

遠隔操作型コミュニケーションロボットとの インタラクションにおける印象評価

山岡 史 享^{†,††} 神田 崇 行[†]
石 黒 浩^{†,††} 萩 田 紀 博[†]

最近、遠隔操作型のコミュニケーションロボットが用いられ始めてきた。本研究のねらいは、このような遠隔操作型のロボットと人が相互作用する際、人はロボット自身と相互作用しているように感じるのか、それとも背後の人と相互作用していると感じるのか、またそのような感じ方の違いは、相互作用にどのような影響を与えるのだろうか、ということを検証することである。そこで本研究では、ロボットはプログラムによって自律的に動いていると被験者に教示する条件と、ロボットは操作者によって遠隔操作されていると被験者に教示する条件の2つの実験条件を設定し、2つの条件間における被験者のロボットに対する印象の差異を検証した。実験では、被験者は人型ロボットと、アイコンタクトや接触行動などお互いの身体を使った相互作用を行い、そのときのロボットの印象を評価した。実験の結果として、2/3の被験者は、ロボット自身と相互作用していると感じており、彼らの感じた楽しさは、ロボットが操作されているのかどうかといった事前知識には影響されていなかった。また、残りの1/3の被験者はロボットの背後の人と相互作用しているように感じており、彼らの相互作用は事前知識に影響されていた。ロボット自身ではなく、背後の人間と相互作用していると感じていた被験者は、自律型ロボットと相互作用すると教示された場合には、より相互作用が楽しいと感じ、相互作用時間も増えていた。一方で、操作型ロボットと相互作用すると教示された場合は、よりつまらないと感じ、相互作用時間も減少していた。

Interacting with a Human or a Humanoid Robot?

FUMITAKA YAMAOKA,^{†,††} TAKAYUKI KANDA,[†] HIROSHI ISHIGURO^{†,††}
and NORIHIRO HAGITA[†]

Recently, remote-controlled communication robots have been studied. Our research question is whether the person interacting with them feels that he/she is interacting with the robot itself or the human behind it. How such beliefs affect interaction? Our experimental results indicated that two-third of the participants felt that they were interacting with the robot itself. Their enjoyment was unaffected by the knowledge that the robot was controlled by a program or a human. On the contrary, since the remaining one-third of the participants felt they were interacting with a human behind the robot, they were affected by the knowledge: their enjoyment increased when they were told they were interacting with an autonomous robot; in contrast, when they were told they were interacting with an operated robot, they enjoyed it less.

1. はじめに

コミュニケーションロボットとは、人間の日常生活の場で、人間のパートナーとして物理的な側面だけでなく、情動的、情緒的な側でも支援するロボットである^{1)~4)}。しかし、このような日常生活で十分に機能す

ることのできるロボットを、即座に実現することは難しい。そこで最近では、ロボットの背後で操作者がその行動を制御可能なロボット(以下、遠隔操作型ロボットと呼ぶ)を用いることによって、人とコミュニケーションを図り、そこで得られた知見を自律型ロボットに生かす Wizard of Oz (Woz) アプローチが用いられ始めている^{5),6)}。Woz法は、完全には開発されていないシステムの挙動をシミュレートする手法であり、システムの背後の人間(wizard)が、システムの代わりにユーザと対話をすることで、開発者はあらかじめシステムに必要なとされる要求や起こりうる問題点を

[†] 国際電気通信基礎技術研究所

ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

^{††} 大阪大学

Osaka University

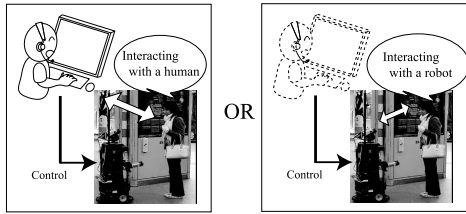


図 1 ロボットとの相互作用

Fig. 1 Interaction with a robot.

知ることができるなどの利点を持つ．このことから，HCI 分野などにおいて，たとえば文献 7)，8) など，従来から対話システムの開発過程として広く用いられている．また，現時点では，ロボットは人間のように臨機応変に判断することは困難であるため，ロボットが判断できないような不測の事態が発生した場合は，操作者が操作し対処することで，遠隔操作型のコミュニケーションロボットを実用的に使用することも考えられている^{9),10)}．

本研究における疑問は，このような遠隔操作型ロボットの研究から生じた．たとえば，人はこのようなロボットと相互作用するときには，誰と相互作用していると感じるのだろうか，という疑問があげられる．人は，背後の操作者を気にすることなく，ロボットと相互作用していると感じるのだろうか？(図 1 右)．それともまた，ロボットの背後にいる人と相互作用しているように感じるのだろうか？(図 1 左)．仮に自律型ロボットと遠隔操作型のロボットで，ロボットに対する印象や振舞いが異なるのであれば，Woz 法のような遠隔操作型ロボットによって得られた知見を，自律型ロボットの知見として適用するアプローチ自体に，我々は注意が必要であるということになる．Dahlback らは，Woz 法を用いる場合には，前提として，被験者には相互作用相手が自律システムであると教示しておく必要があると述べている¹¹⁾．しかしながら，このような教示は虚偽の教示となるため，科学館や駅などで行われているフィールド実験のような，不特定多数の人とロボットが相互作用する状況では，実験参加への同意がとれず，教示が困難である．本研究は，このようなフィールド実験においても，Woz 法の適用範囲を広げるために，有用な知見となると考えている．

また，このような遠隔操作型ロボットに関する研究は，ロボットという新たなメディアの研究につながる．一般的に，遠隔地とコミュニケーションするための代表的なメディアとしては，携帯電話やテレビ会議システムなどが考えられる．このようなメディアを介してのコミュニケーションにおいては，人と人の間に電話

