

鉄道車両用制御エレクトロニクスの動向

Trends of Control Electronics for Railway Vehicles

鉄道輸送の近代化の動きは著しく、制御エレクトロニクスについても、種々の機能向上のニーズが強い。

このようなニーズに対応するため、ATC専用LSIを開発し、受信器を含めた全デジタル処理のSDP-ATCを実用化したのをはじめ、Fuzzy理論を採用し、熟練運転士の経験と技術とを採り入れたFUZZY-ATOなどを実用化し、信頼性の向上、制御性能の向上を図ってきた。

また更に、これらの技術を総合した新しい運転保安方式による高密度運転システムや、マンマシンインタフェースを含む車載機器すべてをデータネットワークにより統括する車上総合指令装置を開発中である。

大村純夫* Sumio Ômura
秋山弘之* Hiroyuki Akiyama
小野関勝巳** Katsumi Onozeki

1 緒言

近年、鉄道輸送の近代化を目指して、省エネルギー、輸送密度の向上、旅客サービスの向上などのニーズが著しく増大し、また多様化している。

これらに対応するため、運転制御、運転保安、運行管理などの制御エレクトロニクスについても、信頼性向上、小形・軽量化、制御性能の向上などを目指して、全デジタル化、通信システムとの結合、コンピュータネットワークとの連携などが図られ、更に機能の向上に向けて開発を推進中である。

日立製作所は、リング演算回路を開発しATC(自動列車制御装置)の全デジタル化を図り、引き続き車両制御専用のミニコンピュータを開発しATO(自動列車運転装置)を実用化するなど、国内業界に先駆けた開発を進めてきた。

その後、マイクロコンピュータ、カスタムLSIなどの導入を経て、SDP-ATC(Straight Digital Processing ATC)、FUZZY-ATOへと発展し、多数の納入実績により鉄道輸送の近代化に貢献してきた。

今後の課題としては、車載用コンピュータネットワークの構築とその応用技術の確立、また、運転保安システムの改良による安全で快適な高密度輸送システムの実現などがある。

以下、鉄道車両用制御エレクトロニクスの、これまでの成果と今後の展望について述べる。

2 ATC・ATO装置

ATC・ATO装置は、列車運転の最も基本的かつ重要な機能を果たす装置であり、高度なフェイルセーフ性、信頼性、合わせて良好な制御性が要求される。以下、ATC・ATOに関する最新の技術について述べる。

2.1 ATC専用LSI

ATC専用LSI(HD46310)は、ATCの演算機能の中核である速度照査機能の一つのLSIチップに集積したもので、42ピンのパッケージに、図1に示すような機能をもっている。

