南海電気鉄道株式会社向け

列車運行管理システム

Traffic Control System for Nankai Electric Railway Co., Ltd.

最近鉄道分野でサイバネティクス技術が取り入れられ、業務の能率化、乗客に対するサービスの向上が図られている。その代表的なものは運行管理の自動化であり、日本国有鉄道の新幹線や各地下鉄をはじめ、モノレールや中量軌道輸送システムなどで精力的にその導入が図られている。

今回,長大な路線で列車密度の高い南海電気鉄道株式会社南海線に,進路制御と案内広報を自動化する列車運行管理システムを導入した。本システムは,日立制御用計算機HIDIC 80の二重系を使用した中央集中形システムであり,列車運行乱れの早期回復を図る高度な運転整理機能を備えるとともに,高い信頼性をもったシステムである。

栗山 宏* Hiroshi Kuriyama 川合義憲** Yoshinori Kawai 池田克明**** Katsuaki Ikeda 福岡和彦***** Kazuhiko Fukuoka 近藤 恵**** Megumi Kondô 新井 直***** Tadashi Arai

□ 緒 言

南海電気鉄道株式会社では、難波駅の大改良工事や沿線の 高架工事とともに、業務の能率化、自動化及び乗客へのサー ビス向上を進めている。特に列車運行管理の面では、乗客の 増加・路線の複雑化のため、運転指令員や駅信号係の作業量 の軽減を図り、また乗客への的確な案内情報の提供を図る必 要が生じてきた。

このような状況を背景に、まず南海電気鉄道株式会社南海線(以下、南海線という。)に電子計算機を利用した列車運行管理システムを導入した。

本論文では、このシステムの特徴となる機能と、信頼性、 保守性の向上のために考慮した点を中心に述べる。

2 システムの概要

2.1 対象路線の特徴と規模

南海線は図1に示すように、南海本線と多奈川、加太、和

歌山港などの各支線から成っていて、複々線、複線及び単線があり、和歌山市駅のような制御信号機の数が60以上の大規模な駅を含んだ総延長約80kmに及ぶ長大な路線である。

その運行形態も,追越し,分岐,合流,単線での行違いはもちろん,日本国有鉄道紀勢本線への直通乗入れ列車,和歌山港や深日港で船と連絡する列車,貨物列車などがあり,大変複雑となっている。

またターミナルである難波駅では、ラッシュ時の列車数が 1時間に24本と非常に列車運行密度の高い路線である。

表1に、システムの対象規模の概要について示す。

2.2 システムの機能と構成

本システムの全体は、図2に示すように日立制御用計算機 HIDIC 80(以下, HIDIC 80と略す。)を中心とした中央装置 と,中央と駅間の情報伝送を行なうCTC(Centralized Traffic Control)装置、保安装置である継電連動装置及び放送

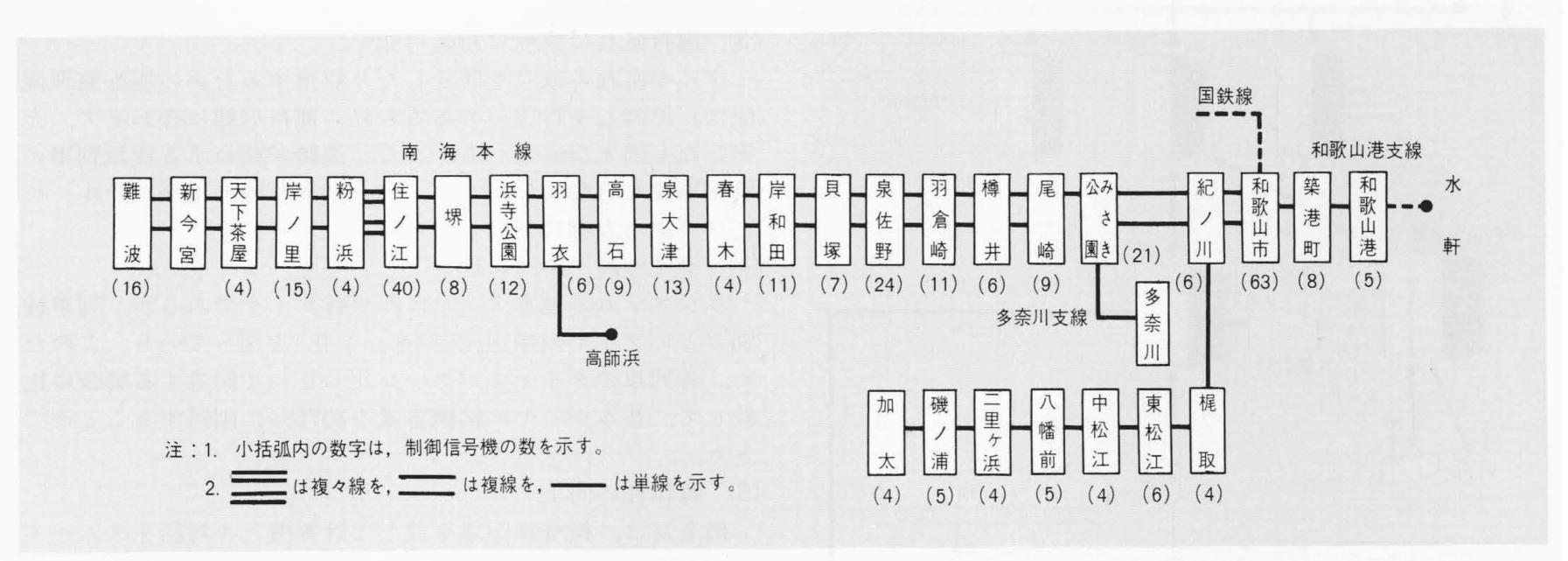


図 | 南海線路線図 本システムの対象となる南海線の路線図を示す。信号機を制御する連動駅だけを示している。新今宮駅は非連動駅であるが,案内制御 を行なっている。

^{*} 南海電気鉄道株式会社総合企画調査室 ** 日立製作所水戸工場 *** 日立製作所システム事業部 **** 日立製作所システム開発研究所 ****** 日立製作所機電事業本部

