計算機制御における最適化及びシミュレーション技法

The Optimization and Simulation Techniques for Computer Control Systems

制御用計算機の応用分野で実用化されている、最適化とシミュレーション技法について概説する。最適化技法としてはシステムを連続システム、離散的システムに分類し、前者は電力、上・下水道システムの動的最適化や化学における探索による最適化、後者は生産・物流システムにおけるスケジューリング理論、ヒューリスティック(発見的)な最適化手法まで、多岐にわたるものが使用されている。シミュレーション技法は、モデリングの分類を行ない、電力、上・下水道、環境システムにおける予測モデル、圧延機、下水、火力プラントにおける先行制御のためのフィードフォワード モデル、モデルの誤差を修正する適応モデル、オペレータがシステムの運用時に使用するマン マシン モデルに分けて説明した。他に、制御用計算機に組み込まないが、制御用計算機の応答性を評価するシミュレータや、応用プログラムのチェックに用いるシミュレータにも触れる。

三巻達夫* Mitsumaki Tatsuo

Mitsumori Sadamichi

中野善之** Nakano Yoshiuki

宅間 豊*** Takuma Yutaka

三森定道*

1 緒 言

計算機制御の歴史は、1958年にTEXACOがPort Arther 製油所で制御ループに制御用計算機を導入したことに始まる。以来約18年、当初の管理制御〔SCC(Supervisory Computer Control)〕から計算機の高信頼化に伴い、直接制御〔DDC(Direct Digital Control)〕へ、またより大規模なトータルシステムへと発展してきている。更に、適用分野も連続システムの制御を中心とする化学プラントから、離散的システムを含む生産・物流などのシステム制御分野に広がりつつある。日立製作所は、これらの分野での制御用計算機の高度な利用技術を開発してきた。

本稿は、これらの計算機制御における最適化技法、モデリング及びシミュレーション技法を分類して、その内容を説明する。ただし、本稿では制御用計算機の応用の中でも直接制御的なもの(DDCとして比較的簡単なPID制御から、発電所などの大規模な自動シーケンス制御など)は除くことにする。

2 最適化技法とモデリング及びシミュレーション技法

2.1 最適化技法

システムの運用管理では、運転基準とも言うべき何らかの人間の判断基準があり、したがって、これを自動化する場合、必然的に最大/最小にすべき目的関数を導入する最適化という概念が必要となる。この最適化問題は、対象としている制御が操作量の大きさを決める(静的、又は動的いずれの意味でも)最適制御論的な問題と、投入順序を決める組合せ論的な問題とに分けられる。前者は連続システム(Continuous System)と呼ばれるもので、システムの特性が、状態ベクトル x、コントロール ベクトル uに対し、

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu \cdots (1)$$

の形で記述される、いわゆる制御問題に帰着される。問題により静的/動的な扱い、また理論解/探索法による最適解を求

表 | 最適化技法 最適化技法を構造的に、連続、離散システムの二つの分野に分類し、それぞれの最適化技法及び主な適用先を整理した。

分 野	最	化 技 法	適 用
	静的最適化 , オンラインLP(Linear Programming)	
		LP	電力・上水道システム の運用スケジュール
連続システムの 最適化	動的最適化	LP	上水道圧力配分
		DP(Dynamic Programming)	ポンプ運転台数の決定
		最適制御理論	下水プロセス、圧延機
	探索法による 最 適 化	RETOP (Real Time Optimizing Program)	化学プロセス
		分権制御	化学プロセス
	スケジュール	ввм	混合生産(自動車コン
	ル制御	(Branch & Bound Method)	ベヤ ライン)
離散システムの 最適化	70 107 129	ВВМ	切換生産(家電ライン)
	発見的アル ゴリズム	Heuristic Algorithm	製鉄所原料ヤード
			切換生産ライン
			コンテナ ヤード
	(Local Control		自動倉庫

めるなど扱いの相違はあるが、何らかの意味で目的関数のパラメータに対するこう配を計算し、これを基にして最適解を求めている。後者の問題は離散的システム(Discrete System)と呼ばれるもので、生産設備における加工品の投入順序を決定する組合せ論的な問題であるが、組合せの順序の微少組替えに対し、目的関数の値が大きく変化するので、この問題の最適化は非常に難しい。一般に、最適化の目的がは

^{*} 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 ***

表 2 モデリングとシミュレーション技法 シミュレーション技法 をモデリングの立場で分類し、計算機制御の実用上から4種類に分類、また計 算機制御システムの開発時に有用なシミュレータについても併記した。

分 野	モデリングとシミュレーション	適用
御用のサック	予測モデル	電力・上水道の予測(流入,需要) 要) 大気汚染予測(硫黄酸化物,光 化学スモッグ)
	フィードフォワード モデル	圧延機セットアップ制御 下水処理プロセスの先行予測制 御 河口堰の先行予測制御
	適応モデル	圧延機の適応モデル 下水プロセス,火力プラント
	マン マシン モデル	COMTRAC列車予測監視 生産管理PASS (Predictive Adaptive Simulator System)
計算機制御システム開発用のシミュレータ	計算機負荷シミュレータ CLS(Computor Load Simulator) COMTRAC TTS (Train Traffic Simulator)	計算機システムの負荷,応答性 の評価 COMTRACアプリケーション プログラムのテスト
プラント シミュレータ プラント特性のシミュレーション		原子力、圧延、火力プラント

