

ヒューマノイド・ロボットの開発

Development and Prospects of Humanoid Robot

五十棲 隆勝

Takakatsu ISOZUMI

川田工業(株)航空・機械事業部HRIS開発室室長

近年ヒューマノイド・ロボット(2足歩行ロボット)の開発が盛んになり、一般的にも認知されてきた。しかしながら、ヒューマノイド・ロボットに何をさせるのか、あるいは何ができるのかといった、キラー・アプリケーションの開発には及んでいない。本稿では当社が1999年以降研究開発してきた統合型ハイエンドシステムであるヒューマノイド・ロボットに求められる要素技術と、その展開先として考えられる人間協調システムについて解説する。
キーワード：ヒューマノイド・ロボット、不整地二足歩行、協調作業ロボット、自律制御

1. はじめに

日本の産業界で一般的に意味する「ロボット」とは、決められた作業を人間より正確に、かつ早く実行できる「産業用ロボット」を指す。半導体、家電製品、自動車等の製造工場に据付けられて黙々と同一の作業を繰り返すロボットがそれである。産業用ロボットが多種多様な作業に対応可能になり、日本が自他共に認めるロボット大国となれたのは、長い年月の中で多くの研究者、技術者、そして企業が基礎研究と開発を継続し製品化してきた結果である。

一方で筆者等が、子供の頃に映画、漫画、あるいはアニメ等で慣れ親しんだ「ロボット」とは、人間型で人間の何倍も力が強く、速く走り、そして空を飛ぶ。そういった「ロボット」はその特殊な能力を利用し危険から人間を守り、作業の手助けをして人間の生活を豊かにする夢の機械であった。もちろん「ロボット」が活躍する場所は工場の中ではなく、人間が生活している実環境である。

1996年にホンダのP2が発表された時、子供の頃に抱いた未来の「ロボット」を思い出した。そして、日本の技術が世界レベルでも相当に進化していると感じ、皆が子供の頃に思った夢の「ロボット」も近い将来きっと我々の生活に役立ってくれると予感した。

その頃、当社航空・機械事業部では小型ヘリコプタ開発のために基礎研究や無人ヘリコプタの開発を行っていた。特に自動飛行安定化装置や自律飛行装置の開発に多くのエネルギーを投入していた。

本稿では、当社が開発したH6ロボット、H7ロボット、そしてHRP-2プロトタイプを紹介することによって、統合型ハイエンドシステムであるヒューマノイド・ロボットの開発に必要な要素技術とそれらの応用技術にどのような可能性と展望を持っているかを解説する。

2. H6ロボット

本章では、当社が最初に製作したH6ヒューマノイド・ロボットについて、その設計と製作の詳細を解説する。

(1) H6ロボットの設計

H6の開発は、東京大学・井上研究室で基本計画されたものを当社が詳細設計と製作を請負する形で行われた。

井上研究室から提示されたH6ロボットの機械的仕様は、身長1350mm、幅600mm、総重量約50kg、総自由度31軸(頭部5軸、腕部左右各6軸、ハンド左右各1軸、脚部左右各6軸)である¹⁾。更に、「装置全てを胴体内に収めてスマートに設計すること」、「配線類をできるだけ見えないようにすること」の2つが設計条件として課された。

ヒューマノイド・ロボットの製作を初めて経験する筆者らは、機能を含めた製作物を保障するため、社内で再度基本設計図から引きなおすことにした。

ヘリコプタもヒューマノイド・ロボットも移動体であり、その力学的な不安定さは良く似ている。その構造は軽量高剛性で、可動部は滑らかに精度良く動くことが理想である。特に重量がその運動性能に影響する。

以上のような製作コンセプトを社内で再構築し、次項に示す点に留意をして設計作業を行った。

運動性を確保するために、ボディーや可動リンク等構造部品は航空板金技術を応用し軽量化に努める。滑らかな動きと駆動軸の繰り返し位置決め精度を確保するために、可動部の軸剛性を上げるよう努める。

(2) H6ロボットの製作

製作においては、胴体スペース(写真1)が狭いために電装デバイスの実装と数百本のパワー線とシグナル線で構成される配線の実装に苦労した。計画した配線実装は、各関節軸の可動範囲が大きいために製作の時点で一部空中配線に切り替えた。更に、サーボアンプが原因の高周波ノイズ干渉は、電気・電子装備品をロボットに実装した上で実際にロボットを動かして行うので手間取った。

