

札幌市交通局納め列車ダイヤグラム作成支援システム

Knowledge-Based Train Diagram Scheduling Support System

地下鉄ダイヤグラムの迅速な作成とダイヤグラム作成者の養成期間の短縮を目的に、札幌市交通局と日立製作所は共同して列車ダイヤグラム作成支援エキスパートシステムを開発し、知識工学を応用したものとしては世界で初めて実用化するに至った。

本システムでは、対話性・応答性が重視されるため、複数の推論方式(パラダイム)を効率よく融合させたマルチパラダイムによる協調推論形計画立案エキスパートシステムを開発し適用している。

札幌市交通局のダイヤグラム作成者による実使用の結果、従来、1～2か月もの時間を要していたダイヤグラムの作成が、2～3日と大幅に短縮できることが確認された。

漆 崎 博*	Hiroshi Urushizaki
柳 井 繁 伸**	Shigenobu Yanai
鶴 田 節 夫***	Setsuo Tsuruta
佐 藤 友 良****	Tomoyoshi Satō
小野関勝巳*****	Katsumi Onozeki

1 緒 言

大都市生活圏の拡大あるいは多様化、個性化といった社会生活の進展とともに、地下鉄など大量輸送機関の役割は増大し、列車ダイヤグラム(以下、列車ダイヤと略す。)についても、サービス性の良い、よりきめ細かい対応が求められている。

しかし、列車ダイヤの作成には、平日、休日、催事日などに応じた乗客の時間帯別利用状況、保守点検を含めた車両の運用計画、乗務員の労働条件など、異種多様な要素やルールが複雑に絡み合っている。このため、ダイヤ作成の熟練者には数多くの特殊かつ高度な知識、経験が要求されるため、後継者の養成にも長期間を要し、また手作業で長時間を費やし作成していたため社会的ニーズに即応できないという状況も生まれている。

このような背景から、昭和59年以来知識工学に着目し、熟練ダイヤ作成者の知識や経験を知識ベースとして取り込み効率よくダイヤを作成するエキスパートシステムの検討を始め、実用化に向けての業務分析、知識の体系化などを図ってきた。

そして、昭和63年12月の地下鉄東豊線(3号線)の開業を契機に、既設路線をも含め3路線分のダイヤを作成する列車ダイヤ作成支援エキスパートシステムを導入した^{1),2)}。

本稿では、その概要と基本技術である協調推論形計画立案エキスパートシステムの特徴について述べる^{3),4)}。

2 協調推論形計画立案エキスパートシステム

2.1 計画立案用推論技術の開発

現在までエキスパートシステムの開発は盛んに行われてきているが、実用化されているものの多くは医学診断のように、結論の候補が事前にわかっている分析形意思決定問題に適用されているもので、列車ダイヤ作成のように要求や制約を満足するシステムの計画・立案に適用する計画形意思決定問題は、熟練者でも常に解を見つけられるわけではなく、その困難性から実用化事例は少ない。

ダイヤ作成では、実用上、始発駅から終着駅までの列車の位置と時刻を表す線(スジ)を輸送方針に沿って配列するだけでなく、列車運行に必要な車両の運用や乗務員の勤務計画も含め総合的に検討して作成する必要がある。特に後者の乗務員の勤務上の制約は、労使間の協定事項が多く、例外的かつ主観的なものも多い。これらは過去の経緯、経営方針などエキスパートシステムの範囲を越えた判断も必要とするため、ダイヤ作成者との協調推論が不可欠なものとなる。すなわち、次のような会話形の知識情報処理が必要となる。

(1) 計算機による立案の途中結果を逐一画面表示する。任意の時点で人間が介入し、条件の満足度に関して評価や修正を加えたり、逆に計算機側から人間に問い合わせて修正を受けた後、介入点から連続的に自動処理を再開する。このような自動処理と会話処理間のきめ細かい移行の繰り返しによるダイヤ作成を可能とすること。

* 札幌市交通局 ** 日立製作所水戸工場 *** 日立製作所システム開発研究所 工学博士
**** 日立製作所システム事業部 ***** 日立製作所機電事業本部

(2) 作業手順や試行錯誤などの問題解決手法には、ダイヤ作成の熟練者のノウハウなど具体的な知識を使用するとともに、一つの手法に固定化せず、会話処理の内で状況に応じた手法を選択できる自由度を持つこと。

(3) 会話に必要な応答性(数秒程度)を確保すること。

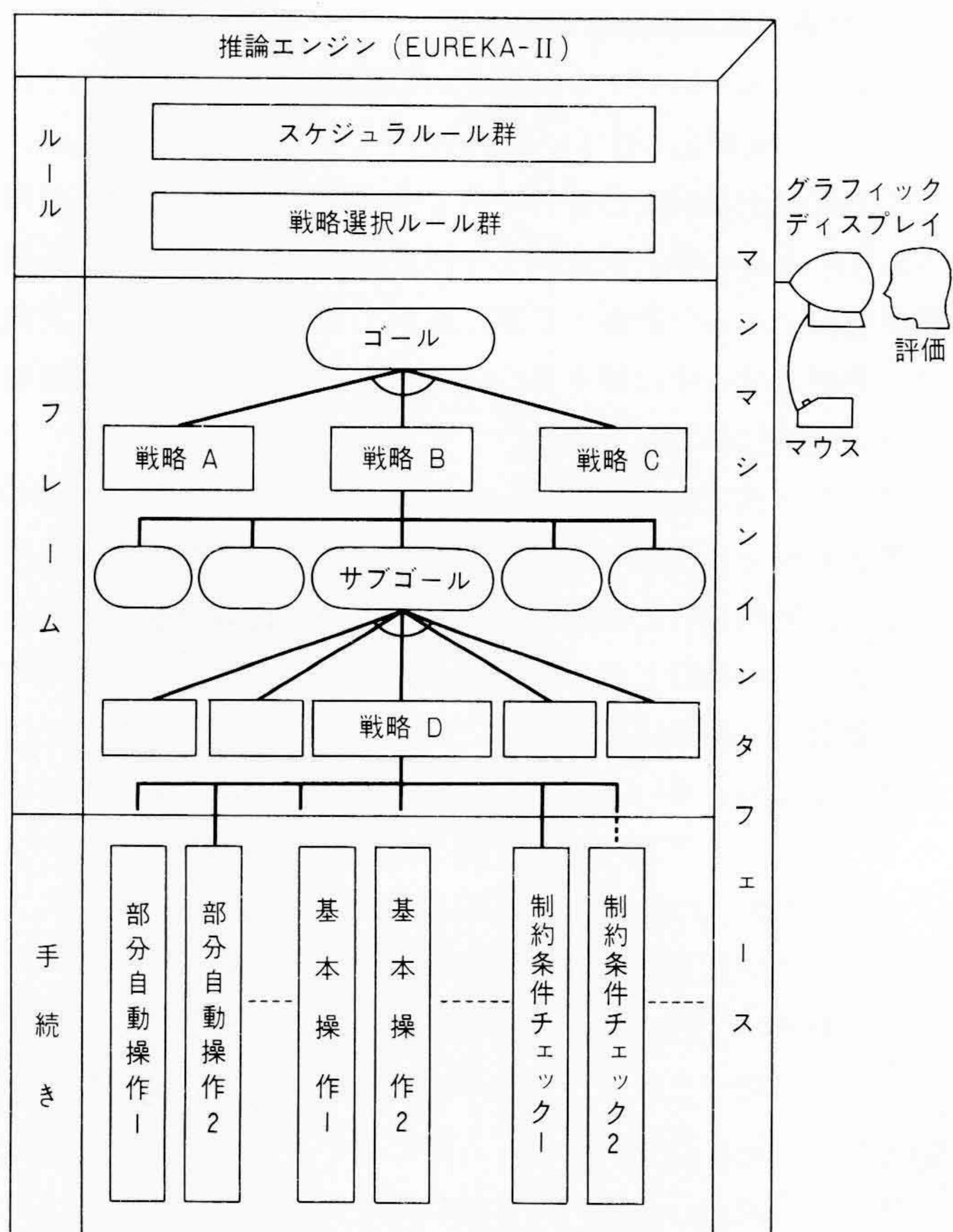
これは列車ダイヤ作成に限らず、実用の計画立案エキスパートシステムに共通の要求であると考えられる。

