

## ロボットの情報処理

辻 三 郎\*

ロボットという言葉は、SF やまんがの主演として、われわれに親しまれてきた。しかし、最近にいたって、多くの科学者・技術者が、その研究開発の対象として、注目するようになった。かれらの興味の対象は、大きく2種に大別されよう。

ひとつは、最近、各方面で深刻化している人手不足を解決するため、従来人間が行っていた簡単な作業をする機械を開発しようとするものである。

これは工業用ロボット、または産業ロボット (Industrial Robot) といわれるもので、アメリカで約 10 年前に試作が行なわれ、最近、わが国においても、多くの会社によって製作・販売されている。

本誌の読者諸君が、より多くの興味を持つと思われるのは、第2の方向からの研究である。すなわち、最近進歩の著しい情報科学の発展の場として、ロボットを取り上げるようになった。

これは、多くの制約条件を持つ現在の電子計算機システムや人工知能の研究を1歩押し進めて、より自由で、しかも、人間に近い知能を持つ機械としてロボットを研究するもので、普通は知能ロボット (Intelligent Robot) と呼ばれている。これらの研究で育てられた技術は、宇宙や海洋などの大型科学の開発の場にいられるロボットに、応用されるといわれている。

## 1. ロボットの特長

ロボットの技術的問題点を述べる前に、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ってから日が浅く、したがって、その内容はきわめて流動的であり、一般的にあてはまる定義というものはないように思われる。しいて、多くの人の主張をとりまとめると、“かなりの部分について、人間と同じような機能を持つ機械”ということができよう。ここで注意したいことは、われわれの着目しているのは機能の面のみで、その機械の形が人間に似ているとは限らない点である。

ロボットの持つべき機能のうち最も重要なものは、知能である。知能のレベルは、工業用ロボットのように教えられた作業を、ただそのとおり反復する低次のものから、現在までに行なわれた人工知能の研究結果を結集したものでいろいろあるが、いずれにしてもロボットというからには、なんらかの知能を持つことは不可能である。

人工知能の研究は、従来も多くの研究者によって行なわれてきた。たとえば、コンピュータによる定理の証明、ヒューリスティックの方法、質問に答えるシステム、パターン認識などがあげられる。ロボットは前述したように、これらの人工知能の研究を一つにまとめるものともいえるが、大きな相違点として、自分のおかれている環境に自由に働きかけることをあげたい。すなわち、その目・耳・触覚などで、環境から情報を受けとり認識し、それをもとにして自分の周囲に行動をおこす。たとえば、手を使って物体を操作したり、足によって自分の望む場所に移動したりする。

ロボットの知能が高度になると、その情報の流れも従来のコンピュータとは異なってくる。すなわち、コンピュータは、一般的には入力的情報を処理し、その結果を出力に出す流れのみが存在する。ロボットでは、受けとった入力情報が不十分であると、必要と考える情報を独立で採集できる。たとえば、手を使ってさまざまな物を取り除いたり、足によって見やすい場所に移動したり、また興味のあるものに近づいて、手でさわって調べたりする。このような意味で、高橋秀俊教授の指摘されたように<sup>1)</sup> “従来の植物的な電子計算機と異なって、能動的に外界と接触することによって、ロボットは無限の可能性を持つ”ものに成長するであろう。しかし、ロボットの研究の歴史は、まだ日が浅く、このような期待にそうは、まだ遠い未来のことといえよう。

最後に、ロボットの持つべき機能として、はん用性をつけ加えたい。ロボットは、ある特定の仕事をするための単能の機械ではなく、かなりの範囲の仕事を実行できなければならない。これは、人間が多くの異なる

\* 電気試験所・電子計算機部

る仕事を実行できる能力を持っていることに対応するといえよう。もちろん、このためにもロボットの知能が高度であることが要求されるし、また、センサや手・足なども複雑な機能が必要となる。たとえば、人間の手が非常に多くの働きをすることは、よく知られているが、ロボットの手もはん用性のために、多くの自由度や巧妙な制御機構が必要とされる。

さて、以上簡単にロボットの特長についてふれたが、本稿ではロボットの開発研究のうち、情報処理に関連する分野—知能ロボット—に焦点をあてて述べてみたい。現在、省力化に関連するロボット技術—工業用ロボット—については、文献<sup>2)-4)</sup>を参照されたい。

