

代表者 y230493 大河原淳  
メンバー y230469 樽井悠月  
y230470 西向光希  
y230474 小林優斗  
y230494 島田龍之介  
アドバイザー教員 坂上憲光

## 【目次】

1. 企画概要 .....	2
2. 目的 .....	2
3. 計画 .....	2
4. 製作方法 .....	2
4.1. 主な構成部品 .....	2
4.2. 使用したサイト・ソフト・機器 .....	2
4.3. 製作手順 .....	3
5. 活動経過 .....	3
6. 成果・結果 .....	3
6.1. ソフトウェア .....	3
6.1.1. プログラムの概要・構成 .....	3
6.1.2. 文字の座標データ .....	4
6.1.3. プログラム .....	5
6.2. ハードウェア .....	8
6.2.1. 構成 .....	8
6.2.2. 3Dモデルの作成 .....	9
6.2.3. Arduinoの接続 .....	10
6.3. 出力した字 .....	11
6.4. 最終結果と改善点 .....	12
7. 活動の振り返り .....	13

## 1. 企画概要

Arduino を用いてサーボモータを制御して字を書くロボットアームを製作した。事前に用意した文字データをもとに文字を書く。今回は濁点・半濁点を除く平仮名 1 文字の座標データを用意した。ロボットアームは人間の腕を模倣し、人間の腕と同じような動作をさせた。

## 2. 目的

企画メンバーは全員、機械工学・ロボティクス課程で学んでいるが、実際に機械に触れたり、作ったりする機会が少ないと感じる。実習や実験の授業があるとはいえ、座学で学んだことと、実際の機械の仕組みや製作との繋がりを理解することが困難である。そのため実際に製作し、機械に触れる機会を作ることで学びを深めていくことが必要であると感じた。特に今回の企画では、ソフトウェアとハードウェアの両方を実際に作り、そしてそれらを融合させるということを重要視して企画内容を選定した。

## 3. 計画

人間の腕を模したロボットアームを製作する。このロボットアームでは、人間の腕の関節にあたる部分にモータを配置することにより、人間と同じような動きを可能にする。そしてそのロボットアームを用いることによって、文字を書かせるということを目指とする。そのために、複数のモータは Arduino をはじめとしたマイコンを利用して制御する。企画の流れとしては、はじめにインターネットや文献を利用して参考になる事例などを調べてロボットアームの基本構成を決定する。そして、SOLIDWORKS などの 3DCAD を用いて設計を行ってから、ボディの部品を製作、そして組み立てを行う。必要があれば、3D プリンタなども積極的に利用する。ある程度組み立てが終わってから本格的にプログラミング作業を行う。この企画の目的である機械の仕組みや製作の理解を深めていくために、役割分担をして別々に作業を進めていくのではなく、メンバー全員で一緒に試行錯誤をして作業を進めていくことが望ましい。

## 4. 製作方法

### 4.1. 主な構成部品

- ・ Arduino UNO Rev3
- ・ サーボモータ RDS3218 20KG
- ・ AC アダプ (5V 6.2A)
- ・ マーカーペン uni PROCKEY

### 4.2. 使用したサイト・ソフト・機器

- ・ GeoGebra (座標の値を取得, <https://www.geogebra.org/?lang=ja>)
- ・ Wokwi (Arduino のシミュレーションサイト, <https://wokwi.com/>)
- ・ コドモとアプリ (文字の SVG 画像の取得, <https://studio.beatnix.co.jp/kids-it/kids-programming/scratch/scratch-material/hiragana-katakana-gothic/>)
- ・ Visual Studio 2022 (数学的な計算処理の確認)
- ・ Excel (プログラム用座標データの作成)
- ・ Arduino IDE
- ・ SOLIDWORKS2024 (3DCAD)

- ・ 3D プリンタ (BambuLab P1S Combo)
- ・ レーザー加工機 (Epilog FusionEdge12-30W)

#### 4.3. 製作手順

- ① 資料や文献を用いて調査し構成の決定
- ② 基本理論の理解
- ③ プログラムの作成 (文字の座標データの作成も含む)
- ④ 3DCAD を用いてモデルを作成し、3D プリンタで出力
- ⑤ 組み立て
- ⑥ 実際に動作させながらプログラムの調整

#### 5. 活動経過

- |           |                  |
|-----------|------------------|
| 6～7月      | 参考資料の調査、構想、構成の検討 |
| 7～10月     | プログラム            |
| 9～10月     | 3D プリンタで出力・組み立て  |
| 10月25、26日 | 龍谷祭 ポスターセッション    |

#### メンバー別活動内容

- |       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| 大河原淳  | 参考資料の調査、構想、設計、プログラミング、3D モデルの作成、組み立て |
| 樽井悠月  | 参考資料の調査、構想、設計、プログラミング、3D モデルの作成、組み立て |
| 西向光希  | 参考資料の調査、プログラミング、文字の座標データ作成           |
| 小林優斗  | 参考資料の調査、プログラミング、文字の座標データ作成           |
| 島田龍之介 | プログラミング                              |

#### 6. 成果・結果

##### 6.1. ソフトウェア

##### 6.1.1. プログラムの概要・構成

Arduino 言語で記述した。Arduino 言語は C 言語がベースであり、計算結果の確認が Arduino IDE よりも容易であることから、数学的な計算プログラムは Visual Studio で個別に作成した。その後、Arduino 言語で全体のプログラムにまとめた。

