

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 A

Group Name

Group A

プロジェクト番号/Project No.

22-A

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

伊勢隆之介 Ryunosuke Ise

グループメンバ/Group Member

鎌田航誠 Kousei Kamata

齋藤唯翔 Yuito Saitou

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

本プロジェクトでは、生体信号の1つである筋電位を用いた身体拡張デバイスの製作を行ってきた。筋電位を用いてデバイスを制御することで、よりデバイスを自分の身体のように扱うことができると考え、筋電位測定を利用したインタフェースを製作し身体拡張を目指した。本グループでは、双眼鏡を使っの観戦と肉眼での観戦とを切り替える操作を行う頻度が高いスポーツ観戦に着目した。我々は、双眼鏡の仕様における2つの問題点を提起した。1つ目は、フィールドを大きく使うスポーツでは全体を俯瞰したい状況と一部を見たい状況とが変化しやすいため、双眼鏡と肉眼との切り替え操作の頻度が高くなり、肉体的に疲労することである。2つ目は、操作を行うことで試合から双眼鏡のレンズに肉眼の焦点を変更するため試合が見えなくなる瞬間が発生するため、操作頻度が高くなれば見逃す瞬間が多くなることである。ズームインとズームアウトを腕を使わず意のままに行うことができれば、この2つの問題を解決することができると考えられる。そこで我々は、腕を使わずに目周辺の筋肉によってズームインとズームアウトできる視覚拡張デバイスを製作することを目的とした。人間は、遠くのよく見えないものを見るときに目を細める。双眼鏡を使う際には、遠くのよく見えないものを見やすくするためにズームインを行うため、目を細めることと対応付けることができる。また、目を見開く動作は、目を細める動作の逆の動作であることから、目を細める、見開くことで操作が可能なデバイスを考案した。目を細めることと見開くことに使っている筋肉の部位を調査し、皺眉筋と眼輪筋の筋電位によってデバイスの動作を制御することとした。前期の活動では、生体信号を用いる意味を議論し、人間の身体の一部として扱うことのできるデバイスを作製し、それによって身体の拡張を目指すこととした。また、製作物の検討を行い、その製作に取り掛かった。後期の活動では、製作物を完成させ、実験によってデバイスの評価を行った。結果として、目による操作が可能となり良い評価を得られたが、解像度が低く映像が見づらかった。また、重量が大きく手で支えなければ使用することができなかった。そのため、到達目標を十分に達成することはできなかった。

キーワード 生体信号, 筋電位, 身体拡張, 視覚拡張, 皺眉筋, 眼輪筋

(※文責: 齋藤唯翔)

Abstract

In this project, we have been developing a body augmentation device that uses myoelectric potential, one of the biological signals. We thought that by controlling the device using myoelectric potential, we could treat the device more like our own body, and we aimed to create an interface using myoelectric potential measurement for body augmentation. In this group, we focused on sports games, where people frequently switch between watching the game with binoculars and with the naked eye. We raised 2 problems in the specification of binoculars. The first reason is that the frequency of switching between binoculars and the naked eye becomes high in sports that use a large field because the situation where you want to see the whole game and the situation where you want to see a part of it easily changes, and this causes physical fatigue. The second reason is that the more frequent the operation, the more moments you miss because the focus of the naked eye is changed from the game to the binoculars' lens. If we can zoom in and out at will without using our arms, we can solve these two problems. Therefore, we set out to create a visual enhancement device that can zoom in and out using the muscles around the eyes without using the arms. Humans squint when they look at distant objects that they cannot see clearly. When we use binoculars, we zoom in to make it easier to see distant objects that we cannot see clearly, which can be associated with squinting. In addition, since the motion of opening one's eyes is the opposite of squinting, we devised a device that can be operated by squinting and opening one's eyes. We investigated the part of the muscle used for squinting and opening the eyes, and decided to control the operation of the device by the myoelectric potential of the corrugator supercilii muscle and the orbicularis oculi muscle. In the first semester's activities, we discussed the meaning of using biological signals, and decided to fabricate a device that can be treated as a part of the human body, thereby aiming to augment the body. We also discussed the fabrication of the device and started to make it. In the second semester, we completed the fabrication and evaluated the device through experiments. As a result, we were able to operate the device with our eyes, which was a good evaluation, but the resolution was low and it was difficult to see the images. In addition, the weight of the device was so heavy that we could not use it without supporting it with our hands. Therefore, we were not able to fully achieve our goal.

Keyword biological signals, myoelectric potential, body augmentation, visual enhancement, corrugator supercilii muscle, orbicularis oculi muscle

(※文責: 齋藤唯翔)

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的	1
第 2 章	生体信号の利用	2
2.1	生体信号	2
2.2	筋電位	2
第 3 章	開発する身体拡張デバイスの概要	3
3.1	デバイスの概要	3
3.2	筋電位の計測方法	4
3.3	筋電位計測回路	5
3.3.1	電極	5
3.3.2	差動増幅回路	6
3.3.3	4 次ハイパスフィルター	7
3.3.4	半波整流回路	7
3.3.5	積分回路	8
3.3.6	非反転増幅回路	8
3.3.7	電源回路	8
3.3.8	A/D コンバータ	9
3.4	制御機器	9
3.5	構成パーツ	10
3.5.1	広角レンズ/Raspberry Pi 用カメラモジュール	10
3.5.2	ディスプレイ	10
3.5.3	凸レンズ	11
3.5.4	バッテリー	11
3.5.5	筐体	11
3.5.6	タクトスイッチ	11
3.5.7	ベルト	12
第 4 章	問題設定	13
4.1	問題の設定	13
4.2	到達目標	13
4.3	課題の割り当て	13
第 5 章	各人の担当課題及び解決過程	14
5.1	個人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ	14
5.1.1	伊勢隆之介	14
5.1.2	鎌田航誠	14

5.1.3	齋藤唯翔	14
5.2	担当課題と連携内容	15
5.2.1	伊勢隆之介	15
5.2.2	鎌田航誠	15
5.2.3	齋藤唯翔	15
第 6 章	前期活動における成果	16
6.1	前期の取り組み	16
6.2	前期での成果物	16
6.3	問題点	17
第 7 章	後期での成果	18
7.1	後期の取り組み	18
7.2	後期での成果物	18
7.3	実験	22
7.3.1	目的	22
7.3.2	方法	22
7.3.3	結果	22
7.3.4	考察	23
第 8 章	期末発表会についての評価フィードバック	24
8.1	期末発表会について	24
8.2	評価された点	24
8.3	指摘された点	24
8.4	期末発表会を通して	25
第 9 章	通年の活動及び今後の展望	26
9.1	通年の活動	26
9.2	今後の展望	26
	参考文献	27
付録 A	課題解決のための技術 (新規習得)	28
付録 B	課題解決のための技術 (講義)	29
付録 C	相互評価	30
C.1	伊勢隆之介への相互評価	30
C.2	鎌田航誠への相互評価	30
C.3	齋藤唯翔への相互評価	30

第 1 章 はじめに

1.1 背景

人間の目は焦点距離が1つの単焦点レンズであり、カメラのように焦点距離を変更してズームイン・ズームアウトをすることはできない。そのため、遠くのを大きくはっきり見たいときには双眼鏡などの光学機器を使うことがある。双眼鏡の用途として観劇、スポーツ観戦、天体観測、野鳥観察などが挙げられる。本グループはこのうち、双眼鏡を使っての観戦と肉眼での観戦とを切り替える操作を行う頻度が高いスポーツ観戦に着目した。スポーツ観戦は多くの場合長時間に及ぶため、この操作を行う機会が多い。例えば、サッカーであれば1対1での攻防やフィールド全体を使ったパス回しのような状況がそれぞれ不定期に訪れる。1対1での攻防は双眼鏡を使って特定の選手を見たい場面であり、フィールド全体を使ったパス回しは観戦者が肉眼で会場全体を俯瞰したい場合であるため、これらの場面が訪れるたびに双眼鏡を操作する必要がある。この操作の頻度が高いと、操作の度に腕を上下させるため肉体的に疲労する。また、操作を行うことで肉眼の焦点を試合から双眼鏡のレンズに変更するため試合が見えなくなる瞬間が発生する。このため、操作の頻度が高いと操作の頻度が高くなれば見逃す瞬間が多くなるという問題が生じる。本グループでは、これらの問題を解決してスポーツ観戦を行うデバイスの製作を検討した。また、「見る」という行為には目が深く関わっていることから、目の周りの筋肉でデバイスを制御することで自然な操作が行えると考えた。人間は遠くのものを見ようとするときに目を細めることから、遠くのものを見ようとする意思と目の周りの筋肉の動きに関連があると考え、どの筋肉の動きがデバイスを制御するのに適切かを調査し、制御の方法を検討した。

