

人と共存する生活支援ロボット

Life Support Robots That Coexist in Harmony with People

松日楽 信人

■ MATSUHIRA Nobuto

小川 秀樹

■ OGAWA Hideki

吉見 卓

■ YOSHIMI Takashi

今後、少子高齢化や労働力不足が一段と加速し、生活分野へのロボットの応用が進むと考えられている。既にいくつかのロボットが開発されているが、実用化はまだ始まったばかりである。生活分野では、動作環境や認識環境が一定でないなど課題が多い。

そこで東芝は、まずは人間とのインタフェースに注目して、複数方向からユーザーの声を聞き内容を認識する“聞き分けロボット”と、画像処理によりユーザーを常に見つけ、そばについて行く“お供ロボット”を開発した。将来、ホームロボットは、ネットワーク環境下で人間の生活を支援するのに不可欠なものになると考えている。

Robots are expected to be applied to the daily life environment in the future due to such factors as the aging of society. Although some robots have already been developed, work on practical robots for this field has only recently begun. The daily life environment presents many problems, because the environments for both work and recognition functions vary with each situation. For the first step, a robot with omnidirectional auditory function and a robot with stereo vision that accompanies a person have been developed as human interface technologies. Future robots will serve as the core of the home network.

1 まえがき

ロボット技術は産業用ロボット、原子力施設保守用ロボット、宇宙開発用ロボットなど特殊環境で培われてきたが、最近では、医療・福祉用ロボット、ビル清掃・警備用や家庭用のロボットと、その応用分野をより身近な環境へと拡大している。

東芝においても、このような流れでロボット技術の研究開発を行ってきた⁽¹⁾。これらのうち、家庭や公共施設などで人の生活を支援したり、人の自立を支援するようなロボットは、総称して生活支援ロボットと呼ばれている。生活支援分野のロボットでは、人の意図を正しく認識し、人や環境に働きかける技術が不可欠である。このように、人を中心とした人に優しいヒューマンセントリックテクノロジーは、ロボットに限らず、人が使うあらゆる機械に共通の重要な技術でもある。

当社は既に、ネットワーク機器と人とのインタフェースとして、ロボット情報家電のコンセプトモデルである“ApriAlpha™”を開発しており、多様な用途への応用を検討している。ここでは、生活分野で使用していくために必要な技術として開発した“聞き分けロボット ApriAlpha™ V3”と、“お供ロボット ApriAttenda™”の2種類のロボットについて述べる。

なお、これらのロボットは、NEDO技術開発機構（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の“次世代ロボット実用化プロジェクト”に採択され、2005年愛・地球博の“プロトタイプロボット展”（6月）で実演された。また、お供ロボットは、東京理科大学と共同開発したものである。

2 生活支援ロボットの課題

現在、社会は少子高齢化、情報社会化、防犯問題、更には2007年問題と呼ばれる熟練労働者不足など、様々な課題を抱えている。ロボット技術はこれらの課題に対する回答の一つとして期待が高まっているが、一方で、生活環境下で確実に、かつ安全に動作するロボット技術が求められる。

工場や原子力施設などの特殊環境下では、ロボットが作業しやすいように事前に環境が整えられているが、生活環境下では、次に挙げるような問題があり、ほとんど未解決である。

- ・移動や作業のための環境が一定でない。
- ・背景や照明など画像処理の環境が一定でない。
- ・テレビ音声や雑音など音声処理の環境が一定でない。

更に、誰でも簡単に扱うことができなければならない、といった課題もある。

これらの課題を解決していくには、環境や作業を限定した単機能なロボットから順次、目標を設定しながら開発を進めていく必要がある。

特に生活支援分野では、実作業を行うためのアームや移動などの運動制御の技術ばかりでなく、人とロボットとの間でやり取りされる画像や音声などを用いたヒューマンインタフェース技術が重要である。ロボットが支援動作を行うためには、まず人とコミュニケーションし、人がどこにいて、何を望んでいるのかわからなければ、ロボットはサービスができない。更に、人にサービスを行うには、人のそばに付いて来

