

高速道路集中監視制御システム

Centralized Supervisory Computer Control Systems for Expressway

高速道路には、道路利用者の安全確保と交通流の円滑化を図るために、照明、トンネル換気、可変標示板など多種多様の設備が設けられており、これらの諸設備を合理的に管理するために、集中監視制御システムが導入されている。年々の路線延長とともに、集中監視制御システムは広域化し、信頼性、拡張性のニーズがますます強くなる一方、広域に散在する設備を迅速かつ的確に監視制御するための、高度なマンマシン機能及び高精度な制御機能が要求されるようになった。

日立製作所は、これにこたえて制御用計算機HIDICと遠方監視制御装置SUPERROLによる高速道路集中監視制御システムを開発した。本システムは、分散処理技術によって高信頼度で拡張性に富んだシステムを実現しており、防災訓練シミュレータ、統計処理機能、及びトンネル換気制御への知識工学導入などによって、複雑な運転業務を合理化している。

八尋正和* Masakazu Yahiro
阿部登* Noboru Abe
田中俊一郎** Shun'ichirô Tanaka
井上春樹** Haruki Inoue
大久保和敏*** Kazutoshi Ôkubo

1 緒言

地域社会を結ぶ幹線道路網として、大量の自動車交通需要を充足する高速道路の役割は大きい。高速道路建設の順調な進ちょく(捗)により、縦貫道がほぼ完了して横断道建設の時代に入ったと言われるまでになった。山間部の建設の増大とともに、監視制御システムは長大トンネルを擁する大規模な集中監視システムを形成するようになってきた。

高速道路システムのニーズとして、路線延長に容易に対応できる拡張性、昼夜連続運転を維持する高信頼性、複雑化した運転業務を自動処理し、大量の監視制御項目を合理的に処理する高度なマンマシン機能が挙げられる。このニーズはシステムの大規模化とともにますます強くなってきている。また、長大トンネルの経済的な換気運転を実現するために、より高度な制御機能が要求されるようになってきた。

本稿では、高速道路集中監視制御システムの概要とシステム構成上の留意点を述べ、日立製作所が日本道路公団に納入した九州自動車道八幡制御局集中監視制御システムを例に、その構成と機能及び特長について述べる。

2 高速道路設備の概要

高速道路の施設には、インターチェンジ、サービスエリア、トンネルなどがある。これらの施設には、交通流を円滑にするために可変標示板、交通量計測などの交通管理設備、道路利用者が安全に走行できるように照明、トンネル換気、防災などの交通安全設備及び各設備へ電力を供給する受配電、自家発電設備が設けられ、高速道路の円滑な運営が図られている。

高速道路の設備は、このように多種多様なことが特徴である¹⁾。

3 監視制御システム構成上の留意点

高速道路の監視制御は、交通状況を常時監視して道路利用者に情報を提供する交通管理系と、照明・換気・受配電など諸設備の運転維持を行う施設管理系に大別される。このような運用形態と協調のとれた監視制御システムを構成する必要がある。主な留意点は、次のとおりである。

- (1) 高速で走行するドライバーに直接かかわるものであるため、迅速かつ的確に監視制御が行えること。
- (2) 高速道路は年々一定のペースで建設されるので、この路線延長に対応して増設・改造が容易に行えるように、拡張性に富んでいること。
- (3) 増設・改造時のシステム停止期間が短いこと。道路利用者は、増設・改造時にも既に開通済みの区間を走行するので、監視制御システムの停止期間が最短となるような構造にしておく必要がある。
- (4) トンネル換気には、多大な電力を消費するので、ランニングコストを低減する高精度の制御方式が要求される。

