

### ファジィ推論を用いた把握箇所判断ロボット

箕輪, 和則 / 廣田, 薫

---

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

27

(開始ページ / Start Page)

51

(終了ページ / End Page)

64

(発行年 / Year)

1991-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004306>

# ファジィ推論を用いた把握箇所判断ロボット

廣田 薫\*・箕輪 和則\*\*

## Identification of Grasping Point for Fuzzy Controlled Robot

Kaoru HIROTA\* and Kazunori MINOWA\*\*

### Abstract

An arm robot system with the function of identifying the grasping point has been realized based on image processing and fuzzy inference method, where the objects are uneven glass vessels and 3 input 1 output fuzzy inference is used.

### § 1. 緒 言

現在、様々な用途に使われている産業用ロボットは、人間にとっては単調で退屈な作業を代行しているに過ぎないものが多い。作業内容は単純化されており、このためロボットの機能は、それほど高くなくても十分使用に耐えるシステムを構築することができる。ところがロボット技術の発達につれ、これまで作業内容が複雑すぎて自動化が不可能とされていた非製造業の分野でも、ロボットによる無人化への期待が非常に高まってきている。しかし、このような分野で使われるロボットは、極めて高度な機能が要求されるため、現在のロボット技術ではとても対応できないのが現状である<sup>1)2)</sup>。この技術的困難さは、環境の多様さへの対応を柔軟にすることなどに要因があり、解決は容易ではない。ある程度自律的に動作でき、比較的複雑な作業をこなす知能ロボットの研究が盛んに行われてきている。

本研究は、CCDカメラによる視覚情報を基に、物体の把握し易い部分を判断するという機能をもたせ、ロボット知能化を実現するための基礎研究を目的とした。物事を判断するには、人間的な柔軟な思考が要求されると共にあいまいな情報をうまく処理しなくてはならない。推論部には、掴み易さというあいまいな概念をうまく取り扱うため、3入力1出力のファジィ推論を用いた。ファジィ推論を用いることにより、幾つもの情報から総合的に掴み易さを判断することが可能となった。

---

\* 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

産業用ロボットにおける基本動作である把握は、基本的には位置決めされた物体を決められた位置へロボットの手先を移動させることによって、把握しているに過ぎない。物体が変わるなどして何等かの環境の変化が起こった場合に、対応ができない場合が多い。本システムでは、ファジィ推論を導入することにより、物体が変わるなどの環境の変化にも柔軟に対応でき、把握することが可能である。本システムで使用したロボットアームのハンドの部分には、2本の指が取り付けられており、把握するというよりむしろ挟むと言う感じになる。このような指で如何にして物が安定するように把握できるかを考え、物体の輪郭形状、重心との隔たり、物体の太さから把握し易い部分を求める。

## § 2. 把握箇所判断ロボットシステム

### 2.1 把握箇所判断ロボットのシステム構成

ファジィ推論を用いた把握箇所判断ロボットのシステム構成をFig.2.1に示す。

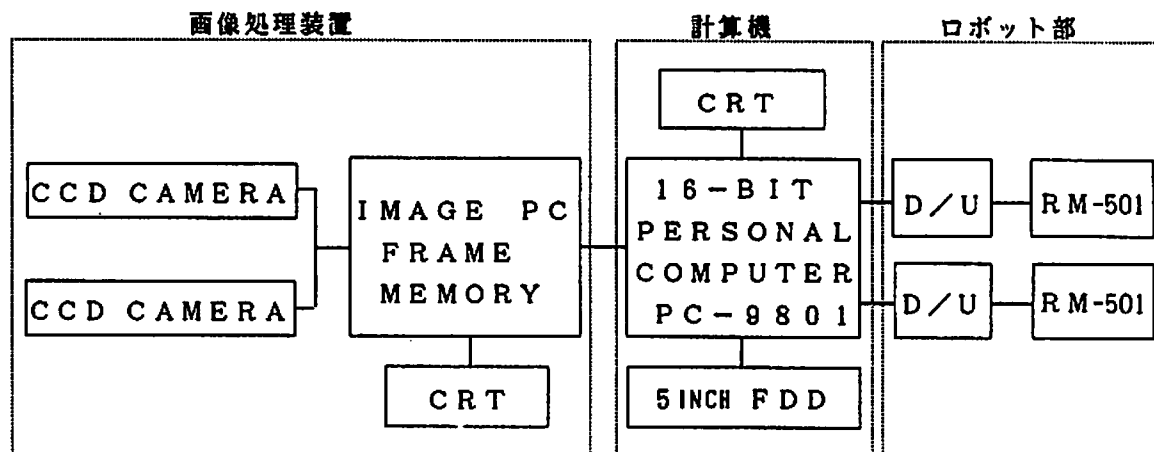


Fig.2.1 把握箇所判断ロボットのシステム構成

Fig.2.1の様にこのシステムは、ロボット部、計算機、画像処理装置の三つの部分で構成されている。使用した機器類は、以下の様になっている。

- ・ ロボット部

ロボット本体：三菱電機製5自由度垂直多関節型アームロボット MOVE MASTER RM-501 (2台)

ロボット制御装置：三菱電機製 DRIVE UNIT (D/U)

- ・ 計算機

本体：日本電気製16ビットパーソナルコンピュータ PC-9801 (クロック周波数5MHz)

