

車両搭載情報制御システム

On-Board Train Information Network Systems

情報化社会の進展に伴い、鉄道車両へも「車両情報制御装置」を搭載し、車両内での情報の収集・分配と乗務員や旅客への情報の提供、更には地上システムと連携をとり、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、運行管理システムやATOで確立した技術を核とし、最新の情報制御技術や端末装置を駆使した「車両搭載情報制御システム」を構築した。本システムによれば、車両のすべての情報を一元的に把握することが可能となり、鉄道の本来持っている優れた特性を発揮すべく、全体が情報系によって有機的に結合された知識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。

高岡 征*
山田和博*
服部暁彦**
植田千秋***
安信誠二****

Tadashi Takaoka
Kazuhiro Yamada
Akihiko Hattori
Chiaki Ueda
Seiji Yasunobu

1 緒 言

現在の輸送環境の中で鉄道は到達時分やコスト、更には旅客サービスの点で航空機や自動車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って、走行速度の向上、安全性の向上、信頼性の向上、輸送コストの低減など諸施策を実施してきた。走行速度の向上の面では高速化に適したVVVF(Variable Voltage and Variable Frequency)インバータシステムの開発、安全性の向上の面ではATC(Automatic Train Control)やATS(Automatic Train Stop)の導入、更にはモニタリングシステム導入による保守の効率化と信頼性の向上、運行管理システムやATO(Automatic Train Operation)の導入による一人乗務化などがその一例である。これらの個別技術の開発・改良は今後も重要であるが、鉄道システムの飛躍的な競争力の強化のためには、それ以外の広義のソフトウェア技術、システム化手法の導入が極めて有効である。

一例として、在来都市近郊幹線の高速化のためには、信頼性の高い高速走行車両が第一に必要であるが、安全に高速走行するためには信号方式の改良が必要であり、また従来の乗務員の記憶と判断による運転・運行制御では安全上の問題が生じかねない。鉄道を機械系と人間系の複合体と考えたとき、人間の分担する機能の割合は30%程度であり、化学プラントの13%やジェット旅客機の23%よりも高いという指摘もある¹⁾。

高速化や高密度運転に対応した高効率システムで従来の保安度を維持するためには、人間の分担する作業割合の低減が必要である。この人間の分担割合の低減のためには、車両の「情報制御システム」の存在が不可欠であり、有力な鉄道の競争力強化のための基本的ツールとして活用することが望ましいと考える。

2 情報制御システムのねらいと要素技術

2.1 システムのねらい

最近の鉄道では、高度情報化時代の進展に対応し、事業の拡大、業務の合理化、到達時間の短縮、利便性の向上、集客力の向上などを目標に、制御と情報の統合による活性化を図り、輸送機関としての競争力の確保・強化を指向する機運にある。

このために、「車両情報制御装置」を車両に搭載し、情報装備した高度鉄道システム(図1)を構築し、これによって鉄道が本来持っている優れた特性を発揮させることを主眼としている。

換言すれば、鉄道の優れた特性を発揮させるためには、列車内のすべての情報を一元的に把握できることが必要であり、情報に関して透明な、必要な情報が常に自由に入手できる車上システムの存在が必要となる。AC100 Vの商用電源コンセ

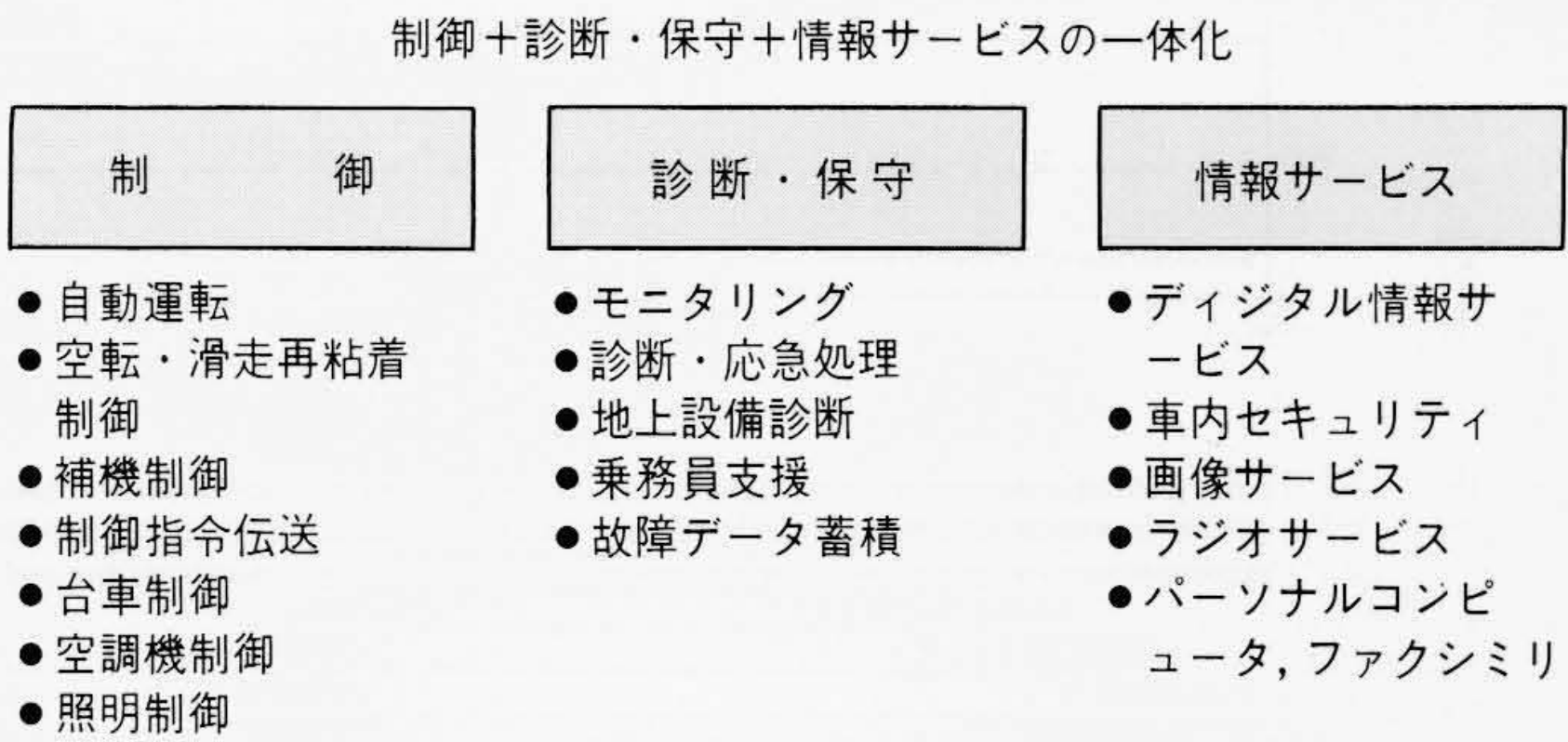


図1 情報装備の高度鉄道システム 制御と診断・保守及び制御の一体化が効率的なシステム構築に必要である。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所システム事業部 *** 日立製作所機電事業本部 **** 日立製作所システム開発研究所 工学博士

ントのように容易に情報の入手が可能な情報系を車両内全域に設け、自由に情報の入出力や追加変更の容易なシステムを構成し、これによって全体が有機的に結合された知識集約形車両への方向を進める必要がある。このような知識集約形車両の核として、車両情報制御装置を位置づけし、主として次のような情報の総合的な管理及び処理を行う。

- (1) 乗務員(運転士、車掌)が運行に必要な運転情報、運転管理情報及び路線情報
- (2) 車両に搭載された機器及び地上機器の動作情報、並びに異常情報、故障情報
- (3) 車両の各種機器に対する指令情報と乗客へのサービス情報

2.2 情報制御システム提案の背景

鉄道システムが他の輸送機関にご(伍)して競争力の確保・強化を行うためには、第一には輸送コストの低減が必要であり、第二には到達時分の短縮、利便性の向上であり、第三には乗客へのサービスの高度化が必要である。これらの3項目は、日立製作所が追究する目標であるが、これを達成するための具体的な施策と方向について幾つかの例を紹介する。

2.2.1 営業中ダウンタイムの最小化

営業稼働中の車両に車両故障が発生した場合、ダウンタイムを最小化し円滑な営業を継続することは、交通機関に課せられた最大の使命である。このダウンタイムの最小化のために、次のような機能を持っている。