表 | システムの対象規模 南海線は路線延長が約80km, 信号機制御を 行なう連動駅が30駅であり、列車運行密度の高い路線である。

番	項目	規模	規模
1	路線長		79km
2	駅数	連 動 駅	30駅
_		非連動駅	26駅
3	総列車数		1,044本
4	同時最大在線列車数		56本
5	運転時隔(最繁時)		2 分30秒
6	列車種別数		7種
7	ダイヤ種別数		川種
8	制御信号機数		358基
9	案内駅数	案内表示	9 駅
3	木门机致	案内放送	21駅

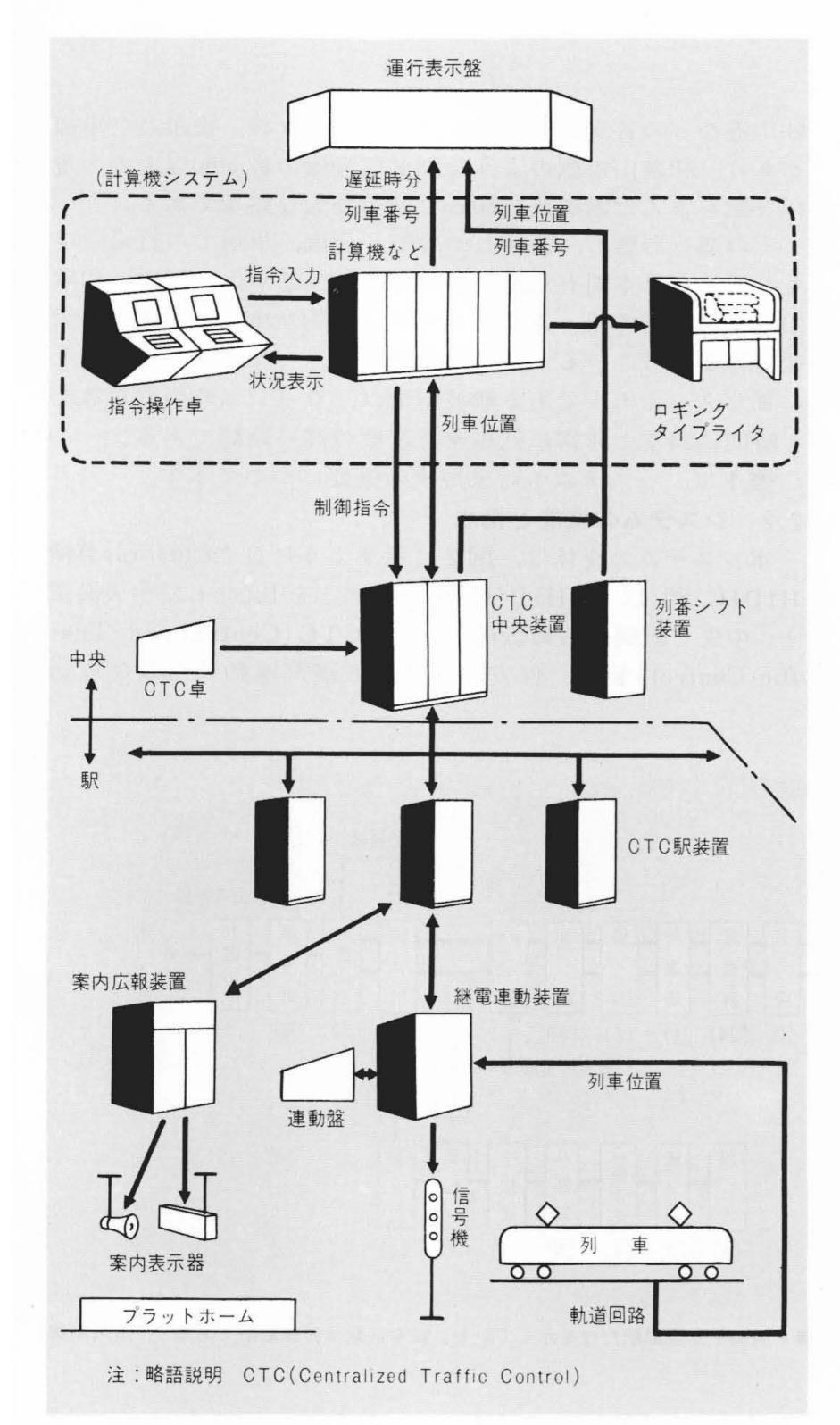


図 2 システム全体構成図 中央の計算機で一括処理を行なう中央集中形システムであり、計算機のほかCTC装置、継電連動装置、案内広報装置などから構成されている。

表 2 システムの機能一覧 中央の計算機がこれらの機能を自動化している。特に、運転整理と優先判断の機能が充実している。

項番	機能	概要
Ĭ	列車追跡.	列車位置と列車番号のダイナミックな対応づけ
2	運行表示	列車番号,遅延時分などを運行表示盤へ表示
3	進路制御	ダイヤに従って進路を制御
4	案内広報制御	放送装置及び行先案内表示器を制御
5	運転整理	運行乱れの検知と正常ダイヤへの回復案作成
6	優先判断	進路が競合する複数列車間の優先順序の決定
7	マンマシンコミュニケーション	指令操作卓による指令員と計算機の対話を支援
8	ダイヤ変更	運転整理結果や指令員の意志のダイヤへの反映
9	ダイヤ編集	当日使用するダイヤの編集
10	実績統計記録作成	運行実績,指令操作履歴,機器の故障などを記録
11	遅延時分伝送	列車番号,遅延時分を駅へ伝送
12	入庫予告	入庫列車の接近を車庫へ予告
13	列車走行シミュレーション	模擬的に列車位置、信号機状態などを時々刻々作成

