

ロボット技術の動向と将来

早稲田大学システム工学研究所 教授 長谷川 幸 雄

まず最初にお話し申し上げることは、土木関係のロボットについては、率直に申し上げまして、大変多くのむずかしい条件がからみあっておりまして自動車や電機などのようにみなさんが報道関係を通じて、ご存じのような発展はしていないということであります。したがって、建設用ロボットにつきましては、研究がはじまっただけの分野であります。



そこで私が、今日これから、1時間にわたりお話をさせていただきますのは、建設ロボットとは異なる他の分野の技術開発が主になるかと思えます。しかしながら先般の炭鉱爆発事故などにも関連しますように、建設ロボットに対する社会的な要請が非常に高くなってきている時代ですので、これから建設用ロボットの開発を積極的に進めてまいりますときに、どのようなことを考えていったらよいかというような問題提起型の話をさせていただくことになろうかと思えます。先ず、ロボットの議論をする時に、ロボットとはいったいどんなものをいうのか、また、ロボットという機械がどういう歴史的な過程をたどって現在まで発展してきているか、その延長線上にどういうことが考えられるかといった点について必要と思われる基礎的な情報についても御提供させていただきたいと考えております。

それでは、最初に実物をみていただいた方がよいと思いますので、簡単なフィルムですが御覧いただきたいと思えます。このフィルムは日本で作られました様々なロボットをジェットロという機関が海外に紹介するために作られたフィルムの主なところをダイジェストしたものです。(映画とOHPにより各種ロボットを紹介……省略)

第一に、ロボットとは何か、ということですが、実を申しますと、ロボットについてのJIS規格をつくらうというお話が工業技術院で出まして、その委員会が構成されて、もう何年かやっているわけですが、ロボットの定義については、まだ、かりどめの定義しかできておりません。

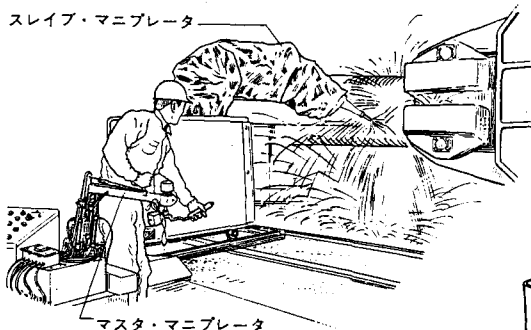
このかりどめの定義によると、ロボットとは人間に似た

ような動作をすることができて、しかも、その動作が柔軟にできるような機械である。といったきわめて漠然としたものです。なぜそうなっているか、なぜ、このような漠然とした定義のままになっているかと申しますと、実は、委員会の内部でもいろいろ意見が分れているからです。この原因の1つとして日本国内でも恐らく全部合すると数百種類になると思われるかなりたくさん種類のロボットと称する機械が、商品化されているからです。これらの、ロボットという機械の中には、かなり簡単なものも含まれており知能的な能力を備えていないものも、ロボットという名前で出まわっています。これに対して、大学や国公立の研究機関におられる研究者は、ロボットというからには知的な能力を備えていることが必要であるという意見を持たれている方が多いわけです。また、ロボットの定義についての国際的な標準も現在はまだ出来ておりません。いずれISOでその議論をしようということで、フランスあたりが、提案準備を進めておるようです。このような理由で定義がはっきりしないまま過ぎておりますが、とりあえず、ロボットというのは人間の両腕に似たような動きをするもので、その動作が柔軟にできるものを暗黙の内に了解しているようです。まもなく、人間の足の機能に相当する部分もロボットの中に入れられるようになるかと思えます。このように、一般には、やはり、相当厳しい定義づけがあった方がよいのだが、厳しい定義のために、営業政策的に困るといけないので、準ロボットというカテゴリーを設けてロボットに準ずるものの範囲を定めて、その範囲内でもロボットという名前を使ってもいいことにしようというような妥協が行われております。このような前提に立って、ここに示すようにロボットの種類が6種類に分類されています。