プログラムの主な処理順序を以下に示す。

- ① PC から出力する文字 (1 文字の濁点と半濁点は除く平仮名) をローマ字表記で Arduino IDE のシリアルモニタに入力し、USB ケーブルを介して Arduino に送信
- ② 入力されたデータから、文字の座標データ (予めプログラム内に準備) を取得
- ③ 速度調整のため座標間を分割。曲線の部分はラグランジュの補間法を用いて分割
- ④ ペン先が指定した座標を指すように逆運動学を用いて 2 つのサーボモータの角度を計算
- ⑤ 線を描かない座標間はペン先を上げるようにサーボモータを制御
- ⑥ 1 文字書き終わると停止

## 6.1.2. 文字の座標データ

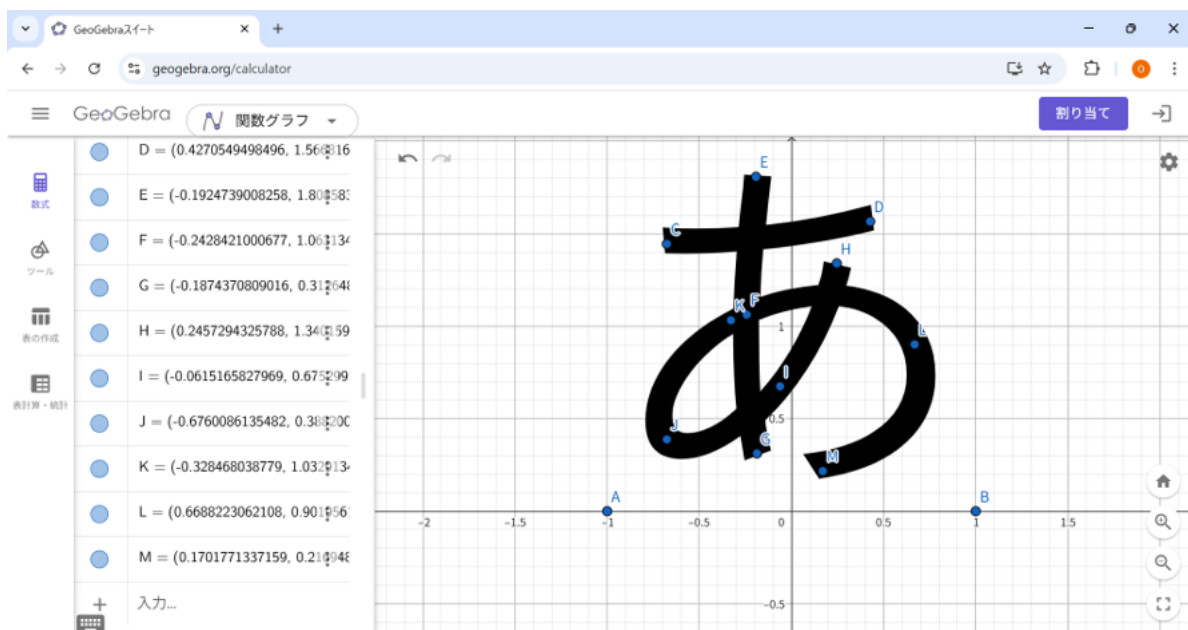


図1 文字の座標データの作成の様子

図1はGeoGebraの直交座標系のグラフ上に文字「あ」のSVG画像を貼り付け、その画像の上から点を取っている様子である。「あ」の上に表示されている点の座標を取得することで文字を書くための元データを作成した。

今回のプログラムのラグランジュの補間では3点を使用して補間しているため、曲線の区間では、3点あればある程度の形状を再現できると思われる最小の数の点と、線の端の点を取った。データを用意する人間の労力をなるべく抑える、またプログラムが大きくなるとメモリが不足することから、なるべく少ないデータ量が好ましい。全ての文字をさらに、ペンの上げ下げ用に0か1のデータを $z1$ に、ラグランジュの補間を使用するかどうかの判定と文字の最終点に到達したかの判定を $z2$ に用意した。これらのデータを以下に示すような形の配列にした。

$$\{\{x_1, y_1, z1_1, z2_1\} \{x_2, y_2, z1_2, z2_2\} \cdots \{x_{15}, y_{15}, z1_{15}, z2_{15}\}\}$$

このようなデータが平仮名46文字分存在する。

### 6.1.3. プログラム



図2 Arduino IDE

図2は Arduino IDE にプログラムを書き込んでいる様子である。下部にシリアルモニタが表示され、ここに出力したい文字をローマ字表記で入力して Enter キーを押すと、ロボットアームが字を書き始める。

プログラムは主に、

- ・ 文字データの配列
- ・ 入力されたローマ字を数字に変換して分岐処理
- ・ 逆運動学の計算
- ・ 直線の描画
- ・ 曲線の描画（ラグランジュの補間法の計算）

