

最近、ヒューマノイドロボットや犬形のアミューズメントロボットなど、いろいろなロボットが発表された。当社では、様々なロボットシステムを構築できるように、基盤要素技術(マニピュレーション、移動機構・自律移動、マシンビジョン、音声認識、作業計画、など)のモジュール化を進めている。ここでは、これらロボットを構築するための基盤要素技術について述べるとともに、特に社会と生活を支援するロボットの開発例を紹介し、社会の要求する自動機械(ロボット)がそろそろ実現できる基盤ができてきたことを示す。今後、この基盤上で、生活に役立ついろいろなロボットの提案を目指していく。

Many robots have been introduced recently including humanoid robots and dog-like robots. In order to build up robot systems easily, Toshiba is preparing functional modules for robots in various areas such as manipulation, mobile mechanisms, open robot controllers, autonomous navigation, machine vision, face and voice recognition, and task planning.

This paper explains these functional modules and introduces examples of robot systems to support human life in the home and in society. We have the basic technologies to realize automatic machines, i.e., robots, that are required by society. By building up these modules, we will systematize and propose various robots useful for human life.

整いつつあるロボット基盤技術

ロボットは自動車の組立ラインで溶接や塗装を行ったり、電子回路の部品実装の作業で活躍している。

ロボットへの期待は大きく、遠隔で原子力発電所の保守点検を行うためのロボットが試作⁽¹⁾され、最近ではヒューマノイドロボットが人と同じように2足歩行をして、人と同じ生活空間の中で共存ができるように研究⁽²⁾が進められている。また、犬の形をしたアミューズメントロボット⁽³⁾が発表され、人とコミュニケーションして遊ぶロボットとして話題になっている。更に、家庭や病院などの公共施設で人の生活を支援する、いろいろなロボットが作られるようになった。

その理由は、1980年代から大学や国の研究機関を中心に研究開発されてきた要素技術(作業計画、マニピュレーション(アームによる物体のハンドリング)、移動機構・自律移動、マシンビジョン(画像処理)、音声認識など)

が成長して、これらの技術を用いてロボットが容易に構築できるようになったからである。もうすぐ、図1に示すように脳(胴体)、左右のアーム、視覚、聴覚、移動台車をモジュール化し、これらを必要に応じてシステム化す

れば目的のロボットを組み上げることができるようになり、いろいろなロボットが短期間で安価に作れるようになる。このとき、モジュール間のハードウェア、ソフトウェアのインターフェースを標準化しておけば、各社のロボット

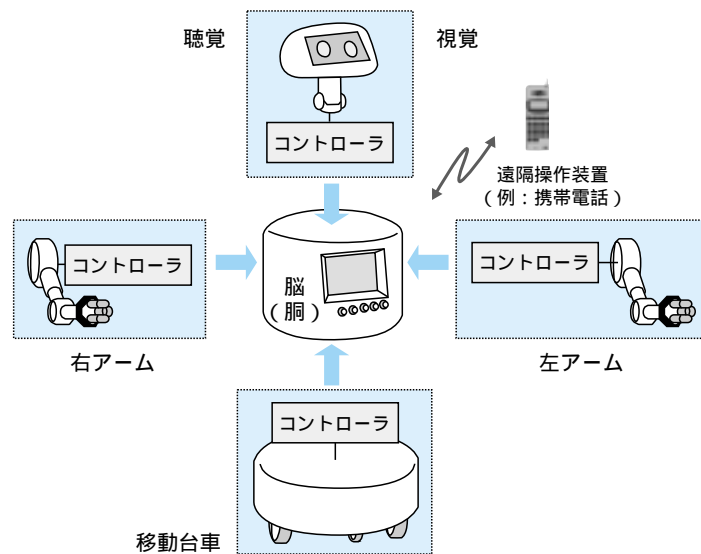


図1. モジュール化とロボットシステム構築例 各モジュールを組み合わせることでロボットが構築できる。

Example of module structure and robot system construction

アームや移動台車を接続して、多様なロボットシステムを構築できる。このことをシステムのオープン化と言っている。

この特集は、ロボットを容易に構築するための、オープン化されたロボットコントローラの構想をはじめとする基盤要素技術を紹介し、どのようにしてロボットが構築されるのか、その設計の大きな手順を述べ、この基盤要素技術を用いて構築したシステム例、特に社会と生活を支えるロボットメカトロニクスの例を挙げ、ロボットが容易で廉価に作れる環境が整いつつあることを解説する。

