

ニューロ・ファジィ応用パターン計測・制御技法の 圧延機形状制御への適用

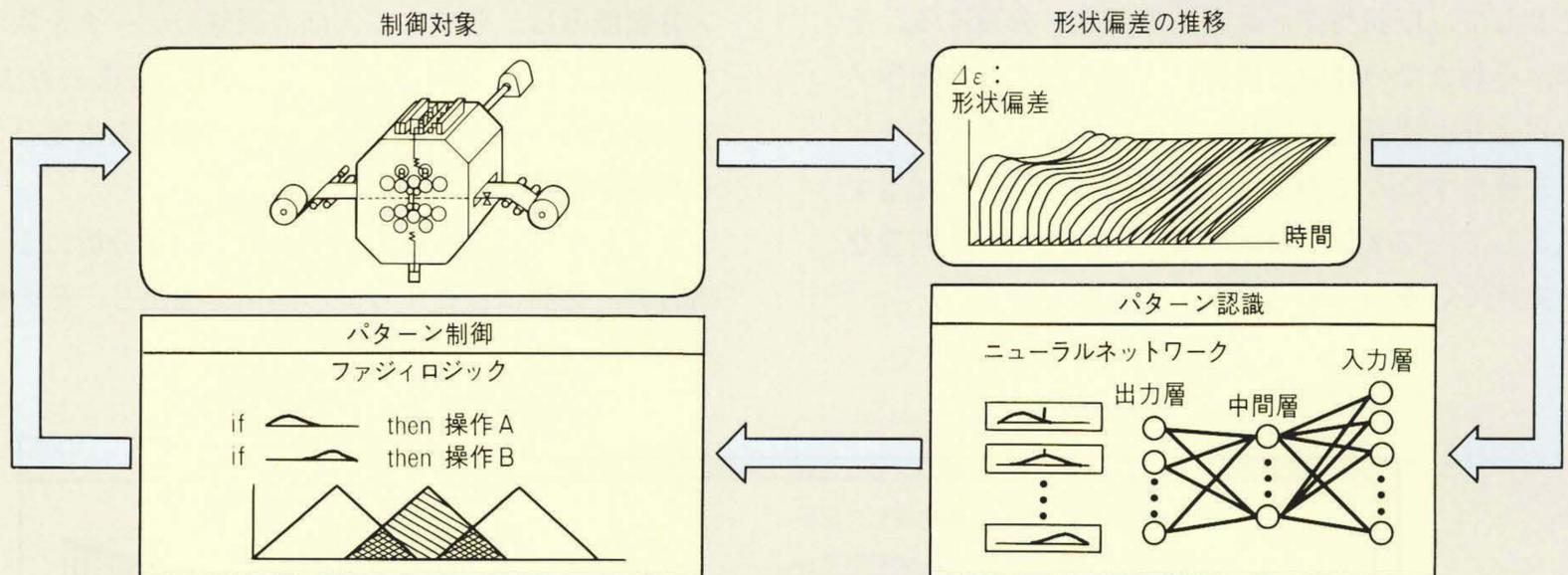
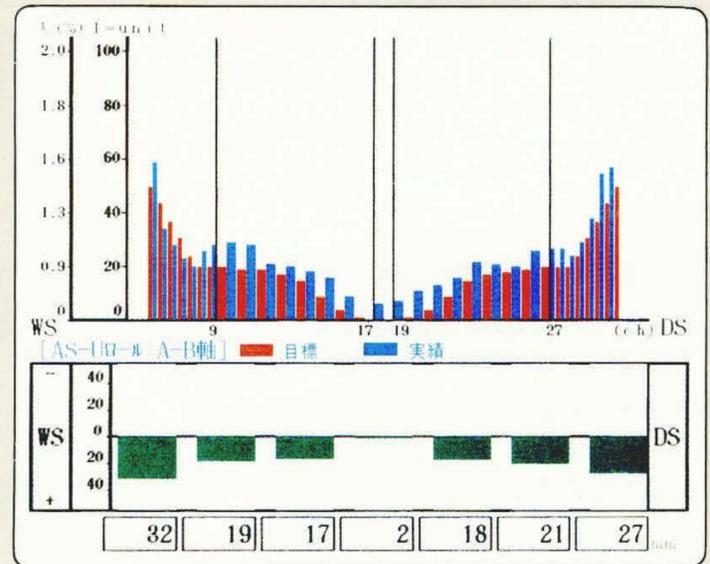
Application of Pattern Recognition and Control
Technique to Shape Control of the Rolling Mill

