

モバイルマルチメディア最新技術

その2 ロボット進化の予想と実体のあるロボットによる 新しいヒューマンコミュニケーションスタイル

ネットワークに接続した実体のあるロボットを介在したヒューマンコミュニケーションスタイルのバリエーションと、将来のロボット技術の進化の方向性について概説する。

ひらいわ あきら
平岩 明

すぎむら としあき
杉村 利明

1. まえがき

IT (Information Technology) 産業から RT (Robot Technology) 産業への変革をうながし、ポストPCを見据えたヒューマノイドロボットやペットロボットの研究開発や、その要素技術の研究開発[1]が盛んである。従来の製造業の産業用ロボットから脱皮して、家庭やオフィス、病院などで人間と共生し、ヒューマンインタフェースとして機能するロボットが将来実現すると考えられている。また、癒しや対話、介護やテレプレゼンスなど、ロボットによるヒューマンコミュニケーションスタイルの革新が、着々と準備されている。

ネットワークを介して遠隔制御を行い遠隔モニタリングや遠隔での作業を行うテレオペレーション、ヒューマノイドロボットを介在してジェスチャーを交えコミュニケーションを活性化する試みや自律的な応答を行う知能ロボットによる人との対話環境構築、人間の失われた体の一部としてその機能を補充するサイボーグ技術など、未来のライフスタイルの革新を目指し、実体のあるロボットを介在したヒューマンコミュニケーションスタイル技術について概説する。

2. ロボットの進化の方向性

2005～2015年頃のネットワークに接続したロボットによるサービスを予測するにあたり、2003年現在のロボット技術のトレンドを見ると、人のパートナーとしてのペット型ロボットとヒューマノイド型ロボットの2つに焦点が集まっている。すでに産業界で稼働中の反復動作の産業用ロボットアームを除くと、今後発展し、人間と実生活の中で共生、進化するロボットとして2つの流れが考えられる。1つ目は、実生活の中での共生時の安全性や社会的受容性からデスクトップサイズのペットロボットあるいは、癒しのロボットである。2つ目は、家庭内における作業を目的とした等身大もしくは子供サイズのヒューマノイドロボットである。この2種が、将来のロボットとして発展をとげるであろう。また、こうしたロボットの自律性においては、ロボットの視覚や聴覚、触覚、体性感覚を人間が遠隔で感じて、遠隔操作する遠隔制御ロボット技術から、おおまかなロボットへの作業指示を音声コマンドでロボットに与えて作業させるスーパーバイザリコントロール技術、そしてロボット自身が搭載する視覚や聴覚、触覚、超音波センサ情報、赤外線センサ情報ほかの感覚センサによる情報と、ナビゲーションシステムによる位置情報やネットワーク接続によって取得する環境データベース情報から知能処理して自律的に行動する知能ロボットへと段階的に進化するものと考えられる。

3. ネットワーク・ロボティクスと 知能化アーキテクチャの進展

人間と共生する各種の未来型ロボットにおいて考えられるトレンドを見るにあたり、すでに実用化、商品化されたホーム用掃除ロボットなどの単純機能ロボットを除くと、完全独立型の自律的知能ロボットにいたるまでの道程はまだまだ険しい。オペレータによる遠隔操作、位置情報や環境データベースに依存する半自律型ロボットとともに、ネットワークもしくは広義のインターネットに接続した“ネッ

トワークロボティクス” (図1) が今後十数年においては現実的であり、1980年代から早稲田大学の故加藤一郎教授ら[2]によって主張されてきたマイロボット化、パーソナルロボット化がこの形態で現実のものとなる。ユーザがロボットにテレオペレーションする“分身化”技術、ロボットの知能化の段階的進展の過程で自律ロボットもしくは半自律ロボットが対人的に危害を及ぼさない“安全知能化”技術、遠隔地でロボットを遠隔操作するオペレータや、ロボットを所有するオーナーが、どこの誰であり、今どうしているのかを目の前にいるロボットを通して把握することのできるロボットの“非匿名性”技術が大きな技術的課題である。

また、商業的には、ロボットのホビー化をきっかけに、前述の机の上で扱えるデスクトップロボットの進展が、マイロボット化、パーソナル化につながりつつある。

カーネギーメロン大学のモラベック[3]によれば、ロボットの知能化の技術においては、コンピュータ進化と生物の脳の比較から外挿すると、2020年頃には、人間と同等な計算機パワーとなる。狭義の人工知能がいつ達成されるかは、議論が尽きないが、リーズナブルなコストの知能処理用のコンピュータパワーの進展にともない、MIT (Massachusetts Institute Technology) 人工知能研究所所長のブルックス[4]によるサブサンプリングアーキテクチャ^{*1}による昆虫レベル知能から、ニューラルネット、進化アル

