

## 推薦論文

## 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<sup>†,††</sup> 神田 崇行<sup>††</sup> 小野 哲雄<sup>†,††</sup>  
石 黒 浩<sup>††,††</sup> 萩 田 紀 博<sup>††</sup>

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と確認された。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 a Human-like Presence

DAISUKE SAKAMOTO,<sup>†,††</sup> TAKAYUKI KANDA,<sup>††</sup> TETSUO ONO,<sup>†,††</sup>  
HIROSHI ISHIGURO<sup>††,††</sup> and NORIHIRO HAGITA<sup>††</sup>

In this research, we realize human telepresence by developing a remote-controlled android system called Geminoid HI-1. Experimental results confirmed that participants felt stronger presence of the operator when he talked through the android than when he appeared on a video monitor in a video conference system. In addition, participants talked with the robot naturally and evaluated its human-likeness as equal to a man on a video monitor. At this paper's conclusion, 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さかんに行われている。ホンダは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<sup>1)</sup>を開発した。さらに、最近になって人間に酷似した外見を持つロボットであるアンドロイドも開発されてきた<sup>2)</sup>。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<sup>3)-6)</sup>。これから登場するであろう多くのこのような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。特に人間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<sup>7)</sup>、視線があわない<sup>8)</sup>、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、ここにいる」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、ここにいる」と感じられる感覚とする。さらに、この「遠隔存在感」を体現するメディアを遠隔

† 公立はこだて未来大学

Future University-HAKODATE

†† ATR 知能ロボティクス研究所

ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

††† 大阪大学

Osaka University

本稿の内容は2007年3月のシンポジウム「インタラクション2007」にて報告され、同プログラム委員長により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

存在感メディアと呼ぶこととする。

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<sup>9)</sup>。しかし、我々は実体を持つロボットに注目する。これまでの研究から、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出した<sup>10)</sup>。Shinozawa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<sup>11)</sup>。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すでに行われている。Kuzuoka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<sup>12)</sup>。Sekiguchi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いる他者の存在感の通信を試みた<sup>13)</sup>。Tadakuma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<sup>14)</sup>。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<sup>15)</sup>。これらのように、これまでに様々な存在感の伝達の研究が行われてきている。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、従来のロボット以上に真に迫った存在感の伝達ができ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

ロイド、ビデオ会議、電話によって2地点間で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2つある。1つは「意識的な操作」の問題であり、もう1つは「無意識的な操作」の問題である。

1つめの問題である「意識的な操作」とは話す、お

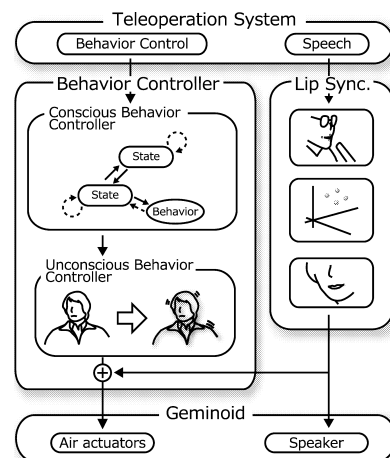


図1 システム概要図

Fig. 1 System overview.



図 2 Geminoid HI-1 (右) とそのモデル (左)  
 Fig. 2 Actual living man (left) and his copy named Geminoid HI-1.

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。

2 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を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 として分けて実装する。以下に詳細を示す。

2.2.1 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ことでロボットを動作させ続ける。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

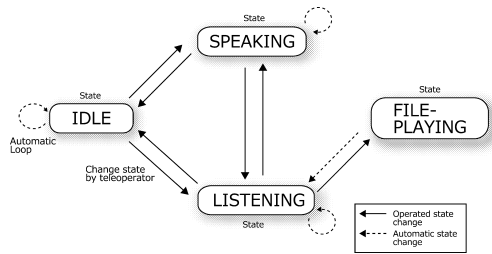


図 3 状態 (State) と Behavior Control の例  
 Fig. 3 Example of State and Behavior Control.

