

卒業論文 2017 年度 (平成 29 年度)

ヒューマンロボットインタラクションにおける  
適切な間合いの生成手法

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

高汐 一紀  
徳田 英幸  
村井 純  
中澤 仁  
楠本 博之  
中村 修

Rodney D. Van Meter III  
植原 啓介  
三次 仁  
武田 圭史

慶應義塾大学  
環境情報学部  
佐々木 嘉子

*viol@ht.sfc.keio.ac.jp*

# 学部論文要旨 2017年度（平成29年度）

## ヒューマンロボットインターラクションにおける適切な間合いの生成手法

あらまし

近年、人と共存するサービスロボットの需要が高まってきており、その用途は接客、介護、警備等多岐にわたる。しかし、自律移動できるロボットも現状では、受付にとどまったり、客寄せとして機能するなど、移動機能を十分に活用できていない。また、一般的にロボットに対する不安はまだ多く、人が安心して使え、ロボットが人に受け入れられるような工夫が必要になる。人対人のコミュニケーションの上でも、相手との距離感を掴み、適切な距離で対応していく、すなわち「間合い」を意識したコミュニケーションが重要であり、それはロボットでも同様であると考えられる。また、ロボットが自律的に行動し、幅広い範囲で活動できることは人と共存していく上で重要な要素である。そのため、本研究では段階的に相手の反応を判断し、その場に応じた適切な間合いを決定してロボットが自ら距離を縮めたり離れたりするヒューマンロボットコミュニケーション手法を提案する。相手の表情、行動からロボット自身が間合いを計り、ユーザが安心して、かつ心地よいコミュニケーションを取れる距離を取れるサービスを設計し、評価した。

### キーワード

表情認識、間合い、ヒューマノイドロボット、H2H コミュニケーション、パーソナルスペース、

慶應義塾大学環境情報学部

佐々木嘉子

## **Abstract of Bachelor's Thesis Academic Year 2017**

### **Communication Robot Creating Appropriate Spatial and Timing Interval for Smooth H2R Interaction**

#### **Abstract**

In recent years, the demand for service robots coexisting with people has increased, and their uses range from hospitality, nursing care, security and so on. However, at present, a robot that can autonomously move can not fully utilize the movement function, such as staying at the reception desk or functioning as a receptionist. Also, there are still many concerns about robots, and it is necessary to devise such that people can use it with ease and that robots can be accepted by people. Even in human-to-human communication, it is important to grasp the sense of distance to the other party and respond at an appropriate distance, that is, communication that is conscious of 'intersection', which is considered to be the same for robots. Also, being able to act autonomously and work in a wide range of robots is an important element in coexistence with people. Therefore, in this research, we propose a human robot communication method in which the robot judges the reaction of the opponent in stages, decides the appropriate intervals according to the spot, and the robot shrinks or separates the distance himself. The robot himself measured the intersection from the expression and behavior of the opponent and designed and evaluated a service that allows the user to take a distance that allows the user to feel confident and comfortable communication.

#### **Keywords**

**Facial expression detection, Spatial and Timing Interval, humanoid robot; H2H communication; personal space**

**Keio University**  
**Faculty of Environment and Information Studies**  
**Kako Sasaki**

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b>	1
1.1	背景 . . . . .	1
1.1.1	サービスロボットの普及 . . . . .	1
1.1.2	R2H インタラクションにおけるパーソナルスペースの重要性 . . . . .	2
1.2	問題意識及び目的 . . . . .	3
1.3	構成 . . . . .	4
<b>第 2 章</b>	<b>ロボットとパーソナルスペース</b>	5
2.1	ロボットに対する人のパーソナルスペースに関する研究 . . . . .	5
2.2	ロボットの人への接近方法に関する研究 . . . . .	9
2.3	まとめ . . . . .	9
<b>第 3 章</b>	<b>ロボットと人とのパーソナルスペースの検証実験</b>	11
3.1	実験方法 . . . . .	11
3.2	実験結果 . . . . .	12
3.2.1	取得したデータ . . . . .	12
3.2.2	距離による検証 . . . . .	13
3.2.3	動画による検証 . . . . .	15
3.2.4	アンケート結果 . . . . .	15
3.3	考察 . . . . .	16
3.3.1	ロボットに対する人のパーソナルスペース . . . . .	16
3.3.2	ロボットに対する印象 . . . . .	16
3.3.3	被験者の様子 . . . . .	17
3.4	まとめ . . . . .	18
<b>第 4 章</b>	<b>ユーザの反応を考慮した間合い生成機構とその評価</b>	19
4.1	システム概要 . . . . .	19
4.1.1	想定するユーザ . . . . .	19
4.1.2	アプローチ . . . . .	20
4.2	設計と実装 . . . . .	21
4.2.1	表情認識 . . . . .	21
4.2.2	距離認識 . . . . .	21
4.3	評価実験 . . . . .	23

4.3.1 実験の概要 . . . . .	23
4.3.2 実験手順 . . . . .	23
4.3.3 取得したデータ . . . . .	24
4.4 実験結果の分析 . . . . .	26
4.4.1 被験者とロボットの距離 . . . . .	26
4.4.2 ロボットに対する印象アンケート調査 . . . . .	28
4.4.3 動画データによる分析 . . . . .	31
4.5 考察 . . . . .	34
4.6 まとめ . . . . .	35
<b>第 5 章 結論</b>	<b>36</b>
5.1 本論文のまとめ . . . . .	36
5.2 間合いシステムの課題 . . . . .	36
5.3 今後の展望 . . . . .	37
<b>参考文献</b>	<b>39</b>

# 図目次

1.1	ロボット産業の市場推移の予測、ロボット分野一経済産業省 . . . . .	1
1.2	ロボット技術に対する認識について、ロボットが提供するサービスに関する独自の意識調査結果（概要）－三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング . . . . .	2
1.3	ロボット技術に対する認識について、ロボットが提供するサービスに関する独自の意識調査結果（概要）－三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング . . . . .	2
1.4	男女のパーソナルスペースの形 . . . . .	3
2.1	An illustration of the study setup with a participant, a robot, and cameras for the Wizard-of-Oz — Stop! That is Close Enough.How Body Postures Influence Human-Robot Proximity より . . . . .	6
2.2	Comfortable distance frequencies for subjects approaching the robot. — The Influence of Subjects' Personality Traits on Personal Spatial Zones in a Human-Robot Interaction Experiment より . . . . .	6
2.3	申告された距離—移動体ロボットに対するヒトのパーソナルスペースより . . . . .	7
2.4	実験結果— Investigating the Influence of Culture on Proxemic Behaviors for Humanoid Robots より . . . . .	7
2.5	Score for the question, " did you feel friendliness of robot to you ? " 一自らの接近行動がパーソナルスペースの認知におよぼす効果より . . . . .	8
2.6	実験結果— Influences on Proxemic Behaviors in Human-Robot Interaction より . . . . .	8
2.7	距離カテゴリに応じた対話行動の例—コミュニケーションロボットと人間との距離より . . . . .	9
3.1	実験の様子 . . . . .	12
3.2	ロボットの動きと近づき方のパターン . . . . .	12
3.3	人から近づく場合 . . . . .	14
3.4	横からロボットが近づいた場合 . . . . .	14
3.5	前からロボットが近づいた場合 . . . . .	15
3.6	実験の様子 . . . . .	16
3.7	ロボットに対する男女のパーソナルスペースの形 . . . . .	17
4.1	システムイメージ図 . . . . .	20
4.2	システム構成図 . . . . .	21
4.3	Affectiva の AffdexMe を利用し表情から読み取った感情の割合 . . . . .	22
4.4	ソースコード（距離認識） . . . . .	22

4.5	実験環境	23
4.6	実験パターン	24
4.7	ELAN	26
4.8	距離における男女比較	27
4.9	距離におけるロボットへの慣れ具合の比較	27
4.10	ロボットに近づきやすいと思いましたか	28
4.11	ロボットは賢いと思いましたか	29
4.12	ロボットは考えて行動しているように思いましたか	29
4.13	安心してロボットと関わられましたか	30
4.14	ロボットは自分のパーソナルスペースを守っていると思いますか	31
4.15	ロボットの動いた回数	32
4.16	被験者の様子（動作）	33
4.17	被験者の様子（笑顔）	33
4.18	被験者の様子（驚き）	34

# 第1章

## 序論

本章では、はじめに本研究における背景について述べる。次いで、本研究の問題意識と目的について述べる。最後に本論文の構成を示す。

### 1.1 背景

本節では、研究における背景について説明する。

#### 1.1.1 サービスロボットの普及

近年、ロボット産業は急速に成長しつつある。政府はロボット新戦略 [1] を公表し、1000 億円規模のロボットプロジェクトの推進を目指すとしている。少子高齢化に伴い生産年齢人口の減少が著しい今、ロボットを活用する可能性が拡大している。ロボット産業の将来市場は 2035 年には最大 9.7 兆円へ拡大することが期待されている [2] [3] (図 1.1)。また、最も成長が期待されるのはサービスロボットの分野であり、2020 年には産業用ロボットと同等の、2035 年には約 2 倍の市場規模になると予測されている [3]。

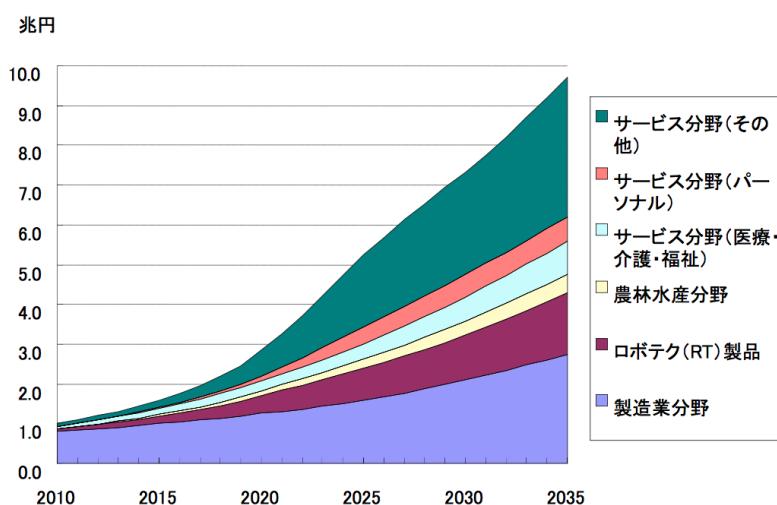


図 1.1 ロボット産業の市場推移の予測、ロボット分野一経済産業省

その中でも、コミュニケーションロボットの分野は pepper[4] を始めとして注目を集めている。コミュニケーションロボットの中には、見守り機能を持った Tapia[5] や自然な会話を目的とした OHANAS[6]、自律移動機能を持つ PALRO[7] などがあり、家庭内で使用したり、介護現場での補助として利用したり、接客や案内を目的として利用されている。しかし、現在のコミュニケーションロボットの導入目的としては集客が主なものとなっており、移動機能が利用されずに、受付に設置されるものが多くなっている。そこで、客寄せなどにとどまらない、人間と協調し、作業するロボットが必要になってくる [3]。

また、ロボットが提供するサービスに関する独自の意識調査結果 [14] によると、ロボット技術の進歩について、生活はより便利で快適なものになる、と回答した人は 6 割を超えており（図 1.2）のに対し、ロボット技術の利用には予想もできない危険がひそんでいる、と回答した人は過半数を超え（図 1.3）、ロボット利用に対する不安を取り除く必要性がある。

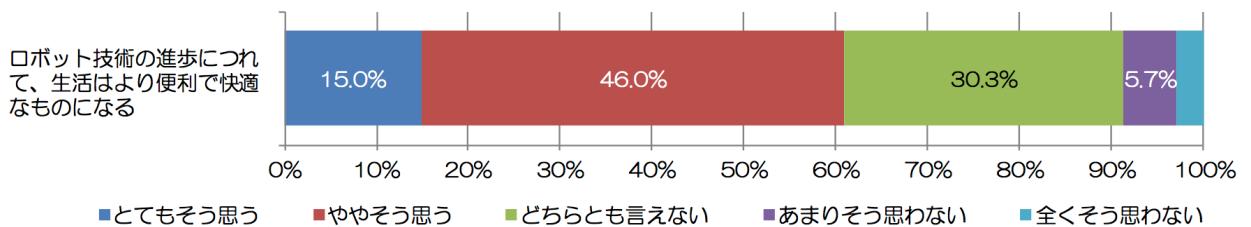


図 1.2 ロボット技術に対する認識について、ロボットが提供するサービスに関する独自の意識調査結果（概要）－三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング

