

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

坂本大介^{*1&2} 神田崇行^{*1} 小野哲雄^{*1&2} 石黒浩^{*1&3} 萩田紀博^{*1}

^{*1}ATR 知能ロボティクス研究所 ^{*2}公立はこだて未来大学 ^{*3}大阪大学

概要：本研究では人間の存在感を伝達するために遠隔操作型アンドロイド・ロボットシステムを開発した。本システムでは非常に人に近い外見を持つアンドロイド・ロボットであるGeminoid HI-1を使用する。本システムを使用した実験の結果Geminoid HI-1を通して伝わる人間の存在感はビデオ会議システムを使用した場合の人間の存在感を上回ったことが確認された。さらに、被験者はビデオ会議システムと同程度に本システムにおいて人間らしく自然な会話ができたことが確認された。本稿ではこれらのシステムと実験について述べたあと、遠隔操作型アンドロイド・ロボットシステムによる遠隔存在感の実現についての議論を行う。

Android as a Telecommunication Medium with Human-like Presence

Daisuke Sakamoto^{*1&2}, Takayuki Kanda^{*1}, Tetsuo Ono^{*1&2},
Hiroshi Ishiguro^{*1&3} and Norihiro Hagita^{*1}

^{*1}ATR Intelligent Robotics Laboratory ^{*2}Future University-Hakodate ^{*3}Osaka University

Abstract: In this research, we develop a remote-controlled android system to realize human telepresence. The system uses a very human-like robot called Geminoid HI-1. Experimental results confirm that Geminoid HI-1's presence is as strong for humans as an individual who appeared on a video monitor in a video conference system. In addition, participants could talk with the robot naturally, and they evaluated the robot's human likeness as equal to well as a man on a video monitor. However, they felt the robot was uncanny. At the end of this paper, we will discuss a remote-control system for telepresence that uses a human-like android robot as a new telecommunication medium.

1 はじめに

近年、人間型ロボットの研究開発が盛んに行われている。本田は2足歩行可能なロボットであるASIMOを開発し、Breazealらは感情を表出する顔ロボット[1]を開発した。さらに、最近になって人間に酷似した外見をもつロボットであるアンドロイドも開発されてきた[2]。これらのロボットは擬人的な身体要素をもとに人間同士が行うような自然な人-ロボット対話(Human-Robot Interaction)を可能にすると考えられる[3-6]。これから登場するであろう多くの対話型ロボットは次世代インタラクション技術の中核となる可能性がある。特に人型ロボットとのインタラクションは人に近いインタラクション技術が求められるという点において、重要であると考えられる。

この中で我々は、人間型ロボット、特にアンドロ

イドが遠隔地間で対話するための通信メディアに利用できるのではないかと考える。これまでも電話やビデオ会議システムが通信メディアとして使われてきた。しかし、物理空間が共有できない[7]、視線があわない[8]、といった問題で「存在感」が伝達できないという問題があった。この存在感を伝達することで、これまで実現されてこなかった遠隔コミュニケーションが可能になるかもしれない。本稿で扱う「存在感」とは実世界において「まさに、ここに居る。」という強い感覚であることとする。また、「遠隔存在感」とはある遠隔地にいる人間の存在感を、同地点の人の存在感と同様に「まさに、ここに居る。」と感じられる感覚とする。

これまでも、存在感を伝達するためにバーチャルリアリティなどの技術を利用する研究が行われてきた。石引らは遠隔地にいる人間の影を通信することでお互いの存在感の通信を試みた[9]。しかし、我々は実体を持つロボットに注目する。これ

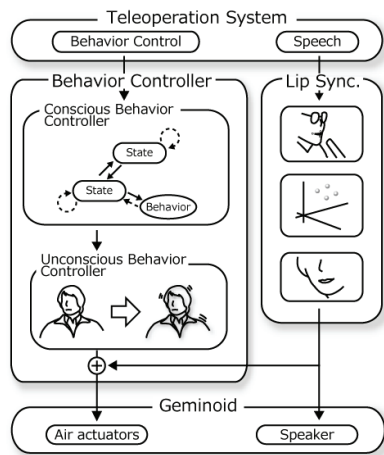


図 1: システム概要図

までの研究から、実世界でのコミュニケーションにおけるロボットの優位性が明らかになってきている。Kidd らは実在するロボットとコンピュータグラフィックスによるエージェントとの比較において実世界におけるコミュニケーションにとってロボットがより適切であることを見いだした[10]. 篠沢らは実世界の物体を参照するコミュニケーションにおいて、コンピュータグラフィックスによるエージェントよりもロボットのほうが適切であることを示した[11]. 我々は実世界における遠隔存在感に注目しているという点において、仮想的なものではなく実在するロボットを用いた遠隔存在感の実現を試みる。

