

## ヒューマノイドー人間形高度情報処理ロボットー

Humanoid - Intelligent Anthropomorphic Robot - by Shuji HASHIMOTO, Seinosuke NARITA, Katsuhiko SHIRAI, Tetsunori KOBAYASHI, Atsuo TAKANISHI, Shigeki SUGANO and Hironori KASAHARA (Waseda University, Advanced Research Institute for Science and Engineering).

橋本周司<sup>1</sup> 成田誠之助<sup>1</sup> 白井克彦<sup>1</sup> 小林哲則<sup>1</sup>  
高西淳夫<sup>1</sup> 菅野重樹<sup>1</sup> 笠原博徳<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学理工学総合研究センター

## 1. はじめに

最近、国内外で、ヒューマノイドという名のロボット研究プロジェクトが、相次いでスタートしている。それぞれのプロジェクトの内容は必ずしも同じでなく、アプローチ手法も異なっているが、最新の情報処理技術と機械技術を総合して、「人間形ロボット」を作ろうというところは、共通している。

ヒューマノイドは人間の生活環境で活動する人間形ロボットであり、工業生産ばかりでなく、家事、高齢者介護、身障者介助など生活を快適にする上で重要な役割を演じるものである。このようなロボットは、人間のために作られた環境において不特定の使用者と密着して作業するため、それに適した形態と機能をもつばかりでなく、特別な使用訓練を必要としない安全で柔軟かつインタラクティブな操作性を備えることが要求される。したがって、インタフェースのマルチメディア化とともに、従来の自動作業機械というよりも情報機械としての側面を強くもつことになる。このような情報機械システムの研究は、ソフトウェア主体の従来の人工知能に対して、実世界で行動する新しいタイプの人工知能への発展も期待される。

本稿では、内外のヒューマノイドプロジェクトを紹介し、新しい段階に入ったロボット技術の現状と、筆者らのプロジェクトを例にマルチメディア情報機械としてのロボットについて述べる。

## 2. 人間形ロボット研究の流れ

人間形ロボットの歴史的原型は、すでに18世紀に東西で登場している。ヨーロッパにおいてはジャケドロス父子の「オルガンを弾く少女」に代表される自動人形であり、日本においては細川頼直の機巧図彙(からくりずい)に出てくる「茶運び人形」に代表されるからくり人形である。一方、研究レベルでの人間形ロボットの開発は1960～70年代に入ってから始まった。まず、1966年にジェネラル・エレクトリックでハーディマンが開発された。これは人間形ロボットの前身ともいえる外骨格型人間パワーアシスト機械で、研究レベルで人間の全身の機構学的メカニズムを再現しようとした最初の試みである。ただ、手首の自由度がない、下肢関節や肩関節に特異点がある、歩行系の油圧機械サーボ系に不具合があるなどの問題で最終的には実用機の完成をみなかった。ハーディマンは操縦型ロボットであったが、1970年代後半に入るとディズニールランドのオーディオ・アニマトロニクスとよばれる一種のプレイバック型の人間形ロボットも登場した。

一方、人間形知能ロボットの最初の例は、1972年と1984年に早稲田大学で開発されたWABOT-1(図-1)とWABOT-2(図-2)である。WABOT-1は、主として手足システム、視覚システム、音声システムから構成されている。これらを統合し、日本語での簡単な対話、2眼視による対象物の認識と方向・距離の測定、2足歩行による移動、および触覚を有する両手で物体の把握や移動を行うことができた。WABOT-2は

WABOT-1 のような汎用型ロボットではなく、人間の知的日常作業の中で巧みさが求められる芸術活動にまともを絞り、それを実現するいわばスペシャリストロボットとして鍵盤楽器演奏を目標に開発された。日本語で自然な会話をを行い、楽譜を目で認識し、歩行移動機能はなかったが両手・両足で電子オルガンを演奏する機能を有していた。また人間の歌声の音程認識を行うことで、歌声の音程に合わせてオルガンで伴奏をすることもできた。WABOT-2 の図面をもとに住友電工が製作した WASUBOT は 1985 年のつくば万博の開会式において NHK 交響楽団との協演を行い、その後約半年間にわたって政府テーマ館において展示されオルガン演奏の実演を行った。

近年、前述の早稲田大学だけでなく、いくつかの大学や研究機関がヒューマノイド研究をスタートさせている。

アメリカ MIT 人工知能研究所では、主として知能の創発に関する研究 (Cog プロジェクト) におけるロボットの対象としてヒューマノイドを取り上げている<sup>1)</sup>。ここでは、もともと人間並みの知能の実現を図る方法論を研究しているが、その知能実現のためには、人間に近い身体を備えていることが望ましいという考え方が基本となっている。Cog プロジェクトのヒューマノイドのハードウェアは、現状では、移動機能はなく、マニピュレータもジェスチャーが可能な程度のシンプルな構造となっており、研究は主として視覚情報処理について行われている。

東京大学工学部では、小型のヒューマノイドロボットを多数開発し、2 足 2 腕全身の協調運動の生成や視覚と運動の連携について研究を展開している<sup>2)</sup>。たとえば、倒れたときに腕と足の協調運動で起き上がる動作などは、メカニズムの強度・耐久性の点から、人間並みの大きさのヒューマノイドロボットでは実現は難しいのが現状である。それを無線による遠隔制御を採用した、数十センチの大きさのヒューマノイド模型で行わせる研究である。このロボットたちによるさまざまな全身運動は実にユーモラスで興味深い。

また、工業技術院電子技術総合研究所<sup>3)</sup>、大阪府立大学<sup>4)</sup>などでもヒューマノイド研究が始められている。早稲田大学では、1992 年より WABOT プロジェクトを発展させたヒューマノ