本LSIの特徴は、フェイルセーフ性について評価の高いリン

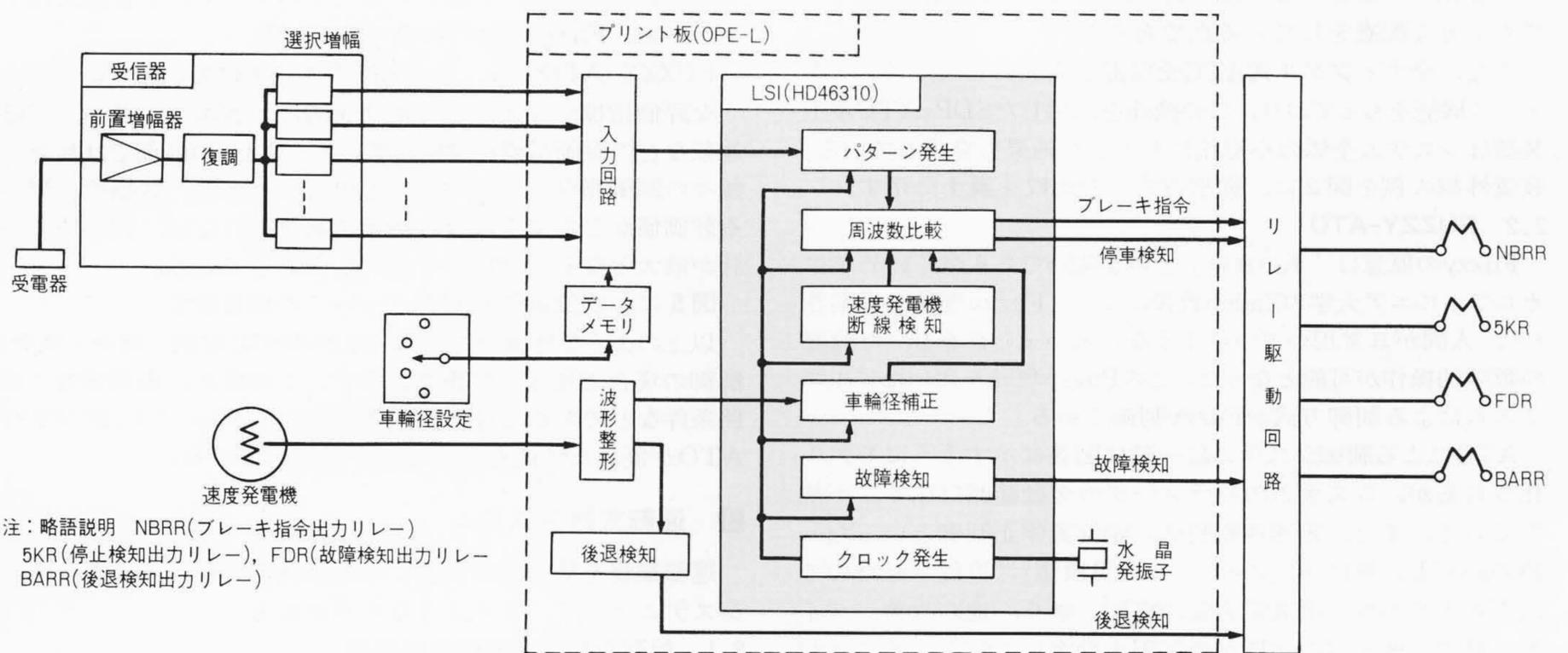


図1 ATC専用LSI(HD46310)の機能 照査速度を決定するデータメモリなど、小数の外部部品の付加だけで、ATC速度照査部が構成される。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所機電事業本部

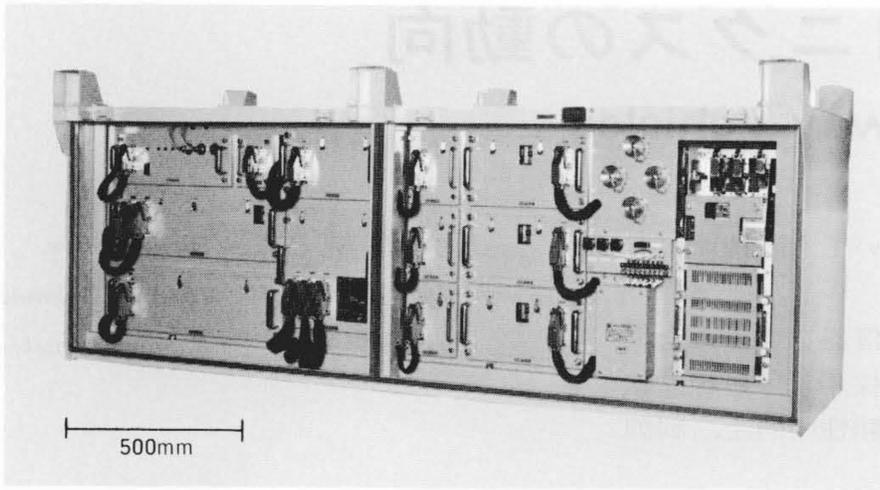


図2 ATC・ATO車上装置の外観 左半分がFUZZY-ATOを、右半分がSDP-ATCを示すもので、地上システムとの間のデータ通信機能、モニタ装置用端末機能なども内蔵している。

