確率型ファジィ推論の一提案とその磁気ヘッド調整への適用

正員 石丸 伊知郎 (日立) 非会員 平林 久明 (日立)
 非会員 森里 美奈子 (日立) 正員 浅野 敏郎 (日立)
 非会員 北川 泰治 (日立)

A Proposal of Probability Type Fuzzy Inference and its Application to Magnetic Head Adjustment

Ichirou Ishimaru, Member, Hisaaki Hirabayashi, Non-member, Minako Morisato, Non-member, Toshio Asano, Member, Taiji Kitagawa, Non-member (Hitachi Ltd.)

Proficiency in creating a knowledge base is required for high accuracy fuzzy control. To achieve this we propose a new fuzzy inference method utilizing probability density functions of distributions of measurement values defined as membership functions. In addition, to consider qualitative knowledge of the data distribution, we propose a method to determine the membership functions using the distributions of grade accumulation. We applied the proposed method to automatic high accuracy adjustment devices for magnetic head, and the experimental results were satisfactory.

キーワード：確率密度関数，ファジィ推論，メンバーシップ関数，累積，磁気ヘッド，調整，高精度

1. まえがき

近年，高度な技術を要する作業への従事者不足のため，熟練官能作業と呼ばれる技能の伝承が非常に困難となってきた。熟練作業者は多くの事柄（多入力）を鑑みながら，その非線形性，あるいは相互の干渉等を巧みに考慮し，複数の操作量（多出力）を決定している。また，溶鉱炉内の温度分布等，制御に必要な情報の測定すらも困難な場合もあり，従来のフィードバックを前提とした線形制御技術では十分な対応を行うことはできなかった。熟練作業者の知識をコンピュータに処理させ，その作業を支援あるいは自動制御を行う手法として，ファジィ，ニューロの技術が有効であることが知られている^{1)~5)}。これは，両技術の持つ非線形関数近似能力の高さ，及び，多入力多出力を扱うことが容易であると言う特徴に負うところが大きい。しかし，ファジィ制御を μm あるいはサブ μm の精度が要求される高精度な制御に用いる場合は，メンバーシップ関数の設計方法が非常に重要となる。

メンバーシップ関数の定義方法に，ニューロの学習則である最急降下法を適用する手法が提案されている^{6)~9)}。この場合，教示データには一意性（同じ入力値に対して異なる出力値を認めない）が求められるが，実際観測されるデータは様々なばらつきを持っている。しかし，ファジィ，ニューロ共に教示データのばらつきの扱い方に関して取り組んだ研究はなかった。

また，ファジィを確率の一種として捉えることも可能であろうという見解は述べられているが¹⁰⁾，具体的な手法に

ついては事例が無い。

本論文ではデータのばらつき具合をファジネスとして捉え，そのばらつきの確率密度関数に基づいてメンバーシップ関数を定義し，このメンバーシップ関数を用いた確率型ファジィ推論を提案する。本論文ではさらに，ばらつきの原因に付いての定性的な知見をも考慮してメンバーシップ関数を定義し（累積グレードメンバーシップ関数），より高精度な推論精度を得る手法を提案する。

以下，本論文の2，3章ではデータのばらつきを考慮するに至ったニーズとして具体的に磁気ヘッド調整の概要と調整アルゴリズムの課題を述べる。そして，4章で確率型ファジィ推論と累積グレードメンバーシップ関数による推論法を提案し，5章で磁気ヘッド調整に本手法を適用した実験結果を示す。6章はむすびである。

2. 磁気ヘッドの構成，及び，調整概要

図1に磁気ヘッドの構成を示す。磁気ヘッドは真鍮製のヘッドベースと，アモルファス製，あるいは，フェライト製のヘッドチップより構成されている。ヘッドベースは先端が2つに分かれており，その2箇所の突起部それぞれにヘッドチップを接着により固定した構造となっている。これら2枚のヘッドチップには，読み書きを行うためのギャップと呼ばれるスリットがそれぞれ形成されており，図2に示すようにこの横方向の距離をギャップ間距離，ある基準面からのそれぞれの高さを絶対高さ，また，その差である相対高さをハイト段差と称する。

近年磁気記録の高密度化に伴い，上記寸法の所定寸法が

図1 磁気ヘッド構成図
Fig.1. Structure of magnetic head.