イドプロジェクトを展開している。

企業については、主として 2 足歩行の実現可能性への疑問から、現在に至るまでヒューマノイドの開発はほとんど行われておらず、移動機能のない展示用のヒューマノイドが、アメリカの SARCOS などを中心に開発されているにすぎない。現在も SARCOS は、テレオペレーション技術を駆使したエンタテイメント用ヒューマノイドを開発しており、イベントなどで使用されている。ただし、SARCOS のヒューマノイドは歩行はできず、足底が床に固定された状態で作動する。

このような中、本田技術研究所が、人間並みの歩行速度をもち、階段昇降や不整地歩行が可能な 2 足のヒューマノイドを発表しほかの企業に衝撃を与えている<sup>5)</sup>。このロボットは、主として 2 足歩行技術に重点が置かれており、上肢は簡易版であるが、カートを押したり、テレオペレーションでナット回しなどを行うことができる。

### 3. ヒューマノイドの機械系技術

#### 3.1 頭 部

人間形ロボットにおける頭部の必要性・重要性は、情報处理的にも形態的にも疑いのないところであろう。人間の生活環境のように刻々と変化する未知空間への対応が要求される場合、移動物体の注視や環境理解など広範囲において視覚情報は欠くことができない。また頭部の中でもとくに目を中心とした顔面は、ロボットの意図や思考、あるいは感情などを最も表現しやすい部位であり、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションにとってきわめて重要である。

人間と同じように 3 ないし 4 自由度を有する 2 眼機構を用いた画像認識システムの開発例は多数あるが、直接に人間形ロボットへの応用を目指したものはそう多くはない。その例としては國吉らによる ESCHeR (エッシャー) がある<sup>6)</sup>。ESCHeR は、4 自由度の 2 眼駆動機構をもち人間の眼のような網膜型の CCD カメラを装備し、それを 2 台の INMOS 社製トランスペュータ T805 を用いてサーボ制御している。眼の運動性能は人間のそれの約 30 ~ 40 % となっており、ニューラルネットワークなどを用いた画像認識機能を実現している。

一方、視覚認識ではなく人間に対してよりユー

ザフレンドリーな印象を与えることでスムーズなコミュニケーションの実現を目指した人間形頭部に関する研究もある。1993年に小林らは、表情の表出を目的として、表情表出に19自由度、眼球運動に2自由度そして首運動に3自由度、合計で24自由度を有する顔ロボットを開発した<sup>7)</sup>。表情表出用の18の制御点の位置制御により、「上瞼引き上げ」や「ウインク」などの24種類のアクションユニットとよばれる基本動作ができ、さらに「驚き」や「恐れ」など6種類の表情を表出することができる。また、表情そのものではなく眼球・首・瞼の協調運動によりユーザフレンドリーな頭部動作を実現した例として、高西らのWE(Waseda Eye)シリーズがある<sup>8)</sup>。1996年に開発されたWE-3Rは、各眼につき眼球運動に2自由度、瞼の開閉に2自由度、また首運動に4自由度、全体で12自由度を有し、人間並みの眼球の運動速度を達成している。これに生理学的知見をベースにした前庭動眼反射(眼球と頭部の協調動作)ならびに明暗順応などの協調運動制御プログラムが組み込まれており、注視物の位置および明るさに対して生きた人間のような反射動作を行うことができ、1997年3月に公開された人間形ロボットHadaly-2の頭部として搭載された(図-3)。

### 3.2 移動系

ロボットの移動形態としては、さまざまなものが考えられる。しかし、人間の住環境で活躍するヒューマノイドロボットの場合、本来人間の歩行を前提に使用される環境との整合性を考慮すると、人間と同じ2足歩行が最も適している。

2足歩行を最初に行った機械は、1893年にG. Moorが作った蒸気人間であるといわれている。ただし、これは腰に支持棒がついており、原理的に倒れることのないようになっていた<sup>9)</sup>。その後、1968年にR. Moshierは、足首と股関節の2自由度で、上に人が乗って操縦するタイプで倒立振り子形の2次元機械モデルを試作し、実験により、その平行保持制御が可能であることを確かめた<sup>10)</sup>。機械による2足歩行の実現を目指した研究としては、これが最初の例である。3次元モデルによる静歩行(どの時点で止めても倒れない歩行)の研究を始めたのは加藤らであり<sup>11)</sup>、歩行の全周期に渡って重心(の路面への投影点)が、

単脚あるいは両脚の足底によって形成される支持多角形の内側に入るような歩行方式を提案した。9自由度で空気圧駆動型の2足歩行ロボットWAP(Waseda Automatic Pedipulator)-3が<sup>8)</sup>、1971年に静歩行を自動的に行うことに初めて成功した<sup>12)</sup>。人間と同様のダイナミックな歩行である動歩行に関する研究を始めたのは、D.C.Wittである。前後方向には倒れないように支持してある2次元モデルを用いて前頭面内における動的安定化を実現した<sup>13)</sup>。また、1981年田村らは、人間の運動制御系に局所フィードバック制御が存在することに注目、これに基づく階層型のハイゲイン・フィードバック制御方式を提案し、4自由度の2次元モデル健脚1型による動歩行に成功した<sup>14)</sup>。

