

# ヒューマノイドロボットの行動評価時の行動評価 モールで歩行者を引きつける

岡藤祐樹、尾崎康則、馬場淳、中西順也、尾川康平、吉川祐一郎、石黒浩

要約—現在、ロボットを人間の労働支援技術として使用する研究が進行中です。特にサービス産業では人手をより確保する必要があります。本研究は、商業モール内で情報を伝える社会サービスロボットとしてヒューマノイドロボットを利用することに焦点を当て、ロボットの行動概念を分析しました。情報を伝えるためには、二つの過程が発生する必要があります。歩行者がロボットの前で立ち止まり、ロボットが彼らとの関与を継続することです。本研究の目的のために、一般利用向けのロボットの三種類の自律的行動概念を、実験のこれらの過程で活性型、パッシブ-ネガティブ、パッシブ-ポジティブの概念として分析・比較しました。65,000人を超える歩行者との対話を試みた結果、パッシブ-ネガティブ概念が歩行者をより長く止めて滞在させることができることが示されました。実環境でのロボットの有効性を評価するため、三つの挙動と人間の広告主との比較結果から、(1)ロボットのアクティブおよびパッシブ-ポジティブの概念の結果は人間と同等である、(2)パッシブ-ネガティブの概念の性能は全参加者より高い、ということが示されました。これらの発見は、限定された環境で情報タスクを実行するロボットの性能が人間と同等であることを示しており、したがってサービスロボットが労働支援技術として現実の世界で十分に機能することが期待されます。

索引 用語—社会サービスロボット、広告、図示  
注目、実地試験

## 1. はじめに

社会ロボットは、日常生活の中で開発され、現在も使用されています。これらの社会ロボットは、さまざまな目的でサービス産業に展開されています。例えば、社会サービスロボットは博物館のガイド[1]、旅行ガイド[2]、ショッピングガイド[3]、ホテルサービス[4]として使用されています。現在、機械学習の大幅な進歩によりロボットの性能は向上していますが、ロボットが実行できるタスクには制限があります。長期的には、ロボットは徐々に性能を向上させ、私たちの生活の中でより必要となるでしょう。ロボットが生活の中でより広く普及するにつれて、社会の労働支援技術となり、アバターロボットとして新しいタイプの顧客サービスを提供することが期待されています[5][6]。

サービス産業のさまざまなタスクの中で、情報提供と広告の提示を行う作業の中で

岡藤祐樹は、立命館大学情報理工学部、滋賀、日本。メールアドレス: yokafuji@fc.ritsumeiji.ac.jp

尾崎洋、馬場淳はAI Lab, CyberAgent, Inc., 東京, 日本に所属  
中西順也、吉川裕、石黒浩は大阪大学 工学系研究科、大阪、日本に所属

小川康平は名古屋大学 工学研究科、愛知、日本に所属



図1. 商業モール内の実験風景の一つ。自律ロボットはモールについて歩行者に情報を伝えようとする。

商業施設はロボットが担う役割の一つになると期待されています[7]。ロボットが情報を紙やデジタルサイネージを介して提供する従来の方法とは異なり、embodimentを活用することでターゲット顧客へより効率的に接近できると予想されます。例えば、ロボットがさまざまなサービスに用いられる場合（顧客が人気のある購買ステータス商品を好み、注文してより多くの食べ物を摂るなど）には、いくつかの適用が検証されています[8]。さらに、顧客、店舗マネージャー、モールマネージャーを含む利害関係者は、モールへのロボット導入に前向きです[9], [10]。結果として、商業施設へのロボット導入は広告と情報提供に限定されず、将来の重要な一部となることが大いに期待されています。これらの期待にもかかわらず、実世界でのソーシャルロボットは、能力の限界のために、ロボットが話しかけてもユーザーに無視されがちであると報告されています[11], [12]。ロボットの有効性を最大化するには、能力を向上させるだけでなく、表示すべき行動の種類を特定することも必要です。

したがって本研究では、商業モールで歩行者に情報提供と広告を行う観点からロボットの行動を調査しました。実験の設定は図1に示します。特に、本研究の詳細な目的は以下の2点です。

- 1) 特定の情報の提供や広告に依存しない多様なロボット行動を探る
- 2) 目などの細かな振る舞いの検証よりも、ロボットの行動概念を提案・検証する

## 連絡と会話のタイミング。

これらの目的は、ロボットの挙動を一般的にどのように適用できるかについて議論を導くと信じています。

この研究には、ロボットが情報を効果的に提供する三つの主要なステップがあります。これらのステップは、歩行者の注意をロボットに引き付けること、歩行者をロボットの前で立ち止ませること、そしてメッセージが伝達されるまで関与を続けることです。これらのタスクでは、歩行者を止めて情報を伝えることが最も困難なタスクであると考えています。これらの二つのタスクでロボットがうまく機能できる機会を提供することにより、三種類の挙動概念を提案しました。これらの概念は、アクティブ、パッシブ-ネガティブ、パッシブ-ポジティブの概念であり、フィールド実験を通じて検証されました。これらの結果に基づき、ロボットのどのような挙動概念が人々をロボットとコミュニケーションしたいと思わせるかを論じます。第III節では、ショッピングモールで検証された情報提供のための三種類のロボット挙動について実験を行います。提案されたロボットシステムが情報提供の点で人間の広告主より効果的かどうかを検証しました。人間の労働を支援するためには、ロボットは人間と同等のパフォーマンスを示すべきです。特に、ロボットが優れたパフォーマンスを発揮するタスクを特定する必要があります。したがって、四人の人間広告主を集め、ロボットと同じ条件で実験を実施しました。次に、ロボットのパフォーマンスを人間と比較しました。人間の実験は第IV節に記述されています。本文の残りの構成は以下のとおりです。第II節では関連研究を述べ、第V節では二つの実験の結果に基づく議論を提供します。最後に、第VI節が結論と今後の課題を提示します。

本研究の予備的な研究は学会で発表され、論文集 [13] に掲載され、第三節の表1および図5に示されるロボット挙動によって影響を受けた歩行者の限られた結果を報告しました。現在の論文は、性別・年齢・歩行者の特性に応じた詳細な分析を第三節で提供します。さらに、robotsと人間のパフォーマンス結果の比較を第四節で提供します。第四節の比較結果は、ロボットの能力と社会におけるロボットの普及に関する洞察として議論セクションにとって重要です。追加の結果に基づき、導入部、関連研究、議論、および結論のセクションも洗練されています。

## II. 関連研究

### A. 実世界環境におけるサービスロボット

店舗で情報提供や広告表示に用いられるロボットの例は数多くあります。現実世界環境におけるこの研究の目的のひとつは、ロボットシステム自体を構築することです。例えば、半自律ロボットでの対話は人間の操作者によって支援されます。これらのロボットはショッピングモールや駅に配置されており [7], [14]、ショッピングモールでは複数のロボットシステムが実装されています [15]。これらの研究は、システム自体の有効性、すなわちそれが機能するかどうかを検証することを目的としています。

ロボットシステムは、ロボットの詳細な挙動の効果を検証するのではなく、現実世界の環境で使用できます。

現実の環境でユーザーに効果的に使用されるロボットの詳細な挙動を比較・検証することに焦点を当てた先行研究がいくつかあります。機動性を活用するロボットの例として、チラシを配布するロボットがあります [16], [17]。チラシを配布する人間の挙動を分析し、分析された最適な挙動をロボットに実装してショッピングモールで実験しました。この研究のロボットは、チラシ配布の任務で機動能力を最大限に活用しました。

対照的に、停滞しているロボット（またはほとんど動かないロボット）は、歩行者に近づくことができないため、情報提供の点で困難です。これらのロボットは、存在感と行動を通じて歩行者を引き付け、ロボットの近くへ誘導する必要があります。歩行者と関わった後、博物館の研究ではロボットの頭部と視線のタイミングが歩行者の関与を高めることを探りました [18]。ショッピングモールでは、人間がロボットに近づく際に人間にとって自然なロボットの挙動も検証されています [19]。歩行者と関わる前の停滞ロボットの挙動に関しては、ロボットの社会的存在感が重要です。したがって、ロボットの会話的挙動が有効であることが示されています [20]。さらに、歩行者の注意を引くための後方を見返す挙動も有効です [21]。

ユーザーと関与する際に重要なロボット挙動の要素は、視線の接触、視線の継続時間、ユーザーとの距離、ユーザーへの接近、そして笑いの五つであるという、より詳しい分析があります。志水らは、挙動の詳細を検討するために、異なるロボットサイズと対話方式を調査しました [22]。この研究は、具体的な情報を提供する小型のロボットが情報伝達の成功率が高いことを示しました。林らは、ロボットの数と会話方法の観点から情報提供の有効性を検証しました [23]。結果は、二台のロボットが互いに話し合い、歩行者へ間接的に情報を提供できる「パッシブ-ソーシャル・メディア」が、ユーザーと対話する「インタラクティブ-ソーシャル・メディア」よりも優れていることを示唆しています。人間の空間的特徴に基づいて挙動を変える仮想エージェントの研究もあり、ロボットが人間とより効果的に関与できるようにしています [24]。