表1 SDP-ATCと従来方式ATCの比較*** SDP方式の採用により、装置の小形・軽量化とともに、現示の多段化が容易である。

項目	方式区分	SDP-ATC	従来方式ATC
受信部方式		時分割通信直列デジタル処理	アナログ選択増幅式
速度照査部方式		デジタルリング演算(LSI)	デジタルリング演算
主要演算素子		モノリシックLSI	IC
装置外形*		幅1,200×奥行800×高さ750(mm) (0.55倍)**	幅2,700×奥行650×高さ750(mm)
重量*		340kg (0.77倍)**	440kg
消費電力*		350W (0.64倍)**	550W
信号現示段数		最大24段	最大10段程度
変調波隣接周波数比		1:1.1	1:1.3

注: * 床下設置, 三重系装置の例。SDP-ATCの場合, 出力継電器盤も含んでいる。
 ** 従来形ATCを“1”とした場合の比率。
 *** 受信感度, 応答時間, 速度照査精度などは両方式とも同一である。

グ演算回路を採用した点, 及び微細化によってフェイルセーフ性を損なうことのないように, 内部パターン設計に当たっても十分な配慮をしている点である¹⁾。

また, 全デジタル式ATC受信器と協調のとれたインタフェース機能をもっており, この機能を活用したSDP-ATC車上装置はシステム全体の小形化にも大きな効果を発揮している。装置外観の例を図2に, 従来方式との比較を表1に示す。

2.2 FUZZY-ATO

Fuzzyの原意は「あいまい」という英語であるが, 1965年にカルフォルニア大学のZadeh教授によってFuzzy理論が提案され²⁾, 人間が日常用いているような, あいまいさをもった論理の数学的操作が可能となった。このFuzzy理論を用いたアルゴリズムによる制御方式がFuzzy制御である。

ATOによる制御システムは一般に図3に示すようにモデル化されるが, システムのパラメータの変動範囲は広く, 不規則である。また, 定速運転制御, 定位置停止制御といった一連の制御も, 単に所定のパターン(目標値)に追従させたのでは不相当であり, 消費電力量の抑制, 乗り心地の改善, ダイヤに対する速・遅など種々の要因を勘案して制御することが要求される。

