

アームロボットムーブマスターIIによる華道のファジィ制御

廣田, 薫 / Hirota, Kaoru / 保坂, 春恵 / 早川, 雅史 /
HAYAKAWA, Masashi / HOSAKA, Harue

(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)

25

(開始ページ / Start Page)

33

(終了ページ / End Page)

45

(発行年 / Year)

1989-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003934>

アームロボットムーブマスターⅡによる 華道のファジィ制御

廣 田 薫*・保 坂 春 恵*・早 川 雅 史*

An Application of Fuzzy Control to Flower Arrangement Robot

Kaoru HIROTA*, Harue HOSAKA* and Masashi HAYAKAWA*

Abstract

Flower arrangement has been done using two arm robots and image processing technique. Three trees and flowers are used for realizing the fundamental in the Ikenoboh school, where expertised knowledge are represented by fuzzy production rules. Fuzzy inference technique has been applied for the robot control.

§ 1. 緒 言

現在、各方面で用いられてる産業用ロボットは、自律性に乏しく人間の教えた範囲内で同じ動作を繰り返し行うものであって、第1世代の初歩的なものが多い。第2世代のものとして人間の熟練した専門的知識を導入したシステム制御系の研究開発が行われている¹⁾。

本論文では、第2世代的なロボットである人工知能を備えたものについての研究を目的とし、アームロボットを用いて華道を実現するシステムを構築した。その結果について報告する。華道は、人間の趣味の一種であり花の生け方にも様々な形がある。本システムでは、ロボットの実行範囲、精度等を考慮し池坊流派の基本形である立つ形、傾く形について実験を行った。生ける材料としては木（類）を3本、花（類）を3本用いる。アームロボットに実行させる形として選択した2種類の形は、木（類）3本により図1のように表現できる²⁾。ロボットが華道を行うにあたって木を生ける場合、花を生ける場合と2つに分けて推論を計算することにした。入力情報としては、木、花等の傾き具合、広がり具合を画像処理により大体の数値で表す。これらの情報は、ロボットが生けようとする対象物の影をITVカメラで捕らえ、2値化を行い端点を検出して、さらに結果を算出した上で与えられる。ファジィ推論の出力情報は、アームロボットが木、花等を生ける時点での剣山上の場所及び傾きである。

本システムで用いたロボットアームの先端の手首の部分には、2本の指が接続されているが、

* 工学部電気工学科計測制御専攻

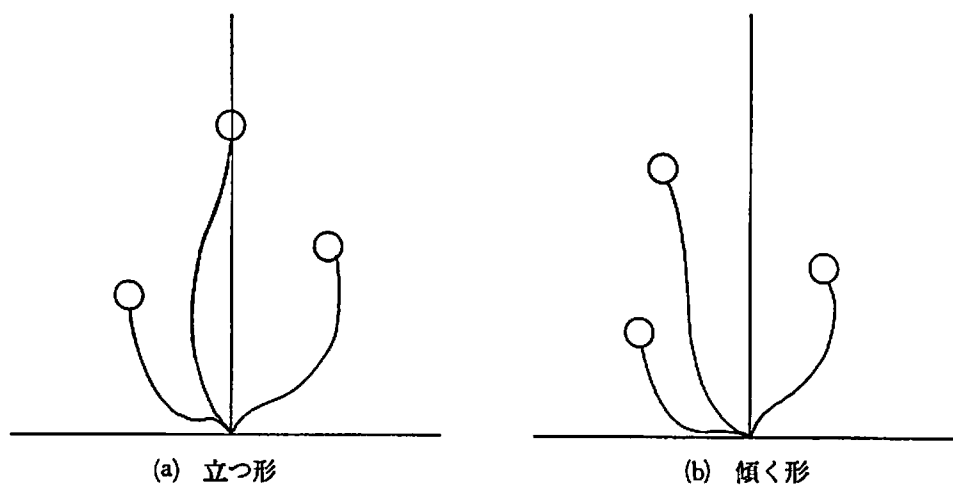


図1 ロボットが生ける形

指の部分には、センサが付いていないので、現状では人間の手のような器用な動作、実行は不可能に近い。よって、ある程度までの情報は人間が伝えることにして、その先の部分でファジィ推論を適用することにした。