と案内表示を行なう案内広報装置から構成されている。本システムの自動化機能は,ほとんど中央の計算機が分担している。この機能の概要を表2に示す。

以下,中央の計算機システムの特長,構成,機能などについて説明する。

2.3 システムの特長

本システムは,路線やダイヤが大規模で複雑な私鉄向けの 運行管理システムであり,以下に述べるような特長をもって いる。

(1) 稼動率の向上

本システムの主要ハードウェアを二重系とし,高い信頼性 を確保するとともに、計算機システムのダウンタイムの短縮 を図り、総合的にシステムの稼動率を向上させている。

(2) 保守性の向上

システム規模の拡張時,線路図などの設備条件を鉄道用語 のままで変更できるため,ソフトウェアの保守性が格段に向 上している。

(3) 運行乱れに柔軟に対応可能

ダイヤ乱れの波及を防止したり収束するための運転整理機能は、追越しや行違いのある私鉄の運行形態に合わせて、充実したものとなっている。また、進路が競合する複数列車の優先順位を自動的に決定し、ダイヤ乱れ時の指令員のルーチンワークを大幅に軽減している。

(4) ダイヤのパターン化

本システムの基本ダイヤは非平行ダイヤであるが、列車種別ごとにダイヤの類別化(パターン化)を図っている。このため、各列車のダイヤをパターン化しないで記憶する場合に比較して、基本ダイヤの格納容量を約75%に削減することができた。

(5) 操作性の向上

指令員は、指令操作卓を通して計算機との対話をスムーズに行なうことができる。この指令卓は2台あり、2人の指令員が路線を分割して分担することにより、運行乱れにも対応が可能である。

(6) 既設備の活用

既設の駅案内表示器や駅放送装置を活用して、乗客サービスを運行乱れに対応可能な形で自動化している。

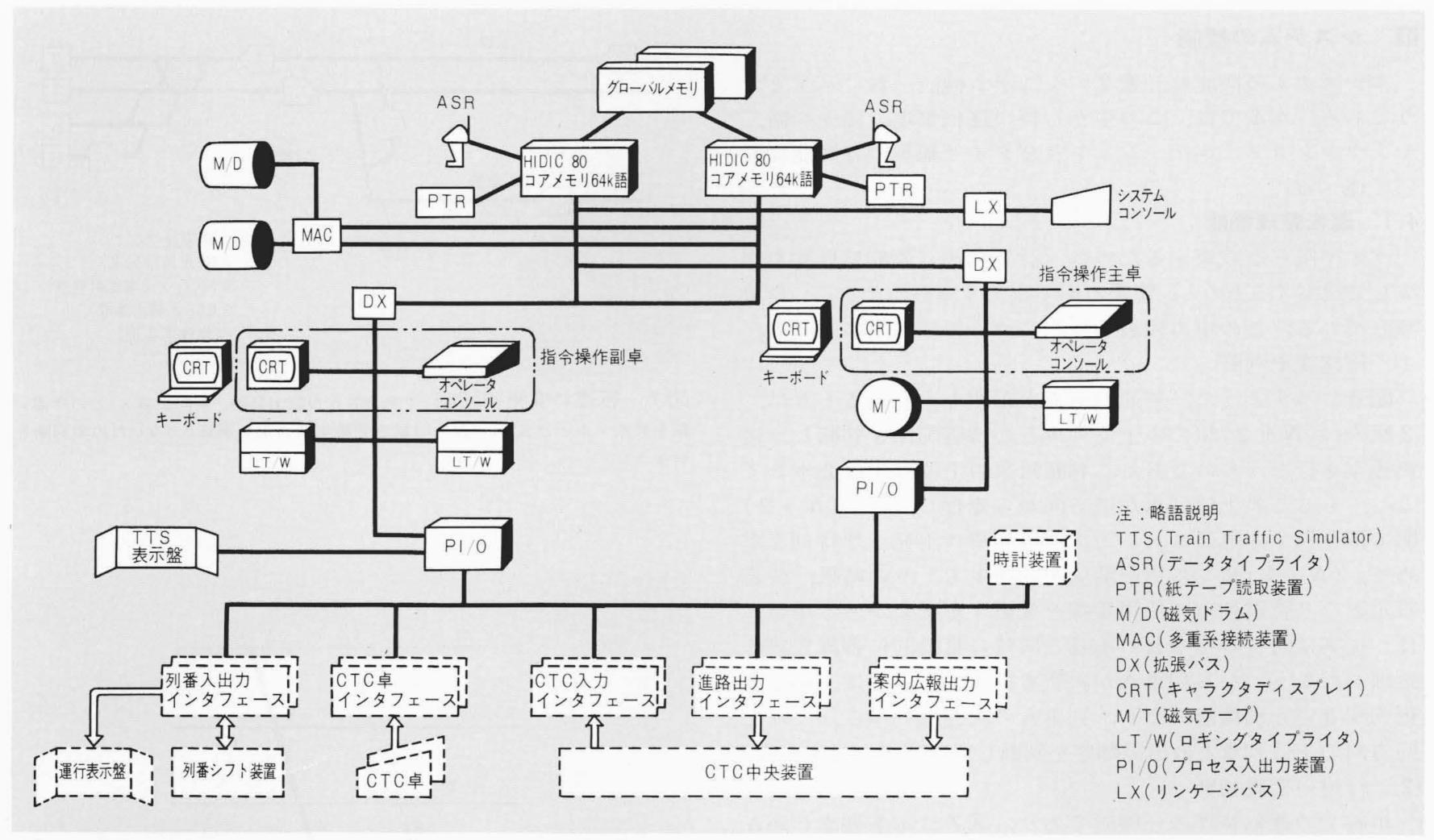


図 3 計算機システムのハードウェア構成図 日立制御用計算機HIDIC 80の二重系システムである。主要な周辺機器やインタフェース部も二重化が図られ、信頼度を向上させている。

B システムのハードウェア構成

本システムは、中央集中形計算機システムであり、中央処理装置、周辺装置、指令操作卓、インタフェースなどから構成されている。図3にハードウェア構成図を、図4に機器室の内観を示す。

3.1 中央処理装置

本システムの中枢となる装置で、HIDIC 80 (コアメモリ 64k語)の二重系構成をとっており、グローバルメモリを経由して2台の計算機間でデータが交換される。全線の情報はすべてこの中央処理装置へ伝送され、一括処理される。

