

センサネットワークと一体化したアンドロイドシステムの開発

力石 武信^{†1} 港 隆史^{†2} 石黒 浩^{†1,†3}

人間らしい存在感を持つロボットを開発するためには、ロボットに人間らしい見かけと動作だけでなく、人間との自然なコミュニケーションを可能にする知覚能力が必要である。我々はこれまでに人間に見かけも動きも酷似したアンドロイドを開発したが、内蔵されたセンサだけでは知覚能力は十分ではなかった。そこで、アンドロイドの周囲の環境中に多種多数のセンサを埋め込み、それらの情報をアンドロイドが利用することができるシステムを構築した。このセンサネットワークにより、人間にセンサの存在を意識させることなく周囲の状況を絶えず観測することができる。このシステムにより初めて人間らしい見かけ、動き、知覚の問題に取り組むことができるようになった。本報告ではセンサネットワークと統合したアンドロイドシステムの開発について述べる。さらに、人間とアンドロイドの相互作用実験を通して、開発したシステムがアンドロイドの人間らしい印象を高めるのに有効であることを示す。

Development of an Android System Integrated with Sensor Networks

TAKENOBU CHIKARAISHI,^{†1} TAKASHI MINATO^{†2}
and HIROSHI ISHIGURO^{†1,†3}

In order to develop a robot that has a humanlike presence, the robot must be given a very humanlike appearance and behavior, and a sense of perception that enables it to communicate with humans. We have developed an android robot called "Repliee Q2" that closely resembles human beings; however, sensors mounted on its body are not sufficient to allow humanlike communication with respect to factors such as the sensing range and spatial resolution. To overcome this issue, we endowed the environment surrounding the android with perceptive capabilities by embedding a variety of sensors into it. This sensor network provides the android with humanlike perception by constantly and extensively monitoring human activities in a less obvious manner. This paper reports on an android system that is integrated with a sensor network system embedded in the environment. A human-android interaction experiment shows that the integrated system provides relatively humanlike interaction.

1. はじめに

近年、日常生活の中で人間と関わり合い、活動を行うヒューマノイドロボットの研究が進んでいる^{1),2)}。この理由は、日常生活に人間のような存在感を必用とするタスク、すなわち人間とのコミュニケーションが数多く存在するためである。ロボットに人間のような存在感を持たせることができれば、人間とロボットの自然なコミュニケーションの実現、すなわち対人コミュニケーションと同様に人間がロボットとコミュニケー

ションを行うことが可能になると考えられる。ロボットに人間のような存在感を持たせる原理を知るための一つのアプローチは、人間のように知覚し、振舞うことが可能なロボットを開発することである。そのようなロボットの開発を通して、人間らしい存在感の原理を探ることができる。ヒューマノイドロボットの人間らしい運動性能、視覚による物体・人物・状況認識などの要素技術の研究は行われているが、それらを総合的に備えて人間のように振舞うロボットの研究開発は工学的に有意義であるものの、未だに取り組んだ研究は少ない。そこで本論文では、人間らしい存在感の原理を研究するためのプラットフォームとして、人間との自然なコミュニケーションを実現するための性能を有するロボットシステムを開発することを目的とする。

人間との自然なコミュニケーションを実現するためには、種々のコミュニケーション様式に対応しなければならない。人間同士のコミュニケーション様式には、

†1 大阪大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University

†2 科学技術振興機構 ERATO 浅田プロジェクト
Asada Project, ERATO, Japan Science and Technology Agency

†3 ATR(株) 国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所
ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

言語、声の高さや間の置き方などの近言語、視線やジェスチャなどの身体的動作、対人距離、衣服やアクセサリなど様々なものが存在する³⁾。したがって、人間との自然なコミュニケーションが可能なロボットを開発するためには、以下の点を考慮しなければならない。

- 人間と社会的相互作用を行うためには、ロボットにある程度擬人化された外観および動作が必要である⁴⁾。
- 人間と同じコミュニケーション様式でコミュニケーションを行うための知覚機能を備える必要がある。外観および動作に関して、我々はこれまでにアンドロイドと呼ばれる人間に見かけも動きも酷似したヒューマノイドロボットを開発している⁵⁾。人間に酷似したアンドロイドであれば、ロボットへの対人反応を人間から引き出すのに十分な擬人化がなされていると考えられる。Shimada et al.⁶⁾ は、対アンドロイド状況と対ヒューマノイドロボット状況における被験者の無自覚的な視線行動を比較し、前者は対人状況の視線行動と似ることを実験により示している。また、Noma et al.⁷⁾ は、瞬きや呼吸に伴う動きなどの無自覚的な動きだけを行うアンドロイドを被験者に1秒あるいは2秒提示したときにアンドロイドを人間と見間違えるかどうか調べた結果、どちらの条件においても2/3以上の被験者が人間と見間違えたと報告している。このように、短時間の相互作用、限定された状況での相互作用において、開発したアンドロイドが人間のような存在感を実現していると考えられる結果がこれまでの研究で得られている。しかしながら、これらの実験ではアンドロイドの知覚機能は実装されていない、あるいは実験者により代行されていた。

そこで、このアンドロイドに知覚機能を実装する。人間らしい知覚機能を可能にするためには、種々のコミュニケーション様式への対応、人間と同等の計測範囲や解像度が要求される可能性がある。そのために、ロボットだけでなく環境中にも多種多数のセンサを埋め込み、環境自体に知覚機能を持たせる。環境中に埋め込まれた多種多数のセンサ(本論文ではこれをセンサネットワークと呼ぶ)により、ロボット本体に装着されたセンサだけでは不足する感覚様式や計測範囲、解像度を補うことが可能となる。センサネットワークと統合したアンドロイドシステムは人間の知覚形態と全く異なる知覚機能を有するが、人間に対してアンドロイドが人間と同様に知覚しているように見せかけることができれば、自然なコミュニケーションは可能であると考えられる。そのためには状況に適した感覚情報の統合・取捨選択が問題となる。未だこの問題の一

般的な解決策は明らかになっていないが、開発するシステムを通してこの問題に取り組むことにより、自然なコミュニケーションを実現し、人間らしい存在感をもたらす原理にせまることができる。

そこで本論文では、既存のロボット内蔵型センサシステムと異なる新しい形式のロボットセンサシステムを提案する。このシステムでは、内蔵センサだけでなく、環境中に埋め込まれたセンサも含めて可能な限り多種多数のセンサを用いて、アンドロイドの知覚機能を実現する。既存研究においても、人間行動を認識するためのセンサネットワークシステムとして、天井に多数の超音波レーダ・タグを埋め込んだシステム⁸⁾、環境中に多数の全方位カメラを設置したシステム⁹⁾、環境中あるいは環境中の物体に圧力センサや物体の状態を計測する種々センサの埋め込んだシステム¹⁰⁾¹¹⁾などがあるが、人間とロボットの間の種々のコミュニケーション様式を考慮したものではない。本論文では人間の場所の認識、音声認識、ジェスチャ認識機能などを備えることにより、人間とアンドロイドの種々の様式におけるコミュニケーションを実現することができるシステムを構築する。人間に酷似したアンドロイドに、多種多数のセンサからなるセンサネットワークシステムを加えることにより、これまでになかった、人間らしい見かけ・運動・知覚を総合的に実現できるヒューマノイドロボットシステムが構築される。

人間の知覚形態と全く異なる知覚機能を有するシステムにおいても人間らしいアンドロイドの振舞いを実現できることを示すためには、最低限ある限定された状況においても自然な相互作用が実現できることを示す必要がある。そこで本論文では、構築したシステムを用いてある状況における人間とアンドロイドの相互作用を実現し、アンドロイドの人間らしさを評価する実験を行う。人間らしいアンドロイドの振舞いを設計するためには、上述したようにセンサネットワークから得られる情報の統合・取捨選択が問題となる。センサネットワークは人間では知覚することができない情報まで得ることが可能である。そのような情報に基づいてアンドロイドが振舞えば、その振舞いは人間に不自然な印象を与えると考えられる。逆にセンサ情報を過剰に限定すれば、同様に人間らしくない振舞いになると考えられる。そこで本論文では、設計するアンドロイドの振舞いと同じ振舞いを人間に行わせ、その観察結果に基づいて適切なセンサ情報を選択する。

