



無限の可能性が ロボット工学の 魅力

5 ロボット工学への誘い

東京工業大学大学院理工学研究科
機械宇宙システム専攻

広瀬茂男 教授



このコーナーでは、私たちの社会や生活に身近な研究テーマを分かりやすく紹介する。第一線で活躍なさっている研究者の研究内容を中心に、学問の仕組みや今後の可能性などについて、インタビューする。

人と同じような姿をしたロボットが、階段をのぼり、子どもたちと走り回り、自転車を乗りこなす——テレビCMなどでおなじみの光景です。一方で、複雑で正確な動作、高速な作業を可能にする産業用ロボットが多くの製造業の現場で活躍しています。これらのロボットを研究するロボット工学の世界は、何を目指し、どんな研究を行っているのでしょうか。最前線のロボット開発の様子を紹介します。

ロボットに明確な定義はない 常に“未来”を志向する存在がロボット

ロボットの語源は、チェコの劇作家カレル・チャペックが1920年に発表した戯曲に登場する「ロボタ」に由来します。ロボタは、人の嫌がる仕事をこなす人造人間として登場しました。人間と同じ形をして、人間の代わりに労働に従事する機械というコンセプトがはっきりしていたため、有名になり、これがロボットのイメージ形成に大きな影響を与えました。もっとも当時は、人間と同じような動きができる機械を作る技術はまだありませんでした。

ところが1960年代に入ると、新たなロボットのイメージが台頭し始めます。アメリカで50年代の中頃に、あらかじめ教えておいたことを正確に繰り返す機械が特許出願され、それが産業用ロボットとして定着していくのです。形は人間とはかけ離れていますが、人間のよう

製造業にもすぐに産業用ロボットが普及し、今では産業用ロボットの生産台数や使用台数は、日本が世界のトップを走っています。やがて科学技術の発展によって、当初のロボットのイメージを実現するようなヒューマノイド（人型ロボット）が登場します。1996年12月に発表されたHONDAの「完全自立人間型ロボットP2」は、人造人間としてロボットの実現に大きな期待を抱かせました。以後、走ったり、踊ったり、自転車に乗ったりできる大小のヒューマノイドが各社から登場し、日本のロボット工学は再びブームを迎えています。

このようなロボットの発展の経緯から、ロボットの定義は極めて難しくなっています。一般的には、①「センサー」を備えて外界を認識し、②そこからの情報を処理・判断する「頭脳」を持ち、③その結果を動きとして実現する「駆動装置（アクチュエータ）」を装備した機械がロボットだと認識されています。しかしそうになると、現在の高度な実用機械である自動車はまさにロボットそのものですが、これはロボットとは呼ばれず、他方、人や動物の形を模したおもちゃはロボットと呼ばれています。私は、「未来機械」のような、夢をもった機械がロボットではないかと考えています。人間や動物などの動きを実現したり、その能力を拡張したりするロボットを追求する過程において、ある程度それが実現すると「自動機

PROFILE



広瀬茂男（ひろせしげお）
東京工業大学大学院理工学研究科機械宇宙システム専攻教授
1947年東京生まれ。横浜国立大学工学部機械工学科卒。東京工業大学大学院博士課程制御工学専攻修了後、助手、助教授を経て1992年より教授。一貫してロボットの創造設計学に従事し、蛇型ロボット、自由型車輪・クローラロボット、全方向移動ロボット、壁面移動機械、惑星探査ロボットなどの開発を進め、駆動系、センサー系、制御系などの要素技術の開発も手掛けている。著書に『自然とロボット、第2巻へび』（桐原書店）、『生物機械工学』（工業調査会）、『ロボット工学』（裳華房）など。2006年紫綬褒章受章。



械」に変化し、さらに先にある機械を目指すようになるのではないのでしょうか。つまり、常に“未来”を志向する蜃気楼のような存在がロボットではないかと思うのです。

ロボット工学は「目的達成学」 問題を解決する自由な発想法が必要

こうした未来志向のロボットを考え、開発していくことがロボット工学の最大の目的ですが、ロボットの定義が明確でないことは、学問の発展にとってデメリットではなく、むしろメリットといえます。どんなアプローチも許容することができ、その成果をあらゆる分野に還元することができるからです。

