

最近の運行管理システム

Recent Railway Traffic Control Systems

従来、個々のシステムの制御・監視機能の充実を目的として導入されてきた運行管理システムは、計算機の制御技術の発展に加えて、知識処理を含めた情報処理技術や通信ネットワーク技術の発展とともに、関連サブシステムとの統合化による効率的な運営と旅客サービスの向上を目指している。

システムの統合化にあたっては、従来、システム化が遅れている運行計画、運転整理、情報サービスといった情報化対応の機能のシステム化が必要である。このため、従来の制御技術に知識工学を中心とした情報処理技術や通信ネットワーク技術を有機的に結合させた、制御・情報統合化技術の開発が進められている。

門野尊倫* *Takamichi Kadono*
佐藤友良** *Tomoyoshi Satō*
今井 隆*** *Takashi Imai*
片平正樹**** *Masaki Katahira*

1 緒 言

鉄道は公共の大量輸送機関であるため、当初から安全、迅速、正確、省エネルギー、経済性などが強く要求されてきたが、さらに、最近の都市化の進展による利用者ニーズの多様化や個性化にこたえて、高速性、利便性、快適性およびサービス性を向上した、より細かな対応が求められている。

鉄道システムの中心となる運行管理システムでも、従来の信号機の制御・監視・状態表示・記録といった制御機能に重点をおいた個別のシステムから脱却し、他路線のシステムや電力管理、設備管理システムなどの他システムと連携をとって有機的に結合し、統合化による効率的な運営を目指すことが重要となってきた。

このため、指令員の判断および計画業務を支援するための情報処理や、さらにコンピュータで一元管理した情報を有効に活用するためのマンマシンコミュニケーションの充実が不可欠である。

以下、最近の運行管理システムの情報化、統合化の動きについて述べる。

2 運行管理システムの動向

2.1 発展の経緯

運行管理システムは、昭和46年の札幌市交通局地下鉄南北線および昭和47年の新幹線岡山対応COMTRAC(Computer Aided Traffic Control System)で導入が始まり、以後、公営地下鉄道や民営鉄道を中心に鉄道トータルシステムの中核をなすシステムとして広く導入されてきている¹⁾。

その技術的な変遷は、中央に制御用ミニコンピュータを用い、CTC(Centralized Traffic Control)装置を伝送系に用いた集中形システムから始まり、マイクロコンピュータ技術や伝送技術の発展に伴い、計算機制御システムの分散化が進むとともに、運行管理システムの分散化も検討された。そして昭和58年に、自律分散思想に基づく光伝送路を用いた自律分散システムが神戸市高速鉄道西神線・山手線運行管理システムに導入された。この自律分散思想はフォールトトレラント思想をベースとしたもので、その後のシステムへきわめて大きな影響を与えた²⁾。

光ファイバ技術や伝送技術の急激な進歩と、鉄道事業の多角化という背景から昭和59年ごろから単なる制御情報だけでなく、音声・画像情報も送れる、いわゆる統合形LANが鉄道でも導入され始めた。それに伴い、従来、専用伝送系を用いていた運行管理システムも、この統合形LANを使用するようになり、すでに数システムが実用化されている。

2.2 要求ニーズと課題

都市鉄道のニーズと課題を図1に示す。運行管理システムは、鉄道システムを構成する一サブシステムの位置づけから、関係システムとの連携を密にした中枢のシステムとなることが要求されている。

高密度運転、車内乗客サービス、乗務員支援機能向上などのニーズによって、車上システムとの統合化がよりいっそう進み、それに伴う対列車データ伝送機能などが駅システムを中心に必要となってくる。また自社路線間はもとより、他社

