

# 特集 ニューロ制御を用いたオートエアコンシステムの開発\*

- ニューロ制御適用による快適性の向上 -

Development of Automatic Climate Control with Neural Control

- Improvement of Thermal Comfort by using Neural network -

河合孝昌

梶野祐一

立石雅彦

小柳一敏

Takayoshi Kawai

Yuichi Kajino

Masahiko Tateishi

Kazutoshi Koyanagi

Automatic climate control system has been developed to improve cabin thermal comfort. However, it is getting very hard to develop more comfortable and high-level system with current technique. Now, this report introduces completely new automatic climate control system applied “Neural Network” to achieve high flexible thermal comfort.

**Key words** : Air Conditioning, Comfort, Amenity / Automatic Climate Control, Neural Network, Neuro

## 1. まえがき

オートエアコンは、さまざまな要求に対し、年々開発が進められている。近年では、更なる快適性向上、空調装置の高機能化、開発期間短縮等の要求もあり、より高機能なオートエアコンが望まれている。

これらの要求に答えるべく、オートエアコンとして上下左右独立コントロール、前後デュアル独立コントロールに代表されるゾーン空調システム等を世に出してきた。一方、その制御技術は、1980年代に考案されたTAO制御(TAO: “必要吹き出し温度”を基に室温を一定に保つ線形制御)をベースとしており、これに複数の補正式を追加することにより高機能化に対応してきた。しかし、更なる前記要求に対し、その限界が見えてきた。

そこで我々は、エアコンの機能向上をサポートできる、より自由度の高い制御方法が必要と考え、新たに非線形制御手法であるニューラルネットワーク制御(以下ニューロ制御と呼ぶ)をオートエアコンへ適用し、今回、良好な結果を得たので報告する。

## 2. 従来のオートA/C制御(TAO制御)とその課題

従来のオートエアコンは、乗員が希望の温度を設定すると空調システムの吹き出し温度、風量、風の吹き出しパターンなどを自動調整することにより、車室外の温度や日射の強さによる影響を自動補正し、車室内温度を一定に保つようにコントロールしている。この

(社)自動車技術会の了解を得て、1998年秋季大会学術講演会前刷集 No.94 より加筆転載

ベースとなるのが、TAO制御と呼ばれる車両熱負荷をベースとした線形制御式である。

TAOは、次式よりなる。

$$TAO = K_{set} \cdot T_{set} - K_r \cdot T_r - K_{am} \cdot T_{am} - K_s \cdot T_s - C \quad (1)$$

$K_{set}$ ,  $K_r$ ,  $K_{am}$ ,  $K_s$ : 各種係数

$T_{set}$ : 設定温度,  $T_r$ : 車室内温,  $T_{am}$ : 外気温,

$T_s$ : 日射量,  $C$ : 定数

従来のオートエアコンシステムは、この線形式を基に吹き出し温度、風量、吹き出しパターンを決め制御している。線形制御ゆえさまざまなユーザーからの非線形な要求に完全に対応することは困難であった。

## 3. ニューロ制御

Fig.1にニューロ制御の構成を示す。ニューロは、生物の神経系の情報処理を数学的に実現したものであり、生物の神経細胞を模したニューロンを層状に配置し、入力に対する出力を求めるものである。

その作動は、複数のニューロンからの出力を入力とし、シグモイド関数と呼ばれる非線形関数を通して出力するという単純な計算を繰り返すことにより全体として非線形な出力を作り出す。

