

研究ノート

ファジィ制御理論を応用した 自動制御実験教材の開発研究

青森職業訓練短期大学校 制御システム系 渡邊 進・種市隆三

An Experimental Apparatus for Teaching Automatic Fuzzy Control System

Susumu Watanabe · Ryuzo Taneichi

要 約 最近、身の周りに発生する種々多様な問題の解決策としてファジィ (Fuzzy) 理論の適用が検討されている。特に機器の自動制御への応用はファジィ制御と呼ばれ他の分野よりも先行しており、良い制御結果がでている。

本報告はファジィ制御の実験実習ができて、ファジィ制御理論の理解を助けるような教材の開発を目的とする実験装置の試作が記されている。この実験装置により、ファジィ理論で教育機器の自動制御が簡単にできるという実験結果が得られた。試作実験装置は実設備の給配水設備をモデル化して、制御は高置タンク内の水位を定位置にするのを目標としている。装置は制御器とプラントであり、制御器としてはパソコンを使用している。プログラム内で、多変数入力ファジィ推論を実現している。制御器への入力変数は、プラントの水位状態信号値を使用し、この入力を制御器内部では水位偏差値とサンプリング時間での水位偏差値の変化量の二つとして取扱う。この二変数でファジィ推論を行っている。推論後の出力は給水ポンプによる給水量の変化となり高置タンクの水位を制御している。

本研究報告では制御ブロック線図、計測値のファジィ値化、ファジィ推論、操作量のクリップ値化、実験装置、実験方法と実験結果、フローチャート及びパソコンプログラムを提示して、教育の場でのファジィ制御の試行を述べている。

I はじめに

機器自動制御の制御アルゴリズムは種々提案され、応用が試みられている。一般の連続制御系を単純にデジタル量子化すると量子化のユニットの大きさによっては微細な情報量が失われる結果となる。このため有限な量子化によっても十分に連続制御系に対応し得、かつデジタル制御系の持つ高信頼性を与える方法としてファジィ理論の自動制御への応用があり、ファジィ制御と呼ばれている。⁽¹⁾⁽²⁾ ファジィ理論及び制御への応用等の情報はいろいろあるが、教育の場でファジィ制御の実験を行うには理論、装置等に多くの工夫が必要である。筆者らはファジィ理論の理解ができ、応用としてのファジィ制御の実験実習ができる教材開発を目的とし、給配水設備モデル装置と制御器を試作した。

試作モデル装置は高置タンク、低置タンク、三相誘導

電動機及び給水ポンプ等から構成しており、三相誘導電動機のインバータ可変運転による、給水ポンプの給水量の増減で高置タンクの水位が定水位になるようにしている。制御器としてはパソコン及びインバータ等の電気回りで構成している。

研究ではパソコンのソフト対応で簡単にファジィ制御実験ができることを確認し、一応の成果を見た。この報告は教育の場におけるファジィ制御実験の実際について述べている。

II 制御ブロック線図

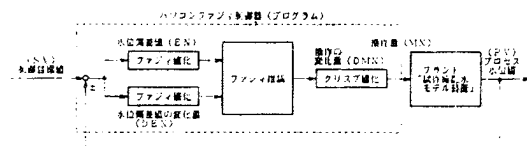


図1 実験ファジィ制御ブロック線図

図1は実験に使用したファジィ推論フィードバック制御のブロック線図を示したもので、これにより制御系の構成を述べる。制御目標値 (SV) はキーボードから入力する、目標設定値 (水位) である。ファジィ制御器としてパソコンを使用しており、ファジィ推論はプログラムで対応している。実際のデジタル制御同様速度形差分方程式法⁽³⁾を使用して入力変数を求めた。入力変数の水位偏差値 (EN) は次のように算出される値である。

$$EN = SV - PV \quad (1)$$

ただし、PVはプロセス水位値を示す。一方、水位偏差値の変化量 (DEN) はある時点でのサンプリングで求めたENと一つ前の時のEN_iとの差で、次のような値である。

$$DEN = EN - EN_i \quad (2)$$

このEN及びDENはクリस्प (Crisp) 自然現象の瞬時値：ファジィ制御用語) 値である。(1)、(2)式は古典的連続制御の場合と全く同形であるが、デジタル化の際の量子化の時に失われる前後の状況を補うために、ファジィ方式では瞬時値を二つの変数、要約すれば絶対量とその状況量の二つに分割してとらえることにしている。

この実験でファジィ推論を行うには、入力ENとDENをファジィ値化しなければならない。又、ファジィ推論後の出力である操作の変化量 (DMN) はクリस्प値に戻す必要がある。図示のようにファジィ推論の前後でこれを行っている。図のプラントは制御対象である、試作の給配水モデル装置を示している。

このように、パソコンで二入力 (EN, DEN) で一出力 (DMN) のファジィ制御器を構成して、ファジィ推論フィードバック制御を行っている。

III 計測値のファジィ値化

ファジィ推論に先立ってENとDENとをファジィ値化する必要がある。ここでのファジィ値化とは絶対値分類記号と大きさ順位によるグレード (Grade) を与えることである。これはファジィ制御器 (プログラム) 内で次のように行っている。