* 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 交通事業部 **** 日立製作所 大みか工場

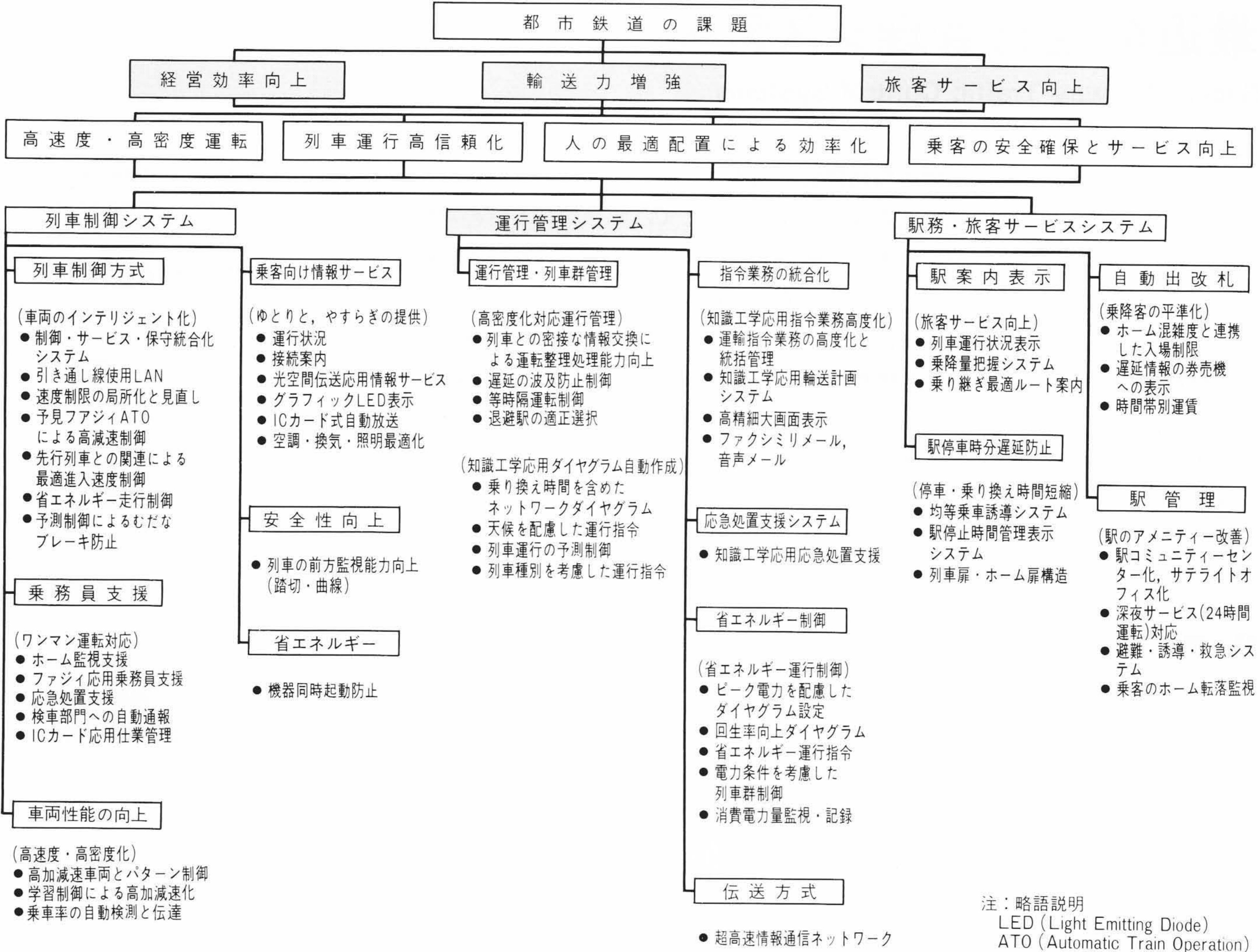


図1 都市鉄道のニーズと課題 運行管理システムが、関係システムとの連携を密にした中枢のシステムとなっている。

路線との接続、相互乗り入れに関する乗客への利便性を向上させるために、従来、路線ごとに独立していた支援がネットワークによって接続され、統合化されてくると考えられる。

既存機能に関しても、最近の高密度化するダイヤグラムでのダイヤグラム乱れを早期に検出し、指令員の迅速な判断を仰ぎながらダイヤグラム乱れを早く回復するために、マンマシン機能には高度なグラフィック機能が採用され、ダイヤグラム乱れ回復制御には、ふんだんにファジィやニューロなどの知識処理技術が適用されていくものと思われる。

経営的な面からは、システムのインシャルコストおよびランニングコストをミニマムにすることが追求されるのは当然であり、その一つの解決策として、ビジネスやFAの分野で多く使われ出した、いわゆる汎(はん)用技術や汎用製品を有効に使うということが考えられる。

このためには、鉄道システムで欠かすことのできない保安や信頼性を確保しながら、いかに汎用製品を有効に活用してシステムを構築するか、というシステムインテグレーション技術が今後ますます重要となってくる。さらに、システム構

築後の路線延長、変更などのシステムメンテナンスに関するソフト変更などを安全かつ確実に手間をかけずに行わねばならず、この面のソフト技術の高度化もあわせて重要となってくる。

3 統合形運行管理システム

3.1 システム導入の背景

巨大化、複雑化する鉄道システムでは次の状況が発生しつつある。

- (1) 線路規模の拡大
 - (a) 輸送量の増加
 - (b) 設備の増大
 - (c) 管理範囲の拡大
- (2) 情報収集量の増大
- (3) 指令判断業務の複雑多岐化

このような背景で、可能な限り現有の資源(組織、資産、設備など)を有効活用し、より効率の高い運行の確保と旅客サービスの向上を図ることが、鉄道システムの主要な課題となっ

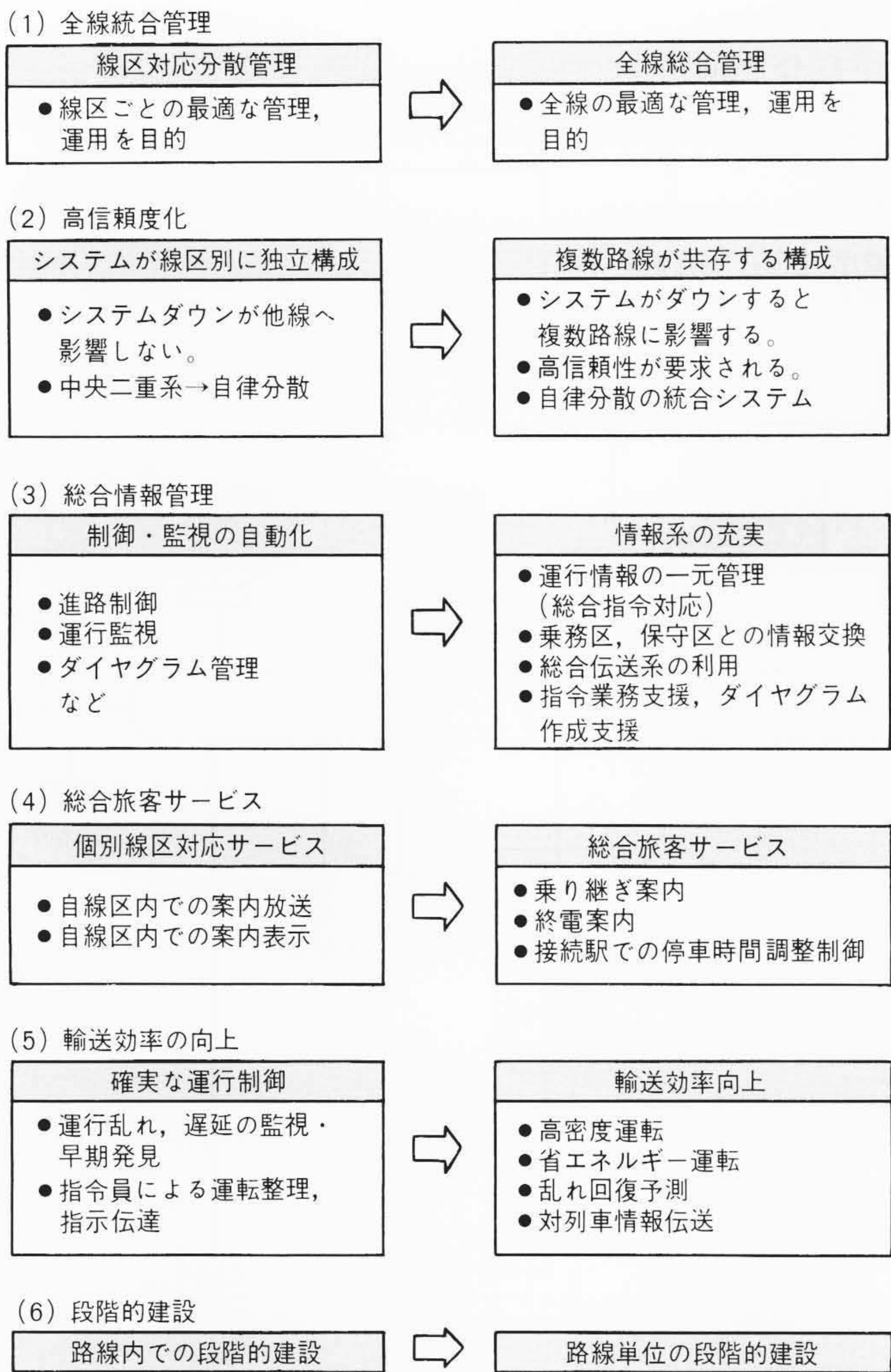


図2 統合形運行管理システム開発のコンセプト システム開発にあたってのコンセプトを示す。

ている。

この課題に対応するため、従来の縦割りの組織を見直し、従来の線区ごとの運行管理システムを統合するとともに、電力管理・設備管理などの関連サブシステムとも有機的に結合し、統合化による効率的な運営を目的とした統合形運行管理システムが実現されつつある。

