

物体の擬人化を利用した 情報提示手法の提案と評価

2008年度

大澤 博隆

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 本研究の独創的な点	2
1.3 本研究の意義	4
1.3.1 費用・空間の節約	4
1.3.2 自己説明型の情報提示	6
1.3.3 仮想的身体像の提示	6
1.4 本論文の構成	7
第2章 関連研究	9
2.1 人間は対象をどのように擬人化するか	9
2.1.1 人間でない物に対する人間の擬人化傾向	9
2.1.2 どのような外見がユーザの擬人化を促進するか	10
2.1.3 本研究との関連	11
2.2 擬人化によって得られる効果	11
2.2.1 人を模した外観が人間に与える効果	12
2.2.2 擬人化された振舞いが人間に想起させるイメージの利用	15
2.2.3 本研究の助けとなる要素	17
2.3 ロボット研究における当研究の新しさ	17
第3章 本研究の目的	20
3.1 本研究における提案	20
3.2 研究実現のための手法	21
第4章 擬人化デバイスの設計	23
4.1 目パーツの設計	23
4.2 腕パーツの設計	25
第5章 ディスプレイロボットの実装	26
5.1 目パーツの実装	26
5.2 腕パーツの実装	28

5.3	ハードウェア	28
5.3.1	カメラ及びマイク	28
5.3.2	制御用PC	30
5.4	ソフトウェア	30
5.4.1	状況モジュール	31
5.4.2	身体イメージモジュール	32
5.4.3	環境認識モジュール	32
5.4.4	動作・音声再生モジュール	33
第6章	擬人化手法の擬人化可能性の調査実験	35
6.1	仮説	35
6.2	実験指示	35
6.3	実験環境	37
6.4	実験結果	38
6.5	考察	39
第7章	擬人化による仮想的身体像の評価実験	43
7.1	身体部品取付け位置による身体部位の変化	43
7.1.1	仮説	45
7.1.2	実験指示と環境	46
7.1.3	質問項目	46
7.1.4	実験結果	48
7.1.5	考察	50
7.2	身体部品同士の位置関係による仮想的身体像の変化	51
7.2.1	評価手段	51
7.2.2	実験場所	52
7.2.3	評価結果	52
7.3	身体部品の有無による身体像の明示化	54
7.3.1	実験環境と被験者	54
7.3.2	実験仮説	56
7.3.3	実験結果	57
7.3.4	考察	58
第8章	擬人化が受け入れられる性別・年代の評価実験	66
8.1	評価環境	66
8.2	評価手法	67
8.3	結果	67
8.3.1	主成分分析によるによる社交性値結果	68
8.4	考察	69

8.4.1	性別による評価の差	69
8.4.2	年代による評価の差	70
8.4.3	視線を受けたときの評価	71
8.4.4	呼びかけを受けたときの評価	71
第9章	擬人化による対話的な情報提示の評価	75
9.1	実験仮説	75
9.2	実験条件	75
9.3	実験環境	76
9.4	実験期間と場所	78
9.5	実験手順および被験者への指示	78
9.6	被験者	83
9.7	測定方法	83
9.8	実験予測	84
9.9	結果	85
9.10	実験結果に対する考察	87
第10章	将来課題	90
10.1	将来のロボット研究における対象分野	90
10.1.1	擬人化度合の調整による研究分野の開拓	90
10.1.2	擬人化によるHRI研究への貢献	92
10.2	擬人化を応用したアプリケーション	92
10.2.1	教育用途	92
10.2.2	緊急時の行動制御	93
第11章	結論	94
付録A	使用した統計手法	106
A.1	検定手法の原理と分類	106
A.1.1	統計的検定の原理	106
A.1.2	検定手法の分類	107
A.2	ノンパラメトリック検定	107
A.2.1	t検定	107
A.3	パラメトリック検定	108
A.3.1	χ^2 検定	108
A.3.2	Fisherの正確確率検定	108
A.4	主成分分析	109

目次

1.1	直接擬人化手法によるユーザへの情報提示	3
1.2	HCI・HAI・直接擬人化手法の違い	5
1.3	身体を用いた実世界上の情報提示・比喩を用いた情報提示	7
2.1	目とそれ以外の図によるユーザの支払量の変化	13
2.2	Kismet の外見	14
2.3	Kismet によって可能となる感情表現	15
2.4	既存のロボット研究の研究領域と当研究が対象とする研究領域	18
3.1	各実験が研究にもたらす知見の領域	22
4.1	人間の目	24
4.2	目の動作図	24
4.3	虹彩位置の決定	24
4.4	目パーツの角度の決定	25
4.5	腕によるポインティング	25
5.1	目パーツの外見	27
5.2	腕パーツの外見	29
5.3	ハードウェア構成図	30
5.4	カメラ外見	31
5.5	ソフトウェア構成	33
5.6	両カメラによる画像認識	34
6.1	実験群と対象群	36
6.2	実験群の様子	37
6.3	実験環境	39
6.4	各物体に触った被験者	41
6.5	冷蔵庫に物を入れた被験者	41
7.1	仮想的身体像の分類	44
7.2	目パーツの位置による仮想的身体像の変更例	45

7.3	EYE-ON-TOP 群の様子	47
7.4	EYE-ON-BOTTOM 群の様子	47
7.5	「それが欲しい」という発話後の果物の位置	48
7.6	質問 1: 装置の言ったことが理解できましたか?	49
7.7	質問 2: 「それが欲しい」という単語の意味が理解が出来ましたか?	49
7.8	質問 3: 「僕のお腹に入れてね」という単語の意味が理解が出来ましたか?	50
7.9	擬人化されたゴミ箱	51
7.10	擬人化されたエクササイズバイク	52
7.11	仮想的身体像分割図	53
7.12	目と手が同じ高さにある例	54
7.13	目と手が違う高さにある例	55
7.14	実験概要図	56
7.15	実験に使用した 3 群	57
7.16	1 番目の指示「青い本を右に置いてね」に対する反応	58
7.17	2 番目の指示「人形を足元に置いてね」に対する反応	59
7.18	3 番目の指示「黒いコップを上に入れてね」に対する反応	60
7.19	4 番目の指示「白いコップを正面に入れてね」に対する反応	61
7.20	5 番目の指示「白いファイルを頭の上に入れてね」に対する反応	62
7.21	6 番目の指示「黒いテープをお腹に入れてね」に対する反応	63
7.22	7 番目の指示「お尻を触ってね」に対する反応	64
7.23	8 番目の指示「白いコップを右に入れてね」に対する反応	65
8.1	インタラクションの流れ	67
8.2	性別による社交性値の差	69
8.3	年代による社交性値の差	70
9.1	実験群 (上) と対照群 (下) の実験風景	77
9.2	実験システム図	79
9.3	プリンタの仮想的身体像	82
9.4	プリンタ機能の正答数の差	85
9.5	正答数分布	86
9.6	実験群 (上) と対照群 (下) の注視時間割合	88
10.1	擬人化研究が将来的に対象とする研究分野	91

表目次

5.1	目パーツの構成	27
5.2	腕パーツの構成	28
5.3	Vaio U70P の仕様	32
5.4	コンテンツ変換	32
5.5	仮想的身体像	34
6.1	物体の場所	38
6.2	各物体に対する実験群の被験者の行動	40
6.3	各物体に対する対照群の被験者の行動	40
6.4	物体に触った被験者	40
6.5	冷蔵庫に物を入れた被験者	40
7.1	被験者が果物を置いた置き場所	48
8.1	各形容詞対	68
8.2	主成分分析結果	72
8.3	見られたときの評価	73
8.4	呼びかけられた時の評価	74
A.1	クロス表	108

第1章

序論

1.1 はじめに

近年，計算機の小型化と高性能化に伴い，身の回りに存在する家電製品・工業製品に計算機が搭載されるようになった．身の回りのデバイスに計算機資源が遍在するようになった社会をユビキタス社会と呼ぶ [1]．高機能化された機器は，入力された情報を元に情報を蓄え，処理を行い，他の機器と通信することによってユーザにサービスを行うようになった．サービスの例として，家電機器の智能化・ネットワーク化，電子マネーを使った電子決済の発達，RFIDを使った物品の管理などが挙げられる [2] [3] [4]．たとえば，智能化された冷蔵庫は，中に入れられた食べ物の賞味期限を食べ物につけられたRFIDから判断し，ユーザに対し警告を行うことが可能となる．また，智能化されたエアコンディショナーは，外部の天気と連動して，室内の温度・湿度を調節することが可能となる．電子マネーを使った決済では，カード自体に搭載された計算機によって，金額・使用履歴を暗号化して保存することが可能である．

計算機の発達による機器の高機能化に平行して，外部の環境情報を取得するセンサ技術も発達し，ユーザの周囲の実世界環境情報を利用した情報処理も容易になってきている．例えば，3D超音波タグ [5] は，屋内のオブジェクトの位置を数 cm の誤差で検出することが可能である．また，屋外位置の取得センサとして，衛星からの信号を元に位置情報を測定するGPS [6]，無線LAN情報を用いるPlaceEngine [7] 等が既に存在する．また，位置情報に限らない例として，Maddenらによって開発されたMICA-MOTE [8] では，温度や明るさ，加速度など，大量の環境データを取得することができる．以上のように，機器内部・機器外部に計算機が遍在し，人間にサービスを行う環境を，ユビキタス環境と呼ぶ．

ユビキタス環境下では，機器自体が持つ機能や，機器がユーザに対し提示しなければならない情報は爆発的に増加する．これに伴い，ユーザは現在よりも多量な情報を受け取り，理解しなければならない．従来では簡易な説明書を用意し，擬人化された機器のイラストを載せながら，喜んでいる，苦しんでいるといったよう

に、機器の状態を人間と同じように直感的に表したり、バーチャルエージェントやロボットなど、人を模したエージェントを介して、人が行うのと同じようなインタラクションを想起させつつ情報を提示したり、といった解決手法がとられてきた。

しかしながらユーザにとって、与えられた簡易な説明書を一方的に読むだけでは、興味を持続しつつ機器の機能や情報を把握するのは難しい。たとえば、新しい機器の操作法を知る際、ユーザは説明書だけ読んでも、どの機能が実際に必要となるかはわからない。ユーザが機能を必要とする場面にあわせてユーザに選択肢を提示しなければ、ユーザは機器の持つ機能を適切に用いることができない。さらに、ユーザに対し情報を伝えるときには、ユーザの認知状態・感情状態にあわせ、段階的に伝えるなどの工夫も必要となる。たとえば、ユーザにとって必要な天気情報は、ユーザが活動する範囲に絞って通知する、などの工夫が必要となる。また、ロボットやバーチャルエージェントなど、機器と独立して存在する擬人化エージェントを使用する場合、ユーザが擬人化エージェント自体に注目してしまい、与えたい情報からユーザの注意がそらされてしまう、という問題が存在する。

本研究では、機器からの情報をユーザにわかりやすく伝える情報提示手法の一例として、直接擬人化手法を提案する。直接擬人化手法では、すでに存在する機器・物体に対して目や手など、人が持つのと同じような身体部品を模したロボットデバイスを取り付けて、物体に人と同じような外見を持たせ、物体の機能や情報をユーザに対話形式で提示する。そして、直接擬人化手法を利用して機器から情報を提示するロボットシステム『ディスプレイロボット』を提案する。直接擬人化手法によって、機器は人間が表現するのと同様なジェスチャ、位置の指示、表情、感情の発露を用いながら、ユーザに対し情報を提示することが可能となる。本手法はいわば、一般の機器に用意された簡易説明書に載っている機器を擬人化したイラストを、実世界のインタラクション形式として再現する手法となる。直接擬人化手法によるユーザへの情報提示図を図 1.1 に示す。本研究では、擬人化を『ユーザが、対象を人間と同じような状態を持つ対話可能対象として見る事ができるようにすること』と定義する。本手法によって、ユーザはあたかも、そこに身体を持った対話者が存在するかのように物体とインタラクションを行うことができる。よって、機器自体から見た位置情報の提示や身体部品名を用いた用いた比喻表現などを、対象が擬人化されていないときと比べ、違和感無く行うことができる。

1.2 本研究の独創的な点

機器の情報提示を円滑に行う既存技術として、バーチャルエージェントやロボットなど、独立した擬人化エージェントを介し、場面に合わせて情報をユーザに適切に伝える HAI (ヒューマンエージェントインタラクション) という研究分野が存在する [9]。HAI では、人間同士の対話に使われる対話距離・感情表現・動作・発

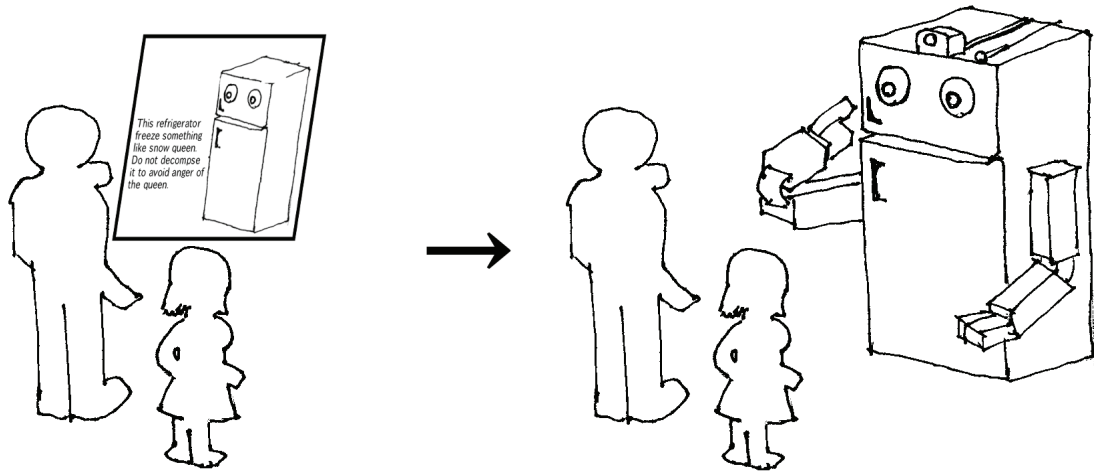


図 1.1: 直接擬人化手法によるユーザへの情報提示

話タイミングに注目し、同じような対話距離・感情表現・動作・発話タイミングを持った擬人化エージェントを媒介としてユーザに情報を伝える。エージェントの例として、たとえば、複雑なソフトウェアの解説を行う Microsoft Agent、複雑な操作を段階的に伝え、人間の緊張をほぐし、集中を促すための券売機・ATM のバーチャルエージェントや、博物館での案内や量販店での情報提示など、実在する身体を使って人間に情報を提示するヒューマノイドロボットが挙げられる。

しかしながら本研究で提案する直接擬人化手法では、独立した擬人化エージェントを用いず、既存の物体に身体部品を取り付けることにより物体が擬人化エージェントと化し、ユーザとインタラクションを行う。既存の物体がエージェントとなるため、ユーザは独立したエージェントを新しく認識する必要がない。また、本手法によってユーザが認知する擬人化エージェントの身体は、普通の擬人化エージェントと異なり、身体部品の取り付け方によって変化する。さらに本研究では、適切な擬人化表現を行うため、どのように身体部品を取り付ければユーザが対象に対し、その対象の身体を認識できるのか、ユーザのモデルも調べる。

また、ロボット研究のうち、特にヒューマノイド研究においては、人間を模したロボットを作ること、人間を研究するという動機を持つため、人間に類似したロボットを作り出すことを目標としている [10]。これに対し、本研究では、人間を目指すのではなく、人間を構成する要素部品を抽象化して、どの部品がユーザに対してどのような影響を与えるか、一つ一つ検討する。人間同士のインタラクションや、ヒューマノイドロボットのような人間に似せたロボットとのインタラクションでは、人間に似せたインタラクションが理想とされる。しかしながら、当研究で提案する直接擬人化手法では、状況に応じて対象を擬人化し、状況によっては付与しない、という選択を行うことが可能である。よって、人間を模したヒューマノイドよりも、はるかに多様なデザインを持つインタフェースを、環境中につくり出す事

が可能となる。

対象が部分的に擬人化されていたり、擬人化要素が欠落していたり、簡素であったり、過剰に装飾されていたりしても、ユーザは人間的な要素を自ら積極的に読み取ろうとすることが、いくつかの研究により示されている [11][12]。また、リアルな人間でなく、人間をある程度抽象化して表現した方が、完全に人間を模したものより情報提示をより良く行うことも、Yeeらによって示されている [13]。以上の研究より、部分的な擬人化によって作られるインタフェースは、人間にとって重要な部分を強調したり、必要の無い部分を削減する事で、人間の持つインタフェースを最大限に利用した情報提示を可能にするのではないかと考えられる。

本研究と既存の HCI・HAI 研究の違いを図 1.2 にまとめる。既存の HCI 研究では、人間と物体のインタラクションにおいて、物体のインタフェースを改良する事を目指している (図 1.2a)。また、既存の HAI 研究では、人間と物体の間にコンピュータ上のバーチャルエージェントやコミュニケーションロボットなどの擬人化エージェントを置き、エージェントとのインタラクションによってユーザへ情報を提示する (図 1.2b)。これに対し、本研究で提案する直接擬人化手法では、対象となる物体がエージェントに変化することで、擬人化エージェントとのメリットを生かしつつ、間にエージェントを介さない人間と物体の直接的なインタラクションを可能とする (図 1.2c)。

1.3 本研究の意義

本研究で行う直接擬人化手法は、対象に対し、目や手などの身体部品を取り付け、対象を人間と対話可能な擬人化エージェントとする技術である。従って直接擬人化手法では、既存の HAI 研究でおこなわれてきたモデルをそのまま対象に適用することができる。中本らの研究により、加齢に従って矢印による指示に対する反応時間は増加するが、視線など、擬人化された表現に対する反応時間は増加しない事が指摘されている [14]。このように、擬人化された表現は単純な指示表現に比べ、人間にとってより直感的であり、興味を引きやすく、万人に対して理解しやすい表現であると考えられる。

さらに、直接擬人化手法によって、初めて期待できる効果には、次のものがある。

1.3.1 費用・空間の節約

本研究で提案する直接擬人化手法では、コミュニケーションロボットのような、実世界上に独立した身体を持つ擬人化エージェントを新たに設置するのではなく、ユーザが機器に対して元々抱く身体性を引き出した情報提示が可能である。これにより、ユーザと物体の間に擬人化エージェントを置く場合に比べ、設置費用が少な

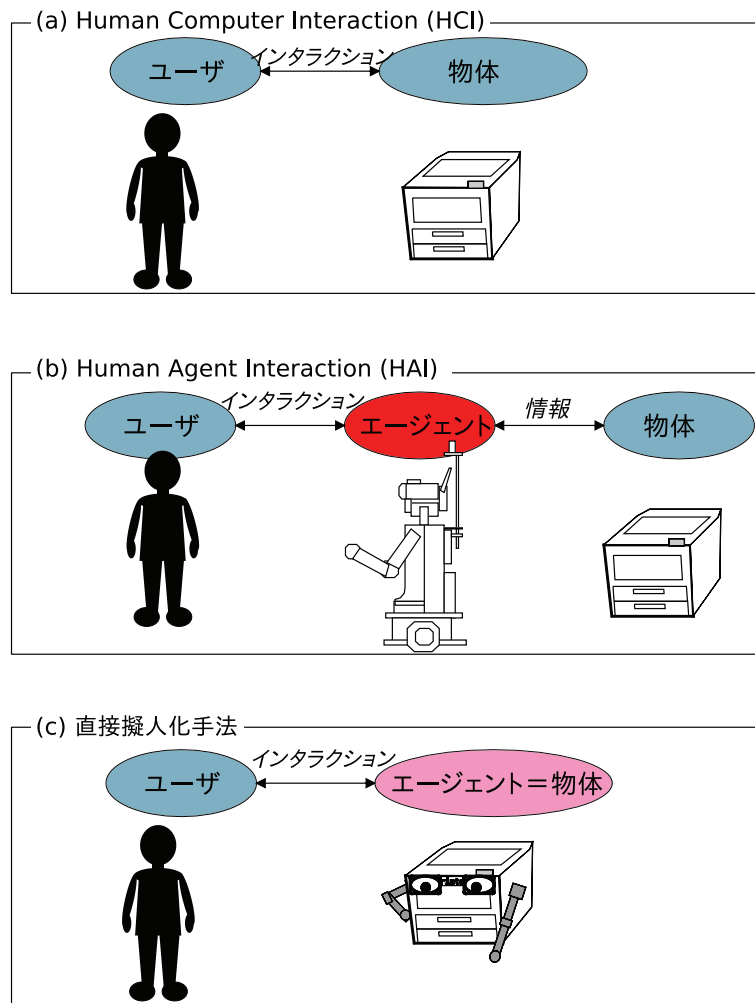


図 1.2: HCI・HAI・直接擬人化手法の違い

く、設置空間を大きく要しない情報提示をすることが可能である。例えば、店内・病院内など、普通のコミュニケーションロボットでは空間を大きく占有してしまい、ユーザの行動に支障が出る場合にも、いくつかの身体部品を取り付けるだけで、コミュニケーションロボットと同じ大きさの身体の印象をユーザに与え、情報を提示することが可能となる。

1.3.2 自己説明型の情報提示

本研究で提案する直接擬人化手法では、対象と別に擬人化エージェントを置き、情報提示をする手法に比べ、ユーザの興味を引きやすく、ユーザが理解しやすい情報提示をすることができる。従来の HAI 手法では、情報提示の際に、人間や動物の形をした情報提示のためのエージェントを置く。このエージェントは、情報提示対象となる物体と関連性が薄いため、情報提示の説得力は弱まってしまう。本手法では、目や腕にあたるロボットデバイスを家具、家電、公共機器など、既に機能を持つ物体に取り付けることで、対象自身の機能や情報を説明する、というインタラクションが可能となる。よって、ユーザにとって未知の存在となるエージェントを使用する際に比べ、ユーザの心理的抵抗感を少なくすることができる。また、自分自身を説明する、という情報提示形式を取るため、情報提示の説得力も増す。これにより、将来的にロボット技術が家庭・オフィスなど、不特定ユーザが存在する環境へ進出する際の、架け橋となることが期待される。

1.3.3 仮想的身体像の提示

通常 of 擬人化エージェントと異なり、直接擬人化手法を用いた情報提示では、擬人化パーツの取り付け位置を変えることで、ユーザが対象に対して受け取る『頭』や『腹』などの身体部品の位置も異なってしまう。本研究ではこのように、ユーザが擬人化した対象に対して受け取る身体の像を、仮想的身体像と呼ぶ。このように、擬人化によってユーザが受け取る仮想的身体像を、既存のロボットに適用することで、既存のロボットデザインの改善・再検討も可能になると考えられる。

また、このようにして得られる仮想的身体像を使い、『お腹』『頭』といった、身体表現に基づいた対象部位の指示も可能となる。

本研究の提案する直接擬人化手法によって可能となる情報提示を図 1.3 に示す。直接擬人化手法では、図 1.3a のように、HAI 研究で従来行われて来た実世界を参照しながらの情報提示を、物体からも表現可能とする。また、図 1.3b のように、ユーザが想起する仮想的身体像を用いた比喩表現なども可能となる。

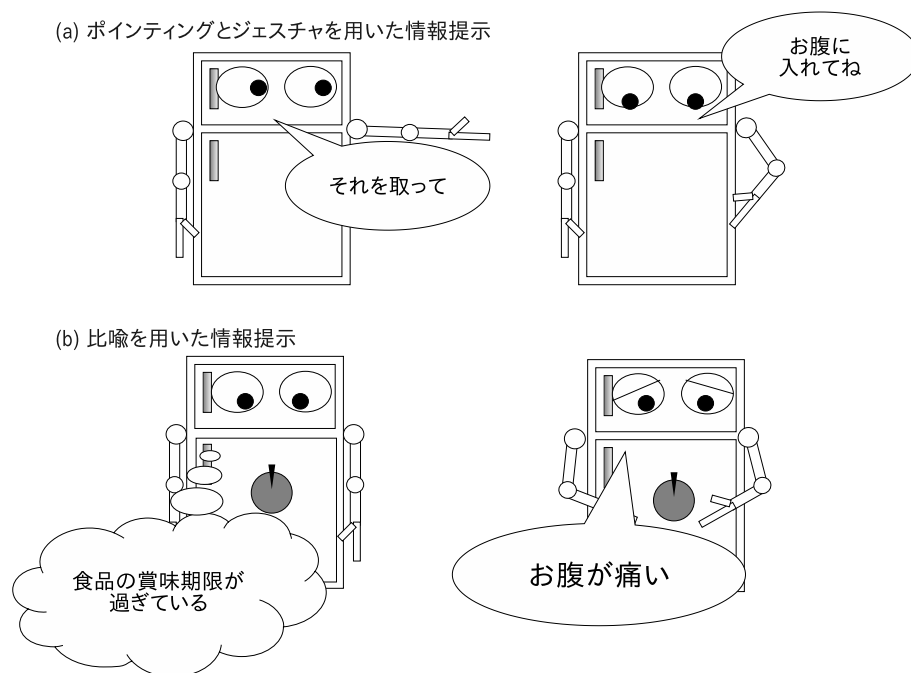


図 1.3: 身体を用いた実世界上の情報提示・比喩を用いた情報提示

1.4 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

第2章では、本研究の背景となる、擬人化ロボット、エージェントとのインタラクションの効果を調べたヒューマンロボットインタラクション (HRI) 研究・ヒューマンエージェントインタラクション (HAI) 研究、および人間が人間以外の物体を発話主体として扱う傾向をまとめた Media Equation の研究、人間が対象を擬人化して認識する際の生物学的・心理学的知見についてそれぞれ述べる。そして、それぞれの研究と本研究の違い、本研究が参考にした点を述べる。

第3章では、前章の内容を踏まえ、本研究で行なう提案を明確にし、そのために必要となる実装、評価に付いてそれぞれ述べる。

第4章では、ユーザに対象が擬人化されているように見せるための人工的な目・手など、ディスプレイロボットを達成するために必要となる身体部品を設計した。第5章で、これらのパーツを含めた擬人化情報提示システム『ディスプレイロボット』の実装を示す。

第6章では、擬人化された機器からの要求が、ユーザに対して成功するかどうか、実験によって調べ、第7章では、年代層、機器に対しユーザが想起する身体の調査を行った。第8章では、擬人化された機器とのインタラクションを好む性別・年代の調査を行った。

第9章では、本手法を用いて機器から情報提示を行う機能説明例を実装し、ユー

第1章 序論

ザ実験によって、独立した人型ロボットを用いて機器の情報を提示する手法と比較した。

第10章では、評価結果を元に、提案技術が将来的にどのように応用できるか具体的に検討する。

第11章では、本研究の結論を述べる。

第2章

関連研究

本研究では、人間が物体に対し人と同じような対話対象と感ずる事を、情報提示に利用する。

本章では、人間が物体を擬人化して見る、という現象について調べた研究、および、擬人化エージェントの情報提示によって得られる効果を調べた研究についてそれぞれ述べ、物体の擬人化による情報提示の可能性を検討する。また、既存のロボット研究における、人間らしさの使用例を分類し、本研究がロボット研究において切り開く新たな研究分野について示す。

2.1 人間は対象をどのように擬人化するか

擬人化エージェントの設計の際にはなるべく人間に似せるように設計を行う、という設計指針が置かれる事が多い。しかしながら、必ずしも人や既存の生物と同じような外見を持っていなくても、人間は対象を擬人化して捉えることが可能である。筆者は、特に物体を擬人化する際には、目や手など、最低限の人間特徴を再現してやるだけで十分だと考えている。なぜなら、人間は他物体に対し、擬人化して見る能力が非常に高いためである。本項では上記の理由について説明するため、人間でないただの物体に対する、人間の擬人化傾向について調べた研究および、人間がただの物体を擬人化し、人と同じような意図を持つと考える理由を考察した研究について、それぞれ述べる。

2.1.1 人間でない物に対する人間の擬人化傾向

人間は元来、擬人化されていないただの物体に対しても、意識せずに社会的対話者と考えてしまう傾向がある。ReevesらはMedia Equationという書籍にこの現象をまとめている [15]。

Media Equationでは、人間は状況によって、情報を伝える媒体であるメディア自身をコミュニケーション対象とみなし、あたかもメディアに主体があるように行動

することが示されている。そして実験により、ディスプレイとキーボードを備えただけの単純なコンピュータが人間に対し情報を提示した際、提示方法の違いによってコンピュータに親近感を抱いたり、同族意識を抱いたり、敬意を払ったりすることが確認されている。この現象は、特にコンピュータに不慣れな者に限らず、コンピュータに熟練している者であっても同じように見られることが報告されている。

また、Denetteらは、人間のシステムの行動に対する思考を物理スタンス・設計スタンス・意図スタンスに分類し、人間は、なるべくシステムの行動に意図を読み取ろうとすることを示した [11]。Denetteらはこの理由として、進化の中で、敵対者に意図があると仮定し、行動する方が生存に有利であったから、という仮定をあげている。

2.1.2 どのような外見がユーザの擬人化を促進するか

ユーザに対して親しみやすいエージェントを設計する際には、エージェントが必ずしもリアルな外見をする必要がないことは Yee らによって指摘されている [13]。また森らは、擬人化エージェントが人間に近づくにつれてユーザがエージェントを急速に受け入れがたくなる事を『不気味の谷』という単語で指摘している [16]。MacDormanらは人間とロボットのモーフィングを行う事で、人間の認知にとって、不気味の谷があることを示した [17]。ある程度人間に似せたロボットが人間に受け入れられる事を考えると、対象を極度に人間に類似させなくても、ユーザは対象を擬人化して捉え、インタラクションを取る事ができると考えられる。それでは、ユーザが対象を擬人化して捉えるために必要な外見とは、どのようなものであろうか？

ユーザが許容する擬人化エージェントの外見を調べた研究として、ヒューマノイドの外見を調べた DiSalvo らの研究が挙げられる [12]。DiSalvoらは、様々なロボットの顔写真を集め、各ロボットの顔がどれだけ人間に似ているか、被験者に評価させた。この結果を元に、DiSalvoらは擬人化ロボットの顔に必要な特性として、次の条件を挙げている。

1. 体に対して相対的に大きな顔、顔に対して相対的に大きな目
2. 特徴的な顔の部品が顔の大半を占めること
3. 複雑かつ詳細に表現された目
4. 鼻・口・まゆ
5. 皮膚
6. 言語

DiSalvo らの研究により、人が物体に対し対話可能な顔を仮定する場合、上記の条件が満たされれば良い事が示唆される。

実際に社会で活躍する擬人化エージェントの中には、必ずしも完全に人間と同じような外見を持たないエージェントも存在する。完全な人間の身体パーツを持たずに、インタラクションを達成する擬人化エージェントとして次のような例がある。

安川電気によって開発された SmartPal[18] は、顔部品を持たない。同じく、機器に取り付けて情報を提示するロボット Cero は、顔を持たず、ジェスチャだけで情報を提示する [19]。逆に、小嶋らの Keepon [20] や NEC で開発されたロボット PaPeRo [21] といった擬人化エージェントは、目と口だけを持っており、腕部品をもたない。岡田らの Muu[22] は、顔や手を持たず、目だけを持って人間に対する注意などを表現している。園山によれば、余計な身体部品を持たないデザインをもったエージェントは、その身体部品に関連する人の機能を持たない事をユーザに対し明示し、ユーザに余計な期待を抱かせない、という効果がある [23]。