上述したように、知覚機能がなくとも短時間の対面では、無自覚的な小さな動きのみでほぼ静止したアンドロイドの人間らしい存在感は実現されている⁷⁾。し

かしば静止した状態（ほぼ静止して大きな動きは伴わないが、瞬き、呼吸に伴う肩の動き、腰や首の小さな動きを伴う状態で、本論文では待機状態と呼ぶ）でも、物音がしたら驚いたり、そちらを向くなど周囲の変化に対応した動きを表出しなければ不自然である。そこで評価実験では、人が現れたらその人の方を向くというようなセンサ情報に基づく反応動作を追加した待機状態をアンドロイドに実装し、その振舞いの自然さを被験者に評価させる。従来研究において、このような人間とロボットの積極的なコミュニケーションが確立していない状況での相互作用を実装した例はほとんどない。しなしながら、日常生活においてロボットの間人らしい存在感を実現するためには、このような状況の相互作用を実現することも重要である。ある状況においてある様式におけるコミュニケーションが確立した後は、使用するセンサおよびセンサ情報処理が限定されるが、確立前は様々なセンサ情報を処理しなければならない。待機状態はセンサネットワークの有効性を示すために適した例題であると考えられる。

待機状態の動きを実現するための制御モデルとして、ここではアンドロイドの心的状態に基づいた動作生成モデルを構築する。アンドロイドの心的状態、反応行動、そしてそれらを決定するためのセンサ情報は、上述したように実際の人間の待機状態の観測に基づいて決定する。センサ情報からアンドロイドの心的状態を決定し、心的状態に基づいて反応動作を表出する。心的状態に基づいて動作を生成することにより、アンドロイドの振舞いを人間らしいと感じさせることができると考えられる。評価実験では、心的状態に基づく反応動作を示すアンドロイドと、センサ情報に依存せずランダムに動作を表出するアンドロイドの自然さを被験者に評価させる。

以下では、まず 2 節で開発したシステムのハードウェア構成およびソフトウェア構成について説明した後、3 節で評価実験について報告する。

2. センサネットワークと統合したアンドロイドシステム

2.1 ハードウェア構成

本システムで用いるセンサを図 1 に示す。アンドロイドの周囲に、全方位カメラ、全方位マイクロフォン、パンチルトカメラおよび床接触センサが配置されている。またアンドロイド本体には接触センサが内蔵されている。これらのセンサは図 2 に示されるように、センサ情報を処理する PC に接続され、TCP/IP で相互に接続された PC 間でセンサ情報の授受が行われる。

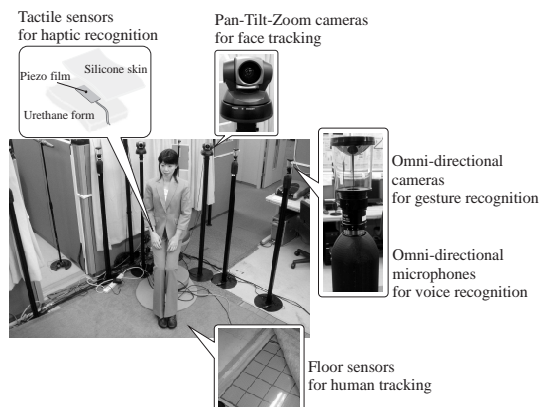


図 1 開発したシステムのハードウェア構成。

Fig. 1 Hardware composition of the developed system.

図 2 中に示す丸は一つのセンサを表す（アンドロイド本体に搭載された皮膚センサは 42 個あるが、紙面の都合一部しか記していない）。以下ではまずアンドロイドの性能について説明した後、各センサの性能およびセンサ情報処理について説明する。

2.1.1 アンドロイド Repliee Q2

本システムで用いるアンドロイド Repliee Q2 を図 3 に示す。人間に酷似した見かけを実現するため、実在の人物から実際に型を取ることでより姿勢が作成されている。また、皮膚素材は医療用シリコンで、見かけだけでなく触れたときの感触も人間に近づけてある。制御可能な自由度は目に 3、眉に 1、まぶたに 1、頬に 1、口に 7、首に 3、各腕に 9、各手に 2、腰に 4 の合計 42 自由度であり、人間動作に似た動作を再現可能である。顔部にある 13 自由度により、いくつかの表情や口の形を作ることができる。アンドロイドが持つ唯一の外界センサは皮膚センサである。膝より上のシリコン製皮膚あるいは衣服の下に、PVDF フィルムを用いた高感度皮膚センサを 42 カ所備えている。

各自由度は空気アクチュエータにより駆動される。空気アクチュエータを用いることにより、特別な制御を用いることなく自然な反力を作り出すことができる。例えば、アンドロイドが動作中に人間に触れる場合など、油圧駆動アクチュエータや電気モータと比較して、人間に対し高い安全性を確保できる。また、多数の自由度により呼吸に伴う肩や胸の動きなどの人間の無自覚的動作を再現することができるだけでなく、空気アクチュエータによるしなやかな動作により、人間らしい動作が実現できる。ただし椅子から立ち上がることもおよび移動することはできない。空気アクチュエータは駆動時に大きな騒音を発生しない。動力源であるエアコンプレッサは大きな騒音を発生するが、ア

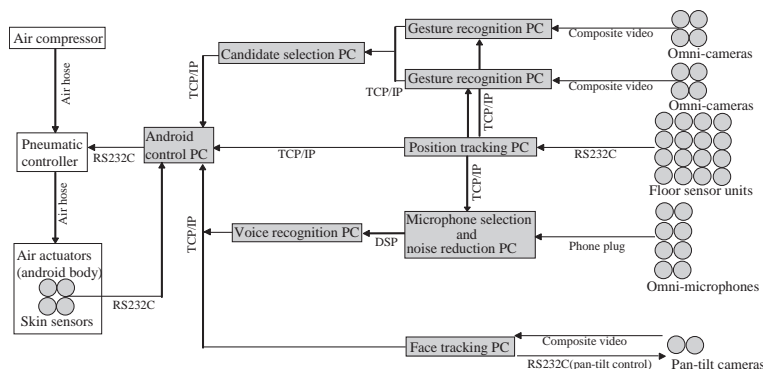


図 2 開発したシステムのネットワーク構成。

Fig. 2 Network architecture of the developed system.



図 3 アンドロイド Repliee Q2.

Fig. 3 Android Repliee Q2.

