

# 卒 業 論 文

## 測域センサの反射強度を利用した視覚と行動の end-to-end 学習による人追従行動の模倣

Imitation-based end-to-end learning for human tracking behavior  
using reflected intensity from range sensors

2023 年 12 月 21 日 提出

指導教員 林原 靖男 教授

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科

20C1102 馬場 琉生



# 概要

測域センサの反射強度を利用した視覚と行動の  
end-to-end 学習による人追従行動の模倣

hogehoge

キーワード: 人追従, end-to-end 学習, モバイルロボット

# abstract

Imitation-based end-to-end learning for human tracking behavior  
using reflected intensity from range sensors

keywords: Person following, End-to-end learning, Mobile robot

# 目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景 . . . . .	1
1.2	関連研究 . . . . .	2
1.3	目的 . . . . .	3
1.4	論文の構成 . . . . .	4
第 2 章	要素技術	5
2.1	end-to-end 学習 . . . . .	5
2.2	深層学習 . . . . .	6
2.2.1	Convolutional Neural Network (CNN) . . . . .	6
2.3	LiDAR . . . . .	7
2.4	RViz . . . . .	8
第 3 章	提案手法	9
3.1	提案手法の概要 . . . . .	9
3.2	学習フェーズ . . . . .	10
3.3	追従フェーズ . . . . .	11
3.4	ルールベース制御器 . . . . .	12
3.5	ネットワーク構造 . . . . .	13
第 4 章	実験	14
4.1	実験の手順 . . . . .	14
4.2	実験装置 . . . . .	15

4.3	実験 1 LiDAR の反射強度の実験 . . . . .	16
4.3.1	実験目的 . . . . .	16
4.3.2	壁の反射強度 . . . . .	17
4.3.3	再帰反射テープの反射強度 . . . . .	18
4.3.4	学習する場所付近の反射強度 . . . . .	19
4.3.5	反射強度を利用した人追従の実験 . . . . .	20
4.4	実験 2 提案手法による人追従の実験 . . . . .	21
4.4.1	実験目的 . . . . .	21
4.4.2	実験方法 . . . . .	21
4.4.3	結果と考察 . . . . .	21
第 5 章	結論	23
	参考文献	24
	付録	25
	謝辞	26

# 目次

1.1	The proposed method for learning of the person-following behavior[1] . .	2
1.2	Training the neural network [2] . . . . .	3
1.3	The trained network is used to generate steering commands from a single front-facing center camera. [2] . . . . .	3
1.4	How the CNN “sees” an unpaved road. Top: subset of the camera image sent to the CNN. Bottom left: Activation of the first layer feature maps. Bottom right: Activation of the second layer feature maps. This demonstrates that the CNN learned to detect useful road features on its own, i.e., with only the human steering angle as training signal. We never explicitly trained it to detect the outlines of roads. [2] . . . . .	4
2.1	Structure of end-to-end learning . . . . .	5
2.2	Training the neural network [3] . . . . .	6
2.3	ImageNet classification with deep convolutional neural network [4] . . . .	6
2.4	Hokuyo 2DLiDAR (UTM-30LX) [5] . . . . .	7
2.5	RViz (Display robot model and scan data) . . . . .	8
3.1	The trained network is used to generate the robot’s yaw angular velocity from the RGB images . . . . .	9
3.2	Sequence of proposed method . . . . .	9
3.3	Output robot actions . . . . .	10
3.4	Wearing retroreflective tape . . . . .	10

3.5	Proposed method in the learning phase . . . . .	11
3.6	Without retroreflective tape . . . . .	11
3.7	Proposed method in the following phase . . . . .	12
3.8	Turn left toward the retroreflective tape . . . . .	12
3.9	Turn right toward the retroreflective tape . . . . .	13
3.10	Architecture of the network . . . . .	13
4.1	The environment of the experiment . . . . .	14
4.2	hogehoge . . . . .	15
4.3	The developed system . . . . .	15
4.4	hogehoge . . . . .	16
4.5	Measure the reflection intensity of the wall . . . . .	17
4.6	Measure the reflection intensity of retroreflective tape . . . . .	18
4.7	Measure the reflection intensity of foyer . . . . .	19
4.8	Learning and following phase courses . . . . .	21
4.9	Failed at the first corner . . . . .	22
4.10	Histogram of angular velocity at failure . . . . .	22