3.2 システムのコンセプト

統合形運行管理システム開発にあたってのコンセプトを次に述べる(図2参照)。

(1) 全線統合管理

線区ごとの管理, 運用に加えて全線の運行を総合的に管理, 運用し, 全体としての最適化を目指す。

(2) 高信頼度化

共通システムで複数路線の運行を管理するため, システムダウン時の影響範囲が複数路線に及ぶ。このため, システムの高信頼度化を目指す。

(3) 総合情報管理

中央では, 総合指令対応の全線の運行情報(実施ダイヤグラム, 運行状況など)を一元管理し, 指令員の意思選択・決定支援や計画支援を含めて考える。一方, 情報のオープン化を図り, 駅, 乗務区, 保守区などとの情報交換を充実させる。

(4) 総合旅客サービス

他線区との乗り継ぎや接続駅での停車時間調整制御なども含めた自動化や, 各種のサービス情報の提供を目指す。

(5) 輸送効率の向上

列車を群としてとらえた列車群制御を行い, 高密度運転, 省エネルギー運転, 遅延回復の予測などを取り込み, 輸送効率の向上を目指す。

(6) 段階的建設

路線(または線区)単位の段階的建設を考慮する。

3.3 システムの概要

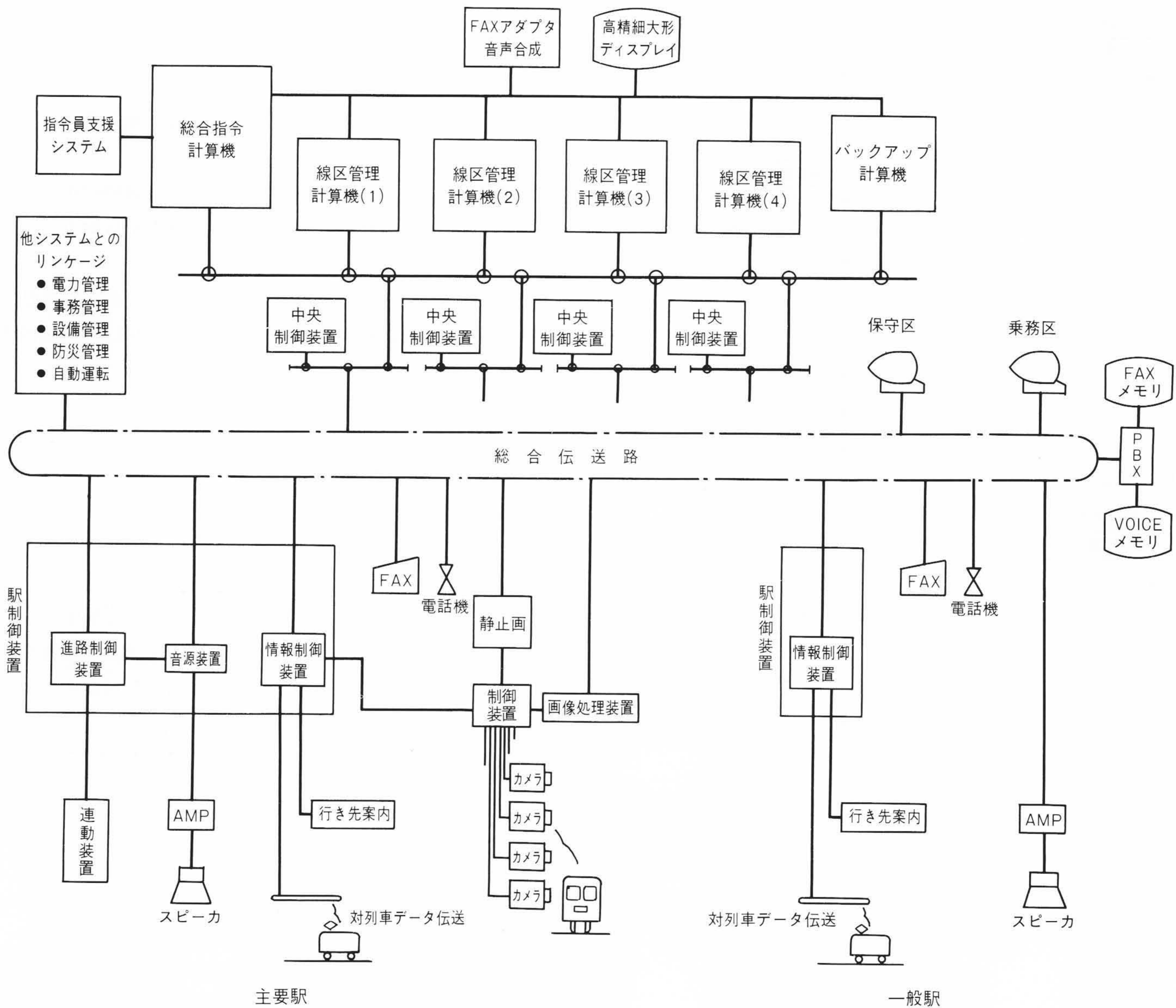
統合形運行管理システムは, 従来の制御中心のシステムから脱皮した, いってみれば高度情報化対応の運行管理システムである。システムの全体概念図を図3に示す。よりよい列車運行の確保を他システムと連携をとりながら実現するための新しいくふうが取り入れられている。システムの遂行すべき要件と, その遂行のための望まれる具体的な対応を以下に述べる。

