

## ヒューマノイドロボティクスプロジェクト

産業技術総合研究所 比留川博久、河井良浩、富田文明

### 1. はじめに

経済産業省は、1998年から5年計画でヒューマノイドロボティクスプロジェクト（正式名称「人間協調・共存型ロボットシステム研究開発」）を実施中である。本稿では、その概要を紹介する。

### 2. プロジェクト概要

研究開発の目的は、「人間の作業・生活空間において、人間と協調・共存して複雑な作業を行うことが可能な人間協調・共存型ロボットの実現」である。研究予算の総額は5年間で45億円程度である。研究体制は、井上博允氏がプロジェクトリーダー、館暉氏がサブリーダーで、(財)製造科学技術センタが取りまとめを行っている。ロボットプラットフォームハードウェア HRP-1 の外観を図1に、遠隔操作コックピットを用いた操作例を図2に示す。

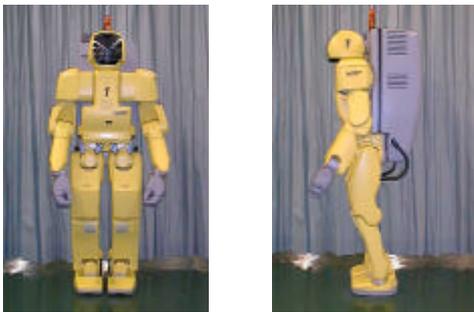


図1 ロボットプラットフォームハードウェア HRP-1



図2 遠隔操作コックピット操作例

後期の応用技術については、6つのグループによって研究開発が開始されている。この中、応用動作ライブラリは、他の5つの応用の共通基盤となる技術を開発しようとするもので、独立行政法人産業技術総合研究所が担当している。以下、各応用研究開発テーマの概要を紹介する。

### 3. 応用研究開発テーマの概要

#### 3.1 発電プラント等の点検作業応用

発電プラントにおいて、運転時には人が近づけない設備であっても、遠隔操作ロボットを用いることにより運転時や設備停止直後の設備の保守・点検作業が可能になり、発電プラントの効率的な運転が実現できる。さらに、そのロボットが人間型ロボットであれば、設備の改造をすることなくロボットを導入することができ、操作者はあたかも操作者自身が現場にいるような感覚で高い操作性をもってロボットによるプラント保守・点検を行うことができる。

以上の様な観点から、自律動作と遠隔操作により発電プラント内の移動及び点検・保守作業が可能なプラント保守応用人間協調・共存型ロボットとその遠隔操作装置からなるプラント保守応用ロボットシステムを開発している。具体的には以下の研究開発を行っている。

- 1) ICタグを用いた非接触型誘導装置の敷設された通路に沿って自律制御によりプラント現場への入退室、階段の昇降、方向転換及び点検・保守地点への移動並びに遠隔操作装置からの無線操作による現場への移動の微調整を行うための誘導システム技術、姿勢制御技術の開発。
- 2) ロボットの上肢を動かした際の下肢の姿勢安定を保ちつつ配管・計器等の非接触点検作業を自律的に

行い、遠隔操作装置からの無線操作により点検作業を行うための姿勢制御技術の開発。さらに、遠隔操作装置からの指示により専用工具を使用したバルブ開閉等の保守作業を行うための姿勢制御技術の開発。