ゴリズムを組み合わせたハイブリッドなロボット知能の進展とともに、人間の脳の計算理論[5]に基づくアーキテクチャによるコンピュータビジョンとロボットの体性感覚による運動的かつ、身体性的な知能処理が2015年にはほぼ達成されるであろう。その一方で、高度な自然言語処理機能を備えた、意識や感情のある狭義の人工知能がいつ達成されるかは未知数である。

4. コミュニケーションロボットの要素技術

ロボット技術は各種要素技術の統合とパッケージングに基づく工学的なトレードオフの集大成であるが、今後も必要とされる要素技術の幹は次のものが考えられる。

(1) アクチュエータ

腕や脚を駆動する動力機構であり、現在は通常、電気的モータ、油圧、水圧、形状記憶合金 (SMA: Shape Memory Alloy)、空気圧ラバーアクチュエータなどが使われている。中でもDCサーボモータをハーモニックドライブ^{*2}によって駆動するのが現在のヒューマノイドロボットの関節駆動方式として一般的である。今後、人工筋肉[6]として、インテリジェントなポリマーと、構造体として伸縮するなんらかの繊維とを複合するといったように、柔軟で人間にぶつかっても安全な、生物の筋肉のアーキテクチャに近い駆動機構が求められる。現在EAP

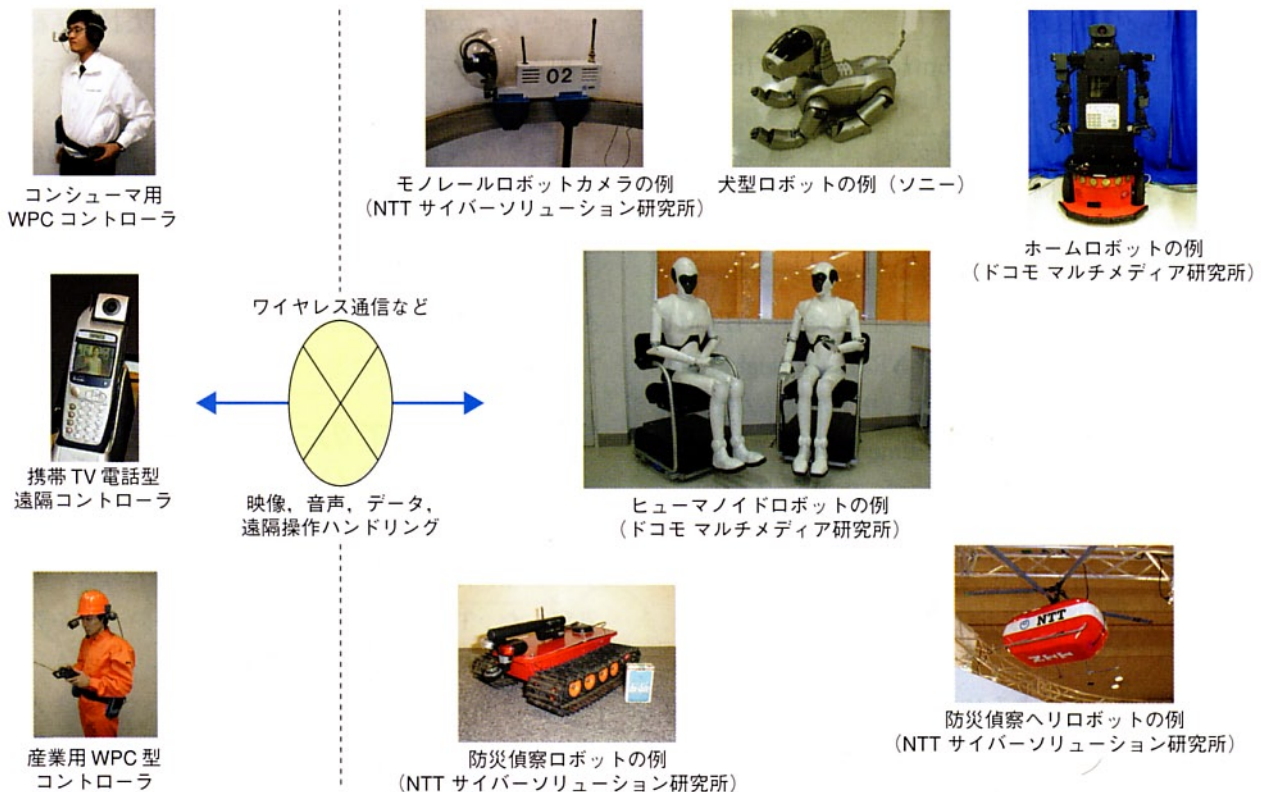


図1 携帯機によるネットワークロボティクスのイメージ

(ElectroActive Polymer) による人工筋肉は、NASAのジェット推進研究所 (JPL: Jet Propulsion Laboratory) がまとめ役となって、国際的に研究展開されている。脚や腕の大きな関節は、前述のDCサーボモータとハーモニックドライブの駆動系で実用的なものが達成されている。しかし、人の手指のサイズと力を再現できる多自由度でインテリジェントかつ、ソフトなアクチュエータとしては、現行のものでは不十分である。触覚や力覚センサ機能を持ちつつも、伸び縮みができるやわらかな素材で、人との接触を可能とするインテリジェントなセンサ付のやわらかな新しいアクチュエータの実現が望まれる。

(2) 情報処理機構

単一プロセッサの処理能力向上とともに、並列分散型処理に基づく知能処理アーキテクチャの進化は発展途上である。知能処理自身がまだ未成熟であり、方向性も十分に定まっていない。2足歩行や手指の動作など、運動制御レベルでのアーキテクチャの進展は発展中であり、方向性が見えてきている。ヒューマノイドロボットやペットロボットの制御系の演算には、ロボット本体にCPU (Central Processing Unit) を複数搭載して、体内をLAN (Local Area Network) で結んで各種の制御演算を行い、コンピュータビジョン処理や、センサ情報処理や運動制御をパラレルに行う分散型システムが一般的である。

(3) ネットワーク接続技術