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。

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。

待機状態 (Idle State):

ロボットは正面を向いているが、少しうつむき加減な姿勢をとる。ときどき左右を向くことがある。

話す状態 (Speaking State):

ロボットは正面を向き、視線も適切な状態をとる。ときどき左右を向くことがある。この状態は待機状態を積極的にしたものである。

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。

体を右に向ける状態 (Right-looking State):

右にいる人と目を合わせるために、体を右に向ける。これは聞く状態を編集したものである。

体を左に向ける状態 (Left-looking State):

左にいる人と目を合わせるために、体を左に向ける。これは聞く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 3 つの状態と 1 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．この点において，自然な動作を実現するというは，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．

### 2.2.2 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，我々はそれらに気づくことはほとんどない．ただ，これらがな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，1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3種類の方法でロボットの操作を行う．1つめは，前節で述べた「状態」の切替えである．2つめは，あらかじめ用意された特別な動作を，モーションファイルの再生を行うことで操作する．3つめは，直接の発話である．オペレータが手元のマイクروفोन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．

#### 2.3.1 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．この状態の切替えと，独立したモーションファイルの再生の2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．

#### 2.3.2 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わけではない．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



図4 遠隔操作システムの全体図  
Fig. 4 View of teleoperation system.

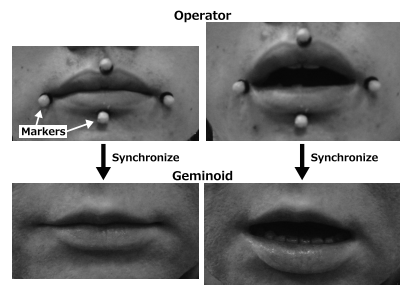


図5 オペレータと Geminoid HI-1 の口の動きの同期  
Fig. 5 Operator lip synchronization with Geminoid HI-1.

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じ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

#### 3.1.1 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2人1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3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バランスをとった．また，被験者はランダムに振り分けられた．



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

Fig. 6 Eye contact with Geminoid HI-1 and teleoperator.

### 3.1.2 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 2 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。その後、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。また、実験の統制をとるため、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、3 条件すべてを同じように行うためである。

### 3.1.3 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 3 つの条件を用意した。本実験ではこれまでの既存メディアよりも本稿で開発したシステムがどの程度存在感の伝達や自然な遠隔コミュニケーションを実現することができるかに注目している。このため、本稿で開発したシステムを用いる条件と、比較条件として現在一般的に使用されている既存のメディアである電話とテレビ電話に模した条件を用意した。

**G 条件** この条件ではオペレータは Geminoid HI-1 を通して 2 人の被験者と対話を行う。対話ではうなずきや、2 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 2 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、2 人の対話者を見るといった動作を主とする。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まったく行わない。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を通して声のみで 2 人の被験者と対話を行う。

### 3.1.4 実験環境

実験を行う部屋はすべて  $3 \times 3$  [m] の大きさに調整

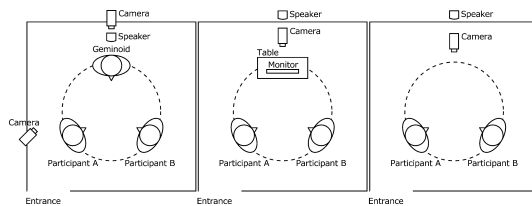


図 7 実験室内の配置図 (左: G 条件, 中央: V 条件, 右: S 条件)

Fig. 7 Experimental room setting (left: G condition, center: V condition, right: S condition).

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 2 つ用意されている。

### 3.1.5 実験手順

実験の手順を以下に示す。

- (1) 実験者が 2 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 1 人の対話者から与えられること。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、すで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) 1 分経過後、また、被験者が各々の意見をい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) 2 分経過後、手順 (4) のように追加のテーマが与えられる。
- (6) 3 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いい終わったあと、オペレータが「それではこれで実験は終了です」といい、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 2 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 が最も高い評価となっている。質問票の項目は以下のようにになっている。

#### 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)

メディアを通して会話した人の外見、動きや仕草

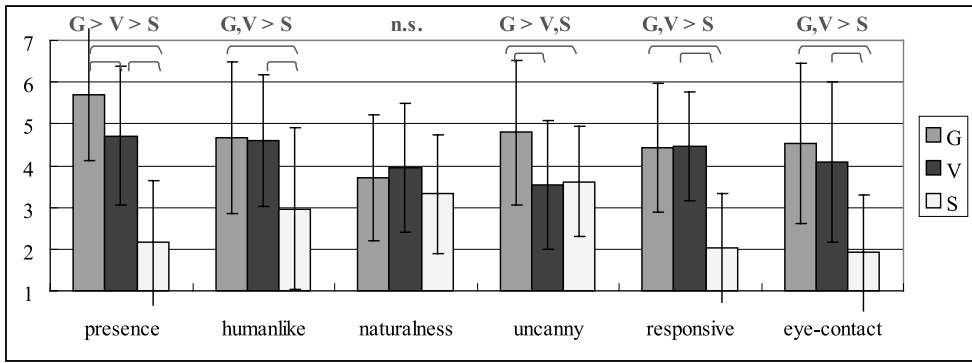


図 8 各メディアに対する被験者の印象：  
Geminoid HI-1 (G 条件), ビデオ会議システム (V 条件), スピーカ (S 条件)

Fig. 8 Participant impressions of three media:  
Geminoid android (G condition), video conference system (V condition),  
and speakerphone (S condition).