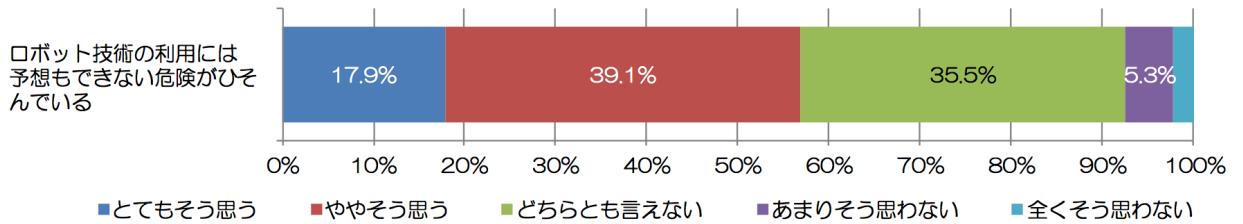


図 1.3 ロボット技術に対する認識について、ロボットが提供するサービスに関する独自の意識調査結果（概要）－三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング

### 1.1.2 R2H インタラクションにおけるパーソナルスペースの重要性

人ととのコミュニケーションにおいて、パーソナルスペースを考慮することは大切なことである。電車の中で隣の人と間隔を空けて座るという行為もなど自身のパーソナルスペースを守る行動からきている。

R.Sommer[8] は、病院で患者の近くに座ると 9 分以内に 3 分の 1 がその場から立ち去ってしまう実験などから、「パーソナルスペースは、他者が侵入することができない領域であり、個人を取り巻く目に見えない境界線で囲まれた空間である」としている。パーソナルスペースというのは自分の心理的な縛りのことであり、侵入されると不快感や嫌悪感、不安感を引き起こす。E.Hall[9] は相手との関係と距離感を以下の 4 つに分類した。

- 1, 密接距離: ごく親しい人に許される空間 (0~45cm)
- 2, 個体距離: 相手の表情が読み取れる空間 (45~120cm)
- 3, 社会距離: 相手に手は届きづらいが、容易に会話ができる空間 (1.2~3.5m)
- 4, 公衆距離: 複数の相手が見渡せる空間 (3.5m~)

このようなパーソナルスペースの実験は盛んに行われており、子供やお年寄りに対してはパーソナルスペースは小さくなること [10][11] や、親密度が高いほうが小さくなること [10]、男女では女性の方が男性の方が広くスペースをとること [10][12]、相手への好意が強いほど、小さくなること [13] などが知られている。また、男女でパーソナルスペースの形が異なっていて、男性のほうが前方に長く、女性のほうが円形近いと言われている [14] (図 1.4)。



図 1.4 男女のパーソナルスペースの形

相手のパーソナルスペースを考慮して行動することは、人対人のコミュニケーションの上で不快感を与えないために必要なことであり、相手との関係性や、性格、年齢、性別によってそれぞれ異なる。このような非言語コミュニケーションの重要性はロボットに対しても言える。

## 1.2 問題意識及び目的

これからコミュニケーションロボットは、人のそばでサービスや生活の支援を行うため、人に危害を加えないという安全に対する配慮を十分に行う必要がある、それに加えて、人に恐怖や不安を与えない、親和性の高いものにすべきである。人対人のコミュニケーションの上でも、相手との距離感を掴み、適切な距離で対応していくことが重要であり、それはロボットでも同様であると考えられる。また、ロボットが自律的に行動することは人と共存していく上で重要な要素である。

既存研究では、対話内容による状況判断から会話の立ち位置を調整する研究 [13] や、Hall の対人距離の分類に応じて、対話行動に対応した距離を取る研究がなされている。しかし、それらは対話内容や、ロボットの予定された行動に基づいたものであり、ユーザの自由な行動に対応する手法は成長要素が多くあると考えられる。特に、場面を特定したり、個人の様子を特定することができない、初対面の人との会話が始まるまでの距離のとり方というのは、人の反応を観察することによって解消できると考えられる。よって、本研究では人の反応、特に表情や動きに応じてロボットが対人距離を決定するシステムを考案する。

### 1.3 構成

本論文は、本章を含め全5章からなる。本章では、本研究における背景と問題意識、目的を述べた。第2章ではロボットとのパーソナルスペースに関する研究について述べる。第3章では予備実験について述べ、第4章ではシステムの設計と検証実験について述べる。最後に第5章では本研究の結論と今後の展望について述べる。

## 第 2 章

# ロボットとパーソナルスペース

本章では、本研究のテーマであるロボットとのパーソナルスペースに関する研究を整理し、問題点を議論する。ロボットとパーソナルスペースに関する研究は大きく分けて 2 つあり、ロボットに対する人のパーソナルスペースがどのくらいあるのかを検証したものと、ロボットはいかに人に接近すべきかを研究したものがいる。

### 2.1 ロボットに対する人のパーソナルスペースに関する研究

Mohammad ら [15] は人間とロボットとの対人距離と、座っているか立っている姿勢が対人距離に及ぼす影響を調べる研究を提示した。ロボットには NAO[16] を利用しロボットが座った状態、立った状態で人が近づく場合と人が座った状態、立った状態でロボットが近づく場合（図 2.1）を検証し、人間は、ロボットが座っている時、またはより受動的な姿勢にあるときにより短い対人距離を可能にし、立っているときに接近するとより大きな空間を残すことを明らかにした。

ただし実験の成果を得るには女性参加者の不足があり、この実験では性別、身長、年齢の影響は有意な結果をもたらさなかった。また、NAO を用いたことで低身長と子供のような見た目により対人距離を短くした可能性が高い。そのため、他のロボットでの検証や、性別、年齢の多様な被験者を集める必要がある。

Michael ら [17] は人間からロボット、ロボットから人間の接近距離を調べた。その中で、被験者の人格が個人空間領域に影響を及ぼすことを見出した。Michael らは、ロボットとのインタラクションの時に人間が好む接近距離は、人間が互いに社会的にやりとりするときに好まれるアプローチ距離に匹敵すると予測し過半数はその結果になった。しかし、0.45m 未満の距離に接近した被験者も 40 % いて、この研究におけるロボットの安全システムの 0.5m を超えて近づけることができた（図 2.2）。次に、被験者の近づきやすい距離の好みを予測するために使用できる共通のパーソナリティ因子が存在するという仮説を検証し、「Proactiveness」、「SocialReluctance」、「Timidity」および「Nervousness」と 4 つの新しい要因が明らかになった。アプローチ距離とパーソナリティデータとの間の相関をテストするとき、「Proactiveness」は社会的距離と相関し、この因子のスコアが高いほど被験者はロボットに接近しないことを発見した。

中島ら [18] は移動体ロボットの速度とパーソナルスペースが比例することが明らかにし、また椅子座位においては立位より若干パーソナルスペースが広くなることを推察した（図 2.3）。

Ghadeer ら [19] は対人距離をユーザの文化的背景に応じて変化する行動的側面として調べ、異文化のユーザ（アラブとドイツ）がロボットが自分の文化的背景と同様に行動することを期待するかどうかを探る 2 つの研究をした。最初の研究の結果では、ロボット 2 台を用いて、アラブ人とドイツ人が静的な環境でロボットと

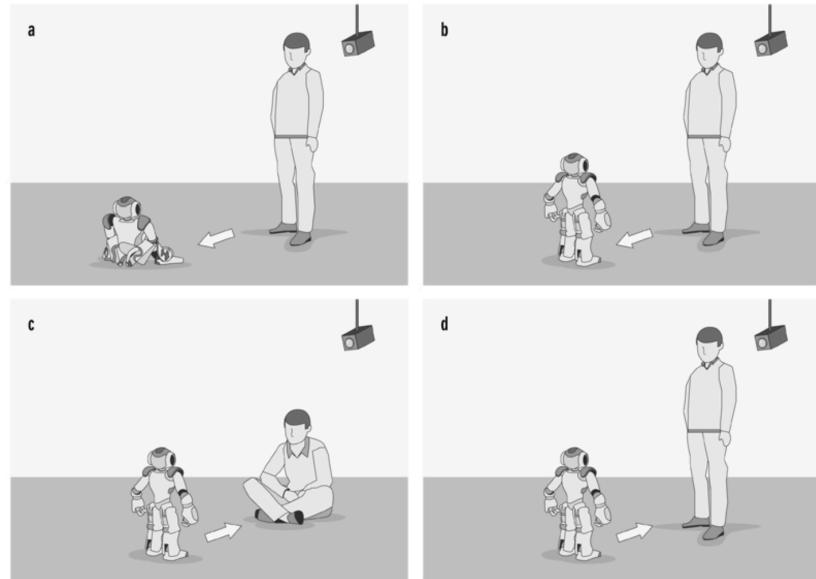


図 2.1 An illustration of the study setup with a participant, a robot, and cameras for the Wizard-of-Oz — Stop! That is Close Enough.How Body Postures Influence Human-Robot Proximity より

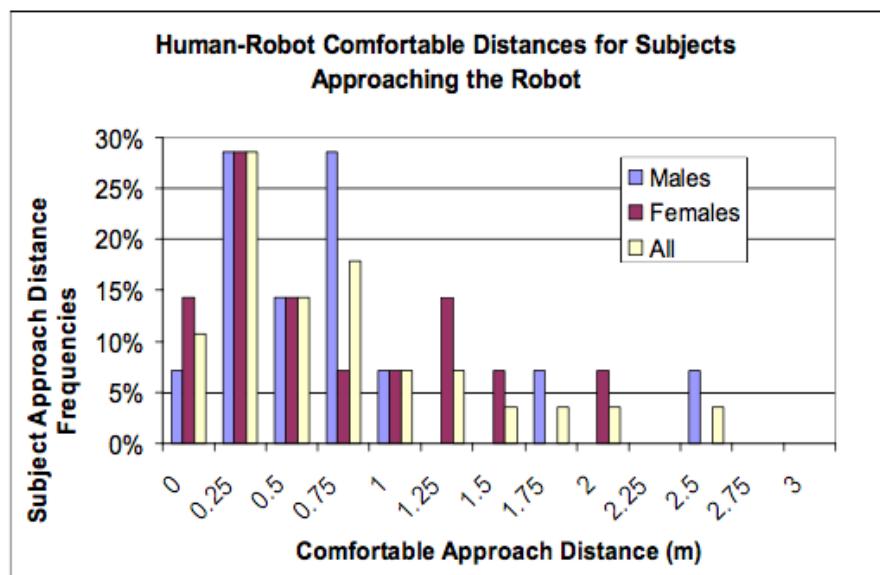


図 2.2 Comfortable distance frequencies for subjects approaching the robot. — The Influence of Subjects' Personality Traits on Personal Spatial Zones in a Human-Robot Interaction Experiment より

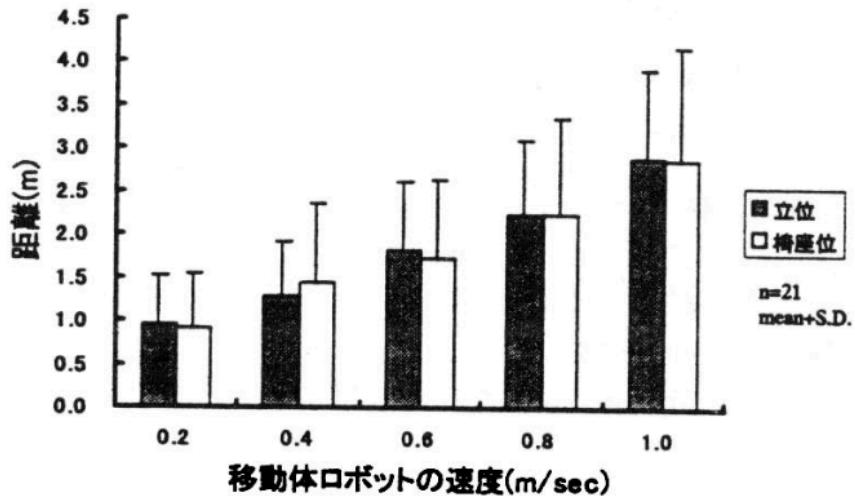


図 2.3 申告された距離—移動体ロボットに対するヒトのパーソナルスペースより

の異なる対人距離を持っていることを示した（図 2.4）。第 2 の研究では、第 1 の研究で観察された対人距離を用いてロボットに対するユーザの反応を調べ、被験者は自分の文化的背景で観察された行動をおこすロボットを好むことを示唆している。よって、ロボットとユーザの距離はユーザの文化圏に左右されることがわかる。

