

# 二足歩行ロボットの制作



2023年度プロジェクトリサーチ

# プロジェクトリサーチ 活動報告書

## 企画 NO.19

### 二足歩行ロボットの制作

提出日 2023年11月30日

担当アドバイザー教員： 渋谷 恒司

メンバー： Y210412 山中 雄斗

Y210309 上山 翔也

# 報告書

## 1. 目的

本プロジェクトでは以下の3点を目的として活動した。

目的1：二足歩行ロボットが実社会の経済活動に及ぼす影響と利点の調査と考察。

目的2：二足歩行ロボットの制作を通して、日々の学業で学修した知識や技術の活用と実践を行い、メンバーの問題解決能力の向上を図ること。

目的3：完成したロボットの滑らかな歩行や転倒防止を実現できる制御方法を学ぶこと。

## 2. 計画

本プロジェクトでは、目的1を6月初旬に実施し、二足歩行ロボットの基礎について学習する。その後6月中旬以降に目的2に取り組み、ロボットが完成次第目的3の歩行実験に移行するという計画とした。また、目的3は10月末の学園祭にて行われるポスター展示にて歩行する様子を展示することを目標とした。

## 3. 調査方法

二足歩行ロボットの制作に必要な知識は書籍や日々の学業、担当アドバイザー教員への相談を通して学習を行った。活動場所は主に瀬田キャンパスにあるSTEAMコモンズにて活動した。ロボットの構造は学業で学んだ物体を構築できる設計支援ツールCADを用いて設計した。学業ではCADソフト「SolidWorks」を使用していたが、本プロジェクトではiPadとパソコンの両方で扱えるCADソフト「shapr3d」を用いて設計した。設計したロボットのフレームや関節は3Dプリンタを用いて出力し、アルミ製や鉄製と比較して軽量のプラスチック製で組み立てた。また、容易に任意の形状を作り出せる3Dプリンタの性質を利用して、印刷時やロボット組み立て段階で生じた修正案や改善案を設計段階にフィードバックするPDCAサイクルを高速で繰り返し、設計の精度や品質を向上させるよう取り組んだ。

ロボットが完成したのち行った歩行実験は直進歩行できるスペースを用意し、転倒によるロボットの故障や破壊を防ぐ対策を行った。

## 4. 活動経過

### 4.1. 目的1：二足歩行ロボットについての基礎知識（6月）

二足歩行ロボットとは、人間のように二本の足でバランスを取りながら歩行移動を行うロボットの事を指す。特に人間と同様の姿・形をしているロボットの事をヒューマノイドロボットと呼び、近年世界中で研究開発が行われている。

ロボットには、実社会で活用する際の目的や用途から多様な形状や構造が開発されており、本プロジェクトで製作するような二足歩行ロボットにも意味を求められる場合がある。二足歩行ロボットにおいては「なぜロボットに人の形を模倣させるのか」という疑問が存在する。この疑問に対して書籍を活用して調査すると、主に以下の3点が挙げられる。1点目は人間の環境や設備、道具等々をそのまま利用することが可能な点。2点目は、ロボットの導入を行う際に大型機器の導入やそれによる作業場所の引っ越しをする必要がないためコストが節約できる点。3点目は、人の姿・形をしていることに価値が生じる点である。

上記の3点を元に実社会において導入及び活用が可能と推測できる分野や場所を考察してみる。産業分野では工場の生産ラインをはじめとした人が行う流れ作業を肩代わりし、建物の建築現場では高所などの危険な場所の作業を任せることが出来る。医療分野では人手不足や仕事量の多さが悩まされる老人ホームや病院での人の介護支援や物品運搬など、労働力の追加投入が出来る。災害用途では、地震や津波、火事などの不整地な災害現場での救助活動を支援したり、ロボットのアームを医師が遠隔操作することで緊急患者への医療行為などが可能と考えられる。宇宙分野では、人が宇宙服などを必要とする無酸素空間においてロボットは酸素を必要せずに活動することができ、探査の先遣隊や宇宙飛行士の活動拠点の建設を行うことができると推測される。