(1) 高密度運転による輸送力の向上と安定した運行の確保

- (a) 列車運行状況に合わせた, 等時隔列車運行制御, 駅間最短時分運転制御の実施
- (b) 運行中ダイヤグラムのその後の運行予測を高速で行い, 画面上にダイヤグラム図表形式で表示することにより, 遅延の発生・回復の予測の指令員への提供
- (c) 上記運行予測中に, 仮の運転整理入力を行うことにより, その後の運行予測を行い, 的確な運転整理案の検討・作成支援
- (d) ダイヤグラム乱れの主要原因となる乗客の混雑監視のための主要駅ホーム状況画面の提供
- (e) 知識工学を応用したダイヤグラム作成機能による, 高密度運行ダイヤグラムの作成支援
- (f) 運行実績をオンラインで収集し, 統計処理を行うことにより, 効率的な運行計画作成のための資料提供

(2) 人の最適配置とシステム構成のくふうによる効率のよい運営

- (a) 各線区一人指令対応の運行管理の実現
 - (i) ヒューマンインタフェースを考慮した高度マンマシンシステムの提供
 - (ii) 中央で把握している運行状況, 運行変更状況などの駅や必要関係箇所への送信と内容の画面表示, および印字出力
 - (iii) ファクシミリメール, 音声メールによる指令伝達
- (b) システム保全の効率化



注：略語説明 FAX (Facsimile), PBX (Private Branch Exchange), AMP (Amplifier)

図 3 統合形運行管理システム全体概念図 よりよい列車運行の確保を、他システムと連携をとりながら実現する。

- (i) 現場機器のリモートメンテナンス(保守プログラムによる自己チェック、ソフトのリモートローディングなど)
- (ii) 現場機器の保守区での状態監視，データ収集，リモート立上げ
- (c) システム構成のくふう
 - (i) 自律分散システム技術による，高いフォールトトレラント性を確保しながらの集約化
 - (ii) 段階的な機器配置による高効率運用と省スペース化
 - (iii) 旅客案内放送・表示システムの統合
- (3) 乗客への安全確保とサービスの向上
 - (a) 混雑駅ホームの監視に対応した列車運行制御
 - (b) 乗り換え，乗り継ぎ，振替輸送の案内の実施
 - (c) 運行異常なども含めたきめ細かな案内の実施

4 知識工学応用運転整理システム

4.1 システム開発の背景

大都市近郊路線は，列車運行の高密度化や他路線との相互乗り入れ運転により，その路線の持つ列車遅延に対する回復余力が減少傾向にある。すなわち，混雑やちょっとしたアクシデントによって列車運行の乱れが発生すると，後続列車に遅延が波及し収束まで長時間を要する傾向にある。このため，正常な列車運行と旅客サービス性の確保を使命とする運行指令業務では，ダイヤグラム乱れに対する的確な判断と迅速な指示がこれまで以上に期待されており，運行管理システム導入の目的も，従来の進路制御の自動化から，今後はさらにこのような運行指令員の運転整理業務のサポートに変わりつつある。

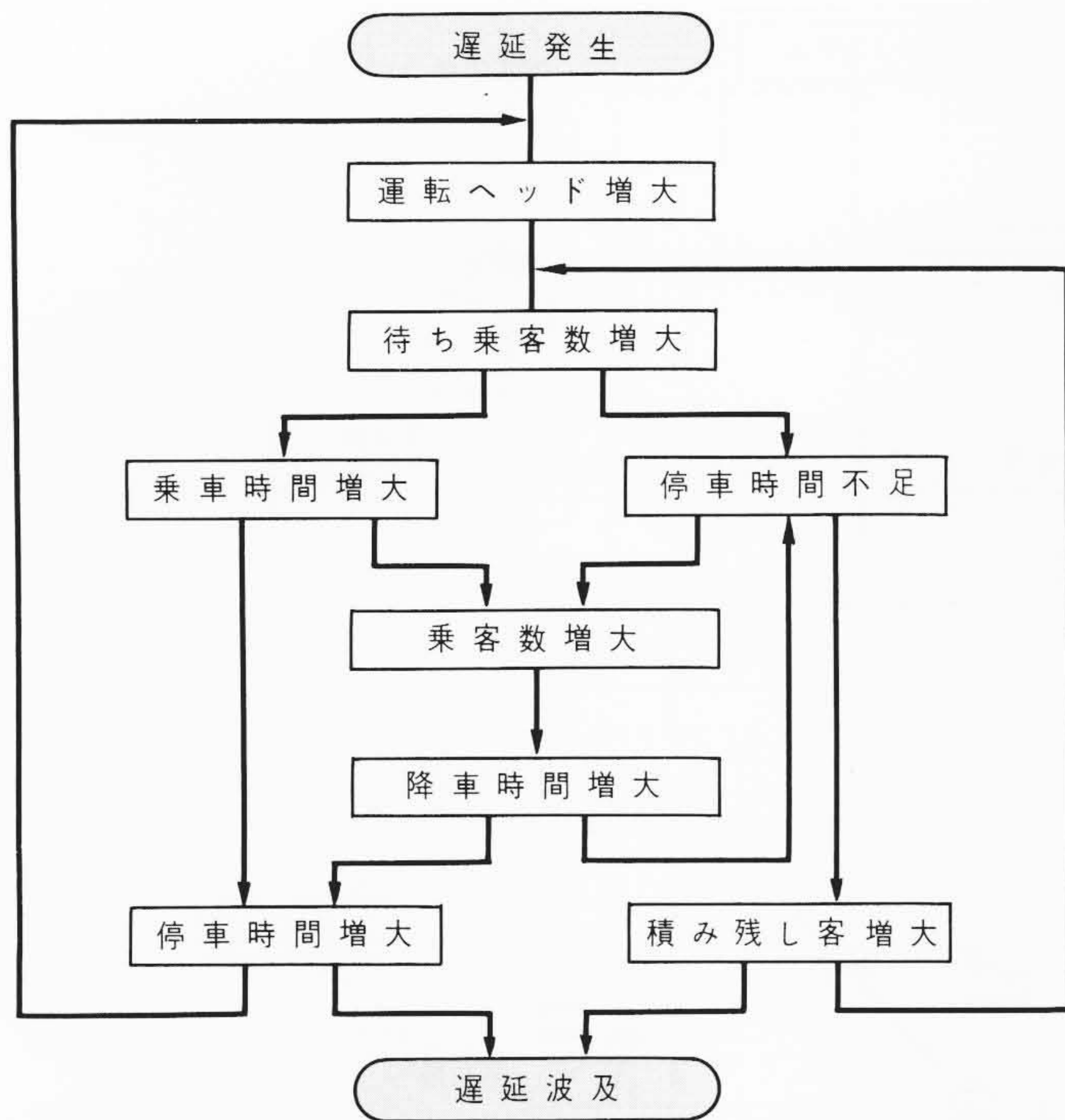


図4 遅延波及プロセス 遅延の発生は季節、曜日、時間帯、天候などの条件によっても異なるため、これらをも考慮する必要がある。

このように列車が乱れたときの運転整理をシステム化するために、指令員の経験則をベースとした知識処理による自動提案と指令員との会話処理を核とした、知識工学応用運転整理システムの開発が望まれている。