従来, 人間によって運転操作が行なわれる場合, 運転士の経験に基づく総合的な判断と, 熟練した技術によって, 上記のような要求に対応してきた。

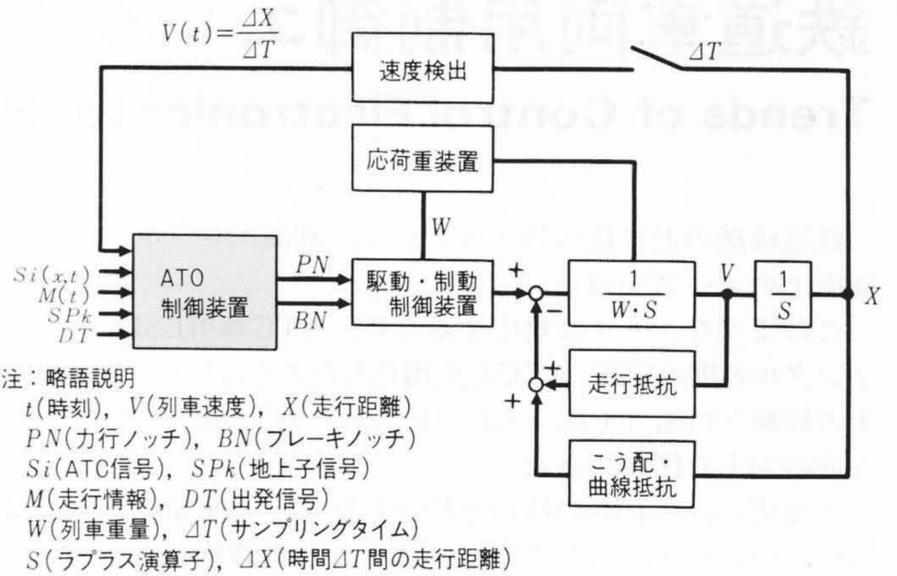


図3 ATO制御系のモデル 各要素の変動範囲が広く, また, 非線形であることが特徴であり, Fuzzy制御が適している。

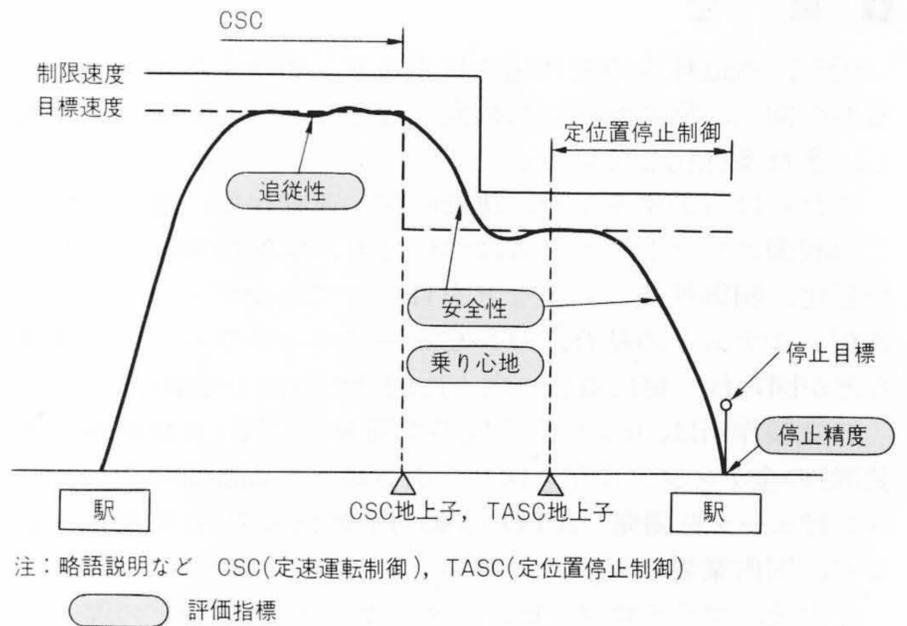


図4 FUZZY-ATOの評価指標 FUZZY-ATOでは, 各種の評価指標に対し制御結果を評価し, 最高の評価値の得られる制御を採用する。

このような経験, 熟練といったものを, そのまま定式化できるのが, Fuzzy制御の特徴である^{3)~5)}。

FUZZY-ATOでは, 各々の制御モードに対し図4に示すような評価指標を与え, その他共通的に, 省エネルギー, 定時運転などの評価指標を設定している。ATOの内部では刻々, 種々の制御指令(ノッチ指令)を出力したとき, 各指標に対する評価値がどのようになるか予測演算を行ない, 評価値の合計が最大となる制御指令を選択し出力している。

図5に, 定位置停止制御についての例を示す。

以上のような制御の結果を, 従来のPID(比例・積分・微分)制御の場合と比較して表2に示す。このほか, 車両特性, 線路条件などの変動に対する制御の安定性についても, FUZZY-ATOが優れた性能を示すことを確認している。