## 2. 知能ロボットの研究

### 2.1 研究の流れ

コンピュータが現在の情報処理の中心となっていることは疑う余地がないが、一方、人間の頭脳が得意とする仕事、たとえば、パターン認識や言語の問題などは不得手である。このような限界を打ち破るために、さまざまな努力が続けられているが、その中のひとつが知能を持つロボットを創り出そうとする研究である。これは、1958年マサチューセッツ工科大学のシャノン、ミンスキー、マッカーシーが、コンピュータに目や手などをつけた機械の可能性を論じたのに始まり、各所で研究が始まった。

これらの研究では、ほとんどの人がデジタル計算機を用いて、なんらかの知能をロボットに与えようと試みている。デジタル計算機を用いる理由としては、1) ソフトウェアを開発することにより、その情報処理機能を自由に変えられるので、ロボットの開発段階では非常に有利であること、2) すでに開発された各種のプログラム言語によって、計算機の機能は大幅に広がっていること、3) 従来研究された学習機械などでは、その能力に限られ、それだけではロボットの必要とする情報処理機能を満足させることが困難である、ことなどと考えられる。

このことから推察されるように、ロボットの情報処理研究のかなりの部分は、ソフトウェアの開発にあて

られている。もちろん、実用的なロボットをつくる際には、デジタル計算機の能力に限界があるため、ハードウェアとソフトウェアの処理の兼合いが重要な問題となる。

一方、デジタル計算機による処理に限界を感じる人々は<sup>12), 13)</sup>、新しい型式の情報処理型式を模索している。その考え方は、生物の情報処理をモデルにしたアナログ、またはハイブリッドの並列演算方式を採用することである<sup>14)</sup>。

神経生理学やバイオニクスなどで、現在まで比較的仕組みの明らかにされたのは、視聴覚などの前処理機構であり、したがって、生物的計算機の活躍する分野も、センサ出力の前処理段階にとどまっている。言語や意志決定などの分野にこれらの機械が進出するのは、かなり先のことと思われる。

### 2.2 研究の現状

知能ロボットの研究の中心はアメリカで、MIT (マサチューセッツ工科大学)、SRI (スタンフォード研究所)、スタンフォード大学がその代表である。いずれも、大型のコンピュータを時分割方式で用いて、意欲的に研究を進めている。たとえば、スタンフォード大学の人工知能プロジェクトでは<sup>5)</sup>、マッカーシー教授を中心として、100名近い人々が人工知能の研究を行っているが、その中心はロボットである。このロボットは、目と耳と手を持ち、人間が音声で与えた命令を解読し、目で対象をとらえ、手を用いて積木を積み上げるなどの作業を実行する<sup>6)</sup>。また、目を持っている自動車の基礎研究も行なっていて、予算総額は年間100万ドルを越すといわれる。

その他の国では、イギリスのエジンバラ大学でも、ソフトウェアに重点をおいたロボットの研究が行なわれ、わが国では電気試験所で目と手を持つシステムが研究されているほか、東京大学、東京工業大学、早稲田大学などで触覚と手足を持つロボットの研究がなされている。表1は、代表的なロボット研究の特長を示したものである。

## 3. ロボット情報処理システム

### 3.1 システム構成

ロボットのハードウェアの性能や使用目的により、情報処理システムの構成は異なっているが、図1にその代表的なハードウェア構成例を示す。この各部分を、人間の器管に対比すると

頭脳——中央計算機

† 工業用ロボットのような低次のロボットでも、幾種類かの仕事を実行できる。ふつう人間が工業用ロボットの手をとつて、あらかじめ作業を教えると、作業内容は磁気テープなどに記録される。したがって、磁気テープをかけかえることによって、ロボットは作業内容を変更できる。この点が従来の単能の自動機械と異なる点といわれている<sup>9)</sup>。

