

新幹線運行管理 (COMTRAC) システムにおける 広域運転整理

長谷川 豊
(鉄道技術研究所)

1. まえがき

列車の運転システムは、多くのサブシステムが複雑に関連しており、前もって作成された非常に細かいスケジュールにもとづき運用されている。列車運行管理はふたつのサブシステムを含み、進路制御と運転整理という互いに密接な関連を持つサブシステムで構成されている。進路制御とは「列車が駅に近づくときスケジュールに定められたホームへ進入できる進路を設定し、定められた出発順序と時刻に列車の出発進路を設定する」ことである。運転整理にはふたつの作業がある。

- (i) 列車運行監視 --- 列車の運行がスケジュールからズレていないか、あるいはズレる原因が発生していないか監視する。
- (ii) スケジュール変更 --- 列車運行監視によりズレあるいはズレ原因の発生が検知されたとき、スケジュール変更の必要性を検討し、必要ならばスケジュールを変更する。

このスケジュール変更は、つぎの5種類に大別できる。

- (i) 列車順序の変更
- (ii) 列車着発線 (ホーム) の変更
- (iii) 列車着発時刻の変更
- (iv) 車両運用 (どの列車をどの列車で折返し使用するか) の変更
- (v) 列車の運休と設定

変更は「計画された輸送力をできるだけ確保しながら、速やかに元のスケジュールへ復帰できる」よう判断し決定され、ときには乗客の混雑度や気象状況まで判断要因となる。このため運転整理に計算機を導入しても、列車運行監視と変更案作成の自動化までが限度であり、変更案の評価は人に委ねるマンマシーンシステムになる。

この運転整理はスケジュールからのズレ (ダイヤ乱れともいう) の大きさにより作業形態が異なる。ダイヤ乱れが小さいと、スケジュール変更は前述の (i) (ii) が多く局所的な判断で変更が決定される。ダイヤ乱れが大きいと、(iv) (v) の変更が主体となる。これらの変更は以後のスケジュールに及ぼす影響が大きく、要員の手配や乗客への案内も必要なため、広域的な判断と複雑な手続きを経て変更が決定される。前者を局所運転整理、後者を広域運転整理という。

新幹線は商業当初より CTC (Centralized Traffic Control) をはじめ列車運行管理の近代化がなされていた。しかし列車本数の飛躍的増大と線区延長によりさらに効率のよいシステムが要求され、計算機で列車運行管理を援助する COMTRAC (COMputer aided TRAffic Control) システムが開発された。そして昭和47年3月より稼働している。システムの処理概要を図1、ハード構成を図2に示した。広域運転整理はグラフィックディスプレイを用いた複雑なマンマシーンシステムである。マンマシーンの作業方式を中心に、このシステムについて報告する

