

公立はこだて未来大学 2020 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書

Future University-Hakodate 2020 System Information Science Practice  
Group Report

プロジェクト名

複雑系知能ロボットへの挑戦

**Project Name**

Challenge to Complex Intelligent Robot

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

安藤直輝 Naoki Ando

グループリーダー/Group Leader

田中滉大 Koudai Tanaka

グループメンバ/Group Member

安藤直輝 Naoki Ando

加藤大地 Daichi Katou

小山晃弘 Akihiro Koyama

西谷和将 Kazumasa Nishiya

指導教員

松原仁 鈴木恵二

**Advisor**

Hitoshi Matsubara Keiji Suzuki

提出日

2020 年 1 月 31 日

**Date of Submission**

January 31, 2020



## 概要

“複雑系知能ロボットへの挑戦”プロジェクトは、人工知能とロボットの融合による知能ロボットの開発に取り組む。坂道や段差といった環境のなかでロボットが二足歩行するのは困難である。そのような場所でも活動できる人型ロボットを作りたい。本プロジェクトの目標は次世代知能ロボットとして、様々な路面を進む人型ロボットの開発である。ロボットを開発するロボット班と画像認識技術や強化学習のプログラムを開発する AI 班の 2 つのグループに分かれて活動を行った。私たちロボット班はロボットの改良、修理、姿勢制御やロボットの行動の選択肢を広げるためのモーションを作成する。障害物を乗り越える実験を繰り返し行うことで、モーションの改良と姿勢制御の改良を繰り返すことで目標の達成を目指す。また、効率よく実験を行えるように、障害物のモデルを作成する。

キーワード    ロボット, 姿勢制御, モーション作成

(※文責：西谷和将)

# Abstract

The "Challenge for Complex Intelligent Robots" project is working on the development of intelligent robots by combining artificial intelligence and robots. It is difficult for a robot to walk bipedally in an environment such as a slope or a step. I want to create a humanoid robot that can active such place. The goal of this project is to develop a humanoid robot that moves on various roads as a next generation intelligent robot. We divided ourselves into two groups and work on, Robot team that develops robots and AI teams that develop image recognition technology and reinforcement learning programs. Our robot team creates motions to improve the options of robot improvement, repair, attitude control, and robot behavior. Aiming to achieve their goals by repeating the improvement of motion and the improvement of attitude control by repeatedly performing experiments to overcome obstacles. In addition, a model of the obstacle is created so that the experiment can be performed efficiently.

**Keyword** Robot, attitude control, motion creation

(※文責：西谷和将)

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>背景</b>	<b>1</b>
1.1	目的 . . . . .	1
1.2	従来例 . . . . .	1
1.3	従来の問題点 . . . . .	1
1.4	課題 . . . . .	1
<b>第 2 章</b>	<b>到達目標</b>	<b>3</b>
2.1	問題の設定 . . . . .	3
2.2	課題の設定 . . . . .	3
2.3	到達レベル（目標） . . . . .	4
2.4	課題の割り当て . . . . .	4
<b>第 3 章</b>	<b>課題解決のプロセス</b>	<b>5</b>
3.1	プロジェクト内における課題の位置づけ . . . . .	5
3.1.1	ロボットの作成 . . . . .	5
3.1.2	モーションの作成 . . . . .	5
3.1.3	転倒時の対処 . . . . .	6
3.1.4	AI 班との連携 . . . . .	6
3.2	課題解決の方法 . . . . .	6
3.2.1	ロボットの作成 . . . . .	6
3.2.2	モーションの作成 . . . . .	7
3.2.3	転倒時の対処 . . . . .	8
3.2.4	AI 班との連携 . . . . .	8
<b>第 4 章</b>	<b>プロジェクト内のインターワーキング</b>	<b>9</b>
4.1	前期のインターワーキング . . . . .	9
4.2	後期のインターワーキング . . . . .	9
<b>第 5 章</b>	<b>結果</b>	<b>11</b>
5.1	成果 . . . . .	11
5.2	前期における解決手順と評価 . . . . .	11
5.3	後期における解決手順と評価 . . . . .	12
<b>第 6 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>13</b>
6.1	プロジェクトの成果 . . . . .	13
6.2	前期プロジェクトにおける個人の役割 . . . . .	13
6.2.1	西谷和将 . . . . .	13
6.2.2	安藤直輝 . . . . .	14
6.2.3	加藤大地 . . . . .	15

6.2.4	小山晃弘	16
6.2.5	田中滉大	18
6.3	後期プロジェクトにおける個人の役割	19
6.3.1	西谷和将	19
6.3.2	安藤直輝	20
6.3.3	加藤大地	21
6.3.4	小山晃弘	23
6.3.5	田中滉大	26
<b>第 7 章</b>	<b>今後の課題と展望</b>	<b>29</b>
<b>付録 A</b>	<b>中間発表の集計結果</b>	<b>30</b>
<b>付録 B</b>	<b>最終発表の集計結果</b>	<b>31</b>
<b>付録 C</b>	<b>新規習得技術</b>	<b>33</b>
<b>付録 D</b>	<b>活用した講義</b>	<b>34</b>
<b>付録 E</b>	<b>その他製作物</b>	<b>35</b>
	<b>参考文献</b>	<b>36</b>

# 第 1 章 背景

近年の人型ロボットの発展は目覚ましく、階段の昇り降り、坂道や雪道の歩行が可能なロボットが開発されている。しかし、階段の昇り降りにはできるが、雪道の歩行はできないなどと、全ての道を歩行可能なロボットは現在開発されていない。そこで、私たちロボット班はあらゆる道でも歩行可能なロボットの開発を目的とし、挑戦している。

(※文責：小山晃弘)

## 1.1 目的

ロボット班はあらゆる道を歩行可能なロボットの開発が目的である。この目的を達成するにあたって、様々な種類の道が存在する公立はこだて未来大学購買前から、公立はこだて未来大学バス停前までの道を歩行可能なロボットの開発を目標としている。公立はこだて未来大学購買前から公立はこだて未来大学バス停前までの道のりには、階段、点字ブロック、摩擦の異なるカーペット、通気口、コンクリートの坂道が存在する。この道のりを踏破することで、目的に近いロボットの開発が達成できたことになる。

(※文責：小山晃弘)

## 1.2 従来例

近年の人型ロボットの例として、本田技研工業株式会社の ASIMO やボストンダイナミクスのアトラスが挙げられる。ASIMO は階段の昇り降りが可能であり、アトラスは雪道の歩行が可能である。また、歩行ロボットを使用した災害救助隊大会なども開催されている。

(※文責：小山晃弘)

## 1.3 従来の問題点

階段や坂道、雪道などの様々な障害を歩行可能な人型ロボットは開発されている。しかし、どれも限定的な道にのみ歩行可能で、全ての道に対して歩行可能ではない。その例として、ASIMO のような室内利用を目的としたロボットは屋外での歩行は困難なことが挙げられる。

(※文責：小山晃弘)

## 1.4 課題

目標である公立はこだて未来大学購買前から公立はこだて未来大学バス停前までの道のりをロボットが踏破するにあたって、4つの課題がある。1つ目に、ロボットの作成である。2つ目に、一

## Challenge to Complex Intelligent Robot

段当たり 17.2cm の 24 段の階段、高さ 2.1cm の点字ブロック、消耗具合により摩擦の異なるカーペット、通気口、コンクリートでできた最大傾斜角 4 度の坂道を歩行できるモーションの作成である。3 つ目に、ロボットが転倒した際の対処と破損しないために衝撃を吸収する素材の装着である。4 つ目に、AI 班がプログラムを導入するための Raspberry Pi3 と、それを動かすためのバッテリーモジュールの取り付けである。

(※文責：小山晃弘)



## 第 2 章 到達目標

### 2.1 問題の設定

本プロジェクト学習では、どんな道でも歩行可能な人型ロボットを作ることを目指す。KHR3を使用していろいろな道に対応したモーションの作成と遠隔操作を実現することが課題である。最終的には、公立はこだて未来大学の購買前からバス停前までのコースを、人型ロボットが自律的に歩行して到達することが目標である。そのため、遠隔操作ができる人型ロボットの開発すること。また人型ロボット自身があらゆる状況下でも移動能力を維持できるモーションを作成することを目指す。

(※文責：西谷和将)

### 2.2 課題の設定

2.1 節で述べた問題を解決するために前期では人型ロボットに必要な知識やもの、モーションを追加していくことを目的とし、作業効率と正確さに力を入れ、以下のように手順を設定した。

- 様々な道を進むことのできる人型ロボットを開発するのになにが必要かの話し合い
- 実際にロボットやプログラムを作成するため2つのチームに分担する
- それぞれ必要なことについて理解を深めるため3チームに分け学習する
- 人型ロボットの組み立て藤科学 KHR3 説明書)
- 人型ロボット (KHR3) の自由度の拡張 (近藤科学 KHR3 説明書)
- 各種センサの取り付け
- 人型ロボット (KHR3) の自律化
- 人型ロボット (KHR3) のモーションの作成
- 実験の実施、改善点の発見
- 人型ロボット (KHR3) の調整、新たなモーションの作成
- 実験の実施、改善点の発見の繰り返し (バス停までたどり着くことができるまで)

以上の活動を行い、人型ロボットが自律的に歩行することを課題とした。また、歩行以外にも転倒した際のモーションの作成など、緊急時や障害物を乗り越えるモーションの作成が課題として挙げられる。