表 1 ロボットの研究材

		スタンフォード大学 人工知能グループ	スタンフォード研究所, 応用物理研究所	マサチューセッツ工 科大学, MAC プロ セクト	マサチューセッツ工 科大学, 計測研究所	エジンバラ大学	電気試験所	
ハードウェア	入力機器	ビデオン イメージディセクタ管	ビデオン	イメージディセクタ 管	ビデオン	ビデオン	ビデオン (プランピコン)	
	視野分割	666×500	240×240	1024×1024	512×512	64×64	256×256	
	目 掃引速度	60 フレーム/秒	60 フレーム/秒	10 マイクロ秒/点 (ランダム・アグ セス)	7 フレーム/秒		60 フレーム/秒	
	AD 変換器 ビット数	4~6	4~5	6+3 3 ビットは指数部	4~6		6	
	距離計	(レーザ方式)	光学式	焦点法, 両眼視	両眼視	—	光学式	
	耳	—	—	—	—	—	—	
	手	電気式多関節型 油圧式多関節型	—	油圧式 電気式	—	—	油圧式 (油圧式多関節型)	
	足	車	車	—	(車)	車	—	
	計算機	マスタ	PDP-10 (260 K 語)	PDP-10	PDP-6 (260K 語)	PDP-9	ICL (65 K 語)	NEAC-3100 (32K 語)
		スレーブ	PDP-6	—	—	—	—	(PDP-12)
ソフトウェア	Problem Solving	YES	YES	—	—	YES	—	
外界のモデル化	YES	YES	—	—	—	—	—	
QA システム	—	YES	—	—	—	—	—	
視覚情報処理	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	
感圧素子を用いる 手の制御	YES	—	YES	—	—	—	YES	
使用言語	LEAP FORTRAN, LISP	LISP FORTRAN	LISP	アセンブラ	POP <sub>2</sub>	FORTRAN LISP		
研究の特長	EAR-HAND-EYE システム, 独立で走 行可能な車, ソフト ハードともに意欲的 に広い分野を研究す る	動きまわって情報 を収集するオート マートン 高度のソフトウェ アの階層構造	HAND-EYE シ ステム, 重なった 物体の認識, 多関 節の腕	生物をモデルにし た火星探検用ロボ ット 視覚前処理ハード ウェア	ソフトウェアに重 点, POP <sub>2</sub> の応用	HAND-EYE シス テムの応用, 色覚, 距離 による認識		

注 YES は, その研究がかなり意欲的に行なわれていることを示す。( ) は計画中表示。

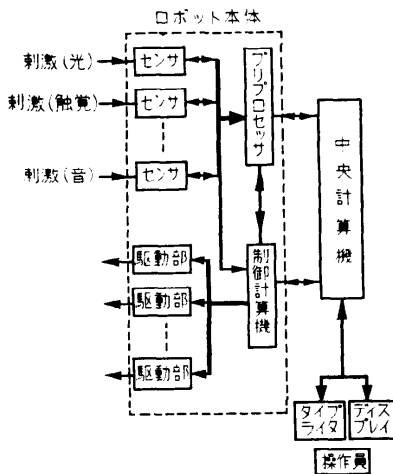


図 1 ロボットの情報処理システムのハードウェア構成 (中央計算機の他にプリプロセッサや制御計算機を用いて分業を行なっている.)

目—TV カメラ, 特殊計算機

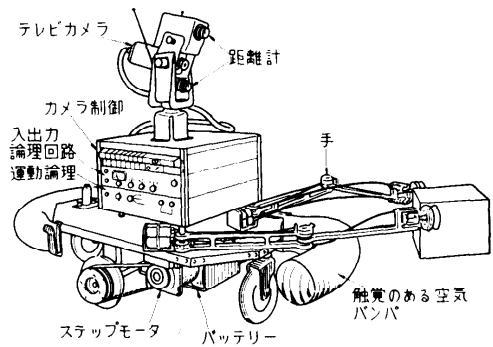


図 2 SRI のロボットの完成図 (Rosen<sup>9)</sup> による)

耳—マイクロホン, 特殊計算機

手—多自由度マニピュレータ, 感圧素子

足—車

となる。手や足は, どれも中央計算機からの運動の指令で動作するが, それ自体にも反射的な運動をする機構が備えられている。図 2 に, SRI のロボットの完成

予想図を示す。ロボットは、人間がタイプライタやライトペンなどで下した命令を解読して、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を行なう。このように一見単純な仕事をするにも、ロボットの頭脳は、以下に述べるような多くの機能を持つことが必要である。

### 3.2 機能

知能ロボットの行なう情報処理の内容を、少しくわしく機能的に分類してみよう。

**a) 問題解析と計画** 人間がロボットに加える指令は、できるだけ普通のことばに近いことが望ましい。たとえば、SRI においては<sup>9)</sup>、

Explore passageway in a Region R.

Go to point (X, Y).

Find object A and bridg it to point (X, Y).