機やテレビ画面といったメディアが存在するものの，メディアそのものよりもメディアの背後にいる人の存在が相手に強く認識される．それに対し，遠隔操作型ロボットのようなメディアを考えた場合，相手は目の前のロボットとの相互作用に意識を向けるようになり，結果として背後の人への意識は薄れるのではないかと考えられる．このようなメディアが持つ背後の人の存在を意識させないという特性は，ロボットを人々の生活支援する場で効率良く作業させるうえで利点となる，と我々は考えている．すでに，美術館の遠隔見学¹²⁾，作業支援¹³⁾，アンドロイドによる対話¹⁴⁾などで遠隔地から操作して，ロボットを動作させ，対話をさせる試みが始まっている．本人を模したアンドロイドを用いる試み¹⁴⁾は，その外見の酷似性により，対話者のロボットへの意識を背後の人への意識と同一化させる試みであるといえる．一方，さらに背後の人への意識を隠蔽する方向では，科学館での案内ロボット¹⁵⁾など，開発場面において背後の人間がロボットの動作を一部代替する試みが始まっている．この考えの延長として，遠隔操作型のコミュニケーションロボットを実用的に使用することも考えられている^{9),10)}．これらの背後の人への意識を隠蔽するような遠隔操作型ロボットの試みが適切であるかどうか，本研究において遠隔操作型ロボットとの相互作用に関する検証を行う重要性は大きい．

人とコンピュータの相互作用における，コンピュータの背後の人の存在の影響については，これまでも研究が行われている．Reeves らは，人は，まるで人と接しているかのようにコンピュータと相互作用を行う，という報告をしている¹⁶⁾．たとえば，人はお世辞を言うコンピュータの方を高く評価したり，コンピュータに対して礼儀正しく振る舞ったりする．一方で山本らは，自律的なコンピュータに対してと，人によって操作されているコンピュータに対してとでは，人のコンピュータに対する印象や振舞いが異なると報告している¹⁷⁾．この実験では，対戦相手が人だと教示されたグループは，対戦相手がプログラムだと教示されたグループよりも，楽しかったと評価し，より多くの時間遊び続けた．我々は，これら 2 つの異なった事例は，人間同士の間で起きる社会的振舞いが，人とコンピュータの間にも生じるものの，その影響の大きさは人同士の場合に比べて小さいことを示しているのではないかと考える．

ただし，このようなコンピュータとの相互作用に関する知見に対して，相互作用の対象がロボットのように実体を持ち擬人化しやすい対象となると，異なった

結果となるのではないかと我々は予測する．相互作用の対象が実体化するにつれ，人は対象に注目して相互作用するようになる．そのため，相互作用の対象がプログラムによって制御されていても，対象が操作者によって制御されていても，同じように対象との相互作用を楽しむようになる．このことから，我々は次のような仮説を立てる．人型ロボットと身体的な相互作用を行う場合において，ロボット自身と相互作用していると感じる人は，相互作用相手が自律型ロボットであろうと，遠隔操作型ロボットであろうと，同様に相互作用を楽しむ．

本稿では，ロボットはプログラムによって自律的に動いていると被験者に教示する条件と，ロボットは操作者によって遠隔操作されていると被験者に教示する条件の2つの実験条件を設定し，2つの条件間における被験者のロボットに対する印象の差異を検証する．実験では，被験者は人型ロボットと，アイコンタクトや接触行動などお互いの身体を使った相互作用を行い，そのときのロボットの印象を評価する．

2. 実験システム

本実験では，これまでに我々が開発した相互作用型ロボットを用いた¹⁸⁾．このロボットは，相互作用相手とアイコンタクトや距離や方向を保つ，相手からの働きかけ（触ろうとする）に反応する，また，相手に対して働きかける，といった相互作用相手の振舞いに対応した相互作用が可能なロボットである．システム構成は，文献 18) に記したシステム構成と同様であるため，本稿では詳細の説明はせず，システムの概要について説明する．

2.1 システム構成

システムの構成を図 2 に示す．実験システムは，ヒューマノイドロボット，モーションキャプチャシス

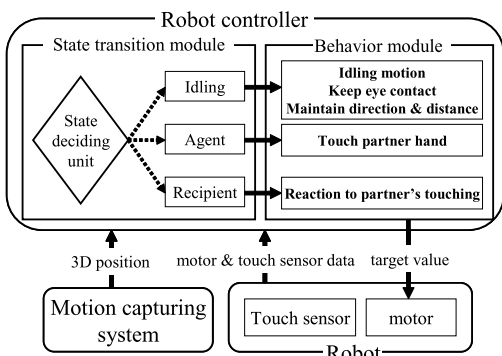


図 2 システム構成
Fig. 2 System configuration.

テム，ロボットコントローラ（ソフトウェア）から構成される．赤外線マーカはロボットと人間の体の各部に図 3（実線の丸印で囲まれた場所）のように取り付けた．このロボットコントローラが，モーションキャプチャシステムとロボットの持つタッチセンサ，ポテンシオメータなどのセンサからの情報を基に相手の振舞いを認識し，その振舞いに応じたロボットの対人行動を制御する．ヒューマノイドロボットとロボットコントローラの詳細を以下に示す．

2.2 ヒューマノイドロボット “Robovie”

本研究で用いたヒューマノイドロボットは ATR で開発されたコミュニケーションロボット “Robovie” である¹⁹⁾．図 3 右に示すように Robovie は上半身人型のロボットであり，その高さは 1.2 m，半径 0.5 m，重量約 40 kg である．各 4 自由度の腕，3 自由度の頭部，各 2 自由度の眼球部（カメラ内部の可動部）を備えており，移動機構は 2 輪独立駆動方式の車輪およびキャスタである．また，合計 8 つのタッチセンサがロボットの体に取り付けられており（頭部，腹部，左右上腕部，前腕部，肩部 - 図 3 右の破線で囲まれた部位），これらタッチセンサの情報により人がロボットのどの部位に接触したかを検出することができる．