3.2 周辺装置

HIDIC 80の周辺装置として、プログラムや列車ダイヤをはじめ各種ファイルを格納するM/D(磁気ドラム装置) 2 台、各種の記録を印字出力するLT/W(ロギングタイプライタ) 3 台、事務用計算機で作成した列車ダイヤ情報を本制御用計算機に入力したり、トラブルシューティング用データを格納したりするためのM/T(磁気テープ装置) 1 台、列車運行シミュレーション用の表示盤 1 台などがある。

3.3 指令操作卓

主卓と副卓の2卓があり、いずれの卓にもCRT(カラーキャラクタディスプレイ)を設けている。計算機の情報を指令員に分かりやすくCRTに表示したり、指令員の意志をCRT画面を使って容易に計算機へ入力ができるようになっている。図5に指令室の内観を示す。

3.4 インタフェース

本計算機システムと外部のインタフェースは、CTC入力部や進路出力部など5個の部分から成り、いずれも二重系構成をとっている。

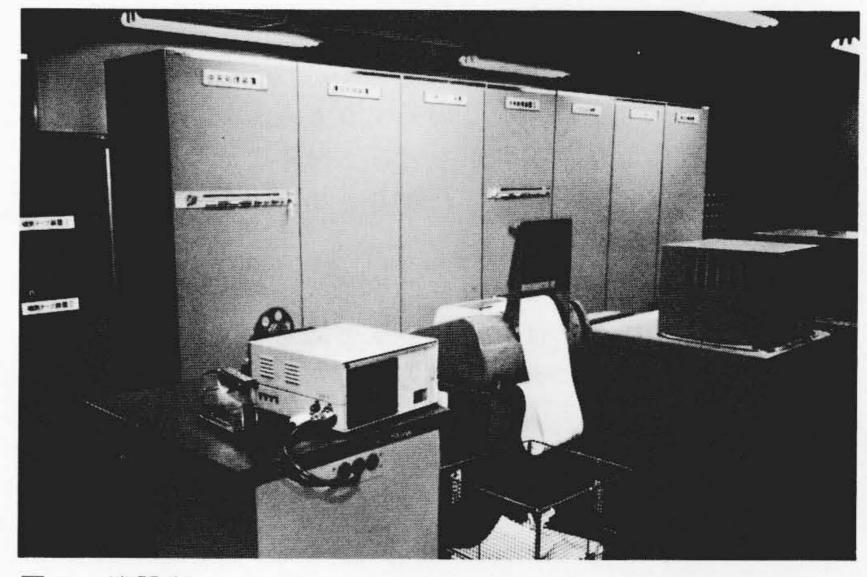


図 4 機器室 運行管理システム用計算機機器室の内観を示す。

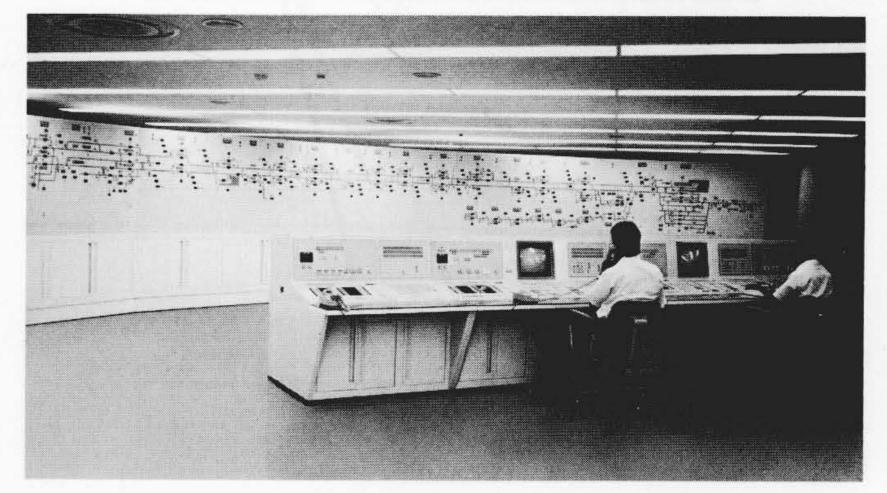


図 5 指令室 運行表示盤の前に主卓と副卓の2台の総合指令卓を配置し、 両方の卓から並行して計算機に対して指令入力を行なうことができる。

4 システムの機能

本システムの機能は、表2のシステム機能一覧に示すとおりである。本章では、この中から特に運転整理、優先判断、マンマシンコミュニケーション及びダイヤ編集の各機能について述べる。

4.1 運転整理機能

ダイヤ乱れを収束するために、計算機から運転整理案を作成して提案するものと、警報の形で出力するものとの二つに分類している。この中の代表的機能について、以下に述べる。

(1) 待避変更判断

図6に示すように、普通列車AがN駅を出発するときに、2駅先の(N+2)駅での上位列車との待避関係を判断し、変更提案を行なうものである。判断対象の上位列車は2本までとし、もしこの上位列車が逆方向から走行してきて(N+2)駅で折り返すときには、この次運用列車の出発予想時刻を求めて、(N+2)駅での待避関係を判断する。その結果、待避設定となり待避列車の使用番線を変更する必要がある場合には、提案に対する指令員の承認と同時に自動的に番線変更の処理を行なう。なお列車Aが次駅で折り返す場合は、順序変更判断という別機能により、列車Aの次運用列車と、これと同方向の上位列車との出発順序を判断し別途変更を提案する。(2) 行違い変更判断

単線での運転整理の一機能であり、図7に示す列車PがN駅を出発するとき、対向列車X1とどの駅で行違いすべきかを判断し、変更提案を行なうものである。

また端末駅、(N+3)駅での着発番線は本線用と単線用がダイヤ上固定されているため、単線用の着発番線が詰まっているにもかかわらず単線から本線に合流させると、本線列車まで(N+3)駅に入場できないということになる。このため、列車Pが(N+1)駅に到着し出発するとき、列車Pが本線に合流することにより本線列車を遅延させることなく運転できるか否かを判定し、そのおそれがある場合には、(N+1)駅の出発を抑止し警報を出す。

なお本機能は、操作卓から自動承認扱いの指定を行なうことができ、この場合には、行違い変更提案がすべて承認されたものとして自動的にダイヤ変更を行ない、これにより進路制御を行なう。