周辺機器：キーボード、CRT、5INCHフロッピーディスク装置

パーソナルコンピュータ上では、ロボットの制御及び推論等の各種処理を行う。

プログラムは、N<sub>80</sub>BASIC及びマクロアセンブラで作成した。プログラムの流れは、BASICにより記し、画像処理ルーチンでアセンブラを用いた。

・ 画像処理装置

本体：エデック製 IMAGE PC ED-1161 (分解能 256 \* 256 64階調)

周辺機器：ソニー製 CCD CAMERA XC-37 (2台)

レンズ (焦点距離 8.5mm)

CRT

2.2 把握箇所判断ロボットの周辺環境

把握箇所判断ロボットの周辺環境の概略図を Fig.2.2 に示す。

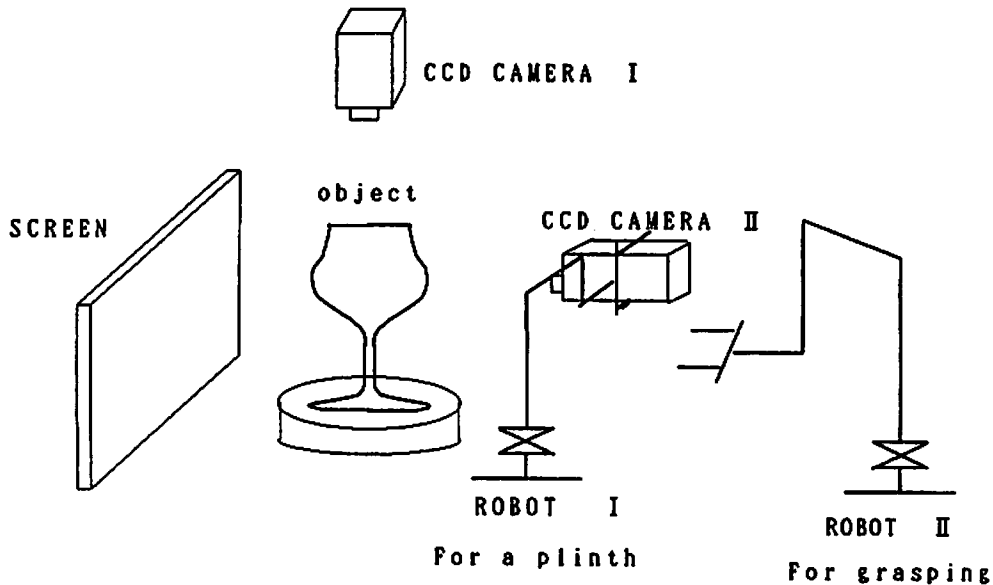


Fig.2.2 把握箇所判断ロボットの周辺環境の概略図

把握すべき対象物は、輪郭形状が一様ではない凹凸のあるガラス製の容器であり、画像処理し易いようにあらかじめ黒色に塗装したものをを用いることにした。ロボットは、それぞれ物体把握用、カメラの台座用と役割が決められている。また、カメラのうち一台は、対象物の位置検出用として上方に固定設置し、もう一台は対象物の把握箇所探索用としてロボットに持たせ、移動できるようにしておく。

2.3 把握箇所判断ロボットのアルゴリズム

把握箇所判断ロボットのアルゴリズムを Fig.2.3 に示す。

最初に、位置検出用のカメラで対象物の置かれた位置を検出する。次に、台座用のロボットがカメラを移動させ対象物をとらえた後、特徴抽出などの画像処理を行い、3種の特徴量を検出する。

その3種の特徴をファジィ推論の入力情報として推論を行い、得られた出力情報を基に把握するポイントを選択し、ロボットの手先の移動場所を算出して把握する。把握後、その時の対象物の姿勢を保ちながら高さ 20cm の台の上へ設置する。

