

人間の夢が創る

最新のロボットと 先端技術

ここ数年、さまざまなロボットが開発され、人々の注目を集めている。かつては夢物語だったロボットとの共存社会の実現は、にわかには現実味を帯びてきた。人間のように二本足で歩行し、見て聞いて自律的に動作する能力を備えた人間型ロボットは、数多くの先端技術を搭載しており、電磁鋼板などの機能材料の新しい用途分野として期待されている。

HRP-2Pは、人間型ハードウェアと制御用ソフトウェアの協調動作により、バランスを保ちながら自律的に起立したり寝転ぶことができる。
(川田工業(株)、産業技術総合研究所の共同開発)

人間の代わりに労働をする機械

ロボットは、チェコの作家カレル・チャペックが1921年に発表した戯曲「R.U.R.(Rossum's Universal Robots)」に初めて登場する。この戯曲中のロボットは、労働を担当する人造機械である。ロボット(robot)という言葉は、「労働」を意味するチェコ語の「robota」が語源である。アメリカの作家アイザック・アシモフは、人間とロボットが共存する社会を描いた小説「われはロボット」を1950年に出版している。また、日本では、手塚治虫が漫画「鉄腕アトム」を1951年に発表している。

アメリカでは、ジョージ C. デボルが産業用ロボットの特許を1954年に取得すると、記憶させた手順にしたがって作動するプレイバックロボットの開発が盛んになった。一方、日本では、1960年代の後半に海外からの技術導入によって産業用ロボットの製造が始まったが、1970年代には独自の産業用ロボット、1980年代には極限作業用ロボット、1990年代には人間型

(humanoid、ヒューマノイド)ロボットがそれぞれ開発されるようになる。

多彩な外見や機能

2000年11月に、人間共存型のパーソナルロボットを一堂に集めた世界初の博覧会「ROBODEX2000」が横浜市で開催された。この博覧会では、センサ技術や人工知能技術を駆使したロボット、人間や動物のように動作するロボット、音声認識機能や学習機能を備えたロボットなどが数多く登場し、多くの人々にロボット技術の進歩を印象付けることとなった。特に、人間のような外見の二足歩行ロボット、個性的なデザインのペットロボットやエンターテインメントロボットなどが、大きな話題となった。二足歩行ロボット「ASIMO」は、人間の生活空間で活動することを想定して開発されたが、安定した歩行技術が来場者を魅了した。

2002年3月「ROBODEX2002」が開催されたが、前回に比



人間の生活空間で活動することを想定して開発された人間型ロボットの「ASIMO」は、人間の顔の輪郭を判断できるなど、高知能技術が投入されている。
主な仕様:身長120cm、体重52kg、最高歩行速度1.6km/h、握力5N/hand
(写真提供:本田技研工業(株))



「留守番をする恐竜」から名付けられた「番竜」は、セキュリティ機能などを持ち、家庭内で歩行することができる
(写真提供:三洋電機(株))



蜘蛛(クモ)のような外観の地雷探知ロボット「COMET-III」
(写真提供:千葉大学工学部・野波健蔵教授)

ベニ足歩行ロボットの出展数が増加した上に、コミュニケーション能力や外観デザインの水準が大きく向上した。その後も、さまざまな機能やデザインのロボットが登場している。

例えば、実用ロボットの「番竜」は古代の恐竜を元にデザインした留守番ロボットであり、家の中を15m/分の速度で安全に歩くことができる。また、人感センサ、音センサ、温度センサおよび匂いセンサを備えており、焦げ臭さを感知して小火を早期に発見することもできる。

人間の近くで活躍するロボットに、介護用ロボット「マイスプーン」がある。マイスプーンは、手の不自由な人が手元のジョイスティックやボタンを操作して食べ物を口元に運ぶことのできるロボットであり、グッドデザイン賞を受賞している。

文部科学省による地雷探知・除去の研究プロジェクトにおいて開発された「COMET-III」は、蜘蛛(クモ)のような形をした長さ4m、幅2.5mの地雷探知ロボットである。COMET-IIIは、地雷原を速度150m/hで走行し、地雷の埋設場所を探知すると



