

## 相互作用研究のためのアンドロイド開発

Development of an Android Robot for Studying Human-Robot Interaction

港 隆史<sup>†</sup> 嶋田 倫博<sup>†</sup> 石黒 浩<sup>†</sup>

Takashi Minato Michihiro Shimada Hiroshi Ishiguro

### 1 はじめに

近年、日常生活の中で人間と関わりながら活動する知能ロボットの実現に向けた研究開発が盛んになっている。これらのロボット開発では、専門的なタスクのみを行う工場用ロボットとは異なり、人間とのコミュニケーション機能が重視されている。一方、ロボットの知能は、人間との相互作用に現れる現象であり、故に、日常活動型ロボットの開発やその知能の実現には、人間-ロボット間および人間間のコミュニケーション、すなわち相互作用の原理の解明が不可欠である。

この問題に対して、例えば、神田らはヒューマノイドロボットを用いて、人間-ロボット間の相互作用の評価を行っている<sup>1)</sup>。このような研究により、ヒューマノイドロボットの動作が人間-ロボット間の相互作用に与える影響が徐々に明らかになってきている。しかしながら、ヒューマノイドロボットと人間との相互作用においては、ロボットの動作以外にロボットの外観も重要な要素である。一般に、相互作用に影響を与えているのが、ロボットの動作なのか、ロボットの(人間と異なる)見かけなのかを区別することは難しい。そこで本研究では、見かけが人間とまったく同じロボットを製作し、ロボットの見かけの影響と動作の影響を区別しながら、人間-ロボット間および人間間の相互作用の原理の解明に取り組む。我々はこの見かけが人間とまったく同じロボットをアンドロイドと呼ぶ。本報告では、アンドロイドを用いた研究の目的とアプローチについて述べ、実際に製作したアンドロイドロボットを紹介する。そしてアンドロイドを成人や幼児に見せたときの反応を観察する予備実験についての結果を報告する。

### 2 研究の目的とアプローチ

本研究の目的は、人間とコミュニケーションできるロボットの実現においてロボットの見かけの作り方、ロボットの動作の作り方を明らかにすることである。ロボットの見かけや動作が、人間との相互作用に与える影響は、人間側の反応によって知ることができる。故に本研究では、人間の対人・対物に関する心理学・認知科学的知見により、ロボットの見かけや動作がコミュニケーションに与える影響に関する仮説を立て、アンドロイドを使って検証するというアプローチをとる。

ロボットの動作に関する研究では、神田らがヒューマノイドロボット“Robovie”<sup>2)</sup>を使って、人間との相互作用に必要なロボットの動作要素を部分的に明らかにしている<sup>1)</sup>。しかし人間と異なる外観を持つ Robovie

では、相互作用に与える影響が Robovie の動作に起因しているか見かけに起因しているかの判断が困難である。

人間の心理学的知見においては、Johnson et al. が、物体の見かけと動作がある特性を持つときに、その物体に対する幼児の注視動作を引き出すことができることを明らかにしている<sup>3)</sup>。具体的には、これまで見たことのないような新奇な物体を対象としたとき、その物体に顔特徴と随伴的なインタラクティブ動作が伴うときに、幼児はその物体に関心を示すという結果を得ている。この知見からも、人間との相互作用において、ロボットの見かけが影響を与えることは明らかである。

そこで人間と見かけがまったく同じであるアンドロイドを用いれば、ロボットの見かけの影響を排除して、ロボットの動作のみの影響を調べることが可能となる。これには2つの方法が考えられる。1つは、VICON<sup>4)</sup>等の精密モーションキャプチャシステムによって精密に人間の振る舞いを計測して、それをアンドロイドに実装し、見かけも動作も(微細な仕草に限定されるが)人間にきわめて近いアンドロイドから、一つ一つ考える動作要素を削除しながら、自然なコミュニケーションが維持できる境界線をトップダウンに探る方法である。もう一つは、動作がない状態から、動作を徐々に加えながら検証するボトムアップの方法である。

