

人間共存型ロボット—新しいサービスの創造—

Human Friendly Robots—Creation of New Services—

橋本 秀紀*・森岡 一幸**

Hideki HASHIMOTO and Kazuyuki MORIOKA

1. ロボットは今

21世紀。前世紀のSF小説、映画で未来社会として描かれた世紀である。その社会には、必ずといっていいほどロボットが存在している。あるときには人間とロボットの関係が良好でなかよく暮しているもの、またあるときには人間がロボットに支配されている社会など、様々な状況設定がなされているが、人間社会に高度な知能を持つロボットが入り込んでいることには変わりはない。

20世紀の終りに登場した、ホンダのASIMO [1] やソニーのSDR-3X [2] のような二足歩行を実現した人間型ロボットは、人間型ロボットの実現可能性を世の中に示し、人々はその姿、しぐさから鉄腕アトムの実現にまで思いを馳せた。一気にロボットに対する関心が高まり、ロボット展示会の熱狂的人気につながった。また、国のプロジェクトとしても、自動車産業に代わる21世紀の国の基幹産業としての期待を込めて、人間共存協調ロボットの研究をはじめとして、様々なロボット研究が開始されている [3] [4] [5]。

一方、現在のロボット、それは工場内での作業に組み込まれたロボット、また原発内部や宇宙など人間が簡単に立ち入れない場所での遠隔操作の対象としての存在にすぎない。これでは、対象ユーザにも使用用途にも限界があり、いずれは頭打ちとなるであろう。20世紀の自動車がそうであったように、各家庭、さらには各個人をユーザとするような共存型ロボットの実現がなくてはロボットの未来は開けない(図1)。このようなロボットは、これまで考えられてきた人間の家庭での労働力を代替するだけではなく、それとは別に人間と共存して何らかの新しいサービスを産み出すものではないだろうか。それは、ソニーが先頃発売し、爆発的人気を誇るAIBOに代表されるようなエン

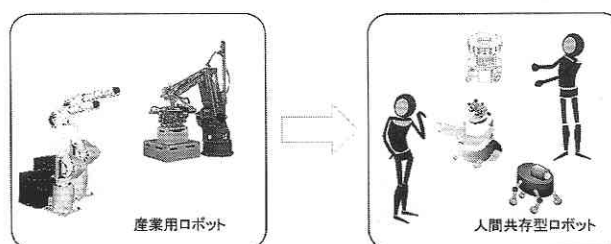


図1 産業用から人間共存型へ

ターテイメントロボットであるかも知れないし、また、人間同士が遠隔でのコミュニケーションをとるためのツールとなるロボットであるかも知れない。今後、日本も含めた先進各国は、少子高齢化による人口構成の変化、そして、これまでの仕事中心の生活から、日常生活でのゆとりを重視する傾向に価値観はシフトしていくと考えられる。本解説では、そのような流れをうまくつかむことのできる新たなサービスを、近い将来には確実に実用化できる種類の共存型ロボットによって創造することを目指し、共存型ロボットの現状を概説し、将来の共存型ロボットのキラーアプリケーションとなるサービスについて考える。

2. 何故、労働力代替とならないのか

現在の人間は、地球上での生命誕生の時から知能の獲得、二足歩行などといった進化を繰り返し長い年月をかけてここまでの姿となった。その人間が産み出す仕事、労働は、単に、腕を動かすだけ、頭を使って考えるだけといった単一のタスクから成り立つものではなく、身体中の様々な要素を同時に使用する総合的な作業となる。また、人間が生活する環境を考えても、我々人間のような姿、形をしたものが最も動きやすくなるよう自然に最適化されてきた結果が反映されている [6]。

ロボットが、このような家庭内の環境で、人間と共存しつつ、その労働力を代替する汎用性を持つ存在となるには、

*東京大学生産技術研究所 情報・システム部門
科学技術振興事業団さきがけ研究21

**東京大学生産技術研究所 情報・システム部門

人間の腕、手と同等に近いマニピュレータ、人間のように移動する機構、及び人間並みの知能が必要である。さらに、安全性、心理的な面などを考慮して、それらを実現する素材に関しても人間に近づけるべきである。