前期では上記の活動を行ったが、床の状態によって摩擦力が変わったりと、歩行することが困難だったことに加え、障害物を越えようとする際にサーボモータが壊れてしまう危険性があったため後期では人型ロボットの姿勢制御と安全に障害物を越えることのできるようなモーションの作成に重点をおいた。また、ロボット班内で人型ロボットの修理、補強とモーションの作成を分担して行った。

(※文責：西谷和将)

## 2.3 到達レベル（目標）

前期は人型ロボットが自律的に歩行することを目標とした。そのために以下の項目を満たせることを目指す。

- 2.2 で挙げた活動の実施
- 人型ロボットの無線化

後期では障害物を越えるためのモーション作成と人型ロボットの姿勢制御の実装を目標とした。そのために以下の項目を満たせることを目指す。

- 仮想空間上での人型ロボットのモーション作成
- 加速度センサ、ジャイロセンサによる姿勢制御

(※文責：西谷和将)

## 2.4 課題の割り当て

前期ではまず全員で KHR3 の製作をし、その後のモーション作成の担当をする人と KHR3 の補強など、ハード面を担当する人にそれぞれ課題を割り当てた。各々で異なる機能の開発を行い、アプリケーションに実装することとした。作業量が多いと考えられる機能には複数人を割り当てることにした。割り当ての結果は以下の通りとなった。

田中: KHR3 の製作、KHR3 に拡張サーボの取り付け、遠隔操作の実現 (外装班)

安藤: KHR3 の製作、KHR3 に拡張サーボの取り付け、モーション作成 (外装班)

加藤: KHR3 の製作、HeartToHeart4 を用いた KHR3 の制御 (モーション班)

小山: KHR3 の製作および配線接続、KHR3 に拡張サーボの取り付け (外装班)

西谷: KHR3 の製作、モーションの試作 (モーション班)

後期では KHR3 の外装の修理、補強担当と KHR3 の制御担当の 2 つに分かれて各々活動を行うこととした。KHR3 の外装の修理、補強と KHR3 の制御の分担は以下の通りとなった。

KHR3 の外装の修理、補強：田中 小山

KHR3 の制御：安藤 加藤 西谷

(※文責：西谷和将)

## 第 3 章 課題解決のプロセス

### 3.1 プロジェクト内における課題の位置づけ

プロジェクトの目標である購買からバス停までの道のりには様々な障害が存在している。その理由はロボットの全長が人間と比べると非常に小さく人間と同じ動作では目標コースの進行が困難であることが予想されるからである。また、AI 班との連携などでロボットに自作した部品を搭載する可能性があり、それに伴ってサーボモータの出力を考慮して工夫したモーションを作成する必要がある。このようにロボット班にはプロジェクトの目標を達成する上で、様々な障害が予測される。このような予測した障害を元にロボット班では 4 つの課題を設けた。ロボットの作成、モーションの作成、ロボットが転倒したときの対処、AI 班との連携、以上の 4 つの課題に分けた

(※文責：小山晃弘)

#### 3.1.1 ロボットの作成

ロボット班の抱える課題の 1 つ目に、プロジェクトの目標を達成することが出来るロボットの作成がある。購買からバス停までの目標コースを自律的に歩行するためには、その目標に適した人型ロボットを作成する必要がある。そのロボットは、以下の 2 つの要素を持つ必要がある。まず、目標コースには様々な障害が存在することが予測され、それらに対応するために様々なモーションを再生することができる必要がある。特に歩行の他に四足歩行や人間では行うことのできない奇抜なモーションの作成を使用する可能性もあるので自由度に優れたロボットである必要がある。次に、目標コースは購買からバス停の道のりであるので階段やコンクリートなど人間と比べて非常に小さいロボットにとっては危険性の高い場所が存在する。それらの環境で落下や転倒をしてしまうとロボットが破損し、プロジェクトの活動そのものに致命的な損失となる可能性がある。したがって、使用するロボットは耐久性に優れている必要がある。以上のことから今プロジェクトでは、様々なモーションの再生を可能とする自由度の高さと落下や転倒での破損や故障の可能性を低くする耐久性に優れたロボットを使用する。

(※文責：加藤大地)

#### 3.1.2 モーションの作成

ロボット班の抱える課題の 2 つ目に、ロボットが行うモーションを作成する必要がある。購買からバス停までの目標コースには階段を始め点字ブロックやカーペット、斜面のように人間と比べて非常に小さいロボットにとって様々な障害があるため、目標の達成のためにもそれらの障害に対応していく必要がある。そのためには、障害を見つけ対応する必要がある。したがって、目標コースを注意深く観察する必要がある。また、人間がどのように進行するかも観察することでロボットに活かす活動も行う。例えば、ロボットと階段の縮尺を人間に置き換えて考えると大体腰くらいの高さとなるので、実際にその段差から降りてその様子をメンバーで観察するという活動である。この

ようにモーション作成は、まず観察を主に行う必要がある。

(※文責：加藤大地)

### 3.1.3 転倒時の対処

ロボット班の抱える課題の3つ目に、ロボットが転倒した際の対処と破損しないために衝撃を吸収する素材の装着がある。ロボットは歩行時に転倒し損傷する恐れがある。もしロボットが損傷すれば修理に時間をかける必要があり、活動が停止してしまう。また、致命的に破損した場合、プロジェクト学習そのものに多大な損害をもたらしてしまう。したがって、破損対策は必須事項といえる。さらに、自律歩行を目標としているため、ロボットが自分で起き上がれるようにする必要がある。それには、センサによる向きの判定などの制御が必要だと予測される。

(※文責：加藤大地)

### 3.1.4 AI班との連携

ロボット班の抱える課題の4つ目に、AI班と連携する必要がある。プロジェクト学習の目標として自律歩行をする必要があるため、AI班と連携する必要がある。そのために、AI班がプログラムを導入するためのRaspberry Pi3と、それを動かすためのバッテリーモジュールを取り付ける必要がある。それら2つはロボット自体に搭載する必要がある。それに伴ってロボットは想定以上の負荷をサーボモータにかける必要がある。したがってロボットのモーション再生に大きく影響してしまうことが予測される。したがって、搭載後にそれらを想定し改良したモーションを作成する必要がある。

(※文責：加藤大地)

## 3.2 課題解決の方法

前述した通り、ロボット班には目標を達成する上で、4つの課題がある。それらの解決に向けて建てたプロセス通りに課題を解決する。

(※文責：加藤大地)

### 3.2.1 ロボットの作成

1つ目に、ロボットの作成がある。購買からバス停までの目標コースを自律的に歩行するためには、目標に適した人型ロボットを使用する必要がある。それらに必要な要因は前述した通りである。そこで私たちはKHR3-HV ver2を採用した。このロボットは、拡張キットによりひねりなどの動作が可能となり再生できるモーションの幅が増え、加速度センサやジャイロセンサを搭載することでロボットの制御を行え、耐久面も優れている。したがって、KHR3-HV ver2は目標コースの歩行に適していると判断しロボット班では、このロボットを作成する。

(※文責：加藤大地)



図 3.1 使用した KHR3-HV ver2

### 3.2.2 モーションの作成

2つ目に、目標コースには様々な障害があるため、その障害に対応したモーションを作成する必要がある。まず、24 段の階段がある。この階段は人間用のため人間にとっては足首程度の段差であってもロボットにとっては、自分の股下ほどの段差となる。この段差を安全に安定して降りる必要がある。そのために、実際の階段の模型を作成し、モーションの作成を行う。次にカーペット上の歩行である。大学内のカーペットには、点字ブロックや通気口などの障害物もありカーペット自体も消耗具合で状態が異なっている。カーペット上を歩行するために、ロボットに姿勢を保つ力を付与し安定した歩行を実現する。最後に大学外では、コンクリートの坂道を歩行する。坂道を歩行するにあたってロボットが坂道で立つことが出来るようにする必要がある。したがって、坂道に対応した制御を行う。

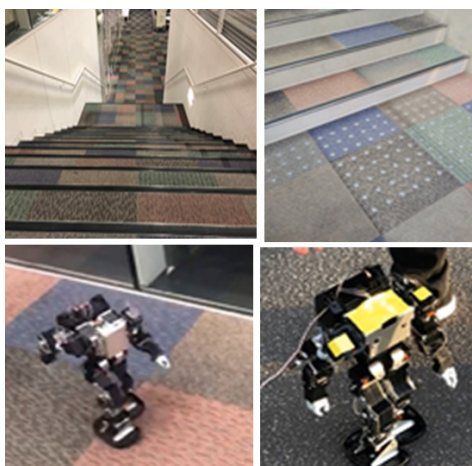


図 3.2 上の 2 枚はコースの写真、下の 2 枚は実験の様子

(※文責：加藤大地)

### 3.2.3 転倒時の対処

3つ目に、ロボットが転倒した際の対処と破損しないために衝撃を吸収する素材の装着がある。加速度センサを用いることで転倒時に自身の体の向きを把握し、適した起き上がりモーションを再生することができるようにする。これには起き上がりモーションが必須で後述する AI 班との連携時に再生が困難なモーションになってしまう可能性がある。したがって、様々な方法で起き上がるモーションを作成する。また、点字ブロックや斜面での転倒時にはその環境に適したモーションが必要となるのでそれらも作成することで転倒時に活かす。しかし、転倒する可能性が極めて低いモーションを作成することができればそのモーションを作成する必要もなくなるので、歩行モーションの精度を上げる活動も平行して行うことで課題の解決を狙う。また、KHR3-HV ver2 のフレームは軽量アルミ合金であり耐久に優れているが、サーボモータなどの別の箇所が損傷する可能性があるため、転倒時に直接衝撃があたる胸部などにスポンジを取り付ける。

(※文責：加藤大地)