§2. 華道ロボットの制御アルゴリズム

図2にシステム構成図、図3にロボットの周辺環境の概略図、図4にアルゴリズムを示す。ロ

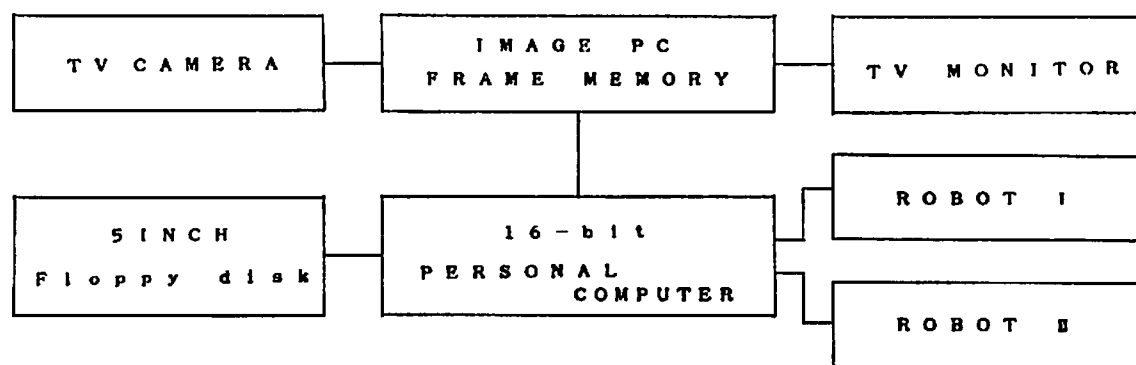


図2 華道ロボットのシステム構成

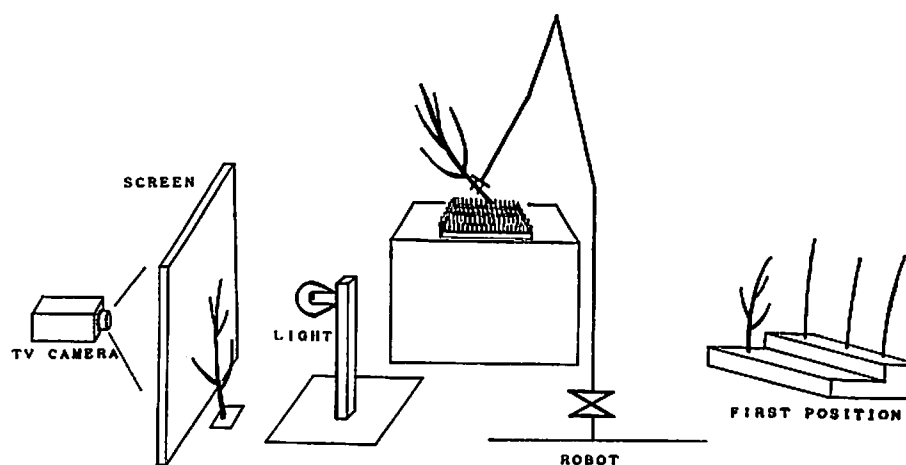


図3 ロボットの周辺環境

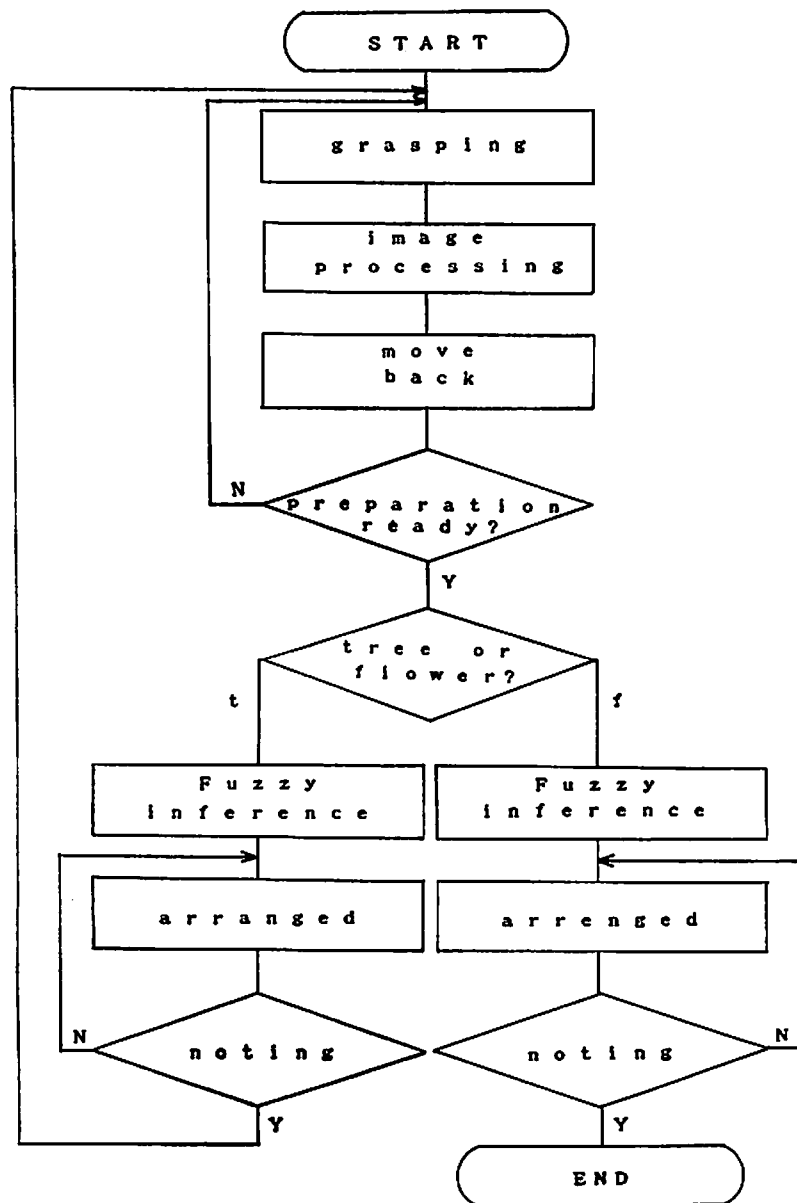
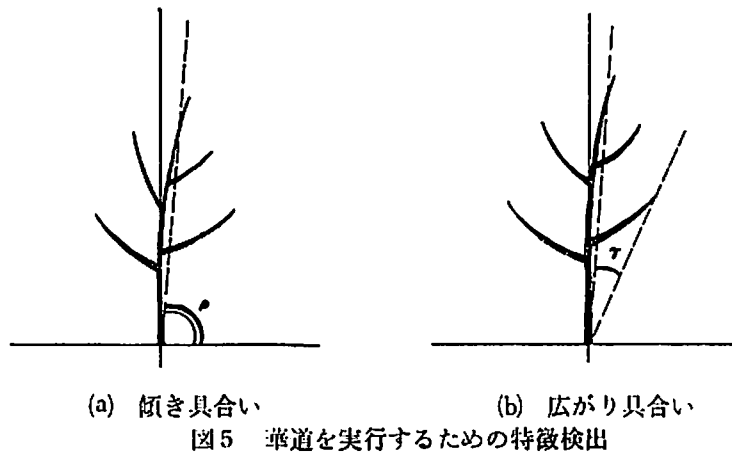