3 運転支援システム

運転業務を間接的に支援し, 乗務員の業務軽減に寄与するシステムとして, 次のようなものがある。

3.1 対列車光空間画像伝送装置

列車が駅に着発するに当たり, ホームの旅客の安全を確認するため, ホームの画像を運転台に表示する装置である。

システムの構成を図6に示す。テレビジョンカメラからの画像信号をFM変調したうえ, 光信号に変換し送信しているた

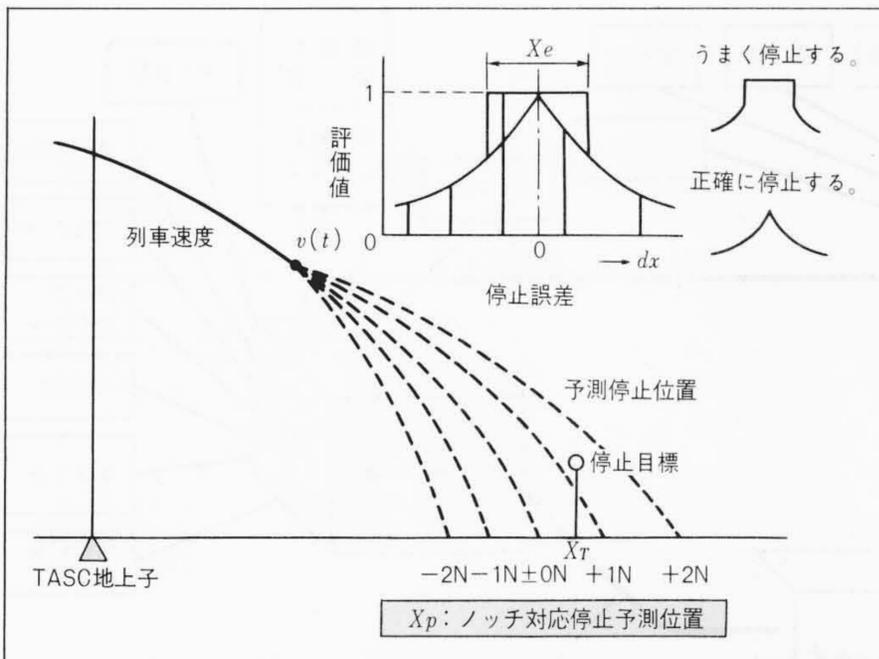


図5 定位置停止制御におけるFuzzy評価 Fuzzy評価関数(停止精度に対する評価値)は、「うまく停止する」、「正確に停止する」と2種類設定されており、状況により使い分けることで乗り心地よく、かつ正確に定位置に停止することができる。

表2 FUZZY-ATOと従来方式(PID)ATOの比較(S市地下鉄路線をモデルとしたシミュレーション結果) Fuzzy制御の採用により、ノッチ変化回数を低減し乗り心地が改善されるほか、各種の外乱要因に対しても安定な定位置停止制御が得られる。

項目	条件	上り線		下り線	
		FUZZY	PID	FUZZY	PID
駅数		17駅(中間停車駅15駅)			
路線長		14.83km			
駅停車時分		各中間駅20秒			
走行時分(分・秒)		28'01"	28'01"	27'58"	28'03"
表定速度(km/h)		31.76	31.76	31.82	31.72
ノッチ変化回数(回)	小括弧内はTASC時	254(123)	528(152)	232(106)	485(139)
定位置停止誤差(cm)	最大誤差	+10.20 -10.45	+33.49 -7.89	+25.36 -5.22	+34.38 -5.23
	標準偏差	5.38	11.57	7.05	10.68
消費電力(kWh)		95.0	97.3	91.2	94.3

注：略語説明 PID(比例・積分・微分)

め外来光(太陽光など)の影響を受けることなく、高品質の画像を得ることができる。

3.2 自動放送装置

車内又は駅ホームの旅客に対し、列車の行先・停車駅などの案内や、危険防止のための注意などを放送する装置である。

ATO装置から列車位置情報などを受け、適宜必要な放送を自動的に行ない、乗務員の業務軽減を図っている。

放送文は、PCM(Pulse Code Modulation)方式により文節単位でデジタル録音されており、必要に応じて編集して出力される。これにより、メモリ容量を低減し、かつ忠実度の高い明確な放送をすることができる。

4 今後の展望

以上述べたような各種技術の組合せ・システム化により、更に新しい効果を発揮できる応用分野への展開を計画中である。以下に二つの例について紹介する。

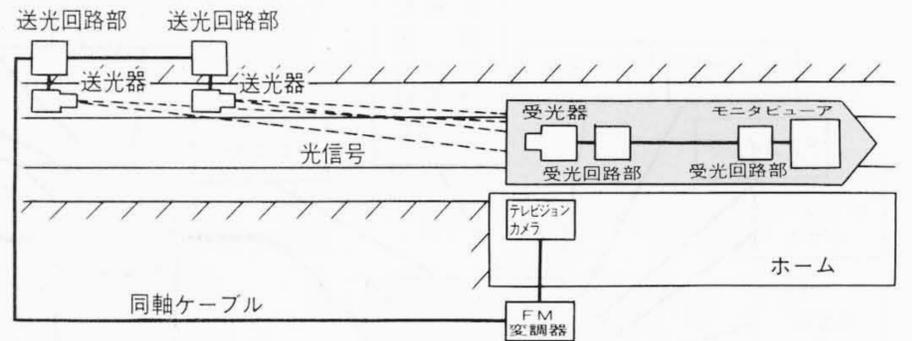


図6 対列車画像伝送装置の構成 FM変調された画像信号を、近赤外線光で伝送することにより、外来光などに影響されない高品質の画像を得ることができる。

4.1 高密度輸送システム

大都市通勤輸送のラッシュ緩和は重要な課題であるが、過密都市の現状から考え、線路増設などによる輸送力の増強には大きな困難が伴う。

そこで、運転・保安システムの根本的見直しにより、ATCと同等の保安度を確保しながら、列車運転密度の向上を図ろうというのが、この高密度輸送システム^{*)}である。

