

国鉄新幹線 COMTRAC システムの列車運行シミュレータ

Train Traffic Simulator for New Tokaido-line COMTRAC System

川村 忠男* Tadao Kawamura 奥村 幾正* Ikumasa Okumura 山本 一郎* Ichirô Yamamoto
長谷川 豊* Yutaka Hasegawa 久保 裕** Yutaka Kubo 水島 通保** Michiyasu Mizushima

要 旨

東海道新幹線においては、列車の運行状況の監視と各駅での列車の入出信号設備の制御は CTC (Centralized Traffic Control) 装置によってすべて中央の指令員により遠隔操作で行なわれている。この操作と列車運転整理の機械化計画のもとに、計算機制御システムの室内実験が行なわれた。このため新幹線全域にわたる列車運行のシミュレータを開発したのでその概要を報告する。

1. 緒 言

新幹線の運転列車本数は開業以来年々増加し、それに伴う中央での指令員の操作量も増大し、特に端末駅である東京、新大阪両駅における列車出し入れのための操作および列車整理は限界に近づきつつあると言われている。今後、東海道新幹線は博多まで山陽新幹線として延長される計画である。このように列車数の増大と中央におけるコントロール範囲の増大から、指令員の業務のうち列車の運行監視、各駅の列車進路の取扱いなど進路制御を計算機で自動化し、列車ダイヤに乱れが発生した場合の運転整理、新しい計画の立案を計算機の助けを借りて実行するというコマンド・アンド・コントロール・システムが強く要望され、鉄道技術研究所を中心に COMTRAC (Computer Aided Traffic Control) システムが開発されその試作・実験が行なわれた。新幹線の列車運行シミュレータ (Train Traffic Simulator 以下 TTS と称す) はこれらの実験を実現するために新幹線列車運行のモデルを作り、同時に CTC の表示情報・制御情報をシミュレートするものである。TTS の目標として次の三つを掲げた。まず第一に実際に運行されている列車ダイヤをすべて 24 時間リアル・タイムでモデル化すること。第二に伝送系である CTC を含めてシミュレーションを行なうこと。第三に TTS は計算機内にてソフトウェア的に実現し、かつ進路制御を行なう制御プログラムと計算機内に混在させること。ただし制御プログラムとは特別なリンケージをもたず完全に時分格的に動作すること。このような TTS を作ることににより、COMTRAC の実験システムは、そのソフトウェアを考えるとときに、実用システムを想定して進めることができる。また TTS は現行列車ダイヤのみでなく、どのような列車ダイヤについてもカードにパンチしてロードするダイヤ・ローディング・プログラムを使用することにより特殊なダイヤを想定して進めることもできる。

本システムではダイヤに乱れが発生したとき、運転整理を行なうために、グラフィック・ディスプレイを用いた。列車指令員とグラフィック・ディスプレイによるマン・マシン・システムを構成するところに COMTRAC の新しい試みがあると同時にむずかしさがあり、本 TTS による完全なリアル・タイムの実験は各種のデータと問題点を提起した。本実験システムでは昭和 44 年 9 月に TTS と進路制御プログラムを接続した基礎実験を終了し、さらにグラフィック・ディスプレイ装置 (HITAC-8811) を連動せし、昭和 45 年 6 月までにダイヤ予測ジェネレータおよび運転整理プログラムを作成、進路制御プログラムと接続し総合実験システムを完成、現在各種の