てくれるという存在性が自然であり、安心感を強める。

そこで当社は、どの方向からでも聞き分ける聴覚機能を持った聞き分けロボットと、画像処理により特定の人物にお供する対人追従機能を持ったお供ロボットの開発を行った。

また、ロボットはシステムであり、画像や音声の処理が単体で動作しただけではロボットとしての機能が十分に発揮されない。運動機能も含め、個々の機能がシームレスにつながる必要がある。当社はシステム化にあたって、これまで開発を進めてきたオープンロボットコントローラアーキテクチャ^{(1),(2)}を採用し、音声、画像、運動の統合を図った。

3 全周囲から指令できる“聞き分けロボット”

3.1 人の声を聞き分ける機能

一般の家庭内環境は図1に示すように、ロボットに指示を与えるユーザー以外に、人の話し声やテレビ(TV)の音声など様々な雑音源が存在する。したがって、これら生活雑音の中でもロボットがいろいろな方向から発せられるユーザーの声を個々に聞き取り、認識して対応できれば、非常に便利な実用性のあるロボットとなる。このため、音声のする方向を推定し語彙(ごい)認識を行う音源定位技術の研究が行われてきた^{(3),(4)}。しかし、対応可能な音源の種類や数に制約があったり、実現するには十分な計算機能力を必要とするなど、小型の移動ロボットで実現するのは難しかった。

そこで新たに、全方位からの音声の検出や方向の推定を行う信号処理技術の開発により、各音声を個別に抽出して、その語彙認識が可能な高性能の聴覚機能を実現した⁽⁵⁾。

3.2 全方位聴覚のための音声信号処理技術

全方位聴覚機能を実現するために開発した音声信号処理のブロック図を図2に示す。図では、ロボットに搭載した複数のマイクから2組のマイクペアを選択して、一連の音声信号処理を実施するようすを示している。

まず、音源方向を推定するため、2個のマイクへの音の到達時間差(位相差) ΔT を利用する。音源からマイクへ到達

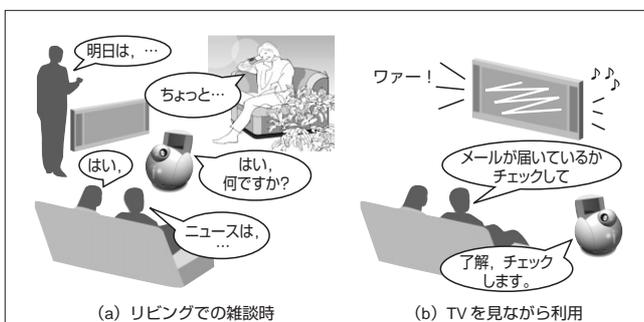


図1. 聞き分けロボットの利用シーン — 複数人の呼び掛けに対応したり、TVなどの生活雑音の中から指令を認識する。

Images of ApriAlpha™ robotic information home appliance in living room

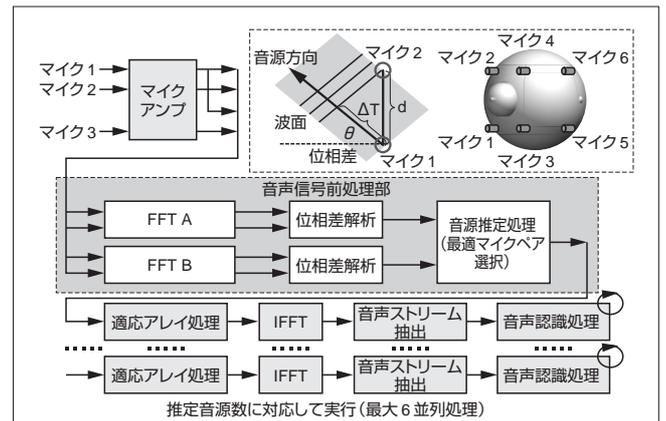


図2. 聞き分けロボットの音声信号処理のブロック図 — まず音源方向を推定し、次に音源位置を特定する。そして、検出音源ごとに適応アレイ技術で音声ストリームの抽出を行い、音声認識処理を実行する。