といった(限られた形式の)英語で、タイプライタでロボットに命令を下している。ロボットは、これから自分の行なうべき行動を計画し、その実現の方法を選択しなければならない。

**b) 入力情報の解析** ロボットは、その目で外界をみつめ、解覚で対象をさわっているが、そのような入力情報の持つ特長を抽出し、それがなんであるか解析する必要がある。

**c) 環境のモデル化** 過去においてはいつてきた入力情報を総合して、ロボットのおかれている環境のモデルを、計算機内に作成する。もちろん外部からの情報が豊富になるにつれて、そのモデルも正確となる機能、すなわち学習能力を持つことが必要である。このモデルは、情報処理の各ブロックから参照される。

**d) 運動部への指令** 問題解析の結果の細かい指令を、ロボットの運動器管に変換して送る。同時に、ロボットの自己保護と運動を円滑に行なうためには、反射機能を持つことが必要である。

**e) 中枢管理** いままで述べた情報処理機構を中央で管理する機能で、同時に人間からの入力情報やロボットの人間に対する返答や人間の助けを求める働きを行なう。

これらをまとめて、SRI のローゼンらは図3に示すように機能をブロック線図にまとめている。

### 3.3 ハードウェアとソフトウェア

前に触れたように、ロボットの製作において、ソフトウェアとハードウェアの関連 (Software-Hardware Interface)<sup>10)</sup> が大きな問題となる。すなわち、ロボッ

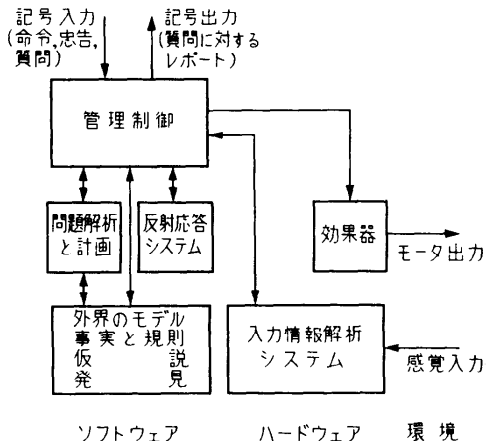


図3 SRIロボットの情報処理ブロック図 (Rosen<sup>7)</sup>による)

トは実時間で動作しなければならないから、デジタル計算機による処理では非常に時間がかかる仕事、たとえば、パターン認識のうち特長抽出の部分などは、図に示したように特殊計算機<sup>11), 12)</sup>で置き替える方式が有利である。

しかしながら、現在ロボットの研究は、必要とする知能を機械に与えるためのアルゴリズムを探求している段階である。よく知られているように、ハードウェアの作成は多くの時間を必要とし、また、研究の進展とともにその性能を変更させることは容易でない。そのために、ハードウェアの作成は必要最小限にとどめて、ソフトウェアの開発により新しい手法を発見することが、知能を持つロボットの研究の中心課題となっている。そして、大型の時分割方式のコンピュータの使用が、研究進展のため不可欠といわれている。

### 3.4 ソフトウェアのレベル

目的によってハードウェアの構成に大小があるように、ソフトウェアもいろいろの性能を持つものが存在する。

図3においては、情報処理の各ブロックはそれぞれ独立したモジュールとして、ソフトウェア内に含まれると考えた。しかし使用目的によっては、もっと簡略化して独立したブロックの数を減らしたり、また、まったく一体になって分割することが困難な場合もある。

ソフトウェアの性能の差を示す例として

Go To (X1, Y1)

という人間の指令に対するソフトウェアの動きを考えよう。もしも周囲条件に関係なく X1, Y1 の座標に

直進すればよいときには、比較的簡単にプログラムは作成できる<sup>13)</sup>。しかしながら、ロボットのおかれていた環境に障害があり、過去の経験と視覚による環境の測定を行ないながらロボット自身が道を見つける問題<sup>10)</sup>となると、いわゆる発見的プログラム (Heuristic Programming) となり、一般的に最適な解法を見つけることは困難である。

使用する言語も、階層構造の有無、記号処理や帰納的プログラムの可能性などによって、いろいろの水準に分けられる。比較的簡単なコンパイラのみでソフトウェアを構成する例は、文献<sup>13), 14)</sup>に譲る。以下、ロボットの視覚、高次情報処理の問題を説明しよう。

## 4. 視覚情報処理

### 4.1 ロボットの目

われわれの生活に目が重要な働きをすると同様に、ロボットも目を備えることによって、その行動能力は飛躍的に向上する。ロボットの目を文字などのパターン認識と比べてとき、その最も大きい相違点は、立体図形の認識とその対象の多様性であるが、このことから、つぎに示す多くの技術問題点がある。

**a) 入力情報量** 多くの場合ロボットの視覚には、立体の認識を行なうことが要求される。われわれが灰色の正四面体のみをつめると、2個の三角形が見られるが、これが区別できるのは各面の明るさが異なることを利用している。すなわち入力段階では、各点の明るさを1ビットの情報で表わすと認識は困難となる。一方、文字の認識では、本質的には黒白1ビットの明るさで表現できる。