- (1) モニタリングシステムによる故障情報の収集
情報制御装置の持つ車内高信頼伝送系を介し、機器の故障情報、状況データなどを収集し、応急処置及び修理のためのデータとする(図2)。
- (2) 応急処置支援システムによる応急処置の支援
モニタリングデータを基に、応急処置を短時間に行い、地

上指令室の運転指令と交信して応急処置を行う必要がある。このためには、知識工学を応用した応急支援・運転指令装置によって乗務員に的確かつ迅速な指示を与える(図3)。

2.2.2 車両保守の高度化と簡易化

- (1) インテリジェント制御装置による自己診断
主な車両制御装置には自己診断機能を持たせ、自装置故障時の詳細データの確保と故障ハードウェア部品の明確化を行う。本機能の目的は、主として修理の容易化であるが、このデータによって応急処置をよりの確に行うことが可能となる。
- (2) 車両検査支援システム
車両情報制御装置による情報収集、管理機能及び遠隔制御機能を活用し、車両の定期検査の効率化を図る。

この場合、試験の地上と車上の分担は、全体として最も効率の高い分担の選択が肝要であり、ユーザーの現有設備との関連をも含み決定されるべきである。以下に、主な評価項目と留意事項を述べる(表1)。

- (1) 経 済 性
車上に大部分の試験機能(一部機能は地上に残る。)を搭載することは技術的には可能であるが、車種・車両数を含め経済的評価を要する。
- (2) 拡 張 性
車両搭載機器、試験項目などに変更や追加が生じたとき、改造の容易さなども評価の項目となる。
- (3) 客 観 性
試験の客観性の観点からは、車両全体に対して外部から条件設定できる地上形システムが優れている。
- (4) そ の 他
安全性、機器稼働率、ダイナミックチェックの可否などを含め評価し、使用条件に最も適したシステム構成とする。

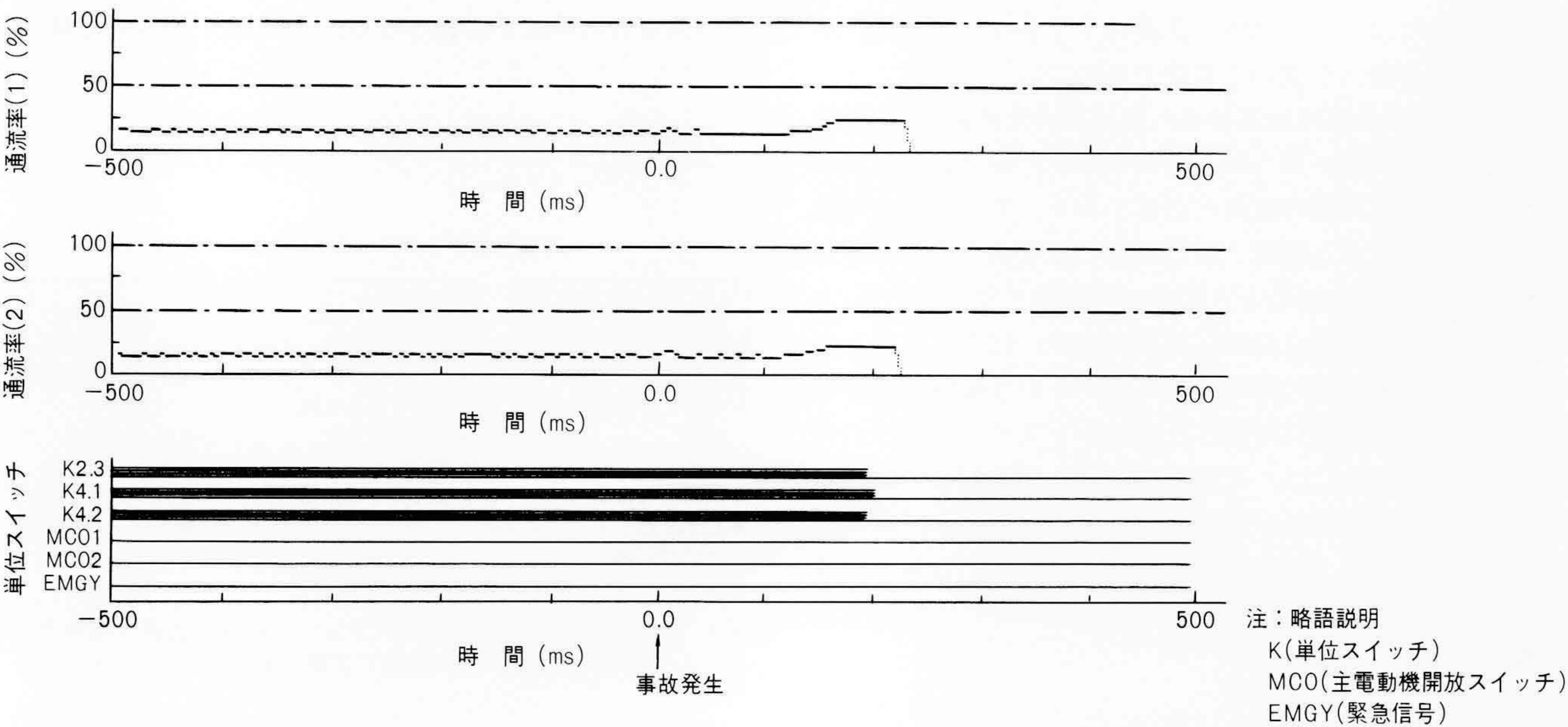


図2 チョップパ装置用多目的モニタリングシステム 事故情報収集モードでは、事故発生の±500 ms間のアナログデータ10点、デジタルデータ35点を記憶する。ほかに走行状態トレースモード、シーケンスチェックモード、オンライン制御定数可変モードの切替使用が可能である。