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) に基づくインターネット接続のみならず、時間の遅れが少なく、回線品質が安定している遠隔制御ロボット用バーチャル回線交換ネットワークが望まれる。時間の遅れがあるネットワーク環境下での遠隔制御ロボット操作のマスター・スレーブ制御技術もさらに研究されている。現在のインターネット上におけるHTML (HyperText Markup Language) とVRML (Virtual Reality Modeling Language) の拡張として、リアルタイムな遠隔制御ロボット (R-Cubed (Real-time Remote Robotics) と呼ばれている) の制御言語として、RCML (R-Cubed Manipulation Language) が構築され、提案されている[7]。

(4) コミュニケーション技術

ロボットの学習機能、人間とのコラボレーション機能、ロボット同士のコラボレーション機能技術の実現が望まれる。自然言語処理によるヒューマンインタフェースでは、いわゆるトイプロブレム^{*}の範囲内における機能は実現できても、汎用性のある実環境で機能するものを作ろうとすると破綻するか、実現に至らない例が数多い。

シンプルなアルゴリズムでは実現はおそらく不可能で、環境や知識に関する大規模なデータベースの構築と種々のアルゴリズムの混在したハイブリッドな学習方式が解かかもしれない。種々の学習方式をハイブリッドに統合しながら対応していく必要がある。ルールベースの大規模データベースの構築を行っている有名な例として、米国のサイクロプロジェクト[8]があるが、いつ頃、実用的な臨界点に達するかは、まだ未知数である。

(5) 生体信号ヒューマンインタフェース

ジョイスティック、キーパッド、音声コマンド操作のほかに、将来、筋電信号や脳波、視線によるロボットへのユーザの意図伝達手段の実現が可能である。詳細については、本誌の新概念通信特集の「分身インタフェース技術」の項を参照されたい。健常者のヒューマンインタフェースとしてだけでなく、筋電義手の操作や、義足の歩行パターンの生成などにも筋電信号は応用されている。また、近年では、工学者と医学者の連携によって、腕、手指の感覚にかかわる神経の1つである正中神経に電氣的刺激を与えて、触覚を再現したり、脳皮質にマトリクス電極で刺激を与えて、失明者にPhospheneと呼ばれる電氣的閃光による人工的視覚を呈示するような、神経系刺激による人工感覚の研究が進められている。すでに聴覚障害者用の、電氣的な刺激による埋込型人工中耳は国内でも保険適用されている。古くはSFの世界でサイボーグにかかわるとされていたこうした技術も徐々に実現されてきており、人間の福祉向上につながっている。

(6) 動力源

リチウムイオン電池に代わる超小型燃料電池などの小型軽量長時間持続可能電池の開発が進められているが、例えば現行のニッケル水素電池を搭載した産業技術総合研究所の2足歩行ヒューマノイドロボットHRP-2 [9]は、2時間近い作業がオンボードの既存技術のバッテリーでも可能である。

