

仙台市地下鉄の鉄道トータルシステム

Computer Control Systems for Sendai Subway

仙台市に新しい地下鉄が開通した。大都市ほどの大きな輸送需要は期待できないため、施設・サービスを魅力的なものとして利用客の誘致・増大を図り、併せて建設費を抑え、装置産業化などによって輸送コストの低減を図る方針が示された。ワンマン運転の実施、一人でも対応できる駅業務のあり方、後方業務の省力化などのテーマのもとに、随所に新しい工夫が採り入れられた。

日立製作所は予見ファジィ制御、光ビームによる対列車画像伝送などの新しい技術を開発し、自律分散形システム技術などとともに、鉄道の神経系統とも言うべき鉄道トータルシステムを構築しテーマの実現に協力した。なお、予見ファジィ制御と光ビームによる対列車画像伝送は世界で最初のものである。

佐藤 憲* Isao Satō
大島弘安** Hiroyasu Ôshima
川畑真一*** Shin'ichi Kawahata
関野真一**** Shin'ichi Sekino

1 緒言

昭和62年7月15日、森の都仙台市に全国で9都市目の地下鉄が開業した。路線長13.59 km, 16駅, 19編成で1日約20万人の利用客がある。

仙台の都市圏市街地人口はゆうに100万人を超えるが、それでも大都市地下鉄のような大きな輸送需要を期待することは難しい。そこで良質なサービスを提供することによって、利用客の誘致・増大を図ることが求められ、このため鉄道を装置産業化された機能的システムとして新しい次元から構築し、併せて輸送コストの低減を図ることが必要となった^{1),2)}。必然的に随所に独創的な工夫が採り入れられた。そして今、この地下鉄は新しい鉄道のモデルとして注目されている³⁾。ワンマン運転、一人でも対応できるようにした駅業務、後方業務の省力化、乗客・鉄道職員・施設を一体化したシステム構造などがその好例である。

日立製作所は、予見ファジィ制御方式列車自動運転装置、光ビームによる対列車画像伝送装置、自律分散形運行管理システム、分散形設備管理システムなどを納入する機会を得たが、本稿では、これらを中心とした鉄道の神経系統とも言うべき鉄道トータルシステムについて概要を述べる。

2 鉄道トータルシステムの概念

鉄道ではその路線に沿って、実に大量かつ多種の情報が常に発生している。それらは様々に加工され、制御、表示、記録に活用されてゆく。情報はそのサブシステム内でクローズするものもあれば、また別のサブシステムに伝えられ重要な情報の一つとなるものもある。鉄道トータルシステムはこのような情報の多岐にわたる処理を、むだなく、経済的に、かつ統一された思想のもとに行うためのシステムである。鉄道に課せられた社会性から、このシステムはたとえ一部に故障

が発生しても列車の運行を継続できるタフさと、将来の路線延長・機能追加などに際し、これらを容易に実現できる成長性を備えたものでなければならない。更に、利用客・要員・システムがその特性に応じ補完し、相互になじみ合えるシステムとすることも必要である¹⁾。

3 システム構築の基本思想⁴⁾

3.1 全体の構成と機能

仙台市地下鉄の鉄道トータルシステム⁵⁾の概念図を図1に示す。

このシステムは、列車の運行を管理する「運行管理システム」、変電所と駅の設備を制御・管理する「設備管理システム」、列車を自動的にサービスよく運転する「列車運転システム」、車両点検の自動化をはじめ、保守業務を効率よく管理する「保守管理システム」、地下鉄全体のデータを処理する「事務管理システム」などのサブシステムから構成されている。これらのサブシステムは互いに有機的な連携をとり、トータルとしての効率のよい運用を目指している。