以上の応用研究開発のイメージ図を図3に示す。

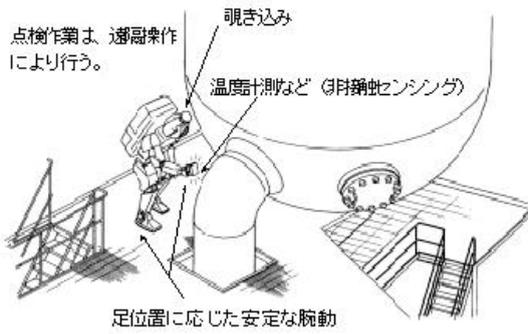


図3 プラント保守応用のイメージ

### 3.2 対人サービス応用

対人サービス分野は、今後の高齢化や余暇の活用などの社会的背景から、対象応用分野が広く、大きな市場を創造する可能性のある分野と考えられる。なかでも、介護支援においては、従来人間が行っていた介護作業の支援をロボットが行うことによって介護サービスの時間的制約、空間的制約をなくすことができ、介護支援サービスの向上につながる。さらに、対人サービス分野は人間を直接的な対象としてサービスを提供する分野であり、ロボットが人間型であることで形態的・心理的な対人親和性が高まり、直感的なコミュニケーションが可能となる。

以上の様な応用を実現するため、高齢者施設等における介護支援作業が可能な対人サービス応用人間協調・共存型ロボットと携帯端末型及び小形据置型の遠隔操作装置からなる対人サービス応用ロボットシステムを開発している。具体的には以下の研究開発を行っている。

1) 薬や食器等を拾い上げて被介護者に渡す等の作業

のために、ロボットのハンドに装着する作業支援ツールの開発及びロボットの動作制御技術の開発。

- 2) ロボットに周囲の人間が不意に接触した場合でも対人安全を確保できる安全外装の開発。
- 3) 介護者及び被介護者が音声入力や簡易な指示操作などにより簡単にロボットを操作するための機能、音声・画像による双方向コミュニケーション機能を備えた携帯端末型及び小形据置型の遠隔操作装置の開発。

これらの応用研究開発のイメージ図を図4、5に示す。

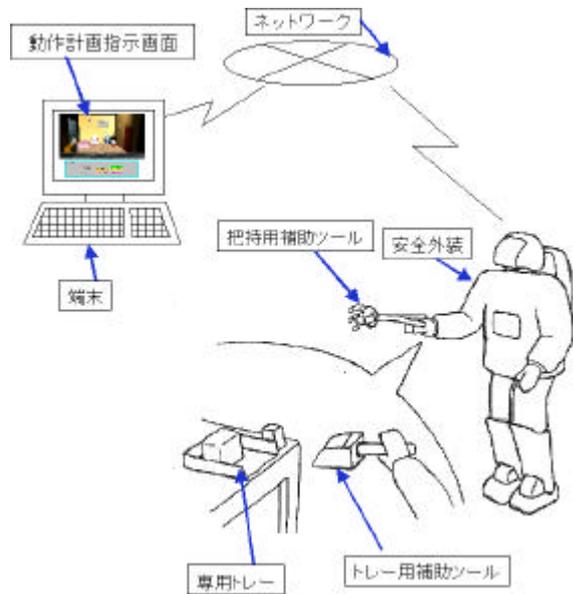


図4 作業支援ツール及び安全外装のイメージ

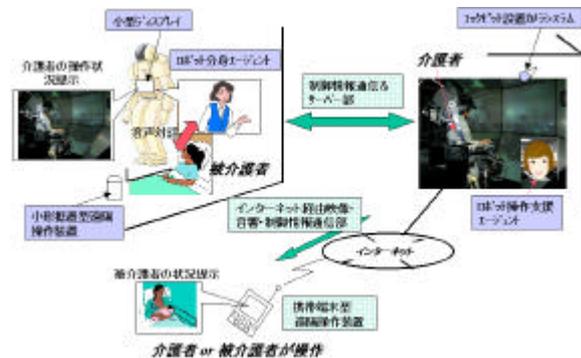


図5 携帯端末型及び小形据置型の遠隔操作装置

### 3.3 産業車両等代行運転応用

災害復旧現場などの危険な作業空間や土木建設現場などの悪環境下であっても、人間型ロボットを汎用の建設機械や運搬機械に乗り込ませ、安全な環境にある場所から遠隔操作（代行運転）すれば、悪環境下での災害復旧作業や土木建設作業等を安全かつ円滑に行うことが可能となる。さらに、人間型ロボットに建設機械や運搬機械を代行運転させることは、人間が遠隔操縦装置付きの建設機械や運搬機械を操縦する場合と比較して、災害復旧作業では、現場近くで調達できるであろう汎用の建設・運搬機械以外には、人間型ロボットと可搬型の遠隔操縦装置だけを搬送すればよく、遠隔操作装置付きの建設・運搬機械を搬送する場合に比べて機動性とみ、よって災害現場での復旧作業の早期開始が可能となる。

