

VI-201 シールド自動方向制御へのファジィ・ニューラルネットワークの適用（その2）

戸田建設(株) 正会員 樋口 忠 伊藤 耕一
同 上 正会員 奥村 利博 柳楽 毅

1. はじめに

シールド機の自動方向制御においては、工法、シールド機の形状、土質を考慮した制御のためにファジィ制御を適用している事例が一般的である。しかしファジィ制御においては、ファジィルールやメンバーシップ関数の同定あるいは調整には専門家の知識はもとより多大な労力が必要とされるという問題がある。そこで筆者らはこの問題を解決するために、制御量導出過程においてファジィ推論にニューラルネットワークを融合（ファジィ・ニューラルネットワーク：FNN）させ、メンバーシップ関数をバックプロパゲーション（BP）による学習で自動調整するシールド自動方向制御システムを開発した。本報では前報に引き続き自動方向制御におけるFNNの適用性について実証施工データをもとに報告する。

2. 方向制御とFNN

(1) FNNによる推論、学習の一体化

土質の変化、直線施工・曲線施工といったさまざまな施工状況に最適な制御を実現させるには、状況に合わせて随時メンバーシップ関数を最適なものに調整していく学習機能が必要である。本システムでは学習機能とファジィ推論を融合させるにあたり、ファジィ推論の過程とニューラルネットワークのうちの多層ネットの形状がきわめて似ていることに着目して、多層ネットでのバックプロパゲーション（BP：誤差逆伝搬学習則）によるシナプス結合荷重の学習と同じように、メンバーシップ関数の調整を行うことを考えた。即ちファジィ推論の過程をニューラルネットワーク（NN）と重ね合わせたファジィ・ニューラルネットワーク（FNN）により、推論、学習の一体化を図っていることが特徴である。（図-1）

メンバーシップ関数の調整では、三角形を模したシグモイド関数で表現されたファジィ集合の傾きと中心位置をシナプス結合荷重とし、それらをBPにより学習させている。（図-2）

(2) 学習によるメンバーシップ関数の調整

① 学習データ

1 制御単位（200mm）毎の初期ずれ量 $\delta_{i,k}$ 、ずれ角 $\theta_{i,k}$ および制御後ずれ量 $\delta_{j,k}$ 、ずれ角 $\theta_{j,k}$

② 教師データ

デファジィ演算における重心位置の修正値

③ 学習のタイミング

セグメント組立中に任意リングを対象に実行（exp. 過去10リング分の学習に約10分）

3. 実証施工結果

自動方向制御における水平、鉛直偏位に対する学習効果を確認するために、学習前・後のリングでの偏位量を比較し、制御性の評価結果を表-1に示した。尚制御評価値は水平・鉛直方向の平均値である。これに

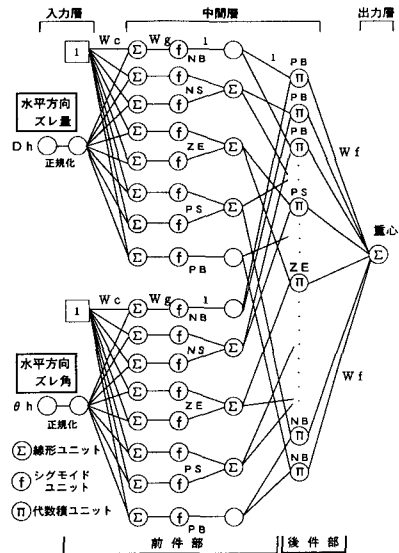


図-1 ファジィ・ニューラルネットワーク

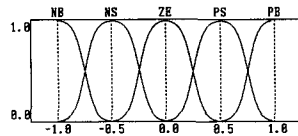


図-2 シグモイド関数によるメンバーシップ関数

よると学習後の制御性は学習前と比較して改善され、FNNによる学習が適切に行われたことが確認された。

表-1 学習前、学習後の偏位量 【単位：mm】

	水平偏位		鉛直偏位			制御評価値	
	平均値	計画分散	平均値	計画分散		平均値	計画分散
学習前	5.17	39.11	10.97	122.23	学習前	8.07	161.34
学習後	4.00	23.71	3.74	20.97	学習後	3.87	44.68

