

博士論文

エージェントの身体的特徴が人と人工物の対話に及ぼす影響の評価

公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
メディアデザイン専攻

小川 浩平

2010年3月

Doctoral Thesis

Assessments of Influences of Agent's embodiment on Human- Artifact Interaction

by

Kohei Ogawa

Graduate School of Systems Information Science
Future University - Hakodate
March 2010

Abstract— The purpose of this thesis is to investigate influences of an artifact's bodily property and relationships between humans and artifacts. There are two reasons why I setup the purposes. The first is that artifacts can be installed communicative functions by recent progresses of technologies. The second is that relationships between humans and artifacts might influence to interaction between the two. In this thesis I investigated these purposes by using a proposed agent system.

I classified the related agent study as three categories that are "Screen Agent" and "Background Agent" and "Robotic Agent" to make a concept of an ITACO agent. These three categories of agent have advantages and disadvantages. With these properties of each category, I proposed the concept of "ITACO agent" which can integrate advantages of each category and can cover each disadvantages.

ITACO agent provides appropriate support for humans with migration between artifacts depends on the context. I conducted experiments with the ITACO agent because it might provide a communicative function into any artifacts by using migration. For example, basically table lamp does not have communicative function. But when the ITACO agent that has commutative function migrate to the table lamp, humans might recognize the table lamp communication medium. In addition, the ITACO agent makes relationships with humans by using some communication channel. Accordingly, the ITACO system can be used for our experiment to achieve purposes in this thesis.

In this thesis, I conducted four experiments to investigate two questions that are influence of agent's bodily property and relationships between humans and agent. Concerning the first experiment, I investigated the social effect of an android that resembles real human closely. According to related work, the android possible to be tele-operated by humans. This related work indicated that the android has presence of real human. Therefore an artifact that resembles real human possible to be got a human's level of communicative function. To gain a further understanding of the android, I investigated a social influence of android by using two another conditions that are "Video" and "Human". In this experiment, I employed a persuasion context to investigate the social influence of each persuasive agent. Because persuasion was defined as the social influence on a related work. I also investigated the personality of androids by using NEO-FFI test that is based on a "Big Five" personality model. The result showed that the Video condition gained the highest degree of persuasion. As for a personality, android has more conservative personality than another persuasive agent.

Concerning the second experiment, I investigated that structure of an interaction between humans and table lamps. The purpose of the experiment is to investigate that how does human try to interact with table lamps. Furthermore, I observed whether humans could recognize the agent was migrating to the table lamp. The result showed three important things. The first result is that humans could recognize the agent migration to the table lamp. Second result is that a bodily property of the table lamp might influence to human-artifact interaction. Third result is that it's difficult to copy all ability of agent into the table lamp because of the bodily property of the table lamp.

Concerning the third experiment, I investigated that how does human behave to the table lamp that was migrated with the real human beings. A meaning of this experiment is whether a human can interact with the table lamp that seem to have a same communicative function as a real human. Concretely speaking, an experimenter on the display talked to a participant. Then the experimenter migrated to the table lamp. After that they were taking through the table lamp. The result showed that the participants could not talk with experimenter after the experimenter migrated to the table lamp. This result indicates that unconformity between bodily properties and functions of an artifact make humans confusing. Therefore the participants

of the experiment could not talk naturally with the experimenter through the table lamp. Let me discuss with integration previous two experiments, the table lamp might be implemented the communicative function as a virtual agent by using the ITACO system. However it's quite difficult to be implemented a human's level of communicative function.

Concerning the fourth experiment, I investigated that structure of an interaction between humans and humanoid robots. In the table lamp experiment, the case of the agent migrated to the table lamp; the participants could recognize the agent migration. But the case of the real human migrated to the table lamp; the participants could not recognize the migration. Differences of these two results are due to the unconformity between bodily properties and functions. In this experiment, I observed that how does human behave to a humanoid robot which was migrated by the ITACO agent. Concretely speaking, the agent migrated to the humanoid robot to play in the real world. After that, the humanoid robot told to the participants "It's too hot". The point of this study is the humanoid robot never uttered, "Please turn the heaters switch off". The humanoid robot just uttered, "It's too hot". I observed whether the participants could turn the heaters switch off. Results showed that almost of participants under experimental condition could recognize about agent migration and they could do the social behavior that turning lamp switch off. The results indicated two things. The first is the ITACO agent can migrate to the humanoid robot. Second is the agent migration bringing out humans' social engagement to an artifact. Additionally, social engagement facilitates abilities of intension reading for artifacts.

I concluded from these four experiments. The first, concerning the influence of artifact's bodily properties to interaction, humans might be changed one's social behavior. The second, the artifacts can be get the interaction functions which is close to the human. The third, using the ITACO system possible to leads reinforcing the interaction ability of artifacts.

In this paper, I described about possibilities of ITACO agent by the four experiments. The results showed that participants would be realized that the agent migrated to the other medium. This results indicates that the relationships between humans and ITACO agent influence into interaction between the two.

The results of experiment 2 and 3 indicate that outer appearance of some artifacts should be considered when we try to implement the communicative function into some artifact by using the ITACO system.

In conclusion, the experiments indicate that the ITACO system is the agent system which can reinforce the interaction ability of artifacts. To the results we can show useful knowledges for designs to some interactive systems except the ITACO system.

Keywords:

agent, bodily property, robot, android, interaction

概要: 本研究の目的は、心理実験を通じて人工物が持つ身体的特徴及び人と人工物との間の関係性が対話に与える影響を調査することである。この目的を設定した理由は2つ挙げられる。1つ目の理由として、現代における科学技術の進展により仮想と現実との境界が曖昧になりつつある点が挙げられる。ネットワーク技術やコンピュータの小型化などにより、これまでは対話の対象にはなり得なかった人工物に對話機能を持たせることができるようになった。このような状況から、人と人工物との対話は今後重要になることが予想される。そのため、人工物が持つ身体的特徴が人との対話に与える影響を研究対象にすることには意味があると考えた。2つ目の理由は、人同士の対話同様、人工物との間の対話の際にも双方の間に築かれた関係性が、対話に影響する可能性がある点が挙げられる。人同士の対話においては一定の知見がすでに得られているが、人と人工物との間の対話において、両者の間に築かれた関係性が対話に与える影響は現在のところ多くの知見は得られていない。そのため、本研究では人工物との間に関係性を築き、人工物を対話の対象とすることができる ITACO システムを用いる事により、この点を調査した。以上の2つの項目を検証することにより、本研究では次の時代の人と人工物との対話のデザインに際して有用な知見を得ることができると考えた。

本研究を実施するにあたり、本来であれば対話の対象にはなり得ない人工物と対話することができるシステムを実現する必要があった。そのため本論文では、既存のエージェント技術をエージェントの身体的特徴という観点から「スクリーンエージェント」「バックグラウンドエージェント」「ロボティックエージェント」という3つのカテゴリに分類することにより、これまで提案されてきたエージェント技術におけるエージェントが、どのような特徴を持つかを展望した。その結果、3つのカテゴリにおけるエージェントにはそれぞれ長所と短所が存在し、それぞれの長所を統合し、短所を補うことにより本研究で提案した ITACO エージェントを実現できると考えた。

ITACO エージェントは状況に合わせて様々な人工物の間を移動することにより、人との対話を通じて適切なサポートを行うエージェントである。ITACO エージェントにより本研究の2つの目的を検証することができた。その理由として2点挙げられる。1つ目は、ITACO エージェントは元々對話機能を持たないと推定されるテーブルランプの様な人工物にエージェントが移動することによって一定の對話能力を持つ人工物であると推定させることができる点である。2つ目は、対話の端緒をつかみやすいスクリーンエージェントで対話を行うことにより両者の間に関係性を築き、その後検証したい人工物へ移動することにより、関係性が人と人工物との対話に与える影響を検証することができる点である。

本論文では、ITACO エージェントが人にどのように認知されるかに関しても同時に調査をした。ITACO エージェントは人工物に移動する際見かけを変化させる。そのためエージェントが見かけを変化させた際、同一のエージェントであると認知することができなかった場合、本研究の目的を検証することができなくなる。そこで本研究では、実験により目的の調査に加えてエージェントが人工物へ移動したと認知することができたかどうかについても検証することにした。

本論文では、エージェントの身体的特徴が対話に与える影響、関係性が対話に与える影響を4つの実験によって検証した。1つ目の実験では、人に酷似した身体的特徴を持つアンドロイドが対話に及ぼす社会的影響力を検証した。遠隔対話メディアとしてのアンドロイドが人との対話に与える影響に関しては、すでに研究されている。その実験から、人工物としてのアンドロイドは人に操作されたとしても違和感を感じさせることはないことが分かった。つまり、テーブルランプと違い人に酷似した身体的特徴を持ったアンドロイドは、やはり人と同等の對話能力を持ちうるという事である。そこで本実験では、アンドロイドの身体的特徴が持つ社会的影響力をより深く検証することにより、アンドロイドの特徴を明らかにする事を目的にした実験を行った。実験は、Video, Human, Android の3種類のエージェントが同一の説得行為を実験参加者に対して行う事により、それぞれの説得エージェントの持つ社会性を検証した。また、実験時に説得エージェントに対してのパーソナリティの特性をテストしてもらうことにより、見かけが人に酷似したアンドロイドがどのような性格特性を持ちうるかに関して調査を行った。その結果、社会性の尺度の一つである説得の度合いに関しては Video がもっと説得力があったということが分かった。パーソナリティに関しては、アンドロイドは人と比べ地に足がついている、落ち着いた雰囲気といった印象を与える事

が分かった。このことから、アンドロイドはより保守的で落ち着いた性格性を持つ事が分かった。このことから、アンドロイドはこれまでのロボットでは適さなかった状況に適合することができる可能性があることが示された。またアンドロイドは他の人工物と違い人と全く同等の能力を持ったとしても、対話する人に対して違和感を与えないだけでなく、権威などの存在感をも与えうる人工物であると考えられた。

2つ目の実験では、テーブルランプとの対話実験である。本実験では、テーブルランプに対して人はどのように対話を試みるかを検証した。また、エージェントがテーブルランプへ移動したことを人が認知できるかどうかを検証した。具体的には、対話を行ったエージェントがテーブルランプへ移動し、その後テーブルランプのスイッチを切っただけと実験参加者に対して依頼したときの実験参加者の振る舞い及び印象から、目的を検証した。実験の結果、3つのことが分かった。まず、人はエージェントがテーブルランプへ移動したことを認知することができた。次に、人工物の持つ身体的特徴は人との対話に一定の影響を与えることが分かった。最後に、エージェントの持つ属性全てを完全にテーブルランプへ移動することはできないことが分かった。その理由として、テーブルランプが持つ身体的特徴とエージェントの持っていた能力の不適合が原因である可能性が考えられた。

3つ目の実験では、エージェントのテーブルランプへの移動実験での結果を受けて、テーブルランプがさらに高度な対話能力を備えた場合に、人がテーブルランプに対してどのように振る舞うかを検証した。具体的には、実験参加者とテレビ会議をしている実験者が画面からテーブルランプへ移動し、その後はテーブルランプを介して実験参加者と対話を行うことにより、テーブルランプに人と同等の知能を持たせた場合に、人と人工物がどのような対話を試みるかを検証した。

実験の結果、人と同等の能力をテーブルランプが持ち合わせた場合、人はその機能と身体的特徴の間の違いの大きさに混乱を覚え、円滑な対話ができなくなったことが分かった。また実験者がテーブルランプへ移動したという事実を理解することができなかった事から、テーブルランプに人と同程度の高度な知能を持たせることは困難であることが明らかになった。エージェントがテーブルランプへ移動する実験と合わせて考察すると、テーブルランプはITACOシステムを適用するなどの工夫により、バーチャルエージェント程度の知能であれば持ち合わせることができると、人と同等の知能を持つことは困難であると考えた。

4つ目の実験では、人はヒューマノイドロボットとどのような対話を試みるかを検証した。テーブルランプにエージェントが移動する実験では、エージェントがテーブルランプに移動したことを認識させることができた。テーブルランプに人が移動する実験では、移動したという事を認知させる事ができなかった。このような結果が示された理由として、人工物の持つ身体的特徴と機能が適合しない場合、人との対話にネガティブな影響を及ぼすのではないかと考えた。そこで本実験では、人と似通った身体的特徴をもったヒューマノイドロボットは人とどのように振る舞うかを検証する実験を行った。具体的な実験方法としては、実験参加者と対話を行ったスクリーンエージェントが対話に飽きた事を理由にロボットへ移動する。その後、ロボットからの「なんだか暑いなあ」という発話に対して、実験参加者がどのような反応をするかを検証した。

実験の結果、実験条件の実験参加者の多くはエージェントがロボットへ移動したと認知することができた。また、実験条件の多くの実験参加者がロボットの発話の意図を理解する努力をし、ヒータの電源を消すという行動に移る事ができたことがわかった。この結果から、エージェントをロボットへ移動させることは可能であることがわかった。またエージェントがロボットへ移動することにより人の人工物に対する関与を引き出す事ができ、結果的に円滑な対話を実現できることが分かった。また、ロボットの突然の発話にもかかわらず実験参加者の多くは発話の内容を理解することができたという結果から、ロボットが持つ身体的特徴は高い対話能力を備えている事を推定させる力がある事が分かった。

以上の実験から、仮説に沿って議論を行った。まず人工物の身体的特徴が対話に与える影響に関して、人は人工物の身体的特徴の違いによって社会的な振る舞いを変化させることが分かった。また、人工物は身体的特徴が人に近づくほど、人に近い対話能力を持つと認知させることができることが分かった。加えて、ITACO エージェントを用いることにより、人工物が持つことができる機能を補強することができる可能性が示された。

本研究では、実験を通じてITACO エージェントの実現可能性についても検証を行った。その結果、エージェントの移動を人は認知することができることが分かった。それにより、エージェントとの間に築かれた関係性が人と人工物との間の対話にも一定の影響を与えることが分かった。これにより、ITACO エージェントのコンセプトの妥当性が示されたのではないかと考える。また、同

時に人がテーブルランプへ移動する実験の結果から、エージェントの機能と移動先の人工物の持つ身体的特徴を考慮する必要があることも明らかになった。

これらの結果から、ITACO エージェントは人工物の持つ対話の機能を補強することができるエージェントシステムであることが示されたと考える。これにより、時代に合った、人と人工物の対話を支援するシステムの一つとして一定の成果を示すことができたと考えた。さらに、本論文では人工物の持つ身体的特徴が対話に及ぼす影響を検証した。この知見は、ITACO エージェント以外のシステムのデザインの際にも有用な知見になると考えた。

キーワード:

エージェント, 身体的特徴, ロボット, アンドロイド, 対話

目次

| | |
|---------------------------|-----------|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 研究の動機 | 3 |
| 1.2 本論文の目的 | 4 |
| 1.2.1 エージェント技術の分類 | 4 |
| 1.2.2 新しいエージェントシステムの提案 | 5 |
| 1.2.3 人工物との対話実験 | 5 |
| 1.3 システム情報科学における本研究の位置付け | 6 |
| 1.4 本論文の構成 | 6 |
| 第2章 エージェント技術と要素技術 | 9 |
| 2.1 エージェントの定義 | 9 |
| 2.2 エージェント技術の分類 | 10 |
| 2.2.1 スクリーンエージェント | 12 |
| 2.2.2 バックグラウンドエージェント | 13 |
| 2.2.3 ロボティックエージェント | 15 |
| 2.3 ITACO エージェント | 18 |
| 2.3.1 対話を支援するシステム | 21 |
| 2.3.2 人と人工物との対話研究 | 24 |
| 2.3.3 ユビキタス技術 | 25 |
| 2.4 ITACO エージェントの実現に向けて | 27 |
| 2.5 本章のまとめ | 28 |
| 第3章 ITACO システム | 29 |
| 3.1 システムのコンセプト | 29 |
| 3.2 システムの詳細 | 30 |
| 3.2.1 ITACO システムのソフトウェア構成 | 31 |
| 3.2.2 システムのハードウェア構成 | 32 |
| 3.3 本章のまとめ | 34 |
| 第4章 アンドロイドとの対話実験 | 35 |
| 4.1 遠隔操作ロボットとしてのアンドロイド | 36 |
| 4.2 エージェントとしてのアンドロイドの意義 | 37 |
| 4.3 エージェントによる説得行為 | 38 |
| 4.4 評価実験 | 39 |
| 4.4.1 測定方法 | 40 |

| | | |
|------------|-------------------------|-----------|
| 4.4.2 | 実験方法 | 42 |
| 4.5 | 結果 | 44 |
| 4.6 | 考察 | 46 |
| 4.7 | 本章のまとめ | 49 |
| 第5章 | テーブルランプとの対話実験 | 50 |
| 5.1 | エージェントのテーブルランプへの移動 | 50 |
| 5.1.1 | 実験システム | 51 |
| 5.1.2 | 実験の目的 | 52 |
| 5.1.3 | 実験方法 | 52 |
| 5.1.4 | 結果 | 55 |
| 5.1.5 | 考察 | 56 |
| 5.1.6 | 本実験のまとめ | 59 |
| 5.2 | 人のテーブルランプへの移動 | 60 |
| 5.2.1 | 実験システム | 60 |
| 5.2.2 | 評価実験 | 61 |
| 5.2.3 | 実験方法 | 61 |
| 5.2.4 | 結果, 考察 | 64 |
| 5.2.5 | 人のテーブルランプへの移動実験のまとめ | 66 |
| 第6章 | ロボットとの対話実験 | 68 |
| 6.1 | 言語行為における意図の伝達 | 69 |
| 6.1.1 | 関連性理論 | 69 |
| 6.1.2 | 人工物との対話と関連性理論 | 71 |
| 6.2 | 評価実験 | 72 |
| 6.2.1 | 実験のシステム | 72 |
| 6.2.2 | RobovieR2 | 72 |
| 6.2.3 | 実験方法 | 73 |
| 6.2.4 | 実験の手続き | 75 |
| 6.2.5 | 評価方法 | 75 |
| 6.3 | 結果 | 75 |
| 6.4 | 考察 | 76 |
| 6.5 | 本章のまとめ | 78 |
| 第7章 | 総合的なまとめと議論 | 80 |
| 7.1 | 本論文のまとめ | 80 |
| 7.1.1 | 本論文の目的 | 80 |
| 7.1.2 | エージェント研究の分類とITACOエージェント | 80 |
| 7.1.3 | ITACOシステム | 82 |
| 7.1.4 | アンドロイドとの対話実験 | 82 |
| 7.1.5 | テーブルランプとの対話実験 | 83 |
| 7.1.6 | ロボットとの対話実験 | 85 |

| | | |
|----------------------|------------------------------|-----------|
| 7.2 | 総合的な議論 | 85 |
| 7.2.1 | 仮説の検証 | 86 |
| 7.2.2 | ITACO エージェントの実現可能性 | 87 |
| 7.3 | 今後の展望 | 88 |
| 付 録 A 研究業績リスト | | 96 |

第1章 序論

近年のテクノロジーの進展により、人と人工物との間の対話に関する技術は重要性を増してきている。なぜなら、人が技術に依存するほど、人と人工物との間の対話はより緊密になり、人種や世代、さらには個人性を越えた人工物のデザインが要求されるからである。例えば、インターネットの進展により我々は web 空間上にある情報を自由に取得でき、さらには個人が自ら情報を公開することができるようになった。加えて利用する事のできる情報の種類に関しても、ユビキタス技術の発達から、これまでは取得することができなかった環境の情報などを利用することができるようになりつつある。その代表的なものとして GPS や Wi-Fi の定点観測技術を応用することにより人間の相対的な空間内での位置情報、気温、湿度、衛星からの気象情報、など多様な情報が利用可能になった。しかしこれらの情報にアクセスするためには、人と人工物との対話はこれまで以上に精緻化される必要がある。例えば web へのアクセスのために、コンピュータなどの情報端末を用いる際、コンピュータとのやりとりにはマウスやキーボードといった、ヒューマンインタフェースデバイスをインタフェースとした対話が必要不可欠である。

さらに、近年持ち運びができる情報端末として、携帯電話やスマートフォンといった、場所が限定されないデバイスも登場した。これらのデバイスを用いて情報にアクセスする際、当然デバイスと人との間に何らかの対話が行われる。新しい技術により新しいデバイスが開発された場合、当然デバイスと人との間の対話に関する技術も開発されなければならない。そのため、情報へアクセスする手段の多様化と共に人と人工物との対話の方法に関しても考慮されなければならないと考える。

人と人工物との対話の技術が重要性を増す理由は、情報へアクセスする頻度だけではない。我々が生きている場所は、情報の中ではなく現実の中である。人は現実在世の中で生きていかなければならないし、そのためには情報以外の実体を持った人工物との対話は必要不可欠である。例えば、我々人間が生きてくためには醤油の瓶やドアノブ、インターフォン、テレビ、ランプなど、現実に存在するあらゆる人工物と対話をする必要がある。つまり、人が日常生活においてアクセスすべき対象は情報だけではなく、実体をもった人工物も含まれるということである。さらに、近年 Sony が提案している DLNA などの技術により家電がネットワークに接続され、実体を持った人工物と情報世界がつながり、情報環境の中で実体を持った人工物を利用できるような技術も進展し始めている。このことは、実体を持った人工物と情報環境との間の境界が曖昧になりつつある事を示している。

このような、実体を持った人工物が情報環境に統合されていく中で、実体と仮想を結びつけることができるシステムは現在のところ登場していない。なぜなら、情報(仮想)と現実(実物)双方を巧みに繋ぐ技術及び知見が現在のところ確立されていないからである。例えば、コンピュータはインターネットの情報を取得することには非常に優秀な人工物であるが、醤油の瓶をとるための人工物として使うことはできない。一方醤油の瓶はインター

ネットの情報を取得するには不向きな人工物であることは明らかである。情報技術と実体を持った人工物を重畳させる技術が登場しつつある今、現在とは違った人工物との対話に関する枠組みを提案することは、今後の社会にとって有益なことであると考えられる。

実体を持った人工物と情報環境との境界が曖昧になりつつある現代において、人間は人工物と同様に対話も変化していくことが予想される。人は、対話の対象の持つ対話能力を推定し、適切な対話の方法を選択することにより対話を試みる。例えば、人同士での対話の場合、相手が人としての対話能力を持っていると推測し、人同士の対話の方式を選択する。対話の相手がロボットであった場合、ロボットはこちらの話す言葉や仕草を理解しているかどうかを推測することが難しいため、徐々に相手の対話機能を探るような対話の方式を選ぶだろう。冷蔵庫と対話をする場合は、言語やジェスチャーといった方法で対話をしようとは考えないだろう。このように人間は、人工物の持つ見た目などの身体的特徴から、相手の認知的な機能などを推測し、対話を行っていることがわかる。

本研究は、人間と人工物との対話実験を通じて、人工物の持つ身体的特徴が対話に及ぼす影響を検証することを目的とする。これにより、今後情報と現実との境界が曖昧になっていくことが予想されるなかでの、人と人工物との間の対話の方法に関して議論することができる。この目的を達成するための実験を実施するにあたりいくつか問題がある。それは、例えばランプや冷蔵庫といった、通常では対話機能が無いと予測される人と人工物をどのように対話させるか、また、どのような対話をさせるべきかという問題である。本研究ではこの問題の解決のためにエージェント技術を用いることにする。エージェント技術とはエージェントというある主体が人と人工物との間を仲介することにより、円滑な対話を実現することができる技術である。エージェント技術のアプローチは、これまでの技術のように人工物を「使う」という観点からではなく、お互いの相互作用を引き出す事により、より自然な人と人工物との対話を実現することを目的としている。エージェント技術ではある主体(エージェント)が人と人工物との間の対話を仲介することにより、円滑な対話を実現することができる。

エージェントはソフトウェアであるため、人工物のもつ対話チャンネルを補強することができる。例えば、電子レンジにエージェント技術を応用した場合、従来であればボタンを押して加熱する時間を決めなければならないが、「良い感じに温めて」といった自然言語によって電子レンジに指令を与える事ができる。これはつまり、従来であればボタンという対話チャンネルしかなかった電子レンジに「音声」というチャンネルを付与することができるということである。もちろん、電子レンジに単純に音声認識という「機能」を追加したととらえる事ができるかもしれないが、いったい誰が電子レンジに突然話しかけることができるだろうか。従来からある人工物にはある一定のメンタルモデルができあがってしまっているため、そのメンタルモデルを崩し、対話チャンネルを増やすためには、何らかの工夫が必要である。そのために、主体性を持ったエージェント、あるいは持っている様に思わせたエージェントが人と人工物との間を仲介することで、時代に合った人と人工物の対話を実現することができるのではないかと考える。

本研究では、このエージェント技術をベースにした新しいエージェントシステムを提案する。このシステムを用いて人と人工物との間の対話を橋渡しすることにより目的である、それぞれの人工物が持つ身体的特徴が対話の方法に与える影響を調査する。

1.1 研究の動機

私が、本研究を行う理由は、人が関わる対話全般に興味を抱いているからである。古来人間は人生の多くの時間を狩猟や採集などの食料の確保に費やしてきた。このことは、動物の生態を見れば明らかである。明日食べるものが無いという状況に置かれた生物は生きるために例外なく食料の確保に時間を費やすであろう。しかし現代の人間社会において、すでに我々は餓死する危険性をほぼ排除できるようになった。この理由は人間が安全に大量にそして効率的に食料を確保するための技術を長い年月をかけて開発してきたからである。では食料の確保に時間を費やさなくて良くなった人間は、一体何に対して時間を使っているのであろう。

現代の人間は、多くの時間を情報処理に費やしている。これは近年発達の著しい技術が何に応用されているかを考えればわかりやすい。例えばインターネットの普及により我々は、E-mail、ビデオチャット、ソーシャルネットワーク、Blogなどの遠隔でほぼリアルタイムでの情報のやりとりが可能になった。さらにモバイル技術の普及により我々は、携帯電話などの情報端末により場所を選ばず情報をやりとりすることができるようになった。また、コンピュータ技術の発達はこれらの技術を支えるだけでなく、日常の仕事の効率をさらに促進することを可能にした。これらの例から分かることは、現代社会の人間は、人生の多くの時間を情報を処理することに使っているということである。TVを見ることも、ビデオチャットをすることも、Blogを書くことも全て、入力された情報を理解する情報処理である。

人の情報処理の中でも大部分を占める行為は、自分以外のものとのコミュニケーションである。当然、1万年前の人間も家族や仲間と当然コミュニケーションを行っていたであろう。しかし、生きるための狩猟に時間を使わなくても良くなった人間が未だに多くの時間を費やしている行為はコミュニケーションである。このことから、私は本来人間は他者とのコミュニケーションを通じて自分自身もしくは人間全体に対して関心を持っており、常にそれを追求し続けているのではないかと考えている。

人のコミュニケーションに対する興味は、人同士のコミュニケーションだけに留まらない。例えば、小さい子供が人形に話しかける状況に対して我々は違和感を感じないだろう。子供だけではない。Paroというアザラシ型のロボットに非常に癒される老人も存在している。これは人は人以外の人工物に対しても、擬人化することにより対話を試みようとする傾向がある事を示唆している。現在、コンピュータの小型化やネットワーク技術の発展により、様々な人工物にセンサやコンピュータなどを搭載することが可能になり、人工物自体が対話能力を備えることができるようになってきた。そのため、人と人工物との間の対話がどのように成立しているのかを考察することは、意味があるのではないかと考える。

人形やParoは人にとって何らかの対話の対象であると認知されている。では子供はなぜ空き缶でなく、人形に話しかけるのであろうか。なぜ老人はバレーボールではなくParoに心惹かれるのであろうか。子供と老人の例で挙げたそれぞれの人工物の違いは、それぞれが持つ身体的特徴である。人形は手足をもっているが、空き缶は単なる空き缶である。Paroは人が触るとそれに対して動きで反応を返すが、バレーボールは反応を返さない。背景で述べたが、人は人工物の持つ身体的特徴や動作から相手の対話能力を類推する事ができる。つまり人形やParoは人にとって何らかの対話の対象であると認知される身体的特徴を持ち合わせていると考える事ができる。では、例えば空き缶が対話能力を持った場合、

人は空き缶を対話の対象と見なし、人形の様に接するのだろうか。この疑問に関して議論するため、本研究の目的の一つとして、人工物の持つ身体的特徴が人との対話に与える影響を調査する事を挙げる。

現代の技術を用いれば、空き缶に対話能力を実装することは可能である。さらに空き缶のみならず、様々な人工物に同等の機能を実装することも可能である。そこで本研究では、エージェント技術を基にした、様々な人工物を対話可能なエージェントに変えることができるシステムを開発し、そのシステムを用いることにより、人工物の持つ身体的特徴だけでなく、人と人工物との間に築かれた関係性が対話に与える影響についても調査をする。

1.2 本論文の目的

本論文の目的は、心理実験を通じて人工物が持つ身体的特徴及び人と人工物との間の関係性が対話に与える影響を、本研究において提案するエージェントシステムを用いて調査することである。この調査における結果より、今後促進されることが予想される人と人工物との間の対話を支援するシステムを実現する際の重要な知見になり得ると考える。

この目的から本研究では以下の仮説を定義する。

仮説 1 人工物の持つ身体的特徴から、対話の仕方は変化する

仮説 2 人と人工物との間に関係性が築かれた場合、築かれていない場合よりも人工物に対して社会的に振る舞う

仮説の検証のために本研究では、まず従来までに行われてきたエージェントシステムを、「スクリーンエージェント」「バックグラウンドエージェント」「ロボティックエージェント」の3つに分けて述べる。これにより、本研究にて提案するエージェントシステムの利点を明確にし、システムの実現に向けた議論を行う。その後、実装したシステムを用いた実験を行い、人工物が持つ身体的特徴の対話に与える影響に関して述べる。

1.2.1 エージェント技術の分類

これまで多様なエージェントが提案されてきた。それらのエージェントは時に姿の見えない人工知能として、時に画面上に存在するスクリーンエージェントとして、さらにはエージェントと直接的には呼ばれていない物として存在している。これらのエージェントはそれぞれに長所と短所を持っており、それぞれの想定された条件下で効果的に動作する。しかし、想定された環境下以外では満足に動作することが難しい。例えば、人工知能として決められたタスクを自律的に行う事のできるエージェントに、人と仲良くするというタスクは向いていない。しかし、愛らしい見かけを持ったスクリーンエージェントは、それほど高度な自律性を持っていなくても、人が自ら擬人化し、好意を持ってくれる可能性が高い。このように現在提案されているエージェントにはそれぞれ向き、不向きがある。さらにはエージェント自体の定義が曖昧である。そこで本論文では、まず本論文で扱うエージェントの定義を明確にした上で、これまでのエージェントの研究を3つのカテゴリに分けて述べる。これにより、今後の社会で求められるエージェントの機能を明確にし、本論文で提案する新しいエージェントシステムのコンセプトを従来研究の中で位置づける。

1.2.2 新しいエージェントシステムの提案

様々な技術の発展により、位置や環境などの情報や、ロボット技術を用いることにより達成することが難しかったタスクなどを実現することができるようになった。これらの技術により、情報などの仮想的な存在と実体を持った人工物との連携を緊密にすることができるようになり、これまでになかった情報環境を構築することが可能になってきた。そこで、本論文では従来のエージェント研究から着想した、仮想と現実繋ぐことができるエージェントシステムである ITACO エージェントを提案する。これにより、従来のエージェント技術の持つ欠点を補いつつ、人と人工物が良好な関係性を築くことができるエージェントを提案できるのではないかと考える。

1.2.3 人工物との対話実験

仮説を検証するために、本論文では4つの実験を実施した。それぞれの実験の内容は以下の通りである。

実験 1: アンドロイドとの対話 人に最も違い身体的特徴を持ったアンドロイドと、人はどのような対話を試みるか。またどのような印象を抱くか

実験 2: テーブルランプとの対話 1 テーブルランプが持ち合わせている身体的特徴を用いて対話を行った場合、人はテーブルランプに対してどのように振る舞うか

実験 3: テーブルランプとの対話 2 テーブルランプが人と同等の対話能力を持ち合わせた場合、人はテーブルランプに対してどのように振る舞うか

実験 4: ロボットとの対話 ロボットが人らしい振る舞いをした場合、人はロボットに対して社会的に振る舞うか

実験 1 は人と身体的特徴が酷似したアンドロイドを用いることにより、仮説 1 を検証する。実験 2 では、テーブルランプが点灯するというランプの持つ身体的特徴を用いて人と対話を行う事により仮説 1 を検証する。実験 3 では、空き缶が本来持ち合わせていない機能を持ち、人と対話を行う事により、仮説 1 を検証する。つまり、身体的特徴と機能が適合しない場合は、人はどのような振る舞いをするかを検証する。実験 4 はヒューマノイドロボットが人と対話することにより仮説 1 を検証する。

実験 2 から 4 において本研究で提案する ITACO システムを用いることにより、仮説 2 を検証する。ITACO システムはエージェントが人工物の間を移動することにより環境内に存在する人工物を対話可能なものに変化させることにより、これまで検証することができなかった人工物一般と人との対話を実現することができる。

背景でも述べた様に、ランプや空き缶など、一般的には対話の対象と見なされない人工物との対話実験を自然に演出できるよう、実験 2 から 4 において、今回本論文で提案する ITACO システムを用いる。ITACO システムのコンセプトは、ソフトウェアとしてのエージェントが人工物の間を移動することにより、人と人工物を介して対話することができるエージェントシステムである。我々はこの ITACO システムを用いる事によりランプや空

き缶などを人にとっての対話の対象として認知させ、本論文の目的である人工物の持つ身体的特徴が対話に及ぼす影響を調査することができると思う。

また、本研究における結果及び議論から、今後人と人工物との対話を含んだシステムを実現する際に有用な知識を得ることができると思う。

1.3 システム情報科学における本研究の位置付け

ある1つの優れたシステムを完成させるには、多種多様な技術や科学的知見が必要となる。例えば、グラフィックス描画アプリケーションを作る場合を考えると、高度なプログラミング技術はもとより、そのアプリケーションの使いやすさなどを認知心理学的に分析する必要がある。また、ユーザが気持ちよく使えるような美しいグラフィックデザインも必要である。これらのうち1つでも欠ければとたんにユーザは見放してしまうであろう。例えば美しく使いやすいが、非常に動作の重いアプリケーションや、動作が軽快で見た目も美しいが、非常に使いにくいものなどが当てはまるだろう。これは、コンピュータアプリケーションだけでなく、椅子や机、車など様々な人工物にも当てはまる。