1 EN及びDENのファジィ記号化

制御器への自然入力変数EN及びDENとそれぞれに対応するファジィ記号との関係を図2に示す。

図2はEN及びDEN (双方をXNと見たてている) に対するファジィ記号の範囲とXNの状態を示している。(1)、(2)式で明らかのように、ENは目標水位に対して超過方向を負、未到達を正側とし、DENは水位増加傾

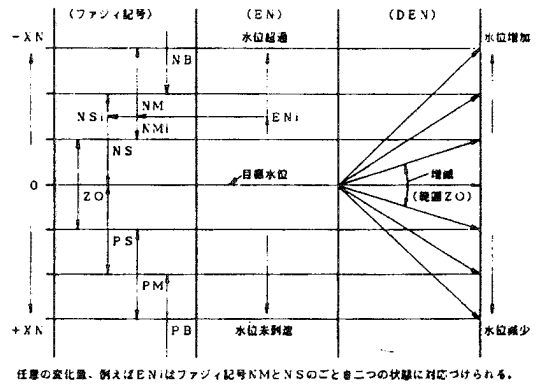


図2 EN, DENのファジィ記号化

向を負、減少を正側としている。

-6から+6の範囲に正規化されたXNを6範囲に分割した値を与え、それぞれを分類する記号との関係を示すと表1のようになる。⁽¹⁾

表1 入力XNの範囲とファジィ記号

| XNの範囲 (XN=EN, DEN) [単位目盛] | ファジィ記号 | | |
|------------------------------|--------|-----------------|------|
| | (意味) | (略号) | (記号) |
| +1 < XN | 正側に多く | Positive Big | (PB) |
| +2 < XN <= +6 | 正側に中位に | Positive Medium | (PM) |
| 0 < XN <= +4 | 正側に少し | Positive Small | (PS) |
| -2 < XN <= +2 | ほぼ偏差なし | Zero | (ZO) |
| -4 < XN <= 0 | 負側に少し | Negative Small | (NS) |
| -6 < XN <= -2 | 負側に中位に | Negative Medium | (NM) |
| XN <= -1 | 負側に多く | Negative Big | (NB) |

実験では-6から+6 [単位目盛] の範囲を等分に6分割して7ファジィ変数としている。例えば変数XN = 3.5はファジィ記号PMとPSの二つに対応させている。

2 ファジィ記号のグレード

入力XNは二つのファジィ記号に変換されたが、更にそれぞれの記号に個々の量子化された記号の範囲内における状態を詳しく表現するためのグレードを持たせる必要がある。

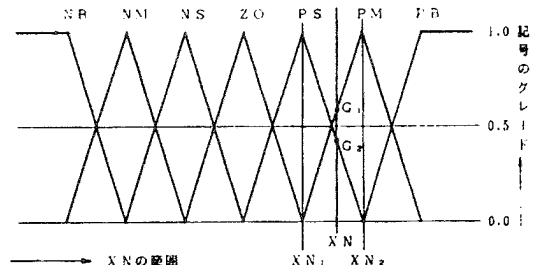


図3 ファジィ記号のグレード

図3はファジィ変数が同じ幅の三角形的変化によって

二値化された入力値 XN のファジィ記号と記号のグレードの関係を示している。今、図に見られるように連続変数入力値 XN は XN_1 と XN_2 間の範囲 ($XN_1 < XN < XN_2$) にあるとする。この時の XN のファジィ記号は PM , PS となり、それぞれのグレード G_1 , G_2 は次式から求められる。⁽²⁾

$$G_1 = \frac{XN - XN_1}{XN_2 - XN_1} \quad (3)$$

$$G_2 = 1 - G_1 \quad (4)$$

ここで XN は連続変数である。つまり、このように XN は PM (G_1), PS (G_2) の二ファジィ値に変換される。

IV ファジィ推論

制御しようとするある時点の EN , DEN がそれぞれ二つのファジィ値とグレード値を持つことになった。この四つの値でファジィ推論を行い、入力と出力の二つのファジィ操作変化量の重心 (Z_1 , Z_2) を決定する。実験では次のような49規則を適用した。ただし、 ZN ($= Z_1, Z_2$) は重心である。