ロボットのイメージと設計法

ロボットのイメージ

ロボットというと、人それぞれ異なったものをイメージする傾向にある。このことが、ロボットについての議論がスムーズに進まない大きな原因である。そこで、設計法を説明する前に、われわれのロボットのイメージを提示しておく(囲み記事参照)。

ロボットとは、“人の役にたつ、作業をする機械”の総称と考えている。高機能化されることで、洗濯機も炊飯器も一種のロボットと言える。いずれにせよ作業がロボットを定義する。作業と作業をする場所が定義されないと、ロボットという装置を定義できないのである。

ロボットのシステム設計手順

開発・整備されてきた基盤要素技術を使って、容易にロボットが作れるようになった。ここでは、これらの技術を使って、どのようにロボットを設計しているかを説明する。

ロボットの基盤要素技術と設計法について図2に示す。ロボットはいくつもの要素技術から構成され、システム化される。これらの要素技術は、主に作業に依存するハードウェアの技術と、作業に依存しないコントローラ

ロボットの分類

ロボットとは、人に役立つ、作業をする機械の総称に近い。ロボットということばからイメージするものには、次のようなものがある。

- (1) 作業をする機械としてのロボット 従来の産業用ロボットなど。行うべき作業がまずあり、その作業を行うために作るもので、作業がロボットを定義する。動作中に人が介在しないことが多く、作業という機能をシステムとして具現化するもので、形は何でもよい(例：自動車組立ラインでの塗装・溶接ロボット、自動改札機、など)。
- (2) 遠隔操作ロボット 作業がまずあり、それを達成するためのシステムであるが、遠隔で人間が作業手順を指示したり、アームなどを操作する。人の近づけない環境(原子力プラント、宇宙、災害現場、

など)での作業や3K(きつい、汚い、危険)作業を対象とすることが多い。最近では、通信ラインを介して超遠隔で作業ができる(例：原子力発電所の保守点検ロボット、宇宙での船外活動を行うロボット、遠隔介護・手術ロボット、など)。

- (3) ヒューマノイドロボット 一般にロボットというと、このヒューマノイドをイメージする人が多いだろう。人の形や動作を機械的に実現しようとするもので、動物や動く人形などもこの範ちゅうに入る。形がまず先にあり、それに機能を付加していくという開発手順をとるもので、上の二つの分類とはっきりと区別できる(例：本田技研工業(株)のヒューマノイドロボットASIMO、ソニー(株)のAI-BO、など)。

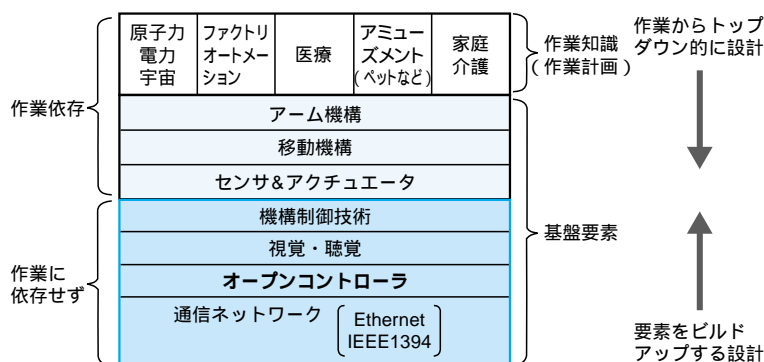


図2. ロボットシステムにおける基盤要素と設計手法
 ロボットは作業で定義され、作業に依存する要素技術と依存しない共通の要素技術がある。
 Basic functions and design method for robot system

