

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 B

**Group Name**

Group B

プロジェクト番号/Project No.

21-B

プロジェクトリーダー/Project Leader

1016088 豊見城 凧 Nagi Tomishiro

グループリーダー/Group Leader

1016190 稲船美成恵 Minae Inafune

グループメンバ/Group Member

1013233 窪田 滉也 Koya Kubota

1016008 加本麻那美 Manami Kamoto

1016106 難波秀伍 Syugo Namba

1016190 稲船美成恵 Minae Inafune

1016201 長岐勇大 Yudai Nagaki

指導教員

櫻沢 繁 高木清二 辻義人 安井重哉

**Advisor**

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Yoshihito Tsuji Shigeya Yasui

提出日

2019 年 1 月 16 日

**Date of Submission**

January 16, 2019



## 概要

古代ギリシア神話の一節「イカロスの翼」やギリシャの彫像「サモトラケのニケ」のように、人間はこれまで、非常に多くの芸術作品の中で、翼を持つ人間を想像してきた。そこには、「飛ぶ」という翼の機能だけでなく、翼の見た目や動きの美しさへの憧れがあったのではないだろうかと考える。そこで本グループは「翼」に焦点を置いた。普段翼を持たない我々がはばたく翼を持つと、どのような身体感覚が生まれるだろうか。本グループでは、その感覚に興味を持ち、筋電インタフェースを用い調査することにした。

筋電インタフェースとは、脳が各部に指令を出した際に発生する筋収縮時に皮膚表面に現れる筋電位という活動電位を用いて制御するデバイスである。これにより、自身の筋収縮とデバイスの動きの同期が可能となる。

まず、本グループは翼についてアイデアを出し合った。話し合いのはじめでは、体を守る翼や空を飛ぶための翼を考えていたが、話し合ううちに翼の見た目の美しさやしなやかな動きに関心があると気付いた。それから鳥の翼の構造や羽ばたき飛行機について調べ、鳥の骨の形状や羽根の枚数、機械的に羽ばたきを再現する方法などの調査を行った。また、翼の取り付け方、サーボモータの動かし方を試行錯誤しながら、鳥の自然な羽ばたきを再現するように工夫したプロトタイプを制作した。その後、16名の大学生男女に制作した翼を装着してもらい、アンケート調査を行ったところ、装着感は良いが、自分の身体の一部としての実感は薄かったという意見が挙がった。よって、現在のプロトタイプでは、上記の検証が不可能であった。今後は、より軽くて丈夫な材料を使用したり、装着者が力を入れることと翼の羽ばたきをどう連動させるかを検討していくことが必要である。

キーワード 筋電位, インタフェース, 翼, 身体感覚, 羽ばたき

(※文責: 稲船美成恵)

# Abstract

As depicted in a passage of ancient Greek mythology "Wings of Ikaros" and a greek statue "Nike of Samothrace", human beings have imagined human beings with wings among so many work of art. On the wings, we think that there was a longing for not only the function of the wing "flying" but also the beauty of the appearance and motion of the wings. So we focused on "wings" and decided to think of it as one of the approach to body expansion using electromyogram. What kind of body sensation will be born when we have wings which do not flap normally? We are interested in that feeling and decided to investigate.

The interface using electromyogram is a device that uses an action potential observed on the skin surface when muscular contraction occurs when the brain commands each part. By using the measured value for the control of the device, it is possible to synchronize its muscle contraction with the movement of the device.

Firstly, we discussed ideas about the wings. At the beginning of discussion, we thought about what kinds of wings in the world. For example, wings to protect the body, wings to fly in the sky. Among them, we investigated that they are particularly interested in the beauty and supple movement of the wings. Also, we tried and errored how to install the wings and how to move the servo motors. And, we made a prototype devised to reproduce the flapping of birds. When we try to investigate what kind of sense with this prototype, we found that this structure does not create a sense of being part of the human body. After that, we did a survey to 16 males and females of university students. As a comment, there was an opinion that the feeling of wear on the wings was good, but the feeling as a person's body was thin. However, with the current prototype, the above verification was impossible. After this, it is necessary to examine how to use lighter and more durable materials, and how the wearer engages in putting emphasis on wing flapping.

**Keyword** Electromyogram, Interface, Wings, Physical Sensation, Flapping

(※文責: 窪田滉也)

# 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
1.4	従来の問題点 . . . . .	2
1.5	課題 . . . . .	3
<b>第 2 章</b>	<b>プロジェクトの概要</b>	<b>5</b>
2.1	問題の設定 . . . . .	5
2.2	課題の設定 . . . . .	5
2.3	到達レベル . . . . .	5
2.4	課題の割り当て . . . . .	6
2.5	計測機器 . . . . .	6
2.5.1	電極 . . . . .	6
2.5.2	不関電極 . . . . .	7
2.6	筋電計測回路 . . . . .	7
2.6.1	差動増幅回路 . . . . .	7
2.6.2	ハイパスフィルタ . . . . .	8
2.6.3	非反転増幅回路 . . . . .	8
2.6.4	ダイオード . . . . .	9
2.6.5	積分回路 . . . . .	9
2.6.6	電源装置 . . . . .	9
2.7	外装 . . . . .	10
2.7.1	骨組み . . . . .	10
2.7.2	羽根 . . . . .	10
2.7.3	装着 . . . . .	10
2.8	制御回路 . . . . .	11
2.8.1	Arduino . . . . .	11
2.8.2	ICS 変換基板 . . . . .	11
2.8.3	制御プログラム . . . . .	11
2.8.4	サーボモータ . . . . .	11
<b>第 3 章</b>	<b>課題解決のプロセス</b>	<b>13</b>
3.1	前期製作 . . . . .	13
3.1.1	従来課題と解決策 . . . . .	13
3.1.2	前期成果物 . . . . .	13
3.2	前期成果物と問題点 . . . . .	13
3.2.1	回路 . . . . .	13

3.2.2	外装	14
3.2.3	制御	14
3.3	プロジェクトにおける各人の役割	14
3.3.1	稲船美成恵	14
3.3.2	加本麻那美	15
3.3.3	窪田滉也	15
3.3.4	長岐勇大	16
3.3.5	難波秀伍	17
3.4	担当課題と他の課題の連携内容	18
3.4.1	稲船美成恵	18
3.4.2	加本麻那美	18
3.4.3	窪田滉也	18
3.4.4	長岐勇大	18
3.4.5	難波秀伍	18
<b>第 4 章</b>	<b>結果</b>	<b>19</b>
4.1	成果物	19
4.1.1	回路の問題点への対応	19
4.1.2	外装の問題点への対応	19
4.1.3	制御の問題点への対応	20
4.1.4	成果物の総合的評価	20
4.2	アンケート調査	20
<b>第 5 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>23</b>
5.1	前期成果物	23
5.1.1	概要	23
5.1.2	問題点	23
5.2	後期成果物	24
5.2.1	概要	24
5.2.2	アンケート調査	25
5.3	今後の課題	25
付録 A	課題解決のための技術 (新規習得)	27
付録 B	課題解決のための技術 (講義)	29
参考文献		31