注:COMTRAC=新幹線運転管理システム

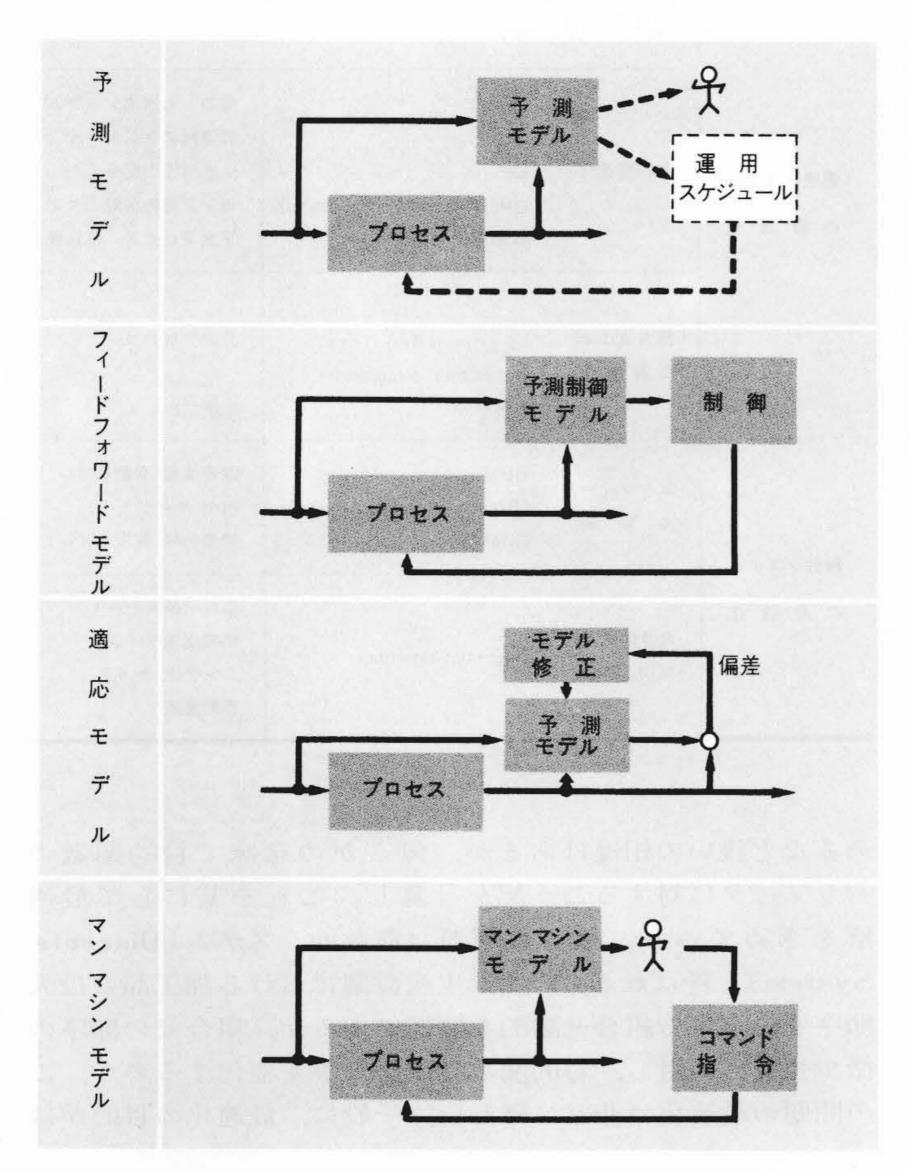


図 I モデルの分類 制御用計算機の中に組み込まれるモデルを4種に分類し、その差異を使用形態、すなわちオペレータ、プロセス及び制御との関係を図示した。

っきりしており最適化技法の確立しやすい問題は、当然その自動化を実現できるが、一方、上位レベルの問題で、システムが複雑で目的関数の明確化が困難であり、人間の判断が必要な問題では、マン マシン システムを形成し、シミュレーション技法を用いて人間の判断の助けを行なうシステムも重要となる。

日立製作所の計算機制御における最適化技法を分類したも のを表1に示す。同表には代表的な適用分野も併せて示して ある。連続システムの静的な最適化は, 本来制御は外乱など による修正を主目的とするので、制御用計算機の静的な最適 化に対する応用は比較的少ない。ただし、線形計画法(以下、 LPと略す)でも、オンラインLPとしては計算時間が少な く, また前の制御結果の修正・変更という立場から, 前の解 から出発するような解法の開発が重要である。このほか、電 力・上水道システムなどの運用計画(週,日,時間単位の運用) の作成にLPを用いてダイナミックな計画を解いたり、配管系 統の圧力・流量の配分にLPを用いる例も多い。更に、複雑 な非線形システムに関しては、探索法と称するCut & Try 法による最適解の探索, また分権制御と称するサブシステム に分割、各々のサブシステムの最適解を解き、全体のバラン スを修正して繰り返し計算を行なう手法もしばしば使用され る。探索法では一般に次元(パラメータの数)が増加すると, 探索回数は加速度的に増加するので, 効果的な手法の開発が 必要である。

離散的システムの最適化手法は、広い意味の生産システム に対する適用が多い。生産システムは、一つのラインで個々 の製品を追跡管理し、異なる仕様のものを一つのラインで作 る混合生産(自動車、鉄鋼など)と、ロットをまとめて生産す る切換生産(家庭電気品関係など)の二通りがある。前者に関 してはBranch & Bound Method(以下, BBMと略す)を用 いるコンベヤ理論、後者に対しては同じくBBMを用いるフ ロー ラインの最適化手法を開発した。このような組合せ問 題は、一般には整数計画法(Integer Programming)で定式 化はできるが、大きな規模は解けないので、現実問題に使 用される理論を開発し適用している例は少ない。現実のシ ステムは複雑であり、目的関数自体が多様化しており、何を 最適化すべきかも明確にできない場合が多い。このような問 題にはHeuristic(発見的)アルゴリズムを導入して、多様化 する目的関数に対し、目的関数のハイアラーキを作り、部分 部分では従来のLP,動的計画法(以下, DPと略す)などの 手法を有効に利用しながら,目的に合致した最適化技法を開 発することが多い。

2.2 モデリングとシミュレーション技法

計算機制御では、上記の最適化技法を用いるが、モデリングやシミュレーション技法を用いる場合も多い。計算機制御におけるモデリングを実使用の立場から分類すると表2に示すように4種に分類できる。分類としては異論のあるところかも知れないが、図1に示すように考えている。予測モデルは、例えば、電力、水系システムの運用計画に必要な予測値を求めたり、大気汚染(硫黄酸化物や光化学)予測などであり、予測結果はかなり大規模な最適化制御の計算に用いられ、人間の判断に利用される。また、フィードフォワードモデルは、プロセスの動特性の遅れが大きい場合、プロセス特性をモデル化して、フィードフォワード的に制御するものである。この意味では、前記の予測モデルのカテゴリーは入れるべきかも知れないが直接制御に利用する性格を重要視した。適応モデルは、モデルを計算機上で適応修正しつつ制御に利

