

公立はこだて未来大学 2018 年度 システム情報科学実習
グループ報告書

Future University-Hakodate 2018 System Information Science Practice
Group Report

プロジェクト名

身体拡張筋電インタフェース - ASHURA -

Project Name

Body expansion interface using electromyogram - ASHURA -

グループ名

グループ C

Group Name

Group C

プロジェクト番号/Project No.

21-C

プロジェクトリーダー/Project Leader

1016088 豊見城風 Nagi Tomishiro

グループリーダー/Group Leader

1016080 大山愛莉 Airi Oyama

グループメンバ/Group Member

1016080 大山愛莉 Airi Oyama

1016033 長嶺知佳 Chika Nagamine

1016178 笹森なおみ Naomi Sasamori

1016191 大塚一生 Issei Otsuka

指導教員

櫻沢繁 高木清二 安井重哉 辻義人

Advisor

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Shigeya Yasui Yoshihito Tsuji

提出日

2019 年 1 月 16 日

Date of Submission

January 16, 2019

概要

身体拡張筋電インタフェース - ASHURA -では、筋電インタフェースによる身体拡張に関する取り組みを行ってきた。インタフェースとは異質なものが接するところという意味である。さらに、筋電位とは、筋収縮時に皮膚表面に現れる活動電位のことである。そこで、我々は、筋電位をリアルタイムで計測してデバイスの動作と同期させている。それによって、異質なものであるはずのデバイスをまるで自身の新たな身体部位のように捉えることを可能にした。昨年度、翼を製作したグループは、「翼を装着して意のままに動かすと、風を読んで走りたくなった」というような新しい身体感覚の獲得と行動の変容を報告している。そこから本プロジェクトは「筋電インタフェースによる身体拡張がヒトの行為を変える」ということをテーマとした。そして、このテーマをもと3グループに分かれて活動してきた。

本グループは、6つの基本感情の一つであり、表出は年齢・文化を超えて普遍的であると言われている「喜び」に着目した。感情に伴う自律神経系反応は脳へフィードバックされる。そして、自らの身体反応を意識すると、その感情をより強く感じる事が分かっている。このことから、表情は我々の感情を表現するが、それを誇張して知覚できる器官を手に入れたら、我々は「喜び」を増幅できるのではないだろうかと考えた。よって、我々は、筋電インタフェースを装着することで、コミュニケーションにおける「喜び」の相互作用を促すことを目的とした。そうすることで、両者の「喜び」を増幅させることができると考える。我々は前期に「喜び」を表現する新たな器官を製作するために、様々なプロトタイプを製作してきた。このプロトタイプから、振動モーターの回転を利用して花を回転させる仕組みを用いて、笑うと頭の上についている花が回る仕組みのプロトタイプを製作した。そして、このインタフェースが二者間対話において両者の喜びを増幅させることができるか調べるための評価実験を行った。この評価実験では、ペアで課題に取り組んでもらい、課題中の笑顔表出時間を計測した。条件ごとの笑顔表出時間を分散分析と多重比較を用いて分析を行った。分析の結果、条件間に有意差が見られた。評価実験から得た課題などからこのインタフェースの改良を進め、最終成果物とした。

キーワード 筋電位, 身体拡張, 器官, 喜び, コミュニケーション

(※文責: 大山愛莉)

Abstract

For the past seven years, this project has been working on the production of myoelectric prosthetic hands. In recent years, this project has also created a body extension myoelectric interface using that technology. Interface means “boundary between the thing and different one”. Myoelectric potential is the action potential appearing on the skin surface when the muscle contracts. We measure it in real time and use it for controlling the device, it is possible to synchronize the action of the externally attached one with its own muscle contraction. By doing so, we can perceive a device that can be heterogeneous as if it were a new body part of ourselves. Last year, the group who made the wings reports the acquisition of a new body sensation and change of behavior, such as “wearing the wings and moving them at will, we want to read the wind and want to run”. From there, the project has been divided three groups and working under the theme that “expansion on body by myoelectric interface changes human behavior”.

The group focused on “joy” that is one of six basic emotions and said to be universal beyond age and culture. We know that autonomic nervous system reaction with emotion feedback to the brain and, feeling is more strongly felt when we are conscious of our own body reaction. In addition, the expression expresses our emotions. From this, we thought that if we got an organ that can be perceived and exaggerate it, we could amplify “joy”. Therefore, we aimed to encourage the interaction of “joy” and to amplify the “joy” of both in communication by using the myoelectric interface. We have produced various prototypes to produce new organs expressing “joy” in the previous term. From this prototype, using a mechanism that rotated the flowers by using the rotation of the vibration motor, we produced a prototype of a mechanism in which the flowers on the head rotate when laughing.

In addition, we conducted an evaluation experiment to investigate whether this interface can amplify the pleasure of both in the bilateral dialogue. In this evaluation experiment, we asked two people to work on the task and measured the smile expression time in the task. After the experiment, we analyzed the smile expression time of each conduction using variance analysis and multiple comparison. As a result of the analysis, a significant difference was found between the conditions. From the issues got by the evaluation experiment, we improved the interface and, regarded it as a the final product.

Keyword myoelectric potential, body expansion, organ, joy, communication

(※文責: 長嶺知佳)

目次

第 1 章	本プロジェクトの背景	1
第 2 章	本グループの背景	2
2.1	背景	2
2.2	関連研究	2
第 3 章	課題解決プロセス	3
3.1	課題設定	3
3.2	前期プロトタイプ	3
3.2.1	外装	3
3.2.2	機構	4
3.3	学内中間発表	4
3.3.1	後期の課題設定	5
3.4	後期プロトタイプ	5
3.4.1	後期プロトタイプ	5
3.4.2	課題	6
3.5	有用性の調査	6
3.5.1	利用場面の検討	6
3.5.2	評価方法の検討	7
3.6	学内成果発表	7
3.7	外部発表	8
第 4 章	評価実験	9
4.1	予備実験	9
4.2	本実験	9
4.2.1	目的	9
4.2.2	方法	9
4.2.3	実験手続き	10
4.2.4	結果	11
4.2.5	考察	11
第 5 章	最終成果物	13
5.1	最終成果物	13
5.1.1	「咲 (emi)」の由来	13
5.1.2	ロゴ	13
5.1.3	機構	13
第 6 章	計測・制御機器	15
6.1	筋電計測回路	15

6.1.1	アクティブ電極	15
6.1.2	導電布	15
6.1.3	差動増幅器	16
6.1.4	ハイパスフィルタ	16
6.1.5	非反転増幅器	17
6.1.6	半波整流回路	17
6.1.7	積分回路	17
6.1.8	電源装置	18
6.2	制御回路	18
6.2.1	Arduino UNO	18
6.2.2	Digispark	18
6.3	装着部分	19
6.3.1	カチューシャ部分	19
6.3.2	リュック部分	19
第 7 章	各人の担当課題及び解決過程 (各月)	20
7.1	大山愛莉の活動内容	20
7.2	長嶺知佳の活動内容	20
7.3	笹森なおみの活動内容	21
7.4	大塚一生の活動内容	22
第 8 章	全体活動まとめおよび今後の展望	23
8.1	前期活動のまとめ	23
8.2	後期活動のまとめ	23
8.3	今後の展望	23
	参考文献	24

