

大阪市交通局地下鉄1号線 自動列車運行制御システム(PTC) Programed Traffic Control

The programed traffic control system used in the Midosuji line of the Osaka Municipal Transportation Bureau subways is a system using a control computer, HIDIC-100, aimed at the automatic operation of CTC (Centralized Traffic Control) system.

This system is designed so that the particular requirements of the subway service are fully met and smooth man-machine communication is achieved.

This article describes the outline of this system covering:

- *Characteristics of the Midosuji line.
- *Characteristics of the system composition.
- *Typical functions.
- *Software structure.

- 辺見博邦* *Hirokuni Henmi*
- 谷口武治* *Takeharu Taniguchi*
- 中堀 優* *Masaru Nakabori*
- 益富文男** *Humio Masutomi*
- 河野敏克** *Toshikatsu Kouno*
- 松丸 宏** *Hiroshi Matsumaru*
- 大峽 明** *Akira Ôhazama*

1 緒 言

大阪市交通局地下鉄1号線は「御堂筋線」と呼ばれ、大阪で最も歴史も古く利用度の高い路線である。近年路面交通事情の悪化に伴いその輸送力の増強を余儀なくされ、そのため高密度、高速度運転が必要となってきた。

このため従来より、保安度の高い信号設備の充実に努めてきたが、その一環として昭和46年列車集中制御(以下CTCと略す)化が達成できた。しかし単にCTC化することは、列車の表示とてこ操作の集中化にすぎず、結果的にはてこ操作、記録作成などの日常の中央指令業務を著しく増大させることになり、指令員に対して要求される高度な判断と迅速な指令業務の遂行を妨げることになる。そこでCTCを計算機の制御下におき、機械化できる日常業務(てこ操作、記録作成など)・異常および乱れの早期発見・パターン化できる判断および指令などの業務を積極的に計算機に行なわせ、指令員は計算機から有効な情報を収集し、それを参考にしながら本来の業務である高度な判断と迅速な指令を行なうことで円滑な運行管理ができるよういわゆる指令員と計算機が一体となるコマンドアンドコントロールシステムが必要となる。

このような背景のもとに制御用計算機HIDIC 100を用いた自動列車運行制御システム(以下PTCと略す)を開発し実用化した。

2 1号線の概要

制御対象である1号線は、大阪市の中心部を南北に走る江坂～我孫子間約19.5kmの路線であり、江坂を境として北大阪急行電鉄線と相互乗入れを行なっている。

本路線の特徴としては、

- (1) 図2に示すように多くの渡り線、入換線を有する路線である。追越し待避線はない。
- (2) 列車種別は、営業、回送の2種類である。
- (3) 営業車の主要運転系統は、千里中央～我孫子(大ループ)・中津～天王寺(小ループ)の2系統であり、各駅停車である。

- (4) 駅間走行時間は一定である。駅停車時間は時間帯により異なる。
 - (5) 列車密度が高い。
ことなどがあげられる。
また、制御対象規模は、
- (1) 線路長：19.5km
 - (2) 駅数：17駅(制御対象連動駅 9駅)
 - (3) 運行列車数：700列車/1日
 - (4) 最小運転間隔：2分15秒