ニューロ制御は、多量の入出力データを与えるとその相関係数を自動生成できるという特徴を持っている。

このニューロ制御をエアコンに適用するための手順をFig.2に示す。

まず、実車評価等で得られた空調目標特性から、ニューロに相関係数を生成するために必要な教師データ

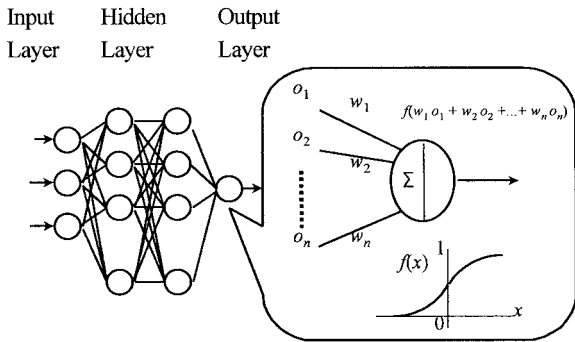


Fig.1 Architecture of neural network

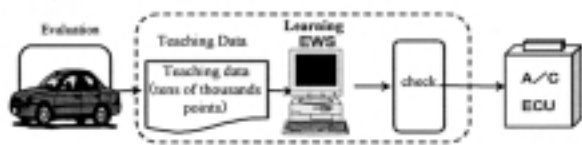


Fig.2 Process of application

を作成する。この教師データは、「こういう条件の時(入力), こういう出力にしたい」という入出力のデータの集合である。このデータを基にニューロの学習機能を用いニューロの結合係数を生成する。そして、この結合係数をエアコンのECUに組み込んで製品として完成させる。この完成した製品は、はじめに与えた空調目標値を満足するものとなる。

従って、ニューロ制御では、与える教師データそのものが、制御則、いわゆる従来の制御ロジックに相当することとなる。

#### 4. 風量ニューロ制御の効果

ニューロ制御をエアコンの基本制御である風量制御に適用した。本適用例は、従来できなかった中間期のクールダウン時の風量増加と他条件の快適性を両立した例を示す。

Fig.3に、外気温10~20の中間期における快適な風量パターンを複数のパネラーより求めたグラフを示す。従来品の制御パターンに対し、乗員の要求パターンは大きくかけ離れている条件がある。

これは、乗車初期、日射により室温が高いにもかかわらず、従来品の制御では、1つの風量パターンしか持てなかったため、低風量となっていたことが原因である。また、従来品の制御でこれを改良するように中間期の制御パターンを変更すると1つの風量パターン

しか持てないため、夏場(外気温30程度)には、風量が多すぎて不快になってしまうという問題が発生してしまう。つまり、中間期には、従来品よりも大風量を、夏場には、従来品と同じ風量を実現すれば乗員が満足することがわかる。

これを教師データとして、ニューロに与え学習する。この特性をFig.4に示す。この例は、日射量500W/m<sup>2</sup>に固定したデータでありX軸に外気温、Y軸に室温、Z軸にブロウ電圧を示す。外気温10~20で風量を持ち上げた形になっている(黒丸部分)。