Aという記号はマニュアル・マニピュレーターのことで人間が操縦することになります。土木の分野では相当縁が深いものであるかもしれません(図1参照)。

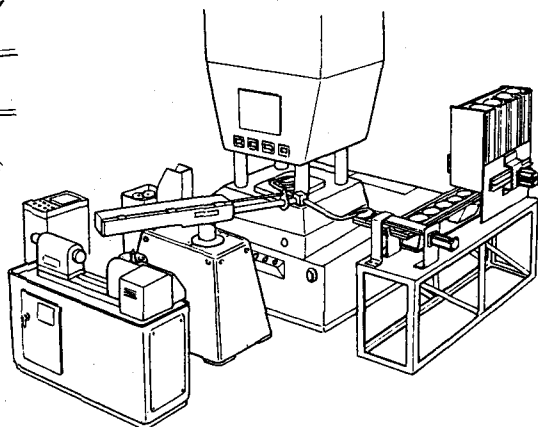
Bは固定シーケンス・ロボットです。ここでシーケンスといっているのは仕事の順序が一定しているもの、非常に簡単なものが対象です(図2参照)。

Cは可変シーケンス・ロボットです。すなわち、作業の順序が変えられるもの、たとえば、工作機械に品



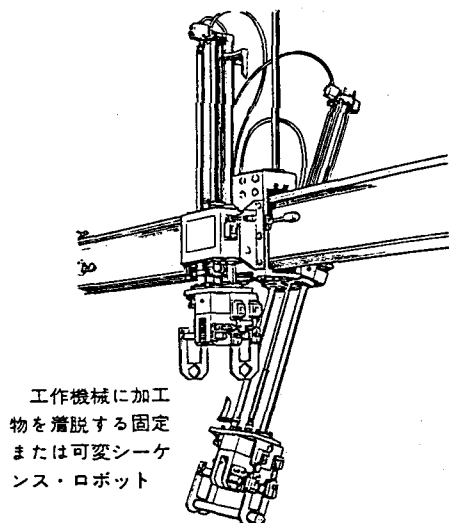
マスタを遠隔操作し、それと同じ動作をする
スレイブ・マニプレータにより、高熱鍛造材の
表面皮をバーナーで除去するマニプレータ。

図1 マニアル・マニプレータの例(A)
(出所：日本産業用ロボット工業会)



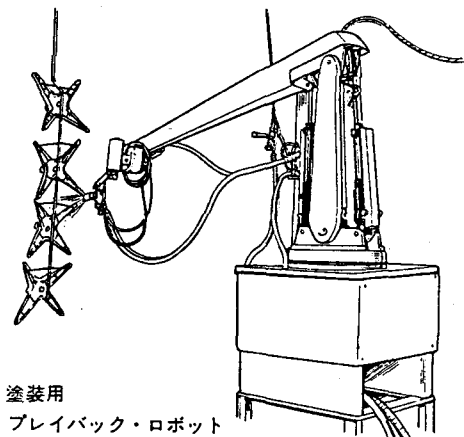
プレス金型に加工物を装入、取出する固定または
可変シーケンス・ロボット

図3 可変シーケンス・ロボットの例(C)
(出所：日本産業用ロボット工業会)



工作機械に加工
物を着脱する固定
または可変シーケ
ンス・ロボット

図2 固定シーケンス・ロボットの例(B)
(出所：日本産業用ロボット工業会)



塗装用
プレイバック・ロボット

図4 プレイバック・ロボットの例(D)
(出所：日本産業用ロボット工業会)

物をつけたり、はずしたり、それから、ダイカストの機械やプラスチックモールドの機械から何か品物を取り出したり、一つのコンベアーから別のコンベアーに品物を移し変えたりするロボットのことで(図3参照)。このあたりになると固定シーケンスであったり、可変シーケンスであったりするわけですが割合単純な、したがって値段も安いものが多いです。

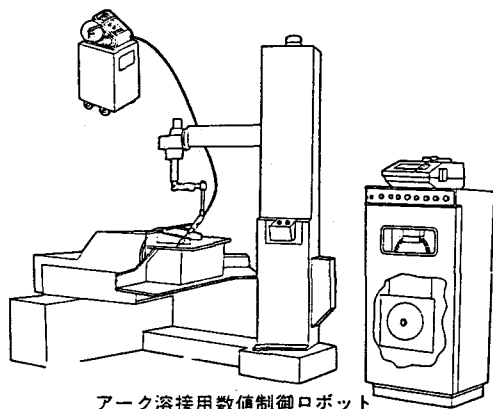
これらA, B, Cで示す3つのロボットについては、アメリカのロボットの定義の中に入っておりません。後の3つがアメリカではロボットと言われているものですが、現実には、簡単なものもロボットという名のもとに商品化されている例も多いようです。