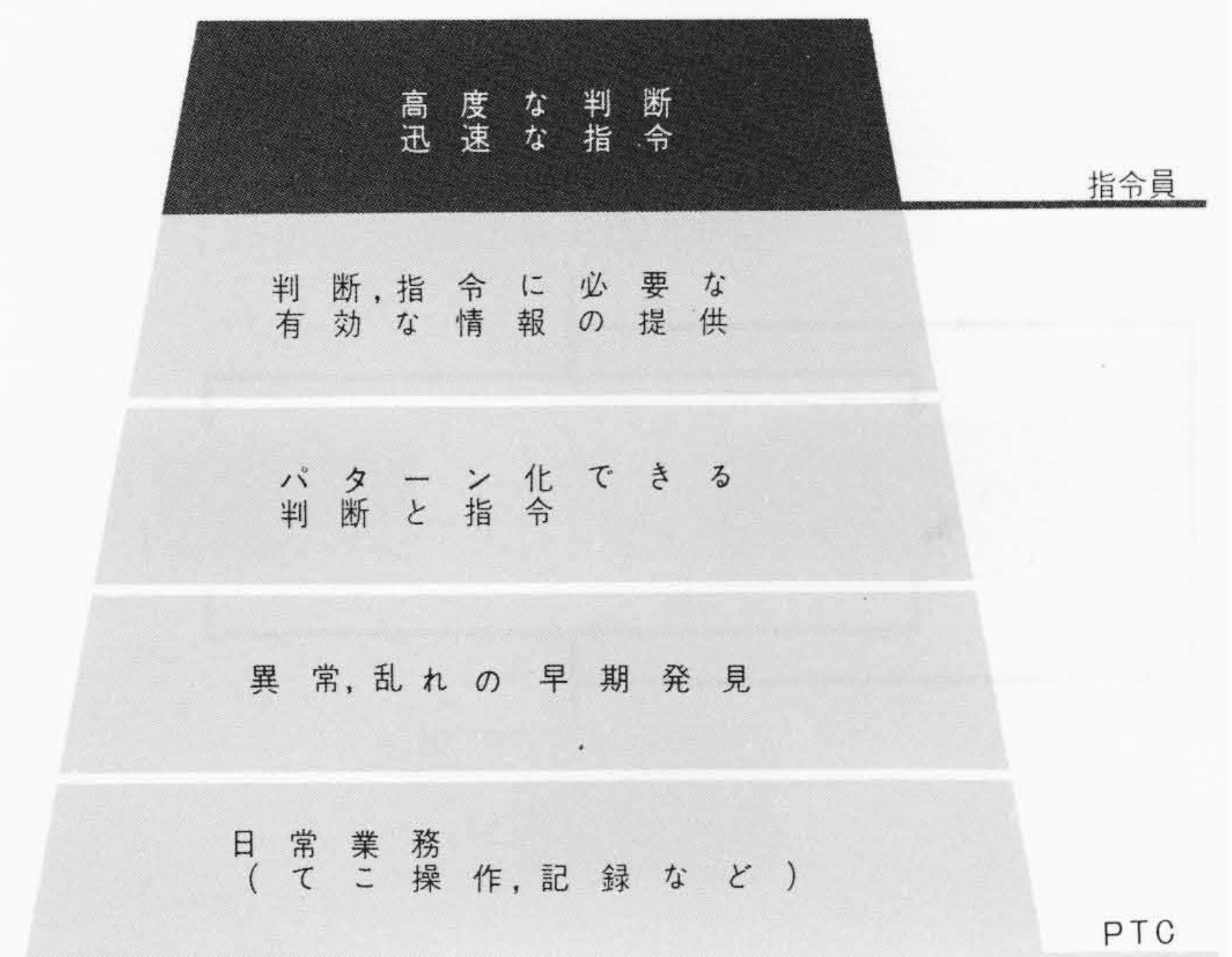


図1 指令員とPTCの役割 機械化できる業務はPTCにまかせ、PTCより有効な情報を収集しながら指令員は本来の高度な判断、迅速な指令業務に専念できる。

Fig. 1 Roles of Operator and PTC

* 大阪市交通局 ** 日立製作所水戸工場

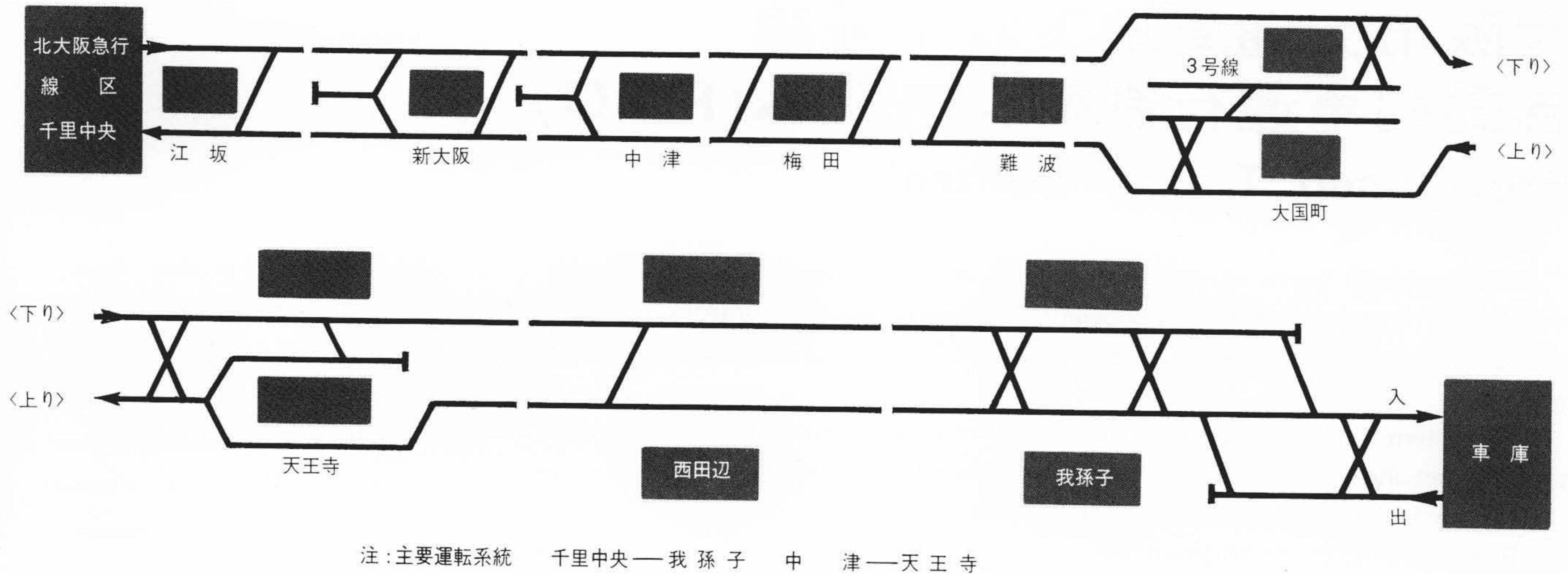


図2 主要路線図 渡り線, 入換線を多く有する。

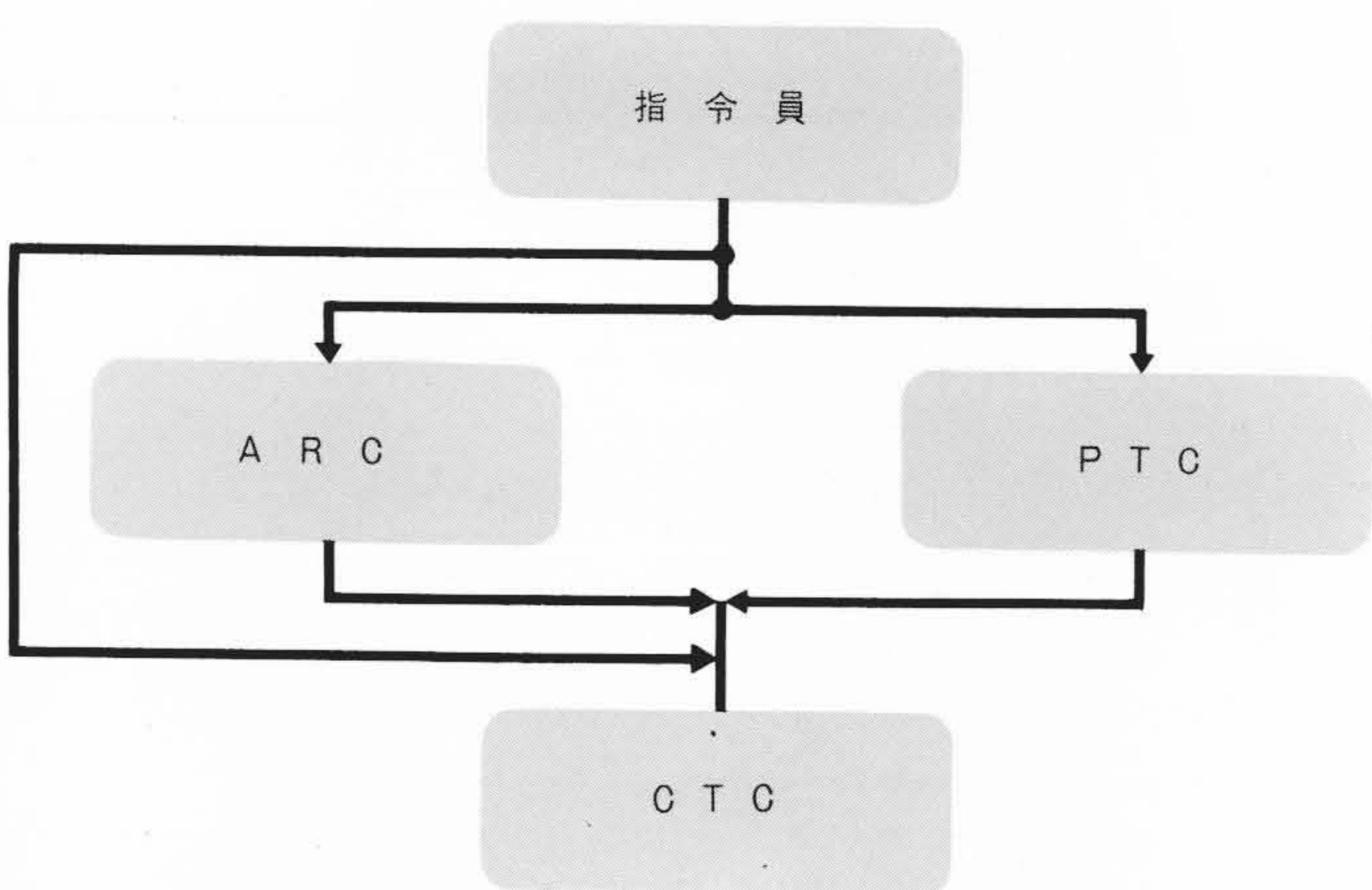
Fig. 2 Main Diagram

- (5) 同時在線列車数: 32列車(北大阪急行車 5列車)
- (6) 制御進路数: 107進路
- (7) 運転時間: 4時40分~24時30分である。

3 システム構成

1号線の運行管理システムの構成は、図3に示すように指令員を頂点としてPTC, ARC, CTCを中心として成り立っている。ここでARCとは、継電器回路により、操作卓において設定された運転時隔および行先情報により自動的に進路設定を行なう装置である。

図3において常時はPTCによりCTCは制御されているが、



注: PTC=Programed Traffic Control
ARC=Automatic Route Control
CTC=Centralized Traffic Control

図3 1号線運行管理システム 常時はPTCによりCTCは制御されるが、万一PTCがダウンした場合には、ARCがバックアップとして働きCTCを制御する。また指令員のCTCにて操作による手動介入は、すべての制御に優先する。

Fig. 3 Traffic Control System for No. 1 Line