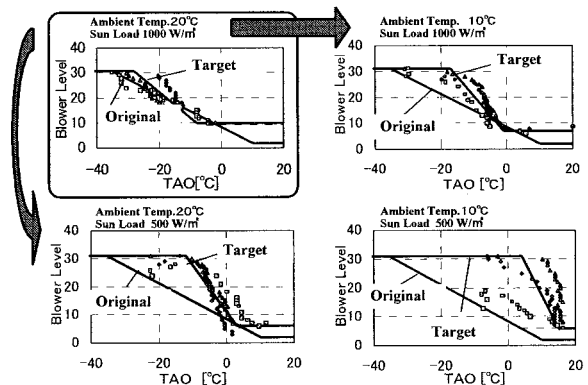


Fig.3 Target characteristic

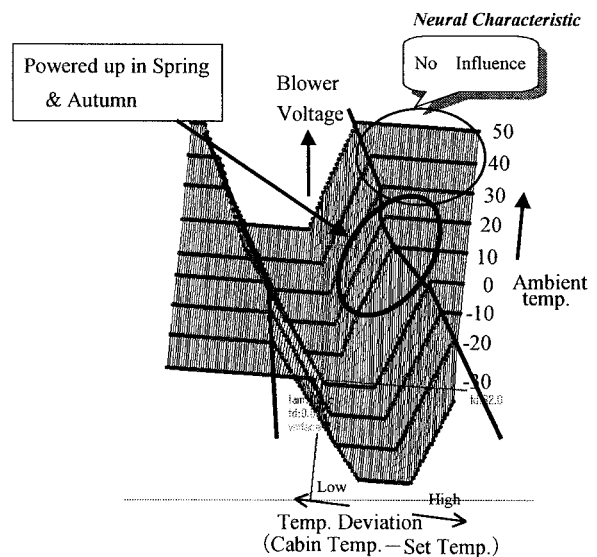


Fig.4 Characteristic of blower control

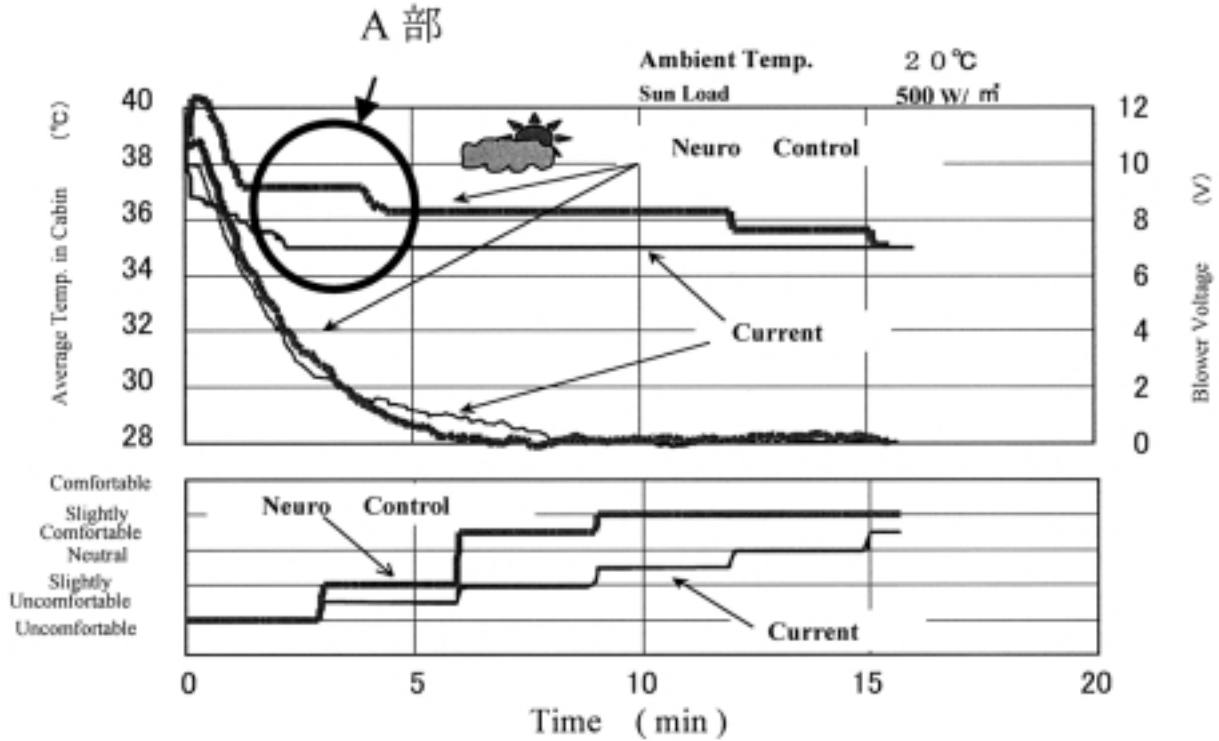


Fig.5 Result of evaluation in vehicle

5. 実車フィーリング評価

このシステムを実際のECUに組み込み、実車にてフィーリング評価を実施した。

Fig.5は、外気温20℃、日射500W/m<sup>2</sup>の環境条件時にニューロ制御を行った場合の車室内平均室温とブロワ電圧と更にそのときの快適感申告の推移を示す。また、従来品の制御と比較して示したデータである。