上記の研究例は、人間と同じようにすべて擬人化された外見を持たずとも、人間に対し、対象が擬人化されているような印象を抱かせ、インタラクションを継続できる事を示している。また上記の研究は、すべての部品をそろえた人型のデザインが必ずしも最適でないことを、 unnecessary 部品を有しないという経済性及び、ユーザに過度の期待を抱かせないという認知的適応性の両者から支持している。

2.1.3 本研究との関連

前項までの研究より、ユーザと対話インタラクションを行う際、システムは必ずしもリアルな人間と同じような外見を持つ必要はなく、いくつかの人間を思わせる要素を備えていれば十分である事がいえる。よって、物体を擬人化し、ユーザとのインタラクションを行う際にもいくつかの人間を思わせる要素を再現してやれば、ユーザが対象を擬人化して受け取る事が想定できる。特に、DiSalvo らの研究によって、人の目を模した目が擬人化を促進するのに重要であることが示唆される。

2.2 擬人化によって得られる効果

前項で、ユーザが対象を擬人化して受け取るためには、機器の外見に、人間の特徴的な部分を再現してやれば十分である事を示した。それでは、ユーザが対象を擬人化することで、どのような効用があるだろうか。

物体に人と同じような外観や振舞いを持たせ、人間に影響を与えようという試みは工学の分野で古くから行われている。本項ではそのうち、人と同じような外観が人間に与える効果に注目した研究および、人と同じような振舞いが人間に想起させるイメージを利用した研究に注目し、本研究で提案する直接擬人化手法によって何

が得られるか検討する。

2.2.1 人を模した外観が人間に与える効果

物体のデザインによるユーザの印象の操作

世の中に存在する、擬人化された物体の外見に注目し、どのような外見がどのような影響を人間に与えるか調べた研究として、DiSalvoによる分類研究が挙げられる [24]。DiSalvoらは、市販されている商品である人を模した外見を持つブラシ・車・洗剤のボトル・人型ロボット・人の顔を模したアイコン・バスのステップの外観に用いられている、人を模した表現を調べ、分類を行い、擬人化された外観が次のような価値を持つ事を示した。

1. 人に対する対応と同じ物を期待させられる。
2. わかりづらいものを説明できる。
3. 製品に対し、人の持つと同じような属性を付与できる。
4. 人の価値を投影する事ができる。
5. ユーザに製品への親近感を持たせることができる

視線による存在感の提示

人間が他者に対して行う非言語コミュニケーションに、最も使われる身体部品として、まず目が挙げられる。

生物学の分野で、人が他者の目の表出に強く影響される事を示した研究として、小林らによる動物の目の研究が挙げられる [25]。小林らによれば、他の哺乳類に比べ、人間の目は白膜と虹彩のコントラスト差が大きい。小林らはこの原因として、人間以外の動物の目が、自分の見ているものを他の動物から隠すような進化圧が働いたのに対し、人間の目は、外部の物体を見るという役割の他に、他の人間に対して、自分が見ているものを伝えるという進化圧が働いたからではないか、という仮説を挙げている。

目が人間に与える影響を利用し、人間の行動を制御できることを示して、擬人化の応用可能性を検討した研究として、Batesonらの支払い行動比較の研究が挙げられる [26]。Batesonらは、食事代金に対し、ユーザが任意で支払いを行う正直箱 (Honesty Box) が数年置いてある大学構内のカフェのドリンクバーを実験に利用し、飲物の値段表に花の絵を貼ったものと、人の目の絵を貼ったものを用意した。そのうえで、上記2条件の場合の、正直箱に入れられた代金と消費された牛乳の量を比

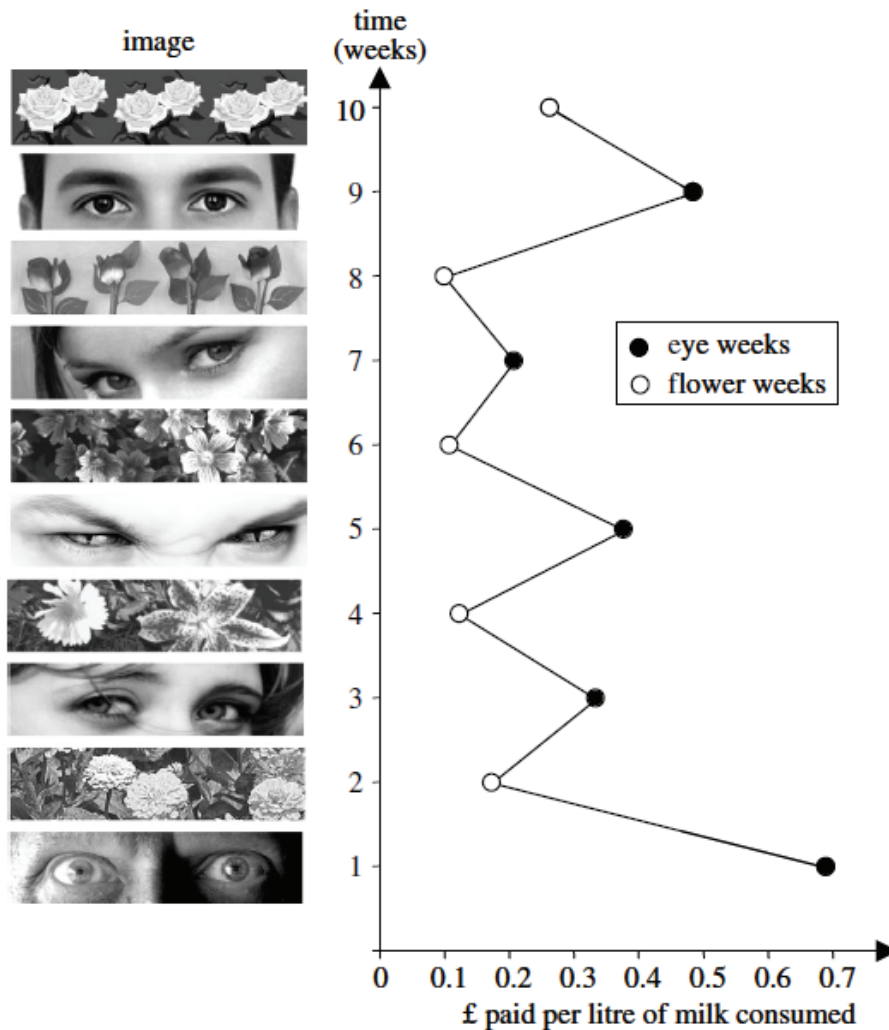


図 2.1: 目とそれ以外の図によるユーザの支払量の変化 (in [26])

較した。その結果、人の目を貼った場合に、正直箱の収入が平均して 2.76 倍に上がることが確認された。図 2.1 は、牛乳 1 リットルあたりのユーザの支払い量と絵の種類による変化を表している。目をメニューに貼って擬人化を行うことで、システム全体の主体性を増し、ユーザに対して見張られているような感覚を与えることが出来ている。Bateson らの研究結果は、身体部品の一部を模したデバイスが人間に与える影響力を示している。

ジェスチャによる共同注意の提示

他の人間に影響を与える人間のコミュニケーションデバイスとして、目とともに影響を与えるのが、腕などを含めたジェスチャである。ジェスチャを分類し、その

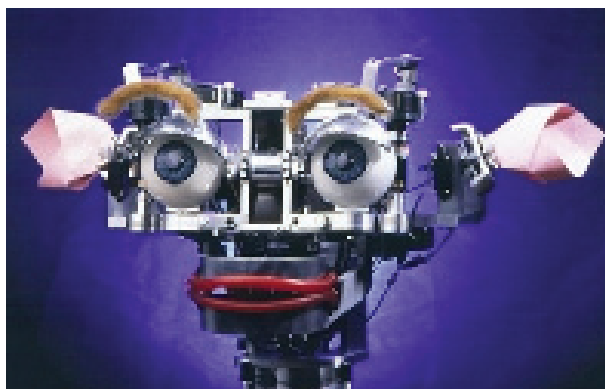


図 2.2: Kismet の外見 (in [31])

影響を調べた研究として、Morris らによる BodyTalk が挙げられる [27]。Morris はジェスチャを詳細に分析し、人間が行うジェスチャ全体のうち3割強が、腕によって行なわれている事を示した。

ジェスチャにより、単に非言語的な情報だけではなく、エージェントとユーザが共通の物を見ている、という高レベルの認知的演出を行う事も可能である。今井らは、実世界上の擬人化エージェントであるヒューマノイドロボット Robovie を使い、視線誘導を通じて人間をポスターへと誘導し、説明を行うことに成功している [28]。今井らはこの擬人化ロボットを使い、会話中に首と腕の動きを使用する事で、ユーザとエージェントの間で共通のものに注意が向いている、という感覚をユーザに与える事に成功した。

本研究で提案する物体の擬人化においても、ジェスチャを使う事で、同じように共同注意などの感覚をユーザに与える事が可能になるとと思われる。

表情による感情状態の提示

擬人化され、人間と同じような表情を持つ物体は、人間と同じような感情を持つ事をユーザに期待させる事ができる。物体の感情を期待させる事で、物体の状態を表現する際、通常の状態表現に比べ、より人間の価値観に根ざした状態提示が可能となる。例えば、機嫌が悪いといった感情状態によって機械の状態を表す事で、ユーザは機械の不具合を直感的に理解し、ユーザの手助けを誘発する事も可能となる。

Breazeal らは表情を変える擬人化ロボット Kismet(図 2.2) を用いて、どのような表情がどのような感情を伝えるか検討している [29]。Breazeal らは、目と眉、口を持ったロボットを使い、Ekman の定義した幸福、怒り、悲しみ、嫌悪、恐怖といった感情 [30] を再現できる事を示した。Kismet の表す事ができる感情を図 2.3 に示す。

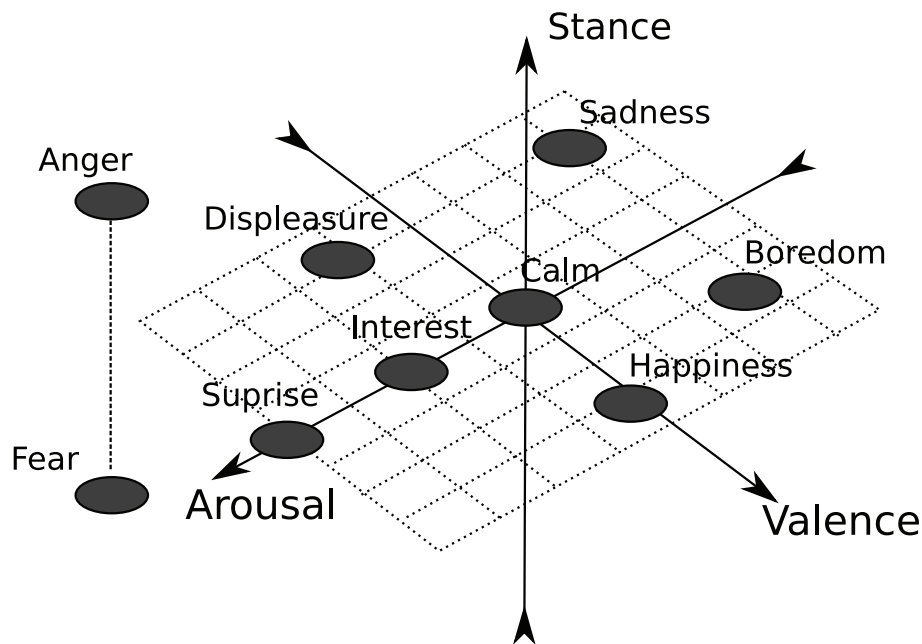


図 2.3: Kismet によって可能となる感情表現 (in [32])

実世界を参照とする情報提示

擬人化エージェントのうち、ロボットのような実世界で動くエージェントは、特に、実世界上に存在する感覚を与えるのに適した情報提示手法であると考えられている。

篠沢らの研究によれば、実世界上で動くロボットはコンピュータ上のバーチャルエージェントに比べ、実世界上の対象を指して情報提示を行うことに優れている [33]。これらの知見に基づき、実際に実世界上で活動するコミュニケーションロボットは広く存在する。例えば、村川らの開発した enon は、商業施設で商品を指した情報提示を行い、販売促進を行っている [34]。

よって、特に実世界上で機能する家電製品・機器を指し示しながら情報提示を行う際にも、ロボットのような実世界上の擬人化エージェントを使用するのが望ましいと考えられる。

2.2.2 擬人化された振舞いが人間に想起させるイメージの利用

共感の演出による関係性の維持

擬人化エージェントは、人間と同じような思考状態を持つ事をユーザに想起させる。ユーザの他者への思考状態への想起を応用する事で、ユーザとの間に深い関係性を持ち、例えば長く同じ物を使うように誘導することも可能である。

擬人化エージェントから、ユーザと同じ物を感じているかのような感性的発話を行う事で、ユーザとの間に共感を演出できることを鳴海らは示している [35].

鳴海らは、人間とヒューマノイドロボットとのインタラクションにおいて、チョコレートに対して「美味しいでしょう」と発話させ、景色を見せた際に「綺麗でしょう」と発話させる事で、単に情報を提示する場合に比べ、ユーザをインタラクションに引き込む事に成功した。その結果、ユーザは、ロボットの指示に従いやすい状態となり、ロボットに提示されたお土産を取っていくユーザが増えた。

上記の研究より、物体を擬人化した際にも、ユーザと感覚を共有しているかのような発話を行うことでインタラクションに引き込む事が可能であると考えられる。

さらに、このようにユーザとの関係を築いた擬人化エージェントが、新しい物体に移動したように見せる事で、エージェントとの関係を新しい物に対しても適用可能である事を小川らは指摘している [36].

小川らは、コンピュータ上の擬人化バーチャルエージェントとユーザがインタラクションを行い、その後、エージェントが別の物体に移ったかのように演出した。その結果、ユーザは物体に対してもエージェントと同じような親近感を感じる事ができた。

この研究は、擬人化エージェントが人間とインタラクションを行う事で、親近感などをユーザに抱かせ、その関係が他物体に移っても継続できるほど強力である事を示している。

対話時間による応答遅延の許容

擬人化エージェントとの対話的なインタラクションは、通常のインタラクションと異なり、ユーザが発話の遅延を許容できるようになることを志和らは示している [37].

志和らは、ヒューマノイドロボットとユーザとの会話において、ユーザの発話に対する応答時間を0~3秒の間で変化させ、応答時間に対するユーザの許容度を、1発話毎に7段階評価でユーザに回答させた。その結果、GUIと異なり、ヒューマノイドロボットとの対話では1秒の遅延に対して、もっともユーザの評価が高い事がわかった。志和らはこの理由として、ユーザが発話遅延を、エージェントが思考する時間と考える事ができるようになるからではないか、という理由を挙げている。

志和らの研究結果より、物体を擬人化することで、通常システムと異なり、遅延を許容するようなインタラクションが可能になると考えられる。

擬人化エージェントの欠点：エージェントによる集中の妨害

前項までのように、擬人化エージェントを介した手法は感情による状態表現・親近感の生成・共感性・発話の遅延許容性などさまざまなメリットを持つ。しかし一

方で、擬人化エージェントを用いる手法が、情報提示に向かない状況も指摘されている。擬人化エージェントが情報提示に向かない状況として特徴的なのは、エージェント自身の存在が人間の集中を削ぐ場合である。

深山らの研究より、タスクに無関係な情報へユーザが注視した時間の割合が説明に対するユーザの集中を阻害し、ユーザの記憶率を下げるという指摘がなされている [38]。この研究で深山らは、説明時間中の視線を向けた時間の割合がユーザの記憶率・集中度と相関があることを示している。

2.2.3 本研究の助けとなる要素

前項までに述べた通り、擬人化エージェントでは、擬人化された外見によるユーザの印象の操作、視線による存在感の提示、ジェスチャによる共同注意、表情による感情状態の提示、共感の演出による関係性の維持、対話時間による応答遅延の許容、実世界を参照とする情報提示などが可能となる。上記の長所は、本研究で提案する物体を擬人化した情報提示でも、同じように得られる効果と考えられる。

また、通常の擬人化エージェント研究の欠点として挙げた擬人化エージェントによる集中の妨害に関しては、本研究で提案する擬人化物体からの情報提示では問題にならないと考えられる。なぜなら、本研究においては、前章の図 1.2 で示した通り、対象物体と別のエージェントが存在するのではなく、対象物体がそのままエージェントとなるため、情報提示の場に余計なエージェントがおらず、注意の妨害が起きないと考えられるからである。本点については、第9章で本手法と実際に擬人化エージェントを使った情報提示とを比較することで、詳しく検討する。

2.3 ロボット研究における当研究の新しさ

既存のロボット研究を、人間らしさの軸および単機能・多機能の2軸に分け、分類した。分類結果を図 2.4 に示す。

既存のロボットの研究には、人間らしい外見や行動を持たせ、かつ機能を増やしていくことでユーザに対して明示的に機能を提供していくことを目指したコミュニケーションロボット指向の研究分野と、人間らしさを考慮せず、機能を増やす事によって、ユーザに意識させずに機能を提供していくことを目指したバックグラウンドロボット指向の研究分野がある。図 2.4 の左下から右上に進む研究分野がコミュニケーションロボット指向の研究分野であり、図 2.4 の左下から左上に進む研究分野がバックグラウンドロボット指向の研究分野である。

コミュニケーション指向の分野において、人間と同じような外見・行動をもつ利点は前項に述べたような様々な研究によって、過去行われてきた。

しかしながら、コミュニケーションロボットという研究分野において、多機能で

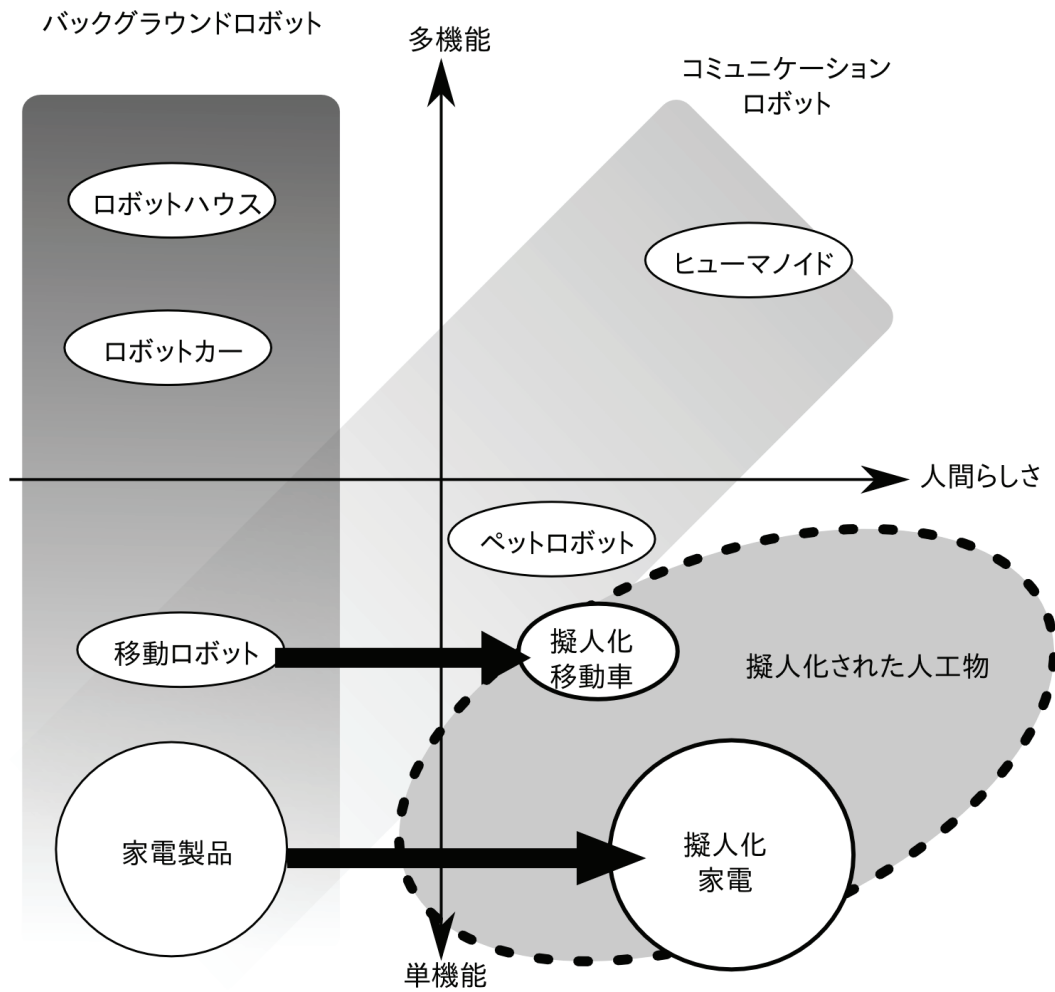


図 2.4: 既存のロボット研究の研究領域と当研究が対象とする研究領域

第2章 関連研究

あることの利点と、人間に似ていることの利点はあまり分離して検討されてこなかったといえる。これは、コミュニケーションロボット分野中のヒューマノイドロボットが、人間社会で有用なモデルとして、人間と同じようなロボットを作る事を目標としていたからである。人間は多機能であるとともに、人間らしい外見や行動を持っており、ヒューマノイドロボットを設計する上では、これらを分類する必要がなかった。

これらの理由から、図2.4の右下に存在する、単機能なロボットを人間らしく見せる、というロボットの研究分野は十分に検討されて来なかった。

本研究で提案する直接擬人化手法を用いた情報提示は、家電製品などの既存の機械に対して、擬人化を行って人間らしさを与える事で、単機能かつ人間らしいロボットを作成する。これにより、図2.4の矢印が示す通り、右下の領域から左下の領域、つまり、単機能かつ人間らしいロボットによる情報提示という研究分野を切り開く。このようなロボットは、単機能な機器それぞれが、機器に合わせた必要十分な人間らしさを持ち、ユーザに対するタスクを遂行する。これは、多機能で人間に似たヒューマノイドロボットが複数のタスクをに解決するという、既存のコミュニケーションロボットの指向とは異なる新しい分野である。

第3章

本研究の目的

3.1 本研究における提案

第2章で述べた関連研究を踏まえて、本研究ではすでに存在する機器・物体に対して身体部品を取り付け、対象を直接擬人化し、そこから情報提示を直接行う人間－物体間インタラクション手法を提案する。直接擬人化手法では、すでに存在する機器・物体に対して目や手など、人が持つのと同じような身体部品を模したロボットデバイスを取り付けて、物体に人と同じような外見を持たせ、物体の機能や情報をユーザに対話形式で提示する。そして、直接擬人化手法を利用して機器から情報を提示するロボットシステム『ディスプレイロボット』を提案する。直接擬人化手法によって、機器は人間が表現するのと同様なジェスチャ、位置の指示、表情、感情の発露を用いながら、ユーザに対し情報を提示することが可能となる。本手法はいわば、一般の機器に用意された簡易マニュアルに載っている機器を擬人した説明図を、実世界上のインタラクション形式として再現する手法となる。これによって、第2章で提案したような擬人的外見によるユーザの印象の操作、視線による存在感覚の提示、ジェスチャによる共同注意、表情による感情状態の提示、共感の演出による関係性の維持、対話時間による応答遅延の許容、実世界を参照とする情報提示など、擬人化による長所を利用した情報提示が可能となる。また、直接擬人化手法では、既存のHAI研究でおこなわれてきたモデルをそのまま対象に適用することができる。

また、直接擬人化手法ではユーザが機器に対して元々抱く身体性を引き出した情報提示が可能となる。これにより、ユーザと物体の間に擬人化エージェントを置く場合に比べ、設置費用が少なく、設置空間を大きく要しない情報提示をすることが可能である。さらに、本研究で提案する直接擬人化手法では、対象と別に擬人化エージェントを置き、情報提示をする手法に比べ、ユーザの興味を引きやすく、ユーザが理解しやすい情報提示をすることができる。

本研究では、ユーザが擬人化した対象に対して受け取る身体の像を、仮想的身体像と呼ぶ。このようにして得られる仮想的身体像を使い、『お腹』『頭』といった、

身体表現に基づいた対象部位の指示も可能となる。さらに、擬人化によってユーザが受け取る仮想的身体像を、既存のロボットに適用することで、既存のロボットデザインの改善・再検討も可能になると考えられる。

また、第2章で示した通り、本研究で提案する直接擬人化手法を、既存の機器・ロボットに適用する事で、ユーザが既存の機器・ロボットに対し、最適な存在感を得る事ができる。

3.2 研究実現のための手法

本研究ではこの目的の実現のため、物体の擬人化を行う人工的な目・腕パーツを設計する。そして、これらの擬人化パーツを使った情報提示のためのロボットシステム『ディスプレイロボット』を開発する。そして、擬人化部品によって達成可能となる情報提示の幅を調べるため、次の3種類の調査・評価実験を行う。各実験が研究にもたらす知見の領域を図3.1に示す。

- 開発した部品を用いて対象を擬人化したユーザとのインタラクション実験を行い、擬人化による対象のエージェント化が可能であるか調べる (図3.1a).
- 擬人化部品の取り付け位置や部品同士の関係によって、ユーザが対象に身体にどのような身体を想起するか、3つの実験によって検討する (図3.1b).
- 擬人化した物体との情報提示を受け入れる性別・年代の調査を行う (図3.1c).

最後に、前3実験から得られた知見を元にして、本手法と独立した人型ロボットを用いる手法を使用し、実際の物体の機能説明を行い、擬人化による情報提示の利点を評価する。

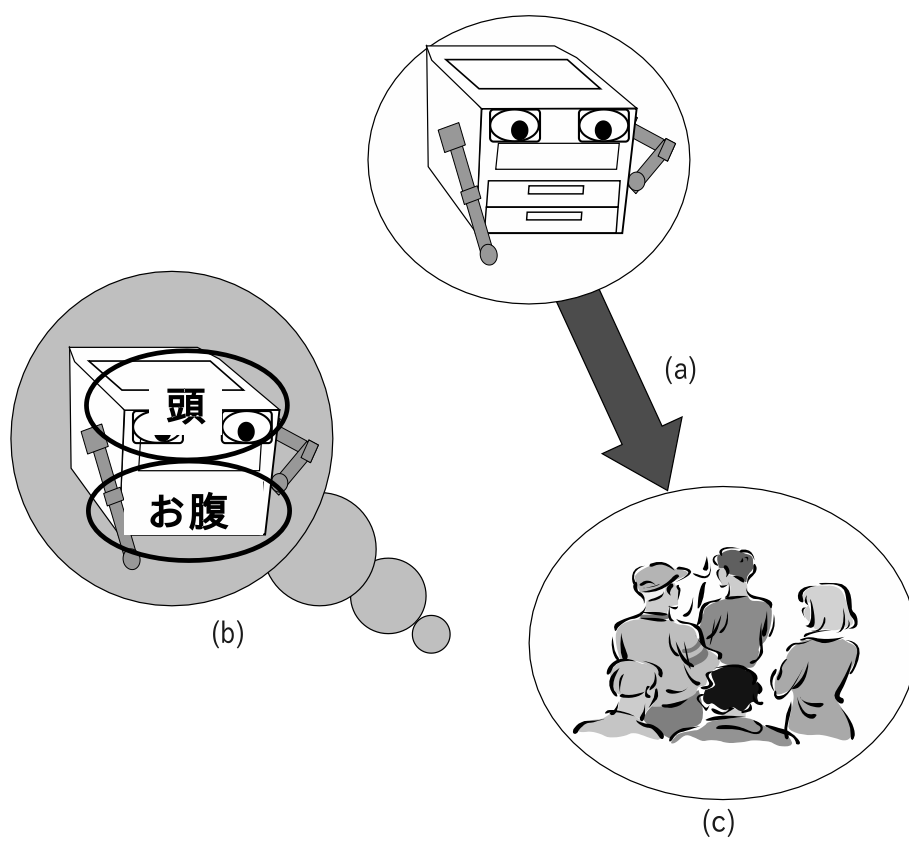


図 3.1: 各実験が研究にもたらす知見の領域

第4章

擬人化デバイスの設計

本章では，提案する直接擬人化手法の実現のため，対象を擬人化するための目パーツ・腕パーツを設計する．

4.1 目パーツの設計

第2章で示した通り，人間の目は，外部の物体を見るという役割の他に，他の人間に対して，自分が見ているものを伝えるという役割を持つ[25]．本研究ではこの後者の機能に注目し，二つの目を持つディスプレイロボット目パーツを設計した．

目パーツは図4.1のような，瞳，虹彩，強膜などの人間の目の各部品を模した機器である．目パーツでは，強膜を白，瞳と虹彩を黒で表している．本論文では瞳と虹彩を合わせて「虹彩」と呼ぶ．目パーツは図4.2のように，目にあたる二つの板から構成される．各虹彩の位置は，各板に取り付けられた位置センサから計算する．

虹彩の位置は図4.3のように求める．目パーツの左右の板は仮想的な目玉と目の中心を持っている．物体の座標 \vec{x} と仮想的な目の中心 \vec{c} によって作られるベクトル \vec{p} および，板によって作られる平面 A との交点ベクトル \vec{p} が虹彩の位置となる．ベクトル \vec{p} を求めた後に，目パーツは \vec{p} を板の中心からのベクトル \vec{i} に変換する．この処理は目パーツの左右の板に対してそれぞれ行われる．

平面の法線ベクトル \vec{a} は，二つの板に取り付けた超音波3次元タグ[5]から得られる位置座標を利用して求める．センサ情報から一意に法線ベクトルを求めるため，まず，目パーツに対し，それぞれの板が地面に対して垂直で，2枚の相対的な角度ベクトル \vec{r} があらかじめ決まっているという制約を設ける．この制約によって，2枚の位置座標から，目パーツ全体の傾きが一意に求められる．図4.4は，2枚の板が平行($\vec{r} = 0$)である時の法線ベクトル \vec{a} の求め方を表している．もし角度ベクトル \vec{r} が0では無いときには，目パーツは計算した \vec{a} に $\pm\vec{r}/2$ を加え，それぞれの板の法線ベクトルを求める．