PTCダウン時には、異質のARCがバックアップとして働くシステム構成としている。さらに各種手動介入が必要な場合は、指令員はCTC扱いとし、直接操作卓よりてこを扱うことにより、ほかの制御に優先する進路制御を行なうことができる。

図4はPTCを中心とした機器構成を示すものであり、次のような考慮が払われている。

(1) PTCのバックアップ

PTCはHIDIC 100を用いた一重系システムであるが、万一ダウンした場合でもPTC扱いからARC扱いに切り換えることにより、ARCによるバックアップが容易にできる。またPTC扱いとARC扱いの切換は各制御駅単位でできるため、ローカルのPTC扱い、またはARC扱いが可能となる。さらにCTC装置自体に行先、列車運用番号(以下運番と略す)のシフト機能を持たせてあるため、ダウン時における列車情報の把(は)握も容易にでき、PTCダウンによる影響を小さく押えることができる。

(2) PTCとCTCとのインターフェース

PTCとCTCとは、プロセス入出力装置、入出力継電器を介して結合されている。

現場の軌道回路・連動情報は、実回線またはコード伝送によりCTC装置に集められ、計算機側からのソフト的なタイミングにより、ノイズ対策を考慮して設けられたマイクロリレーを介し入力情報として取り込まれる。一方計算機からの進路出力は、該当進路に対応する出力用のデータリレーを介して行なわれる。

CTC装置は前述したように、行先・運番シフト機能を有し、PTCは、これらの情報を列車が各駅の番線にあるとき、CTCの行先・運番シフトリレー架から取り込むことができ、PTCのソフト的な情報によって、シフトリレー架のチェックおよび修正を行なうことができる。なお、復電時にはシフトリレー架の情報より、在線運番列車情報の確立を行なっている。

PTCは、列車が各駅の番線にあるとき行先・運番の植付け、さらに主要番線においては、列車群の判断によって先発・次発情報を付加する。CTC運行表示盤の機能を満たすとともに