# 第 1 章 はじめに

## 1.1 背景

もし、我々の背中に翼が生えていて、その翼を自らの意思で動かすことができれば、人間の身体感覚はどのように変化するだろうか。人間はこれまで、非常に多くの芸術作品の中で、翼を持つ人間を想像してきた。また、人類は翼を想像するだけでなく、実際に翼で羽ばたき飛行するための手段を検討してきた。レオナルド・ダ・ヴィンチが検討を行なった羽ばたき飛行装置については、既にその機構は完成されているが、今現在も羽ばたき飛行のメカニズムについての研究や改善が行われている [1]。本グループは、これらの研究が行われてきた理由には「飛ぶ」という翼の機能だけでなく、翼の見た目や羽ばたき等の動きの美しさへの憧れや探求があるのではと考える。また、実際に自身の感覚や意思で動かせる翼は未だ実現されていない。そこで本グループは「翼」に焦点を置き、人間が自らの意思で動かすことができる翼を持った時、どのような身体感覚の変化が起こるのか、また、どのような行動変容が起こるのか調査することを試みた。

(※文責: 窪田滉也)

## 1.2 目的

本グループの目的は、自身の身体の一部であるかのように羽ばたかせられる翼を取り付けることで、人間にどのような身体感覚の変化が起こるのか、また、どのような行動変容が起こるのか調査することである。

翼を身体の一部のように扱う方法の1つとして、ボタンを押す、腕を振るなど、装着者の身体の一部の動きを、翼の羽ばたきに変換する方法がある。しかし、その身体の一部の動きが制限されたり、装着するための機器が多くなり、翼を新たな身体の一部として感じられないと考えられる。そこで本グループでは、人間が筋肉の収縮によって身体を動かしていることに着目した。筋肉が収縮すると、筋電位という電気信号が生じる。本グループでは筋電位を用いることで、筋肉の収縮という直感的な動作によって翼を新たな身体の一部のように動かすことができるのではないかと考えた。その中でも、翼は進化の過程で前足から変化したことを考え、腕の筋肉の筋電位を用いた。

翼による身体感覚として、浮き上がるような感覚、気分の高揚などが考えられる。そこから、他者への顕示欲、運動への意欲の高まりなど心理状態が変化し、行動変容に繋がると考えられる。本グループでは、自身の一部であるかのように羽ばたかせられる翼を製作していく。また、製作した翼を様々な人に装着してもらい、上記の観点に基づいて、装着者の行動変容を検討する。あわせて、上記以外にもどのような身体感覚、または行動変容が起こるのか、本グループでは探索的に調査していく。

(※文責: 稲船美成恵)

### 1.3 従来例

昨年度の翼に関するプロジェクトと、今年度の本プロジェクトの翼の研究で参考にした文献についてまとめた。

まず、昨年度の翼に関するプロジェクトでは、翼による身体感覚の調査を行うために翼の製作を行った。その目的は、外部から身体に取り付けた翼を自身の意思で自在に動かせることで、新たな身体感覚を得て、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、どのような身体感覚を得て、どのような活用ができるのか調査した。そして、彼らは従来での身体拡張分野では、腕や肩などの他の部位の動きと連動して機械が動くものが多い中で、取り付けた部位だけを第三の腕であるかのように操作できないかと考えた。そこで、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、筋電位を用いることで、外部から取り付けたものを身体の一部であるかのような感覚で操作できるのではないかと考えた。筋の部位には、背中に翼を取り付けた際の翼の付け根の位置に近い、僧帽筋の筋電位を利用した。成果物として、筋肉の動きによって開閉と前後の動きが可能な翼を製作した。そして調査結果として、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、風を感じて走り出したくなることや、身体を動かしてみたいなどの行動の変容がみられた。しかし、これらの結果は、グループメンバー内で装着した結果から得られたものであり、グループメンバー以外での被験者にて調査を行うべき課題があった。

次に今年度の本グループにおける翼の研究で参考にした文献を紹介する。1.1 節で述べたように、1490 年、レオナルド・ダ・ヴィンチは鳥の羽ばたきの仕組みや骨格を調べ、羽ばたき飛行装置であるオーニソプターの設計を行った。また、生物飛行の運動メカニズムに関する研究として、Hao[2] は生物飛行のシミュレーションと小型飛翔体の研究を行った。文献 [2] では、大きなエンジンと翼を搭載するジェット旅客機のような人工飛行体は、時に墜落するが、翅の羽ばたきで飛ぶ昆虫は、横風のような強い外乱を受けても墜落しないということに着目した。そこで羽ばたき飛行する昆虫の静止・前進・旋回を含む全ての自由飛行を再現する開発を行った。

以上の先行研究より、昨年度の翼に関するプロジェクトでは、翼を装着した際の身体拡張の調査と活用分野について取り組みを進めていたが、製作物には課題があり、調査は必ずしも十分なデータが得られなかった。また、従来の翼に関する研究から、生き物の翼に着目していることがわかった。そこで本グループは、特に翼の羽ばたきに注目して、鳥類の持っているような翼の製作及び十分なデータが得られる調査を実施する。

(※文責: 難波秀伍)

### 1.4 従来の問題点

昨年度の取り組み事例を検討したところ、以下の 2 点が問題点として挙げられた。

1. 翼にリアリティがない
2. 「自在に動かす」ことができていない

昨年度の翼に関するプロジェクトの目的は、人間が筋電位で動く翼を装着すると新たな身体感覚が生まれるかを調査することと、その活用法を検証することであった。昨年度の取り組み事例を検

討したところ、昨年の翼の問題点として、外装が本物の鳥の翼を模倣したものというには不十分であり、目的達成のための手段となるには難しい点と、翼の稼働範囲として開閉機能のみを搭載している点が挙げられる。特に羽根の部分に関しては、一枚一枚が独立しておらず、開閉機能に適したと思われる1枚の画用紙が蛇腹状になったものであった。図 1.1 は、羽根と翼の違いを示したものである。本グループでは、翼を形作るパーツ1枚1枚を「羽根」、数十枚の羽根を用いた器官のことを「翼」という。また、構造に関しては、実際の鳥の翼とは異なる独自の骨組みになっていた。

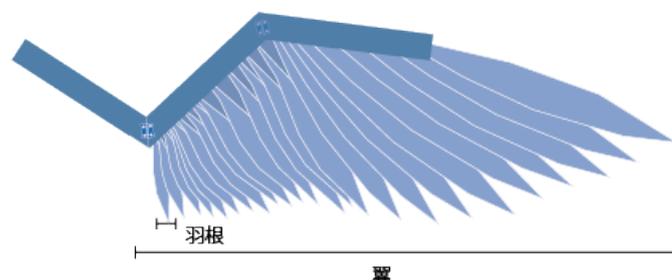


図 1.1 羽根と翼の違い

本グループは、翼をできるだけ本物に近づけ、意のままに操作できるようにすることで、主観的にも客観的にも人と翼が一体化しているという感覚が芽生えるきっかけになるのではないかと考えた。そのため、本グループは翼にリアリティを追求していくことが必要で、筋電位を用いて翼を直感的に操作することが最も適していると考えた。

