# 公立はこだて未来大学 2024 年度 システム情報科学実習
# グループ報告書

**Future University Hakodate 2024 Systems Information Science Practice**

**Group Report**

## プロジェクト名

生体信号を利用した身体拡張インターフェース〜ASHURA〜

## Project Name

Body augmentation interface using biologic signals 〜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.**

14-A

## プロジェクトリーダ/Project Leader

池田孝太　Kota Ikeda

## グループリーダ/Group Leader

池田孝太　Kota Ikeda

## グループメンバ/Group Member

池田孝太　Kota Ikeda

鈴木千智　Chisato Suzuki

山川翔　Kakeru Yamakawa

## 指導教員

櫻沢繁　髙木清二　山田恭史　山田浩　辻義人

## Advisor

Shigeru Sakurazawa　Seiji Takagi　Yasufumi Yamada　Hiroshi Yamada　Yoshihito Tsuji

## 提出日

2025 年 1 月 21 日

## Date of Submission

January 21, 2025

# 概要

本研究は, 身体拡張技術に焦点を当て, 生体信号を利用した身体拡張インターフェースの開発を目的とする. 身体拡張を「テクノロジーを活用することで人間の肉体や感覚を強化, 補完, 付与する技術」と考え, 身体機能の補完や新たな可能性について探求した. 義手には装飾義手, 能動義手, 筋電義手の 3 種類が存在するが, 本研究では筋電位を利用した義手の設計に注目し, 様々な形状の物体を柔軟に把持することを目的とした. 従来のサーボモータを使用する筋電義手は, 物体の形状に応じた柔軟な把持が難しいため, マッキベン型人工筋肉を用いた新たな筋電義手の開発を行った. マッキベン型人工筋肉は空気圧によって指が曲がるため, 複雑な制御を必要とせず, 物体の形状に沿った把持が可能である. 実験では, レモン, にんじん, ワイングラスなど, 異なる形状の物体を用いて, 製作した筋電義手の把持能力を検証した. その結果, 部位ごとに太さが異なる物体の把持に成功した. しかし,「太さ」に焦点を絞ることは目的の一部にすぎない. そのため, 目的を十分に達成することはできなかったと結論付けた.

キーワード　身体拡張, 筋電位, マッキベン型人工筋肉

（※文責: 池田孝太）

# Abstract

This study focuses on body augmentation technology and aims to develop a body augmentation interface using biosignals. Body augmentation is considered to be "technology that strengthens, complements, and gives the human body and senses by utilizing technology," and explores the complementation of body functions and new possibilities. There are three types of prosthetic hands: decorative prosthetic hands, active prosthetic hands, and myoelectric prosthetic hands. In this study, we focused on the design of a prosthetic hand that uses myoelectric potential and aimed to flexibly grasp objects of various shapes. Conventional myoelectric prosthetic hands using servo motors have difficulty in flexibly grasping objects according to their shapes, so we developed a new myoelectric prosthetic hand using McKibben artificial muscles. Since the fingers of McKibben artificial muscles bend due to air pressure, it is possible to grasp objects according to their shapes without complex control. In the experiment, we verified the grasping ability of the myoelectric prosthetic hand we created using objects of different shapes, such as lemons, carrots, and wine glasses. As a result, it was confirmed that all objects could be grasped according to their shapes, and it can be said that the goal of creating a myoelectric prosthetic hand that can grasp flexibly was achieved.