停滞型ロボットの先行研究は、歩行者の注意や関与を得るために、詳細なロボット挙動を実装・比較することに焦点を当てるが多かったです。しかし、後ろを見返す挙動などの特定の挙動は歩行者の関与を促す傾向がある一方で、機能的制約により他のロボットがそれらを実装できない場合があります。したがって、より多くのロボットに共通の挙動を実装するには、パッシブ-ソーシャル・メディアのような挙動概念を提案することが重要です。効果的な挙動概念を提案できれば、この概念に基づく各ロボットの特性に応じて、さまざまな詳細モーションパターンを構築できます。言い換えれば、概念はより一般的に使用できるのです。これらの挙動概念を比較・検証した研究は少数です。しかし、人間とロボットの相互作用に関する研究が高度に影響を受けることはよく知られています。

文化の違いによる[25]、[26]。したがって、将来はさまざまな場所において追加の研究を実施すべきである。

## B. ロボットと人間の性能比較

実環境で動作するサービスロボットを開発する際、ほとんどの研究は、情報提供やチラシ配布などのタスクを遂行できることを目指している。しかし、ロボットが労働支援技術として用いられる場合、ロボットと人間の性能を比較することが重要であり、そのような目的を持ついくつかの研究がある。

タスク性能を直接比較した研究の1つとして、販売員としてアンドロイドロボットが百貨店で商品を販売しようとした[27]。この研究は、アンドロイドロボットが人間と同様に商品販売の性能を発揮できることを示している。別の研究では、食品サンプルの配布[28]において、遠隔操作ロボットと人間を比較した。ロボットは歩行者に受動的に近づきながら食品サンプルを配布することで、人間に匹敵する高い性能を達成する。これらの性能の違いは、ロボット固有の特性に影響されることが示されている。ロボットの不気味さなどの要因は消費者に不快感を与え、その結果、より多くの食べ物を注文するなどの補償的な消費者反応が促進される[8]。言い換えれば、ロボットの高いタスク性能は、その高い能力だけでなく、さまざまな他の要因によるものでもある。

ロボット（および仮想エージェント）と人間が同じタスクを行うとき、ユーザがどのように感じるかを調べた研究もあるが、タスク性能においては直接比較されていない。サービス場面において仮想エージェントと人間が実行したタスクを比較すると、サービス満足度の観点では差は見られない[29]。近年まで、ユーザは人間のサービスがロボットのサービスより好まれることを示してきたが、COVID-19の影響により、近年ではロボットのサービスが特に好まれることも示されている[30]。これらの研究と同様に、ロボットがタスクを遂行できることを示すだけでなく、人間の性能と比較することで、より価値のあるロボットを開発できる。

### III. 実験I：自律型ロボットによる

本研究は、二足歩行型ロボットが、意図したメッセージを伝えるまで歩行者を停止させ、エンゲージメントを維持できるかどうかを調べることを目的とする。これを達成するために、3種類の行動コンセプトを設計し、比較した。

本調査では、探索的なフィールド  
大規模ショッピングモールでの実験 1 7月～8月の期間  
2019年。二足歩行型ロボットは平日3日および週末に常設され、1日6時間利用可能であった。ロボットは、家族、カップル、友人などの来場者が自由にロボットとやり取りできるよう、ショッピングモールの通路の1つに配置した。私たちは、通知ボードを通じて、これが実験であり、センサデータとともに動画を記録していることをすべての歩行者に告知した。本研究は、動画およびセンサデータから削除を希望する協力しない参加者を対象に、オプトアウト方式で実施した。オプトアウト手続きによって、歩行者の行動が変わった可能性がある。たとえば、次のように

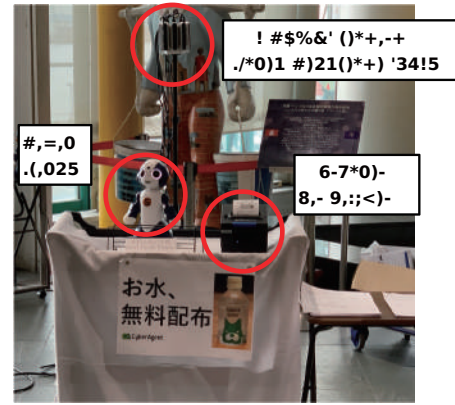


図2. インタラクション・システム。ロボットとプリンタは机上に設置され、5つのRGB-Dセンサはロボットの背後に配置された。

ロボットと相互作用しようとした歩行者が、通知のために相互作用を中止したことによる。しかし、実験における記録の削除を依頼した人はいなかった。したがって、オプトアウトが実験結果に与える影響は最小であると期待される。

この実験は、ショッピングモールの施設管理者および立命館大学の研究倫理委員会によって承認された（参照番号：BKC-Hitol-2019-006）。

### A. システム構成

図2に示すように、二足歩行型のソーシャルロボット、5つのRGB-D画像センサ、およびプリンタを机上に備えたインタラクション・システムを構築した。本実験においてソーシャルロボットとして用いたのは、Vstone Co. Ltd. によって開発されたロボット「Sota」である。二足歩行型ロボットは約0.3mの高さで、音声やLEDによって生成される表情などの機能を有する。ロボットには、2自由度（DOF）の腕、3DOFの頭部、1DOFの胴体ジェスチャが含まれている。ロボットは頭部にRGBカメラを搭載していたが、ロボットに搭載されたカメラの視野（FOV）により、これらの実験には追加のカメラを使用した。そのため、これらの実験には制約が生じた。3D画像センサに関しては、RGB画像を取得できる5つのIntel RealSense D415センサを使用した（1台あたりのFOVは

カメラ：69.4° × 42.5° × 77°）および深度画像（FOV per 1カメラ：65° × 40° × 72°）；深度センサの最大レンジは10mであった。5台のカメラの合成画像を図3に示す。また、本研究で使用した5つのセンサの水平FOVは220°であった。さらに、ロボットとのインタラクションを完了した人のためにバウチャーを印刷するため、プリンタをロボットの隣に設置した。そのバウチャーはボトルの水と交換できた。

歩行者の行動に応じたロボットの行動を生成するために、「NUITRACK」を用いた。これは画像内の人間の姿勢を推定できる人間検出器である[31]。NUITRACKの結果と深度画像から、ロボットの座標系から観測されたすべての歩行者の3D座標を計算した。使用したコンピュータは（Intel Core i9-9900 K CPU、NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti

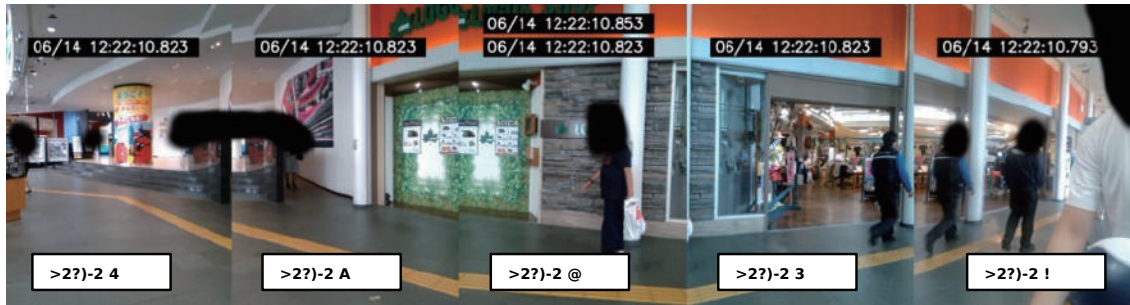


図3. 5台のRealSenseカメラの合成画像で、合計220°のFOVを得る。

GPU)により、毎秒30フレーム (fps) の割合で、すべての歩行者の人体姿勢を取得した。人体姿勢を推定するための制限範囲は、センサから約4 m以内であった。

## B. インタラクション設計

歩行者がロボットの近くにいる場合、ロボットには3種類の行動概念 (アクティブ、受動-ネガティブ、受動-ポジティブ) があった。関連研究のセクションで述べたとおり、本研究は行動の詳細な違いを比較するのではなく、一般利用に向けた行動概念を検証することを目的としている。行動概念を探索するにあたり、大学においてロボットを遠隔操作し、歩行者に立ち止まってもらおうとさまざまな行動を行う事前実験を行った。事前実験の結果から、タスク中に多くの人が試みる主な方法は3つ、すなわちアクティブ、受動-ネガティブ、受動-ポジティブであると判断した。