(※文責: 加本麻那美)

## 1.5 課題

1.4 で述べた2点の問題点の解決を目指してそれぞれに以下の課題を設定した。

1. 羽ばたきを再現する翼の構造を検討，製作する
2. 製作した翼を筋電位を用いて動作させる
3. 翼を装着した人の行動を観察する

1.4 節でも述べたように、昨年度の翼に関するプロジェクトの問題点として、骨組みと羽根が実際の翼を模倣したものというには不十分という点と、動作が開閉機能のみであるという点があげられた。そのため本グループでは、装着者が鳥の翼を装着しているという感覚をより感じられるように、外観を実際の鳥の翼に近づけることを目標として製作を進めることにした。また、翼の羽ばたきに重点を置いて製作を進めることにした。羽ばたきのリアリティを追求することで、装着者は風や空気抵抗の変化を感じることができると考えた。また、1.2 節でも述べたように、翼を自分の身体の一部のように動かすために、翼の動作に、筋肉の収縮を利用することにした。これにより、装着者はより直感的に翼を操作できると考えたためである。

以上の3点を達成することで、装着者が翼との一体感をより感じられる翼を製作し、行動の調査を行うことができると考え、上記の課題を設定した。

(※文責: 長岐勇大)



## 第 2 章 プロジェクトの概要

### 2.1 問題の設定

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を用いて，身体を拡張し，ヒトの考え方や行動，思いといった“行為”を変えることをプロジェクト全体の問題として設定した．ここでは，思い，考え方，行動といったものを“行為”と考える．

本グループは，第 1 章で述べたように，私たちが持っていない器官である翼に焦点を置いた．昨年度は翼の構造が実際の翼と異なり，限定された動きが原因による身体の一部としての実感が湧きづらいという問題点があげられ，以下の 2 点を本グループにおける問題として設定した．

1. 筋電位を用いて装着者の意思で制御する翼の製作をすること
2. 翼のはばたく動きをより実際の鳥の動きに近づけること

(※文責: 加本麻那美)

### 2.2 課題の設定

本グループが解決すべき課題として，以下の 3 点を挙げた．

1. 羽ばたきを再現するための構造と素材の検討
2. 筋電位を計測するための筋電計測回路の学習，及び実装
3. 翼を身体の一部と感じられるような装着方法の検討と実装

これらを解決するために以下の具体策を提案した．

1. 翼に関する構造を理解するために文献を調査する
2. どのような構造が問題解決に適しているか話し合う
3. 昨年のプロジェクトで使用した材料を参考にする
4. 様々な材料でプロトタイプ製作を行う

(※文責: 稲船美成恵)

### 2.3 到達レベル

中間発表時に製作したプロトタイプの翼では，鳥の羽ばたきを再現できるような機構を考え，それを実際に背中に装着し，動作させた．その中で，筋電位による制御ができていなかったこと，モータによる羽ばたきの動作が鳥の羽ばたきとは異なること，翼と装着者との密着度が低く，身体の一部であるという感覚が薄いということなど，様々な問題点が挙げられた．

本グループは後期の到達レベルの目標として，筋電位に連動して動作する翼を取り付けたことで，得られる身体感覚を調査し，それによる行動変容を検証することを設定した．課題をできるだけ解決することを考え，目標設定に際して以下の 5 つの基準を設定した．

1. 筋電位を用いてサーボモータを制御し、それによって翼を動作させることができる
2. 装着者が翼で羽ばたいている感覚を得る
3. 装着者の行動変容を調査する
4. 装着者が翼を自身の身体の一部と感じる
5. 装着者の姿を見た他者が、翼を装着者の一部として感じる

後期を終えての成果物の到達レベルとして、この目標を全て達成したときの点数を 50 点とした。1 つ目標を達成する毎に +10 点とする。

(※文責: 窪田滉也)

## 2.4 課題の割り当て

筋電位を用いたインタフェースを製作するために、筋電位や機械制御に関する知識が必須であった。そのため、①筋電位についての学習を行う。②トルクと慣性モーメントについての学習を行う。③筋電位を用いた先行研究の調査を行い、共有する。以上の 3 点を、グループメンバー全員で行った。

製作を進めるにあたって、実際の鳥に近い翼を製作することを実現するために、鳥の翼について学習する必要があった。加えて、得た知識を製作する翼に反映させることで、鳥の翼に似た構造を再現できると考えた。よって、①鳥の翼の構造や動きについて調査する。②羽ばたきの再現するための構造の検討する。以上の 2 点の課題を外装担当に割り当てた。

製作した翼を筋電位を用いて制御するために、筋電位の計測、及び計測回路の小型化と安定化を行う必要があった。よって、①筋電位を計測するための筋電計測回路の学習を行い、実装する。②回路の小型化と軽量化を行う。③安定して動作する回路を作成する。以上の 3 点の課題を回路担当に割り当てた。

その後、製作した翼を筋電位の計測値を用いて Arduino とサーボモータで制御できるようにし、羽ばたきの再現を目指した。その目標を達成するために、①サーボモータの学習を行い、動作を試行する。②翼を背中に装着させる。③求める羽ばたきを再現するための制御プログラムを作成する。以上の 3 点の課題を制御担当に割り当てた。

加えて、実際に翼を装着した人がどのようなことを感じるのか調べるために、協力者に成果物を装着して質問に答えてもらうアンケート調査をグループメンバー全員に割り当てた。

(※文責: 長岐勇大)

## 2.5 計測機器

### 2.5.1 電極

皮膚表面からの電圧筋電位を計測するために、プロジェクトグループで製作したアクティブ電極を使用した。アクティブ電極は、電極の入力インピーダンスを皮膚のインピーダンスより大きくすることでノイズを減少させることが可能である。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。

(※文責: 難波秀伍)

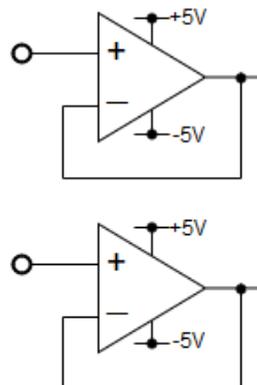


図 2.1 電極の回路図

## 2.5.2 不関電極

筋電位の計測には、基準電位を定め、ノイズを減少させる必要があるため、銀板電極を使用した。銀板電極とは、導電性・電磁波シールド性を持つ銀板である。本製作では、銀板電極を前腕に取り付け、グラウンド線に接続した。これにより、装着した人と機器との基準電位を合わせ、ノイズを減少させた。

(※文責: 難波秀伍)

## 2.6 筋電計測回路

筋電計測回路は、「差動増幅回路」、「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」、「反転増幅回路」により構成される。これらを経由させることで、皮膚の表面から検出した筋電位信号の、増幅とノイズの除去を行う。

