



# ロボットに夢を託して

## 小俣透 研究室～精密機械システム専攻



小俣 透 助教授

ロボットという言葉が生まれて、今年でほぼ80年になる。この長い年月の間に、ロボットは空想上の物体から実際に我々の身近に存在するものへと変わってきた。そして現在も、多くの研究者の努力により日々着実に進歩しつつある。

小俣研究室もまた、ロボットの可能性を追いかけ続けている。この研究室のロボットたちは「柔らかな発想」で既存の概念を打ち破って作られた。そして現在は「堅い解析」も駆使して、その完全な動作を実現しようとしているのである。



## 多機能なロボットを目指して

皆さんはロボットというと何を思い浮かべるだろう。色々なイメージがあると思うが、その多くは多様な動作を自ら判断して自動的に行う万能な機械、というものではないか。しかし、実際に世の中で動いているロボットと呼ばれているものの多くは、単機能、つまりあらかじめプログラムされた単純な動作しかできない。例えば工場などで作業を行う産業用ロボットのほとんどは、決められた作業を自動的に繰り返すだけだ。このようなロボットは1つの品物を大量に生産する場合には有用だが、その用途以外には全く使い道がない。そのためロボットに生物のようなバラエティー豊かな動作をさせたい、これがロボットを研究している人の大きな目標であるのだ。

今まででも多機能なロボットの製作は色々試みられてきた。その考え方は生物に似た構造をとれば生物に近い動作ができる、というものに傾きが

ちであった。これは具体的に言うと、生物の骨格を金属に置き換えて、関節の部分には金属同士を結びつけて動かす役目を持つアクチュエータ（動力源）を取り付けることである。しかしそのような構造のロボットの実現というのはあまり現実的ではない。なぜなら、アクチュエータがかなり重いため、生物の持つ関節と同じ数のアクチュエータをロボットにつけると、その重さから動けなくなってしまふからだ。

それでは動くことができる重さで、かつ多機能なロボットを実現するにはどうすればよいのだろうか。ここで小俣先生は頭を切り替えて「生物から模倣すべき機能を学び、実現可能な構造を考え出せばよい」と考えられた。小俣研究室ではこの発想に基づき、シンプルな構造をとりながら多機能なロボットを目指しているのだ。



## 大地を疾駆する4脚ロボット

写真1を見てもらいたい。これは歩行して作業をすることから「作業移動ロボット」と呼ばれて

いる。このロボットはアクチュエータの数が12個と比較的少ないため、現実的に動ける重さとなっ



写真1 4脚ロボット

ている。またアクチュエータが少ないにも関わらず、実に様々な姿勢をとることができる。そして更に、このロボットの大きな特長は3つある。

まず第一は、臨機応変な歩行ができる点だ。歩行ができるロボットは数多くあるが、その歩行場所が平らで障害物のない所に限定されるものが多い。しかし、実際に私たちが生活している世界においては、地面の大部分に起伏があり、障害物もあって当然である。このロボットはそのような場所での歩行を可能にしているのだ。まず、2脚歩行ではなく4脚歩行なので、傾斜がある地面の上でも安定して歩行できる。また普通に歩いているとは越えられないような高い段差があったとしても、図1のようにすれば段差を乗り越えて行けるのだ。この動作によって、地面に大きな障害物があったとしても、それを乗り越えて行くことができる。

さて、ここで1つの課題がある。どうやって地面の様子や障害物の有無を認識するのか、ということだ。この認識をロボットが現場で自立的に行

えなければ、せっかくの多様な歩行も生かすことができないからだ。そこで研究室では、脚の各所にかかっている力の大きさや方向を測定し、地面の起伏や障害物の情報として利用する方法を考えている。つまり脚にかかっている力の変化をリアルタイムで察知し、周囲の状況を判断しながら、それに応じて歩行するのだ。

第二の特長は、脚を腕のように用いて物体を持てる点だ。これはまず2本の脚で立ち上がってから、上方の脚の間隔をせばめて物体の幅に合わせて狭むようにして持つ。このような動作ができれば、物体を持ってから自分の背中に乗せて運ぶことも可能だ。また邪魔な障害物を移動させながら歩行することができるため、歩行の柔軟性も更上がる。

