

車両情報制御システム

On Board Train Information Control Network Systems

最近の鉄道では、高度情報化時代の進展に伴い省エネルギー、省力化、ダウンタイムの最少化、保守効率化、旅客サービス向上などを目標に情報と制御の統合による活性化を図り、交通システム全体としての効率化と安全性の向上を図る動きが強い。

このような動きに対応するため、車両情報制御システムを実用化し、東京都営地下鉄12号線に適用した。本システムは、車上に搭載され、列車のすべての情報を一元的に把握し、必要な情報を自由かつ容易に入手し伝達するための情報系である。これにより、鉄道が本来持っている優れた特性を発揮するため、全体が情報系によって有機的に結合された知的集約形車両と鉄道システムを構築することが可能となった。

草刈元夫* *Motoo Kusakari*
佐久間昌晴* *Masaharu Sakuma*
高岡 征** *Tadashi Takaoka*
山田和博** *Kazuhiro Yamada*
磯部栄介*** *Eisuke Isobe*

1 緒 言

列車を安全かつ効率的に運転し運行するために、鉄道では早い時期からエレクトロニクス技術の導入を図ってきた。例えば、運行管理システムやATC(Automatic Train Control)システムはエレクトロニクス技術を導入した代表的なシステムであり、1960年ごろから今日まで、開発と実用化に絶えず努力してきた。

これらのシステムは鉄道の情報化のはしりとも言え、近年はこれに加えてマイクロエレクトロニクス技術の急速な進展に支えられ、いわゆる情報制御技術の適用がますます進んでいる。特に、大都市圏の通勤輸送や大都市間輸送などを中心に、鉄道は解決しなければならない多くの課題を含んでいる。換言すれば、安全の確保を基本とし、現有の資源を最大限に活用することによって便利さ・快適さなどの機能性の向上と、他の輸送機関との競争力維持のための経済性・高速性の向上を、並行して達成していく必要がある。このためには、エレクトロニクス技術に加えて情報制御技術の全面的導入が不可欠である。現在、旅客サービスのための車内情報表示がすでに各所で実用化され、サービス向上に役立っている。

今後は、この情報を制御に結び付けることが肝要である。すなわち、情報制御技術を鉄道のシステム性能の向上に反映させることが求められていると言えよう。このためには、地上システムと車両間の情報量増大・緊密化によるシステム化の強化、さらには制御と情報の統合による活性化などにより、

鉄道が本来持っている優れた特性を発揮させ、高度情報化の時代に対応した新しい鉄道システムの構築が必要である。

2 鉄道での情報制御技術の適用

2.1 鉄道の特色

近年、鉄道の年間輸送量はほぼ横ばいの状況が続けており、自動車や航空機など他の輸送機関に対するシェアは相対的に減少している。しかし、大量輸送能力や輸送人・キロメートル当たりの輸送原価が低いこと、さらには高い安全性など、他の輸送機関にはまねのできない大きな特徴を持っている。

一方、社会環境の変化、とりわけ大都市圏の人口集中傾向や広域化、さらには時間価値の上昇や高級サービス指向などの動向に対応した新しい鉄道システムの実現が要請されている。このためには、顧客ニーズに対応した柔軟かつ多様な付加価値の高いサービスを提供する必要がある。

鉄道は他の交通機関、とりわけ自動車や航空機と比較される。遠距離輸送での航空機、ドア ツー ドア輸送ができる自動車に対し、鉄道は上記の大量輸送能力や低コスト・安全性などの大きな特徴を持っている。鉄道の持つこれらの特徴は、特に大都市圏の鉄道で重要であるが、これらに加えて乗客が肌に感ずるサービスの向上が強く要請されている。換言すれば、地上-車上の緊密なシステム化によって走行する個々の列車を群として扱い相互に関連のある動き方をさせ、その優れ

* 東京都交通局 車両部 ** 日立製作所 水戸工場 *** 日立製作所 交通事業部

た特徴をさらに強化する必要がある。ある列車の走行ダイヤグラムが乱れてもそれなりにうまく乗り継ぎ列車に接続したり、道路交通のように後続の車が次々に遅れた車に追いついてだんご状態にならないように制御したりすることがその一例である。

このような制御は各車が独立の意思を持ち、群として有効な制御が困難な自動車などと大きく異なる優れた点であり、同一軌道上を走ることを余儀なくされ、自由度が少ない鉄道の短所を逆に長所に転換できる可能性があるということもできよう。このように、短所を長所に転換するためにも必要なことは、従来地上は地上、車上は車上で緊密な連携なしにサブシステムが構成されていたものを、エレクトロニクス化・情報化の導入などによってトータル化し、従来になかった有効な動きを可能にすることであると考える。

2.2 情報制御技術の適用と日立製作所の車両情報制御システム

鉄道は、現在の輸送環境の中で到達時分、コスト、旅客サービスなどの点で他の輸送機関と激しい競争を強いられている。これに対応するため、種々の個別技術を主体とする技術的施策により、走行速度の向上、安全性・信頼性の向上、輸送コストの低減などの諸対策を実施してきた。

車両走行性能向上の面では、VVVF(Variable Voltage and Variable Frequency)インバータシステムの開発、安全性の面では、ATCシステムやATS(自動列車停止装置)システムの導入、また列車運行の効率化の面では、運行管理システムや自動運転システムの導入、さらには車両モニタリングシステムによる保守の効率化などがその一例である。これらの諸技術は、最近のエレクトロニクス技術の大きな成果であり、

いずれも最新の技術を駆使したものであるが、ややもすると各サブシステム内の縦割り技術の範ちゅうでの革新と言えないこともない。今後の鉄道システムの飛躍的な競争力の強化のためには、地上-車上情報伝送を媒体とした横断的システム化が必要である。

このようなシステム化によって達成される高度鉄道輸送システムの主な検討項目を図1に示す。システムの主な目的とそれを実現するための各サブシステムの代表的検討項目の例を同図で示した。

従来は、列車が駅をいったん出発すると、次の駅に到着するまで地上システムと車両は情報連絡の手段に乏しく、地上運転指令員と車両乗務員の判断によって運行されてきた。今後は、地上-車上情報伝送を常時可能とし、列車自身も自列車の現在位置を常に認識し、前の見える運転を可能とする。通称「インテリジェント電車」が実現すると考えられる。

これにより、従来になかった気の利いた運転が可能となり、人間が行う運行よりもレベルの高い運行が可能になると考えられる。すなわち、運転技量のばらつきを低減し、ダイヤグラム遅れの防止と運転時隔の短縮やプラットフォームの停止余裕距離の短縮、さらにはむだなブレーキ回避による省エネルギーなどが可能であろう。地上でも、車両と連携した運行制御により、より柔軟な列車群としての制御が可能になると考えられる。