図2 調整項目
Fig.2. Adjustment item.

らのずれ量を μm オーダで製作する必要があるが生じている。ヘッドチップをヘッドベースに接着固定する際にも数十 μm オーダで寸法管理を行っているが、それだけでは不十分であり、その後再調整を行う必要がある。従来は、作業者が顕微鏡を用いて目視により上記各寸法を測定し、小型の万力を改良した治具を用いてヘッドベースを高精度に塑性変形させ調整を行っていた。しかし、多量の磁気ヘッドを人手により調整することは非効率であるばかりでなく、高精度の調整が作業者に与えるストレスが大きく、自動化の要求が高まっている。

図3に自動機の調整機構概要を示す。本論文は調整アルゴリズムに関するものであるため、機構あるいは各種寸法の測定装置に関する詳細は既報を参照されたい¹¹⁾。図3 (a) はギャップ間距離広げ調整機構である。これはくさびをヘッドベース先端の割れ目に押し込み、その縦方向の押し込み量を制御することにより広げ量を制御している。図3 (b) はハイト調整機構である。これは、2本の棒状のツールにより右、左それぞれの突起部を押し上げて調整を行う。絶対高さが低目になるようにヘッドチップを接着固定し、押し上げのみで調整可能としている。図3 (c) はギャップ間距離狭め調整機構である。これは突起部を両側から挟みこむことによりギャップ間隔を狭める。

制御可能なのはこれらの機構の移動量（以下、総合変形量と称する）である。しかし、弾性変形分であるスプリングバック量は戻ってしまうため、調整量である塑性変形量

図3 調整機構概要
Fig.3. Mechanical configuration for adjustment.

よりスプリングバック量を見込んだ総合変形量を求めなくてはならない。

3. 調整アルゴリズムの課題

調整アルゴリズムが解決しなければならない課題は以下の4点であった。

- (1) 総合変形量を同量だけ与えても、スプリングバック量にはばらつきがある。
- (2) 総合変形量と塑性変形量の関係は非線形である。
- (3) ハイト方向とギャップ間隔方向に相互干渉がある。
- (4) 調整履歴の影響がある。

以下、上記課題について詳細に説明を行う。

< 3. 1 > 塑性変形量のばらつきと非線形性

図4 (a) に右ハイト調整機構を用いてヘッドをある総合変形量で変形させた場合の、ハイト段差塑性変形量の度数分布を示す。図中の黒い棒で示すヒストグラムは総合変形量を $110 \mu\text{m}$ とした時に得られた塑性変形量である。サンプル数は 59 個であった。このように、同じ総合変形量で変形を行っても異なる塑性変形量を生じてしまう。このばらつきの原因は様々考えられるが、1つの要因としてはヘッドベースの板厚のばらつきが考えられる。最終的な製品の性能に板厚は関係ないため、板厚の寸法精度は粗い。そのため、データのばらつきの中に板厚が厚いものは曲がり難く、板厚が薄いものは曲がり易いと言う定性的な傾向を見ることが出来る（第4章第3節において詳述する。図10参照）。

図4 (b) は度数分布の平均値をとった時のハイト段差塑性変形量と総合変形量との関係を示す。この非線形性をも考慮する必要がある。

(a) 塑性変形量のばらつき
(度数分布)

(b) 塑性変形量の非線形性

図4 塑性変形量のばらつきと非線形性
Fig.4. Distribution and nonlinearity of plastic deformation.

<3.2> 相互干渉 ギャップ間距離広げ調整機構による幅方向の調整では、くさびを打ち込むため図5(a)に示すようにヘッドベース突き出し部は幅方向だけでなく下方向にも引きずられ、高さ方向まで塑性変形してしまう。また、ハイト調整機構により高さ方向の調整を行うと、突き出し部の付け根を回転中心として変形するため、図5(b)に示すように幅方向が狭まる。このようにギャップ間隔方向と高さ方向を独立して調整することができないため、それぞれの相互干渉量を加味して調整量を決定する必要がある。

図5 相互干渉
Fig.5. Mutual interference.