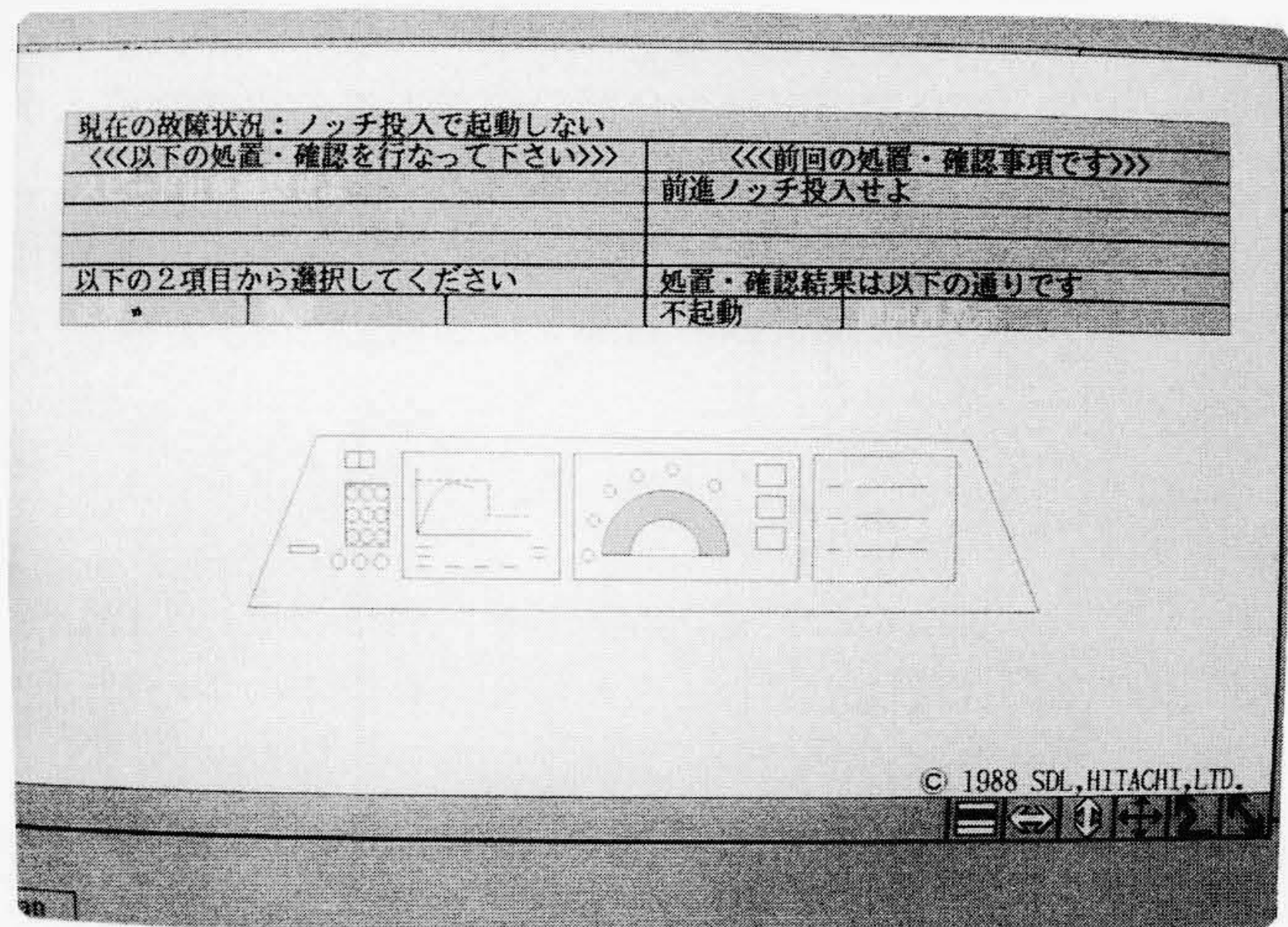


図3 応急処置支援システム表示画面 CRT画面に操作・確認すべき項目の運転台イラストが表示され、CRT(Cathode Ray Tube)画面に従い応急処置を行う。

2.2.3 車両制御の高度化と運転支援

(1) 高密度運転システム(ATD：Automatic Train Decelerationシステム)^{2),3)}

大都市通勤輸送についてその輸送力は限界に達しており、輸送力の増強のためには複々線化、編成車両数増、高密度化

などの方法がある。しかし、複々線化と編成車両数増のためにはいずれも土地の新規手当などが必要であり、最近の地価高騰もあって実現困難な場合が多い。一方、高密度化については、諸外国では1分30秒程度の時隔で運転している事例があり、運転間隔の短縮は世界的なすう(趣)勢である。このような高密度運転実現のためには、情報システムを中核とし、ATC、ATO更には高性能車両制御装置との連携や地上システムとの緊密な協調が不可欠となる。

(2) 到達時分短縮と、そのための高速運転と運転支援

特に都市間中距離輸送で、鉄道は自動車との競争を余儀なくされている。言うまでもなく到達時分の短縮には車両の高速化が有効である。そのためには、VVVFインバータに代表される高性能車両制御装置などによる高性能車両の実現が第一に必要となる。同時に、曲線での速度向上を目指す振り子台車制御や高加減速車両の実現には編成全体のシステム化が必要となり、情報制御装置が不可欠となる。更には高速化時の安全確保の観点から、踏切障害対策、速度制限の遵守、走行モード多様化による停車駅の変化や到着ホームの変更、その他当然のことであるが、規定されたダイヤの厳守など、乗務員(特に運転士)への負担は速度向上によって急激に増加する。このような事態に対処すべく、乗務員の記憶に頼る内容と比較的単純に割り出される判断は機械化し、最終の確認・判断業務だけを乗務員の負担として残すことが良いと考える。現実的には、路線の特性や従来の慣例に応じ、分担の程度は変更が可能であり、また国民性の差によっても分担の差があると言われているが、情報処理の発達した現在、単純な判断作業は極力機械化する方向が望ましいと考える。

表1 自動試験システム構成案比較 自動試験システム機能の地上・車上分担区分により、特徴のあるシステム構成が可能となる。

No.	名称	内容	経済性	拡張性	客観性	安全性	稼働率
1	完全地上形	地上 試験実行管理 条件設定 機器動作測定	×	○	○	○	△
		車上 なし					
2	地上主体形	地上 試験実行管理 条件設定	△	○	○	○	△
		車上 機器動作測定					
3	均等分担形	地上 試験実行管理 条件設定(車上設定不可のもの)	○	○	○	○	○
		車上 条件設定(通常操作指令) 機器動作測定					
4	車上主体形	地上 試験実行管理(記録,出力管理だけ) 条件設定(車上設定不可のもの)	○	△	△	○	△
		車上 試験実行管理(シーケンス管理) 条件設定(外部条件除く模擬信号) 機器動作測定					
5	完全車上形	地上 なし	×	△	×	△	×
		車上 試験実行管理(可搬形プリンタなどを使用) 条件設定(すべて車上模擬信号使用) 機器動作測定					

3 要素技術

3.1 自律分散伝送システム

情報制御装置のキー技術の一つである車上情報伝送システムには、自律分散伝送方式⁴⁾の適用が望ましい。自律分散伝送システムは地上の運行管理システムで豊富な実績を持っており、交通システムの生命である高信頼性、拡張性、異常時の異常検知と処置、保守性などに他方式の追随を許さぬ大きな特長を持っている。前章で述べたように、車上伝送システムの停止は車両運行の停止を意味する重大な中枢機能であるため、車上情報伝送システムには高い信頼性が要求される。よって、フォールトトレラント性能を持ち、豊富な実績に裏づけされた自律分散二重ループシステムの導入が有効である。主な特徴は下記のとおりである。

(1) システムの高信頼化

システムの高信頼化の内容には、稼動中にシステムダウンを起こさないことと、システム内に異常が起きても影響が広範囲に及ばないことの二つがある。

(a) 営業運転中のシステムダウンの防止

自律分散伝送システムでは、運転に必要な最重要指令は先頭車の2個の伝送端末に各々入力すること、及び伝送路を二重系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た。

(b) システム内の異常波及の防止

伝送端末に内蔵された自律分散伝送路への通信接続装置 (NCP: Network Control Processor)は伝送上の異常を自ら検知し、う(迂)回路を構成しシステム異常の波及を回避する。また、伝送路中でデータの異常を検出したならば、隣接通信接続装置へのデータ伝送を中止するなど、システム内の異常波及を防止する。

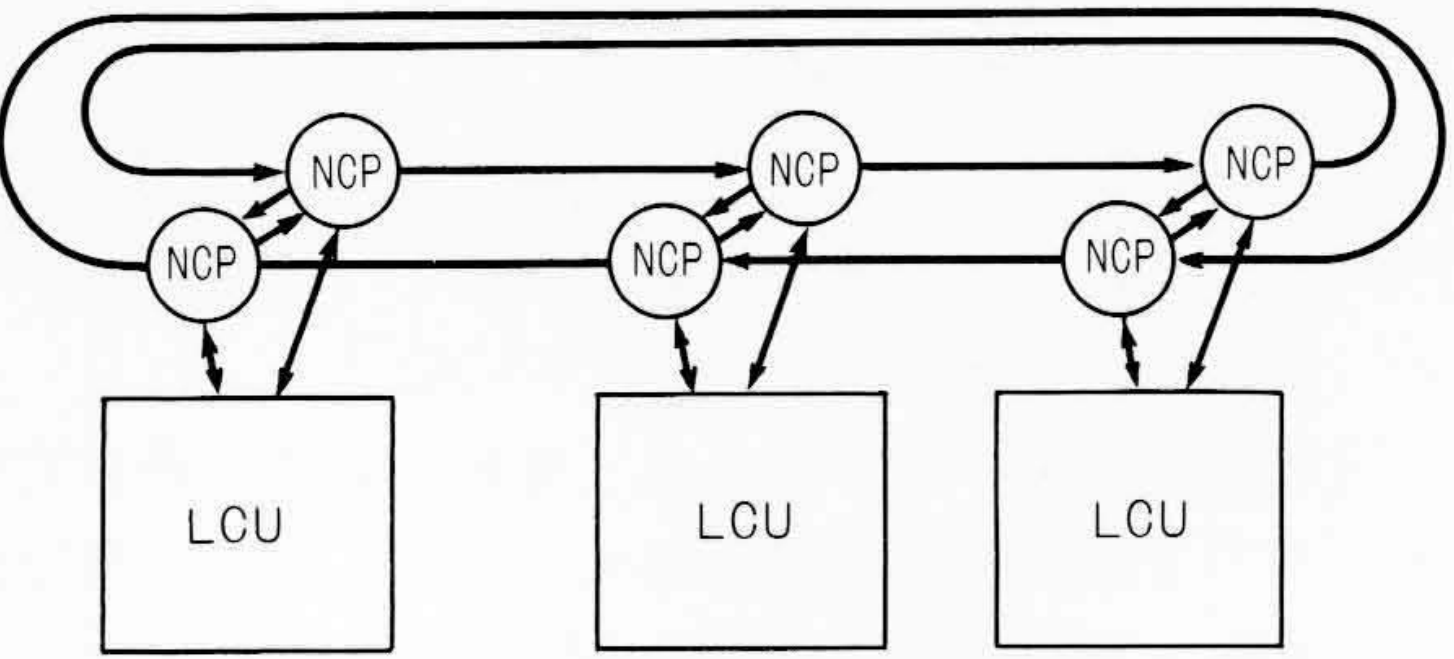
(2) 将来の拡張性の確保

使用年限の長い車両用機器では、将来の車両増結や機器増設、機能の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、機能の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がなく、柔軟かつ容易に対応することができる大きな特長を持っている。

