

応 用 例

シミュレーション技術

Simulation Techniques

大塚 敬* Kei Ohtsuka・太田徳二* Tokuji Ohta・梅村健二郎* Kenjiroh Umemura

I. まえがき

プロセスシミュレーションは、システムあるいはプロセスに関するフィジビリティスタディの一方式で、その数式モデルを作成し、計算機に組み込み、実システム、プロセスと同様の挙動を計算機内で行わせて解析する方法である。

システム計画時点では、システム事前検討が行われるが、プロセスなどのモデルプラント試験や過去の類似システム実績のある場合はともかく、人間の机上検討のみでは、該当システム、プロセスが複雑となってきた今日では、計画に種々の欠陥を生じやすく、シミュレーションによる裏付けが有用な手段となっている。

システムの設計段階においても、事前のシステム性能の把握確認、運用方式制御方式の設計検討、システムの実運転開始の早期確立、ひいては全体システムの信頼性向上のために、全体から個別システムごとの詳細シミュレーションが行われている。システムの運転後においても、そのシステム、プロセスのトラブルシューティングや、増設計画、改良計画などに対するシミュレーションによって、多くの成果が得られている。

したがってシミュレーション技術としては、モデル開発技術、制御技術、運用技術、実データの解析技術などが蓄積されている。モデル開発技術には、システム、プロセスの分野別技術と共通技術がある。共通技術には、

物理的共通性、相似性の利用技術と、数値解析的技術、計算機利用技術がある。制御技術、運用技術としては、実システムの泥くさい制御方式、運用方式の詳細シミュレーション技術が特に有用であり、一方では制御理論、OR 理論などの実用化を目指した組織的利用技術が発達してきている。またシステム運転後のシミュレーションでは、実データに基づく解析技術が必須となっており、この技術には、統計処理技術、多変量解析技術、同定技術などがある（第1図）。

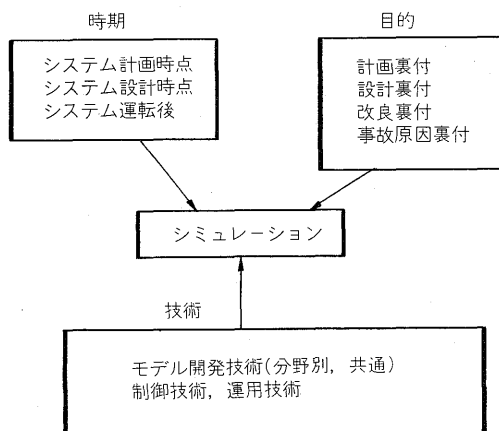
以下、これらシミュレーション基礎技術を分野別に紹介する。

II. 分野別技術

1. 鉄鋼・非鉄金属分野

鉄鋼関係の制御技術では、我が国が国際的にリーダーシップをとっており、省資源・省エネルギー・生産性向上・製品品質向上を目指して、新装置とかプロセスの新構成が絶えず研究されている。その際に、蓄積された知識と既存のプロセスの特性を利用して新システムの特性を予測するために、シミュレーションが実施されている。

代表的なシミュレーションの例は第1表のようなものである。第2図は、連铸プロセスのシミュレーション結果を自動作図したもので、従来の作業方法による凝固状態を実線で、新しい制御方式によるものを破線で示し、それが時間的に変化する状況を一連の図にしている。