それぞれのサブシステムの機能と、それらのサブシステム間の連携を図2に示す。

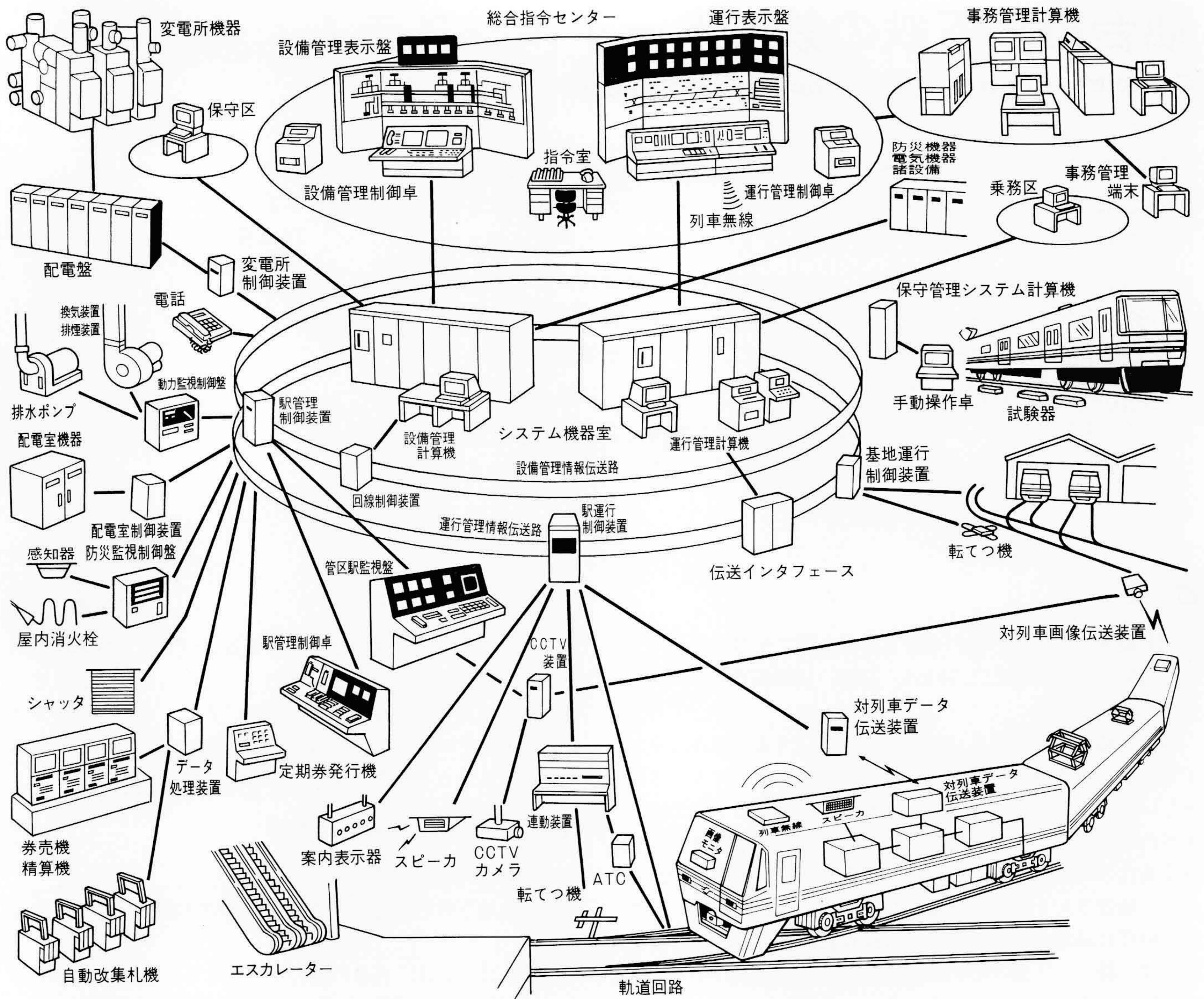
3.2 基本思想と留意した点

システムの計画に当たり業務分析を行い、システム化の可能性、サブシステムへの効果的な分割、サブシステムのフォールバック、投資効果などを十分に検討し、またこれらを全体の建設計画にフィードバックした。これらの検討を通して次のような基本思想を設けた。

(1) マイクロプロセッサの高度利用による分散処理

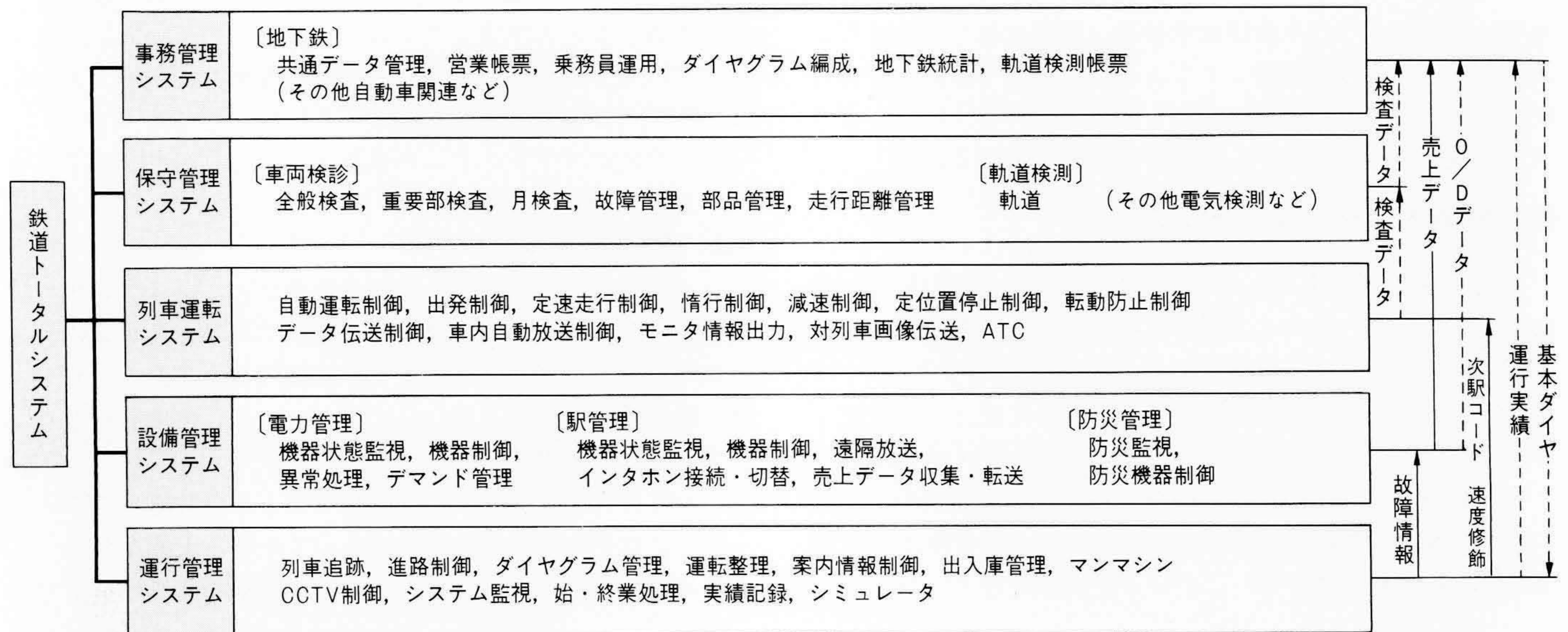
マイクロプロセッサの発達によって小形・安価なシステムが実現できるようになったので、駅・変電所に処理装置を設

* 仙台市交通局 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所システム事業部 **** 日立製作所水戸工場



注：略語説明 CCTV(Closed Circuit Television), ATC(Automatic Train Control)

図1 仙台市地下鉄の鉄道トータルシステム概念図 鉄道の神経系統とも言えるシステムである。



注：略語説明など —— (オンライン), - - - - (オフライン), O/D(Origin/Destination)