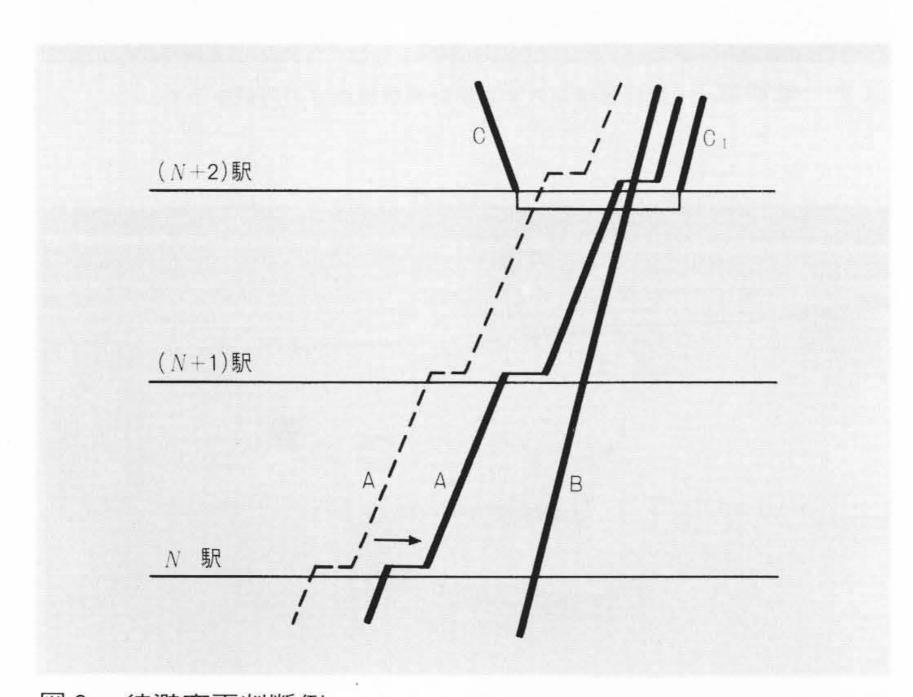


図 6 待避変更判断例 普通列車AがN駅を出発するとき, (N+2) 駅での上位列車との待避関係を判断する。

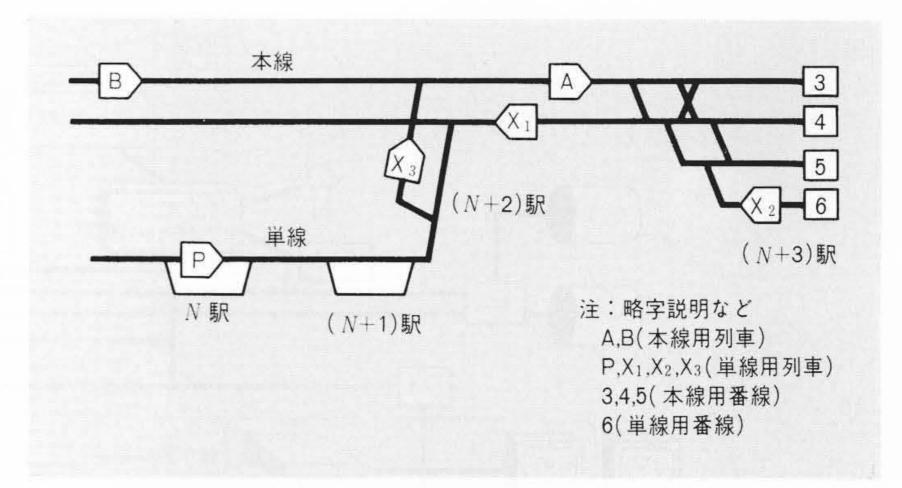


図7 行違い変更判断例 列車PがN駅出発時,対向列車X1との行違い駅を判断するとともに,(N+I)駅出発時本線列車を遅延させないための判断を行なう。

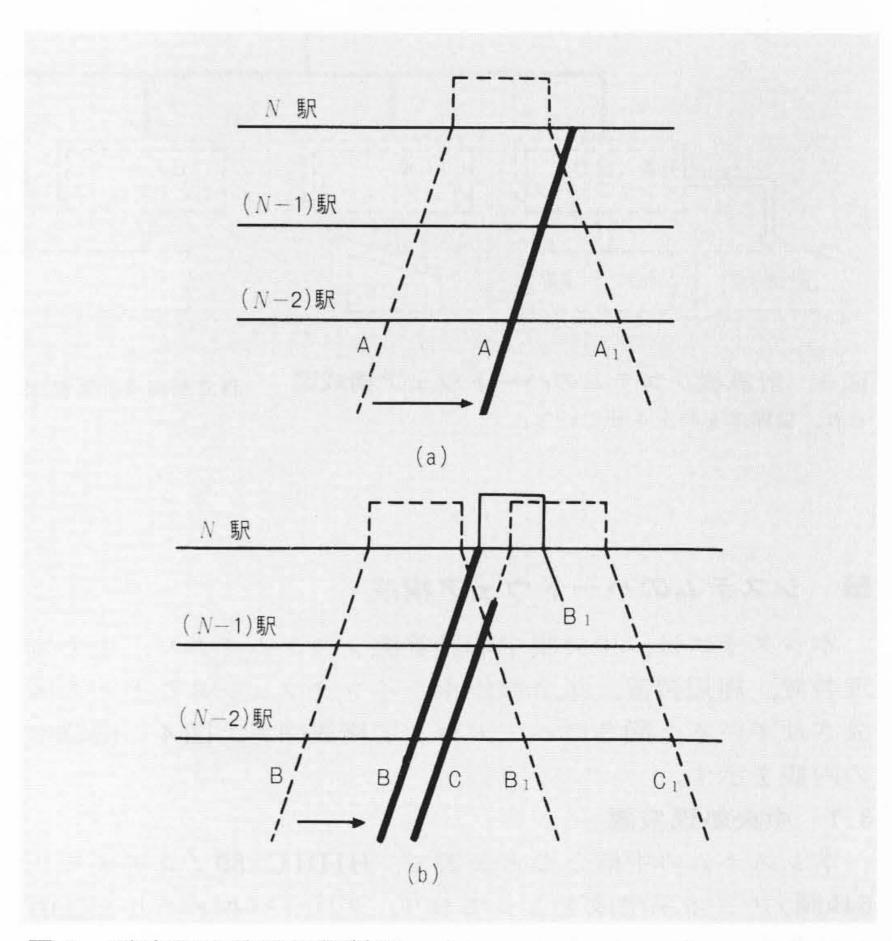


図8 端末駅番線運用判断例 (a) A列車の端末駅到着が、次運用列車 A1の出発時刻に間に合わないとき警報を、(b) B列車遅延のため、後続列車 C と番線競合するとき警報をそれぞれ出力する。