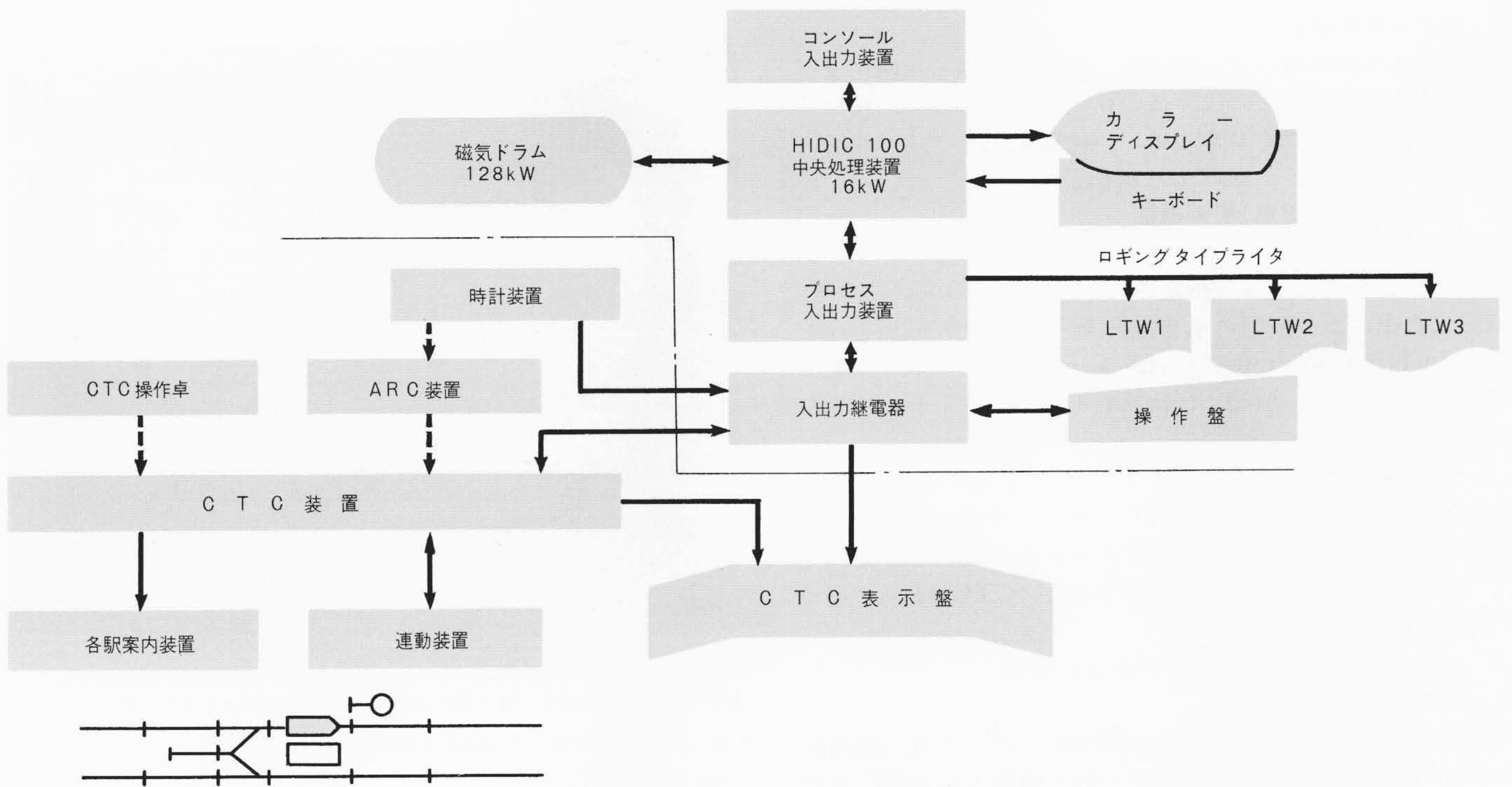


図4 機器構成 PTCを中心とした機器構成を示したものであり、PTCとCTCはプロセス入出力装置、入出力継電器を介して結合されている。

Fig. 4 Hardware Structure

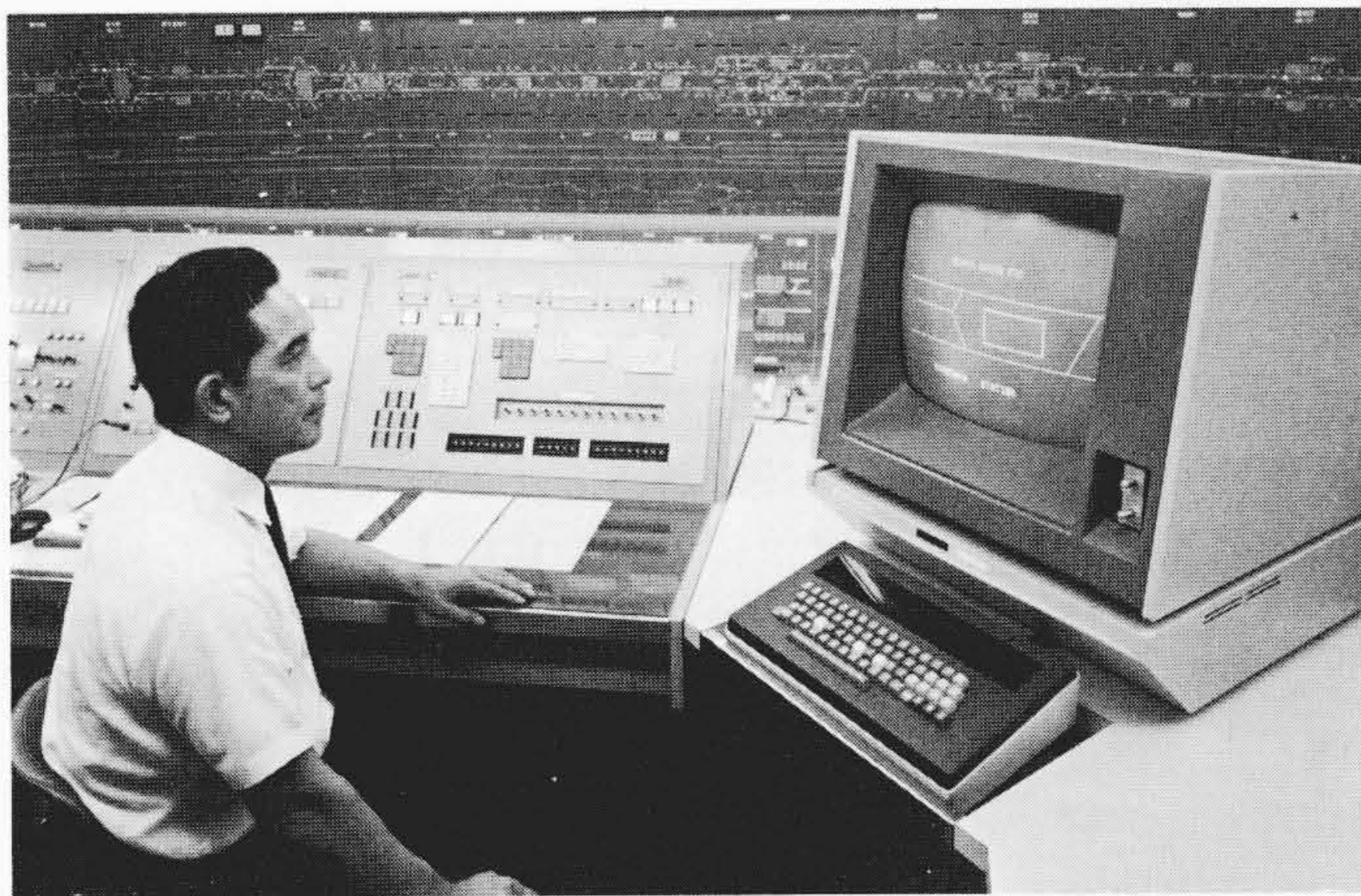


図5 操作盤およびカラーキャラクタディスプレイ コマンドは操作盤、モニタはキャラクタディスプレイと両者を併用することにより円滑なマンマシン・コミュニケーションが図れる。

Fig. 5 Operator's Console Panel and Color Character Display

に、CTC装置を介し、乗客サービスとして主要駅における行先案内表示器およびベル、ブザーの制御を行なっている。

(3) マンマシン・コミュニケーション

キーボード付キャラクタディスプレイ装置があれば、各種モニタと指令が同時にできるが、キーボードからの指令に関しては、操作内容が多い場合、その操作性は必ずしも良くない。そこでキーボードからの操作はきわめて簡単な指定だけにとどめ、各種の指令はできるだけ少ない操作で迅速に行なえるよう、押しボタンとデジタルスイッチなどから構成された操作盤により行なわれるようにした。このようにコマンドは操作盤、モニタはディスプレイと両者を併用することにより円滑な人間と計算機との対話が可能となった。

4 システム機能

4.1 進路制御機能

出発・入換え進路の出力要求は時刻を引金とし、場内進路の出力は地点を引金として、運転整理上の各種判断をした後、前方軌道、支障進路などをチェックして制御出力を行なっている。

出力後はアンサーバックチェックをし、列車通過完了後リセットを行なっている。

4.2 運転整理機能

(1) 自動遅延回復機能

遅れが一定値以上になると、場内進路制御時点で出発進路制御を同時に行ない、入駅速度を上げて遅延を回復させる出発進路の先引き制御と、駅ごとに定められた値だけ停車時分を短縮するダイヤ修飾とにより自動的に遅延を回復する。