図2 サブシステムの機能とシステム間の連携 多くの機能が五つのサブシステムに効果的に分割されている。サブシステム間のつながりも多い。

け、システムの信頼性と処理速度の向上を図る。

(2) 設備管理の統合

従来、電力管理・駅管理・防災管理というように別々のシステムで対応するのが通例であったが、これらを「設備管理システム」として一つのシステムに統合し、投資効果の改善と要員の減少を図る。

(3) 総合指令センタへの統合

総合指令センタには「運行管理システム」と「設備管理システム」の指令設備を同じ部屋に隣り合わせて設置し、指令間の合理的かつ迅速な連携運用を可能とする。

指令センタとそのシステム機器室のもようを図3、4に示す。

(4) 駅関係制御卓の統合

各駅に駅管理制御卓を設け、自動出改札機器の監視制御から列車の運行状況の把握、CCTV(Closed Circuit Television)による駅構内の監視、他所との連絡通信まで、すべてをこの卓で一元的に行えるようにして、駅務員の業務軽減と合理化を図る。

駅管理制御卓を図5に示す。卓中央にあるビューアは、運行管理システムと設備管理システム共用のモニタビューアである。駅のシステム機器室のもようを図6に示す。

(5) システムのタフさの追求

分散形構成と合わせて重要な部分は多重化し、フォールバックモードを何段階か設け、更に万一システムに異常が生じたときでも、システムダウンに至らないよう自律分散思想を導入する。

(6) ワンマン運転のサポート

ワンマン運転をサポートするため、「運行管理システム」と「列車運転システム」を連携させ、自動運転と車内自動放送が行えるようにし、更に列車の運転室でホーム画像の監視が行えるようにする。

運転室のもようを図7に示す。



図4 総合指令センタシステム機器室 手前が設備管理の機器、奥が運行管理の機器である。



図5 駅管理制御卓 いろいろな制御がこの卓で一元的に行える。



図3 総合指令センタ 右側が運行管理の、左側が設備管理の指令設備である。



図6 駅のシステム機器室 運行管理システムと設備管理システムの駅制御装置が、同一フロアに設置されている。



図7 列車の運転室 左側にホーム画像監視用のモニターが、またその上に受光器が見える。

(7) 機器故障の一元監視

保守業務の効率向上・近代化を図るため、保守区に端末を設け、各サブシステムに属する装置の故障情報を自動的に表示・印字し、要員の業務軽減を図る。

保守区に設けられた端末を図8(左)に示す。

(8) サブシステム間の結合

これまで述べてきたような機能を実現するため、各サブシステムを有機的に結合し、情報の目的と頻度に合わせてオンライン結合、オフライン結合を選択する。

4 個々のサブシステム

4.1 運行管理システム

運行管理システムは、円滑な列車運行を行うための種々の制御と指令員支援、及び適切な旅客案内を行うためのシステムである⁶⁾。

運行管理システムの構成を図9に示す。

総合指令センタに中央処理装置(HIDIC V90/30)と伝送インタフェース(HIDIC-08L二重系)を、また駅にはマイクロプロセッサで構成された駅運行制御装置を置き、これらを1 Mbpsの光ファイバを使ったループ状の伝送路で接続する構成

となっている。「制御分散、管理集中」の考えによる分散形のシステムである。また、システムをタフなものとするために自律分散方式が採られており、例えば伝送にはあて先アドレスを付けない機能コード伝送とブロードキャスト通信が、また駅運行制御装置にもダイヤグラム情報を格納する構造が採用されている。駅運行制御装置は16駅中9駅に設けられ、このうち3駅はフリーランデュアル構成である。駅運行制御装置の設けられていない7駅は、メタル回線で隣接駅から機能の提供を受ける。車庫内の進路制御も本線と同様に、このシステムで行えるようにした。このため、車庫信号扱い所は特に設けられていない。

乗務区にもこのシステムの端末を設け、図8(右)に示すように乗務員に必要な情報を提供している。

また、この装置は対列車データ伝送装置を介して、車載自動運転装置に情報を送り、適切な車内放送の制御と、列車の遅延時分に応じた走行モードの切換えによる自動的な列車間隔制御を行っている。極力等時分で各駅間を走行できる外乱に強い駅配置・線形とあいまって威力を発揮している。

なお、自律分散方式は既に多くの適用例があり、日立製作所オリジナルなシステム構成手法である。これは先に述べた仙台市の要求ともよく合致するものである⁷⁾。

4.2 設備管理システム

設備管理システムは変電所・配電室・防災機器などを監視制御し、券売機・精算機などの営業データの収集を行うためのシステムである⁸⁾。

設備管理システムの構成を図10に示す。

従来は業務別にそれぞれ分かれていた電力管理・駅管理・防災管理の各機能を集約し、システムとその伝送系を一本化し、併せて要員の業務適正化・効率化を図っている。

総合指令センタに中央処理装置(HIDIC V90/30二重系)を、各駅にはマイクロプロセッサで構成された駅管理制御装置を、また変電所には変電所制御装置を置き、これらを光ファイバを使ったループ状の設備管理情報伝送路に接続する分散形システム構成となっている。それぞれの制御装置は駅データ処理装置、定期券発行機、動力監視盤、変電所機器などと直接接続されるとともに、シャッタ、防災機器、その他の設備ともインタフェースしている。中央～駅～変電所間の伝送は、データが大量かつ多種多様であることからHDLC(High