第 1 章 本プロジェクトの背景

我々の行為は、我々の身体構造によって強く規定されている。つまり、片手で電柱を持ち上げることはできない。このように、我々の身体が拡張されたならば、我々の行為は変容するであろう。身体拡張筋電インタフェース - ASHURA - では、筋電インタフェースによる身体拡張に取り組んできた。我々の身体には 400 を超える筋肉が存在する。各筋肉の収縮時には、皮膚表面に筋電位と呼ばれる活動電位が現れる。また、インタフェースとは、異質なものが接する点と訳される。IT 関連の分野においては、コンピュータの入出力と人間との接点に相当するマウスやキーボード、画面表示などを指すことが多い。本プロジェクトにおいては、装着した人間の生体信号を入力として制御されるデバイスのことである。我々が利用する生体信号とは、筋電位である。昨年度、翼を製作したグループは、「翼を装着して意のままに動かすと、風を読んで走りたくなった」のように報告した。これは、身体拡張による新しい身体感覚の獲得と行動の変容を表す。昨年度の成果を踏まえ、本プロジェクトは、ヒトの行為を変える筋電インタフェースの製作を目的とした。

(※文責: 大山愛莉)

第2章 本グループの背景

2.1 背景

感情は、基本感情として「恐れ」、「驚き」、「怒り」、「嫌悪」、「悲しみ」、「喜び」の6つに分類され、その表出は年齢・文化を超えて普遍的であると言われている（鈴木，2008）。鈴木は、以下の2点についても言及している。1つは、感情に伴う自律神経系反応は脳へフィードバックされることである。もう1つは、自らの身体反応を意識すると、その感情をより強く感じることである。本グループでは、「喜び」に着目した。表情は、人間や動物における情動の身体的・行動的表現のことである。これによって、感情を表現する。しかし、犬や猫などの動物にはしっぽなどの感情を表情以外で表現する器官が存在する。人間にも同じような器官が備わり、表情だけではなく、自分の感情を表現する器官によって感情を誇張して知覚できれば、我々は「喜び」を増幅できるのではないだろうかと考えた。また、筋電インタフェースを装着することで、対話における喜びの相互作用を促す。そうすることで両者の喜びを増幅させることができるのではないかと考えた。そして我々は、これを^{ヨロコ}喜コミュニケーションと呼び、最終目標とした。

（※文責: 大山愛莉）

2.2 関連研究

昨年度のプロジェクトでは、非言語情報によるノンバーバルコミュニケーションのための器官を製作していた。これは、人間に擬似的な発光器官の付与を通じたコミュニケーションの質の変化に関する検討を意図した取り組みであった。それに加えて、身体に不自由のある方でもわずかに筋肉を動かせることが出来れば、人とコミュニケーションをとることが出来るのではないかと考えるから筋電位を用いている。この製作物の問題点として、以下の3点が挙げられる。感情に関係していない筋肉の筋電位を用いたことにより感情と結びついた操作が難しかったこと、デバイスの見た目が不自然であったこと、自身が発光していることを認識することができないことである。また、配線を簡略化すべきであったことも反省点として挙げられている。

6つの基本感情は普遍的なものであり、その自律神経系反応のパターンはある程度分化しているということが明らかにされている。近年では感情に伴う身体反応を自身で意識すると、それを引き起こしている感情がより強く感じられるということが主張されている。感情に伴う身体反応には、心拍数の増加、発汗、表情筋の運動などがある。例えば、人前でスピーチをするような場合、心拍や呼吸の増加、発汗などを意識してしまうことで、さらに緊張をしてしまうことがある。また、顔面筋肉運動の感覚フィードバックは感情を生起させるという「顔面フィードバック仮説」をトムキンスが提唱している。これは、ジェームズ-ランゲ説の解説でよく出される「悲しいから泣くのではなく、泣くから悲しい」から展開してきたが、実験により支持されている。表情に関しては、それぞれの表情を作る筋肉についての記述があった。本グループが特に着目した喜びの時に生じる笑顔の表情は、2つの筋肉によって作られ、口角を上げる大頬骨筋と、瞼を固くする眼窩部眼輪筋である。（鈴木，2008）

（※文責: 大塚一生）

第 3 章 課題解決プロセス

3.1 課題設定

本グループでは、感情をテーマにブレーストーミングを行い、感情を表現する方法や目的など感情表現に関する様々な案を出し合い、その際に得られた感情の可視化や新しい器官、会話などの案をもとに、感情を表現する新しい器官を製作することとした。昨年度の感謝の伝える発光器官から「感情と動作が合っていない」や「感情表現の実感が薄い」などの問題点が挙げられる。私たちは、この問題点は、感情表現に関係する筋肉に対する検討が不十分であったのではないかと考えた。また、感情の知覚に関しても同様であると考えられる。このことから、本グループでは、以下の2つの課題を設定した。

1. 筋電位による感情の検出方法と感情を知覚する方法の確立
2. 感情表現器官としての機能を検討し、製作する

(※文責: 大山愛莉)

3.2 前期プロトタイピング

3.2.1 外装

前期で製作したプロトタイプは、触角をモチーフとした構造であった。これは、新たな身体感覚の可能性として、触角による感覚受容の利便性に関する議論に基づくものであった。そして、紙、結束バンド、太い釣り糸、針金で触角型のプロトタイプを製作した。これを実際に頭に装着することで、どの素材が適しているのかを検討した。この過程で、頭皮で振動を感じることができるということがわかった。結果、針金が一番振動が伝わるということがわかり、針金を用いることに決定した。針金でカチューシャ型に形成したものに触角型の針金を頭皮に直接接触するように取り付けて頭部に固定した。頭皮に直接接触する部分は、怪我をしないようにグルーガンで先を覆った。実際に装着してみた結果、カチューシャの部分が動いてしまってあまり振動を感じることができなかった。このことから、カチューシャ部分は市販のプラスチック製カチューシャを用いることにした。プロトタイプの外装を決定するためのブレーストーミングで得られた案の中で、花が一番喜びに関連づけやすく、喜びを形容できるのではないかと考えた。このことから、喜びを誇張表現するために花をモチーフにした。花の部分は、小型の振動モーターにつけることを考え、お花紙という薄い色紙で花びらを作り、細いワイヤーを軸に使用した。振動モーターの配線がかさばるため、触角部分のワイヤーと配線をホースに通しまとめた。前期で製作したプロトタイプは図 3.1 に示す。図 3.2 は、実際に装着した図である。