一方で、ロボットを存在感の伝達に用いる研究も既に行われている。葛岡らはロボットを遠隔操作し、ロボットの視線からロボットと対話している人間に対して操作者が何に注目しているのかを示す試みを行った[12]. 関口らはクマ型のロボットを遠隔地の双方に置き、片方のロボットをユーザが動かすことで、もう片方のロボットも同時に動くシステムを開発した。彼らはこれにより遠隔地に居る他者の存在感の通信を試みた[13]. 多田隈らは人型ロボットの顔に遠隔地に存在するオペレータの顔を投射し、遠隔存在感を実現する試みを行った[14]. また森田らは遠隔操作者の興味伝達を、人間型ロボットの視線などの動きにより行えることを明らかにした[15]. これらのように、これまでに様々な存在感の伝達の研究は行われてきている。しかし、これらの研究では、従来メディアに対してロボットがどの程度の優位性を持つのかは明らかにされず、ロボットを存在感の伝達に使うという可能性を実証した研究はなかった。さらに、我々はアンドロイド・ロボットを用いることで、従来



図 2: Geminoid HI-1(右)とそのモデル(左)

のロボット以上に真に迫った存在感の伝達が出来ないかに興味を持つ。

本研究ではロボット、特に人間に酷似したアンドロイド型ロボットを媒体として遠隔地にいる人間の存在感を伝達するためのシステムを開発した。具体的には、アンドロイド・ロボットを遠隔操作することで、操作する人間の存在感を伝達することを試みた。これを検証するために本システムを用いて存在感の伝達は可能であるかどうかの実験を行った。具体的には、アンドロイド、ビデオ会議、電話によって 2 地点間に対話を行う比較実験を行った。これらについて報告する。

2 Android Telecommunication System

我々は人に酷似した外見を持つロボットである Geminoid HI-1 を使用して遠隔コミュニケーションを実現するためのシステムである遠隔操作型アンドロイド・ロボットシステムを開発した。Geminoid HI-1 は現存する人間(実際には共著者である石黒浩教授)をモデルとして開発された。我々は遠隔コミュニケーションシステムによる存在感の伝達と、これによるコミュニケーションに注目している。このため、本ロボットシステムは遠隔操作システムとして開発された。図 1 にシステムの概要図を示す。

以下に Geminoid HI-1 と遠隔操作システムの詳細について詳述する。

2.1 Geminoid HI-1

Geminoid HI-1 は現存する人間に可能な限り近い外見を持ったロボットとして開発された(図 2)。本

ロボットは立つことができないため、椅子に座った状態で全長約 140cm である。また、本ロボットは全身に 50 自由度の動作機構があるが、このうち 13 自由度に関しては顔面の表情に関するものであり、これにより自然な表情を実現することができる。

2.2 Behavior Controller

遠隔存在感メディアを実現するために考えられる問題は二つある。一つは「意識的な操作」の問題であり、もう一つは「無意識的な操作」の問題である。

一つめの問題である「意識的な操作」とは話す、お辞儀をする、相手を見るなど明示的に動作させるための操作である。本システムで使用する Geminoid HI-1 は全身で 50 もの自由度を持つ超多自由度ロボットである。これらを遠隔地から直接操作することは非常に困難である。このため、ロボットの操作を簡略化するために、本システムを半自動制御システムとすることにした。これによりオペレータはそれぞれの動作機構を直接操作するのではなく、行動を切り替える操作のみで大まかな操作が可能になる。