これらすべてを合わせて実現することによってはじめて家庭での労働力の代替と成りうる。このようなロボットの実現には以下に示すような大変な困難が伴う。

2.1 人工知能

人間並みの知能をロボットに付加する方法としては、あらかじめ人間が作り込んでおくのか、学習により知性や行動を獲得していくのか、という議論がある。現時点でのロボットのコミュニケーションや動作は、人間がすべて作り込んだものである。“学習”あるいは“育つ”といった表現が使われることもあるが、実際にはパラメータ学習であり、設計者である人間があらかじめ用意したシナリオにしたがっている。このような作り込み知能では限界があり、ロボットを日々変化する環境で、あらゆる状況の下で労働力の代替の用途で使用するのは困難である。

そういった点では、学習により知能を向上させていく方法が理想である。最近の脳研究の発展と共に数多くの知見が得られているが、知能が脳だけから発現するのか、体と脳がそろって発現していくのか、といったような知能の獲得の根本に関わる研究の進展も望まれている。まだ人間並みの知能はかなり遠いと言わざるをえない [7] [8]。

2.2 マニピュレーション

人間が日常生活空間において、様々な作業を行う際の、自然な、腕、脚、指などの高速かつ複雑な運動は、ある種の人間特有の技量であり、その運動を数学的に記述するのは困難である。そのような運動を即座に得ることは、人間ですら容易ではなく、ある程度の訓練を伴う。人間が行う作業は、単純に力学的運動として記述されるものではなく、運動、知能そして感覚がそれぞれ互いに補完しあって得られるものであるからである。

ロボットにおいて同様の作業を実現するためには、まず、図2に示すように、知能による行動命令とアクチュエータによって物理的な作用を及ぼす。そして、その動作及びそれに起因する環境の変化をとらえる感覚としてのセンサと認識技術が必要となる。このため人間並みのマニピュレーションの実現には高度な知能が必要となる [9]。

2.3 素材

家庭での労働を行うロボットに対しては、工場内のようにロボットのための環境が整えられてはいない。また、ロボットを構成するアクチュエータ、センサなどの各要素は、必ずしも共存型ロボット用に開発されているわけではない。

人体構造を考慮した場合、人の生活空間に調和し、安全に人間の代わりとして家庭内での労働を行うロボットを開発するには、固い金属でつくられ、床にボルトで固定して

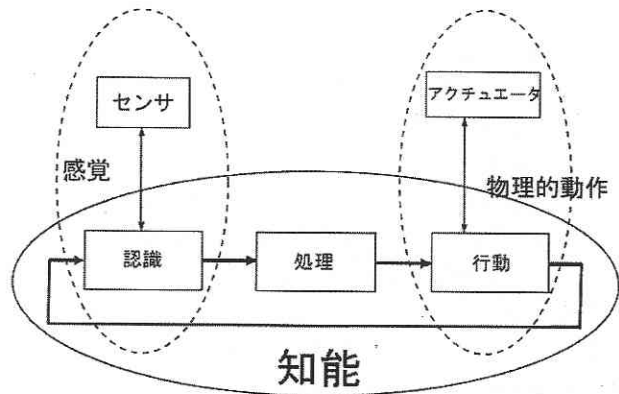


図2 自律ロボットにおける知能、運動、感覚

使われるようなロボットとは基本的に異なる構造を持つことが望まれる。万一予期しない人とロボットとの衝突が起きても、安全が保障される衝撃吸収型ロボット構造体の開発、人の生活空間に調和し対人コミュニケーションに適した形態の検討などの課題が挙げられる [10]。

3. 可能な Solution

人間と同等の知能が実現できないとしても、現在までのロボット研究のなかから、また、その他の技術の応用により、人間を満足させるサービスを産み出すことは十分可能である。人間と共存し新しいサービスを提供するロボットの实现のためには、次のような解決策 (Solution) が考えられる。

3.1 限定された AI

前章でも述べた通り、ロボットに学習して育つ人間並みの知能を与えることは困難である。また、作り込みの知能にも限界がある。そこで、新しいサービスを目指すロボットでは、基本的に完全な人間並みの人工知能を必要としないこととする。