ロボットの目の入力段では、普通表1に示すように各点について4ビット以上の情報を用い、1画面の情報量は数十万ビット以上である。さらに、色認識が必要ならば、入力情報量は増大する。したがって、いかにして、入力情報のうち本質的なものを失わないで、情報量を減らすかが重要な問題となる。

**b) 射影変換・立体視** 立体図形がわれわれの網膜にうつった像は、目の光学系により射影変換されている。このことは、ロボットの目でも同様で、射影された像からもとの像を類推し復元する操作が必要である。また人間と同様に、2眼による立体視の問題も(d)項と関連して重要である。

**c) 対象の見えない部分** 困難な問題の一つとして、対象の一部が他の物体のかけになって見えない問題がある。また単一の物体でも、ある稜や面はある方

向から見ることでできない hidden line problem もある。

**d) 測定** ロボットの場合は、対象の種類、認識のほか、対象の大きさや対象への距離といったパラメータの測定が必要である。

**e) 対象の変動性** 作業対象が加工、取りつけなどによって、形がどんどん変わっていく可能性があり、また視野の中の自分の手の干渉の問題もある。

そのほか困難な問題として、物体の影の区別、表面の模様、機能に着目した分類などがあり、また仕事の種類によっては、動くものの検出や速度の測定などが必要である。

### 4.2 認識手法

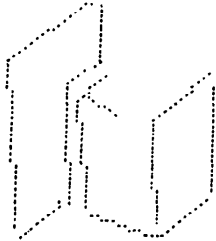
前節でも述べたように、ロボットの目はTVカメラから送られてくる多量の入力情報を解析し、これから画面内にある物体の特長を抽出しなければならない。いろいろのデータ構造が、立体図形の認識のためくふうされているが、ここでは、その基本的考え方を述べてみよう。

ネコなどの生物の視覚システムは、神経細胞が多層構造をしていて、前段までで得られた図形の特長を用いて、より複雑な特長を検出し、それをつぎの段へ送る方式がとられている<sup>15)</sup>。ロボットの目でも、処理の内容こそ必ずしも同一ではないが、多層構造の処理が行なわれている。

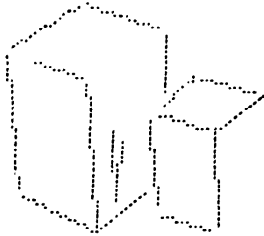
ロボットの視覚システムの情報で一番低いレベルは、画面の各点の明るさや色であり、高次の情報として“危険”などの状況判断がある<sup>5)</sup>。ふつう行なわれている手法は、各点の明るさから立体の稜を検出し、それから稜に囲まれる面、立体といった順序に認識を行なっていく。以下、最も重要な稜や物体の検出と物体認識の方法を述べる。

**a) 線画** 処理の第1段階は、物体の稜を検出し、その線画を作成することである。明るさが急変する点が稜と考えられるので、明るさの空間微分を各点について計算し、その値が大きい点を結んで稜を推定する<sup>17)</sup>。

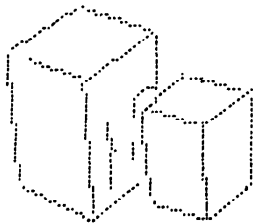
しかし、平面内の明るさは必ずしも一様でなく、入力情報には多くの雑音が存在する。このために、2平面の明るさがかなり接近すると、その境界の稜の検出は困難となる。そこで、微分する前に平滑化を行なって雑音を除去したり<sup>11), 16)</sup>、生物の視覚系をモデルにした空間フィルタを考え<sup>11), 12)</sup>、入力とフィルタの相関をとって稜を検出したりする。また、稜を用いて平面を



線画 A (右から照明)



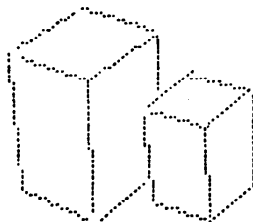
線画 B (左から照明)



線画 A or B



線画 A and B



線画 E (結果)

図 4 4方向の照明による線画の作成 (白井<sup>8)</sup>による)

決定する方法をとらず、明るさのほぼ等しい領域をまず決定し、それにヒューリスティックな手法を適用して、立体の平面と稜を同時に検出する方法も試みられている<sup>19)</sup>。

しかし、一般にいて、物体の形状が複雑になるに従って、隣接する平面の明るさの差は少なくなり、完全な線画を得ることは困難になる。そこで、不完全な線画から物体を推定し、それから線画を出すプログラムに再び立ち帰って、発見されなかった稜を再び検出するようなフィード・バックを持つ手法が必要となる<sup>5), 20)</sup>。