近年の情報技術の発達はめざましいものがある。私は人間と関わる可能性のあるシステムをデザインする場合、人間の認知に対して科学的にアプローチする避けることはできないと考えている。しかし、科学的に得られた知見をもとに実装をする際にはやはり工学的な技術は不可欠である。つまり、システム情報科学とは、情報デザイン、認知科学、情報工学等を統合的に含んでおり、それらの領域の垣根をなくし、優れたシステムをデザインすることであると考えられる。本研究は、人が人工物とどのように対話を行うべきかという広く深い疑問に関して議論するために、まず必要となるシステムを実装する。その後実装したシステムを用いる事により、私が持つ問題意識に対して議論を行う。これにより、人と認知のような根源的な問題を、新しいエージェントシステムという工学的な貢献に繋げる事ができるのではないかと考える。

1.4 本論文の構成

本論文は、序論を含めて全7章で構成させている。

第2章 エージェント技術と要素技術

第2章では、エージェント技術に関する従来研究を、スクリーンエージェント、バックグラウンドエージェント、ロボティックエージェントという3つのカテゴリに分けて論じることにより、従来の研究の短所と長所に関して議論する。これら3つのエージェントのカテゴリをすべて包含する形で存在するITACOエージェントというエージェントを新たに提案し、その内容に関して詳述する。その上で、ITACOエージェントの実現に向けた要素技術であるユビキタス技術、ヒューマンインタフェース、マルチモーダルインタフェースに関して述べる。また、工学的な研究だけでなく、Human Robot Interactionなどの認知科学的な研究に関しても言及する。

第3章 ITACO システム

第3章では、提案した ITACO エージェントのコンセプトを基にした ITACO システムに関して述べる。ITACO システムは、従来提案されてきたエージェントの長所を生かし、短所を補うことができるエージェントシステムである。ITACO システムにおけるエージェントは、環境内の様々な人工物の間を移動することにより、状況に合わせた最適な支援を人に対して行うことが可能である。本章では、ITACO システムのシステム構成に関して述べたあと、今回実装したプロトタイプシステムに関して述べる。

第4章 アンドロイドとの対話実験

第4章では、人に酷似した身体的特徴を持ったアンドロイドを人はどのように認知し、振る舞うかに関して述べる。見かけが人に酷似した実体を持ったエージェントと人はどのような対話を行うかを明らかにすることにより、本論文で述べる人と全く違った見かけを持ったエージェントとの対話と比較した議論することができると思う。アンドロイドが対話メディアとしてどのような影響力を持つかは、先行研究によって検証されている。そこで本章では、さらにアンドロイドが人工物としてどのような社会的影響力を持つかを検証する実験に関して述べる。

第5章 テーブルランプとの対話実験

第5章では、今回実装した ITACO システムを用いて、対話可能な状態になったテーブルランプに対して人はどのように振る舞うかを検証する実験に関して述べる。これにより、一般的には対話を行わない人工物が自身の持つ身体的特徴を用いた対話を行った場合、人は人工物に対してどのような振る舞いをするのかに関して検証することができると思う。また ITACO システムを用いることにより、人と人工物との間に築かれた関係性が対話に与える影響に関しても検証する。

本章は2つの実験により構成されている。1つ目は、エージェントがテーブルランプへ移動する実験である。具体的には、対話を行ったエージェントがテーブルランプへ移動した後、人がテーブルランプに対してどのように振る舞うかを検証する。2つ目は、人がテーブルランプへ移動する実験である。具体的には、対話を行った人がテーブルランプへ移動した後、人がテーブルランプに対してどのように振る舞うかを検証する。

2つの実験の違いは、テーブルランプが持つことになる対話能力の違いである。これにより人工物の身体的特徴と人工物が持つことになる対話能力の違いが対話に与える影響を検証する。

第6章 ロボットとの対話実験

第6章では、ITACO システムを用いてエージェントとしてのロボットは人にどのような対話の対象であると認知されるのかを検証した実験に関して述べる。具体的には、エージェントがロボットに移動した場合としなかった場合で、ロボットの間接的な依頼に対して実験参加者がロボットの発話の意図を理解することができたか、また発話に対してどのよう

な行動を起こしたかを観察することにより検証した。本章は仮説1及び2を検証する実験である。

第7章 総合的なまとめと議論

第7章では、本論文のまとめを行う。また、今後の発展的な議論を行う。

第2章 エージェント技術と要素技術

本章では、まず本論文におけるエージェントの定義を行う。その後、エージェント技術に関する従来研究を、スクリーンエージェント、バックグラウンドエージェント、ロボティックエージェントという3つに分類して述べることにより、それぞれのカテゴリにおけるエージェントの長所と短所に関して議論する。次に、この議論を基に本論文で提案する新しいエージェントであるITACOエージェントのコンセプトに関して述べる。その際、ITACOエージェントの実現に向けて必要である要素技術に関しての先行研究に言及する。

2.1 エージェントの定義

本論文で用いる「エージェント」とは、人と関わることにより人工物との間の対話を仲介する主体と定義する。エージェントという表現は、多種多様な領域で用いられている。例えば、人工知能の分野においてはセンサによって環境からの情報を得て、なんらかのエフェクタを使って環境に作用する、自律的な意志決定のできるソフトウェアの事を指す([44], 2章)。さらに、それらのエージェント同士が協調し、環境からの情報を用いて学習をおこない、一つの系として目的を達成することのできるマルチエージェントシステムといわれるものもある。しかし、これらの概念には、人との対話は考慮されていない場合が多い。目的はあくまでも、エージェント自身が与えられた環境やエージェント同士で協調することである。

そこで本論文では、混乱を避けるためにも、人との対話を通じて人をサポートする主体と定義する。また、ここでいう主体は、エージェント自身に主体性を実装するというよりも、人がエージェントに対して主体性を感じるという点に主眼が置かれている。つまり、自身で意志決定をすることができない人工物であっても、人がそれに対して主体性を感じることができた時点で、それを本論文ではエージェントと呼ぶ事にする。

以上のエージェントの定義に当てはまるエージェント技術は、数多く提案されている。コンピュータの画面にキャラクターとして存在するスクリーンエージェントや、webページ上での来訪者の検索履歴や購入履歴などから個人情報をマイニングし、適切な情報を提供するエージェントなど様々である。さらに、近年発展の著しいロボットなども、上記の定義からエージェントとする事ができる。このようにエージェント技術は多種多様であり、また多岐にわたっている。そこで本論文では、エージェントの定義に従って従来研究を整理することにより、本研究の位置づけを明確にすると共に、本研究で提案するITACOエージェントのコンセプトの実現可能性や実現に必要な要素技術に関して述べる。

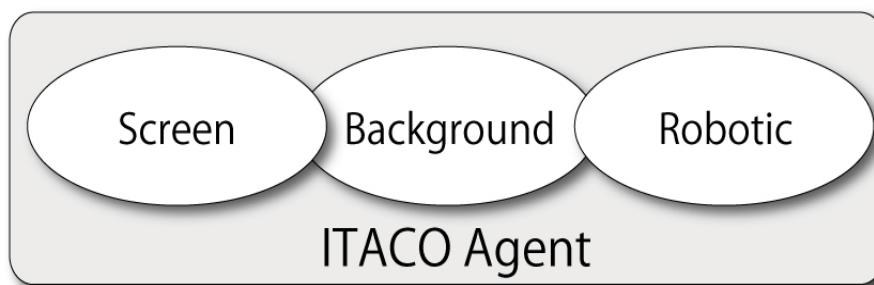


図 2.1: エージェントのカテゴリ

2.2 エージェント技術の分類

これまでエージェントに関する研究は数多く発表されてきている。また、エージェントと直接的には表現していないが、先述したエージェントの定義に当てはまる研究に関してもこれまで数多く行われてきている。これらの研究は、心理学、認知科学、情報技術、ロボット技術、ユビキタス技術など多岐にわたっている。そのため、これらを網羅的に系統立って説明することのできる枠組みを新たに提案することにより、私の提案する新しいエージェントシステムの立ち位置を明確にすると共に、実現に際して必要になる課題が明らかになると考える。そこで本論文では、これらの先行研究を新しく3つのカテゴリーに分類し、それぞれの観点から関連研究に対して述べる。

本論文では従来のエージェント研究を、スクリーンエージェント、バックグラウンドエージェント、ロボティックエージェントの3つのカテゴリーに分け論じる。また、これらのエージェントの特徴を統合したエージェントである ITACO エージェントを新たなエージェントのカテゴリーとして設定する。図 2.1 にそれぞれのエージェントのカテゴリーの関連性を示す。スクリーンエージェント、バックグラウンドエージェント、ロボティックエージェントの3つのカテゴリーは ITACO エージェントに包含される形で存在している。バックグラウンドエージェントはスクリーンエージェントとロボットに重なり合うように存在している。次からそれぞれのカテゴリーに関して簡単に述べる。

スクリーンエージェントは、エージェント自身がソフトウェアエージェントとしての見かけをもち、人と関わり合いを積極的に持つことにより、人と人工物との間の対話を仲介するエージェントが属するカテゴリーである。ディスプレイ上にキャラクタとして存在し人と対話を行うエージェントなどがこのカテゴリーに属する。

バックグラウンドエージェントは、エージェント自身は自分の見かけを持たず、人工物やシステムの裏側で人の情報を取得し、個人にあった最適な情報を人工物側に提供するエージェントである。つまり、人と直接対話を行うのは人工物であり、あくまでも裏方として存在しているようなエージェントシステムを指す。例えば、人の行動履歴や文脈情報などからその人個人及び状況に合わせた最適な情報を人工物に提供するエージェントシステムなどがこのカテゴリーに属する。他のカテゴリーにおけるエージェントにバックグラウンドエージェントの技術が使われることも多い。

ロボティックエージェントは、直接的にエージェントと呼称されていないが、実体を伴っ

た身体的特徴を持つエージェントであると考えられる。そのため、今回エージェントのカテゴリの中にロボティックエージェントを設定した。ロボティックエージェントはその機能と身体的特徴が緊密につながっていることが多く、ロボットの持つ機能と身体的特徴が一つの主体としてとらえられている場合が多い。例えば、ヒューマノイドロボットなどがこのカテゴリに属する。また、人形や車なども、人が人形に対して主体性やキャラクター性を感じた時点でこのカテゴリに入りうる。

スクリーンエージェント、バックグラウンドエージェント、ロボティックエージェントに属するエージェントはそれぞれ長所と短所を持っている。スクリーンエージェントは人との積極的な対話から人のサポートを行う特徴があるため、人との対話を促進させる力がある。また、自身の姿を表示する表示デバイスさえあれば様々な場所に存在することができるため、人と接するエージェントとしては現在最も一般的なものであるといえる。しかし、存在として仮想の域を出ないため、例えばロボティックエージェントの様なサポートを人に行うことはできない。

バックグラウンドエージェントは人にとっての個人的な情報や文脈情報などの状況にあった情報を取得することができるため、人との対話において有益な情報を持つことができる。また明示的な対話からではなく、人の自然な行動などから情報を得ることができるため、人にとっての負荷が少ない。しかし、人と直接的な対話を行わないので、スクリーンエージェントの様な効果を期待することが難しい。

ロボティックエージェントはそれ自体が物理的な個性を持ち、また人と関わり合いを持つ事により、実空間で様々なサポートをすることができる。しかし、エージェントの設計と身体的特徴が緊密に連携されているため、エージェントの持つ機能の使い回しをすることが難しい。

これらのカテゴリは、完全に独立して存在しているわけではない。例えばバックグラウンドエージェントはスクリーンエージェントやロボティックエージェントの行動ルールなどの設計自体に利用されていることが多い。しかし、スクリーンエージェントとロボティックエージェントは互いに連携することが難しく、これまでは独立して研究が行われてきている。一方今回提案する ITACO エージェントはこれまでの3つのカテゴリを包含するように存在している。つまり、ITACO エージェントはこれまで連携することが難しかったエージェントシステム同士を上手く結びつける新しいアイデアであり、これが本論文で私が提案したいエージェントシステムである。

ITACO エージェントは状況に合わせて見かけや身体性を変化させることができるエージェントシステムである。エージェントの実体はソフトウェアである。そのためネットワーク技術を用いる事により、エージェントはその見かけや身体性を変化させることが可能である。つまり、ITACO エージェントは状況に合わせて最適な身体性を選択することにより、より良いサポートを人に対して行う事ができると考える。

次節からそれぞれのエージェントのカテゴリに関して詳述すると共に、それに関わる関連研究に関して述べる。

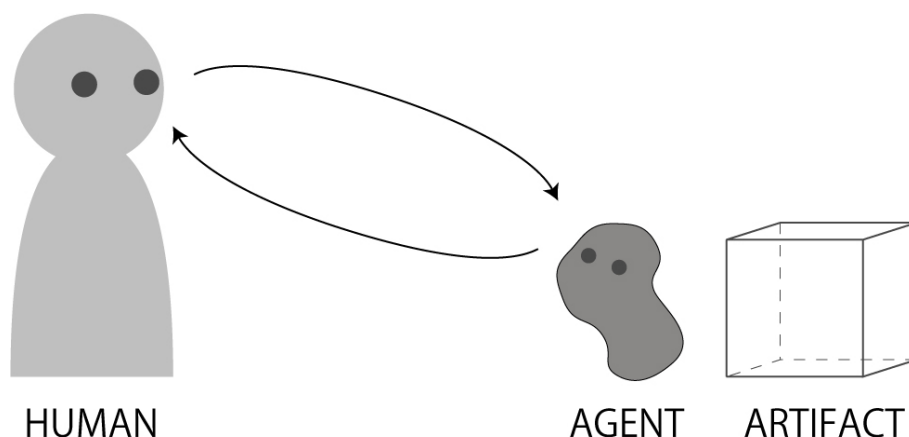


図 2.2: スクリーンエージェント

2.2.1 スクリーンエージェント

スクリーンエージェントは、エージェント自身が何らかのソフトウェアエージェントとしての見かけをもち、人と関わり合いを積極的に持つことにより、人と人工物との間の対話を仲介するエージェントが属するカテゴリである (図 2.2)。ソフトウェアとしての見かけや身体性を持ったエージェントが人と対話するには、様々な機能や知見が必要である。

Cassell はこのようなエージェントの事を Embodied Conversational Agent (ECA) と名付け、実現のために必要な条件について議論を行っている [7]。人間と対話可能なエージェント、つまりチューリングテストに合格できるレベルのスクリーンエージェントの設計のためには、まず人間の対面における対話を分析する必要があると述べている。人間の対話には、非言語的なジェスチャや表情など様々な人の持つ機能を解明し、それを丁寧にエージェントに実装していくことで、より適切な動作や反応を返す事のできるエージェントを設計できると述べている。

ECA で述べられているような、非言語情報と言語情報を統合した ECA の最初の研究として「Put-That-There」がある。このシステムは「これ」や「あれ」といった指示語と身体動作情報を組み合わせることにより、アテンションの当たっている位置を特定し、そこに何らかの操作を与える事ができるシステムである [3]。Bregler らは Talking Heads とよばれる人の頭部を模した、発話と口の動きが同期するエージェントを開発した。このシステムは、顔だけで構成されたエージェントで、発話の音韻と唇の動きを見事に同期させることにより音韻の理解が、音のみよりも映像と音を同時に見せた方がより容易に理解されると述べている [4]。

スクリーンエージェントは ECA などのコンセプトから、すでに様々な要素技術や知見が確立されつつある。Talking Head やジェスチャなどの研究を基礎研究ととらえた応用システムもすでに開発されている。例えば、MIT で開発されたキオスク端末である MACK は、端末に備え付けられたディスプレイ上にいるエージェントが MIT メディアラボ内の案内やそれぞれのグループの研究内容の紹介を行う [6]。エージェントは発話やジェスチャーなどの身体的動作によって来訪者に様々な情報をエージェントを介して提供することがで

きる。このようなキオスク端末は、コンテキストによってエージェントの持つ情報を変えることにより、様々な場所で利用することができる。MACKはスクリーンエージェントの利点を上手く生かしたシステムであり、スクリーンエージェント研究の進化における一種のマイルストーンであると考えられる。

スクリーンエージェントは、MACKの様な特殊な環境で動作するシステムだけでなく、我々の日常生活にすでに応用されている。例えば日常多く接するコンピュータ上で利用する、アプリケーションと人との対話をサポートする技術として代表的なものとして、Microsoft Agentが挙げられる [?]。Microsoft社のOfficeにはイルカの見かけをしたエージェントが、ユーザが何らかのトラブルに遭遇した場合や助言を必要とした際、ユーザをサポートする存在としてディスプレイ上に表示される。これは、Officeのアプリケーションから直接トラブルシューティングをするのではなく、イルカに尋ねることにより、質問をする際の認知的負荷を軽減し、また遭遇したトラブルをユーザ自身で積極的に解決するよう促す事を目的としている。また、Microsoft社は、Microsoft Agentというだけでも使う事のできるSDKを公開しており、ユーザ自身がなんらかのアプリケーションをWindows上で開発する場合も、同等の技術を利用できる環境を整えている。

このようにスクリーンエージェントに関する研究は、CGとして画面上に存在するエージェントが人との対話の際、どのように振る舞うべきかという指向性をもって研究が進められてきた事が分かる。しかし、スクリーンエージェントの活動範囲はディスプレイの中のみである。また、ディスプレイの中にいるエージェントが実世界での行動を含む対話を行おうとした場合は、解決することが難しい問題が表出する。Cassellは著書でこのように述べている ([7], p. 23).

One of the motivations for embodied conversational agents - as for dialogue systems before them - comes from increasing computational capacity in many object and environments outside the desktop computer - smart rooms and intelligent toys - in environments as diverse as a military battlefield or a children's museum, and for users as different from one another as we can imagine.

Cassellは、エージェントをスクリーン上だけでなく、様々な人工物に適応させるモチベーションを持っていた。しかしスクリーンエージェントはディスプレイの中に存在するため、CGエージェントとしての身体的特徴しか持ち合わせることができない。そのため、本論文ではエージェントの定義をロボティックエージェントや環境内の人工物に広げる事により、エージェントとしての人工物が人との対話に与える影響を検証することが可能になる。

2.2.2 バックグラウンドエージェント

バックグラウンドエージェントは仮想、現実問わず、エージェント自身は姿を持たず、人工物の裏で人をサポートするエージェントが属するカテゴリである (図 2.3)。古くは人工知能の分野でインテリジェントエージェントと呼ばれるエージェントの枠組みが提案された。これらのシステムの目標は、何らかの環境に置かれたエージェントが、その環境を

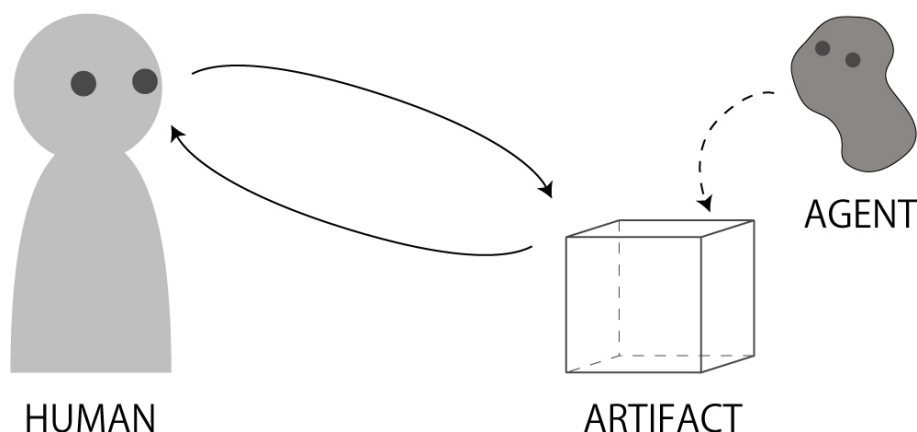


図 2.3: バックグラウンドエージェント

認識し、自律的に行動し目標を達成することであった ([44], 2章). この目標の中には人はおらず、よりエージェントの自律性に主眼が置かれており、どちらかと言えば環境や文脈情報をうまく用いることのできる人工知能の達成が目標であった.

インテリジェントエージェントの目標は、私の目的とは直接的には合致しない. なぜなら、本論文で提案するエージェントはその前提として人との対話が含まれるからである. もちろん、インテリジェントエージェントの「その環境を認識する」という部分に人が含まれる可能性はあるが、本研究がフォーカスしているエージェントとしての人工物が持つ身体的特徴とは合致しない.

このようなインテリジェントエージェントの概念は、人と対話するという観点には一致しないが、web上に存在する情報を集め一つの意味のある集合としてとらえ、整理するといった機能には最適である. Berners-Leeの提唱したSemantic Webは、web上に存在する情報にタグ情報を埋め込むことにより、一見意味のなさそうな情報を意味としてとらえ、webを一つの大きなデータベースとして取り扱うというコンセプトである [2]. Semantic Webの実現により、エージェントはwebという巨大な情報プールの中からその状況や依頼に合わせた最適な情報を瞬時に抽出することができるようになる. 例えば検索エンジンGoogleは、独自のアルゴリズムによりwebページをランク付け (Page Rank) することにより従来の検索エンジンよりもより最適な検索結果を返すことで、人気を得ている [17]. Googleの用いているwebページの取得方法は、Clawlerが自動的にwebを巡回しHTMLやXMLのタグを解析しインデックス化する [5]. また、Googleが収集している情報はwebだけではない. 本 (Google Book) や地理情報 (Google Maps) などの公共の情報やメール (Gmail)、ドキュメント (Google Document, SpreadSheet) など、個人のweb上での行動履歴などの個人情報に至るまで、世界中の情報をすべて集め、インデックス化している. このGoogleの技術は本論文で定義したバックグラウンドエージェントが人に姿を現さずに常に情報を収集することにより実現されている.

web技術においては、人の行動履歴などの個人情報を取得することが、現実社会での行動履歴よりも容易である. なぜなら、webではクリックしたリンク、訪れたページの内容、過去の購入履歴などの情報が明確に取得しやすいためである. これと同等なことを現実世

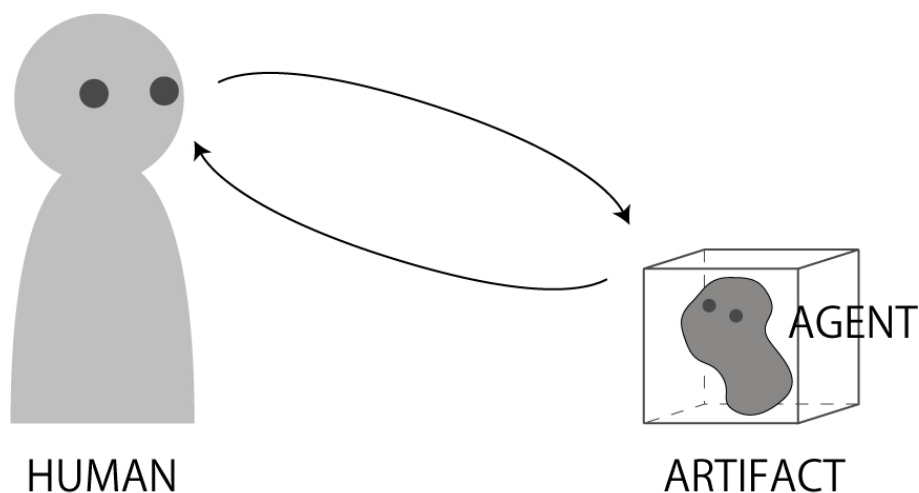


図 2.4: ロボティックエージェント

界で行うためには、多大な労力が必要となる。そこで現在 Web では主に EC サイトなどで、訪問者の検索キーワードや購入履歴、訪れたページなどの情報と、全体としての売れ筋などの情報を統合し、ユーザに提案するエージェントが登場した。インターネット上での本を販売するサイトである Amazon が代表格である。Amazon では利用者の Amazon 上での履歴情報から最適なレコメンデーションを表示するシステムが確立されている [?]。このシステムにおいてもバックグラウンドエージェントがシステムの裏で動作することにより実現されている。

このようにバックグラウンドエージェントは人と直接的には対話しないものの、間接的もしくは暗示的に人と対話を行うことにより、対話者個人の趣味、嗜好、行動履歴などを取得し、その人に合ったサポートや情報を提供することができる。また、外界に置かれたセンサーなどのユビキタス情報を利用することにより、個人性だけではなく環境や文脈情報をも統合することができる。バックグラウンドエージェントはその性質上、他のカテゴリに属するエージェントシステムに統合される場合がある。例えば、スクリーンエージェントで述べた MACK にバックグラウンドエージェントを統合し、RFID などのタグ情報などで個人情報も用いることにより、その人に合った情報を提供したり、その人物の行動履歴からその人の次の行き先を提示するといった様々な機能を補強することができる。

2.2.3 ロボティックエージェント

ロボティックエージェントは直接的にはエージェントと呼称されていないが、実体を伴った身体的特徴を持つエージェントであると考えられる (図 2.4)。ロボティックエージェントの多くは内部のエージェントの機能とロボット自身が持つ身体的な特徴が緊密に結びついていることが多い。例えば一部の ATM は利用者に対して音声でガイダンスを行う。その際、ATM 内に実装されているエージェントは非常に限られた状況、つまりお金を下ろす、振り込む、記帳するなどの ATM 業務に限った機能しか持っていない。そのため、バックグラウンドエージェントの様に他のカテゴリのエージェントと連携することが

少ない。しかし、ロボティックエージェントは状況や目的を狭く限定することにより、状況に合った最適な身体を持つ事が可能である。それ故に ATM、駅の券売機、駐車場のゲートなどの特殊な用途に利用することができるロボティックエージェントを実装することができる。

このようなエージェントとしてのロボットの中で、近年特に人との対話にフォーカスしたものが多くの注目を集めており、数々のロボットが開発されている。ロボットの語源はチェコ語で「robota」という労働を意味する言葉である。そもそもは人のために労働をする「機械(人工物)」という定義から始まっている。そのため、ロボットと総称される機械の中には、産業用機械、宇宙での作業用機械、人の動作を補助する機械(パワードスーツ)、兵器としてのロボット、レスキューロボット、ヒューマノイドロボットなど様々である。その中でも、本論文でロボットという場合は、このような人との関わり合いを通じてサポートや対話を行うエージェントとしてのロボットを指す。

ロボットは人と対話可能な人工物として近年注目を集めており、様々な種類のロボットが開発されている。それらのロボットを、Real - Artificial と Support - Entertainment という平面にマッピングしたものを図 2.5 を示す。ATR の開発した Robovie は、ショッピングモールや駅などで人との対話を通じて道案内やお店の紹介などをするロボットである [51]。これに類似した研究として九州工業大学と株式会社テムザックもショッピングモールにて実験を行っている。ワカマルは Robovie を元に作られたコミュニケーションロボットで、様々な研究用ロボットや最近ではロボット演劇にも用いられている [52]。産業総合研究所が開発した HRP シリーズは人を日常生活空間で、より日常に則したサポートを行うロボットである [59]。その中で最も新しいシリーズである HRP-4 は見かけを人に似せたものになっており、人のサポートだけでなく、ファッションショーやイベントでのプレゼンターなど、エンターテインメント用途にも用いられている (Only Press release)。Papero は NEC が開発した音声認識機能を持ったロボットで、人と対話を行う事を目的として開発された [29]。また Papero は重量や大きさが小さく、持ち運ぶことができるため、外出時に車に運び込むなどの日常的な一貫性のあるサポートをユーザに提供することができる。IPRobot Phone は IP 電話機能のついたぬいぐるみ型ロボットで、ぬいぐるみを通じて遠隔の人と対話することができる [21]。そのため、自分の顔を直接相手に送るといった従来のテレビ電話とは一線を画したシステムである。Ashimo は本田が作った 2 足歩行型のロボットで、実装されているカメラなどを使い階段を登ったり、走ったりすることができる。様々なイベントやメディアへの露出も多いロボットである。Wabot は早稲田大学で開発された、日常生活支援ロボットである。台所やお風呂場など日常に即したサポートを行う事ができるロボットである。QURIO は Sony が開発したロボットである。二足歩行が可能で、人との対話を目的として開発されたロボットである。AIBO は Sony が開発した犬型のロボットであり、主に人とのコミュニケーションを目的に作られている。また AIBO は商業製品として世界中で一般向けに販売されたロボットである。Paro はアザラシ型のロボットであり、主に人とのコミュニケーションが目的である [30]。最近では、海外の老人ホームなどで用いられている。Keepon は雪だるま型のロボットで、子供との対話やアーティストとのコラボレーションなど、主にエンターテインメントに用いられているロボットである [24]。Geminoid は ATR で開発された世界で初めての完全な人のコピーロボットである。 [45]。

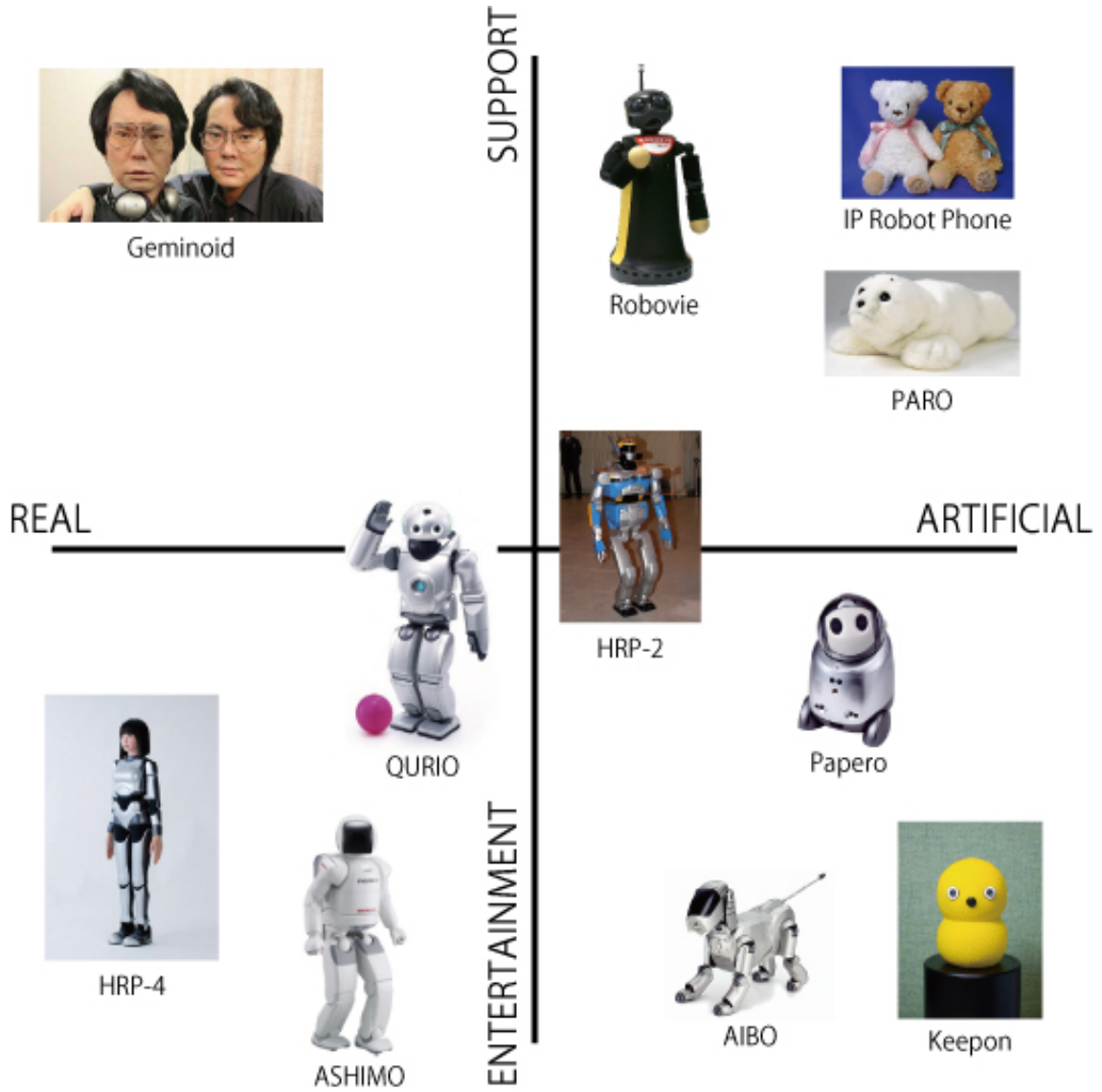


図 2.5: ロボットの種類

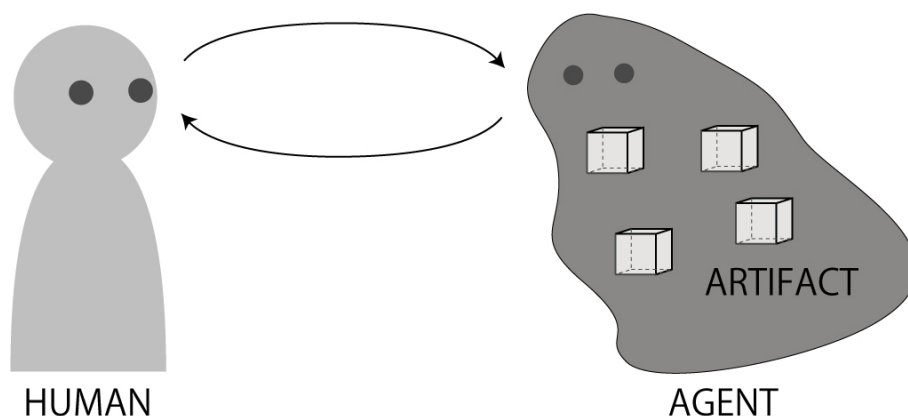


図 2.6: ITACO Agent

図 2.5 からも分かるとおり、現在提案されているこれらのロボットの見かけや役割は多岐にわたっている。そのため、エージェントとしては、求められた機能に合わせた身体的特徴を持ったロボットを選択する、もしくは新たに作り込むことにより、高いパフォーマンスを得ることができる。例えばショッピングモールなどの人が大勢いる場所では、二足歩行ロボットよりも Robovie の様なタイヤで駆動する方が安全かつ堅牢に運用することができる。一方ファッションショーや階段など、二足歩行を行った方が良い状況であれば Robovie よりも HRP-4 や Ashimo の方が適している。老人とのコミュニケーションが目的であれば Paro のように膝に乗せる、柔らかい素材を使ったタイプのロボットの方が、堅い外装を持った QURIO よりも適している。ロボットが人を説教したければ、PaPeRo よりも Geminoid の方が適していると考えられる。

