

NAIST-IS-DD0961017

博士論文

公共空間で人に代わってロボットが行う
コミュニケーションタスクに関する基礎的研究

林 宏太郎

2012年2月2日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

林 宏太郎

審査委員：

萩田紀博 教授 (主指導教員)

小笠原司 教授 (副指導教員)

横矢直和 教授 (副指導教員)

神原誠之 准教授 (副指導教員)

公共空間で人に代わってロボットが行う コミュニケーションタスクに関する基礎的研究*

林 宏太郎

内容梗概

本論文では、公共空間においてロボットが人に代わってコミュニケーションを行うことの妥当性を明らかにするとともに、情報提供法と巡回法を提案する。

近年、公共空間において、警備や道案内などのコミュニケーションタスクを行うロボットが研究開発されている。しかし、ロボットが人に代わってこれらのタスクをやることに対して、社会的に受け容れられるかという社会受容性について明らかにした研究は少ない。そこで、本研究では、人がやりたくないコミュニケーションタスクに注目し、それを人よりもロボットにやらせた方が有益であることを、実験で明らかにする。人がやりたがらない要素として、延々と道案内を行う「単調なタスク」、理不尽な要求に対応しなくてはならない「嫌なタスク」、依頼されてゴミ箱から鍵を拾い上げる「汚いタスク」の3種類のタスクを選ぶ。比較する実体として、「人間」、人間が中に入って動作する「着ぐるみ」、「ロボット」がこれらのタスクを実行し、行き交う人々にどのような印象を与えるかを解析する。これら3種類のタスクと3種類の実体とを組み合わせた9種類のビデオを被験者に見せて、それぞれの場合の主観評価を行った。実験の結果、上記3タスク全てにおいて、被験者は、これらのタスクを人間、着ぐるみよりもロボットの方にやらせることが有意であることを示し、ロボットが公共空間で社会的に受容されるコミュニケーションタスクがあり得ることを明らかにする。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD0961017, 2012年2月2日.

次に、この結果を受けて、ロボットによるコミュニケーションタスクが通行人と出会う際の振る舞い方法として、コミュニケーションタスクを実現する情報提供法と、コミュニケーションタスクを実現する巡回法を提案する。

ロボットが行き交う人々に情報提供する場合のロボットの振る舞いとして、通行人に対してロボットからの情報を一方的に聞く受動的対話の場合、聞いた内容に対してロボットにインタラクティブな対話を行う場合の2種類を選ぶ。情報を提供するロボットも、ロボット1台による単独対話方法と2台がインタラクティブな対話を行う社会的対話の2種類を選び、ロボットにこれら2種類を実装する。これら2種類の通行人対話と2種類のロボット対話を組み合わせて、駅構内で8日間のフィールド実験を行い、両者の関係を分析する。実験の結果、4種類の場合の中で、2台のロボットが社会的対話をして、通行人が受動的対話で聞く場合が、ロボットによる情報提供が通行人に伝わりやすくなることを示す。これによって、ロボット側の情報提供方法の基本特性を明らかにする。

ロボットが公共空間で移動・巡回しながら、通行人にコミュニケーションタスクを行う場合に、警備員の巡回形態に習い、「邪魔にならない、人に話しかけやすい」巡回を前提に、公共空間で、警備員役の被験者と通行人とがすれ違う場合の行動分析を行い、移動速度、視線、移動軌跡に着目したロボット巡回法を提案する。具体的には、ロボットが歩行者を一定距離以内ですれ違うように移動軌跡を変化させ、かつ比較的遅い速度で移動し、歩行者に視線を向ける巡回法をロボットに実装し、単純に同一線方向を巡回する方法に比べて、39名のアンケート調査から「邪魔にならない、人に話しかけやすい」印象を通行人に与えること、さらに「親しみやすさ」の印象も与えることを明らかにする。

これらの実験結果によって、公共空間において、人型ロボットという実体が人に代わってコミュニケーションタスクを行うことの妥当性を明らかにする。次に、人に振る舞う情報提供法と巡回法を提案し、公共空間でロボットに実装し、それぞれの提案法の有効性を結論づける。

キーワード

ヒューマノイドロボット、公共空間、ロボットの振る舞い、主観評価

Research on Communicative Tasks for Robots in Public Spaces*

Kotaro Hayashi

Abstract

This thesis presents research into the appropriateness of communicative tasks performed by robots instead of humans, which require communicative tasks in public spaces. Recent studies in social robotics have started to identify appropriate jobs and services for robots in real-world environments. Many researchers are developing guidance robots for real environments. However, only a few studies have revealed possible roles and scenes where adults accept social and human-like robots.

One theme of this thesis addresses whether people prefer to have a robot do troublesome and communicative tasks in an urban environment. From the literature of previous work in general, we expected people to prefer humans for communicative jobs. However, in this study, we learned that people prefer robots for tasks that are viewed as troublesome. In the experiment, we showed a video where three troublesome tasks (dull, stressful, or dirty) were conducted with a human, a costumed human, or a humanoid robot. The experiment results indicate that people preferred the robot for all three tasks. For the dull task "endless guidance" in particular, the robot's evaluation was markedly and significantly higher than in the other conditions.

*Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0961017, February 2, 2012.

On this basis, this thesis shows "information service behavior" and "roaming behavior" as encounter interactions in public environments where robots stand or walk around.

We propose passive social medium as a "information service behavior", in which robot behave as if they are talking together. We focus on a method to help robots broadcast information and consider the potential of showing conversations between robots. We conducted an eight-day field experiment at a train station to investigate the effects of such a passive social medium. Our experimental results imply the behavior is best for advertising in four types of medium, such as in an information broadcasting service such as guidance along a route and exchanging detailed information adapted to each individual user.

We propose the "roaming behavior" of human experts during friendly patrolling, which we defined as a roaming behavior that nonverbally presents a friendly attitude, to encourage people to talk to security guards. From these analyses, we defined a behavior for friendly patrolling as follows: (1) changing the walking direction to encounter the pedestrian from the front by taking a constant path separation distance, (2) decreasing walking speed, (3) looking at the pedestrian. The behavior was implemented in a humanoid robot, Robovie, and tested in a shopping mall in comparison with two baseline roaming. The experimental results with 39 participants demonstrated that the behavior worked as friendly and approachable behavior.

We show the appropriateness of communicative tasks performed by robots instead of humans, which require communicative tasks in public spaces. And we propose the behaviors contributed to successfully achieving natural encounters with people.

Keywords:

Humanoids, People's acceptance, Public space, Robot behaviors

目次

1. 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の課題	3
2. 各課題の位置づけ	7
2.1 課題1：社会的受容性の分析	7
2.2 課題2：ロボットの人と出会う際の振る舞い	9
2.2.1 出会う際の振る舞いの重要性	9
2.2.2 課題2-1：コミュニケーションタスクを実現する情報提供法	12
2.2.3 課題2-2：コミュニケーションタスクを実現する巡回法	14
3. ロボットが人に代わる社会的受容性	16
3.1 人間らしさの影響	16
3.2 3種の実体との比較実験	18
3.2.1 公共空間における人々がやりたがらないようなタスク	19
3.2.2 3種の比較対象	29
3.2.3 ロボットの社会的受容性：実験形式	30
3.2.4 ロボットの社会的受容性：実験方法	30
3.2.5 ロボットの社会的受容性：指標の考案	31
3.2.6 ロボットの社会的受容性：仮説	36
3.3 3種の実体との比較実験結果	36
3.3.1 考案指標の信頼性	36
3.3.2 比較実験仮説検証	36
3.3.3 考案指標の解析	45
3.4 ロボットの社会的受容性：考察	46
3.5 ロボットの社会的受容性：まとめ	48
4. コミュニケーションタスクを実現する情報提供法	49
4.1 社会的受動形式の提案	49

4.2	提案情報提供法のフィールド実験	51
4.2.1	検証実験	51
4.2.2	観測状況	52
4.2.3	実験条件	53
4.2.4	コンテンツ	57
4.2.5	分析	57
4.2.6	仮説	64
4.3	提案情報提供法の検証結果	65
4.3.1	提案情報提供法の仮説検証	65
4.3.2	情報提供メディアとしての可能性の分析	68
4.4	提案情報提供法の考察	71
4.5	提案情報提供法のまとめ	72
5.	コミュニケーションタスクを実現する巡回法	75
5.1	人間からのモデル化	75
5.1.1	データ収集	75
5.1.2	すれ違い行動の分析	78
5.1.3	モデルパラメータの取得	82
5.1.4	モデルの実装	84
5.2	評価実験	87
5.2.1	被験者	87
5.2.2	実験条件	87
5.2.3	実験手順	90
5.2.4	評価項目	90
5.2.5	仮説	91
5.3	実験結果	92
5.3.1	各アンケート項目検証	92
5.3.2	仮説検証	96
5.4	考察	98
5.5	まとめ	99

6. 結論	100
謝辞	102
参考文献	103
付録	111
A. 研究実績	111
A.1 学術論文誌	111
A.2 国際会議	111

目 次

1	コミュニケーションタスクをロボットにおける課題	4
2	公共空間におけるコミュニケーション遷移	4
3	実際の場面で使用されるロボット	7
4	職業とタスクの関係性	8
5	街中で見られるデジタルサイネージ	14
6	ロボットと人のすれ違い図	15
7	延々と道案内を行う：風景	21
8	理不尽な要求を受ける：風景	24
9	依頼されてゴミ箱から鍵を拾い上げる：風景	27
10	妥当性の分析結果グラフ	38
11	表面的人間らしさ結果	40
12	内面的人間らしさ結果	42
13	本質的人間らしさ結果	44
14	情報提供者としてのロボット	50
15	実験環境	52
16	駅構内図	54
17	Social 条件	56
18	駅利用者のロボットに対する振る舞い 1	61
19	駅利用者のロボットに対する振る舞い 2	62
20	駅利用者のロボットに対する振る舞い 3	63
21	ロボットに話しかけられた感じ	66
22	話している内容への興味	67
23	立ち止まり率比較グラフ	69
24	ロボットの楽しさ	70
25	ロボットを見る人の経緯	73
26	各曜日ごとの立ち止まり推移	73
27	実験環境	75
28	人位置推定センサ	77

29	移動経路の分類結果	81
30	モデルのパラメータ	83
31	ロボットのパラメータ	85
32	水平往復条件の移動経路	88
33	鉛直往復条件の移動経路	88
34	提案手法条件の移動経路	89
35	邪魔にならない度合い	93
36	話しかけやすさ	95
37	ロボットの総合評価	97

表 目 次

1	延々と道案内を行うタスク：シナリオ	22
2	理不尽な要求を受ける：シナリオ	25
3	依頼されてゴミ箱から鍵を拾い上げる：シナリオ	28
4	挨拶シナリオ	31
5	妥当性指標	32
6	表面的人間らしさ指標	34
7	内面的人間らしさ指標	34
8	本質的人間らしさ指標	35
9	妥当性の平均値	38
10	表面的人間らしさの平均値	40
11	内面的人間らしさの平均値	42
12	本質的人間らしさの平均値	44
13	指標の相関関係	45
14	スケジュール	54
15	駅情報提供シナリオ例	58
16	待機シナリオ例	58
17	ロボットに話しかけられた感じ平均値	66

18	話している内容への興味平均値	67
19	立ち止まり数	69
20	ロボットの楽しさ平均値	70
21	歩行行動の分析	78
22	歩行行動の違い	80
23	移動速度	83
24	邪魔にならない度合い平均値	93
25	話しかけやすさ平均値	95
26	ロボットの総合評価平均値	97

1. 序論

1.1 研究の背景

近年，ロボット工学の進歩により，人とコミュニケーションするロボットの研究が進んでいる．特に，ロボットの身体性を利用した，ロボットと人間の社会的インタラクション（Human-Robot Interaction: 以下 HRI）と呼ばれる研究に注目が集まっている．HRI 研究の目標は，実環境において人と自然にコミュニケーションを行うロボットを実現することである．現在，HRI は様々な研究が行われており，神田はそれらの HRI 研究を以下の 2 種類のアプローチに分類した [1]．

統制実験的アプローチ：

一つまたは少数の要因に関する影響を仮説検証する．ロボットという実態が持つ特性に関する研究や，ロボットの振る舞いが人々に与える影響の研究などに用いられる．

構成論的アプローチ：

人間同士のインタラクションで起きる現象を認知科学や心理学的に分析し，ロボットに人のモデルを実装して，人とロボットのインタラクション実験を行う．人間同士が行っている行動をロボットで再現する事を必要とするような，ユーザの行動認識や学習などに用いられる．

上記 2 アプローチにより，人とロボットのコミュニケーションは向上されつつあるが，実際の場面における HRI は，研究が緒についた段階であり，実際の公共空間で，ロボットはほとんど利用されていないのが現状である．理由として，公共空間でコミュニケーションを行うロボットが解決すべき課題そのものがまだはっきりしていない点が挙げられる．そのため，技術的な問題もあり，ロボットの公共空間におけるコミュニケーション能力は人のそれに及んでいない．そこで多くの研究者は，コミュニケーションが必要な，限定された場面や役割，“コミュニケーションタスク”にロボットを用いて研究を行っている．

ロボットのタスクという視点からみると，現在多くの工業用ロボットが実際に運用され，ロボットが人に代わって延々と単一作業，危険な作業，汚い作業を行

うタスクを担ってきた。iRobot 社製のルンバや ALSOK 社製の警備ロボットなども、コミュニケーションのタスクは行わないがすでに実際の場面において用いられている。これらの事例から、将来コミュニケーションを行うロボットが社会へ進出する場合、あるコミュニケーションタスクを人に代わって行うことが予想される。タスク単位に絞れば、ロボットが人に代わって行い得るコミュニケーションタスクは様々な分野に存在するものと考えられる。

現在、さまざまなコミュニケーションタスクについての研究が行われている。小さなコミュニティにおいて人とのコミュニケーションそのものを主目的とするタスクとして、老人ホームにおける高齢者支援 [2]、身体障がい者に対する支援 [3] などがある。公共空間において、遂行するにあたり人とのコミュニケーションを必要とするタスクとして、オフィスにおける菓子の配布 [4]、ショッピングモールにおける買い物支援 [5]、広場における情報収集 [6]、などのコミュニケーションタスクにヒューマノイドロボットを用いる試みを行い、その能力が検証されている。特に情報を提供するタスクにおけるロボットは注目されており、Gross らは、図 3 (a) に示す、コミュニケーションによる、買い物客への道案内や情報提供を行う“ TOOMAS ”という買い物補助ロボットを開発した [7]。Lee らは、情報提供を行う据え置き型の受付ロボットを開発した [8]。他にも、コミュニケーションを必要とする汚い作業を行うタスクとして Ferri らは、図 3 (b) に示す、実際の町中におけるゴミ収集ロボットシステム“ DustBot ”を開発し、実際にイタリアの町中で運用した [9]。他にも、万博会場での情報提供 [10] や、博物館内での展示案内 [11-13]、商業施設内での道案内や買い物支援 [7,14] といった、様々なサービスにロボットを利用している。これらの研究は実験的アプローチにより、実際の環境でロボットにコミュニケーションタスクを行わせ、人々がどのような反応を示すかについて述べられている。各コミュニケーションタスクにおいてロボットは有効であることが示された。一般の人々で、ロボットに接した事のある人間は少なく、実際にロボットを街中で運用してみるということは、ロボットの可能性を模索するには有効な方法である。

1.2 研究の課題

本研究において、公共空間における警備・店舗案内・回遊支援などのコミュニケーションタスクを、ロボットが人に代わって行うことに注目する。このようなタスクをロボットが行う際、クリアすべき課題は多数存在するが、大きく技術的課題と社会的課題に分けられる。図1に示すように、技術的、社会的どちらか一方の要素が濃い課題がある一方で、その2種類の課題が相互に影響しあう課題が存在する。

技術的課題：ロボット自身のハードウェア、ソフトウェア性能の向上

画像処理，音声認識，歩行，学習などのロボット単体の性能向上を図るものから，近年では環境内センサを利用した“環境知能”と通信することにより，ロボットのセンシング能力を向上させる試みも行われている。ロボットの性能向上はユーザの行動を認識，理解を通して，HRIの質の向上を行い，人と自然なコミュニケーションをとることを目標とするような技術的課題が主なものや，人々と事故を起こさない，邪魔にならないといった，後述する社会的課題からの要求と深く関係しているものがある。

社会的課題：ロボットが社会に進出する際に解決すべき，倫理や社会心理の面における諸問題

人々がロボットを受け入れるためにはどのような保険制度や法整備を行うかといった，ロボットが公共空間で活動するに当たり必要な課題は数多く存在する。それとは別に，Nassらが人々がシンプルなコンピュータメディアに濃密な社会的反応や自然な反応を示すことを，多くの実験から明らかにしたように [15]，ロボットの存在や行動が人に与える影響や，人からどう見られているかなどを知ることはHRIを行う上で非常に重要である。これは，実際の場面におけるHRIの質の向上を可能にするのみならず，何を認識すべきか，何を学習すべきかといった，ロボットに必要な技術的課題とも深く関わっている。

図2に，公共空間におけるコミュニケーションの遷移を示す。現在行われている多くの研究は，図の下部に見られる“対話開始”以降のコミュニケーション部

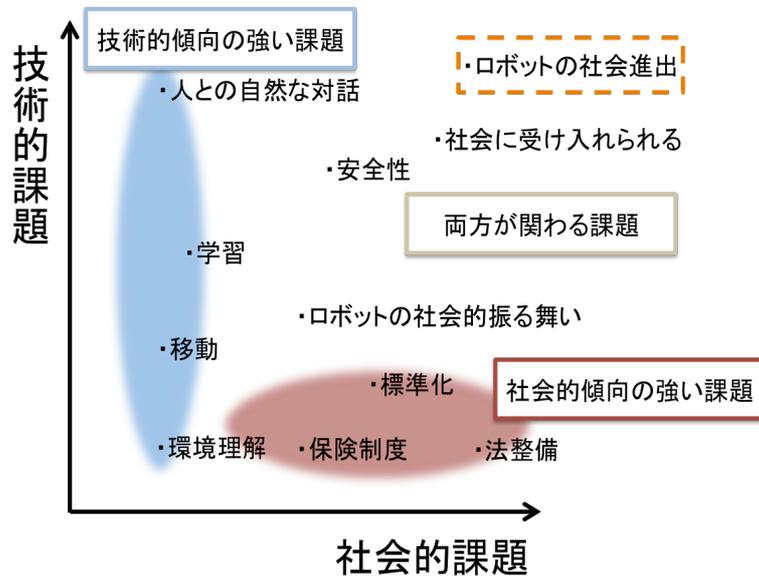


図 1 コミュニケーションタスクをロボットにおける課題

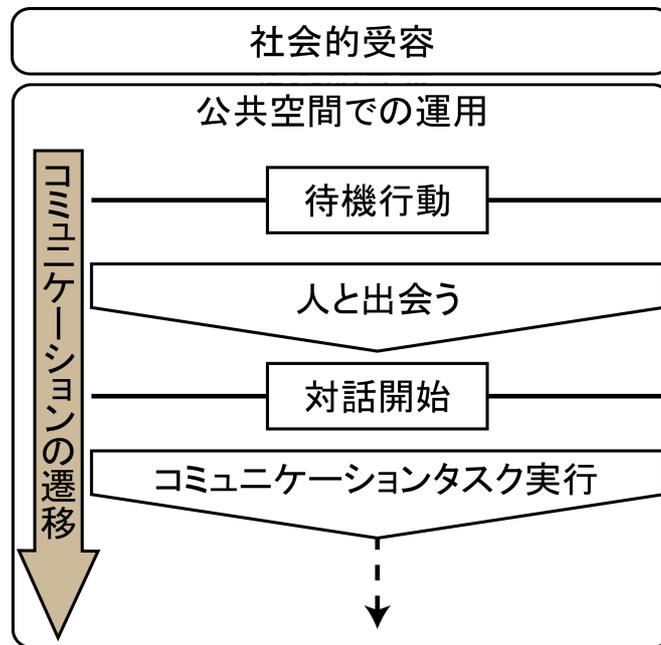


図 2 公共空間におけるコミュニケーション遷移

に重点を置いている。それ以前の人と出会う際や、より根本的にロボットが公共空間において必要とされるのか、受け入れられるのかについては、図1赤枠に示すように、技術的課題が未だ多いためクリアになっていない状況である。そこで、本研究において公共空間において人に代わってコミュニケーションタスクを行うロボットが、実際のコミュニケーションを行うまでにクリアしなければならない課題を示し、解決の可能性に関する基礎的な試みを行う。本研究の課題は大きく2つの課題に分けることができる。

課題1：ロボットという実体がコミュニケーションタスクを行うことに対する社会的受容性分析

ロボットが公共空間で人の代わりにコミュニケーションタスクを行うことを社会が受け容れるかという問題がある。従来、公共空間で道案内、来店誘導など人々と直接コミュニケーションタスクは人が行ってきた。ロボットが公共空間でコミュニケーションタスクを行う場合、人に代わって行うことを人々が受容するかどうかについて検討する必要がある。すでにコミュニケーションを必要とする職業においてロボットよりも人間の方が妥当であるという研究が知られていたが、実用的なロボットが実現してきた単一作業、危険作業、汚い作業などのタスクという視点でコミュニケーションタスクを見直すことで、人よりもロボットにやらせた方がよいと社会が受け容れるコミュニケーションタスクの可能性がでてくる。

課題2：ロボットの人と出会う際の振る舞い

公共空間において人とロボットは基本的に初対面であり、その際の印象や行動によってコミュニケーションタスクの効率などに大きく影響すると考えられる。そこで、従来の研究で行われていない2種類のロボットの振る舞いに注目する。

課題2-1：コミュニケーションタスクを実現する情報提供法

行き交う通行人に対して、ロボットのどのように振る舞えば、伝えたい情報を効率よく提供できるかというロボットの振る舞いに関する課題を明らかにする必要がある。通行人はロボットが提供したい情報を

欲しいと思っている訳ではないので、ロボットがどのように通行人に効果的に話しかける方法を開発することが重要になる。

課題 2-2：コミュニケーションタスクを実現する巡回法

移動機能を持つロボットがこのタスクを実行する場合に、通行人に邪魔にならず、ロボットが話しやすい振る舞い（巡回方法）に関する課題を明らかにする必要がある。

これら以外にも、ロボット自身のハードウェアやソフトウェア、ロボットの周りの環境センシングに関する技術課題および標準化課題、ロボット利用認可制度、ロボットによる事故対応の保険制度などの社会的課題などを検討する必要がある。これらはコミュニケーションタスクだけでなく、ロボットの行動・作業に関する様々なタスクに共通の課題であるので、本研究ではこれらの課題は対象にしない。