このような応用を実現するため、建設・運搬機械に乗り込み、それを操縦する産業車両等代行運転応用人間協調・共存型ロボット及び可搬型の遠隔操作装置からなる産業車両等代行運転応用ロボットシステムを開発している。具体的には以下の研究開発を行っている。

- 1) ロボットを遠隔操作によりショベル系掘削機などの建設・運搬機械の操縦席に乗り込ませ、操縦ハンドル及びフットペダル等の操縦装置を操作させるために必要な姿勢教示・制御技術、スレーブハンド等の開発。
- 2) 建設・運搬機械への乗り込み動作時や操縦動作時に機器と接触した場合でもロボットを保護するための保護具の開発。
- 3) ロボットに無線で動作指示をするためのマスターアーム及びマスタフットを備えた可搬型の遠隔操作装置の開発。

以上の応用研究開発のイメージ図を図6に示す。

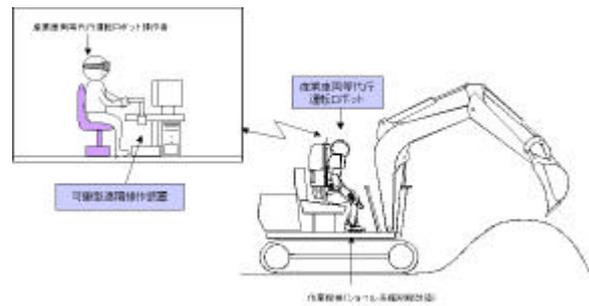


図6 車両代行運転応用のイメージ

### 3.4 ビル・ホーム管理サービス応用

現在急速に発展しつつある情報ネットワーク技術と人間協調・共存型ロボットシステムを結合することで、遠隔地からロボットを操作することが可能となる。これを利用して外出先からロボットを操作できるようになると、例えば留守宅の見たいところにロボットを移動させて見ること、そこで簡単な作業を行わせることが可能となる。この新しいサービスを一般の人に広く利用してもらえる応用分野としては、ビル・ホーム管理サービスへの応用があり、照明器具の消し忘れ等を外出先から処置することから、将来的には家事の一部をロボットが分担することが可能となる。

さらに、そのロボットが人間型ロボットであれば、住宅が人間に適した空間に設計されていることから移動・作業は他の形態のロボットよりも行いやすく、また、その形態からくる対人親和性により比較的抵抗が少なく人間の生活空間に導入することができる。

以上のような応用の実現を目指して、人間の住宅内を移動して、住宅内の画像情報を取得し、簡単な作業を行うことが可能なビル・ホーム管理サービス応用人間協調・共存型ロボット及び携帯端末型の遠隔操作装置からなるビル・ホーム管理サービス応用ロボットシステムを開発している。具体的には以下の研究開発を行っている。

- 1) 遠隔操作による補助を受けながら住宅内での自律移動を行うために視覚誘導型自律歩行制御技術の開発。
- 2) 住宅内の画像を確認するに際し、ネットワーク回線

の伝送能力に限られる制約条件の下においても画像の臨場感の低下を補うことができる模擬画像生成等の操作支援用画像処理技術の開発。

- 3) 遠隔操作による補助を受けながら作業用のツール等を利用したドアの開閉、鍵の開閉、電源スイッチの入切等の作業を行う上で必要なハンド自律制御技術の開発。
- 4) 携帯端末等を用いて遠隔地からロボットの移動動作及び作業動作を無線指示し、ロボットの近傍の画像情報を表示するための、遠隔操作クライアント/サーバ技術の開発。