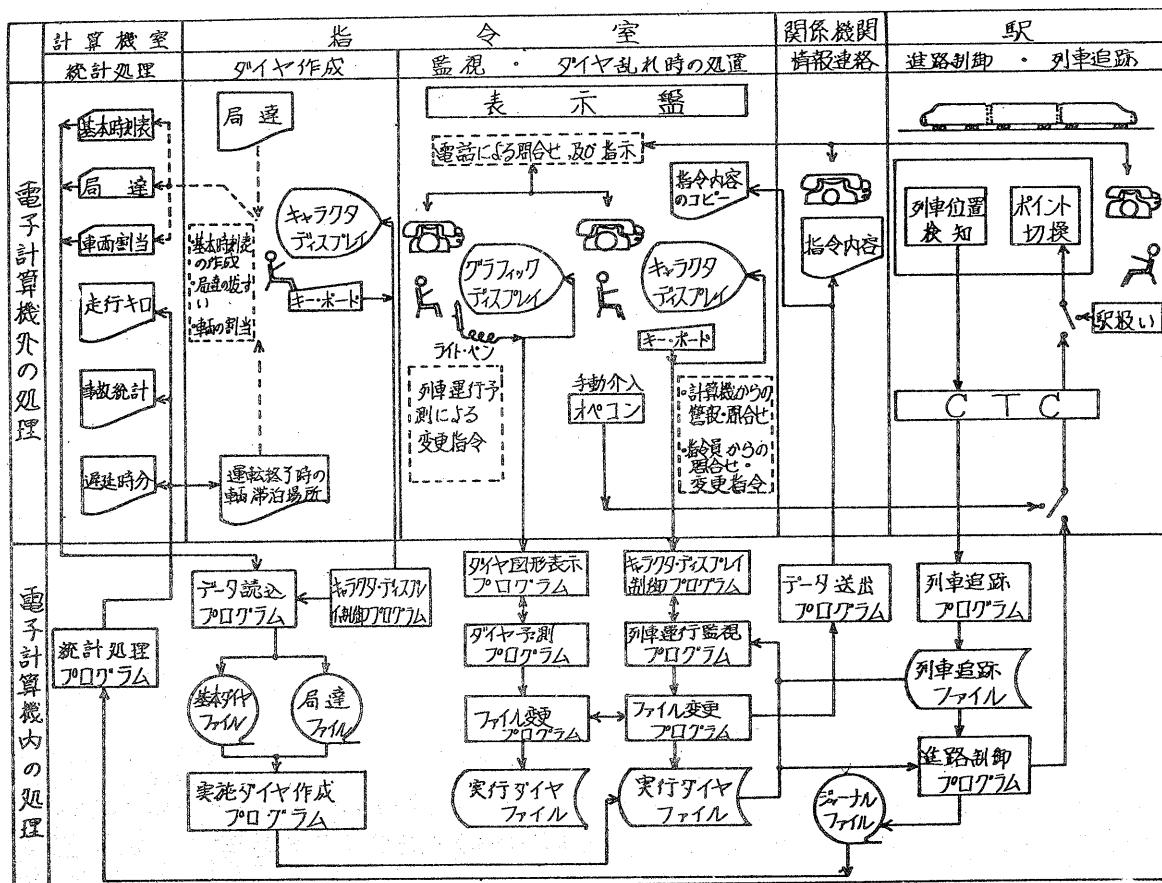
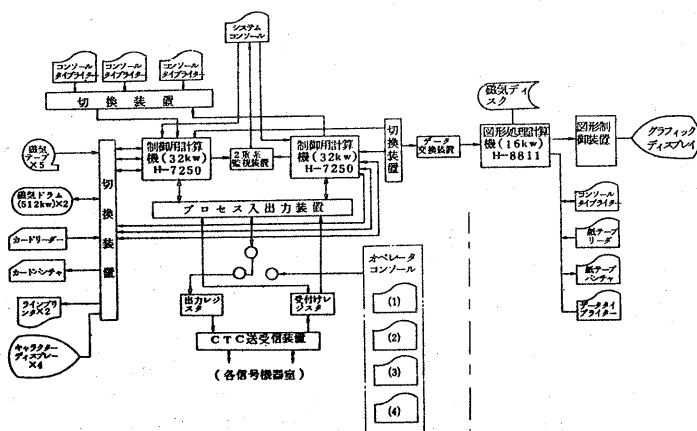


図 1 COMTRAC システムの処理概要



進路制御系 ＊ 広域運転整理系
(局所運転整理を含む)

図 2 COMTRAC システムのハードウェア構成

2. マンマシーン作業方式

広域運転整理ではダイヤ乱れの監視よりスケジュール変更が重要な作業となる。というのは大きなダイヤ乱れは設備の故障とか自然災害という事故が原因であり予知できない。そして事故の発生はただちに電話で通報されるためである。スケジュールの変更は一般に次の手順で行なわれる。

(i) 情報の収集

(ii) 将来の予測とスケジュール変更案の策定

(iii) 変更案の実現性の検討と決定した変更の実施

収集される情報は、列車の運転状況と事故の列車運転におよぼす影響である。これにもとずき、その後の列車運転を予測し変更案を作成する。変更はすでに述べたように多くのサブシステムに影響し、その評価も異なるためサブシステム間で協議して決定する。

このような作業を計算機で補助するにあいふたつの段階がある。人の要求に応じて情報を提供する方法と、予測や変更案の策定を積極的に援助する方法である。ホ1の方法でも、列車運転に關するスケジュール量は膨大であり、その変更は毎日発生するため、常に最新の情報を維持するにはメンテナンスが大変である。他のサブシステムに計算機が導入されていなり現状では、使用頻度の少ない広域運転整理のためだけに多くのスケジュールを貯え管理するのは得策でない。進路制御に直接關連するスケジュールは、このシステムに必須であるから、広域運転整理もこのスケジュールを対象として計算機の処理を考えた。この範囲ならばホ2の段階すなわち列車運行予測と変更案策定もある程度可能である。ホ1の段階はシステムの内部状態やスケジュールを入にわかりやすい形式で提供する処理で、特に向題はない。ここではホ2の段階のマンマシーン作業をどのような考えのもとに設計したか述べる。