以上の実現のため、知識工学構築ツールEUREKA-II⁵⁾(Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)上で、複数の推論方式(パラダイム)を効率よく融合させたマルチパラダイムによる協調推論形計画立案エキスパートシステムを開発し、ダイヤ作成に適用した。

2.2 知識構造と特徴

(1) 知識ベース構築上の考え方

列車ダイヤ作成支援システムの知識構造は、図1に示すように、ルール、フレーム、手続きから構成される。ここで、



注：略語説明など EUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)
 () (ゴールフレーム), [] (戦略フレーム)
 (A) (B) (C) (A,B,Cのうち一つを選択し実行することを表す。)
 (A) (B) (C) (A,B,Cの順に実施することを表す。)

図1 知識構造 柔軟性を要求される方針的・戦略的知識は、フレームの階層化構造で記述し、マンマシンインタフェースによる変更を可能としている。

(a) 専門家によっては異なるノウハウ的知識や追加・変更など柔軟性を要求される方針的・戦略的知識は、フレームで記述した。

(b) ルールはフレームや手続きで記述された知識を効率よく利用し、またマンマシンインタフェースによる手動介入を受け付けるための制御知識を記述した。

(c) 使用頻度が高く比較的固定的な知識は、処理の高速化、対話応答性の確保を図るために、手続きとしてC言語で記述した。

(2) エキスパートシステムの特徴

本エキスパートシステムでは、方針的・戦略的知識を「ゴール」フレームと「戦略」フレームの階層関係で表現している。すなわち、一つの「ゴール」フレームには、その目的を達成することが可能な複数の「戦略」名を記述し、「戦略」フレームには、その戦略を実現するための手続きや下位の到達目標(「サブゴール」名)を記述し、問題解決手法の体系化を図っている。

ここで、扱い者によってゴールが指定されると、優先順位の高い戦略の選択、下位のサブゴールへの展開が繰り返し行われ、実現化のための処理が実行される。

各サブゴールの開始時には、扱い者は会話処理により、状況に応じた戦略を選択することが可能である。また、終了時には作成結果を表示し評価を求め、扱い者がこの作成結果に満足しない場合、手動介入や前回ゴールからの代替戦略による再実行が可能となっている。

このように、会話処理によって推論方針を自由に変更できることが、本エキスパートシステムの特徴である。

3 ダイヤ作成支援システム概要

3.1 システム構成

本システムは、図2に示すように32ビットCPUを搭載したEWS(Engineering Workstation)で構成しており、知識工学

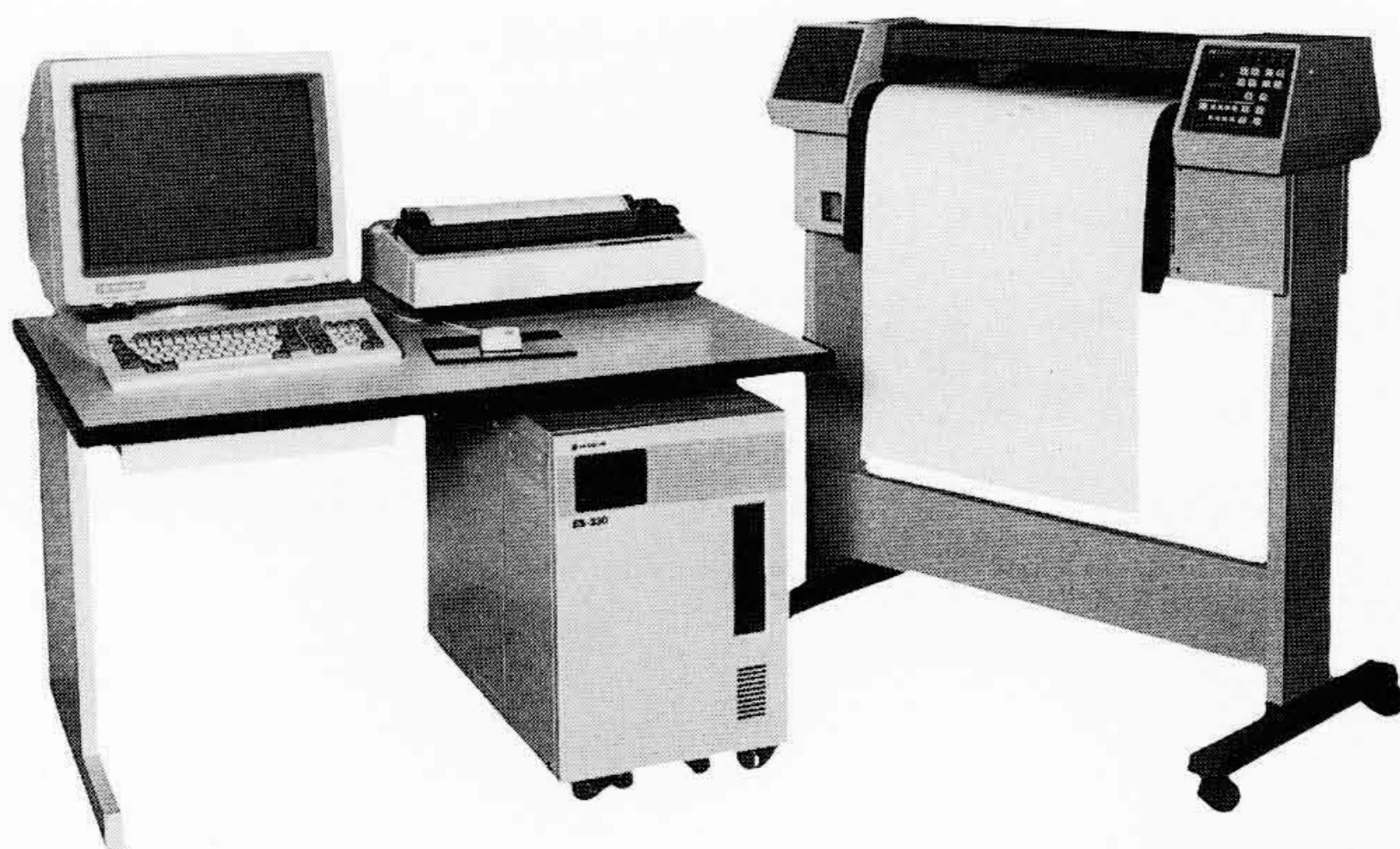


図2 列車ダイヤ作成支援システムの外観 20インチ高精細グラフィックディスプレイとマウスにより、対話しながらダイヤを作成する。作成したダイヤは、X-Yプロッタ、漢字プリンタに出力される。

構築ツールEUREKA-IIもEWS上で動作する。

キーボード、マウスおよび20インチグラフィックディスプレイを用い対話形式で入出力を行うほか、運転曲線、ダイヤ運行図表はX-Yプロッタ、駅ダイヤほか詳細データは漢字プリンタに出力する。