以上の応用研究開発のイメージ図を図7に示す。

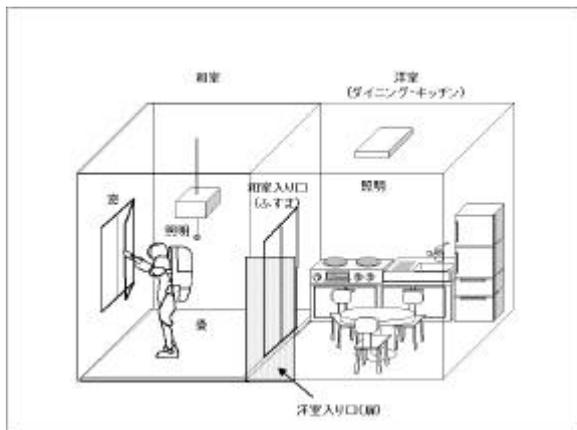


図7 ビル・ホーム管理サービス応用のイメージ

### 3.5 屋外共同作業応用

屋外共同作業のひとつである建設補助作業は、危険が伴う悪環境下での作業が多いことなどから、人間に代わって作業を行うロボットの導入が求められている。また、建設補助作業は、測量作業やパネル建て付け作業などのように通常は二人でペアを組んで作業する 경우가多く、人間の補助作業を行うロボットには過度な作業能力が求められないため、ロボットの導入が進めやすい。屋外共同作業では、不整地における移動機能、体全体を使った大きくかつ複雑な動作の作業機能、人間とのコミュニケーション機能や人間から見た親和性が求められるため、人間型ロボットの応用分野として適している。

以上の様な応用実現のため、不整地にて、人間と協調してパネルを運搬・据え付けできる屋外共同作業応用人間協調・共存型ロボット及び人間が音声等によりロボットに動作指令を与えるための装着型の遠隔操作装置からなる屋外共同作業応用ロボットシステムを開発している。具体的には以下の研究開発を行っている。

- 1) 人間との協調作業機能、不整地移動機能及び転倒制御・回復機能をロボットに付与することを目的とし、作業時の力感を獲得するため、ロボットの関節に作用するトルクを検知・制御する技術、部材のモジュール化、部材の軽量化・ソフト化の開発。
- 2) 作業者の作業性を損なわずにロボットに指示を与える音声入力機能及びロボット状態のモニタリング機能を備えた装着型の遠隔操作装置の開発。
- 3) 人間とロボットの協調作業や不整地歩行の制御技術を開発するために、そのシミュレーション技術の開発。

以上の応用研究開発のイメージを図8に示す。

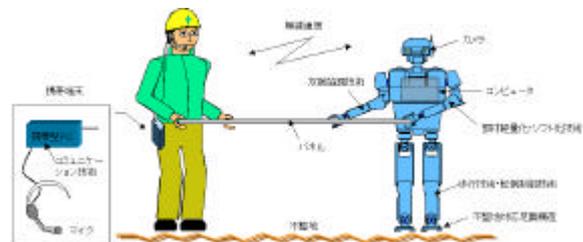


図8 屋外共同作業応用のイメージ

### 3.6 応用動作ライブラリ

以上示した様な応用技術の研究開発を行うためには、その基盤となる技術の開発が幾つか求められる。この中の特に重要な技術として、不整地移動・転倒制御技術、全身遠隔操作・教示技術、視覚情報処理技術、転倒回復技術を取り上げて、研究開発を行っている。以下、具体的に各基盤技術の研究開発内容を示す。

- 1) 不整地移動・転倒制御技術

路面上の大きな凹凸、路面の変形、低摩擦によるスリップ等歩行の障害となるさまざまな状況が存在するよう

な状況下でも信頼性高く2足歩行できる制御技術を研究開発する。また、路面形状の測定誤差や変形などによって、人間協調・共存型ロボットプラットフォームのような人間型ロボットの歩容は多大な外乱にさらされることが予想される。こうした外乱によって大きくバランスが崩れた場合、通常の歩行制御によって吸収できる揺動には限度があり、それを超えると転倒に至る。そこで、回復が困難なバランスの喪失を判定し、全身運動制御によって転倒姿勢に修正を加える転倒制御技術を研究開発している。