計算機で列車運行を予測する目的は、簡単な変更を立案するとともに、人がその変更案の良否を評価でき、残された変更を立案決定できる情報を作成することである。列車運行スケジュールに關する多くの情報を直感的に与えるものにダイヤ図形がある。そこで列車運行予測の結果をダイヤ図形でグラフィックディスプレイ（以後Gと略す）へ表示している。（列車運行予測をダイヤ予測あるいは予測と呼び、その結果作成するスケジュールを予測スケジュールあるいは予測ダイヤという）この予測ダイヤの使い方は次のふたつが考えられる。

A：予測ダイヤ表示をみて、すべての変更を判断決定し、別に用意した入力作業によって変更を計算機へ入力する。

B：予測ダイヤ表示をみて、計算機の変更案の修正や人の判断した変更案を入力でき（これを修正入力という）、計算機は修正内容を反映した予測スケジュールを作成し再表示する。これを繰返すことにより変更を決定する。Bのほあい、最終的に人が満足する予測スケジュールが完成したとき、変更を入力する方法に

B₁：Aと同じ方法で入力する

B₂：人の修正内容あるいは計算機の変更内容（仮の変更）を承認という入力によって真の変更へ変換できる。

のふたつがある。

Aは最も単純な方式で、変更案策定はほとんど人にまかされている。B₁は変更の影響を予測ダイヤを見て確認してから決定するため、Aより人を援助する割合

が高く、人の判断誤りも少ない。しかし計算機の判断機能が低いと、人の修正が多くなり、決定変更の入力とあわせて2度半向になる。 B_2 は決定変更の入力作業を軽減することにより、 B_1 の欠点を補い、入力誤りも防止している。

運転整理はバッチ作業でなく、進路制御というプロセスコントロールと密接に結びついたりリアルタイム作業である。マンマシンの作業も全体の作業時間を考慮して方式を選定せねばならない。作業時間には、人の思考時間、操作時間および計算機の処理時間が関係する。人の判断を助けるには新幹線のはあい、4時間先までの予測を必要としたが、計算機の処理時間は約2分以上と想定された。このため予測時間と予測回数が作業時間を大きく左右する。Aは1回の予測でよいが、Bは修正を入力しその結果を調べるために何回か予測をやりなおす。この回数は、計算機の変更判断結果の採用率が高いと減少するため、作業時間は判断の質と予測時間により変化する。

表1の想定にもとずき、 B_1 、 B_2 方式の予測処理時間と自動判断採用率を変数とし、Aと B_1 、 B_2 方式の作業時間が一致する点を求めると図3になる。人の思考時間や予測以外の計算機処理時間は操作時間に含めた。

表1 作業時間・処理時間の想定

	A方式	B_1 方式	B_2 方式
予測処理時間 (秒/回)	120	t_1	t_2
変更入力操作時間 (秒/変更)	120	45	
修正入力操作時間 (秒/修正)		90	90
再予測回数 (回/1修正)		$1/3$	$1/3$
自動判断採用率		α_1	α_2
変更承認操作時間 (秒/変更)			15

A : $120 + 120X$
 B_1 : $t_1 + (t_1/3 + 90)(1 - \alpha_1)X + 45X$
 B_2 : $t_2 + (t_2/3 + 90)(1 - \alpha_2)X + 15X$
 と考えている。

自動判断採用率とは全変更について計算機の判断結果が採用される割合であり、これを向上すると予測処理は複雑となり処理時間も増大する。それぞれは計算機の判断が、列車順序と単純な着発線変更を対象にすれば図3のP点、車両運用の変更まで対象とすればP点あたりを想定した。COMTRACは全く新しいシステムであるため、操作や思考時間、処理時間とも実験的に作成したシステムからの大まかな推定であった。変更件数は統計から1回の作業あたり10~20件と算定された。図3から B_2 はAよりやや良いが、 B_1 はAより劣ることがわかった。作業時間的にあまり優劣はな

