

ニューロ・ファジィ（知能化技術）による高度自動化システムの研究

ファジィ分割数が低次の場合の制御性能の改善 （第1報）

応用電子部

大坪 昭文, 林 健一郎, 白仁田 和彦

あらまし 本論文ではまず、前・後件部のファジィ分割数を3分割, 5分割, 7分割とした場合, それらのファジィ分割数の違いが制御性能に及ぼす影響を及ぼすか, ムダ時間のある一次遅れの系を対象とし, 各種ファジィ推論法を用いて行ったシミュレーションの考察・検討結果について述べる。次に, その結果から導かれたファジィ分割数が3分割の場合の制御性能の改善法について述べる。この方法は, 後件部メンバーシップ関数ZOの高さhや幅wの調整を行うというものであるが, 最後に, この方法に基づいた改善結果を示すことにより, その有効性を検証し, 更には, ここで前件部を釣鐘型とした場合の優位性についても言及する。

1. 緒 言

ファジィ制御の中心概念となるのがファジィ推論であり, 種々のファジィ推論法⁽¹⁾が提案されてきているものの, これらの推論法による制御性能の違いや, 制御対象の種類や特性に応じた推論法の検討は余りなされていない。

本稿では, まず, 前・後件部のファジィ分割数を 3×3 分割, 5×5 分割, 7×7 分割とした場合, それらのファジィ分割数の違いが制御性能に及ぼす影響を及ぼすか, ムダ時間のある一次遅れの系を対象とし, 各種ファジィ推論法を用いて行ったシミュレーションの考察・検討結果について述べる。次に, その結果から導かれたファジィ分割数が 3×3 分割の場合の制御性能の改善法について述べる。更には, ここで前件部を釣鐘型とした場合の優位性についても言及する。

2. システム構成とシミュレーション法

本章では, まず今回使用したシミュレータの特徴や構成などについて簡単に述べる⁽²⁾。本シミュレー

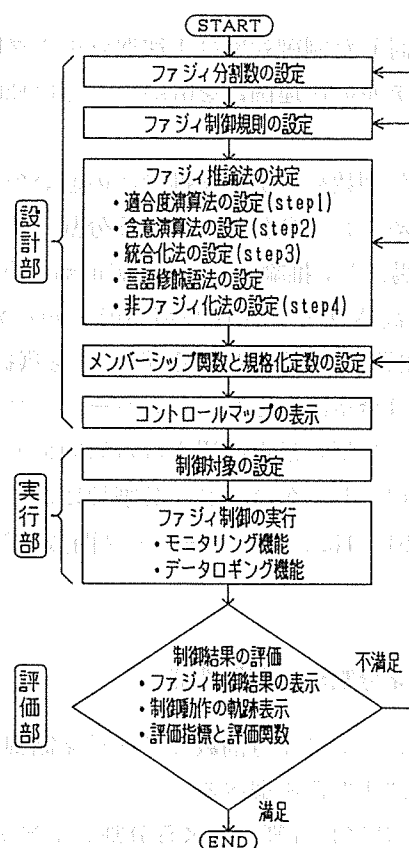


Fig.1. System diagram of the simulator.

タは、Fig.1に示すように「設計部」，「実行部」，「評価部」の3部分から構成されている。まず，「設計部」においてファジィ制御器の設計を行う。次に，「実行部」において制御対象を設定後，シミュレーションまたは実際の制御を実行する。更に，「評価部」においてその実行結果に基づき，設計したファジィ制御器の制御性能の評価を行う。その評価結果に満足であれば設計を終了し，不満足であれば「設計部」に戻り，再度ファジィ制御器の設計を行う。

次に本シミュレータにおけるファジィ制御系はFig.2に示した構成であり，Eは偏差， ΔE は偏差の変化分である。また，ファジィ制御器の出力は操作量Uの変化分 ΔU で，制御器は速度型としている。

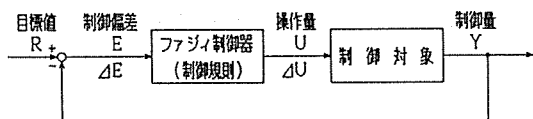


Fig.2. Block diagram of fuzzy control system.