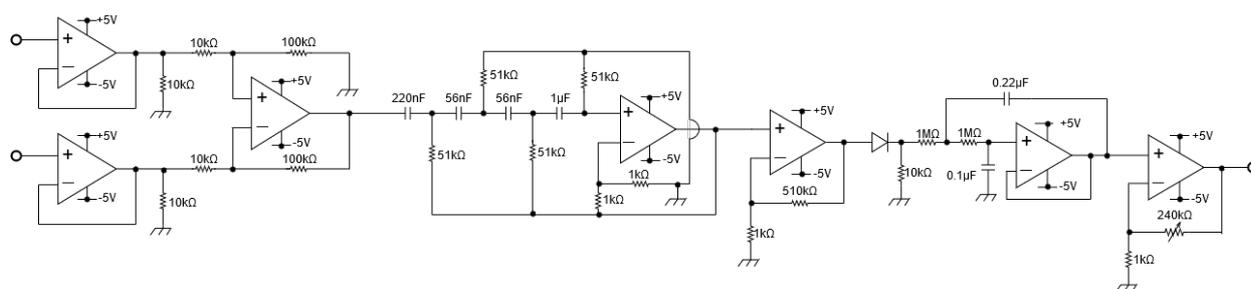


図 2.2 筋電計測回路図の全体

(※文責: 窪田滉也)

### 2.6.1 差動増幅回路

差動増幅回路では、2つの入力信号の差を取って、その差を増幅する。これにより、電極から得られた値の同相ノイズを除去した。

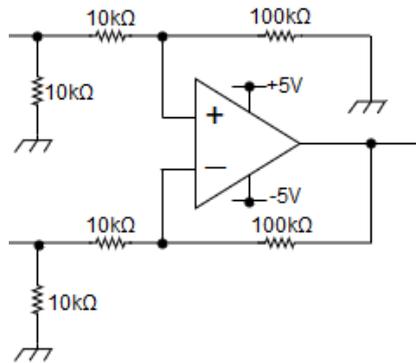


図 2.3 差動増幅回路の回路図

(※文責: 長岐勇大)

### 2.6.2 ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタは、遮断周波数よりも高い周波数信号のみを通過するフィルタである。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。本回路では、4次のハイパスフィルタを用いた。

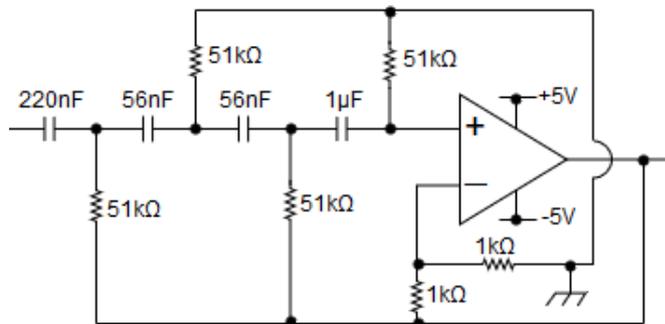


図 2.4 4次ハイパスフィルタの回路図

(※文責: 窪田滉也)

### 2.6.3 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正負を逆転させずに設定した増幅度に増幅することができる回路である。これにより、筋電位の入力電圧が比較的小さい人であった場合も、高い計測値を示すようにした。

(※文責: 難波秀伍)

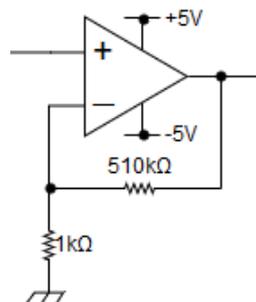


図 2.5 非反転増幅回路の回路図

### 2.6.4 ダイオード

測定値の正負の値がほぼ同じであるため、ダイオードを通すことで負の値を除去する。これにより、半波整流を得ることを可能とした。

(※文責: 長岐勇大)

### 2.6.5 積分回路

積分回路は、入力された電圧を時間で積分して出力する回路である。これにより、包絡線の抽出を行った。

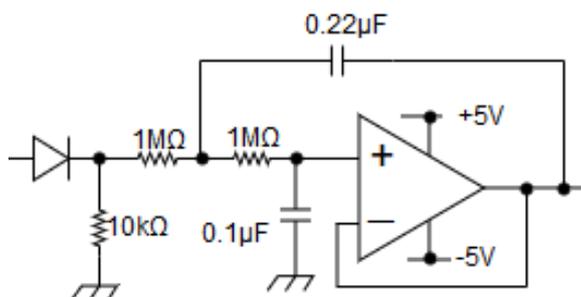


図 2.6 積分回路の回路図

(※文責: 窪田滉也)

### 2.6.6 電源装置

電源装置は、筋電計測回路と装置を動作させるための装置である。本製作で用いた電源装置は、9Vの角電池と電源回路によって構成されている。

(※文責: 難波秀伍)

## 2.7 外装

### 2.7.1 骨組み

鳥の翼は、人間の腕とよく似た骨組みの構成になっている。本製作は実際の鳥の翼にある骨のように、骨組みを3部分に分けた。

<前期>

3部分すべてを塩化ビニル板で製作した。しかし、後述する新たに製作した羽根を用いると、翼全体が重くなってしまったため、より軽量に、なおかつ耐久性のある素材を検討することにした。

<後期>

前期を踏まえ、サーボモータに接着した側から塩化ビニル板、ボール紙、プラダンを用いて再現した。また、翼は振り上げられる時には、複数の関節により徐々に上がるが、振り下ろされる時には、1枚の板のように真っすぐな形となる。この動きを再現するため、図2.7のようにボール紙には切れ込みを入れた。また、ボール紙とプラダンの間の関節部には蝶番を用いた。

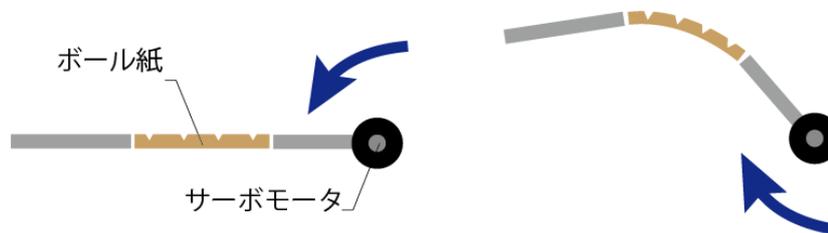


図 2.7 後期の骨組みと動き方

(※文責: 稲船美成恵)

### 2.7.2 羽根

鳥の翼には、羽ばたくための多くの役割を担っている羽根が存在する。

<前期>

羽根の材料として、実際の鳥の羽根の形を型どった画用紙を用いた。片翼につき25枚の羽根を取り付けた。画用紙の性質上、翼が羽ばたくと、摩擦によりバサバサと音が発生した。

<後期>

羽根の材料として農業用の不織布を用いることにより、実際の鳥の羽根の柔らかさや透け感を近づけた。さらに、PPシートを細く切断し、先端をとがらせたものを羽軸とした。羽軸の両面に農業用の不織布をボンドで接着することで羽根を表現した。

(※文責: 加本麻那美)