中島正明* Masaaki Nakajima
服部 哲* Satoshi Hattori

岡田 隆** Takashi Okada
諸岡泰男*** Yasuo Morooka



ゼンヂミアミルの全景



パターン計測・制御方法 パターン計測・制御方法を適用することにより、従来制御方式が適用できなかったゼンヂミアミルの形状制御を行うことができるようになった。右上の図は形状制御のCRT画面である。上の棒グラフの赤が目標形状、青が実形状であり、下の緑がAS-Uロール位置を示す。

圧延機の形状制御のように空間的に分布した波形パターンを計測し、複数の操作端を操作する新しいパターン計測・制御方法を開発した。このシステムは、従来、操作員が感覚的に把握していた波形パターンの認識と経験による操作方法を、ニューラルネットワークによるパターン認識とファジィ推論によるパターン操作によって自動化を図ったものである。

従来は現象が複雑なため制御モデルを作成することが困難であったゼンヂミアミルの形状制御に今回開発した方式を適用し、実機テストで操作員の手動操作以上の制御性能が実現できることを確認した。このシステムは、すでに2プラントで順調に稼動中である。

* 日立製作所 大みか工場 ** 日立製作所 日立研究所 *** 日立製作所 日立研究所 工学博士

1 はじめに

圧延設備での制御技術は、顧客の強いニーズによって、急速に発展をしてきた。従来の伝達関数に代表される古典制御理論から、状態方程式に基づいた最適制御、および設計者や操作員の知識を基にしたファジィ制御が適用されつつある¹⁾。しかし、センチミアミルなど複雑な制御モデルが必要な対象に対しては、操作員のパターン認識や操作ルールが依然有効に機能していた。これらを自動化するには、操作員のパターン認識に近いパターン計測方法が必要であり、今回ニューラルネットワークとファジィ推論によるパターン計測・制御方式を開発した。

ここでは、鉄鋼圧延での形状制御を例に、パターン計測・制御方式の有効性と制御技術の実際について述べる。

2 パターン計測・制御方式の概略

運転員による形状制御動作は、図1に示すように分析できる。つまり、操作員は制御対象の状態を感覚器である目を介して、形状パターンとして認識・分類する。その結果、それまでの経験と教育によって得られた操作ノウハウにより、認識した形状パターンに応じたアクチュエータを操作する。このような操作員のルールを利用する方法として、ファジィ制御の適用が試みられ、顕著な効果をあげている。

しかし、この方法では形状の全体波形を認識して制御することが困難なので、図1に示すようなパターン認識に有効であると言われるニューラルネットワークを用いて、形状波形を空間的分布パターンとして認識することでファジィ処理の欠点を補うことにした。つまり、ニューラルネットワークに操作員が記憶している形状波形を学習させておき、形状波形に対する複数のアクチュエータの操作方法をファジィルールとして記憶させる。そして、同図に示すように、操業波形からニューラルネットワークによって波形成分を抽出させ、抽出した波形の成分量に応じて、操作員の操作に対応する制御をファジィ制御で行う。このことにより、圧延機の形状を空間的に広がるパターンとして計測し、複数のアクチュエータをパターンの的に操作するパターン計測・制御が実現できる。