ダイヤデータおよびダイヤ作成用データベースは、フロッピーディスク装置に保存し、作成途中または作成済みダイヤの管理を容易にしている。

また、ダイヤ改正作業の簡易化を図るために、作成済みダイヤは、通信回線を介しオンラインで運行管理システムにローディングできるようにした。

3.2 ダイヤ作成の基本方針

ダイヤ作成システム構築上の基本方針を以下に述べる。

(1) ダイヤ作成基本フローと自動化

本システムを用いたダイヤ作成基本フローを、図3に示す。このフローは、従来の熟練者によるダイヤ作成手順と基本的に合わせており、次の自動化を図っている。

(a) 手書き、手計算の自動化

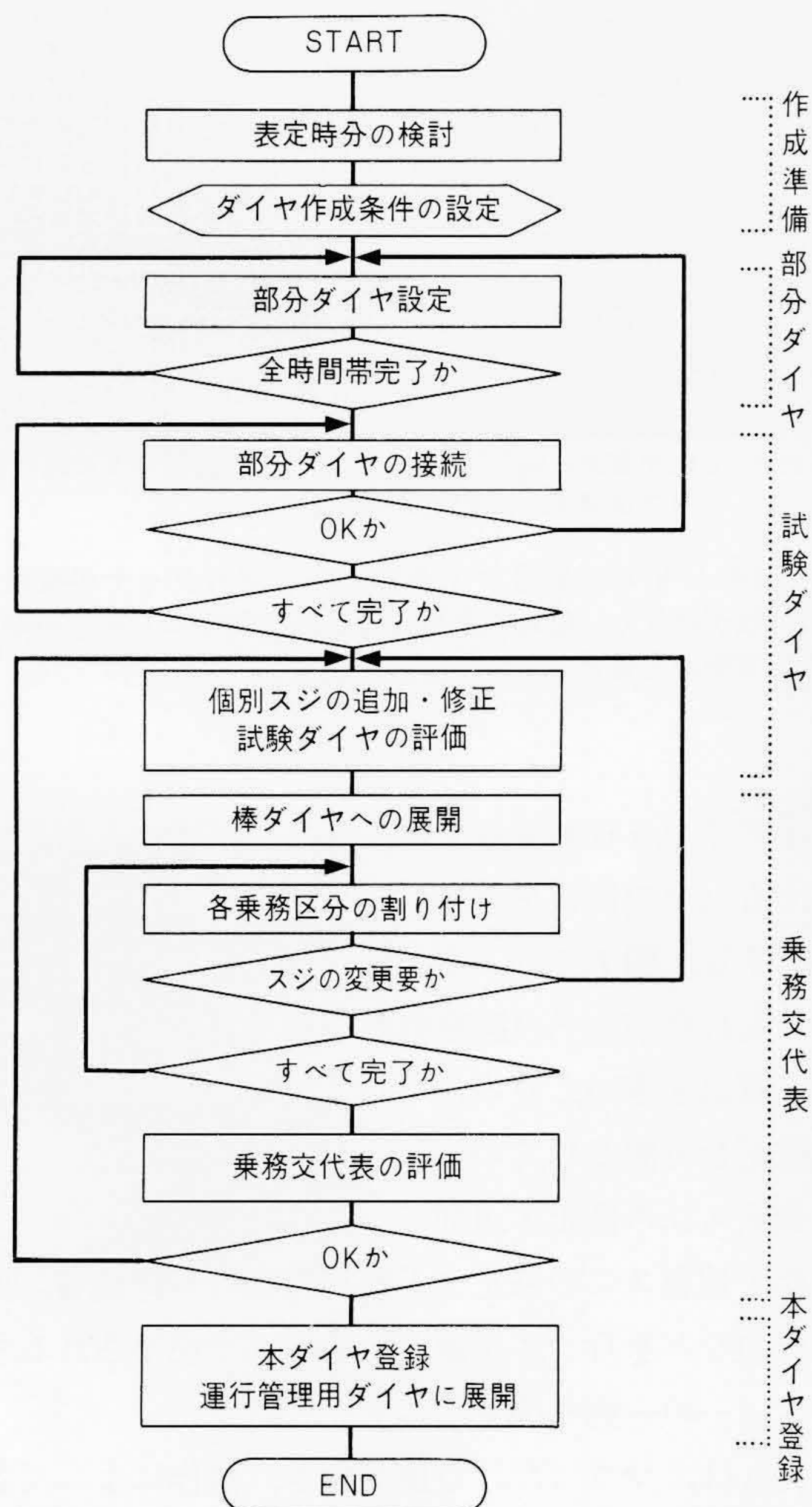


図3 ダイヤ作成フロー 本装置を使用する作成手順は、従来の手書き、手計算によるダイヤ作成と基本的には同じ手順である。

従来、図面へのスジの記入・消去などの煩雑な手作業の繰り返しと手計算によって計画・立案されてきたダイヤ作成作業を、すべて画面上で実施できることを基本にした。すなわち、マウスによる図形レベルでの操作と自動チェックを組み合わせた高度なドラフタ機能を豊富に備え、操作による思考の中断を抑えた。また、ズーム、スクロール、終日ダイヤ表示によって作業対象全体の把握を可能とした。