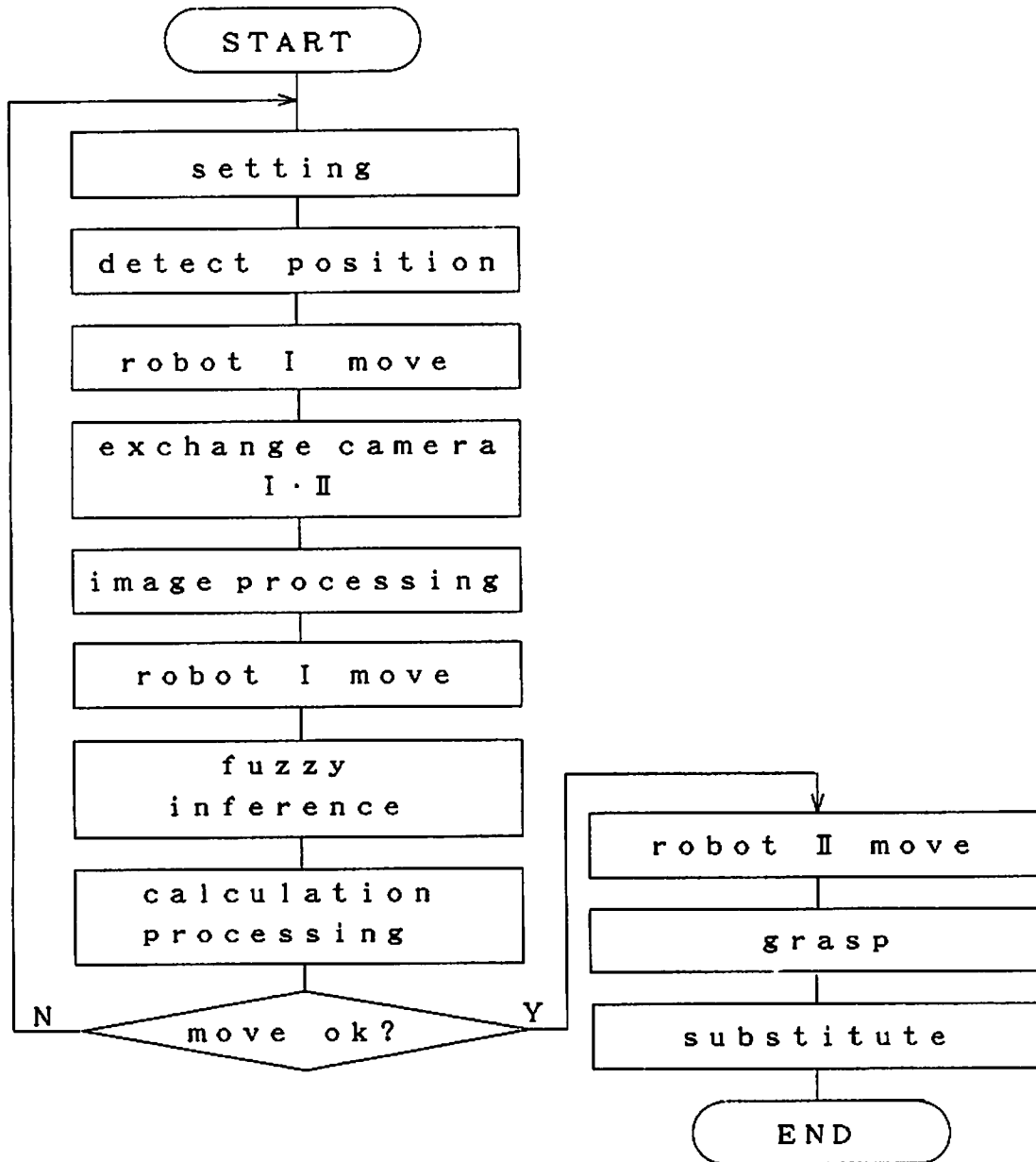


Fig.2.3 把握箇所判断ロボットのアルゴリズム

### § 3. 画像処理による対象物の特徴抽出

把握し易さという出力情報を得るために、必要な特徴量を抽出する。CCDカメラに捕らえられた対象物は、黒く、また背景は白であるので、モニタに映し出された画像は、対象物と背景とをはっきり区別できる。この時、画像データは0~63 (0レベルは黒、63レベルは白) までの濃淡

値で構成されている。前処理として二値化した後の画像データから重心を検出する。次に、対象物の輪郭形状を認識するためのエッジの抽出を行う。また、対象物の輪郭形状の特徴をつかむため端点の抽出を行う。

端点は、データを少なくし、処理を簡略化するためFig.3.1 (a) の様に8画素おきに検出する。以上の様にして、左端点、右端点がそれぞれ29点検出される。

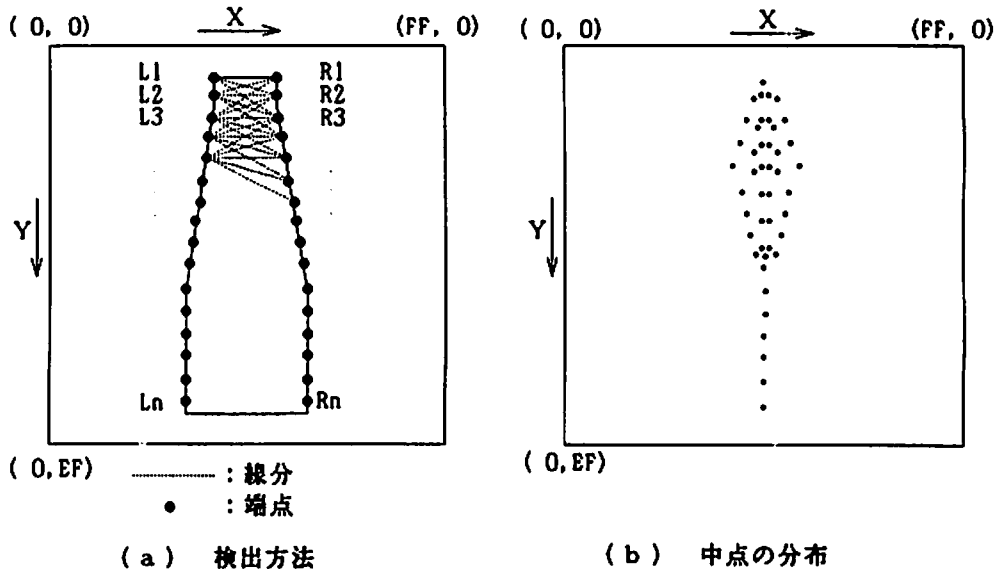


Fig.3.1 中点の検出

輪郭形状の認識方法は、Fig.3.1 (a) の様に検出された左右端点から中点を検出する。中点とは、左端点Liから右端点Rjまで引いた線分の中心を意味する。線分の長さを算出し、把握可能であると判断した場合には、端点の座標Li (X<sub>Li</sub>, Y<sub>Li</sub>)、Rj (X<sub>Rj</sub>, Y<sub>Rj</sub>)、中点の座標を (C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub>) とし、