### 3.2.4 AI 班との連携

4つ目に、AI 班がプログラムを導入するための Raspberry Pi3 と、それを動かすためのバッテリーモジュールの取り付けがある。ロボットには、これら 2つを搭載する場所がないため専用の部品を作成し搭載する。搭載する場所はロボットの軸がブレてしまうとモーションの再生に大きく影響を与えてしまうため搭載場所を考える必要がある。

(※文責：加藤大地)

## 第 4 章 プロジェクト内のインターワーキング

### 4.1 前期のインターワーキング

- 西谷和将

Go! Simulation demo を用いて、プロジェクト活動時間外でもロボットのモーション作成を行っていた。

- 安藤直輝

プロジェクトリーダーとして、全体の進行状況を確認した後、各グループリーダーに次の目標について話し合う時間を設けた。ロボットがうまく動作しないときは、自宅に持ち帰り、自身のパソコンに Heart to Heart4 を導入して動作確認を行った。

- 加藤大地

バッテリーの充電時間が 2 時間に対し、ロボットの稼働時間が 40 分程度であったため、明らかに活動の効率が悪いことが判明したため、自宅にバッテリーを持ち帰り、プロジェクト活動が始まる前にバッテリーの充電を行っていた。

- 小山晃弘

3 チームに別れて学習を行った際は、画像認識班であったため、自宅で python の画像認識プログラムを作成していた。

- 田中滉大

グループリーダーとして、課外活動を行う際の連絡と管理を行っていた。また、できる限りプロジェクト活動中はモーションの作成に取り組めるよう、ロボットの配線の調整、ねじの締め直しなどはプロジェクト活動時間外に行った。

(※文責：安藤直輝)

### 4.2 後期のインターワーキング

- 西谷和将

V-rep というソフトを使い、仮想空間上で Heart to Heart 4 によって人型ロボットのモーション作成と再生を行えるようにした。これにより、プロジェクト活動時間外でもモーションの作成を行えるようになり、プロジェクトの時間外でもモーションを多く作成した。

- 安藤直輝

課外活動でのモーションの作成や、外部パーツの作成、センサの取り付けに協力した。また、成果発表に使用するポスターやスライド等は、プロジェクトの活動時間外に行うことで、プロジェクト活動をできる限り続け、より目標達成に近づくことに貢献した。

- 加藤大地

ロボットのモーション作成や、ジャイロセンサの搭載、外部パーツを搭載した状態でのロボットの挑戦、AI 班のメンバーが Heart to heart4 を扱えるように動画を作成した。

- 小山晃弘

KHR シミュレータを用いてプロジェクト活動時間外でも歩くモーション、階段を下りる

## Challenge to Complex Intelligent Robot

モーションの作成に取り組んだ。また、階段の模型を作成する際は空き時間にエレクトロニクス工房へ行き、作業に取り組んだ。

- 田中滉大

グループリーダーとして、課外活動を行う際の連絡と管理を行っていた。また、空き時間にエレクトロニクス工房に向かい、外部パーツの作成などにも取り組んだ。

(※文責：安藤直輝)



## 第 5 章 結果

### 5.1 成果

- 前期におけるプロジェクトの結果

ロボット班は使用するロボットの作成、ロボットの動きを制御するソフトである Heart to Heart 4 の学習を行い、モーションを作成する技術を習得した。また、サンプルモーションの再生を行い、ロボットがどの範囲まで関節を動かすことが出来るか、どのようなモーションを参考にして作成するかなど後期で行う具体的な活動方針を定めることが出来た。

- 後期におけるプロジェクトの結果

後期の活動では作成したロボットに加速度センサとジャイロセンサ、無線通信の搭載を行った。ジャイロセンサによる姿勢制御を設定することで、カーペット上での安定した歩行を可能にした。加速度センサを搭載し、転倒時の判定を行うことでロボットが転倒した際に、適切な起き上がるモーションを再生するように設定した。また、無線通信の搭載を行うことで、有線通信の際に生じたケーブルの絡まりや行動範囲の制限を解決した。また、全ての活動を通して、達成できなかった部分の原因を明確に理解することが出来た。

(※文責：安藤直輝)

### 5.2 前期における解決手順と評価

- 目標達成のために、近藤科学が販売している KHR3-HV ver2 というロボットを使用することになった。ロボットの関節となるサーボモータの原点調整を行った後、グループメンバが各自に部品の作成とロボットの配線を行った。作成の際にサーボモータが 1 つ故障してしまったため、サーボモータの耐久性を考慮して予備のサーボモータを 5 個用意することが決まった。

- 前述したソフトを使用し、ロボットにお辞儀や座る等の簡単なモーションを再生し、作成したロボットが基本動作を行えるかどうかの試運転をした。その際に、滑らかで固い平面の上であればある程度の歩行が可能であることが判明した。実際のコースには滑らかで固い平面が少ないため、状況に対応して進行できるモーションを後期に作成していく予定である。

(※文責：安藤直輝)

### 5.3 後期における解決手順と評価

- 後期ではコース上にある障害を乗り越えるための課題解決を行った。コースの5割を占めるカーペットは、滑らかな平面上とは柔らかさや摩擦力が大きく異なるため、すぐにロボットが転倒してしまうことが分かった。そこで3軸ジャイロセンサを搭載し、ロボットが傾きを検知して姿勢制御を行うように設定した。これにより、カーペット上での転倒を最小限に抑え、直進歩行を可能にした。
- 点字ブロック上では四足歩行のモーションを作成し、進行させる予定であったが、点字ブロックの位置や摩擦力によって転倒が多く、進むことが不可能であった。しかし、ロボットにうさぎ跳びモーションを使用することで点字ブロックをよけての歩行を可能にした。
- はこだて未来大学の外の道には傾斜角の異なる路面が存在する。通常の歩くモーションではバランスを崩して坂道を歩けないため、傾斜と足首の傾きを同じ角度に変えた歩くモーションを16通り作成し、バランスを維持し歩行することが可能になった。
- 前期までは、パソコンとロボットを有線ケーブルで接続し、モーションを再生していたが可動範囲が狭いという問題があった。ロボット用無線コントローラ KRC 5FH を搭載しロボットの無線化を実現した。
- AI 班が使用する予定の Raspberry Pi3 を搭載するために、ロボットの頭部に Raspberry Pi3 を搭載するための台を作成した。しかし、実際に動かす際に重さの関係で確実に起き上がることが困難になるなど、前述した姿勢制御がうまく作動しないという問題が発生したため、実用化は断念した。
- 目標コースには24段の階段を降りる必要があったがロボットの全長では、人間のよう階段を降りることが困難であるため転倒しないような規則性のある降り方を考える必要があった。しかし、作成するにあたって勢いがある降り方をすると足への負担が大きくなり、故障に繋がってしまう。安全に降りるためには出力がさらに強いモータが必要であることが明らかになった。

(※文責：安藤直輝)

## 第 6 章 まとめ

### 6.1 プロジェクトの成果

前期期間においてロボット班の取り組みは以下の 3 点である。

1. KHR3-HV ver2 の組み立て及び、拡張サーボの取り付け
2. 目標コースの設定
3. KHR3-HV ver2 の動作確認

後期期間では目標コースに適応するためのモーションの作成と KHR3-HV ver2 を転倒時の衝撃から守るための補強や AI 班との連携のための部品を作成した。また、モーション作成に使用する階段の模型の作成や高校生に活動内容を発表するためのスライド作成も行った。

(※文責：田中滉大)

### 6.2 前期プロジェクトにおける個人の役割

#### 6.2.1 西谷和将

まずはじめに、プロジェクト全体でどの人型ロボットを使うかの話し合いを行った。その結果、センサの取り付けがしやすいなど、汎用性の高さから KHR-3HV ver.2 を使用することに決まった。人型ロボットの決定後に注文してから届くまでの期間が 2 週間ほどあった。そのため、人型ロボットの自律歩行を可能にするために必要な事前学習を画像認識班、モーション試作班、強化学習班と、3 つの班に分かれて行い、自分はモーション試作を担当した。モーション試作をするためにどのソフトを使うかを話し合い、Go simulation!Demo というソフトを用いることに決定した。Go simulation!Demo とは仮想空間で実際に人型ロボットのモーションを作成し再生できるソフトである。このソフトを使用し、実際に必要になりそうな通常歩行、起き上がり、匍匐前進の 3 つのモーションを作成した。起き上がり、匍匐前進に比べ、通常歩行の重心移動がとても難しいことがわかり、一歩踏み出すモーションしか作成できなかった。そしてロボットが届く前日にそれぞれの班で学習の成果を共有した。

人型ロボットが届いてからまずはじめにチームでパーツを分担し人型ロボットの組み立てを行った。最初に片方の腕と足を担当し、そのあとにそれぞれのパーツの組み合わせを担当した。そこから班のメンバーが人型ロボットの配線を班方してくれている間に、自分は人型ロボットを制御するために、HeartToHeart4 というソフトをダウンロードした。配線が完了してから、チームメンバーの PC を使い人型ロボットとの接続を試みた。しかし、接続にエラーが発生し、解決に時間がかかってしまったため、自分は再び Go simulation!Demo を使用して階段を降りるモーションな

## Challenge to Complex Intelligent Robot

どの試作を行った。実際のロボットの可動領域も考え仮想空間上で無理のない体制で降りることができるようなモーションを目指し、作成を行った。階段といってもロボットの腰くらいの高さがあるため、極力落下を避けるようにしゃがんでから体を寝かせ、下の段に安全に足が付くようなモーションを作成した。

