事例紹介

ヒューマノイドロボットの開発と未来

The Development and Prospects of Humanoid Robot

五十棲 隆 勝* 川 田 忠 裕* *川田工業(株)

Takakatsu Isozumi* and Tadahiro Kawada* *Kawada Industries, Inc.

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」を指し、半導体、家電製品、自動車等の製造工場で床に据付けられたものである。製造工場で稼働している産業用ロボットが多種多様な作業に対応することができるようになり、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り、今もその技術進化を止めていない。

一方で筆者らが、子供の頃に映画、漫画、あるいはアニメなどで一般的に慣れ親しんだ「ロボット」とは、ほとんどが人間型で人間の何倍も力が強く、走ることが速く、そして空を飛ぶことができる。そういった「ロボット」はその特殊な能力を利用して悪者や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していく夢の機械であった。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が発表されたとき、漠然と子供の頃に抱いた未来の「ロボット」を思い出した。そして、日本の技術が相当に進化したことを世界的に示し、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多くの人に予感させてくれた。その頃、当社航空・機械事業部ではヘリコプターの機体開発のために基礎研究や無人ヘリコプターの開発を行っていた。特に自動安定装置や自律飛行安定装置の開発に多くのエネルギーを投入していた。ホンダのロボットに大いに夢は感じたが、作り手としての夢ではなかった。当然、我々がそれから3年後に人間型ロボットの開発に携わることなどは予想もしていなかった。

1999年の初夏に私達がエンジニアリング・アウトソーシングを受託していた顧客の会社から紹介を受けて、東京大

学の井上博允教授とお会いし、人間型ロボットの製作を試してみないかというお誘いを受けた。すでに人間型ロボットが存在していることは分かっていた。ホンダのP2やP3も知っていた。それでも、井上教授の研究室で実際に動くロボットを見せられると興奮した。どうやって動いているのだろう、なぜ歩けるのだろう。どういう制御ロジックなのだろうという興味だけが頭に走った。当時の私達はヒューマノイドロボットの知識などまったくなく、P2、P3、そして東大のロボットが見事に歩行してる様子に驚き、今度は作り手としての立場に立って夢を感じた。

一晩寝ても熱が冷めない。作ってみたいと思った。事業部長をはじめ上司に作ってみたいとお願いした。私達の目指す事業との関連性など何も考えなかった。「ヘリコプターの制御に活かせる」などと都合の良いことを言って、ひたすらお願いした。社内の説得に成功し井上研究室のロボットの製作をすることが叶った。

本稿では、川田工業が最初に製作したH6ロボット、その改良版であるH7ロボットの製作、そして今年中間成果発表を行ったHRP-2プロトタイプの製作を紹介し、川田工業がヒューマノイドロボットの開発にどのような展望・希望を持っているかを紹介する。

2. H6 ロ ボ ッ ト

2.1 H6ロボットの設計

H6開発は、東京大学・井上研究室で基本計画されたものを川田工業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1,350[mm]、幅600[mm]、総重量約50[kg]、総自由度33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]。そして、井上教授から「装置すべ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」の二つを設計条件として指示を受けた。当時の私達では、井上教授の二つの設計条件が後々重大な技術課題になるとは気付かなかった。

ヒューマノイドロボットについては初めて経験することばかりの私達は、井上研究室の基本計画図で表現されている情報だけでは、機能を含めた製作物を保障する自信がな

原稿受付 2002年6月25日

キーワード: Humanoid Robot, Human-interactive Motion-control

*〒321-3325 芳賀郡芳賀町芳賀台122-1

*Haga-gun, Tochigi

かった。そこで、社内で再度基本設計図を引くことにした。私達製作者はできあがったものがどう動くかの想像ができなければ、基本計画者の意図したものになる保障ができない。少しでも理解できない部分があれば、すぐに東大へ打ち合わせに行った。

それでも、設計・製作するときに大きな支えとなったのは、井上教授の「壊れてもいいから可能な限り軽く作ってほしい」「大丈夫、きっといいものができるよ」と、言ってくれたことだった。ヘリコプターもヒューマノイドロボットも移動体である。不安定なものであることも良く似ている。構造は軽く剛性のあることが理想。可動部は、滑らかに精度良く動いてくれるのが理想であり、特に重量がその運動性能を大きく変化させる。これらを念頭に作業を行った。上記のような製作コンセプトを基に、徹底的に軽量化に努め滑らかな動きを実現できるようにボディーをはじめとする構造部は航空板金技術を応用した。また、可動部の軸剛性を上げるような設計にも心がけた。

当初機械設計3名、電装設計1名の計4名で作業を開始したが、時間が限られている中で基本計画図を引く工程を増やしたために、結局5名のチームで設計を行うことにした。もう、後戻りはできない。

2.2 H6 ロボットの製作

製作において電装デバイスの実装と配線実装に苦労させられた。狭いスペースの中に数百本のパワー線とシグナル線が実装されている。計画した配線実装は、設計時にある程度予想はしていたが、各関節軸の可動範囲の大きさが障害となり、製作の時点で一部空中配線に切り替えた。ノイズ干渉などは、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。

設計時に理解していなかったことや甘く見積もっていたことが製作時に現実的な問題となって色々出てきた。しかし、ほとんどの製作・組立作業は設計者が作業したので、不具合量の割にはスムーズに作業が進んだ。ともあれ、図1、2に示されているように、H6 ロボットは完成した。詳細設計から完成までわずか7ヶ月の期間であった。