このように、状況に合わせた身体的特徴を持つ事ができるロボティックエージェントは、人と対話することによりサポートを行うエージェントとして強力な存在であるということができる。しかし、ロボティックエージェントの短所として設定された状況以外では、能力を発揮することができない場合が多い。また、身体的特徴とエージェントとしての機能が緊密に結びついているため、バックグラウンドエージェントのように自分の足りない部分を他のカテゴリのエージェントと協調することにより補強することが難しい。

そこで、本研究では、次節にて3つのカテゴリにおけるエージェントの長所と短所を補い合うことのできる ITACO エージェントを提案する。

2.3 ITACO エージェント

これまでの3つのカテゴリで述べたように、それぞれのカテゴリにはそれぞれ長所と短所が存在した。バックグラウンドエージェントは表に出てくることが無いため、他のカテゴリとの連携が円滑にできるという長所がある。しかし、人との対話によって得られない情報を取得することが難しい。そのため対話によって与えられるべき情報を自ら得ることが難しいという短所がある。スクリーンエージェントはCGでつくられた見かけを持ったエージェントであるため、ディスプレイさえあれば様々な人工物上に存在することが

できるという長所がある。また、人と積極的に関わり合いを持つ事ができるため、対話によって得られる情報や関係性を生かした支援をすることができる。しかし、仮想的な存在であるため現実世界とのつながりを持たせることが難しく、例えばポインティングなどが必要とされた場合などは、適切な対話を実現することが難しい。一方ロボティックエージェントは実体を持つ事により実世界とのつながりを維持することができるため、スクリーンエージェントの短所を埋める事ができるという長所がある。しかし、一方エージェントの設計とロボットの身体が密接に関係しているため、想定された状況以外の事に対応することができなくなる。このことから、スクリーンエージェントとロボティックエージェント、それぞれのエージェントは互いに長所と短所を分け合っていることが分かる。

そこで私はスクリーンエージェントとロボティックエージェントを結びつける事のできる4つ目のカテゴリであるITACOエージェントを提案する。ITACOエージェントは、状況に合わせて自らの身体性や見かけを変化させることができる(図2.6)。見かけの変化とは、エージェントの実体が環境内の様々な人工物に移動するということである。ここで、理解を優しくするために、シナリオによりITACOエージェントがどのような動きをするかを説明する。

シナリオ 1: 日常生活 朝目覚めたユーザが部屋が暑いことをエージェントに伝えると、エージェントはエアコンのスイッチを入れてくれる。部屋が快適な温度になったことをエージェントに伝えると、エージェントはセンサから部屋の気温情報を取得し、ユーザにとっての最適な温度を記録する。朝食を食べた後、出勤する際には、エージェントは携帯電話に移動し、共に外出する。エージェントは出勤途中のルート上での交通情報から最適なルートをユーザに伝える。仕事が終わって家に帰ってきたとき、大切な友人が家に遊びにきた。ユーザがエージェントを友人に紹介する際、エージェントはロボットへ移動し友人と握手をした。夜寝る時間になり、ユーザが寝る事をエージェントに告げ、エージェントはベッドサイドのランプのスイッチを切る。

シナリオ 2: 遊び テレビ画面にいたエージェントと対話をしているユーザ。体を動かしたくなかったので、サッカーをしようとエージェントに告げる。エージェントはロボットへ乗り移り、ユーザとサッカーをして楽しんだ。

シナリオ 3: 旅先 旅先で、目的地への行き方が分からず迷ったユーザは携帯電話上に存在するエージェントにルートを探ねる。エージェントは目的地へのルートを検索し、その行き方を教える。ユーザはついでに交通機関のチケットの購入もお願いした。エージェントは目的地へ到達したい時間をユーザに尋ね、必要なチケットをOnlineで購入した。

このように、ITACOエージェントは状況に合わせて最適な人工物を選択し、その人工物に合った対話方式により人間と対話を行う。上記したシナリオを実現するためのエージェントは、様々な機能を持つ必要がある。例えば、日常生活での例の中でエージェントが最適な部屋の温度情報を学習し、設定する場面でのエージェントはバックグラウンドエージェントの機能であり、携帯電話のディスプレイ上に移動したエージェントはスクリーンエージェントの機能であり、ロボットへ移動し握手した場面におけるエージェントはロボティックエージェントである。つまり、このようなエージェントを実現するためには、これ

までで述べたエージェントのカテゴリを全てを含んだ機能が要求され、それらの機能を統合することができる新しいエージェントのコンセプトが必要になる。これを我々はITACOエージェントと名付けた。

ITACO エージェントが実現された場合に予想される効果として、単に便利になるというだけでなく、人と人工物との間に社会的な関係性を構築することができる可能性がある。ReevesらはMedia Equationにおいて、人は無意識的に人工物に対して社会的な振る舞いをすることを示した[42]。つまり、人と人工物との間になんらかの意味のある関係性が築かれると、人は人工物に対して社会的に振る舞ってしまうということである。ITACO エージェントは環境内の人工物を、自身が移動することによりエージェント化することが可能である。その際エージェントと人との間に関係性が築かれていた場合、人は環境内に存在する人工物に対して社会的に振る舞うことが考えられる。社会的に振る舞うという意味は、人工物を単なる「物」として扱うのではなく、社会に含まれている「主体」として扱うということである。その結果、次世代の人と人工物との間の対話を支援するシステムを実現できる可能性があると考えられる。なぜなら、社会的な振る舞いには様々な効果が期待できるからである。

社会性の要素の一つとして礼儀正しさが挙げられる。Reevesらは、人の人工物に対する社会性を検証する実験をおこなった。もしあなたが街頭インタビューで、インタビュアーに「市長のことをどう思いますか」と尋ねられたら、おそらく大半の人間が印象を本心で答えるだろう。しかし、市長本人に「私のことをどう思いますか」と尋ねられたら、本心での市長の印象を隠し、相手に対して礼儀正しくこう答えるだろう。「悪くはないと思います」と。これは、人が社会で生きていくために持ち合わせている社会性の一種である。この例から、礼儀正しさに関する一つの法則が明らかになる。それは、人間が自分のことを尋ねる時は、別の人が同じ事をたずねるよりもポジティブな答えを得やすいという法則である。

Media Equation では、この法則が、人工物に対しても適用できることを実験によって検証している。実験は、実験参加者に様々な話題について、コンピュータで動作しているソフトウェアによって学習してもらい、学習後そのソフトウェアのパフォーマンスを評価してもらうことにより、人工物に対する社会性を検証した。条件は、ソフトウェアが動いていたコンピュータを使って評価してもらう群(実験条件)と、学習を行ったコンピュータとは違うコンピュータを使って評価してもらう群(統制条件)が設定された。分析の結果、実験条件の実験参加者の方が、統制条件の実験参加者よりもポジティブな評価を下したことが分かった。この結果から、人は人に対してだけではなく、人工物に対しても無意識のうちに社会的に振る舞ってしまう場合があることが分かった。Media Equationでは、社会性の要素として、礼儀正しさだけでなく、お世辞や、対人距離など、社会心理学で検証されている人が人に対して行う社会的な振る舞いを、人工物に対しても適用できる事を実験によって多数検証している。

このように、人工物に対して社会的に接した場合には、人と人工物との間の対話に様々な効果が期待できることがわかる。例えば、もし人が人工物を単なる「物」としてしか扱わない場合は、人工物の失敗を許すことはできないだろう。しかし人が人工物に対してエージェント性を感じた場合、人工物に対してより礼儀正しく振る舞い、人工物の動作の失敗に対して今よりも寛容になる可能性がある。この点はITACO エージェントの持つ利点の

中でも重要な点である。なぜなら人工物は人が作ったものであり、絶対にエラーが起こらないシステムはこの世に存在しない。ITACO エージェントは、エラーが起こった場合に人側の許容を引き出すという視点からも有用であると考ええる。

また、ヒューマンインタフェース等の分野では、人にとって使いやすいデザインに関する議論が活発になされている。その成果はめざましく、我々は日常生活においてこの成果を享受している。さらに、ユニバーサルデザインといった言葉は、研究者のみならず一般人や企業も一時期盛んに用いられる程市民権を得た。しかし、これらの言葉やコンセプトは現在ではあまり目にしなくなった。この理由として考えられることは、ある人工物が全ての人にとって使いやすくデザインすることは、非常に困難である点である。例えば、デザイン性を重視する若者が求める携帯電話と、老人が求める携帯電話の機能は違う。携帯電話であれば、個人化好みのデザインの物を選択できるが、駅の券売機などの公共の人工物の場合は、デザインを選ぶことができない。そのため、人工物自体のデザインにより万人に合った物をデザインすることは非常に難しいと考えられる。その点、ITACO エージェントは人工物自体をエージェント化することにより、人工物が使いやすくなるだけでなく、人からの人工物への歩み寄りを引き出す効果を期待することができる。

ITACO エージェント実現のためには、様々な科学技術及び知識が必要である。その中でも重要な要素として3つ挙げられる。1つ目は、人と人工物との対話を支援するシステムである。これまで、人と人工物との対話を支援するためのシステムや知見は、数多く研究されてきている。例えば、マウスやキーボードも人と人工物との円滑な対話を目的として実現された物の1つである。これらのシステムは、様々な知見から適切に設計されている。それらの技術や知識を利用することにより、ITACO エージェントのデザインに生かす事ができると考える。

2つ目は、人と人工物との対話研究である。近年のロボット技術の進展により、人とロボットとの対話に関する研究が進められている。これらの研究により得られた知見は、ロボットとの対話だけでなく人工物との対話にも生かす事ができると考える。そのため、人と人工物の対話を調査することはITACO エージェントの実現に向けて重要な知識になると考える。

3つ目は、要素技術としてのユビキタス技術である。エージェントが環境内で行動をするための情報として、環境の情報は非常に重要な要素である。そのためITACO エージェントの実現に向けて、部屋の温度や人の位置などを取得するための基盤環境としてのユビキタス技術が必須であると考えられる。

次節から、ITACO エージェントの実現に向けて重要な3つの要素に関する先行研究に関して「対話を支援するシステム」「人と人工物との対話研究」「ユビキタス技術」の3つに分けて述べる。

2.3.1 対話を支援するシステム

これまでに、人との対話自体を目的にしたもの、及び人との対話を通じて人と人工物との間の対話を遠隔にすることを目的としたなど多く研究されてきた。例えばヒューマンインタフェースは、人工物自体のデザインを工夫することにより人がより使いやすいシステムをデザインすることを目的とした分野である。また近年、ヒューマンエージェントイン

タラクション (HAI) やヒューマンロボットインタラクション (HRI) といった研究が盛んに行われている。これらの研究は、人と人工物との対話から適切なエージェントやロボットのデザインを提案することを目的としている。本論文では、エージェントは常に人との関わり合いながら存在する物として定義しているため、これらの研究を調査することは ITACO エージェントの実現に向けて必要なことであると考えられる。

本節ではこれらの研究の動向を報告すると共に、エージェント技術に求められている機能や状況を明らかにする。

ヒューマンインタフェース

ヒューマンインタフェースとは、人と人工物とを繋ぐ「物」のことを指す。例えばマウスやキーボード、表示ディスプレイから、座っている椅子、お茶を飲むためのカップなど、人が自分以外の物と対話を行うときの仲介物になる存在はヒューマンインタフェースと呼ばれている。ヒューマンインタフェースは人と人工物との間の情報のやりとり、すなわち情報の入出力を仲介する存在である。そのため、ヒューマンインタフェースのデザインは人にとって直感的かつ、いかに負担をかけないようにするかが目的である。ヒューマンインタフェースが含むものは多岐にわたるため、ここでは人とコンピュータとのやりとりに限定した部分から議論を始める。なぜなら、本論文で提案するエージェントのアイデアの出発点は、コンピュータにおけるヒューマンインタフェースの発展からであり、ITACO エージェントの提案に至った動機をたどるという意味においても重要であると考えられるからである。

我々がコンピュータを使い何らかの作業を行おうとするとき、まず最初に触れるヒューマンインタフェースはマウスやキーボードである。このマウスとキーボードは現在では当然のように使用されているが、これらも発明によってもたらされた優れたヒューマンインタフェースデバイスである。以前には人はコンピュータとの対話に紙に穴を空けたパンチカードを使っていた。パンチカードに空けられた穴の位置によりコンピュータは入力信号を受け取り、計算を行っていた。しかし、パンチカード方式は穴を空けるという入力インタフェースとしての煩雑さと、穴から記録されている情報を得るという直感的でない出力インタフェースとしての煩雑さから、次第にディスプレイに表示された文字列とキーボードという対話方式が開発された。このシステムにより、人はキーボードを用いてコンピュータに情報を入力し、ディスプレイを使って文字として情報を取得するという優れたインタフェースを手に入れた。このような人とコンピュータとの対話インタフェースは character user interface(CUI) と呼ばれている。その後、さらに人にとっての直感性を高めたデザインにするために、入力デバイスとしてマウスが開発された。これに従い、コンピュータの対話インタフェースも文字によるやりとりの CUI からより直感的な操作が可能な graphical user interface(GUI) へと移行していった。現在一般的なコンピュータに搭載されているオペレーションシステム (OS) はこの GUI が基本になっており、現在最も多く人々に使われているインタフェースの概念であるといえる。

このようなマウスとキーボードを用いたインタフェースは、1960 年代にはすでに提案されていた。40 年以上も前に提案されたインタフェースが未だに主流を占めている理由として、キーボードとマウスとインタフェースが優れていたという点だけではなく、Windows

や Machintosh などの現在主流となっている OS がこのインタフェースを入力デバイスとして採用している点が挙げられる。しかし近年の技術の発達によりコンピュータと人との対話は、ディスプレイによる情報の出力にとどまらなくなりつつある。ユビキタス技術などはその代表であり、環境内の様々な人工物との対話をコンピュータが支援できるようになった。キーボードとマウスはコンピュータとの対話インタフェースとしては優れているが、コンピュータ以外の人工物との対話にも同時に優れているとは考えづらい。そのため、現在コンピュータだけではなく、環境内に存在する様々なものとの対話のためのインタフェースの開発が盛んに行われている。その中でも、エージェント技術やロボット技術は次世代のインタフェースとして重要になる可能性がある。その理由として、Gibson などが提案したアフォーダンス理論が挙げられる。次節にて、このアフォーダンス理論に関して、マルチモーダルインタフェースという観点から述べる。

マルチモーダルインタフェース

人間の対話には、言語に代表される記号的なモダリティや、身体動作に代表される非言語的なモダリティなど、様々なモダリティが存在する。言語情報は、主に情報を正確に伝達したり、文字に記号化することにより情報を蓄積する場合に用いられる。一方、非言語情報は無意識的に生起する場合が多く、人間の知覚と密接に関係していると考えられている。

McNeill は人間の非言語行為 (ジェスチャ) には聞き手側への情報伝達と、話者自身にとっての言語的な機能によって構成されていると述べている [26]。すなわち、人にとってのジェスチャとはイメージを伝えるための補足手段としてだけではなく、思考を言語化する過程で産出されるということである。このことは、電話口で相手に対してつい頭を下げてしまうといった行為や [43]、先天的に盲目の人も目の見える人と同等にジェスチャをすることからも示唆されている [19] [20]。

このように、人は体を持つが故の対話の方法を生得的に行っている。このような人の体を使った対話の方法は人に対しての対話だけではなく、人工物に対しても行われている。例えば、様々な形や重さを持つ物を手の上で小さく投げ上げる動作をすることにより、それがどれだけ遠くへ投げられるかを、人間はだいたいの精度で知ることができるといわれている。このような知覚のための身体的行為という考え方は、ダイナミックタッチと呼ばれ、この概念は J.J.Gibson によって定義された [14]。この研究からも、人は体を使い人工物と関わることにより、最適な対話の方法を発見しようと試みている。

J.J.Gibson は人間と環境内に存在するメディアとの間に生起する相互補完的な情報のことをアフォーダンスと呼んだ。相互補完的な情報とは、例えば人間がある障害物をみて飛ばずにまたぎ越せると知覚する高さは個人の身長とは無関係に足の長さの 1.07 倍であるといった、自分の状態と環境から受け取る情報によって決定される情報のことである。

このアフォーダンスという概念を、ヒューマンインタフェースの用語として定着させたのが D.A.Norman である [32]。Norman は Gibson の提案したアフォーダンスという概念を、人間の主観性に依存するものとして再定義し、物が持つ情報 (形、色、材質など) が物体自体をどのように扱えばよいかについてのメッセージをユーザに発していると考えた。例えば、押さないと開かないドアには取っ手を付けず、引かないと開かないドアには取っ手を付けることにより、ドア自体が開け方を教えてくれているといった例が挙げられ

る。これにより、ユーザは物の使い方を知らなくてもその時点で物の扱い方を認知することができ、知っていなくてはならない情報を減らすことができるため、アフォーダンスという概念はインタフェースのデザインをする上で重要な概念であると考えられる。

このように、人間がインタラクティブシステムと対話を行う際には、言語情報や身体動作などの非言語情報や、アフォーダンスのような環境から受け取る情報など、様々なモダリティが同時的または逐次的に用いられていることが分かる。つまり、エージェントのデザインにおいても、対話のチャンネルを一つに絞らず、より多くのチャンネルを用意することにより、円滑な対話を実現することができる可能性がある。このようなインタフェースはマルチモーダルインタフェースと呼ばれており、それにより生起する対話をマルチモーダルインタラクションと呼ぶ。

マルチモーダルインタフェースに関する研究は様々行われている。例えば人の体の動きやジェスチャーをセンシングする技術 [58] [35] や、表情を認識するモデルやシステム [11] [25]、またこれらの技術を用いて人の感情状態を取得し、その情報をコンピュータとの対話に生かす Affective Computing [39] など、多く研究されている。これらの技術を用いる事により、人の状態を認識し、その時に応じた最適な対話チャンネルを用いる事ができる。本論文で提案した ITACO エージェントはその姿を様々に変化させることができる。これはつまり、ある一つの主体 (エージェント) が状況によってモダリティを変化させ、最適なコミュニケーションチャンネルを選択することができることを意味している。

2.3.2 人と人工物との対話研究

ヒューマンロボットインタラクション

2.2.3 節で述べたように、現在多種多様なロボットが登場してきている。それらのロボットはその見かけや身体性の多様さと同様、目的も多様化してきている。エンターテイメントに特化したロボットや、人へのサポートに主眼を置いたロボット、人とのコミュニケーションが目的のロボットなど多岐に渡っている。このような流れのなかで、ロボットの開発だけでなくロボットと人との対話にフォーカスした研究が進められている。

人の対話の方法をロボットに応用した研究の例として、Scassellati らの開発した Cog がある。Cog は視線による共同注意に着目し、人と豊かな対話の実現を目的としている [49]。これはロボットと人の視線に注目し、人の視線の先をロボットが見ることで、様々な対象を周囲の他者と共有することで、より円滑な対話を実現した。次に、人とヒューマノイドロボットとの間の動作の引き込みが、対話に与える影響についても研究されている。

小野らは道案内をするロボットに適切なジェスチャーを行わせると聞き手が無意識に引き込まれて同調的に振る舞い、さらに言語情報の理解も促進されることを見いだした [64]。坂本らはこの現象を基に、モーションキャプチャシステムによってセンシングした人間のモーションデータを用いることにより、半自律的に人間と協調動作を行うロボットシステムを開発した [46]。神田らは、このシステムを用いて道案内における聞き手 (ロボット) の身体動作が、話し手 (実験参加者) の印象に及ぼす効果を検証した [67]。その結果、ロボットが人間と協調的な動作をした方が、ロボットに対する主観評価が高くなることが検証された。このことから、人間がロボットと対話する場合、言語的な情報だけではなく、協調動作などの非言語情報も円滑な対話には重要であるということがいえる。

次に、人とヒューマノイドという一対一の対話だけではなく、コミュニティの中にロボットが入り込んだ場合、ロボットの行動が人間同士の関係にどのような影響を与えるかについて検証した研究を紹介する [61]。この実験では、Heider らの認知的均衡理論 (バランス理論) を利用し、ロボットの振る舞いや態度の違いが個人に与える影響について検証した。バランス理論とは 3 者 (自分:P, 相手:O, 対象:X) の間の好悪感情は自然に均衡状態に推移するという理論である。実験では、実験参加者 2 人を P,O とし、ロボットが対象 X となり振る舞いを条件によって変化させることで人間のロボットに対する印象と人間同士の印象を変化させることを試みた。その結果、ロボットの振る舞いや態度次第で、実験参加者 P,O 同士の印象の好悪を変化させることが可能であることが検証された。さらに、ロボットと意見が一致する実験参加者に関しては、協調動作がみられたり、対人距離が短くなるなど、社会的態度にも変化がみられた。これは、ロボットが人の社会に影響を及ぼす影響力を持ち合わせているということが分かる。

実空間におけるロボットの人に与える影響に関して、Tanaka らは幼稚園に Sony の開発した Qurio を置き、ロボットの動作や反応によって幼稚園児の対応の仕方が変わることを検証した [54]。神田らは、Robovie を小学校における英語教育ツールとして利用することにより、ロボットが人間社会でどのように受け入れられるか、また小学生との長期間にわたる対話は、ロボットと人間との社会的な関係性にどのような影響を与えるかに関して議論した [66]。また、幼稚園や小学校といった、その場所にいる人の行動や状況がある程度特定できる場所ではなく、不特定多数の人が集まるショッピングモールのような場所にロボットを置いた実証実験も行われている。Shiomi らは、環境内にレーザーレンジファインダーを置き、来場者の立ち位置を特定し、その場所へロボットをコントロールして誘導することにより、最適なサポートを行う事のできるシステムを開発した [51]。また、ショッピングモールなどでロボットと対話した人の反応やインタビューなどから、ロボットを実空間に置いた際に必要となる非常に有益な知見を得ている。

このように、ロボットと人との対話に関する実験は、ロボットの種類や環境など問わず多様な方法で行われており、ロボットを ITACO エージェントに組み込む際に有益な知見になり得ると考える。

2.3.3 ユビキタス技術

ユビキタスコンピューティングとは、Mark Weiser により第 3 世代のコンピュータ利用形態として提唱した概念である [56]。ユビキタスとは、ラテン語の「ubique=あらゆるところで」という形容詞をもとにした、遍在するという意味で使われている英語である。Weiser は Zen Computing や Calm Computing と呼ばれるようなユーザーにとって目に見える形でコンピュータが存在せず、生活環境の中に目に見えない形でコンピュータとネットワークが融合し、ユーザにコンピュータの存在を意識させずに利用できるコンピュータ環境を提案した。また、それらのコンピュータがネットワークにより相互に接続する事ができる状況は、ユビキタスネットワークと呼ばれている。これらの概念は 1988 年に未来のコンピュータの利用形態として発表されたのだが、社会は着実にユビキタス社会へ向かって進んでおり、それ程遠くない未来に実現可能になるのではないかと考えられている。事実、コンピュータの小型化、高性能化はますます進歩し、あらゆる家庭にインターネット

が普及しつつある。このことから、ユビキタスコンピューティングは、今後の情報社会が向かうべき最適な道筋である可能性が高いと考えられる。しかし、ユビキタス環境は現在の情報環境とは明らかに違うものである。そのため、現在システムと人間との関わり方の変化が望まれている。本節では、現在提案されているセンサ技術を、物体の位置のセンシング、環境情報のセンシングの2つに分けて述べる、またこれらのセンシング技術を応用した研究に関して述べる。

環境を知覚する

ユビキタス環境の実現に向けた重要な技術の一つとして、センサネットワークが挙げられる。センサネットワークとは環境の情報を得るためのアーキテクチャとしてセンサ群をネットワークで接続し、環境全体の情報を得る技術である [47]。このようなセンサネットワークが必要な理由として、センサの種類が多種多様である点が挙げられる。例えば、物体の位置を計測するためのセンサだけでも、床センサ、レーザーレンジファインダ、Wi-Fi、GPS、Motion Capture System など数々挙げることができる。このようなセンサ情報を取得するためには、これらの情報を統合し、メタ情報としてシステムが理解する必要がある。このような複数のセンサの情報を統合し、その情報の意味を理解する事を目的とした研究はセンサフュージョンと呼ばれている。

位置情報のセンシング

人やロボット、物などの物体が空間上のどこに位置しているのかを計測する技術が進展してきている。石黒らは、全方位カメラを環境内に多数配置し、その情報を統合することにより、人の存在する場所を検出するシステムを開発した [63]。Glasらは、Lazer Range Finder を用いて、ショッピングモールなど人が多数いる場所での人の動きやメタ情報を取得するシステムを開発した [15]。また池田らは、床センサを用いる事により、環境内の人の存在する場所をセンシングすることができるシステムを開発した [68]。これらの研究は、ある環境にとっての相対的な位置を把握するためのユビキタス技術である。例えば、ロボットがある人物の前に立つといったタスクを実行において、有益な情報を得ることができる。もう一つの位置情報システムとして最もよく使われているものが Global Positioning System(GPS) である。GPS は衛星から発せられた電波情報を用いる事により地球上における絶対座標を得る事ができる。また、PlaceEngine は Wifi の電波強度から正確な位置を測定するシステムであり、Wifi のアクセスポイントが設置されている場所であれば、GPS よりも正確な位置情報を取得することができる [?]

ユビキタス技術の応用例

ATR はこのような環境情報及び位置情報を用いて、実際のショッピングモールなどでロボットが来場者に対して道案内やお店の紹介などのサービスを提供するシステムを開発した。このシステムは、Laser Range Finder を用いて、来場者の環境内での立っている位置や動きなどから何を求めているかを推定し、複数台のロボットが協調して来場者をサポー

トする事ができるシステムである。例えばトイレの案内表示板の前に立っている人がいた場合はトイレの位置を教え、ゆっくりとぶらぶら歩いている人がいたら、「何かお探しですか」といった問いかけを行う事ができる。このシステムは、位置情報のセンシングやロボットのジェスチャ、会話などのこれまで述べてきた様々な技術を統合したものである [51]。

2.4 ITACO エージェントの実現に向けて

本節では、ITACO エージェントの実現に向けて必要になる知識や技術に関してまとめ、ITACO エージェントの実現可能性に関して議論する。ここまでの議論で、ITACO エージェントの実現にはこれまで関連研究でなされてきた様々な要素が必要になることが分かった。また、実現に向けた要素技術の多くはすでに確立されつつあり、その点においてはITACO エージェントの実現可能性は高いと考えられる。しかしいくつか未だ不明な点も残されている。本章では、この不明点に関して議論した後、ITACO エージェントを用いた実験に関して述べる。

ITACO エージェントの実現に向けて不明な点は以下の2点である。

1. ITACO エージェントを人はどのように認知するか？
2. エージェントを別の人工物へ移動させるための適切な方法はなにか？

疑問点の1つ目である、ITACO エージェントの認知に関して直接的な研究は未だなされていない。しかしその端緒としてエージェントが別の人工物に移動するという研究がOnoらによってなされている。Onoらは、人の人工物に対する社会性を、エージェントと人との間に築かれた関係性を用いることにより、ロボットに対しても適用できることを検証した [34]。実験の内容について簡単に説明する。実験参加者がコンピュータの中にいるエージェントと対話を行っている。その後、部屋へロボットが入ってくるが、そのロボットの進行方向にゴミ箱がおいてあり、それ以上先へ進めない状況になる。その時、ロボットが聞き取りづらい合成音声によって、ゴミ箱をどけて欲しいと発話する。ここで条件を2群に分ける。一方は、対話を行ったエージェントがロボットに組み込まれているディスプレイへ移動した状態でロボットが発話し、もう一方は、エージェントが移動せずに発話する。この実験の結果、エージェントがロボットへ移動する条件において、実験参加者はロボットの合成音声を聞き取る努力をし、ゴミ箱をどけた。しかし、エージェントがロボットへ移動しない条件の場合、実験参加者はロボットの合成音声を聞き取る努力をせずに、無視をした。以上の結果から、人間はエージェントに対して社会的に振る舞うことがわかった。これは、実験条件の実験参加者が合成音声を理解する努力を行ったためである。また、そのロボットをメディアとして認知したということは、エージェントとの事前の対話で築かれた関係がロボットへ移動したということがわかった。つまり、画面上にいるキャラクターエージェントが消えて、ロボットに組み込まれているディスプレイに移動するという現象により関係が移動したということがいえる。

この研究におけるエージェントは、ITACO エージェントに近い機能を持っていることがわかる。Onoらの提案したエージェントはロボットの上に実装されたディスプレイ上に同じ見かけをしたエージェントを移動させている。つまりこの実験においては、エージェ

ントと移動した後のエージェントとの間のつながりを見かけによって保っていたことがわかる。言い換えると、疑問点の2つ目であるエージェントを別の人工物へ移動させる方法として同一の身体的特徴及び見た目をういたとすることができる。しかし、ITACO エージェントの場合は、ディスプレイからディスプレイへの移動だけでなく、ディスプレイからロボットといった、エージェントの身体的特徴自体を変化させる場合がある。そのため Ono らの実験の結果は ITACO エージェントのコンセプトを完全に満たしているとはいえない。

そのため、本論文において我々は人工物の身体的特徴が人との対話に及ぼす影響を ITACO エージェントを用いて検証すると共に、エージェントが人工物間を移動したという事を人が認識することができたかどうか同時に検証する。この実験により、本研究の目的である、人工物の身体的特徴の影響が明らかになると同時に、ITACO エージェントがその結果から得られた知見を生かす事のできるシステムになりうるのではないかと考える。なぜなら ITACO エージェントは状況に合わせて最適な人工物を選ぶ事ができるシステムであるため、今回実験によって検証する知見を直接的にシステム的设计に反映させる事ができるからである。そのため本論文では、ITACO エージェントのコンセプトを基にしたエージェントシステムである ITACO システムを提案する。次章では、ITACO システムに関して詳しく述べると共に、今回実装したプロトタイプシステムに関して述べる。

2.5 本章のまとめ

本章では、エージェントに関する従来研究を、スクリーンエージェント、バックグラウンドエージェント、ロボットの3つのカテゴリに分類し、本論文で提案する ITACO エージェントの立ち位置を明らかにした。また、それぞれのカテゴリに属するエージェントの長所と短所を具体例を挙げながら述べることにより、次世代のエージェントシステムに求められている能力を明らかにし、それを満たすことのできる ITACO エージェントの概念とアイデアに関して論じた。次に、本論文で提案した次世代のエージェントに必要なとされる要素技術を紹介し、実現に向けて調査すべきことに関して述べた。

第3章 ITACO システム

ITACO エージェントは、従来のエージェントが持つ短所と長所を、上手く使い分けることができるエージェントである。また ITACO エージェントの実現のために調査すべき点が2つある。1つ目は、そもそも人が ITACO エージェントをどのように認知するかという点であり、2つ目は ITACO エージェントが人工物に移動する最適な方法はなにかという点である。この2点を検証するために、本論文では ITACO エージェントのプロトタイプである ITACO システムを提案、実装した。ITACO システムは人工物間を移動することが可能なエージェントとそれぞれのクライアントとしての人工物、センサ情報や接続されている人工物の情報を統合するサーバによって構成されている。本章では、ITACO システムのコンセプトを示した上で、ITACO システムを構成しているソフトウェア及びハードウェアに関して述べる。

3.1 システムのコンセプト

ITACO システムは、状況に合わせた適切な人工物を選択することにより、人と人工物との間の対話を円滑にすることを目的としたシステムである。例えば、部屋が暗い場合にはランプへ乗り移り、部屋を明るくしたり、外出時には携帯電話などのデバイスに移動し外出先でもサポートを行ったり、ロボットへ移動することにより物理的なサポートをしたりすることが可能である(図 3.1)。このようにエージェントが見かけや身体性を変化させることは、実空間において人をサポートする際には有効な方法である一方、人がエージェントを認知することができなくなる可能性が考えられる。なぜなら人は基本的にはある人や人工物の見かけとその対象が持つパーソナリティを対応させて認知するからである。

毎日見かけや姿形が変化する人が存在しないように、見かけが変化するエージェントが人にどのように認知されるかについての知見は存在しない。エージェントが見かけを変化させた時、人が同一のエージェントであると認識することができなかった場合、ITACO システムのコンセプトの土台が大きく揺れることになる。なぜなら、システムがどの人工物との間にでも同一の関係性を保った状態で人と対話試みたとしても、人が同一のエージェントと認識することができなかった場合、そのエージェントが自分の個人情報を知っている理由が分からず困惑を覚えるだろう。

見かけが変わったとしても同一の関係性を保つ事には別の利点もある。人は自分以外のものと対話をした場合、対話の対象に対して何らかの感情を抱く。この感情がポジティブな場合は一般的に「愛着」と呼ばれ、ネガティブな場合は「憎悪」などと呼ばれる。愛着という感情は人と人工物との間の対話に対して強く影響する。例えば、長年乗った愛車を新車を買うよりも高い金額をかけて修理をしたり、子供の頃から一緒に寝ているぼろぼろに汚れた人形を後生大事にしているといった行動にそれは表れる。もちろん人工物だけでは

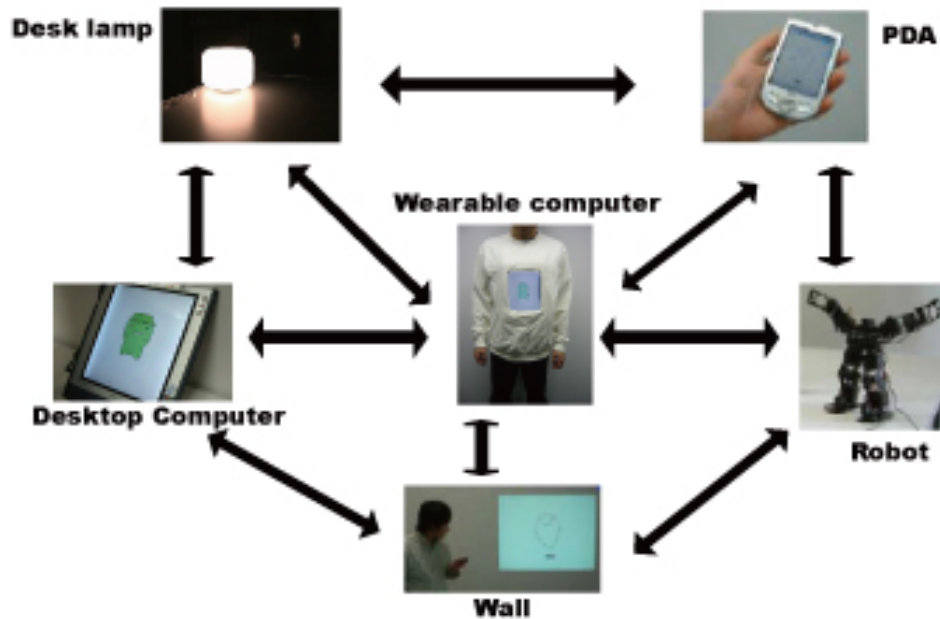


図 3.1: ITACO System Conceptual Diagram

なく、家族や恋人などの主体性をもったものに対しても愛着は働きかける。そのため人とエージェントが対話により、なんらかのポジティブな関係性を築く事ができた場合、その関係性を通じて人と人工物との関係性、ひいては対話に対して良好な影響が見られる可能性がある。