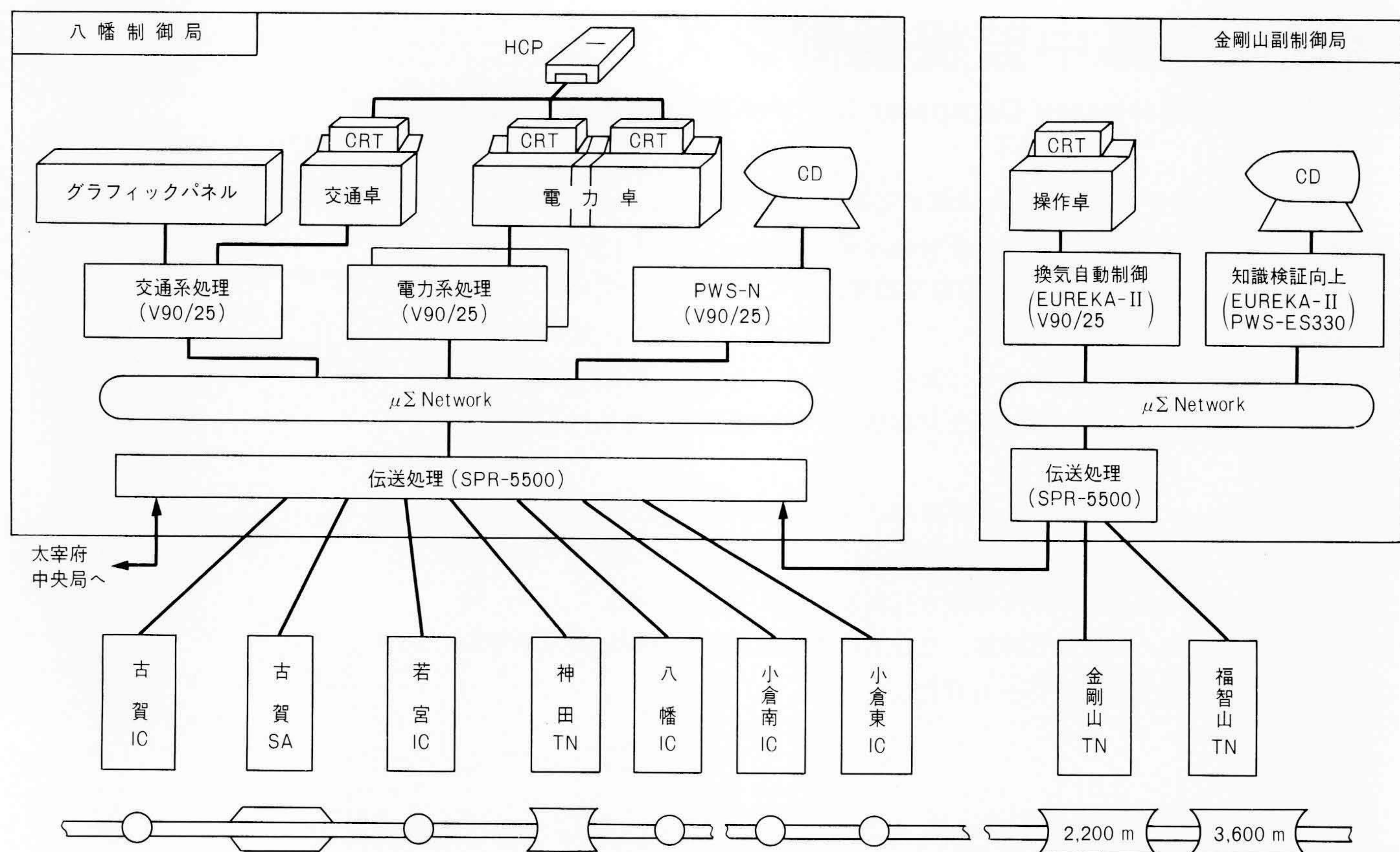
4 集中監視制御システムの構成

図1によって集中監視制御システムの構成を説明する。八幡制御局はその管内に、トンネル長2,200 m及び3,600 mの金剛山、福智山トンネルを擁しており、集中監視制御システム