2.3 ロボットコントローラ

ロボットコントローラは，内部状態遷移モジュール（State transition module）およびビヘービアモジュール（Behavior module）から構成される．ロボットは Recipient（受け身状態），Idling（待機状態），Agent（作用主状態）という 3 つの内部状態を持っており，内部状態遷移モジュールは，ロボットと相手との相互作用関係に応じて内部状態を変化させる．一方，ビヘービア制御モジュールは決定された内部状態に基づきビヘービアを実行する．図 4 に内部状態と図 5 にビヘービアの概要を示す．

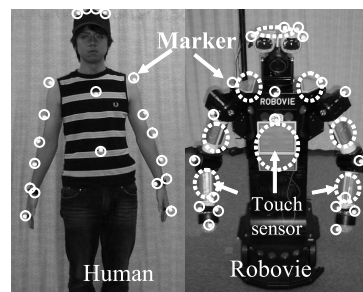


図 3 人と使用されたロボット（図中 印はマーカが取り付けられた位置を示す）

Fig. 3 Human-and-robot.

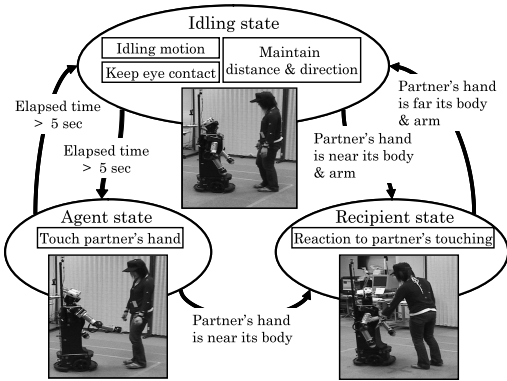


図 4 状態遷移図
Fig. 4 State transition.

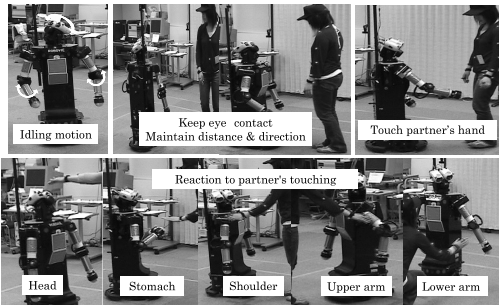


図 5 ビヘービア
Fig. 5 Behaviors.

2.3.1 内部状態

- **Recipient State (受け身状態)**
ロボットは相手の接触行動に反応する。相手からロボットへの働きかけ(触ろうとする)がある場合、ロボットは Recipient 状態となり、ビヘービア「相手の触行動への反応」を実行する。
- **Idling State (待機状態)**
ロボットは、相手からの接触を待つ。相手から働きかけがない場合、ロボットは Idling 状態となり、ビヘービア「待機動作」「アイコンタクト維持」「距離・方向の維持」を実行する。
- **Agent State (作用主状態)**
ロボットは、相手の手を触ろうとする。Idling 状態が 5 秒以上継続した場合、ロボットは Agent 状態となり、ビヘービア「相手の手への接触」を行う。ただし、Agent 状態中に相手が特定部分(ロボットの相手を触ろうとしている手部分)以外の場所に接触しようとした場合は Agent から Recipient 状態へと移行する。

2.3.2 ビヘービア

- 待機動作 (図 5 上部左) — ロボットは、腕や首

を一定間隔で動作させる。

- **アイコンタクト維持 (図 5 上部中央)** — ロボットは、目と首を動かすことによりアイコンタクトを行う。
- **距離・方向の維持 (図 5 上部中央)** — ロボットは、相手との距離や方向を保つ。
- **相手の手への接触 (図 5 上部右)** — ロボットは、自身の手と台車部を制御することにより相手の手に触ろうとする。
- **相手の接触への反応 (図 5 下部)** — ロボットは、相手がロボットに触る前に、手や台車部を使うことによって相手の手を見て、相手の接触を避ける。

3. 実験

我々は、山本らの実験¹⁷⁾のフレームワークに沿った実験を行った。実験前に被験者は、ロボットはプログラムによって操作されていると教示される条件、もしくは、ロボットは操作者によって操作されていると教示される条件、のいずれかの条件で実験者から教示を受けた。教示後、被験者はしばらくの間ロボットと相互作用を行い、ロボットの印象評価を行った。さらに、次の実験までの待機中にどの程度そのロボットとの相互作用を延長したかという自発的な相互作用時間が、被験者の楽しさの客観的な指標として計測された。

3.1 実験方法

被験者

77 人の大学生 (男性 50 人、女性 27 人) が被験者として実験に参加した。

実験環境

実験は、ATR 知能ロボティクス研究所の実験室で行われた。実験室の大きさは、7.5 [m] × 10.0 [m] である。なお、モーションキャプチャシステムの有効範囲に制限があることから、実験中、被験者は実験室中央の 2 [m] × 2 [m] のエリア内のみでロボットと相互作用を行うように制限された。

実験条件

我々は、相互作用相手が遠隔操作型ロボットであるのか自律型ロボットであるのかという事前知識が、印象や相互作用にどのような影響を与えるのかを検証するために、以下に示す 2 条件を設定した。被験者は、2 つの条件のうち、どちらかの条件でロボットと相互作用を行った。