#### 2) 全身遠隔操作・教示技術

各応用分野において、屈み込み、足を適切な間隔に広げて踏ん張る、何かに捕まって体の姿勢を変える等、全身を使う動作の実現が要求されている。また、これら全身を使用する動作の中には、遠隔操作では手足を同時に操作しなければならない複雑な動作もあるため、一部の動作は事前に教示・プログラムしておく必要がある。そこで、腕と脚を併用する全身作業を遠隔から操作する技術、全身動作を教示できる技術を研究開発している。

#### 3) 視覚情報処理技術

ユーザが簡単な指令を与えるだけで、ロボットが自律的に未知環境移動および各種物体操作するために必要な視覚、特に、立体を立体的に知覚、理解することができる3次元視覚機能を開発している。

#### 4) 転倒回復技術

ロボットが転倒した状態から、腕等を用いて自律的に起上る技術の研究を行っている。転倒制御技術と併せて開発することにより、「絶対倒れないロボット」を目指すのではなく、「倒れても大丈夫なロボット」を実現することが可能になる。

人間型ロボットは、2足歩行による踏破性の高さ、人間との心理的な親和性の高さなど、人間型ならではの長所がある反面、転倒による破損の危険や転倒してしまうと回復が困難になるなどの短所を、現状では持っている。本節で述べた基盤技術の研究開発は、人間型ロボットの長所を伸ばす技術であるとともに、これらの短所を取り

除くための研究開発である。

以上述べた応用研究開発の中、発電プラント等の点検作業応用及びビル・ホーム管理サービス応用については、前期に開発したヒューマノイドロボットをそのままプラットフォームとして研究を行っているが、対人サービス応用、産業車両等代行運転応用については、前期に開発した基本動作ライブラリをベースとした制御ソフトウェアを用いて応用研究を行っている。また、屋外共同作業応用については、ソフトウェアだけでなく、改良型のハードウェアを用いて研究開発を行っている。これらの開発のプラットフォームとなっているのは、ヒューマノイドロボットソフトウェアプラットフォーム OpenHRP(Open Architecture Humanoid Robotics Platform)である。

OpenHRP では、動力学シミュレータと視野画像シミュレータからなるヒューマノイドロボットシミュレータ上で、全身運動制御や視覚情報処理ソフトウェアが開発可能である。また、OpenHRP 上で開発された制御ソフトウェアは、全く変更することなしに、ハードウェアに適用できる点が特徴である。OpenHRP は、シミュレーションの各種パラメータを対話的に設定するためのグラフィカルユーザインターフェイスを備えている。このスナップショット例を図9に示す。

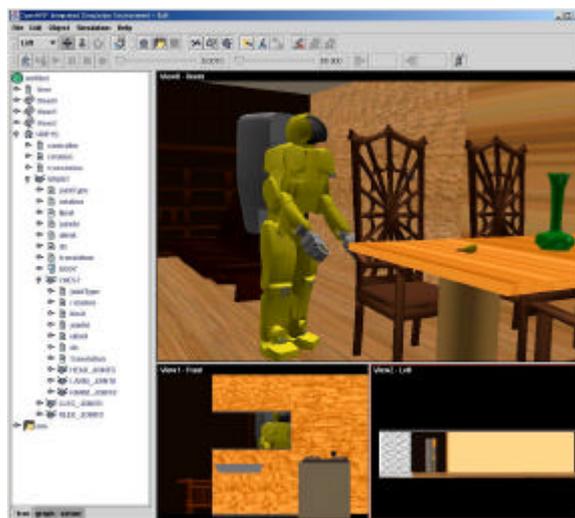


図9 OpenHRP GUIスナップショットの例

このインターフェイス上で、ロボットの初期姿勢の設定、

干渉チェックの対象となるリンクのペアの指定、動力学積分サイクルの指定、制御サイクルの指定、仮想リンクペアの指定等が行える。また、シミュレーション結果を動画に保存することも可能である。