この結果を、従来のヒューマノイドロボットにおける実験結果と比較すれば、人間とコミュニケーションできるロボットに重要な動作要素をより精密に抽出できるだけでなく、見かけと動作のバランスを取りながら、ロボットを設計することができる。これまでのロボット研究では、見かけはアーティストによるデザインに頼ることが多かった。しかしながら、コミュニケーションの設計という立場では、見かけもロボットの機能の一つであり、工学的な方法論によって見かけを決定することができるかと期待される。

また、人間の反応を評価するためには定性的・定量的評価方法が考えられる。前者としては、ロボットと人間のコミュニケーションにおいて、SD法により人間の心理学的評価を行った研究がある<sup>5)</sup>。しかしSD法を用いた方法では、意味がある結果を得るためのアンケート項目を用意することが非常に困難である。

それに対して、人間の反応を定量的に評価する研究が行われている。たとえば松田らは、非侵襲型脳機能計測装置を用いて、ロボットと人間のコミュニケーションにおける人間の脳活動を調べている<sup>6)</sup>。また神田らは、モーションキャプチャシステムおよび視線計測装置を用いてロボットと人間のコミュニケーション

<sup>†</sup> 大阪大学, Osaka University

における人間の反応動作を定量的に評価している<sup>7)</sup>。これらの報告から、脳機能計測装置、モーションキャプチャーシステム等を用いた人間の反応動作の定量的評価が可能であると考えられ、本研究においてもこれらの研究に従った定量的評価方法を導入する。

### 3 製作したアンドロイド

本研究でプロトタイプとして開発したアンドロイドを Fig.1 に示す。見かけを人間に可能な限り近づけるために、実際の人間から型どりを行って表面の形状を製作した。またアンドロイドに触れた時の感触を人間に近づけるために、皮膚はシリコン、内部の骨格と皮膚の間を数種類のウレタンで製作した。シリコン、ウレタンの材質も触れたときの感触を考慮して選定した。皮膚とその内部を Fig.2 に示す。図の左側がアンドロイド全身を覆う皮膚であり、図の右側が内部の体である。体の肉付きはウレタンで構成されている。

このプロトタイプは首から上が9自由度、左肘1自由度の合計10自由度のアクチュエータを有している。自由度の内訳は以下になっている。

- 左右眼球のパン軸 各1自由度
- 左右眼球のチルト軸 1自由度
- 左右脛の開閉 各1自由度
- 口開閉 1自由度
- 首 3自由度
- 左肘 1自由度

左右の目に合計5自由度を持たせることにより、目を用いた多様なコミュニケーションが可能となる。頭内部の機構を Fig.3 に示す。

また左腕にはひずみ速度測定方式の高感度皮膚センサを、皮膚の下に4箇所配置している。この4箇所のセンサで左腕の表面のほぼ全域を測定範囲とすることができる。この皮膚センサは接触、非接触の2状態だけでなく、接触の強さも測定可能である。このセンサにより触覚による人間との相互作用も可能となる。

製作したアンドロイドの見かけは5歳程度の子供とした。この程度の年齢の見かけであれば、人間を相手とした心理実験を行う場合に、人間側が抵抗なく相手とすることが可能であると考えられる。既存のヒューマノイドロボットは、身長が120cm程度に設定される場合が多いが、これは人が恐怖感を持たずに接することができるロボットの最大限のサイズと言われる。これらのロボットと比較検討するためにも、5歳児の体型とした。