- **Autonomous 条件**

被験者は、ロボットはプログラムによって動作していると教示された。実験前の教示ビデオでは、図 6 上部に示すようにリアルタイムに取得され

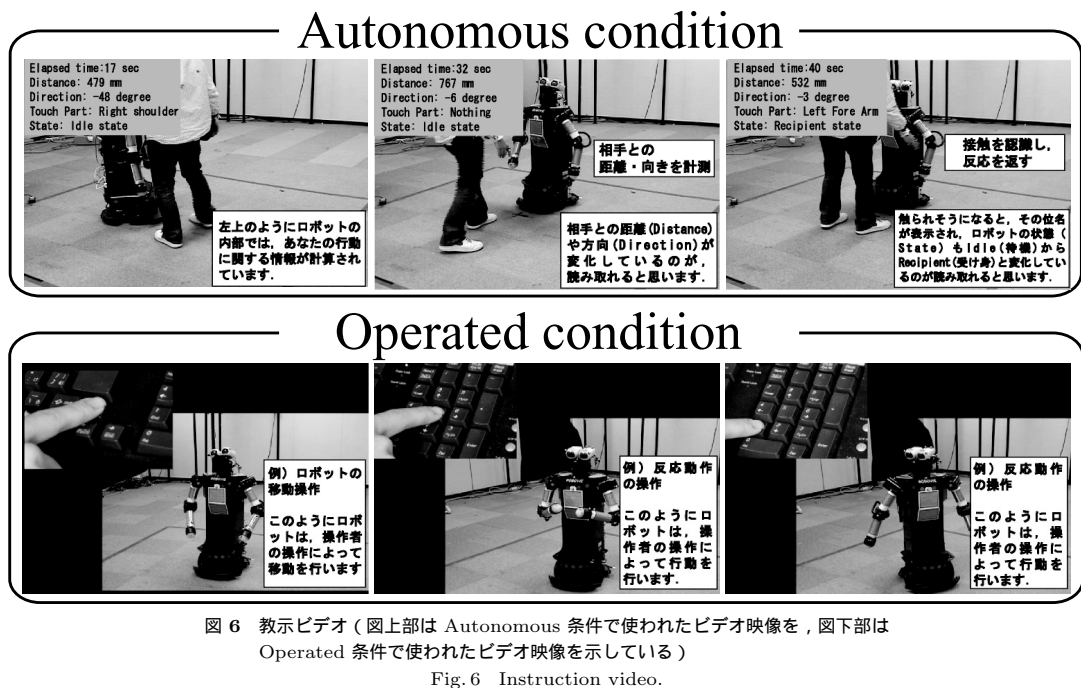


図 6 教示ビデオ (図上部は Autonomous 条件で使われたビデオ映像を、図下部は Operated 条件で使われたビデオ映像を示している)

Fig. 6 Instruction video.

る対人情報 (距離, 方向, 接触部位) に応じてロボットの内部状態が変化し, ビヘービアが実行されていることが説明された。

● Operated 条件

被験者は, ロボットが操作者によって操作されていると教示された。実験前の教示ビデオでは, 図 6 下部に示すように, 操作者のキー入力によってロボットが操作されていると説明された。ただし, 実験中は, ロボットは, 操作者による操作ではなく, プログラムによって自律的に動作していた。

実験手順

実験は, 以下の 5 つのステップによって行われた。ステップ 3 における次の実験までの待機は, 被験者の楽しさを客観的に示す相互作用延長時間を計測するために用意した。これは, ロボットとの相互作用を楽しんでいれば相互作用の延長時間も長くなるはずであると考えたためである。

● ステップ 1: 実験前の教示

ロボットが遠隔操作型であるのか自律型であるのかを, 被験者に信じさせるために, ロボットの制御手法を説明する教示ビデオを使用した。実験前に被験者は, ロボットの制御手法 (ロボットは, プログラムによって動いているのか, それとも人に操作されているのか) およびロボットとの相互作用方法を説明する教示ビデオを見た。彼らが割り当てられた条件に応じて教示ビデオで説明され

た内容は異なった。また相互作用方法としては, ロボットに近づいたり, 離れたたり, 触ったり, その動きを観察したりしてロボットと相互作用するように教示が行われた。

● ステップ 2: 実験への参加

被験者は, ロボットと 3 分間相互作用を行った。3 分間の相互作用の後, 質問紙の質問に答えることによって相互作用したロボットを評価した。

● ステップ 3: 待機

実験者は, 被験者に対して実験準備が遅れているために次の実験までに約 50 分間程度部屋で待機する必要があることを説明された。その際, 実験者は被験者にロボットと相互作用して待機してはどうかと勧めた。

● ステップ 4: 相互作用の延長

ロボットを相互作用することを選んだ被験者は, 飽きた場合には, 途中で相互作用を止めてもかまわないと教示された後, ロボットとの相互作用を続けた。相互作用延長時間は 20 分間を上限とし, 20 分間以上相互作用し続けた場合は実験者が相互作用を止めた。相互作用の延長終了後, 相互作用相手の帰属に関する質問を行った。

● ステップ 5: 実験に関する説明

すべての被験者は 50 分間待機する必要があるという偽りの説明を受け, また一部の被験者は人に操作されているという偽りの教示を受けていたの

で、待機は実験の一環であったことおよび実験中ロボットは自律的に動いていたという事実について説明を行った。

3.2 評価方法

我々は、被験者のロボットに対する印象評価と相互作用の延長時間に基づいて、ロボットを評価した。

ロボットに対する被験者の印象評価

ロボットの「自律性」「随伴性」「知的さ」「楽しさ」に関する印象評価を得るために、質問紙を使って質問を行った。被験者は1~7の7段階でそれぞれの質問に評価を行った。以下に、実際に使用した質問内容を示した。

- 自律性：ロボットは自分で判断して動いているように感じましたか？
- 知的さ：ロボットを知的であると感じましたか？
- 随伴性：ロボットはあなたの動きに対応した動きをしていましたか？
- 楽しさ：楽しかったですか？

