

公立はこだて未来大学 2017 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書

Future University-Hakodate 2017 System Information Science Practice  
Group Report

プロジェクト名

身体拡張筋電インタフェース - ASHURA -

**Project Name**

Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

グループ名

グループ A

**Group Name**

Group A

プロジェクト番号/Project No.

22

プロジェクトリーダー/Project Leader

1015076 小坂明日香 Asuka Koita

グループリーダー/Group Leader

1015004 堺千里 Senri Sakai

グループメンバ/Group Member

1015004 堺千里 Senri Sakai

1015239 天野紗衣 Sae Amano

1015172 柳瀬怜大 Ryouta Yanase

1015228 郡司貴明 Takaaki Gunji

1015163 田中蒼志 Soushi Tanaka

1014214 金村奈津美 Natsumi Kanemura

指導教員

櫻沢繁 高木清二 辻義人

**Advisor**

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Yoshihito Tsuji

提出日

2018 年 1 月 19 日

**Date of Submission**

January 19, 2018

## 概要

古代ギリシャの時代から伝わるギリシャ神話の一節「イカロスの翼」にも登場するように、人間が鳥のように飛行する仕組みは非常に古くから考えられてきた。もし我々が、翼という新たな身体部位を手に入れ、自らの意思で動かすことができたならば、我々は新たな身体感覚を獲得することができるだろうか。

私たち人間は、筋肉の収縮によって身体を動かしている。そこで我々は、筋肉が収縮する際に発生する筋電位を用いて、自らの意思で動かすことのできる翼を制作した。電位の値を計測する筋電センサをそれぞれ右肩と左肩に張り付け、Arduinoによって計測した値を処理した。筋肉に入れる力の強弱によって値を変化させることが可能であり、値の大きさにサーボモータの角度を変化させ、翼の開閉や羽ばたきを行った。翼の骨格にはしなりやすく丈夫な炭素繊維強化プラスチックを使用し、翼の膜には蛇腹状に折った画用紙を用いた。これによって、反作用を得やすい構造を作ることができた。実験では、制作物を装着し、身体を揺すったり走り回ったりした。実験の結果、今まで気づかなかった空気存在に気づいたり、風を読みながら走るなどの行動の変容が見られた。ある事例では、肩に力を入れているつもりがないのに翼が動いてしまうという場面が見られた。これらのことから、翼を装着することによって、新たな行動が促されたり、筋肉の動きを意識するきっかけを作ることが可能になることがわかった。また、翼を長時間装着することで、さらなる行動の変化が期待される。

キーワード 筋電, 翼, 新たな身体感覚, Arduino, 自分の意思

(文責: 堺千里)

# Abstract

As to appear in "Wings of Icarus" of Greek mythology handed down to present day from ancient Greece suggested, mechanism for a human flying like a bird has been imaged from ancient times. If we get wings as new body parts and can handle it with our own intention, is it possible that we can get new physical sensations. We can move our own body by contracting muscles. Therefore, we produced the wings we could move for own intention using the myoelectric potential generated when muscles contract. We pasted the myoelectric potential sensors to measure a value of the myoelectric potential on the right shoulder and the left shoulder each and handled the value we measured by Arduino. The value of the myoelectric potential changes depending on the strength of the power of muscle contraction and Arduino changes the angle of the servo motor depending on the value of the myoelectric potential. We implemented opening and shutting and flap of the wing using the characteristics and technique mentioned above. Frames of wings were made by carbon fiber reinforced plastics having easily bend and durable. Blades of wings is made by paper that folding like bellows. Because of these, we were able to make construction having easy to obtain reaction. By the experiment, we swang a body and ran around wearing the production thing. As a result of experiment, we noticed existence of the atmosphere we have not been aware so far and transformation of the action such as running while feeling wind was seen. The scene which a wing moved though I did not intend to lay emphasis on a shoulder in a case was seen. Because of these, it was found that wearing wings makes it possible to promote new actions and create opportunities to be conscious of muscle movements. Moreover, by wearing the wing for a long time, further behavior changes are expected.

**Keyword** myogenic potential, wings, new physical sensations, Arduino, own intention

(文責: 郡司貴明)

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	背景 . . . . .	1
1.2	目的 . . . . .	1
1.3	従来例 . . . . .	2
<b>第 2 章</b>	<b>プロジェクト学習概要</b>	<b>3</b>
2.1	問題の設定 . . . . .	3
2.2	課題の設定 . . . . .	3
2.2.1	関連講義 . . . . .	5
2.2.2	使用技術 . . . . .	6
2.2.3	新規習得技術 . . . . .	6
2.3	課題の割り当て . . . . .	6
2.4	計測機器 . . . . .	7
2.4.1	電極 . . . . .	7
2.4.2	導電布 . . . . .	7
2.5	筋電計測回路 . . . . .	7
2.5.1	差動アンプ . . . . .	7
2.5.2	ハイパスフィルタ . . . . .	8
2.5.3	非反転増幅回路 . . . . .	8
2.5.4	半波整流回路 . . . . .	8
2.5.5	ローパスフィルタ . . . . .	8
2.5.6	電源装置 . . . . .	8
2.6	制御回路 . . . . .	9
2.6.1	Arduino . . . . .	9
2.6.2	ICS 変換基板 . . . . .	9
2.6.3	制御プログラム . . . . .	9
2.7	外装 . . . . .	9
2.7.1	サーボモータ . . . . .	9
2.7.2	開閉 . . . . .	10
2.7.3	羽ばたき . . . . .	10
2.7.4	羽 . . . . .	10
2.7.5	装着 . . . . .	10
2.7.6	レーザーカッター . . . . .	11
2.7.7	Adobe Illustrator . . . . .	11
<b>第 3 章</b>	<b>課題解決のプロセスの概要</b>	<b>12</b>
3.1	前期課題解決の概要 . . . . .	12
3.2	後期課題解決の概要 . . . . .	13

<b>第 4 章</b>	<b>課題解決のプロセスの詳細</b>	<b>14</b>
4.1	各人の課題の概要とプロジェクト内における位置付け	14
4.1.1	堺千里	14
4.1.2	天野紗衣	15
4.1.3	柳瀬怜大	15
4.1.4	郡司貴明	16
4.1.5	田中蒼志	17
4.1.6	金村奈津美	18
4.2	担当課題と他の課題の連携内容	18
4.2.1	堺千里	18
4.2.2	天野紗衣	18
4.2.3	柳瀬怜大	19
4.2.4	郡司貴明	19
4.2.5	田中蒼志	19
4.2.6	金村奈津美	19
<b>第 5 章</b>	<b>実験</b>	<b>20</b>
5.1	プロトタイプによる実験	20
5.2	最終成果物による実験	22
<b>第 6 章</b>	<b>結果</b>	<b>24</b>
6.1	プロジェクトの結果	24
6.2	制作物の使用方法	24
<b>第 7 章</b>	<b>評価・考察</b>	<b>26</b>
7.1	プロジェクトの評価	26
7.1.1	前期の評価	26
7.1.2	後期の評価	26
7.2	担当分担課題の評価	27
7.2.1	堺千里	27
7.2.2	天野紗衣	28
7.2.3	柳瀬怜大	30
7.2.4	郡司貴明	31
7.2.5	田中蒼志	33
7.2.6	金村奈津美	34
7.3	今後の課題と展望	35
	<b>参考文献</b>	<b>36</b>

# 第 1 章 はじめに

## 1.1 背景

もし我々が背中の翼を、自らの力で動かすことができれば、我々の身体感覚はどのように変化するだろうか。人間は、自分たちにはない大きな翼を持った鳥の姿に憧れを抱き、翼の探求を続けてきた。古代ギリシャの時代から伝わるギリシャ神話の一節「イカロスの翼」にも登場するように、人間が鳥のように飛行する仕組みは非常に古くから考えられてきた。羽ばたき飛行装置については、レオナルド・ダ・ヴィンチが検討を行なっている。その後も、羽ばたき飛行のメカニズムの解明や流体解析の分野での研究が進められてきた [1]。

現在、我々は航空機によって空中を移動したり、バーチャルリアリティ (以下 VR) によって、空を飛ぶ感覚を味わうことができる。しかし、鳥のように翼を持ち、それを自らの力によって動かすというものは実現されていない。進化の過程から考えると、鳥の翼というのは、人間でいうと腕に相当する部位であるが、鳥の翼と人間の腕では、使われ方や動かした時の感覚に大きな違いがあると考えられる。そこで我々は、身体の力で動かす翼を制作し、新たな感覚を獲得することを試みた。

(文責: 堺千里)

## 1.2 目的

本グループの目的は、外部から身体に取り付けた翼を自分の意思で自在に動かすことで、新たな身体感覚を得ることと、その活用について検証することであった。鳥の翼は、飛行する以外にも、威嚇、求愛、体温調整など様々な役割がある。そのような翼を新たな身体部位として手に入れた時に、我々はどのような感覚を得て、どのような活用ができるだろうか。

従来の身体拡張研究においては、利用者の動きをセンサで検知し、その動きと連動して身体に取り付けた機械が動くものが多い。取り付けた部分だけを第三の腕のように操作することはできなかった。そこで我々は、人間が筋の収縮によって身体を動かしていることに着目した。筋の収縮によって生じる筋電位を用いることで、外部から取り付けたものを、まるで自分の身体の一部のように操るといった感覚が得られるのではないかと考えた。その中でも、背中に翼を取り付けた時に、翼の付け根の位置に近く、身体の筋肉の中でも比較的大きな僧帽筋の電位を使用することを試みた。僧帽筋は肩甲骨周りを覆う筋肉であり、我々が持つ筋肉の中でも比較的大きな部位である。その一方で、この筋肉を意識的に動かす機会は多くない。翼を動かすことで、自然に僧帽筋を動かすことができれば、様々な健康効果が得られるのではないかと考える。

現段階で考える新たな身体感覚の活用として、仮想空間との融合が挙げられる。近年、VR における研究開発が進められており、人間は仮想空間で新たな体験を得ることができる。その一例として、慶應義塾大学大学院の早川らによる飛行型トレイグジスタンスシステム [2] がある。このシステムは、飛行型トレイグジスタンスロボットに取り付けられた全天球カメラで撮影した映像を、体験者が装着したヘッドマウントディスプレイに送信する。これにより体験者は、空を自由に飛んでいるかのような感覚を得ることができる。この技術と、翼を動かす感覚を融合させることにより、新たなエンターテインメントの可能性を検討することができる。また、雄のクジャクは求愛時

に羽を広げる。このように、羽を広げることで自身をアピールしたり、コミュニケーションをとったりすることができるのではないかと考える。

このほかにも、舞台における演出装置としてなど、様々な場面での活用の可能性がある。我々は翼を制作・利用することで、その有用性を検証していく。

(文責: 堺千里)

### 1.3 従来例

従来の身体拡張インタフェースとして、マサチューセッツ工科大学で開発が行われた Supernumerary Robotic Limbs(以下 SRL)[3] がある。SRL は、腕が足りない場面を補助する腕として、人間に 3 番目・4 番目の腕を追加することを目的として開発された。具体的には、重い荷物を持って両手がふさがっているときに、肩から生えた 2 本の腕が扉を開けるといったように、利用者の行動を支援するものである。しかし、SRL は自分の意思で、拡張した身体を独立した部位として自由に動かすことができない。なぜなら、3 軸のジャイロセンサと加速度計によって 3 次元の角速度と加速度を検出する慣性計測装置を利用者が腕につけることによって、利用者の動きに合わせてアームが動くような仕組みになっているからである。

