

計算機制御におけるモデリングとシミュレーション技術

Modeling and Simulation Techniques for Computer Control Systems

モデリングとシミュレーション技術は、従来、制御方式の計画で主要な役割を果たしてきたが、計算機制御システムの使命が高度化するにつれ、システム全体の構成や運用の計画にまで波及しつつある。この新しい動きは、次のような要請、すなわち(1)システムの状況や環境を予測推定したい、(2)計算機との対話により人間の高度な判断を取り入れたい、(3)システムの構成計画を総合的な見地から行ないたい、という点に表われている。これらの要請に日立製作所がこたえてきた例として、河川、上下水道での予測・推定制御及び階層形構成の運用計画モデル並びにビル空調、軌道交通の計画のためのシミュレータについて述べるとともに、汎用モデリングとシミュレーションシステムにも触れる。

大成幹彦* *Ônari Mikihiko*
船橋誠寿** *Funabashi Motohisa*
諸岡泰男*** *Morooka Yasuo*
柏木雅彦**** *Kashiwagi Masahiko*

1 緒言

制御用計算機の利用形態は、当初の監視制御から直接制御、トータルシステムに発展し、適用分野も連続システムだけでなく、離散的システム制御にまで及んでいる¹⁾。更に、近年では、複数の計算機の階層構成により多機能の管理・制御を実施する場合が多く、上位レベルの計算機は人間の意思決定・判断を支援する機能を備えている例も多い。これらの場合には、マンマシン性の良いシステム構成や運用方法を計画する必要がある。

計算機制御での利用技術は、基本的には、モデリング、最適化及びシミュレーションの各技法から成っている。これらの技法は、個々には、ここ十年間にかなりの進展をみたが、今や、これらの利用技術を統合化して、高度なシステムの計画運用を図る時期にきている。

この論文では、このような計算機制御の進展に伴う利用技術の新しい動向を、日立製作所の具体的アプリケーションを通して展望する。

2 計算機制御システムに対する要請

計算機制御システムの構築過程とそれを支える利用技術は、図1に示すように表わすことができる。

モデリングとシミュレーション技術は、従来、制御方式の計画で主要な役割を果たしてきたが、現在のようにシステムの使命が大形化するに従って、技術そのものにも新たな方向が生まれてきている。更に、技術の適用範囲も単に制御方式の計画にとどまることなく、システム全体の構成計画まで及ぼうとしている。これらの新たな動きをまとめると次に述べるようになる。

(1) 従来のシステムは、工業プロセスのように工学系の範囲内で運用される、いわばクローズドシステムであった。しかし、今日ではシステムが対象とする範囲は大規模化し、社会・経済的な要請までもを含めたオープンシステムと考えざるを得なくなりつつある。このような状況では、システムの性能を所望の水準に保つために、システム環境の積極的な予測・推定及びこれらに基づく制御方式の立案が必要となってきた。

(2) 従来のシステムが単機能的であったのに対し、より高度な複合的な機能を達成することが要求されてきている。このためには、あらかじめ決められたアルゴリズムに従うだけでは不十分で、人間の持つ多面的な情報を随時利用できるような、いわば人間と機械とが一体となった機能構成が必要である。

(3) システム構成の決定は、従来、人間の持つ直観的な判断能力によってなされてきた。しかし、構成要素数の増大により一個人の持つ情報では適切な判断が下しにくくなってきている。総合的な見地から構成案を評価するためのシミュレーションシステムが必要である。