及びソフトウェアの技術に分かれる。

設計には、図2で示すように、二つの流れがある。一つは、ロボットは作業をする機械であるから、まずロボットの行う作業を定義して機能仕様にまとめ、トップダウン的に設計する流れである。もう一つは、モジュール化された要素技術を組み合わせてロボットをビルドアップする設計の流れで

ある。

- 作業からトップダウン的に設計する手順

- (1) ロボットが動き回る環境とロボット本体のイメージ図を作成し、絵コンテ(スケッチ)などで、ロボットの行う作業(動作)を定性的に表現する。
- (2) 作業を行うための動作を、より

基本的な動作 ,例えば,“ 作業対象物に接近する”,“つかむ”などに分解し,設定された座標系に対するアーム先端の位置・速度として,アームの運動を定量的に表現する。

- (3) 上記の運動を行うためのアーム,移動台車の機構の概念設計をする。
- (4) 作業を行うための動作を指令するプログラムを作成する。
- (5) (1)~(4)をロボットシミュレータを用いて確認・検証する。

・機能要素をボトムアップ的に積み上げる設計手順

上述のように,作業から,すなわち要求される機能からロボットシステムという形を作るトップダウン的な機能設計をした後,パソコン(PC)ネットワークをベースにしたコントローラに,視覚・聴覚の感覚機能,アームや移動台車の機構などを,ボトムアップ的に組み上げてシステムを構築していく。この構築法を次に述べる。

■ オープンロボットコントローラを核としたシステム構築

■ ロボットシステムの構成

オープンロボットコントローラ⁴⁾をベースにしたロボットシステムの構成例を図3に示す。オープンロボットコントローラのオープン化とは,脳(全体管理,作業計画など),視覚・聴覚,左右アーム,移動台車のように機能単位のモジュールに分割し,ハードウェアとソフトウェアのインタフェースを標準化して,これらのモジュールを接続してシステムを構築できるようにすることである。インタフェースが統一されていると,いろいろなメーカーのロボットアームや移動台車を接続してシステムを構築できる。

オープンコントローラ構想は,工作機械のNC(Numerical Control)コントローラ⁵⁾が先行して具体化されつつある。図3のコントローラ系はこれ

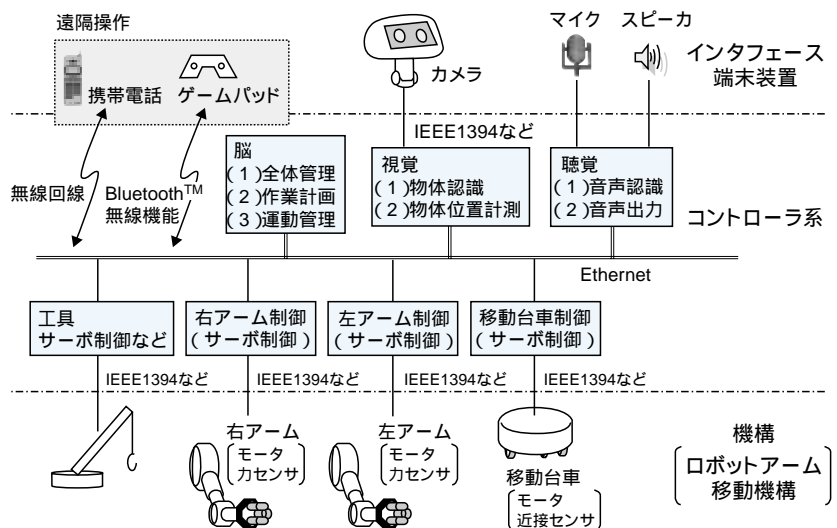


図3 . オープンコントローラをベースにしたロボットシステム構築 インタフェースをオープン化し,各モジュールを容易に接続し構成できる。
Robot system architecture based on open robot controller

