

話題の
PROJECT

プロジェクト

**ホンダ
人間型ロボット**



鉄腕アトムに一步近づいた ロボットの姿

一般市民だけでなく専門家も強い衝撃を受けた 二足歩行の実現

昨年TBSのニュース番組で紹介され、多くの国民に衝撃を与えた本田技研工業の二足歩行ロボット P2。人間の歩き方に非常に近く、階段や傾斜した場所もスムーズに歩く姿は、見る人に強い印象を残した。基礎研究として取り組まれているホンダの二足歩行ロボット研究の現状について、開発責任者の本田技術研究所和光基礎技術研究センター 第5研究室室長・広瀬真人氏に話をうかがった。

完全動歩行に向かう二足歩行ロボット研究

人型ロボットの研究が始まったのは、1960年代にさかのぼる。1968年にMosher氏が“Rig”と呼ばれる操縦型倒立振り子モデルを試作した。Rigは足首と股関節の2つの自由度しかなく、すべての操作を人が行うというきわめて限定された機能しか持たなかった。1971年には、早稲田大学の加藤一郎氏らが、自動型二足歩行ロボットを世界で初めて完成させている。WAP-3 (Waseda Automatic Pedipulator 3) と名づけられたこのロボットは、空気圧式袋形人工筋をアクチュエータに用い、平地、斜面、階段を歩くことができた。1972年、イギリスのWittらが“Duckling Lower-Limb”と呼ばれるサリドマイド児用の歩行補具を開発。1980年、東京大学の三浦宏文氏らが竹馬型二足歩行ロボット“Biper-3”を完成。翌1981年には人間型二足歩行ロボット“Biper-4”で左右に重心を移動させながら膝や足首を曲げて歩くことに成功している。1984年には早稲田大学のWL-10RD (Waseda-Leg 10 Dynamic Refine) が水平・平坦路において、人間の成人が普通に歩くのと同じ二足歩行を実現した。また1997年には、早稲田大学の7つの研究室が協力して、二足歩行を行いマンボダンスを踊れる“WABIAN (Waseda Bipedal humanoid)”を完成させている。このように、二足歩行ロボットの研究では、わが国は世界でも