二つめの問題である「無意識的な操作」とは瞬きをする、息をする、口を動かすなどの人が明示的に行っていない動作の操作である。Geminoid HI-1 のように人に近い身体、外見を持ったロボットにおいては非常に細かな動きであっても、それを動作させなければ人はロボットに対して違和感を覚えるであろう。しかし、これらを意識的に操作することは難しい。このため、この操作を自動的に行うための機能を用意した。

この意識的な操作を行う部分を Conscious Behavior Controller として、無意識的な操作を行う部分を Unconscious Behavior Controller とに分けて実装する。以下に詳細を示す。

Conscious Behavior Controller

本システムは内部に「状態(State)」を持ち、この状態にある限りは自動的に動作する。これはつまり、システムは定義された状態内においてはロボットの動作を定義したファイルであるモーションファイルを再生し続ける。また、本システムはこのモーションファイルを単体でも再生することが可能である。この場合、ファイルの再生が終了し次第、元の状態に戻る。オペレータはこの状態と個別のモーションファイルを再生することでロボットの操作を行う。

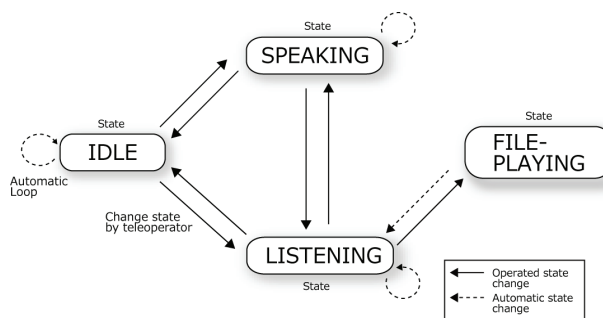


図 3: 状態(State)と Behavior Control の例

ロボット内部の 5 つの状態

本システムでは 5 つの状態を定義した。オペレータはこの状態を対話の状況に応じて切り替えることでロボットを通して対話を行う。

1. 待機状態 (Idle State): ロボットは正面を向いているが、少しくつむき加減な姿勢を取る。時々左右を向くことがある。
2. 話す状態 (Speaking State): ロボットは正面を向き、目線も適切な状態をとる。時々左右を向くことがある。この状態は待機状態を活動的にしたものである。
3. 聞く状態 (Listening State): 話す状態よりも活動的ではなく、話を聞いているようなそぶりをする。
4. 体を右に向ける状態 (Right-looking State): 右に居る人と目を合わせるために、体を右に向ける。これは話す状態を編集したものである。
5. 体を左に向ける状態 (Left-looking State): 左に居る人と目を合わせるために、体を左に向ける。これは話す状態を編集したものである。

状態遷移の例

ここでロボットの状態遷移の例を示す。図 3 は状態遷移の例として三つの状態と一つの特別な状態である FILE-PLAYING 状態を示す。FILE-PLAYING 状態はロボットが挨拶やジェスチャーなど単体のモーションファイルを再生するための状態である。Conscious Behavior Controller はオペレータから状態遷移のコマンドが来た際に、指定された状態に遷移する。特定のモーションファイルを再生するためのコマンドが来た場合には、Conscious Behavior Controller は FILE-PLAYING 状態に遷移し、指定されたファイルを再生した後に、再生する前の状態に戻る。

人のような自然な動作

本ロボットの動作は、モーションファイルを作成し、実行することで実現されている。この点にお



図 4: 遠隔操作システムの全体図

いて、自然な動作を実現するという事は、このモーションファイルを作成する段階が非常に重要となる。また同時に、この「自然さ」という定義も重要となる。本稿で開発するロボットの動きの自然さは、このロボットの動作を見た人がモデルとなった人物らしいと感じられる動きというように定義した。

Unconscious Behavior Controller

人は無意識のうちに息をしたり、瞬きをしたり、また体を揺らしたりしている。しかし、我々はそれらを気づくことはほとんど無い。ただ、これらが無くなった際に気づくことはあるかもしれない。遠隔存在感を伝達するためにはこのような些細で繊細な動作をも伝達する必要があると考えられる。なぜなら、人らしさがそこに現れると考えられるからである。本システムではこの問題を無意識的な問題として扱い、元々定義されたモーションファイルにこのような些細で繊細な動きを上書きする。これにより、より人らしい動きをロボット上で再現する。さらに、一つの動作の大きさなどを変化させることで自然な体の揺らぎを実現するために、ロボットに送る情報を変化させて動作させる。