3次元モデルを用いて、歩行の開始から終了までを自動的に行う動歩行を実現したのは高西らである。まず、1984年に単脚支持期にはZMP(ゼロ・モーメント・ポイント)を歩行の安定規範とするプログラム制御、立脚切替期には足底の接地状況に応じて足関節のコンプライアンス制御パラメータを切り換えるシーケンス制御を行う方式を提案し、2足歩行ロボットWL(Waseda Leg)-12RD(Refined Dynamic)で3次元動歩行を実現した<sup>15)</sup>。また、任意の下肢動作を与えても上体運動により歩行の安定性を確保する歩行制御方式も開発した<sup>16)</sup>。さらに、衝撃を緩衝するとともに路面形状を検知できる足底機構を用いて、未知の凹凸路面における動歩行や<sup>17)</sup>、任意の手先軌道をとらせても体幹運動により歩行の安定化を可能とする2足歩行を実現し、35の駆動自由度を有する2足歩行型ヒューマノイドWABIAN(Waseda Bipedal Humanoid)を開発した(図-4)。WABIANは安定性を考慮したジェスチャー、お盆にものをのせた状態での歩行、腕を大きく動かすダンスなどが可能である。

### 3.3 手と腕

人間とロボットが、握手などの物理的インタラクションおよびジェスチャーなどの情動的インタラクションを行うためには、指の配置、自由度構成、掌の大きさなどの形状に関する設計パラメータが人間に近く、さらに指全体が柔軟性を備えている人間形力制御ハンドと柔軟なアームが必要となる。

これまでも、多くの研究が行われているが、従来の力制御用多指ハンドは、主に指先での物体把持に焦点をあてて設計されており、各指を対向に配置した上で、指先に力センサを配置するなどの機構的な制約を与えて設計したものがほとんどであった。

一方、人間との共同作業時の力制御性と衝突安全性を両立するためには、腕関節の柔軟性調節によるマニピュレータ全体でのインピーダンス制御、緊急停止機能が必要である。しかし、力覚フィードバックによりマニピュレータ全体でのインピーダンス制御を構成するためには、各関節にトルクセンサを実装するためのハードウェア設計の問題や、歯車列のバックラッシュ、センサの非線形性などを考慮した制御系設計の問題を解決しなければならない。

菅野らは、手腕全体での柔軟性制御と人間形ハンドとアームの形状によるジェスチャーの実現を目指して、4指13自由度ハンドと7自由度アームの統合システムの開発を行った<sup>18),19)</sup>。

ハンドの自由度は、母指は、曲げ、開きなど、合計4自由度であり、ほかの指は、合計3自由度である。各自由度の駆動には、ACモータ、ロータリーエンコーダ、ハーモニックドライブからなるアクチュエータ・ユニットを用いている。また、4指すべてのつけ根に6軸力センサを組み込んでおり、接触点検出アルゴリズムとコンプライアンス制御を組み合わせることで、従来の指先把持に加えて、ハンド全体の柔軟制御による包絡把持も実現できる。

アームは、受動柔軟性の発想に基づき、機械インピーダンス調節能力を備えた関節機構(MIA: Mechanical Impedance Adjuster)を開発することで、理想的な関節コンプライアンス・ダンピング調節を実現している。このMIAを用いて構築された7自由度MIAアームは、腕全体の柔軟性を利用することで人間との協調作業時に優れた適応性を発揮できるうえ、ダンピング調節用の電磁ブレーキを利用して衝突時の緊急停止を実現することも可能である。

4指13自由度ハンドと7自由度MIAアームを組み合わせ、人間形マニピュレータWAM-10(Waseda Automatic Manipulator #10)が構成される(図-5)。各部寸法、および手先の移動速度

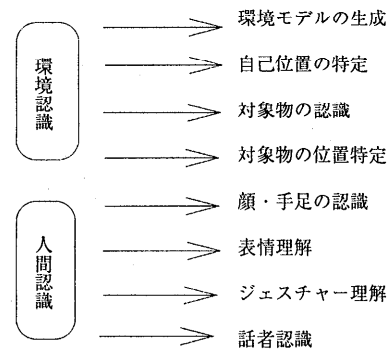


図-6 センサ系の役割

は、成人男性を参考に設計されている。また、関節を最も柔らかく設定し、最大負荷姿勢状態での可搬重量は約500[g]である。

#### 4. ヒューマノイドの情報系技術

##### 4.1 インタフェースの要素技術

ロボットのセンサ系の特徴は、対象とセンサ系の関係が時々刻々変化することである。したがって、ある程度の実時間性が要求される。環境とのインタフェース、人間とのインタフェースに分けて考えると、センサ系からの情報でロボットが行わなければならないタスクは図-6のようになる。

人間は外界情報の80%以上を、眼から取り込んでいるといわれている。ロボットが人と同じ空間でもともに作業する場合、作業環境や作業パートナーである人間の認識、および人間の表情や行動の様子の理解などは視覚によることが多い。しかしながら、最終的な人間とのインタフェースは音声対話によることが多くなるであろう。したがって、聴覚系もロボットにとって重要である。音声対話インタフェースの要素技術は、音声認識・理解と音声合成器による発話生成である。ロボットが使用される環境が家庭内、病室、オフィスなど、限定されている場合は、対話の内容が制限されるため現在の技術でも実用的な対話システムを構成することができる。また、作業環境の制限は視覚系の製作にとっても有利である。たとえば、室内のCGモデルと実画像の比較によって、ロボット自身の位置と視線(カメラ)方向の認識や対象物体との距離関係を把握することが、単眼でも可能となる<sup>20)</sup>(図-7)。