アクティブ状態では、ロボットを操作した多くのオペレータが、「こんにちは！調子はいかがですか？」や「どこへ行く予定ですか？」のように、歩行者に対して直接対話を開始しようとした。その後、会話は歩行者がロボットに返答することで始まる。対照的に、いくつかのオペレータは、ロボットが対話を開始するのではなく、歩行者側から始まる別の形の対話を試みた。例えば、ロボットは自分に向かって「困っているんだ」とぶつぶつ言い続けたり、踊ったりする。歩行者がロボットに話し始めるまでは、ロボットは歩行者との対話を開始しない。ロボットが、歩行者にロボットと話したいと思わせる機会を生み出すことが重要である。歩行者がロボットに反応したときに会話を始めるのではなく、ロボットは歩行者に「自分がロボットに話しかけた」と感じさせるべきである。この、歩行者から相互作用を開始させる方法を受動的な概念と呼ぶ。さらに、受動的な手法における否定的な表現と肯定的な表現を区別した。例えば、「困っているんだ」とダンスはそれぞれ否定的・肯定的な表現と見なされたため、これらは受動-ネガティブ概念および受動-ポジティブ概念と呼ばれる。事前実験では、受動の両方の行動が歩行者を惹きつけるのに良好な結果を示した。

まとめると、本研究で提案する行動概念は以下のとおりである：

- ・アクティブ概念：歩行者がロボットの発話に応答したときに会話が始まる状態。

- ・受動-ネガティブ概念：歩行者がロボットの否定的な状態を観察し、歩行者が初めてロボットに話しかけたときに会話が始まる状態。
- ・受動-ポジティブ概念：歩行者がロボットの肯定的な状態を観察し、歩行者が初めてロボットに話しかけたときに会話が始まる状態。

本実験は、ロボットの詳細な動作の違いではなく、操作要因として3つの行動概念を比較することを目的とした。異なる日付において同一の実験場所で参加者間の行動を測定することで、ロボットの行動概念が及ぼす影響を検証した。

## C. 手順

事前実験の結果に基づく3つの提案概念に従って、私たちは具体的に、「挨拶行動」をアクティブ、「困らせる行動」を受動-ネガティブ、「ダンス行動」を受動-ポジティブとして設計した。3つの行動に共通するロボットの動作は、ロボットが誰を対象としているかを明確にするために、ロボットに最も近い歩行者との正面からの接触 (face-to-face contact) である。正面からの接触は、ロボットの注意を伝えるなど、さまざまな観点から人とロボットの相互作用において有効であることが示されている[32]。挨拶行動では、ロボットが歩行者に向かって手を上げるジェスチャーをして、「こんにちは！私と話してください！」と言う。困っている状態では、ロボットは頭痛があるかのように振る舞い、誰かの助けを求めるために自分のことをぶつぶつ言い続ける。「困っています。どうすればいいの？」これは、ロボットが困っているふりをする事で、歩行者がロボットと話したいと思う機会を作り出す。ダンスモードでは、ロボットは歌いながら踊る。これもまた、歩行者が楽しみのためにロボットと話したいと思う機会を作り出す。

これらの行動は、少なくとも1人の歩行者の姿勢を測定しながら行った (姿勢を取得するための最大範囲は、左右方向および奥行き方向で4 × 4 m)。歩行者がロボットの前で立ち止まるまで実施した。ロボットは、歩行者がセンサから左右方向および奥行き方向で1.2 × 2.5 mの範囲に3 s滞在したかどうかを調べることで、歩行者が立ち止まったかを判断した。歩行者がロボットの前で立ち止まった後、ロボットはシナリオに応じて、ショッピングモール内の店舗について13、19、または26 sの間話し始めた。この会話シナリオは、3種類の行動とは無関係にランダムに生成された。ロボットが話している間、通行人とのインタラクションシステムは、

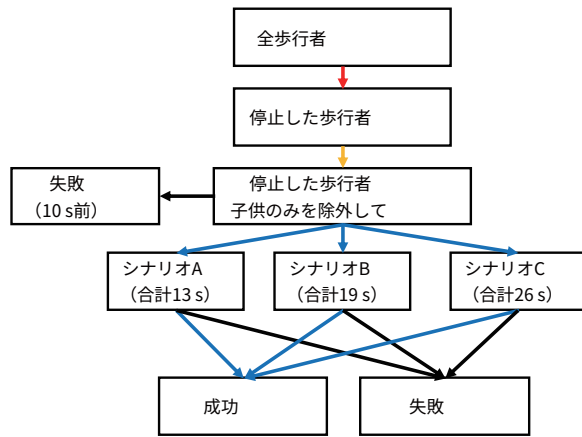


図4. 録画ビデオから注釈されたすべてのラベルの経路。赤と青の経路は停止率 (SR) と分布成功率 (DSR) を表す。赤-黄-青を通る経路は全分布成功率 (WDSR) を表す。

これは受動的媒体と呼ばれるもので実施された[23]。歩行者がロボットの話聞き終わると、ロボットの横のプリンターがバウチャーを印刷した。歩行者はそのバウチャーを、ロボットが宣伝していた店で1本の水と交換できた。

これらの一連のロボット行動はすべて自動的に実行されました。前述のとおり、ロボットの動作は歩行者との口頭対話によって決定されるものではありません。商業施設の環境が騒々しかったため、ロボットは歩行者がロボットに対して話している内容を正確に認識できなかったからです。したがって、歩行者の状態を姿勢データのみに基づいて推定することでロボットの動作を自動的に生成しました。動作の各行動は、予備研究[33]で提示されたビデオから見るすることができます。

#### D. 仮説

あいさつ行動は、歩行者の注意を引くために頻繁に用いられる基準と考えられる (例: [34])。一方で、感情的なロボット[35]や人間依存型ロボット[36]は、困惑 (受動-ネガティブ) の概念に似ており、ユーザーとの関与が高いことを示す研究もあります。したがって、困惑もこの実験において高いパフォーマンスを示すと期待できます。さらに、リズム的な対話のためのダンス動作 (受動-能動) の高いパフォーマンスも予想されます。子供との関与を高めてダンスを行ったためです[37]。)

#### E. 測定

実験全体を通してFig. 3に示すようにすべての歩行者の行動を分析するために動画を記録しました。その後、ロボットの前を歩いた歩行者、ロボットの前で停止した歩行者、バウチャーを受け取った歩行者をすべてラベル付けしました。ロボットの前で停止した人の数を数えるのに加えて、子供だけがいる状況を除外して停止した歩行者もラベル付けしました。子供だけを除外する理由は、

“歩行者が停止した”状況から、人間検知器NUITRACKはロボットと机による遮蔽のため、幼児を検出できないということだった。したがって、幼児がロボットの前にも、提案されたロボットシステムは情報提供フェーズに進むことができなかった。受信した人数は、話題のシナリオ (A: 13 s、B: 19 s、C: 26 s) に応じてラベル付けされた。すべてのラベルの詳細な経路は図4に示されている。

recorded videos から抽出された特徴には、ラベル付けされた行動、歩行者の性別の見た目、推定年齢 (12歳未満の子供か大人か) が含まれます。この注釈は、ビデオでロボットの前を通過したすべての歩行者に適用されました。同じ人物が1日以内に複数回現れた場合、個人を特定せずに各出現を注釈しました。有効な結果を得るため、ビデオデータの注釈は二人のコーダーにより実施されました。一人は著者のY. O.で、もう一人は本研究とは無関係の人で、パートタイム労働者として雇われました。ロボットの前での“停止”行動を判断する際の基準の一様性を確保するため、二人のコーダーは注釈を行う前に基準を共同で決定しました。1日分のデータは重複しており、重複データの分析は適合していることを示しました (Cohen’s Kappalは0.894)。

評価には、停止率 (SR)、分布成功率 (DSR)、全分布成功率 (WDSR) の3つの指標を使用しました。SRは停止した歩行者の数を全歩行者の数で割った比です (図4の赤い経路)。DSRは、受け取った歩行者の数を停止した歩行者の数で割った比で、子供のみを除外しています (図4の青い経路)。WDSRは、バウチャーを受け取った歩行者の数を全歩行者の数で割った比です (図4の赤-黄-青の経路)。

#### F. 結果

ラベル付けされた歩行者の数の結果は表Iに示されています。各ロボット動作に応じたSR、DSR、WDSRの結果は図5に示されています。動作条件ごとの歩行者数の差をカイ二乗検定で検証しました。すべてのカイ二乗検定結果で効果量としてクラーマーのVを使用しました。結果は、行動間に有意な差があることを示しました。

