krs(&Serial, EN_PIN, BAUDRATE, TIMEOUT);

void setup() {
    krs.begin(); // サーボモータとの通信を初期化
}

void loop() {
    int value; // アナログ入力値を格納する変数
    int value2; // アナログ入力値 2（未使用）
    float val; // サーボ目標位置値（未使用）

    // アナログ入力値を取得
    value = analogRead(analogInputPin);

    // アナログ値が 300 を超える場合の処理
    if (value > 300) {
        if (lim < 31) { // 上限値が 31 未満の場合
            krs.setPos(0, 7300); // サーボモータの目標位置を設定（7300）
            lim++;                // 上限値をインクリメント
        } else if (lim >= 31) { // 上限値が 31 以上の場合
```

```
        krs.setPos(0, 7500); // サーボモータの目標位置を設定 (7500)
    }
}

// アナログ値が 300 以下の場合の処理
if (value <= 300) {
    if (lim > 0) { // 上限値が 0 より大きい場合
        krs.setPos(0, 7700); // サーボモータの目標位置を設定 (7700)
        lim--;              // 上限値をデクリメント
    } else if (lim <= 0) { // 上限値が 0 以下の場合
        krs.setPos(0, 7500); // サーボモータの目標位置を設定 (7500)
    }
}

delay(100); // 次のループまで 100ms 待機
}
```

付録 D 相互評価

D.1 前期

D.1.1 大津祐太からの相互評価

【明石】率先してはんだ付けや配線を行ってくれた。グループ内の話し合いでも内容をメモし、改善点を挙げてくれるなど、大事なメンバーとして貢献してくれた。

【蝦名】

講義時間外も残って 3d プリント印刷を行ってくれたおかげで、制作をより効率に行えた。そして、与えられた役割を率先してこなしてくれたのでグループ内での仕事も円滑に行ってくれた。

【内藤】

Arduino を使用してモータを動かすことになった際、自主的にプログラミングの学習を行い、その知識を教えてくれた。また、持ち前のデザイン力を活かし、中間発表のイラスト制作を担当してくれた。そのユニークで視覚的に魅力的なイラストは、発表の際に大きな注目を集め、先生からも高評価を得た。技術力とクリエイティブな才能を発揮してチームに貢献した。

D.1.2 明石悠佑からの相互評価

【大津】

グループリーダーとしてメンバーを指揮し、グループ全体の士気をあげるために呼びかけなどを積極的に行っていた。プロジェクト内の会議などで積極的に発言をするなど、プロジェクトに対して熱意をもって活動しているように見受けられた。

【蝦名】

プロジェクト成果物の根幹となる 3D モデルの作成や、中間報告書の全体的な構成を作るなど、グループ内での礎となっていた。中間発表でも人前に立って発表を行ったり、会議で話された内容を記してくれていたなど、とても頑張っていた。

【内藤】

プロジェクト発表の際のポスターに使われるイラストの提供や、プロジェクト成果物の試作機に使われる Arduino の設計など、プロジェクトのデザイン関連で大きく役立っている。また、プロジェクト内での案出しなどで積極的に興味深い意見を提供してくれた。

D.1.3 蝦名築からの相互評価

【大津】

グループリーダーとして活動を行っている際に、どのようにするべきか、どのような方向性で行動するのかの意思疎通を行ってくれた。またプロジェクト全体の空気感や雰囲気をよくするために動いてくれた。

【明石】

回路のほとんどを担当してくれた。また3Dプリンタで制作する際に、居残りすることになっても一緒に待って作業を行ってくれた。また、会議で気になっていることを確認すると必ず答えることができ集中力がとても高いと思う。中間発表のスライドでは言葉遣いなどのミクロ面や全体の流れ等のマクロ面どちらも考えていて凄かった。

【内藤】

プロジェクト全体で使用するイラストの作成や、アイデア班としての細かい前提条件を共有してくれたことで制作がとても楽に進んだ。また、Arduinoを使用する際に使用するプログラムや筋電位計測回路とArduinoを合成するための回路を制作してくれたことで中間発表がとても良いものになった。

D.1.4 内藤美紗希からの相互評価

【大津】

活動を記録するためのGoogle Formを作成したり、他のチームともコミュニケーションを取ったりと積極的に活動に参加しているのが印象的でした。グループリーダーとして十分な役割を果たしていると感じました。

【明石】