で構成されている。

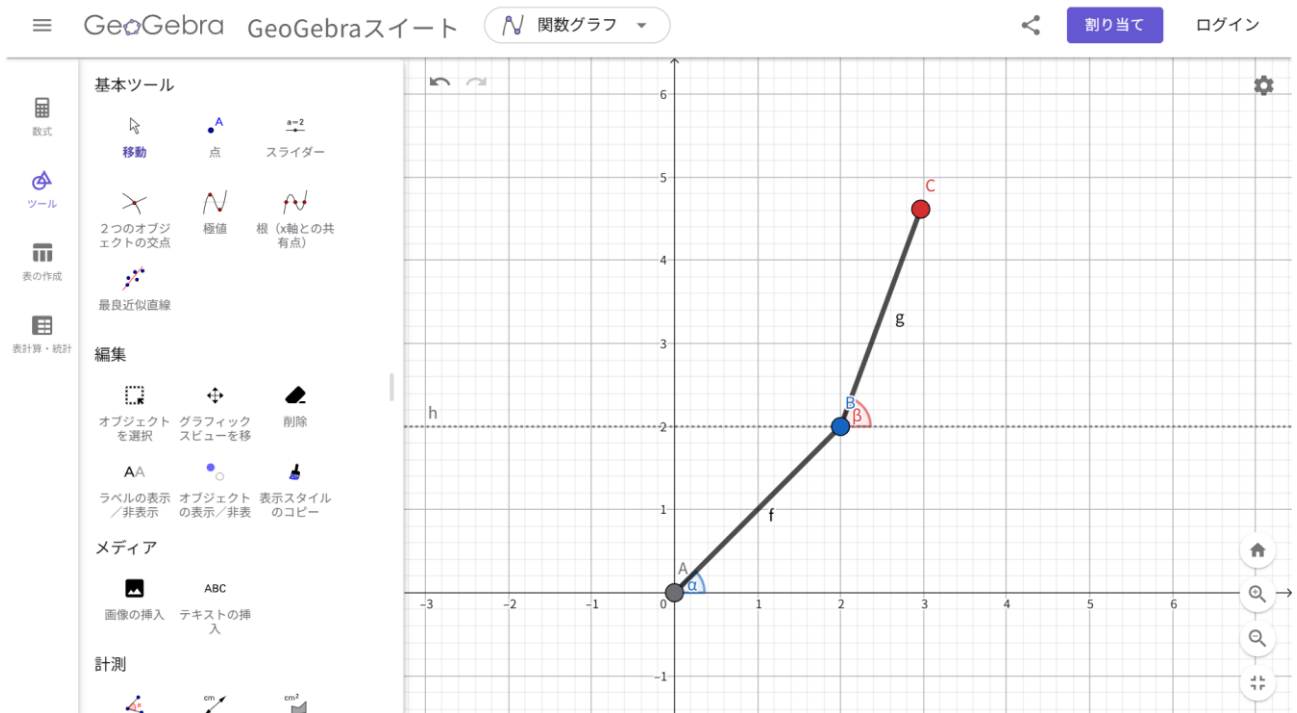


図3 逆運動学の計算で求める角度

図3の $\alpha$ と $\beta$ はロボットアームを上から見たときのサーボモータの角度である。点Cはペン先、原点Oはロボットアームの肩にあたる。ArduinoではServo.hというライブラリでサーボモータを制御できるが、角度でサーボモータの回転を制御するため、点Cの直交座標から逆運動学で計算して $\alpha$ と $\beta$ の角度を求める必要がある。

逆運動学の計算式は、 $\alpha = \theta_1, \beta = \theta_2$ とすると

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\pm\sqrt{1-A^2}, A\right) + \phi \quad \text{ただし,} \quad A = \frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1\sqrt{x^2 + y^2}}, \phi = \text{atan2}(y, x)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}(y - L_1 \sin \theta_1, x - L_1 \cos \theta_1) - \theta_1$$

