



Title	エンゲージメントとインタラクション状態遷移に基づく接客ロボットの半自律的制御手法の確立
Author(s)	岩崎, 雅矢
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82219
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

博士学位論文

エンゲージメントとインタラクション状態遷移
に基づく接客ロボットの半自律的制御手法
の確立

岩崎 雅矢

2021年1月

大阪大学大学院工学研究科

要旨

コミュニケーションロボットが誕生し、その技術の発達につれて人々の日常環境のさまざまな場面で利用されるようになってきた。近年では、店頭や駅などの公共空間に訪問客を応対することを目的とした接客ロボットが多く設置されるようになってきている。接客ロボットを活用することには様々な利点があると考えられる。例えば、外国人観光客が昨今増加している反面で、店員が外国語を話せずコミュニケーションがとれない店舗がある。このような店舗に接客ロボットを設置することで外国語での客を呼び込みや商品説明を行うことを可能にさせる。また、顔認識機能や購入情報などの顧客データをもとに、商品の購入の頻度や嗜好などに応じてサービスを提供することができる。さらに、人の販売員は人であるために警戒されてしまうことがあるが、ロボットは気を使う必要がなく、客から関心を持って近づく可能性などが考えられる。このように、人による接客では行うことができない部分を補い、アシストできる可能性があるという理由から、接客ロボットは様々な店舗に急速に配備されてきた。しかし、このような実店舗において訪問客に対して商品の販売を行う接客ロボットを考えた場合、ロボットはソーシャルプレゼンスが弱いことが原因で人々に無視されることが多く、さらに実際の環境で起こる様々な状況に自律的に臨機応変に対応することが現状では困難であると考えられる。人が遠隔操作するロボットの場合は、これらの問題を解決することが可能であると考えられるが、それにはロボットの操作経験やその環境における知識を豊富に身に着けているオペレータである必要があり、このような人材を容易に確保することは難しい。そこで本研究では、インターネット上の不特定多数の一般ユーザがロボットを遠隔操作するという考え、初心者ユーザでも実環境で起こるさまざまな状況に柔軟に対応しながら訪問客の購買活動を促進できるようなシステムを提案する。したがって、本研究では初心者ユーザによる操作でもロボットのソーシャルプレゼンスを改善できるような接客ロボット遠隔操作システムを開発することを目的とした。この目的達成のため、ロボットと訪問客のインタラクションをいくつかの段階に分け、実店舗と実験室という 2 種類の環境における実験を通して調査を行った。そのインタラクションの段階として大きく分けると以下のようなものが考えられる。会話の初期、会話の継続、訪問客の興味の商品への誘導、そして会話の不成立である。

まず、会話の初期についての調査をするため、京都の商店街にある七味専門店にヒューマノイドロボット、Pepper を置き、試食の提案や人の店員との協力という手法を用いて訪問客と会話させ、その言語情報だけでなく非言語情報も含めたマルチモーダル会話分析を行う実験を行った。そして、人々の注意を引き付け、ロボットの発話に返事をしてもら

えるようなロボットの行動を調査した。次に、実験室実験において、人がロボットを見ている際にその人の方に振り返るといったロボットの行動が、ロボットが自分の行動を認識している感覚を強化するかを統計的に分析した。その結果、インタラクション開始時のロボットの印象がほとんどの訪問客の組におけるその後の会話に大きく影響することがわかった。また、効果的なロボットが最初の発話をするタイミングは、訪問客がロボットを見た瞬間であることを明らかにした。したがって、人とロボットの相互作用の開始時に、ロボットが人間の行動に従って認識して行動できることを示すことが人々にロボットの発言に対してうなずき、返答してもらうのに重要であることが分かった。また、上記のような知見に基づいて、訪問客のロボットへの注目の度合いを示すエンゲージメントという値を導入し、エンゲージメントの値がある一定以上となったタイミングで会話を開始する機能を考えた。そして、実店舗による実験からその機能が実環境においても有効であることを確認した。次に、この機能を用いたとしても会話が成立しない訪問客のインタラクションを改善するため、ロボットがラップ歌唱をすることを考え、その適切なタイミングを決定した。さらに、会話の継続においてロボットが訪問客に握手を求めることでロボットとの距離を高い確率で縮めることで訪問客のエンゲージメントをさらに高めることができることを示した。最後に訪問客の興味の商品への誘導において、訪問客に試食をってもらうことを考え、試食の提案後ロボットが店員を呼び、訪問客に直接手渡すことによって試食してもらうことを考えた。その結果、試食の提案の有効なタイミングは訪問客がロボットを見た瞬間であり、店員への協力要請の有効なタイミングはロボットの試食提案後、訪問客が試食用サンプルを見たタイミングであるということを示した。

以上のように販売促進において効果的な訪問客とロボットの相互作用の典型的な流れをもとにして、訪問客とロボットのインタラクションを状態遷移モデル化した。さらに、このモデルに基づいた操作システムを作成し、実際の環境で有効かどうかを調査した。最後に、本操作システムを用いた初心者ユーザの操作がロボットのソーシャルプレゼンスを高めることができるかを調査した。その結果、本モデルに基づいた操作システムを用いることで、操作者が未経験の場合であってもロボットのソーシャルプレゼンスを高め、訪問客の購買活動を促進することができた。

目次

第1章	序論	7
第2章	関連研究	10
2.1	握手による接触の効果	10
2.2	フィールドにおける実験	10
2.3	ショッピングモールにおける実験	11
2.4	遠隔操作ロボット	11
第3章	エンゲージメントに基づくロボットの知覚能力の提示	12
3.1	双方向会話の確立	12
3.1.1	実験環境	12
3.1.2	接客ロボット	15
3.1.3	ロボット操作インタフェース	16
3.1.4	遠隔地映像の取得	18
3.1.5	Choregrapheによるロボットの行動生成	19
3.1.6	ロボットの行動	19
3.1.7	接客ロボットの外見	21
3.1.8	倫理問題	22
3.1.9	分析方法	23
3.1.10	結果と考察	25
3.2	会話を開始するタイミング	30
3.2.1	実験方法	30
3.2.2	結果と考察	30
3.3	会話開始時における人の振る舞いへの気付きの表出	33
3.3.1	仮説	33

3.3.2	実験条件.....	33
3.3.3	実験環境.....	34
3.3.4	タスク.....	36
3.3.5	参加者.....	37
3.3.6	評価方法.....	37
3.3.7	結果.....	38
3.3.8	考察.....	42
3.4	社会的応答モデル.....	46
3.4.1	エンゲージメントの識別と非言語要因.....	46
3.4.2	社会的応答モデル開発のためのデータ分析.....	46
3.4.3	社会的応答モデルの開発.....	47
3.4.4	社会的応答モデルの有効性.....	48
第4章	客-ロボット相互作用の状態遷移モデル化.....	50
4.1	客-ロボット相互作用の状態の調査.....	50
4.1.1	接客における相互作用の状態遷移.....	50
4.1.2	会話不成立訪問客とのインタラクションの改善.....	51
4.1.3	訪問客との対話を継続するための振る舞い.....	54
4.1.4	訪問客を試食に誘導するロボットの振る舞い.....	56
4.1.5	ロボットの試食提案機能の改善.....	64
4.1.6	接客フローチャートの作成.....	65
4.2	実店舗における状態遷移モデルの有効性の検証.....	70
4.2.1	実験内容.....	70
4.2.2	結果.....	73
4.2.3	インタラクションのモデル化による効果（考察1）.....	74
4.2.4	操作インタフェースの改善による効果（考察2）.....	82
4.3	初心者ユーザの操作による状態遷移モデルの有効性の検証.....	85
4.3.1	実験環境.....	85
4.3.2	タスク.....	86
4.3.3	参加者.....	86
4.3.4	評価方法.....	87
4.3.5	結果.....	87

4.3.6	考察	88
第5章	総合的考察.....	90
5.1	まとめ	90
5.1	多グループへの拡張.....	91
5.2	店舗の売り上げに対する影響	91
5.3	訪問客の注意を引く行動の検討	91
5.4	訪問客が子供の場合.....	92
5.5	ロボットと店員との協力における店員の影響.....	92
5.6	制限事項と今後の課題.....	92
第6章	おわりに.....	94
謝辞	95	
参考文献	96	
業績リスト.....	99	

第1章

序論

コミュニケーションロボットと呼ばれる会話を行うことができるロボットが誕生し、人々の日常における多くの場面で用いられ研究されている。例えば、博物館のガイドロボット[1][2][3][4][5]や教育[6]、ホテル[7][8]、店舗において訪問客を応対することを目的とした接客ロボットが存在している。本研究ではこれらのコミュニケーションロボットの中で、店舗での販売促進のための接客販売ロボットに着目する。こういったロボットを活用することには様々な利点があると考えられている。近年外国人観光客は増えているが、店員が外国語を話せずコミュニケーションがとれない店舗がある。このような店舗に対して接客ロボットを置くことは、外国語での客を呼び込みや商品説明を行うことを可能にさせる。また、顔認識機能や購入情報などの顧客データをもとに、商品の購入の頻度や嗜好などに応じてサービスを提供することができる。さらに、人の販売員は人であるために警戒されてしまうことがあるが、ロボットは気を使う必要がなく、客から関心を持って近づく可能性もある。このように、ロボットには人にはない独特の利点がある可能性があり、逆に、人にもまたロボットにはない独特な利点がある可能性がある。したがって、本研究では、人の店員をロボットとして置き換えるのではなく、接客ロボットと人の店員を1つの営業チームとして統合することに焦点を当てる。しかし、このようなロボットはソーシャルプレゼンスが弱いことが原因で人々に発言や提案を無視されることが多い。この問題に関して、ロボットのある特定の行動がロボットの印象に対して効果的であるという研究[9][10][11][12]や、ある特定の行動や発話方法によって人の注意をロボットに向けることができるというような研究が行われてきた[6][13][14][15]。しかし、これらの行動はある特定の状況下でのみ有効である可能性があり、他の環境に置かれたロボットでも同様の行動がその目的に対して必ずしも効果的というわけではなく、それぞれの目的に

沿ったふるまいを行う必要がある。これまで、実際の店舗における研究もいくつか行われてきた。完全自律ロボットによる客引き、商品紹介を行った研究があるが、販売に有効なロボットの行動の検証は行われていない[16]。半自律型ロボットがショッピングモールでクーポンを配布するといった研究も行われている[17][18]。しかし、このロボットは店の商品を直接訪問客に紹介していない。さらにこのようなロボットは自律的に実際の環境で起こる様々な想定外の状況に臨機応変に対応することが現状では困難である。人が遠隔操作するロボットの場合は、これらの問題を解決することが可能であると考えられるが、それにはロボットの操作やその環境における知識や経験を豊富に身に着けているオペレータである必要がある。したがって、人件費を削減することはできない可能性がある。そのような問題に対し、本研究ではインターネット上の不特定多数の一般ユーザがロボットを遠隔操作し、実環境で起こるさまざまな状況に柔軟に対応しながら顧客の購買活動を促進できるようなシステムを提案する。実際の店舗において接客ロボットが訪問客の購買行動を促進するためには、購入の勧めや試食の提案、商品への注意誘導を行う際にそのロボットの提案を訪問客に聞き入れてもらうことが重要である。したがって、初心者ユーザによる操作でも接客ロボットのソーシャルプレゼンスを改善でき、ロボットの提案を無視されないようにする遠隔操作システムを開発することを目的とした。この目的達成のため、以下のような調査を行った。

まず、実際の店舗において図 1 に示すようにロボットを訪問客と会話させ、その言語情報だけでなく非言語情報も含めたマルチモーダル会話分析を行うことで、接客ロボットのソーシャルプレゼンスを改善し、提案を訪問客に無視されないようにするのに有効な接客ロボットの行動を調査する。そしてそれらの典型的な接客フローから客とロボットのインタラクションを状態遷移モデルとしてモデル化する。

次にそのインタラクションの状態遷移モデルに基づく接客ロボット操作システムが実店舗においても有効であるかどうかを調査する。

そして最後に、そのシステムが初心者ユーザでも容易に利用可能なものとなっているかを調査する。

第 3 章においてロボットのソーシャルプレゼンスを改善するのに必要なロボットの行動を調査し、その知見に基づき第 4 章においてインタラクションの状態遷移モデル化を行い、第 5 章において本モデルの有効性を検証し、第 6 章において本モデルに基づく初心者ユーザによる操作の有効性について調査する。最後に以上のすべての実験を通じた総合的な考察を第 7 章にまとめる。



図 1 接客ロボット (Pepper)

第2章

関連研究

2.1 握手による接触の効果

本実験において握手をするという機能を用いたが、これまで握手や接触に関する多くの研究が行われてきた。ロボットとの握手において、訪問客がロボットと握手するためには、ロボットがどのように振る舞うべきかをロボットに学習させる研究もある。そして、握手をしてもらうためには歩行軌道、頭の向き、身体言語、進行中の活動が重要であることが知られている[19].

また、人と人との間において、接触をするということは客の活動に影響を与える。その接触の効果に関する研究として、ウェイトレスが客の肩や手に触れることとチップの量との関係についての研究がある。そして、客の肩に接触することと客の手に接触することには客のチップの量に差が無いということが分かっている[20]. 本研究でもこのような人と人との間で起こる影響が人とロボットの間でも起こることを期待した。

2.2 フィールドにおける実験

実験室実験では実験室にいるということが人とロボットの間インタラクションに影響を与えるということが考えられる。例えば、実験室では、カメラなどで録画されているという意識が強いため、ロボットに対して失礼な行動などはとらない人が多いが実際のフィールドではそのようなことも観察される可能性がある。このように、実験室実験では観察することができないロボットとの自然なインタラクションを観察するため、実際の博物館での実験[1][2]や実際の教室での実験[6]が行われている。接客ロボットに関しても様々なその目的に応じた実際のフィールドにおける実験が行われてきた[18][21][22][23].

しかし、そのようなフィールド実験の数は実験室実験に比べて圧倒的に少ない。

2.3 ショッピングモールにおける実験

ショッピングモールにおける接客ロボットに関する実験もいくつか行われてきた。ショッピングモールでのショッピング情報の提供、ルートガイダンスの提供、友好関係構築のためのコミュニケーションロボットの開発について報告した研究[24]やショッピングモールのためのクーポン提供ロボットシステムを開発し、実際にロボットが置かれる環境で広告効果を高めることができるかどうかを調査し、ロボットから印刷されるクーポンの数を効果的に最大化する方法を示した研究などがある[17]。しかし、ロボットは訪問客に直接商品紹介をしておらず、どのような行動が訪問客の興味を商品に誘導するかは不明である。

2.4 遠隔操作ロボット

自律動作と遠隔操作を組み合わせたロボット対話システムの手法も提案されているが[11]、その操作者はここでの自律動作は、定型的な呼び込みや商品説明であったが、ロボットが自律的に対応できない場合に人の操作者がそれを引き継ぎ、遠隔操作を行うといったものであった。このシステムでは、ロボットの得意なところはロボットが行い、人が得意なところは人が行うといった考えであるが、その操作者にはその店舗に関する専門的な知識やロボット操作に関するスキルが要求される。また、その自律動作の応答が効果的な接客方法であったかは検討されていない。そこで本研究では、ロボットを操作する際に操作者が店舗に関する専門知識を必要としないような操作システムを開発する。また、対人ロボットの遠隔操作におけるユーザの作業負荷を軽減する方法の一つとして、ロボットに多くの自律機能を持たせることが効果的であることが示されている[25][26]。本研究でもロボットの自律動作と遠隔操作を組み合わせた操作システムを開発する。

第3章

エンゲージメントに基づくロボットの知覚能力の提示

多くのコミュニケーションロボットは、そのソーシャルプレゼンスの弱さが原因で多くの場合人々に無視される。そこで本章では、ロボットの話聞いてもらうために、そのソーシャルプレゼンスを向上し、人の注意を引きつけることができるロボットの行動を実店舗実験と実験室実験という実用的な環境と統制された環境の2つの側面から調査する。

3.1 双方向会話の確立

ロボットのソーシャルプレゼンスが改善されることでロボットの発言や提案が無視されなくなり、今までロボットが人々に対して一方的に話しかけていたインタラクション形態から人々と双方向にやり取りを行うことができる形態へと変化すると予想できる。そこでまず、実店舗における実験からそのような双方向の会話に着目する。

3.1.1 実験環境

本研究では、京都の商店街にある七味専門店「ぢんとら」において実験を行った。図2は実験を行った店舗を上から見た図である。また、入り口から見た店内の様子を図3に示す。本実験では、図2に示すように、訪問客が顔を見えないようにピントをずらしたカメラをロボットの正面、背後、そして店舗の全体の様子を確認可能な側面の位置に配置し、継続して撮影を行った。それぞれのカメラで撮影される店内の様子を図4、図5、

図 6 に示す。また，訪問客の顔を認識可能な映像を取得できるカメラを側面に設置し，同意が与えられた場合のみ，そのカメラを用いて図 7 のような映像を取得した。

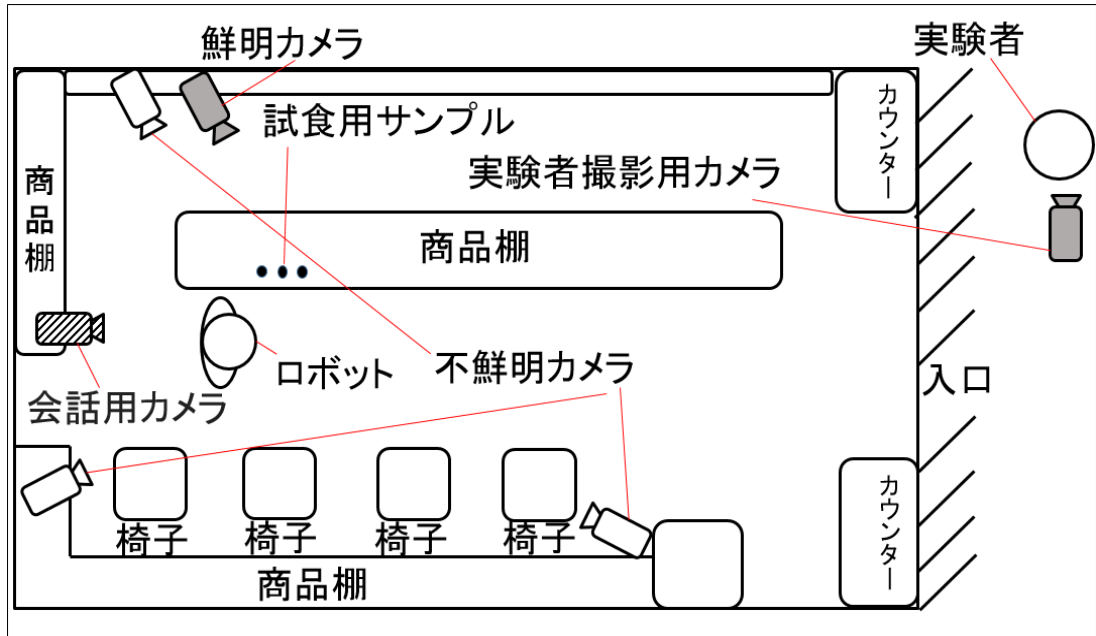


図 2 店舗の見取り図



図 3 入口から見た店舗内の様子

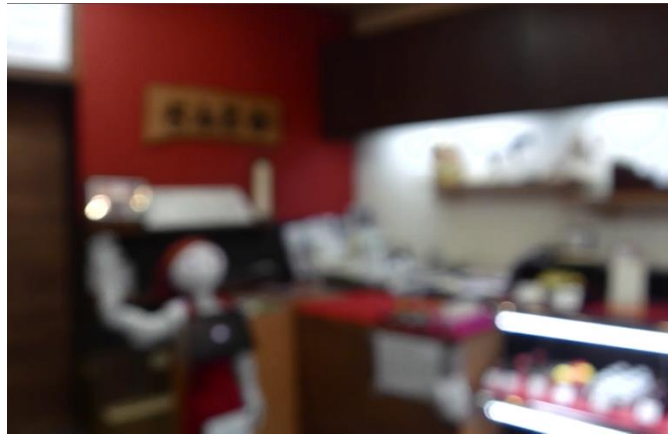


図 4 不鮮明映像（ロボット正面）

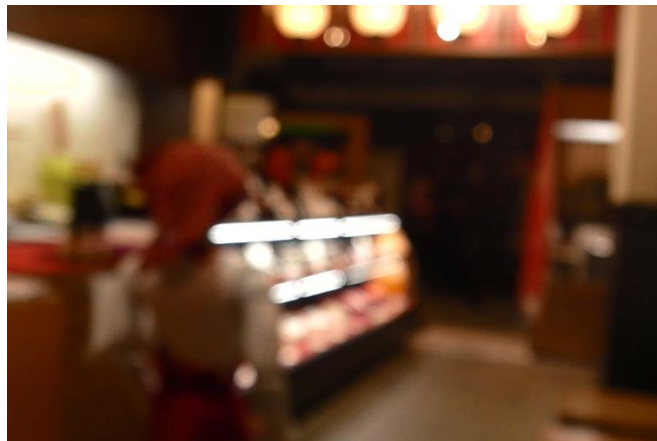


図 5 不鮮明映像（ロボット背後）

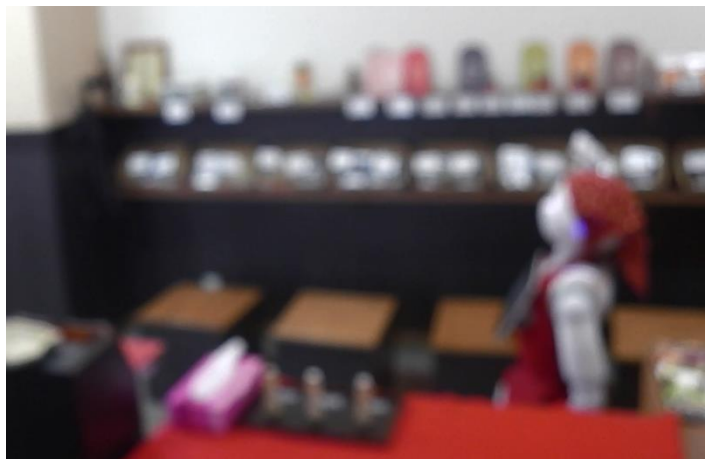


図 6 不鮮明映像（ロボット側面）



図 7 鮮明映像

3.1.2 接客ロボット

本実験では接客ロボットとして図 8 に示される Pepper を用いた。Pepper は、2014 年にソフトバンクモバイル株式会社が開発した人型パーソナルロボットである。顧客サービスロボットだけでなく、介護や教育にもペッパーを使用したいいくつかの研究がある[6]。

Pepper を採用した理由の 1 つ目は Pepper の大きさは、設置しても商品を購入することの妨げにならず、客とコミュニケーションする際にはロボット搭載のタブレットを用いて商品の説明や紹介ができるということである。2 つ目の理由は Pepper には図 8 のように赤外線センサ、ソナーセンサなどの多くのセンサを用いた安全装置が搭載されており、非常に安全であるからである。実験をする際、Pepper は周辺にいる人との衝突を回避する機能が備わっている。したがって、至近距離に人がいる場合、手振り身振りの動作における腕の軌道が自動的に変化するようになっている。以下にそれらのセンサ類の概要を示す。

6 軸慣性測定ユニット (IMU) センサ：角速度が $\sim 500 \text{ deg/s}$ の 3 軸ジャイロメータと加速度が $\sim 2G$ の 3 軸加速度計で構成される IMU が装備されている。出力データにより、ロボットの姿勢 (ヨー, ピッチ, ロール) を推定できる。

RGB カメラと 3 次元 (3D) センサ：額と口の位置に 2 つの RGB カメラがあり、画像解像度は 30 frame/s で最大 $640 \times 480 \text{ px}$ である。また、3D センサは目の奥にあり、解像度は 20 フレーム/秒 で最大 320×240 である。

脚部センサ：足元にはソナーセンサや赤外線レーザー、6 基のレーザーセンサによって障害物への衝突を防止する。

3 つ目の理由はその頭を動かすことによって視線を制御することができ、その腕を使ってジェスチャとポイントを行うことができるからである。一般販売向けの Pepper は日