(※文責: 伊勢隆之介)

1.2 目的

本グループの目的は、ズームイン・ズームアウトを行うためのヘッドマウントディスプレイ型のデバイスを製作することである。このデバイスは目の周りの筋肉の動作で制御することができる。目の周りの筋肉の動作で制御することで、手を使わない制御が可能となる。また、目の周りの筋肉の動作のみで制御できるとデバイスを頭に固定でき、腕を上下してデバイスのつけ外しをする必要がなくなる。着脱しないことで、特にスポーツ観戦においては試合を途切れずに見ることができる。また、目の周辺の筋電位信号によってデバイスを制御することとした。筋電位信号は筋肉の張力を数値化したものである。その計測は、体表面から行えるため身体的な負荷が軽度である。このことから、安全かつ高い精度でデバイスの操作が可能であると考えた。

(※文責: 伊勢隆之介)

第 2 章 生体信号の利用

2.1 生体信号

生体信号とは、生体现象に伴って身体から発せられる信号のことである。主な例として、脳波や心拍、脈拍などが挙げられる。生体信号のうち、筋電位や脳波などの細胞に起こる電気的な信号は、電気回路やコンピュータを用いた処理が容易である。特に筋電位は、身体を動かした時に発せられるため、人間の意識や意思を読み取ることが可能となる。そのため本プロジェクトでは、生体信号を用いることで、よりデバイスを人間の身体の一部のように扱えると考えた。そこで、生体信号のうち筋電位によって制御するデバイス製作した。

(※文責: 齋藤唯翔)

2.2 筋電位

筋電位とは、生体信号の 1 つであり、筋収縮に伴って発生する筋細胞の膜電位のことを指す。筋が収縮するとき、脳の神経細胞で生じた電気的な信号が、運動神経を介して筋細胞まで到達する。この電気的な信号によって、筋細胞のナトリウムチャンネルが開き、ナトリウムイオンが細胞外へ移動する。移動の結果、細胞内外のナトリウムイオンの濃度に差が生じて、極性が電氣的に分けられる。これを分極と呼ぶ。一定の閾値を超える大きな刺激が筋細胞に与えられることで、分極から脱し、細胞内外の電位が等しくなっていく。更に、大きな正電位を発して再び負電位へと下がっていく。これらの一連の流れを膜電位の興奮と呼ぶ。膜電位の興奮によって筋肉の活動電位に変化が生じ、電極を用いて測定することができる。筋電位を計測する方法として、針を用いて細胞に電極を入れて計測する侵襲的方法と、電極を皮膚表面に貼り付けて表面筋電位を計測する非侵襲的方法が挙げられる。侵襲的方法を用いる場合には、針を長期的に刺したままにすると肉体に負担がかかること、デバイスを使用する度に針を刺す施術が必要になることが想定される。そのため、非侵襲的方法は侵襲的方法に比べ、肉体的・時間的な制約が少ないので、本プロジェクトでは非侵襲的方法を用いた。

(※文責: 齋藤唯翔)

第 3 章 開発する身体拡張デバイスの概要

3.1 デバイスの概要

本グループでは、腕を使わずに視野角の制御ができるデバイスを製作することを目的とし、筋電位を用いることで、直感的な操作が実現できると考えた。そこで、カメラから得た映像を筋電位計測の結果によって拡大・縮小し、呈示するデバイスの設計・開発を行った。本章では、各パーツの役割や制御の方法について説明する。図 3.1 は本グループで製作したデバイスの概略図である。本デバイスは、カメラモジュールから映像を取得し、筋電位計測回路を用いて筋電位を計測し、計測結果から Raspberry Pi によって映像を拡大・縮小する処理を行ってディスプレイに表示する。ディスプレイと使用者の目の距離が近いため、使用者は凸レンズを通して映像を両眼視する。

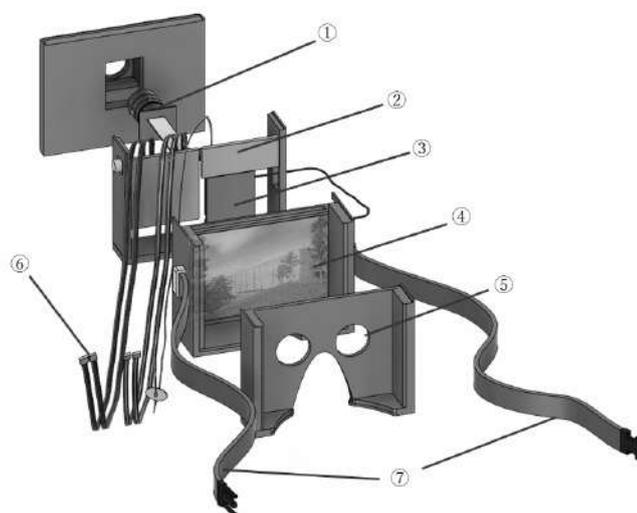


図 3.1 製作物の概略図

- 1 広角レンズ/Raspberry Pi 用カメラモジュール
- 2 筋電位計測回路
- 3 Raspberry Pi(マイコン)
- 4 7 インチ HDMI 液晶ディスプレイ
- 5 凸レンズ
- 6 電極
- 7 ベルト

本デバイスは、眉の下と目の下に電極を貼り付けてからヘッドマウントディスプレイを装着して使用する。デバイスは電極を貼り付けた部位の筋電位を常に計測し、目を細めると目の下の電極から計測される筋電位に変化が生じ、Raspberry Pi によってカメラ映像の拡大が行われる。目を見開くと眉間の電極により計測される筋電位に変化が生じ、カメラ映像の縮小が行われる。使用者が目を細めたり見開いたりしていないとき、映像の拡大率は変化しない。

3.2 筋電位の計測方法

本グループは、腕を使わない視野角の制御を実現するために、目の周辺の筋電位を測定し、デバイスを制御することを目指す。人間の目は、カメラの絞りのように瞳孔を収縮・散大させて、眼球に入射する光の量を調節している。明るい時や近くの物体を見るときには、環状の動向括約筋が収縮して瞳孔が収縮する [1]。同様に、目を細めることでも目に入る光量を減らすことができる。つまり、見づらいものを見やすくするために目を細めることは、意思に基づいた動作であると考えられる。このことから、目を細める動作を利用し、拡大を行うこととした。また、目を細める動作の逆である目を見開く動作によって、縮小を行うこととした。これらの動作がどの筋肉によって引き起こされているのか調査を行った。結果として、目周辺の筋肉には眼輪筋、皺眉筋が存在することが分かった。それぞれの筋肉の筋電位を計測した結果、目を細めるときには皺眉筋、目を見開くときには眼輪筋を大きく動かすことが分かった。よって、これらの筋肉の筋電位を計測し、制御に用いた。電極は図 3.2 の楕円部分に貼り付ける。

(※文責: 齋藤唯翔)