(b) 試行錯誤レベルの自動化

ダイヤ作成過程でもっとも知識・経験を要し、試行錯誤を繰り返す必要のある「部分ダイヤ接続」と「乗務交代表作成」について前述の協調推論方式による自動化を図った。

(2) ダイヤ作成定数のデータベース化

ダイヤ作成での基本データや各種制約条件値は、作成対象路線やダイヤ種別ごとにデータベース化し、フロッピーディスクの交換で対応できるようにした。

(3) 各種制約条件運用のレベル化

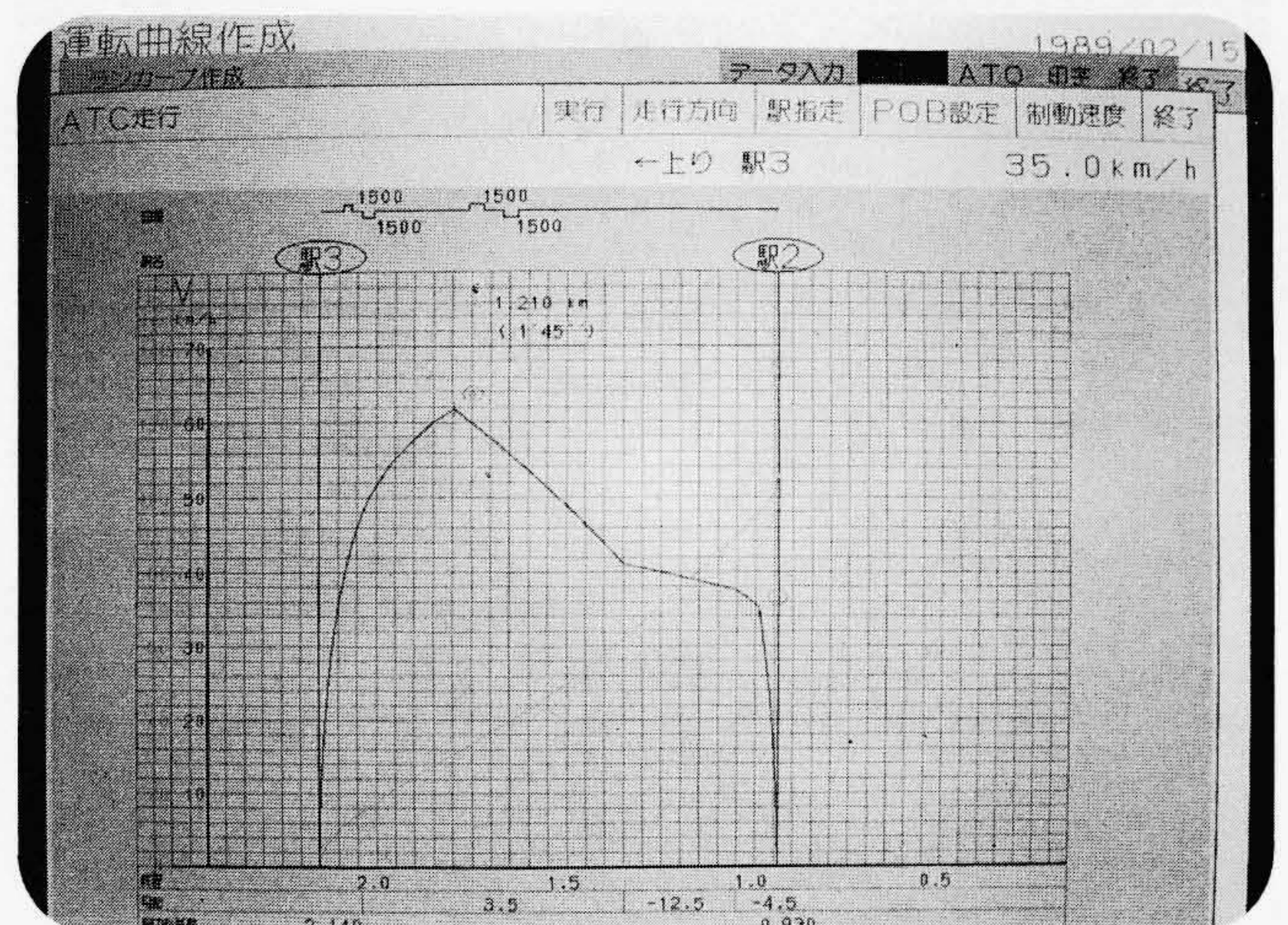
ダイヤ作成過程で各種制約条件に抵触した場合のエラー処理を、「無条件に排除する」とものと、「エラー表示だけにとどめ、その後の判断を扱い者にゆだねる」とものに分類して運用した。また、各種制約条件にまったく抵触しない場合でも、「総合評価」というステップを設け、扱い者の意思を反映できる柔軟性の高いシステムとした。

3.3 ダイヤ作成機能

各機能を図3の基本フローに従って説明する。

(1) 作成準備

(a) 表定時分*1)の検討



注：横軸(距離)，縦軸(速度，時間)

図4 ランカーブ 駅を出発してから停止するまでの列車の走行速度や走行時分を、惰行、ブレーキ開始位置などの運転方法の変更により調整・検討する。

*1) 表定時分：端末駅間の列車運行に要する時間

電車特性曲線、路線条件(駅間距離、こう配情報など)、制限速度情報から図4に示すようなランカーブ※2)を作成し、各駅間の走行時分、表定時分の検討を行う。

(b) ダイヤ作成条件の設定

列車運転条件、車両運用情報、乗務員運用情報など、ダイヤを作成するために必要な規則や制約条件から成るデータベースに入力を行う。

(2) 部分ダイヤの作成

(a) 配車計画の設定

図5に示すように、1日を「朝」、「朝ラッシュ」、「昼」、「タラッシュ」、「深夜」などの運転ヘッド※3)の均質な時間帯に分割し、各時間帯ごとの列車本数、端末駅折り返しモードなどの配車計画を入力する。

(b) 部分ダイヤの作成・評価

(a)により入力された条件に従い、分割された時間帯ごとに運転ヘッドが極力均等になるダイヤパターンを作成し、端末駅での進出・進入に競合が発生しないかなどの評価を添えて、図6のように表示する。