* 日立製作所大みか工場

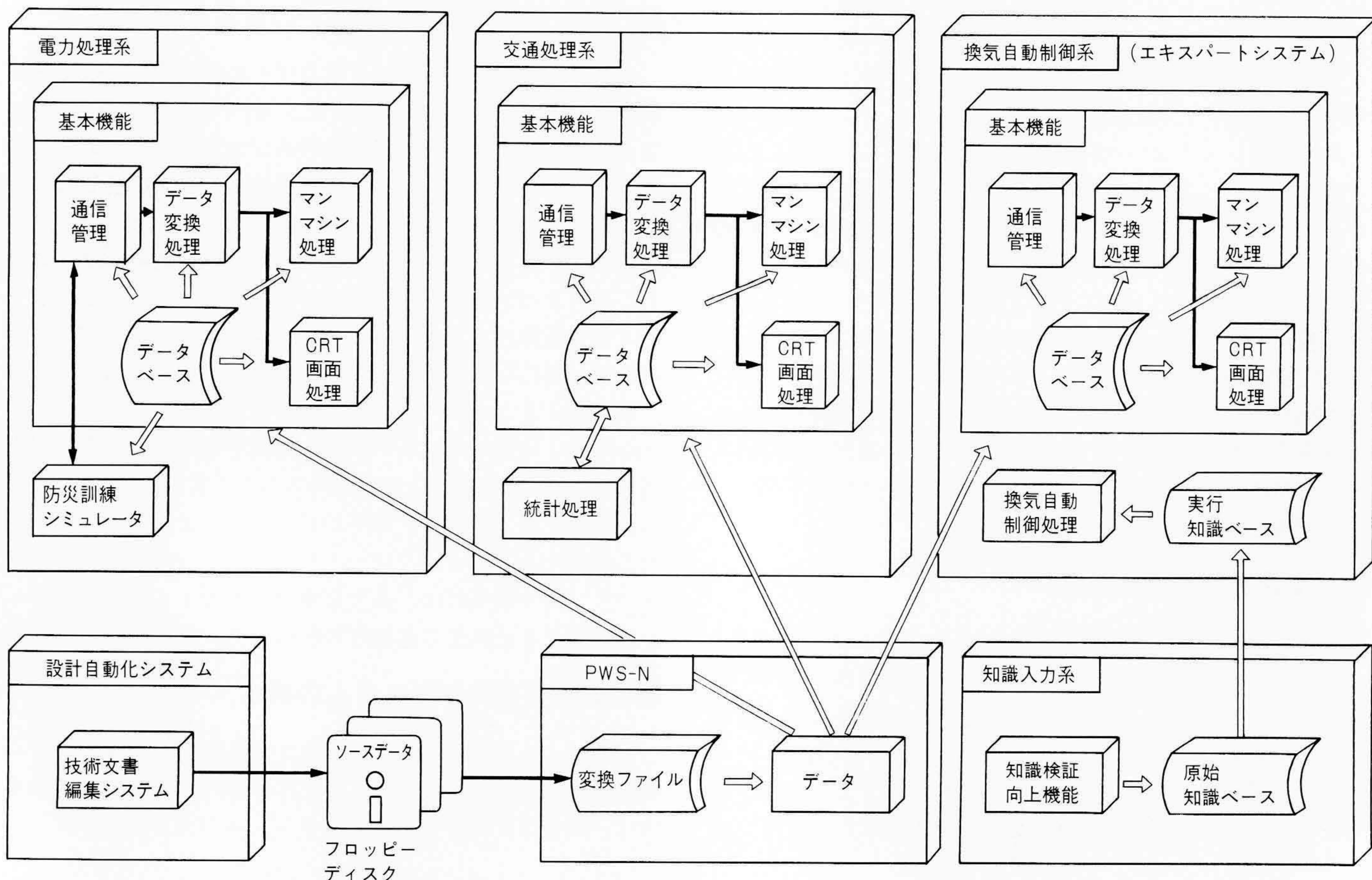
** 日立エンジニアリング株式会社

*** 日立製作所機電事業本部



注：略語説明など HCP(カラーハードコピー装置), CRT(カラーディスプレイ装置), CD(コンソールディスプレイ装置), PWS(プログラミングワークステーション), EUREKA-II(知識処理システム構築ツール), IC(インターチェンジ), SA(サービスエリア), TN(トンネル), (二重化部)

図1 八幡制御局集中監視制御システム構成図 機能分散構成により、高機能で応答性の良いシステムを実現している。



注：略語説明 PWS-N (ネットワーク用プログラミングワークステーション)

図2 ソフトウェア構成図 ソフトウェアのモジュール化構造とPWS-Nによる一元化によって、拡張性・処理性の高いシステムを実現している。

は大規模システムを形成している。八幡制御局は、路線全体の電力系、交通系の監視制御を行い、金剛山受電所副制御局では換気制御の処理を主体的に行う。ソフトウェアの構成図を図2に示す。HIDIC V90/25を中核にしたシステム構成と、機能モジュールに分割されたソフトウェア構成は以下の特長を持っている。

- (1) 電力系、交通系の機能ごとの分散処理構成とし、処理の負荷分担によりマンマシン応答性の良いシステムを実現した。
- (2) PWS-N(ネットワーク用プログラミングワークステーション)によりソフトウェアの一元化を図り、ソフトウェアの生産性、拡張性を向上させた。また、PWS-N接続のCD(コンソールディスプレイ)により、複数のCPU(中央処理装置)に対する保守を一元管理化した。これにより、CDの設置スペースを縮減した。
- (3) 可変標示板と子局間の情報伝送は従来並列渡しであったが、HDLC(High Level Data Link Control Procedure)方式を採用してケーブル工事を簡潔化した。
- (4) 換気自動制御用として、知識処理可能リアルタイム制御用計算機HIDIC V90/25を適用し、また知識の検証・向上用のエンジニアリングワークステーションES-330を組み合わせ、換気制御エキスパートシステムを構築し、トンネル換気での電力消費の最小化を図った。
- (5) ソフトウェアは、通信管理、データ変換などの機能単位に細分化したモジュール化構造とし、電力系、交通系、換気自動制御系各々の用途に合わせてこれらのモジュールを組み合わせ構成して、拡張性の高いシステムを実現した。
- (6) 多種多様なマンマシン仕様を規定する大量のデータベースを自動作成するシステムを開発し、増設・改造に容易に対応できるようにした。