その場合でも、人間にサービスを提供できるだけの知能を実現する様々な方法が考えられる。例えば、環境を、人間の生活に影響がない程度に、また、ロボットがその中で自分の能力をフルに発揮できるように、環境側に知能や情報を持たせ、ロボットの知能を補完することで結果的に人間に対して有効なサービスを提供するといった環境とロボットを一体として知能を実現する方法がある [11]。また、昆虫の行動原理などでみられるような、多数の単純な知能を持つロボット群全体を一つの知能体と見なして、結果的に意味のある行動に結び付けようとする群知能としての実現なども考えられる [12]。

また、人間並みの高度な知能を持たなくても、これまでの電気製品、ゲームなどが人々を満足させたように、アイデア次第で、人間に対して有効なサービスを提供すること

は可能であろう。

3.2 人間との協力

ロボットの知能が限定されたとしても人間のインテリジェンスを積極的に活用する方向でサービスを構築することが考えられる。人間は、ロボットに対しては、こちらが命令したことは何でも黙ってやってくれる万能ロボットよりは、ロボットに何らかの条件を付け機能を制限し、知能ロボットとの心理的な面でのつながりを保った上での支援を期待する傾向にある。

人間とロボットが相互作用し、人間に知的刺激を与えるような仕組みのロボットシステムの方が、人間はより受け入れやすいのではないかと考えられる。

3.3 ネットワーク

近年のネットワークの発達により、ロボットの制御信号やロボットで取得した画像データなどを双方向でやり取りすることへの期待が高まっている。これから数年後には、各家庭においても高速ネットワークを利用できる通信インフラが整備されることは間違いないと思われる。そうなった場合、高速ネットワークを十分に活かしたサービスを充実させることが課題となる [14]。

例えば、ネットワークを通じて他のロボットやコンピュータと情報空間を共有し、活用することで、個々のロボットの能力の向上につながる。また、ネットワークの発展と共に遠隔地のロボットからユーザが得ることのできる情報も増大する。

このように、ネットワーク技術とロボット技術を融合させることは、お互いにとって有効なサービスを提供できる可能性を秘めている。

3.4 新しいサービス

図3に示すように、新しいサービスロボットは、周囲の環境、ロボットと触れ合う人間、高度なネットワーク技術を効果的に組み合わせることから産み出される。

人間が受けるサービスとは、人間と人工物(ロボット)との相互作用の結果として認識される。また、サービスには、人間の行う作業の代替としての物理的な支援、及び人間の脳や心に直接訴えかける心理的な支援が考えられる。物理的な支援のみでは限界があると考えられるため、新し

いサービスロボットでは、心理的な支援を行うことで人間に満足感を与えることを目的とするべきである。

人間とロボットが共に自然に存在できる環境を創り、人間のインテリジェンスをロボットシステムのなかに組み込む。そしてネットワーク技術を用いてそれらを相互に接続して、人間に対して心理的に及び物理的に支援する。これが新しいサービスロボットの実現につながるのではないだろうか。

4 共存型ロボットの現状

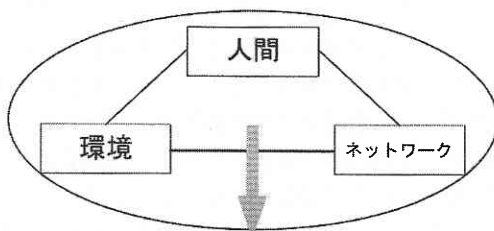
この章では、現在の共存型ロボットの構成要素と、実際に我々に対して行うサービスについて例を挙げて説明する。これらのロボットは、全て、前章で述べた要素の応用から構成されており、現在の技術でも十分にロボットとの共存環境を構築できる可能性があるということを示している。

4.1 エンターテインメントロボット

エンターテインメントロボットは、従来の自立型ロボット研究の目標とは違い、その信頼性や安全性において、実用化への障壁が低い。そのため、介護ロボットや危険作業ロボットなどのような応用に比べて、短期間での実用化が可能である。また、このようなエンターテインメントロボットを含む玩具に対する認識が変化し、大人が玩具等で遊ぶことへの社会的な抵抗感が次第に薄れつつあるものと考えられる。これらをふまえると、エンターテインメントロボット市場が、大人向の高度な知的玩具として拡大していくのは自然な流れであろう。

