

システム計画・制御技法の開発

Recent Advances of Systems Planning and Control Methodology

システム計画・制御技法は、社会の要請の変遷に応じて、制御用計算機技術とともに発展拡大してきている。最近の特徴的傾向は、システム化範囲の拡大要求に応じるための(1)制御末端レベルを高機能化し、制御の中枢部の負荷軽減に貢献する知的制御技法と、(2)数百個にも及ぶシステム変数を統括し、全体の最適化を図る大規模システム制御技法、及び多様化するシステム化要求に迅速に応じるための(3)計算機支援形計画技法の開発である。

本論文では、日立製作所が最近開発した諸技法を、電力、利水、ビル空調での事例を交えながら述べ、これらの特徴的傾向について概説する。

船橋誠壽* *Motohisa Funabashi*
 大成幹彦** *Mikihiko Ônari*
 佐藤美雄*** *Yoshio Satô*
 田沼正也**** *Masaya Tanuma*

1 緒言

産業・社会活動での生産性や安全性の向上を目指すシステム制御は、制御用計算機技術の著しい進歩に伴って、現在あらゆる分野に浸透しつつある。システム制御の成功の鍵を握るのは、システムの計画段階を支援したり、システムの運用・制御の方策を提供するシステム計画・制御技法である。

1950年代に誕生したこの技法は、各時代の要請の変化に応じながら発展拡大してきた。日立製作所でも、数々のシステム制御を制御用計算機のユーザーと一体となって実現し、この技法の発展の一翼を担ってきている。この論文では、最近の技法開発の動向を、幾つかの具体的事例を交えながら展望する。

2 最近のシステム計画・制御技法の特徴的傾向

システム計画・制御技法は、計算機技術の進歩を背景として、社会的要請に応じるために発展拡大してきている。これらに関連づけると図1のように表わされる。

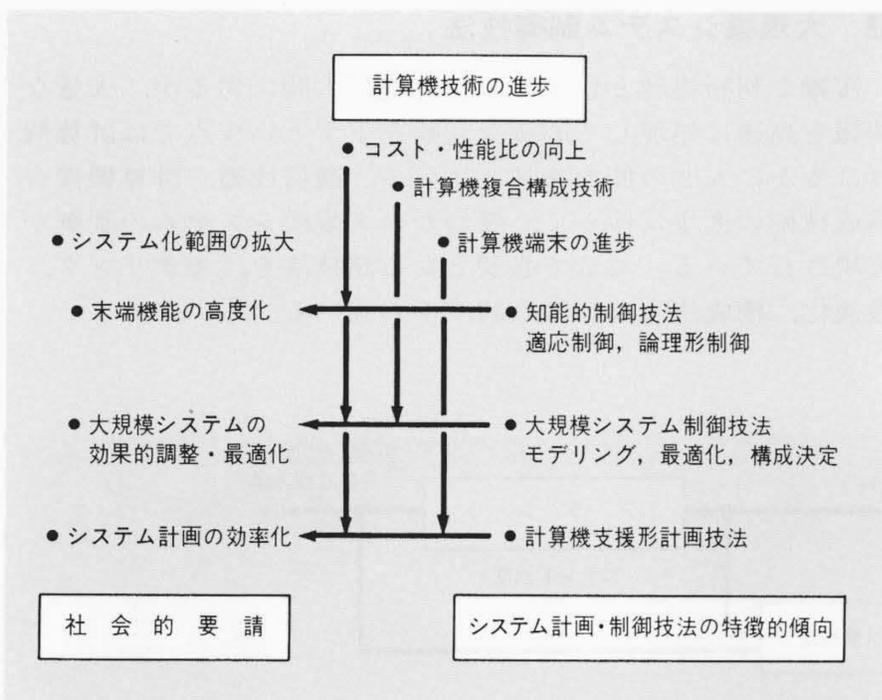


図1 システム計画・制御技法の特徴的傾向 システム化範囲の拡大、システム計画の効率化といった社会的要請にこたえるために、計算機技術の進歩を背景とした新たな技法を開発している。

最近の社会的要請は、以下に述べるようなシステム化範囲の拡大と、システム計画の効率化・迅速化にまとめられる。

システム化による産業・社会活動の効率化は既に各分野で進められている^{1,2)}が、経済成長の量から質への転換が望まれている現在では、従来よりもはるかに増して、広範囲なシステム化をしなければならない。この範囲拡大は、単なる量の拡大だけではなく、省エネルギー、資源有効活用など質的拡大も意味していることは言うまでもない。一方、物的生産性が向上するに従って、知的活動の生産性向上が重要視されつつある。多様化するシステム化要求に、迅速かつ効率的に応じることも必要となってきた。