基本的な考え方は次に述べるとおりである。

- (1) ATCの信号現示をG(進行)-R(停止)の2現示とし、現示段ごとに必要としていた空走余裕距離を削減する。
- (2) R現示区間には、放物線状の走行許容速度パターンを設定し、先行列車の存在する閉そく区間の後端まで進入を認め運転時隔の短縮を図る。この許容速度パターンは、地上の信号ループ回路から連続的に指令することにより、ATCと同様にフェイルセーフである。
- (3) パターンを超過した場合には、無条件に停車ブレーキが作用するが、通常は運転制御部により、パターンに内接するような円滑なブレーキ制御を行なう。

以上の制御の概要を図7に示す。

このような制御の実現は、超多段階信号(放物線状パターンに対応)の受信及び速度照査が、小形の装置で信頼性高く実現できるSDP-ATCの技術と、許容速度パターンに対し精度良く、

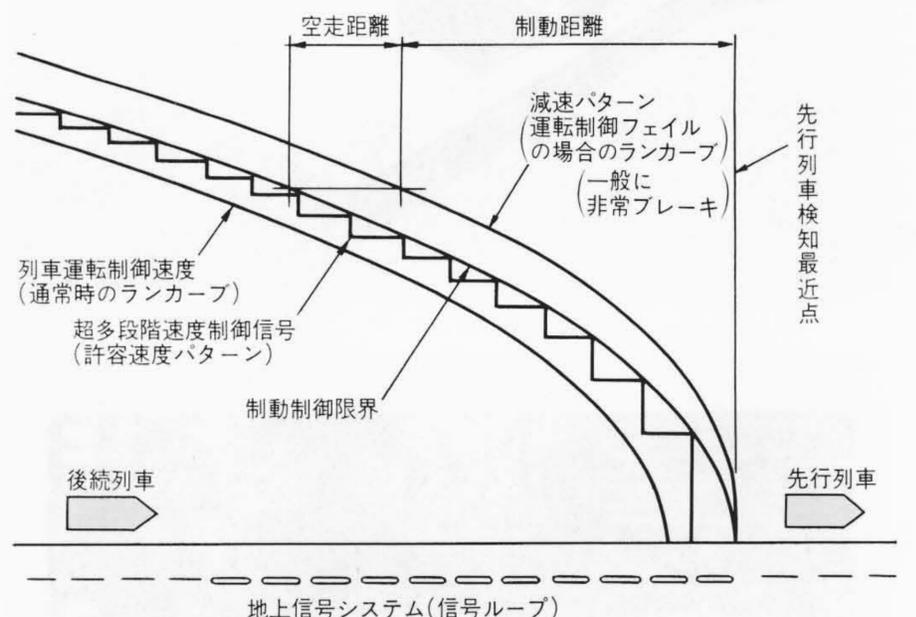


図7 高密度輸送システムの列車制御方式 SDP-ATCによる超多段階の許容速度パターンに追従して、Fuzzy制御により円滑な減速制御が行なわれる。

*) 日本船舶振興会補助金事業として開発中である。

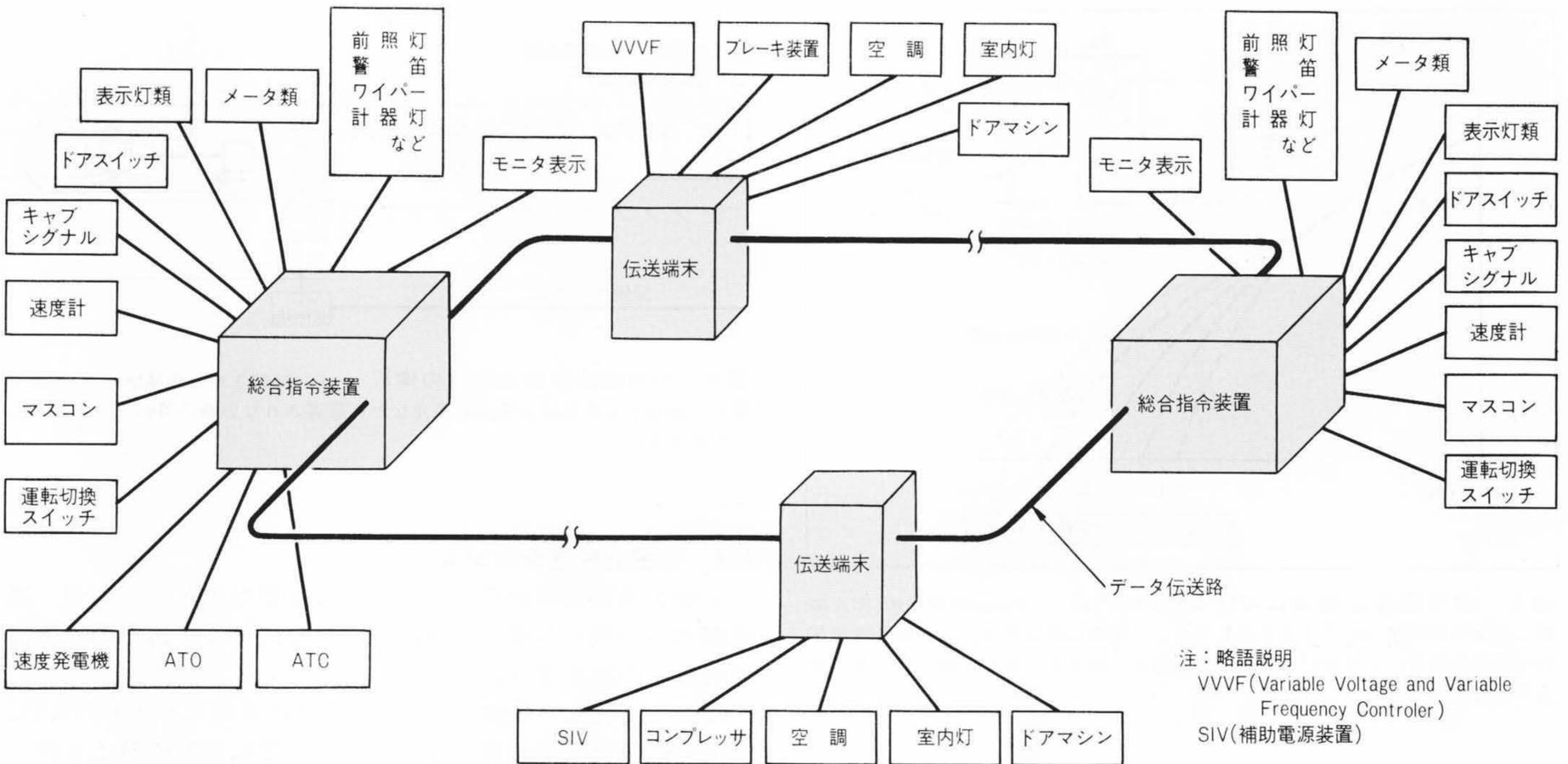


図8 車上総合指令装置の構成 運転台と各機器とを接続するデータ伝送ネットワークが基幹である。

かつ乗り心地良く追従可能なFuzzy制御の技術との融合によって、初めて可能となるものである。

4.2 車上総合指令装置

運転台には各種の操作機器(マスコン、スイッチ類)及び表示機器(計器、表示灯類)が設置されているが、個々の機器をそのままはめ込むというのが現状である。したがって、エレ