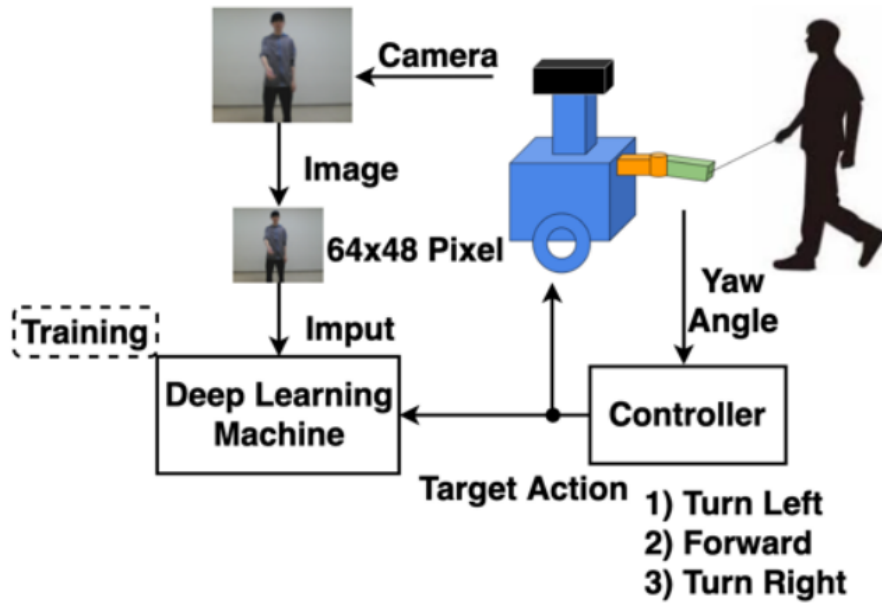
# 表目次

# 第 1 章

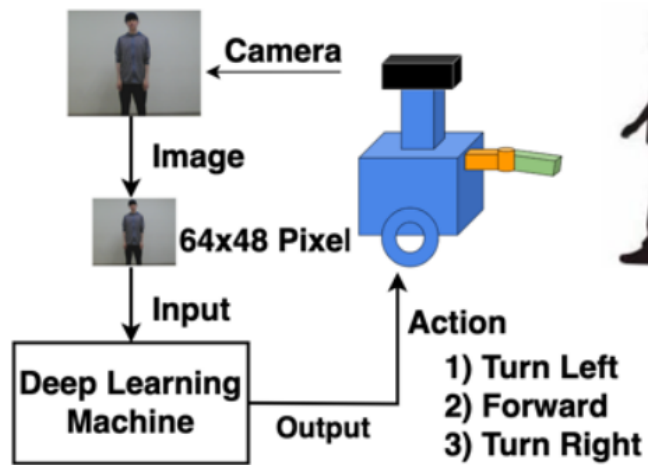
## 序論

### 1.1 背景

近年，機械学習を用いた自律移動に関する研究が盛んに行われている．は，カメラ画像とステアリングの角度を教師信号とし，end-to-end 学習することで自動車の自動運転に成功している．このシステムは，人間からの最小限の学習データで，車線のあるなしを問わず一般道や高速道路での渋滞中の走行を学習する．また，駐車場や未舗装路など，視覚ガイダンスが不明瞭な場所でも運転することができます．本システムは，人間の操舵角のみを学習信号として，道路の特徴を検出するなどの必要な処理を内部表現として自動的に学習させる．このため，例えば，道路の外周を検出するような明示的な学習は行っていない．岡田ら [1] はこれらの技術を応用し，カメラ画像に基づく人追従行動を獲得している．ここでの教師信号はカメラ画像とルールベース制御器の出力である．



(a) Learning phase

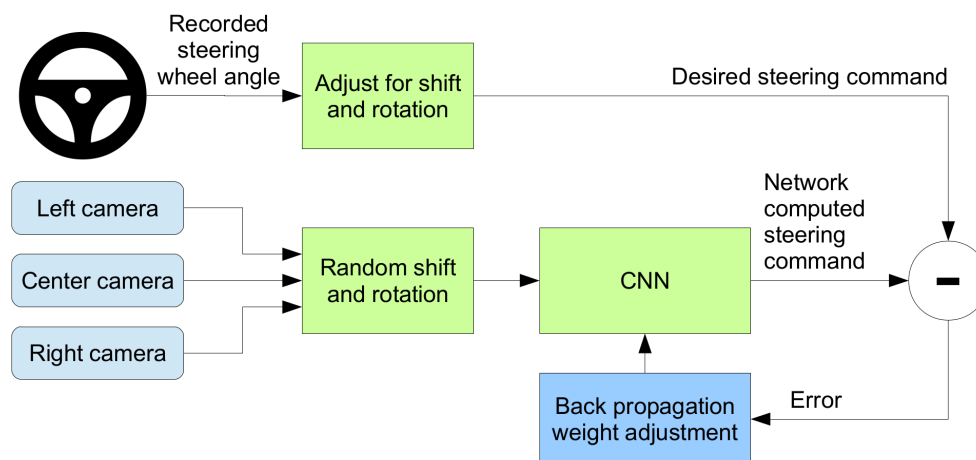


(b) Following phase

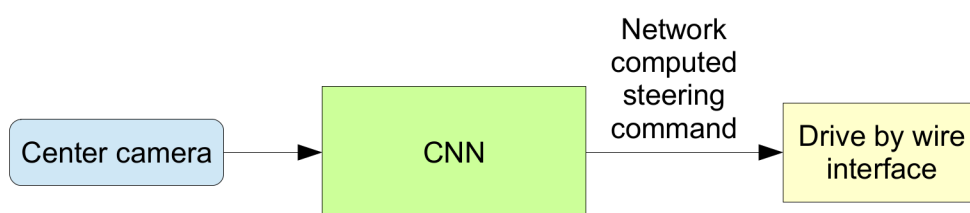
Fig. 1.1: The proposed method for learning of the person-following behavior[1]

## 1.2 関連研究

学習後は, Fig. 1.3 に示すようにカメラ画像から直接, ステアリングコマンドを出力するシステムになっている.