そして、詳細設計からわずか7ヶ月の期間で要求仕様を全て満足し、写真2のようにH6が完成した。

その後H6は、つま先の追加や細かい改修を加えられて現在も井上研究室の研究に供されている。

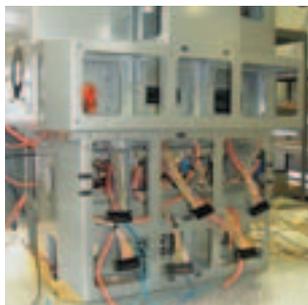


写真1 製作中の胴体



写真2 H6ロボット

3. H7ロボット

(1) H7ロボットの設計

H7ロボットは、H6と同様に井上研究室の依頼を受けて製作した。設計仕様は、身長1 468 mm、幅604 mm、総重量約55 kg、総自由度数32軸(頭部4軸、腕部左右各6軸、ハンド左右各1軸、脚部左右各6軸、つま先左右各1軸)である。脚のリンク長を伸ばすことが大きな依頼項目であった。

機械仕様と外形デザインは井上研究室の計画に従い、詳細設計と製作に関しては、H6の経験を基に動き(モーション)にこだわって設計を行った。その結果サーボ周りを改良した。プログラム通りに歩行させるため、すなわち滑らかに動かすためにできる限りのアイデアを盛り込んだ。

(2) H7ロボットの製作

H7の製作は、H6の経験があったもののサーボアンプを自社開発品に切り替えたので電装デバイスの実装と配線実装に苦労した。H7の製作期間も前回同様わずか7ヶ月であったが、性能的にはアップグレードさせることができた。製作中のH7を写真3に示す。また、完成したH7の外観を写真4に示す。

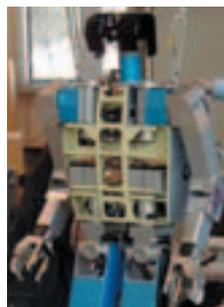


写真3 製作中の胴体



写真4 H7外観

製作されたH7は、井上研究室と産業総合技術研究所デジタルヒューマン研究ラボにおいて現在も研究に供されており、進化し続けている。

4. isamuの製作

H6, H7の製作時、ヒューマノイド・ロボットに適したアクチュエータ、コンピュータ・システム、センサ、モータ・ドライバ等の電装デバイスが入手できなかった。一般産業機械やFAロボット分野のデバイスでは、サイズ、重量、そして機能等の仕様がなかなか当てはまらない。そこで、要素デバイスについて我々なりに理解を深めるために、社内用の研究プラットフォームとしてisamuを製作することにした。isamuではサーボ系にこだわり、モータ・ドライバをH7から更に改良を加えた。また、軽量化のために駆動軸周りや各部の材質変更と設計変更を行った。写真5にisamuの外観を示す。

現在isamuは、当社で次世代モーション・コントローラの要素技術研究に利用している。



写真5 isamu外観 (後ろは無人ヘリコプタ「RoboCopter」)

5. HRP (ヒューマノイド・ロボティクス・プロジェクト)

1998年から5年間計画で経済産業省の国家プロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステムプロジェクト」が推進されており、後期応用開発が始まる2000年より当社は屋外応用分野に参加している。その最終目標は、屋外等の不整地にて人間と協調してパネルを運搬・据え付けを行うことが可能なヒューマノイド・ロボット(HRP-2)の開発である²⁾。以下にこれまでの成果を解説する。

(1) HRP-2Lの開発

2001年には、不整地移動技術の開発のためHRP-2L (脚モジュール, 写真6) を製作した。主な仕様は、大腿および下腿リンク長300 mm, 総自由度12軸 (腰3軸 / 片脚, 膝1軸 / 片脚, 足首2軸 / 片脚), 体重60 kgである。その大きな特徴は股関節部が片持ちになっており、隘路歩行が可能なことである (写真7)。HRP-2Lの開発には、本プロジェクトの最終目標である転倒回避機構と不整地対応機構の開発が必要であり、以下にその開発課題について解説する。

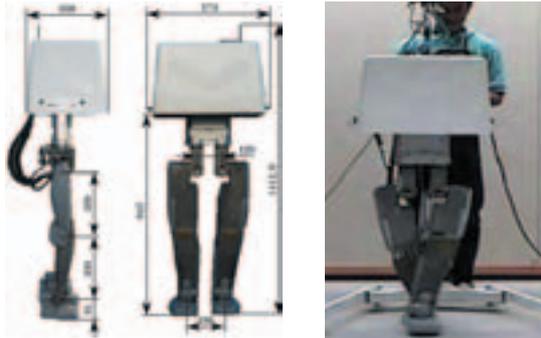


写真6 HRP-2L 写真7 隘路歩行の様子

a) 転倒回避機構

転倒とは、基本的にZMP (p.45参照) が支持多角形から外れることである。また、歩行時に機構上および制御上の両側面を要因とした上体の横揺れが、安定歩行に対して有害であると考えられる。したがって、転倒回避機構としては、遊脚が次に接地できる範囲を大きく取ることが可能、かつ姿勢不安定になった場合は、支持多角形を素早く変化させることが可能な機構が望ましいと考えられる。また、上体の横揺れを伴わない安定した歩行も転倒回避策の一つに考え、歩行時のロボットハードウェアの重量重心位置が滑らかに遷移していく様な機構が望ましいと考えられる。

