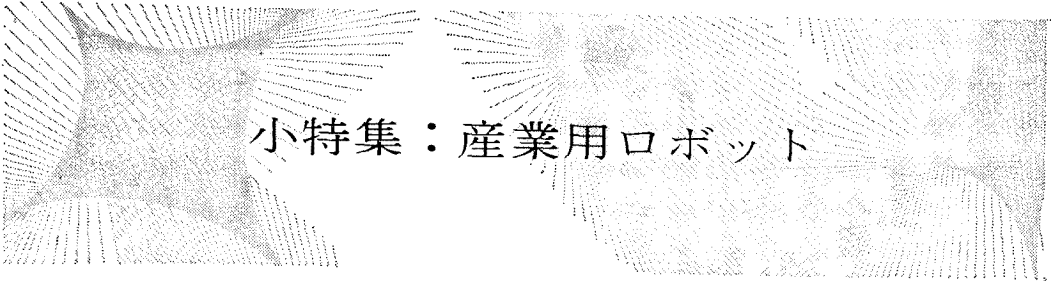


UDC 007.52:62.002.5(091)



## 小特集：産業用ロボット

### I. 産業用ロボットの歴史と現在の動向

正員 長谷川 健 介

東京工業大学工学部制御工学科

#### 1. は し が き

1967年に、はじめて我が国に産業用ロボットがアメリカから輸入されてから13年目を迎えたが、いまや世界で質、量ともアメリカと比肩されるほどにロボット産業は発展し、数人の従業員をもつ小企業でもNCと同様に産業用ロボットが導入されるようになった。

1980年までの予測生産高は約870億円ともいわれ、更に今後の普及と機能の向上が見込まれ、各産業においてロボットが不可欠となる分野もでてくることが予想される。

本稿では、このような産業用ロボットの生い立ちと発展についてまず述べ、続いてその特徴、構成について説明し、更にロボットの種類、分化の傾向などを例によって紹介する。

#### 2. 産業用ロボットの生い立ちと発展

第二次世界大戦後、オートメーションは各産業分野において急速に発展していったが、これは人間が不得意とする、あるいは人間には不可能であるような作業の自動化をもとにしたものであり、問題によってはそれほど困難なものではなかった。しかしながらその一方、人間の得意とする器用な手作業の自動化は実は最も困難なものとして保留され、その結果、特に機械産業においては、機械、装置群の中にブルーカラー族が取り残され、騒音、高温、高湿などの悪労働環境の中で単調な仕事を続けざるを得なかった。

1954年、アメリカのDevol氏はこの点に注目し、このような単純労働を実行できる自動マニピュレータのアイデアを特許出願したのが産業用ロボットの考

え方の始まりとされている<sup>(1)</sup>。これは1自由度の動きしか持たない非常に単純なものであったが、作業をロボットに教え、これを繰返し再生する、いわゆるプレイバックロボットの考え方がその中に含まれていた。

1958年、Devol氏はCCC社(Consolidated Control Corp.)と提携し、Engerberger氏、Dunne氏らとともに「デジタル制御方式による記憶再生式マニピュレータ」を商品化すべく開発研究に入り、1959年に完成した。これが本格的な最初の産業用ロボットUnimate(Universal Automation)の誕生である。Unimateは、ちょうど戦車の砲台のような形(第5図参照)で砲身が腕に相当し、手先を極座標に従って動かすようになっている。一方AMF社は1962年、腕が上下平行移動、左右旋回、そして前後出し入れの三つの自由度をもつ円筒座標形のVersatranを開発した。これら極座標形と円筒座標形の産業用ロボットは、それ以後ロボットの構造の主流となった。このように開発された産業用ロボットは、アメリカにおいてGM社、フォード社など自動車産業における金属加工工程、例えばダイキャスト、プレスにおける部品のそう入、取り出しに利用されてその有効性が実証され、1968年にはGM社はユニメートを68台も発注するなど完全に実用期に入った。

一方、我が国では1967年、バーサトランが豊田織機に納入されたのが輸入第1号である。しかしながらほぼ同じころ、各社における産業用ロボットの開発が相次ぎ、アイダエンジニアリング、石川島播磨が先発し、川崎重工はユニメートの輸入と国産化を始めたが、それ以後の産業用ロボットの急速な開発と普及は前例のないものであった。その理由には、ユーザ側で

