

# ファジィ制御による二次元移動物体の把握

廣 田 薫\*・渡 辺 秀 則\*\*

## Grasping 2-D Moving Object Using Fuzzy Controlled Arm Robot

Kaoru HIROTA\* and Hidenori WATANABE\*\*

### Abstract

Fuzzy controlled robot system, which can grasp a 2-D moving object on a flat cone-shaped table, has been realized by using a scalar type arm robot an image processing system and 3 input 2 output fuzzy rule based controller.

### §1. 緒 言

産業分野で用いられている現在のロボットは、ティーチングプレイバック制御が中心であり、予め人間の教えた範囲内で同じ動作を繰り返し行うことしかできないものが多い。しかし作業内容の高度化に伴い、人間の熟練した専門的知識を導入したシステム制御系で動作を行うロボットの開発が進んできている。

日常我々が用いている情報は、きちんと数量化されていないあいまいな情報が多い。このようなあいまいな情報でも我々は、それなりに理解、判断し適切に行動することが可能である。このような人間のあいまい情報の処理機能をモデル化し、数量的に扱う方法論として、ファジィ理論が提案された。このファジィ理論を用い、人間に近い判断認識を基に、ロボットに動作させることが本研究の目的である。

視覚機能を持った水平多関節型アームロボットを用いて、ファジィ制御による二次元の移動物体の把握を行った。本来は静止している物体を組み立てる目的に使用する水平多関節型アームロボットを用いて、移動物体の把握を実現するために、16ビットパーソナルコンピュータを接続した。これは画像処理装置からの座標データから、パーソナルコンピュータ上でファジィ推論を用いて演算処理を行い、移動先の座標を予測するためである。

二次元の移動物体は、ある程度動きに制限を与えるために、傾斜の緩やかな摺鉢状の台の上を

---

\* 工学部電気工学科計測制御専攻

\*\* 大学院工学研究科システム工学専攻

転がすことにした。この移動物体をファジィ推論を用いて把握する。ファジィ推論は3入力2出力で、入力情報は移動物体の速度、速度比、台の中心からの距離とし、出力情報は最後に認識した点と移動予測地点との台の中心角、台の中心からの距離として移動予測先の座標を求めた。この座標データに基づいてロボットを起動して、ハンドをその点に持って行き、物体を把握する。

## §2. 移動物体把握のためのシステム構成

ファジィ制御手法による二次元移動物体の把握動作実現のためのシステム構成をFig. 1に示す。Fig. 1のようにこのシステムはロボット制御装置、計算機、画像処理装置の三つの部分で構成されている。本来、ロボット制御装置と画像処理装置は計算機を介さないで接続してあったのであるが、ファジィ推論による移動物体把握の動作実現のために16ビットパーソナルコンピュータで中継した。

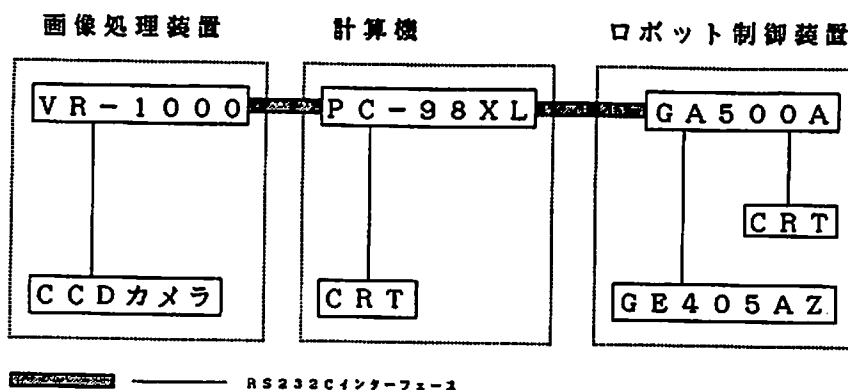


Fig. 1 二次元移動物体把握ロボットのシステム構成

### 2.1 ロボット制御装置

ロボット制御装置は、以下のような構成になっている。

ロボット本体：富士電機 GA 405 AZ

ロボット制御装置：富士電機 GE 500 A

プログラム装置：CRT, キーボード

外部記憶装置：8インチ片面単密フロッピーディスクドライブ

使用言語：FRL (FUJI ROBOT LANGUAGE)

FRL は、ロボットの制御を容易に行うためのロボット用言語であり、モニター指令とプログラム命令により構成される。

モニター指令は、ロボットの運転を管理する指令で、入力指示に従い適切な応答を行う。

プログラム命令は、ロボットの作業を指示する命令であり、プログラム上に記述される。プログラム命令は全部で21種ある。プログラム命令にはロケーションの計算に関する命令がないので、画像処理装置から移動物体の複数のロケーションデータを受け取っても、移動する先のロケーション