このような社会的要請にこたえるために、技法開発に関しては、次の三つの特徴的傾向が見られる。

システム化範囲の拡大要求に応じるには、まず、制御末端、すなわちコントローラレベルでの高機能化を図り、制御中枢部の負担を軽減する必要がある。このために、人間の持つ高度な判断・処理能力に範を置く知的制御技法が、計算機のコスト・性能化の向上を背景として開発されつつあるのが第一の特徴である。このように、末端機能は高度化されつつあるが、範囲拡大の要請に応じるには、これらを統合する制御中枢部の能力拡大も併行して進めなければならない。このために、数百個に及ぶ変数を持つシステムの統合・調整を目指す大規模システム制御技法が、計算機複合構成技術などを背景として開発されつつあるのが第二の特徴である。

一方、計算機の対話的利用技術の進歩にも目覚ましいものがある。これらの進歩を踏まえて、計算機を用いてシステム計画の効率化、迅速化を図ろうとするのが、第三の特徴である。

次章以下では、これらの技法開発での三つの特徴的傾向について詳述する。

3 知的制御技法

制御の末端機能を、人間の持つ高度な判断・処理能力に範を置いて知能化する方法には二つある。一つは、人間の持つ環境変化への適応能力を計算機に付与する適応制御である。他の一つは、人間が経験を通して獲得した知識そのものを、計算機に埋め込む論理形制御である。各々の具体的な方法について次に述べる。

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所日立研究所
 **** 日立製作所日立研究所 工学博士

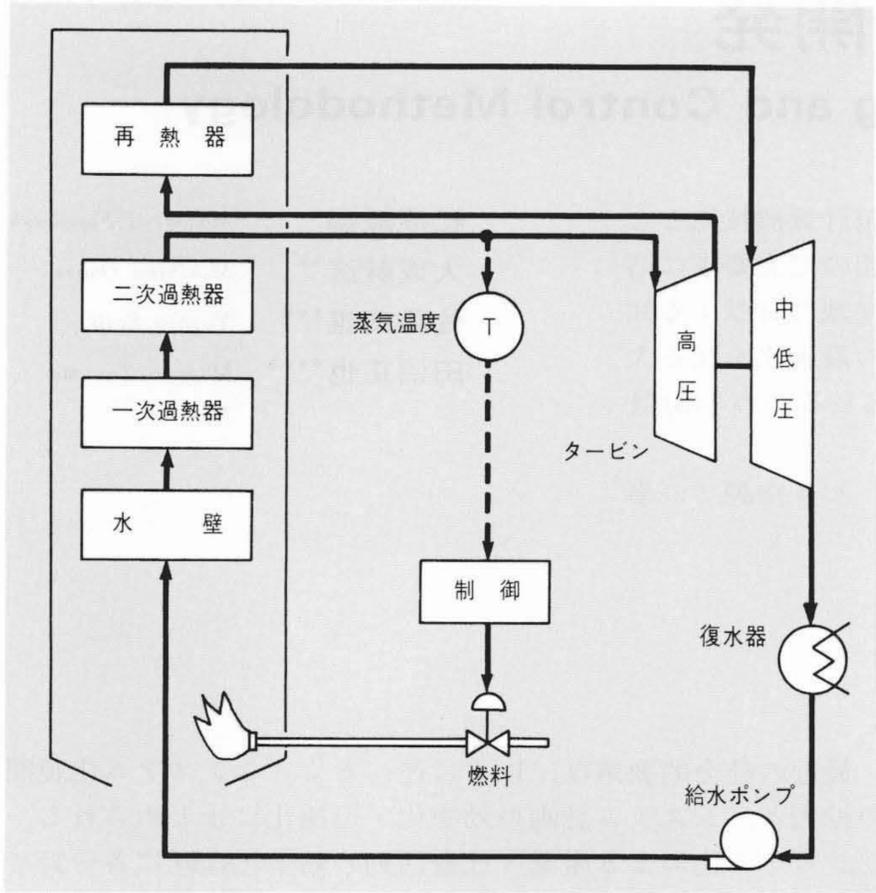


図2 火力発電プラントでの燃料指令系統 燃料指令系統の主蒸気温度の制御性を良くすることにより、起動特性、負荷追従性が高まる。

3.1 適応制御

あるシステムを人間が制御する場合、どのような入力を与えれば、どのような出力が得られるかというシステム特性を、人間は経験的に会得し、しだいに性能の良い制御ができるようになってゆく。システム特性の会得に当たって、なんらかの規範となるモデルがあると学習期間は著しく短くて済む。同様に、システム特性のモデルを計算機に与えるとともに、このモデルを制御の時点(オンライン)で逐次修正するような機能を付加することによって、高性能な制御を行なうのが適応制御である。

電力の中間負荷を受け持つ火力発電プラントへの適応制御の適用例³⁾について述べる。中間負荷に対応するためには、起動特性、負荷追従性の良い制御方式が望まれている。燃料指令系統に適応制御の概念を導入することにより、主蒸気温度の制御性を良くして目標を達成することができた。