条件:  $\chi^2(2) = 333.64$   $p < 0.01$   $V = 0.05$  におけるSRの、 $\chi^2(2) = 81.61$   $p < 0.01$   $V = 0.10$  DSRにおいて、および  $\chi^2(2) = 252.14$ ,  $p < 0.01$   $V = 0.04$  WDSRにおいて。すべての動作に対する平均と比較した残差分析は次のことを示しました: (1) あいさつは低いSRとWDSR割合、(2) 困惑状態は高いSR、DSR、WDSR割合、(3) ダンスは高いSR割合だが低いDSRとWDSR割合。したがって、困っているかのように動作するロボットの動作は、挨拶やダンスの動作と比較して歩行者をより多く止め、ロボットの前で長く留まらせることを示しています。一方で、ダンス動作は多数の歩行者を停止させる結果となりましたが、停止した歩行者は長時間ロボットの会話を聞きませんでした。

詳しい分析で説明したように、SRとDSRの性別差、年齢差の追加結果

表I

ロボットの前を歩いた歩行者の総数、ロボットの前で停止した歩行者、歩行者  
子供だけを除いて停止した歩行者、およびパウチャーを受け取った歩行者

条件		全歩行者	停止した歩行者 子供だけを除いて	停止した歩行者 パウチャーを受け取った歩行者
挨拶	平日	6306	362	273
	週末	19738	1139	925
困惑させる	平日	6000	559	443
	週末	10205	1162	953
ダンス	平日	7509	819	644
	週末	16884	1057	819

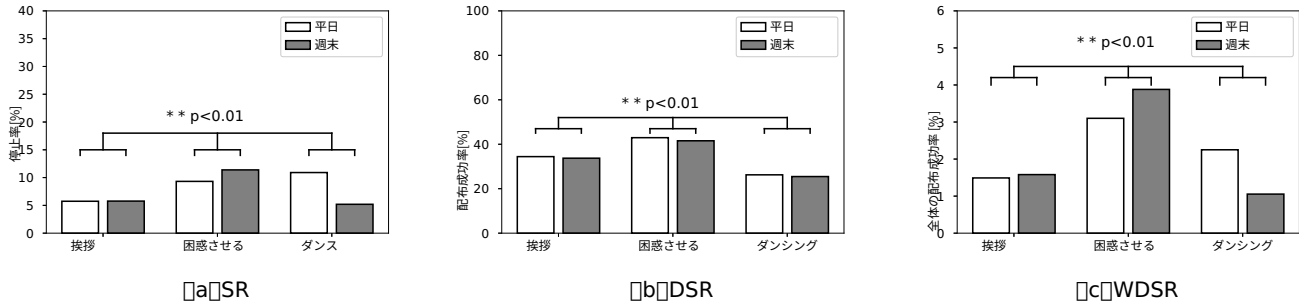


Fig. 5. 実験IIにおける各ロボット挙動に対する停止率 (SR)、配布成功率 (DSR)、および全体の配布成功率 (WDSR) の結果。

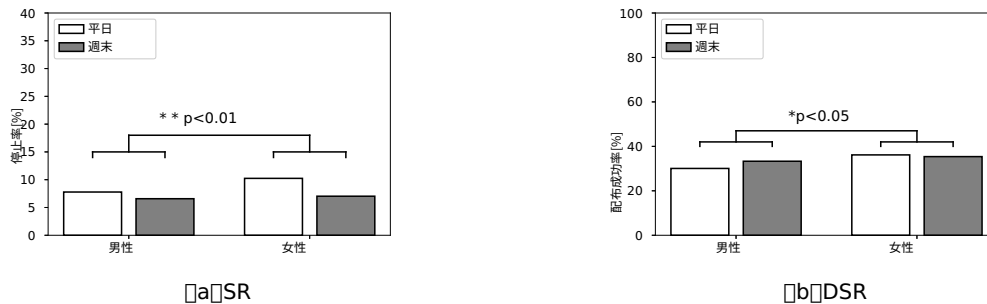


Fig. 6. 実験IIにおける性別に応じた停止率 (SR) と配布成功率 (DSR) の結果。

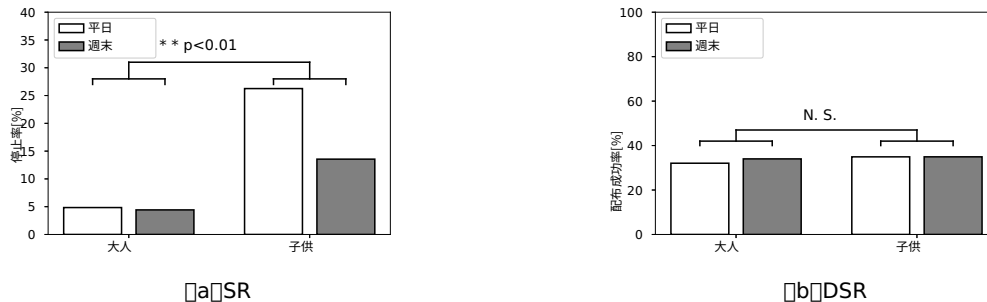


Fig. 7. 実験IIにおける年齢別の停止率 (SR) と配布成功率 (DSR) の結果。

SRおよびDSR、およびDSRのシナリオ差はFig. 6-8に示されている。SRおよびDSRにおける性別の人数の差、SRおよびDSRにおける年齢の差、DSRにおけるシナリオをカイ二乗検定で検証した。性別間の結果は有意差を示した

SRでの  $\chi^2(1) = 21.50, p < 0.01, V = 0.02$  および DSR ( $\chi^2(1) = 5.26, p = 0.02, V = 0.04$ )。性別間の結果年齢はSRに有意差を示した  $\chi^2(1) = 2666.67, p < 0.01, V = 0.20$ 、しかしDSRには有意差なし ( $\chi^2(1) = 1.10, p = 0.29, V = 0.02$ )。結果として、

表 II

ロボットの前で止まり、ロボットのメッセージを最後まで聞いた1名の歩行者と集団の回数比。  
ロボットのメッセージを最後まで。

条件		停止した歩行者の比率		受け取った歩行者の比率	
		1名の歩行者 %	2名以上の歩行者 %	1名の歩行者 %	2名以上の歩行者 %
挨拶	平日	36.2	63.8	13.5	86.5
	週末	35.1	64.9	11.0	89.0
困惑させる/心配させる	平日	39.5	60.5	10.0	90.0
	週末	34.3	65.7	8.3	91.7
ダンシング	平日	37.3	62.7	12.5	87.5
	週末	38.1	61.9	10.0	90.0

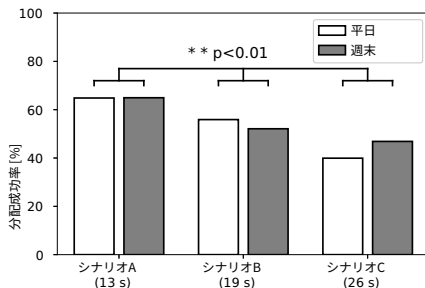


図8 実験Iにおける各シナリオに従った配布成功率 (DSR) の結果。

これは、女性や子どもがロボットのの前で立ち止まる可能性が高いことを示している。しかし、メッセージを最後まで聞いたかどうかには、性別や年齢による差はなかった。会話シナリオの違い (シナリオA: 13 s, シナリオB: 19 s, シナリオC: 26 s) に関しては、DSRに有意な差があった ( $\chi^2(2) = 77.37$ ,  $p < 0.01$ ,  $V = 0.12$ )。さらに、シナリオが短くなるほど歩行者はロボットの話を全て聞くことが明らかになった。

次に、時間帯ごとの結果において歩行者の行動に差があった。図9は各時間のSRおよびDSRの結果を示す。実験の開始時刻は各条件で異なったため、実験が行われた共通の時間帯である12-16時の結果をカイ二乗検定で検証した。時間帯間の結果から、SR ( $\chi^2(4) = 65.76$ ,  $p < 0.01$ ,  $V = 0.02$ ) およびDSR ( $\chi^2(4) = 21.28$ ,  $p < 0.01$ ,  $V =$ ) に有意な差が明らかになった。

#### 0.04]平均と比較した残差分析

全ての時間帯にわたる結果として、(1) 12時はSR比が低く、(2) 13時はDSR比が低く、(3) 15時および16時はSRおよびDSR比が高かったことが示された。したがって、これらの結果は、昼食時間に近い時間帯にロボットが歩行者へ接近するのは難しいことを示している。

最後に、表IIに示すように、1人の歩行者と、ロボットのの前で立ち止まりメッセージを最後まで聞いたグループとの間の回数の比率を示す。結果から、歩行者の立ち止まり率および受け取った歩行者に関して、行動条件間の差は小さいことが明らかになった。さらに、一人の場合と比べて、グループの歩行者はロボットのの前で立ち止まり、そのメッセージを全て聞くことが分かった。