である。

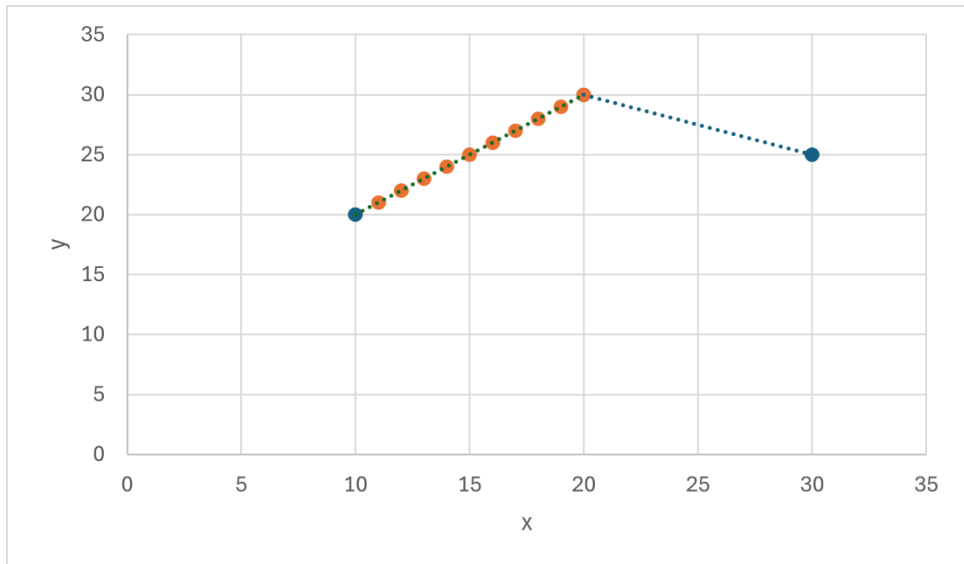


図4 3点の補間（直線）

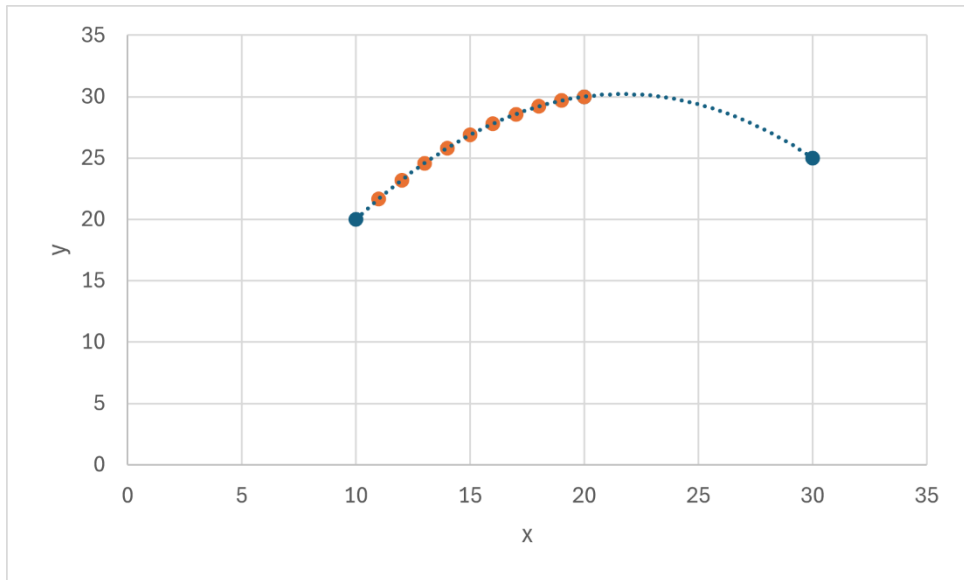


図5 3点の補間（ラグランジュの補間法による曲線）

図4と図5はラグランジュの補間法の使用の有無による比較である。どちらも3点を補間しているが、図5のようにラグランジュの補間法を使用していると曲線を描画できる。

## 6.2. ハードウェア

### 6.2.1. 構成

ハードウェアの構成を以下に示す。

- ・ アーム（手側）
- ・ アーム（肩側）
- ・ 土台
- ・ アルミ板
- ・ クランプ
- ・ サーボモータ ×3
- ・ マーカーペン
- ・ Arduino・基板

アームと土台は 3D プリンタで出力した。これらの部品の 3D モデルを作成する際に、寸法を合わせてサーボモータをはめ込んで固定するようにした。肘部分の接続はサーボモータに付属していたブラケット同士を固定した。ペンは結束バンドを用いて固定した。3D プリンタで出力した土台にはアルミ板を取り付け、アルミ板と机をクランプで固定することによって、ロボットアーム全体の安定性を高めた。

Arduino とサーボモータの配線をまとめるために、基板にヘッダーソケットをはんだ付けするなどし、そこにサーボモータなどからの配線を接続するようにした。その基板と Arduino を 1 枚の亚克力板にまとめて固定した。亚克力板の穴あけ等の加工はレーザー加工機を用いた。

図 6 はロボットアームの 3D モデルを CAD 上で作成したものである。部品の寸法や部品同士の干渉状態を把握するため、サーボモータの 3D モデルも作成した。

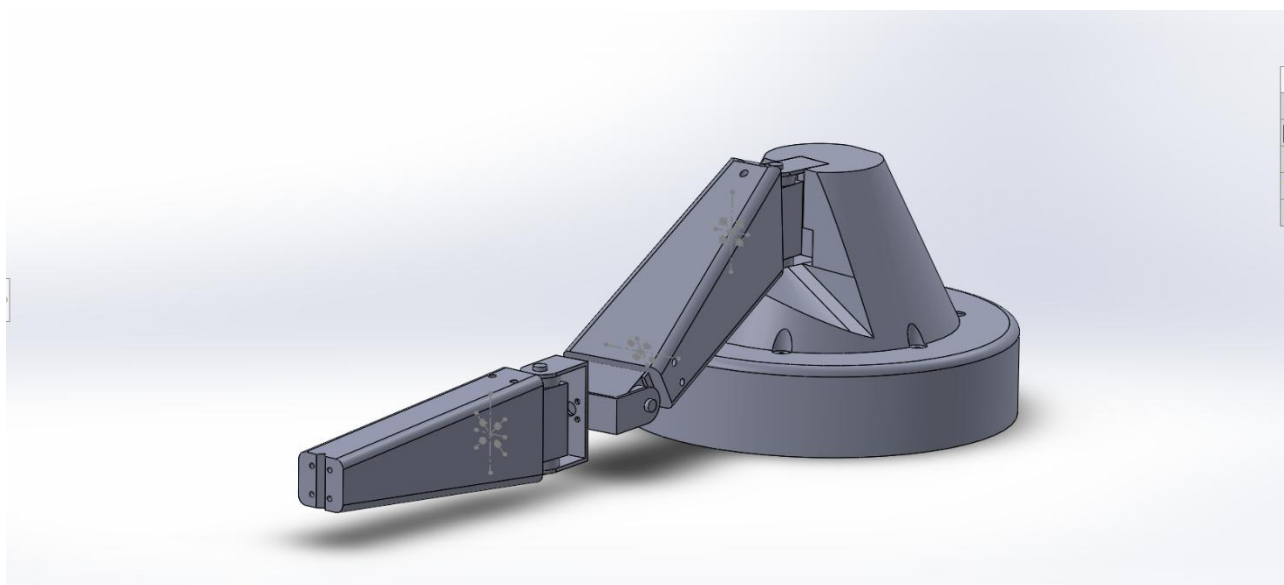


図 6 ロボットアーム全体の 3D モデル

### 6.2.2. 3D モデルの作成

SOLIDWORKS で作成した 3D モデルを STL ファイルに変換後、3D プリンタに送信して出力した。図 7,8,9 に 3D プリンタで出力した各パーツの 3D モデルの画像を示す。