ョンの計算が出来ない。

そこで、画像処理装置からのロケーションデータを計算機で演算処理して、移動先のロケーションデータをロボット制御装置に送り、そのデータに基づいてハンドを移動させ物体を把握する方法にした。

## 2.2 計算機

計算機には、日本電気製16ビットパーソナルコンピュータPC-98 XL(クロック周波数10 MHz)を用いており、RS 232 C インターフェースを2つ装備している。OSはMS-DOS Ver. 3.1を用い、言語はN<sub>88</sub>BASICを用いた。

パーソナルコンピュータ上では、ロボット制御装置からの認識実行のコマンドを画像処理装置へ転送することと、画像処理装置からの複数の認識した物体の座標データをファジィ推論の入力情報に計算処理してファジィ推論を行い、出力情報から物体の移動先の座標データに計算処理してロボット制御装置に送信することを行う。

## 2.3 画像処理装置

画像処理装置は以下のような構成になっている。

視覚センサモジュール：富士電機製 VR-1000

テレビカメラ：富士電機製 CCD カメラ

レンズ( $f=12.5\text{mm}$ )

視覚センサモジュール VR-1000 は、テレビカメラで部品を観測し、その信号処理して形状特徴値を得て、予め登録してある部品より部品名を識別し、同時に部品の中心のXY座標、回転方向のデータをロボット制御装置やパーソナルコンピュータへRS 232 C インターフェースを通じて出力する。

VR-1000にはいくつかの認識実行のコマンドがあり、ロボット制御装置側及びパーソナルコンピュータ側より制御することができる。本研究では以下の二つの認識実行のコマンドを用いた。

### ・SRI (START RECOGNITION INTERNAL)

指定カメラ、指定識別名、指定ウィンドウで、内部同期に合わせて、画像を取り込みに識別を行い、結果を出力する。

### ・RRI (REPEAT RECOGNITION INTERNAL)

指定カメラ、指定識別名、指定ウィンドウで、内部同期にて、繰り返し画像を取り込み識別を行い、結果を出力する。

### ・STP (STOP)

RRI コマンドを無効にする。

CCD カメラは、ロボットの動作範囲外で、対象物の上方1.7メートルに設置した。

### §3. ファジィ制御による移動物体の把握

#### 3.1 ロボット制御装置, 計算機, 画像処理装置間のデータ通信

ロボット制御装置, 計算機, 画像処理装置間のコマンドやデータの通信は, RS 232 Cインターフェースを用いる。ファジィ制御による移動物体の把握の時のロボット制御装置, 計算機, 画像処理装置間のプロトコル(通信規約)のシーケンスを Fig. 2 に示す。Fig. 2において, 用いている伝送制御文字は,