ロボットに適用できる視覚系の研究は、コンピ

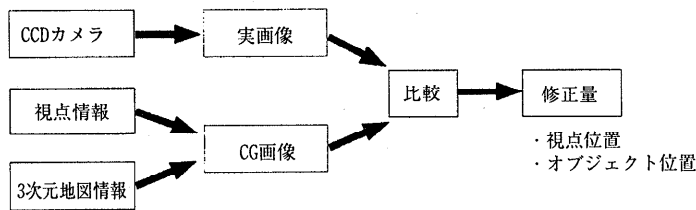


図-7 モデルに基づく環境認識

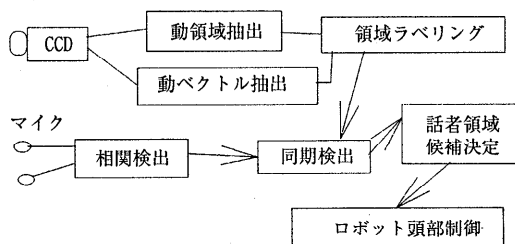


図-8 画像と音響の同時処理

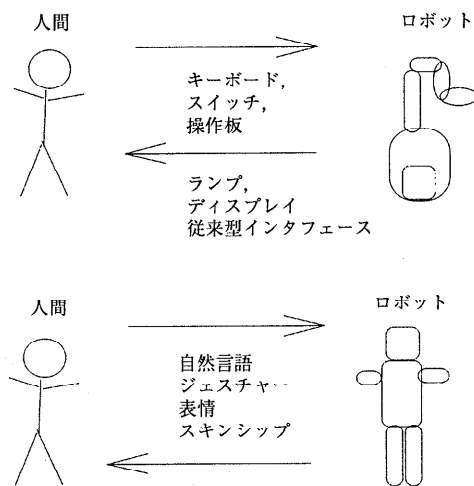


図-9 ロボットインタフェース

ユーザビジョンとして従来から各種の試みが行われており、まとまった解説も多いので、ここでは、視覚以外のインタフェースの情報処理系を中心に紹介する。

現在、それほど多くの研究があるわけではないが、音響による環境認識も画像処理と合わせて導入されるべきであろう。我々は、音響と画像の同時に用いて、複数の中から話者を認識する図-8 ようなシステムを製作し、図-7 のシステムとともに Hadaly-2 に搭載した。音響(音声)と画像の変化の同期を調べて、話者の口の位置を認識するものである<sup>21)</sup>。

人間とロボットのインタフェースは言語によるものばかりではない。制御盤のキーやスイッチによる従来型のコマンド入力以外に、非言語的なインタフェースも重要である。具体的には、ジェスチャーや接触によるロボットとの対話が考えられる(図-9)。

とくに、感性的な情報のやりとりや、緊急時の指示などは、言語より効率的な場合がある。ロボットの形態が人間に近づくほど、この種のインタフェースの適用範囲は拡がると思われる。人間の環境下で行動するロボットは、当然人間との物理的な接触が不可避である。したがって、力覚のセンシングと呈示もインタフェースの要素技術の1つである。力覚インタフェースは最近 VR の分野で盛んに研究が行われているが、これらの技術は、人間共存型ロボットにも適用できると思われる。とくに、ロボットの場合、接触に対する反射的な退避や捕捉などが重要である。

#### 4.2 音声言語によるインタフェース

人間形ロボットとのコミュニケーションはやはり、人間と人間とが通常用いている手段によって行われることが望まれる。このような観点から、人間形のロボットの研究においては、早くから音声認識・合成システムが組み込まれている。

初期の代表的研究としては、1972年の WABOT-1 があげられる。WABOT-1 では、文節ごとに区切って発話しなければならないという制約はあったが、文を理解することができた。次の WABOT-2 では、発声に関する制約が除かれ、文単位で連続発声された音声認識できるような機能が拡張されている<sup>22)</sup>。またこのシステムにおいては、対話の流れに応じて受理対象文が動的に変更される機能など、対話システムで必要とされる多くの技術の原形がすでに実現されている。しかしながらこの時代はまだ、特定話者のシステムであり、認識性能もかなり低いものであった。その後も多くのロボットで音声インタフェースが採用されているが、市販の単語音声認識装置を組み込んだだけのものが多い。

一方、ここ10年の音声認識技術を見ると、ディクテーション(文の読上げ音声の認識)を中心に、目を見張るような進歩が遂げられている。

10 年前、特定の話者に対してしか動作しなかったものが、不特定話者を対象として動作することがあたりまえになっており、語彙も数百であったものが数万と 2 桁増えた。ARPA が支援した大語彙連続音声認識システムの開発競争では、不特定話者による 6 万語彙規模の新聞記事の読みあげ文章に対し、90% を超える認識性能が実現されている<sup>23)</sup>。

手法的には、数多くあったアドホックな方式が淘汰され、確率的な音響モデルと言語モデルの組合せによって、観測事象を与える最も尤もらしい単語列を求める方法に落ち着いてきている<sup>24), 25)</sup>。

このように最近の音声技術の進歩は主に大語彙ディクテーションを対象に展開してきた。しかしながらこれらの技術は、与えられた文を読みあげた音声の認識であり、我々が人間同志で対話するときの自由な発話における声の様子とは大きく異なっている。たとえば、自由発話では発話のスピードや抑揚がかなり大きく変化するとともに、いい淀み、いい直しなどを多く含む。また、相手の発話が終了する前にその意味を理解し、応答としての発話を開始するなどの現象も数多くみられ、これが自然なリズムを作っている。ヒューマノイドとのインタフェースに必要とされるものは、このような複雑な現象の扱いを含む対話音声理解技術である。最近米国では、電話で人間同志が自由に話しあっているところを収録し、この音声を確認しようとする試みが始められているが<sup>26)</sup>、まだ数十% の認識率しか得られていない。これから解決しなければならぬ課題は多い。