本語と英語を話すことができ、実験では接客にこの2ヶ国語を用いた。

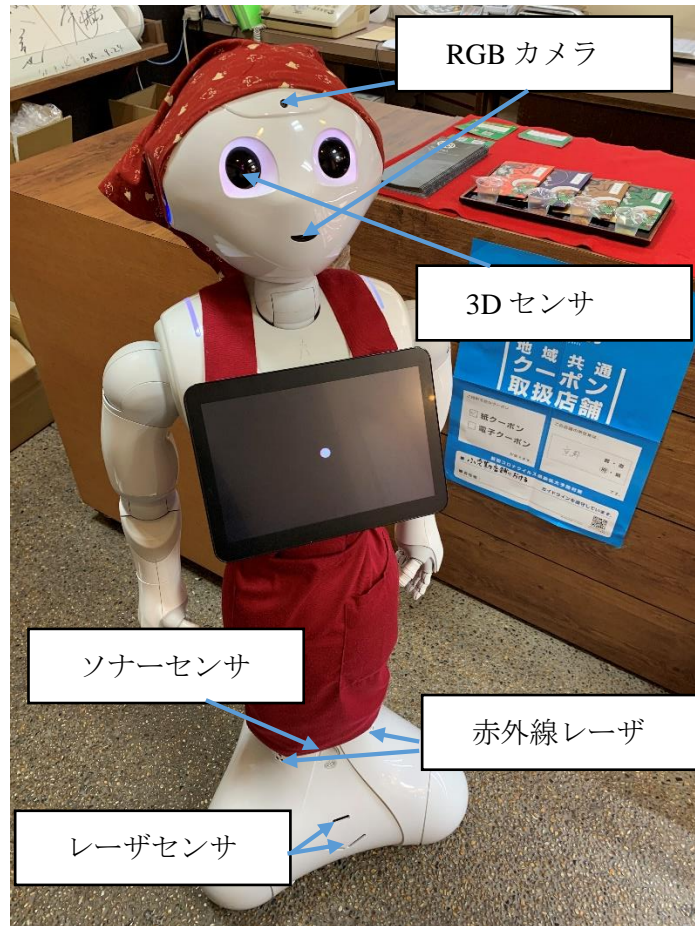


図 8 Pepper 搭載のセンサ

3.1.3 ロボット操作インタフェース

本実験におけるロボットの行動や発言は、Wizard of OZ 法を使用して人間のオペレータによって操作する。Wizard of OZ 法とは、対話システムの開発において効果的なシミュレーション手法であり、システムのふりをした人がユーザと会話をする。このとき、ユーザは自分がシステムと会話していると思っているが、フィールド実験において Wizard of OZ 法を用いた場合でも、ユーザはロボットが遠隔操作されているかどうかは気にしておらず、実験の結果にも変化が無いため問題ないことが示されている[27]。本実験ではロボットの動作の一部は人によって遠隔操作されているという内容をロボットの体に掲示した。

本研究では PC またはスマートフォンからブラウザで Pepper を操作可能なインタフェースを用いた。Pepper の OS は NAOqi OS と呼ばれており、Pepper に装備されている各種デバイスやメモリの状態の取得や制御用の API モジュールが含まれている。それらの NAOqi OS の API モジュール使用のために、ソフトバンクロボティクスが提供している LibQi JavaScript SDK ライブラリを用いて記述した JavaScript を html で呼び出すことで Pepper と同じネットワーク内にある PC からブラウザで Pepper を操作することができる。実験中、Pepper を操作する際にすべての動作や発話内容を入力すると、時間がかかってしまい会話をスムーズに行うことができない。そこで実店舗での接客に使用する可能性のある一連の言動を Pepper のアプリケーションを開発できるソフトウェアである Choregraphe を用いて開発し、あらかじめ Pepper にインストールした。これにより、Pepper にあらかじめインストールされた行動や発話はボタンを押すだけで操作することができる。Wizard of OZ 法では、オペレータがロボットの次の行動を決定するのに多少の時間を要するが、ロボットと訪問者の対話には大きな影響はない。また、本実験では図 9 に示すような操作インタフェースを使用した。このインタフェースではロボットに接客を行わせるためのボタンを 1 画面にカテゴリーごとにまとめて配置し操作者が自由にそれらの選択を行えるようにした。これにより訪問客の行動に対して柔軟にロボットが行動できるようになり、訪問客がどのような状態のときにロボットがどのように接客を行うのが効果的であるかを調査することができると考えた。



図 9 ロボット操作インタフェース

3.1.4 遠隔地映像の取得

取得可能な映像としてはロボットの一人称視点映像と Pepper と訪問客の両方の姿が確認可能な第三者視点映像があるが、今回の実験では、Pepper 頭部に搭載された 2D カメラを用いることによってロボットの一人称視点映像を取得し遠隔操作を行うこととした。一人称視点映像によって、会話相手の視線の方向などを操作者が把握しやすいられる。また、Pepper に内蔵されているカメラを用いるため、センサ情報の映像への重畳が容易に行える。また、ロボットと訪問客の様子を両方確認することができるよう三人称視点の映像の取得、表示も行った。映像取得を行うアプリケーションの開発には Python を用いた。Python で実装を行うメリットとしては、遠隔操作の際に PC でプログラムを動かし操作ができるため高度なライブラリとの連携が容易であり、実装も容易であるということが挙げられる。NAOqi API を用いて映像の取得を行い、センサ情報として訪問客の性別、年齢、視線の方向を取得し、重畳を行った。描画には OpenCV を用いた。このとき、プライバシーのため、映像はぼかして表示した。

3.1.5 Choregraphe によるロボットの行動生成

Pepper の対話行動の選択は実験者が遠隔操作によって行うが、それらの発言をする際のジェスチャ、人の顔の追従や障害物の検知と回避は自動的に行われる。特定の動作が必要な場合は Choregraphe を用いて姿勢の制御を行った。NAOqi API は多様なプログラミング言語で使用することができ、Choregraphe では Python によりプログラムを記述することで Pepper の制御が可能となっている。また、表 1 に本研究で使用する主要な API とその用途を示す。

表 1 本研究で用いる NAOqi API

API 名称	用途・役割
ALMemory	ロボットのハードウェアに関する情報を格納するために使用されるメモリ。アクチュエータとセンサの状態を取得可能
ALTextToSpeech	text-to-speech エンジンによって音声合成し、発話を行う。
ALAnimatedSpeech	発話に自動で身振り手振りを付与する。
ALAutonomousLife	ロボットが自律的に動作することを可能とする。
ALBehaviorManager	ロボットに登録されている一連の行動を管理する。
ALAudioDevice	オーディオ入力と出力へのアクセスを可能にする。
ALFaceDetection	ロボットの正面にある顔を検出・認識する視覚モジュール
ALGazeAnalysis	人物の顔を検出し、その視線の方向を取得可能。
ALPeoplePerception	ロボットの周りの人々についての情報を取得可能
ALVideoDevice	ロボットのカメラ映像を取得可能

3.1.6 ロボットの行動

ロボットの行動の決定や会話の選択のほとんどは、人間のオペレータによって行われるが、一部は自動的に行われている。あらかじめ Pepper に実装されている挨拶、自己紹介、簡単な質問と七味紹介などの対話行動の選択は実験者が遠隔操作によって行うが、それらの発言をする際の接客ロボットの不規則な動きのジェスチャ、人の顔を追従する機能やセンサによる障害物の検知と回避は自動的に行われる。また、不規則な動きのジェス

チャでは機能しないような行動はあらかじめ腕の角度などのロボットの姿勢を決定し、インストールした。そのような行動として握手の要求、試食の提案、店員への協力要請がある。ロボットが握手を求める動作を図 10 (a) に示す。この握手の要求では、ロボットが図 10 (a) のように手を伸ばしながら「僕と握手しませんか?」、もしくは「**May I shake hand with you?**」と握手を求める。ここでは、大人が手を差し出す際に不自然でない高さを事前に考慮し、設計した。握手は初対面において典型的な接触を伴う挨拶である。人の店員にとっては訪問客との握手という行為はあまりありふれたものではないが、接客ロボットのそれは訪問客にとって魅力的なものであると推測した。単に人の店員が用いている行動をそのままロボットにも適用することは、接客ロボットを設計する際にはあまりよくないと考えられる。人の店員には不適切だが、接客ロボットには適している多くの行動がある。したがって、接客ロボットには独自のふさわしい販売方法があり、それを究明する必要がある。本研究において我々は、この握手における接触による訪問客への効果を期待してこの機能を追加した。また、ロボットが試食を提案する動作を図 10 (b) に示す。この試食の提案では、まずロボットが「試食してみませんか?」、もしくは「**Would you like to try a sample?**」と発言した後「こちらで試食できます。」、もしくは「**You can taste here.**」といいながらロボットが図 10 (b) のように手を伸ばし試食用サンプルを指し示す。ここでは、ロボットの隣にある棚の高さを考慮して、棚の上の試食用サンプルを指し示すように腕の角度を調整、決定した。試食には 2 つの心理的効果がある。1 つ目は返報性の原理、2 つ目は一貫性の原理である。返報性の原理とは、人が他人から何らかの施しを受けた場合に、それに対して何かを返さなければならないという感情を抱くという心理のことである。試食は本来、無料で食品を提供し、その味が購買に値するかどうかを訪問客が確かめ、購買に値すると判断できる場合に買ってもらうというプロモーション戦略のひとつであるが、訪問客が店員から直接食品を手渡されることによって、その味いかににかかわらず商品を買わなければいけないという気持ちを抱くという効果がある。また、一貫性の原理とは、人は自身の行動、発言、態度、信念などに対して最初のそれを最後まで貫き通したいという感情が働くという心理である。試食を受け入れた訪問客が、自身の行動の一貫性を保ちたいがために購入の要求も受け入れてしまうという心理が働く場合がある。以上の試食の心理的効果は人の店員と訪問客の間で成り立っていることであるが、接客ロボットと訪問客の間にはこれらの 2 つの心理的な理由に加えてもう 1 つの我々が期待した効果がある。それは、訪問客の興味をロボットから、商品へと移行させることである。ロボットに興味を持って近づいてきた訪問客は、ロボットとの会話が終了するとすぐに店を出てしまい、商品を見ることすらないことが多い。そこで、

試食の提案をロボットが行うことでその訪問客の興味をロボットから商品へと誘導することを試みた。さらに、ロボットが店員に対して協力を要請する動作を図 10 (c) に示す。この店員に対する協力要請では、まずロボットが「すみません。」もしくは「Excuse me.」といいながらロボットが図 10 (c) のように手を挙げてカウンターの反対側に立っている店員の方を見る。そして、「こちらのお客様に試食用の七味を渡してあげてください。」もしくは「Please give a sample.」といいながら訪問客の方を右手で指し示す。ここでは、ロボットが店員の方を向き、手を挙げて店員に話しかけていることが訪問客にわかるように設計した。訪問客の興味をロボットから商品へと移すために試食の提案を考えたが、ロボットの試食の提案だけでは訪問客に試食をさせることは困難であった。この原因として以下の 2 点における問題が考えられる。まず 1 つ目は、ロボットの機能不足の問題である。例えば店員は試食用のサンプルを手を持って差し出すことができるが、ロボットはそれができない。そして 2 つ目は、ロボットの印象における問題である。例えば店員には試食がしたいということ言えば対応してくれるが、ロボットにはその対応ができないと思われてしまっている可能性がある。この 2 つの点における問題も解決することは困難であるが、訪問客に試食をさせることができればこれらの問題の解決は重要ではなくなる。そこで我々はロボットが人の店員と協力することで訪問客に試食をさせるという課題を達成することを考えた。ロボットが訪問客に対して試食の提案をした後、人の店員を呼ぶことで、ロボットにはできない機能を人の店員が補うことができる。



(a) 握手の要求

(b) 試食の提案

(c) 店員への協力要請

図 10 ロボットの動作

3.1.7 接客ロボットの外見

ロボットが図 11 (a) に示すような頭巾や服を何も着ない状態で実験を行っている時、それを見た訪問客から「What are you doing here?」や「What's your purpose?」という質問を多くされ、ロボットが店員であるという認識が訪問客にあまりないようであった。

そこで図 11 (b) に示すようにこの店の人の店員がユニフォームとして全員が着用しているものと同じ頭巾を身に着けて実験を行った。ここでロボットにそのような質問がされなくなったことから、ロボットも人の店員と同じこの店の従業員であると訪問客に認識されたと考えられるが、人の店員はさらにエプロンもユニフォームとして着用している。そこで、さらにロボットに人と同じ店員であるという印象を持たせるため、図 11 (c) に示すようなエプロンと頭巾の両方を着用して実験を行うことにした。

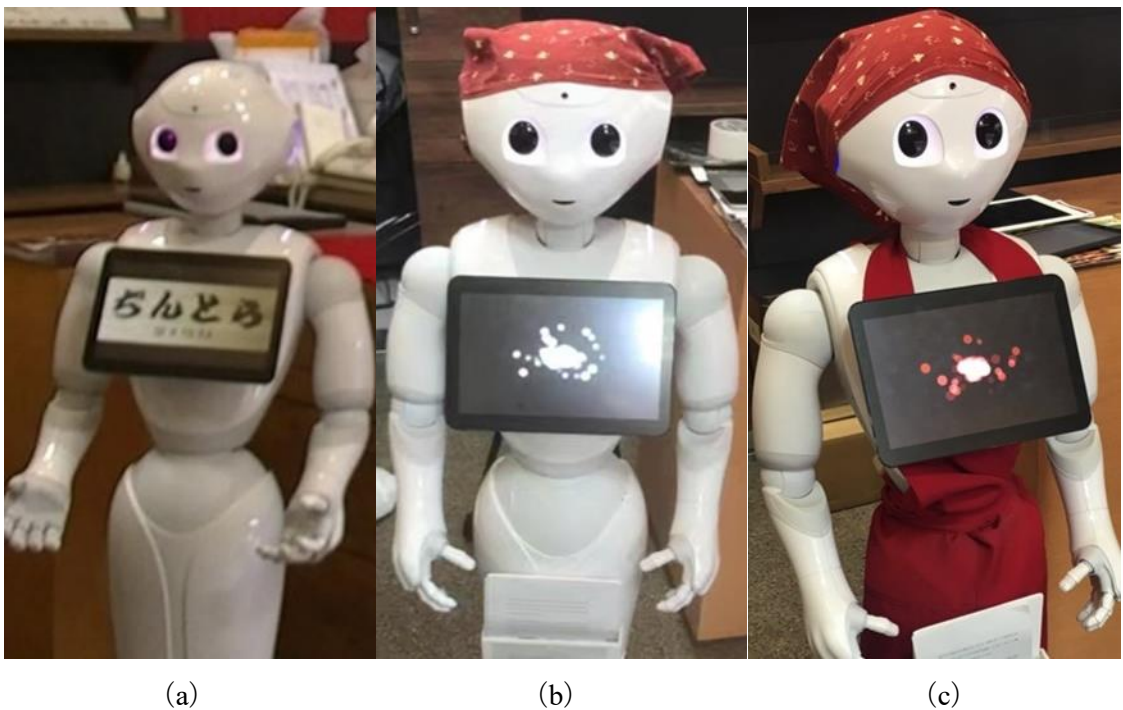


図 11 ロボットの外見

3.1.8 倫理問題

大阪大学大学院工学研究科人を対象とした研究倫理委員会の承認の下、本実験を行った。実験中、図 12 に示すようなピントをずらすことによって訪問客の顔画像を不明瞭にしたカメラを用いて、ロボット周辺の録画を継続的に行った。実験中、訪問客がロボットに接近し会話を開始するとすぐに、ロボット搭載のタブレット端末に図 13 に示すようなタッチ操作によって回答可能な同意書を表示した。そして、同意が得られた場合のみ顔が認識可能な映像を取得した。さらにロボットの体に実験内容の概略、実験責任者の氏名、電話番号を掲示し、それと同様の内容が記載されたハンドアウトをケースに入れロボットの体に設置し、訪問客が自由に持ち帰ることができるようにした。実験では安全を確保

するためにロボットの移動機能は用いず，転倒しないように設置場所に固定した．万一の場合に備え，実験スタッフが近くに待機し，何か問題が起こればすぐに対応できるようにした．

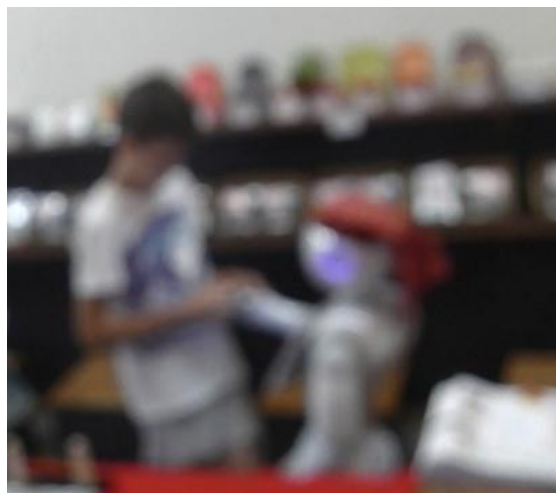


図 12 不鮮明映像



図 13 同意画面

3.1.9 分析方法

訪問客のインタラクションの中には秩序ある構造やパターンがある．そして，その行動

や言葉はそれらに基づいて成立している。そのような構造やパターンを観察・分析するために、マルチモーダルな会話分析を行った。まず、取得した録画映像から、会話を詳細に書き起こしたトランスクリプトを作成した。トランスクリプトには、話した会話だけでなく、参加者の発言のタイミング、身体の動き、コミュニケーション時の視線なども詳細に記述した。このようなトランスクリプトと録画映像を用いることによって言語情報だけでなく非言語情報も合わせたインタラクションの分析を行った。また、トランスクリプトには様々な記号が使われる。表 2 に今回作成したトランスクリプトの中で用いた記号の意味を示す。

表 2 トランスクリプトの中で用いた記号の意味

記号	意味
。または、	下降調のイントネーション
?	上昇調のイントネーション
、または、	平らなイントネーション
!	生き生きとした調子
↑	記号直後の音調が上がっている
↓	記号直後の音調が下がっている
° °	° (半濁点)で囲まれた発話の音が小さい
下線	比較的大きな音
:	音が伸ばされている状態
H	呼吸音, 笑いなど
[二人以上の会話の重なりが始まる箇所
]	二人以上の会話の重なりが終わる箇所
=	発話と発話が途切れなくつながっている
(数字)	0.1 秒単位で数えた沈黙の長さ
(.)	非常に短い間合
<>	この二つの記号で囲まれた発話の部分の速度が遅い
(O)	補足説明・話者の行動
←	注目する点

3.1.10 結果と考察

ここでは2017年4月10日, 13日, 14日, 8月14日, 15日, 16日, 11月27日, 12月2日, 4日, 5日の10日間の164組の訪問客のデータにおいて分析を行う。ロボットが訪問客を接客し, 購買活動を促進するためには, 訪問客にロボットの発言を聞いてもらう必要がある。したがって, ロボットが発言に訪問客の注意を引き付け, それに対する返答を得るために, ロボットがどのような行動をするべきかを調査する必要がある。そこで, Pepperの発言に対して訪問客が2回以上連続して返答した場合, それを双方向の会話と定義し, 訪問客が返事をしなかった場合, または1回しか返答しなかった場合は, 一方向の会話と定義した。そして, この実験データからこの2種類の会話を調査したところ, 双方向の会話に分類できる組は45組, 一方向の会話に分類できる組は119組であることがわかった。これらより, 現状のロボットは多くの訪問客に無視されていると言ことが分かる。

ここでまず, 双方向の会話における利点を調査する。トランスクリプト1の組はPepperの発言に対して連続的に返答しているため, 双方向の会話である。この会話の最後に, C1が「Bye [bye.」と言ったが, Pepperはすぐに「七味を知っていますか?」と言った。(37, 38行目) この訪問客がPepperを単に話すことしかできないロボットとして扱っていけば, それを無視しても罪悪感はないため無視すると考えられるが, このグループはペッパーを無視せずにしばらく滞在した。(39行目) したがって, この組はPepperを双方向の会話が可能なロボットとして扱い, Pepperは人の行動を観察し理解することができると理解されていると考えられる。その結果, ここでPepperが会話をしようとしたことに反応したと考えられる。

(P=ロボット, C1=男性, C2=女性, C3=男の子1, C4=男の子2)

1		((入店))
2		((入口に立ち Pepper を見る))
3	P	Hello! ((手を振る))
4	C1	Hello. ((手を振る)) (3.5)
5		((C1 は手を振る))
6	P	[Hello!
7	C1	Hello.
16	P	Nice to meet you!
17	C1	Nice to meet you!
18	P	Would you like try a sample?
19	C1	Yes.

		(中略)
33	P	Yuzu Shichimi. This is Yuzu Shichimi which added pomelo to Shichimi.
34		(1.0)
35	C1	Good.
36	C3	Bye.
37	C1	Bye [bye.
38	P	[Do you know Shichimi?
39		(3.0)
40	P	Thank you, have a nice day. ((手を振る))
41	C3	Thank you. ((手を振って振り返る))
42		((退店))

トランスクリプト 1 ロボットを無視せずに滞在した訪問客 (2017年8月16日)
トランスクリプト 2 の組も Pepper の発話に複数回返答し、双方向の会話を行った。C1 は店の入り口の方に歩きながら「Bye, bye.」と言った。(26, 27行目)。しかし、Pepper が反応しなかったため訪問客は別れを告げるためにもう一度 Pepper の近くに戻った (28行目)。これは、この訪問客は Pepper がそれに応じて対応できる能力があると考えていたことを示している。したがって、訪問客はロボットの話聞くようになるだけでなく、Pepper と会話を行うために店に滞在するようになる。

以上のように、訪問客とロボットが双方向の会話を行うことによって、Pepper は単に完全な機械として扱われたのではなく、比較的人のように扱われている傾向があるため、そのソーシャルプレゼンスが改善されていることが分かる。

(P=ロボット, C1=女性 1, C2=女性 2, C3=女性 3, S1=店員)

1		((入店))
2		((Pepper に近づく))
3	P	僕の名前は pepper です(1.5)
4	P	よろしくね
5	C1	あら
6	C1	Pepper, こんにちは (中略)
25	S1	おおきに! ありがとうございます
26		((C1 振り返って帰ろうとする))

27	C1	ばいばい. ((振り向く)) (1.5)
28	C1	ばいば::い! Pepper, ばいば::い! ((Pepper に振り返って手を振る))
29	P	ばいば::い. [またね
30	C1	[ばいばい. huhuhuhu:
31		((退店))

トランスクリプト 2 ロボットに別れを告げるために戻る訪問客 (2017年8月14日)

(P=ロボット, C1=女性 1, C2=女性 2)

1		((入店))
2		((C1 はカメラを持って Pepper に近づく))
3		((C1 は Pepper を見る))
4	P	Hello!=
5	C1	Hi!
6	C2	Hello
7	P	My name is Pepper.
8	C1	Hi, Pepper!
9	P	Nice to meet you.
10	C2	Nice to meet you too.
11	C1	Nice to meet you too.(1.0)
12	C1	Hi, Pepper::
13	P	May I shake hands with you?
14	C1	Sure! Hi! Hello
15		((C1 は Pepper と握手する))
16	P	Nice to meet you.
17	C1	Nice to meet you.
18		((C1 は Peppers の手を触る))
19	P	Would you like to try a sample? You can taste here.
20	C1	OK! ()
21		((C1 と C2 は試食用サンプルを見る)) (7.0)
22	P	Excuse me.
23	C1	Hi((Pepper を見る))
24	P	Please give a sample.

25		((C1 と C2 は店員を見る))
26	C1	Sample?
27		((店員は試食用サンプルを C1 に手渡す))
28		((C1 は試食する))
29		((C1 は商品を購入する))

トランスクリプト 3 Pepper と双方向の会話を行った組 (2017 年 12 月 5 日)

(P=ロボット, C1=男性 1, C2=男性 2, C3=男性 3, S=店員)

1		((入店))
2		((商品を見る))
3	P	Medium hot Shichimi is standard spicy for normal use.
4	P	Very hot Shichimi is characterized by a numbing and exciting spicy taste.
5		((C1, C2, C3 は商品を見る))
6	P	Hello
7	P	My name is Pepper.
8		((C1, C2, C3 は Pepper から離れる))
9	P	Wait, wait. Come on! Let's talk together.