ここで紹介したアンドロイドロボットはプロトタイプであり、次の段階での試作では、人間とほぼ同じ関節自由度と全身皮膚、視覚、聴覚センサを埋め込む予定である。

### 4 予備実験1: アンドロイドとヒューマノイドロボットとの比較

本研究では、人間の対人・対物に関する心理学・認知科学的知見により、ロボットの見かけや動作がコミュ



Fig.1 Android

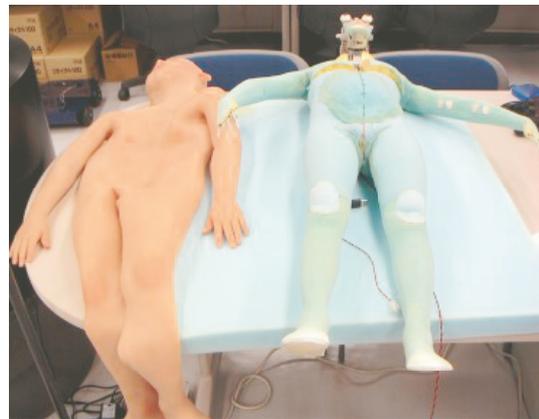


Fig.2 Skin and internal body of the android

ニケーションに与える影響に関する仮説を立てるところより始める。仮説を立てるためには心理学・認知科学的知見だけでなく、実際の人間の対人・対物の反応の事例も役立つ。そこでまず始めに予備実験としてアンドロイドとヒューマノイドロボットの見かけの影響を比較するために、人間と対面させたときの反応を観測する実験を行った。ここでは成人被験者に以下の2つの条件でアンドロイドおよびヒューマノイドロボットと単純なコミュニケーションを行わせた。

- 条件1: アンドロイドおよびヒューマノイドロボットと統制なしのコミュニケーションを行う。
- 条件2: アンドロイドおよびヒューマノイドロボットと単純な会話を行う。

#### 4.1 条件1

##### 4.1.1 実験設定

アンドロイドおよびヒューマノイドロボット(以後“行為者(actor)”と呼ぶ)に10種類程度の動作(「こんにちは」、「ばいばい」などの挨拶や「あれなーに?」

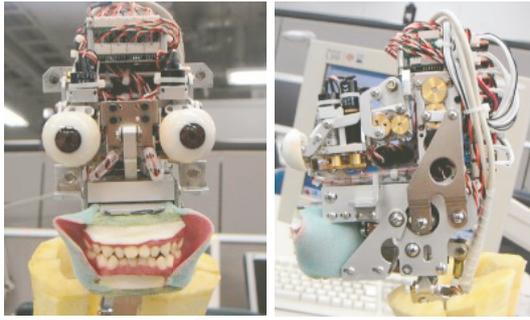
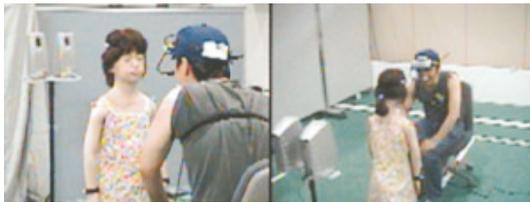
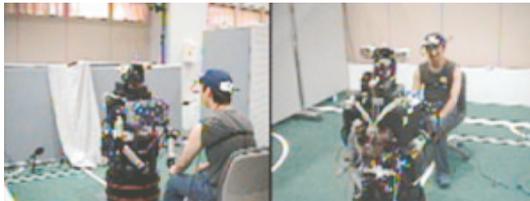


Fig.3 Head mechanism



(a) Android



(b) Humanoid robot

Fig.4 Experimental scene (condition 1)

と尋ねる動作など)を行わせ、それらと向かい合った成人被験者に自由にコミュニケーションを行わせた。実験の様子を Fig.4 に示す。(b) のロボットが比較に用いたヒューマノイドロボットである。アンドロイドは首から上、ヒューマノイドロボットは首から上および両腕を使った動作を行う。アンドロイドの音声は外部スピーカーより発生させる。

コミュニケーションは行為者の挨拶から始まり、行為者の挨拶で終了する。この間約2分である。実験環境の壁の裏に隠れた実験者が、テレビカメラにより観測した被験者の反応に応じて行為者の動作を行わせる。被験者には視線を計測するためのアイマークレコーダを装着させた。またモーションキャプチャシステムにより行為者および被験者の動作を計測するために、両者の上半身にマーカーを装着した。また実験後にアンドロイドおよびヒューマノイドロボットに関する印象を尋ねるアンケートも行った。