### 2.7.3 装着

<前期>

ライフジャケットに発泡プラスチックの板を取り付け、その板に3Dプリンターで作成した器具

でポールを取り付けた。さらにそのポールに市販の配管器具を用いて翼を接続した。これにより、ライフジャケットを背負うことで翼の装着を可能とした。

<後期>

翼の付け根のサーボモータを支柱に固定し、その支柱を根元のサーボモータに固定した。さらに根元のサーボモータを市販の折り金具で背面プロテクターに固定した。これにより、背面プロテクターを背負うことで、翼の装着を可能とした。

(※文責: 長岐勇大)

## 2.8 制御回路

### 2.8.1 Arduino

Arduino は、AVR マイコン、入出力ポートを備えた基板であり、Arduino 言語とその統合開発環境から構成されているシステムである。本製作では、ICS 変換基板に適した Arduino UNO を用いて、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を行った。また、電源には 9V の角電池を使用した。

(※文責: 長岐勇大)

### 2.8.2 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。サーボモータや電源を接続することで ICS 機器を利用できる。

(※文責: 窪田滉也)

### 2.8.3 制御プログラム

開発環境に Arduino IDE を用い、サーボモータの制御を行った。

(※文責: 難波秀伍)

### 2.8.4 サーボモータ

サーボモータは、制御プログラムによって設定された目標値に合わせて、位置と速度を制御できるモータである。本製作では羽ばたきを再現するために片翼 2 つのサーボモータで計 4 つを用いた。

(※文責: 難波秀伍)



## 第 3 章 課題解決のプロセス

### 3.1 前期製作

#### 3.1.1 従来 of 課題と解決策

前期成果物の問題点として、翼に用いた材料の材質、羽ばたきの制御が挙げられる。材質の課題としては、羽に使用している材質の耐久性が低い、水に弱い、破れやすいなどの理由から鳥の羽とは異なることが挙げられ、他の材質の利用を検討する必要があった。制御の課題としては、実際に鳥の羽ばたきを観察・分析することや、前期成果物を実際に装着してみることで、翼の羽ばたき方に近づける事を検討していく必要があった。

(※文責: 窪田滉也)

#### 3.1.2 前期成果物

前期成果物は、サーボモータで翼の動が前後に稼働するように制御している。骨組みの部分は塩化ビニル板を使用し、骨組み同士をつなぐために蝶番を使用している。羽根の部分は画用紙を使用し、1枚1枚独立させている。羽根は、OPP テープで骨組みに簡易的に接着している。制御装置、外装部分を長方形に切断した塩化ビニル板に取り付け、それをライフジャケットに接着したものを前期成果物とした。昨年度との大きな違いとして、翼の色、動きの2点が挙げられる。昨年度の翼は黒であったが、今年度は翼を製作するにあたって白鳥をイメージしているため、白とした。動きについては、昨年度の開閉を重視した動きに対し、私たちははばたく動きを重視し、サーボモータの制御と関節の仕組みによってその動きを再現させた。

(※文責: 加本麻那美)

### 3.2 前期成果物と問題点

#### 3.2.1 回路

前期では、ブレッドボードとユニバーサル基板で筋電計測回路を製作した。ブレッドボードは、部品やリード線を差すことで回路を簡単に組み立てられるため、回路の勉強のために使用した。また、ユニバーサル基板は部品や配線の半田付けを行い、実際に使用する筋電計測回路用に製作した。問題点としては、配線の接触不良が起きていたこと、また背中に取り付けるため、より小型化が必要であるということが挙げられ、回路図の見直しと基板加工機を用いたプリント基板での製作を検討した。

(※文責: 難波秀伍)

### 3.2.2 外装

前期成果物の外装における問題点として、以下の2点があげられる。

1. 羽根のリアリティがない
2. 翼の動きが実際の鳥と異なる

羽根の材料として画用紙を使用していたが、耐久性に問題があった。羽ばたくうちに折れたり、破れてしまった。また、実際の鳥の羽根と比較すると手触りや透明感、羽軸の有無といったものが大きく異なり、さらにリアリティのある材料の検討が必要であった。また、鳥は翼を振り上げる時には翼が外側にしなるが、振り下げる時はしなっていない。前期の翼の中央部分は柔軟性のない塩化ビニル板を使用していたため、その動きが実現できなかった。硬い材料かつ一定方向にしならせる材料の検討が必要であった。

(※文責: 加本麻那美)

### 3.2.3 制御

前期に製作した翼の問題点として、翼が1方向にしか羽ばたかないという点が挙げられた。鳥の羽ばたきを横から観察すると、翼を回すように羽ばたいていることが分かった。しかしながら前期製作では、片翼につきサーボモータを1つしか用いていないため、前後方向に羽ばたくのみであった。そのため、翼の動きを実際の鳥の羽ばたきに近づけるために、前後方向に加えて上下方向に羽ばたく制御を実現し、翼に回すような操作を行えるようにする必要があった。

(※文責: 長岐勇大)

## 3.3 プロジェクトにおける各人の役割

### 3.3.1 稲船美成恵

<前期>

5月

プロジェクト内での方向性を決め、グループに分かれるためのブレインストーミングの進行した。以降、グループに分かれてからは、リーダーとして、各話し合いの進行役、スケジュールの提案を務めた。

6月

昨年度の翼の構造や実際の鳥の翼、オーニソプターを参考にしながら、段ボールなどでプロトタイプを作成した。

7月

中間発表のポスターの細かな配置とスライド作成、プレゼンテーションを担当した。

<後期>

10月

実際の鳥についてさらに観察したり調べたりしながら、羽根の枚数や構造を知り、それを外装担当で共有して材料を検討した。

11月

翼の重さを考えて骨組みの形や材料を再検討した。実際の鳥の羽根の配置や重なり方について学習して再現した。アンケート調査においてアンケートを作成した。

12月

各メンバーの作業進捗を把握し、最終発表に向けて方向性の見直し、取りまとめを行った。また、最終発表のスライド作成、プレゼンテーションを担当した。

(※文責: 稲船美成恵)

### 3.3.2 加本麻那美

<前期>

5月

ブレインストーミングの進行役を務めた。また、それを活用したグループワークと案出しにより、成果物を決定した。昨年度の翼の分析とオーニソプターを参考にしたプロトタイプをダンボールで製作した。

6月

翼の材料検討と外装のプロトタイプを製作した。昨年度の成果物を参考にしながら、ダンボールによる機構のプロトタイプ製作をはじめ、関節部分の部品や材料の提案、型の製作を行なった。

7月

プロトタイプの製作を行った。積極的に材料の提案を行ったり、蝶番の取り付け、骨格の型はカッターを用いて材料を加工して再現した。ポスターに関して、部分的な図解とおおまかなレイアウトを担当した。中間発表ではグループのプレゼンも行なった。

<後期>

10月

骨組みと羽根の材料決定し、羽根の製作を行った。材料に関して、不織布とPPシートの組み合わせの羽根の提案をした。また、装着方法について、前期よりもより密着感のある背面プロテクターを提案した。

11月

引き続き、確定した材料にて翼の外装の製作を行った。骨組みの中間部分として重ねた段ボールに切れ込みを入れ、一方方向にだけしならせるようにできるようにし、羽根と羽軸の製作と接着を行った。