ここで検討した制御対象は1次遅れ+ムダ時間系で，そのモデルの伝達関数を $G(s)=e^{-2s}/(1+20s)$ とした。

ファジィ分割数やファジィ推論法の違いの影響を検討するため， 3×3 分割， 5×5 分割， 7×7 分割の3つの場合と，推論法として「min-max-重心法」，「min-max-高さ法」，「代数積-加算-重心法」，「代数積-加算-高さ法」など4種類⁽¹⁾を選択した。

制御規則は全空間型とし，メンバーシップ関数には一般的な三角型と最近使用される傾向にある釣鐘型⁽³⁾を選択した。各ファジィ分割数における制御規則表をTable 1に，メンバーシップ関数をFig.3に示す。

3. ファジィ分割数と制御性能

本章では，ファジィ分割数のファジィ制御系の制御性能に及ぼす影響を調べる。

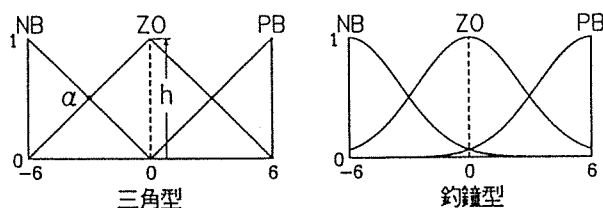
Fig.4は， 3×3 分割， 5×5 分割， 7×7 分割で，かつ前件部として三角型及び釣鐘型を用いた場合の

Table 1. Control rules for fuzzy labelings.

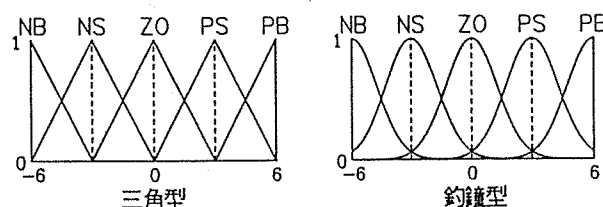
3×3分割				5×5分割					
ΔE	NB	ZO	PB	ΔE	NB	NS	ZO	PS	PB
E	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NS	ZO
	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	ZO	NB	ZO	NS	NB	NB	NS	ZO	PS
	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	PB	ZO	PB	ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
				PS	NS	ZO	PS	PB	PB
					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
				PB	ZO	PS	PB	PB	PB
					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

7×7分割

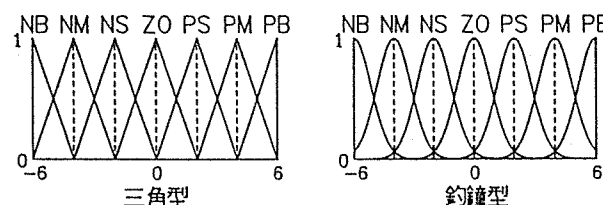
ΔE	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NB	NS	NS	ZO
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



(a) 3×3 分割



(b) 5×5 分割



(c) 7×7 分割

Fig.3. Membership functions for fuzzy labelings.