4.2 基本的な考え方

高密度運転を実施している線区でのラッシュアワー帯での運転整理の目的は、利用者に対して快適な輸送手段を提供するために、混雑度の緩和と目的地へ定められた時間で到達することが第一である。またさらに、効率のよい輸送を確保するために、全列車の総遅延量の減少、遅延持続時間の減少、他社線への影響の減少、および変更の少ない運転整理とすることが必要である。このような目的を遂行するための運転整理の考え方を以下に述べる。

- (1) 遅れ要因と遅延波及のプロセスを図4に示す。乗客の乗り降りに要する時間増が遅延の主要因であり、この回復余力があまりないため、一列車への乗客の集中を避ける必要がある。ホーム乗客の数はおおむね時間に比例して増えるので、列車間隔を等しくすることによって一列車への集中を避ける。
- (2) 列車群の乱れはその内容が同じではなく、季節、曜日、時間帯、天候などの条件によって異なり、これらを考慮した制御を行う必要がある。また、これらの条件は年とともに傾向も変化すると思われるので、この条件の変更を指令員の知識表現で容易に変えられるようにするため、知識処理技術を適用する。

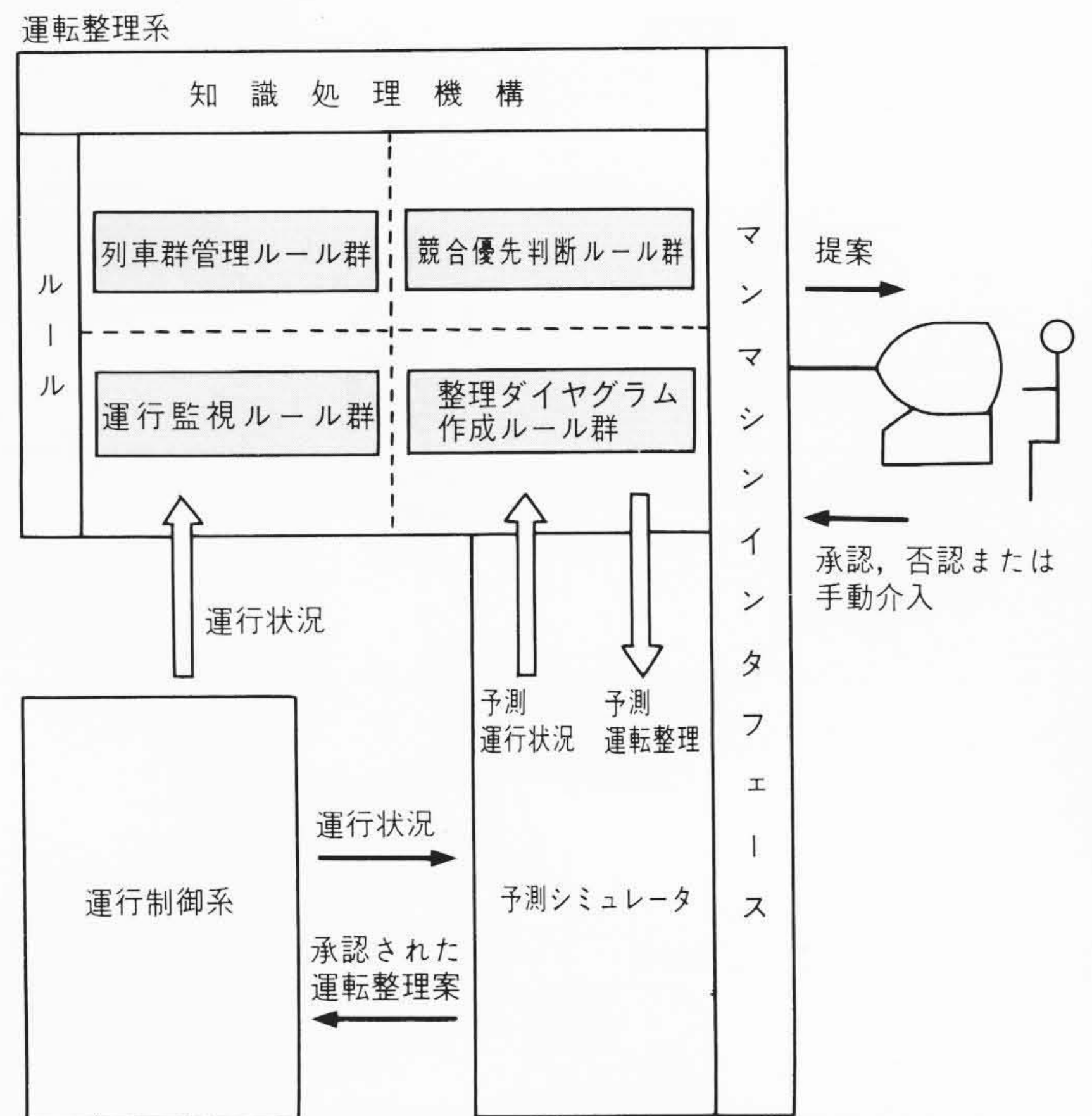


図5 運転整理系の構成 運転整理系は、知識処理機構、予測シミュレータおよびマンマシンインタフェース部で構成する。

4.3 システムの概要

この運転整理システムの機能を以下に述べる。

(1) 列車遅延発生防止

遅延をよく起こす列車の停車時間短縮による乗車率の平均化

(2) 列車遅延拡大防止

列車群の等時隔制御による駅ホーム混雑度の緩和、始発列車の優先出発制御

(3) 列車遅延波及防止

走行速度の指示制御による駅間での列車停止の防止

(4) 事故発生時の復旧時間短縮

折り返し運転ダイヤグラムの自動提案による立案・検討時間の短縮、事故復旧ダイヤグラムの自動提案

運転整理系の構成を図5に示す。その構成の考え方を以下に述べる。

- (1) 運転整理系には、常に運転整理の知識を更新し最適化を図ることと、シミュレーションの高速化が要求されるため、運行管理の実制御を実施する運行制御系と、別の処理装置としてワークステーションを設置し、処理の独立性の確保と性能向上の容易化を図る。
- (2) 運転整理系は、知識処理機構、予測シミュレータ、指令卓CRTとのマンマシンインタフェース部で構成される。
- (3) 運転整理知識は、列車群管理ルール群、競合優先判断ルール群、整理ダイヤグラム作成ルール群で構成される。