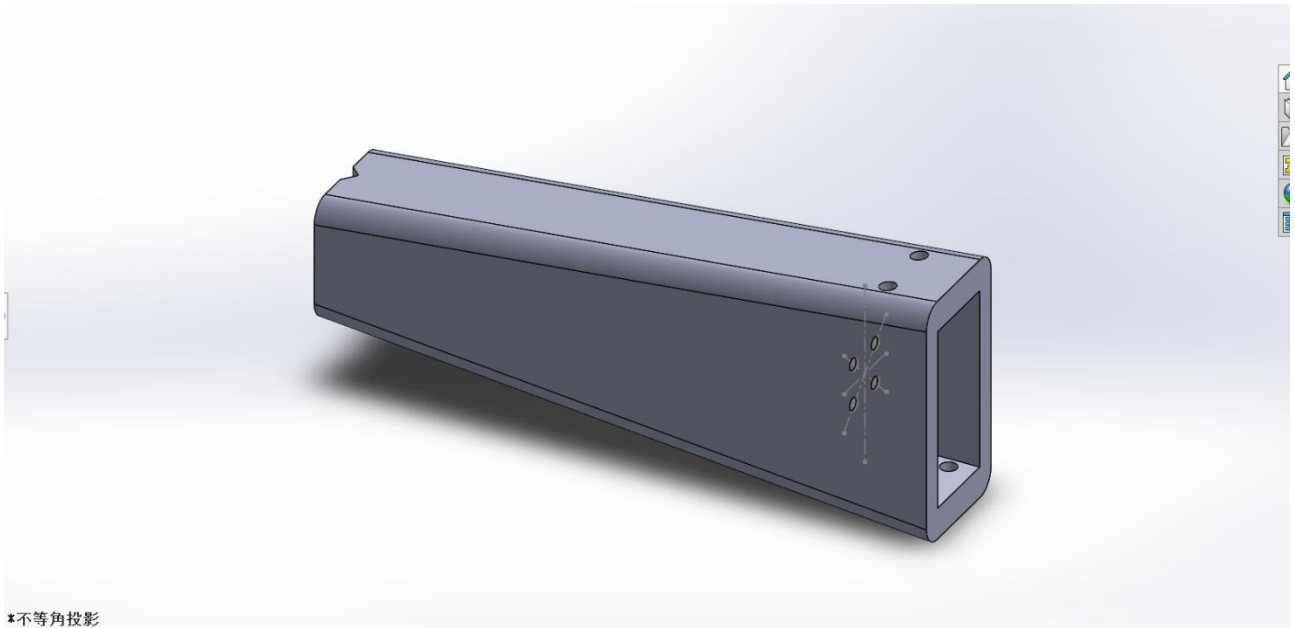


図 7 アーム（手側）の 3D モデル