各種ファジィ推論法によるステップ応答の違いを示

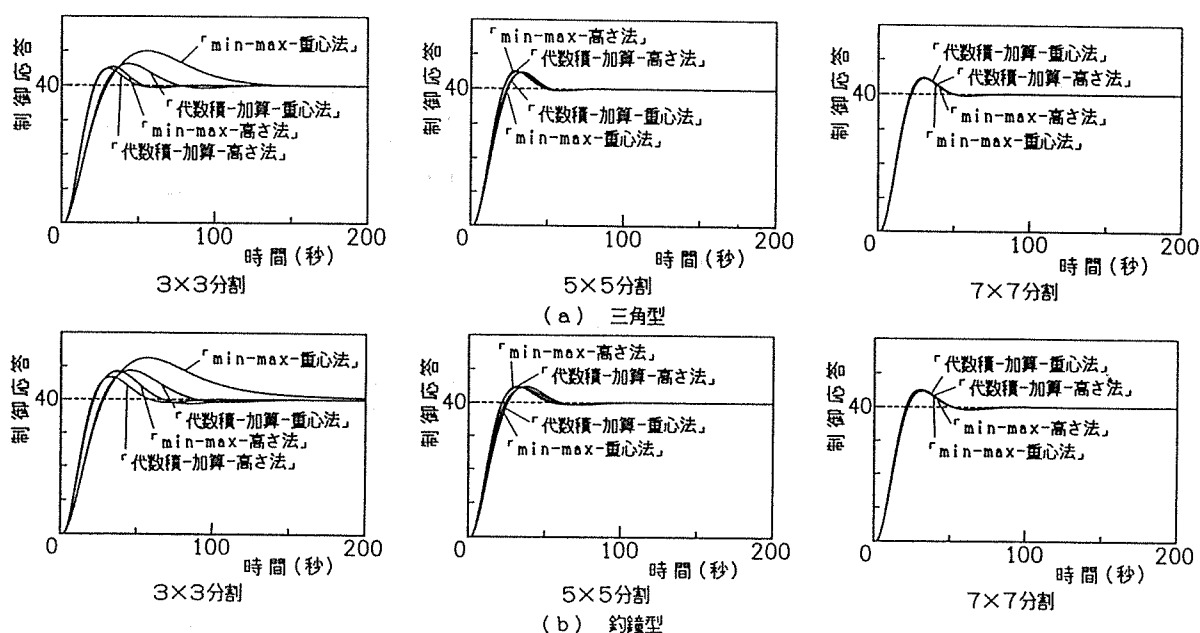


Fig.4. Comparisons of control results.

したものである。なお、いずれの場合も後件部には三角型メンバーシップ関数を用いた。

ファジィ分割数が 3×3 分割、 5×5 分割、 7×7 分割の順で高次になると、ファジィ推論法による制御結果の違いは少なくなっている。特に 7×7 分割の場合、その違いはほとんど無い。すなわち、ファジィ分割数が高次になる程ファジィ推論法の違いは影響しないと言える。

ファジィ分割数が 3×3 分割の場合、制御結果が「代数積-加算-高さ法」，「min-max-高さ法」，「代数積-加算-重心法」，「min-max-重心法」の順に悪くなっている。特に、非ファジィ化法が重心法の場合、高さ法と比べかなり悪い制御結果となっている。この場合、後件部メンバーシップ関数の占める面積が制御への貢献度であるので、Fig.3(a)から分かるように後件部ZOはNB, PBの2倍の貢献度となる。よって、これはZOの貢献度が大きくなり過ぎたことに起因すると考えられる。一方、高さ法の場合後件部はシングルトンであり、各メンバーシップ関数の貢献度は同じとなる。

4. 低次分割数の場合の制御性能の改善

前章の考察の結果、 3×3 分割で非ファジィ化法

が重心法の場合に、制御結果に著しく悪影響が現れていることが分かった。これは後件部ZOの貢献度が大きすぎるためであるから、後件部ZOの高さhを変えることで、その制御への貢献度を調整すると、制御性能の改善が図れることが推察される。

Fig.4の 3×3 分割における「代数積-加算-重心法」と更には「代数積-加算-高さ法」に対して、後件部ZOの高さhを変更した場合の制御応答をFig.5に示した。この場合、前件部には三角型と釣鐘型のメンバーシップ関数を用いた。なお、Fig.4の 3×3 分割はここで $h=1$ とした場合の制御結果である。

後件部ZOの高さhを小さくして、その制御への貢献度を抑制するに従って、ファジィ推論法や前件部のメンバーシップ関数の型に関わらず、ステップ応答は改善されていることが分かる。

