

ヒューマノイドVI：HOAP-1

富士通オートメーション株式会社 エンジニアリング事業統括部 第二技術部 木村 公一

1. はじめに

現在、多くの研究機関でヒューマノイドロボットの研究が盛んである。

ヒューマノイド型ロボットは、周辺環境をロボットに合わせる必要が無く、人間社会のインフラ環境に容易に適應できるため、幅広い応用分野が期待できる。このようなヒューマノイドロボットを実現するには、柔軟性や適應性のあるアルゴリズムをいかに実現するかがキーポイントになっている。

また、ヒューマノイドロボット研究での問題点として、ハードウェアの開発に時間や費用が多くかかることや、実験設備が大規模になってしまうことがあげられる。これでは、アルゴリズム開発を効率的におこなうことができなくなってしまう。

これらの問題点を解決するためには、ヒューマノイドロボットの研究開発用プラットフォームの実現が急務であった。

一方、株式会社富士通研究所では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトである「人間協調・共存型ロボットシステム」¹⁾において、ヒューマノイドシミュレータ検証用ロボットを開発していた²⁾。

そこで、この検証用ロボットのソフトウェア開発環境とカスタマイズ性を改善し、更に、アクチュエータ等の部品類を見直してコストダウンを図り、多くの開発者に提供できるように考えた。

このようにして、(株)富士通研究所と富士通オートメーション(株)とで共同開発したヒューマノイドロボットの研究開発用プラットフォームが、「HOAP-1」(Humanoid for Open Architecture Platform)である。

このロボットは、身長48cm、体重6kgと小型軽量のため扱い易く安全性が高い。また、ハードウェアとソ

フトウェアの内部インターフェース情報も公開しているので、ユーザが自由にプログラミングや自由度を付け加えることも可能である。

2. 構成

HOAP-1の主な仕様を表1に示す。また、その外形図を図1に示す。

HOAP-1は、2腕2足を持つヒューマノイドロボットで、片腕に4自由度、片脚に6自由度で合計20自由度の関節を持つ。また、姿勢制御用として、3軸加速度センサ、3軸角速度センサを胴体内に、各足底に4チャンネルの感圧センサを備えている。更に、頭部に27万画素のカラーCMOSの無線カメラを2台搭載している。

ロボットの制御形態として、ロボットと外部PCとを

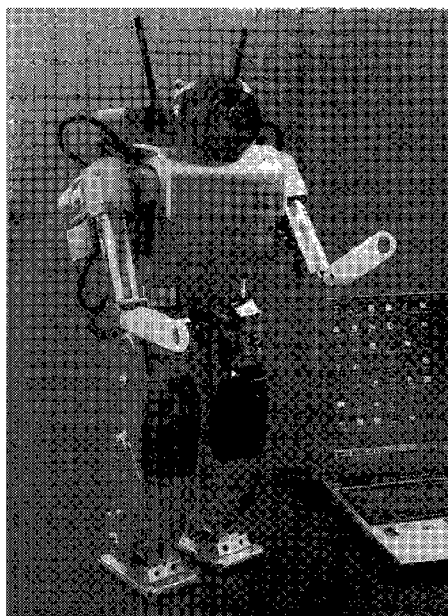


図1 「HOAP-1」
Fig.1 「HOAP-1」

“HOAP-1” by Koichi KIMURA (Fujitsu Automation Limited).