(※文責: 大山愛莉)

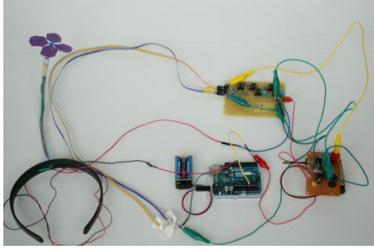


図 3.1 プロトタイプ全体像

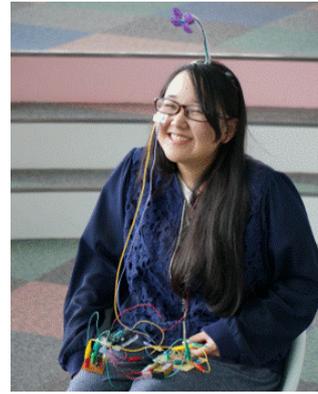


図 3.2 装着図

3.2.2 機構

今回製作したデバイスは、コミュニケーションの場面を想定して製作をしている。このデバイスを装着した2人以上で対話をしている場面では、相手が喜ぶと、相手のデバイスの反応を視覚で認識して、自分の喜びに変換されるという喜びの相互作用を目標に製作した。また、器官の制御として Arduino UNO を用いた。流れは、筋電測定回路から筋電位信号を抽出して、Arduino のアナログ入力端子に入力するといった流れである。入力された信号をあらかじめ個人ごとに設定した閾値を超えると、モータに電流が流れるように条件分岐を用いて制御している。図 3.3 は制御フローチャートである。



図 3.3 制御フローチャート

(※文責: 大塚一生)

3.3 学内中間発表

日時 2018年7月13日(金)15:20~17:30

場所 公立はこだて未来大学 3階体育館前モール

目的 本プロジェクトと本グループの進捗報告と今後への改善点の発見

発表形式

グループ毎に前半後半に分かれ、スライドを用いた発表をした後、プロトタイプの実演を行った。発表時間外は他のプロジェクトの発表の評価を行った。

発表内容

プロジェクト全体の背景とテーマ、筋電位計測回路の説明、グループ毎に行ってきた活動の説明をスライドを示しながら発表し、そのあと、各グループに分かれてグループごとに

作ったプロトタイプの実演を行った。実演終了後の質疑応答で、発表を見て頂いた方々から質問やコメント、アドバイスを頂くことができた。また、発表開始時に配布した評価シートを記入してもらい、終了時に回収した。

評価シートの結果と反省点

評価者には1点から10点の10段階で評価をして頂いた。15人から評価を頂いたが、点数未記入の3人を無効とし、その中でのグループCの平均点は、およそ7.9点であった。また、発表を見て頂いた中からの意見として、喜びを増幅することを目的とするならば、振動だけでなく音も付けると良いのではないかというものがあった。さらに、頭の上の花が回っているだけでは面白くないので段階を踏むと良いという意見もあった。反省点として、去年のデザインコースの卒業研究発表で同じようなアイデアがあったという意見を頂いたので、独自性を見出さなければならぬと考えた。これらを踏まえ我々の評価は4である。その理由は、目的が本プロジェクトの目的と合っており、また、現状の把握についてもよく理解している。さらに、チームワークもよく、発表時の内容が観客に伝わっていたため、表現力も良いと考えた。しかし、今後の計画の具体性に欠けていたため1点マイナスした。

(※文責: 長嶺知佳)

3.3.1 後期の課題設定

中間報告書において以下を課題として挙げていた。

1. インタフェースが相手の喜びを知覚する機能の検討
2. 花が咲く表現の再考
3. 自然な装着感のための小型軽量化
4. 有用性の調査

活動スケジュールを見直し、後期に取り組むべき課題を再定義した。まず、前期までの成果と学内中間発表会で得られた意見から、「研究の新規性」や「有用性」についての根拠が不足していると考えた。したがって、プロトタイプ改良を最小限とし、製作物を定量的に評価することに注力することとした。また、情動伝染の増幅手法として、花の回転による喜びの誇張表現がすでに実装されているため、インタフェース同士で何らかの通信を行う機能は必要ではないとして「1. インタフェースが相手の喜びを知覚する機能の検討」を課題から除外した。よって、後期は以下の2点に取り組むこととした。

- 計測・制御機器の小型軽量化
- 評価実験

(※文責: 笹森なおみ)

3.4 後期プロトタイピング

3.4.1 後期プロトタイプ

後期プロトタイプの外装は、前期の課題として花の強度が弱く、マスキングテープで固定していたため、花の部分がもろく、壊れやすいということがあげられていたことから花びらの部分をレジ

Body expansion interface using electromyogram - ASHURA -

ンでコーティングするとともに接着させた。また、レジンをを用いることによって花びらの重量が増えたため、振動モータの錘を外し花の部分の錘の代わりとすることにした。機構は、前期プロトタイプから大まかな仕組みは変わっていない。筋電測定回路から筋電位信号を抽出して、Arduinoのアナログ入力端子に入力し、入力された信号を設定した閾値を超えると、モータに電流が流れるように制御しているというものである。そして、本製作物の名称を「咲 (emi)」とした。後期で製作したプロトタイプは図 3.4 に示す。図 3.5 は、実際に装着した図である。

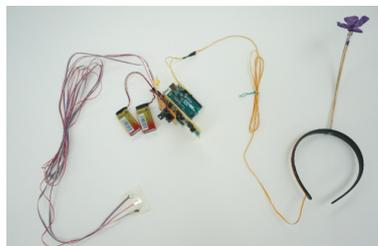


図 3.4 プロトタイプ全体像



図 3.5 装着図

(※文責: 大山愛莉)

3.4.2 課題

後期プロトタイプの課題として、電極の貼り方や計測・制御機器の小型化が挙げられる。電極については、テープで貼り付けているだけなので接触が不安定で剥がれてしまう場合がある。そのため、安定して計測できる方法について検討しなければならない。計測・制御機器については、銅板にして装着感の向上を目指す必要がある。

(※文責: 長嶺知佳)

3.5 有用性の調査

3.5.1 利用場面の検討

「咲 (emi)」を装着した際、どのような使用状況が見込めるかをグループメンバーと検討を行った。2018年10月に公立はこだて未来大学情報デザインコース講義、情報デザイン2のインタラクション作品の発表に安井先生に招かれ、「咲 (emi)」を装着した状態でコミュニケーションを行った。「咲 (emi)」を装着した人としていない人のコミュニケーションでは、装着者が笑顔になる(花が回転する)とそれを見た人が笑顔になっている場面が多々見受けられた。これは、グループ内で行っていた予想と合致する現象であり、「咲 (emi)」は周辺環境に関わらず笑顔を誘発させる効果があることが分かった。図 3.6 は、コミュニケーションをとっている様子である。

(※文責: 大塚一生)