物体を持つ際に重要なのが、どの程度の力で挟むのか、ということだ。不必要に大きな力を加えれば物体によっては変形してしまうからである。そこでロボットが物体に加えている力、つまりロボットの腕にかかっている力を測定する。こうすることで、ロボットが物体を持つ際に適度な力を加え続けられるようになるのだ。

第三の特長は、複数のロボットによって多様な協調作業が可能だ。例えば1台のロボットでは運べないような細長い物体があったとしても、物体を2台のロボットの背中に乗せることで運ぶことができる。しかしそのためには、物体が落ちないようにバランスをとる必要がある。そこで、2台のロボットの背中に掛かっている力を測定する。図2のように力が等しければ物体は最も安定するのだから、そうなるようにロボットの位置を変えればよいのだ。

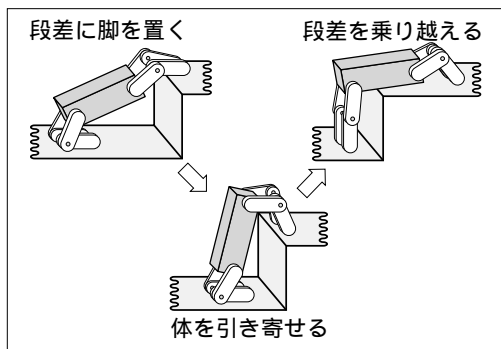


図1 4脚ロボットが段差を乗り越える様子

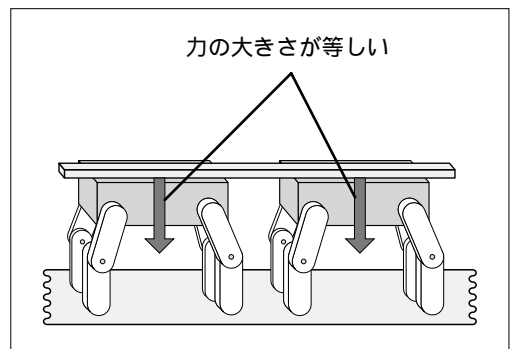


図2 2台のロボットによる協調作業

ここまで作業移動ロボットの3つの特長を見てきたが、これらの動作の実現のためにはまだ様々な問題がある。その1つに、力の測定をどうやって行うか、ということがあるのだ。力の測定を行うには力覚センサというものを用いる。今までは市販のセンサをロボットの形に合うように作り変えてつけていた。しかし市販の物はロボットの部位によっては形が合わなかったり、重いため多くはつけられなかったりと問題がたくさんあった。

そこで力覚センサも研究室で作ってしまおう、と試作されたのが写真2にあるようなセンサである。このセンサの表面はなだらかな曲面になっていて四隅を強力なバネが支えている。内部は空洞であるから、市販のセンサよりも軽くなっている。動作の仕組みを説明しよう。まずセンサの表面に力が加わるとその部分がへこんで内部空間が変化する。そこで、その変位をレーザー光で測定して計算をすることで、最終的に力が測定できるのだ。また力覚センサの表面が曲面であることからロボットの四角の腕につけてやれば腕が多様な形状をとることができる。そのためより様々な物体を持てるようになるのだ。

最終的には、力覚センサをロボットの全身につけて「全身知覚ロボット」を作るのが研究室の目標である。そのためには力覚センサをたくさん装



写真2 力覚センサ（研究室製作）

着しなければならない。するとそこでまた問題が生じる。このセンサは市販品に比べれば軽いが、それでもたくさん装着すると重くなってしまい、配線も増えてしまう。したがって力覚センサについては現在も研究中なのだ。

このロボットは人間が行けないような場所でも作業することができる。そのため、例えば災害現場での被災者の救出作業や、高熱の火山地帯での採取作業など、活躍場所は無限に考えられる。すると人間があえて危険な区域に立ち入ることなく作業できるようになるだろう。近い将来、このロボットが完全に実現されることを期待したい。



## 手の中には何がある？

次に写真3を見て頂こう。これは4本の指を持つ手の形をしたロボットである。ロボットの手というと、UFOキャッチャーに付いている手のようなものを思い浮かべる方も多いのではないだろうか。そのような手は駆動部分が1箇所、つまりアクチュエータが1個ということだ。できる動作は手を開くことと閉じることだけの典型的な単機能ロボットである。そこでもっと人間のように多機能で実用的な手を作れないだろうか、ということで開発されたのが、この多指ハンドロボットなのだ。これは指1本につき3個のアクチュエータがあり、全部で12個のアクチュエータを持つ。具体的な動作例を見てみよう。