(3) ハードウェアの共用化と保守の容易化

本システムは、自律システムの実現を目的としており、このためには自律可協調性と自律可制御性が必要となる。これらの諸特性実現のため機能アドレス方式及び選択受信方式などを採用し、この結果各伝送端末はすべて同一ハードウェアであり、親局とか子局とかの区別がない。自律分散システムの特徴を表2に示す。

表2 自律分散システムの特長 自律分散システムは完全な伝送路、NCPの二重化が可能である。

項目	特 長
1 信頼性	(1) ネットワーク障害時、各NCPで自律構成制御 (2) マスタノードがないため、システムダウンがない。 (3) 二重ループ、二重NCP(独立)であるため高信頼
2 拡張性	(1) システム拡張時のソフト・ハード変更なし (2) オンライン拡張可能(自動連結・開放、保守) (3) データが独立でデータフォーマットの自由度が高い。
3 保守性	(1) システムテスタによるオンライン監視、診断、保守が可能 (2) NCPのハード・ソフトはすべて同一(互換性) (3) 自動試験機と連結も可能
4 応答性	(1) ブロードキャストにより高応答、高効率(m:n) (2) 二重ループをそれぞれ独立に利用可能 (3) 任意タイミングに送信可能、必要なデータだけ受信
5 構成	

注:略語説明 NCP(Network Control Processor)
LCU(Local Control Unit)

3.2 ファジィ(Fuzzy)理論応用制御方式

主として、乗務員の支援の分野で知識工学の積極的導入が必要かつ有効である。すなわち、ダウンタイムが少なく、しかも高速走行し高密度運転された、他の輸送機関よりも優れた明日の鉄道システムでは、人間と機械間のインタフェースがとりわけ重要となる。特に、発生する事象に即応した対応を要する運転士の支援システムに有効な武器となる。

(1) ファジィ理論応用ATO

高い効率を目指した鉄道システムで、列車の走行や停止を行う運転制御は機械化することが望ましい。その主な理由は下記のとおりである。

- (a) 運転士の技術や個人差による運転効率の低下の防止
具体的には、走行目標速度に対する追従性能のばらつきやブレーキタイミングの遅れ、更には扉開閉の遅れなどが手動運転ではばらつきとして生じ、効率の点から無視できない。
- (b) 従来の運転操作はファジィ理論応用ATOの開発によって熟練運転士並みの制御が可能となり、人間が操作するまでもない。また、ATOのほうが省エネルギー運転ができる。
- (c) 省力化ニーズに対応できワンマン化が実現できる。

(2) ファジィ理論応用応急処置支援システム

ATOと並んで運転士を支援する有効な手段に、車両故障時の応急処置支援システムがある。車両故障による列車の遅延は、乗客に対する信頼性を失うため、故障原因の判定や応急処置を迅速かつ正確に行うことは重要なことである。運転士にはCRT(Cathode Ray Tube)にイラスト入りで原因や処置が表示され、操作を次々に指示し熟練者に近い応急処置支援を行う。このための地上指令員と運転士のインタフェースを考慮したファジィ理論応用応急処置支援システムを組み込むことが可能である(図4)。

3.3 車内画像情報サービスシステム

乗客サービスのよりいっそうの向上、及び高度情報化への対応を図るため、列車内での情報サービスの拡充が望まれている。このためには、車内の画像サービスの拡充が有効な手段であり、具体的にビデオテックスサービスとビデオサービ

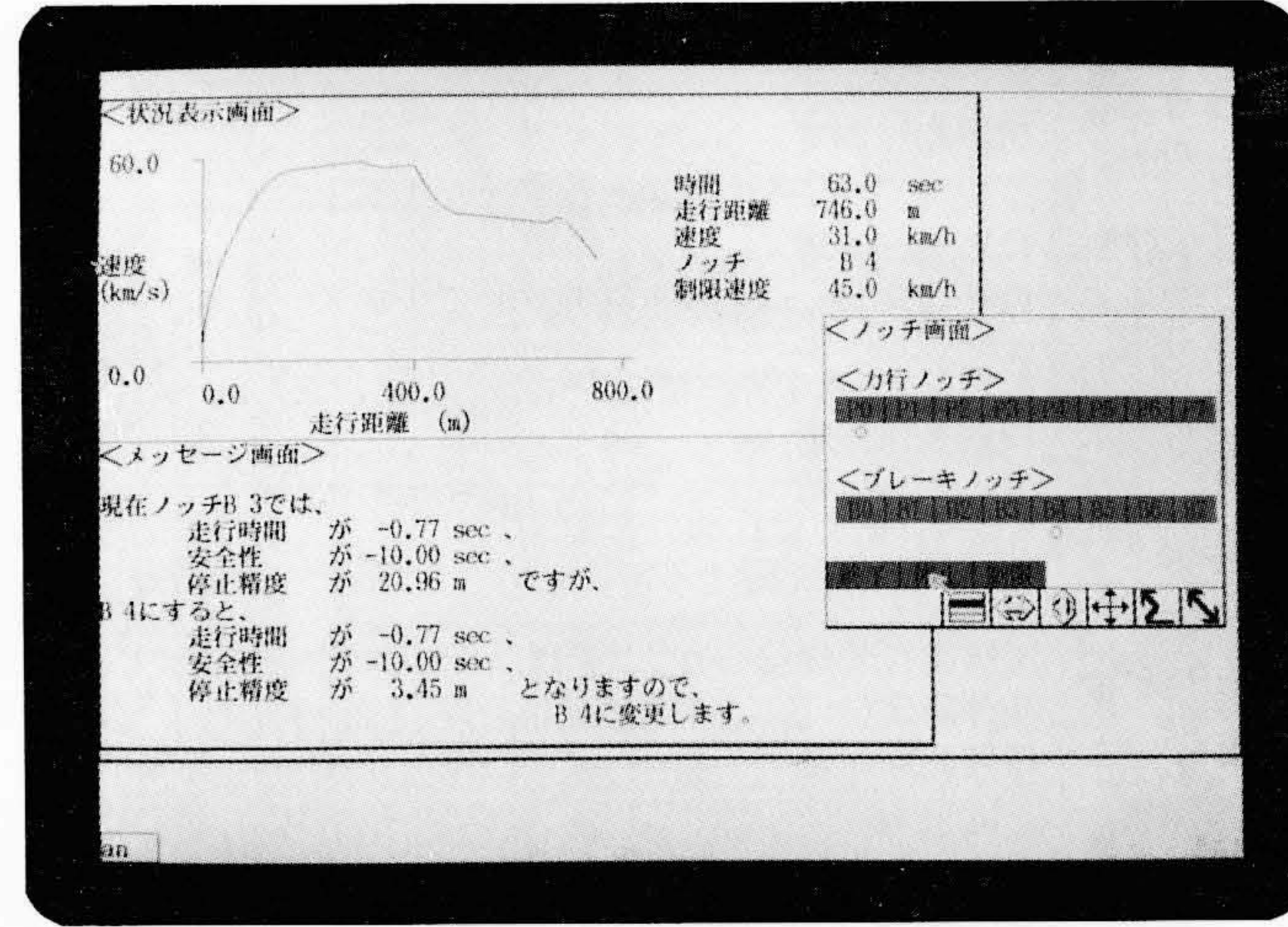


図4 ファジィ理論応用運転支援画面 CRT画面にランカーブ、指令ノッチ指示、走行時分と遅れ、次駅停車情報などを表示し、手動運転の支援を行う。

スが逐次実用化されつつある。

3.3.1 ビデオテックスサービス

ビデオテックスサービスについて、昭和61年3月に100系新幹線試作電車を用い、営業運転でのビデオ及びビデオテックスによる車内情報サービス試験を行った⁵⁾。本試験では、パーソナルコンピュータを用いたビデオテックス端末を用い、乗客はテンキーなどの簡単な操作によって、あらかじめ用意されているビデオテックス画面を次々に検索し表示させることができる(図5)。これにより乗客は、降車駅案内や乗継ぎ列車などの情報を容易に得ることができる。