<3.3> 調整履歴の影響 塑性変形には加工硬化、バウジング効果と呼ばれる現象があり、既に塑性変形させたものは、その塑性変形をした方向、及び、量(調整履歴)を考慮しなければ的確な総合変形量を求めることができない。有限要素法を用いてヘッドベースの応力解析を行った。その結果ギャップ間隔方向、高さ方向調整に伴い、同じヘッドベース突き出し部付け根部分を塑性させることが判明した。このため、高さ方向の調整量を決定する場合は以前のギャップ間隔の調整方向、及び、量を、またその逆の場合も同様に調整履歴を考慮しなければならないことが予想された。

4. 累積適合度メンバーシップ関数による確率型ファジィ調整アルゴリズム

<4.1> 確率型ファジィ推論の基本概念(塑性変形量のばらつきの考慮) まず最も判り易い1入力1出力の場合を用いて説明する。右ハイト調整機構のみにより、相互干渉を無視してハイト段差のみを調整するための総合変形量を算出する場合を例に説明する。

ここで求めたいのは目標とするハイト段差塑性変形量を与える総合変形量であるが、図4(a)に示したように、同じ総合変形量に対しても、得られる塑性変形量はばらついてしまう。図4(a)から縦軸が確率を表す図6のような確率曲面を考える。この曲面において塑性変形量 a を得たい場合の総合変形量のばらつきは図7に示す $a-a'$ 断面で表すことができる。この内1番うれしいところを解として求めればよく、この場合は $a-a'$ 断面の重心が一番うれしいので、この値をハイト段差調整の操作量とする。

以上の操作量を求める演算を、ファジィ推論法として定式化する。まず、総合変形量に対する塑性変形量の分布をメンバーシップ関数とみなす。図8に総合変形量 $110\mu\text{m}$ で右ハイトを変形した時のハイト段差塑性変形量のばらつきを示す確率の分布を示す。平均 α 、標準偏差 σ の連続確率変数 x についての正規分布の確率密度関数 $f(x)$ は、

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\alpha}{\sigma}\right)^2\right) \cdots \cdots (1)$$

であり、その確率分布関数 $F(x)$ は、

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{v-\alpha}{\sigma}\right)^2\right) dv \cdots \cdots (2)$$

である。そのため、連続確率変数 x が区間 $[a, b]$ に入る確率 $p(a \leq x \leq b)$ は、

$$p(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a) \cdots \cdots (3)$$

により求めることができる。(1)式の積分は初等的方法で評価はされないが^{[12][13]}、連続確率変数が x のまわりの幅 h の小区間に入る確率は大体

$$f(x) \cdot h \cdots \cdots (4)$$

である^[14]。そこで、

$$p(x) = f(x) \cdot h = \frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\alpha}{\sigma}\right)^2\right) \cdots \cdots (5)$$

として確率を求めた。本事例においては小区間幅 h をギャップ測定の分解能である $1\text{ }\mu\text{m}$ とした。

図8の左側の縦軸は度数分布の度数を、右側の縦軸は(5)式により求めた確率を示している。これより、塑性変形量のばらつきを正規分布で近似することとする。この近似の妥当性は最終的な調整結果の良否で判定する。そして、メンバーシップ関数をこの(5)式を用いて定義する。確率は1を超えることは無いため、本メンバーシップ関数のグレードの最大値は1より小さくなる。この場合、確率密度関数の定義上のような入力値に対しても確率、つまりグレードが0となることはありえない。つまり、メンバーシップ関数の台集合は無限であることとなる。しかし、台集合が有限でなければならない制約はメンバーシップ関数の定義上なく、メンバーシップ関数の条件を満たしている。8通りの総合変形量に対する塑性変形量の分布から8種類のメンバーシップ関数を定義した。また、後件部操作量は一意に与えた量であるため、ファジールールとしては後件部がシングルトンである、次のようなIF-THENルールを得ることができる。