今後は、ヒューマノイドロボティクスソフトウェア開発の中核プラットフォームに育てていきたいと考えている。なお、OpenHRPのシミュレータ部は以下のURLから取得可能である。

<http://www.is.aist.go.jp/humanoid/openhrp/>

また、改造型のプラットフォームの外観を図10に示す。

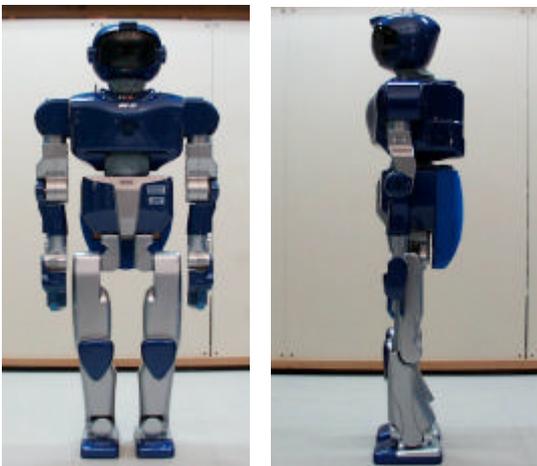


図10 HRP-2プロトタイプ

#### 4. 利用されている視覚技術

本プロジェクトの幾つかの応用で視覚技術が利用されている。具体的には、ビル・ホーム管理サービス応用における視覚誘導型自律歩行制御技術、屋外共同作業におけるロボットの位置決め技術において使われている。

前者は、ランドマーク計測による位置確認、視覚計測による自律的作業の実行を目指している[1]。

後者の様子を図11に示す[2]。ロボットは、自分が運搬作業を行う対象物を探索し、その位置へ近づき、最終的には把持位置の計測を行う。このため、3次元視覚システムVVV[3]を利用している。また、ロボット固有の問題として、顔面シールドの歪補正、ロボットに固定した座標系とカメラ座標系との校正技術の開発等を行って

る。

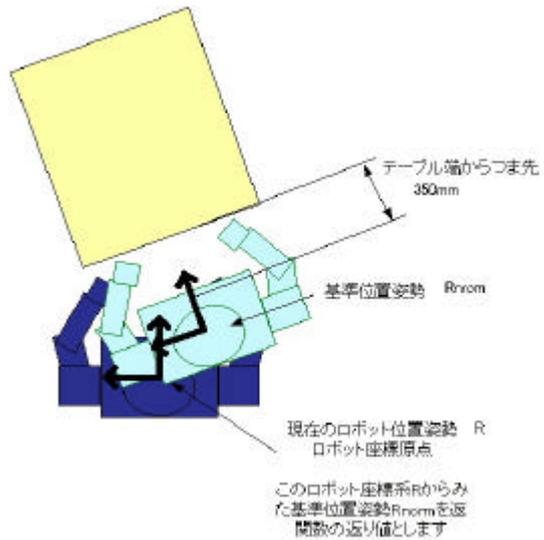


図11 視覚によるロボットの位置決め

#### 5. おわりに

ヒューマノイドロボティクスプロジェクトの概要を紹介した。ヒューマノイドを自律化させるためには、視覚技術の導入は今後ますます重要になるであろう。ヒューマノイドロボット固有の問題としては、歩行時の振動によるブレ、姿勢センサーとの連動、搭載ハードウェアの制約が挙げられる。

#### 参考文献

1. 沢崎、白石、中島、人間協調・共存型ロボットシステムのビル・ホーム管理サービス応用、第20回日本ロボット学会学術講演会講演論文集、2002.
2. 深瀬、河井、富田、池野、石山、HRP-2P搭載視覚システムの開発、同上。
3. 富田、高機能3次元視覚システムVVV、情報処理、vol.42, no.4, pp.370-375, 2001.