トランスクリプト 4 Pepper と一方向の会話を行った組 (2017 年 8 月 15 日)

トランスクリプト 3 は Pepper と双方向の会話をした訪問客の会話の例を示している。初めに訪問客が入店後、Pepper は「Hello!」と挨拶した。(4 行目) その後、訪問客 C1, C2 はすぐに「Hi!」「Hello!」と答えた。(5, 6 行目) そして Pepper は「My name is Pepper.」, 「Nice to meet you.」, 「May I shake hands with you?」といった短い発話を行い、(7, 9, 11 行目) 訪問客もそれらの発言に答えている。(8, 10, 11, 12, 14 行目) したがって、この訪問客の組は双方向の会話を行ったと言える。双方向の会話が一度始めると、ロボットが「Would you like to try a sample? You can taste here.」というような少し長めの発話を行っても (19 行目)、訪問客は「OK!」と答えた (20 行目)。

一方、一方向の会話の例をトランスクリプト 4 に示す。ここでは、訪問客が入店した直後に、「Medium hot Shichimi is standard spicy for normal use.」, 「Very hot Shichimi is characterized by a numbing and exciting spicy taste.」というような長い商品説明を始める (3, 4 行目)。しかしこれに対して訪問客は返答しなかった (5 行目)。そして、一度このよ

うな一方向の会話が始めると、その後ロボットが「Hello」、「My name is Pepper.」というような短い発言をしたとしても、訪問客は返事をしていないということが分かる（6, 7行目）。これら 2 つの例を比較すると、ロボットが最初に短い発言を行うとその後の会話が双方向の会話になり、長い発言を行うとその後の会話は一方向の会話になった。したがって、会話の開始時に訪問客に与えるロボットの印象が最も重要であり、その後の訪問客の態度に影響を与えるということが考えられる。

そこで、入店するすべての訪問客において、ロボットの最初の発言と訪問客の反応を調査した。その結果を表 3 に示す。この表から、ロボットの最初の発言に回答した 31 組は双方向の会話になり、ロボットの最初の発言に回答しなかった 115 組は一方行の会話になっていることが分かる。そしてほとんどの訪問客がこのどちらかのグループに属されるということが分かる。したがって、インタラクション開始時のロボットの印象は、ほとんどの訪問客においてその後の会話の効果に大きく影響すると考えられる。ロボットの最初の発言を無視した組で双方向の会話になった組が 14 組存在している。しかし、これらのほとんどは、ロボットがはじめに訪問客が理解できない言語を話していた、もしくは訪問客がロボットの発言自体に気づいていないことが原因であった。これらのうちの多くの訪問客でロボットが 2 言目以降に何かを言った際に驚きながら返答する様子が確認できた。また、ロボットの最初の発言に返答したが一方向の会話となった訪問客が 4 組あった。しかし、これらの組の 1 言目の発言はすべて「びっくりした」や「うわっ」と言った自発的な独り言であり、ロボットの発言に返答するものではなかった。したがって、インタラクションの最初のロボットの印象はほとんどの訪問客において、その後の会話に大きく影響すると考えられる。また、これらのほとんどの訪問客の組において、最初のロボットの「こんにちは」や「よろしくね」のような短く答えやすい発言に返答する傾向が見られた。本実験の各データの数はロボットが無視されやすいため不均衡になっている。

まとめると、最初に商品紹介などの長いスピーチをするロボットの場合、訪問客はロボットを単なる音声ガイドのように扱い、返答しない傾向があるため一方行の会話になる可能性が高い。しかし、ロボットが最初に答えやすい短い発言をする場合、訪問客は返答する傾向があり、双方向な会話になる傾向がある。したがって、ロボットが訪問客とインタラクションを開始した際はすぐに、ロボットは双方向の会話を開始できることを示すようなアクションを実行する必要がある。訪問客に対してロボットが完全にロボットではないという第一印象を与えることが重要である。

表 3 ロボットの最初の発言に対する反応とその後の会話の関係

	双方向の会話	一方行の会話
ロボットの最初の発言に返答した組	31	4
ロボットの最初の発言を無視した組	14	115

3.2 会話を開始するタイミング

前節において、ロボットの第一印象がその後のインタラクションにおいて重要であり、双方向の会話を行うにはロボットの最初の発言に対して客が返答することが重要であるということが分かった。そこでここでは、ロボットと訪問客とのインタラクションの初期部分に着目する。

3.2.1 実験方法

ここでの実験方法は 3.1 節で述べたものと同様である。

3.2.2 結果と考察

ここでは 2017 年 4 月 10 日, 13 日, 14 日, 8 月 14 日, 15 日, 16 日, 11 月 27 日, 12 月 2 日, 4 日, 5 日の 10 日間の 164 組の訪問客のデータにおいて分析を行う。まず訪問客がロボットと会話を開始しなかった組と会話を開始した組の比較を行う。

(P=ロボット, C1=男性, C2=女性)

1		((入店))
2		((商品を見る))
3	P	Would you like to try a sample? You can taste here.
4		(3.3)
5	P	Welcome. Please feel free to watch the products.
6	P	Are you troubled to select?

7	P	May I shake hand with you?
---	---	----------------------------

トランスクリプト 5 ロボットと会話をしなかった組 (2017年8月16日)

トランスクリプト 5 はロボットと会話をしなかった組の会話の例を示している。この組は、ロボットは訪問客に試食の提案を行った (3行目)。しかし、訪問客は商品を見ており、ロボットに反応しなかった。この理由として、訪問客はロボットが誰に話しかけているかを理解していなかったことが考えられる。

(P=ロボット, C1=男性, C2=女性)

1		((入店))
2		((商品を見る))
3	P	May I help you?
4		((C1は振り向いてロボットを見る)) (0.5)
5	P	Hello!
6	C2	Hello↑!
7	C1	Hi::!
8	P	My name is Pepper.

トランスクリプト 6 ロボットと会話をした組 (2017年4月10日)

次に、トランスクリプト 6 はロボットと会話をした組の会話の例を示している。この組は、図 14 ロボットの方に振り向く訪問客のように訪問客がロボットの方に振り返り、見ているときに (4行目)、ロボットは「こんにちは」と発言した (5行目)。すると訪問客はロボットに返答した (6行目)。訪問客がロボットに返答したのは、訪問客がロボットを見たときにロボットが挨拶をしたからであると考えられる。つまり、訪問客はロボットが自分に話しかけていることを理解し、相互に認識しあった状態になったため返答を得ることができたと考えられる。

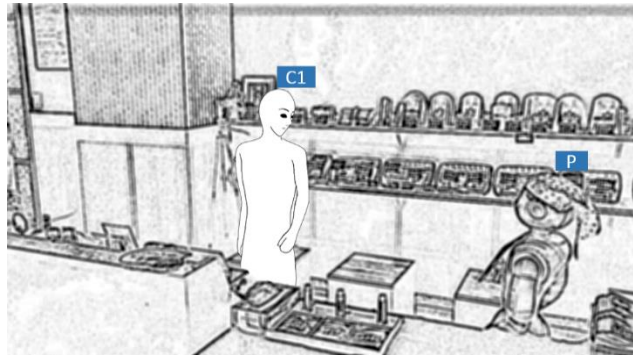


図 14 ロボットの方に振り向く訪問客

(P=ロボット, C1=女性)

1		((入店))
2	P	May I help you?
3		((C1 は振り向いてロボットを見る))
4		(3.6)
5	P	((C1 は商品を見始める))
6	P	Nice to meet you!

トランスクリプト 7 ロボットを見るが返答しない訪問客 (2017年8月16日)

以上を踏まえて、訪問客がロボットを見ている時であればいつ挨拶をしても効果があるのかを調べる必要がある。トランスクリプト 7 は、訪問客がロボットを見ている時に挨拶をしたが返答しなかった組の会話の例である。この組では、訪問客がロボットの方に振り向いたとき、ロボットはすぐに挨拶をしなかった。訪問客はロボットの方に振り返った後、訪問客はロボットを 3.6 秒間見ている (4 行目)。しかし、ロボットはこの間、何も行動をしなかった。その結果、訪問客は製品を見始めた (5 行目)。したがって、訪問客がロボットを見たときにロボットはすぐに挨拶をする必要があると考えられる。そうしなければ、訪問客はすぐにロボットへの興味を失ってしまう。

すべての訪問客について、ロボットの発言に返答したかどうかを調査した結果を表 3 に示す。表 4 から、ロボットに返答した訪問客の大部分は、ロボットが挨拶したときにロボットを見ていることがわかる。以上から、訪問客がロボットを見たときが、ロボットが挨拶するのに最適なタイミングである。このタイミングでロボットが挨拶をすることで、訪問客に、ロボ

ットは自分が振り向いたという行動を理解して話しかけていると感じさせることができる。

表 4 ロボットの発言時における訪問客の状態と反応

	ロボットに返答した組	ロボットに返答しなかった組
ロボットを見ていた組	78	20
ロボットを見ていなかった組	8	58

3.3 会話開始時における人の振る舞いへの気づきの表出

前節において、訪問客に対してロボットが自分の振り向いたという行動を理解して話しかけていると感じさせることで返答してもらえということが明らかとなった。しかし、この実験は実際の店舗における実験であったため、その評価は定性的なものであった。したがって、より信頼性を高めるためこの結論に関する実験室実験を行い、主観的な印象を含めた評価を行う。

3.3.1 仮説

実際の店舗における実験をより定量的に評価するため、実験室における実験を行う。実際の店舗における実験の結論から、以下の2つの仮説を立てた。

仮説 1 被験者がロボットに視線を向けた瞬間に、ロボットの言動を開始することで、被験者の感じるロボットに見られている感覚が向上する。

仮説 2 被験者がロボットに視線を向けた瞬間に、ロボットの言動を開始することで、聞き手はロボットの発言に対して相槌や返答を行うようになる。

3.3.2 実験条件

前述した仮説を検証するため、発話開始時における聞き手の振り返り動作に応じたロボットの見返し動作を要因とし、以下に示す実験条件を設定した。

見返し動作なし条件：被験者が実験室に入室した時から、絶え間なく、ロボットは、あらかじめ決められた原稿を一定の間を取りながら、繰り返し発言する。

見返し動作あり条件：ロボットは、被験者が実験室に入室した時には、「見返し動作なし条件」と同様に、発言を行っているが、被験者が席に着くタイミングで、発言

を止め、被験者がロボットの方に視線を向けたタイミングで、ロボットも被験者を見返し、発言を再開する。

今回は条件の順序によって被験者のロボットに対する印象に影響が出ることが予想されるため被験者間実験を行った。

3.3.3 実験環境

図 15 に被験者側の部屋の実験環境を示す。被験者との距離は 100cm 離れており、ロボットは被験者の左斜め後ろに設置した。この位置に設置した理由は、被験者がロボットを確認する際に振り返りを行わなければならないからである。これによって、ロボットの見返し動作が被験者の振り向き行動に随伴しているということを明確に被験者に示すことができる。図 16 に実験中の様子を示す。この図からわかるように、このロボットは顔に目や鼻、口のような感覚器を有していない。このようなロボットを採用した理由は、ロボットの表情が構成され、聞き手のロボットに対する印象に影響を与えることを防止するためである。また、ロボットは図 16 のような方向を向かせて設置した理由は、見返し動作あり条件の話し始めで、被験者の方を振り返るロボットの動作以外の場面で、被験者とロボットとの間で顔が向かい合う状況を作らないようにするためである。このロボットの肩関節の自由度は図 17(a)に示すように、2 自由度となっており、前方及び後方の挙上動作と側方の外転及び内転の動作を行うことができる。図 17 (b)に示すように、ロボットの首関節の自由度は 1 自由度となっており、頸部の左右方向の旋回運動を行うことができる。ロボットの背中部分にサーボモーターを取り付け、そこから 2 本の糸を伸ばして、ロボットの首元と接続する。これら 2 本の糸をサーボモーターで引っ張ることによって、頸部の左右方向の旋回運動を実現した。次に、ロボットの発話を遠隔操作するためのインタフェースについて説明する。ロボットの発話内容は、あらかじめ決められており、PC 上でボタンをクリックすることで、所定の発話が開始されるようになっている。発話が開始されると、一文ごとに一定の間を取りながら、発話を続けるように設定を行った。実験時にはロボットの近くにカメラを設置し、実験者が被験者の様子を観察し遠隔操作を行えるようにした。また、音声ロボットから発せられていると被験者に示すため、ロボットは発言中頭部と腕を用いたランダムな動作を行う。

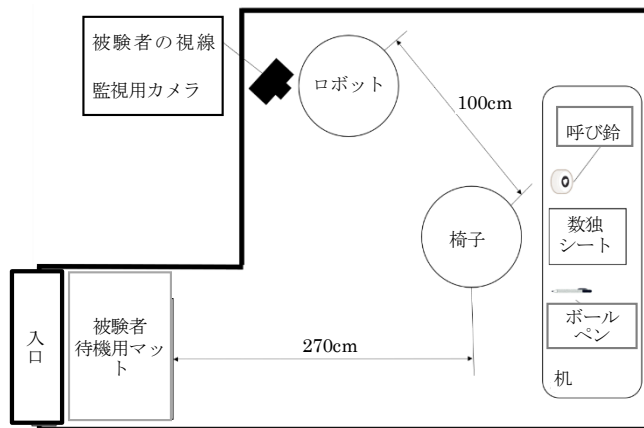


図 15 実験環境

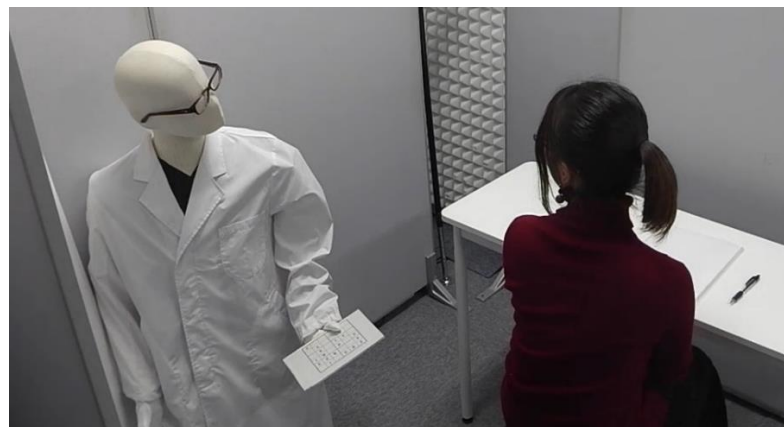
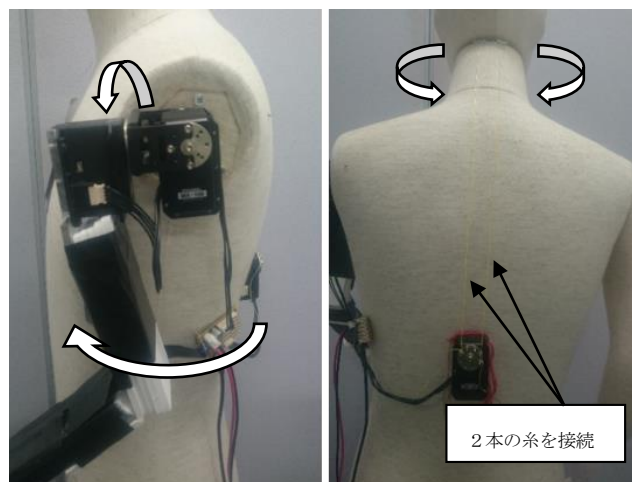


図 16 実験室における実験中の様子



(a) 腕用モータ

(b) 首用モータ

図 17 ロボットの構造

3.3.4 タスク

本実験では、被験者のロボットに対する自然な振る舞いや態度を観察するため、被験者にロボットの話を聞くことがメインのタスクであると思われなようにした。被験者には9×9の数独を解いてもらうこと、数独の開始の合図はロボットから行われることの2点を実験の事前案内で伝えた。数独の開始の合図の前にロボットから数独に関する話が行われることは被験者には伝えなかった。以下に、実験の流れを示す。被験者が案内人と共に実験室に入室する時、すでにロボットは発言を始めている。その発言中に、被験者は図15に示す待機マットの上で立って待機し、案内人からの事前説明を受ける。案内人からの説明が終わると、被験者は席に座り、ロボットから数独の解答を開始する合図を待つ。このとき、見返し動作なし条件では、案内人の説明終了後もロボットの発言は絶え間なく続いていく。一方で、見返し動作あり条件では、説明を聞き終えた被験者が椅子に座るタイミングでロボットは一度発言を止め、被験者がロボットに視線を移した瞬間にロボットが被験者の方を見返し、発言を再開する。この見返し動作あり条件において、被験者が椅子に座るタイミングでロボットが一度発言を止めた理由としては、被験者にロボットの方へ振り返らせるためであり、被験者がロボットの方へ振り返りを行わない限り、見返し動作を行うことができずこの条件が成り立たないからである。以降はロボットが数独に関する話を約4分間話し続けた後、ロボットが「それでは、数独の解答をスタートしてください。」という合図を行い、被験者は数独の解答を開始する。数独を解き終えた被験者は机の上に置かれているベルを鳴らし、案内人を呼んだところで実験は終了となる。図18に各条件における実験の流れを示す。

見返し動作あり条件



見返し動作なし条件



図 18 各条件における実験の流れ

3.3.5 参加者

関西圏在住の 18 歳から 24 歳の大学学部生 20 名（男性 10 名，女性 10 名）に対して実験を行った。

3.3.6 評価方法

(1) 行動評価

本実験では、まず、ロボットの発言に対して、相槌を行ったかどうかを相槌の回数としてカウントすることで評価した。相槌をカウントするルールに関して、被験者がロボットの発話に対して、「はい」、「そうですね」のような発声を伴う返答を行った場合、もしくは、声には出さないが頷きを入れた場合に相槌行動を 1 回としてカウントした。会話初期における「こんにちは」や「よろしくお願いします」は「見返し動作あり条件」では、実験者が被験者の動きを観察しながら、被験者が振り向いたタイミングや、返事をしたタイミングを見計らって発言がされる。一方で、「見返し動作なし条件」では、一文の発言ごとに一定の間隔をおいて発言がされる。発言と発言の間が開くほど、相槌を打ちやすくなる可能性が考えられるため、分析は両条件間で各発言後の間隔が両条件で統制されている区間において、相槌回数やロボットに視線を向けた秒数の行動評価を行った。被験者がロボットに視線を向けている時間は、図 4 に示す視線監視用カメラで撮影した映像を確認して行った。「見返し動作あり条件」は被験者がロボットの方を振り向かないと条件として成り立たない。そこで、どうしてもロボットの方を振り向かない被験者の場合は、「こっちを向いてください」とロボットに発話させることにした。しかし、この言葉をかけることで、意図的に被験者をロボットの方へ向かせてしまっている可能性が考えられる。そこで、実験結果を示す際には、全ての被験者データを含めたものに加えて、「こっちを向いてください」と被験者に声をかけたデータを除いた場合のものも示すこととする。

(2) アンケート評価

ロボットに対する主観的な印象を尋ねるために、アンケートを採用した。実験後、被験者に対して 7 段階のリッカート尺度を用いたアンケートを取った。全尺度をそれぞれ 1: 全くあてはまらない, 4: どちらともいえない, 7: 非常によくあてはまる, に対応させた。アンケートの質問項目としては以下のように設定した。

Q1. 音声は十分に聞き取れた。

- Q2. ロボットに観察されていると感じた.
- Q3. ロボットがあなたの返答を待っていると感じた.
- Q4. ロボットの言動が人らしく感じた.
- Q5. ロボットの発言を聞かなければならないと感じた.
- Q6. ロボットの発言に対して返答しなければならぬと感じた.
- Q7. ロボットがあなたの行動に反応していると感じた.

上記の項目に加えて、自由記述欄を設け、アンケート記述後にスコアをつけた理由、実験中取った行動の根拠を尋ねるインタビューを行った。

3.3.7 結果

アンケートによる印象評価の結果を図 19 に、行動評価の結果を図 20 に示す。図の箱は各項目のスコアの平均値を表し、棒は標準誤差を表す。分析は対応のない t 検定を用いた。

まず、図 19 に示すアンケートによる印象評価の結果では、音声の質を問う項目では、各条件間で有意な差は見られなかったため、ロボットの発話の質による被験者の行動及び、ロボットの発話に対する印象の結果には影響がないことを確認した。また、Q2 のロボットに観察されている感覚では、見返し動作あり条件が見返し動作なし条件より有意にスコアが高くなった ($t(18)=2.11, p<.05$)。したがって、仮説 1 は支持され、ロボットがタイミングよく見返すことによって、被験者に対してロボットに見られている感覚を与えられているということが確認できた。アンケートのその他の項目に関しては、条件間でスコアの差は見られなかった。

次に、図 20 に示す行動評価の結果について、相槌の回数に関しては、見返し動作あり条件の方が見返し動作なし条件に比べて、有意に相槌の回数が増える傾向が得られた ($t(18)=1.86, p<.1$)。また、声に出して返答を行った回数に関しては、条件間で有意差は見られなかった。しかし、ロボットに視線を向けた時間に関しては、見返し動作あり条件が見返し動作なし条件よりも有意に時間が長くなった ($t(11)=2.92, p<.05$)。さらに、「こっちを向いてください。」と被験者に声をかけたデータを除いた場合においても、見返し動作あり条件の方が見返し動作なし条件よりも有意に時間が長くなった ($t(11)=2.49, p<.05$)。図 21 に両条件における、ロボットの各発言に対して、相槌を打たれた回数を表したヒストグラムを示す。図の箱は、ロボットの各発言に対して打たれた相槌の数を表しており、薄い灰色で示されたグラフは、ロボットが話す原稿の文の数を 4 分割にし、各パートで打たれた相槌の合計を示したものである。4 分割とした理由としては、全原稿を発言するためにかかる時間がおおよそ 4 分間であったため、4 分割にすることで、おおよそ 1 分毎の相槌の総数を区切りよく集計することが

できるからである。以降、ロボットの発言の 3~13 番目の発言を第 1 パート、14~24 番目の発言を第 2 パート、25~35 番目の発言を第 3 パート、36~45 番目の発言を第 4 パートと呼ぶことにする。図 21 の縦軸は、話し始めから話し終わりまでのロボットの発言を示す。また、グラフに示された横軸は、ロボットの各発言に対して打たれた相槌の平均回数とパート毎の相槌の平均回数を示している。図 21 を見ると、どちらの条件においても、ロボットの話が進むにつれて、相槌の回数が減っている傾向が読み取れる。また、第 1 パートが最も各条件間で、相槌の回数に差があると分かる。そこで、各パートで行われた相槌の回数に条件間で差が見られるか、分析を行った。その結果、図 22 に示すように、第 1 パートにおける相槌の回数は、見返し動作あり条件が見返し動作なし条件に比べて、有意に相槌の回数が増える結果となった ($t(18)=2.47, p<.05$)。また、第 2 パートにおける相槌の回数は、見返し動作あり条件が見返し動作なし条件に比べて、有意に相槌の回数が増える傾向が得られた ($t(18)=1.77, p<.1$)。第 3 パート、第 4 パートでは、条件間に相槌の回数で有意な差は見られなかった。したがって、仮説 2 はロボットの発言の序盤部分 (第 1 パート) に着目すると支持された。