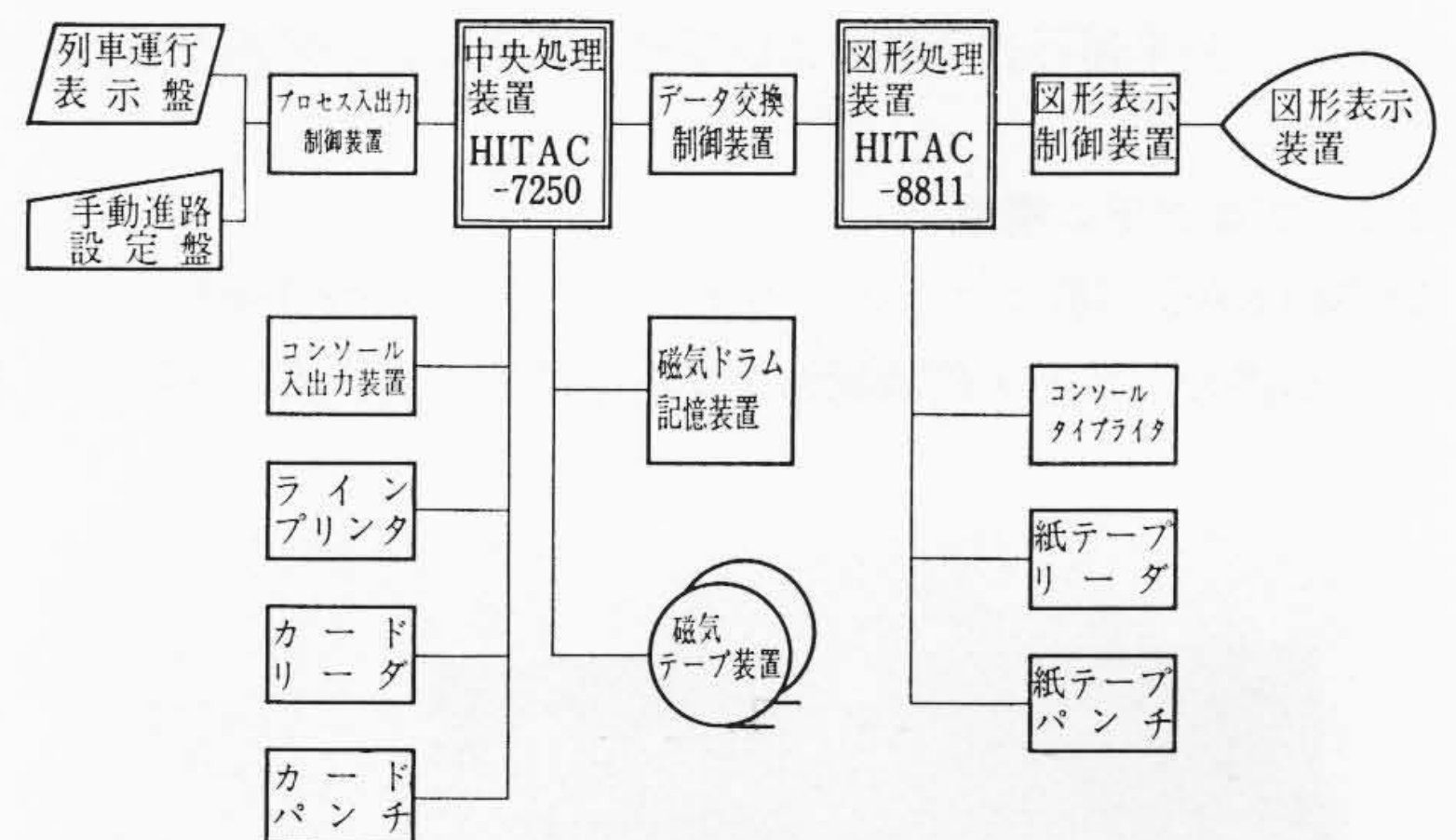


図 1 COMTRAC 実験システム機器構成

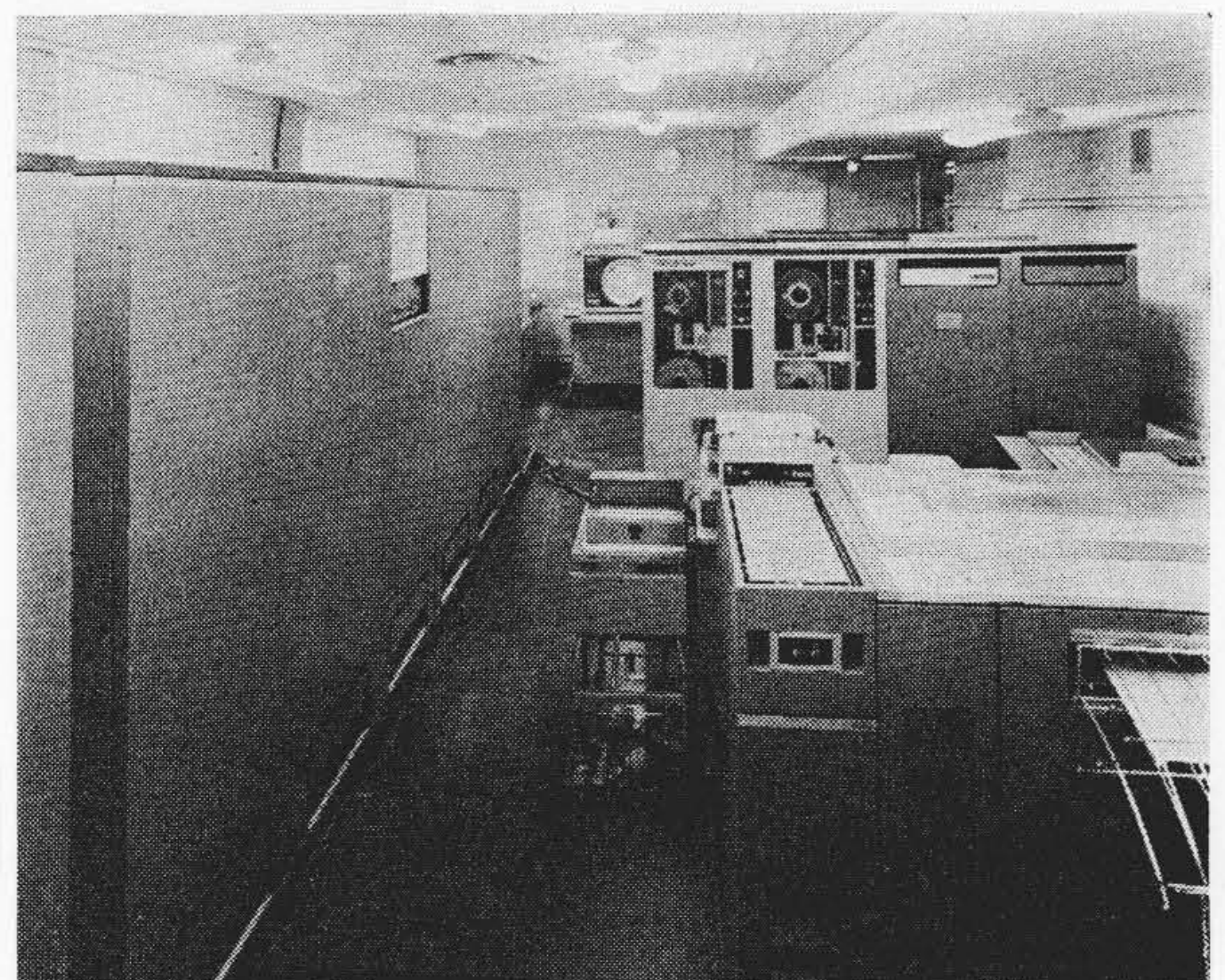


図 2 COMTRAC 実験システム

実験が行なわれている。以下に COMTRAC 実験システムの概要と TTS について説明する。

2. COMTRAC 実験システム

前述のような構想のもとに実験システムでは、まず CTC のオンラインでの取込み方式および列車の運行追跡方式を検討し、次にダイヤに乱れが発生した場合、待避駅変更判断、端末駅入出場順序判断などの自動判断と同時に、ダイヤ運行予測ジェネレータのアルゴリズムの検討と指令員のモニタ・変更指示を含むマン・マシン・システムを設計した。これと平行に先に掲げた目標に基づき、次の点を考慮して TTS を設計した。