**Keyword** Body Augmentation, EMG, McKibben Artificial Muscle

（※文責: 池田孝太）

# 目次


**第 1 章　はじめに　1**

1.1　背景 . . . . . 1

1.2　目的・課題設定 . . . . . 2

**第 2 章　関連技術とその活用法　3**

2.1　筋電位 . . . . . 3

2.2　筋電位計測 . . . . . 3

2.2.1　アクティブ電極 . . . . . 3

2.2.2　差動増幅器 . . . . . 4

2.2.3　ハイパスフィルタ . . . . . 4

2.2.4　非反転増幅器 . . . . . 5

2.2.5　半波整流器 . . . . . 5

2.2.6　積分回路 . . . . . 5

2.3　筋電位測定回路 . . . . . 6

2.4　制御回路 . . . . . 7

2.4.1　制御プログラム . . . . . 7

2.4.2　Arduino . . . . . 7

2.4.3　リレーモジュール . . . . . 7

2.4.4　エアーコンプレッサー . . . . . 7

2.5　マッキベン型人工筋肉 . . . . . 7

2.5.1　マッキベン型人工筋肉の作成 . . . . . 7

2.5.2　マッキベン型人工筋肉の収縮原理 . . . . . 8

2.6　3D モデリングソフトを用いた成果物の設計 . . . . . 9

2.6.1　3D モデリング . . . . . 9

2.6.2　3D プリンタ . . . . . 9

2.6.3　最終成果物のモデリング . . . . . 9

2.6.4　最終成果物の印刷と組み立て . . . . . 9

2.6.5　屈曲・伸展の構成 . . . . . 10

**第 3 章　結果　12**

3.1　最終製作物 . . . . . 12

3.2　物体の把持実験の結果 . . . . . 12

**第 4 章　考察　14**

4.1　様々な形状の物の把持 . . . . . 14

4.2　親指の関節が曲がり切らなかった原因と対策 . . . . . 14

4.3　空気が抜ける際の音について . . . . . 14

4.4　装着について . . . . . 14

**第 5 章　結論** **16**
5.1　本研究の結論 . . . . . 16

**参考文献** **17**

# 第 1 章　はじめに

## 1.1　背景

本研究では, 身体拡張の一環として, 生体信号を用いた筋電義手の製作に取り組んだ. 身体拡張とは, テクノロジーを活用して人間の肉体や感覚を強化, 補完, あるいは新たな能力を付与する技術を指す. この定義は, 身体性や認知の拡張に関する哲学的・技術的研究を基盤にしており, 特に Clark と Chalmers「Extended Mind」や, 人工知能分野の先行研究を参照している.Clark と Chalmers は,「人間の認知は外部デバイスや環境と密接に結びついており, それらを含めたシステム全体が知性の拡張に寄与する」と主張している [1]. この考えは, 身体拡張技術が身体機能や知覚能力の補完・強化を可能にするという本研究の目的に通じるものである. この定義は, 義手や義足といった補助デバイスの開発において重要な役割を果たしている. たとえば, 筋電義手の分野では,1960 年代から研究が進められてきた生体信号制御義手が広く知られており, 生体信号を活用することで装着者が直感的に手の開閉を行えるようになっている. 特に, 筋電義手はその代表例であり,Steeper 社や Ottobock 社による商業製品が医療分野で広く利用されている. 生体信号は, 外部から測定可能な生体由来の電気信号である. 具体的には, 筋肉が活動するときに発生する筋電位がその一例である. 筋電位は, 個人の意思による筋肉の動きと密接に関係しており, これを活用することで使用者が装置を自然に操作できるようになる. 本研究では, 生体信号を用いることで, 身体の意図をより正確に反映させることを目指した.「身体の意図」とは, 使用者が筋肉の活動を通じて義手に伝えたい動作や力加減といった情報を指す. この点で, 従来のスイッチやレバーによる ON/OFF 方式とは異なり, 生体信号は装着者の筋肉活動 (たとえば握る, 開く, 力を込めるといった微細な動作) をリアルタイムで反映させることができる. スイッチ方式の場合, ユーザーはボタン操作に慣れる必要があるため, 動作が不自然になりやすいが, 生体信号を利用することで, より直感的かつ自然な操作が可能になる. このため, 装着者は義手を「自分の身体の一部」として認識しやすくなる利点がある. また, 生体信号による制御は,「身体操作感」を得るための手段としても有効である.「身体操作感」とは, 自己が行為の主体であると認識する感覚を指し, この感覚が義手を身体の一部として認識する基盤となる [2]. 義手にはさまざまな種類が存在し, その目的に応じて分類される. 装飾義手は外観の補完を目的としたものであり, 能動的な動作は行えない. 一方, 能動義手は身体の残存部位の動きを活用して義手の動作を再現するタイプである. しかし, 能動義手は手を開閉する際に肩や腕の動きを必要とするため, 操作が直感的ではなく, 装着者の負担が大きい. これに対し, 筋電義手は筋電位を制御入力として利用し, 手の動作を再現する義手である. 筋電義手は, 操作が直感的であり, 使用者の意思を正確に反映できるため, 能動義手に比べて身体操作感を得やすいという利点がある. しかしながら, 筋電義手には課題も存在する. 西川は「一般的な筋電義手に使用されている電動アクチュエータには, バックドライバビリティがないため, 対象物を柔軟に把持することは困難である」と述べている [3].「バックドライバビリティ」とは, アクチュエータが外部からの力を受けて動作する能力を指す. この特性が不足している場合, アクチュエータは外力に柔軟に対応できず, 握った物体を柔軟に保持することが難しくなる. たとえば, サーボモータを用いた従来型の筋電義手では, 握った物体の形状や硬さに応じて適応的に力を調整することができないため, 握力を過剰に加えてしまったり, 物体を滑らせてしまうことがある. この点については, 西川が博士論文の中で詳述しており, 柔軟性

のある「ベローズアクチュエータ」を使用することで, 問題を部分的に解決できる可能性を示唆している. 一般的に筋電義手ではサーボモータが使用されているが, これは柔軟な把持が難しいという問題を引き起こす. たとえば, 形状やサイズが異なる物体を握る際, サーボモータでは設定された角度に基づく動作しか行えず, 適応的な把持が困難である. これに対し, 本研究ではサーボモータの代わりにマッキベン型人工筋肉を採用することで, この問題に取り組んだ. マッキベン型人工筋肉は空気圧を利用して収縮する特性を持ち, 指の動きが対象物の形状に自然に適応しやすい. そのため, 様々な形状やサイズの物体を柔軟に把持できる可能性が高まると考えられる. 本研究の意義は, 筋電義手の柔軟性を高めることで, 義手を使用する人々の日常生活をより便利で快適なものにする点にある. 特に, 柔軟な把持機能を備えた筋電義手は, 食事や家事といった日常の様々な場面での実用性を向上させると期待される. また, 筋電位を用いた直感的な制御により, 義手が身体の一部として認識されやすくなることも重要な成果である.