と同一の指針で構成を考えたものである。同一指針に沿ったのは,全体の生産システムの中にロボットが容易に接続できるようにするオープン化の一環としたからである。

PC(図3の四角いブロックは,PC104などCPUと汎用の周辺インタフェースを搭載したボードPC)をEthernet^(注1)で結んだPCネットワークは,現在のデファクトスタンダード(事実上の業界標準)であり,そのまま標準化するのは自然な流れである。

各PCはEthernetを介して,運動管理から視覚・聴覚へのデータ要求,左右アームや移動台車への動作指令を行うために,標準化されたロボット言語を用いる。

PCと各端末装置やサーボアンブ/センサとはIEEE1394(IEEE:米国電気電子技術者協会)などでシリアル接続し,ロボットの作業に応じてアクチュエータの数を加減でき,作業に必要なセンサや操作作用端末装置を自由に付加できるようになっている。

ここで,各PCの機能(ソフトウェア)を簡単に説明しておく。

・脳

ロボットシステム全体の動きを管理

(注1) Ethernetは,富士ゼロックス(株)の商標。

する全体管理,ロボットの作業を計画する作業計画,作業計画で生成された左右アーム,移動台車,工具などの動作指令を出す運動管理などから成る。ロボットは作業をする機械であるから,作業計画はもっとも重要な要素である。ロボット言語で動作プログラムをオフラインで作成したり,「新聞を持って来て」などと作業レベルの指令を出すと,動作プログラムを自動生成する。

・視覚

作業対象物の認識や,その位置を計測する。ロボットが移動し,作業レベルの指令で自律的に動く場合は不可欠の要素である。また,人の顔を認識して,人に合わせた動作の選択などができる。

・聴覚

人とのコミュニケーションにおいて非常に重要な音声認識や,発話者など音源の方向を同定する。

・左及び右アーム制御

脳の運動管理から送られてくる動作指令に従って,ロボットアームをサーボ制御する。物を持ったり,組み立てたり,作業に応じて位置制御,力制御,コンプライアンス制御を用いる。

- 移動台車制御

運動管理で指令された経路に沿って、障害物を回避しながら移動台車を動かす。移動することによって、ロボットの動作・作業範囲は飛躍的に広がる。

- 遠隔操作

三次元ディスプレイを見ながら、ジョイスティック(操縦かん)で遠隔のロボットを操作する。携帯電話も遠隔端末として利用したり、ゲームパッドのような端末をBluetooth^{TM(注2)}無線機能を介して接続できる。

■ 動作例(遠隔介護)

例えば、遠隔で在宅高齢者の介護をする場合を想定して、図3のロボットシステムの動作を説明する。

介護センターなどから、操作者は、遠隔操作に接続されている三次元ディスプレイ上の、ロボットから見た部屋の映像を見ながら、ジョイスティックを操作する。その位置や力の指示はロボット言語形式の位置・速度指令に変換されて、公衆回線を通して高齢者の家にあるロボットへ伝送される。ロボットは視覚・聴覚により、映像・音声を逆に操作者に送りながら、ジョイスティックから送られる動作指令を作業計画が受信する。作業計画は左右のロボットアームや移動台車への動作指令に分割・変換して、ロボットに搭載されている左右アーム制御や移動台車制御に送る。アーム制御や移動制御は送られてきた動作指令(目標値)に従ってサーボ制御する。

一方、高齢者がロボットに「お茶を入れて」、「杖(つえ)を持って来て」などと要求すると、音声をマイクで受信し、音声認識する。音声認識された作業指示は、作業計画で作業を達成するためのロボットの動作軌道(目標値)を生成し、遠隔操作と同じようにアーム制御や移動制御に動作指令を送り、アーム制御や移動制御は送られてきた指令(目標値)に従ってサー