2.3 日立製作所の車両情報制御システムの概要

情報制御装置とは、車上に搭載されて列車のすべての情報を一元的に把握し、必要な情報を常に自由に入手し伝達できるための情報系である。これによって車両内の各サブシステムを有機的に結合させる。いわゆるインテリジェント車両を

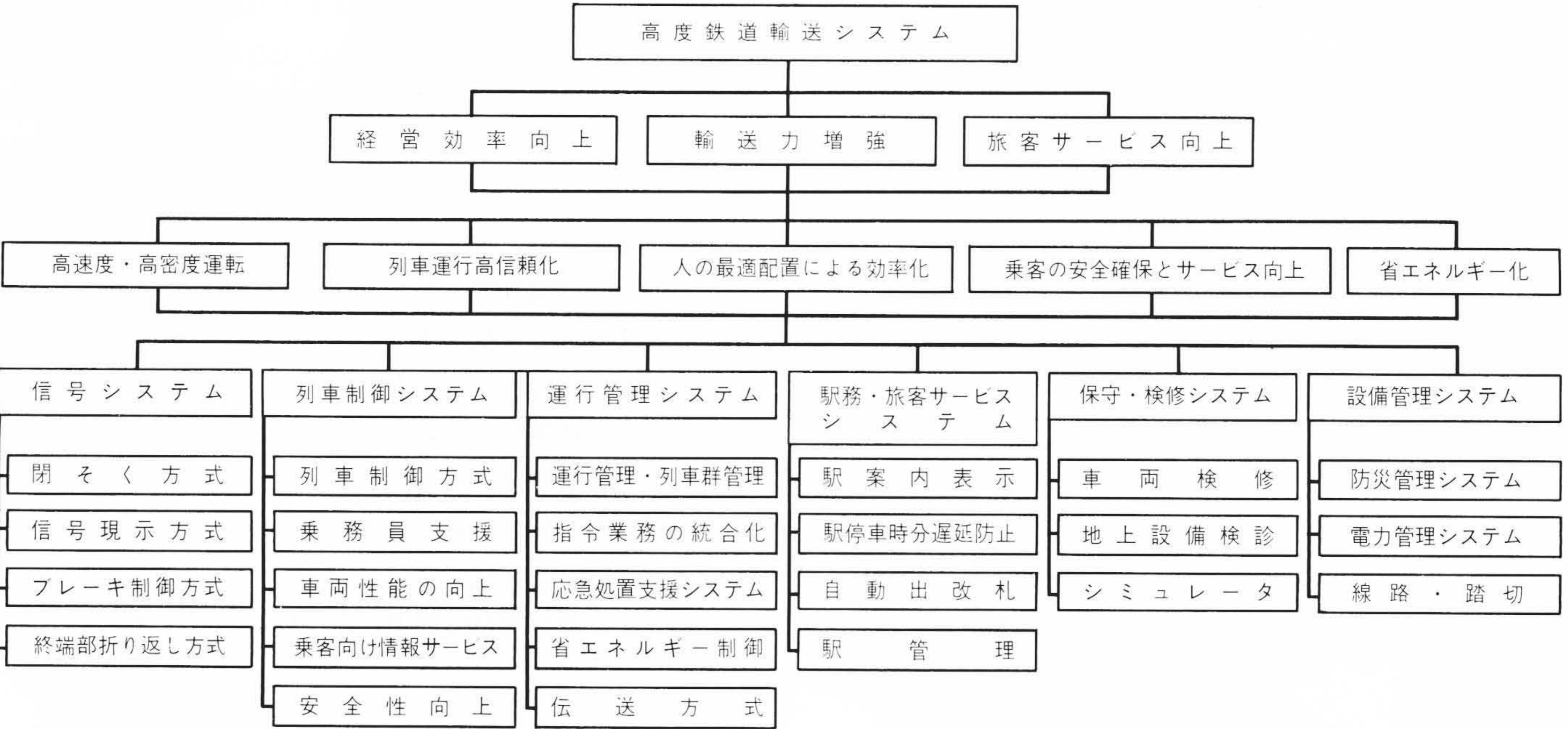
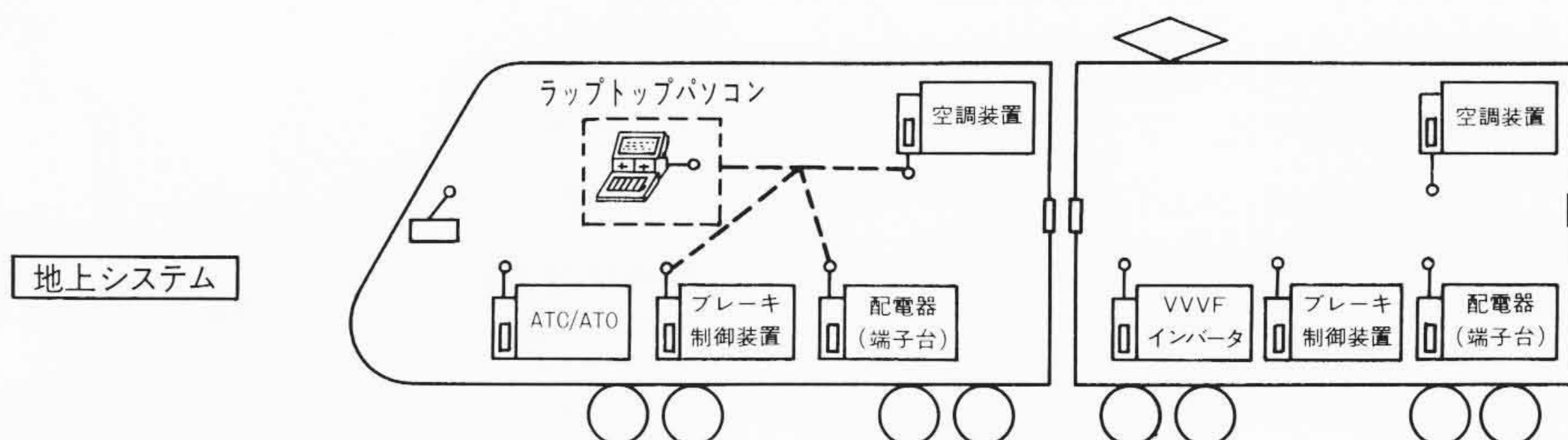