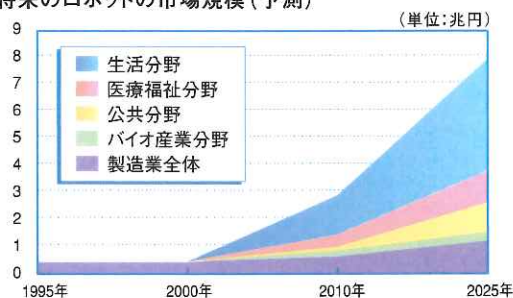
手の不自由な人でもわずかな操作で食事のできる介護用ロボット「マイスプーン」
(写真提供:セコム(株))

世界をリードする日本のロボット産業

日本で産業用ロボットの製造が本格化したのは、1970年代である。産業用ロボットは、従来人間が行っていた危険作業や単純繰り返し作業を人間に替わって行うためのロボットである。さまざまな分野において産業用ロボットを導入することにより、作業の安全性、生産性、品質の安定性などが大きく向上した。ちなみにJISでは、産業用ロボットを「自動制御によるマニピュレーション機能又は移動機能を持ち、各種の作業をプログラムにより実行でき、産業に使用される機械」と定義している。ここでいうマニピュレーションは、人間の動作機能に類似した多様な動作機能を意味している。1980年代になると、電機業界、自動車業界などの製造業において組み立て工程向けの需要が増大し、ファクトリーオートメーションの導入とともに産業用ロボットの市場が拡大する。日本における2001年現在のロボット総出荷額は4,025億円であり、輸出額が約40%を占めている。また、同年における世界中の産業用ロボットの稼働総台数は約75万台で、その割合は日本が47.7%、米国が12.9%、西ヨーロッパの合計が29.6%(マニュアルマニピュレータおよび固定シーケンスマニピュレータを除く)であり、日本は世界一のロボット利用大国となっている。

最近では、非製造業の分野でもロボットの導入が検討されている。例えば、建設作業、極限作業、災害救助などの人手作業では不可能あるいは安全衛生上課題がある作業を代替する各種のロボットが開発、実用化されている。将来は、生活分野や医療福祉分野においてロボットの活用が広まることも予想される。

■将来のロボットの市場規模(予測)



(「平成12年度21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」日本機械工業連合会、日本ロボット工業会より)

カラーペイントで印を付け、全地球位置把握システム (Global Positioning System、略してGPS) を介して位置を知らせることができる。アフガニスタン復興の一環として地雷を除去するために現地投入される予定である。日本のロボット技術は、海外からも期待される存在である。

人間を再現したロボットの機構

ロボットは、作業を実行する「作業機構」と作業機構を対象物の近傍に移動させる「移動機構」とから構成されている。

作業機構は、それぞれ人間の腕と手に対応するアーム部およびハンド部から成り立っている。ハンド部には、ロボットの使用目的に合わせ、溶接ガン、切断用カッタ、グリップなどが装着される。このため、ハンド部は「エンドエフェクタ」と呼ばれることもある。また、移動機構には、車輪式、無限軌道 (crawler) 式、脚式などがある。

ロボットの各機構を駆動する筋肉の役割を果たすのが、アクチュエータである。アクチュエータは「能動的に作動する要素」を意味するが、油圧シリンダやモータが使用されている。電磁誘導を動作原理とするモータの性能を左右するのは、鉄心に使用される電磁鋼板である。