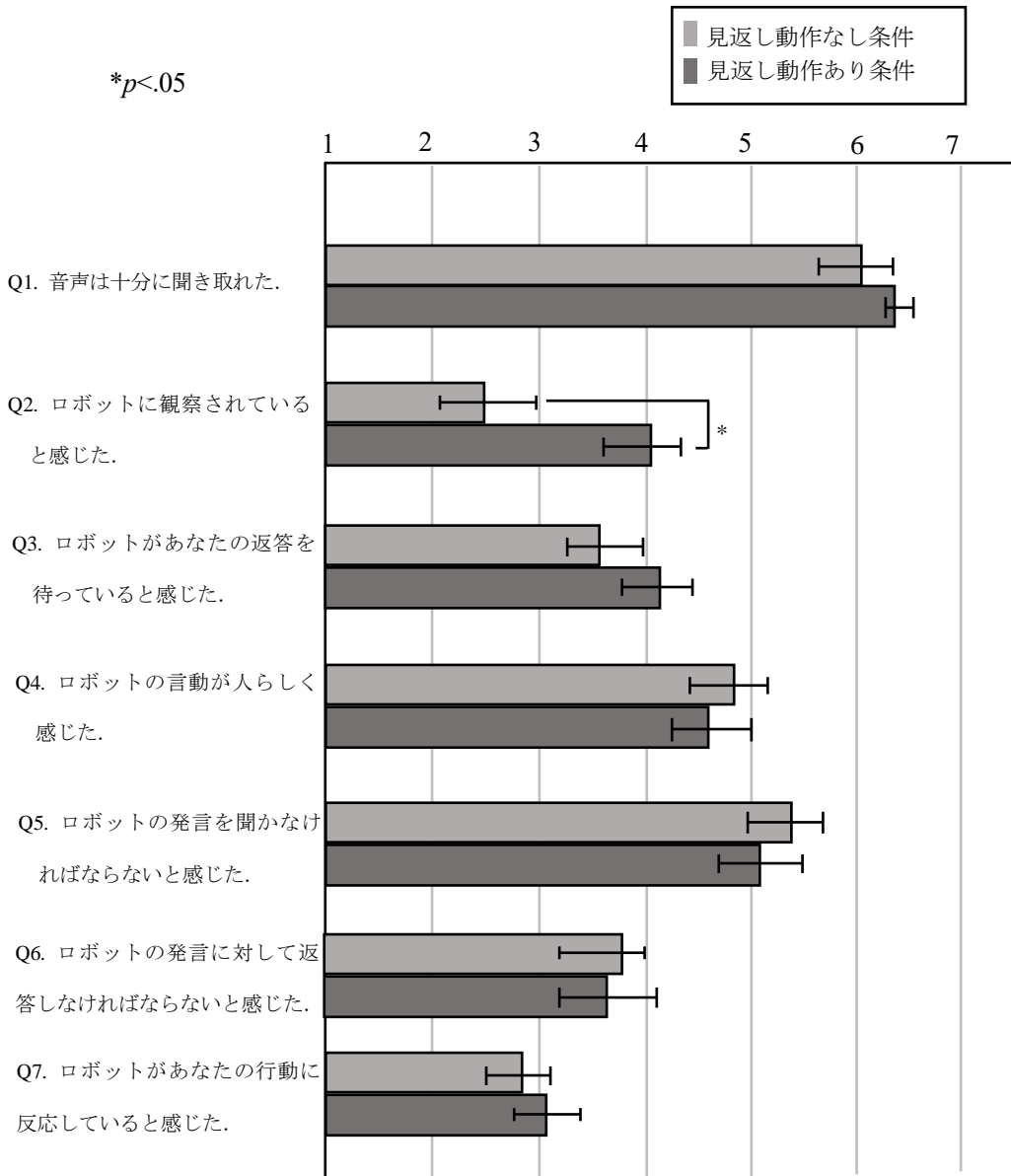
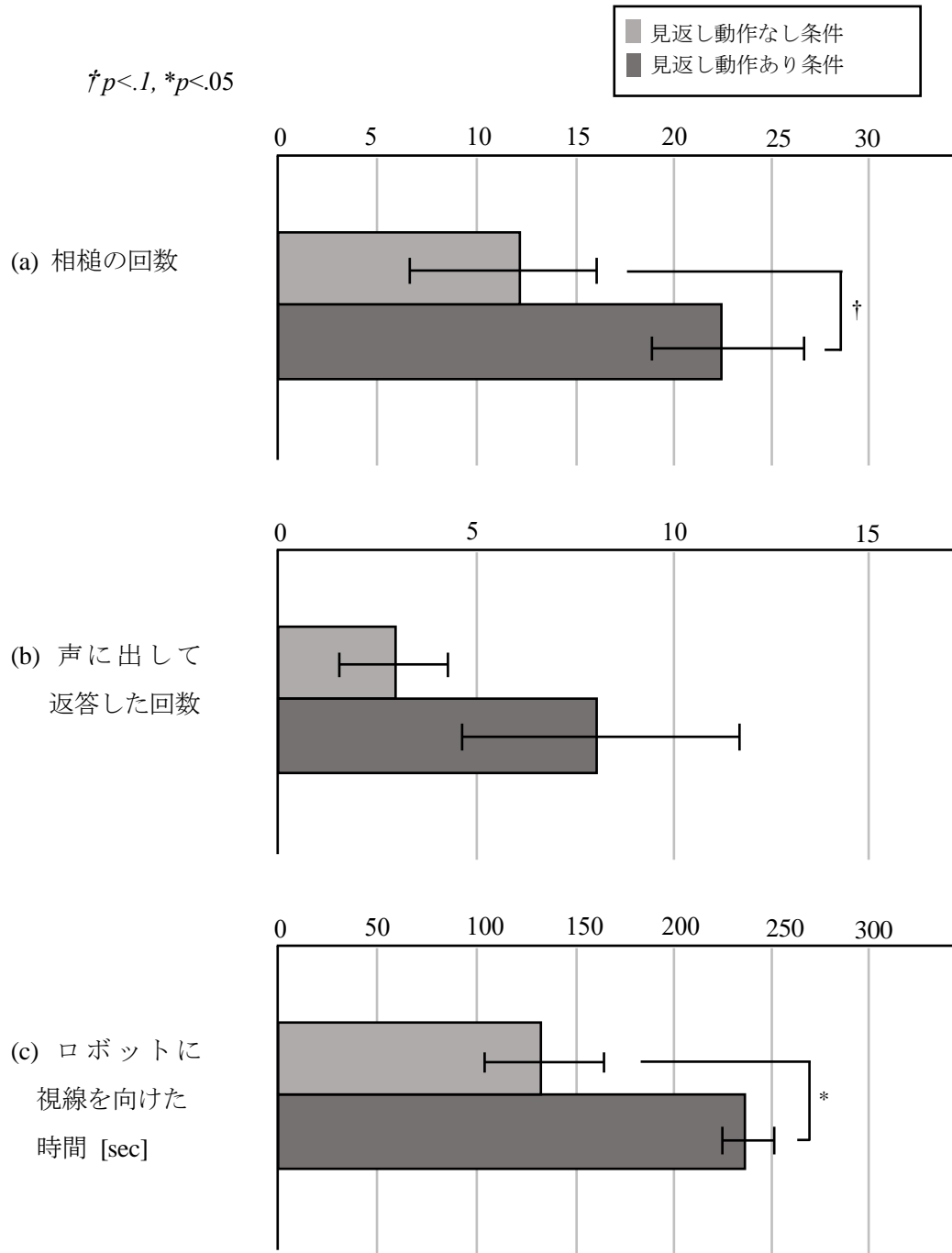
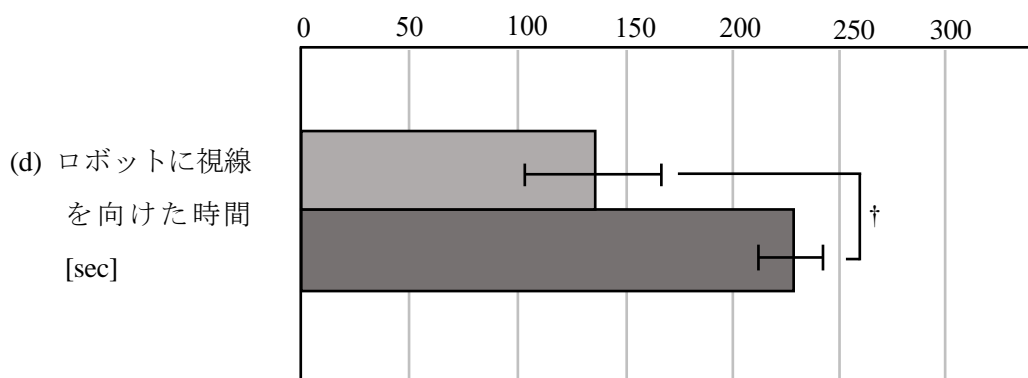


図 19 アンケート結果



見返し動作なし条件：10人

見返し動作あり条件：10人



※「こっちを向いてください」と問いかけたデータを除く
 見返し動作なし条件：10人
 見返し動作あり条件：6人

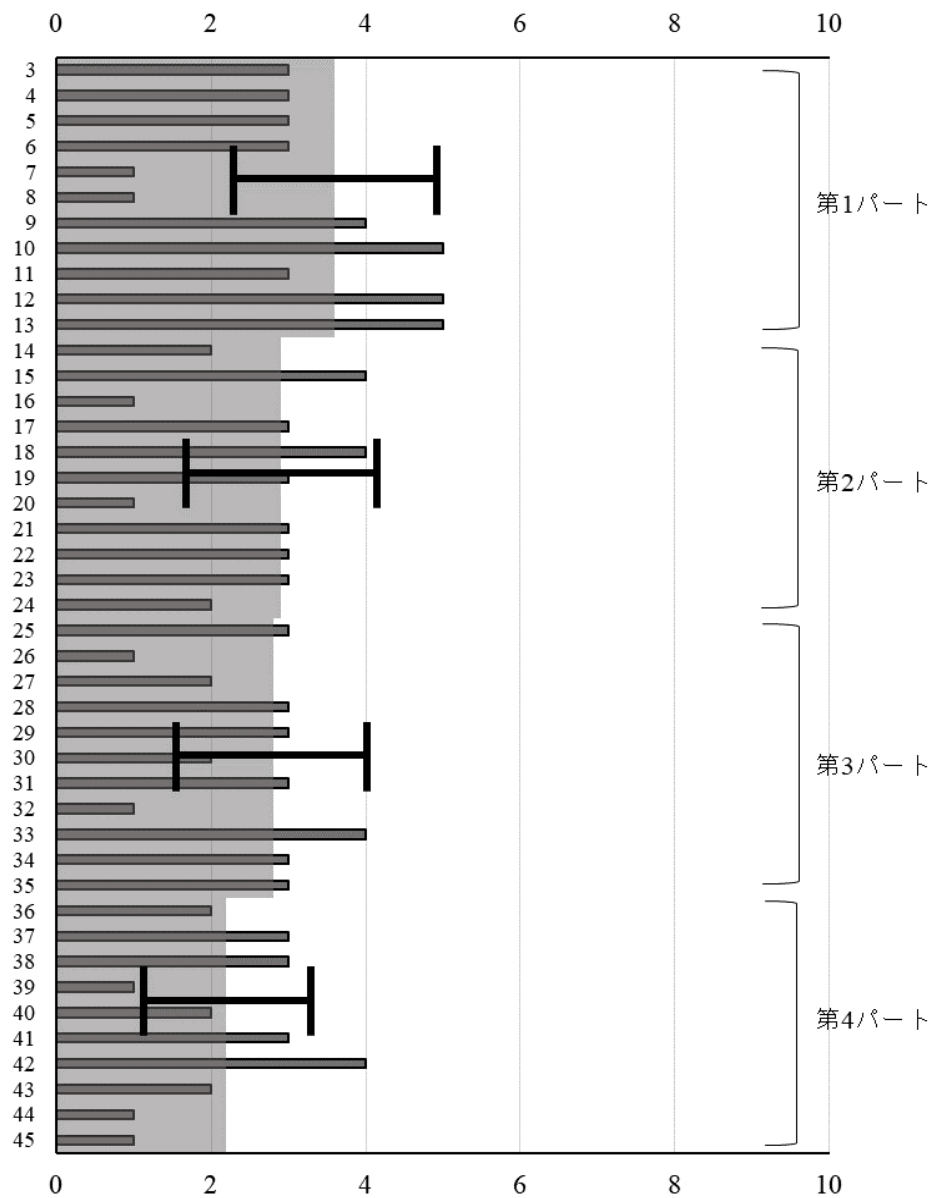
図 20 行動評価結果

3.3.8 考察

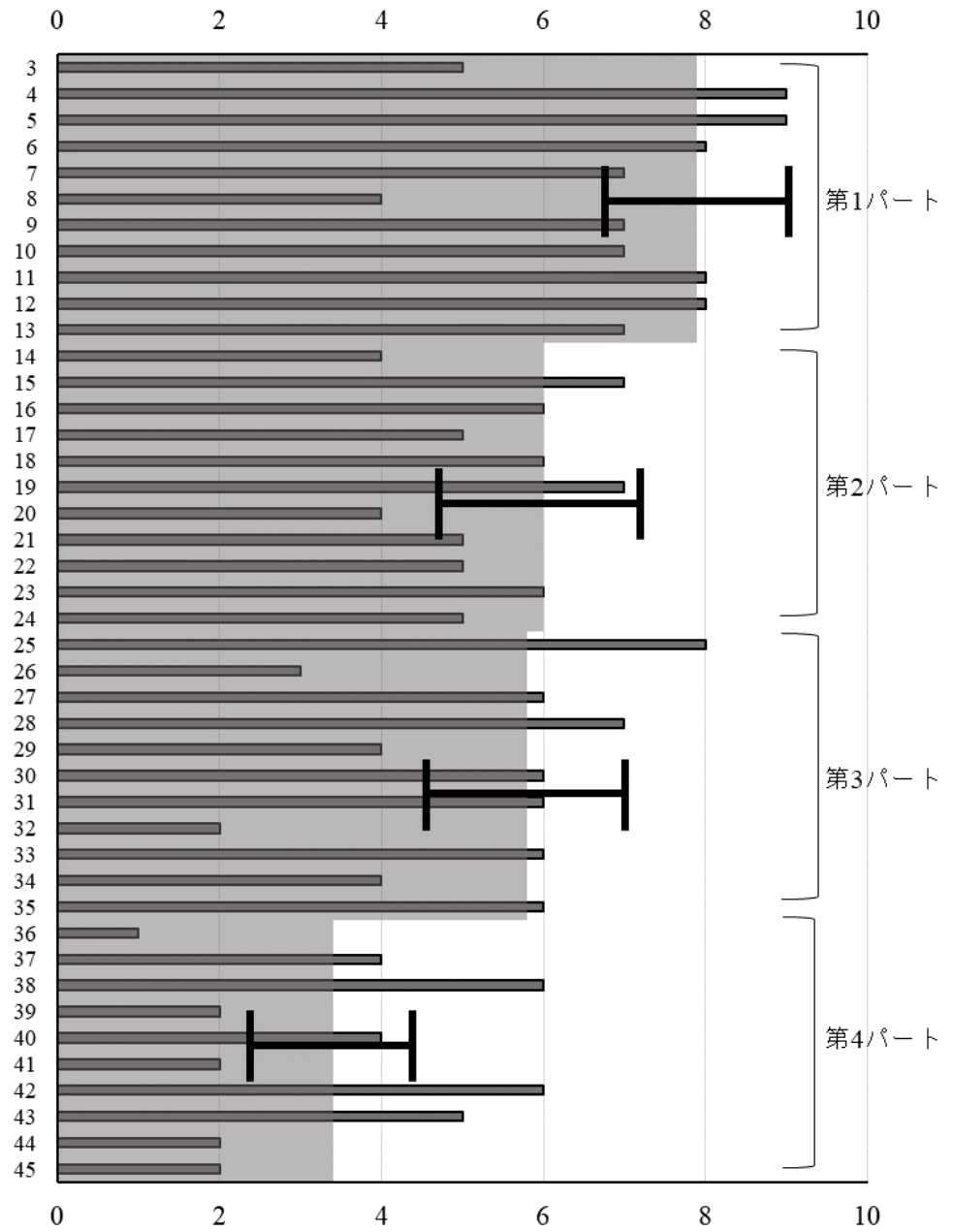
まずはアンケート評価について考える。Q2のロボットに観察されている感覚において、見返し動作あり条件が見返し動作なし条件よりも有意にスコアが高くなる結果となった。これは、ロボットが被験者の振り返りに対して見返す行為が直接的に働いたためであると考えられ、被験者に対してしっかりと観察されている感覚を与えることができたということが確認できる。実験後のインタビューにおいて、「はじめに後ろを振り向くと、ロボットと目が合った」という意見や、「振り向くと、こっちを見返してきた。」という意見が得られた。

次に行動評価について考える。ロボットに視線を向けた時間で差が見られた理由としては、被験者のロボットに見られている感覚が向上することで、行動や態度を理解できるロボットなのではないかと被験者が感じるようになり、そのロボットに対して話をしっかり聞いていることを態度で示そうとしたためであると考えられる。実験後のインタビューにおいて、「ロボットに話を聞いているアピールをしたかった。」という意見が多く得られた。さらに、見返し動作あり条件では、顔だけロボットの方へ向けるのではなく、体ごとロボットの方へ向いて話を聞く様子が多く見られた。また、相槌行動に関しては、ロボットの発言全てに対する相槌の回数で有意な傾向が示された。有意差までは得られなかった理由としては、話し始めに被験者の振り返り動作に合わせて行ったロボットの見返し動作の印象が時間の経過とともに薄れていき、行動や態度を理解できないロボットであるという印象を与えたためであると考えられ

る. これは, 図 21 に示されるように, ロボットが話す原稿の文の数を 4 分割したグラフにおける相槌の回数がロボットの話が進むにつれて減少傾向にあることから読み取ることができる. また, 行動分析においては前半のみ条件間で相槌の回数に有意な差が見られたが,



(a) 見返し動作なし条件



(b) 見返し動作あり条件

図 21 ロボットの各発言に対する相槌数

アンケート評価において Q5 や Q6 には見られなかった原因としても、アンケートは実験後に行われるため、実験後半の印象が強かったためであると考えられる。実験後のインタビューで「話が進むにつれて印象が薄れていったが、始めのうちは見返されたこ

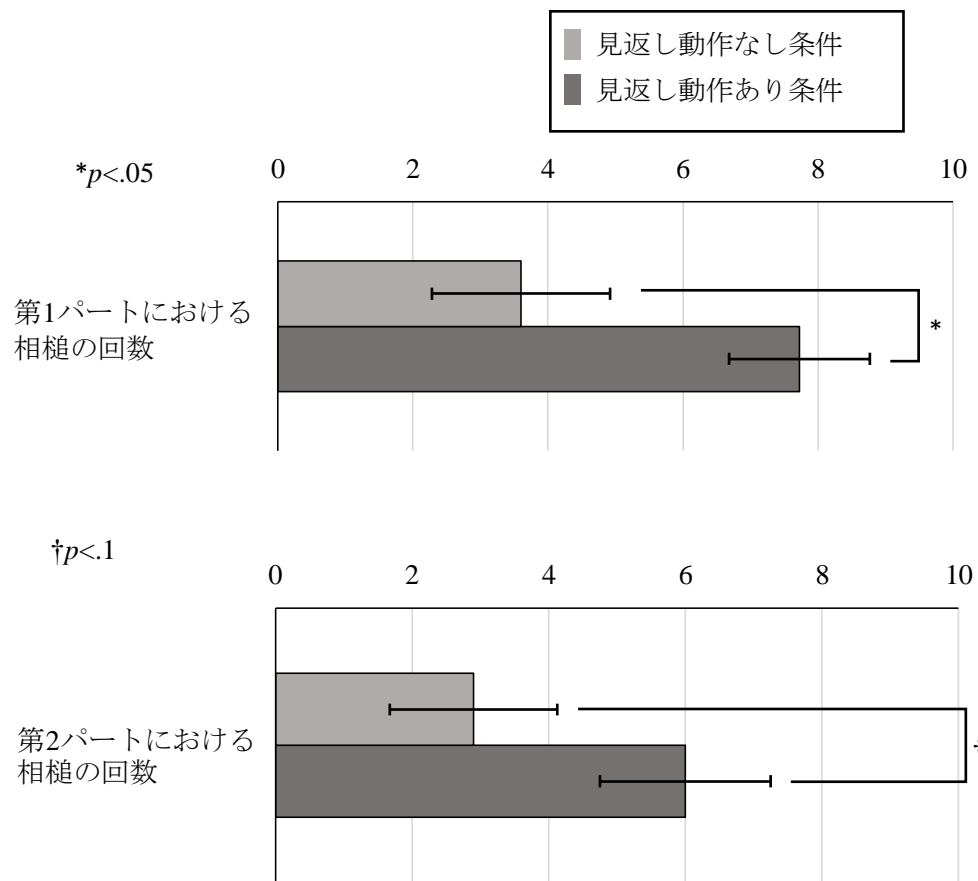


図 22 第1, 第2パートにおける相槌の平均回数

ともあり、こっちの行動が見られていると感じた。」という意見が得られた。また、見返し動作あり条件で相槌を返した被験者にその理由を聞くと、「返事をしないとロボットに申し訳ないと思った」という意見が多く得られた。また、「相槌を返さないとロボットが悲しみそう」だと答えた被験者も、見受けられた。したがって、「無視された」ということをロボットに感じさせてしまうことに、被験者は罪悪感のようなものを覚え、相槌を返してくれるようになったのではないかと考えられる。以上のことから、人の行動や状態をロボットがわかっているということを表出することで、そのロボットに見られている感覚が向上し、人はロボットに対して話をしっかり聞いていることを態度で示そうとすると考えられる。

本実験ではロボットが聞き手の行動を理解しているということを示す動作として見返しを採用したが、どのような動作が適切であるかは調査していない。また、本実験ではこの行動は会話の冒頭のみで行われていたが、会話の最中に同様の振る舞いを行うことでソーシャルプレゼンスを高い状態のまま維持できる可能性がある。これらの調査は今後の課題である。

3.4 社会的応答モデル

前節において、訪問客に対してロボットが自分の振り向いたという行動を理解して話しかけていると感じさせることで返答してもらえるということが明らかとなった。先行研究からロボットが会話を開始する前に人の内部状態を推定し[28][29]、対象となる人の情報を取得する研究がある[30]。したがって、ロボットは訪問客の非言語的な行動から判断できる相手の状況に応じて適切な行動をすることが必要である。本節ではロボットが訪問客にそのような印象を持たせることができるような社会的応答モデルを開発する。

3.4.1 エンゲージメントの識別と非言語要因

人がどれほどロボットに興味を持っているかを示す値として、エンゲージメントがある。本節ではロボットはこの値を用いて次の行動を選択する応答モデルを開発する。エンゲージメントの広く認知された明確な定義は未だ提案されていないが、先行研究からエンゲージメントをモデル化するのに有用な非言語要因の候補を収集することは可能である。先行研究によると、一般的な要因の1つはアイコンタクトであり、これは相手に注意を向けていることを表す強力なサインである[31][32]。さらに、アイコンタクトをすることによって相手が笑顔なのか顔をしかめているのかなどという表情も分析することが可能である。また、ロボットに対する反応や姿勢などからも重要な情報を得ることができ[31][33]、ロボットと人との距離も重要な要因である[34][35]。

以上から、我々はエンゲージメントの値を計算するのに用いる要因として、アイコンタクト、アイコンタクトの継続時間、距離、接近、笑いという5つの非言語的な要因を選択した。

3.4.2 社会的応答モデル開発のためのデータ分析

この応答モデルの開発には実際の店舗における実験のデータを用いる。2017年に実施した

この実験では 164 組の訪問客のデータを得た。しかし、このデータの中には訪問客から話しかけたものとロボットから話しかけたものが混在する。ここではロボットの最初の発言に対する訪問客の反応について考察する必要があるため、163 組の内、ロボットが最初に発言を行った 153 人の訪問客について、ロボットが最初の発言を行うまでの訪問客の行動をデータとして使用する。データから取得する非言語要因として以下の変数を定義した。

- Y: エンゲージメント**, 訪問客がロボットの発言に反応すれば 1, しなければ 0 となる。
- X1: アイコンタクト**, ロボットが訪問客に挨拶をしたときに訪問客がロボットを見ていた場合 1, 見ていなければ 0 となる。
- X2: アイコンタクトの継続時間**, 訪問客が入店してからロボットが挨拶するまでに測定されたアイコンタクトの時間 (秒)。
- X3: 距離**, ロボットが訪問客に挨拶をしたときのロボットと訪問客との距離 (メートル)。
- X4: 接近**, ロボットが挨拶をしたときにその訪問客がロボットに近づいてきていれば 1, そうでなければ 0。
- X5: 笑い**, ロボットが挨拶をしたときに訪問客が笑っていれば 1, そうでなければ 0。

表 5 Y と各変数の相関

	X1	X2	X3	X4	X5
Y との相関	0.65	0.69	0.54	0.36	0.38

表 5 はこの実験データから得られた Y と各変数の相関を示している。各相関係数の値は 0 から 1 であり、値が 1 に近い場合相関が強いことを示す。この表 2 からアイコンタクトおよびアイコンタクトの継続時間はエンゲージメントの最も重要な要因であることが分かる。そして、距離もまた重要な要因であると言える。

3.4.3 社会的応答モデルの開発

データを分析するため、機械学習のモデルの 1 つであるロジスティック回帰を用いる。ロジスティック回帰を使用する理由は二値分類問題を解くための簡単なモデルであるからである。以下の式 5.1 と 5.2 にロジスティック回帰モデルを示す。

$$Y = \frac{1}{1+e^{-z}} \tag{5.1}$$

$$Z = W^T X + b \tag{5.2}$$

ここでの W は重み, b はバイアスである。

これらの式を用いた実験データの分析結果を表 6 に示す。コスト関数を最小化することにより、最適化された重みを得ることができる。また、バイアスのパラメータは-0.20 である。我々はモデルを検証するために 5 分割交差検証を用いた。5 分割交差検証はデータ全体を 5 つのパートに分け、4 つのパートを使用してモデルをトレーニングし、1 つをテストするための有効な方法である。交差検証から、訪問客のエンゲージメントを予測するのに十分であると考えられる 88.9%の精度が得られた。また、式 5.1 のロジスティック関数は 0 から 1 の値を取り、単調増加であるため、今回はロジスティック関数の値が 0.33 以上 0.66 未満の場合、ロボットは「ねえねえ」あるいは「Hey」と訪問客に呼びかけ、0.66 以上の場合は「こんにちは」あるいは「Hello」と挨拶をするという社会的応答モデルを開発した。

表 6 重みのパラメータ

要因	重み
アイコンタクト	0.53
アイコンタクトの継続時間	1.35
距離	-0.99
接近	0.17
笑い	1.20

3.4.4 社会的応答モデルの有効性

今回作成したモデルの有効性を検証するため、実店舗において再び実験を行った。実験の設定は前述した実店舗における実験と同様である。実験は 2018 年 9 月 10 日、9 月 11 日、9 月 20 日、9 月 21 日の 4 日間行った。40 組の訪問客が実験中に店舗に訪れた。

本実験ではこのモデルの有効性を検証するため、この応答モデルを用いてロボットから会話を開始した組において、ロボットの最初の発言に対して訪問客が返答を行ったかどうかについて調査する。具体的には、この社会的応答モデルを用いてロボットが挨拶をする組と、ロボットから約 2m 以内に近づいた時にロボットが挨拶する組における訪問客の返答率を調べた。その結果、このモデルを用いて最初の挨拶に反応した組は 19 組中 15 組で 78.9%、ロボットから約 2m 以内に近づいた時のロボットの挨拶に反応した組は 18 組中 10 組で 55.6%であった。ここでは、訪問客から会話を開始した 3 組は除いた。また、前項の 2017 年に行った実験における返答率は 153 組中 75 組で 49.0%であった。このように、実環境において 78.9%の訪問客がロボットの挨拶に対して返答を行ったことや、これまでの実験や距離のみを制限し

た場合よりも高い返答率が得られたことからこの応答モデルは実環境においても有効であると推測される。今回高い返答率が得られた理由として以下のことが考えられる。手動で人が遠隔操作する場合、離れた場所をカメラや肉眼で観察することになるが、その場合、距離はある程度判断できても、訪問客の視線の方向までは正確に判断できない。しかし、このモデルを用いることで、訪問客がロボットに視線を向けたかどうかを適切に判別でき、さらには挨拶を行うべきタイミングにおいて、遠隔操作による遅延がなく、すぐに反応をすることができる。

したがって、以上のことから、実際の店舗においても訪問客の非言語情報からエンゲージメントを推測し、それがある程度高い状態になった時に挨拶を行うことで、ロボットが訪問客の行動や状態を理解して話しかけているという印象を与えることができる。そして、訪問客がそれを無視するとその無視したという行動さえもロボットが知覚することができると感じることによって無視されなくなると考えられる。