ンドロイド本体から離れた場所に設置することができる。このことにより、コミュニケーションに支障をきたすようなアクチュエータの駆動ノイズはほとんど発生しない。

空気アクチュエータのサーボコントローラは体外に設置されており、PC からシリアル経由で各自由度の位置指令を送ることによりアンドロイドを制御することができる。位置指令の送信は 20Hz で行われる。また胸部に搭載された平面スピーカーから録音した声を再生することにより発声を行う。空気アクチュエータ制御および音声再生には 1 台の PC が使われる。アンドロイドのハードウェアの詳細な仕様は¹²⁾ に記述されている。

2.1.2 床接触センサ

2.1.2.1 主な目的

人間の立っている位置を検出し追跡するために床接触センサをアンドロイドの前方の床に設置した。

2.1.2.2 ハードウェア

床接触センサとして図 4 に示す床センサユニット（ヴイストン社製 VS-SS-SF55）を用いた。床センサは人間の位置を検出することを目的に、感圧センサを約 5mm 間隔に格子状に配置したものである。このセンサを床面に敷き詰めることにより、人物の位置を検知することができる。床センサユニット 1 つあたりの大きさは 500×500×15mm であり、感圧感度は 200~250g/cm² である。検出単位は 100mm×100mm であり、1 ユニットあたり 5×5 個所の重量位置を検出できる。一般に成人の足の大きさは、おおよそ 200~300×100~150mm であり、人間の位置を検出するためには十分な解像度を持っている。本システムでは、床センサユニットを 16 枚（合計 2m×2m）をアンドロイド前面のカーペット下の床面に設置した。各床センサユニットは 1 台の PC にシリアル接続されており、約 37Hz で全センサデータを読み取ることができる。

2.1.2.3 情報処理

人間の歩行中の床センサの反応は時間的および空間的に離散的であり、反応パターンも一脚接地と二脚接地で大きく異なる。そのため床センサ情報から人間の位置を求める際には多対一の対応問題が生じる。床センサに特有なこの対応問題を解決しながら人間位置を追跡する手法として、Murakita et al.¹³⁾ によるマルコフ連鎖モンテカルロ法に基づいた人間追跡手法がある。本システムではこの手法を実装し、床センサを用いて複数の人間を同時に追跡する。システムが新たに人間を検出すると、その追跡対象に人物 ID が割り当てられ、追跡が開始する。人間の位置検出結果は、追跡している人間の人物 ID とその位置として出力される。出力は約 17Hz で行われる。

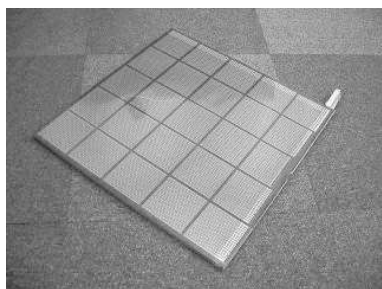


図 4 床センサユニット.
Fig. 4 Floor tactile sensor unit.

2.1.3 全方位カメラ

2.1.3.1 主な目的

人間を追跡し、さらに人間のジェスチャを認識するために、図 1 に示すようにアンドロイドの前方空間を囲むように 8 台の全方位カメラを設置した。

2.1.3.2 ハードウェア

全方位カメラはヴイストーン社製 VS-C42N-TR を用いた。撮像範囲は水平面に対し上方約 15 度、下方約 60 度の全方位、有効範囲画素数は 768 × 494 である。このカメラを床面から 1.5m の高さに 8 台設置した。4 台のカメラが 1 台の PC にキャプチャデバイスを介して接続されており、2 台の PC ですべての全方位カメラの画像処理を行う。

2.1.3.3 情報処理

全方位カメラネットワークを用いた人間追跡およびジェスチャ認識手法として、全方位カメラによる三角測量と全方位見え方モデルによる手法¹⁴⁾¹⁵⁾が提案されている。この手法はカメラに対する認識対象の方向に依存しないジェスチャ認識を可能にする。ただしこの手法では、人間位置を特定し画像中の認識領域を決定するために背景差分画像を用いるため、認識対象以外の動物体が画像中に存在した場合、画像中の認識領域を特定できない場合がある。そこで本システムでは、この手法に床センサ情報を導入した。すなわち背景差分と床センサで得られた人間位置情報に基づいて画像中の人物領域を推定し、ジェスチャ認識を行う。2 台の PC でそれぞれ認識されたジェスチャと認識信頼度に相当する情報を別の PC (図 2 中の Candidate selection PC) に送信し、そこで信頼度の高い方を選択し、最終的なジェスチャの認識結果とする。したがって、ジェスチャ認識には合計 3 台の PC が使われる。認識対象の人物には、床センサで得られた人物 ID と同じ ID が割り当てられる。本システムでは「おじぎ」や「指さし」などのジェスチャを認識することができる。システムが認識可能なジェスチャリストがあらか

じめ用意されており、認識結果は人物 ID とリスト中のジェスチャを指定するジェスチャ ID として出力される。出力は 20Hz で行われる。環境中に人間が複数存在する場合、それぞれの人間のジェスチャを別々に認識することが可能である。

2.1.4 全方位マイクロフォン

2.1.4.1 主な目的

環境中の人間の音声を認識するために、全方位カメラと同じ場所に 8 台の無指向性マイクロフォンを設置した。

2.1.4.2 ハードウェア

1 つの無指向性マイクは、全方位カメラの下部に 4 方向に向けて取り付けられた 4 つのコンデンサマイクからなる。4 つのマイクの信号を 1 つに合成することにより、1 つの全方位マイクを実現している。すべてのマイクは 1 台の PC に並列に接続され、その PC で認識対象の音声データが抽出される。その音声データは別の PC に送信され、そこで音声認識が行われる。音声認識には合計 2 台の PC が用いられる。

2.1.4.3 情報処理

音声認識を行うためには、できる限り雑音が少ない音声信号が必要である。そのために床センサから得られた人間位置情報に基づいて、音源である人間位置に一番近いマイクを選択する。次に、選択したマイクから得られた音声データから背景ノイズを除去する。こうして得た音声信号に基づき音声認識プログラム (Microsoft Speech SDK) を用いて認識処理を行う。音声認識のための文法は状況に応じて変更可能である。認識結果は単語列として出力される。

2.1.5 パンチルトカメラ

2.1.5.1 主な目的

人間の顔の位置及び顔の向きを計測するために、パン、チルト、ズームを制御可能なカメラをアンドロイドの左右両脇に 2 台配置した。

2.1.5.2 ハードウェア

パンチルトカメラはソニー製 EVI-D100 を用いた。このカメラは水平方向 ±100 度 (最大速度 300 度/秒)、上下方向 ±25 度 (最大速度 125 度/秒) の範囲でカメラの向きを変えることができる。2 台のパンチルトカメラは 1 台の PC とシリアル接続されており、PC からパン、チルト、ズームを制御可能である。また同 PC にキャプチャボードを介して接続されており、1 台の PC で画像処理およびパン・チルト・ズーム制御を行う。

2.1.5.3 情報処理

顔検出には肌色抽出に基づく方法、顔方向の認識に

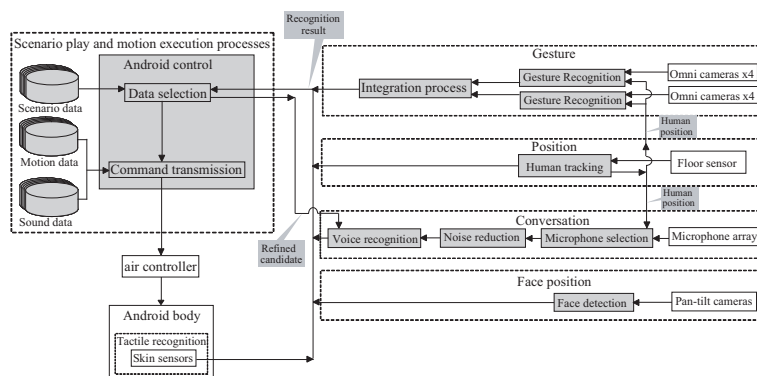


図 5 開発したシステムの情報処理構成。

Fig. 5 Software architecture of the developed system.