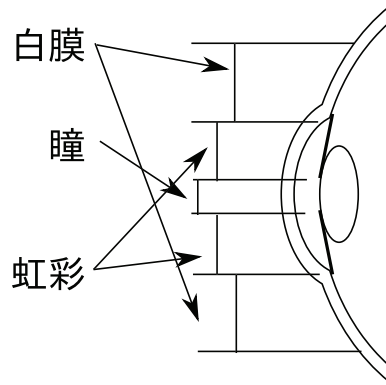


図 4.1: 人間の目

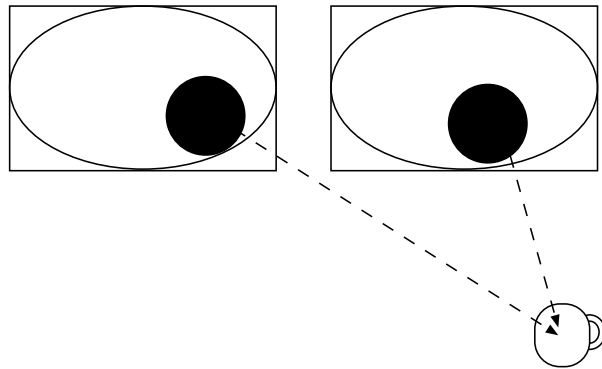


図 4.2: 目の動作図

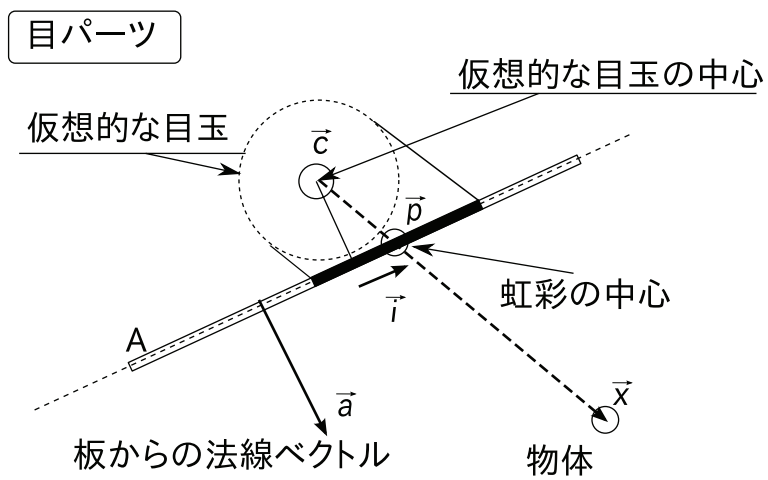


図 4.3: 虹彩位置の決定

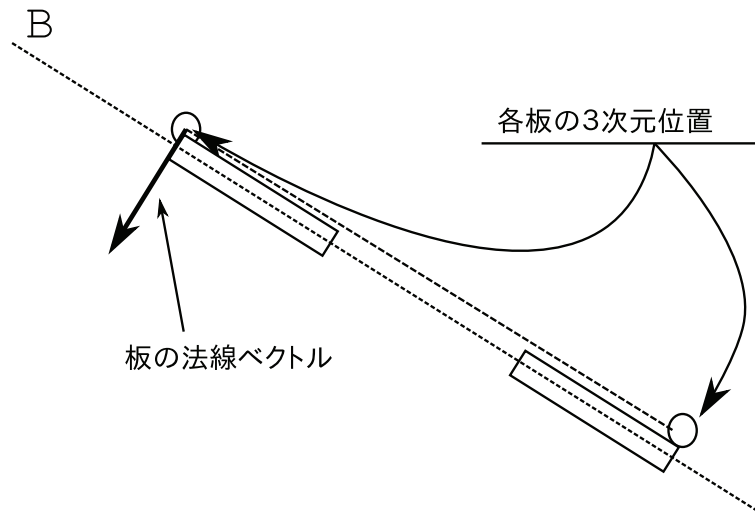


図 4.4: 目パーツの角度の決定

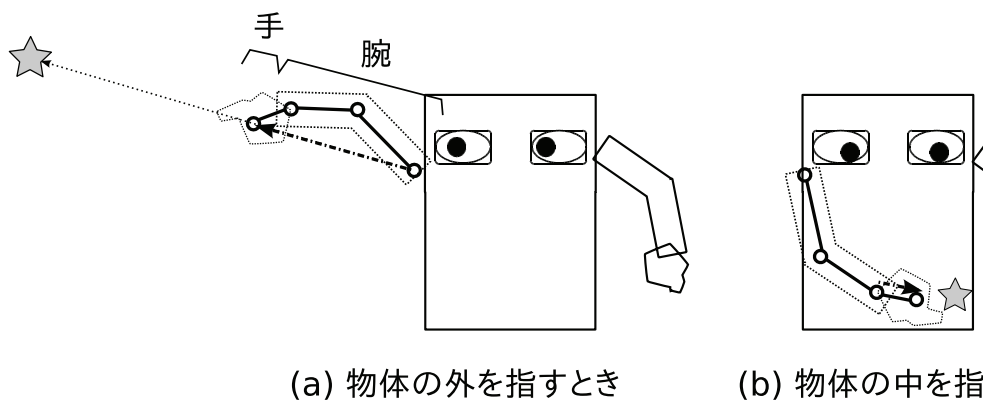


図 4.5: 腕によるポインティング

4.2 腕パーツの設計

擬人化エージェントの腕の設計に関する研究として，Morris らの人のジェスチャ分類 [27]，杉山らの人型ロボットによるポインティングの研究 [39] が挙げられる．杉山らの研究に従い，本研究の図 4.5a のように，腕のつけ根から手の先端までのベクトルを，ポインティング先を示す方向ベクトルと定義した．ただし，自己内部を指す場合には，図 4.5b のように，手のつけ根関節から手の先端までのベクトルを指示ベクトルと定義した．

第5章

ディスプレイロボットの実装

本研究では、直接擬人化手法を用いて機器の情報を提示するロボットシステム『ディスプレイロボット』を開発した。本章では、ディスプレイロボットを構成する各部品の実装、およびソフトウェアの実装について説明する。

通常のロボットデバイスと異なり、擬人化パーツを用いる直接擬人化手法では、各ロボットデバイスが外部の物体を操作する必要は無い。その代わりに、任意の物体に取り付けるため、軽量で設置が簡単にできることが望まれる。本研究では上記問題の解決として、ベルクロテープ（マジックテープ）で貼り付けることを考慮し、重量を抑えたデバイスを使用している。

本研究で使用した擬人化パーツは次の部品より構成されている。

5.1 目パーツの実装

目パーツは TFT 液晶を使用して人間の目の瞳と強膜を模した仮想的な目デバイスであり、取り付けた目デバイスの3次元座標と向きベクトルを元に、瞳の表示位置を決定している。本研究で開発した目パーツでは、強膜を白、瞳と虹彩を黒で表している。目パーツの厚さは2cmである。これにより、物体自体に埋め込まれた目が注視するかのように、任意の座標を指し示すことが可能である。各パーツの場所は3次元超音波タグ [5] によって得られる。目パーツは各パーツの3次元座標により、擬人化される対象となる物体を決定し、対象に最適なコミュニケーションシナリオや仮想的身体像を選ぶ。

目パーツの詳細な部品構成を表5.1に示す。また、目パーツの外見を図5.1に示す。本研究で開発した目パーツは軽量であり、ベルクロテープの貼られた物体であれば、どこにでも貼り付けることが出来る。これによって、物体に依らない擬人化を実現する。

表 5.1: 目パーツの構成

寸法	幅 120mm × 高さ 160mm × 奥行き 50mm
重量	180g
液晶基板	ITC-2432-035
無線モジュール	ZEAL-Z1(19200bps)
マイクロコントローラ	Renesas H8/3694
接着手法	ベルクロテープ
装置外装	スポンジシート, プラスチック



図 5.1: 目パーツの外見

表 5.2: 腕パーツの構成

寸法	幅 250mm × 高さ 40mm × 奥行き 40mm
重量	250g × 2
サーボモータ	Micro-MG × 3, GWS-pico × 3
無線モジュール	ZEAL-Z1(9600bps)
マイクロコントローラ	Renesas H8/3694
接着手法	ベルクロテープ
装置外装	アルミニウム, スポンジシート, ゴム, 手袋

5.2 腕パーツの実装

腕パーツは片腕6軸の自由度を持った腕型デバイスであり、手の指先を動かした細かい動作まで出来る。腕パーツはサーボモータとアルミフレームで構成されているが、外装を布で隠すことで、物体に取り付けたときの違和感を少なくしている。腕パーツは軽量であり、ベルクロテープの貼られた物体であれば、どこにでも貼り付けて動かすことが出来る。これによって、物体の形状に依存しない擬人化を実現する。

腕パーツの詳細な部品構成を表5.2に示す。また、腕パーツの外見を図5.2に示す。

5.3 ハードウェア

ディスプレイロボットのハードウェア構成を図5.3に示す。擬人化パーツと制御PCはbluetoothによって無線で接続されており、擬人化パーツを任意の位置に取り付けることが可能である。また、ディスプレイロボットは物体を擬人化した後、人間とのコミュニケーションが円滑に行えるよう、カメラやマイク、スピーカなど、コミュニケーションロボットが持っている入出力デバイスを一通り持つ。

5.3.1 カメラ及びマイク

ディスプレイロボットは、入力用の装置としてカメラとマイクを持つ。カメラは顔捕捉カメラと全方位カメラを持ち、顔画像検知やフレーム間差分を利用して認識を行う。冷蔵庫に顔捕捉カメラと全方位カメラを取り付けた例を、図5.4に示す。

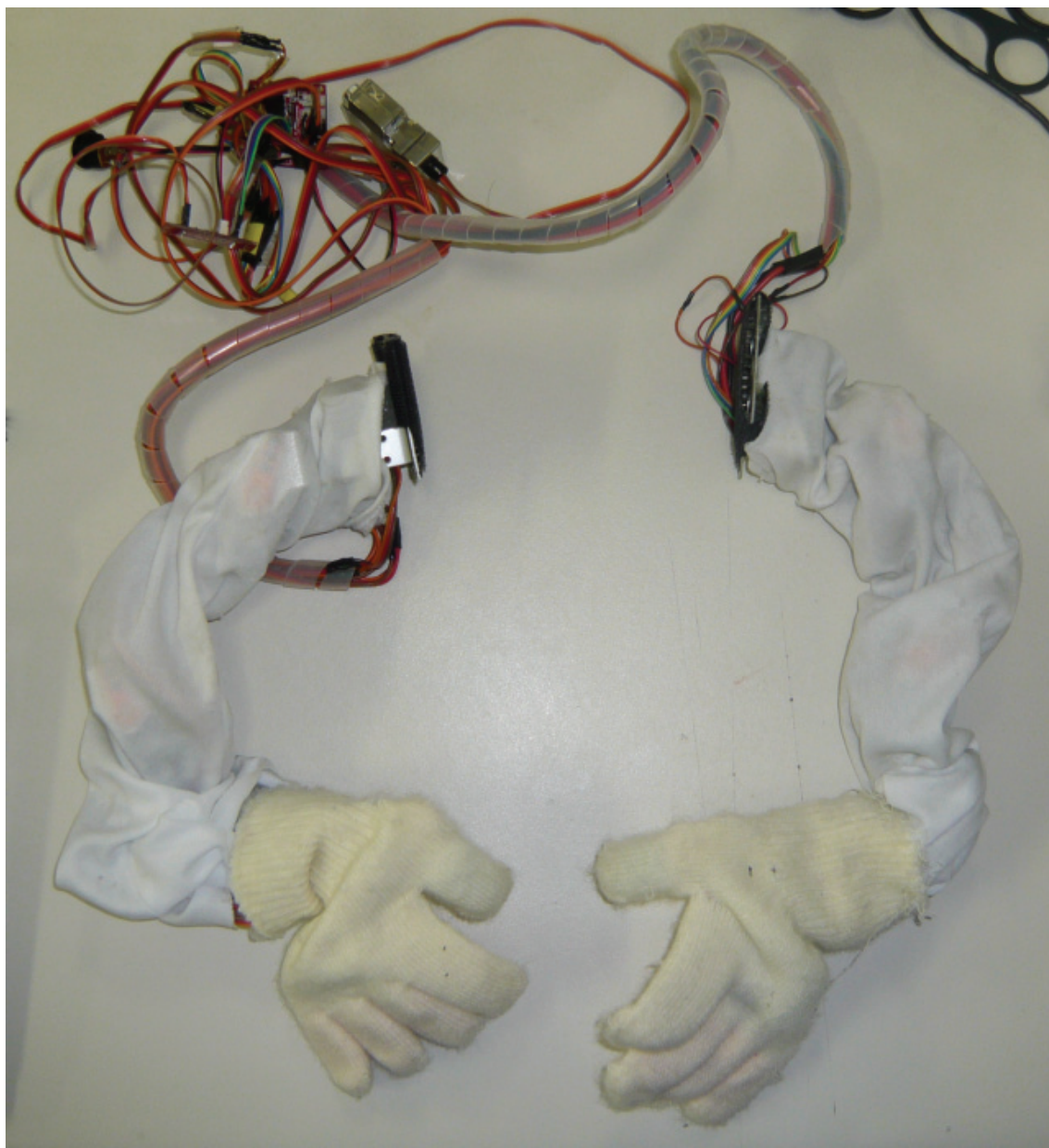


図 5.2: 腕パーツの外見

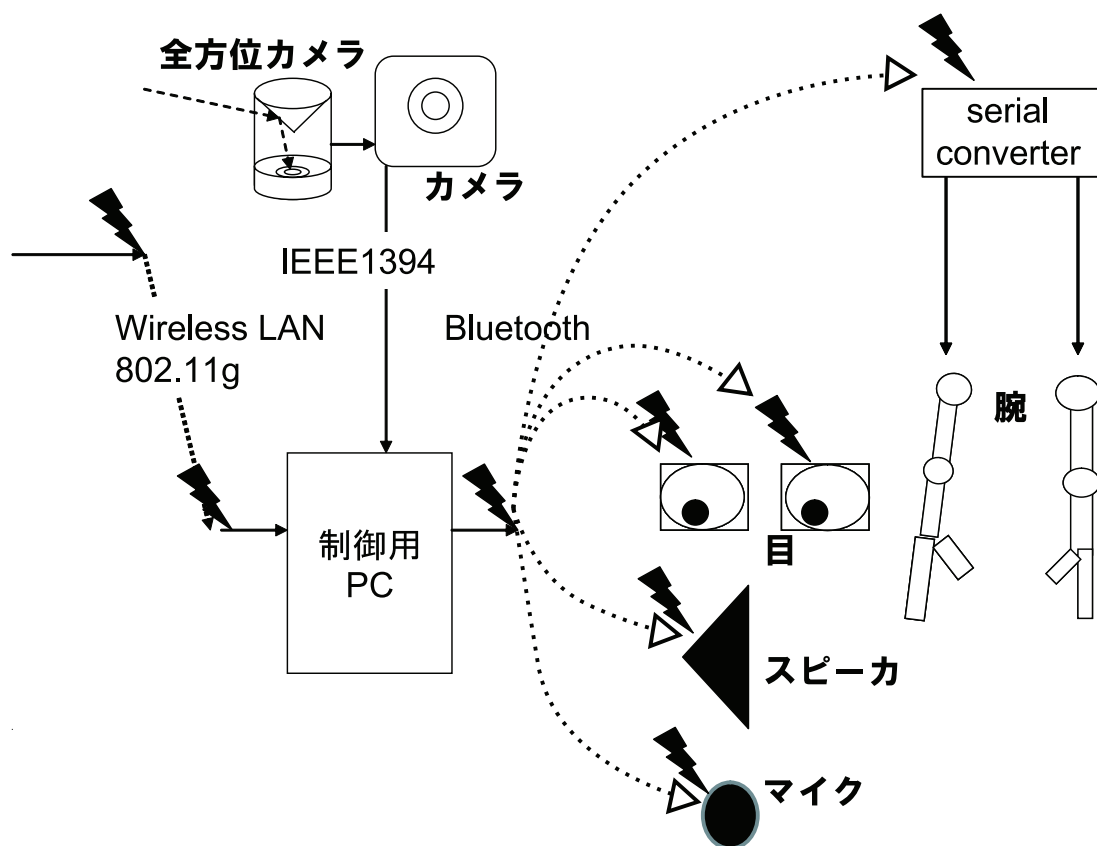


図 5.3: ハードウェア構成図

5.3.2 制御用 PC

ディスプレイロボットは、前述の目パーツや腕パーツの制御、その他、IEEE1394カメラやスピーカ、マイクの制御のため、制御用の PC が必要となる。本研究では制御用 PC として、Sony 製、Vaio の U70P を使用した。制御用 PC の性能を表 5.3 に示す。

5.4 ソフトウェア

ディスプレイロボットのソフトウェア構成を図 5.5 に示す。ディスプレイロボットのソフトウェア構成は、コミュニケーションロボット Robovie のモジュール構成を参考にした [28]。ディスプレイロボットは内部モジュールとして、身体イメージモジュール、状況モジュール、動作・音声再生モジュール、環境認識モジュールを持ち、物体の属性データ・取り付け位置などの物体・擬人化パーツ依存データや、コンテンツデータ、動作データ、音声データなどの事前データを利用して、発話や



図 5.4: カメラ外見

行動を行う。

次の節からは、各モジュールの説明を行う。

5.4.1 状況モジュール

状況モジュールは、与えられたコンテンツを元にして、擬人化パーツを動かす。本モジュールでは、コンテンツデータに含まれる物体の各部位に対応した指示を、身体イメージモジュールによって作られた仮想的身体像に従って変換する。例えば、「ボタンAを押してください」という発話がコンテンツデータに含まれており、ボタンAが「腹」という仮想的身体像に含まれる場合、状況モジュールはこの発話を「お腹のボタンを押してください」という発話に変換し、動作・音声再生モジュールにデータを渡す。具体的な変換手順を表5.4に示す。

また状況モジュールでは、発話や行動を行った後に環境認識モジュールからの入力に従って新しいコンテンツを実行する。

表 5.3: Vaio U70P の仕様

寸法	幅 167 × 高さ 108mm × 奥行き 26.4mm
重量	550g
CPU	Pentium-M 1GHz
メモリ	512MB
I/O	USB × 4 IEEE1394 × 1

表 5.4: コンテンツ変換

変換前	変換後
WELCOME USER PUSH BUTTON A	SAY “Hello!” , POINT USER(U_x, U_y, U_z) + BECKON SAY “PUSH” + “My” + “Head” , POINT (x, y, z)

5.4.2 身体イメージモジュール

身体イメージモジュールでは、物体の仮想的身体像を決定する。物体の仮想的身体像は、第7章の実験によって決定するモデルであり、あらかじめ用意してある物体の属性データ(大きさ・種類)や擬人化パーツの取り付け位置を元に作成する。

仮想的身体像は、表5.5で示すようなデータで構成される。位置座標を仮想的身体像の範囲に基づいて、身体語に変換する事が可能である。

5.4.3 環境認識モジュール

環境認識モジュールでは、主にユーザの行動を認識する。本モジュールでは、画像データや音声データから得られた情報を元にして、ユーザの位置や、ユーザの行動・発話内容を認識し、その結果を状況モジュールに渡す。

画像処理には、OpenCV[40]を利用した。Haar-like featureによる顔画像検知[41]やフレーム間差分を利用して認識を行う。図5.6はカメラによる認識を行った例である。図の赤い丸が付けられた点が、顔認識を行った結果となっている。

また、音声認識にはJulian[42]を使用し、「はい」・「いいえ」など単純な単語を認識した。

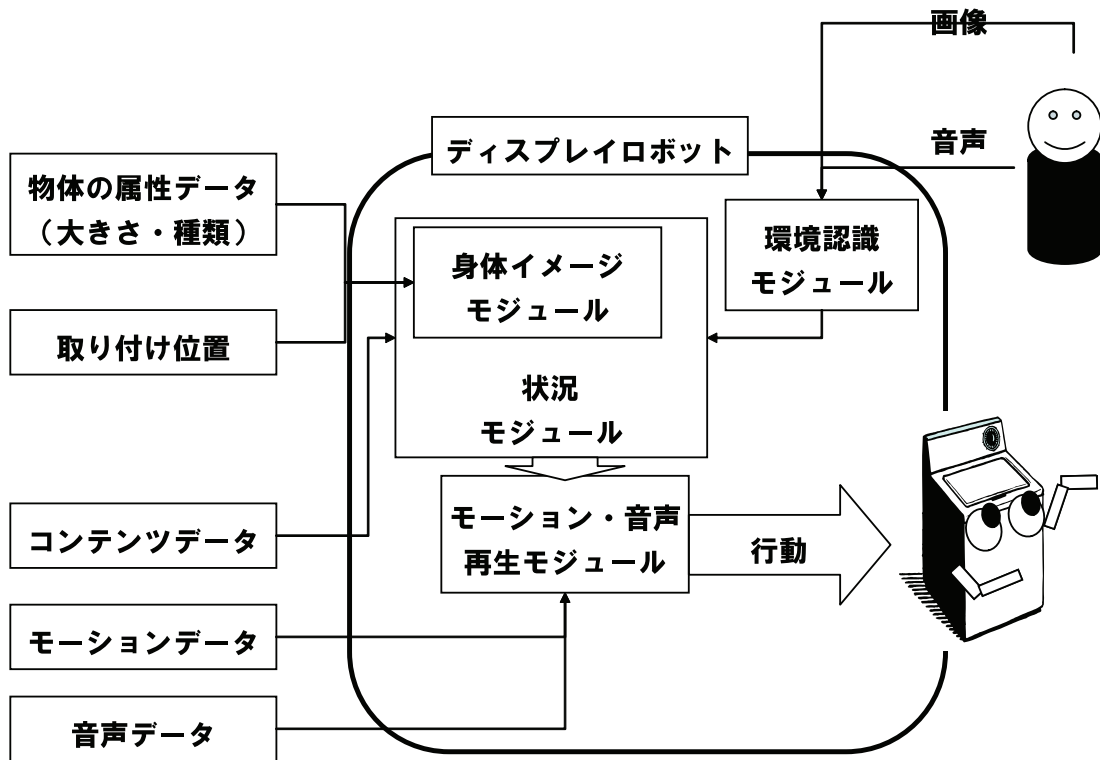


図 5.5: ソフトウェア構成

5.4.4 動作・音声再生モジュール

動作・音声再生モジュールでは、状況モジュールから指定された動作や音声を再生する。その際に、ユーザの方向を向いた動作であれば、自動的に位置を変換して表示を行う。

表 5.5: 仮想的身体像

寸法 重量	幅 500mm × 長さ 1220mm × 奥行き 320mm 1.5kg
中心座標	(200.0,-100.0,0.0)
右腕取り付け座標	(500.0,500.0,500.0) - (600.0,-0.0,400.0)
左腕取り付け座標	(-500.0,500.0,500.0) - (-600.0,-0.0,400.0)
右目取り付け座標	(200.0,700.0,700.0) - (320.0,600.0,600.0)
左目取り付け座標	(-200.0,700.0,700.0) - (-320.0,600.0,600.0)
正面カメラ取り付け位置	(0.0, 100.0, 900.0)
全方位カメラ取り付け位置	(0.0, -100.0, 900.0)
方向ベクトル	(100,100,0)
頭範囲	(300.0,700.0,900.0) - (300.0,0.0,500.0)
腹範囲	(300.0,700.0,500.0) - (300.0,0.0,000.0)
首範囲	NULL



図 5.6: 両カメラによる画像認識

第6章

擬人化手法の擬人化可能性の調査実験

本章では、前章までで開発したディスプレイロボットを用いてユーザが対象を擬人化できるか評価するため、擬人化機器からユーザへの要求が適切に行われるか調べた。

6.1 仮説

本実験では、冷蔵庫に目パーツを取り付けた。そして、擬人化された冷蔵庫による物体への指示 (図 6.1a) と擬人化されていない冷蔵庫による音声だけの物体指示 (図 6.1b) を比較した。

実験の仮説は次の通りである。目パーツを取り付けた冷蔵庫は、取り付けていない冷蔵庫に比べて仮想的身体像を得やすくなると考えられる。そして、仮想的身体像を得ることで、ユーザが冷蔵庫を発話主体として認識できるようになる。これに伴い、人間が、主体性を含んだシステムからの要求を理解しやすくなると考えられる。

6.2 実験指示

実験は大学の一室を借りて行った。どちらの実験も、同じ部屋で行われた。実験群の場合には、目パーツを図 6.2 のように取りつけた。

実験前に、被験者に対し次の2つの指示を行った。

- 目の前に装置があります。
- 何か聞こえて来ます。

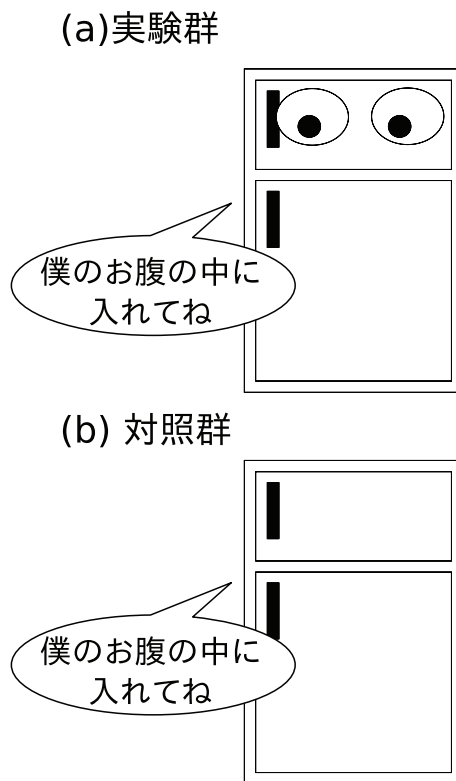


図 6.1: 実験群と対象群

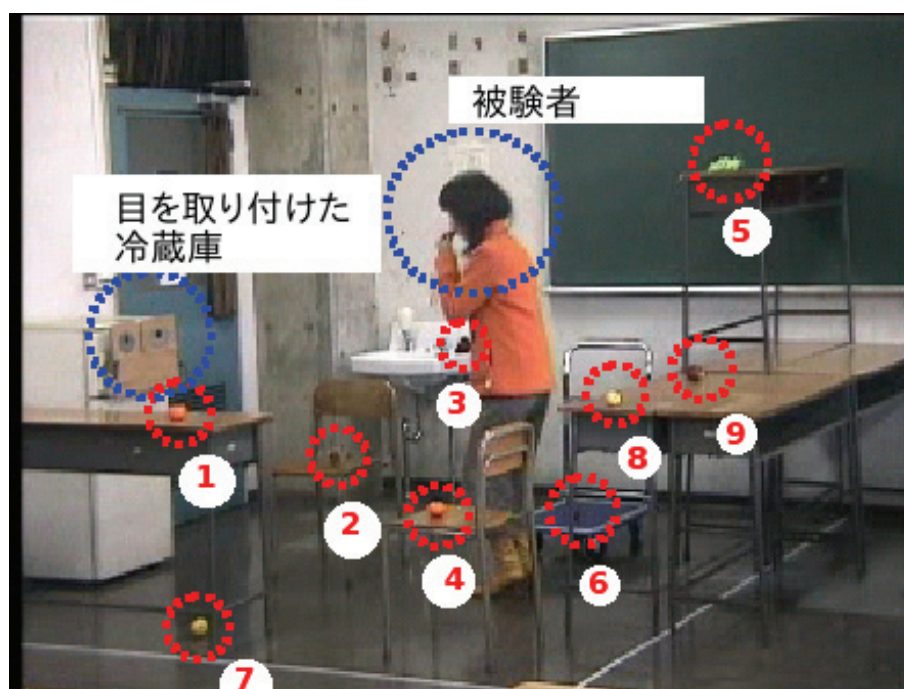


図 6.2: 実験群の様子

この指示は被験者に対し目の前に注意を払う事を要求する。また、この指示は指示に従う事を強制していないため、被験者は目の前からの指示に対し、自由に振舞う事ができる。

注意の後、被験者は部屋に入る。そして冷蔵庫は被験者に対し、目パーツとスピーカーを使用して、部屋に散らばった9つのダミーの果物の場所を指示する(表 6.1)。

各々の指示は、実験グループ・対照実験グループとも、次の通りに行われた。まず始めに、目パーツは被験者の方を見、その後に「それが欲しい」とスピーカーから発話しながら、指示対象の果物を見た。

6.3 実験環境

実験には21人の被験者が参加した。21人はいずれも、19歳以上25歳以下の大学の生徒であり、18人が男性、3人が女性であった。各被験者は、目パーツからの指示を受ける実験群(男性9人、女性2人)と、音声による間接的な指示のみを受ける対照群(男性8人、女性2人)の2つに、無作為に割り振られた。

2つの実験はいずれも、大学の教室で行われた。実験環境は図6.3の通りである。目パーツは、床から1030mm離され、冷蔵庫の扉に取り付けられた。実験環境の

表 6.1: 物体の場所

number	object	coordinates (mm)
1	大きな柿	(-620, -770, 790)
2	栗	(330, -680, 490)
3	葡萄	(2060, -500, 740)
4	小さな柿	(-470, -1570, 460)
5	マスカット	(1450, -1940, 1550)
6	じゃがいも	(1140, -1430, 100)
7	レモン	(-620, -770, 20)
8	梨	(0, -2100, 790)
9	イチジク	(800, -2100, 790)

原点座標は、目パーツの右の目の右側に取り付けられたセンサの位置とした。位置センサからのノイズによって、実験が妨げられるのを防ぐため、物体と被験者の座標は手動で入力した。

実験には、実験群と対照群のすべての被験者が参加した。物体は図 6.3 の各番号の位置に設置され、目パーツは冷蔵庫の扉に固定された。実験を始める前に、被験者には「目の前に装置が置いてあります」「何か聞こえてきます」という二つの指示を与えた。被験者は部屋に入ったのち、実験者は被験者に対し、目パーツもしくは冷蔵庫裏に取り付けられたスピーカを使用して物体への指示を行った。

実験群、対照群における指示は次の通りである。実験群の場合には、目パーツは被験者を見て、次に対象となる物体を見ながら（視線誘導）、「それが欲しい」と音声を発した。対照群の場合には、冷蔵庫の背後のスピーカが、「洗面台の上のが欲しい」のように、場所と「～が欲しい」という要求を続けて発声した。「欲しい」の音声は実験群と同じ物を使用した。被験者に対する指示は、どちらの場合でも、9つの物体に対して被験者が行動を起こすまで、最大3回行った。

各指示間の間隔は5秒間であり、もし、この間隔の間に被験者の反応が無かった場合には、次の指示を開始した。すべての指示が終了したら、目パーツもしくはスピーカは、「僕のお腹の中に入れてね」と発声し、被験者の反応を待った。

6.4 実験結果

被験者の反応はさまざまであった。本研究では被験者の反応を、SUCCEED (正しい物体に触ることができた者)・FAILED (間違った物体に触ってしまった者)・LOOK_AT (正しい物体を見ただけの者)・NOTHING (何もしなかった者)の4種