$$C_x = |X_{Li} - X_{Rj}| / 2 \quad (1)$$

$$C_y = |Y_{Li} - Y_{Rj}| / 2 \quad (2)$$

のように算出し、画像上に黒い画素で表し中点とする。端点全てについて中点の検出を行い、Fig. 3.1 (b) の様な中点の分布を得る。中点の分布において、X軸方向の分布幅が狭いとき、対象物の輪郭は滑らか、あるいは直線的である。分布幅が広いとき、対象物の輪郭は凹凸、あるいは曲線的であると言える。以上の方法で簡単ではあるが輪郭形状の特徴を捕らえることができた。しかし、対象物の最上部、最下部では輪郭の形状に関係なく、中点の分布幅は狭くなる傾向にある。そこで、中点の数に着目して考えると、この問題は解決する。つまり、対象物の最上部、最下部では中点の数が少ない。よって、中点の数が多く、中点の分布幅が狭いとき、物体の輪郭は滑らか、あるいは直線的であり把握し易いと容易に認識できる。

### § 4. 把握箇所判断ロボットのファジィ推論部

画像処理によって抽出した特徴量から入力情報を算出し、この情報を基にファジィ推論を行う。把握箇所判断ロボットの推論部は、3入力1出力で、ラベル数を3、制御規則数を27として、また推論法を一般的な max-min 合成重心計算法を用いて作成した。推論結果は、どれくらい掴み易いかの度合いの情報として得られる。

#### 4.1 入力情報の算出

画像処理によって抽出して対象物の特徴より、ファジィ推論で用いる入力情報を算出する。ファジィ推論で用いた入力情報は、中点密度、重心との隔たり、物体の太さの3つである。

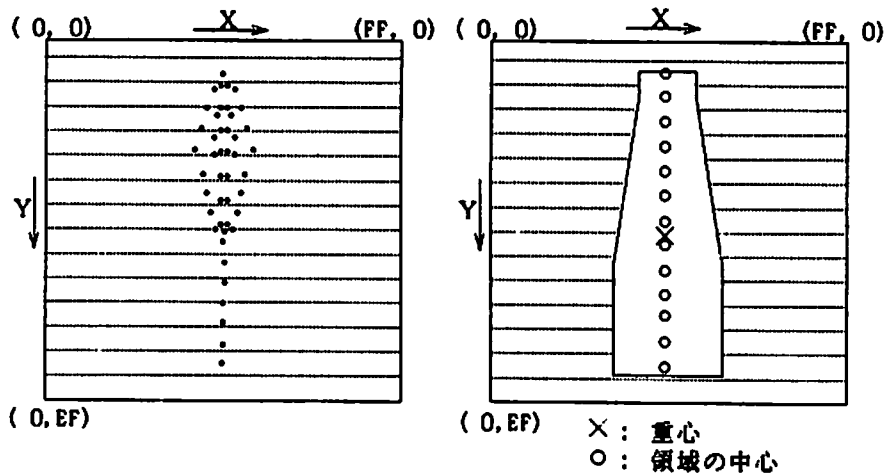


Fig.4.1 中点密度

Fig.4.2 重心との隔たり

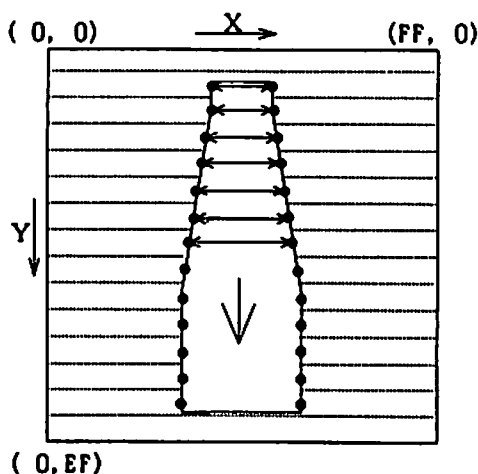


Fig.4.3 物体の太さ

輪郭形状の特徴を中点の分布幅、中点の個数で捕らえることが可能であることは、先に述べたが、新たに入力情報として中点密度を提案した。中点密度とは、Fig.4.1の様にY軸方向に16画素の間隔で15の領域に分け、領域毎の中点の個数、分布幅を求め、

$$\text{中点密度} = \text{個数} / \text{分布幅} \quad (3)$$

として算出した値である。式(3)により、算出された中点密度は、輪郭形状の特徴を数値として表したものであり、定量化しにくい概念を効率よく数値化したものである。

次に、重心との隔たりを求める。Fig.4.2の様に、重心のY軸方向に領域の中心座標をそれぞれ設定し、重心とのY軸方向の差をとり、重心との隔たりとする。またFig.4.3の様に、物体の太さを求める。中点を検出する際に、対象物の左右端点を検出した。この左右端点のうち、領域中央に相当する両端点の差を取り、物体の太さとする。以上3つの入力情報を領域毎に求め、ファジィ推論により、出力情報として把握し易さを得る。

