

# 仮想現実空間内の集団において 対人距離の規範を考慮して移動するロボットの印象調査

## Evaluation of a Robot in a Group Considering Change of Personal Space in a Virtual Reality Space

布施 陽太郎<sup>1</sup>, 徳丸 正孝<sup>2</sup>  
Yotaro Fuse<sup>1</sup> and Masataka Tokumaru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 関西大学大学院

<sup>1</sup> Kansai University Graduate School

<sup>2</sup> 関西大学

<sup>2</sup> Kansai University

**Abstract:** We evaluate our proposed robotic navigation model that helps determine a robot's position when there are changes in the human's personal space in a human-robot community. Determining a robot's position is important not only to avoid collisions with humans but also to maintain a socially acceptable distance with humans. The inter-personal space depends on the situation that they face. Therefore, robots should consider the changes of their personal space. In this paper, we evaluate the trajectory that the proposed model generates in a virtual reality environment. Our results show that the trajectories that the proposed model generates are appropriate and natural for humans.

### 1 はじめに

今日、少子高齢社会の到来による労働人口減少に伴いロボットへの期待が高まっており、人がロボットと共生する社会の到来が予想される。今後ロボットが人間とインタラクションしていく中、ロボットには人間に親しみを与えつつ不安感を与えないような人間らしい振舞いが求められる。そこでヒューマンロボットインタラクションの分野では、ロボットの感情表現やジェスチャーを用いたやり取りといった社会的な振舞いについて研究されている [1].

しかし、ロボットに対する親しみや不安感は直接的なインタラクションの中のみで生まれるものではなく、間接的に関わりあう状況にある人間とロボットの間にも生まれると考えられる。間接的に関わりあう状況の一例として対人距離が挙げられる。人間は対人距離と呼ばれる他者に近づかれて不快に感じる空間を持ち、その空間を常に保ちながら集団内で自らの立ち位置を決めている [2]. 人間同士は距離感を保つことによって、自らの周囲の空間を快適にしようと努める中、ロボットも対人距離を考慮して移動する必要がある。

そこで人間に威圧感を与えないように、パーソナルスペースを考慮しながら移動するロボットの開発がなされている [3]. 人間が保ちたがる距離感は、対面する

人間との社会的な関係に基づいて大きく4種類に分類されている [2]. そこで、ロボット移動に伴う人間の不快感を低減させるため、従来のロボット移動に関する研究もまた4種類の距離の保ち方を基に進められている [3].

上記の間接的なインタラクションの例としての対人距離に加えて、ロボットは集団内の和を保って振舞う必要がある。人間社会を生きる人間はその場に現れるその集団特有の暗黙のルールを感じ取ったうえで振舞う。そうした集団で共有される価値判断や行動様式の規準は集団規範と呼ばれ、集団規範の共有はメンバー間の情報交換に流動性を与え、他者の行動を予測しやすくする [4]. この共有によって、他者から受ける不安感もまた軽減される。ロボットが人間社会に一層参入するためには人々が守る暗黙のルールを学習することが必要であり、ロボットが人間の作り出す集団規範を学習して振舞うための行動モデルが提案されている [5].

人間社会のコミュニティの集団規範の具体例として、人と人が集団内で保つ対人距離があげられる。対人距離は大きく4つに分類されるが、その場の状況や環境といった社会的文脈に依存して動的に変動する [6]. しかしながら、人間はその場で対人距離の変動に臨機応変に適応して移動可能である。また、ロボットに対する人間の対人距離がロボットの振舞いによって変動する

という報告があることから [7], ロボットは対人距離の動的な変動に考慮する必要があると推察できる. しかしながら, 人間集団を取り巻く状況に依存して動的に対人距離を変動するロボットは未報告である. よって, ロボットが人のコミュニティに能動的に参加する場合, コミュニティメンバが保ちたいと感じる距離に合わせて自らの立ち位置を決めるロボットを開発する必要がある.

そこで先行研究では人とロボットが共存するコミュニティにおける 対人距離の規範を考慮して移動するロボットモデルを提案し, シミュレーションにおいてそのモデルの有効性を検証した [8]. 以上の検証に加えて先行研究 [8] でのシミュレーション結果を仮想現実空間に反映させることによって, 人間の被験者が仮想現実空間内のロボット集団の一員としてロボットを観察するための実験環境を構築した. 本研究では実験環境において人間被験者がロボットの移動経路から受ける印象を調査する.