	Arab		German	
	Mean	SD	Mean	SD
Robot-Robot	39.75	8.34	42.33	8.19
HRR - RR	60.17	18.59	59.08	17.68
HRR - HR	65.79	19.69	85.63	26.30

図 2.4 実験結果—Investigating the Influence of Culture on Proxemic Behaviors for Humanoid Robots より

山本ら [20] は、人とロボットが片方だけ接近する、また互いに接近し合う実験を行ない、印象の違いを調べた。片方だけが接近したときと比べ、互いに接近し合うと、ロボットが被験者に対し好意を持っていたように感じるかという点において、評点が高くなることがわかっている（図 2.5）。これは、互いに接近するほうがロボットにたいして親近感を持ち安くなること示唆している。

Jakub ら [22] はロボットが歩行者または立ち止まっている人に接近する向きを検証し、歩行者は正面または正面左方向から接近されることが好ましいことを発見した。また、立ち止まっている人に対しては正面、正面左、正面右のどれも受け入れられることを示した。

Takayama ら [23] は、ペットとの個人的な経験やロボットとのふれあいの経験が、ロボットの周りの人の空間を減少させることを発見した（図 2.6）。また、ロボットの顔が人の方に向いている場合、女性のパーソナルスペースは大きくなるが、男性のは小さくなることを示した。そして、ロボットに対して否定的な態度を持ち、神経症である人々は近づいてくるロボットに対して距離をとることを発見した。

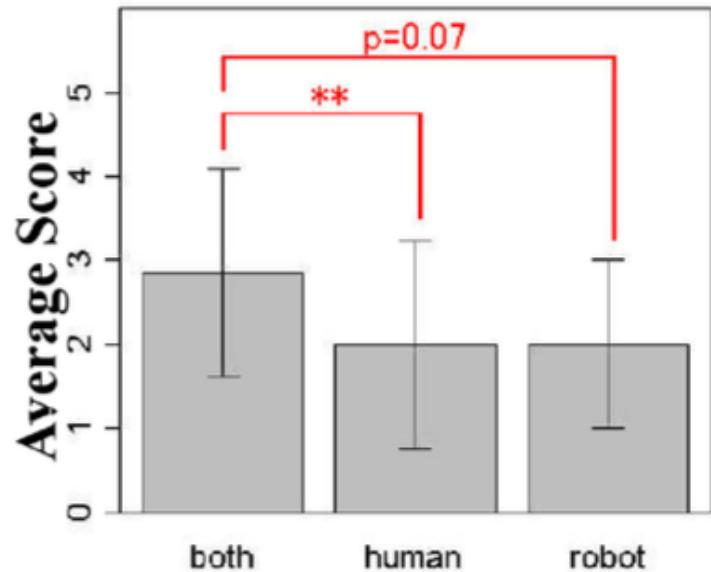


図 2.5 Score for the question, " did you feel friendliness of robot to you ? " 一自らの接近行動が  
パーソナルスペースの認知におよぼす効果より

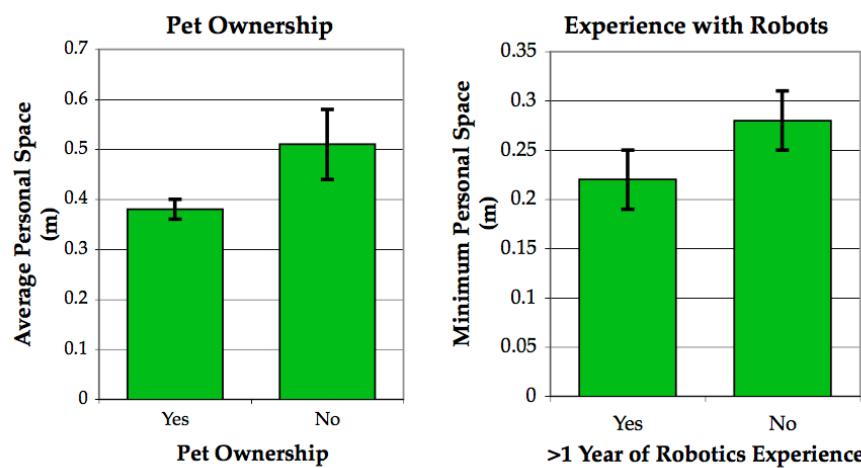


図 2.6 実験結果ー Influences on Proxemic Behaviors in Human-Robot Interaction より

## 2.2 ロボットの人への接近方法に関する研究

山口ら [24] は他の歩行者と衝突するのを避けるため、同じ方向に歩いている歩行者の後ろを追従することで、効率的に移動する方法を検証した。この方法だと、移動は可能になるが、コミュニケーションをとることが困難なため、移動のみの状況や、コミュニケーションロボットではなく、他のサービスを目的としたロボットに適応することが必要になる。

神田ら [25] のグループでの研究では、Hug, Handshake, JustLooking, という行動を、Hall の対人距離の分類に応じて、親密距離、個人距離、社会距離での行動に分類し（図 2.7），ロボットが行動を行う際に、被験者との距離を変えた。さらに、これらを強化学習を用いて相手に応じた適応的な値とした。実験の結果、こうした対話モデルが有効であることが示された。このようなシステムの場合、初対面の人への細かい対応が難しく、長期的な関係を築く際には有用だと言える。



図 2.7 距離カテゴリに応じた対話行動の例—コミュニケーションロボットと人間との距離より

Dautenhahn ら [26] は、ロボットが着座した人間の被験者に対してどのように接近すべきかを調査した。少数の女性を除いてほとんどの被験者が正面アプローチを嫌っていることを示し、ほとんどの被験者は、ロボットによる正面からのアプローチに対して全体的に好ましくなく、左または右のいずれかから接近することが好ましく感じた。利き手と職業はこれらの好みに関係していないと示した。

Satake ら [27] はショッピングモールでロボットを人に接近させ、話す方法を検証した。ロボットを人に送り、話すだけでは接近することは可能だが、会話には至らなかった。ロボットの意図が人にに対して伝わらないため、会話をすることができず、会話を始めるためには、ロボットが人との社会的距離に達することで、ロボットの対話意志を非言語的に人に伝えられることを示している。このように、ロボットが相手をきちんと認識して近づいていることが非言語的にわかると、会話にスムーズに入れることができるとわかる。

## 2.3 まとめ

ここまでで、ロボットに対する人のパーソナルスペースを決定する要因として、まずロボットに関するることは、ロボットの姿勢、速度、顔の向きがあげられる。次に人に関することは、性格、姿勢、ロボットへの慣れ具合、向きがあげられる。この性格やロボットへの慣れというデータは、事前に収集しないと組み込めないものであり、ショッピングモール等でロボットを利用する上で、使用できないデータとなる。そのため、ロボッ

トがリアルタイムでパーソナースペースを守って行動するためには、他のデータが必要となる。ロボットの人への接近システムとしては、追従型システム、機械学習を用いたシステム、接近距離を指定するシステムがあげられる。しかし、これらのシステムというのは、予めロボットと関わる人がわかっている場合や、人の対話行動がわかっている場合において利用できるものである。

これらのことから、本研究ではリアルタイムのユーザのデータを収集し、それを元にユーザのパーソナルスペースを守る、ロボット自身が間合いを測るシステムを提案する。その上で、次章では Mohammad ら [15] の実験を元に、これまでに検証されていない発話をしながらの接近や、ロボットの動きを入れた、16 パターンの接近方法を比較し、その様子を動画で撮影し、アンケート調査を行うことで、被験者の感情や動きを捉える。

## 第3章

# ロボットと人とのパーソナルスペースの検証実験

先行研究では対面状態や、左右からの接近のみであったことから、公共空間で動くロボットを想定してロボットが近づくパターンを増やし、前だけではなく横や後ろから近づく場合、ロボットが動き声を発する場合を検証した。その上で、動画やアンケート内容から感情や動きを分析することで、ロボットに対する防衛反応をみた。また、より接客や案内といった用途に用いるのに最適な大きさであり、動く事のできる Pepper を利用して実験を行った。

### 3.1 実験方法

ロボットは Pepper を利用し、ロボットから人に近づく場合と、人からロボットに近づく場合を検証する。最初の設定距離として Pepper と人の間は 4.5m とした。これはパーソナルスペースの最も外側に位置する公衆距離から始める為である。場所は慶應義塾大学 SFC のデルタ棟の廊下を用いた（図 3.1）。

ロボットから人へ近づく場合は、これ以上近づくと不安を感じる、というところで被験者にストップと言ってもらい、その距離を計測した。人からロボットへ近づく場合に関しては、被験者がロボットの前でこれ以上近づきたくないという地点で立ち止まってもらい、その地点を計測する。

近づき方とロボットの動きを各 4 パターンずつ検証した。そのパターンは以下の通りである。

#### A 近づき方

(1) 人から近づく (2) 前からロボットが近づく (3) 横からロボットが近づく (4) 後ろからロボットが近づく

#### B ロボットの動き

(1) モーションなし発話なし (2) モーションあり発話なし (3) モーションなし発話あり (4) モーションあり発話あり

A の 4 パターンと B の 4 パターンそれぞれ組み合わせて合計 16 パターンを検証した（図 3.2）。

発話としては挨拶（こんにちは、今日もいい天気ですね）とあたりさわりのない内容、モーションとしては手を振る動作を行った。この動作は Pepper が前に進む際に弊害にならないものである必要があったため、簡単な動作を用いた。当初は有線ケーブルを利用しない予定であったが、Pepper との通信状態が悪かった為、実験では Pepper を有線ケーブルに繋いだ状態で行った。

人数としては全部で 23 名行った。男性 12 名、女性 11 名であり、そのうち同研究室のメンバーは 9 名。年齢は 17 歳から 25 歳であり、身長は 147cm から 183cm、同研究室のメンバー以外は普段からロボットを扱



図 3.1 実験の様子

A 近づき方	B ロボットの動き
①人から近づく	①何もなし
②前からロボットが近づく	×
③横からロボットが近づく	②モーションあり
④後ろからロボットが近づく	③発話あり
	④モーション発話あり

図 3.2 ロボットの動きと近づき方のパターン

うことのほとんどない被験者を集めた。

## 3.2 実験結果

### 3.2.1 取得したデータ

本実験において以下の 4 つのデータを取得した

- (1) 被験者とロボットとの距離
- (2) 被験者の特徴 (ロボットへの慣れ具合, 男女, 身長)
- (3) ロボットに対する印象アンケート調査
- (4) 動画データによる被験者の様子

距離は実験内で実際に止まった距離を計測した。被験者の特徴とロボットへの印象に関しては実験後、アンケートという形で調査した。

アンケートの内容としては

- (1) ロボット（手が動いていない、話さない）に対する印象
- (2) ロボット（手が動いている、話さない）に対する印象
- (3) ロボット（手が動いていない、話す）に対する印象
- (4) ロボット（手が動いている、話す）に対する印象
- (5) あなたは普段ロボットに関わる機会があるか
- (6) ロボットに触ったことがあるか
- (7) 実験中ロボットを可愛いと思ったか
- (8) 実験中ロボットを怖いと思ったか
- (9) ロボットが自ら距離をとって行動するなら安心できるか

(1) から (4) を可愛いから怖いまでの 7 段階で、(5)(6) をよくあるから全くないまでの 4 段階で、(7) から

(9) をとてもそう思った、少しそう思った、全く思わなかったの 3 段階で記述してもらった。

他には普段ロボットに関わる機会があるかどうか、ロボットに触ったことがあるかどうか、実験中にロボットをかわいい又は怖いと思ったかどうか、他自由記述で気付いた点を記入してもらった。動画データは、実験中の被験者の様子をカメラで撮影し、ストップという際の様子や、ロボットが近づいてくるときにどの行動を分析した。