3 パターン分析用ネットワークの設計法

開発したパターン計測・制御方法では、使用するニューラルネットワークのパターン分類能力が重要となる。パターン分類能力は、要求する入出力関係のデータを教示する(学習)ことによって得られる。しかし、従来の方法では、あらかじめデータに関する既知の情報がある場合でも、それを学習には直接利用していない。

ネットワークの前処理として、重回帰分析によって入出力データ間に存在する線形関係を抽出し、その線形関

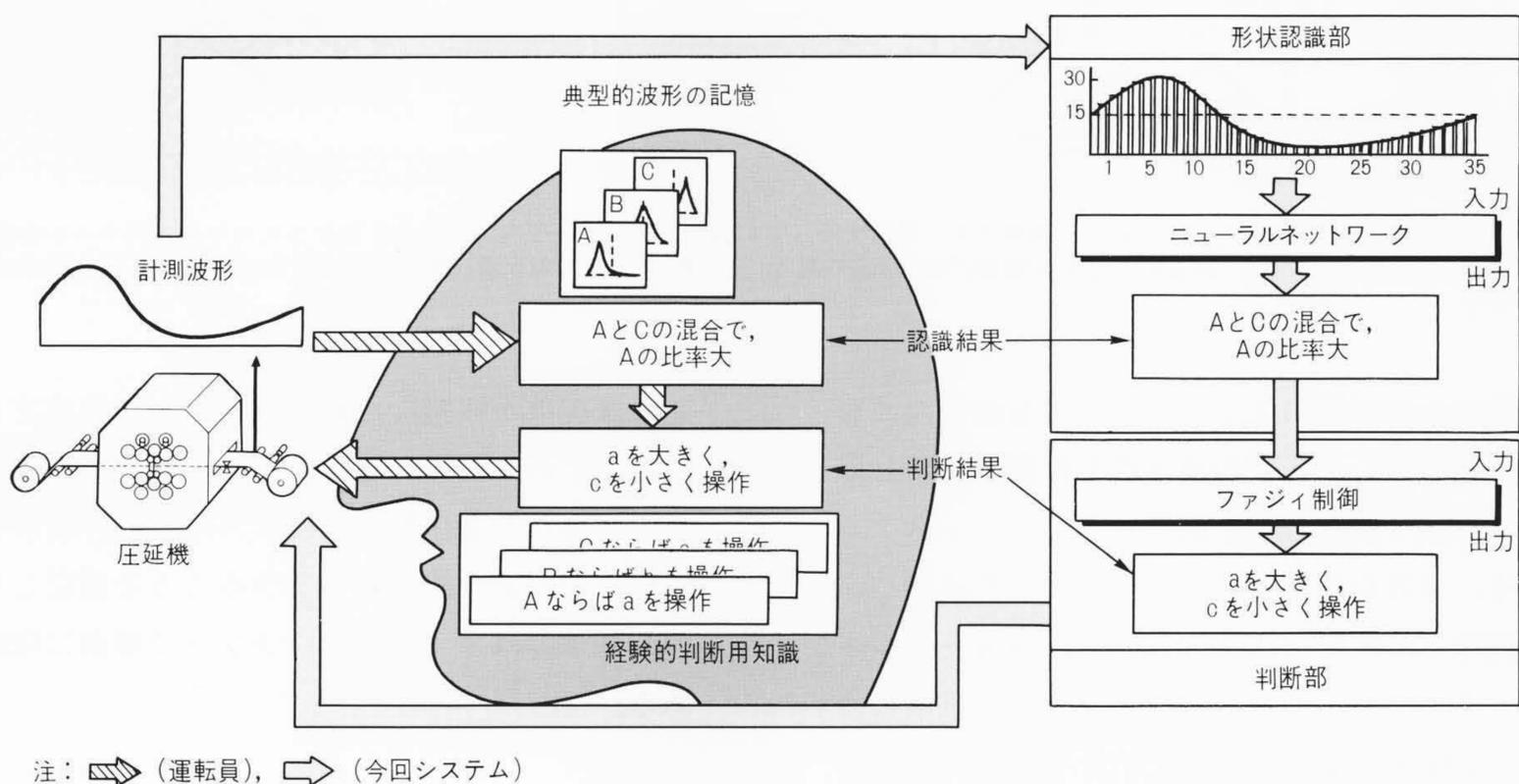
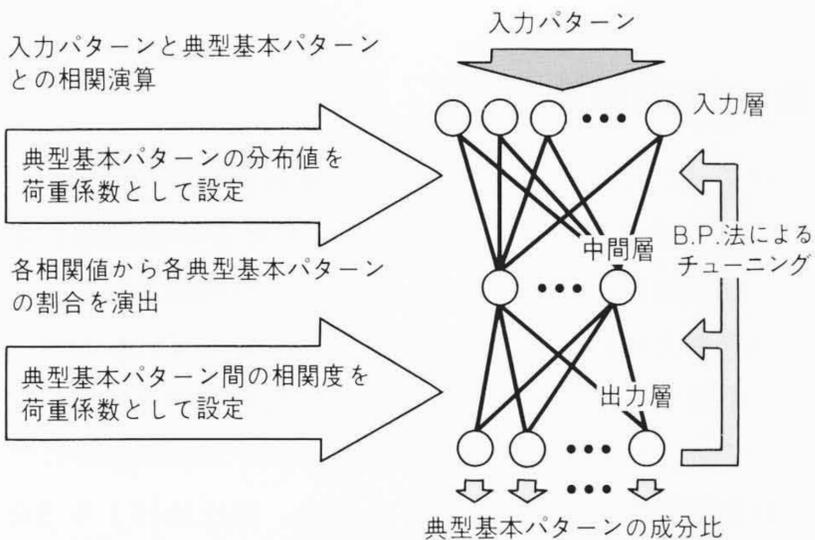