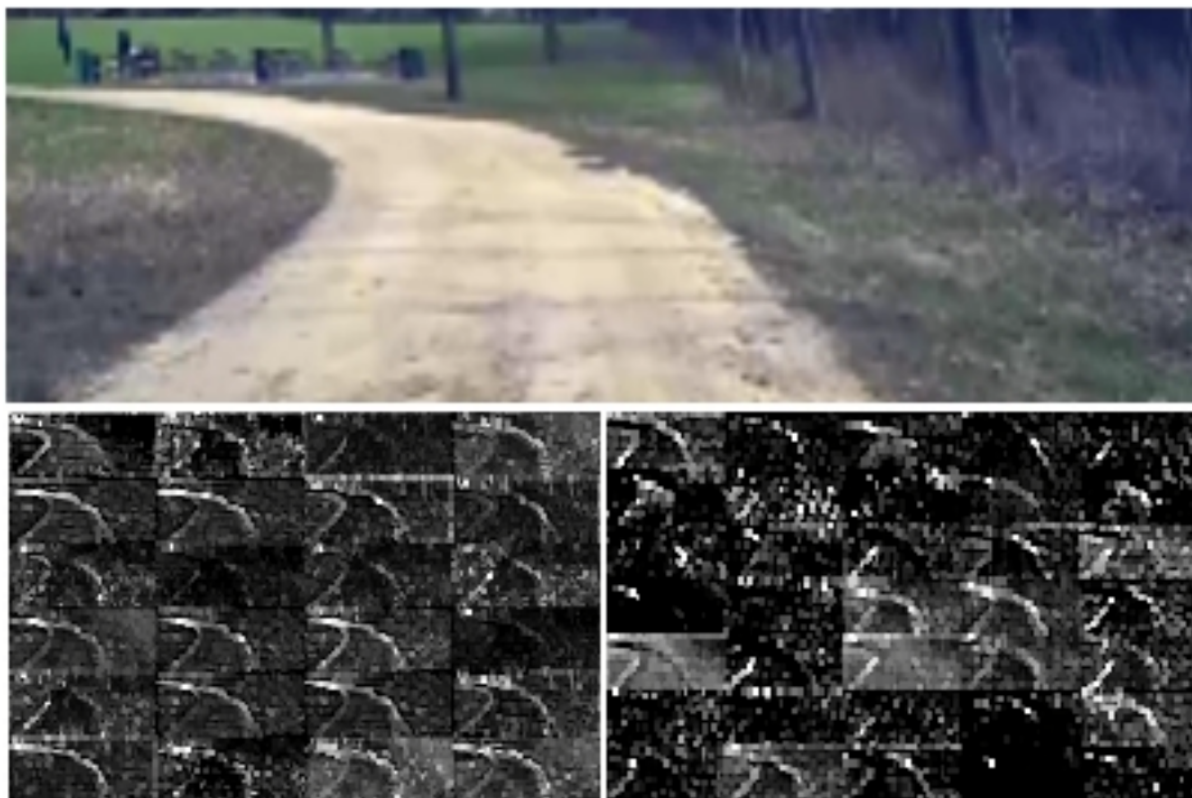


**Fig. 1.2:** Training the neural network [2]



**Fig. 1.3:** The trained network is used to generate steering commands from a single front-facing center camera. [2]

### 1.3 目的



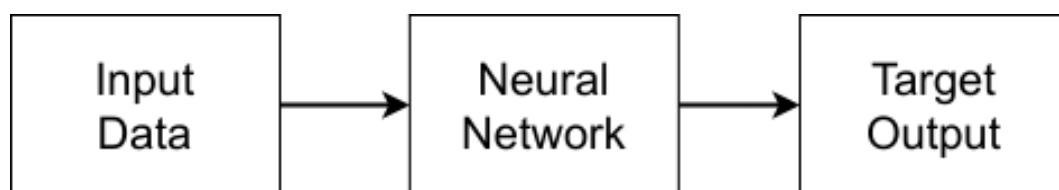
**Fig. 1.4:** How the CNN “sees” an unpaved road. Top: subset of the camera image sent to the CNN. Bottom left: Activation of the first layer feature maps. Bottom right: Activation of the second layer feature maps. This demonstrates that the CNN learned to detect useful road features on its own, i.e., with only the human steering angle as training signal. We never explicitly trained it to detect the outlines of roads. [2]

## 1.4 論文の構成

## 第 2 章

# 要素技術

### 2.1 end-to-end 学習



**Fig. 2.1:** Structure of end-to-end learning

## 2.2 深層学習

### 2.2.1 Convolutional Neural Network (CNN)

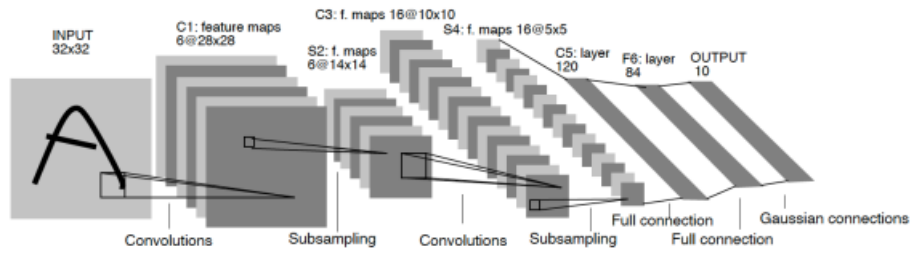


Fig. 2.2: Training the neural network [3]

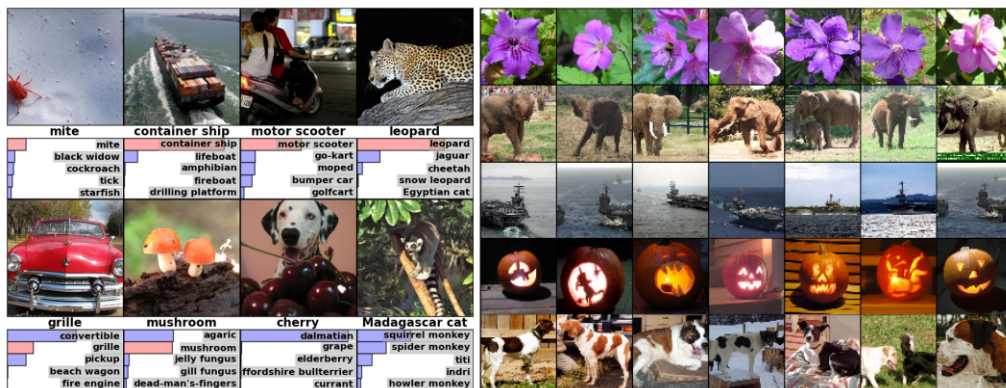


Fig. 2.3: ImageNet classification with deep convolutional neural network [4]