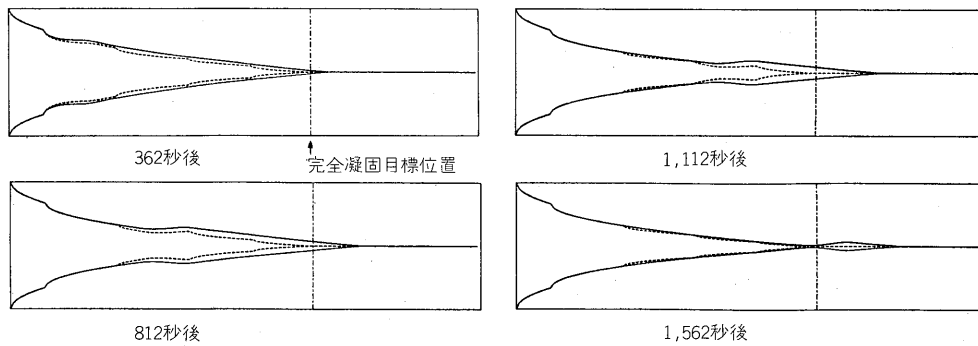


第1図 シミュレーションの時期、目的、技術
Fig. 1. Timing, purposes and techniques for simulation

第1表 金属製造プロセスのシミュレーション例
Table 1. Examples of metal production process simulations

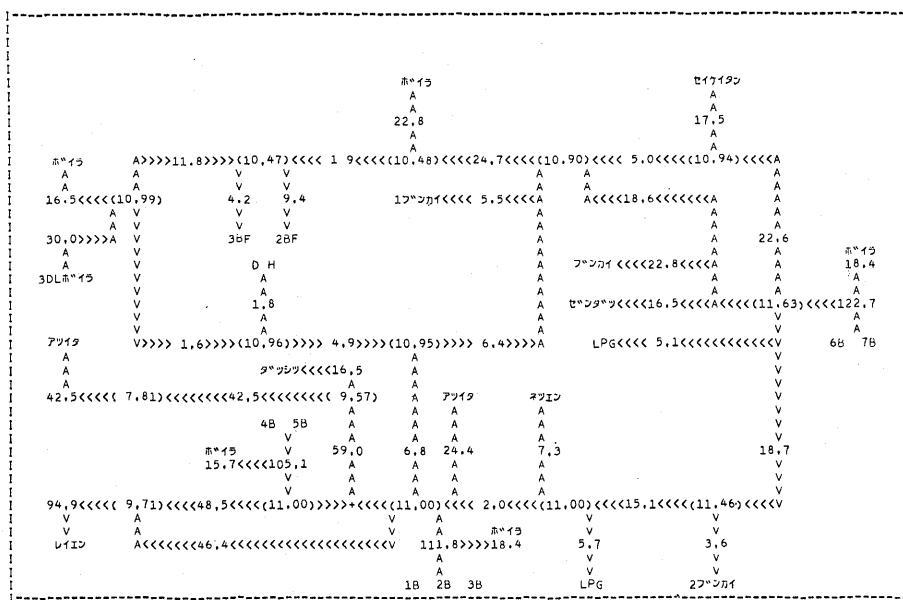
プロセス	シミュレーションの重点	検討する制御系
連 铸	スラブの凝固過程と温度分布 ダンディッシュ、モールド内のレベル	二次冷却帯表面温度制御 レベル制御
加熱炉	昇温特性と温度分布	均一加熱・昇温時間短縮のシーケンス制御・プログラム制御
ガス系	配管網内のガスの流動 ブロー・ダンパの操作能力	カロリー制御、圧力制御 サージング防止制御
蒸気系	ユーティリティへの安定な供給 既存ボイラの実績データの利用	圧力制御・特に最低圧力の保証 負荷変動への追従方式

* 富士ファコム制御 システム本部



第 2 図 連鑄プロセスの凝固状況

Fig. 2. Transient of the solidification of continuous casting process



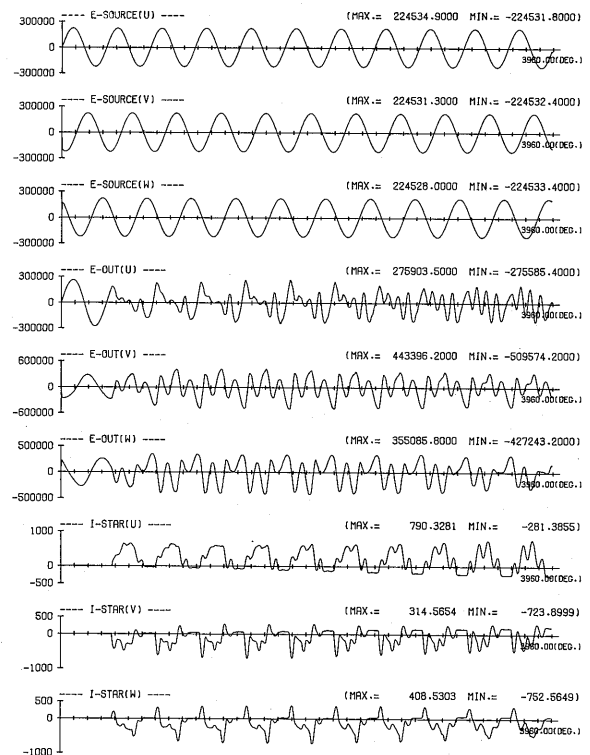
第 3 図 ガス配管鋼の流量と圧力分布

Fig. 3. Flow and pressure distribution of a gas line network

このようにシミュレーションの結果を理解しやすい図形で出力させるという技術が進んでおり、プロットを使って計算結果が自動作図される。一方、ラインプリンタによっても結果の簡略な出力をさせることが可能で、第 3 図ではガス配管網内の圧力分布（括弧内の数値）と流量を見やすい形にしておき、運転状態によっては流れの向きが変わるので、流量（括弧なし）に符号を付けるのではなく、配管の表現形式を変えて一目でわかるようにしている。