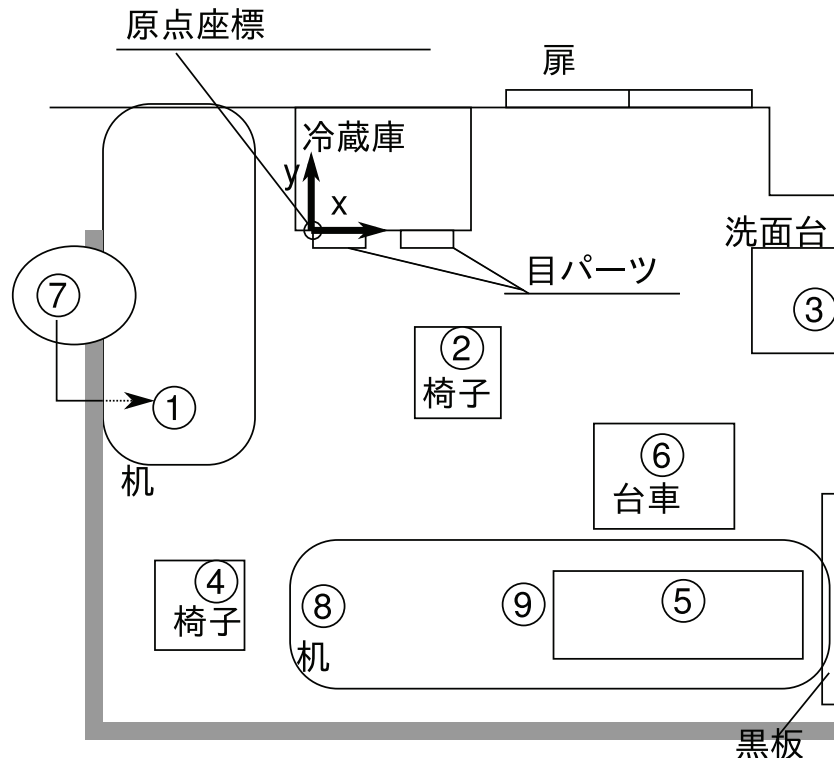


図 6.3: 実験環境

類に分類した。もし間違った物体が被験者によって取り除かれてしまった場合、その物体に対する指示は飛ばして実験を続け、結果にも記録しなかった。このようにして、被験者の集め方を分類した結果を、表 6.2 および表 6.3 に示す。

また、一つでも物体に触った被験者と、まったく触らなかった被験者(すべての行動が LOOK_AT か NOTHING に分類された被験者) に分けて分類した結果を、表 6.4 と図 6.4 に示す。

さらに、「僕のお腹に入れてね」という発声の後の、各被験者の反応を表 6.5 と図 6.4 にまとめた。実験群のすべての被験者と、対照群の 6 人の被験者は、発話を聞いて、物体を冷蔵庫に入れ、既に冷蔵庫に入れていた物は、冷蔵庫の開け閉めなどを行った。それに対し、対照群の 4 人の被験者は、冷蔵庫の発声に対して、何も反応を行わなかった。

6.5 考察

表 6.4 と表 6.5 中の 40%以上の要素が 5 以下であったため、Fisher の正確確率検定を使用し、実験群と対照群を比較した。その結果、どちらの結果でも $p = 0.03509 < 0.05$ が示された。よって、実験群と対照群の被験者の反応に、有意差が認められた。

表 6.2: 各物体に対する実験群の被験者の行動

物体	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SUCCEED	8	10	10	5	9	10	8	10	10
FAILED	0	0	1	5	0	0	0	1	0
LOOK_AT	2	1	0	1	1	0	0	0	0
NOTHING	1	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	11	11	11	11	10	10	8	11	11

表 6.3: 各物体に対する対照群の被験者の行動

物体	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SUCCEED	6	6	6	6	2	6	6	6	3
FAILED	0	0	0	0	4	0	0	0	0
LOOK_AT	3	4	4	4	4	4	4	3	2
NOTHING	1	0	0	0	0	0	0	1	2
合計	10	10	10	10	10	10	10	10	7

表 6.4: 物体に触った被験者

被験者	実験群	対照群
物体に触った (SUCCEED+FAILED)	11	6
一切触らなかった (LOOK_AT+NOTHING)	0	4

表 6.5: 冷蔵庫に物を入れた被験者

SUBJECT	実験群	対照群
冷蔵庫に物を入れた	11	6
何もしなかった	0	4

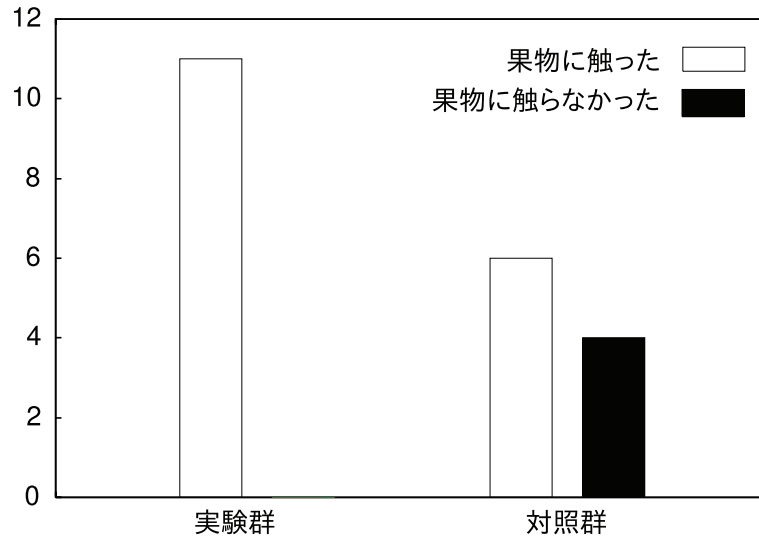


図 6.4: 各物体に触った被験者

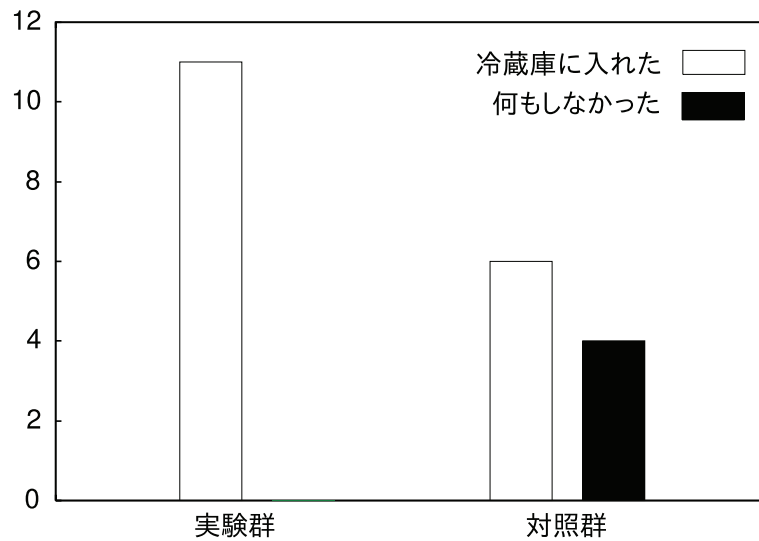


図 6.5: 冷蔵庫に物を入れた被験者

第6章 擬人化手法の擬人化可能性の調査実験

各群に対する有意差の原因として、次の二点は排除できる。まず、実験群と対照群での「欲しい」の発音は同じであるため、発音の聞き取り易さによる理解の差は無いと考えられる。また、物体に対して一度も触ることが無かった、対照群の4人の被験者も、物体のある場所を見ていたことから、指示が指し示す位置に関しては、両群で等しく理解されていたと考えられる。

身体パーツによる擬人化によって、主体的な表現を含んだ指示に対する被験者の理解に違いが生じたため、この有意差が発生したと考える。4人の被験者は冷蔵庫に対し、主体性を感じることが出来なかったため「欲しい」や「僕のお腹」といった主体性を感じないと理解できない表現が判別できなかったと考えられる。4人の被験者のうち1人は、最後の指示の後に物体を自らのお腹に当てた。この判断の失敗は、冷蔵庫自体の仮想的身体像を判別できなかったからだと考えられる。よってこの結果から、目パーツによって、仮想的身体像が強化され、その結果、人間の理解に違いが生じるという仮説が指示された。

また表6.2より、実験群では4番目の物体(小さな柿)に対する被験者の判別率が他の物体と比較して特に低いことが分かる。これは、1番目・7番目・8番目が近くにあったため、これら3物体を4番目と間違えたためである。この結果より、目パーツによって隣接した物体をユーザに対して指示するには、物体の色や形状などの情報を、ユーザに追加で与える必要があると考えられる。さらに表6.3より、対照群では5番目の物体(マスカット)に対する判別率が他と比較して特に低いことが分かる。これは、「机の上の高いの」という指示を「机の上の赤いの」と間違えたことが原因であると、実験後のアンケート結果から示されている。この結果より、音声による間接的な指示を行う際には、類似した発音の言葉に注意を払う必要があることが示唆されている。

第7章

擬人化による仮想的身体像の評価実験

本章では、擬人化によってユーザが対象に対し受け取る仮想的身体像を、図7.1の3つの分類に従ってそれぞれ検討する。

図7.1aは、身体パーツをとりつけた位置によって、ユーザがどこに仮想的身体部位を想起するかを表している。この例では、目パーツを取り付ける位置によって、その目パーツを含む部位が『頭』という身体部位としてユーザに想起されている。ユーザがこのように想起するかどうか、7.1節の実験で確認する。

図7.1bは、目パーツと腕パーツなど、各身体パーツ間の位置関係によって、ユーザがどこに仮想的身体部位を想起するかを表している。この仮定例では、目パーツと腕パーツを取り付ける位置によって、目パーツを含む部位が『頭』となるかならぬかが決定している。ユーザがこのように想起するかどうか、7.2節の実験で確認する。

図7.1cは、目パーツと腕パーツを取り付ける事でユーザが今まで想起しなかつたような身体像を得られる、ということを表している。この例では、身体パーツが何も無い場合には、ユーザが内側の領域を対話対象として認識するのに対し、外側の領域に身体パーツを付けてやることで初めて外側の領域を対話対象として認識している。ユーザがこのように想起するかどうか、7.3節の実験で確認する。

7.1 身体部品取付け位置による身体部位の変化

本節では、擬人化パーツを物体に取り付ける位置によって、ユーザが想起する身体像がどう変化するかを検証した。

本節では第6章と同じく、冷蔵庫に目を取り付け、果物を集める作業を被験者に行わせた。被験者は男性17名、女性4名であり、すべて大学の学生であった。被験者の年齢は19歳以上25歳未満であった。まず最初に、無作為に被験者を2つのグループへ分けた。

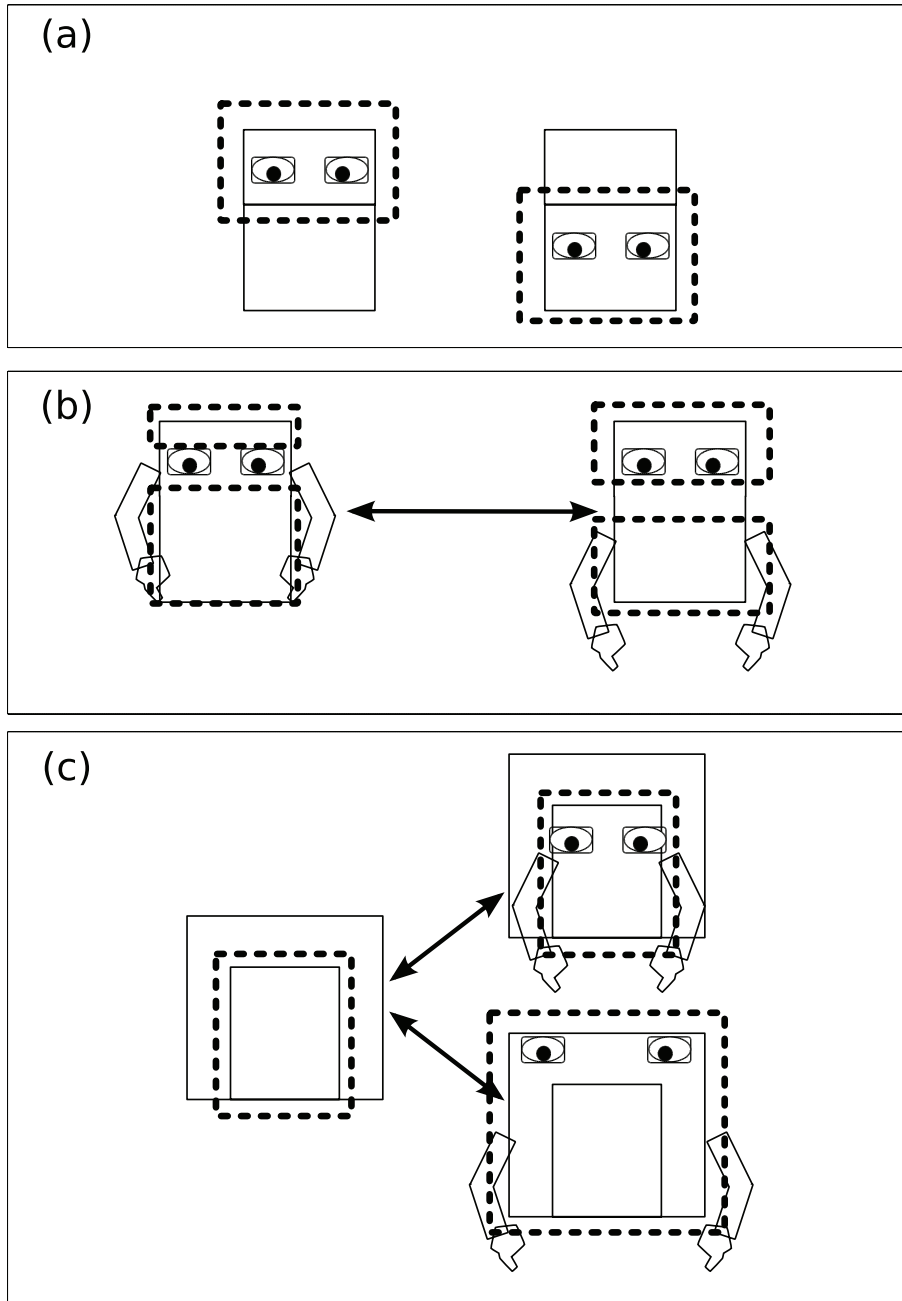


図 7.1: 仮想的身体像の分類

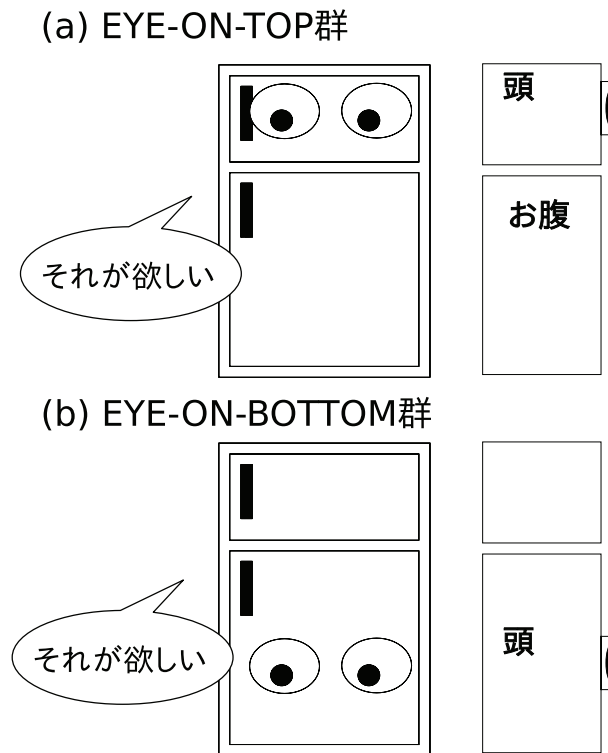


図 7.2: 目パーツの位置による仮想的身体像の変更例

- EYE-ON-TOP 群 (実験群): 目パーツが冷蔵庫の上に取り付けられている - 男性9人, 女性2人
本群の様子を図 7.2 左, および図 7.3 に示す.
- EYE-ON-BOTTOM 群 (対象群): 目パーツが冷蔵庫の下に取り付けられている - 男性8人, 女性2人
本群の様子を図 7.2 右, および図 7.4 に示す.

7.1.1 仮説

実験仮説は次の通りである. EYE-ON-TOP 群の被験者は, 冷蔵庫上部に頭という身体部位を想起するため, 「欲しい」と言う発話を受け, 頭に近い冷蔵庫上部に果物を置くのではないかと, また, 「お腹に入れてね」の意味を適切に解釈し, 果物を冷蔵庫の中に入れるのではないかとと思われる. 一方, EYE-ON-BOTTOM 群の被験者は, 冷蔵庫全体に対して頭という身体部位を得るため, 「欲しい」という発話を受け, 果物を冷蔵庫の上部ではなく, 意味的に近い『口/頭の中』に当たる冷蔵庫

の内部へと直接入れてしまうのではないか、また、「お腹に入れてね」の意味を適切に解釈出来ないのではないかと思われる。

7.1.2 実験指示と環境

実験は大学の一室を借りて行った。どちらの実験も、同じ部屋で行われた。目パーツは、実験グループの場合に図 7.3、対照実験グループの場合に図 7.4 のように取り付けた。被験者は A 群に対して 11 人 (男性 9 人, 女性 2 人), B 群に対して 10 人 (男性 8 人, 女性 2 人) で行った。

実験前に、実験助手が被験者に対し次の 2 つの指示を行った。

- 目の前に装置があります。
- 何か聞こえて来ます。

この指示は被験者に対し目の前に注意を払う事を要求する。また、この指示は指示に従う事を強制していないため、被験者は目の前からの指示に対し、自由に振舞う事ができる。

注意の後、被験者は部屋に入る。そして冷蔵庫は被験者に対し、目パーツとスピーカーを使用して、部屋に散らばった 9 つのダミーの果物の場所を指示する (図 7.3)。

各々の指示は、実験グループ・対照実験グループとも、次の通りに行われた。まず始めに、目パーツは被験者の方を見、その後に「それが欲しい」とスピーカーから発話しながら、指示対象の果物を見た。各々の果物は表 6.1 の順番に従って、一つずつ示された。

7.1.3 質問項目

実験終了後、仮想的身体像の評価をより詳しく行うため、被験者に対し次の 3 つのアンケートを試みた。

1. 装置の言ったことが理解できましたか？
2. 「それが欲しい」という単語の意味が理解が出来ましたか？
3. 「僕のお腹に入れてね」という単語の意味が理解が出来ましたか？



図 7.3: EYE-ON-TOP 群の様子



図 7.4: EYE-ON-BOTTOM 群の様子

表 7.1: 被験者が果物を置いた置き場所

	上に置いた	中に入れた	その他
EYE-ON-TOP 群	6	4	1
EYE-ON-BOTTOM 群	1	7	2

7.1.4 実験結果

「それが欲しい」という発話の後に、被験者がダミー果物を置いた場所は、表7.1 および図7.5の通りである。上部に付けた場合、冷蔵庫上部に6人が置き、冷蔵庫の中に4人が入れ、1人は目の前で動かすだけであった。上部に付けた場合、冷蔵庫上部に1人が置き、冷蔵庫の中に7人が入れ、1人は各物体に触っただけで、1人は何もしなかった。

また、「僕のお腹に入れてね」という発話の後には、すべての被験者がダミー果物を冷蔵庫の中に入れた。

また、アンケートの結果は、図7.6、図7.7、図7.8の通りである。

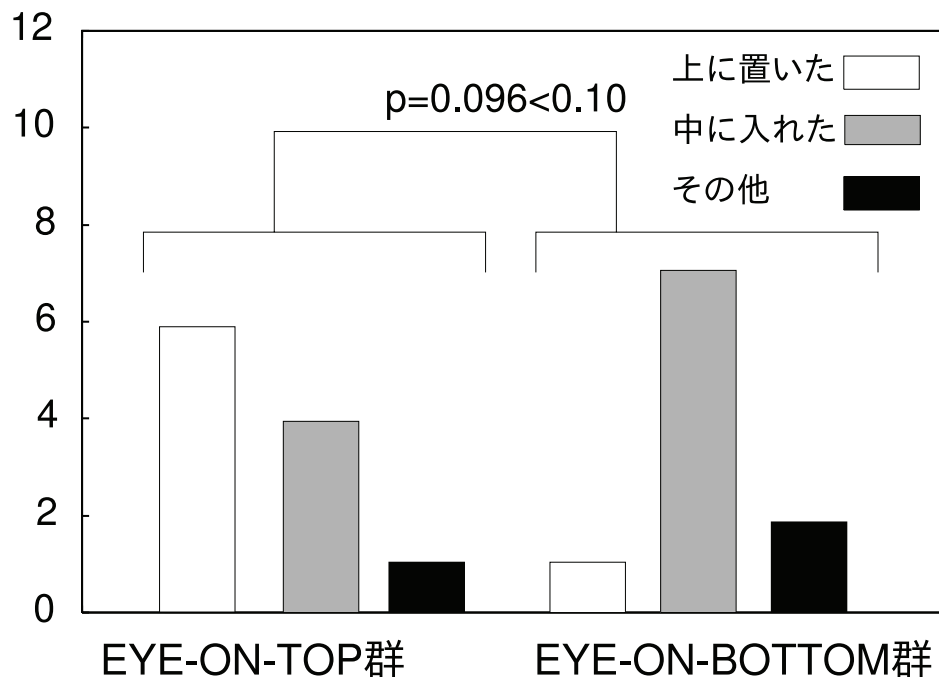


図 7.5: 「それが欲しい」という発話後の果物の位置

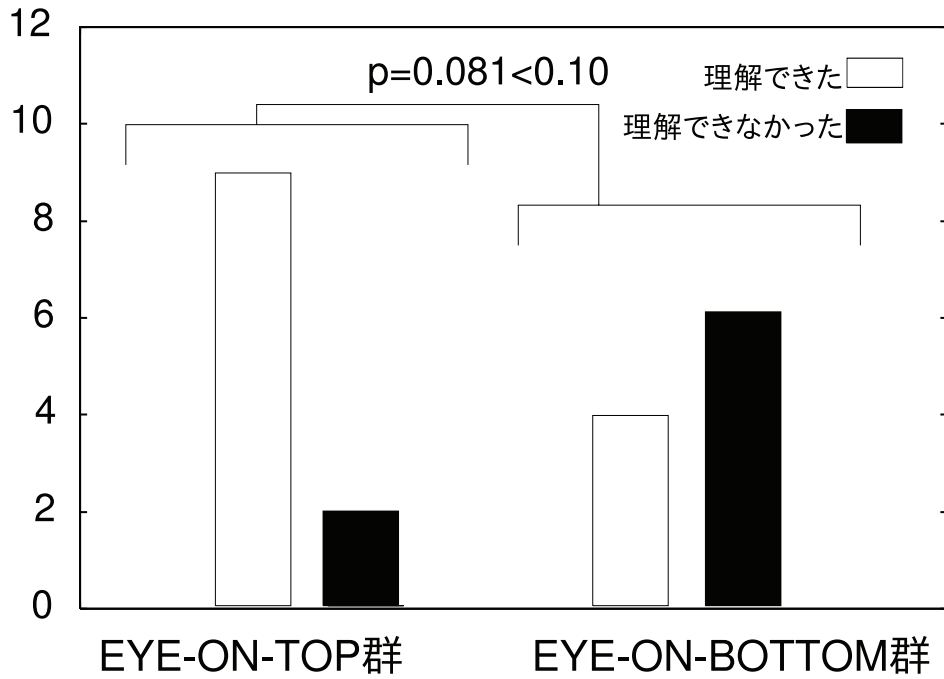


図 7.6: 質問 1: 装置の言ったことが理解できましたか?

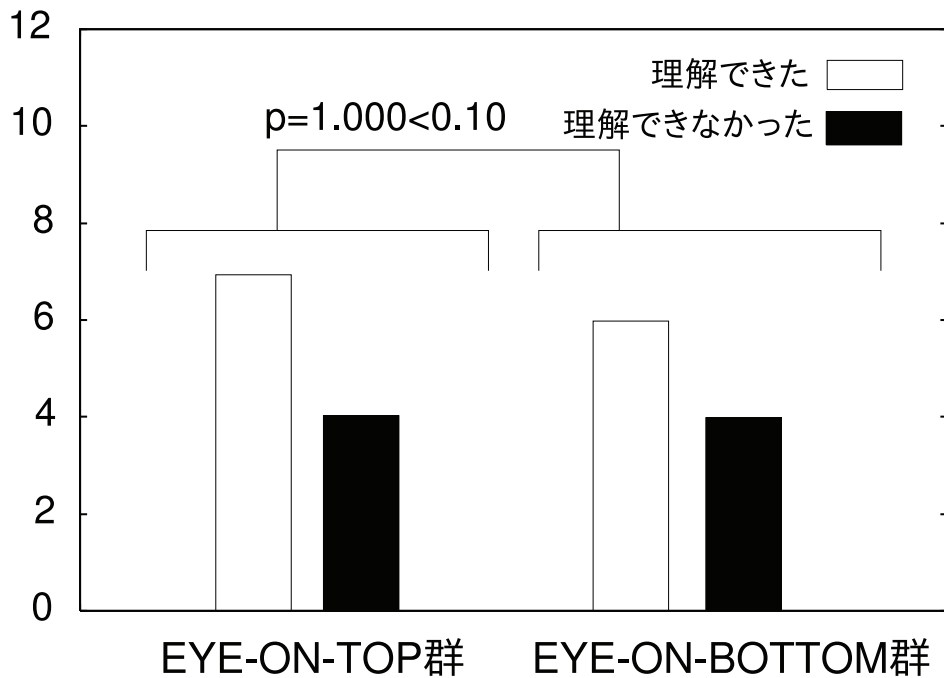


図 7.7: 質問 2: 「それが欲しい」という単語の意味が理解が出来ましたか?

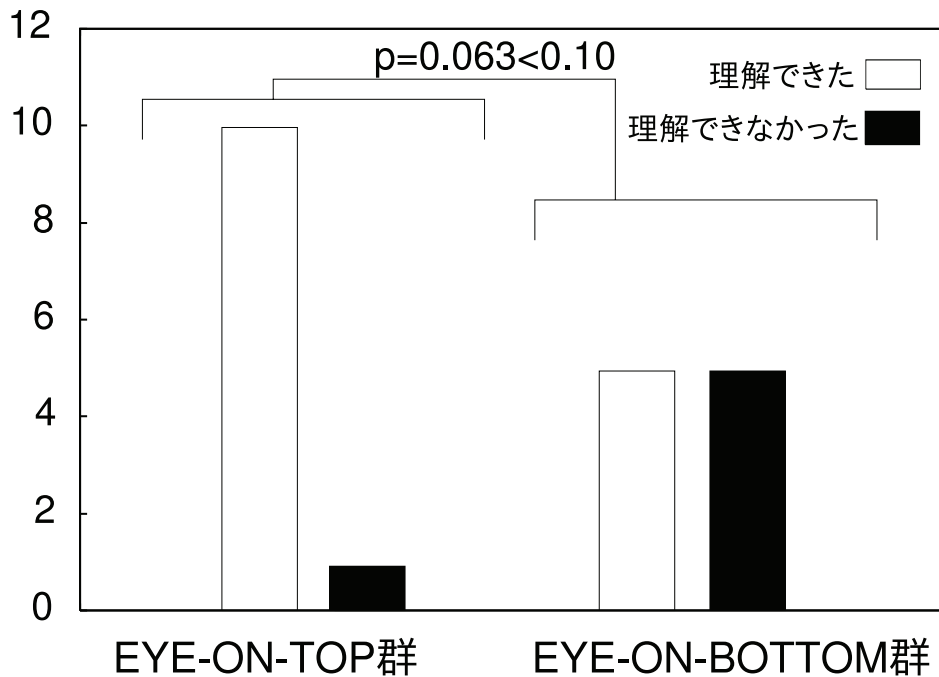


図 7.8: 質問 3: 「僕のお腹に入れてね」という単語の意味が理解が出来ましたか?