### 3.2.2 距離による検証

A の近づき方のパターンの中では人から近づく場合の次に女性の場合は前から近づく場合、男性の場合は横から近づく場合が距離を縮めやすいことがわかった。B のロボットの動きに関しては、人から近づく場合と前からロボットが近づく場合において、男女ともに何もしないで近づく場合が最も距離を縮めやすかった（図 3.3）。

これはモーションや発話があることで会話をしやすい位置まで下がろうとしていたことが要因と考えられる。女性に関しては横からや後ろから近づく場合には発話が近づくのに有効であり、男性の場合は横から近づく場合発話によって距離を縮めることができる（図 3.4）。

これは、ロボットが動く際のモーター音が発話によって緩和されたことや、小さな子供のように見えたことが大きく影響していると考えられる。しかし、男性の場合は後ろからの場合はそもそも抵抗感が強く、すぐにストップと言う人が多く、どのような方法でも距離を縮めることができなかった。全パターンにおいて女性のほうがロボットに対して距離を詰めやすく、男女のロボットに対する印象の違いが大きいと考えられる。同研究室のメンバーとそうでない人を比較した場合、ロボットへの慣れによって距離を縮めることができた。その上で慣れてない人に対してのロボットの発話は効果的であることがわかった。ロボットを普段から見ている人にとっては、今回の実験での動きが不自然に見えたため、かえって何もしていないときのほうが距離を縮めやすかった。（図 3.5）

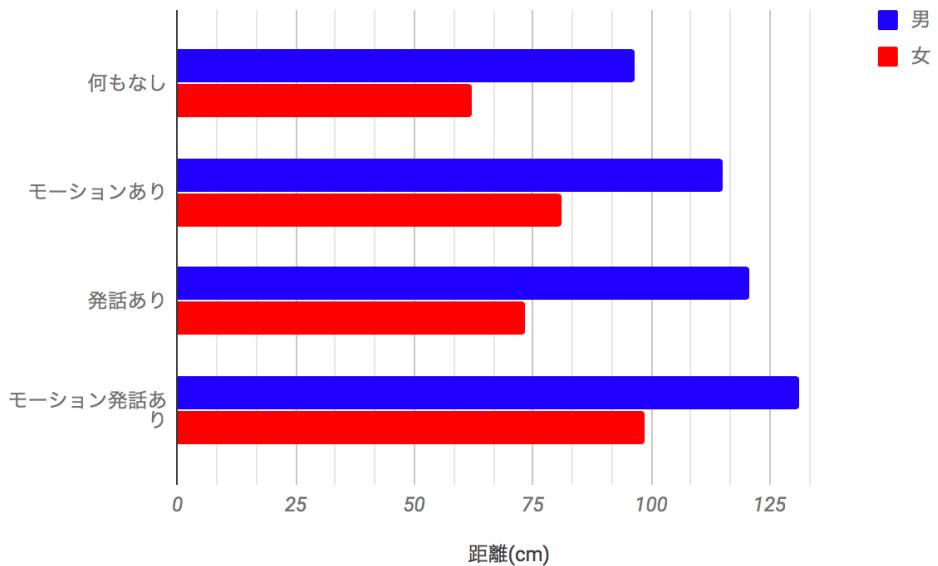


図 3.3 人から近づく場合

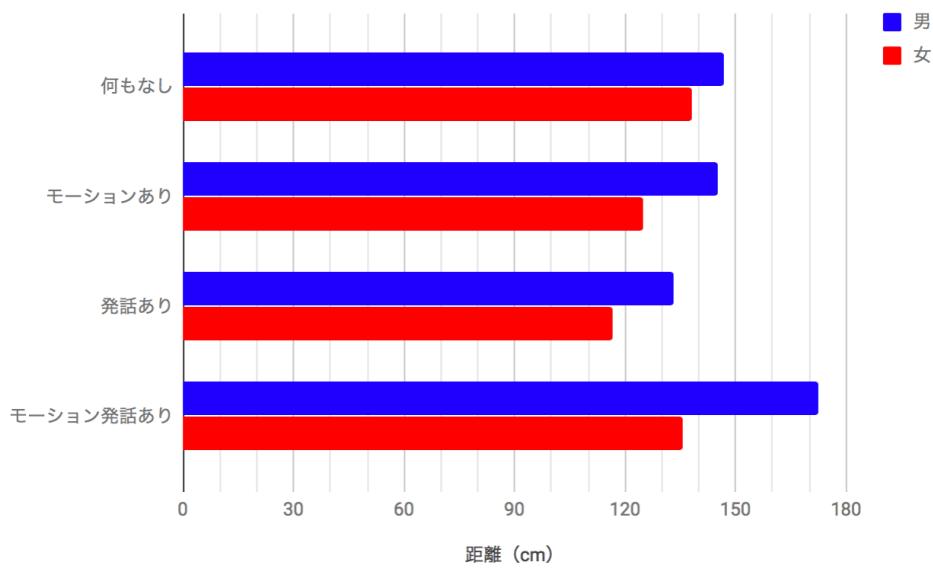


図 3.4 横からロボットが近づいた場合

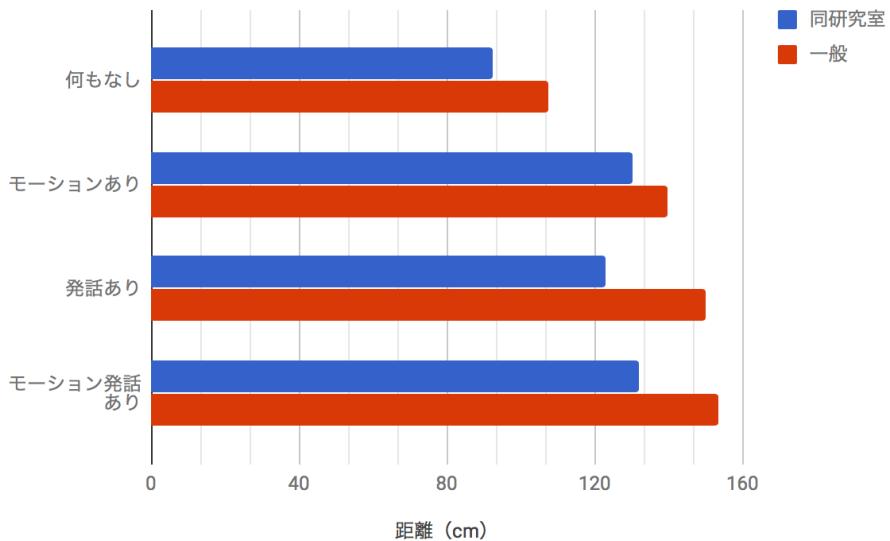


図 3.5 前からロボットが近づいた場合

### 3.2.3 動画による検証

実験中の被験者の様子を動画で撮影し、観察した。ロボットが前から近づく場合、ストップを言うタイミングで手を前に出す被験者が多く見られた。同様の反応が横から、後ろから近づく場合にも見られたが、この2つの場合に関しては視線の動きにも特徴があった。最初はちらちらと振り返ってロボットの方を見るが(図3.6)、距離が近づくと凝視し始めまもなくストップと言ることがわかった。また、ストップと言った距離からロボットが少し近づこうとすると、後ずさったり、手を前に出して防御する行動がみられた。ロボットが近づいている間は無表情であったり、笑顔でみているが、ストップと言った距離以上に近づこうとすると、口を大きく開けた驚いた表情をしたり、焦った様子が記録されていた。ロボットに対してパーソナルスペースがとても小さい人に関しては、終始笑顔で見ていたが、とても大きい人に関しては、最初からこわばった表情であった。

### 3.2.4 アンケート結果

アンケートによって同研究室のメンバー以外でロボットに関わる機会が多い人はいないことがわかった。街頭や店頭でみかけたことはあるが、触れたことはない、短時間でのふれあいはあるが、長期間でのふれあいはないといった人が多かった。普段からロボットを扱う状況でないと、まだロボットは馴染みの薄いものであるだろう。

また、本実験は感覚的な点が多い為、アンケート調査で、どのような時にロボットに対して可愛さ、怖さを感じたか、また気付いた点を回答してもらった。可愛さを感じた点については、目線が合った瞬間や自分を認識しているという感じがした時に安心すると感じる、という意見が得られた。怖さを感じた点については、止まるかどうかがわからない為に不安である、目線が外れた時に怖さを感じたとあった。他には同研究室のメンバーからは普段見ている Pepper と異なる動きをしていたのが不自然に感じた、移動にあたってのモーター音



図 3.6 実験の様子

が発話によって緩和されたとの意見があった。女性に関して多かった意見は、発話したり動きがあることで可愛らしく見えて不安が少し解消された、というものだった。それに対して男性からは発話したりしてもロボットがしていることなので返って怖さを感じる、不自然である、という意見があった。面白い意見としては、ロボットが上手く動かなかったり、進む方向が曲がってしまった際に可愛さを感じて印象が上がった、という意見がいくつかあった。

多くあった意見としては、近くまで来た時に何をされるか気になって身構えてしまう、ぶつかったりしないか怖い、ロボットがどのような動きをするのか予測できないので安心できないという意見である。これらに関しては、ロボットがきちんと止まり、近くまでより過ぎないこと、ぶつからないことをロボットが示すことで解消できるだろう。

### 3.3 考察

#### 3.3.1 ロボットに対する人のパーソナルスペース

実験により得たデータの平均値から、ロボットに対しても人に対してのパーソナルスペースと同じような形状であると言える（図3.7）。特に男性の場合は人に対して同じように縦に長いパーソナルスペースがロボットに対してもあることがわかった。また、ロボットに対する慣れ具合、ロボットへの印象がパーソナルスペースを小さくする大きな要因となる。

#### 3.3.2 ロボットに対する印象

ロボットが人に近づく上で距離を縮めるには安心感が大切になり、ロボットがどのような動きをするのか人が判断できることが安心感につながることがわかった。例えば止まるかどうかがロボットの動きでわかつたり、次の動きが読めることが必要だ。そして、人を認識して動いているということが伝わることが重要である。発話は女性に対して距離を縮めるのに有効である。これは、女性の方が発話や動きによって愛着を感じや

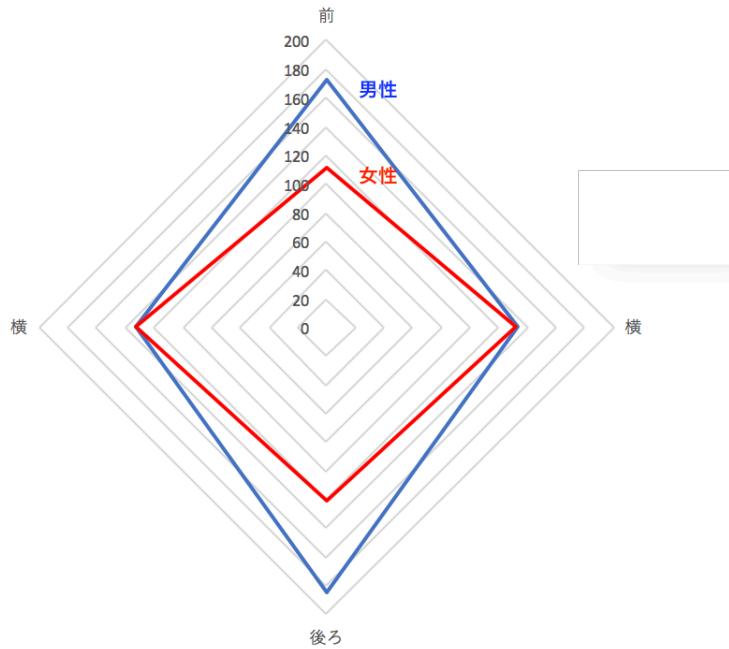


図 3.7 ロボットに対する男女のパーソナルスペースの形

すいというアンケート結果が影響していると考える。ロボットに対して可愛さ、怖さを感じたところでどちらにも人っぽさを感じたから、とあったが、ロボットが人らしい動きをすることに対して可愛さを感じる人と、逆に不気味さや無機質さを感じる人がおり、もともとのロボットに対する印象や、それまでのロボットとの関わりが大きく影響していると考えられる。また、ロボットが上手く動かないことに対して小さな子供のような感覚になり可愛さを感じて印象が上がったことから、ロボットがスムーズに的確に動くという方法だけではなく、かえって上手くできない状態にあることで愛着を感じさせる可能性がある。