1999年にソニーから発売され爆発的ヒットとなった犬型ロボット AIBO が、エンターテインメントロボットとして代表的である。AIBO は、64ビット RISC プロセッサ、16Mバイトの主メモリ、触覚、聴覚、視覚、温度、平衡感覚などの各種感覚センサ、18自由度のアクチュエータ、スピーカで構成されている。その行動形態は、自律的に動き続ける「自律行動モード」、様々な芸を見せる「パフォーマンスモード」、 「ゲームモード」の三つのモードを持ち、エンターテインメント性、ゲーム性を向上させている。「自律行動モード」では、分速5mの歩行動作が可能だけでなく、感情モデルと多種のセンサによる人間への反応によって、多様な動きを見せる。また、適応学習能力を持ち、所有者とのインタラクションによって個性を獲得することもできる [15]。

オムロン IH 研究所が開発したペットロボット (図4) は、猫をかたどったロボットである。AIBO 以上に“やすらぎや安心感を提供し心の安心感に繋がるロボット”としての側面が強くなっている。まぶた、首、前足、尻尾に合計8自由度を持ち、人間に反応するためのセンサとしては、頭、あご、背中に圧力センサ、顔にマイク、体に姿勢センサを内蔵している。外界からの刺激と内部の独自の感



新しいサービスロボット

図3 新しいサービスとは

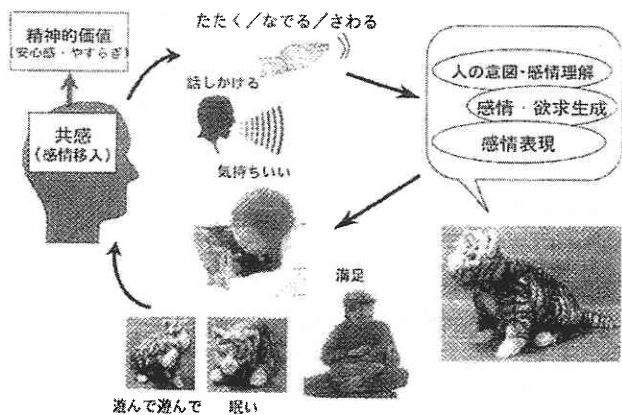


図4 ペットロボット

情モデルである MaC (Mindand Conscious) に基づくシステムによって様々なしぐさ、動きが生成される。インタラクションを繰り返すことで感情が変化するほかに、内部の生理リズムによって、自発的に「抱かれない」「眠い」などといった欲求が生成される [16].

このようなロボットは、エンターテインメント性を与えると同時に、医学的に人間の心理に与える好影響が報告されている。これらのロボットの感情と人間の心理との関係に関する研究をより深めていくことで、逆に人間の心についての考察が進んでいくとも考えられる [17].

4.2 コミュニケーションのツール

図5のように、ネットワーク、テレオペレーション技術を応用して、次世代のサービスロボットは、人間同士がロボットを介することで、現在の電話のような音声だけではなく、様々な情報をやり取りするコミュニケーション支援ツールとしての可能性も期待されている。

松下電器の開発したペット型高齢者向けコミュニケーションロボット (図6左) は、ロボット端末とセンターPCから構成され、ロボットは独居高齢者の元に、センターPCは、遠隔の福祉施設などにおかれ、端末へ日々のケア情報を送ると共に、端末の使用状況を監視することで、利用者の生活の安全性を高める。ロボット端末は、32ビット RISC 型 CPU を中心とし、入力デバイスとして、マイク、タッチセンサ、メカニカルスイッチ、出力デバイスとして、液晶ディスプレイ、スピーカ、DC モータを備えている。遠隔の福祉センターから、ロボット端末に音声によるメッセージを送ることが可能でロボットを介した対話システムとしても利用される [18].