図1 高度鉄道輸送システムの検討項目 高度鉄道輸送システムの検討のためには、各サブシステムの横断的なシステム検討を要する。

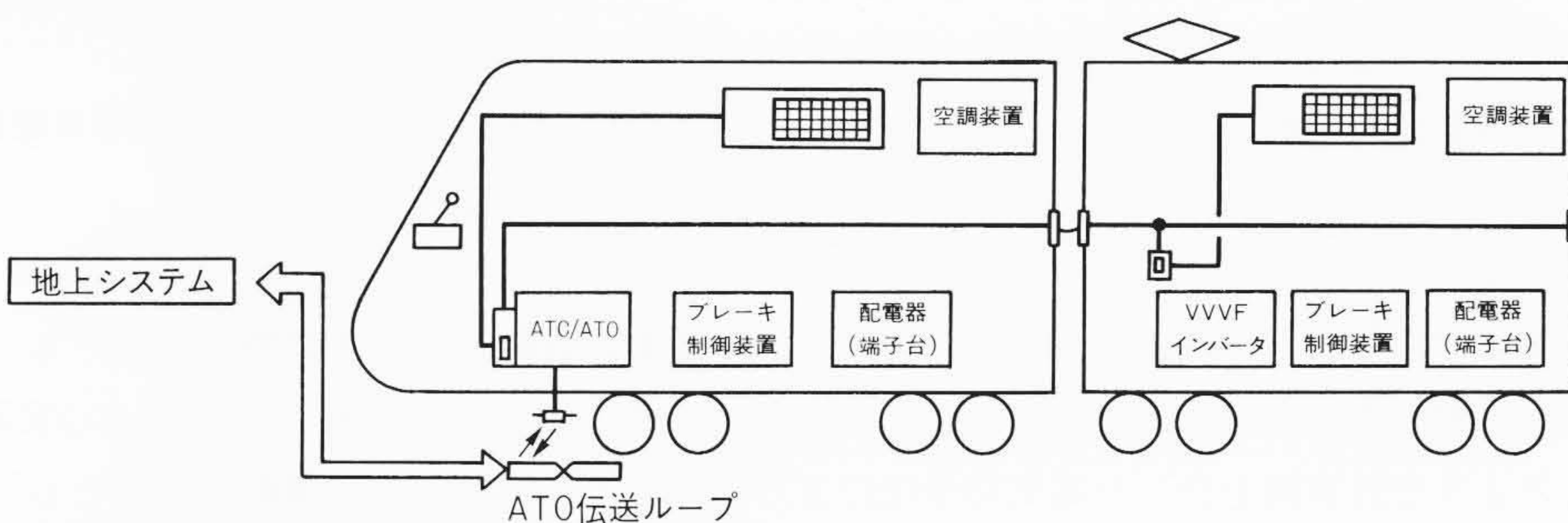
1. 機器単体モニタ

機器の動作,故障情報はI/Oユニットを設備することによって収集,記録することができる。



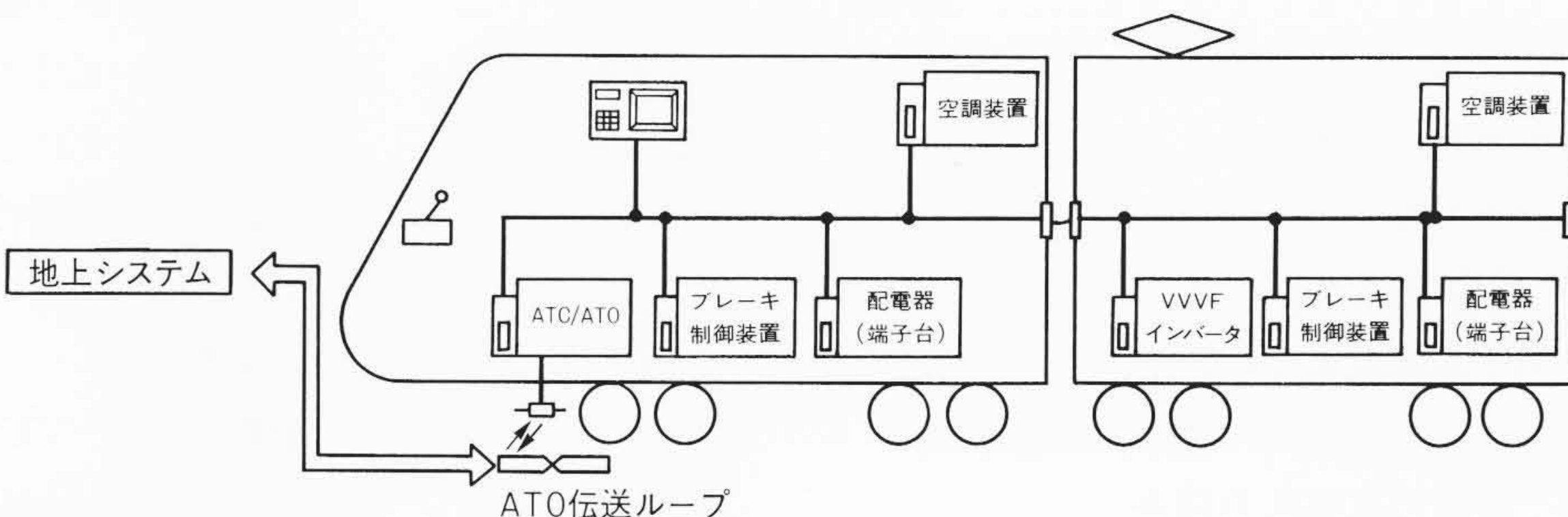
2. 乗客向け案内表示サービスシステム

停車駅,乗換,接続などの案内情報の表示を,集中制御するシステムである。



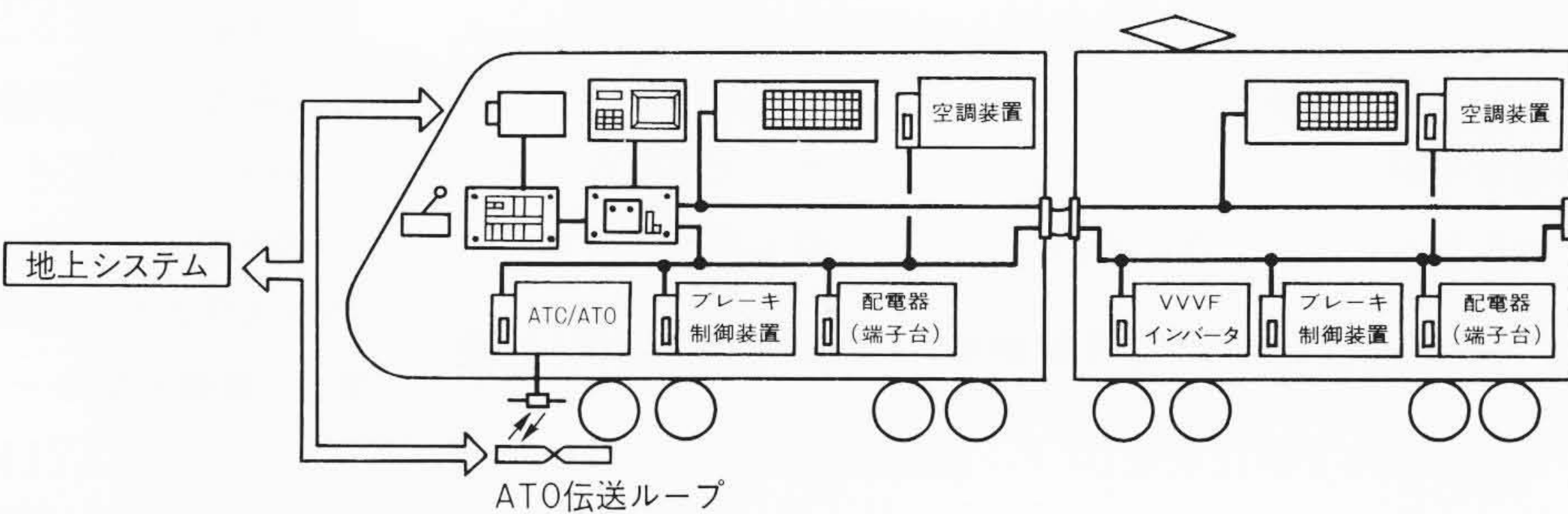
3. 集中モニタリングシステム

列車全体の各機器のモニタリングを,運転台で集中的に行うシステムである。



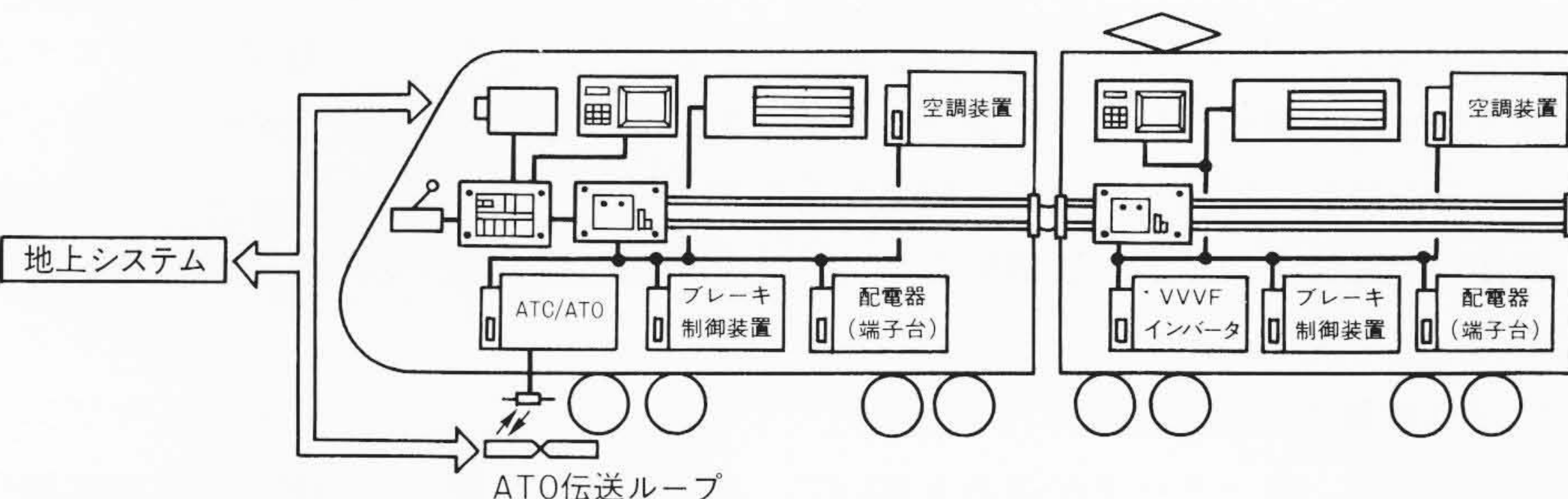
4. 機器モニタ・乗客向け案内サービスシステム

各機器のモニタリング,乗客向け案内サービスおよび空調装置などの制御を,運転台で集中的に行うシステムである。



5. 総合車両情報制御システム

運転制御指令を含めた列車内のあらゆる情報伝送を,光ファイバを用いた高速・大容量の伝送系によってサポートし乗務員支援,保守支援,乗客サービスを総合的に行うシステムである。



注:略語説明

ATC/ATO (Automatic Train Control/Automatic Train Operation), VVVF (Variable Voltage and Variable Frequency), パソコン (パーソナルコンピュータ)

図2 日立車両情報制御装置の機器構成選択例 日立車両情報制御装置では,用途に応じて各種システムを構成できる。

形成するための中心装置である。機能的には車上LANであるが、真の情報化を図るためには情報と制御の一体化を必要としており、そのためには信頼性の向上とともに、バイタル情報を伝送できる安全性の確保も同時に必要とされる。

最近の航空機では、フライバイワイヤシステムが導入されている。操縦桿(かん)と各パワーアクチュエータの間は計算機を介した情報系によってつながっており、電気信号だけによる操縦が可能になっている。