一方、工業用ロボットのように環境が人工的に制御できるときには、照明条件を変えて4種類の線画を作り、それらを論理的に組み合わせて、完全な線画を作り出すことが可能である<sup>18)</sup>。この方法の特長は、物体の影のため生じた誤った線画を除去できることである。図4にその結果の一例を示す。

いままでは、光の明るさのみを入力情報に用いてきたが、物体の輪郭を検出するには、色情報の利用も有効である<sup>21)</sup>。

**b) 物体の発見** 線画が与えられても、物体の認識は容易でない。図5に示すように、多くの物体が積み重なっていると、物の物体のかけにかくされる部分ができるので、視野の中の物体を1個ずつ分離して認識することが必要である。

この問題は、MITのGuzmánによりほぼ解決された<sup>22)</sup>。まず各頂点のリストを作り、それを分類する。頂点の種類によって、となりの平面同志が1個の物体にぞくするかどうかを論理演算し、接続度の強いものを1個の物体と考える。図5は、8個の物体よりなっているが、それらを完全に分離可能であった。

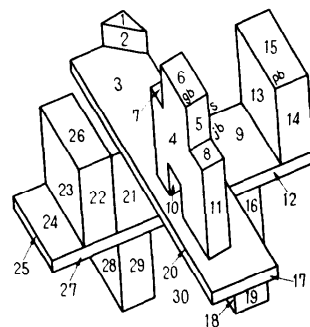


図 5 重なった物体の分離 25, 24, 27, 21, 9, 12 を1個の物体として認識する (Guzman<sup>22)</sup>による)

c) 認識 個々の物体が分離されると、それぞれについて平面の接続状態を調べ、また、他の物体にかくされている部分の推測を行なって、立体の種類を認識する。立体の形状が複雑になるにつれて、見る方向により形が大きく変わるなど、認識に必要な論理演算は複雑になる。

以上は、平面で囲まれた立体について取り扱ったが、曲面を持つ立体では、そのデータ構造や線面の算出方法など検討を要すると思われる。

現在のロボットの目の認識の研究は、まだ簡単な形の立体図形にとどまっている。これを複雑な対象に拡張するには、図形の特長を記述する方式、ロボットの学習能力、ヒューリスティックの認識方法などが開発されなければならない。いずれにしても、3次元立体の認識の研究は始まったばかりであり、今後多くの問題の解決を必要とする。

### 4.3 距離計測法

ロボットの目は、認識するだけでなく、視野内の物体の大きさや位置などのパラメータを測定しなければならない。これらのパラメータの測定は、距離の計測が基本になる。距離測定には、つぎのような方法が提案されている。

a) 1眼を用いる方法 視野内に置かれた平面上の点は、TV画面内の点に1:1に対応する。したがって、あらかじめ校正を行っておけば、TV画面のXY座標から、その平面内の点の位置を決定できる。

この性質を利用して、高さのわかった水平の作業台上の各点の座標を、TV画面のXY座標から算出する手法が多くロボットで用いられている<sup>16), 17)</sup>。もちろん、直方体などが作業台上に直立しているときは、その高さも算出が可能である。この方法は、ハードウェアが簡便であるが、距離の測定可能な対象に制限があり、動き回るロボットには不向きである。

b) ステレオ法 1対のTVカメラを用いて、その回転角度と左右の画面内の像のずれから、三角法によって対象までの距離を測定する方式である。この方法の問題点は、一方の画面の各点が、他方の画面のどの点に対応するかを発見することが困難なことであり、前節で述べた認識の方法にも関係してくる。Sutroは左右の画面における像のずれを算出するため、窓と呼ばれる小区域を視野内に設け、この中の左右カメラの出力の差が最小になるように、一方の窓を動かす方式を用いている<sup>23)</sup>。

c) 距離計 TVカメラと投光装置を組み合わせ

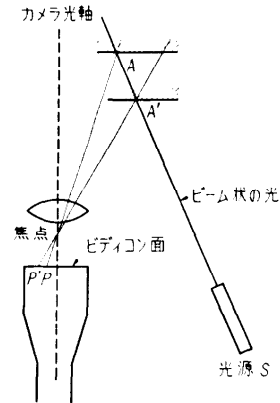


図6 光学的距離計の原理

ることによって、物体までの距離の計測が可能である。図6はその原理を示すもので、光源Sから投影したビーム状の光を、物体に投射してTVカメラで撮像すると、物体がAの位置にあると画面内のP点、A'にあるとP'点が光る。したがって、三角測量の原理で物体までの距離が算出できる。電気試験所では、視野内の各点の距離を高速に測定するため、スリット状の光を投影し、距離情報から物体を認識する試みを行っている。