第4章

客 - ロボット相互作用の状態遷移 モデル化

4.1 客 - ロボット相互作用の状態の調査

不特定多数のユーザによる接客ロボット操作を可能とするためには、ユーザがあらかじめ決められた規則に沿って操作するだけのシステムが望ましい。前章では、ロボットのソーシャルプレゼンスを改善するための会話の開始方法に関する戦略を得た。そこで本章では、実際の店舗においてロボットが訪問客に接客を行う実験から得られたインタラクションデータについて、その言語情報だけでなく非言語情報も含めたマルチモーダル会話分析を行うことで、前章の方法と組み合わせることによって、訪問客の購買活動を促進するのに役立つ接客ロボットの一連の行動を探索し、訪問客と接客ロボットとのインタラクションを状態遷移モデルとしてモデル化する。

4.1.1 接客における相互作用の状態遷移

実環境において接客ロボットが訪問客に対してサービスを提供する際に求められる振る舞いとして大きく次の3つがあると考えた。

1. 訪問客の注意を引く
2. 訪問客と対話を始める
3. 対話を継続し商品に訪問客の興味を誘導する。

まず訪問客の注意を引くことで訪問客にロボット自体に興味を持ってもらい、ロボットの発言を聞いてもらうことを考える。そして、その次に訪問客との対話を開始し、その対話を継続して行うことで自然な流れで商品説明を行うことで初めにロボットに引き付けた訪問客の注意を商品へと誘導することを考えた。

ここで、店内にいる訪問客の状態として、商品に対する関心が高い、ロボットに対する関心が高い、商品にもロボットにもそれほど関心が高くないといったものが考えられるが、このような訪問客の状態が常に変化する実環境において、ロボットがどのような行動をどのようなタイミングや流れで行うべきかということとはわかっていない。そこで、実店舗における実験を行い、得られたインタラクションデータについて言語情報だけでなく非言語情報も含めたマルチモーダルな会話分析を行うことで、客とロボットとのインタラクションを状態遷移モデル化する。

4.1.2 会話不成立訪問客とのインタラクションの改善

前章において開発した自動挨拶機能は訪問客のエンゲージメントが0.66より大きくなった場合に挨拶をする。0.66以下の場合、そのタイミングでロボットが挨拶をしても無視されてしまう確率が高いため、ロボットが注意を引くための言動を行い、エンゲージメントが大きくなったタイミングで挨拶をする。しかし、訪問客の中にはロボットに関心がない客も含まれており、ロボットが挨拶をするほどエンゲージメントの値が大きくなる客も存在する。そのような客に自動挨拶機能を用いたとしても会話を開始できる可能性は低い。このような客を会話不成立訪問客と定義する。このような会話不成立訪問客の場合、ロボットは客の注意をより強く引きつけるような行動をとる必要がある。そこで、リズムカルな発話音声には新奇性や面白みがあると考えられ、インタラクションの継続欲求、モチベーションを向上させるという知見に基づき[36]、ロボットがラップ歌唱を行う。ここで、ラップ歌唱を行うべきタイミングというのは、対象の訪問客が、それ以降、ロボットが自動で挨拶を行うほどロボットへのエンゲージメントが高くなる可能性が低く、なおかつ、ロボットが何もしないままの状態ですべて退店してしまう可能性が高い客だと判断できるタイミングである。これによって、自動挨拶機能のみではカバーできず、退店してしまっていた客に対しても接客の機会が生まれると考えられる。

表 7 自動挨拶機能の使用結果

		時間帯 (秒)					
		1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
組数	ロボットへの返答確率が高い組	8	21	11	2	0	0
	退店した組	1	8	10	7	3	2

したがって、ラップ歌唱を行うべきタイミングはその訪問客の入店から何秒経過したときなのかを決定するため、自動挨拶機能を使用したときの、ロボットが挨拶をした組、つまりロボットへの返答確率が高い組とロボットが挨拶をする以前に店を去ってしまった組の数をそれぞれカウントし、それらの時間的な推移を調べた。その結果を表 7 および図 23 に示す。自動挨拶機能を使用した訪問客 73 組に関して、ロボットが挨拶した組は 42 組、ロボットが挨拶する前に店を退出した組は 31 組であった。図 23 の横軸は、ロボットが挨拶をした、または客が退店した時点での入店からの経過時間を表しており、縦軸は横軸の各時間帯における訪問客数の割合を示している。図 23 から、入店からの経過時間が 21~30 秒の付近で、エンゲージメントが高い組より、ロボットが挨拶する前に店を去る組の方が多くなり、それ以降は自動挨拶が動作するよりも店を去ってしまう客のほうが多いことがわかった。このことから、入店から 30 秒が経過しても自動挨拶機能によってロボットが挨拶をしない場合、その客は退店してしまう可能性が高いと考えられ、興味を引くためにラップ歌唱を行うのが適当であると考えられるが、表 7 によると 21~30 秒の間に退店してしまう客も多く存在する。これを考慮し、ラップ歌唱を行うべきタイミングは 21~30 秒の間である 25 秒とし、25 秒経過してもエンゲージメントが一定値を超えずロボットが挨拶をしない場合にラップ歌唱を行うべきであると考えられる。

ラップ中の pepper の振る舞いは、以下の図 24 のように発話のリズムに合わせて両手と首を動かすものである。

ラップの歌詞の言語には日本語と英語の二ヶ国語を用いた。以下に歌詞を示す。左列は小節番号であり、右列は一小節あたりの歌詞を示している。

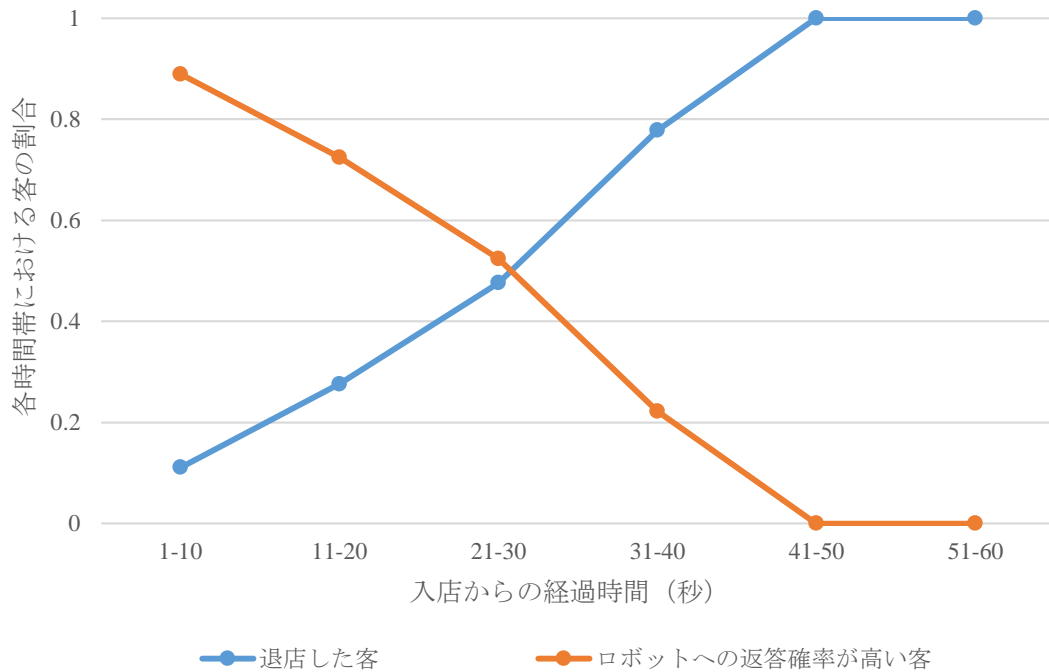


図 23 自動挨拶機能使用時のロボットが挨拶した組と退出客の割合の時間的推移

ラップ歌詞 日本語バージョン

1	おれはペッパー しかもラッパー
2	聞いてくれよな七味ラップ
3	7つの厳選素材ブレンド
4	京都一のちんたらブランド
5	香りと風味はウチのプライド
6	日々の食事にアクセント
7	大辛・中辛・ゆず七味
8	七味ソフトもおいしいぜ
9	おみやげに一つ買ってきな
10	試食はこちら 食べてきな

ラップ歌詞 英語バージョン

1	Hey yo! Listen to my rap.
2	Our Shichimi is the best in Japan.
3	Shichimi is a kinda spice,
4	has rich flavor and scent.
5	Shichimi is applied, it will make
6	regular meal so special.
7	Why don't you try shichimi?
8	Please try to taste here.

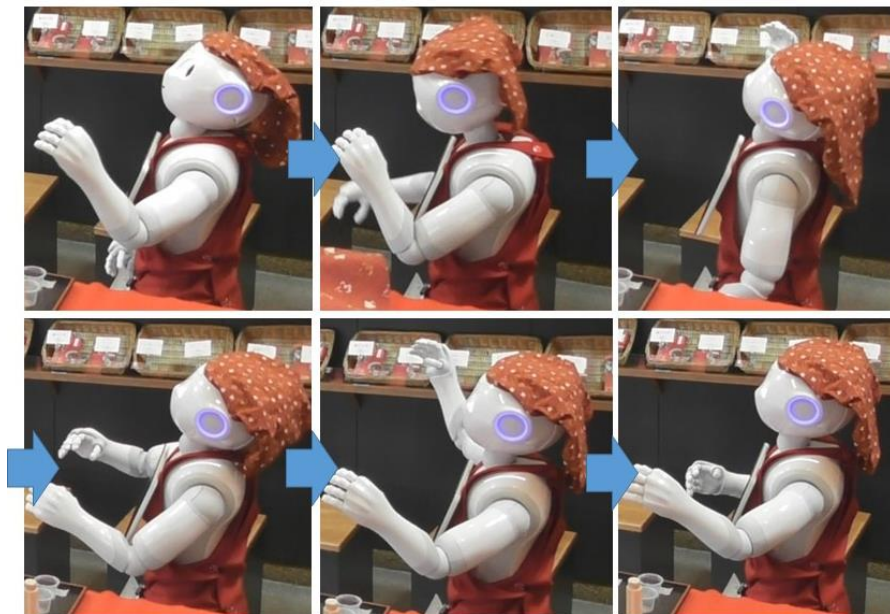


図 24 ラップ歌唱時の動作

4.1.3 訪問客との対話を継続するための振る舞い

本実験では、ロボットと会話を始めた訪問客に対して様々な会話を試みた。例えば、出身を訪ねる、一緒に写真を撮ろうと勧誘する、「How are you?」などの質問をするなどである。訪問客との対話を継続させるためにこのような答えやすい質問を投げかけることは有用であると考えられるが、この場合、ロボットの操作者はまず訪問客の返答を正確

に聞き取る必要がある。さらにその返答に対して適切な次のロボットの言動を選択する必要があり、このような操作は困難であると考えられる。したがって、訪問客の反応が想定でき、容易に読み取れものであるようなロボットの行動が訪問客との対話を継続させるための振る舞いとして適切であると考えられる。そのような行動として今回の実験においてロボットに追加した機能の一つとして、握手の要求がある。

握手の要求では、ロボットが図 25 のように手を伸ばしながら「僕と握手しませんか?」、もしくは「May I shake hand with you?」と握手を求める。握手は対人コミュニケーションにおいて典型的な挨拶の 1 つである。人の店員にとっては訪問客との握手という行為はあまりありふれたものではないが、接客ロボットのそれは訪問客の注意を引くのに有用であると考えた。

本実験において、ロボットと会話を開始した訪問客の組に対して握手の要求を行ったときそれに応じたのは 128 組中 117 組であり約 91% が握手に応じていた。またロボットの握手要求に対する訪問客の反応についてはすべての組を応じるか応じないという 2 つに分類することができた。したがって、握手は訪問客との会話を継続するための行動として有用であると考えられる。また、握手要求を行ったとき、それまで会話のなかった 72 組の訪問客のうち 21 組、約 29% が握手に応じて会話を始めた (表 8)。したがって、握手は訪問客の注意を引くための行動としても有用であると考えられる。

表 8 握手要求に対する訪問客の反応

	それまでに会話があった組	会話がなかった組
握手に応じた組数	117	21
握手に応じなかった組数	11	51



図 25 握手要求時の動作

4.1.4 訪問客を試食に誘導するロボットの振る舞い

実際の店舗において、販売促進のための施策として、店頭での客の呼び込み、口頭で商品の紹介、説明あるいは試食販売などが考えられる。その中で試食販売に関して、その販売促進への効果が示されている[37]。また、返報性の原理という、人が他人から何らかの施しを受けた場合に、何かお返しをしなければならないと感じる心理作用があるという心理学の知見からも試食販売の有効性が支持されている。また、ロボット用いたフィールド実験において試食を扱った研究も存在する[38]。この研究では、大型ショッピングセンターにおいてロボットと人間の試食宣伝能力の比較を行い、ロボットが人間と同等以上に訪問客に対して試食を宣伝する能力をもつことが示された。したがって本実験ではロボットによる試食提案によって販売促進を図ることを考えた。

ロボットが訪問客に試食を提案するときの台詞を以下に示す。

日本語：「試食してみませんか？ こちらで試食できます。」

英語：「Would you like to try a sample? You can taste here!」

このとき、ロボットは図 26 のように手と視線を使って試食の場所を示す。



図 26 試食提案時の動作

試食提案をしても訪問客がその要求に応じてくれるとは限らない。客は試食を求めているということである。そのような状況において、訪問客に対し、試食を手渡すというような積極的なアプローチをかけて試食をさせた場合、訪問客には前述の「返報性の原理」よりむしろ自身の行動の一貫性を保つために購入の要求を受け入れてしまうという「一貫性の原理」が働

くと考えられる。この原理によっても販売促進が見込める。

しかしながら、現状 Pepper の手では物を掴み、それを状況に応じて相手に手渡すというような器用な動作は困難である。また、ロボットの印象に関する問題もある。例えば、客がロボットに対して試食がしたいと言っても、ロボットにはその対応ができないと思われてしまっている可能性がある。これらの問題を解決しながら、ロボットが客に直接サンプルを手渡す方法を考案する必要があるが、今回の実験では、結果的に試食をさせるというタスクを完了できればよいと考え、システムを改良してサンプルを手渡せるようにするのではなく、図 27 のようにロボットが他の店員を呼び、客に試食用のサンプルを手渡すように要請を行うという機能を実装した。ロボットが店員に協力要請を行うときの台詞を以下に示す。

日本語：「すみません。こちらのお客様に試食用の七味を渡してあげてください。」

英語：「Excuse me. Please give them a sample.」

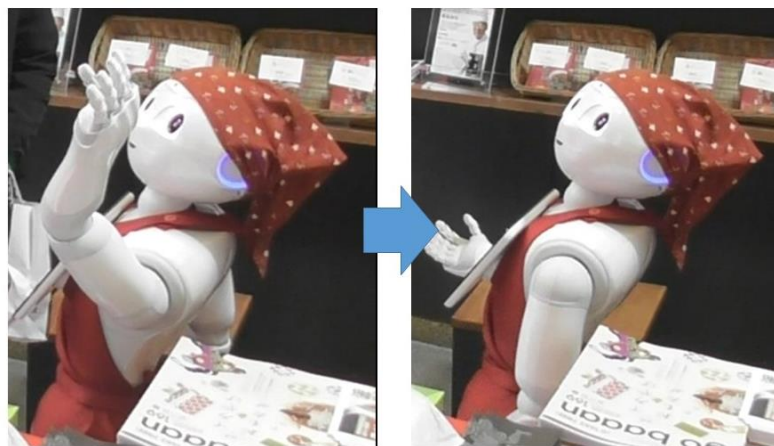


図 27 店員への協力要請時の動作

接客ロボットの目的である販売促進のための戦略である試食販売を行うために適切な接客ロボットの行動を調べる。以下では、ロボットが訪問客に試食の提案を行った後に試食をした組と試食をしなかった組についてそれぞれ分析し、比較を行う。

以下のトランスクリプト 8 にロボットが試食を提案し、さらに店員に協力要請をして試食をさせることができ、最終的に商品を購入したある組の会話を示す。

(P=ロボット, C1=女性, C2=女性, S=店員)

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 | (C1, C2 が入店)) |
| 2 | ((C1 がカメラを構えながらロボットに近づく)) |

3 P Hello.=
4 C1 = [Hi!.
5 C2 [Hello. (2.8)
6 P P : My name is Pepper.=
7 C1 =Hi, Pepp [er!
8 P [Nice to meet you.=
9 C2 =Nice to meet you too.=
10 C1 =Nice to meet you too. (1.0)
11 C1 Hi, Pepper : :
12 P May I shake hand with you?
13 C1 Sure! Hi! Hello↑. ((ロボットと握手をする))
14 P Nice to meet you.=
15 C1 =Nice to meet you. ((ロボットの手に触れる))
16 P Would you like to try a sample? You can taste here.
17 ((C1 と C2 がサンプルを見る))
18 C1 OK! (). (7.0)
19 P Excuse me.=
20 C1 =Hi. ((ロボットを見る)) =
21 P =Please give a sample.
22 ((S がサンプルを渡しにやってくる))
23 ((C1 と C2 が S を見る))
24 C1 Sample?
25 ((S が C1 にサンプルを手渡す))
26 ((C1 が試食をする))
(中略)
27 ((C1 が商品を購入))

トランスクリプト 8 ロボットの試食提案, 店員への協力要請後, 試食した組
(2017年12月5日)

このトランスクリプト 8 に示す例では、訪問客が会話をしながらロボットを見ている時に「Would you like to try example? You can taste here.」と試食の提案を行うと（16行目）、訪問客は試食用サンプルの方を向き返事をした（18行目）。その時の訪問客の様子を図 28 に示す。そしてその 7 秒後、訪問客がサンプルを見ている時にロボットが店員に協力要請をし（21行目）、店員がロボットの要請に応じて訪問客にサンプルを直接渡した（25行目）。すると訪問客は試食をし、商品を購入した。この例では訪問客はロボットの写真を撮るなど、明らかにロボットを目当てに入店していたが、ロボットの試食提案によって商品に興味を誘導し販売促進を行えた可能性が高い。

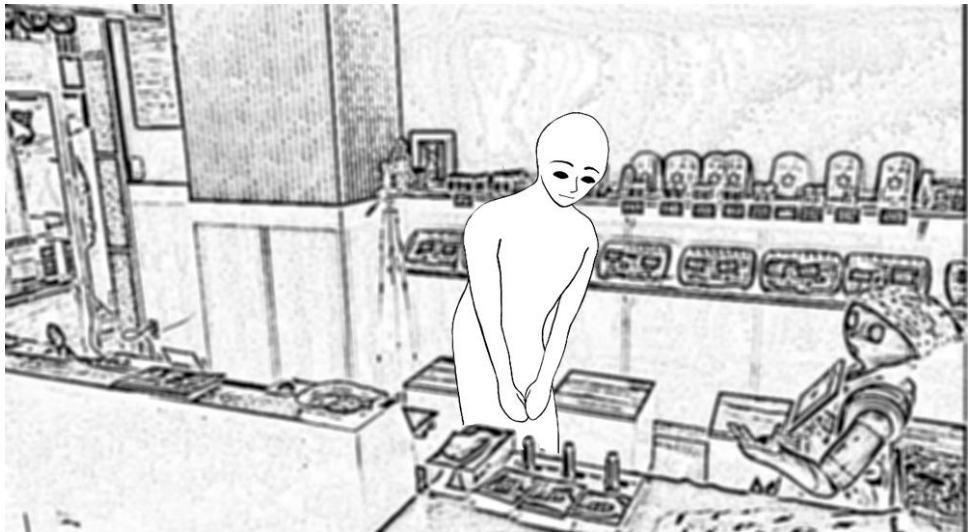


図 28 ロボットの試食提案に対して試食用サンプルを見る訪問客

一方、ロボットが試食提案後、試食をしなかった組の会話の例について分析を行う。以下のトランスクリプト 2 に示すのは、試食をした組と同様に試食提案には反応していたが、ロボットが店員に協力要請をしても試食しなかった組の会話の例である。

(P=ロボット, C1=女性, C2=男性)

- | | |
|------|---------------------------|
| 1 | ((C1 と C2 が店の外からロボットを見る)) |
| 2 P | ボクと握手しませんか？ |
| 3 C1 | ((ロボットに近づき握手をする)) (1.8) |
| 4 P | ありがとう. |
| 5 C1 | おお ((驚いた様子)) |

- 6 C1 ((ロボットに背を向け離れて)) hhh.
- 7 C2 hh.
- 8 P 試食してみませんか?
- 9 C1 ((ロボットの方に振り向く))
- 10 P こちらで試食できます。(1.6)
- 11 C1 ((C1はサンプルを見る))
- 12 C2 すごいな. どうやって(). ((ロボットを見ながら))
- 13 C1 ((うなずきながらサンプルから目をそらす))
- 14 P 今回は中辛, 大辛とゆず七味の3種類が試食できます。(2.1)
- 15 C2 ありがとうございます. ((ロボットから目をそらす))
- 16 C1 結構です.
- 17 C2 hh. (3.2)
- 18 P すみません, こちらのお客様に試食用の七味を渡してあげてください.
- 19 ((C1とC2はロボットに背を向け離れる))

トランスクリプト 9 ロボットの試食提案, 店員への協力要請後に試食しなかった組
(2017年11月27日)

このトランスクリプト 9 に関して, ロボットの「試食してみませんか?」という呼びかけに反応して訪問客 (C1) はロボットを見た (9 行目). ロボットを見た C1 に対し「こちらで試食できます」と試食の提案をすると (10 行目), 客はサンプルを見た (11 行目). しかしその後, 試食の紹介の間に客はサンプルから目をそらしてしまった (14, 15 行目). この時に, ロボットが協力要請をしたが (18 行目), 客はそれを無視して離れていってしまい, 試食をしなかった. ロボットの協力要請により試食をさせることができたトランスクリプト 8 の結果と比較すると, 協力要請時の訪問客の視線の違いがあることが分かった.

次に, ロボットが試食の提案のみを行った場合に, 試食をしなかった組の会話の例を以下のトランスクリプト 10 に示す.

(P=ロボット, C1=男性, C2=女性)

- 1 ((入店))
- 2 C1 ((ロボットに近づく))
- 3 C1 ((ロボットの顔の前で手を振る))

- 4 P こんにちは.
- 5 C1 [おお], こんにちは:.
- 6 C2 [こんにちは:]. (0.8)
- 7 C2 こ↑んにちは:. (1.0)
- 8 P ぼくの名前はペッパーです. =
- 9 C2 =はい! (0.5)
- 10 P よろしくね.
- 11 C2 よろしくね:.
- 12 C1 ペッパーなにかうたっ [て:.]
- 13 P [ぼ] くと握手しません [か?
- 14 C1 あ, はい. ((握手をする)) どうも. (3.4)
- 15 C2 ((ロボットから目をそらす))
- 16 C1 ペッパー [うたって:]
- 17 P [よろ] しくね. (3.3)
- 18 C1 ((ロボットの顔の前で手を振る))
- 19 C1 ((ロボットから目を離す)) (2.8)
- 20 P 試食してみませんか? =
- 21 C1 =うわ! すごい! =
- 22 P =こちらで試食できます.
- 23 ((C1 と C2 は試食用サンプルを見ずに離れる))

トランスクリプト 10 ロボットの試食提案後, 試食をしなかった組
(2017年12月4日)

トランスクリプト 10 において訪問客は初め, ロボットと会話をしており, ロボットの握手の要求 (13行目) にも応じていた. その後, 19行目にて C1 がロボットから目を離れたときにロボットは試食の提案を行った (20, 22行目). ここで注目すべきは, 21行目で C1 はロボットの試食提案の発言に対し反応を見せていることである. このことからロボットの試食の提案を聞いていなかったとは考えにくい. しかし, C2 は試食をしないどころか, 試食用サンプルの方を見ることもなかった.