配線のところにエラーがあることがわかり接続に成功したので、人型ロボットを実際に動かした。問題なく動作することを確認したが、バランスが悪くすぐに倒れてしまったり、カーペット上の柔らかく摩擦のかかる面の歩行が困難なこと、また、サーボモータの強さなどが確認できた。以上の結果から3つの課題が明らかとなった。

- 加速度センサ、ジャイロセンサを用いた人型ロボットの姿勢制御
- 摩擦の影響を受けにくい歩行のモーションの作成
- サーボモータへの負担が少ない階段を降りるモーションの作成

以上の3つの課題の解決を後期の目標とし、前期の活動を終了とした。

(※文責：西谷和将)

### 6.2.2 安藤直輝

#### 主な活動内容

5月:目標及びスケジュールの設定と商品注文、強化学習の学習

6月:サーボモータの原点調整、ロボットの組み立て

7月:拡張サーボモータの搭載、ロボットの試運転

#### 具体的な活動内容

5月: プロジェクト学習が開始された際、まず全員がどのようなロボットを作成し、そのロボットにどのような事をさせたいかを案を出し合って話し合った。その結果、人型ロボットに強化学習を用いて指定したコースを歩かせるという目標に決定した。その後、どのような人型ロボットがよいか、どのセンサを用いてコース上を進行させるか等を話し合ってから商品の注文に至った。目標設定と商品注文を終えた後、ロボット班、AI班に関わらず三グループに別れ、それぞれが画像認識プログラムについて、強化学習について、人型ロボットの実際の動きについての学習を行った。その際、自身は強化学習について学習するグループであった。この活動ではUnityのML-agentsを用いて強化学習がどのように行われているのかを理解することができた。この学習した知識はAI班が後期に強化学習を行う際の助長となった。

6月: 人型ロボットが届いた際、すぐに組み立ててしまうとサーボモータの軸が違う事があり、動かす際に正常なモーションを再生できないため、サーボモータの原点調整サーボモータを付属のHeart to Haert4というソフトを用いてサーボモータの原点調整を行った。すべてのサーボモータの原点調整を終えた後、ロボット班のメンバーで各自部品を作成し、組み立てを行った。ねじの大きさが少し違うだけで部品がかみ合わないことや部品の破損につながるため、ねじの取り扱いには

特に注意を払って作成した。また、作成している時点でサーボモータが一つ故障してしまい、サーボモータの耐久性が弱いことに気づいたため、追加のサーボを注文することとなった。

7月:組み立てたばかりのロボットは左右の腕、左右の股関節、腰を動かすことができなかった。そのため、追加でサーボモータを上記で挙げた五か所に搭載することでロボットが行えるモーションの幅が広がり、コース上に存在する障害を乗り越えるという目標の達成に近づくことができた。

(※文責：安藤直輝)

### 6.2.3 加藤大地

私は前期では、主にソフトウェアを用いた仮想空間上でのモーションの試作とロボットの初期起動時の動作の調整やサーボモータの制御を担当し、活動の中心となるロボットの作成に貢献した。また、ロボットの作成を班員全員で分担して行き迅速なロボットの完成を目指した。

前期のモーションの試作では、モーション班として Go Simulation! Demo を使用して仮想空間上でモーションを自作することによって、ロボットの重心や動作に対する理解を深めた。Go Simulation! Demo には仮想空間上のロボットの重心を可視化できる機能が搭載されておりその重心を確認しながら少しずつ各サーボモーターの値を調整することでモーションを作成した。また、Go Simulation! Demo には元からサンプルモーションが搭載されており、モーションを再生するだけで仮想空間上のロボットがモーションを行うので簡単にロボットを動かすイメージを持つことが出来た。特に歩行するモーションは、自分たち人間の体を参考にしても歩行するモーションの開発が行えないのではと危惧していたが、Go Simulation! Demo にあったサンプルモーションである歩行するモーションを参考にすることで歩行するモーションの開発に食らいつくことができた。歩行するモーションの開発過程で仮想空間上のロボットに片足立ちをさせる方法が確立することができ、その方法は後期の自作モーション開発に大きな影響を及ぼすことになった。歩行するモーションの開発で最も苦戦した2歩目は、後期になっても苦戦し HeartToHeart4 の教示モードを使用することで対応したが、前期では対応することは出来なかった。

また、4足歩行などの人間では行うことのできないモーションを試作することでロボットならではの可能性を模索することも行った。4足歩行の可能性を模索した理由は、ロボットなら関節を逆に曲げることができ、特別活動に支障をきたさないと判断したからである。実際には、判断は正しく活動には支障をきたさなかったが、モーションを作成するにつれて特別に4足歩行を行う必要がなくなるほど2足歩行での活動範囲が広いことが明らかになった。したがって、4足歩行をするモーションの開発・研究を後期に活かすことはなかった。また、仮想空間内で段差を安全に降りるなど小さな目標を建てロボット班の目標コースの完走を視野に入れた活動も行った。

この活動は Go Simulation! Demo に搭載されたコースを使用しての活動で、有料版を使用していれば目標コースの再現も可能であったと考えられる。また、この活動を行った期間あたりから Go Simulation! Demo 内の仮想空間でロボットの腕が胴体にめり込んでしまうなどの現実では起こり得ない現象が起こることが多かった。したがって、その点に注意して開発を行ったが、Go

Simulation! Demo での活動に限界を感じていた。このように、前期では実際に自作モーションをロボットで再生するまでは至らず、自作モーションの試作活動は仮想空間上で完結してしまった。しかし、ロボットやモーションへの理解を深め作り方を学ぶことができたのでロボット班の目標達成に向けて進展していたと言える。

前期のロボットの制御では、前期中にジャイロセンサや加速度センサなどの各種センサの取付けを行うことが出来ずその面での活動はほとんどなかったと言える。しかし、センサ以外のロボットの初期動作や各種サーボモータの設定や調整などを担当することで活動した。ロボットの初期動作では、ロボットに電源が入ったときに行う行動を調整することで直立状態から試運転を行うことが出来るようにした。また、各種サーボモータの調整ではロボットのモーション再生時の誤動作からサーボモータの故障や初期値の誤設定などの原因を発見し調整することで修理する活動を行った。配線間違いからサーボモータが熱を持ってしまい、機能を一時的に停止してしまうことが何度かあった。サーボモータの熱が取れば再びそのサーボモータは使用することが出来るのだが、前期ではそのことに気づかずサーボモータの故障と判断し、サーボモータの機能が停止するたびにサーボモータの交換を行った。予備のサーボモータがなくなると故障したサーボモータを再度試してみることで故障ではなく不具合ではないかという疑問を持つことがあったが、それでも熱によって機能を一時的に停止しているという考えには至らなかった。また、ロボットにサーボモータを取り付ける都合上、少しの弾みでサーボモータの中身が飛び出してしまうことがあった。このときに、故障と判断したサーボモータを分解してサーボモータの構造を理解し、サーボモータを修理するという活動を行ったこともあった。

全体を通して私は、モーション班としての活動が多く、4足歩行など人型ロボットという枠から出てモーションを試作した。その活動では、家庭にいる犬が階段を降りる様子や歩行する様子を観察し、獣特有の骨格を意識したモーションを作成した。観察した動物は犬や猫の身近な動物にした。仮想空間上では、現実では起こり得ない足の貫通などが起こることもあったため、できるだけそのような現象が起こることを抑えた。前期では、ロボットに自作モーションを搭載することが出来なかったため後期でこの活動を活かす予定を建てた。

(※文責：加藤大地)

### 6.2.4 小山晃弘

#### 主な活動内容

- 5月:目標及びスケジュールの設定と画像認識の学習
- 6月:ロボットの組み立てとトリム調整
- 7月:拡張サーボモータの搭載

#### 具体的な活動内容

5月: まず初めに成果物の決定とスケジュールの作成を行った。

- 強化学習を用いてイカロボットに演奏をさせる。

## Challenge to Complex Intelligent Robot

- ロボットを二つ用意しサッカーを行わせる
- 強化学習を用いて縄跳びをさせ、飛べる回数を増やす
- ロボットにレースをさせる
- どんな道でも歩行できる二足歩行ロボットの作成
- ロボットに剣道を行わせる
- ロボットに画像認識と人工知能を使い、迷路を脱出させる
- 野球盤にロボットを搭載する
- ロボットに平均台渡らせる
- 人工知能を使い、ロボットにバッティングを行わせ、飛距離を伸ばすことで、最適のバッティングフォームを見つけ出す

成果物の決定には主に以上の5つの案が出た。これらの案から、時間、費用、そしてメンバー全員が最も作りたいのはどれかという基準をもとに成果物を決定した。その結果、どんな道でも歩行できる二足歩行ロボットの作成に決まった。

成果物の決定後、スケジュールの作成をプロジェクトメンバー全員が納得のいくまで話し合った。成果物とスケジュールの決定後、成果物の基盤であるロボットが届くまでに一ヶ月ほどの時間がかかるため、強化学習班、画像認識班、Go Simulation! Demo を使用した仮想空間でのモーション作成班の3つのグループに分かれ学習に励んだ。

私は画像認識班に所属した。画像認識班では、はこだて未来大学内の施設であるライブラリを使用し、画像認識プログラムを学習できるテキストを3冊借りて、各自学習を行った。また、担当教員にOpenCVというライブラリの存在を教えてもらい、OpenCVの学習を行った。初めに、大学の授業で学んだJavaを使用してOpenCVの学習を行った。続いて、ロボットやRaspberry Pi3で使用できるPython環境でOpenCVを使用することを学習した。その結果、java環境とPython環境で人の顔を認識し四角で囲むというプログラミングの作成に成功した。