(3) 試験ダイヤの作成

各時間帯の部分ダイヤを接続するとともに、個別スジに対し修正・追加を行い、ダイヤの形態を整える。

(a) 部分ダイヤの接続・入出庫情報の付加

自動モードでは、以下の一連の処理を扱い者の評価を交え実施する。まず、車両運用知識に基づき部分ダイヤ間で増減する列車(出入庫列車)を決定し、残りの列車について

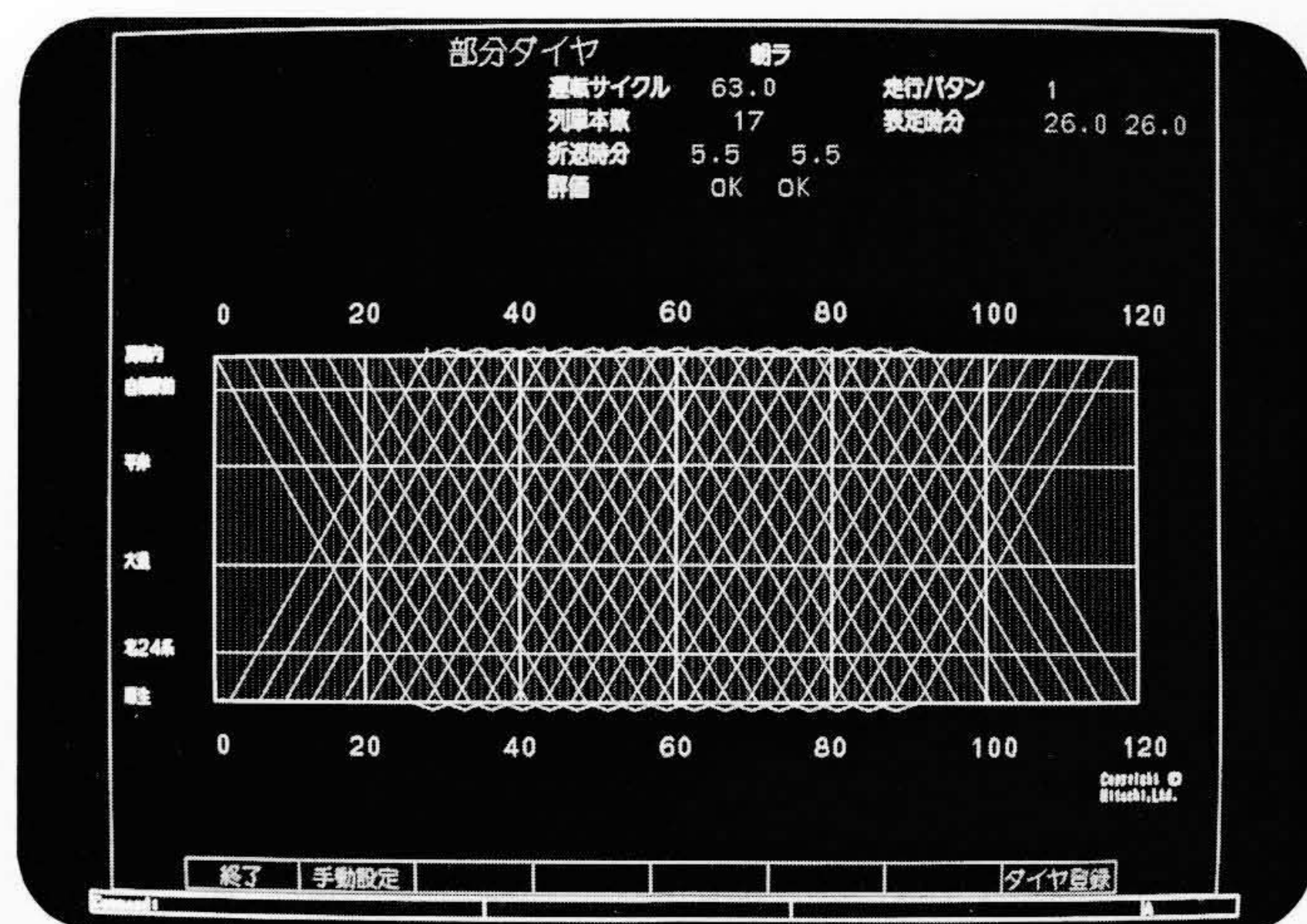
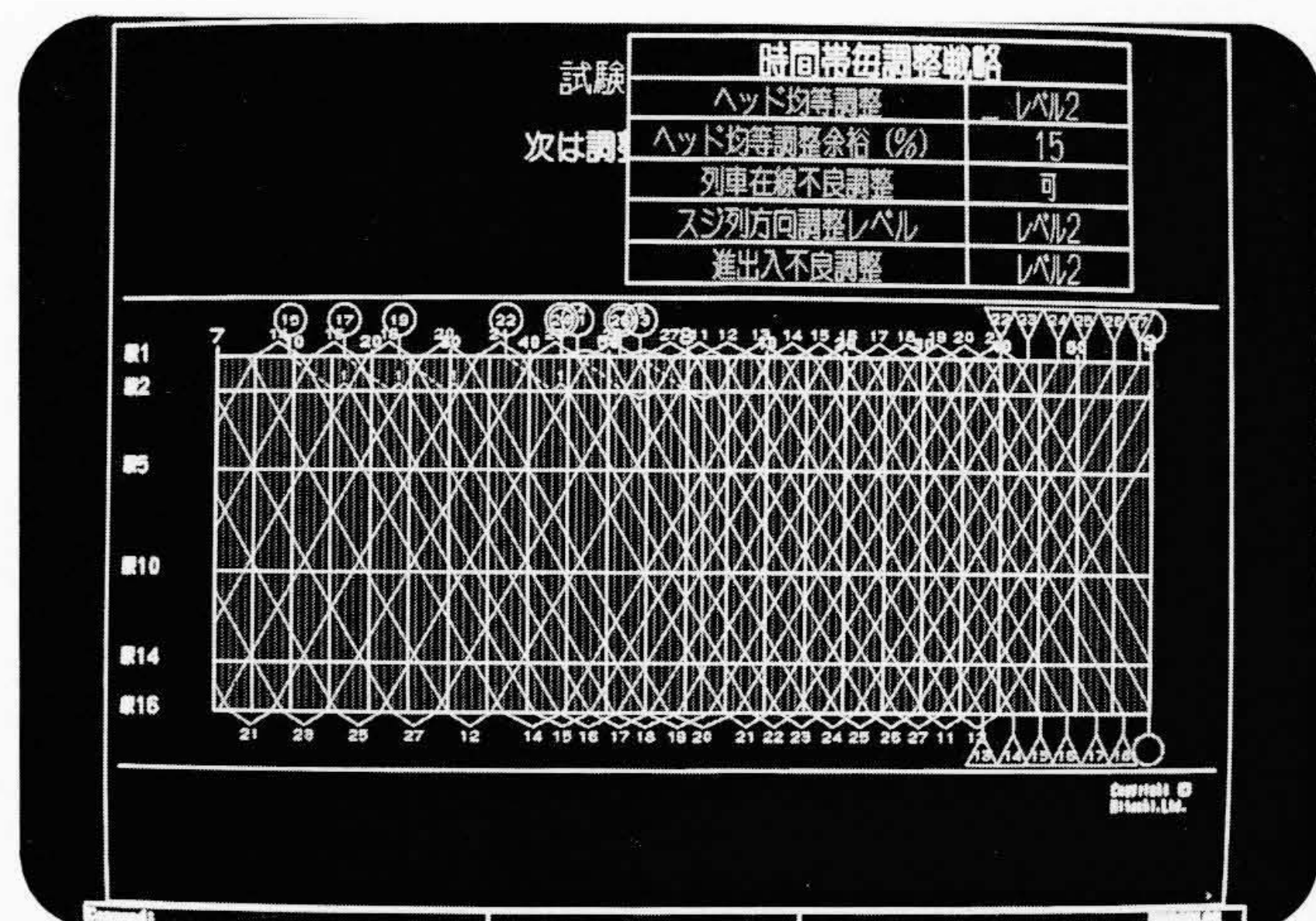


図6 部分ダイヤ作成 本図は朝ラッシュアワー帯の部分ダイヤで、制約条件がすべて満たされOKの評価が表示されている。



注：記号説明 ○(出庫車), ∇(接続が行われた列車およびその運行番号)
▽(入庫車または未接続の列車)