このような要請にこたえるシステムの具体例を以下に述べる。

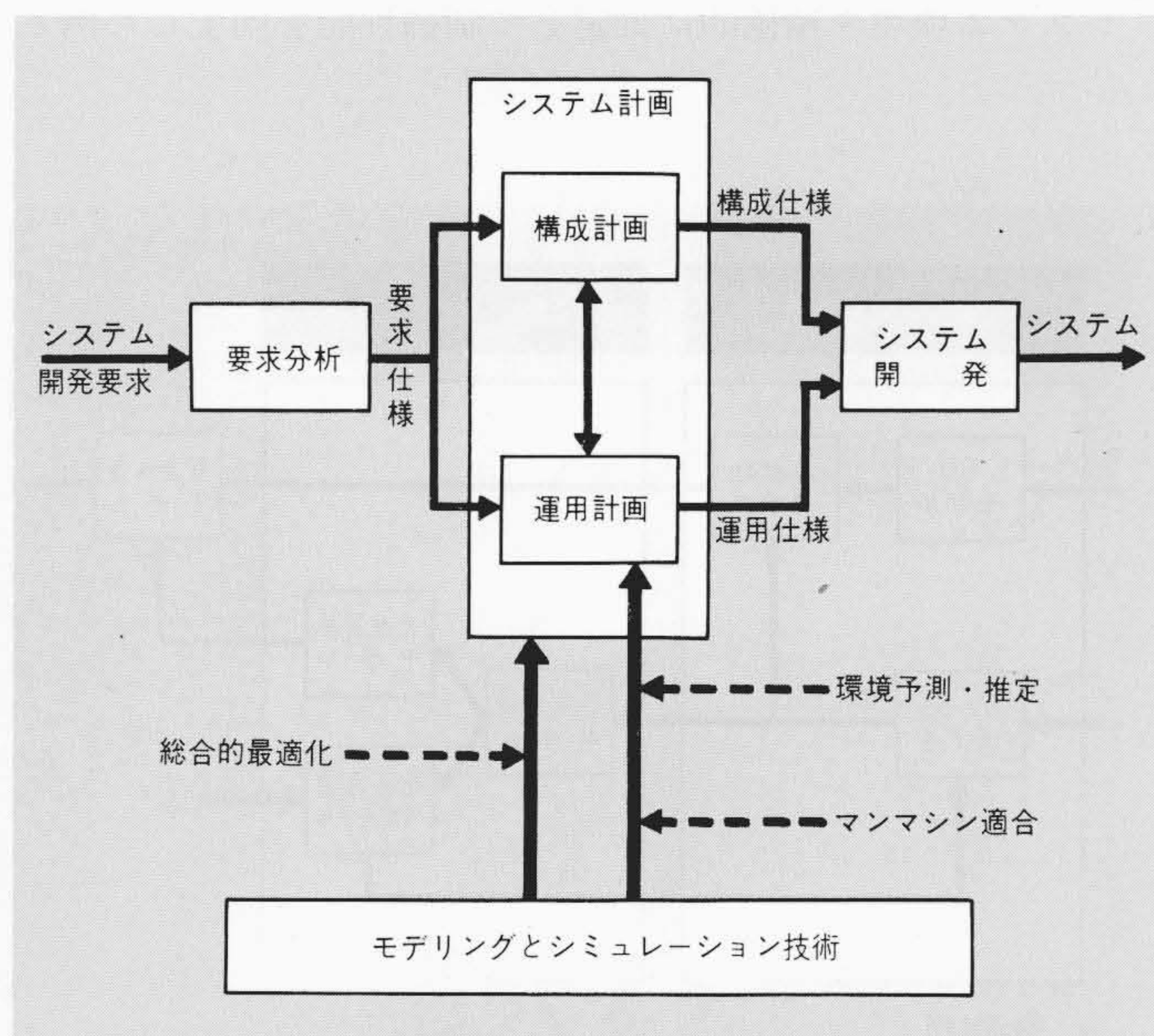


図1 計算機制御システム開発におけるモデリングとシミュレーション技術 計算機制御システムの高度化は、その構築過程にモデリングとシミュレーション技術を活用することを要求している。

* 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開発研究所

*** 日立製作所日立研究所

**** 日立製作所大みか工場

3 モデリング技術の動向

制御用計算機に組み込まれるモデルは、オンライン制御の特色として、時系列情報を扱うものが中心となる。地域的に広がった現象を扱うときには、空間情報のモデルが追加される。時系列情報のモデリングの最近の特徴は、対象プロセスの状況変化や、プロセスの入力や周囲条件の変化を予測し、予測に応じて制御を加えたり、人が判断するためのモデルの要求が増えたことである。更に、計算機の役割として、人の判断業務を支援する機能が増えるに伴い、アプリケーションソフトウェアの構成も、マンマシン上使い勝手の良いものが要求される。

3.1 予測制御

プラントの状況変化を予測し、予測値に応じた制御を施す例としては、(1)蒸気タービンの制御、(2)下水処理プロセスの予測制御、(3)ダム貯留量制御が挙げられる。

(1) 蒸気タービンでのロータ応力予測制御システム

最近の火力発電所は、頻繁に起動・停止を行なうため、蒸気タービンは、安全かつ迅速な起動が要求される。このため、タービンロータの熱応力の予測値を、蒸気状態の外挿計算に基づいて常時算出し、その結果により最適な加速率、負荷変化率を探索する方式を開発している²⁾。