ケーブルで直結した有線制御モードと、無線 LAN で接続した無線制御モードの 2 種類のコンフィギュレーションを有する。このシステム構成を図 2 に示す。

表 1 主な仕様

身長	480 mm(アンテナ部除く)
重量	約 6.0 kg(バッテリー搭載時)
関節自由度	20 DOF(脚 6×2, 腕 4×2)
制御モード	3 モード(位置・速度・電流)
姿勢センサ (2 個)	検出軸 加速度 3 軸 角速度 3 軸
足底センサ (2 個)	検出軸 ZMP X, Y ZMP 垂直反力
無線カメラ (2 個)	カラー CMOS 27 万画素 伝送距離 max. 30 m
体内バス	USB(12 Mbps)
オンボードコンピュータ	Pentium MMX 300 MHz 相当 RAM 最大 128 M(メインメモリ) 補助記憶装置 コンパクトフラッシュメモリ 無線 CF カード 1
バッテリー	ニッケル水素 51 Wh
USB サービスポート	8(ユーザ使用可)

有線制御モードでは、外部 PC をコントローラとしたリモートブレイン方式である。計算機リソース、電源が充分にあるためアルゴリズムを複数連携して一連の動作実験を行うなどの複雑かつ高度な作業実験も可能となる。

無線制御モードでは、ロボットに搭載しているオンボードコンピュータを使用する。この場合、計算機リソースの制限から、アルゴリズムの規模はあまり大きくできないが、有線時のケーブル外乱の影響を排除した実験が可能である。

ロボット内部では、各関節と胴体内センサ、各足底センサ毎にローカル CPU を搭載しており、目標指令に応じてローカル制御される。これらとホスト計算機(有線時:上位パソコン, 無線時:オンボードコンピュータ)は USB による体内 LAN によって接続されている(図 3)。

