

feature article

ヒューマノイド

ロボットがつなく人間・機械・情報

Humanoids

古賀 昌史 Masashi Koga

細田 祐司 Yuji Hosoda

守屋 俊夫 Toshio Moriya

人間指向に基づいたロボットの研究開発が進んでいる。

当初、ロボット開発者にとって、人間は困難なタスクを実現する際の模倣の対象であったが、近年は、ロボットのサービス対象、活動空間を共有するパートナーとしての人間が、ロボット研究開発にとって重要なテーマとなってきた。

日立製作所は、1970年代の黎明期より、ロボットの研究開発において先端的な取り組みを進めてきた。

人工知能ロボットから、極限作業用4脚ロボット、人間共生ロボット「EMIEWシリーズ」へと、

ロボットは人間・機械・情報をつなく存在としてその役割を高め、さらなる進化を続けている。

1. はじめに

人間の知能の発達にとって、身体を介した外界への働きかけは不可欠である。情報処理・通信技術が地球規模に拡大し、新しい知識社会の知能が築かれつつある今日、実世界への働きかけを実体化する技術も、また新たに生まれ変わる必要がある。このため、知覚、運動、情報処理を統合するロボットの重要性は、従来にも増して高まっている。

また、マイクロプロセッサ、モータ、バッテリーなどの進歩に支えられ、ロボットの活動領域も拡大している。これに伴い、ロボットにかかわる技術課題も変化してきている。

かつて、生産現場など、管理された環境下での利用においては、いかに正確な動作をするかが問われていた。このため、技術課題の多くは制御や軌道計画に関するものであった。

また、宇宙空間、海中、原子力発電所などにロボットの活動領域を拡大するには、多様な環境に対応する必要がある。適応性の高い移動機構、環境変化を感知するセンシング技術などが開発されてきた。

さらに2000年代からは、人間と活動領域を共有する試みが盛んになされ、人間とのコミュニケーション、自律性などが技術課題となっている。加えて、人間に不快感を与えないことや、安全性の確保なども実用上不可欠である。

日立製作所は、1970年代の黎明期より、ロボット工学の発展の各段階に寄与してきた(図1参照)。

ここでは、人間指向の観点からロボット研究開発の各フェーズにおける先駆的な取り組みとして、人工知能ロボット、脚移動機構、および人間共生ロボットについて述べる。

2. 人工知能ロボット

1960年代に産業用ロボットが開発され、1970年代初頭に実用化されて以来、ロボットは主に生産現場など管理された環境下で用いられてきた。現在、日本では全世界の4割に相当する約37万台のロボットが稼働している。日立製作所も、溶接、塗装、マテリアルハンドリングなどの分野でロボットを開発・実用化してきた。これらの分野のロボットでは、いかに正確に作業を実行するかが課題であり、技術課題の多くは、サーボや軌道計画など制御にかかわるものであった。

一方、単なる繰り返しだけではロボットの用途は限られてしまう。例えば、組立作業の場合、人間は部品の位置と向きを確認したうえで、部品をはめ合わせて締結する。しかし、通常の産業用ロボットでは、部品の位置や向きを認識したり、どのようにはめ合わせるかを計画したりすることができない。こうした状況を予見し、1970年に人工知能ロボット「HIVIP Mk.1」を発表した¹⁾(図2参照)。このロボットは、以下の三つの能力を持つことに特徴があった。

- (1) 目的の理解能力(組立図面から作業目的を理解)
- (2) 外界状況の把握能力(部品位置・姿勢認識)
- (3) 外界への適応的働きかけ能力(動作手順自動生成)

これらの能力により、従来は困難であった組立作業を自動化することができ、以後の産業用ロボットブームを先導する大きな成果となった。さらにこの開発成果を活用して、自動ボルト締結ロボット、全自動トランジスタ組立システムなどを1970年代に相次いで開発した。