車両でも、ブレーキ指令が最近では空気指令から電気指令になりつつあり、同様な傾向にあるとも言える。車両がブレーキの専用引き通し線を使用しているのに対し、フライバイワイヤシステムでは、他の情報と共用する時分割直列伝送を行っている。航空機では、これによって操縦系統の保守が容易になり、さらに設計、製作いずれかの段階でも操縦系統を変更することが可能になったと言われている²⁾。

柔軟で高度な列車制御の実現のためには、車両も計算機を介した電気指令によって制御することが必要とされている。このような計算機を介した電気指令化により、引き通し線の大幅な減少、軽量化、保守性の向上、車両性能の変更が主としてソフトウェアでできること、高機能化に対応しやすいことなど多くの利点が生じてくると考えられる。日立車両情報制御装置での機器構成選択例を図2に示す。主な要求事項は下記のとおりである。

(1) システムの高信頼化

- (a) 営業運転中のシステムダウンの防止
- (b) システム内の異常波及の防止

(2) 将来の拡張性の確保

(3) ハードウェアの共用化と保守の容易化

これらの要求事項を満たすことが必要であるが、フォールトトレラント性能を持ち、親局と子局の区別がなく、すべての端末が同一ハードウェアである自律分散システムなどのフォールトトレラント性能を持つ伝送系の導入が有効である。

3 東京都営地下鉄12号線納めATI(車両情報制御)装置

東京都営地下鉄12号線(以下、都営12号線と略す。)用車両では、ATC/ATO(ATC/Automatic Train Operation)装置と一体形構成としたATI(Autonomous decentralized Train Information control: 車両情報制御)装置を搭載した。この装置はワンマン運転に対応した適切な情報案内、各機器のモニタ、車上検修、編成・車両内の制御指令伝送など列車全体を総合的に管理するシステム機能を持っている。都営12号線電車の外観を図3に示す。

3.1 ATI装置の特長

ATI装置は、車上データ伝送系を用いて、車両制御に必要な情報を一括伝送・管理し、車両運転制御、乗客サービス、保守を含む総括情報制御システムを構築するものである。以