7.1.5 考察

表 7.1 の結果に対して、Fisher の正確確率検定による検定を行ったところ、 $p = 0.09604 < 0.10$ となり、2 群の間に $p < 0.10$ の有意傾向が確認できた。この結果より、TOP 群の被験者は目パーツを冷蔵庫の上部に取り付けることによって、ユーザが冷蔵庫上部に、より確信度の高い『頭』の仮想的身体像を得て、頭に近い冷蔵庫上部にダミーフルーツを置くことが出来たと言う事を示唆している。

アンケート結果もこの推論を支持している。3つのアンケートに対し、 chi^2 検定による有意差検定を行ったところ、図 7.6 の質問(装置の言ったことが理解出来ましたか?)と図 7.8 の質問(「僕のお腹に入れてね」という単語の意味が理解が出来ましたか?)に対し、 $p = 0.0805 < 0.10$ 、 $p = 0.06347 < 0.10$ となり、それぞれ有意傾向がみられた。この結果より、TOP 群の被験者の方が BOTTOM 群の被験者より、仮想的身体像が自然に形成されたため、装置の発話が理解しやすかったと考えられる。また、TOP 群の被験者の方が BOTTOM 群の被験者より『腹』の仮想的身体像を強く感知した結果、『腹』に対する指示を理解し易かったと考えられる。

一方で、2 番目の質問(「それが欲しい」という単語の意味が理解が出来ましたか?)に関しては、図 7.7 のように、両群にあまり変化が見られない。これは、「それが欲しい」という発話が、仮想的身体像の形に依存せず理解されるからだと思われる。この結果より、仮想的身体像の影響を受ける発話と影響を受けない発話の両者



図 7.9: 擬人化されたゴミ箱

があると考えられる。

7.2 身体部品同士的位置関係による仮想的身体像の変化

前節では、目を取り付ける位置を変えることで、ユーザが違った仮想的身体像を受け取るかどうか確認した。本節では、目の他に腕を取り付けたとき、その二つのデバイスの位置で、ユーザが受け取る『頭』と『お腹』の仮想的身体像がどう分割されるか、実験により検証した。ユーザへ働きかけるインタラクションとしては、ディスプレイロボットがユーザに呼びかけを行うことで、ディスプレイロボットを取り付けた対象へユーザを呼び寄せる、呼び込みタスクを選択した。

7.2.1 評価手段

取り付け位置による仮想的身体像の変化を調べるため、擬人化された物体の写真2種類(擬人化されたゴミ箱：図7.9)(擬人化されたエクササイズバイク：2日目、図7.10)を見せ、来場者が『頭』『お腹』と感じるところにそれぞれ丸をつけてもらい、取付け対象による仮想的身体像の変化を調べた。

ディスプレイロボットを付けたそれぞれの物体(ごみ箱、エクササイズバイク)に対し、写真に丸が付けられた領域を、図7.11のそれぞれの区画に従って分類した。『頭』と『お腹』の分類結果を図7.12, 7.13に示す。スラッシュ記号の前のアルファベットが『頭』と受け取られた領域を示し、スラッシュ記号の後ろのアルファベットが『お腹』と受け取られた領域を示す。



図 7.10: 擬人化されたエクササイズバイク

7.2.2 実験場所

調査は、慶應義塾大学矢上キャンパスで行われた矢上祭(文化祭)の研究室展示にて行った。調査期間は2日間(10/14, 10/15)合わせて12時間であり、初日が12:15-17:15の5時間、2日目が10:15-17:15の7時間であった。

7.2.3 評価結果

アンケートの有効回答数は、初日17人、2日目35人の合計52人であった。このうち、男性は31人、女性は16人、性別の無回答者は5人であった。また、ユーザの年齢は10代毎に区切って来場者に回答してもらった。年齢の有効回答数は46人であった。アンケートに回答したユーザの年齢は、10歳以下から50歳以上まで、幅広い年代にわたっていた。来場者のほとんどが、ロボットを見たことが無く、またすべての来場者にとってディスプレイロボットを見るのは初めての体験であった。

ディスプレイロボットをごみ箱に取り付けた状況では、正面から見たときに目の付いている場所と、腕の生えている場所の垂直位置が同じになる(図7.11左のB)。この状況下では、ほとんどの来場者が図7.12のように、腕と目がついた垂直位置

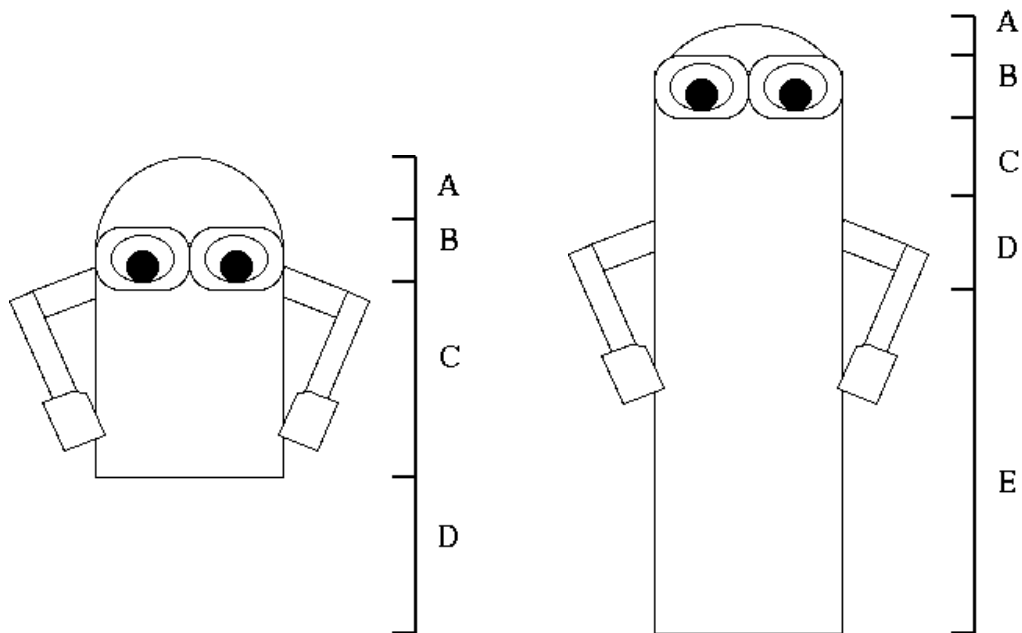


図 7.11: 仮想的身体像分割図

よりも上の領域(図 7.11 左の A)を『頭』と受け取り、腕と目がついた垂直位置よりも下の領域(図 7.11 左の C)を『お腹』と受け取っている。

一方、ディスプレイロボットをエクササイズバイクに取り付けた状況では、正面から見たときに目の付いている場所(図 7.11 右の B)と、腕の生えている場所(図 7.11 右の D)の垂直位置が異なる。図 7.12 より、この状況下ではほとんどの来場者が目をふくめた図 7.11 右の A と B の領域を『頭』と捉えている。これは、目デバイスを取り付けた領域が含まれるため、ごみ箱の場合とは異なる。また、『お腹』の仮想的身体像は、図 7.11 右の C から E までと受け取る者と、図 7.11 右の D から E までと受け取る者の 2 種類に分かれている。

このような変化がおこった原因として、目と腕を近付けて取り付けることで、その部分が頭やお腹の一部と受け取りづらくなり、ユーザがその領域を明確な境界として、頭やお腹のどちらかに組み入れることなく、物体の上部を頭、下部をお腹と知覚した可能性が考えられる。

一方、エクササイズバイクでは、目と腕の取付け位置が離れている。これによって、目や腕をそれぞれ、頭やお腹の一部として受け取り易くなり、その結果、多数のユーザが目を含めた部分を頭と受け取り、また半数のユーザが、腕を含んだ部分をお腹と受け取ったと考えられる。

以上より、ディスプレイロボットを使って、仮想的身体像を物体に付与する場合に、ユーザが設計者の意図を間違えず、頭とお腹を認識する必要があるれば、目と腕の取付け位置を近付けるのが良いと考えられる。

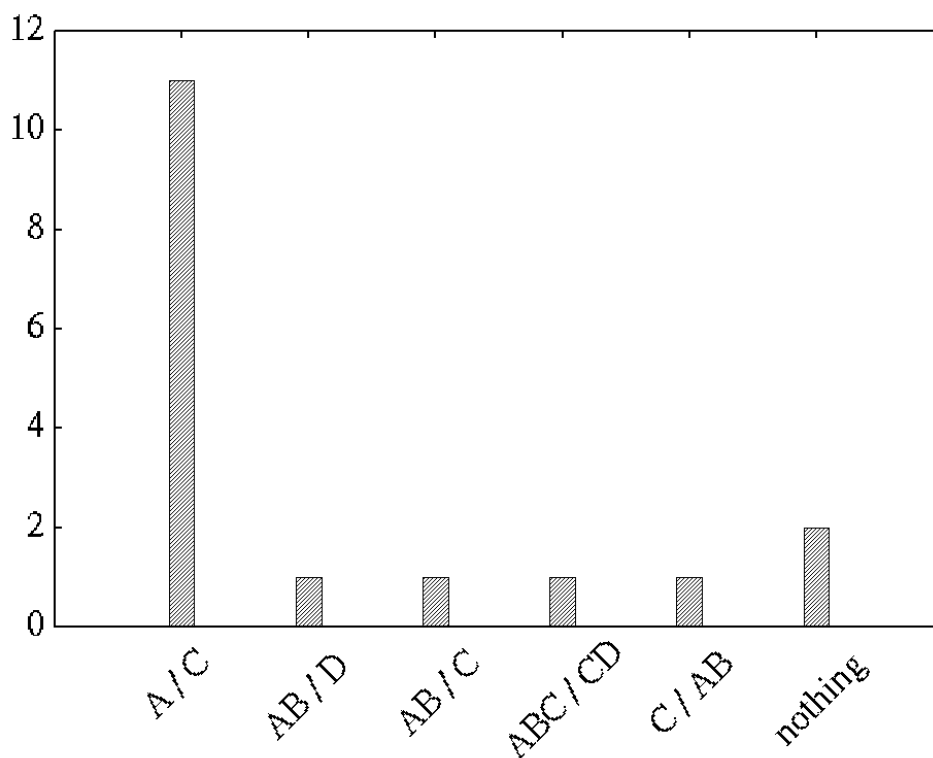


図 7.12: 目と手が同じ高さにある例

7.3 身体部品の有無による身体像の明示化

本実験では、ディスプレイロボットによってどのように身体が明示化されるか、複数の物体を使用した実験によって評価を行った。

7.3.1 実験環境と被験者

実験では、擬人化された机と擬人化されていない箱、擬人化された箱と擬人化されていない机、または擬人化されていない箱および机が被験者に対してあらかじめ指定した8つの指示語を与え、被験者はシステムからの指示語に従って、隣のテーブルに置いてある物体を集め、指定された場所に置いたり、指定された指示語の場所を触ったりする。

実験には25人の被験者が参加した。25人はいずれも、21歳以上27歳以下の大学生・大学院生であり、23人が男性、2人が女性であった。被験者は下記の通り、無作為に3群に分けられた。

- OutsideBody group: 10人 (男性9人, 女性1人).

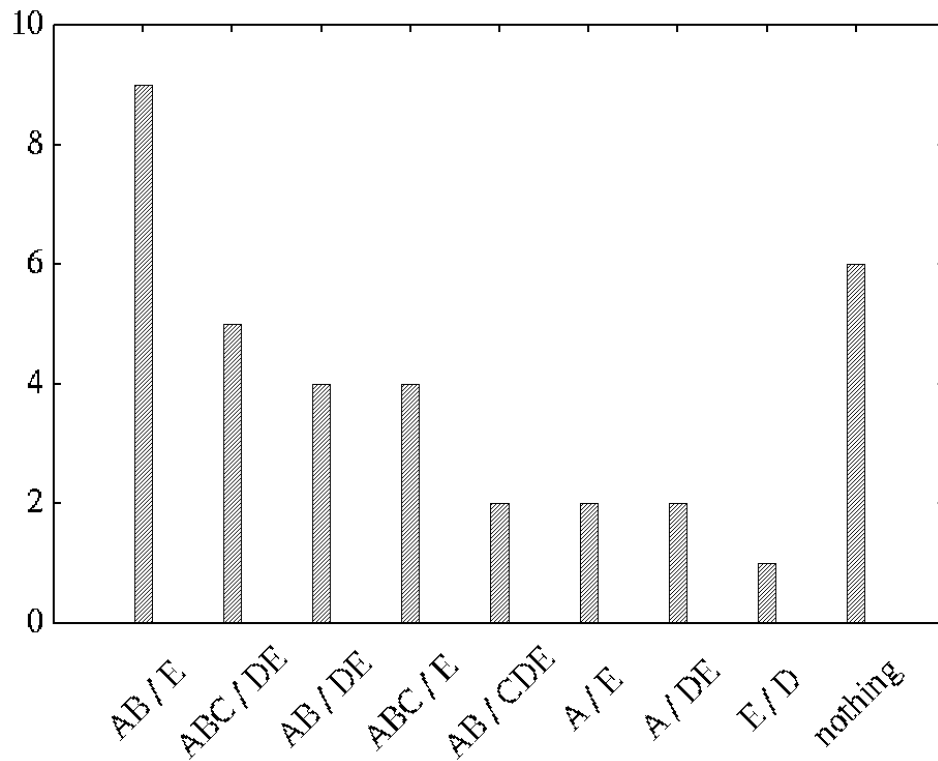


図 7.13: 目と手が違う高さにある例

擬人化パーツが机に取り付けられている (図 7.15 左)

- InsideBody group: 10 人 (男性 9 人, 女性 1 人).
擬人化パーツが箱に取り付けられている (図 7.15 中央)
- NoBody group: 10 人 (男性 10 人).
擬人化パーツが取り付けられていない (図 7.15 右)

実験中に被験者に与えた指示は次の 8 つである.

- INS1: 「青い本を右に置いてね」
- INS2: 「人形を足元に置いてね」
- INS3: 「黒いコップを上に入れてね」
- INS4: 「白いコップを正面に入れてね」
- INS5: 「白いファイルを頭の上に入れてね」
- INS6: 「黒いテープをお腹に入れてね」

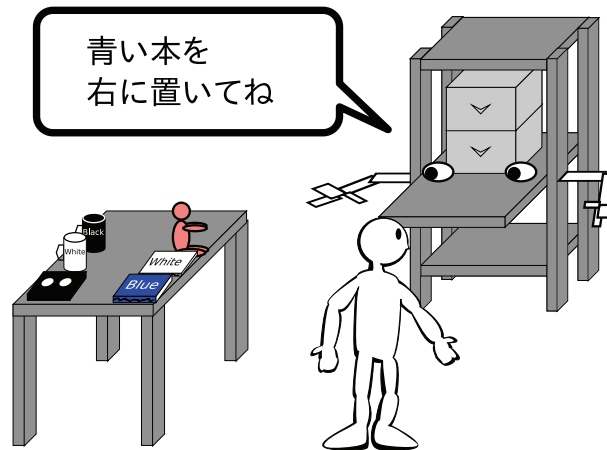


図 7.14: 実験概要図

- INS7: 「お尻を触ってね」
- INS8: 「白いコップを右に置いてね」

OutsideBody 群と InsideBody 群では、指示は机に取り付けられたスピーカからの発話および目パーツによる注視と Arm-bot によるポインティングを使って行われる。一方 NoBody 群では、指示は発話のみで行われる。

7.3.2 実験仮説

実験の仮説は次の2つである。まず、被験者は擬人化された状況で、擬人化された対象領域に主体性を感じ、指示を受け取り易くなると考えられる。次に、被験者はディスプレイロボットが取り付けられていない場合 (NoBody 群)、箱を机よりも擬人化して受け取るのではないかと考えられる。よって OutsideBody 群では、他2群と比べて机に対してより主体性を感じることができると考えられる。

8つの指示に対する、具体的な仮説は次の通りである。

指示表現への仮説 (INS1-INS4)

INS1の指示が行われる場合、OutsideBody 群や InsideBody 群では、発話対象の前に置く率が高まると考えられる。また、物体から見て右、つまりユーザから見て左に置く例が増えるのではないかと考えられる。NoBody 群では、置く場所が定まらず、現在の位置からの相対的に右に置く置き方をする例が余計増えるであろう。また、INS2の指示が行われる場合、NoBody 群では、表現主体が存在しないため、ユーザが自分の足元に置く率が高まるであろう。さらに、INS3とINS4の指示が行

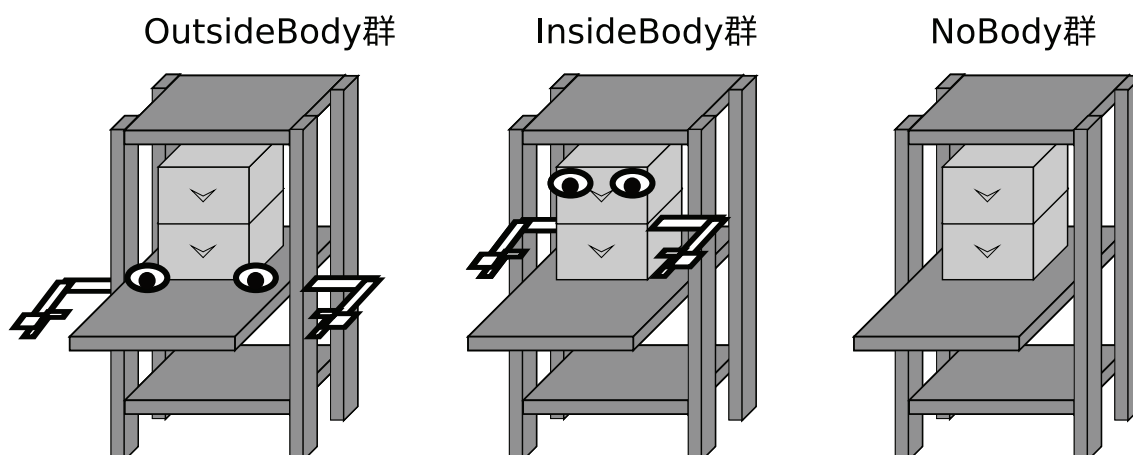


図 7.15: 実験に使用した3群

われる場合、ユーザにとって上と判断される場所、正面と判断される場所はそれぞれ机の上、机の正面と考えられる。この2つは擬人化の有無によらず、一意に場所が決まるであろう。

身体表現への仮説 (INS5-INS7)

OutsideBody 群では、ユーザは机に対して主体を得るため、物体は INS5 にしたがって机の上、INS6 にしたがって机の下に置かれ、ユーザは INS7 にしたがって机の裏を触ると考えられる。また、InsideBody 群では、ユーザは箱に対して主体を得るため、物体は INS5 にしたがって箱の上、INS6 にしたがって箱の中に置かれ、ユーザは INS7 にしたがって箱の裏を触ると考えられる。一方で NoBody 群では、明確な主体が得られないため、ユーザの行動は一定せず、ばらけると思われる。

主体性の増加に関する仮説 (INS8)

OutsideBody 群や InsideBody 群では、この8番目の指示の前に擬人化した主体からの指示を受けている。よって INS1 の状況に比べて、より物体から見て右、つまりユーザから見て左に置く例が増えるのではないかと思われる。

7.3.3 実験結果

実験結果は図 7.16 から図 7.23 の通りである。図 7.16、図 7.23 の『机の右』『机の左』は、机から見た右と左を表している。よってユーザから見た場合には、それぞれ『左』と『右』になる。また、『テーブルの右』に含まれる被験者は、青い本がも

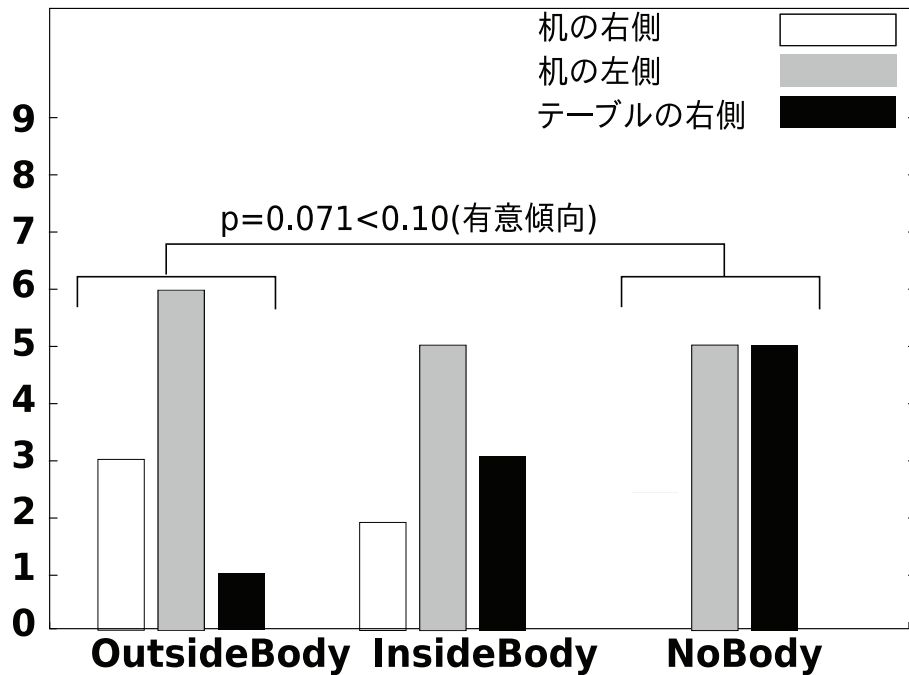


図 7.16: 1 番目の指示「青い本を右に置いてね」に対する反応

ともと置いてあった場所と比較して、本を右側 (人形の側) に置いた被験者である。

7.3.4 考察

指示表現 (INS1-INS4)

INS1: 「青い本を右に置いてね」の指示に対し、Fisher の正確確率検定を適用したところ、OutsideBody 群と NoBody 群の 2 群間で $p = 0.071 < 0.10$ となり、この 2 群に有意傾向が見られた。

この結果より、特に机を擬人化することで、机自体の主体性を高め、その結果「右に置いてね」という指示をシステムがユーザに対し出したときに、ユーザがまず机に注目するようになり、結果、机の右に置き易くなったのではないかと考えられる。また、机自体が表現主体となったことで、机の物を置くという役割が強調され、それに従って被験者が、隣のテーブルの上よりも、机の上に対し物を置くようになったとも考えられる。

INS2: 「人形を足元に置いてね」の指示に対しては、OutsideBody 群と NoBody 群の 2 群間で $p = 0.083 < 0.10$ となり、この 2 群に有意傾向が見られた。これは、OutsideBody 群、InsideBody 群に比べ、NoBody 群において、発話主体を受け取りづらく、その結果、ユーザが指示を自分を視点にしたものと受け取って、人形を躊

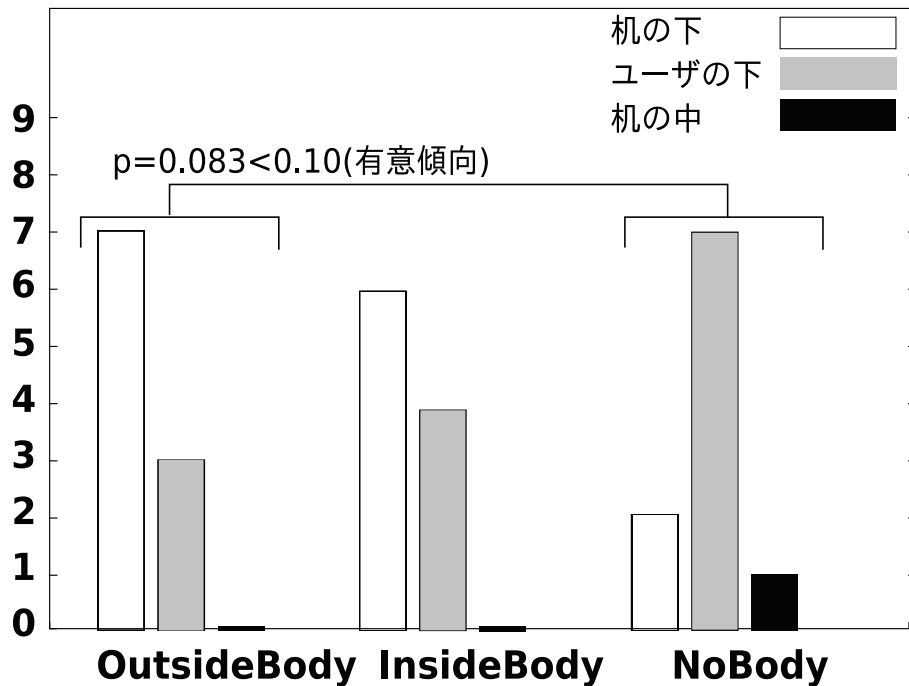


図 7.17: 2 番目の指示「人形を足元に置いてね」に対する反応

踏せず足元に置く結果が増えたと考えられる。ただし、有意差は確認できなかった。これは、実験群の人数が少なすぎたためと思われる。また、『足元』という単語がまずユーザの足元を意識させたため、擬人化の有無に関わらず、ユーザが足元に置くものと想定したと考えられる。

INS3: 「黒いコップを上置いてね」および INS4: 「白いコップを正面に置いてね」の指示に対しては、特に変化が見られなかった。これは、本状況において、上や正面といった表現の表す場所が一意に決定していたためと思われる。よって、擬人化によって主体性を強める必要があるのは、指示の選択肢が複数存在する場合であると考えられる。

身体表現 (INS5-INS7)

図 7.20 に Fisher の正確確率検定を適用したところ、OutsideBody 群と InsideBody 群の間に、有意傾向 ($p = 0.070 < 0.10$) が発見できた。また、図 7.21 に正確確率検定を適用したところ、OutsideBody 群と InsideBody 群の間に、有意差 ($p = 0.0001 < 0.05$)、OutsideBody 群と NoBody 群の間に、有意差 ($p = 0.001 < 0.05$) が発見できた。また、InsideBody 群と NoBody 群の間に、有意差 ($p = 0.211 > 0.10$) は発見できなかった。さらに、図 7.22 に正確確率検定を適用したところ、OutsideBody 群と InsideBody 群の間に、有意差 ($p = 0.0001 < 0.05$)、OutsideBody 群と NoBody

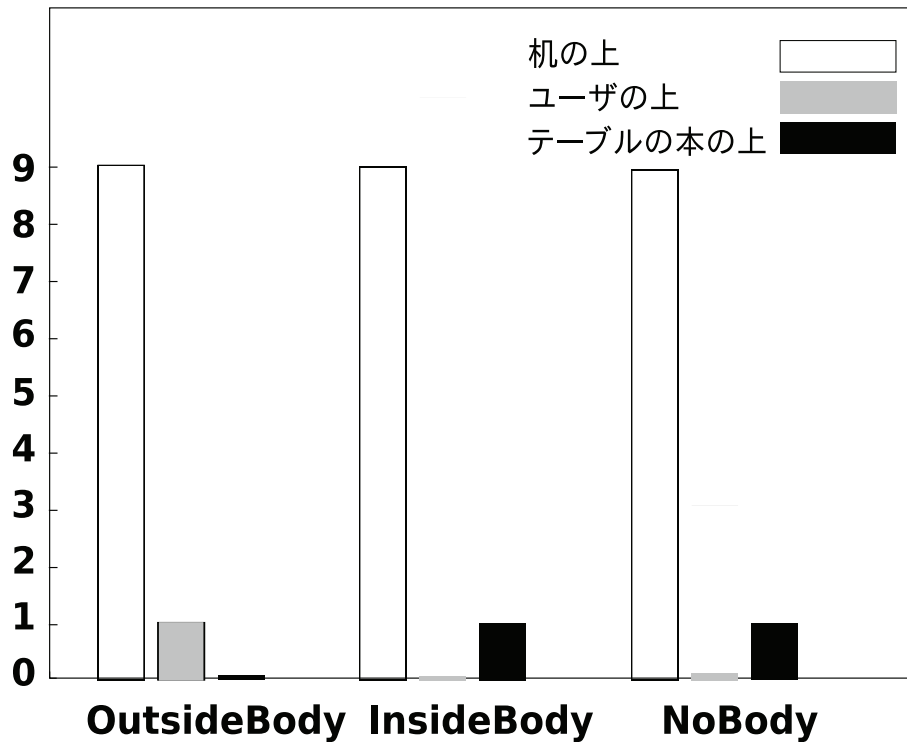


図 7.18: 3 番目の指示「黒いコップを上置いてね」に対する反応

群の間に、有意差 ($p = 0.005 < 0.05$), InsideBody 群と NoBody 群の間に、有意差 ($p = 0.011 < 0.05$) を発見した。

まず始めに、InsideBody 群と NoBody 群の被験者の大半が、図 7.20 と図 7.21 より同じように物体を箱の上と箱の中に置いている。これに対し、OutsideBody 群の被験者の大半が、机の上と机の中に物体を置いている。これは、擬人化ロボットパーツを用いた擬人化が一切行われていないときに、机上の箱が机自体よりも主体として認識され易く、その結果、机上の箱に擬人化ロボットパーツを取り付けた場合と擬人化ロボットパーツをどこにも取り付けていない場合の両者で、「お腹に入れてね」という指示のユーザの理解に差が無いことを示唆している。また、机は主体として認識されづらく、擬人化ロボットパーツを取り付け直接的な擬人化をすることで、初めて主体としてユーザに認識され、その結果、「お腹に入れてね」という指示で机の下部を示すことが可能となっている。そのため、InsideBody 群と NoBody 群の間で『頭』や『お腹』といった単語に対する反応に差が無いのに対し、OutsideBody 群とこの両群の間に差があると考えられる。本結果より、ディスプレイロボットは主体性を感じづらい物体や領域に対して、仮想的で直感的な仮想的身体像を張り付ける効果があると考えられる。これらの結果より、ディスプレイロボットは、机・椅子・クローゼットなど、より直感的に認識しづらい領域に対して

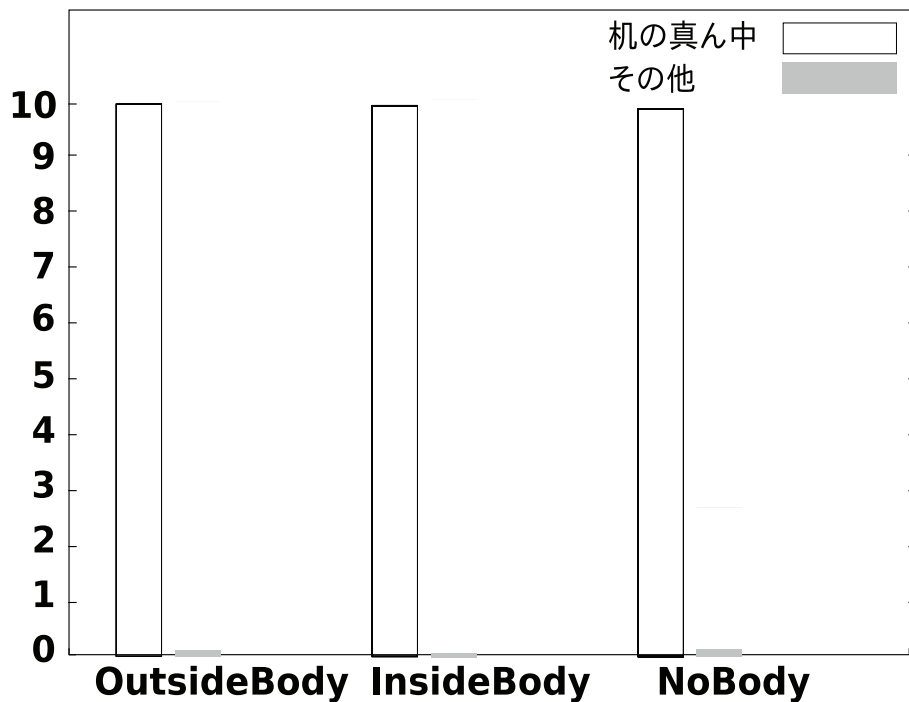


図 7.19: 4 番目の指示「白いコップを正面に置いてね」に対する反応

擬人化を行い、主体性を与えることも可能ではないかと考えられる。

次に、図 7.20・図 7.21・図 7.22 より、NoBody 群の被験者が他 2 群の被験者よりも自分の周りだけでなく、物体の置き場所が多様になっていることが見て取れる。これは、擬人化ロボットパーツを取り付けていなくても、被験者がある程度対象を擬人化し、その結果仮説よりも物体の置き場所が多様になったと考えられる。本結果より、もし擬人化ロボットパーツを使用しない指示をシステムの設計者が意図する場合には、指示の際に「あなたの」など、対象を明確にする単語を付け加える必要があると考えられる。

最後に、7 番目の指示に対しては、どの群にも明確な有意差が出ている。このように、3 群に対し明確な差が出たのは、『尻』という表現が、とくに擬人化を伴っていない場合には物体に付属するものとユーザに受け取りづらくなり、その結果、ユーザは OutsideBody 群では『尻』を机の後ろと受け取り、InsideBody 群では『尻』が箱の後ろと明確に受け取るのに対し、NoBody 群では『尻』が箱の後ろや、自分の尻を表すと受け取ることが多く、結果がばらけるからではないかと考えられる。この結果より、身体表現の種類によって、受け取りやすさが違って来ることが考えられる。

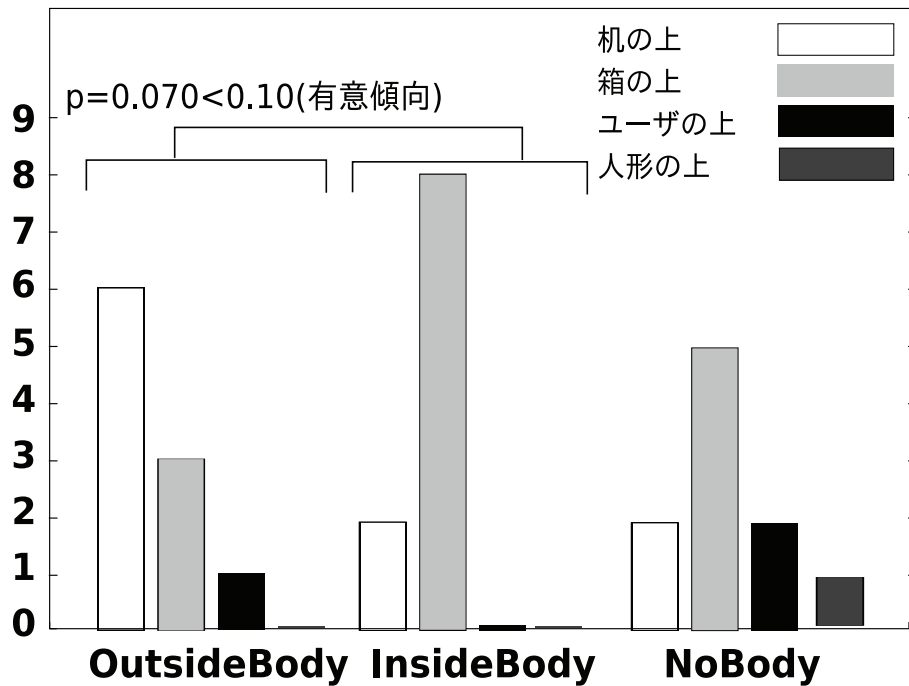


図 7.20: 5 番目の指示「白いファイルを頭の上に置いてね」に対する反応

主体性の増加 (INS8)