- 規則 1 if $EN = PB$ and $DEN = NB$ then $ZN = ZO$.
- 規則 2 if $EN = PB$ and $DEN = NM$ then $ZN = PS$.
- 規則 3 if $EN = PB$ and $DEN = NS$ then $ZN = PM$.
- 規則 4 if $EN = PB$ and $DEN = ZO$ then $ZN = PB$.
- 規則 5 if $EN = PB$ and $DEN = PS$ then $ZN = PB$.
- 規則 6 if $EN = PB$ and $DEN = PM$ then $ZN = PB$.
- 規則 7 if $EN = PB$ and $DEN = PB$ then $ZN = PB$.
- 規則 8 if $EN = PM$ and $DEN = NB$ then $ZN = NS$.
- 規則 9 if $EN = PM$ and $DEN = NM$ then $ZN = ZO$.
- 規則 10 if $EN = PM$ and $DEN = NS$ then $ZN = PS$.
- 規則 11 if $EN = PM$ and $DEN = ZO$ then $ZN = PM$.
- 規則 12 if $EN = PM$ and $DEN = PS$ then $ZN = PB$.
- 規則 13 if $EN = PM$ and $DEN = PM$ then $ZN = PB$.
- 規則 14 if $EN = PM$ and $DEN = PB$ then $ZN = PB$.
- 規則 15 if $EN = PS$ and $DEN = NB$ then $ZN = NM$.
- 規則 16 if $EN = PS$ and $DEN = NM$ then $ZN = NS$.
- 規則 17 if $EN = PS$ and $DEN = NS$ then $ZN = ZO$.
- 規則 18 if $EN = PS$ and $DEN = ZO$ then $ZN = PS$.
- 規則 19 if $EN = PS$ and $DEN = PS$ then $ZN = PM$.
- 規則 20 if $EN = PS$ and $DEN = PM$ then $ZN = PB$.
- 規則 21 if $EN = PS$ and $DEN = PB$ then $ZN = PB$.
- 規則 22 if $EN = ZO$ and $DEN = NB$ then $ZN = NB$.
- 規則 23 if $EN = ZO$ and $DEN = NM$ then $ZN = NM$.
- 規則 24 if $EN = ZO$ and $DEN = NS$ then $ZN = NS$.

- 規則 25 if $EN = ZO$ and $DEN = ZO$ then $ZN = ZO$.
- 規則 26 if $EN = ZO$ and $DEN = PS$ then $ZN = PS$.
- 規則 27 if $EN = ZO$ and $DEN = PM$ then $ZN = PM$.
- 規則 28 if $EN = ZO$ and $DEN = PB$ then $ZN = PB$.
- 規則 29 if $EN = NS$ and $DEN = NB$ then $ZN = NB$.
- 規則 30 if $EN = NS$ and $DEN = NM$ then $ZN = NB$.
- 規則 31 if $EN = NS$ and $DEN = NS$ then $ZN = NM$.
- 規則 32 if $EN = NS$ and $DEN = ZO$ then $ZN = NS$.
- 規則 33 if $EN = NS$ and $DEN = PS$ then $ZN = ZO$.
- 規則 34 if $EN = NS$ and $DEN = PM$ then $ZN = PS$.
- 規則 35 if $EN = NS$ and $DEN = PB$ then $ZN = PM$.
- 規則 36 if $EN = NM$ and $DEN = NB$ then $ZN = NB$.
- 規則 37 if $EN = NM$ and $DEN = NM$ then $ZN = NB$.
- 規則 38 if $EN = NM$ and $DEN = NS$ then $ZN = NB$.
- 規則 39 if $EN = NM$ and $DEN = ZO$ then $ZN = NM$.
- 規則 40 if $EN = NM$ and $DEN = PS$ then $ZN = NS$.
- 規則 41 if $EN = NM$ and $DEN = PM$ then $ZN = ZO$.
- 規則 42 if $EN = NM$ and $DEN = PB$ then $ZN = PS$.
- 規則 43 if $EN = NB$ and $DEN = NB$ then $ZN = NB$.
- 規則 44 if $EN = NB$ and $DEN = NM$ then $ZN = NB$.
- 規則 45 if $EN = NB$ and $DEN = NS$ then $ZN = NB$.
- 規則 46 if $EN = NB$ and $DEN = ZO$ then $ZN = NB$.
- 規則 47 if $EN = NB$ and $DEN = PS$ then $ZN = NM$.
- 規則 48 if $EN = NB$ and $DEN = PM$ then $ZN = NS$.
- 規則 49 if $EN = NB$ and $DEN = PB$ then $ZN = ZO$.

このようにファジィ制御アルゴリズムは自然入力変数 EN に対応するファジィ記号と EN の変化量 DEN に対応するファジィ記号とから操作変化量の重心 ZN のファジィ記号が推論決定される。これは規則1から規則49まで並列的に表現される。表2に使用したファジィ推論の全規則表を示す。

表2 ファジィ推論規則表

| | | 出力操作量の変化量 DEN | | | | | | | | |
|----|----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB | ZB | ZP |
| EN | PB | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | PM | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | PS | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | ZO | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | NS | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | NM | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | NB | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | ZB | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |
| | ZP | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● | ●●●● |

V 操作量のクリスプ値化

図4はプラントへ出力するDMNを決定する二中間量MN₁, MN₂の求め方を示した概念図である。

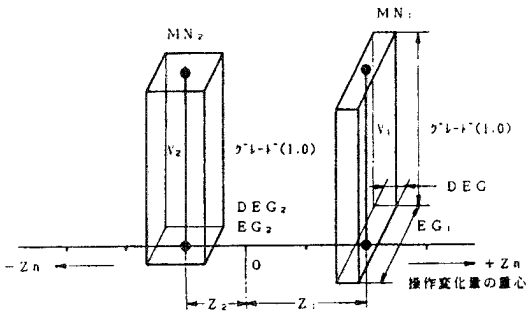


図4 MN₁, MN₂の概念図

図によりMN₁, MN₂の求め方, DMN及びプラントへの出力である操作量 (MN) との関連を述べる。

ある時点のENのファジィ記号はグレードEG₁, EG₂を持っている。又、この時のDENもグレードDEG₁, DEG₂を持っている。表2に基づくファジィ推論が終り、重心Z₁, Z₂が決っているとす。それぞれのZ₁, Z₂上の体積V₁, V₂は次式から求まる。