#### 4.2 把握箇所判断へのファジィ推論の適用

15の領域全てに対してファジィ推論を行い、出力情報の把握し易さの度合いを求める。領域の座標は、位置づけられているので把握し易さの度合いから把握し易いポイントを求めるのは、容易である。輪郭形状に関しては、中点密度を尺度とし、中点密度が大きな値であれば把握し易いとした。また、物を把握する上で、安定性について考えると重心に可能な限り近いところを把握した方が妥当である。そこで、重心との隔たりという特徴量を採用した。よって、対象物の輪郭形状が一様である場合においても把握すべきポイントを決定する事が出来る。更に、もう一つの特徴量として物体の太さを考慮にいった。把握し易い太さをあいまいな言語で表現して中ぐらいであると定義した。また、細いよりは太い方が把握し易いとした。この3つの特徴量を用いてファジィ推論により、効率よく総合的に、また柔軟に把握し易さを判断することが可能である。

#### 4.3 ファジィ推論部

前件部で与えられる入力情報は、中点密度、重心との隔たり、物体の太さである。それぞれのファジィ集合をA, B, C,とすると規格化したファジィラベルは、Table 4.1の様に表せる。また、出力情報は、掴み易さの度合である。この出力情報に対しても同様に、そのファジィ集合をEとすると、ファジィラベルは、Table 4.2の様に表せる。

状態(A, B, C)に対して予想されるEを、Table 4.3に示すように定めると、実際の制御規則は、式(4)のような27個の複合命題で表現される。

IF A is  $A_i$  and B is  $B_j$  and C is  $C_k$

THEN E is  $E_n$  (4)

このようにして、27個の制御規則により出力結果の推論を行う。出力結果は、勿論ファジィ変数として出力されるわけであり、どれくらい把握し易いかという情報を表している。



Table 4.1 A、B、Cのファジィラベル (入力情報)

(a) Fuzzy labels of A

	small ←-----→ big										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	1	1	1	.7	.3	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	.3	.7	1	.5	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	.5	1	1	1	1

(b) Fuzzy labels of B

	small ←-----→ big										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B1	1	1	.9	.6	.3	0	0	0	0	0	0
B2	0	0	.1	.4	.7	1	.6	.2	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0	.4	.8	1	1	1

(c) Fuzzy labels of C

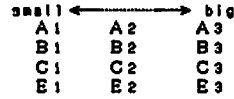
	small ←-----→ big										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
C2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
C3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Table 4.2 Eのファジィラベル (出力情報)

(e) Fuzzy labels of E

	small ←-----→ big										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1	1	1	1	.7	.3	0	0	0	0	0	0
E2	0	0	0	.3	.7	1	.7	.3	0	0	0
E3	0	0	0	0	0	0	.3	.7	1	1	1

Table 4.3 Rule Map



Rule	前件部			後件部
	A	B	C	E
R1	A1	B3	C1	E1
R2	A1	B3	C3	E1
R3	A1	B3	C2	E1
R4	A1	B1	C1	E1
R5	A1	B1	C3	E1
R6	A1	B1	C2	E1
R7	A1	B2	C1	E1
R8	A1	B2	C3	E1
R9	A1	B2	C2	E1
R10	A2	B3	C1	E1
R11	A2	B3	C3	E2
R12	A2	B3	C2	E2
R13	A2	B1	C1	E2
R14	A2	B1	C3	E2
R15	A2	B1	C2	E2
R16	A2	B2	C1	E2
R17	A2	B2	C3	E2
R18	A2	B2	C2	E2
R19	A3	B3	C1	E2
R20	A3	B3	C3	E2
R21	A3	B3	C2	E3
R22	A3	B1	C1	E3
R23	A3	B1	C3	E3
R24	A3	B1	C2	E3
R25	A3	B2	C1	E3
R26	A3	B2	C3	E3
R27	A3	B2	C2	E3

## § 5. 把握箇所判断ロボットの制御部

ファジィ推論部からの出力情報は、把握し易さの度合いである。ここでは、対象物を把握するための動作、動作範囲について説明する。

### 5.1 動作範囲

ロボットが対象物を適切に掴むために、Fig. 5.1の様な姿勢をとる。この姿勢は、wrist-hand間が、床平面に水平な状態になっている。また把握動作は、Fig. 5.2の②の様な軌道を取り、ロボットの手先を移動させる。②の軌道は、床平面と水平になるような軌道である。他の①と③の様な軌道では、対象物と接触する可能性があるからである。対象物を掴みにいく姿勢が以上のような