公共空間においてロボットが人に代わってコミュニケーションタスクを行う事を人々がどう捉えているかに関する研究はなされていない。実際のロボットと人間とを比較することが技術的問題から難しいためと考えられる。本研究では、「公共空間でロボットが人に代わってコミュニケーションタスクを行う社会的受容性を明らかにすること、およびこのタスクを実現するために、行き交う人々が受け容れるロボットの振る舞いに関する手法を提案すること」に新規性があり、これを実現するために課題 1 から段階的に基本特性を明らかにする。

2. 各課題の位置づけ

2.1 課題1：社会的受容性の分析

現在多くの研究者たちが、公共空間においてロボットがコミュニケーションタスクを行うことを期待している。実際の場面においては上記のような、人とのコミュニケーションを必要とするタスクが数多く存在する。ロボットが上記の課題をクリアすることにより、そのようなコミュニケーションタスクをロボットが担うようになると考えられ、技術的課題、社会的課題の両面から、多くの試みがなされている。



(a) TOOMAS



(b) Dustbot

図3 実際の場面で使用されるロボット

実ロボットを用いない方法としては、アンケートを用いた社会調査によって調査したものがある。このアプローチは主に、ロボットをコミュニケーションタスクに用いるという想定に対し、人々の社会的受容性の研究に用いられている。Scopellitiらは、若い人々のほうがロボットへポジティブな印象を持っており、ロボットへの受容には年齢が大きく影響することを明らかにし [16]，Bartneckらは、7か国の被験者に対し、AIBOを用いたロボットの社会的受容性に関する調査を行い、アメリカが最も高く、メキシコが最も低いといった、文化差が社会的受容性に与える影響について明らかにした [17]。特に注目すべきは、Takayama

らが行った，様々な職業におけるロボットへの社会的受容性を，人と比較実験した研究である．この実験において，Takayamaらは，812種類の職業に対する適切さに関して，Webベースで大規模に世論調査を行い，250人から回答を得た [18]．その結果，人々は記憶や高い知覚能力，貢献志向が強い仕事には人間よりロボットが行ったほうが好ましいと答え，コミュニケーションを必要とする管理や指導を行う仕事にはロボットより人間が行ったほうが好ましいと答えた．これは，技術的課題によりロボットがまだ人に代わってコミュニケーションタスクを行うことへの信頼が低い，またはロボットと言う存在がコミュニケーションタスクに相応しくないとされている可能性もある．

職業 (Job) は通常，多くのタスク (Task) を内包している．例えば，図4のように，工場労働は職業であるが，部品組み立てから事務処理といった，さまざまなタスクを内包している．現在多くの工業用ロボットが実際に運用されているが，それらは工場労働という職業を担っているわけではなく，延々と一つのタスクを行うであるとか，危険な状況におけるタスクであるとか，ロボットはタスクごとに運用されているというのが常である．このような観点から，ロボットより人が行ったほうが好ましいと思われる職業においても，タスクによってはロ

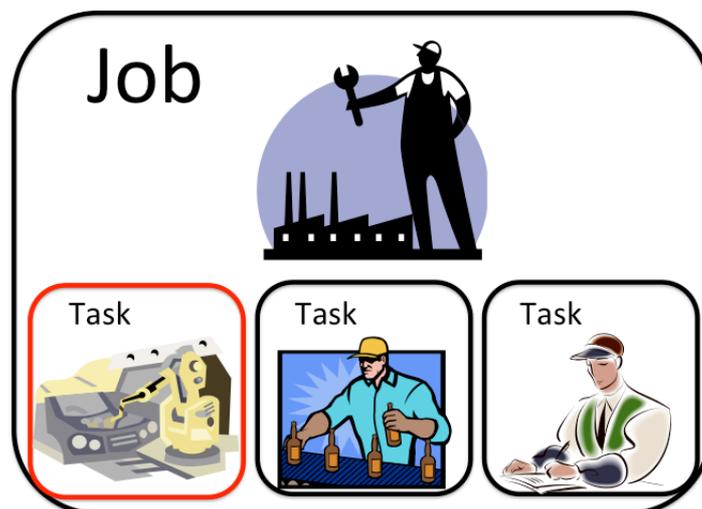


図4 職業とタスクの関係性

ボットのほうが好ましいと思われる可能性は高いと考える。

伝統的に、人々はロボットに、工場の単一作業、危険な環境での作業 [19] 等、清掃、といった人々がやりたがらないようなタスクを、人に代わって行うことを期待してきた。コミュニケーションを行わないロボットとしては、iRobot社製のルンバや、ALSOK社製の警備ロボットなどが、すでに実際の場面において用いられている。職業単位においては、ロボットより人が行ったほうが好ましいと思われる可能性が高い場合でも、タスク単位に絞れば、ロボットのほうが好ましい、むしろ適切であると思われるような場合があると考えられる。

そこで、コミュニケーションタスクの中でも、人がやりたがらないタスクに注目する。人がやりたがらないようなコミュニケーションタスクを選定し、比較実験を行う。人々は人がやりたがらないようなタスクは人に代わってロボットが行うことを期待しており、コミュニケーションタスクにおいてもその傾向がある可能性は高いと考えられる。この実験のため、“妥当性指標”を作成し、主観評価を行った。これらのタスクにおいて、人々は人間よりロボットが行うほうが適切であると判断すると考える。

2.2 課題2：ロボットの人と出会う際の振る舞い

ロボットそのものが社会に受容されることを示したとして、人に代わってコミュニケーションタスクを行うロボットが人々から受容されるためには、まだ多くの社会的課題をクリアしなければならない。本研究においてその一端として、人々から受け入れられるために必要な振る舞いとして“人と出会う際の振る舞い”に注目し、その手法を提案する。

2.2.1 出会う際の振る舞いの重要性

公共空間は、その性質上不特定多数の人間が行き交う環境であり、ほとんどが初対面であると言える。街角に存在する人々の中には、ロボットによる支援を求めている人だけではなく、環境内を単に通過する人や、ロボットによる支援を必要としない人も存在する。公共空間に存在する人々全員に声をかけるような振る

舞いは、通りがかる人々に不快感を与えてしまうこともある。しかし、目的があつて訪れた人に対してのみ反応するような振る舞いは、人々に気づかれないといった、コミュニケーションタスクを行うに当たり不都合が生じることも考えられる。将来的には、行きかう人々の状況をセンサによって確認し、それに応じた振る舞いを行うようになると思われる。その時、状況やタスクに応じて、全員に声をかける、目的があつて訪れた人に対してのみ反応する、といった使い分けが重要になり、それぞれどう振る舞うかという知見が必要になると考える。

このような考えは、マーケティングの分野においても接客場面 (Service encounter) として研究されている。店員の第一印象 (First impression) は利用者の印象に非常に大きな影響を与えることと、店員の振る舞いは第一印象における重要な要素であることが指摘されている [20]。Bitner らは、コミュニケーションを行う前のレストランのウェイトアの態度によって来客の満足不満足が変わるといふ事が報告している [21]。公共空間を行きかう人々は、よほど長期間設置しない限り、ほとんどが初対面である。このため、公共空間でコミュニケーションタスクを行うロボットにとって、通りがかる人々と出会うときの振る舞いは非常に重要であると思われる。

HRI の分野において、インタラクション開始に注目した研究はいくつかなされており、街角のような公共空間において、インタラクションを通じて人々を支援するためのエージェントとして、ロボットを利用する動きが進んでいる。それらの研究が取り扱うロボットは、“据え置き型ロボット” [14, 22, 23] と、“移動型ロボット” [24, 25]、の2種類に分類することができる。

据え置き型ロボット：

最も盛んになされているのが、特定の場所で待ち受けて情報提供を行う、“据え置き型ロボット”が、案内ロボットなどを通じて広く研究されている。受付のような情報提供を行うコミュニケーションタスクは技術的ハードルも高くなく、ロボットに行わせる試みが多くなされてきた。愛知万博において人と同じ外観を持ち、高度の音声認識能力を持つ“受付案内アクトロイド”や、受付案内ロボット“ASKA”などが開発され、マイクロフォンを利用し、利用者の発する音声を認識し、利用者の求めている情報 (人物の所

在，周辺の施設情報など)を把握した後，身振り手振り等を交えたインタラクションを行いながら情報提供を行う [26] [23] [27]．これらの研究においては，人がマイクロフォンに話しかけることでコミュニケーションを開始し，コミュニケーション前における人の振る舞いなどは考慮していない．

センシング技術の発展とともに，人の振る舞いに注目する試みがなされている．Michalowski らは，受付ロボットと対話する人々との位置関係に着目し，HRI における振る舞いの解析を行っている [29]．また人の振る舞いに応じてロボットの振る舞いを変える研究として，Bergström らは，ある場所に固定された案内ロボットを対象に，視線や体の向きを変えて人々に話しかけやすい印象を与えるための振る舞いを設計している [30]．

先行研究において，人からの接触を認識して，ユーザにとって必要な情報を提供するというコミュニケーションタスクに注目されている．しかし，広範に情報を提供する，メディアとしてのコミュニケーションタスクにはあまり注目されておらず，通りがかる人々に不快感を与えないが，情報を発信するために必要な，人に話しかけるという視点が欠けている．

移動型ロボット：

近年のロボット技術の発展に伴い，“移動型ロボット”が，“話しかける”振る舞いの研究も進んでいる．センサ性能が向上し，空間内のロボットの自己位置や向きを正確にとることが可能になり，人との位置関係などを利用することが可能になったためである．これらの研究において，ロボットは能動的に人々へのアプローチを行い，情報提供を行う，つまり話しかけるように設計される例えば，佐竹らは，歩行する人々の行動予測を行い，ロボットと対話を行うと予測できる人へとアプローチする技術を開発している [31]．

また，自己位置のみならず，人の軌跡などから歩行者の動向を知ることが可能になり，神田らは人々の移動軌跡からロボットが話しかけてもよいと考えられる人々を予測し，ロボットからの効率的な話しかけを実現している [34]．このように，空間内にいる人々の行動を認識し，それに対し適切

にアプローチするという研究が盛んに行われている [22, 24, 35, 42, 43] .

先行研究において，移動型ロボットは，人に話しかける振る舞いの研究が主である．しかしこのような形式は，情報を発信するというタスクには有効であるが，ロボットを必要としないような人にも話しかけてしまい，通りがかる人々に不快感を与えてしまうのではないかと，という視点に欠けている．

2.2.2 課題 2-1：コミュニケーションタスクを実現する情報提供法

据え置き型ロボットの待ち受ける振る舞いは，情報を提供するメディアとしてのロボットにとって必要な振る舞いである．最近の HCI (human-computer interaction) 分野の研究からも，情報を媒介するインタフェースとしてのロボットの有用性が明らかになりつつある．Nass らは，コンピュータが従来のテレビやラジオのように情報を媒介する新しい情報提供メディアであることを示した一連の研究の中で，テキストのみのシンプルなインタフェースであっても，人は他の人に対して振舞うときと同様にコンピュータに対しても対人的に振舞うことを明らかにした [15] . 身体性エージェントに関する Cassell らの一連の研究は，頭部や腕といった擬人的な表現を用いる擬人化エージェントはコンピュータエージェントと人との間の効率的な情報伝達を実現することを明らかにした [36] . そして，実ロボットとコンピュータ上のエージェントを比較した研究において，コンピュータ上のエージェントよりも実空間に存在するロボットの方が実空間上の物体に関する対話に適していることが見出されている [37] .

公共空間においてコミュニケーションタスクを行うものとして，デジタルサイネージが用いられている [38] [39] . デジタルサイネージは，簡単なインタラクションであれば，タッチパネルやボタン操作で取ることが可能であり，安価で技術的にも信頼性が増しており，ディスプレイ程度の簡易なものは商業施設や公共施設などで見る事が出来る (図 5) . しかし，デジタルサイネージのような，ディスプレイ内の人間による情報提供より，実空間に存在するロボットの方が情報を受け取りやすいことが明らかになり [28] , 公共空間において，ロボットは既存の存在より優れた特性を持つことが分かった .

据え置き型ロボットの研究は、利用者の求めている情報や、周囲の状況をセンサにより把握し、情報提供や反応行動を行うという形式であり、利用者とインタラクションをとることにより情報提供を行わせることに注目している。公共空間では実際にそのようなタスクは行われているが、しばしば利用者の求めている情報を提供するだけでなく、その公共空間内の人々全体に情報を提供するようなことも行われている。特に、ロボットはその外見的珍しさから、広告宣伝に用いられる可能性が非常に高く、似たような存在である着ぐるみは、現にそのようなタスクを行っている。そのような時、どのようにふるまえばいいかについては研究がなされていない。

人々が情報に対して集中するように誘導する研究については、渡辺らは、“InterRobot”を利用し、1体の話し手役ロボットと複数の聞き手役ロボットで場を構成し、その場を共有する人に存在感や一体感を実感させ、円滑なコミュニケーションを支援するという引き込み形コミュニケーションの研究を行っている [44]。この研究により、聞き手側のロボットがただうなずく行為が、利用者をより話し手役ロボットの説明に集中させることを検証した [45]。複数体ロボットによる協調対話“Passive-social”という形式により、人々により情報に集中させる効果があることが検証されている [28]。神田らは、複数のロボットが会話をしてみせることで、この会話を観察している人が後にロボットと会話する際にロボットからの説明の理解が容易になり、ロボットに自然に振舞うようになることを示した [40]。複数のロボットによる会話を観察する場合、観察している人間はロボットと一対一で対話する場合と異なり、必ずしもロボットの会話に口をはさむ必要はない。この観察している人間は会話を行っているロボットに対して観察者の立場にあり、言語学者の Clark の言葉 [41] を借りると、「観察者は傍観する立場であり、会話を行う責任は生じない」。これに近い形態としては、コンピュータ上での擬人的エージェントの研究において、複数エージェントが同期してうなずくことで映像コンテンツの理解を促進する [46] といった利用も従来行われている。第3章において、据え置き型ロボットの話しかける振る舞いとして、社会的受動 (Passive-social) 形式を提案し、その有効性を検証する。

2.2.3 課題 2-2：コミュニケーションタスクを実現する巡回法

人々が存在する環境下で、ロボットが移動するための研究は多く行われており、その中でも邪魔にならないように移動するロボットの研究がこれまでも広く行われている。それらの研究では、ロボットから人々に対してインタラクションを開始する状況や、人とロボットがお互いに移動している状況に着目している。

主な研究はロボットが人に対してアプローチするというものであり、社会的な振る舞いとしては“人の邪魔にならない”ということがあげられる。例えば Sisbot らは、ロボットと人々の立ち位置や、その位置関係に応じたロボットの振る舞いを実装している [22]。対話相手が移動している状況でのロボットの振る舞いとしては、Pacchierotti らが、移動する人々と衝突を起こさないように移動経路を計算する手法を提案している [42]。対話相手が止まっている状況を考慮したものには、Dautenhahn らが、対話相手の視野やロボットとの位置関係を考慮したアプローチ方法を提案している [24]。Gockley らは、移動する人々の後ろをついて移動するロボットの開発を行っている [43]。これらの研究では、ロボットが人々とインタラクションを開始する状況において邪魔にならない移動方法を実現している。公共空間を共有する以上、歩行者に対して邪魔にならないというのは大前提であり、重要な要素である。

しかし、これらの研究は、人々がロボットとすれ違う際に受ける印象や、その



図 5 街中で見られるデジタルサイネージ

際のロボットに対する話しかけやすさを向上させる振る舞いに着目したものはなかった。据え置き型ではその特性上多くの研究がなされている待ち受けるような接触については、研究がなされていない。そのため、街角環境下で頻繁に発生する、歩きながら人々から話しかける行動を待ち受ける行動の設計指針はまだまだ明らかにはなっていない。

街角に存在する人々の中には、ロボットによる支援を求めている人だけではなく、環境内を単に通過する人や、ロボットによる支援を必要としない人も存在する。街角で活動するロボットが、そのような人々とすれ違う場合には、邪魔にならず自然なすれ違いを行うことが必要であろう(図6)。そのような際に、ロボットが移動中に、人々に対して話しかけやすい印象や、親しみやすい印象を人々に与えることが出来れば、より自然な街角での活動が期待できる。支援を求めている人々がロボットに話しかけやすくなることも期待できる。つまり、街角のような日常環境下でインタラクションを通じて人々を支援するエージェントのためには、邪魔にならず話しかけやすい巡回法は、その利便性を高めるうえで重要な要素であると考えられる。移動ロボットにおける待ち受け行動の際の振る舞い“話しかけやすい巡回法”を提案し、その効果を検証する。

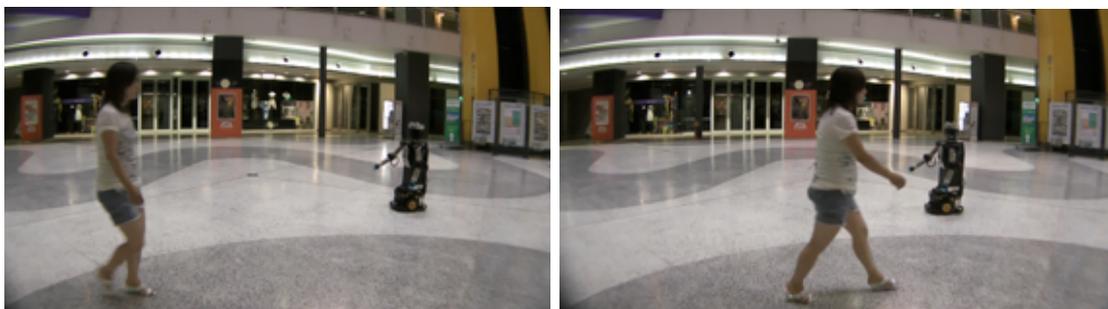


図 6 ロボットと人のすれ違い図

本研究において、1章において述べた2種類の課題を解決し、公共空間におけるロボットの可能性を示す。

3. ロボットが人に代わる社会的受容性

本章において、公共空間において、ロボットが人に代わってコミュニケーションタスクを行うことの社会的受容性を調べ、人がやりたくないコミュニケーションタスクがあること、人よりもロボットにやらせた方が有益であること、を実験で明らかにする。

具体的には、人がやりたがらないようなコミュニケーションタスクを選定し、比較実験を行う。伝統的に人間がロボットの期待してきたタスクに該当すると考える。人々は人がやりたがらないようなタスクは人に代わってロボットが行うことを期待しており、コミュニケーションタスクにおいてもその傾向がある可能性は高い。この実験のため、“妥当性指標”を作成し、主観評価を行った。これらのタスクにおいて、人々は人間よりロボットが行うほうが適切であると判断すると考える。

3.1 人間らしさの影響

ロボットと人間とで、人々が好ましいと思う場合が違うとすると、その理由はどこにあるのか。一つの理由として、人々がロボットを人間と違う実体としてみていることが考えられる。幾つかの先行研究において、人々がロボットをどのように見ているかに関してのものがある Kahn らは、人々がロボットのことを“Social other”，すなわち社会的に人間とは別の実体として見ていることを明らかにした。犬型のロボット AIBO と、実際の犬の比較実験を行い、モラルに関する項目において、AIBO は犬より優位に低い評価であった [51]。子供の目の前でロボットをクローゼットに押し込み、その様子に対する主観評価を行った [52]。通常人に行えば、かわいそうと思う様子であるが、子供たちはあまりロボットをかわいそうに思わなかった。このように、人々はロボットに対し、人間に対するような倫理観を持たずにロボットと接していることを明らかにした。

このような人々の見方に影響している要素として、“人間らしさ”があげられる。ロボットのタスクと人間らしさに関する研究は幾つか存在する Goetz らは、人々が、博物館におけるツアーガイドのようなタスクは、人に近い外観を持つロ

ロボットの方を好ましく思い，兵士や警備員などの役割においては，機械的な外観を持つロボットを好ましく思うことを報告した [53]．野村らは，動物型のロボットより人に近いロボットのほうがコミュニケーションタスクなどに適していると人々が考えていることを報告した [54]．Bartneck らは，ロボットの知性と，生き物らしさの関係性の調査を行い，人々は生き物らしさが高いロボットに知性を感じるという結果を報告した [55]．Hinds らは，一つのタスクを共同で行うに当たり，人々は人間の外観に近いロボットを好ましく思うことを報告した [56]．人間らしさは，今後のヒューマノイドロボットの運用に当たり注意すべき重要な要素であり，今後のロボット開発に向けて，人間らしさと HRI の関係性のベンチマークも提案されている [57]．

これらの研究から，人間らしさが人々の主観，特にタスクとの適切性に強く影響することがわかる．ロボット研究が進み，将来的にロボットがより人間らしく振る舞うようになっても，人々はロボットを本質的に人と違うものと見ているのか．それとも，人々は見た目でその実体に対する扱いを変えているのだろうか．もし異なるとすると，それこそがロボットが人間に代わりうる根拠となりえるのではないかと考えられる．

そこで，本研究において，人間らしさが及ぼす影響についても評価を行う．人に代わりうることを示すため，“人間”，“ロボット”条件に加え，“着ぐるみ”と比較する．着ぐるみは，人間がデフォルメされた動物やキャラクターの外観を着用しており，本質的には人間であるが，見た目において人間らしさを大きく減じている．これらの着ぐるみはショッピングモールや駅など不特定多数の人が行き交う公共空間において情報提供などを行っており，アミューズメントパークなどにおいては道案内などを行うものもあり，これらは役割としてロボットに期待されているものと同じである．この，人とロボットの間ともいえる着ぐるみとの比較により，人間らしさの及ぼす影響を評価できると考える．この実験のために“表面的”，“内面的”，“本質的”，の3種の人間らしさ指標を作成した．人々はロボットを本質的に人間とは別の実体とっており，それが人がやりたがらないようなコミュニケーションタスクの適切性に影響すると考える．

3.2 3種の実体との比較実験

3つの人のやりたがらないタスクと，“人間”，“着ぐるみ”，“ロボット”，の3x3の計9条件で比較実験を行い，人々の感じる妥当性の検証を行った．実験の評価に際して，妥当性の評価と，“人間らしさ”の違いの影響を検証するために，“妥当性指標”，3種の“人間らしさ指標”を作成した．それを用いて，アンケートによる主観評価を行う．

上記のように，この実験においてロボットの不特定多数の人々が行き交う公共空間において人に代わりうるタスク，特に人がやりたがらないようなタスクをロボット，着ぐるみ，人間の3者に行わせ，人々が好ましく思うのはどの実体が行っている時かを検証する．検証実験において，ビデオ実験を採用した

3.2.1 公共空間における人々がやりたがらないようなタスク

コミュニケーションタスクをロボットが行うことを人々が好ましく思うことがあるかどうか、あるとしたらどのようなものなのかについての検証実験を行う。公共空間で一般的によく見られる案内業務において、“単調でつらい (Dull) ”、“理不尽で身の危険さえ感じる (Stressful) ”、“汚い作業を依頼される (Dirty) ”状況を用意し、3種の実体と組み合わせて比較実験を行う。