12月

全体ポスター、各グループポスターの製作を行った。最終発表会ではグループのプレゼンを担当した。

(※文責: 加本麻那美)

### 3.3.3 窪田滉也

<前期>

5月

担当教員から筋電位の仕組み、計測方法を学習した。ブレインストーミングによる案出し、グ

ループでの目標決定を行った。

6月

担当教員から教わった知識、技術を活かし、筋電回路の製作を行った。また、プロトタイプの製作に必要な技術を積極的に学習していき、それを活用して製作を行った。特に、3Dモデリングの基礎知識を身につけ、3Dプリンターを用いて外装のパーツを作成することを積極的に行った。

7月

プロトタイプの作成を行い、グループ内の作業の進捗をまとめつつ、教員や先輩と相談しながら製作を行った。また、Arduinoを用い、翼に取り付けているサーボモータの制御を担当し、基本的な制御プログラムを作成した。中間発表に向けて練習等の準備を行った。

<後期>

10月

夏季休業中にグループ内で話し合った意見や、翼の構造の検討を行った。また、CADソフト、Illustrator、基板加工機、レーザーカッター等の学習、筋電回路の設計。3Dプリンターによる試作品の製作を行った。

11月

筋電回路の製作と問題点の修正を行ないながら、前期に製作した筋電回路よりも小型化するためにCADソフトのEAGLEや基板加工機等の学習を行ないつつ、プリント基板を用いた筋電回路の製作を行った。また、動作させるための電源回路の設計を行い、筋電回路内に組み込んだ。また、Illustratorで作図したデータをレーザープリンターでアクリル板に印刷することで動作部分の支柱を作成し、制御モータの格納をするための機構、耐久性を保ちつつ、滑らかに動作するための構造を考え作成した。また、3Dプリンターによって製作した翼の骨格と関節の提案と、プロトタイプの製作を行った。その他、前期に使用、製作をした部品の活用方法等を再検討し、改良版の製作等を行った。

12月

グループメンバーや教員と話し合いながら最終発表会に向け準備を行いつつ、成果物の最終調整を行った。最終発表では実演を担当し、発表中のトラブルに対処した。

(※文責: 窪田滉也)

### 3.3.4 長岐勇大

<前期>

5月

ブレーストーミングや構想のプレゼンを行い、本グループの目標を検討した。

6月

担当教員から筋電計測回路の基礎知識を学びながら、ブレッドボードを用いてその回路の製作を行った。グループメンバーや教員と相談しながら章立てと執筆を行った。

7月

プロトタイプの各部の構造や動きを、教員や同じ担当員と相談しながら試行した。教員やプロジェクトメンバーから講評をもらいながら、中間発表の練習を行った。

<後期>

9月

夏季休暇中にグループ内で検討した翼の構造や制御方法を見直した。

10月

小型化を図りながら、回路や電源装置をサーボモータに繋げるための配線や動作プログラムの試行を行った。

11月

背面プロテクターと装置類の接着方法を検討し、実装した。アンケート調査で、翼の調整やメンテナンスを行った。

12月

教員やプロジェクトメンバーから講評をもらいながら、中間発表の練習を行った。グループメンバーや教員と相談しながら、最終報告書の章立てと執筆を行った。

(※文責: 長岐勇大)

### 3.3.5 難波秀伍

<前期>

5月

プロジェクト内で個人ごとに取り組んでいきたいもののプレゼンを行い、方向性の近い人同士でグループ分けを行った。グループ内ではより詳しい内容の決定に向けて、議論やブレインストーミングを行った。また、筋電位の基礎知識や計測方法について学んだ。

6月

5月に引き続き、ブレインストーミングを行い、グループ内の意見を一致させ、具体的な製作物への目的を検討した。

7月

中間発表に向けてプロトタイプを製作し、発表内容、原稿の準備をした。また、ユニバーサル基板での筋電計測回路の製作に取り組んだ。中間発表後には、前期の問題点から後期と夏季休業中の取り組みを検討し、中間報告書を作成した。

<後期>

9月

夏季休業中に行ったことをグループ間で共有し、進捗状況を確認した後、後期に取り組むべき内容の再検討をした。

10月

製作物の構造と素材の検討をした。また、筋電計測回路の小型化に向けて基板加工機を用いるプリント基板について学習した。

11月

電極、配線用プラグ、導電板を作成、Arduinoとモータの制御、機器の取り付け方法の検討に取り組んだ。

12月

成果物の最終調整、聞き取り調査を行い、最終発表へ向けて準備を行った。最終発表では、動作実演を担当し、最終成果物の詳しい説明や質問等に対応した。また、プロジェクト全体の振り返りをして、最終報告書を作成した。

(※文責: 難波秀伍)

## 3.4 担当課題と他の課題の連携内容

### 3.4.1 稲船美成恵

外装について材料や構造のプロトタイプ製作を同じく外装担当である加本と協力した。アンケート調査実施の際には、回路担当と連携して翼の管理・メンテナンスを行った。

(※文責: 稲船美成恵)

### 3.4.2 加本麻那美

よりリアリティのある翼になるように、外装の材料の提案とプロトタイプ製作を稲船と協力して行った。回路担当が作成した回路に適した装着方法を考案し、製作した。

(※文責: 加本麻那美)

### 3.4.3 窪田滉也

回路担当として製作した筋電回路、レーザーカッターでの製作物等をグループ内で共有し、問題点や改善点を共有し、改良していった。また、他の回路担当が行っている作業内容を共有し、改善点の提案などを行った。

(※文責: 窪田滉也)

### 3.4.4 長岐勇大

回路担当が作成した回路基板を装置に組み込み、筋電位の値を用いてサーボモータを動作させるようにした。また、外装担当が製作した翼をサーボモータや背中に装着できるようにした。

(※文責: 長岐勇大)

### 3.4.5 難波秀伍

回路の作成の際、単独で発見することのできなかつた回路図や半田付けの間違いを協力することで発見し、解決することができた。

(※文責: 難波秀伍)

## 第 4 章 結果

### 4.1 成果物

#### 4.1.1 回路の問題点への対応

前期成果物に比べ後期成果物では、背面の筋電回路の取り付け部分を小さくする必要があったため、前期に作成した筋電回路と Arduino を用いた制御回路を、より小型化する必要があった。そのため、CAD ソフトの EAGLE を利用することによって筋電回路を作成し、基板加工機でプリント基板に作成した回路を印刷することで基板を小型化した。また、前期で作成した筋電回路は、回路を動作させるための電源を別に用意する必要がある上、電源装置も大きかったため、2つの 9V 角電池で動作できる電源回路を EAGLE 上で作成し、プリント基板上の筋電回路にひとまとめにすることで筋電回路を小型化するようにした。また、Arduino を用いた制御回路については、サーボモータを全て ICS 基板で操作できるサーボモータに統一することによって、前期では一つの ICS 基板で 2つのサーボモータを制御していたのに対し、後期では一つの ICS 基板で計 4つのサーボモータを操作出来るようにした。その他、筋電回路で装着者の筋力を計測した際、各装着者の筋力の差によって値が上手く計測出来ないことがあり、筋力の個人差が大きい場合でも、安定して計測できる必要があった。そのため、筋電回路内にある、非反転増幅回路の抵抗値を任意に変えられるようにし、増幅度を即座に変更できるようにすることで、各計測者の筋力の違いに即座に対処できるようにした。