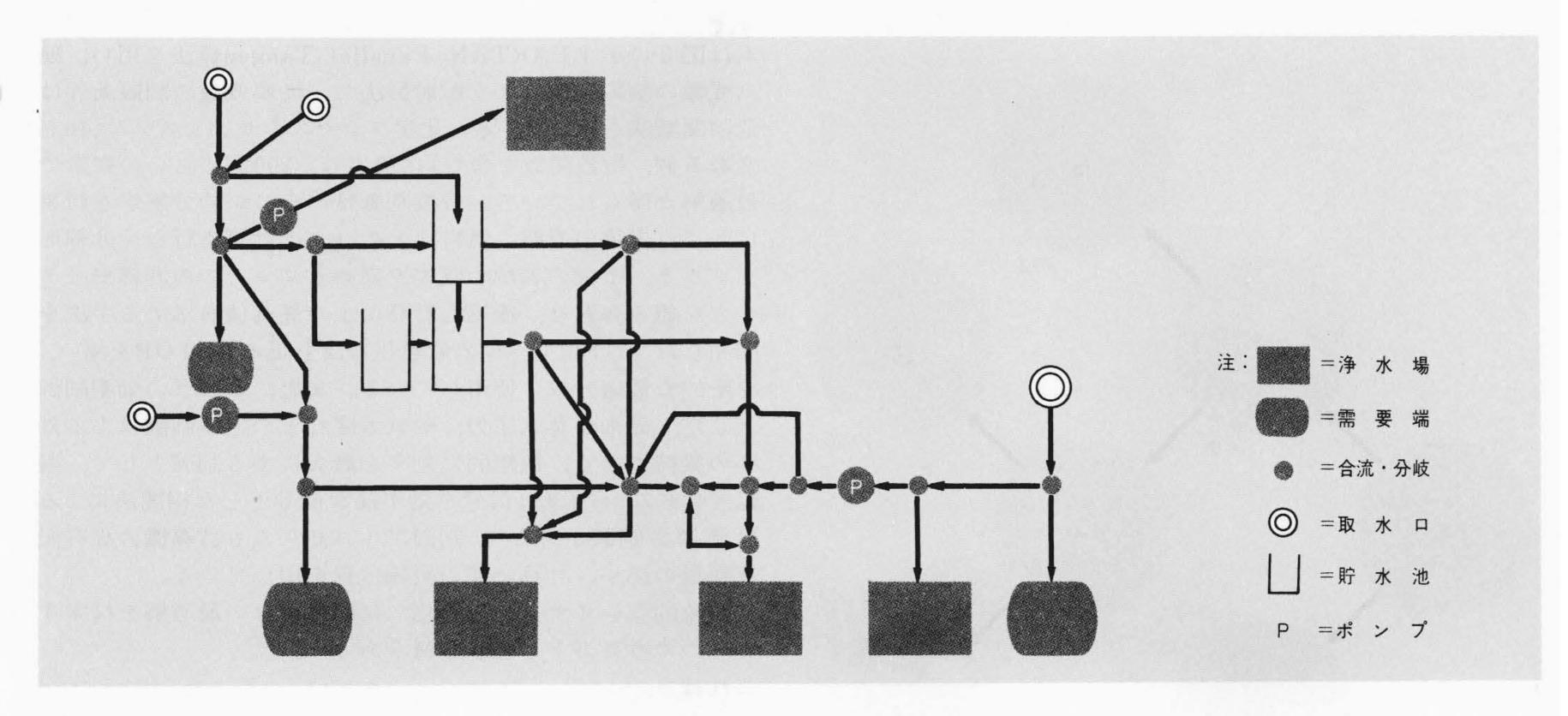


図 2 原水配分計画系統図 上水道システムにおける取水から需要家までのネットワーク系統の一例であり、圧力、水量の同時最適配分制御を実施する。

用するもので、圧延機やプラントの計算機制御に例が多い。マン マシン モデルは、操作員の運転判断のため、制御用計算機が状態量を取り込み、プラントの将来値を予測し、マンマシンに適した表示をするもので、生産管理用の予測シミュレータや、新幹線計算機制御の運転管理システムにも組み込まれている。また、多少分野は異なるが、計算機制御システムの応答時間などの性能評価、計算機制御のアプリケーション プログラムのデバッグに対するシミュレータの応用もある。これら計算機制御の方式開発のためのシミュレータについても表2には若干列挙してある。

3 最適化技法

連続システムの静的な最適化の中心となるLPもオンラインで使用するためには、記憶容量の少ないことと、計算時間の短縮が必要である。制約行列の中の非零要素が低密度であることを有効に利用して、一次元テーブルに配列することによりシンプレックス法の効率向上を図り、時間及び容量の減少を図っている¹⁾。

動的な最適化もLPを用いて解く場合もある。電力、上水道システムの短期スケジュール(日単位の週間運用)、翌日スケジュール(時間単位の日間運用)の決定で、上水道の場合では、取水、需要、貯蔵、分岐の各ノードの特性を求め、目的関数としては水利権のできるだけ上限まで取水し、かつコスト最少を求め、100変数、時間単位24(1日分)ぐらいの動的問題をLPで求めている²)。更に上記スケジュールに従い、各需要家へ公平な水圧サービスと高圧による漏水の減少を目的とする末端管路網の水圧の最適配分の問題がある。これは問題をネットワークとしてとらえ、水の発生(河川、ダム)、消費(浄水場、配水池)、貯蔵及び分岐をノードとして取り扱い、流下遅れの伴うブランチをバランスさせて、ポンプ運転費や薬品注入費の最少、無効放流量の最小化などの動的な問題をLPを用いて解いている³)。この種の問題の系統図を図2に示す。

DPを用いる例としては、水系の広域運用におけるポンプ 運転台数の制御がある。ポンプ切換回数を問題にするため、 前の時間帯の状態が次の時間帯に移るとき発生する損失をペナルティとして処理するペナルティ DP4)を開発し、ポンプ運転費最少、ポンプ切換頻度最小などの最適化を図っている。