に決められており、またロボット各関節の動作角度も限定されているので、手先の位置を移動することができるロボットの動作範囲も狭い範囲に限られる。

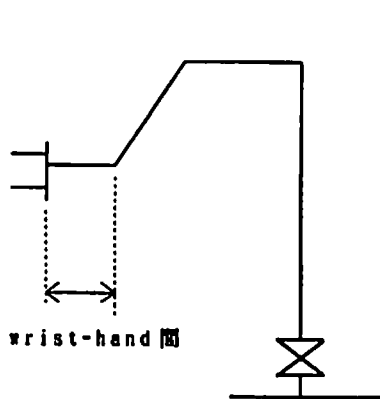


Fig.5.1 対象物を掴みにくい姿勢

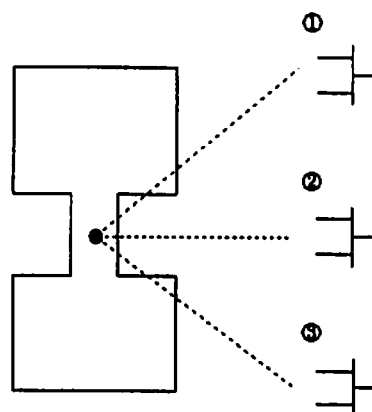


Fig.5.2 ロボットの手先の軌道

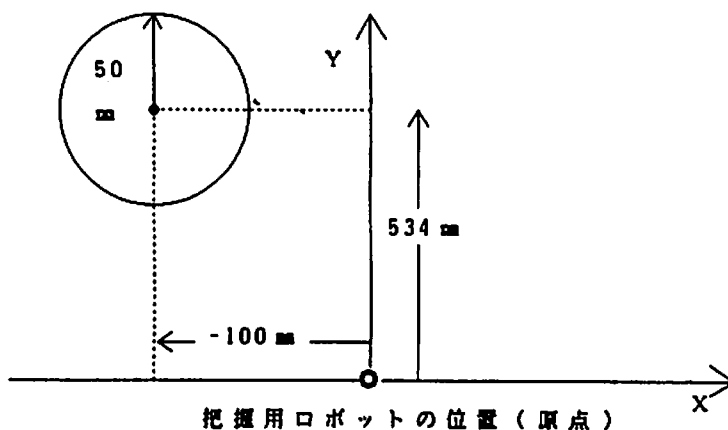


Fig.5.3 対象物を置く場所

動作範囲について、対象物を置くのに適した場所をFig. 5.3のように指定した。把握用ロボットの位置を原点として、 $X = -100\text{mm}$ 、 $Y = 534\text{mm}$ を中心とする半径50mmの円形の台を設け、この上へ対象物を置くことにする。対象物を置く場所が狭い範囲に限られた事により、把握箇所探索用のカメラを移動させて画像を取り込む場所を決めることが出来た。また、この円形の台の高さは45mmある。この高さは、ロボットの動作範囲を厳密に計算し求めた最適な高さである。これ以上低い高さにすると、ロボットの動作範囲を超え、把握することは不可能となる。

## 5.2 把握前位置

ロボットが対象物を掴みにいく動作については、2つの段階を踏んで実行する。第1段階として、対象物の手前50mm程度の位置へ手先を移動する。第2段階として、把握動作を実行する。ここ

では、第1段階である把握前位置の計算方法について述べる。

把握動作に移る前に、Fig.5.1に示した姿勢へロボットを移動させ、対象物を正確に把握できるように配慮する。同時に、把握するポイントと同じ高さに手先を移動させることにより、直ちに把握動作に移ることが可能となる。Fig.5.4に示した●の位置に対象物が置かれているとする。この対象物の位置は、対象物の上方に取り付けたカメラからの画像を処理し、重心を検出することにより、正確に知ることが出来る。

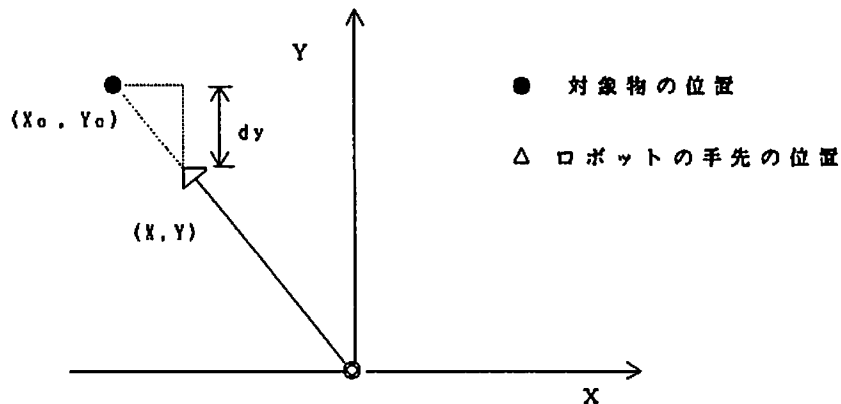


Fig.5.4 把握前の手先の位置

対象物が置かれた位置座標を  $(X_0, Y_0)$ 、把握前の手先の位置座標を  $(X, Y)$  とする。ここで、対象物の手前  $dy$  の位置へ手先を移動させるとすると把握前の手先の位置座標  $(X, Y)$  は、

$$X = X_0 - (X_0 / Y_0) \cdot dy \quad (5)$$

$$Y = Y_0 - dy \quad (6)$$

と求められる。 $dy$  は変数であり、対象物の大きさによって変わる値であるが対象物がそれ程大きくなければ、定数として  $dy = 50\text{mm}$  と設定しても差し支えない。また手先の高さは、把握箇所と同じ高さとし、ファジィ推論の結果より求める。以上のように、手先の把握前位置を計算し求めた位置座標より、ロボットの各関節角度を算出して手先を把握前位置へ移動する。この時のロボットの姿勢は、Fig. 5.1 に示した対象物を掴みにくい姿勢となる。