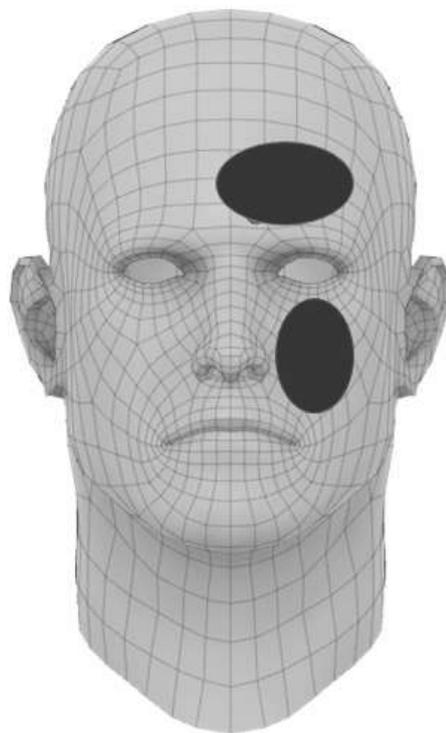


図 3.2 電極を貼り付ける部位

3.3 筋電位計測回路

本製作物では目の周囲の筋肉から筋電位を計測するため、筋電位計測の電気生理的技術を用いて計測回路を製作した。筋電位を計測する問題点として以下の2つが挙げられる。1つ目は、皮膚が高いインピーダンスを持っていることである。これにより、表面筋電位を計測する場合、約数十mV程度でしか電位差が得られないため、一般にマイコンへ入力されるアナログ信号と比較して微弱である。2つ目に、計測時に誘導ノイズが信号の中に発生してしまうことが挙げられる。誘導ノイズとは、身の回りの商用電源によって発生している電流が体に流れ、体にかかった電圧を計測器が測定してしまうことによるノイズのことである。筋電位信号をマイコンに入力する際に、信号が微弱であったり、ノイズが乗っていた場合は、マイコンは信号を処理することができない。問題を解決するために電極、差動増幅回路、4次ハイパスフィルター、非反転増幅回路、半波整流回路、積分回路を用いた。計測回路の構成と目的について以下の項に記載する。また、図3.3に本プロジェクトで使用した回路図を示す。

(※文責: 鎌田航誠)

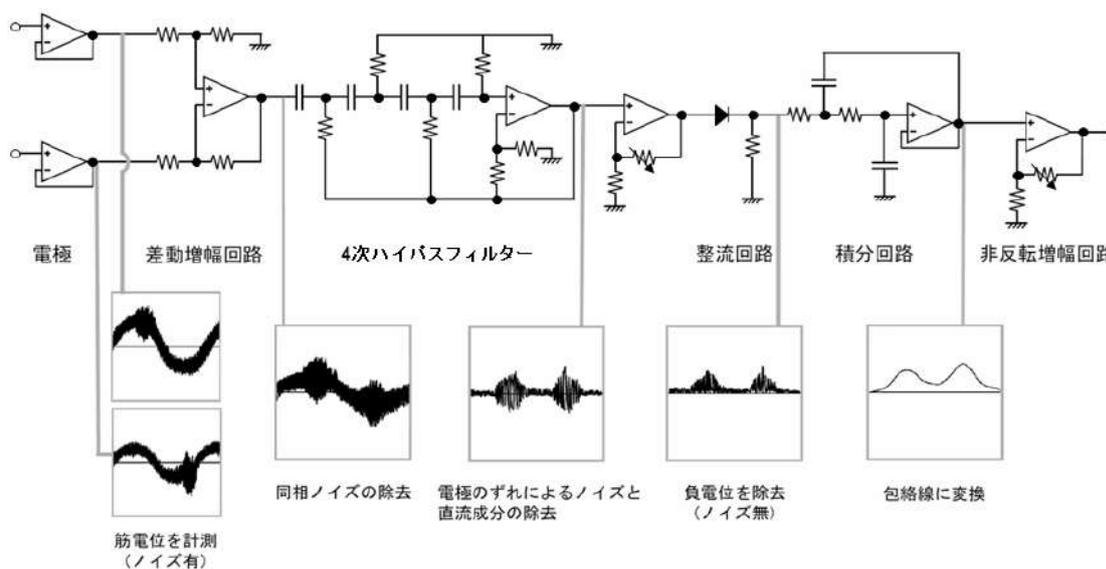


図 3.3 筋電位計測回路の回路図

3.3.1 電極

筋電位を計測するための電極として、銀板とオペアンプを組み合わせたものを使う。オペアンプはボルテージフォロワの役割をしており、図3.4のようにオペアンプの反転入力端子と出力端子をショートさせることで、オペアンプの出力電圧が入力端子の電圧と等しくなるように制御される仕組みである。この仕組みによって、インピーダンス変換を行うことができる。インピーダンス変換を行うことで、出力インピーダンスが高い信号源と入力インピーダンスが低い負荷を接続した際の電圧降下を防いでいる。そのため、皮膚から表面筋電位を計測するためにボルテージフォロワが必要である。銀板とオペアンプの入力端子をはんだづけによって電氣的に接続し、固定した。計測時

は、電極を動かさないようにするために、電極をテープで皮膚表面に固定した。表面筋電位が銀板を通してオペアンプに伝導され、後の回路へ出力される。

(※文責: 鎌田航誠)

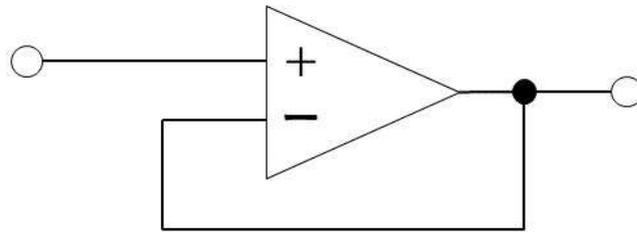


図 3.4 ボルテージフォロワ

3.3.2 差動増幅回路

差動増幅回路とは、2つの入力信号に乗っている同相ノイズを除去する回路である。これによって、3.1節で示された2つ目の問題点である誘導ノイズを除去することができる。誘導ノイズは、商用電源や電子機器によって全身に等しくかかるノイズであるため、身体のどの部位でも同じ電位である。これに対して筋電位は、身体の部位ごとに異なる電位である。図 3.5 の回路図に示す回路では、2つの電極から得られる筋電位の差分を得ることで、それぞれの電極で計測される誘導ノイズを相殺し出力している。

(※文責: 鎌田航誠)

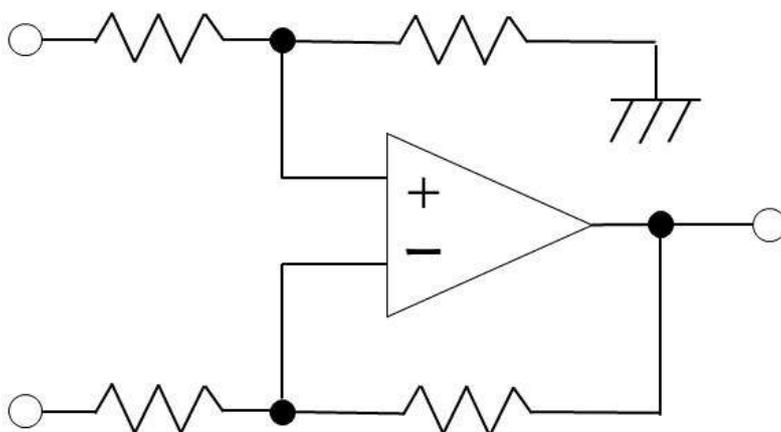


図 3.5 差動増幅回路

3.3.3 4次ハイパスフィルター

ハイパスフィルターは、図 3.6 のように接続した抵抗の抵抗値とコンデンサーの静電容量からカットオフ周波数を定め、それより高い周波数の信号を通過させ、低い周波数の信号は遮断することができる。これによって、身体の静電気やモーションアーティファクトと呼ばれるノイズを除去することができる。モーションアーティファクトとは、筋電位計測時に被検者が動くことによって生じる低周波ノイズのことである。モーションアーティファクトを除去することができるカットオフ周波数にするため、図 3.6 の回路図で接続することによってできる 4 次ハイパスフィルターを使用した。

(※文責: 鎌田航誠)