### 4.2. 目的2：ロボットの構成決定（6月）

本プロジェクトで作成した二足歩行ロボットは人の形を模倣することから主に頭部、胸部、腰部、脚部、足底の計5つの要素で構成されている。以下の図1にロボットの構成要素を示した。脚部は関節に取り付けたモータを駆動させることで旋回を行う機構を取り付け、それが片足6関節(6軸)、両足で計12関節(12軸)を備えている。胸部には脚部に取り付けたモータの制御するマイコンや変換基板などを搭載した。また、ロボットの姿勢制御を行うために重心位置の腰部にはジャイロセンサを、脚部の足先が床と接地しているか判定するために足底には感圧センサを取り付けることにした。このロボットの構成決定では、学業で受けた授業「機械要素」、「設計製図」で学んだ知識が活かされた。

# 4. ロボットの構成要素

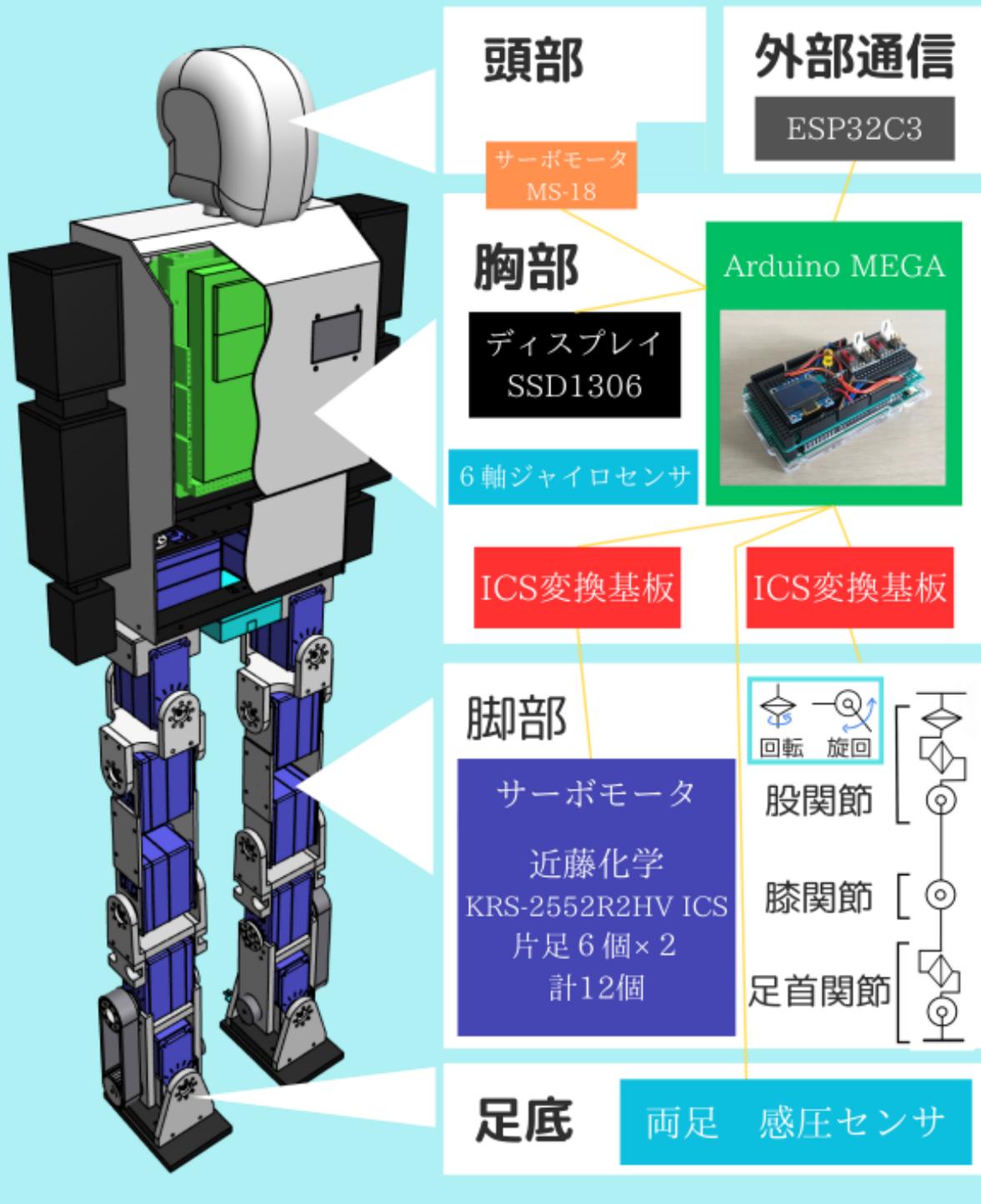


図1 ロボットの構成要素

### 4.3. 駆動モータ選定（6月～7月）

プロジェクトリサーチが開始された6月当初、ロボットの関節を駆動させるモータに図2のブラシレス DC モータを採用する方向で活動していた。しかし、プロジェクトリサーチの補助費を用いてこのモータを購入しようとした際、国内の通販サイトでは希望する形状のブラシレス DC モータが販売されていなかった。海外の通販サイトにおいてようやく見つけることが出来たが、セキュリティの問題から購入することが出来なかった。このことからブラシレス DC モータの仕様は断念し、異なるモータを採用することになった。ブラシレス DC モータ用に設計していたロボットの構造もゼロから作り直しとなった。