こうした学問上の性質から、ロボット工学は「目的達成学」だと捉えることができます。つまり、現在入手可能な機構系、エレクトロニクス、そしてコンピュータ技術を組み合わせながら、考えられるすべての方法を駆使して問題解決を図り、与えられた目的を実現していくことがロボット工学だということです。その際、ヒューマノイドに固執しては、目的の達成方法が限られてしまいます。例えばアイロン掛けや駅改札の切符切りをヒューマノイドで実現するよりは、アイロン掛け不要な繊維や切符切り不要な改札システムを開発した方がはるかにスマートです。ロボットの形にこだわると、こうした解決法に思い至らなくなってしまう可能性があります。もちろん、ヒューマノイドや動物の動きを実現するロボットを追求することも、ロボット工学の重要な一分野です。それを実現する要素技術も含めて、研究・開発の成果は他のロボット研究に大きな影響を与え、さまざまな分野での応用が可能です。しかし私は、ロボットの形態に拘泥されることなく、制約条件の中から最適な解を探索する自由な発想法こそが、ロボット工学に最も必要なことだと考えます。多くの解決法の1つがヒューマノイドであってもいいし、そうでなくてもいいのです。

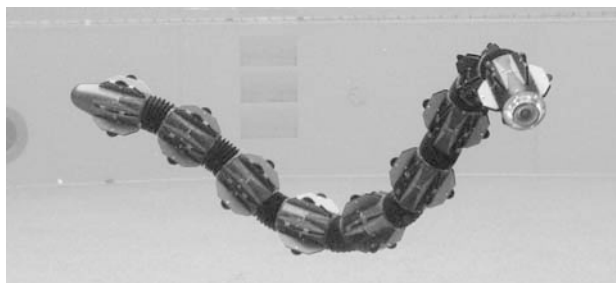
蛇型ロボットから4足歩行ロボットまで シーズとニーズの両面からの研究・開発

では、具体的なロボット開発を例に挙げて、ロボット工学の世界を紹介しましょう。

●蛇型ロボット——蛇の推進システムを機械で実現

私は、学生時代からずっと蛇型ロボットの研究をしています。「蛇は足がないのになぜ推進できるのか」という単純な疑問から始まった研究です。それまで正確な蛇の歩行（蛇行）を説明する理論は確立されておらず、

<写真1> 水陸両用の蛇型ロボット「ACM-R5」



愛知万博でも披露され、陸上で蛇行できるのはもちろん、全体の比重を1にしたことによりバッテリーが長持ちし、水中でも本物の蛇と同じように自在に動くことができる。

蛇行を実現する機械も存在していませんでした。そこで研究室で本物の蛇を飼育しながらその動きを観察し、その動きのメカニズムを研究しました。例えば、蛇が蛇行するときの曲線としては曲線に沿った曲率の変化率が正弦波のように変化する曲線である「サーペノイド・カーブ」を提案して実際の蛇の蛇行曲線と比較したら見事に一致しました。

蛇の蛇行曲線以外にも、いろいろな観点からヘビの動きを実現するメカニズムの研究をしました。蛇の筋肉の力がどう働いているのか、蛇行の際に体の一部を浮かせるのはなぜかなどの追求です。そして、蛇そのものを理解する研究と並行しながら、蛇型ロボットの開発を進めてきました。

現在、最も進化した蛇型ロボットは、水陸両用の「ACM-R5」です<写真1>。水中を自在に泳ぎ回ることができ、先端にカメラを搭載することもできます。このロボットを応用すれば、下水管などの狭い水路内部や、人が入っていけない原子炉内部の監視用装置などに応用できる可能性があります。狭い所に自在に入っていけるメカニズムを最大限発揮するレスキュー用ロボット「蒼龍（そうりゅう）」の開発も進めています。

このように、蛇型ロボットは、最初は蛇そのものの理解やその動きの追求という、いわばシーズの研究でしたが、その有効性が明らかになると、現実のニーズに合わせて問題を解決するための研究にもつながっていきます。目的達成学であるロボット工学では、このようにシーズとニーズの両方の研究が必要で、それぞれの研究からの相互のフィードバックが、ロボットの可能性を大きく広げていくのです。

●人道的地雷探知除去ロボット

——危険で時間のかかる地雷探知を自動化

ロボットは、俗に3Kと呼ばれるような、人間にとって危険できつい作業に活用してこそ、もっともその有効性

が高まります。そうした作業の代表例の1つが地雷除去であり、それを実現するようなロボット開発を、5年前から国が進めるプロジェクトの一環として推進しています。

これはアフガニスタン復興支援のために始めたものです。当初は、人間の代わりに地雷原に入っていく、地雷を探知・除去する歩行ロボットを想定していましたが、アフガニスタンに行ったことで、考え方が一変しました。地雷