通常案内業務は人間が行っており、通常人々はこのような知的なコミュニケーション業務をロボットより人間が行う方が好ましく思っている [7]。一方で、人間はロボットに“きつい”、“汚い”、“危険”であるような業務を人間に変わって行うことを期待している。公共空間のような、多くの通行人が存在する空間において、危険と思えるようなことはそもそも少ない。そこで、いわゆる“危険”の代わりに、“理不尽で身の危険さえ感じる”状況で比較することとした。

以下に、今回の実験のために設定した、“単調でつらい”、“理不尽で身の危険さえ感じる”、“汚い作業を依頼される”状況について述べる。

単調な (Dull) タスク :

人のやりたがらないコミュニケーションタスクとして、延々と道案内を行う状況を選択した。

案内業務は、ショッピングモールやイベント会場などの公共空間において、一般的によく見ることに出来る業務である。普通の案内業務は単純ではあるが、人のやりたがらないようなものではない。ただそれが、単純かつ途切れなく延々と続くとなると、人がやりたがらないものとなると考える。このような単調で延々と案内をするようなコミュニケーションタスクは実際に展示会やアミューズメントパークなどの特殊なイベント等で見られるものである。

図7と表1にその風景とシナリオを示す。このビデオは実際にショッピングモール“大阪南港 ATC”で撮影され、ビデオ上ではそれとわかるように背景に店舗が見えるようにした (図7: a)。案内役の人物 (画像向かって左側) が“インフォメーション”の看板の下に立っており、利用者が延々と現れ、道について尋ねては去っていく (図7: b, 表1: U1)。案内役は利用者に数時間対応し続け (図7: e) に見られるように、“数時間”という表示が出る)、さらに画面が暗くなることで、それ以上の時間業務を続けていることを視準する。



(a)



(b)



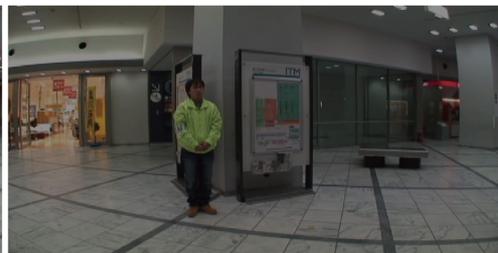
(c)



(d)



(e)



(f)

図 7 延々と道案内を行う：風景

表 1 延々と道案内を行うタスク：シナリオ

U1: [利用者 1, 案内役に近寄ってくる] フェリー乗り場はどこかな (図 7 : a)
W: [奥の方を指差す] フェリー乗り場はそこです (図 7 : b)
U1: ありがとう
[暗転]
U2: [利用者 2, 案内役の前に立っている]
W: [右の方を指差す] そこを右です (図 7 : c)
[暗転]
U3: [利用者 3, 案内役の前に立っている]
W: [左の方を指差す] そこを左です (図 7 : d)
[暗転]
U4: [利用者 4, 案内役の前に立っており, “ 数時間後 ” という表記がある]
W: [奥の方を指差す] ここを真っすぐ行ってください (図 7 : e)
[暗転]
[案内役が暗い中ぼつんと佇む] (図 7 : f)

U: 利用者, W: 案内役

嫌な (Stressful) タスク :

上述したように、公共空間において危険な状況というのはまれであり、コミュニケーションタスクとは無縁である。しかし、利用者が正規の料金を払うことを避けたいがために、特別扱いを要求されるような状況においては、強いストレスを感じ、更に利用者の横柄な態度を取り、従業員が丁寧に謝絶している場合が、継続して高圧的に要求している場合などは（実際危険でないにせよ）身の危険さえ感じるであろう。このようなことは、日常でしばしば目にすることが出来る。卑近な例としては、駅や店舗などの酔客があげられる。酔客の相手や介抱は、精神的にも肉体的にも負担が大きく、このような役割においてロボットが人に代わるとなれば、人々は受け入れる可能性が非常に高い。しかし、そのような酔客の再現は非常に難しいため、今回の実験においては採用しない。

図8および表2にその風景とシナリオを示す。このビデオは実際にショッピングモール“南港 ATC”で撮影され、ビデオ上ではそれとわかるように背景に店舗が見えるようにした (図8 : a)。案内役の人物 (画像向かって左側) が“インフォメーション”の看板の下に立っており、中年の男性が案内役に近づき (図8 : a,b)、駐車料金の無料化を求める。終始利用者は怒っているような口調で話し続け、会話の終わりには威嚇するような態度さえ見せる (図8 : c)。最後には諦めて去っていく。



(a)

(b)



(c)

図 8 理不尽な要求を受ける：風景

表 2 理不尽な要求を受ける：シナリオ

U: [利用者, 案内役に近寄って険悪な声で話しかける] なあ, 駐車料金って買い物せんとただにならんの? (図 8 : a)
W: はい, そのようになっております
U: [怒った声で] なんでえ? ええやんちょっとくらい
W: [案内役頭を下げる] 申し訳ありませんが, 規則上そうっております
U: [利用者, まだ怒ったような口調で] たった二時間やで? それくらいサービスせいや商売やろ? (図 8 : b)
W: [案内役頭を下げる] 真に申し訳ありませんが, そのような決まりになっております
U: [高圧的に] なんとかしてや
W: [案内役頭を下げる] 申し訳ありません (図 8 : c)
U: [脅すように] なんとかせいや
W: [案内役頭を下げる] 申し訳ありません
U: [舌打ちして] もおええわ! [歩み去る] (図 8 : e)

U: 利用者, W: 案内役

汚い (Dirty) タスク :

公共空間において、清掃などの目的でロボットを導入している事例は既に存在し、“ DustBot ”などはごみ収集目的で実際に運用されている [9] . このような、典型的な汚れを伴う仕事を、人に代わってロボットが行うことは、人々から指示を得やすいタスクである . そのため、他の 2 つのタスクと比べて結果が予想しやすく、人々がロボットをどのような見地からタスクに対して好ましいか好ましくないかを判別する基準となる . 今回考案したタスクでは、典型的なものとは異なり、ある人が鍵をゴミ箱に落とし (通常は自分で拾い上げるものかもしれないが) それを拾い上げるよう案内役に依頼し、案内役はそれを受けてややためらい気味にゴミから拾い上げるという、コミュニケーションタスクとなるように加工した .

図 9 および表 3 にその風景とシナリオを示す .

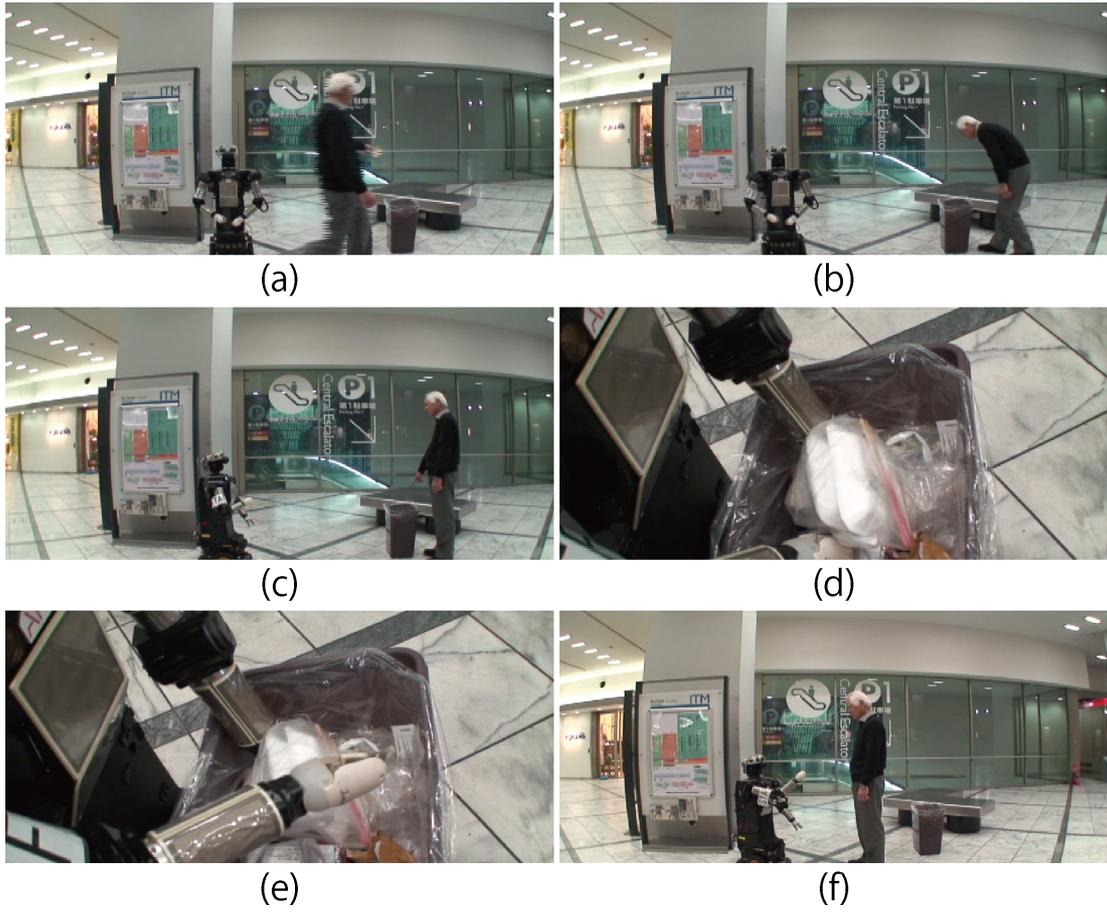


図 9 依頼されてゴミ箱から鍵を拾い上げる：風景

表 3 依頼されてゴミ箱から鍵を拾い上げる：シナリオ

<p>[案内役が立っており，利用者が案内者の前を通り過ぎると同時にゴミ箱にゴミを投げ入れる] (図 9 a)</p> <p>[暗転]</p> <p>[利用者が戻ってきて，ゴミ箱の中身を覗き込む] (図 9 b)</p> <p>U: [案内役を指さして] ちょっと</p> <p>W: [案内役が利用者の方へ振り返る]</p> <p>U: 家の鍵ゴミ箱に落とした，拾って！</p> <p>W: 私がですか？ (図 9 c)</p> <p>U: そう！</p> <p>W: [少し間をおいて頭を下げる] わかりました</p> <p>[暗転]</p> <p>[鍵をゴミ箱から探している手元のアップ] (図 9 d)</p> <p>[鍵をゴミ箱から拾い上げる手元のアップ] (図 9 e)</p> <p>[暗転]</p> <p>W: [鍵を利用者に手渡して] どうぞ (図 9 f)</p>

U: 利用者，W: 案内役

3.2.2 3種の比較対象

公共空間において、ロボットが人に代わってコミュニケーションタスクを行うことへの妥当性の検証を行った。実験は“人間”、“着ぐるみ”、“ロボット”の三種の実体に、人が遣りたがらないようなタスクを行わせたビデオを作成し、それを被験者に見せて主観評価を行った。延々と単調な作業を行うタスクは数時間も必要とし、被験者に実際それを見せたり、被験者に実際の利用者になってもらうのは非現実的である。目の前で実演する場合も、被験者ごとの統制が難しい。そこで、ビデオ実験を選択し、人々が、人がやりたがらないようなタスクをロボットが人に変わって行うことを妥当に思うのかどうかを検証することに集中した。各条件の詳細な説明を以下に述べる。

人間条件 (Human 条件) : 公共空間において、人に代わりうるコミュニケーションタスクの妥当性の検証のため、この条件を用意した。この条件の案内役は、演技力で選定した上で、身長 170 cm の若い男性 (大学生) を採用した。人間は案内役として、ショッピングモールのスタッフに見えるよう、腕章をつけ、黄色いジャケットを着用した (図 7 : 左)。

着ぐるみ条件 (Costume 条件) : 人々による妥当性が、見た目の影響をどの程度受けるのかを検証するため、外観が人間と異なり、人間らしさが減じている、“着ぐるみ”を条件として採用した。使用した着ぐるみは、うさぎをデフォルメ化した全身体着ぐるみで、柔らかい起毛で覆われた体高 170 cm (耳も含めると 210 cm) であった (図 8 : 左)。声はスピーカーによって発せられ、その声には録音済の女性の声を使用した。なお、被験者にはこの着ぐるみの中には人が入って居ることを伝えている。

ロボット条件 (Robot 条件) : ロボットとして、ヒューマノイドロボット“Robovie”を使用した [58]。体、頭、二つの目、そして二本の腕で構成された人に似た外観を持ち、それらを制御することにより、人と身体によるコミュニケーションを取ることができる (図 9 : 左)。体高は 120 cm であり、おおよそ直径 40 cm の大きさがある。ロボットは腕に 4x2、頭に 3 つの自由度を持

ち、頭部にあるスピーカを用いて、音声合成された女性の声で話すことができる。

3.2.3 ロボットの社会的受容性：実験形式

実際に人がやりたがらないコミュニケーションタスクを命じると、その様子を見るのとでは違いがあるはずである。今回のビデオ実験では、第3者の立場からそれぞれの状況进行评估することになる。これにはシナリオの設定上、被験者が実際に命じることが非現実的であることもあるが、命じることの是非よりも、その光景を客観的に妥当性であるかどうかという評価に絞るため、この実験においてはビデオ実験が妥当であると判断した。

ビデオ撮影を行った環境 ビデオは、実際に有りうる状況を再現するため、ショッピングモール“南港 ATC ”で許可を取り撮影、各条件、各実体、3x3 の9つのビデオを撮影した。

演者 このビデオの撮影のために、案内役、そしてこのショッピングモールの利用者役の演者を雇用した。

3.2.4 ロボットの社会的受容性：実験方法

実験被験者

本実験には、30人の被験者が参加した（15人の男性、15人の女性、平均年齢21.5歳、標準偏差4.1）。被験者は、様々な学部 of 学生で構成されていた。

実験環境

実験は国際電気通信基礎技術研究所の一室で行った。一人にコンピュータとモニタを割り当て、ビデオファイルを予め指定した順番で見る。ビデオの順番は、各タスク、各実体内でカウンターバランスを取った。

実験手順

ビデオを見る前に、被験者は実際にロボットと着ぐるみを見たことがなく、それによる印象の変化を避けるため、2つの実体を実際に見てもらうこととした。カウンターバランスを取った順番で、ロボットと着ぐるみが被験者の前で挨拶を行い(表4)、その後、机に戻って被験者に教示を行った。その際、着ぐるみの中には人がいることについても教示を行った。その後、こちらの指定した順番でビデオファイルを閲覧し、1つ見終わるごとにアンケートに回答した。当実験は、国際電気通信基礎技術研究所の倫理審査委員会で審査され、承認を得た。

3.2.5 ロボットの社会的受容性：指標の考案

本実験において、ロボットが人に変わってコミュニケーションタスクを行うことの妥当性を検証するため、妥当性と、人間らしさについてのアンケート指標を考案した。以下にそれを記す。

妥当性

この指標において、妥当性の計測を行う。人々がその状況を見たときにどう感じるか、人々がそれぞれの実体にその状況と同じ命令をする時どう感じるか、という2種類の視点から9項目の指標を用意した(表5)。

表4 挨拶シナリオ

[会釈をする] こんにちは
[胸に手を当てて] 僕、ロボビー（もしくはうさびー）って言います
[頭を下げて] よろしくね
[手を上げて] じゃあ、実験頑張ってるね

表 5 妥当性指標

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- X がこの仕事をするのを見ていると可哀想に思う *- X にこの仕事をさせるのは適切である- X がこの仕事をしている様子は、見るに耐えない *- 私なら、X にこの仕事はさせない *- X はこの仕事をずっとやり続けても十分に耐えられる- この仕事は、X には過酷すぎる *- この仕事は、X に適切である- X には、もっと人間らしい仕事をさせてあげたい *- X は、この仕事には向いていない * |
|---|

* : 反転項目 , $\alpha=0.926$

人間らしさ

人間らしさの計測のため、“表面的人間らしさ”、“内面的人間らしさ”、“本質的人間らしさ”の3種の指標を考案した。過去の研究において、人間らしさがロボットと仕事との妥当性の評価に違いが生じたことがわかった。他の過去の研究において、ロボットにある程度の人間らしさを感じるが、人間と同じ倫理を適応せず、本質的に人間と異なる実体であると認識していることがわかった。そこで、それぞれの人間らしさがロボットが人に代わって人がやりたがらないコミュニケーションタスクを行うことへの妥当性の評価に影響すると考えた。以下にそれぞれの指標について述べる。

- 表面的人間らしさ（表6）

この4項目の指標において、各実体の外見、動作、および振る舞いなどの、表面的人間らしさを測定する。人間らしさが低い場合、興味から外れやすい、見つめられる動作に焦点を当てた。

- 内面的人間らしさ（表7）

この6項目の指標において、主に感情と自意識に関する、内面的人間らしさを測定する。3つの項目において、被験者が各実体を人間のように感情を感じるかについて。残りの3つにおいて、被験者が各実体を人間のように自由意志を持つ実体かどうかについて焦点を当てた。

- 本質的人間らしさ（表8）

この6項目の指標において、主に倫理や人権に関する、本質的人間らしさを測定する。3つの項目において、被験者は致命的な状況においてそれぞれの質問にどう感じるかを。残りの3つにおいて、被験者は格実体に人権を付与したいかどうかについて焦点を当てた。

被験者による評価を詳細に出すため、アンケート項目は7段階評価を採用し、7を最も好意的な評価とした。被験者は9つのビデオ全てにおいて表5-8の項目に回答した。

表 6 表面的人間らしさ指標

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- X の見かけには人間らしさを感じる- X の振る舞いには，人間らしさを感じる- X がもし私の方を向いていれば，
人に見られているような気がしてくるだろう- X が近くでずっと私の方を見ていても，
人にじっと見られているときとは違って，気にならない * |
|---|

*：反転項目 ， $\alpha = 0.866$

表 7 内面的人間らしさ指標

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- X は，人間と同じように，ほめられるとうれしくなったりすると思う- X は，人間と同じように，時には怒ることがあると思う- X は，人間と同じように痛みを感じると思う- X は，人間が持つような自尊心を持っていると思う- X は，自らの意思を持っていると思う- X は，目の前で悪口を言われたとしても，傷ついたりはしない * |
|---|

*：反転項目 ， $\alpha = 0.961$

表 8 本質的人間らしさ指標

- 私よりも X の方が、銃を持った犯人に身を呈して立ち向かうような仕事に向いている
- 火事などが起きて避難するときには、たとえ X が逃げ遅れても、他の人間の避難を優先するべきである *
- 私なら、必要だと思えば、熱いところや寒いところ、雨の中、といった私が仕事するには辛い場所での仕事を X に命じることにはためらいはない *
- X の身体や生命は尊重されるべきだ
- 一般的な労働者に与えられるべき労働時間の制限や休暇といった権利は、X にも与えられるべきだ
- X は、危険な場所や汚い場所での仕事や、退屈な仕事、過酷な仕事には適していない *

* : 反転項目 , $\alpha = 0.935$

3.2.6 ロボットの社会的受容性：仮説

- 仮説 1
被験者は設定した 3 つのタスクにおいて、人間よりロボットが実行する方が妥当であると考え
- 仮説 2
人間らしさに関して、人々は全般的にロボットが他 2 つの実体より低い。

3.3 3 種の実体との比較実験結果

3.3.1 考案指標の信頼性

考案した指標の信頼性を検証する。クロンバックの α 係数により、それぞれの結果は信頼が置ける値でとどまっている。妥当性は $\alpha = .92$ 、表面的人間らしさは $\alpha = .83$ 、内面的人間らしさは $\alpha = .95$ 、本質的人間らしさは $\alpha = .94$ であった。これらの係数は .80 以上なら信頼が置けるとされるため、これらの指標は信頼が置けるものと考え。

3.3.2 比較実験仮説検証

仮説 1 検証：妥当性

1 要因被験者内要因分散分析より、妥当性の検証を行った。図 10、表 9 に統計結果を示す。

- “ 単調でつらい ”タスクにおいて有意な差が得られた ($F(2, 58) = 8.766, p < .001, \eta_p^2 = .232, \eta^2 = .118$)。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、ロボット条件が人間条件より有意に高く ($p = .001$)、ロボット条件が着ぐるみ条件より有意に高かった ($p = .031$)。人間と着ぐるみの間には有意差が見られなかった ($p = .722$)。
- “ 理不尽で身の危険さえ感じる ”タスクにおいて有意な差が得られた ($F(2, 58) = 4.024, p = .023, \eta_p^2 = .122, \eta^2 = .082$)。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、ロボット条件が人間条件より有意に高かった ($p = .002$)。

人間と着ぐるみの間 ($p = 1.0$) と、着ぐるみとロボットの間 ($p = .114$) には有意差が見られなかった。

- “ 汚い作業を依頼される ” タスクにおいて有意な差が得られた ($F(2, 58) = 41.354, p < .001, \eta_p^2 = .588, \eta^2 = .393$)。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、ロボット条件が人間条件より有意に高く ($p < .001$)、ロボット条件が着ぐるみ条件より有意に高く ($p < .001$)、着ぐるみ条件が人間条件より有意に高かった ($p = .011$)。

全体的に、上述した仮説が検証された。被験者は設定した3つの状況において、ロボットが妥当であると示した。

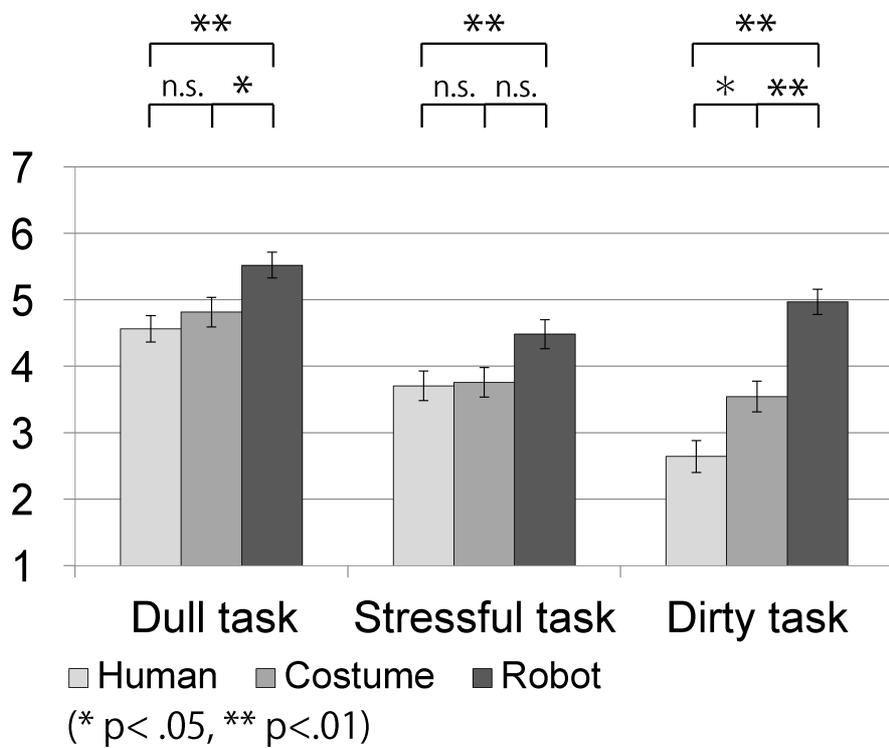


図 10 妥当性の分析結果グラフ

表 9 妥当性の平均値

	単調でつらい (Dull)	理不尽で 身の危険さえ感じる (Stressful)	汚い作業を 依頼される (Dirty)
人間	4.56	3.70	2.64
着ぐるみ	4.82	3.76	3.54
ロボット	5.52	4.49	4.97