#### 4.3 身振りによるインタフェース

我々がコミュニケーションに用いる手段として、身振り・手振りは音声言語に次ぐ重要なものである。ジェスチャー認識は、これを実現するための重要な基礎となる。ジェスチャー認識としては、データグローブなどを用いた方法も試みられているが<sup>27)</sup>、やはり CCD カメラを用いて取り込んだ画像の処理による非接触な手法が本命である。このような手法の代表としては、Pentland らの研究<sup>28)</sup>や、岡らの研究<sup>29)</sup>があげられる。Pentland は HMM (Hidden Markov Model) をベースに、岡は連続 DP (Dynamic Programming) をベースとしてこの問題に取り組んでいる。

現状でジェスチャーでコミュニケーションでき

るロボットの例はきわめて少ない。我々の作製した WABIAN は、おそらくは手話でコミュニケーションできる最初のロボットであろう<sup>30)</sup>。WABIAN には HMM をベースとしたジェスチャー認識技術が組み込まれており、Yes/No や挨拶を中心に 10 弱のパターンが理解できるようになっている<sup>31)</sup>。また、ロボットの方でも挨拶や確認を両手を使って表現できる。しかしながら、実現できる対話はきわめて単純なものに限られている。今後、音声言語によるインタラクションとも絡めて、より自然なコミュニケーションを実現する必要がある。

また、身振り・手振りの理解を単純なパターン認識の問題として捉えるだけでなく、対応者の姿勢の正確な抽出や、そこから連想される行為の推定などに関する技術を確立することで、ロボットに対する教示などにも応用していくことが望まれる。

#### 4.4 マルチメディアネットワーク

マルチメディアネットワーク技術とロボット技術との融合に熱い視線が向けられている。ロボットの遠隔地からの制御については危険、極限状態の環境で動作する産業ロボットのテレオペレーションとして古くから研究開発がなされ、多数の実用例が報告されている。いま、改めてロボットと通信技術の融合に期待がもたれるのは、ロボット自体が、従来のどちらかといえば単機能的な産業ロボットから人間社会と共生する人間形ロボットに変貌しつつあること、および遠隔地での人間(オペレータ)とのヒューマンインタフェースがマルチモーダル化して距離を意識させないだけでなく、よりヒューマンフレンドリーな方向に発展を続けているためである。

このような背景のもとで、グローバルなマルチメディアネットワークシステムの中にさまざまな応用形態のロボットが多数組み込まれた社会を想定し、そこでの社会学的、心理学的、経済学的な研究までがすでに報告されている。しかしながら、個別技術の高度化ばかりでなく、システム技術としての体系的な研究開発が必要である。また、経済性の観点からも具体的なアプリケーションに対して実証試験的な研究も不可欠であり、国内外でいくつかの事例が報告されている<sup>32)</sup>。

通信媒体としては、現状では専用電話回線によ

るものが多く、典型的には国際 ISDN，伝送速度は 56kbps，通信プロトコルとしては TCP/IP である (B チャンネル 2 本で 128kbps 通信の例もある)。現状では、応答性の点でインターネットで遠隔制御を行うことは、とくに応答性を問題としないアプリケーションに限定されている。もっとも、WWW のブラウザを用いて群ロボットによる保守作業の遠隔制御の実験例なども報告されており<sup>33)</sup>，不特定多数の地点から遠隔制御を行う目的で今後利用が広まっていくと思われる。

これまでの実施例は、X-Window が提供するマルチプロセス機能，プロセス間通信機能，マルチメディア機能を利用し，これにカメラの制御などを付加したものが多かったが，今後は PC (パーソナルコンピュータ) の MS-Windows で利用できる環境で遠隔制御を行うアプリケーションの開発が一般的になるとと思われる。

以下に紹介する例は，早稲田大学ヒューマノイドプロジェクトチームとイタリア SSSA (Scuola Superiore S. Anna) の ARTS (Advanced Robotics Technology and Systems) Laboratory との共同プロジェクトによる，ロボティクスと通信技術を統合した人間-遠隔地間の相互作用に関する国際共同研究の一部である<sup>34)</sup>。このプロジェクトの最終目的は，機械制御技術と情報通信技術を融合することによって可能となる新しいアプリケーション分野の開発と検証にあり，とくにイタリア側では医学，歯学など新しい応用分野を含めたプロトタイプシステムの開発と，そのためのガイドラインの確立を目指したものである。第 1 ステージとしてイタリア側のロボットを日本側から遠隔制御する実験を行い，その結果を反映して，第 2 ステージとして早稲田大学の 2 足歩行人間型ロボット WABIAN をイタリアから制御する実験を行った。利用したハードウェア環境は 20Mbyte 以上のメインメモ

リをもつ PC，Intel Proshare 200 会議ビデオシステム，および ISDN 回線である。Proshare は基本的にはビデオ会議システムであるが，遠隔制御応用システムに利用できる機能が Intel Proshare Developers Kit の中にかなり含まれており，今回の実証試験で必要な遠隔制御用ユーザインタフェースの開発には，必要に応じて Boland Delphi2.0 および Microsoft Visual Basic 4.0 を用いた。図-10 は本応用システムのハードウェア環境の構成であり，双方向音声映像通信機能，アプリケーション共有機能を用いた遠隔制御インタフェースの配信によるシステム構成をとっている。図-11 はイタリア側の PC ワークステーションの遠隔制御インタフェースの画面である。WABIAN のリアルタイム画像に加えて，眼球，首部，腕部の個別の遠隔制御などが視覚的に行えるよう工夫されている。今回の実験は，通常のビデオ会議システム，ISDN 回線を利用して，数十万円の予算規模で遠隔制御するプロトタイプとその機能評価が目的であったが，最終的には単なるテレオペレーションにとどまらず，遠隔制御によるシステムの使い勝手を評価する tele-evaluation を行いたい。そのためには遠隔地の PC と人間(操作者)のインタフェースをジェスチャーなどを含めてマルチモーダル化するとともにより臨場感を求めて VR 技術を導入する必要がある