図7 自動モードでの部分ダイヤ接続 部分ダイヤの接続、出入庫情報の付加が終了し、乱れた運転ヘッドを調整するための戦略を表示しており、変更が可能となっている。

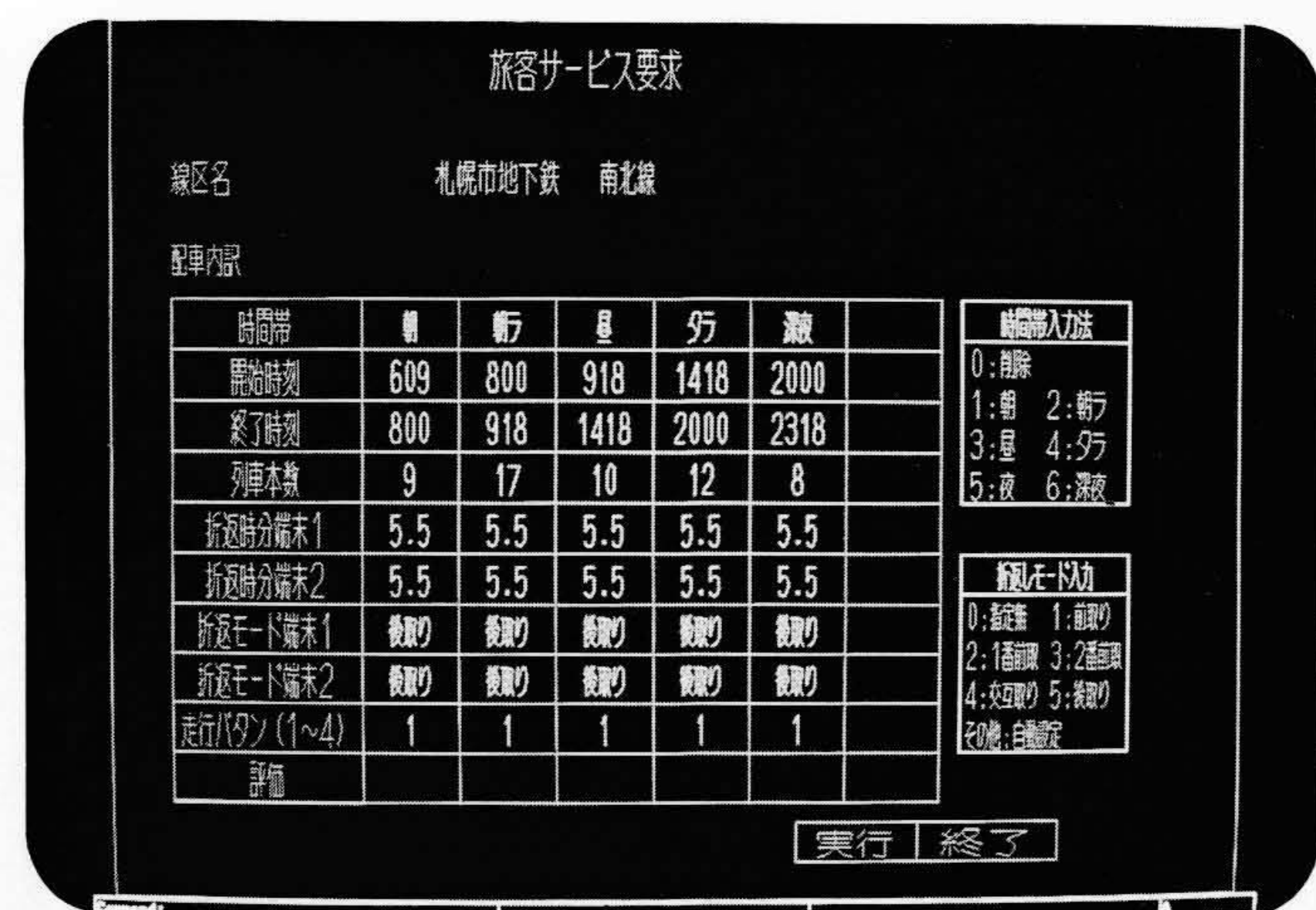


図5 配車計画設定 乗客の利用状況に合わせて1日を複数の時間帯に分割し、その時間帯ごとに列車本数、端末駅折り返しモードなどの入力を行い、適切な配車計画を検討する。

各部分ダイヤを自動接続する。また、増減する列車には出入庫するための情報を付加した後、接続部のヘッドの乱れを調整する。図7では、本システムがノウハウとして持っている乱れたヘッドの調整戦略を表示しており、扱い者に内容の確認を求めている。このとき、会話処理による各項目の変更を可能としている。

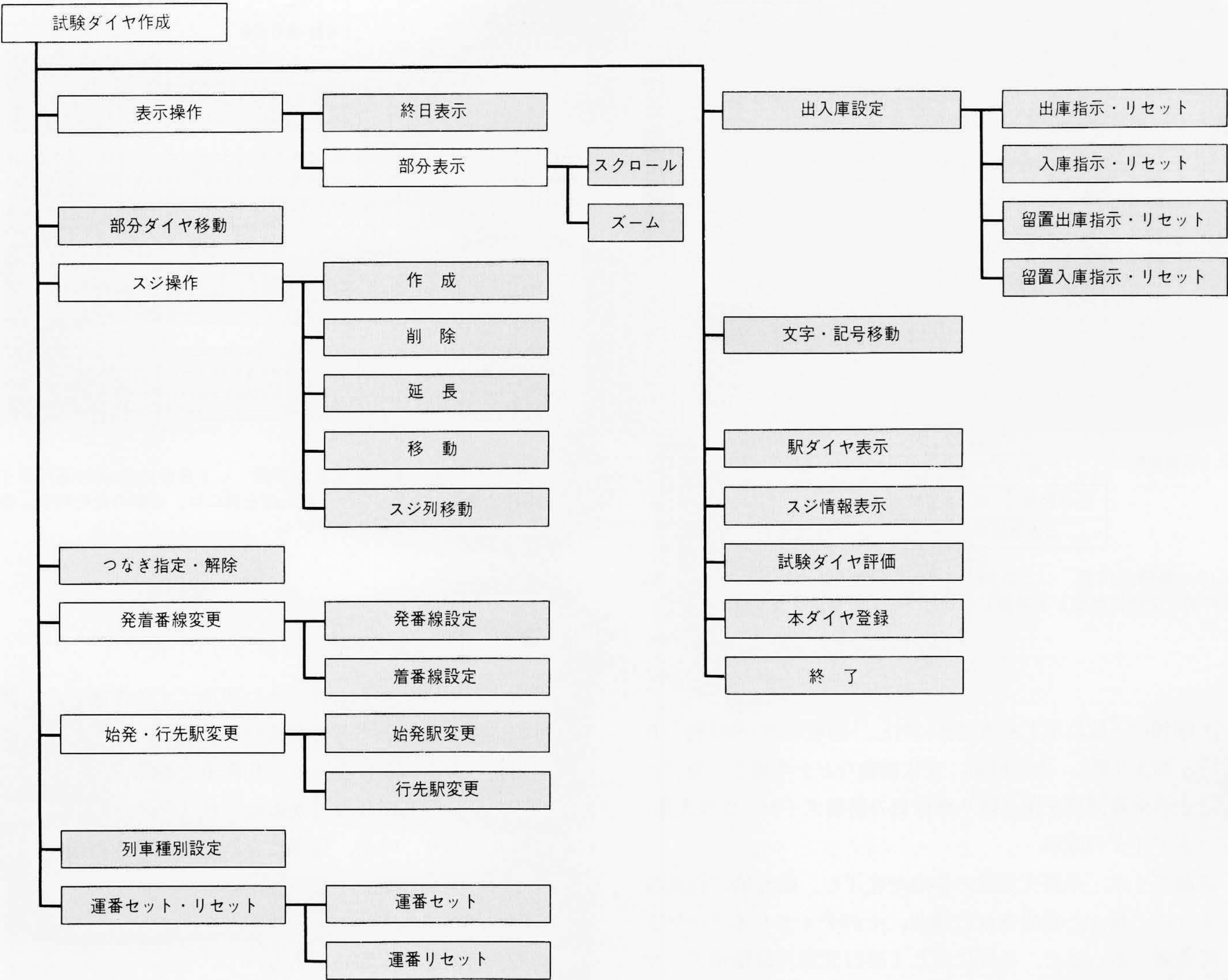
(b) 個別スジの修正・追加

手動で個別スジの修正や不定期列車のスジ追加、列車番号の付加などを行う。試験ダイヤ作成で使用する手動操作メニューの一例を図8に示す。

これらは、マウスだけで操作でき、操作によって制約条件上のエラーが発生した場合は、エラー内容詳細とエラー発生個所が図形上に表示される。また、マウスによるメニ

※2) ランカーブ：列車の走行方法を距離と速度の関係で表したグラフ

※3) 運転ヘッド：列車の出発時隔



注：網伏せ部だけが実際に使用されるメニューである。

図8 手動操作メニュー例 試験ダイヤ作成での手動操作メニューの一例を示す。マウスで本メニューと操作対象図形や文字をピックアップすること
で、操作可能となっている。