- (1) ダイヤの乱れを計画的に発生できること。
- (2) CTC 情報の誤情報、情報脱落など異常情報が計画的に発生できること。

* 日本国有鉄道鉄道技術研究所

** 日立製作所大みか工場

- (3) 処理時間およびメモリー容量を同一計算機内で実行する制御プログラムに影響を与えない程度に押えること。
- (4) 各種ダイヤによる実験を容易に行なえるように同一のダイヤ・データ・カードから制御用のワーク・ダイヤ・ファイルと TTS 用のダイヤ・ファイルが同時に作成できること。
- (5) TTS 単独でも列車を運行できること。
- (6) ダイヤの途中からでも動かせることおよび実時間以上の早送り機能を有すること。

2.1 機器構成

鉄道という制御対象は誤動作および故障が社会的に大きな問題となることから、その機器構成はじゅうぶんな信頼性とフォール・バック機能が要求される。したがって実験システム設計の段階から実用システムを想定して、これらの条件をじゅうぶんに満足するように各機器が決定された。図1は実験システムの機器構成を、図2は設置された HITAC-7250 システム、図3はグラフィック・ディスプレイ装置、列車運行表示盤および手動進路設定盤の外観を示したものである。

2.2 プログラム構成

COMTRAC 実験システムのプログラム構成は当日運転される列車の列車番号、始発・終着駅および各中間駅の着発番線・時刻など

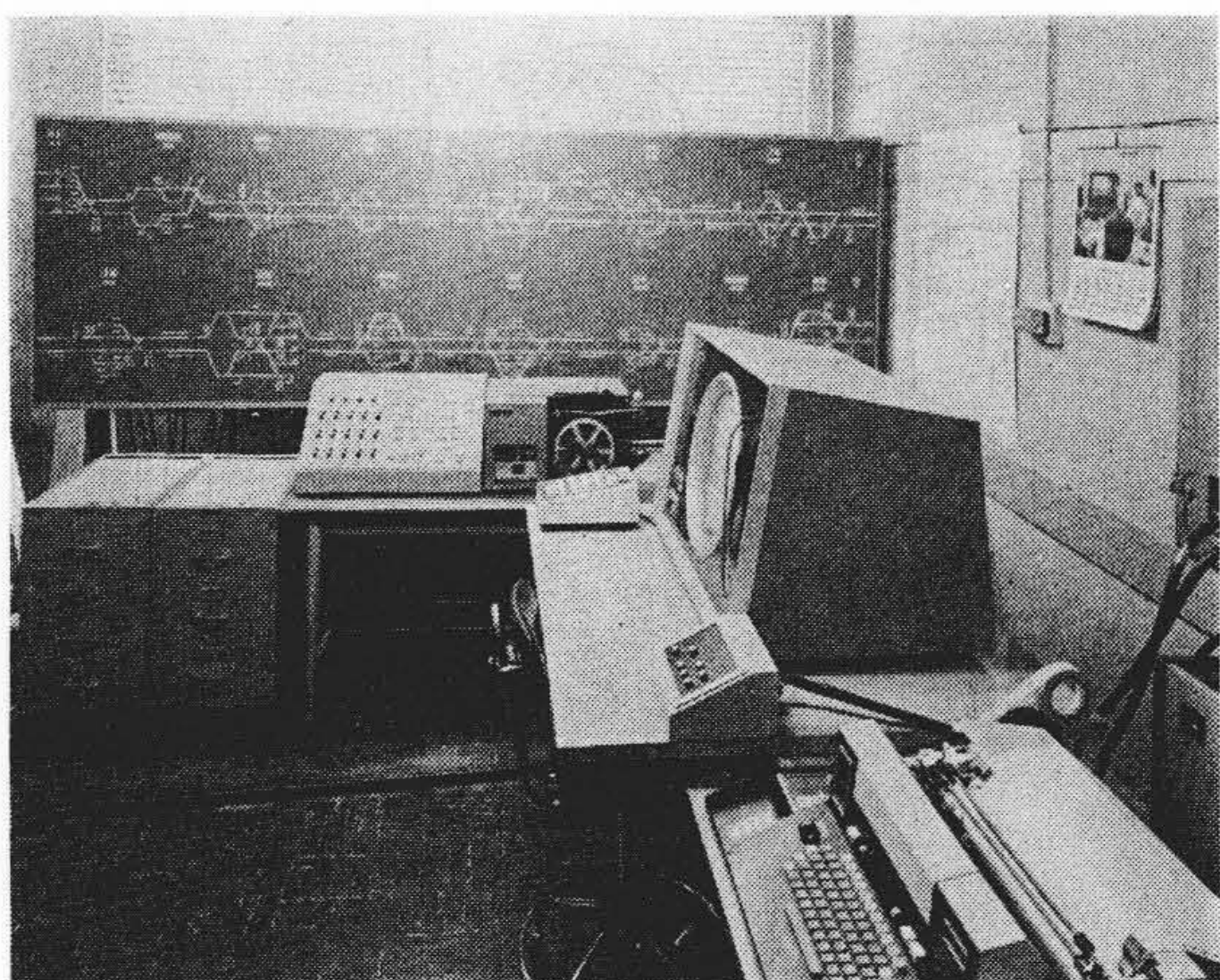


図3 グラフィック・ディスプレイと表示盤、設定盤

を記憶するワーク・ダイヤ・ファイルと、進路制御プログラム PRC (Program Route Control) が中心となる。実験システムの構成図を図4に示す。図4は基礎実験から総合実験システムへと機能が拡張された過程を示すと同時に、実用システムで検討すべき問題点として残された機能も含めて書かれている。図のフロー上に書かれている V-1 の部分が基礎実験システムで開発した部分であり、V-2 の部分が総合実験システムで完成した範囲である。V-3 の部分が実用システムで作成されなければならない部分である。TTS と制御プログラムは CTC 入出力結合シミュレータによって接続されている。制御プログラム側はこれにより実際にハードウェア CTC を結合した場合と同一のプログラムで実行できるようになっている。したがって制御プログラム側の入出力結合部のプログラムの処理時間などについては実際に CTC と接続したと同様の評価が可能となった。