7月頃、ブラシレス DC モータの代替案として、以下の図3にある近藤科学が販売しているサーボモータ「KRS-2552R2HV ICS」を採用した。

この駆動モータ選定では学業で受けた授業「メカトロニクス」で学んだアクチュエータの知識が活かされた。



図2 ブラシレス DC モータ



図3 近藤科学のサーボモータ

#### 4.4. ロボットの設計と印刷（6月～9月初旬）

ロボットの片足構造を以下の図4に示す。片足の関節は腰関節に3軸、膝関節に1軸、足首の関節に2軸の計6軸が取り付けられている。特に図5に示すように足首の2軸はタイミングベルトを使用することで軸を交差させている。これを行うことでロボットの制御を少ない計算で処理することが可能となる。

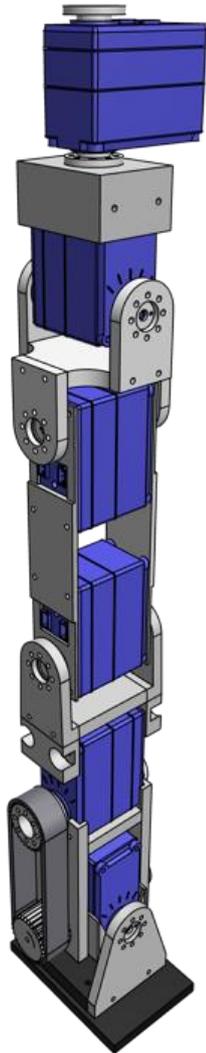


図4 片足の全体構造

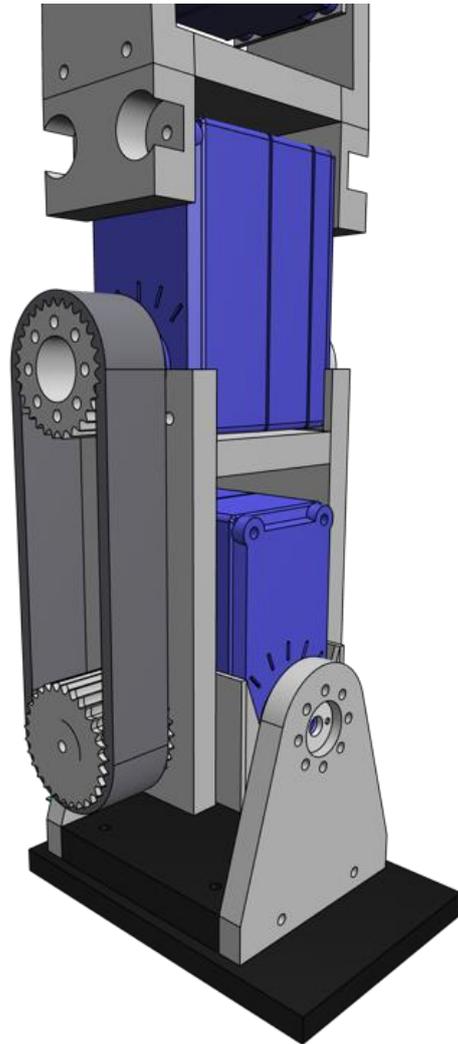


図5 足首の部分構造

設計で構築した構造の出力は3Dプリンタを用いた。瀬田キャンパスの steam コモンズでは3Dプリンタの「adventure4」が利用できるため、機体の部品やフレームのすべてはこの3Dプリンタで作了出来。ロボットの中には構成する部品がアルミや鉄で製作されているものもあるが、adventure4などの3Dプリンタは任意の自由な形状を即座に作り出すことができる。また、プラスチック製でつくられるため、アルミ製や鉄製と比較してロボットの重量を軽減することができ、関節駆動に必要なモータのトルクを減少させることができる。以下の図6には設計した構造を3Dプリンタ用に変換した様子を示した。