(3) 端末駅番線運用判断

本線端末駅を出発する列車で、出発順位第1位から第10位までの列車を対象に、前運用列車の到着時刻を予測し、端末駅での最小折返し時分を考慮して出発時刻を守れない場合、又は番線競合が発生する場合には、指令員の判断処理を求めるための警報を出力する。この事例を図8に示す。指令操作卓にあるこの警報ボタンを押すことにより、詳細な警報内容をCRTに表示する。

4.2 優先判断機能

図9に示す入場列車,出発列車及び入出庫列車が競合点を 通過する場合,どのような順序で通過させるのが最適順序か, すなわちダイヤ乱れを回復し,効率の良い運転ができるかを 判断するのがこの優先判断機能である。この最適順序の判定 基準は、次に述べるような考え方により求めている。

(1) 競合点通過順序の組合せはいろいろ考えられるが、この

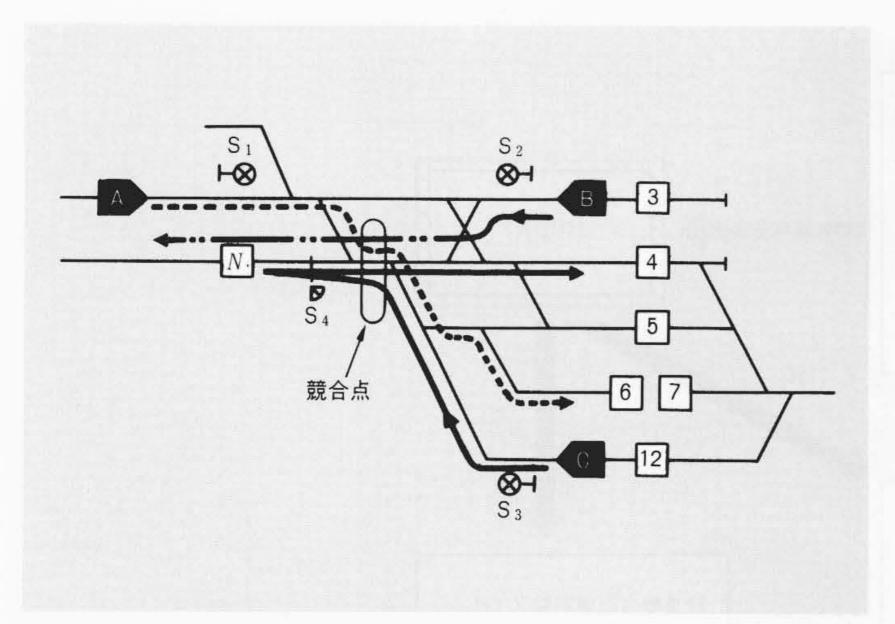


図 9 優先判断機能 競合点を通過する列車A,B,Cの優先順位を判断 L,信号機S1,S2,S3,S4の制御順を決定する。

組合せの中で各列車の出発と到着遅延時分の総和,すなわち 総遅延時分が最小になる順序の組合せを最適順序と判定する。 (2) どの組合せ順序でも総遅延時分に差がなければ,競合点 の支障時分が小さいほうを優先する組合せ順序を最適順序と 判断する。

このような評価基準を導入した目的は,ダイヤ乱れに対する回復運転を可能にするとともに,どの駅にも一律に適用することをねらいとしたものである。このようにして求められた最適順序により、自動的に各列車の進路制御が行なわれる。

4.3 マンマシンコミュニケーション

計算機との対話は、迅速かつ確実にできることが必要である。このため図10に示すように、指令操作卓には各機能の項目対応に専用のファンクション押しボタンを設け、これを機能ごとに分類配置して操作性の向上を図っている。また操作の結果は、操作盤の前に組み込んであるCRTに、指令員に分かりやすい形で表示されるようになっている。

指令操作卓の各機能項目には,ダイヤ変更入力項目18,ダイヤの変更を伴わない指令入力項目7,モニタ項目7,運転整理に関する計算機からの提案項目4,警報項目8及びシステム運転状態表示項目7がある。

4.4 ダイヤ編集

平日と休日の基本ダイヤは、パターン化ダイヤの形式でM/Dに格納しておく。通常の運転は、この基本ダイヤにより制御される。この基本ダイヤに対して一日限りのダイヤ変更がある場合は、1日前から指令操作卓によりダイヤ変更情報を入力しておくことができる。しかし、海水浴とかお盆など数十本に及ぶ増発列車が一定期間設定される場合には、操作卓からのダイヤ変更入力では対応できないため、図11に示すように事務用計算機でM/Tにあらかじめダイヤ変更情報を作成し、M/Dに格納しておく。当日の始業処理で、これらのダイヤ変更情報を基本ダイヤに反映して、当日ダイヤを編集する。

なお,一日限りの大幅なダイヤ変更がある場合には,当日 ダイヤ形式の季節ダイヤを事務用計算機でM/Tに作成してお き,これを当日ダイヤエリアに直接読み込む方式としている。

5 信頼性,保守性の向上策

本システムは、大規模な路線を一元的に管理しているため、 ダウンした場合の影響が非常に大きい。したがって、ハード ウェア及びソフトウェアを含めた計算機システムの信頼性を