仮説 2 検証：人間らしさ

1 要因被験者内要因分散分析より，人間らしさの検証を行った．図 11，12，13，表 10，11，12 に統計結果を示す．当然の結果であるが，人間は全ての人間らしさにおいて最も高い評価を得た，着ぐるみはそれぞれにおいて，ロボットより高い評価を得た．

表面的人間らしさ

分散分析において，優位な差が見られた（図 11，表 10）．

- 単調でつらい：

$$F(2, 58) = 49.837, p < .001, \eta_p^2 = .632, \eta^2 = .531$$

- 理不尽で身の危険さえ感じる：

$$F(2, 58) = 70.777, p < .001, \eta_p^2 = .709, \eta^2 = .612$$

- 汚い作業を依頼される：

$$F(2, 58) = 56.384, p < .001, \eta_p^2 = .660, \eta^2 = .522$$

Bonferroni 法による多重比較を行った結果，人間条件が着ぐるみ条件より有意に高く ($p < .01$)，人間条件がロボット条件より有意に高く ($p < .01$)，着ぐるみ条件がロボット条件より有意に高かった ($p < .01$)．

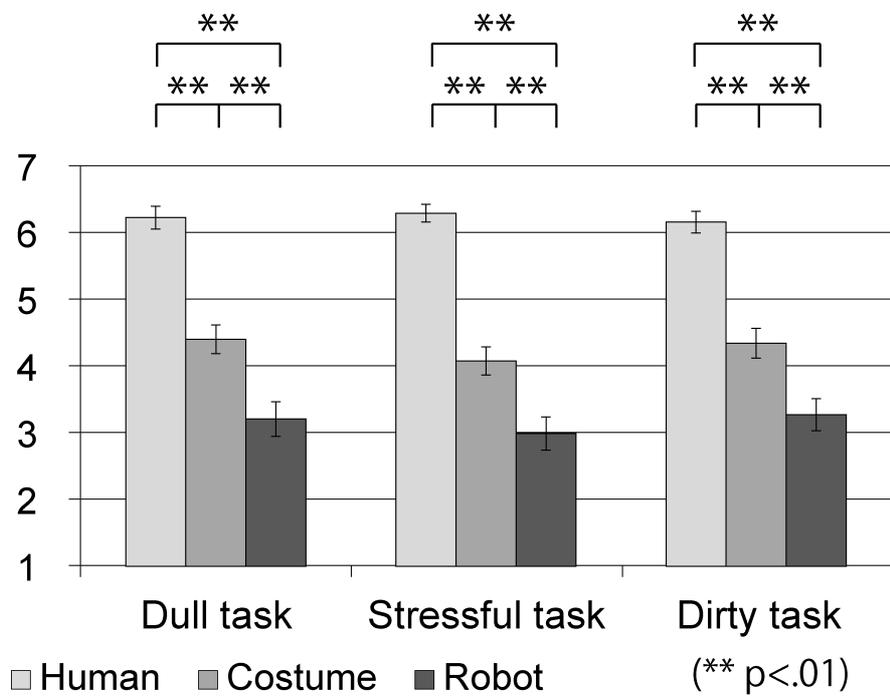


図 11 表面的人間らしさ結果

表 10 表面的人間らしさの平均値

	単調でつらい (Dull)	理不尽で 身の危険さえ感じる (Stressful)	汚い作業を 依頼される (Dirty)
人間	6.25	6.32	6.18
着ぐるみ	4.42	4.09	4.36
ロボット	3.22	3.00	3.28

内面的人間らしさ

分散分析において、優位な差が見られた（図 12，表 11）。

- 単調でつらい：

$$F(2, 58) = 37.366, p < .001, \eta_p^2 = .563, \eta^2 = .434$$

- 理不尽で身の危険さえ感じる：

$$F(2, 58) = 56.720, p < .001, \eta_p^2 = .662, \eta^2 = .508$$

- 汚い作業を依頼される：

$$F(2, 58) = 51.625, p < .001, \eta_p^2 = .640, \eta^2 = .506$$

Bonferroni 法による多重比較を行った結果、人間条件が着ぐるみ条件より有意に高く ($p < .01$)、人間条件がロボット条件より有意に高く ($p < .01$)、着ぐるみ条件がロボット条件より有意に高かった ($p < .01$)。

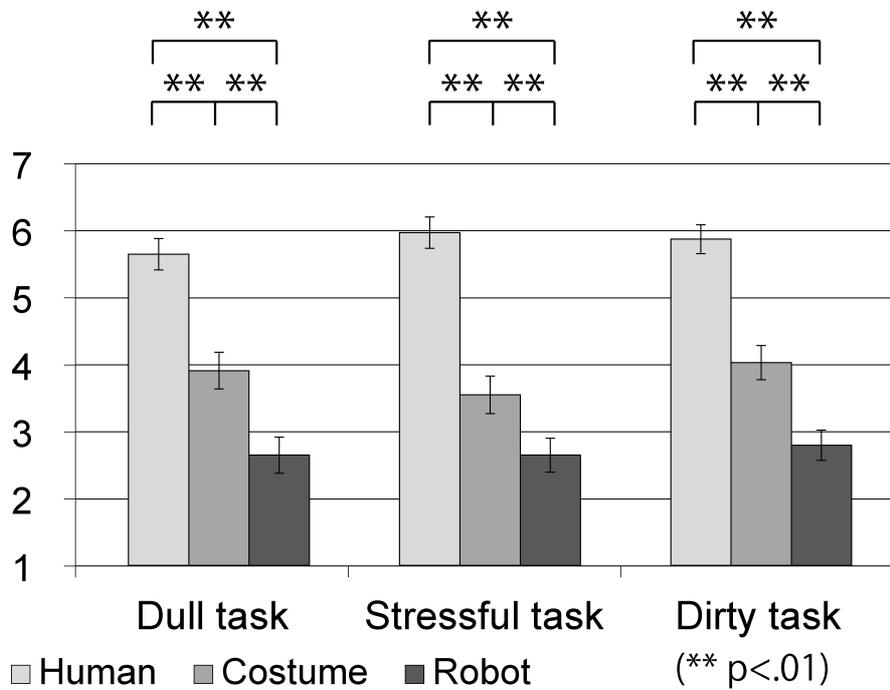


図 12 内面的人間らしさ結果

表 11 内面的人間らしさの平均値

	単調でつらい (Dull)	理不尽で 身の危険さえ感じる (Stressful)	汚い作業を 依頼される (Dirty)
人間	5.72	6.05	5.95
着ぐるみ	3.96	3.59	4.08
ロボット	2.67	2.67	2.82

本質的人間らしさ

分散分析において、有意な差が見られた（図 13，表 11）。

- 単調でつらい：

$$F(2, 58) = 64.621, p < .001, \eta_p^2 = .690, \eta^2 = .541,$$

- 理不尽で身の危険さえ感じる：

$$F(2, 58) = 53.374, p < .001, \eta_p^2 = .648, \eta^2 = .480,$$

- 汚い作業を依頼される：

$$F(2, 58) = 51.344, p < .001, \eta_p^2 = .639, \eta^2 = .478).$$

Bonferroni 法による多重比較を行った結果、人間条件が着ぐるみ条件より有意に高く ($p < .01$)、人間条件がロボット条件より有意に高く ($p < .01$)、着ぐるみ条件がロボット条件より有意に高かった ($p < .01$)。

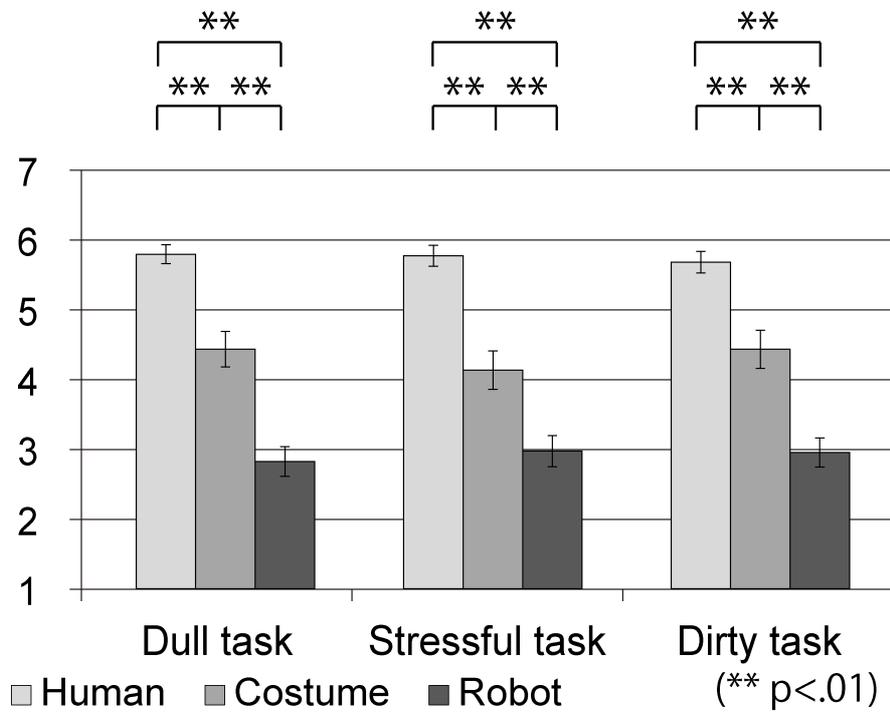


図 13 本質的人間らしさ結果

表 12 本質的人間らしさの平均値

	単調でつらい (Dull)	理不尽で 身の危険さえ感じる (Stressful)	汚い作業を 依頼される (Dirty)
人間	5.87	5.85	5.75
着ぐるみ	4.49	4.18	4.49
ロボット	2.85	3.00	2.98

3.3.3 考案指標の解析

妥当性と人間らしさそれぞれの指標の関係を Pearson の相関係数に基づき解析した（表 13）。その結果，すべての人間らしさ指標において，正の相関関係が見つかった。これは，ある人間らしさが高ければ，ほかの 2 種の人間らしさも高くなるということになる。妥当性指標においても，正の相関関係が見つかった。これはあるタスクにおいて，妥当性が高ければ，ほかの 2 種のタスクにおいても妥当性が高くなるということとなる。これらは，今回考案した指標が，今回の実験の目的に対して妥当であることを示している。

一方で，妥当性指標と各人間らしさ指標の間に負の相関関係が見つかった。これは，人がやりたがらないタスクにおいて，より妥当であると考えられる実体は，より人間らしさが低いということとなり，この結果の妥当性を示している。この結果により，人がやりたがらないタスクを行うのは，人よりロボットのほうが妥当であると考えていることを示唆している。

表 13 指標の相関関係

変数	1	2	3	4	5	6
表面的人間らしさ	-	-	-	-	-	-
内面的人間らしさ	.851**	-	-	-	-	-
本質的人間らしさ	.777**	.841**	-	-	-	-
妥当性：Dull	-.392**	-.441**	-.485**	-	-	-
妥当性：Stressful	-.366**	-.398**	-.465**	.311**	-	-
妥当性：Dirty	-.534**	-.572**	-.668**	.555**	.619**	-

**： $p < .01$

3.4 ロボットの社会的受容性：考察

コミュニケーションタスクをロボットがすることの妥当性 “ 単調でつらい ” , “ 理不尽で身の危険さえ感じる ” , “ 汚い作業を依頼される ” , これらには人とのコミュニケーションを要求される . この実験結果は , それらの人がやりたがらないようなタスクにおいて , 人々はロボットが人より妥当であると考えていることを示した . 今回の実験では , 被験者は大学生付近の若い世代であった . ロボットへの感覚は , 年齢と関係しており , 高齢者などはロボットにに対してネガティブな印象を持つという結果が出ているし [16] . しかし , これからロボットが公共空間へ進出していく場合 , まだまだ時間がかかるため , 今の若い層の印象は将来公共空間で会う一般の人々の印象として妥当であると考えられる .

現在まで , 人々はコミュニケーション型ではないが , 人がやりたがらないようなタスクをロボットが人に変わって行うことを期待してきた . 今回の実験により , さらに人がやりたがらず , かつコミュニケーションタスクにおいて , ロボットが人に代わりうる可能性を示した . この結果は , 従来のガイドロボット研究とも関連しており [59,60] [10,11] , 特に顕著な差が見られた延々と案内するタスクは , 典型的かつ望ましいコミュニケーションタスクであることを示し , 従来の研究に対する一助をになったと考えている .

ロボットデザイン この結果は , ロボットをどうデザインするべきかという議論にも結びつく . 従来研究からも [51] [52] , 人間に近い外観を持っていても , 本質的に人々はロボットを人とは違う実体であるということを意味している . 人々は人間らしさの低下と共に , 人がやりたがらないタスクへの妥当性を高めていった . これは , ロボットに何のタスクを行わせるかに対し , 外観や能力 , 倫理などの視点から慎重に決定する必要があることを示す . 今回の実験で使用したロボットの見た目は , 実際の人間とは離れている . そして , ロボットの人間らしさとタスクとの妥当性とは正の相関関係があり , 人間に近い見た目を持つようなアンドロイドなどを用いた場合 , 人々は違う反応を示す可能性が高い . 人々は人間らしさが減じた着ぐるみに対しても , 本質的な人間らしさは感じているので , 人のやりたがらないようなタスクは主に人間らしさの低いロボットを使用し , 共感や感情に

訴えかけるような場合は，アンドロイドやジェミノイド [61] の人間と見紛う外観を必要とすると考えられる．

職業が各タスクに分割可能であり，各タスクごとに外観や振る舞いに注意する必要があることを示唆している．人間や異なる見た目を持つロボットのチームが，ある職業においてそれぞれが適切なタスクに従事する，というような，ロボット運用の新たな可能性を示したと考える．

着ぐるみ条件における人間らしさの減少 本結果において，着ぐるみ条件は人間らしさが全般的に有意に低かった．この結果は非常に興味深いものの，本研究の範疇を超えたものであり，深く言及しない．しかし，一つの利点がここから浮かび上がってくる．

おそらく，顔が隠れたことにより，着ぐるみの人間らしさが減じたと考える．実際，ほかの実験で着ぐるみとロボットを比較したところ，子供たちは着ぐるみに対して，ロボットと同じようにやや乱暴に接触した．このような，顔の見えない電話や電子メールの方が，積極的にコミュニケーションを取る傾向がある [61]．人間らしさを減じることにより，コミュニケーションを促進する効果が存在するかも知れない．

提案する指標 この実験において，大きな貢献の1つとして，新たな指標を提案したことにある．例えば，アンドロイドや他のヒューマノイドロボットが，それぞれ人々からどのように見られているかの一つの指標となり，その外観がどのような位置づけがされるのかについて理解することが可能となるからである．

年齢や国籍，性別によって人々の受け入れ方が異なる研究は行われており，それに応じてどのようにロボット開発を行うべきかという研究にも，今回の指標が有効であると考えられる．

本結果の問題 ただ，本結果を公共空間におけるロボット全般に適用するにはいくつかの問題が存在する．まず，ビデオ実験であることから，三人称的評価になっており，一人称的評価ができていないということである．やはり，現実で目の当たりするのと，ビデオという媒体で見るとでは現実感が異なることは否めない．

一般的な実体の比較を行ったため、身長統制については今回は考慮していない。しかし、通常街中の着ぐるみは中に人が入る性質上、人間より身長が高いことが一般的であり、人と同じ身長の着ぐるみのほうが非現実的であると考えられる。

3.5 ロボットの社会的受容性：まとめ

本章において、ロボットが実際の公共空間において、人に代わって行うことのできるコミュニケーションタスクがあることを示した。上述した先行研究から、人々がロボットにどのようなタスクを適切と思うかを予想して、人がやりたがらないようなコミュニケーションタスクに注目した。3つのタスクと3つの条件を組み合わせて比較し、3つのタスクすべてにおいて人々はロボットが適切であると評価した。特に、人を延々と案内するようなタスクにおいて顕著な優位性が見られた。

3つの人間らしさ指標から、人々がロボットをどのようにみているかを検証した。表面的、内面的、本質的人間らしさの評価結果から、人間はロボットを人間とは別の実体ととらえていることがわかった。

4. コミュニケーションタスクを実現する情報提供法

本章において、据え置き型ロボットの振る舞い、特に通りがかる人々に情報を発信する状況における振る舞いについて社会的受動形式の提案と、実際の公共空間における検証について述べる。

4.1 社会的受動形式の提案

図 14 に、本研究で提案する手法と、対比として従来からある他の 2 種のロボットによる情報提供メディアの形態を示す。(a) は、テレビにおけるニュースキャスターのように、一体のロボットがただ一方的に情報を提供するものであり、ここでは受動 (Passive) メディアと呼ぶ。(c) は、歩行者から要望を受けその要望を満たす情報を提供する情報提供メディアであり、インタラクティブ (Interactive) メディアと呼ぶ。(c) の形式は、前述のように、主にセンシングの難しさが原因で、言葉を交わして相手の意に沿った情報提供を行う。

本研究において注目するのは、ロボット同士が会話してみせることにより観察者に情報を伝達する (b) の形式、つまり社会的受動形式である。受動メディアや社会的受動形式はセンシングをほぼ行わず、歩行者からの要望に反応することはない。本研究において、「社会的受動形式は受動メディアよりも自然な情報提供を行える」との仮説を持つ。例としてあげるなら、テレビのニュース番組において二人のアナウンサーがニュースについてコメントしあうといった状況がこれに当てはまる。なお、(d) の形式は社会的対話 (Interactive-social) メディアとも呼ぶべき存在である。

本研究において、(a) ~ (d) の見せ方の工夫 (社会的 (Social) か、非社会的 (Non-social) か)、と応答の工夫 (対話的 (Interactive) か、受動的 (Passive) もしくは Non-interactive) か) の 2 要因を対象にした比較を行い、現時点でのロボットの情報提供メディアとしての適切な利用形態を模索する。

なお、情報提供メディアとしての利用方法としてもっともシンプルなのは、広告や宣伝を行うような利用形式であろう。広告や宣伝は、ロボットの新しさを活かし、ロボットが人間のように話してみせるという側面を上手く活用する最初の

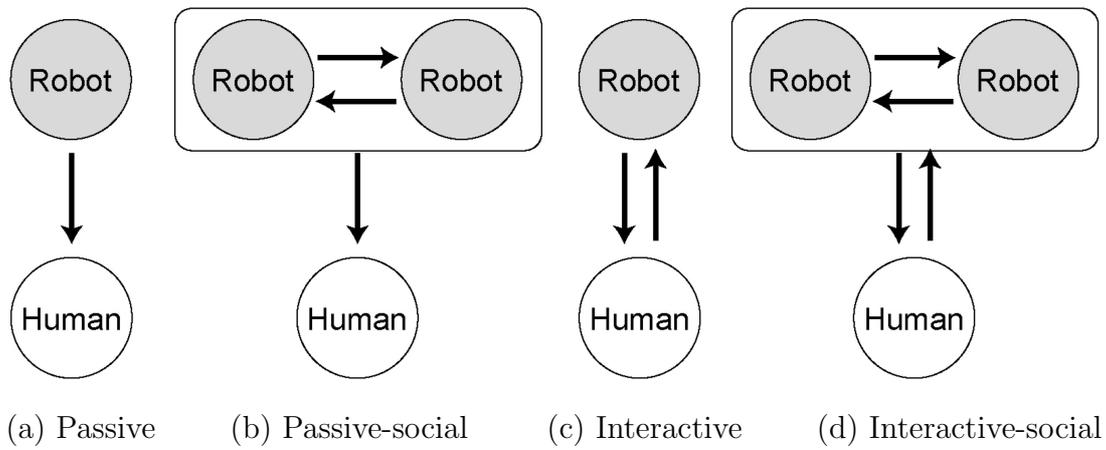


図 14 情報提供者としてのロボット

ロボットの使われ方となるのではないのか、と考える。ロボットが情報提供メディアとして振る舞うときに、このような見せ方、応答の各要素の有効性有効性について検証する。

4.2 提案情報提供法のフィールド実験

ロボットが情報伝達を目的とするメディアとして振る舞うときに、見せ方、応答の各要素の有効性について検証するフィールド実験を行った。以下に実験について述べる。

ロボットを情報提供メディアとしての利用方法としてもっともシンプルなのは、広告や宣伝を行うような利用形式であろう。広告や宣伝は、ロボットの新鮮さを活かし、ロボットが人間のように話してみせるという側面を上手く活用する最初のロボットの使われ方となるのではないのか、と考える。ただし、このような広告宣伝を対象とした場合には、不特定の一般人を対象とするフィールド実験が欠かせない。フィールドを想定した実験において、情報提供メディアとしての有効性を証明することは出来なかった。その原因には、ロボットに対しある程度興味を持ち、強制的に情報提供されている被験者の心理的状況が会ったとも考えられる。実際のユーザ、特にロボットに特別な興味を持たない「通行人」という立場の人が興味深い対象である。そこで近畿日本鉄道学研奈良登美ヶ丘駅（図15）でフィールド実験を行い、社会的受動形式の有効性について検証を行った。

- シナリオ例

本実験において、ロボットは駅構内で駅付近と沿線の情報提供を行う。使用するシステムについては社会的受動形式のために開発された相互対話システムを使用した [28]。表15に、実際に使用したシナリオの例を示す（Social, Non-social条件については4.2.3項参照）。対話的条件（4.2.3項参照）においては、人が接近した際、ロボットは顔を人の方向に向けて“こんにちは”と言いながらおじぎをした後、情報提供を行う。

4.2.1 検証実験

実験を行った近畿日本鉄道学研奈良登美ヶ丘駅は、2006年3月にけいはんな新線の終着駅として開通した。けいはんな新線は住宅区域と大阪市内をつなぐ路線である（図15）。駅利用者は通勤ないし通学目的の利用者が主である。通常1時



図 15 実験環境

間あたり 4 本，朝夕のラッシュ時には 1 時間あたり 7 本の列車が発着する．図 16 に，実験環境を示す．列車が到着した後，利用者はプラットフォームから階段を利用して改札口に降りてくる．