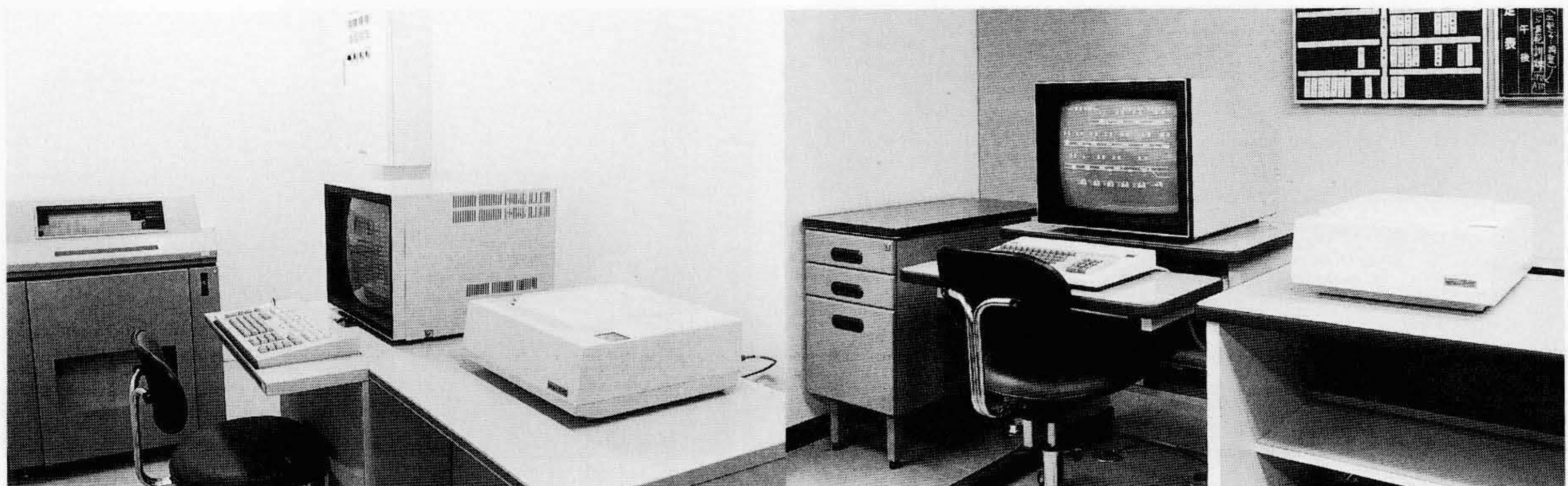


図8 保守区(左)と乗務区(右)の端末装置 保守区と乗務区には、それぞれ端末装置が設けられている。

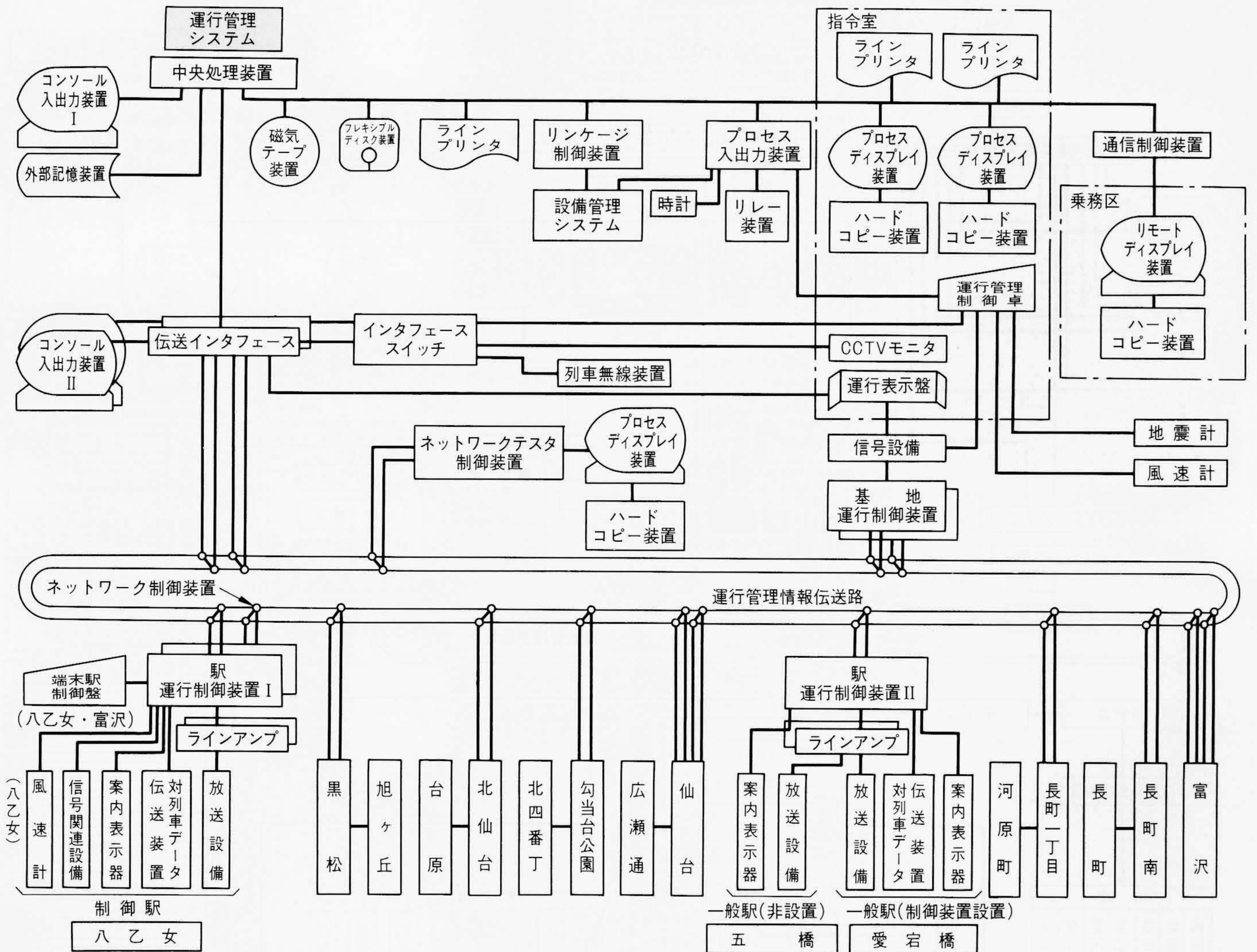


図9 運行管理システム構成図 運行管理システムは、自律分散形となっている。

Level Data Link Control) 手順とした。また、運行管理システムとは高速パラレルインターフェースで、事務管理システムとは通信制御装置を介して、更にビル管理システムとは中継盤を介してそれぞれ接続されている。以上のように構成したため、全体としてシステムがシンプルになり、情報が多目的に利用でき、またシステム異常時の危険をできるだけ局所に抑えて、障害の波及を防止できるようになった。