図4 華道を行うロボットの動作のフローチャート

ボットが華道を実現するための材料は、予め等間隔でアームロボットがつかみやすいように地面に垂直に立てて置く。材料は6本用意するが、木と花に分けて処理を行っていく。まずロボットアームが1本目を掴むとスクリーンの手前に立てて画像処理を行う。そこで、生ける対象物の形状を認識してファジィ推論により、生ける位置、角度を決定する。推論結果から、アームロボットⅠ、アームロボットⅡを移動させて、剣山に生ける。この動作を繰り返すことにより華道が実現される。

2. 1 形状認識

木、花等の特徴を簡単に調べ、ロボットが実行するのに必要な情報を抽出する。必要な認識情報は、生ける木及び花の形状である。そこで、今回は、木、花の傾き具合 (ρ) と、横幅の広



がり具合(γ)という2種類の特徴により形状を認識することにした(図5参照)。

画像処理を行う場合は、垂直に置き、置く場所は常に一定の地点に置くことにする。ロボットが木を掴みあげて、画像処理を行う場所まで移動させる。運ばれてきた対象物を直接 ITV カメラで捕らえるのではなくスクリーンを介して処理を行うことにした。これは、花等の色の薄い対象物の場合、2値化を行う時点で抹消されてしまうためである。そこで、スクリーンに映った対象物の影をカメラで捕らえて画像処理を行うことにした。カメラで捕らえた画像から、木、花の特徴である傾き具合、広がり具合を掴むために対象物の端点を検出する。

用いた画像入力装置は、256×256画素を各々6bits(64階調)で表現が可能なフレームメモリである。モニタに映し出されている映像は0～63(0レベルは黒、63レベルは白)までの濃度により構成される。63レベルの白はスクリーン、0レベルの黒は対象物の影であるが、両者の境は薄い灰色となりはっきり区別がつけられない。さらに映し出された映像には所々で雑音が見られる。そこで、端点を検出できるようにするために以下の処理を行う。

モニタに映し出されている画像データは、図6のような座標が置かれている。最初にしきい値

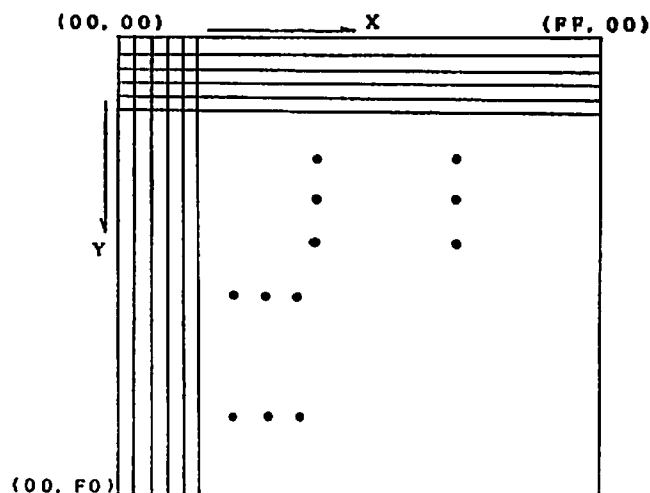


図6 画像モニタの座標指定

を定めて画像を2値化し白及び黒の2色のみで表現させておく。左上の原点よりX軸方向に3画素について調べる。次にY軸を1つ増加して3画素について調べる。Y軸を2増加した場合についても同様に調べる。合計9画素調べるのであるが、この中に黒い孤立点（雑音）が入っているとする。この場では、スクリーンを用い、意識的に背景を白くしているので大きな雑音の塊は現れない。そこで今回は、図7のように考案した。9画素中で黒い画素が7画素未満であれば雑音であると判断して、また7画素以上であれば対象物を構成している影の部分であると判断する。つまり、9画素に着目してそのうち4画素が白であれば9画素はすべて白くする。逆に3画素が白であるならば9画素はすべて黒くする。 $X=FF$ (256), $Y=F0$ (240) まで終了した後には端点の検出を行う。木、花の特徴を認識するために図8の3カ所の端点を抽出したうえでその結果を算出する。端点の抽出方法として図9のように考案した。端点①は傾き、長さを求める点である。原点よりX軸の方向へ1ずつ増加させて黒い画素が検出できるまで探索する方法である。端点②は、傾きを求める点である。原点よりX軸の方向へ1ずつ増加させて、黒い画素が検出されたらその画素の存在する座標をいったん記憶させて置く。次にY軸を1ずらして、同様に黒い点を検