人間が手を使ってよく行う動作の1つに、一度物体を持ってから、それを手の中で動かして持ち方を変えるものがある。人間はこれをいとも簡単



写真3 ハンドロボット

にやっつのけるが、ロボットにとっては実は至難の業である。なぜなら、物体を持ち替えるまでに行う1つ1つの動作は単純なのだが、人間はそれを非常に複雑に組み合わせているからだ。それで

は、ハンドロボットにこの動作を実行させるにはどうすればよいのだろう。

まず、ハンドロボットが実行できる基本的な動作のプログラムを、あらかじめコンピュータに入れておく。そして物体の初期姿勢と最終的な目標姿勢を入力すると、用意されている動作をどのような順序で実行していけば目標姿勢に持ち替えられるか、という問題をコンピュータが解いてくれる。後はその順序通りに動作を実行すれば、物体の持ち替えが完了するのだ。

では次に、ロボットが基本的な動作を実行する際の課題を見ていこう。まず、物体の把持状態の認識がある。人間であるなら把持状態は触覚と視覚で判断できるだろう。ロボットの場合はそれに代わるセンサが必要である。そこで、このロボットの指先には触覚センサと呼ばれるものをつけている。触覚センサとは、指先に接触している物体の面の向きと力の大きさを判断できるものだ。これによって、ロボットの指先が物体をどういう角度、どの程度の力で持っているのかというデータが得られる。

すると次に生じる問題は、物体を持つ力の制御である。物体を持つ力をどの程度にすればよいのかということ、リアルタイムで把持状態から計算しなければならない。この計算が速いほど安定した動作が実現できるのだ。これまでは計算が遅かったため力のバランスが崩れやすく、速く動かそうとすると、物体を落とすことが多かった。しかし近年、ドイツからの客員留学生を迎えて新しい計算方法が試みられている。これにより計算が

非常に速く行われたので、動きもなめらかになり安定した動作ができたとのことだ。

さて、今までは物体の持ち替え動作について見てきたが、ここで用いた技術を利用すれば、また新たなことができる。それは未知の物体全体の表面の形状がわかる、ということだ。どういうことか説明しよう。まず触覚センサの働きによって、指先が触れている物体の面の様子は認識できる。そのため一度物体を持ってから少しずつ動かして行くと、次々に面の様子が明らかになる。すると最終的に物体全体の形状が判明するわけである。これにより、ハンドロボットは全く未知の物体の形状を把握することができるのだ。

すると、このロボットにできる作業が、従来の産業用ロボットに比べると非常に多様であることがわかってくる。今までのロボットはあらかじめある作業用の型に作られ、その作業以外の作業はできないものであった。しかしこのロボットは、様々な形状の物体に対応できる。また、それが例え未知の物であっても自らその形状を把握し、その物体にとって最適な把持状態を保てる。そのため様々な形状の物体を選り分けたり、安定して物体を移動させたりすることができるのだ。

時代の流れは今「少品種大量生産」から「多品種少量生産」に移りつつある。小俣先生は将来的にこの機械を「多品種少量生産」の工場などで働かせたいと思われている。このように1台で複数の品種に対応できるロボットは、これからの時代には正に必要不可欠であると言えよう。



## アクチュエータを減らせ！

最後に、まだ構想段階で実物はないのだが、軽量化の進んだシンプルな構造を持つロボットを紹介しよう。

今まで紹介してきた2台のロボットはアクチュエータがそれほど多くはなかったが、やはり製作には大変な労力を要した。そこでアクチュエータを可能な限り減らし、製作が比較的簡単なロボットを開発しよう、ということでこのロボットが考え出されたのである。それでは一体どのようにしてアクチュエータの数を減らすのだろうか。