6月: ロボットが届き、AI班とロボット班の二つのグループに分かれ作業を行うことになった。私はロボット班に所属し、ロボットの組み立てを行った。基本的には説明書通りに作成するだけだが、ねじの締めすぎによるサーボモータの破損、モーションを再生するにあたって各サーボモータをつないでいるケーブルが邪魔にならないよう気を付けて組み立てを行った。組み立てたロボットが動かないなどの問題が発生したが、近藤化学とコンタクトをとり解決に至った。

次に、Heart to Heart4をインストールしロボットのトリム調整とホームポジションの作成を行った。トリム調整とホームポジションの作成により、Heart to Heart4に内蔵されているサンプルプログラムを正確に再現することができる。

7月: ロボットの動作範囲を広げる拡張サーボモータの取り付けを行った。6月で組み立てたロボットでは左右の腕、左右の股関節、腰を動かすことができなかった。このままでは、ロボットのモーションの幅が狭まり、目標としているどんな道でも歩行可能なロボットを作成できないと判断

した。そのため、拡張サーボモータを上記で挙げた五か所に搭載した。

中間発表の後、教員と今後の話し合いを行い、メンバー全員と共有し、今後のスケジュールについて話し合いと、フィードバックシートの振り返りを行った。フィードバックを振り返りながら、前期の活動を振り返り反省点等を分析した。その結果、ロボットの班は前期の活動の中でロボットの組み立てに多くの時間を費やしてしまった。そのため、前期中に行う予定だったジャイロセンサや加速度センサなどの各種センサの取付けを行うことができなかった。ロボットの組み立てに多くの時間を費やしてしまった理由として以下のことがあげられる。

- サーボモータの誤作動原因の究明
- 配線間違いによる動作不良の原因究明
- サーボモータの修理
- 近藤化学とのコンタクト可能時間が短い
- 配線の断線

これらの問題解決に時間がかかってしまい、ロボット班としての活動が遅れてしまった。

センサ以外のロボットの初期動作や各種サーボモータの設定や調整なども行った。初期動作では、ロボットに電源が入ったときに行う行動を調整することで直立状態から試運転を行うことが出来るようになった。これにより、モーションを自作し実装する環境が整った。

結果として、前期中に行う予定であったジャイロセンサと加速度センサの搭載、自作モーションの再生は9月以降の課題となった。前期の活動の経験を活かし9月以降のプロジェクト学習では、無理のないスケジュールを作成する必要がある。。

(※文責：小山晃弘)

### 6.2.5 田中滉大

強化学習を用いてロボットに楽器を演奏させる、腕型のロボットにボールを打たせるなどの案が出たが今回は KHR3-HV ver2 での歩行について研究することにした。ロボットにあらゆる道を歩行させたかったために坂道や段差が含まれるコースとして大学の購買前からバス停までをコースに設定することに決定した。また、ロボットが届くまでには強化学習や歩行させるうえで必要になると考えられる画像認識やモーションの作成などについて数人のグループに分かれて活動を行った。画像認識では python を使用した顔認識のサンプルプログラムを発見し、実際に使用できるように改善を試みた。画像認識で python を使用した理由としては強化学習に python が適しており、同じ言語を使用することで制御が容易になると考えたためである。顔認識のプログラムは写真だけでなく動画でも動作できることが分かった。この学習が AI 班での行動選択の条件判断に使用され強化学習において大きく貢献した。



ロボットが届いてからは主にロボットの組み立てを行うロボット班と強化学習や画像認識を行うAI班に分かれて活動した。ロボットの組み立てではサーボモータの向きや配線に間違いがないように丁寧に組み立てた。また、作成できるモーションの自由度を広げるために腰や肩をサーボモータで拡張した。ロボットを組み立て終わってからは動作の確認を行った。しかし、最初は配線の組間違いにより動かすことができなかった。その際にはロボットの販売者に連絡を取る、原因に関連する資料を探すなどして問題の解決にあたった。配線の間違いに気づくのに時間がかかってしまい、計画よりも活動が遅くなってしまった。そのようなときは活動時間外で集まり計画通りに進むように努力した。

中間発表ではコースの難点や目標設定の理由について詳しく説明できるように心がけた。中間発表ではスライドを使用し、ポスターを使用せずに発表を行った。中間発表が終わってから最終発表までの残りの日数を考慮し担当教員とAI班のリーダーとプロジェクトリーダーとともに目標の設定や目標の達成に必要なことを話し合った。このことにより後期で解決しなければならない課題が明確に分かったためスムーズに活動を進めることができたと感じている。担当教員からも解決のための具体的なアドバイスをいただいたため計画も立てやすくなり後期の活動が円滑に進んだと考えている。

(※文責：田中滉大)

## 6.3 後期プロジェクトにおける個人の役割

### 6.3.1 西谷和将

後期に一番最初の個人の活動として摩擦の影響を受けにくい歩行のモーションの作成を行った。人型ロボットの姿勢制御を同時進行で他のメンバーが担当していた。そこで、人型ロボットを一人が使うと他のメンバーが人型ロボットを使えなくなることが作業効率の悪さとして問題となった。これを解決するためにモーション作成を担当するメンバーはV-repというソフトを入れ、仮想空間上でHeartToHeart4によって人型ロボットのモーション作成と再生を行えるようにした。これを行うことで作業の分担をすることに成功した。

摩擦の影響を受けにくい歩行のモーションをメンバーと話し合い、通常歩行よりも足を高く上げ歩行させるモーションを作成することに決定した。しかし、足を高く上げてしまうと人型ロボットのバランスを保つことが難しく、片足を上げてから1歩踏み出す段階で転倒してしまい、足を高く上げ歩行させるモーションを作ることは人型ロボットの重心の問題上難しかった。しかしこの問題は、姿勢制御の方で、ジャイロセンサの制御領域を足首のみから下半身全体に帰ることによって、通常歩行でもカーペット上の安定な歩行を可能とした。

カーペット上の安定な歩行が可能となったので実際にコースを歩かせる実験を行なった。かなりの距離を歩くことができるようになったが、以下の2つの課題が明らかとなった。

- 坂道上での安定な歩行
- 点字ブロック上の歩行

## Challenge to Complex Intelligent Robot

以上の2つの課題を解決する前に、事前に作成していたサーボモータへの負担を少なく階段を降りることができるモーションをメンバーが作成してくれていた階段の模型で実験を行なった。すると、階段を降りようとした時の状態で足が固まってしまい、サーボモータが壊れてしまった。予備のサーボモータに取り替えたところでメンバーと話し合いを行い、サーボモータの力の関係上リスクなく階段を降りることは不可能であるとわかったため、今回のコースから階段を抜くこととした。

次に点字ブロック上の歩行を可能にするモーション作成と坂道上での安定な歩行を可能にするモーション作成を分担して取り組んだ。自分は点字ブロック上の歩行を担当した。二足歩行よりも、手を地面につかせて四足歩行させるとバランスが取れ、より安定して進むことができるのではないかと考えた。実際に作成して歩かせたところ足を上げた際にすぐに横に倒れてしまった。そこで次に、手の幅を広げてより姿勢を低くし、バランスに重点を置いたモーションを作成し、実験を行なった。すると今度は関節の可動域の限界により、足や手が点字ブロックに引っかかってしまい前進することができなくなってしまった。モーションを調整し実験を繰り返し、うさぎ跳びのモーションをすることでうまく前進することを発見した。個人の考えとして、重心を低くし、両足の広い面で着地するためうまくバランスが取れたのではないかと思われる。

以上の障害物を乗り越えることができたところでロボット班としての活動を終えた。その後、AI班との連携を取り、モーションの設定、トリムの再調整、姿勢制御を実験を行うたびに繰り返しおこなった。今後の展望として、サーボモータを取り換えるか KHR-3HV ver.2 以外のほかのロボットを利用して目標コースの歩行が可能か調査する必要があることと、ジャンプだけでなく匍匐前進や四足歩行を活用した点字ブロック上での歩行が上げられる。また、AI班との連携において、ロボットの充電器の故障が理由で一つのロボットを共通して使いロボットの充電時間なども考えなければならなくなってしまったので、活動時間をずらしたりなどして対応する必要がある。よって充電器の予備など、機材を充実させておく必要がある。

(※文責：西谷和将)

### 6.3.2 安藤直輝

#### 主な活動内容

- 9月:スケジュールの再確認、階段の模型の作成
- 10月:ジャイロセンサ、加速度センサ、無線通信の取り付け
- 11月:Raspberry P3i の搭載
- 12月:点字ブロックを進行するモーションの作成

#### 具体的な活動内容

9月: 前期までの活動を振り返り、目標を達成するためにロボット班が後期で取り組む内容について話し合いを行った。その後、コース上で一番難所だと思われた階段のモーションを作成するために階段の模型を作成した。模型を作成した理由としては実際のコースで実験を行うと他の学生の迷惑になることや、バッテリーを充電する際に活動場所の研究棟まで移動しなければならず作業効

## Challenge to Complex Intelligent Robot

率がとても悪いということが挙げられる。階段の模型は実際の階段の寸法を測り、材質を似せてエレクトロニクス工房で作成した。

10月: 私は主にロボットにジャイロセンサ、加速度センサ、無線通信の取り付けを行った。ジャイロセンサを取り付けることでロボットの傾きが数値化され、姿勢制御の設定を行うことができた。これにより、カーペット上での歩行を容易にし、歩行時に転倒する回数を最小限に抑えることが可能になった。加速度センサを取り付けることでロボットが転倒した際、ロボット自身が仰向け、うつぶせの上体を判断でき、モーションの条件分岐を行うことで「起き上がる」というモーションを再生するだけで適切な起き上がるモーションを再生するようになった。無線通信を取り付けたことで今までパソコンに有線で接続していたが無線コントローラーを使用して操作を行うことが可能になった。これにより、有線接続時に転倒時の「起き上がる」モーションを再生した際に有線がロボットに絡まり、誤作動を起こすという問題を解消できることが明らかとなった。