5. 分身としてのコミュニケーションロボットのバリエーション

ヒューマノイドロボットを自分の分身として、コミュニケーションに中間的に介在させる場合のバリエーションを考察した。TV電話のように自分と相手の姿形をスクリーンに表示させるだけでなく、実体のある身体をもったロボットによるコミュニケーションスタイルは、さまざまなバリエーションが考えられる。ここでは、実現の可能性の高いバリエーションスタイルを紹介する。いずれにおいても双方向の音声伝送は共通である。

(1) テレイグジスタンス型遠隔制御ロボット

自分の体の動作を、ネットワークを介して遠隔に伝達する遠隔制御ロボット（図2）である。ロボットの見た映像は、頭部装着ディスプレイ（HMD：Head Mounted Display）や没入型のドーム型スクリーンに呈示されて、高い臨場感で遠隔地の情景にひたることができる。ロボットの操作は、自分の体の動作で逐一手取り足取り操縦するもので、テレオペレーションとも呼ばれる。

(2) スーパーバイザリ・コントロール型非匿名性遠隔制御ロボット

分身としてのロボットに行わせる動作を、コマンドレベルで与えて、操作するもので、スーパーバイザリ・コントロールと呼ばれる。例えば、携帯TV電話をリモコン端末として機能させ、遠隔地にある分身ロボットのオペレータがどこの誰であるかが分かるように、オペレータの顔画像をロボットに装着したディスプレイに呈示して、非匿名性を確保する方式も考えられる（図3）。コマンドレベルの命令による遠隔操作が主体である。

(3) デスクトップジェスチャー伝達型実写顔画像投射型分身ロボット通信端末

双方向で行うチャット的なコミュニケーションを想定した方式である。自分の分身ロボットは、相手のそばにあり、相手の分身ロボットは、自分のそばにある（図4、図5）。相手の顔は、ロボットに装着したディスプレイに動画画像で表示される。音声とともに、TV電話と実体のあるロボットによる身振り手振りを再現するコミュニケーションのハイブリッド型である。

(4) デスクトップジェスチャー伝達型顔表情パラメータ再現型分身ロボット端末

図4、図5の例においては、自分の生の顔が相手に送られるため、抵抗感を覚える場合も考えられる。自分の顔の眉毛や目、口、頬の動きなどのパラメータのみコンピュータビジョンなどで検出して伝送し、相手のそばにある自分の分身ロボットの顔に、表情のみ再現する方式で

ある（図6）。

- (5) デスクトップジェスチャー伝達型自己分身共存型ロボット端末
図6の例では、自分自身が相手にどう伝わっているかが、モニタできず、自分自身の身振り手振りや顔の表情にフィードバックがかけにくい。自分自身の化身（アバター）である分身ロボットも相手の分身ロボットとともに、自分の目前にいて、いわば第三者的に、双方の分身による身振り手振りをモニタしながらコミュニケーションする方式である（図7）。