- ENQ : 応答要求
- ACK : 肯定応答
- EOT : 伝送終了
- NAK : 否定応答

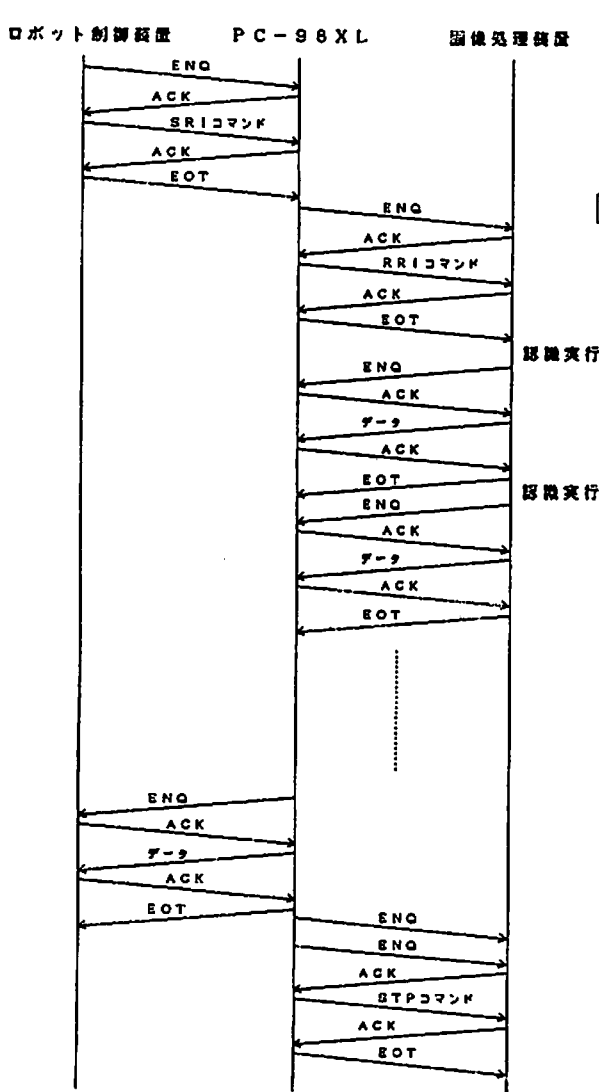


Fig. 2 プロトコルのシーケンス

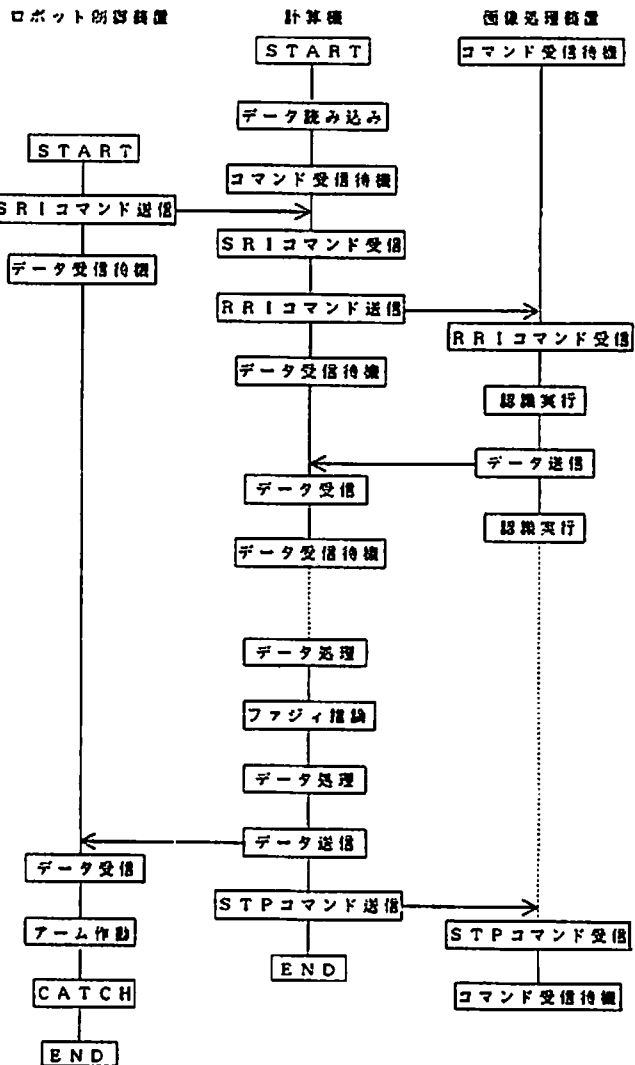


Fig. 3 二次元移動物体把握ロボットの動作フローチャート

である。

パーソナルコンピュータ上でのデータ伝送のプログラムは、プロトコルにより次に送信されてくる伝送制御文字が分かっているなのでその文字を受信するまで IF 文で繰り返して待ち、次に送信する文字は PRINT # 文で出力する。

```
例) 100 IF LOC(#1)=0 THEN 100
      200 X$=INPUT$(1, #1)
      300 IF X$ <> ENQ$ THEN 100
      400 PRINT #1, ACK$;
```

### 3.2 制御アルゴリズム

移動物体把握のための制御アルゴリズムは、Fig. 3の動作フローチャートに示すように、はじめに計算上で予め計算しておいたファジィ推論による推論結果をデータファイルから配列に読み込み、コマンド受信待機の状態にしておく。

次にロボットのプログラムを実行して、認識実行のSRIコマンドをパーソナルコンピュータに送信する。そして、データ受信待機の状態になる。

次にパーソナルコンピュータ上では、ロボット制御装置からのSRIコマンドを受信したら、画像処理装置に繰り返し認識を行うRRIコマンドを送信して物体の移動に伴う三つの座標データを画像処理装置に認識させて、その座標データを受信する。そしてそのデータからファジィ推論の入力情報を計算して、ファジィ推論を行いその出力情報から物体の移動する先の座標データを計算して、データの受信待機をしているロボット制御装置にこの座標データを送信する。そしてRRIコマンドにより認識を繰り返している画像処理装置に、STPコマンドを送信して認識を終了させ、コマンド受信待機の状態に戻す。

