

3.28 仙台市地下鉄南北線自動列車運転装置

仙台市交通局
 (株)日立製作所
 庄子 俊夫
 関野 真一
 安倍 誠二
 田代 良二
 菅田 雅文
 新井 直

1. はじめに

昭和62年7月に開業した仙台市地下鉄南北線では、効率の良い運営と、質の高いサービスの両立を目的として各種の自動化設備を導入し、トータルシステム化を図っている。自動列車運転装置(ATC)は、その一環として採用したもので、運転制御に加えて、データ伝送による地上運行管理システムとの連携、車内案内放送の自動制御などの機能を有し、ワンマン運転実施のための中枢機器となっている。本稿では、このATCシステムの構成、制御内容について概要を紹介するとともに、走行試験結果について報告する。

2. システムの概要

図1に、自動列車運転システムの構成を示す。ATCは列車運転に係わる制御・情報の中心部分として位置付けられ、以下に示す機能を有している。

- (1) 自動運転制御 : ATCによるバックアップのもとに、駅出発から次駅停止までの一連の運転制御を自動的に行なう。
 - a) 出発制御 : ATC信号および車両の状態により出発の可否を判定し、出発指令を受け付けて列車の走行を開始させる。
 - b) 定速走行制御 : 制限速度-3km/hに定めた目標速度に従い、列車速度を制御する。