図 16 上における左の階段 4 の前 1 にロボットを設置した．ロボットは，主に左の階段から来る駅利用者に情報提供を行った（内容については 4.2.4 参照）．

4.2.2 観測状況

ロボットの付近を通り過ぎた駅利用者全てを被験者であるとした．駅利用者の行動は前述したカメラにより観察し，分析した．ロボットを見るために立ち止まった駅利用者に対し，アンケートへの回答を依頼した．なお，近畿日本鉄道より駅へのカメラの設置とビデオ記録については許可を頂き，その旨について，ポスターおよびちらしにより駅の利用者に告知した．

本実験において，駅利用者がロボットの行動にどのように反応するかを観察した（図 16: Camera (a)(b))．今回 4 つの条件の比較を行った（4.2.3 参照）．曜日による利用者数の違いや，昼夜の利用者数の違いによる結果の偏りを避けるため，まず一日を昼間（主に時間的余裕を持つ人々がいる時間帯），および夜（主に時間的余裕を持たない帰宅者がいる時間帯）の二つに分け，4 条件それぞれが

両時間帯に含まれるようにローテーションを組んだ（表 14）。

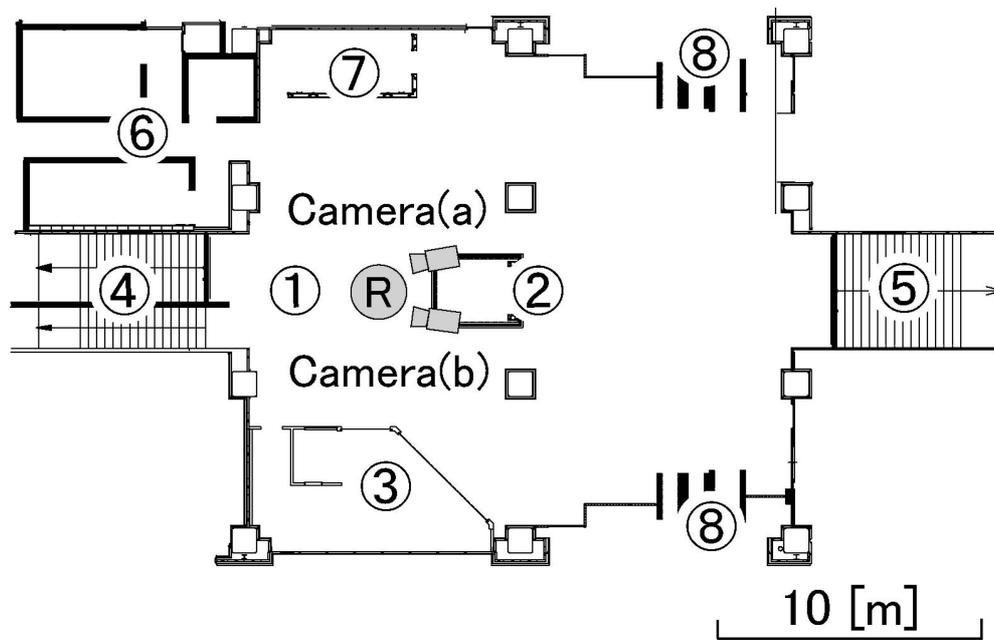
4.2.3 実験条件

社会的表現（Social，Non-social）の有無と，限定的なインタラクティブ能力（Interactive,Passive(Non-interactive)）の有無．この2つの能力を比較調査するために，以下の2 × 2の4条件を比較した．

- 受動（Passive 条件：P 条件）
この条件において，限定的なインタラクティブ能力を持たないヒューマノイドロボットを一台設置した（図 17: a）．センサの使用は行わなかったが，外見での評価の差異を回避するため，センサは他の条件と同様に設置した．ロボットは駅と沿線について五種類の情報提供シナリオ（4.2.4 参照）を無作為に行い続けた
- 対話条件（Interactive：I 条件）
P 条件に，制限されたインタラクティブ能力を付加した条件である．センサとしてレーザーレンジファインダーを持ち，歩行者の存在の有無や方向によってシナリオを遷移する．具体的には，ロボットの付近に歩行者が存在しなかった場合，待機用シナリオを実行する．待機用シナリオにおいて，ロボットは誰に言うともなく独り言を言う（表 16 参照）．センサが 3.5 m の半円内に人を検出した場合，ロボットは，待機用シナリオを中断し，歩行者のいる方向を向き，お辞儀した後“ こんにちは ”を発話する．その後，3.5 m 以内に人が存在する限り，ロボットは駅と沿線について五種類の情報提供シナリオ（4.2.4 参照）を無作為に行い続けた．
- 社会的受動条件（Passive-social：Ps 条件）
この条件において，限定的なインタラクティブ能力を持たないヒューマノイドロボットを 2 台設置した（図 17: b）．センサの使用は行わなかったが，外見での評価の差異を回避するため，センサは他の条件と同様に設置した．ロボットは通信しあうことによって駅と沿線について五種類の情報提供シナリオ（4.2.4 参照）を無作為に行い続けた．

表 14 スケジュール

Daytime (per an hour)	Night (per 30 minutes)
14:00 ~ 15:00	18:30 ~ 19:00
15:00 ~ 16:00	19:00 ~ 19:30
16:00 ~ 17:00	19:30 ~ 20:00
17:00 ~ 18:00	20:00 ~ 20:30



1 : Experiment field, 2 : Elevator, 3 : Shop, 4 : Left stairway, 5 : Right stairway, 6: Toilets, 7 : Vending machines, 8: Ticket gates

図 16 駅構内図

- 社会的対話条件 (Interactive-social : Is 条件)

Ps 条件に，制限されたインタラクティブ能力を付加した条件である．センサとしてレーザーレンジファインダーを持ち，歩行者の存在の有無や方向によってシナリオを遷移する．具体的には，ロボットの付近に歩行者が存在しなかった場合，待機用シナリオを実行する．待機用シナリオにおいて，ロボットは2台で互いに内容のないお喋りをする（表 16 参照）．センサが 3.5 m の半円内に人を検出した場合，ロボットは，待機用シナリオを中断し，歩行者のいる方向を向き，お辞儀した後“ こんにちは ”を発話する．その後，3.5 m 以内に人が存在する限り，ロボットは駅と沿線について五種類の情報提供シナリオ（4.2.4 参照）を無作為に行い続けた．



(a) Non-social condition



(b) Social condition

図 17 Social 条件

4.2.4 コンテンツ

個々の条件において存在した五種類の情報提供シナリオは以下の内容である。

- (1) 大阪までの所要時間
- (2) ATR についての情報
- (3) 沿線に存在する駅についての情報
- (4) 新線により接続される東大阪についての情報
- (5) 駅付近についての情報

これらのシナリオの長さは約3分であった。表15に大阪までの所要時間についての情報提供シナリオの一部を示す。Interactive 条件においては、他にも5種類の待機用シナリオが存在した。表16に例を示す。これらの待機用シナリオは約30秒であった。なお、5日目以降、これらのシナリオは他の内容のものに変更した。

4.2.5 分析

アンケート

被験者による評価を詳細に出すため、アンケート項目は7段階評価を採用し、7を最も好意的な評価とした実験中に、立ち止まり、ロボットに対し強く関心を持った被験者に対し、以下の7段階主観評価と自由にコメントを回答する自由記述を行うアンケートに記入を求め、163名の利用者からデータを得ることが出来た。具体的な評価項目は、(a) 話しかけられた感じ (b) 内容への興味 (c) 楽しさである。

表 15 駅情報提供シナリオ例

(a) Social condition
Robot1: ご利用，厚く御礼申し上げます． Robot2: 大阪に行ける言うけど，具体的に何所までいけるん？ Robot1: 難波まで 30 分，本町まで 40 分と言うところでしょうか．
(b) Non-Social condition
Robot1: ご利用，厚く御礼申し上げます． 大阪までいけると申しますが，具体的に言うと， 難波まで 30 分，本町まで 40 分と言うところです．

表 16 待機シナリオ例

(a) Social condition
Robot1: お腹，すきませんか？ Robot2: そやな～，後でバッテリーでも食べにいこか．
(b) Non-Social condition
Robot1: お腹～，すきましたね そうですね，後でバッテリーでも食べに行きましようか．

被験者の振る舞い

以下に、本実験において利用者が見せたロボットに対しての反応について述べる。

- (a) Ignoring：乗車前，ないし降車後，ロボットを一顧だにせず通り過ぎる事例．（図 18: a）このケースは 1 日あたり約 370 回確認された．
- (b) Noticing：乗車前，ないし降車後後，ロボットのそばを通り過ぎた際，足を止めずロボットの方を見るだけに留める事例．（図 18: b）1 日あたり約 260 回確認された．
- (c) Stopping to watch：乗車前，ないし降車後後，ロボットのそばを通り過ぎた際，足を止めてロボットを鑑賞する事例（図 18: c）．一般的には，一つないし，二つのコンテンツを聞き終えたタイミングで立ち去っていた．後々の分析のために，下記の (d)～(i) までのケースが排他的でないことに着目し，これらのケースを (c) に纏めた．1 日あたり約 110 回確認された．
- (d) Staying：上で述べたためてロボットを鑑賞した利用者の中でも，暫くの間ロボットのコンテンツを延々と見続けた例．ロボットが説明するコンテンツは五種類をランダムに繰り返すものだが，同じコンテンツが何度出てきても飽きることなくロボットを鑑賞し続けていた．一日あたり約 1 名確認された．
- (e) Touching：ロボットに近づいた後，やおろロボットの手を触り始める例．特に，肩に触ってロボットの感触を確かめる例と，ロボットがコンテンツの説明を行っている際，腕を挙げるモーションで手を握る事例が最も多く確認された（図 19: e）．稀にではあるが，壊れるかもしれないといった遠慮なしに手を引っ張り挙げたり抱きついたりする例も見られた．一日あたり約 3 回確認された．
- (f) Changing course to investigate：ロボットのそばを通らなかったのにも関わらず，ロボットの存在を確認して見に来る（図 19: f）．一日あたり約 50 回確認できた

- (g) Talking about robot(s) : ロボットについて利用者が語り合う。主に知り合い同士がロボットについて語り合う事例が多く見受けられたが、稀に全く初見と思われる人同士がロボットについて語り合う場面も見られた (図 19: g)) においては、利用者たちはロボットが会話していることについての面白さについて語っていた。一日約 7 回確認された。
- (h) Child : 主に子供と保護者が見るという事例。1 日あたり 15 回確認された。以下に例をあげる。
- ・ 子供が通りがかりにロボットを見かけて、大人にせがんで見に来た場合。
 - ・ 大人がロボットを発見し、子供に見せようと子供を呼び寄せる場合。
- 通常、保護者と子供は、双方ともロボットを熱心に観察した。子供の中には、座り込んでしまう者も存在した (図 20: h)。しかし中には、子供が熱心にロボットを観察している間、大人のほうは興味を失ったのか注意をロボットから逸らしてしまうケースも散見された。子供のほうは明らかに熱意が無いにもかかわらず、積極的にロボットを見せに来ようとする保護者についても確認した。
- (i) Taking pictures : カメラまたはカメラつき携帯電話でロボットを撮影する事例。中には、ロボットの話している内容より、写真をとることのほうを重視しているかのような振る舞いを行う被験者も散見された。1 日あたり約 7 回確認された (図 20: i)。

分析により、上に示したような典型的な 9 つの振る舞いについて述べた。以上のもののうち (d) ~ (i) は互いに排他的でなく、事例が少ない為、分析においては特に分類せず、Stopping to watch として換算した。結果として、約 900 名の被験者の振る舞いが“ Stopping to watch ”カテゴリーに分類された。



(a) Ignoring



(b) Noticing



(c) Stopping to watch

図 18 駅利用者のロボットに対する振る舞い 1



(e) Touching



(f) Changing course to investigate



(g) Talking about robot(s)

図 19 駅利用者のロボットに対する振る舞い 2



(h) Watching with child



(i) Taking pictures

図 20 駅利用者のロボットに対する振る舞い 3

4.2.6 仮説

- 仮説 1
限定的な反応行動を行ってコンテンツに移行した方が，人は話しかけられたような感じを覚える．
- 仮説 2
限定的な反応行動をすることにより，その時点で利用者のロボットへの興味は話している内容ではなく，ロボットとコミュニケーションをとることが主眼になってしまい，結果としてロボットが話している内容へは興味が薄れてしまう．
- 仮説 3
ロボットが一体で話しているよりも，二体で話している方が利用者の興味を強く引く．

4.3 提案情報提供法の検証結果

4.3.1 提案情報提供法の仮説検証

仮説 1 検証：ロボットに話しかけられた感じ

図 21, 表 21 に, “ ロボットに話しかけられた感じ ” の結果を示す. 二要因間グループ分散分析の結果 (Social 条件 x Interactive 条件), 話しかけられたという印象は, Interactive-Passive 条件の比較においては, Interactive 条件の方が Passive 条件より有意に高かった ($F(1,136) = 4.63, p < .05$). Social 条件間比較においては, 有意差が存在せず ($F(1,136) = .18, p > .10$), Interactive 条件間比較においては有意傾向が見られた ($F(1,136) = 2.97, p = .087$). これにより, 挨拶をされた方が, 人は話しかけられたという印象を持つことが分かる.

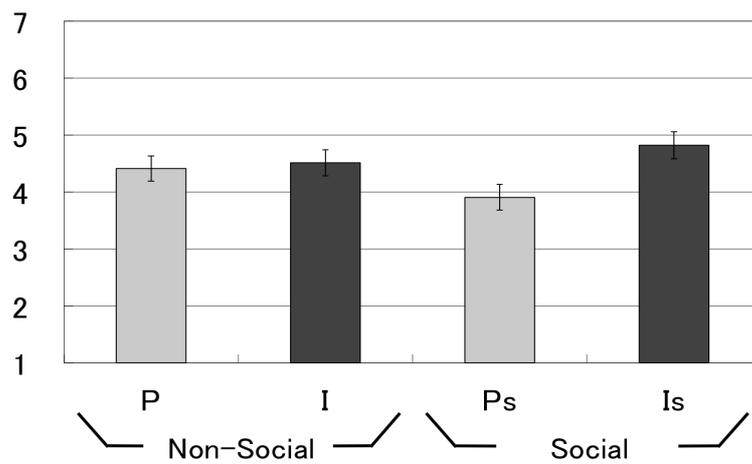


図 21 ロボットに話しかけられた感じ

表 17 ロボットに話しかけられた感じ平均値

	Passive	Interactive
Non-Social	4.41	4.51
Social	3.90	4.82

仮説 2 検証：話している内容への興味

図 22，表 18 に，“ ロボットの話している内容への興味 ”の結果を示す．二要因間グループ分散分析の結果（Social 条件 x Interactive 条件），Interactive 条件比較において，Passive 条件のほうが Interactive 条件より有意に高かった ($F(1,136) = 4.11, p < .05$)．Social 条件間，Interactive 条件間比較においては有意差が存在しなかった ($F(1,136) = .00, p > .10$) ($F(1,136) = .97, p > .10$)．これにより，挨拶をしない方が，利用者は話している内容へ興味を持つことが分かる．

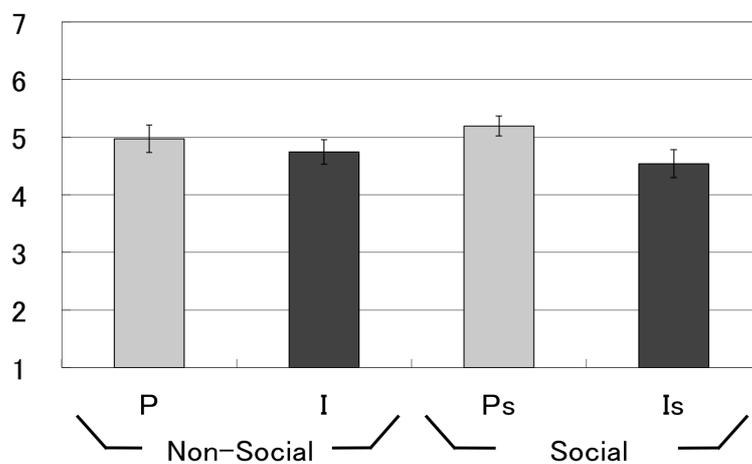


図 22 話している内容への興味

表 18 話している内容への興味平均値

	Passive	Interactive
Non-Social	4.97	4.74
Social	5.19	4.54

仮説3 検証：立ち止まり率

仮説3を検証する要素として、ロボットの付近を通過した人の内、立ち止まった人の割合を利用した表19下部参照)。表19と図23に、立ち止まり率の結果と推移を示す。カイ自乗検定の結果、立ち止まり率に関して、社会的受動形式条件の結果が有意に最も高かった。Non-social条件間は双方有意に低く、Social条件の方がより利用者の興味を引いたことが分かった。

4.3.2 情報提供メディアとしての可能性の分析

図24,表20に、二要因間グループ分散分析の結果を示す。Social条件間比較($F(1,136) = .27, p > .10$)、Interactive条件間比較($F(1,136) = .18, p > .10$)、Interactive-Passive条件間比較において、有意さは存在しなかった($F(1,136) = .30, p > .10$)。

仮説1検証によって、限定的な反応行動があると、より話しかけられた気がするということが分かる(2体のときのほうがこの効果が強い可能性がある)。一方で、仮説2検証より、限定的な反応行動が無い方が内容に興味をもたれることが分かった。このことより、利用者に対し、限定的な反応行動を行うことは必ずしも良い結果を生むわけではないと考える。

これはロボットを、特に社会的受動形式を情報提供メディアと捉えたときにもっとも重要となると考える。各条件によってロボットに対する好感度は変化せず、一様に同じ印象を持ったものと考えられる。

仮説3検証によって、客観指標(立ち止まり率)に限定的な反応行動の有無による違いはなかった。むしろ、立ち止まり率は1体よりも2体の方が多かった。これは、2体ロボットが掛け合いで喋っているという状況がものめずらしい所為とも考えられ、社会的受動形式が既存の受動形式よりも現在、情報提供メディアとしての可能性を十分あるものと考えられる。

表 19 立ち止まり数

Condition	Number of stopping to watch	Number of ignoring or noticing	Rates of Stopping to watch
P	197	1278	0.134
I	214	1330	0.139
Is	246	1131	0.179

(A: Number of persons stopping to watch, B = Number of persons ignoring or noticing, C = Rates of persons stopping to watch, $A + B =$ Number of All persons, $C = A / [A + B]$)

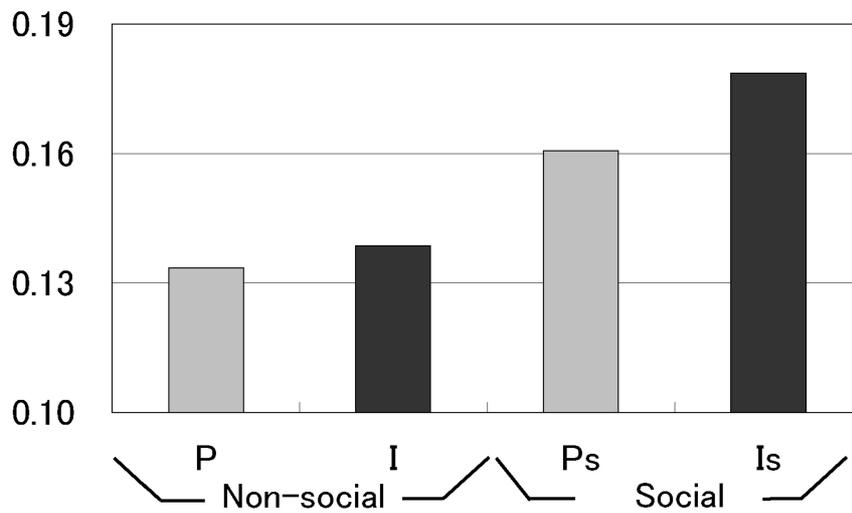


図 23 立ち止まり率比較グラフ

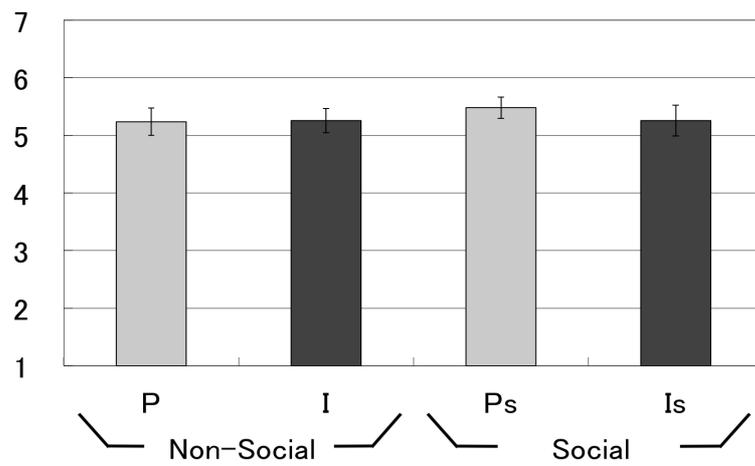


図 24 ロボットの楽しさ

表 20 ロボットの楽しさ平均値

	Passive	Interactive
Non-Social	5.24	5.26
Social	5.48	5.26

4.4 提案情報提供法の考察

フィールドにおける実験の意義

本研究において、我々はロボットを駅に置き、ロボットを公共空間におけるコミュニケーションタスクに運用することについての可能性を示した。駅利用者は情報を提供するロボットに足を止め、ロボットの話す情報に耳を傾けた。本稿において、その際に駅利用者が見せた様々な反応を、貴重な情報として報告した。本研究における成果の一つとして、駅におけるフィールド実験から、一般の人々がロボットの話に耳を傾けるといふ相互作用のごく初期のフェーズ（ロボットを無視する、足を止めるなど）に話しかけるコミュニケーションタスクにとって必要なメカニズムの存在を見いだしたことにある。

本研究に限らず、ロボットへの興味と言う点で偏りを持たない被験者の集団を得ることは非常に難しいと考えられる。ゆえに、本研究が明らかにしたような相互作用のごく初期のフェーズでの現象は、これまでにあまり重要視されず、研究されてこなかった。これに対して、今回の駅におけるフィールド実験においてはロボットに対し興味が無い人々が多い環境であるため、通りかかった人がロボットやロボットが発する情報に興味を持つ課程を観察することが可能であったといえる。

情報提供メディアとしてのロボットの運用

本研究において、駅などの公共空間において、コミュニケーションタスクでどのようにロボットを運用すべきであるかを示した。実験において、限定的なインタラクティブ性が、ロボットに話しかけられたような印象は強めるものの、ロボットの提供する情報そのものへの興味は低下させてしまうということが示された。つまり、インタラクティブ性は、ロボットを情報提供メディアとして運用する場合、むしろ弊害になってしまうと考えられる。本研究において、現実のフィールドにおけるロボットの運用方法のひとつの形を示した。ただし、今回のインタラクティブ性は限定的であったため、もし将来技術の進歩により、インタラクティブ性が向上した場合、違う結果になる可能性は考えられる。