4番目(D)は、プレイ・バック・ロボットです

(図4参照)。このロボットは、ロボットの内部にコンピュータをもっております。先ほど御覧いただいたスポット溶接がその代表的なものです。プレイ・バック・ロボットの場合は、人間が one cycleの仕事の前もって教えてやるわけです。教え方にもいろいろあって、例えばここに紹介しています塗装用ロボットの場合ですと、着脱可能なハンドルをつけ、ちょうど熟練した人が自分でスプレーガンをもって実際に作業をするような動作をするわけです。このように、作業の one cycle を教えることによって、その情報がロボット内の magnetic Tape とか I. C. メモリーといった記憶装置の中に憶えてまれるわけです。さらに、いろいろな工夫が行われることによって、検知機構を装備して、

形の違うもの、種類の違うものに対しても瞬間的に違うパターンの作業に移れるようになっているものもあります。例えば自動車の塗装を例にとると、塗装の対象になる材料が変わるたびに瞬間的に作業工程を変えるとともに塗料まで自動的に切り換えることができるように工夫されております。

5 番目 (E) は、数値制御ロボットです(図5参照)。



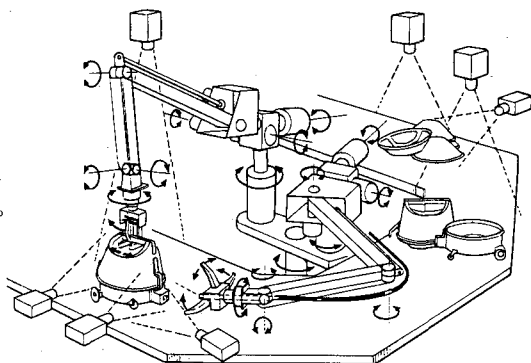
アーク溶接用数値制御ロボット

図5 数値制御・ロボットの例(E)

(出所：日本産業用ロボット工業会)

これは、工場などで使われているNC工作機械と似たようなものですが、ちょうどコンピュータのプログラムを組むように、ロボットに仕事の内容を、机上でキーでたたくなり、何なりしてコンピュータのメモリーに入れてやると、それに従って仕事をするようになるわけです。これは溶接用の数値制御ロボットの例であります。例えば直径の異なる2本のパイプを直角に組合わせて、それをアーク溶接する場合を例にとると、まず図面を見ながら、たとえば溶接ラインが3次元の曲線になるというような場合、その寸法や溶接の諸条件をコンピュータにインプットしてやると、ロボットの動作を計算してそのとおりの作業をするわけです。さらに、このようなロボットが進んでいくと、対象とする品物1個1個の加工誤差をロボットの手先についたセンサーで検知して自分で判断しながら、誤差の補正をして作業をすることができるようになります。

6 番目のロボットは知能ロボットです(図6参照)。バキュームクリーナーの組み立て用知能ロボットの場合7個の目がついているわけで、その目を通して、作業対象物が無作為に置かれている場合には、どの部分からつかむとよいかを自分で判断して組み立てを進めていくことができるわけです。最近のロボットの中のあるものには、このような高度な作業がだんだん可能になってきました。視覚を利用したロボットもこのように進歩してきているわけです。



TVカメラによる視覚認識機能を備え、電気そうじ機の組み立てを行う知能ロボット

図6 知能ロボットの例(F)

(出所：日本産業用ロボット工業会)

次に、ロボットの触覚についてすこしご紹介しましょう。中空の円筒形のものに他の加工物をもってきて挿入するといった作業のできるロボットが研究されています。これは、三次元的な空間のどこの点からどこの点までというような、あるいは、どういう経路をたどって作業をするかといった位置制御の問題と違って力(ちから)制御の分野になります。力制御になると波形の鉄板のようなものがある場合、それに刷毛で塗装しようとする、鉄板に対して同じ力でなぞっていくような制御上の工夫が必要になってくるわけです。今後の土木関係におけるロボットを考えていく上で制御は重要な要素になるような感じがします。

次はロボットの聴覚です。先頃開かれた晴海での産業ロボット展において、人間が命令するジュースの種類をロボットが自分で判定して、命令された通りのジュースをコップに注ぐことのできるロボットが話題になっておりました。このような人間による言語の命令を理解できるロボットの研究が盛んに行われています。例えば、50種類の言葉を理解できるロボットはどこまで作業ができるかといったことが研究の対象になっているようです。ことばによる命令を理解するロボットは、今後、建設現場などでは非常に有効になると思います。その理由としていくつかありますが、そのもっとも大きな要素として、人間が機械に命令を与える方法としてもっとも簡便な方法であるからです。その他、建設現場の状況を考えて場合でも、①建設現場で紙に書いて1つ1つ命令を出すのは非常にめんどものである。②命令入力機構としてロボットにキーボードのようなものをつけるにしてもじゃまになる場合が多い。といった問題がある。人間が口頭であるいはマイクをもって、直接、命令を与えると、その通りロボットが動いてくれると非常に楽であるだけでなく、作業条件が違うというような場合に、非常に臨機応変に機械に命令