図3 都営12号線電車の外観 都営12号線電車の外観を示す。

下に特長を述べる。

(1) ATC/ATO装置との一体化構成

運転の頭脳とも言えるATC/ATO装置と情報伝送系の中核であるATI装置とを一体化することにより、運転制御情報、サービス、モニタ情報を共有化し、乗務員への情報提供の充実と情報の一元化を図っている。

また、一体化による機器の集約化、インタフェースの最適化によって、装置の小形・軽量化、ぎ装線の低減を図っている³⁾。

(2) 自律分散ループ伝送システムの採用

自律分散ループ伝送システムとは、システムを構成するNCP(Network Control Processor: 伝送制御装置)をすべて同一構造としてループ接続し、独自の判断機能を持たせ、装置間で連携動作させることにより、システム全体の協調がとれた高信頼度な伝送制御を行うシステムである。このシステムを列車内の基幹伝送系(編成内の各車両間の情報伝送)に光ファイバを用いた二重ループ構成として採用することにより、伝送システムの高信頼化を図っている。

3.2 自律分散ループ伝送システムの概要

ここでは、ATI装置の特長の一つである自律分散ループ伝送システムについて概要を述べる。

3.2.1 自律分散システム

自律分散システムでは、システムを構成するサブシステムが次の性質を持っている。

(1) システムの基本的な性質

(a) 自律可制御性

いかなるサブシステムのダウンあるいは拡張に対しても、生存するサブシステムはみずからを制御できる。

(b) 自律可協調性

いかなるサブシステムのダウンあるいは拡張に対しても、生存するサブシステムは他サブシステムと協調し、互いの

目的を均衡させることができる。

以上の二つの性質を満たすためには以下の条件がある。

(2) システムの構成条件

(a) サブシステムの均質性

システムを構成するサブシステムは、ハードウェア、ソフトウェアとも均質であり、共有資源を持たない。

(b) サブシステムの平等性

各サブシステムは互いに上下、制御・被制御の関係はなく平等である。

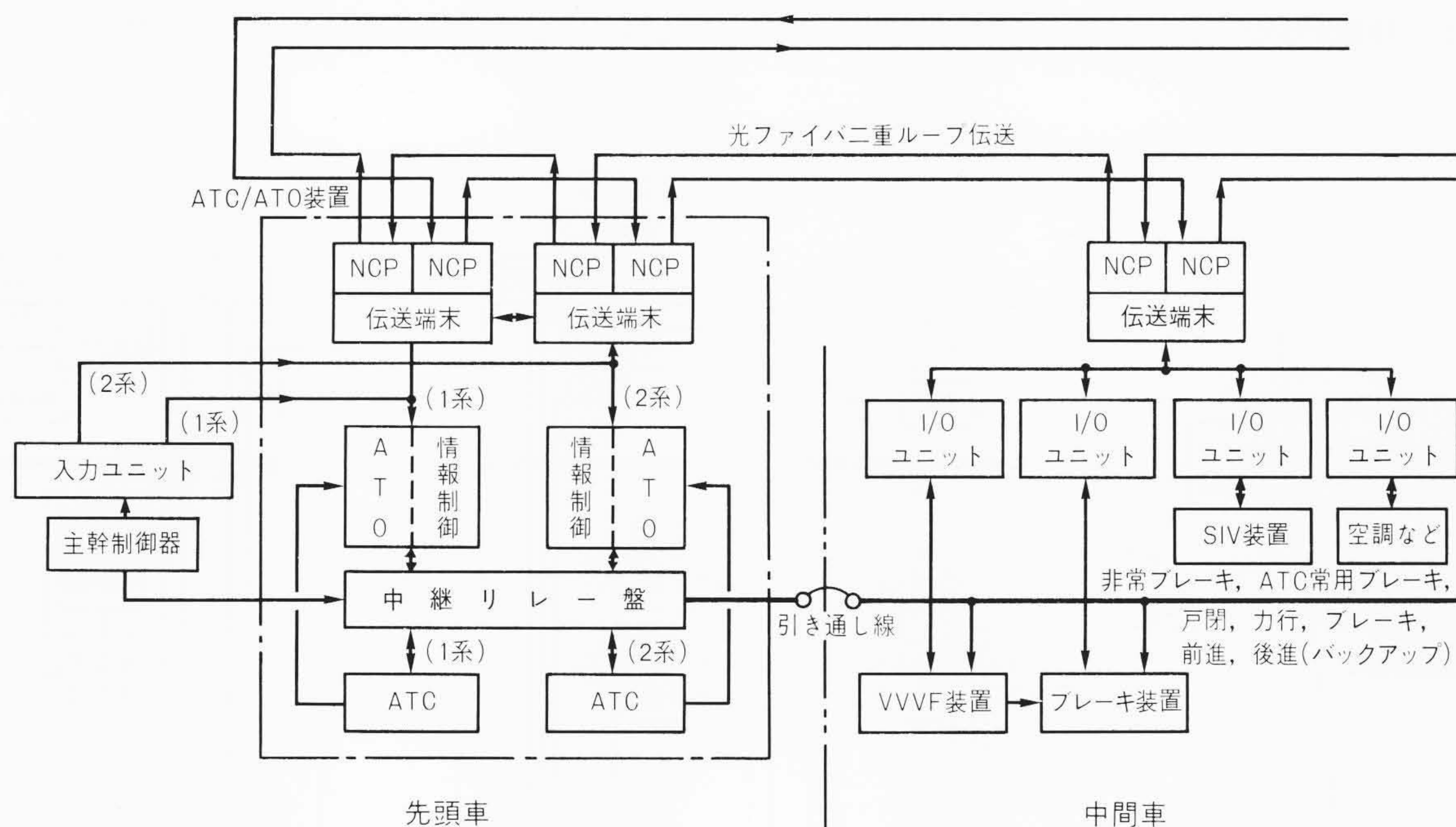
(c) サブシステムの局所性

各サブシステムはみずからの局所情報により、制御・協調し、かつ明確な自己制御領域を持つ。

3.2.2 自律分散ループ伝送システムの特長

(1) システムの高信頼化

自律分散ループ伝送システムでは、運転に必要な最重要指令は、先頭車の2個の入力ユニットから二つの伝送端末装置にそれぞれ入力すること、ATI装置本体を二重系にすること、および伝送路を二重ループで結合することによって、システム全体の二重系化を実現している(図4参照)。伝送端末装置に内蔵されたNCPは、伝送上の異常をみずから検知し、回路を構成してシステムへの異常波及を回避する。伝送路中でデータの異常を検知したならば、隣接NCPへのデータ伝送を中止するなど、システム内への異常波及を防止する〔図5(a)、(b)参照〕。



注：略語説明 NCP (Network Control Processor)