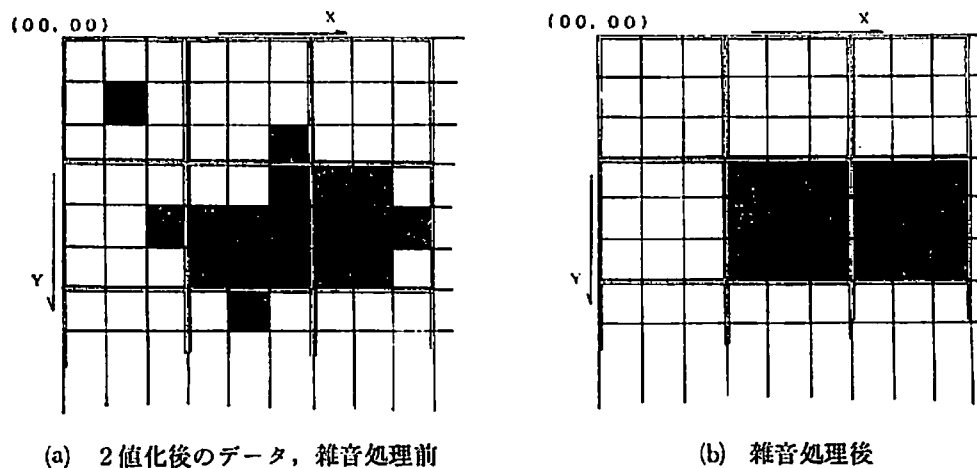


図7 雑音除去方法

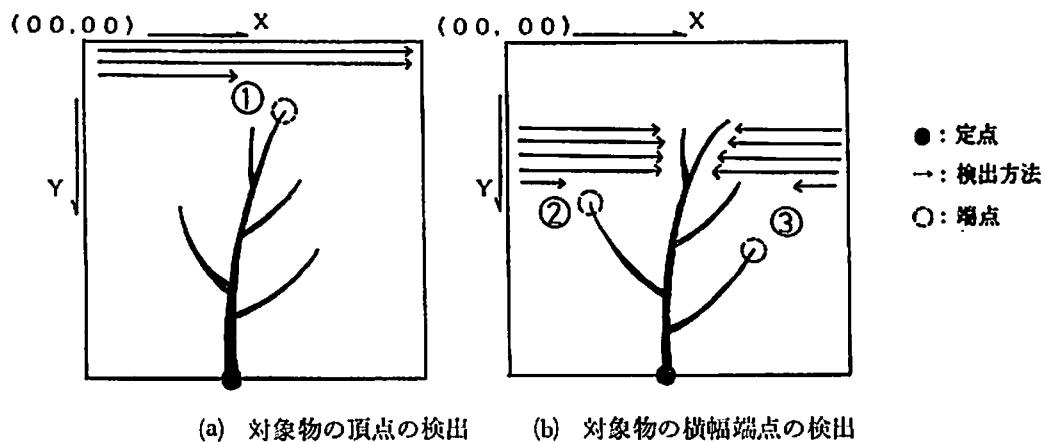


図8 端点検出方法

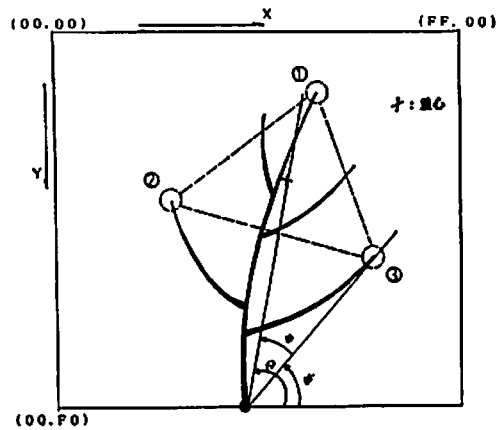


図9 傾き, 横幅の算出方法

出する。検出されたら前に記憶しておいた座標のX座標だけを比較して、小さいほうを記憶して置く。このように比較しながら、黒い画素が存在するX座標の最小をもって②の端点とする。端点③は、木、花の傾き、横幅を求める点である。検出方法は、 $X=FF$, $Y=00$ を基準としてX座標を1減少させながら黒い画素を探索する方法である。②と同様に調べてX座標が最大である座標を持って③の端点とする。以上の方法で3カ所の端点を検出する。ここで、①の端点のX座標を $TIP1 X$, Y座標を $TIP1 Y$, ②の端点のX座標を $TIP2 X$, Y座標を $TIP2 Y$, ③の端点のX座標を $TIP3 X$, Y座標を $TIP3 Y$ として、あらかじめ決定しておいた定点を (OX, OY) とする。図9中の三角形①②③の重心を (JX, JY) とすると、