エージェントとの間に良好な関係性を築く事ができ、そのエージェントが関係性を保ったまま環境内の人工物に移動することができた場合、環境内には対話可能な主体が遍在している状態であるといえる。もしこのような環境を構築することができた場合、人は環境内のあらゆる人工物とある一つの主体(エージェント)を通じて対話することができる。さらに、その際良好な関係性が築かれていた場合、それぞれの人工物に対して単なる「物」としてではなく、何らかの関係性がある主体として対話をおこなうことができる可能性がある。

3.2 システムの詳細

ITACOシステムは、3つのレイヤーからなるサーバソフトウェアとエージェントが移動するための人工物、環境の情報を得るセンサ群によって構成される。次節からITACOシステムの詳細に関してソフトウェア構成とハードウェア構成の2つに分けて述べる。

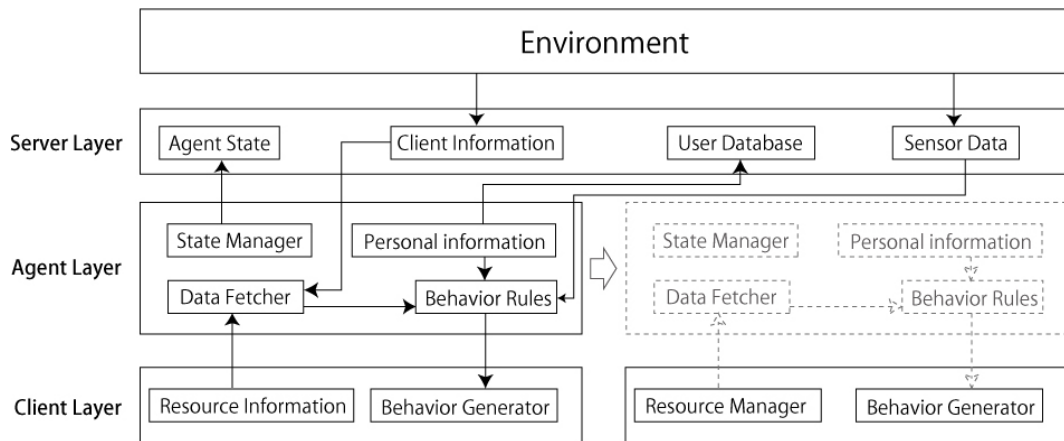


図 3.2: ITACO System Construction

3.2.1 ITACO システムのソフトウェア構成

ITACO システムのソフトウェアの構成を図 3.2 に示す。ITACO システムは主に、Server, Agent, Client, Sensor の 4 つの層から成り立っている。それぞれの層の役割について述べる。

Server Layer

Server 層は、システム全体の状態を管理し、他の層からのリクエストに応じた情報を提供したり、環境の情報を取得し保管する機能を持っている。例えば、エージェントがどこか別のクライアント (人工物) に移動する際に、サーバはエージェントからの移動可能な Client の情報に関する問い合わせを受け、人工物の情報を返す (Client Information)。エージェントが人との対話で得た個人情報も格納している (User Database)。また、エージェントが複数存在している場合を想定し、どのエージェントが環境内のどの場所にいるといったエージェントの状態に関する情報も管理している (Agent State)。また、必要に応じてセンサの情報を Agent Layer, Client Layer からのリクエストに対して返す (Sensor Data)。

Agent Layer

Agent 層は実際に人の対話をマネージメントする層である。例えば、あるトリガーによって人と対話を開始する際、エージェント自身が現在存在している人工物の情報を、Client Layer と Server Layer に対してリクエストする (Data Fetcher)。その際に必要な情報は、現在存在する人工物の持つ身体的なリソース情報及び、位置情報である。これらの情報を用いてユーザとの対話を行う (Behavior Rules)。次に、クライアントからの情報から、別の人工物への移動が必要になった場合、エージェントはまず移動可能なクライアントの情報を Server Layer にリクエストする (Data Fetcher → Client Information)。帰ってきたクライアントのリストから最も最適なクライアントを選び、そのクライアントへ移動する

(Behavior Rules). その際、エージェントはクライアントの持つ固有のリソース (身体性) 情報をクライアントから得る (Data Fetcher → Resource Information). また、人との対話により得られた個人情報 Server Layer に送信し保管する (Personal Information). 一連の行動の後、自分の状態が変化する場合、その都度サーバに現在の状態を通知する (State Manager). Agent Layer は次に実行する行動を決定し、その情報を Client Layer に伝える (Behavior Rules). その際に送られるクエリは抽象化されている.

Client Layer

Client Layer は Agent Layer からのリクエストに応じて自身の持つ身体的なリソース情報を返す (Resource Information). Agent Layer から送られてきた、抽象化された行動情報を受け、具体的な行動を実行する (Behavior Generator). 抽象化された行動情報とは、例えば、「入る」「出る」「嬉しい」と行ったものである. エージェントがそのクライアントに移動してきた時に送られてくる「入る」という行動情報は、クライアントによって表現の仕方が変わる. 例えば、ディスプレイであればスクリーンエージェントが入ってくるグラフィクスを表示したり、ランプであれば点灯したりといったように、そのクライアントの持つ身体性によって使用する表現方法が変化するため、エージェントはその点を意識する必要が無いよう、Client Layer にて処理することにした.

ここまでで、ITACO システムのソフトウェア構成に関して詳述した. 今回本論文では、ITACO システムを限られた状況下で動作するプロトタイプシステムを実装した. プロトタイプシステムでは Agent Layer における Personal Information と User Database は未実装である. 対話によってユーザのデータを得るためには、継続的な対話が必要となる. しかし現状では継続的な対話を堅牢に行う事のできる人工知能を持ったエージェントを実装することは困難である. 状況を限ることにより、ある程度は実現可能であると考えているが、人工知能を作り上げることは本論文の目的からは外れてしまう. 本論文の目的は ITACO エージェントが実現された場合、人はエージェントをどのように認知するのかを確かめることである. そのため、今回エージェントが人と対話する部分に関して実現が難しい部分は WOZ 法により実験者が介入することで、擬似的な ITACO エージェント環境を作ることができるプロトタイプシステムの開発にとどめた.

3.2.2 システムのハードウェア構成

ITACO システムは、前述したソフトウェア構成に各種センサ群とクライアントとして的人工物で構成される. 人工物を ITACO システムに組み込むには人工物がそれぞれネットワークに接続されており、またそれぞれのクライアントが持っている身体的なリソースを制御するためのプログラムが用意されている. クライアントは、エージェントとの間のやりとりを TCP/IP を用いた XML クエリを用いているため、基本的な TCP/IP を用いる事ができれば、どのような種類のクライアントも ITACO システムに追加することがで



図 3.3: 今回実装したプロトタイプシステム

きる。

今回実装したプロトタイプシステムでは、テーブルランプ、ディスプレイ、ウェアラブルコンピュータ、ヒューマノイドロボット、扇風機、壁、空中の7種類のクライアントを実装した。それぞれのクライアントに関して、テーブルランプと扇風機は、スイッチのOn, Off及びスピーカを実装した。ディスプレイ、ウェアラブルコンピュータ、壁はスクリーンエージェントとしての機能を実装した。ヒューマノイドロボットは、ロボットの持つ身体的特徴を考慮した表現ができる機能を実現した。空中は、エージェントが空中を飛び回る様を実現するためスピーカを4台空間中に配置し、それぞれのスピーカの音量を制御することによりエージェントが空中に存在できるような機能を実現した。

ヒューマノイドロボットは全身17自由度を持ち、スピーカ、パンチルトカメラ、マイク等が実装されている。空中は環境内に存在する4つのスピーカの音量を調整することにより、エージェントが空間内を移動している様子を表現することにより実現した。デスクランプ、扇風機、スピーカは小型のラップトップPCを用いて制御した。他のクライアントに関してはすでにネットワークや音声の入出力機能をもっているため、制御用のコンピュータは用いなかった。

今回デスクランプと扇風機にはラップトップコンピュータを用いたが、近年のコンピュータの小型化によりクライアント自体にネットワーク機能と簡単なコンピューティング環境を構築することは可能である。そのため、今後元々ネットワーク機能を持ち合わせていないクライアントを多数TIACOシステムに組み込むためには、小型コンピュータを使う必要があると考える。今回は、個々のクライアントに試験的に色々な機能を持たせるために、拡張性の高いコンピュータを用いた。

それぞれのクライアントにはマイクが実装されているため、今回のプロトタイプシステムでは「こっちへおいで」などの指示語を含んだ音声による入力をトリガとしてエージェントが各クライアントに移動するルールを定めた。また、複数エージェントが同一環境内に存在している場合、二人のエージェントが一人しか存在することができないクライアント、例えばランプや扇風機などに入ろうとした場合は、先にそのクライアントにいたエージェントがはじき出される様に空中飛び出るというルールを用いた。

ITACO システムに統合されたクライアントは、統合する際に固定的なデータとして自身の持つリソース情報やクライアントを識別することのできる名前をサーバに登録することにより、システムに統合した。

3.3 本章のまとめ

本章では、ITACO エージェントのコンセプトをベースとしたシステムである ITACO システムに関して詳細に説明した。ITACO システムはシステム全体の状態を管理する Server Layer と、人とエージェントの対話のマネージを行う Agent Layer、それぞれのクライアントが持つ身体的なリソース情報を持つ Client Layer の 3 つで構成されている。ITACO システムはこれらのレイヤーが相互に情報をやりとりし、エージェントが状況に合わせた最適な人工物に移動することにより、新しい時代に合った最適なサポートを行う事ができる。今回、エージェントの自律的な状況判断の実現が難しい部分は人が介入することにより、擬似的に ITACO エージェント環境を構築するすることができるプロトタイプシステムを実装した。次章からは、今回実装したプロトタイプシステムを用いた実験に関して述べる。

第4章 アンドロイドとの対話実験

本実験の目的は人に酷似した身体的特徴を持ったアンドロイドを用いることにより、人はアンドロイドに対してどのような印象を持つかをパーソナリティという観点から検証することである。また、アンドロイドが説得という文脈のなかで人に対してどのような影響を与えるかを検証することである。人は人工物を含む自分以外のものと対話を行う際、まず相手の持つ見かけなどの身体的特徴から相手がどのような対話能力を持つかを推定し、それに合わせた対話の方法を選択し対話を試みる。例えば、人同士での対話では、相手は自分と同程度の対話能力を持つであろうと推定し、人同士の対話に適した方法で対話を試みる。対話の相手がロボットであった場合、ロボットはこちらの発話やジェスチャを理解できるかどうかを推定することが難しいため、徐々に相手の対話機能を探る様な対話方法を選択する。

そこで本論文では、仮説1である「人工物の持つ身体的特徴から対話の仕方は変化する」ことを検証するために、アンドロイドは人に対してどのような影響を与えるか、またアンドロイドに対してどのような印象を抱くかに関して検証する実験を行った。これにより、人と酷似した身体的特徴を持った人工物に対して人はどのような対話を試みるかを検証することができると思われる。

先行研究において、エージェントやロボットの見かけや身体的特徴のデザインは、あるモデルをデフォルメするという手法が用いられてきた。例えば、本論文で提案したITACOシステムにおいて採用したバーチャルエージェントにおいても、手足と目、鼻、口といった基本的な要素は人を踏襲しているもののその見かけや色といったデザインは、より人に親しみやすさを感じさせるようなものになっている。エージェントだけではなく、ヒューマノイドロボットを使った実証実験や実験室実験においても同様に、デフォルメされたデザインのロボットが多く用いられている(図 2.5)。

このような中で、見た目がある特定の人に限りなく近いアンドロイドである Geminoid が登場した(図 4.1)。Geminoid の見かけは人間に酷似しており、同等技術を使った別のアンドロイドを使用した Noma らの研究では3秒程度の時間であれば、アンドロイドを人間かそうではないかを判別することが難しいと報告している [31]。我々はこのようなアンドロイドを自分の分身として遠隔操作することにより、ビデオチャットなどの会議システムとは一線を画した対話を行うことができるようになった [62]。Geminoid のような実物の身体を持ち、さらに見た目も人間と非常に似通っているアンドロイドを遠隔から操作可能なエージェントとして用いることで、これまでなし得なかった様々なことを達成することができる可能性がある。

Geminoid は、ここまで述べてきたロボットとは一線を画す存在である。その理由として、Geminoid は一切のデフォルメを排除した点が挙げられる。体の大きさや肌の質感、髪の毛など全てを人間と同等なロボットは、不気味さというロボット対する新しい感情を



図 4.1: Geminoid HI-1(左: Geminoid, 右: モデルの人間))

喚起するようになった。事実、Geminoid と対面した実験参加者が一般的なロボットにはない「不気味さ」を感じたことが報告されている [1]。

Geminoid を用いる事により、これまで理論として存在した「不気味の谷」の存在を実際に検証することができるようになった。不気味の谷とは、ロボットの見かけが抽象的なものから、本物の人間へと変化していく中で、親近感も増大していくが、人間らしきがあるポイントを超えると途端に親近感が低くなり、不気味さを覚えるという理論である [65]。ロボットに対する親近感を縦軸に、人らしさを横軸にとった2次元平面に人がロボットに感じた印象をプロットすると、親近感が途端に低くなった部分が谷に見えることから不気味の谷と呼ばれている。不気味さという語感からネガティブな印象を持つ可能性もあるが、これまで不気味さを感じさせるロボットが存在しなかった事を考えると、ではどのようにすれば不気味さを排除していけるのか、という新しい研究の動機に転じることができる。このように Geminoid はこれまで存在したロボットとは異なった性質をもっている。そのため、本実験では、一般的なデフォルメされた見かけをもったロボットと比べ対照的な存在を持つ Geminoid を用いることにより、ロボットとしての Geminoid の持つ身体的特徴がどのような影響を人に与える可能性があるのかを検証した。

4.1 遠隔操作ロボットとしてのアンドロイド

坂本らは、Geminoid を遠隔操作ロボットを位置づけて、他の通信メディアと比べることにより Geminoid の遠隔操作ロボットとしてのパフォーマンスに関して検証している。

坂本らの実験は、人の持つ存在感に注目し、遠隔操作ロボットとしてのアンドロイドが人の存在感をどの程度伝達することができるかについての実験を行った [62]。この実験では、Geminoid、従来のテレビ会議システム、スピーカをそれぞれ遠隔対話メディアとして使用し、それぞれの条件での対話メディアに対する印象を、存在感、人らしさ、自然さ、不気味さ、応答性、アイコンタクトの6つの項目により検証した。その結果、アンドロイドが最も存在感を感じるメディアであるという結果が得られた。この結果から分かることは、Geminoid の様な人に酷似した身体的特徴を持った人工物であれば、人と同等の機能をもったとしても、それに対して違和感を覚えることがないだけでなく、存在感といった、従来までの人工物は持ち合わせていなかった感覚を喚起させることができるということがである。ロボットがもつ身体的特徴は、他の人工物と比べてより人と同等の機能を推測させる可能性があることがわかった。しかし、Geminoid は一般的なロボットよりも、より強い存在感を持ち、これまでは無かった影響を人との対話に与える可能性がある。

そこで本研究では、アンドロイドが持つ社会的な影響力を調査することにより、アンドロイドの持つ身体的特徴が与える影響に関してより深く検証することを目的とする。

4.2 エージェントとしてのアンドロイドの意義

Geminoid の様なロボットは、見た目人間に似通っていることが望ましい状況において特に意味を持つ。例えば、本人がどうしても出席しなければならない重要な会議や調印式、選挙のキャンペーンなどが挙げられる。スクリーンエージェントや一般的なロボットを調印式や重要な会議で本人の代理として用いることは、あまり適していないことが明らかである。なぜなら、重要な場ほど本人の存在感や格調が重視される傾向にあるからである。このように、本人の存在自体が重要視される状況に適合した代理人としてのエージェントは、現在では存在しない。その点、アンドロイドは自身の持つ存在感を十分に生かすことにより、従来では対応することができなかつた状況にも適合したエージェントになりうる可能性がある。これは、どのような種類のロボットがある特定の状況下において適切であるかという知識にもなる可能性がある。

エージェントが実体を持つことによるアドバンテージに関して、これまで多くの研究がなされてきた [33]。しかし、従来の研究で用いられてきたエージェントは、人間とはまるで姿形の違うロボットやスクリーンエージェントが主であった。そのため、見目が限りなく人間に近いアンドロイドが、人間の対話にどのような影響を与えるのか、未知な部分は依然として多い。実社会において人間と人工物が自然に共生するためには、個々の場面に最適なエージェントが、その場面に合った最適な役割を持つことが重要である。そのため、それぞれのエージェントの持つ存在感や特徴をよく知り、人間にとってそのエージェントがどのような存在になり得るのかをよく知る必要がある。従って、ロボットとしてのアンドロイドが人間との対話にどのような社会的影響を持ちうるかを確かめることは、アンドロイドがどのように我々の社会に適用されるべきかを知る意味で、重要であると考えられる。

社会的影響力を表すものの一つとして説得行為が挙げられる。説得とは、ある人間が他人やグループなどに対して信念や態度、振る舞いを変容させる試みのことをいう [38] [60]。我々は日常的に大小様々な説得行為を行い、また説得行為を受けている。例えば、身近な

人に何かを頼むことも説得の一つといえるし、TVのコマーシャルも商品を自主的に買わせるための説得の一つであるといえる。つまり説得行為とは人間にとって、重要な社会的行為の一つであると考えることができる。そこで本研究において我々は、「説得」という状況下でアンドロイドが従来のスクリーンエージェントや本物の人間と比べて、どの程度の社会的影響力を持つのかを検証する。また、人間がアンドロイドに対してどのようなパーソナリティを感じるか、人間自身が持つパーソナリティと説得の効果との間にどのような関係があるのかを検証する。これにより、ロボットとしてのアンドロイドが今後実社会の中でどのような役割を持ちうるか、どのような状況に適しているのかを知る意味で有用な知見を得ることができると考える。

4.3 エージェントによる説得行為

エージェントの人間に対する説得行為の効果に関して様々な研究が行われており、現在では一定の効果が期待できると考えられている [13]。Zanbaka は大学の総合試験において、仮想エージェントと人間が説得行為を行った場合の効果に関して比較検証をおこなっている [60]。この研究で、仮想エージェントは見た目のリアルさに関係なく、現実の人間と同じ説得効果を持つ可能性があるとして述べている。Shinozawa はスクリーン上のエージェントとロボットを用いてユーザに提案を行い、実験参加者の意志決定に与える影響の比較をおこなった [50]。実験の結果、ロボットの方がスクリーンエージェントよりも強い提案の効果を持つということがわかった。Powers らはロボットと仮想エージェントとの間で、健康に関するインタビューに対する実験参加者の反応を比較した [41]。その結果、両条件間に実験参加者の振る舞いと態度の変化の違いが検証されたと述べている。実験の結果から、実験参加者はロボットとより多くの時間を過ごし、またポジティブな振る舞いをしたことがわかった。Kidd と Breazeal は同じ部屋の中にいるロボットと、画面の中にいるロボットの存在感を実験参加者がどのように感じるかを比較することにより、ロボットが物理的な存在を持っている方が、遠隔で存在している場合よりも説得効果が高いという仮説を検証した [23]。この実験の結果は、物理的身体を持ったロボットの方がスクリーンエージェントよりも人の関心や注意を引きやすく、対話することに対する楽しみを実験参加者に与えたことが分かった。また、そのロボットに対する信頼性や情報性にも有意な影響を与えたことがわかった。

以上の先行研究から、2つの事を読み取ることができる。1つ目は、エージェントは人間に対して一定の説得力、つまり社会的影響力を持つということである。2つ目は、エージェントが実体を持っていた方が持っていない場合よりも社会的影響力を与えやすいということである。しかし先行研究では、Geminoid のような見た目が限りなく人間に近いエージェントが、人間に対して与える社会的影響力や印象に関しては明らかにされていない。また、エージェントのどのような要素がエージェントに対する印象に影響を与えたのかに関しては明らかにされていない。

本研究の目的は、エージェントとしてのアンドロイドが人間に対してどのような性質をもっており、またどの程度の社会的影響力を持つことができるかを検証することである。この目的のために我々は、アンドロイドの持つ社会的影響力を人間、ビデオと比べることにより検証する。また、人間がアンドロイドに抱く印象を、パーソナリティという観点か



図 4.2: それぞれの実験条件で用いた説得エージェント (左: Video, 中央: Android, 右: Human)

ら検証する。さらに人間自身が持つパーソナリティが、エージェントからの説得行為に与える影響に関して検証する。

以上の背景から、本研究の目的は以下の3点を明らかにすることである。

1. アンドロイドは人間やビデオと比べ、どのような社会的影響力を持ちうるかを、説得の効果を用いて検証する
2. アンドロイドは人間にどのような印象を与えるかを、対象に対するパーソナリティという観点から検証する
3. 個人が持つパーソナリティは、アンドロイド、人間、ビデオからの説得行為にどのような影響を及ぼすか検証する

4.4 評価実験

本実験は説得というタスク下において、アンドロイドのモデルになった人間、モデルの人間の姿を撮影したビデオ、アンドロイドという3種類の説得行為を行うエージェント(以下説得エージェント、図 4.2)の間で同じ説得行為を行うことにより、アンドロイドが人間に与える社会的影響力を検証する。モデルの人間を Human 条件、モデルの人間の姿を撮影したビデオを Video 条件、コピーアンドロイドを Android 条件とし、それぞれの条件の説得エージェントが実験参加者に対して同一の説得行為を行う。それぞれの説得エージェントの見た目は非常に似ており、我々は条件間の身体性(e.g. 人間、映像、アンドロイド)のみに注目することが可能である。実験では、この3種類の説得エージェントが実験参加者に対して意味のないタスクを依頼し、そのタスクを実験参加者がどの程度忠実に遂行するかを計測した。

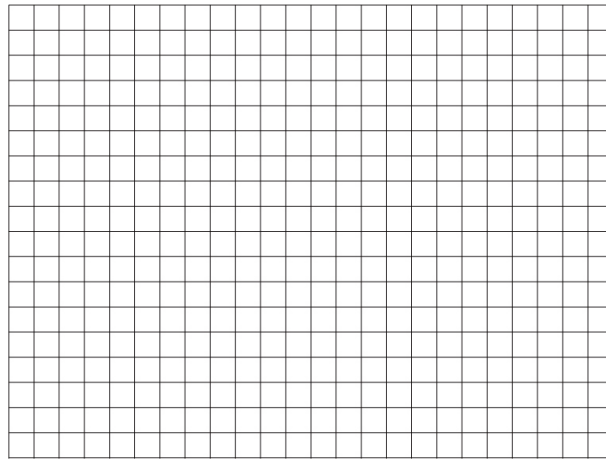


図 4.3: 実験参加者になぞってもらった方眼用紙

4.4.1 測定方法

本実験では、説得の度合いと実験参加者及び実験参加者が説得エージェントに対して感じたパーソナリティを測定した。具体的な測定方法を以下に記述する。

説得の度合いの測定

説得の度合いを測定するために、実験参加者に対して意味のないタスクを遂行するよう説得を行い、そのタスクをどの程度忠実に遂行するかを分析する。意味のないタスクとは、5枚の0.7mm角の方眼用紙(図 4.3)を実験参加者に渡し、それをできるだけ丁寧になぞってもらい、なぞり終わったら手元のゴミ箱に捨ててもらおうというタスクである。本実験で意味のないタスクを採用した理由として、多くの研究で態度変容を測定するための方法として採用されているためである [8] [12]。実験後、捨ててもらった方眼用紙を回収し、元々の方眼となぞった線がどの程度ずれているかを測定した。測定方法は、なぞってもらった方眼紙をスキャンしたデータと元の方眼との間の差分を画像処理によって比較し、ずれていた画素の数をカウントすることにした。加えて、なぞるのにかけた時間を測定した。これは、説得エージェントからの依頼通り丁寧になぞることによって、タスクに費やす時間に違いが見られると考えられるからである。また、実験参加者にはなぞり終わったら帰宅しても良いと告げてあることから、タスクの遂行に時間をかけるということが説得の効果を測定するための一つの指標となると考える。この際、タスクに費やした時間の測定は、描画開始から最後の方眼用紙を捨てるまでを基準として測定した。

パーソナリティの測定

次に実験参加者個人のパーソナリティを測定する方法及び実験参加者が説得エージェントに対して感じたパーソナリティを測定する方法に関して述べる。個人のパーソナリティ尺度は簡易版 Big Five Model [16] [48], Mowen's Personality Scale [27], 発行版 Myers-Briggs

Type Indicator [22] など多数提案, 発行されており多くの国で用いられている。しかし, それらの尺度の多くは 100 以上のアイテムから成り立っており, それに回答してもらうだけで多くの時間がかかってしまう場合がある。そのため, 今回我々は NEO-FFI を用いることにした。NEO-FFI は 60 の項目から構成されており, 15 分程度で回答することが可能である。この指標は, NEO PI-R の簡易版であり, 同じ著者によって作られたものである [9]。NEO-FFI は簡易版ではあるが, パーソナリティ尺度としての妥当性と信頼性は確保されている。実験参加者には NEO-FFI に回答してもらった。

NEO-FFI から分かる 5 つのパーソナリティ要因は, Neuroticism(神経症傾向), Extroversion(外向性), Openness(開放性), Agreeableness(調和性), Conscientiousness (誠実性) の 5 つによって構成される。5 つの要因はそれぞれ 0-48 の間の得点で測定される。Neuroticism が高い得点を示した人は “繊細, 感情的, 混乱を憶えやすい” という精神的な傾向がある。Neuroticism が低い得点を示した人は “安定した忍耐力のある, ストレスのかかる環境でもリラックスしてられる” という精神的な傾向がある。Extroversion が高い得点を示した人は “外向的, 社交的, 活動的, 元気のある, 人と一緒にいることを好む” という傾向がある。一方 Extroversion が低い得点を示した人は, “内向的, 控えめな, 深刻な, 一人であることを好む” といった傾向にある。Openness が高い得点を示した人は, “新しい経験を受け入れやすい, 好奇心がある, 想像力がある” という傾向がある。一方 Openness が低い得点を示した人は, “地に足がついている, 实际的な, 伝統的な, 自分のやり方に固執する” という傾向がある。Agreeableness が高い得点を示した人は, “思いやりのある, 気だてのよい, 協調を好み衝突をさける” という傾向がある。一方 Agreeableness が低い得点を示した人は “頭の固い, 懐疑的な, 高慢な, 競争心の強い, 怒りの感情を表に出しやすい” という傾向がある。Conscientiousness が高い得点を示した人は, “誠実な, 几帳面な, 高い目標を持ち自分の目標に対して常に努力する” という傾向がある。一方 Conscientiousness が低い得点を示した人は “甘え, 几帳面でない, 不注意な, プランを立てることが嫌い” といった傾向を持つ。

残念なことに, 自分ではない他者に対して感じたパーソナリティを測定する NEO-FFI の日本語版は存在しない。そのため我々は, 林らにより提案された特性形容詞対尺度を使った [69]。この尺度における 3 つの要因, すなわち社会的望ましさ (Extroversion), 活動性 (Openness), 親しみやすさ (Agreeableness) が NEO-FFI における 3 つと関連するため, 特性形容詞対尺度を利用することが可能であると判断した。これにより, 個人が持つパーソナリティと, 説得エージェントに対して感じたパーソナリティが説得の効果に与える影響を同じ尺度で捉えることが可能であると考えた。

まとめると, 説得エージェントの説得行為を受けた実験参加者が, どの程度忠実にタスクを遂行したかを, 元の方眼からのずれの検出及びタスクに費やした時間を測定することにより検証した。また, NEO-FFI の日本語版を用いて実験参加者本人のパーソナリティを測定した。さらに, 説得エージェントから実験参加者が感じるパーソナリティを, 特性形容詞対尺度を用いて測定した。

4.4.2 実験方法

本実験は、アンドロイドのモデルになった人間、モデルの人間を撮影したビデオ、アンドロイドを用いることにより、それぞれの条件間で説得の効果及び説得エージェントに対して感じるパーソナリティにどのような影響があるかを検証することを目的とする。

本実験におけるアンドロイドの動作は、モデルの人間の説得時の体の動きをできる限り模倣したものである。アンドロイドの見た目はモデルの人間に酷似したものであるが、体の動きまでを完全にコピーさせることは、アンドロイドの自由度からも不可能である。そのため、今回はモデルの人間に体の動作をアンドロイドでも可能な動きに制限してもらうよう依頼した。この際、人間として不自然な動作にならないよう、下記のような比較的緩い制約を課した。

1. アンドロイドは人間やビデオと比べ、どのような社会的影響力を持ちうるかを、説得の効果を用いて検証する
2. アンドロイドは人間にどのような印象を与えるかを、対象に対するパーソナリティという観点から検証する
3. 個人が持つパーソナリティは、アンドロイド、人間、ビデオからの説得行為にどのような影響を及ぼすかを検証する

アンドロイドの発する音声は、モデルの人間が実際に説得行為を行った時に録音したものをを用いた。また口唇の動きも実際の口唇の動きと同期させた。Video条件のための実験刺激は、Human条件の際のモデルの人間の説得行為の様子を撮影したものを、その時の実験参加者が見えなくなるよう編集することにより作成した。ビデオの解像度は720×480pixelであり、実験室に110cm*175cmのスクリーンを設置し、そこへアンドロイド及びモデルの人間の姿と同じ大きさに投影した。Human条件では、モデルの人間が説得のためのスクリプトを間違えないよう、実験参加者の後ろ側にディスプレイを設置し、そこに説得のためのスクリプトを表示させた。ディスプレイは説得行為の間実験参加者からは見ることのできない位置に設置した。また、Video条件及びAndroid条件の実験刺激は、実際のHuman条件におけるモデルの人間の説得行為から作成されているため、条件間における実験者効果に関しては、条件間で統制されていると考えられる。以上の準備により、3条件でほぼ同一の説得メッセージ及び視覚的な刺激を実験参加者に与えることができたと考える。

次に、今回実験参加者は3名から5名のグループで実験に参加してもらった。その理由として、モデルの人間のスケジュールの都合上、実験参加者1人ずつ実験を行うことが困難であった点が上げられる。そのため、本実験ではグループでの集団効果の影響を低減させるため、以下の2点の操作を行った。

1. アンドロイドは人間やビデオと比べ、どのような社会的影響力を持ちうるかを、説得の効果を用いて検証する
2. タスクの遂行にあたり、プライベートな空間を確保した

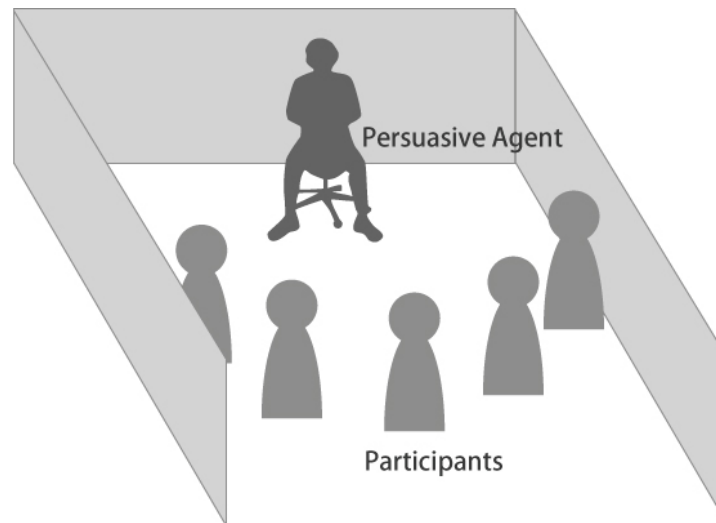


図 4.4: 実験環境

以上の操作により，集団の効果を低減した。

次に，話者の専門性は説得の効果に影響を与えることが分かっている。Pettyらは，メッセージの源泉（本研究における説得エージェントを指す）の専門性，論拠の質などが実験参加者に与える影響を指摘している [37]。例えば，大学の進級試験の導入に関する説得を，教育界で著名な大学教授からと近隣の高校生から受けた場合，実験参加者である大学生は，大学教授からの説得に対してポジティブな意見を持ったことを報告している。今回は説得の SCRIPT の中に話者が説得の内容に対してどのように関与しているのかを含ませることにより，説得エージェントに感じる専門性や権威を条件間で統一した。

実験の手続き

実験参加者は3人から5人のグループで実験に参加した。実験の手続きは以下の通りである。

1. アンドロイドは人間やビデオと比べ，どのような社会的影響力を持ちうるかを，説得の効果を用いて検証する
2. 自分に関する情報及び NEO-FFI に回答してもらう
3. 実験者は実験参加者を説得エージェント（アンドロイド，モデルの人間，テレビスクリーン）が配置されている Room B へ案内する
4. 実験参加者は説得エージェントを中心に半径約 1m の半円状に配置された椅子にすわる (図 4.4)。実験者が退室し，説得エージェントは方眼用紙をなぞってもらうためのプレゼンテーションを開始する
5. プレゼンテーション終了後，実験参加者を Room A へ案内し，タスクを遂行してもらう