$$V_1 = EG_1 \times DEG_1 \times \text{グレード} \quad (5)$$

$$V_2 = EG_2 \times DEG_2 \times \text{グレード} \quad (6)$$

操作変化量の重心0を支点とし、V₁, V₂はそれぞれのZ₁, Z₂点に於ける下方に働く重さと考えるとDMNは次式のようになる。(2)

$$DMN = V_1 \times Z_1 + V_2 \times Z_2 \quad (7)$$

図4ではZ₂は負の値であるから

$$DMN = MN_1 - MN_2 \quad (8)$$

これで、ENとDENファジィ値からクリスプ値DMNが決定され、次式のMNが得られる。

$$MN = MN_1 + DMN \quad (9)$$

ただし、MN₁は一つ前のサンプリング時のMNである。かくのごとくファジィ変数は再び連続自然制御量に還元されて制御装置へ伝達されることになる。

VI 実験装置

図5に試作実験装置の全景写真を示す。図の右側はパソコン制御器で、左側はプラントになっている。

図6はこの装置の制御系を示したもので、これにより各構成部の働き及び制御信号の流れが要約される。

制御量は高置タンク (HT) の水位である。HTの水位検出は、フロート (FL) の上下動作で行い、ポテンシオメータ (PT) で電気信号値 (DC 0-5V) に変換す

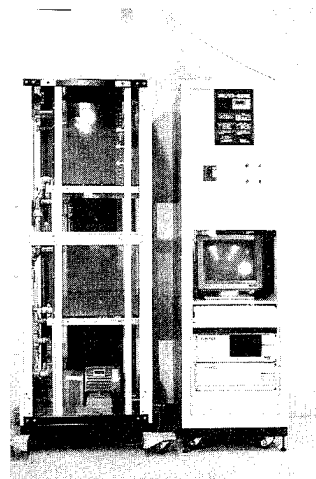


図5 試作実験装置全景写真

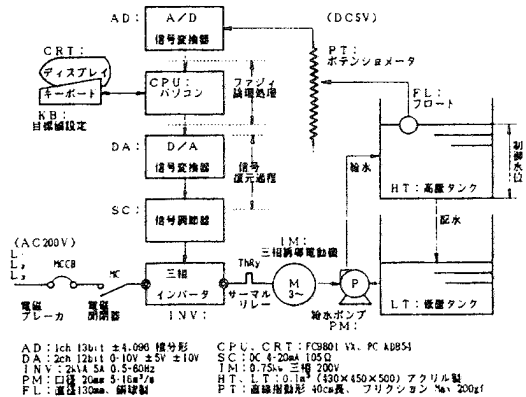


図6 試作実験装置制御系

る。この電圧がパソコン (CPU) への入力値となり、予め設定してあるSVと比較される。パソコン内では連続変量はファジィ変数化され、ファジィ制御アルゴリズムで評価された後に最適な状況が定められその後連続変量に還元されて、目的とする制御に適性な制御信号値が信号調節器 (SC) を通して三相インバータ (INV) に供給される。INVはCPUからの出力信号値に対応させた周波数を三相誘導電動機 (IM) に送出する。この周波数でIMは可変回転運転され、直結されている給水ポンプ (PM) の回転数増減となり、これがHTへの給水量変化となる。

VII 実験方法と実験結果

図7, 図8に試行したファジィ制御実験結果のCRT出力ハードコピーを示す。

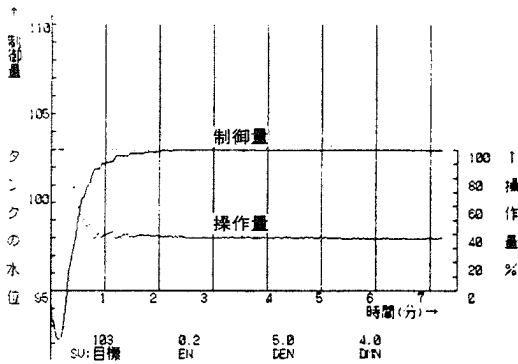


図7 ファジィ制御実験結果

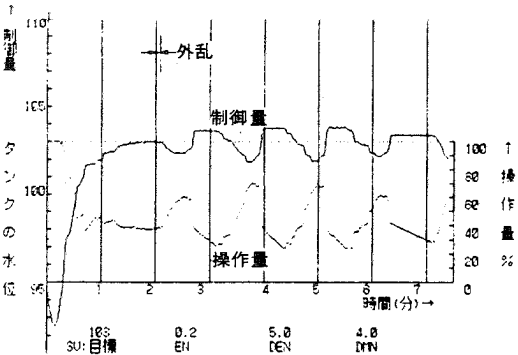


図8 ファジィ制御実験結果 (外乱)

図は横軸に時間(分)、縦軸左側にHTの水位(単位目盛=1目盛は水位約2mmに相当)右側にはPMの操作量(周波数0-60Hzに相当)を示す。又、図下部のEN、DEN、DMNの上にある数値は各々の調整倍数であり、これは、適切なファジィ値及び出力変化量を値を調整(数倍)すると得られる。⁽²⁾