（※文責: 鈴木千智）

## 1.2 目的・課題設定

本研究の目的は, 様々な形状の物体を柔軟に把持できる筋電義手を製作することであり, 従来の筋電義手技術の課題を解決することである. 先行研究の概観を通して, 従来の筋電義手に関する以下のような課題が指摘されている.1 つ目の課題は, 適応性の欠如である. 従来の筋電義手では, サーボモータを使用して各指の動作を制御しているが, モータの動作範囲が固定されているため, 形状が不規則な物体や異なるサイズの物体に適応することが難しい. たとえば, 球体や不規則な形状の物体を握る際, 握力が均一に分散されず, 物体を滑らせることがある.2 つ目の課題は, 制御の複雑さである. サーボモータを使用する従来の筋電義手では, 各指の動作を精密に制御するために複雑な制御アルゴリズムが必要とされる. この結果, 制御プログラムの設計が困難になり, 装置全体のコストや重量が増加する問題がある.3 つ目の課題は, バックドライバビリティの欠如である. サーボモータにはバックドライバビリティが欠けているため, 握力を適切に調整することが難しく, 握りすぎによって物体を破損させる可能性がある. 本研究では, これらの課題の中でも特に, 物体形状への適応性と制御の簡素化に関する問題に注目する. この問題を解決するために, 本研究では指の動作を制御する手段としてマッキベン型人工筋肉を採用した. マッキベン型人工筋肉は, 空気圧を利用して収縮する特性を持ち, 物体の形状に応じて自然に指が動く. この特性により, 従来のサーボモータを使用した技術に比べて複雑な制御を必要とせず, 形状が異なる物体にも柔軟に対応できる. さらに本研究では, 人工筋肉の素材, サイズ, 配置, 制御システムに工夫を行った. 人工筋肉には, 高い収縮率と耐久性を持つシリコーン素材を採用し, 指の動きを自然に再現できるよう設計した. また, 制御システムでは, 筋電位を活用して指の動作を直感的に操作できるように工夫を加え, 従来技術と比較して高い柔軟性と実用性を実現することを目指した.

（※文責: 鈴木千智）

# 第 2 章　関連技術とその活用法

## 2.1　筋電位

筋電位とは生体信号の一つであり, 筋収縮に伴って発生する筋細胞の膜電位の変化である. 例えば, ヒトが腕を曲げる際まず脳で電気的な信号が発生する. この電気信号は運動神経を通じて筋細胞へと送られ, 信号が筋細胞に到達するとナトリウムチャネルが開きナトリウムイオンが筋細胞内に流入する. ナトリウムチャネルは, ナトリウムイオンの通過を制御するゲートの役割を持つタンパク質である. ナトリウムイオンの流入によって筋細胞の内外の電位差が生じ, 活動電位が発生する. この活動電位が筋電位であり, 筋収縮のプロセスの一部として重要な役割である.

（※文責: 鈴木千智）

## 2.2　筋電位計測

筋電位計測には, 侵襲的計測方法と非侵襲的計測方法がある. 侵襲的計測とは針電極を直接筋中に刺し, 刺されている筋繊維から発生する活動電位を計測する方法である. この方法では, 局所的な筋電位を測定することが可能であり, 表面からの計測に比べてノイズの影響を受けにくい. その一方で, 電極を刺す際や筋収縮時に痛みが生じる. また広範囲な筋活動の活動電位の計測を行う場合, 複数個所に電極を刺して計測しなければならない. 我々は, 筋電位を計測する際侵襲的計測方法だと電極が刺さっているとうまく筋収縮ができず, 痛みも伴うことから, 非侵襲的手法である表面筋電位計測方法を用いることにした. 非侵襲的計測方法では皮膚表面に 2 つの電極を筋肉に沿って貼り,2 つの電極の電位差とし筋電位を測定する. この方法は広い範囲の筋電位を計測することができる上に痛みが伴わない. しかしこの方法では, 皮膚を通して計測するため信号が微弱になりノイズが混入してしまう. そこで, 差動増幅器, 非反転増幅器, ハイパスフィルタ, 半波整流器, ローパスフィルタから構成される回路を用いることで問題を解決した.

（※文責: 山川翔）

### 2.2.1　アクティブ電極

筋電位の計測には, 皮膚のインピーダンスが高いことで微弱な信号である筋電位の計測が難しくなる問題がある. インピーダンスとは抵抗やリアクタンスの総和であり, 電流が流れる際の回路の「流れにくさ」を表す尺度である. アクティブ電極とは皮膚表面の高いインピーダンスによって生じる計測時のノイズを防ぐことが可能な電極のことである. そこでオペアンプを利用して電極側で皮膚より高いインピーダンスを作り出した. 使用したアクティブ電極を以下の図 2.1 に示す.