いわゆる最適制御理論としては、下水処理プロセスなどの、 比較的ゆっくりした外乱を補償する水質制御で、線形化した プロセス モデルと、最適レギュレータ理論を用いた制御方 式の検討がある⁵⁾。プロセス モデルは非線形性をテイラー展 開し線形化した状態変数モデルを用い、目的関数は放流水質 の変化の2乗時間平均を使用している。また、圧延機制御で は、圧延中の板厚、張力の変化の2乗時間平均を最小化する 最適レギュレータ問題として検討し、最適制御方式を確立し ている⁶⁾。

非線形計画法としては、多変数パラメータの探索を行なう RETOP(Real Time Optimizing Program)⁷⁾がある。探

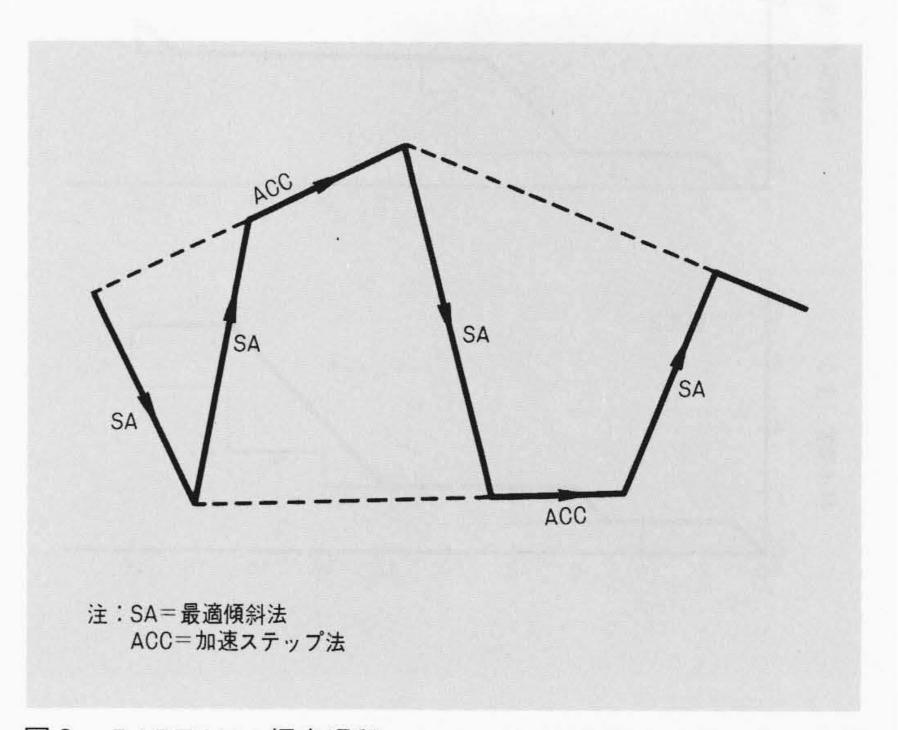


図 3 PARTANの探索過程 多変数系の最適点の探索として、試行回数の減少を図るため、PARTAN(Parallel Tangent)手法の利用、また加速ステップ法も導入している。

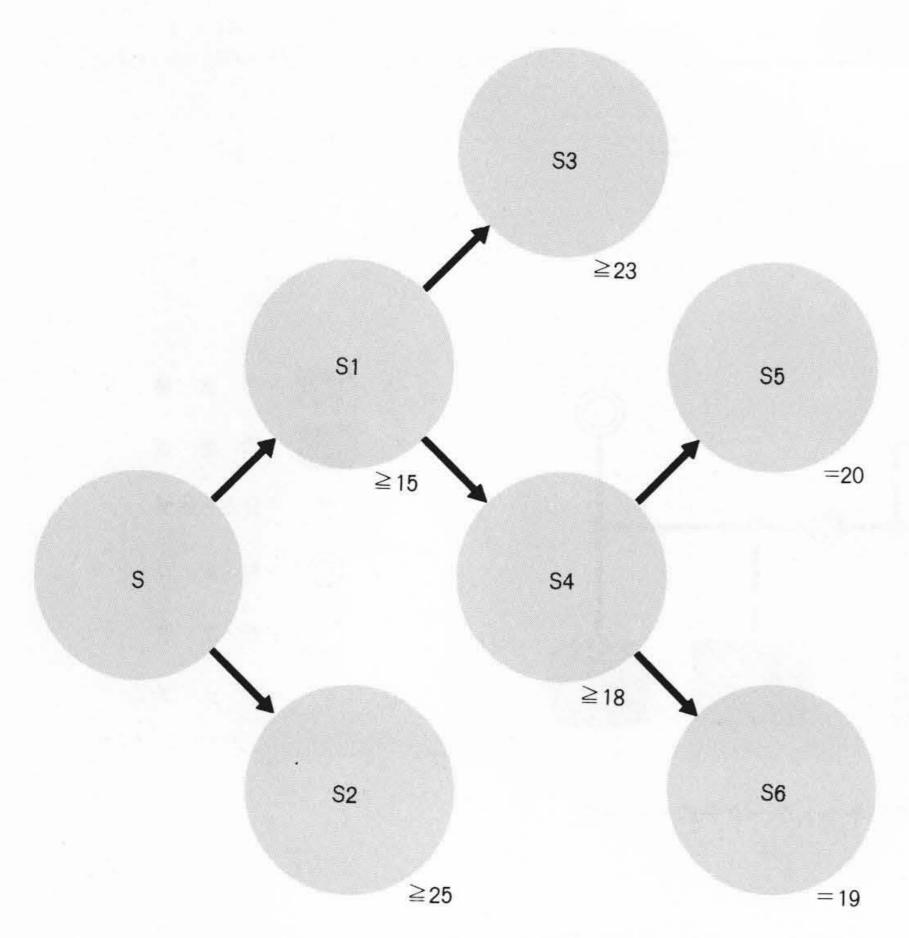


図 4 ブランチ&バウンド法の説明 組合せ的なスケジューリング問題の最適解を求めるため、順列の分岐と、そのグループの下界値を計算し、最適解を追跡する。図中のSは実行可能解の集合を意味する。