そして、体内の制御に必要なすべてのデータ通信を 1 m 秒サイクルで実現している。

また、USB を使用することにより、デバイスの拡張も容易にできる。

2.1 関節用アクチュエータ

モータは、DC ブラシレスサーボモータを使用してい

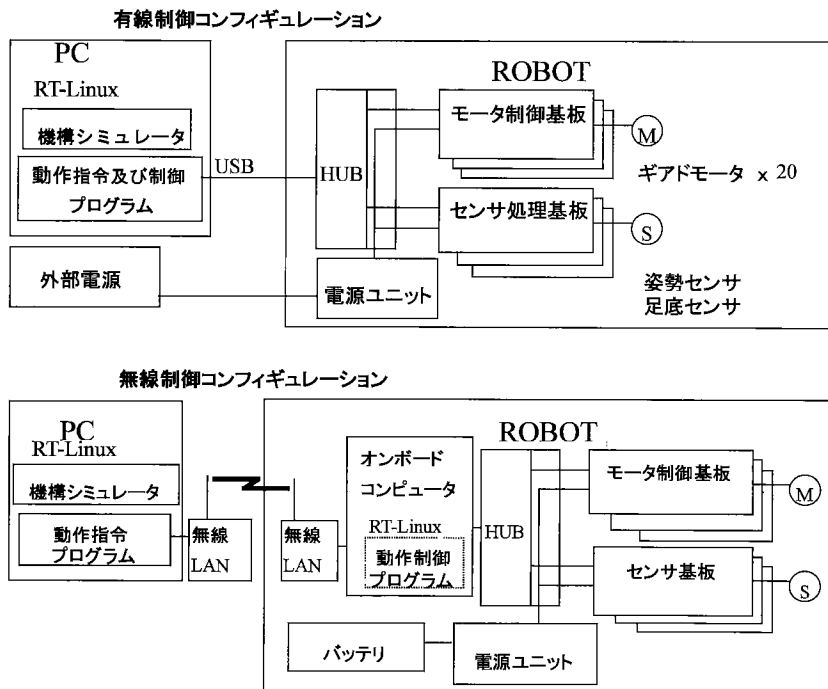


図 2 システム構成
Fig. 2 System configuration

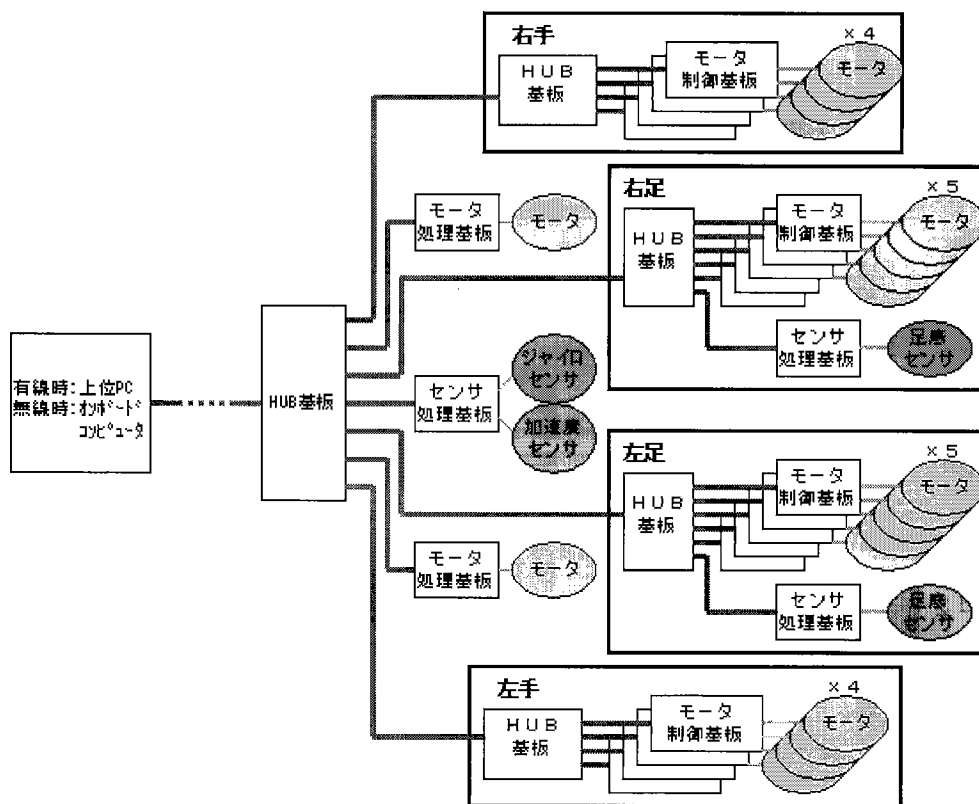


図3 体内LAN

Fig. 3 Internal LAN

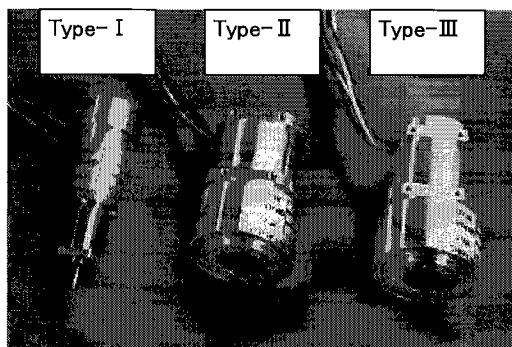


図4 モーター

Fig. 4 Motor

る。

ギアには一部、高強度樹脂成形ギアを使用し、すべて金属とした場合に比べて、約15%の軽量化を実現した。

また、回転検出には、インクリメンタル・フォト・エンコーダを採用している。

関節用アクチュエータとして、これらをすべて一体型

表2 モーターの特性

	Type-I仕様	Type-II仕様	Type-III仕様
使用箇所	肘：2関節	肩：2関節 脚つけ根：2関節 足首：2関節	脚つけ根：1関節 膝部：1関節
サイズ	$\phi 22 \times 53.4 \text{ mm}$	$\phi 35 \times 52.5 \text{ mm}$	$\phi 35 \times 56.5 \text{ mm}$
重量	60 g	140 g	150 g
減速比	1/144	1/171	←
定格出力	0.37 W	4.5 W	6 W
定格トルク	1 kgf-cm (0.098 Nm)	15 kgf-cm (1.47 Nm)	20 kgf-cm (1.96 Nm)
定格回転数	0.6 rps	0.5 rps	←
定格電流	500 mA 以下	1 A 以下	←
最大トルク	4 kgf-cm (0.39 Nm)	30 kgf-cm (2.9 Nm)	45 kgf-cm (4.4 Nm)
最大トルク 時回転数	0.35 rps (=126 deg/s)	0.1 rps (=36 deg/s)	←
最大トルク 時電流	800 mA 以下	2 A 以下	←