図3を見て欲しい。これが構想中のロボットの

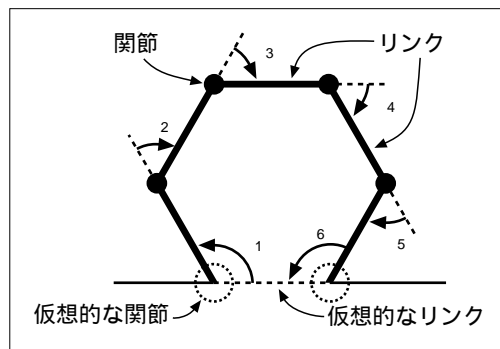


図3 構想中のロボットの構造

構造である。図3のリンクとは関節により結ばれている部分だ。地面とロボットの接点も仮想的な関節として捉えるため、地面の一部もリンクとして考えられる。図3を見てわかるように、このロボットのリンクは一周して閉じている。1, 2, ……<sub>6</sub>とは動かすことのできる部分の角度であり、これらは全て変数である。

さて、今変数が6個出てきたが、このロボットのリンクが閉じていることから、変数の値がいくつか決まってくる。まず、<sub>6</sub>は他の変数1, 2, ……<sub>5</sub>により自動的に決まってしまう。次に、リンクが一周して閉じていることから、ロボットの構造に沿って一周すると、X, Y座標が共に元の位置に戻って来なければならない。これにより変数2個の値が決まってくる。以上の話より変数6個のうち3個は値が決まるので、 $6 - 3 = 3$ 個の変数が任意の値を取れる。つまり3個の関節部分が自由に動かせることになる。

3個の関節部分が自由に動かせるとは、本来はアクチュエータは3個でちょうどよい、ということだ。もしアクチュエータの個数がそれよりも多ければ、ロボットの脚に余計な力がかかるため脚の先がすべってしまう。また逆に少ないと、普通は力が足らずに立ってられない、と考えられる。しかしここで、あえてアクチュエータを2個に減らして軽量化をはかろうとするのが小俣研究室の発想なのである。

普通はアクチュエータが2個しかなければ、ロボットは倒れるはずだ。では、どうやってロボットが立ってられるようにするのだろうか。まず、現時点でのロボットの立っている様子を調べる。アクチュエータの数が足りないために、そのまま放っておけばこのロボットはやがて倒れてしまう。そこで、これを支えるため2個のアクチュエータ

を動かしてバランスをとる。そして再び立っている様子を調べる、という具合に作業を繰り返していく。このようにして不安定なはずのロボットが立ってられるようになるのだ。

現時点ではまだ制御の方法をシミュレーションしている段階であるが、このロボットが現実のものとなれば、その製作の容易さから大量生産が可能である。このロボットの大きな特長は、一台は非常にシンプルなのだが、複数個が合わさることで複雑な構造をとれることだ。するとこの特長から様々な協調作業が考えられる。例えば、複数個が重なって高くなったストラクチャ（構造物）を作る。そして1台のロボットがそれを登り降りすることで、高い場所から低い場所へ、あるいは逆方向へも移動できる。また図4のように、複数のロボットがストラクチャを作り、その上に1台が乗ることで、ロボットがジャンプできる。このように多数のロボットがないと実現しない色々な動作が実現できるかもしれないのだ。これらの構想が現実となることを願ってやまない。

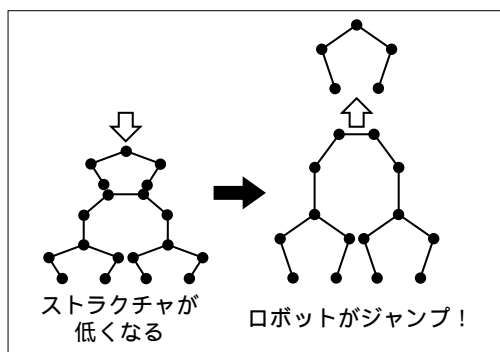


図4 複数のロボットによる協調作業

本文では触れることができなかったが、4脚ロボットとハンドロボットには密接な関係がある。研究室ではまずハンドロボットが作られ、そこから4脚ロボットのアイデアが生まれたのである。ハンドロボットの指部分を切り離して地面に持ってくれば、4本脚のロボットとなるのでは、という発想だ。こうしてみると、ロボットのアイデアというのは実に「柔らかな発想」が必要な

のだなと感じさせられる。それと同時に、そのアイデアを実現させる堅実な技術力、つまり「堅い解析」も必要とされる。この2つがロボット工学を研究する者の、ひいては研究者としての基本である、と小俣先生はおっしゃった。

最後になりましたが、お忙しい中我々の取材に快く応じて下さった小俣先生に心よりお礼申し上げます。  
(池迫 久美子)