(2) 下水処理プロセスの予測制御

下水処理の計算機制御の課題は、放流水質の改善である。下水処理は、微生物を利用したプロセスであるため、その処理効率は流入汚水量や曝気槽内状態などシステム環境に大きく依存する。したがって、処理効率向上を図るためには、これらシステム環境の予測に基づく制御方式の導入が必要となる。このため、重回帰分析による流入汚水量モデル³⁾をはじめ、図2に示すような下水処理プロセスのモデルを開発するとともに⁴⁾、システム環境の予測値が得られる場合の最適制御方式の開発⁵⁾などを行ない、下水処理の予測制御方式の確立を図った。

(3) ダムの貯留量制御

システム環境を積極的に推定して制御性能を向上した例と

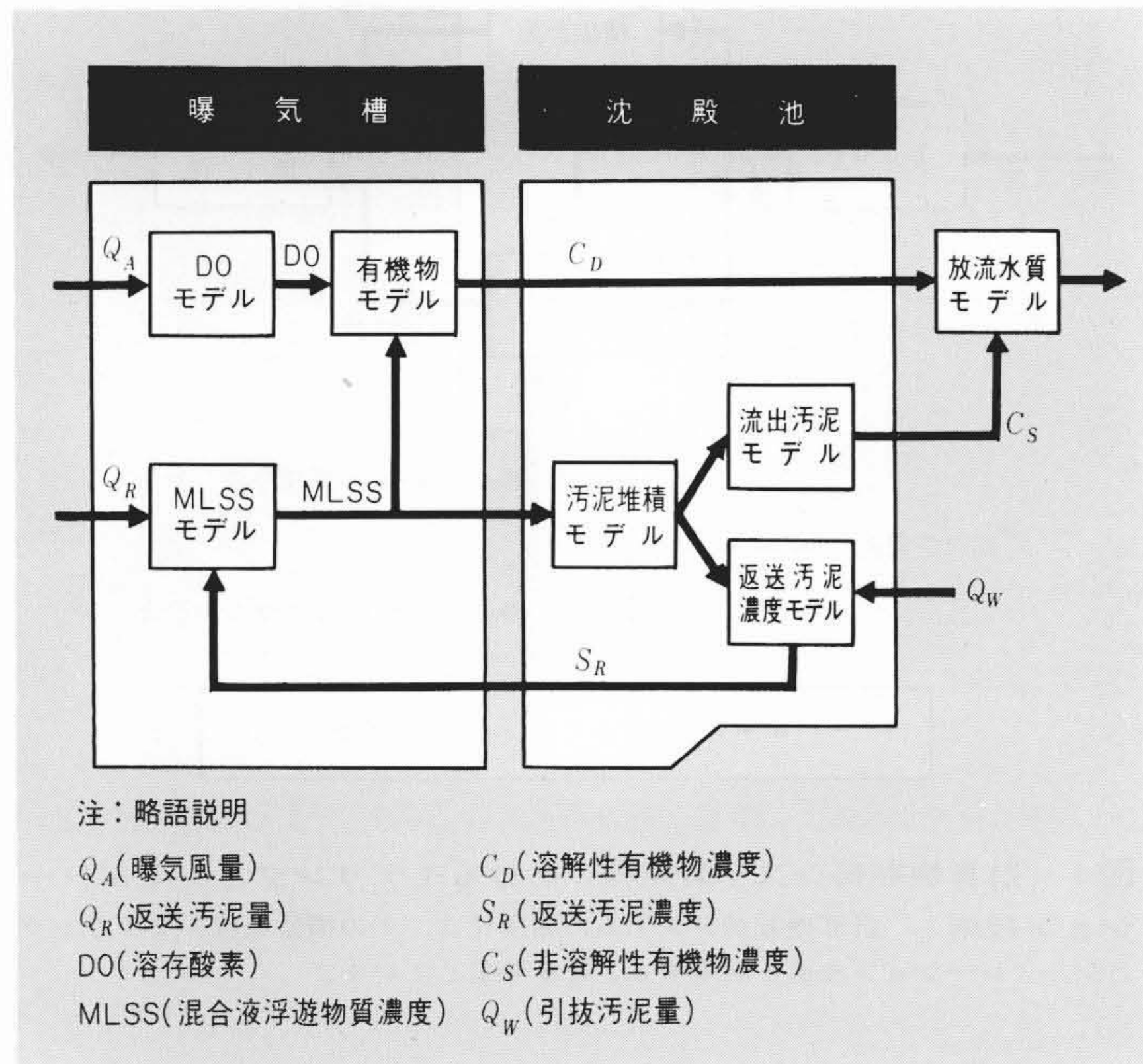


図2 下水処理プロセスの数式モデル 曝気槽と沈殿池のモデルにより、放流水質の予測や運転員に対するガイドが可能となった。

しては、ダムの制御がある。ダムの制御は、従来から、貯水池の水位測定値に基づいてゲートの開閉を行なってきた。ところが、水位測定値には、流入量や放流量の変動に起因する水位振動や、風などによる水位ノイズが含まれる。このため、貯留量の小さい貯水池では、制御が不安定になったり、振動を増幅するおそれがある。対策としては、ダム制御の本来の目的が、貯留量を目標値に保つことであることに立ち戻り、ノイズを含んだ水位測定値から貯留量とともに、流入量をカルマンフィルタにより推定する図3のような方式を考案した⁶⁾。状態(貯留量)推定モデルと環境(流入量)推定モデルとの組合せにより、安定したダム制御が得られている。