（※文責: 山川翔）

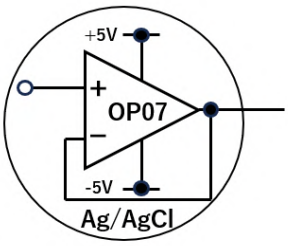


図 2.1　アクティブ電極

### 2.2.2　差動増幅器

差動増幅器とは 2 つの入力電圧の差を増幅し出力する回路のことである. 筋電位を計測する際に電子機器などから同相ノイズが発生する. 同相ノイズとは電源ラインや信号ラインとグランド（GND）間に発生するノイズのことである. 今回は差動増幅器を用いて 2 つの電極で同時に計測される誘導ノイズと呼ばれる商用電源による 50Hz の同相ノイズを除去した.

（※文責: 山川翔）

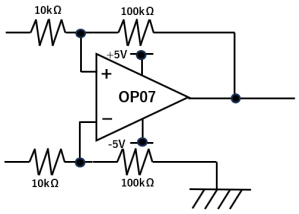


図 2.2　差動増幅器

### 2.2.3　ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタとはフィルタ回路の一種であり, カットオフ周波数以上の交流信号成分を通過させ, カットオフ周波数以下の成分は減衰させる. 不要な低周波成分を除去でき筋電位測定の精度を向上させるため, ハイパスフィルタを用いた.

（※文責: 鈴木千智）

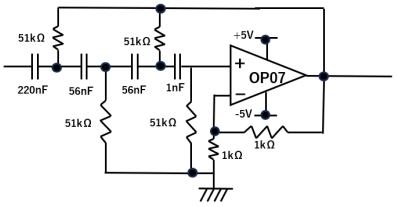


図 2.3　ハイパスフィルタ

### 2.2.4　非反転増幅器

非反転増幅器とは, 入力電圧の極性を変えずに増幅し出力する回路である. ハイパスフィルタを通過した時点では筋電位はまだ微弱な信号であるため非反転増幅器を用いることで増幅を行った.

（※文責: 山川翔）

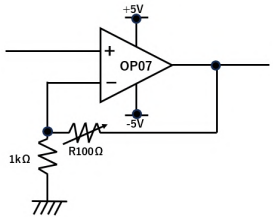


図 2.4　非反転増幅器

### 2.2.5　半波整流器

半波整流器とは, 交流電圧信号の負の電圧部分を削除し, 正の電圧部分のみを出力する回路である. 筋電位測定回路は,Arduino が負の電圧を直接処理できないため, 半波整流器を使用する. 筋電位信号は, 正負両方向に変動する交流信号として得られるため, 半波整流器を用いることで, 信号の正の部分を抽出し, 後段の回路で処理しやすい形に変換している.

（※文責: 鈴木千智）

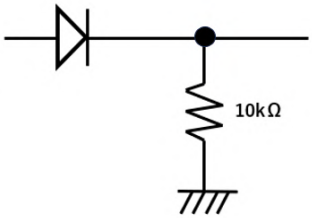


図 2.5　半波整流器

### 2.2.6　積分回路

積分回路は, 入力された筋電位を時間積分して出力する回路である. 活動電位の発生による急激な変動やノイズが含まれるため, 積分回路によって時間積分されることで信号が滑らかに変換することができる. 今回我々は筋電位信号を義手の制御において扱いやすくするため, 積分回路を用いた.

（※文責: 山川翔）

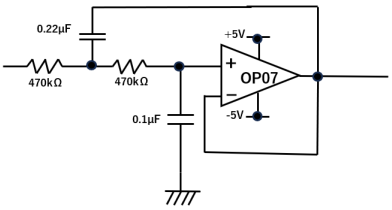


図 2.6　積分回路

## 2.3　筋電位測定回路

筋電位を計測するため, アクティブ電極と筋電位測定回路を製作した. アクティブ電極は銀板にオペアンプの＋端子をはんだ付けし, 上に紫外線で固まるジェルを付け固定した. 電源回路は,DC/DC コンバータとコンデンサ,3 つの端子を持ち定格電源回路の攻勢に使われる三端子レギュレータを配線し, はんだ付けして製作した. 筋電位測定回路は抵抗, コンデンサ, オペアンプ, 可変抵抗, ダイオードを配線図を基に配線し, はんだ付けして製作した. 実際に製作した電源回路と筋電位測定回路は図 2.7 のようになった. 回路図は図 2.8 に示す.