中央処理装置側で作成したプログラムはタスクと呼ばれ、すべて HITAC-7250 のオンライン・コントロール・プログラム (PMS) の制御のもとで優先順位の制御および多重処理が許されている。作成したタスクの数は

進路制御プログラム (PRC)	15
ダイヤ乱れ自動判断プログラム	5
マン・マシン・コミュニケーション・プログラム	6
列車運行シミュレータ (TTS)	4
その他ユーティリティなど	10

PRC 関係タスクはコア常駐プログラム、その他 TTS を含めすべてコア非常駐プログラムであり、コア・メモリーをオーバーレイして使用される。

3. シミュレータ

3.1 シミュレーション方式

本シミュレータのモデルは列車の運行そのものである。したがって定められたダイヤどおり信号機の状態を見て、あたかも運転士が列車を走らせると同様に列車を運行させることが必要である。TTS は列車が運行することにより発生する列車位置を示す軌道回路情報および信号機の状態表示情報の変化をシミュレートする。これら現場各駅の変化情報は CTC により中央に集められ、これを計算機が取り込み信号機を制御するのであるから、結局はこの CTC の変化

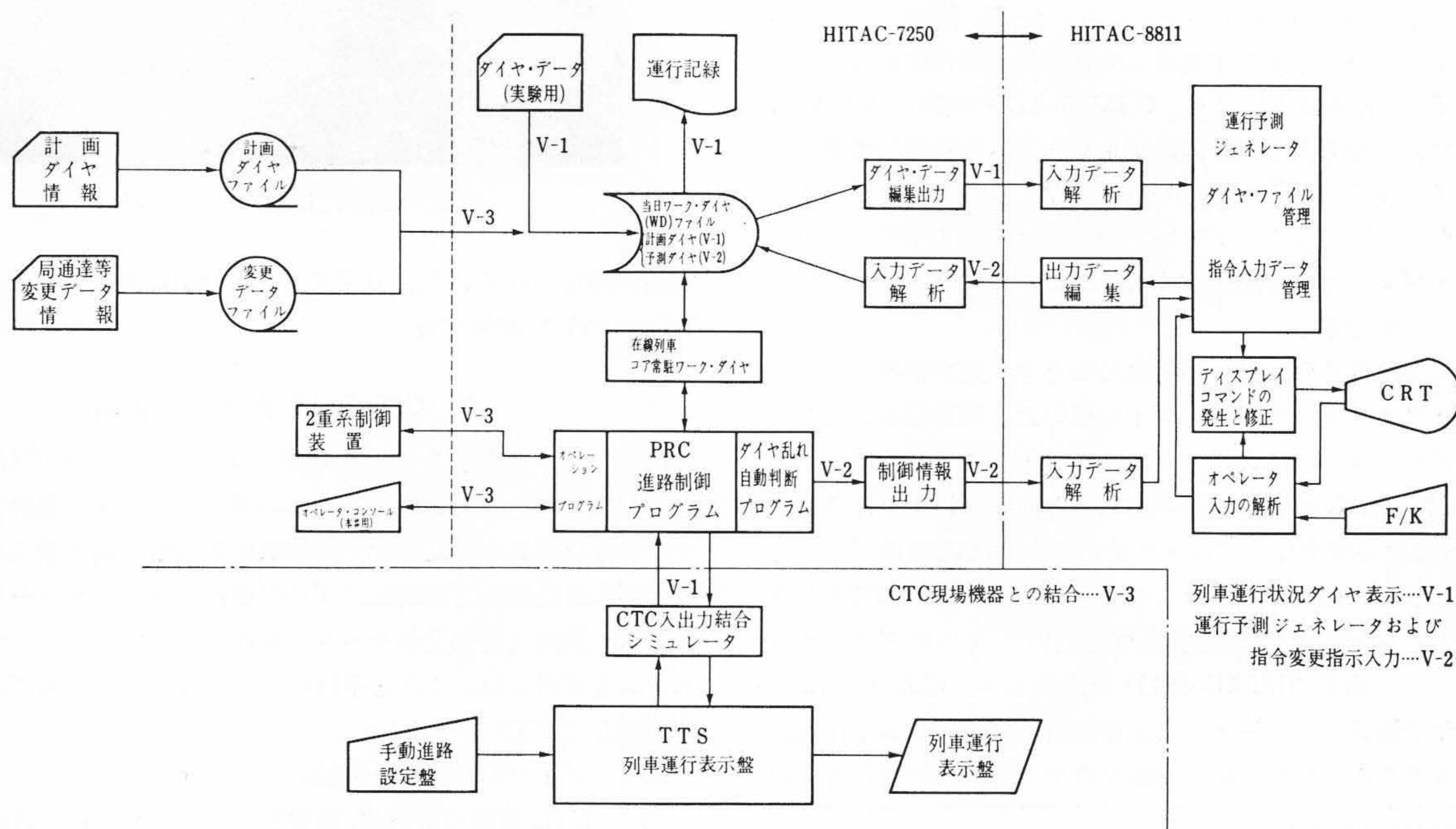


図4 プログラム構成と開発順序

情報を発生するシミュレータを作ることになる。CTC は現場の情報を約 1.5 秒間シリアルに伝送し数十 ms の間隔を置いて再び現場の情報を伝送するスキャン・サイクルを繰り返している。計算機はスキャン・サイクルの切れめの数十 ms で転送された CTC 情報を取り込み、伝送時間 1.5 秒以内にすべての処理を終了すればよいわけである。このような CTC の性質を利用してリアル・タイムに動作するシミュレータを実現した。図 5 はこの関係を示したものである。1 スキャン・サイクル伝送終了時に計算機に割込み信号がはいり、この信号により CTC 情報取込みプログラムが動作する。この取込み時間 T_c が伝送間隔時分以内であれば保存されている CTC 情報は正しく取り込まれる。続いて計算機内では取り込んだ情報の変化分析を行ない必要な処理をするが、この時間を T_p とすると T_p と CTC の伝送時間との差 T_s が計算機の余裕時間となる。シミュレータをこの時間内 (T_s) で動かせば、制御プログラムとシミュレータはまったく時分割的にリアル・タイムで動作することになる。時分割的に動作させなければならない理由は、各サイクルは必ずしも T_c 、 T_p そしてシミュレータの T_s とシリアルには処理できないことと、時分割的に動作させ制御プログラムとシミュレータを完全に分離し、まったく独立なタスクとすることができるからである。制御プログラムとシミュレータをシリアルに動作させない理由は、あるサイクルに CTC の変化情報が集まり T_p が伝送時間内に終わらない場合もありうるからである。