## 5. 高次情報処理

### 5.1 ソフトウェア・システム

先に述べたように、ロボットが自然言語に近い形で与えられた命令を理解し、それを実行する計画を作成することは、膨大なソフトウェアを開発しなければならない。

図7はSRIのロボットの高次情報処理を実行するソフトウェアのブロック図である<sup>24)</sup>。人間がタイプライタで与えた命令は、翻訳モジュールによって1階の述語論理を用いた形式言語に書き直される。

ロボットが、与えられた仕事に対する計画をたてるためには、数学の定理を計算機で証明するために考案された resolution method が適用されている。定理の証明では、与えられた公理と証明しようとする定理に、論理演算を行ない、一致点または矛盾を見つけることによって、コンピュータは証明を行なっている。ロボットの場合では、与えられた公理の代わりに、ロボットの置かれている状態や仕事の条件、証明すべき定理の代わりに実行すべき仕事と考えれば、同じ方法が適用できる。そして、定理の証明に用いられた推論のひとつひとつが、仕事を実行する手段を与える。

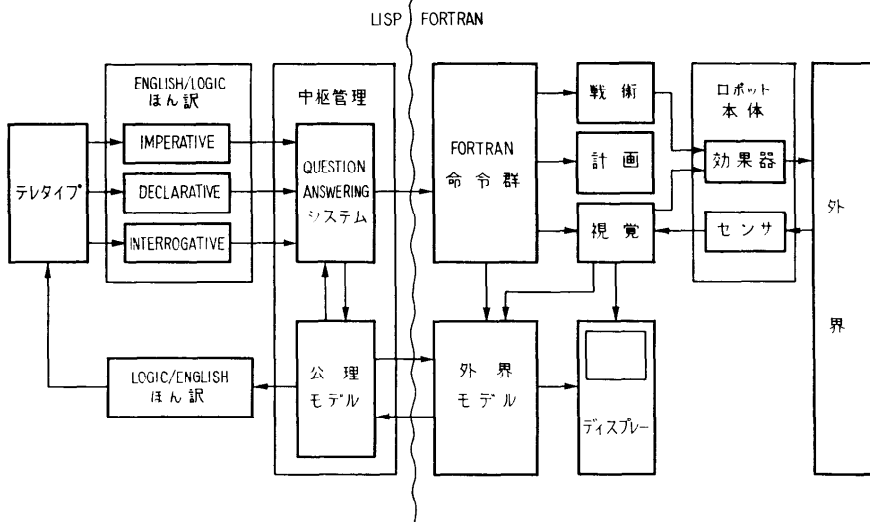


図7 ロボット・ソフトウェア・システム (Coles<sup>24)</sup>による)

この手法は、もともとQAシステム(質問に対して解答するシステム, Question Answering System)として開発されたものを利用しているもので<sup>8), 25)</sup>, このQAシステムも, ロボットでは重要な働きをする。すなわち, 与えられた仕事を計画していく段階で, 人間が下した命令に不十分な点があると, ロボットが人間に対して, 逆に質問の中のあいまいな点を聞き返す方法を用いることができる。

ロボットのたてる計画も, 高次のレベルから低次のレベルまで幾つかのモジュールで分かれて行なわれ, 順次細部の実行命令が形成され, 手・足・センサなどに指令される。

**5.2 環境のモデル化** ロボットが計画をたて, それを実行するには, 自分の置かれている環境がどのようなになっているかを, メモリの一部にモデルとして作成しておかなければならない。もちろん, ロボットの使用目的によって必要とするモデルの形は異なっているが, 人工知能の研究の中でも, 外界をどのように記述するかは, 最も重要な問題のひとつである。現在のところ, ロボットでは文章的な形で複雑なモデルを作成することは, あまり行なわれていないで, 幾何学的モデルのほうが多い。

SRIのロボットは<sup>7), 8)</sup>, 階層構造の地図をモデルに用いている。図8のように, 地図は4×4の格子に分けられ, 空・占有・再分割という3種の状態のひとつが書きこまれている。再分割した部分は, つぎのレベ