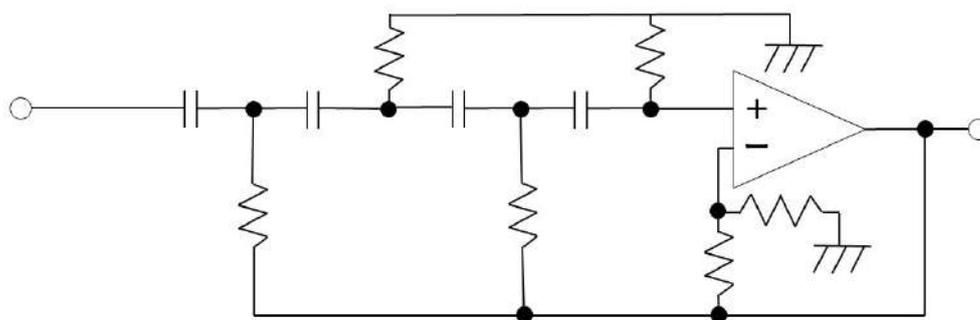


図 3.6 4次ハイパスフィルター

3.3.4 半波整流回路

整流回路とは、交流を直流に整流する回路のことである。整流する方法として、半波整流回路と全波整流回路がある。半波整流回路とは、ダイオードに印加される交流電圧が正電位ならば順方向に電流が流れ、交流電圧が負電位ならば電流が流れない特性を利用した整流回路である。そのため、交流電圧の負電位は除去せずに正電位に変換したい場合は、全波整流回路を使用する必要がある。筋電位の正電位と負電位は、ほぼ対象に振れており、整流回路の出力信号が入力される積分回路では時間積分を行う際、正電位しか使われない。また、使用したマイコンは負電位の信号を読み取ることができない。以上の2つの理由から、負電位を除去することができる半波整流回路を使用した。

(※文責: 鎌田航誠)

3.3.5 積分回路

積分回路とは、入力信号に対して時間積分を行う回路である。入力信号を時間積分し、平均化することによって、信号を包括線に変換し、マイコンに入力する際に筋電位信号を A/D 変換することができる。また、オペアンプと接続している抵抗とコンデンサーがローパスフィルターの役割をしているため、カットオフ周波数よりも低い周波数の信号を通過させることができる。

(※文責: 鎌田航誠)

3.3.6 非反転増幅回路

非反転増幅回路は、図 3.7 のような、オペアンプに接続する二つの抵抗器による抵抗値の比率によって、信号を増幅することができる回路である。ハイパスフィルターや積分回路から出力された筋電位信号をマイコンに入力するためには微弱である。非反転増幅回路を用いることで信号を増幅する。また、図 3.7 で示す、オペアンプに接続する抵抗の内一つの抵抗を可変抵抗にすることによって、増幅する倍率を任意で調節できるようにした。

(※文責: 鎌田航誠)

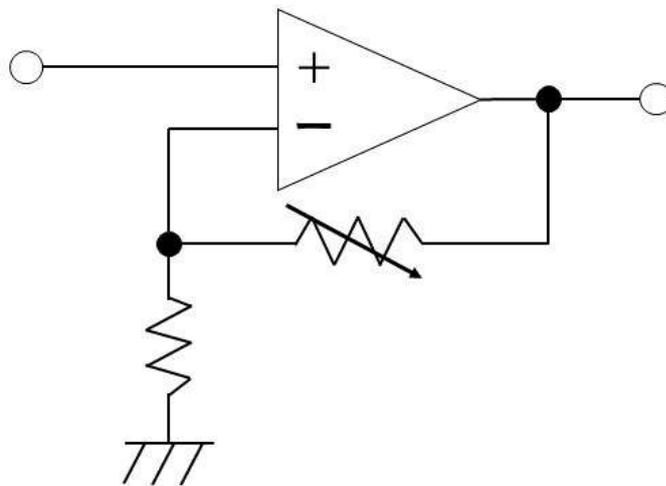


図 3.7 非反転増幅回路

3.3.7 電源回路

筋電位計測回路の動作には、5V と -5V の両電源が必要である。しかし、Raspberry Pi から筋電計測回路への電源の供給は、5V の単電源の供給しか行えない。この問題を解決するため図 3.8 で示すように Raspberry Pi と筋電位計測回路の間に、DC-DC コンバータ (MAU106) と抵抗器とコンデンサーを接続によって回路を作った。この回路を用いることにより、5V と -5V の両電源を作り出し、筋電位計測回路に量電源を供給することができる。

(※文責: 鎌田航誠)

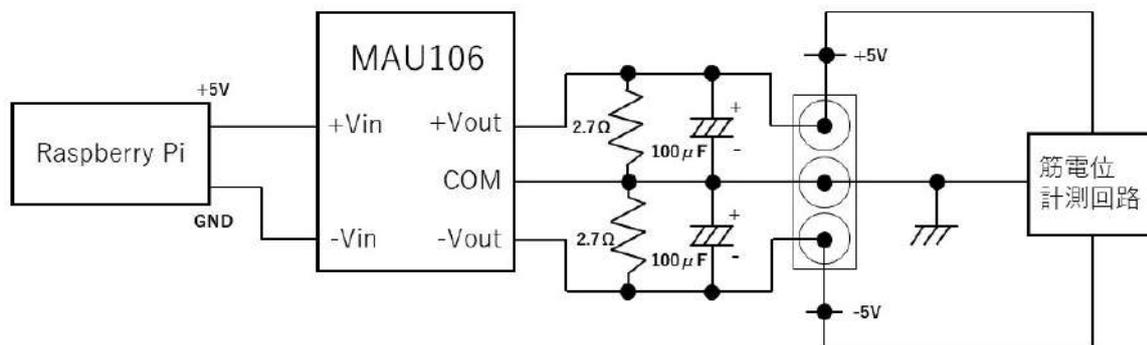


図 3.8 電源回路

3.3.8 A/D コンバータ

筋電計測回路で得られた信号はアナログ信号であるため、Raspberry Pi で信号を処理するためにはデジタル信号でなければならない。しかし、Raspberry Pi には、Arduino や M5stack のようにマイコンの中に A/D 変換をする機能を有していない。この問題を解決するため、筋電計測回路の出力と Raspberry Pi の入力 사이에 A/D コンバータ (MCP3208) を接続することで、デジタル信号を Raspberry Pi に入力することができる。

(※文責: 鎌田航誠)

3.4 制御機器

制御機器として、マイコンボードを用いる。マイコンボードは Raspberry Pi を使用した。Raspberry Pi とは、Raspberry Pi Foundation が学校教育用に開発した ARM プロセッサと RAM を搭載した小型のコンピュータである。本プロジェクトでは、Raspberry Pi 3B を使用した。Raspberry Pi を用いてデバイス全体の制御を行うために、以下の機能を持つプログラムを Python によって実装した。

- ・映像をカメラモジュールから取りこみ、ディスプレイに二つ同じ映像を出力する。
- ・二つの筋電位計測回路からそれぞれ計測された筋電位を A/D 変換した信号を読み込む。
- ・筋電位の値を基に、映像のズームインとズームアウトを行う。映像処理方法はデジタルズームである。

(※文責: 齋藤唯翔)

3.5 構成パーツ

3.5.1 広角レンズ/Raspberry Pi 用カメラモジュール

外部の映像を取りこむための装置として、Raspberry Pi 用のカメラモジュールである Raspberry Pi HQ Camera を使用した。Raspberry Pi HQ Camera の各性能を以下に示す (表 3.1)[2]。広角レンズまたは望遠レンズを取り付けることによって映像を取りこむことができる。本プロジェクトでは、人間の目が情報をしっかりと認識できる視野角が 30 度から 40 度であるが、はっきりと認識できないが見えている部分が存在することを考慮して視野角 52 度の広角レンズを使用した。

(※文責: 齋藤唯翔)

表 3.1 Raspberry Pi HQ Camera の各性能

イメージセンサ	SONY IMX477R
画素数	12.3 メガピクセル
センササイズ	対角 7.9mm
画素サイズ	1.55 μ m \times 1.55 μ m
出力	RAW12/10/8bit, COMP8bit
レンズ規格	C マウント, CS マウント (C-CS アダプタ付属)
IR カットフィルター	搭載
リボンケーブル長	200mm
三脚マウントネジ	1/4 インチ-20

3.5.2 ディスプレイ

映像を表示するために、ゴーグル内にディスプレイを配置した。本製作物は、頭に装着するデバイスであることから、重量が大きいと使用者の頭や首に負荷をかけてしまう。そのためディスプレイサイズを小さくすることで、重量を抑えることとした。また、ディスプレイが小さすぎると解像度が低く映像が見えにくくなってしまうため、本製作物では重量と解像度の関係を考慮し、7 インチのディスプレイを使用することとし、7 インチ HDMI 液晶ディスプレイ (Elecrow 製品番号:6453681) を使用した。仕様を以下に示す (表 3.2)。