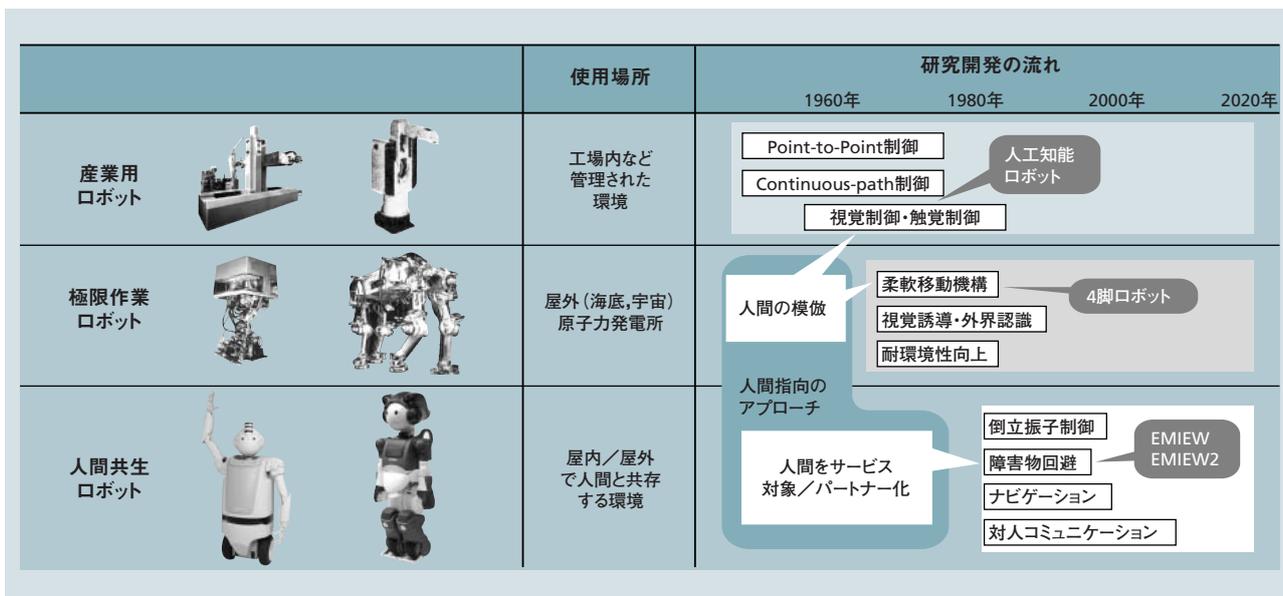


図1 ヒューマノイド研究における人間指向アプローチ

ロボットの活動領域は、生産現場のように管理された環境から、海底、原子力発電所のような極限環境、さらに人間共生環境へと拡大している。それぞれの段階において、人間指向のアプローチによって研究開発が推進されている。

3. 4脚歩行ロボット

1970年代から1980年代には、ロボットの活動の場を、海底、原子力発電所内、宇宙空間などに拡大する動きが活発になり、環境に応じた移動手段、外界を把握するための認識技術が課題となった。こうした中、日立製作所は、1973年に水中調査ロボットシステム、1983年に知覚誘導クローラ形移動ロボットをそれぞれ開発した。さらに1983年から1990年にかけては、通商産業省(現 経済産業省)大型プロジェクト「極限作業ロボット」に参画して極限作業用4脚ロボットを開発した(図3参照)。

4脚歩行の機構の開発は、これに先立って早稲田大学と共同で行われた2脚歩行ロボット「WHL-11」の開発実績に基づいて取り組んだものである。極限作業用4脚ロボッ

トにおいては、原子力発電所内のように段差や配管が多数ある環境でも速やかな移動が可能な「柔軟な歩行」をめざしていた。ここでは、滑らかな着地、駆動トルクピークの抑制、消費エネルギーの最小化などが課題となった。これらの課題は、単に2脚歩行を4脚に拡張するだけでは解決が困難である。一方、馬などの4脚動物では、このような柔軟な歩行が実現されている。そこで、日立製作所は馬、象、カバ、サイなどの動物の歩行形態、すなわち歩容を徹底的に分析することとした。

馬の歩容には、常歩、速歩、駆歩、襲歩、側歩、だく足、跳ね飛びなどがある。この調査では、これらのうちの速歩

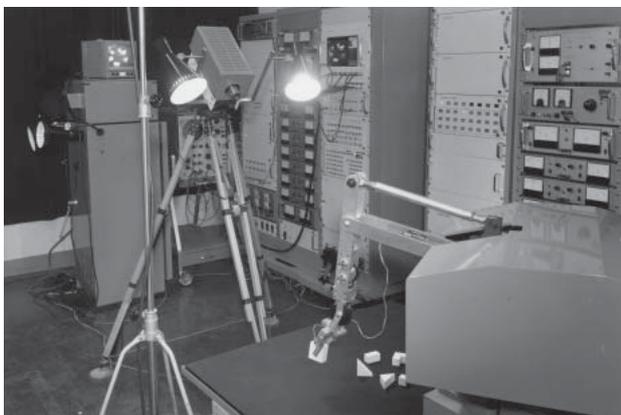


図2 人工知能ロボット「HVIP Mk.1」

初めての統合型知能ロボットとして1970年の日立技術展で一般公開された。組立図面を見ながら、作業目的を理解するとともに、机上の三次元物体(積み木部品群)の個々の形状・位置・姿勢を認識し、動作手順を自動生成して図面どおりに組み立てていく。