図4 伝送システムの構成 先頭車のNCPを完全な二重系構成としている。

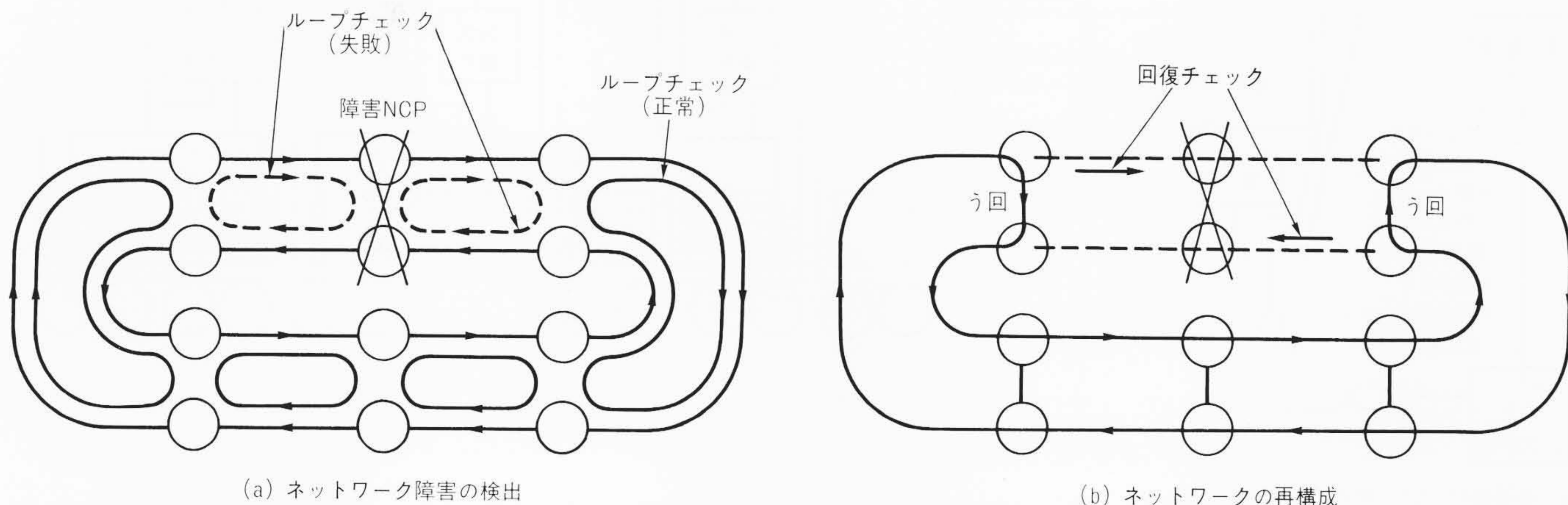


図5 ネットワーク障害の検出 NCPに障害が発生すると、自動的にこれを検出しネットワークの再構成を行う。

(2) 将来の拡張性の確保

使用年限の長い車両用機器では、将来の車両増結（都営12号線の場合、6両～8両）や、機器増設、機能レベルアップを考慮しておく必要がある。本システムでは、受信側の判断で必要なデータを取り込む機能アドレス方式のループ状伝送路を使用しているため、車両増結や機器増設などへの対応は、単に増結車両や増設機器に伝送端末装置を追設し、ループに接続することによって容易に実現できる。また、機能レベルアップに関しても、ソフトウェアの変更によって従来の機能に変更や影響なく、柔軟かつ容易に対応することができるという特長を持っている。

(3) ハードウェアの共用化と保守の容易化

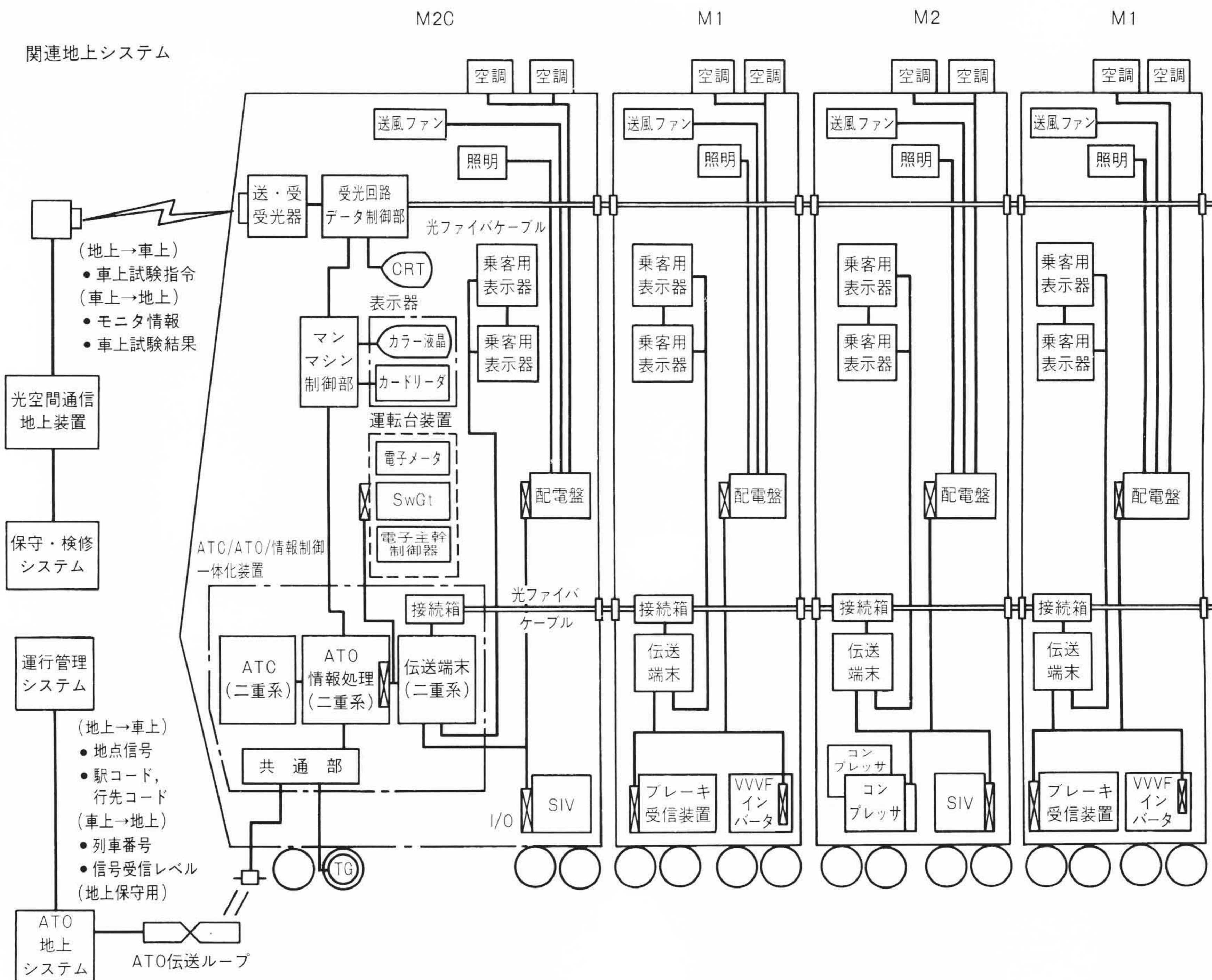
本システムは、伝送システムに接続されているすべての伝送端末装置のNCPを同一構造として互換性を持たせてあるため、構成機器の種類が少なくなり、保守が容易になる。