11月: AI班が使用する Raspberry Pi3 を頭部に取り付けることは初期の時点で決まっていたが、むき出しのまま設置してしまうと埃などが付着してしまい故障する恐れがある。そのため、エレクトロニクス工房のレーザーカッターを使用し、Raspberry Pi3 がちょうど収まるケースを作成した。ケース作成の際、ロボットのモーション再生の障害物にならないようにする、また、軽い素材を仕様してロボットに負担をかけないなどの注意を払って作成する必要があるがあった。

12月: 点字ブロックを進行するモーションの作成では初めに二足歩行で実験を行ったわずかに片足を上げるだけで点字ブロックの丸みに耐えられず、すぐに倒れてしまった。次に四足歩行のモーションを作成し、実行することで、手と足の三点で支えることで安定するのではないかと考えた。点字ブロックが滑りやすく手や足がカーペットに引っかかってしまうため四足歩行での進行も不可能だと判断した。モーション作成と実験を繰り返す中で、ロボットが姿勢を低くした状態での両足をジャンプすると前進することが明らかとなり、点字ブロック上の歩行はジャンプモーションを使用することに決定した。

(※文責：安藤直輝)

### 6.3.3 加藤大地

私は後期では、主にセンサを使用したロボットの制御と目標コース完走に向けたモーションの作成を担当し、AI班と連携を取りながらモーションの作成やジャイロセンサによる補正を調節することで、ロボットの制御とAI班との連携に貢献した。

まず、センサによるロボットの制御では、加速度センサとジャイロセンサを用いてモーションの安定性やプロジェクトの目標である自律歩行の達成に向けた活動を行った。加速度センサは、主にロボットが転倒したときに使用することでロボットが倒れた方向は仰向けとうつ伏せのどちらの方向かを測定するのに用いた。また、このセンサは初期値の設定を行う必要があり、モーション中にその初期値の設定をする方法を考案し実装した。したがって、ロボットは自分の倒れた向きが仰向け

## Challenge to Complex Intelligent Robot

とうつ伏せのどちらの方向かを加速度センサの値から判別することが出来るようになり、向きに適した起き上がりモーションを再生し起き上がりを行うことが出来るようになった。ジャイロセンサは、主にロボットが転倒しないように姿勢を制御する動作を実装するために使用した。ロボットは、目標コース上の消耗具合などによって環境が異なるカーペットを長く歩行する必要があり、カーペットには通気口も存在し、ジャイロセンサによる姿勢制御がなければロボットは直立しか行えず、歩行は非常に困難であった。そこで、ジャイロセンサにより姿勢制御を実現することでロボットが下半身にバランスを保つようになり、カーペット上の歩行を安定したものとした。

後期のモーションの作成では、前述したカーペットの他に点字ブロックや斜面、階段など様々な障害が存在したため、それらに対応するモーションの作成を行った。まず、点字ブロックはロボットが踏みつけてしまうとバランスを崩し転倒してしまう。そのため、踏みつけても転倒しないように安定性の高い4足歩行のモーションを作成し解決に取り組んだ。しかし、4足歩行では手が点字ブロックに引っかかってしまい進行に困難であった。そこで足や手が地面や点字ブロックに接地することのないジャンプモーションを考案し試運転を行うと進行を実現したため搭載した。次に斜面は、ロボットが歩行すると足先を擦ることで転倒してしまう。したがって、足首の角度を斜面に平行になるようにし、その状態から直立させることで斜面での歩行を実現した。斜面に自動で対応する制御は行えなかったが、自作した足首を調整するモーションを用いて16通りの歩行モーションを作成した。最後に階段は、目標コースの最初に存在し24段もの段数がある。ロボットの全長では人間と同じ動きで降りることは不可能なため様々な降下方法を考案しモーションを試作した。このとき、プロジェクトメンバーが作成した精巧な階段の模型でモーションの試運転を行うことで安全に活動することができ、問題点を考察した。しかし、ロボットが安全に24回の動作を繰り返すにはサーボモータの出力不足であると判断し、階段降下の実現を断念した。また、その試運転中に故障したサーボモータを修理する活動も行った。

AI班との連携では、AI班の成果を搭載するRaspberry Pi 3やそれを動かすバッテリーモジュールを搭載した状態でロボットがモーションを再生することを目指し活動した。Raspberry Pi 3やそれを動かすバッテリーモジュールを搭載した状態では、その2つの重さによってロボットに負荷がかかり歩行を始め様々なモーションを再生が行えなかった。したがって、ジャイロセンサの値やモーションの再調整を行いRaspberry Pi 3とバッテリーモジュールを搭載した状態でモーションの再生を目標として活動した。しかし、その2つを搭載した状態でのモーションを再生するとサーボモータの初期位置が常に異なる差異を生み出しモーションの再生に安定性が失われていた。また、サーボモータに多大な負荷がかかることで、サーボモータが熱を持ち機能を停止してしまうこともあった。したがって、その2つを搭載した状態でモーションを再生するためには、ロボットのサーボモータの出力不足と判断した。また、この判断によって自律歩行の方法の変更がありRaspberry Pi 3やそれを動かすバッテリーモジュールを搭載することを断念し別の方法で自律歩行の実現を目指した。その変更に伴って随時AI班が要求する歩行や起き上がりモーションの作成や書き込みに取り組み、連携が速やかに進行することに貢献した。特にRaspberry Pi 3やそれを動かすバッテリーモジュールを搭載しないことでジャイロセンサの値を小さく調整し歩行モーションなども再調整を行った。

全体を通して私は、HeartToHeart4やGo Simulation! Demoを使用したロボットの制御やモーションの作成を行った。まず、搭載されたジャイロセンサを制御した活動ではHeartToHeart4の

## Challenge to Complex Intelligent Robot

仕様を理解しメンバーと協力してジャイロセンサの強さを調整した。姿勢制御の力によってロボットの足が変動し続け、ロボットが前後してしまう誤動作を観測することもあった。その時はジャイロセンサの値を小さくすることで正常に動作するようにした。また、加速度センサの特性を学習し斜面を歩けるような歩行を実現しようとしたが、HeartToHeart4の仕様上作成することはできなかった。AI班との連携で、部品を搭載した状態でロボットを歩行させるときは、前述したジャイロセンサの値を強化してロボットが倒れないようにした。しかし、部品が重くサーボモータの初期値が安定せず同じ歩行のモーションを再生できなかった。例えば、1度再生できたモーションをもう1度再生すると転倒してしまう、ということが多くあり搭載した状態での運用は難しいと判断した。このように私は、活動上の障害が解決可能か判断する役割を多く担っていた。

(※文責：加藤大地)

### 6.3.4 小山晃弘

#### 主な活動内容

- 9月:スケジュールの見直し
- 10月:カーペット上を歩くモーションの作成
- 11月:階段と坂道を進行するモーションの作成
- 12月:点字ブロックを進行するモーションの作成

具体的な活動内容 9月: 前期までの活動と、中間発表での評価を再度振り返り、目標を達成するためにロボット班が後期で取り組む内容について話し合いを行った。

- 加速度センサの取り付け
- ジャイロセンサの取り付け
- カーペット上を進行できるモーションの作成
- 点字ブロック上を進行できるモーションの作成
- 坂道を進行できるモーションの作成
- 階段を降りるモーションの作成
- ロボットの無線化
- AI班との連携

話し合いの結果、これらがロボット班の後期の課題となった。この課題をロボット班全員と話し合い分担を行った。

10月:後期の課題の中で、私が担当した課題は、カーペット、点字ブロック、坂道、階段を進行できるモーションの作成である。これらのモーションを作成する上で、最初は実際にロボットを動かしながらモーションを作成していた。しかし、一人しかロボットを動かしながらモーションの作成ができない点と、ロボットが2時間充電して、30分程度しか動かせないため非常に作業効率が

## Challenge to Complex Intelligent Robot

悪かった。そのため、仮想空間でロボットを動かすことができる KHR シミュレータをインストールした。

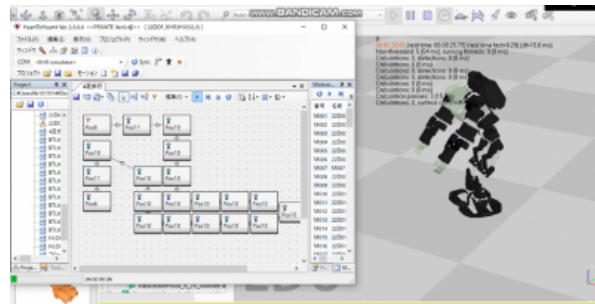


図 6.1 活動で使ったソフト

次に、割り振られた課題をもとに、課題解決スケジュールを作成した。

- 10月：カーペット上を進行するためのモーションの作成
- 11月：階段と坂道を進行できるモーションの作成
- 12月：点字ブロック上を進行できるモーションの作成

ロボットが進行する距離が長い順から早く解決するために、このような順序で課題解決をすることにした。ロボットの進行する距離が長いということは、必然的に同じモーションを繰り返す回数が多くなる。回数が多くなると、少しのモーションのずれがロボットの転倒につながってしまう。そのため、より精密なモーション作成が必要となり、多くの時間をかける必要があると考えたためである。