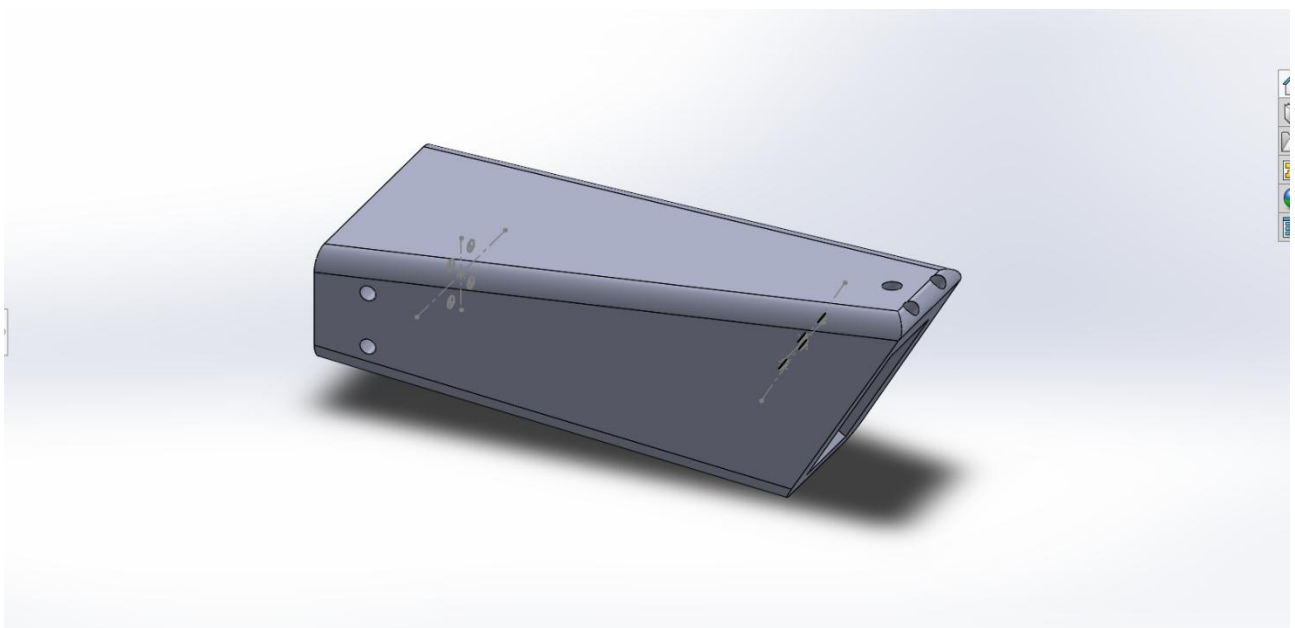
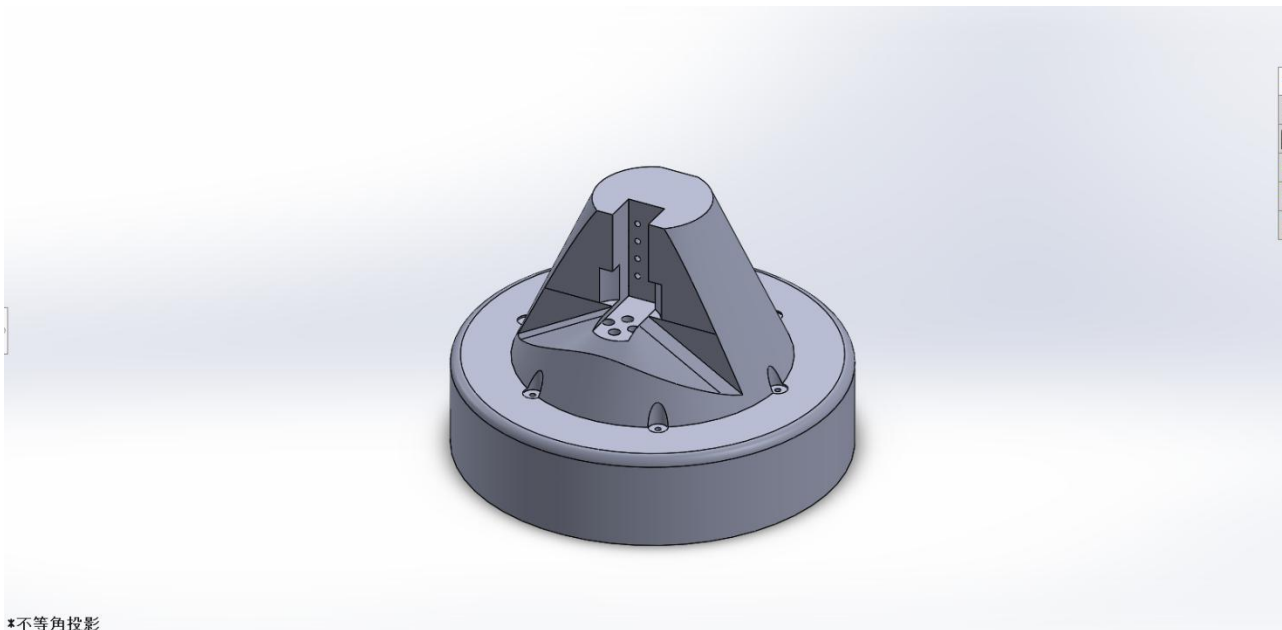