前件部が三角型の場合ある高さhで持続振動が起こり不安定となっているが、釣鐘型の場合には大幅に改善され、 $h=0$ の場合に最良な制御結果となっている。これは、前件部が釣鐘型の場合には、後件部がZOの3個の規則が不要となり、Table 1の 3×3 分割の全空間型では9個から6個の制御規則数に減少できることを意味する。従って、制御応答を安定させるための規則 $(E, \Delta E, \Delta U) = (Z0, Z0, Z0)$ が必ずしも

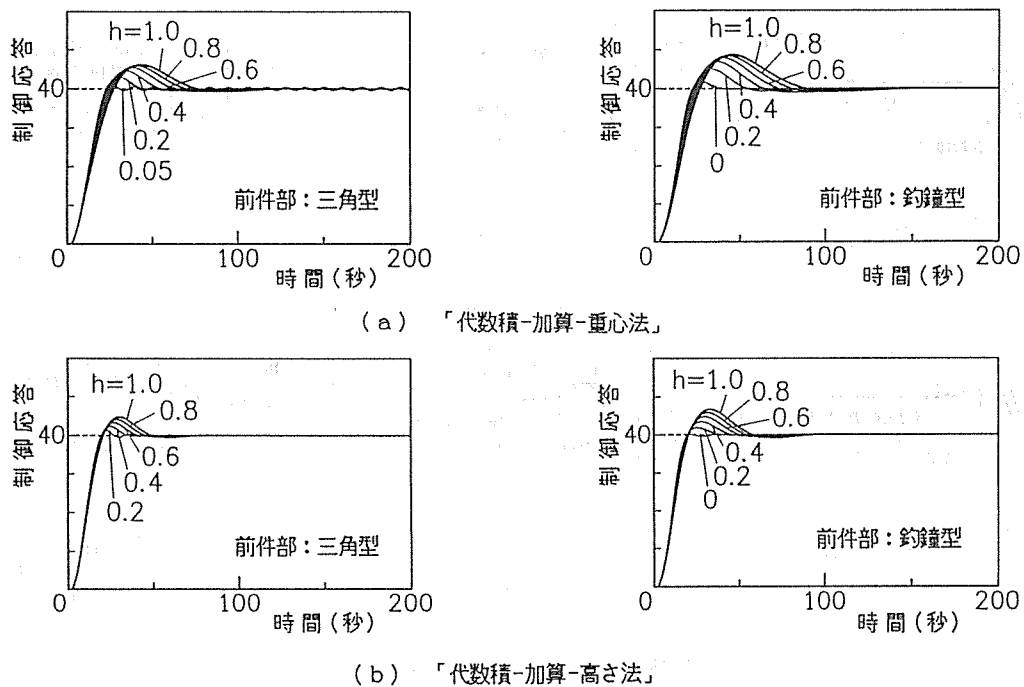


Fig.5. Control results dependent on the height h .

存在しなくても、制御が可能であると言える。

高さ h の調整法の特徴は、一般の規格化定数の調整法が多くのパラメータ（前件部及び後件部の規格化定数）の変更を要するのに比べて、1つのパラメータ h の調整だけで、Fig.6のようなコントロールマップの形状を確認しながら、簡便に制御性能の改善を図ることができる点にある。

ここで、コントロールマップ上で高さ h の調整による改善法の特徴を検討してみよう。

Fig.6から分かるように、後件部ZOの高さ h が小さくなるに従い、前件部が三角型の場合コントロールマップの形状はいびつなものとなるが、釣鐘型の場合には $h=0$ の場合でも零点近傍の形状は極めて滑らかに形成されている。

このように、前件部が釣鐘型の場合、ファジィ分割数が 3×3 分割の場合に、後件部ZOの高さ h を小さくしても、コントロールマップの形状を滑らかに形成できることが分かる。これは釣鐘型の有する大きな特徴と考えられ、前件部が釣鐘型の場合には三角型に比べて、各規則間の補間が非常に滑らかに行われることを意味している。