(2) 手動介入によるダイヤ修飾機能

操作盤より発車制御を行なうことにより、その制御時刻をダイヤ時刻とするダイヤシフト機能と、指定駅だけの出発時刻を任意の値だけずらすダイヤ修飾機能とがある。

(3) 自動順序振替機能

大幅なダイヤ乱れ時に、中津(下り)、天王寺(上り)において大・小ループ列車の通過順序の振替の必要が生じた場合振替実行を報知した後、禁止がおりていなければ自動的に順序振替が行なわれる。

(4) 優先判断機能

各駅ごとの優先判断基準に基づき、在線列車群間の進路制御上の優先順序づけが行なわれる。

(5) 緊急入庫扱いによる進路の自動設定

我孫子行きで緊急入庫扱いを受けた列車に対し、我孫子到着後3線部の列車群を監視し、空(あ)き線を調べ、自動的に入庫進路を設定する。

(6) ダイヤ変更機能

操作盤より出庫前のダイヤ追加・試運転登録・出庫ダイヤ変更・ダイヤ取消しを、出庫後の在線列車に対して、在線取消し・行先着番線変更・(営, 回)の種別変更・ダイヤ復活・運番振替などのダイヤ変更ができる。

4.3 泊車(夜間留置車)制御機能

終電後の主要駅において毎日変化する留置形態をパターン化し、毎夜指令者によって指定された泊車パターンに基づき、PTCは当夜および翌朝の泊車関係列車ダイヤの編集を行ない、該当列車を所定の位置に留置させる泊車ダイヤを作成し実行するとともに、翌朝には留置列車の早朝ダイヤを作成し実行する。

4.4 出庫管理機能

出庫駅(江坂・大国町・我孫子)において所定の位置に列車が現われたとき、その日の実施ダイヤからどの列車かを判定し、自動的に列車情報を作成するとともにCTCに行先、運番を植付ける。

4.5 マンマシン・コミュニケーション機能

(1) 操作盤によるもの

在線列車に対し緊急を要する各種変更に関しては、該当列車を呼び出し、操作盤上の投影表示器で確認しながら、その列車に対し任意の変更情報を書込操作することができる。また時間的に余裕のある事前の変更操作に関しては、デジタルスイッチと割込押しボタンの併用で所期の変更を書込操作することができる。

(2) キャラクタカラーディスプレイによるもの

全在線列車の運行状況・当日の泊車形式・各種変更操作状況・遅延列車情報などの警報内容を表示する。

(3) CTC表示盤によるもの

主要駅における先・次発表示と先発列車のダイヤ時刻の予告表示さらに折返し駅における行先表示を行なう。

4.6 駅案内制御機能

主要駅の行先案内表示器・出発ベル・予告ブザの制御を行なう。

4.7 統計・記録作成

ロギングタイプライタに運行実績、日報・月報の統計記録および操作履歴を打ち出し、コンソールタイプライタに入出力機器、外部機器の故障記録を打ち出す。

4.8 復電処理機能

時計装置より現時刻を取り込み、CTCの行先・運番シフトリレー架から運番を取り込み当日実施ダイヤを索引し列車情報を自動的に確立し、通勤時間帯で数分間で復電処理を完了する。

4.9 異常監視・警報機能

入出力機器・電源・外部機器などの機器異常と、CTCとPTCとの行先、運番の不一致・進路構成不能・遅延発生の監視を行ない、異常を検知した場合警報を出す。

4.10 時刻監視機能

キャラクタカラーディスプレイに時刻表示を行なうとともに、所定時刻に各種定時業務に起動をかける。

5 ソフトウェア構成

図7はソフトウェア構成を示すものである。プログラム構成は、大別して次のように4分類される。

- (1) 地点分析プログラム
- (2) 列車追跡・制御プログラム群(図7の大きなリング)
- (3) 進路制御・出力プログラム群(図7の小さなリング)