2.3 遠隔操作システム (Teleoperation System)

本システムは遠隔地にいるオペレータにより操作される。オペレータは三種類の方法でロボットの操作を行う。一つめは、前節で述べた「状態」の切り替えである。二つめは、予め用意された特別な台詞や動作を、モーションファイルの再生を行うことで操作する。三つめは、直接の発話である。オペレータが手元のマイクロフォンに向かって行った発話は直接アンドロイドから再生される。さらに、オペレータはロボットを通して対話を行うため、これらの口の動きを同期させる必要がある。そのため、モーションキャプチャシステムを

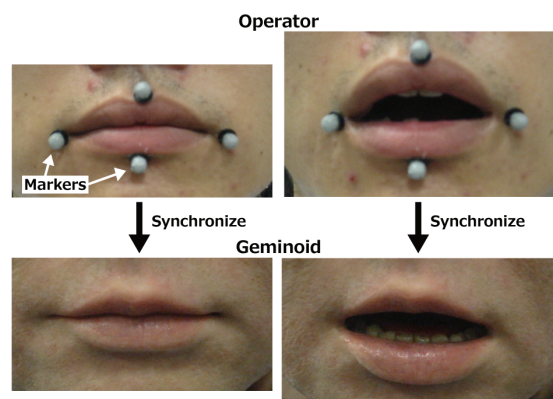


図 5: オペレータと Geminoid HI-1 の口の動きの同期

用いてオペレータの口の動きを計測し、ロボット上でこれを再現することを試みた。図 4 に遠隔操作システムの全景を示す。

Behavior Control

我々はロボットの遠隔操作用に新たに通信プロトコルを開発し、これにより状態の変更やモーションファイルの再生を行う。

この状態の切り替えと、独立したモーションファイルの再生の二つの操作を組み合わせることにより、複雑な動作をロボット上で実現する。

Speech and Lip Synchronization

遠隔操作システムはオペレータからの命令だけで実行される訳ではない。モーションファイルは定義された動作であるため、これらを実行時に変更するためには、その仕組みが必要となる。本システムにおいてはオペレータとロボットの口の動きを同期させることは重要であり、これによりロボットを通した自然な発話を実現できると考える。このため、モーションキャプチャシステムを用いてオペレータの口の周囲につけられた 4 つのマーカの動きを計測し、これをロボット上で再現することを試みた(図 5)。これにより、オペレータの発話が直接ロボットから発話しているような操作を行うことが可能となった。

3 実験

本稿で開発した遠隔操作型アンドロイド・ロボットシステムの遠隔存在感メディアとしての有効性を確認する実験を行う。

3.1 手法

被験者

34 名の大学生が被験者として参加した。本実験ではすべての実験を二人一組で行う。また、本実

験の評価は被験者内比較で行うため、すべての被験者の組が次項に示す三つの条件のすべてを経験する。このため、実験条件の順序が偏ることのないようカウンターバランスを取った。また、被験者はランダムに振り分けられた。

実験に使用するシステムのオペレータ

本実験ではロボットのモデルとなった人間ではない人物二人が交互にオペレータとなる。彼らは議論の最初に被験者に対してテーマを与える。この後、被験者からの質問には適宜答える。また、被験者同士の会話に対して「相づち」を打つこともするが、この際、声を出して「相づち」を打つことはしないこととした。実験の統制を取るため、オペレータの発話はこれ以外には行わないこととした。なお、被験者をオペレータとしなかったのは、三条件すべてを同じように行うためである。

実験条件

本システムの遠隔存在感メディアとしての有効性を確認するために三つの条件を用意した。

G 条件

この条件ではオペレータは Geminoid HI-1 を通して二人の被験者と対話を行う。対話ではうなずきや、二人の対話者を見るといった動作を主にとった(図 6 左)。

V 条件

この条件ではオペレータはビデオ会議システムを通して二人の被験者と対話を行う。対話では G 条件と同様にうなずきや、二人の対話者を見るといった動作を主にとる。また、オペレータは対話においては笑うや頭を動かすなどの動作は全く行わない。さらに、オペレータはビデオ会議システムを使用して対話者がオペレータと目が合ったと感じるように、左右の視線の位置を事前に調整する(図 6 右)。