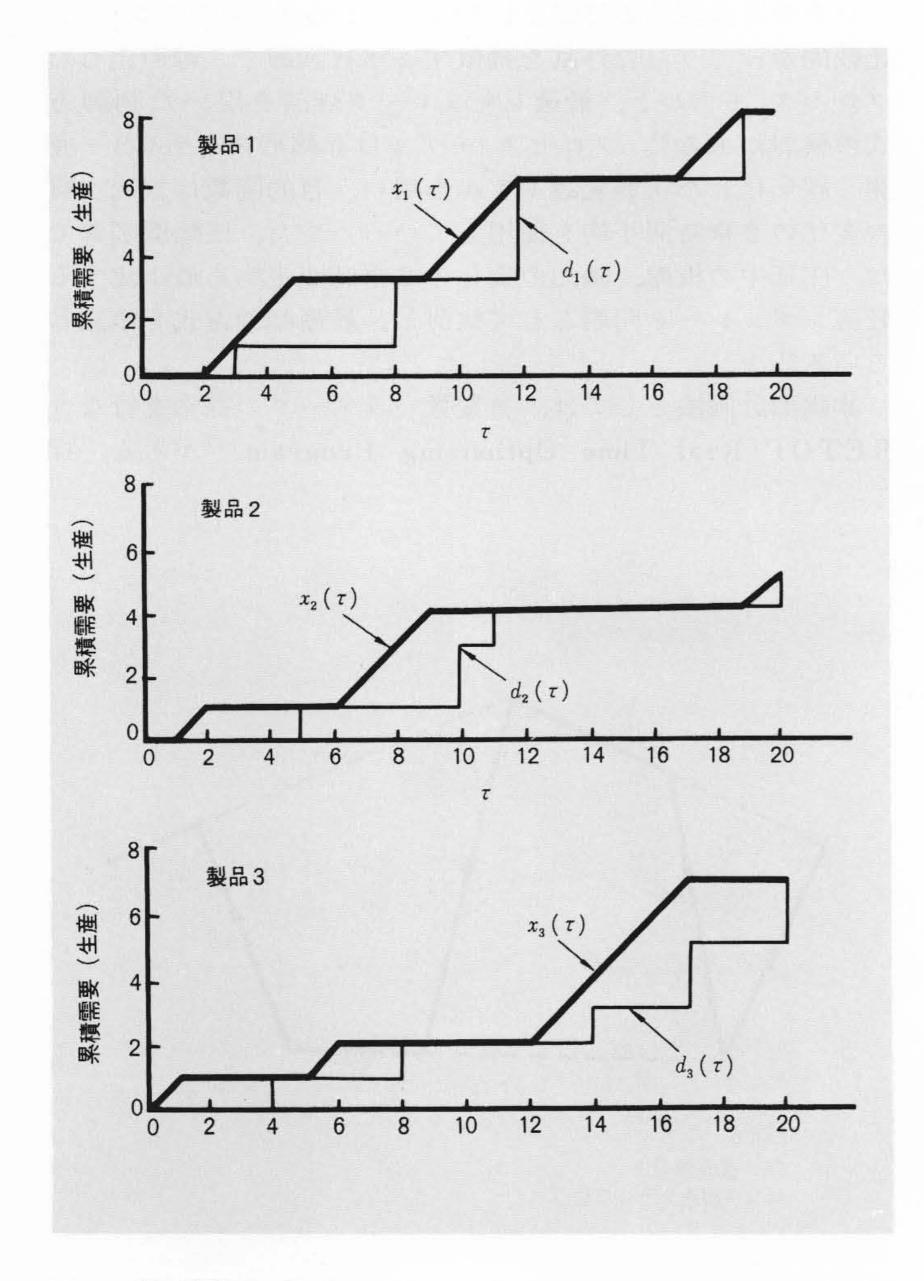


図 5 累積需要と最適スケジュール 切換え生産で一時点,一製品生産という能力条件と、累積生産量が累積需要より大きいという納期条件で、切換え回数を最少とする最適スケジュールを示す。

素は図3に示すPARTAN(Parallel Tangent)法を用い、独立変数の制限条件はこう配射影法で、従属変数の制限条件は危険関数法を用いている。化学プロセスのサブシステム(独立変数5個,指数関数を含む)に適用し、200回ぐらいの探索で最適解が得られている。分権制御はエチレンの分解炉を対象にして、上位の原料、燃料などのコスト計算を行なう非線形モデルと、下位の各炉の収率を高めるプロセスの非線形モデルとを組み合わせ、繰返し計算により最適値を求める手法を開発した⁸⁾。下位レベルの最適化には上記のRETOPを用い、局所的な最適計算に使用している。また、ボイラの効率制御として、従来の蒸気圧力、蒸気温度などの定値制御による効率の維持でなく、積極的に効率を最大にする制御として、擬似ランダム バイナリ信号を効率探索信号とした相関法による最適探索制御がある⁹⁾。制御アルゴリズムも計算機の専有記憶容量の縮小、計算時間の短縮に意を用いている。

離散的なシステムの最適化では順序ずけの最適解を探索する一つの考え方としてBBMがある 10 。

これは

$$Min R(x)$$
(2) $x \in S$

Sは実行可能解の集合

なるxを求める場合、 $\mathbf{図4}$ に示すとおりの実行可能解の集合を 何らかの基準によりS1, S2に分割する。この集合に対し目的関 数の下界を計算する式があったとして、LB(S1)、LB(S2)を求める。同図に示すとおり小さいほうを展開し、最適解 S 6 を得る。BBMでは分割の方法と下界の計算法とがポイント となる。先に述べた混合生産(自動車のアセンブル ライン) の場合には、一つの組立ラインで同一形式の多様な製品を作 る。コンベヤ ラインの状態方程式を定式化し、全作業域の 製品加工時の作業余裕を平滑化するように、多種の製品の投 入順序をBBM法により最適化する手法を確立した11),12)。切 換生産の場合には、ロット生産で多様な製品を生産するが、 まず一時点で一製品しか生産できないという能力条件, 各機 種の各時点での累積生産量が、累積需要を満足していなくて はならないという納期条件を満たし、切換えに伴う段取り損 失を最小化する問題をBBMで解いている¹³⁾。累積需要と最 適スケジュールの一例を図5に示す。