まず初めに、カーペット上を進行するためのモーションを作成した。カーペットは摩耗具合によって環境が異なるため、様々な歩くモーションを作成し、実験を行った。KHR シミュレータは 24 か所のサーボモータに値を入力し、ロボットのポーズを作成する。そのポーズをコマ送りにすることでモーションの作成を行っている。様々な歩くモーションは、1 フレーム当たりの間隔と、サーボモータの値を変えることで作成した。

11月:階段を降りるモーションと、坂道を進行できるモーションの作成に取り組んだ。階段を降りるモーションの作成は、実際の階段でモーション作成を行ってしまうと、歩行者の邪魔になってしまうため、実寸大の階段を木材と同じカーペットで作成し、取り組んだ。ロボットの半分程の段差を降りるためには腕で体全体を支える必要があった。しかし、搭載しているサーボモータの出力では支えきれず故障につながった。そのため、安全に階段を降りるためにはサーボモータの出力不足であると判明した。

また、坂道を進行するモーションの作成は、傾斜と足首の傾きを同じ角度にすることで、バランスを維持し歩行することを実現した。目標コースの坂道の傾きは、 $0^{\circ}$ から  $4^{\circ}$ であった。この角度内の坂道を全て歩行するために、坂道を登るモーション 8 通り、坂道を下るモーションを 8 通り、計 16 通りの足首の角度を変えた歩くモーションを作成し、全ての傾きで歩行が可能になった。

AI 班との連携として、Raspberry Pi3 をロボットに搭載する必要があった。そのため、Raspberry Pi3 を搭載するための部品を作成した。その部品はできるだけ軽く作成したが、Raspberry Pi3 を充電するバッテリーモジュールが重たく、ロボットのモーシヨンの重心を変える必要があった。この際、ロボットの重心は非装着時よりも、前に傾いていた。そのため、ロボットのトリム調整とホームポジションの作成時に重心を前にすることで、部品を装着した状態でも、歩くモーシヨンを再生することができた。しかし、部品を装着した状態では、起き上がるモーシヨンなどの腕だけで自身の体重を支える必要があるモーシヨンの改善にはつながらなかった。そのため、起き上がるモーシヨンを新たに作ろうと試みた。結果として、起き上がることはできたが、数回行くとすぐにサーボモータが故障してしまうため、現状のロボットの出力では、部品を搭載した状態で、目標コースを踏破することはできないことが分かった。

12月:主に点字ブロックを進行するモーシヨンの作成を行った。まず、二足歩行で進行できないか実験を行った。しかし、点字ブロックには丸みがあり、摩擦が少なく滑りやすい環境だった。そのため、片足を上げるとすぐに倒れてしまった。片足でバランスを維持することができないのであれば、点字ブロックとの接触面積を増やしつつ前進するモーシヨンが必要であると考えた。ロボット班のメンバーと話し合いを行う中で、四足歩行が安定するのではないかという結論になった。四足歩行であれば、片手と両足の三点で支えられるので、安定するのではないかと考えたからだ。実際に、四足歩行モーシヨンを KHR シミュレータで作成し実行した。しかし、ロボットの関節の可動域では点字ブロックに手や足が引っかかってしまい、点字ブロック 1 つ分前に進むことはできなかった。四足歩行では、その場でモーシヨンを繰り返すという結果になった。もう一度ロボットの班のメンバーと観察と話し合いを行う中で、両足ジャンプモーシヨンであれば点字ブロックを進行できるという考えに至った。両足でジャンプすることで、引っかかることなく点字ブロックを超えることができ、両足で着地することで点字ブロックとの接触面積が増え安定した着地ができると考えたからだ。結果的に、両足ジャンプモーシヨン試してみると安定して点字ブロック上を進行することができた。

最後に最終発表フィードバックシートを見ながら、これまでのロボット班のプロジェクト学習を振り返った。ロボット班はこれまで、どんな道でも歩行できる人型ロボットの作成を目標として活動を行ってきた。結果として、目標コースを踏破することはできなかった。その原因にロボットを購入する際の下調べが足りなかったことがあげられる。モータの出力やロボットの可動域について詳しく調べなかったために、時間を有効的に使えなかった。特に AI 班との連携における Raspberry PI3 とバッテリーモジュールの搭載において、もっと他の方法を実行できたと考える。

全体を通して私はロボットの画像認識、ロボットの組み立てと修理、Heart to Heart4 と KHR シミュレーションを使用して目標コースである公立はこだて未来大学購買から、公立はこだて未来大学バス停前までの道のりを踏破するための様々なモーシヨン作成を行った。様々なモーシヨンとは階段、カーペット、坂道、点字ブロックのことである。

画像処理では、AI 班のメンバーと Python 上で、人の顔を認識して四角で囲むプログラムを作成した。ロボット組み立てにおいては、ロボット班のメンバーと協力し、組み立てとサーボモータの搭載及び、修理を行った。

## Challenge to Complex Intelligent Robot

モーションの作成においては、ロボット班のメンバーと協力し、モーションの作成と実験を繰り返し行った。そのなかで、モーションに関するアイデアの交換と、実際にロボットに搭載したいモーションを自分の体で再現しながら、観察を行い、調整を繰り返し、モーションを作成した。このように私は、主にロボットの組み立て及び、修理と、モーション作成に大きく貢献したと考える。以上がプロジェクト学習ロボット班における私の活動内容である。



図 6.2 点字ブロックを超える様子

(※文責：小山晃弘)

### 6.3.5 田中滉大

中間発表が終わってからは目標達成のためにセンサによる制御、AI 班との連携、新たなモーション等の作成に力を入れた。まずはセンサによる制御である。ロボットにはジャイロセンサと加速度センサを取り付けることができロボットの姿勢制御に役立つことが分かった。しかしセンサ本体を操作することやセンサが記録した値を利用してモーションの作成や姿勢の制御を行うことは不可能であったためセンサの値を変化させないで制御できる方法を考えた。その結果、斜面や凹凸に対応した足の傾きを持つモーションを多数作成することで疑似的に姿勢制御が可能となった。このように多くの地面に対応したモーションを作成することで強化学習によって行動を選択することが可能となり、AI 班との連携に大きく貢献した。

次に AI 班との連携である。画像認識を行いながらロボットを歩行させるにはロボットに小型のカメラとバッテリー、Raspberry Pi3 を取り付けることが必要となった。そのため、ロボットが転倒しても壊れず、ロボットの負担にならない重さであり、モーションの再生に干渉しない固定器具を作成する必要がある。この器具の作成に工房のレーザーカッターやイラストレーターを使用して設計と組み立てを行った。器具は完成し一度はロボットに取り付け、モーションの再生や歩行を行った。しかし、前述したようにセンサによる制御が十分でないことや、サーボモータの出力が弱く、バッテリーと Raspberry Pi3 の重さに耐えられないこともあり今回のプロジェクトではこの器具を使用しないことに決定した。次にモーションの作成である。モーションの作成にはロボットの実機を使用していた。しかし、それではロボットの故障や、そのために発生するメンテナンスの時間が無駄であることや多くのモーションの作成を並行して行えないといった問題が挙げられた。そのため、各自の PC の仮想空間上でモーションの作成と実行が行えるソフトを導入し、モーションの作成を行った。このことにより、点字ブロック上の歩行で使用しようとした四足歩行や匍匐前



進についてのモーションを同時進行で作成することができた。ソフト上で作成したモーションは実際にロボットの実機を使用して再生し、利用できるかを判断した。しかし、作成した四足歩行や匍匐前進のモーションでは実際の点字ブロック上をうまく歩くことができなかった。考えられた理由としては、サーボモータの出力が弱く、点字ブロックに足が引っ掛かってしまうことが挙げられた。そこで足が点字ブロックに引っかからず、低い姿勢で重心を崩しにくい移動方法としてジャンプが提案された。特定の場所でジャンプしないとバランスを崩してしまうが、四足歩行や匍匐前進に比べ安定して前に進むことができるため、今回の歩行の一部として取り入れた。

今回の強化学習ではセンサの値を変化させるのではなく多数あるモーションの中から最適な行動を選択するものであった。そのため強化学習には多くの歩行パターンが必要であった。そこで私は標準歩行に方向転換を加えたモーションを作成した。また、ソフト上のロボットの動きと現実のロボットの動きには差があったため、その差を考慮しながらモーションの作成に取り組んだ。また、モーションの作成において階段を下りるモーションを作成する必要があった。実験のために階段の模型が必要になった。その理由としては、実際の階段での実験はほかの歩行者に迷惑であり、またロボットの転倒時に階段を転がり落ちてしまう危険性があったためである。以上の理由から実際の階段の高さや幅を測定し模型の作成に取り組んだ。本物の階段に近づけるためにカーペットや滑り止め用のゴムなども用意した。階段が完成し、モーションの作成を行ってはみたものの、サーボモータの出力が足りないことや搭載したバッテリーと Raspberry Pi3 が重すぎるといった理由から、階段用のモーションの作成は困難だと判明した。階段以外にも点字ブロックや坂を歩行するためのモーションの作成に助力した。完成したモーションは実際に坂や点字ブロック、カーペットの上を歩行させてモーションの改善を行った。また、その様子はプロジェクトリーダーが動画として記録し、最終発表での分かりやすい発表を実現した。また、器具の作成だけではなく、ロボットが転倒しても破損しないようにロボットの胸部や背中にスポンジを取り付けた。さらに、モーション再生時に配線が干渉して破損しないように結束バンドや付属の器具を使用してまとめた。