パーソナルコンピュータよりデータを受信したロボット制御装置は、その座標データにしたがってアームを作動させ、移動している物体を把握する。

### 3.3 二次元の移動物体の把握の問題設定

二次元の移動物体の把握の実現のために、Fig. 4のように直径60センチ、傾斜角5度の浅い摺鉢状の円形の台を用意した。台の中心だけを固定して、台を各方向に傾けられるようになっている。これは物体の動きがあまり不規則にならないようにある程度の制限を与えるためのものである。この台の上でゴルフボール状のプラスチックの球体を止まらないように台を傾けたりしながら転がした。物体の移動の様子は、Fig. 5の様な軌跡を描いている。そしてこの物体を把握するためにファジィ推論を用いる。

### 3.4 ファジィ推論部

移動物体の移動する座標の予測には、ファジィ推論を用いる。ファジィ推論を用いるための入力情報と、ルール、メンバーシップ関数の決定のために、実際に移動物体の座標データを連続し

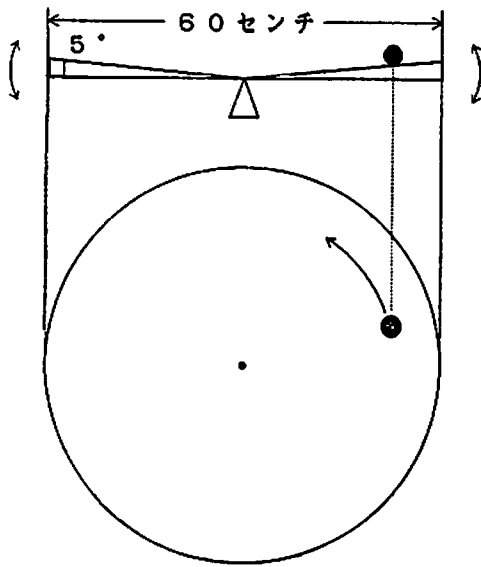


Fig. 4 摺鉢状の円形の台

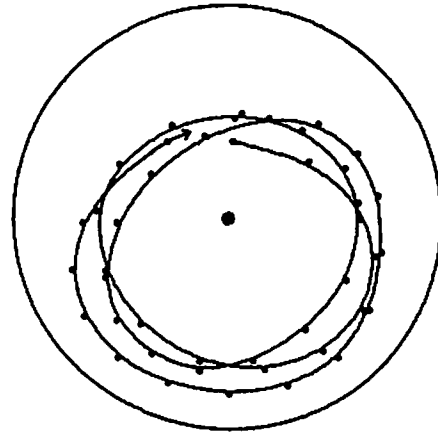


Fig. 5 移動物体の軌跡の一例

て多量にとり、そのデータ群を解析して求めることにした。

Fig. 5 に示したように、移動物体の軌跡は円、または楕円のような図形を描きながら台の上を転がっている。Fig. 5 において、認識した移動物体の座標を点で示しているが、そのサンプリングタイムは、0.25秒である。そこでFig. 6 に示すように、台の中心を原点  $O(0, 0)$  とし、連続した3点  $A(X_A, Y_A)$ ,  $B(X_B, Y_B)$ ,  $C(X_C, Y_C)$  より  $D(X_D, Y_D)$  を求める。D点はC点の10サンプリングタイム後とした。これは、実際に物体を把握するときC点を認識してからロボットのハンドが物体を把握するまでの時間を考慮するためである。

D点の座標を求めるために、入力情報と出力情報に何を用いるかを検討した。出力情報としては、Fig. 6 に示すように、 $\theta$ ,  $L_2$  を用いることにした。入力情報としては、3点  $A, B, C$  から求められる Fig. 7 にも示した以下の5個を考えた。

1. 物体の速度として、 $AB, BC$  の長さ
2. 物体の加速度として、 $AB, BC$  の長さの比
3. 中心からの距離として、 $OC$  の長さ
4.  $AB, BC$  の間の角度
5. 扇型  $OAC$  の面積

この5個の入力情報を用いて5入力2出力のファジィ推論を行うことを考えたが、この場合だとルール数が非常に多くなり、また必要なルールを選択するのも非常に困難であるので、この内の3個を用いて、3入力2出力のファジィ推論を行うことにした。入力情報として最も適した3個を選択してルールを決定するために、実際に連続して認識した大量の座標データの解析を行った。