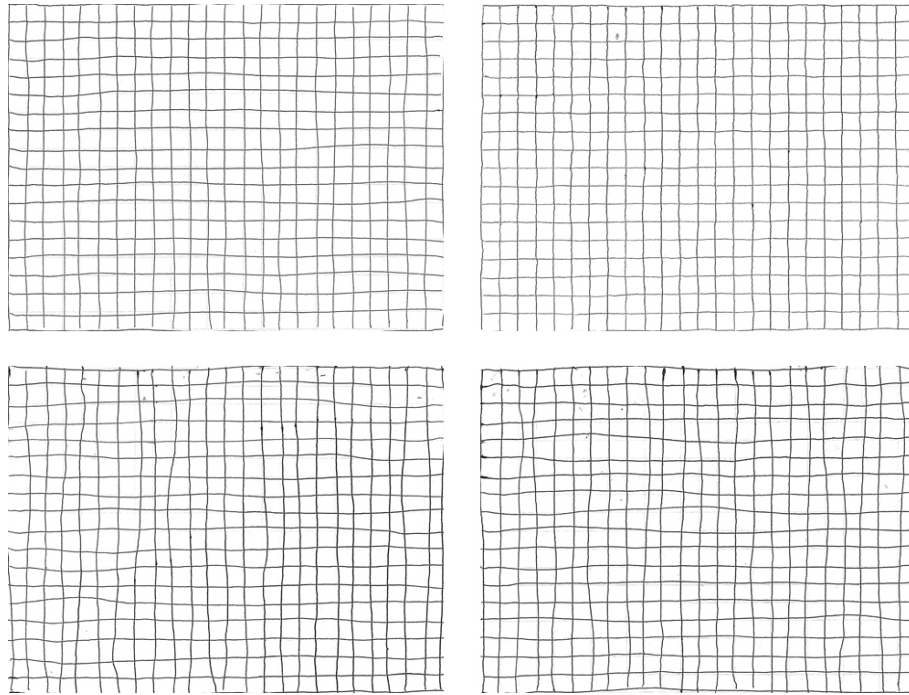


図 4.5: 実際になぞってもらった方眼の例 (上: ずれが少ない例, 下: ずれが大きい例)

この際、タスクの終了後アンケートに回答し終わったら、帰宅しても良いと教示する。実験参加者は男性 20 人、女性 12 人を対象とした。実験参加者は 19-25 歳 (平均 21.1 歳) で、実験参加者は報酬として 3000 円を支給された。すべての実験参加者は大学生である。実験参加者は、歴史学や情報科学、経済学など幅広い分野を専攻している。各条件の実験参加者の内訳はそれぞれ、Human 条件 10 人、Video 条件 10 人、Android 条件 12 人である。

4.5 結果

我々は、説得エージェントの実験参加者に対する説得の度合いを検証するために、実験参加者がどの程度忠実に要求されたタスクを遂行したかを分析した。具体的には、元の方眼となぞってもらった線との間のずれと、タスクにかけた時間を測定値として分析をおこなった。線のずれに関して、なぞってもらった 5 枚の方眼のずれをすべて足した値を分析したところ、条件間で有意差は確認されなかった (図 4.7 左)。次に、タスクに費やした時間に関して、分散分析を行ったところ有意差が確認された ($F = 4.30$, $MSe = 210593.75$, $p < .05$)。このため、事後の検定として Bonfferoni 法による一元配置分散分析を行ったところ、Human 条件と Video 条件の間に有意差が確認された (図 4.7 右, Video j , Human, $p < .05$)。また、タスクを行っている時の実験参加者の様子を撮影した映像を観察したところ、すべての実験参加者は一様にタスクに集中している様子で、例えば“顔を何度も上げる”、“伸びなどの飽きたような仕草”など、集中力が切れたときに見られるような行動は観察されなかった。

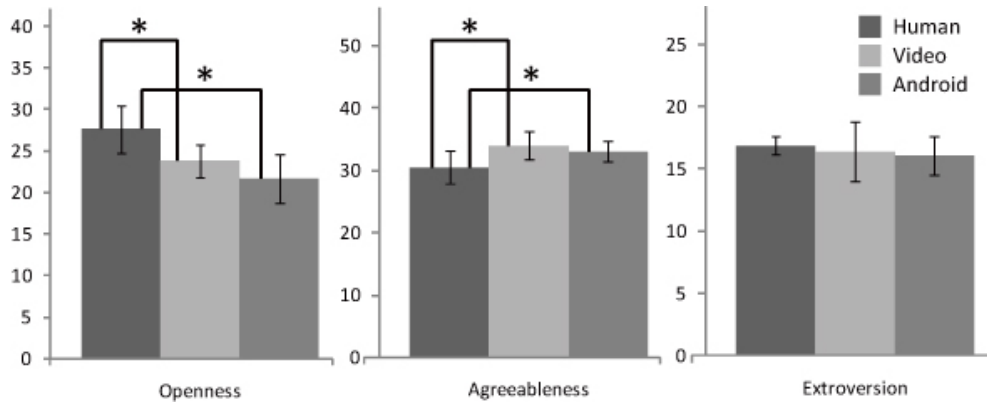


図 4.6: 説得エージェントに対して感じたパーソナリティ(左: Openness, 中央: Agreeableness, 右: Extroversion)

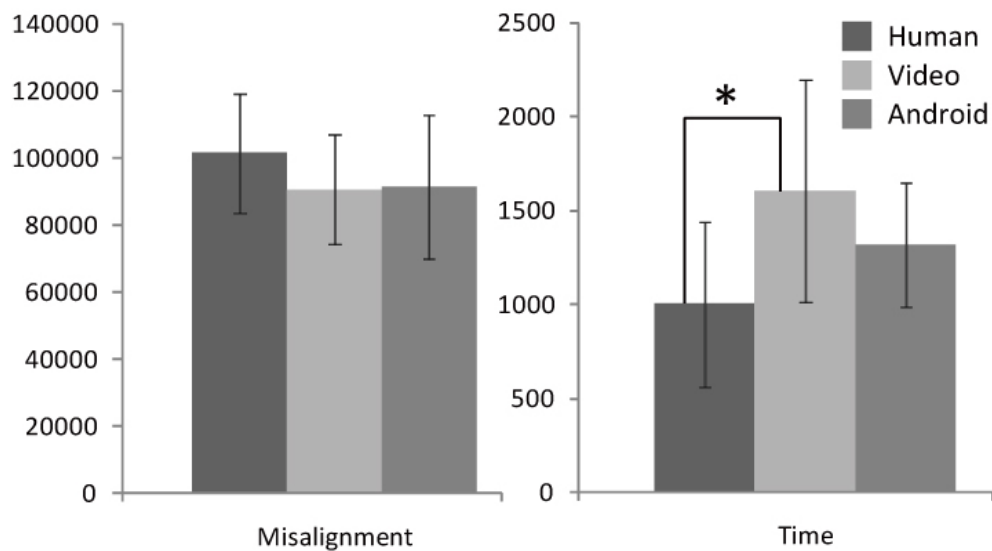


図 4.7: 条件間における線のずれ(左: Misalignment) とタスクに費やした時間(右: Time)

表 4.1: 実験参加者のパーソナリティと線のずれとの間の相関

| | Extroversion | Openness | Agreeableness |
|---------|--------------|----------|---------------|
| Human | 0.21 | 0.08 | 0.22 |
| Video | -0.15 | 0.28 | -0.30 |
| Android | -0.08 | 0.16 | 0.03 |

表 4.2: 実験参加者のパーソナリティとタスクに費やした時間との間の相関

| | Extroversion | Openness | Agreeableness |
|---------|--------------|----------|---------------|
| Human | -0.56 | 0.24 | 0.41 |
| Video | 0.12 | 0.26 | 0.30 |
| Android | 0.17 | -0.03 | -0.18 |

次に、実験参加者が説得エージェントに対して感じたパーソナリティに条件間で差がみられるかどうかを検証するために、実験参加者が説得エージェントに対して感じたパーソナリティ、すなわち Openness, Agreeableness, Extroversion の 3 つの要因において分散分析をおこなった。その結果、Openness 及び Agreeableness において有意差が確認された (Agreeableness : $F = 6.66$, $MSe = 4.91$, $p < .01$ Openness : $F = 13.90$, $MSe = 6.99$, $p < .01$)。このため、事後の検定として Bonferroni 法による一元配置分散分析を行ったところ、Openness では Human 条件と Video 条件間 ($Human > Video$, $p < .05$) 及び Human 条件と Android 条件間 ($Human > Android$, $p < .05$) に有意差が確認された (図 4.6 左)。Agreeableness では Video 条件と Human 条件間 ($Video > Human$, $p < .01$) 及び Android 条件と Human 条件間 ($Android > Human$, $p < .01$) に有意差が確認された (図 4.6 中央)。

次に、実験参加者個人の持つパーソナリティが説得の度合いに与えた影響に関して、タスクに費やした時間及び線のずれと Openness, Agreeableness, Extroversion の 3 つの要因の間の相関係数を、線のずれを表 4.1 に、タスクに費やした時間を表 4.2 に、にそれぞれ示す。線のずれとパーソナリティとの間の相関係数を求めたところ、いずれの条件間でも有意な相関は確認されなかった。次にタスクに費やした時間とパーソナリティとの間の相関係数を求めたところ、Agreeableness における Human 条件で弱い正の相関 ($r = 0.41$) が、Extroversion における Human 条件で弱い負の相関 ($r = -0.56$) がそれぞれ確認された。

4.6 考察

なぞってもらった線のずれと、タスクに費やした時間を分析した結果、線のずれに関しては条件間で差が検証されなかったが、タスクに費やした時間に関しては Video 条件の実験参加者の方が Human 条件の実験参加者よりも多くの時間を費やした事が分かった。以上の結果から、説得の度合いに関する考察を行う。

まず、線のずれに条件間で差が見られなかった理由として、線をなぞるという行為に対

する技術の差が挙げられるのではないかと考える。例えば、字が下手な人は丁寧に多くの時間をかけて字を書いたとしても、上手な人に比べてうまく書くことができない。逆に字の上手な人は下手な人と比べて時間をかけなくても上手に字が書けるだろう。このように、丁寧に作業を行うことに関しては時間が必然的にかかってしまうが、その結果としての成果は必ずしもかけた時間と比例しない。そのため、今回線のずれという指標に関しては、条件間で差がみられなかったのではないかと考える。

次に、タスクに費やした時間の結果に関して、今回実験参加者にはタスクが終了し次第、帰宅してもよいことが教示されていた。従って、実験参加者にはタスクを早く終わらせるという動機付けがなされていたのではないかと考える。これは、実験のVTRから、実験参加者が一様にタスクに集中している様子が観察されていることから推測することができる。このような動機付けがなされている中で、実験参加者が最も時間を費やした条件はVideo条件であり、Human条件が最も時間を費やさなかった条件であることがわかった。この理由として、非常に無意味なタスクを要求するという今回の実験設定においては、説得を行うエージェントが本物の人間であるHuman条件において、反発を覚えてしまった可能性が考えられる。また、Video条件が有意に高い傾向を示した理由に関して、Foggも述べているように、メディアからの説得行為が人間に影響力を及ぼす場合がある[13]。つまり、説得の内容によっては、人間であることが説得の度合いにネガティブに影響する可能性があると考えられる。一方Android条件は、Video、Human条件共に有意差が見られなかった。この結果から、今回の実験設定においては説得という文脈におけるアンドロイドの特徴的な性質が明らかにされなかったと考えられる。

次に、実験参加者が説得エージェントに対してどのようなパーソナリティを感じたかを条件間で比較した結果、Opennessでは $Human > Video$, $Human > Android$, Agreeablenessでは $Video > Human$, $Android > Human$ の間にそれぞれ有意差が確認された。Opennessに関する結果から、アンドロイド及びビデオは人間と比べてOpennessを感じ取られづらかったといえることができる。Big Five Modelの定義から、アンドロイド及びビデオは人間と比べて、“地に足がついている、实际的な、伝統的な、自分のやり方に固執する”ように感じとられると考えることができる。次に、Agreeablenessに関する結果から、アンドロイド及びビデオは人間と比べてAgreeablenessを感じ取られやすかったといえることができる。Big Five Modelの定義から、アンドロイド及びビデオは人間と比べて“思いやりのある、気だてのよい、協調を好み衝突をさける”ように感じとられると考えることができる。この結果から、アンドロイドの持つパーソナリティは人間と比べてより保守的で落ち着いた性格性を持つことが示された。

次に、実験参加者個人の持つパーソナリティが説得の度合いに与えた影響に関して、線のずれ及びタスクに費やした時間とOpenness, Agreeableness, Extroversionの3つの要因の間の相関係数を求めた結果、Human条件におけるAgreeablenessの値とタスクに費やした時間との間で弱い正の相関が、Human条件におけるExtroversionの値と費やした時間との間に弱い負の相関がそれぞれ確認された。この結果から、個人の持つパーソナリティのうち、Agreeablenessが高い傾向にある実験参加者、すなわち“思いやりのある、気だてのよい、協調を好み衝突をさける”という傾向のある実験参加者ほど、人間からの説得行為を受け入れやすくなる傾向にあることが確認された。またExtroversionが低い得点を示した実験参加者、すなわち“内向的、控えめな、深刻な、一人でいることを好む”傾

向のある実験参加者ほど、人間からの説得行為を受け入れやすくなる傾向にあることが確認された。しかしながら、他の条件及び線のずれにおいては有意な相関が確認されなかった。線のずれに関しては、先述したように個人差が大きいため、条件間の分散分析の結果と同様、有意な相関は確認されなかった。他の条件に関して有意な相関が確認されなかった。この結果から、個人のパーソナリティはアンドロイドやビデオでの対話に影響しないということが出来る。つまり、アンドロイドは人間に限りなく近い見かけを持っているが、人間同士での対話の様に、個人の持つパーソナリティが相手に感じるパーソナリティに影響しないということである。このことは、アンドロイドは未だ人間と同等の存在感を持ち合わせてはいない可能性が考えられる。

ここまでの議論で、それぞれの条件におけるエージェントは、いくつかの点で異なった特徴を持つことが分かった。しかし、この結果は先行研究からの報告とは矛盾した結果に見えることも事実である。例えば Shinozawa らは、実体を持ったロボットの方がスクリーンエージェントよりも強い提案の効果を持っている事を報告した。一方、本研究ではビデオが最も強い説得効果を持つという結果が得られた。このような結果の相違の理由として、本研究ではエージェントとして本物の人間を用いた点が挙げられる。先行研究の多くでは、擬人化したスクリーンエージェントや見かけがロボットらしいロボットを用いており、本研究で採用したエージェントとは大きく異なる。そのため、先行研究とは異なった結果が得られたのではないかと考える。しかしこのような結果の相違は、それぞれのエージェントが持つ特徴であり、これらの結果を用いることにより、それぞれのエージェントに適した場所や状況を設定することができると考える。

以上の考察から、本研究の目的に沿って議論する。最初に、アンドロイドの社会的影響力の検証に関して、残念な事に、今回の実験からはアンドロイドの説得という文脈における効果は検証することができなかった。しかし他の2条件の間には有意差が確認され、その結果、今回の実験設定ではビデオが最も説得の度合いが高く、人間が最も低いということが分かった。

次に、アンドロイドはどのようなパーソナリティを持ちうるかに関して、今回アンドロイドは人間と比べて Agreeableness がより高く、Openness がより低く受け取られることが分かった。この結果からアンドロイドは人間に比べて保守的な印象を与える可能性があると考えられる。最後に、個人の持つパーソナリティがアンドロイド、人間、ビデオからの説得行為にどのような影響を及ぼすかに関して、Human 条件以外で個人の性格と説得の度合いに有意な相関が確認されなかった。この結果より、現段階ではアンドロイドは人間と同等の存在感やパーソナリティを持ち合わせていないということがわかった。

本実験の目的は、アンドロイドが人に対してどのような社会的影響力を持ちうるのか、また人間に対してどのような性質を持っているかを検証することにより、アンドロイドのもつ身体的特徴が与える影響に関して検証することである。本実験の結果から、アンドロイドは他の人工物は適さない状況やタスクに用いる事ができる人工物であると考えられることができる。

4.7 本章のまとめ

本章の目的は、人に酷似した身体的特徴を持つアンドロイドがもつ社会的影響力の検証を通じて、人がアンドロイドに対してどのような対話を試みるかを検証することであった。遠隔対話メディアとしてのアンドロイドが人との対話に与える影響に関しては、すでに実験されている。その実験から、人工物としてのアンドロイドは人に操作されたとしても違和感を感じさせることはないことが分かった。つまり、アンドロイドは人と同等の対話能力を持ち、人同士の同様の対話を試みるのが可能であることが分かった。そこで本実験では、アンドロイドの身体的特徴が持つ社会的影響力をより深く検証することにより、アンドロイドの特徴を明らかにする事を目的にした実験を行った。実験は、Video, Human, Android の3種類のエージェントが同一の説得行為を実験参加者に対して行う事により、それぞれの説得エージェントの持つ社会性を検証した。また、実験時に説得エージェントに対してのパーソナリティの特性をテストしてもらうことにより、見かけが人に酷似したアンドロイドがどのような性格特性を持ちうるかに関して調査を行った。その結果、社会性の尺度の一つである説得の度合いに関しては Video がもっと説得力があったということが分かった。パーソナリティに関しては、アンドロイドは人と比べ地に足がついている、落ち着いた雰囲気といった印象を与える事が分かった。このことから、アンドロイドはより保守的で落ち着いた性格性を持つ事が分かった。

アンドロイドはこれまでのロボットでは適さなかった状況に適合する可能性があることが示された。またアンドロイドは人と全く同等の対話能力を持っていたとしても、対話者に対して違和感を与えないだけでなく、権威などの存在感をも与える人工物であると考えられる。そのため、アンドロイドは人に成り代わる必要がある場面において有効であると考えられる。

本章のポイントを箇条書きにてまとめる。

- 人に酷似した身体的特徴を持つ人工物は、人と同等の能力を持つことができる可能性がある
- アンドロイドはより保守的な、地に足のついた印象を与える

第5章 テーブルランプとの対話実験

本実験の目的は、テーブルランプに対して人はどのような対話を試みるかを検証することである。背景で述べた仮説1「人工物の持つ身体的特徴から、対話の仕方は変化する」及び仮説2「人と人工物との間になんらかの関係性が築かれた場合、築かれていない場合よりも人工物に対して社会的に振る舞う」を本研究で検証することができると思う。

前章において述べた通り、人は自分以外のものと対話を行う際、その人工物が持つ身体的特徴や見た目から相手の持つ機能を類推し、それに従った対話の方法を選択する。これは、人同士の対話やロボットだけに適用されるわけではなく、一般的な家庭内の人工物に関しても適用される。例えば、洗濯機が「洗濯が終わりました」と発話しても違和感が無いが、手元のボールペンからこのような音声がかえってきたら、違和感を感じるのではないだろうか。つまり、ある人工物が元々持っている身体的特徴と、発話の内容などの機能が適合しなかった場合、違和感を覚え、自然な対話を実現することは難しいのではないかと考える。さらに、人がある特定の人工物に対して持っている印象も対話に影響する可能性がある。

アンドロイドとの対話実験では、Geminoidの様な人に酷似した身体的特徴をもった人工物に対して、人は人と同等の対話能力があると推定し、対話を試みる事がわかった。そこで本章では、見かけにおいてはアンドロイドと対照的であるテーブルランプに対して、人がどのような対話を試みるかを、提案したITACOシステムを用いて検証した。これにより、人工物の身体的特徴と、その人工物の持ちうる対話機能に関して検証する。

本研究では、ITACOシステムを用いてエージェントや人がテーブルランプへ移動することにより、人工物の身体的特徴と機能の適合に関して検証する。

5.1 エージェントのテーブルランプへの移動

本実験では、エージェントがテーブルランプへ移動し、その後実験参加者とテーブルランプがどのような対話を行うかを観察する。これにより、人工物としてのテーブルランプが持つ身体的特徴が人との対話にどのような影響を与えるかを検証する。

テーブルランプが本来持つ機能はランプを点灯させる事だけである。そのため、実験参加者にはテーブルランプと対話を行って下さいと言ったとしても、その時点で対話に対する違和感を抱いてしまう可能性がある。そこで、本研究では前章で詳述したITACOシステムを用いることによりこの問題の解決を試みた。ITACOシステムを用いることにより、エージェントが人工物に移動することができる。そのため、事前にスクリーンエージェントと音声による対話を行ったあと、エージェントをテーブルランプに移動させる事により、テーブルランプに対して音声対話という対話チャンネルを付与することが可能になると考える。つまり、何らかの関係性を築いたエージェントがテーブルランプへ移動するこ

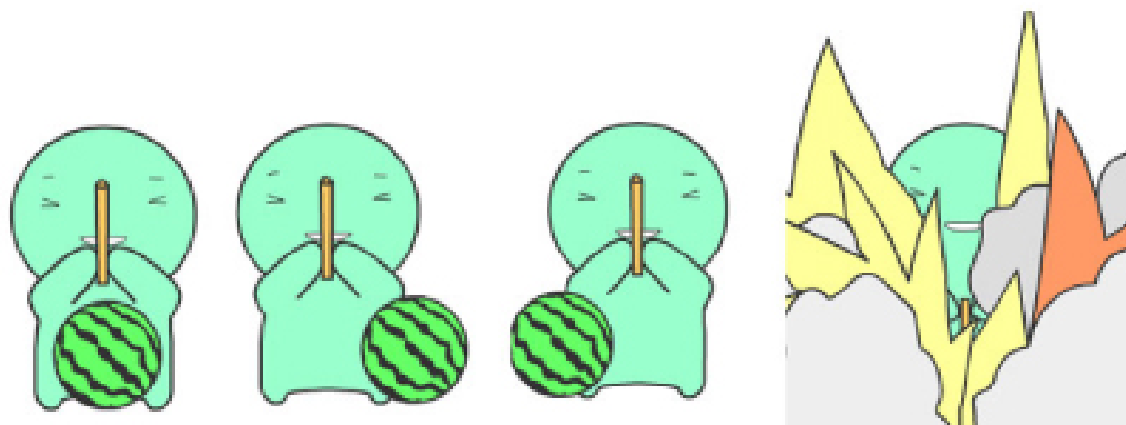


図 5.1: エージェントとの対話の例 (スイカ割り)

とにより、ランプとの間にも関係性を築くことができ、テーブルランプの持つ身体的特徴が人との間の対話に与える影響を検証することできるのではないかと考える。さらに本研究では、テーブルランプが元々持つランプを点灯させるという機能を生かした対話を行わせることにより、発話内容と人工物自体が持つ機能の不整合から生まれる対話に対する違和感を取り除いた。これらの操作により、意志をもったエージェントと人はランプを介してどのような対話を試みるかを明らかにする。

5.1.1 実験システム

本実験で用いられた ITACO システムは、タブレットコンピュータ、ウェアラブルコンピュータ、テーブルランプによって構成されている。それぞれのエージェントとはマイクを使った音声認識、スタイラスペンを使い、画面上にいるスクリーンエージェントと直接対話することができる仕組みを用いた。また今回は実験参加者間での統制をとるという意味でも、一定のストーリーに沿った形で対話が進むようにエージェントのルールを制限した。

本実験におけるエージェントは実験開始時には机に置かれたタブレットコンピュータの中にスクリーンエージェントとして存在している。そこで実験参加者といくつかのゲームや対話を行う。具体的には、相手の名前を聞く、声を使ったスイカ割りゲーム(右, 左, そこだ, といった単純な単語のヒットをトリガにして動作するゲーム。図 5.1 参照), エージェントの着る服の色を声で決めてあげる, といった対話をおこなう。その後, エージェントは実験参加者が着用しているウェアラブル PC へ移動し(図 5.3), 別室へ実験参加者と共に移動する。さらに一定時間経過後, エージェントはテーブルランプへ移動する(図 5.4)。このように, 全ての実験参加者がかならず同じストーリーに沿った体験をするよう統制した。エージェントの見かけやアニメーションは Flash で実装されている。音声認識エンジンは Microsoft Speech SDK を用いた。この SDK は単語単位での音声認識が可能であり, Microsoft Agent などにも使われているエンジンである。点滅などのテーブルランプの制御は H8 マイコンを用いたリレー制御により実装されている。

エージェントが次の人工物に移動するルールに関して、タブレットコンピュータからウェ

アラブルコンピュータへの移動は、画面上でのエージェントとの対話のスク립トに埋めこんだ。ウェアラブルコンピュータからデスクランプに関しては、実験参加者が別室に入室してから一定時間経過後、実験者が操作することによりデスクランプに移動するよう実装された。

5.1.2 実験の目的

本実験は、以下の3点を明らかにする事を目的とする。

1. テーブルランプの持つ身体的特徴は人との対話にどのような影響を及ぼすか？
2. テーブルランプと実験参加者の間の関係性は対話にどのような影響を及ぼすか？
3. エージェントがディスプレイからテーブルランプへ移動したと認知することができるか？

次節より実験の詳細に関して述べる。

5.1.3 実験方法

本実験は、実験の目的のために、まず事前にエージェントと実験参加者にタブレットコンピュータ上で3分間ほどの対話を行ってもらった。その後、エージェントがテーブルランプへ移動した場合、実験参加者がテーブルランプに対してどのような振る舞いをするかを検証した。具体的には、エージェントがランプへ移動した後、実験参加者の手によってランプを消してもらおうよう指示することにより、エージェントとの間に築かれた関係性が、エージェントの身体がテーブルランプへ変化したことによりどのような影響を及ぼすかを検証した。

実験環境

本実験は、公立ほこだて未来大学の研究室及び、研究室裏の廊下にて実施された。また、事前の対話を行う実験室 A を研究室裏の廊下へ、またエージェントがテーブルランプへ移動する実験室 B を研究室へ、それぞれ配置した。図 5.2 に実験環境の様子を示す。事前の対話を行うための実験室 A と、実際の実験を行う実験室 B、合計 2 部屋用意する。実験室 A には対話のためのタブレット PC が用意されている。実験室 B にはエージェントが移動するためのテーブルランプが用意されている。また、実験室 B は薄暗くしておく。実験参加者には、胸にタブレット PC を装着してもらった。

実験の条件

本実験はエージェントのランプへの移動に関わる実験参加者の認知を検証するために、以下の2条件を設定した。

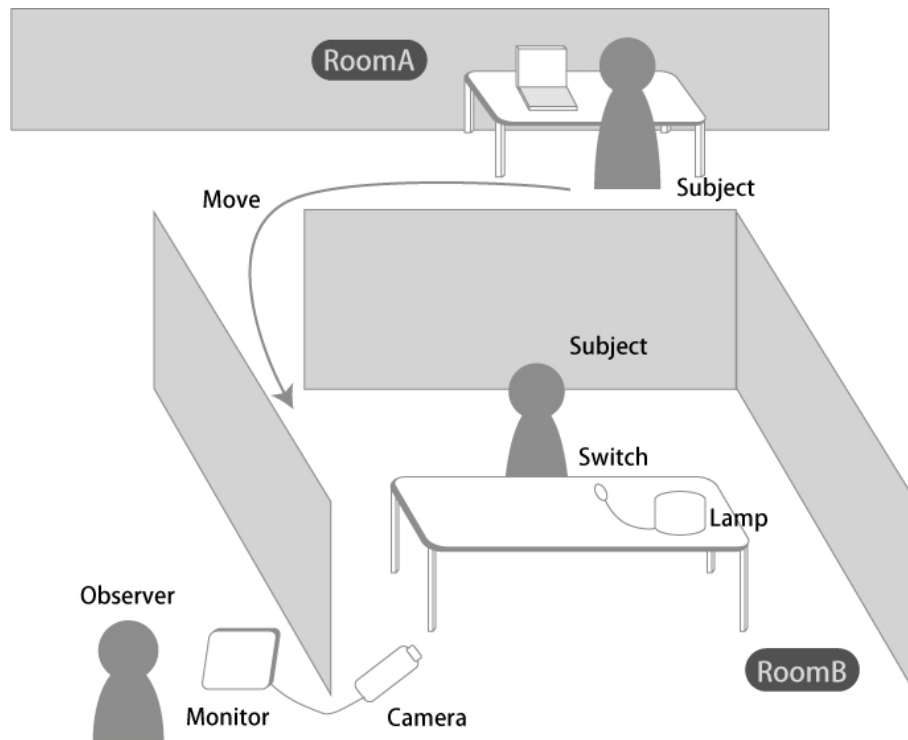


図 5.2: 実験環境

実験条件 部屋 B にてエージェントがウェアラブルコンピュータから姿を消してデスクランプが点灯する。(エージェントが移動する)

統制条件 部屋 B にてエージェントがウェアラブルコンピュータから姿を消さずにデスクランプが点灯する。(エージェントが移動しない)

なお、その後の「ランプを消してください」という実験参加者への指示は両条件とも同一である。

実験参加者

また、実験参加者の人数は、両条件ともに公立はこだて未来大学の学生 10 人に対して行った。

実験手続き

実験の手続きは以下の通りである。

1. 実験参加者に、控え室にてウェアラブルコンピュータを装着した服を着てもらい、「これから案内する実験室に置いてあるコンピュータの中に、声やペンで対話を取ることのできるキャラクターが居ます。本実験では、そのキャラクターと遊んでもらいたいと思います」と教示する。その後、実験室 A へ案内する。



図 5.3: タブレット PC からウェアラブル PC へのエージェントの移動を表した写真 (左から右)



図 5.4: ウェアラブル PC からデスクランプへのエージェントの移動を表した写真 (左から右)

2. 実験室 A にて、「最初はこの画面内にいるキャラクターと遊んで下さい。その後、別室へ移動してもらいます。そのタイミングはこのキャラクターが教えてくれます。」と実験参加者に伝える。
3. 実験室 A にて、エージェントと対話を行ってもらおう (図 5.1)。その際、実験者は実験参加者の目の届かない場所へ移動する。
4. エージェントが「今からお出かけするんだよね？私も行く」と発話し、実験参加者の胸のタブレット PC へ移動する (図 5.3)。エージェントが胸のタブレット PC から「レッツゴー」と発話する。実験者は「レッツゴー」というエージェントの発話を聞いたら部屋 A へ入り、実験参加者を部屋 B へ案内する。
5. 実験参加者を実験室 B へ案内し、「ここでしばらく待機してして下さい。暇つぶしに本を置いておきます。」と実験参加者に伝える。実験者は部屋 B を出て、隣室で部屋 B の様子をモニターする。なおこの際部屋 B の照明は、エージェントがランプへ移動する必然性を表すためにも、字を読むには辛い程度に薄暗く設定する。
6. 一定時間経過後、エージェントが「なんだか暗いね。明るくしてあげるね」と発話する。その後、条件 S1 では、胸のタブレット PC からエージェントが消え、テーブルランプが点灯する (図 5.4)。条件 S2 では、胸のタブレット PC から消えずにテーブルランプが点灯する。点灯後、エージェントが条件 S1 ではテーブルランプから、条件 S2 では胸のタブレット PC から「明るくなった？」と発話する。
7. 第三者が実験室 B へ入り、実験参加者に対して「テーブルランプのスイッチを切っ

て下さい」と伝える。

8. 実験参加者の反応を見て、実験を終了する。実験者は隣室から実験室Bへ入り、廊下の先にある控え室に案内する。
9. 控え室で、タブレットPCを装着したトレーナーを脱いでもらう。実験者が質問票を渡し、実験参加者に答えてもらう。なお、手続き7にて実験者ではなく第三者に指示を伝えてもらった理由は、実験参加者に対して指示の強制力を与えないためである。これにより、「テーブルランプのスイッチを切ってください」という指示は、実験参加者にとって絶対の命令ではなくなり、その次の行動にある程度実験参加者の自主性が表れるのではないかと考える。

評価方法

エージェントへの感情移入の度合いと、スイッチを消した際に抱いた印象に関して質問紙による主観評価を行った。以下の6評定項目によってエージェントへの感情移入の度合いを評価する。

- Q. 1.1 愛着を感じる事が出来ましたか？
- Q. 1.2 もっと長い間遊んでいたかったですか？
- Q. 1.3 対話をとりやすかったですか？
- Q. 1.4 自分の声がちゃんとキャラクターに伝わっていると感じましたか？
- Q. 1.5 自分の服のコンピュータに移ったとき、嬉しかったですか？
- Q. 1.6 部屋の移動の際、本当に一緒にお出かけした気分になりましたか？

以下の3評定項目によって、スイッチを消した際に抱いた印象を評価する..