S 条件

この条件では電話のようにスピーカーを通して声のみで二人の被験者と対話を行う。

実験環境

実験を行う部屋はすべて 3 x 3 [m]の大きさに調整した。図 7 に実験を行う部屋の状態を示す。すべての条件において被験者用の椅子があらかじめ二つ用意されている。

実験手順

実験の手順を以下に示す。

1. 実験者が二人の被験者に対して実験の説明を行う。具体的には、「実験では議論を行い、そのテーマはもう一人の対話者から与えられる



図 6: Geminoid HI-1 とビデオ会議システムを使用したオペレータとのアイコンタクトの例

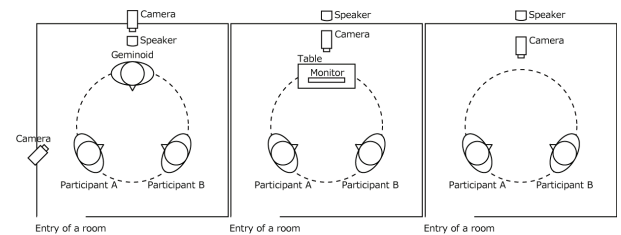


図 7: 実験室内の配置図(左: G 条件, 中央: V 条件, 右: S 条件)

- こと。また、対話者は遠隔地におり、目の前の対象を通して対話すること」が教示される。
2. 被験者は実験室に案内される。この際、既に実験条件ごとの準備は終了している。
 3. 被験者が席についたあと、実験者ではないオペレータが被験者に対して議論のテーマを与える。この後、議論を開始する。
 4. 一分経過後、また、被験者が各々の意見を言い終わったあとにオペレータが追加のテーマを与える。
 5. 二分経過後、手順 4 のように追加のテーマが与えられる。
 6. 三分経過後、また、被験者が与えられたテーマに関する意見を言い終えたあと、オペレータが「それではこれで実験は終了です。」と言い、実験者が被験者を実験室から連れ出す。
 7. 被験者は質問票に答える。

以後二回の実験は 2 から 7 の手順を繰り返す。

3.2 評価方法

各実験終了後、被験者は質問票に答える。質問票では会話に参加した対象(メディアを通して会話に参加したオペレータ)に対する印象を 7 段階で評価する。この際 7 がもっとも高い評価となっている。質問票の項目は以下になっている。

存在感 (Presence)

メディアを通して会話した人が会話に参加していたかどうかについての度合い

人らしさ (Humanlike)

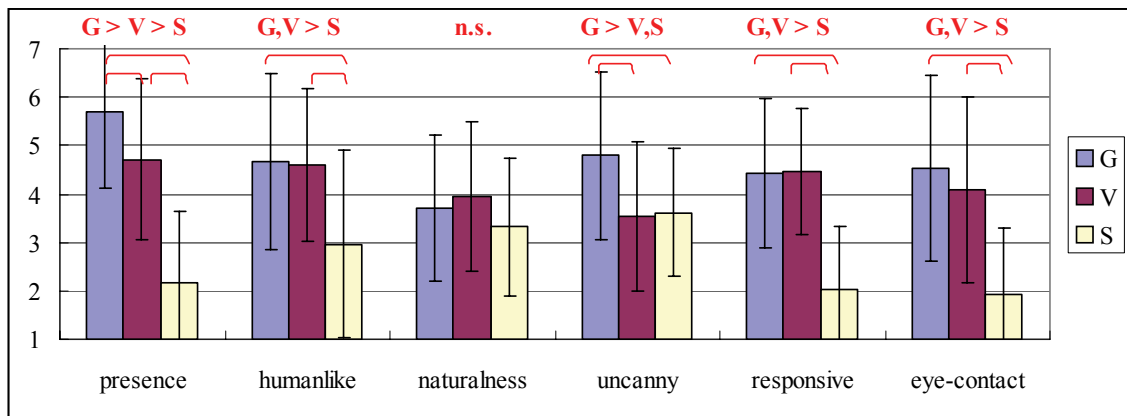


図 8: 各メディアに対する被験者の印象:

Geminoid HI-1 (G 条件), ビデオ会議システム (V 条件), スピーカー (S 条件)

メディアを通して会話した人の外見、動きや仕草の人らしさの度合い

自然さ (Naturalness)

メディアを通して会話した人の外見、動きや仕草の自然さの度合い

不気味さ (Uncanny)

メディアを通して会話した人の外見、動きや仕草の不気味さの度合い

応答性 (Responsiveness)

メディアを通して会話した人の被験者の動きや仕草に対する反応の度合い

アイコンタクト (Eye contact)

メディアを通して会話した人が被験者と目を合わせていたかどうかについての度合い

3.3 仮説と予測

本実験での我々の仮説を以下に示す。

仮説 1:

G 条件は他の条件と比較して、対話者として最も存在感のある対象であると評価される。

仮説 2:

G 条件は他の条件と比較して、対話者としてより人間らしく、自然であると評価される。

その他:

我々は「不気味さ」「応答性」「アイコンタクト」についても評価を行う。

また、これまでの研究で確認されてきた、ビデオ会議システムでのアイコンタクトの弱さについても、アンドロイドのほうが優れていることについても検証を行う。

4 実験結果

図 8 に質問票の質問項目ごとの条件ごとの平均、

標準偏差を含むグラフを示す。多重比較の結果について有意誤差 5% で有意差が確認された項目同士について項目ごとに棒グラフ上の括弧で示す。以下に各仮説に対する結果を示す。

仮説 1: 存在感

質問票の分散分析の結果から存在感(Presence)の項目において有意な差が確認された ($F(1,33)=50.762, p<.001$)。また Bonferroni 法による多重比較の結果、G 条件は V 条件、S 条件よりも強く、V 条件は S 条件よりも有意に強い存在感があることが示された ($G > V, p<.001$; $G > S, p<.001$; $V > S, p<.05$)。この結果からオペレータが他の条件よりも本システムを通して強い存在感を伝達することができたと考えられる。

仮説 2: 人間らしさと自然さ

質問票の分散分析の結果から人らしさ (Humanlike) の項目において有意な差が確認された ($F(1,33)=10.353, p<.001$)。Bonferroni 法による多重比較の結果、G 条件は S 条件よりも、V 条件は S 条件よりも有意に人らしいと評価された ($G > S, p<.001$; $V > S, p=.001$)。また、自然さ (Naturalness) に関しては条件間で有意な差が確認されなかった ($F(1,33)=1.777, p=.177$)。この結果から本システムはビデオに映る人の姿と同程度に自然な印象を被験者に与えることができたと考えられる。

その他の項目の分析

我々は上記 3 項目以外の質問項目についても分散分析を行った。具体的には不気味さ (Uncanny)、応答性 (Responsiveness)、アイコンタクト (Eye contact) についてである。この結果からこの 3 項目について条件間で有意な差が確認された ($F(1,33)=10.1, p<.001$; $F(1,33)=35.947, p<.001$;

$F(1,33)=20.143, p<.001$). また, Bonferroni 法による多重比較の結果から G 条件は他の 2 条件よりも有意に高い評価を得た($G > V, p=.001, G > S, p<.001$). この結果から本システムは他の条件よりも有意に不気味であるという評価されたことが考えられる.

また, 応答性については G 条件と V 条件は S 条件よりも有意に高い評価が得られた($G > S, p<.001; V > S, p<.001$). 同様の傾向はアイコンタクトの項目についても現れた($G > S, p<.001; V > S, p<.001$). アイコンタクトにおいて G 条件と V 条件に有意な差が確認されなかったが, これはオペレータに対してカメラとモニターを通して被験者と目の合う位置の調整を細かく行ったため, 被験者がオペレータと目が合ったと感じやすかったことが考えられる.

5 議論

本実験で得られた結果について「遠隔存在感」「不気味さ」「アンドロイド・サイエンス」「得られた結果の一般性」に分けて議論する.

遠隔存在感

実験の結果から他のメディアよりも Geminoid HI-1 を使用した場合のほうがより存在感のある対話が可能であるということが示唆された. これはつまり, 他のメディアよりもロボット, 特に Geminoid HI-1 のような人らしい外見を持ったメディアのほうが強い存在感を示すことができる可能性があるということである. これにより, 本稿で開発した遠隔操作型アンドロイド・ロボットシステムは遠隔存在感メディアとして有効であることが示されたと考えている.