(※文責: 齋藤唯翔)

表 3.2 Elecrow 製モバイルモニター (6453681) の仕様

製品サイズ	16.4 \times 10.1 \times 0.9 cm
ディスプレイサイズ	7 インチ
解像度	1024 \times 600
電圧	5V
重量	209g

3.5.3 凸レンズ

凸レンズは、平行光線を通して一点に集める作用を持つレンズである。凸レンズをディスプレイと目の間に配置することで、目から近距離にあるディスプレイに目の焦点を合わせる役割を担う。本製作物では、2つの同じ映像をディスプレイに出力することで、映像を両眼視することができる。

(※文責: 齋藤唯翔)

3.5.4 バッテリー

Raspberry Pi への電源供給は、デバイス内に組み込んだバッテリーから行った。デバイスの携帯性を向上させるためにモバイルバッテリーを使用した。Raspberry Pi は 5V/3A の電源によって動作することから、5V/3A のモバイルバッテリーとした。

(※文責: 齋藤唯翔)

3.5.5 筐体

本製作物は、筐体内に回路やカメラ、モニターを配置する必要があり、筐体の内部は複雑な形状や空洞部分が必要であるため、3D モデルを製作し、3D プリンターで印刷することで製作した。3D CAD ソフトウェアである Fusion360 を使ってモデリングを行い、3D プリンター用のスライサーソフトウェアである Ultimaker Cura を使って 3D データを用意した。3D プリンターで印刷を行うための代表的な手法として、光造形、粉末積層、熱溶解積層方式がある。どの手法も、3D データから高さ方向に数ミリメートルでスライスした断面図のデータを用意し、断面図データに従って積み重ねて印刷していく方式である。本グループでは熱溶解積層方式を用いて筐体の印刷を行った。熱溶解積層方式とは、熱可逆性プラスチックのフィラメントを加熱して半液状に溶かし、押出成形によって印刷する方法である。筐体の造形に使うプラスチックフィラメント素材は、丈夫な素材であること、光を通さない不透明な素材であることが必要なため、PLA(Poly Lactic Acid) 樹脂を使った。本グループが使用した 3D プリンタは、Creality 社製の 3D プリンタ”Ender 3 Pro”である。筐体は内部にレンズ、モニター、回路、Raspberry Pi、カメラをはめ込むための溝を作り、これらの部品を配置したのちに上から蓋をすることで、部品を固定できるようにした。

(※文責: 鎌田航誠)

3.5.6 タクトスイッチ

タクトスイッチを筐体の外側からはめ込み、配線を Raspberry Pi とつなぐことで、スイッチで Raspberry Pi を起動し、システムを作動させることができるようにした。

(※文責: 鎌田航誠)

3.5.7 ベルト

筐体を使用者の頭部に固定するためのベルトは、スーツケースやトランクなどを梱包するためのものを使用した。ベルトの素材はポリエステルで幅が 2.54 センチのものを使用した。ベルトと一緒に取り付けるバックルの素材は ABS(Acrylonitrie Butadiene Styrene) 樹脂製のものを使用した。頭を一周する長さにベルトを裁断し、バックル部分で長さを調節して筐体を固定できるようにした。ベルトと筐体に取り付ける際は、ヒートガンを用いて 260 °C程度でベルト表面を溶かし、ベルト同士を接着することで取り付けた。

(※文責: 鎌田航誠)

第 4 章 問題設定

4.1 問題の設定

目の周りの筋肉の動作で表示映像のズームイン・ズームアウトを制御するヘッドマウントディスプレイ型のデバイスの製作にあたって、2つの問題が考えられる。1つ目は、筋電位を計測する部位に関する問題である。本製作物では、目元の筋電位を計測するために皺眉筋と眼輪筋の下部に電極を貼り付けることを想定している。しかし本製作物はヘッドマウントディスプレイ型のウェアラブルデバイスであるため、目元を覆うような構造にしなければならない。そのため、本製作物と顔との接触面と電極を貼り付ける部位が重ならないように、あるいは重なっても正確に筋電位を計測することができる設計にしなければならない。2つ目は、装置の重量やサイズに関する問題である。本製作物は、広角レンズや Raspberry Pi(マイコン)、ディスプレイなど制御や映像の出力に必要な部品をすべて搭載するため、装置全体の重量が大きくなることが懸念される。頭に装着する装置であるため、重量が大きくなれば頭や首に負荷をかけ、使用者の身体の一部であるという感覚が得にくくなる。そのため、重量が小さく、負荷を感じにくい設計が必要となる。

(※文責: 伊勢隆之介)

4.2 到達目標

4.1 節で述べた問題点を解決したデバイスを製作する。このデバイスは目の動作でズームイン・ズームアウトを制御する。このデバイスの使用者が目新たな機能が追加されたと感じることで身体拡張が達成されると考えられる。本グループの到達目標は、ズームイン・ズームアウトを使用者本人の身体の一部として手軽に行うことができるデバイスを製作することである。

(※文責: 伊勢隆之介)

4.3 課題の割り当て

- 伊勢隆之介: グループ間での連絡、発表資料用のイラスト作成、発表用画像編集、発表用動画編集、Web サイト編集、設計図作成
- 鎌田航誠: 回路の作成、3D モデルの作成、3D プリント
- 齋藤唯翔: マイコンの環境構築、プログラムの作成、スライド作成

(※文責: 伊勢隆之介)

第 5 章 各人の担当課題及び解決過程

5.1 個人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ

5.1.1 伊勢隆之介

月ごとの担当課題は以下のとおりである。

- 5月 研究テーマの発案及びグループメンバーの担当の振り分けを行った。
- 6月 制作物の仕様や物理的な構造の決定、必要な部品の選定、中間発表に向けての Web サイトの編集を行った。
- 7月 中間発表で得られたフィードバックをもとに課題の再確認及び課題解決のための議論を行った。
- 8月 プロジェクトの定義についての議論を行った。
- 9月 製作物の筐体の設計図の原案を作成した。
- 10月 設計図を基に 3D モデルの試作物を作成した。
- 11月 出力した 3D モデルの組み立てをし、修正点の発見・設計図の修正を行った。
- 12月 Web 編集及び発表用スライドの製作を行った。

(※文責: 伊勢隆之介)

5.1.2 鎌田航誠

月ごとの担当課題は以下のとおりである。

- 5月 研究テーマについて議論。
- 6月 制作物の筋電位計測回路の設計。
- 7月 制作物のモデルを製作。
- 8月 プロジェクトの定義についての議論を行った。
- 9月 筋電位回路のはんだ付けを行った。
- 10月 筋電位回路のはんだ付けを行い、Raspberry Pi と接続させて、筋電位を raspberry Pi 側で読み取ることができるようにした。
- 11月 設計した 3D モデルを 3D プリンターで印刷し、組み立てを行った。
- 12月 発表用の 3D モデル作成を行った。

(※文責: 鎌田航誠)

5.1.3 齋藤唯翔

月ごとの担当課題は以下のとおりである。

- 5月 研究テーマについて議論した。

- 6月 製作物の制御装置について必要な技術を選定し、Raspberry Pi の環境構築を行った。
- 7月 中間発表に向けて Web サイトを製作した。また、中間報告書を作成した。
- 8月 制御プログラムを製作し、画面の構成を決定した。
- 9月 制御プログラムを製作し、信号を受け取って画像処理を行う部分を実装した。
- 10月 信号の受け取り方を確認し、それに対応するプログラムに変更した。
- 11月 回路と制御プログラムを組み合わせて動作を確認した。また、成果発表会に向けた発表資料を作成した。
- 12月 製作物の評価実験を実施した。また、成果発表会に向けた発表資料を作成した。成果発表会後に期末報告書を作成した。

(※文責: 齋藤唯翔)

5.2 担当課題と連携内容

5.2.1 伊勢隆之介

グループリーダーとして円滑に開発に取り組めるように各活動に期限を設け、期限に間に合わなければ計画を修正するといったグループのスケジュール管理を行った。作業スケジュールを考慮して必要部品の発注を行い制作が滞らないように努めた。制作物の仕様や設計について議論した内容をもとに設計図の原案を作成した。また、発表資料である Web サイトの編集及びスライド資料用の画像編集、動画編集を行った。