3.3 ATI装置の機能

本節では、乗務員支援システム、保守支援システム、乗客サービスシステムおよび制御指令伝送の各機能について述べる。全体システム構成を図 6 に示す。

3.3.1 乗務員支援システム

ワンマン運転での乗務員の負担を軽減するために、種々の機能を盛り込んでいる。ATOによって列車運転は自動化し、運転操作は出発押しボタンの操作だけになり、乗務員は前方の安全と機器の監視を行ういわばスーパーバイザー的な立場に位置づけられる。乗客向け案内サービスの条件は、運転台に設けられたカードリーダーにICカードを挿入することで始業設定できる。行先、列番などの表示は、地上のATOのループから自動設定できる。駅ホームの状況は、光空間通信を用いた画像伝送により、運転台のモニタビューで監視できるようになっている。編成内の各機器の動作状態は、ディスプレイ



注：略語説明 SIV (Static Inverter)

図6 ATI全体システム構成 ATI装置は編成内の制御指令伝送を含めて、車両の情報一括管理・制御をつかさどる。

に集約表示され、乗務員が的確に状況を把握できるようになっている。機器に異常、故障の発生した場合には、その内容、発生個所などの情報をディスプレイに表示するとともに応急処置のガイダンスを表示して、緊急時の迅速な判断を支援する。

3.3.2 保守支援システム

搭載機器が高度にエレクトロニクス化されている現在、車両システムの保守・検修も高度の技術が要求され、複雑化する傾向にある。従来は地上で大規模な試験設備を設けてこうした要求に対応するとともに自動化、省力化を図ってきた。本システムでは、搭載各機器のセルフチェック機能と伝送系による情報集約機能とを活用して、月検査レベルの自動試験を車上主体で実行するようにしている。マイクロコンピュータ内蔵機器の場合はATIからの診断指令によって診断モードに移行し、結果を報告するが、その他の機器に対しては、情報制御系から診断用信号を与えて応答をモニタする方式としている。

検査結果や営業運転中のモニタ記録情報は、車両基地で光空間通信による自動読出しが可能となっており、地上の車歴管理システムとの結合を容易にしている。

さらに本システムは、ATC、ATOの信号受信レベルや、リアモータとリアクションプレートとのギャップ距離を車上で測定し記憶する機能を設け、地上設備の検測業務にも役だてることが可能になっている。

3.3.3 乗客サービスシステム

ATOから与えられる車両の現在位置、速度、列番などの情報や、ICカード情報などを用いて表示、音声による乗客への案内サービスを行う。

表示器は、LED(発光ダイオード)式3色、グラフィック、スクロールが可能なタイプとし、多彩な表示に対応できるようにしている。また、自動放送音源はICメモリで小形化、メンテナンスフリー化を図っている。これらの機器の制御は情報制御系による一括管理のため、表示と音の連動した案内サービスや情報メンテナンスの一元化を図っている。

3.4 機器の構成

ATIは、次の伝送路と主要機器とで構成される。

3.4.1 基幹情報伝送路(Train Bus)

(1) データ伝送系

車両の走行や停止を指令する制御指令や、主要制御機器のモニタリングデータなど、従来の車両指令線と同等の高い信頼性を要する車両間のデータの伝送に用いる。このデータ伝送系は、各車両に配置された伝送端末装置と、それらを結ぶ光ファイバ伝送路を使用した二重ループで構成されている。

(2) 画像伝送系

地上のITV(工業用テレビジョン)カメラで撮影したホームの画像を、後部運転台まで光空間通信で伝送し、後部運転台

から前方運転台間の車両間伝送を光ファイバを用いて伝送する。

なお、データ伝送と画像伝送とは別系で伝送されるが、ケーブルは4心の光ファイバケーブルを使用し、共通化を図っている。

3.4.2 支線情報伝送路(Vehicle Bus)

各種搭載機器〔VVVF装置、SIV(Static Inverter)装置など〕と光ファイバ伝送系の伝送端末装置との情報伝送は、機器の内部または近傍に配置するI/Oユニットと称するインタフェース装置を介して直列伝送によって行い、ツイストペア線マルチドロップ接続方式としている。

3.4.3 マンマシン制御部、情報制御部本体

各先頭車両に各1台のマンマシン制御部を搭載し、入出力端末を介した情報の入出力を行う。情報制御部本体は、ATC/ATO装置と一体化構造とした二重系で構成し、データ伝送系を介したATO指令とデータ収集、地上システムとのデータ伝送、さらにはデータ伝送によって得られたデータに基づく制御などを行う。

3.4.4 地上・車上光空間伝送車上装置

駅ホームの状況は、光空間通信を用いた画像伝送により、運転台のモニタビューで監視できるようになっている。また、画像に加えてデータの通信も可能となっており、車両基地での保守用データのダウンロードや、車上検査の通信手段としても使用できる。