- 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, これまではビデオ会議システムにおいてアイコンタクトの成立が難しいとされてきた。我々は身体を持ったアンドロイドにおいてはこの問題が解決されるのではないかと考えているため, これの検証も行う。

4. 実験結果

図 8 に質問票の質問項目ごとに条件ごとの平均, 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どうしについ



図 9 実験の様子: Geminoid 条件 (左), Video 条件 (右)  
Fig. 9 Scene of experiments: Geminoid Condition (left), Video condition (right).

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。また, 図 9 に実験の様子を示す。

4.1 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。

4.2 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。

### 4.3 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、不気味さに関して Bonferroni 法による多重比較を行った。この結果から G 条件は他の2条件よりも有意に不気味であるという評価を得た ( $G > V, p = .001, G > S, p < .001$ )。

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」「アイコンタクト」「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。

### 5.1 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。

### 5.2 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。理由としては、実験後の自由記述のアンケートから「人らしいのにロボットであるから不気味だと感じた」「アンドロイドの見た目人間なのか、ロボットなのか分からずとも不気味だった」など、外見によるところが大きい可能性がある。また、「人間らしいのにロボットなのが不気味」といっ

た記述から、外見と中身の隔たりから不気味さを感じた例もあった。さらに、アンケートではアンドロイドの動作の不気味さを指摘する記述もあったが、これも外見から想像される動作と実際の動作の隔たりから不気味さを感じた可能性がある。

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<sup>16)</sup>。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。また、この曲線はロボットの動作により増強される。これはつまり、外見に動作が加わることで人間らしさが高まるが、不気味の谷も深くなることを意味する。

本実験におけるビデオモニタ上に現れたオペレータはアンドロイドのモデルとなった人物ではなかった。このため、不気味さが外見、特に見た目の違いによるものであるかどうかについて結論付けることはできない。しかし、被験者アンケートの結果からはそもそも「人に近いアンドロイド」という存在が不気味であると感じた可能性が高いことが示唆される。また、本実験ではインタラクションにおけるオペレータの動作を可能な限りアンドロイドに近づける統制をとった。この点において動作やインタラクションの差が不気味さの評価に与える影響を最小限に抑えることができたと考えている。しかし、動作を統制したことにより、人間らしさの評価が全条件において高い値とならなかった可能性がある。

いずれにせよ、本実験の結果だけでは被験者がなぜ不気味であると感じたか、何が原因でそう感じたのかについては明らかにすることはできない。現在ではまだ本アンドロイドは他のメディアよりも不気味であると評価されたが、今後、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<sup>17)</sup>。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。

### 5.3 アイコンタクト

本稿で行った実験のオペレータはビデオ会議システムを通じた対話において、被験者と目の合う位置を細かく調整を行ったため、V条件での被験者のアイコンタクトの評価は仮説よりも高い値を示した。また、アンドロイドとの対話においても同様に高い値を示した。これまでのビデオ会議システムに関する研究から、ビデオ対話においてアイコンタクトを成立させるための手法は様々提案されてきている。この点においてビデオ対話におけるアイコンタクトは何かしらの手段を用いなければならず、本実験でのビデオ会議システムを用いた条件ではオペレータの調整を行うことでこれを実現した。しかし、本実験では被験者と対話するメディアとのアイコンタクトだけに注目したため、オペレータ側からのアイコンタクトが難しいセッティングとなっていた。この点において本実験で得られた結果は被験者から見たメディアとのアイコンタクトについてのものであり、オペレータ側からのアイコンタクトについては評価していなかった。

これについては、今後、双方向対話システムとして開発を進めるなかで、アイコンタクトを含めたオペレータにとっての対話しやすい遠隔操作システムの構築を行い、この評価を行っていく予定である。

### 5.4 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<sup>18)</sup>。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られる。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。

### 5.5 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。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1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みつかった。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、オペレータが Geminoid HI-1 を通じ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う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) Breazeal, C. and Scassellati, B.: A context-dependent attention system for a social robot, *1999 International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.1254-1259 (1999).
- 2) Minato, T., Shimada, M., Ishiguro, H. and Itakura, S.: Development of an android robot for studying human-robot interaction, *Proc. 17th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems* (2004).
- 3) Trafton, J., Schultz, A., Perznowski, D., Bugajska, M., Adams, W., Cassimatis, N. and Brock, D.: Children and robots learning to play hide and seek, *ACM SIGCHI/SIGART Human-Robot Interaction*, pp.242-249 (2006).