Block diagram of auditory signal processing in ApriAlpha™ V3

する波面が平面波であると仮定するとき、得られた ΔT は両マイクと音源との距離差を表すので、マイク間距離を d とすると、音源方向の θ は $\theta = \sin^{-1}(\Delta T/d)$ として求めることができる。ここで、取り込んだ音声信号を高速フーリエ変換(FFT)により周波数領域での位相差及び強度データに変換して、位相差解析によって瞬時ごとの音源数と音源方向を推定し、各音源の連続した音声ストリームとして時系列的に検出を行う。次に、マイクペアがそれぞれ検出した音声成分の類似する音声ストリームを対応付けることで、音源の空間位置を推定する。音源位置が推定できれば、適応アレイ処理で雑音を抑制した音声ストリームの抽出が可能となり、それを認識エンジンで個々に認識処理させる。以上の処理により、全方位から音声を聞き分ける聴覚機能を実現した。

3.3 開発した聞き分けロボット

開発した聴覚機能を実証するため、ApriAlpha™ を改良

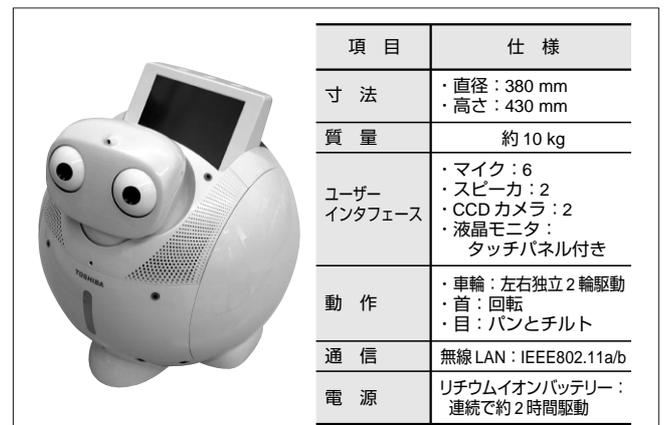


図3. 聞き分けロボット ApriAlpha™ V3 — 既開発の ApriAlpha™ に聞き分け機能を実装し、機能を強化した。

ApriAlpha™ V3 sharp-eared robot

して図3に示す“ApriAlpha™ V3”を開発した。

本体内のコントローラには、最大8個のマイク同時入力可能な聴覚用信号処理の試作ボードが組み込まれ、ロボットカバー表面に取り付けた6個のマイクから音声情報を取り込んでいる。聴覚機能と移動機能とのスムーズな融合により、音声指示のあった方向へ体をすばやく旋回させ、声で応答しながら近づいたり、音声を使って誘導移動させることもできる。

4 人を見つけ追従する“お供ロボット”

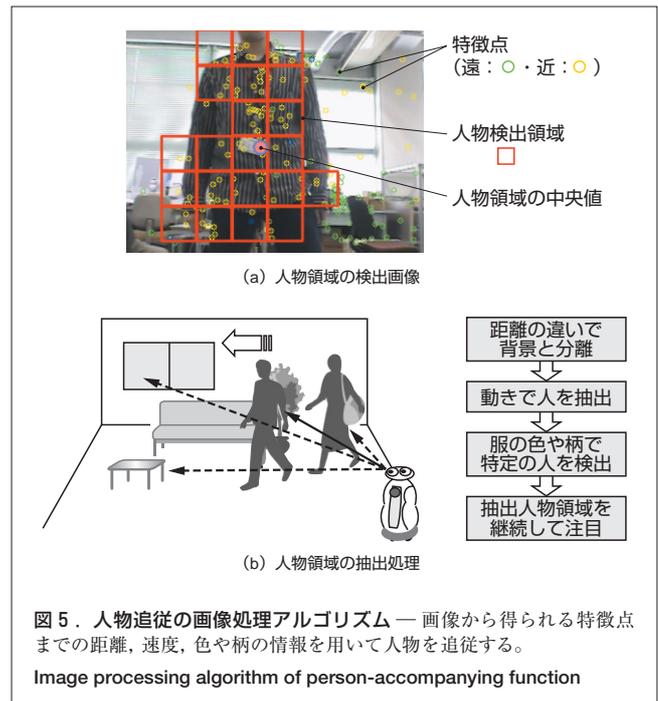
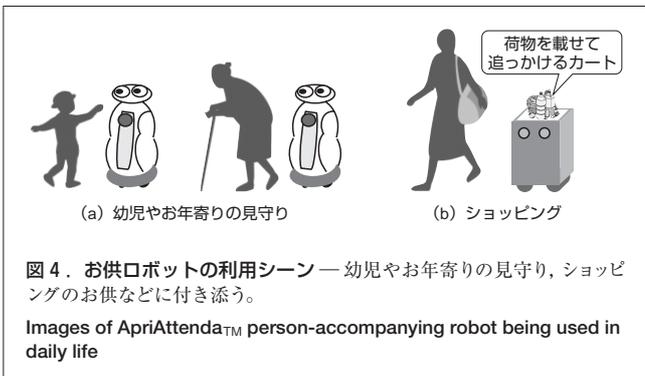
4.1 人に追従する機能