図 3.6 コミュニケーションの様子

3.5.2 評価方法の検討

インタフェースの評価指標として、定量的または定性的なもの、主観的または客観的なものがある。喜びの増幅効果を調べるために、アンケートによる定量的な主観的指標と、大頬骨筋の筋活動時間の記録による定量的な客観的指標を用いることとした。また、2 者間対話環境を利用場面とした場合、なんらかの協同作業を行う課題が喜びを生み出しやすいのではないかと考え LEGO 課題を設定した。インタフェースによる喜びの誇張知覚・誇張表現が、装着車の喜び増幅に効果的かどうかについて、「花の回転」、「振動」、「インタフェースの装着」の有無による「咲 (emi)」装着パターンを 4 つ設定して検証することとした。喜びの感情表出である笑顔の表出時間を喜びの尺度として定義した。笑顔の表出時間は、大頬骨筋の筋活動時間である。

分析は、先に述べたように 4 条件で比較するため、分散分析で全体に有意差が認められることを確認した後、多重比較を行い有意差がみられる条件間を特定する手順で行う。統計解析には『js-star』や『Microsoft Excel』等が用いられるが、我々はデータの可視化が容易である「R」言語で分析を行うこととした。

実験結果は外部発表にて発表する予定であったため、学内の倫理委員会に倫理及び安全の観点について実験内容の審議を申請し、実験許可を得た。

実施した評価実験の詳細については 4 章で述べる。

(※文責: 笹森なおみ)

3.6 学内成果発表

日時 2018 年 12 月 7 日 (金)15:20~17:30

場所 公立はこだて未来大学 3 階体育館前モール

目的 本グループの製作したインタフェースについての評価やアドバイスを得る。

発表形式

グループ毎に前半後半に分かれ、スライドを中心とした発表を行った。発表時間外は他のプロジェクトの発表の評価を行った。

発表内容

プロジェクト全体の背景とテーマ、筋電位計測回路の説明、グループ毎に行ってきた活動

の説明をスライドを示しながら発表し、そのあと、各グループに分かれてグループごとに作ったプロトタイプの実演を行った。実演終了後の質疑応答で、発表を見て頂いた方々から質問やコメント、アドバイスを得ることができた。また、発表開始時に配布した評価シートを記入してもらい、終了時に回収した。

評価シートの結果と反省点

評価者には 1 点から 10 点の 10 段階で評価をして頂いた。17 人から評価を頂いたが、点数未記入の 3 人を無効とし、その中でのグループ C の平均点は、およそ 9.8 点であった。また、発表を見て頂いた中からの意見として、他の表情の数値と笑顔の数値を比較して精度を上げるべきという意見もあった。また、評価実験に関して再実験を行ってほしいという意見もあった。反省点として、機材が見えないように装着できれば良いという意見を頂いたので、装着の仕方について再検討しなければならないと考えた。これらを踏まえ我々の評価は 4 である。その理由は、目的が本プロジェクトの目的と合っており、また、現状の把握についてもよく理解している。さらに、チームワークもよく、発表時の内容が観客に伝わっていたため、表現力も良いと考えた。しかし、今後の計画の具体性に欠けていたため 1 点マイナスした。

(※文責: 長嶺知佳)

3.7 外部発表

2018 年 12 月 21 日、22 日に公立ほこだて未来大学で行われた「第 50 回 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会 研究発表会」にて、『喜 (ヨロコ) ミュニケーション支援 EMG インタフェース ~咲 (emi)~』という題で萌芽的発表として発表した。2 者間対話環境において両者の笑顔表出を人為的に増幅させるインタフェース『咲 (emi)』を提案し、11 月に実施した後期プロトタイプの評価実験についてまとめた論文を発表した。

また、2019 年 2 月 18 日に秋葉原 UDX で行われるプロジェクト学習課題発表会に参加する予定である。

(※文責: 笹森なおみ)

第 4 章 評価実験

4.1 予備実験

評価実験の本実験を行う前に、我々の考えた課題内容や環境が適しているかを判断するために予備実験を行った。被験者を集め、一連の流れを通して実験を実施した。

我々の考えた実験環境では、被験者を 90 度に座らせて課題を行わせるものであった。しかし、2 者間対話環境において「咲 (emi)」が両者の喜びを増幅させるかどうかを調べる目的に対し、被験者が「咲 (emi)」を見ずに課題を行っていたため、被験者を 90 度に座らせるのは適していないと考えた。その後グループ内で実験環境を再考し、本実験を行った。

(※文責: 長嶺知佳)

4.2 本実験

以下の内容は、「第 50 回 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会」に投稿した筆者らの論文を基にしている。

(※文責: 笹森なおみ)

4.2.1 目的

今回の評価実験では、2 者間対話環境において、「咲 (emi)」を利用することで、両者の喜びが増幅させることができるかを検証することを目的としている。私たちは、「咲 (emi)」によって喜びの感情表出である笑顔の表出時間の変化を実験で調査することで、「咲 (emi)」が 2 者間対話環境において喜びを増幅させるかを検証できると考えた。

(※文責: 大山愛莉)

4.2.2 方法

今回の実験の被験者は、大学生 22 名の男女 (18~22 歳) であった。図 4.1 のように被験者は 2 人 1 組で向かい合わせに座り、協力して与えられたテーマに沿った造形物を LEGO ブロックで製作する課題を 3 回実施した。その際 1 施行 5 分間で、下記の 4 パターンの条件群から 3 条件を選択し、カウンターバランスを考慮してそれぞれ設定した。

- (a) 振動モータおよび花が回転するインタフェースを装着する。
- (b) 振動モータは回転するが、花は回転しないインタフェースを装着する。
- (c) 振動モータおよび花は回転しないインタフェースを装着する。
- (d) インタフェースを装着しない。

Body expansion interface using electromyogram - ASHURA -

すべての条件において課題中、被験者の頬に電極を張り、大頬骨筋の筋収縮を記録した。大頬骨筋の筋収縮時間を喜びの尺度として分析を行った。図 4.2 は、4 パターンの条件群である。



図 4.1 実験の様子

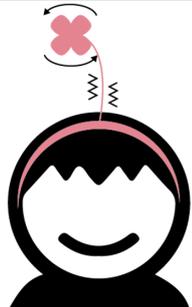
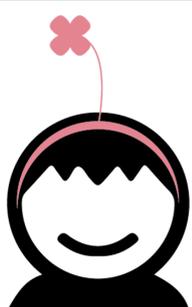
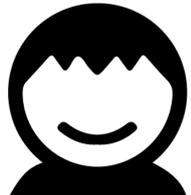
(a)	(b)	(c)	(d)
			
花回転あり	花回転なし	花回転なし	インタフェースを装着しない
振動あり	振動あり	振動なし	

図 4.2 4 パターンの条件群

(※文責: 大山愛莉)