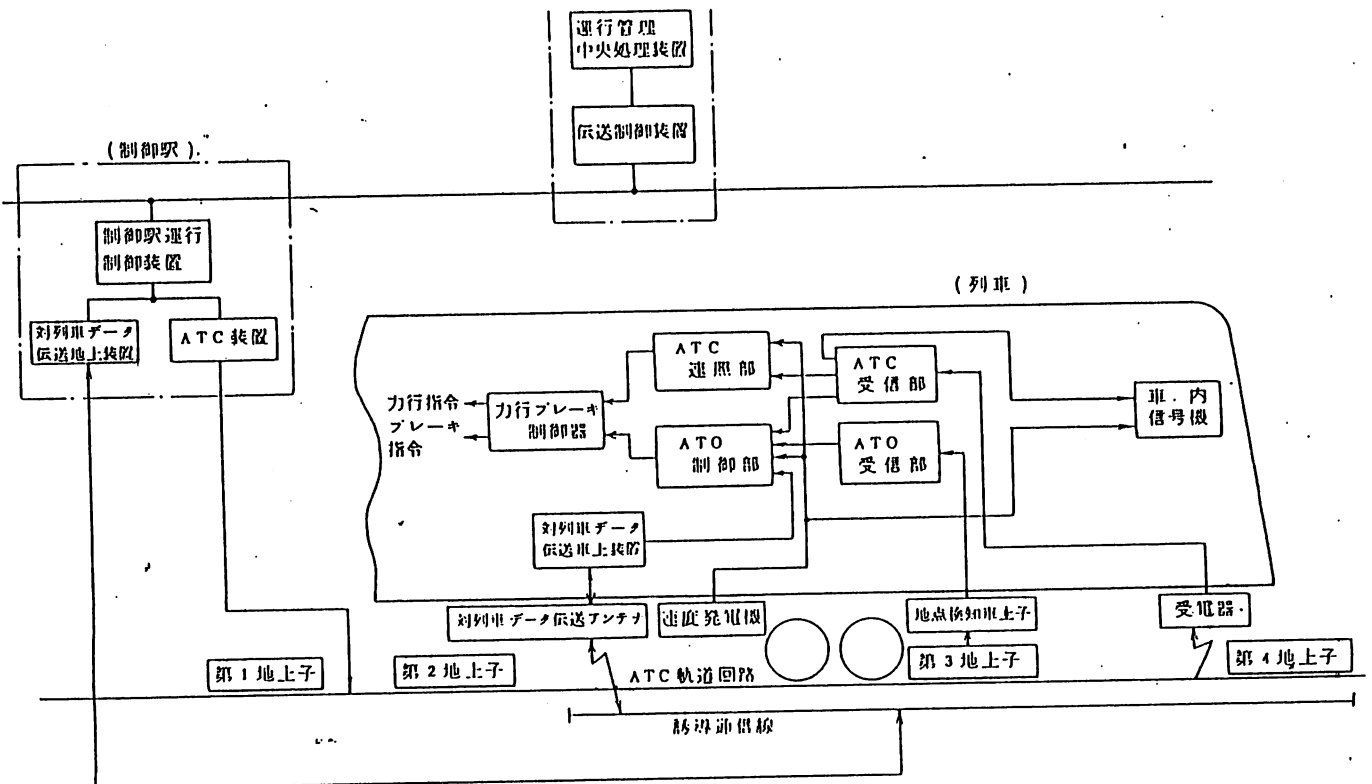


図1. 自動列車運転システムの構成

- c) 惰行制御 : 運行管理システムからの指示により、通常走行 (N走行) が指定された場合に、駅間の所定区間で惰行を行なう。
回復走行 (F走行) が指定された場合には惰行は行なわない。
 - d) 減速制御 : 制限速度が恒久的に低下している区間の手前において、除々にブレーキをかけ、ATCブレーキによるショックを緩和する。
 - e) 定位置停止制御 : 地上子の検知により求めた次駅停止位置までの距離に応じて列車を減速させ、所定位置に停止させる。
 - f) 転動防止制御 : 停車中の転動を防ぐため、ブレーキを指令する。
- (2) データ伝送制御 : データ伝送設備を有する駅 (16駅中9駅) において運行管理システムとの通信を行ない、編成番号、運行番号、駅コード、放送コード等の情報を交信する。
- (3) 自動放送制御 : 走行区間、放送コードに従ってIC音源を起動し、車内案内放送 (次駅案内、到着予告、出発予告) を自動的に行なう。
- (4) モニタ情報出力 : 駅コード、走行モード、滑走検知、故障検知などの情報をモニタリング装置に出力する。

以上に述べた機能は、図2に示すように、大きく運転制御系、情報制御系に区分され、ATOの中心となる制御部マイコンユニット (写真1) もこの区分に従った球結合のマルチプロセッサ構成としている。このため、情報制御系がダウンしても自動運転は可能であり、逆に運転制御系がダウンしたり手動運転に切換えた場合でも、データ伝送や自動放送は行なえるようになっている。