離散的なシステムの最適問題は理論的に解くのが難しく, 大規模なシステムでは目的関数も明確に決まらず, ヒューリ スティックなアプローチが重要となる。第一例として製鉄所 の原料ヤードでは、陸揚げ→ヤード→プラッシング プラン ト→ブレンディング焼結工場→高炉の設備間をコンベヤ ラ インがバイパスも含めて張りめぐらされ共用される。スト レージは高炉のホッパ、及びヤードにある。システムの目標 は、高炉に望ましい品目の原料を供給することと、プラッシ ング, ブレンディング焼結工場の操業度を上げることであり, 制御は、ネットワーク輸送の切換えを行ない、高炉に20種以 上のブレンディングした原料の品切れを起こさないように供 給することである。本システムの最適運用アルゴリズムは、 コンベヤ輸送で、どこがメイン ストリートであるかを解析 し、一種の在庫制御の形で発注時点を定め、タイム スライ ス的に品目輸送スケジュールを行なった。第二例の家庭電気 品生産ラインのスケジュール制御では、部品、組立の二つの 工程の負荷バランスを図るものである。具体的にはこのライ ンで流れる製品の二つの工程の必要時間の逆転現象をうまく 組み合わせて切換えを行ない、無作業をなくすように製品の ロット切換えを行なう。目的関数としては, 両工程の無作業

をなくすことと、中央の流動量(一種の在庫)をある値以下に し、納期条件を満たし、段取り損失をできるだけ小さくす ることである。アルゴリズムとしては、ロットを細かく分割 し、納期、負荷バランスを考慮しつつ、ロットを組み合わせ て、ふくらませていく方法をとっている。第三例は、列車コ ンテナ ヤードの問題で、システム分析を十分検討し、制御 アルゴリズムは比較的簡単なものとしている。鉄道のコンテ ナ基地では、2本の列車線路にまたがる5台の橋形クレーン が列車とトラック間の荷役を行なう。目的は列車の出発を遅 らせず, すなわち在線時間を守ることと, トラックを待たせ ないという相反する問題を調和させることである。一方,列 車、トラック間の直接積卸しだけでなく、多段積みの仮置場 があり、上下のむだな荷役動作を生じないようにする必要が ある。このようなシステムでは何が制御変数として効くかと いうことが重要である。コンテナの列車の中の位置をあらか じめ割り当てる方式にするか、トラック進入路の順序制御を 行なうか、クレーンのテリトリを固定化するかなどシステム 性能に対する影響を詳細に分析した。これらの分析から、制 御アルゴリズムは比較的簡単なもので有効な制御を行なって いる。また自動倉庫を対象とした長期運用、オンライン運用 などのパレット制御アルゴリズムの開発もある14)。

4 モデリングとシミュレーション技法

先にモデリングの分類を表2に示したように試みた。予測 モデルは電力,上水道システムなどの最適運用に使用される。 予測には流入側と需要側の二つがあり、特に水系では水資源 の有効利用の意味から、降雨と河川水量との関係を予測し、 上水運用,河川洪水制御,広域かんがいシステムの入力データ とする。流出量を表面,中間,地下流出の三つの一次遅れの和 として求め, 更に実測値と予測値の偏差で適応修正を行なっ ている15)。同様なものに河口堰制御のための潮位予測16)があ る。電力系統の負荷予測では、過去のデータから回帰分析に より予測モデルを作り、翌日の時間単位の予測を行なう17)。ま た当日の負荷の補正及び3分先の負荷予測を行なっている18)。 大気汚染予測モデルは硫黄酸化物予測と光化学スモッグ予測 の二つがある。前者は都市域の大規模な分布系をモデル化す るもので、図6に示すように汚染物質の排出源情報から多重 ボックス モデルにより数時間先の汚染濃度分布の数値予測 を行なう19)。我が国では局地風の影響が大きいので、この予 測アルゴリズムが重要である。同時に当日、又は翌日の地域 全体の汚染傾向の予測が要求される。後者の光化学スモッグ の予測は、排出源の情報掌握が不可能なので統計的アプロー チに頼らざるを得ない。クラスタリング手法,統計的判別法 を導入し、大域構造の把握、局所構造の計量化及び偏差の自 己回帰モデル修正を組み合わせた予測モデルを開発した20)。

フィードフォワード モデルはむだ時間や時定数の大きいプロセスでは必須のものであり、先行予測制御に用いられる。 圧延機制御では、前段工程での厚み結果をもとに、次段工程の圧延ラインにおけるロール開度、ロール速度などを設定するセットアップ制御を行なっている²¹⁾。下水道処理プロセスでは曝気槽から流出した汚泥が沈殿池に沈降するまでの時間、更にこれが曝気槽に返送され混合・拡散されるまでの時間が大きいため、返送汚泥量制御²²⁾に予測先行制御が必要となる。このほか、潮位予測モデル、河川流入量予測モデルを組み合わせた河口堰の先行予測制御²³⁾などもある。