- (6) ウェアラブル型実写顔画像投射型分身ロボット通信端末
図7では主にデスクトップ的なロボットの場合を想定

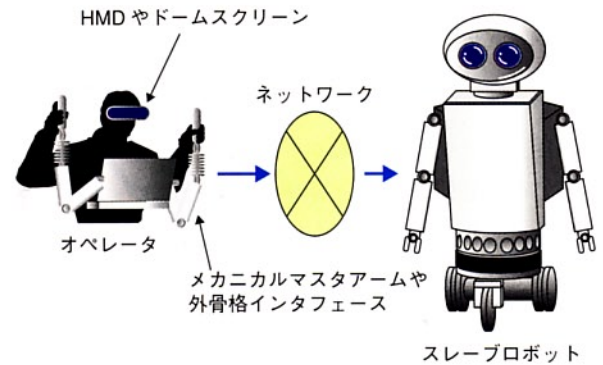


図2 テレイグジスタンス型遠隔制御ロボット

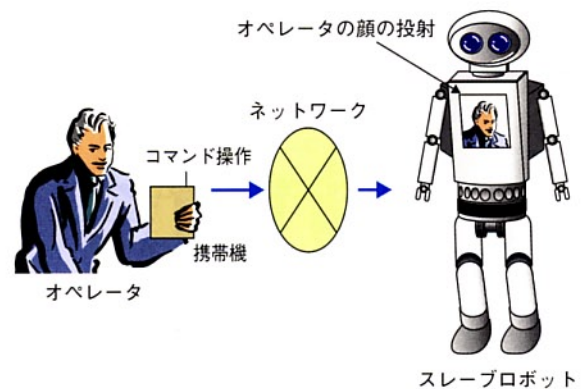


図3 スーパーバイザリ型非匿名性遠隔制御ロボット

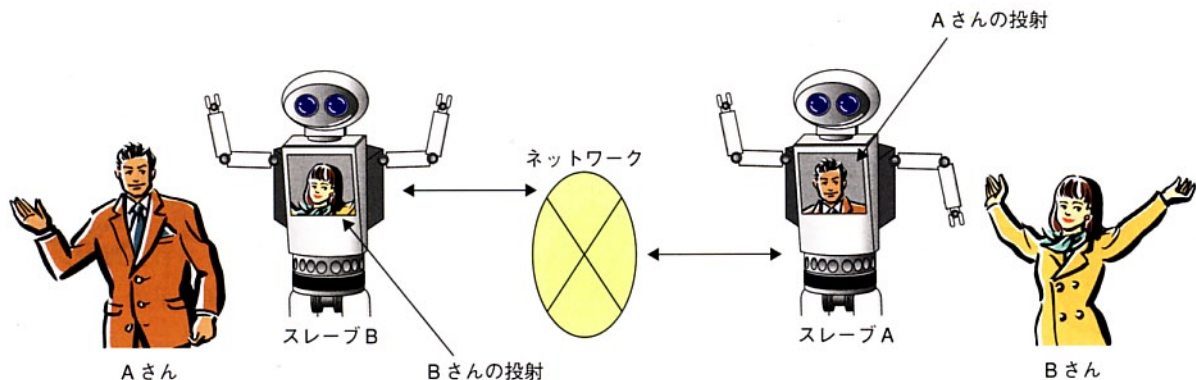


図4 デスクトップジェスチャー実写顔画像投射型分身ロボット端末



図5 デスクトップジェスチャー実写顔画像投射型分身ロボット端末

したが、モバイル環境でいつでもどこでも使うためには、ヒューマノイドロボット自体が、従者のように常についてくる必要がある。等身大のようなヒューマノイドでなく、連れて歩くことを想定しているため、肩にのせて歩いたり、腕に装着したり、だっこしたりすることが考えられる(図8)。アニメーションの世界でも、自分のコンパニオンとしてのマスコットを肩に乗せて連れ歩き、助言を求めたり、励まされたりする例が数多く制作

されている。ここでは、ユーザのジェスチャーを投射する身振り手振りの再現に限定するタイプAと、ネットワークで接続したセンタ設備のサーバにある人工知能エンジン・データベースによって、ある程度自律的に受け答えや、主人のアシストをするタイプBのエージェントスタイルが考えられる。

(7) ウェアラブル型顔表情パラメータ再現型分身ロボット通信端末

図8において、自分と相手の生の顔を呈示するのではなく、顔表情のパラメータを再現するバリエーションである(図9)。

(8) アドバンストーキングヘッズ型通信ロボット端末

昔話の魔法使いのおばあさんの水晶玉のような、なんらかの眼鏡がない3Dディスプレイに、例えば相手の3Dの上半身の姿を呈示する方法である(図10)。すでに高速で回転する半透明な樹脂のスクリーンに光のビームを高速でマトリクス状に振ってあてて、目の残像で3Dを再現するような方式が実現されている[10]。ただし、動く生身の実態の3Dデータをどう撮像してデータを生成するかが課題である。