実験はSVをHTの単位目盛に設定して、SVより下方にPVを置き、制御開始点としている。HTからの配水量を決めるための配水弁の開度は適当に固定して置く。この配水量は配水弁の開度とPVにより決る値である。

図7はSVを103(単位目盛)に設定して、PVを下方の95付近に置き制御を始めている。図8は図7と同条件で制御を開始してから経過時間2分後に配水弁を5秒間全開にする外乱を与えた時の結果である。

試行したファジィ制御パソコンプログラムのフローチャートを図9に示す。図9はファジィ関係部分のみであり、他は省略した。⁽⁴⁾ 図10にプログラムの全リストを示す。

VIII おわりに

デジタル方式の量子化の際に、量子化サイズを無限に

小さくすることが技術的に可能であるならば、連続アナログ制御の良さを残したままでデジタル方式の高信頼性を実現することは理論的にはできるが、それは現実には不可能に近い。そこでファジィ方式が考察されたことになるが、この方式の特徴は、有限な量子化の際に失われる情報量を一種の補間法で埋める方式と見ることが出来る。その補間の手続きがコンピュータプログラムの中のアルゴリズムで実現されていると言える。

制御実験ができる装置の製作が終り、パソコンプログラムでファジィ理論を適用した制御実験ができた。

図7の結果では経過時間2分20秒で制御量が目標値となり、以後安定した制御が行われている。だが、試作装置の特性(時間遅れ)から実験したファジィ推論規則では外乱に対して弱く、図8に示すように継続的な振動となり回復せず、SVに対して±1(単位目盛)変化する制御しか行われていない。対策として、外乱に対応した推論規則によるプログラムの改善が必要である。

本実験は基本ファジィ推論に基づいてのものであるが、教育用には十分、ファジィ理論の理解と制御実験ができるものと思われる。今後はファジィ制御アルゴリズムも各種のものが提案されているので、これらの試行から本装置に最も適したものを模索、開発したい。本研究は昭和63年度の指定研究の助成を受けている。関係各位に感謝する。

IX 参考文献

- (1) 菅野道夫著 ファジィ制御 P74-96 1988
日刊工業新聞社
- (2) 廣田薫/寺野寿郎編集 コンピュートロール
28 特集 ファジィ制御 P32-45 1989コナ社
- (3) 森下巖編 デジタル計装システム P77-79
1983 計測自動制御学会
- (4) トランジスタ技術 July 1989 P553-560
西野浩造 P I D温度制御ボードの製作
CQ出版

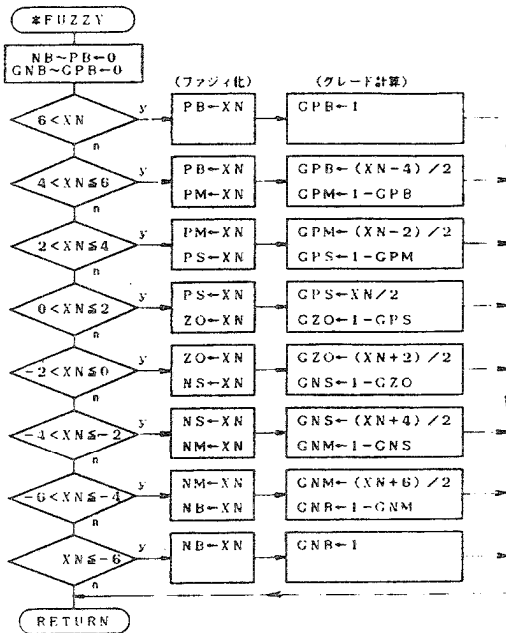


図9-1 プログラムのフローチャート (ファジイ値化)

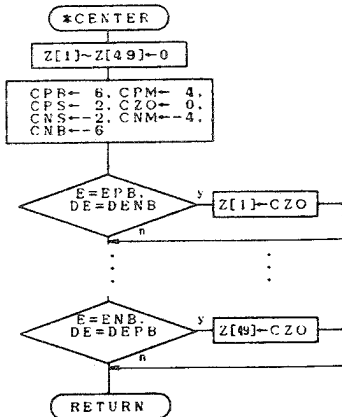


図9-2 プログラムのフローチャート (重心計算)