図1 運転員の動作と提案制御方式の動作の関係 運転員の制御動作は、制御量である形状波形の認識と過去の経験によって得た知識を用いて操作量を推論する過程から成る。形状波形の認識にニューラルネットワークを、操作量の推論にファジィ推論を用いることで運転員の制御動作を模擬することができる。

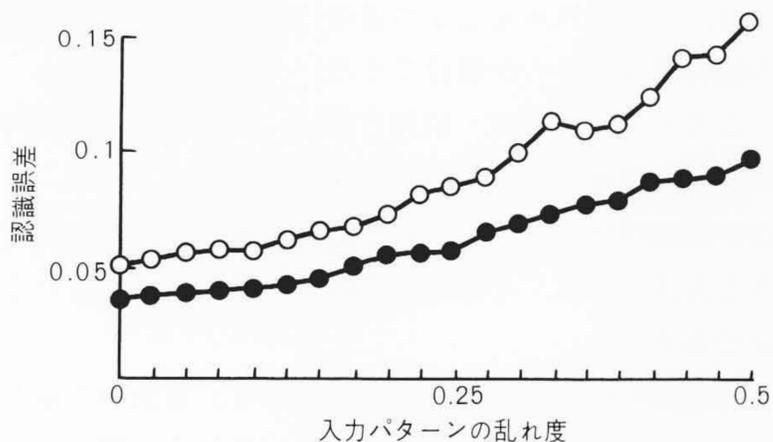
係をネットワークで実現させるように荷重係数を決定する(図2参照)。前処理されたネットワークに対しては、従来と同様に学習を行う。このように設定することで、任意の入力パターンとその中に含まれる典型基本パターンの割合の中の線形関係をネットワークで実現できる。

以上のような前処理を行った場合と行わなかった場合との認識精度を比較したシミュレーションの結果を図3に示す。乱数を加える前の入力パターンに含まれる各典型基本パターンの割合と実際にニューラルネットの求めた割合の差の二乗和を認識誤差とする。シミュレーショ



注：略語説明 B.P.法 (Back Propagation法；誤差逆伝搬学習法)