電磁鋼板は、鉄に数wt%程度のケイ素を添加して磁気的特性を向上させた鋼板であり、変圧器や回転機 (モータ、発電機等) の鉄心用材料として利用される。

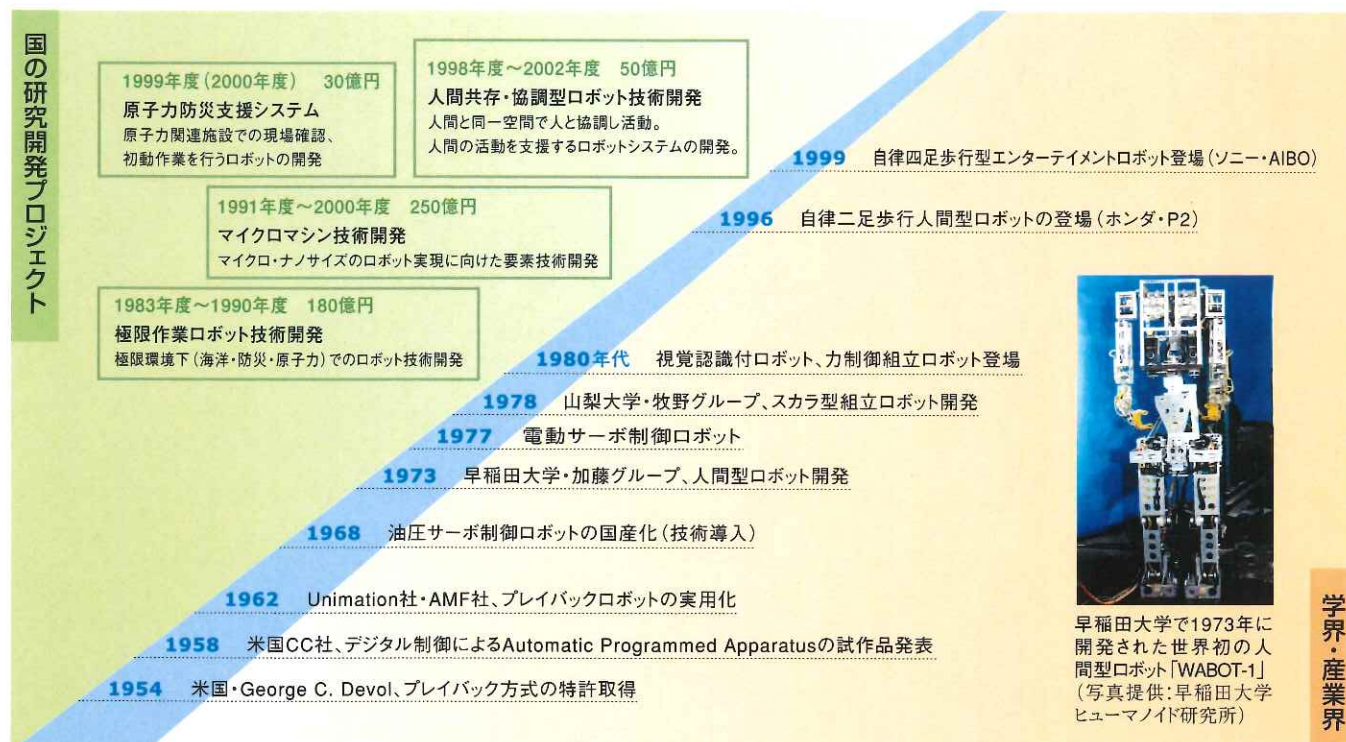
鉄は、ニッケルやコバルトと並ぶ強磁性体の金属元素である。しかし、純鉄は、軟質磁性材料としては抵抗率が小さく保磁力が大きい。交流電磁石の鉄心に用いるには、保磁力に起因するヒステリシス損を低減すると同時に、渦電流損を低減し、鉄損全体を低減する必要がある。この欠点は、合金化により改善することができる。例えば、鉄にケイ素を添加すると、抵抗率が大きくなり渦電流損が低減する。また保磁力が小さくなり透磁率が大きくなるため、ヒステリシス損が減少し、その結果鉄損は小さくなる。

このように優れた軟質磁気特性を有するケイ素鋼は、加工熱処理などの製造プロセスにより組織が決定され、磁化容易方向が制御される。変圧器の鉄心には、磁化方向性を有する電磁鋼板が用いられ、モータには、特定の方向性を持たない無方向性の電磁鋼板が利用される。

ロボットに使用されるモータは、直流サーボモータや交流サーボモータである。サーボ (servo) とは、「制御の対象となる装置の機械的な位置、速度、姿勢などを設定値と比較して追従させる自動帰還制御機構」を意味する。高出力の駆動と高精度の制御を実現するためには、トルクが大きく制動特性に優れたサーボモータの開発が必要不可欠である。

自律的に作動する人間型ロボットでは、目や耳に対応した感覚機能も重要な構成要素である。視覚用の感覚器には、電荷結合素子 (Charge-Coupled Device、略してCCD) などが用いられている。CCDカメラで得た映像情報は、1/30秒ごとにコ

■日本のロボットの変遷



((社)日本ロボット工業会資料より作成)

コンピュータの記憶領域に取り込まれ、情報が更新される。ロボットは、この映像情報に基づいて画像処理を行うことにより、物体を認識することができる。このほか、聴覚、触覚、体内の内部感覚（関節の状態や姿勢に対する感覚）などの研究も進められている。