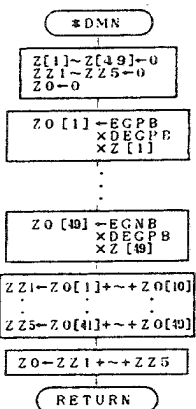


図9-3 プログラムのフローチャート (操作変化量)

```

100 *FUZZY CONTROL  #BASIC H 2.6
110 *MAIN #197 36
120 CONSOLE 0,25,0,1:WIDTH 80,25:SCREEN 3,1:CLS 3
130 CFLAG=1: DIM Z(50),Z0(50)
140 LOCATE 10,9:INPUT "スタートキー SV=":SV
150 LOCATE 10,11:INPUT "PM / A":PM
160 LOCATE 10,13:INPUT "DEN / A":DEN
170 LOCATE 10,15:INPUT "DMN / A":DMN
180 GOSUB *START : (0) スタート, 0 スタート
190 TS=1
200 OUT SHIBD2,0
210 WHILE CFLAG=1
220 GOSUB *STIME : (1) スタート, 0 スタート
230 IF DIFCS THEN 300
240 GOSUB *ADREAD : (2) スタート
250 GOSUB *CONTROL : (3) スタート
260 GOSUB *OLDVALUE : (4) スタート
270 GOSUB *DACSET : (5) スタート
280 GOSUB *COMPSET : (6) スタート
290 GOSUB *PVYALUK : (7) スタート
300 WEND
310
320 *START "-----[0] スタート, 0 スタート"
330 CLS 3
340 LINE=50,10)-(50,40):2 :LINE(50,320)-(50,320):6
350 FOR NM=20 TO 400 STEP 20 :LINE (50,NM)-(55,NM) :3:NEXT NM
360 FOR NMA=20 TO 240 STEP 100:LINE(50,NMA)-(55,NMA) :3:NEXT NMA
370 FOR NM=70 TO 500 STEP 20 :LINE (NM,20)-(NM,320) :5, :SHIBD:NEXT NM
380 FOR NMA=110 TO 500 STEP 60 :LINE(NMA,20)-(NMA,320):1:NEXT NMA
390 FOR NM=160 TO 320 STEP 16 :LINE(195,NM)-(500,NM) :6:NEXT NM
400 LOCATE 0, 0:PRINT " ": LOCATE 0, 2:PRINT "PM"
410 LOCATE 0, 3:PRINT "DEN": LOCATE 0, 4:PRINT "DMN"
420 LOCATE 0,10:PRINT "A": LOCATE 0,12:PRINT "B"
430 LOCATE 0,14:PRINT "C": LOCATE 0,16:PRINT "D"
440 LOCATE 0,18:PRINT "E": LOCATE 0,20:PRINT "F"
450 LOCATE 69,10:PRINT " ": LOCATE 69,12:PRINT "PM"
460 LOCATE 69,14:PRINT " ": LOCATE 69,16:PRINT "DEN"
470 LOCATE 69,18:PRINT " ": COLOR 5,0
480 LOCATE 50,21:PRINT "PM(DEN)"
490 LOCATE 3, 1:PRINT "100": LOCATE 3, 7:PRINT "105"
500 LOCATE 3,13:PRINT "100":LOCATE 3,20:PRINT "95"
510 FOR KK=1 TO 7
520 IF KK=3 THEN GOTO 540
530 LOCATE KK+7+5,20 :PRINT KK : GOTO 550
540 LOCATE KK+7+7,20 :PRINT KK
550 NEXT KK
560 LINE (500,320)-(500,160):4
570 FOR PP=0 TO 100 STEP 20
580 LOCATE 63,10:PP/10 : PRINT 100-PP
590 NEXT PP
600 LINE(50,320+(190-2*SV)*10)-(400,320+(190-2*SV)*10):5, :SHIBD
610 LOCATE 7,24: PRINT " SV: " SV: DEN DEN DMN
620 LOCATE 10,25
630 PRINT USING " ### ##.# ##.# ##.# " SV,EP,FI,TD
640 RETURN
650
660 *STIME "-----[1] スタート, 0 スタート"
670 TIME=VAL(RIGHT$(TIME,2))
680 DIF=TIME-OTIME
690 IF DIF<0 THEN DIF=-DIF+60
700 RETURN
710
720 *ADREAD "-----[2] スタート"
730 AVE=0
740 FOR CNT=1 TO 5
750 OUT SHIFD0,0
760 STATX=INP(SHIFD0)
770 HBYTEX=INP(SHIFD3) AND SHIF
780 LBYTEX=INP(SHIFD4)
790 ADCX=HBYTEX*256+LBYTEX
800 DT=ADCX*21/4096
810 UT=DT-41*100/15
820 AVE=AVE+DT
830 NEXT
840 PM=AVE/5
850 RETURN
860
870 *CONTROL "-----[3] スタート"
880 EN=SV*PM
890 ZN=EN*EP :E=ZN
900 GOSUB *FUZZY : (1) スタート
910 EPH=PB : EPM=PM : EPS=PS : EZO=ZO : CNS=NS : DMN=NM : ENB=NB
920 EGPB=GPB : EGPB=GPM : EGPS=GPS : EZGO=CZO : EGNB=GNS : EGNM=GNM : EGNB=GNB
930 DEN=EN-ENI
940 ZN=DMN*TI :DE=ZN
950 GOSUB *FUZZY : (2) スタート