4.3 列車運転システム

列車運転システムは、ワンマン運転を支援するシステムであり、列車自動運転装置と対列車画像伝送装置などから構成される。

4.3.1 列車自動運転装置^{9)~11)}

列車自動運転装置はマイクロプロセッサによって構成されている。列車の運転制御機能に加え、データ伝送による運行管理システムとの連携、車内自動放送の機能などもっており、乗務員の業務軽減・操作個人差の排除・異常時に即応できる心理的余裕の保持に寄与している。

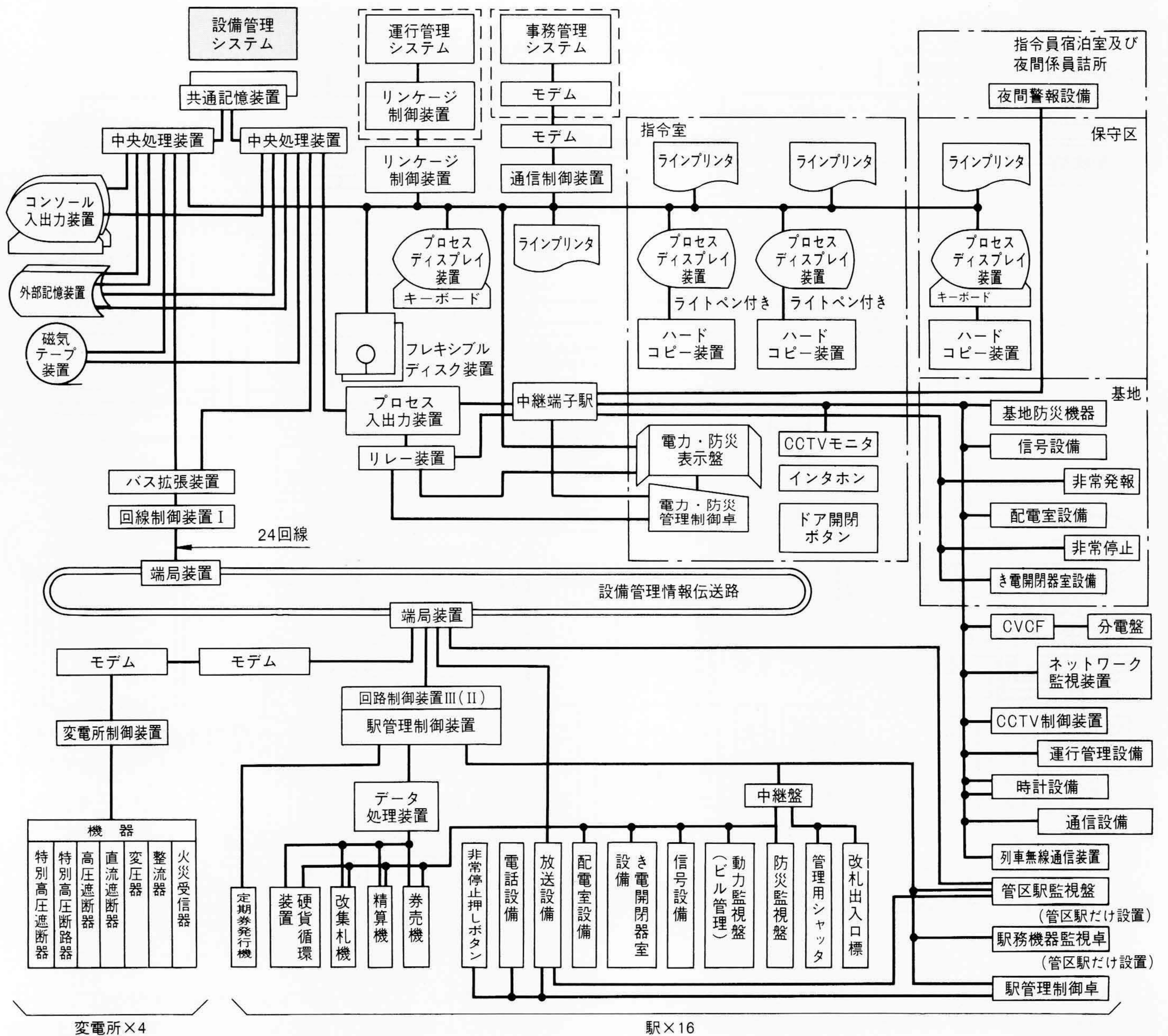
このシステムの構成を図11に示す。

列車自動運転機能はATC(自動列車制御装置)の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行

うものであり、ここに予見ファジィ制御が採用されている。予見ファジィ制御はIF~THEN~形式で表現されたAI(知識工学)ルールと、人間の熟練性を置き換えたシミュレーション手法と、複数の評価項目を0~1の満足度で表現し、それらの合成から解を得るファジィ理論とを組み合わせた新しい制御手法である。長年にわたり改良発展してきた従来のPID(比例・積分・微分)制御手法に比べても飛躍的に柔軟性の高い良好な制御結果が期待できる。車両性能としては「乗り心地」、「停止精度」及び「省エネルギー性」が改善された。