ロボットの試食提案後に試食用サンプルを見たトランスクリプト 1, 2 に示した組と比較す

ると、試食提案時の訪問客の視線に違いがあることがわかる。

分析から、訪問客に試食用サンプルを見てもらうための接客ロボットの行動についても次のような発見があった。

- ・訪問客がロボットを見ている時に試食の提案を行うことで、試食用サンプルを見てもらうことができる
- ・訪問客がサンプルを見ているときにロボットが店員に協力を要請し試食用サンプルを渡してもらうことで訪問客に試食をさせることができる。

これらの事に関して、まず、ロボットが店員に協力要請をして試食をさせようと試みた 16 組に関して、協力要請時のそれぞれの訪問客の視線に注目すると、表 9 のような結果が見られた。

表 9 ロボットの協力要請時の訪問客の挙動

		協力要請前	
		サンプルを見ていた組	サンプルを見ていなかった組
協力要請後	試食をした組	7	1
	試食をしなかった組	0	8

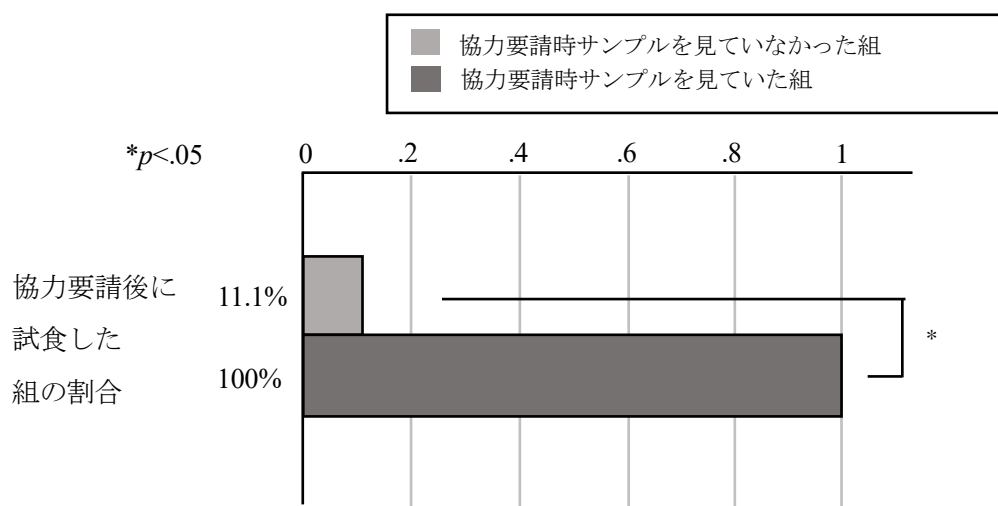


図 29 ロボットの協力要請後に試食する訪問客の割合

表 9によると、協力要請前サンプルを見ていた 7 組の訪問客はロボットの協力要請後、店員から試食用サンプルを受けとり試食をした。対して、試食をしなかった 8 組はロボットの協力要請前に試食用サンプルを見ていなかった。この結果に対し Fisher の正確確率検定[39]を行ったところ図 29 に示すように、協力要請時にサンプルを見ている客のほうが試食をする割合が有意に高いことが分かった($p<.05$)。したがって、訪問客がサンプルを見ているときにロボットが店員に協力を要請しサンプルを渡してもらうことで訪問客に試食をさせることができるということがわかる。また、このことから、訪問客が試食を見ている、つまり試食に興味を示していると考えられるときに、さらに試食を勧めるような言動をロボットが行うことで試食をさせることができる可能性が高くなることも考えられる。

接客ロボットが店員に協力要請をして訪問客に試食させる際に重要なことは訪問客が試食用サンプルを見ているということが分かったが、この試食用サンプルを見てもらうためのロボットの行動に関して、今回の実験中に試食の提案を行った 96 組について、ロボットの試食提案時の訪問客の視線に注目すると、表 10 のような結果が見られた。

表 10 ロボットの試食提案時の訪問客の挙動

		試食提案前	
		ロボットを見ていた組	ロボットを見ていなかった組
試食提案後	サンプルを見た組	39	8
	サンプルを見なかった組	3	46

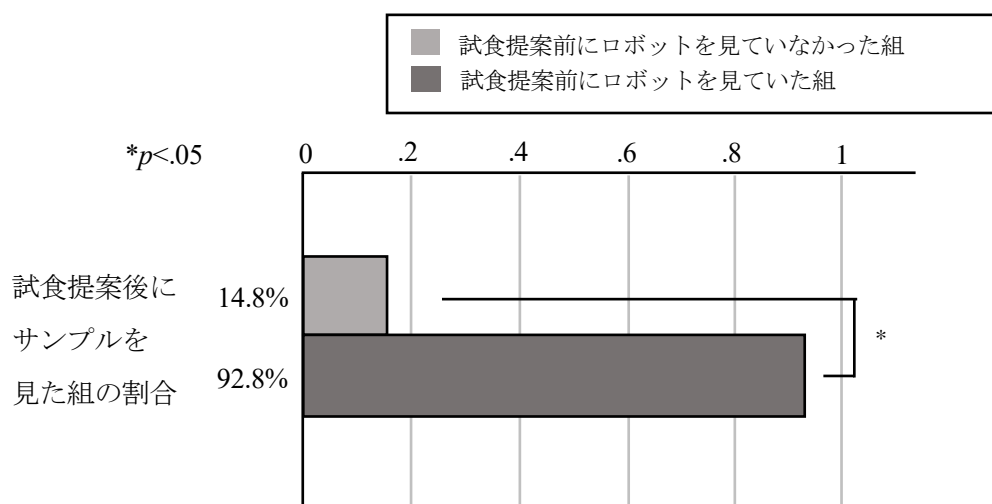


図 30 ロボットの試食提案後に試食用サンプルを見る訪問客の割合

表 10 によると、試食提案時、ロボットを見ていた 42 組中 39 組がその後サンプルを見ており、ロボットを見ていなかった 54 組中 8 組が試食提案後にサンプルを見た。この結果に対してカイ二乗検定を行ったところ、試食提案時にロボットを見ている訪問客のほうがロボットを見ていない訪問客よりも、試食提案後に試食用サンプル見る割合が有意に高いことが分かった (図 30)。また、試食をした 16 組はすべて試食提案前にロボットを見ていた。したがって、訪問客を試食に誘導するには、訪問客がロボットを見ている時に試食提案をすることが重要であるとわかる。

4.1.5 ロボットの試食提案機能の改善

前節における分析から、訪問客が試食を見ているときに試食を勧めるような言動をロボットが行うことが有効であることが示されたが、店員に協力を要請する場合、そこに店員がいなければ試食をさせることができない。そのため、試食提案を行った後に試食できる商品の説明を行うための機能が必要であると考えた。そこで、操作の負担の低減も考慮し、試食提案を行った後にその訪問客の顔の向きに基づいて、試食できる商品の説明をロボットが自動で行う機能を実装した。顔の向きの検出には ALGazeAnalysis API を使用し、ヨー(yaw)軸周りの回転角を取得した。対象の人物がロボットから見て右を向いているとき正の値が得られる。ここで、訪問客が試食を見ているかどうかは正確に判断する必要はなく、むしろ商品の説明を行うことのほうが重要であることからロボットから見て訪問客が 30 度 ($-0.5[\text{rad}]$) 以上左を向いた場合は試食を見ているというように判断することにした。また商品の説明の台詞は次に示すどの商品を試食できるかを説明する台詞を 1 種類、個々の商品を説明する台詞を 3 種類作成し、合計 4 種類の説明を、日本語と英語それぞれで作成した。

試食についての説明	大辛, 中辛, ゆず七味を試せるよ 好みの辛さをぜひ見つけてね
おすすめ商品の説明 1	美容に効果のあるカプサイシンが含まれる中辛七味はどうですか
おすすめ商品の説明 2	からい物好きなら口にした瞬間にしびれる刺激的な大辛を試してみない
おすすめ商品の説明 3	生活習慣病の予防にも効果のある中辛七味はどうですか

試食についての説明	You can try medium hot, very hot, yuzu shichimi. Please find your favorite spiciness
おすすめ商品の説明 1	I recommend you a medium hot shicimi. It contains capsaicin which has an effect on beauty
おすすめ商品の説明 2	If you like spicy foods, why don't you try the very hot shichimi.
おすすめ商品の説明 3	If you are interested in maintaining good health, why don't you use a medium hot shichimi. It is effective in prevending lifestyle-related diseases.

以上のような試食についての説明および商品説明を試食提案の後に自動で行う機能を次に示す。

4.1.6 接客フローチャートの作成

実験結果から訪問客と接客ロボットとのインタラクションの状態遷移モデルは、大きく分けて挨拶パート、握手パート、商品説明パートによって構成でき、訪問客の反応を条件としてインタラクションの状態が遷移する。まず、訪問客のエンゲージメント推定を行い、その訪問客のロボットへの注意の度合いが高くなった時に「こんにちは」または「Hello」と挨拶を行う。また、訪問客のエンゲージメントがロボットが挨拶を行うのに十分な値を超えないまま、訪問客の入店から 25 秒以上経過した場合、ラップを行うことで客の注意を引き付ける。次に、挨拶をした訪問客に対して握手の要求をすることによって会話を継続させる。ここで訪問客が握手をしない場合にもラップ歌唱を行い、注意を引きつける。

そして、訪問客がロボットに注目し続けている場合、試食の提案を行うことで商品へ注意を誘導する。その後、訪問客が試食用サンプルに注目している場合はさらに試食に関する説明そして店員に協力要請をして試食をさらに推薦することで訪問客の試食を促す、ここで訪問客がロボットに注目している場合はロボットへの興味があると考えられるため、おすすめの商品の説明を行うことで適切にサービスが提供できると考えた。また、訪問客がそれ以外場所を向いている場合はその他の商品説明を行う。訪問客の最終的な状態として試食している状態と試食していない状態があるが、前者の場合は七味のレシピ紹介、後者の場合はその訪問客は試食できる商品以外に興味がある可能性を考え、その他の商品を勧める。これらいずれかを行ったとき接客が終了となる。

以上のような訪問客とロボットとのインタラクションの状態遷移図を図 31 に示す。図 31

における矢印は状態の遷移を表し、各矢印に付与されているラベルは「トリガー（/ロボットのアクション）」というように表記され、トリガーは遷移を引き起こす要因を表し、ロボットのアクションによって状態が遷移する。図 32 に実店舗における、そのような訪問客とロボットのインタラクションの遷移の一部分を示す。以上のようなモデルに基づいて作成したロボット操作インタフェースを図 33 に示す。このインタフェースでは、操作者が画面に記された条件に従ってあるボタンを押下したときに次に行うべき操作内容が自動で提示される。表示される条件はロボットの行動に対する基本的に訪問客の行動であり、ボタン押下によってロボットが次の行動を行い、インタラクションの状態が遷移する。そしてその後も同様に条件判断を行い、ボタンを選択することで一連のロボット操作が可能となっている。

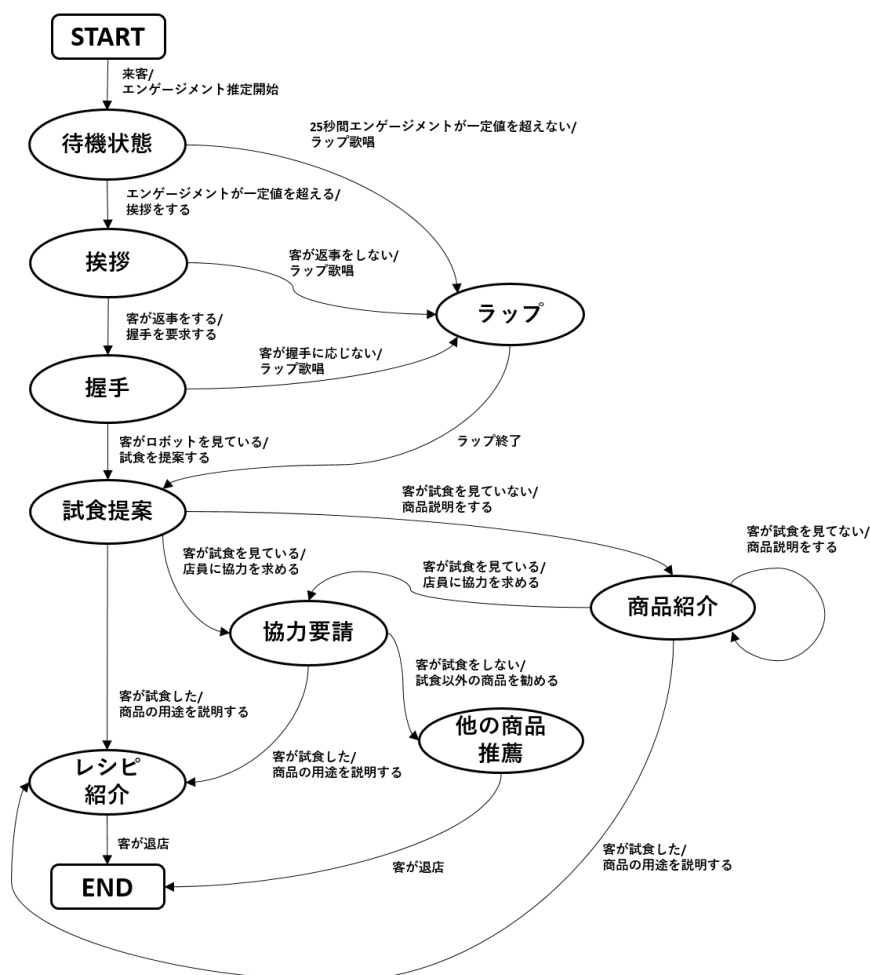


図 31 客とロボットとのインタラクションの状態遷移図

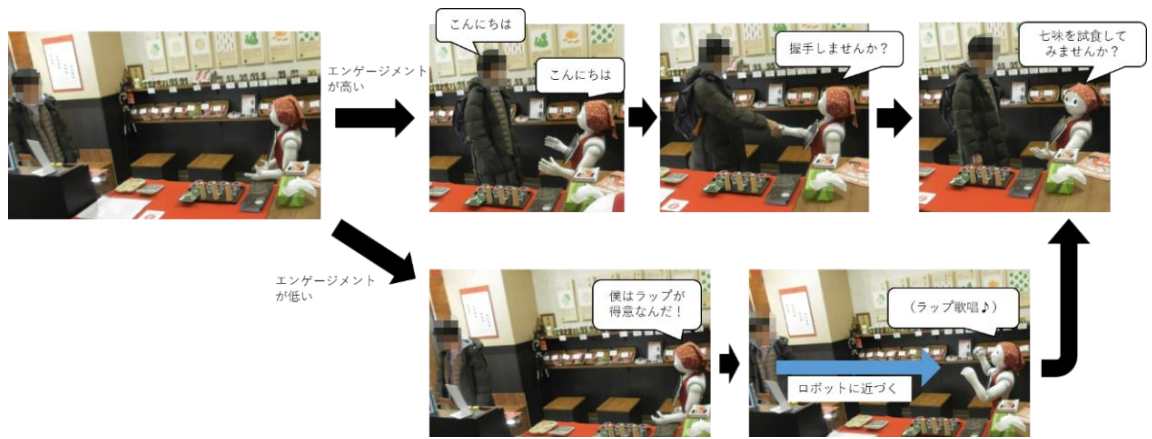
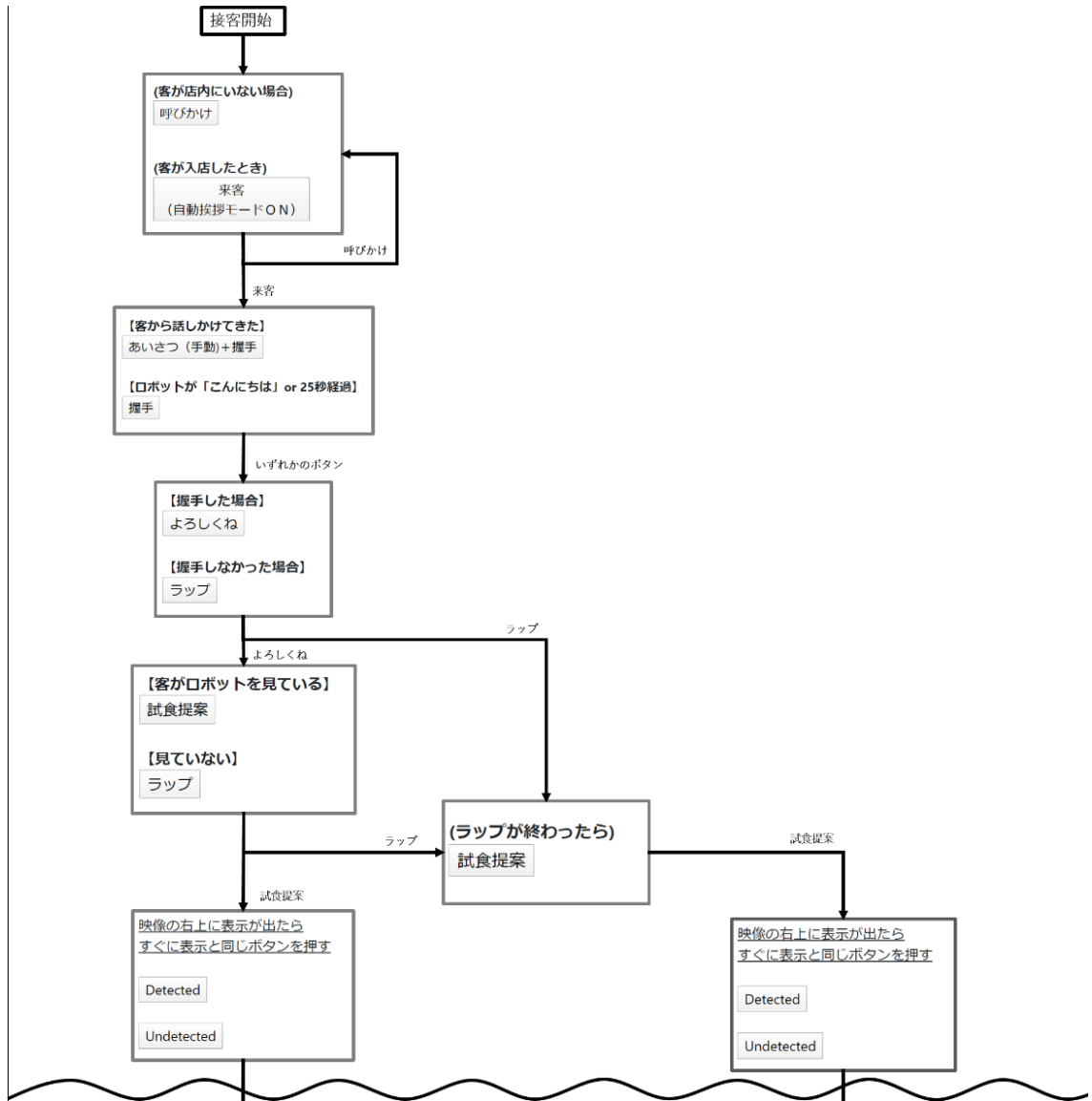


図 32 訪問客とロボットのインタラクションの遷移の一部



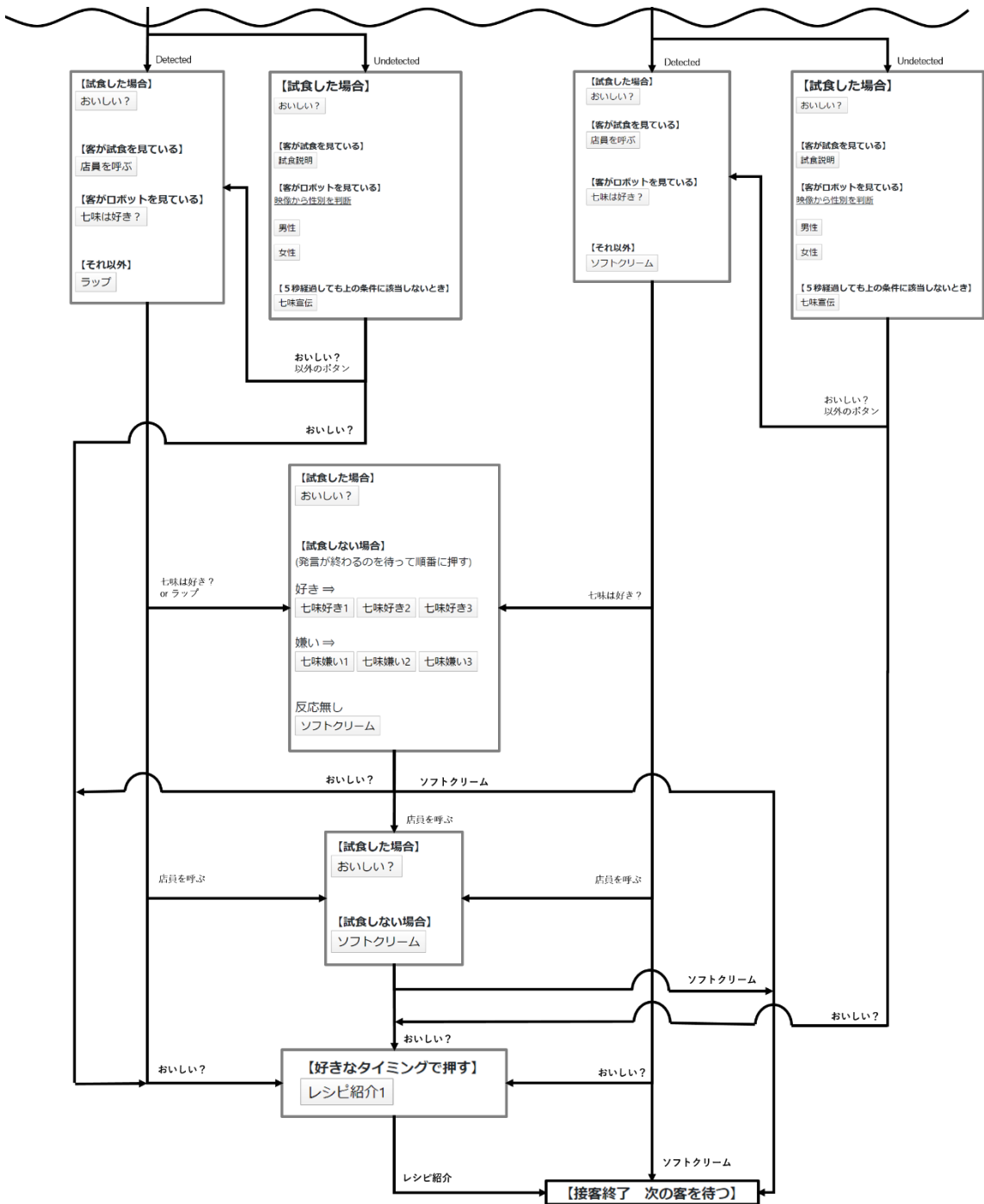


図 33 ロボット操作インターフェースの画面遷移

4.2 実店舗における状態遷移モデルの有効性の検証

本節では、前節にて開発した客-ロボット間インタラクションの状態遷移モデルに基づく接客ロボット操作システムを実験者が使用して接客を行うことで、実店舗におけるインタラクション状態遷移モデルの有効性を検証する。

4.2.1 実験内容

実験は2019年10月7日、8日、19日、20日、21日、22日、11月20日、21日、25日、26日の10日間行った。実験環境は3.1節で述べた通りであり、実験者が遠隔地で第3章において作成した操作システムを用いて接客を行った。実験中のロボット操作インタフェースを図34に示す。図34において、画面の左上半分には三人称視点映像を、左下にロボットの一人称視点映像を表示した。訪問客のプライバシーに考慮し、これらの映像は平滑化処理によってぼかして表示した。一人称視点映像にはNAOqi APIによって取得した訪問客の年齢(0~75)、性別(Male, Female)、そして視線の方向といった3つの情報を重畳表示した。視線の方向としては、訪問客がロボットをみているか(Robot)、試食用サンプル(Sample)を見ているか、またはその他の場所を見ているか(Another)の3種類のうちいずれかが表示される。本実験において、訪問客は177組でそのうち57組が図35、図36、図37、図38のようにロボットと会話をを行った。



図 34 ロボット操作インターフェース



図 35 訪問客とロボットが握手をする様子



図 36 ロボットが訪問客に試食提案をする様子



図 37 ロボットが店員に協力を要請する様子



図 38 ロボットの協力要請後に店員が訪問客に試食を勧める様子

4.2.2 結果

本システムによる接客がロボットの訪問客に対するサービス提供能力を高めるかを確認するため、本実験のデータ（状態遷移モデルあり）と前章における実験データ（状態遷移モデルなし）において、訪問客がロボットの試食提案に応じたかどうかを調べ、比較する。ここで、状態遷移モデルの有無以外の要因を極力排除するために、前章における実験データとして、状態遷移モデルに基づくシステムにおいてロボットに搭載されている機能と同じものを使用していた 2018 年 12 月～2019 年 4 月のデータを抽出し比較を行う。また、ロボットの設置場所、外見、試食サンプルの設置場所は両実験間で統一した。

本実験において試食をした組は 177 組中 18 組で 10.1%であり、状態遷移モデルなしの場合の実験における試食率は 172 組中 5 組で 2.9%であった。ここで、訪問客の母数は、ロボットと会話を行ったかどうかに関わらず、ロボットが何らかの言動を行った訪問客の総数である。この結果に対して、カイ二乗検定を行ったところ、図 39 に示すようにロボットと客のインタラクションを状態遷移モデルに基づく操作での接客のほうが訪問客の試食率が有意に増加していることが分かった ($x^2=7.47, p=.006<.05$)。また、本実験において訪問客が試食した割合は約 10%であったが、試食した客も含め、試食用サン

プルを手取る、においをかぐというように商品に興味を示したと思われる客は 177 組中 27 組いた。これについても同様に第 3 章における実験と比較したところ図 40 のように有意差が見られた ($\chi^2=8.20, p=.004<.05$)。したがって、本実験で使用した状態遷移モデルは実環境においても有効であると分かった。