解析の方法としては、全ての入出力情報の数値を5から10段階に分類して、入力情報と出力情

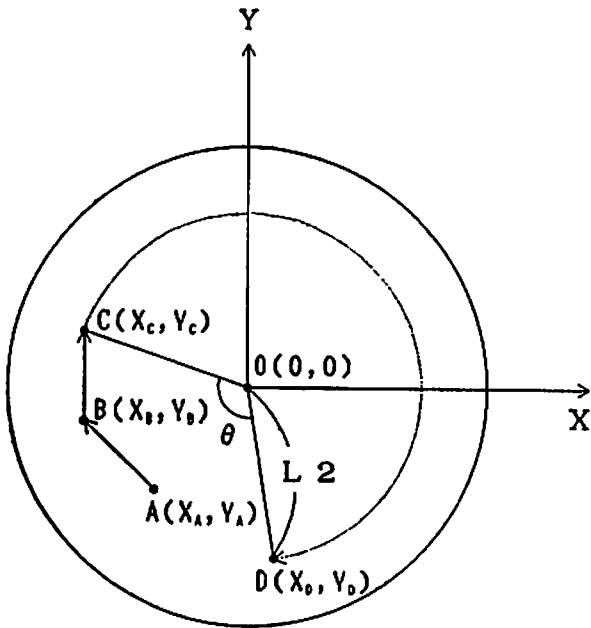


Fig. 6 移動先の座標の予測

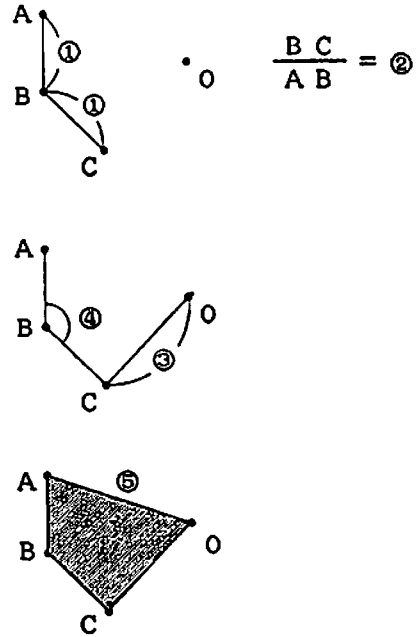


Fig. 7 検討した入力情報

報の間に法則性があるかを検討した。

こうしていろいろな入力情報を組み合わせて、検討した結果、1. 2. 3. の情報を用いるのが一番適していると言う結論を得た。つまり入力情報として、

$$V = BC = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2} \quad (1)$$

$$A = \frac{BC}{AB} = \frac{\sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2}}{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}} \quad (2)$$

$$L1 = OC = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} \quad (3)$$

を用いることにした。

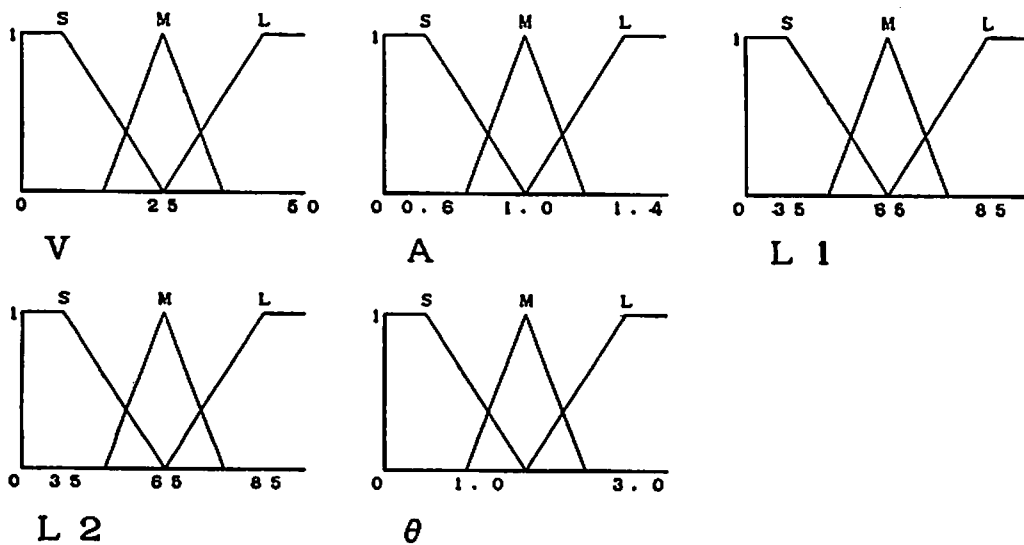


Fig. 8 V, A, L1, L2, theta のメンバーシップ関数

次に、 $V, A, L, L2, \theta$  のメンバーシップ関数を Fig. 8 に示す。ラベルの数は3、台集合の要素数は30とした。

次に用いたルールを示す。本来入力3でラベルの数が3あればルールの数は27通りになる。しかし、データ解析の結果から使用しないルールが分かっているのでそのルールを省略することにより18個のルールを用いることにした。ファジィ推論の推論法は、一般的な max-min 合成重心法を用いた。