### 3.3.3 被験者の様子

被験者が実験中に見せた中で後ずさる、手を前に出すなどの防衛反応や、驚きや恐怖といった表情の変化が見られた。これらは、全てに被験者に対し見られ、特にロボットへの慣れが少ない被験者には多く見られた。これは、パーソナルスペースを侵されたという意識から出たものだろう。また、ロボットに対して小さなパーソナルスペースをとった人に関しては笑顔でいることが多かったことから、ロボットに対し笑顔を向いている人に関しては、ロボットは近づくことが可能だと考えられる。このことから、被験者が見せた様子の変化を捉えた動きをロボットがすることで、パーソナルスペースを守っている動きをしていると捉えることができ、ロボットへの印象が上がり、安心感が生まれると考えられる。

### 3.4 まとめ

本章では、先行研究にないパターンの実験を行ない、距離、動画分析、アンケートから検証した。これらのことから、ロボットが近づくまでの防衛反応として、表情がこわばったり、後ろに後退するという行為がみられた。また、ロボットの動きとして、ユーザを認識して動いていることを示すことで、ロボットがユーザにより過ぎずにぶつからないこと、ロボットがきちんと止まるることを示すことでロボットに対して安心することができることがわかった。これらのこと踏まえ、次章では間合いシステムについて述べる。

## 第4章

# ユーザの反応を考慮した間合い生成機構とその評価

間合いというものは自分と相手との距離や、動作をするのに適當なころあいのことを言い、パーソナルスペースと深く結びついている。相手のパーソナルスペースを考慮して動くことで間合いをはかることができ、動作のタイミングが相手に合っていることで、適切な間合いを構築できる。適切な間合いを構築することで、相手に対する安心感が増し、より円滑なコミュニケーションが可能になる。そのため、本章では公共空間にいる初対面のロボットを想定し、前章で述べたリアルタイムの人のデータとロボットの動き方を利用した間合いシステムを提案し、評価実験について述べる。評価実験の目的は、ロボットが間合いをはかった場合の、ユーザのロボットに対する心理的変化を観察することと、ロボットの間合いのとり方として、どのような方法が効果的なのかを探ることである。

### 4.1 システム概要

前章で得たロボットに対する印象や被験者の様子から、ロボットがユーザの行動や表情に合わせて行動することで、より良い印象や安心感を与えることができるという考察から、リアルタイムのユーザの様子を捉えて、ユーザのタイミングに合わせてロボットが行動することで、適切な間合いを生成できると考えた。そこで本研究では、ユーザの表情や行動を読み取り続け、ユーザのロボットに対する感情を判断し、それに応じた間合いをとる。ユーザは利用することで、特にロボットとの初対面の場面で対話しやすい距離をロボットが構築することができ、より安心してロボットと関わることができると考える。

#### 4.1.1 想定するユーザ

本研究で想定するユーザは、ロボットと初対面のユーザである。主に、ショッピングセンターや、学校といった公共空間で利用され、かつロボットがユーザとコミュニケーションをとる場面を想定している。そういう場面においては、より汎用性が高く、相手のリアルタイムの様子に合わせたシステムが必要となる。

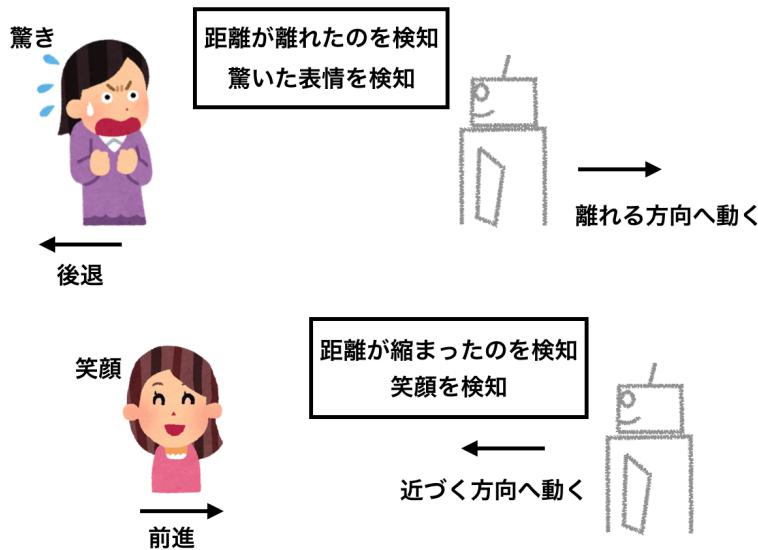


図 4.1 システムイメージ図

#### 4.1.2 アプローチ

検証実験を踏まえ、ユーザの表情認識や行動を読み取り、ロボットの行動に反映させる。システムの動作概要是次の通りである。

1. ユーザとロボットとの距離を検出する
2. ユーザの表情を検出し、識別する
3. 取得したユーザの表情と現在のユーザとロボットとの距離からロボットの動きを決定する
4. 決定した動きをロボットが受けとり、適切なアクションを実行する

ロボットにはヒューマノイド型ロボット Pepper を用い、距離の検出には Pepper のソナーセンサ、表情検出には web カメラと Affectiva の AffdexMe を使用した。表情のデータは RaspberryPi 内で処理し、距離データと表情データを Pepper の動きとして反映させる。

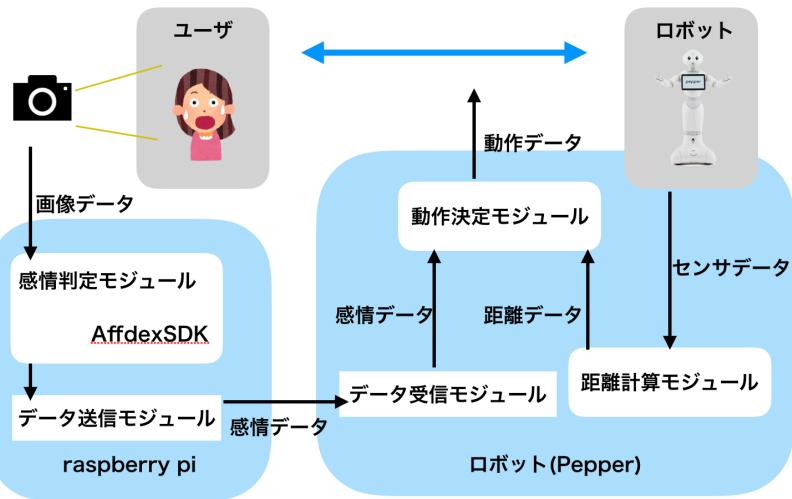


図 4.2 システム構成図

## 4.2 設計と実装

本研究が提案する間合いシステムは、ユーザがロボットに近づいていくときのユーザとロボットの間の距離と、ユーザの表情を読み込み、それらのデータを元にロボットがユーザに対してとる距離を決定するものである。このシステムにおいては、ユーザがロボットに近づいている間、または正の感情（joy）で接した場合に関し、ロボットが間合いを詰める動きをし、ユーザから離れようとする間、または負の感情（disgust, fear, sadness, anger, surprise）で接した場合にロボットが間合いをとる動きをすることとした。そのため、ユーザの動きが止まるまで、ロボットもともに動き、ユーザが間合いを決定すると、ロボットもともに止まることとなる。

### 4.2.1 表情認識

Affectiva の AffdexMe を利用し、RaspberryPi 内で joy, disgust, fear, sadness, anger, surprise の感情の割合を求めた。それらを OSC 通信により Pepper 内に送信し（図 4.3），その値により動作を決定した。今回の実装では、事前に実験を想定して感情の割合を確認し、それを元に暫定的に joy においては 5 より大きかった場合に前進、disgust, fear, sadness, anger, surprise においては 10 より大きかった場合に後退というようにロボットが動くように調節した。

### 4.2.2 距離認識

Pepper のソナーセンサを利用し、距離の値を取得した。その値から Pepper の動いた距離を除き、前の距離の値との大小を比較し、大きい場合はユーザが離れる動きを、小さい場合は近づいたと判定する。その判定にもとづき、ユーザの接近と後退に合わせて、ロボットも接近、後退をし、ユーザが止まったところでロボットも静止するようにした。

```
image result
joy:0.00407088
fear:0.00346062
sadness:0.0171639
anger:0.0143695
disgust:0.267196
surprise:0.197404
```

40

sended

```
image result
joy:0.00502566
fear:0.00319576
sadness:0.0156323
anger:0.0335309
disgust:0.243309
surprise:0.197408
```

40

図 4.3 Affectiva の AffdexMe を利用し表情から読み取った感情の割合

```
import time
class MyClass(GeneratedClass):
    def __init__(self):
        GeneratedClass.__init__(self)
        self.memory = ALProxy("ALMemory")
        self.data = [1,1,1,1,5,1,1,1,1,1]
    def onLoad(self):
        self.flug = True
    def onUnload(self):
        self.flug = False
    def onInput.onStart(self):
        while self.flug:
            front_sonar = self.memory.getData("Device/SubDeviceList/Platform/Front/Sonar/Sensor/Value")
            del self.data[0]
            self.data.append(front_sonar)
            data1 = self.data[4]
            data2 = self.data[9]
            if data1 > data2+0.1:
                t=1
                self.foutput(t)
            elif data1 < data2-0.1:
                t=2
                self.foutput(t)
            self.logger.info("front_sonar:%s", str(front_sonar))
            time.sleep(0.1)
    def onInput.onStop(self):
        self.onUnload() #it is recommended to reuse the clean-up as the box is stopped
        self.onStopped() #activate the output of the box
```

図 4.4 ソースコード（距離認識）

## 4.3 評価実験

本節では評価実験について述べる。本実験の目的は、ロボットが間合いをはかった場合の、ユーザのロボットに対する心理的変化を観察することと、ロボットの間合いのとり方として、どのような方法が効果的なのかを探ることである。

### 4.3.1 実験の概要

本評価実験における被験者は、大学研究室内の学生及び、同大学内の他研究室の学生 20 人（男性 10 人及び女性 10 人、年齢 18 から 26 歳）である。研究室内の学生は普段からロボットに触れており、他研究室の学生は普段ロボットと関わる機会はあまりない被験者を集めた。被験者とロボットに相互に近づき合ってもらい、被験者がロボットに対し、これ以上近づいてほしくない、これ以上近づくと不快を感じる、という距離を保ってもらった。被験者とロボットの最初の距離は 4.5 m とした、これは、3 章で述べた検証実験で設定した距離と同じであり、検証実験において適当な距離であったためである。場所は、慶應義塾大学 SFC デルタ棟キッチンを利用した。検証実験のときは廊下を利用したが、時間帯によって明るさが異なっていたため、場所を変更して行うこととした。

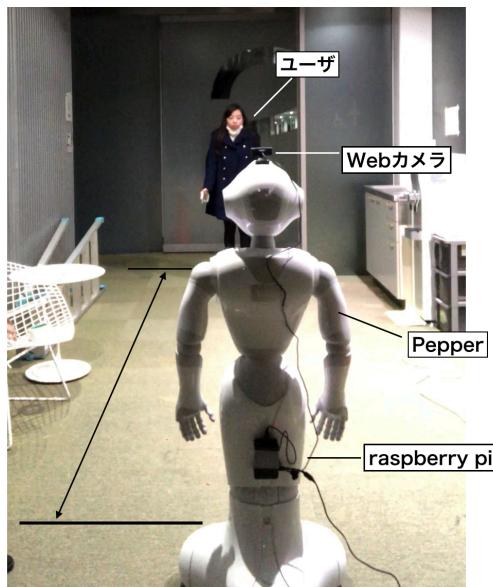


図 4.5 実験環境

### 4.3.2 実験手順

実験手順として、以下の 3 つの方法を考えた。

1. ロボットと被験者が近づき合い、被験者が不快に感じたところでストップと言ってもらい、その地点を計測する。
2. 30 秒間ロボットと被験者に近づき合ってもらい、30 秒間たったところで、被験者にとって心地よい距