$$JX = (TIP1 X + TIP2 X + TIP3 X) / 3 \quad (1)$$

$$JY = (TIP1 Y + TIP2 Y + TIP3 Y) / 3 \quad (2)$$

のように算出される。よって傾き ρ は(3)式で求められる。

$$\rho = \tan^{-1}((JY - OY) / (JX - OX)) \quad (3)$$

木の広がり具合いを(5)式のように求めた。

$$\gamma' = \tan^{-1}((TIP3 Y - OY) / (TIP3 X - OX)) \quad (4)$$

$$\gamma = \rho - \gamma' \quad (5)$$

今回考案した以上の方法で、おおよそではあるが対象法の特徴を捕らえることができた。他に、細線化を行って木、花等の対象物について正確に特徴を調べてもよいのであるが、華道を行うにあたっては、それほどまでに精密な情報は必要ないと考えたためにこの処理方法をとった。また、処理時間については、華道は一般にスピードを要しないが、BASIC プログラムで1画面分の処理を行うと15分程度かかる。そのうえ端点の検出時間を合わせると、木3本だけでも2時間以上にもなる。そこで、プログラムをアセンブラ言語で記すことにより、処理速度を速めて木1本につき、2値化から雑音除去さらに端点の検出まで5秒程度で処理が可能になった。

2.2 推 論 部

木、花等を生けるときに得られるあいまいな情報を基にして制御出力のファジィ推論を行う。

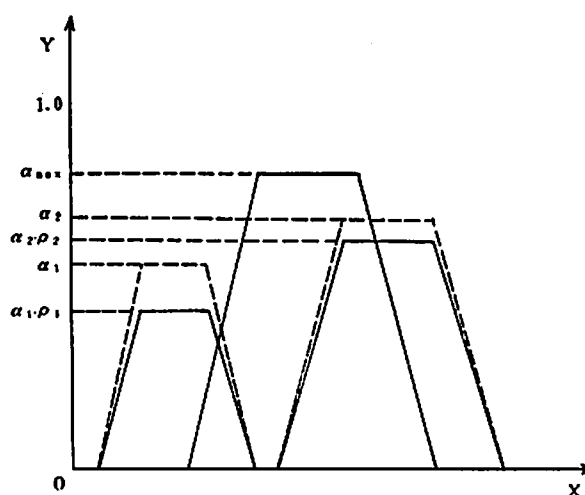


図 0 貢献度値を用いた統合

今回の華道ロボットの推論では、従来の制御系が必要であるより滑らかな制御よりも、エキスパート的制御の比重が高いと考えて従来の推論方法を応用した新しい方法を適用した。この新しい方法は、Mamdani の方法³⁾ を基本として、統合部において水本の貢献度の方法⁴⁾ を参考にし、改良を行ったものである。

いま、入力情報と状態情報との間で min 演算を行い、結果情報を頭切りしたファジィ集合が図10のように与えられている。ここで示されているファジィ集合の中で照合度の最大値の α_{max} を基準にし、他のファジィ集合を

$$\rho_i = \alpha_i / \alpha_{max} \quad (6)$$

という貢献度値 ρ_i を用いて縮小を行い、最終的な統合に max 統合を行う。また、実際の操作の変化量は、統合されたファジィ集合の重み付き重心で求める方法を用いた。

具体的には、前提で与えられる状態情報は、1 本目については木、花の傾き具合及び広がり具合である。それぞれのファジィ集合を B, A とするとファジィラベルは表 1 のように表せる。また、結果情報は生けるときの傾き加減、剣山上での場所である。この結果情報についてもファジィラベル S, P, F は表 1 のように表せる。また、結果情報のうち傾き具合を出力したほうのファジィ集合を X 、広がり具合を出力したほうのファジィ集合を Y とすると同様に表 1 のように表せる。花を生ける場合についてであるが、1 本目は計算で、生ける座標、傾きを求める。2 本目、3 本目を実行するときにファジィ推論を適用する。2 本目は、状態情報が 1 本目生けたときの傾き具合、剣山上の場所で結果情報は生けるときの傾き加減、剣山上での場所であり、2 入力 2 出力である。3 本目は、剣山上の生ける位置を固定させる。よって状態情報が 2 本目に生けたときの傾き具合と場所であり結果情報は、生ける傾き加減である。以上のルールをまとめると表 2 のルールマップのように表される。

表1 ファジィラベル

Fuzzy labels of A											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
A1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
A2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
A3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Fuzzy labels of B											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
B1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
B2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
B3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Fuzzy labels of S											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
S1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
S2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
S3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Fuzzy labels of P											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
P1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
P2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
P3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Fuzzy labels of F											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
F1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
F2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
F3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Fuzzy labels of X											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
X1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
X2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
X3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

Fuzzy labels of Y											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Y1	1	.8	.6	.4	.2	0	0	0	0	0	0
Y2	0	.2	.4	.6	.8	1	.8	.6	.4	.2	0
Y3	0	0	0	0	0	0	.2	.4	.6	.8	1

表2 ルールマップ

(a) 木を生ける1本目				(b) 木を生ける2本目			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
B1	(F3, S2)	(F1, S2)	(F2, S2)	X1	F3	F3	F3
B2	(F3, S1)	(F1, S1)	(F2, S1)	X2	F2	F2	F1
B3	(F3, S1)	(F1, S1)	(F2, S1)	X3	F1	F1	F1

(c) 木を生ける3本目				(d) 花を生ける2本目			
	B1	B2	B3		B1	B2	B3
Y1	S3	S3	S3	Y1	S2	S2	S2
Y2	S2	S2	S3	Y2	S2	S1	S1
Y3	S1	S2	S3	Y3	S3	S1	S1