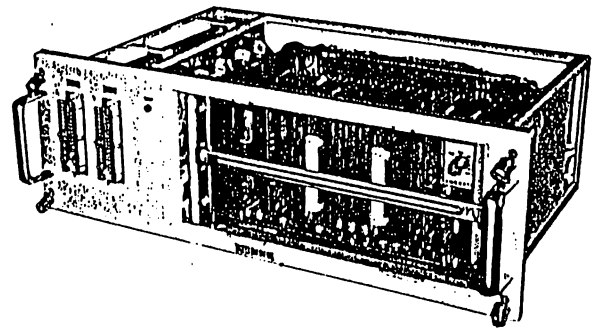


写真1. ATO制御部の外観

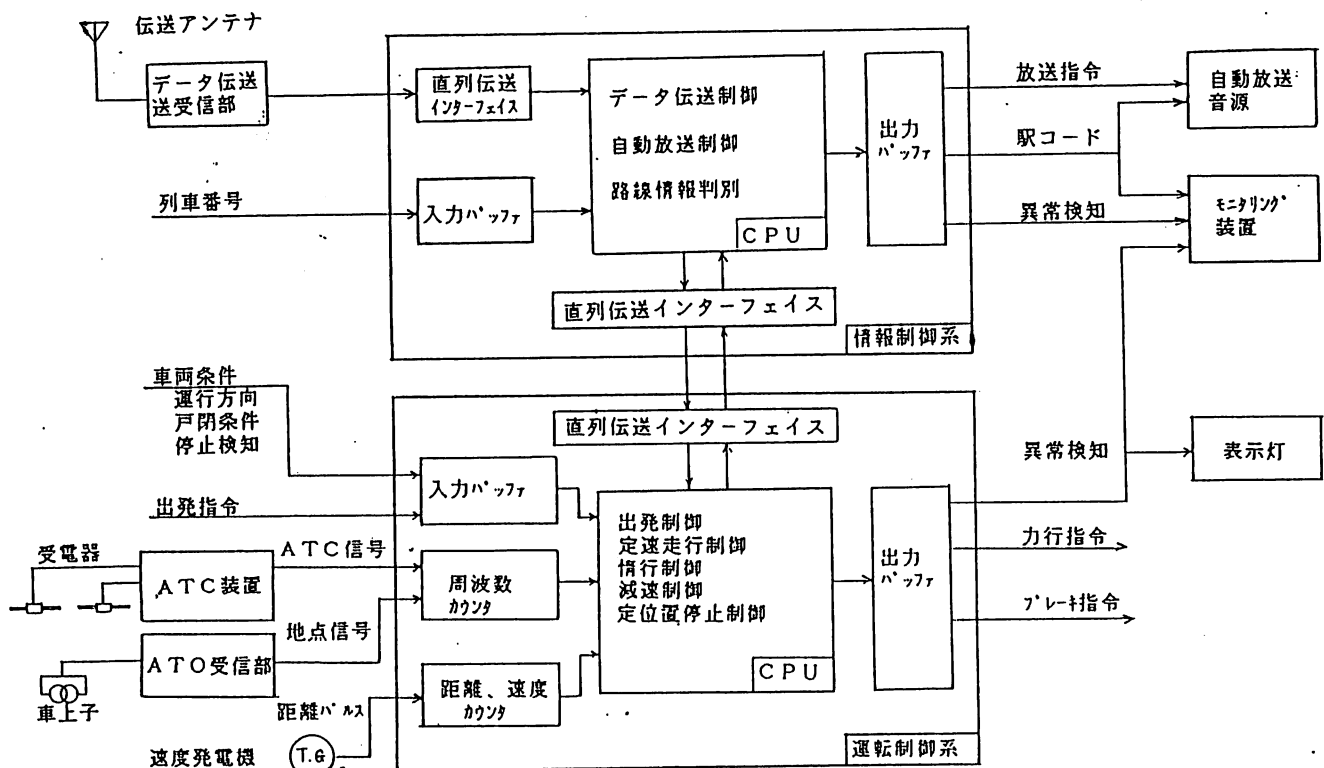


図2. ATO制御部機能ブロック図

3. ATOの制御方式

従来、ATOでは、目標速度パターン（定速走行制御中は一定速度、減速及び停止制御中は一定減速度）に対する速度偏差に比例した力行・ブレーキ指令を出力する比例制御方式が採用されていた。これに対して今回用いた制御方式は、予測される制御結果が最も望ましいと評価された制御指令を選択するもので、この評価内容の表現にFuzzy論理を用いるところから、予見Fuzzy制御方式と呼んでいる。

以下にこの制御方式の概要を述べる。

3.1 Fuzzy集合

Fuzzy集合は一般の集合の概念を拡張したものである。一般の集合ではある要素が集合に含まれるか否かを“0”か“1”かで表わすのに対し、Fuzzy集合では要素が集合に含まれる度合いを0～1の連続値で表わす。このため、境界のはっきりしない定性的な表現を数量化して計算機処理することが可能となる。（図3）ATOでは、このFuzzy集合を列車運転の制御則における評価の表現に用いている。

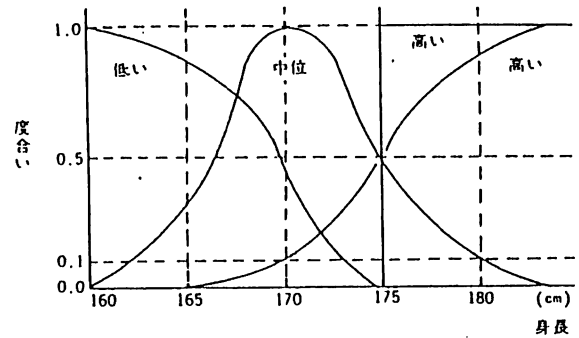


図3. Fuzzy集合の例

3.2 ATOの制御則

ATOの制御を、定速走行制御、定位置停止制御の2つのモードに区分し、各々に対して、人間の経験に基づく制御規則（制御則）を設定している。一例として定位置停止制御の制御則を表1に、またこの制御則中に記述される評価内容を表現するために、定義したFuzzy集合の特性関数（メンバーシップ関数）を図4に示す。ATOではこの制御則に指定された指令を選択した場合に予測される結果を算出し、各評価の成り立つ度合いを求めて、この指定に対する総合的な満足度の最も高い指令を選び出す。