不気味さ

本稿で行った実験の結果, 本システムで使った Geminoid HI-1 と対話した被験者はビデオモニター上の人間と同様に人らしく, 他のメディアと同等に自然であったと評価したにもかかわらず, 同時に最も不気味であるとも評価した.

このロボットの不気味さについては古くから「不気味の谷」理論として知られている[16]. この理論によれば, ロボットの外見が人間らしくなっていく中で親近感が増加するが, ある点から親近感が非常に低くなる. その後, さらに外見が人らしくなる過程で親近感が急激に増すような谷の形をした曲線を描く. しかし, この「不気味の谷」は実際に観察された現象ではない. 本稿で行った実験では「人らしさ」の項目に関してビデオ会議シス

テムと同程度であると評価されたが, まだ評価として非常に高い値ではない. さらにアンドロイドは被験者の目前に実体として存在して, 存在感も高かったため, 不気味であるという評価をされた可能性がある. 今後, この人らしさを高めながら, 不気味さを軽減させることで「不気味の谷」を超えることが可能かもしれない. さらに, この「不気味の谷」の本質を把握することが可能かもしれないと考える.

また, ロボットを含めた三者対話において対話者がロボットに対して不気味さを感じながら対話を行うことで, ロボットが対話者間の印象に影響を与える可能性も考えられる. 坂本らはロボットを含めた三者対話においてロボットが対話者である人間同士の印象形成に影響を与えることが可能であることを示した[17]. このため, ロボットが対話者である人間に与える心理的影響については慎重に検証を行う必要がある. この点においても, 本システムで用いたロボットである Geminoid HI-1 が不気味であると評価されたことは, 今後の研究にとって非常に重要であると考えている.

アンドロイド・サイエンス

近年になってアンドロイド・サイエンス(Android Science)が注目されるようになってきた[18]. アンドロイド・サイエンスでは人のような外見を持ち, 人のように振る舞うことのできるロボットを開発することで, 人とは何かを解き明かそうとする試みである. 本稿で開発したシステムはこのような取り組みに対して非常に有効なプラットフォームであると考えている. また, この試みには人のインタラクションとは何かを解明することも含まれる. このため, 今後このような人とロボットのインタラクション研究からロボットのメディアとしての新しい知見が多く発見されることが期待される.

得られた結果の一般性

本稿で行った実験は Geminoid HI-1 という, 現在では特殊なロボットを使用した. また, このロボットを操作した二人のオペレータは, このロボットのモデルとなった人物ではない. このため, この結果がロボットの外見とモデルの外見が一致する場合にも当てはまるかどうかという点に関しては一般的な知見として扱うことは多少困難である. なぜなら, 外見が同じ場合には, ちょっとした表情の違いなどのより細かな違いがネガティブな効果を持つ場合も考えられるからである. しかし, これらについては未知の領域が多く残されており, 今後も研究を続けていく必要がある.

なお、現時点では、このようなロボットは高価であり、まだアンドロイド・ロボットを存在感の伝達に用いることは、多くの人にとって費用対効果の点で現実的ではないだろう。しかし、本研究でアンドロイド・ロボットが新しいメディアとなる可能性を明らかにすることは、将来的にこのようなメディアを利用することが高価ではあっても有用なのか、それともあまり有用ではないのかを判断する指針となる。さらに、このように外見を人間に類似させることにより存在感の伝達が可能になるのか、という一つの遠隔存在感の伝達の限界を明らかにすることが可能になると考えられる。現時点でアンドロイドロボットに実装された機能はかならずしも多くなく、ゆえに本稿では第三者として会話に参加するという限られた対話場面のみをあつかった。今後は、アンドロイド・ロボットの機能拡張を行いながら、より自然な設定の中で、アンドロイド・ロボットによる存在感の伝達について研究を進めたいと考えている。