ボ制御する。

■ 基盤要素技術

各要素技術をモジュール化しつつあるが、当社における要素技術の開発状況をここで概観しておく。

■ 作業計画

作業計画は作業ごとに用意しなければならない。これまでに構築した作業計画の例を紹介する。

- (1) 双腕ロボットでフランジにボルトを挿入する作業に対して、作業環境や作業対象物を幾何学的なデータベースで表現し、作業知識をプログラムで表現した。
- (2) 鋼板の面取りを行う仕上げロボットで、鋼板のエッジをカメラ画像から検出し、自動的に作業プログラムを作成した。ツールや作業スキルはデータベースに表現した(この特集のp.45に掲載)。
- (3) ロボットに「赤いボールを取れ」と音声指示することで、指示された作業を理解させ、実行させた(p.16に掲載)。

更に、多くの作業をこなし、作業データベースを構築する必要がある。

■ アーム制御

アーム制御では、グラインダ作業での力制御、7自由度アームによるボルトの挿入や握手時のスティフネス制御、多指ハンドによるペンを把持して字を書くときのスティフネス制御、遠隔操作ロボットのパイラテラル制御などを開発しており、実際の作業に使えるレベルである。

■ 視覚認識

- 顔認識

複数の顔パターンを用いることで、他社に比して、照明の変動や顔の方向変動に強い認識法を開発している(p.20に掲載)。

- 作業対象物の認識・位置計測

車の運転支援をする場合に、白線の検出などを高速で処理する画像認識LSIを開発した⁽⁶⁾。125 MHzでピーク性能4GOPS(Giga Operations Per Second)のVLIW(Very Long Instruction Word)プロセッサと必要な周辺回路を集積している。

ビーチボールを打つロボットでは、ボールの三次元位置をステレオ視で計測してビジュアルフィードバックを行い、ボールを拾ったり、連続的に打ったりした(p.16に掲載)。

■ 音声認識

不特定話者を対象とし、雑音環境下において、安定に語彙(ごい)・文を認識可能な方式を開発している。雑音に強いことが特長であり、音声認識ソフトウェア“LaLaVoiceTM”⁽⁷⁾として市販されている。

■ 基盤要素技術を用いたシステム例

これらの基盤要素技術を用いて当社で構築したシステム例を紹介する。

- 遠隔協調作業ロボットシステム

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)委託業務により、公衆電話回線ISDN(総合デジタル通信サービス)を介した遠隔操作システム(図4)を構築した⁽⁸⁾。つくばと川崎のマスタアームから川崎にあるそれぞれのスレーブアームを遠隔操作し、協調して作業ができる。

- 原子力防災ロボットシステム

(財)製造科学技術センターの委託により、原子力施設での事故時に作業監視を支援するロボットシステム⁽⁹⁾を開発した(図5)。階段を含む不整地走行可能な親ロボットと、場合によっては親ロボットに搭載可能な子ロボット、各種センサ及び駆動機構、制御盤から構成され、有線又は無線のEthernetを介して制御される。

(注2) Bluetoothは、その商標権者が所有しており、当社はライセンスに基づき使用している。

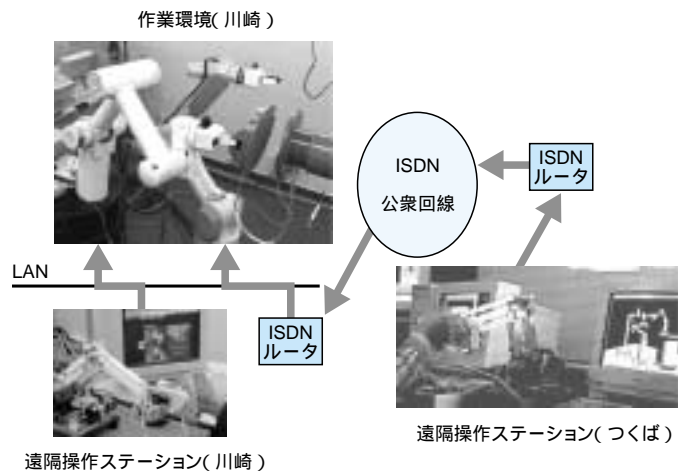


図4 遠隔協調作業ロボットシステム 異なる場所からロボットをそれぞれ遠隔操作し、協調して作業を行う。
Collaborative multi-telerobot system