3.3.2 ビデオサービス

客席の背中にパーソナル液晶カラーテレビジョンを取り付け、あらかじめ決められた番組(映画、各種案内、走行風景など)を放映する(図6)。必要に応じ沿線の観光案内などのテロップを流すことも可能となる。また、将来は各席に運行案内や乗継案内などのビデオテックスサービス、更にはテレビゲーム、パーソナルコンピュータ機能の提供なども可能となり、

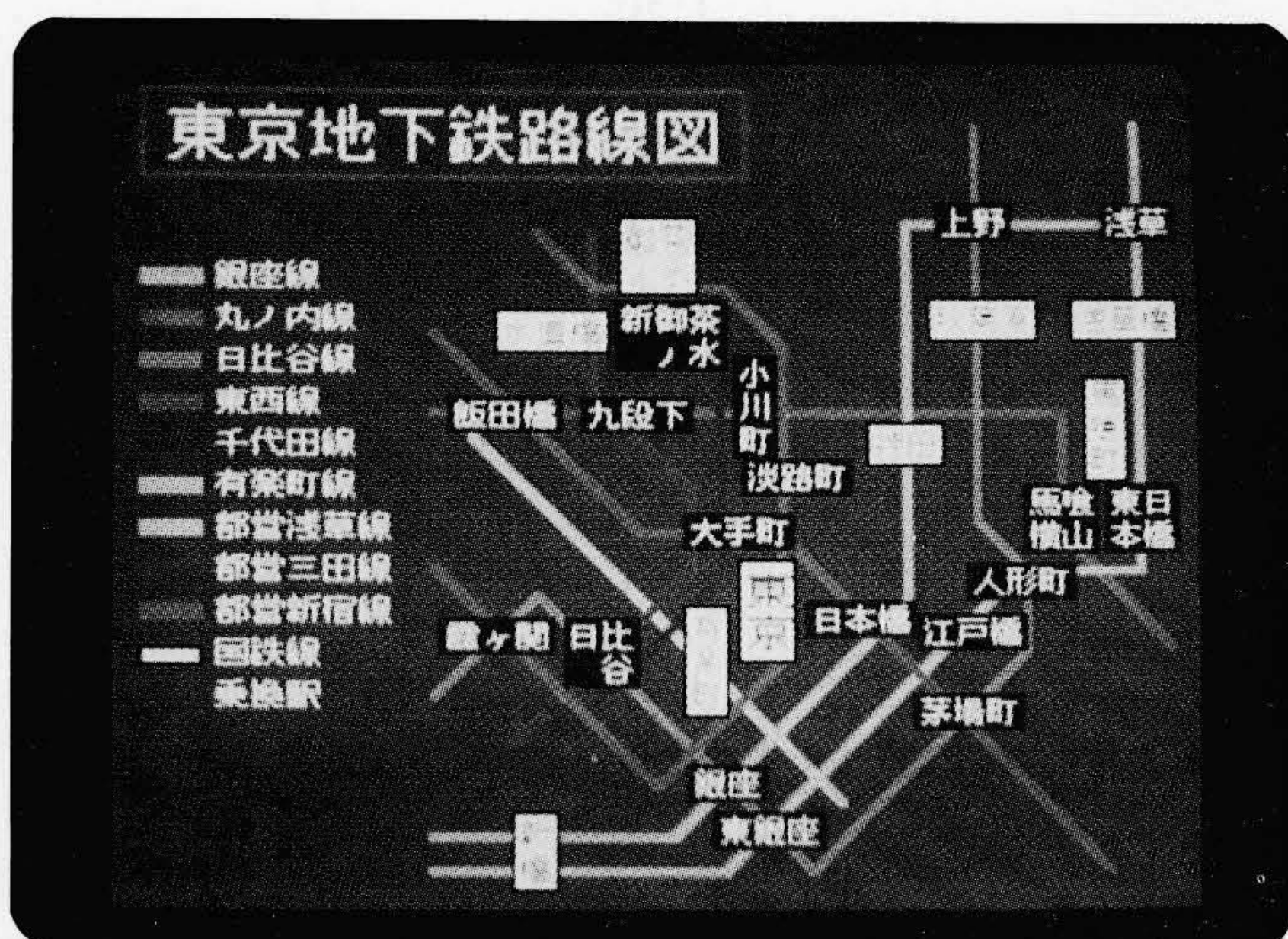


図5 乗客案内用ビデオテックス画面例 パーソナルコンピュータを用いた車上搭載乗客案内用画面の例を示す。

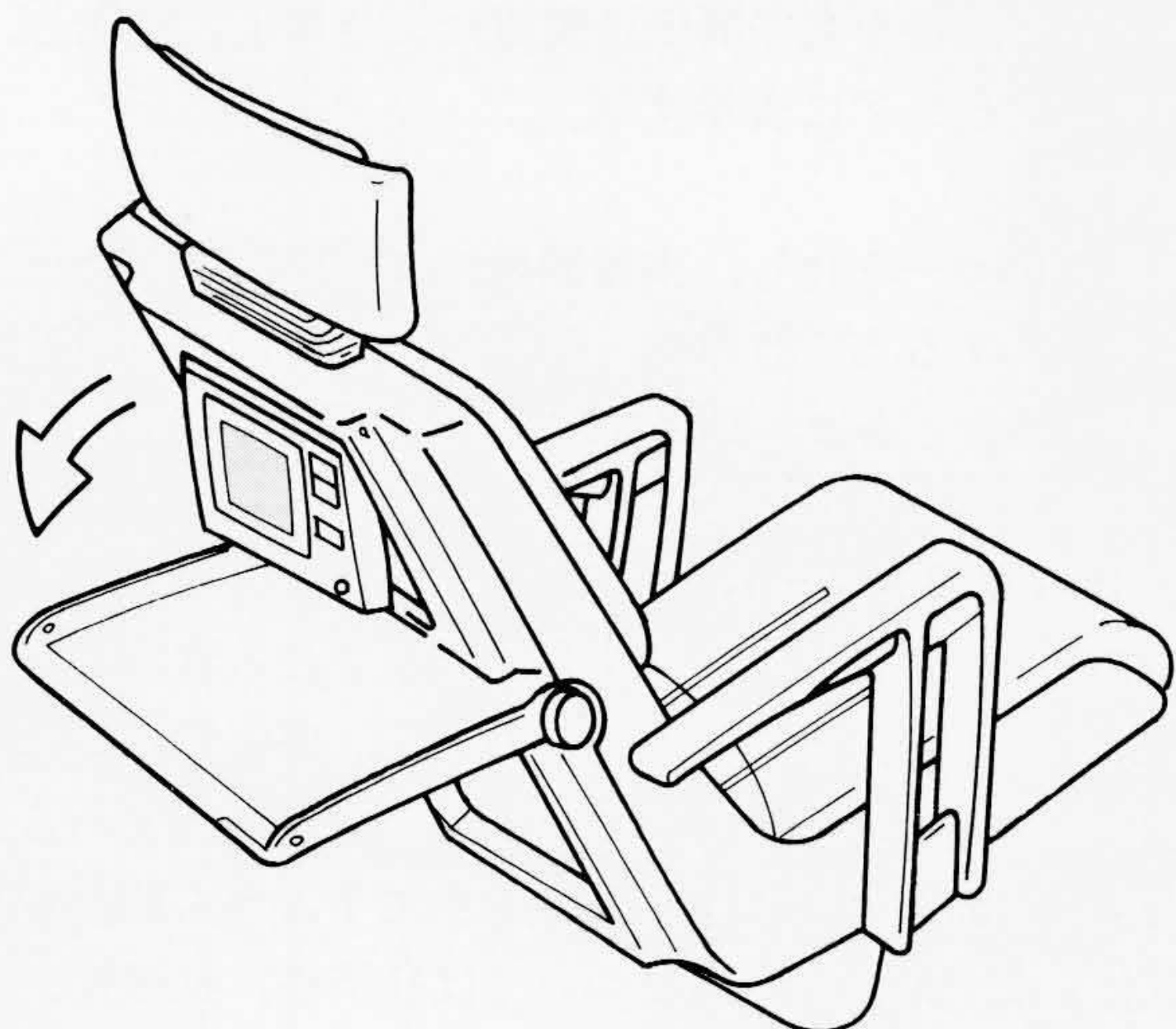


図6 パーソナルビデオサービス 5インチの大形カラー液晶テレビジョンによって、映画、各種案内、走行風景などが楽しめる。

個別に対応したサービスの提供が可能となる。音声は、ビデオサービスが不要な乗客に迷惑がかからぬようにFMラジオと共通のイヤホンによる提供が望ましい。パーソナル液晶テレビジョンのほかにビデオプロジェクタによる大画面表示も同時に可能である。