- Q. 2.1 スwitchを切る際、あなたの中に躊躇はありましたか？
- Q. 2.2 スwitchを切った後、悲しかったですか？
- Q. 2.3 あなたは自分の手でキャラクターを消し去ってしまったと感じましたか？

今回すべての質問を、「全く当てはまらない」を1、「非常に当てはまる」を5とした、5段階で評価してもらった。また、Q. 1.1からQ. 1.6をQ1群、Q. 2.1からQ. 2.3をQ2群とする。

5.1.4 結果

本実験では、テーブルランプを消した際のエージェントに対する主観評価を測定するために実験終了後、質問紙による質問の回答を求めた。表 5.1 及び表 5.2 に、Q1 群 Q2 群

表 5.1: 質問紙の結果 (Q1)

| Condition | Q1.1 | Q1.2 | Q1.3 | Q1.4 | Q1.5 | Q1.6 |
|---------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| S1 | 3.6(0.92) | 2.7(1.01) | 2.5(0.92) | 2.9(1.36) | 3.1(1.04) | 3(1.18) |
| S2 | 2.5(1.20) | 1.9(0.83) | 2.1(0.70) | 2.2(0.75) | 2.4(1.11) | 2.1(0.94) |
| ANOVA results | F=4.76 p=.042(*) | F=3.39 p=.082(+) | F=1.07 p=.315(n.s.) | F=2.38 p=.140(n.s.) | F=1.89 p=.861(n.s.) | F=3.18 p=.091(+) |

n.s. : not significant + : $p < .10$ * : $p < .05$

表 5.2: 質問紙の結果 (Q2)

| Condition | Q2.1 | Q2.2 | Q2.3 |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| S1 | 1.9(1.45) | 2.4(1.28) | 3.2(1.54) |
| S2 | 1.2(1.60) | 1.6(0.80) | 1.4(0.86) |
| ANOVA results | F = 1.8 p = .196(n.s.) | F = 2.53 p = 0.129(n.s.) | F = 9.72 p = 0.006(**) |

n.s. : not significant ** : $p < .01$

それぞれの評定項目における各条件の平均，標準偏差，及び両条件の得点を要因とした 1 要因分散分析 (ANOVA) の結果を示す。

Q. 1.1 から Q. 1.6 までの各項目について分散分析を行った。その結果，Q. 1.1(愛着を感じることができたか?) について条件間で有意な差がみられ ($p < .05$)，Q. 1.2(もっと長い間遊んでいたかったか?) 及び Q. 1.6(部屋の移動の際，一緒に出かけた気になったか?) において有意な傾向がみられた ($p < .10$)。また，有意な差はみられなかったが，Q. 1.3，Q. 1.4，Q. 1.5 において S1 条件の平均値が S2 条件より高い値であることが確認された (Q1.3 : $0.92 > 0.70$, Q1.4 : $1.36 > 0.75$, Q1.5 : $1.04 > 1.11$)。Q. 2.1 から Q. 2.3 までの各項目について分散分析を行った。その結果，Q. 2.3(あなたは自分の手でキャラクターを消し去ってしまったと感じたか?) において有意な差が見られた ($p < .01$)。また，有意差はみられなかったが，Q. 2.1，Q. 2.2 の各条件間の平均値において差があることが確認された (Q2.1 : $1.45 > 1.60$, Q2.2 : $1.28 > 0.80$)。また，Q1 群における分析結果から，エージェントがランプへ移動しそのスイッチを Off にすることによってエージェントが消えてしまうか，消えてしまわないかの違いから，Q.1.1，Q.1.2，Q.1.6 の質問項目において差がみられるということがわかった。

5.1.5 考察

本実験の目的は，1. テーブルランプの持つ身体的特徴が人との対話にどのような影響を及ぼすか，2. テーブルランプと実験参加者の間の関係性は対話にどのような影響を及ぼすか，3. エージェントがディスプレイからテーブルランプへ移動したと認知することができるかの 3 点を検証することである。実験に即していうと，実験参加者のテーブルランプに対する振る舞い，スイッチを切るよう依頼された時の印象評価の条件間における差，エージェントの移動を認知することができたかどうか，以上 3 つの結果から目的を検証した。

まず実験後のインタビューから実験条件の実験参加者はエージェントがランプへ移動したと認識することができたと述べている。この結果から、本実験の目的3が明らかになった。実験参加者はエージェントがランプへ移動したことを認知することができたと考えられる。本実験で利用した実験用のITACOシステムでは、エージェントが移動する演出としてウェアラブルコンピュータ上に存在しているスクリーンエージェントが画面から徐々に消え、完全に姿が消えた時にタイミングよくランプが点灯するように実装した。また、これまでウェアラブルコンピュータから聞こえていた音がランプから出ることにより、エージェントのランプへの移動を表現した。

ITACO エージェントは姿形を変化させることにより人に対して適切なサポートを行うエージェントである。この際、変化させる必要のないものは変化させずしておく方が良いと考えた。なぜなら、見かけや身体性を変化させたエージェントを同一のものであると認識するための手がかりが必要であると考えられるからである。

本実験では、同一性を感じさせる要素として声を用いた。その理由として2点挙げられる。1つ目は、音声は相手の持つ属性を理解するための判断基準として最も重要な要素であるという点である。ここでいう属性とは、相手の性別、年齢、性格のみならず、社会的な立場などの情報も含まれている。Pinkerは、音声は自分以外のものとの関わり合いにおいて重要な役割を果たしていると述べている [40]。音声は、説得、感情、情報伝達、関係の構築など多種多様な目的で利用されている。また生後4日程度で、母国語と外国語を判別できるようになるといった研究報告もなされており [36]、音声は人の様々な判断や認知の重要な要素であると考えられている。

Nassらは、人工物の発する音声に人々に様々な影響を与える事を検証した [28]。例えば、人と人工物との間の音声対話において、声の高さ、大きさ、しゃべり方(アクセント)などで相手に抱く印象が変化する事を示した。また、声に対して印象が変化する現象を用いて、エージェントによる商品の売り込みに与える影響を検証した。この実験では、女性らしい音声と男性らしい音声の2つの音声を用いる条件を設定し、両条件ともに女性向けの商品の売り込みを行った。結果、女性向けの商品は女性らしい音声を用いた方がより魅力的に受け取られることを報告している。このように、対話における音声は対話の対象だけではなく様々な周辺の事項に対する印象に有意な影響を与える可能性がある。

2つ目の理由として、ユビキタス環境が現実にならざるにつれて音声対話の重要性が増していく点が挙げられる。音声によって人工物と対話することにより、WIMP(windows, icons, menus, pointers)から解放され、視覚、四肢が解放されるため、より自然な状態での対話が可能になる [53]。このような人工物との対話はコンピュータが環境内に溶け込んだ状態においては適した対話形態であり今後さらに研究を進めるべき問題であると考えられる。以上2点の理由より、本実験では音声を用いたエージェントであると認識させるための手がかりとした。

次に、テーブルランプの持つ身体的特徴が人との対話に与える影響に関して、Q2群における分析結果から、実験参加者にとってテーブルランプのスイッチを切るという行為はエージェントの存在を消し去ってしまうという事実と直結したと考えたことが示唆された。しかし、Q. 2.1, Q2.2 に関しては有意な差がみられなかった。これは、実験参加者の実験後の自由記述によるフィードバックを引用すると、Q. 2.1 の場合、「消して下さいと言われたから消した」、「切ると、胸のPCへ戻ってくると思った」など、躊躇を感じる間もな



図 5.5: 実験の様子 (左: エージェント移動前, 右: エージェント移動後)

くランプのスイッチを消してしまったという意見が多く得られた。これらの記述から、スイッチを切ると言う行為が瞬間的にはエージェントを消し去ってしまうという予測に直結しなかったことが原因であると考えられる。しかしその後、「戻らなかつたので、悲しかった」のように、スイッチを切った後に、その事実に気付いたという実験参加者が多く見受けられた。Q. 2.2 の場合、「どこか違う場所へ行ったと思ったので、悲しくはありませんでした」、「線を伝って隣の部屋へ行ったと思った」など、自分自身の手で消してしまったという感覚では無く、テーブルランプというエージェントの居場所を消してしまったと考えた実験参加者が多かった。そのため、スイッチを切ると言う行為が悲しみに繋がることは無かつたのではないかと考えられる。この結果から分かることは、エージェントがテーブルランプへ移動することにより、テーブルランプであつたとしても一定の対話が可能であるという点である。つまり、実験参加者はテーブルランプを対話の対象として認識する事ができたということが出来る。しかし、スイッチを切ると言う行為に躊躇や悲しみといった感情が検証されなかつたことから、テーブルランプを切ると言う行為からはテーブルランプに対する社会的態度を検証することができなかつた。

次に、Q1 群における分析結果から、条件間で、Q1 .1, Q1.2, Q1.6 のいくつかの質問項目において差がみられるということがわかつた。この結果を違う観点から考察すると、エージェントが消えてしまうことによつてエージェントに対する愛着が強まるということを示唆しているのではないかと考えられる。なぜならこの質問は実験後に回答してもらつたものであり、エージェントに対する印象も、エージェントがランプへ移動した場合と移動しなかつた場合の条件の影響を受けているからである。言い換えると、エージェントを自らの手で消してしまった実験参加者は、エージェントがウェアラブルコンピュータにそのままどまつている実験参加者よりも、強い愛着をエージェントに感じたということが出来る。このことは、本実験の目的とは直接関係しないが、興味深い結果であると考えられる。

ここまでの考察から、仮説に従つて議論を行う。

まず、仮説 2 の人と人工物との間になんらかの関係性が築かれた場合、築かれていない場合よりも人は人工物に対して社会的に振る舞う、という仮説に関して、今回の実験結果から、直接的には検証されなかつた。実験参加者はエージェントがランプに移動したこと

は理解できたものの、その後のスイッチを切るという行為に関して悲しみや躊躇といった感情は持たなかった。実験後のインタビューからも分かるとおり、社会的に振る舞おうという態度は見えるものの、それがスイッチを切るという行為からは検証されなかった。この結果から、本実験でエージェントがテーブルランプへ移動するという方法においては、元のスクリーンエージェントとの対話によって築かれた関係性が完全に連続する訳ではないことがわかった。

この理由として、「人工物の持つ身体的特徴から、対話の仕方は変化する」という仮説1が考えられる。本実験では、本来は対話の対象にすることが難しいテーブルランプにエージェントが移動することにより、エージェントの持っていた機能をテーブルランプに移動させる事に一部成功した。また、テーブルランプとして元々もつ身体的特徴である点灯させるという方法によって、対話を行うことに関しては成功したと考えてよい。しかし、やはりテーブルランプの持つ身体的特徴は、手足と顔というスクリーンエージェントの持っていた属性を完全に移動させることには向いておらず、スイッチを消す行為に対して条件間で有意な差を検証することができなかつたのではないかと考える。しかし、実験条件の実験参加者の方が統制条件の実験参加者よりもより強い愛着を持ったという結果から、テーブルランプのスイッチを消すという行為とエージェントの実体に対する印象になんらかの因果関係を認めることができる。このことは、エージェントが人工物間を移動したとしてもエージェントと人との間に築かれた関係性が何らかの形で連続していることを示しているのではないかと考える。

5.1.6 本実験のまとめ

本章では、ITACO システムを用いて、テーブルランプに対して人はどのような対話を試みるかを検証する実験を行った。また、実験参加者がエージェントがテーブルランプへ移動したと認知することができるかを検証した。これにより、背景で述べた仮説1及び2を検証することができるかと考える。具体的な実験方法として、実験参加者とエージェントが対話を行った後、エージェントがタブレットコンピュータからテーブルランプへ移動し、その後、テーブルランプのスイッチを消してもらうよう依頼した際の実験参加者の振る舞い及びその行動に対して感じた印象を観察する事により仮説を検証した。その結果、実験参加者はエージェントがテーブルランプに移動した事を認知できたことが分かった、またスイッチを消すよう依頼された実験参加者は全員躊躇などの感情を覚えることなく、スイッチを切った。また、その際に感じた印象に関しても悲しみのような感情を抱くことはなかった。この結果及び実験後のインタビューなどから、エージェントがテーブルランプに移動した事は理解することでき、社会的に振る舞おうとする態度は見えるものの、スイッチを切るという行為からは検証できなかつたことが分かった。つまり、テーブルランプ自体が持つ身体的特徴により、エージェントのもつ属性を完全にテーブルランプへ移動することはできなかつたと考えられる。しかし、結果からエージェントとテーブルランプとの間の因果関係を認める事ができているため、一定の成果を上げる事ができたのではないかと考える。

以上から、本章のポイントを箇条書きにてまとめる。

- 人はエージェントがテーブルランプに移動したことを認知することができる

- 人工物の持つ身体的特徴は、人との対話に一定の影響を与えることが検証された
- エージェントの持っている属性を完全にテーブルランプへ移動させることはできない。この理由としてはテーブルランプが持つ身体的特徴とエージェントの持っている身体的特徴の不適合が原因である可能性がある

5.2 人のテーブルランプへの移動

本実験の目的は、エージェントがテーブルランプへ移動する実験での結果を受けて、テーブルランプがさらに高度な対話能力を備えた場合に、人がテーブルランプに対してどのような振る舞いをするかを検証することである。先述したが、人工物が持つ身体的特徴を越えるような対話能力を人工物が持ち合わせてしまった場合、人はその人工物と自然な対話することが難しくなる。例えば、マグカップが人生相談ができる対話機能を備えていたとしても、人はマグカップに自分の人生に関して深く語りかけることは難しい。

エージェントのテーブルランプへの移動実験にて、ITACOシステムを用いることによりマグカップやテーブルランプの様な人工物に一定の能力が付与されたように感じさせることができることが示された。しかし、実験結果から完全にエージェントとの関係性を連続させることはできない可能性があることも同時に明らかになった。その理由として、テーブルランプの持つ身体的特徴が影響している可能性がある事を述べた。では、もしエージェントが人間と同等の対話能力を備えており、そのエージェントの能力を完全に人に示した上でテーブルランプへ移動した場合、人はどのような対話を行うのであろう。言い換えると、本実験は人工物に対してオーバースペックな機能を与えた場合に、人はどのような対話を試みるのかを検証する事を目的とする。これにより、仮説1である人工物の持つ身体的特徴が対話に与える影響に関してより深い考察を行う事ができると考える。本実験では、実際の人とビデオチャットをしている状況で、画面の中にいる人間が画面から消え手元のランプが点灯するという方法により人工物の持つ身体的特徴が対話に与える影響を検証した。

5.2.1 実験システム

本実験で用いられたシステムは、ITACO エージェントのコンセプトを基に実装された遠隔会議システムである。本システムは基本的に Macromedia 社 (現 Adobe) の開発した Flash によって実装されている。対話者が用いるクライアントは、web カメラにより取得した画像とマイクロフォンからの音声入力を別のクライアントに送信する機能を持っている。サーバは、Macromedia 社が提供していた Flash Communication Server を用いた。Flash Communication Server は接続してきたクライアントの情報を保持し、別のクライアントへ送る情報をルーティングする機能を持っている。基本的な機能は IRC サーバと同一であるが、Flash Communication Server は音声と映像も同時にブロードキャストすることができるため、今回採用することにした。また、対話者が画面からランプへ移動する事を表現するために、ランプのスイッチを制御と音声通信ができるクライアントを実装しこれも同時に Flash Communication Server へ接続された。スイッチの制御は Phidget を用い

た。Phidget の制御は Flash で実装されたクライアントから行った。また、テーブルランプから操作者の声を出すために、貼り付け型の小型スピーカを用いた。

5.2.2 評価実験

本実験は、以下の 2 点を明らかにすることである。

1. ビデオチャットの相手がランプへ移動したと認知することができるか
2. テーブルランプへ移動することにより、2 者の対話はどのような影響を受けるか

次節より実験の詳細に関して述べる。

5.2.3 実験方法

本実験は、ビデオチャットの相手がテーブルランプへ移動したと認知することができるか、またテーブルランプへ移動することにより、2 者の対話はどのような影響を受けるかを検証することを目的とする。このために、まず通常のテレビ会議と同様の対話を実験参加者と実験者に行ってもらい、その後、対話していた実験者に対する印象評価を行った。次に、実験者の姿がテーブルランプへ変化しその後また対話を続けてもらい、そのランプを切ってもらった。最後に再度印象評価をおこなうことにより、実験前と実験後の印象の変化を検証した。

実験環境

本実験は、公立はこだて未来大学の研究室にて実施した。実験室にはビデオチャットのためのディスプレイとスピーカ、及び実験協力者が移動するためのテーブルランプが用意されている。実験参加者との対話を担当する実験協力者は、実験参加者とは離れた場所で 6 種類の質問および実験に付随する操作を行った (図 5.6)。

実験の条件

実験参加者に対して以下の 2 条件を設けた。

実験条件 実験協力者がディスプレイ上から消え、近くのテーブルランプが光る。その後は、ランプから実験協力者の声が出る

統制条件 実験協力者がディスプレイ上から消えず、近くのテーブルランプが光る。その後も、スピーカから実験協力者の声が出る

なお、テーブルランプを消して下さいという指示は両条件とも同一である。

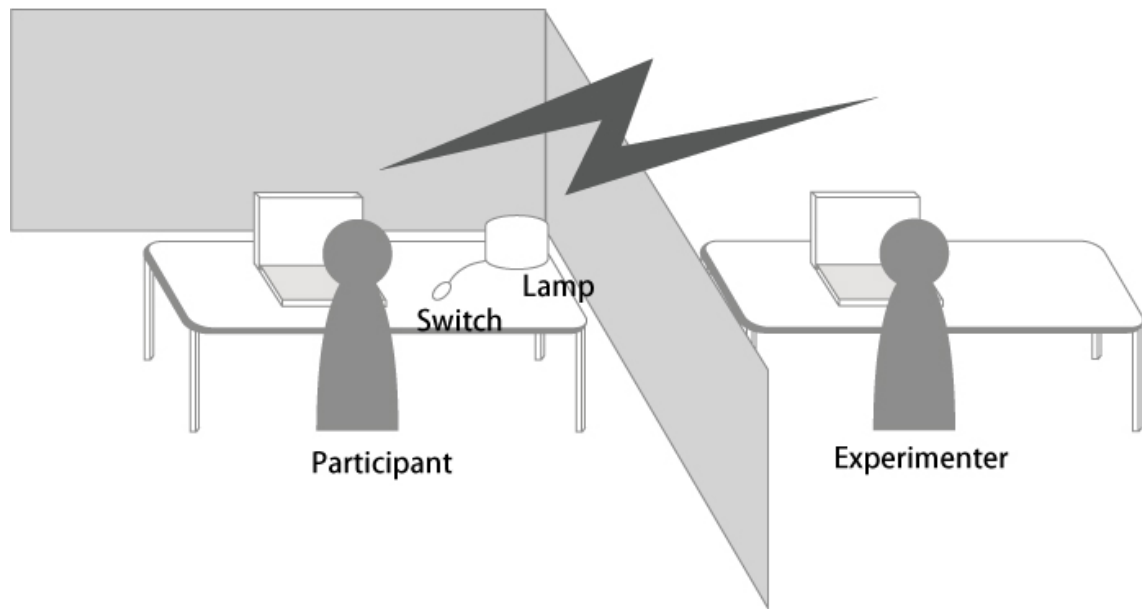


図 5.6: 実験環境

実験手続き

実験の手続きは以下の通りである。

1. 実験参加者に、「これから、ビデオチャットを用いた実験を行います。相手が6種類の質問をしますのでそれに答えて下さい。」と教示する。その後実験参加者を実験室へ案内する。実験者は実験室から退室する
2. 対話を担当する実験協力者は簡単な自己紹介をしたあと、実験参加者に対して3つの質問を行う
3. その後、「これで質問の半分が終了しました。机の上にある1というアンケートに答えて下さい」と教示する。アンケートへの回答後、画面から実験協力者の顔が消えテーブルランプが点灯する(図 5.7)
4. その後、条件 S1 ではテーブルランプから、条件 S2 ではそのままヘッドホンから実験協力者の声が聞こえる状況で、さらに3つの質問を行う
5. 6つ目の質問の途中で、第3者が実験室へ入り、実験参加者に対して「テーブルランプのスイッチを切ってください」と伝える
6. 約30秒後に実験者が実験室へ入り、実験は終了する。その後、質問紙2に回答してもらう

実験参加者

実験参加者の人数は、両条件共に公立はこだて未来大学の学生10人に対して実施した。



図 5.7: 対話者がテーブルランプに移動する様子

評価方法

まず、テーブルランプがさらに高度な対話能力を備えた場合に、人がテーブルランプに対してどのような振る舞いをするかを検証するため、実験参加者と対話を行っている実験者がテーブルランプに移動した後、「テーブルランプのスイッチを消して下さい」と依頼し、その時の振る舞いを観察する。また、テーブルランプに移動したことにより2者の対話に与える影響に関して以下の質問によって検証した。今回、以下の質問項目と同一の質問内容をビデオチャット終了後とテーブルランプが点灯し実験が終了した後の2回回答してもらった。この2つの質問紙の得点の差を見ることによりディスプレイを介した場合とテーブルランプを介した場合の対話に対して感じた印象の差を検証することができると考える。

Q. 1.1 相手の目線を感じた

Q. 1.2 相手の質問の意図を理解できた

Q. 1.3 相手に興味を持った

Q. 1.4 相手に自分の話の意図を理解してもらえた

Q. 1.5 相手との対話に違和感を感じた

Q. 1.6 相手との対話を円滑に行えた

Q. 1.7 相手ともっと話したい

また、以下の質問によりスイッチを切る際に感じた躊躇の度合いに関して検証した。

Q. 2 スイッチを切る際、あなたの中に躊躇はありましたか？

今回すべての質問を、「全く当てはまらない」を1、「非常に当てはまる」を5とした、5段階で評価してもらった。また、Q. 1.1 から Q. 1.7 を Q1 群とする。Q2 は質問紙2でのみ回答してもらった。

5.2.4 結果, 考察

Q.1 群の結果に関して、条件間でt検定を行ったところ、実験条件、統制条件ともに全ての質問において条件間に優位差は検証されなかった。Q.2 の結果に関して、条件間でt検定を行ったところ、有意差は検証されなかった。実験参加者のスイッチを切ってくださいという指示に対する振る舞いに関して、全ての実験参加者がスイッチを切った。また、ビデオでスイッチを切る様子を観察したところ、特に際立って躊躇をしている様な素振りを見せる実験参加者は観察されなかった。

これらの結果に従って考察を行う。まず Q1 の結果から、人がディスプレイにいてもランプにいても音声チャットというタスクに関して影響を与えることはないということが分かった。また Q.2 の結果から実験者と実験参加者との間に、数分間の会話によって築かれた関係性は連続しなかったとすることができる。なぜスイッチを切りましたという質問に

表 5.3: 実験条件における実験参加者間の話者に対する印象の差

| Condition | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Exp First | 2.7(1.25) | 4.5(0.85) | 2.80(1.23) | 3.3(1.49) |
| Exp Second | 2.8(1.22) | 4.5(0.71) | 3.3(0.95) | 3.7(1.42) |
| ANOVA result | F = 0.03 p = .086(n.s.) | F = 0.00 p = 1.000(n.s.) | F = 1.04 p = .032(n.s.) | F = 0.38 p = .055(n.s.) |
| Condition | Q5 | Q6 | Q7 | |
| Exp First | 4.0(1.05) | 3.8(1.23) | 3.8(0.92) | |
| Exp Second | 4.2(0.79) | 3.5(1.18) | 3.7(0.68) | |
| ANOVA result | F = 0.23 p = .310(n.s.) | F = 0.31 p = .584(n.s.) | F = 0.07 p = .785(n.s.) | |

n.s. : not significant

表 5.4: 統制条件における実験参加者間の話者に対する印象の差

| Condition | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Control First | 2.7(0.95) | 4.4(0.97) | 3.7(0.68) | 3.8(0.92) |
| Control Second | 3.4(1.35) | 4.2(0.92) | 3.5(0.85) | 3.5(0.97) |
| ANOVA result | F = 1.80 p = .196(n.s.) | F = 0.23 p = .641(n.s.) | F = 0.34 p = .567(n.s.) | F = 0.50 p = .487(n.s.) |
| Condition | Q5 | Q6 | Q7 | |
| Control First | 2.9(1.37) | 3.8(0.79) | 3.6(0.52) | |
| Control Second | 3.6(0.84) | 3.3(0.82) | 3.3(0.48) | |
| ANOVA result | F = 1.89 p = .186(n.s.) | F = 1.92 p = .182(n.s.) | F = 1.80 p = .196(n.s.) | |

n.s. : not significant

表 5.5: Q2 の条件間の差

| Condition | Degree of Hesitation |
|--------------|----------------------------|
| Exp. | 1.7(0.82) |
| Control | 2.3(1.70) |
| ANOVA result | F = 1.01 p = .329(n.s.) |

n.s. : not significant

対する実験後のインタビューで「なぜ躊躇が生まれるのかが理解できない」「切ることが会話の終了だと思った」「切れと言われたから切った、何も感じなかった」など、対話者とテーブルランプの間のつながり自体を理解できていなかったことが分かった。つまり、今回の実験では人間自体が人工物に移動したと認知させる事ができなかったということが出来る。そのため、スイッチを切るという行為に躊躇が見られず、また切るという事の意義さえもつかむことができなかつたと考えられる。

本実験で実験参加者が経験した対話は、前述したテーブルランプとの対話実験とほぼ同一のものである。最初は画面の中に存在する対象と対話を行い、暗いという理由でテーブルランプへ移動する。さらに実験者がランプへ移動した事を演出する方法は同一の声をを用い、画面から消えた後タイミング良くテーブルランプが点灯するという移動を演出する方法も同一である。違いは、最初に対話を行う対象がエージェントか人間かの違いである。この違いから、実験参加者は移動したという事実を理解することができず、画面から姿が消えてテーブルランプが点灯した後も、単なる顔が見えない状態での電話の様な対話を実験者で行っていた状態になった。このような結果になった理由として、人工物の持つ身体的特徴の限界が挙げられる。ITACOシステムにより人工物が普通では持ち得ない能力を持っている様にある程度思わせることができることは分かっている。また、エージェントが見かけを変化させたとしても同一のエージェントであると人は認知することができるを持っている。しかし、その際に人工物にあまりにも高度な知能を持たせようとした場合、人はその機能と身体的特徴の間の違いの大きさに混乱し、円滑な対話ができなくなってしまふのでは無いかと考える。つまりテーブルランプはバーチャルエージェント程度の知能であれば工夫によって持ち合わせる事ができるが、人と同等の知能を持ち合わせることは困難であるということである。

私は、本実験の前に予備実験としてテーブルランプではなく空き缶に人を移動させるという実験を行った。この実験では空き缶を置くコースターに小型スピーカと振動するモータを内蔵し、実験者が笑うと空き缶が振動するシステムを試作し、これを使って実験参加者と対話を行ってもらった。その結果、実験参加者からのフィードバックで「わけが分からない」「なぜ缶が振動していたのか分からなかった」など、全く缶の動きと実験者との間の対話のつながりを全く理解することができない事が分かった。この理由として、空き缶が本来持つ事のない、振動するという身体的特徴を強引に追加してしまったからではないかと考えた。そこで振動する機能をキャンセルして、声のみが空き缶から聞こえる様にすると、改良前よりはポジティブな反応が返ってきた。しかしいずれにせよ話しづら過ぎるという意見が多かったため、本実験ではテーブルランプを用いることにした。この実験は実験参加者の数が少ないため科学的な証拠にはならないが、人工物が自身が本来持つ身体的特徴からあまりにもかけ離れた機能を持つと、人は円滑に対話することが難しいという結果の傍証になるのではないかと考える。

5.2.5 人のテーブルランプへの移動実験のまとめ

本実験の目的は、前節での実験結果を受けて、テーブルランプがさらに高度な対話能力を備えた場合に、人はテーブルランプに対してどのような振る舞いをするかを、前節での実験の方法を踏襲することにより検証する。具体的には、実験参加者とテレビ会議をして

いる実験者が画面からテーブルランプへ移動し、その後はテーブルランプを介して実験参加者と対話を行うことにより、テーブルランプに人と同等の知能を持たせた場合に、人と人工物がどのような対話を行うかを検証した。その結果、人と同等の能力をテーブルランプが持ち合わせた場合、人はその機能と身体的特徴の間の違いの大きさに混乱を覚え、円滑な対話を行う事ができなくなった。また実験者がテーブルランプへ移動したという事実も理解することができなかった事から、テーブルランプにあまりにも高度な知能を持たせることは非常に困難であることが明らかになった。第4章における実験と合わせて考察すると、テーブルランプはITACOシステムを適用するなどの工夫により、バーチャルエージェント程度の知能であれば持ち合わせることができるとは、人と同等の知能を持つことは困難であると考えられる。

これらの結果から、テーブルランプのような部屋に備え付けられている様な一般的な人工物は、人同士の対話を実現するためのメディアとしては適さないことが分かった。しかし、この結果はテーブルランプが人との対話メディアとして、アンドロイドよりも劣っているということではない。例えばカーナビゲーションシステムなどの人工物に実装されるべき対話機能は人と同等の知能では無く、バーチャルエージェント程度の機能で十分である。また、アンドロイドのように人に近い存在感を持つ対話メディアは、運転というタスクに対する集中力を阻害する可能性も考えられる。以上の点から、テーブルランプなどの一般的な人工物は、ある人が行っている行為を阻害しないよう、自然なサポートが必要とされる場面などで効果を発揮することができる対話メディアになる可能性があると考えられる。

本研究のポイントを箇条書きにてまとめる。

- テーブルランプが人と同程度の知能を持ち合わせることが、ITACOシステムなどの工夫をしても、困難である
- 人工物の持つ身体的特徴と機能がかけ離れたしまった場合、人はエージェントと人工物との間の因果関係を認知することが難しくなる
- 技術により人工物に様々な機能を付与することはできるが、元々人工物が持つ身体的特徴を大きく越えた機能を実装してしまうと、対話に混乱を招く可能性がある

第6章 ロボットとの対話実験

本実験の目的は、人はヒューマノイドロボットの見かけを持った人工物とどのような対話を行うかを検証することである。テーブルランプにエージェントが移動する実験では、エージェントがテーブルランプに移動したことを認識させることができた。テーブルランプに人が移動する実験では、移動したという事を認知させる事ができなかった。このような結果が示された理由として、人工物の持つ身体性と機能の不適合は、人との対話にネガティブな影響を及ぼすのではないかと考えた。我々人間が日常的に利用することができる人工物はテーブルランプの様なあまり豊かな身体的特徴を持っていないものばかりではない。近年では、ロボット技術の発展によりさらに人に近い見かけを持った人工物が登場しつつある。そこで本実験では、人と似通った身体的特徴をもったヒューマノイドロボットに対して人はどのように振る舞うかを検証する実験に関して述べる。また、テーブルランプとの対話実験同様、エージェントがロボットに移動した際、エージェントが移動した事を人が認知することができるかどうかについても検証した。

具体的には、バーチャルエージェントとの対話実験と同様に、事前にスクリーンエージェントと対話をしてもらい実験参加者とエージェントとの間になんらかの関係性を築く。その後エージェントがロボットへ移動した場合、人はエージェントやロボットをどのように認知するか、またどのように振る舞おうとするのかを検証した。これにより、ロボットの持つ身体的特徴が人との対話にどのような影響を及ぼすかに関して検証することができる。と考える。

バーチャルエージェントとの対話実験では、移動した先のランプを消してもらうことによりエージェントと実験参加者との間の関係がエージェントが移動した後も連続しているかどうかを検証した。本実験では、ロボットのスイッチを消してもらうのではなくある情報を暗示する内容の発話をロボットが行うことにより、実験参加者がロボットの発話に隠された意図を理解し、行動に移ることができるかどうかを観察した。このような方法を選んだ理由として次の2点が挙げられる。1つめは、ロボットのスイッチを切るという行為の必然性の無さで、2つ目は、同一の方法を Ono らの実験で用いていたからである。手元のスイッチでランプを切るという行為は、我々の日常生活にありふれた行為であり、不自然さは感じない。しかし、ロボットのスイッチを切るという行為は、非常に不自然である。なぜならそもそもロボットと日常的に生活している人は現在では存在しないし、またロボットのスイッチがどこにあるか誰も気づくことができないからである。Ono らが用いている方法とは、ディスプレイ上に存在したエージェントがロボットに搭載されたディスプレイに移動し、ロボットが「ゴミ箱をどけてください」と実験参加者に依頼するという方法である。この実験と本実験との違いは、本実験はエージェントがロボットに搭載されているディスプレイに移動するのではなく、完全にロボットの内側に入り込んでしまうという点と、「ゴミ箱をどけてください」といった直接的な依頼ではなく、「これじゃあ通るこ

とができないなあ」といった、直接的な表現で実験参加者に依頼を行わない点である。このような方法を選んだ理由は、発話に隠された意図を読むためには、相手の意図を読むという実験参加者側からロボットへ対する歩み寄りが必要であるからである。そのため、ロボットが持つ身体的特徴により人が寄り社会的に振る舞う可能性があるのではないかと考え、あえて直接的な表現をしない方が関係性の影響を測定することができるのではないかと考える。

次節からは、発話に隠された意図を読む事ができる人の認知機構に関して述べる。この理論により、関係性が意図の理解に与えた影響に関してより深く議論することができると思われる。

6.1 言語行為における意図の伝達

本章では、言語行為によって自分の意図を相手に伝える際、どのような要因により伝達が行われるのかを関連性理論という切り口から論じる。これにより、人と人工物との対話に与える関係性の影響に関して議論することができるのではないかと考える。

6.1.1 関連性理論

関連性理論とは、語用論を基にした人間の行為全般における対話の枠組みを論じた理論である。関連性理論を述べる前に語用論に関して述べる。語用論とは、言葉の意味を解釈する文法のレベルではなく、その言葉が実際に使用されている対話の場面に埋め込まれたものと捉える言語論の一つである。例えば、ある人が「今何時かわかりますか?」と発話したとする。この質問の文法的な意味に沿って返答すると、「知っています」や「知りません」という Yes か No の答えになるだろう。しかし、この時「今何時かわかりますか?」という発話に込められている発話者の意図は「時間を教えてください」ということである。言い換えれば、この発話には受け手に対して時間を教えるという力を持っていることになる。このように、言葉はその文法的意味だけではなく、例に則していえば時間を教えてくれるよう依頼する、という行為であるとみなすことができる。このように発話を行為を含めたものとみなし、考察することは語用論もしくは言語行為論と呼ばれている。

Wilson らは語用論を基とした関連性理論において、人間の言語行為における対話の枠組みに関して論じている [57] [18]。その中で Wilson らは、対話の枠組みを理解するための重要なキーワードとして顕在性 (manifestness) という言葉を用いた。顕在性とは、環境から受け取る刺激から、自分の中のある推論が呼びだされる指標のことを指す。例えば部屋でくつろいでいる場面において、チクタクという時計の音に対しては気を払わないが、ドアベルの音には顕著に反応するだろう。この時、時計の音は人間に対して何の推論も喚起させず顕在性も喚起されない。一方ドアベルの音は、「訪問者がいる」という推論を喚起させその推論の顕在性を高めることになるだろう。しかし同じドアベルの音でも「訪問者が女性である」という推論はあまり喚起されず、この推論は顕在性が低いということがいえる。この例のように、ある刺激によって生起するある特定の推論の指標のことを顕在性と呼び、「ドアの外には訪問者がいる」や「訪問者が女性である」といった、推論のできる可能性のことを Sperber らは環境認知と呼んだ。