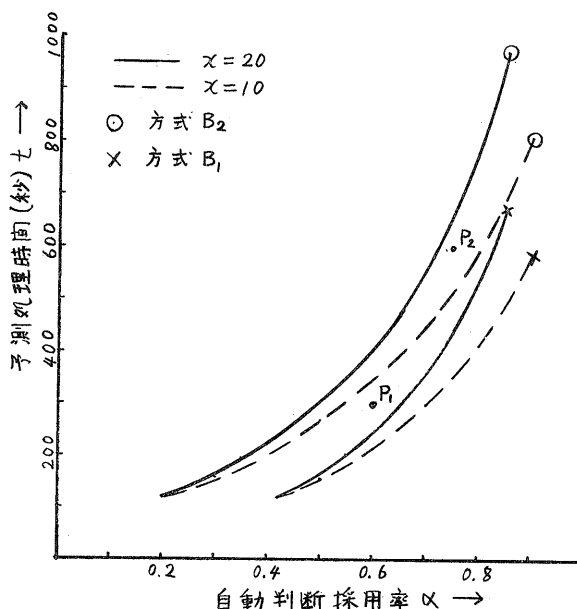


図3 Aと B_1 、 B_2 方式の作業時間を等しくするための予測時間と自動判断採用率の関係

いながら次の理由も加味してホ1期システムはB₂方式を採用した。

- (i) スケジュール変更作業での人の誤りをできるだけ少なくしたい。
- (ii) 人の作業をより軽減する方式の方が将来性に富む
- (iii) 計算機の処理時間はハード性能の向上、処理方式の改善により短縮できる可能性がある。

図4はB₂方式にもとずき設計したマンマシーン作業の具体的作業手順である。

3. 作業と処理の概要

作業手順にしたがって具体的な作業あるいは計算機の処理を述べる。

作業は人がファンクションキーを押すことにより開始される。以後は作業の終了まで、すべてライトペンで操作する。最初の予測ダイヤ表示範囲と予測時間幅を入力すると計算機はホ1回目の予測処理を開始する。予測の初期条件である列車の在線位置は初回のみ道路制御サブシステムから取込み、以後の再予測もこの情報を使う。予測は常に全線（東京一圃山）の列車を対象とするが、現在から何時間先まで予測させるかは人が指定（最大4時間）できる。

予測が終了すると、予測

ダイヤを表示するが、使用した表示装置の表示面積（25cm×25cm）と表示速度を考えて、東京一圃山間を区間で3分割、上下いずれの列車を主体とするかでさらに分割し、そのいずれかを表示する。図5は東京の上り列車を指定したときの表示例である。人は表示範囲を変更したり、表示ダイヤを拡大縮小できる。これを（予測ダイヤ）モニタ作業と呼び、表示されている列車線や駅名を指示することにより、列車番号、着発時刻、車両番号を表示あるいは付属のプリンタに印字できる。

事故がどこで発生し列車が何分遅れるかなど情報は、計算機で把握できないが列車運行予測には必要である。このような情報を入力する作業は情報入力といひ、13種類の入力が必要されている。図5で「408列車が事故のため遅延し17時30分に静岡（シツ）へ到着する」という情報を入力したのち、表示された予測ダイヤが図6である。

人が判断した変更案や計算機の判断結果の修正を入力する作業を修正入力といひ、取消入力も含めると23種類の入力がある。情報や修正を入力したとき、毎

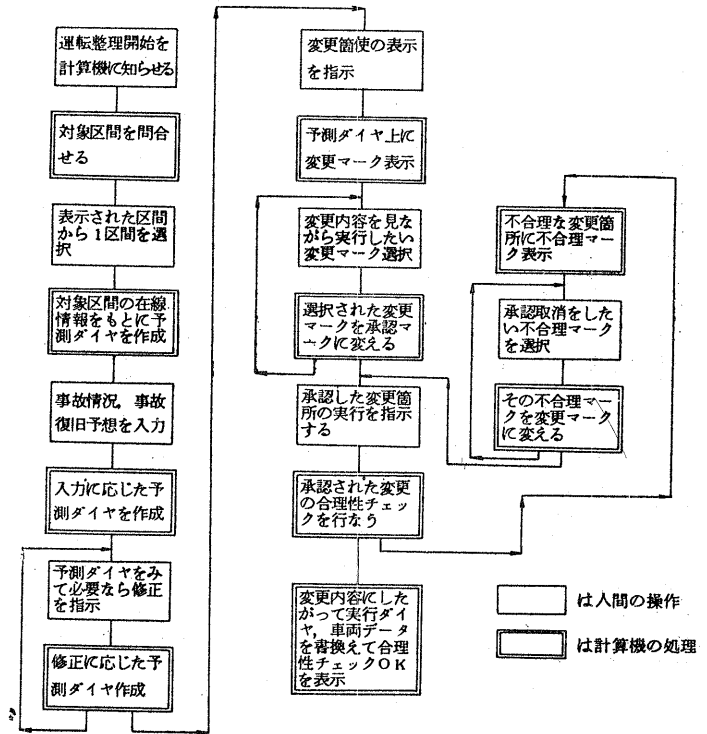


図4 作業手順のフロー

回再予測し、入力を反映した予測ダイヤを表示することが望ましい。しかし再予測すると作業時間が増えるため、再予測は必要と思ったとき人が起動する方法である。

修正入力と再予測を繰返し作成した変更案を実行に移す作業は変更承認という。この作業へは人の指示により移行し計算機は現在のスケジュールと予測スケジュールの相異点を表示する。相異点(変更内容)は編集して表形式の表示も考えられたが、変更の実施までにどの程度時間的余裕があるか直感的に把握させ、修正の誤りを発見しやすいように、ダイヤ図形に重ねて変更列車の変更駅の位置へ変更マークを表示している。具体的な変更内容は変更マークを指示すれば別な場所に表示する。