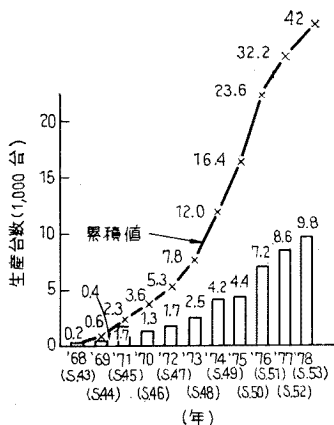
の事情として、労働力不足を補うための省力化、労働環境条件の改善がまずあげられるが、更に、生産様式が製品の多様化に伴って大量生産から中種中量、更には多種小量生産に移行する傾向にあり、これに対応させるため作業内容が容易に変更できる産業用ロボットの導入が進められたと見ることができる。

一方、メーカ側には、各種産業機械、NCの開発によってサーボ機構、シーケンス制御など自動化技術の蓄積があり、これらを動員していっせいに新しい商品としての産業用ロボット開発が始められ、一時は我が国だけでロボットメーカとして約100社が名を連ねた。また、人工知能、パターン認識、計測制御技術、計算機応用技術などに関する高いレベルの研究成果を有する大学、研究所など、公私研究機関がロボットの研究に注目し入っていたことは、ロボット技術を全般的に高める役割りを果たしたといえよう<sup>(2)</sup>。

第1図<sup>(3)</sup>は我が国でのロボットの生産台数の推移、第2図<sup>(3)</sup>はそれを金額面からみたものである。1973年10月の石油ショックを契機とした世界的な経済不況はロボット生産の伸びを抑えたものの、1976年以降、物価、人件費の高騰を生産性向上で対処しようということから自動化、省力化が再び推進されたことが図からうかがえる。1980年のデータは産業用ロボット工業会が行なった需要予測によるものである。

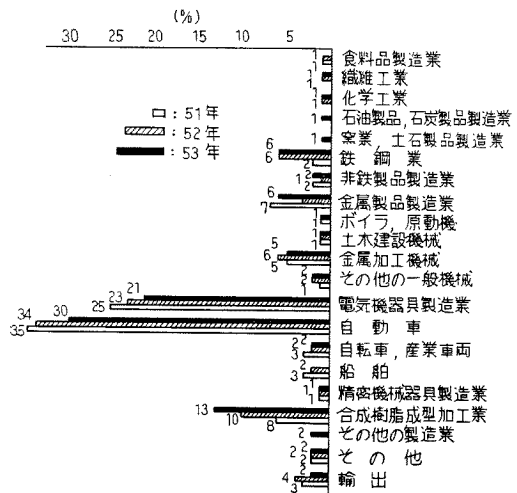
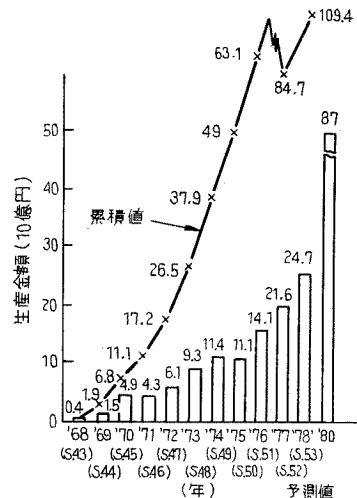
産業用ロボットの技術の発展に伴ってその利用分野も広範囲にわたっている。第3図<sup>(3)</sup>はこれを示したものである。主要分野としては自動車産業(35%)、電気機械器具産業(25%)があげられる。

産業用ロボットの利用分野は製造業以外にも浸透していく傾向を示しており、原子力、海洋、建設などの関連分野で、悪労働環境からくる事故、疾病より労働者を保証しようとする産業・社会福祉向上の目的でロボットの導入が今後一層促進されるものと思われる。



第1図 産業用ロボット生産台数の推移

第2図 産業用ロボット生産金額の推移



第3図 産業用ロボット導入の分野別推移 (% 生産金額)

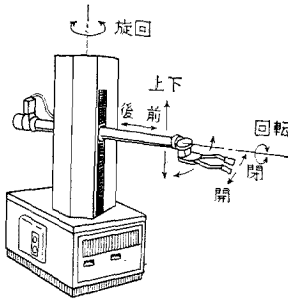
### 3. 産業用ロボット

産業用ロボットの定義はまだ正確にはされていない。ロボットそのものの正式な定義が未だにないからである。しかしながら、ここでは一応、産業用ロボットを「人間の腕や手などに類似した運動機能を備え、これにより必要に応じて目的とする対象物体に所望の操作を加えることができる機械」としておこう。つまり、産業用ロボットはマニピュレーション作業を中心に用いられるものであり、必要に応じてプログラム変更により各種の作業を実行できる機械である。