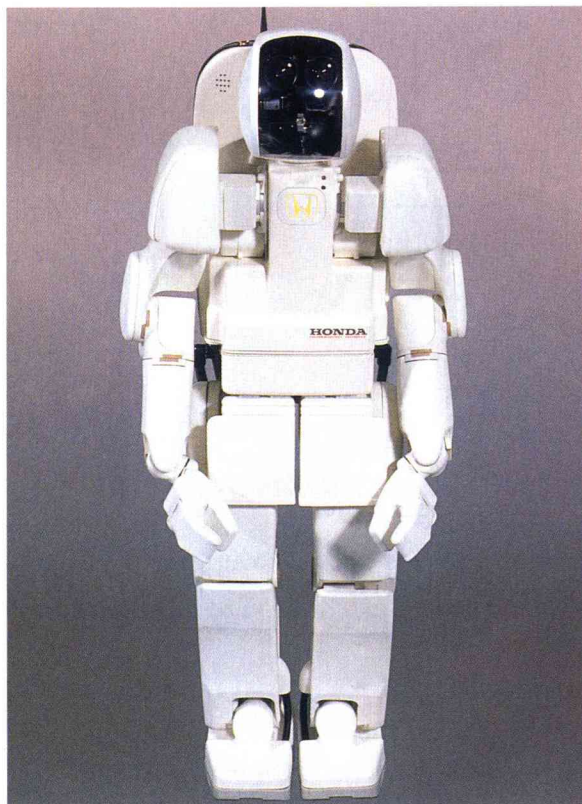
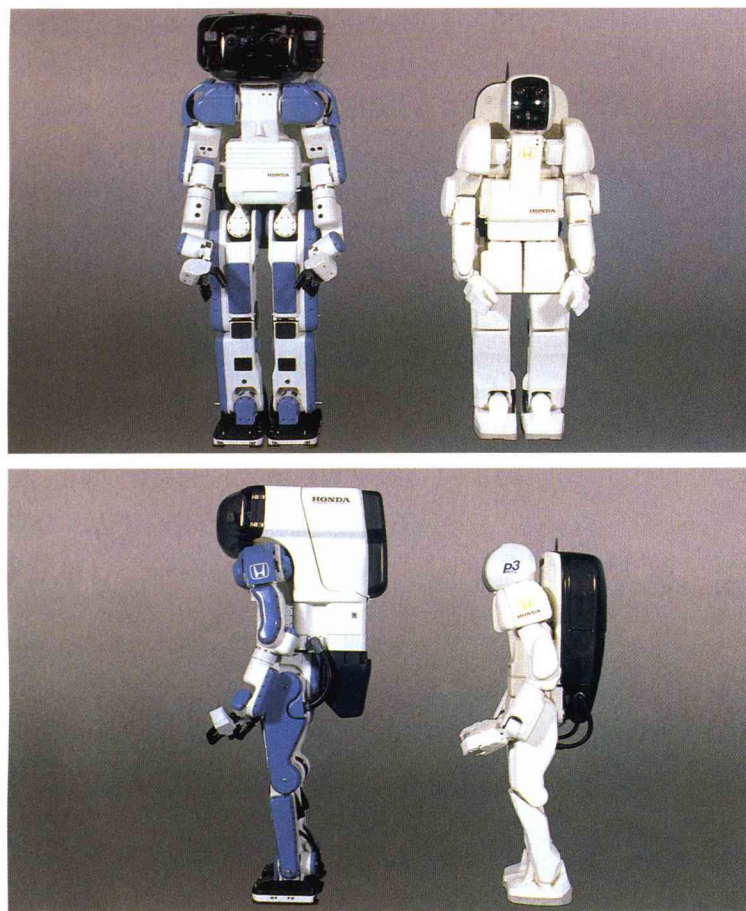
トップレベルにある。

歩行には、重心が常に支持脚の底面積内にある静歩行と、重心を支持脚の底面積外に出しバランスをとって移動する動歩行の2種類がある。かつてブリキのおもちゃでよく見られた人型ロボットは静歩行をしており、歩き方としてはかなり不自然に見える。一方、人間のみならず四足歩行をしている馬など、ほとんどの動物は動歩行を行っている。静歩行は力学的に安定しており、静止状態でも自立しているため制御が比較的簡単だ。動歩行では、静的に不安定な系を制御して安定させるため、より高度な制御技術が必要になり、すばやく反応しないとロボットが倒れてしまう。