燃料指令系統は図2のように表わされる。燃料投入操作により、主蒸気温度を速やかにかつ安定に作動させなければならないが、ボイラ管路の熱伝達率が流量、温度によって複雑

に変化するなどの問題があり、従来の制御方法では実現困難であった。このため、図3に示すように、熱伝達率を実測値に基づいて修正し、この結果を操作量決定に反映させるという方法でこの問題を解決した。

適応制御の概念は新しいものではないが、年々、計算機性能が向上するとともに、オンラインでのモデル作成技法が進歩したことから、電力以外にも様々な分野に適用されつつある^{4),5)}。

3.2 論理形制御

経験豊かな運転員のノウハウを計算機に埋め込む論理形制御について述べる。このためには、まず彼らの運転ノウハウを表現する必要があるが、これらは、例えば次のような命題論理の集まりによって表わすことができる。

命題1: if 偏差が正 and 偏差傾向が正, then 操作量は大きな正

命題2: if 偏差が正 and 偏差傾向が負, then 操作量は小さな正

.....

これらは、運転員が経験から獲得した運転ノウハウの断片である。もし、これらの断片的な知識を統合することができれば、経験豊かな運転員と同水準の制御が実現できる可能性がある。

この統合に当たっては、二つの課題を解決しなければならない。一つは「偏差が正」というようなあいまいな表現と実現象との対応づけであり、他の一つは個々の命題、あるいは命題間にまたがって推論した結果のもつ不確かさの評価方法である。

これらの課題を解決するために、確率の概念を拡張したあいまい(Fuzzy)理論を導入し、ポンプ運転、列車自動運転などでその有用性を調べた。図4は、命題群によるポンプ運転指令とオペレータによる実際の指令との比較を表わしている⁶⁾。両者はほとんど合致しており、計算機が複雑な組合せ決定の問題をオペレータと同水準で解決できるようになっていることが分かる。一方、列車自動運転への適用検討からは、従来のPID(比例・積分・微分)制御よりも乗り心地の良い運転ができることが分かっている⁷⁾。

4 大規模システム制御技法

複雑な判断処理という面で計算機は人間に劣るが、大量な情報を高速に処理して的確な判断を下すという点では計算機ははるかに人間の能力を超えている。通信技術、計算機複合構成技術の進歩に伴って、幾つかの大規模システムの制御が実現されている。ここで必要となる諸技法を、モデリング、最適化、構成決定といった観点から述べる。