INS8: 「白いコップを右に置いてね」の3群に対し検定を行ったが、有意差は発生しなかった。ただし、INS1のときに机からみて左に物を置いたが、INS8のときに机からみて右に物を置いた者は、OutsideBody群では2人、InsideBody群では2人いた。また、どの群でも、逆に右から左へ置くようになった者はいなかった。これは、擬人化ロボットパーツによって擬人化された物体からの情報提示を繰り返すことで、ユーザが物体に対し主体性を感じることが出来るようになり、その結果、ユーザが物体からの視点で情報を受け取ることが可能になったからと考えられる。繰り返しの情報提示が主体性を高める例に付いては、今後の検討が必要であると考えられる。

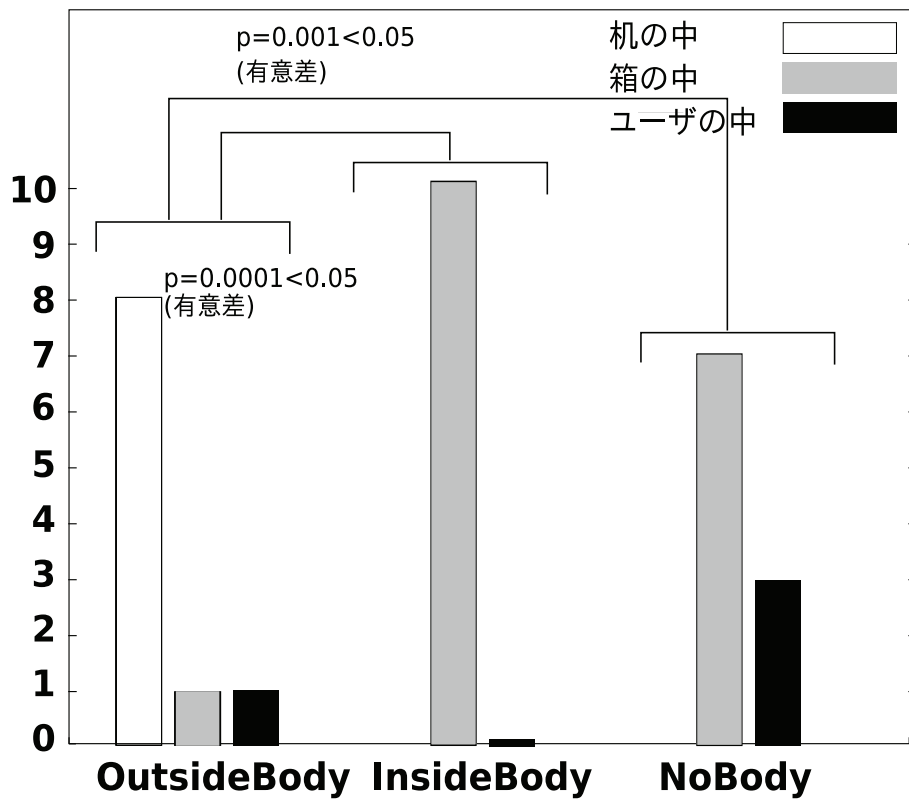


図 7.21: 6 番目の指示「黒いテープをお腹に入れてね」に対する反応

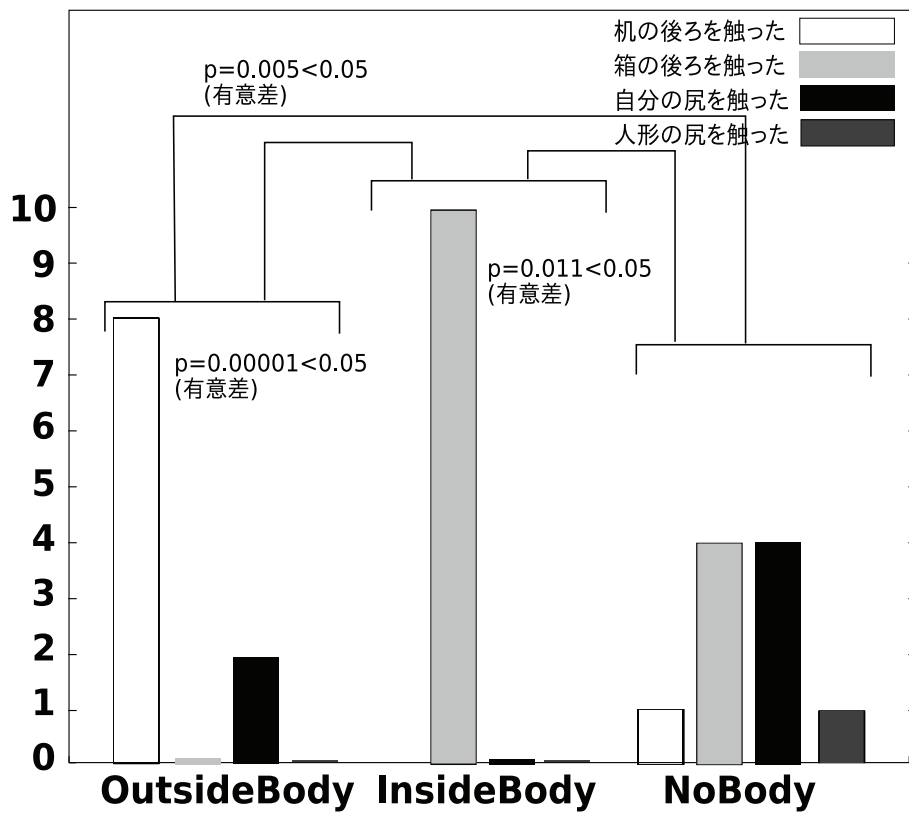


図 7.22: 7 番目の指示「お尻を触ってね」に対する反応

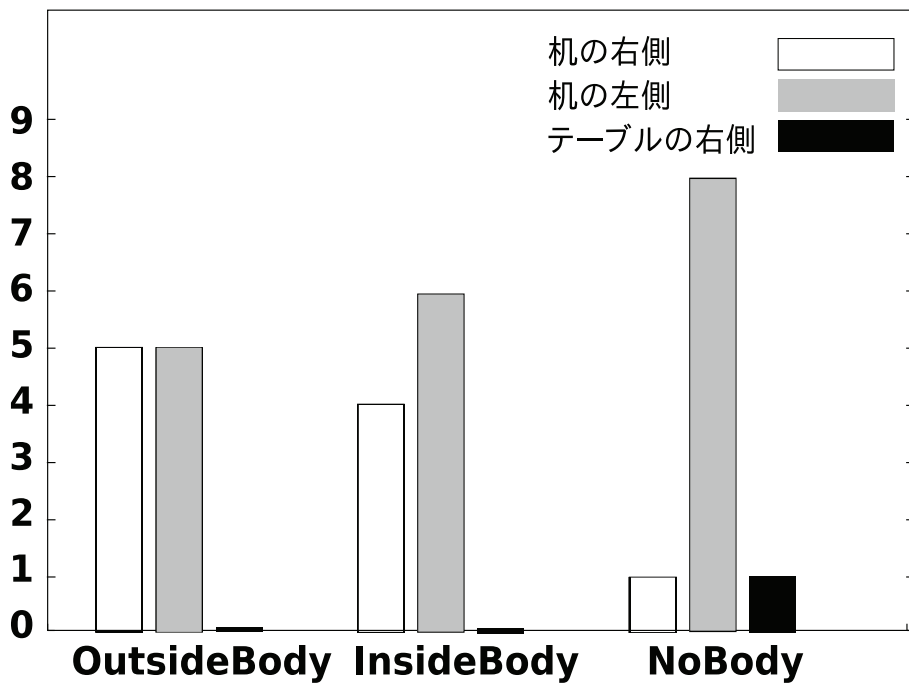


図 7.23: 8 番目の指示「白いコップを右に置いてね」に対する反応

第8章

擬人化が受け入れられる性別・年代の評価実験

本章では、ディスプレイロボットの効果を検討するため、ディスプレイロボットを実際の機器に取り付け、ユーザとのインタラクションを行い、その結果を見る調査実験を行った。ユーザへのインタラクションシナリオとして今回は、ディスプレイロボットがユーザに呼びかけを行うことで、ディスプレイロボットを取り付けた対象へユーザを呼び寄せる、呼び込みタスクを選択した。

8.1 評価環境

調査は、慶應義塾大学矢上キャンパスで行われた矢上祭(文化祭)の研究室展示にて行った。調査期間は2日間(10/14, 10/15)合わせて12時間であり、初日が12:15-17:15の5時間、2日目が10:15-17:15の7時間であった。

ディスプレイロボットによる、ユーザとのインタラクションの流れを図8.1に示す。まず、インタラクション前に対象となる物体に対し、目と腕となる部品、およびカメラとスピーカを取り付け、仮想的身体像の座標を初期化する。その後、まずカメラによって顔画像の検出を行い、検出が行われた場合には、その顔の大きさと位置から実世界上の顔の位置を求め、そちらに向けて目による注視、および腕の移動を行った。さらに、一定時間(4秒間)検知が行われた際に、あらかじめ用意した「こんにちは」、「いらっしゃい」、「おーい」、「やあ」という4つの発話からランダムに1語を選び、ユーザへの呼びかけを行うとともに、手先を動かして手招きを行った。これによって、ユーザを物体に呼び寄せるシナリオを実現した。

ディスプレイロボットの実装対象は、卓上サイズのゴミ箱、室内用運動器具のエクササイズバイクであった。本研究では、目や腕、カメラの取り付け位置はあらかじめ手動で入力した。

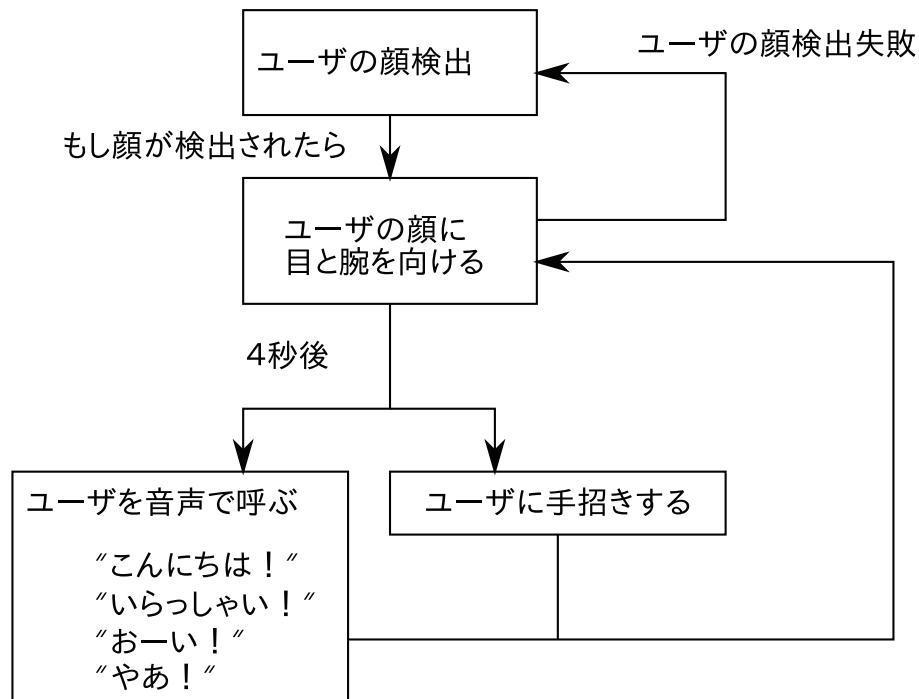


図 8.1: インタラクションの流れ

8.2 評価手法

ディスプレイロボットの評価のため、来場者に対し、展示の見学・解説を行ったあと、アンケートによる評価を行ってもらった。アンケートは、17対の形容詞対を用いた7段階の数値評価(表 8.1)とディスプレイロボットが注視・呼びかけを行った際の印象についての記述評価からなる。なお、来場者に対するアンケートは強制ではなく任意であった。

8.3 結果

アンケートの有効回答数は、初日 17 人、2 日目 35 人の合計 52 人であった。このうち、男性は 31 人、女性は 16 人、性別の無回答者は 5 人であった。また、ユーザの年齢は 10 代毎に区切って来場者に回答してもらった。年齢の有効回答数は 46 人であった。アンケートに回答したユーザの年齢は、10 歳以下から 50 歳以上まで、幅広い年代にわたっていた。来場者のほとんどが、ロボットを見たことが無く、またすべての来場者にとってディスプレイロボットを見るのは初めての体験であった。

表 8.1: 各形容詞対

堅苦しい	うちとけた
柔軟な	こわばった
新しい	古い
こわい	やさしい
つまらない	面白い
冷たい	暖かい
近づきやすい	近づきがたい
不愉快な	愉快的な
陽気な	陰気な
愚かな	賢い
地味な	派手な
のろい	すばやい
わがままな	思いやりのある
単純な	複雑な
わかりにくい	わかりやすい
弱気な	強気な
気持ちいい	気持ち悪い

8.3.1 主成分分析によるによる社交性値結果

来場者のアンケート回答は任意であったため、形容詞対による評価を、各形容詞対単独で見ていくだけでは正確な評価が行えない。よって、まずこの結果に対して主成分分析を行って次元の削減を試みた。その結果、評価値が1以上となった軸が6つ存在した。結果を表8.2に示す。

このうち、情報をあらかずディスプレイロボットの評価にもっとも効果的である軸は、3割弱の影響が見られるPC1の社交性であると考えられる。社交性の軸は「暖かい」の寄与率が8割弱、「うちとけた」の寄与率が7割弱であり、この軸は、被験者が対話相手との会話に好意を持ったかどうかを評価できる軸であると考えられる。この社交性の軸を元に、各来場者の社交性値を求め、性別毎の、社交性値の平均値を求めた。その結果、男性の平均値が -0.377851 となり、女性の平均値が 0.433807 となった。結果を図8.2に示す。また、年齢回答があった各個人に対して、年代ごとの社交性値の変化を求めた。この結果を図8.3に示す。さらに、社交性を正と感じた来場者と負と感じた来場者に対し、見られたとき、呼びかけられたとき、それぞれの状況での有効な印象評価記述を分類した。分類結果は表8.3、8.4の通りである表8.3、8.4から、自由記述と比較しても、社交性が正の時に好意的な

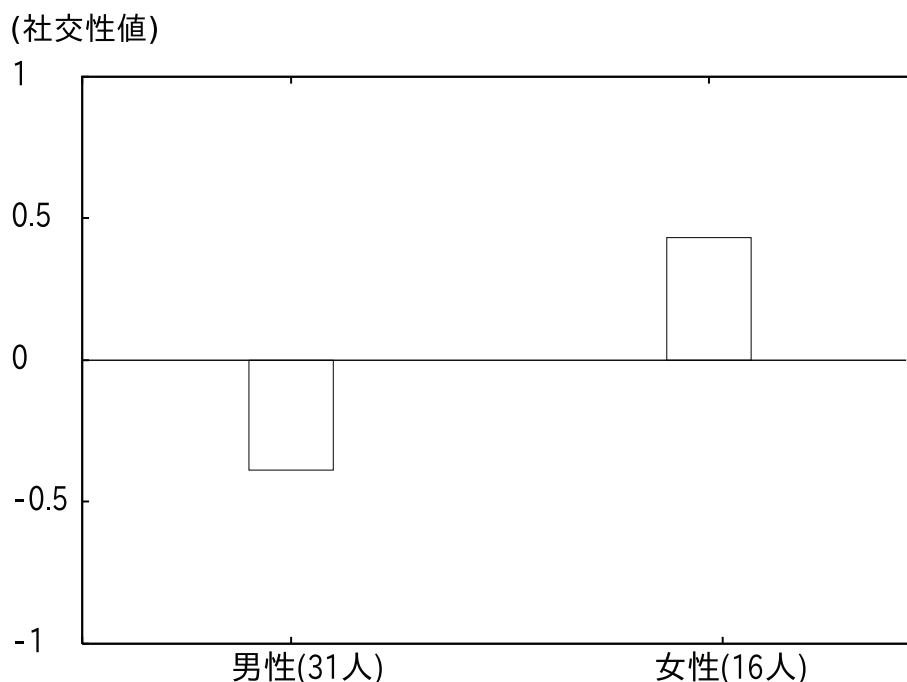


図 8.2: 性別による社交性値の差

評価を得ており、社交性が負の時に好意的でない評価を得ていることがわかる。したがって、本研究で示した社交性という評価軸が擬人化による受け入れやすさを評価する値として、妥当である事が、自由記述からも示唆されている。

8.4 考察

8.4.1 性別による評価の差

ディスプレイロボットの取り付けられた物体に対する、男性、女性の来場者が評価した社交性値から、女性の方が男性よりも、ディスプレイロボット及びそれを取り付けた物体に対し、好意的な印象を得ていることがわかった。

アンケートの自由記述によれば、女性の回答では、「かわいくてユニーク」など、ディスプレイロボットと物体を一体化して見た直観的な回答が多い。実験後にディスプレイロボットと取り付け対象の物体が別であることを説明すると、驚く女性の被験者もみられた。一方、男性では「構造が簡素」など各 부품の構造に注目した回答が多かった。よって、社交性値に変化の出た理由として、女性の場合には、ディスプレイロボットの取り付けられた物体をキャラクターとして捉えることが出来たのに対し、男性の場合には、ディスプレイロボットの各機能に注目してしまい、その結果、ディスプレイロボットと取り付け対象物体を含めた仮想的身体像が受け取

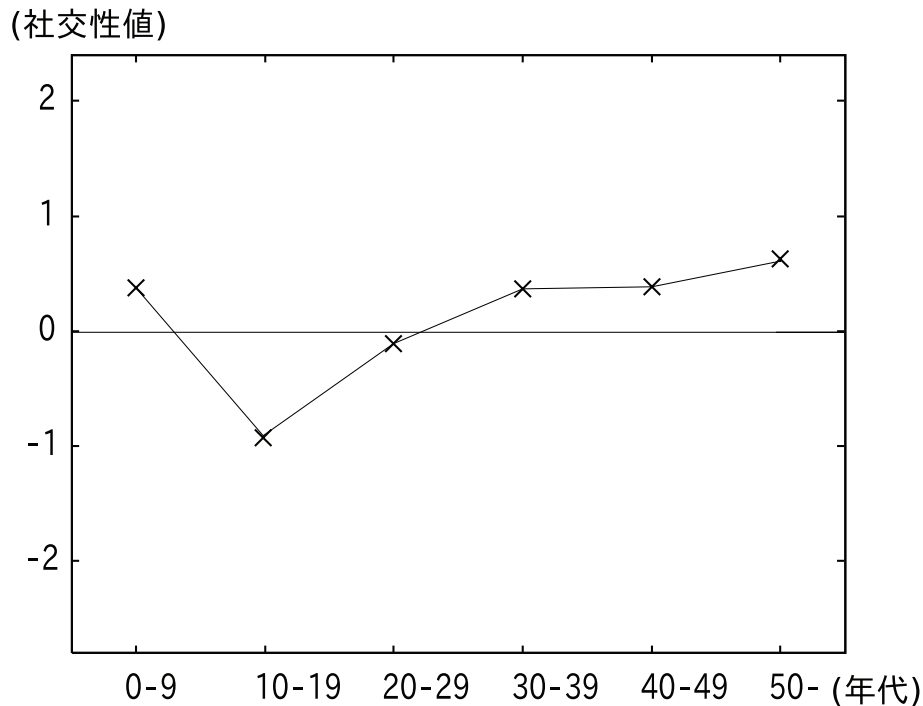


図 8.3: 年代による社交性値の差

れず、各機能の不備さが目に付き、不気味に感じてしまったからではないかと考えられる。

したがって今後は、男性に対し、ディスプレイロボットではなくディスプレイロボットと取り付け対象物体を包含して、仮想的身体像を感じてもらうためには、ディスプレイロボット各機能の精度を高めるとともに、男性にとっても不自然さを感じさせないシナリオを設計する必要があると考えられる。

8.4.2 年代による評価の差

ディスプレイロボットの取り付けられた物体に対する、実験者の年代ごとの社交性値は図 8.3 の通りである。これより、特に 10 代以下から 10 代にかけて大きく評価が下がり、そのあと緩やかに評価が良くなっているのが見て取れる。

この原因として、10 代以下の年齢であれば、たとえ物体に目や腕がついていてもあまり抵抗感無く受け入れられるが、10 歳を過ぎると、目と腕をつけた物体とのインタラクションに気恥ずかしさを感じるようになり、その結果ディスプレイロボットに対する社交性値が低く感じられるようになるのではないかと考えられる。展示中に観察したところ、10 歳以下の子供は物怖じせずにロボットに向かい、腕や目を引っ張って積極的に遊ぶ子供が多かったが、10 歳を過ぎた子供から 20 歳の

大学生にかけては、主に展示を遠巻きに眺めていることが多かった。

また、30代から上にかけて、ディスプレイロボットに対する社交性の評価値が上がっていくが、これは年齢があがるにつれ、ディスプレイロボットとのインタラクションを客観的に観察することが出来、気恥ずかしさを感じなくなるからではないかと考えられる。また、特に30代より上の女性は、子供を連れた親子の来場者も多く、子供のポジティブな反応を見て、社交性値が上がった可能性も考えられる。

以上より、ディスプレイロボットは特に、10代から20代にかけて気恥ずかしさを感じさせる傾向があると考えられる。よって、今後は気恥ずかしさを感じさせず、インタラクションに集中させるようなディスプレイロボットの設計、およびシナリオの設計が必要になると考えられる。

8.4.3 視線を受けたときの評価

社交性が負と感じた意見には、目が合っておらずそのため恐怖感を感じているものが多い。一方、社交性が正と感じた来場者は、目の印象そのものを高評価しているものが多い。したがって、顔認識の精度とカメラの検知幅を広げ、ディスプレイロボットの視線をより良くユーザに合わせる必要があると考えられる。

8.4.4 呼びかけを受けたときの評価

社交性が負と感じた来場者の中では、呼びかけられた後の反応に戸惑っている人が多い。これは、呼びかけを行った対象の意図が読み取れなかったためと思われる。今回の調査では呼びかけを行うことで、来場者を物体の近くに呼び寄せることを期待していたが、取り付け対象であったゴミ箱やエクササイズバイクでは、手招きや呼びかけを行っても、来場者が意図を適切に読み取れなかったものと思われる。よって、今後は機器の形状や機能を生かし、ゴミ箱であればごみを捨てるような発話、エクササイズバイクであれば運動を促す対話など、呼びかけ対象の意図をはっきりさせるようなインタラクションデザインが必要であると考えられる。一方で、社交性が正と感じた来場者の意見には、かわいい、きもちが良い、の他安心する、というものもあった。これは、ディスプレイロボットによって来場者がより多く存在感を感じることが出来、それが好評価につながったものと考えられる。

表 8.2: 主成分分析結果

PC1: 社交性 (28.8%)	
暖かい←冷たい	0.793
うちとけた←堅苦しい	0.680
すばやい←のろい	0.657
派手な←地味な	0.613
賢い←愚かな	0.598
PC2: 新奇性 (11.26%)	
気持ちいい←気持ち悪い	0.611
新しい←古い	0.600
地味な←派手な	0.526
柔軟な←こわばった	0.451
PC3: 直観性 (8.30%)	
気持ちいい←気持ち悪い	0.458
わかりやすい←わかりにくい	0.443
こわい←やさしい	0.438
PC4: 単純さ (7.96%)	
わかりやすい←わかりにくい	0.490
単純な←複雑な	0.475
陽気な←陰気な	0.391
PC5: やわらかさ (7.06%)	
気持ちいい←気持ち悪い	0.480
やさしい←こわい	0.422
柔軟な←こわばった	0.404
PC6: 近付き易さ (6.40%)	
近づきやすい←近づきがたい	0.679
わがままな←思いやりのある	0.353
地味な←派手な	0.321

表 8.3: 見られたときの評価

<p>評価+</p>	<p>うれしい！ ビックリしました かわいい とても不思議な気がした かわいい. なんかめがねをかけてるみたい とても面白い</p>
<p>評価-</p>	<p>きょどった(戸惑ってびっくりした) 恐怖 こわい ちゃんと見てるな 本当に目が合ったのか確信が持てなかった. わからなかった. 目をそらしたら負けだと思ってる. 何されるのかと驚きました 今回の高さだと常に上目遣いで怖かった 見てる</p>

表 8.4: 呼びかけられた時の評価

<p>評価+</p>	<p>不思議なきもち 目がさめた 親しみを感じた ビックリ！ 気持ちが良い かわいい. なんかもがねをかけてるみたい おどろく. でも, 誰もいない時は安心する</p>
<p>評価-</p>	<p>おどろいた きもい. はい, と返事するかななくてわけわからない びっくりしました. タイミングが… チョット機械的. 困った. どうしていいかわからなかった 聞き取りづらい 仰天した 話す機能があると思っていなかったのが驚いた</p>

第9章

擬人化による対話的な情報提示 の評価

第6章, 7章, 8章の3つの実験により, 擬人化部品の取り付けによってユーザが音声情報の発話対象を理解しやすくなること, 擬人化表現を用いたインタラクションが女性・子供・老人といった性別・年齢層に受け入れられる事・部品の取り付け位置に従ってユーザが想起する仮想的身体の像がわかった. 本研究ではこれらの知見を元にして, 機器からの対話型の情報提示を設計し, これを擬人化エージェントを介した情報提示と比較する. 具体的には, 擬人化したプリンタが直接機能を説明した場合と擬人化エージェントであるヒューマノイドロボット Robovie[43] を介して説明した場合で, ユーザの注目割合, 説明の理解がどのように変わるか対人実験によって評価する.

9.1 実験仮説

実験の仮説は次の通りである.

仮説: 対象を擬人化して情報提示を行う場合には, 擬人化エージェントを用いて説明する場合よりも, ユーザがより説明対象に集中し, 説明内容を記憶しやすくなる.

仮説の理由は, 対象を直接擬人化エージェントとすることで, ユーザのエージェントに対する注視時間を, ユーザの説明対象に対する注視時間に加えることが出来, ユーザの注視時間割合が高まり, その結果, ユーザがより多くの説明内容を記憶できるようになるから, と考えられる.