身体拡張インタフェースとして制作された翼の先行事例は見られなかった。その一方で、武石 [4] は舞台衣装としての翼を紹介している。それに加えて仮装や装飾を目的として、動かすことができる翼を自作した事例がみられた。それらは、動力源に空気圧や電気を用いているものがほとんどだった。しかし、筋電位を動作の制御信号として用いている前例は見られていない。

身体感覚に関する研究で渡辺ら [5] は、遠隔操作型アンドロイドロボット「ジェミノイド HI-1」(以下ジェミノイド) を用いた実験を行った。結果として、「操作者の動きと同調してジェミノイドが動作する様子を観察することで、身体感覚の転移が生じる」という仮説が証明された。つまり、ジェミノイドの部位を自らの部位のように感じる事が示された。そこで従来の翼は操作者の動きと同調して動いているものではなく、それによって自分の身体のような感覚の取得は難しいと渡辺らの実験の結果から考えられる。しかし、本グループにおける目的の一つである新たな身体感覚の獲得を目的とした研究や、新たな身体感覚を具体的に示した記述は見られなかった。

(文責: 郡司貴明)

## 第 2 章 プロジェクト学習概要

### 2.1 問題の設定

<前期>

本プロジェクトでは、生体筋電位を利用したインタフェースにより人間の身体を拡張し、新たな可能性を引き出すことをプロジェクト全体における問題として設定した。

本グループでは、第 1 章で述べたように、以下の 3 点をグループ内における問題として設定した。

1. 筋電技術を利用し、自らの意思で制御する翼を新たに制作すること
2. 翼を利用することによって、新たな身体感覚の獲得は可能であるか検証すること
3. 新たな身体感覚の獲得が可能であるならば、その活用について検証すること

また、筋電技術による制御のメリットとして、信号検知から動作までのタイムラグが少なく、拡張された身体を自らの意思で制御することが可能であることが示された。一方で、デメリットとして微小な筋肉の運動を区別できないことが示された。このことから、筋電技術による動作制御は、身体活動との連動及び新たな身体感覚の獲得の両面において有効であると考えた。微小な運動の区別については、閾値の設定によって対応するものとした。

<後期>

前期に引き続き、以下の 3 点を後期におけるグループ内の問題として設定した。

1. 筋電技術によって装着者の意思で動作を制御する翼を制作すること
2. 制作した翼の利用を通じて新たな身体感覚の獲得が可能か検証すること
3. 新たな身体感覚を獲得した場合は、その活用について検証すること

また、前期の活動結果を踏まえ、リアルな翼の動作を追及すること、外部の装置を必要としない独立したシステムとして翼を完成させることを試みた。

(文責: 田中蒼志)

### 2.2 課題の設定

<前期>

筋電で動かす翼のプロトタイプの開発に伴い、必要となる技術的な課題を検討した。その結果、以下の 2 点を解決する必要があることが分かった。

1. 翼に開閉の動作をさせるための機構の検討
2. 翼の開閉に適した動力や素材の検討

解決案

翼を動作させるための機構は、鳥の骨格や既存の動く翼などを参考にしながら複数のプロトタイプを制作し、どの機構が適しているか検討した (図 2.1)。

次に、翼の機構を動作させるために何を動力にするのかを検討した。サーボモータを翼の関節の



## Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

一部に直接取り付けすることで、サーボモータの動作によって翼を開閉できるので、動作の調整をしやすいこと、Arduino で制御できることから、サーボモータを動力にすることに決定した。

また、翼の素材として、ダンボールと中密度繊維板 (以下 MDF) でプロトタイプを制作した結果、MDF では関節部の部品を除いて約 230 グラムあり、サーボモータで動作させるには負荷が大きい。このため、発泡プラスチックを翼の素材とすることによって、約 80 グラムまで軽量化した (図 2.2)。

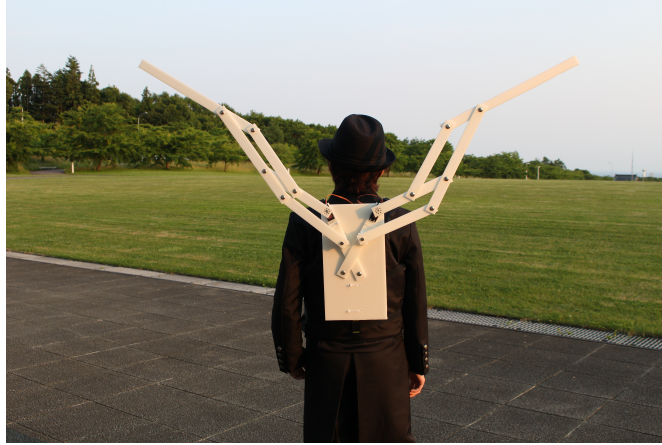


図 2.1 完成したプロトタイプ

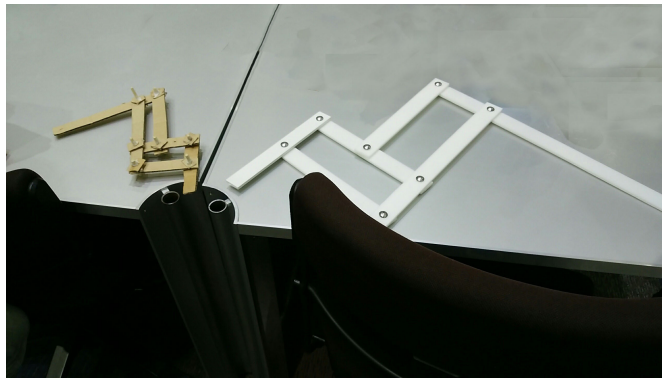


図 2.2 ダンボール・発泡プラスチックで制作したプロトタイプ

### <後期>

前期で翼のプロトタイプを開発し、自分たちで使ってみることもや実験を行うことで得られた知見から、新たに解決する必要のある課題が出てきた。

1. 翼を前後に動作させるための機構の検討
2. 翼の動力と骨格の素材の再選定
3. 翼の開閉に合わせて動く翼の膜の検討
4. 翼を背負って動き回るためのコードレス化

### 解決案

翼を前後に動作させるための機構は、アイデアを考え、アイデアを元にいくつかプロトタイプを制作した。その結果、安定して動作することのできた翼の根元にサーボモータを埋め込む形で実現させた。

翼の動力は、前期でのプロトタイプと同じくサーボモータを使うが、翼の根元部分には大きく加重がかかるため、開閉の際に使用したサーボモータでは動かすことができなかった。従って、トルクの強いサーボモータを使用することとなった。

## Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

また、翼の骨格の素材は、前期の発泡プラスチックでは耐久性や質感が優れないことから再度検討することにした。素材としての強度・軽さ・しなりやすさ・質感を中心に検討した結果、炭素繊維強化プラスチック (以下 CFRP) を翼の骨格として使用することになった (図 2.3)。

前期のプロトタイプは骨格のみでの動作であったので、見た目や、空気抵抗を受けるために開閉させることのできる膜を翼につける必要が出てきた。複数のプロトタイプを制作して検討した結果、安定して開閉させることができることや、大きく音が鳴ることから蛇腹状に折った画用紙で膜を作成した (図 2.4)。

前期のプロトタイプでは不可能だった、翼を背負って動き回る行為を可能にするために筋電計測回路を小さく制作し、電池から電源を取れるように電源回路を制作し、それらと Arduino を背中に収まりきるように配置することで実現させた。



図 2.3 CFRP 素材

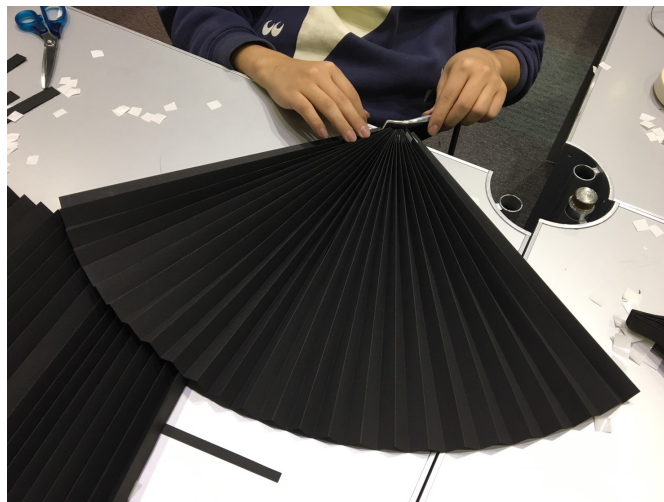


図 2.4 蛇腹状に折った画用紙

(文責: 柳瀬怜大)

### 2.2.1 関連講義

- 情報処理演習
- 情報デザイン
- 情報デザイン演習

- 情報表現基礎
- 情報表現基礎演習
- 人体生理学
- 複雑系科学実験
- 物理学入門
- 力学基礎・応用

(文責: 田中蒼志)

## 2.2.2 使用技術

本プロジェクトの進行にあたり、以下の技術を使用した。

- 部品の加工技術  
プロトタイピングでは MDF を、最終成果物の制作ではアクリルを加工する際にレーザーカッターを使用した。
- プログラミング技術  
情報表現基礎の講義内容を参考にして、Arduino によってサーボモータを制御するプログラムを作成した。

(文責: 田中蒼志)

## 2.2.3 新規習得技術

本プロジェクトの進行にあたり、以下の技術を新規に習得した。

- 生体筋電位の測定技術  
まず、プロジェクト全体で指導教員から生体筋電位に関する講義を受けた。  
その後、研究室の方々から筋電測定回路の作成方法を学び、制作した翼への組み込みを行った。
- 電子回路の作成技術  
研究室の方々の指導を受け、ユニバーサル基板・プリント基板を用いた回路の作成方法を学習した。  
最終成果物においては、差動アンプ、ハイパスフィルタ、非反転増幅回路、半波整流回路、積分回路から構成される筋電計測回路を作成した。  
完成した回路は、測定した筋電位の信号処理や Arduino への信号の出力に用いた。

(文責: 田中蒼志)

## 2.3 課題の割り当て

まず我々は内部システム班と外装班の2つに班を分けた。内部システム班は回路やプログラミングを設計し、外装班は翼の機構や外観などを制作した。

内部システム班は筋電位を計測するための筋電センサの他、増幅変換回路の作成、Arduino を通

してモータを駆動させるシステムなどの実装を行った。筋電位は極めて微弱な電圧であり、計測は可能であっても、それを何かの制御信号として扱うことは難しい。従って、Arduino で読み取り可能にするための増幅変換回路が必要になる。また、筋電を計測した後、より早く翼にそれを伝達し動作しなければならないため、今回は Arduino を用いた。これにより、リアルタイムに近いスピードで翼を動かす事が可能になった。また後期では、翼を開閉する動きと前後に動かす動きの2つを必要とするので、2チャンネルの増幅変換回路を実装し、それぞれの動きに応じて4つのサーボモータを作動するシステムを作成した。他にも前期の段階で不良が見られた電極が存在していたため、電極を再制作した。前期の課題であった電源の小型化も内部システム班が行った。