5 監視制御機能

八幡制御局は、施設管理系全設備の監視制御を行う。金剛山受電所副制御局では、緊急時に備えてトンネル内の監視制御が行えるようにしてある。施設管理系の設備は、平常時は自動運転され、故障などの場合に手動運転に切り換えられるので、操作卓CRT(カラーディスプレイ装置)に故障・運転状態を表示して、故障発生状況を運転員が直ちに把握でき、迅速な復旧対策ができるようにしてある。主な特長を以下に述

べる。

(1) マンマシン機能の向上

情報板用表示器に漢字表示可能なLED(発光ダイオード)表示器を適用して、文字変更の容易性などマンマシン機能を向上させた。また、コンパクトなテンキーキーボードを開発して、卓盤面の簡潔化と操作性の向上を図った。八幡制御局管制室を図3に示す。

(2) 統計処理機能

電力量、交通量、換気運転実績データ及び設備故障の統計解析処理機能を設け、運転・保守業務を合理化した。そして、日報はCRT画面からハードコピーをとることとし、従来毎日出力していた大量の日報用紙を縮減した。

(3) 防災訓練シミュレータ

トンネル内で火災が発生した場合、運転員は火災内容や火点に対応した各種機器の操作や連絡を迅速・的確に行わねばならない。ところが、トンネル火災はめったに発生するものではなく、いざ発生した場合、運転員が操作不慣れなため処理にとまどうおそれがある。そこで、火災発生時に備えて、対象設備を模擬する訓練シミュレータを組み込み、オンライン時と全く同様のスイッチ、表示器により平常時に操作訓練を行えるようにした。図4は火災発生地点を入力するためのCRT画面である。

6 トンネル換気制御エキスパートシステム^{2)~7)}

6.1 トンネル換気制御の概要

トンネル換気制御システムの概要を図5に示す。トンネル内には、汚染された空気の流れを出口に向かって加速するジェットファンと、トンネルの途中で汚染濃度が許容値を超えないようにばい(煤)煙を除去する集じん機が設けられる。また、トンネル内の汚染度はVI計(煙霧透過率計)、CO計(一酸化炭素分析計)によって測定され、大形車台数、小形車台数、走行速度は交通流計によって測定される。

換気制御は、これらのセンサ情報により、車両の排気ガスによる汚染発生量、交通流によるピストン効果、またトンネル内の汚染度合いを予測し、この汚染度合いに応じて集じん機、ジェットファンに対して汚染の基準値を保持し、かつ電力量が最小となるような換気分担量を指令するものである。