また、レイグジスタンスを実現するロボットとして、日本でもアールキューブプロジェクト [19] などがみられるが、UC パークレーで開発された PRoP (図6右) というロボットもそれに近い部分がある。このロボットは、web を用いて遠隔操作される。ロボット本体には、操作者の顔

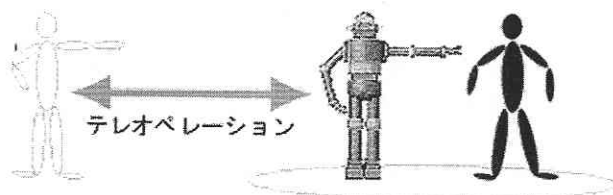
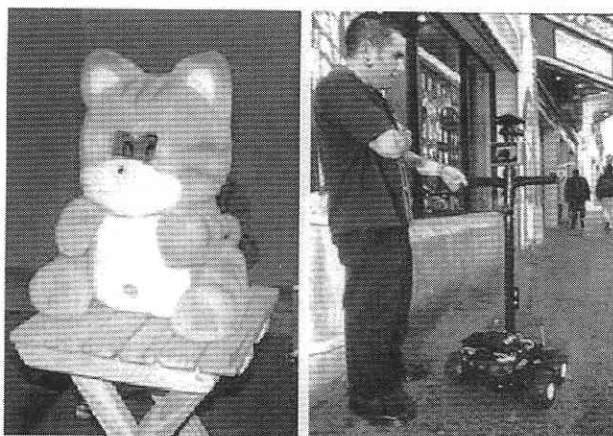


図5 ロボットを介したコミュニケーション



福祉ロボット

PRoP

図6 コミュニケーションロボット

を写し出すディスプレイとロボットの目の代わりとなるカメラ、ジェスチャーを行う腕、会話を行うためのスピーカとマイクなどが搭載されている [20] [21].

認知科学的には、対話の場を共有しているという感覚が得られない場合、伝達する情報が増大してもコミュニケーションの密度が高まるどころか、その質が低下するという研究もなされている。コミュニケーションのツールとして考えた場合、そのような点も十分考慮にいたれた設計がなされなければ、人々に受け入れられるシステムとはなりにくいというところが問題点である [22].

4.3 空間とのインターフェース

現在、家庭内やオフィスにある電化製品をすべてネットワークで接続しようという動きが起こっている。ネットワーク化されることにより、それぞれの電化製品の機能は向上すると思われるが、それらを操作する上での難易度も同時に上がってしまうだろう。そこで、そのような複雑化した家電ネットワークを操作する際、人間と家電とのインターフェースとして存在するサービスロボットが考えられている。

NECが開発した R 100 (図7上) というロボットは、CCD カメラからの画像情報と超音波センサからの距離情報により、自律的に障害物を回避したり、人間を検出して近づくなどの行動をとる。人間とのインタラクションによる感情表現などエンターテインメント性も持ち合わせてい

る。しかし、このロボットで最も特徴的な部分は、インターネット通信機能が組み込まれ、ホストとなるPCと通信することで家電コントロールが可能となる点である。ロボットに取りつけたマイクを介して音声認識能力を持ち、およそ100語の単語を認識することができるため、音声リモコン機能を持つロボットとなる。ロボットに音声で指示することで、ホストPCの赤外線送信機によってテレビなどの家電をコントロールすることができる。家電ネットワークが実現した空間内にこのようなサービスロボットが存在すれば、人間は家電の操作法を熟知していなくとも、音声などでロボットに指示を出すことによって、空間内のあらゆる機器の操作が可能となると考えられる [23]。

また、家電のネットワーク化にとどまらず、空間全体にセンサを分散させ、部屋全体をコントロールするという空間知能化技術の研究も進んでいる。そのような場合には、空間から人間へ物理的なサービスを行うエージェントとしてのロボットが考えられる。

東京理科大学情報メディアセンターでは、建物の一部をスマートオフィスとして、知能化している。人間探知センサ、赤外線センサ、パンチルトコントロールが可能なカメラを天井に設置し、空間内の人間を認識し、その行動を分