## 2 評価実験

本実験の目的は, コミュニティ内の人々の距離感が縮まっていく中で, ロボットも同様に距離感を保って自らの立ち位置を見つけながら移動可能か検証することである. ロボットの移動経路の自然さを検証するため, 実験被験者は仮想現実機器 (HTC Vive [9]) を装着し, ロボット集団の一員として仮想空間内で移動するロボットを評価する.

### 2.1 シミュレーション環境

4体のロボットは現実世界における  $20\text{m} \times 20\text{m}$  の正方形の平面に配置される. ロボットの初期位置はお互いのパーソナルスペースを侵害しないよう実世界における  $7.5\text{m}$  以上離れた場所に配置される. また, ロボットの初期位置は 20 パターン用意して, 種々の初期立ち位置パターンであってもロボットが変動するパーソナルスペースを考慮して移動するときの経路の自然さを検証する.

### 2.2 評価実験方法

本シミュレーションのシナリオでは, 環境内のある位置に存在する 1 体のロボットに向かって 3 体のロボットが近づいていくことでコミュニティが形成される場面を想定する. 図 1 に仮想現実空間に存在する 4 体のロボットを示す. 各エージェントは筒状のロボットのような形状で表現されており, それぞれ黒, 赤, 青, 緑で着色されている. 黒色のロボットは移動せず, 黒い

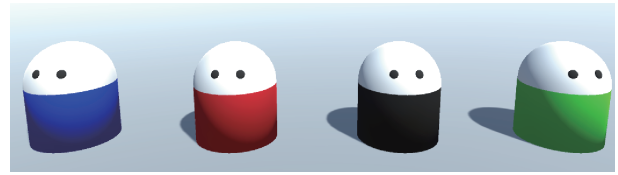
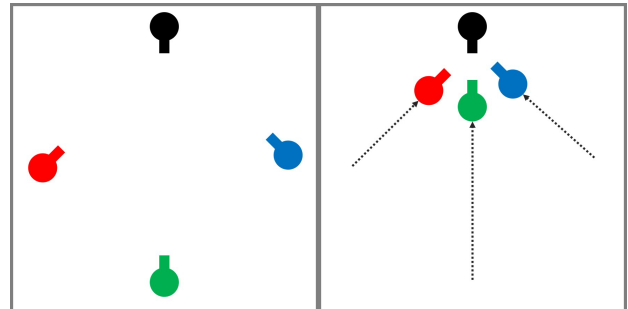


図 1: 仮想現実空間に存在する 4 体のロボット



(a) 各ロボットが離れている状態 (b) 赤緑青のロボットが黒いロボットに接近した状態

図 2: 仮想現実空間の概念図

ロボットに赤色, 青色, 緑色のロボットが接近する. このシナリオを仮想現実空間で経験する人間の被験者は, 3 体の内のどのロボットが提案モデルを搭載したロボットであるかを各 20 パターンにおいて回答する. ただし, 何色のロボットが提案モデルを搭載しているかは各パターンで異なる.

図 2 は仮想現実空間において移動するロボットを俯瞰してみたときの概念図である. 図中の 4 つの円はそれぞれのロボットの身体を意味しており, 各円から伸びている棒はそのロボットが向いている方向を示している. 図 2(a) は各ロボットの初期状態を示しており, 図 2(b) は時間がたつごとに徐々に保っている距離感を縮めながら黒いロボットに近づいていく様子を示している. このように各ロボットが移動する中で, 移動する 3 体のロボットの内の 2 体のロボットはあらかじめ設定された条件で移動する. 残りの 1 体は提案モデルの学習結果に基づいて移動する. したがって, あらかじめ決められた条件で移動する 2 体のロボットは意図をもって黒いロボットの周囲に集まる. 一方で, 提案モデル搭載ロボットは対人距離の規範を守ることを目的とするため, 結果的に黒いロボットの周囲に集まることになる. 本実験の被験者は, 以上の 3 体のロボットの移動を動かないロボットの位置から観察することによって, どのロボットが提案モデルによって移動しているロボットであるかを回答する.