ロボットが活躍する可能性を広げるHRP

ロボットをより広い分野で利用し人間に役立つ存在にするための研究が本格化している。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（Humanoid Robot Project、略してHRP）は、1998～2002年度における経済産業省の技術開発プロジェクトとして、新エネルギー産業技術総合開発機構（New Energy Development Organization、略してNEDO）、財団法人・製造科学技術センターおよび独立行政法人・産業技術総合研究所が共同で実施しているプロジェクトである。

1990年代の後半から人間型ロボットやエンターテインメントロボットが登場するようになったが、これらのロボットは働くことが想定されているわけではない。HRPは、人間型ロボットの応用事例を研究することにより、働く人間型ロボットの実現の可能性を世の中に示すことを目的としている。5年計画のプロジェクトにおいて、前期2年間では研究の基盤となるプラットフォーム、二足歩行の人間型ロボット本体（名称：HRP-1）、制御用ソフトウェアおよび遠隔操作用操縦部を開発し、後期3年間ではこれらの

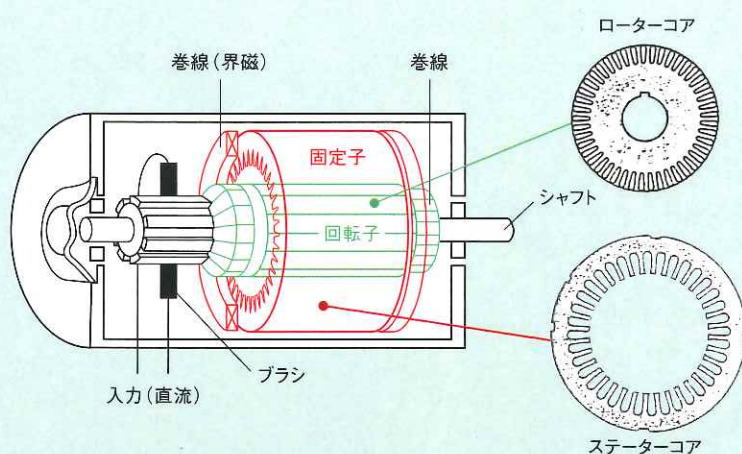


産業車両を代行運転するHRPは、人間が遠隔操作する

プラットフォームを用いた応用研究を実施している。

1999年度にHRP-1が開発されたが、2000年度にはこれに基づく応用研究が始まった。この応用研究は、HRP-1をプラント保守、対人サービス、産業車両代行運転、ビル・ホーム管理サービスおよび屋外共同作業の5つの分野において実用化させることを目的としている。

産業車両代行運転の分野では、世界で初めて人間型ロボットによる産業車両（フォークリフトやバックホー）の代行運転が



■直流モータの構造

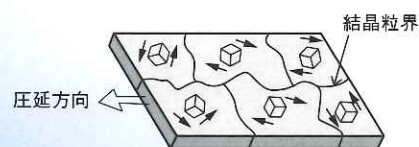
モータは、回転子と固定子から構成されている。各巻線に電流を流すと、回転子と固定子の隙間に円周方向に沿った周期磁場が発生し、回転子が連続的に回転する。図の右には鉄心用の電磁鋼板の形状例を示すが、上側が回転子用で下側が固定子用となっている。板厚が0.15～0.5mm程度の電磁鋼板を所定の形状に打ち抜き、積層して鉄心にする。



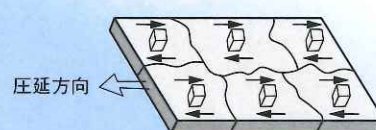
■方向性電磁鋼板の磁化容易方向

方向性電磁鋼板は、主に変圧器に使用される。Goss方位や立方体方位の集合組織を形成すると、容易磁化<100>方向が圧延面に沿ってそれぞれ一方向および二方向に出現する。