計算機の変更は予測範囲全域にわたるが、情報収集の不足や作業時間節約のため人の評価や修正は全範囲ではない。このため変更を部分的に承認できる。これには変更マークを1個ずつ指示する方法と、列車線と駅線を指示しそれで囲まれる範囲内の変更を承認する方法がある。

実行指示という操作により承認された変更を進路制御サブシステムへ送出し、そこで合理性をチェックする。チェックアウトになるのは次のとおりである。

- (i) 列車は広域運転整理作業中も移動する。この結果変更を受けた列車が変更不可能な地点まで進んでいるとき。
- (ii) 広域運転整理作業中にも局所運転整理やその他の特殊操作によりスケジュール変更が発生する。このような変更と広域運転整理の変更が矛盾するとき。

(i) の原因でチェックアウトになれば、承認マーク(変更マークは承認すると承認マークになる)が不合理マークに変わり、その承認を取消せば再び実行を指示できる。(ii) の原因だと「作業の打ち」という表示があり、人は最初からやりなおさねばならない。しかし局所運転整理は広域運転整理中運用上規制されており(ii) の理由でチェックアウトになることは非常に少ない。

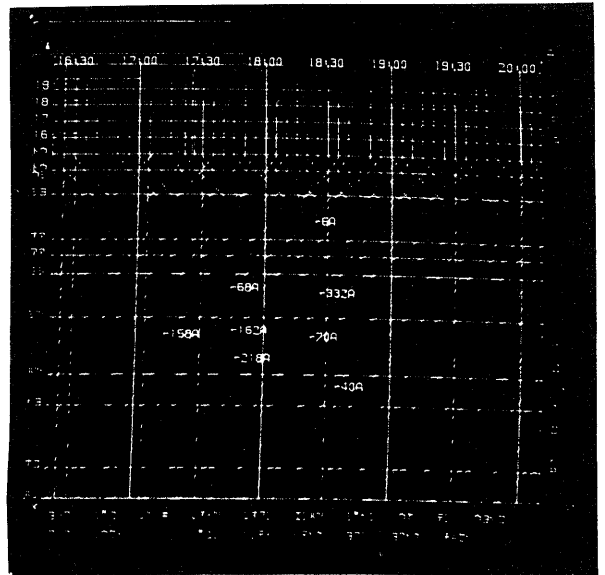


図5 予測ダイヤの表示例1

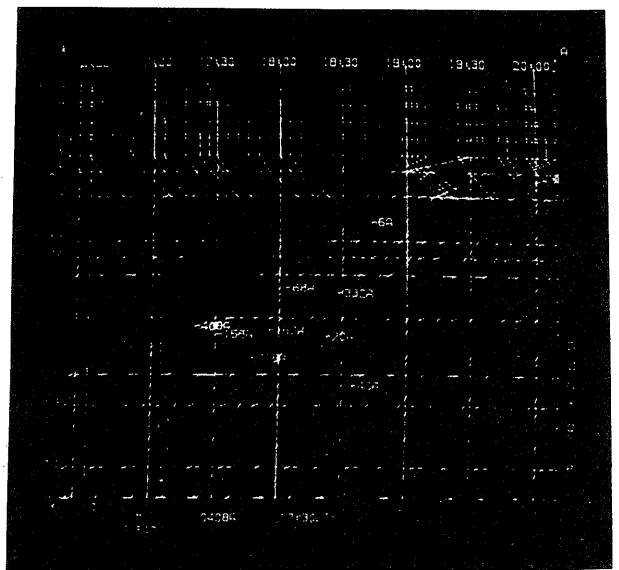


図6 予測ダイヤの表示例2

4. 画面構成

一連の複雑な作業を通して画面はひとつの構成しかとしない。人と計算機の間の情報は主にダイヤ図形を介して交換されるため画面もダイヤ図形の表示を中心に構成した。

全画面を図7のような4つのセクションに分け、各セクションの広さや位置は不変である。α, Cはモニタ作業用の専用セクションで、αは入力作業と変更承認作業の共用セクションである。βにダイヤ図形、駅名、時刻が表示される。(図5, 6参照)このセクションの列車線や駅名は各作業の入力データとして使用できる。変更マークもこのセクションである。モニタ用セクションを専用にした理由は、この作業頻度が最も多く、入力や変更承認作業中にその表示内容を消去せずに、ダイヤの拡大や列車番号の表示操作をさせるためである。各セクションを固定したこと、並行作業はセクションを分けたことにより、各作業の図形処理面のリンクージが単純化でき、プログラム構成も簡単になった。