(9) アドバンストーキングヘッズデスクトップTV会議

図10のデバイスができれば、デスクトップに複数の分身をおいたTV会議も考えられる(図11)。

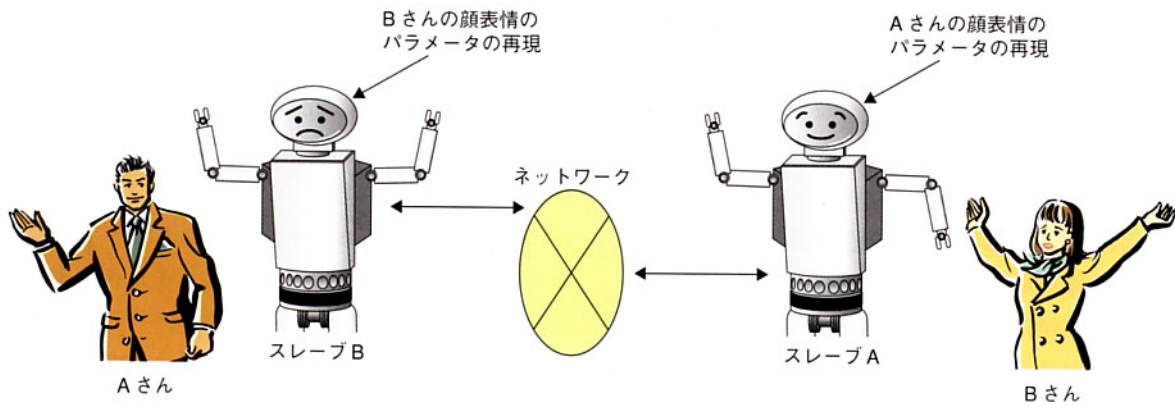


図6 デスクトップジェスチャー伝達型顔表情パラメータ投射型分身ロボット通信端末

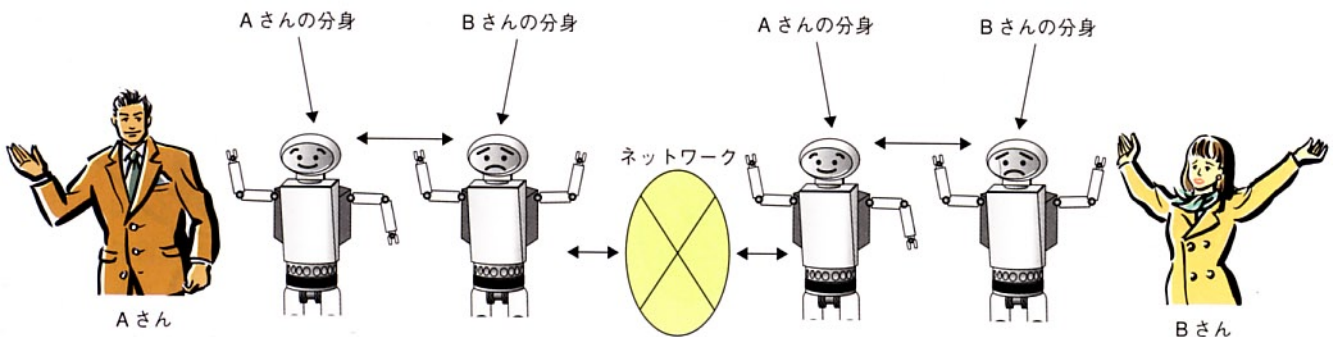


図7 デスクトップジェスチャー伝達型自己分身共存型

タイプA：ユーザのジェスチャー投射
 タイプB：ある程度の自律的エージェント（ネットワークに知能化エンジン介在）

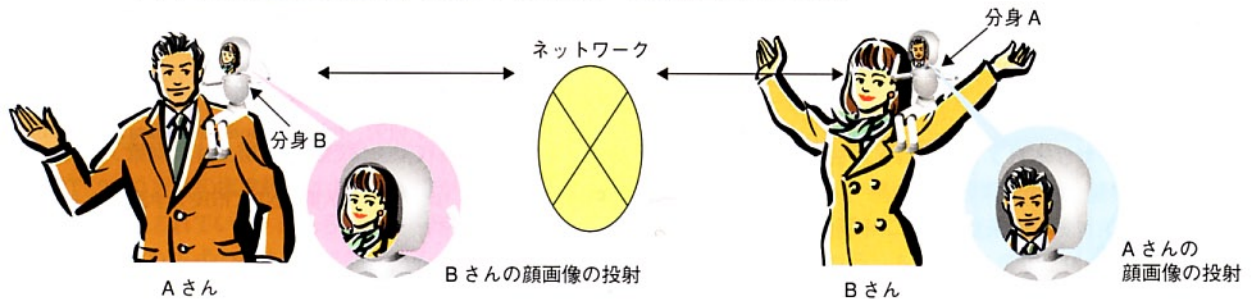


図8 ウェアラブル型実写顔画像投射型分身ロボット通信端末

タイプA：ユーザのジェスチャー投射
 タイプB：ある程度の自律的エージェント（ネットワークに知能化エンジン介在）

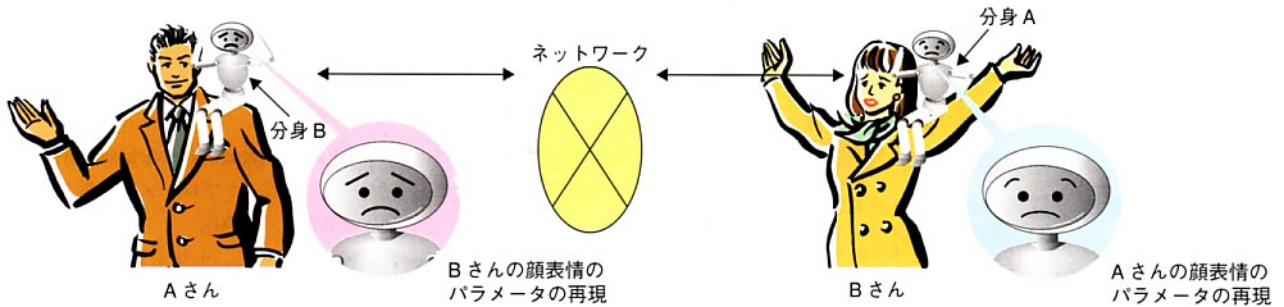


図9 ウェアラブル型顔表情パラメータ再現型分身ロボット通信端末

(10) メカノイド型非匿名性遠隔制御
 遠隔地モニタリングロボット