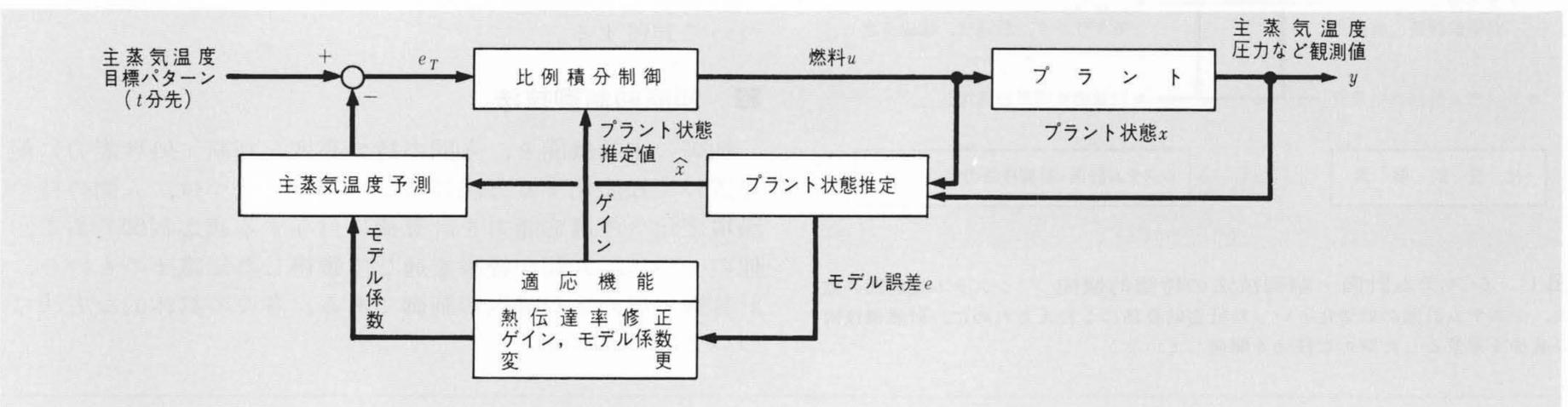


図3 燃料指令系統での適応制御方式 複雑な変化をする熱伝達率を適応修正することによって、制御性能を高めている。

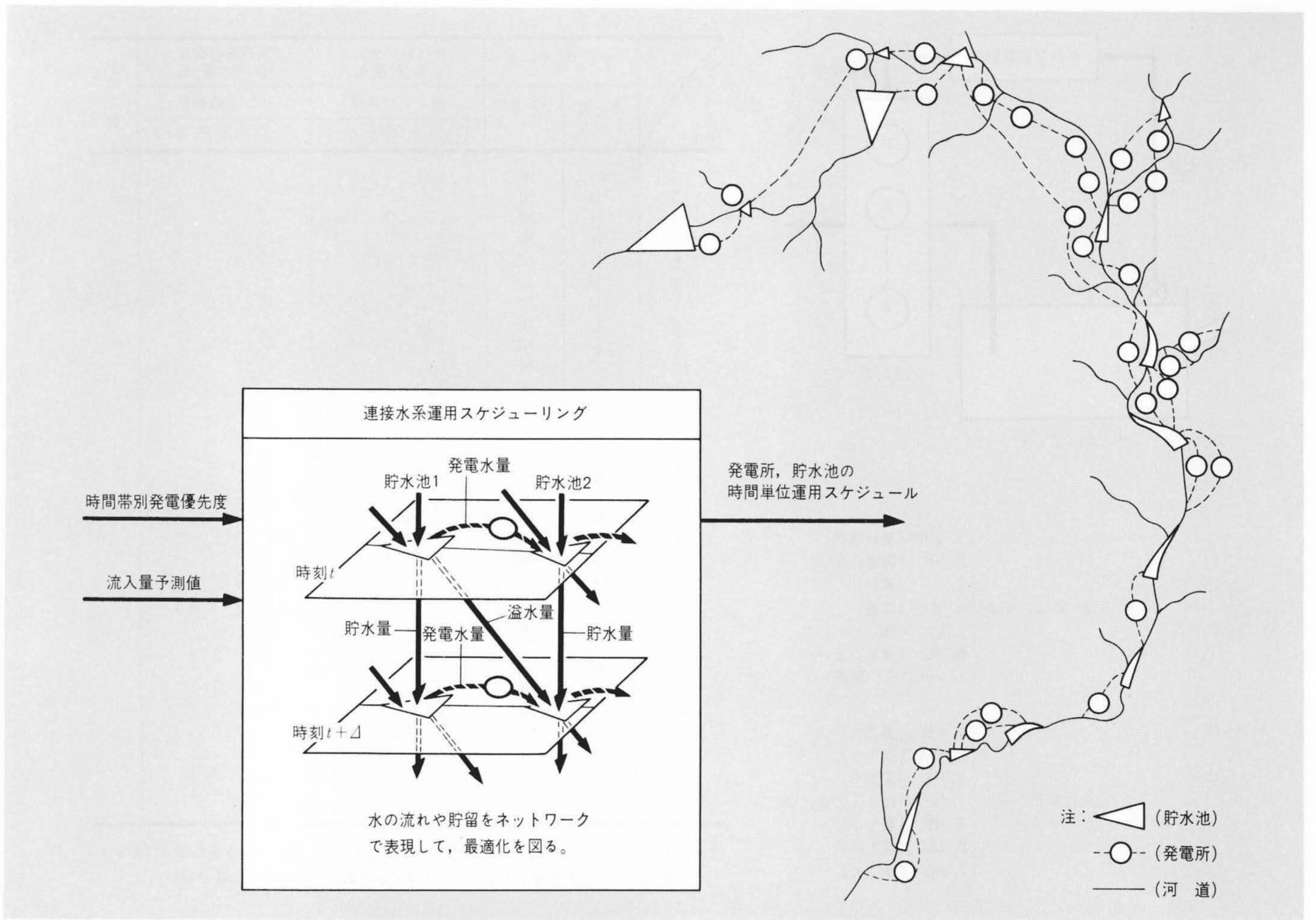


図5 ネットワーク計画法を用いた大規模な接続水系運用スケジューリング 水の動きをネットワークで表現し、溢水を起こさず、発電を高めるような運用スケジュールをネットワーク計画法により求める。

あるためNPが直接的に適用できるが、産業用ユーティリティのように、熱プロセスが複雑に結合されたシステムの最適化では、熱媒、熱量などと多品種の流れを同時に扱わねばならず、通常のNPは適用できない。このため、多品種の流れを効率よく同時に最適化する技法を、ソーラー(太陽熱)利用システムを具体事例として開発している¹⁰⁾。

一方、システム範囲が拡大すると、制御の指標は単一ではなくなり、複数個の指標を満足できる水準内に収めるという考え方も重要となってくる。空調システムでは、居住者の快適性を維持しながら省エネルギーを達成することが必要である。快適性と省エネルギーのいずれかを制約条件と考えれば、従来の最適化技法が適用できるが、ビル管理者は、状況に応じて制御指標の優先順位を変更したくなる。このような要求にこたえるために、図6に示すように二つの指標に関して劣った値を出さないような操作量の集まりを算出提示して、空調システム運転を合理化するという方法を開発した¹¹⁾。