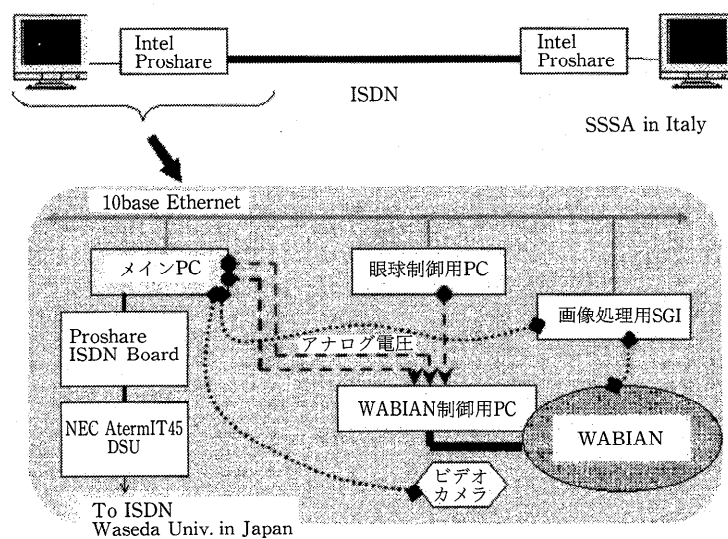


図-10 遠隔制御のハードウェア環境構成

ると思われる。

### 5. ヒューマノイド研究の目標

従来のロボットは、作業機械としての人間を模倣するものであった。ヒューマノイドの第1の目標である人間との共同作業はこの延長上にあるが、工場での作業ロボットに比べて、人間との相互作用がはるかに密に行われる。それは、定型的なコマンドに従って作業を行うのではなく、相手の人間に応じた柔軟な行動の変更が必要なためである。ロボットにとって人間は、きわめて情緒的で再現性のない非定常な環境である。したがって、ロボットは、環境を探る情報機械としての人間を模倣したものにならざるを得ないのである。

ヒューマノイド研究の第2の目標として、情報端末としてのロボットの利用が考えられる。現在のコンピュータ端末は、グラフィックスとポインティングデバイスによるGUIが主流となっているが、ロボットを端末とすることが可能である。ネットワークにロボットを接続して、画像、音声、表情、身振り、触覚など人間のあらゆる知覚チャンネルを使って、情報を引き出したり計算機を使ったりするのである。そこでは、ロボットの手を握ること、話すこと、顔をみせること、などが計算機システムへの入力であり、ロボットの仕草、ロボットの表情、ロボットが我々の肩をたたくこと、などが計算機の出力である。マルチメディア情報端末としてのロボットは、GUIとは異なった計算機の利用形態を提供し、計算機をリアルワールドで体感することを可能にする。

ヒューマノイド研究の第3の目標は、ロボットによるセンサ集合体としての人間の模倣である。ロボットは多くのセンサを装備した動く情報収集システムである。たとえば、ロボットに衣服を着せて着心地を確かめることができる。ロボットは腕や首を動かしたり、歩き回ってデザインに不都合はないかを確認するのである。このようにマルチモーダルかつ能動的センサ系としてロボットを使って、製品や生活環境の評価を行うことは現在でもある程度可能である。ちょっとした床の段差にも難渋する2足歩行系、細かなパターンは識別できない視覚系、あるいは少しの雑音があっても誤りを犯す音声認識系をもつ現在のロボットが活動するのに不自由のない環境は、年老いて身体機

能の衰えた人間にとっても快適なはずである。

### 6. あとがき

筆者らの研究を中心に人間形ロボットヒューマノイドについて述べた。ロボットが人間との間に高度な意志の疎通を行うには、より人間に近い思考形態と行動形態をもつことが必要である。キーボードやスイッチなどによらず、音声、画像、触覚などのチャンネルによるマルチメディアインタフェースの開発と、質問して使用者の意図を汲み取る自発的コミュニケーションを実現する能動的な思考能力の開発が課題となる。さらに、統合情報ネットワークに結合されたコミュニケーション指向のロボット開発の視点も重要である。これにより孤立した機械システムではなく、データベースなど社会の知的資産を有効に利用すると同時に、遠隔地間で行動を共有するソサエティ型のセンサ集合体として知能機械システムが実現されるからである。

ロボット技術は、機械、電気、情報、などの多くの分野の総合技術である。ヒューマノイドには高度な情報処理技術が必要であるが、情報工学にとっても、実世界と相互作用する身体をもつことにより、新たな地平を拓くことになると思われる。

### 参 考 文 献

- 1) Brooks, R. A. : Prospects for Human Level Intelligence for Humanoid Robots, Proc. of the 1st Symposium on Humanoid Robots (1996).
- 2) 稲葉他: リモートブレインロボットの展開ーリモートブレインロボットプロジェクト 96: その1ー, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.349-350 (1996).
- 3) 長久保他: ETL-Humanoid のシステム設計概要, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.707-708 (1996).
- 4) 大須賀他: ロボティックフォロワーある種の統一概念としてー第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.735-736 (1997).
- 5) Hirai, K. : Current and Future Perspective of Honda Humanoid Robot, IROS'97 IEEE/RSJ, pp.500-509 (1997).
- 6) Bakker, P. et al. : Robot See, Robot Do An Overview of Robot Imitation, AISB Workshop on Learning in Robots and Animals, Brighton, UK (1996).
- 7) 小林他: アクティブ・ヒューマン・インターフェース(AHI)のための顔ロボットの研究ー顔ロボットの機構と6基本表情の表出, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.1 (1994).