外装班では、翼を開閉する動きと前後に動かす動きの実装およびプロトタイプの作成、使用するCFRP とアクリルの加工といった翼の骨格の作成を担当した。CFRP は高強度であり、加工した際に発癌性のあるダストが発生してしまうので、専用のドリルと鋸を用いて、水中で加工を行った。アクリルの加工は Adobe Illustrator で編集したベクターイメージをもとにレーザーカッターを用いて加工した。他にも前期で実現できなかったより滑らかな動きを実現するために、翼の関節部分へのベアリングの組み込み、計測回路と電源の収納方法を検討した。また、より翼を美しく見せるためのデザイン面にも配慮した。

(文責: 郡司貴明)

## 2.4 計測機器

### 2.4.1 電極

1チャンネルにつき2つの表面電極を皮膚表面に貼り付ける。2電極間から得られる電位の差分(表面筋電位)を測定し、筋電計測回路に入力する。

本制作では、粘着テープを使用して電極を僧帽筋に固定し、表面筋電位を測定した。

(文責: 田中蒼志)

### 2.4.2 導電布

導電布とは、導電性・電磁波シールド性をもつ繊維布であり、ノイズ対策材やウェアラブルデバイスの素材として利用される。

本制作では、筋電位を計測する際のノイズを減少させるため、翼と併せて導電布を前腕に着用するものとした。

(文責: 田中蒼志)

## 2.5 筋電計測回路

### 2.5.1 差動アンプ

差動アンプは、2つの入力信号の差を取り、その差を増幅する。同相ノイズを正確に取り除くには、抵抗値が正確な精密抵抗を用いる必要がある。2つの入力信号の配線の長さが変わるとインピーダンスに変化が生じてしまい、うまく増幅できなくなる可能性がある。

### 2.5.2 ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタは、カットオフ周波数の低い周波数を遮減し、高い周波数を通過させるフィルタである。

今回制作した筋電計測回路においては、4次のサレンキ型のハイパスフィルタを用いた。通常、サレンキ型は2個の抵抗と2個のコンデンサー、1個のオペアンプなどで構成されている。ハイパスフィルタは、次数が高いほどフィルタの効果も高くなるため、今回は4次のサレンキ型を採用した。このフィルタは電極と皮膚のずれによるノイズをカットする役割を担っている。

(文責: 柳瀬怜大)

### 2.5.3 非反転増幅回路

非反転増幅回路は、出力電圧を入力電圧のプラス・マイナスを逆転させずに増幅することのできる回路である。

今回は可変抵抗を使用することで、増幅率を調整することを可能にした。

(文責: 柳瀬怜大)

### 2.5.4 半波整流回路

半波整流回路は、プラスとマイナスの半サイクルを交互に繰り返す交流電圧のうち、マイナスの電圧に反応して削除し、プラスの電圧のみの信号を出力させるものである。

今回は、ダイオードの電流をアノードからカソードへの方向にのみ流す性質を利用して、半波整流を実現した。

(文責: 柳瀬怜大)

### 2.5.5 ローパスフィルタ

ローパスフィルタは、カットオフ周波数の高い周波数を遮減し、低い周波数を通過させるフィルタである。

今回制作した筋電計測回路においては、設計が容易なバターワースローパスフィルタを採用した。このフィルタはハイパスフィルタと同じく電極と皮膚のずれによるノイズをカットする役割を担っている。

(文責: 柳瀬怜大)

### 2.5.6 電源装置

電源装置は、筋電計測回路を動作させるための装置である。電源装置は9V角形電池と電源回路で構成されている。

電源回路は 9V の電圧を筋電計測回路を動作させる 5V まで電圧を下げて、安定して 5V を出力する役割を担っている。電源回路は、3 端子レギュレータとコンデンサによって構成されている。

(文責: 柳瀬怜大)

## 2.6 制御回路

### 2.6.1 Arduino

Arduino とは AVR マイコンと入出力ポートを備えた基板及び Arduino 言語とその統合開発環境から構成されるシステムである。

本制作では、測定回路から出力されたアナログ信号をデジタル信号に変換する処理を Arduino で行っている。その他に、入力された信号が設定された閾値を超えるとサーボモータを駆動させる処理を行った。また、入力された信号に従ってサーボモータを駆動させる処理も行った。

本制作では、後に記述する ICS 変換基板に適した Arduino UNO を使用した。

(文責: 天野紗衣)

### 2.6.2 ICS 変換基板

近藤科学株式会社が提供する ICS 機器を市販のマイコンボードの UART に接続するための変換基板である。Tx、Rx などの通信線や電源などの回路を用意する手間が省け、サーボモータや電源を接続するだけで簡単に ICS 機器を利用できる。

(文責: 天野紗衣)

### 2.6.3 制御プログラム

開発環境に Arduino IDE を使い、サーボモータの制御を行った。

本制作では、近藤株式会社が提供するサーボモータを利用したため、それを Arduino で制御するためのライブラリを導入した。

(文責: 天野紗衣)

## 2.7 外装

### 2.7.1 サーボモータ

物体の位置・方位・姿勢などを制御量として、目標値に追従するように自動で作動する機構において位置、速度等を制御する用途に使用するモータである。

本制作では、翼の羽ばたきと開閉を行うために 2 種類のサーボモータを利用した。

(文責: 天野紗衣)

## 2.7.2 開閉

リンク機構を用いて設計し、ひとつの関節に最大トルク数が 28.5kg/cm のサーボモータを取り付けることによって開閉の動きを実現した。また、その他の関節部にベアリングを組み込むことで、動作を滑らかにした。

翼の骨格の素材には、CFRP とアクリルを用いた。CFRP は軽量でしなりや強度にも優れているが、加工が難しい素材である。そのため、専用の糸鋸刃・ドリル刃のほか、電動カッター・電動ドリルを利用して加工を行った。切削時に発生するダストは人体に対して有害であるため、飛散を防止するために水中で作業を行うものとした。また、細かい加工が必要となるボルト・ナットの接続部分には、レーザーカッターで加工したアクリルを用いて強度を確保した。

(文責: 田中蒼志)

## 2.7.3 羽ばたき

翼を固定したアクリル製の支柱の底面にサーボモータを、その底面に対して平行の面にベアリングと軸となるボルトをそれぞれ組み込んで固定する。入力された信号の大小に応じて、サーボモータが初期位置から 90 度の範囲内で回転する。サーボモータの初期位置は利用者の背中と翼が平行な時の位置を指す。力を抜くとサーボモータは初期位置に戻る。以上のようにして翼の羽ばたきを実現した。

また、開いた状態の翼を固定した支柱を動かすためにトルク数が大きいサーボモータを使用する必要があったため、本制作においては最大トルク数が 67.0kg/cm のサーボモータを使用した。

(文責: 郡司貴明)

## 2.7.4 羽

本制作において翼は骨格全体を指し、羽は振動や空気抵抗といった反作用をより受けるために、骨格に張り付けたものを指す。

翼が開閉する時、羽ばたく時に音が発生しやすい素材を検討した結果、今回は画用紙を用いた。画用紙は蛇腹状に折り、扇型に形成して翼の骨格に取り付けた。羽は 1080mm × 450mm の画用紙を 30mm 間隔で蛇腹状に折って形成した大きい扇型と、620mm × 240mm の画用紙を 20mm 間隔で蛇腹状に折って形成した小さい扇型の 2 種類をそれぞれ 2 個、計 4 個用意した。大きい扇型の羽を翼の先端部分に、小さい扇型の羽を翼の根元に取り付けた。

羽を骨格に取り付ける際には両面テープを用いた。

(文責: 郡司貴明)

## 2.7.5 装着

システム全体を背負うために、ライフジャケットを用いた。着脱のしやすさ、翼の重みでジャケットの形が崩れない、アジャスタが付いているため身体の大きさに合わせて装着できるという点から、ライフジャケットを採用した。

翼の本体・筋電計測回路・制御回路・電源を、ボルトとマジックテープを用いて発泡プラスチックの板に取り付け、その板をさらに結束バンドでライフジャケットに固定した。結束バンドを使い、ジャケットのアジャスタに板を固定することで、ジャケット本体の形を変えずに翼を背負うことに成功した。

(文責: 堺千里)

### 2.7.6 レーザーカッター

アクリルパーツの作成にあたり、ユニバーサルレーザシステムズ社の VLS3.60 というレーザーカッターを使用した。ベクターデータの変換には、コーレル社が提供するソフトを使用した。

細かい加工が困難な CFRP に代わり、ボルト・ナットの接続部分や、翼を支える支柱部分をアクリルによって作成した。レーザー光の照射による非接触加工が施されるため、短時間で精度の高いパーツの作成を行うことが可能である。出力・照射密度・照射時間の値によってアクリルの切削の度合いが変わるため、少しずつ数値を変えながら出力した。

(文責: 堺千里)

### 2.7.7 Adobe Illustrator

Adobe Illustrator とは、アドビシステムズ社が販売するベクターイメージ編集ソフトウェアである。イラスト制作をはじめ、図面や広告などをデザインする描画ツールソフトとして、様々な分野のクリエイターが使用している。月額数千円で使用することができ、学生・教員向けの安価なプランもある。レーザーカッターで出力するためのデータを制作する際に、本ソフトを活用した。

(文責: 堺千里)



## 第 3 章 課題解決のプロセスの概要

### 3.1 前期課題解決の概要

私たちは、自らの意思で動かすことができる翼を装着することで「新たな身体感覚を得ること」と「その有用性を検証する」という最終目標に向けて、前期では翼が筋電位の値により開閉するまでを制作した。そのプロセスを以下に示した。

#### 1. 筋電位についての学習

指導教員による講義を受け、筋肉・筋電位が現れる仕組みや筋電位の測定方法を学んだ。実際に、筋電位の測定を体験した。

#### 2. 設計や組み立てに関する実技

指導教員による講義を受け、回路の基本について学んだ。

#### 3. 身体拡張についての調査

手や腕の動きを筋電センサで感知する製品や、日常的な生活空間にいながらにしてあたかも空を飛んでいるかのような体験を提供するための概念を研究したものを比較した。

グループ内における身体拡張の定義を以下のように定めた。

定義：身体の一部やできることを増やし、生活の役に立つもの。

#### 4. 先行事例の調査、共通点や相違点の一覧化

筋電位を測定した体験をもとに、どの筋肉を使うべきかを考えた。

#### 5. 目的・目標の設定

目的：外部から身体に取り付けた翼を自分の意思で自在に動かすことで、新たな身体感覚を得ることと、その活用について検証する。

前期の目標：筋電位を利用して翼を開閉させるまでの制作を行う。

#### 6. 制作準備

全体の大きさ、外装・内部システムについて考えた。また、必要な部品も考えた。

#### 7. 役割分担、制作作業

外装：翼の骨格、翼を背負うための機構を作成した。

内部システム：筋電位の値を得るための電気回路を組み立てた。

筋電位から得た情報を元にサーボモータを動かすプログラムを組んだ。

#### 8. 現段階での感覚調査

現段階において、実際に翼を装着し、どのような感覚や体験が得られるかを調査した。

#### 9. 制作物の動作確認

#### 10. 中間発表

(文責: 天野紗衣)