クトロニクス化による、操作性、視認性、居住性などの向上を図っていく必要がある。

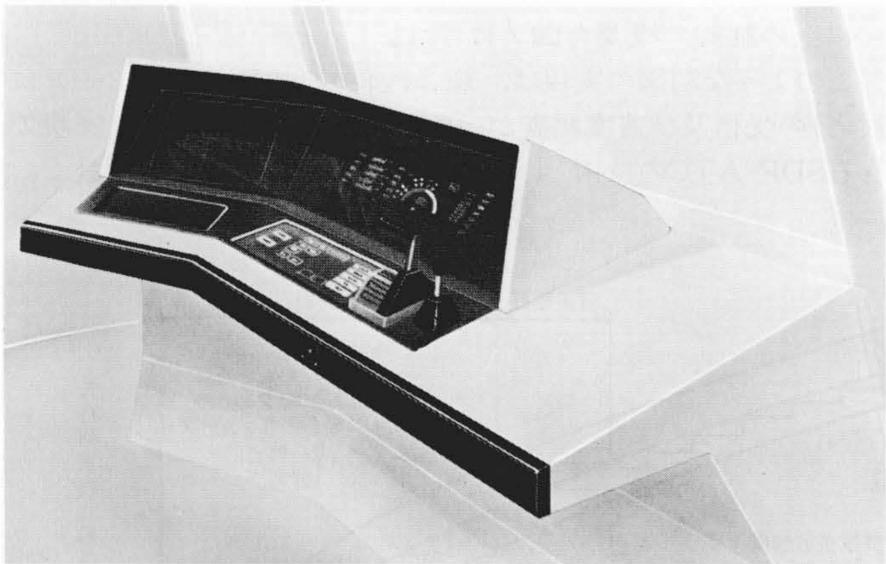
車上総合指令装置は、このような観点から運転台を近代化する中核で、エレクトロニクス化された運転台機器を統括するとともに、列車内の各機器との間を光データ伝送ネットワークで接続する。システム構成を図8に、またこのような方法により近代化された運転台の例を図9に示す。

5 結 言

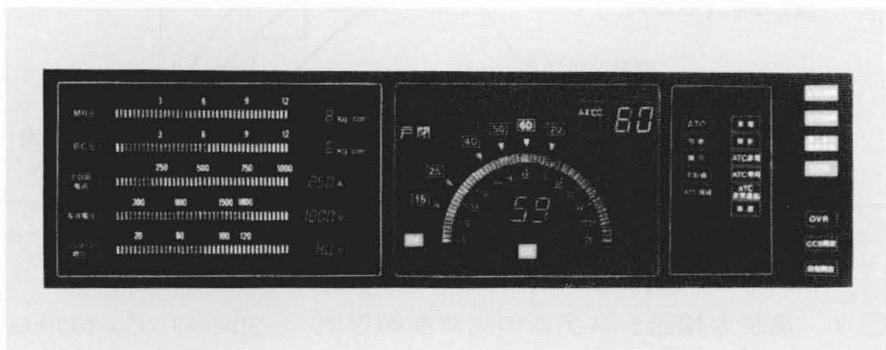
鉄道車両の制御システムのマイクロエレクトロニクス化は着実に進展している。

ここでは、応用面からの表面的な紹介にとどまったが、今後とも、超LSI、高機能マイクロコンピュータなどの導入により、ますます多くのニーズに対応できるようになると同時に、これがまた新たなニーズを生み、相互に良い影響を及ぼしながら進展していくものと考えられる。

これまでの開発に、御指導、御助言をいただき、また、現車試験などの機会を与えられた関係各位に対し感謝の意を表わす次第である。



(a) コンソール



(b) 表示パネル

図9 エレクトロニクス化運転台の外観 車上総合指令装置の導入により運転台機器は無接点化され、操作性、視認性、居住性などが飛躍的に向上するものと考えられる。

参考文献

- 1) 大村, 外: ATC/ATS速度照査部用専用LSI, 第19回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 276~280 (昭57-11)
- 2) L.A.Zadeh: Outline of a New Approach to the Analysis Complex Systems and Decision Processes. IEEE Trans. Syst. Man, Sybernetics. SMC-3, 1, 28 (1973)
- 3) 安信, 外: 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巻, 10号, 867~874 (昭59-10)
- 4) 稲葉: 実用化が始まったFUZZY理論, 日経エレクトロニクス, 357号 (昭59-12)
- 5) S.Yasunobu, et al.: Fuzzy Control for Automatic Train Operation System. 4th IFAC/IFIP/IFRS Int. Conf. Transportation System 39~45 (1983)