CTC の情報は次に変化するまで保持されているから、これによる原理的な不都合は発生しないが制御プログラムの処理に遅れが発生する。この場合、シミュレータの優先順位を低くして時分割的に動作させれば、シミュレータは 1 サイクル処理が待たされることになる。このことはモデルから見れば列車の遅れとして現われることになる。しかし一時的に変化情報が集中することはあっても全体的に見ればじゅうぶん余裕があるのであるから、その遅れはすぐに回復されマクロ的な列車の運行シミュレーションにはほとんど影響を与えない。

CTC のシミュレーションを含めたシミュレーション方式をまとめると

- (1) 伝送終了割込み信号は伝送時間+伝送間隔時分を計算機内タイマにて発生し、CTC 情報取込みタスクに起動をかける。
- (2) シミュレータ (TTS) は制御プログラムより優先順位を低くして時分割的に動作させる。

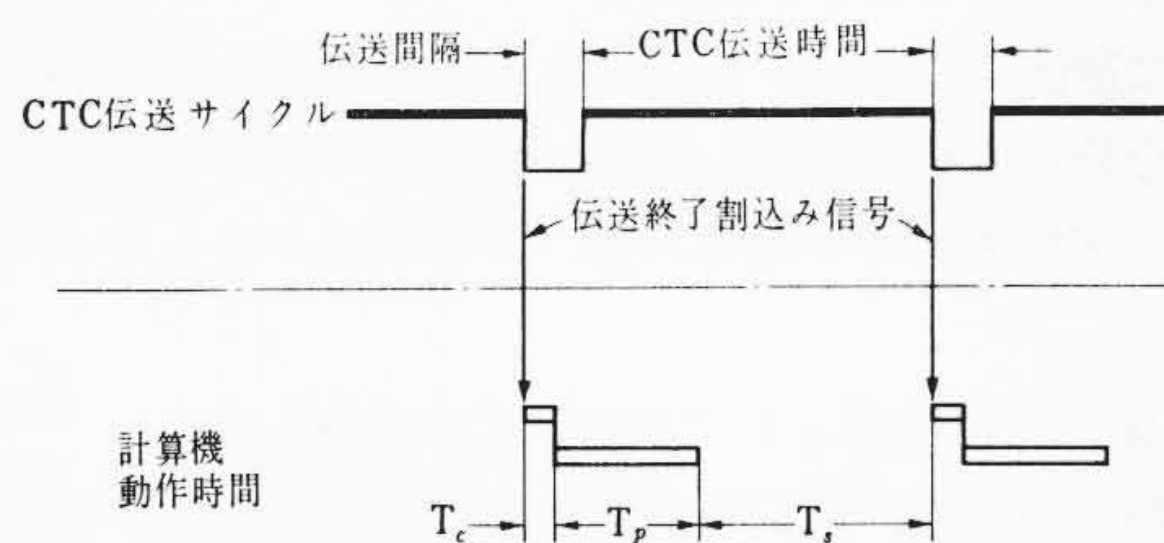


図 5 CTC 伝送サイクルと計算機動作タイム・チャート

- (3) シミュレータ (TTS) の動作周期は CTC の伝送時間+伝送間隔時分から 1.5 秒とする。

である。このような方式は HITAC-7250 PMS の多重処理機能によって容易に達成することができた。制御プログラムと TTS はまったく独立したタスクとして動き、かつ制御プログラムは TTS に割り込んで動作することもありうる。この場合でも、制御プログラム動作中 TTS は完全に停止しているから CTC 情報の授受はなんら問題とならない。

3.2 列車運行のシミュレータ

列車の走行をシミュレートすることは、始発駅を考えてみれば出発信号機が青信号(制御プログラムが出力する)になったら予定されている列車番号の列車を出発させる。駅間では出発するとダイヤで指示される列車種別、ルート別による列車走行時分に従って各地点に列車を進めるといようなことである。列車の運行は信号装置により制約をうけ、遅延した場合は回復運転が行なわれる。TTS はこれらに基づく列車運行をシミュレートすると同時に次の二つの情報を発生している。

- (1) 列車位置と信号機状態の列車運行表示盤への出力
 - (2) CTC 情報として列車通過軌道回路情報と信号機状態表示
- 列車運行表示盤への表示出力情報は図 6 に一般的な駅について示されている。駅構内には各軌道回路と信号機、駅間には在線列車本数をそれぞれランプで表示されている。CTC 情報としては進路制御プログラムが制御に使用されている情報のみを発生している。これらの情報は図 6 にも示されているように

- R 点: 駅 接 近 地 点
- H₁ 点: 第 1 場内入場地点
- H₂ 点: 第 2 場内入場地点
- I 点: 完 全 停 車
- L₁ 点: 第 1 出 発 地 点
- L₂ 点: 第 2 出 発 地 点
- N 点: 列車番号検知地点