図2 ネットワークの線形近似による前処理例 学習用のデータに関する既知情報として、データ間の線形関係を重回帰分析から求め、その線形関係を学習の前処理としてニューラルネットワークで実現させる。これは、入力層と中間層間の荷重係数に各典型基本パターンの分布値を設定し、中間層と出力層間の荷重係数に各典型基本パターンの分布値の積和(相関度)を設定することで実現できる。



注：● (前処理ありニューラルネットワーク), ○ (前処理なしニューラルネットワーク)

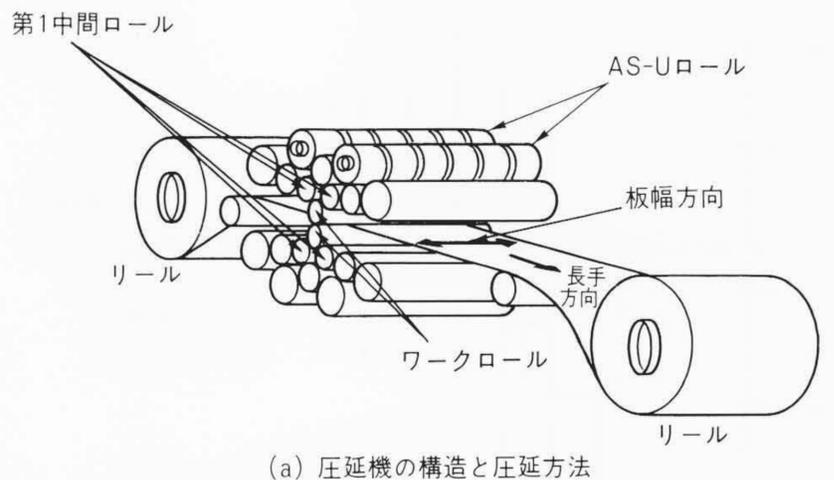
図3 認識能力シミュレーションの結果 認識誤差判定に用いた入力パターンは、あらかじめ学習に用いたパターンの分布値全体に乱数を加えたものであり、乱れ度とはそのときの乱数の最大の大きさの入力パターンに対する割合である。シミュレーション結果では、あらかじめ前処理を行ったネットワークのほうが認識誤差が低くなり、認識精度がよくなったことがわかる。

ンの結果からわかるように、前処理を行うことで、より精度よく入力パターンの成分分析が行えるので、雑音などに強いネットワークが実現できる。

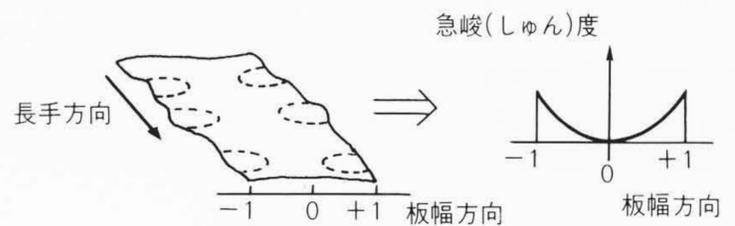
4 圧延機の形状制御

圧延機は、鉄、ステンレス、アルミニウムなどの金属材料の板を薄くするための機械であり、図4に示すように複数のロールで構成している。圧延はワークロール間に通した被圧延材を、ロールにかけた圧延圧力でつぶすことによって行われる。このとき、上下ロールの間隔が板幅方向で一定にならないと被圧延材にかかる圧延圧力が不均一となり、板のつぶれ方が異なる。このため、圧延後の被圧延材の伸びが板幅方向で異なる(板幅方向の被圧延材の伸びの分布を形状と呼び、急峻(しゅん)度で表す(同図(b)参照))。伸びの分布が一定にならないと、板切れや下工程での生産効率の低下などの問題が発生するため、形状制御で伸びの分布を一定にしている。