は武岡ら¹⁶⁾の手法などで用いられているエッジ画像のヒストグラムに基づいた認識手法を実装した。検出した顔領域を常に画面中央に一定の大きさで捉えるようにパン、チルト、ズームを制御する。パン、チルト、ズームの位置から顔の3次元空間における位置を知ることができる。人間の顔の向きはアンドロイドに向かって正面、右向、左向の3方向が検出可能である。顔位置検出結果は、顔の3次元位置と顔の向き(3パターン)として出力される。出力は20Hzで行われる。

2.1.6 皮膚センサ

2.1.6.1 主な目的

人間からの接触を感知する。接触によるコミュニケーションは身体を使う必要があり、他のセンサがアンドロイドの体外にあるのに対し、このセンサのみアンドロイド本体に設置されている。膝から上の皮膚の下に合計42カ所設置されている。

2.1.6.2 ハードウェア

皮膚センサにはPVDFフィルムが用いられている。図2に示すように、PVDFフィルムを下側からウレタン、上側からシリコン製皮膚で挟み込んだ構造となっている。センサ1素子の大きさは110×10mmであるため、42個のセンサでは体表面すべてを覆うことはできない。しかし下側のウレタンの変形が空間的に広がるため、センサの設置されていない箇所への接触も検知することが可能である。

2.1.6.3 情報処理

PVDFフィルムは変形速度に比例した値を出力するため、出力値を時間積分することにより接触力に相当する値を得ることができる。センサの分布密度の制約上、「なでる」など皮膚上の動きを伴う触行動を認識することは困難であるため、体のある部位がどの程度で触られたかを検出する。これにより、「肩を叩かれる」や「頬を触られる」などの触行動を認識するこ

とができる。接触の検出はアンドロイドを制御するためのPC上で行われる。接触位置検出結果は接触された位置と接触の強さとして出力される。出力は20Hzで行われる。

2.2 ソフトウェア構成

図5に認識および行動決定の処理の流れを示す。センサ情報処理および動作制御に合計8台のPC(Pentium IV 3GHz)を用いた。センサ情報処理はセンサの種類に応じて大きく5つの処理、すなわちジェスチャ認識、人間位置検出、音声認識、顔位置検出、触行動認識に分けられる。それぞれの認識処理については2.1節にて説明した。各処理は独立ではなく、ジェスチャ認識、音声認識は人間位置検出結果に依存した処理を行っている。他の認識処理結果を用いることにより認識精度を向上させている。センサ情報処理部はそれぞれ以下の情報を出力する。

- ジェスチャ認識：人数分のジェスチャIDと人物ID。
- 人間位置検出：人数分の人間位置および人物ID。
- 音声認識：認識された単語列。
- 顔位置検出：人間の顔の3次元位置および顔の向き。
- 接触位置検出：触られた体の位置および接触の強さ。

アンドロイドの動作は、動作に必要な自由度に対する指令値時系列データおよび音声データをひとまとめにした動作モジュール単位で扱われる。1つの動作モジュールは「お辞儀する」、「手を振る」などの数秒～30秒程度の動作である。動作モジュールとその動作実行後のセンサ情報に基づいた条件分岐処理をひとまとめにしたものを相互作用モジュールと呼ぶ。さらに、想定するコミュニケーションを実現するための相互作用モジュール発生手順を記述したものをシナリオと呼

```

<?xml version="1.0"?>
<scenario>
  <event eventno="1" sensor="UNUSE" motion="G001.dat">
    <result><UNUSE nextevent="2"/></result></event>
  <event eventno="2" sensor="UNUSE" motion="G002.dat">
    <result><UNUSE nextevent="3"/></result></event>
  <event eventno="3" sensor="UNUSE" motion="G003.dat">
    <result><UNUSE nextevent="4"/></result></event>
  <event eventno="4" sensor="VOICE" motion="G004.dat" grammar="grammar_G004.xml">
    <result><YES nextevent="5"/>
    <NO nextevent="6"/>
    <ERROR nextevent="16"/>
  </result></event>
  <event eventno="5" sensor="UNUSE" motion="G005.dat">
    <result><UNUSE nextevent="6"/></result></event>
  <event eventno="6" sensor="UNUSE" motion="G006.dat">
    <result><UNUSE nextevent="7"/></result></event>
  <event eventno="7" sensor="UNUSE" motion="G007.dat">
    <result><UNUSE nextevent="11"/></result></event>
  <event eventno="8" sensor="UNUSE" motion="G008.dat">
    <result><UNUSE nextevent="9"/></result></event>
  <event eventno="9" sensor="UNUSE" motion="G009.dat">
    <result><UNUSE nextevent="10"/></result></event>
  <event eventno="10" sensor="UNUSE" motion="G010.dat">
    <result><UNUSE nextevent="11"/></result></event>
  <event eventno="11" sensor="UNUSE" motion="G011.dat">
    <result><UNUSE nextevent="12"/></result></event>
  <event eventno="12" sensor="FLOOR" motion="G012.dat">
    <result><REGION1 nextevent="13"/>
    <REGION2 nextevent="14"/>
    <REGION3 nextevent="15"/>
    <OUTFLOOR nextevent="13"/>
    <ERROR nextevent="13"/>
  </result></event>
  <event eventno="13" sensor="UNUSE" motion="G013.dat">

```

図 6 XML で記述されたシナリオの例 .

Fig. 6 An example of scenario described in XML.

ぶ . 1 つの相互作用モジュールには , 実行する動作モジュール , 動作実行後の状況認識に必要なセンサ情報処理および認識結果に基づいて決定される次の相互作用モジュールが記述されている . 音声認識を指定した場合 , 音声認識に必要な文法も指定する . 文法データは文法 ID により管理されており , この ID を用いて文法の指定を行う .

アンドロイド制御 PC においてシナリオを指定すると , 制御プログラムは相互作用モジュールを順次実行する . 手順は以下ようになる .

- (1) 指定された相互作用モジュールの情報を取得する .
- (2) 動作モジュールに記述された動作を実行すると同時に音声を再生する .
- (3) 指定したセンサ情報処理部から認識結果を取得する . 音声認識を指定した場合は , 音声認識処理部に文法 ID を送信する .
- (4) 取得した認識結果から , 条件分岐にしたがって次に実行する相互作用モジュールを決定する .
- (5) (1) に戻る .

相互作用モジュールでは , 現在の状況がある程度限定されるため , 状況認識に適すると考えられるセンサや認識候補を限定することができ , 各センサ情報処理における認識率の向上が期待される .

シナリオはプログラミングスキルを持たない者でも容易に作成することができるように XML で記述されている . シナリオの例を図 6 に示す . 図中の <event></event> で囲まれた部分が 1 つの相互作用モジュールである . 例えば , eventno 1 の相互作用モジュールには , G001.dat に記述された動作モジュールを実行し , センサ情報に関係なく eventno 2 の相互作用モジュールに移行することが記述されている . また



(a) Demonstration place. (b) Interviewer.

図 7 2005 年の愛知万博でのデモの様子 .

Fig. 7 Demonstration at World Expo 2005 held in Aichi, Japan.

eventno 4 には , 動作モジュール G004.dat を実行し , grammar_G004.xml で指定された文法に従った音声認識を行い , その結果が「はい」であれば eventno 5 の相互作用モジュールに「いいえ」であれば eventno 8 の相互作用モジュールに , 音声認識を失敗したのであれば eventno 16 の相互作用モジュールにそれぞれ移行することが記述されている .

2.3 システムの動作例

2005 年 6 月に開催された愛知万博プロトタイプロボット展に Repliee Q2 を出展する機会を得たため , 開発したシステムを用いたデモンストレーションを行った . この様子を図 7 に示す . ここではアンドロイドが会場を訪れた人にインタビューを行うというシナリオを作成した . アンドロイドが人に対し , どこから来たのか , どこのパビリオンが一番面白かったかという質問を行い , 人が言葉や身振りで答えるという内容であった . このデモでは床センサによる人の来訪・退場の認識 , マイクロフォンによる音声認識 , 全方位カメラによるジェスチャ認識が使われた (ただし音声認識には , センサネットワークのマイクロフォンではなくアンドロイドの手に持たせたマイクロフォンを使用した) . そして , 想定した相互作用が実現されることを確認した . またこのロボット展への出展を通して , 開発したシステムが実験室環境以外の環境でも稼動することを確認することができた .