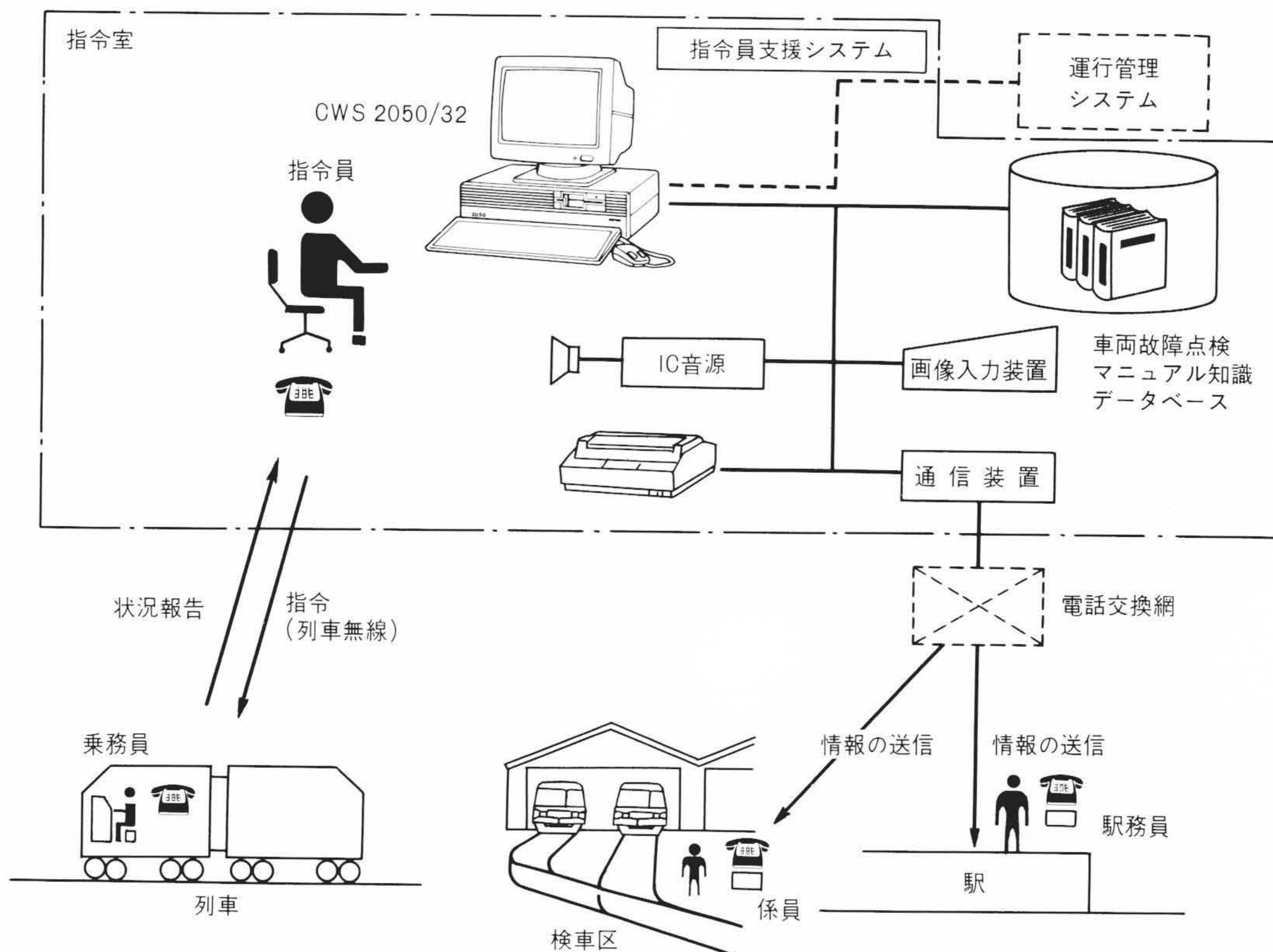


図6 指令員支援システム概念図 汎(はん)用ワークステーション(CWS2050/32)を中心としたシステムとなっている。

5 指令員支援システム

5.1 システム開発の背景

運行指令員の業務の中で、車両機器の故障時、火災発生時なども含めた早期回復、つまり迅速かつ的確な対策の決定が重要な業務の一つになっている。

一方、近年の列車運転の高密度化、複雑化、車両種類の増加、継続した熟練指令員の確保の難しさなどにより、ひとたび異常が発生した場合の指令業務は、ますます困難な状況になってきている。