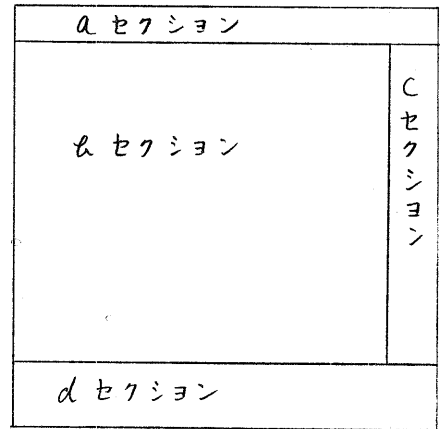


図7 画面の構成

5 処理方式とファイル

(1) マスタファイル

このシステムの処理に必要な列車運転スケジュールは、システム起動時に進路制御サブシステムから取込みディスク上に作成する。初期ファイル作成というプログラムにより、この処理を行ない作成したファイルをマスタファイルと呼ぶ。主要なデータは次の4種類である。

(i) 実行ダイヤデータ

列車単位に各駅の着発時刻、着発線名および始発終着駅など列車に固有なデータである。データ長は1列車200バイトの固定で756列車分ある。

(ii) 出発順序データ

駅上下単位に、列車の出発順に列車番号を格納している。データ長は駅上下単位に400バイトの固定で、駅数は20である。

(iii) 車両データ

車両単位に、走行キロ、検査予定などのデータを格納している。データ長は1車両64バイトの固定で135車両分持っている。

(iv) 列車リンクデータ

列車単位に、その列車の直前と直後に運用される列車番号を持つ。データ長は1列車6バイトの固定で756列車分ある。

ディスクは容量的に余裕があるため、全データを固定長とし各キーによりダイレクトにアクセスできる。このファイルはスケジュール変更が発生すると「ファイル変更プログラム」によって更新する。進路制御サブシステムと広域運転整理サブシステムは4チャンネルで結合されており、スケジュール変更は発生の都度相手系へ転送し、両系のマスタファイルの同期をとっている。

(2) 予測用ファイルと処理

予測スケジュールは実行スケジュールと修正データを参照して作成する。通常は図8の(Ⅱ)方式が考えられる。これだとマスタファイルが大きいためディスクフエノ回数が大きくなる。そしてスケジュール変更判断も図9のフローが要求されるためプログラムは複雑になり小さなオーブレイセグメントに分割しにくい。

使用した計算機のコア容量(32KB)が小さいため、この方式では処理時間が大きくなると考えられた。そこで参照データ量を制限し、プログラムを分割する目的で図8の(Ⅰ)方式をとった。この方式では修正内容を予測用ファイルへオーブライイトするので元のスケジュールと修正内容を区別できない。たから計算機の判断する内容を修正したとき、予測結果に修正を確実に反映できない欠点をもつ。ゆれゆれは予測範囲を図10のように時間軸で3分割し各範囲で計算機のスケジュール変更を制限することによって、この欠点を補っている。図10の T_1 , T_2 は情報入力で変更でき、人は現在時刻に近い範囲から順に修正し T_1 , T_2 を次第に右へ移動すれば、修正内容は予測に反映される。

ダイヤ予測では時間軸上の列車を1駅ずつ進める。スケジュール変更処理は3位のセグメントに分割し最初スケジュールを忠実に守るセグメントをロードし、 T_1 , T_2 の時刻まで処理が進むと、それぞれの判断セグメントをオーブレイする。

図8の予測用ファイルは次の3組のファイルから構成される。

(Ⅰ) 予測用実行ファイル

一連の作業を開始する前に、「ダイヤ切出プログラム」がマスタファイルから予測範囲のデータを切出すが、元のスケジュールを保存しておくファイル

(Ⅱ) 予測用修正ファイル

最初(Ⅰ)と同じだが、修正入力により変更され予測が参照するファイル

(Ⅲ) 予測用結果ファイル

予測スケジュールを格納するファイル。主にダイヤ表示のために使用する。

各ファイルの大きさは50,6KBである。

変更承認作業が開始されたとき、予測用実行ファイルを最新の状態に更新する。そして「変更抽出プログラム」が各予測用ファイルを比較して変更内容を別なファイル(変更内容ファイル)に作成し、「変更承認プログラム」が変更マークを表示する。(図11参照)