人と共存するロボットは、決められた経路に沿って特定の場所の間を移動するばかりでなく、臨機応変な移動動作が求められる。そのためには特定の人を見つけ、その人の動きに従って確実に付いて行ける“お供”の機能が必要となる。すなわち、図4のように、幼児やお年寄りの行動のようすを見守って家族に伝えたり、いつもそばに付き添って家電機器の操作や情報提供などのサービスを行ったり、また、ショッピングセンターで荷物を運びながら後を付いて回ってくれるなど、ロボットのお供の機能は、安全・安心面だけでなく、実用面でもたいへん役だつ機能である。

4.2 人物追従の画像処理アルゴリズム

ロボットが人に付いて行くための基本機能には、①特定の人を見つける機能、②人の歩く速さに合わせ、ときには障害物を避けながら付いて行く機能、③人を見失ったら探す機能の三つが挙げられる。

お供ロボットでは、まず、特定の人を確実に見つけるために、複雑な背景を含む画像の中から人物領域を認識して抽出する、新たな人物検出アルゴリズムを開発した⁽⁶⁾。図5(a)に示すように、画像中のテクスチャ変化の大きな箇所を特徴点として自動抽出し、各特徴点ごとにマッチングを行ってステレオ視で距離を算出し、特徴点の距離の分布情報やその移動履歴で人物領域を検出する。更に、追尾する人の服の色や柄の情報を組み合わせることで、人物領域の確実な絞



込みを行う。このように多様な情報を利用し、人物検出領域の新たな特徴を随時取り込み、更新することで、照明や見え方の変化に強いロバストな手法が実現できた(図5(b))。

また、次の追従機能では、人物検出処理と並行して超音波センサの情報を取り込み、移動経路上に障害物を検知した場合は回避動作をしながら、視覚センサでは人を追尾し続けることができた。

最後に、認識・追従に失敗して見失った場合には、みずから声を発して首振りや旋回動作で視覚探索領域を広げたり、追従する人の登録画像と随時入力した画像とのマッチングで探索を行うなどの機能も実装した。

従来、人に追従する移動ロボットでは全方位カメラを用いたものが多かった⁽⁷⁾が、一般に高い画像分解能が得られないことから検出精度の向上が難しく、人物の特定などは困難であった。また、カメラをロボット頭部に設置しなければならぬ制約もあった。これに対し、開発したお供ロボットは、ステレオ視を用いて追尾対象までの距離をリアルタイムに計測し追従動作を実現しているため、より高い対象人物の抽出・追従性能が得られている。

4.3 開発したお供ロボット

お供ロボット ApriAttenda™の人物追従動作のようすを図6に示す。サイズは外径が約450 mm、高さが約900 mm、質量が約30 kgで、全体に安心感のあるデザインとなっている。

2台の視覚カメラからの画像を利用して追従人物を検出するとともに、移動駆動部に設けた新開発の慣性力吸収メカニズムと運動制御の組合せにより、急な動きでも転倒しにくい、安全でかつ高速・高加減速な対人追従動作を実現している。