および各信号機の状態表示である。

列車の走行状態をシミュレートする以外に TTS の大きな機能として、制御プログラムが進路設定する信号機制御出力に対するシミュレーションがある。これはいわば継電連動装置のシミュレーションであり、同一ルートに対して異なる進路制御出力が同時に出されている場合一方を蓄積しておくことと、特定区間に列車が在線する場合の信号機の鎖錠をシミュレートすることである。これらは各信号機の相互鎖錠関係と列車が鎖錠区間に存在するかどうかをチェックすることにより行なわれている。

3.3 TTS のダイヤ・ファイル

TTS のもつダイヤ・ファイルは各列車について各駅の各地点区間の列車走行時分である。各列車ごとにいちいちこれを作っていたのではダイヤ・ファイル作成に大きな手間がかかってしまう。そこで各駅ごとに駅間走行パターンを作り、これを列車種別ごとに作っておく(図 8)。これは列車の速度種別と各駅の走行ルートによって定まるもので、あらかじめ実測値などから作っておくことができる。

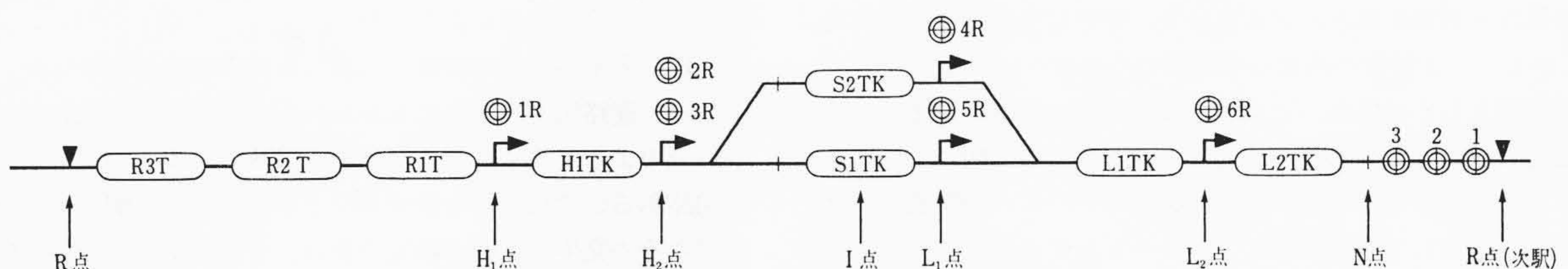


図 6 列車運行表示盤

	R→H ₁ 走行時分
	H ₁ →H ₂ 走行時分
	H ₂ →I 走行時分
番線	停車時分
	L ₁ →N 走行時分
	N→R 走行時分

図7 駅間走行パターン

列車番号		
中間駅数	引上線進入時停車時分	
始 発 時 刻		
列車パターン No.	始発パターン No.	終着パターン No.
次運用列車番号		
次運用列車ドラム・セクタ・アドレス		
第2駅走行パターン No.		
第3駅 走行パターン No.		
第4駅 走行パターン No.		
第1駅走行パターン No.		

図8 完全ダイヤ形式

列車番号		
中間駅数	引上線進入時停車時分	
始 発 時 分		
列車 パターン No.	始発パターン No.	終着パターン No.
次運用列車番号		
次運用列車ドラム・セクタ・アドレス		

図9 素ダイヤ形式

始発駅、終着駅は特に番線が異なるとパターンも変わるのでこれを始発パターン、終着パターンと呼ぶ。したがって各列車のダイヤ・ファイルは、この始発パターンと終着パターンおよび各走行駅について駅間走行パターンを選択すればよい。このように一列車ごとに始発パターン、終着パターンおよび中間駅の走行パターンを記憶するダイヤ・ファイル構成を完全ダイヤ形式と呼ぶ(図9)。ところが新幹線のダイヤをよく見てみると「ひかり」、「こだま」という二つの速度種別の異なる列車がほとんど大部分で、平行して全日運転されている。しかもこの2種類の列車の中間駅での走行ルートは「ひかり」が本線を通過もしくは停車、「こだま」は副本線に停車と定まっている。そこでこういった列車については、いちいち中間駅について走行パターンを指定しなくても一定しているので、この中間駅のパターンをグループ化して列車ダイヤ・パターンとする。したがってこれら平行ダイヤの列車については始発パターン、終着パターンと列車ダイヤ・パターンだけを選択すればよい。このようなダイヤ・フ

種別	時刻	駅名	地点・信号名	地点・情報(列番)
**	101945	NG	6 R	G
---	101954	NG	6 R	1
##	102009	NG	S D	4204
##	102009	NG	L 1 D	5200
---	102009	NG	DS 2	0
---	102009	NG	DL 1	1
---	102018	NG	6 R	0
##	102042	NG	S D	410C
##	102109	NG	N D	107A
??	102112	NG	D	00000001
##	102112	NG	N D	0A
---	102112	NG	DL 1	0
---	102115	NG	DM 1	1
??	102130	HJ	D	00000000
##	102130	MB	R D	0004
---	102130	HJ	DM 1	0
---	102130	MB	DR 3	1
---	102148	MB	8 R	1
**	102130	MB	1 R	G
**	102130	MB	3 R	G
**	102139	MB	8 R	G
---	102151	MB	1 R	1
---	102151	MB	3 R	1
??	102203	MB	D	00000000

図10 CTC 1系分 TTS トレース 結果

ファイルを素ダイヤ形式と呼ぶ(図10)。新幹線 TTS のダイヤ・ファイルはその大部分を素ダイヤ式で表わすことができ、例外的なダイヤのみを完全ダイヤ式で表わしている。実験システムとして特殊なダイヤを作り列車を走らせて見たいときなどには、その走行パターンを作り完全ダイヤ形式で表わせば、どのようなダイヤでも組むことができる。