質問項目である「自律性」「知的さ」は、被験者がどの程度教示を信じたのかを測るために設定した。また、「随伴性」は、被験者がどのようにロボットの振舞いを観察したのかを測るために設定し、「楽しさ」は被験者がどの程度ロボットの相互作用を楽しんでいたのかを測るために設定した。

相互作用の延長時間

我々は被験者の楽しさを客観的に評価するため、ステップ4において「相互作用の延長時間」を測った。

- 延長時間
被験者がロボットとの相互作用を止めるまでの時間。ただし、上限を20分間とし20分を超えた場合は相互作用を中止させた。

相互作用相手の帰属

ステップ4の相互作用の延長終了後、我々は遠隔操作型のロボットと相互作用する際に人は相互作用相手を誰に帰属するのか（ロボット自身と相互作用しているように感じるのか、それとも背後の人と相互作用していると感じるのか）について検証を行うため、質問紙を用いて相互作用相手の帰属に関する以下の質問を行った。

- 相互作用相手の帰属
あなたはロボットと相互作用しているとき、ロボット自身と相互作用していると感じましたか？それとも背後の人間と相互作用しているように感じましたか？

この質問への回答は7段階評価によって行われた。被験者は回答の際に、ロボット自身と相互作用していた

と感じた場合には評価値1を、背後の人と相互作用していたと感じた場合は評価値7をつけるように指示された。

3.3 仮説と予測

我々の「ロボット自身と相互作用していると感じる人は、相互作用相手が自律型ロボットであろうと、遠隔操作型ロボットであろうと、同様に相互作用を楽しむ」という仮説をもとに、実験では以下の結果が予測される。

● 予測

相互作用相手をロボットに帰属する人は、人間に帰属する人よりも、Autonomous, Operatedのどちらの実験条件のロボットに対しても、同様に相互作用を楽しむ。

以上の予測の検証を目的に、本実験を行う。

4. 実験結果

4.1 相互作用相手の帰属

我々は相互作用相手の帰属に関する質問の結果から、被験者を以下に示す「人間帰属群」と「ロボット帰属群」という2つのグループに分類した。

● 人間帰属群

ロボットの背後の人と相互作用していると感じた人たち

● ロボット帰属群

ロボット自身と相互作用していると感じた人たち

我々は評価値として4~7点を与えた被験者を「人間帰属群」、1~3点を与えた被験者を「ロボット帰属群」として分類した。ここで、評価値4点は、どちらでもない、あるいはどちらとも思えるという印象を表しているが、ここでは約2/3の被験者が1~3点を与えており、群分けのバランスをとるためには人間帰属群に含めた。つまり、厳密には「中間から人間帰属群」と呼ぶべきであるが、簡単のためここでは「人間帰属群」と呼ぶ。表1は分類の結果を示している。フィッシャーの直接確率検定を行ったところ有意差が示されなかったことから ($p = .510$)、相互作用相手の帰属はOperatedとAutonomous条件間に差異がなかった、つまり、少なくとも今回の実験設定の中において、相互作用の帰属は、実験条件に影響されていなかったと

表1 相互作用相手の帰属

Table 1 Participant attribution of interaction.

	ロボット帰属群 (評価値: 1~3点)	人間帰属群 (評価値: 4~7点)
Operated 条件	29人	13人
Autonomous 条件	25人	10人

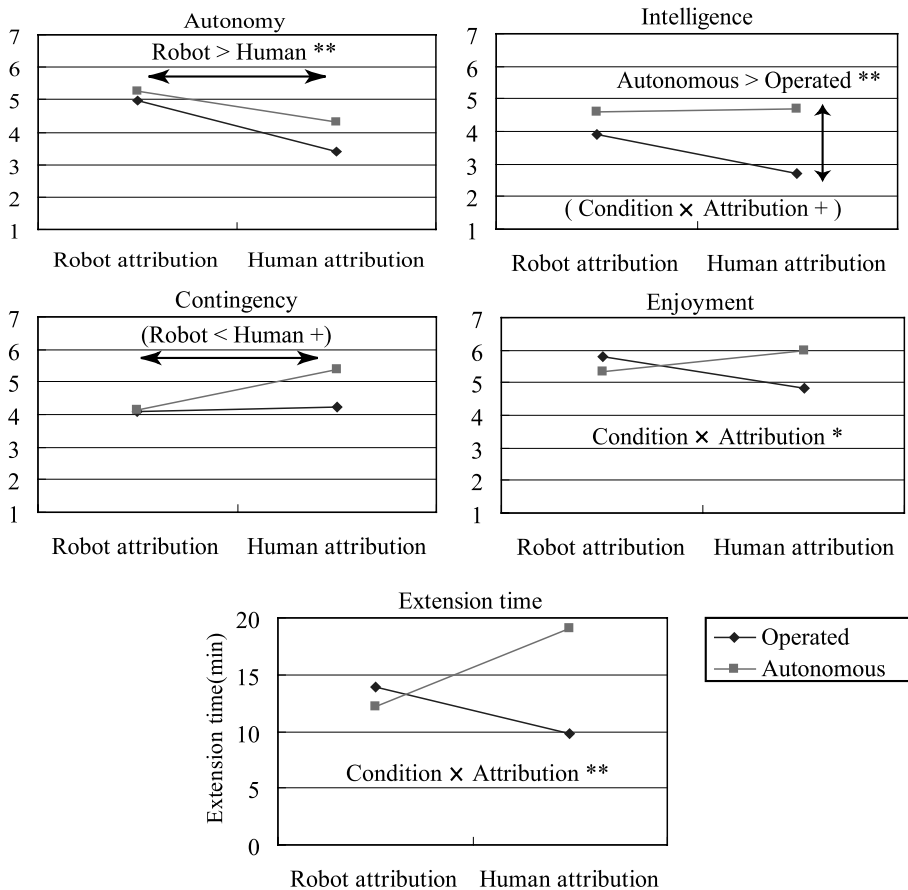


図 7 印象評価および相互作用延長時間 (図中の記号+は 0.1%以下の有意傾向, *と**はそれぞれ 0.05%と 0.01%以下の有意差が認められたことを示している)

Fig. 7 Impression evaluation and extension time of interaction.