従来は、これを線形的な数式モデルによる制御方式で対応

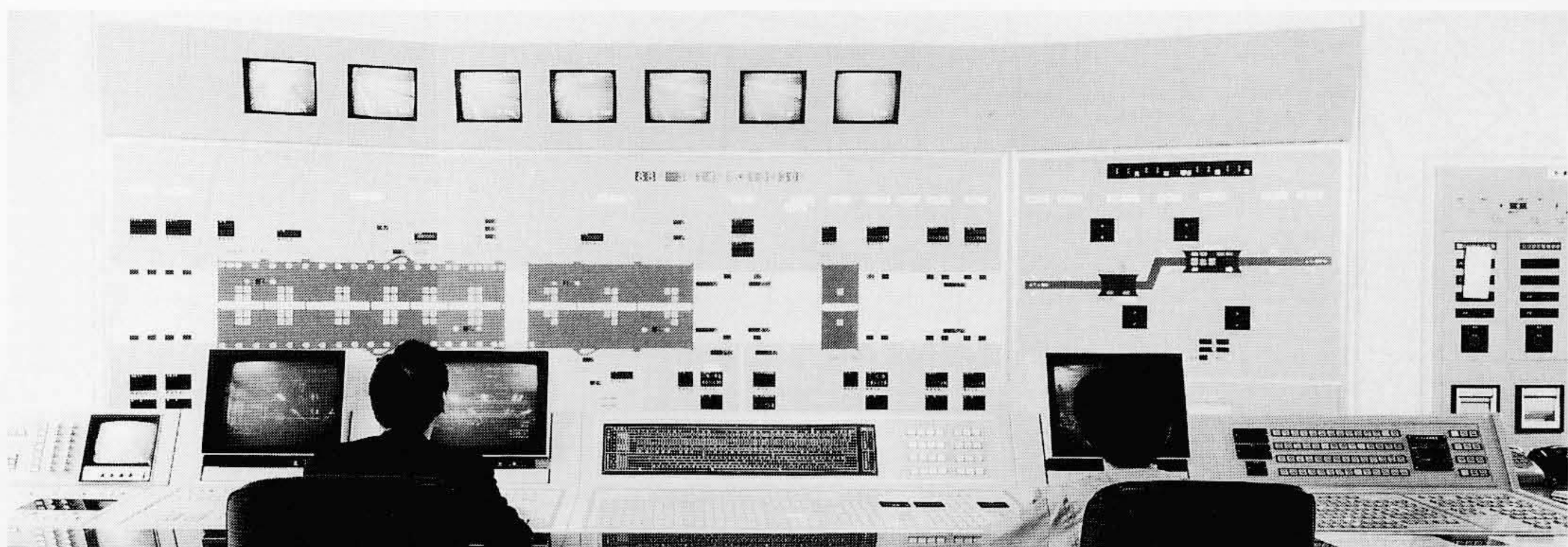


図3 八幡制御局管制室 道路利用者の走行安全を図るため、昼夜連続して監視制御を行っている。



図4 防災訓練用の画面例 火災発生地点を入力し、緊急時に備えて操作訓練を行う。

していたが、車両のピストン効果、自然風、トンネル内の乱気流など正確にとらえられない不確定要素が多いため、電力消費量が最小となる最適制御を実現できずにいた。

その解決策として、不確定要素が多く、また系の時定数が動的に変化するプロセスであり、操作員の運転ノウハウがプロセスの自律性をよく活性化するという点に着目し、経験ノウハウの反映が容易な知識工学を応用した実時間トンネル換気制御エキスパートシステムを開発した。

6.2 システム構成

本エキスパートシステムは、図5に示すように実時間制御実行系としてHIDIC V90/25を適用し、これに実時間知識処理システム構築ツールEUREKA-IIを組み込んで換気の自動制御を行わせるようにした。一方、知識の検証・向上用にはエンジニアリングワークステーションES-330を適用し、制御実行系と $\mu\Sigma$ ネットワークで接続し、知識の変更・更新を容易に