3. 自然な待機動作の生成とその評価

ここでは 1 節で述べたように , 開発したシステムの有効性を検証するために , センサネットワークの情報を用いてアンドロイドの人間らしい振舞いが実現できることを実験により示す . 先行研究⁷⁾では , センサ情報がない場合の待機状態アンドロイドの人間らしさの評価を行っているが , センサ情報に対する反応動作を加えることにより , 人間らしさを増すことができると

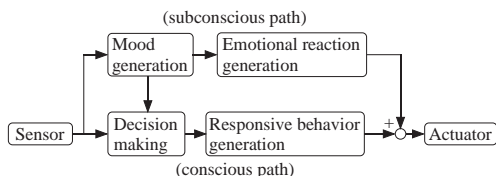


図 8 心的状態に基づくアンドロイドの動作生成モデル。
Fig. 8 A control of the android based on a mental state.

考えられる。そこで待機状態にあるアンドロイドに被験者が近づく状況を用意し、その状況でのアンドロイドの振舞いの印象を評価させる。そして、センサ情報に基づいて反応動作が生成される場合と、センサ情報に依存せずに待機動作を行う場合の人間らしさの印象を比較する。

3.1 待機動作生成の基本的考え

人間がアンドロイドと積極的なコミュニケーションを行っている状況と異なり、待機状態にあるアンドロイドに対して人間が強く期待する反応動作があるとは限らない。しかし待機状態にある人間であれば、周囲の状況変化に対する何らかの反応を示すと考えられるため、待機状態のアンドロイドにセンサ情報に依存しない動作だけを行わせれば、人間らしい振舞いになるとは考えられない。したがって何らかの制御モデルが必要である。

制御モデル構築のためには、状況に適したセンサ情報の統合・取捨選択が行われなければならない。特に、センサネットワークでは人間の知覚能力以上に情報を取得することができるため、人間の知覚限界も考慮しなければならない。本実験では1節で述べたように、実際の待機状態にある人間の振舞いを観察することによりセンサ情報の選択を行う。また、センサ情報から行動を生成する部分では、人間がアンドロイドの動作に意図などの心的状態を帰属しやすいような生成器を構築すべきである。そのためには既存研究が示すように、ロボットの心的状態を導入することが考えられる。たとえば三輪ら¹⁷⁾の研究では、意識モデルを統合した心理モデルを構築することにより、複数の刺激(センサ入力)に対する刺激選択をランダムではなく明確に選択できるシステムを構築している。複数の刺激に対する刺激選択に理由を持たせることにより、より人間らしい反応を見せることができると考えられる。また¹⁸⁾は、ロボットが感情を表現することにより人間との相互作用をより複雑に、豊かにすることができると述べている。

そこで、本論文ではアンドロイドの心的状態に応じて無意識的な身体反応が変化する動作生成モデルを構

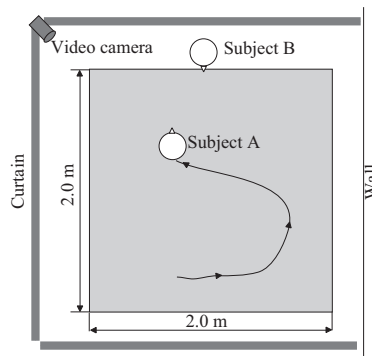


図 9 待機状態の人間の観測。
Fig. 9 Observation of a waiting person.

築する。このモデルを図 8 に示す。まずセンサ情報に基づいてアンドロイドの心的状態が決定される。ここで扱う心的状態は不安や恐れなどの情動の状態である。アンドロイドはセンサ情報と心的状態に基づいて反応動作を決定する。これが人間の意識的な行動生成に相当する。それとは別に、心的状態に応じた情動反応が無条件に生成される。これが人間の無意識的な情動反応に相当する。ここで扱う情動反応は、瞬きの頻度の変化や眼の動く速度の変化などである。心的状態には不安や恐れなどの他に中立状態を定義する。情動反応は、中立状態での反応動作における瞬きの頻度や眼の動く速度からの変化で表現される。心的状態が中立状態の場合は、複数用意した中立状態動作モジュールの中からランダムに1つを選択して実行する。中立状態が継続する限り、これが繰り返される。そしてアンドロイドの心的状態が変化した時に、センサ情報と心的状態に基づいて選択された動作モジュールに、心的状態に対応する情動反応を加えた動作が実行される。

アンドロイドの動作モジュールや心的状態、情動反応、待機状態シナリオは、実際の人間の待機動作の観測およびその人の内省報告から構築する。合目的なタスクを行っていない待機状態における人間の動作は、個性に依存するものと考えられる。個性に依存しない動作を得るために、多数の人間を観測して共通動作を抽出することが考えられるが、待機状態動作が個性に大きく依存する場合、共通動作がほとんど得られない可能性がある。ここでは多数の人間の共通動作を調査することはしない。実験結果がモデル化対象の被験者の個性によって変わる可能性もあるが、最低限、構築したモデルに基づいたセンサネットワークの有効性を検証することはできる。

3.2 人間の待機状態の観察

人間の待機状態を観察するために、図 9 に示す環

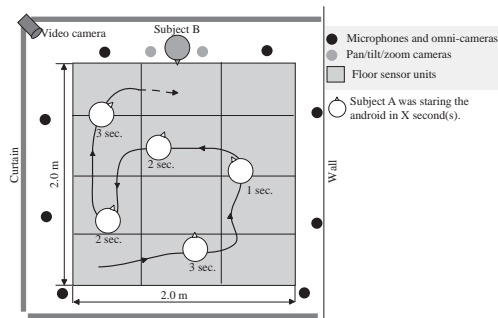


図 10 被験者 A の行動例。

Fig. 10 Example of a behavior of the subject A.

境を用意した。四方をカーテンあるいは壁で囲んだ場所で、待機状態の人間の動作とその周囲にいる人間の動作をビデオカメラで記録する。実験者は、1人の被験者に椅子にすわらせ、20分間その場で座っているように指示する。これを被験者 B とする。被験者 B には、人間の自然な動作の調査のための実験であることをあらかじめ知らせる。この椅子は Repliee Q2 が座っている椅子 (図 3) と似たものである。別の被験者には、図 9 に示す黒枠で囲われた 2m×2m の領域内で 20 分間、被験者 B を観察しつつ自由に行動するよう指示する。これを被験者 A とする。被験者 A にも人間の自然な動作の調査のための実験であることをあらかじめ知らせる。2.0m×2.0m の領域は、アンドロイドの前方に設置された床センサ領域と同じ大きさである。被験者 A は 20 代の男子大学生 2 名、被験者 B は 20 代の男子大学生および女子大学生の 2 名である。観察終了後、心的状態を定義するために、被験者 A の動作に対する印象を被験者 B に回答させた。このとき、20 分間の事象について、思い出せるだけの印象を回答させた。

3.3 中立状態における動作モジュールの構築

図 10 は被験者 A の行動例である。被験者 A が被験者 B の周囲を歩きまわり、時々数秒立ち止まって被験者 B の方を見るという行動が観測された。中立状態の動作モジュールは、2人の被験者 B に頻繁に現れる共通の動作に基づいて作成する。観察の結果、以下の 6 つの動作が共通に現れた。待機状態において頻繁に見られる動作として、これらの動作を中立状態の動作モジュールとした。

- 被験者 A が見ている場所を見る。
- なるべく体を動かさず、目の動きだけで被験者 A を何度か覗き見る。
- 被験者 A を何度か覗き見る。
- 被験者 A を見ないように正面を見る。

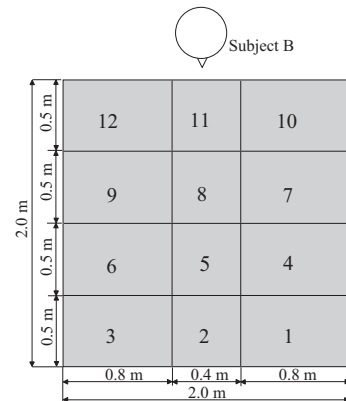


図 11 被験者 A の位置 ID。後の実験でアンドロイドは被験者 B と同じ状況に置かれる。

Fig. 11 ID of the position of the subjects A. Subject B was later replaced with the android in the experiment.

