

# ロボット

大阪大学基礎工学部教授 辻 三 郎

## 1 総論

### 1.1 ロボットとは

ロボットという言葉は、空想科学小説やまんがの世界の主人公として、われわれに親しまれてきた。しかし最近になって、多くの科学者や技術者が、その研究の対象として注目するようになった。このようなロボットの技術的問題や経済的効果を述べる前に、ロボットとは何かを考えてみよう。実はロボットの研究が始まってから日が浅く、したがってその内容もきわめて流動的であり、一般的にあてはまる定義はまだ定まっていないように思われる。しいて多くの人々の主張をとりまとめると、“かなりの部分について人間と同じような械能を持つ機械”ということができよう。ここで注意したいことは、われわれが着目しているのは械能の面のみで、その機械の形が人間に似ていることには、とらわれていない点である。

さて上に述べた“人間らしい械能”の内容について述べてみよう。これについては、以下に示す3氏の意見から大よそイメージをつかめよう。

○ 東京大学 高橋教授 人工知能と入出力の能動性

東京大学 渡辺教授 移動性、多自由度、パターン認識、フィードバック、フィードフォワード

東京工大 森 教授 はん用性と運動性、個性、自動性、奴隷性、知能性

残念ながら現在の技術では、これらのすべてを満足するロボットを製作することは不可能であり、この中の幾つかの械能を不十分な形で持っているに過ぎない。

すなわち、多くの場合備えている機能は

- (1) 知能（単に記憶再生するものを含む）を持つ。
- (2) 手を動かして作業をするか、足（車を含む）によって移動する。
- (3) 汎用性を持つ（単能の自動機械ではない）。

### 1.2 ロボットの種類

現在までに開発研究されているロボットは、およそ次のように分類される。

- A 工業用ロボット
- B 知能ロボット
- C 遠隔操縦ロボット

#### 工業用ロボット (Industrial Robot)

わが国でも、近年各方面で切実な問題となってきた人手不足を解決するため、研究開発されたロボットである。1本の腕と記憶装置を備え、あらかじめ教え込まれた手順にしたがって、簡単な作業を繰り返すことができる。人によっては、“繰り返し型ロボット”と呼ぶこともある。

#### 知能ロボット (Intelligent Robot)

最近著しい進歩をとげている情報科学を、さらに大きく飛躍させるためにロボットの研究が行なわれている。すなわち、人間に近い知能を持つ機械を開発しようとして、従来のコンピュータ技術、人工知能の研究などを総合し、それから新しい科学技術を生み出そうとしている。

現在は、アメリカを中心にして研究されているが、工業用ロボットにくらべると、すぐれた機能を持っている。その構成を生物に対応させると、

大脳 大型コンピュータ

目 TVカメラ、光学的距離計、特殊コン

コンピュータ  
耳 マイクロホン, 特殊コンピュータ  
手 多自由度マニピュレータ, 感圧素子  
足 車

となる。第1図に、SRIのロボットの完成図を示す。

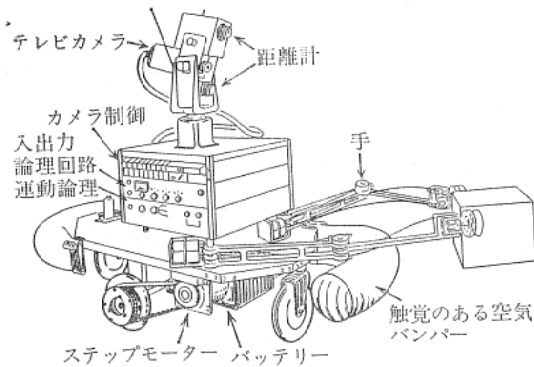


図1 スタンフォード研究所で開発中のロボットの完成予想図

現在は手はついてなく、触覚もネコのひげと名づけられた針金状のものを使っている。

ロボットは、人間がくだした簡単な命令を解読して、室内に散らばっている積木の中からある種類のものだけ集めて、それを積み重ねて塔を作るといった簡単な作業はできる。このような、ちょっと考えると単純な仕事でも、ロボットの頭脳には多くの能力が必要で、そのため高度で複雑なソフトウェアの開発が必要であるといわれている。