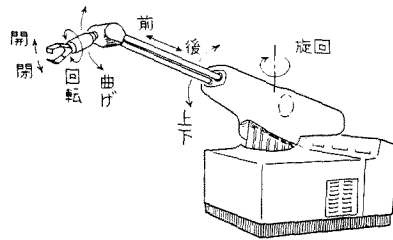
このような機能には機構的な面と制御的な面があるが、以下これらについて説明しよう。

#### 3-1 産業用ロボットの機構

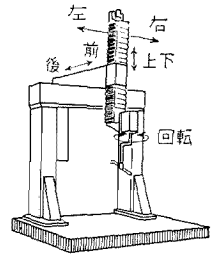
いわゆるロボット本体と呼ばれる部分であって、指



第4図 円筒座標形



第5図 極座標形

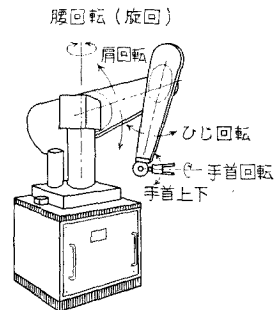


第6図 直角座標形

手、腕および腕を支える胴体に相当する部分、更に場合によっては作業範囲を拡げるために移動機能(車、足)が加えられる。手先を空間中どのような位置、方向にも置けるためには最低六つの自由度が機構に必要なってくるが、産業用としては作業を限定するか、ほかの補助機器を利用するかして自由度を6以下にして機構が必要以上に複雑になり高価になることを抑える場合が多い。産業用ロボットは腕の先端が手首に相当し、これに手部がついている。腕の先端をどのような座標に従って動かすかに対応して、ロボットの機構は円筒座標形(第4図)、極座標形(第5図)、直角座標形(第6図)に分類されるが、更に人間や動物の形態に近い関節(第7図)がある。それぞれの機構は用途により使い分けられる傾向にある。円筒座標形および極座標形は、被加工品を加工機に取り付け(ローディング)たり取り外し(アンローディング)したりするのに適するものとして多く採用されているが、直角座標形は溶接用のロボット、関節形は最も動きに融通性があるとして、ローディング、アンローディング以外に溶接用、塗装用に採用されることが多い。

手首の部分での動きは人間のそれに近いものがほとんどであるが、自由度は第1～4図に示すように普通2であることが多く、研究用など、特別な場合にオプションとして3自由度にするようである。

各自由度を駆動する駆動装置は空気圧式、油圧式、電気式、それぞれが利用されるが、速い動作ではあるが単純な動きをするロボットに対しては空気圧式が多い。油圧式は速度性と高出力とにより多く用いられてきたが、最近ではNCにおける傾向と同様、特性のよい直流サーボモータの開発により保守の簡単な電気式に移行する傾向にある。これは、特殊のものを除いて、それほど高速で作業を行なわせる必要がなく、また場合によっては速度を適当にして、接近して作業する人間に危害を加える機会を少なくするということからきたものと考えられる。



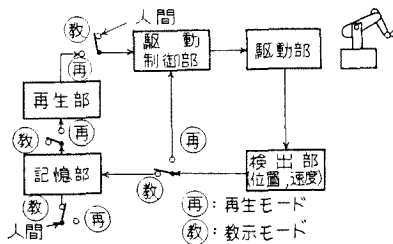
第7図 関節形

### 3.2 制御部

制御部はロボットに必要な作業を記憶したり、記憶した内容を再生して作業を実行したりする部分であり、いわば人間の脳・神経系統に相当する。

電子計算機と同様、ロボット自身は実行すべき作業内容をはじめから自分で作るわけではなく、何らかの形でプログラムされなければならない。作業に必要な情報は、大別して順序情報、時限情報および位置情報であり、これらをプログラミングによってロボットに記憶させるわけである。その点、NC機械と同様であるが、実際には重要な点で異なっている。NC機械はふつう加工機であり、加工は被加工物に対して機械がもっている位置情報に従って順次、工具の刃先を動かして切削する。これに対して、ロボットは対象物体のハンドリングであるから、一方的にロボットがはじめから持っている位置情報で相手に操作を加えるわけにはいかず、あえてそれを実行すると互いに衝突して対象物体をはねとばしたり、壊したり、更には自分自身の一部を破壊したりすることがある。

従って、ロボットの動作は「位置決め」的ではなく、「位置合せ」的なものでなければならない。そのため、作業の内容がはじめに示された場合、順序および時限に関する情報は前もって対象にほとんど関係なくプログラミングすることができるが、位置情報はそうではなく、現場において人間がロボットを動かしながら対