## 3.2 後期課題解決の概要

後期では、前期に制作した翼を改良することで、よりリアルな動作をすることや電源装置の小型化をすることなどを目標とし、新たな身体感覚を得ることを目的に活動を行った。最終的に、翼を装着することで新しい身体感覚を感じ、人間の行動の新たな可能性を見出すことが出来た。そのプロセスを以下に示した。

### 1. 前期の振り返り

前期に挙げていた改善点をもとに、よりリアルな翼の動きの追求や電源装置の小型化、翼の動きの反作用などについて修正、追加する点を整理した。

### 2. 新しい感覚についての調査・実験

前期に制作した翼の羽の部分に、紙やビニールなどを取り付け、羽のある状態での身体感覚の受け取り方の違いについて調査した。また、翼を装着して屋外で走ってみたり、身体を大きく動かしてみたりした。

### 3. 後期の目標設定

前期の振り返りと新しい感覚についての調査から、羽ばたきの動きを追加することと、電源装置の小型化、反作用を受けやすい仕組みや素材について検討することを目標とした。

### 4. 制作準備

反作用を得やすく、軽い素材を検討し、翼の骨格の部分に CFRP を使用することを決定した。また、前期に使用していたサーボモータよりトルクの高いサーボモータを使用することにした。

### 5. 役割分担・制作作業

外部機構の担当と内部システムの担当に分かれて制作を行った。外部機構では CFRP の加工、アクリル製の支柱と蛇腹型の羽の作成を行った。内部システムでは、筋電計測回路の 2 チャンネル化や、Arduino によるサーボモータの制御をするプログラムの作成を行った。

### 6. 制作物の動作確認

### 7. 試装着

### 8. 最終発表

(文責: 天野紗衣)

## 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付け

#### 4.1.1 堺千里

<前期>

5月

筋電位の測定方法や、筋肉、力学についての基礎知識を学んだ。グループリーダーとして、話し合いをまとめた。筋電について学んだ知識をもとに、どんなものを作るかのアイデア出しを行った。

6月

自身の僧帽筋の電位を測定した経験から、筋電で制御する翼を作ることに決めた。翼の機構作り、素材の検討を行った。

7月

背中に装着する翼の実寸大プロトタイプ制作を行った。素材には軽量で丈夫な発泡プラスチックを用いた。中間発表に向けて、スライド資料や発表原稿を作成した。

<後期>

9月

前期に制作したプロトタイプを用いて、実験を行った。実験の結果をもとに素材の再検討を行い、しなりやすく軽量の CFRP を使用することに決めた。実験内容の検討、実験の様子の記録を行った。

10月

発泡プラスチックを用いて、翼を前後に動かすための骨格の構造やサーボモータの取り付け位置の検討を行った。翼の開閉の動きに加えて、羽ばたき、回転の動きの検討をするため、骨格の再設計とプロトタイプの再制作を行った。

11月

CFRP を加工し、翼の骨格を作成した。CFRP は細かい加工が困難なため、サーボモータとの接続部分のパーツをアクリルで作成した。必要なパーツの寸法を計算し、レーザーカッターで出力するためのデータを作成した。回路や電極のテストを行い、不具合を改善した。翼を開閉・前後させるためのサーボモータ・電池を新たに入手し、動作の確認を行った。

12月

翼の取り付け、計測回路の収納等の最終調整を行った。翼の骨格に蛇腹状に折った紙を貼り、反作用を得やすいようにした。最終発表会に向けて、スライド資料や発表原稿を作成した。

(文責: 堺千里)

#### 4.1.2 天野紗衣

<前期>

5月

身体拡張について自分たちなりの定義を定めた。それをもとに、作りたいもののアイデアを出し合った。また、筋電位や電気回路について指導教員から講義を受けた。

6月

どのようなものを制作するかについて多方面から案を出し、身体拡張をする目的、筋電位を使う意義などを踏まえて熟考し合った。

7月

目標に向けて外部、内部の機構の制作を進めた。中間発表に向けて報告書、ポスター、発表の準備を行った。

<後期>

9月

前期の制作物を振り返り、改善する点や追加する機構について考えた。また、それをもとに新しい感覚を探るべく、羽に紙やビニールを装着して空気抵抗を受けるなどの実験を行った。

10月

翼の羽ばたく動きの機構について考えた。よりリアルな動きを追求するために、開閉、羽ばたき、回転の3つの動きをサーボモータによって実現することに決定した。またそれに伴って、それらの動きを制御するためのArduinoのプログラムを作成した。

11月

羽についての構想をした。取り付けやすさ、見た目の美しさ、収納方法の3点を意識し楡扇形などの案を考えた。前期に使用していたサーボモータが不安定な動作をしていたため、動きが遅く、トルクが大きいサーボモータに変更することになった。またそれに伴い、新しいサーボモータの使用法や設定方法、ArduinoによるICS機器を制御する方法について学んだ。

12月

プロトタイプを使用した実験から得られた、新しい感覚、周囲の環境の気付き、反作用の3つのキーワードをもとに、それらが身体拡張から成るものであるといったことや人間の新たな可能性を見出すことができるといったことを推測できる考察を考えた。

(文責: 天野紗衣)

#### 4.1.3 柳瀬怜大

<前期>

5月

各々が作りたいもののアイデアを出し合い、具体的にどのようなものを作っていくのかを話し合った。プロジェクトの指導教員から、筋電位についての基本的な知識と、筋電位を測定する技術について学んだ。

6月

実際に何を制作するかについてグループ内で話し合いを重ねた結果、筋電で制御する翼を制作することに決定した。翼を動かす機構について調査した。筋電計測回路の配線図を設計した。

7月

設計した配線図からユニバーサル基板にはんだ付けを行った。

<後期>

9月

前期に制作したプロトタイプを用いて実験を行い、改善点を洗い出した。最終発表までのスケジュールを設定した。

10月

プロトタイプで動作が不安定だったモーターについて再検討した。翼を前後に動かす方法を、プロトタイピングを行うなどして模索した。筋電位を2チャンネル計測するために筋電計測回路の配線図の再設計を行った。

11月

筋電計測回路と電源をひとまとめにして収納することで、翼を背負ったまま動き回れるようにする必要があったため、筋電計測回路の小型化や、電池を用いる電源装置の制作や、それらや Arduinoなどを収納する部分の制作を行った。翼の骨格につける翼の動きに合わせて伸縮する膜を制作した。

12月

最終発表に向けたプレゼンテーションとポスターの準備、翼本体と筋電計測回路の調整を行った。

(文責: 柳瀬怜大)

#### 4.1.4 郡司貴明

<前期>

5月

各々が作りたいものについてプレゼンテーションを行い、実際に作るものをグループ内で共有し話し合った。プロジェクト全体で指導教員から講義を受け、筋電位を測定するための回路や電極を作成し、実際に筋電位を測定した。

6月

グループ内で話し合いや実際に筋電位の計測を行った結果、筋電位を用いて操作する翼の作成をすることに決めた。そしてグループの目的や翼によって解決する問題点を考察し、5月に作った回路に筋電位でサーボモータを動かす機構を新たに取り入れ、指導教員や先輩たちと相談のもと、プロトタイプの作成に取り掛かった。

7月

筋電位を用いて操作する翼のプロトタイプが完成した。素材は軽量かつ頑丈な発泡プラスチックを用いた。中間発表に向けてプレゼンテーションのスライド作り、プレゼンテーションの原稿づくり、プレゼンテーションの練習を行った。

<後期>

9月

前期に制作したプロトタイプを用いた実験を行い、どのような動きを実現したいか、また

羽に使用する素材はどのようなものが適しているかをグループ内で話し合い、今後の方針を定めた。

10月

発泡プラスチックを用いてプロトタイプを改良し、翼が前後に動くための機構や固定方法を検討した。結果、翼を固定している支柱に軸とサーボモータを取り付け、サーボモータを動かすと軸を中心とした回転運動を行う機構が完成した。この機構は実際の成果物にも取り入れられた。

11月

10月に完成したプロトタイプを参考に CFRP を加工し、翼の骨格を作成した。しかし、10月に制作したプロトタイプは発泡プラスチックを用いていたため、プロトタイプをそのまま CFRP で再現することができない箇所が見られたので、解決策を考案した。また、使用する筋肉の検討や内部システム班が作成した回路や電極のテストを実際に体を動かして行った。

12月

画用紙で羽のパーツを作成し、取り付け方を考察した。完成した翼を実際に操作し、どのようなことが得られるかを考察した。最終発表会に向けてプレゼンテーションの原稿作成と練習を行った。

(文責: 郡司貴明)

#### 4.1.5 田中蒼志

<前期>

5月

各々が作りたいものについてアイデアを出し合い、グループ内で共有した。目標制作物について、グループ内で検討した。プロジェクト全体で、指導教員から生体筋電位の計測に関する講義を受けた。

6月

制作物の実用性や解決したい問題について検討し、筋電技術によって制御する翼を制作することを決定した。指導教員や研究室の方々の協力のもと、プロトタイピングに取り組んだ。

7月

プロトタイプが完成した。中間発表に向け、プレゼンテーション資料の修正や実演の準備を行った。

<後期>

9月

前期に制作したプロトタイプを使用して、実験を実施した。実験の結果から、改良すべき点について検討した。その後、グループ内における後期の活動目標を設定した。

10月

羽ばたき機構を実装するため、前期に制作したプロトタイプをもとに構造の再検討と改良を行った。翼の素材として CFRP を使用することが決定したため、CFRP の加工方法を学んだ。必要となる部品をグループ内で相談し、リストアップした。

11月

指導教員と協力し、リストアップした部品を発注した。CFRP の加工やベアリングの組み込みなど、骨格部分の部品加工・組立作業に取り組んだ。

12月

最終成果物が完成した。成果物の最終調整と並行して、最終発表に向けてプレゼンテーションの準備を行った。最終発表では、動作実演を担当した。

(文責: 田中蒼志)

#### 4.1.6 金村奈津美

<前期>

5月

各々が作りたいものに関するプレゼンテーションを行い、具体的に作りたいものを分析しグループ内で共有し合った。プロジェクト全体で指導教員から講義を受けた。

6月

作りたいものの必要性、また自分たちが求めているものを確り計測できるのかなどを考えるために先輩や指導教員に話を聞くなどして再考した。ホームセンターで使用材料の調達を行い、鳥の動きから翼の骨組みなどを分析しつつ簡易の翼を作成した。

7月

作成したプロトタイプにサーボモータを取り付け、動かしながら部品の調整などを行った。

(文責: 金村奈津美)

## 4.2 担当課題と他の課題の連携内容

### 4.2.1 堺千里

グループリーダーとして、話し合いの進行、スケジュール管理を務めた。イメージスケッチを描きながら、アイデア出しを積極的に行った。外部構造の制作を担当し、以前受講した講義をもとに、翼の機構づくり、モータの取り付けを行った。最終発表のスライドを作成した。

(文責: 堺千里)