(※文責: 窪田滉也)

#### 4.1.2 外装の問題点への対応

3.2.2 節で述べた問題点を解決するために、以下の点の対策を考えた。

1. 軽くてしなやかな羽根に適した材料の検討
2. 丈夫で柔軟性のある骨組みに向けた材料の検討

前期では、画用紙を羽根の概形に切って使用していたため、その形のまま、厚紙や PP シートで折れ曲がらない羽根を検討していたが、羽ばたくときに空気の抵抗によってしなやかに動くことがなかった。また、鳥の羽根には羽軸があり、そこから羽毛が生えている形状である。羽軸があることによって、羽毛に軽くて柔らかい材料を使用しても羽根全体の形を保つことができると考え、不織布、クリアシート、半紙などに羽軸として PP シートをつけて、羽ばたかせて比較した。その結果、本製作には、不必要な音が鳴らず、手触りが羽根に一番近いと感じた不織布を使用することにした。

骨組みについては、中間部分が徐々に振り上がるような動きを実現するため、骨組みの中間部分に切れ込みを入れることを考えた。それには、丈夫で柔軟性のある材料が必要であるため、プラダンやボール紙などで検討した結果、ボール紙を使うようにした。

(※文責: 稲船美成恵)

### 4.1.3 制御の問題点への対応

3.2.3 節で述べた問題点を解決するために、片翼につき2つのサーボモータを使用した。前期ではサーボモータを1つしか用いていないため、1方向にのみ羽ばたきを操作が可能であった。しかし、実際の鳥が行っている、回すような羽ばたきを実現できていなかった。そこで後期はサーボモータを2つ用いることで問題を解決した。支柱の根元のサーボモータで前後方向、翼の付け根のサーボモータで上下方向の羽ばたきを操作できるようにした。これにより、2方向への羽ばたきの操作を可能とした。羽ばたきを2方向に制御できるため、目標であった回すような動きが可能となった。機構部分の図記号表示は以下である。

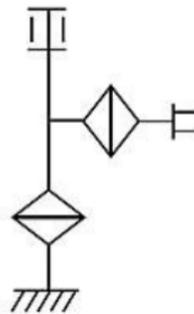


図 4.1 サーボモータの機構部分の図記号表示

(※文責: 長岐勇大)

### 4.1.4 成果物の総合的評価

4.1.1 節では、回路の問題点では、筋電計測回路の小型化、電源装置の製作、サーボモータを全て ICS 基板で操作できるサーボモータに統一、さらに非反転増幅回路の抵抗値を即座に変更可能にすることが挙げられた。

4.1.2 節では、外装の問題点では、軽くてしなやかな羽根に適した材料の検討、丈夫で柔軟性のある骨組みに向けた材料の検討することが挙げられた。

4.1.3 節では、制御の問題点では、支柱の根元のサーボモータで前後方向、翼の付け根のサーボモータで上下方向の羽ばたきを操作の実現させることが挙げられた。

以上の点に関して、前期製作物から得た問題点について、検討を行い、改善策を考えることができた。そして、最終的に問題点の解決を行うことができた。

(※文責: 難波秀伍)

## 4.2 アンケート調査

16名の大学生男女を対象に、動かない翼と成果物を装着させ、アンケートに答えてもらう調査を行った。この調査は友人同士である2人組で行った。手順としては以下の通りである。

- 事前アンケートに答えてもらう

## Body expansion interface using electromyogram -ASHURA-

- 1人目の被験者が動かない翼と成果物を装着し、講堂内を自由に歩き回る
- ペアである被験者が、装着者の様子を観測する
- 成果物の外装や、装着感についてのアンケートに答えてもらう
- 観測者は、装着者の様子に関するアンケートに答えてもらう
- 装着者と観測者を交代し、上記の内容をもう一度繰り返す

成果物の第一印象や気分の高揚、装着感等を、5段階評価と記述性で回答した。主に分析に使用した質問は、以下の通りである。

- 見た第一印象
- 装着した第一印象
- 翼を羽ばたかせるタイミングを決めていたかどうか
- 気分が高揚したか
- 着けてない時と比べて解放感を感じたか
- 周囲の人からの注目をどう感じたか
- 装着感は良かったか
- 装着してどこで何をしたいと感じたか
- 翼を思った通りに動かせたか
- 空気の抵抗をいつもより感じたか
- 翼の動きを背中では感じられたか
- 機械音が気になったか
- 動く翼と動かない翼、どちらがより体の一部と感じられたか

これらの調査結果から得られた装着者視点の考察として、装着感が良いが、自分の身体の一部としての実感は薄かったことが挙げられた。原因として、翼の操作方法が力を入れ続けると翼がはばたき続けるという簡易的な操作方法が挙げられる。

また、観測者視点の結果として、装着者は恥ずかしそうにしていたり、堂々としている様子が伺えたことがわかった。これは、装着者の自己顕示欲と関係しているのではないかと考察できた。

しかし、筋電位を用いた翼を装着すると、どのような身体感覚が生まれるかは、このアンケート調査を通じては明らかにすることはできなかった。身体感覚や行動変容を検証するためには、より限定的な状況で調査を行う必要がある。

(※文責: 加本麻那美)



## 第 5 章 まとめ

### 5.1 前期成果物

#### 5.1.1 概要

前期製作物は、翼の根元に取り付けたサーボモータで翼を前後に羽ばたかせるようにし、片翼につきサーボモータを1つ用いて制御している。翼の骨組みの部分には塩化ビニル板を用い、骨組みの関節部分には蝶番を利用した。また、羽には画用紙を用いて一枚ずつ作成し、骨組みへの取り付けとして OPP テープを利用し取り付けした。制御装置には arduino に取り付けた ICS 基板を用い、翼の根元に取り付けた2つのサーボモータを制御した。また翼と制御装置の取り付けには、ライフジャケットの背面に取り付けた塩化ビニル板にねじ止めし、3D プリンターで作成したモーターボックスを利用することで接着した。