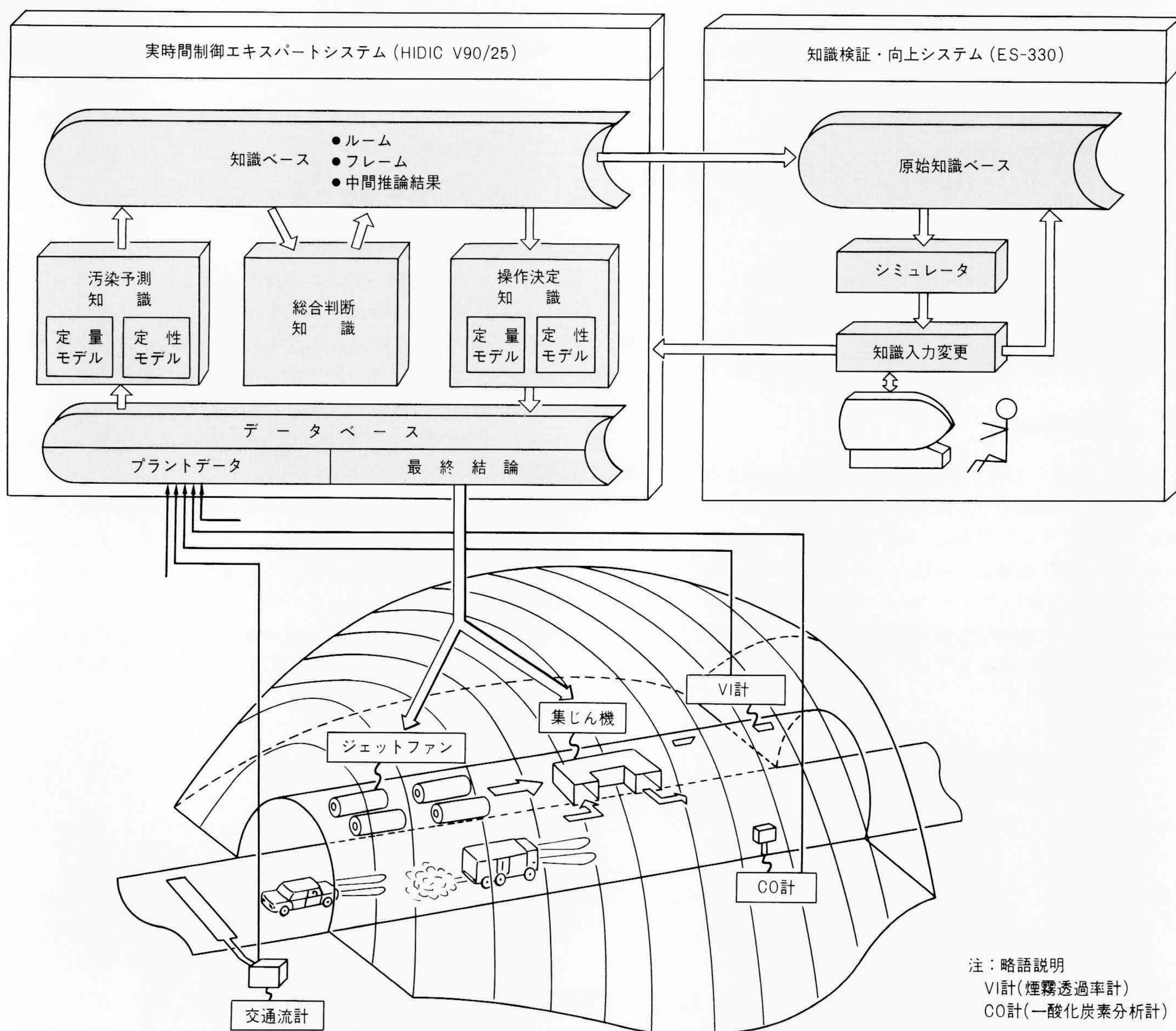


図5 トンネル換気制御システム概要図 知識工学を応用した実時間プロセス制御エキスパートシステムである。トンネル内の汚染濃度が許容値を超えないように、かつ電力消費が最小となる換気制御を行う。

行えるように構成した。更に、八幡制御局の交通処理系に統計処理機能を組み込み、換気運転の解析を行い、知識の向上に役立たせるようにしている。

本システムの特長は、次のとおりである。

- (1) オンライン制御機能は、汚染予測知識群と換気機操作量決定知識群を分離することによって、例えばトンネル内の汚染状態の中間推論結果を確認できるようにするなど、可視性を高めた構成にしてある。
- (2) 各知識群には、従来の数式による定量モデルを組み込み、総合判断ルールにより定性モデルとの使い分けを行うハイブリッド構成とし、従来の知見を尊重している。
- (3) 換気機操作量決定では、従来の制御目的である汚染の許容値保持と電力の最小化以外に、**図6**に示すとおり換気機の切替回数の最少化、トンネル内汚染分布の均一化など、七つの目的を同時に満足できるファジィ制御方式を開発し適用した。これにより、極めて操作員に近い柔軟な運転操作となり、汚染度合いの均一な推移と電力消費量の低減を実現している。
- (4) 知識検証用のES-330には、シミュレータを組み込み、新たな知識を組み込む場合や変更する場合に、シミュレーションにより検証した上で実行系の知識を更新するようにして信