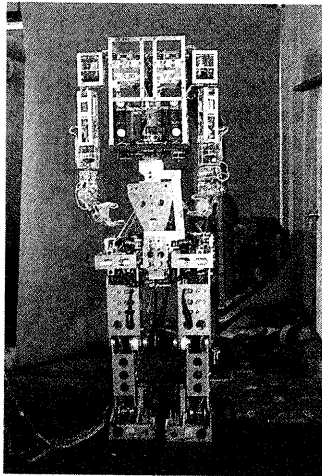


図-1 WABOT-1

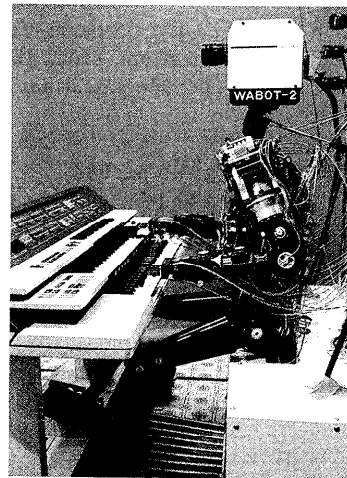


図-2 WABOT-2

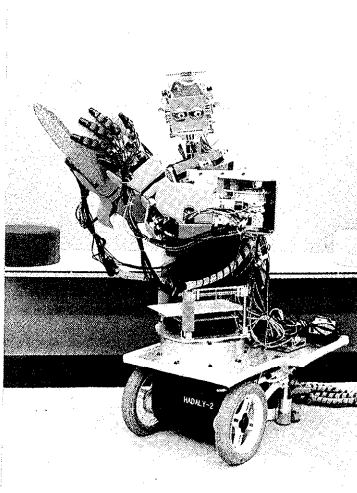


図-3 Hadaly-2

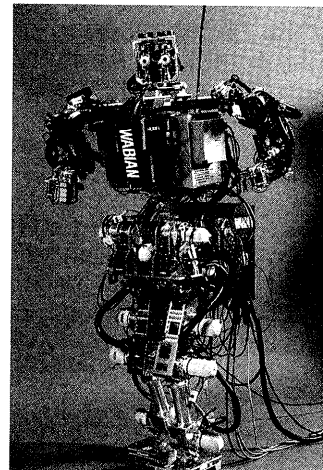


図-4 WABIAN

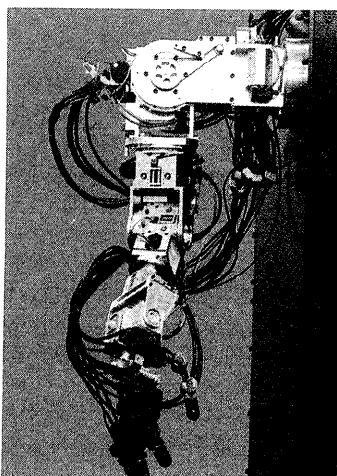


図-5 人間形マニピュレータ WAM-10

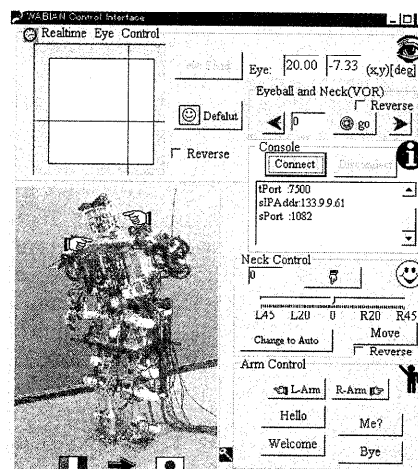


図-11 遠隔制御インターフェース

- 8) Takanishi, A. et al. : Development of an Anthropomorphic Eye System for Robot and Human Communication, Proc. IEEE Int'l. IV. Robot and Human Communication, pp.77-82, Tokyo(1995).
- 9) 加藤 : 2 足歩行ロボット—その歴史と課題—, 日本ロボット学会誌, Vol.1, No.3(1983).
- 10) Mosher, R : Design and Fabrication of a Full-scale, Limited Motion Pedipulator, General Electric Report(1965).
- 11) 加藤他 : ゴム人工筋を用いた 2 足歩行機械, バイオメカニズム, 東京大学出版会(1972).
- 12) Kato, I. et al. : Pneumatically Powered Artificial Legs Walking Automatically Under Various Circumstances, Proc. of 4th Int. Symposium in External Control of Human Extremities(1972).
- 13) Witt, D. C. : A Feasibility Study on Automatically-Controlled Powered Lower-Limb Prostheses, University of Oxford Report(1970).
- 14) 田村他 : 動的二足歩行の制御に関する実験的研究, 日本機械学会講演論文集, No.814-4 (1981).
- 15) 高西他 : 2 足歩行ロボット WL-10RD による歩行の実現, 日本ロボット学会誌, Vol.3, No.4(1985).
- 16) 高西他 : 上体補償型 2 足歩行制御方式, 第 26 回 SICE 学術講演会予稿集(1987).
- 17) 山口他 : 路面形状に偏差のある環境における 2 足歩行制御—未知の凹凸路面に対する適応歩行の実現—, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.7 (1995).
- 18) 森田他 : 人間との物理的・情動的インタラクションを意識した多指ハンドの開発, 第 14 回ロボット学会学術講演会(1996).
- 19) 森田他 : 7 自由度 MIA アームの開発, 第 1 回ロボティクスシンポジウム(1996).
- 20) 野口他 : 3 次元環境モデルを利用したロボットビジョンシステム, 電子情報通信学会総合大会(1997).
- 21) Kurata, T. et al. : Multimedia Sensing System for Robot, RO-MAN95, pp.83-86(1995).
- 22) 白井他 : ロボットとの柔軟な対話を目的とした音声入出力システム, 日本ロボット学会誌, 3, 4, pp.362-372 (1985).
- 23) Pallett, D. P. et al. : 1994 Benchmark Tests for the DARPA Spoken Language Program, Proc. ARPA Spoken Language System Technology Workshop, pp.5-36(1995).
- 24) Huang, X. et al. : The SPHINX-II Speech Recognition System, Computer Speech and Language, 2, pp.137-148(1993).
- 25) Woodland, P. C. et al. : The Development of the 1994 HTK Large Vocabulary Speech Recognition System, Proc. ARPA Spoken Language System Technology Workshop, pp.104-109 (1995).
- 26) Culhane, C. S. et al. : HUB5 Conversational Speech Recognition, DARPA Speech Recognition Workshop, pp.145-147 (1996).
- 27) 澤田他 : ヒューマンインタフェースとしてのジェスチャー認識, インタラクション'97(1997).
- 28) Starner, T. et al. : Visual Recognition of American Sign Language Using Hidden Markov Models, Proc. Int'l Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition 1995(1995).
- 29) 高橋他 : ジェスチャー動画のスポッティング認識, 信学論(D-II), J77-D-II, 8, pp.1552-1561(1994).