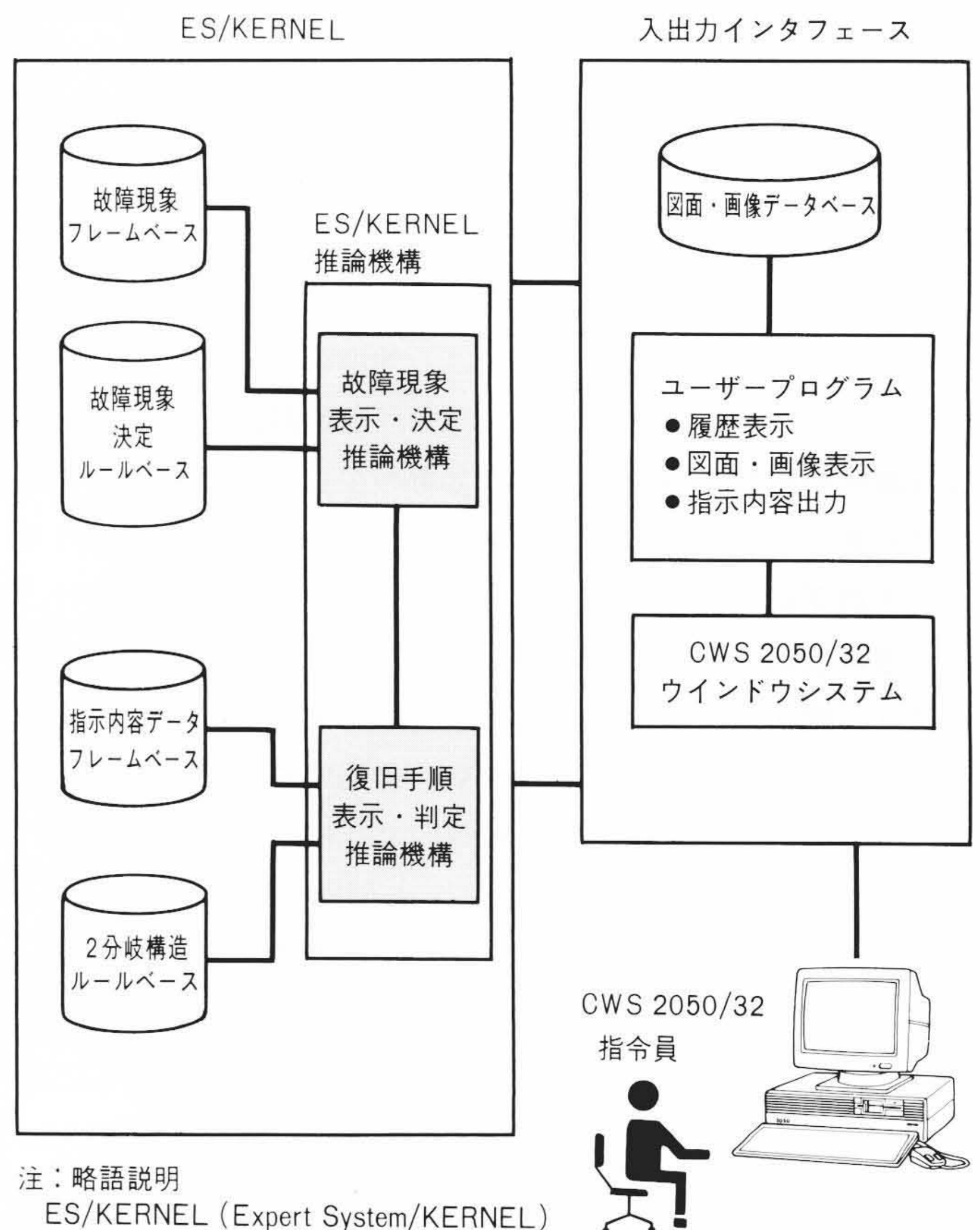
以上のような背景のもと、知識工学を応用し、熟練した専門家の知識・ノウハウを蓄積かつ利用して運行指令員のリアルタイムな意思決定の支援を行うシステムが望まれている。

5.2 基本的な考え方

指令員支援システムは、運行指令所で列車の運行を管理する指令員を対象としており、車両故障復旧業務を中心とした指令員の各種業務の知識などを計算機に組み込み、簡単な操作で指令員の業務支援ができるようにすることを目的としている。これにより、指令員業務の迅速化、正確化および均質化が期待できる。

5.3 システム概要

指令員支援システムの概念図を図6に示す。本システムは汎用ワークステーション2050/32上に知識ベースシステム構築



注：略語説明
ES/KERNEL (Expert System/KERNEL)

図7 車両故障復旧制御機能のソフトウェア構成図 推論機構は、故障現象表示・決定と復旧手順表示・判定とで構成される。

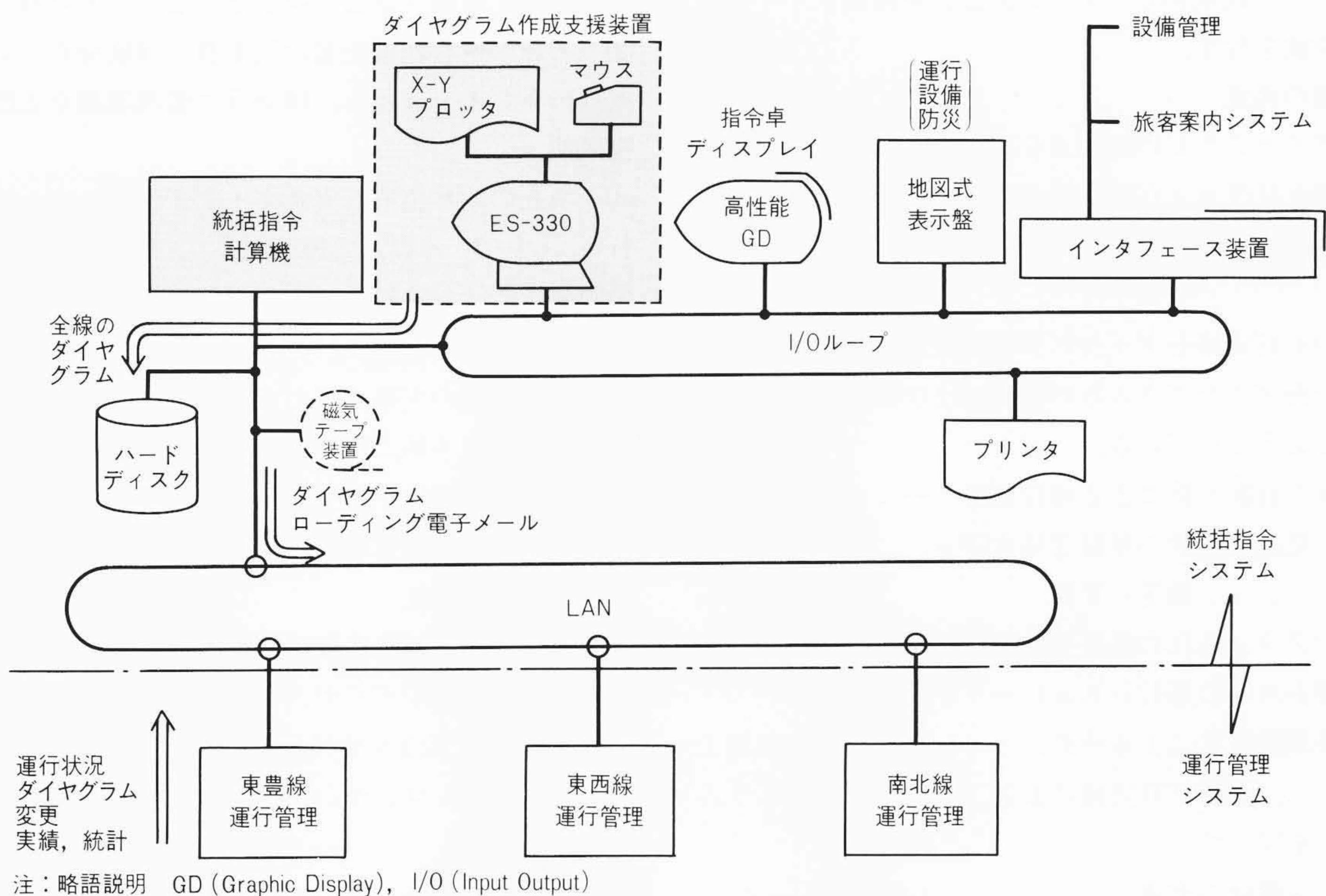


図8 札幌市交通局地下鉄統括指令システム構成図
統括指令システムは南北線、東西線および東豊線の各運行管理システムと有機的に結合されている。

支援ツールES/KERNEL (Expert System/KERNEL)を組み込み、各種警報などを音声として出力するIC音源、連絡情報を出力する通信装置などで構成され、以下に述べる機能を持つ。