(e) 花をいける3本目			
	B1	B2	B3
Y1	S2	S1	S2
Y2	S3	S2	S2
Y3	S3	S3	S3

2.3 ロボット制御部

推論部からの結果情報により、生ける場所が決定されるが、ここでは実際に生ける場所の座標計算とロボットの動きについて説明する。

2.3.1 動作レベル

ロボットは木、花等を掴み推論部からの出力情報により剣山上に生ける。図11のように半径を指定して回転角 ψ により生けるポジションを算出する。次に、ロボットの生け方であるが図12のように考案した。木、花等は常に下から5センチメートルの場所を持ち①の地点まで運び、ハンドを θ だけ回転させて②の地点で剣山にさす。

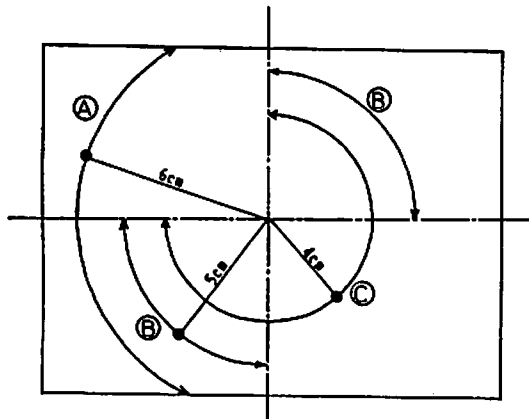


図11 生ける可能性のある剣山上のポジション

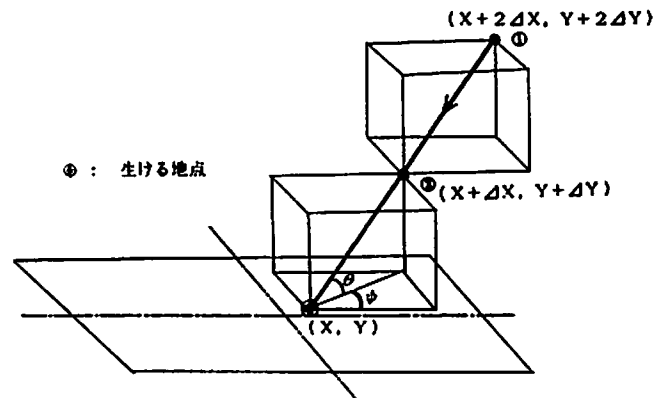


図12 華道ロボットの動作についての座標計算

2.3.2 対象レベル

今回ロボットが剣山に生けるために、図13の4通りを考案した。当然4通りのすべてが同じロボットの動きをするわけではない。図13の①、②の領域で生ける場合は、図14の(a)の姿勢を用いることにして、図13の③、④の領域で生ける場合は図14の(b)の姿勢を用いることにした。ロボットは、各関節の屈折角度により動作させる。次に、木、花等の向きを変える場合であるが、ロボ