（※文責: 山川翔）

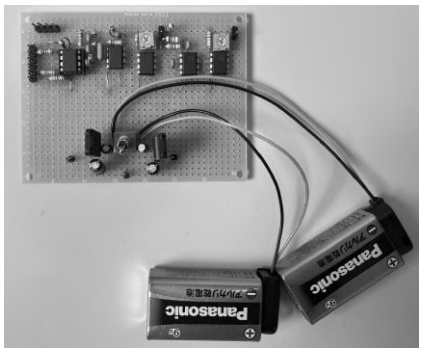

図 2.7　筋電位測定回路

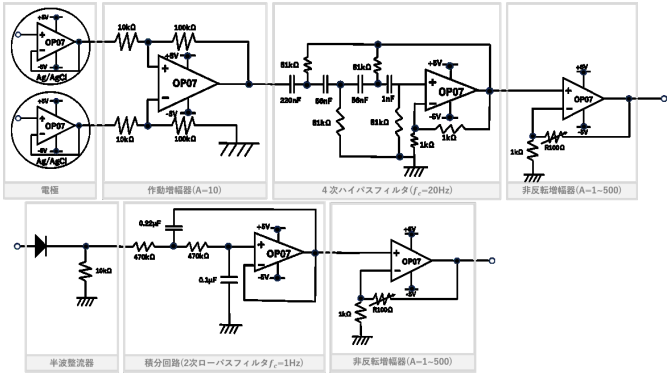


図 2.8　回路図

## 2.4 制御回路

### 2.4.1 制御プログラム

今回我々が製作した筋電義手は、力の大きさによって手が開く, 握る, という２つの動作を行うことができる筋電義手である. そのために計測した筋電位の大きさによって電磁バルブを開閉するプログラムを作成した. 具体的な手順を説明する. 筋電位測定回路によって処理された信号をArduino に入力する.Arduino は入力された信号に対して A/D 変換を行う. そして変換された信号を閾値を境に２つの状態に分ける. １つ目は力を抜いている状態で, この時 Arduino は電磁バルブを閉めた状態に制御する. 電磁バルブはエアーコンプレッサーと筋電義手間の空気の流路を開閉する役割なので, 電磁バルブが閉まっているとき筋電義手に空気は送られず手は開いた状態になっている. ２つ目は力を入れている状態で, この時 Arduino は電磁バルブを開いた状態にする.

### 2.4.2 Arduino

筋電位計測回路によって処理された信号をデジタル信号に変換し, 電磁弁を制御する必要があった. そこで,A/D 変換を行うことができる Arduino Uno というマイコンを用いた.

### 2.4.3 リレーモジュール

外部から電気信号を受け取り電気回路のオン/オフや切り替えを行うものである. ここでは Arduino の制御信号では電磁弁のオン/オフができないため使用した.

### 2.4.4 エアーコンプレッサー

エアーコンプレッサーとは空気を圧縮しその圧縮された空気を空圧機器に送るための機械である. 今回人工筋肉に空気を送るために SR-35 というエアーコンプレッサーを使用した.

## 2.5 マッキベン型人工筋肉

本制作物では筋電義手の指を動かすために, 空気圧ゴム人工筋肉を用いた. 空気圧ゴム人工筋肉とは, ゴムや弾性媒体に空気などの流体を注入して生物の筋肉のように収縮するアクチュエータである. 一般的にはマッキベン型人工筋肉という空気圧ゴム人工筋肉がもちられている. マッキベン型人工筋肉とはゴムチューブの外側を縮まない素材のメッシュで覆った空気圧ゴム人工筋肉の一種である. 空気圧を注入するとゴムチューブが膨らむと同時に長軸方向に収縮することで力を出します. 我々はこのマッキベン型人工筋肉を作製し人工筋肉の収縮によってナイロン線を引くことによって指の伸展・屈曲をすることにした.

### 2.5.1 マッキベン型人工筋肉の作成

マッキベン型人工筋肉を製作するために図 2.9, 図 2.10 のような編組チューブとシリコーン素材のゴムチューブを採用した. シリコーン素材のゴムチューブを採用した理由は高い収縮率と耐久性を持っているからである. まず編組チューブにゴムチューブを挿入し, 片方には空気を注入するためのチューブを, もう片方には空気が漏れないようプラスチック製のふたをつけた. そして両端を

結束バンドで固定した. マッキベン型人工筋肉のサイズは直径 1cm, 長さ 20cm とし, 手の大きさに最適化した. マッキベン型人工筋肉を図 2.11 に示す.

図 2.9　編組チューブ

図 2.10　ゴムチューブ

図 2.11　マッキベン型人工筋肉

### 2.5.2　マッキベン型人工筋肉の収縮原理

内部に空気を注入するとゴムチューブは膨張する. 編組チューブが被せられているためゴムチューブは全体的に均一に膨張せず, 編組チューブの網目構造に沿って径方向に膨張する (図 2.12 参照). この際径方向の膨張により編組チューブの繊維には張力が発生し, その結果人工筋肉全体が長さ方向に収縮する. この仕組みによって人工筋肉としての収縮動作が実現される.