IF	$V=S$	$A=S$	$L1=S$	THEN	$L2=M$	$\theta=S$	
IF	$V=S$	$A=S$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=L$	
IF	$V=S$	$A=M$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=S$	$A=M$	$L1=L$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=M$	$A=S$	$L1=S$	THEN	$L2=S$	$\theta=M$	
IF	$V=M$	$A=S$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=M$	$A=S$	$L1=L$	THEN	$L2=L$	$\theta=M$	
IF	$V=M$	$A=M$	$L1=S$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=M$	$A=M$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=M$	$A=M$	$L1=L$	THEN	$L2=L$	$\theta=L$	
IF	$V=M$	$A=L$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=L$	
IF	$V=L$	$A=S$	$L1=S$	THEN	$L2=S$	$\theta=M$	
IF	$V=L$	$A=S$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=L$	$A=M$	$L1=S$	THEN	$L2=S$	$\theta=M$	
IF	$V=L$	$A=M$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=M$	
IF	$V=L$	$A=M$	$L1=L$	THEN	$L2=M$	$\theta=S$	
IF	$V=L$	$A=L$	$L1=M$	THEN	$L2=M$	$\theta=S$	
IF	$V=L$	$A=L$	$L1=L$	THEN	$L2=L$	$\theta=S$	(4)

### 3.5 物体把握部

ファジィ推論の推論結果に基づいて、物体の移動予測した座標データにロボットのハンドを動作させる。このとき、付属のコンプレッサーを用いたハンドの場合、掴める範囲が狭いので推論結果が少しでもずれると、物体を把握することができない。これでは、ほとんどの場合移動物体を把握することは、できない。そこでハンドの先に直径10センチの円形の板を取り付け、板の下面に粘着テープを張ったスポンジを接着して、移動物体をくっつける方法を用いることにした。この方法だと円形の板の大きさによって推論結果と実際の移動物体との誤差がある程度あっても物体を把握することができる。



## §4. ファジィ推論部の検討

### 4.1 推論結果のシミュレーション

以上のようにして作成したファジィ推論の推論結果のシミュレーションを行った。方法としてはファジィ推論の推論部を作成するときに行った移動物体の連続している座標データを用いて10サンプリングタイム後の座標データとファジィ推論によって推論した座標がどの程度一致しているかをシミュレーションした。ロボットのアームには、直径10センチの円形の板が取り付けられてあり、この範囲内であれば把握することができるので、座標データと推論した座標との距離が5センチ以内であれば把握可能とした。パーソナルコンピュータで行ったシミュレーションの画面の一例をFig. 9に示す。

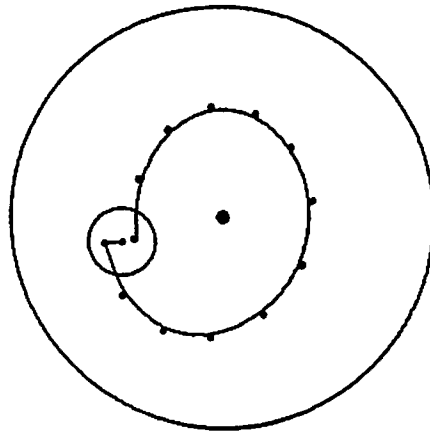


Fig. 9 推論結果のシミュレーションの一例

### 4.2 メンバシップ関数の調整

推論結果のシミュレーションでは、把握率は20パーセント程度でしかなかった。

そこでメンバシップ関数の調整を行うことにした。方法としては、シミュレーションの結果からメンバシップ関数を調整し、またシミュレーションを行うことを繰り返した。調整する前後のメンバシップ関数を Fig. 10, 11 に示す。Fig. 10 は入力情報のメンバシップ関数であり、Fig. 11 は出力情報のメンバシップ関数である。

### 4.3 調整後の推論結果のシミュレーション

メンバシップ関数を調整したあとのシミュレーションの結果を Table 1 に示す。Table 1 において各 DATA は、500 個の移動物体の座標データからなっており、把握率は上記の把握可能範囲にある割合となっている。