システムの範囲が、単なるハードウェアだけではなく、人間にかかわる要素を含むにつれて、このような多面的な指標に基づく判断、制御が必要となってくる。特に、生産管理システムでは、組合せ的な最適化を必要とするために人間の判断を積極的に利用したほうが好ましい結果が得られるということとあいまって、人間と計算機とが一体となった形で最適な決定を下すような構成がとられる¹²⁾。

4.3 構成決定

システム化の範囲を拡大すると、この中には建設中のもの、

補修中のもの、撤去予定のものなどを含めざるを得なくなる。大規模なシステムの制御では、対象構造がこのように常に変化していることを前提として制御系を構成しなければならない。

この一つのアプローチとして、図7に示すように制御系を複数個の対等な部分系に分割し、各部分系に自律的な機能を持たせることによって、大規模性に起因するシステムの硬直化を回避するという自律分散構成法を開発した¹³⁾。このような制御系の構成は、信頼性確保のためのバックアップ系を小規模化し、費用を低減するという面でも意義は大きい¹⁴⁾。

制御系を対等な部分系に分割すると、部分系相互の干渉の吸収、全体として合目的的に動作させるための統合といった問題が発生する。利水システムでは、各部分系に適応制御機能を持たせることによって、鉄道システムでは、各部分系の制御指標に人工的な調整変数を導入することによってこれらの問題を解決した^{15,16)}。

5 計算機支援形計画技法

システムの計画に当たっては、図8に示すように、

- (1) 対象としているシステムがどのような要素から成り立ち、それらが解決すべき課題といかに関連しているかを明らかにする構造化
- (2) 構造化の結果に基づいて、対象の数式モデルを作成し、具体的な制御の方法を求める制御方式計画を行なわなければならない。大形汎用計算機を対話的に利用して、これらを実行する計画技法を開発した。