- うつむいて地面を見る。
- 被験者 A を見続ける (追跡する)。

3.4 心的状態の決定モデルの構築

被験者 B の印象回答を調べた結果、印象が被験者 A の動作および被験者 A のいる場所に大きく依存することが分かった。そこで、心的状態を被験者 A の動作および場所に基づいて分類した。その結果を表 1 に示す。この表に基づいてセンサ情報からアンドロイドの心的状態が決定される。被験者 A の場所は図 11 のように分類した。表 1 の 1 列目は、図 11 に示した被験者 A の位置の ID である。位置 ID に示された 1 to 6 は、1 から 6 のいずれかを表している。2 列目は 1 列目に示した場所にいる被験者 A の行動を示している。3 列目は被験者 A の動作に対する被験者 B の感情である。4 列目はその感情の元になる被験者 B の情動である。情動は Plutchik の情動のモデル¹⁹⁾ に基づいて決定した。それぞれの情動の決定理由は以下のようである。

- 嫌悪 (Disgust): 印象回答で「被験者 A に凝視し続けられるのが嫌で止めて欲しい、圧迫感がある」と答えていることから、自分にとって有害な物を除去したい場合に生じる情動、すなわち嫌悪が生じているとした。
- 受容 (Acceptance): 印象回答で「被験者 A の興味がこちらに向いていないので気にならない」と答えていることから、現状を快にも不快にも感じずそのまま受け入れている場合に生じる情動、すなわち受容が生じているとした。
- 恐れ (Fear): 印象回答で凝視され続けることが苦痛であると感じていることを報告していることが

表 1 被験者 A に対する被験者 B の印象の分類．後の実験でアンドロイドは被験者 B と同じ状況に置かれる．

Table 1 Classification of the feelings of subjects B toward subjects A. Subject B was later replaced with the android in the experiment.

Position ID of A	Behavior of A	Feeling of B towards A	Mood of B
2,5 8 11	Stares at B Stares at B Stares at B	Unpleasant Unpleasant + Oppressive Very unpleasant + Oppressive	Disgust
1 to 6	Walks around without staring at B	Not so concerned about the action of A	Acceptance
1,3,4,6	Stares at B	Harassed	Fear
7 to 12 8,11 1 to 12	Walks around without staring at B Looks at somewhere Walks around with staring at B	Anxiety Anxiety Anxiety	Apprehension
1 to 7,9,10,12	Looks at somewhere	Worry about where A is looking	Interest

ら、苦痛や破壊、あるいは驚異の下で生じる情動、すなわち恐れが生じているとした。

- 不安 (Apprehension): 印象回答で凝視され続ける、または近くに居続けられるため苦痛に感じていると回答していることから、恐れが生じていると考えられる。また、何か自分に用があるのか気になっていると回答していることから、相手の行動目的を探索している場合に生じる情動、すなわち期待が生じていると考えられる。したがって、Plutchik のモデルから 2 つの間である不安が生じているとした。
- 興味 (Interest): 印象回答で被験者 A の向いている方向が気になると回答していることから、相手の行動の目的が不明で有益か有害か、快か不快か不明の場合に生じる情動、すなわち驚きが生じていると考えられる。また、その行為を受け入れようとしていることから受容も生じていると考えられる。したがって、Plutchik のモデルから 2 つの間である興味が生じているとした。

3.5 各心的状態の情動反応および行動決定モデルの構築

次に被験者 B の行動の観測結果に基づいて、各心的状態における行動決定モデルを構築した。また情動反応は、瞬きの頻度、瞬きの速度、眼球運動の速度の変化とした。中立状態の動作モジュールにおける瞼や眼球の運動の性質を以下のように設定した。

- 瞬きの頻度 (BF) は 2~3sec に 1 回。
- 瞬きの速度 (BV) は、瞼を閉じてから開くまでの時間が 0.3~0.5sec。
- 眼球の運動速度 (EV) は約 15deg/sec。

以下では、各心理状態における行動決定と情動反応について説明する。情動反応は、例えば瞬きの頻度が中立状態時の 2 倍なら BF×2 と表記している。

受容時の行動決定と情動反応

相手を見る。BF×1, BV×1, EV×1。

恐れ時の行動決定と情動反応

相手を見る。BF×3, BV×1, EV×2。

嫌悪時の行動決定と情動反応

相手が近くにいる場合 (図 11 における 2 および 5 の位置) は相手を見る。相手が遠くにいる場合 (位置 8,11) はうつむいて地面を見る。BF×1, BV×2, EV×1。

興味時の行動決定と情動反応

相手が遠くにいる場合 (位置 7,9,10,12) は相手をちらりと見る。相手が近くにいる場合 (位置 1~6) は相手が見ている方向を見る (右方向と左方向の 2 通り)。BF×3, BV×1, EV×2。

不安時の行動決定と情動反応

相手がアンドロイドを見ながら歩き回っている場合は相手をちらりと見る。相手が遠く (位置 7~12) にいてアンドロイドを見ずに歩き回っている場合、あるいは相手が遠く (位置 8,11) にいてどこかを見ている場合はうつむいて地面を見る。BF×3, BV×1, EV×2。

3.6 相手の行動認識とアンドロイドの行動決定

各心理状態における行動決定モデルに基づいて、待機状態シナリオを作成した。表 1 に示した被験者 A の動作を認識する過程を図 12 に示す。例えば、床センサ領域に人間がいる場合、床センサを用いてその人の位置を計測する。次に位置の時系列情報からその人の移動の有無を調べる。移動していない場合、パンチルトカメラを用いて顔の方向を計測する。顔がアンドロイドの方を見ている場合、顔方向の時系列情報から、2 秒以上アンドロイドを見続けているかを判断し、2 秒以上なら相手はアンドロイドを凝視していると認識する。そして認識した相手の行動と相手の位置に基づいて、アンドロイドの心的状態が決定される。2.2 節で説明したように、相手の位置や行動の認識はアンドロイドの動作モジュール実行ごとに行われる。相手の行動が認識できなかった場合 (図中の neutral)、心的状態は中立状態になるとした。ある心的状態が持続

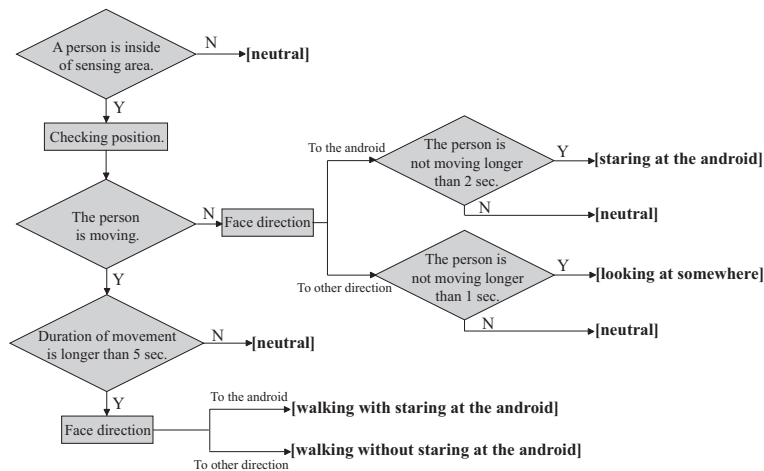


図 12 他者の行動認識手順 .

Fig. 12 Procedure for recognizing a person's behavior.