ット1台では不可能であるので図14(c)のように2台使用し可能にした。

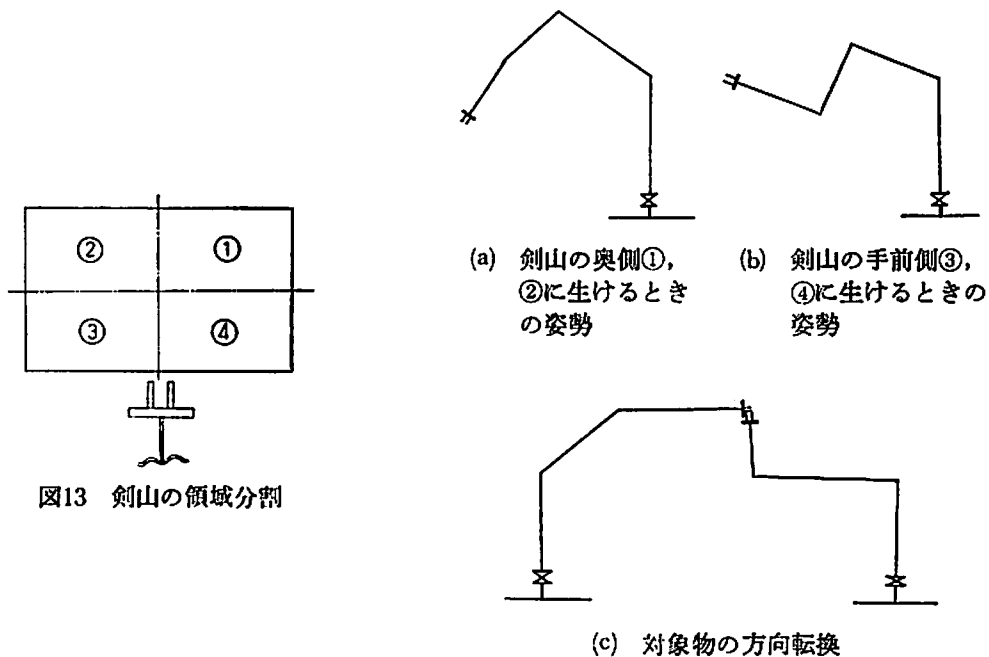


図14 華道ロボットの動作

§ 3. 実モデル実験と結果

華道を実現するためのシステム及び使用機器を以下に示す。ロボットは、5自由度の垂直多関節ロボットアームRM501(ムーブマスターⅡ,三菱電機製)2台,画像処理用に使用したTVカメラ1台及び256*256画素で各画素が64階調の分解能を持つフレームメモリED-1161(IMAGE PC EDEC 製),画像モニタ,画像処理を実行し,推論他各種演算を行い,ロボットの動作を制御する16ビットのパーソナルコンピュータPC9800(CPUは8086と8087,5MHZ CLOCK,384K RAM NEC)及び周辺機器であるキーボード,モニタ,5インチフロッピーディスク装置により構成されている。木,花は市販の物を使い,画像処理を行うにあたって電球及びスクリーンを用いる。スクリーンは薄手のトレッシングペーパーを使用する。

実際のプログラムは,N88-BASIC(MS-DOS版)及びアセンブラ言語により作成した。処理速度を向上した画像処理部分はアセンブラ言語で記し,それ以外の推論部,ロボットの制御部等はBASIC言語により記した。

以上のように構成した実験結果について報告する。画像処理後に認識された木,花等の特徴からロボットアームが実行するための座標位置,傾きを推論により出力して実現させる。その結果の1例を写真1に示す。

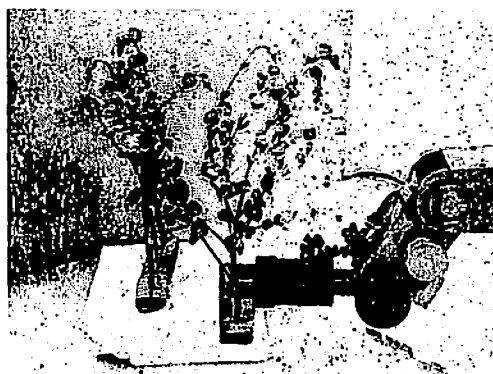
写真1 華道ロボットの実行例

PART 1

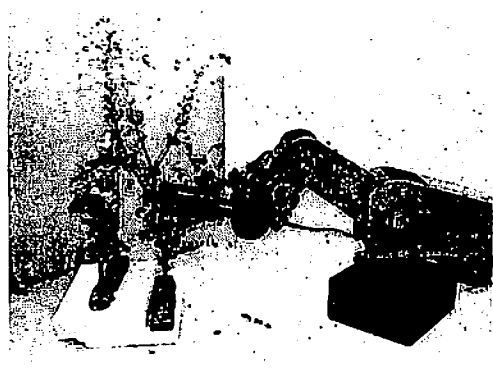
(1)



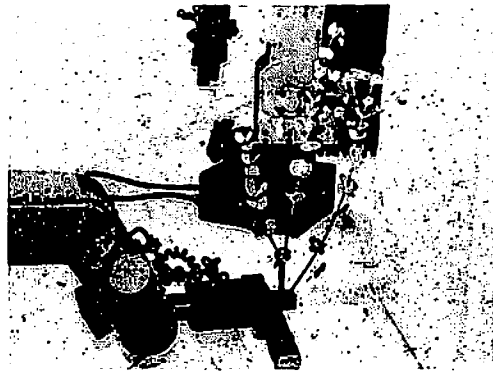
(2)



(3)



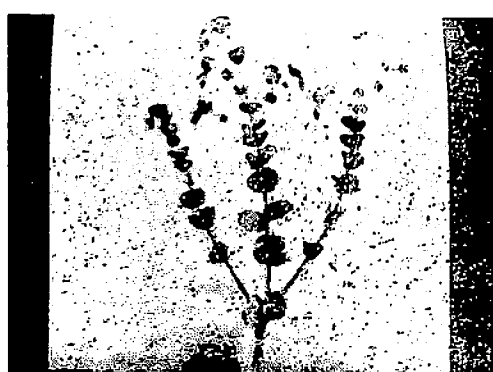
(4)



(5)



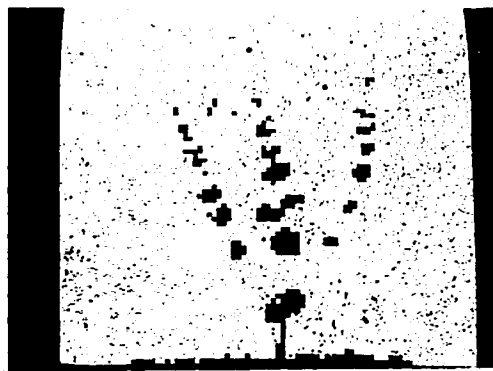
(6)



(7)

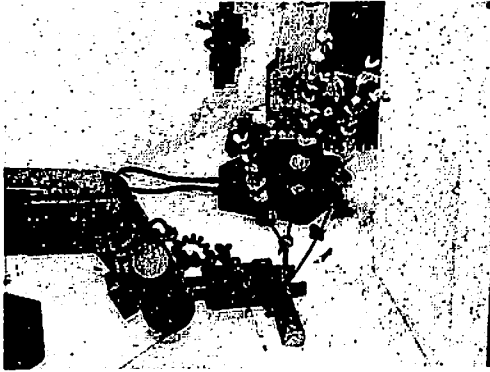


(8)