4 情報制御装置

以上に述べたように、鉄道の本来持っている優れた特性を発揮するためには、地上、車上を合わせたシステム化を図り、車両のすべての情報を一元管理するシステムの存在が不可欠である。このために、高い信頼性と豊富な実績を持つ自律分散伝送システムを中核とした情報制御装置を開発した。この情報制御装置は、車上のすべての機器から情報を収集し、情報処理及び伝達することが可能な高信頼二重光ファイバープ伝送系を中核としている。また、先頭車には高度な乗務員支援や保守支援、更には豊富な乗客情報サービスを可能とする情報処理装置を持ち、これにより高信頼、拡張性、高機能などの優れた特徴を持つ数々の応用システムを総括的に収納することが可能である。

4.1 情報制御装置の概要

情報制御装置は次の主要機器から構成される(図7)。

(1) 基幹情報伝送路

基幹情報伝送路は次の3種の情報伝送系によって構成される。

(a) 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データの伝送に用いられる。基本的に二重系構成とし、光ファイバ伝送路を用いる。

(b) 車内電話回線

電話、音声のほかファクシミリ、パーソナルコンピュータや他のマルチメディアへの結合を行うための伝送路であり、メタル伝送路を使用する。

(c) 映像伝送系

テレビジョン画像などの車内伝送をつかさどるものであり、経済性や実績の面から同軸ケーブルを伝送路とし、アナログ伝送により行う。

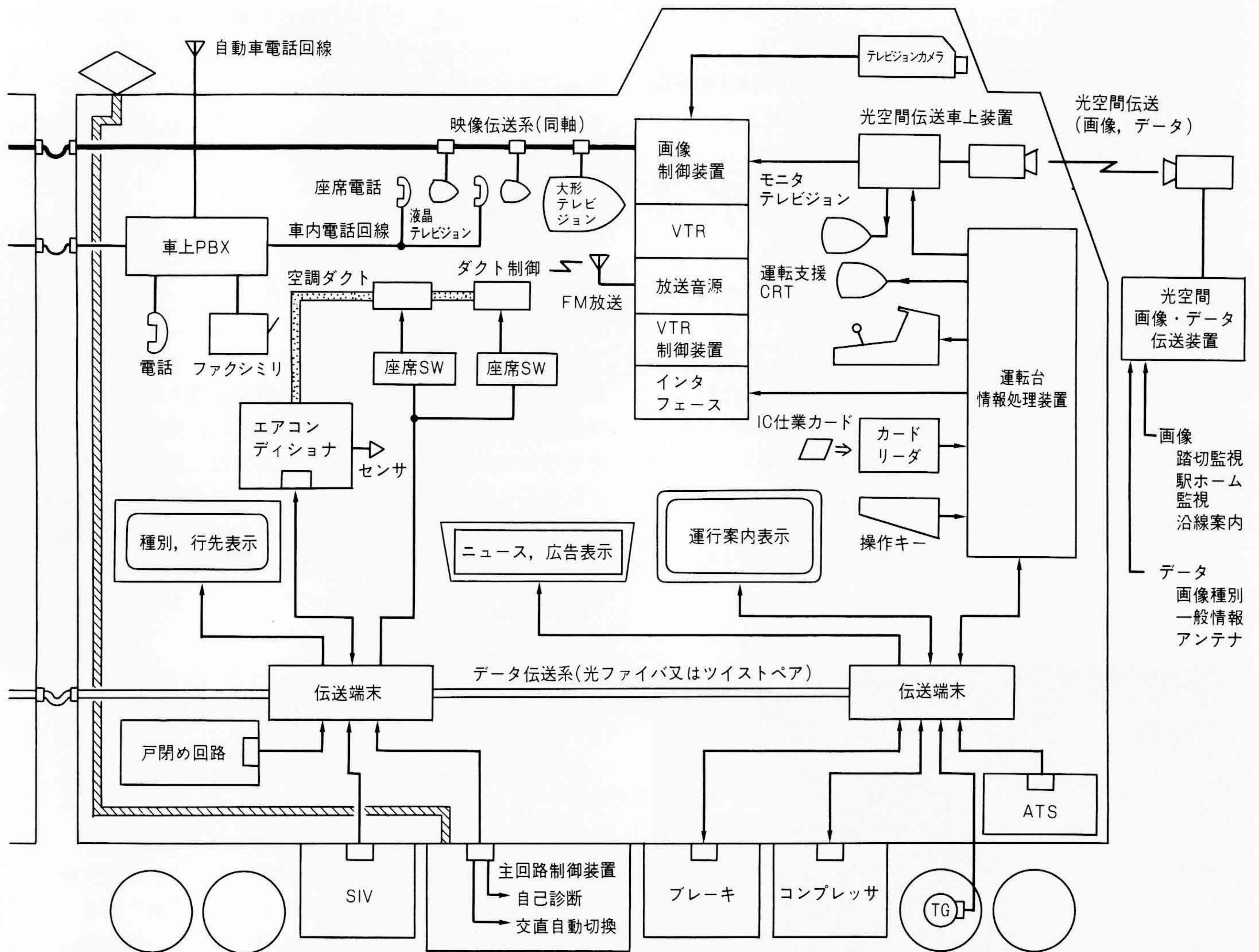
(2) 情報処理装置

先頭車両に各1台の情報処理装置を搭載し、入出力端末を介した情報の入出力、データ伝送系を介した車両制御装置への指令とデータ収集、地上システムとのデータ伝送、以上によって得られたデータに基づく処理と制御などを行う。

(3) 各種端末

所期の性能を発揮するため、情報制御装置は以下の入出力機器及び端末を持つ。

- (a) 運転士用表示装置(CRT、液晶表示など)
- (b) ICカードリーダー
- (c) 乗客向け表示装置(室内用、室外用)
- (d) 車上PBX(Private Branch Exchange)
- (e) 画像制御装置(VTRほか)
- (f) 地上・車上光空間伝送車上装置



注：略語説明 PBX(Private Branch Exchange), SIV(Static Inverter), ATS(Automatic Train Stop), SW(スイッチ)

図7 情報制御装置全体構成 先頭車の情報処理装置と各機器、及び端末装置は3種類の伝送系を介し結合される。

- (g) 電話、ファクシミリなどのOA(Office Automation)機器
- (h) 車掌用情報端末
- (i) 乗客座席操作スイッチ

4.2 情報制御装置の基本機能

情報制御装置の機能については、一部2章でも言及したが、ここでは乗務員支援システム、保守支援システム、乗客情報サービスシステムの基本機能について述べる。

4.2.1 乗務員支援システム

今後、乗務員は運転士又は車掌という現在までの立場から、将来車上の総括オペレータとしての立場に移り、人間の柔軟で優れた判断力を有効に活用し、業務の効率化と安全性の向上を図る必要がある。このため、乗務員支援システムには次のような機能を持たせる。

(1) 運転支援

列車運転はATOによって自動化し、運転操作は出発押しボタンの操作だけになる。運転士はスーパーバイザーとして前方の安全と機器の監視に専念することになる。このため、基準ランカーブや運転状況を表示し、ATOの合理性チェックが常に行えるようにし、この機能は手動運転時にも使用する(図8)。

(2) 応急処置支援

異常や故障発生時は、その内容と、とるべき処置を運転士に提示し、処置後はその結果と処置履歴を記憶し表示する。

(3) ホーム監視支援

駅ホームの画像を光空間伝送装置により車上に伝送し、運転台のモニタビューアに表示する。

(4) 仕業管理

仕業表をICカード化し、乗務開始時に運転台のICカードリーダーにセットすると、行路表、時刻表などの仕業情報を運転台に表示するとともに、必要なデータはATOや列車番号、行先などの表示器に自動設定される。