#### 4.1.2 考察

4人の被験者に対して実験を行った。行為者の動作種類が少ないために、コミュニケーションにおいて文脈的に破綻している部分があくつも見られた。実験前に被験者には実験者が行為者を操作していることを知らせなかったが、実験後に尋ねると3人の被験者がそれに気づいたと答えた。しかし気づいたと答えた被験

者からは、どちらの行為者に対しても行為者の動作に対する無意識的な反応(行為者の向いている方向を見る動作や行為者の動きを真似る動作など)が観測された。特にアンドロイドに対しては、アンドロイドの首と目の動作のみでそのような反応を引き出している。このような興味深い反応を観測することはできたが、行為者-被験者間に統制されたタスクがなかったために、アンドロイドとヒューマノイドロボットの比較が行える知見を得ることができなかった。

## 4.2 条件2

### 4.2.1 実験設定

行為者と被験者の間で簡単な会話をする実験を行った。会話の内容を統制するために、以下のように行為者が質問をして被験者に答えてもらうような簡単な言葉遊びをさせた(Fig.5)。行為者は被験者の答えに対して正解か不正解の旨を告げるだけであるため、文脈の破綻した会話にならないようにしている。またアンドロイド-被験者間の会話とヒューマノイドロボット-被験者間の会話の内容を同一にすることができ、行為者の動作(この場合は発話内容)が同じである場合に、コミュニケーションに与える見かけの影響を比較することができる。アンドロイドの音声は実際の女

行為者「”す”のつくものなーんだ？」

被験者「すいか」

行為者「せいかーい」

Fig.5 Example of conversation

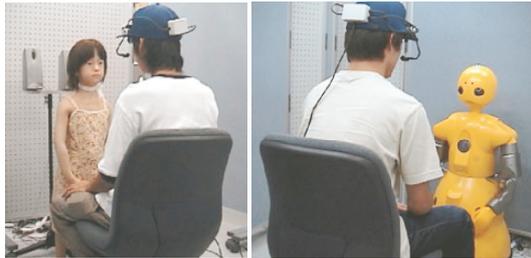
子の音声を録音したもの、ヒューマノイドロボットの音声は音声合成によるものを用いた。

また被験者にはアイマークレコーダを装着させ、行為者と初めて対面したときおよび会話中の被験者の視線を測定した。最初に行行為者はカーテンの向こうに隠しておき、被験者が所定の椅子に座ってカーテンの方に向いたときにカーテンをひくことによって行為者との初対面を実現した。さらにアンドロイドおよびヒューマノイドロボットに対して話しやすい位置の違いを調べるために、被験者には会話を開始する前に、行為者と話しやすい位置に自分の椅子を動かしてもらい、椅子の中心位置と行為者との距離を測定した。最後に条件1と同様にアンドロイドおよびヒューマノイドロボットに関する印象を尋ねるアンケートも行った。

実験の様子を Fig.6 に示す。この実験では(b)に示したヒューマノイドロボットを用いた。会話中、アンドロイドは首から上を適当に動かす動作(口は発話に合わせて動作)、ヒューマノイドロボットは発話中に目を点滅させる動作を行わせている。条件1と同様に壁の裏に隠れた実験者が行為者の動作を操作する。

### 4.2.2 考察

3人の被験者に対して実験を行った。まず会話に対する印象の結果について考察する。会話においてはアンドロイド、ヒューマノイドロボットともに Fig.5 のようなやりとりを3回行った。その中でいずれの会話においても被験者が正しい解答をしているのに、行為



(a) Android (b) Humanoid robot  
Fig.6 Experimental scene (condition 2)