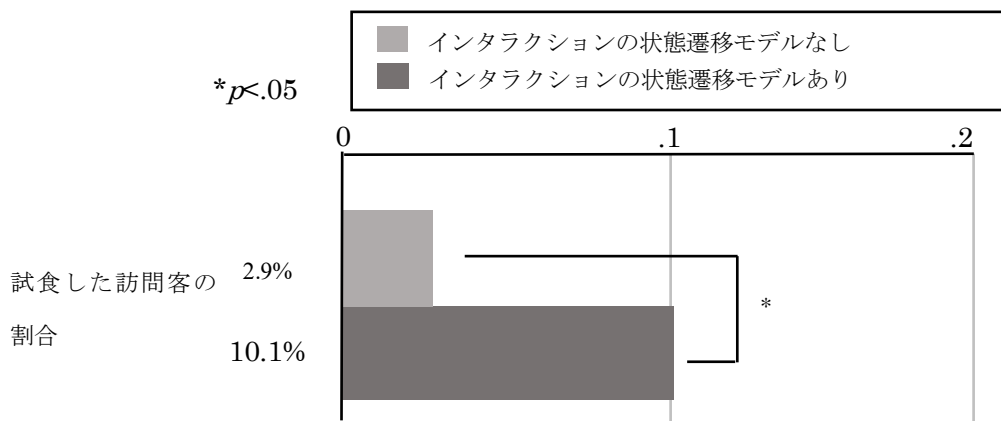


図 39 試食した訪問客の割合

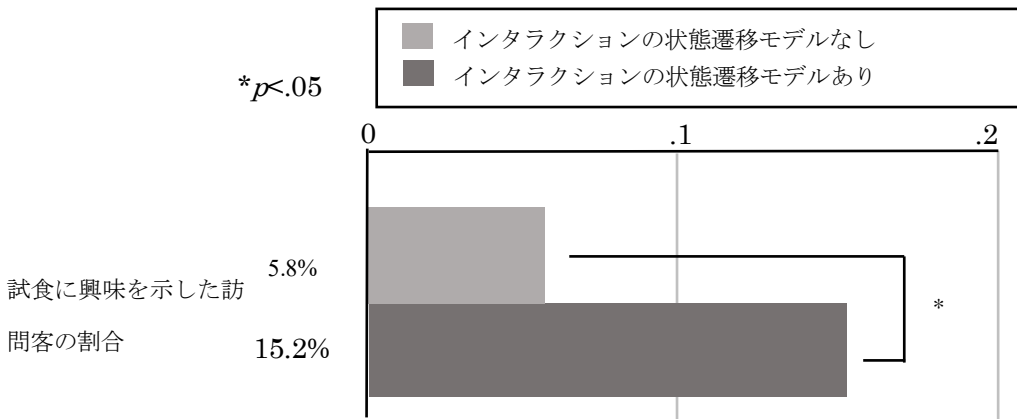


図 40 試食に興味を示した訪問客の割合

4.2.3 インタラクションのモデル化による効果 (考察 1)

本実験結果から、訪問客とロボットとのインタラクションの状態遷移モデルに基づく接客によってロボットの試食提案に応じる訪問客の割合が増加することが分かった。この原因につ

いて考察を行う。本モデルは会話の開始、会話の継続、試食提案を含む商品説明という大きく3つのインタラクションの状態から構成されているが、どの部分のインタラクションのモデル化が効果的であったかということをも明らかにするため、各条件において、ロボットが、会話を開始できた、会話を継続して試食の提案を行えた、そして試食をさせることができたという3つの接客段階を設定し、何組の訪問客に対し、ロボットがどの段階まで接客を行えたかを調べたところ、図 41 に示すような結果であった。

まず、会話を開始したのは状態遷移モデルなしの場合では 172 組中約 25%の 45 組、モデルありの場合では 172 組中約 20%の 34 組であった。注目すべきは次の、会話を継続し試食の提案まで行えた組について、状態遷移モデルありでは会話を開始した 34 組中 27 組で 79%であるのに対し、モデルなしでは 42%の 19 組にしか試食の提案に至るまで会話を継続できていないということである。したがって、モデルなしの操作の場合、会話を継続するということが困難であったため、最終的な試食率に違いが生じたことが考えられる。加えて、試食提案後に試食した組の割合でも、モデルなしは 26%、モデルありは 67%となっている。このことに関して、本研究におけるインタラクションの状態遷移モデルにおいて、試食提案を行うタイミングは客がロボットを見ているときであるがモデルなしの場合、試食提案を行うタイミングには客がロボットを見ている場合と見ていない場合の両方が含まれている。したがって、インタラクションのモデル化によって試食提案のタイミングが定まっていたことによって、より多くの客の注意を試食に誘導することに成功していたということが考えられる。

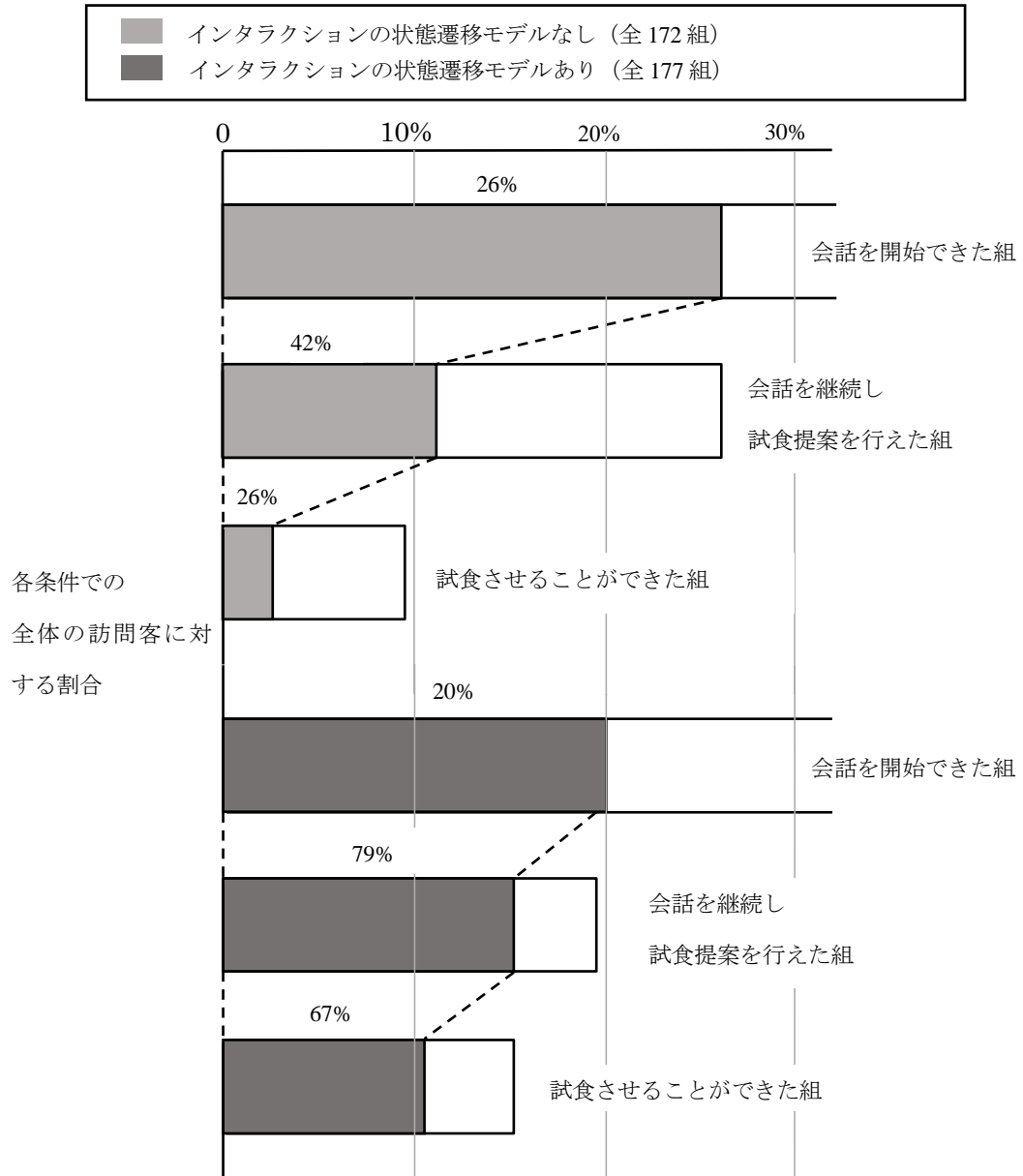


図 41 接客の各段階における訪問客の割合

以下では実際に起こった会話を参照し考察を行う。

まず、インタラクションの状態遷移モデルに基づく操作において、会話を開始し、試食の提

案を行ったのちに試食した客とロボットの会話例をトランスクリプト 11 に示す.

(P=ロボット, C1=男性, C2=女性)

- | | | |
|----|----|--|
| 1 | C1 | Hello, everyone. |
| 2 | P | Hey. Hello. (0.5) |
| 3 | P | May I shake hands with you? |
| 4 | C2 | Speak English! |
| 5 | C1 | Yeah, Yeah. You can |
| 6 | C2 | Yes! ((握手に応じる)) |
| 7 | P | My name is Pepper. Nice to meet you. |
| 8 | C2 | Nice to meet you too. (4.0) |
| 9 | P | Would you like to try a sample? You can taste here. |
| 10 | | ((C1,C2 が試食用サンプルを見る)) |
| 11 | C1 | You can try medium hot, very hot, yuzu shichimi.
Please find your favorite spiciness! (3.0) |
| 12 | C1 | ((試食する)) |

トランスクリプト 11 状態遷移モデルに基づく操作においてロボットの試食提案後に
試食した組

(2019年11月21日)

このトランスクリプト 11 に示す例では, ロボットが客と会話を開始し, 握手によって会話を継続した後, 客がロボットを見ているときに試食の提案を行った. するとその客はサンプルの方向に顔を向けた(10 行目). その後, 訪問客の 1 人(C1)が試食のサンプルを手に取り, 試食をした. この外国人訪問客は, 入店後すぐにロボットに対して挨拶をしていることから, ロボットへの関心度が高い状態で入店したが, ロボットが試食の提案を行うことで試食をさせることができた. このように本実験で用いた, 会話を開始し, それを継続する, そしてその後商品の紹介に移るというインタラクションモデルは実店舗における接客に適切に適用できていたということが考えられる.

対して, モデルなし条件において会話を開始できたが, 試食の提案まで会話を継続できなかった組の会話を以下のトランスクリプト 12 に示す.

(P=ロボット, C1=男性, C2=女性)

- | | | |
|----|----|---|
| 1 | P | Hey. ((C1,C2 が P を見る)) |
| 2 | C1 | Huhu[hu. |
| 3 | P | [Hello. |
| 4 | C1 | Hi!= |
| 5 | C2 | Hello! (2.4) |
| 6 | P | My name is Pepper.(1.8) |
| 7 | C2 | How do you do? (2.0) ((C1,C2 がそれぞれ商品を見る)) |
| 8 | P | Nice to meet you. |
| 9 | P | I'm good. (2.9) |
| 10 | P | How are you? (.) ((C1 が P を見る)) |
| 11 | C1 | I'm fine. You too? |
| 12 | P | Oh, that's nice! (2.1) |
| 13 | C1 | ((P から目を離す)) |
| 14 | P | Can I sing original rap about Shichimi? |
| 15 | C1 | ((C1,C2 は店を去る)) |

トランスクリプト 12 状態遷移モデルに基づかない操作におけるロボットが会話を
継続できなかった組

(2019年4月17日)

このトランスクリプト 12 に示す例では、ロボットが会話を開始することができ、さらに客から質問をしてくるというようにロボットにある程度興味を示していたと考えられる。しかし、ロボットの返答は適切なものであるとはいわずらく会話の継続という段階で客がロボットとのインタラクションから離脱してしまっていることが分かる。また、13 行目などで客がロボットを見ているタイミングが存在したが試食の提案を行うことができないまま、この客は店を去ってしまった。この例のように、モデルに基づかない操作の場合、試食提案など商品を紹介するための接客とは関係のない会話が進んでしまい商品の紹介がうまく行えないという事態が発生してしまうことが考えられる。このことから、本研究におけるインタラクションの状態遷移モデルはこのような試食提案前の段階で客がロボットとのインタラクションから離脱するという状況が生まれることが少ないような設計となっていたのが効果的であったと考えられる。

次に、同じくモデルなし条件において会話を開始、継続し、試食の提案を行ったが試食に応じなかった客の会話を以下のトランスクリプト 13 に示す。

(P=ロボット, C1=男性, C2=男性)

- | | |
|----|------------------------------------|
| 1 | ((C1, C2 が入店)) |
| 2 | (4.8) |
| 3 | C1 Hello! (1.0) |
| 4 | P Hey. Hello. |
| 5 | C1 Hi! (1.1) |
| 6 | C1 How are you? (5.2) |
| 7 | P I'm good. (.) |
| 8 | C2 Oh! [hh. |
| 9 | C1 [hhh.(3.5) |
| 10 | P My name is Pepper (1.2) |
| 11 | C1 [Ah::. |
| 12 | C3 [Ah: (.) |
| 13 | P Nice to meet you. |
| 14 | C3 Nice to meet you ↑ . = |
| 15 | C2 =Nice to meet you. (3.8) |
| 16 | C1 Hello? (カメラを構え,) (.) |
| 17 | P May I shake hand with you? (1.7) |
| 18 | C1 Yes. Yes! ((P と握手する)) |
| 19 | P Thank you! (.) |
| 20 | C1 Thank you ↑ . (2.0) |
| 21 | C1 ((後ろを向き P から目を離す)) |
| 22 | ((C2 以外が店を出る)) (4.5) |
| 23 | P Would you like to try a sample? |
| 24 | C2 ((振り返って店を出る)) |

25 P You can taste here.

トランスクリプト 13 状態遷移モデルに基づかない操作におけるロボットの試食提案後に試食しなかった組 (2019年4月17日)

この例では、会話を開始することができ、会話を継続においては、多少返答に時間要していた時もあったが (6-7行, 15-17行), 自然な会話を行うことができている。しかし、その後試食提案を行うも、トランスクリプト 12の例と同様に試食提案のタイミングが、客がロボットを見ているときとは異なるタイミングになってしまっている。16行目で客がロボットを見ているときなど試食提案を行うべきだと考えられるタイミングがいくつか存在していたがその機会を逃してしまっている。モデルに基づく操作の場合であれば、トランスクリプト 11のように会話の開始から試食提案までをスムーズな流れで行え、よりよいタイミングで試食の提案ができていたことから試食提案に応じてくれる客数が増加したと考えられる。

以上から、ロボットと客のインタラクションを状態遷移モデル化が実環境における接客ロボットのサービス提供能力の向上に役立つことが分かった。したがって、本研究における状態遷移モデルは特定の店舗、環境で適切に働くように設計されたものであるがこのモデルを抽象化することで、その他の環境にも適用できることが考えられる。そのような抽象化された状態遷移図を図 42に示す。図 42をもとに、ロボットの個々の言動や機能は適用する環境や目的に合わせて設計することで、そのロボットが自律的であるか、あるいは遠隔操作されるものであるかに限らず、そのパフォーマンスを向上することができると考えられる。

4.2.4 操作インタフェースの改善による効果（考察2）

本実験において操作インタフェースは、訪問客が店内にて行う可能性が高く簡単に予測可能な行動と、そのそれぞれの行動に1通りずつ対応する操作者のロボットへの行動指示で構成されていることから、あらかじめ決められた遷移規則に従って、実際の店舗である訪問客の行動が起こり、ロボットがそれに対応した行動をすることで、そのインタラクションの状態が変化していく限り、会話の食い違いが発生したり、操作ミスでその状況にまったくそぐわない接客をロボットが行ってしまったりすることはほとんどない。しかし、訪問客が予想外の行動を数多く行うようであれば会話が噛み合わず、適切に接客が行えないことが考えられる。そこで、会話中に訪問客がインタラクションのモデルに当てはまらない行動や発言をして、それにロボットが対応できない状態が続いてしまい訪問客の興味が失われてしまったケースをカウントしたところ、本実験においてロボットと会話をした57組の中でそのようなケースがあったのは1件であった。その組の会話を以下のトランスクリプト14に示す。

(P=ロボット, C1=男性, C2=男性)

- | | |
|----|--|
| 1 | (C1, C2 が入店)) |
| 2 | (10.4) |
| 3 | C1 Hello! (1.2) |
| 4 | P Hey. Hello. |
| 5 | C2 What's your [name]? |
| 6 | P [May I shake hand with you? |
| 7 | C1 (.) Yes! ((C1 が P と握手する)) (2.0) |
| 8 | P My name is Pepper. (.) |
| 9 | C1 Pepper? (.) |
| 10 | P Nice to meet you. (1.2) |
| 11 | C1 (?)((C1 が再び握手を求める)) |
| 12 | P Touch tablet and select. Can I record our behavior? |
| 13 | C1 ((タブレットをタッチする)) |
| 14 | P 試食してみませんか？こちらで試食できます。 |
| 15 | P If you like spicy foods, why don't you try very hot Shichimi?(2.2) |

- | | | |
|----|----|--|
| 16 | C1 | I don't like that food. But I like you! (1.1) |
| 17 | P | You can try medium hot, very hot and yuzu Shichimi.
Please find your favorite spiciness.(1.9) |
| 18 | C1 | No. Can I (?) ((握手を求める)) (3.2) |
| 19 | P | Do you know Shichimi? |
| 20 | C1 | ((質問に答えず帰る)) |

トランスクリプト 14 インタラクションのモデルに当てはまらない行動や発言をした組
(2019年11月21日)

トランスクリプト 14 から、この訪問客は度々ロボットに握手を求め、「I like you」というなどしていたことから商品にまったく興味がなくロボットと単に会話がしたかっただけの訪問客と考えられる。このように、今回作成したインタラクションモデルは商品にまったく興味が無い訪問客に対する接客にはうまくはたらかないケースがあることがわかったが、このようなケースはほかになく、ほとんどの訪問客が少なからず店舗の商品に興味があると予想されるため、本実験では会話の食い違いがあまり起きずロボットが商品の説明が行えていたと考えられる。また本システムにおけるロボットの操作インタフェースでは、ロボットが次の行動を行うためには、操作者が1つ前のロボットの行動に対する訪問客の反応を映像で見て状況を判断し、その状況に応じたボタンを押す必要があるが、トランスクリプト 14 からわかるように、ロボットは訪問客の発言後速やかに何らかの言動を行っていることから、操作時の条件判断も容易に行えていることが分かる。一方で、第3章における実験では、実験者が数あるロボットの行動の中からその場で適当だと思われる行動を選択して接客を行っていることから、本章で用いたロボット操作システムより柔軟に接客ができる可能性はあるが、操作に自由度がある分、ボタンの選択などに時間がかかることや、操作のミスが起きやすいことが考えられる。そのような状態が観察された組の会話をトランスクリプト 15 に示す。

(P=ロボット, C1=女性, C2=女性, C3=男性)

- | | | |
|---|----|---------------------|
| 1 | C1 | Hello! (3.1) |
| 2 | C1 | ((Pの顔を覗き込む)) (4.4) |
| 3 | P | Hello. (1.8) |
| 4 | C1 | オハヨウゴザイマース (6.2) |
| 5 | C1 | コンニチハ. (.) |
| 6 | P | My name is Pepper.= |

- 7 C2 Are you speak English? (.)
- 8 C1 You speak [English?
- 9 C1 [こんに]ちは.
- 10 C1 hhh.
- 11 C2 What's your name? (3.2)
- 12 P Hello. My name is Pepper.(.)
- 13 C2 Pepper.=
- 14 C1 =Where are you [from?]
- 15 P [Nice] to meet you. (.)
- 16 C1 Where you come from? (6.9)
- 17 P I'm from Japan.
- 18 C1 Ah (?) Japan. (?) How old are you? (10.4)
- 19 P Sorry. Could you say again?
- 20 C3 How old are you? (2.0)
- 21 P I don't know.
- 22 C3 No. hhhh ((C1,C2,C3 は P に背を向け離れる))
- 23 C1 ((C1 が P に振り向いて)) You are so [(?).]
- 24 P [May] I shake hand with you? (.)
- 25 C1 Sorry. (4.3)
- 26 P May I shake hand with you? (.)
- 27 C1 Oh. ((C1 は振り返って C2,C3 を見る))
- 28 ((C3 が P と握手する)) (3.0)
- 29 P Nice to meet you.
- 30 C1 OK! Byebye!((C1,C2,C3 は店を出ようとする))
- 31 P Would you like to try a sample? You can taste here.
- 32 C1 We have to go::((P に手を振って帰る))

トランスクリプト 15 行動選択に時間がかかることや操作のミスが観察された組
(2019年4月17日)

トランスクリプト 15 では, 訪問客の「How old are you?」といった質問に答えることができず (18, 19 行目), また返答に 5 秒以上時間がかかってしまうことが数回あったことが分かる (4, 16, 18 行目). 31 行目において試食の提案をしたときには訪問客はすでに帰ろうとしてしまっていた. このように, ロボットに指示を出すためのボタンが雑多に配置されているような操作インターフェースでは, 操作者や操作方法によっては商品説明などの接客を行う機会が失われてしまう可能性がある.

以上から, 本実験で用いた操作インターフェースは操作者があらかじめ決められたルールに沿って行動を選択するだけでよいことから, 次に押すべきボタンを判断し, そのボタンを探すという作業が省略され, 結果としてロボットのサービス提供能力が向上したのではないかと考えられる.

4.3 初心者ユーザの操作による状態遷移モデルの有効性の検証

ここでは, 接客ロボットを操作した経験のないユーザがロボットを操作しても, 効果的な接客を行うことができるのかを調査する.

4.3.1 実験環境

図 43 は, 参加者がロボットを遠隔操作する実験環境を示し, 図 44 は, 参加者に提示されるロボット操作画面を示している. 実験中, 実験者は参加者の背後に置かれたカメラ映像を観察し, 問題があればすぐに対処できるようにした. 接客ロボットが設置された店舗の設定は第 3 章と同様である.

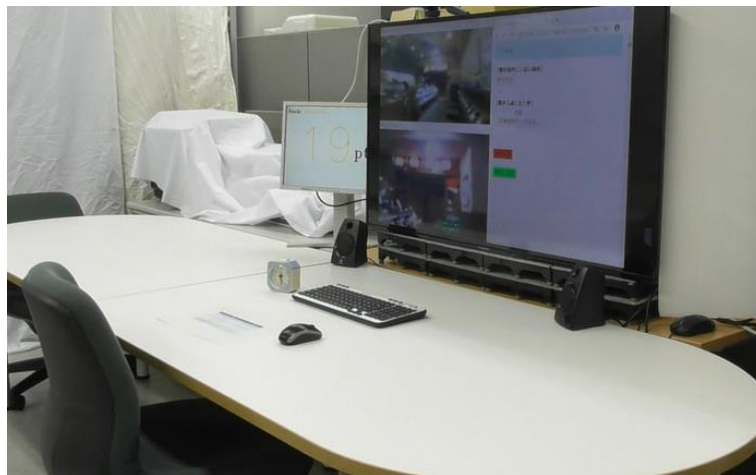


図 43 実験環境



図 44 操作画面

4.3.2 タスク

参加者は、操作前に 10 分間の操作説明を聞いた後、ロボットを 60 分間操作した。操作説明の内容は、京都に実在する店舗に設置されたロボットを操作して接客を行うということ、操作方法として現地の映像をもとに画面に表示された条件を判断してそれに当てはまるボタンをマウスでクリックするだけでロボットの操作が行えるということであった。その後、実験中取った行動の根拠を尋ねるインタビューに答えた。

4.3.3 参加者

関西圏在住の 18 歳から 24 歳の大学学部生 8 名（男性 6 名，女性 2 名）に対して実験を行った。

4.3.4 評価方法

ロボットの操作経験のないユーザでも本操作システムを使用することで、ロボットのソーシャルプレゼンスを改善し、訪問客にロボットの提案を受け入れてもらうことができるのかを調査する。そこで、本研究で開発した状態遷移モデルを用いた場合の被験者による操作、実験者による操作、そして状態遷移モデルに基づかない実験者の自由な操作、3つの実験条件において、試食をした訪問客の割合を比較した。

4.3.5 結果

本実験において、55組中7組の訪問客が試食を行った。そこで、本ロボット操作システムを初めて利用した参加者による操作でもロボットのソーシャルプレゼンスを改善し、試食の提案を受け入れてもらえたのかを調査するため、本実験の訪問客の試食率（55組中7組）を第3章および第4章における実験のそれと比較する。ここでの訪問客の母数は、ロボットと会話を行ったかどうかに関わらず、ロボットが何らかの発言を行った訪問客の総数である。各実験における訪問客の試食数は Fisher の正確確率検定によってこれらの3群に有意差があることが分かったため ($p < .05$)、それら3群に対して多重比較を行う。比較ペア数が3つであることから、ボンフェローニ補正によって有意水準を 0.0167 としたところ、図 45 のように状態遷移モデルあり(実験者操作)と状態遷移モデルなしの条件間、状態遷移モデルあり(被験者操作)と状態遷移モデルなしの条件間で有意差が見られたことから ($p < .0167$)、インタラクションの状態遷移モデルに基づいて接客を行うことで参加者による操作であってもロボットのソーシャルプレゼンスを改善することが分かった。