センチミアミルは、図4に示すように上下合わせて20本のロールで構成される圧延機である。形状制御の操作端として中間ロールシフト、AS-Uロールがある。被圧延材の形状は、ワークロールからの圧延圧力の分布で決定されるため、操作端である中間ロールシフト、AS-Uロールを操作しても、何本ものロールを経由して力が伝達す

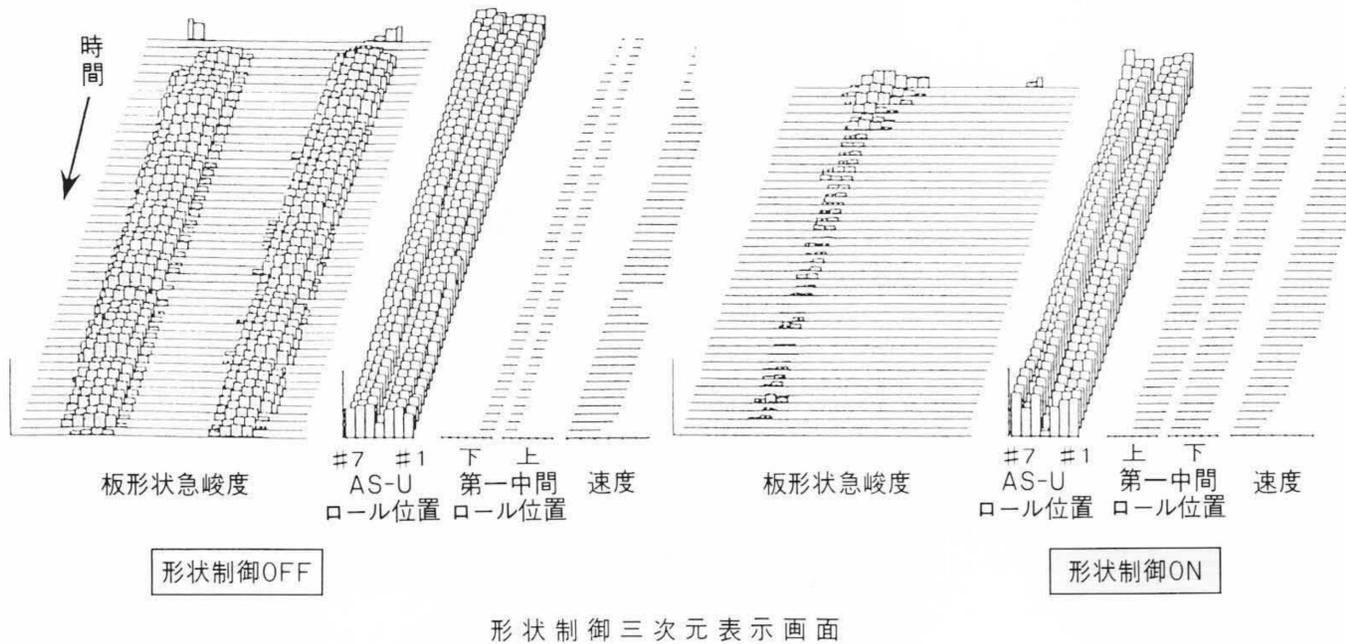


(a) 圧延機の構造と圧延方法



(b) 板形状と板幅方向の伸びの分布

図4 圧延機の構造と形状の概念 圧延機は複数のロールで構成する機械であり、ワークロール間に被圧延材を通すことによって圧延を行う。被圧延材の板幅方向の伸びの分布を形状と呼ぶ。



注：板形状急峻度（目標形状からの偏差を示す。）
 AS-U（右から順に、AS-U#1から#7までのロール位置を示す。）
 第1中間（上下第1中間ロールのシフト量を示す。）

図5 形状制御オンライン実績データ 形状制御を導入することにより、板形状を目標形状に近づけることができるため、形状偏差が激減している。また、形状偏差に対応して、AS-U、中間ロールが適切かつ安定して動作していることがわかる。