もし ハイト段差を約 $9.3\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形させたい
 ならば 右ハイトを $110\text{ }\mu\text{m}$ 変形せよ。
 ファジィ推論においては、以上のメンバーシップ関数と、IF-THENルールを用いて推論を行う。

1入力1出力のファジィ推論は、ハイト段差を x 、総合変形量を y とすれば、

$$R^i: \text{If } x \text{ is } A_i \text{ then } y = f_i \quad (i=1,2,\dots,8) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\mu_i = A_i(x) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$y^* = \frac{\sum \mu_i \cdot f_i}{\sum \mu_i} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。ここで、 R^i は i 番目のファジールール、 A_i はファジィ変数、 f_i は定数、 μ_i は R^i の前件部適合度、 y^* は推論値である。

図9に推論過程の例を示す。例えば、ハイト段差を $5\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形させたいとする。まずそれぞれのルールの適合度を前件部において求め、これを後件部のメンバーシップのグレードとする。そして、図9中右下に示すように各々のルールで求めた総合変形量の重心をもって推論結果とする。図9の場合、右ハイトを $88.6\text{ }\mu\text{m}$ 変形せよという推論結果が得られる。

図6 確率曲面

Fig.6. Curved surface of probability.

図7 確率曲面断面

Fig.7. Sectional plain of probability curved surface.

図8 塑性変形量ばらつき

Fig.8. Distribution of plastic deformation.

<4.2> 多入力多出力時の確率型ファジィ推論(相互干渉、調整履歴の考慮) 1入力1出力の推論では、形式はファジィ推論であっても、実質的には図6の確率曲面の稜線もしくは図4(b)の関係を入出力関係としてのこととほぼ等価である。本論文で扱っている磁気ヘッド調整のような問題では相互干渉や調整履歴の影響があるので得られるファジールールは多入力多出力となる。ファジィ推論はこのような時にこそ効果を発揮する。

絶対高さの調整実験からは、例えば以下のような知見を得ることができる。

右ハイトを $103\text{ }\mu\text{m}$ 変形させ左ハイトを $140\text{ }\mu\text{m}$ 変形させると

右ハイトは約 $5\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形する。

左ハイトは約 $15\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形する。

しかし、ギャップ間距離も約 $3\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形してしまう。このように、左右ハイトのみ変形させてもギャップ間距離も塑性変形してしまう。相互干渉による塑性変形は扱い難いものとして認識されがちであるが、この知見を逆に見れば、

もし 右ハイトを約 $5\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形させ

かつ 左ハイトを約 $15\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形させ

かつギャップ間距離も約 $3\text{ }\mu\text{m}$ 塑性変形させたい

ならば 右ハイトを $103\text{ }\mu\text{m}$ 変形させ

かつ 左ハイトを140 μm変形させ
かつ ギャップ幅は調整しなくてもよい。
というファジィルールを得ることができる。この場合3入力3出力の非線形モデリングが必要となるが、本論文の確率型ファジィ推論によれば多入力多出力の非線形モデリングにも容易に対応できるため、相互干渉を簡単に考慮できる。

3入力 x_1, x_2, x_3 , 出力 y の時、ファジィ推論は、
$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ and } x_3 \text{ is } A_{i3} \text{ then } y = f_i \quad (i=1,2,\dots,n_i) \quad (9)$$
$$\mu_i = A_{i1}(x_1) \cdot A_{i2}(x_2) \cdot A_{i3}(x_3) \quad (10)$$

$$y^* = \frac{\sum_i \mu_i \cdot f_i}{\sum_i \mu_i} \quad (11)$$

となる。ここで、 n_i はルール数。
本論文の確率型ファジィ推論では、3入力の場合の前件部適合度は3つのメンバーシップ関数のグレードを乗算して求めた。本推論法は、前件部の3条件を共に満たす確率を求め、その確率に応じて推論値を決定することを実現している。