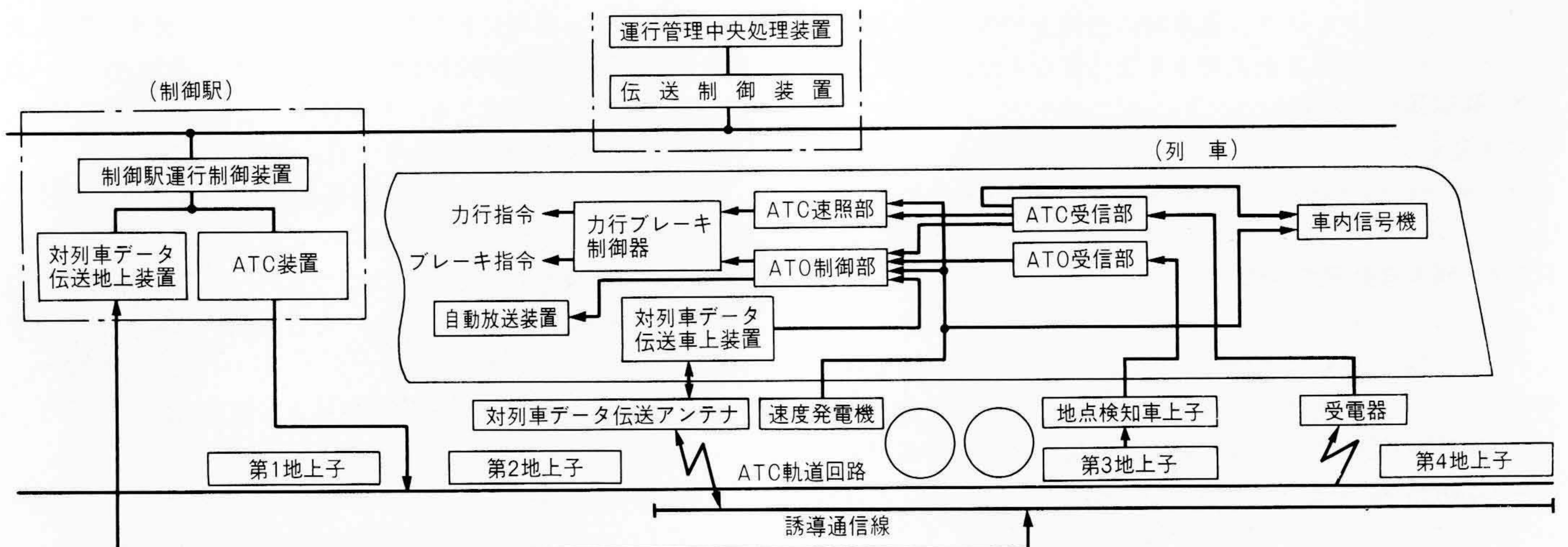
列車自動運転装置は運転制御系と情報制御系から構成され、それぞれに1台のマイクロプロセッサが割り当てられ、両者は疎な結合となっている。このため、情報制御系がダウンしても自動運転は可能であり、また運転制御系がこわれてもデータ伝送や自動放送が可能であり、万一の機器の故障が、一度に大きな負担を「一人の乗務員」に課さないようになっている。

ATC部は受信器を含め全デジタル化されたSDP(Straight Digital Processing)方式のものとしている。この方式は、デジタル回路ではあるがアナログ特性をもっているため混信に強く、また優れたフェールセーフ性を備えている。



注：略語説明 CVCF (Constant Voltage and Constant Frequency)

図10 設備管理システムの構成 このシステムは種々の設備とインタフェースしている。



注：略語説明 ATO (Automatic Train Operation)