Table 1 シミュレーションによる把握率

	DATA 1	DATA 2	DATA 3
把握率 (%)	29.7	27.3	28.7

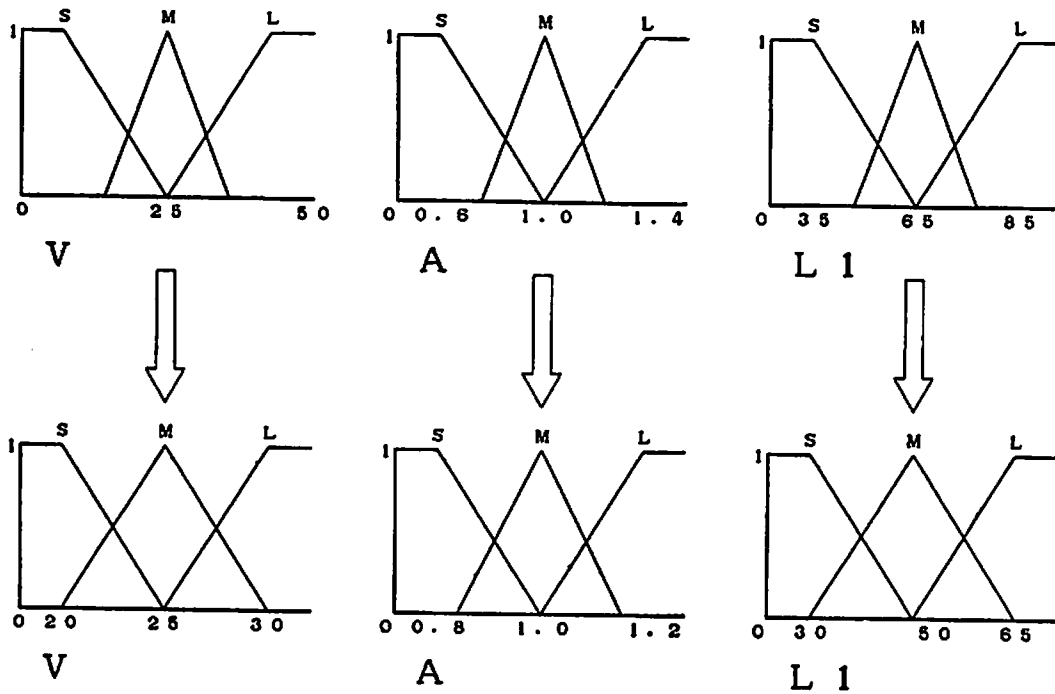


Fig. 10 入力情報のメンバーシップ関数の調整

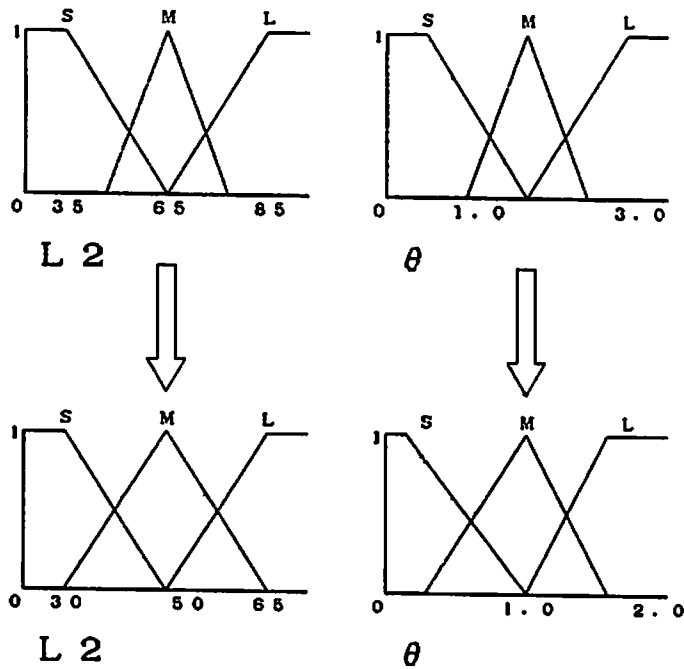


Fig. 11 出力情報のメンバーシップ関数の調整

## §5. 運用結果

### 5.1 二次元移動物体の把握

移動物体把握の様子を Photo 1.1~1.6 に示す。CCDカメラは摺鉢状の円形の台の上方1.7メートルに設置しており、ロボットのアームは Photo 1.1の様に円形の台に近い場所で待機させておく。