調整履歴の考慮も相互干渉の考慮と同様に考える。右ハイト調整を行った後の左ハイト調整のルールの一例を示す。
もし 右ハイトを150 μm変形させた後
かつ ハイト段差を-3.5 μm塑性変形させる
ならば 左ハイトを150 μm変形せよ。

4.3 定性的知見の考慮（累積適合度メンバーシップ関数）
以上述べた手法においてはばらつきそのものを小さくすることはできない。つまり、図8の例の場合9.3 μmハイト段差を調整する場合は、右ハイトを110 μmで変形させることとなるが、実験結果より3σで約7 μmのばらつきを持っているため、調整1回でこれ以上の精度で調整を行うことはできない。しかし、ばらつきの要因がわかればより精度良く調整を行うことが可能となる。

3.1 節の図4(a)を例に説明する。右ハイトを総合変形量110 μmで変形させた場合、ハイト段差塑性変形量のばらつきは3σ=7.49 μmであった。このサンプル（試験ヘッド）数は59個あり、それぞれのヘッドベースの板厚は静電容量センサにより測定を行っている。

図10に板厚のばらつきと塑性変形量のばらつきとの関係を示す。図中の◆印が実測値であり、実線は最小自乗法により得た。この相関係数の絶対値は0.31と小さいが概略板厚の厚目のものは塑性変形量が小さく、薄めのものには塑性変形量が多いことが判る。そこで、この分布を板厚の情報に基づいてファジィ分割する。図11にヘッドベース板厚のメンバーシップ関数を示す。ファジィ分割は例えば、塑性変形量6 μm（サンプル数：5個）の1つのサンプルの板厚が0.96mmであれば、薄いというメンバーシップ関数のグレードは0.51、普通、厚いにはそれぞれ0.49、0.0と

図9 ファジィ推論過程（1入力1出力）
Fig.9. Process of fuzzy inference (1 input,1 output).

なる。総合変形量110 μm、塑性変形量6 μmの全データ、この場合5サンプル全てについて各メンバーシップ関数のグレードを求めた結果を表1に示す。メンバーシップ関数毎にグレードの和（以降、累積グレードと称する）をとる。この演算を本総合変形量（110 μm）の全塑性変形量に関しに行うと図12に示すように累積グレードの分布ができる。各々の累積グレード分布を正規分布とみなし、（5）式を用いてメンバーシップ関数とした（累積グレードメンバーシップ関数）。

図10 板厚と塑性変形量の関係
Fig.10. Relation between head base thickness and plastic deformation.

図 11 板厚用メンバーシップ関数
Fig.11. Membership functions for head base thickness.

図 12 累積グレード分布
Fig.12. Distribution of grade accumulation.

表 1 累積グレード算出方法
Tabel 1. Method of calculation for grade.

右ハイト 総合変形量	ハイト段差 塑性変形量	ヘッド ベース板厚	グレード		
			薄い	普通	厚い
110 μm	6 μm	0.96mm	0.51	0.49	0.0
		1.01mm	0.0	0.85	0.15
		1.01mm	0.0	0.90	0.10
		0.99mm	0.10	0.90	0.0
		1.02mm	0.0	0.69	0.31
累積グレード			0.61	3.82	0.57

この場合、薄めの板厚の塑性変形量の重心は10.1 μmとなり、前節4. 1において示したルールは以下になる。

もし 板厚が薄く
かつ 右絶対ハイトを約10.1 μm変形させる
ならば 右ハイトを110 μm変形せよ。
このようにして、定性的な知見を確率的計算の中に取り

入れた累積グレードメンバーシップ関数による確率型ファジィ推論方式を考案した。

5. 磁気ヘッド調整への適用評価実験結果

表2に実験結果を示す。なお、調整は2回まで許されている。算出精度の算定方法は、本アルゴリズムが確率的な推論方法を取っていることから、正規分布の累積確率を用いて評価を行っている。

塑性変形量の誤差分布が図13のように正規分布していると仮定すると、一定総合変形量時の塑性変形量のばらつきの平均である平均標準偏差σと平均算出誤差dを用いて(1)式の確率密度関数により塑性変形量誤差の分布を次のように表現できる。