図11 列車自動運転装置の構成 運行管理システムと対列車データ伝送装置でつながっている。

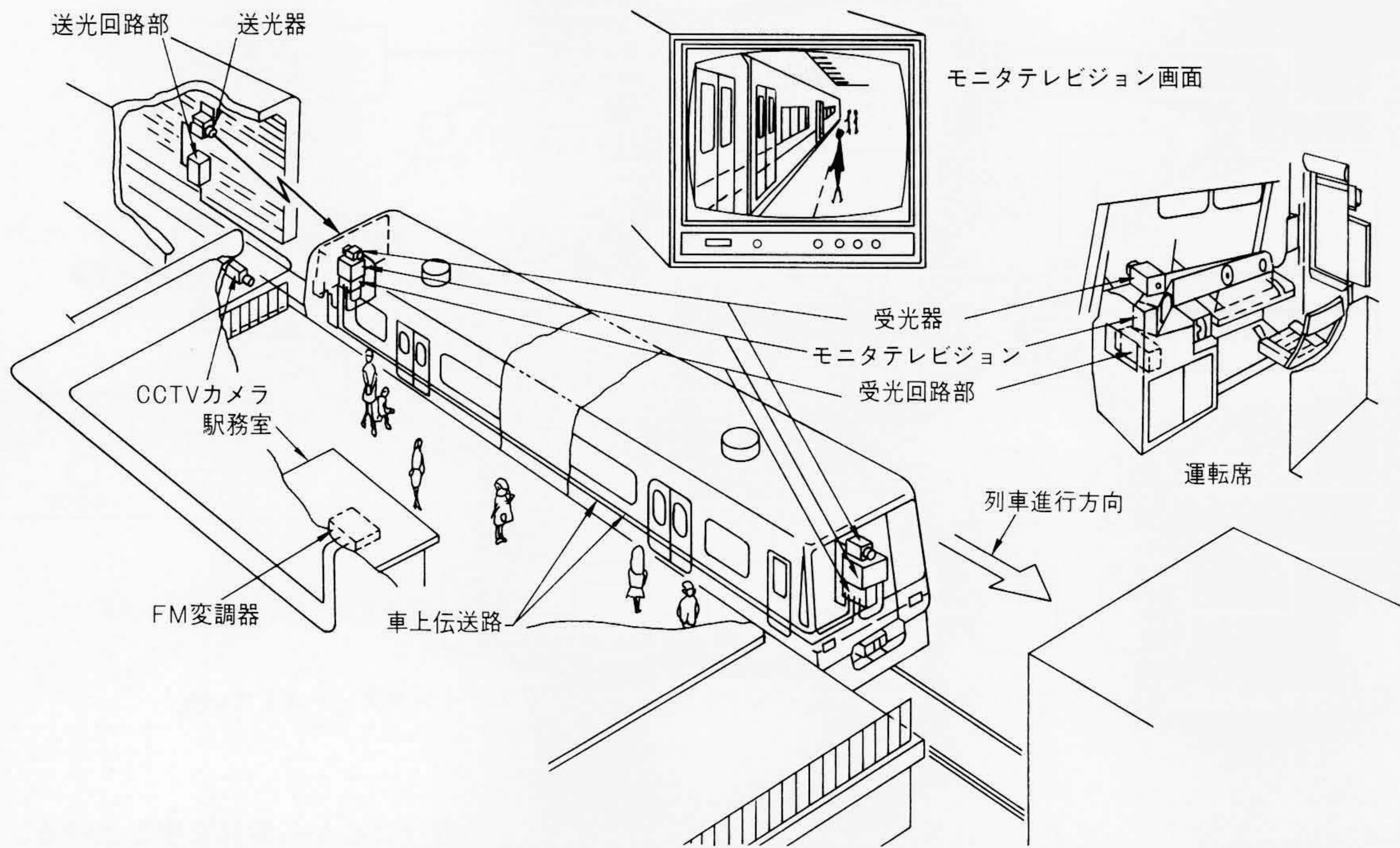


図12 対列車画像伝送システムの概念図 動画像信号を近赤外光ビームに乗せて伝送する。

4.3.2 対列車画像伝送システム¹²⁾

このシステムは、ワンマン運転に当たって、発車時のプラットフォーム上の旅客の状況を、乗務員が運転室でモニタビューアによって監視できるようにしたものである。

このシステムの概念図を図12に示す。

CCTVカメラからのプラットフォーム画像信号をFM (Frequency Modulation) 信号に変え、これで発光ダイオードから発する近赤外光を強度変調する。発光ダイオードを内蔵した送光器はトンネル内壁に取り付けられ、列車後方から後部運転室に向け光ビームを放射する。後部運転室の受光器で受信された信号は、車両引通し線を経て前部運転室に導かれ、乗務員室左前方に設けられたビューアに画像信号として入力される。列車の進行に伴って受光器は光ビームからそれるので、送光器を1プラットフォーム当たり2台設け、それらからの光ビームを乗り継いで必要なサービスエリアを確保するようになっている。サービスエリアは、各プラットフォームとも、列車の停止位置から列車が発車して列車最後部がプラットフォームを離れるまでの区間である。

4.4 CCTVシステム¹³⁾

CCTVシステムには運行系のものと防災系のものがある。運行系のものは、総合指令センタの運行表示盤と上に述べた対列車画像伝送システムに画像情報を提供する。一方、当該駅・管区駅・総合指令センタのビューアでは、運行系・防災系いずれの画像をも表示することができる。カメラは固体撮像式のものである。各駅からの画像信号の伝送はすべて光ファイバケーブルによっており、伝送距離が5 km以下の場合には短波長のD-IM (Direct-Intensity Modulation) 方式を、5～10 kmの場合には長波長のPFM-IM (Pulse Frequency Modulation-Intensity Modulation) 方式を、また、区間によっては2波長多重方式の伝送を行っている。なお、このシステムは運

行管理システム、設備管理システムとも連動している。このシステムによるプラットフォームのモニタ画面が図3右上に見える。この画面は列車乗務員と指令センタ双方で見えるので、異常時の両者の対応が迅速に行える。

4.5 保守管理システム

保守管理システムには車両の検修システム、軌道の検測システムなどがある。

4.5.1 車両検修システム¹⁴⁾

車両検修装置は二つの機能を持っている。一つは定期的実施される車両の試験実行から帳票作成までの自動化であり、もう一つは本線での故障情報や基地内での保守情報などの車歴管理業務の自動化である。高性能車両の信頼性保全に不可欠なものである。操作卓はそれぞれに対して1面ずつ設けられている。中央処理装置は両者に対してHIDIC 08L 1台である。操作卓を図13に示す。操作卓にはパーソナルコンピュータ、コードセクタ、カラーハードコピー、ハンディターミナルなど最新の機器が積極的に採り入れられ機能的に配置さ