4.2.2 保守支援システム

保守支援システムは、保守業務に要求される営業中のダウンタイムの最小化、車両運用効率の向上、保守業務効率の向上、予防保全能力の向上などに対し支援するものである。

具体的には図9に示す4種のサブシステムから構成されるが、地上・車上の機能分担については経済性、拡張性、ユーザーの現有設備を考慮して決定する。

(1) 応急処置支援システム

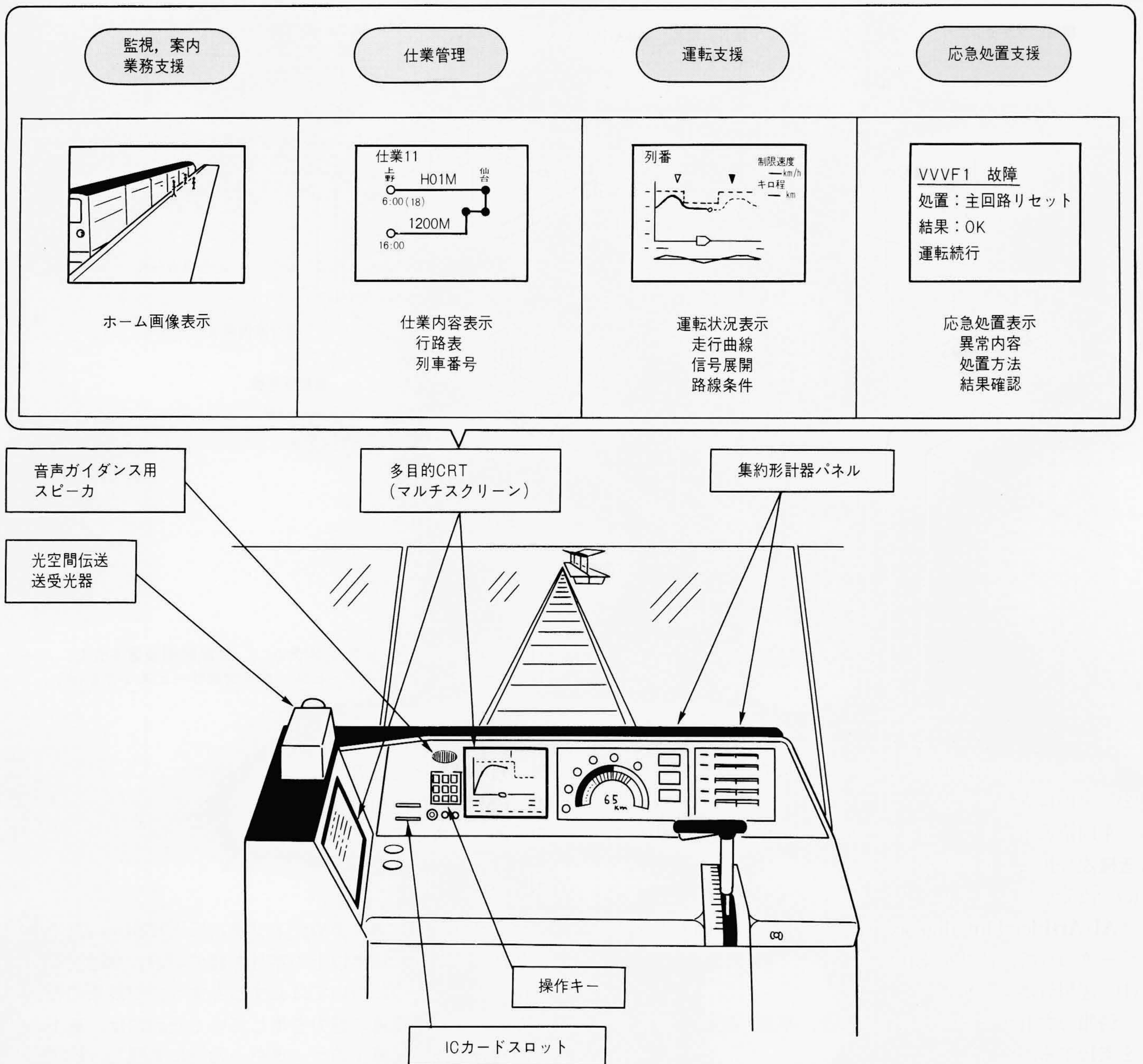
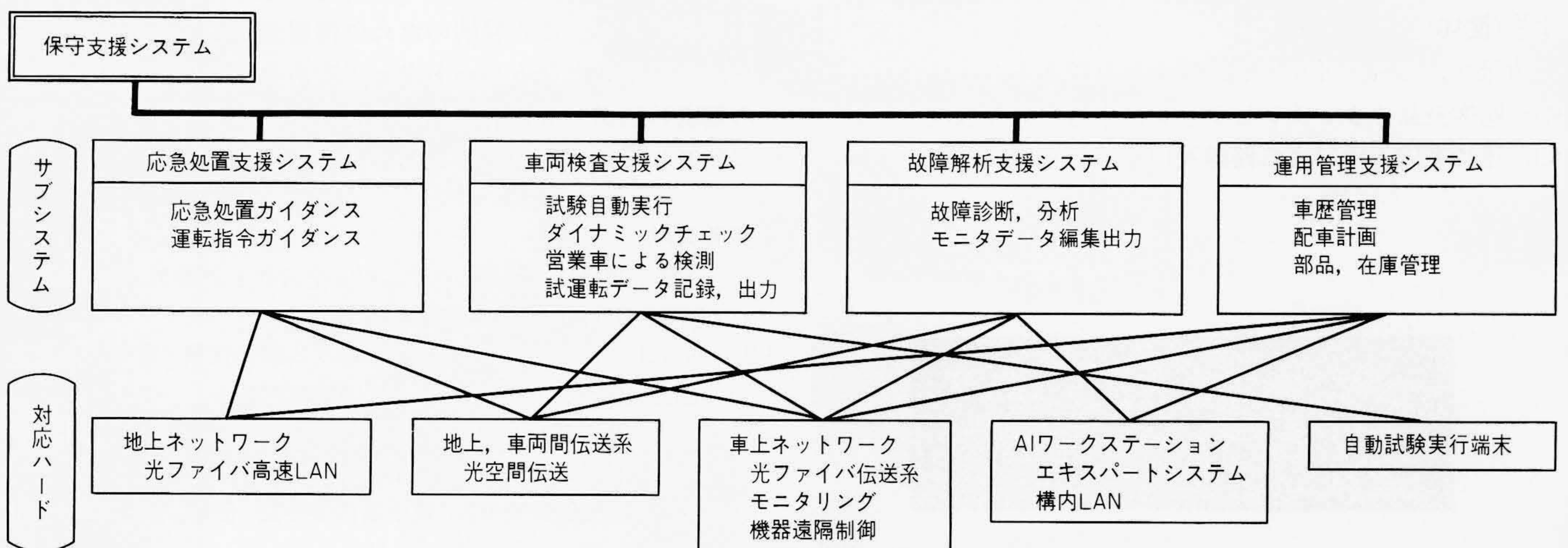


図8 乗務員支援システム 運転台の多目的CRT(マルチスクリーン)に各種の運転支援画面が表示される。



注: 略語説明 LAN(Local Area Network), AI(Artificial Intelligence)