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-d}{\sigma}\right)^2\right) \cdots \cdots (12)$$

この時、図13に示すように調整成功率は良否判定仕様範囲±sにおける(12)式の累積確率F(x)により求まる。

$$F(x) = \int_{-s}^{+s} f(x) dx \cdots \cdots (13)$$

ここで、sは良否判定の仕様値である。逆に、平均標準偏差σ、調整成功率F(x)が判れば近似解法により平均算出誤差dを求めることができる。

ここで、以前に開発した粗調整装置における従来アルゴリズムとの性能比較を行う。従来アルゴリズムは、ばらつきの平均値間を区分線形補間し、板厚の影響は考慮していない。また、相互干渉は線形連立方程式により考慮している。また、調整2回目の際、調整履歴の考慮はしていない。

表2に示すように、調整1回目においては調整量算出精度は約4倍向上している。また、ハイト段差の調整仕様値は、本実験装置の方が粗調整機の1/2であり、高精度な調整を要求されている。それにもかかわらず、調整成功率は約25%向上している。調整2回目となったものも成功率は約25%向上しており、調整2回目までに成功する率である総合成功率は調整仕様が厳しくなったにもかかわらず約10%向上している。

ばらつきの評価を行う都合上、本評価実験には膨大なワーク数を必要としたため、板厚の考慮を無視した実験を別途行うことはできなかった。そこで、本手法において板厚を考慮したことによる効果を推定した。例えば、図12の例の場合、元のばらつきは3σ=7.49 μmであったが、例えば板厚薄めの累積グレードのばらつきは3σ=6.57 μmと多少小さくなる。本手法において板厚を考慮しない場合のばらつきより成功率を(13)式を用いて算出すると86.3%となる。板厚考慮後のばらつきを用いれば成功率は89.6%となり、3%程度ではあるが改善されることが予想される。本適用事例においては、図10に示すように相関係数が-0.31と低すぎたため顕著な効果を得るには到らなかったが累積グレードメンバーシップ関数による確率型ファジィ推論方式の原理的な確認を行うことはできた。

文 献

図 13 算出精度評価
Fig.13. Estimation of calculation accuracy.

表 2 実験結果
Tabel 2. Experimental result.

			本アルゴリズム	従来アルゴリズム
調整 1 回 目	ハイト 段差調整	算出精度	2.15 μm	8.87 μm
		成功率	94.1%	69.3%
	24.8%成功率向上			
	ギャップ 間距離 調整	算出精度	0.004 μm	2.098 μm
		成功率	91.5%	67.0%
24.5%成功率向上				
調整2回目	成功率	92.3%	67.2%	
	25.1%成功率向上			
総合成功率			99.5%	89.9%
約10%成功率向上				
但し、本実験装置のハイト段差調整仕様は従来粗調整機の1/2の高精度調整である。				

6. むすび

本論文では、データのばらつき具合をファジネスとして捉え、そのばらつきの確率密度関数に基づいてメンバーシップ関数を定義し、確率型ファジィ推論を提案した。また、ばらつきの原因に付いての定性的な知見をも考慮してメンバーシップ関数を定義し（累積グレードメンバーシップ関数）、より高精度な推論精度を得る手法を提案した。以上提案した手法により、従来困難であると考えられていた高精度制御へのファジィ推論の適用を可能とした。

磁気ヘッド調整により評価実験を行った結果、調整成功率は99.5%であり、十分な成功率を得ることができた。また、調整精度の低い従来粗調整機と比較しても約10%成功率は向上しており、その有効性を実証することができた。

最後に、本論文執筆にあたり御指導を頂いた名古屋大学工学部電子情報学科古橋助教授に深く感謝の意を表します。

(平成7年9月25日受付、平成8年10月30日再受付)

1) 石丸伊知郎・平林久明・原美奈子：「弾／塑性変形特性を用いた精密調整 その2（ファジィ理論応用調整アルゴリズム）」，1991年精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，pp105-106，（1991）