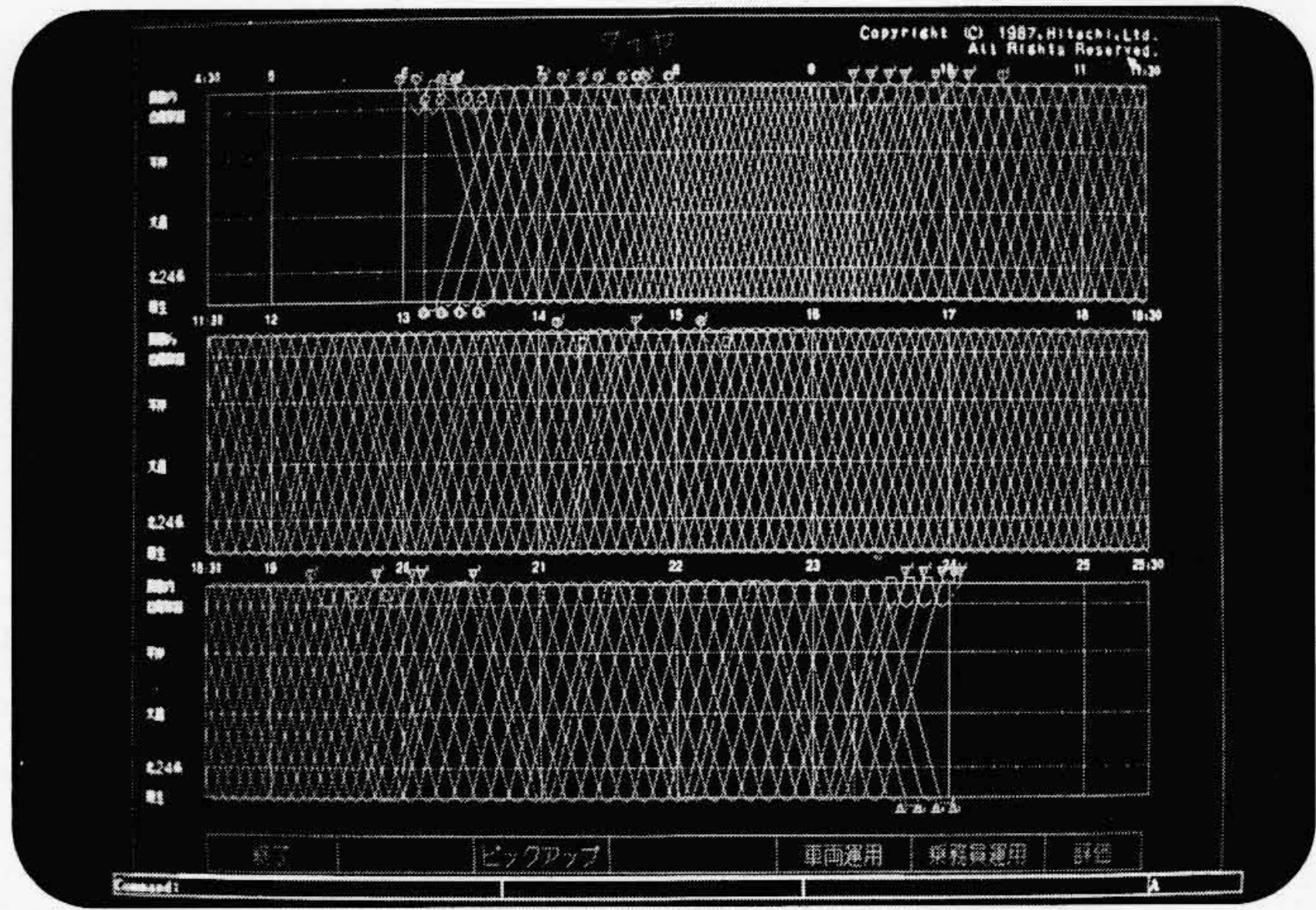


図9 試験ダイヤの終日表示 全体表示と部分拡大表示を切り替え
ながら、検討・修正を行う。

ユーのピックアップ回数を抑え、高速な操作を可能としている。

(c) 総合評価

仕上がった試験ダイヤ(図9参照)は、各スジに対する制約条件は満足している。ここで本ダイヤとして登録を行う前に、総運転時間、始終発時刻などの観点から総合評価を行う。

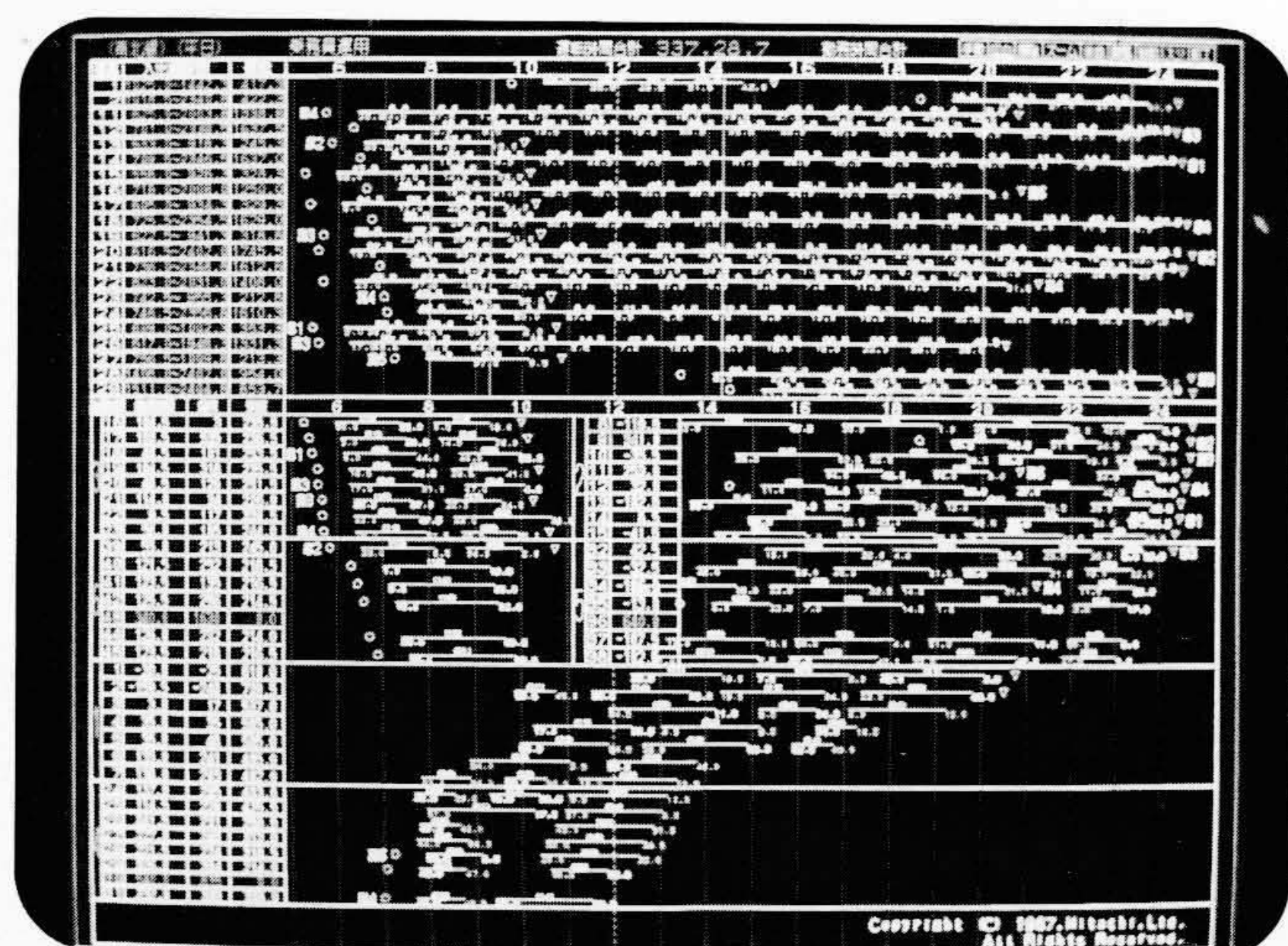
(4) 乗務交代表の作成

各列車に対する乗務員の割り当てと各乗務員の乗務時間について、作成された試験ダイヤに運用上の問題がないか、乗務員の交代勤務表(乗務交代表)を作成し、検討する。

(a) 棒ダイヤへの展開

作成された試験ダイヤを、図10の上段に示すように出庫から入庫までを1本の線で表した棒ダイヤの形式に展開し、乗務交代可能な区分に分割して表示する。

(b) 乗務区分の割り付け



注：写真説明

棒ダイヤ	
明け勤者	泊まり勤者
日勤者割り付け	

図10 乗務交代表 上段の棒ダイヤに示される全列車の乗務を、休憩時間、交代回数などを考慮しながら下段の乗務員に割り付けていく。

図10の下段に示す各乗務員に対し、勤務形態(明け勤・日勤・泊まり勤)、休憩時間、交代回数などを考慮し、棒ダイヤ上の乗務区分を割り振り乗務員の勤務ダイヤを作成する。