図9 保守支援システム 保守支援システムは応急処置, 車両検査, 故障解析, 運用管理の4支援システムから成る。

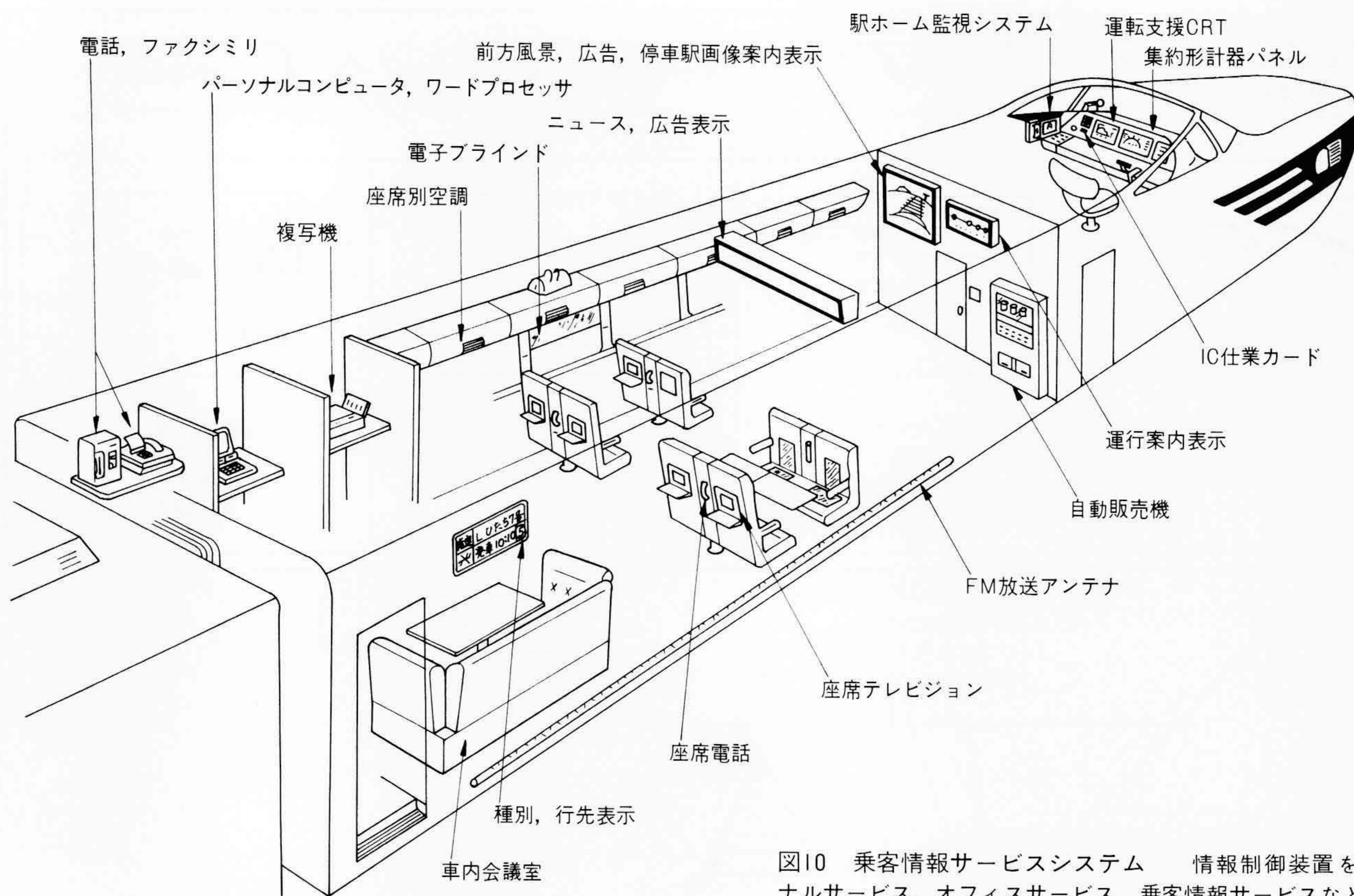


図10 乗客情報サービスシステム 情報制御装置を介し、パーソナルサービス、オフィスサービス、乗客情報サービスなどを行う。

車両故障情報の検車区への即時報知機能とガイダンス機能

(2) 車両検査システム

車両情報ネットワークを最大限に活用する地上、車上の最適機能分担による車両検査の支援

(3) 故障解析システム

AI(Artificial Intelligence)技術を応用し、車両の事故情報データの分析、診断を支援する。

(4) 運用管理システム

情報の共有データベース化により、車歴、配車、部品管理を支援する。

4.2.3 乗客情報サービスシステム

乗客へのサービスを、表示や音声を用いタイムリーに提示する(図10)。

情報サービスの種類は下記のとおりである。

- (1) 座席液晶カラーテレビジョンによるビデオ放映
- (2) 運行案内表示による路線案内、乗継情報

(3) 列車種別と行先表示

(4) FMラジオの車内受信

(5) ニュース、広告表示(図11)

5 結 言

マイクロコンピュータやデジタル伝送技術が、車上に搭載されてから既に10年以上の年月を経ている。本論文に述べた技術の一つ一つについては必ずしもすべてが最新の技術ではない。今後、鉄道の魅力を増していくためには、車上と地上の結合を強め、車上のデータを一元的に処理し、列車の高速化、高密度化、省エネルギー、省力化、ダウンタイム最小化、保守効率化、旅客サービス向上などを行っていくことが不可欠である。この目的のために情報制御システムが開発され、その中心となるハードウェアである情報制御装置が車両の個別の制御装置を有機的に結合し、インテリジェント電車に発展していくものと考えられる。

参考文献

- 1) 下桶：複雑巨大技術システムの安全設計と公理(5)，機械設計，32巻，3号，84～89(昭和63-3)
- 2) 佐々木：鉄道における最近のシステム制御技術，電気学会論文誌C，107巻，10号，882～887(昭和62-10)
- 3) 大島，外：高密度線区に適用する列車制御システム，JREA，30巻，11号，17510～17516(昭和62-11)
- 4) 森：自律分散システム，電子通信学会誌，69巻，3号，226～230(昭和61-3)
- 5) 加藤，外：新幹線列車内光伝送システム，日立評論，69，11，1031～1035(昭和62-11)

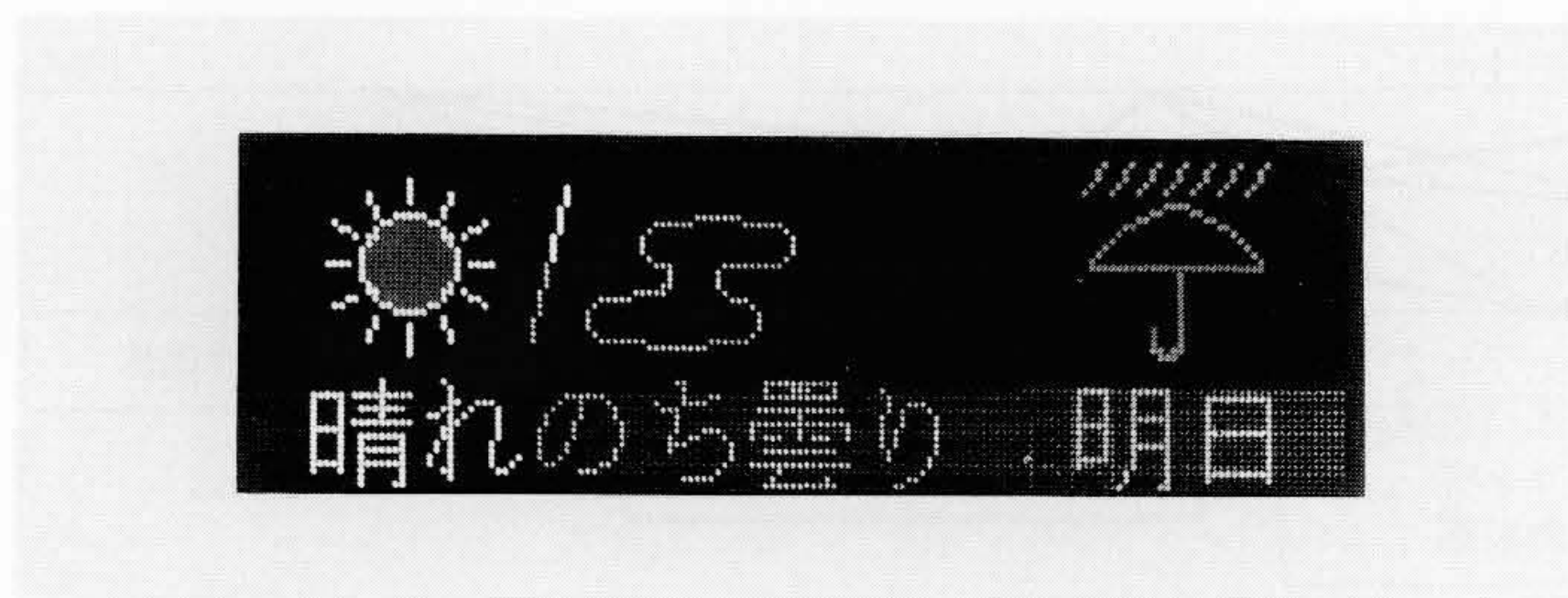


図11 客室内乗客情報サービス ニュース、天気予報などの客室内情報サービスを行う。