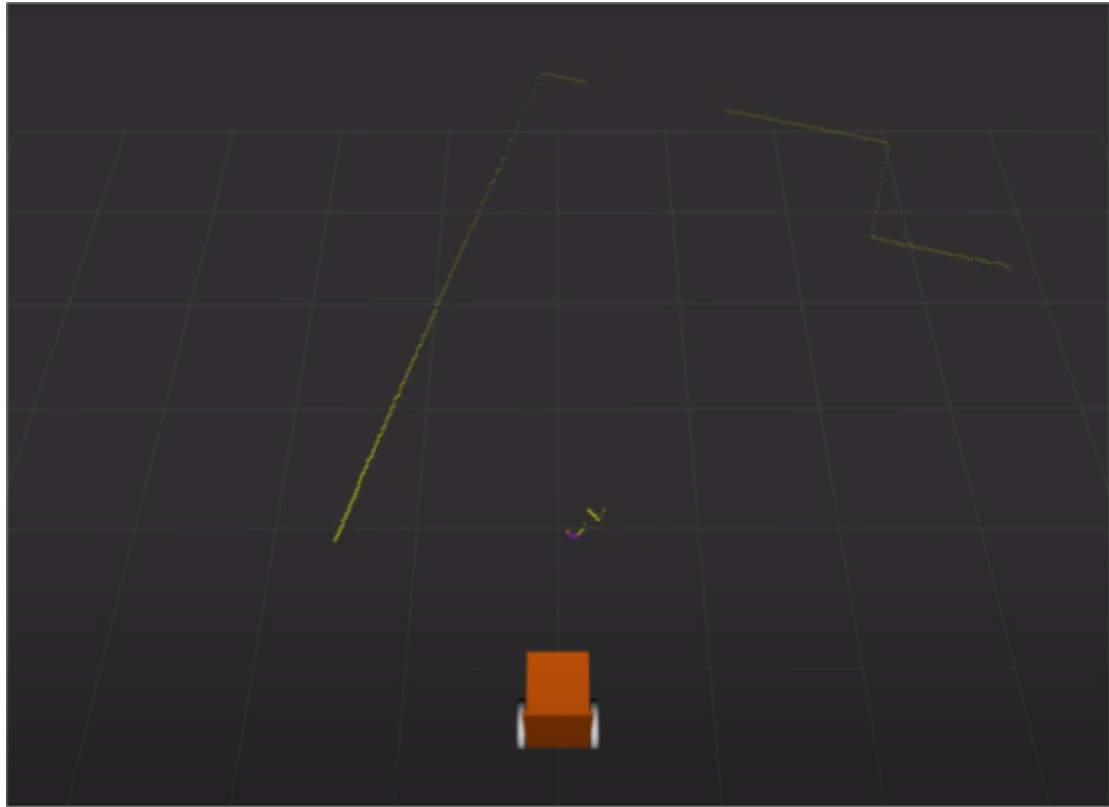
## 2.3 LiDAR



**Fig. 2.4:** Hokuyo 2DLiDAR (UTM-30LX) [5]



## 2.4 RViz

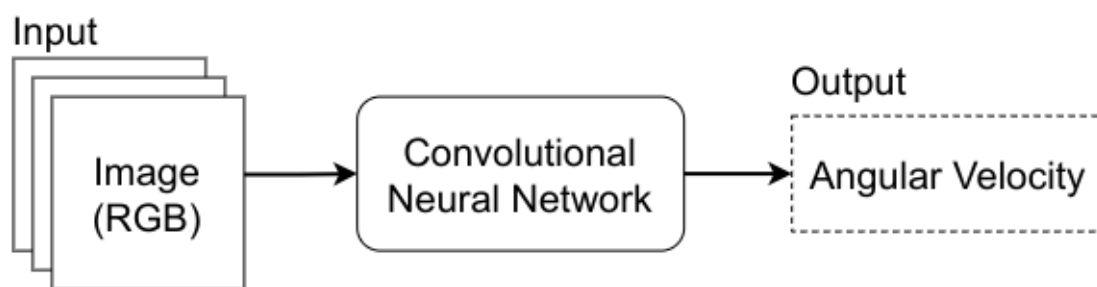


**Fig. 2.5:** RViz (Display robot model and scan data)

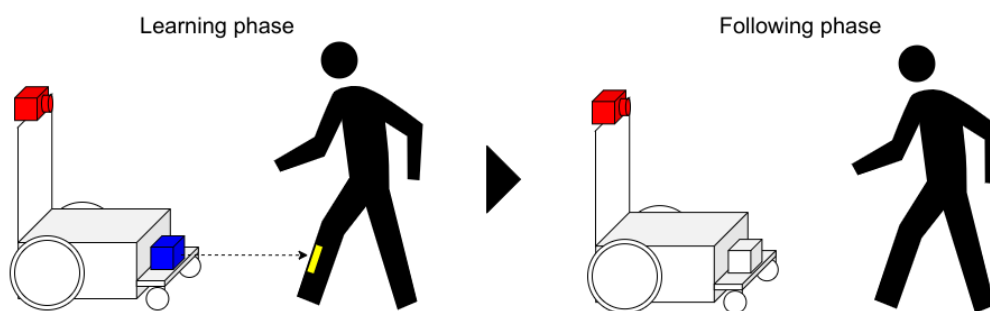
## 第 3 章

# 提案手法

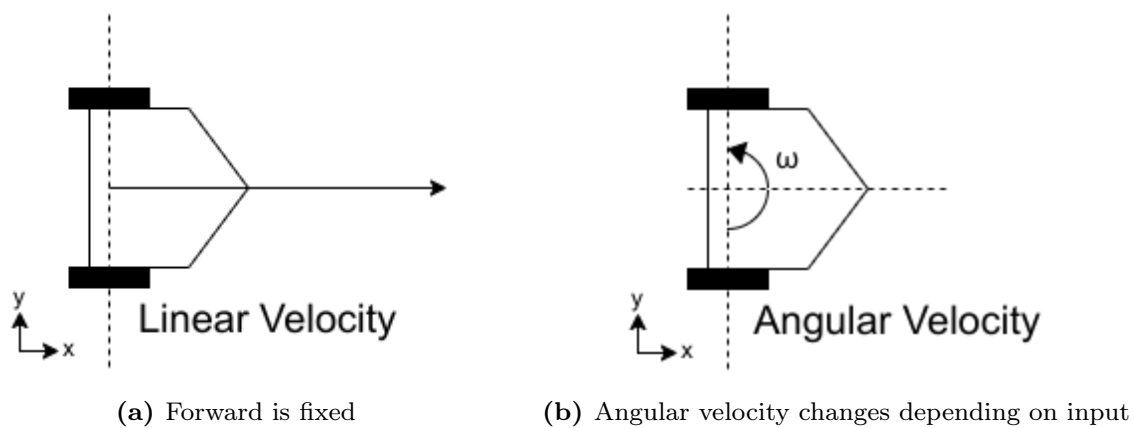