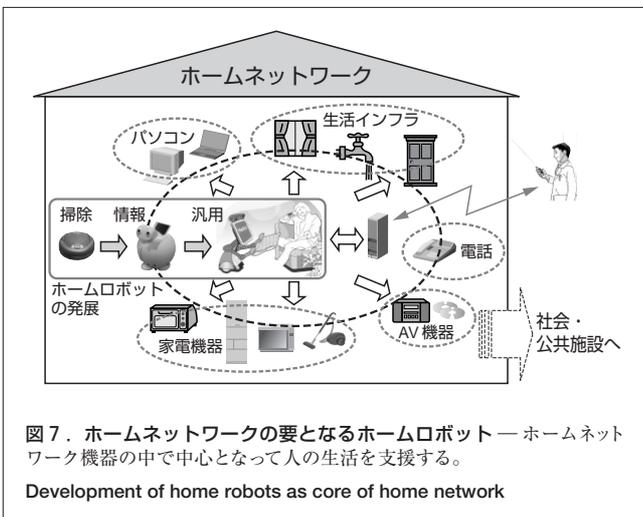


5 生活支援ロボットの将来

聞き分けロボットはネットワーク情報家電としての機能をパワーアップしたものであり、お供ロボットは情報を扱うというよりは、人と動作レベルでの共存を目指したものである。今後は、更に実作業における生活支援を行うための技術開発を進める。

生活支援は必ずしもロボット単体で行うものではなく、情報ネットワークやセンサネットワークなどと連携したほうがより効果的なサービスができるようになる。図7に示すように、ホームロボットはホームネットワークの要であって、単作業ロボットから情報家電ロボットへ、更には多機能汎用ロボットと進化していくものと考えている。

一方、ロボットが実際に生活分野で活躍できるようになるには、ロボットの能力向上だけではなく、ロボットの働く環境の整備が必要である。情報ネットワーク環境の普及とともに、



実環境においても住宅のバリアフリー化に見られるような、人にもロボットにも優しいインタフェースのデザイン (Universal Design with Robots) があると考えている。環境を情動的側面と物理的側面からデザインすることによって、生活支援ロボットの実現は早まる。ロボット自身が移動しやすい物理的な環境、ロボットが物を持ちやすいような機械的なインタフェース、及びロボットがどこにいるのか、何があるのかという情報など、環境側で対応できるならば、ロボットの作業性は著しく向上するであろう。

6 あとがき

ここでは、生活支援ロボットへの取組み、及びヒューマンインタフェースとして新たに開発した、聞き分けロボットの ApriAlpha™ V3とお供ロボットの ApriAttenda™ について述べ、最後に、将来、ロボットが家庭の中で活躍する際の位置づけ、及び生活分野へより普及するための環境デザインについて述べた。このような生活支援ロボットの早期実用化に向けていっそう努力していきたい。

文献

- 特集：ホームロボット技術. 東芝レビュー. 59, 9, 2004, p2-55.
- 産業技術総合研究所. HORB. <http://www.horb.org/horb-j>, (参照 2005-05-31).
- 中臺一博, ほか. ヒューマノイドを対象にした視聴覚統合による実時間人物追跡. 日本ロボット学会誌. 21, 5, 2003, p.517-525.
- 浅野 太, ほか. 事情通ロボットの音響信号処理. 人工知能学会研究会資料 SIG-Challenge-0113, 2001年6月.
- 松日楽信人, ほか. 人とのインタラクションにおける高性能聴覚機能ロボットの研究開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomec05), ALL-N-015, 2005.
- 溝口 博, ほか. マルチモーダルインタラクションにより対人追従するロボット (お供ロボット) の研究開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomec05), ALL-N-022, 2005.
- 例えば, 屋外巡回監視ロボット「セコムロボット X」. SECOM 報道資料 2004年度版. <http://www.secom.co.jp/corporate/release/2004/nr_20040722.html>, (参照 2005-05-31).



松日楽 信人 MATSUHIRA Nobuto, Ph.D.

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー研究主幹, 工博. ロボットシステムの研究・開発に従事. 計測自動制御学会, 日本ロボット学会会員. 日本機械学会フェロー. 東京工業大学21世紀COE特任教授. Humancentric Lab.



小川 秀樹 OGAWA Hideki

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー主任研究員. ロボットシステムの研究・開発に従事. 日本機械学会, 日本ロボット学会会員. Humancentric Lab.



吉見 卓 YOSHIMI Takashi, Ph.D.

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー主任研究員, 工博. ロボットシステムの研究・開発に従事. 日本ロボット学会, 計測自動制御学会会員. Humancentric Lab.