4.2.3 実験手続き

今回の評価実験は以下のような手順で行った。

1. 実験は個別に個室で実施する。
2. 3 試行分の条件はあらかじめカウンターバランスを考慮し決定しておく。
3. 被験者に実験の目的と実験方法を説明する。その際、金属アレルギーの検査のため腕に電極を貼ってもらう。
4. 電極を頬に装着してもらい、被験者の筋電位の値の高低に合わせて計測器の可変抵抗で笑顔の時に基準値を超えるように調整を行う。
5. あらかじめ決めておいた条件のインタフェースを装着してもらう。
6. 実験者は被験者に課題内容を説明する。
7. 実験者のタイマー開始の合図で被験者は課題を始める。
8. 実験者は5分が経過したら課題終了の合図をする。
9. 5～7を1施行とし、異なるパターンで3回行う。

4.2.4 結果

実験で得られた被験者の大頰骨筋の筋活動時間を分析した。モーションアーチファクトや電極の圧着不足等によるノイズがみられたデータは除いた。この結果、条件 (a) では 16, 条件 (b) は 19, 条件 (c) では 13, 条件 (d) では 13 のデータが得られた。

各条件における、実験中の筋活動時間の平均値を以下に示す (図 4.3)。条件 (a) が最も平均値が高く、条件 (d) が最も平均値が低かった。一元配置分散分析の結果、主効果が認められた ($F(3, 57) = 4.925, p < .05$)。

一元配置分散分析に主効果が認められたことから、多重比較 (無補正) を実施した。その結果、(a) 花回転あり振動あり条件群と (d) インタフェースを装着しない条件群に有意差が認められた ($p < .05$)。それ以外の条件間では有意差はみられなかった (表 4.1)。

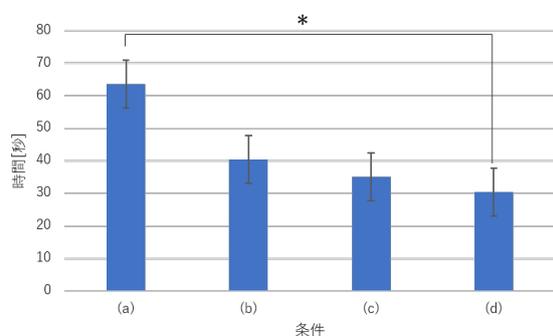


図 4.3 課題中の笑顔表出時間の平均値

表 4.1 課題中の笑顔表出時間の平均値

比較群	多重比較における p 値
(a) - (b)	.101
(a) - (c)	.067
(a) - (d)	.034
(b) - (c)	.713
(b) - (d)	.497
(c) - (d)	.775

(※文責: 笹森なおみ)

4.2.5 考察

分析の結果、条件 (a) 振動モータおよび花が回転するインタフェースを装着する。条件 (d) インタフェースを装着しない。の 2 条件間で有意差がみられたため、本インタフェースは対話の場面で笑顔の増幅に有用である可能性を示唆された。

しかしながら、それ以外の条件間では有意な差はみられなかったため、振動による体性感覚知覚が情動の身体知覚に効果的であるとは言えない。原因として、一回の課題が 5 分、実験時間が 30 分程度と短時間であったため、頭皮に伝わる振動と自身の喜びの知覚とが紐づけられるのに十分な時間でなかったことが考えられる。

また、条件 (b) 振動モータは回転するが花は回転しないインタフェースを装着する。と、条件 (c) 振動モータおよび花は回転しないインタフェースを装着する。を、条件 (d) とそれぞれ比較した際に有意差がみられなかったことから、インタフェースの形状そのものが影響しているわけではなく、花の回転という動作によって情動伝染が起こったことが示唆された。

さらに図 4.3 より、条件 (a) の標準偏差が他の条件よりも大きいことから、分散が大きいことが分かる。このことから、本インタフェースの効果の表れやすさには個人差があると予想できる。

Body expansion interface using electromyogram - ASHURA -

よって、個人の性格特性等について考慮する必要がある。

被験者からは、「LEGO ブロックで作品を作るのに夢中で相手の顔をあまり見なかった」という意見があった。これらの報告から、向かい合っの LEGO ブロック課題が 2 者間対話環境として適切でなかった可能性がある。他には、「電極を顔に貼ることに抵抗がある」、「下を向くとカチューシャがずり落ちてしまう」といった装着感への意見があった。

(※文責: 笹森なおみ)

第 5 章 最終成果物

5.1 最終成果物

5.1.1 「咲 (emi)」の由来

「咲 (emi)」は、花が咲く意味の“咲”と、その姿を見て生まれる笑顔の“笑み”と重なってできた名称である。また、筋電インタフェース“electromyography-interface”の略称である emi の意味も含まれている。

(※文責: 長嶺知佳)

5.1.2 ロゴ

安井先生指導の下、「咲 (emi)」のロゴ案出しを行った。emi の“e”の形を変えて笑っている様子を表現したものや、「咲 (emi)」の全体の文字を使って笑顔を表現したものなど、メンバー全員がそれぞれ考えて様々な案を図 5.1 のように出した。

最終的に、図 5.2 のように「咲 (emi)」という文字の一部を花に変えて、インタフェースの装着している姿を表現したものに決定した。また、「咲 (emi)」は 2 者間対話環境で使用されるので 2 つの花が向き合っている様子を表している。さらに、筋電位を計測するので“咲”と“emi”を繋いだ線を筋電位に見立てた。

ロゴ案が決定した後、安井先生にロゴを製作していただいた。



図 5.1 ロゴ案



図 5.2 決定したロゴ

(※文責: 長嶺知佳)

5.1.3 機構

最終成果物は、評価実験から触角部分の長さが長すぎて視界に入りづらいことなどの改善点が見つかり、触角部分の長さを 200mm から 150mm に変更した。また、軸となるワイヤー部分がなくても振動の感じ方があまり変わらないことから、ワイヤーを外しインタフェース自体の重量を軽減することにした。前後期プロトタイプから大まかな仕組みは変わっていないが、後期では前期で用いた Arduino UNO の代わりに Digispark という小型の Arduino 互換機を用いて器官の制御を

Body expansion interface using electromyogram - ASHURA -

行っている。Digispark に変更したことにより計測・制御機器が小型になり、リュック型のものに計測・制御機器を入れ、背負う形で装着できるようになった。成果物は図 5.3 に示す。図 5.4 は、実際に装着した図である。

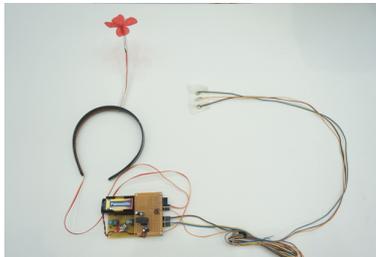


図 5.3 全体像



図 5.4 装着図

(※文責: 大山愛莉)