表1. ATOの制御則の例（定位置停止制御）

No	制 御 則
1	もし、ブレーキ開始点までの余裕が“大きい”なら、力行7ノッチとする。
2	もし、ブレーキ開始点までの余裕が“中位”なら、力行4ノッチとする。
3	もし、ブレーキ開始点までの余裕が“小さい”なら、ノッチオフとする。
4	もし、ブレーキ開始点までの余裕が“ない”なら、ブレーキ2ノッチとする。
5	もし、ブレーキ7ノッチで、オーバランの判定が“危険”なら、非常ブレーキとする。
6	もし、ブレーキ7ノッチで、目標を“オーバ”しそうなら、ブレーキ7ノッチとする。
7	もし、現在のノッチで、“うまく停止”しそうなら、ノッチを変えない。
8	もし、ブレーキを1ノッチゆるめて、“乗心地よく”、“正確に停止”しそうなら、1ノッチゆるめる。
9	もし、ブレーキを1ノッチ強めて、“乗心地よく”、“正確に停止”しそうなら、1ノッチ強める。
10	もし、ブレーキを2ノッチゆるめて、“乗心地よく”、“正確に停止”しそうなら、2ノッチゆるめる。
11	もし、ブレーキを2ノッチ強めて、“乗心地よく”、“正確に停止”しそうなら、2ノッチ強める。
12	もし、ブレーキを3ノッチゆるめて、“乗心地よく”、“正確に停止”しそうなら、3ノッチゆるめる。
13	もし、ブレーキを3ノッチ強めて、“乗心地よく”、“正確に停止”しそうなら、3ノッチ強める。

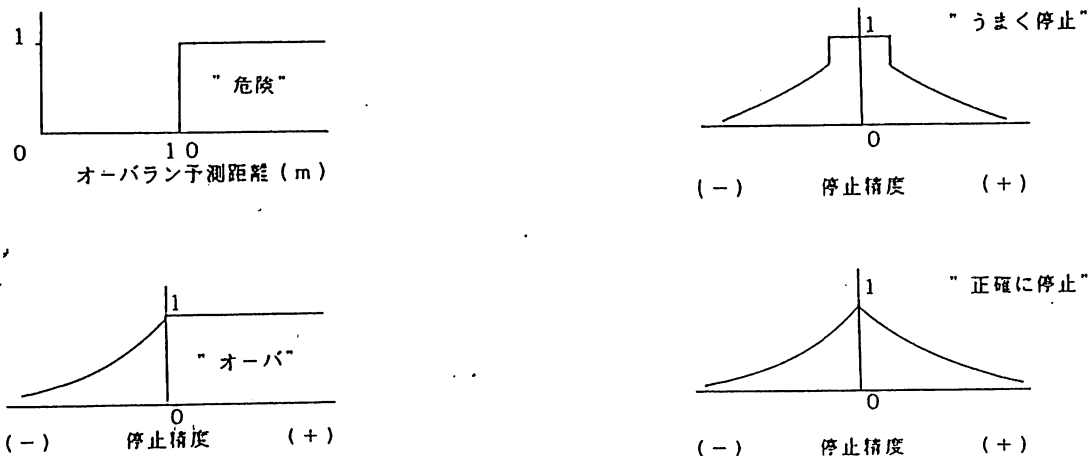


図4 メンバーシップ関数の例

以上に述べた演算処理を100ms間隔で実行し、時々刻々の制御指令を決定してゆく。定速運転時についても、評価内容の組み合わせが速度偏差と乗り心地などに変わるが、基本のアルゴリズムは同様である。

3.3 Fuzzy制御方式の特長

上述したように、本制御方式で指令決定の根拠となる評価の内容は、主観的に定義したメンバーシップ関数によって決定する。このため、従来方式のように画一的に、あるいは解析的にパラメータを調整することができないという弱点はあるが反面、状況に応じて評価の内容や基準を変えて対応している人間のノウハウや経験的な要素を取り込みやすく、また直接制御目的を記述した制御則を用いることができるという点で、柔軟性の高い制御方式といえる。

4. 走行試験結果

昭和60年3月の試作車両搬入以来、車両製作と地上設備工事の進行に応じて、ATOの試験・調整を行ってきたが、ここでは最終段階での車両性能試験の結果の概略を報告する。

駅間走行においては、定速追従性の設定許容値(目標速度 $\pm \frac{3}{5}$ km/h)を逸脱しない範囲で極力ノッチの変化を抑制した定速走行を行ない、さらに減速制御により省エネ化を図っている。また停止制御時は、なめらかに減速を開始し、高速域ではブレーキノッチを保ち、定速域ではブレーキをゆるめぎみにして停止するといったきめの細かい制御を実現している。図5に代表的な走行試験のオシロデータを示す。