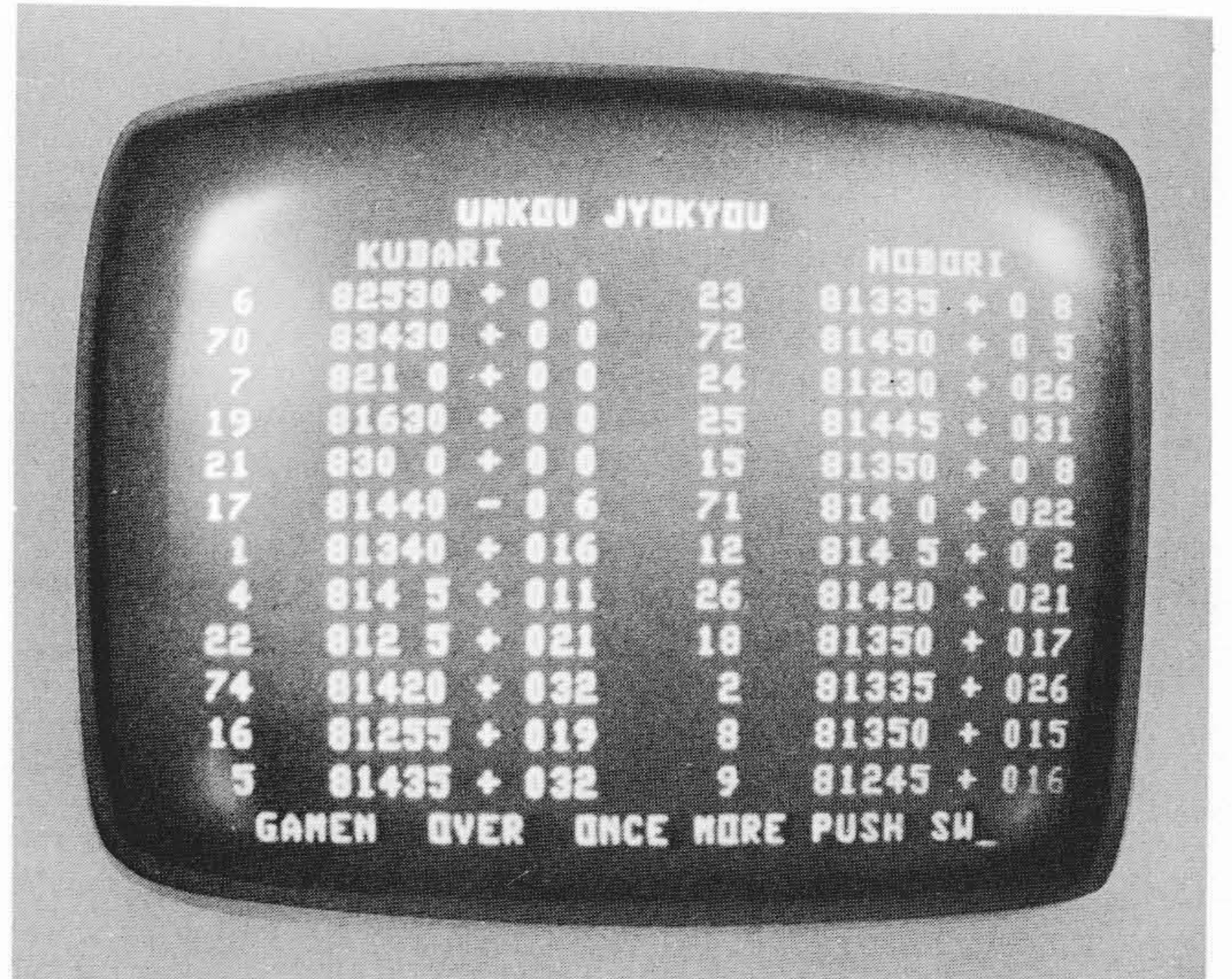


図6 ディスプレイ表示例 在線列車の運行状況表示を示す。このような表示が30種近くあり、指令員の各種指令と確認を行なううえで役だっている。

Fig. 6 Example of Color Character Display

(4) マンマシン・コミュニケーションプログラム群

地点分析プログラムは、CTCより軌道回路情報を始めとする入力情報を取り込み、その変化より後述する各種地点の検出を行なう。

列車追跡・制御プログラム群は、検出された地点特有の処理をすることにより該当列車の追跡を行なうと同時に、在線状況に則した判断のもとに必要な進路の出力要求を出す。これら進路出力要求は進路制御・出力プログラム群により前方軌道、鎖錠がチェックされた後、最終的に出力管理プログラムによりCTCに進路出力として出力される。

一方、マンマシン・コミュニケーションプログラム群は、操作盤・CRTからの各種外部割込みによって起動され、各種指令情報を分析し、変更情報として登録するとともに列車追跡情報の書換えを行なう。

以上、プログラム構成について述べたが、次に具体的な処理として当日実施ダイヤ構成と地点処理について説明する。

(1) 当日実施ダイヤ構成

当日実施ダイヤは、図8に示すように、固定ダイヤおよび泊車関係ダイヤから成る当日実施基本ダイヤならびにそれを修飾し当日実施ダイヤとする追加・試運転・変更・取消しなどの各種情報より構成される。

固定ダイヤとしては、平日および休日2種のダイヤが列車単位で登録されている。このうち前述した泊車に関する列車ダイヤは、毎日指定された泊車パターンに基づき、そのパターンに対応した泊車ダイヤおよび泊車パターンにより変化しないダイヤとを合成して作られる。

一方、追加ダイヤは追加指定ごとにダイヤが作成され、追加情報として登録される。試運転ダイヤはすでに登録されているダイヤをパターン指定することにより当日実施ダイヤとして登録される。取消し、変更はそれぞれについての情報がそのつど登録される。

(2) 地点処理

図9に示す地点を軌道回路情報の変化により検知し、それぞれの処理を行ないながら、列車の追跡、進路制御を行なっている。各地点の検出および処理を以下に述べる。

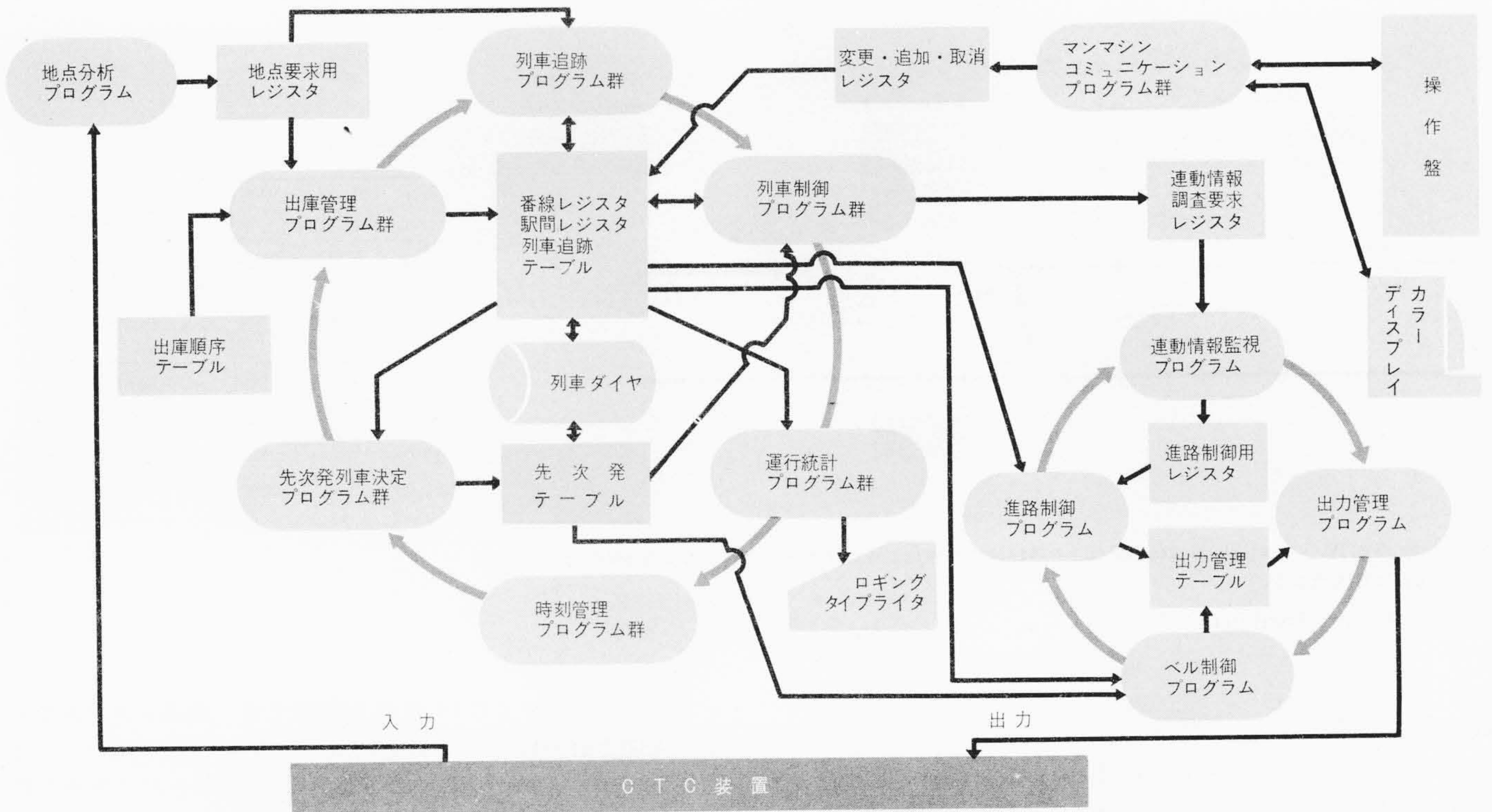


図7 ソフトウェア構成 ソフトウェアは次の4プログラム群より構成される。(1)地点分析プログラム(2)列車追跡・制御プログラム(大きなリング) (3)進路制御出力プログラム(小さなリング) (4)マンマシン・コミュニケーションプログラム