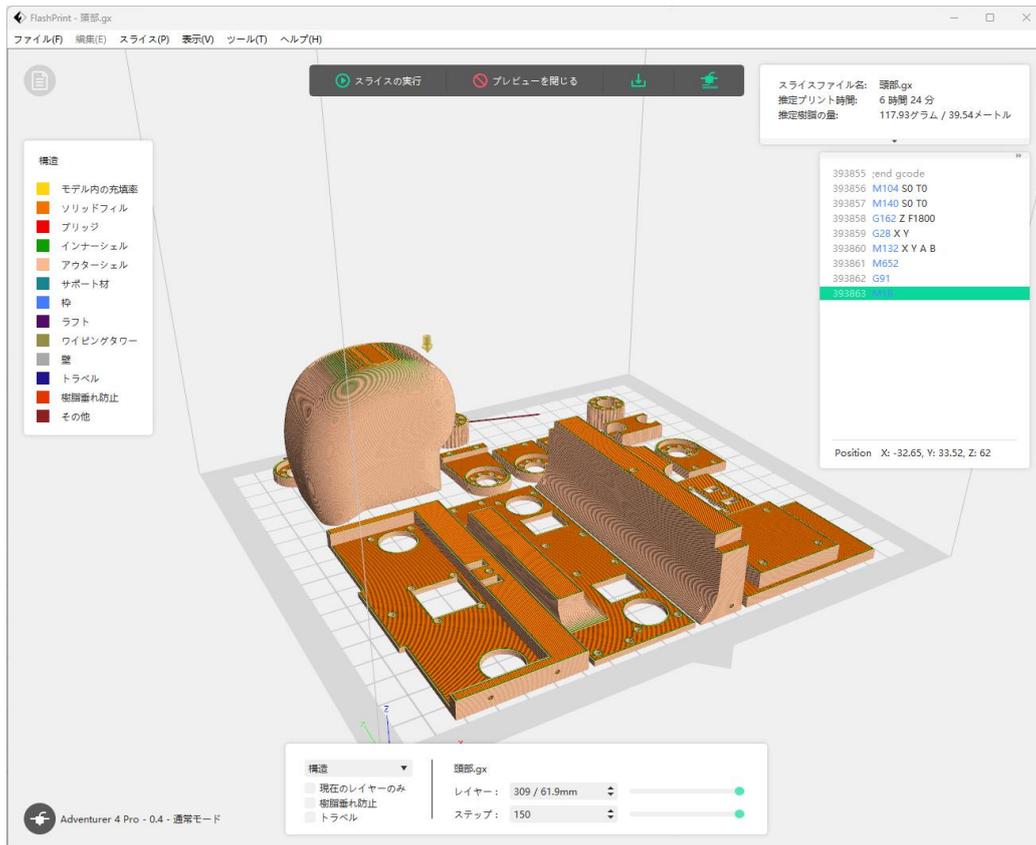


図6 3Dプリンタ用に変換

## 4.5. ロボットの制御 (8月~11月)

本プロジェクトのロボットは各関節に取り付けたサーボモータがそれぞれ駆動させることで任意に足を動かすことができる。近藤科学のサーボモータは ICS 通信という独自の通信規格を採用している。そのまま近藤科学製の制御基盤を用いることで制御することも可能であるが、ジャイロセンサや感圧センサのデータも同時に活用したいことから制御基盤としてマイコンで有名な Arduino MEGA を活用することにした。Arduino 系のマイコンは外部とシリアル通信という規格で情報伝達することが出来き、シールドと呼ばれる機能の追加を目的とした基盤の中には、シリアル通信と ICS 通信を仲介する ICS 変換基板がある。この基板を片足ずつ計 2 個使用し、サーボモータに指令を出し、制御を行う。

### 4.5.1. 順運動学と逆運動学

二足歩行ロボットの制御方法を大まかに説明すると、ロボットアームの手先を床に接地したまま、ロボットアーム自体を逆立ちさせた状態を脚部の片足として扱い、ロボットアームと同じように順運動学と逆運動学を用いて指令すべき関節角度をサーボモータに出している。順運動学と逆運動学は以下の図 7 に示すように各関節の角度とロボットアームの先端(本プロジェクトでは足先)の座標の関係を示した方程式である。この式を使うことでサーボモータの現在角度から足先が今どこにあるのか知ることが可能となり、また、歩行する人の足先座標を軌道として扱い、その軌道を実現する各関節の変革を知ることができるようになる利点がある。しかし、この式は関節が増えるごとに計算が複雑になり、計算時間に多大な時間がかかる欠点がある。