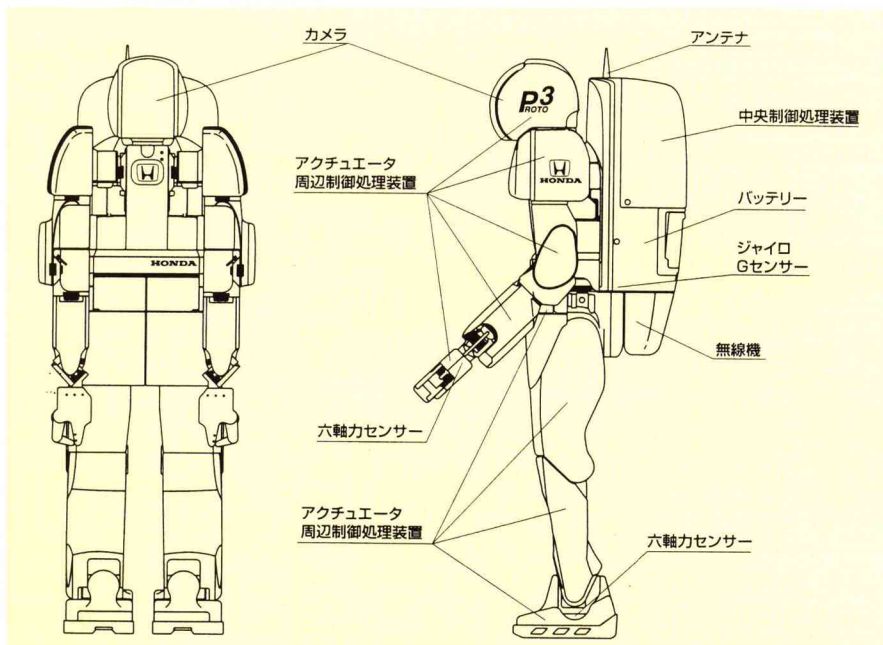
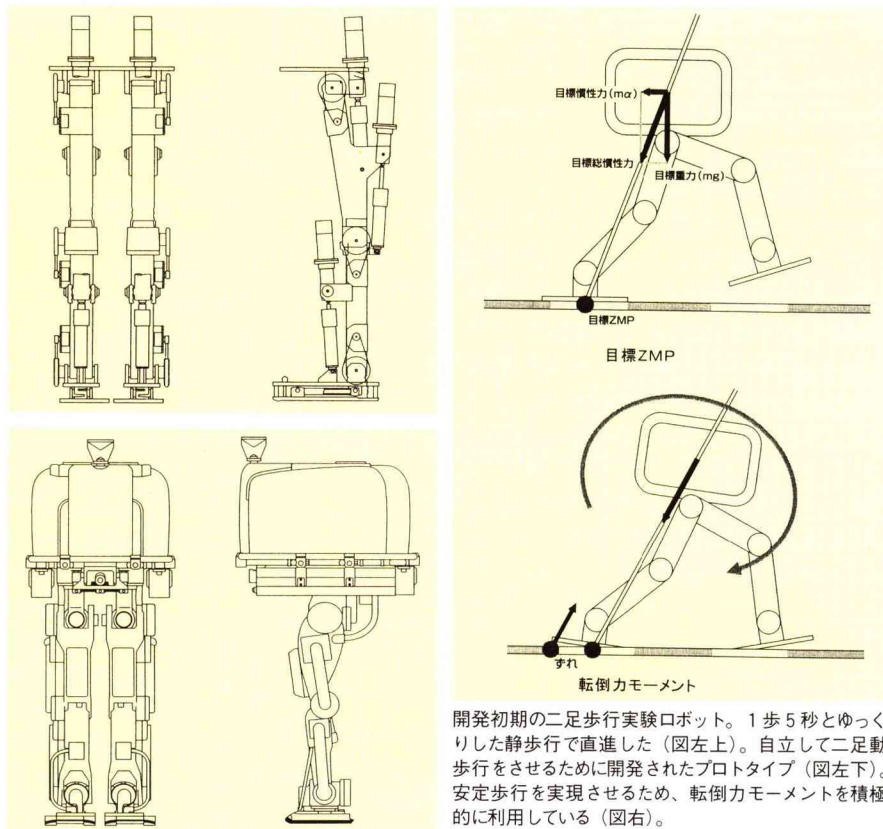
二足歩行ロボットの研究は、操縦型から自動型へ、静歩行から動歩行へ、定常状態から自動補正型へと移ってきた。そうした中で、本田技研工業の二足歩行ロボットが注目されるのはどのような理由によるのだろうか。

動きを分解するのではなく統一してプログラムする

同社が二足歩行ロボットの研究を開始したのは約11年前、1986年のことだ。モビリティ分野で取り組む基礎研究を検討する中から、人型ロボットが提案されたという。ロボットを選んだ理由は、認識技術など知識化領域の技術蓄積が目的の一つだった。



テレビで紹介された人間型ロボットは一回り大きいP2(Prototype 2)だったが、現在はより小型化されたP3が完成している(写真左上・下)。P2が重量210kg、全高1820mmだったのに比べ、P3は重量130kg、全高1600mmとなっている(写真右)。



P3の平面図。最大歩行速度2.0km/h、最大作業重量2.0kg per hand、バッテリー作業時間25分、作業自由度：脚自由度12、腕自由度14、手自由度2、アクチュエータにハーモニック減速機+DCサーボモータを使用。サイズ・重量・素材などを除けば、P2とP3の間に大きな違いはない。