(1)水平方向

水平方向では学習前でのずれ量が小さい範囲内（ $\pm 10\text{mm}$ 程度）であったため、顕著な学習効果は現れていない。FNNによる学習では、シールド機の掘進動作の傾向やクセ（例：左に曲がりやすい等）がある程度明確な場合に、特にはっきりしたメンバーシップ関数の形状の変化となって現れる。従って $\pm 10\text{mm}$ 程度の動きの中では若干のメンバーシップ関数の変化が認められるにとどまり、学習効果も小さくあらわれている。

(2)鉛直方向

鉛直方向では学習前には約 -10mm で推移する傾向を示していたものが、学習後には計画線に漸近する動きとなっている。（図-3）

学習前に -10mm 前後で推移している要因としては、シールド機の掘進傾向に対して制御の度合いが弱いということであり、言い換えればファジィメンバーシップ関数が施工状況にあった適切な形状ではないということである。学習後にはこれらの傾向がメンバーシップ関数の形状の変化となって現れている。（図-4）

制御精度の向上を図るためには、今回のような水平、鉛直方向のファジィメンバーシップ関数をタイムリーに学習させる方法の他に、制御ルールを変化させる方法やメンバーシップ関数の最大・最小スパンを変化させる方法等が考えられる。いずれの方法も制御度合いをデリケートに変化させながら最適な制御に収斂させて行くには多大な経験と労力が必要となると考えられる。本システムではFNNを採用することによりそれらの問題が解決され、現場技術者にとって扱いやすい自動方向制御システムを提案できたと考えている。

4. おわりに

今回の実証施工現場では自動方向制御により $\pm 20\text{mm}$ の施工精度を確保できた。本システムの利点としては過去の類似工事データがない場合でも、当該現場のみのデータを随時学習させることにより施工状況を反映した掘進が可能なことにある。今後はより施工条件が厳しい工事への展開を図って行きたい。

鉛直方向偏位量

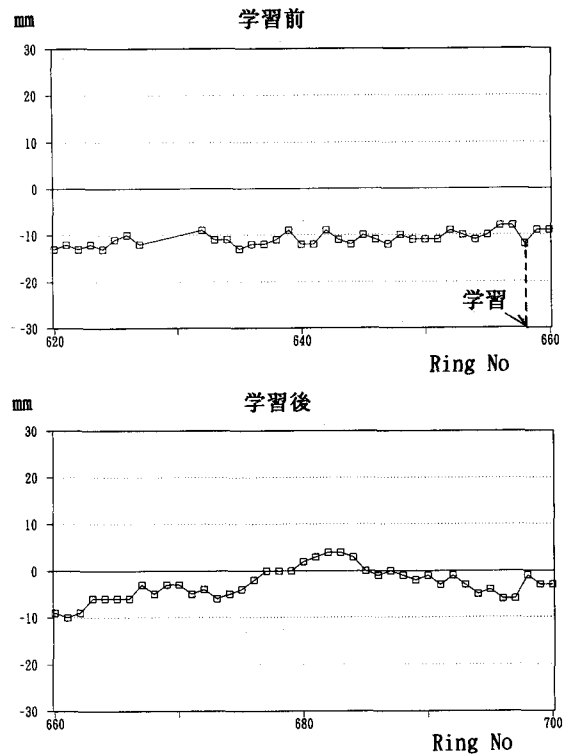


図-3 偏位量における学習効果（鉛直方向）

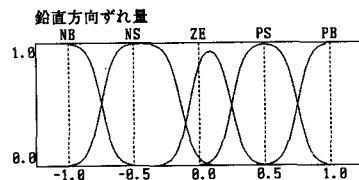


図-4 メンバーシップ関数の変化