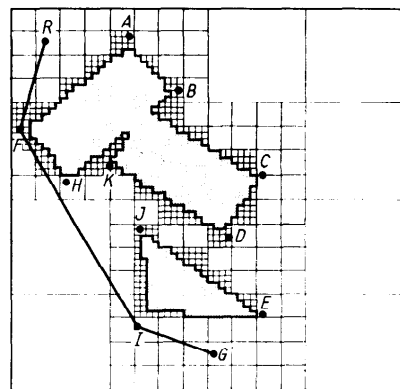


図8 外界のモデル ロボットはモデルを参照しながらRよりGへ移動する (Nilsson<sup>8)</sup>による)

ルの地図にリスト構造で接続され, これも同様に4×4の分割をされる。このようにして, 所要の分解能を得ている。

**6. むすび**

以上簡単に, ロボットの情報処理システムを説明した。紙数の関係で, 手足の制御<sup>26)</sup>や生物をモデルにした決定機構<sup>12)</sup>など興味深い分野を割愛した。

ロボットの情報処理の研究は, まだ日が浅く, 現在はデジタル計算機を使って得られる知能の限界に挑戦している段階である。この限界を打ち破る新しい情



報処理技術を創造することが、真のロボットを生み出す道であろう。

### 参考文献

- 1) 高橋秀俊: ロボット随想, 計測と制御, Vol. 7, No. 12, pp. 837~838 (1968).
- 2) 日本電子工業振興協会: 海外におけるメカニカル・オートメーション, その2, 産業ロボット編 (1964).
- 3) 日本電子工業振興協: 公産業ロボットの現状と将来 (1965).
- 4) 油圧化設計, 工業用ロボット総論, Vol. 8, No. 1 (1970).
- 5) J. McCarthy: Project Technical Report, Stanford A. I. Memo AI-87 (June 1969).
- 6) G. McCarthy, et al.: A Computer with Hands, Eyes and Ears, Proc. of AFIPS, Vol. 33, Pt. I, pp. 329~338 (1968).
- 7) ローゼン: 知能を持つ機械, プレジデント, Vol. 7, No. 7, pp. 144~154 (1969).
- 8) N. J. Nilsson: A Mobile Automaton, Proc. of 1st International Congress on Artificial Intelligence, pp. 509~520 (1969).
- 9) C. A. Rosen, et al.: An Intelligent Automaton, IEEE Convention Record, Vol. 15, Pt. 9, pp. 50~55 (1967).
- 10) B. Raphael: Programming a Robot, Proc. of IFIPS (1968).
- 11) G. E. Foren: A Preprocessor for an Automaton's Eye, Convention Record of Aerospace and Electronic Systems (1967).
- 12) L. Sutro, et al.: Assembly of Computers to Command Control a Robot, Proc. of AFIPS, Vol. 34, pp. 113~137 (1969).
- 13) D. J. Barber Mantran: A Symbolic Language for supervisory Control of an Antelligent Remote Manipulator, M. & Thesis, MIT (1967).
- 14) 辻: ロボットのソフトウェア, 計測と制御, Vol. 7, No. 12, pp. 919~928 (1968).
- 15) 辻, 他: バイオニクス, 日刊工業新聞社(1969).
- 16) J. A. Feldman, et al.: The Stanford Hand-Eye Project, Proc. 1st International Congress on Artificial Intelligence, pp. 521~526 (1969).
- 17) L. G. Robert: Machino Perception of Three Dimensional Solids, Optical and Electro-Optical Processing of Information, MIT Press (1963).
- 18) 白井: 多方向から光を当てた立体図形の認識, 電気4学会連大, 2780 (1970).
- 19) C. R. Brice: Scene Analysis of Pictures Using Regions, SRI Artificial Intelligence Group Technical Note 17 (1969).
- 20) Artificial Intelligence and Intelligent Automata, MIT Project MAC Progress Report 1968-69.
- 21) 谷内田, 他: 色の情報を利用した物体認識, 電気4学会連大, 2781 (1970).
- 22) A. Guzmán: Decomposition of a Visual Scene into three Dimansional Brdies, Proc. AFIPS, Vol. 33, Pt. 1, pp. 291~304 (1968).
- 23) L. Sutro, et al.: Development of Visual, Contact and Decision Subsystem for a Mars Rover, R 656 Instrumentation Lab. MIT (1967).
- 24) L. S. Coles: Talking with a Robot in English, Proc. 1st International Congress on Artificial Intelligence, pp. 587~596 (1969).
- 25) C. Green: Application of Theorem Proving to Problem Solving, ibid, pp. 219~239.
- 26) D. L. Pieper: The Kinematics of Manipulators under Computer Control, Stanford A. I. Memo, AI-72 (1968).

(昭和45年4月2日受付)