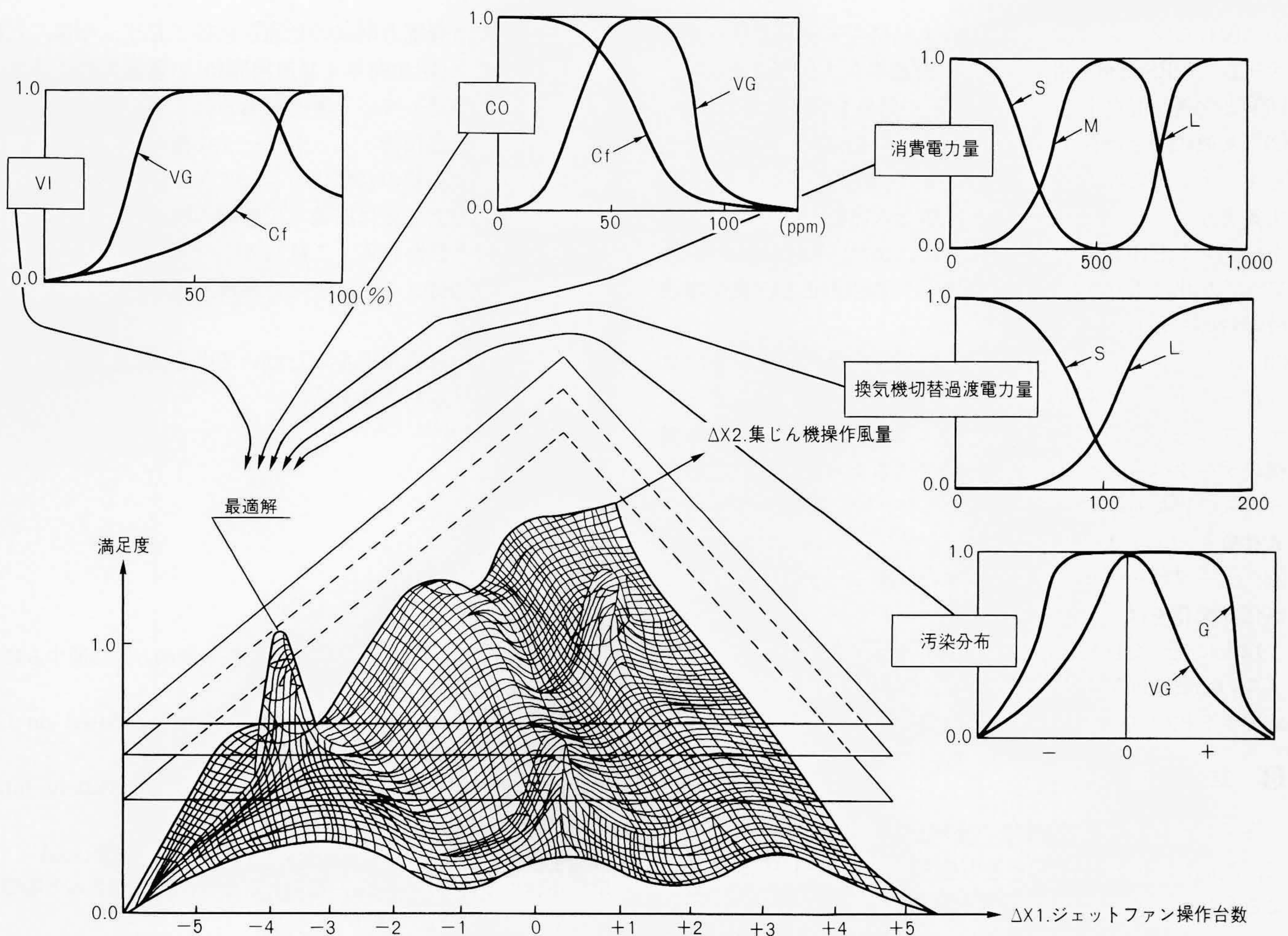
頼度を高めている。

(5) 統計処理機能によって、換気運転の実績データを解析して、新たな知識を獲得できるようにしてある。

(6) 従来の数式モデルを含め、すべてif~thenのプロダクション形のルールで記述し、システムの変更と成長を容易にした。

7 ドキュメントとデータテーブルの一貫自動作成

高速道路システムは、広域で子局数が多く対象設備が多種多様であることがその特徴として挙げられる。このため、監視制御仕様を表すドキュメントと実機のデータテーブルは膨大なものとなり、その品質を確保することは重要な問題となる。品質向上はシステムの大規模化とともにますます重要となっており、信頼度の高い(誤りがない)、そして路線延長を考慮した、拡張性の高いドキュメント及び実機データテーブルの作成は、監視制御システムの高信頼度を確保する上でも重要なポイントとなってきた。そこで、**図7**に示すドキュメントとデータテーブルの自動作成システムを開発した。技術文書編集システムによって監視制御仕様書を作成するとともに実機データテーブルを自動作成するもので、以下の特長を持っている。



注：略語説明 VG(大変良い), Cf(快適である), S(小さい), M(普通), L(大きい), G(良い)