後期の活動ではサーボモータの不調やバッテリーの充電切れにより計画通りに活動できないこともあった。サーボモータに一定以上の負荷がかかるとサーボモータが故障してしまう。調整のためにはサーボモータ一つにつき約 30 分かかってしまっていた。また、ねじの締め具合によってもサーボモータの動きが変わってしまう。そのため、サーボモータの調整や取り換えのために何度も部品の分解を行う必要があった。そのような場合が多くありグループリーダーとして進捗状況が遅い時にはプロジェクト時間外の活動を行う、計画を立て直すなど目標達成のために貢献した。サーボモータのメンテナンスなどによる突発的に発生する課題にも冷静に対処できたためにここまでの成果が得られたと感じている。また、計画の立て直しの相談に乗ってくれたロボット班の意見も参考にできたために円滑に進められたと感じている。

後期の活動では高校生に私たちの活動について説明する機会があった。高校生は大学生や大学の先生方とは違い、私たちの活動で使用している強化学習や、画像認識、ロボットの制御についてはあまり詳しくはない生徒が多数いた。その中で私たちの活動の内容を伝えることは難しかった。しかし、前期の中間発表で使用したスライドやモーション作成で使用した階段の模型を使用しながら説明することで大まかな内容については理解できたのではないかと考えている。また、この体験もあったことから、最終発表で使用するポスターやスライドが誰でもわかるような内容になるように製作したり、動画を用いた説明をすることにつながったと考えている。

## Challenge to Complex Intelligent Robot

最終発表ではスライド、ポスターは実験に詳しくない人でも理解できるように作成していた。誤字や表現の違いなどがあった場合には即座に修正した。センサの取り付けのほかにロボットが転倒しても破損しないようにロボットの胸部や背中にスポンジを取り付けた。また、モーション再生時に配線が干渉して破損しないように結束バンドや付属の器具を使用してまとめた。前期後期を通して、活動内容が分からなくなることを避けるためにグループ週報には詳細を記載し自分だけでなくグループ全員がわかるように簡潔にまとめた。

(※文責：田中滉大)

## 第 7 章 今後の課題と展望

今回の活動では KHR3-HV ver2 を使用して様々な道を歩行させることを目標にしてきた。まず、Raspberry Pi3 とカメラモジュールを搭載することによって無線化と自律的なモーションの選択を実現させようと試みたがサーボモータの出力不足によってロボットの歩行が困難になることが明らかとなった。また、階段を下りるモーションの作成を行った際も足首に取り付けられたサーボモータだけではなく全身のサーボモータの出力が弱いことが判明した。さらに、バッテリー等を固定する装置が重いことも判明した。この問題を解決するためには装置に使用する材料を軽量であり、かつ頑丈な素材にする必要がある。また、ロボットを一から設計してコースの歩行だけに適した重さや強度にすることも必要となってくる。以上のことからより出力の強いサーボモータに付け替える、KHR3-HV ver2 以外のほかのロボットを利用して目標コースを歩行することが可能か調査する必要がある。ロボットやサーボモータを変更することによって目標のコースを歩行することができれば私たちの活動結果が正しいものであったことが分かる。また、今回は点字ブロックの歩行はジャンプを活用することで達成した。しかし、ジャンプでは安定性にかけてしまう。さらに、回数を重ねるごとにサーボモータへの負担が大きくなると考えている。そのため、ロボットの足の裏にスポンジやクッションといった緩衝材を付けることによって歩行が可能になるのかについても詳しく調べていきたいと考えている。今回は匍匐前進や四足歩行によるモーションの作成は達成できなかった。ジャンプだけでなく匍匐前進や四足歩行を活用した点字上での歩行についても今後の課題に設定したいと考えている。また、今回は達成できなかった自立化についてもロボットの設計から始めるなどして、歩行に適した筐体を作成できれば目標の達成により近づくと考えている。今後、機会があるのであれば前述した内容について調べていきたい。可能であれば、次回のプロジェクトでも研究を続けてもらいたいと考えてる。

(※文責：田中滉大)

## 付録 A 中間発表の集計結果

回収したシートの枚数：56 枚

発表技術について

平均点：7.3

今後の課題

発表技術についての課題は二つある。一つ目は、スライドの統一感についてである。中間発表のスライドは、フォントやアニメーションが統一されておらず、見づらかったという意見が多かった。最終発表の際に使うスライドは、デザインを統一し、見やすいスライドを作成する必要がある。二つ目は発表形式についてである。メンバーがローテーションして発表者を変えてスライドを用いて発表し、発表が終了した後は質問時間を 5 分ほど用いたが、質問が多く、次の発表時間に間に合わないことがあった。また、各々の声量にも違いがあり、聞き取りにくい場面があるという意見もあった。最終発表までに聴衆全員の質問に答えられる効率の良い発表形式を考える必要がある。また発表者を一人に絞ることも検討している。以上の二つが発表内容についての課題である。

(※文責：田中滉大)

自分のグループの評価

評価点:3 (5 段階評価の内)

理由

質疑応答に時間がかかったが、発表の時間に時間を取りすぎることはなく、発表者が早口になりすぎることもなかった。よって今後の課題と合わせ、評価点を 3 とした。

発表内容について

平均点：7.7

今後の課題

発表内容についての課題には、活動内容に対してそれらが最終目標にどのような貢献をしたのか伝えていなかったことが挙げられる。ロボットの組み立てやサンプルモーションの再生に関する内容は伝えることができたが、最終目標に貢献したことや、活動内容にメリットがあるように見られないという意見があった。最終発表では最終目標のために行った活動を明白に伝え、聴衆が一度聴いて納得するような発表内容を作成する必要がある。

自分のグループの評価

評価点:3 (5 段階評価の内)

理由

動画を用いての解説や、センサの詳しい解説などは聴衆から高評価を得たため、今後の課題と合わせ、評価点を 3 とした。

(※文責：田中滉大)

## 付録 B 最終発表の集計結果

回収したシートの枚数：60 枚

発表技術について

平均点：8.3

残った課題

発表技術についての課題は2つある。1つ目は、AI 班とロボット班の内容を両方とも見せることが出来なかった点である。両グループとも伝える内容が多く、順番に発表を行うと発表時間を大幅に超えてしまうため、両グループの発表を同時に行うこととなった。改善案として、発表内容をポスターではなく、スライドに簡潔にまとめて発表することが挙げられる。スライドであれば動画や写真を使用しながら説明できるため今回以上に内容を理解していただけると考えている。2つ目は、モニターを使用していない点である。プロジェクト全体での結果はモニターを使用して映像を再生していたのは良いが、グループ別の映像はタブレット端末を用いて再生していたため小さくて見るのが困難であるという意見があった。今回は大学内での発表であり学会などでの発表に比べ小規模であったためにこのような形式にした。規模にかかわらず発表を見てくれる方全員に深い理解をいてもらいたいと考え、この課題の改善案も先ほども述べたように発表そのものをスライドに簡潔にまとめて発表することが挙げられる。

自分のグループの評価

評価点:4 (5段階評価の内)

理由

理由として、スライドを使用した発表のほうがよかったという点やポスターが少しわかりにくかったという意見が挙げられたため評価点を下げた。しかし、ポスターの使い方が良かったことや、動画を多く使用してわかりやすい発表であったなど肯定的な意見も多くいただいた。また、タブレットを使用するという考えは良く、そのための媒体がふさわしくなかったように考えている。今後の発表ではまだまだ改善の余地があり、より良い発表ができると考えている。したがって評価点を4とした。

(※文責：田中滉大)

発表内容について

平均点：8.2

残った課題

発表内容についての課題は2つある。1つ目は、活動内容が難しく、ポスターの文字量が多すぎて内容が伝わってこないという点である。これについて、図解や映像を多くすることや、ただポスターを読み上げるだけでなく、具体的な例を述べるなど傍聴者にも分かりやすい発表を行うべきという意見を得た。また、ポスターだけではなくスライドを使用することによっても改善できるのではないかと考えている。2つ目は、活動内容の独自性や何が新しい事なのか伝わらなかったという点である。私たちは1年間を通してこのプロジェクトに携わってきたために、あまり気にすることがなかったために指摘されてしまったと考えられる。より意識的に原稿に組み込み伝えることが改善

## Challenge to Complex Intelligent Robot

案として挙げられる。また、スライドを使用することでよりよく内容を伝えられるのではないかと考えている。

自分のグループの評価

評価点:4 (5 段階評価の内)

理由

今回見つけた課題を分析できていた点やロボットに歩行させることがいかに難しいか説明されていた点、後続研究に期待されるような説明ができていた点などについてのコメントなどを頂き、私たちの伝えたいことを伝えることが出来たと感じた。また、ポスター発表中に実験中の動画を使用しながら説明したため、聞いていただいた多くの方から高い評価を得ることができた。このことから前期の説明や動画を用いない説明よりもわかりやすく説明できたのではないかと考えている。以上のことから今後の課題も含め、評価点を 4 とした。

(※文責：田中滉大)

## 付録 C 新規習得技術

KHR3 の構造、配線

Heart to Heart4 の使用方法

サーボモータの調整方法

## 付録 D 活用した講義

講義名 情報処理演習 2

活動内容 プロジェクトの目標を解決するにあたり、ロボットに取り付ける必要なセンサを決める際にこの講義を活用した。

講義名 ロボットの科学技術

活動内容 二足歩行ロボット



## 付録 E その他製作物

モーション作成用の階段バッテリー固定用の部品

## 参考文献

- [1] 北山直洋・北山洋幸. Java で始める OpenCV3 プログラミング. 株式会社カットシステム, 2016.
- [2] 露木誠・小田切篤. 15 時間でわかる Python 集中講座. 株式会社技術評論社, 2016.
- [3] 久保隆宏, Python で学ぶ強化学習： 入門から実装まで, 講談社, 2019