第 6 章 計測・制御機器

6.1 筋電計測回路

皮膚表面から筋電位を計測するために、事前講義を踏まえて計測回路を自作した。筋電位を扱うには、主に二つの問題がある。一つは信号が微弱なことである。もう一つは、ノイズが大きいことである。これらの問題を解決するために、増幅器やフィルタを用いた。図 6.1 は回路の全体図である。右から、アクティブ電極、差動増幅器、4 次ハイパスフィルタ、非反転増幅器、半波整流回路、積分回路、非反転増幅回路である。以下にそれぞれの詳細を示す。

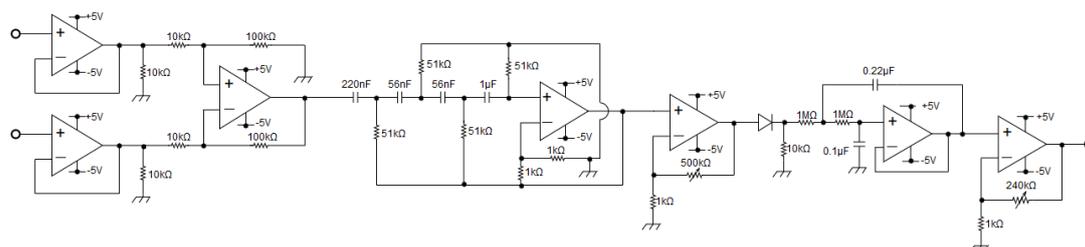


図 6.1 計測回路全体図

(※文責: 笹森なおみ)

6.1.1 アクティブ電極

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。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。配線の揺れるような装着状態でも高精度の計測が可能になる。市場に出回っているものは高価なだが、銀板、オペアンプ、エポキシ系接着材を用いて自作できる。製作時間短縮のため、エポキシ系接着剤を紫外線硬化樹脂に変更した。

(※文責: 笹森なおみ)

6.1.2 導電布

導電布とは、有機繊維の表面に極めて薄い銀をメッキした織物で、繊維の持つ軽さや柔軟性などの特徴と金属の持つ導電性・電磁波シールド性などの特徴を併せ持っている。本製作では前期に基準電位を定め、筋電位を計測する際のノイズを減少させるために導電布を用いたが、現在ある導電布の数が少ないため、評価実験を行う際、電極に変更し、後期はそのまま電極を用いた。

(※文責: 大山愛莉)

6.1.3 差動増幅器

差動増幅器とは、入力された2つの信号の差を増幅して出力するものである。この差動増幅器に使用されている抵抗を誤差0.1%の正確な精密抵抗を用いることによって、計測したときに筋電位と同時に入力されるノイズを取り除くことができた。図6.2は差動増幅器の回路図である。

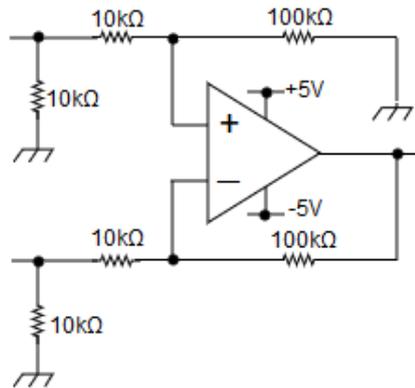


図 6.2 差動増幅器の回路図

(※文責: 大山愛莉)

6.1.4 ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタは、あらかじめ設定したカットオフ周波数よりも高い周波数の信号を通過させることのできるフィルタ回路である。今回製作した筋電位測定回路では、4次のサレンキ型のハイパスフィルタを採用した。サレンキ型のフィルタは固定抵抗器2個、コンデンサ2個、オペアンプ1個で構成されている。筋電位測定回路のハイパスフィルタの役割はアクティブ電極と皮膚の物理的なずれで生じるノイズ、モーションアーティファクトをカットしている。図6.3はハイパスフィルタの回路図である。

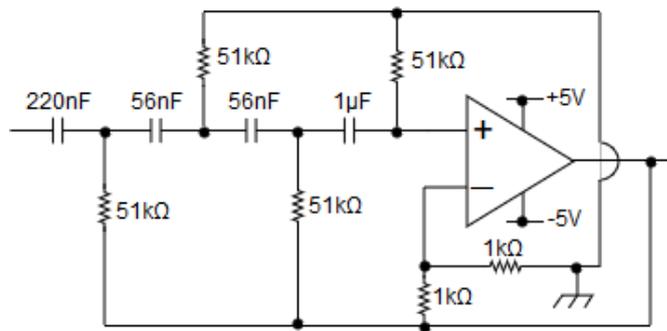


図 6.3 ハイパスフィルタの回路図

(※文責: 大塚一生)

6.1.5 非反転増幅器

非反転増幅回路とは、入力信号を反転せずに同じ極性のまま増幅し、出力する回路のことである。今回は、回路に可変抵抗を用いることで入力信号の増幅率を調整することを可能にした。このことにより、筋電計測者による筋電位の個人差を少なくすることができた。図 6.4 は非反転増幅器の回路図である。

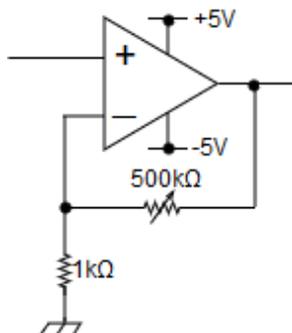


図 6.4 非反転増幅器の回路図

(※文責: 長嶺知佳)

6.1.6 半波整流回路

半波整流回路は、交流電流においてマイナスの電流を取り除いて、プラスの電流だけを流すことで整流を行う回路のことである。今回は、ダイオード 1 つを使用することで半波整流回路を構成した。

(※文責: 長嶺知佳)

6.1.7 積分回路

積分回路は、入力を時間積分した値を出力する回路である。また、一定の周波数より低い周波数を通過させるが、高い周波数を減衰させて通過させないという特性をもつため、ローパスフィルタともいう。この回路を用いると、時刻ごとに出力された変化の大きい波形を単位時間ごとに出力された平らな波形に変換することができる。図 6.5 は積分回路の回路図である。

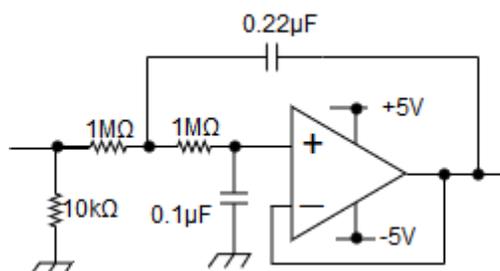


図 6.5 積分回路の回路図

6.1.8 電源装置

電源装置は筋電位測定回路を動作させるための回路であり、 $\pm 5V$ を出力する装置である。今回は $+9V$ の角型電池を電源に持つ回路を設計した。回路構成は、正電圧の降圧 3 端子レギュレータ、負電圧の降圧 3 端子レギュレータ、コンデンサなどで構成されている。