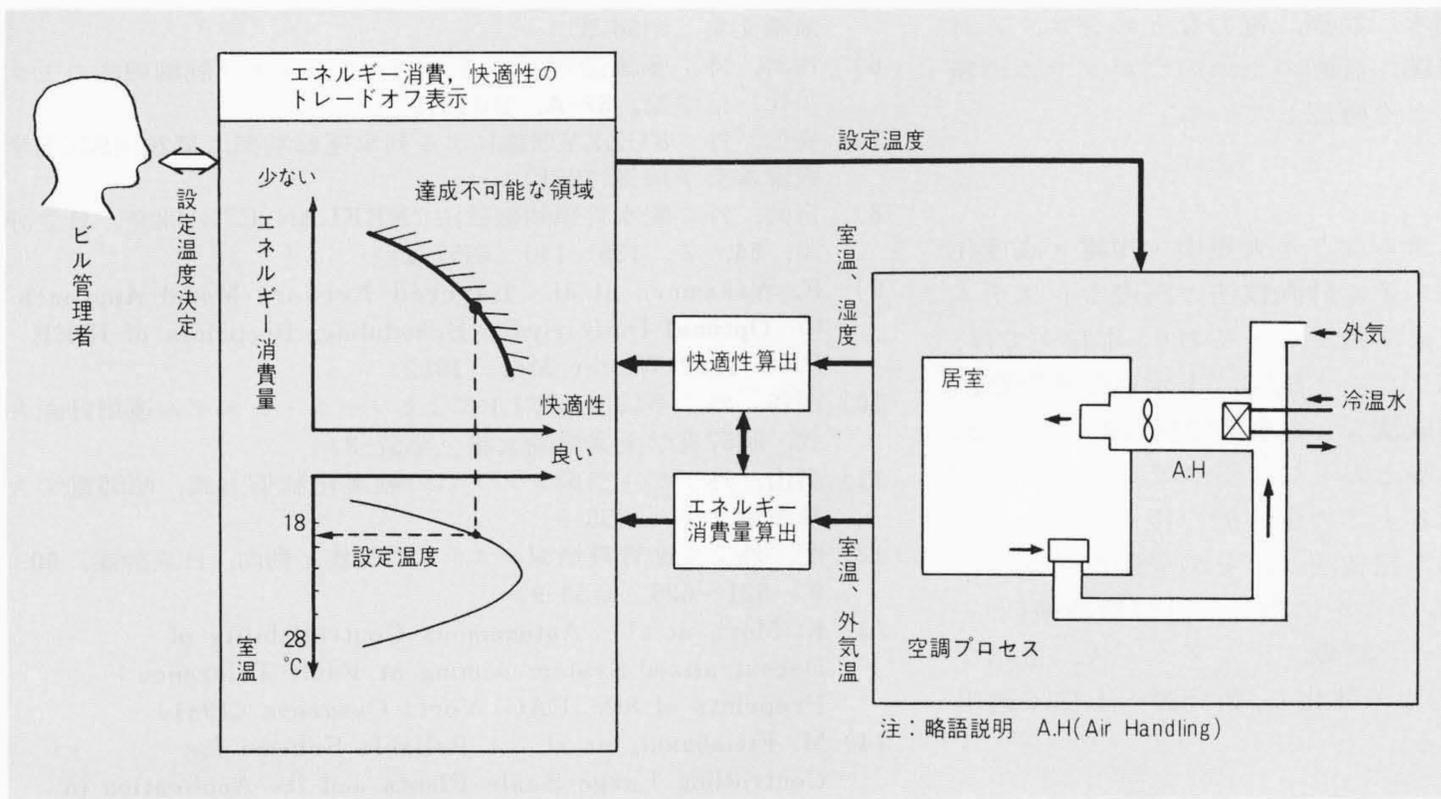


図6 エネルギー消費, 快適性を考慮したビル空調制御 二つの指標がこれ以上改善できない領域を表示して, 管理者の判断を仰ぐ。

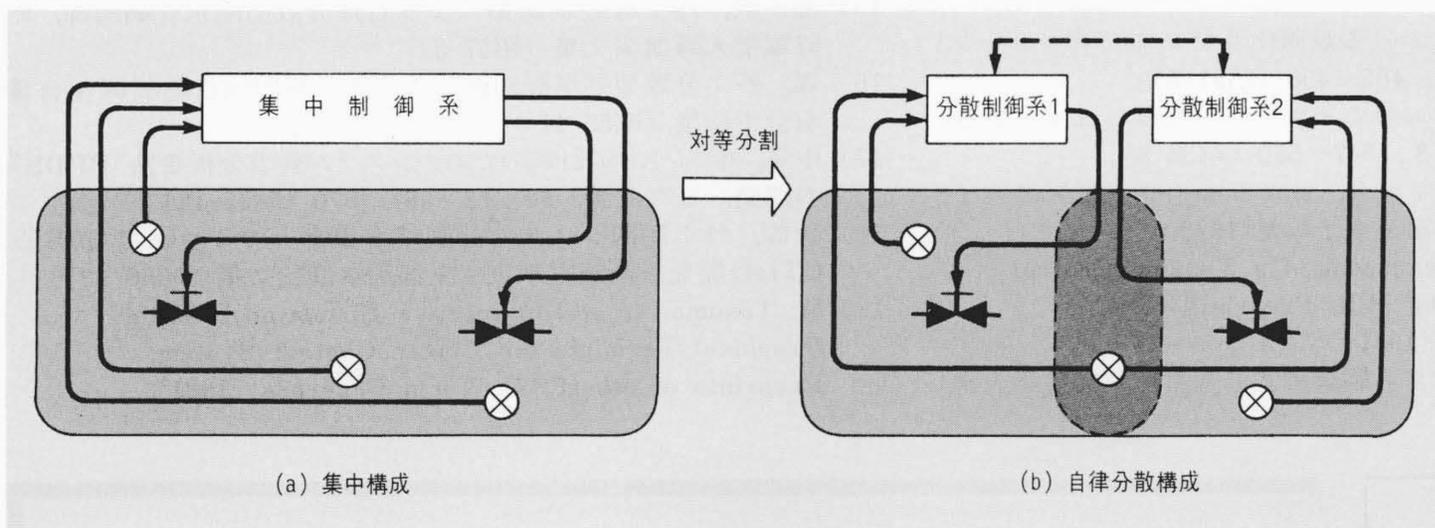


図7 自律分散システム構成 システムを対等分割することによって柔軟性を高めるとともに, 信頼性を上げやすくする。

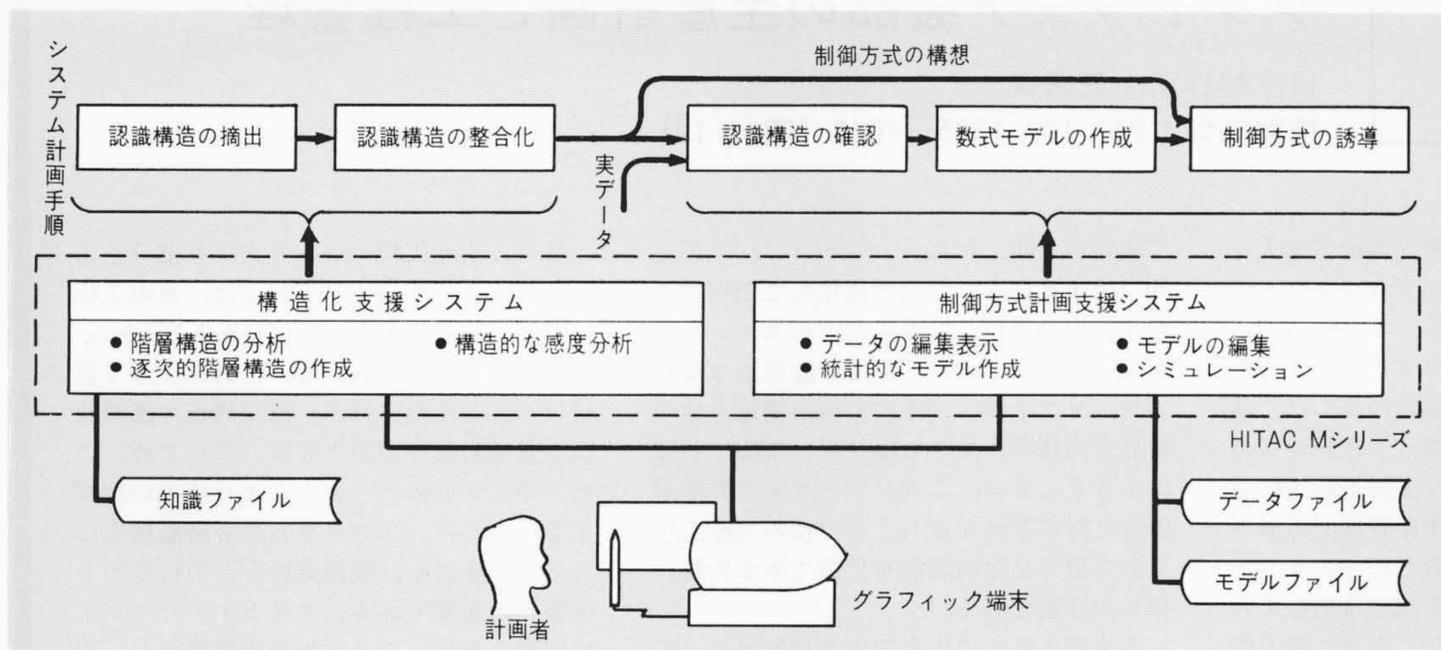


図8 システム計画手順と支援プログラムシステム システム計画が手順化され, 汎用的な支援プログラム群が完備されている。

構造化では, 対象システムについての個々人の認識構造を抽出し, これを整合化することが中心となる。システムの規模が小さければKJ(Kawakita Jirou)法によって実行することもできるが, 現実のシステムでは, KJ法のような手作業では間に合わなくなる。このために, グラフ理論や数量化理論での諸技法を計算機に行なわせることにより, 認識構造の抽出, 整合化を支援するプログラムシステムを開発した¹⁷⁾。

制御方式の計画に当たっては, 構造化で得られた主観的な