### 3.1 提案手法の概要



**Fig. 3.1:** The trained network is used to generate the robot's yaw angular velocity from the RGB images



**Fig. 3.2:** Sequence of proposed method

**Fig. 3.3:** Output robot actions

### 3.2 学習フェーズ

**Fig. 3.4:** Wearing retroreflective tape

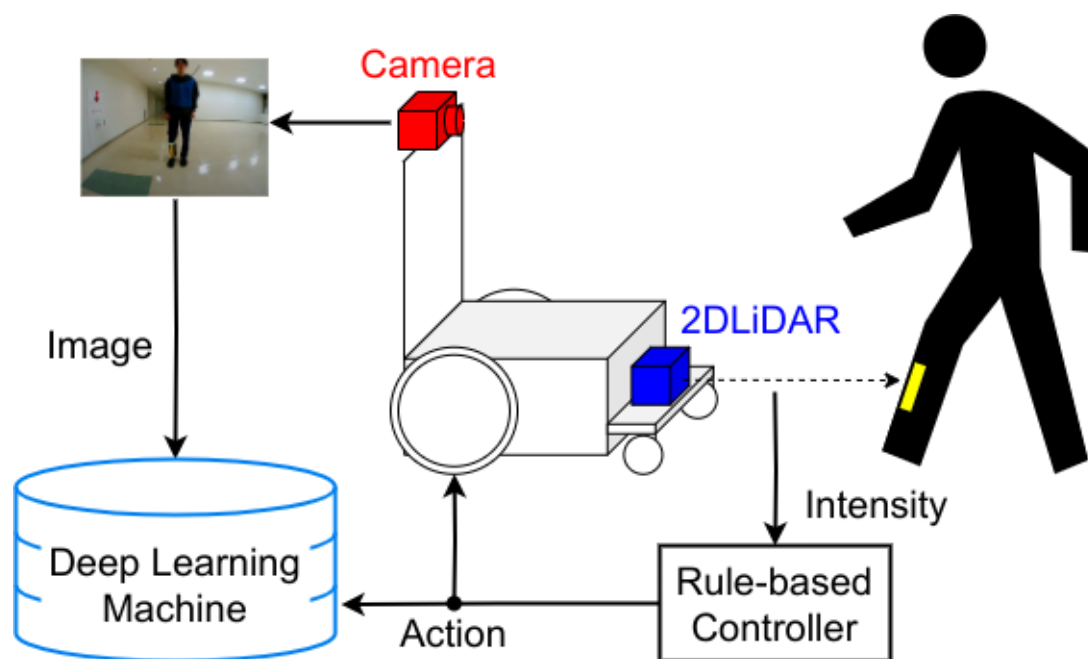