が与えられる便利さがあるわけです。このようなシステムが、現在、どの程度まで進んでいるかという例を紹介しましょう。それは、試験的なシステムとして、ある重電メーカーで最近完成したと聞いております。すなわち、コンベアに乗って自動倉庫から出庫されたいろいろな機械の部品が流れている工程で N.C 装置が自動加工をしており、さらに、加工されたものをしまっておく自動倉庫があるといった、自動型で作業が流れているシステムに、何か特急の仕事が発生した場合、それまで定常的に流れていた工程の中に、「別の作業工程の材料を倉庫から自動的に取り出してきて、その仕事を優先的にしなさい」といった命令を出すと、後はコンピュータを動かして、命令された特急の仕事を優先して流してしまい、終了すると、従来の仕事に戻って作業を行う。といったところまでは出来るようになっているようです。これは聴覚センサーの応用になるわけですが、このようなセンサーを応用したロボットは今後ますます盛んになるものと思われます。

次は、ロボットの骨格系であります。現在のところつぎに示す四種類のものが JIS 規格の中に入られています。

①まず1つは円筒座標系のロボットです。図7のように回転モーションと直線モーションを組み合わせたもので、円筒座標ロボットと呼ばれています。

②2つ目は極座標系ロボットです。図8のようにちょうど大砲のような形をしておりまして、自動車溶接用のロボットとして多用されている骨格系です。

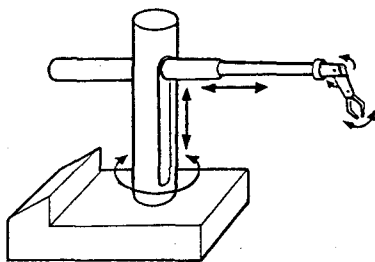


図7 円筒座標系ロボットの例
(出所：日本産業用ロボット工業会)

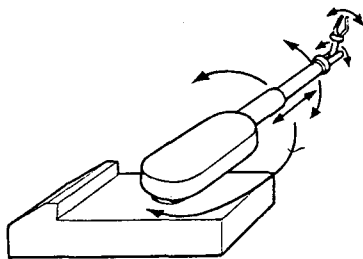


図8 極座標系ロボットの例
(出所：日本産業用ロボット工業会)

③3番目は直角座標系ロボットです(図9参照)。このように、スライドだけで構成されていて回転運動をする関節は手先のところしかありません。従って、運動は全て例えば XYZ 方向の直線運動の組み合わせになっております。最後のタイプのロボットを多関節形ロボットと呼んでおります(図10参照)。これは逆に、このように回転運動をする関節だけの組み合わせでロボットを構成しますが人間の腕の関節構成がこれに相当するわけです。

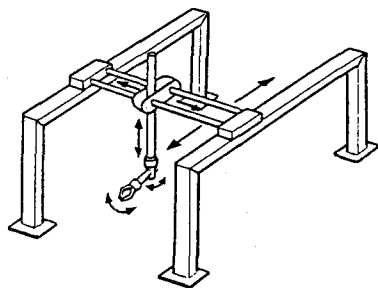


図9 直角座標系ロボットの例
(出所：日本産業用ロボット工業会)

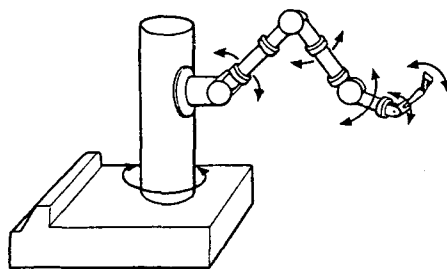


図10 多関節系ロボットの例
(出所：日本産業用ロボット工業会)

このような種々のロボットにはそれぞれ一長一短ございまして、どういう仕事にどういう骨格系を使うかというのはなかなか議論のあるところですが、骨格系の分類としては現在のところこのようになっております。さらに、今後、土木関係においてロボット化が進んでくると、これらの骨格系の腕の他に足が必要になってくるということになるかもしれません。それではロボットの紹介はこのあたりにさせていただきます。