3.2 アプリケーションソフトウェアの構成法

多くの運転員が、制御用計算機を利用するような場合には、だれもが自分の経験や運転法に照らしながら、容易に運転上の判断ができるようなソフトウェア構成にしておかなければならない。上水道の運用計画では、計画モデルを階層形構成とすることにより、マンマシン性を良くしている⁷⁾。

制御用計算機により取水場から配水池までの水量配分計画を立て、これに基づいて施設の運用を行なうためのモデルを開発した。この運用計画モデルの開発に当たっては、操作性、柔軟性及び簡易性を考慮し、モデルを需要予測部分と配分計画部分とに分け、更に両者をそれぞれ時空間に階層化し、図4に示すように構成した。

階層の上位は、都市全域の需要予測に基づき、取水や貯水池運用の計画を立てる取水計画モデルである。中位は、全域を幾つかのゾーンに分割し、これらの間での配分を行なうことにより、浄水場群の運用を決定するゾーン間配分モデルである。下位は、浄水場から配水池への送水計画を立てるゾーン内配分モデルである。需要予測は、日配水量を多重回帰式で求め、中位でその量をゾーンごとに空間配分し、更に下位で一時間単位に時間配分する。中位のゾーン間配分モデルでは、グラフ理論による最適化手法により、薬品注入コストと輸送コストの最小化を図り、下位のゾーン内配分モデルでは、基本水系の配分計算用モジュールの組合せ方式により、適正