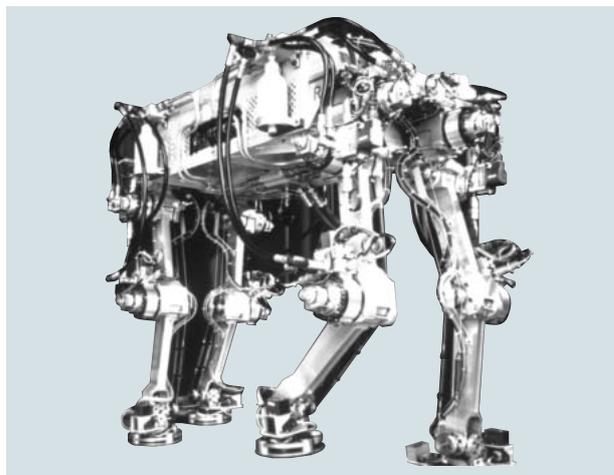


図3 極限作業用4脚ロボット

通商産業省(現 経済産業省)大型プロジェクト「極限作業ロボット」(1983年～1990年)において、原子力プラント内での床面移動要素技術として開発したプロトタイプを示す。脚長0.9 m、重量300 kgで、全24自由度中、12自由度が油圧である。最大歩行速度は2.5 km/hで、階段・段差を静的歩行で踏破する。

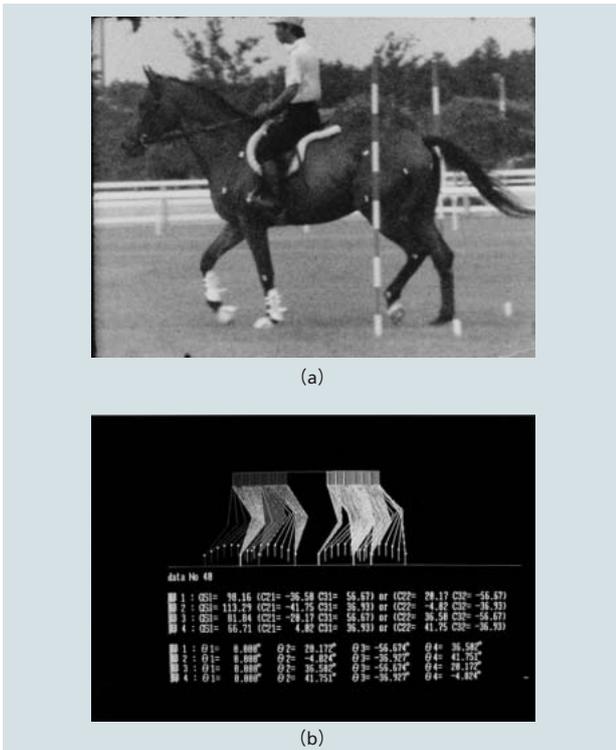


図4 馬の歩容観察
 トロットで歩行中の馬を (a) に示す。馬の脚、胴体に付けられた白い点がマーカーである。マーカー位置の推移から再現された馬の歩容のスティック線図を (b) に示す。足先の軌跡はトロコイド曲線で近似できる。

(トロット), すなわち, 右前脚と左後ろ脚, 左前脚と右後ろ脚が対になって足を運ぶ歩容に注目した。その結果, 馬の滑らかな歩容が, トロコイド曲線を描くように足先を動かして実現していることを突き止めた (図4参照)。また, 象やカバなど一見鈍重な動物でも, 速歩に基づく動的歩行をしていることも明らかになった。こうした知見を取り入れ, 4脚ロボット向けの改良トロット歩容を開発し, 最大速度2.5 km/hの動的歩行を実現したのである。

4. 人間共生ロボット「EMIEW」と「EMIEW2」

4.1 人間共生ロボット

2000年代からは, 人間と活動領域を共有する試みが盛んに行われている。ここでは, 人間とのコミュニケーション, 自律性などが新たな技術課題となった。さらに, 人間に不快感を与えないことや, 安全性の確保なども実用上不可欠である。