ニューロ制御の場合、クールダウン初期には狙いどおりに従来品制御よりも風量増加が見られ(図中A部)、定常時の風量は従来品と同等を実現している。このため、快適感申告においても従来品に比べ向上している。更に、他条件では、室温が安定する時間が早くなるという結果も得られた。

なお、この効果を先の快適パターンを求めたパネルとは別のパネルにてフィーリング評価をしたところ、同じく快適感の向上を確認できた(Fig.6)。

6. その他の効果

他の快適性向上効果として左右に設定温度を持ち、車両の左右空間を独立に温度コントロール可能なシステム、いわゆる左右独立温度コントロールシステムに適用した場合をFig.7に示す。

従来は、左右の室温を設定温度にしたがって独立に

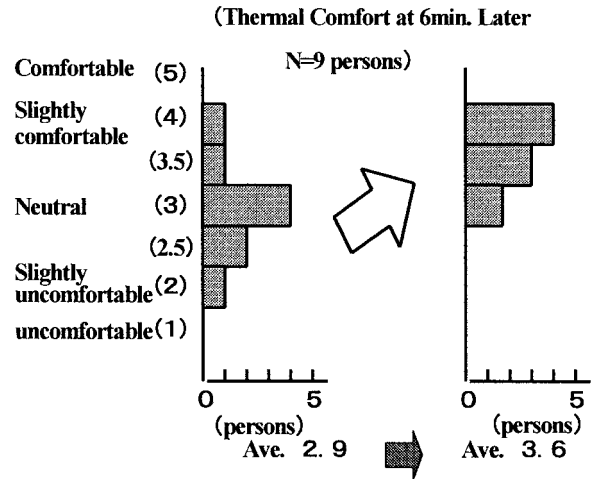


Fig.6 Feeling test

コントロールするために、制御の基本式であるTAO式に複数の補正項を加えていた。しかし、この補正項は線形式の組み合わせであるため、ある条件下での独立温度コントロール性を満足させると他条件で満足させることができないという課題があった。

これに対し、ニューロ制御では、非線形な特性が得られるため変更したい環境条件のみ特性変更可能で、他条件に影響を与えない。従って、すべての環境条件下で、目標特性を満足させることが可能となる。

item	Neuro Control	Current Control
Characteristic Change	<p>Partial characteristic changed possible</p> <p>Ave. Temp in Cabin (°C)</p> <p>Set point at Passenger</p>	<p>A shortage of change</p> <p>Ave. Temp in Cabin (°C)</p> <p>Set point at Passenger</p>
Test Pattern	1 test	6 tests

Fig.7 Evaluation of Independent temperature control

更に、ニューロ制御では部分変更が可能のため、従来は一部の仕様変更時にすべての実験をやり直さなければいけなかったものが、変えた条件のみ評価を行えばよく実験評価工数低減にも効果があった。

7.まとめ

オートエアコンの新制御としてニューロ制御の適用開発を行った。

その結果、風量、吹出温度制御にニューロ制御を適用することにより、従来制御ではできなかった中間期のクールダウン時の風量増加と夏場のクールダウンを両立した風量制御を実現、また、左右独立温度コントロール制御特性の向上、再実験評価工数低減が図れることを実証した。

本システムは1998年5月に発売されたトヨタ「プログレ」に搭載されている。



< 著 者 >



梶野 祐一  
(かじの ゆういち)  
冷暖房開発1部  
新オートA/Cシステム開発に従事。



立石 雅彦  
(たていし まさひこ)  
基礎研究所 第2研究  
機械学習の研究に従事。



河合 孝昌  
(かわい たかよし)  
冷暖房開発1部  
新オートA/Cシステム開発に従事。



小柳 一敏  
(こやなぎ かずとし)  
ボデー技術1部  
A/C ECUの要素技術開発に従事。