以上の事からHRP2の転倒回避機構として、写真6に示すように、股関節ピッチ軸を片持ち機構とした。その結果、歩行時の横揺れを低減 (図1参照) し、両脚間に転倒時のクラッシュワージ等を設けやすくなり、両脚の交差が可能となり、狭い足場の歩行やバランスを崩した時の回避が容易になった^{3), 4)}。

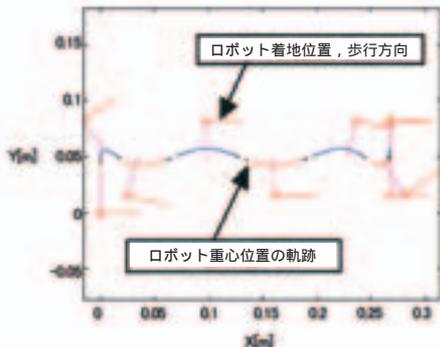


図1 左右歩幅12 cm時の水平面内重心軌道

b) 不整地対応機構

平地歩行を考えた場合、足裏形状は歩行時の接地摩擦力を得やすい平板形状が望ましい。しかしながら、足裏平板形状は、不整地路面に対して、足裏の一部で荷重を受けるため、不安定な着地状態となり、ZMP制御が難しくなる。不整地路面においても安定な歩行を実現させるためには、路面に応じて足裏が柔軟に沿う様な機構で、かつZMPを確実に精度良く制御できる機構が望ましい。

そこで、HRP2では足首部に六軸力センサを装備し、不整地対応性能向上のためにコンプライアンス制御が可能な様に、センサを足首と足裏との間でゴムブッシュによってフローティングさせる構造とした。

(2) HRP-2Aの開発

同年、双腕協調作業プログラムの開発のためHRP-2A (腕モジュール, 写真8) を製作した。主な仕様は、上腕および下腕リンク長250 mm, 総自由度14軸 (肩3軸 / 片腕, 肘1軸 / 片腕, 手首2軸 / 片腕, ハンド1軸 / 片腕) である。

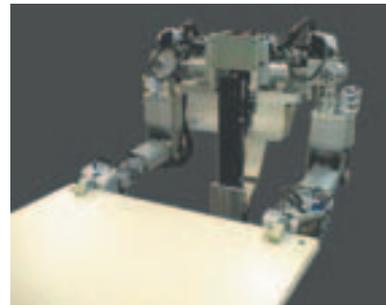


写真8 HRP-2A (写真提供: ㈱安川電機)

HRP-2Aは㈱安川電機担当の人間との協調作業に関する研究開発に供されている。

(3) HRP-2Pの開発

2002年2月にこれまでの成果を統合してHRP-2P (HRP-2プロトタイプ, 写真9) の製作が完了した。その主な仕様を表1に示す。

HRP-2Pについては、3月に横浜で開催されたROBODEX2002にて「働く人間型ロボット」として人間

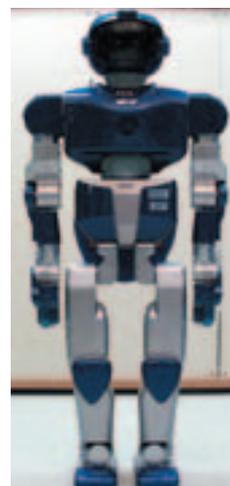


写真9 HRP-2P

表1 HRP-2P仕様

HRP-2P 仕様	
身長	155 cm ± 5 cm
体重	58 kg (含むバッテリー)
自由度数	30軸 (内訳: 頭部2軸, 各腕6軸, 各ハンド1軸, 腰2軸, 各脚6軸)
歩行速度	0 ~ 1.6 km/h
ハンドグリップ力	2 kg / 片腕
可搬重量	6 kg / 両腕 (手のひら位置荷重)
搭載コンピュータ	PC/AT互換機 × 2 (運動系, 視覚系) CPU; Intel Pentium III 1 GHz RAM; 256 MB
搭載センサ	姿勢角検出センサ 加速度センサ CCDカメラ × 3 ハンド6軸力センサ ハンド把持センサ 足6軸力センサ
OS	ART-Linux (運動系) Linux (視覚系)
音声入出力	音声入力・合成
主な装備品	無線LAN バッテリー (NiMH)