Fig. 3.5: Proposed method in the learning phase

### 3.3 追従フェーズ



Fig. 3.6: Without retroreflective tape

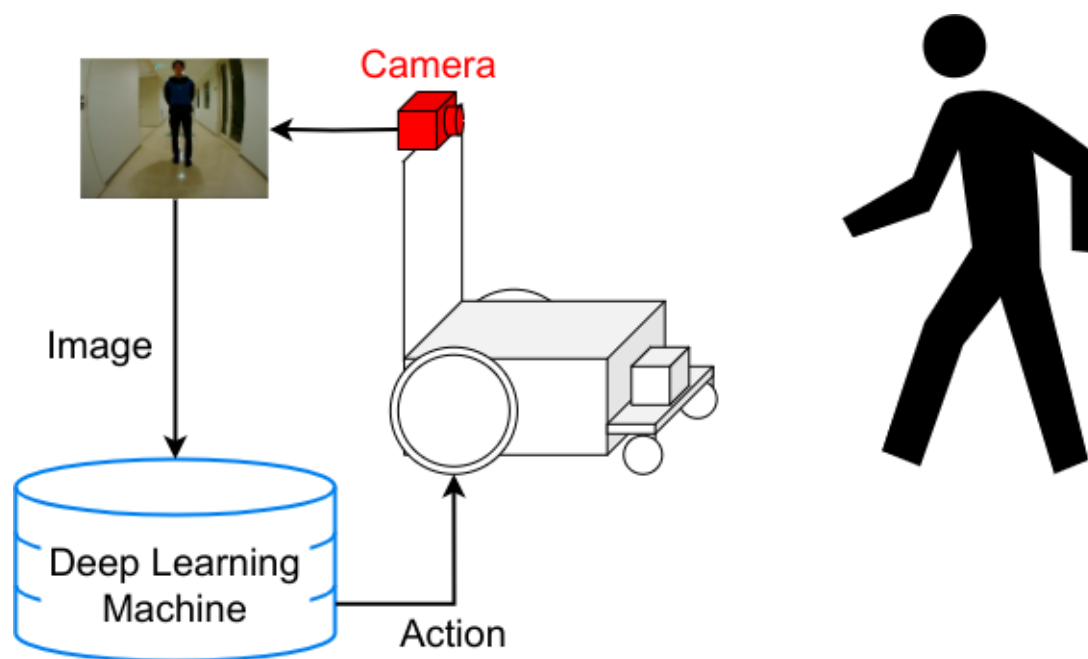


Fig. 3.7: Proposed method in the following phase

### 3.4 ルールベース制御器

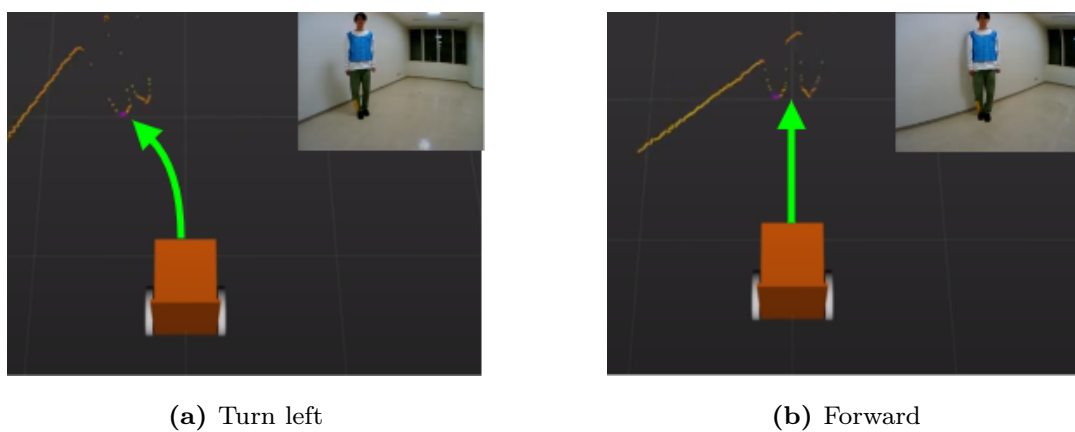
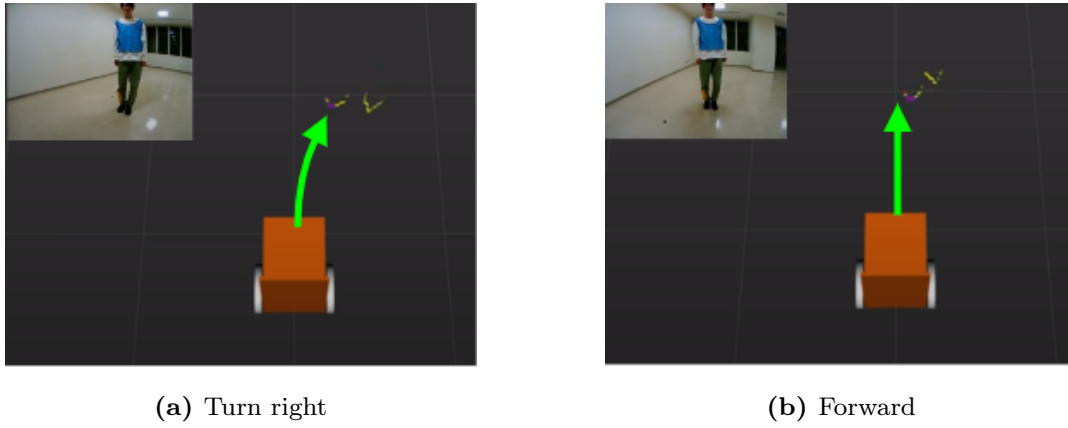
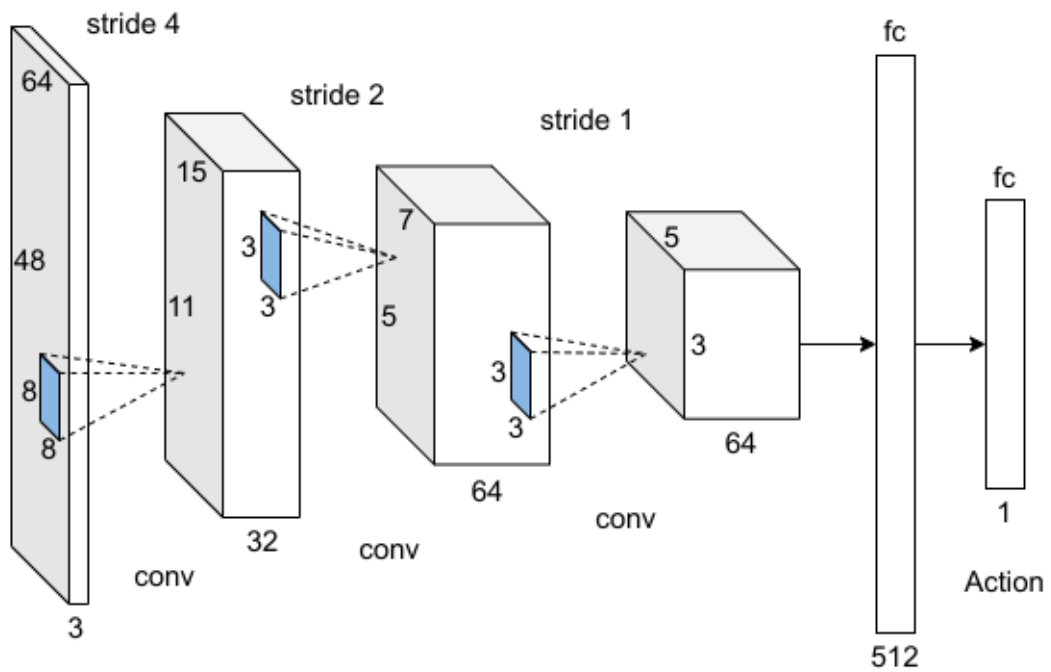