- (1) 車両故障状況対応の復旧手順表示により、指令員の指示業務を支援する車両故障復旧制御機能(ソフトウェア構成を図7に示す。)
- (2) 列車遅延情報の監視、表示により、指令員の指示業務を支援する列車遅延復旧支援機能
- (3) 異常発生時、異常対応ガイダンスの表示により、指令員の指示業務を支援する異常時支援機能
- (4) 各種報告書や事故状況文書などを、必要に応じ各部署へファクシミリ送信するとともに、連絡・指示内容を音声で各部署へ出力するなどの指令員の連絡業務を支援する連絡支援機能

6 最近のシステム事例

運行管理に関連するシステムの最近の事例として、札幌市交通局地下鉄統括指令システムを取り上げて以下に述べる。

6.1 システムのねらい

このシステムは、東豊線運行管理システムの稼動とともに開発された。すでに稼動中の東西線、南北線の運行管理システムと有機的に結合し、全線統合化運行管理システムでの上級指令員の意思決定支援を中心的役割とし、新たなサービス

表1 統括指令と線別運転指令の業務分担
統括指令は、各線の適切な列車運行を確保することを職務とし、運転指令員の上に位置づけられる。

指令業務の内容	
統括指令	(1) 列車ダイヤグラムの作成
	(2) 運行乱れ時の運転整理、復旧処理の立案
	(3) 全線の運行状況の把握と接続列車の調整
	(4) 事故・火災などのトラブル発生時の総合判断
	(5) 設備指令との連絡調整
	(6) 旅客に関する駅との対応
各線の運転指令	(1) 運行監視と運転整理操作の実施
	(2) 運転実績記録、日報の作成
	(3) 始終業時の機器点検
	(4) 非常発報、非常警報の取り扱い
	(5) 乗務員、駅員、車両基地との対応

向上をねらってシステムを構築したものである。統括指令と線別運転指令の業務分担を表1に示す。統括指令は、各線の適切な列車運行の確保を職務とし、運転指令員の上に位置づけられ、各線の運行状況の把握、運行計画の立案、異常時の運転整理、および復旧処理の統括を主な職務としている。統括指令システムは、その統括指令員の職務を補佐するためのシステムとして開発された。

6.2 システムの特徴

- 統括指令システムの主な特徴を以下に述べる。
- (1) 知識工学の適用
知識工学の適用を図り、熟練者のノウハウを使用した効率

的な推論により、列車ダイヤグラムおよび乗務員ダイヤグラムの迅速な作成を行う。

(2) 運行監視の充実

(a) 列車ダイヤグラムの問題点を摘出する目的で、各駅での遅延の発生状況および端末駅での進出入競合の発生状況を計測し、統計記録することによってダイヤグラムの見直しを行う。

(b) 列車の走行実績をダイヤグラム図形式で表示することにより、計画ダイヤグラムとの相違および傾向を直観的に理解できるようにしている。

(c) 指令員の経験や勘による運行監視ルールを採用し、ダイヤグラム乱れの兆候の早期発見を図る。

(3) シミュレーション機能の充実

(a) ダイヤグラム乱れの兆候を検出した際、精度の高い運行予測を得るための運行シミュレーションを行う。

(b) 運転整理操作案による予測シミュレーションも実施できるようにし、運転整理実施による二次的なダイヤグラム乱れの防止を図っている。

(4) マンマシン機能の充実

インテリジェント化された高精細グラフィックディスプレイの採用と、マルチウインドウ表示により、視認性、操作性の向上を図っている。

6.3 システムの概要

統括指令システムの構成図を図8に示す。中央処理装置はHIDIC制御用計算機の一重系構成とし、各線運行管理システムとは光ループを使用した10 Mビット/sのLANで結合されている。指令卓用CRTには、32ビットCPUを搭載したワークステーションを使用しており、ダイヤグラム作成支援装置も指令卓CRTと同一のワークステーションを使用し、知識工学構築ツールを搭載している。

システムの主要な機能を以下に述べる。

(1) 各線別運行管理システムから取り込んだ情報に基づいて、

運行状況、在線状況などを表示する運行表示機能

(2) 各線の運行状況を基に列車群の遅延分布、列車間の相対遅延分布などを表示し、指令員の監視業務を支援する運行監視機能

(3) 現在の列車位置と実施ダイヤグラムをもとに運行予測を行い、「すじ」の形式で表示することにより、回復予測、各駅の着発予想時分を知らせる運行予測機能

(4) 統括指令からのマンマシン入力により、統括指令で保有している各線の実施ダイヤグラムに種々のダイヤグラム変更を行い、運行予測に反映させる運転整理機能

(5) 熟練者のノウハウを取り込んだエキスパートシステムにより、列車ダイヤグラム、乗務員運用交代表を作成するダイヤグラム作成機能

(6) ダイヤグラム作成機能で作成したダイヤグラムを、各線別運行管理に渡すダイヤグラム管理機能

(7) 操作盤とCRTを使用し、計算機とマンマシンコミュニケーションを行うマンマシン機能

7 結 言

以上、最近の運行管理システムの情報化、統合化の動きについて述べた。従来の制御技術に知識工学を含めた情報処理技術や高速情報通信ネットワーク技術を加えた制御と情報、統合化技術により、運行計画、運転整理、情報サービスといった領域まで含めたシステム化が進みつつある。

今後は、さらに開発されてくる新技術をいかに有効に適用してシステムを構築するか、というシステムインテグレーションの技術が重要となってくると思われる。

参考文献

- 1) 大峽, 外: 鉄道トータルシステムの展開, 日立評論, 68, 3, 183~188(昭61-3)
- 2) 柴田, 外: 最近の運行管理システム, 日立評論, 70, 7, 709~715(昭63-7)