このような知能ロボットを、工業用ロボットのように実用化することは、現在の状態ではまだ考えられない。しかし、知能ロボットの研究で得られた技術は、工業用ロボットの欠陥を補うため将来は役立つものと期待され、わが国でもその研究が開始された。

#### 遠隔操縦ロボット

宇宙や海洋開発で代表される大型開発では、われわれ人類の活動範囲を大きく広げた。そのため、人間の居住に適さない環境で、人間に代って作業を行なう機械が必要となった。このような機械は、人間の命令に従って動かねばならないが、原子炉などで使われている遠隔マニピュレータ（人間の手の動きを追従する機械）で

は不十分で、未知の環境でうまく作業を行なう知能を持つことが望ましい。このような目的で研究されているロボットが、遠隔操縦ロボットと呼ばれ、その使用目的により持っている機能は異なる。

前述した知能ロボットの応用分野の一つも、このような開発計画であるといわれ、わが国でも海洋開発に用いるロボットの研究がされている。

## 2. 工業用ロボット

### 2.1 開発の意義と現状

オートメーションが高度の進歩をとげた化学プロセスなどに比べると、多くの人手を使っている他の生産工場、たとえば電子産業や自動車産業などでは、そこで働いている作業員の仕事の自動化は、理論面・実際面ともに遅れていると言わざるを得ない。このような職場での人間の作業は、一見簡単そうに見えても、現在の機械で置き換えることは意外に困難なことがしばしばある。これは、人間の目の持っている機能や手の働きが、実は脳のすぐれた情報処理機能に支えられているため、それらを機械で実現するには、まだまだ多くの研究を必要とすると考えられている。

現在、各種の生産工程には、それ専用の自動機械が使用されている。これらは、ある特定の決りきった作業に対しては、一見器用にその仕事を遂行する。ところが、消費者の多様な要求に応ずるためには、全く同じ製品を長期間にわたって製作し続ける少種多量生産よりも、数多い種類の製品を比較的少数個製作する多種少量生産を行なう必要が強くなってきた。人間は適応性に富んでいるから、容易に一つの仕事から他の仕事に切り替えることができる。しかし、近年労働力の不足はますますひどくなり、どうしても上に述べた多種少量生産において、人の行なってきた作業を実行する機械の出現が望まれるようになった。

このような要望に対して生れたのが、工業用ロボットである。工業用ロボットのできる作業は、人間の作業のうちきわめて簡単な機能のものに限られている。すなわち、マテリアル・ハ

ンドリングまたは機能的にそれに類するものである。しかし、従来の自動機械と違って、教育をすることによって1台の機械で、多くの種類の作業ができる。すなわち、ある意味ではプロセス制御のPID調節計のように、メカニカル・オートメーションの一つの基本要素として、これに他の機械を組み合わせることにより、かなりの広範囲の自動化への応用を期待している。もちろん、工業用ロボットの開発の歴史は、まだ日が浅く、その性能は満足できるとは言い難い。また工場の真の自動化には、むしろシステム工学的思考と方法が重要であると主張する人も多い。

工業用ロボットの開発は、約10年前アメリカで始まった。その代表的製品は、AMF社のバーサトラン (Versatran) と Unimation社のユニメイト (Unimate) である。いずれも記憶装置を持つマニピュレータ (機械の手) である。

わが国に、この工業用ロボットが輸入されたのは昭和42年であるが、おりからの人手不足を解決するため各方面で注目され、一種のロボットブームをもたらした。すなわち、多くのメーカーがその将来性に目をつけて、バーサトランやユニメイトと同等の性能を持つロボットの製作を開始した。