### 4.2.2 天野紗衣

サブリーダーとして、グループリーダーがいない時にはグループをまとめ、積極的な話し合いをするようにした。内部機構を制作する役を担ったので、以前受講した講義などをもとに、Arduino でサーボモータを制御するプログラムや回路を組んだ。また、羽の機構を構想しプロトタイプを制作した。最終発表のポスターを作成した。

(文責: 天野紗衣)

#### 4.2.3 柳瀬怜大

主に回路や機構の設計など、翼の内装に関する部分を担当した。翼を動かす機構の設計を行った。筋電位を計測するために必要な回路の配線図を設計し、制作を行った。筋電計測回路を動作させるために必要な電源装置の制作を行った。電源装置や筋電計測回路などのハードウェア部分の小型化を行った。最終発表では、プレゼンテーションを行った。

(文責: 柳瀬怜大)

#### 4.2.4 郡司貴明

主に翼の外装部分の制作を担当した。その中でも発泡プラスチックを用いたプロトタイプを作成、CFRPの加工といった翼の骨格の作成を積極的に行った。また、内部システム班と協力し計測回路のチェックや使用する筋肉の考案も行った。最終発表会に向けてプレゼンテーションの原稿を作成した。

(文責: 郡司貴明)

#### 4.2.5 田中蒼志

主に翼の外装部分の制作を担当した。プロトタイプング・最終成果物の両方において、部品・素材の検討、部品加工・組み立て作業に取り組んだ。また、内部システム班と協力して、ライフジャケットの背面部分のレイアウトを調整した。最終発表ではプレゼンテーションの動作実演を担当した。

(文責: 田中蒼志)

#### 4.2.6 金村奈津美

翼の構造や素材といった、主に外装を担当した。また、内部システム班と協力しながら重さや動きの滑らかさなどの調整を行った。そのほか、ポスターなどに使用するイメージイラスト用のモデルとして撮影に協力した。

(文責: 金村奈津美)



## 第 5 章 実験

本グループの目的である、新たな身体感覚の獲得とその活用について検証するため、プロトタイプおよび最終成果物を使用して 2 回の実験を実施した。実験の詳細を以下に示した。

なお、いずれの実験も公立はこだて未来大学構内で実施し、被験者は本グループのメンバが担当した。

(文責: 田中蒼志)

### 5.1 プロトタイプによる実験

前期に制作したプロトタイプを被験者に装着してもらい、翼の存在が日常の動作や身体感覚にどのような変化・影響を与えるか、後期の活動で改良を進めるべき点はどのようなものかを検証するための実験を実施した。実験項目は以下の 2 項目であった。

#### 1. 日常動作に関する検証

屋内・屋外において、被験者に翼を装着した状態で歩行・走行の動作を行ってもらい、翼を装着していない状態と比較してどのような感覚の変化が生じるか検証した。まず、屋内で歩行・走行の動作のほか、階段の昇降の動作を行ってもらった。その後、屋外で歩行・走行の動作を行ってもらい、風を受けることでどのような感覚が生じるかについても検証した(図 5.1)。その結果、翼を装着した状態では、翼に空気や風の流れを受ける感覚が生じていた。特に屋外では、翼に風を受けることによって風向きを読み取ることも可能であった。

#### 2. 膜に関する検証

開いた状態の羽に、膜に見立てたコピー用紙やビニールを貼り付け、空気や音などの外的要因から受ける影響が膜のない状態と比較してどのように変化するか検証した(図 5.2)。まず、膜のある状態・ない状態の両方において、被験者が身体を揺さぶることによる風や音の発生について比較した。その結果、膜のある状態では、膜のない状態と比較して空気の流れや音がより大きく発生していた。次に、膜のある状態・ない状態の両方で扇風機から発生する風を受け、風による影響を比較した(図 5.3)。その結果、被験者は膜のある状態で風の影響をより大きく受けていた。

以上の 2 項目から、空気や音などの外的要因を利用して身体にフィードバックを与えることが新たな身体感覚の獲得において有効であること、羽に膜を取り付けることで外的要因による影響をより大きく受けることが明らかになった。

一方で、プロトタイプでは Arduino・サーボモータの動作に外部電源が必要であったため、筋電位による動作制御を実験に取り入れることができなかった。従って、外部の装置を必要としない独立したシステムとして翼を完成させることを、後期の活動における課題として設定した。

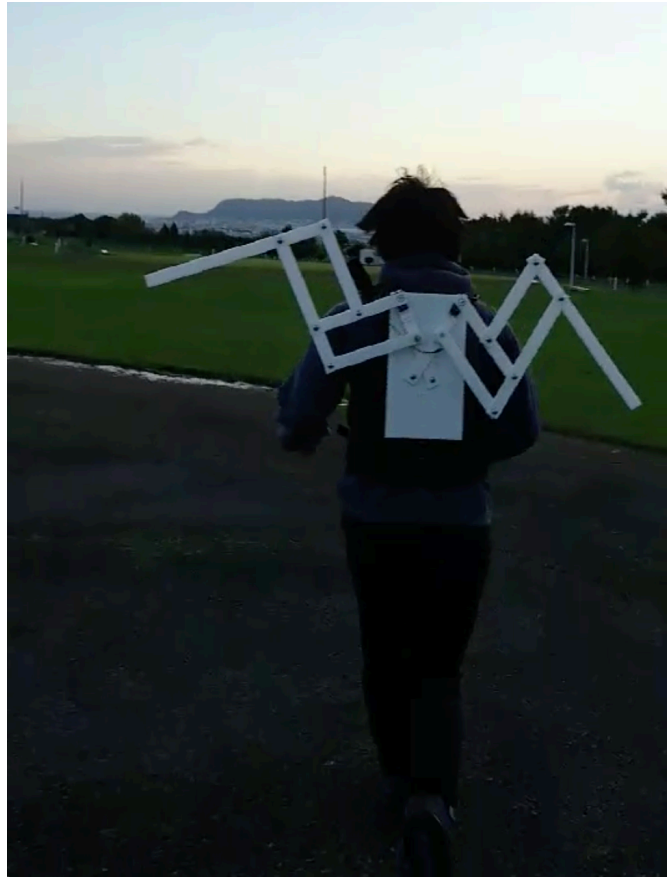


図 5.1 屋外での走行動作の検証

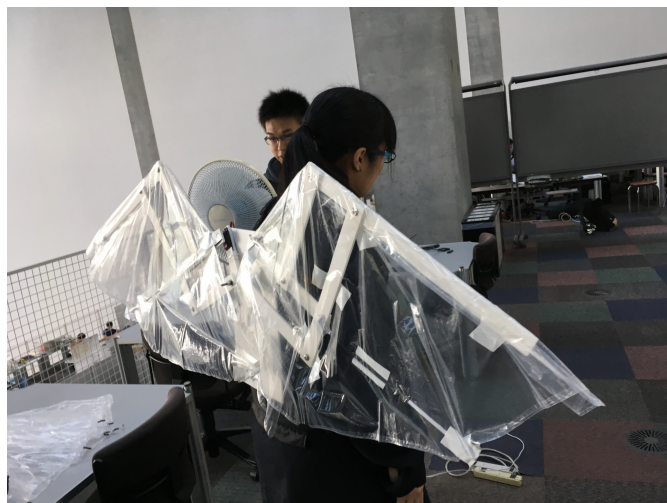


図 5.2 翼にビニールを張り付けた状態



図 5.3 扇風機の風による影響の検証

(文責: 田中蒼志)

## 5.2 最終成果物による実験

上記のプロトタイプによる実験と同様に、翼の存在が日常の動作・身体感覚にどのような影響を及ぼすか再検討するための実験を実施した。なお、本実験では筋電位によるサーボモータの動作制御を取り入れたため、その影響についても検証するものとした。実験項目は以下の1項目であった。

### 1. 日常動作に関する検証

プロトタイプによる実験と同様に、被験者には最終成果物の翼を装着した状態で歩行の動作を行ってもらい、どのような身体感覚が生じるか検証した。上記のように筋電位を利用したサーボモータの動作制御による影響についても、何も装着しない状態・プロトタイプを装着した状態と比較して検証した。本実験では屋内での歩行・階段の昇降に加え、遠くにいる相手に対して手を挙げる・振る動作を行ってもらった。その結果、最終成果物の翼を装着した状態では、筋電位による翼の動作制御により、他の2つの状態と比較して翼を動かす感覚をより強く得ることができた。

以上から、身体動作と連動したインタフェースの動作制御が新たな身体感覚の獲得において有効であることが示されたといえる(図5.4)。また、意識的に筋肉を動かすことによって、肩こりの解消などの健康増進にも効果が期待された。

## Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

一方で、プロトタイプ・最終成果物のいずれにおいても、被験者は制作物に習熟したグループメンバーであったため、制作物に習熟していない装着者が使用する場合について十分にデータを収集できなかったことが今後の課題として挙げられる。

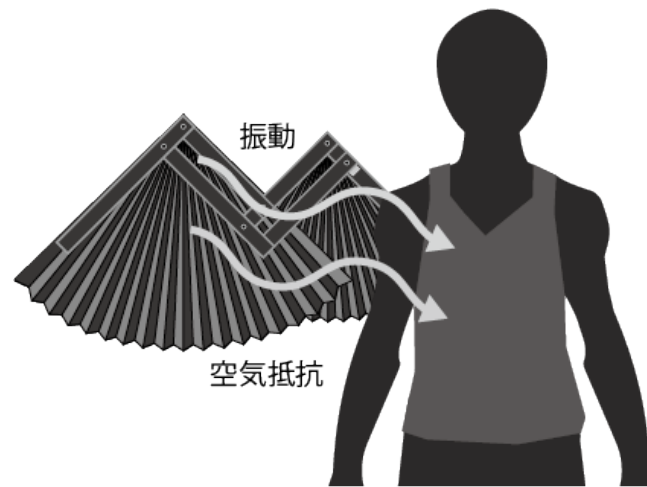


図 5.4 翼に受ける反作用

(文責: 田中蒼志)

## 第 6 章 結果

### 6.1 プロジェクトの結果

筋電信号を用いて、筋肉の動きによって開閉と前後の動きが可能な翼を制作した (図 6.1)。

これを装着することにより、外部からの操作を必要とせず、第三の腕のような感覚で自由に翼を動かすことが可能になった。翼を固定したライフジャケットを着用し、僧帽筋に電極を貼ることで簡単に翼を動かすことができた。力を入れた瞬間に翼が開き、抜いた瞬間に閉じるという動作のほか、力を入れたり抜いたりすることで翼を前後に動かすことが可能になった。リアルタイムに近い速度での動作が可能になり、身体との一体感を感じることができた。また、背中部分に筋電計測回路などの電子部品を収めることで外部電源に依存することなく翼を装着し、自由に動き回ることが可能になった。

実際に翼を装着して大学構内を歩き回ったところ、翼を前後に動かすことで空気を大きくつかむような感覚が得られた。また風を読んで走りたくなることや、身体を動かしてみたくなるなどの行動の変容がみられた。