2) 石丸伊知郎・松浦宏育・堀内立夫：「高周波回路自動調整装置の開発 その2（ファジィ理論応用調整アルゴリズム）」，1992年精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，pp463-464，（1992）

3) 高木英行・鈴木規之：「ファジィ推論アーキテクチャに基づくニューラルネットのVTRテープ走行系調整工程への適用」，日本ファジィ学会誌，Vol.3，N04，pp.186-194，（1991）

4) 柴田裕幸：「ファジィ制御を用いたディスプレイモニタ管の自動調整」，M S C 技報，N0.3，pp.63-71，（1990）

5) 長谷川貴史・堀川慎一・古橋 武・内川嘉樹・島村 滋・山田稔久・国武意智・大塚 晋：「転炉吹練プロセスのファジィモデリング」，日本ファジィ学会誌，Vol.5，N0.2，pp.409-419，（1993）

6) 林 勲・野村博義・若見昇：「ニューラルネット駆動型ファジィ推論による倒立振子の学習制御」，第5回ファジィシステムシンポジウム，pp.55-60，（1989）

7) 市橋秀友：「C[∞]級の階層型ファジィモデル」，第7回ファジィシステムシンポジウム，pp.505-508，（1991）

8) 片山 立・鎌田海平・梶谷雄治・西田行輝：「自己増殖型C[∞]級ファジィモデルとカオス時系列同定問題への適用」，第8回ファジィシステムシンポジウム，pp.253-256，（1992）

9) 堀川慎一・古橋 武・内川嘉樹：「ファジィニューラルネットワークの構成と学習方法」，日本ファジィ学会誌，Vol.4，N0.5，pp.906-928，（1992）

10) D.Dubois・H.Prade：「Fuzzy Sets - A Convenient Fiction for Modeling Vagueness and Possibility」，Trans. on Fuzzy Systems，Vol.2，No.7，pp.16-21，（1994）

11) 原美奈子・平林久明・石丸伊知郎：「弾／塑性変形特性を用いた精密調整 その1（カセンサ付き多自由度高剛性機構）」，1991年精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，pp103-104，（1991）

12) 例えばE．クライツィグ著，田島一郎・近藤次郎共訳：「確率・統計入門」，pp41-43

13) 例えば森口繁一・宇田川・一松信：「数学公式Ⅰ－微分積分・平面曲線－」，p155

14) 例えばD V．リンドレー著，竹内啓・新家健精共訳：「確率統計入門Ⅰ《ベイズの方法による》確率」，pp58-59

石丸 伊知郎 (正員) 1962年7月6日生まれ。'87年3月大

阪大学産業機械工学科卒業。同年(株)日立製作所入社。同社生産技術研究所において、ファジィ、ニューロ等の技術を用いた熟練官能作業の自動化装置の研究開発に従事。日本ファジィ学会、精密工学会会員。

平林 久明 (非会員) 1948年9月25日生まれ。'74年3月

早稲田大学工学研究科修士課程機械工学専攻終了。同年(株)日立製作所入社。以来、ロボットのコンプライアンス制御の研究、生産自動化用組立、調整設備の開発に従事。現在、同社生産技術研究所プロセスF A部主任研究員。工学博士。計測自動制御学会、日本ロボット学会会員。

森里 美奈子 (非会員) 1964年11月16日生まれ。'87年3

月日本女子大学理学部数物科学科卒業。同年(株)日立製作所入社。同社生産技術研究所において微細部品の精密調整技術の研究開発に従事。精密工学会会員。

浅野 敏郎 (正員) 1948年6月29日生まれ。'74年大阪市

立大学大学院工学研究科修士課程電気工学専攻修了。同年(株)日立製作所入社。以来、工業用画像認識、電子ディスプレイ検査、知識応用制御などの研究に従事。現在、同社生産技術研究所勤務。工学博士。電子情報通信学会、情報処理学会会員。

北川 泰治 (非会員) 1967年11月2日生まれ。'92年大阪

府立大学総合科学部卒業。同年(株)日立製作所入社。同社生産技術研究所において、主に熟練官能作業、特にディスプレイ管の画質調整の自動化に従事。