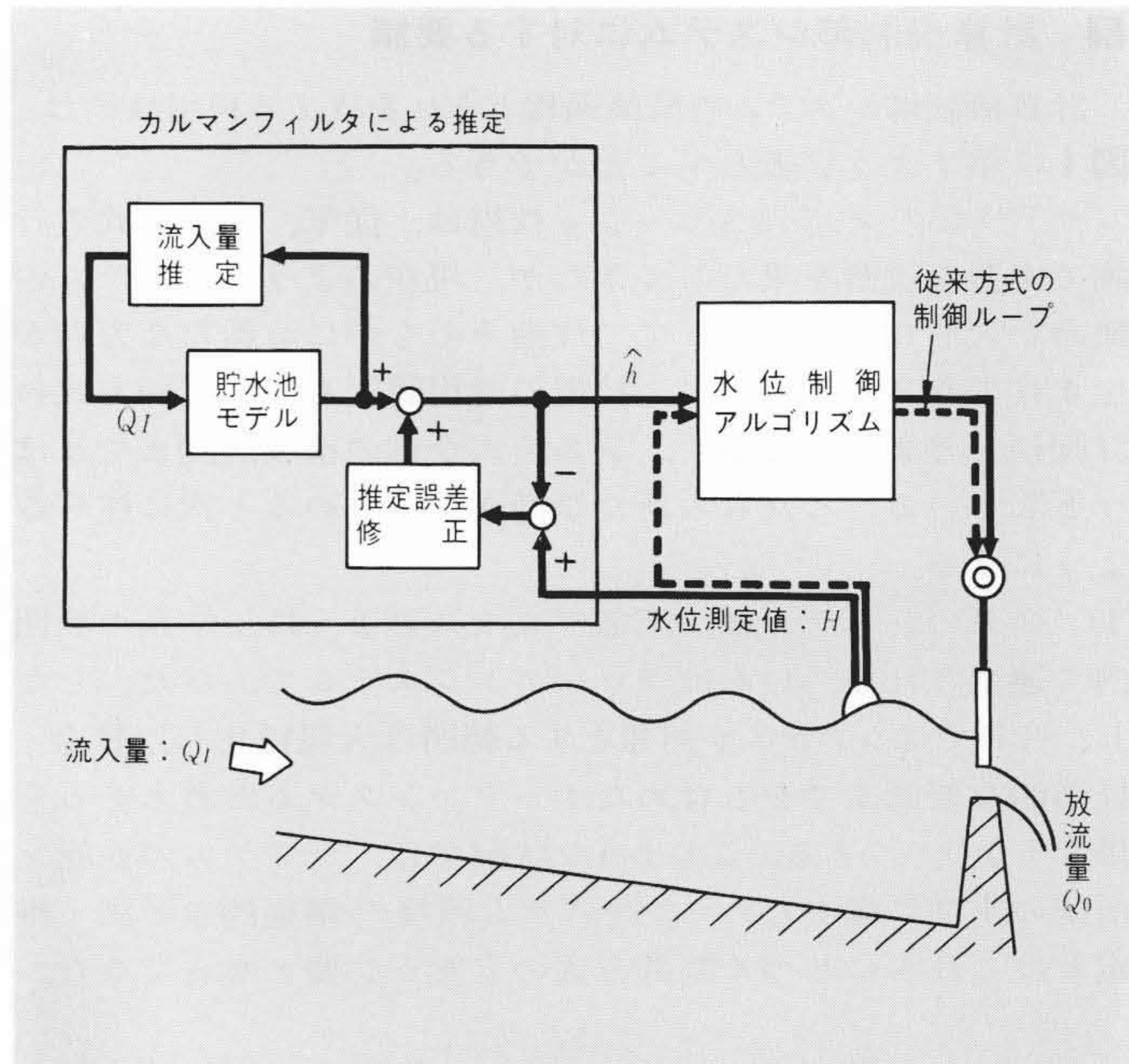


図3 ダム貯留量制御方式の概念図 種々の原因で発生する水位振動の影響を受けない安定なダム制御が可能となった。

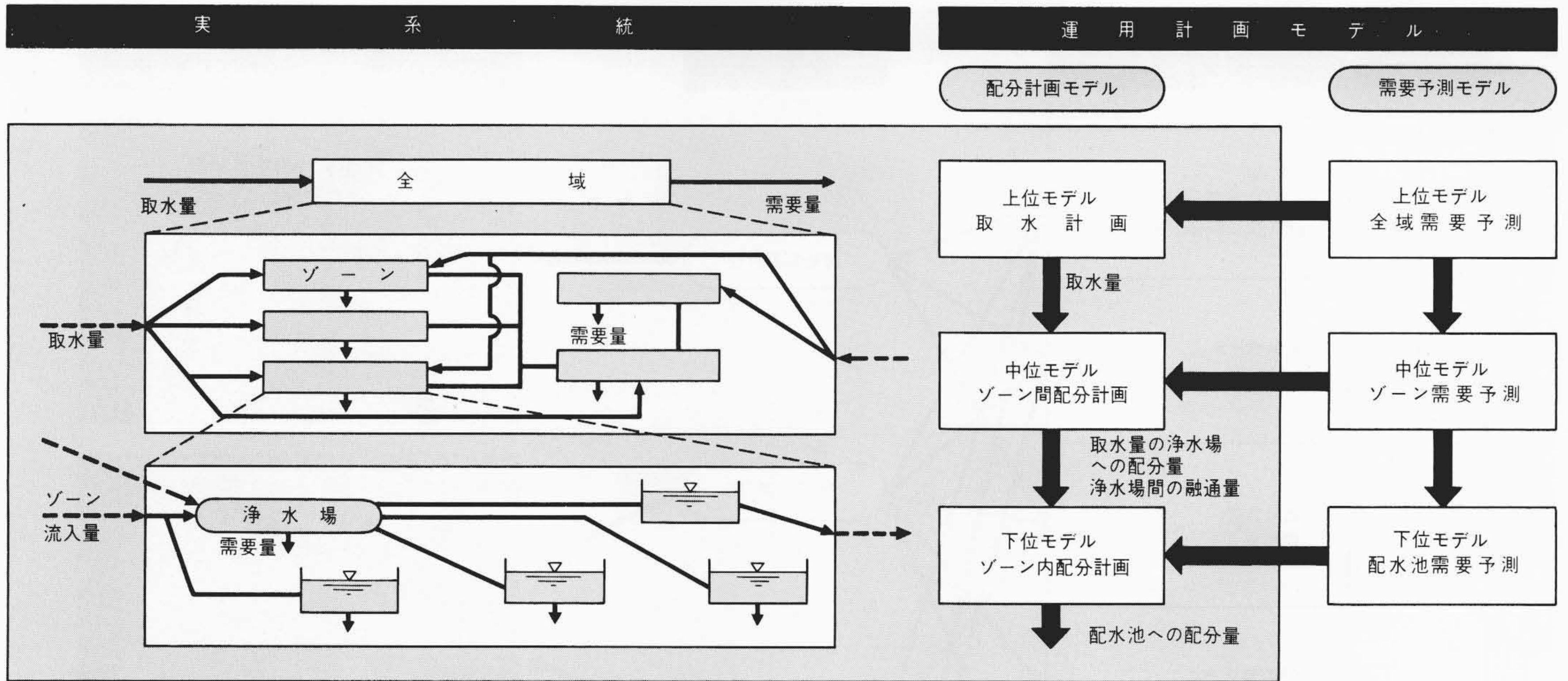


図4 上水道運用計画モデルの階層的構成 運転員はどのレベルへでも介入でき、使い勝手が良いモデル構成となっている。

圧力での配分を可能にしている。

本階層形モデルの特徴は、運転員がどのレベルへでも介入でき、計算値を過去の実績値と交換して計画値とするなど、運転員の使い勝手を良くする努力を払っていることである。

4 シミュレーション技術の動向

計算機制御に関連するシミュレーションの目的は、導入しようとするシステムが、構成と運用面で期待どおりの機能、性能を発揮するかどうかの評価確認、代替方式の定量的比較及びパラメータの最適値の決定を行なうことにある。シミュレーションの形態には次の3種類がある。

(1) 制御方式策定用シミュレーションプログラム

各種の応用分野で制御方式を決めるため、専用のシミュレーションプログラムを開発し活用している。

ビル空調の適正な設備計画や運転制御計画のための有効なツールとして、図5に示すビル空調システムシミュレータTACSS(Total Air-Conditioning System Simulator)を開発した⁸⁾。このうちTACSS-Dは、与えられた空調設備機器の運転状況を動的に表わし、TACSS-Cは居室内の温・湿度を快適に保ちつつ、かつ省エネルギーを目指す最適制御方式の代替案を評価するシミュレータである。

(2) システム構成計画のための会話形シミュレータ

計画策定で、人が判断すればかなり自由度が減るような問題では、計算機との対話を通しての決定が有効である。

TRANSPLAN(Transit Planning System)は、軌道輸送システムのための計画設計サポートシステムである⁹⁾。このシステムは、目的に応じた総合的なシミュレーションを計算機との対話で行ない、設計変数の最適値の決定を可能とす