るので制御モデルを作成するのは困難である。そのため、従来は、形状制御が行われていなかった。操作員が、経験から得た形状と操作端の関係の知識をもとに制御操作を行っていたのである。

今回開発したパターン計測・制御方法を適用すれば、操作員の知識を活用した制御ができると考え、形状制御に適用することにした²⁾。

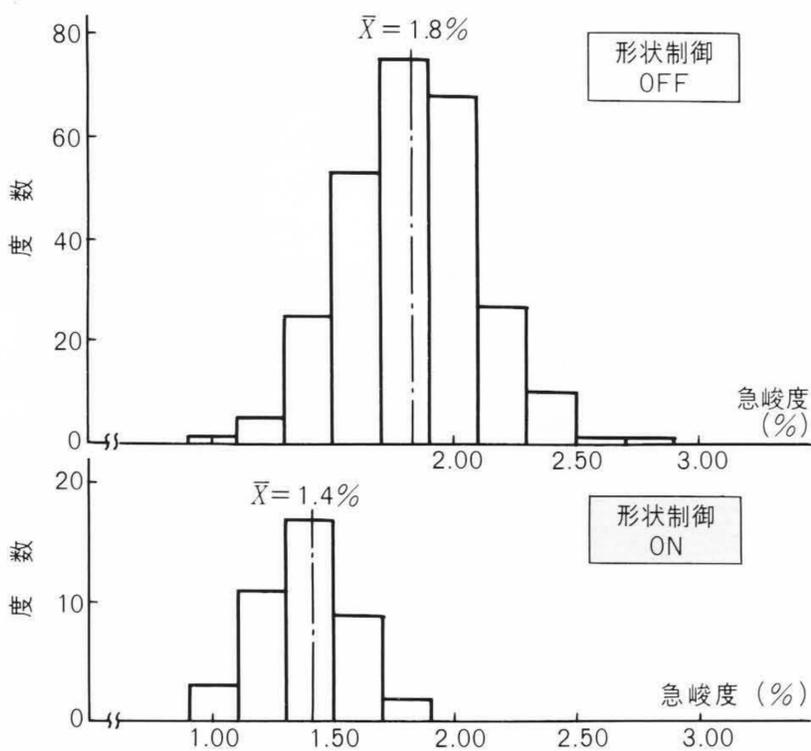


図6 形状制御の効果 各圧延コイルごとに形状急峻度の平均値をとり、度数分布をとった。形状制御をONすることにより、形状急峻度が平均1.8%から1.4%に減少していることがわかる。

5 実適用結果

パターン計測・制御方法を圧延機形状制御に実適用して効果の検証を行った。形状の三次元表示を図5に示す。形状制御を導入することにより、形状偏差が減少していることがわかる。形状の変化に対応してAS-Uロール、中間ロールが動作しており、形状制御が適切かつ安定して動作しているのも確認できる。

形状制御の効果を定量化するため、被圧延材1本当たりの形状急峻度の平均を求めて、度数分布で表したものを図6に示す。形状制御のON、OFFに伴い、形状急峻度は減少しており制御効果が確認できる。

6 おわりに

パターン計測・制御方法の概要、およびそれを圧延機形状制御に実適用した結果について述べた。実適用結果では、この方式が安定かつ適切に動作し、形状急峻度が大幅に減少するのが確認できた。

このパターン計測・制御方法は、圧延機の形状制御以外にも、制御モデルを作成するのは困難であるが、操作員が制御操作を行えるという制御対象に広範囲に利用できる方法である。今後は適用範囲をさらに広げていく予定である。

圧延機形状制御への実適用にあたり、多大のご協力をいただいた日本冶金工業株式会社川崎製造所殿に対し深謝する。

参考文献

- 1) 堺, 外: ファジィ理論による形状制御, 日立評論, 71, 8, 803~808(平1-8)
- 2) 服部, 外: ニューロ・ファジィ応用圧延機形状制御システム, 日立評論, 73, 8, 749~756(平3-8)