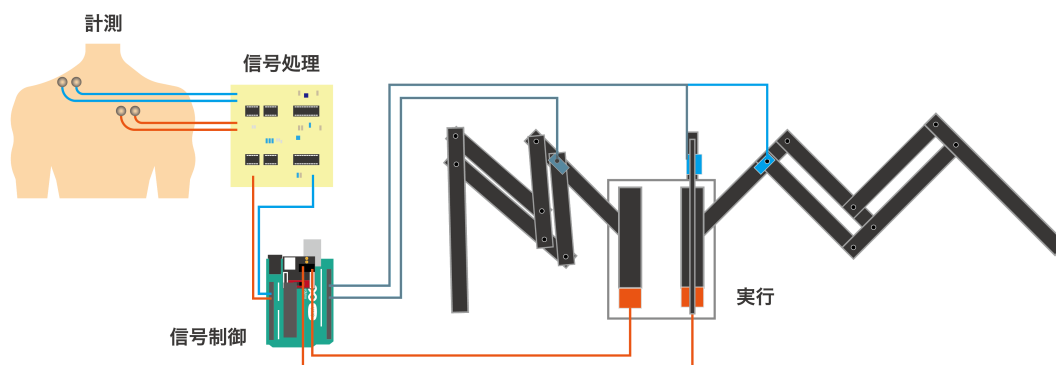


図 6.1 制作物の構造

(文責: 柳瀬怜大)

### 6.2 制作物の使用方法

ライフジャケットを装着するように翼を背負い使用した (図 6.2)。電位の値を計測する筋電センサをそれぞれ右肩と左肩に張り付け、計測した値を Arduino によって処理した。筋肉に入れる力の強弱によって値を変化させることが可能であり、値の大きさでサーボモータの角度を変化させ、翼の開閉や羽ばたきを行った。

## Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

本制作では、右肩の筋肉に力を入れることにより翼の開閉、左肩の筋肉に力を入れることにより羽ばたきを行うサーボモータの制御をした。



図 6.2 制作物を装着した状態

(文責: 天野紗衣)

## 第 7 章 評価・考察

### 7.1 プロジェクトの評価

#### 7.1.1 前期の評価

本プロジェクトグループ A の目的は、新しい身体感覚の獲得とその有用性の検証である。その手段として、翼を制作した。

身体を動かした際に発生する筋電位という電気信号を用い、Arduino とサーボモータを利用して翼を動かすことに成功した。翼の開閉のみの動作であるが、力を入れた状態の時に開き、抜くと閉じる。また力が入った状態を維持することで翼も同様に開いた状態を維持することが可能である。

我々の制作した「翼」について、現時点における目的の達成度を以下に述べる。

まず 1 つ目の目的である、「翼を使用することで新しい身体感覚を得ること」について考える。翼を固定したライフジャケットを着て、僧帽筋に電極を貼ることで翼の動作を可能にした。筋肉を動かしてから翼が動作するまでのラグはなく、実際自分の力で動かしているという意識はあった。しかし翼を動かした際の振動や風の抵抗など物理的な身体へのフィードバックは薄く、十分な感覚を得られなかった。

次に 2 つ目の目的である、「翼を使用することの有用性」について考える。先述したように、身体へのフィードバックを十分に得られていないため、VR との融合や健康増進などについての検証は行えていない。今回は、舞台装置としての活用の可能性について推察する。まず、舞台装置として使用されている翼は役者がそれを身につけ、第三者がワイヤなどを用いて故意に動かすという仕組みで用いられている。しかし、我々の開発した翼を使用することで第三者の手を借りることなく役者の意思で動かすことが可能であり、またワイヤなど物理的な道具を用いないため、舞台を動き回っても、絡まったり、何かに引っかかったりといった問題を気にすることなく演技に集中することができるだろうと考える。今後、制作した翼を装着した上で具体的な検証を進めていきたい。

(文責: 堺千里)

#### 7.1.2 後期の評価

前期に引き続き、新しい身体感覚の獲得とその有用性の検証という目的のもと、翼を制作した。

前期に制作したプロトタイプの改善を行い、翼の開閉の動きに加えて前後の動きを実装した。信号を 2 つ用いており、両側の肩に電極を装着する。一方が開閉、一方が羽ばたきの動きをし、筋肉に力を入れた状態の時に開き、抜くと閉じる。また力が入った状態を維持することで、翼も同様に開いた状態を維持することが可能である。

我々の作成した「翼」について、現時点における目的の達成度を以下に述べる。

まず 1 つ目の目的である、「翼を使用することで新しい身体感覚を得ること」について考える。翼の動きのパターンを増やしたほか、翼の骨格の素材を CFRP に変更した。さらに、その骨格に蛇腹状に折った紙を貼り付けた。これは背中に装着した翼から反作用を感じるためのものである。これにより、翼を動かした際に、空気抵抗や振動、音を感じるようになった。自らの意思で翼を動

かすことによって、私たちが今まで意識することのなかった空気の存在に気づいたり、空気をつかむような感覚を得たりした。前期に達成できなかった、背中の翼と身体との繋がりを感じる事ができた。このことから、新しい身体感覚を得るという目的は達成できた。

次に2つ目の目的である、「翼を使用することの有用性」について考える。先述したように、私たちは自身が翼を動かしているという感覚を得ることができ、空気のような、今まで意識していなかったものの存在に気づくことができた。風を読みながら走ったり、自然と動き回りたくなるといった行動変容が見られた。さらに、VRと翼を融合することによって、自らの力で空を飛んでいるような感覚を味わうことが可能になるのではないかと考える。舞台装飾においても、役者が自身の動きに加えて翼を動かすことができるため、翼の動きによる演技も可能になる。このことから、翼を使用することの有用性を検討するという目的は達成できた。しかし、これらの気づきは成果物をグループ内で装着した結果から得られたものである。制作期間が予定より大幅に長引いたことから、グループメンバー以外の被験者に試してもらうことや、長時間翼を装着するという事はできなかった。これらについては今後、実験を行なっていきたい。

また、肩の筋肉の動きやすさは個人によって異なり、それが顕著に翼の動きに現れる様子が見られた。ある事例では、力を入れているつもりがないのに、翼が動いてしまう場面が見られた。このように、今まで意識していなかった筋肉の動きを意識するきっかけを作ることが翼によって可能になった。

(文責: 堺千里)

## 7.2 担当分担課題の評価

### 7.2.1 堺千里

#### <前期>

指導教員より筋電や力学に関する講義を受け、その知識をもとに活動に取り組んだ。前期は、案決め時間が長かったため短い期間での制作となったが、担当分け、スケジュール管理を徹底し、中間発表で翼のデモ実演をするという目標を達成することができた。

プロトタイプ制作では、翼の外部構造の設計に携わった。翼の素材には軽量で強度の高い発泡プラスチックを、背中に翼を背負うためにライフジャケットを用いた。翼を広げた時の大きさ、角度を考慮しながら制作を進めた。翼の関節部分にはネジとスペーサーを用い、滑らかに動くようにした。後期は、より小さな力で翼を動かせるように、ベアリングを用いることを検討している。

次にプロトタイプを身体に装着し、使い心地を試した。現段階では、筋肉の収縮によって、翼が開閉するところまで実装できた。外から取り付けたものを、自身の筋肉によってコントロールするという、初めての体験に感動した。一方で、それが自分の身体の一部であるという感覚は弱かった。原因としては、身体へのフィードバックが弱いことが挙げられ、翼を広げた時の空気抵抗や揺れをより感じるための仕組みを作ることが課題である。

中間発表ではプレゼンターを務め、グループ報告部分の発表を行った。プレゼンテーションの資料作りも担当した。発表時に行ったアンケートでは、スライドの見やすさ、声の大きさが適切だったという評価を得た。一方で、目的の理由づけや、得られる成果について、あまり納得がいかない、説明がわかりづらいなどの意見もあったので、内容の見直しが必要であると考えた。



<後期>

前期の活動から得られた課題として、翼が自分の身体の一部であるという感覚が弱いこと、計測回路の小型化が必要であることなどが挙げられた。これをもとに、プロトタイプの改善を行った。

まず、プロトタイプを用いて実験を行うことを提案した。プロトタイプに紙やナイロンの布を取り付けて体を揺らしたり、走ったりした。その結果、反作用を得やすくするための素材の検討が必要であることが明らかになった。前期に挙げられた、空気抵抗や揺れに加えて、翼を広げた時の音も重要であった。実験結果から、前期に制作したプロトタイプの改善点を見いだすことができた。実験から得られたことが課題解決の大きな手がかりとなったため、後期の初めに実験を行ったことは有効であった。

次に、翼を前後に動かすための構造、CFRP とアクリルの組み合わせ方について検討した。CFRP は細かい加工が困難であるため、細部のパーツにアクリルを用いてカバーした。私は主にアクリルパーツの設計を担当し、Adobe Illustrator でのデータ制作、レーザーカッターでの出力、微調整を繰り返して行った。レーザーカッターを使った素材の加工や関連ソフトの扱いに慣れていたため、短時間で作業を進めることができた。自身の得意分野を生かすことができ良かったと感じている。また、計測回路と電源の収納方法の検討も合わせて行った。頑丈かつ、美しい見た目にするための試行錯誤がうまくできたと感じている。

また、前期に引き続きグループリーダーとして、スケジュール管理や作業の担当分けを行った。先のスケジュールの見通しを考えないまま、目の前の作業に取り組むことが多かった。また、発注した物品がなかなか届かず、それによって作業が中断することもあった。苦しい状況でも全体の期間を考えながら作業を進めなければならないということが反省点である。作業の担当分けにおいては、グループメンバーそれぞれの作業の進捗を把握しつつ、適切な仕事の割り振りができたと感じている。

最終発表に向けて、プレゼンテーションの資料作りを担当した。翼を装着した際の気づきを振り返った上で、改めて身体拡張とは何か、翼の有用性について意見をまとめた。図や制作時の写真を積極的に利用し、聞き手を飽きさせないような資料作りをすることができた。制作時の様子を積極的に撮影していたおかげで、スムーズに資料作りを進めることができた。最終発表では、中間発表と同様にプレゼンターを務め、グループ報告部分の発表を行った。アンケートでは、説明のわかりやすさ、声の大きさが適切であるという評価を得た。

(文責: 堺千里)

## 7.2.2 天野紗衣

<前期>

最初に、筋電を利用する際やモノを制作する際に必要な知識として、指導教員から筋電や電気回路、力学についての講義を受けた。その後、アイデア出しを行っていったが、「筋電を活用する必要性」についての考えが疎かになってしまっていたため、本プロジェクトの目的に適したモノを考えるまでに時間がかかってしまった。物事の大事な要素を抜き出し、それに適しているもの、実現できるものは何かについて敏感に考えることができるようになる必要があると思った。

続いて、私は主に内部機構の設計、組み立てとポスターの制作をする役割を担当した。

まず、内部機構の設計、組み立てについて評価する。内部の機構とは、Arduino による

サーボモータの制御や、筋電位を測定する際に利用する電極の制作などである。サーボモータの動作において、目標の動作にするまでに予定より時間が掛かってしまった。先生や先輩方のご助力があり目標を達成することが可能になった。これより、自分自身で問題を解決しやすくするために、筋電位や電子工作についての知識を深める必要があると思った。また、電源供給の面で、現段階では机に置いて使用する電源を利用しているので、小型で動作に必要な電圧をかけることのできる電源を検討する必要がある。