- 4) Dautenhahn, K., Walters, M., Woods, S., Koay, K., Nehaniv, C., Sisbot, A., Alami, R. and Siméon, T.: How may I serve you?: A robot companion approaching a seated person in a helping context, *ACM SIGCHI/SIGART Human-Robot Interaction*, pp.172–179 (2006).
- 5) Mutlu, B., Osman, S., Forlizzi, J., Hodgins, J. and Kiesler, S.: Perceptions of ASIMO: An exploration on co-operation and competition with humans and humanoid robots, *ACM SIGCHI/SIGART Human-Robot Interaction*, pp.351–352 (2006).
- 6) Kanda, T., Ishiguro, H., Imai, M. and Ono, T.: Development and Evaluation of Interactive Humanoid Robots, *Proc. IEEE*, Vol.92, No.11, pp.1839–1850 (2004).
- 7) Kraut, R., Fussell, S. and Siegel, J.: Visual Information as a Conversational Resource in Collaborative Physical Tasks, *Human-Computer Interaction*, Vol.18, No.1, pp.13–49 (2003).
- 8) Morikawa, O. and Maesako, T.: HyperMirror: Toward pleasant-to-use video mediated communication system, *Proc. 1998 ACM Conference 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) Kidd, C. and Breazeal, C.: Effect of a Robot on User Perceptions, *Proc. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.3559–3564 (2004).
- 11) Shinozawa, K., Naya, F., Yamato, J. and Kogure, K.: Differences in effect of robot and screen agent recommendations on human decision-making, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.62, No.2, pp.267–279 (2005).
- 12) Kuzuoka, H., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Suga, Y. and Heath, C.: Dual ecologies of robot as communication media: Thoughts on coordinating orientations and projectability, *Proc. 2004 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.183–190 (2004).
- 13) Sekiguchi, D., Inami, M. and Tachi, S.: ROBOTPHONE: RUI for interpersonal communication, *Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.277–278 (2001).
- 14) Tadakuma, R., Asahara, Y., Kajimoto, H., Kawakami, N. and Tachi, S.: Development of Anthropomorphic Multi-DOF Master-Slave Arm for Mutual Telexistence, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol.11, No.6, pp.626–636 (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.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) Hornyak, T., Alert, T., Alert, S. and Alert, B.: Android Science, *Sci. Am.*, Vol.294, No.5, pp.32–34 (2006).

(平成 19 年 4 月 2 日受付)

(平成 19 年 9 月 3 日採録)

### 推薦文

実在の人物に酷似したアンドロイドを制作し、遠隔での存在感についてビデオ会議システムなどと比較実験を行っており、新規性がきわめて高い。ロボットの将来像を議論するうえで、読者に与えるインパクトも大きいと思われる。本稿は、シンポジウム予稿集用のカメラレディ原稿をもとに 47 名のシンポジウムプログラム委員による審査・投票を行った結果、シンポジウムでのベストペーパーとして選出されるとともに、論文誌推薦論文としても評価が高かったため、論文誌に推薦した。

(インタラクシオン 2007 プログラム委員長 角 康之)



坂本 大介 (学生会員)

2006 年公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士 (前期) 課程修了。同年同研究科博士 (後期) 課程進学。同年 ATR 知能ロボティクス研究所研修研究員。人と人・工物とのインタラクシオン、コミュニケーションロボットの遠隔操作技術、メディアの社会性に興味を持つ。電子情報通信学会、ソフトウェア科学会各会員。



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。



小野 哲雄 (正会員)

1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。2001年公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授。2005年より同学科教授。2002年より(株)ATR 知能ロボティクス研究所非常勤客員研究員。博士(情報科学)。認知情報科学、人工知能一般に興味を持つ。特に、インタラクティブシステム、ヒューマンロボットコミュニケーション、感情の計算モデル、共通言語の進化等に関する研究に従事。認知科学会、人工知能学会、ACM 各会員。



石黒 浩 (正会員)

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻修了。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年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻助教授。1998年同大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。この間、1998年より1年間、カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2000年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科助教授。2001年より同大学教授。1999年より、ATR 知能映像研究所客員研究員。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およびATR 知能ロボティクス研究所客員室長。知能ロボット、アンドロイドロボット、知覚情報基盤の研究に興味を持つ。電子情報通信学会、人工知能学会、日本ロボット学会、日本認知科学会、IEEE、AAAI、ACM、CSS 各会員。



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。