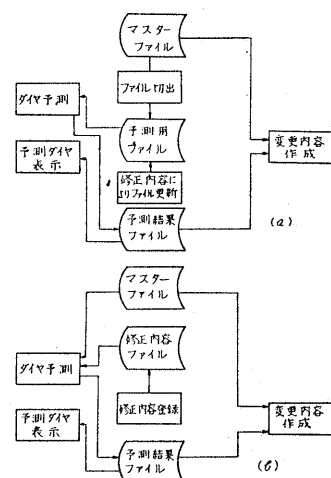


図8 ダイヤ予測処理方式

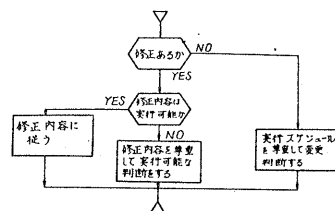
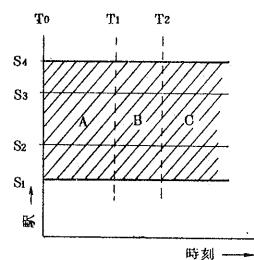


図9 スケジュール変更判断



- S_1 駅から S_4 駅まで予測している。
- 時刻 $T_0 \sim T_1$ 間はスケジュールを忠実に守る。
- 時刻 $T_1 \sim T_2$ 間はスケジュールを一部変更する。
- 時刻 T_2 以降はスケジュールを大幅に変更する。
- 計算機でスケジュールを変更している範囲内では計算機が変更しない内容だけ修正できる。

図10 スケジュール変更範囲と修正内容の制約

(3) 図形処理

このシステムでは複雑な図形表示はなく、ダイヤ図形を表示するだけである。これは最初から2次元のデータだから複雑なデータ構造や処理は必要ない。システムとして提供された図形処理ルーチンは、わけわけの用途には能率が悪く、不要な部分も多かったのでCOMTRACシステム専用に改造している。主な改造点は次のふたつである。

- (i) ユーザの作成した予測スケジュールデータを直接読み出し処理できる。これによりサブルーチンコールの無駄を省いた。
- (ii) 本来ユーザプログラムで処理すべき機能を含ませて、ユーザプログラムのリンケージを簡素化した。たとえば変更マークを表示するとき、列車番号と駅名を図形処理に渡せばよく、座標データは必要ない。

また画面構成で述べたように処理別にセクションが固定しており、リフレッシュメモリを処理装置のコアメモリと共用するタイプであることを利用して、ダイヤ表示セクション以外は各プログラムが独立にディスプレイオーガを作成し表示している。これによって図形処理のコア常驻部を非常に少なくできた。

図11に全体のプログラムとファイルの関連をしめした。

6. プログラム構成

提供されたOSは複雑なアプリケーションプログラムの実行を管理できないので、OSの下に全アプリケーションを統括制御する「業務モニタプログラム」を作った。これは5種類のプログラムを管理する。(図12参照) このうち「車両滞泊場所編集と実行ダイヤモニタプログラム」は、この資料でふれなかった業務用である。ここで述べたマンマシーン作業用の処理は8位のプログラムから構成され、最も起動頻度が高く、他プログラムとリンケージの多い予測ダイヤモニタプログラムが他の7位のプログラムの起動終了を制御する。