9.2 実験条件

仮説の検証のため, 本研究では目パーツと腕パーツを実際の物体に取り付けた場合と, 対象物体とは別のエージェントであるヒューマノイドロボット Robovie が,

物体の機能を説明する実験を行い、両者を被験者のアンケートと、インタラクション中の被験者の視線から比較する。

コミュニケーションロボットによる情報提示を評価した先行事例で、ロボットとの対人実験では、実験条件の統制を行えば行うほど、相互作用の自然さが減少してしまう、という問題が挙げられている [44]。また、あらかじめ被験者に対し実験手順を詳細に説明する実験室実験の形では、被験者が実験成功に対する過度の動機を得てしまい、本研究の応用範囲として見込まれる情報提示条件（店頭・家庭・オフィスでの情報説明）では考えられないほど、被験者が提示された情報を記憶してしまう可能性がある。

そのため今回の実験では、実験室内に被験者を集める実験ではなく、学内の学園中の展示で実験を行なうという、被験者に対し統制をあまりかけない形での実験を行なった。これによって初めて、実験室実験では見られない、被験者の反応を見ることができると考えられる。

また、一般的な実験室実験と異なり、本研究では被験者に一般の来場者を使用した。そのため、被験者群中の年齢・性別を精密に均等に割り振ることができなかった。また、被験者に対し同意を求め、同意が得られた被験者のみに視線計測装置を取り付けて実験を行なったため、両実験群で被験者数を同じ数にすることはできなかった。しかしながら、後に述べるとおり、被験者の年齢・性別の分布は等分散であり、実験群、対照群の間で偏りは見られなかったため、実験に支障はなかったと考えられる。

次から、実験の手順を詳しく説明する。また、ここでは擬人化された物体との実験に参加した被験者群を実験群、Robovieの実験に参加した被験者群を対照群とよぶ。図 9.1 上が実験群の実験風景を示し、図 9.1 下が対象群の実験風景を示す。

9.3 実験環境

実験用のスペースとして、研究室展示の一角、幅 3m × 3m のスペースを借り切り、実験を行った。

実験で使う説明対象の物体として、今回はオフィス機器として使われるレーザプリンタ LP-9200 [45] を使用した。このプリンタは一般家庭で使われることが珍しく、大学関係者や企業関係者ではない一般の被験者がその詳しい機能を事前に知らないことが予測できるため、実験の説明対象物体として適切であると判断した。

なお、実験の音声は、プリンタ・発話者の呼び方の違いを除き、実験条件と対象条件で同じものを使用した。音声は、実験群ではプリンタ背後のスピーカーから、対照群では Robovie の口のスピーカーから発話された。このようにして、音声の違いなど、提案デバイス以外の影響要素をなるべく排除するよう実験を設計した。

また、説明中の被験者の視線の動きを調べるため、被験者に対し実験前に視線計



図 9.1: 実験群 (上) と対照群 (下) の実験風景

測装置アイマークレコーダ EMR-8B [46] を取り付けた。これは、第2章で定義した被験者の注目量を近似的に測定するためである。被験者の注目量は、直接測定することが出来ないが、人間は現在注目している対象に対し目を向けることが多い。したがって、被験者の注目対象は、被験者が視線を向けた先、注目量は、被験者が視線を向けた時間に、おおよそ比例すると考えられる。

実験システムの構成を図9.2に示す。図9.2aが実験群の実験図を表し、図9.2bが対照群の実験図を表す。実験の光景は側面のカメラ、および視線計測装置によって撮影される。撮影に関しては、あらかじめ被験者の同意を得てから行なった。

本実験での実験中の被験者は、プリンタのボタンを押す場合、紙を取りプリンタに入れる場合、PCのボタンを押す場合、プリンタの蓋を空ける場合など説明中にインタラクティブな操作を行なう。本実験では被験者の行動認識のため、上述のような被験者の行為を実験者が確認し、実験シナリオを進める、Wizard of Oz形式を使用した。擬人化されたプリンタ、およびRobovieが行なう発話はあらかじめ決定されており、実験者は手元のボタンを被験者から見えないように押すことで、擬人化されたプリンタ、またはRobovieの発話とジェスチャを進行させた。また、実験に関する同意の確認、および実験中の被験者への指示は、実験助手が行なった。

9.4 実験期間と場所

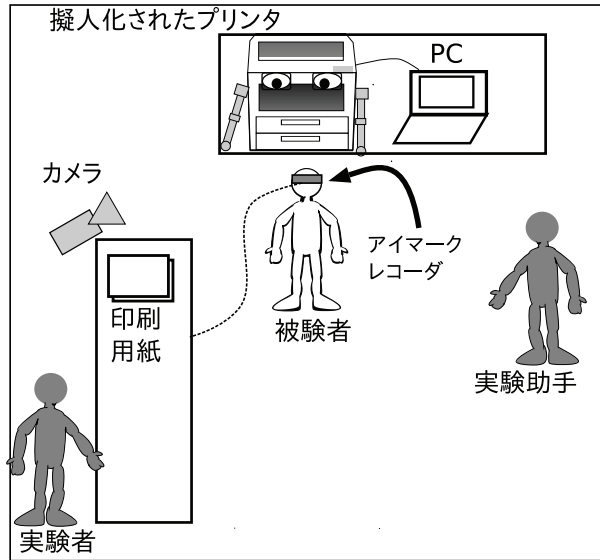
実験は10月20-21日と11月22日に大学内で開催された学園祭の研究室展示で行われた。比較のため、10月20日と11月22日には擬人化されたプリンタが説明を行い、10月21日にはRobovieが説明を行った。

被験者は事前に実験の内容を全く知らされておらず、展示場で初めて同意を求められ、実験を行う。このため、通常の対人実験と比較し、被験者が実験に対する予備知識をほとんど持たず、また、実験の成功を動機づけられることも無いと考えられる。これは、通常の対人実験と比較して店頭など実際に情報提示が行われる場面に類似しており、今回の実験目的である、被験者が機能内容をどれだけ記憶したか調べる目的に対し、より適切な実験環境であると考えられる。

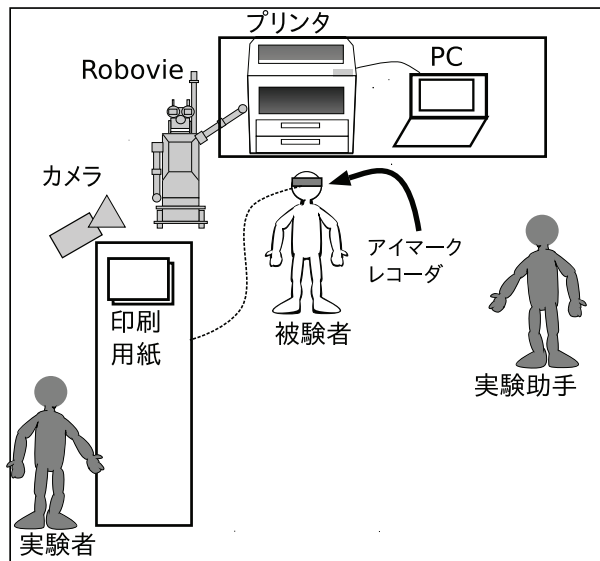
9.5 実験手順および被験者への指示

実験手順は次の通りである。

まず、研究室展示への来場者に対し、本研究が、将来ロボットが一般社会に進出した際のロボットの情報提示能力を調べるための研究である、という説明を行い、実験への同意を求め、同意が得られた場合に限り、被験者として実験に参加してもらった。この際、実験前の被験者への統制によって、被験者が過度の実験達成動機を持つことを防ぐため、被験者への事前の実験説明は、「これからこのプリンタの



(a) 実験群



(b) 対照群

図 9.2: 実験システム図

説明が行われます」という概要説明だけであり、実験条件の統制は詳しく行なわなかった。また、視線計測装置の取り付けは、さらに同意が得られた被験者に限って行なった。

同意を確認した後、次の実験シナリオを各被験者に対し順に実行した。

1. ユーザへの呼びかけと自己紹介
実験群「やあ、こんにちは。僕はプリンタです」
対照群「やあ、こんにちは。僕は Robovie です。こちらに置いてあるのがプリンタです」
2. 名称説明：プリンタ正式名称（LP-9200）と愛称（エスパー）の提示
「正式名称は、LP9200 です。普段はエスパーと呼ばれています」
3. 情報提示：印刷
「文章を印刷します」
4. 情報提示：電源ボタン
実験群「電源ボタンは、僕の右側にあります（場所を指示しながら）」
対象群「電源ボタンは、プリンタの右側にあります（場所を指示しながら）」
5. 行為誘導：電源ボタンを押す
「それでは、ボタンを押して下さい」
6. 情報提示：印刷枚数
実験群「僕は、一分間に 20 枚の紙を印刷することができます」
対象群「このプリンタは、一分間に 20 枚の紙を印刷することができます」
7. 情報提示：解像度
「解像度は、1200dpi です」
8. 情報提示：レーザープリンタの原理
実験群「僕はレーザービームを使って文章を印刷しています」
対象群「このプリンタはレーザービームを使って文章を印刷しています」
9. レーザープリンタの原理についての説明続き
「レーザービームでインクを貼りつけるから、普通の家で使うプリンタより、とても印刷が安く済むんです」
10. 行為誘導：印刷の誘導
「それでは印刷してみましょう。横の PC のボタンを押して下さい」

11. 印刷の失敗
「印刷が出来ません…そうだ. 紙がありません」
12. 行為誘導：紙の要求
実験群「僕の口に紙を入れて下さい」
対象群「プリンタの差し込み口に紙を入れて下さい」
13. 情報提示：故障箇所特定法
実験群「印刷に失敗したら, 僕の頭を開けて下さい」対象群「印刷に失敗したら, プリンタの上部を開けて下さい」
14. 情報提示：裏紙の印刷
「裏紙を印刷するので, よく紙が詰まります」
15. 情報提示：取り除き方
「紙がひっかかっているときは, ここから取り除いて下さい (場所を指示しながら)」
16. 情報提示：ヘルプボタン
「何か困ったことがあったら, 左上のボタンを押して下さい (場所を指示しながら)」
17. 記念写真撮影の誘導
「最後に記念写真を取りましょう」
18. アンケート回答の誘導
「写真が出来る間, アンケートに答えてくれますか？」
19. 回答後の謝礼 (撮影した記念写真の提供, お菓子1枚)

実験群では擬人化パーツを取り付けたプリンタ自身が情報提示を行い, 対照群ではヒューマノイドロボット Robovie が情報提示を行った. 実験群では, プリンタは自らを指すときに, 一人称『僕』という言葉を使用して指示を行った. これに対し対照群では, ロボットは説明対象であるプリンタを『プリンタ』と呼称しながら説明を行った.

また, 実験群のプリンタの発話には, 第7章で調べた仮想的身体像のモデルを使用した. 本実験で用いた仮想的身体像を図9.3に示す.

以上のシナリオ実行中に, 被験者に対し行われる情報提示は9つである. また実験の説明シナリオは, システムが機器の機能を一方的に説明するだけでなく, 被験者からシステムの要求に従い, 時おりプリンタを直接操作する形の相互対話的な説

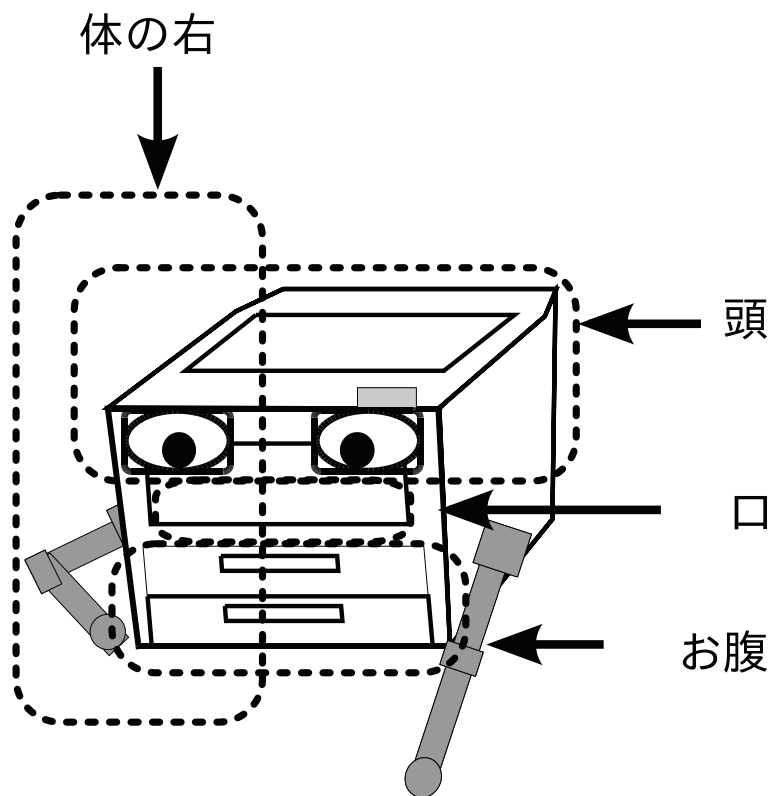


図 9.3: プリンタの仮想的身体像

明とした。これは、どちらの条件下でも被験者が実験に没入して真剣に取り組む、アンケートに回答しやすくなることを想定したためである。

実験シナリオ中、被験者が操作場所を理解できなかった場合、発話およびジェスチャを再び繰り返すことで被験者に理解を促した。それでも被験者が操作対象場所を見つけられない場合には、実験助手が「いま、ここが指示されました」という情報のみを被験者に対し口頭で与えた。

最後に、情報提示評価のため、被験者に対しプリンタの印刷枚数、解像度、その他の機能を思い付くだけ記述するというアンケートに回答させた。

9.6 被験者

参加した被験者は、男性 21 人、女性 8 人の合わせて 29 人であった。このうち、擬人化されたプリンタと接した実験群の被験者は男性 13 人・女性 3 人、Robovie と接した対照群の被験者は男性 8 人・女性 5 人であった。また、被験者の年齢層は、アンケートよりおよそ 10 歳から 60 歳までであった。実験群の被験者では、10 代の被験者が 8 人、20 代の被験者が 2 人、30 代の被験者が 2 人、40 代の被験者が 1 人、50 代の被験者が 3 人であった。対照群の被験者では、10 代の被験者が 3 人、20 代の被験者が 4 人、30 代の被験者が 1 人、40 代の被験者が 0 人、50 代の被験者が 3 人、60 代の被験者が 2 人であった。

両被験者群が性別、年齢に対し等分散であるか調べるため、両群の性別、年齢に対しそれぞれ $p > 0.10$ 基準で F 検定を行なった。その結果、両群の性別、年齢において、それぞれ $p = 0.640 > 0.10$, $p = 0.207 > 0.10$ となり、両群が性別・年齢において等分散であり、偏りは見られなかった。

また、被験者に対し、実験後のアンケートを用いて実験に使用したプリンタ、Robovie、擬人化パーツを以前に使用したかどうか回答させた。その結果、実験に参加した被験者の中に、事前にこれら 3 つのデバイスを使用した被験者はいないことがわかった。

9.7 測定方法

深山らの研究より、情報提示中、タスクに無関係な情報へユーザが注視した時間の割合に従ってユーザの記憶率が下がるという指摘がなされている [38]。この研究で深山らは、説明時間中の視線を向けた時間の割合がユーザの記憶率・集中度と相関があることを示している。深山らの結果を元に、本研究ではユーザの情報提示への記憶量・集中度を表す評価値として、実験時間に対する、ユーザが対象へ注視をする時間の割合を使用する。次からはこれを注視時間割合と呼ぶ。

次に、注視時間割合を求めるための具体的な式を導く。まず、独立したエージェ

ントを用いるヒューマン・エージェント・インタラクション中に、ユーザが情報提示される物体へ注視する時間を A_{target} と定義し、説明中にエージェントへ注視する時間を A_{agent} と定義し、それ以外の情報へ注視する時間を A_{other} と定義する。このとき、ユーザの情報提示対象への注視時間割合 R_{user} は下記の式の通りとなる

$$R_{user} = \frac{A_{target}}{A_{target} + A_{agent} + A_{other}} \quad (9.1)$$

一方、直接擬人化手法を用いた場合には、説明対象自身がエージェントとなるため、説明対象へ注視する時間に加え、エージェント自身に注視する時間を含むことが出来る。よって、説明対象へ注視する時間 A'_{target} は、独立したエージェントを用いるヒューマン・エージェント・インタラクション中の変数 A_{target}, A_{agent} を用いて下記の式で表すことができると考えられる。

$$A'_{target} = A_{target} + A_{agent} \quad (9.2)$$

また、直接擬人化手法を用いた際のユーザの注視時間割合 R'_{user} に関しては、次の等式が成り立つ。

$$R'_{user} = \frac{A'_{target}}{A'_{target} + A_{other}} \quad (9.3)$$

ユーザがインタラクション中にエージェント自体へまったく注目しないことはありえないため、エージェントへの注視時間は必ず $A_{agent} > 0$ となると考えられる。よって、式(9.1)、式(9.2)、式(9.3)より、下記の式が成立する。

$$R_{user} < R'_{user} \quad (9.4)$$

以上より、本研究で提案する直接擬人化手法を用いることで、従来のように、独立したエージェントを用いるよりも、説明対象へのユーザの注視時間割合が高くなり、その結果、ユーザが説明対象の情報をより多く記憶できるようになると考えられる。式(9.4)の観点より、本研究では独立したエージェントを用いた情報提示と直接擬人化手法を用いた情報提示の違いを、対人実験のアンケートと実験中の注視時間割合によって検証する。

9.8 実験予測

以上の実験設計を元にした、本研究における実験の予測は次の通りである。

予測 1:

説明対象に集中した被験者は、説明された機能の内容をより詳しく記憶することが期待できる。よって、実験後に説明した機能をアンケートで尋ねた際に、直接擬人化手法を使用した条件の方が、被験者はより説明内容を詳しく記述できる。

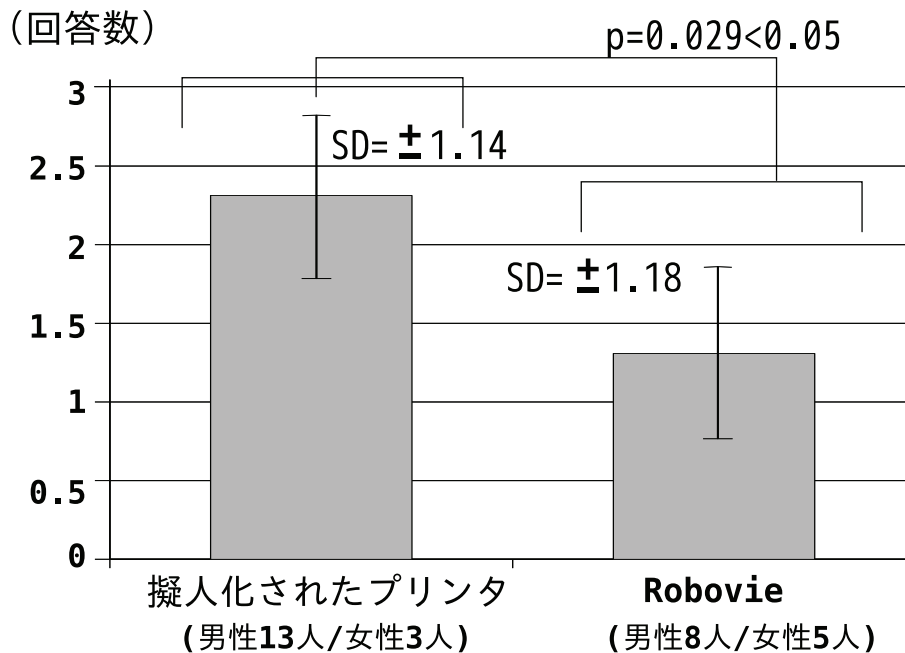


図 9.4: プリンタ機能の正答数の差

予測 2:

第2章より、被験者の記憶量は、注視時間割合によって表されると考えられる。よって、予測1が成立する条件下で、 A_{target} , A_{agent} , A_{other} をそれぞれ視線検知時間に当てはめることで、 $R_{user} < R'_{user}$ となる。

9.9 結果

予測1に対する結果:

実験後のアンケートでは、プリンタの印刷枚数、解像度、その他の記憶している機能すべてについて、記述によって解答させ、その合計数を調べた。両群の機能正答数の差を図9.4、分布を図9.5に示す。図9.4は縦軸が正答数を表す。また、図9.5は、横軸が正解数、縦軸が回答人数を表す。実験群の平均正答数は2.3個、対照群では1.3個であった。

結果が、両群で等分散であるか調べるため、両群の機能正答数に対しまず $p > 0.10$ 基準でF検定を行なった。その結果 $p = 0.876 > 0.10$ となり、両群が等分散であることが示された。

次に、両群の機能正答数に対し Welch の t 検定を行い、 $p < 0.05$ 基準で有意差を調べた。その結果、実験群と対照群の間で $p = 0.029 < 0.05$ となった。この結果より、両群に対して統計的な有意差 ($p < 0.05$) が見られた。

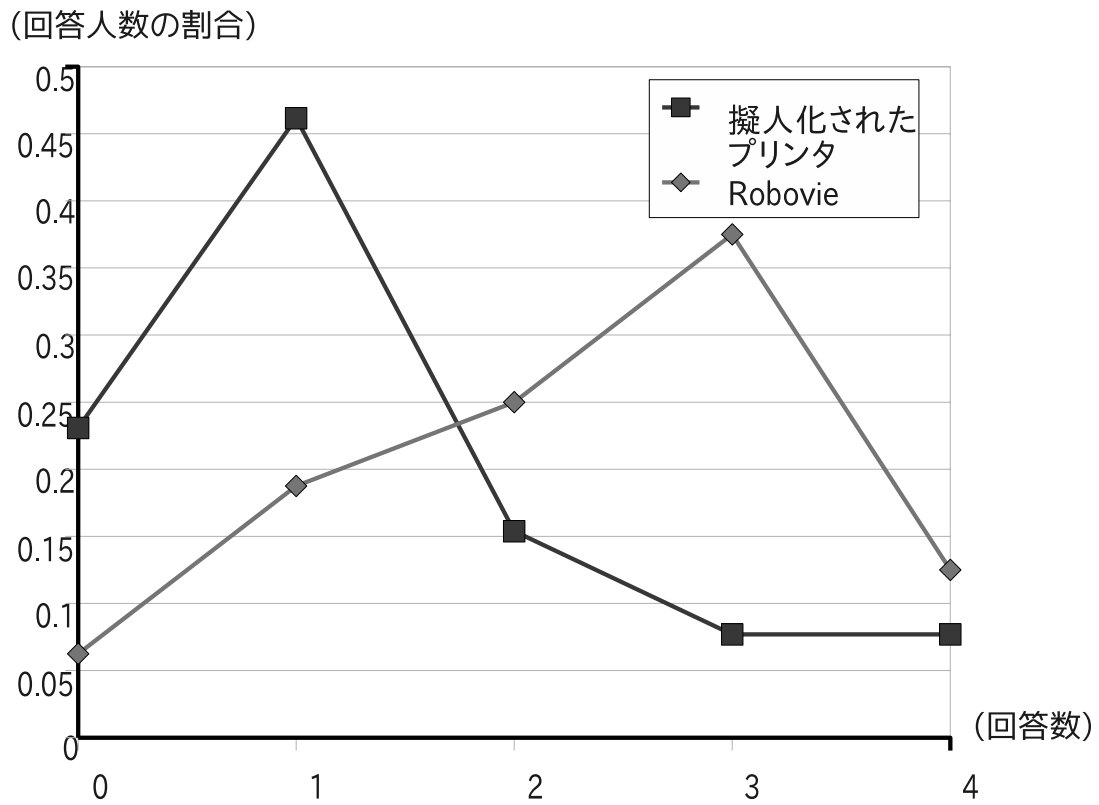


図 9.5: 正答数分布

予測2に対する結果:

実験に参加した被験者のうち、視線計測装置をつけ、視線が正しく測定できた被験者は実験群で11人、対照群で11人であった。実験時間中の注視の割合は図9.6の通りとなる。図9.6上下の横軸は、各被験者を表し、図9.6上の縦軸は、擬人化されていたプリンタに注視した時間の割合がPrinter, その他のものに注視した時間の割合がotherとなる。図9.6下の縦軸は、プリンタに対して注視した時間の割合がPrinter, Robovieに対して注視した時間の割合がRobovie, その他のものに注視した時間の割合がotherとなる。

結果について、図9.6上のPrinterを $A'_{target} + A'_{agent}$ に当てはめ、図9.6下の各データを $A_{target}, A_{agent}, A_{other}$ に当てはめ、直接擬人化手法を用いた情報提示における注視時間割合 R'_{user} , 独立したエージェントを用いた情報提示における注視時間割合 R_{user} をそれぞれ計算したところ、 R'_{user} の平均が0.851, R_{user} の平均が0.419となった。これより、 $R_{user} < R'_{user}$ が示されたと考えられる。また、 $\frac{A'_{target}}{A'_{target} + A_{other}}$ の平均は0.851, $\frac{A_{target} + A_{agent}}{A_{target} + A_{agent} + A_{other}}$ の平均は0.858となるため、対話時間を正規化したときに、 $R_{user} < R'_{user}$ の前提となる $A'_{target} = A_{target} + A_{agent}$ も成立していることがわかる。

9.10 実験結果に対する考察

実験結果より、両群の機能正答数は直接擬人化手法を用いた実験群の方が、独立した擬人化エージェントRobovieを用いた対照群よりも有意に多いことがわかった。擬人化されたプリンタからの説明では説明対象であるプリンタから直接情報が提示され、被験者が説明に注意を集中させやすかったのに対し、Robovieが説明を行う場合には、被験者の興味がRobovieに移行してしまい、プリンタに対する注意が集中せず、情報提示が記憶されづらかったため、このような有意差が発生したと考えられる。

また、図9.6下より、Robovieを使用した説明では、11人中8人の被験者が、説明対象であるプリンタよりも、Robovieの方を注視していることがわかる。Robovieを多く注視した被験者は、たとえば、Robovieがプリンタを指さし説明を行っても、プリンタに一瞬目を移すだけで、Robovieの方を向いている、といった行動が見られた。一方で、被験者RB03のようにプリンタを眺めていた例では、被験者は主にプリンタを眺めながらRobovieの話を聞き、たまにRobovieの方を見て相槌を打っていた。これは、一般の店頭で店員が客に対し行う説明の形に近く、説明のやり方として適切であると考えられるが、ロボットの条件ではこのように説明が行われた例はまれであった。よって、ヒューマノイドロボットではこのような店頭説明を意図して設計しても、実際の現場でうまく動かない可能性が考えられる。一方で、残り1人の被験者は、Robovieよりもプリンタの方を長く注視しているが、それ以外

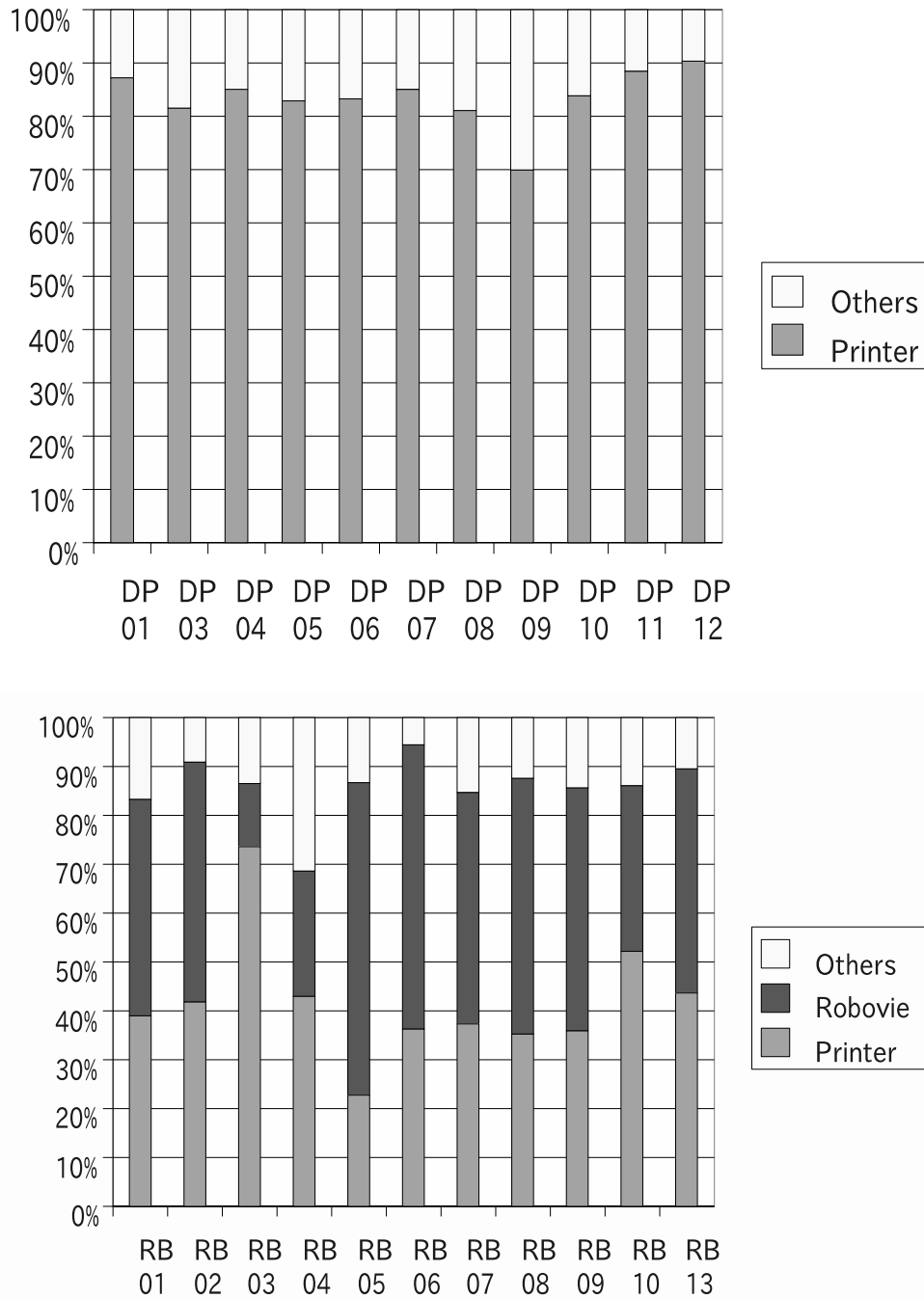


図 9.6: 実験群 (上) と対照群 (下) の注視時間割合

のものを見ている注視時間が多い。これは、そもそもインタラクションに集中できていないから、という理由が考えられる。

これに対し、擬人化されたプリンタの例では、図9.6下のように、被験者の注意がほとんどプリンタに向いており、その他を注視していた場合は、紙を運ぶ、ノートPCの印刷ボタンを押す、など、インタラクションの流れの中で行われた行動がほとんどであった。また、Robovieの説明には、被験者の目線はRobovieとプリンタの間を激しく行き来することがあったが、擬人化されたプリンタの際にはこのような激しい行動は見られなかった。よって、この場合には、被験者の注意が説明対象からほぼ逸れていないことがわかる。

以上の実験結果と考察より、予測1, 2が支持された。これより、対象を擬人化して情報提示を行う場合には、擬人化エージェントを用いて説明する場合よりも、ユーザがより説明対象に集中しやすくなるという仮説が証明されたと考えられる。

また、本実験ではあらかじめプリンタの名前を正式名称と愛称の2つでそれぞれ提示している。実験終了後に、プリンタの名前を被験者に問うことで実験群と対象群で、どちらの呼称をプリンタに対して使用するか、自由記述によって記述させた。その結果、実験群では16人中3人の被験者が愛称で答え、正式名称で答えた被験者はおらず、何も答えられなかった被験者は13人だった。これに対し、対象群では13人中、愛称で答えた被験者はおらず、正式名称で答えた被験者は5人であり、何も答えられなかった被験者は8人だった。本結果に対し、 $p < 0.05$ 基準でFisherの正確確率検定を行なったところ、 $p = 0.0087 < 0.05$ となり、両群の有意差が示された。これより、擬人化された物体が情報提示を行なう際の長所として、ユーザの情報提示に対する記憶量の増加だけでなく、ユーザの対象への親しみが増す、という点が考えられる。どのようなモデルによって、ユーザの対象への親しみが増しているのかについては、今後の研究の課題である。

今回の実験では、被験者はRobovieと、擬人化パーツを用いた手法のどちらにも慣れていなかった。そのような条件下では擬人化パーツによる情報提示が優れていることが、少なくとも今回の実験から示されている。しかしながら、人間を介した情報提示と両手法との比較、あるいは、このような擬人化エージェントからの情報提示に習熟した人間と習熟していない人間との比較については、まだ研究が行われていない。これらに関しては、発展的な課題として、比較実験を行って調べたいと考えている。

第10章

将来課題

本章では、前章までの実験・評価・考察を元にして、今後、ディスプレイロボットを用いた直接擬人化手法を使ってどのような研究分野が開けるか、また、どのような工学的応用が可能となるか検討する。

10.1 将来のロボット研究における対象分野

第2章では、擬人化された人工物が既存のロボット研究と比較してどのような研究分野を切り開くか検討するため、人間らしさの軸および、単機能・多機能の2軸に分けた図を用いて既存のロボット研究を分類した。

本項では、直接擬人化手法によって、他にどのような研究分野が切り開けるかを検討する。本研究で将来的に対象となると考えられる分野を図10.1に示す。

10.1.1 擬人化度合の調整による研究分野の開拓

既存のロボットの研究には、ユーザに対して明示的に機能を提供していくことを目指したコミュニケーションロボット指向の研究分野と、ユーザに意識させずに機能を提供していくことを目指したバックグラウンドロボット指向の研究分野に分かれていた。

本研究で提案する直接擬人化手法を用いることで、バックグラウンドロボット研究分野のロボットに対して擬人化要素を追加していくことができる。これにより、図10.1上中央の両矢印が示すように、バックグラウンドロボット指向の研究とコミュニケーションロボット指向の研究の間を埋め、両者の研究分野の成果を利用した新しい研究分野を開けるのではないかと考えられる。