Fig. 3.8: Turn left toward the retroreflective tape



**Fig. 3.9:** Turn right toward the retroreflective tape

### 3.5 ネットワーク構造



**Fig. 3.10:** Architecture of the network

## 第 4 章

# 実験

### 4.1 実験の手順

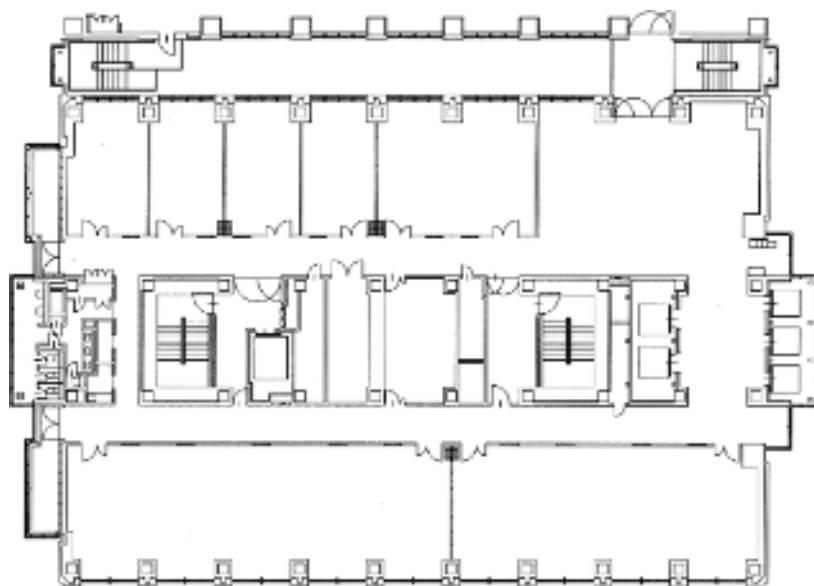


Fig. 4.1: The environment of the experiment

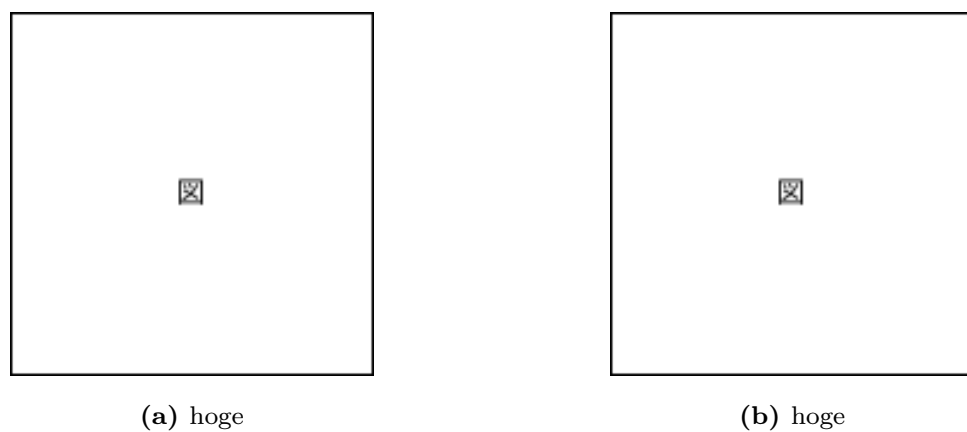


Fig. 4.2: hogehoge

## 4.2 実験装置

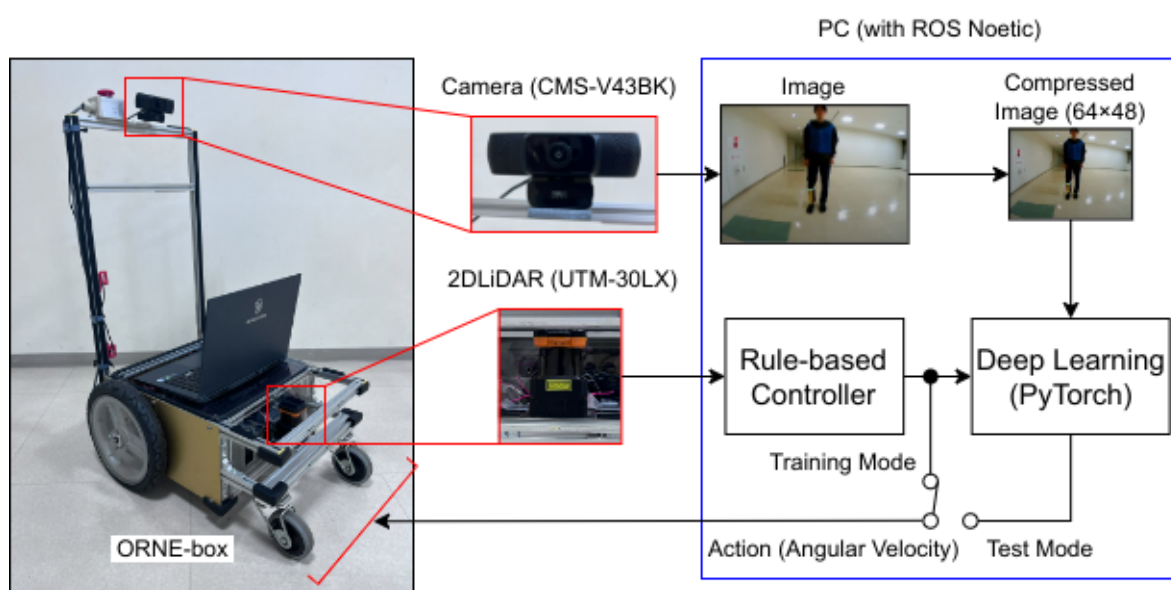
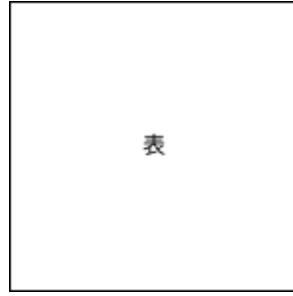