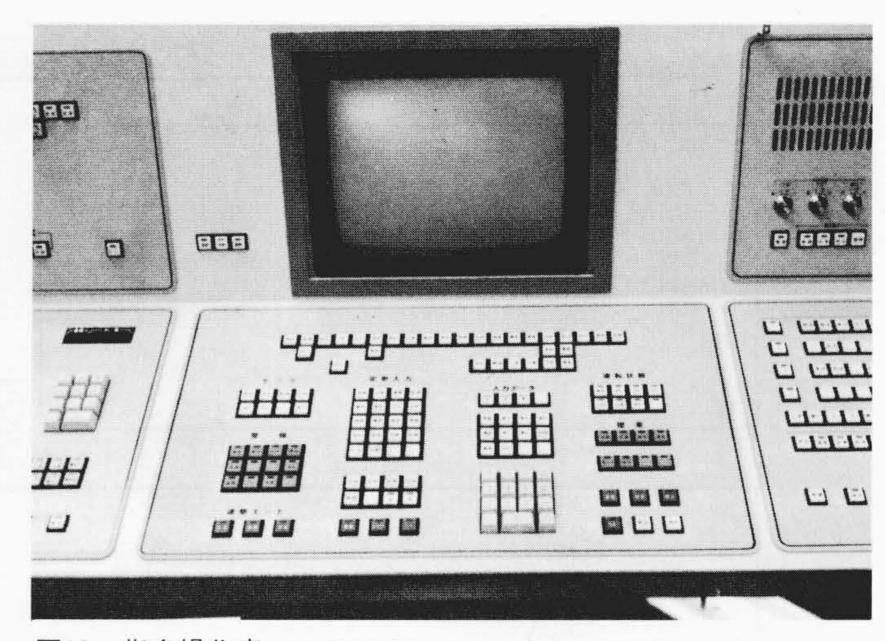
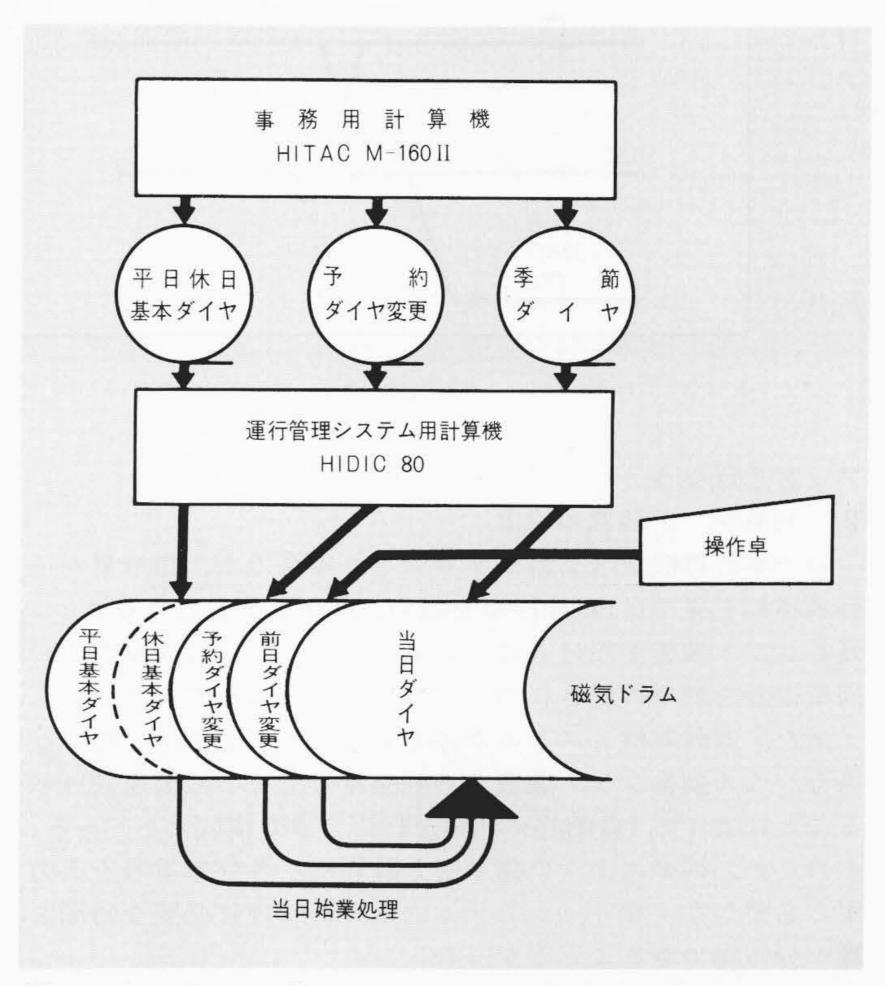


図10 指令操作卓 操作盤面には、各機能項目に対応した専用のファンクションスイッチを設けて、操作性の向上を図っている。



図II 当日ダイヤ編集 通常の当日ダイヤは、始業処理時予約と前日の ダイヤ変更情報を基本ダイヤに反映させ編集する。

向上させるとともに、システムのダウンタイムの短縮を図り 稼動率を向上することが必要である。

また、本システムのような大規模なオンラインシステムでは、路線延長時や機能拡張時の保守性が良いことが必要となる。

以下に,本システムで採用した信頼性,保守性を向上する ための対策について述べる。

5.1 ハードウェアの高信頼化

(1) 主要機器の二重系化

本システムの中心機器であるHIDIC 80, M/D はもちろん,指令操作卓やCTC中央装置とのインタフェースなどを二重系にしてあり、システム全体の信頼度を向上させている。なお、3台のLT/Wは1台が故障の場合、他の2台でバック