図 8 アーム（肩側）の 3D モデル



\*不等角投影

図9 土台の3Dモデル

### 6.2.3. Arduino の接続

Arduino 周辺の配線図を図 10 に、実際の写真を図 11 に示す。

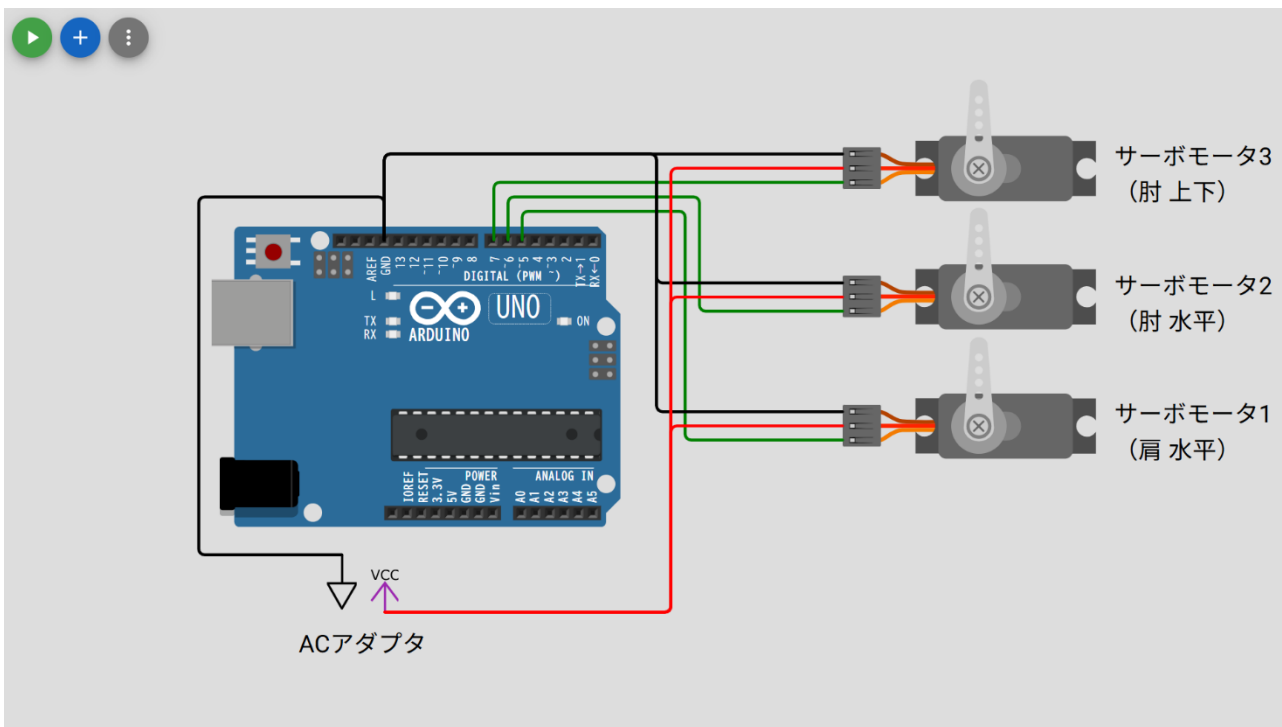


図 10 Arduino 周辺の配線図 (Wokwi で作成)

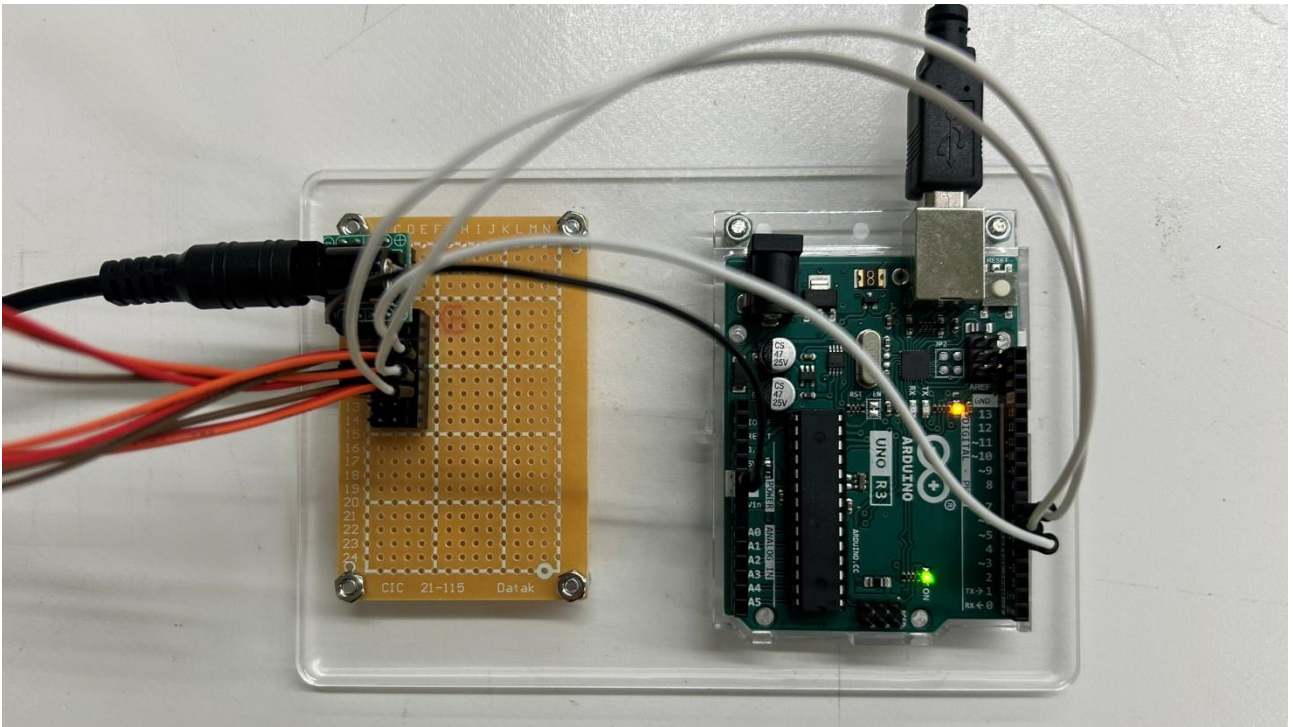


図 11 Arduino 周辺の配線

サーボモータの電源を Arduino から取ることもできるが、電流が不足する恐れがあったため、ACアダプタから電源を取っている。GND は全て 1 つにまとめている。