停止精度については、図6に示すように従来ATOと同等の結果が得られ、また荷重変動に対してもほとんど影響を受けないことを確認した。さらに、全19編成全駅間での停止精度測定を行なった結果も図7の通りで、編成間の車両特性のばらつきも十分吸収できることを確認した。

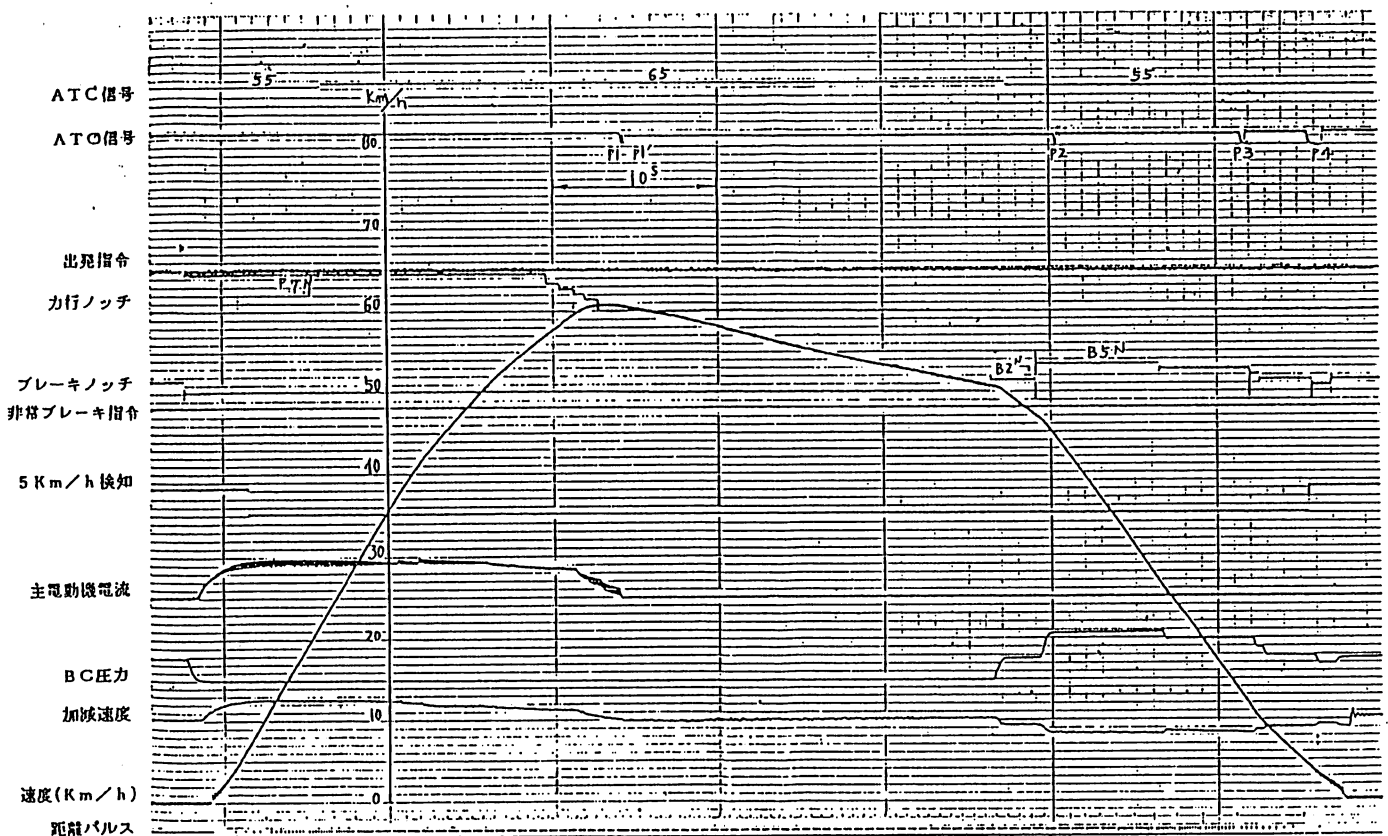


図5 走行試験オシロデータ

(北行、長町一丁目～河原町)