(5) 本ダイヤの登録

試験ダイヤ、乗務交代表の作成が完了し、総合的に作成者によって「良」と判断された場合、そのダイヤを本ダイヤとして登録する。また、必要に応じて運行管理計算機用ダイヤへの展開、運行図表、乗務交代表などの各種帳票の出力を行う。なお、図11の運行図表のX-Yプロッタ出力に際しては、先の図8に示す「文字・記号移動」操作を使用して、文字、記号の重なりをなくした、見やすい図面の作成が行える。

3.4 結果および評価

ダイヤ作成熟練者による実使用の結果、以下の評価を得た。

- (1) 応答性については、部分ダイヤの最終接続部の処理に数分を要するが、そのほかの処理の応答性は良い。
- (2) 本ダイヤ完成まで数パターンの試験ダイヤを作成し、さまざまな検証を行う必要があり、2～3日程度は要するが、従来は2か月も要しており、大幅な短縮となる。

なお、ダイヤ作成時間の内訳を以下に述べる。

- (a) 試験ダイヤ作成：1時間/パターン(自動モード)
 - (b) 乗務交代表作成：約10分/パターン(自動モード)
- (3) X-Yプロッタによる図表出力は鮮明で、手書きのものと比較してもまったく遜(そん)色なく、そのままコピーして関連部署で使用している。
 - (4) 制約条件の設定を厳しくせず、エラー表示だけにとどめ、扱い者の判断にゆだねることが、システムの柔軟性、操作性を保つ上で非常に有効であった。

1号線 運行図表

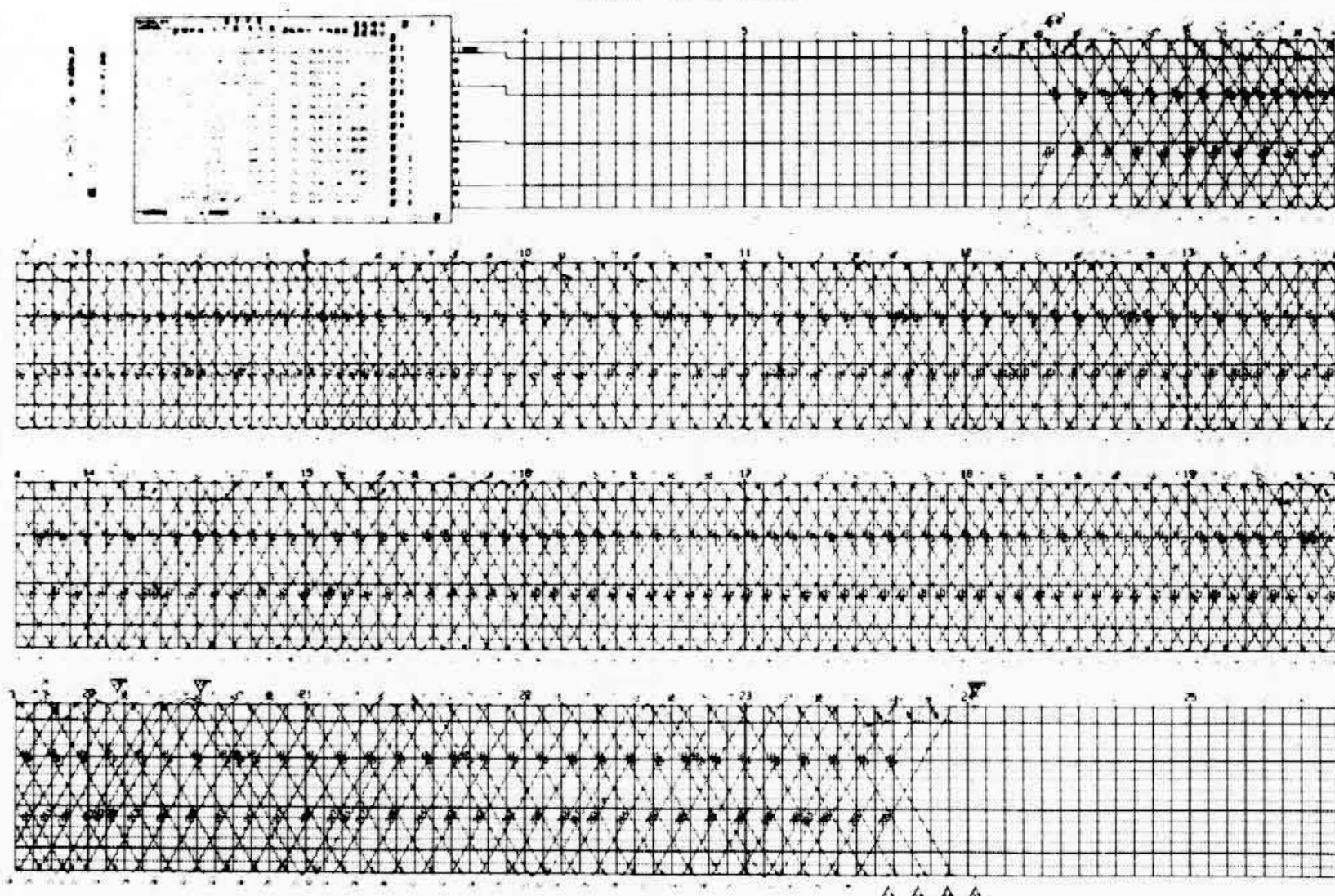


図11 運行図表のX-Yプロッタ出力例 1日分の列車の運行ダイヤを4段に分割し出力している。最上段左側には、各駅の走行時分、停車時分などの運転要領を記載している。

4 結 言

計算機化が困難と考えられてきた列車ダイヤ作成を、人間との協調推論を基盤とするエキスパートシステムによって開発、実用化した。本システムは、札幌市交通局大谷地指令所内に設置され、昭和63年9月から地下鉄3路線のダイヤ作成に使用されており、時節、催事に合わせたよりきめ細かい旅客サービスの実現に威力を発揮している。

本事例が、今後の複雑な計画立案形エキスパートシステムの構築の一助になれば幸いである。

終わりに、本システムの開発に当たり、貴重な助言と協力をいただいた札幌市交通局高速電車部運輸課の井上正志氏をはじめ関係各位に対し深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 酒井, 外: 札幌市地下鉄の運行ダイヤ作成装置, サイバネ論文集, 24, 304, 122~126(昭63-2)
- 2) 酒井, 外: 札幌市地下鉄の運行ダイヤ作成装置第2報(知識工学的手法とその評価), サイバネ論文集, 25, 342, 333~337(昭63-11)
- 3) 鶴田, 外: 協調推論型知識情報処理の一方式, 一列車スケジューリングを具体例とした提案と評価一, 情報処理学会論文誌, Vol.30, No.4, 444~455(平1-4)
- 4) Tsuruta, et al.: A Knowledge-Based Interactive Train Scheduling System-Aiming at Large Scale Complex Planning Expert System in Proceedings of the Intelligence for Industrial Applications, IEEE, Japan(May, 1988)
- 5) 田野, 外: 知識ベースシステム構築用ツールEUREKAにおける高速処理方式, 情報処理学会論文誌, Vol.28, No.12(昭62-12)