(※文責: 大塚一生)

6.2 制御回路

6.2.1 Arduino UNO

Arduino は AVR マイコン及び入出力ポートから構成された基板と、C 言語に似た Arduino 言語のプログラムで構成されているシステムである。今回は、その中の一つである“Arduino UNO”の基板を用いた。筋電測定回路から出力されたアナログ信号を Arduino 内で A/D 変換 (Analog to Digital Conversion) して、モータの制御に用いている。図 6.6 が実際の配線イメージである。

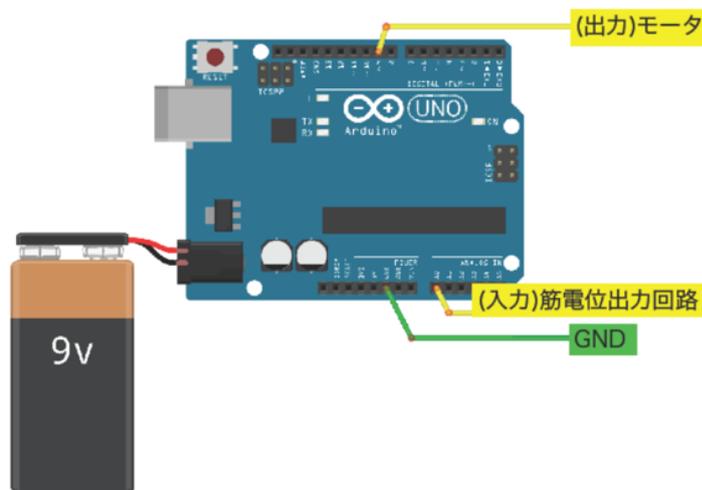


図 6.6 Arduino の配線

(※文責: 大塚一生)

6.2.2 Digispark

Digispark は Arduino ベースの小型・軽量・安価の互換機で、2012 年にクラウドファンディングコミュニティの Kickstarter で Erik Kettenburg 氏が開発を行ったマイコンである。Arduino UNO より少ない 6 つの入出力ポートを備えており、製作中のデバイスの条件にも適合するため本マイコンを用いた。制御は同じく、Digispark 内で A/D 変換 (Analog to Digital Conversion) して、モータの制御に用いている。図 6.7 は、Digispark と Arduino UNO を比較した図である。



図 6.7 Digispark と Arduino UNO

(※文責: 大塚一生)

6.3 装着部分

6.3.1 カチューシャ部分

頭から花が生えているかのように見せるため、頭部の固定に樹脂製のカチューシャを用いた。カチューシャで固定することにより、頭皮で振動を知覚する機能を実装できた。

(※文責: 笹森なおみ)

6.3.2 リュック部分

リュック部分は、黒いフェルトと紐を用いて製作した。長辺 340mm, 短辺 120mm のフェルトで巾着を作る。底辺にひもを通すために穴をあけて置き、紐を通した後、再度縫い付ける。縦 140 mm, 横 100 mm, 奥行き 40 mm の箱を製作し、箱に計測・制御機器を入れリュックに収納した。箱は計測・制御機器の制御部分がまれに発熱に非常に熱い状態になってしまうことから、その熱を装着者に感じさせないためや布に計測・制御機器の部品が引っかかることを防止するために用いている。

(※文責: 大山愛莉)

第 7 章 各人の担当課題及び解決過程 (各月)

各人の担当課題の概要と、プロジェクト内における役割・位置づけを記述する。

7.1 大山愛莉の活動内容

- 5月 感情を軸に目標を決定するためブレインストーミングを行った。担当教員による筋肉の仕組みと筋電計測回路についての講義とスケッチの講義を受けた。
- 6月 担当教員と一緒に買い出しに行き、様々な素材でプロトタイプを製作した。担当教員に筋電計測回路についての詳しい説明をしていただき、担当教員や研究室の方々に協力していただきながら、はんだ付けの技術の習得に動んだ。また、改めてどんな外装にしていけるのかアイデアを出し進む方法を確定した。完成したプロトタイプのモーターの制御に使用する Arduino UNO のプログラムを作成した。
- 7月 筋電計測回路を通しプロトタイプが動くことを確認し、基準値を設定した。安井先生に協力をしていただき、ポスターに使用する写真の撮影を行った。その後、中間発表の原稿や想定される質問とその回答を考え、学内での中間発表の練習をした。そして、学内での中間発表に挑んだ。
- 8月 中間発表から得られた意見や今までに出ていた課題からプロトタイプの改良を進めた。また、後期のスケジュールを立てた。
- 9月 チャットや通話で、評価実験の内容の案出しなど後期の課題について話し合った。また、プロトタイプの改良を進めた。
- 10月 9月に引き続き、評価実験の方法についての検討を行った。そして、プロトタイプの改良を進め、評価実験に使うためのインタフェースと電極を製作した。また、評価実験での筋電位の記録方法を決定し、記録方法のマニュアルの作成と評価実験用にプログラムの変更を行った。
- 11月 中学生に向けてプロジェクトについての紹介を行った。また、評価実験を実施した。この評価実験で出た課題をもとにプロトタイプの改良を行った。さらに、本製作物の名称を決定し、ロゴの案を出し合った。そして、学内成果発表会に向けてポスターやスライドの製作を行った。
- 12月 学内成果発表会の資料を製作し、そのために写真の撮影を行った。その後、学内での成果発表会に向けて発表原稿の製作や発表練習を行い、発表に挑んだ。

(※文責: 大山愛莉)

7.2 長嶺知佳の活動内容

- 5月 グループ内の目的を決定するために、感情表現する身体拡張についてのブレインストーミングを行った。また、櫻沢先生による筋電位計測の仕組みと筋電計測回路の仕組みについて講義を受けた。さらに安井先生によるスケッチの講義を受けた。
- 6月 筋電計測回路をブレッドボード上で構成し、実際に筋電位を測った。また、櫻沢先生の教え

を受けて、ハンダ付けしながら電極を製作した。また、目的の再検討をするために、感情や器官のブレインストーミングを行った。そして決定した目的に向けてプロトタイプを製作した。さらに、プリンター講習に行き、A1でポスターを印刷する方法を学んだ。