考える。

4.2 実験予測の検証：実験条件と相互作用相手の帰属の影響

我々は、実験予測を検証するため、実験条件と相互作用相手の帰属が相互作用に及ぼす影響を調べた。上記で行った相互作用の帰属による分類結果に基づいて、我々は被験者間 2 要因 (実験条件 × 相互作用相手の帰属) 分散分析 ANOVA を行ったところ、図 7 のような結果になった。図 7 は被験者の印象評価 (随伴性、自律性、知的さ、楽しさ) と相互作用延長時間の結果を示している。以下に、評価項目ごとの解析結果の詳細を記述する。

- 自律性：「相互作用相手の帰属群間」に関して有意差が見い出された ($F(1, 73) = 15.714, p < .001$)。図 7 から読み取れるように、ロボット帰属群の方が人間帰属群よりも、ロボットに対して高い自律性を感じていた。
- 知的さ：「実験条件群間」に有意差が見い出された

($F(1, 73) = 12.737, p = .001$)。図 7 から読み取れるように、Autonomous 条件群の方が Operated 条件群よりも、ロボットに対して高い知性を感じていた。さらに、相互作用についても有意傾向が見い出された ($F(1, 73) = 2.948, p = .090$)。

- 随伴性：「相互作用相手の帰属群間」に関して有意傾向が見い出された ($F(1, 73) = 3.259, p = .075$)。
- 楽しさ、相互作用延長時間：相互作用が見い出された (楽しさ： $F(1, 73) = 6.748, p = .011$, 相互作用延長時間： $F(1, 73) = 11.767, p = .001$)。図 7 から読み取れるように、Operated 条件で人間帰属群の被験者よりも Autonomous 条件で人間帰属群の被験者の方がロボットとの相互作用をより楽しいと感じ、相互作用延長時間も長かった。「自律性」には条件間の差異が認められなかったが、「知的さ」に関しては条件間に違いが認められたことから、我々は実験操作が成功していたと考える。また、

この結果は被験者が実験条件の違いをロボットの自律性よりも知的さに強く帰属させていた可能性を示している。

上記の実験結果をまとめると、被験者全体の2/3を占める「ロボット帰属群」の被験者は、背後の人の存在を意識しておらずロボット自身と相互作用しているように感じていた。彼らのロボットの知的さに関する印象評価結果は、知的さがロボットの操作者が誰か（プログラムまたは操作者）という事前知識に影響されていたことを示していたが、ロボットと相互作用する際の楽しさは事前の知識に影響されていなかった。また一方で残りの1/3の「人間帰属群」の被験者は、ロボット自身ではなくロボットの背後の人と相互作用しているように感じていた。彼らは事前知識に影響を受けており、その影響は実験条件によって異なった。ロボットが操作されていると教示を受けた被験者は、楽しくないと感じ相互作用時間も短かった。一方でプログラムによって動作しているロボットと相互作用すると教示された被験者は相互作用を楽しみと感じ相互作用時間も長くなっていった。

これらの結果から、3.3節における我々の予測：相互作用相手をロボットに帰属する人は、人間に帰属する人よりも、Autonomous, Operated のどちらの実験条件のロボットに対しても、同様に相互作用を楽しむ、は支持された。

5. 考 察

5.1 相互作用の帰属

ロボット自身ではなくロボットの背後の人と相互作用しているように感じていた被験者にとって、背後の人とは誰なのだろうか。表2は実験後行ったロボットの背後の人とは誰なのかという質問（被験者は、操作者・プログラマ・その他のいずれかを回答するように指示された）の回答結果を示している。結果の数字から解釈しようとすると、Operated条件の被験者は、操作者と相互作用していたように感じていたように考えられる。ただし、被験者数が少ないことから統計的に議論することはできず、結論づけることはできない。

ほかにも、なぜ相互作用相手の帰属が被験者に影響を及ぼすのかという疑問があげられる。これにはいくつかの説明が可能であるが、我々は次のように考える。

ロボット自身に帰属をする人は目の前の出来事に焦点を当てやすいため、ロボットが人に操作されているのかどうかという実験条件にはほとんど影響を受けない。また一方で人間帰属する人は、目の前の出来事よりも事前の知識によって影響を受けやすいため、実験条件に影響を受ける。実験の結果として、被験者はロボットが操作者によって操作されていると教示されると、ロボットとの相互作用が楽しくないと感じていた。これは、ロボットの相互作用における振舞いは操作者がいれば、予想の範囲内の動きしかせず、楽しくないと感じたのではないだろうか。

一方で人間帰属した人は、ロボットが自律的に動作していたと教示された際には、ロボットとの相互作用をより楽しいと感じていた。我々は、これは彼らが目の前のロボットがどのようなことができるのか、人間とはどう違うのか、といった好奇心から楽しさにつながったのではないかと考える。つまり、彼らはロボットの振舞いが複雑であったために、その仕組みや、実際はロボットの背後に操作者がいるのではないかと思考し、このような探索行為がロボットの相互作用を楽しみと感じさせていたのではないだろうか。さらに我々は、この相互作用の帰属の分布はロボットの振舞いに応じて変化することが予想される。つまり、ロボットの振舞いがより複雑になればなるほどより多くの人々が背後の人の存在を意識することがなくなり、ロボット自身と相互作用していると感じるのではないかと予測できる。