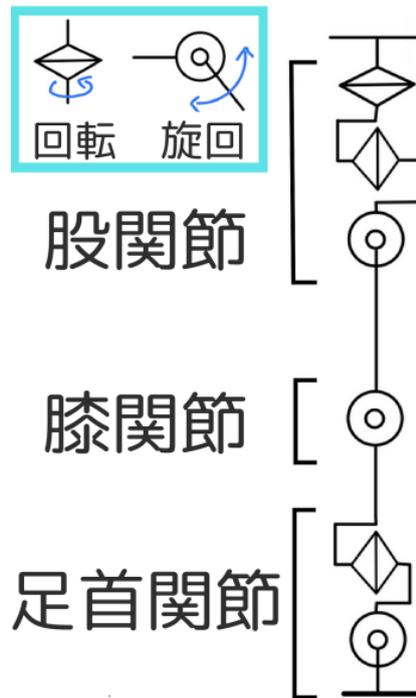


図7 片足の関節の記号表現

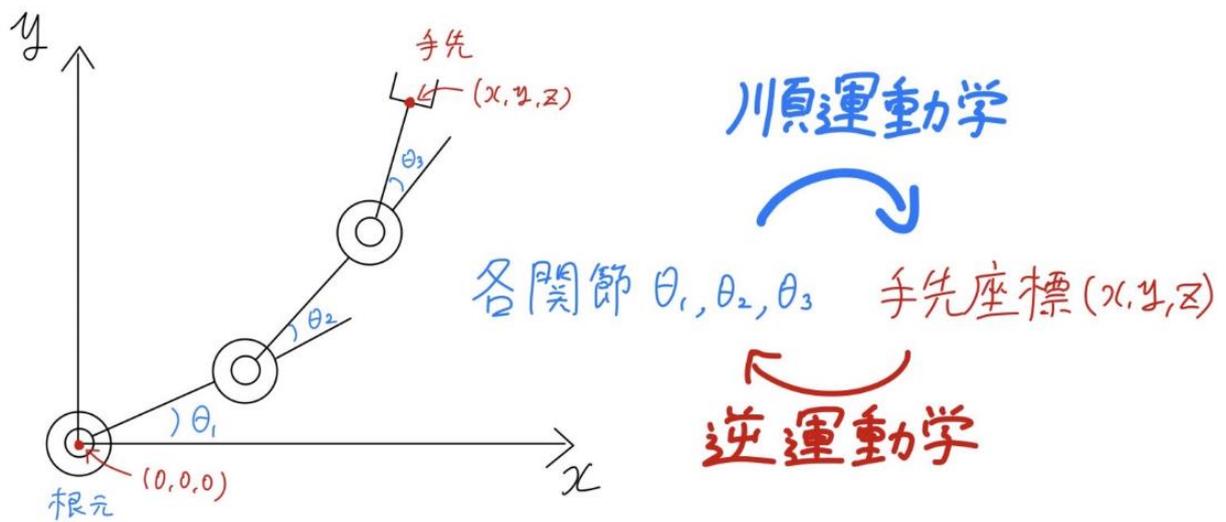


図8 順運動学と逆運動学の関係

#### 4.5.2. 動的姿勢安定状態判別方法 ZMP

前節にて二足歩行ロボットの制御はロボットアームと同じ制御方法を用いていると述べているが、通常のロボットアームは床に固定されているのに対して、脚部は床と足先で接地しているだけである。この状態で関節のモータを駆動させても不安定なバランスにより転倒するだけであるので、転倒しないか判定しながら制御を行う必要がある。

ZMP(zero-moment Point)は二足歩行ロボットの片足と重心位置を以下の図9のように台車とテーブルで表し、ロボットの足裏が床面と接触を維持できるかどうかを判定する方法である。ZMPの点は位置座標であり、重心の加速度から求めたZMPの点が足裏面内であれば重心が移動していても安定して歩行することができる。本プロジェクトのロボットには重心位置付近にジャイロセンサを搭載しており、そのセンサ情報から加速度を取得している。