することによって同じ動作を連続して実行するのを防ぐため、各心的状態で行動を実行した後は、しばらくは同じ心的状態に遷移させず、中立状態とするようにシナリオを構築した。

動作モジュール作成は Repliee Q2 用に開発した動作作成支援ソフトを用いて手作業で行った。動作モジュールは各関節の指令値の時系列で記述される。この支援ソフトはアンドロイドの各関節を動かすことができる GUI を備えており、開発者はアンドロイドを動かしながら関節の指令値の時系列を決定することができる。

3.7 評価実験

3.7.1 実験概要

前節で構築した待機状態のシナリオに基づいて振舞うアンドロイドに被験者が近づいて行動するときの、アンドロイドの主観的な人間らしさを評価する実験を行った。比較のために、センサ情報を用いずに待機動作を行うアンドロイドを用意した。この待機状態では、ぼんやりした動作、辺りを見渡す動作、眠そうな動作など 15 種類の動作モジュールの中からランダムに 1 つの動作モジュールを選択して実行することを繰り返す。実験では、1 人の被験者に両条件のアンドロイドの人間らしさを評価させた。人間とアンドロイドのコミュニケーションが成立していない状況においても、センサネットワークの情報に基づいた反応動作を行う方が、アンドロイドをより人間らしく見せる、そしてより人間らしい存在感を与えると予想される。

3.7.2 実験手順

実験は、図 13 に示す環境で行った。各種センサの配置も同図に示してある。被験者は以下の 2 条件の実

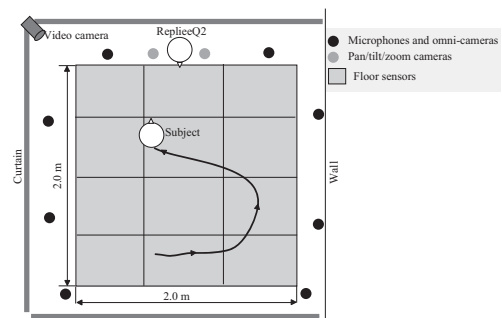


図 13 センサネットワーク配置 .

Fig. 13 Arrangement of sensor network.

験に参加する。

ランダム条件 ランダム条件用に用意した動作モジュールの中からランダムに動作モジュールを選択して実行しているアンドロイドの近くで 3 分間行動する。

センサ条件 前節で構築したシナリオに基づいて動作しているアンドロイドの近くで 3 分間行動する。被験者にはアンドロイドの周りを自由に行動し、そのときのアンドロイドがどの程度人間らしいか評価するように指示した。被験者には、行動に際してアンドロイドに声をかけても触れても構わないと伝えた。2 条件の実験に参加した後、各条件のアンドロイドの人間らしさを -3~3 の 7 段階の点数で評価させた。またアンドロイドの印象に関する自由回答形式のアンケートにも回答させた。条件の順序の釣り合いを取るため、被験者ごとに参加条件の順序を入れ替えた。被験者には最初の条件と次の条件の間で 1 分間の休憩時間を取らせた。被験者は大学生の男女 16 名 (20 代の男女 14



図 14 実験状況.

Fig. 14 Experimental scene.

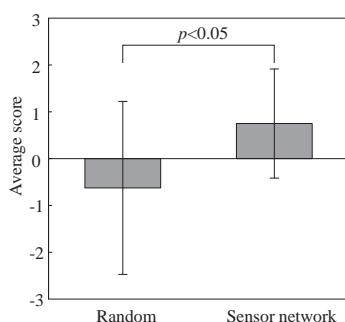


図 15 アンドロイドの人間らしさの評価 (被験者間比較).

Fig. 15 Evaluation of human-like nature of the android (between-subject comparison).

名と 30 代の女性 2 名) である。

3.7.3 実験結果

実験の様子を図 14 に示す。いずれの被験者もアンドロイドの周囲を歩き回るのみで、実際にアンドロイドに声をかけたり触れることはしなかった。ほとんどの被験者は図 10 に示したように、アンドロイドを興味深そうに見ながら、アンドロイドに近づいてあるいは遠ざかって周囲を歩き回る行動を示した。また、あまり移動せず、アンドロイドを凝視する行動を示す被験者もいた。さらに、アンドロイドに向かって手を振る、アンドロイドの顔の前に手を出すなどアンドロイドが自分を認識しているかどうかを確認しようとする行動を示す被験者もいた。

次に、センサ条件のアンドロイドがランダム条件のアンドロイドより人間らしいと評価されるという仮説を検証する。ここでは実験条件の違いによる影響のみを検証するために、被験者間配置で人間らしさの評価値の比較を行う。本実験では、先にセンサ条件の実験に参加した被験者群 (S-R 群, 8 名) と先にランダム条件の実験に参加した被験者群 (R-S 群, 8 名) があるため、S-R 群のセンサ条件での評価と R-S 群のランダム条件での評価を比較する。つまり、最初に参加した実験条件の評価のみを用いて比較する。各条件の評価値の平均値を図 15 に示す。エラーバーは各評価

値の標準偏差の大きさを表す。平均値の差に関して対応なし t 検定を行った結果、平均値の差に統計的有意差 ($p < 0.05$) があることがわかった ($t = 1.781$, 自由度 14, $p = 0.0483$)。この結果から、センサネットワークの情報に基づいた反応動作を行うことにより、アンドロイドをより人間らしく見せることができることが示された。

自由回答形式によるアンケートでは、アンドロイドの振舞いが人間らしい理由として主に以下の点が挙げられていた。

- 視線をこちらに向ける動作が人間らしかった。
- 近づくと目が泳ぐなどして緊張感を持っているように感じられた (眼球の動きが速くなったことを指していると考えられる)。
- 近づくと瞬きの回数が増えることが人間らしかった。

ただし、これらの点をアンドロイドが人間らしくない理由として挙げた被験者もいた。アンケート結果より、被験者は情動反応の変化に意識的に気づいていることがわかる。さらに「緊張感」という言葉を使っており、情動反応の変化にアンドロイドの心的状態の変化を帰属させている被験者もいる。このことから、心的状態に基づく動作生成モデルが、被験者に与える人間らしい存在感に貢献していることが推測される。

3.8 考察

本実験では、実際の人間の待機状態の観測に基づいてアンドロイドの待機状態のシナリオを構築したため、結果的に床センサとパンチルトカメラの情報しか使われなかった。したがって構築したシステム全体の機能を使った評価実験になっていない。しかし本実験において、床センサのような人間の知覚形態と全く異なる知覚機能を有するシステムで、人間らしいアンドロイドの振舞いが実現できることを検証できたと考えられる。2.3 節に示した実装例で、全方位カメラによるジェスチャ認識やマイクロフォンによる音声認識が機能することは確認されているが、全体の機能を使った印象評価実験は今後の課題である。

本実験では心的状態に基づく情動反応とセンサ情報に基づく反応行動の重畳による動作生成モデルを構築した。しかしこれは心的状態を用いた動作生成モデルの一例に過ぎない。人間らしい存在感をもたらすための、センサ情報の統合・取捨選択やアンドロイドの内部状態モデルについては、今後検証を重ねる必要がある。また被験者の内省報告に基づいて心的状態を定義したため、その点においても動作生成モデルの客観性が欠けている。この点については、従来研究におい

て人物の感情モデルを構築する手法が提案されている(たとえば²⁰⁾)ので、これらの手法を導入することにより客観的な心的状態を定義できると考えられる。

本実験では、センサ条件とランダム条件で異なる動作モジュールを用いた。したがって、それぞれの条件に対する印象評価の差は、センサ情報に基づく反応動作の有無ではなく、使われた動作モジュールそのものの評価の差である可能性がある。すなわちランダム条件で用いた動作モジュールそのもの人間らしさの評価が低かった可能性がある。これらの動作モジュールは先行研究^{6),7)}で使われた動作などを組み合わせて作られており、動作モジュールそのもの人間らしさの評価が低かったわけではないと考えている。ただし、この点を明確にするためには、同じ動作モジュールでセンサ条件とランダム条件を比較する実験を今後行う必要がある。

本実験で構築した待機状態シナリオでは、床センサを用いて人間の位置を検出した。床センサは人間にはない感覚であり、かつ実際の人間より正確に位置を計測できるが、床センサから得られた位置情報を図9に示した解像度(12段階)の位置情報に変換することにより、アンドロイドが「見る」ことにより人間の位置を把握していると被験者に思いこませることに成功したのではないかと考えられる。しかし適切な解像度や情報変換の方法は明らかになっておらず、開発したシステムを研究プラットフォームとして、この疑問を明らかにするための研究を行う必要がある。