一方、各種の加工機械などには、従来から加工材を機械に取りつけたり、取りはずしたりするためのマニピュレータが付属していたが、これらを独立させて、ある程度のはん用性を持たせた機械も、ロボットという名称で販売されるようになった。

これらは前記のアメリカのロボットに比べると性能は劣るが価格が安く、きわめて簡単な作業を行なうには十分である。

また高級化された製品も発表され、本体の移動とか手先のセンサなど、アメリカの工業用ロボットに比べて機能の充実した製品が、比較的安価に販売されるようになった。

これらのことから言えることは、当初アメリカで開発された工業用ロボットも、その需要はむしろ日本の方が強く、そのため多くの人々によっていろいろな検討が加えられた。そして、わが国の国状に適したロボットが次第に作られ

るようになった。

## 2.2 システム構成

工業用ロボットのほとんどは、次の各部で構成される。

- A 腕
- B 手先
- C 駆動装置
- D 制御装置
- E 記憶装置
- F 教示装置
- G センサ

しかし、機種によってはD項以下の区別が明確でないものがあり、またセンサを備えてないものもある。ここでは便宜的に、上記の各部を二分して手と制御部に分ける。すなわち

手 A～C項

制御装置 D～G項

として以下の説明を進める。

次に、第2図のシステム構成図を参照しながら、工業用ロボットの動作を説明しよう。

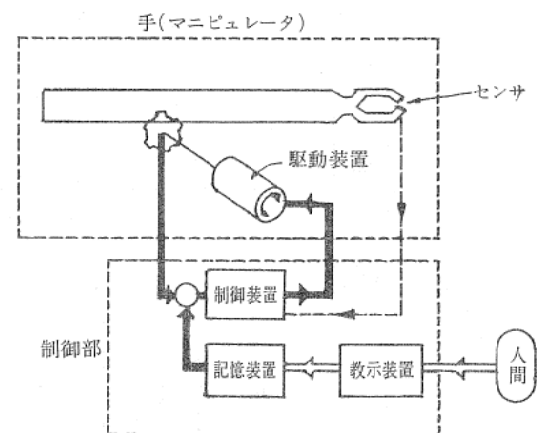


図2 工業用ロボットのシステム構成

ロボットの使用に先立って、操作員はロボットに対して、仕事の内容や手順をプログラムする。すなわち教示装置を用いて、ロボットの腕がどのように動くべきかを教えると、そのときの腕の動きが記憶装置に格納される。

ロボットに対して、外部から仕事を開始させよという指令が与えられると、ロボットは記憶装置の内容を順次読み出して、それを制御装置に送る。制御装置の出力は、駆動装置を通じてロボットの手を動かし、その動きが記憶装置の

第1表 工業用ロボットの性能

製作者	川崎重工	AMF	石川島播磨	不二越	アイダエンジニアリング オートハンド AH <sub>3</sub>	東京計器	東芝精機	川口鉄工
機種名	ユニメートMKII	パーサトラン	コンスルアーム	ユニマシ	オートハンド AH <sub>3</sub>	マトバック	トランサー RBM-20	ロック MK-1
自由度	5	5	5	5	6	5	4	5
腕	下	762 mm	700 mm	760 mm	100 mm	800 mm	200 mm	600
	前後	762 mm	1000 mm	760 mm	360 mm	90°	200 mm	1000 mm
運動	回旋	240°	240°	240°	120°	220°	180°	180°
	手先	±180°	180°	180°	180°	—	—	—
距離	回旋	—	—	—	120°	180°	—	180°
	上	±180°	180°	180°	180°	360°	180°	180°
指閉	オン	34°	仕様による	24°	30°	—	仕様による	仕様による
	オフ	—	—	—	—	—	—	—
駆動力	油圧	油圧	油圧	油圧	空気	油	油	油
制御方式	プレイバック	プレイバック	プレイバック	プレイバック	筒易型	筒易型	筒易型	筒易型
記憶方式	磁気ドラム	PTP ポテンショメータ CP 磁気テープ	ドラムスイッチ 磁気テープ	PTP 磁気ドラム CP 磁気テープ	ピンボード	ピンボード	ピンボード	固定シーケンス
設定記憶数	180点	PTP 各軸6点	PTP 216点	PTP 30 指令	20	216	47	—
重量運搬能力 (kg)	11.3~34	45	10	30	5	100	2	15
位置決め精度 (mm)	±1.27	±3.2	±2.5	±2.5	±0.1	±0.5	±3	±0.5
寿命(単位1000時間)	40	40	60	3	—	40	—	20
価格(単位100万円)	10	PTP 6.3	PTP 6, CP 10	5.3	2.1	4~8	2.45	2.8~3.5