ロボットの移動方式としては、1) 車輪式、2) 脚式、3) キャタピラ式、4) 匍匐式その他などがある。このうち、車輪式はホンダが得意とする分野であり、基礎研究として取り組む魅力に乏しかった。脚式が選ばれた理由をあえて説明するなら、不整地などかなり条件の悪い場所でも移動できることだという。そして、なぜ人型なのかは「他がやっていない」からだった。

た。四足歩行は自立状態での制御が比較的容易なため、研究もかなり行われていた。かといって三足歩行では、不自然なイメージがつきまとう。人型ロボットが実現できれば、人間が動けるあらゆる環境に対応できるのでないか。配管や障害物を避けながら移動したり、荒れ地での移動、手足を連動させることで壁を攀じ登るといったことも可能になるのではないか。人型ロボットには、そうした可能性の広がりを感じられたのだ。

とはいっても、人間とまったく同じ動きが可能な人型ロボットにいきなり取り組むのは、あまりに無謀ともいえる。研究領域がモビリティ分野であることから、まず移動部分の実現を当面の課題と位置づけた。

研究に取り組み始めてから間もなく、二足による静歩行は比較的容易に実現できたという。次に研究段階は動歩行に移った。ここで同社は、ほかとは違ったアプローチをとっている。

動歩行では重心位置だけでなく、重心の速度、3次元の加速度、遊脚側の重心位置、速度、3次元の加速度を考慮しなければならない。これらを一括して解析・制御するのは非常に困難だ。そのため、通常はロボットの動きを進行方向に平行な垂直平面（矢状面）と進行方向に直角な垂直平面（前頭面）に分け、それぞれの平面内での動きは独立したものと仮定する。こうした処理は歩行の解析・制御を容易にするが、歩行そのものが若干不自然になる。また、機械を制御する場合、通常は加速領域、定常領域、減速領域に分割して解析するのが一般的だが、人間が歩いている状態のどこからどこまでが加速領域・定常領域・減速領域である

かを特定することは難しい。

ホンダでは、人の歩く動きを徹底的に解析し、それをロボットにそのままプログラミングすることで、より自然な動歩行を実現しようとした。人間の身体は206個の骨で構成されているが、歩行に必要な関節を解析によって特定し、股関節、膝関節、足関節など12自由度が最低限必要であるという結論が出

された。

自然な歩行を実現する制御技術の原理

実験を繰り返し、平坦な場所をまっすぐに動歩行で歩くための仕様が決まると、次は人間の生活環境に合わせて移動できる、自在な歩行技術の研究が開始された。こうしたロボットの安定制御技術は、次の3つの要素にまとめることができる。

- 1) 着地時の衝撃を柔らげ、床面の凹凸を吸収する脚全体を使用した衝撃吸収制御技術
- 2) 倒れそうになったとき、倒れずに復元させる姿勢制御技術
- 3) 制御の結果決まる着地位置に足部を置けるように、状況に応じて変化する歩き方を作り出し制御する技術

ロボットの姿勢制御は、目標歩行パターンの関節角に追従するように制御される。歩行しているロボットには慣性力と重力の合力である目標総慣性力が働くが、これと釣り合う形で足を踏み出し床から反力を得れば、ロボットは転ばない。しかし、関節角が目標歩行パターンに完全に追従していても、床の傾きや凹凸によって、目標総慣性力と床反力にずれが生じ、転倒力モーメントが発生する。

ホンダでは、1) 足裏の位置や姿勢を修正することでロボットが倒れそうになる方向に姿勢制御を行う床反力制御、2) ロボットの上体姿勢の傾きと目標上体姿勢傾きの差が大きくなると、目標上体軌道を変更して姿勢を復元させるモデルZMP (Zero Moment Point) 制御、3) 目標ZMPを制御することで生じるロボットの上体と足部の相対的位置関係のずれを理想状態に戻すための着地位置制御によって、転倒力モーメントを傾いた姿勢を復元することに積極的に利用しようという考え方をとっている。