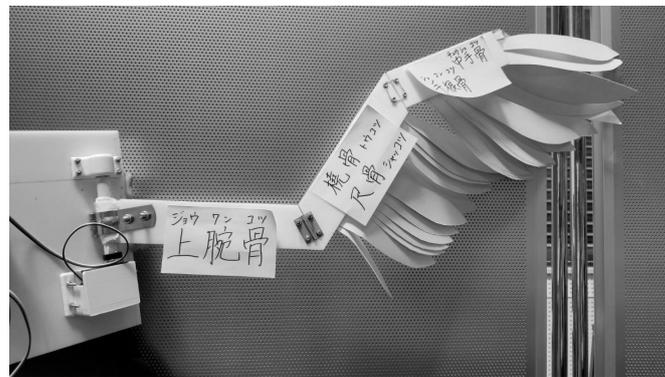


図 5.1 前期に製作した翼

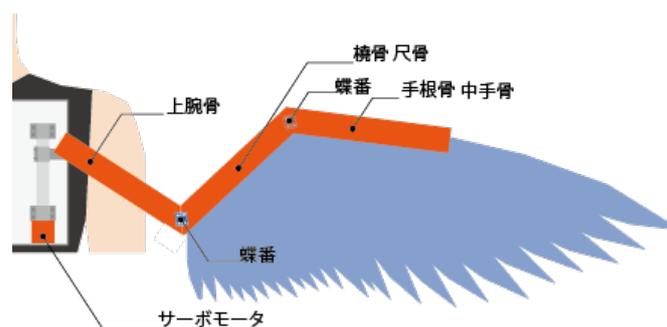


図 5.2 前期に製作した翼の概略図

(※文責: 窪田滉也)

#### 5.1.2 問題点

問題点として以下の2点を挙げた。

まず、制御についての問題点としては、まず筋電位による制御ができていなかったことが挙げられ、筋電位計測装置とモータの制御を行う必要があった。また、モータによる羽ばたきの動作が鳥の羽ばたきとは異なることが挙げられ、実際の羽ばたきを観察、分析する必要があった。

次に、材質についての問題点としては、翼の骨格、羽に使用している材料の耐久性が低く、実際の翼とはかけ離れているということが挙げられ、耐久性が高く、再現性の高い材料の検討を行うが必要があった。また、装置類の装着方法により、製作している翼と人との密着度が低くなってしまい、身体の一部であるという感覚が薄いということが挙げられ、装着方法の検討が必要であった。

(※文責: 難波秀伍)

## 5.2 後期成果物

### 5.2.1 概要

前期で製作した翼への指摘や観察から、実際の鳥と異なる動きに着目して製作を行った。

羽根については、より軽くてしなやかな材料の検討を行った結果、鳥の羽根にもある羽軸としてPPシートをつけ、材料は農業用の不織布を使用することにした。骨組みについては、前期の製作物では、振り上げるときにしなやかに曲がり、振り下ろすときにまっすぐになるという鳥の翼の性質を実現できていなかったため、後期は、骨組みの中央に加工したボール紙を用いて、徐々に持ち上がるようにした。これにより、中間部分が徐々に振り上がるような動きを実現した。装着方法は、背面プロテクターに装置を全て直接取り付けることで、背中との密着感を高めた。よって、前期と比較して、装着者は背中で翼の羽ばたきをより感じる事ができた。

制御については、前期の製作物では、鳥の円を描くような羽ばたきを実現できていなかった。そのため後期は、片翼につき2つのサーボモータを用いて2方向の動きを再現し、回すような動きを再現した。以上のように、羽根、骨組み、制御においての問題点を見直しながら、変更の検討と実装を行うことで、実際の鳥の翼に近い翼を製作できた。

回路については、プリント基板を用いることと、用いる4つサーボモータ全てを1つのICS基板で制御できるようにした。これにより、背中に取り行ける機器を小型化できた。また、筋力の個人差にも対応できるように、抵抗値を任意に変更できる回路に変更した。



図 5.3 後期に製作した翼

(※文責: 長岐勇大)

## 5.2.2 アンケート調査

前述の通り、16名の大学生男女を対象に、2人組ペアとなり観測者と装着者を交代しながらそれぞれ動かない翼と成果物を装着してもらい、アンケート調査を行った。

アンケートの結果から、自身の身体の一部と感ずるためには、自らの目で翼を装着した自分を確認し、より直感的かつ自在に翼を操作できることが必要であることがわかった。その理由として、実験開始直後、装着者がガラスに反射した自分の姿を確認していたり、鏡で翼を装着した自分を確認してから実験に臨みたかったという意見があったからだ。また、力を入れると翼を振り上げ、力を抜くと翼を振り下げるといった操作の自由さが欲しかったなどという意見があげられた。さらに、実験者の半数以上が成果物の機械音が気になったという回答が得られた。

このことから、装着者がより直感的に翼を操作するにあたり、見た目や動きだけでなく、音も重要であることがわかった。

(※文責: 加本麻那美)

## 5.3 今後の課題

今後の課題として、以下の3点を挙げる。

1. 翼の状態が不安定
2. 自在に動かせる翼とは言えない
3. 身体感覚や行動変容の再調査

まず、1点目について、今回の製作に用いた材料では翼が重くなってしまい、それに適した固定具の検討が十分でなかったため、羽ばたきを重ねることによって骨組みや固定具の変形が見られる。また、アンケート調査で装着してもらった際、装着者は翼がぶつからないように、ゆっくりと動いたり羽ばたくことを制限しているように見受けられた。よって、翼の材料や固定具をより軽くて丈夫なものに変更したり、どこに力がかかるかをさらに考慮して翼と支柱の固定方法を検討することが改善策として考えられる。

2点目については、アンケート調査の際に筋電位と翼の羽ばたきの連動方法について意見があったことから、課題として考えた。今の上腕部に力を入れ続ければ翼が羽ばたき続けるという連動方法よりも、力を入れると背中側へ、もう一度力をいれると腹部側へ動く方が、羽ばたかせるために装着者の継続的な行動が必要である。そのため、自身が羽ばたかせているという感覚が強まり、身体の一部と感ずられると考える。

3点目については、アンケート調査では、実施時の状況が限定されておらず比較できなかったため、客観的なデータが得られなかったことから、課題として挙げた。この解決については先の2つの課題を解決し、自在に動かせる、安定した翼を製作することが不可欠である。その上で、本グループ内で、風の感じられる屋外で装着したり、装着したまま走ったり跳ねたりすることで得られる感覚を活かして、調査内容を詳細に決めていく必要がある。

(※文責: 稲船美成恵)



## 付録 A 課題解決のための技術 (新規習得)

- 電子工作の技術を基板への回路の作成やはんだ付けを行い習得した。
- 基板加工機を用いて、小型で繊細な回路の作成技術を習得した。
- サーボモータを Arduino から制御するためのプログラミング技術を習得した。
- 3D の CAD ソフトを使い、3D プリンタ、レーザーカッターを用いて、複雑な器具の作成技術を習得した。
- 中間発表会に向けてスライドとポスターを、発表形式に合わせて伝え易いものにできるように技術を習得をした。

(※文責: 難波秀伍)



## 付録 B 課題解決のための技術 (講義)

- 情報デザイン 2(ブレーストーミング)
- 情報表現基礎 1 (サーボモータ制御)
- 物理学入門 (トルク計算)
- 電子工学基礎 (計測回路)
- 人体生理学 (筋収縮)
- ロボティクス (サーボモータ制御)

(※文責: 難波秀伍)



## 参考文献

- [1] 鈴木真二.2003. 飛行機物語. 中公文書.
- [2] Hao Liu.2005. 生物飛行のシミュレーションと小型飛翔体. 日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌. 第 12 卷. 第 3 号.139-142.