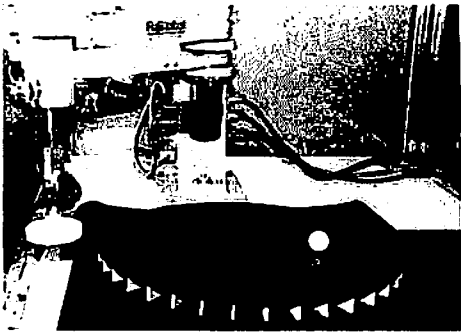


Photo 1.1

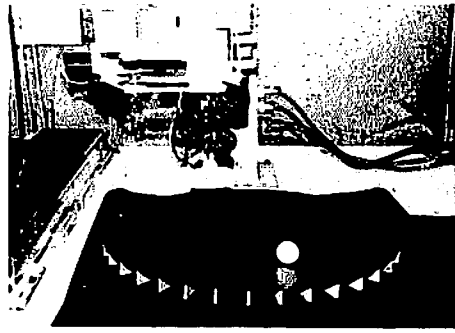


Photo 1.2

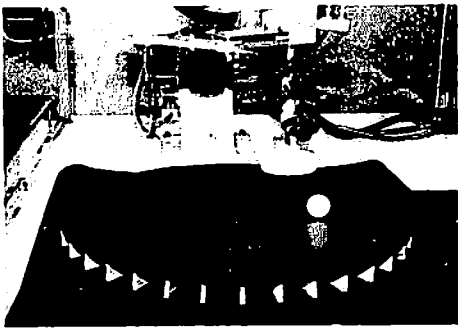


Photo 1.3

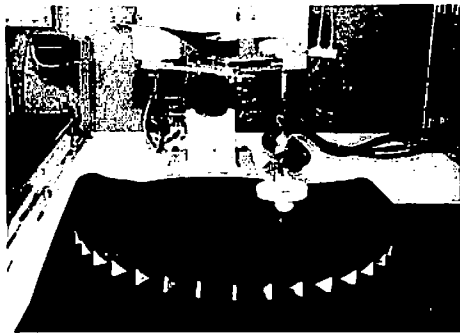


Photo 1.4

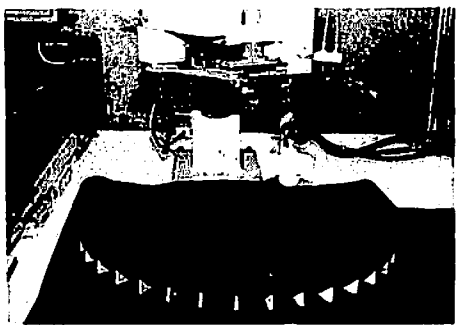


Photo 1.5

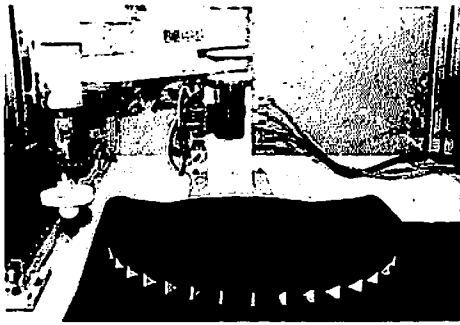


Photo 1.6

移動物体把握ロボットの実行例

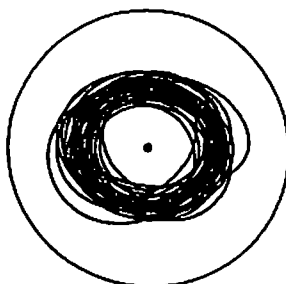


Fig. 12 連続した軌跡の存在範囲

## 5.2 現在の状況

ファジィ制御を用いた二次元の移動物体の把握動作について、現状ではシミュレーションの結果と実際にロボットが把握する場合とも、3割程度の把握率である。対象物の軌跡の存在範囲がFig. 12の様な場合の把握率は現状のとおりであるが、これにより中心に近い軌道を取った場合などや、さらに極端な楕円軌道を取った場合などは、把握しきれていない。

## § 6. 結 言

ファジィ制御を用いた二次元の移動物体の把握動作については、3入力、ラベルの数3の簡単なシステムにしては、まずまずの結果を得ることができた。しかし、物体の軌道によっては、推論結果が移動物体の座標と合致しないことがある。メンバーシップ関数の調整、ルールの検討には限界があるので、入力情報の再検討、サンプリング点数の増加、推論法の検討を行う必要がある。

現在のところ3回の認識を終了してからファジィ推論を行って、ロボットのアームが作動して物体を把握するまでの時間が2.5秒ある。この時間が短ければ、10サンプリングタイムより短い時間後の位置を予測すればよいので、推論結果と実際の物体の座標との誤差を少なくできるので、計算処理時間の短縮を考慮しなければならない。

## 参 考 文 献

- 1) 廣田, 渡辺: 水平多関節型アームロボットを用いたファジィ制御による2次元移動物体の把握, 第5回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.65/70, 1989. 6. 2.
- 2) 廣田, 渡辺: 水平多関節型アームロボットを用いたファジィ制御による2次元移動物体の把握, 電気学会研究会資料, pp.31/38, 1989. 11. 22.