回路作成の大部分を担当してくれた。時間外に活動する人がいるときに一緒に残って活動したり、オーバーワーク気味だったプロジェクトリーダーのサポートを積極的に行っていたりと周囲への配慮が行き届いているなと感じた。

【蝦名】

会議中に出た意見や先生からのコメントをいつの間にかまとめてくれていたり、中間報告書の項目を書き出してくれたりとかなり視野が広いなと感じた。デザイン班として活動しているときも自身の考えを積極的に出してくれてありがたかった。

D.2 後期

D.2.1 大津祐太からの相互評価

【明石】責任をもって回路制作に携わってくれました。発表のスライド作成においても意見を挙げてもらいスムーズに作成することができたため助かりました。

【蝦名】

誰よりも遅く残り3Dプリント作業を行ってくれました。前期と比べコミュニケーションを積極的にとってくれたように感じ、グループ全体の雰囲気作りに大きく貢献してくれました。

【内藤】

制作した触手、回路などをベストにどのように固定するかをデザインしてくれました。Arduinoでの制御システムの開発も含め、デザインだけでなく回路にも多くの時間を割いてくれたので発表日までに完成することができたと思うので感謝しています。

D.2.2 明石悠佑からの相互評価

【大津】

主にグループリーダーとしてグループ内での指揮や全体発表でのスピーチとスライド作成を行っていた。成果物があつての発表で、最後まで成果物がうまく動かずてんやわんやしていたけど、最終的にうまくまとめてくれて発表をこなしてくれた。

【蝦名】

主に3Dプリンターで成果物のパーツ作りをメインとして活動していて、最終目標を達成するために大きく貢献していた。また、終盤になってうまく動かずしんどい時は彼の明るさに励まされた。

【内藤】

主に成果物のArduino関連で活躍していて、最終目標の達成に大きく貢献していた。また、成果物の根幹となるモーター制御やデザイン関連を担っていたため、仕事量が多く大変だったと思うけど、最後まで頑張っていた。

D.2.3 蝦名築からの相互評価

【大津】

グループのリーダーとしてマネジメントや先生方との交渉を行ってくれました。この二つのおかげで制作物が完成しました。

【明石】

自分の仕事だけではなく、ほかのメンバーが行き詰っているときに一緒に考えてくれたり、自分が

作った回路に責任感を持ち最後までいろいろなことを試してくれた。またグループ内でのコミュニケーションを活発に行ってくれた。

【内藤】

制作物が詰まっているときにデザインコースならではの新しく斬新なアイデアで私たちを導いてくれました。また、アクリルや MDF などの特殊素材を加工することは彼女なしでは私たちにできなかったと思います。また制作物の細かい部分でのアイデアや工夫を感じられ、とても助かった。

D.2.4 内藤美紗希からの相互評価

【大津】

いつの間にか完璧に発表資料を作ってくれていたり、週報を出してくれていたりと重要な部分を担当してくれておりとても助かりました。また、プロジェクトリーダーや先生とのコンタクトを積極的に行ってくれていました。

【明石】

度々回路の不調もありましたが、最終的にはとてもスムーズに動くようになっておりさすがだなあと感じました。グループ内外問わず積極的にコミュニケーションを行っていました。

【蝦名】

3D プリントを全部担当してくれました。「ここのパーツをこうしてほしい」という要望にも迅速に対応してくれてありがたかったです。3D の経験がなかったとは思えないほど技術が向上しており、成果物の作成に大きく貢献してくれました。

参考文献

- [1] 環境省（2008）環境白書・循環型社会白書。「第 6 章 自然環境の保全と自然とのふれあいの推進」, <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h20/html/hj08020601.html>, （参照日 2024 年 12 月 18 日）
- [2] ベネッセ教育情報サイト. 「【中 1 理科】進化と系統の問題～生物の進化～」, <https://benesse.jp/kyouiku/teikitest/chu/science/science/c00644.html>, （最終アクセス日: 2025 年 1 月 10 日）.
- [3] 齋藤基一郎, 王昌立（訳）. 目でみる人体解剖. 廣川書店. 1996
- [4] 著 Wang, Zhanchi, and Nikolaos M. Freris. "Bioinspired Soft Spiral Robots for Versatile Grasping and Manipulation." arXiv preprint arXiv:2303.09861(2023). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.09861>
- [5] Elastic Mind." ソフトロボティクスの未来: 触手型ロボット." Elastic Mind Blog. September 15, 2014. https://elasticmindblog.com/2014/09/15/softrobotics04_tentacles/