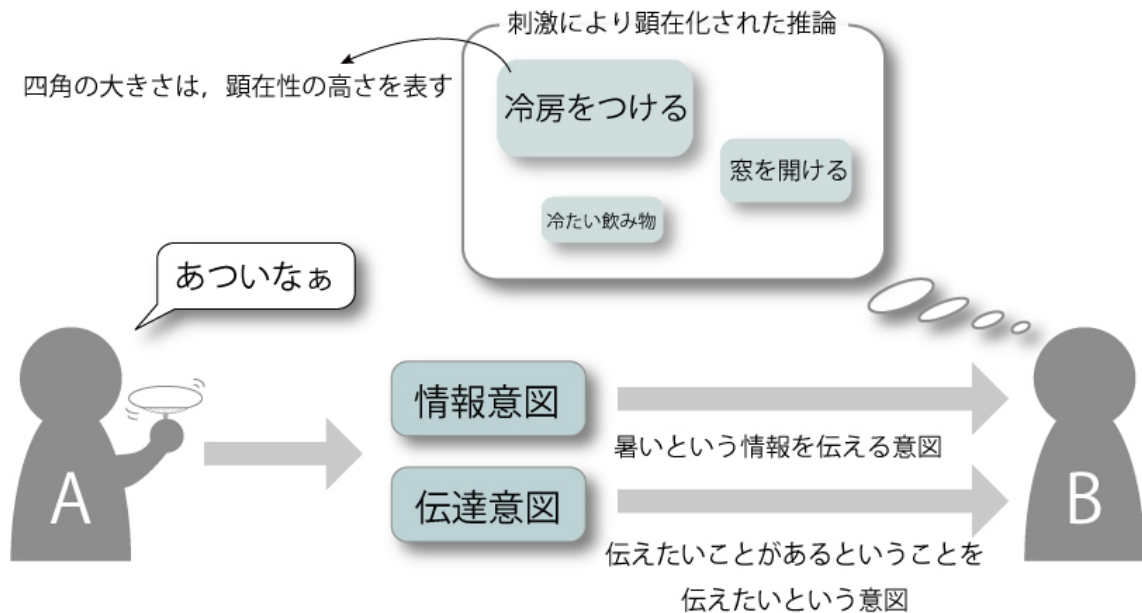


図 6.1: 情報意図と顕在性

推論を喚起させ顕在化させる刺激は、ドアベルの音のようなものだけではなく、当然人間同士の対話においても考えられる。では、実際の間同士の対話の場面においては、相手の発話や振る舞いがどのように推論を喚起させ、顕在化させるのだろうか。人が相手と関わろうとする場合には、なんらかのものごとを伝えようと意図した時である。そのとき人は発話や目線、ジェスチャーなど様々な刺激を相手に投げかけることにより自分のメッセージを相手に伝えようとする。Sperberらは、人が何かを伝えようと意図する場合、行動や発話によって特定の反応を引きだそうとする意図と、自分に伝えたい何かがあるということを伝える意図の2つが必要であると述べている。このうち前者を「情報意図」と、後者を「伝達意図」と呼んだ。

図 6.1 に次から述べる説明に関する図を示す。例えば、A という人が気温の高い部屋の温度を低くするために、B という人間と目線をあわせながら「暑いなあ」と発話し、うちわで自分をおいでしている場面を設定する。この時のAの「暑いなあ」という発話は、「今私は暑いと感じている」というメッセージを伝えるための、情報意図による行為であり、Bと目線をあわせるという行為は、「私はあなたに伝えたいことがある」というメッセージを伝えるための、伝達意図による行為である。この例の場合は、Aの意図がBに伝わり、冷房を付けたり窓を開けるといった行為に現れ、Aの目的を達成することができる可能性が高い。しかし、もしAがBの方を見ずに発話した場合、つまり情報意図だけが伝わり伝達意図が伝わらなかった場合は、BにとってAの発話が文法的に理解はできても行動に移ることができず、結果としてAの目的が達成できなくなる。この例をさらに詳しく述べると、Aの伝達意図が伝わった場合、Aによる発話からBによって「窓をあける」や「冷房をつける」といったいくつかの推論が顕在化され、結果として行為に移ることができる可能性が高い。一方Aの伝達意志が伝わらなかった場合、Aの発話は理解することができたとしても様々な推論が顕在化されず、行動に移ることができない可能性が高くなる。つま

り、情報意図と伝達意図双方が受け手側に認知されることによりある推論の顕在性が高まり、結果として円滑な対話が実現されるということである。

このように受け手側が伝達意図を認知することは自分自身の推論を促すことに繋がり、送り手中心の対話を、送り手と受け手の共同作業へと変化させると考えられる。言い換えると、伝達意図を認知することは、お互いの認知環境を共有させることに繋がり、2者の間で推論が相互に顕在化されるということである。これは、我々の目指す双方向的な対話の実現において重要な知見であり、本研究において考慮する必要があるのではないかと考える。

6.1.2 人工物との対話と関連性理論

関連性理論は人同士の対話を議論したものであるが、これは人と人工物との対話においても適用することができるのだろうか。前述した通り、円滑な対話には送り手側の伝達意図を受け手側が認知し喚起された推論の顕在性を高める必要がある。そのため、人と人工物との間における対話に対して関係性理論を適用するためには、まず人工物の伝達意図を人間に認知させることが必要である。

寺田らは移動可能な椅子の振る舞いによって、人が人工物に対して意図性を感じるかどうかを検証している。Dennettは、人が対象の振る舞いを理解する際に「意図スタンス」「設計スタンス」「物理スタンス」の3つのスタンスを使い分けると提案している [10]。それぞれのスタンスについてドアベルを例に挙げて説明する。ドアベルの音が鳴った場合、その解釈の仕方には3つある。1つ目は、ドアベルが鳴るということは外に訪問者がおり、自分になんらかの用事があるという解釈である。2つめは、ドアベルが鳴るのは、その設計者が人に対してなんらかの注意を引き付けるために音を出すよう設計されているという解釈である。3つ目は、ドアベルがなるのは、金属製の素材が違いにぶつかり合うことによってこのような音が出るという解釈である。1つめの解釈は、ドアベルの音に対して何らかの意図を付与して理解していることから「意図スタンス」と、2つめの解釈は、ドアベルの音を設計された構造から理解しているため「設計スタンス」と、3つ目の解釈は、ドアベルの音を物理的法則によって理解していることから「物理スタンス」とそれぞれ呼ばれている。寺田らは、実験参加者の意図スタンスが椅子の振る舞いの解釈に寄与していると考え、それに関する実験をおこなった [55]。実験は、椅子が動くことにより実験参加者がどのようなスタンスを採用し、着座行動に移るかを検証した。その結果、意図スタンスを採用した実験参加者の多くは椅子が誘導する正しい位置において着座したのに対し、設計スタンス、物理スタンスを採用した実験参加者の多くは目的地以外の場所において着座した。また、物理スタンスを採用した実験参加者は一人も着座行動に移ることができなかった。この結果は、人間が人工物に対して意図スタンスを採用することにより、正しい意図を推定することができるということを示している。意図スタンスを採用するということは、関連性理論でいう伝達意図が伝わるということである。また、寺田らが用いた椅子にはそもそも「座る」というアフォーダンスが含まれている。そのため意図スタンスを採用したことにより「座る」という情報意図が伝わり、意図が正しく伝達されたのではないかと考える。

これらの研究報告から、人工物との円滑な対話の実現には、まず人間が人工物に対して

意図スタンスを採用する必要がある、その次に様々な振る舞いを行う必要があると考える。ITACO エージェントでは、エージェントが環境内の様々な人工物に移動するため、それらの人工物を対話の対象として認知させる、すなわち意図スタンスを採用させることは重要な点である。バーチャルエージェントとの対話実験では、デスクランプを対話の対象であると認知させることができることが明らかになった。では、ロボット、すなわちロボットではどのように認知するのだろうか。この疑問に対して本研究では、エージェントがロボットへ移動し、ロボットからの発話に隠された意図を実験参加者が理解し、行動に移ることができるかどうかを検証した。

6.2 評価実験

本実験は、以下の2点を明らかにすることを目的とする。

1. ヒューマノイドロボットの持つ身体的特徴は、人との対話にどのような影響を及ぼすか？
2. ヒューマノイドロボットと実験参加者の間の関係性は対話にどのような影響を及ぼすか？
3. エージェントがディスプレイからロボットへ移動したと認知することができるか？

Ono らの研究では、ロボットの発話は「ごみ箱をどけてください」というものであった。これは、ごみ箱をどけてほしいという欲求をそのまま発話したものである。つまり、エージェントマイグレーションによって実験参加者に伝達意図を伝えたあと、発話をする事により情報意図を伝達したといえる。この実験で明らかになっていない点として、以下の2つがあげられる。1つめは、エージェントの見た目が変化したとしても実験参加者に意図スタンスを採用させ伝達意図が伝わるのか、2つめは、情報意図の伝達が直接的な表現ではなく間接的な表現であった場合、実験参加者が情報意図を認知し発話に隠された意図を理解することができるかどうかを検証した。これにより、ロボットの持つ身体的特徴が人との対話に与える影響に関して検証することができると思われる。

6.2.1 実験のシステム

6.2.2 RobovieR2

本実験において用いるヒューマノイドロボットは ATR と株式会社 VStone の開発した RobovieR2 である (図 6.2)。RobovieR2 は首 3 軸、片腕 4 軸、車輪 2 軸、堅め 2 軸の合計 19 の自由度を持つロボットである。また RobovieR2 には接触センサ、赤外線距離センサ、全方位カメラ、パンチルトカメラ、マイク、スピーカが内部に搭載されている。さらにコンピュータが内蔵されているので、TCP/IP 通信などの機能を使うこともできる。RobovieR2 は以上の機能により、ジェスチャを交えた対話を行う事ができる。また無線 LAN 機能を持っているため、ITACO システムとの統合が容易である。



図 6.2: RobovieR2

本実験で用いられた ITACO システムは、タブレットコンピュータ、ヒューマノイドロボットによって構成されている。タブレットコンピュータ上にいるエージェントとは、スタイラスペンを使い、画面上にいるスクリーンエージェントと簡単な対話を行うことができる。また今回もスクリーンエージェントとの対話実験と同様に実験参加者間での統制をとるという意味でも、一定のストーリーに沿った形で対話が進むようにエージェントのルールを制限した。また、本実験で用いたエージェントの見かけのデザインはテーブルランプとの対話実験の際のエージェントと同一である。エージェント及びロボットが発話する際の音声に関しては、テーブルランプとの対話実験同様、同一性を感じさせる手がかりとして同一の音声を用いた。

6.2.3 実験方法

本実験は、対話を行ったエージェントがロボットへ移動した際、エージェントがロボットへ移動したと認識することができたかどうか、また人とエージェントとの間に関係性を築くことにより、実験参加者がロボットの発話の意図を認知し行動に移ることができたかどうかを検証した。具体的には、ロボットへ移動したエージェントが「なんだか暑いなあ」という発話とともに、顔を仰ぐようなジェスチャーをした際、実験参加者が発話を理解し、傍らのヒータのスイッチを消すことができるかどうかを観察した。エージェントとの対話は、アイコンをクリックすると画面上にいるエージェントが様々なリアクションを返すという比較的単純なものである。これは、Ono らの実験で用いられたエージェントとの対話

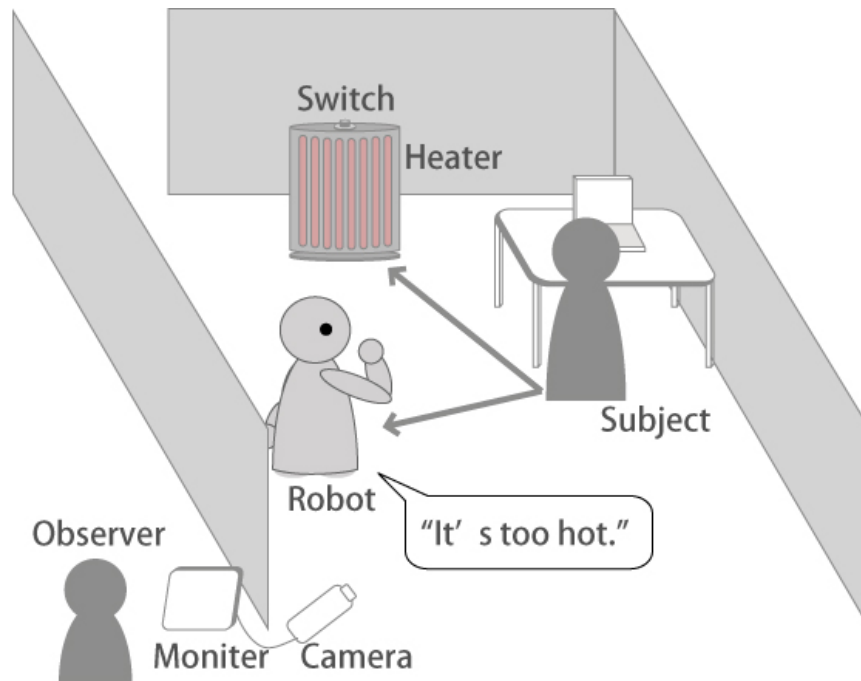


図 6.3: 実験環境

と同じ手法である。

実験環境

本実験は、公立ほこだて未来大学の実験室にて実施された。実験環境を図 6.3 に示す。エージェントとの対話のためのラップトップコンピュータとロボット及びスイッチの入ったヒータを設置した。ロボットはVstoneのRobovie-R2を使用した。実験室の温度は、室外の温度と比べて高く設定した。

実験条件

本実験では、実験参加者エージェントがロボットへ移動したと認知することができるか、またロボットの発話の意図を理解し、行動に移る事ができるかどうかを検証するため、以下の2条件を設定した。

実験条件 (EC) エージェントが画面から消え、その後ロボットが動作を開始し発話する。また、エージェントがロボットへ移動する前は、ロボットは動作していない。

統制条件 (CC) エージェントが画面から消えずに、ロボットが発話する。また、ロボットは実験開始時から動作している。

また、両条件でのロボットの声は同一である。

表 6.1: Q.1, Q.2 及び実験参加者の行動の結果

| | Q.1 | | Q.2 | | Behavior | |
|----|-------|-----------|---------|-------------|----------|---------------|
| | Robot | Not Robot | Correct | Not Correct | Turn off | Nothing to do |
| EC | 8 | 2 | 10 | 0 | 7 | 3 |
| CC | | | 8 | 2 | 0 | 10 |

実験参加者

情報系大学の学生 20 名 (各条件ともに 10 名ずつ) を対象におこなった。年齢はいずれも 19-21 歳である。

6.2.4 実験の手続き

1. 実験参加者にエージェントと簡単な対話をおこなってもらう。
2. 一定時間経過後 (約 2 分), エージェントが「なんだか飽きちゃった」という発話をし, 実験条件ではエージェントが画面から消えロボットが動作を開始し発話を行う。統制条件ではエージェントが消えずにロボットが発話を行う
3. ロボットが自分の顔を仰ぐような動作をし, 「この部屋なんだか暑いなあ」と発話する
4. その際の実験参加者の行動を観察する
5. 質問紙に答えてもらう

6.2.5 評価方法

実験条件の実験参加者に対して, 「エージェントはどこへ行ったと考えますか?」という質問によって, エージェントがロボットへ移動したことを認知することができたかを検証した。以下この質問を Q.1 と表現する。次に, 両条件において, 「ロボットは何と言っていたと思いますか?」という質問に対して自由記述してもらうことによってロボットの発話を正しく理解することができたかどうかを検証した。以下この質問を Q.2 と表現する。なお, 統制条件の場合エージェントはロボットへ移動しないため Q.1 は実験条件の実験参加者だけに回答してもらった。また実験の様子を撮影した動画から, 実験参加者がロボットの発話後どのような振る舞いを行ったかを観察した。これにより, ヒューマノイドロボットの持つ身体的特徴が人との対話に与える影響を検証することができると思う。

6.3 結果

表 6.1 に実験の結果を示す。Q.1 の結果, 実験条件の 10 人中 8 人の実験参加者がエージェントはロボットへ移動したと回答した。Q.2 の結果, 実験条件では 10 人中 10 人の実

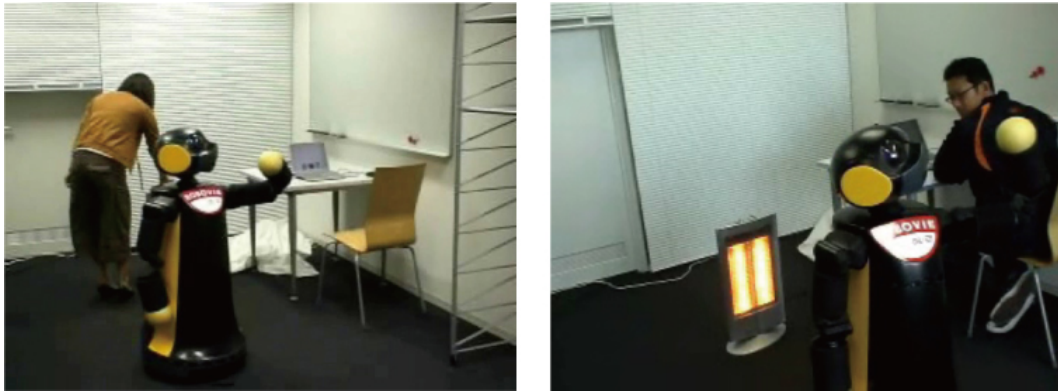


図 6.4: 実験の様子 (左: 実験条件, 右: 統制条件)

験参加者が、統制条件では 10 人中 8 人の実験参加者が、ロボットの発話を「暑いなあ」というものであると正しく認知したことが分かった。なお表 1 において「暑いなあ」と回答した実験参加者のカテゴリを「Correct」と表現している。実験の様子を撮影した映像から、実験条件では 10 人中 7 人の実験参加者がヒータをスイッチを切るという行動に移り、統制条件においてはスイッチを切るといった行動に移った実験参加者を観察することができなかった。

6.4 考察

Q.1 の結果から、実験条件の実験参加者はエージェントがロボットへ移動したと認知することができたと考えられる。Q.2 の結果から、実験条件、統制条件の実験参加者は共にロボットの発話を認知することができたと考えられる。実験の様子を撮影した映像から、実験条件と統制条件の間でロボットの発話の意図を理解しスイッチを消すことができた実験参加者の数に差がみられた。

以上の結果から、本実験の目的に沿って考察を行う。まず 3 つ目の「エージェントがディスプレイからロボットへ移動したと認知することができるか」に関して、Q.1 の結果からエージェントをロボットへ移動させることは可能であるということが分かった。つまり、実験参加者は対話を行っていたエージェントが、人格を保った状態でロボットへ移動したと認知することができたことを示していると考えられる。これに関してエージェントがテーブルランプへ移動する実験においても検証されているため、ある程度の信頼性を認める事ができるのではないかと考える。

次に、1 つ目の「ヒューマノイドロボットの持つ身体的特徴は、人との対話にどのような影響を及ぼすか」に関して、Q.2 の結果と実験の様子を撮影した映像から、ロボットの発話理解に関しては両条件間の実験参加者が発話を理解することができたが、その後の振る舞いに関しては差が検証された。人と人工物が円滑な対話を行うためには、まず人に人工物に対する意図スタンスを採用させる必要がある。統制条件における、発話は理解できたが行動に移ることができなかったという結果は、実験参加者に対して有効に意図スタンスを採用させることができなかったため、関連性理論における情報意図は伝わったが、伝

達意図が伝わり切らなかったといえるのではないかと考える。その結果、ヒータを切るという推論が顕在化されず、行動に移ることができなかつたと考えられる。そのためロボットの「暑いから部屋の温度を下げしてほしい」という目的は達成されず、豊かな対話は実現されなかつたとすることができる。以上の考察から、ロボット自体はすでに対話メディアとして高い能力をもっている推定をさせる能力があることが分かる。なぜなら、実験条件、統制条件における実験参加者の多くはロボットの発話を理解することができていたからである。つまり、ロボットが突然自然言語で何かを発話したとしても人はそれに関して違和感を感じる事はなく、理解をする姿勢を持つ事ができたのではないかと考えられる。

次に2つ目の「ヒューマノイドロボットと実験参加者の間の関係性は対話にどのような影響を及ぼすか？」に関して、Q.2及び実験参加者の振る舞いに条件間で差が検証されたことから、エージェントが移動した場合としなかつた場合で、意図の理解からその後の振る舞いに関して条件間で差が見られた。この結果に関して、人工物が高い対話機能をもっている事を推定させるような身体的特徴を持っていたとしても、その人工物自体との間になんらかの関係性が存在しなければ、人同士の対話に近い円滑な対話を実現することが難しくなるのではないかと考える。つまり、人工物自身に社会的な影響力を持つ身体的特徴が備わっていたとしても、その人と人工物との間に関係性が築かれていない場合は、ヒータを切つてあげるといった思いやりのような行動を起こすことが難しくなるということである。

本実験において実験参加者の起こした振る舞いに関して、明確に結論をすることは難しい。関連性理論では、顕在化された推論から、人間がどのように行動に移るのかに関しては言及されていない。我々は、相手の意図を理解し行動を起こす一連のアクションには、感情をともなつた関係性がなんらかの影響を与えるのではないかと考える。1つの例を挙げてこの点を考察する。バスなどで2人がけのシートに全くの他人と隣同士で座っている状況を設定する。その際、隣に座っている他人がこちらを見ながら「のどが渴いたなあ」と盛んに話しかけてきたとしよう。そのとき、一般的に人間はどのような反応をするのだろうか。おそらく、相手が自分に飲み物を要求していることは理解することができるだろう。しかし、その時に人間は他人に自分の飲み物を渡してあげるだろうか。この際人間は、相手の発話に対して意図スタンスを採用し、相手が自分に飲み物を要求しているのだろうかという推論を顕在化させている。しかし、多くの場合飲み物を渡すという行動に移ることはない。しかし、もし相手が知人である場合には、飲み物を渡す行動に移るだろう。この例は、正しい推論が顕在化されたとしても必ずしも行動に移るわけではないことを示している。つまり、相手と自分との関係性によって、その後の行動は変化する可能性があるということである。

以上の例を今回我々が実施した実験に当てはめて考察する。統制条件の実験参加者の場合、ロボットとの間に関係性が築かれていなかつたため、発話は理解できたが、行動に移ることはできなかつた。これは、先ほどの例における他人からの発話理解に相当する。一方実験条件の実験参加者の場合はエージェントとの間に築かれた関係性がロボットへ移動したことにより、ロボットの発話を理解し行動に移ることができた。これは先ほどの例における知人からの発話理解に相当する。このように本実験の結果からも、エージェントと人との関係が意図の理解だけでなく、その後の行動に変化を及ぼしていることがわかる。つまり、人工物の身体的特徴は対話の端緒においては非常に重要な要因となり得るが、そ

の後も続く対話には身体的特徴だけではなく、人と人工物との間に築かれる関係性が影響を及ぼすのではないかと考える。

ここまでの結果から、ロボットの持つ身体的特徴は人との対話に対して確かに影響を与えることが分かった。これは、統制条件においてロボットが突然しゃべり出したとしても、その発話内容を理解することができたことから分かる。しかし、その後の振る舞いや気遣いといったロボットに対する社会的な行為に関しては、身体的特徴だけでなく、人とロボットがどのような関係性を築く事ができたかによって変化することが分かった。本研究ではエージェントがロボットへ移動することにより、人とロボットとの間に関係性を築くことができ、それにより人からロボットへの歩み寄りを引き出す事ができた。背景でも述べた様に、次の時代の新しい人と人工物のあり方を作りあげていくためには、人工物のデザインや機能の改善だけではなく、人から人工物への何らかの関与を引き出す工夫が必要である。なぜなら人は人工物を擬人化したり意図を読む事ができたり、様々なすばらしい機能を持っているからである。この人の持つすばらしい能力を上手く用いること、すなわち人のエージェントや人工物に対する関与を引き出すことで、より円滑な人と人工物との対話を実現することができるのではないかと考える。

6.5 本章のまとめ

本章の目的は、人はヒューマノイドロボットの見かけを持った人工物とどのような対話を行うか、またエージェントがロボットへ移動することにより、エージェントとの間に築かれた関係性がロボットとの対話にどのように影響するかを検証することである。具体的には、実験参加者と対話を行ったエージェントが、ロボットへ移動する。その後、ロボットが「この部屋なんだか暑いな」という発話をした際に、実験参加者がヒータのスイッチを消すことができるかどうかを観察した。この実験のポイントは、ロボットが直接的に「暑いからスイッチを消して下さい」と依頼しているわけではない点である。つまり本実験で観察すべき点は、ロボットの発話に隠された意図を実験参加者が理解し行動に移る事ができるかどうかである。また、その前提としてエージェントがロボットへ移動したことを理解することができたかも同時に検証した。実験の結果、実験条件の実験参加者の多くはエージェントがロボットへ移動したと認知することができた。また、実験条件の多くの実験参加者がロボットの発話の意図を理解する努力をし、ヒータの電源を消すという行動に移る事ができたことがわかった。この結果から、エージェントをロボットへ移動させることは可能であることがわかった。またエージェントがロボットへ移動することにより人の人工物に対する関与を引き出す事ができ、結果的に円滑な対話を実現できることが分かった。また、ロボットの突然の発話にもかかわらず実験参加者の多くは発話の内容を理解することができたという結果から、ロボットが持つ身体的特徴は高い対話能力を備えている事を推定させる力がある事が分かった。つまり、より人に近い身体的特徴を持ったヒューマノイドロボットはより高い対話能力を持つと認知されやすいのではないかと考える。加えてロボットの持つ身体的特徴をより引き出す工夫としてITACOシステムを用いることにより発話に隠された意図に基づいた円滑な人と人工物との対話を実現することができる可能性があるのではないかと考える。

本章のポイントを箇条書きにてまとめる。

- エージェントがロボットに移動したと認知させることは可能である
- ヒューマノイドロボットの持つ身体的特徴は元々高い対話能力を持っていると人に推定させることができる力がある
- ITACOシステムを用いることにより、ヒューマノイドロボットと人の対話は、意図を読むといったより円滑なものになる可能性がある

第7章 総合的なまとめと議論

本章では、本論文において論じた研究についてまとめ、それに関する総合的な議論を行う。

7.1 本論文のまとめ

7.1.1 本論文の目的

本研究の目的は、心理実験を通じて人工物が持つ身体的特徴及び人と人工物との間の関係性が対話に与える影響を調査することである。この目的を設定した理由は2つ挙げられる。1つ目の理由として、現代における科学技術の進展により仮想と現実との境界が曖昧になりつつある点が挙げられる。ネットワーク技術やコンピュータの小型化などにより、これまでは対話の対象にはなり得なかった人工物に對話機能を持たせることができるようになった。このような状況から、人と人工物との対話は今後重要になることが予想される。そのため、人工物が持つ身体的特徴が人との対話に与える影響を研究対象にすることには意味があると考えた。2つ目の理由は、人同士の対話同様、人工物との間の対話の際にも双方の間に築かれた関係性が、対話に影響する可能性がある点が挙げられる。人同士の対話においては一定の知見がすでに得られているが、人と人工物との間の対話において、両者の間に築かれた関係性が対話に与える影響は現在のところ多くの知見は得られていない。そのため、本研究では人工物との間に関係性を築き、人工物を対話の対象とすることができる ITACO システムを用いる事により、この点を調査した。以上の2つの項目を検証することにより、本研究では次の時代の人と人工物との対話のデザインに際して有用な知見を得ることができると考えた。

本研究を実施するにあたり、本来であれば対話の対象にはなり得ない人工物と対話することができるシステムを実現する必要があった。なぜなら近い将来、対話の対象となるのは、ヒューマノイドロボットや人形といった、対話可能であると推定されるような人工物だけではなく、家電やランプといった本来であれば対話の対象にはならない人工物も含まれる可能性が高いからである。テーブルランプの様な人工物との対話を実現するためには、まず実験参加者にテーブルランプが対話の対象であると認知させる必要がある。そのために、本論文ではエージェント技術を基にした ITACO システムを提案した。

7.1.2 エージェント研究の分類と ITACO エージェント

ITACO システムの実現のため、本論文ではまず既存のエージェント技術をエージェントの身体性という観点から、「スクリーンエージェント」「バックグラウンドエージェント」

「ロボティックエージェント」という3つのカテゴリに分類し、これまで提案されてきたエージェント技術におけるエージェントが、どのような特徴を持つかを展望した。これにより、既存のエージェント技術では、本研究の目的には合致しない事を確かめることができると考えた。その結果、3つのカテゴリにおけるエージェントにはそれぞれ長所と短所が存在し、それぞれの長所を統合することによりITACOシステムを実現することができると考えた。

スクリーンエージェントはCGで作られた見かけを持っているため、ディスプレイさえあれば様々な人工物上に存在することができるという長所があった。しかし、実世界とのつながりを持たせることが難しく、例えば指さしなどを用いた対話が必要とされた場合などは、適切な対話を実現することが難しいという短所があった。

ロボティックエージェントは、スクリーンエージェントと比べ実体を持っているため、実世界における対話が容易であるという長所があった。しかし、エージェントの機能とロボットが持つ身体的特徴が密接に関連しているため、想定された状況以外では効果を発揮することが難しいという短所があった。

バックグラウンドエージェントは表に出てくることが無いため、他のカテゴリのエージェントとの連携が円滑にできるという長所があった。しかし、人との対話によって得られない情報を取得することが難しいという短所があった。

以上3つのカテゴリにおけるエージェントの長所を上手く生かし、短所を補うことのできるITACOエージェントを提案した。ITACOエージェントは仮想と現実の境界を繋ぐことのできるエージェントである。またITACOエージェントは状況に合わせて様々な人工物の間を移動することにより、人との対話を通じて適切なサポートを行うエージェントである。

ITACOエージェントは分類した3つのカテゴリの特徴を備えている。例えば、人と対話に必要な情報を取得する機能はバックグラウンドエージェントであり、人と実際に対する機能はスクリーンエージェントであり、実体を伴ったサポートを行う機能はロボットである。このように、ITACOエージェントは、従来のエージェントの機能をすべて包含した形で存在しており、それぞれの機能を橋渡しする方法として人工物間の移動することができる機能を持っている。

このITACOエージェントを用いることにより、本研究の目的である人工物が持つ身体的特徴が人と人工物との対話に与える影響を調査することができた。なぜなら、ITACOエージェントを用いることにより、比較的対話の端緒をつかみやすいスクリーンエージェントで最初に対話を行い、その後検証したい人工物に移動することができるからである。これにより、2つの利点が考えられた。1つ目は、元々対話機能を持たないと推定されるテーブルランプのような人工物もエージェントが移動することにより一定の対話能力を持つと推定される人工物になり得る。2つ目は、エージェントとの間に築かれた関係性がその後の対話に及ぼす影響に関して調査することが可能になり得るからである。

もしITACOエージェントを使用しなかった場合、実験参加者に対してテーブルランプと対話して下さいと教示を行うことになる。この場合人工物は元々対話機能を持つものではないため、実験参加者は対話を行うことが難しいと考えられる。さらに、その場合対話を十分に行う事ができないことが予想されるため、人と人工物との間に関係性を築くことも難しくなると考えられる。

以上のことから、ITACO エージェントを用いることにより、本研究の目的を検証することができると考えられる。しかし、本論文ではITACO エージェントを人が実際にどのように認知するかについても調査する必要があると考えた。なぜならITACO エージェントは人工物の間を移動する際、見かけを変化させるからである。エージェントの見かけの変化を認知することができなかつた場合、本研究の目的を達成することができなくなることが予想される。なぜなら、人工物を対話の対象として捉えることができず、さらには人工物との間に関係性を築く事ができないからである。そこで本研究では、実験により、目的に関して検証すると共にエージェントが人工物へ移動したと認知することができたかどうかについても同時に確認することにした。

7.1.3 ITACO システム

ITACO システムは、ITACO エージェントのコンセプトを基にした、状況に合わせた適切な人工物を選択することにより、人と人工物との間の対話を円滑にする事を目的としたシステムである。例えば、部屋が暗い時にはランプへ移動し部屋を明るくしたり、外出時には携帯電話などのデバイスに移動し、物理的なサポートが必要になった場合はロボットへ移動したりすることにより、より日常に即したサポートを行うことができるシステムである。さらにITACO システムが実現できる優位な点としては、状況に限定されないという点だけではなく、エージェントと人との間に築かれた関係性をも人と人工物との間に移動させることができるため、エージェントを通じた人と人工物との新しい対話の方式を実現できる可能性がある。

ITACO システムは、人との対話を担当する Agent Layer、それぞれの人工物内に実装される Client Layer、システム全ての動きを統合する Server Layer によって成り立っている。これらのレイヤーがTCP/IP により相互に接続されることにより、ITACO システムは動作可能である。本論文では、エージェントの自律的な状況判断の実現が難しい部分は人が介入することにより、擬似的なITACO エージェント環境を構築することができるプロトタイプシステムを実装した。本論文で行った実験は、ここで実装されたプロトタイプシステムを用いる事により実施された。

7.1.4 アンドロイドとの対話実験

本章の目的は、人に酷似した身体的特徴を持つアンドロイドがもつ社会的影響力の検証である。遠隔対話メディアとしてのアンドロイドが人との対話に与える影響に関しては、すでに実験されている。その実験から、人工物としてのアンドロイドは人に操作されたとしても違和感を感じさせることはないことが分かった。つまり、テーブルランプと違い人に酷似した身体的特徴を持ったアンドロイドは、やはり人と同等の対話能力を持ちうるという事である。

そこで本実験では、アンドロイドの身体的特徴が持つ社会的影響力をより深く検証することにより、アンドロイドの特徴を明らかにする事を目的にした実験を行った。実験は、Video, Human, Android の3種類のエージェントが同一の説得行為を実験参加者に対して行う事により、それぞれの説得エージェントの持つ社会性を検証した。また、実験時に

説得エージェントに対してのパーソナリティの特性をテストしてもらうことにより、見かけが人に酷似したアンドロイドがどのような性格特性を持ちうるかに関して調査を行った。

実験の結果、社会性の尺度の一つである説得の度合いに関しては Video が最も説得力があったということが分かった。パーソナリティに関しては、アンドロイドは人と比べ地に足がついている、落ち着いた雰囲気といった印象を与える事が分かった。このことから、アンドロイドはより保守的で落ち着いた性格性を持つ事が分かった。このことから、アンドロイドはこれまでのロボットでは適さなかった状況に適合することができる可能性があることが示された。またアンドロイドは他の人工物と違い人と全く同等の能力を持ったとしても、対話する人に対して違和感を与えないだけではなく、権威などの存在感をも与える人工物であると考えられた。

7.1.5 テーブルランプとの対話実験

本章では、テーブルランプに対して人はどのような対話を試みるかを検証した。人はある人工物と対話を行う際、その人工物が持つ身体的特徴や見た目から相手の持つ機能を類推し、それに従った対話の方法を選択する。そのため人工物が持つ身体的特徴と、機能が適合しなかった場合、違和感を感じ、対話が不自然になるのではないかと考えた。そこでエージェントと人間が、同じ状況でテーブルランプへ移動する実験を通じて、人工物の身体的特徴と機能の適合に関して検証した。