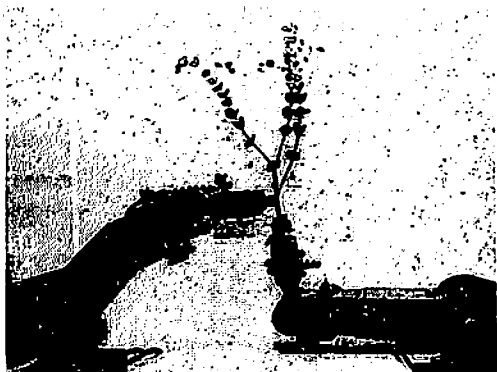


PART 2

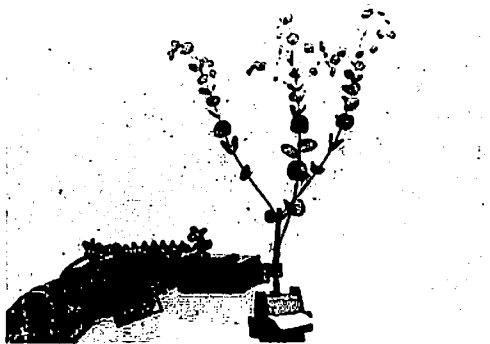
(9)



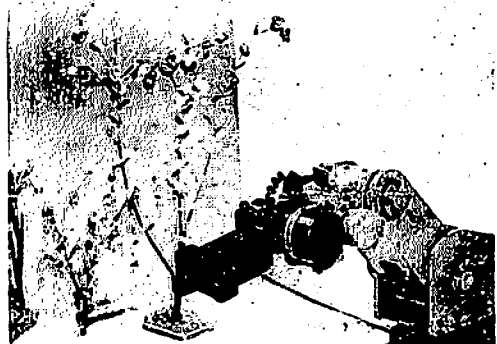
(10)



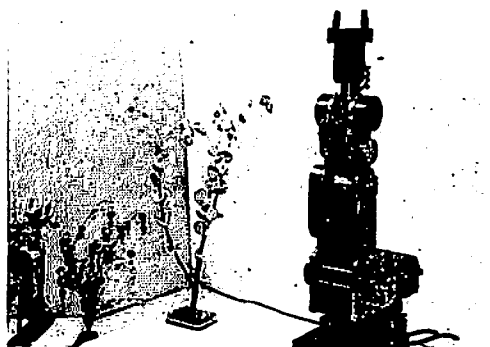
(11)



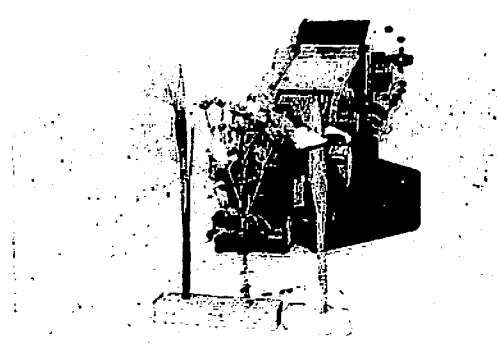
(12)



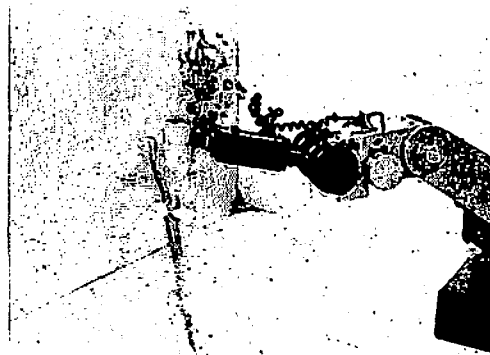
(13)



(14)



(15)



(16)



PART 3

(17)



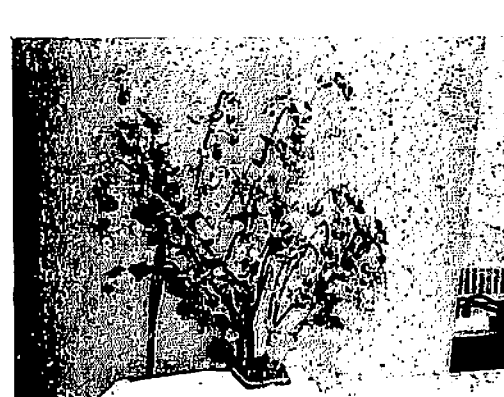
(18)



(19)



(20)



§4. 結 言

ファジィ推論を用い、人間的あいまいさをロボットアームに実行させることを目的として華道を実現させた。今回考案した新しいファジィ推論は、エキスパート的であり華道にとっては従来の方法よりも面白味が増す。ロボットの機能から生ける材料は、多少制限がでてきたがロボットの動き、シミュレーションとしては想像より満足の行く結果であった。

参 考 文 献

- 1) 産業用ロボット導入と効果, 関西経営システム協会編, オーム社, pp.21/28.
- 2) 細川青邨, 池坊いけばな教室, 講談社, pp.56/59.
- 3) Mamdani, E.H.: Applications of fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant, *Proc. of IEEE*, 121, pp.1585/1588, 1974.
- 4) 水本雅晴: ファジィ制御に対する改善法(Ⅱ), 第4回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 91/96, 1988.