#### IV. 実験II: 人間による

実験Iの目的は、歩行者を立ち止まらせ、継続的に関わりを保てるロボットの行動を特定することにある。その結果、問題となる行動は、SR、DSR、およびWDSRが高いことに基づいて、より多くの歩行者を引き付けうることが示された。一方で、問題となる行動の結果は、他の2種類のロボット行動と比較した相対的な結果に基づいている。したがって、これらのロボット行動が人間の行動よりも有能であると主張することはできない。ロボットを労働支援技術として用いるならば、ロボットによるより良い性能が人間より望ましい。また、ロボットが人間に優れているタスクを明確にすることは、人間と協働するうえで非常に貴重な知見を提供する。ロボットの性能と人間の性能を比較することで、ロボットが現実世界で積極的な役割を果たせるかを検討するために、いくつかの研究が行われてきた (例: [27])。そこで、ロボットによって生成される結果と人間による結果を比較するために、同等の実験環境においてロボットを人に置き換えた第二の実験を行った。

本実験は2019年11月に、実験Iと同じ場所で実施した。実験Iと同様の状況のもと、案内ボードを用いて実験を記録し、オプトアウト方式で実施した。

本実験は、ショッピングモールの施設当局および立命館大学の研究倫理委員会によって承認された (参照番号: BKC-Hitol-2019-006-1)。

#### A. 人間の広告者

チラシ配布の経験者4名を派遣会社を通じて募集し、実験に参加してもらった (男女各2名、平均年齢: 23.75歳)。実験は4日間にわたって実施され、各人間の広告者が毎日タスクを行った。すべての人間の広告者は十分な説明に基づく同意 (インフォームド・コンセント) を提供し、収集したデータを科学的目的および出版のために使用することを可能にした。人間の広告者には1日あたり9,500 JPYが支払われ、さらに成績に応じた報酬も支給された。

#### B. インタラクシオンデザイン

人間の広告主には、歩行者に立ち止まって店舗の情報を提供するように指示されていました。広告主は店舗のリーフレットを使用することを許可されており、それは実験とは異なります。このタスクには人間が必要で

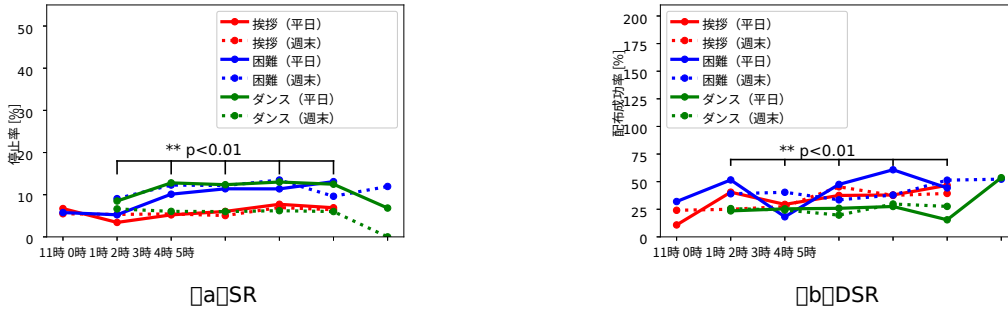


図9. 実験Iの時間窓に従った停止率 (SR) と分布成功率 (DSR) の結果。

広告主は通常の情報提供の方法をとる。実験IIの目的のひとつはロボットの性能を人間の通常のパフォーマンスと比較することであり、人間の行動はできるだけ制限されないべきである。歩行者が広告主の試みによって停止させられた後、広告主は店についての情報 (推奨商品など) を提供しなければならない。歩行者を邪魔して止めさせる、歩行を妨げる、または水が配布されていると言うといったことは禁じられていた。歩行者が店の情報を聞き終わると、広告主は水のボトルと交換できるバウチャーを渡した。



Fig. 10. 人間の広告主が歩行者に情報を伝える実験IIの例の場面。

実験中に広告主が動ける区域の基準として、横方向と奥行き方向の $1.2 \times 2.5$  mの領域が指定され、実験Iで歩行者を停止させる区間を決定する同じ領域となる。したがって、実験IとIIの顕著な違いはリーフレットを使用するかどうかであり、他の状況は類似するように設定された。ただし、条件が完全に一致していなかったため、実験IとIIは別々の実験として扱った。

実験前に人間の広告主は約20分間、実験タスクの練習を許された。広告主は実験タスクを実行する50分の3セットを、10分の休憩に続けて行った。広告主に動機づけを与えるため、10枚ごとに500円の追加報酬が与えられた。実験IIの場面はFig. 10に示されている。

### C. 測定

私たちは、実験Iのラベルと類似したいくつかの指標を記録動画からラベリングした。図4に示すように、実験Iのロボットシステムは、幼児だけの状況を認識できなかったが、「歩行者は子供だけを除いて停止した」というラベルは、実験IIでは発生しない状況であるため付けられなかった。広告主の前で歩行者が停止する時間も、各シナリオの経路の代わりに注釈された。この注釈は、動画内でロボットの前を通過したすべての歩行者に適用された。妥当な結果を保証するため、ビデオデータの注釈は二人のコーダーによっても実施された。著者のY. O.と、本研究とは無関係の人物の二名である。1日のデータは重複しており、重複データの分析により

表III  
歩行者の総数、停止した歩行者、および  
バウチャーを受け取った歩行者。

人間の広告主	全体の歩行者		歩行者 受領した
	歩行者	停止	
1日目 (月曜日)	1312	46	28
2日目 (月曜日)	1630	57	25
3日目 (週末)	8582	70	36
4日目 (週末)	7103	290	205

示されているのは、彼らがよく適合していたことを示しており (コーエンの $\kappa$ は0.917だった)。

### D. 結果

ラベル付けされた歩行者の人数の結果は表IIIに示されている。各広告主に従うSR、DSR、WDSRの結果は図11に示されている。結果は、SR、DSR、WDSRの評価には大きな個人差があることを示している。広告主3は最も低いSRを示し、広告主2は最も低いDSRを示した。情報を提供する総合指標としてのWDSRの観点では、広告主4が歩行者に最も多くのバウチャーを配布できた。追加分析として、歩行者がバウチャーを受け取ったときに広告主のメッセージをどれだけ長く聞いたかを、図12に示すように測定した。広告主4は、バウチャーを渡す前に情報を提供するのに要する時間が最も短く、平均して20秒未満だった。これらの結果は示している。

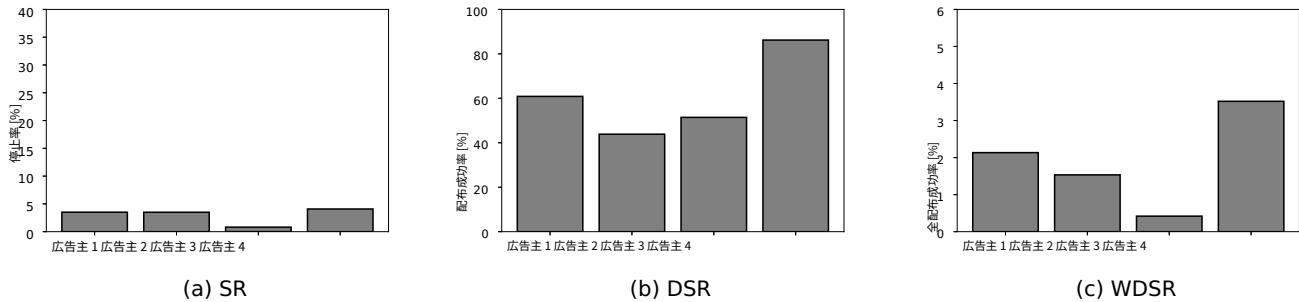


図11. 実験IIIにおける各人間広告主ごとの停止率 (SR)、配布成功率 (DSR)、および全体の配布成功率 (WDSR) の結果。

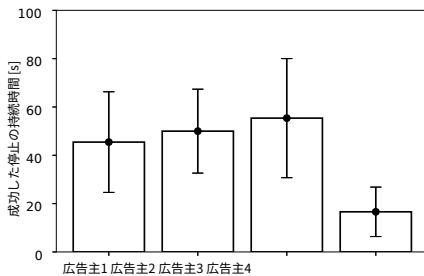


図12. 実験IIIにおいて、歩行者を停止させることに成功したときの持続時間の結果。エラーバーは平均の標準誤差を表す。

情報を提供するまでの時間が短いほど、DSRが良いこと。

次に、実験IIの目的を検討するために、ロボットの行動によって生成された結果と、人間の広告主の結果を比較した。SRに関して、平日および週末におけるロボットの平均結果は、それぞれ挨拶・妨害・ダンス行動で5.7、10.6、7.7%であった。これに対し、各広告主の結果はそれぞれ3.5、3.5、0.8、4.1%であった。ロボットによるSRの全ての結果は人間のパフォーマンスを上回り、カイ二乗検定による統計結果は

クラメールのVによる検定 総合値を比較するとロボットと広告主の間にも有意な差が見られた： $(\chi^2(1) = 636.84, p < 0.01, V = 0.08)$ 。言い換えると、ロボットは停止タスクをより容易に実行できる。