3.4.5 各種端末機器

ATI装置は、運転席や客席に以下に述べる入出力機器および端末を持つ。運転台の外観を図7に示す。

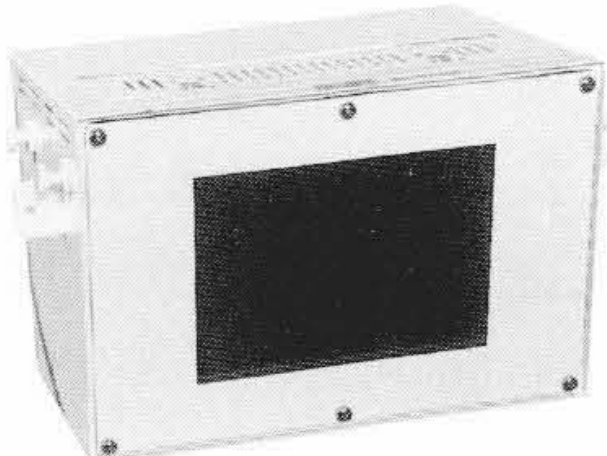
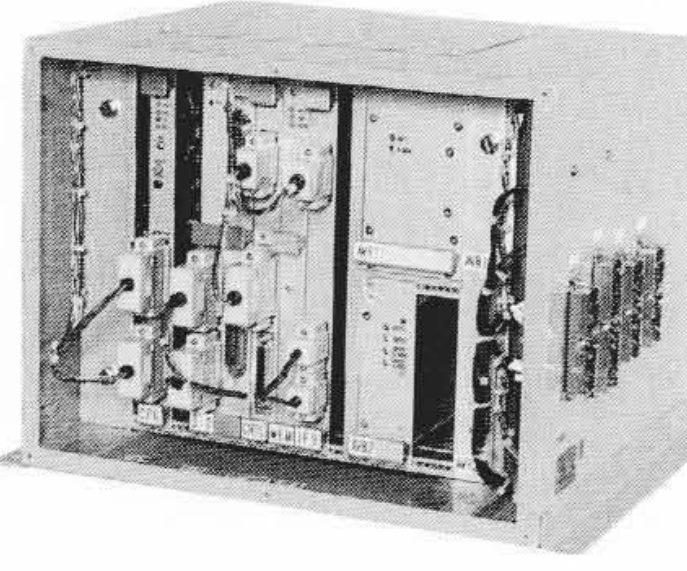
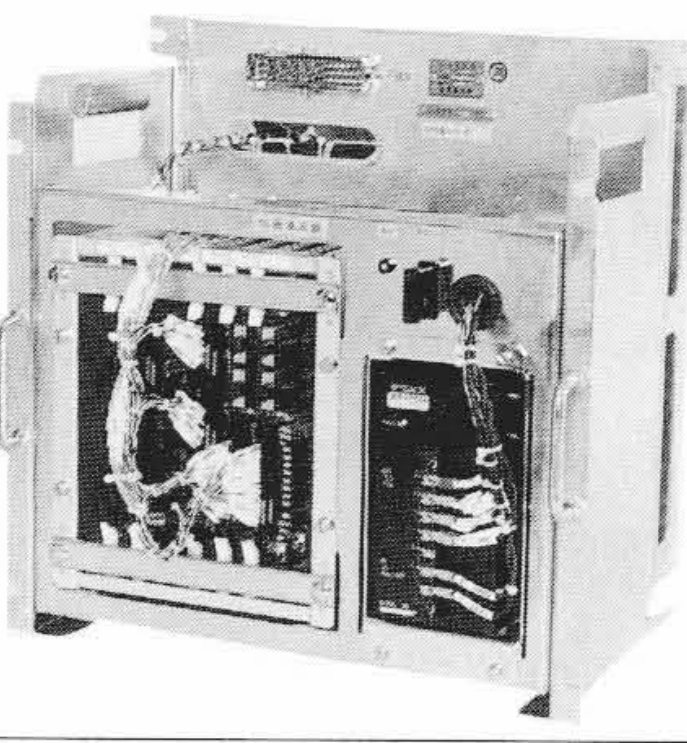
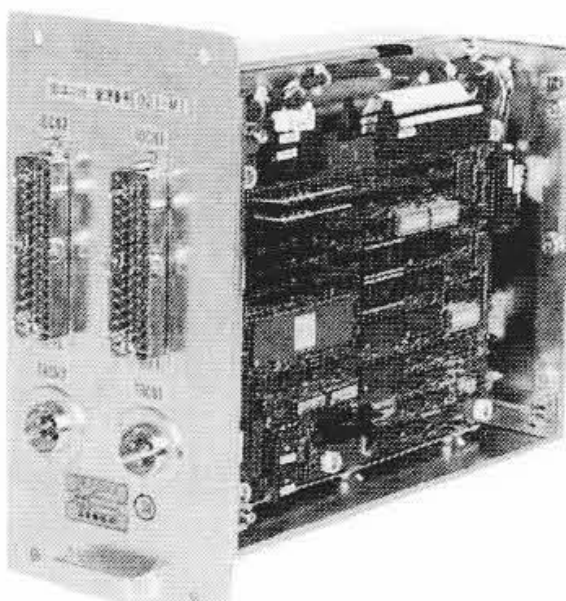
(1) 乗務員用表示装置

モニタ情報や運転支援情報表示するもので、カラーTFT(薄膜トランジスタ)式液晶ディスプレイ(10.4インチ)によって表示する。



図7 運転台外観 運転台の外観を示す。

表1 主要機器外観 主要機器の仕様および外観を示す。

名称	仕 様	外 観
乗務員用表示器	表示素子：TFTカラー液晶 画面サイズ：10.4インチ 表示分解能：640×400ドット 表示色：8色 表示信号：デジタルRGB ICカード：非接触式メモリカード (容量32kバイト) 操作キー：フラットパネル形 (16点)	
マシン制御部	CPU：16ビット (HD68000) ROM：256kバイト RAM：128kバイト 拡張メモリ：512kバイト 通信ポート：RS-232C I/Oユニット伝送系	
伝送端末	制御方式：自律分散伝送方式 伝送速度：1Mビット/s 伝送路構成：光ファイバ二重ループ 伝送手順：HDLC手順準拠 使用ファイバ：GI50/125μm 支線ポート：4ポート	
I/Oユニット	制御方式：ポーリング，セレクトイング方式 伝送速度：9.6～38.4kビット/s 伝送路構成：マルチドロップ接続 使用電線：ツイストペア線 接続ユニット：標準4台，最大16台 (同一ライン上)	

注：略語説明 HDLC(High level Data Link Control)，TFT(薄膜トランジスタ)

(2) ICカードリーダー

始業設定や乗客向け案内サービスデータ入力用および保守メニュー画面(車上検査，試運転時に使用)切替用に用いる。

(3) 乗客用案内表示装置

行先，次駅停車案内などを行うもので，次駅停車駅を点滅するマップ式のものと，各種案内を表示するLED(発光ダイオード)スクロール式(2段)とを一体化したタイプである。

(4) 自動放送音源

ICメモリ式で，小形化，メンテナンスフリー化を図っている。

主要機器の仕様および外観を表1に示す。

4 結 言

鉄道車両の情報化・インテリジェント化の中心的な装置として車両情報制御装置を開発し，これを都営12号線車両に適用した。情報化というと，車内の情報サービスがすぐに思い浮かぶが，むしろ制御や運行・保守にあたっての制御や支援で大きな効果を生み出すものと期待される。鉄道は大きく人間系回路と機械系回路との組み合わせだった巨大システムであり，ジェット旅客機やプラントなどに比べても人間に頼る割合が高いと言われている。今後の鉄道の高度化・高効率化のためには，人間でなくても可能な制御の自動化による人間に頼る割合の低いシステムの構築が必要であると考え。この観点からも情報制御装置の果たすべき役割が大きいものと考え。

参考文献

1) 高岡，外：車両搭載情報制御システム，日立評論，70，7，717～724(昭63-7)
2) 高岡，外：列車運転・運行システム，電気学会誌，110巻，4号，257～262(平-2)
3) 佐久間，外：東京都営地下鉄12号線用リニアモータ駆動車両の研究開発について(6)，電気車の科学，43，3(平-2)