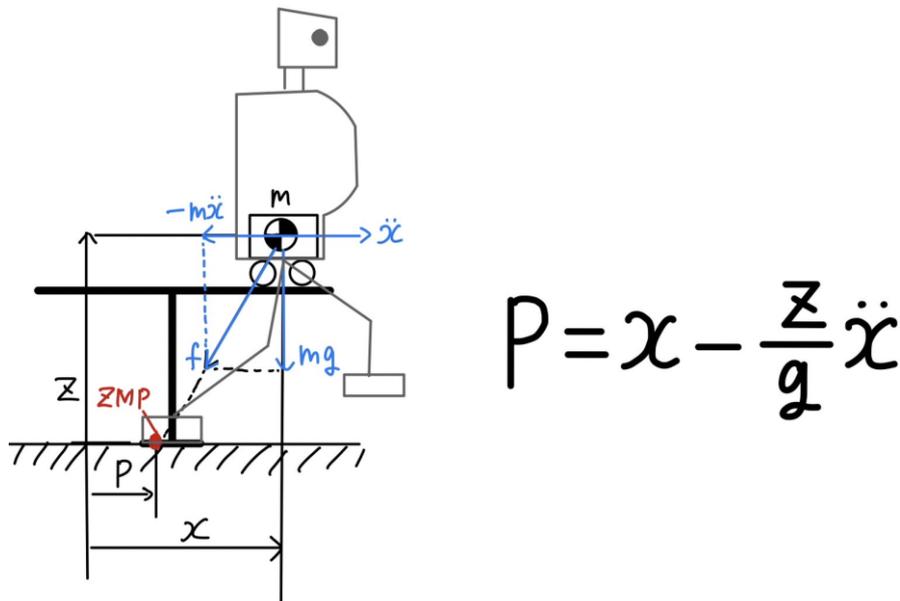


図9 ZMPの台車とテーブル

#### 4.6. 歩行実験 (11月)

ロボットの制御がある程度構築できた段階から徐々にロボットの歩行実験を行った。歩行パターンは直進歩行、カーブに沿った歩行、階段昇降の三項目を目標として取り組み、ロボットが転倒しても故障や破損が起こらないように対策を行った。

## 5. 成果・結果

### 5.1. 本プロジェクトを振り返って

本プロジェクトを通しての一番の成果は学業で学んだ事を今までで一番多くアウトプット（活用・実践）することができた点である。二回生までは大学の授業は聞いて学ぶだけの状態が多いことから活用する機会があまりなく、知識の定着やスキルアップがサークルでの作品制作以外あまりできていなかった。しかし、今回のプロジェクトリサーチでは自身が気になることに対して企画として取り組むことが出来ると同時にその過程で知識の獲得、技術や問題解決能力の向上を図ることが出来た。特にロボットの設計段階では、まだまだ学び始めた直後の設計知識や技術を活用することが出来たし、3D プリンタを用いることで「この設計で大丈夫なのか」、「寸法公差はどのくらい必要なのか」などの不安要素の評価と設計に改善案としてフィードバックする PDCA サイクルをすることが出来た。また、二足歩行ロボットという観点では、金銭や時間の関係で取り組めなかったロボットの制作を実施する夢が叶ったことや配属された研究室の研究や卒業論文に対しての先取りを行うことが出来たため、今回のプロジェクトリサーチに参加してよかったと感じている。

### 5.2. 今後の展望

この報告書の提出した 11 月末時点では、ロボット制作はひと段落しているが、歩行実験に関してはまだまだ安全にかつ滑らかな歩行は実現できていない。担当アドバイザー教員である渋谷教授と相談した結果、プロジェクトで購入したモータや備品は今後も使用してよいと許可を得たので本プロジェクトは勉強の一つとして続けていこうと考えている。

## 7. 参考文献

### 7.1. 書籍

- ・ヒューマノイドロボット 梶田秀司編著. -- 改訂2版. -- オーム社
- ・ロボット工学の基礎 川崎晴久著. -- 第2版. -- 森北出版
- ・二足歩行ロボット自作ガイド 二足歩行ロボット協会編. -- オーム社

### 7.2. URL

- ・ブラシレス DC モーター

<https://jp.robotshop.com/products/tmotor-uav-brushless-motor-antigravity-mn4006-kv380-2x>

- ・近藤科学サーボモーター KRS-2552R2HV ICS

<https://kondo-robot.com/product/03197>

### 7.3. 使用したソフト・アプリ・機器

- ・shapr3d (設計支援ツール CAD)
- ・Arduino IDE (マイコンを動かす統合開発環境)
- ・adventure4 (3D プリンタ)
- ・FlashPrint (データ変換ソフト)