Fig. 7 Software Structure

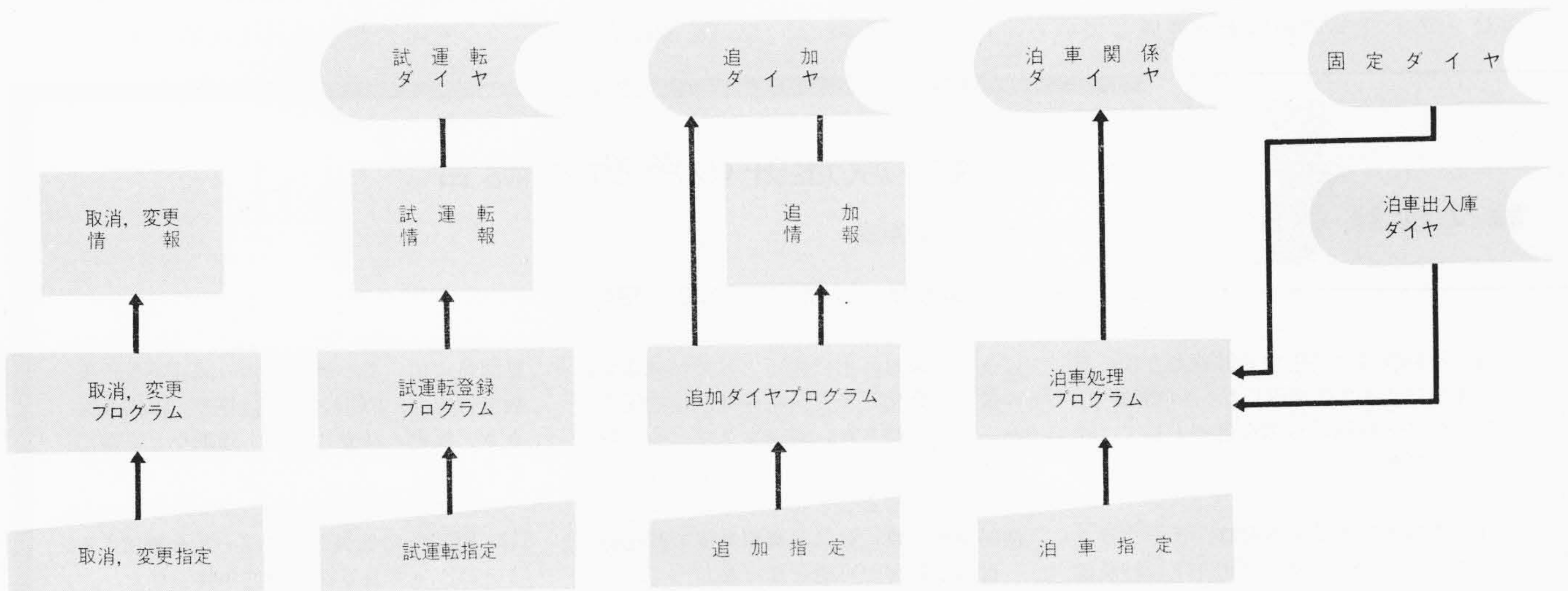


図8 当日実施ダイヤ構成 当日実施ダイヤは固定ダイヤおよび泊車関係ダイヤから成る当日実施基本ダイヤならびにそれらを修飾する各種ダイヤ変更情報より構成される。

Fig. 8 Everyday Execute Diagram Structure

R点とは場内進路出力を要求する区間に列車が進入したことにより検知され、場内進路の出力処理を行なう。

G点では列車が場内信号機の内方軌道にはいりきったことにより生じ、場内進路のリセットを行なう。

H点では番線の軌道に列車が進入したことにより生じ、CTCの行先・運番情報を取り込み、PTCの列車情報と照合するとともに、その列車情報をコンピュータ内でソフトウェア的にシフトする。

I点では番線の軌道に列車がはいりきったことにより生じ、

列車情報の更新・着遅れ時間計算を行なった後、出発時刻を決定し出発進路の出力を要求する。また行先駅に到着した場合には終着処理として、次の運行のダイヤ情報を索引し列車情報として登録する。