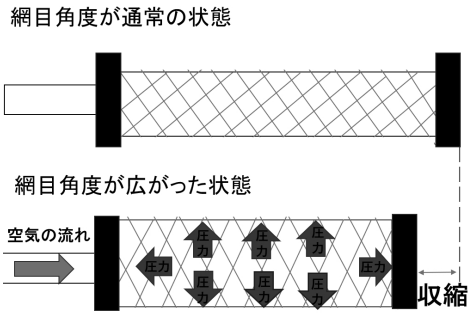


図 2.12　マッキベン型人工筋肉

## 2.6　3D モデリングソフトを用いた成果物の設計

### 2.6.1　3D モデリング

今回我々は, コンピュータを利用して立体構造物デザインの作成支援を行う 3D Computer-Added Design(CAD) ツールを使用し, 筋電義手のデザイン作成を行った. この際,Autodesk 社が提供している高機能クラウド 3DCAD ソフト（Fusion360）を使用した.

### 2.6.2　3D プリンタ

3D プリンタとはデジタルデザインデータを基に三次元オブジェクトを物理的に作成する装置である. この技術は, 積層造形（Additive Manufacturing）とも呼ばれ, 材料を層ごとに積み重ねて形状を作り出す.3D モデリングを行った後に 3D プリンタを用いて, 製作物の組み立てに使用するパーツの印刷を行った.

（※文責: 山川翔）

### 2.6.3　最終成果物のモデリング

義手と人工筋肉を固定する支柱にあたる部分のモデルを Fusion360 で作製した. 以下の図 2.13 は義手の指のモデルである. 親指を除く 4 本指は図 2.13 の様に作製し, 親指は図 2.13 から中節骨の部分を除いたモデルを作製した. また, 図 2.14 は手のひら部分のモデルである. 義手を用いて物体を把持するとき, 物体を包み込むように把持できるデザインにした. 親指を含むそれぞれの指と手のひら部分の結合はモデリングをする際に 1.5mm の穴を空け,M4 サイズの鍋小ねじで手のひらと固定している.

（※文責: 池田孝太）

### 2.6.4　最終成果物の印刷と組み立て

部品を印刷するため, まずは Fusion360 で作製した各パーツを STL ファイルとして保存した. そして, その STL ファイルを 3D プリントサポートソフトウェア (Z-SUITE) で取り込み, パーツの

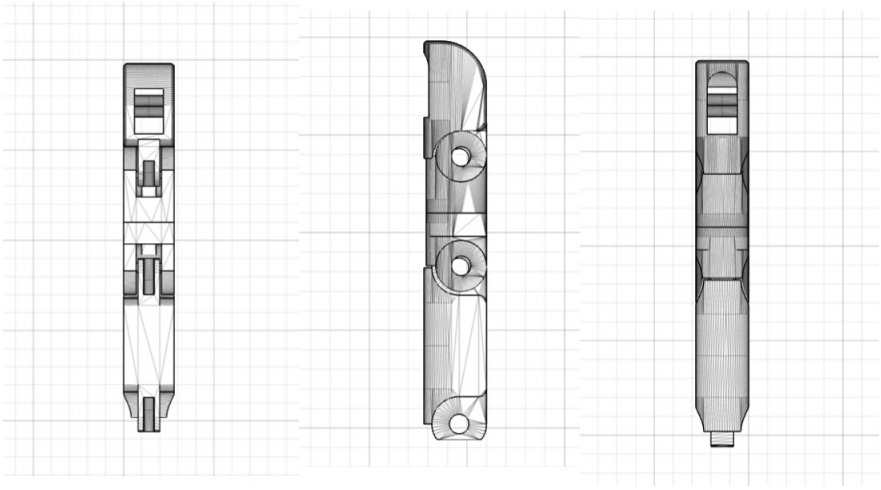

図 2.13　指のモデル

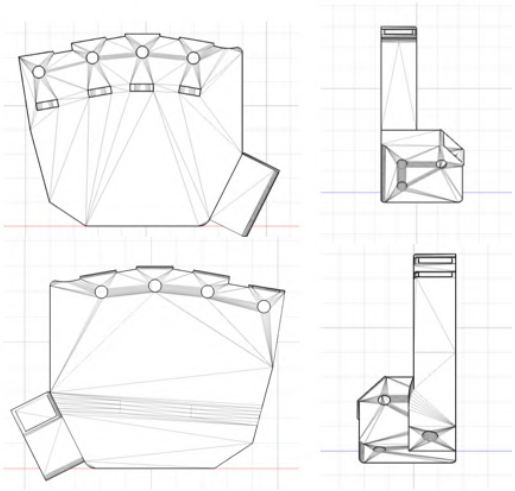

図 2.14　手のひら部分のモデル

角度や高さを調節し, サポート材の設定などをしたのちに,Zortrax Printing Code ファイルとして保存した. そして, そのファイルを Zortrax M300 Plus V2 で印刷した. 印刷後, 各パーツを組み立て, 手の部分を作製した.