Fig. 4.3: The developed system



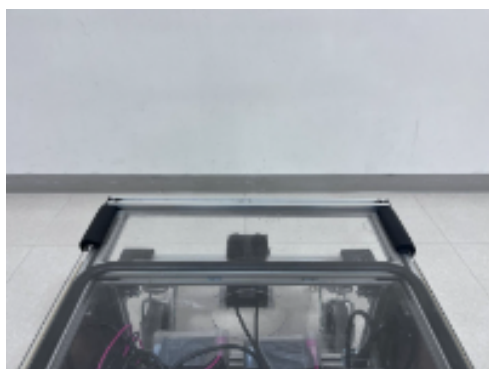


**Fig. 4.4:** hogehoge

## 4.3 実験 1 LiDAR の反射強度の実験

### 4.3.1 実験目的

## 4.3.2 壁の反射強度



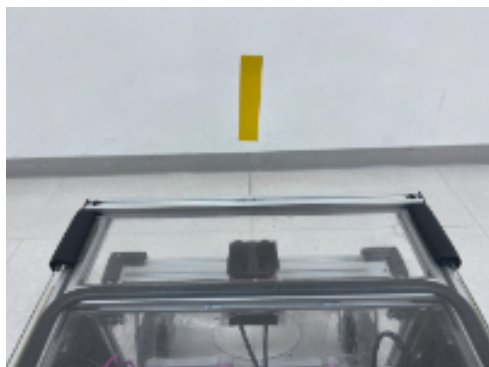
(a) View from behind



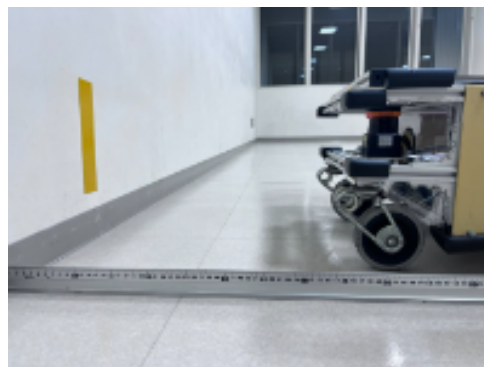
(b) View from the side

**Fig. 4.5:** Measure the reflection intensity of the wall

## 4.3.3 再帰反射テープの反射強度



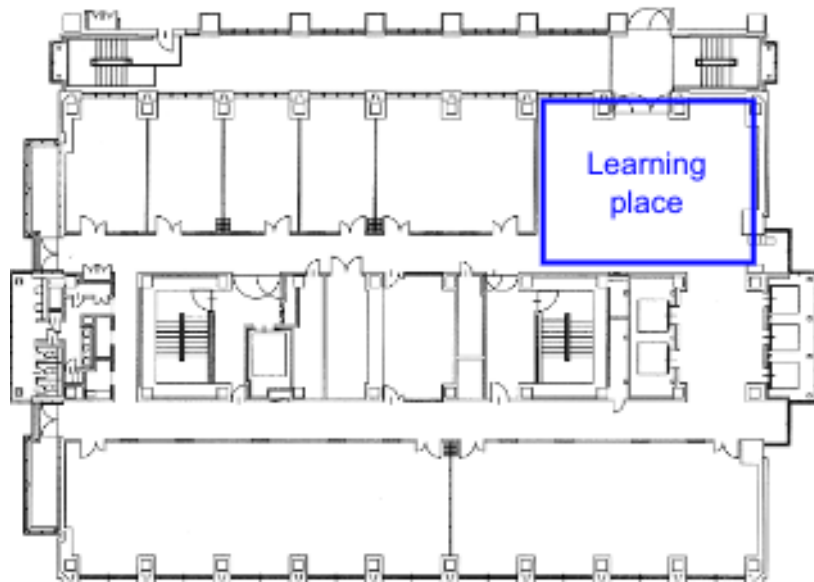
(a) View from behind



(b) View from the side

**Fig. 4.6:** Measure the reflection intensity of retroreflective tape

## 4.3.4 学習する場所付近の反射強度



**Fig. 4.7:** Measure the reflection intensity of foyer

#### 4.3.5 反射強度を利用した人追従の実験

## 4.4 実験2 提案手法による人追従の実験

### 4.4.1 実験目的

### 4.4.2 実験方法

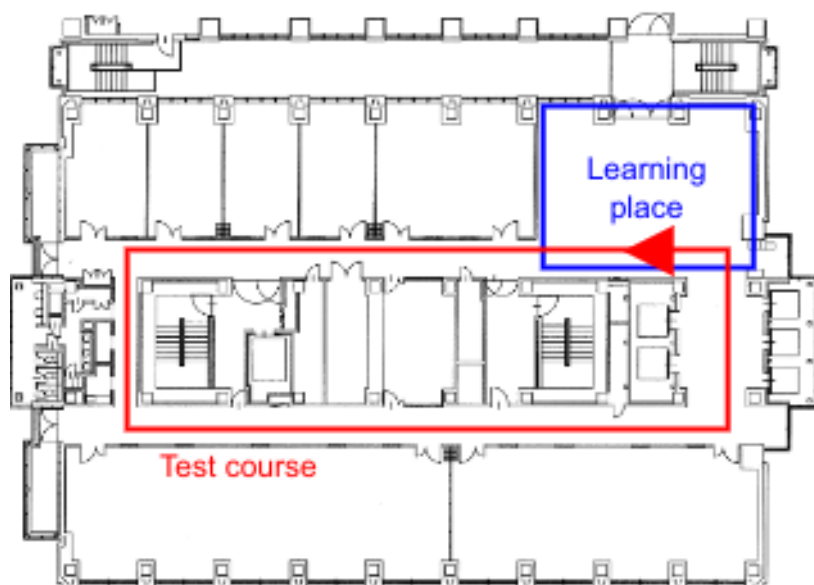


Fig. 4.8: Learning and following phase courses

### 4.4.3 結果と考察



Fig. 4.9: Failed at the first corner

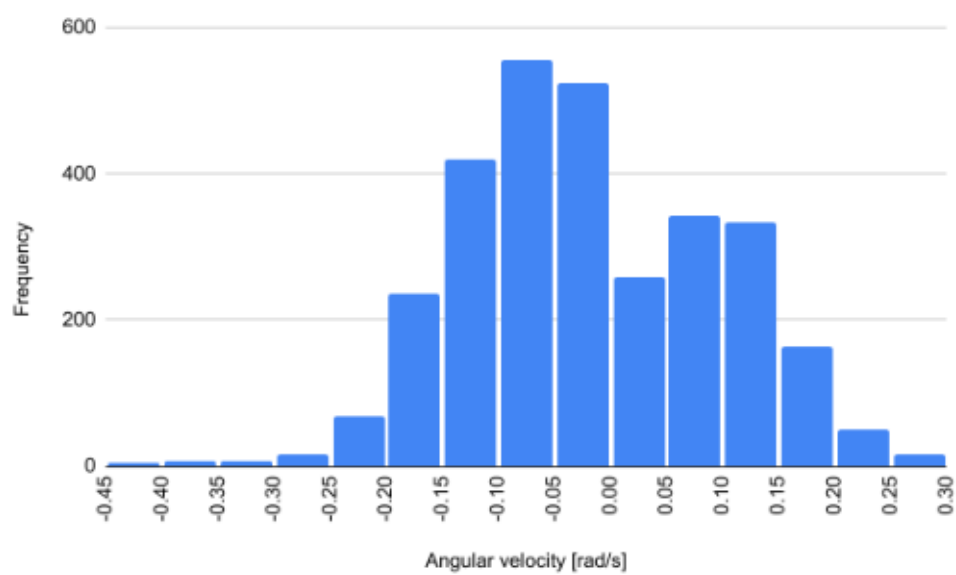


Fig. 4.10: Histogram of angular velocity at failure

## 第 5 章

## 結論



## 参考文献

- [1] 岡田眞也, 上田隆一, 林原靖男, “引き紐を利用した視覚と行動の End-to-end 学習による移動ロボットの人追従行動の生成”, 2A5-01, SI2019 (2019).
- [2] Mariusz Bojarski et al, “End-to-end Learning for Self-driving Cars”, arxiv: 1604.07316, 2016.
- [3] Yann Lecun et al. “Gradient-based learning applied to document recognition”, Proceedings of the IEEE 86.11 (1998): 2278-2324.
- [4] Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton, “Imagenet classification with deep convolutional neural networks”, Advances in neural information processing systems, 2012.
- [5] 北陽電気, UTM-30LX (最終閲覧日 : 2023 年 12 月 18 日),  
<https://www.hokuyo-aut.co.jp/search/single.php?serial=21>.
- [6] ティーラパップパシン, 林原 靖男, “強化学習を用いた移動ロボットの自律化に関する研究 —引き紐の角度を報酬とする人追従の提案—”, 3E3-07, SI2017 (2017).
- [7] ティーラパップパシン, 上田隆一, 林原靖男, “強化学習を用いた移動ロボットの自律化に関する研究 —引き紐を用いて一定間隔で人追従する学習の性能評価—”, 2B3-14, SI2018 (2018).
- [8] ティーラパップパシン, 林原靖男, 上田隆一, “強化学習を用いた移動ロボットの自律化に関する研究 —一定の間隔で人を追従する行動の獲得に関する検討—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'18 予稿集, 1A1-M11 (2018).

## 付録

# 謝辞

本研究を進めるにあたり， 1 年に渡り，熱心にご指導を頂いた林原靖男教授に深く感謝いたします。