第 8 図 ロボットの制御部の機能

象物体に指を近づけ、つかませることにより逐次実際の位置を教えなければならない。このような手続を先の順序および時限情報のプログラミングと合せて「教示」と呼ぶことにしている。教示された内容を対象物体に関連させながら再生して動かすと作業が自動的に実行できるわけである。

第 8 図は以上のような機能をもつ制御部を構成線図で表わしたものである。図中⊙は教示のモード、⊕は再生のモードを示す。

最近では、制御部はマイクロプロセッサの発達によってこれが採用される傾向にあり、機能の向上は当然として、小形化および高信頼化が進められるものと期待される。

これまで述べた産業用ロボットは全く外部に対する感覚器は持たず、教示によって得られた情報をもとにして動き、またまた対象に出逢うという動作を繰返すものである。従って対象が決められた位置や姿勢で置かれていなければ、もはやロボットは作業を実行できなくなる。また対象が壊れやすい物体である場合、ロボットのもつ固定の握力力で物体をつかむと対象をつぶしてしまう可能性もある。更に生産ラインの効率的な利用のため同一のコンベア上に異なる物体が任意の位置、姿勢で乗って運ばれてくる場合、上述の機能だけでは無能なものになってしまう。そこで必要なものが感覚器である。人間の感覚のうち、産業用ロボットとして必要なものは視覚、触覚であり、現在、その方面の基礎的研究、あるいは実用化研究が進められている。

感覚器は検出端と信号処理部、更には情報処理部を含めて考える場合が多い。制御部では感覚器で得られてきた信号あるいは情報により、状況に適応した動作を行なうことができるよう、動作および制御内容がプログラムされる。また最近では聴覚を持たせ、人間の音声でロボットを制御することが試みられており、感覚器のロボットへの導入はロボットの知能向上の問題とともに今後ますます興味深いものになってくるであろう。視覚、触覚についての詳細は本小特集の解説を参照されたい。

#### 4. 産業用ロボットの種類

産業用ロボットの分類はいろいろな面から考えられるが、機構および機能の上からの分類がまずあげられる。第 4 図～第 7 図までの各種の機構の名称をロボットの上にかぶせて各ロボットの名称がつけられている。

また機能からみた分類は、そのロボットがどの程度の入力情報や教示内容を受付け処理できるかによって決るとして、入力情報・教示からの分類と呼んでいる。第 1 表はこれを示したものである。

一方、実用面から自然発生的に職種別の分類も進んでいる。産業用ロボット開発の初期においては、「汎用ロボット」と銘うって汎用をうたい文句にしたものが多く現われたが、実際に導入した結果、「汎用」ではなく「無用」の長物になることもあったようである。

そこで作業内容に合った専用のロボットの開発と、ロボットの機構を幾つかのモジュールに分け、これが必要に応じて組合せて利用する方式の開発とが並行して進められてきた。

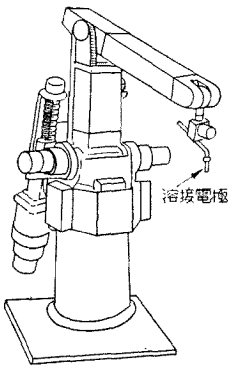
専用形のロボットとしては、溶接ロボット(第 9 図)、塗装ロボット(第 10 図)がその代表的なものであり、その他、プレス用のロボット、工作機械専用ロボット、重量物専用ロボット、パーツフィーダロボットなどがあり、それぞれ有効に利用されている。

溶接や塗装は労働環境の劣悪なことで知られており、そのため作業者の定着率が非常に悪い。このような問題を解決する意味で、溶接ロボット、塗装ロボッ

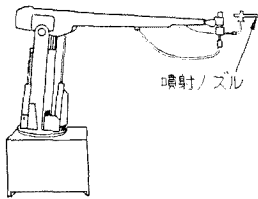
第 1 表 入力情報・教示からの分類

用語	意味
マニピュレータ	人間のうし(肢)の機能に類似した機能をもち、対象物を空間的に移動させるもの。
マニュアルマニピュレータ	人間が操作するマニピュレータ。
シーケンスロボット	あらかじめ設定された順序と条件および位置に従って動作の各段階を逐次進めていくマニピュレータ。
固定シーケンスロボット	あらかじめ設定された順序と条件および位置に従って動作の各段階を逐次進めていくマニピュレータで、設定情報の変更が容易にできないもの。
可変シーケンスロボット	あらかじめ設定された順序と条件および位置に従って動作の各段階を逐次進めていくマニピュレータで、設定情報の変更が容易にできるもの。
プレイバックロボット	あらかじめ人間がマニピュレータを動かして教示することにより、その作業の順序、位置およびその他の情報を記憶させ、それを必要に応じて読み出すことにより、その作業を行なえるマニピュレータ。
数値制御ロボット	順序、位置およびその他の情報を、数値により指令された作業を行なえるマニピュレータ。 例：せん孔紙テープ、カードやデジタルスイッチなどによるもの。
知能ロボット	感覚機能および認識機能によって行動決定のできるロボット。