（※文責: 池田孝太）

### 2.6.5　屈曲・伸展の構成

義手の指を屈曲・伸展させる動力源として空気圧を用いた. 指を屈曲するための素材として, 開発初期ではたこ糸を用いる予定であった. しかし, たこ糸が解れてしまったり, 糸の太さが太く義手の部品の中に糸を通しにくいといった問題があった. そこで, 糸が細く解れにくい上, 耐久性にも優れているナイロン線を指の屈曲をするための素材として採用した. 義手の指先にナイロン線を固定し, 指の腹側に沿って義手の中にナイロン線を通していく. そして, 義手の手首部分まで通したナイロン線の先をマッキベン型人工筋肉の片方に固定している. 屈曲する際は, エアーコンプレッサーから空気をマッキベン型人工筋肉に送ることで, 人工筋肉が収縮し, 人工筋肉に固定したナイロン線が引かれて義手の指が屈曲する仕組みとなっている. 屈曲状態にある指を伸展するための素材とし

て, コスト面, 扱いやすさに優れた 7mm サイズの平ゴムを使用した. 義手の指先に平ゴムを固定し, 平ゴムを伸ばしつつ各指の背側と義手の第 3 関節で固定している. 指が屈曲状態にするエアーコンプレッサーからの空気が抜けた際のゴムの弾性を用いて義手の指が伸展する仕組みである.

（※文責: 池田孝太）

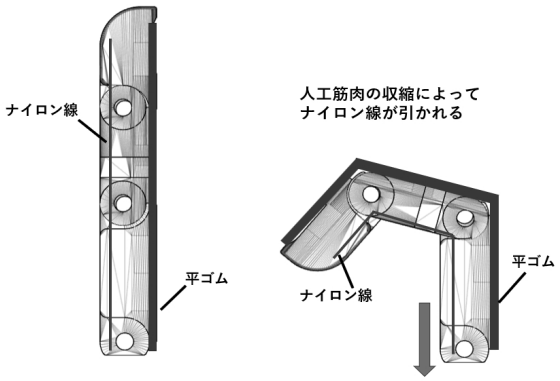


図 2.15　屈曲・伸展の構成

# 第 3 章　結果

## 3.1　最終製作物

最終製作物のシステム図は以下の図 3.1 の通りである. 我々は義手の指を動かす動力源として空気圧を用いた. この義手では, 筋電位信号を Arduino で処理し, リレーモジュールを介して電磁弁を制御している. リレーモジュールは,Arduino の低電圧信号を利用して電磁弁の高電圧回路を安全にオン/オフする. そして, エアーコンプレッサーから空気をマッキベン型人工筋肉に送ることで, 人工筋肉が収縮し, 人工筋肉に取り付けられたナイロン線が引かれる.

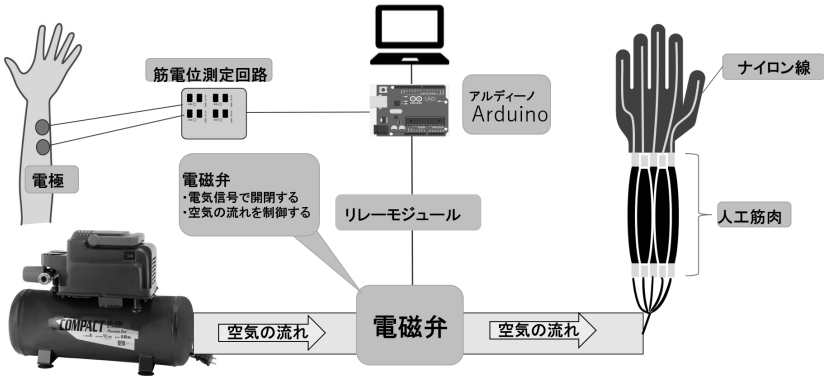


図 3.1　製作物のシステム図

## 3.2　物体の把持実験の結果

製作物を用いて, 様々な形状の物体を形状に沿って把持できるかという検証をおこなった. アクティブ電極を健常被験者の前腕に付け, 物体に近づけた状態で筋電位を計測し, 物体を把持できるかどうかを確かめた. 用意した物体はレモン, にんじん, ワイングラスである. レモンを把持したときの様子を図 3.2 に, にんじんを把持したときの様子を図 3.3 に, ワイングラスを把持したときの様子を図 3.4 に示す. 指の動作は, 図 3.2, 図 3.3, 図 3.4 のように物体に沿って指が受動的に屈曲する, 柔軟な把持が可能であることを確認できた. これらの実験の結果から, どれも形状に沿った柔軟な把持ができる筋電義手を作るという目標が達成できたと言える.