写真10 HRP-2P協調搬送の様子



図2 HRP-2最終モデル

と協調してテーブル搬送を行うデモを一般公開した(写真10)。

今後、屋外で人間と協調作業を行えることを目指して、HRP-2の最終モデル(図2)を開発中である。

6. 今後の展望

1999年から筆者らが取り組んできたヒューマノイド・ロボットの開発について解説してきたが、当社が目指すところの一つは次世代モーション・コントロール分野におけるデバイス事業である。ヒューマノイド・ロボットは移動体であり、同時に「人間に対する反応型の機械」と考えられる。ヒューマノイド・ロボットが人間の生活する実環境において私達の生活を豊かにする「夢のロボット」となるには、隣り合う人間の行動や状況に対して正確に反応し、そして協調できることが必要である。

筆者らは、回転翼航空機の研究開発を行っている。航空機に限らず自動車に関しても操縦装置を自動化、あるいは知能化する時の主な技術課題は、操縦装置には必ず人間の意志や行動が介在するという点である。人間は、視覚、力覚、触覚等を上手に使い、判断力を持って飛行機や自動車を操縦する。そういった機械システムを人間と対等にかつ人間に違和感を与えずに反応をさせるには、判断力の問題を別にしても、現在の力覚制御や応答速度等の技術課題を克服する必要がある。

そのためには、コンピュータ、センサ、アクチュエータ、バッテリー、通信装置等様々なデバイスについて、メカトロニクスの集大成であり、ハイエンド反応型機械であるヒューマノイド・ロボットに適した仕様と構成を開発することが必要である。そして、そのようなデバイスが一つできる毎にヒューマノイド・ロボットに限らず、私たちの生活を豊かにしてくれるシステムがいくつか生まれると信じ、そこに元気がないと言われて久しい日本の製造業が再生する種があると確信している。

ヒューマノイド・ロボットが人間と生活空間を共有するためには、上記の様な多くの問題を解決していかななくてはならない。ヒューマノイド・ロボットが私たちの生活の中に入ってくるのは、まだ遠い未来かもしれない。

しかしながら、ヒューマノイド・ロボットが抱えている技術課題を一つでも解決していけば、人間の生活を大幅に豊かにすることが可能なシステムが多く生まれてくる。少子・高齢化が日本だけの問題でなくなってきているが、ヒューマノイド・ロボットの研究開発が未来の私達の生活を平和で豊かにするための一助となれば幸いである。そして、製造業再生の引き金になれば尚喜ばしいことである。

7. おわりに

本稿では、当社が現在までに製作・開発したヒューマノイド・ロボットについて紹介し、筆者達が将来目指している展望について解説した。今後は、私達の生活を豊かにするための一つの解決手段としてヒューマノイド・ロボットの開発に携わり企業努力を継続していきたい。

本稿で紹介した「H6」、「H7」は、東京大学・井上研究室で研究開発されたロボットである。製作に関して多大なるご指導を頂いた東京大学大学院の井上博允教授はじめ井上研究室の皆様には感謝いたします。

またHRP-2PおよびHRP-2の開発は、経済産業省「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」後期プロジェクトの一環として実施されており、新エネルギー・産業技術総合開発機構、(財)製造科学技術センターより再委託しております。経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構、(財)製造科学技術センター、そしてHRP-2の共同開発者であります(独)産業技術総合研究所、(株)安川電機、清水建設(株)のご協力頂きました方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) K.Nishiwaki, T.Sugihara, S.Kagami, F.Kanehiro, M.Inaba, and H.Inoue : Design and Development of Research Platform for Perception-Action Integration in Humanoid Robot: H6, Proc. Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1559-1564, 2000.
- 2) K.Yokoyama, J.Maeda, T.Isozumi, and K.Kaneko : Application of Humanoid Robots for Cooperative Tasks in the Outdoors, Proc. Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop2, 2001.10.29
- 3) 金子, 梶田, 金広, 横井, 川崎, 平田, 五十棲 : HRP2脚モジュールの開発, 第19回日本ロボット学会学術講演会, CD-ROM 1A26, pp.173-174, 2001.9.
- 4) K.Kaneko, S.Kajita, F.Kanehiro, K.Yokoi, K.Fujiwara, H.Hirukawa, T.Kawasaki, M.Hirata, and T.Isozumi : Design of Advanced Leg Module for Humanoid Robotics Project of METI, IEEE Int. Conference on Robotics and Automation (ICRA2002), 2002.5.