離を計測する。

3. 1分間ロボットと被験者に近づき合ってもらい、1分間たったところで、被験者にとって心地よい距離を計測する。

事前に3つの方法で実験し、システムが動き、かつ被験者が距離を取りやすい方法が2つ目のパターンであったため、2の方法で実験を行うこととした。実験パターンとしては、全14パターンあり、ロボットの近づく速度と離れる速度において速い遅いの2パターン、表情認識ありなしの2パターン、距離検知ありなし2パターンで行った。ロボットの速さに関しては近づく速度が遅いほうがパーソナルスペースを小さくしやすいことがわかっているが、離れる速度に関しては論じられていないので、これらのパターンで実験を行う。速さの設定は、ロボットが無理なく動け、被験者に速さが変わったことがわかるように速い速度を0.2m/s、遅い速度を0.1m/sとした。すべてのパターンを、被験者によってランダムに行ない、実験を行っていく上のロボットへの慣れを緩和した。

パターンの詳細は表（図4.6）で解説する。以下、この表に対応する番号でパターンを識別する。

	距離システム	表情認識システム	近づく速さ	離れる速さ
1	×	×	速い	
2	○	×	速い	速い
3	×	○	速い	速い
4	○	○	速い	速い
5	×	×	遅い	
6	○	×	遅い	遅い
7	×	○	遅い	遅い
8	○	○	遅い	遅い
9	○	×	速い	遅い
10	×	○	速い	遅い
11	○	○	速い	遅い
12	○	×	遅い	遅い
13	×	○	遅い	遅い
14	○	○	遅い	遅い

図4.6 実験パターン

#### 4.3.3 取得したデータ

本実験において以下の4つのデータを取得した

- (1) 被験者とロボットとの距離
- (2) 被験者の特徴
- (3) ロボットに対する印象アンケート調査
- (4) 動画データによる被験者の様子

### 被験者とロボットの距離

全 14 パターンの各パターンにおいて、30 秒間インタラクションをしてもらったあと、ロボットと被験者の間の距離を測った。これらを集計し、システムにより距離に変化が出るのか検討する。

### 被験者の特徴

実験前に被験者に以下の項目について回答して貰った。

- (1) 年齢
- (2) 性別
- (3) 身長
- (4) 普段ロボットに触れる機会はどのくらいあるか
- (5) パーソナルスペースという言葉について知っているか

### ロボットに対する印象アンケート調査

全 14 パターンの実験の各 1 パターンずつに以下の項目について、全くそう思わないからとてもそう思うまでの 7 段階で回答して貰った。

- (1) ロボットに近づきやすいと思いましたか
- (2) ロボットは賢いと思いましたか
- (3) ロボットは考えて行動しているように思いましたか
- (4) 安心してロボットと関わられましたか
- (5) ロボットは自分のパーソナルスペースを守っていると思いますか

また、各パターンにおいて気づいたことを任意に回答してもらった。実験終了後、ロボットがパーソナルスペースを考えて行動することは必要か、ロボットにパーソナルスペースが必要だと思うか、と言う点について 7 段階で回答してもらった。

### 動画データによる被験者の様子

実験場所に、被験者の様子と、ロボットの前後に動いた回数を記録するためにカメラを設置し、撮影した動画を ELAN (図 4.7) を用いて分析した。

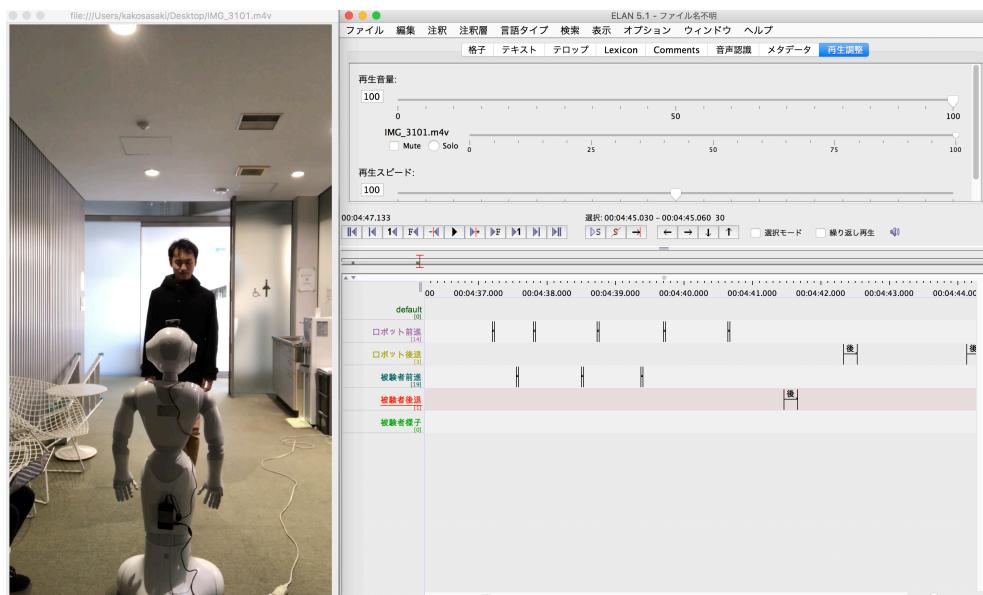


図 4.7 ELAN

## 4.4 実験結果の分析

本節では、被験者とロボットの距離、アンケート、動画データの結果をまとめ、分析を行う。

### 4.4.1 被験者とロボットの距離

被験者全体をみてみると被験者とロボットとの距離は、システムによって縮まることはなかった。グラフ(図 4.8)からわかるように、システムを利用した場合に関しては、男性より女性のほうが距離を短くすることがわかった。また、全体を通して、パーソナルスペースの個体距離と呼ばれる 45 から 120cm の間の距離をとることがわかっている。ロボットへの慣れに関しては、この実験において、システムを利用した場合 9 パターンにおいて距離を縮める要因となった(図 4.9)が、平均値を見るだけではこの結果について論じることはできない。これは、ロボットに触れる機会がよくあると回答した被験者に女性が少なく、あまりないと回答した被験者に女性が多いため、男女による違いが影響している可能性があるためである。

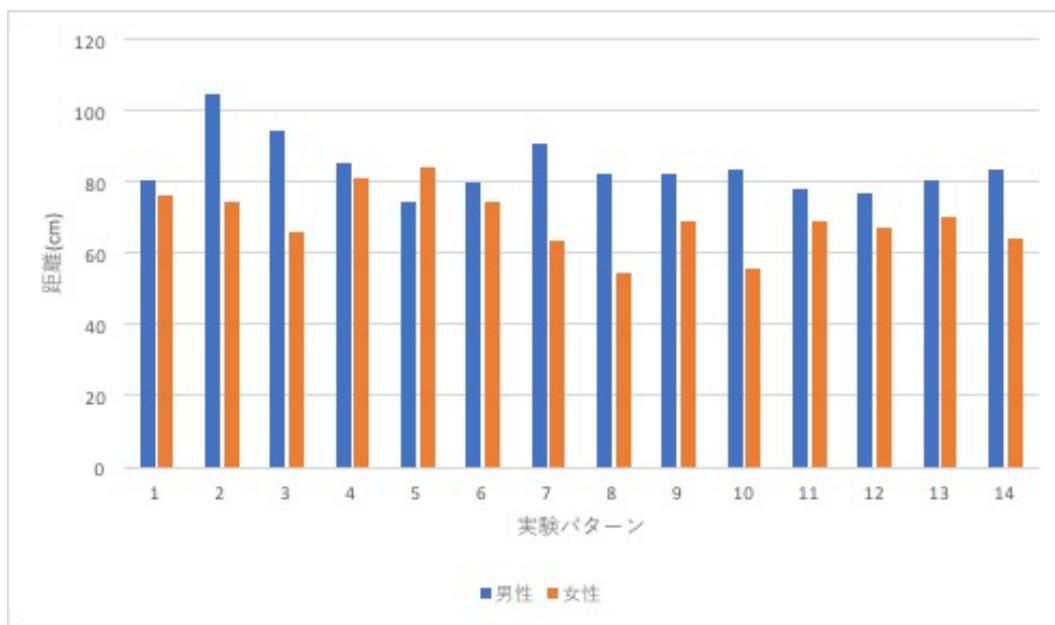


図 4.8 距離における男女比較

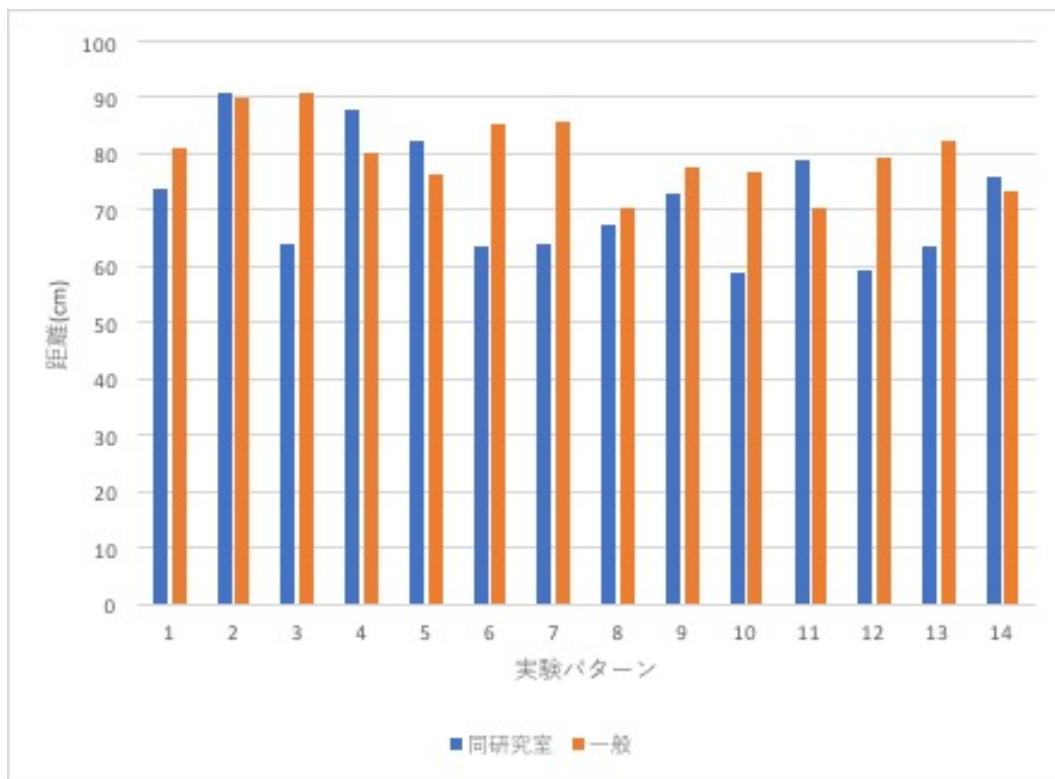


図 4.9 距離におけるロボットへの慣れ具合の比較

#### 4.4.2 ロボットに対する印象アンケート調査

##### ロボットに近づきやすいと思いましたか

近づきやすさにおいて、最も高い平均値を出したのはパターン 12 である。これは、近づく過程においてゆっくり近づいていったため、被験者が距離を取りやすく、かつ後退する速さが速いことで、ユーザの動きに反応して離れたことが明確にユーザに伝わったからだと考えられる。パターン 2 に対しては、間合いシステムを利用した他のパターンはすべて有意差があり、( $p < .05$ ) 近づきやすさがない。パターン 2 において、距離認識システムのみで動いている場合、ユーザの動きに過敏に反応し、かつ動きが速いことで、圧迫感を与えたためと考えられる。