処理装置のコアメモリは2KBと小さく、ディスプレイオーガのリフレッシュバッファとしても使用するため、各プログラムは小さなオーブレイセグメント

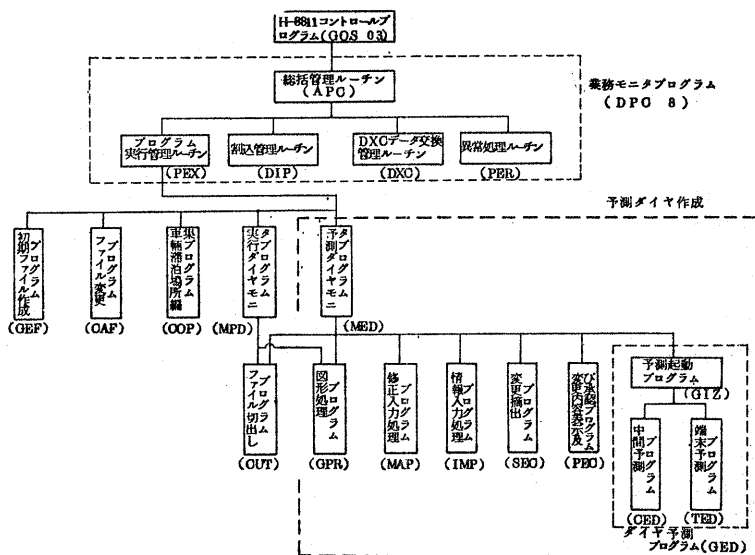


図12 プログラム構成

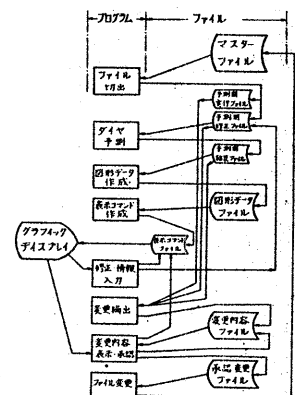


図11 プログラムとファイルの関連

に分割している。図13にコアマップをしめした。全プログラムはアセンブラーであり総計120Kステップである。

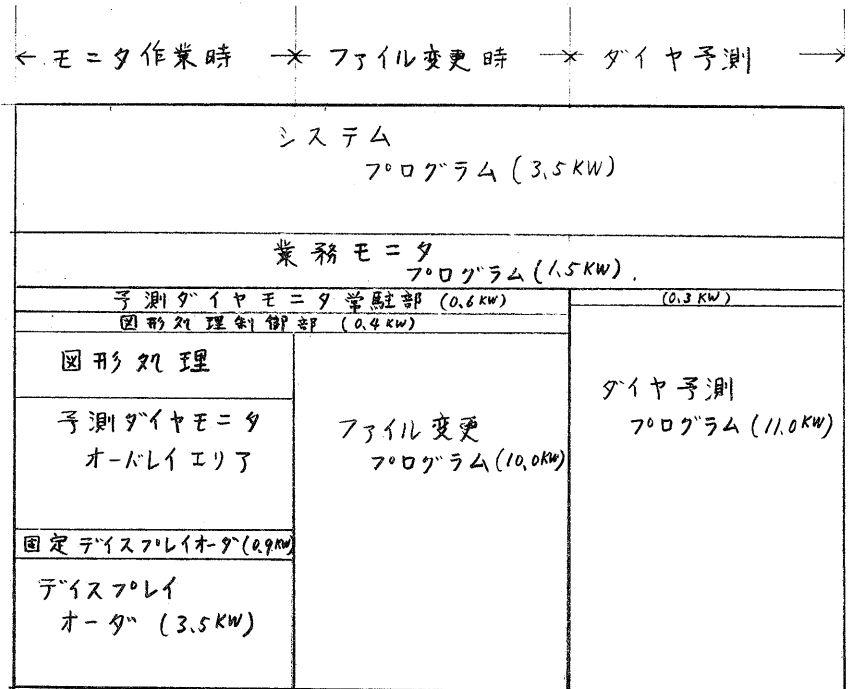


図13 処理状態別のコアマップ

7. むすび

ここに報告した広域運転整理のマンマシーン作業は、人間の意志決定を計算機で積極的に援助するものである。しかもプロセスコントロールと直結したりアルタイム作業であるため操作性、応答性および人間の誤り防止が強く要求された。運転整理は定例業務でなく、異常時に対処する作業であるため、どのような処理がどれだけの頻度で必要になり何分以内に処理すべきなのかというデータが十分得られない。この意味でホ1期システムは実験的要素も含まれている。使用開始後約1年間の実績から得られた点をまとめるとつぎのようになる。

- (i) マンマシーンの作業方式は妥当であった。現在は変更の実行指示後作業を続行できないが、これを可能にすれば、さらに使い易くなる。
- (ii) 作業時間に関しては、自動判断採用率が想定より低いこと、予測時間が予定より増加したことなどにより使用限度に近い。このため計算機の判断対象を少なくし処理時間を高速化する方向も考えられる。
- (iii) このシステムの対象としないうスケジュールの把握と変更判断に大きな作業時間を費している。このため運転システム全体の計算機化が必要である。

参考文献

- 山本, 保原, 川村 「CTCのプログラム制御」 鉄道技研報告 No 613 1967, 11
- 山本, 川村他 「コムトラックシステムの研究」 鉄道技研報告 No 847 1973, 7