次に、ポスターの制作について評価する。反省点として文字が多くなってしまったことが挙げられる。また、全体として、文字の大きさは読みやすくシンプルなデザインとしたので、見やすさを確保することができた。しかし一方で、地味な印象を与えてしまい、ポスターで興味を持たせるといった効果を下げってしまったと考えられる。後期では、「読んで分かる」ではなく「見て分かる」ようなデザインを心掛け、尚且つ、インパクトを与えることができるポスターを制作するようにする。

<後期>

まず、前期の振り返りを行った。そこから、よりリアルな翼の動きの追求や電源装置の小型化、翼の動きの反作用などについて修正、追加する点を整理した。また、前期には試していなかった羽をつけての実験をプロトタイプを使用して行った。それらの実験では、羽の部分に紙やビニールを取り付けた翼を装着して屋外を走ってみたり、身体を大きく動かしてみたりした。これにより、どのような素材を使用すると反作用を得やすいか判断することができた。

外部機構の制作では、羽の形状を検討した。このとき、取り付けやすさ、見た目の美しさ、収納方法の3点を意識し檜扇形などの案を考えプロトタイプを制作した。最終的に、黒い画用紙を蛇腹型に折り、張り扇型にして骨格に取り付けるようにし、美しく反作用を得やすい構造にすることができた。

内部機構の制作では、Arduinoによるサーボモータの制御を行った。後期では翼の開閉と羽ばたきの2つの動きを表現することになったため、新しく羽ばたきの動きのプログラムを追加した。プログラムの内容は、筋電計測回路で計測した2つの値をそれぞれArduinoによって扱いやすい値に処理をし、筋肉に入れる力の強弱によって値を変化させ、値の大きさをサーボモータの角度を変化させるものとした。また、前期に使用していたサーボモータが不安定な動作をしていたため、動きが遅く、トルクの大きさが大きいサーボモータに変更し、改善をした。これにより、スムーズに翼を動かすことが出来るようになった。

最終発表に向けて、プロトタイプを使用した実験から得られた、新しい感覚、周囲の環境の気付き、反作用の3つのキーワードをもとに、それらが身体拡張から成るものであるといったことや人間の新たな可能性を見出すことができるといったことを推測できる考察を考えた。1年間の成果として納得のいく考察を見出すことができた。また、ポスターの制作を行った。ポスター制作にかかる時間を抽出することができず、レイアウトや図に関して中途半端な出来になってしまった。これからは、ポスターだけでなく全体を通して計画的に進めていくようにしたい。また、最終発表時には実演を行う担当であった。聴衆から良い評価を得ることができるような実演を行うことができた。

(文責: 天野紗衣)

### 7.2.3 柳瀬怜大

#### <前期>

筋電で制御する翼を制作する際に必要となる、筋電位と力学に関する知識や筋電位を計測する技術をグループ全員で指導教員や先輩方から学んだ。前期では、筋電位の計測がうまくできない問題などが出てきた際に、先生や先輩方に助けていただく機会が多くあったので、後期では自分たちだけで問題を解決できる範囲を増やしていく必要がある。

具体的にどのようなインタフェースを制作するかについてグループ内でアイデア出しや話し合いをして、翼を制作することに決まった。前期ではこの期間が全体の半分以上を占めてしまい、制作作業の時間を多く取ることができなかった。後期では、そのようなことがないようにペース配分をする必要がある。

私は主に翼の内部機構の設計とプレゼンテーションについて担当した。

翼を開閉する機構は調査した事例を参考にして考案した。後期では、翼に前後の動きを取り入れる予定なので、開閉と前後の動きを両立する機構を新たに考える必要がある。

また、筋電位を測定する回路の配線図を設計した。筋電位を測定することはできたが、回路をユニバーサル基板で制作したことや、配線図の設計が初めてだったことから、サイズが大きなものとなってしまい、背負って使用することはできなかった。後期では、回路をよりコンパクトに設計することや、プリント基板を使用することなどでサイズを小さくして、背負える大きさにする必要がある。

中間発表にて、プレゼンターとして前半グループで羽についてのプレゼンテーションを行った。プレゼンテーションの内容や声の大きさなどは、発表評価シートの結果から、特に問題があることはなかった。しかし、発表時間をオーバーしてしまい、質問の時間を設けることができなかった回があった。最終発表では、時間配分ができていないプレゼンテーションにする必要がある。

#### <後期>

前期で制作したプロトタイプを自分たちで試してみることや実験を行う中で挙げた課題として、翼を自分の身体の一部としてあまり感じるということができなかったことがあった。これを解決するためには、翼に前後の動きを加えること、翼の骨格の素材の再検討、翼本体に筋電計測回路や電源を一体化させること、翼の膜部分を制作することが必要であると考え、制作した。

翼に前後の動きを加えるための機構を考えた。軸を作って根元から動かす方法や、ワイヤーを用いて動かす方法を考えたが、実現可能性を踏まえて、軸を作って根元から動かすプロトタイプの制作をした。軸を回転させるためにサーボモータを使用した。どのいちにいくつ使用するかについてもプロトタイプを制作した。根元の上下にサーボモータをつける形だと、上下のサーボモータが正確に同時に同じ動作をしないとねじれが生じてしまい翼が破損する恐れがあったので、上下のどちらかにサーボモータをつけることにした。上と下では、上につけた場合のサーボモータへの負荷が大きいと考え、下にサーボモータをつけることにした。

翼に前後の動きを実現させるために、機構の他に2チャンネルの筋電計測回路が必要となったが、前期で使用していた筋電計測回路は1チャンネルしか計測できなかったため、新たに2チャンネルの筋電計測回路を制作した。後期の筋電計測回路では、4回路入のオペアンプを使用することや、配線図を再設計することで回路のスペースの削減を行った。前期の

筋電計測回路よりもチャンネル数が増えたが、基盤のサイズは前期のものよりも小さく制作することができた。

一方で、完成した翼を背負って激しい動きをすることで、筋電計測回路のはんだ付けの不備から、最終発表直前に動作不良を起こすことがあった。このようなことが起きないように、イレギュラーな状況での利用でも問題のないような強度のものづくりを行いたい。

翼本体だけで歩き回ることができるように、小型の電源装置の制作とブレッドボードの代わりとなる基盤の制作を行った。プロトタイプでは、翼の外部から電源装置を用いて筋電計測回路の電源供給を行っていたことや、サーボモータと Arduino、筋電計測回路の接続にブレッドボードを使用していたため自由に歩き回ることができなかった。

本制作の際には、3端子レギュレータとコンデンサを用いて 9V 電池を降圧して筋電計測回路を動作させるために必要な 5V を安定供給できる電源装置を制作した。また、ブレッドボードの代わりとなる基盤を制作することで、ブレッドボードで配線をする際に使っていなかった余分なスペースを削減することができた。これによって、翼本体と電源装置を一体化させることができた。

翼の膜となる部分の設計を行った。鳥やコウモリなどの実際の動物や、フリーサイズの落とし蓋や扇子などを参考にして紙やナイロンを用いていくつかのプロトタイプを制作した。蛇腹状に画用紙を折ったものを二つ重ねたものを採用することにした。安定して動作させることができることや、開く際に大きな音が鳴ることや、見た目が良いことが採用の理由である。しかしプロトタイプのサイズが実際のものとは異なったものだったことや、プロトタイプの質自体があまり高く作れなかったため、膜を決定するまでに時間を多くとってしまったので、プロトタイプを制作する技術を上げる必要がある。

(文責: 柳瀬怜大)

## 7.2.4 郡司貴明

<前期>

筋電位を扱うための知識が無かったので、指導教員より筋電位に関する講義を受け、筋電回路について学習した。また、学習した内容をもとに実際に筋電位を計るために必要な装置の設定および筋電位の測定を行った。

以上のことを踏まえ、筋電位で稼働する、新たな身体感覚を得るための翼のプロトタイプを作成し始めた。

その中で私は主に翼を動かす機構の考察、および筋電位でサーボモータを動かすための回路の設計に携わった。機構の考察についてはサーボモータを翼のどの部位に取り付けることによって動作が実現されるかを考察した。その結果、翼の中に取り入れているリンク機構のジョイントのひとつをサーボモータにすることによって、翼の開閉の動きを実現することに成功した。加えてサーボモータの固定方法を提案した。筋電位でサーボモータを動かすための回路の設計については、過去に受講した講義の内容を参考にして可変抵抗でサーボモータを動かす回路をブレッドボード上で作成し、その後筋電位で動かす回路を作成した。実際に完成した翼を動かしてみた感想としては、自分の身体の一部としての感覚はまだ弱いと感じた。原因として人体へのフィードバックが弱いと考えた。後期ではどのようにしてフィードバックを得るか、新たな身体感覚とはどのような感覚なのか、またどのように活用していくかといったような作成物に関する深層部分について考察する必要がある。

最後に、中間発表で私はプレゼンターを勤め、後半グループの導入部分のプレゼンテーションを行った。結果として、プレゼンテーションの基本や、限られた時間で相手に適切かつ必要な情報を伝えるためのプレゼンテーション方法について学んだ。また、発表評価シートの結果から、声が大きく聞き取りやすい、説明が分かりやすい、時間配分ができていなかったといったような評価を得た。最終発表に向けては、発表評価シートの結果や実際に発表を行った際に感じたことなどをメンバー内で共有し、私たちのプレゼンテーションについて見直す必要がある。

#### <後期>

前期で上げられた主な課題として、翼を動かした時翼が自分の身体の一部としての感覚はまだまだ弱かったことが上げられた。この課題の解決策を考案するために、前期で作成したプロトタイプを用いた実験を行った。実験の内容はプロトタイプを装着して走る、体を揺らすというものだった。しかしプロトタイプは翼の骨格だけなので、より空気抵抗を受けられるように紙や傘に使われているナイロンの布を取り付けて実験を行った。実験の結果から、前期に挙げられた振動や空気抵抗に加えて、羽ばたく動作をした際や翼を広げた際に発生する音も翼の存在を感じるうえで重要な点だと感じた。このことを踏まえて素材の再検討を行った。

次に翼が前後に動く機構を考案した。ケント紙や割り箸を用いてプロトタイプと同じ物を小さいサイズで作ったものや、発泡プラスチックを用いて機構を考案した。私は主に発泡プラスチックを用いて機構の考案を行った。具体的にはメンバーとの話し合いで出てきたアイデアでプロトタイプを動かすとどのような動きになるのか確認、そしてより自分たちの求める動きに近づけるためにはどうすればよいのか検証するものだった。結果、翼を固定する支柱に一本の軸を通し、底面に固定したサーボモータを動かすことで羽ばたく動きを実現した。出てきたアイデアを迅速且つ忠実に再現することができたと感じる。