5. 結 語

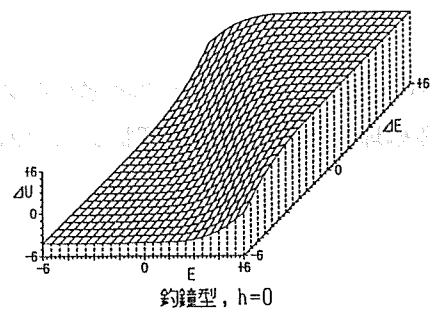
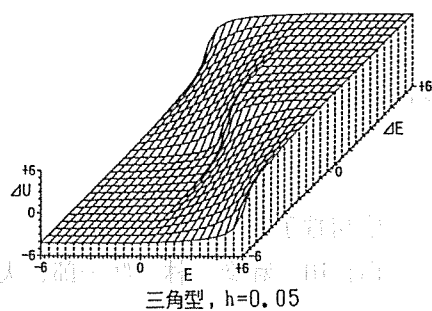
以上、ファジィ分割数と制御性能、 3×3 分割時の制御性能の改善などに関して検討を行った。

その結果、ファジィ制御系の設計を行う上で有意な次のような知見を導いた。

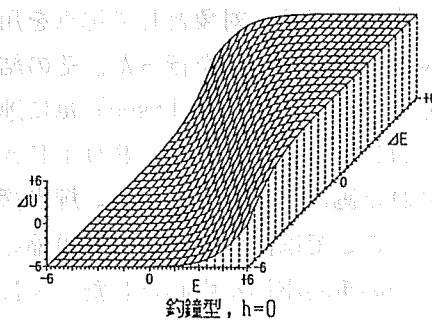
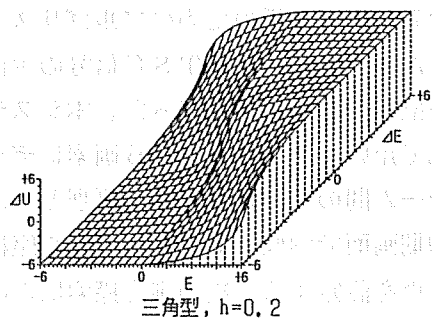
(1) ファジィ分割数が 3×3 分割、 5×5 分割、 7×7 分割と高次となるに従い、ファジィ推論法の違いによる制御特性の違いは無くなる。従って、ファジィ分割数が低次の場合ほどファジィ推論法の選定は重要である。

(2) 3×3 分割の場合後件部ZOの高さ h を変化し、その制御への貢献度を調整するという簡便な方法により、コントロールマップの様相を確認しながら、制御性能の改善を見通し良く行うことができる。

(3) 前件部が釣鐘型の場合、 3×3 分割で後件部ZOの高さ h が小さくなった場合でも、コントロールマップの零点近傍の形状を、非常に滑らかに形成できるという特徴を有する。その結果、三角型と比べ安定性に優れた制御が可能となる。



(a) 「代数積-加算-重心法」



(b) 「代数積-加算-高さ法」

Fig.6. Control maps.

謝 辞

本研究を進めるにあたり有益なご助言を頂いた大阪電気通信大学の水本雅晴教授, 九州工業大学の村上周太教授, 前田幹夫助手らに深く謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 水本:「ファジィ制御に対する改善法Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ」, 第4回, 5回, 6回ファジィシステムシンポジウム, p.91(昭63), p.499(平元), p.9(平2)
- (2) 林・大坪・松尾・牟田:「各種ファジィ制御法の評価用シミュレータの開発」, 第8回ファジィシステムシンポジウム, p.433(平4)
- (3) 徳永・市橋:「ニューロ・ファジィ最適制御によるトレーラ・トラックの後退運転」, 第8回ファジィシステムシンポジウム, p.49(平4)