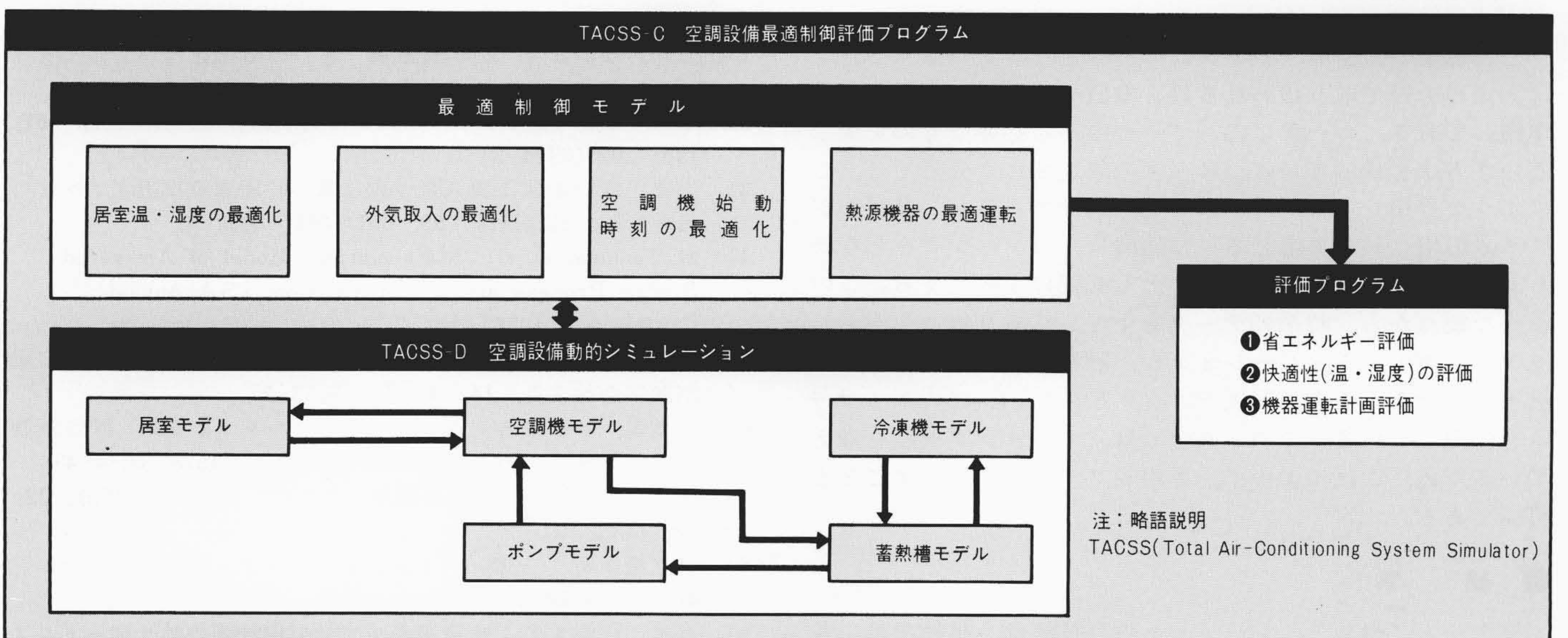


図5 空調設備最適制御評価プログラム 各種の最適制御を行なった場合の効果が評価できる。

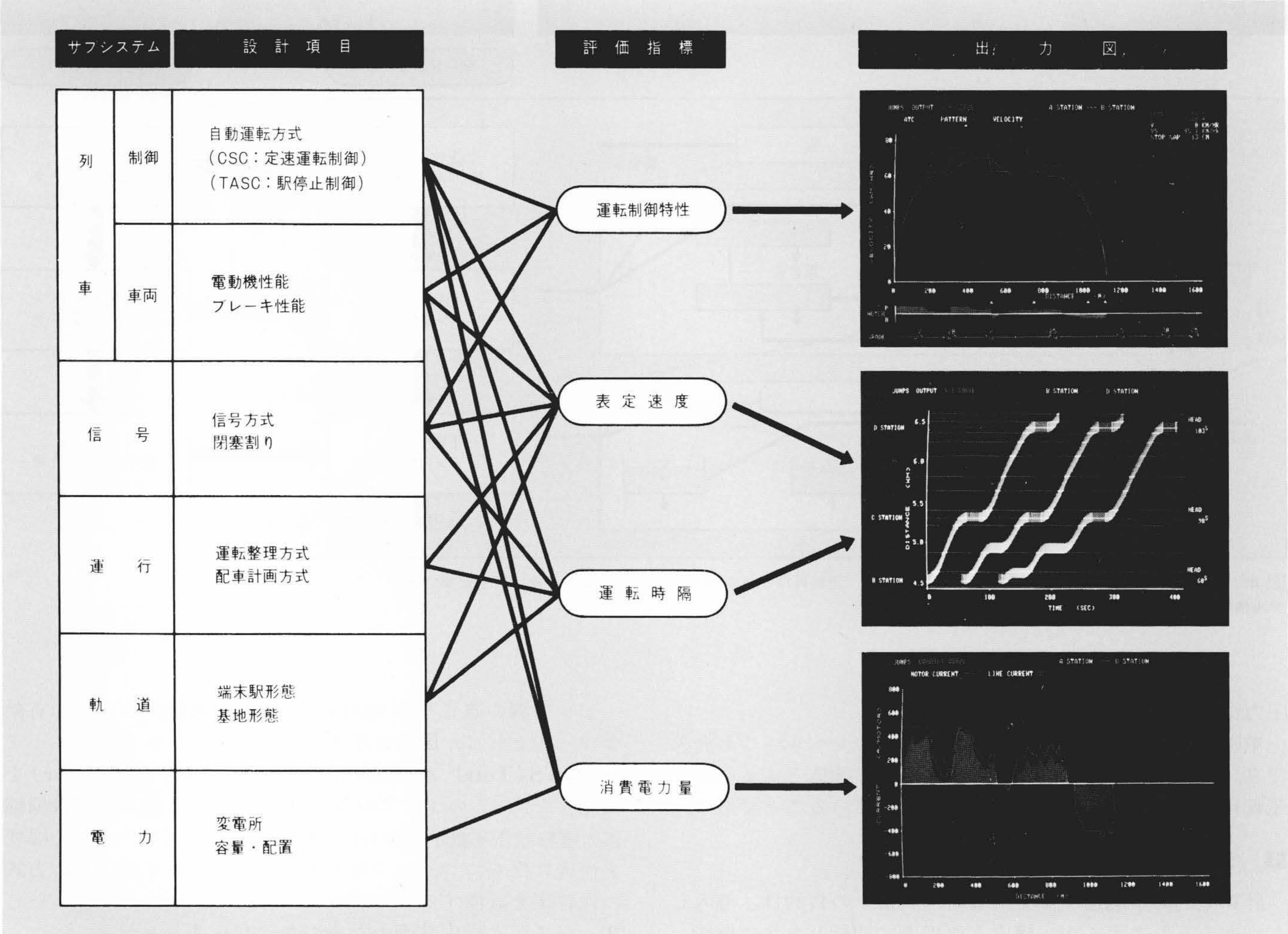


図6 会話形TRANSPLANによる設計のサポート 計算機と対話しながら、最適な軌道輸送システムを設計することができる。

る。シミュレーションの結果は、図6に示すようにカラーディスプレイにより、評価しやすい形で瞬時に表示され、これらにより、最適な軌道輸送システムが短期間に設計できるようになった。

(3) 汎用モデリングとシミュレーションシステム

上述の各種シミュレータは、いずれも対象分野にオリエントした専用シミュレーションシステムとなっている。これらは、その分野で取り扱われる設計変数や制御モデルをすべて準備しておき、ニーズに応じてその中から必要なものを選ぶという方法を採用している。ニーズの限定された分野では、このような専用シミュレータの開発も有効であるが、多様なシステム応用ニーズに応じるには随時に、モデリングをしながらシミュレーションを行なうことも必要になってくる。このような観点から、時系列データを主として取り扱いながら、モデリングとシミュレーションが、計算機との対話のもとで汎用的に行なえる会話形モデリングとシミュレーションシステムを開発している。このシステムは、モデリング機能を備えているため、これによって、専用システムを作り出すことも可能である。

5 結 言

モデリングやシミュレーションの各技法は、単独では、各分野で完成の域へ近づいており、今後は、この論文で述べた