960 DEPB=PB : DEPM=PM : DEPS=PS : DEZO=ZO : DENNS=NS : DENNM=NM : DENNB=NB
970 DEGPB=GPB : DEGPM=GPM : DEGPS=GPS : DEGZO=CZO : DEGNB=GNS : DEGNM=GNM : DEGNB=GNB
980 GOSUB *CENTER
990 GOSUB *DMN
1000 DMN=ZO*TD
1010 NM=MNI*DMN
1020 RETURN
1030
1040 *OLDVALUE "-----[4] スタート"
1050 OTIME=TIME : X=X+1
1060 ENI=DN
1070 IF NM>100 THEN NM=100
1080 IF NM<0 THEN NM=0
1090 MNI=MN
1100 RETURN
1110
1120 *DACSET "-----[5] スタート"
1130 DACX=M*0.95
1140 HBYTEX=INT(DACX/256) AND SHIF
1150 LBYTEX=DACX MOD 256
1160 OUT SHIBD4,HBYTEX
1170 OUT SHIBD5,LBYTEX
1180 RETURN
1190
1200 *COMPSET "-----[6] スタート"
1210 PSET (X+50,160+2*(100-NM)*.8):4
1220 RETURN
1230
1240 *PVYALUK "-----[7] スタート"
1250 Y1=2+(95-PV)*10
1260 Y2=SET (X+50,320+Y1):2
1270 LINE (X-1)+50,320+Y2)-(X+50,320+Y1):2
1280 YZ=Y1
1290 RETURN
1300
1310 *FUZZY "-----[3]-1 スタート"
1320 NB=0:NM=0:NS=0:ZO=0:PS=0:PM=0:PB=0
1330 CNB=0:GNM=0:GNS=0:GZO=0:GPS=0:GPM=0:GPB=0
1340
1350 IF XN>6 THEN 1360 ELSE 1370
1360 PB=XN:GPB=1:GOTO 1510
1370 IF XN<6 AND XN>4 THEN 1380 ELSE 1390
1380 PM=XN:PM=XN :GPB=XN-4)/2:GPM=1-GPB:GOTO 1510
1390 IF XN<4 AND XN>2 THEN 1400 ELSE 1410
1400 PM=XN:PS=XN:GPM=(XN-2)/2:GPS=1-GPM:GOTO 1510
1410 IF XN<2 AND XN>0 THEN 1420 ELSE 1430
1420 PS=XN:ZO=XN:GPS=XN/2:GZO=1-GPS:GOTO 1510
1430 IF XN<0 AND XN>-2 THEN 1440 ELSE 1450
1440 ZO=XN:NS=XN:GZO=(XN+2)/2:GNS=1-GZO:GOTO 1510
1450 IF XN<-2 AND XN>-4 THEN 1460 ELSE 1470
1460 NS=XN:NM=XN:GNS=(XN+4)/2:GNM=1-GNS:GOTO 1510
1470 IF XN<-4 AND XN>-6 THEN 1480 ELSE 1490
1480 NM=XN:GNM=XN:GNM=(XN+6)/2:GNB=1-GNM:GOTO 1510
    
```

```

1490 IF XM<=-6 THEN 1500 ELSE 1510
1500 *B=XN :CMB=1:GOTO 1510
1510 RETURN
1520 *
1530 *CENTER -----(3)-2 27 295 749
1540 FOR N=1 TO 49:Z(1)=0: NEXT N
1550 CPB=0:CFM=4:CPN=2:CGO=0:CNS=-2:CNH=-4:CNB=6*
1560 IF E=EPB AND DE=DENB THEN Z(1)=CGO
1570 IF E=EPB AND DE=DEPB THEN Z(1)=CPS
1580 IF E=EPB AND DE=DENS THEN Z(1)=CPN
1590 IF E=EPB AND DE=DEZO THEN Z(1)=CPB
1600 IF E=EPB AND DE=DEPS THEN Z(1)=CPS
1610 IF E=EPB AND DE=DEPM THEN Z(1)=CPB
1620 IF E=EPB AND DE=DEPB THEN Z(1)=CPB
1630 IF E=EPB AND DE=DENB THEN Z(1)=CNS
1640 IF E=EPB AND DE=DEPB THEN Z(1)=CGO
1650 IF E=EPB AND DE=DENS THEN Z(1)=CPS
1660 IF E=EPB AND DE=DEZO THEN Z(1)=CPM
1670 IF E=EPB AND DE=DEPS THEN Z(1)=CPB
1680 IF E=EPB AND DE=DEPM THEN Z(1)=CPB
1690 IF E=EPB AND DE=DEPB THEN Z(1)=CPB
1700 IF E=EPS AND DE=DENR THEN Z(1)=LNRK
1710 IF E=EPS AND DE=DENR THEN Z(1)=CNS
1720 IF E=EPS AND DE=DENS THEN Z(1)=CGO
1730 IF E=EPS AND DE=DEZO THEN Z(1)=CPS
1740 IF E=EPS AND DE=DEPS THEN Z(1)=CPM
1750 IF E=EPS AND DE=DEPM THEN Z(1)=CPB
1760 IF E=EPS AND DE=DEPB THEN Z(1)=CPB
1770 IF E=EZO AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
1780 IF E=EZO AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
1790 IF E=EZO AND DE=DENS THEN Z(1)=CNR
1800 IF E=EZO AND DE=DEZO THEN Z(1)=CGO