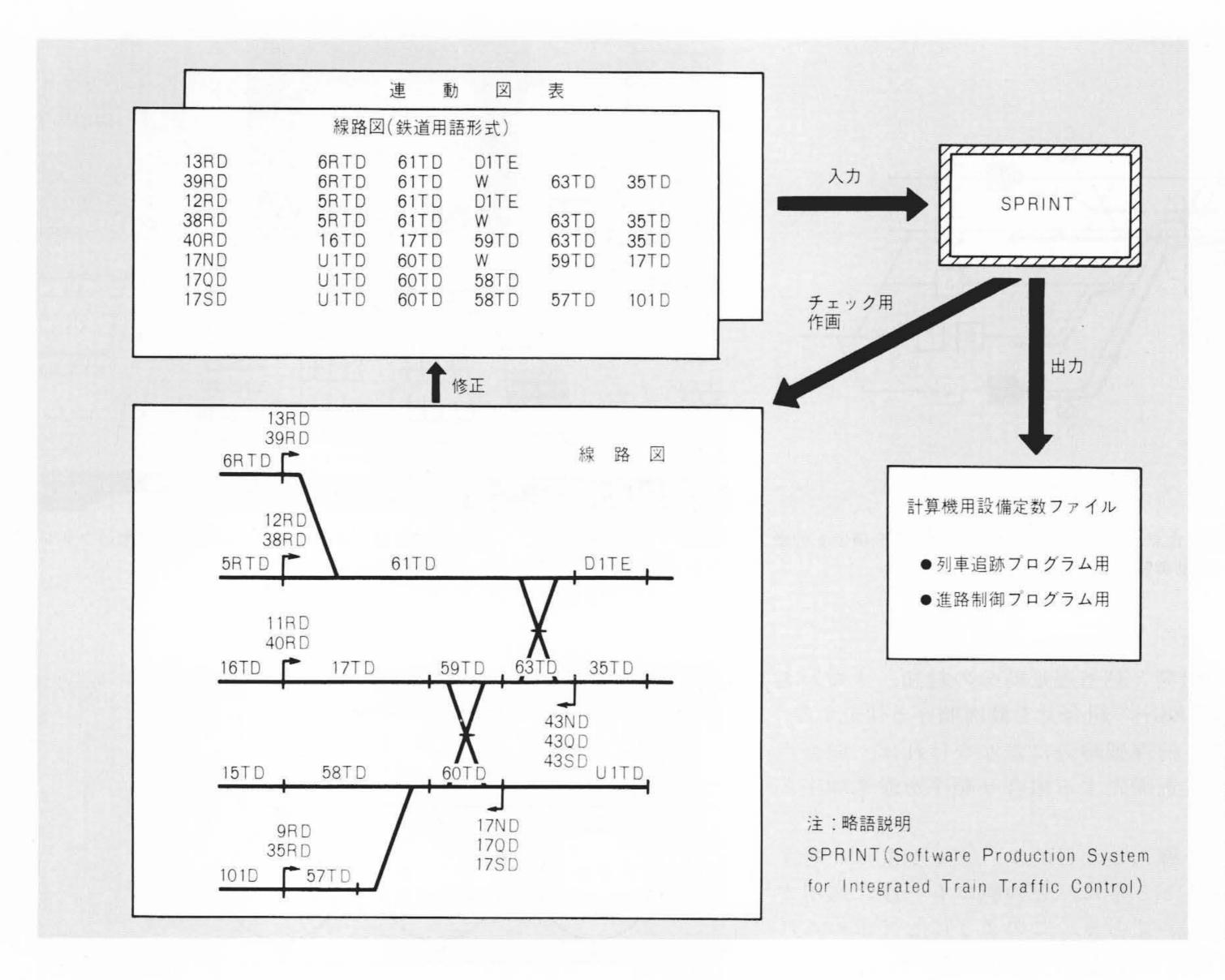


図12 SPRINTの機能 SPRINTは,鉄道用語で記述された設備条件を入力して,計算機用の設備定数と チェック用の線路図を作画する。これにより,ソフトウェアの信頼性,保守性を向上できる。

アップを行なう。

(2) 列番シフト装置の設置

万一本計算機システムがダウンした場合でも、指令員が運行表示盤を見てCTC操作卓を扱い、進路制御ができるように列番シフト装置が設けられている。これは、運行表示盤上の列車番号を列車の動きにつれてシフトする装置である。

また、本計算機システムが停止していて再立上げを行なう場合、この列番シフト装置から列車番号とその位置を読み取ることによって、自動的に列車を把握できる構成としてある。そのため、従来のように指令員が計算機へ各列車番号を入力する必要がなくなり、システム立上げのために必要な時間を数十分短縮できることとなった。

5.2 ソフトウェアの高信頼化

(1) SPRINTの利用

SPRINT (Software Production System for Integrated Train Traffic Control)は、運行管理システムのソフトウェアの信頼性、保守性の向上を目的とした支援プログラムパッケージであり、以下に述べるような機能をもっている。

(a) 鉄道用語で書かれた設備定数の直接入力が可能であること。

従来は,鉄道用語で書かれた線路図や連動図表などを, 数値に変換し更に計算機内の記憶構造に合わせて配列し直 した後でないと,計算機に入力できなかった。

SPRINTを用いれば、鉄道用語で書かれた線路図などをそのまま計算機へ入力でき、列車追跡と進路制御のプログラムで必要な設備定数を自動的に作成できる。このため、システム規模を拡張する場合の保守性の向上を図ることができる。

図12の左上側に、住ノ江駅線路図の鉄道用語による記述

例を示す。例えば、第1行目は、信号機13RDの進路が、 軌道回路列6RTD、61TD及びD1TEから構成されている ことを表わしている。

(b) チェック用の線路図を作画できること。

図12の左下側の住ノ江駅線路図の一部分は、左側の入力データを基に、SPRINTがX-Yプロッタを用いて作画したものである。出力された線路図を調べるだけで、意図したデータが計算機に正しく取り込まれたかどうかを容易に検証することができるため、ソフトウェアの信頼性を向上することができる。

(2) TTSの利用

TTS (Train Traffic Simulator) は、本システムの入力 データを模擬的に作り出すプログラムパッケージである。ソ フトウェアの製作時や路線規模の拡張時に、列車運行の正常 時や乱れ時を想定してソフトウェアの動作を事前に試験できる。

6 結 言

以上、南海線用列車運行管理システムについて述べた。南海線は民営鉄道の中でも大規模な路線であり、最近の複々線立体工事など新陳代謝の多い路線である。本システムは、このような路線に適したシステムとして、今回特に高信頼性とシステムの保守性に重点をおいて開発したものである。すなわち、SPRINTの採用もその新しい試みの一つである。

本システムは、昭和55年9月1日から同時最大在線制御列車本数約60本というダイヤのもとで順調に稼動している。

最後に、本システムの開発に当たりいろいろと御協力、御 指導をいただいた関係各位に対し、心から感謝の意を表わす 次第である。