- 7月 ユニバーサル基板にハンダ付けした筋電計測回路と繋げて、自分の大頬骨筋の筋電位から頭の上の花が動くことを確認した。そして、完成したプロトタイプを実際に装着して、安井先生の指示のもとでポスターに載せる写真撮影を行った。さらに、中間発表に実演で話す内容を考え、想定される質問についても答えられるように練習した。その後、学内で中間発表をした。
- 8月・9月 製作したインタフェースの効果を確かめるために評価実験を後期に行うことに決めた。また、評価実験方法について検討するために、通話アプリケーションを用いて遠隔で話し合いを行った。
- 10月 8月・9月の話し合いで大まかに決めた評価実験内容をより詳細に決定した。その後、被験者を集めて評価実験を行った。また、評価実験で用いるインタフェースを条件別に製作することにしたので、ハンダ付けしながら電極を多めに作った。さらに、インタフェースの花の素材を前期から変更し、お花紙にUVレジンを塗り、強度を高くした。
- 11月 評価実験を10月に引き続き行った。また、本学を見学する赤川中学校の生徒に対し、本プロジェクトの発表をするための資料作りを行った。さらに、インタフェースの呼び名を話し合いで決定し、ロゴの案出しまで行った。11下旬には、最終発表で用いる写真の撮影会を行った。
- 12月 最終発表用ポスターの写真撮影を安井先生の指導の下に行った。また、最終発表に実演で話す内容を考え、プロジェクト全体で本番同様の流れを練習した。その後、学内で最終発表を行った。

(※文責: 長嶺知佳)

7.3 笹森なおみの活動内容

- 5月 毎回のプロジェクト学習時の議事録を担当した。また、感情や体性感覚に関する文献を調査した。ブレッドボードで計測回路を設計しながら、電気回路の知識を身に着けた。同時にArduinoでプロトタイピングを行った。
- 6月 グループ報告書の構成を決めた。また、必要な物品を選定し、随時教員に申告した。
- 7月 中間発表会に向けてポスター・スライドと発表原稿を作成した。
- 8月 得られたフィードバックを考慮して、プロトタイプ改良案を考えたり、夏季休業以降の活動計画を立てたりした。
- 9月 各自の都合が合わず集まれなかったため、テキストや通話で後期の課題について議論した。
- 10月 評価実験の方法について検討し、統計解析の手法と統計分析向け言語である「R」について学習した。
- 11月 大学に訪問した市内中学生に向けて活動を紹介した。また、評価実験を行い、Rでデータ分析を行った。実験結果をまとめ、論文を執筆した。
- 12月 学内最終発表会のために写真撮影や資料作りなどを行った。また、「第50回 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会 研究発表会」にて発表した。最終報告書を執筆した。

7.4 大塚一生の活動内容

- 5月 感情について調べ何の感情を表現するのかを検討し、感情を表すための対象の器官をグループ内でブレーストーミングで検討した。また、先生方による表面筋電位についての講義や、スケッチの講義を受けた。
- 6月 5月に受けた講義内容をもとに、筋電測定回路をブレッドボードで製作し、筋電位を実際に測定した。筋電測定のための電極も自分たちで自作した。筋電測定回路をユニバーサル基板上で再製作した。また、体性感覚について針金や結束バンドを使って実験をした。さらに、グループ内で製作物の方向性を再検討し、プロトタイプ製作を開始した。
- 7月 完成したプロトタイプと筋電測定回路を接続して、実際に自分の筋電位で花を回転させることができた。また、プロトタイプ中間発表に向けて、発表資料の写真やスライドの準備を行い、原稿を製作した。写真撮影では、安井先生監修のもと写真構成などについて学ぶことができた。
- 8月 中間発表を終え、頂いたフィードバックや前期プロトタイプの課題点を元に後期の活動計画を検討した。また、プロジェクト学習中間報告書の執筆も行った。
- 9月 筋電位測定回路、電源回路を小型にするためにプリント基板を製作するための調査や CAD ソフトの EAGLE で設計を開始した。Arduino UNO に代替できるようなマイコンを選定した。
- 10月 デバイスの実用性を調査するための評価実験の手法を検討した。前期でそれぞれ独立していた制御・計測基板をひとまず一体化させ、実験を行いやすいような工夫を施した。また、導電布に代替できるようなグラウンド電極を製作し、アクティブ電極も小型のものを製作した。
- 11月 デバイスの名前を検討し、「咲 (emi)」に決定した。また、安井先生と連絡を取り合いロゴの作成や各報告の場面で使用する図解イメージの作成方法のノウハウを培った。
- 12月 プロジェクト学習最終発表のための成果物の写真撮影やスライドの準備を行い、原稿を製作した。さらに、1年を通じた活動内容を振り返り「咲 (emi)」の製作プロセスを1つのスライドとして形に残した。

(※文責: 大塚一生)

第 8 章 全体活動まとめおよび今後の展望

8.1 前期活動のまとめ

前期では、感情を軸として活動を開始した。そして、本グループは、筋電インタフェースを装着することで、対話における喜びの相互作用を促し、両者の喜びを増幅させることを目的とした。そのことから、喜びの表情である笑顔を表面筋電位の計測により検出し、検出された際に喜びの誇張表現を行い、さらにそれを自らの体性感覚によって知覚することができるプロトタイプの製作を目標として設定した。プロトタイプの外装を決定するためにブレーストーミングを2度にわたり行い、触角型で花をモチーフにすることを決定した。また、感情についての理解を深めるため、感情に関する本の輪読会や笑顔と表情についての文献調査を行った。そして、大頬骨筋の筋電位を計測することで、笑った時に頭部に装着している花が回るプロトタイプを製作した。プロトタイプ製作と並行して、筋電計測回路の製作に取り組んだ。そして、学内での中間発表で前期の活動とプロトタイプを発表した。

(※文責: 大山愛莉)

8.2 後期活動のまとめ

後期では、「咲 (emi)」の改良と評価を行った。まず、配線の工夫や電池の数を減らす工夫等を行い、計測・制御機器の小型軽量化を行った。また、袋にまとめ背中に背負うことで装着できるようにした。後期プロトタイプでは、花の素材や取り付け方法なども変更してインタフェースの耐久性を高めたり、少ない材料と時間で製作可能にしたりする等の細かな改良を行ってきた。製作作業と並行して、評価実験の計画を立て、「咲 (emi)」の使用による2者間対話環境での喜び増幅効果について実験を行って検証した。実験の結果、装着者の喜びが表情のみの場合よりも増幅して感じられることが明らかとなった。そして、学内成果発表会にて今までの活動と成果物を発表した。また、「第50回 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会 研究発表会」において萌芽的発表として研究内容をまとめ発表した。

(※文責: 笹森なおみ)

8.3 今後の展望

カチューシャ型のデバイス1つに全てを収めた咲 (emi) を制作し、本格的に普段使いできるような形に改良したいと考えている。これには、さらなる回路の小型・軽量化や外装のデザインの再考、筋電位測定のエレクトロードをナチュラルに固定することも求められる。さらに、最終発表のフィードバックでいただいた意見のように、笑顔時に筋電位が表出する表情筋の理解を外部の文献に加え、自分たちで実験を行いたい。実験では、笑顔時に筋電位が発生する筋肉が笑顔以外の表情で筋電位を発生させていないかを検証する。そのデータを加えてより信頼性の高い根拠を作ることも大切になっている。

(※文責: 大塚一生)

参考文献

鈴木直人（2008）朝倉心理学講座 10 感情心理学．朝倉書店