(注) 1. PTP は不連続型, CP 連続型の略

2. このほかにも, 多くの工業用ロボットが発表されている. 関係文献参照<sup>4,5</sup>

覚えている手の動きと同じになるように働く。このような手の自動制御機構により、ロボットは外部からスタート信号が加えられるたびに、同じ作業を繰り返す。すなわち、単調な反復作業を繰り返し実行する。

ここで重要なことは、ロボットの作業内容がプログラムのやり変えによって、自由に変更できる点である。この機能は、ちょうど人間の作業員が、若干の教育を受けることによって、いろいろな仕事に適應する能力を持っていることに対応する。多分、工業用ロボットの仕事に対するこの適應性が、人間のような機械—ロボット—の名前がつけられた理由であろう。そしてロボットに作業をプログラムすることも、人間との類似性から“教育”とよばれている。しかし、安価な簡易型ロボットでは、この教育機能にあまり重点をおいていないように思われる。

現在までわが国で発表された工業ロボットの代表例について、その諸特性を第1表に示す。

### 2.3 手

工業用ロボットの行なう作業は、ほとんどその手を用いて行なわれる。ロボットの手は、人間の手と比べると固い動きをし、しかも器用さや、はん用性の点でもはるかに劣っている。もちろん機械である利点、すなわち強力で疲れを知らぬ動きをする点や、全く同じ動作を繰り返す点など人間に比べてすぐれたところもある。以下、ロボットの手の手構造・性能について考察を進めてみよう。

#### (1) 自由度

ロボットの手は、3次元空間にある物体を取り扱う。物体には、3方向の回転があるので第3図に示すように、6次元の自由度が必要である。普通は、2本の指で物体をつかむ動作が、それに加わる。人間の手は、ロボットに比べて複雑な構造をしていて、25次元以上の自由度があるといわれている。

しかしながら、ロボットの手の手自由度を多くすると、構造が複雑になり価格も高くなる。しかも一般的に形状、重量も大きくなる。一方、多くの作業では、作業環境を若干変更すれば、必ずしも手の自由度を大きくしなくても、その作業を行なうことができる。たとえば、工業用

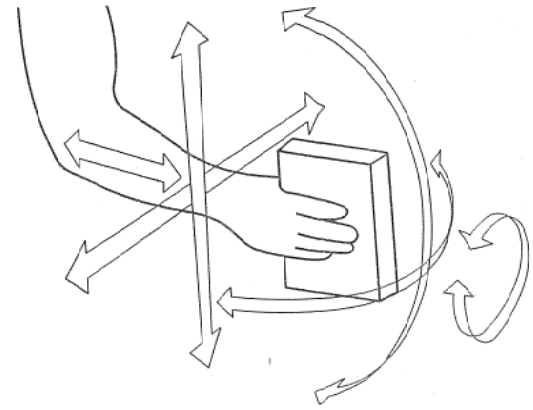


図3 基本の6自由度

空間にある物体を取り扱うには6方向の自由度が必要である。すなわち3方向の直線運動と3方向の回転である。

ロボットの代表といわれているバーサトランやユニメートの自由度は5である。安価な簡易型ロボットの自由度はさらに少なく、価格が250万円以下のロボットの自由度は2～4に過ぎない。