### 6.3. 出力した字

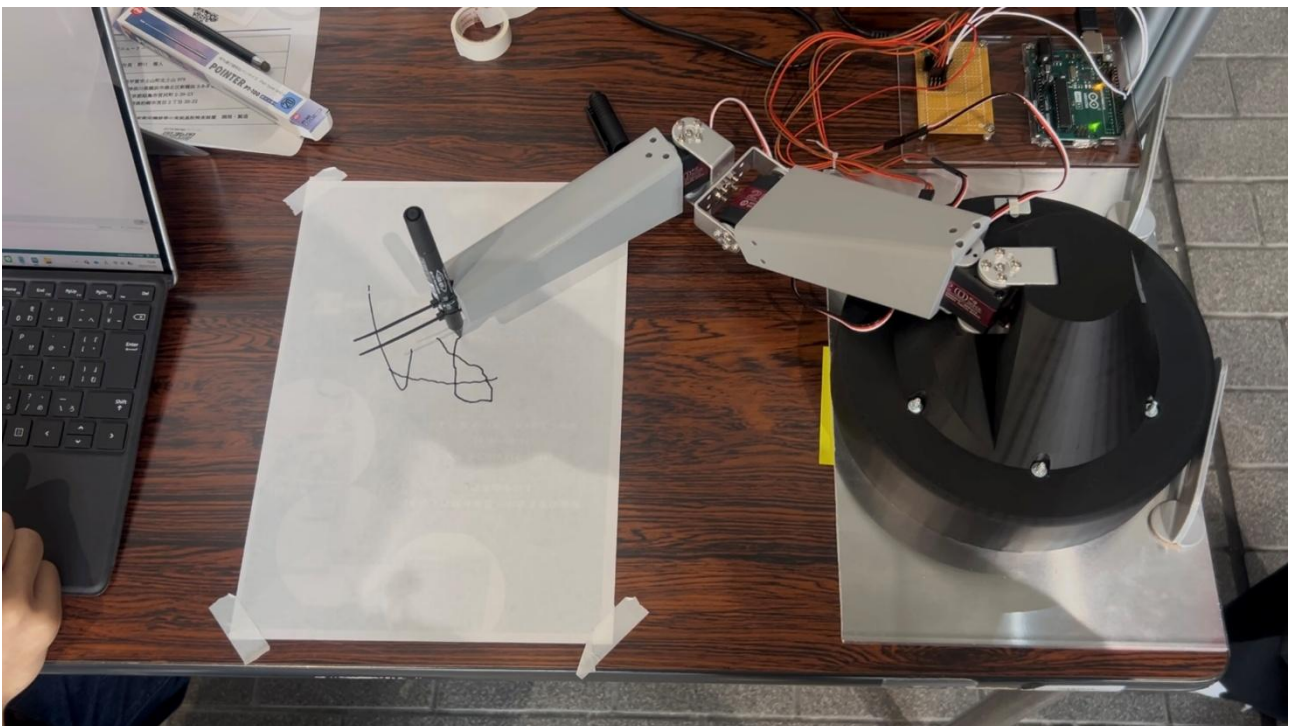


図 12 龍谷祭ポスターセッションでの展示の様子

完成したロボットアームは龍谷祭ポスターセッションで展示した。そのときの実際に動作しているときの写真が図 12 である。

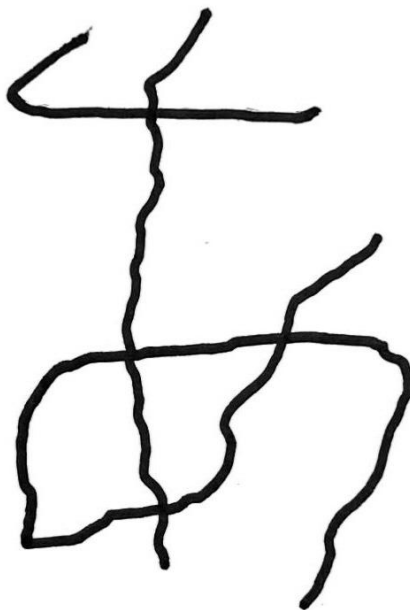


図 13 ロボットアームが書いた字

図 13 は、龍谷祭ポスターセッションでの展示で実際にロボットアームが書いた「あ」の字である。1画目の書き始めが上手く出来ていない。これは、1画目の書き始めの座標にペンが到達する前にペンが下がっていることが原因である。

#### 6.4. 最終結果と改善点

今回のプロジェクトリサーチでの活動は、座学で学んだことと、実際の機械の仕組みや製作との繋がりを理解する助けになった。ソフトウェアとハードウェアの両方を実際に作り、字を書くロボットアームを完成させることができ、目的を達成できた。

しかし、全てが上手くできたわけではなく、さらに追加したかった機能や改善すべき点がある。例えば、ペン先に加わる力を、ロードセル等を用いて測定してフィードバックし、ペン先の高さをリアルタイムで補正する機能を追加したかった。ペン先の高さを固定したままだと、ペン先と紙の間に生じる摩擦力を上手くコントロールすることができないからである。また、さらに綺麗な字を書くことができるようにプログラムを見直す必要がある。

## 7. 活動の振り返り

プログラミングや CAD の授業もあるが、実際に自分たちで設計して動かすということは遥かに難易度が高かった。全て手探りで一からだったため、非常に時間がかかり、計画通りに進めることができなかった。また、実際に触って見ないとわからないことが多いということを改めて感じた。例えば、サーボモータの動作が理論と少し異なった。回転できる範囲の違いからか、プログラム通りの角度は示さず、計算して補正をする必要があった。さらに作っている途中でこうした方が良かったというように改善点がたくさん出てきて試行錯誤の繰り返しだった。

ポスターセッションの表彰式では奨励賞を受賞することができた。ポスターセッション当日の投票で多くの投票をして頂けたからである。研究や開発は必ずしも他人に評価されるとは限らないのでありがたい。この活動はメンバーにとって多くの知識や経験を得ることができ、大変有意義なものであった。