日立製作所は, 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業「次世代ロボット実用化プロジェクト プロトタイプ開発支援事業」(2004年～2005年) に参画し, 人間共生ロボットのプロトタイプとして, 「EMIEW」を開発した²⁾。このEMIEWの開発の知見に基づき, 安全性, 使い勝手の向上をめざし, 2007年には, 後継機の「EMIEW2」を発表した³⁾。

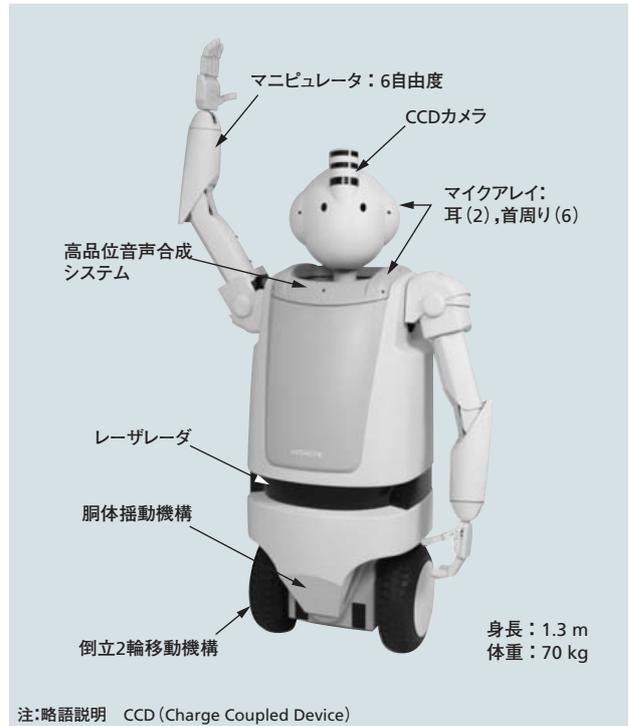


図5 EMIEWの構成
 俊敏な移動が可能な倒立2輪移動機構, 遠隔音声認識システム, およびモーション表現のための腕を備えている。

4.2 EMIEW

EMIEWの構成を図5に示す。移動手段には倒立2輪移動機構を採用し, 旋回時の安定性確保のための胴体揺動機構を備えている。胴部には, 周囲の障害物を検出するレーザーレーダを取り付け, 対話インターフェースとして, 遠隔音声認識用のマイクアレイ, 高品位音声合成システム, CCD (Charge Coupled Device) カメラを備えている。さらに, 6自由度の双腕マニピュレータによって, 頭部や胴部の揺動自由度と合わせ, 表現力豊かなモーション表出が可能である。身長は人と同様の作業が可能な1.3 mとし, 体重は70 kgである。

ここで採用した倒立2輪移動機構は, 2輪のスムーズな旋回性と急な加減速に対する姿勢の維持機能により, 俊敏な移動を可能とし, ロボットの横断面積を抑えている。スリムな機体は, 人混在環境で, 人の邪魔にならない重要な要素である。この構成により, 人の早足程度の最高走行速度6 km/h, 最高加減速度4 m/s²を実現し, 最高速度での最小旋回半径は0.5 mとなっている。

走行時の安全確保のために, 動的障害物回避の技術を開発した。ロボットは胴部中央に設けたレーザーレーダにより, 半径5 mの範囲の周囲環境に存在する歩行者を検出し, これとロボットの移動速度ベクトルから, 将来衝突リスクの高い領域を推定し, 衝突回避可能な経路を50 ms周期で生成する。これまで, ロボット走行速度4.3 km/hで, 歩行速度約4 km/h, 最大5人の歩行者を停止せずにすり抜け走行できることを確認している。

4.3 EMIEW2

EMIEWの開発により、人間共作業に必要な安全かつ俊敏な移動機能、人との対話インタフェース機能の見通しと、親和性に対するヒューマノイド型機体のモーションコンテンツの有効性に感触を得た。これらの知見を基に、サービスロボット実用化のプロトタイプモデルとして、EMIEW2の開発を行い、2007年11月に発表した。

この開発では、機体の小型化、軽量化を行うとともに、多様な走行形態を切り替えることによる安定性の向上を図った。設計方針としては、俊敏性の確保のために最大走行速度4 km/h以上、重量は15 kg以下とすることを目標とした。最終的に最高速度6 km/h、重量は13 kgを達成した。

EMIEW2の機構構成を図6に示す。オフィス環境で0.75 m高の机上の状況を頭部に設けたCCDカメラで観察できるよう、全高0.8 mとした。軽量化に関しては、寸法諸元の短縮のほか、構造骨格の薄肉化、ドライバー一体型サーボモータの採用などの工夫を講じた。