1つ目の実験として、ITACO システムを用いて、テーブルランプに対して人はどのような対話を試みるかを検証する実験を行った。また、ITACO エージェントがディスプレイ上に存在するバーチャルエージェントからテーブルランプへと姿を変化させた場合、人はエージェントがテーブルランプへ移動した事を認知することができたかどうかを検証した。さらに、エージェントと実験参加者との間に築かれた関係性がその後の人工物との対話に与えた影響についても議論した。

具体的な実験方法としては、実験参加者と対話を行ったエージェントが別の実験室に移動する際、実験参加者のウェアラブルコンピュータへ移動する。その後、薄暗く設定された実験室へ移動したエージェントが部屋が暗い事を理由にランプへ移動し点灯する。その後、実験者からのランプのスイッチを切ってくださいという依頼をおこなった。実験条件では、ウェアラブルコンピュータからエージェントが消えランプが点灯し、統制条件ではウェアラブルコンピュータから姿を消さずにランプが点灯する。各条件において、実験参加者がスイッチを切ったときのエージェントに対する印象評価及び、スイッチを切るという行動に躊躇などが見られるかを検証することにより、エージェントと人との間に築かれた関係性がその後の人と人工物との対話にどのような影響を与えるかが明らかになると考えた。また、エージェントがランプへ移動したことを認知することができたかどうかについて回答してもらった。

実験の結果、実験参加者はエージェントがテーブルランプに移動した事を認知できたことが分かった。またスイッチを消すよう依頼された実験参加者は全員躊躇などの感情を覚えることなく、スイッチを切った。また、その際に感じた印象に関しても悲しみのような感情を抱くことはなかった。この結果及び実験後のインタビューなどから、エージェントがテーブルランプに移動した事は理解することでき、社会的に振る舞おうとする態度は

見えるものの、スイッチを切るという行為からは検証できなかったことが分かった。つまり、テーブルランプ自体が持つ身体的特徴により、エージェントの持つ属性を完全にテーブルランプへ移動することはできなかったと考えられる。しかし、結果からエージェントとテーブルランプとの間の因果関係を認める事ができているため、一定の成果を上げる事ができたのではないかと考えた。

2つ目の実験では、エージェントのテーブルランプへの移動実験での結果を受けて、テーブルランプがさらに高度な対話能力を備えた場合に、人がテーブルランプに対してどのように振る舞うかを検証した。人工物が元々持つ身体的特徴を越えるような対話能力を人工物が持ち合わせてしまった場合、人はその人工物と自然な対話することが難しくなる。1つ目の実験においてITACOシステムを用いることによりマグカップやテーブルランプの様な人工物に一定の能力が付与されたように感じさせることができることが示された。しかし、実験結果からエージェントの持つ属性を完全に移動させることは難しいことも同時に明らかになった。その理由として、テーブルランプの持つ身体的特徴が影響している可能性がある事を述べた。そこで2つ目の実験ではエージェントが人と同等の能力を持った上で、テーブルランプへ移動した場合の、人とテーブルランプとの間に生起する対話に関して検証を行った。

具体的には、実験参加者とテレビ会議をしている実験者が画面からテーブルランプへ移動し、その後はテーブルランプを介して実験参加者と対話を行うことにより、テーブルランプに人と同等の知能を持たせた場合に、人と人工物がどのような対話を行うかを検証した。その結果、人と同等の能力をテーブルランプが持ち合わせた場合、人はその機能と身体的特徴の間の違いの大きさに混乱を覚え、円滑な対話を行う事ができなくなった。また実験者がテーブルランプへ移動したという事実も理解することができなかった事から、テーブルランプにあまりにも高度な知能を持たせることは非常に困難であることが明らかになった。エージェントがテーブルランプへ移動する実験と合わせて考察すると、テーブルランプはITACOシステムを適用するなどの工夫により、バーチャルエージェント程度の知能であれば持ち合わせることができるとは、人と同等の知能を持つことは困難であると考えた。

しかし、人と同等の知能を持つことが困難であるという結果は、テーブルランプが人との対話メディアとして、アンドロイドよりも劣っているということではない。この結果が示すことは、人と同等の存在感や能力を人工物が持ち合わせなければならない場合において、アンドロイドの方がテーブルランプよりも優れているということである。例えばカーナビゲーションシステムなどの人工物に実装されるべき対話機能は人と同等の知能では無く、バーチャルエージェント程度の機能で十分である。また、アンドロイドのように人に近い存在感を持つ対話メディアは、運転というタスクに対する集中力を阻害する可能性も考えられる。以上の点から、テーブルランプなどの一般的な人工物は、ある人が行っている行為を阻害しないよう、自然なサポートが必要とされる場面などで効果を発揮することができる対話メディアになる可能性があると考えられる。

7.1.6 ロボットとの対話実験

本実験の目的は、人はヒューマノイドロボットとしての人工物とどのような対話を行うかを検証することである。テーブルランプにエージェントが移動する実験では、エージェントがテーブルランプに移動したことを認識させることができた。テーブルランプに人が移動する実験では、移動したという事を認知させる事ができなかった。このような結果が示された理由として、人工物の持つ身体性と機能のアンバランスさは、人との対話にネガティブな影響を及ぼすのではないかと考えた。そこで本章では、人と似通った身体的特徴をもったヒューマノイドロボットに対して人とどのように振る舞うかを検証する実験を行った。また、テーブルランプとの対話実験同様、エージェントがロボットに移動した際、エージェントが移動した事を人が認知することができるかどうかについても検証した。

具体的な実験方法としては、実験参加者と対話を行ったスクリーンエージェントが対話に飽きた事を理由にロボットへ移動する。その後、ロボットからの「なんだか暑いなあ」という発話に対して、実験参加者がどのような反応をするかを検証した。その際、実験室は通常よりもかなり暑くなるように室温を調節した。実験条件は、エージェントが対話を行っていたスクリーンから姿を消し、ロボットが動作する。統制条件はエージェントが対話を行っていたスクリーンから姿を消さずに、ロボットが動作する。

この実験の要点は、ロボットは直接的に「ヒータのスイッチを消して下さい」と依頼していない点にある。「なんだか暑いなあ」という言葉の裏にある、本当はスイッチを消して欲しいという意図を実験参加者が読み取り、行動に移るかどうかを観察することにより、エージェントがロボットへ移動したことによる影響を検証することができると考えた。

実験の結果、実験条件の実験参加者の多くはエージェントがロボットへ移動したと認知することができた。また、実験条件の多くの実験参加者がロボットの発話の意図を理解する努力をし、ヒータの電源を消すという行動に移る事ができたことがわかった。この結果から、エージェントをロボットへ移動させることは可能であることがわかった。またエージェントがロボットへ移動することにより人の人工物に対する関与を引き出す事ができ、結果的に円滑な対話を実現できることが分かった。また、ロボットの突然の発話にもかかわらず実験参加者の多くは発話の内容を理解することができたという結果から、ロボットが持つ身体的特徴は高い対話能力を備えている事を推定させる力がある事が分かった。つまり、より人に近い身体的特徴を持ったヒューマノイドロボットはより高い対話能力を持つと認知されやすいのではないかと考える。加えてロボットの持つ身体的特徴をより引き出す工夫として、ITACOシステムを用いることにより、発話に隠された意図に基づいた円滑な人と人工物との対話を実現することができる可能性があるのではないかと考えた。

7.2 総合的な議論

ここまでの結果から、仮説に沿って論文全体に関して議論する。また、ITACOシステムの実現可能性に関して議論する。

7.2.1 仮説の検証

本研究で用いた人工物の種類は、アンドロイド、テーブルランプ、ヒューマノイドロボットの3つである。人はそれぞれの人工物に対して異なる対応をした。例えばテーブルランプにおいては人はエージェントが移動することによりある程度、社会的な振る舞いを行った。しかし、エージェントが移動しない場合と比べて顕著な差は検証されなかった。ヒューマノイドロボットにおいては、エージェントが移動する場合としない場合において人の社会的な振る舞いに差が検証された。

これらの実験の結果には、2つの要素が含まれている。1つ目は人工物の持つ身体的特徴であり、2つ目はエージェントの移動の影響である。まず1つ目の要素に関して、全ての被験者がテーブルランプのスイッチを消してしまったという結果から、テーブルランプに対しては、ある程度の社会性しか示さなかったことが分かる。一方ヒューマノイドロボットに対しては、ヒータのスイッチを切るという行動が検証されたことから、テーブルランプよりも社会的に振る舞ったことが分かる。このことから、人に近い身体的特徴を持つ人工物の方が、人は高い対話能力を持つと推定し、その推定に従った行動を起こすのではないかと考えられる。

次に、2つ目の要素であるエージェントの移動の影響に関して、テーブルランプ、ヒューマノイドへのエージェントの移動に関しては、ほぼ全ての実験参加者がエージェントの移動を認知することができた。さらに両実験において条件間に有意差が検証されたことから、エージェントが移動することにより、エージェントとの事前の対話によって築かれた関係性がそれぞれの人工物とのその後の対話に一定の影響があると考えられる。しかし、この結果はエージェントが人工物に移動した場合のみに観察される現象であることも同時に明らかになった。

人がテーブルランプに移動する実験では、実験参加者は人とテーブルランプとの間のつながりを理解することができなかった。また、対話自体も画面上でのビデオチャットよりも話しづらいという意見が得られた。このことから、人工物の持ちうる能力は、人工物の持つ身体的特徴に左右される可能性があるということが考えられる。つまり、テーブルランプはエージェント程度の知能は持つことができるが人と同等の知能を持つことは難しいということである。しかしながら、バーチャルエージェント程度の知能であれば実装可能であることから、人工物自体が人と同等の存在感を発揮しない方が良い場面において有効な人工物であることが分かった。

この結果は、アンドロイドとの対話実験からも推察することができる。アンドロイドを使った対話実験において、坂本らが人がアンドロイドを遠隔操作し会議をするという実験を行っている。この実験で、実験参加者はアンドロイドが人と同等の能力をもったとしても違和感を感じることはないことが分かった。さらに、本研究から明らかになった人がアンドロイドに感じるパーソナリティから、人と酷似した身体的特徴を持ったアンドロイドは、人に成り代わることが必要とされる場面において有効な人工物であると考えられる。

ここまでの議論から、仮説に従って結論を述べる。まず仮説1である人工物の身体的特徴の影響に関して、これまでの議論から2つの結論が導かれると考える。1つ目の結論は、人工物の持つ身体的特徴により人工物に対する社会的な振る舞いに変化する。2つ目は、人工物の持つ身体的特徴が人に近づくほど、高い対話能力を持ち合わせる事が可能になる。

る。以上の結論から仮説1である人工物の持つ身体的特徴から、対話の仕方は変化することが検証されたと考えられる。加えて、完全ではないにせよ、テーブルランプのような人工物に対して、ある程度の社会的な振る舞いが検証できたことから、ITACOシステムにより、人工物の身体的特徴から受ける機能の制限を、ある程度補強することができるのではないかと考える。これにより、人工物のある程度の知能を持った状態で、サポートすることができるシステムを実現することができると思われる。

次に、仮説2である人工物との関係性が対話に与える影響に関して、エージェントがテーブルランプへ移動する実験及びヒューマノイドとの対話実験において検証された条件間の差から、エージェントと人との間に築かれた関係性はエージェントが人工物へ移動することにより、人工物に対してより社会的に振る舞うことが分かった。この結論から、仮説2である人と人工物との間になんらかの関係性が築かれた場合、築かれていない場合よりも人工物に対して社会的に振る舞うことが検証されたと考えられる。

7.2.2 ITACO エージェントの実現可能性

ITACO エージェントの実現可能性を示すために、エージェントが人工物間を移動し、見かけを変化させたとしても同一のエージェントであると認知することができるかどうかを検証する必要があることを述べた。これに関して本論文では、エージェントのテーブルランプへの移動、人のテーブルランプへの移動、エージェントのヒューマノイドへの移動、以上3つの実験によって検証した。その結果、人のテーブルランプへの移動実験以外において、エージェントが見かけを変化させても同一のエージェントであると認知することができることが明らかになった。また同時に、移動したことを認知できた場合は、エージェントとの間に築かれた関係性がその後の人工物との対話に影響を与えたことも明らかになった。この結果から、ITACO エージェントのコンセプトの妥当性が示されたのではないかと考える。つまり、エージェントが移動したという事を人は理解することができ、それにより人と人工物との円滑な対話を実現することができる可能性があると考えられる。

しかし、人がテーブルランプに移動する実験では、テーブルランプに移動したと認知される事がなかった。この理由として考えられることは、エージェントと人工物の身体的特徴の不適合である。前節でも述べたが、テーブルランプに高度な知能を持つ人を移動させた場合、人はテーブルランプと人との関連性を認知することが難しくなってしまう。この結果から、ITACO エージェントのコンセプトは常に有効ではなく、移動させるエージェントの機能と移動先の人工物の身体的特徴を考慮する必要があることが分かった。

次に、ITACO エージェントが人工物の間を移動する方法に関して述べる。ITACO エージェントの実現可能性を検証するためには、エージェントを移動させる方法についても工夫が必要であると述べた。本実験においてエージェントの移動に用いた方法は、いずれの実験においても同一の声とタイミングであった。まず声を選んだ理由は、同一の声を使うことはシステムとして容易である点と、人は声の認知に敏感であるという点が挙げられる。次にタイミングに関して、今回画面上からエージェントが消えて人工物が動作するタイミングを注意深く設計した。なぜならエージェントが消えて人工物が動作しなければ、人工物とエージェントとの関連が断ち切られてしまう可能性があるからである。この2点に注意して実装した ITACO システムを用いて実験を行ったところ、エージェントが移動した

ことを認知させることができた。そのため、声とタイミングはエージェントを移動させる方法として一定の成果が認められると考える。エージェントが人工物に移動する方法としては他にも考えられるが、今回は個別の条件を実験によって検証していないため、この点は今後の課題とする。

ITACO エージェントは身体的特徴という観点から見た関連研究の長所を統合し、短所を補うことにより、次世代における人と人工物との対話を円滑にサポートすることを目的としたエージェントである。本研究の結果から、ITACO エージェントの実現可能性が示されたことで、ITACO エージェントは時代にあった新しいエージェントシステムになり得る可能性があるのではないかと考える。これにより、これまでのエージェントでは効果を発揮することができなかつた状況にも、ITACO エージェントであれば柔軟に対応することができるのではないかと考える。

ネットワーク技術やコンピュータの小型化などにより、人と人工物との対話がさらに重要性を増していくことは避けることができない。このような流れの中で人工物の持つ対話の機能を補強することのできる ITACO システムは、高い効果を発揮できるのではないかと考える。さらに、本研究で明らかになった人工物の持つ身体的特徴の対話への影響は、ITACO エージェント以外のシステムをデザインする際にも有益な知見になり得ると考える。

7.3 今後の展望

本研究で得られた結果は、対話能力を持った人と人工物との間の対話のデザインに貢献することができる。なぜなら、本研究ではテーブルランプからヒューマノイドロボットを経てアンドロイドへ至るまで、様々な身体的特徴を持った人と人工物が対話を行った時の実験参加者の認知や振る舞いに関して様々な知見が得られたからである。このような知見は、ITACO システムの実現可能性を示すだけでなく、今後様々なシステムが開発されていく中で有用な知識になり得ると考える。例えば、カーナビゲーションシステムのデザインの際、システムが自然言語で喋るのであれば、ディスプレイになんらかのバーチャルエージェントを表示することで音声対話が可能な人工物になり得る可能性があることが本研究の結果から推察される。一方高度な音声対話が必要とされない場合はヒューマノイドロボットやアンドロイドではなくテーブルランプなどの人工物でも事足りることが分かる。このように、今後別の人と人工物との対話システムをデザインする際に本研究で得られた知見を適用することができる。

本研究における実験及び議論から考えられることは、人工物にはそれぞれ適した状況や場所があるという点である。本研究では、アンドロイドが人と同等の知能を持つことができる数少ない人工物の一つであると述べた。これは、アンドロイドが最も優れた人工物であるのではなく、人と同程度の知能を人工物が持つ必要がある場合にはアンドロイドが最適であるということである。車内の活動をサポートする人工物はおそらくアンドロイドではなくカーナビゲーションシステムを持ったディスプレイもしくはバーチャルエージェントの方が適している。つまり、本研究で得られた成果は、対話能力を持った人工物が人の社会に入り込んだ場合、両者の間に生起する対話に関する技術をどのようにデザインすべきか、またどのような状況を設定するかに関して有用な知見を与える事ができた点である

と考える。ITACO システムはこのような本研究で得られた知見をデザインに取り込んだシステムの一つの例である。今後さらに有用なシステムのデザインを目指す時、本研究における知見及び ITACO システムが人にどのように認知されるかに関しての知見は有用なものになるのではないかと考える。

謝辞

本研究を実施するにあたり、終始丁寧なご指導を賜りました小野哲雄教授に格別なる感謝の意を表したいと思います。小野哲雄教授には私が研究活動を始めた時期から何年にもわたり辛抱強くご指導下さいました。本当にありがとうございます。

本論文の審査過程において、数々のご助言とご指導を賜りました、岡本誠教授、松原仁教授、川嶋稔夫教授に深謝申し上げます。

また、大阪大学及びATR知能ロボティクス研究所の石黒浩教授には研究及び論文審査において格別のご支援を頂きました。御礼申し上げます。

同じ研究室の仲間として支えて下さった小野哲雄研究室のメンバすべてに感謝致します。皆さんと一緒に苦楽を共にできた事は私にとって大きな財産になりました。特に坂本大介さん、藤山裕太さんには研究に対して大変有益な議論及び助力を頂きました。ありがとうございます。また、研修研究員として様々な貴重な経験をさせて頂いたATR知能ロボティクス研究所の皆さんに感謝を申し上げます。特に、西尾修一研究員、Dr. Christian W. Becker-Asano、山森崇義さん、渡辺哲也さんには、研究に関する様々な議論をさせて頂きました。ありがとうございます。

私を暖かい心で理解し、勇気づけ、サポートしてくれた父親と母親に感謝の意を表します。二人のサポートが無ければ私はこの論文を書き上げることができませんでした。本当にありがとうございます。

最後に、妻のひろみに感謝します。彼女は時に日常生活を顧みなくなる私を、常に広い心で理解し、勇気づけてくれました。心から感謝します。

参考文献

- [1] Christoph Bartneck, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. My robotic doppelgänger – a critical look at the uncanny valley. *IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 269–276, 2009.
- [2] Tim Berners-Lee, J Hendler, and O Lassila. The semantic web. *Scientific America* 284, pp. 34–43, 2001.
- [3] RA Bolt. “put-that-there”: Voice and gesture at the graphics interface. *Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 262–270, 1980.
- [4] C Bregler, H Hild, S Manke, and A Waibel. Improving connected letter recognition by lipreading. In *Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (IEEE-ICASSP)*, 1993.
- [5] S Brin and L Page. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer networks and ISDN systems*, Vol. 30, No. 1-7, pp. 107–117, 1998.
- [6] J Cassell, T Stocky, T Bickmore, Y Gao, Y Nakano, K Ryokai, D Tversky, C Vauccelle, and H Vilhjálmsón. Mack: Media lab autonomous conversational kiosk. *Proc. of Imagina*, Vol. 2, pp. 12–15, 2002. MACK.
- [7] Justine Cassell, Joseph Sullivan, Scott Prevost, and Elizabeth F Churchill. Embodied conversational agents. *THE MIT Press*, 2000.
- [8] B E Collins and M F Hoyt. Personal responsibility-for-consequence: An integration and extension of the force compliance. *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 8, No. 6, pp. 558–593, 1972.
- [9] P T Costa and R R McCrae. Normal personality assessment in clinical practice: The neo personality inventory. *Psychological Assessment*, Vol. 4, No. 1, pp. 5–13, 1992.
- [10] D C Dennett. The intentional stance. *Cambridge Mass Broadford Books*, 1987.
- [11] Paul Ekman and Erika L Rosenberg. What the face reveals: Basic and applied studies of spontaneous expression using the facial action coding system (facs). *Oxford Univ Press*, 2005.

- [12] L A Festinger. Theory of cognitive dissonance. *Stanford Press*, 1957.
- [13] B J Fogg. Persuasive technology: using computers to change what we think and do. *Amsterdam, Boston, Morgan Kaufmann Publishers*, 2003.
- [14] James J Gibson. The ecological approach to visual perception. *Lawrence Erlbaum*, 1986.
- [15] D Glas, T Kanda, H Ishiguro, and N Hagita. Simultaneous people tracking and localization for social robots using external *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2009.
- [16] L R Goldberg. The development of markers for the big-five factor structure. *Psychological assessment*, Vol. 4, No. 1, pp. 26–42, 1992.
- [17] Google. Google. <http://www.google.com>, 2009.
- [18] P Grice. Studies in the way of words. *Harvard University Press*, 1991.
- [19] J Iverson and S Goldin-Meadow. What's communication got to do with it: Gesture in blind from birth children. *Developmental Psychology*, Vol. 33, pp. 453–467, 1997.
- [20] J Iverson and S Goldin-Meadow. Why people gesture when they speak. *Nature*, Vol. 396, No. 228, 1998.
- [21] IWAYA. Robot phone. <http://www.iwaya.co.jp/Files/phone-e.html>, 2000.
- [22] C G Jong. Psychological types: or the psychology of individuation. *London, Routledge and K. Paul*, 1923.
- [23] C D Kidd and C Breazeal. Effect of a robot on user perceptions. *Proceedings of the Intelligent Robots and Systems*, pp. 3559–3564, 2004.
- [24] H Kozima, MP Michalowski, and C Nakagawa. A playful robot for research, therapy, and entertainment. *Int J Soc Robot*, Vol. 1, pp. 3–18, 2009.
- [25] K Mase and A Pentland. Lip reading: Automatic visual recognition of spoken words. *MIT Media Lab Vision Science, Technical Report 117*, 1989.
- [26] David McNeill. Hand and mind: What gestures reveal about thought. *University of Chicago Press*, 1992.
- [27] J C Mowen. The 3m model of motivation and personality: Theory and empirical applications to consumer behavior. *Boston, Kluwer Academic Publisher*, 2004.
- [28] Clifford Nass and Scott Brave. Wired for speech: How voice and advances the human-computer relationship. *THE MIT Press*, 2005.
- [29] NEC. Papero. <http://www.nec.co.jp/products/robot/>, 2001.

- [30] NII. paro. <http://paro.jp/index.html/>, 2003.
- [31] M Noma, N Saiwaki, S ITAKURA, and H Ishiguro. Composition and evaluation of the humanlike motions of an android. *Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp. 163–168, 2006.
- [32] Donald A Norman. The psychology of everyday things. *Basic Book*, 1988.
- [33] T Ono, M Imai, and H Ishiguro. A model of embodied communications with gestures between humans and robots. *Proceedings of Twenty-third Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, pp. 732–737, 2001.
- [34] Tetsuo Ono, Michita Imai, and Ryohei Nakatsu. Reading a robot's mind: A model of utterance understanding based on the theory of mind mechanism. *International Journal of Advanced Robotics*, Vol. 14, No. 4, pp. 311–326, 2000.
- [35] VI Pavlovic, R Sharma, and TS Huang. Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 7, pp. 677–695, 1997.
- [36] Marcela Pena, Atsushi Maki, Damir Kovacic, Ghislaine Dehaene-Lambertz, Hideaki Koizumi, Furio Bouquet, and Jacques Mehler. Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 100, No. 20, pp. 11702–11705, 2003.
- [37] R E Petty and J T Cacioppo. Attitudes and persuasion - classic and contemporary approaches. *Dubuque, Iowa, W.C.Brown Co. Publishers*, 1981.
- [38] R E Petty, J T Cacioppo, and R Goldman. Personal involvement as a determinant of argument-based persuasion. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 41, No. 5, pp. 847–855, 1981.
- [39] R W Picard. Affective computing. *MIT Press, Cambridge, MA*, 1997.
- [40] Steven Pinker. The language instinct: how the mind creates language. *Perennial*, 1995.
- [41] A Powers, S Kiesler, S Fussell, and C Torrey. Comparing a computer agent with a humanoid robot. *Proceedings of the Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pp. 145–152, 2007.
- [42] Byron Reeves and Clifford Nass. The media equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places. *Cambridge University Press*, 1998.
- [43] B Rime. The elimination of visible behavior from social interactions: Effects of verbal, nonverbal and interpersonal variables. *European Journal of Social Psychology*, Vol. 12, pp. 133–129, 1982.

- [44] S Russel and P Norvig. Artificial intelligence: A modern approach, 2 edition. *Prentice Hall*, p. Section 2, 2002.
- [45] D Sakamoto, T Kanda, T Ono, H Ishiguro, and N Hagita. Android as a telecommunication medium with a human-like presence. *Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, p. 200, 2007.
- [46] D Sakamoto, T Kanda, T Ono, M Kamashima, M Imai, and H Ishiguro. Coerative embodied communication emerged by interactive humanoid robots. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62, pp. 247–265, 2005.
- [47] D Salber, A K Dey, and G D Abowd. The context toolkit: Aiding the development of context-enabled applocations. *CHI*, pp. 434–441, 1999.
- [48] G Saucier. Mini-markers: A brief version on geldberg's unipolar big-five markers. *Journal of Personality Assessment*, Vol. 63, No. 3, pp. 506–516, 1994.
- [49] B Scassellati. Investigating models of social development using a humanoid robot. *MIT Press*, 2000.
- [50] K Shinozawa, F Naya, J Yamamoto, and KKogure. Differences in effect of robot and screen agent recommendations on human decision-making. *International Journal of Human-Computer Studies*, pp. 267–279, 2005.
- [51] M Shiomi, T Kanda, D Glas, and S Satake. Field trial of networked social robots in a shopping mall. *IEEE/RSJ International Conference onIntelligent Robots and Systems*, pp. 2846–2853, 2009.
- [52] S Shiotani, T Tomonaka, K Kemmotsu, S Asano, K Oonishi, and R Hiura. World's first full-fledged communication robot" wakamaru" capable of living with family and supporting persons. *Mitsubishi Juko Giho*, Vol. 43, No. 1, pp. 44–45, 2006.
- [53] Ben Shneiderman and Catherine Plaisant. Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction, 4th edition. *Addison Wesley; 4 edition*, 2004.
- [54] F Tanaka, A Cicourel, and JR Movellan. Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, No. 46, p. 17954, 2007.
- [55] K Terada, T Shamoto, H Mei, and A Ito. Reactive movements of non-human robots cause intention attribution in humans. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2007.
- [56] M Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific American*, 1991.
- [57] D Wilson and D Sperber. Relevance: Communication and cognition. *Blackwell Publishing Limited*, 1995.

- [58] Y Wu, G Hua, and T Yu. Tracking articulated body by dynamic markov network. *Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision*, p. 1094, 2003.
- [59] K Yokoi. Humanoid robot hrp-2. *Journal of Japan Society of Mechanical Engineers*, Jan 2006.
- [60] C Zambaka, P Goolkasian, and L Hodges. Can a virtual cat persuade you?: the role of gender and realism in speaker persuasiveness. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 2006.
- [61] 坂本大介, 小野哲雄. ロボットの社会性: ロボットが対話者間の印象形成に与える影響評価. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 8, No. 3, pp. 381-390, 2006.
- [62] 坂本大介, 神田崇之, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博. 遠隔存在感メディアとしてのアンドロイドロボットの可能性. *インタラクシオン* 2007, No. 4, pp. 97-104, 2007.
- [63] 十河卓司, 石黒浩, M M Trivedi. 複数の全方位視覚センサによる実時間人間追跡システム. *電子情報通信学会論文誌*, Vol. D-2, No. 12, pp. 2567-2577, 2001.
- [64] 小野哲雄, 今井倫太, 石黒浩, 中津良平. 身体表現を用いた人とロボットの共創対話. *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, pp. 1348-1358, 2001.
- [65] 森政弘. 不気味の谷. *Energy*, Vol. 7, No. 4, pp. 33-35, 1970.
- [66] 神田崇行, 佐藤留美, 才脇直樹, 石黒浩. 対話型ロボットによる小学校での長期相互作用の試み. *ヒューマンインタフェース学会誌*, Vol. 7, No. 1, pp. 27-37, 2005.
- [67] 神田崇之, 鎌島正幸, 今井倫太, 小野哲雄, 坂本大介, 石黒浩, 安西裕一郎. 人間型対話ロボットのための協調的身体動作の利用. *日本ロボット学会誌*, Vol. 23, No. 7, pp. 898-909, 2005.
- [68] 池田徹志, 石黒浩, 西村拓一. 床センサと加速度センサの統合による複数人間追跡. *電子情報通信学会技術研究報告*, PRMU, Vol. 106, No. 301, pp. 7-12, 2006.
- [69] 林文俊. 対人認知構造の基本次元についての一考察. *名古屋大学教育学部紀要 (教育心理学)*, Vol. 25, pp. 233-247, 1978.

付 録 A 研究業績リスト

発表

国内会議 (第一著者)

- 小川浩平, 小野哲雄: メディア間を移動可能なエージェントによる遍在知の実現, インタラクション 2005, pp 99-100, 2005
- 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遍在知の実現, 人工知能学会 全国大会 (JSAI-2005), 2005
- 小川浩平, 小野哲雄: 隠された関係性: 連続的な身体動作情報による関係の推定, 人工知能学会 全国大会 (JSAI-2006), 2006
- 小川浩平, 小野哲雄: tele-ITACOMMUNICATION: 対話相手の存在感が増す遠隔コミュニケーションシステムの提案, HAI シンポジウム (HAI-2006), 2006
- 小川浩平, 小野哲雄: エージェントの発話に隠された意図の理解, HAI シンポジウム (HAI-2007), 2007
- 小川浩平, 小野哲雄: ITACO: 人間-インタラクティブシステム間における感情をともなった関係の構築, 情処研報 Vol.2008,No.5, 2008-ICS-150, pp 9-16, 2008
- 小川浩平, Christoph Bartneck, 坂本大介, 神田崇之, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博: コマーシャルエージェントとしてのアンドロイドの可能性, HAI シンポジウム (HAI-2008), 2008

国際会議 (第一著者)

- Kohei Ogawa, Tetsuo Ono (2005). Ubiquitous Cognition: Mobile Environment Achieved by Migratable Agent, Proceedings of 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI05), pp. 337-338.
- Kohei Ogawa, Tetsuo Ono (2008). ITACO: Constructing an Emotional Relationship between Human and Robot, The 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication(RO-MAN2008), 2008.

- Kohei Ogawa, Tetsuo Ono (2008). ITACO: Effects to Interactions by Relationships between Humans and Artifacts, The 8th International Conference on Intelligent Virtual Agent(IVA2008), 2008.
- Kohei Ogawa, Christoph Bartneck, Daisuke Sakamoto, Takayuki Kanda, Tetsuo Ono, Hiroshi Ishiguro (2009). Can An Android Persuade You?, The 18th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2009), 2009.

原著論文

- 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遍在知の実現. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, pp. 373.380, 2006.

その他

著作

- 小野哲雄, 小川浩平 (2007). 「憑依」するエージェントー ITACO プロジェクトの展開ー, 『人とロボットの<間>をデザインする』(山田誠二編著), 東京電機大学出版局.

講演

- 聴覚障害者のためのユビキタス社会のまちづくり, 日本聴覚障害者コンピュータ協会, 2007
- 人工物に信頼感・親近感を与えるヒューマンエージェントインタラクション, 自動車技術会 2007 ヒューマトロニクスフォーラム講演,2007

賞罰

- ヒューマンインタフェース学会 第7回(2007年度)論文賞 受賞
- 電子情報通信学会 北海道支部長賞(2007年度) 受賞
- HAI2008 (Human Agent Interaction 2008) Outstanding Award 受賞
- IPA 未踏ユース 「LEGO ブロックによる LEGO マインドストーム開発環境」, 2003年度

その他

- Ars Electronica Festival 2009 "Human Nature", Invited Artist, 2009年度

目 次

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | エージェントのカテゴリ | 10 |
| 2.2 | スクリーンエージェント | 12 |
| 2.3 | バックグラウンドエージェント | 14 |
| 2.4 | ロボティックエージェント | 15 |
| 2.5 | ロボットの種類 | 17 |
| 2.6 | ITACO Agent | 18 |
| 3.1 | ITACO System Conceptual Diagram | 30 |
| 3.2 | ITACO System Construction | 31 |
| 3.3 | 今回実装したプロトタイプシステム | 33 |
| 4.1 | Geminoid HI-1(左: Geminoid, 右: モデルの人間) | 36 |
| 4.2 | それぞれの実験条件で用いた説得エージェント (左: Video, 中央: Android, 右: Human) | 39 |
| 4.3 | 実験参加者になぞってもらった方眼用紙 | 40 |
| 4.4 | 実験環境 | 43 |
| 4.5 | 実際になぞってもらった方眼の例 (上: ずれが少ない例, 下: ずれが大きい例) | 44 |
| 4.6 | 説得エージェントに対して感じたパーソナリティ(左: Openness, 中央: Agreeableness, 右: Extroversion) | 45 |
| 4.7 | 条件間における線のずれ (左: Misalignment) とタスクに費やした時間 (右: Time) | 45 |
| 5.1 | エージェントとの対話の例 (スイカ割り) | 51 |
| 5.2 | 実験環境 | 53 |
| 5.3 | タブレット PC からウェアラブル PC へのエージェントの移動を表した写真 (左から右) | 54 |
| 5.4 | ウェアラブル PC からデスクランプへのエージェントの移動を表した写真 (左から右) | 54 |
| 5.5 | 実験の様子 (左: エージェント移動前, 右: エージェント移動後) | 58 |
| 5.6 | 実験環境 | 62 |
| 5.7 | 対話者がテーブルランプに移動する様子 | 63 |
| 6.1 | 情報意図と顕在性 | 70 |
| 6.2 | RobovieR2 | 73 |
| 6.3 | 実験環境 | 74 |
| 6.4 | 実験の様子 (左: 実験条件, 右: 統制条件) | 76 |

表 目 次

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | 実験参加者のパーソナリティと線のずれとの間の相関 | 46 |
| 4.2 | 実験参加者のパーソナリティとタスクに費やした時間との間の相関 | 46 |
| 5.1 | 質問紙の結果 (Q1) | 56 |
| 5.2 | 質問紙の結果 (Q2) | 56 |
| 5.3 | 実験条件における実験参加者間の話者に対する印象の差 | 65 |
| 5.4 | 統制条件における実験参加者間の話者に対する印象の差 | 65 |
| 5.5 | Q2 の条件間の差 | 65 |
| 6.1 | Q.1, Q.2 及び実験参加者の行動の結果 | 75 |