(※文責: 伊勢隆之介)

5.2.2 鎌田航誠

筋電位を計測するために、信号を強めることや誘導ノイズを除去することができる計測回路を製作した。製作物の外観やモジュールや回路の配置をデザインするために、3D モデルを作成した。制作物の設計図の原案から、3D プリンターで印刷しやすくするために、細部の調整や制作物をパーツごとに分けて印刷を行った。

(※文責: 鎌田航誠)

5.2.3 齋藤唯翔

Raspberry Pi の環境構築を行った。また、Raspberry Pi を用いた映像処理・表示プログラムの開発を行った。発表資料における図の一部とスライドの作成を行った。

(※文責: 齋藤唯翔)

第 6 章 前期活動における成果

6.1 前期の取り組み

前期の活動は、新型コロナウイルスの流行により大学での作業が制限されていたため、オンラインでの話し合いを中心に行った。まず、生体信号を用いたデバイスの製作のための基礎知識を学ぶため、生体信号や筋電位、計測回路の仕組みについての知識を習得した。次に、先行事例を調査し、製作するデバイスの提案を行うことを目的とした発表会を行った。二人または三人一組のグループとなり、生体信号を用いた既存の製品や研究事例の調査を行い、スライドにまとめて発表して知見を深めた。その後、製作するデバイスの案を出し合い、グループに分かれ活動を行った。我々のグループでは当初、手を動かした生体信号を取得し、別の人の手を電気刺激によって動かすデバイスの開発を考えていた。しかし、安全面や実現性の低さから断念し、手を使わずに操作するスコープ型デバイスを開発することとして、製作物の構想と設計を立てていった。また、ブレッドボード上に筋電位計測回路を製作し、オシロスコープを用いて筋電位計測方法を習得した。その際、用いようと考えていた目周辺の筋電位を計測し、目を細める時と目を見開く時にはどの筋肉から大きな筋電位が生じているのか調べた。結果として、目を細める際には皺眉筋から、目を見開く際には眼輪筋から大きな筋電位を生じていることが分かった。その後、実際に筋電位測定回路を製作し、製作物の筐体の設計を行っていき、製作を進めた。以上のように、前期の活動では、筋電位信号の基礎知識を習得し、製作物の基盤となる技術を調査して後期の製作物完成に向けて製作を進めた。前期の活動の最後に、前期の取り組みのまとめとして中間発表会に向けた資料作成、及び発表を行った。中間発表会で頂いた客観的な意見や感想を元に、製作物の改善点をグループ内で考察し、考慮すべき点や今後の発表方法などにも取り入れるができた。

(※文責: 齋藤唯翔)

6.2 前期での成果物

前期活動の成果物として、以下が得られた。

- ・製作物の構成パーツを決定し、3D モデルによる概略図の製作を行った。
- ・構成パーツ内で使用する製品を選定し、発注と動作確認を行った。
- ・筋電位測定回路をブレッドボード上に構築し、ユニバーサル基板への構築を開始した。
- ・目の周辺の筋電位を測定し、眼輪筋と皺眉筋の筋電位を用いることを決定した。
- ・カメラ映像を取りこみ、その映像を二つに複製してディスプレイに映すプログラムを開発した。

これらの成果物は、製作における準備段階を終えることができた程度の進捗であった。この後予定していた作業として、3D プリンタによる出力と組み立て、筋電位を取りこんで値によって画像処理を行うプログラムの製作、筋電位測定回路とプログラムを組み合わせた動作確認、製作物全体を動かした動作テスト、製作物の評価実験があった。後期の活動は、前期の進捗状況を反省した結果、活動頻度を挙げることにし、実験を終えて製作物の改善することを目標に行うこととした。

6.3 問題点

プロジェクト全体の製作物に対する目標として、中間発表までにプロトタイプを製作し、中間発表会に臨むことが挙げられていたが、本グループではそれを実現することはできなかった。製作スケジュールを明確にすることで、時間に対する意識を高め、活動を行うこととした。また中間発表会でいただいた評価では、「人間の目は、一点を注視しながらも、視界から何かを捉えて注視点を変える」という人間の特性があると指摘を受けた。調査の結果、実際にそのような特性は存在することが分かった [3]。想定していたデバイスでは、視界の隅で捉えたものを注視したいとき、自ら首を動かさなければ実現できない。目の機能の拡張を行うためには、デバイスの機能として目の特性を再現できる必要があるのではないかと考え、グループ内で議論を行った。この特性を再現するためには、使用者の視線を分析して、映像やカメラの角度を自動的に制御する必要があり、制御のためにモータの搭載をしなければならないことから、重量の増加につながる。また、我々の想定するデバイスはこの特性が再現できていないのか、見極めることができていない。そこで、現状想定しているデバイスを製作し、使用感を確かめることで特性が再現できているか調査し、その結果に基づいて改良の必要性を検討することとした。

第 7 章 後期での成果

7.1 後期の取り組み

後期の活動は、前期の活動の成果や中間発表で頂いたフィードバックを基に、製作物の設計や仕様について改めて議論し、製作作業を行った。中間発表のフィードバックの中には、「人間の目は、一点を注視しながらも視界から何かを捉えて注視点を変えるが、この特性は本製作物で再現されているのか」という旨の指摘があったため、本製作物の仕様に人間の特性を組み込んで製作するか検討した結果、到達目標の達成後に開発を試みることにした。製作作業において、設計担当は、製作物に搭載する部品の寸法を計測し、配置を決定した後に 3D モデルで筐体の設計を行った。回路担当は前期で作成した回路図を基に筋電位計測回路をユニバーサル基板にはんだ付けをして製作した。プログラム担当は、前期に開発したプログラムで出力する映像の位置調整を行った。また、A/D 変換された信号をプログラム上で扱うためのプログラムを追加し、マイコン上で筋電位信号を 0～5V の実数値によって表現できるようにした。次に、製作した回路と開発したプログラムを連動させて動作確認を行ったところ、オペアンプを動作させるために必要な負電位がマイコンから出力できないことが判明した。そのため、回路に DC-DC コンバータを増設し負電位を出力できるようにした。また、筋電位信号を A/D 変換するための回路も増設した。その後、マイコンと回路が連動して動作することを確認した。回路とプログラムの連動と同時に、設計した筐体の 3D モデルを 3D プリンターで印刷し組み立て、マイコン・回路などの部品を組み込み製作物の動作確認を行った。筐体完成後、筐体に回路とマイコンを搭載して実際の動作を確認した後に、製作物の使用感・装着感を調査するために実験を行い、製作物の評価を行った。後期活動のまとめとして、これまでの活動と成果物についてをスライド・Web にまとめ、期末発表会ではスライドを用いた発表を行った。

(※文責: 伊勢隆之介)

7.2 後期での成果物

本グループは、皺眉筋及び眼輪筋の筋電位を用いてズームイン・ズームアウトを制御するヘッドマウントディスプレイ型のデバイスを製作することを目的とした。この目的を達成するために、前期の活動を基に後期の活動では以下の成果を得ることができた。

- ・筐体の設計図を作成し、これを基に 3D モデルを製作した (図 7.1, 図 7.2)。
- ・3D モデルを基に、3D プリンターで筐体を出力した (図 7.3)。
- ・筐体の凸レンズを通してディスプレイを両眼視したとき、左右の眼でズレが生じないようにプログラムを修正した。
- ・筋電位測定回路をユニバーサル基板にはんだ付けをして作成した (図 7.4)。
- ・筐体に回路とマイコンを入れ、製作物を完成した (図 7.5)。
- ・完成した製作物を用いて実験を行い、フィードバックを得た。

(※文責: 伊勢隆之介)