さて、つぎは、ロボットというものが、これから、どんな用途に使われて、どういう傾向をたどっていくかというあたりのところを考えてみたいと思います。

お手元の資料にロボットの生産台数が出ております(図11参照)。これによると1980年末におけるロボットの累計生産台数が76,700台、さらに1980年の一年間に、19,900台のロボットが日本で作られております。

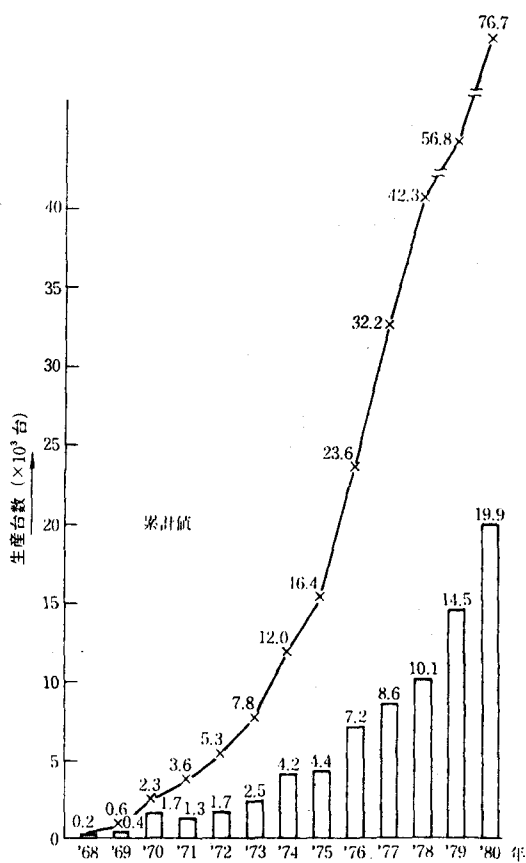


図11 我が国におけるロボットの生産推移
(出所：日本産業用ロボット工業会)

それから、生産額については、1980年が784億の実績がありますが、今後は相当早いペースでロボット産業というものが成長していくということが予測されております。ロボットの生産台数および生産額については、多くの人達をご存じのとおり、日本一国で欧米先進諸国の総和より多いわけです。世界の60%とか70%ぐらいを日本だけで生産しているのです。さらに、ロボットメーカーと称する企業は、現在、約150社ということが言われておりますが、これも日本が、世界の他の国全部合わせたよりもむしろ多いくらいであるということが言えます。つぎにお手許の資料には、ロボットがどういう用途に使われているかというのが出ております(図12参照)。これによると、現在のロボットの用途としては自動車と電機が大部分を占めています。特に1980年あたりから電機関係がぐっと伸びて自動車関係を追い越したわけですが、具体的な数字としては、この二つの分野で全体の65%ほどを占めております。残念ながら、建設関係にはほとんど使われて

いないというのが現状であります。

今後のロボットの伸長については、先程も述べましたように知的な能力をもったもの、センサーを具備して器用に作業が行えるものあるいは複雑な作業に対応できるロボットがかなりのスピードで発達するものと思われます。これは、現在のロボットの研究の方向からも言えると思います。一方、建設業、中でも土木関係について考えてみると、いわゆる、ロボットの技術面だけでなく、ロボットに行わせる多くの土木工法というものがいかにあるべきかという研究が是非とも早い時期に行われることが必要のように思われます。その辺の整理を十分に行っておかないと、現在のロボット技術がかなりなスピードで発展したとしても手の届かないものになってしまう恐れが十分にあるような気がします。さらに、今後、土木関係にロボットを導入していく場合には、土木の専門家の人達に参加してもらうことと、ロボットを使う技術者の育成が急務かと思われれます。その理由として、今後、いかにうまく建設用のロボットが発達しても、建設現場に人間が1人も居ない、いわゆる無人化工場のような形には絶対になり得ないと思うからです。つまり、建設現場では人間が操縦するタイプのロボットが相当使われるようになると思われるからです。そうすると、人間の立場から人間と機械の接点(マンマシンインターフェイス)についての研究をしていくことによって人間にとって操縦しやすいようなロボットを指向するとともに、そのようなロボットを使う人達をどういうふうに教育訓練していったらいいかという相互的ないわゆるシステムアプローチが是非とも必要になってくるものと思われれます。そのような面などから、いろいろ考えてみると、現時点での建設用ロボットが置かれている状況はその昔、ちょうどコンピュータの導入された初期と、かなり似たような気配になっているようにも思われれます。具体的には、ロボットに対する過大な期待とある種の誤解があるように思われれます。建設用ロボットを導入していく過程においては、恐らく、相当精力的に努力しても、ある程度のところまで行って、今度は失望の時代を経験するのではないのでしょうか。失望の時代を通りすぎて、それから除々に上り坂になってはじめて、真のロボットの活用が達成される時代が来るのではないのでしょうか。