適応モデルは、フィードフォワード モデルのパラメータの 適応修正を行なうもので、圧延機制御システムでは**図7**に示

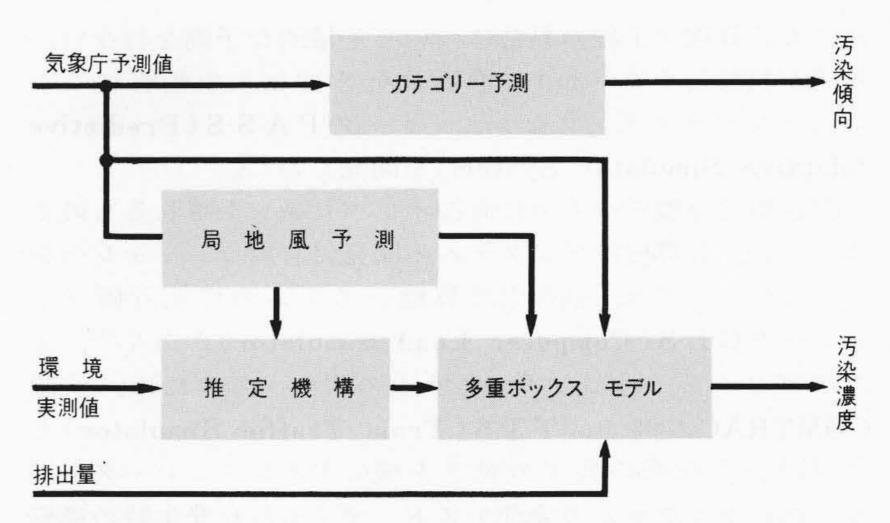


図 6 予測方式全体構成 都市域の大規模な分布系としての、大気汚染 予測モデルで、局地風予測をも含め、数時間先の汚染濃度分布の数値予測を行 なう。

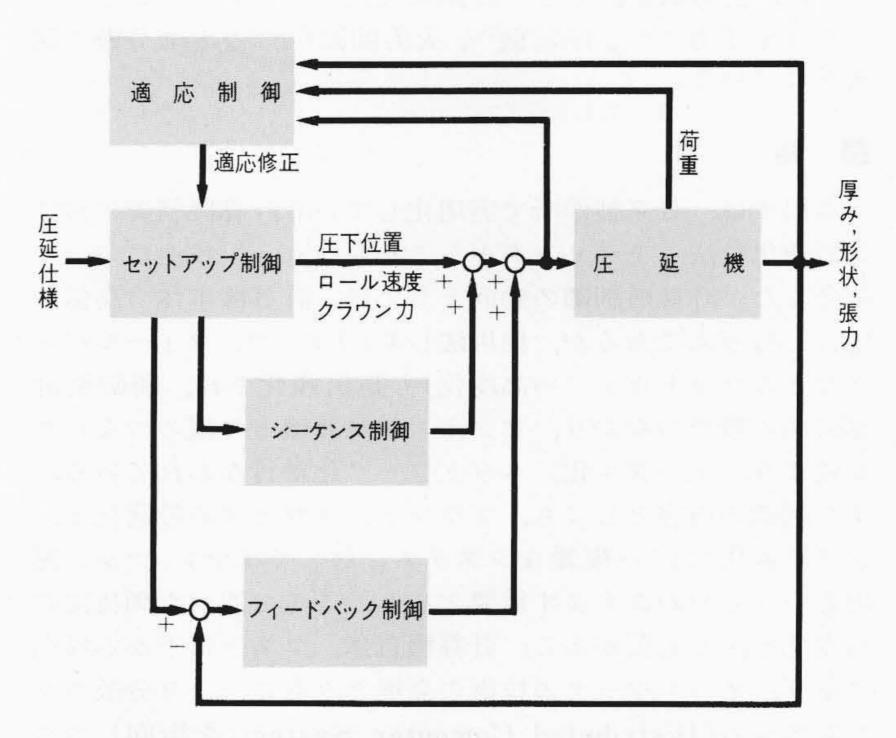


図7 圧延機制御における適応モデル セットアップ制御の数学モデルを、圧延機の状態変化に応じて適応修正する適応モデルである。

すように、セットアップ制御により圧延機各スタンドの圧下位置、ロール速度、クラウン力の基準値を設定するが、数学モデルの誤差、圧延機の状態変化などに対し、モデルの適応修正を行なっている²⁴⁾。更に同図のフィードバック制御の部分は全圧延中の厚み張力をモニタし、その偏差に対し最適なロール開度、ロール速度の修正を行なうが、これにダイナミックな適応制御を行なわせることもできる²⁵⁾。下水道プロセスでも、プロセス特性は時々刻々に変化するので、水質モデルの推定値と実測値とができるだけ一致するように適応修正を行なう²⁶⁾。その他、火力プラントにおける起動停止、あるいは負荷追従制御のようにプラントの特性変化が非常に大きい場合には、適応制御が必要となり、種々の方式が提案されている^{27),28)}。

マン マシン モデルは、人間と計算機が協同作業を行なうコマンド アンド コントロール システムの中核となるもので、計算機制御でもキャラクタ ディスプレイ、グラフィック ディスプレイの導入が盛んになるにつれ今後重要になるものと考えられる。プロセスのトレンド表示などもこの領域に入るが、大規模のものとしては新幹線運転管理システム (COMTRAC)があり²⁹⁾、予測モデルにより列車運行の監視、乱れた場合の運転整理業務を行なうものである。生産管理の

面でも計算機が工程の異常について定量的な予測を行ない, 人間が判断しやすいように原因分析を行なう生産管理のためのインタラクティブなシミュレータ PASS (Predictive Adaptive Simulator System)を開発した³⁰⁾。

制御用計算機そのものに直接インプリメントされるものではないが、計算機制御システムの開発に有用なシミュレーション技術としては、制御用計算機システムの性能評価シミュレータ CLS(Computer Load Simulator)があり³¹¹、またアプリケーション プログラムのデバッグのため、前記 COMTRACの例では TTS(Train Traffic Simulator)と名付ける実在系の列車の動きを模擬するシミュレータを作り、制御プログラムの論理テスト、ダイヤ乱れ発生時の運転整理アルゴリズムの評価及びマン マシン システムの評価を行なった³²²。火力プラントの起動制御ではハイブリッド計算機を用い、同様の論理及びプログラム テストを行なった³³³。

また, 計算機制御などの計画に役立つプラントのシミュレータは原子力^{34),35)}, 圧延機³⁶⁾, 火力制御^{37),38)}などの分野で開発されている。

5 結 言

本稿では、日立製作所で実用化している計算機制御における最適化技法、モデリングとシミュレーション技法について紹介した。計算機制御の動向としては、計算機本体の高信頼化はもちろんであるが、使用法(バックアップ、フォールバックなどのソフトウェアの高度化)も高信頼化され、制御用計算機間の横のつながり、ビジネス用計算機との縦のつながりが強まり、トータル化、ネットワーク化が行なわれている。また制御の内容としても、プラント、プロセスの最適化と、システム化に伴い複雑なシステムに対してはマンマシン運用というものがますます重要となり、ここで述べた両技法の高度化を図る必要がある。計算機自体、コストは下がる傾向にあり、ネットワークの技術の発展とともに、より分散されたシステム(Distributed Computer System)を指向しつつあり、今後、複数の計算機による協調した分権的な概念の最適化アルゴリズムが使用されるようになるものと思われる。