5.2 コンピュータの場合の研究との対比

我々の実験結果が山本らによる人とコンピュータの相互作用における結果とは異なっていたことは興味深い。山本らの実験では、自律的なコンピュータに対してと、人によって操作されているコンピュータに対してとでは、人のコンピュータに対する印象や振舞いが異なるということが示されていた。一方で、我々の実験では、ロボットの背後の操作者の有無は、ロボットに相互作用を帰属している場合には、ロボットに対する印象や振舞いに違いはなかった。

我々は、この違いはロボットがテキストベースのプログラムよりも複雑であり、身体を持っているためであると考えている。このようなロボットならではの視覚的な存在感によって、コンピュータの場合とは違って対話者の背後の人を意識させることなくロボット自身との相互作用を楽しむことができたのではないだろうか。ただし、ロボットが非常に単純である場合、また身体動作から離れて言語のみの相互作用を行う場合には、我々はむしろ山本らの知見に近い結果が得られ

表2 背後の人とは誰か？

Table 2 Who is a human behind the robot?

	操作者	プログラマ	その他
Operated 条件	9人	2人	2人
Autonomous 条件	3人	3人	4人

るのではないかと予測する。

5.3 Woz を用いた開発方法

Woz のような開発手法にとって、ロボットが操作されているかどうかという事前知識は重要な要因であるかもしれない。しかしながら、2/3 の被験者が条件の違いにかかわらずロボットが操作されているかどうかを気にしておらず、印象評価や相互作用の延長時間において、条件間に差がなかったことから、操作型ロボットで得られた知見を自律型ロボットの知見として用いても問題はないと考えられる。

5.4 知見の一般性

最後に、今回の結果はある 1 つのロボットで、ある 1 つのプログラムによって得られたものであるため、この知見の一般化には限界があることに注意が必要である。ただし、これまでの研究で、神田らが HONDA の ASIMO と Robovie の外見が相互作用に与える影響を比較し、親しみやすさなどの印象は異なるものの、行動に関する差は反応時間などの小さな差であり、発話や行動そのものには大きな差異が見られなかったことを示した²⁰⁾。この知見をふまえると、我々の用いたロボットと同程度の擬人性を持つロボット（似たような見かけや、自由度を持ったロボット）を用いた場合には、同様の結果が得られると予測できる。一方で、擬人化できる度合いが異なるロボットの場合には、今回の知見は適用できないと考える。たとえば、Hinds らは、人間と人型のロボットおよび箱形の機械的なロボットのそれぞれと、人が共同作業をする際の印象評価を比較し、人は共同作業する相手が人の見かけに近づくにつれ、より高い功績を認め、より信頼できると評価するようになることと報告している²¹⁾。ここから類推できるのは、擬人性が大きく異なると、それらに対するコミュニケーションの内容が異なってくるということである。つまり、見かけが人型のロボットでないなど、擬人化できる程度が異なる場合には、相互作用の帰属が異なることが予想される。

擬人性が同程度である場合に、今回用いたプログラム（ロボットの反応程度・タスク内容など）の影響を考察すると、ロボットとの相互作用への没入感が異なると、ロボット帰属・人間帰属の比率が変化することが予測される。過去の、身体動作を主とする人口ロボット対話において、ロボットの行動が複雑で、反応的行動が豊富な場合に、相互作用している人に与える印象が良くなり、人の反応も良くなるなど、没入感が増えることを示す知見が得られている¹⁸⁾。ロボットの行動が、今回の実験よりも複雑で反応的になる場合には、ロボットが与える没入感が増え、結果としてロボット

帰属をする人が増えることが予測される。ロボットの行動が単純な場合には、コンピュータ上でのしりとり¹⁷⁾ の場合と同様に、背後の人の存在による影響が増えることが予想される。ただし、ロボットが誤りを起こすなどにより没入感が下がる場合を考えると、人とコンピュータの相互作用の研究においてはエラーが開発者などの背後の人に帰属されるという知見がある¹⁶⁾、親和的行動を行うロボットと人の相互作用においては誤認識が許容されがちであるという知見もある²²⁾。ここからは、ロボットの場合には、その実体的な存在や親和的行動により、コンピュータの場合ほどは背後の人が影響しない可能性が示唆される。

6. 結 論

本研究では、遠隔操作型のロボットと相互作用する際、人はロボット自身と相互作用しているように感じるのか、それとも背後の人と相互作用していると感じるのか、またそのような感じ方の違いは相互作用にどのような影響を与えるのだろうかといった遠隔操作型ロボットに関する疑問を解決するための実験的検証を行った。実験では被験者は、遠隔操作型ロボットもしくは自律型ロボットのどちらかと相互作用するように要求され（実際は、どちらのロボットも自律的に動作していた）、その際のロボットへの印象評価と相互作用の延長時間が計測された。実験の結果として、2/3 の被験者はロボット自身と相互作用しているように感じていた。彼らの知覚に関する印象評価結果は彼らが実験条件の違いを区別していたことを示していたが、楽しさはロボットが操作されていたかどうかの事前の知識に影響されていなかったことが示された。また一方で、残りの 1/3 の被験者はロボットの背後の人と相互作用しているように感じていた。彼らは事前知識に影響を受けており、その影響は実験条件によって異なった。ロボットが操作されていると教示を受けた被験者は、楽しくないと感じ相互作用時間も短かった。一方でプログラムによって動作しているロボットと相互作用すると教示された被験者は相互作用を楽しみと感じ相互作用時間も長くなっていた。

謝辞 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（18680024）の助成より実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 柴田崇徳：人とロボットの身体的インタラクションを通じた主観的価値の創造，日本ロボット学会誌，Vol.18, No.2, pp.200-203 (2000).
- 2) 佐藤知正，中田 亨：人と調和するペットロボッ