完成したプロトタイプをもとに CFRP とアクリルを用いて翼の骨格を形成した。私は主に CFRP の加工を行った。

完成したプロトタイプをもとに CFRP とアクリルを用いて翼の骨格を形成した。私は主に CFRP の加工を行った。CFRP は強度が強く、一般的なドリルや鋸で加工することが難しく、また加工する際に発癌性のあるダストが発生したり、切り口に棘状になった炭素繊維が残ってしまい外傷を与える恐れがあることから加工することは困難であった。しかし、指導教員のアドバイスの元、高強度のドリルと鋸で加工することができ、また水中で加工することによりダストの発生を防ぐことができた。切り口や CFRP の板の角を目の粗い金属鏝で削り、最後に目の細かい金属鏝で削ることで CFRP の板の角は丸くなり、切り口を触っても棘状の炭素繊維が刺さらなくなった。さらに翼の関節に開閉用のサーボモータを組み込むとき、発泡プラスチックで制作したプロトタイプの際は柔軟性のある素材の特徴を生かして、サーボモータの大きさに骨格の一部を切り抜いてサーボモータをはめ込んでいた。しかし CFRP を用いてプロトタイプを再現しようと試みたが、素材の持つ柔軟性の違いと加工のしにくさから骨格の一部を切り抜き、はめ込むことはできないと考えた。そこで、凹型に加工した CFRP を 2 つ用意しくぼんだ部分でサーボモータを挟み込み、その上下からアクリルパーツで挟み込みボルトとナットで固定した。CFRP を凹型に加工するときは専用の糸鋸をもちいた繊細な操作が必要だと感じた。以上のことから CFRP の加工は満足のいく出来となったと感じる。

内部システム班と協力して使用する筋肉の再考を行った。前期の成果物は 1 チャンネルの

筋電計測回路を用いて操作していたが、後期の成果物は2チャンネルの筋電計測回路を用いて操作するので新しく使う筋肉の再考をする必要があったためである。実際に翼をいろいろな筋肉を用いて操作した結果使用する筋肉は上半身の筋肉でまとめ、電極を貼っても邪魔にならず見た目も害さない筋肉を用いることに決めた。多くの試行の結果から、右側の僧帽筋と左側の僧帽筋を用いて操作するものとなった。

羽の作成に関しては、画用紙の加工や扇状に折った画用紙をどのようにして束ねるか、どのように接着すると翼が開閉するときに羽が美しく動くか考案を行った。羽を骨格に付けるために両面テープを用いたが、接着する手段に関してはもう少し考える必要があると思う。しかしながら、限られた時間の中で満足できるものに仕上がったと思う。

最終発表会ではプレゼンテーションの原稿づくりや、最終発表において全体の導入部分のプレゼンテーションを担当した。結果、評価シートの内容からは声量が十分で聞きやすかった、もう少し落ち着いて発表すると良い、スライドを指図する際はレーザーポインタや指示棒を用いると良いといった評価を得た。

(文責: 郡司貴明)

## 7.2.5 田中蒼志

<前期>

はじめに、プロジェクト全体で指導教員の講義を受け、生体筋電位や力学基礎に関する知識を習得した。

次に、目標制作物を設定するため、各メンバーがそれぞれ調査・検討したアイデアをグループ内で共有し、ブレインストーミングや意見交換を行った。最終的に目標制作物を翼に設定したが、ここで多くの時間を使ったため、制作に使える時間が短くなってしまった。後期ではアイデア出しを素早く進め、制作や実験に時間を多く回す必要がある。

その後、指導教員及び研究室の方々の協力のもと、プロトタイピングに取り組んだ。私は材料の検討と部品の加工、組み立て作業に携わった。前期では翼の構造の設計や、筋電計測回路や Arduino のプログラムといった内部システムの作成をグループメンバーに頼っていたので、後期では積極的に参加したい。

完成したプロトタイプを実際に装着して動作実験を実施した結果、身体動作との連動については目標を達成できていたと考える。しかし、回路や Arduino、電源を組み込むスペースの確保ができず、また羽のデザインやシステム全体のレイアウトといった外観についても十分なブラッシュアップができなかった。他にも、現状のライフジャケットによる装着方法では、気温の変化に対応できないという欠点が判明した。

後期では上記の改善点をもとに、形状や素材、装着方法について見直しを図る必要がある。

<後期>

まず、前期で完成したプロトタイプを使用して実験を行い、翼の存在が身体の動作に与える影響について検証した。結果、翼を装着することで風や空気といった周囲の環境の影響を受けやすくなること、膜状の部品を取り付けることによってその効果がより大きくなること判明した。

その後、実験結果を踏まえて外装部分の設計を見直し、羽ばたきの動作を実装するための機構について、プロトタイプを改良しながら検討した。同時に最終成果物で使用する素材や部品についても指導教員の協力を得ながら検討し、骨格の素材を発泡プラスチックから

CFRP に変更すること、可動部にベアリングを組み込んで動作を滑らかにすることを決定した。

最終成果物の制作においては、前期のプロトタイピングに引き続き部品の加工・組み立て作業のほか、使用する部品の追加発注も担当した。

CFRP の加工に際しては、指導教員の指導のもと、糸鋸やドリルを使用した加工方法について学習し、部品加工に十分活用することができたと考える。その他、膜の部分に使用する画用紙の加工と組み込みも行った。

最終発表では実演を担当し、プレゼンテーションの担当者と協力して滞りなく発表することができた。また発表評価シートを集計した結果、制作物とその動作を実演形式で見せたことはプレゼンテーションにおいて有効であり、聴衆からも高い評価を得ることができた。

活動全体を振り返って、グループメンバと連携しながら作業を進めた点、プロトタイピングの結果を最終成果物の改良の際に活用して課題を解決した点に関してはよくできていたと考える。

しかし、スケジューリングや作業時間の配分に関しては見通しが甘い部分も多く、部品発注の遅れを招いてしまったほか、発表の直前は制作とプレゼンテーションの準備を並行して進めざるを得なかった。また実験についても、制作物の完成が遅れたため十分な時間を確保できず、グループ内のみでの検証となってしまったことが反省点として挙げられる。

(文責: 田中蒼志)

## 7.2.6 金村奈津美

<前期>

制作にあたり必要となる筋電や力学に関する知識や電極の制作方法を指導教員、研究室の方々から学んだ。実際に計測を行いつつ、案出しを行った。コミュニケーションツールなのか、それとも第三の腕として活用可能なものなのか、など制作物のイメージが固まらず余曲折ありながらも最終的には筋電で動く翼の制作に決定した。

6人居るメンバーを内部システム班と外装班の2つに分け、その中で私は外装班を担当することになった。翼の機構について様々な事例を調べ、具体的に決定するまではダンボールやMDFを用いて検討を行った。機構決定後は素材の検討に入ったが、段ボールはそもそもの強度がなく、MDFは強度はあっても重量があり動作する際にうまく動かないだろうと考えた。そこで指導教員からの助言もあり、発砲プラスチックという素材を購入し翼の基となる機構を制作した。関節部分はネジによる摩擦を減らすため、スペーサーを使用し、また付け根の位置に当たる場所にはサーボモーターを取り付けることによって開閉の動きを実現した。

実際に翼を背負って動かしてみた感想としては、翼を動かした際に人体へのフィードバックがなく、動かしているという意識も視覚や聴覚的要素によるものが大きい。目隠しと耳栓をして完全にそれらを遮断したときにも動かしているという感覚を得られるような仕組みが必要なのではないかと考える。

前期の成果としては筋電位を用いて翼を動かすことは可能になったが、それはあくまで開閉のみの動作であり、鳥の羽ばたきと呼ぶにはあまりにも稚拙である。そして新たな身体感覚の発見を目標に掲げているものの、今回の制作物はそもそも人体へのフィードバックが少ない。従って、翼を身に着けたときにどのような感覚を得られるのかという問題についても

未だ検証が行えていない。我々はこれらを後期の課題として制作を進めていく必要がある。

中間発表では、翼を装着しプレゼンに合わせて動作する実演を行った。実演自体はラグもなくスムーズに動作することができたが、ずっと着用していると暑いということがわかった。現在ライフジャケットに翼を固定しているが、もう少し気軽に着用できる素材の見直しも行う必要がある。

(文責: 金村奈津美)

### 7.3 今後の課題と展望

筋電計測回路の課題は、脆弱性の克服である。具体的には翼を動かし激しい動きが発生すると、筋電計測回路のはんだ付けがとれてしまう不備が見られた。従って、激しい動きにも耐えうる設計にし、イレギュラーな状況下においても安定した動作が実現できることが課題である。

現在 Arduino の電源に 9V 角形電池を使用しているが、電池の消費が激しく、電池が消耗した時に使用すると翼が開いた状態を保つことが出来ず、長時間使用することが難しかった。このことから Arduino に使用する電源はコスト面や利便性を考慮して充電可能で長持ちし、かつ背中に取り付けることができるサイズ、重さの電源を取り入れる必要がある。

外装の課題はより頑丈な改善を図ることである。具体的には、背中に取り付けている筋電計測回路や Arduino がむき出しの状態となっており、現状では外部からの衝撃によって動作に支障をきたす可能性がある。このため外から覆うカバーのようなものを設計するなどして、外部からの刺激に耐えることができる設計に改良する必要がある。またそれに加えて、現在翼の骨格には黒色の画用紙を蛇腹状に折った物を張り付けているが、固定方法が両面テープであり、翼を動かした際に画用紙が取れてしまうことがあった。より強固に固定できる手段を考案すること、画用紙の耐久性が低いので画用紙より強度が高く、かつ翼が開閉するときに音がよく鳴る素材を追及することが必要である。ベアリングを翼の関節部分に埋め込む際に空けた穴が少し大きかったため、翼の開閉時にベアリングが取れてしまう事態が多々見られた。現在はエポキシ樹脂接着剤を用いてベアリングを固定したが、開閉運動に耐えることができず取れてしまうベアリングが少数ではあるが存在する。従って、ベアリングの固定方法も再考する必要がある。

完成した翼を実際に操作したところ、今まで感じたことがなかった風や空気の存在を感じることや、空気をつかむような感覚を得た。また、風を読みながら走ったり、自然と動き回りたくなるといった行動変容が見られた。このことから私たちが開発した翼を操作することで外界の環境情報をより顕著に身体を用いて感じることができ、より環境の情報を読み取る力が強くなると考える。しかし、これらの考察や展望はグループメンバーが試装着した結果から得られたものであったグループメンバー以外の被験者の試装着、および実験によるデータは得られていない。従って、成果物を用いた評価実験をグループメンバー以外の被験者に実施し、成果物に関する客観的な評価を得てさらなる可能性を探求する必要があるといえる。

(文責: 郡司貴明)



## 参考文献

- [1] 大竹博. (2016). 鳥型羽ばたき飛行系ロボティクス. 日本ロボット学会誌, 34(1), 14-18.
- [2] 早川 裕彦, サライジ ムハマドヤメン, フェルナンド チャリス, 南澤 孝太, 舘 (2016) テレィグジスタンスの研究 (第 87 報) 一空中における身体拡張感のための 飛行型テレィグジスタンスシステムの提案一, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集
- [3] Davenport, Clark Michael (2013) Supernumerary robotic limbs : biomechanical analysis and human-robot coordination Training, Massachusetts Institute of Technology, <http://hdl.handle.net/1721.1/81600>
- [4] 武石みどり (2014) 「鷹の井戸」の音楽 : 東西文化から生まれたもの, 東京音楽大学研究紀要, 第 38 巻, 25-45
- [5] 渡辺哲夫, 西尾修一, 小川浩平, 石黒浩 (2011) 遠隔操作によるアンドロイドへの身体感覚の転移, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-D No.1, 86-93