Fig.7 Experimental scene

者が「間違いです」という旨の返事をした場面が1度出現する．そのときの被験者の印象を以下に示す．

- 対アンドロイド：意表をつかれた／人間らしい／相手が間違えたと思う／自分があしらわれている／苛立つが子供らしいとも思う
- 対ヒューマノイドロボット：相手が壊れていると思う／しっかりしろと思う／自分の聞き間違いと思う／苛立つ

この結果から被験者数が少ないが，

- ヒューマノイドロボットは間違っことを言わない
- アンドロイドは間違っことを言うときがある

という傾向が読み取られる．アンドロイドとヒューマノイドロボットの声の違いもあるが，見た目が与える印象の違いが現れている．これは印象の違いであるが，このような見た目の影響の違いが，被験者の動作反応に現れるような実験を調査中である．

また視線計測，話しやすい距離計測の結果は現在解析中である．アンドロイドと会話中の被験者の視線を調べると，アンドロイドの目，口への注視が多いことがわかった．このことから目や口への注視時間，注視頻度を測定することにより，見かけの影響の違いを定量的に測定できると期待される．現在そのための実験をデザイン中である．

##### 5 予備実験2：アンドロイドの見かけの影響

別の予備の実験として，アンドロイドの見かけの影響を調べるために，乳児や幼児にアンドロイドを見せたときの反応を観察する実験を行った．13ヶ月未満の乳児とアンドロイドを Fig.7 のような実験環境で対面させ，静止しているアンドロイドと適当な動作をするアンドロイドを交互に見せた．また幼児（3歳から5歳程度）に対して静止しているアンドロイドを初めて見せたときの反応を観測した．

5人の乳児の反応を観測した結果，以下のようなアンドロイドに関心を示している結果を得た．

- アンドロイドの顔を凝視する
- アンドロイドの動きに合わせて自分の手足を動かす
- アンドロイドの方に体を傾ける (leaning 動作)

##### ● アンドロイドの見た方を見る

これに対して2人の幼児をアンドロイドと対面させた結果，いずれもアンドロイドを一目見て怖がるという反応が観測された

このアンドロイドに対する反応の違いは興味深い結果である．幼児がアンドロイドの見た目の違和感に対して恐怖感を覚えるのであれば，見た目の違和感に対する反応は年齢とともに変化するという仮説が考えられる．このようにアンドロイドを用いて人間の認知を調べるアプローチも考えられる．

##### 6 おわりに

本報告では，人間 - ロボット間の相互作用の原理解明のために，人間と見かけがまったく同じであるアンドロイドを用いる新たなアプローチを提案した．また，見かけや動作がコミュニケーションに与える影響に関する仮説を立てるための予備の実験を行った．現在，それらの観測結果および心理学・認知科学的知見に基づいた仮説を立て，そのを検証するための実験のデザイン中である．

##### 参考文献

- 1) 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平. 人間と相互作用する自律型ロボット robovie の評価. 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 315-323, 2002.
- 2) 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. J84-D-I, No. 3, pp. 380-389, 2001.
- 3) S. C. Johnson, V. Slaughter, and S. Carey. Whose gaze will infants follow? features that elicit gaze-following in 12-month-olds. *Developmental Science*, Vol. 1, pp. 233-238, 1998.
- 4) Vicon motion systems home page. <http://www.vicon.com/>.
- 5) 神田崇行, 石黒浩, 石田亨. 人間ロボット間相互作用に関わる心理学的評価. 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 3, pp. 362-371, 2001.
- 6) 松田剛, 開一夫, 有田亜希子, 嶋田総太郎, 亀割一徳, 神田崇行, 石黒浩. 人間とヒューマノイドロボットの行動観察における脳活動計測. 情報処理学会関西支部大会講演論文集, pp. 87-88, 2002.
- 7) 神田崇行, 石黒浩, 今井倫太, 小野哲雄. 人-ロボット相互作用における身体動作の数値解析 - 協調的動作の重要性 -. インタラクション 2003, pp. 247-254, 2003.