析する。また、スマートオフィスでは、図7下のような移動ロボットが稼働しており、オフィス内のプリンタから排出された用紙を、指示した人間に届ける役目を果たしている。ロボットには赤外線センサで位置を検出するための鏡と、カメラの画像を処理してロボット位置を認識するために必要となるライトが取り付けられている。スマートオフィスの入口では、天井についた人間探知センサが訪問者を認識すると、その指令がその付近にいるロボットに送られ、ロボットが訪問者を案内する役目を担っている。スマートオフィス内にいる人間は、この時、自分の机から、インターネットを介して訪問者をチェックすることが可能である。このように、高度に知能化された空間と人間を結び付けるものとしてロボットが期待されている [24]。

5 共存型ロボットの将来

5.1 Intelligent Space

筆者らの研究室では、インテリジェントスペース[25]と呼ばれる空間知能化技術を用いた新しい生活空間を提案している [26]。これは、図8のように、空間全体に、DIND (Distributed Intelligent Networked Device) と名付けた、センシングとデータ処理能力、及びネットワーク機能を持つデバイスを多数分散配置し、空間内の人間、または、移動ロボットなど各エージェントの位置情報や行動のすべてを観測し、ネットワーク上で処理することで、空間が人間の意図を理解する。そのため、人間がストレスを感じることなく、内部のコンピュータ、ロボット、その他の家電などからの適切な支援を受けることができる空間である。また、この空間は、それ以外にも、VR空間などのサイバースペースとの接点としての役割もあり、センサーアーム [27]、センサーグローブ [28] などといったハプティックインターフェースも備える。

インテリジェントスペース内では、人間と空間、人間とロボット、などといった相互作用を行う関係が考えられる。そこで、筆者らは、空間内での相互作用によって人間、ロボット、環境の知能がそれぞれ、どのように発現し、変



パーソナルロボット R100



スマートオフィスのエージェントロボット

図7 空間とのインターフェース

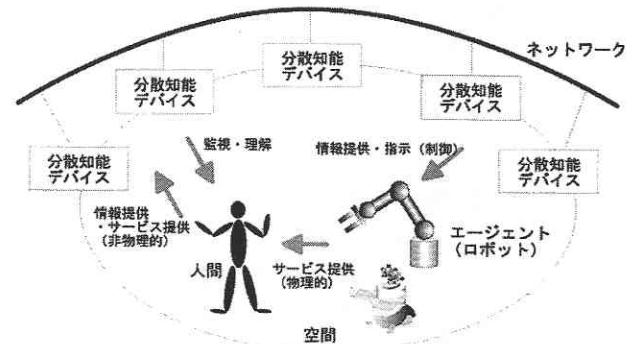


図8 インテリジェントスペース

していくのかを研究し、知的消費社会における人間に対しての理想的なサービスの可能性を探っている。

5.2 Web Robot

Web Robot は、そのインテリジェントスペースに外部からアクセスするための媒介として存在する、インテリジェントスペース内のエージェントの一つとして位置付けることができる。Web ブラウザを介してロボットの操作が可能であるので、基本的にネットワークに接続可能な環境があれば、インテリジェントスペースへのアクセスが可能となる。将来的には、図9に示すような、携帯電話、PHSなどの各種携帯端末だけを使ったロボット操作、空間の体験を行うことを考えている。Web Robot を使用することで、外部にいるときでも、インテリジェントスペースから、携帯端末を介して支援を受けることができるようになる。

現在、小型、軽量で知能を持たないロボットをインテリジェントスペース内に配置して、Web Robot として使用する実験を行っている。このロボットは図10に示すように、プラットフォームとして、2モータによる全方向への移動機構と、周囲の画像を取得するための小型カメラ、及びインテリジェントスペース内のコンピュータとの通信機能を持つ。小型、軽量という特徴から人間の生活環境の邪魔には

ならず、危険性などを特に考慮する必要もない。また多数個の配置が可能である。このような簡単なロボットを Web ブラウザを介して遠隔操作することにより、インテリジェントスペース内の情報を入手することができる。また、ロボットを介して、空間内の他のロボット類、及び人間とのコミュニケーションをとる手段となる可能性がある。今後、認知工学的な理論も手がかりとして、WebRobot を用いてインテリジェントスペース、人間、ロボットを結ぶ新しいコミュニケーション方法について検討する。