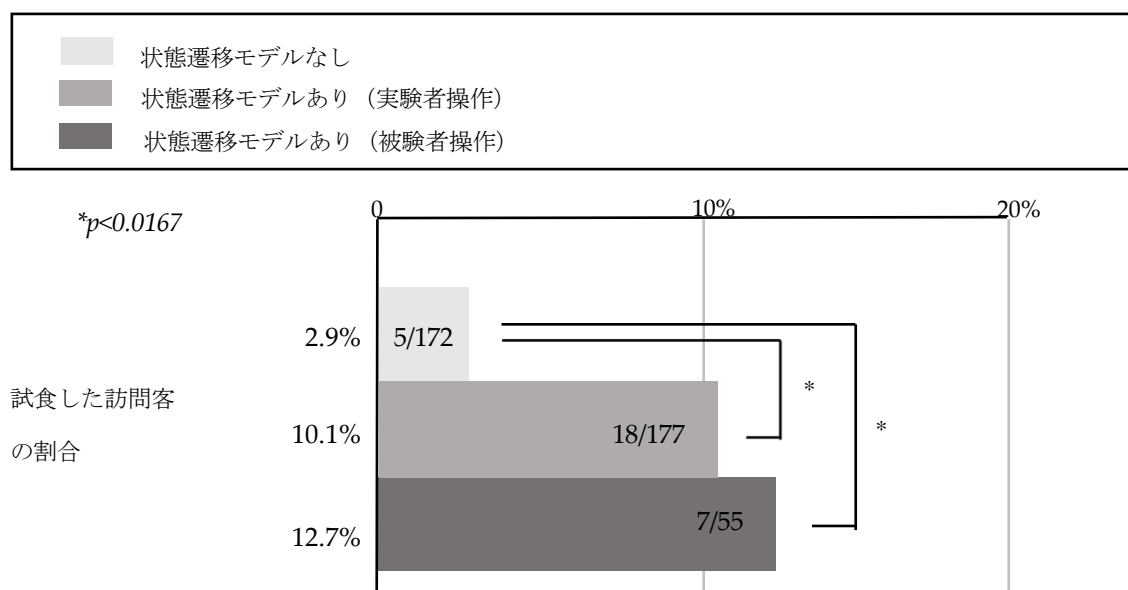


図 45 各条件間における試食割合の比較

4.3.6 考察

図 45 の結果から接客ロボットの操作を経験したことのない参加者であっても、実験者の自由な操作による接客よりもロボットに適切に接客を行わせることができた。したがって、本研究で開発した訪問客とロボットのインタラクションの状態遷移モデルに基づく接客ロボット操作システムは、初心者ユーザ向けとして適切なものであったということがわかった。実験後のインタビューでは操作は簡単だという意見が多く得られた。この理由としては、この操作システムを使うことでリアルタイムの映像に基づいて画面に表示される指示に従ってボタンを選択するだけでロボットを操作できるため、操作経験や商品などの専門知識がなくても操作できるためであると考えられる。本実験および第 4 章で用いた操作システムは操作者が行うことのできるロボットの行動に関する操作が非常に限られたものとなっているため、実験者と被験者といった操作経験が全く異なる人物による操作であっても、ロボットが行う接客に違いが生まれることがなく、接客が行えたと考えられる。

次に操作が楽しかった理由について、実験後のインタビューにおいて「ロボットを操作できたから」「ロボットに指示を出せたから」というような意見が得られた。したがってその理由は、実店舗に設置されたロボットをリアルタイムで遠隔操作するという目新しさであると考えられ、十分時間が経ち、この目新しさが失われた際に、オペレータのモチ

バージョンを維持する方法を考える必要があると考えられる。モチベーションに関する意見としては、インタビューにおいて「もっと操作に自由度があればたのしかった」という意見が数件見られたことから、現状のような、訪問客のある状態に対し、ロボットの行動が1つに決まっているというシステムではなく、そこに3種類程度の選択肢を作って自由に選択してもらうことでシステムへの評価がどのように変化するのかも今後調査すべき課題であると考えられる。さらに、参加者は、訪問客がロボットの握手要求に応答したとき、または訪問客がロボットの呼び込みに反応して入店したときに達成感を感じたとコメントした。このように、参加者が自分で判断して決定したタイミングの操作をきっかけとして接客を成功させた際に達成感を感じるということを示している。したがって、このような選択肢を追加することも有効である可能性がある。

また、操作中に訪問客が店にいない場合など参加者がロボットの操作する必要がある際、マウスを離したり、椅子に寄りかかったり、画面から目をそらしたりする行動が見られた。したがって、ロボットを操作する必要がある際、参加者は退屈だと感じていたと考えられ、次の操作を待つ時間にもモチベーションを維持する方法を考える必要がある。

本研究では、状態遷移モデルに基づくロボット操作とそのモデルに基づかないロボット操作について比較を行ったが、それぞれの実験を行った時期が大きく離れている。したがって、ロボット機能以外の店舗の環境、例えば商品の種類や価格が変わっているということが結果に影響している可能性もある。したがって、今後、同一の店舗環境を用いて比較実験を行う必要性も考えられる。

第5章

総合的考察

本章ではこれまで述べてきた 3 つの実験結果や考察を通して、総合的に明らかになった結果と考察をまとめる。

5.1 まとめ

本研究では、実店舗実験と実験室実験を組み合わせることによって訪問客と接客ロボットの間の相互作用を状態遷移モデルとしてモデル化した。このモデルに基づいてロボットを簡単に操作可能な接客ロボット操作システムを開発し、その操作システムを用いることで、実際の環境でユーザの能力に関係なく、訪問客にロボットの提案を受け入れてもらうためにロボットのソーシャルプレゼンスを改善できることを示した。この理由として考えられるのは、この操作システムでは、操作者は、あらかじめ決められたルールに従ってロボットの行動を選択するだけでロボットの操作を行うことができるため、次に押すボタンを判断して、そのボタンを画面上で探す必要がないためであると考えられる。したがって、訪問客とロボットの間のインタラクションを状態遷移モデル化することでロボット操作が簡素化され効率的な接客が行える程度まで、ロボットのソーシャルプレゼンスが強化されるということが分かった。本研究では操作の簡素化のみに焦点を当てたが、インターネット上の不特定多数のユーザが操作を続けるためには、操作の簡便さに加えて、ゲームのように楽しむことができるインセンティブが必要である。このようなインセンティブの調査は今後の課題である。また、これらの人が行う操作は将来的に機械学習によって置き換えることができる可能性があり、それらの調査は今後の課題である。

5.1 多グループへの拡張

本研究で得られたすべての結論は、1つのグループに対する接客を前提としており、本実験で使用した接客ロボットが同時に接客できるのは1グループのみであった。しかし、実際の店舗においては、同時に多数のグループが訪問するケースがよく見られる。そこで、ロボットがどのように行動すれば多数のグループを同時に応対することができるのか、またロボットがどのように行動すれば他のグループに應對の対象をシフトすることができるのかについても、今後調査していく必要がある。

5.2 店舗の売り上げに対する影響

本実験では、訪問客の購買活動を促進するのに効果的な接客ロボットの操作システムを作ることを目的とし、実際の店舗においてロボットを訪問客と会話させる実験を行った。しかし、本実験ではロボットの行動が直接的に訪問客の購買にどの程度影響したのかはわかっていない。したがって、ロボットの行動と訪問客の購買活動の関係性についての調査は今後の課題である。

5.3 訪問客の注意を引く行動の検討

本研究では、インタラクションの初期において、訪問客のエンゲージメントがある程度高くなった時に接客ロボットが反応をすることで、会話が開始されることがわかった。しかし、ロボットのどのような行動が訪問客のエンゲージメントを向上させるのか、訪問客の注意を引くことができるのかはまだ明らかとなっていない。本研究では訪問客がインタラクションから離脱しようとした際にロボットがラップ歌唱を行うことで訪問客の注意を引くことを最終手段とした。しかし、ロボットに対して一切興味を持たず、ロボットの方を一瞥もしない訪問客がいた場合、ロボットはその訪問客に対して接客を開始できないということになる。先行研究において、人同士のコミュニケーションチャンネルの作り方を観察し、それをもとにロボットを開発するという研究が行われている[41][42]。このような先行研究を参照し、ロボットとの会話を開始する前にロボットの方に振り向き、ロボットに視線を送る訪問客において、ロボットのどのような行動が原因で振り向いたのか、あるいはその振り向き方を観察し、調査することが今後必要である。

5.4 訪問客が子供の場合

実験中、子供が積極的にロボットに近づいてくる場合が多くあった。これまでの研究では大人のインタラクションを中心に評価を行ってきたが子供のインタラクションにおいては大人とは違う評価が必要である。そこで、ここにおいても訪問客の興味をロボットから商品へと誘導することを試みるため、子供とロボットのインタラクションから購買につなげることを考える。子供はロボットに話しかけることが多いが、金銭をもっていないため子供が自ら商品を購入する例は少ない。そこで子供とインタラクションを行いつつ、親に購入を促すことを考える。例えば、子供がロボットと会話を行った際は七味の紹介ではなく「七味ソフトクリーム、山椒ソフトクリームもあるよ。」というように、ソフトクリームの紹介し、「お父さん、お母さんに買ってもらおう」という発言をすることで親が購入する可能性がある。また、このような人が言うと少し厚かましいように思える発言も、ロボットが行うことであまり問題にならない可能性がある。今後この調査を行う場合はこのような機能を搭載したロボットを実際の店舗に置き、訪問客に対してテストする必要がある。

5.5 ロボットと店員との協力における店員の影響

訪問客が実際に試食を行うためには、訪問客が試食用サンプルを見ている時にロボットが人の店員に対して協力を要請する必要があるということがわかった。しかし、ここではロボットと店員が協力をしている。したがって、実際にはロボットの行動だけでなく店員の行動も訪問客の試食行動に影響しているはずである。店員がどのように訪問客に試食を勧めるかということが訪問客の試食を行うかどうかという振る舞いに影響するはずである。今回は全データにおいてロボットの違いだけにおける結果となったが今後はこの人の行動の影響も調査していく必要がある。

5.6 制限事項と今後の課題

訪研究における実験は京都にある七味専門店「ちんたら」において行った。したがって、京都という場所や七味という香辛料など、興味のある人の性別や年齢層、または国籍

など訪れやすい訪問客の種類が偏っている可能性が考えられる。本実験では、七味に興味のある外国人や高い年齢層の日本人が多く、特定の人に対してのみ観察を行ったことになる。したがって、今後はこの七味専門店に限らず、様々な場所で実験を行う必要がある。国籍や性別での違いも調査していないため、今後調査したい。先行研究によると、人とロボットの共同作業においては人がロボットの役割と、その有用性を受け入れることが重要であり、その人のロボットに対する認識は、技術的な問題だけではなく、文化的な問題もあるということが分かっている[30]。本研究では、特定の種類の店で特定の期間に実験を行ったため、今後他の文化や異なった期間でこのアプローチに関する調査を行うことでより興味深い結果が得られる可能性がある。また、今回は訪問客に対してアンケートを実施しなかった。今後実験結果に影響しないような方法によってアンケートを実施したいと考えている。さらに本実験では、ロボットと訪問客の間のインタラクションにおける定性的な評価が中心であったため、今後は実験室実験も行いこれらの結果と比較をしていく必要がある。

第6章

おわりに

本研究は、初心者ユーザでも実店舗に設置された接客ロボットを遠隔操作することで、そのソーシャルプレゼンスを強化し、訪問客にロボットの提案を受け入れてもらうことができるような接客ロボット遠隔操作システムを開発することを目的とした。実店舗における訪問客とロボットのインタラクションを状態遷移モデル化し、それに基づいた接客ロボット遠隔操作システムを用いた被験者実験を行うことで、初心者ユーザでも接客ロボットを適切に操作可能であるか、ロボットのソーシャルプレゼンスを高めることができるかどうかを調査した。その結果、本モデルを用いたロボット遠隔操作システムが、操作経験のない初心者による操作でも接客ロボットのソーシャルプレゼンスを強化し、訪問客の購買活動を促進させることが分かった。このような結果が得られた原因として、インタラクションを状態遷移モデル化したことで、ロボットの動作の一部がリアルタイムのセンサ情報に基づいて自動化され、さらにユーザはそのモデルに沿って操作者が操作システムの画面上に表示された指示に従うだけで簡単にロボットの操作ができたことが主要なものであると考えられる。したがって、本研究から得られた重要な知見は、実際の店舗における客とロボットのインタラクションを状態遷移モデル化することによって、インターネット上の一般ユーザによる接客ロボットの遠隔操作を可能にするということを示しており、未経験者の操作による接客ロボットが訪問客の購買活動を促進させることができるということが明らかとなった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、種々の貴重なご教示を終始賜りました大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻 中西 英之 准教授に対して心より感謝の意を表します。大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻 石黒 浩 教授、ならびに大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻 細田 耕 教授には、本論文の副査を快く引き受けていただき、本論文の細部にわたりご指導を頂きました。埼玉大学 教養学部 教養学科現代社会専修課程 山崎 敬一 教授には、本研究に関する貴重な助言を頂きました。深く御礼申し上げます。また、京七味専門店ちんとの皆様には実験場所の提供および実験における多大な協力を頂きました。京都イノベーション株式会社代表取締役 河村 竜幸様には実店舗実験の実施において多大な協力を頂きました。大西 裕也 氏、櫛田 佳那 氏には研究の進め方、取り組み方など多くの助言、協力を頂きました。周 剣 氏、小池 祐輝 氏、池田 瑞 氏、Michelle Geilenberg 氏、金 延儒 氏、岡崎 寛之 氏、金子 翔 氏、見浪 遼太 氏には実験や分析にご協力頂きました。心より御礼申し上げます。最後に、本研究遂行にあたり、日頃より有益なご討論ご助言を頂いた中西研究室の皆様には、心より厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Kuno, Y., Sadazuka, K., Kawashima, M., Yamazaki, K., Yamazaki, A., & Kuzuoka, H. Museum guide robot based on sociological interaction analysis. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 2007. p. 1191-1194.
- [2] 山崎 晶子, 荻野 洋, 山崎 敬一, & 葛岡 英明. 科学博物館における身体ひねりを用いたロボット (TalkTorque-2) と観客との相互行為の分析. *電子情報通信学会論文誌 D*, 2014, 97.1: 28-38.
- [3] Yamazaki, A., Yamazaki, K., Kuno, Y., Burdelski, M., Kawashima, M., & Kuzuoka, H. Precision timing in human-robot interaction: coordination of head movement and utterance. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2008. p. 131-140.
- [4] Gehle, R., Pitsch, K., & Wrede, S. Signaling trouble in robot-to-group interaction. emerging visitor dynamics with a museum guide robot. In: *Proceedings of the second international conference on Human-agent interaction*. 2014. p. 361-368.
- [5] Bennewitz, M., Faber, F., Joho, D., Schreiber, M., & Behnke, S. Towards a humanoid museum guide robot that interacts with multiple persons. In: *5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005*. IEEE, 2005. p. 418-423.
- [6] Tanaka, F., Isshiki, K., Takahashi, F., Uekusa, M., Sei, R., & Hayashi, K. Pepper learns together with children: Development of an educational application. In: *2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*. IEEE, 2015. p. 270-275.
- [7] Nakanishi, J., Kuramoto, I., Baba, J., Kohei, O., Yoshikawa, Y., & Ishiguro, H. Can a humanoid robot engage in heartwarming interaction service at a hotel?. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Human-Agent Interaction*. 2018. p. 45-53.
- [8] Nakanishi, J., Kuramoto, I., Baba, J., Ogawa, K., Yoshikawa, Y., & Ishiguro, H. *SN Applied Sciences*, 2020, 2.3: 1-13.
- [9] Kanda, T., Ishiguro, H., & Ishida, T. Psychological analysis on human-robot interaction. In: *Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164)*. IEEE, 2001. p. 4166-4173.
- [10] Kanda, T., Ishiguro, H., Imai, M., & Ono, T. Body movement analysis of human-robot interaction. In: *IJCAI*. 2003. p. 177-182.
- [11] Shiomi, M., Kanda, T., Ishiguro, H., & Hagita, N. Interactive humanoid robots for a science museum. In: *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction*. 2006. p. 305-312.
- [12] Sidner, C. L., Lee, C., Kidd, C., Lesh, N., & Rich, C. Explorations in engagement for humans and robots. *arXiv preprint cs/0507056*, 2005.
- [13] Yamaoka, F., Kanda, T., Ishiguro, H., & Hagita, N. Interacting with a human or a humanoid robot?. In: *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2007. p. 2685-2691.
- [14] Kuzuoka, H., Pitsch, K., Suzuki, Y., Kawaguchi, I., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Kuno, Y., Luff, P., & Heath, C. Effect of restarts and pauses on achieving a state of mutual orientation between a human and a robot. In: *Proceedings of the 2008 ACM conference on Computer supported*

- cooperative work*. 2008. p. 201-204.
- [15] 川ロー画, 葛岡英明, 鈴木祐也, 中尾誉, 山下淳, カローラピッチ, & 山崎敬一. ロボットの発話途中の沈黙と言い直しによる人の注意誘導 (< 特集> デジタルミュージアム・アーカイビング). *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 2009, 14.3: 257-263.
- [16] 石超, 佐竹聡, 神田崇行, & 石黒浩. 客引きロボット導入に向けた社会実験. *日本ロボット学会誌*, 2017, 35.4: 334-345.
- [17] Shiomi, M., Shinozawa, K., Nakagawa, Y., Miyashita, T., Sakamoto, T., Terakubo, T., Ishiguro, H., & Hagita, N. Recommendation effects of a social robot for advertisement-use context in a shopping mall. *International Journal of Social Robotics*, 2013, 5.2: 251-262.
- [18] Nakagawa, K., Shiomi, M., Shinozawa, K., Matsumura, R., Ishiguro, H., & Hagita, N. Effect of robot's whispering behavior on people's motivation. *International Journal of Social Robotics*, 2013, 5.1: 5-16.
- [19] Qureshi, A. H., Nakamura, Y., Yoshikawa, Y., & Ishiguro, H. Robot gains social intelligence through multimodal deep reinforcement learning. In: *2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*. IEEE, 2016. p. 745-751.
- [20] Crusco, A. H., & Wetzel, C. G. The Midas touch: The effects of interpersonal touch on restaurant tipping. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 1984, 10.4: 512-517.
- [21] Niemelä, M., Arvola, A., & Aaltonen, I. Monitoring the acceptance of a social service robot in a shopping mall: first results. In: *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction*. 2017. p. 225-226.
- [22] Niemelä, M., Heikkilä, P., & Lammi, H. A social service robot in a shopping mall: expectations of the management, retailers and consumers. In: *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. 2017. p. 227-228.
- [23] Saerbeck, M., Schut, T., Bartneck, C., & Janse, M. D. Expressive robots in education: varying the degree of social supportive behavior of a robotic tutor. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. 2010. p. 1613-1622.
- [24] Kanda, T., Shiomi, M., Miyashita, Z., Ishiguro, H., & Hagita, N. A communication robot in a shopping mall. *IEEE Transactions on Robotics*, 2010, 26.5: 897-913.
- [25] Cosgun, A., Florencio, D. A., & Christensen, H. I. Autonomous person following for telepresence robots. In: *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE*, 2013. p. 4335-4342.
- [26] Tsui, K. M., Norton, A., Brooks, D. J., McCann, E., Medvedev, M. S., & Yanco, H. A. Design and development of two generations of semi-autonomous social telepresence robots. In: *2013 IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*. IEEE, 2013. p. 1-6.
- [27] Kelley, J. F. An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 1984, 2.1: 26-41.
- [28] Redondo, M. E. L. Comfortability Detection for Adaptive Human-Robot Interactions. In: *2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW)*. IEEE, 2019. p. 35-39.
- [29] Coyne, A. K., Murtagh, A., & McGinn, C. Using the Geneva Emotion Wheel to Measure Perceived Affect in Human-Robot Interaction. In: *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. 2020. p. 491-498.
- [30] Podpora, M., Gardecki, A., Beniak, R., Klin, B., Vicario, J. L., & Kawala-Sterniuk, A. Human Interaction Smart Subsystem—Extending Speech-Based Human-Robot Interaction Systems with an Implementation of External Smart Sensors. *Sensors*, 2020, 20.8: 2376.

- [31] Knapp, M. L., Hall, J. A., & Horgan, T. G. *Nonverbal communication in human interaction*. Cengage Learning, 2013.
- [32] Castellano, G., Leite, I., Pereira, A., Martinho, C., Paiva, A., & Mcowan, P. W. Context-sensitive affect recognition for a robotic game companion. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiIS)*, 2014, 4.2: 1-25.
- [33] Lee, M. K., Forlizzi, J., Kiesler, S., Rybski, P., Antanitis, J., & Savetsila, S. A longitudinal field experiment. In: *2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. IEEE, 2012. p. 319-326.
- [34] Michalowski, M. P., Sabanovic, S., & Simmons, R. A spatial model of engagement for a social robot. In: *9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2006*. IEEE, 2006. p. 762-767.
- [35] 神田崇行. ロボットメディアによる人間情報処理研究: 4. コミュニケーションロボットと人間との距離. *情報処理*, 2008, 49.1: 24-29.
- [36] 宮澤幸希, 常世徹, 榎井祐介, 松尾智信, & 菊池英明. 音声対話システムにおける継続欲求の高いインタラクションの要因. *電子情報通信学会論文誌 A*, 2012, 95.1: 27-36.
- [37] Heilman, C., Lakishyk, K., & Radas, S. An empirical investigation of in-store sampling promotions. *British Food Journal*, 2011.
- [38] Tonkin, M., Vitale, J., Ojha, S., Williams, M. A., Fuller, P., Judge, W., & Wang, X. Would you like to sample? robot engagement in a shopping centre. In: *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*. IEEE, 2017. p. 42-49.
- [39] Hitchcock, D. B. Yates and contingency tables: 75 years later. *Electron. J. Hist. Probab. Stat*, 2009, 5: 1-14.
- [40] Meissner, A., Trübswetter, A., Conti-Kufner, A. S., & Schmidtler, J. Friend or foe? understanding assembly workers' acceptance of human-robot collaboration. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 2020, 10.1: 1-30.
- [41] 秋谷直矩, 丹羽仁史, 岡田真依, 山崎敬一, 小林貴訓, 久野義徳, & 山崎晶子. 高齢者介護施設におけるコミュニケーションチャンネル確立過程の分析と支援システムの提案. *情報処理学会論文誌*, 2009, 50.1: 302-313.
- [42] Imai, M., Ono, T., & Ishiguro, H. Physical relation and expression: Joint attention for human-robot interaction. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2003, 50.4: 636-643.

業績リスト

学術論文誌(査読有り)

- [1] **Masaya Iwasaki**, Jian Zhou, Mizuki Ikeda, Yuki Koike, Yuya Onishi, Tatsuyuki Kawamura and Hideyuki Nakanishi. “That Robot Stared Back at Me!”: Demonstrating Perceptual Ability is Key to Successful Human-Robot Interactions. *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 6, 85, 2019.
- [2] **Masaya Iwasaki**, Mizuki Ikeda, Tatsuyuki Kawamura and Hideyuki Nakanishi. State-Transition Modeling of Human–Robot Interaction for Easy Crowdsourced Robot Control. *Sensors*, vol. 20, no. 22, 6529, 2020.

国際会議論文(査読有り)

- [1] **Masaya Iwasaki**, Jian Zhou, Mizuki Ikeda, Tatsuyuki Kawamura and Hideyuki Nakanishi. “A Customer's Attitude to a Robotic Salesperson Depends on Their Initial Interaction.” *International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2018)*, pp. 300-305, 2018.
- [2] **Masaya Iwasaki**, Jian Zhou, Mizuki Ikeda, Yuya Onishi, Tatsuyuki Kawamura and Hideyuki Nakanishi. Acting as if Being Aware of Visitors' Attention Strengthens a Robotic Salesperson's Social Presence. *7th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI2019)*, pp. 19-27, 2019.

国内会議論文(査読有り)

- [1] **岩崎 雅矢**, 周 剣, 池田 瑞, 小池 祐輝, 大西 裕也, 河村 竜幸, 中西 英之, 人の振る舞いへの気付きの表出によるロボットのソーシャルプレゼンスの強化, *インタラクシオン 2019*, pp. 38-47, 2019.

国内会議論文(査読無し)

- [1] 周 剣, **岩崎 雅矢**, 河村 竜幸, 中西 英之, 実店舗における接客ロボットが会話を開始するタイミングの検討, *HAI シンポジウム 2017, G-19*, 2017.
- [2] 周 剣, **岩崎 雅矢**, 金 延儒, ミシェル ガイレンベルグ, 池田 瑞, 河村 竜幸, 中西 英之, 訪問客のエンゲージメントに基づいた接客ロボットの社会的応答, 第 32 回人工知能学会全国大会, 3C2-OS-14b-01, 2018.

- [3] 岩崎 雅矢, 小池 祐輝, 大西 裕也, 中西 英之, “相互注視誘発型見返し行動によるロボットの社会的プレゼンスの向上”, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2018-HCI-179, 14, pp. 1-8, 2018.
- [4] 金子 翔, 岩崎 雅矢, 中西 英之. 接客ロボットを拡張する同調効果創出バーチャルエージェントによる説得力の強化. 情報処理学会研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション, 2019-HCI-184, No. 18, 2019.
- [5] 池田 瑞, 岩崎 雅矢, 河村 竜幸, 中西 英之. 不特定多数による遠隔操作の実現に向けた接客ロボットと客とのインタラクションの状態遷移モデル化. HAI シンポジウム 2020, G-11, 2020.

ポスター発表

- [1] Jian Zhou, Masaya Iwasaki, Mizuki Ikeda, Michelle Geilenberg, Tatsuyuki Kawamura, Hideyuki Nakanishi, Toward a Socially Intelligent Robotic Salesperson: A Preliminary Field Experiment in Kyoto's Nishiki Market, *The 1st International Symposium on Systems Intelligence Division*, 2018.
- [2] Masaya Iwasaki, Jian Zhou, Yuki Koike, Yuya Onishi, Tatsuyuki Kawamura and Hideyuki Nakanishi. Appropriate Timing of a Robot's Talk Enhances Its Social Presence. *The 1st International Symposium on Systems Intelligence Division*, 2019.