図1にもあるように、自分の分身がヒューマノイド型ロボットで必ずしも必要はなく、例えば遠隔地のモニタリングのようなアプリケーションであれば、さまざまな形態のメカノイドロボットであってもよい（図12）。ただし、オペレータの非匿名性を確保する意味で、オペレータの姿をロボットに装着したディスプレイに呈示するのは有効な方法である。

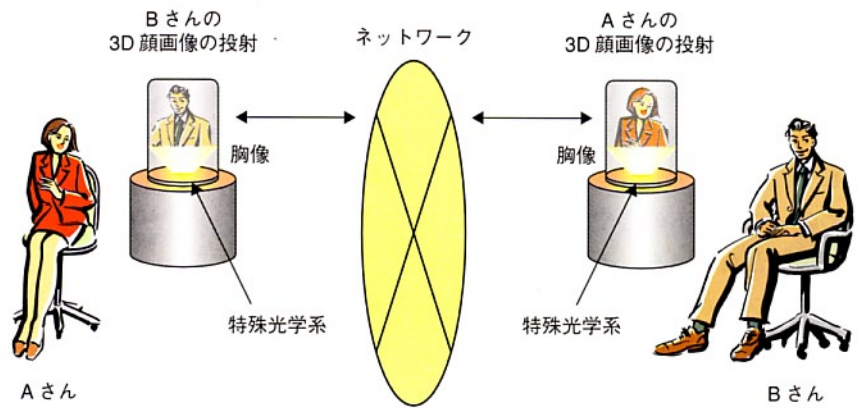


図10 アドバンストトーキングヘッズ型通信ロボット端末

大きな要素となる。

ロボットに人間が命令を与える単語レベル不特定話者音声認識のほかに、ロボット搭載カメラによる、相手の人間の顔の表情認識技術、ロボットの周囲の環境認識技術などのロボット側の認識技術のみならず、ロボット自身の内分泌系や体性感覚や疑似的感情を周囲の人間に表現するロボットの顔表情呈示技術、ジェスチャー技術の高度化が進展する[11]。

ロボットと人の高度なヒューマンインタフェースのみな

6. あとがき

2足歩行に限らず、多脚歩行、クローラ移動、車輪移動、浮遊、飛行、軌道走行など、移動型の人間共生型ロボットのうち、今後の十数年で発展が着実に進展するのは、人間とロボットのコミュニケーション技術であろう。ロボットの外観デザインが人間に心理的に及ぼす影響の定量化も試みられ、ロボットデザインが技術として確立するための、