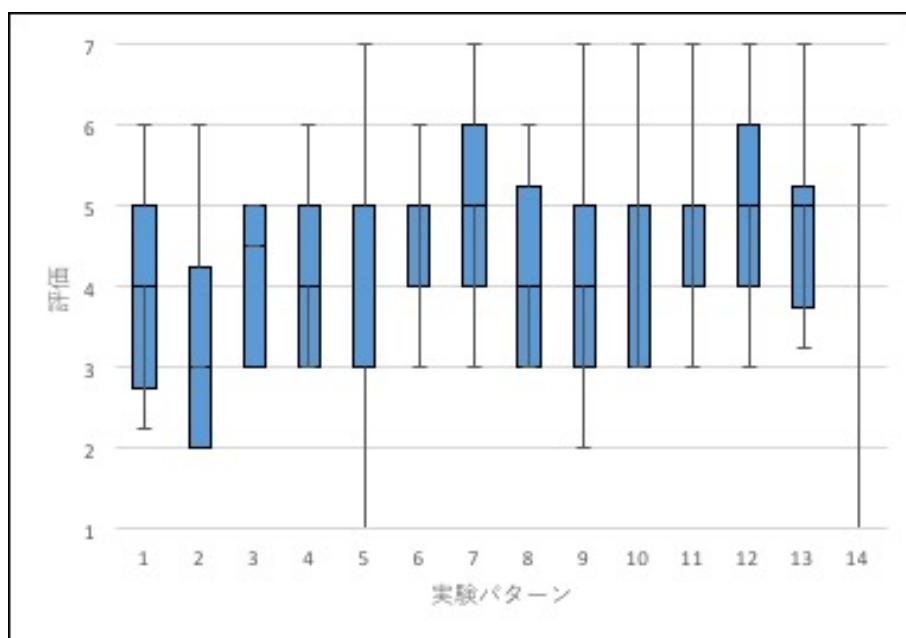


図 4.10 ロボットに近づきやすいと思いましたか

##### ロボットは賢いと思いましたか

賢さにおいて、パターン 11 が最も平均値が高くなった。また、パターン 4 と 8 と比較して 11 には有意差が認められた ( $p < .05$ )。パターン 11 においては、前進する速さに比べ後退する速さが遅いため、微調整している印象を与えたためだと考えられる。パターン 14 においては、後退する速さが速く、調節がうまくできていない印象を持った被験者もいたため、この項目においてはパターン 11 のほうが評価が高かった。間合いシステムありとなしを比較すると、システムありの方が評価が高い結果となった。

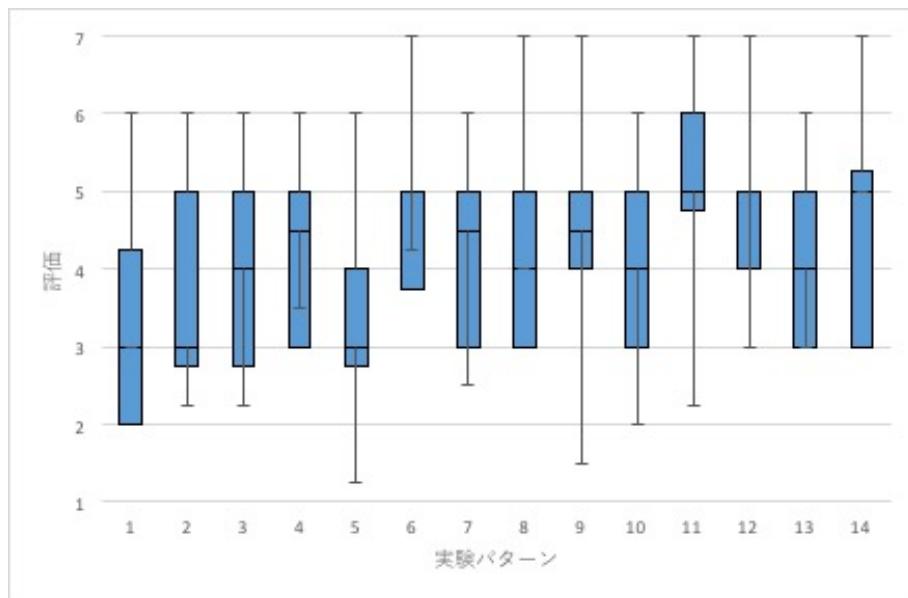


図 4.11 ロボットは賢いと思いましたか

#### ロボットは考えて行動しているように思いましたか

この項目において、パターン 1 とパターン 5 のシステムを利用していないものと、他のパターンのシステムを利用しているものでは有意差が認められた ( $p < .05$ ). このことから、間合いシステムはユーザにとってロボットが考えて行動しているように見える事がわかる. また、パターン 2 とパターン 6 に対してパターン 12 が、パターン 4 とパターン 8 に対してパターン 14 に有意差が認められた ( $p < .05$ ). これにより近づくときは速さが遅く、離れるときは速く離れるパターンが考えているように見えることがわかった.

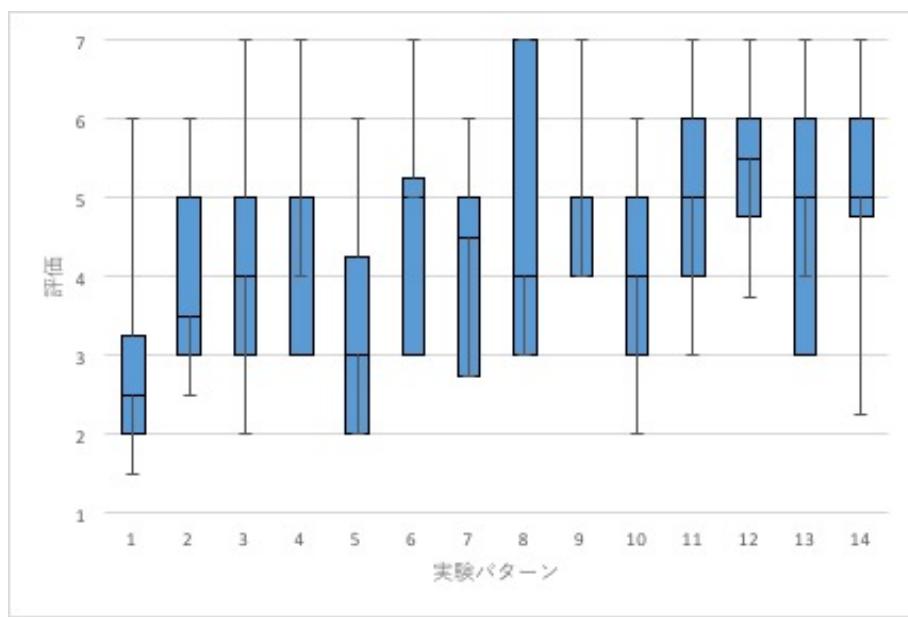


図 4.12 ロボットは考えて行動しているように思いましたか

### 安心してロボットと関わされましたか

パターン 12 が最も高い平均値であり、次にパターン 14 という結果になった。この項目においても、他のパターン 1 と、パターン 2 を除くシステムを利用しているものではシステムを利用しているものの方が評価が高く、有意差が認められた ( $p < .05$ )。パターン 4, 8 と比較して、パターン 14 に有意差があり ( $p < .05$ )、かつパターン 9 と比較してパターン 12 に有意差があった ( $p < .01$ ) ことから、前進と後退の速度が場合に比べて、前進が遅く、後退が速い場合、安心感が生まれる結果となった。

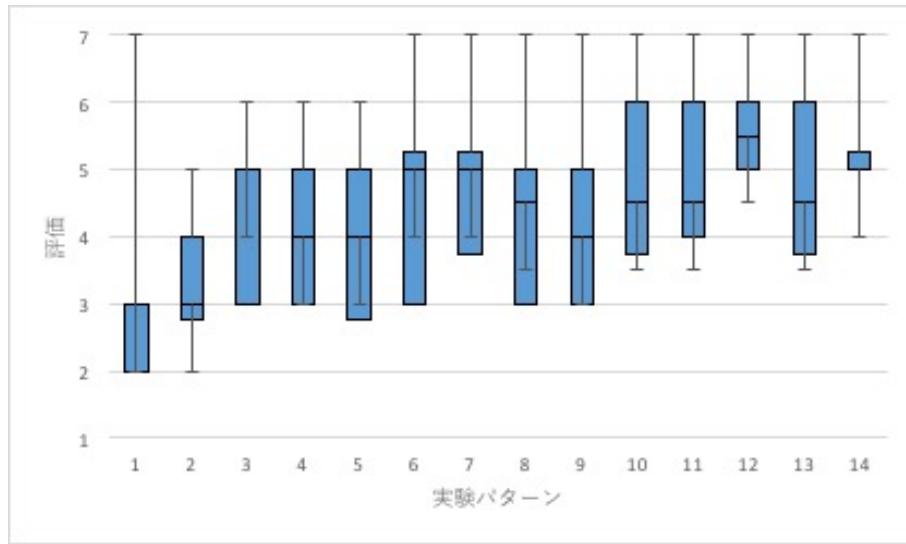


図 4.13 安心してロボットと関わされましたか

### ロボットは自分のパーソナルスペースを守っていると思いますか

この項目に関して最も高い平均値を出したのはパターン 14 である。他の 4 つの項目と比較し、表情認識システムを用いたものに関する評価が高かったのが特徴的である。感情に伴った動きを起こしていたため、パーソナルスペースを守っている印象を与えたと思われる。また、この項目においても、間合いシステムありとなしを比較すると、システムありの方が評価が高い結果となり、システムありのすべてのパターンにおいて有意差が認められた ( $p < .01$ )。

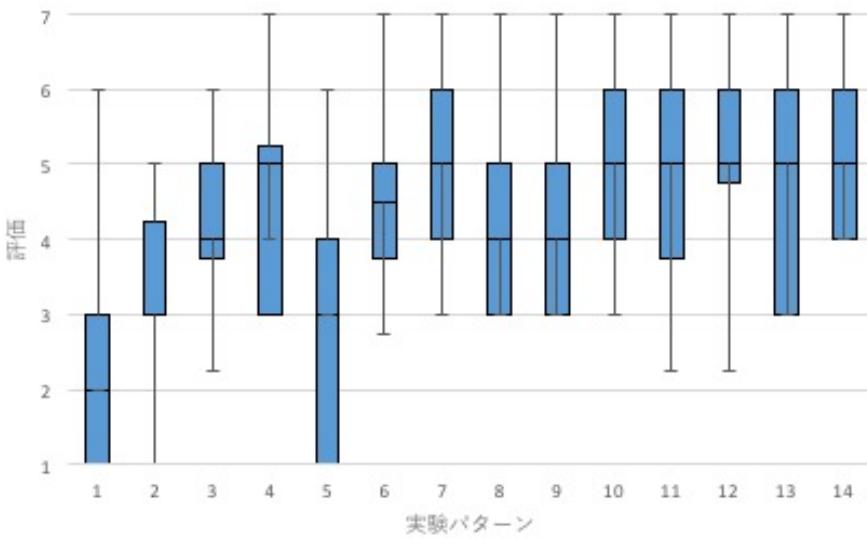


図 4.14 ロボットは自分のパーソナルスペースを守っていると思いますか

#### 4.4.3 動画データによる分析

動画データにおいてシステムを利用したものに関してロボットの動きをカウントした（図 4.15）。ロボットの動く速さにおける回数の違いはあまり見られなかった。表情認識システムにおいてロボットの動きが少るのは、カメラで被験者の表情を捉えられる距離が短いため、その距離まで被験者が近づかないシステムが利用できないためである。そのため、ロボットに対し距離を大きくとる被験者に対しては、表情認識システムだけではロボットはほとんど動くことができなかった。

パターン 1 や 5 に対しては、手を前に出したり（図 4.16），周りを見渡すなどの動作が見られ、大きく距離をとる被験者が多かった。ロボットをなだめたり、どうしたのと声を掛ける行為も見られた。

ロボットが近づくことに対し、被験者は笑顔（図 4.17）や驚き（図 4.18）の表情をし、それらを読み取り動くことができた。しかし、被験者が近づいてくるロボットに対し、驚きのあまり思わず笑ってしまい更に近づいてくる場面や、離れたロボットに対し驚き、さらに距離をとってしまう場面が見られた。表情認識システムに関しては、このシステムだけで動かしてしまうと、こういった誤認識が生じてしまうため、距離認識システムと一緒に動かすことで、誤認識を減らすことができていた。3 章で述べた検証実験においては、ロボットの動きが一定であったため、被験者にとってロボットの動きが予測しやすく、次にどのように動くのかという不安要素がほとんどなかったが、今回の実験においては次にどのように動くのか、なぜそのように動いているのか認識するのが難しいため、被験者が検証実験の時と同じような反応をするのではなく、ロボットが次にどのように動くのか興味を持って笑顔でみていたり、不安から怪訝な表情でみていたりと、複雑な表情変化がみられた。

動画の中で大きく異なるのは、ロボットへの慣れによるロボットへの近づき方である。ロボットに慣れている被験者は、ロボットに対し近づく速度が速く、逆に不慣れな被験者は、ロボットの様子をうかがいながらゆっくり近づいていた。これに関しては、アンケートから、ロボットのシステム上近づかないときちんと認識