ように、複合化の方向をたどるであろう。これら利用技術の発展は、意思決定支援システムとしてのオンライン計算機の利用と、計算機制御システム構築のため支援システムの開発に、重点が移るものと思われる。

参考文献

- 1) 三巻, ほか3名: 計算機制御における最適化及びシミュレーション技法, 日立評論, 58, 485~490 (昭51-6)
- 2) 本田, ほか4名: 蒸気タービン自動制御装置, 日立評論, 61, 199~202 (昭54-3)
- 3) 加藤, ほか4名: 流入量子測に基づく汚水及び雨水ポンプの最適制御, 日立評論, 59, 661~666 (昭52-8)
- 4) M. Tanuma, et al.: Mathematical Model of Activated Sludge Process and its Application, ISA Annual Conference (1978)
- 5) 田沼: 輸送遅れプロセスを含む系の最適予見制御, 計測自動制御学会論文集, 14, 1, 57 (昭53-2)
- 6) 和歌森, ほか5名: カルマン・フィルタによるダム貯留量制御, 電気学会全国大会論文集, No. 1199, 1578 (昭54-4)
- 7) 松本, 大成: 上水道総合運用システム, システムと制御, 22, 129 (昭53-3)
- 8) 日立製作所: 空調システムシミュレータ, 設備とシステム, 41, 4 (昭52-2)
- 9) 宮本, ほか4名: 軌道輸送システム用計画設計サポートシステム "TRANSPLAN", 日立評論, 60, 751~756 (昭53-10)