## § 6. 運用結果

物体の画像を処理し、把握箇所決定の機能を持つロボットシステムを構築し、運用実験を行った。対象物は、ロボットのグリップで掴める程度の太さを持つ高さ 15cm 以内の黒色に塗装したガラス製容器を用い、背景を画像処理し易いように白い模造紙にした。運用実験の一例の数値データとして3つの物体の中心密度を Table 6.1 に示す。また、把握箇所判断ロボットの把握したポイントを Photo. 6.2 に、動作例を Photo. 6.3 に示す。

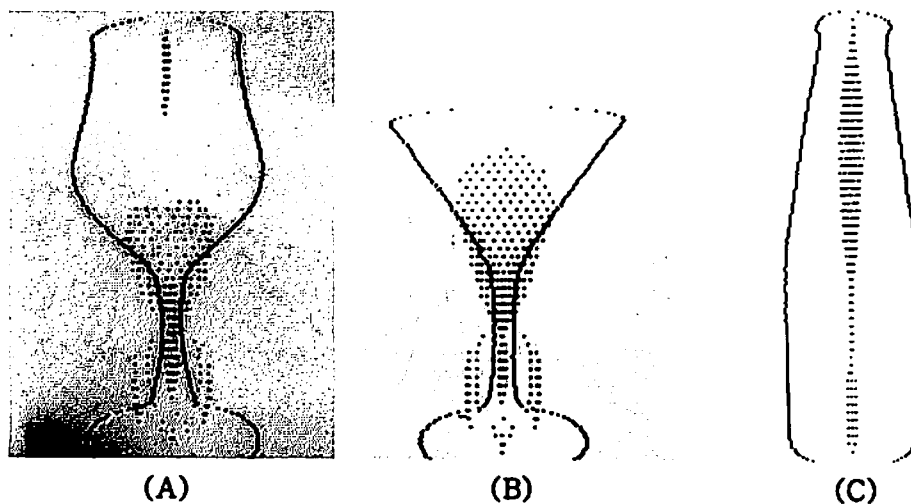


Photo. 6.1 対象物 A、B、C の中点の分布

Table 6.1 対象物 A、B、C の中点密度

領域	A	B	C
00 - 0F	0	0	0.50
10 - 1F	5.0	0	3.333
20 - 2F	5.333	0	3.250
30 - 3F	4.0	0	3.70
40 - 4F	0	0	3.182
50 - 5F	0	0	3.40
60 - 6F	0.333	0.571	4.286
70 - 7F	0.762	0.762	7.50
80 - 8F	0.791	1.0	9.333
90 - 9F	1.028	1.407	14.0
A0 - AF	2.0	2.278	27.0
B0 - BF	1.194	1.60	27.0
C0 - CF	0.895	1.0	14.50
D0 - DF	0.595	0.629	7.333
E0 - EF	0	0.50	0.50

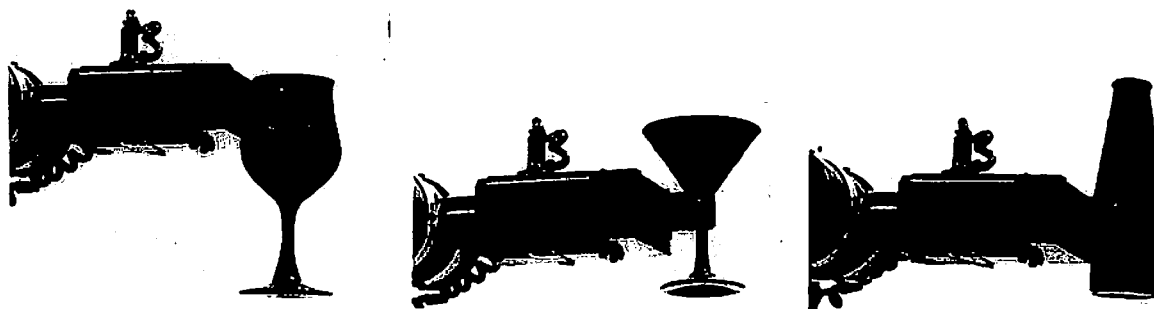
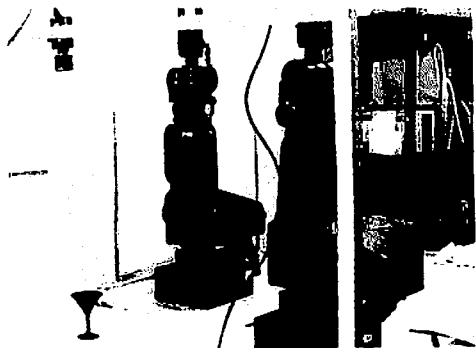
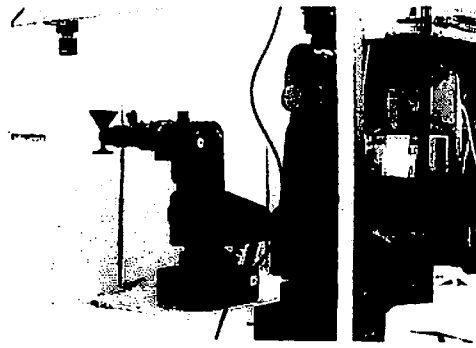