社会的受動形式の効果

本実験において、人をより立ち止まらせる効果があるのは1台のときより2台のときであった。多く人は、公共空間に何かあるとしても、立ち止まることは少ない。駅のように、目的がある人々が多い環境ではなおさらである(図 25: Ignore)。仮に、公共空間におかれたロボットを見たとして、そこからさらに、ロボット自体に興味がある層(図 25: A)、ロボットの話す内容に興味がある層(図 25: B)、両方に興味を持つ層(図 25: C)に分かれると考えられる。このうち、ロボットとの会話を主題におかれてしまうと、話している内容には興味を持ちづらくなるものと考えられる。一方で、一方的に話す、という行為は、人々の興味をロボットからロボットの話す内容に移すことができたと考える。つまり、インタラクティブ能力の欠如は、利用者にロボットの提供する情報の内容へ注視させると言う有利な効果をもたらすことがわかった。このことより、社会的受動形式こそが、今回の条件のうちで、情報提供メディアとしてロボットを運用する際有効であることを示した。

目新しさの影響

目新しさは、ロボットに対する興味や印象を好意的なものにする一方、ロボットに見慣れると急激に低下する [32]。本実験においても、毎日の通勤、通学客を対象にそれを検証することができると考えた。しかし、この結果は検証できなかった。図 26 に、経過日数に伴う立ち止まり率の変化を示す。結果としては、立ち止まり率は劇的な減少はしなかった。おそらく、この程度の期間では目新しさの減少は観測できないと考える。

4.5 提案情報提供法のまとめ

今回の実験において、提案する据え置き型ロボットの話しかける振る舞いが有効であることが分かった。一種類のロボット“Robovie”のみを使用し、駅や、情報提供の内容もごく限られたものであり、他のロボットや駅で同じ効果が得られるかどうかについては検証していない。駅についても、駅の性質や大きさや所在地によって人々の反応が異なるということは予想できる。しかし、安全問題のため

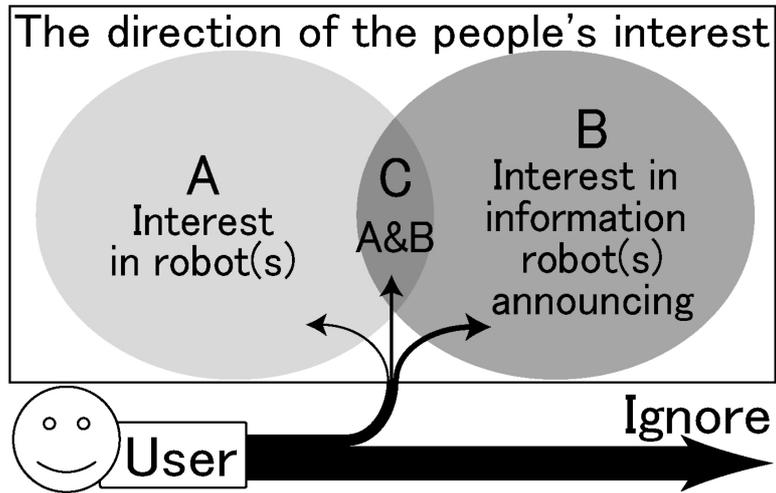


図 25 ロボットを見る人の経緯

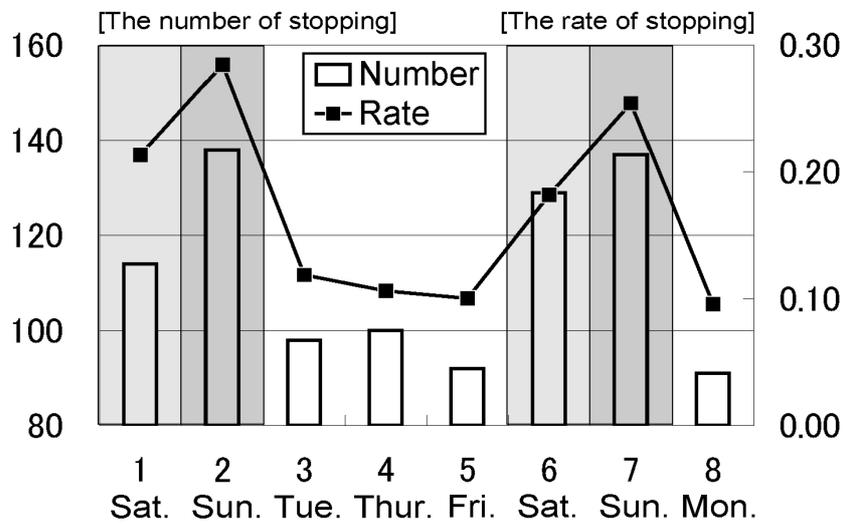


図 26 各曜日ごとの立ち止まり推移

め、利用者が忙しく、込んでいる駅でそのような実験を実施することは困難である。その為、本実験の内容が最も現実的で妥当であると考え。各条件における比較検証のため、ロボットが提供する内容についてなるべく簡単なものにするようにした。実際に情報提供メディアとしてロボットが使用される際には、ユーモアや演出を付加し、より効果的な情報提供を行い、条件による効果を薄めてしまう可能性があると考えた。条件間の演出による差異を無くすことにより、本実験の結果が妥当なものになったと考える。

5. コミュニケーションタスクを実現する巡回法

本章において、移動型ロボットの振る舞い、特に通りがかる人々を待ち受ける振る舞いである、話しかけやすい歩き方（話しかけやすい巡回法）の提案と、有効性の検証について述べる。

5.1 人間からのモデル化

話しかけやすい巡回法のデータを集めるために、警備員の経験を持つ2人の被験者に参加してもらい、その歩行行動からモデルを行う。

5.1.1 データ収集

環境 データの収集は、大阪南港 ATC の広場で実施された（図 27）。この広場では、毎分1人の歩行者が観察されていた。

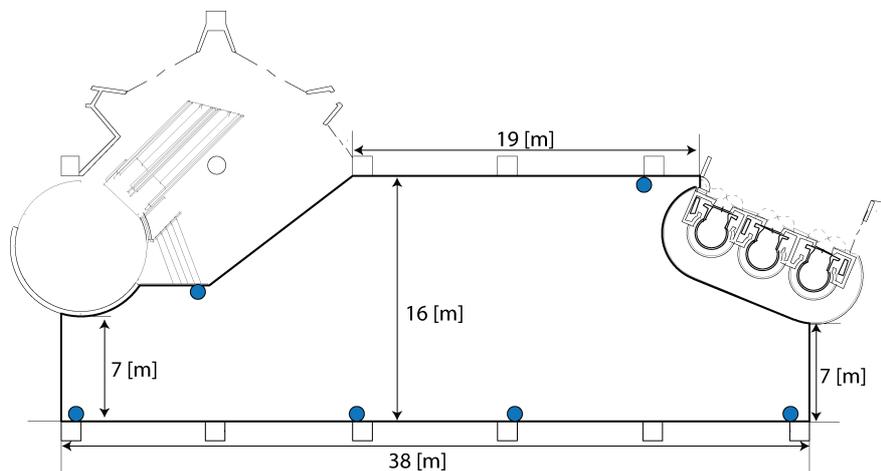


図 27 実験環境

被験者 すれ違い行動時における振る舞いの特徴を検証するために，データ収集では，被験者に下記の2種類の教示を行い，環境内を歩行させた．具体的な教示内容を以下に示す．

- 邪魔にならず，話しかけやすい巡回（話しかけやすい巡回法）：
被験者には，歩行している人々にとって，邪魔にならず，かつ話しかけやすいように，環境内を10分間歩き回るように教示した．警備員として雇用されていた時の，比較的時間に余裕があり，店舗内を巡回している際の状況を再現するように歩行するよう，教示を行った．
- 忙しい巡回 (Busy Patrolling) :
被験者には，忙しそうに環境内を10分間歩き回るように教示した．警備員として雇用されていた時の，何らかの理由から，特定の場所に移動しなければならない状況を再現するように歩行するよう，教示を行った．

「邪魔になり，話しかけにくい」巡回を教示しなかった理由は，街角で巡回する警備員の実態に基づくものである．警備員は，施設管理者に環境内の人々を支援する目的で雇用されていることから，歩行者の邪魔になる歩行を行うとは考えにくい．上述の理由から，警備員が急いでいる場合でも，仮に人々が支援を求めた際には，それに応じることが妥当であろう．そのため，対立する状況としては，上述した忙しい状況を想定することが妥当であると考え，このような教示を行った．

収集するデータ データ収集実験では，下記に示す2種類の情報をセンサから取得した．以下に，その詳細を記述する．

- 位置情報：
環境内の被験者と歩行者の位置情報を取得するため，我々は8台のUTM-30LX laser range finder（北陽製）を用いて人位置計測を行った（図 refFP:MAP:青丸）．本研究で用いる人位置計測システム（図28）は，人々が通常で歩行している場合に，誤差 ± 6 cmでの位置計測が可能である [48]．位置情報は，主に，被験者の移動速度と，被験者と歩行者がどのような位置関係を伴ってすれ違いを行ったかを検証するために用いられる．

- 画像情報：

環境内の被験者のすれ違い行動を分析するため、2台のビデオによる画像の記録を行った。画像情報は、主に被験者と歩行者がすれ違う際の、視線を向ける行動やそのタイミングを解析するために用いられる。

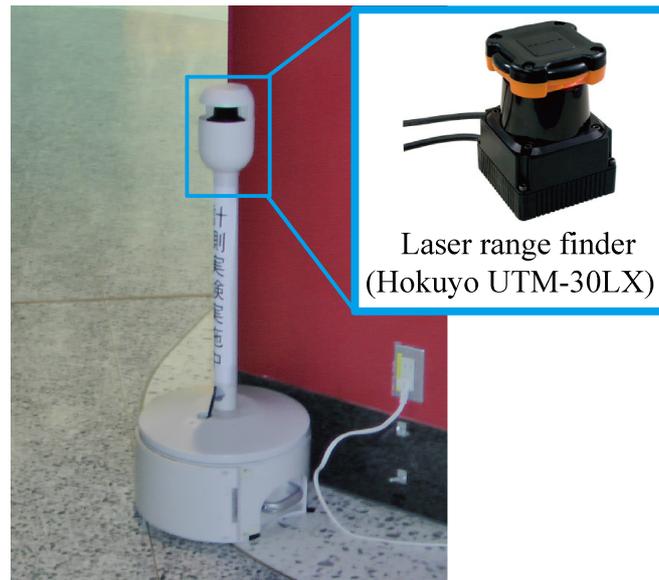


図 28 人位置推定センサ

表 21 歩行行動の分析

	話しかけやすい	忙しい
移動速度	800 mm/sec	1300 mm/sec
視線の向け方	近隣の歩行者に視線を向ける	正面に視線を向ける
歩行者がいない 際の移動軌跡	円を描くように歩き回る	円を描くように歩き回る
歩行者がいる 際の移動軌跡	表 22 と図 29 に詳細を記述	

5.1.2 すれ違い行動の分析

教示の違いによる行動の変化 まず初めに、被験者に行った教示の違いによって、被験者の巡回行動がどのように変化したかを比較した。比較を行った点は、“移動速度”、“視線”、“環境内に歩行者がいる際の移動軌跡”、“環境内に歩行者がいない際の移動軌跡”の4点である。これらの比較には、映像と推定された位置情報を用いた。比較した結果を、表 21 に示す。比較の結果、移動速度、視線、環境内に歩行者がいる際の移動軌跡の3点に差異がみられた。一方で、環境内に歩行者がいない際の移動軌跡は特に差異がみられず、どちらの教示においても、円を書くように環境内を歩き回っていた。以下に、差異の見られた3点に関する詳細な記述を行う。

差異の見られた行動

- 移動速度：
被験者の移動速度を、推定された位置の時系列データを用いて求めた。その結果、邪魔にならず、話しかけやすい巡回の教示を行った場合には、平均移動速度は 800 mm/sec であった。一方で、忙しそう巡回の教示を行った場合には、平均移動速度は 1300 mm/sec であった。
- 視線：
被験者が歩行者とすれ違う際の視線の変化を、ビデオから解析した。その結

果，邪魔にならず，話しかけやすい巡回の教示を行った場合には，歩行者とすれ違う際に視線を向けていた．一方で，忙しそうな巡回の教示を行った場合には，被験者は基本的に正面を向いており，周囲の歩行者に視線を向ける状況は発生しなかった．

- 移動軌跡：

環境内に歩行者が存在しないときはどちらも似たような軌跡で環境内を巡回しており，環境内に歩行者が存在すると，被験者らは歩行者に対して自身の移動軌跡を変化させていた．ただし，教示によって移動軌跡に変化のさせ方に違いがみられた．そこで，移動軌跡の変化の違いを分析するために，被験者の歩行軌跡の符号化を行った．2人の作業者を用意し，歩行者が環境内に存在した場合，被験者がその歩行者に対してどのように振る舞ったかをビデオから観察し，移動軌跡の変化からカテゴリを定義して分類を行った．

なお，その際には被験者が歩行者と対面することが可能であった場合と，そうではなかった場合に分けて分類を行うように指示した．

図 29 に，作業者らが符号化した移動軌跡を示す．最終的に，被験者が歩行者と対面することが可能であった場合で 4 カテゴリ，対面することが可能ではなかった場合で 2 カテゴリを作成して符号化を行った．各カテゴリの内容を以下に記述する．

- (a) 歩行者の近くですれ違う：被験者らは，歩行者とすれ違う際の距離が 3m 未満になるように，その移動軌跡を変化させた．
- (b) 歩行者の正面を横切る：被験者らは，歩行者の正面を横切るように，その移動軌跡を変化させた．
- (c) U ターン：被験者らは，歩行者と平行にすれ違わないよう，かつ歩行者の正面を横切らないように，その移動軌跡を変化させた．
- (d) 歩行者の遠くですれ違う：被験者らは，歩行者とすれ違う際の距離が 3m 以上になるように，その移動軌跡を変化させた．

表 22 歩行行動の違い

		話しかけ やすい	忙しい
A: 歩行者と対面できた	(a) 歩行者の近くですれ違う	9/10	4/13
	(b) 歩行者の正面を横切る	0/10	2/13
	(c) U ターン	0/10	2/13
	(d) 歩行者の遠くですれ違う	1/10	5/13
B: 歩行者と対面できなかった	(e) 被験者が歩行者の視野外	8/18	2/9
	(f) 歩行者が被験者の視野外	10/18	7/9

(e) 歩行者の視野外に被験者が存在：被験者らは歩行者を追いかけるように移動したが、移動速度の違いから歩行者に追いつけなかった場合。

(f) 被験者が歩行者に気づいていない：被験者らの視野外に歩行者が存在したため、被験者が特に移動経路を変更しなかった場合。

各カテゴリへの分類結果の一致度合いを、2人の作業員間で計測したところ、Cohen のカッパ係数 [49] の値が 0.934 となった。この値は、2人の分類結果が非常に高い割合で一致していることを示している。カッパ係数を計算したのち、作業員間で分類結果が同じになるように議論を行った。最終的に各カテゴリに分類された値を、表 22、図 29 に示す。

分類結果から、邪魔にならず、話しかけやすい巡回の教示を行った時に、被験者が歩行者と対面することが可能であった場合には、「歩行者の近くですれ違う」カテゴリの割合が多いことが示された。一方で、忙しそうな巡回の教示を行った場合には、「歩行者の近くですれ違う」カテゴリの割合は他のカテゴリと比べて多い割合ではなかったことが示された。これらの結果から、邪魔にならず、話しかけやすい振る舞いを実現するために、被験者が歩行者と対面することが可能であった場合に、「歩行者の近くですれ違う」ための移動軌跡を再現することが重要であることが示唆された。

データ収集のまとめ

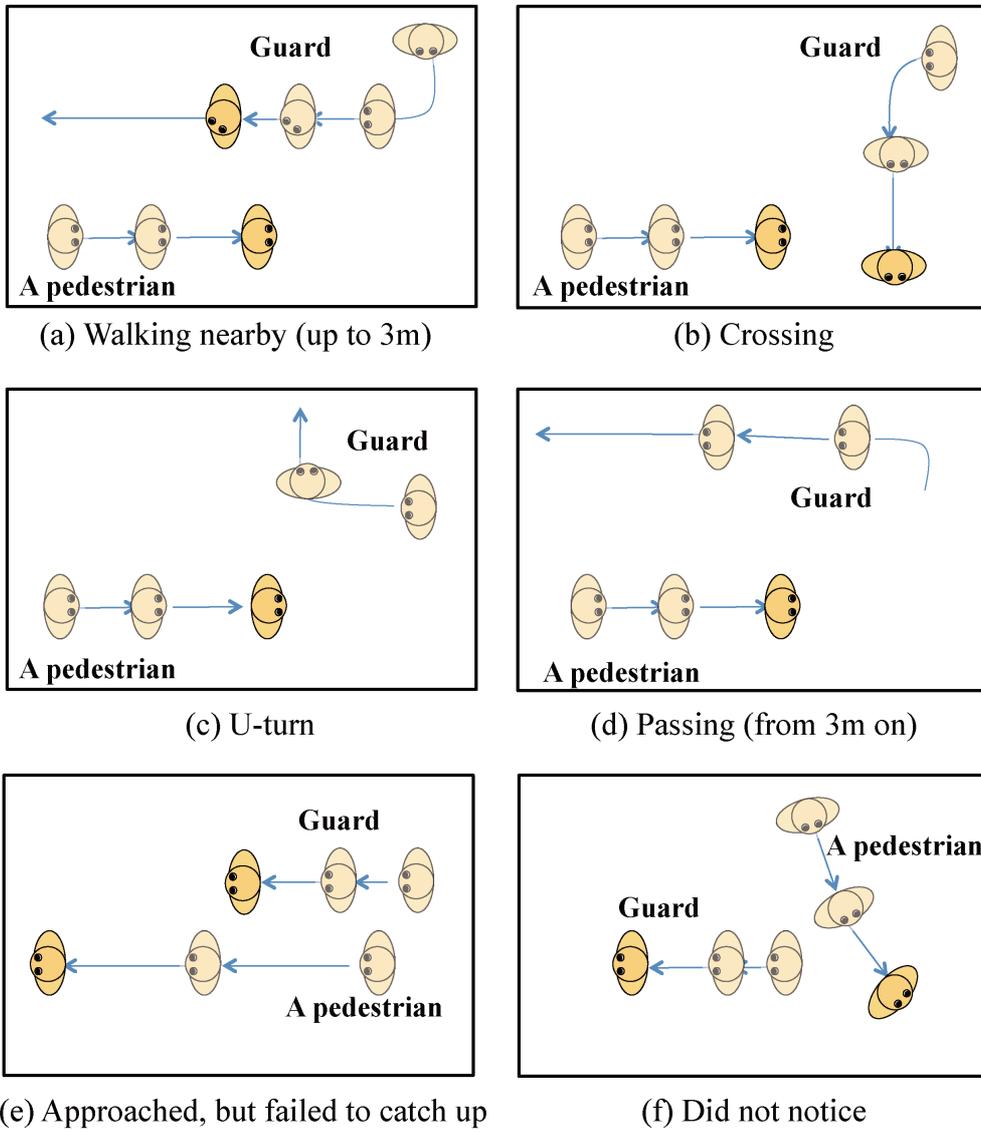


図 29 移動経路の分類結果

上記の分析結果から，教示の違いによって移動速度・視線・移動軌跡という3つの違いが観察された．よって，邪魔にならず，話しかけやすい振る舞いを実現するためには，ロボットが歩行者と一定距離内ですれ違うように移動軌跡を変化させ，かつ比較的遅い速度で移動し，歩行者に視線を向けることが重要であると考えた．

5.1.3 モデルパラメータの取得

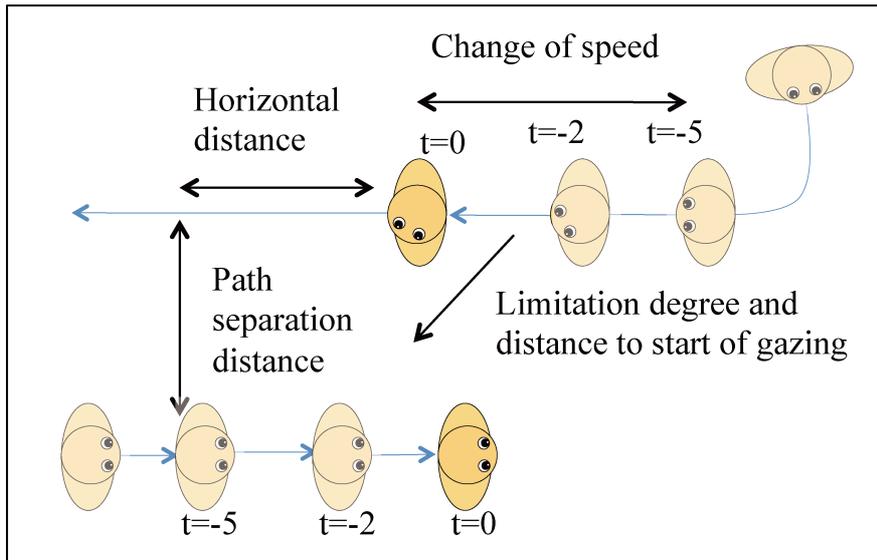
収集されたデータから，邪魔にならず，話しかけやすい振る舞いを実現するためのパラメータ抽出を行った．具体的には，図 30 に示すように，被験者が歩行者とすれ違う際の距離，速度，視線の向け方の解析を行った

まず，図 30 に示す，被験者と歩行者がすれ違う際の縦方向の距離（Path separation distance）を計算した．この距離の計算には，2 者がすれ違う瞬間から 5 秒前までの，位置推定システムから出力された位置情報を用いた．その結果，平均でこの距離は 2.6m となった．

次に，移動速度の変化を，2 者がすれ違う瞬間から 5 秒間にわたって 1 秒ずつ計測した．その結果，被験者は最初に平均で 650 mm/sec の速度を取っており，すれ違う 1 秒前にその速度を平均で 570 mm/sec に低下させることがわかった（図 30: Change of speed）．これは，被験者が歩行者とすれ違う直前に，速度を落としてゆっくりと移動していたことを意味している（表 23）．

最後に，被験者がすれ違う際にどのように歩行者へと視線を向けるのかを，ビデオ映像から解析した．その結果，被験者は歩行者と図 30 に示す水平方向の距離（Horizontal distance）が 10m まで近づいた時点で，視線を歩行者に向け始めることが観察された（Distance to start of gazing）．歩行者に顔を向ける角度は最大で 45 度程度までであったことも観察された（Limitation degree）．