#### (2) 腕

前に述べたように、ロボットの手は腕と手先（多くは2本の指）とその駆動部よりなる。腕の動きは、円筒座標型と球面座標型に大別される。

円筒座標型はバーサトランで代表される。第4図に示すように、腕は上下、前後に移動し、また全体が回転する。この方法は、腕の動きが人間に直観的にわかりやすい利点がある。

球面座標型は、ユニメートがその例である。第5図に示すように腕は伸縮、回転、旋回を組み合わせた動作をする。しかし、手先を垂直に移動させようとするとき複合動作が必要となり、直観的にはその動作がとらえにくい。しかし、機構的に簡単でパワーが少なくてすむ点や床面上の物体まで取り扱える点は有利である。

工業用ロボットの腕の動作範囲は、成人男子の作業範囲と大体同じに設計されているものが多い。これは現在の作業ラインにあまり変更をしないで、工業用ロボットを導入することを予想しているのであろう。

腕の動く速度も、人間の腕の速度に比べて同等以上（重量物を運ぶ場合はロボットの方が速い）に設計され、多くのラインでは人間以上の

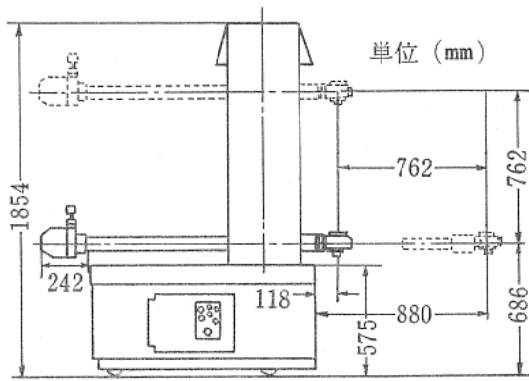


図4 パーサトランの腕の動き

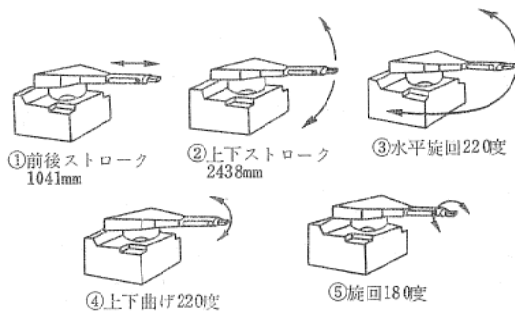


図5 ユニメートの腕の動き

速度で作業ができる。

### (3) 手 先

腕の一方の端には、手首にあたる部分があり、その先端には通常2本の指がついている。手首も回転や曲げなどの運動をすることができる。

工業用ロボットの指には、多くの場合センサが付いてなく、あったにしても制御方式が簡単であるので、人間の手のように器用な動作をすることはできない。たとえば、工業用ロボットは、一定の力で対象をつかむために、ガラス部品などはこわしてしまう。

そこで指の部分は交換可能の構造になって、いろいろな作業向きの手先を取り付けられる。たとえば、上に述べたガラス部品は真空カップで吸いつけて取り扱う。また、もろい物（焼き上げる前の煉瓦など）の積み上げでは、空気のクッションを介して作業を行なう。さらにロボットの機能を増すために、溶接機、塗装機、リベット打ちの機器などを直接手に取り付けて作業させることも、よく行なわれる。

## 2.4 制 御 部

工業用ロボットが仕事を行なうには、腕をどのように動かすか、手首や指をどの位置で曲げたり、閉じたりするかを記憶し、それに従って制御指令を出さねばならない。この方式を分類すると、単純な仕事に用いる簡易型と手をとって作業内容を教えられるプレイバック型に大別される。