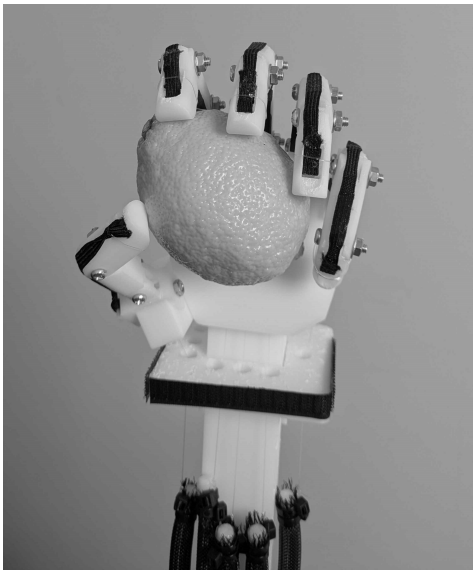

図 3.2　レモンを把持したときの様子

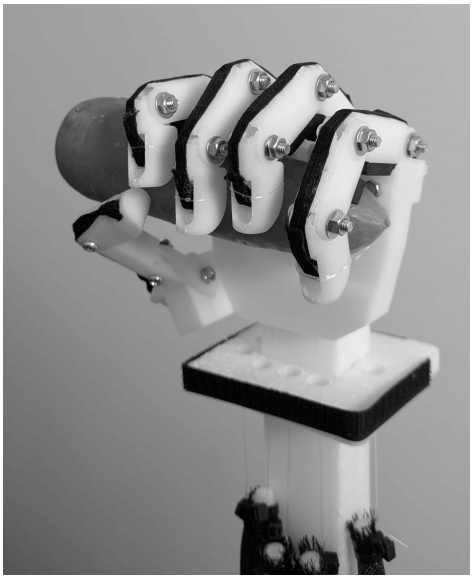

図 3.3　にんじんを把持したときの様子

図 3.4　ワイングラスを把持したときの様子

# 第 4 章　考察

## 4.1　様々な形状の物の把持

本実験では, 部位ごとに太さが異なる物体の把持が可能であることを確認した. しかし, 当初の目的は「多様な形状に対応する義手の開発」であり,「太さ」に焦点を絞ることは目的の一部にすぎない. 人工筋肉を使用することで, 物体形状に柔軟に対応できる点が利点として挙げられる. 具体的には, 空気圧で人工筋肉を膨張, 収縮させることで, 力を分散しながら物体を把持することが可能となった.

（※文責: 鈴木千智）

## 4.2　親指の関節が曲がり切らなかった原因と対策

親指の関節については, 設計段階で掌につくまで曲がることを目標としていたが, 実験では親指の第二関節が曲がり切らず掌に付かなかった. この原因として, 自作した人工筋肉の耐久力不足が考えられる. 具体的には. エアコンプレッサーから空気を送った際に 0.7MPa の空気圧に耐え切れなくなりチューブが破裂してしまい, 最大で 0.6MPa で引きおこる収縮分の力を出すことが限界となってしまう. これは親指を曲げきる力として足りていない. この問題は人工筋肉の素材を変えることや親指関節の動作角度を 90～130 度と設計基準を改めて設定し, それに基づいて設計と改良を行うような親指自体の構造を改善する必要がある.

（※文責: 鈴木千智）

## 4.3　空気が抜ける際の音について

人工筋肉の伸縮に伴う空気音は, 空気圧制御の特性上避けられないものである. ただし, 空気音が「気になる」という指摘がある一方で,「独特の感覚を持つ」という肯定的な意見もあった. この音が装置の操作性やユーザー体験にどのような影響を与えるかを詳細に評価し, 必要に応じて消音材を使用するか, もしくは音の存在を特徴として活かすような設計方針を検討する必要がある.

（※文責: 鈴木千智）

## 4.4　装着について

製作した筋電義手は, 装着段階までには至らなかった. 装着案としては, 以下の 2 案を検討している.1 つ目は, 腕の固定箇所を 2 点設定し, マジックテープを用いて装着する方法である. これは装着, 脱着が簡便である利点があるが, 固定力が弱くなる可能性がある.2 つ目は, 義手全体を支柱構造で保持する方法である. これにより, 安定した装着が可能となる一方, 動作性が制限される可能性がある. また, 使用するエアコンプレッサーは小型のものを検討している. どちらの方法も未検証であ

るため, 人体に装着した場合の安定性や使用感を評価するための実験を行う必要がある.

（※文責: 鈴木千智）

# 第 5 章　結論

## 5.1　本研究の結論

本研究の目的は, 様々な形状の物体を柔軟に把持できる筋電義手を製作することであり, 従来の筋電義手技術の課題を解決することである. マッキベン型人工筋肉を用いた筋電義手を製作し, 部位ごとに太さが異なる物体の把持に成功した. しかし,「太さ」に焦点を絞ることは目的の一部にすぎない. そのため, 目的を十分に達成することはできなかったと結論付けた.

# 参考文献

[1] Clark, A., Chalmers, D. (1998). ”The Extended Mind.” Analysis, 58(1), 7–19. URL: https://academic.oup.com/analysis/article/58/1/7/114072

[2] 前田貴記, “Sense of Agency：自己意識の神経心理学“, 神経心理学, 第 35 巻第 4 号, p.2

[3] 西川弘太朗, “ベローズアクチュエータを用いた柔軟指関節を有する空気式義手の高機能化に関する研究”, 岡山大学大学院自然科学研究科博士論文, pp2-3