これらの解析結果から，我々は，邪魔にならず，話しかけやすい行動を，以下のように定義した：1．歩行者と，正面からかつ一定の距離を置いて平行にすれ違うように移動経路を変化させる，2．移動速度を落とす，3．歩行者との距離が 10m 未満になったら，最大 45 度の角度まで顔を歩行者に向ける，4．すれ違う瞬



t = -5 秒前からの計測

図 30 モデルのパラメータ

表 23 移動速度

すれ違い前時間 [秒]	t=-5	t=-4	t=-3	t=-2	t=-1
平均速度 [mm/s]	672	659	642	640	567

間にさらに移動速度を減少させる．これらの定義を元に，移動ロボットに行った実装の詳細を次に記述する．

5.1.4 モデルの実装

使用する移動ロボット

すれ違い行動を実装する移動ロボットとして，本研究ではRobovie を用いた [58]．このロボットは，人型の上半身と移動台車によって構成されており，その身長は 120 mm である．

移動台車には Pioneer 3-DX (Active Media 製) を用いた．本研究では，安全性及びハードウェアの制約から，最大移動速度を 800 mm/sec とした．障害物を検出するために，台車には距離センサとして URG-04LX laser range finder (北陽製) が取り付けられている．安全のため，このセンサを用いて，ロボットが移動中に障害物へ衝突しないように，自動的に停止する機能を実装している．具体的には，障害物がロボットの正面 45 度以内，50 未満の距離に存在する場合には，停止するように設計した．

移動経路制御機構

本機構は，邪魔にならずかつ話しかけやすい振る舞いを実現するための，ロボットの移動経路と移動速度を計算する．

移動経路を計算するために，本機構は歩行者の将来の移動軌跡を，線形補完によって推定する．線形補完には，過去二秒間の位置情報を用いた．位置情報は，データ収集でも用いられた環境センサを用いて推定された．

歩行者の移動軌跡を推定したのち，本機構はロボットが推定された軌跡と並行にすれ違うように移動経路を設定する．設定された移動経路の例を，図 31 に示す．まず，ロボットと歩行者の予測された移動軌跡 (Estimated moving trajectory) との間の，縦方向の距離を一定距離 (Path separation distance) に保つように移動する．次に，予測された移動軌跡と並行にすれ違うように，ロボットの移動経路を設定する．

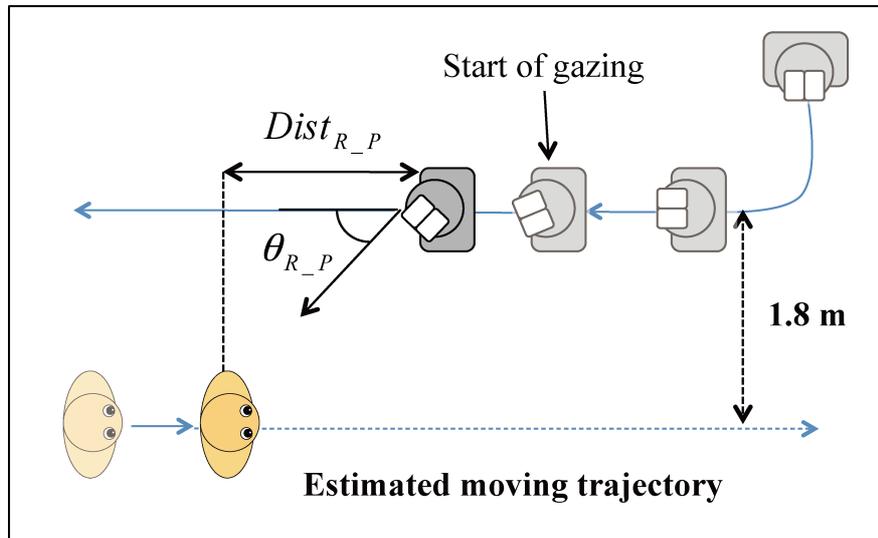


図 31 ロボットのパラメータ

次に、ロボットの移動速度決定方法について記述する。ロボットの移動速度は、次式にしたがって決定される。

$$Speed = \begin{cases} S_{f_{far}} & (Dist_{R_P} \geq DIST_f) \\ S_{f_{near}} & (Dist_{R_P} < DIST_f) \end{cases}$$

ここで、 $S_{f_{far}}$ はロボットと歩行者との距離がしきい値以上の場合に取る速度、 $S_{f_{near}}$ はロボットと歩行者の距離がしきい値未満の際に取る速度、 $Dist_{R_P}$ は図 31 に示すロボットと歩行者の水平方向の距離、 $Dist_f$ はロボットが移動速度を変化させるためのしきい値である。

視線制御機構 本機構は、邪魔にならずかつ話しかけやすい振る舞いを実現するための、ロボットの視線制御を行う。なお、ロボットの顔の角度は、収集されたデータに基づいて最大 ± 45 度までとし、顔を向ける距離も一定範囲内とした。具体的なロボットの顔角度決定方法を、次式に示す。

$$FD = \begin{cases} 0 & (Dist_{RP} > Dist_g) \\ \theta_{RP} & (Dist_{RP} \leq Dist_g \ \&\& \ -45 \leq \theta_{RP} \leq 45) \\ 45 & (Dist_{RP} \leq Dist_g \ \&\& \ 45 < \theta_{RP}) \\ -45 & (Dist_{RP} \leq Dist_g \ \&\& \ \theta_{RP} < -45) \end{cases}$$

ここで、 FD はロボットの顔の角度（0度が正面方向を意味する）、 $Dist_g$ はロボットが歩行者に顔を向け始める距離である（Start of Gazing）。なお、歩行者が一定距離内に存在しない場合は、ロボットの顔は正面を向くように設計した。

ロボットのためのパラメータ設定 本研究で利用するロボットは、データ収集を行った被験者とは異なる身長を持つ（被験者：165 cm，ロボット：120 cm）。過去の研究から、身長の違いによってロボットが人に与える印象を変化させることが報告されていることから [50]、獲得したパラメータの予備的な検証を行った。具体的には、本実験を行う前に、データ収集によって得られた値（ S_{ffar} を 650 mm/sec, S_{fnear} を 570 mm/sec）を用いて、ロボットと被験者がすれ違う予備実験を行った。その結果、被験者からロボットの移動速度が変化したことを感じられなかったことが報告された。そこで、 S_{fnear} を 500 mm/sec に調整して再度予備実験を行ったところ、ロボットの移動速度が変化したことが感じられたことが報告された。

距離に関するパラメータと、視線を向ける距離に関しても、データ収集から得られた値を用いた場合に、被験者はロボットとの距離が遠い印象や、ロボットが自身に気づいていないという印象を持つことが報告された。我々は、これらの印象の違いが、上述したロボットの身長とデータ収集で実験に参加した被験者との身長の違いに起因すると考え、予備実験を通じてそのパラメータの調整を行った。最終的に、縦方向の距離（Path separation distance）を 1.8 m に、 $Dist_f$ を 2 m に、 $Dist_g$ を 7 m に設定した。

5.2 評価実験

本実験では、実際に警備員の経験を持つ人々から収集したデータをもとに実装された、ロボットのための邪魔にならずかつ話しかけやすい振る舞いが、人々へどのような印象を与えることが出来るかを検証する。

5.2.1 被験者

本実験には、39人の被験者が参加した（20人の男性、19人の女性、平均年齢28.5才、標準偏差11.2）。被験者を募集する際には、本研究で使ったロボットと対話した経験を持たないことを条件として提示した。

5.2.2 実験条件

本研究では、 2×3 要因の被験者内実験を行った。要因は視線要因と移動経路要因である。以下に、各要因の詳細を記述する。

視線要因

- 視線なし条件（without-gaze 条件）：
ロボットは、常に正面へと視線を向ける。被験者に対して、明示的に顔を向けるふるまいを取らない。
- 視線あり条件（with-gaze 条件）：
視線あり条件：ロボットは、5.1.4に記載された視線制御機能の制御に基づいて、被験者の方へ視線を向ける。

移動経路要因

- 水平往復条件（Round trip 条件）：
ロボットは、環境内の決められた経路を往復する（図 32）。この条件では、ロボットは被験者にあらかじめ与えられた移動経路に対して平行方向に移動する。なお、この際の移動速度はロボットの最大移動速度である 800 mm/sec とする。

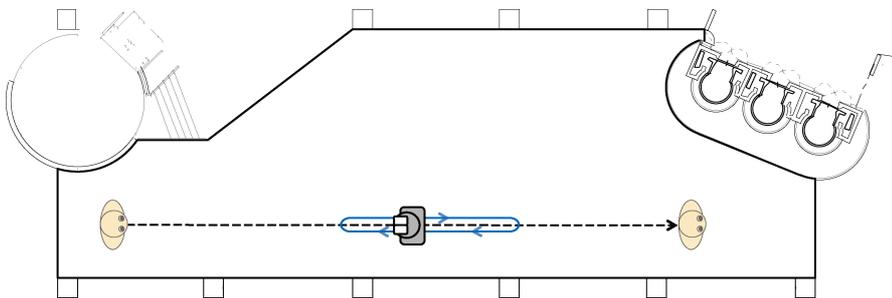


図 32 水平往復条件の移動経路

- 鉛直往復条件（Crossing 条件）：
ロボットは、環境内の決められた経路を往復する（図 33）。この条件では、ロボットは被験者にあらかじめ与えられた移動経路に対して鉛直方向に移動する。なお、この際の移動速度もロボットの最大移動速度である 800 mm/sec とする。

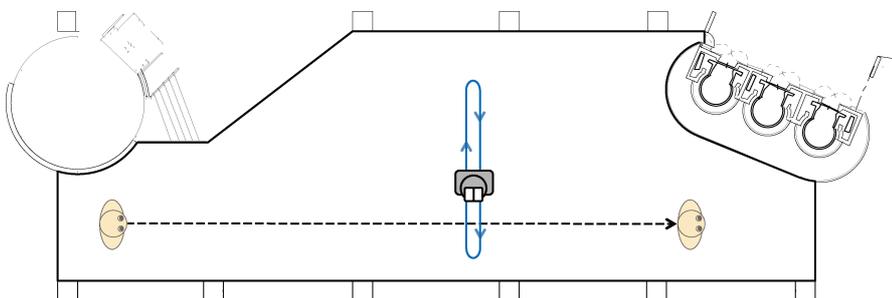


図 33 鉛直往復条件の移動経路

- 提案手法条件 (Friendly patrolling):
ロボットは、5.1.4 に記述された移動経路制御機構の制御に基づき、移動を行う。被験者が環境内に存在しない際には、鉛直往復条件のように環境内を800mm/sec の速度で移動している。被験者が環境内で観測された後、ロボットは移動経路と移動速度を変化させる (図 34)。

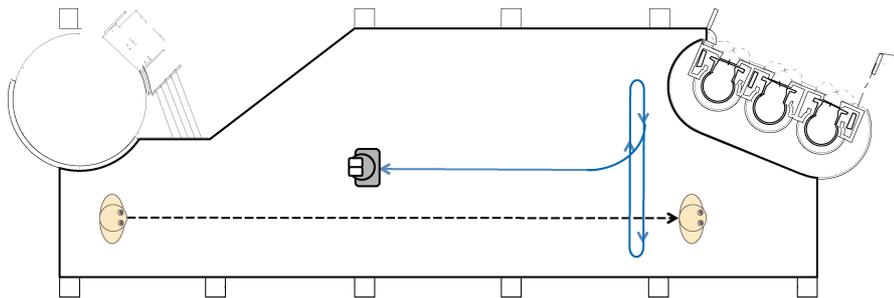


図 34 提案手法条件の移動経路

5.2.3 実験手順

本実験は、データ収集を行った環境と同じ場所で実施されたデータ収集時と同様に、人位置計測システムを環境内に設置した。実験を行う時間は、極端な混雑を回避するため、平日の昼間とした。

本実験は被験者内実験であるため、各被験者は6回の試行を行った。最初の試行前には、被験者らに同意書を提示し、実験の説明を行った。実験では、スタート地点からゴール地点までを歩行して通過するように教示した。この際、被験者の振る舞いを統制するために、あらかじめ設定した移動経路を教示した。なお、スタート地点では数秒間静止してもらい、自由なタイミングで歩行を開始してもらった。その時間帯、常にロボットは条件にしたがって移動を行っていた。

ロボットは、基本的に自律で移動制御を行っていた。ただし、提案手法条件においては、スタッフがロボットのすれ違い対象を決定し、ロボットにその情報を通知した。すれ違い対象が決定された後は、ロボットは完全に自律で動作し、視線や移動経路、移動速度の制御を行った。

各施行後に、被験者にアンケート項目を埋めるように教示した。アンケートを埋める際には、被験者が実際に日常で歩行している際の、様々な状況を考慮して総合的に評価するように依頼した。例えば、急いで歩いている場合や、ウィンドウショッピングをしている場合などである。

実験条件の順番は、カウンターバランスを取って決定された。安全を確保するため、1人のスタッフが環境内に配置された。

5.2.4 評価項目

本実験では、提案した手法によって移動するロボットが、邪魔にならずかつ話しかけやすい印象を人々に与えることが出来たかどうかを検証する。そのために、“邪魔にならない度合い”、“ロボットへの話しかけやすさ”、“親しみやすさ”の、3項目のアンケートを行った。被験者による評価を詳細に出すため、アンケート項目は7段階評価を採用し、7を最も好意的な評価とした

5.2.5 仮説

我々は、移動経路と視線の向け方が、有意に人々へ与える印象を変化させると考える。実際に、過去の研究では、ロボットの視線がロボットに対する話しかけやすさに影響を及ぼすことも示されている。ロボットの移動経路は、人々に与える邪魔にならない度合いへ影響することも予測される。そこで本研究では、提案手法に基づく移動経路にしたがって移動し、被験者に視線を向ける場合が、最も高く評価されると予測した。以下に、仮説を列挙する。

仮説1：提案手法条件は、邪魔にならない度合い・ロボットへの話しかけやすさ・親しみやすさを、有意に増加させる。

仮説2：視線あり条件は、ロボットへの話しかけやすさ・親しみやすさを、有意に増加させる。

5.3 実験結果

仮説 1,2 を検証するために，これらの結果に対して，対応有りの 2 要因分散分析による検定を行った．

5.3.1 各アンケート項目検証

図 35-35 にアンケート結果を示す．

邪魔にならない度合いの検定結果

図 35，表 24 に，アンケート結果を示す．検定の結果，移動経路要因において有意な差が得られた ($F(2, 76) = 43.628, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .702$) ．

Bonferroni 法による多重比較を行った結果，条件間での有意な差が見られた．提案手法条件が水平往復条件より有意に高く ($p < .001$)，提案手法条件が鉛直往復条件より有意に高く ($p = .001$)，鉛直往復条件が水平往復条件より有意に高かった ($p < .001$) ．

視線要因には，有意な差が見られなかった ($F(1, 38) = 1.013, p = .321, \text{partial } \eta^2 = .026$) ．交互作用においても有意な差は見られなかった ($F(2, 76) = .535, p = .590, \text{partial } \eta^2 = .028$) ．これらの結果は，提案手法条件が他の条件に比べて有意に邪魔にならない度合いを向上していることを示している．

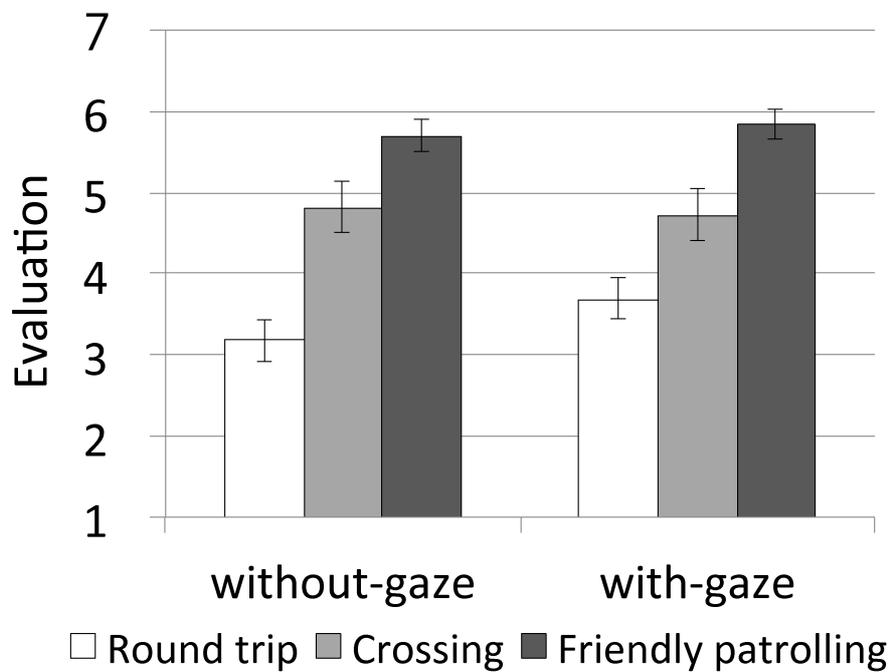


図 35 邪魔にならない度合い

表 24 邪魔にならない度合い平均値

	視線なし	視線あり
水平往復	3.18	3.69
鉛直往復	4.82	4.72
提案手法	5.69	5.85

ロボットへの話しかけやすさに関する検定結果

図 36 表 25 に、アンケート結果を示す。検定の結果、視線要因において有意な差が得られた ($F(1, 38) = 31.604, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .454$)。移動経路要因において、有意な差が得られた ($F(2, 76) = 16.567, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .472$)。

Bonferroni 法による多重比較を行った結果、一部の条件間で有意な差が見られた。提案手法条件が鉛直往復条件より有意に高く ($p < .001$)、水平往復条件が鉛直往復条件より有意に高く ($p = .001$)、鉛直往復条件と提案手法条件の間に有意な差は見られなかった ($p = 1.00$)。

視線要因は有意にロボットへの話しかけやすさを変化させることが示された。交互作用においては有意な差が見られなかった ($F(2, 76) = 0.273, p = .762, \text{partial } \eta^2 = .015$) これらの結果は、提案手法条件と水平往復条件が、有意にロボットへの話しかけやすさを向上していることを意味している。

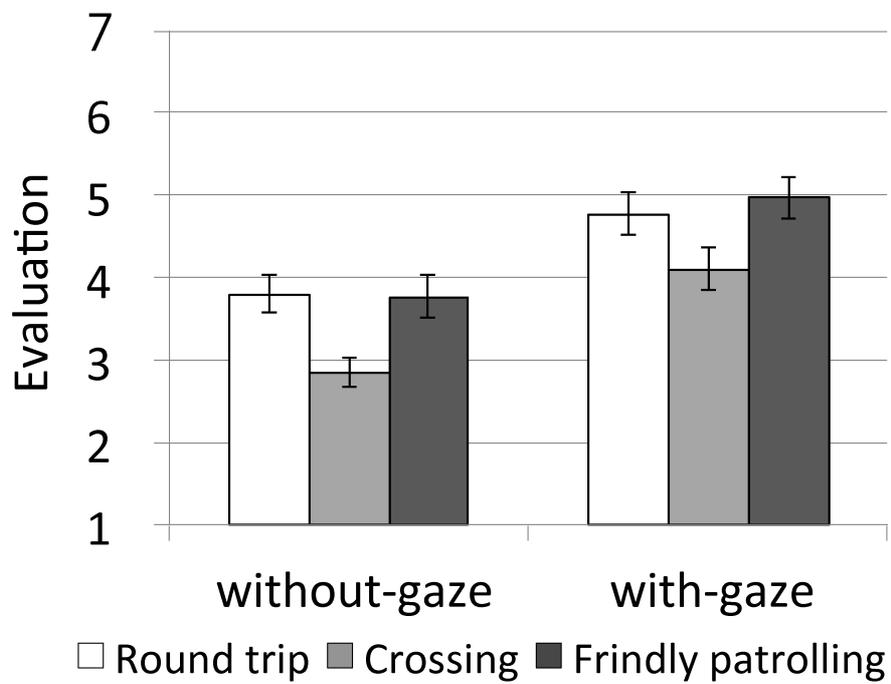


図 36 話しかけやすさ

表 25 話しかけやすさ平均値

	視線なし	視線あり
水平往復	3.79	4.77
鉛直往復	2.85	4.10
提案手法	3.77	4.97

親しみやすさに関する検定結果

図 37, 表 26 に, アンケート結果を示す. 検定の結果, 視線要因において有意な差が得られた ($F(1, 38) = 18.568, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .328$). 移動経路要因においても, 有意な差が得られた ($F(2, 76) = 6.755, p = .003, \text{partial } \eta^2 = .267$).

Bonferroni 法による多重比較を行った結果, 一部の条件間で有意な差が見られた. 提案手法条件が鉛直往復条件より有意に高く ($p = .002$), 水平往復条件と鉛直往復条件の間に有意な差が見られず ($p = .116$), 水平往復条件と提案手法条件の間に有意な差が見られなかった ($p < = 0.577$).

なお, 交互作用においては有意な差が見られなかった.

5.3.2 仮説検証

上記結果より, 提案手法の評価が邪魔にならない度合い・ロボットへの話しかけやすさ・親しみやすさで有意に高く, 視線あり条件は, ロボットへの話しかけやすさ・親しみやすさにおいて, 視線なし条件より有意に高かった.