●無方向性電磁鋼板



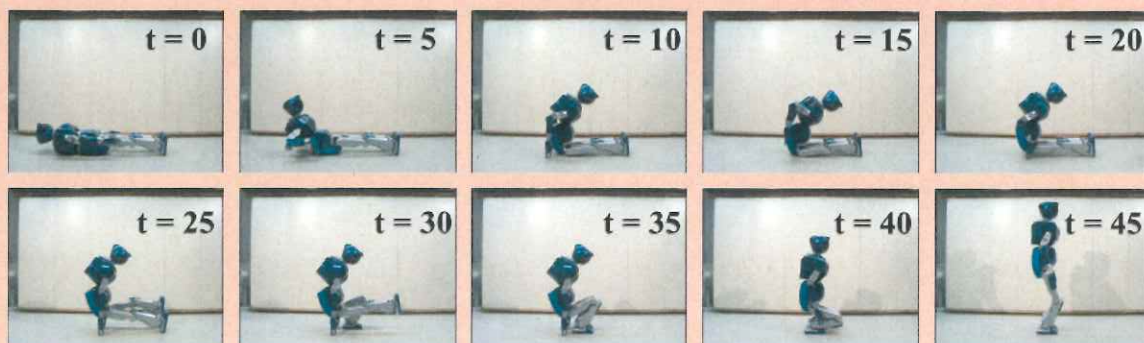
●方向性電磁鋼板



注：←は磁化容易方向を示す



■HRP-2Pの仰向け状態からの起立動作(時間tの単位は秒)



全長:154cm、重量:58kg(バッテリー含む)

成功している。この代行運転は、ロボット本体の動作を人間が遠隔操作する形態であり、制御技術、遠隔操作手法、保護技術などの開発により実現することができた(川崎重工業(株)、東急建設(株)および産業技術総合研究所の共同開発)。保護服を身にまとい上手にショベルを操作して働くようすを目にすると、今後、災害復旧現場や土木建設現場でロボットが活躍する日もそう遠くはないように感じられる。

人間のように寝転び、起き上がる



HRP-2の外観デザイン(案)

HRP-1を改良したHRP-2Pが、2002年3月に発表された(川田工業(株)および産業技術総合研究所の共同開発)。ここで、末尾のPは、試作品(prototype)を意味している。屋外作業では、不整地上の歩行、転倒制御、転倒回復などの特別な機能が要求される。HRP-2Pは、屋外における人間との共同作業を想定したこれらの仕様を満足するようにHRP-1の性能を高めたものである。HRP-2Pは、身長が154cm、体重が58kg(バッテリーを含む)であり、腰2軸を含む30自由度を有することにより軽量多自由度を実現している。また、股関節の自由度が高く(片持ち構造)、狭い通路でも歩行可能であり、電装系の高密度実装により従来型の人間型ロボットのようなバックパックが不要となっている。

HRP-2Pの発表会において、起立姿勢から寝転び再度起き上がる動作の実演が公開された。実演動作に多少のぎこちなさはあるものの、バランスをとりながら自律的に動作を行う仕草は世間を驚かせた。このような自律動作は、これまでも小型

のロボットでは可能であったが、人間サイズのロボットでは世界初である。

HRP-2Pの関節用部品には、マグネシウム基やアルミニウム基の鋳造合金が使用されている。また、アクチュエータには、ステンレス鋼製の回転軸が用いられている。このような合金材料の利用により、軽量性と堅牢性の両立が可能となった。また、HRP-2Pには無方向性電磁鋼板を利用した合計30個の直流サーボモータが内蔵されており、自律型の動作を支えている。

HRP-2Pの最終成果版であるHRP-2が、2002年12月に発表された。HRP-2の内部API(Application Program Interface: 特定の基本ソフトで動作する応用ソフトを統一的な操作環境に対応させて構築するためのルーチン・プロトコル類)はすでに公開されており、利用者のためのソフトウェア開発環境が整備されている。このような状況を踏まえ、HRP-2は研究開発用のプラットフォームとしても市販されることが検討されている。また、本体の外観デザインは、アニメーションのデザイナー兼監督として著名な出渕裕氏が担当した。

最近の多くの人間型ロボットを見るにつけ、人間を含む多数の動物にいかに優れた機能が授けられているかという思いを新たにする。人間型ロボットの開発は、太古の時代より続いている動物の進化を人工的に実現する壮大な挑戦である。

日本の天才作家が生んだ夢のロボット「鉄腕アトム」の誕生日は、2003年4月7日である。人間とともに喜び、ともに悲しみ、人間の敵を倒すために10万馬力の力で戦う鉄腕アトムは、50年前には夢物語だと思われていた。しかし、ロボットが人間と共存する夢の時代は、すでに始まりつつあるのかもしれない。

●取材協力: 本田技研工業(株)、三洋電機(株)、セコム(株)、千葉大学工学部・野波 健蔵教授、(社)日本ロボット工業会、早稲田ヒューマノイド研究所、新日本製鐵(株)、独立行政法人・産業技術総合研究所、川田工業(株)