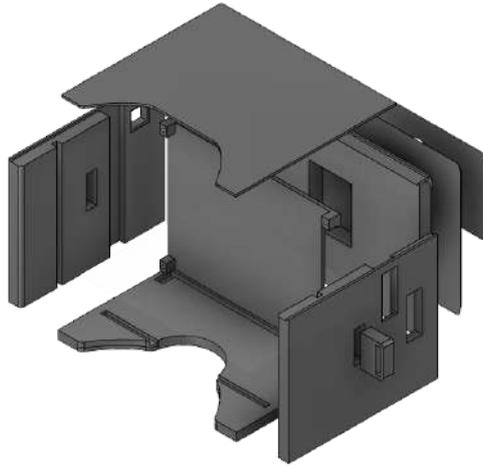


図 7.1 製作した 3D モデル (後方)

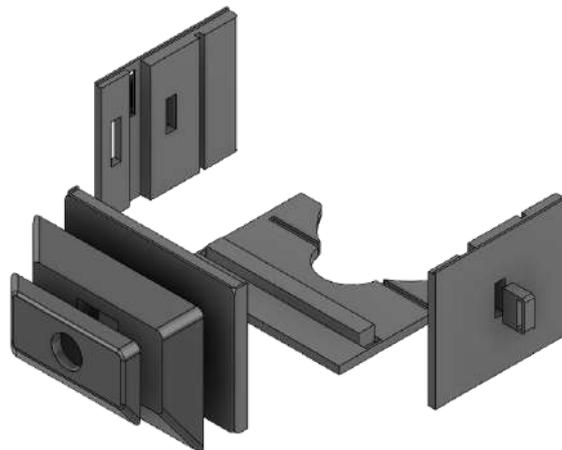


図 7.2 製作した 3D モデル (前方)



図 7.3 3D プリンタで出力した筐体

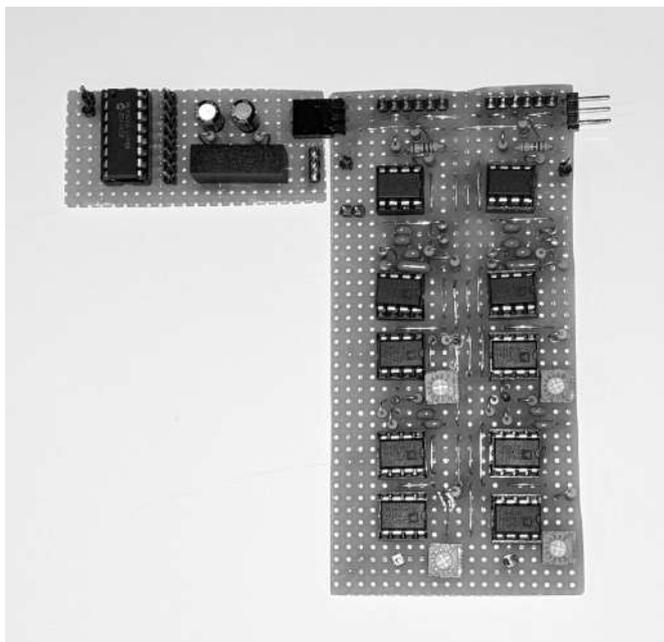


図 7.4 製作した筋電位測定回路



図 7.5 完成した製作物の装着イメージ

7.3 実験

7.3.1 目的

製作したデバイスを実際に装着してもらい、視野角の制御の動作テストを行う。スポーツ観戦は多くの場合観客席と選手との距離が離れている。そのため、デバイスを装着した状態で遠くの物体を明瞭に認識する必要がある。また、スポーツ選手はユニフォームに背番号などの文字が記載されていることが多く、背番号などで選手を判別することがある。そのため、どの程度の距離まで文字が認識可能か調査することで、本デバイスの性能を検証することを目的とする。

(※文責: 伊勢隆之介)

7.3.2 方法

被験者

被験者は大学生の男性 1 名。

装置

本プロジェクトで作成したデバイス。

場所・日時

公立はこだて未来大学本棟 3 階廊下で 2021 年 12 月 6 日 (月)15 時 30 分から 16 時 30 分まで行った。

手続き

被験者は、本プロジェクトで製作したデバイスを装着し、立位の状態以下の作業を行った。はじめに、デバイスを装着した状態で操作方法を説明し、動作確認を行った。次に、10m 前方に設置したパネルに文字を提示し、被験者に文字を見るように教示した。被験者は、文字が見えたらその文字を実験者に伝えた。その後、パネルを被験者からさらに 5m 離し 15m にした。パネルの文字を変更し、被験者に文字を見るように教示した。被験者は、文字が見えたらその文字を実験者に伝えた。パネルを離し、文字を変更し、被験者に認識させることを一連の作業とした。パネルは被験者から 5m ずつ離していき、被験者とパネルとの距離が 30m になるまで一連の作業を繰り返し、1 回の休憩をはさんで 2 回行った。文字の大きさは 200pt とした。被験者が文字を認識する毎に、被験者にデバイスの使用感および装着感についてインタビュー調査を行い、記録した。

(※文責: 伊勢隆之介)

7.3.3 結果

10m の距離において文字が認識できず、それ以上の距離においても同様であった。インタビュー調査によって以下のような意見が得られた。

- ・誤動作することなく手軽に操作することができ、面白い操作方法であった

- ・解像度が低く映像が粗いため、人やパネルなどの物の概形は捉えられるが文字などの細かく小さいものは判別できない
- ・プログラムの動作が重いため映像の遅延が生じ画面酔いを感じた
- ・デバイス全体の重量が重く、手で支えなければ使用することができなかった
- ・顔に貼り付ける電極はもう少し細い方が装着しやすい

(※文責: 伊勢隆之介)

7.3.4 考察

皺眉筋及び眼輪筋の筋電位で操作することで、目を細める動作でズームイン、見開く動作でズームアウトの制御をすることができた。また、瞬きなどの目の動きには反応しなかったため、計測部位は適切であり操作性も良好であったと考えられる。しかし、遠くのを大きくはっきり見るには映像の解像度が低く、映像の遅延があるため、使用感は悪かった。また、デバイス全体が重く、電極が邪魔であったため、装着感も悪かった。従って、皺眉筋及び眼輪筋の筋肉の動きを用いることで身体の一部のように操作できたが、デバイスの設計と映像の表示プロセスを変更しなければ実用は困難であると考えた。重量に関しては、頭部の前方に重心が偏っていたことが使用者に重さを感じさせた原因の1つと考えられる。そのため、頭部後方にバッテリーなどをカウンターウェイトとして配置し、重心の位置を調整することで使用者が感じる負荷を軽減できると考えた。また、本デバイスはスポーツ観戦を想定して製作したが、文字を認識することに焦点を当てた実験を行っていたため本デバイスの趣旨とは逸れた実験内容であった。そのため、使用感や装着感を調査するには不適切な条件であり、十分な調査結果を得られなかったと考える。よって、再度実験を行う際は、「遠くの文字を認識する」ではなく「遠くや近くの動いている人を捉える」などの本デバイスの趣旨に即した条件に見直して行いたい。

(※文責: 伊勢隆之介)

第 8 章 期末発表会についての評価フィードバック

8.1 期末発表会について

2021 年 12 月 10 日（金）に 2021 年度プロジェクト学習の期末発表会が行われた。今年度の期末発表会は、Zoom にてオンラインで開催された。発表会では、作成したウェブページで本プロジェクトの概要を見ていただき、その後、本プロジェクトの概要や、各グループの製作物や活動について、スライドを用いて説明した。本グループでは製作物の背景、目的、達成目標、制作物のシステム、今後の課題について説明を行った。各グループの説明が終了した後、プロジェクトと各グループの製作物について質疑応答を行った。本プロジェクト全体の発表が終わった後に、聴衆の方々に、我々の発表技術と発表内容について、評価をいただいた。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。発表技術についての評価の平均点は 8.55 点であり、発表内容についての評価の平均点は 8.65 点であった。また、グループ A の発表に関して評価者からコメントを頂いたので、評価された点と指摘された点に分けて以下に示す。

（※文責: 鎌田航誠）

8.2 評価された点

期末発表会において、評価者の方から以下のような良い点が挙げられた。

- ・スライドに図が多く使われているため、システムの内容が理解しやすかった。
- ・動画などを用いた説明で分かりやすかったです。
- ・目的定義から解決方法、今後の展望とわかりやすくまとまっていた。
- ・着眼点が面白いと思った。なぜ視力に注目したか理由も知りたい。
- ・今後の展望の達成次第で自分も使ってみたいと感じた。