6 結論

本稿ではアンドロイド・ロボット Geminoid HI-1 を用いた遠隔コミュニケーションシステムを開発した。このシステムの目的は、人間の存在感を伝達することである。このシステムを用いた実験の結果から、オペレータは Geminoid HI-1 を通して被験者と対話した際に、被験者は他の条件よりも強い存在感を感じたことが示された。同様に人らしさや自然さについてもビデオ会議システムと同程度の評価が得られた。この結果から本稿で開発した遠隔操作型アンドロイドシステムは人らしい存在感を伝達することのできる遠隔存在感メディアとなり得ることが示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたりシステム開発について多大なるご協力をいただいた ATR 知能ロボティクス研究所の石井カルロス寿憲研究員、実験の際のオペレータを担当していただいた同研究所の林宏太郎研修研究員に深く感謝いたします。

本研究は総務省の研究委託により実施したものである。

参考文献

[1] C. Breazeal and B. Scassellati, A context-dependent attention system for a social robot, Proc. Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 1146-1151, 1999.
[2] T. Minato, M. Shimada, H. Ishiguro, and S. Itakura,

Development of an Android Robot for Studying Human-Robot Interaction, Proc. of the Int. Conf. on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE), pp. 424-434, 2004.
[3] G. Trafton, A. Schultz, D. Perznowski, M. Bugajska, W. Adams, N. Cassimatis, and D. Brock, Children and robots learning to play hide and seek, Prof. of the Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2006), pp. 242-249, 2006.
[4] K. Dautenhahn, M. Walters, S. Woods, K. L. Koay, C. L. Nehaniv, A. Sisbot, R. Alami, and T. Siméon, How May I Serve You? A Robot Companion Approaching a Seated Person in a Helping Context, Prof. of the Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2006), pp. 172-179, 2006.
[5] B. Mutlu, S. Osman, J. Forlizzi, J. Hodgins, and S. Kiesler, Perceptions of ASIMO: An Exploration on Co-operation and Competition with Humans and Humanoid Robots Prof. of the Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2006), pp. 351-352, 2006.
[6] T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai, and T. Ono, Development and Evaluation of Interactive Humanoid Robots, Proceedings of the IEEE, Vol. 92, No. 11, pp. 1839-1850, 2004.
[7] R. E. Kraut, S. R. Fussell, and J. Siegel, Visual information as a conversational resource in collaborative physical tasks. Human-Computer Interaction., 18, 13-49, 2003.
[8] O. Morikawa and T. Maesako, HyperMirror: Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System, Proc. Conf. on Computer supported cooperative work, pp. 149-158, 1998.
[9] 石引力, 三輪敬之, 身体の影を活用した集団の共存在コミュニケーション, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7, No. 4, pp.497-505, 2005.
[10] C. Kidd and C. Breazeal, Effect of a Robot on User Perceptions. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'04), 2004.
[11] K. Shinozawa, F. Naya, J. Yamato, and K. Kogure, Differences in Effect of Robot and Screen Agent Recommendations on Human Decision-Making, International Journal of Human-Computer Studies, Vol 62, pp 267-279, 2005.
[12] H. Kuzuoka, J. Kosaka, K. Yamazaki, A. Yamazaki and Y. Suga, Dual Ecologies of Robot as Communication Media: thoughts on Coordinating Orientations and Projectability, in Proc. of CHI2004, pp.183-190, 2004.
[13] D. Sekiguchi, M. Inami, and S. Tachi, RobotPHONE: RUI for interpersonal communication, Extended abstract of CHI01.
[14] R. Tadakuma, Y. Asahara, H. Kajimoto, N. Kawakami, and S. Tachi, Development of Anthropomorphic Multi-D.O.F. Master-Slave Arm for Mutual Teleexistence, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 11, no. 6, pp. 626-636, Nov/Dec, 2005.
[15] 森田友幸, 平野靖, 梶田将司, 間瀬健二, ヒューマノイドロボットを用いた遠隔コミュニケーションに関する検討, 信学技報, vol. 106, no. 234, MVE2006-47, pp. 25-30, 2006.
[16] 森政弘, 不気味の谷, Energy, vol. 7, no. 4, pp. 33-35, 1970.
[17] 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.
[18] T. Hornyak, T.B. Alert, S.E. Alert, B.S.L. Alert, Android Science, Scientific American, May, pp.32-34, 2006.