認識の実データによる確認, 数式モデルの作成, シミュレーションを用いた制御方式の誘導が必要である。このために, この過程で発生するデータのファイリング, 編集, 表示を簡単に指示できるような言語処理機能, 統計的な手法による静的・動的モデルの作成機能, ブロック線図の形でのモデルの図形的入力・編集機能及び制御理論的なシステム特性分析機能並びにタブロー法による静的・動的モデルのシミュレーション機能を兼ね備えたプログラムシステムを開発している^{18,19)}。

これまでに、これらを利水、鉄鋼、電力などのシステム計画に適用し、計画期間の短縮、計画のためのプログラムの新規開発量の削減に有効なことを確認している。

6 結 言

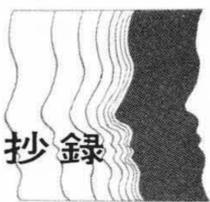
産業システムや社会システムなどが大規模・複雑・高度化するに伴い、効率の良いシステム計画技法と高度なシステム制御技法へのニーズがますます強くなっており、本論文では、これらの技法を、火力発電プラント制御、上水道配水制御、連接水系制御、自律分散構成法などの事例で具体的に述べた。

今後、計算機の急速な進歩とともに、システム計画・制御技法は、超工業化社会へ至る上での中心的な役割を果たすと思われる。この論文で述べた諸技法は、その先駆けであり、これらの技法が、従来よりもはるかに増して計算機技術(ハードウェアの高度化と、パターン認識、データベース、言語などのソフトウェアの高度化)と一体化し、新分野へも広く適用されてゆくものと考えられる。