本実験では、被験者がアンドロイドの動作に意図などの心的状態を帰属させることを目指して、心的状態に基づいた動作生成モデルを構築した。先行研究においても、人間との自然なコミュニケーションを実現することを目的として、非人間型ロボットの動作に心的状態を帰属させるための動作生成手法が研究されている^{21),22)}。これらの研究では、ロボットの動きに心的状態を帰属することで、擬人化が行われると考えられる。これに対して、アンドロイドは人間に酷似した外観を持つため、アンドロイドの動きを観察する前に、擬人化が行われ、擬人化が心的状態の帰属、そして自然なコミュニケーションを促進すると考えられる。このようにアンドロイドはその外見が自然なコミュニケーションを促進すると考えられる。このような推測を明らかにするためには、アンドロイドと他のロボットとの比較研究が必要である。

4. おわりに

本論文では、人間らしい存在感の原理を研究するた

めのプラットフォームとして、人間との自然なコミュニケーションを実現するための性能を有するロボットシステムを開発する目的で、アンドロイドとセンサネットワークを統合したシステムを提案した。環境中に埋め込まれた多種多数のセンサ情報を処理するコンピュータネットワークと、アンドロイド制御システムを統合したシステムを構築した。さらにXMLでセンサ情報の取得とアンドロイドの行動を記述することができるソフトウェアシステムを開発した。アンドロイドが人間らしく振舞うためには、見かけと動きの人間らしさだけでなく、状況に応じた反応的動作が不可欠である。本研究により、これまでになかった人間らしい見かけ・運動・知覚を総合的に実現可能なヒューマノイドロボットシステムを構築することができた。また、センサネットワークは人間と全く異なる感覚様式、感覚性能を有するが、適切なセンサ情報の統合・取捨選択を行うことにより、アンドロイドの主観的な人間らしさを実現することができる。開発したシステムで待機状態のアンドロイドと人間の相互作用を実現し、印象評価実験により、アンドロイドの主観的な人間らしさを実現するための有用なシステムになっていることを示した。

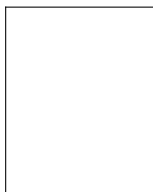
コミュニケーションにおけるアンドロイドの主観的な人間らしさを実現するために、常に人間と同等の運動能力や知覚能力をアンドロイドに実装する必要はない。人間らしい存在感を生み出すための効果的な反応動作を生成することができればよいと考えられる。人間らしい存在感を実現するための最低限必要な運動能力や知覚能力、すなわち自然な相互作用を実現するための境界条件を探ることが、自然なコミュニケーションを実現するための原理を導くと考えられる。本論文で構築したシステムにより、アンドロイド単体では取り組むことができなかった見かけ、動作、知覚を扱った問題に取り組むことができる。

謝辞 アンドロイド Repliee Q2 は大阪大学と株式会社ココロによって共同開発されたものである。

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) 五十榎隆勝, 赤地一彦, 平田勝, 金子健二, 梶田秀司, 比留川博久: ヒューマノイドロボット HRP-2 の開発, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.8, pp.52-60 (2004).
- 3) 大坊郁夫: しぐさのコミュニケーション-人は親

- しみをどう伝えあうか, サイエンス社 (1998).
- 4) Duffy, B.R.: Anthropomorphism and the social robot, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.42, No.3-4, pp.177-190 (2003).
 - 5) Ishiguro, H.: Android Science -Toward a new cross-interdisciplinary framework, *Proceedings of the International Symposium of Robotics Research* (2005).
 - 6) Shimada, M., Minato, T., Itakura, S. and Ishiguro, H.: Evaluation of Android Using Unconscious Recognition, *Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp.157-162 (2006).
 - 7) Noma, M., Saiwaki, N., Itakura, S. and Ishiguro, H.: Composition and Evaluation of the Humanlike Motions of an Android, *Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp.163-168 (2006).
 - 8) 村上真一, 西田佳史, 堀俊夫, 溝口博: 低プライバシー侵害性の行動観察システム~超音波タグ・レーダ統合システムによる人とモノの位置計測~, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, pp.1A1-N-095 (2005).
 - 9) 石黒浩: 知覚情報基盤としての分散視覚, 人工知能学会誌, Vol.13, No.1, pp.41-42 (1998).
 - 10) Morishita, H., Watanabe, K., Kuroiwa, T., Mori, T. and T.Sato: Development of Robotic Kitchen Counter: A Kitchen Counter Equipped with Sensors and Actuator for Action-adapted and Personally-fit Assistance, *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.1839-1844 (2003).
 - 11) 森武俊, 野口博史, 佐藤知正: センシングルーム-部屋型日常行動計測蓄積環境第2世代ロボティクスルーム-, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.6, pp.25-29 (2005).
 - 12) Ishiguro, H.: Scientific Issues Concerning Androids, *International Journal of Robotics Research*, Vol.26, No.1, pp.105-117 (2007).
 - 13) Murakita, T., Ikeda, T. and Ishiguro, H.: Human Tracking using Floor Sensors based on the Markov Chain Monte Carlo Method, *Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition*, pp.917-920 (2004).
 - 14) 西村拓一, 十河拓司, 小木しのぶ, 岡隆一, 石黒浩: 動き変化に基づく View-based Aspect Model による動作認識, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2212-2223 (2001).
 - 15) Ishiguro, H. and Nishimura, T.: VAMBAM: View and motion based aspect models for distributed omnidirectional vision systems, *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.1375-1380 (2001).
 - 16) 武岡さおり, 尾崎正弘, 足達義則: 個人認証のための顔画像抽出と顔方向の自動認識, 名古屋女子大学紀要, pp.145-151 (2004).
 - 17) 三輪洋靖, 伊藤加寿子, 高信英明, 高西淳夫: 人間との円滑なコミュニケーションを目的としたヒューマノイドロボットの心理モデルの構築, AIチャレンジ研究会 (第18回) Proceedings of the 18th Meeting of Special Interest Group on AI Challenges, pp.39-44 (2003).
 - 18) Breazeal, C.: Emotion and sociable humanoid robots, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.59, No.1-2, pp.119-155 (2003).
 - 19) Plutchik, R.: *The emotion: facts, theories and new model*, Random House, New York (1962).
 - 20) Bianchi-Berthouze, N. and Lisetti, C.L.: Modeling Multimodal Expression of User's Affective Subjective Experience, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 12, pp. 49-84 (2002).
 - 21) 寺田和憲, 社本高史, 伊藤昭: 心の理論の枠組みを利用した人工物から人間への意図伝達, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.9, No.1, pp.23-33 (2007).
 - 22) 小林一樹, 山田誠二: 擬人化したモーションによるロボットのマインド表出, 人工知能学会論文誌, Vol.21, No.4, pp.380-387 (2006).
- (平成 18 年 11 月 28 日受付)
(平成 19 年 2 月 4 日採録)
- 力石武信 (Takenobu Chikaraishi) (学生会員)
フリープログラマなどを経て, 2004 年京都工芸繊維大学工芸学部機械システム工学科夜間主コース卒業. 2006 年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了, 同年博士後期課程進学, 現在に至る.
- 港隆史 (Takashi Minato) (正会員)
2001 年 11 月大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士後期課程単位修得退学. 同年 12 月科学技術振興事業団研究員. 2002 年 9 月大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻助手. 2006 年 6 月より科学技術振興機構研究員. 博士 (工学). 人とロボットのコミュニケーションに関する研究に従事.



石黒浩 (Hiroshi Ishiguro) (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。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，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，2002年10月
より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客員室長。工
学博士。知能ロボット，能動視覚，全方位視覚，分散
視覚に興味を持つ。