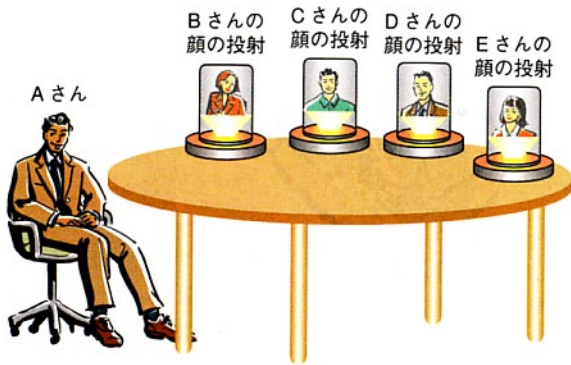


図11 アドバンストトークングヘッドデスクトップTV会議

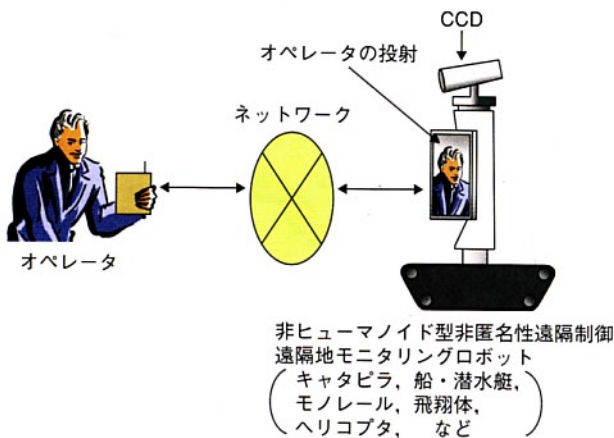


図12 メカノイド型非匿名性遠隔制御遠隔地モニタリングロボット

らず、携帯TV電話やウェアラブルコンピュータでユーザーとロボットがコミュニケーションする簡易なヒューマンインタフェース技術も実現しつつある。

ロボットの移動機構やマニピュレーション技術の高度化が進む一方で、研究レベルでは、ロボットが人間と共生するための、ロボットの心や感情の創出、ロボット意識、群知能が議論されている。そして、SF世界の話でしかなかった、アシモフのロボット三原則を工学的に実現するための知能処理について、前述の安全知能とともに研究が進められている。

また、産業技術総合研究所によるヒューマノイドロボットHRP-2のような完成度の高いヒューマノイドロボットのプラットフォームが、レンタルなどでロボット工学者以外にも手軽に入手しやすくなることにより、1980年代に分離した、記号处理的AIに基づく人工知能研究と、メカトロ、センサ情報処理を基本としたロボット工学研究が、実環境のもとで再び融合して発展をとげることも考えられる[12]。

音声通信、データ通信、画像伝送と推移してきたモバイルコミュニケーションにおいて、21世紀は移動端末としてのロボットが要素技術融合の牽引役を果たすだろう。同時

に各種の家電や、家屋の部屋そのものに智能化された端末が埋めこまれる電腦住宅化、すなわちロボットハウス化も進行中である。

文献

- [1] 日本のロボット研究, <http://robotics.aist-nara.ac.jp/jrobres/index-j.html>
- [2] 加藤一郎, “ロボットと人間 (NHK市民大学講座テキスト)”, NHK出版 (1987).
- [3] Moravec H., 夏目大訳, “シェーキの子供たち”, 翔泳社 (2001)
- [4] Brooks R., “表象なき知能”, 現代思想, Vol.18-3, pp.85-105 (1990).
- [5] 川人光男, “脳の計算理論”, 産業図書 (1996).
- [6] 人工筋肉リンク集, <http://homepage3.nifty.com/hharry/mu/top.htm>
- [7] アールキューブ, <http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/projects/RCML/index-j.html>
- [8] <http://www.cyc.com/>
- [9] ヒューマノイドロボットプロジェクト, <http://www.mstc.or.jp/hrp/main.html>
- [10] アクチュアリティシステムズ, <http://www.actuality-systems.com/>
- [11] 早稲田大学ヒューマノイドロボットプロジェクト編著, “人間型ロボットの話”, 日刊工業新聞社 (1999).
- [12] Pfeifer R., Scheier C.著, 石黒章夫, 小林宏, 細田耕 訳, “知の創成”, 共立出版 (2001).

用語一覧

- EAP : ElectroActive Polymer
- HMD : Head Mounted Display (頭部装着ディスプレイ)
- HRP : Humanoid Robot Project (ヒューマノイドロボットプロジェクト)
- HTML : Hyper Text Markup Language
- IT : Information Technology (インフォメーション技術)
- JPL : Jet Propulsion Laboratory (ジェット推進研究所)
- LAN : Local Area Network
- MIT : Massachusetts Institute of Technology
- NASA : National Aeronautics and Space Administration (アメリカ航空宇宙局)
- RCML : R-Cubed Manipulation Language
- R-Cubed : Real-time Remote Robotics (アールキューブ)
- RT : Robot Technology (ロボット技術)
- SMA : Shape Memory Array (形状記憶合金)
- TCP/IP : Transmission Control Protocol/Internet Protocol
- VRML : Virtual Reality Modeling Language
- WPC : Wearable Personal Computer (ウェアラブルパソコン)

用語解説

- *1 サブサンプションアーキテクチャ (Subsumption architecture) : 包摂アーキテクチャ。
- *2 ハーモニックドライブ : 米の発明家マッカーサーによって発明された、金属のたわみ、弾性力学を応用した特殊な動力伝達方式。
- *3 トイプロブレム : 特殊なある限定された環境における問題のことで、研究としてのAIで解決はできるが、実環境の複雑さとは、ほど遠い単純化された環境、問題のこと。