被験者は 3 体内 2 体のロボットが移動する方法と, 提案モデルは距離感を合わせることを目標に移動することを知らされたうえで回答した. 人間の被験者はロボットの動作を観察することのみによって, 自らの立

ち位置を決定して移動していることを知らされたうえでアンケートに取り組んだ。

## 2.3 結果と考察

20 パターンの移動経路を仮想現実空間内で経験する中、19 人の被験者はロボットの 2 種類の動き方のパターンが存在することを理解したうえでどのロボットが提案モデルによって操作されていると思うか回答した。図 3 は 3 体のロボットの移動経路を観察した人間被験者が提案モデルによって移動するロボットの移動経路を見破れるかどうかクイズ形式のアンケートによって検証した結果を示している。横軸の *Responses* が各回答者の正答率で、*Questionnaires* が各移動経路の正答率を示している。各回答者の正解率と各移動経路の正答率も同様に平均正答率は 34% 前後となった。

人間の被験者はロボットが移動している状況を仮想空間内で観察するだけでは、3 つのエージェントからロボットエージェントの移動経路を見つけ出すことが難しいことが分かる。*Responses* と *Questionnaires* は共に平均正答率がほぼ 1/3 となっていることは、どのロボットが提案モデルを搭載して移動しているかをランダムに回答した場合と同等の確率であることを意味する。このことから、人間の被験者が仮想現実空間内で得られる視覚情報を基にしてロボットの移動経路を観察しようとするとき、提案モデルによって移動するロボットが自然に距離感を合わせながら移動しているように見える傾向にあったことを意味する。よって、ロボットは人間らしい違和感のない移動経路を選択して変動するパーソナルスペースを守りながら移動することが可能になっていると言える。

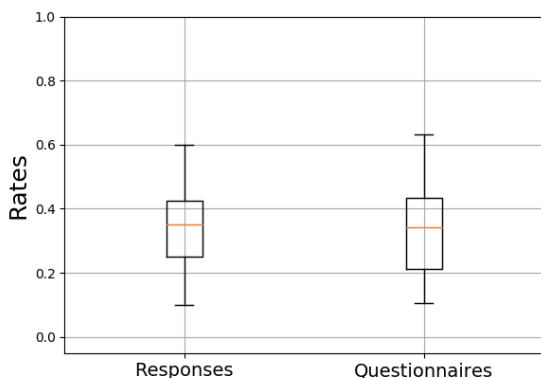


図 3: 提案モデル搭載ロボットを見分けるクイズの正答率

## 3 まとめ

本研究はロボットが人のコミュニティ内のメンバーとして参加する場合、その場の人々の位置からその場に合った距離感を学習し、自らの位置を決定するモデルを評価したものである。人間はコミュニティ内において他者との距離を親密さや社会的文脈といった構成要素に依存して決定する。そこで、ロボットと人が共存するコミュニティにおいて、ロボットは人々が持つ他者との距離感を学習し、その場の距離感に合わせて自らの立ち位置を決定する必要がある。そのために、本研究は先行研究 [8] において提案された立ち位置決定モデルについて、仮想現実空間における観察者の印象調査を実施した。実験の結果、人間の被験者は仮想現実空間内の情報を基にロボットエージェントの移動経路を判断することが難しいことが判明した。したがって、提案モデルを搭載したロボットが選択した移動経路は人間から見て不自然に映りにくいと結論付けられる。

今後は、立ち位置決定モデルの改良を進めるとともに、提案モデルをロボットに搭載し、人とロボットのコミュニティにおいて距離が適切に保たれるか調査する。また、その場合の人々の振舞いにも注目し、ロボットがコミュニティ内の人間の動的な移動の仕方に適応して移動可能か調査する。

## 参考文献

- [1] F. Hegel et al.: Understanding social robots, *2009 Second International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions*, pp.169-174 (2009)
- [2] E. Sundstrom et al.: Interpersonal relationships and personal space: Research review and theoretical model, *Human Ecology*, Vol.4, No.1, pp.47-67 (1976)
- [3] T. Kruse et al.: Human-aware robot navigation: A survey, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 61, No. 12, pp.1726-1743 (2013)
- [4] D. C. Feldman: The Development and Enforcement of Group Norms, *The Academy of Management Review*, Vol. 9, No. 1, pp. 47-53 (1984)
- [5] Y. Fuse et al.: A Robot Model that Obeys a Norm of a Human Group by Participating in the Group and Interacting with its Members, *IE-ICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E102-D, No.1, pp.185-194 (2019)

- [6] M. Cristani et al.: Towards computational proxemics: Inferring social relations from interpersonal distances, *IEEE Third International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and IEEE Third International Conference on Social Computing*, pp.290-297 (2011)
- [7] L. A. Hayduk: Personal space: Understanding the simplex model, *Journal of Nonverbal Behavior*, Vol. 18, No. 3, pp. 245-260 (1994)
- [8] Y. Fuse et al.: Evaluation of Robotic Navigation Model Considering Group Norms of Personal Space in Human-Robot Communities, *The International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence* (2020)
- [9] “HTC Vive”. <https://www.vive.com/jp>, (参照 2020-02-10).