DSRでは、平日および週末におけるロボットの平均結果は、それぞれ挨拶・妨害・ダンス行動で33.9、42.0、26.0%であった。これに対し、各広告主の結果は60.9、43.9、51.4、86.2%であった。広告主によるDSRの全ての結果は、ロボットの性能を上回る。ロボットと広告主の総合値を比較した結果も、有意な差を示しており、

有意な差： $(\chi^2(1) = 158.51, p < 0.01, V = 0.19)$ 。これはSRの逆の結果である。また、実験Iにおいてロボットの前で停止した歩行者のうち、約20%を無作為に抽出して停止時間の長さを測定した。その結果、全てのロボット行動における停止時間の平均は21.5 sであったのに対し、平均は

全ての人間広告主の停止時間の長さは22.0秒であった。我々は非対称のt検定によりこれらの結果の差を検証し、顕著な差は示されなかった：

$(t(678) = 0.25, p = 0.80, d = 0.02)$ 。これは、停止時間の長さはロボットと人間の広告主で同じである一方、DSRは後者の方が高い。

情報提供における総合指標としてWDSRを用いると、平日および週末におけるロボットによる平均結果は、それぞれ挨拶・妨害・ダンス行動で1.6、3.6、1.6%であった。これに対し、各広告主の結果は2.1、1.5、0.4、3.5%であった。挨拶およびダンス行動の結果は、平均的な人間のパフォーマンスと同程度である。一方、妨害行動に関しては、ロボットは広告主の中で最良のパフォーマンスを示した広告主4よりも高い性能を示した。ロボットと広告主の総合値を比較した結果は、有意な差を示している：

$(\chi^2(1) = 17.14, p < 0.01, V = 0.01)$ 。その結果、これらはロボットが人間と同等、あるいはそれ以上の性能で実行できることを示している。

最後に、表IVに示すように、人間の広告主の前で停止し、メッセージを聞いた「1人の歩行者」と「集団」の数の比率を示す。結果は、各人間広告主の戦略間の違いが大きいくことを明らかにした。広告主1と2は、多数の個別の歩行者に話しかける傾向があるため、1人の歩行者に対する成功した停止と配布の割合が大きかった。一方、広告主3と4は、集団に対する停止と成功した配布の割合が大きかった。実験IIのこれらの結果は実験Iと異なり、結果がロボットの行動に依存しないことを示している。

## V. DISCUSSIONS

### A. 実験Iの考察

本研究は主に、ヒューマノイドロボットが歩行者を自分の前で停止させ、かつそれらとの関わり（エンゲージメント）を維持できるかを調査することを目的としている。そこで、3つの行動を設計した。すなわち、積極的概念としての挨拶、受動的・否定的概念としての妨害、受動的・肯定的概念としてのダンスである。

実験Iの結果は、ロボットが妨害行動を示したときに、ロボットが

表IV

人間の広告者の前で立ち止まり、聞いたグループと1人の歩行者との間における回数の割合  
それらのメッセージに対して。

人間 広告者 1人の歩行者 % 2人以上の歩行者 %	立ち止まった歩行者の割合		受け取った歩行者の割合	
	% 2人以上の歩行者 %	% 1人の歩行者 %	% 2人以上の歩行者 %	%
1 (平日)	65.6	34.4	52.9	47.1
2 (平日)	59.5	40.5	64.7	35.3
3 (週末)	17.1	82.9	16.7	83.3
4 (週末)	33.6	66.4	34.1	65.9

歩行者を引きつけ、情報を提供するという点での提案した行動で  
ある。さらに、ダンシング行動も、人を立ち止まらせるためだけ。

のtroubling (困らせる) 行動と比較して同様の高いパフォーマンスを示した。これらの結果の違いは、おそらく、歩行者がロボットに近づいた理由が異なることによるものだろう。人は、弱い、または人に依存するロボットを見ると、ロボットを助けたいからだという理由で、ロボットとの関わりを増やす傾向がある[36]。これは、子どもが困っているときに大人が手を差し伸べるという現象に似ている。したがって、troubling (困らせる) 状況では、多くの歩行者がロボットの話聞くことに前向きだったように思われる。なぜなら、troubling (困らせる) 行動は同様のケースだからである。対照的に、ダンシング行動では、歩行者がロボットに近づく最も一般的な理由は楽しみのためだと考えられる。しかし、彼らはロボットの踊りを楽しむためにロボットへ近づいたにもかかわらず、近づいた後にロボットが店の情報について話し始めると、歩行者は疎遠感を覚えた。したがって、このギャップにより、DSRは提案した全ての行動の中で最も低かったと考えられる。結果として、これらの結果は、能動的な概念 (挨拶) と比べて、受動的な概念 (困らせることと踊ること) の方が歩行者を立ち止まらせるのに有効であることを示唆している。さらに、受動的な概念においては、ロボットの行動の一貫性が、歩行者との関与を維持するうえで重要である。

その他の興味深い結果として、SRおよびDSRにおける性別および年齢の違いが挙げられる。SRとDSRの結果は、子どもだけでなく女性も、ロボットが話すときに、ほとんどの場合ロボットの前で立ち止まり、聞くことを示した。同様の状況は他の研究でも起こっており[19]、そこでは子どもが (ときには親に同伴されて) ロボットと相互作用することが多い。さらに、先行研究の結果では、男性は女性よりもロボットと相互作用することに対してより前向きな態度を持つことが示されていた[38]、[39]。しかし、本研究と同じロボット「Sota」を用いた別の研究[40]では、女性の方がロボットにより強い関心を示すことがわかった。この結果は、我々の結果と一致している。したがって、ロボットへの関心に関する性差は決定的な判断を与えるものではなく、ロボットの外観に依存する可能性があることを示唆する。一方で、DSRの結果では年齢による有意な差は示されなかった。このロボットは非対話型ロボットであり、つまり対話を通じて人間と意思疎通する能力は持っていなかった。この場合、DSRの結果は、歩行者がロボットへの関心を失った時間を表しており、その傾向は年齢にかかわらず同様だったと考えられる。言い換えれば、ロボットが強い関心を持つ人と相互作用していても

ロボットにおいては、対話能力が低いロボットはすぐに退屈になる。最後に、歩行者がグループでいる場合、より立ち止まりやすく、全メッセージを聞く意欲も高いことが確認された。これらの観察のいくつかの例は、他の研究でも報告されている[17]、[24]、[28]、[40]。これらの観察は、ロボット自身ではなく、歩行者がロボットと相互作用するように引きつける別の人物によって引き起こされるものだと考えられていた[17]、[24]。したがって、本研究におけるこの観察の理由は、グループ内の1人がロボットに関心を持っていれば、他の人もロボットの話聞くはずであり、その結果として彼 (または彼女) を待つことになる、ということにあると考えられる。したがって、ショッピングモールなどの混雑した状況では、ロボットが個人に話しかけるよりも、情報提供のためにグループに向けて話す方が効率的である。

## B. 実験IIの考察

また、実験IIにおいてロボットと人間の結果を比較した。両者のパフォーマンスを比較すると、SRはロボットの方が高く、DSRは人間の方が高かった。DSRが低い理由は、ロボットの言語的な相互作用能力が人間よりも大幅に低かったためだと考えられる。ロボットは騒がしい商業環境で適切な音声認識を示さないため、ロボットシステムでは音声による相互作用を実装することができなかった。今後の研究では、この問題は、騒がしい環境でも歩行者の発話を正しく認識できる技術を開発することで解決できる。

対照的に、SRの観点から見てロボットが人間よりも良いパフォーマンスを示せる可能性のある理由はいくつかある。1つ目は単に、歩行者がロボットの行動に強い関心を持っていたからである。ロボット行動の中で最もSRが低い挨拶行動は、その新規性の効果により[41]、人間と比べてSRを向上させることができる。さらに、他の行動もSRを大きく改善できた。したがって、さまざまな種類のロボット行動が歩行者を引きつけることができる。2つ目は、歩行者が、大人の人間の広告者が情報提供のために呼びかけてくる状況を好まなかったことである。実験Iの考察で述べたように、大人は子どもが困っているときに手を差し伸べる傾向がある。一方で、本実験が行われた日本の場合、ショッピングモールや町中で見知らぬ大人が人に話しかけると、その見知らぬ相手は、何かを勧めるセールスマンであることが多い。これは歩行者にとって迷惑だと考えられる。したがって、歩行者は

提供される情報の種類を知る前に、見知らぬ人に対して行うことになり、したがって、成人の広告主のSRは低いと考えられます。しかし、倫理的に可能であれば、子どもの広告主が同じ課題を行うことでSRが高くなる可能性があります。