L点では番線の次の軌道に列車が進入したことにより生じ、列車情報を番線より駅間にソフトウェア的にシフトするとともに、発遅れ時間を計算する。

M点では列車が出発信号機の内方軌道にはいりきったことにより生じ、出発進路のリセットを行なう。

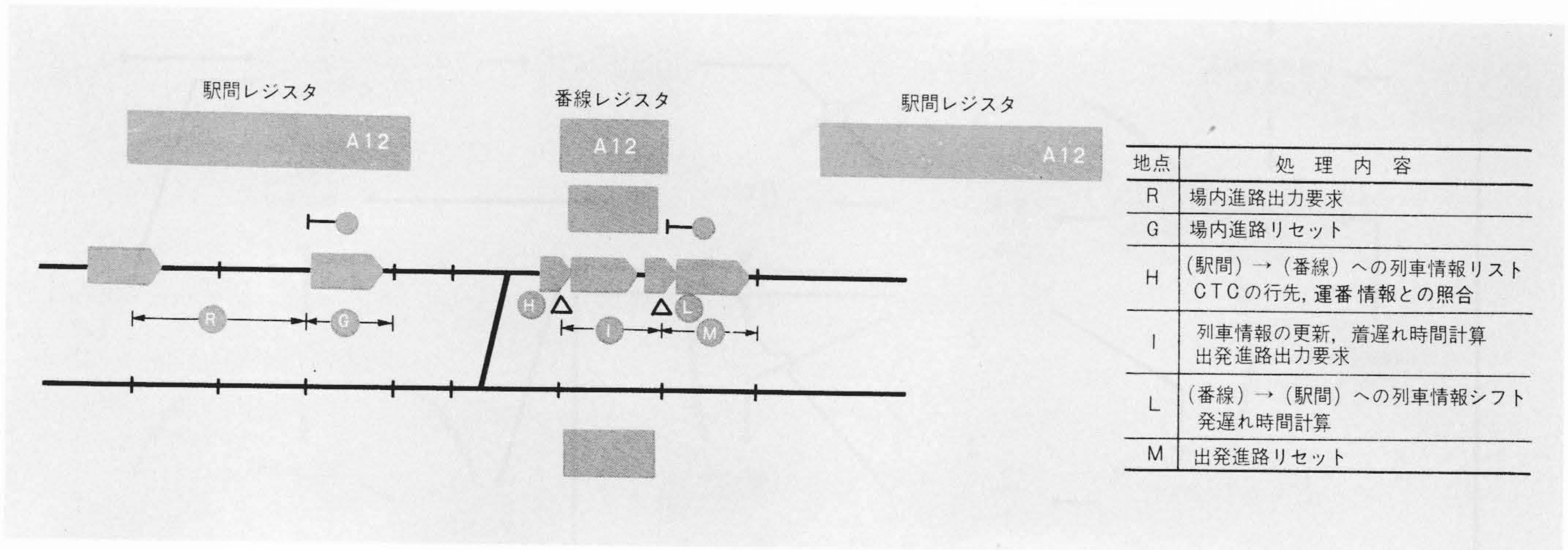


図9 地点処理 軌道回路情報の変化より各種地点を検出しそれぞれの処理を行ないながら、列車の追跡および進路制御を行なう。

Fig. 9 Point Treatment

6 結 言

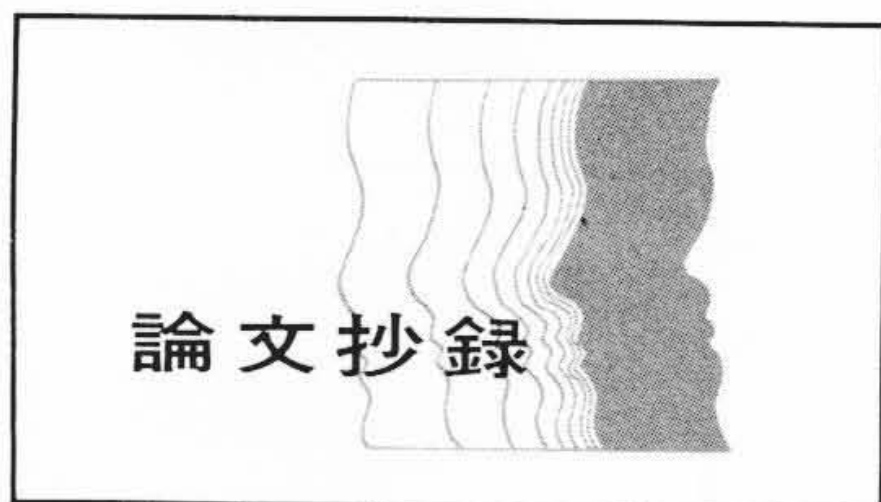
運行管理システムにおいては、制御対象がきわめて動的かつ複雑であるが、列車群として秩序をつけるきめ細かい自動制御が要求される。列車の運用変更については最終的な判断は、人間が行なうため、手動介入可能なコマンドアンドコントロールシステムとなる。さらに路線の規模と制御内容に適したバランスのとれたシステム構成とする必要がある。

今回開発したPTCは、地下鉄路線の特殊性をハードウェア的およびソフトウェア的に十分考慮している。行先・運番の

シフト機能を有するCTC装置を制御する一重系システムである。人間と計算機との対話を円滑に行なうため、コマンドは操作盤、モニタはディスプレイと両者を併用したことを特徴としたコンパクトではあるが、きめの細かい制御を行なうシステムである。

本システムは、昭和47年11月より営業運転を開始し、2分15秒ヘッドという稠(ちゆう)密ダイヤのもとに順調に稼(か)動している。

最後に、本システムの開発にあたりいろいろとご協力いただいた関係各位に心から感謝の意を表わす次第である。



圧力補償形減速弁の解析と総合

日立製作所 秋山伸幸

日本機械学会論文集 38-313 2279 (昭47-9)

油圧駆動回路に使用する減速弁とは、被駆動体の停止または切返しの際の衝撃力、振動の低減と時間の短縮を目的として、任意の減速特性を得るために使用するものである。

通常本目的に使用する弁は、テーパランドスプール弁とかスリーブポートに特殊加工を施した直角エッジスプール弁であるが、スプール変位に対する流量制御機能が安定して得られない欠点があった。

本論文では、スプールの軸方向変位に対するスプール絞り面積が自由に選定できるとともに、どの絞りに対しても流量係数が比較的一定に近い切欠き付スプール弁を使用し減速弁を構成している。

しかし流量制御に関しては、スプール弁単体ではスプール弁前後の圧力差が変化するとそこを通過する流量も変化するので、弁前後の圧力差を一定に保つように圧力補償機構を備えた減速弁を作り圧力補償形減速弁(以下PCDと略す)と名づけた。本弁

によって入口、出口側圧力および減速弁部の絞りが変化しても、減速弁前後の圧力差が一定に保持され、減速弁スプールの軸方向変位に比例した流量を高い応答性と安定性のもとに得ることができるようになり、油圧駆動回路における被駆動体の減速特性の自由な制御が可能となった。

本論文はこのPCD弁の静特性、動特性の理論解析と実験を行なうとともに本弁を油圧駆動回路中に使用したときの被駆動体の減速特性を論じたものである。まず静特性ではPCD弁入口側圧力、出口側圧力、スプール変位に対する減速弁前後の圧力差を一定にするための影響因子を理論的に求め、その結果を実験的に裏付けている。また、動特性では周波数応答によって固有振動数の向上と減衰係数の向上を図るために、解析式を二次系近似して、各パラメータの影響度を明らかにし実験的に確認している。

最後にこれらの解析から得た資料を基にしてPCD弁を製作し、メータアウト油圧駆

動回路に用いて、被駆動体の減速特性の実験を行ない、PCD弁の追従性や、振動の大きさ、振動の減衰に及ぼす効果などを確認している。

以上の結果の要約は次のようになる。

- (1) PCD弁に切欠き付スプールを使用することによって良好な静特性が得られた。
- (2) 試作したPCD弁の固有振動数は150Hzであり、従来の圧力補償形流量制御弁の60Hzに比べて大きく性能が向上した。また帯域は170Hzで、従来の上記品の50Hzを上回っている。
- (3) 油圧駆動回路の減速特性では減速時の衝撃圧力はあまり変わらないが、振動減衰時間は、PCD弁を用いない場合の半分になった。またこの減速運動はポンプの供給圧力変動などには影響されない。

またこの減速弁は方向切換弁に拡張すれば、圧力補償機構を有する方向流量制御弁として使用でき、その用途はかなり拡大されよう。