4. ダイヤ乱れと異常情報の発生

TTS は平常な列車の運行状態のみならず、車両故障あるいは工事区間などによる列車の遅延、ダイヤ乱れの状態を計画的に発生するようなシミュレーションを行なっている。同時に CTC 情報に誤情報あるいは情報脱落などの異常情報を発生する機能をもっている。これによりダイヤ乱れが発生した場合の各種自動判断プログラムおよびダイヤ予測ジェネレータの実験を計画的に行なうことを可能にしている。また CTC 表示情報と制御情報の異常発生機能により機器故障検知、警報およびバック・アップ処理の実験と異常発生が全体システムに及ぼす影響を試験することができる。

ダイヤ乱れを計画的に発生させるためには個々の列車の TTS 側ダイヤ・ファイルを変更してやればよい。変更項目としてはダイヤ時刻、始発、終着および駅間走行パターン、イベント時刻などの変更あるいは運休、打切り、抑止および抑止解除などの設定がある。イベント時刻の変更はシミュレーション途中における地点情報発生タイミングを変化させるもので、この項目がおもなダイヤ乱れ発生源となる。

CTC 関係の異常情報として次のものがある。

- (1) 列車がある地点を通過したにもかかわらず、その軌道回路および信号の変化情報が発生せず脱落した。
- (2) 列車が通過しないにもかかわらず、軌道回路および信号機の変化情報が発生した。
- (3) 列車番号検知装置から誤った列車番号がはいった。
- (4) 進路出力されたにもかかわらず信号機が変化しない。

以上のような異常情報の発生を、TTS がシミュレートしている軌道回路あるいは信号機を最少単位とし、そのほか駅、系、全系と4段階にその発生の範囲を指定できる。また異常の発生は発生開始の時刻を指定し、終了は時刻を指定するものと発生回数を指定するものと2方法が可能である。

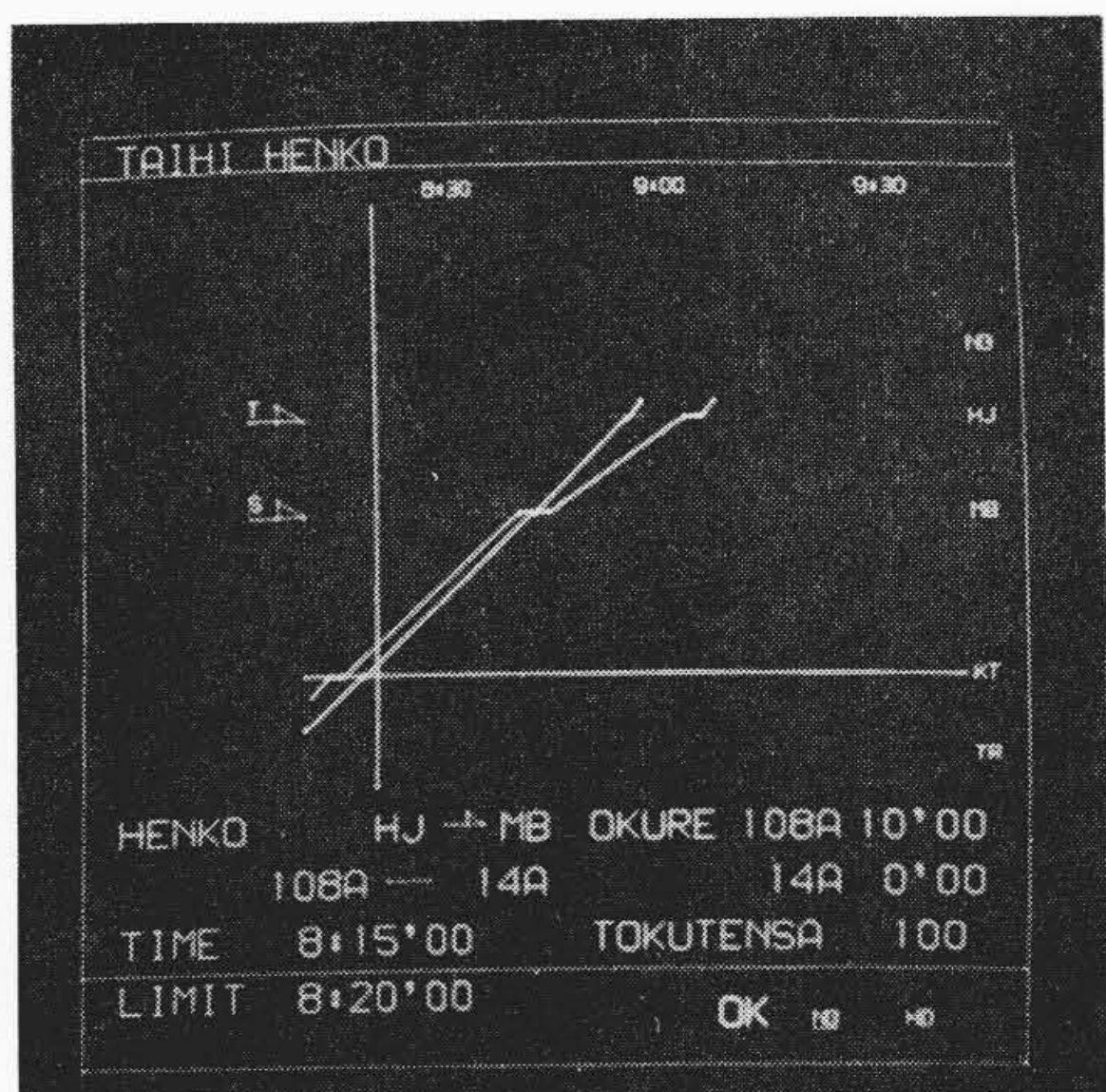


図 11 108A 列車米原駅 10 分遅れによる待避変更指示 CRT 画面

5. シミュレーション結果

TTS による本実験システムのおもな試験項目は、制御プログラムの論理テストおよびダイヤの乱れ発生による運転整理アルゴリズムの評価とマン・マシン・システムの評価である。論理テストは制御のアルゴリズムに誤りがないかという試験と設計どおり作られているかという、いわばプログラム・デバッグが目的である。この目的を容易にするため TTS にトレース機能を設けてある。これは列車の運行に伴い発生する各種情報を CTC の系別に分けてライン・プリンタに印字出力するものである。図 10 は時刻、駅名、地点名および変化情報の内容の一部を示したものである。発生順序に従って印字しているので、制御の流れを確実に見ることができる。これにより制御プログラムの論理、アルゴリズムの試験および確認をすることができ同時にその結果を得ることができる。