	2	3	4
前進	4.70	0.80	4.70
後退	2.90	0.80	3.05
合計	7.60	2.00	7.75
	6	7	8
前進	5.45	0.55	6.90
後退	1.80	1.25	2.50
合計	7.25	1.80	9.40
	9	10	11
前進	4.90	0.25	5.10
後退	2.10	1.35	2.55
合計	7.00	1.60	7.65
	12	13	14
前進	4.90	0.65	5.25
後退	1.95	1.25	3.30
合計	6.85	1.9	8.55

図 4.15 ロボットの動いた回数

されない気がしたため近づいたとの記述があったことから、ロボットのことを知っているために、近づく必要性を感じ、近づくために速度が速くなったものと考えられる。



図 4.16 被験者の様子（動作）

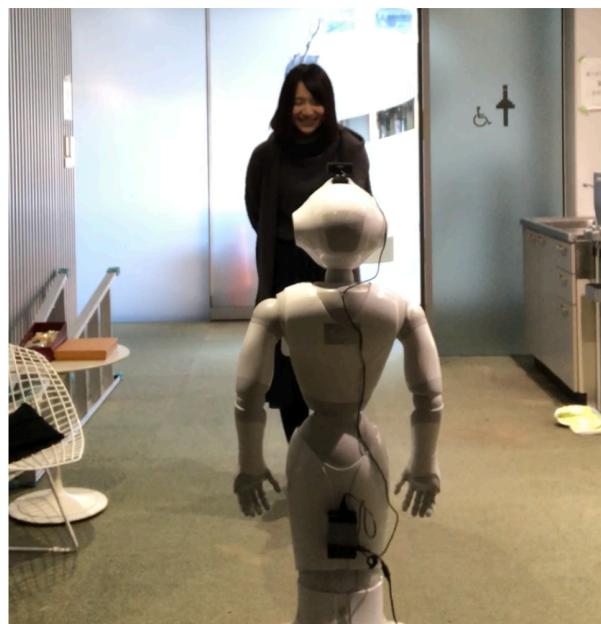


図 4.17 被験者の様子（笑顔）



図 4.18 被験者の様子（驚き）

## 4.5 考察

間合いシステムありとなしを比較した場合、すべての項目において、パターン2を除きシステムありのほうが評価が高い結果となった。このことから、システムを利用することで、ユーザはロボットに対し自分をきちんと認識していると捉えることができ、安心感を得ることができると言える。パターン2に関しては、ロボットが前後に動く動きが激しく、かえってユーザに不安感を与えててしまった。しかし、パターン4においてはシステムの評価の方が高かったため、距離認識システムだけではなく、表情認識システムを組み合わせることで、よりユーザにとって自身のパーソナルスペースを守っていると感じられるようになると考えられる。

他パターンと比較して特にパターン12、14に関して評価が高かった。関連研究から、ロボットの速さが遅いほうがパーソナルスペースを小さくし易いという結果があったため、前進と後退どちらも速度が遅いほうが評価が高くなると予測していたが、後退に関しては速度が速いほうが評価が高くなかった。これは、ゆっくり近づくことでユーザを圧迫せず近づくことができ、かつ後退する場合は速く後退することで、ユーザの動きに反応して後退したことが明確にわかるため、ユーザに安心感を与えられるからだと考えられる。

本システムにおいて、被験者全体を見てみると、間合いをとる行為はユーザとの距離を縮める要因にはならなかったが、これには2つの原因が考えられる。1つめの点としては、今回の実験の中で、ロボットに対するパーソナルスペースがすべてにおいて50cm以下の被験者が3分の1程度おり、システムを利用して差が出るほど間合いを詰められなかったという点である。2つめの点としては、ロボットに意図を感じた、という点である。アンケートからロボットが距離をとりたそうにしているように見える、という記述があり、ロボットが考えて動いているようにみえることで、距離を詰められたくないのかもしれない、ととらえられたために逆

に距離をとる方向に動いたと考えられる。

表情認識システムに関しては、それだけで動かすとロボットが動ける範囲が狭まってしまうため、あまり動かす必要性のないコミュニケーションロボットに対しては利用可能かもしれないが、動き回るロボットには適用できない。しかし、距離認識システムと組み合わせることによって、ユーザにとって自身のパーソナルスペースを守っていると感じられるようになるため、苦笑いなどの感情にそぐわない表情を読み取る事ができれば、より精度の高いシステムとして利用できる。

距離認識システムに関しては、ロボットが前進する速度が速い場合において、被験者の動き方によってロボットが交互に前進と後退をすることが多くなり、不信感を覚えて距離を大きくとったり、ロボットが後退することに関して避けられている印象を受けてしまう被験者がいた。その点、前進する速度が遅い場合には交互に前進と後退をすることが少なくなり、動きに一貫性が生まれ、高評価に繋がった。また、被験者の動きにすべて合わせるのではなく、ロボットが間合いをとる上で動く回数を制限したり、被験者の近づく速さや表情の変化を考慮したシステムにすることで、より制御された動きになり、好感度が増すと考えられる。

## 4.6 まとめ

本章では表情判断と距離判断による間合いシステムの評価実験を行った。実験の結果、間合いシステムはユーザに対し安心感とパーソナルスペースが守られているという感覚を与えることができたと言える。また、間合いをとる上でのロボットの前進と後退の速さは同じにするのではなく、前進に対して後退のほうが速いほうが良い印象を与えることが明らかになった。今後は、距離認識システムと表情認識システムの精度の向上と、1対1ではなく、複数人いた場合におけるシステムの開発などが求められる。次章においては本研究のまとめと今後の展望について述べる。

# 第5章

## 結論

本章では、本論文のまとめと間合いシステムの課題、今後の展望について述べる。

### 5.1 本論文のまとめ

サービスロボットが一般的に利用される用になってきた今、自律移動できる機能を備えていても固定した場所で作業をしたり、サービスを提供したりするロボットが多い。こうした移動機能を活用できないロボットが多い中、ロボットに対する不安を感じる人はまだ多く、安心してロボットを利用でき、人を脅かさない、受け入れられるロボットのシステムの必要性が出てきた。その上で、ロボットが人のパーソナルスペースを侵さないことは、対人のコミュニケーションと同様に重要なことである。

ロボットと人のパーソナルスペースに関する研究は、大きく分けて2つあり、ロボットが人に対してどのくらい接近できるかを測る研究と、その接近方法に関する研究である。どちらの研究も、人の性格や性質を元にしているものが多く、ショッピングセンターなどといった初対面の人が接するロボットに対し、有効でないと考えられる。

そこで本研究では、よりリアルタイムで初対面の人にも適応でき、人のパーソナルスペースを考慮して動くシステムを目指し、間合いシステムを提案、実装した。本システムでは、表情認識と人とロボットとの間の距離認識を用い、その場の人の様子をうかがいながら人との距離を決定することができる。評価実験においては、間合いシステムを利用することで、実際に距離を縮めることには繋がらなかったが、安心感や近づきやすさが増し、目的としていた不安を取り除くことができたと言える。また、検証実験の上で、ロボットの近づく速度と離れる速度を変えて実験することで、ロボットの近づく速度より離れる速度の方が速いことがより良い評価につながることを示した。

### 5.2 間合いシステムの課題

前章において述べた通り、ユーザが驚いていても笑ってしまう場合などに対し表情認識システムが上手く反映されないため、その前後のユーザの動きと照らし合わせて表情認識システムを利用すべきである。また、ロボットが前後に動く回数が多くなると、不信感を覚えて距離を大きくとったり、ロボットが後退することに関して避けられている印象を受けた被験者もあり、ロボットが間合いをとる上で動く回数を制限したり、今回の評価実験で得られたユーザの動きを元に、ロボットと人との間合いのとり方を観察した上でシステムを実装することで、より精度の高いシステムができると考えられる。

### 5.3 今後の展望

今後の展望としては提案手法の間合い生成を構成する要素を増やし、よりユーザの様子を捉えたシステムを実現することや、ユーザが複数人いた場合、ロボットが複数台あった場合を想定したシステムを構築していく。また、ロボット自身にパーソナルスペースを与えることによる比較実験などができると考える。アンケートにより、ロボットにパーソナルスペースが必要だと答えた被験者は 20 人中 17 人おり、評価実験の際にもロボットが近寄りたがらないように見えたと記述した人がいた。そのことから、ロボットを構成する要素としてパーソナルスペースを与えることで、ロボットと人との関わり方が変わると考えられ、検証することで、ロボットのパーソナリティなどの分野においても有意義なシステムとする。

# 謝辞

本研究を進めるにあたって、ご指導頂きました慶應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士に深く感謝致します。また、慶應義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士には、本論文の執筆に当たって御助言を賜りました事を深く感謝致します。慶應義塾大学高汐研究室の同期、後輩方には論文執筆や実験の際に多くの助言や協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。最後に、大学4年間に渡る生活を支えてくれた家族、友人の皆様に感謝致します。

23 January 2018

佐々木 嘉子

# 参考文献

- [1] 経済産業省. ロボット新戦略要約. ロボット新戦略, 2015.
- [2] 経済産業省. ロボット分野.
- [3] 長谷佳明. 「サービスロボット」の最新動向. 第 233 回 NRI メディアフォーラム, 2016.
- [4] <https://www.softbank.jp/robot/consumer/products/>.
- [5] <https://mjirobotics.co.jp>.
- [6] <http://www.takaratomy.co.jp/products/lineup/series/ohanas.html>.
- [7] <https://palro.jp>.
- [8] R Sommer, editor. *Personalspace*. Prentice-Hall, 1969.
- [9] Hall.E.T, editor. *The Hidden Dimension*. Doubleday, 1966.
- [10] 池上貴美子. 対人距離に関する性・年齢・魅力・親密度の要因の検討. Master's thesis, 金沢大学, 2007.
- [11] 渋谷昌三. パーソナル・スペースの形態に関する一考察. Master's thesis, 山梨医科大学, 1985.
- [12] 児玉昌久. パーソナルスペースに及ぼす特性不安の影響. Master's thesis, 早稲田大学, 1995.
- [13] 長堀萌恵. 二者間におけるパーソナル・スペースの認知的差異：好悪感情と接近距離の関連性について. Master's thesis, 鳴門教育大学, 2011.
- [14] ロボットが提供するサービスに関する独自の意識調査結果, 2016.
- [15] Mohammad Obaid. Stop! that is close enough.how body postures influence human-robot proximity. Master's thesis, Columbia University, 2016.
- [16] <https://www.ald.softbankrobotics.com/ja/クールなロボット/nao>.
- [17] Michael L Walters. The influence of subjects' personality traits on personal spatial zones in a human-robot interaction experiment. Master's thesis, University of Hertfordshire, 2005.
- [18] 中島浩二. 移動体ロボットに対するヒトのパーソナルスペース. Master's thesis, 川電機基礎研究所, 1997.
- [19] Ghadeer Eresha. Investigating the influence of culture on proxemic behaviors for humanoid robots. Master's thesis, German University, 2013.
- [20] 山本俊介. 自らの接近行動がパーソナルスペースの認知におよぼす効果. Master's thesis, 大阪大学, 2008.
- [21] Jonathan Mumm. Human-robot proxemics: Physical and psychological distancing in human-robot interaction. Master's thesis, Department of Computer Sciences University, 2011.
- [22] Jakub Złotowski. Navigating in public space: Participants' evaluation of a robot's approach behavior. Master's thesis, University of Salzburg, 2012.
- [23] Leila Takayama. Influences on proxemic behaviors in human-robot interaction. Master's thesis,

- Willow Garage, 2009.
- [24] 山口祐樹. 人追従を利用した移動ロボットのナビゲーション. Master's thesis, 東京大学, 2012.
  - [25] 神田崇行 (編) . コミュニケーションロボットと人間との距離, 第 4 章. 情報処理学会, 2008.
  - [26] K. Dautenhahn. How may i serve you? a robot companion approaching a seated person in a helping context. Master's thesis, University of Hertfordshire, 2006.
  - [27] Satoru Satake. How to approach humans? strategies for social robots to initiate interaction. Master's thesis, ATR Intelligent Robotics, 2009.