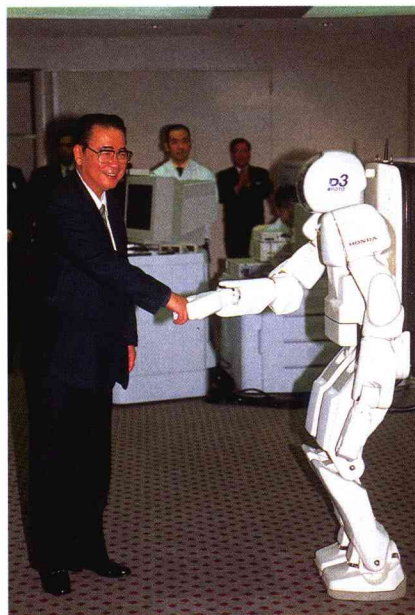
また移動体である以上、外部からエネルギー供給、駆動補助、制御を受けたのでは意味がない。バッテリーやモーター、制御コンピュータなど、すべての機能をロボット体内に搭載する必要がある。このためロボット自体がかなり大きく、重くなってしまう。しかし、姿はできるだけ人間に近いものを目指した。

鉄腕アトムを完成する第一歩

現在、本田技研工業の二足歩行ロボットは、A点からB点まで移動せよというオペレーターからの命令を受けると、床の斜度や状態に応じて自動的に向きを変え移動することができる。階段の昇降は、あらかじめ段数と奥行き、段の高さをインプットしてやる必要があるが、±20mmまでは誤差を自動的に吸収することができる。また内蔵されたバッテリーによって最大15分間移動することが可能となっている。もちろん現在は、外部電源からの供給も可能になっているが、ただ、平坦地から自動的に階段を認識し、自動的に昇降するといった自動認

識機能は搭載されていない。オペレーターが側についてコントロールすることが前提となっている。

制御技術の方針が決まって以降は、数多くのトライ＆エラーを繰り返しながらアクチュエータの調整を行った。その結果、人間の歩行にかなり近い動歩行が実現できた。また押している台車の邪魔



中国・李鵬首相が来日した際に、P3が握手で出迎えた。

をすると足踏みし、放せばまた歩きはじめる、人が上体を押すと自動的に姿勢を制御し、放すとまた元の姿勢に戻るといった反応の自然さは注目に値する。

テレビ画面に映る二足歩行ロボットの姿を見た多くの人がすごいと感じた理由は、歩く姿が人にかかなり近いことによる。それはロボット工学の専門家にも共通することなのだ。

ただ、現在のロボットには物足りない部分がある。当初の研究目標を二足歩行の実現に置いたため、上体は歩行にまったく寄与していない。現在の歩き方は、ちょうど腰を痛めた人が下半身だけで歩いている姿に似ている。

また、人間が活動する場所での移動を実現するためには、扉の開閉なども行う必要がある。テーブル上に手をついて、奥に置かれた物をつかんだり、寝転んだ状態から起き上がるといった動きを実現するためにも、上体の機能は必要になる。現在、時速2～3kmで歩行しているが、このスピードアップも当面の課題となっている。

あくまで基礎研究のテーマとして取り組んだため、ホンダでは応用方法や商業利用といったことは、まったく念頭においていないという。また成功した要因として「歩かせることが目標であり、歩かせるための技術の獲得が目的ではない」という開発姿勢にあったと分析している。開発に携わった技術者たちは、子供のころ手塚治虫の『鉄腕アトム』や横山光輝の『鉄人28号』を読んで育った世代が中心。研究室にはアトムや鉄人の漫画が置かれ、メンバーが内容について議論したこともあるという。「自分たちの研究がアトムを作るために役立つとしたら、こんなにうれしいことはない」。二足歩行ロボットの研究に、技術者としての夢を感じたような気がした。

[取材協力・写真提供：本田技研工業株式会社]