JIS B 0134-1979「産業用ロボット用語」より



第9図 溶接ロボット



第10図 塗装ロボット

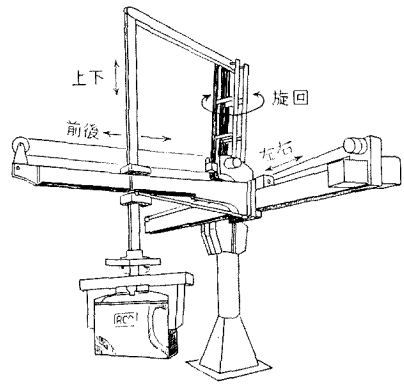
トは非常に有効であり、また世界の各ロボットメーカーがその商品化を行なっている。このロボットは関節形が多く、従って、その制御は一般に複雑となる傾向にあるが、最近のマイクロプロセッサの導入はこの問題の解決に大きく役立っている。

一方、重量物のハンドリングは労働災害を招く原因ともなるが、これに着目したロボットの実用化も進んでいる。ロボット機構では先端から手部、腕そして胴体部というようにそれらの荷重が加算されながらそれぞれにかかっているののでできる対象物体に対してロボット本体の重量は普通20倍以上となっている。10 kgの物体を搬送するために自重は200 kg以上必要となるわけである。対象物体が数100 kg、数tとなると、これが大きな問題となってくる。これを解決する方法として、重量物を保持し上下できる専用のロボット部分と、これを二次元的に位置合わせできる専用のロボット部分とに機能を分離しておき、これを協調させて駆動させるものがある(第11図)。この場合、対象物体に対する自重は10倍以下となっている。

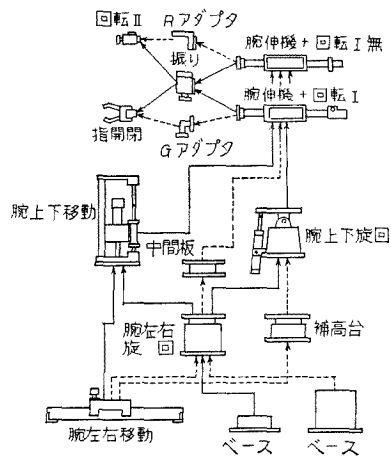
ロボットの機能をモジュールにして、必要に応じて組合せる方式<sup>(4)</sup>は、第12図に示すように矢印の順に各モジュールを組合せると各種の座標軸、自由度数をもつロボットを構成することができ、作業内容に合ったむだのない最適なシステムを得ることができる。この考え方はロボットの部品の標準化を促し、ロボット部品産業の成長の可能性を秘めているといえよう。

## 5. む す び

以上、産業用ロボットの概略について説明してきた。産業用ロボットの歴史は比較的まだ日が浅く、初期のものに比較して特性の向上、利用技術の充実はあったが、機能そのものについてはまだ実用機として飛躍的に発展したものはない。しかしながら、3・2 節で



第11図 重量物専用ロボット



第12図 ロボット用モジュールとその組合せ

述べたように、感覚器の開発と実用化、ロボットのプログラミング方法(例えば高級プログラム言語)の開発、更には実用的な人工知能の研究(例えば学習機能)などが進められるとロボットの飛躍的進化が行なわれるであろう。しかしながら、その一方、ロボット自身を動かすための駆動部の研究が遅れている。現在のロボットは既存のモータを都合しながら利用していることが多く、ロボットに最適なものではない。従って前述の知能的な機能を十分に発揮させるための駆動部の見直し、新しいモータの開発も今後非常に重要なテーマになるであろう。(昭和55年5月12日受付)

## 文 献

- (1) 木上:「産業用ロボットと応用システム」日本工業新聞社
- (2) K. Hasegawa: "Overview of Industrial Robot in Japan", Proc. 1979 CAM-I International Spring Seminar, p. 134 (1979-4)
- (3) 米本:「産業用ロボットの現状と将来展望」, ロボット(日本産業用ロボット工業会), No. 24, p. 12 (昭 54-9)
- (4) 例えば, ロボット No. 19, p. 42 (昭 53-6)