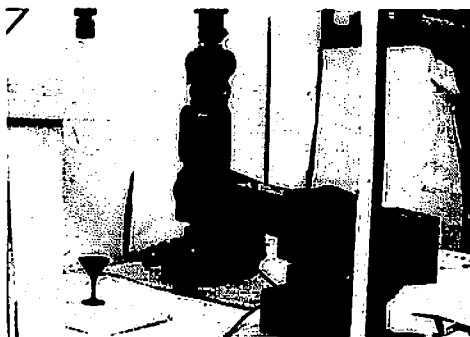
Photo. 6.2 把握箇所判断ロボットの把握したポイント



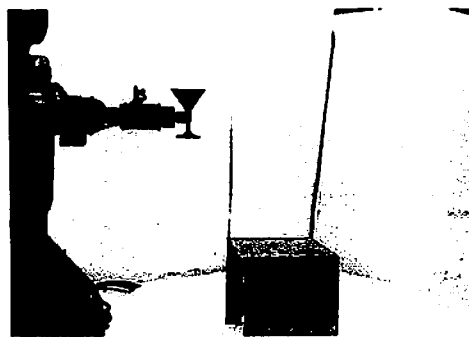
(1)



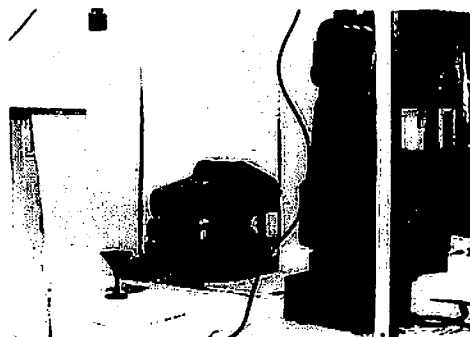
(5)



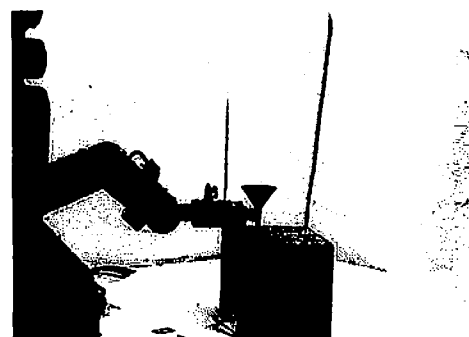
(2)



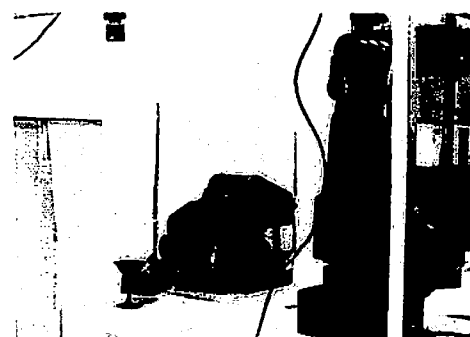
(6)



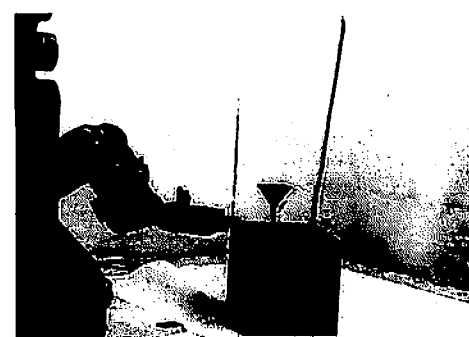
(3)



(7)



(4)



(8)

Photo. 6.3 把握箇所判断ロボットの動作例

## § 7. 結 言

ファジィ推論法を導入することにより、掴み易さというあいまいな概念をうまく取り扱い、幾つもの情報から総合的に掴み易さを判断することが可能となった。また、中点密度という数値により、あいまいではあるが、輪郭形状の特徴を数値として簡単に求めることができた。

今回のシステムでは、対象物の形状として回転体、または、柱状物体について取り扱った。ロボットの対象物を掴みにいく姿勢が決められているので、動作範囲も狭く、対象物を置く位置も狭い範囲に限られてしまうが、その範囲内であれば、掴み易く、掴んだ時安定するような箇所を把握し、把握したときの姿勢を保ったままで対象物を高さ20cmの台の上へ設置することができた。このシステムは、容器に水等の液体が入っている状態でも、こぼさずに把握し、設置することができる。ロボットや画像処理装置等は、特別な機能やハードを備えていない比較的低レベルの装置であり今回取り扱った対象物においては、十分満足のいく結果であった。

## 参考文献

- 1) 中野 : imidas, robotics, 集英社, pp.132/137,1989
- 2) 戸貝 : 知能ロボット・システム, マグロウヒル, pp.1/3,1986
- 3) 尾崎・谷口 : 画像処理第2版,東京共立出版, pp.215/216,1988
- 4) 保坂 : ファジィ推論を用いた華道ロボット, 昭和63年度 電気工学科 計測制御専攻 卒業論文
- 5) 廣田・荒井 : 画像処理を用いたあいまい知能ロボット, 法政大学 工学部研究集報第22号, pp.107/118
- 6) 蜂巢 : ファジィ制御2次元ピンポンロボットとメンバーシップ自動調整に関する研究, 昭和62年度 法政大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 (計測制御) 修士論文