つい先週の話ですが、オーストラリアの大学の教授の方が私共のところへ来られまして、その時、たまたま北海道の炭鉱の爆発事故のことが話題になり、オーストラリアでも鉱山関係や土木・建築関係において人手不足と災害の多発で弱りきっている。といった話がありました。そこで、炭鉱や建設現場へのロボットの導入についてのニーズは国は違っても状況としてはそ

れ程違わないと思われますので、国際的な共同研究により、研究開発費の負担をすこしでも薄めるといった方法がとれるとよいように思われます。先程のオーストラリアのみならずヨーロッパやアメリカの人達も含めて共同で研究協力できるのであれば、わが国の経済摩擦の解消にも貢献できるように思われます。いろいろ考えてみましても、建設用ロボットの実用化についてはきわめて多くの要素があり、一筋縄では無理なところが多いようですし、まして、一企業が研究開発の危険負担をするといったことはなかなか大変なことだと思います。しかし、災害防止、労働力の不足対策といった事柄はこれからの重要な課題でもありますので、公共的な研究助成あるいは、国際的な協調による共同研究によって問題解決がはかれるような動きが出てくればよろしいかと思います。

ロボットについては申し上げたいことがまだまだありますが、与えられた時間の都合もありますのでこの辺で私の話を終らせていただきます。足りないところは、この後に予定されております討論の場で補足させていただきます。

(この要旨は第6回電算機利用に関するシンポジウム(昭和56年10月29日～30日)の特別講演の記録を事務局において要約し編集したものであります。)

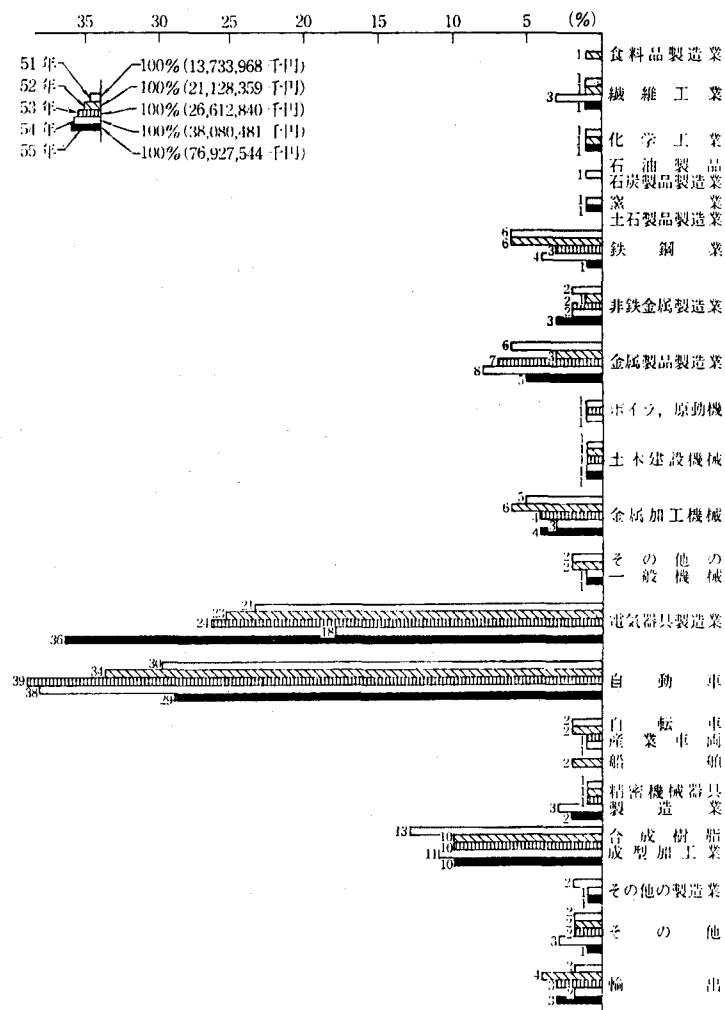


図12 ロボットの需要業種別納入金額 (出所：日本産業用ロボット工業会)