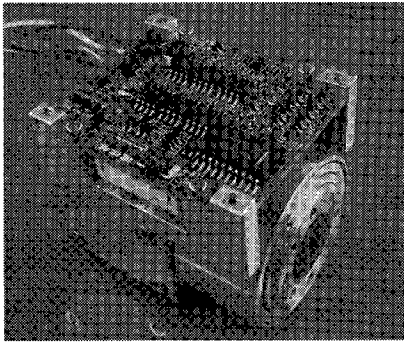


図5 モータモジュール
Fig. 5 Motor module

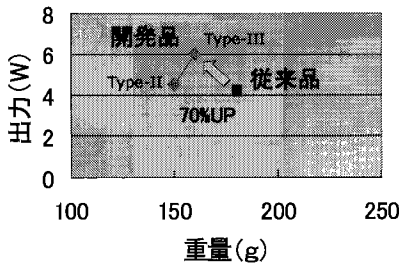


図6 アクチュエータのパワーレシオ比
Fig. 6 Power ratio

にして、HOAP-1用として独自に開発した。

ロボットには、出力に応じて3種類のモータを使用している。これらのモータの外形を図4に、特性及び割り当てを表2に示す。

モータは、それぞれローカルCPUを搭載したモータ制御基板に接続されており、上位からUSB経由で送られてきたコマンド指令により、各モータへPWM駆動数にてサーボ制御をおこなっている。

モータ制御基板とモータとを組み込んでモジュール化した図を図5に示す。このようにして駆動系の小型化が実現した。

また、小型化と共に出力もアップし、パワーレシオ比で70%向上した(図6)。

2.2 胴体内センサ

胴体内には、加速度センサと角速度センサを内蔵しており、これらのデータからロボット本体の姿勢や動作状況を把握することができる。これらのセンサの特性を表3に示す。

これらのセンサからの信号は、体内に収めてあるセンサ処理基板によってAD変換され、ホスト計算機へUSB経由でデータを送信する。

表3 胴体内センサの特性

	特性
加速度センサ	直交3軸
	測定範囲 ± 20
	分解能 0.005 G 以下
	センサ周波数応答帯域 DC~50 Hz
角速度センサ	直交3軸
	測定範囲 $\pm 60 \text{ deg/s}$
	分解能 0.25 deg/s 以下
	センサ周波数応答帯域 DC~10 Hz

センサ処理基板には、モータ制御基板と同じローカルCPUを搭載している。

2.3 足底センサ

足底の4隅に感圧抵抗素子を配置している。これらからの離散荷重データをAD変換して、所定の演算を用いて、荷重とZMP(Zero Moment Point)データに変換する。足底センサも、胴体内センサと同様のセンサ処理基板に接続しており、ここで、AD変換している。

このデータは、1m秒間で8回分の移動平均をとったものである。

2.4 無線カメラ

頭部には、27万画素のカラーCMOS無線カメラを2台搭載している。

この無線カメラは、制御用の無線とは独立しており、ビデオ入力端子のあるモニターで確認できる。2台のカメラは、チャンネルを分けているので、同時に見ることができる。

3. 動作指令パソコン上のソフトウェア

上位の動作指令パソコン上のソフトウェアは、ユーザ空間で実行されるロボットのデータをロード、表示するユーザプログラムと、リアルタイムカーネル空間で実行されるリアルタイムロボット通信モジュールに大きく分けられる。