図1 H6 ロボット

図2 製作中の胴体

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。

3. H7 ロボット

3.1 H7 ロボットの設計

H7 ロボットの開発は、H6 ロボットと同様に東京大学・井上研究室からの依頼を受けての製作である。H7 の設計仕様は、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したいということが井上研究室からの大きな依頼項目であった。

川田工業にとっても H6 を製作し、時間の関係で思い残した部分と H6 の歩行する様子を見て改良したい部分があった。機械仕様と外形デザインは井上研究室の計画に従い、造りこみに関してはある程度任せて頂けた。サーボ周りも手を入れた。「滑らかに動いてほしい」。プログラム通りに歩行させるためにハードウェアとしてできる限りのアイデアを盛り込んだ。

3.2 H7 ロボットの製作

H7 の製作は、H6 の経験があったが、相変わらず電装デバイスの実装と配線実装に苦労させられた。特に H7 については、サーボアンプも自社開発品に切り替えたので稼働実験時の調整にてこずった。H7 の製作期間も前回同様わずか7ヶ月であったが、H6 製作の経験を活かし性能的にはかなりアップグレードさせることができたと思う。製作中の胴体を図3～5に示す。また、完成した H7 の外観を図6に示す。

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

第1章でも述べたが、ロボット製作担当部門が保有する技術バックグラウンドは、航空技術分野である。特にヘリコプターの自律制御や操縦装置のインテリジェンス化には

図3 製作中の胴体図

図4 胴体前部

図 5 胴体後部

図 6 H7 外観

図 8 脚モジュール

図 9 腕モジュール

図 7 外観（後ろは無人ヘリ「RoboCopter」）

図 10 HRP-2P

図 11 HRP-2 最終モデル

力を入れている。社内ではこれらの開発技術の商品開発に活かして事業化するようなことを検討している。H6, H7の製作後、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簡単に入手できないことに気付いた。無人ヘリコプターの操縦システムを開発しているときも、利用できるアクチュエータが市販品になく自社で開発したことがあった。一般産業機械やFAロボット分野のデバイスでは、仕様がなかなか当てはまらない。ヒューマノイドロボット自体もそうだが、要素デバイスについても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からさらに改良を加えた。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を行った。外観的には頭部を変更したことが分かる程度である。これらの改良点については、H7にもフィードバックされている。図7にisamuの外観を示す。

現在isamuは、次世代のモーションコントロールの研究に利用している。

5. HRP 開 発

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った2000年より川田工業は屋外応用分野に参加している。その最終目標は、不整

地にて人間と協調してパネルを運搬・据え付けを行う屋外共同作業等が可能なヒューマノイドロボット（HRP-2）の開発である[2]。

2001年には、脚モジュール（図8）と腕モジュール（図9）を製作した。脚モジュールの主な仕様は、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）である。腕部モジュールの主な仕様は、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。

脚モジュールは産業技術総合研究所が担当して不整地対応技術の研究開発に、腕部モジュールは（株）安川電機が担当して人間との協調作業に関する研究開発に、おのおの供されている。

そして、2002年2月にHRP-2P（プロトタイプ）（図10）の製作を完了し、3月に横浜で開催されたROBODEX 2002にて「働く人間型ロボット」として一般公開した。

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11）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紹介してきたが、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、回転翼航空機の飛行安定装置や自動操縦装置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ときの主な技術課題は、操縦装置には、必ず人間の意志や行動が関与介入するということに起因する問題であると考ええる。人間は、視覚、力覚等を上手に使い、判断力を持って飛行機や自動車を操縦する。機械システムを人間と対等にかつ人間に違和感を与えることなく反応をさせるには、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重要である。そして、そのようなデバイスが一つできるとにヒューマノイドロボットに限らず、例えば福祉介護分野において人間と反応し合いながら作業あるいは作業補助ができ、実生活を豊かにする機械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い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、上記のような多くの問題を解決していかなければならない。ヒューマノイドロボットが本当に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、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たが、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なお喜ばしいことである。

7. おわりに

本稿では、川田工業がヒューマノイドロボットの開発を行うようになった経緯と現在まで携わった開発について紹介した。そして、筆者らが将来目指している展望と希望について述べた。

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と考える。

謝 辞 本稿で紹介したヒューマノイドロボット「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へ感謝いたします。

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 (Oct. 29, 2001), 2001.

五十棲隆勝 (Takakatsu Isozumi)

1962年7月11日生。1986年慶應義塾大学理工学部中退。1983年より2年間カリフォルニア大学バークレー校電気工学科留学。1986年～1993年住友重機械工業(株)にてホバークラフトの開発に従事。1993年川田工業(株)入社。回転翼航空機の開発に従事。1999年よりヒューマノイドロボットの開発に従事。現在航空・機械事業部 HRIS 開発室室長。(日本ロボット学会正会員)

川田忠裕 (Tadahiro Kawada)

1962年11月16日生。1989年米サンディエゴ州立大学大学院航空宇宙学科卒業。1989年にNASA エイムズ研究所にて研修。1990年～1996年米国の航空機製造会社および川田工業にて回転翼航空機の開発に従事。現在取締役航空・機械事業部長。

(日本ロボット学会正会員)