1810 IF E=EZO AND DE=DEPS THEN Z(1)=CPS
1820 IF E=EZO AND DE=DEPM THEN Z(1)=CNR
1830 IF E=EZO AND DE=DEPB THEN Z(1)=CPB
1840 IF E=ENS AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
1850 IF E=ENS AND DE=DEPS THEN Z(1)=CNR
1860 IF E=ENS AND DE=DEPM THEN Z(1)=CNR
1870 IF E=ENS AND DE=DEZO THEN Z(1)=CNS
1880 IF E=ENS AND DE=DEPS THEN Z(1)=CGO
1890 IF E=ENS AND DE=DEPM THEN Z(1)=CNS
1900 IF E=ENS AND DE=DEPB THEN Z(1)=CPM
1910 IF E=ENR AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
1920 IF E=ENR AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
1930 IF E=ENR AND DE=DENS THEN Z(1)=CNR
1940 IF E=ENR AND DE=DEZO THEN Z(1)=CNR
1950 IF E=ENR AND DE=DEPS THEN Z(1)=CNS
1960 IF E=ENR AND DE=DEPM THEN Z(1)=CGO
1970 IF E=ENR AND DE=DEPB THEN Z(1)=CNR
1980 IF E=ENB AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
1990 IF E=ENB AND DE=DENB THEN Z(1)=CNR
2000 IF E=ENB AND DE=DEPS THEN Z(1)=CNR
2010 IF E=ENB AND DE=DEZO THEN Z(1)=CNR
2020 IF E=ENB AND DE=DEPS THEN Z(1)=CNR
2030 IF E=ENB AND DE=DEPM THEN Z(1)=CNS
2040 IF E=ENB AND DE=DEPB THEN Z(1)=CGO
2050 RETURN
2060 *
2070 *RM : (3)-3 27 295 749
2080 FOR N=1 TO 49:Z(1)=0: NEXT N
2090 Z(1)=0:Z(2)=0:Z(3)=0:Z(4)=0:Z(5)=0
2100 Z=0
2110 Z(1)=EGPB+DEGNB*(1):Z(2)=EGPB+DEGNH*(2):Z(3)=EGPB+DEGNS*(3)
2120 Z(4)=EGPB+DEGZO*(4):Z(5)=EGPB+DEGPS*(5):Z(6)=EGPB+DEGPM*(6)
2130 Z(7)=EGPB+DEGPN*(7):Z(8)=EGPM+DEGNB*(8):Z(9)=EGPM+DEGNH*(9)
2140 Z(10)=EGPM+DEGNS*(10):Z(11)=EGPM+DEGZO*(11):Z(12)=EGPM+DEGPS*(12)
2150 Z(13)=EGPM+DEGPN*(13):Z(14)=EGPM+DEGPD*(14):Z(15)=EGPS+DEGZO*(15)
2160 Z(16)=EGPS+DEGPN*(16):Z(17)=EGPS+DEGNS*(17):Z(18)=EGPS+DEGZO*(18)
2170 Z(19)=EGPS+DEGPS*(19):Z(20)=EGPS+DEGPN*(20):Z(21)=EGPS+DEGPM*(21)
2180 Z(22)=EGZO+DEGNB*(22):Z(23)=EGZO+DEGNH*(23):Z(24)=EGZO+DEGNS*(24)
2190 Z(25)=EGZO+DEGZO*(25):Z(26)=EGZO+DEGPS*(26):Z(27)=EGZO+DEGPN*(27)
2200 Z(28)=EGZO+DEGPD*(28):Z(29)=EGNS+DEGNB*(29):Z(30)=EGNS+DEGNH*(30)
2210 Z(31)=EGNS+DEGNS*(31):Z(32)=EGNS+DEGZO*(32):Z(33)=EGNS+DEGPS*(33)
2220 Z(34)=EGNS+DEGPN*(34):Z(35)=EGNS+DEGPD*(35):Z(36)=EGNB+DEGNB*(36)
2230 Z(37)=EGNB+DEGNH*(37):Z(38)=EGNB+DEGNS*(38):Z(39)=EGNB+DEGZO*(39)
2240 Z(40)=EGNB+DEGPS*(40):Z(41)=EGNB+DEGPN*(41):Z(42)=EGNB+DEGPM*(42)
2250 Z(43)=EGNB+DEGPN*(43):Z(44)=EGNB+DEGNH*(44):Z(45)=EGNB+DEGNS*(45)
2260 Z(46)=EGNB+DEGZO*(46):Z(47)=EGNB+DEGPS*(47):Z(48)=EGNB+DEGPN*(48)
2270 Z(49)=EGNB+DEGPD*(49)
2280 *
2290 Z(1)=Z(1)+Z(2)+Z(3)+Z(4)+Z(5)+Z(6)+Z(7)+Z(8)+Z(9)+Z(10)
2300 Z(11)=Z(11)+Z(12)+Z(13)+Z(14)+Z(15)+Z(16)+Z(17)+Z(18)+Z(19)+Z(20)
2310 Z(21)=Z(21)+Z(22)+Z(23)+Z(24)+Z(25)+Z(26)+Z(27)+Z(28)+Z(29)+Z(30)+Z(31)
2320 Z(31)=Z(31)+Z(32)+Z(33)+Z(34)+Z(35)+Z(36)+Z(37)+Z(38)+Z(39)+Z(40)
2330 Z(41)=Z(41)+Z(42)+Z(43)+Z(44)+Z(45)+Z(46)+Z(47)+Z(48)+Z(49)
2340 Z=Z(1)+Z(2)+Z(3)+Z(4)+Z(5)
2350 RETURN
2360 *END

```

図10 ファジィ制御全プログラムリスト