次にダイヤ乱れの発生については現行ダイヤのみならず各種試験ダイヤを作成し実験を行なった。その結果の一例として、「こだま」遅れによる待避駅の変更判断プログラム動作による CRT 表示画面を示したものが図 11 である。また上り在線列車の乱れに伴うダイヤ予測ジェネレータ動作結果の CRT 表示画面を示したのが図 12 である。この結果、各種ダイヤ乱れ自動判断プログラムとダイヤ予測

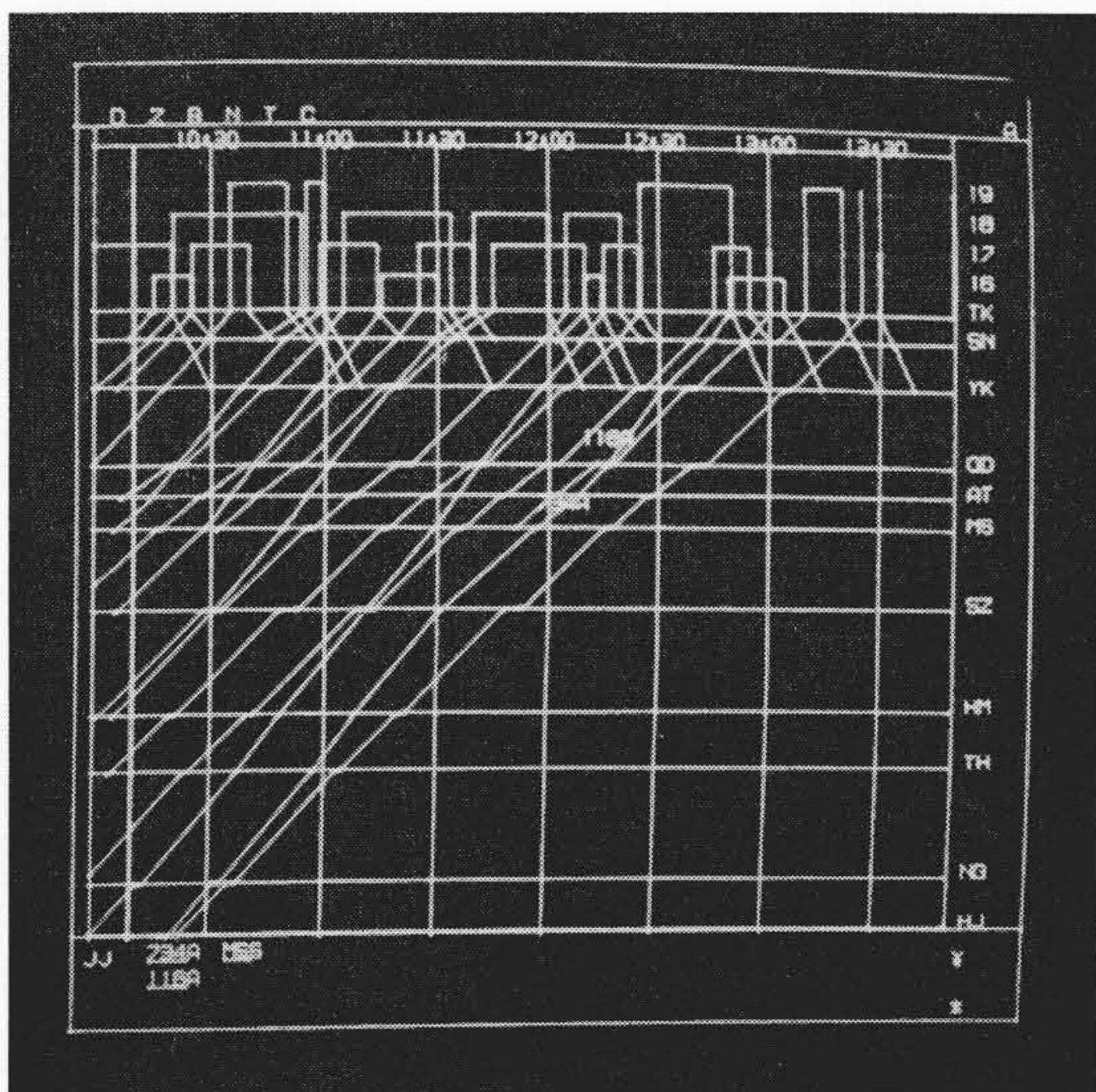


図 12 ダイヤ予測結果 東京上り CRT 画面

ジェネレータのアルゴリズムの試験およびマン・マシン・システムの動作実験を行なうことができた。

6. 結 言

TTS は COMTRAC 実験システムを動かすための道具である。計算機システムが標準化しつつあるとき、システムの成否は TTS のようなソフトウェアによる道具、あるいはシステム建設のソフトウェア的足場のよしあしにかかっているといえる。このことは実用システムにおける TTS の重要性を意味する。特にその制御対象が新システム導入の際、試験のときに乱れを発生させたり、試験のための運転が許されない場合シミュレータは不可欠のものである。TTS は室内実験システムの道具として開発されたが、今後本経験をもとに実用システムの作成、試験用にさらに汎用性をもったシミュレータを開発していく計画である。

終わりに本実験システム作成にあたり、ご指導、ご協力をいただいた日本国有鉄道本社、鉄道技術研究所、日立製作所ソフトウェア工場およびその他多数ご協力いただいた関係各位に感謝の意を表する次第である。