参考文献

- 1) 三巻, 外: 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, 6, 485~490 (昭51-6)
- 2) 大成, 外: 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, 日立評論, 61, 8, 547~550 (昭54-8)
- 3) 佐藤, 外: カルマン・フィルタによるボイラー蒸気温度予測制御; 第18回SICE学術講演会予稿集(1979)
- 4) S. Tanifuji, et al.: Development of a Tension Control System for Hot Finishing Mill, Preprints of 8th IFAC World Congress (1981)
- 5) 増位, 外: 目標値生成型ダム制御方式の提案, 昭56電学大講演論文集(昭56-3)
- 6) 古河, 外: 多値論理による人間のオン・オフ制御機能のモデル化, 信学論, 62-A, 10(1979)
- 7) 安信, 外: FUZZY理論による列車運転制御, 第20回SICE学術講演会予稿集(1981)
- 8) 宮岡, 外: 配水管網制御技法“NEFLAN-C”の開発, 日立評論, 64, 2, 135~140 (昭57-2)
- 9) F. Wakamori, et al.: Layered Network Model Approach to Optimal Daily Hydro Scheduling, Preprints of IEEE PES 1982 Winter Mtg. (1982)
- 10) 西谷, 外: 多段決定型LPによるソーラ・システム運用計画方式, 昭57電学大講演論文集(昭57-3)
- 11) 畠山, 外: ビル空調システムの最適化制御方式, 昭55電学大講演論文集(昭55-3)
- 12) 関, 外: 生産管理情報システムの現状と動向, 日立評論, 60, 9, 621~626 (昭53-9)
- 13) K. Mori, et al.: Autonomous Controllability of Decentralized System Aiming at Fault-Tolerance: Preprints of 8th IFAC World Congress (1981)
- 14) M. Funabashi, et al.: A Reliable Scheme for Controlling Large Scale Plants and Its Application to Multiple Reservoir Operation, ibid
- 15) 瀬古沢, 外: 適応制御器による自律分散型配水管網制御, 昭57電学大講演論文集(昭57-3)
- 16) 森, 外: 分散型列車群制御システム, 第23回自動制御連合講演会予稿集(昭55-11)
- 17) 中尾, 外: システム計画のためのシステム要求分析手法“PPDS”の開発, 日立評論, 62, 12, 867~870 (昭55-12)
- 18) 船橋, 外: 制御システム計画用会話形ソフトウェアCASE-CTLの開発, 昭56電学東京支部大講演論文集(昭56-12)
- 19) M. Tanuma, et al.: Interactive Simulator Using a Graphical Terminal for Linear Control System, Preprints of 8th IFAC World Congress (1981)

論文抄録



ソフトウェア製品の生産計画と工程管理

日立製作所 芝田寛二

情報処理 21-10, 1035~1042 (昭55-10)

ソフトウェア生産の急激な規模の拡大と複雑・高度化の進展に伴いプロジェクト管理の重要性もいっそう高まっている。事実、ソフトウェア生産上のトラブルに関する内外の調査結果でも、その原因の多くは、純生産技術的要因よりも工数、工程両面にわたる過少見積りや、適切な実態把握手段をもたなかったことなど、生産管理面の弱さに起因していることが報告されている。

もちろん、これら管理手法を確立していくためには、その前提として作業の個人能力への依存度が高く、かつ不可視的なソフトウェア生産作業そのものを、より明確に標準化し、規格化しておくことが必要である。

その前提に立って、まず少しでも精度の高い生産計画を策定するためには、ソフトウェア生産にとっても、工数及び工期に関する標準値の設定が不可欠であり、十分な実績の収集分析に基づき、定期的に更新しながら精度を高めていくことが必要である。

実際の生産工程に入ってから、不可視的な生産過程をいかに可視化して把握するかが、ソフトウェア生産管理のポイントである。このためには、構造設計技法などにより、ソフトウェアそのものの構造を他の製品と同様に、できる限り早い工程で明確化するとともに、このソフトウェアの階層構造に対応させながら、その後の生産工程での工程と品質の状況を把握できる仕掛け作りが必要である。

各中間工程での生産管理の対象物は、前半の計画・設計工程と後半のテスト・デバッグ工程とはかなり異なり、これに伴って管理方式も異なってくる。

計画・設計工程では、そこで作成される各種の仕様書類が、唯一の中間成果物として管理の対象となる。この品質と出来上がり状況を着実にフォローしていくためには、検査部署などの第三者が介入することで、管理精度を飛躍的に向上させることができる。

また、生産工程のかなり大きな部分を占めるテスト・デバッグ工程では、その工程の目的が品質の向上と確認にあることから、テスト項目の確認状況と、それによって見付けられる不良の摘出、及び修正・確認状況が管理対象の中心となる。このため、これらのすべてのデータを、より詳細に把握するとともに、プログラムの各階層構造に対応して集計し、要因分析などの行なえる仕組みが必要である。テスト・デバッグ工程管理の要は、これらの分析結果から、少しでも早い時点で全体の品質向上度合を把握して、早期対策に結び付けていくことである。

また、ソフトウェアの生産管理にとっては、原価、工程及び品質の3要素間の相互関連が特に強いことから、これらの管理データを有機的に結合して、よりタイムリーに分析活用できる総合生産管理システムの必要性が特に高いことも特徴である。