図6 換気分担量決定ファジィ推論の概念図 汚染度合い、消費電力量、換気機の切替回数などをファジィ推論によって総合的に判断し、操作量を決定する。

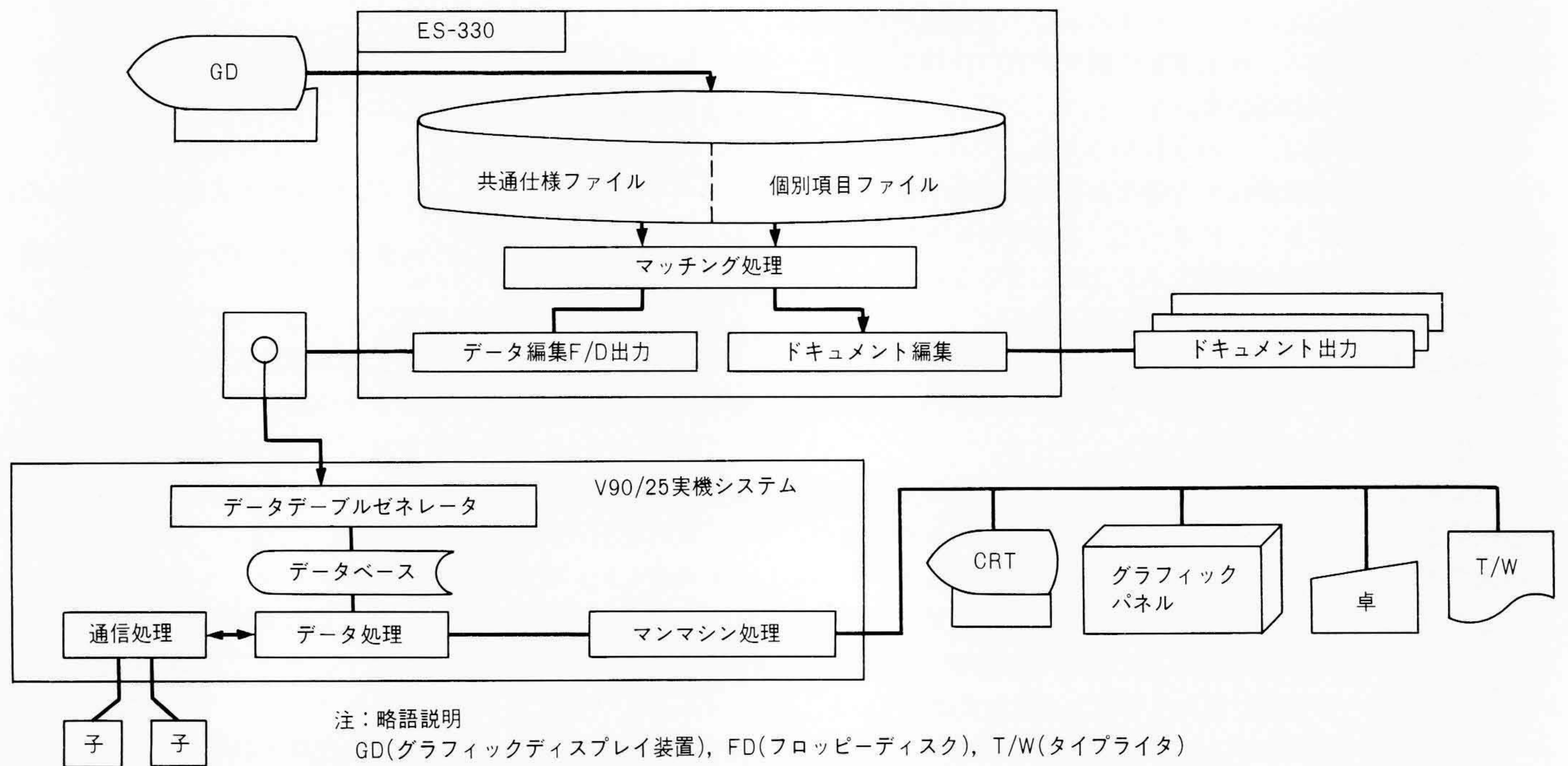


図7 ドキュメントとデータテーブル自動作成の概要図 一貫した自動作成システムによって、高品質のドキュメントとデータテーブルを作成できるようにしてある。

- (1) 優れたマンマシン機能を持つエンジニアリングワークステーションES-330を用いた技術文書編集システムによって、図形と文書が混在するドキュメントの編集を容易にしてある。
- (2) 共通の項目仕様ファイルと子局ごとの個別項目ファイルをマッチング処理することによって、監視制御仕様書を出力するようにした。これにより、簡単な入力操作で高品質のドキュメントを作成できるようにした。また、項目仕様の共通ファイル化により子局ごとの仕様不一致を防止し、更に増設時の対応も容易にした。
- (3) ドキュメントの出力とともに監視制御仕様データをフロッピーディスクに編集出力できるようにした。また、データテーブルゼネレータにより、このフロッピーディスクから実機のデータベースへ自動的に変換できるようにした。このように人手作業を削減したことによって、データテーブルの作成品質を向上することができた。
- (4) データテーブルゼネレータには、チェック機能を設けて高信頼度化を図った。

以上に述べた自動化によって、ドキュメントとデータテーブルの品質を向上することができ、更に路線延長に容易に対応できる拡張性の高いシステムを実現した。

8 結 言

多種多様な高速道路設備の合理的な統括管理を目的として、制御用計算機HIDICと遠方監視制御装置SUPERROLによる高速道路集中監視制御システムを完成した。防災訓練シミュレータ、統計処理機能によって運転業務を合理化し、分散処理技術と知識工学の導入によって柔軟で高機能・高拡張性のシステムを実現することができた。

換気制御エキスパートシステムについては、シミュレーシ

ョンによって消費電力削減の見通しを得ており、今後、八幡制御局システム(昭和63年4月運用開始)の運転実績により、その効果性を確認していく考えである。

最近の情報処理技術・ネットワーク技術の進展と、高速道路での関連業務全般の合理化のニーズがあいまって、今後は従来の範囲を越えて更に広域で広範囲の統合システムに進展してゆくものと思われる。これらのニーズをとらえて、高速道路集中監視制御システムを更に高度なものに発展させていきたい。

最後に、日ごろ御指導をいただいている関係各位に対し厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 社団法人建設電気技術協会：遠方監視制御方式に関する研究報告書(その2)(昭56)
- 2) J. de Kleer, et al.: Qualitative Physics Based on Confluences, Artificial Intelligence 24.1. (1984)
- 3) K. D. Forbus: Qualitative Process Theory, Artificial Intelligence 24.1. (1984)
- 4) 古川, 外: メンタルモデルと知識表現, 共立出版(昭61)
- 5) 小林: 多目的意志決定一理論と応用—VI, システムと制御, Vol.31, No.4 (昭62)
- 6) 宮本: Fuzzy制御とその応用, 計測と制御, Vol.25, No.5(昭61)
- 7) 船橋, 外: ES/KERNELとEUREKA-IIの推論高速化技術, 日経コンピュータ(昭61-9)