6. エピローグ — 2050年東京 —

2050年、東京。都心には現在を遙かにしのぐ超高層ビル群が立ち並び、その合間にはわずかな緑の残る公園を散歩する人々が見受けられる。50年経って街の見た目は多少変わったが、人類の誕生以来繰り返してきた人々の衣食住の生活リズムは、その程度では変わりようがない。それでも、人間たちの顔付きには、余裕が感じられるようになった。道路を慌ただしく走る自動車も、もはや過去のものでしかない。これは、すべてインテリジェントスペース (ISpace) を中心とした人間共存型ロボットの発展の結果である。

超小型高性能の DIND が、低価格で提供されるようになって以来、ISpace は、全世界に広がった。家庭内では、あらゆる機器、ロボット、そして DIND がネットワークで接続され、ISpace が形成される。人間の行動や意図は、ISpace によって判断され、ロボットを介して支援を受けることができる。ISpace は学習効果をもち、そのスペースに居住する人間の過去の行動などから支援内容を各個人に対して適した形に変化させることができる。生活する期間が長くなればなるほど、ISpace は賢くなる。自分のことをすべて理解しようとするスペースの存在が、人間に対して生活の余裕をもたらしている。

ISpace 内では、ロボットがサービスを提供するエージェントとして動いている。ロボットは、50年経っても、依然として人間の家事などをすべて任せられるような汎用性は実現してはいない。しかし、そのようなロボットでも十分に活用は可能となった。複雑な運動はできなくとも、ISpace が得た人間の情報を駆使して、必要な物の運搬などの簡単な物理的作業から、使用者の健康状態などを考慮した上でのスケジュール作成、体調管理、癒しの効果や遊びの相手などのエンターテインメント性や、遠隔地の他者とのコミュニケーションをとる際のテレイグジスタンスを実現する手段など、ISpace 内で生活する人間の、マネージャーのような役割を果たすロボットとして使用されるのである。

ISpace の外では、現在の携帯電話に代って普及したウェアラブルコンピュータを用いて、ISpace へのアクセスが可

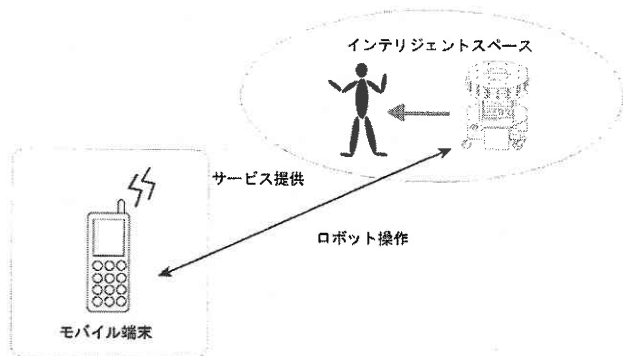


図9 インテリジェントスペースの拡張

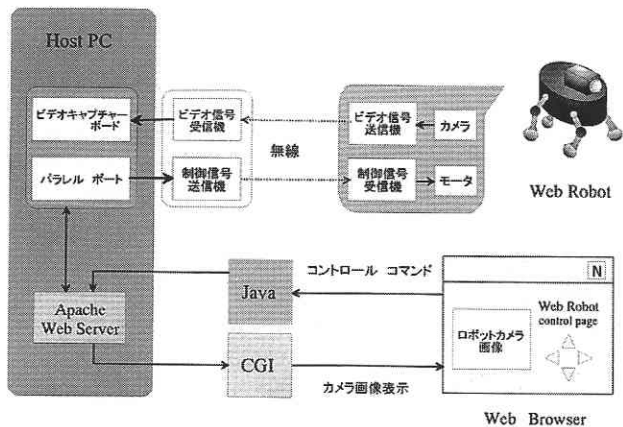


図10 Web Robot

能である。これらのコンピュータは、すべて超高速無線ネットワークでつながっており、これらを通じて、ISpace内の人間やロボットなど各エージェントとコミュニケーションをとり、ISpaceにいるときと類似したサービスを受けることも可能である。