参考文献

- 1)日比,平沢ほか:「大規模システムに適用できるオンライン 用線形計画法」,電気学会,情報処理研究会資料,LP-73-6 (1973-3),日比,平沢ほか:「線形計画法による管路網内圧 力最適化技法」,電気学会全国大会論文集,No.1200,1649 (昭49-3)
- 2) 松本, 橋本ほか:「広域灌漑システムにおける水の最適配分計画」, 電気学会全国大会論文集, No. 8, 1651, (昭49-3)
- 3) 松本, 橋本ほか:「上水道における広域管理システム」, 電気 四学会連合大会論文集, No. 2, 97~100(昭49-10)
- 4) 松本,嶋内:「ペナルティ付ダイナミック・プログラミングの開発とポンプ台数制御を含む水系の最適配分計画への適用」,電気学会全国大会論文集,No.11,2058,(昭50-3)
- 5) S. Nogita, M. Tanuma: "Mathematical Models and Simulation of Wastewater Treatment System", Hitachi Review, Vol. 24, No. 1, 49 (1975)
- 6) M. Tanuma: "Multi Variable Control of a Five-Stand Cold Mill", 4th IFAC-IFIP Int. Nat. Conf. on Digital Computer Application to Proc. Pt II, (1974)
- 7) 春名, 石川: "RETOP-Real Time Optimizing Program", 第8回SICE学術講演会, No.128 (昭48-9)
- 8) 春名、石川:「エチレンプラントの分権型適応最適化制御」,

- 電気学会論文誌論文集, 94-C, 105 (昭49-5)
- 9) 栗原, 中野:「擬似ランダム信号を用いたボイラ効率最適化制 御」, 第16回自動制御連合講演会, 375(昭48-10)
- 10) 三森:「生産システムにおけるスケジューリング理論」, 日立 評論, 55, 168 (昭48-2)
- 11) 三森, 高田:「混合生産におけるコンベアラインの最適スケジュール制御」, 電気学会論文誌論文集, 92-C, 167~175(昭47-4)
- 12) S. Mitsumori: "Optimum Schedule Control of Conveyer Line", IEEE Trans. On AC, Vol. 14, No. 6, Dec. (1969)
- 13) S. Mitsumori: "Optimum Production Scheduling of Multi Commodity in Flow Line", IEEE Trans. on SMC, Vol. 2, No. 4, Sept. (1972)
- 14) 浜田:「大型自動倉庫計算制御システムにおける端数パレット制御方式とその評価」,電気学会論文誌論文集,51-C6,47 (昭51-2)
- 15) 橋本,松本:「相関適応修正法による河川の水量予測」,電気 学会全国大会論文集,No.8,1657,1658(昭49-3)
- 16) 畠山, 松本:「河口堰制御のための潮位予測回帰モデル」, 電 気学会全国大会論文集, No. 8, 1655, 1656 (昭49-3)
- 17) 平沢:「東北電力自動給電における系統負荷予測方式」,電気 学会東京支部大会論文集,521(昭45-10)
- 18) 河竹, 平沢:「適応的時系列予測方式」電気学会誌論文集, Vol. 88-8, No. 959, 1480 (昭43-8)
- 19) 船橋,塩谷:「大気の一次汚染のオンライン予測」第17回自動 制御連合講演会論文集,No.3061,429(昭49-11)
- 20) 船橋,塩谷:「統計的判別法による光化学スモッグ予測」,電気学会,自動制御研究会資料AC-75-25(昭50-7)
- 21) 北之園ほか:「ホットストリップミルの計算機制御」, 日立評論, 51, 307(昭44-4)
- 22) 西橋,渡辺ほか:「下水道における計測及び新制御システム」, 日立評論, 57, 119 (昭50-2)
- 23) 畠山, 松本ほか:「河口堰制御を含む河川のシミュレーション」, 昭和50年電気学会全国大会論文集, 2056, 2057 (昭50-3)
- 24) 北之園, 久保ほか:「冷間タンデムミル計算機制御」, 日立評論, 53, 847 (昭46-9)
- 25) 諸岡,中井ほか:「冷間圧延機の適応制御」第14回自動制御連合講演会論文集,No.3024,331 (昭46-11)
- 26) 柏木,森ほか:「下水道の計算機制御システム」日立評論,57, 129 (昭50-2)
- 27) 中野, 佐藤:「蒸気タービン起動のダイレクトディジタルコントロール」, 計測制御学会論文集, 9, 219 (昭48-4)
- 28) 佐藤, 中野:「ボイラ起動の計算機制御方式」, 第16回自動制 御連合講演会, No.3051, 377 (昭48-10)
- 29) 井原, 久保ほか:「新幹線運転管理システムコムトラック (COMTRAC)」, 日立評論, 54, 733 (昭47-8)
- 30) 森, 田畑ほか:「予測生産管理のためのオンラインシミュレータ」電気学会全国大会論文集, 1696 (昭51-4)
- 31) 福岡, 三森ほか:「制御用計算機負荷シミュレータCLS」電 気学会誌論文集, 91, 1523 (昭46-8)
- 32) 久保, 水島ほか:「国鉄新幹線COMTRACシステムの列車運行シミュレータ」, 日立評論, 52, 991 (昭45-11)
- 33) 中野,加藤:「計算機制御システムシミュレータと火力プラント起動制御システム計画への応用」,電気学会全国大会論文集,1867(昭48-4)
- 34) 渡辺, 鈴木ほか:「高速炉発電プラントの動特性解析」, 原子力学会, 炉物理, 炉工学分科会論文集, D45, 362 (昭47-11)
- 35) 川村, 秋山ほか:「再循環ポンプ用可変周波数電源MGセット」, 日立評論, 53, 1107(昭46-11)
- 36) 田沼, 松香ほか:「冷間タンデムミルのダイナミックシミュレータとその応用」, 日立評論, 56, 555 (昭49-6)
- 37) 中野:「火力・原子力タービン制御装置のシミュレーション」, 電気四学会連合大会論文集32, 126(昭48-4)
- 38) H. Maruyama, A. Nakata: "Thermal Power Plant Automation Simulator", Hitachi Review, 23, No. 8, 327 (1974)