これらの結果は、人を支援するロボットの将来の協調的な設計に有用となり得ます。たとえば、[6]や[14]のような遠隔アバターロボットシステムを用いることで、ロボットの能力と人間の能力を統合し、より高性能なシステムを構築できる可能性があります。本研究では、環境は騒がしいショッピングモールであり、特定個人の発話を認識することが困難でした。そこで、ロボットが一方的に会話する受動的メディアシステムを構築しました。しかし歩行者との相互作用となると、人間は対話を補完することでインタラクティブ性を向上させることができます。自律ロボットは歩行者にロボットの前で立ち止まってもらおうとし、自律ロボットが歩行者と会話することが難しい状況では、人間が対話を補完します。したがって、ロボットと人間の弱点を補完することで、高いパフォーマンスを示せるシステムを構築できると期待しています。

ロボットのあいさつ行動と踊る行動におけるWDSRの結果は人間の性能と同等でしたが、問題となる行動の性能は人間の広告主の結果をすべて上回りました。SRとDSRは情報タスクの性能を評価する過程の一部であるのに対し、WDSRは性能の最終評価です。言い換えると、本実験ではロボットが人間の広告主よりも歩行者に多くの情報を提供することに成功しました。したがって、これらの結果は、ロボットが情報提供タスクにおいてより効果的であることを示している可能性があります。

さらに、この結果は時間経過に伴う人間のパフォーマンス低下を考慮していません。本実験では広告主に対して3hの間課題を行うよう求めましたが、その間のパフォーマンス劣化は測定しませんでした。しかし、より長い期間課題を行う場合には、疲労によるパフォーマンス低下が起こります。その場合、ロボットは作業環境において人間よりもより良い結果を提供できる可能性があります。

実験IIでは、広告主3のSRおよびWDSRが他の広告主よりも低いことを観察しました。これは、人間の広告主3が他の広告主よりも歩行者に接近する回数が少なかったためです（各広告主について、接近1回あたりの通過人数：それぞれ4.6、5.6、46.9、10.9）。一方で、この現象はロボットでは起こりません。したがって、ロボットは、人間の個人差のような要因によりパフォーマンスが影響を受けない点で利点があります。まとめると、本研究の結果は、ロボットが労働支援技術として十分に機能し得ることを示唆しています。これはロボティクス研究の目標の一つです。

### C. 限界

最後に、本研究の限界を示したいと思います。まず、提案したロボットの3種類の行動コンセプトについて、その性能を比較しました。これは、行動コンセプトが一般化して用いられると考えたためであり、詳細なロボット行動と比べてより効果的になる可能性があるからです。しかし、同一の行動コンセプトで実装された2種類のロボットについて、

しかし、動作の詳細がわずかに異なっても、同様の結果を得ることができます。受動的手法を用いる場合でも、踊ること以外の行動を設計できます。これは、ロボットの外観や自由度の違いも考慮したうえで、今後の研究で検討する必要がある限界です。

さらに、本研究は提案する行動コンセプトが常に同じ結果を示すかどうかを実証できません。本研究では、多くの人に比較的余裕がある商業施設でロボットを用いて実験を行いました。しかし実験を通じて、急いでいる人に対してはロボットのアプローチの大半が失敗することがわかりました。したがって、ロボットが設置される文脈や場所などの環境条件によって、当該の問題となる行動が、本研究結果と同程度に人々へ大きな影響を与えるかどうかは保証できません。

次に、我々の結果は新規性効果に強く依存しています。問題となる行動において、ロボットは歩行者の注意を引くために「困っています」と言い、その後に店舗に関する情報を伝えました。これは「オオカミが来た」型の可能性があります。さらに、HRIの分野において、たとえばロボットの誤りは人々のロボットへの信頼を低下させると報告されています[42]。つまり、人々が問題となる行動に一度以上さらされると、ロボットへの信頼が低下し、ロボットの言うことを聞かなくなる可能性があります。このような状況では、たとえ人間より優れた性能を示したSRであっても、ロボットは人間のパフォーマンスを上回れないかもしれません。この長期的な性能は、今後の研究で検討します。

また、本研究の結果は文化の違いに大きく依存していることも考慮すべきです。いくつかの文化の違いを対象にした人間-ロボット相互作用に関する先行研究では、文化が異なる人は、課題やロボットの外観に応じて異なる行動をとることが示されています[25]、[26]。たとえば、ロボットは人間というより機械だと考える人にとっては、ロボットの問題となる行動は気味が悪く見えるかもしれません。この場合、問題となる行動は最悪の結果をもたらす得ます。人間同士の相互作用においては、日本の歩行者は見知らぬ人と話すことを避ける傾向があることを示しました。しかし他の文化では、SRの結果においてロボットが人間を上回ることができない可能性があります。この実験期間中、ロボットと相互作用した歩行者への聞き取りは行いませんでした。歩行者がロボットとの相互作用を通じてどのように感じたのかを推測できないため、彼らに影響を与えた文化の違いについて厳密な議論を行うことはできません。したがって、文化の違いは本研究のもう一つの限界です。

文化の違いにより近い観点から言えば、人々がロボットに慣れている度合いが本研究の結果に影響します。今日の社会では、ソーシャルロボットはまだ珍しく、興味深い対象です。しかし、さまざまなソーシャルロボットが普及した将来の社会では、人々はロボットが踊ったり「困っている」ように振る舞ったとしても、それが何をするのかを気にする度合いは低くなると考えられます。したがって、将来の結果が本研究で得られたものと異なる可能性があることを考慮する必要があります。

## VI. 結論

本研究では、人型ロボットが歩行者をその前で立ち止まらせ、メッセージを聞かせられるかどうかを調査しました。私たちは

汎用目的のロボット向けに3種類の行動概念を提案した。すなわち、active (能動的)、passive-negative (受動的-否定的)、およびpassive-positive (受動的-肯定的) 概念である。提案した3つの概念に従い、我々は「greeting behavior (挨拶行動)」をactive、「troubling behavior (困らせる行動)」をpassive-negative、「dancing behaviors (ダンス行動)」をpassive-positiveとして具体的に設計した。各行動を備えたロボットをショッピングモールに配置し、情報提供におけるロボットの有効性を検証した。

探索的なフィールド実験の結果より、「troubling behavior (困らせる行動)」、すなわちロボットが困っているかのように振る舞うことによって、歩行者をより多く立ち止まらせ、またロボットの前により長く滞在させることができることが明らかになった。これらの結果は、同じ状況下で4名の人間が、情報提供のために歩行者を立ち止まらせようとした結果と比較された。比較結果は、(1) 停止率 (SR) においてロボットの性能が人間より高いこと、(2) 配布成功率 (DSR) では人間の性能のほうがロボットの性能より優れていることを示している。とりわけ、全体の配布成功率 (WDSR) に関しては、ロボットの「greeting behavior (挨拶行動)」および「dancing behaviors (ダンス行動)」を用いて得られた性能は、人間の性能と同等である。さらに、本実験に参加した全ての人間の広告主に比べて、「troubling behavior (困らせる行動)」の性能が高いことが確認された。これらの知見は、情報提供タスクにおけるロボットの性能が、人間に劣らないことを示している。したがって、サービスロボットが現実の世界でも良好に機能できることが期待される。言い換えると、本研究の結果は、ロボットが、ロボット研究の目標の一つである労働支援技術として十分に活用できることを示唆している。

しかし本研究にはいくつかの限界がある。騒がしい環境において、ロボットが歩行者と自然に相互作用することが難しいためである。これは、自動対話生成が、騒がしい環境下における特定の歩行者の音声認識精度が低いために難しいからである。これらの問題は、実環境で動作するすべてのロボットに共通している。したがって、騒がしい環境下でロボットが対象者の発話内容だけを認識できるようにすることが必要である。とはいえ、ロボットと人間の弱点を補完し合うことで、高い性能を示せる統合ロボットシステムを構築できる。本を実現することで、将来のロボット設計において、ロボットおよび人間の弱点を補うことが重要であると考えられる。

#### 参考文献

[1] M. 志望, T. 神田, H. 石黒, 及び N. 萩田, 「科学館のためのインタラクティブ・ヒューマノイドロボット」, IEEE Intelligent Systems, vol. 22, no. 2, pp. 25-32, 2007

[2] R. トライベル ほか, 「Spencer: 多忙な空港における乗客誘導と支援のための、社会的に状況を認識するサービスロボット」, Field and Service Robotics, vol. 113, pp. 607-622, 2016

[3] H.-M. グロス ほか, 「ShopBot: インタラクティブな日常用モバイル・ショッピング・アシスタントの開発の進展」, 系・人・サイバネティクスに関するIEEE国際会議 (Proc.), pp. 3471-3478, 2008

[4] H. 大澤 ほか, 「ロボット・ホテルの分析: ロボットによる作品の再構成」, ロボットと人間のインタラクティブ・コミュニケーションに関するIEEE国際シンポジウム (Proc.), pp. 219-223, 2017