2足歩行の完全自律人間型ではなくても、ISpaceのような空間知能化技術と組み合わせ、ネットワークを駆使することで、人間のパートナーとして共存型ロボットが存在するようになるだろう。

(2001年2月19日受理)

本原稿に関しては、科学技術振興事業団さきがけ21「相互作用と賢さ」の支援している領域プロジェクトです。

参考文献

- 1) <http://www.honda.co.jp/robot>
- 2) <http://www.world.sony.com/JP/News/Press/200011/00-057a/index.html>
- 3) “フレンドリネットワークロボティクス”, 新エネルギー産業技術総合開発機構, 1998.
- 4) 谷江, 平井, “人間協調共存型ロボットシステムの研究開発(プラットフォームベーストヒューマノイドプロジェクト)”, 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.3, pp.295-300, 1998.
- 5) “社会支援型ロボットの現状と展望”, 電気学会技術報告720号, 1999.
- 6) “特集「認知ロボティクス」”, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.1, 1999.
- 7) 伊藤編著, “知の創発! ロボットは知恵を獲得できるか”, NTT出版, 2000.
- 8) 石黒, “きびきびと動くロボットを目指して「心身一元論」に立脚した人工知能システムの構築に向けて”, 電気学会論文誌C Vol.121-C, pp.48-49, 2001.
- 9) 川村, “人間の技量と機械の技量 ~ロボットにいかに技量を発現させるか”, 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.5, pp.586-590, 1998.
- 10) “特集「ソフトロボティクス」”, 日本ロボット学会誌 Vol.17 No.6, 1999.
- 11) J. Ota, M. Yamamoto, K. Ikeda, Y. Aiyama, T. Arai, “Environmental Support Method for Mobile Robots Using Visual Marks with Memory Storage”, Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 1999.
- 12) N. Miyama, J. Ota, Y. Aiyama, T. Arai. “Real-Time Task Assignment for Cooperative Transportation by Multiple Mobile Robots”, Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1999.
- 13) 出雲, “人間とロボットの仲 -多様なイメージの中から見えてくるあやうさ-”, 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.3, pp.285-287, 1998.
- 14) 坂内, “インターネットは100年もつか?”, 電気学会誌 Vol.121 No.1, pp.41-45, 2001.
- 15) <http://www.aiibo.com/>
- 16) 田島, “感情を持ったペットロボット”, 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.2, pp.188-189, 2000.
- 17) 坂元, “玩具としてのロボットと子供の社会的発達 -来るべき影響論に対して-”, 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.2, pp.167-172, 2000.
- 18) http://www.matsushita.co.jp/corp/news/official_data/data_dir/jn990324-2/jn990324-2.html
- 19) 通産省アールキューブ研究会, “アールキューブ”, 日刊工業新聞社, 1996.
- 20) E.Paulos, J.Canny, “Designing Personal Tele-embodiment”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2580-2585, 1998.
- 21) <http://www.prop.org/>
- 22) 原田, “映像メディアの展開と社会心理5章映像メディアと対話システム”, 北樹出版, 1999.
- 23) <http://www.incx.nec.co.jp/robot/>
- 24) F. Mizoguchi, H. Hiraiishi, H.Nishiyama, “Human-robot collaboration in the smart office environment”, Proceedings of the 1999 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.79-84, 1999.
- 25) Joo-Ho Lee, G. Appenzeller, H.Hashimoto, “A Physical Agent for Intelligent Spaces: Functions and Roles of Mobile robots in Sensored, Networked, Thinking Spaces”, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Boston USA, 1997.
- 26) <http://dfs.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- 27) A. Nakai, T. Ohashi, H. Hashimoto, “7 DOF Arm Type Haptic Interface for Teleoperation and Virtual Reality Systems”, Proc. IEEE/RSJ Int.Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'98), pp.1266-1271, 1998.
- 28) T. Ohashi, M. Ota, H. Hashimoto, “The Sensor Arm and The Sensor Glove II-Haptic Devices for VR Interface.” Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'99), pp.785-790, 1999.