### A 簡易型ロボットの制御

たとえば、プレス機械に品物を取りついたり、取りはずしたりするような比較的簡単な作業では、後述するような高級ロボットでなくても十分使用に耐える。すなわち、このような作業の動作分析をすると、腕や手先の動きは比較的少数の点（たとえば数点ないし20点程度）で表わすことができる。

そこで、作業の順序をカムやピンボードでプログラムし、それに従って手を動かす方式が採用された。この場合、腕の動く長さは、リミットスイッチやドグ板の位置で設定され、腕の制御は腕の一端が設定点に達するまで動き続けるオープンループ制御が用いられる。これは制御方式を適当に設計すれば、手の動きの精度もよく、またサーボ方式に比べて回路が簡単で価格もきわめて安い。もちろん、腕の動きは不連続方式に限られる。

このような簡易型ロボットは、複雑な動きを必要とする作業には原理的に無理であるので、後述するプレイバック方式を用いねばならない。しかし現状では需要は簡易型の方が多い。

## 2.5 応用と経済効果

### 2.5.1 価格と経済効果

現在市販されている工業用ロボットの価格は、プレイバック可能の高級のもので600万円

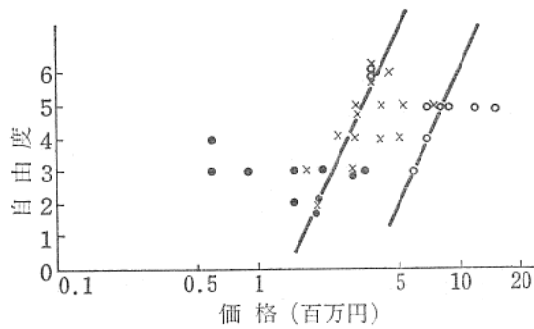


図6 工業用ロボットの性能と価格

- 磁気ドラムテープ
- × カム, ピンボード  
マトリックススイッチ
- 固定シーケンス

ないし約1,000万円, 簡易型ロボットで200万円ないし500万円である。なお, 動作シーケンスの変えられない専用の機種は, さらに低価格で販売されている。第6図に, 価格と性能の関係を示す。

この価格や最近の人件費の上昇傾向から考えると, 簡易型ロボットを作業員に置き換えることは経済的に引き合うと考えらる。

高級ロボットの価格は, 単に1人の人間を1台のロボットで置き換える用途には, ためらいを感じる。しかし, 1台のロボットで2台以上の機械を取り扱ったり, または2シフト, 3シフトの工程に用いることにより, 導入の条件を有利にできる。

また先に述べたように環境の悪い所の作業や定着性の悪い作業は, 人手がないため生産に支

障を生じることも最近顕著になっているので, その事情も考えねばならない。さらに労務管理の点, 24時間使用できる点や製品の品質が一樣になるという長所もみのがすことはできない。

### 2.5.2 使用例

現在までに発表された工業用ロボットの使用分野は, アメリカでは自動車産業およびその関連作業を中心にして, プレス, 鍛造, 鋳物, ガラス運搬, 溶接, モールドなどの職種に使われている。第2表に, その使用例を示す。わが国では, 現在試作期から試用期に移ったと考えられる。その使用実態はあまり公表されていないが, アメリカにおける使用例と同じものが多い。

第7図に示すのは, ユニメートによってダイカストマシンのハンドリング作業を行った例である。ロボットは, ダイカストマシンの製品を水槽で水冷し, トリミングプレスを行った後に