- トのための対人心理作用技術, 人工知能学会誌, Vol.16, No.3, pp.406-411 (2001).
- 3) 松坂要佐, 東条剛史, 小林哲則: グループ会話に参与する対話ロボットの構築, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II, No.6, pp.898-908 (2001).
 - 4) Watanabe, T., Okubo, M. and Ogawa, H.: An Embodied Interaction Robots System Based on Speech, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.12, No.2, pp.126-134 (2000).
 - 5) Green, A., Huttenrauch, H. and Eklundh, K.S.: Applying the Wizard-of-Oz Framework to Cooperative Service Discovery and Configuration, *Proc. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2004)*, pp.575-580 (2004).
 - 6) Walters, M.L., Dautenhahn, K., Boekhorst, R., Koay, K.L., Kaouri, C., Woods, S., Nehaniv, C., Lee, D. and Werry, I.: The Influence of Participants' Personality Traits on Personal Spatial Zones in a Human-Robot Interaction Experiment, *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication (Ro-Man 2005)*, pp.347-352 (2005).
 - 7) Dow, S., MacIntyre, B., Lee, J., Oezbek, C., Bolter, J.D. and Gandy, M.: Wizard of Oz Support throughout an Iterative Design Process, *Pervasive computing*, Vol.4, No.4 (2005).
 - 8) 岡本昌之, 山中信敏: Wizard of Oz 法を用いた対話型 Web エージェントの構築, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.293-300 (2002).
 - 9) 舘すすむ, 川上直樹, 関口大陸, 梶本裕之, 多田隈理一郎: 相互テレグジスタンスロボット「テレサフォン」, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.2, p.177 (2006).
 - 10) Koizumi, S., Kanda, T., Shiomi, M., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Preliminary Field Trial for Teleoperated Communication Robots, *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN2006)*, Hatfield, United Kingdom (2006).
 - 11) Dahlback, D., Jonsson, A., Ahrenberg, L.: Wizard of Oz studies — why and how, *Knowledge-based systems*, Vol.6, No.4, pp.258-266 (1993).
 - 12) 前山祥一, 油田信一, 原田 昭: 移動ロボットの遠隔操作による美術館鑑賞 感性特プロにおけるロボットの役割, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.4, pp.30-33 (1999).
 - 13) 葛岡英明, 山崎敬一, 上坂純一: ロボットを介した遠隔コミュニケーションシステムにおけるエコロジーの二重性の解決: 頭部連動と遠隔ボインタの評価, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.187-196 (2005).
 - 14) 坂本大介, 神田崇行, 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, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2007, No.4, pp.97-104 (2007).
 - 15) Shiomi, M., Kanda, T., Koizumi, S., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Group Attention Control for Communication Robots, *ACM 2nd Annual Conference on Human-Robot Interaction (HRI2007)*, pp.121-128 (2007).
 - 16) Reeves, B. and Nass, C.: *The media equation* (1996).
 - 17) 山本吉伸, 安西祐一郎: インタラクシオンの楽しさ, 人間工学 (日本人間工学会誌), Vol.30, No.1, pp.15-25, (1994).
 - 18) Yamaoka, F., Kanda, T., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Lifelike behavior of communication robots based on developmental psychology findings, *IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2005)*, pp.406-411 (2005).
 - 19) 神田崇行, 石黒 浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平: 研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット “Robovie” の開発, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.4, pp.380-389 (2002).
 - 20) 神田崇行, 宮下敬宏, 長田 拓, 配川有二, 石黒浩: 人口ロボット相互作用における人型ロボットの外見の影響, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.4, pp.497-505 (2006).
 - 21) Hinds, P., Roberts, T. and Jones, H.: Whose job is it anyway? A study of human-robot interaction on a collaborative task, *Human Computer Interaction*, Vol.19, pp.151-181 (2004).
 - 22) 山本大介, 土井美和子, 松日楽信人, 上田博唯, 木戸出正継: 親和行動導入による実用的ホームロボットインタフェース - 音声誤認識を許容する親和行動, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.8, No.2, pp.247-253 (2006).

(平成 19 年 1 月 29 日受付)

(平成 19 年 8 月 9 日採録)



山岡 史享 (学生会員)

1982 年 3 月 4 日生 . 2004 年静岡
大学工学部卒業 . 2006 年大阪大学
大学院工学研究科知能・機能創成工
学前期課程修了 . 同年同大学院博士
後期課程入学 . 同年 ATR 知能口
ボティクス研究所研修研究員として勤務 . コミュニケー
ションロボットの研究に従事 .



神田 崇行（正会員）

1975年12月7日生。1998年京都大学工学部情報工学科卒業。2000年同大学大学院情報学研究科社会情報学専攻修士課程修了。2003年同専攻博士課程修了。博士（情報学）。現

在，ATR 知能ロボティクス研究所上級研究員。ヒューマンロボットインタラクション，特にロボットの自律対話機構や社会的能力，人間型ロボットの身体を利用した対話に興味を持つ。



萩田 紀博（正会員）

1978年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社（現，NTT）武蔵野電気通信研究所に入所。文字認識や画像認識等の研究に従事。NTT

基礎研究所等を経て，現在 ATR 知能ロボティクス研究所所長。工学博士。IEEE，電子情報通信学会，人工知能学会各会員。



石黒 浩（正会員）

1963年10月23日生。1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了。工学博士。同年山梨大学工学部情報工学科助手，1992年大阪大学基礎工学部システム

工学科助手。1994年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。2001年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科教授。現在，大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授，ATR 知能ロボティクス研究所コミュニケーションロボット研究室客員室長。人工知能学会，電子情報通信学会，IEEE，AAAI 各会員。