原をよく見ると地雷原は安全地帯と完全に隔離されていることから、安全地帯から地雷原の内部に腕を伸ばして作業を行い、地雷を慎重に除去しながら徐々に地雷原の面積を狭めていくという方法が可能になりました。また、地雷除去作業は現地では重要な雇用を生み出しており、人間の代わりに作業するのではなく、人間と共に作業するロボットが求められていることなども判明しました。つまり、地雷を除去するという目的のために、物理的、社会的な制約条件に合う最適な解決法を見つけることが求められていることを再確認したのです。

そこで、歩行ロボットに変わって開発を始めたのが四輪型の地雷探知除去ロボット「Gryphon (グリフォン)」です<写真2>。地雷除去チームの本拠地から地雷原まではかなり距離があるため、朝晩の通勤の手段としても使え、現場では遠隔操作によって、地雷原の外側から内側へアームを伸ばして地雷を探知できます。現場に電源はありませんから、ガソリンエンジンで発電して電気系統を駆動し、往復の移動と地雷探知作業のすべてを1日1回の給油でまかなえるようになっています。

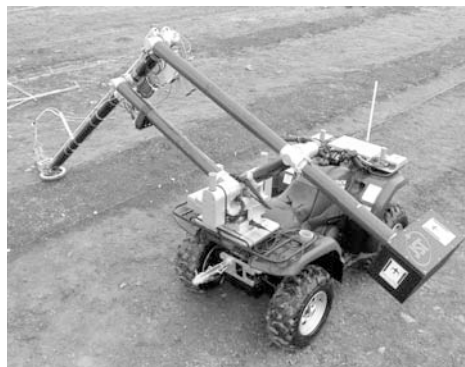
地雷除去には、探知、除去、爆破などのプロセスがありますが、「Gryphon」は当面、探知を効率的に自動化することを目指しています。今後は探知能力のいっそうの高精度化、高速化を進めると同時に、除去に至るまでの過程を含めて自動化できるロボットを開発していく予定です。

● 4足歩行ロボット

——建設現場などでの実証実験がスタート

4足歩行を可能にするロボットの研究も行っています。「歩く」という移動手段は、車輪での移動に比べて、多くのアクチュエータが必要で駆動系も複雑になりがち

<写真2> 人道的地雷探知除去ロボット「Gryphon (グリフォン)」



実用化には低コストが重要なため、市販の四輪バギー車を改造することで、安定的な供給を可能にした。砂漠や高温多湿地帯など、あらゆる気候条件下でも作動するような工夫、特に熱対策には苦労したという。

<写真3> 4足歩行型法面作業ロボット「TITAN XI」



建設会社と共同で開発し、まもなく実際の現場での実証実験が始まる。重さは約7 t。4足歩行だからこそ可能な動きで斜面を安定的に移動することができる。

ですが、斜面や凹凸面での安定的な姿勢が可能だったり、障害物を避けられたり、全方向に移動可能だったり、大きなメリットがあります。そこで、30年以上前から実用化に向けて取り組んできました。

最新型の1つが、2008年から建設現場での実証実験が始まる「TITAN XI」です<写真3>。斜面を削って道路や線路を通す場合、崖崩れを防ぐために鉄筋コンクリートのフレームを格子状に敷設して斜面を補強する工事が不可欠ですが、格子の交点では、長いロックボルトやアンカーボルトを岩盤に打ち込む必要があります。そのための掘削工事はこれまで人手に頼ることが多く、実用化されている掘削機械も複雑な地形では用いることができません。しかし「TITAN XI」なら、障害物を避けながら斜面を安定的に移動でき、掘削機の姿勢を維持できます。

ほかにも、圧縮空気を吹き出してジャンプするクモ型の跳躍ロボット「Air Hopper」や、吸盤を用いて垂直壁面を移動できるロボット、階段昇降用のロボットなどを開発しています。

* * *

これまで紹介してきた以外にも多くのロボット開発を行っており、最終的には福祉や環境の分野など、人間の幸福な生活を支える機械として、安心・安全を支えてくれる知的な道具としてのロボットの開発が、ロボット工学の大きな目標になってくるでしょう。

特に高校生の皆さんに伝えたいのは、既成の機械だと研究の方向性はある程度決まってきましたが、ロボットは未来志向が強く、これまでにないもの(形状、機構、性能など)をゼロから作っていくことができます。このほぼ無限の可能性がロボット工学の最大の魅力なのです。