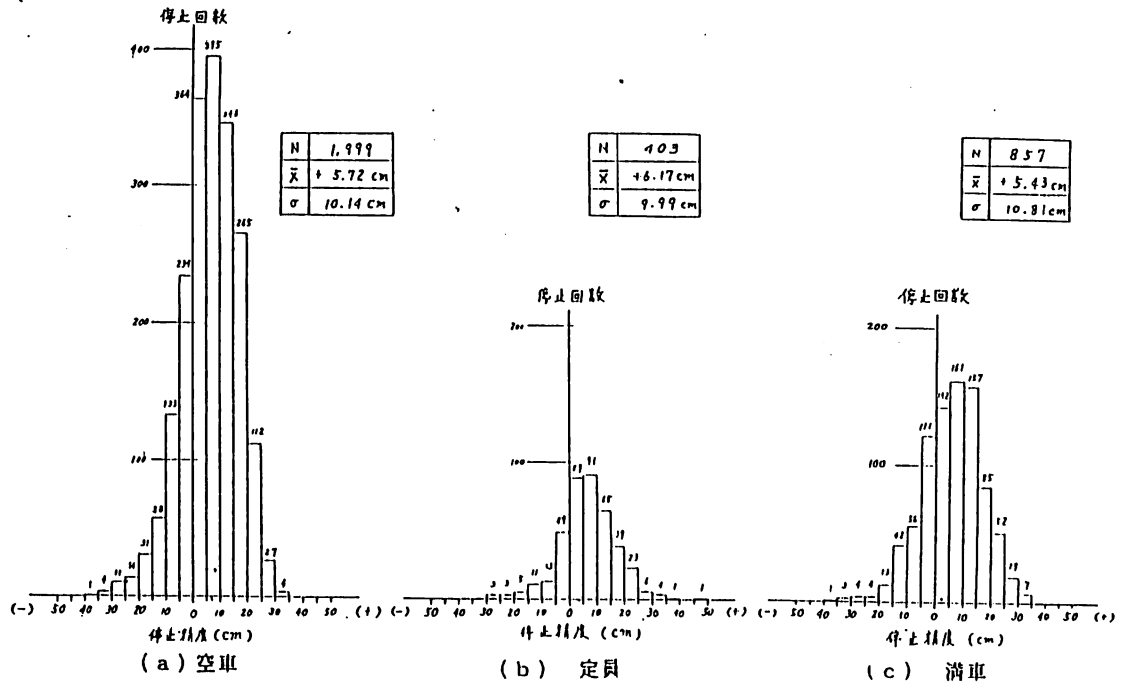


図6 停止精度ヒストグラム

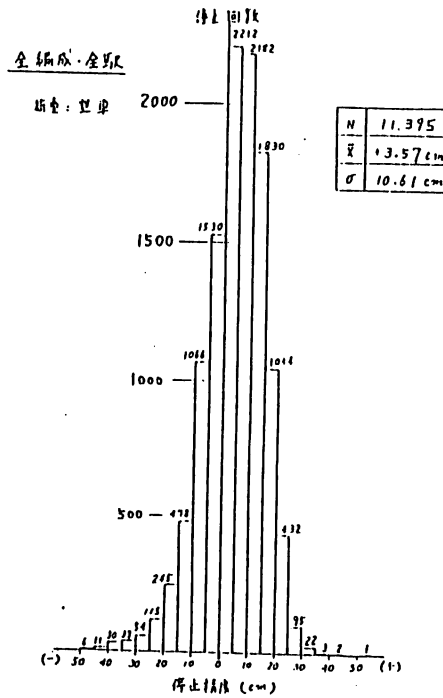


図7 停止精度ヒストグラム(全編成)

5. おわりに

本報告では、仙台市地下鉄南北線の自動列車運転装置についてその概要を述べた。本装置を中心とするワンマン運転システムは開業以来順調に稼働しており、市民の足としての本地下鉄の発展に寄与するものと期待している。

参考文献：藤原，俵谷ほか：Fuzzy制御方式による列車自動運転装置の開発

第20回鉄道サイバネ論文集272/276 (1983)

安信，宮本ほか：予見Fuzzy制御方式の開発と列車自動運転への適用

第20回鉄道サイバネ論文集267/271 (1983)

安信，宮本：Fuzzy制御の列車自動運転システムへの応用

電気学会雑誌，104-10，867/874 (1984)