移動機構は、5自由度の脚機構の先端に駆動輪を持つ脚車輪機構から構成されている。高速移動時には、脚を伸ばし二つの駆動輪で、倒立2輪走行を行う。待機状態や搬送走行など、より安定性が必要な場合には座位姿勢になり、膝（ひざ）の球体キャスタと駆動輪によって4輪走行を行う。床面上にコードや段差などの障害物が存在した場合は、爪（つま）先機構を接地させ駆動輪と合わせて着地面を形成し、2脚歩行によって踏破することを想定している。

また、ナビゲーション制御機能として、日立製作所基礎研究所で開発したインフラレス自律移動技術を導入した。首部に搭載したレーザレーダで得た周囲の形状データをあらかじめ記憶した地図と照合し、自己位置を同定する。この機能により、机が並んだような狭い空間でも、安全に走行が可能である。また、動的障害物回避制御系も、EMIEWから継承されている。

頭部に、14チャンネルのマイクアレイが実装されており、EMIEWと同様な遠隔音声認識が可能である。マニピュレータについても、EMIEWとほぼ同等のモーション表出機能を備えており、日立製作所デザイン本部の手になる親和性の高い外装デザインと合わせて、非言語コミュニケーションの有力なツールとなっている。

5. おわりに

ここでは、人間指向の観点からロボット研究開発の各フェーズにおける先駆的な取り組みとして、人工知能ロボット、脚移動機構、および人間共生ロボットについて述べた。

ロボットは、人間、機械、情報の接点となる技術である。

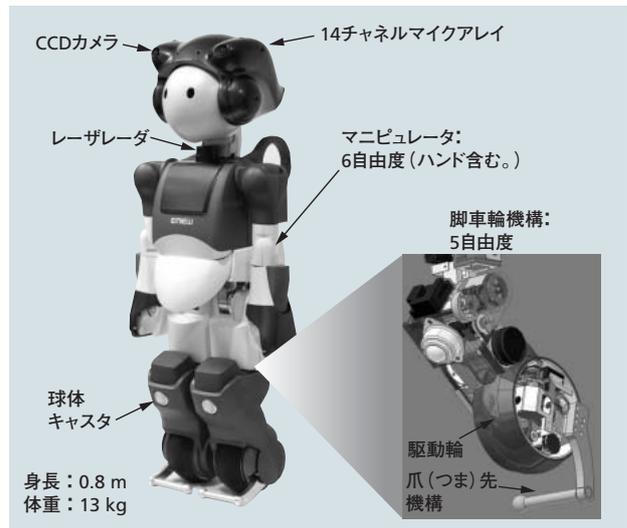


図6 EMIEW2の機構

EMIEWの倒立2輪走行機能は踏襲し、5自由度の脚機構と走行輪を融合した新機構を開発した。これにより、転倒リスクを緩和し、段差などの踏破も可能となった。

近年の情報・通信技術の飛躍的な進歩に伴い、ロボット技術も生まれ変わる必要がある。また、少子高齢化の進展とともに、ロボットによる人間に対するサービスのニーズも高まってきている。コスト、タスク実行能力、対人コミュニケーションなど、現時点までに実用化されていない要因である諸課題の克服をめざし、今後も研究開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) M. Ejiri, et al.: A prototype intelligent robot that assembles from plan drawings, IEEE Trans. Computer, C-21, 161 (1972.2)
- 2) Y. Hosoda, et al.: Development of human-symbiotic robot "EMIEW" —Design Concept and System Construction—, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.18, No.2 (2006.2)
- 3) 中村, 外: 人間共生ロボットEMIEW2の開発, ROBOMEC2008講演会予稿集, 2P1-I03, (2008)

執筆者紹介



古賀 昌史

1989年日立製作所入社、機械研究所 都市・ロボティクスプロジェクト 所属
現在、人間共生ロボットの開発に従事
博士（工学）
情報処理学会会員、電子情報通信学会会員、IEEE会員



細田 祐司

1979年日立製作所入社、機械研究所 都市・ロボティクスプロジェクト 所属
現在、人間共生ロボットの開発に従事
日本機械学会会員、日本ロボット学会会員、計測自動制御学会会員、日本機械学会フェロー



守屋 俊夫

1991年日立製作所入社、基礎研究所 人間・情報システムラボ 所属
現在、空間認識、コンピュータビジョンの研究開発に従事
博士（工学）
情報処理学会会員、電子情報通信学会会員、IEEE会員