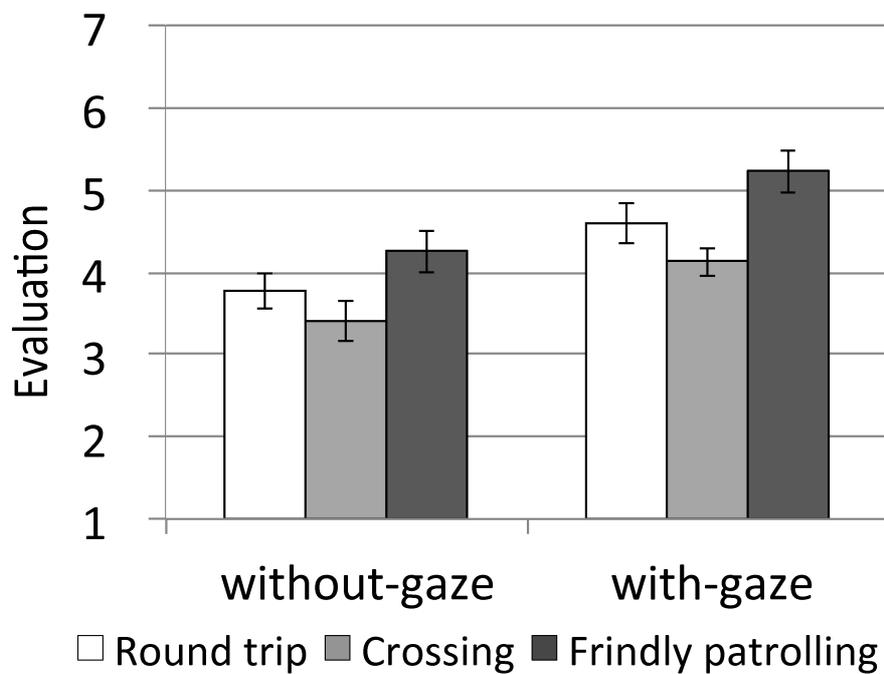


図 37 ロボットの総合評価

表 26 ロボットの総合評価平均値

	視線なし	視線あり
水平往復	3.77	4.59
鉛直往復	3.41	4.13
提案手法	4.26	5.23

5.4 考察

実環境での応用

本研究では、ロボットが比較的広い環境で、1人の被験者とすれ違う状況での実験を行った。実環境下で活動するロボットにおいても、混雑度がそれほど高くない広場のような環境においては、本研究で実装したすれ違い行動は有用であると考えられる。

ただし、混雑した状況や、狭い通路環境下など、実環境下で提案した移動経路を取ることは難しい状況も発生すると考える。そのような場合には、歩行者とある程度の距離を開けてすれ違うことは困難であろう。ただし、ロボットが自身の移動軌跡を変化させるなど、ロボットが歩行者に気が付いていることを示すような移動軌跡を取ることで、話しかけやすさや親しみやすさを向上させることは可能であると考えられる。

歩行者との距離がある程度近づいた時点で視線を向けることは、そのような環境であっても、話しかけやすさや親しみやすさを向上するうえで有効であると考えられる。

ロボットの身長による影響

本研究では、身長が約120 cmの移動型ロボットを用いて実験を行った。一方で、データ収集で歩行を行った被験者の身長は約160 cmであった。我々は、この身長の違いが人々に与える印象が変化させると考え [50]、予備実験を通じてパラメータ調整を行った。

そのため、本研究の知見を異なるロボットに適用する際には、その身長に応じたパラメータ調整が必要であろう。例えば、平均的な人々よりも高い身長のロボットが街角を歩行する場合には、人々とすれ違う際により大きな距離を確保することが必要になると予測される。

5.5 まとめ

本研究では、邪魔にならずに話しかけやすいすれ違い行動をロボットに実装し、その評価を行った。すれ違い行動の分析のために、実環境下で実際に警備員の経験を持つ人々の歩行行動を解析し、移動速度や視線の向け方、移動軌跡に関するパラメータ抽出を行った。実際の商業施設環境下で、ロボットと被験者がすれ違う状況を再現した被験者実験を行い、実装したすれ違い行動が人々にとって邪魔にならず、かつ話しかけやすい印象をもたらすことが示された。

本実験は理想的なパラメータを用いた、被験者実験を行った。そのため、実際にこの歩行を行うためには、パラメータの幅を調査する必要がある。実際に多くの人が行きかうフィールドで、この歩行方法を実施し、主観調査を行う必要があると考える。

6. 結論

本論文では、公共空間において人型ロボットが人に代わってコミュニケーションを行うことの妥当性を明らかにするとともに、人に振る舞う情報提供法と巡回法を提案した。公共空間において、警備や道案内などのコミュニケーションタスクの中で、人がやりたがらない要素として、延々と道案内を行う「単調なタスク」、理不尽な要求に対応しなくてはならない「嫌なタスク」、依頼されてゴミ箱から鍵を拾い上げる「汚いタスク」の3種類のタスクを選ぶ。タスクを実行する実体として、「人間」、人間が中に入って動作する「着ぐるみ」、機械的に動作する「ロボット」に対して、これらのタスクを実行し、行き交う人々にどのような印象を与えるかを解析した。これら3種類のタスクと3種類の実体とを組み合わせた9種類のビデオを30人の被験者に見せて、それぞれの場合の主観評価を行い、被験者は、これらのタスクを人間、着ぐるみよりもロボットの方にやらせることが有意であることを示した。この結果、ロボットが公共空間で社会的に受容されるコミュニケーションタスクがあるうることを明らかにした。

この結果を受けて、ロボットによるコミュニケーションタスクが通行人に情報を提供する振る舞い方法（情報提供法）を提案した。ロボットが行き交う人々に情報提供する場合のロボットの振る舞いとして、通行人に対してロボットからの情報を一方的に聞く受動的対話の場合、聞いた内容に対してロボットにインタラクティブな対話を行う場合の2種類を選ぶ。情報を提供するロボットも、ロボット1台による単独対話方法と2台がインタラクティブな対話を行う社会的対話の2種類を選び、ロボットにこれら2種類を実装する。これら2種類の通行人対話と2種類のロボット対話を組み合わせて、駅構内で主観評価の実験を行い、163名から得た評価をもとに両者の関係を分析した。実験の結果、4種類の場合の中で、2台のロボットが社会的対話をして、通行人が受動的対話で聞く場合が、ロボットによる情報提供が通行人に伝わりやすくなることをロボットに実装して実証した。

次に、ロボットが公共空間で移動・巡回しながら、通行人にコミュニケーションタスクを行う場合に、警備員の巡回形態に習い、「邪魔にならない、人に話しかけやすい」巡回を前提に、公共空間で、警備員役の被験者と通行人とがすれ違う

場合の行動分析を行い，移動速度，視線，移動軌跡に着目した警備員の巡回モデルを構築した．このモデルに基づいて，警備員に代わってタスクを実行するためのロボット巡回法を提案した．提案した巡回法をロボットに実装し，単純に同一線方向を巡回する方法に比べて，39名のアンケート調査から「邪魔にならない，人に話しかけやすい」印象を通行人に与えること，さらに「親しみやすさ」の印象も与えることを明らかにした．

これらの実験結果によって，本研究によって，公共空間において，人型ロボットという実体が人に代わってコミュニケーションタスクを行うことの妥当であることを明らかにし，タスクを行うために，人に振る舞うロボットの情報提供法と巡回法を提案し，公共空間でロボットに実装し，それぞれの提案法の有効性を結論づけることができた．

これらの成果は，今後，ロボットが公共空間として幅広い分野で利用される場合の基本的な設計指針と社会的に受容されるサービスロボットを実現する一助となり，社会経済の発展に大きく寄与することを期待している．

謝辞

本論文をまとめるにあたり、終始暖かい激励とご指導、ご鞭撻を頂いた奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科環境知能学研究室教授 萩田紀先生に心より感謝申し上げます。同准教授 神原誠之先生には、副査として、また論文執筆や研究全般を通して、ご助言をいただいたことに感謝の意を表します。また、同准教授 浮田宗伯先生にも、研究を通してご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。学位論文審査において、副査として、貴重なご指導とご助言を頂いた奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科ロボティクス研究室 小笠原司先生、同視覚情報メディア研究室 横矢直和先生に心より感謝申し上げます。

筆者は博士前期課程において、同ロボティクス研究室に所属し、同教授小笠原司先生、当時助教授松本吉央先生には貴重なご指導とご助言を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

また、筆者は博士課程を通して、国際電気通信基礎技術研究所に所属し、研究員である神田崇行博士、塩見昌裕博士はじめ皆様のご指導とご協力いただきました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究は総務省、JST、CREST の委託により実施したものであり、ここに感謝の意を表します。

実験環境を提供していただき、様々なご支援をしていただいた、近畿日本鉄道、大阪南港アジア太平洋トレードセンター（ATC）の皆様にも厚く感謝申し上げます。

最後になりますが、学生として、同期・先輩・後輩・友人の協力や励ましがなければ、本研究を完成させることはできなかったでしょう。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 神田 崇行: "HRIにおけるソーシャルロボット研究の動向," 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 2-5, 2011
- [2] M. Heerink, B. Kröse, B. Wielinga, and V. Evers: "Enjoyment, Intention to Use and Actual Use of a Conversational Robot by Elderly People," *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI 2008)*, pp. 113-120, 2008.
- [3] P. Dario, E. Guglielmelli, and C. Laschi, "Humanoids and Personal Robots: Design and Experiments," *Journal of Robotic Systems*, 18, 673-690, 2001.
- [4] M. K. Lee, J. Forlizzi, P. E. Rybski, F. Crabbe, W. Chung, J. Finkle, E. Glaser, and S. Kiesler, "The Snackbot: Documenting the design of a robot for long-term human-robot interaction," *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI 2009)*, pp.7-14, 2009.
- [5] H. M. Gross, H. J. Böhme, C. Schröter, S. Müller, A. König, M. C. Martin, and A. Bley: "ShopBot: Progress in Developing an Interactive Mobile Shopping Assistant for Everyday Use," *In International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 3471-78, 2008.
- [6] A. Weiss, R. Bernhaupt, M. Tscheligi, D. Wollherr, K. Kuehnlenz, and M. A. Buss: "Methodological variation for acceptance evaluation of human-robot interaction in public places," *IEEE Int. Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2008)*, pp. 713-718, 2008.
- [7] H.-M. Gross, H. Boehme, Ch. Schroeter, S. Mueller, A. Koenig, E. Einhorn, Ch. Martin, M. Merten and A. Bley: "TOOMAS: interactive shopping guide robots in everyday use - final implementation

- and experiences from long-term field trials," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent robots and systems*, 2005-2012, 2009.
- [8] M.K. Lee, S. Kiesler, and J. Forlizzi: "Receptionist or information kiosk? How do people talk with a robot?" *ACM Conf. on Computer supported cooperative work (CSCW 2010)*, pp. 31-40, 2010.
- [9] G. Ferri, A. Mondini, A. Manzi, B. Mazzolai, C. Laschi, V. Mattoli, M. Reggente, T. Stoyanov, A. Lilienthal, M. Lettere, and P. Dario: "Dust-Cart, a mobile robot for urban environments: experiments of pollution monitoring and mapping during autonomous navigation in urban scenarios," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2010), Workshop on Networked and Mobile Robot Olfaction in Natural, Dynamic Environments*, 2010.
- [10] R. Siegwart et al.: "Robox at Expo.02: A Large Scale Installation of Personal Robots," *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3), pp. 203-222, 2003.
- [11] W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, D. Hanel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner, and S. Thrun: "The interactive museum tour-guide robot," *Proc. of National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 11-18, 1998.
- [12] S. Thrun, M. Bennewitz, W. Burgard, A.B. Cremers, F. Dellaert, D. Fox, D. Hähnel, C. Rosenberg, N. Roy, J. Schulte and D. Schulz: "Minerva: A Second-Generation Museum Tour-Guide Robot," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1999-2005, 1999.
- [13] M. Shiomi, T. Kanda, H. Ishiguro, N. Hagita: "Interactive Humanoid Robots for a Science Museum," *ACM 1st Annual Conference on Human-Robot Interaction (HRI2006)*, pp. 305-312, 2006.

- [14] 宮下善太, 神田崇行, 塩見昌裕, 石黒浩, 萩田紀博: "顧客と顔見知りになるショッピングモール案内ロボット," *日本ロボット学会誌*, Vol. 26, No.7, pp. 103-114, 2008.
- [15] B. Reeves and C. Nass, "The media equation", 1996.
- [16] M. Scopelliti, M.V. Giuliani, and F. Fornara: "Robots in a Domestic Setting: A Psychological Approach," *Universal Access in the Information Society*, 4, 146-155, 2005.
- [17] C. Bartneck , T. Suzuki , T. Kanda and T. Nomura: "The influence of people 's culture and prior experiences with Aibo on their attitude towards robots," *AI & Society*, v.21 n.1, p.217-230, November 2006.
- [18] L. Takayama, W. Ju, and C. Nass: "Beyond dirty, dangerous and dull: What everyday people think robots should do," *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2008)*, pp. 25-32, 2008.
- [19] R. R. Murphy: "Human-robot interaction in rescue robotics," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 34, pp. 138-153, 2004.
- [20] S. Fichtel: "What is Beautiful is Good: impact of employee attractiveness on market success," 2009.
- [21] M. J. Bitner, B. H. Booms and M. Stanfield: "The Service Encounter: Diagnosing Favorable and Unfavorable Incidents," *The Journal of Marketing*, Vol. 54, No. 1 pp. 71-84, 1990.
- [22] E.A. Sisbot, L.F. Marin-Urias, R. Alami and T.A. Simeon: "Human Aware Mobile Robot Motion Planner," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, pp. 874-883, 2007.
- [23] 西村 竜一, 李 晃伸, 猿渡 洋, 鹿野 清宏: "音声対話機能を持つ受付案内ロボット ASKA の実装," *日本音響学会講演会講演論文集*, pp.37-38, 1-5-9, 2002.

- [24] K. Dautenhahn, M.L. Walters, S. Woods, K.L. Koay, C.L. Nehaniv, E.A. Sisbot, R. Alami and T. Simeon: "How May I Serve You? A Robot Companion Approaching a Seated Person in a Helping Context," *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction*, pp. 172-179, 2006.
- [25] T. Kanda, D. F. Glas, M. Shiomi, H. Ishiguro, and N. Hagita: "Who will be the customer? A social robot that anticipates people's behavior from their trajectories," *Proc. of the 10th Int. Conf. on Ubiquitous computing (UbiComp 2008)*, pp. 380-389, 2008.
- [26] 中村 雅巳, 松崎 辰夫: "4ヶ国語を操る接客ロボット・アクトロイド," *日本ロボット学会誌*, Vol.24, No.2, pp.13-15, 2006-5
- [27] 怡土 順一, 松本 吉央, 西村 竜一, 李 晃伸: "受付案内ロボット ASKA: 情報科学研究の実環境プラットフォーム," *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集*, 1A1-D12, 2002.
- [28] 林宏太郎, 神田崇行, 宮下敬宏, 石黒浩, 萩田紀博: "ロボット漫才 -社会的受動メディアとしての二体のロボットの利用-, " *日本ロボット学会論文誌*, Vol.25, No. 3, pp. 381-389, 2007.
- [29] M. P. Michalowski, S. Sabanovic and R. Simmons: "A Spatial Model of Engagement for a Social Robot," *IEEE International Workshop on Advanced Motion Control*, pp. 762-767, 2006.
- [30] N. Bergström, T. Kanda, T. Miyashita, H. Ishiguro and N. Hagita: "Modeling of Natural Human-Robot Encounters," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2623-2629, 2008.
- [31] 佐竹聡, 神田崇行, Dylan F. Glas, 塩見昌裕, 石黒浩, 萩田紀博: "環境情報を理解してサービス提供を行うロボットの実現," *情報処理学会論文誌 特集論文 インタラクションの基盤技術 デザインおよび応用*, 2010.

- [32] T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton and H. Ishiguro: "Interactive Robots as Social Partners and Peer Tutors for Children: A Field Trial," *Human Computer Interaction (Special issues on human-robot interaction)*, Vol. 19, No. 1-2, pp. 61-84, 2004.
- [33] B. Mutlu and J. Forlizzi: "Robots in organizations: the role of workflow, social, and environmental factors in human-robot interaction," *Proc. of the 3rd ACM/IEEE Int. Conf. on Human robot interaction*, 2008.
- [34] 神田崇行, Dylan F. Glas, 塩見昌裕, 萩田紀博: "移動する人にサービス提供するロボットのための環境情報構造化," *日本ロボット学会誌*, Vol. 27, No. 4, pp.81-91, 2009.
- [35] S. Sabanovic, M. P. Michalowski and R. Simmons: "Robots in the Wild Observing Human-Robot Social Interaction Outside the Lab," *Proc. of AMC'06 Istanbul*, 2006.
- [36] J. Cassell, T. Bickmore, M. Billinghurst, L. Campbell, K. Chang, H. Vilhjalmsson, and H. Yan, "Embodiment in Conversational Interfaces", *Rea. Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*, pp. 520-527, 1999.
- [37] C. Kidd and C. Breazeal, "Effect of a Robot on User Perceptions", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '04)*, 2004.
- [38] A. Newman, C. Dennis L.-T. Wright and T. King: "Shoppers' Experiences of Digital Signage-a Cross-National Qualitative Study," *Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 4(7), pp. 50-57, 2010.
- [39] C. Dennis, A. Newman, R. Michon, J. Josko Brakus and L. Tiu Wright: "The mediating effects of perception and emotion: Digital

- signage in mall atmospherics,” *Journal of Retailing and Consumer Services*, 17(3), pp. 205-215, 2010.
- [40] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平: ”人-ロボットの対ロボット漫才9話におけるロボット同士の対話観察の効果,” 電子情報通信学会論文誌 D-I , Vol.J85-D-I , No.7 , pp. 691-700 , Jul. 2002.
- [41] H. H. Clark: ”Using Language, Cambridge University Press,” 1996.
- [42] E. Pacchierotti, H.I. Christensen and P. Jensfelt: ”Embodied Social Interaction for Service Robots in Hallway Environments,” *Field and Service Robotics*, vol. 25, pp. 293-304, 2006.
- [43] R. Gockley, J. Forlizzi and R. Simmons: ”Natural Person-Following Behavior for Social Robots,” *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction*, pp. 17-24, 2007.
- [44] 渡辺富夫: ”うなずきロボット InterRobot,” 日本ロボット学会誌 , Vol.24, No.6, pp.692-695, 2006-9.
- [45] 渡辺富夫: ”身体的コミュニケーションにおける引き込みと身体性 - 心が通う身体的 コミュニケーションシステム E-COSMIC の開発を通して - ,” ベビーサイエンス , Vol.2 , pp.4-12 , 2003 .
- [46] 山本倫也, 渡辺富夫: ”音声駆動型身体引き込みキャラクタを映像に重畳合成した教育支援システム,” 情報処理学会論文誌 , Vol.47 , No.8 , pp.2769-2778 , 2006-8.
- [47] 竹内真士, 北岡教英, 中川聖一: ”韻律・言語情報を素性とした決定木による自然な応答生成タイミングの検出,” 日本音響学会講論集 , 2-4-9 , pp.75-76 Mar. 2003.
- [48] D. F. Glas, T. Miyashita, H. Ishiguro, and N. Hagita: ”Laser-Based Tracking of Human Position and Orientation Using Parametric Shape Modeling,” *Advanced Robotics*, Vol. 23, No. 4, pp. 405-428, 2009.

- [49] J. Carletta: "Assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic," *Computational Linguistics*, Vol. 22, No. 2, pp. 249-254, 1996.
- [50] H. Yutaka and I. Akinori , "Are Bigger Robots Scary? -The Relationship between Robot Size and Psychological Threat-," *Proceedings of International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 540-545, 2008.
- [51] G. F. Melson, P. H. Kahn, A. M. Beck, B. Friedman, Roberts T., and E. Garrett: "Robots as dogs? Children's interactions with the robotic dog AIBO and a live Australian shepherd," *Conference on Human factors in computing systems (CHI 2005)*, pp. 1649-1652, 2005.
- [52] P. H. Kahn, N. G. Freier, T. Kanda, H. Ishiguro, J. H. Ruckert, R. L. Severson and S. K. Kane: "Design patterns for sociality in human-robot interaction," *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2008)*, pp. 97-104, 2008.
- [53] J. Goetz, S. Kiesler, and A. Powers: "Matching robot appearance and behaviour to tasks to improve human-robot cooperation, " *IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2003)*, pp. 55-60 (2003)
- [54] T. Nomura, T. Suzuki, T. Kanda, J. Han, N. Shin, J. B. Burke, and K. Kato: "What People Assume About Humanoid and Animal-Type Robots: Cross-Cultural Analysis between Japan, Korea, and the United States, " *International Journal of Humanoid Robotics*, 5, pp. 25-46, 2008.
- [55] C. Bartneck, T. Kanda, O. Mubin, and A. A. Mahmud: "The Perception of Animacy and Intelligence Based on a Robot 's Embodiment," *Proc. of the Humanoids 2007*, pp. 300-305, 2007.

- [56] P. Hinds, T. Roberts, and H. Jones: "Whose job is it anyway? A study of human-robot interaction in a collaborative task," *Human-Computer Interaction*, Vol. 19, pp. 151-181, 2004.
- [57] P. H. Kahn, H. Ishiguro, B. Friedman, and T. Kanda: "What is a human? ? Toward psychological benchmarks in the field of human-robot interaction," *Interaction Studies*, Vol. 8, No. 3, pp. 363-390, 2007.
- [58] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平: "研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット"Robovie "の開発," 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.4, pp.380-389, 2002.
- [59] T. Kanda, M. Shiomi, Z. Miyashita, H. Ishiguro, and N. Hagita: "An affective guide robot in a shopping mall," *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2009)*, pp. 173-180, 2009.
- [60] M. Shiomi, T. Kanda, D. F. Glas, S. Satake, H. Ishiguro, and N. Hagita: "Field Trial of Networked Social Robots in a Shopping Mall," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent robots and systems (IROS 2009)*, pp. 2846-2853, 2009.
- [61] T. Kanda, S. Nishio, H. Ishiguro, and N. Hagita: "Interactive Humanoid Robots and Androids in Children 's Lives," *Children, Youth and Environments*, Vol. 19, No. 1, pp. 12-33, 2009.

付録

A. 研究実績

A.1 学術論文誌

1. 林宏太郎, 神田崇行, 宮下敬宏, 石黒浩, 萩田紀博: ”ロボット漫才 -社会的受動メディアとしての二体のロボットの利用-, 日本ロボット学会論文誌,” Vol.25, No. 3, pp. 381-389, 2007
2. D. Sakamoto, K. Hayashi, T. Kanda, M. Shiomi, S. Koizumi, H. Ishiguro, T. Ogasawara and N. Hagita: ”Humanoid Robots as a Broadcasting Communication Medium in Open Public Spaces,” *International Journal of Social Robotics, Springer*, Vol. 1. No. 2, pp. 157-169, 2009. (4章に関連)
3. K. Hayashi, M. Shiomi, T. Kanda and N. Hagita: ”Are Robots Appropriate for Troublesome and Communicative Tasks in a City Environment?,” *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 2012. 掲載予定 (3章に関連)

A.2 国際会議

1. K. Hayashi, T. Kanda, T. Miyashita, H. Ishiguro, and N. Hagita, ”Robot Manzai - Robots’ Conversation as a Passive Social Medium-”, IEEE Int. Conf. on Humanoid Robots (Humanoids2005), pp. 456-462, 2005.
2. K. Hayashi, D. Sakamoto, T. Kanda, M. Shiomi, H. Ishiguro, and N. Hagita: ”Humanoid Robots as a Passive-social Medium - A Field Experiment at a Train Station -,” *2nd ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2007)*, pp. 137-144, 2007, (Best paper award 受賞).
3. K. Hayashi, M. Shiomi, T. Kanda, and N. Hagita, ”Who is Appropriate? A Robot, Human and Mascot Perform Three Troublesome Tasks,” *The 19th*

IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive (Ro-man 2010), pp. 348-354, 2010.

4. K. Hayashi, M. Shiomi, T. Kanda, and N. Hagita, "Friendly Patrolling: A Model of Natural Encounters," *The 2011 Robotics: Science and Systems Conference (RSS 2011)*, 2011.