[5] K. 山崎 ほか, 「高齢化社会のためのホーム・アシスタント・ロボット」でIEEEの議事録 (Proc.), vol. 100, no. 8, pp. 2429-2441, 2012

[6] J. Baba et al., 「より良い顧客満足度のために、自律的に振る舞う遠隔操作ロボット」, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (コンピュータ・システムにおける人間の要因に関するSIGCHI会議) にて, pp. 1-8, 2020

[7] T. Kanda, M. Shiomi, Z. Miyashita, H. Ishiguro, および N. Hagita, 「ショッピングモールにおけるコミュニケーションロボット」, IEEE Transaction on Robotics, 第25巻, 第5号, pp. 897-913, 2010

[8] M. Mende, M. L. Scott, J. van Doorn, D. Grewal, I. Shanks, 「サービスロボットの台頭: ヒューマノイドロボットがサービス体験に与える影響および代償的な消費者の反応を引き出す」, Researchマーケティングジャーナル, 第56巻, 第4号, pp. 535-556, 2019

[9] M. Niemel<sup>1</sup>, A. Arvola, および I. Aaltonen, 「ショッピングモールにおけるソーシャルサービスロボットの受容のモニタリング: 初期結果」, Proc. にて ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 225-226, 2017

[10] M. Niemel<sup>1</sup>, P. Heikkilä, H. Lammi, V. Oksman, 「ショッピングモールにおけるソーシャルロボット: 受容と利害関係者の期待に関する研究」, Social Robots: Technological, Societal and Ethical Aspects of Human-Robot Interaction (人間とロボットの相互作用). Human Computer Interaction Series O. Korn, 編, ヒューマン・コンピュータ・インタラクションシリーズ, Springer, pp. 119-144, 2019

[11] M. K. Lee, S. Kiesler, J. Forlizzi, および P. Rybski, 「組み込まれたソーシャルエージェントの波及効果: 職場におけるソーシャルロボットに関するフィールド研究」, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (コンピュータ・システムにおける人間の要因に関するSIGCHI会議) にて, pp. 695-704, 2012

[12] K. Tanaka, N. Yamashita, H. Nakanishi および H. Ishiguro, 「遠隔操作か自律か?: ロボット操作者の擬似的な存在感をHRI」Proc. ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 133-140, 2016

[13] Y. Okafuji ほか, 「こちらを聞いてください: ショッピングモールにおけるヒューマノイドロボットで通行人を立ち止まらせる方法」, Proc. ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (人間とロボットの相互作用に関するACM/IEEE国際会議) にて, pp. 381-383, 2020

[14] M. Shiomi ほか, 「半自律型コミュニケーションロボット一駅でのフィールド実証」, Proc. ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction にて, pp. 303-310, 2008

[15] M. Shiomi ほか, 「ショッピングにおけるネットワーク接続されたソーシャルロボットのフィールド実証「モール」」, Proc. International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2846-2853, 2009

[16] C. Shi, M. Shiomi, C. Smith, T. Kanda, および H. Ishiguro, 「モバイルロボットのための分配ハンディンク相互作用のモデル」, Proc. Robotics: Science and Systems にて, 2013

[17] C. Shi, S. Satake, T. Kanda, および H. Ishiguro, 「ショッピングモールにおいて歩行者にチラシを配布するロボット」, International Journal of Social Robotics, 第10巻, p. 421-437, 2018

[18] A. Yamazaki ほか, 「ヒューマンロボット相互作用における精密なタイミング: 頭部動作と発話の協調」, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (コンピュータ・システムにおける人間の要因に関するSIGCHI会議) にて, pp. 131-140, 2008

[19] N. Bergström, T. Kanda, T. Miyashita, H. Ishiguro, および N. Hagita, 「自然な人間-ロボット遭遇のモデル化」, Proc. International Conference on Intelligent Robots and Systems (知能ロボット・システム国際会議) にて, pp. 2623-2629, 2008

[20] M. Iwasaki, J. Zhou, M. Ikeda, T. Kawamura, および H. Nakanishi, 「ロボットの販売員に対する顧客の態度、最初の相互作用に依存する」, Proc. IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (ロボットと人間のインタラクティブコミュニケーションに関するIEEE国際シンポジウム) にて, pp. 300-305, 2018

[21] M. Iwasaki ほか, 「来訪者の注意を認識しているかのように振る舞うことでロボットの販売員の社会的プレゼンスを強化する」, ヒューマン・エージェント・インタラクションに関する国際会議 (Proc.), pp. 19-27, 2019

[22] M. 志望 ほか, 「ショッピングモールにおける広告利用文脈に対するソーシャルロボットの推薦効果」, International Journal of Social Robotics, vol. 5, no. 2, pp. 251-262, 2013

[23] K. 林 ほか, 「受動的な社会的メディアとしてのヒューマノイドロボット——一駅でのフィールド実験——」, ヒューマン・ロボット・インタラクションに関する国際会議 (Proc.), pp. 137-144, 2007

[24] M. P. ミハロウスキー, S. サバノヴィッチ, 及び R. シモンズ, 「ソーシャルロボットのための関与の空間モデル」, 高度運動制御に関するIEEE国際ワークショップ (Proc.), pp. 762-767, 2006

[25] D. 李, P. L. P. ラウ, Y. 李, 「異文化間研究: ロボットの外見と課題の効果」, International Journal of Social Robot, vol. 2, pp. 175-186, 2010

[26] G. トロヴァート ほか, 「人とロボットの挨拶インタラクションに関する異文化間研究——エジプト人と日本人による受容と不快感——」, PALADYN Journal of Behavioral Robotics, vol. 4, no. 2, pp. 83-93, 2013

[27] M. 渡辺, K. 小川, 及び H. 石黒, 「実世界でアンドロイドはセールスパーソンになり得るのか?」, ヒューマンファクターズ・イン・コンピュータ・システムに関する年次ACM会議 (Proc.), pp. 781-788, 2015

[28] M. トンキン ほか, 「試してみませんか? あるショッピングセンター」, ロボットと人間のインタラクティブ・コミュニケーションに関するIEEE国際シンポジウム (Proc.), pp. 42-49, 2017

- [29] M. Söderlund, "従業員の自己開示の奨励" サービス対 encountering と顧客満足への影響 ジャーナル・オブ リテラーリング・アンド・コンシューマー・サービス, 第53巻, 記事102001, 2020年
- [30] S. S. Kim, J. Kim, F. B.-Baiden, M. Giroux, Y. Choi, ホテルでのロボットサービスと人間サービスの好みについて? COVID-19パンデミックの影響、International Journal of Hospitality Management、第93巻、記事102795、2021年
- [31] NUITRACK <https://nuitrack.com/>
- [32] H. Admoni, B. Scassellati, "人間-ロボット対話における社会的眼の視線: 総説," Journal of Human-Robot Interaction, 第6巻、第1号、頁25-63、2017年
- [33] ACM SIGCHI, Please Listen to Me: 買い物モールでヒューマノイドロボットに歩行者を止ませる方法 (2020年4月15日)、閲覧日2021年1月8日、[オンライン動画]、URL: <https://youtu.be/k7OQa5ux8e4>
- [34] E. Saad, M. A. Neerincx, K. V. Hindriks, "注目を集めるためのロボットの歓迎行動", ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 636-637, 2019年
- [35] I. Leite, A. Pereira, C. Martinho, A. Paiva, "感情的なロボットは遊ぶのが楽しいのか?", IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 77-82, 2008年
- [36] Y. Khaoula, N. Oshima, P. Ravindra, S. De Silva, M. Okada, "人間に依存するロボットの概念と応用", Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Applications and Services, S. Yamamoto 編集, Springer, 巻8522, pp. 435-444, 2014年
- [37] M. P. Michalowski, S. Sabanovic, H. Kozima, "リズムのある社会的相互作用のための踊るロボット", International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 89-96, 2007年
- [38] B. Mutlu, J. Forlizzi, J. Hodgins, "ストーリーテリングロボット: 人間の gaze 行動のモデリング" および人間のような視線挙動の評価, 2006年 IEEE-RAS 第6回 国際会議ヒューマノイドロボット, pp. 518-523, 2006
- [39] T. Nomura, "ロボットとジェンダー", Gender and Genome, pp. 18-26, 2017年
- [40] Y. Okafuji ら, "オフィス環境でヒューマノイドロボットは注意を引き続けられるか?", Advanced Robotics, vol. 34, no. 14, pp. 931-946, 2020年
- [41] R. Gockley ら, "長期的な社会的相互作用のためのロボット設計", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2199-2204, 2005年
- [42] M. Salem, G. Lakatos, F. Amirabdollahian, K. Dautenhahn, "欠陥のあるロボットを信頼しますか? エラー、タスクタイプ、性格が人間-ロボット協力と信頼に与える影響", International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 1-8, 2015年