このデータロード、表示プログラムとリアルタイムロボット通信モジュールは、共有メモリを用いてデータやコマンドの送受信をおこなう(図7)。

データロードプログラムは、データやコマンドを、ファイル等から取得して共有メモリに書き込む。そして、リアルタイムロボット通信モジュールは、この共有メモリに書き込まれた内容をロボットに送信し、ロボットから受信した結果を共有メモリに書き込む。また、データ表示プログラムは、共有メモリに書き込まれた結果を表

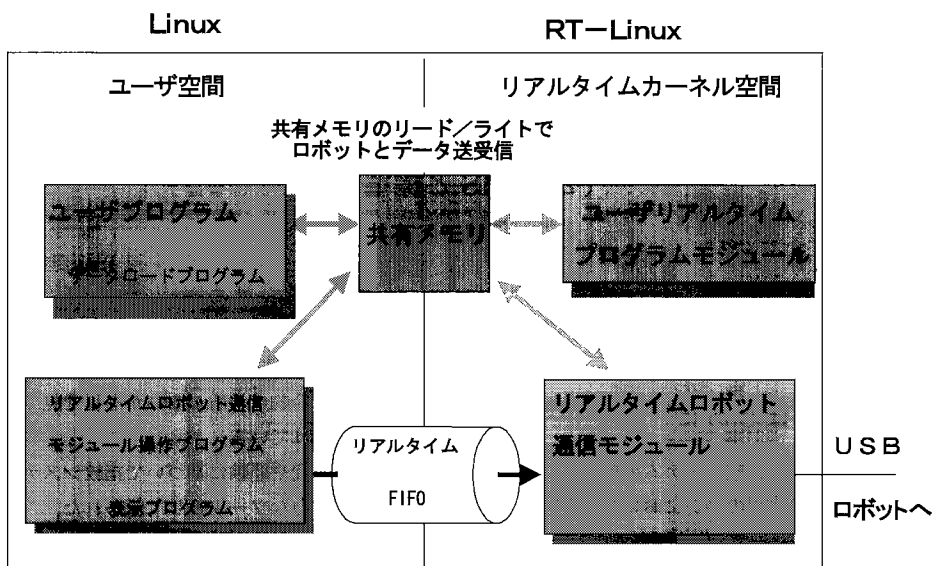


図 7 動作指令パソコン上のソフトウェア構成
Fig. 7 Software configuration



図 8 シミュレーション画面
Fig. 8 Image plane of simulation

示する。

共有メモリへの書き込みや読込みのプログラムをユーザが作成することにより、ユーザのプログラムからロボットを制御することが可能となる。

4. シミュレータ

本ロボットには、ロボットの歩行アルゴリズムの開発、プランニング検証のためのシミュレータが添付されている。これにより、剛体系準動力学をベースに、足と床の衝突等の解析、表示系、入力系を持っており、事前の動作検証、干渉チェック、衝突解析を行うことができる。

シミュレートしたデータを付属コンバータで変換する

だけで、「HOAP-1」を動作させることが可能である。

また、複数のパソコンによる、ネットワーク分散処理も可能である。

5. ま と め

研究開発用小型人間型ロボット「HOAP-1」について述べた。

今後、このロボットが、ヒューマノイドロボット開発のプラットフォームとして、広く研究者に利用して頂けたら幸いである。

参考文献

- 1) 井上博允, 比留川博久: 人間協調・共存型ロボットシステム研究開発プロジェクト, 日本ロボット学会誌, 19, 1, pp. 2-7, (2001).
- 2) 境 克司, 村瀬有一, 稲葉雅幸, 井上博允: HRP 仮想プラットフォーム検証用ハードウェアモデル, 第 18 回日本ロボット学会学術講演会, p 571-572, (2000).

木 村 公 一



昭 62, 青山学院大学理工学部電気電子工学科卒。平元, 同大学院修士課程修了。同年, 富士通株式会社入社。現在, 富士通オートメーション株式会社にて設備設計に従事。