図5 原子力防災支援ロボット 階段昇降可能な走行台車に、センサやカメラアームを搭載し作業監視を行う。
Robotic system for nuclear facility emergency preparedness



図6 ペットロボット 感情動因学習モデルを用いて感情表現を行う。
Pet robot

・教示レス仕上げロボット

PCをベースにしたコントローラでロボットシステムを構築した例である。作業計画、力制御などの技術が盛り込まれている(p.45に掲載)。

・ペットロボット

人とのコミュニケーション技術の研究として、感情モデルを用いて、なでたり、たいたりすると喜んだり、怒ったりして感情を表現するペットロボットを試作した(図6, p.37に掲載)。

新世紀に貢献するロボット技術

20世紀後半、第2次世界大戦終了後いろいろな機械が普及し、われわれの生活は大きく変わった。生活を変えた機械として、衣食住を支える洗濯機、炊飯器、冷蔵庫、掃除機、活動範囲を拡大する自動車、電車、飛行機、娯楽を家庭に送るラジオ、テレビなど多くのものが挙げられる。

21世紀の高齢化社会においても、家庭・社会生活を快適で明るいものにする機械としてのロボットを提案して、社会に貢献していきたいと考えている。この特集では、ロボットシステムの基盤要素技術についての論文を4件(p.7~23)、家庭電気製品のPC

化・ネットワーク化に伴うデザインの変化を紹介した論文を1件(p.24~27)、社会と生活に関連したロボットシステムの開発例の論文5件(p.28~49)を、紹介している。

ロボットシステムの技術基盤が整い、ロボットシステムを容易で廉価に製作できる環境が整いつつあることを感じとっていただければ幸いです。

文献

- (1) 山本欣市,ほか.“極限作業ロボット”.工業調査会,1992.
- (2) “特集:「人間協調・共存型ロボットシステム」プロジェクト”.日本ロボット学会誌,19,1,2001.
- (3) “AIBOは「2」でプレステを目指す - Open-Rで「プラットフォーム化」を促進”.NIKKEI ELECTRONICS 2000.11.20, No.783. p.49-54.
- (4) 辰野恭市.“オープンロボットコントローラの現状”.応用信号処理研究分科会第27回研究例会資料.システム制御情報学会.1999.
- (5) “特集:最近のFA制御とネットワーク技術”.精密工学会誌.65,9,1999.
- (6) Kondo.Y.,et al. "A 4GOPS 3Way-VLIW Image Recognition Processor based on a Configurable Media-processor". ISSCC 2001. 2001, p.148-149.
- (7) http://www2.toshiba.co.jp/pc/lalavoice/index_j.htm
- (8) 尾崎文夫,ほか.“複数の遠隔操作型ロボットによる遠隔作業実験”.ROBOMEC'00.2000,1P1-58-086.
- (9) 湯口康弘,ほか.“原子力防災支援システム作業監視支援ロボットの開発”日本原子力学会2001年秋の大会予稿集.2001,9.



辰野 恭市
TATSUNO Kyoichi, D. Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主幹,工博。保守点検ロボット及び光応用計測技術の研究・開発に従事。日本機械学会,日本ロボット学会,計測自動制御学会会員。
Mechanical Systems Lab.



松日楽 信人
MATSUHIRA Nobuto, D. Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主幹,工博。ロボット技術の研究・開発に従事。日本機械学会,日本ロボット学会,計測自動制御学会会員。
Mechanical Systems Lab.