（※文責: 鎌田航誠）

8.3 指摘された点

期末発表会において、評価者の方から以下のような改善点が挙げられた。

発表方法・資料・調査結果などについての意見・疑問点

- ・様々なものを使って製作物を作っている説明でこのようになっています、と説明しているけど、もう少し具体的な過程を説明して欲しかった。機械が何も分からない人にとっては、その機械が行う役割などが分からないので。
- ・目の開閉にともないどれくらいの速度でレンズの動きが追従できるのかなどの時間的な特

性など、細かな評価があると良いと思います。

・身体拡張感を得るには慣れるまで少し時間がかかるとは思います、その辺りはどのように扱いましたか？

・腕が疲れるが問題なので、ズーム操作はボタンでも良かった気がするけど、筋電位にした理由はなんだろう？

・もとがスポーツ観戦だった気がするから、遠くの止まっている小さなものを見る、ではなく、スポーツなどの遠くの大きな動きを見る、がユースケースとして合っている気がするし、そのようなことが出来るか確認した方が良かったのでは？

製作上での改善点

・遠くを見たりする際に手を使わずデバイスを顔に着けることで遠くが見えるようになっていましたがもう少しシンプルであったり小型化できるとよいと感じました。

・細かな表情筋の動きでもズームイン・ズームアウト出来るよう頑張してほしい。ズームのスピードも上がるとなお良い。

・筋電位を使用したズーム。瞬きに対してズームがおこなわれていた場合、瞬きの前後で映像の拡大率が変化しているために画面酔いが発生しているのではないか？また、瞳孔や水晶体の変化を考慮しているか。アイトラッカーを活用できないだろうか？

・一般的には、倍率を高くすると視野が狭くなるので、ちょっとのブレで見えにくくなるけど、頭に固定で大丈夫？

・カメラとマイコンも顔の前なのか。顔の前である必要はなさそうなので、頭頂部とか頭の後ろに付けた方が、バランスが良く首が痛くなりにくいのでは？

・HMDの装着感は総重量が重くても後頭部にカウンターウェイトなどを配置したりすると改善が見込めるので良いかもしれません。

(※文責: 鎌田航誠)

8.4 期末発表会を通して

評価者のコメントをまとめた結果、評価された点として、説明が分かりやすかったことや、製作したデバイスについて興味を持って頂けたことが分かった。指摘された点として、調査・評価不足や設計上の改善点が多く寄せられていた。この結果より、デバイスを設計し直し、顔の前方に全てのパーツが集まらない構造にする必要があると考える。また、活動内で行った実験は適切でなかったことも踏まえ、遠くの大きな動きを見ることができるか確認する実験を行う必要がある。

(※文責: 鎌田航誠)

第 9 章 通年の活動及び今後の展望

9.1 通年の活動

本グループでは、皺眉筋及び眼輪筋から生じる筋電位信号の変化を読み取り、ズームイン・ズームアウトを制御するデバイスを製作した。前期の活動はほぼオンライン上での活動となり、対面で作業をする機会が非常に少なかった。そのため、製作物の仕様や構成パーツ、設計についての議論を中心に活動を行った。このことから、試作物を製作することができず、中間発表では議論した製作物の仕様や設計についてを Web サイトにまとめて発表した。後期からは、前期に議論した内容をもとに設計班、回路班、プログラム班に分かれて対面作業を中心に製作作業を進めた。製作物完成を 10 月中に予定していたが、作業を進めていく中で生じた課題や問題点の修正をしていった結果、完成は 12 月のはじめ頃となった。その後実験を行い、使用感や装着感などを調査した。最終発表では活動の成果をスライドにまとめて発表した。

(※文責: 伊勢隆之介)

9.2 今後の展望

本プロジェクトで製作したデバイスを最終発表でいただいたフィードバックや考察に基づいて改善を目指す。実験の結果から、到達目標であった目の動作でデバイスを制御することは達成できたと考えられる。そのため今後は実験結果から得られた使用感や装着感についての問題の解決を目的とする。使用感を向上させるためには、より解像度の高いディスプレイの使用、画像処理アルゴリズムの開発、プログラムの処理によるデジタルズームではなく光学ズームに変更する等の改善策が挙げられる。装着感を向上させるためには、回路の小型化、より小型のディスプレイやマイコンの採用、筐体の設計の見直し等の改善策が挙げられる。また、今回行った実験は本デバイスの趣旨から逸れており、的確に評価することはできなかった。そのため、実験内容をデバイスの趣旨に即した条件に見直し、製作物の改善を行った後、再度実験を行い使用感・装着感を評価し直す必要がある。

(※文責: 伊勢隆之介)

参考文献

- [1] エレイン N. マリーブ：人体の構造と機能 第4版，医学書院（2015）.
- [2] Raspberry Pi Foundation: Buy a Raspberry Pi High Quality Camera - Raspberry Pi.
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-high-quality-camera/>
- [3] 福田亮子，佐久間美能留，中村悦夫，福田忠彦：注視点の定義に関する実験的検討，人間工学，Vol.32, No.4, pp.197-204（1995）.

付録 A 課題解決のための技術 (新規習得)

本プロジェクトの活動を通して、以下の技術を習得した。

- ・ Fusion360 による 3D モデルの作成
- ・ Raspberry Pi の使用方法
- ・ Adobe Illustrator の使用方法
- ・ 回路作製技術
- ・ 動画編集ソフト PowerDirector の使用方法
- ・ 3D プリンタの使用方法
- ・ 配線図作成ソフト EAGLE の使用方法

(※文責: 齋藤唯翔)

付録 B 課題解決のための技術 (講義)

本プロジェクトの活動において、以下の講義で学んだことを活用した。

- ・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
- ・情報処理演習
- ・センサ工学

(※文責: 齋藤唯翔)

付録 C 相互評価

C.1 伊勢隆之介への相互評価

製作物についての話し合いの際、ファシリテーターも行いながら問題解決についてアプローチなどがしっかり考えられた意見を出していた。製作物をデザインするために、パーツごとの機構や寸法について設計図に細かくまとめてくれた。ポスターや Web の資料について、わかりやすい図やイラストを作成してくれた。

(※文責: 鎌田航誠)

グループリーダーとして、発案や意見のまとめを積極的に行っていた。前期活動では、プロジェクト全体のポスターと Web に掲載する図やイラストを作成し、製作物のデザインの決定を行うなど、デザイン部分について尽力していた。後期活動では、製作物の筐体を設計し、3D モデルを製作する設計者の役割を担っていた。

(※文責: 齋藤唯翔)

C.2 鎌田航誠への相互評価

発表資料である Web サイトに掲載する 3D モデルの製作や筐体の 3D モデルの出力など、ハードウェア面での重要な部分を多く担ってくれた。また、回路やその周辺のパーツの作成を積極的に取り組み高い精度で行ってくれた。

(※文責: 伊勢隆之介)

回路の製作と発表資料内の 3D モデルの製作を担当していた。3D モデルについては、製作物の構成パーツがどのようにつながっているのか、どのようなものを使用しているのか分かりやすいイメージ図を作製していた。作製された 3D モデルを修正し、3D プリンタでの出力も行っていた。

(※文責: 齋藤唯翔)

C.3 齋藤唯翔への相互評価

Raspberry Pi の環境構築からプログラム開発に関するすべてを担当しており、活動時間内で環境構築がうまくいかなかったときは家に持ち帰り環境構築作業を行ってくれたことで開発作業が滞らずにできたので非常に助けられた。また、発表資料や Web サイトの文章の表現の見直しやスライドの図の作成も積極的に行ってくれた。

(※文責: 伊勢隆之介)

製作物のプログラム部分だけでなく、ハードウェアやデザインについても意見を投げかけてくれた。日頃の活動について記録をまとめてくれていたため、スケジュールの確認が行いやすかった。

Body augmentation interface using biological signals ～ ASHURA ～

問題について話し合う際に、参考になる資料をすぐに調べて提供してくれたので、制作物について
の話し合いがスムーズに進行した。

(※文責: 鎌田航誠)