- 30) 橋本他 : プラットフォームとしての 2 足歩行ヒューマノイド: WABIAN, 第 15 回ロボット学会学術講演会予稿集, pp.763-764(1997).
- 31) Kobayashi, T. et al. : Partly Hidden Markov Model and Its Application to Gesture Recognition, IEEE Proc. ICASSP97, Vol. VI, pp.3081-3084(1997).
- 32) 平井 : ネットワークとテレロボティクス, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.4, pp.516-519(1997).
- 33) Suzuki, T. et al. : Teleoperation of Multiple Robots Through the Internet, Proc. IEEE Int'l W. Robot and Human Communication, pp.84-89, Tsukuba(1996).
- 34) Guglielmelli, E. et al. : Interactions Between Humans and Remote Environments by Means of Integrated Mechatronic and Telematic Tools, Tokyo(1996).

(平成 9 年 9 月 29 日受付)



橋本 周司(正会員)

1948 年生. 1970 年早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業. 1977 年同大学院理工学研究科物理学および応用物理学専攻修了(工学博士). 1979 年東邦大学理学部講師. 1991 年早稲田大学理工学部助教授. 1992 年同教授. 音楽情報処理, ロボティクス, 画像処理, ヒューマンインタフェースの研究に従事. 画像電子学会, 電子情報通信学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, 顔学会, IEEE など各会員.



成田誠之助(正会員)

1938 年生. 1960 年早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業. 1962 年同大学院理工学研究科電気工学専攻修了. 1962 年米国 Purdue 大学留学(フルブライト大学院交換留学生). 1963 年早稲田大学理工学部助手. 1966 年同専任講師, 1969 年同助教授. 1970 ~ 1971 年米国 Clarkson College of Technology, Research Associate. 1997 年早稲田大学理工学部教授(工学博士). 離散システムシミュレーションの並列処理, 外国語教育 CAI システムの開発, 印刷文書の自動電子化の研究に従事. 電気学会情報処理技術委員・委員長, IEEE Computer Society Tokyo Chapter Chairman, IEEE Press Editorial Board Member.



白井 克彦(正会員)

1939年生。1963年早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業。1968年工学博士。1968年早稲田大学理工学部講師。1970年同大学助教授。1975年同大学電気工学科教授。1991年同大学情報学科教授。1994年より国際交流センター所長，同大学教務部長，現在に至る。ヒューマンインタフェース，CAI，音声認識，合成，音声対話システム，マルチモーダルシステム，信号処理アーキテクチャなどの研究に従事。電子情報通信学会，人工知能学会，日本音響学会，IEEEなど各会員。



小林 哲則(正会員)

1957年生。1980年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1985年同大学院博士課程修了。1997年同大学理工・電気電子情報工学科教授。工学博士。音声認識，合成，動画処理の研究に従事。日本音響学会，電子情報通信学会，IEEE，ACM，ASJなど各会員。



高西 淳夫

1956年生。1985年早稲田大学機械工学科助手。1988年同専任講師。1990年同助教授。1997年早稲田大学機械工学科教授。2足歩行ロボット，咀嚼ロボット，ヒューマノイド関連の研究に従事。日本ロボット学会，日本機械学会など各会員。



菅野 重樹

1958年生。1981年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。1986年同大学院博士課程修了。早稲田大学助手，専任講師を経て1992年同大学助教授(工学博士)。バイオメカニズムを基に人間と機械のコミュニケーションを考える機械知能学の研究に従事。日本ロボット学会，バイオメカニズム学会，日本機械学会，日本人間工学会，計測自動制御学会，IEEE各会員。



笠原 博徳(正会員)

1957年生。1980年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1983年同大学理工学部助手。1985年同大学院博士課程修了。1985年米国カリフォルニア大バークレイ客員研究員。1988年早稲田大学理工学部助教授。1997年同大学教授。1989年米国イリノイ大学客員研究員。スーパーコンピューティング，自動並列化コンパイラ，シングルチップマルチプロセッサの研究に従事。IFAC World Congress 第1回 Young Author Prize(1987)，情報処理学会坂井記念特別賞(1997)受賞。電気学会，電子情報通信学会，IEEE，ACM，シミュレーション学会，日本ロボット学会各会員。