図13 車両検修システム操作卓 中央部にコードセクタを、左にパーソナルコンピュータとハンディターミナルを、右にプリンタとカラーハードコピーを配置している。

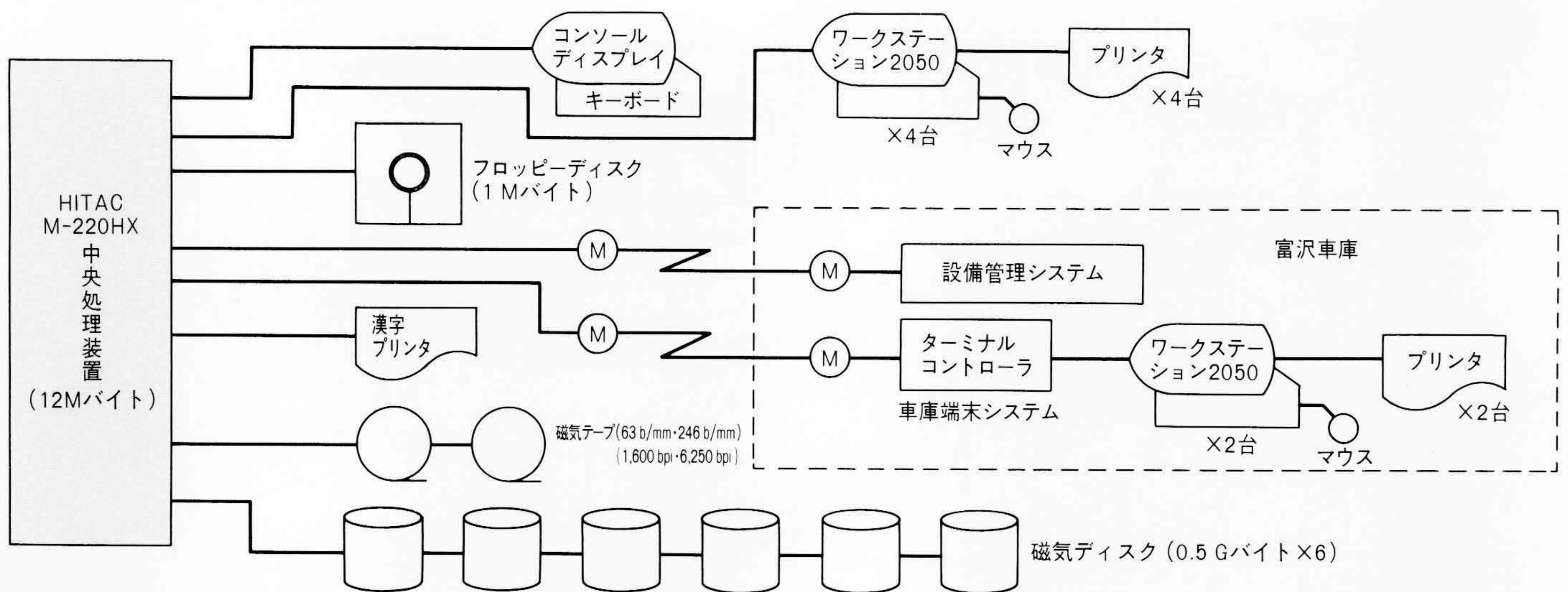


図14 事務管理システムの構成 オンライン若しくはオフラインで多くのサブシステムとインタフェースしている。

れている。このため、グラフィック表示・漢字表示・操作員誘導表示などが自由かつ容易に行えるようになり、また多種・多項目にわたるデータの入力が可能となった。

4.5.2 軌道検測システム¹⁵⁾

このシステムは軌道検測車で測定した軌道状態データを磁気テープで事務管理システムに渡し、ここで処理された結果から現在の軌道整備状況を知り、また必要かつ十分な保守作業量や物資量を求め、計画的な軌道管理を行うためのものである。データ収録装置は、車両走行中に実時間でデータを高速処理する必要があるため、3台のマイクロプロセッサを直列接続したパイプライン処理方式が採用されている。

4.6 事務管理システム¹⁶⁾

交通局庁舎電子計算機室内に中央処理装置HITAC M-220 HXと周辺機器が設置されている。ワークステーション2050を端末として交通局庁舎内に4台、富沢車庫内に2台設け中央処理装置と4,800 bpsの回線で結んでいる。富沢車庫内の設備管理システムは4,800 bpsの日本電信電話株式会社専用線で中央処理装置と結ばれ、売上関係のデータを中心に伝送している。運行管理システムとは、ダイヤ情報についてはフロッピーディスクで、列車運行実績については磁気テープでインタフェースしている。なおこのシステムは、今後更に何段階かに分けて適用業務を拡大することが計画されている。

このシステムの構成を図14に示す。

5 結 言

世界で初めての予見ファジィ制御も、光ビームによる対列車画像伝送も所期の目標どおり良好に作動するものとなった。指令センタ、システム、操作卓などの統合化もシンプルで扱いやすいものの実現につながった。

仙台市民の温かい迎え入れ、十分に練り上げられた要員体制、更にここに述べた種々のシステムの働きなどが効を奏しワンマン運転、一人でも対応できる駅業務及び後方業務の省力化が現実のものとなった。そしてこの地下鉄は日夜順調に運行を続けている。終わりに、御指導をいただいた関係機関

をはじめ多くの方々に心からお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 佐藤：装置産業型減量経営の仙台市高速鉄道, JREA, 30, 11, 3~9(昭62-11)
- 2) 佐藤：仙台地下鉄の技術的特徴とFUZZY工学, 車両と機械, 1, 8, 4~7(昭62-11)
- 3) 新しい鉄道のモデルとして注目される仙台市高速鉄道南北線, 日立評論, 70, 1, 6~7(昭63-1)
- 4) 杜の都に地下鉄開通, 雑誌「日立」, 49, 8, 6~7(昭62-8)
- 5) 柴田, 外：仙台市高速鉄道南北線「総合管理システム」の概要, 第24回日本鉄道サイバネティクス協議会, 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(以下、「第24回サイバネ論文集」と略す。), 132~136(1988-2)
- 6) 本間, 外：仙台市高速鉄道南北線の運行管理システム, 第24回サイバネ論文集, 157~161(1988-2)
- 7) 井原, 外：自律分散システムとその応用, 電気学会雑誌, 104, 3, 9~16(昭59-3)
- 8) 檜宿, 外：仙台市高速鉄道南北線・設備管理システム, 第24回サイバネ論文集, 566~570(1988-2)
- 9) 庄子, 外：仙台市地下鉄南北線自動列車運転装置, 第24回サイバネ論文集, 242~246(1988-2)
- 10) 安信, 外：予見Fuzzy制御方式による列車自動運転, システムと制御, 28, 10, 605~613(昭59)
- 11) S. Yasunobu, et al.: "Fuzzy Control for Automatic Train Operation System", 4th IFAC/IFIP/IFORS int. conf. on Transportation System, 39~45(1983-4)
- 12) 大島, 外：動画像信号を光ビームに乗せ移動体へ向け伝送するシステム, シグナル・システム・コントロール・シンポジウム講演論文集, 69~72, 日本自動制御協会(昭63-1)
- 13) 人見, 外：仙台市高速鉄道南北線CCTVシステム, 第24回サイバネ論文集, 716~720(1988-2)
- 14) 庄子, 外：仙台市交通局車両検修システム, 第24回サイバネ論文集, 432~436(1988-2)
- 15) 加藤, 外：仙台市高速鉄道南北線軌道検測データ処理システム, 第24回サイバネ論文集, 512~516(1988-2)
- 16) 高橋, 外：仙台市交通局乗務管理システム, 第24回サイバネ論文集, 23~27(1988-2)