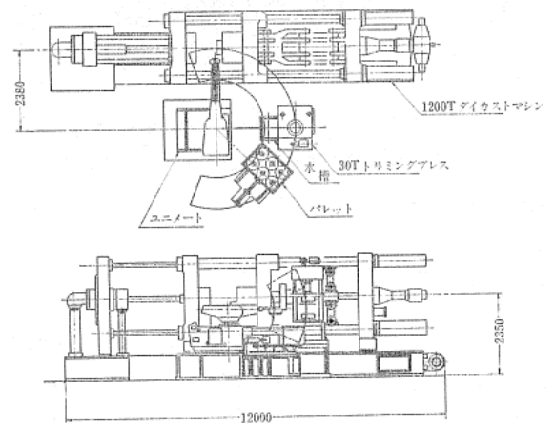


図7 ダイカストマシンへの応用

第2表 工業用ロボット使用例

工場と応用		労働力節約	品質, 生産性	環境・安全度
自動車	プレス	2.5人 1日	ダイ・ウェア減小	作業安全
〃	メタルカッチング	4人 1日		重い部品
〃	点溶接	2人 1日	溶接精度	
〃	鍛造	3人 1日		高温
〃	モールドイング	2人 1日	正確, 品質向上	〃
ガラス	コンテナ積み込み	3人 1日	破損小	安全性
〃	ガラス板運び	8人 1日	〃	高温
亜鉛	ダイキャスト	3人 1日	均一	
コンテナ	メッキ	2人 1日	〃	有毒
トラクタ	熱処理	2人 1日	〃	高温
プラスチック	モールド	6人 1日	〃	危険

排出コンベア上に置く。生産量は40個/時である。ロボットの生産性を上げるため2個のダイカストマシンを1台で取り扱うことも可能で、その時の生産量は80個/時である。

最近の傾向として、多くの工業用ロボットをラインに使用して、多くの工程をほとんど庶人化するシステムが実用化され始めた。第8図は、GMのフィッシャー、ボディ部門で用いられる車体の最終アセンブリ工程のスポット溶接をする作業で、18台のユニメートがほとんどの溶接作業を自動化している。製品は、シボレーとポンティアックの2種類で、それぞれに対して異なる作業指令がロボットのメモリから読み出され、溶接作業が行われる。生産能力は60台/時で、車体はシャトルコンベアによって移送されている。

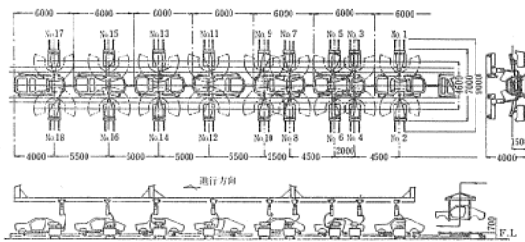


図8 自動車組立ての溶接ラインの工業ロボット群

### 3. むすび

工業用ロボットの現状について簡単に説明した。しかし現在の工業用ロボットには能力に限界があるので、その店用はいは限られている。すなわち

#### (1) 目

工業用ロボットには、目がつけられていない。したがって、取り扱う物体が一定の角度で置かれてなければ作業は失敗する。また幾つかの種類異なる部品を見分けたり、組立て作業をすることなどは不可能である。

#### (2) 触覚・器用さ

手先にはセンサはつけられていなかったり、あっても簡単な処理しかしてないので、器用に物体を取り扱うことはできない。

#### (3) 運動の固さ

前項に関連するが、工業用ロボットの手は非常に固い運動をする。手にかかる力を検出し、フィードバックしてないので、クランクをまわすような種類の動作はできない。

#### (4) 腕の数

2本の腕の協調作業は、行なわれていない。

#### (5) 知能

あらかじめ作業に必要な動作、たとえば腕の動く軌跡をメモリに記憶させる必要がある。その変形も行なわれないし、いわんや自分自身で作業のスケジュールを考え出すことはできない。

これらの欠点を補うため、2つの方法が研究されている。すなわち、生産システム全体から考えて、簡単なロボットでも使用できるように工夫する考えと、コンピュータと結合したロボットシステムによって、ロボット自体の能力を高める考えであり、これからはばらく両面からの研究開発が続けられるであろう。