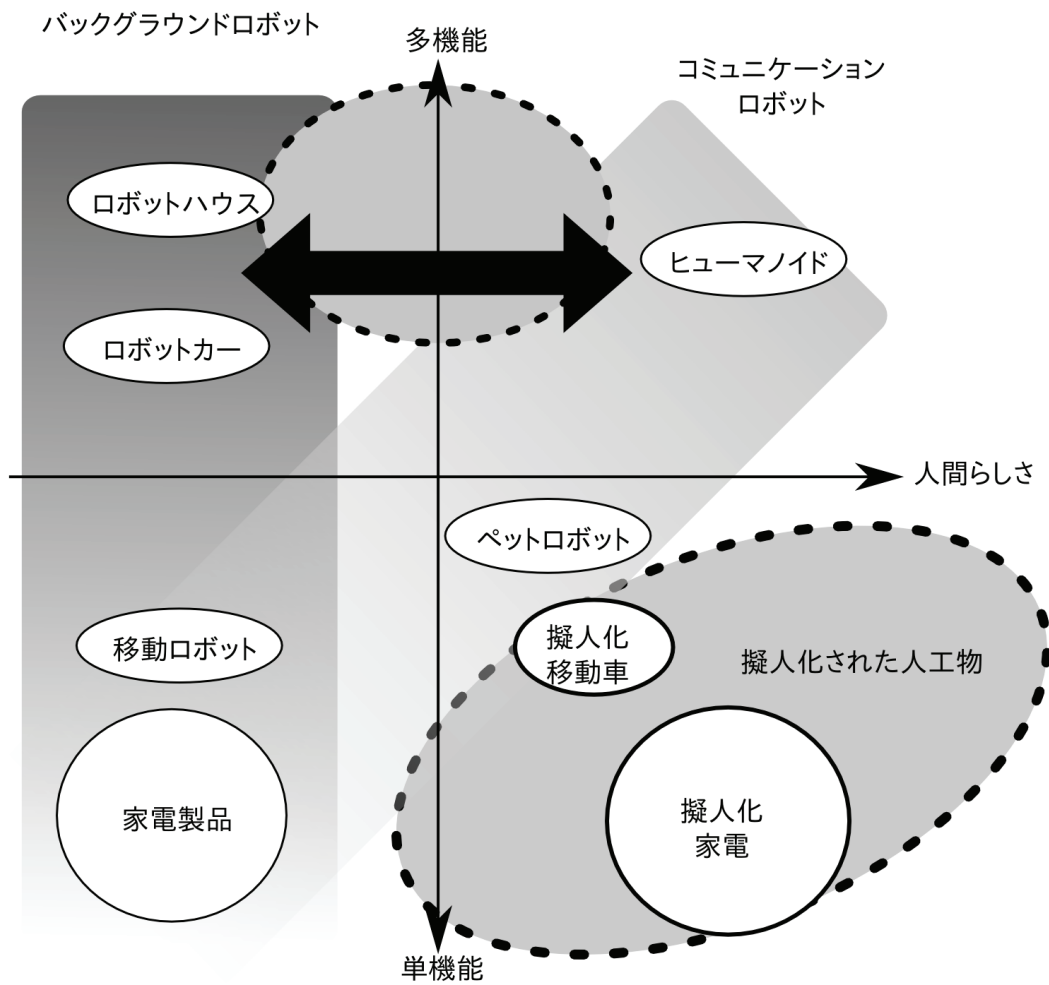


図 10.1: 擬人化研究が将来的に対象とする研究分野

10.1.2 擬人化による HRI 研究への貢献

また、直接擬人化手法は、コミュニケーションロボット指向領域内のヒューマノイドロボット、その他のコミュニケーションロボットのデザインを見直し、機能に最適なロボットの間らしさを選ぶ指標も提供できる。

コミュニケーション用のエージェント (CG・ロボット) の対話デザインには、擬人化された外見要素が数多く使われている。しかしながら、一般的なエージェントは擬人化された外見要素を多数含みすぎており、どの外見要素がユーザとのインタラクションを改善しているか、分離して検討できない。その結果、例えばコミュニケーションロボットの研究分野では、様々なコミュニケーションロボットが乱立して、お互いの研究結果を比較できないという状態になっている。

本研究で提案する擬人化ディスプレイロボットでは、擬人化パーツを分割することで、擬人化された外見要素を一つずつ引きはなして、個々に検討できるようになっている。個々の擬人化パーツを一つずつ使用することで、たとえば単純なロボットに腕を取り付けたり、目を取り付けたりしてユーザとのインタラクション実験を行うことで、擬人化された外見要素を分割して調査することが可能である。また、ディスプレイロボットによって得られる仮想的身体像は、ユーザにとって自然と思える擬人化エージェントの形状を決定する際の指針になりえる。以上の点から、ディスプレイロボットの研究を、これから発展が見込まれるコミュニケーション用エージェントに生かすことが可能になるとと思われる。

10.2 擬人化を応用したアプリケーション

10.2.1 教育用途

第8章より、ディスプレイロボットによる擬人化が、特に10歳未満の子供に好意的に受け取られていることがわかった。

この結果より、擬人化を有効に利用できる一つの例として、教育分野が考えられる。特に10歳未満の子供にとって、擬人化を行うことでこちらが興味を持たせたい物体へ興味を向けることができると考えられる。また、擬人化によって得られた仮想的身体像を使い、物体の機能を直感的に説明することも可能である。

また、操作してはいけない対象に直接擬人化部品を取り付け、操作対象で無いことを確実に示すことも可能になると考えられる。

しかしながら、ディスプレイロボットは腕などの可動物を含み、危険性が高いため、10歳未満の子供の手が直接接触れる位置で動かすのは危険性がある。また、擬人化することによって逆に興味を引いてしまう例も考えられるため、どのような擬人化手法が適切であるかは、今後も検討を行う必要がある。

10.2.2 緊急時の行動制御

擬人化を用いた指示は、擬人化を用いない指示にくらべて事前知識が無くても、直感的に理解し易いのではないかと考えられる。

そのため、特に一瞬で正しい判断が求められる、災害時などの緊急時に擬人化デバイスが有効であると思われる。たとえば、緊急時の脱出口を示す際に、二次元の平面に矢印などを表示してユーザへ指示を行う従来の指示方法では、3次元的に配置された扉などを示すことが難しい。また、音声による位置の指示は、事前に指示されている対象を熟知していなければならない。たとえば『右から3番目の扉』『非常口』などといった指示は、あらかじめユーザが意味を把握している必要があり、初めての来場者や外国人、子供などに、かならずしも適切に意味を伝えられない場合がある。これに対し、視線によって直接脱出口を示す方法であれば、直感的に場所を示すことが出来るので、ユーザの属性によらず、ユーザへ脱出対象を一意に決定することができると考えられる。

今後は、上記の推測を実際の実験を行うことで確認して行く必要がある。

第11章

結論

本研究で筆者は、直感的なインタフェースや擬人化エージェントの利点を生かしつつ、機器の機能や情報をユーザに対話的に伝えるデバイスとして、目や手など、人の身体部品を模した入出力パーツを物体に取り付けて、物体に人と同じような外見を持たせ、物体の機能や情報をユーザに対話形式で提示する直接擬人化手法を提案した。そして、直接擬人化手法を利用して機器から情報を提示するロボットシステム『ディスプレイロボット』を提案した。

本研究ではまず、ユーザに対象が擬人化されているように見せるための人工的な目・手など、ディスプレイロボットを達成するために必要となる擬人化部品を設計し、開発した。そして、擬人化部品によって達成可能となる情報提示の幅を調べるため、擬人化機器からユーザへの要求の可否、擬人化機器とのインタラクションを好む性別・年代層、機器に対しユーザが想起する擬人的身体の調査を行った。その結果、擬人化部品の取り付けによってユーザが音声情報の発話対象を理解しやすくなること、擬人化を用いたインタラクションが女性・子供・老人といった性別・年齢層に受け入れられること、部品の取り付け位置に従ってユーザが想起する仮想的身体の像がわかった。

最後に、上記のモデルを使用し、本手法を用いて機器から情報提示を行う機能説明例を実装し、ユーザ実験によって、独立した人型ロボットを用いて機器の情報を提示する手法と比較した。実験結果より、独立したエージェントによる情報提示と比較して、情報提示後に、ユーザが対象の機能を記憶した量が増加することがわかり、本手法の有効性が示された。

謝辞

本研究において端緒よりご指導を賜りました 慶應義塾大学工学部准教授 今井 倫太先生 に心より感謝いたします。今井先生には本研究の開始当初より、研究そのものに取り組む姿勢や手法、論文執筆や対外発表の心構えなど、ありとあらゆる点で丁寧にご教えていただきました。

研究の機会を与えていただいた 慶應義塾大学工学部教授 安西 祐一郎先生 に心から感謝いたします。塾長の激務の中、安西先生からは研究の方向を示す重要な助言を多々頂きました。また、折に触れて御指導を賜りました 慶應義塾大学工学部助教 大村 廉先生 に心から感謝いたします。

本論文に対し、大変有益なご助言を下された 慶應義塾大学工学部教授 大野 義夫先生 山本 喜一先生 岡田 謙一先生 にお礼申し上げます。私の未熟な論文を丁寧に読み込んでいただき、構成に関する重要な指摘をいただきました。本論文の内容を高めることができたのも、本研究の内容についてより深い考察を得ることができたのも、先生方のご指摘のおかげです。

安西・今井・大村研究室のメンバーである Daniel Wickner 氏には忙しい中、本論文の校正をお手伝い頂きましたことに心から感謝します。また、彼らを含む安西研のメンバーには、ミーティングや発表のたびに有益な意見を頂きました。改めて感謝いたします。

また、本研究に対し援助を頂いた、情報処理推進機構未踏ユースの人々、独立行政法人日本学術振興会の人々、G-COEプログラム『環境共生・安全システムデザインの先導拠点』の人々に感謝します。特に、未踏ユースのPMであった筧捷彦PM、竹内郁雄PM及び、未踏ユース2006年度上期の同期メンバーからは研究の応用に対して様々な示唆を頂きました。また、本研究での被験者の視線計測のため、アイマークレコーダEMR-8Bを快くお貸し頂きました、株式会社ナックイメージテクノロジーに感謝します。

最後になりますが、私のことを支えてくれた父 清隆、母 真紀子、妹 加奈子、弟 義隆に深く感謝申し上げます。研究に対する家族の寛容な視点がなければ、私の研究は決して完成しなかったことでしょう。

2009年2月
大澤 博隆

参考文献

- [1] UOPF. Ubiquitous open platform forum, 2004. <http://www.uopf.org/>.
- [2] FUNX. 電通大・船井デジタル情報家電プロジェクト, 2005. <http://www.funai.is.uec.ac.jp/>.
- [3] Okamoto Takashi. Electronic money, their competition properties and investment strategy : Viewed from network externalities. *Office Automation*, Vol. 19, No. 3, pp. 66–72, 1999.
- [4] RFID. Rfid journal, 2002. <http://www.rfidjournal.com/>.
- [5] Yoshifumi Nishida, Hiroshi Aizawa, Toshio Hori, Nell H. Hoffman, Takeo Kanade, and Masayoshi Kakikura. 3d ultrasonic tagging system for observing human activity. In *IROS '03: Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 785–791, 2003.
- [6] U.S.Government. Global positioning system, 1996. <http://www.gps.gov/>.
- [7] Sony. Placeengine, 2008. <http://www.placeengine.com/>.
- [8] Samuel Madden, Michael J. Franklin, and Joseph M. Hellerstein Wei Hong. The design of an acquisitional query processor for sensor networks. In *ACM SIGMOD*, pp. 491–502, 2003.
- [9] 山田誠二監修・著. 人とロボットの〈間〉をデザインする. 東京電機大学出版局, 2007.
- [10] Carlos T. Ishi, Judith Haas, Freerk P. Wilbers, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. Analysis of head motions and speech, and head motion control in an android. In *Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2007.
- [11] Daniel C. Denette. *The Intentional Stance*. The MIT Press, March 1989.

- [12] Carl F. DiSalvo, Francine Gemperle, Jodi Forlizzi, and Sara Kiesler. All robots are not created equal: the design and perception of humanoid robot heads. In *DIS '02: Proceedings of the 4th conference on Designing interactive systems*, pp. 321–326, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [13] Nick Yee, Jeremy N. Bailenson, and Kathryn Rickertsen. A meta-analysis of the impact of the inclusion and realism of human-like faces on user experiences in interfaces. In *Proceedings of Computer Human Interaction*, pp. 1–10, 2007.
- [14] 中本周平, 加藤元一郎, 浅間一, 大武美保子. 加齢が視線の認知に与える影響. 第22回人工知能学会全国大会論文集, pp. 3I3–9, 2008.
- [15] Byron Reeves and Clifford Nass. *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*. University of Chicago Press, 1996.
- [16] 森政弘. 不気味の谷. *Energy*, Vol. 7, No. 4, pp. 33–35, 1970.
- [17] Karl F. MacDorman and Hiroshi Ishiguro. The uncanny advantage of using androids in social and cognitive science research. *Interaction Studies*, Vol. 7, No. 3, pp. 297–337, 2006.
- [18] Kenji Matsukuma, Hiroyuki Handa, Dai Kono, Seiichiro Okada, and Zenta Nakamoto. Sensor applications for smartpal platform robot. *Yaskawa Technical Review*, Vol. 69, No. 4, pp. 210–214, 2006.
- [19] Kerstin Severinson-Eklundh, Anders Green, and Helge Huttenrauch. Social and collaborative aspects of interaction with a service robot. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42, No. 3-4, pp. 223–234, 2003.
- [20] Hideki Kozima, Cocoro Nakagawa, and Hiroyuki Yano. Attention coupling as a prerequisite for social interaction. In *RO-MAN '03: IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 109–114, San Francisco, CA, USA, October 2003.
- [21] 藤田善弘, 大中慎一, 高野陽介, 船田純一, 岩沢透, 西沢俊広, 佐藤幹, 長田純一. パーソナルロボット papero の開発と愛・地球博での実証実験 (テーマセッション (3)). 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 105, No. 302, pp. 23–27, 2005.
- [22] 岡田美智男, 坂本彰司, 鈴木紀子, 伊達正晃. 「む~(muu)」の世界: 複数のクリーチャによる多人数会話とその参与のスキル. 情報処理学会研究報告. SLP, 音声言語情報処理, Vol. 2000, No. 15, pp. 21–26, 2000.

- [23] 園山隆輔. ロボットデザイン概論. 毎日コミュニケーションズ, 2007.
- [24] Carl DiSalvo and Francine Gemperle. From seduction to fulfillment: the use of anthropomorphic form in design. In *DPPI '03: Proceedings of the 2003 international conference on Designing pleasurable products and interfaces*, pp. 67–72, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [25] Hiromi Kobayashi and Shiro Kohshima. Unique morphology of the human eye and its adaptive meaning: comparative studies on external morphology of the primate eye. *Journal of human evolution.*, Vol. 40, No. 5, pp. 419–435, 2001.
- [26] Melissa Bateson, Daniel Nettle, and Gilbert Roberts. Cues of being watched enhance cooperation in a real-world setting. *Biology Letters*, Vol. 2, pp. 412–414, 6 2006.
- [27] Desmond Morris. *Bodytalk: A World Guide to Gestures*. Jonathan Cape, 1996.
- [28] Michita Imai, Testuo Ono, and Hiroshi Ishiguro. Physical relation and expression: Joint attention for human-robot interaction. In *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 50, pp. 636–643, 8 2003.
- [29] Cynthia Breazeal. Regulating human-robot interaction using ‘emotions’, ‘drives’, and facial expressions. In *Proceedings of Autonomous Agents*, pp. 14–21, 1998.
- [30] Paul Ekman and Richard J. Davidson. *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press, 1994.
- [31] P. Menzel. Recent videos of kismet, 2001.
- [32] Cynthia Breazeal and Brian Scasselatti. How to build robots that make friends and influence people. In *Proceedings of 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems(IROS99)*, Vol. 2, pp. 858–863, 1999.
- [33] Kazuhiko Shinozawa, Futoshi Naya, Junji Yamato, and Kiyoshi Kogure. Differences in effect of robot and screen agent recommendations on human decision-making. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2, pp. 267–279, 2005.
- [34] 村川賀彦, 十時伸. サービスロボットによる「ふるまい」の評価：商業施設での試験運用. 情報処理学会研究報告, Vol. 2006, No. 131, pp. 31–36, 2006.

- [35] 鳴海真理子, 今井倫太. 共感に基づく人間とロボットのインタラクション. 日本認知科学会第 21 回大会論文集, pp. 12–13, 2004.
- [36] 小川浩平, 小野哲雄. ITACO: メディア間を移動可能なエージェントによる偏在知の実現. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp. 53–60, 2007.
- [37] Toshiyuki Shiwa, Takayuki Kanda, Michita Imai, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. How quickly should communication robots respond? In *Proceedings of the 3rd ACM/IEEE international conference on Human robot interaction*, pp. 153–160, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [38] 深山篤, VincentBao Pham, 大野健. 視線分析に基づく擬人化エージェントのユーザビリティ評価の検討. 電子情報通信学会技術報告, Vol. 2003, No. 136, pp. 419–435, 2004.
- [39] 杉山治, 神田崇行, 今井倫太, 石黒浩, 萩田紀博, 安西祐一郎. 人とコミュニケーションロボットの直示的な会話の実現. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 73–86, 2008.
- [40] Intel. OpenCV library, 2008. <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>.
- [41] Paul Viola and Michael Jones. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 511–518, 2001.
- [42] 河原達也, 李晃伸. 連続音声認識ソフトウェア julius. 人工知能学会誌, Vol. 20, No. 1, pp. 41–49, 2005.
- [43] Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Tetsuo Ono, Michita Imai, and Ryohei Nakatsu. Development and evaluation of an interactive humanoid robot “robovie.”. In *ICRA '02: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4166–4173, Washington, DC, USA, 5 2002.
- [44] 石黒浩, 神田崇行, 宮下敬宏. コミュニケーションロボット一人と関わるロボットを開発するための技術. オーム社, 2005.
- [45] EPSON. デスクトップ型ページプリンタ LP-9200, 2002. <http://www.epson.jp/products/back/hyou/printer/lp9200cp1.htm>.
- [46] NacImageTechnology. 視線計測システム EMR-8B, 2007. <http://www.eyemark.jp/>.

- [47] R Development Core Team. The r project for statistical computing, 2008.
<http://www.r-project.org/>.
- [48] 森敏昭, 吉田寿夫編著. 心理学のためのデータ解析テクニカルブック. 北大路書房, 1990.
- [49] B. S. Everitt. *The Analysis of Contingency Tables*. Chapman and Hall Ltd., 11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE, 1977.
- [50] 上田尚一. 主成分分析. 朝倉書店, 2003.

論文目録

【 主論文に関する公刊論文 】

1. Hiroataka Osawa, Ren Ohmura, Michita Imai: “Using Attachable Humanoid Parts for Realizing Imaginary Intention and Body Image”, International Journal of Social Robotics, Vol.1, No.1, pp. 109–123, 2009
2. 大澤 博隆, 大村 廉, 今井 倫太: 『直接擬人化手法を用いた機器からの情報提示の評価』, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.3, pp. 11–20, 2008
3. Hiroataka Osawa, Jun Mukai, Michita Imai: “Anthropomorphization Framework for Human-Object Communication”, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol.11 No.8, pp.1007–1014, 2007

【 主論文以外に関する公刊論文 】

4. 大澤 博隆, 野田 誠人, 大村 廉, 今井 倫太: 『擬人化した物体からの情報提示手法のための後付け可能な指示区画検知センサの開発』, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.21, No.1, (To appear), 2009

【 国際会議発表 】

5. Hiroataka Osawa, Ren Ohmura, Michita Imai: “Embodiment of an Agent by Anthropomorphization of a Common Object”, Proceedings of 8th IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology(IAT-08), Vol. 2, pp.484–490, Dec 2008
6. Hiroataka Osawa, Jun Mukai, Michita Imai: “Towards Anthropomorphized Spaces: Human Responses to Anthropomorphization of a Space Using

Attached Body Parts”, Proceedings of 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication(RO-MAN 2008), Vol.17, pp.148–153, Aug 2008

7. Hiroataka Osawa, Jun Mukai, Michita Imai: “”Display Robot” - Interaction between Humans and Anthropomorphized Objects”, Proceedings of 16th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication(RO-MAN 2007), Vol.16, pp. 451–456, Aug 2007
8. Hiroataka Osawa, Jun Mukai, Michita Imai: “Acquisition of Body Image by Anthropomorphization Framework”, Proceedings of Joint 3rd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 7th International Symposium on advanced intelligent Systems (SCIS & ISIS 2006), pp. 1460–1465, Sep 2006
9. Hiroataka Osawa, Jun Mukai, Michita Imai: “Anthropomorphization of an Object by Displaying Robot”, Proceedings of 15th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication(RO-MAN 2006), Vol.15, pp. 763–768, Sep 2006
10. Hiroataka Osawa, Jun Mukai, Michita Imai “Acquisition of Subjective Representation Using Body Parts by an Object”, Proceedings of 5th International Conference of the Cognitive Science (ICCS), Vol.5, pp. 173–174, Jul 2006

【 国内学会発表 】

11. 大澤 博隆, 上林 壮一郎, 今井 倫太: 『スキマロボットー空間に対する仮想的身体の付与』, インタラクシオン 2009, (To appear), Mar 2009
12. 大澤 博隆, 上林 壮一郎, 大村 廉, 今井 倫太: 『スキマロボットー空間擬人化手法の提案』, FUN-AI, Feb 2009
13. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『ヒューマンオブジェクトインタラクシオンのための物体擬人化手法の評価』, 第 22 回人工知能学会全国大会, 1D2-06(CD-ROM), Jun 2008
14. 大澤 博隆, 野田 誠人, 今井 倫太: 『擬人化を利用した家電インタフェースの開発』, 第 128 回ヒューマンコンピュータインタラクシオン研究会, pp. 65–70, May 2008

15. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『エージェント化した物体を使用する直接的機能説明手法の評価』, インタラクシオン 2008, Mar 2008
16. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『物体擬人化研究の経緯と展望』, FUN-AI, Feb 2008
17. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『擬人化した家電機器からの機能説明手法の評価』, 知能と複雑系研究会, pp. 17-22, Jan 2008
18. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『物体のエージェント化を行う自己呈示型情報提示手法の評価』, HAI シンポジウム 2007, Dec 2007
19. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『擬人化を用いた自己言及的な情報提示装置の開発』, エンターテイメントコンピューティング 2007, pp. 239-242, Oct 2007
20. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『ディスプレイロボットによる自己説明型ポスターシステムの提案』, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 論文集, pp. 605-608, Sep 2007
21. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『身体影を付与する擬人化パーツ』, 人工知能学会第 21 回全国大会論文集, Vol.21, pp. 2D5-4 1-4, Jun 2007
22. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『人間-物体コミュニケーションを実現する擬人化フレームワーク』, Robomec 2007, May 2007
23. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『擬人化した物体によるインタラクシオン手法の提案』, インタラクシオン 2007, CD-ROM Proceeding, Mar 2007
24. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『物体を擬人化するディスプレイロボットの開発』, 第 48 回プログラミングシンポジウム, pp.9-16, Jan 2007
25. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『身体イメージを想起させる擬人化ディスプレイロボット』, HAI シンポジウム 2006, CD-ROM Proceedings (2OS-A-1), Dec 2006
26. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太, 『ディスプレイロボットを利用した物体の擬人化』, 人工知能学会第 20 回全国大会, CD-ROM Proceeding (3F3-2), Jun 2006

【 書籍 (共著) 】

27. 山田 誠二, 角所 考, 小野 哲雄, 小川浩平, 中野有紀子, 小松孝徳, 今井倫太, 大澤博隆, 小林一樹, 寺田和憲, 小嶋秀樹, 仲川こころ, 清川幸子, 植田一博, 竹内勇剛: 『人とロボットの<間>をデザインする』, 東京電機大学出版局, Dec 2007

【 招待講演 】

28. 大澤 博隆, 上林 壯一郎: 『アートワーク コンテキストデザインワーク ショップ「スキマロボット」』, NPO 法人 東京自由大学, Oct 2008

【 研究プロジェクト 】

29. 大澤 博隆: 『身体イメージを利用した装着型擬人化ディスプレイロボットの開発』, 2006 年度未踏ソフトウェア創造事業「未踏ユース」上期プロジェクト, 2006

【 同一著者による他の研究成果 】

30. Hitoshi Kawasaki, Ren Ohmura, Hiroataka Osawa, Michita Imai: “An Individual Data Extraction Model for Objects Used by a Number of People”, Proceedings of International Symposium on Wireless and Pervasive Computing, (To appear), Feb 2009
31. 松田 祐児, 大澤 博隆, 大村 廉, 今井 倫太: 『顔パーツの有無による人の擬人化認識度合いの調査と検討-SRT を用いた擬人化測定法の提案-』, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108, No. 317, pp. 41-46, Nov 2008
32. 野田 誠人, 大澤 博隆, 今井 倫太: 『人間の指示に応じた情報提示のための指示区画検知デバイス』, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '08(ROBOMECH 08) 論文集, pp.2P2-I12, Jul 2008
33. 鳩 康彦, 大澤 博隆, 今井 倫太, 開 一夫: 『コミュニケーションロボット用インタフェースのための脳活動計測に関する検討』, 情報処理学会第 70 回全国大会, Mar 2008
34. 野田 誠人, 大澤 博隆, 今井 倫太: 『焦電センサによる指示区画検知デバイス』, 情報処理学会第 70 回全国大会, Mar 2008

35. 大澤 博隆, 今井 倫太: 『人間同士による繰り返し型囚人のジレンマゲームの実施と結果』, Game Programming Workshop 2007, Nov 2007
36. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『ロボットの発話・身体動作からの制約に依存した物体からのセンサデータ解釈手法の設計』, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム (JAWS 2005), pp. 576–583, Nov 2005
37. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『SOBAR:コミュニケーションロボットによる環境センサ情報への制約』, 人工知能学会第 19 回全国大会, CD-ROM Proceeding (3B2-3), Jun 2005
38. 大澤 博隆, 向井 淳, 今井 倫太: 『ロボットの発話を利用した環境センサ情報への意味付け』, 情報処理学会第 67 回全国大会, 2-245–246, Mar 2005
39. Michita Imai, Hiroataka Osawa, Mariko Narumi: “Designing Human-Robot Interaction via Physical World Objects”, Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO'05), CD-ROM, TPO-2-1, Jun 2005

付 録 A

使用した統計手法

一般的な工学研究の性能評価と異なり、人間とのインタラクション自体を評価する HRI, HAI においては、システムの評価として被験者を用いた実験評価が必要不可欠である。しかしながら、被験者を用いた評価法では、計算機内で評価が完結する手法と異なり、あまり多くの被験者を使用する事ができない。また、被験者間の個人差による反応の違いも無視できないものとなる。よって、得られるデータは一般的な工学的評価と異なり、ノイズを含んだ少量のデータとなってしまう。

そのため、HRI や HAI の研究では、提案手法によって起こったユーザの評価結果が、はたして有意なものか、偶然起きたものかを調べるため、統計的な手法を用いて結果を解析する事が一般的である [44]。

本章では、本研究の評価に使用した各統計手法を簡潔に説明し、どのような理由によってその手法を各実験に適用したか記述する。

なお、これらの統計手法をデータに適用する際には、統計処理ソフト R を使用した [47]。

A.1 検定手法の原理と分類

A.1.1 統計的検定の原理

実験で得られた 2 群のデータに対して差があるか無いかを調べるためには次のような論法を用いる。

まず、2 群のデータに差が無いという仮説を立てる。この仮説を帰無仮説と呼ぶ。そして、実際の測定データを元に、差が無いという結果が起こる確率を調べる。この確率を有意差と呼ぶ。有意差が十分に少ない時、帰無仮説が棄却されたとみなす。このとき、2 群には統計的に意味のある差があるとみなされる。

帰無仮説を棄却する水準を有意水準と呼ぶ。有意水準としては、一般的に確率が 5% 以下、という基準が設けられる [48]。本研究でもこの基準を採用した。また、有意差が見付けられないから、とって両群が等しい、ということは直ちに言え

ない。このような差の中には、データが少なかったために有意差が発見できなかった、というような事例も考えられる。このような差を考察することには、意味があると考えられる。そのため本研究では、有意差が10%以下のものを、有意傾向があるもの、とみなし、評価結果には含めないが、考察中で考慮する、という形をとった。

A.1.2 検定手法の分類

検定手法は、統計手法の対象となるデータの尺度に基づいて次の2種類に分かれる。

- 質的データ
数値で表す事のできないデータ
- 量的データ
数値で表す事のできるデータ

2群の質的なデータの差が有意であるか検定する手法を、ノンパラメトリック検定とよび、量的なデータの差が有意であるか検定する手法を、パラメトリック検定とよぶ。

A.2 ノンパラメトリック検定

A.2.1 t検定

2群の量的データの差を検定する、ノンパラメトリック検定手法として最も一般的なものがt検定である。t検定は、統計量が分布に従うことを利用し、分析を行う。本研究はt検定を使用し、擬人化による対話的な情報提示を用いた時のユーザの回答数の分析を行った(第9章)。t検定の詳細な分類については、森らの関連文献に記述されている [48]。

ここでは、両群が非等分散の時にも使用できる Welch の t 検定のやり方を示す。

比較する両群を X_1, \dots, X_m および Y_1, \dots, Y_n とし、両群から標本平均 \bar{X} および \bar{Y} 、不偏分散 U_x, U_y を求める。

これから検定統計量 t_0 を

$$t_0 = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}|}{\sqrt{\frac{U_x}{m} + \frac{U_y}{n}}}$$

両群の平均が等しい場合には、統計量 T の自由度 ν は、以下の正規分布に従う。

$$\nu = \frac{\left(\frac{U_x}{m} + \frac{U_y}{n}\right)^2}{\frac{U_x^2}{m^2(m-1)} + \frac{U_y^2}{n^2(n-1)}}$$

表 A.1: クロス表

a	b
c	d

従って、これを帰無仮説として両側検定を行う。この t 分布における t_0 の上側の p 値を求め、有意水準 α と比較する。 $p < \alpha$ なら帰無仮説は棄却され、両群の平均には有意差があることがわかる。

A.3 パラメトリック検定

A.3.1 χ^2 検定

2 群の質的データの差を検定する、パラメトリック検定手法として最も一般的なものが χ^2 検定である。

χ^2 検定では、 χ^2 分布に従うような検定統計量に対し行われる。 χ^2 検定では、実際に各カテゴリに分類された測定値の度数である観測値と、帰無仮説のもとで予測される各カテゴリの度数である期待値とのずれを測定し、その大きさを指標として検定を行う。

χ^2 検定の詳細な手順については、Everitt らの関連文献に記述されている [49]。本研究では、アンケート記述の個数の差を検討するため、第 7 章で使用した。

A.3.2 Fisher の正確確率検定

前項で使用した χ^2 検定は、標本数が多いときは良く近似されるが、標本数が少ないときはあまり良く近似できない。このような時には、 χ^2 検定に代わり、Fisher の正確確率検定を使用する。Fisher の正確確率検定は一般的に、データのうち、10 未満の物があるときに採用される。Fisher は、データが表 A.1 のような 2×2 のクロス表で表される時、ある特定の度数のパターンが得られる確率が、式 A.1 のような分布で表される事を示した。

本研究では、被験者の行動やアンケート回答における、群間での個数の差を検討するため、第 6 章・7 章・9 章で使用した。

$$p = \frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{n!a!b!c!d!} \quad (\text{A.1})$$

A.4 主成分分析

主成分分析は、データが多量の変数で表される時に、互いに相関のある複数の変数の次元を削減し少数の合成変数で表す手法である。主成分分析では、データが多量にある時に、ベクトル x を置き、各データをそのベクトル x に射影した時にもっとも分布が広がるような x を置く。これを第一主成分と呼ぶ。また、この第一主成分によって表されるデータの割合を寄与率と呼ぶ。主成分分析の詳細な手順については、上田らの関連文献に記述されている [50]。

本研究では第8章で、被験者から直接擬人化手法の印象評価として得られた、17の各形容詞対に対する7段階評価をまとめ、被験者が対話相手との会話に好意を持ったかどうかを測る、社交性という評価値を取り出すために使用した。