2. 電力分野

電力系統は、発電機、負荷、変圧器、リレー、しゃ断器などが、ケーブル、送電線などを介して、複雑に組み合わせられて形成される。これらは、構内系統のような小規模なものから、電力会社の全系統のような大規模なものまで、多種多様な形態をとる。したがって電力系統解析を行う場合、接続状態を入力することによって、各種系統構成を表現できるような数学モデルが必要となる。そのため、電力ネットワークをグラフ理論を用いて、ノードとブランチで表現している。解析プログラムは、その目的に応じて各種用意しており、スタティク解析用として、電力潮流計算、モータ始動時などの電圧降下計算、高調波分布計算、短絡容量計算、及びリレー整定値計算のための三相平衡、不平衡故障（1 線地絡など）計算などがある。また系統運用計算用として、状態推定



第 4 図 275kV トランス励磁突入電流解析

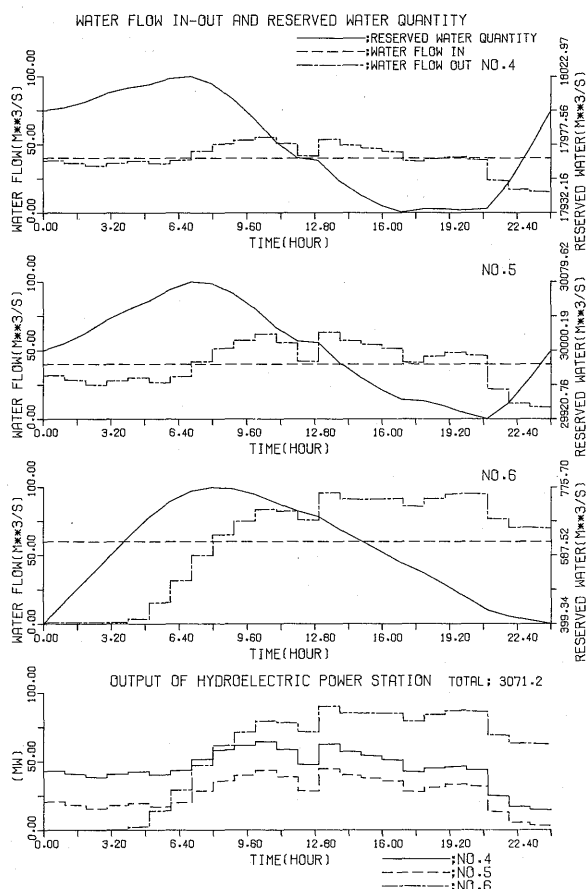
Fig. 4. In-rush current analysis of 275kV transformer

計算、負荷予測（短期、長期）計算、経済負荷配分計算などがある。更に系統外乱時の過渡現象が必要となるケースも多々あり、それらの解析用として、雷などのサー

ジ解析、変圧器投入時の励磁突入解析（第4図）、系統の安定度解析などを行っている。特に安定度解析の場合、AVRやガバナなどの発電機制御系も安定度上重要な要因となるので、組み込むことができるようになっている。その他安定度向上のための各種の方式（直列コンデンサ方式、制動抵抗方式など）も比較的簡単にシミュレーションできる。

発電所の運転方式・制御方式を検討するためにも、シミュレーションが有効である。経済的負荷配分方式によって火力発電所と水力発電所の出力設定を決めた時に、水力発電所のダム貯水量がどのように変動するかを、シミュレーションで求めると第5図のような図を得る。

また、発電所内の制御状況を解析するためのシミュレーションも多く、変圧運転の火力プラントの負荷追従性については、建設前に応答を予測し、実運転の結果を連続的にデータ収録して解析している。



第5図 水力発電所の経済配分時の流量と貯水量
Fig. 5. Water flow and reserved water of hydraulic power stations for economical load dispatch

3. 水処理分野

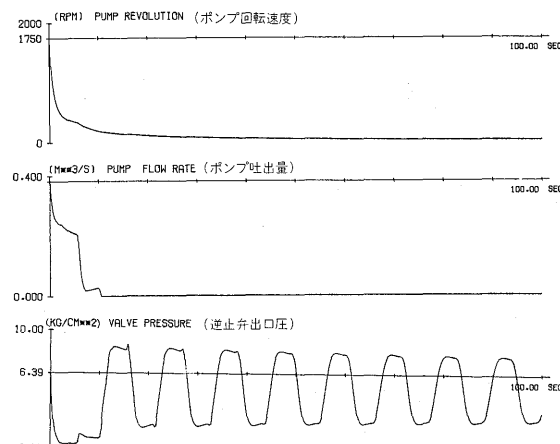
水処理関連でもシミュレーションを重要な道具として適用している問題が数多くある。例えば、

- (1) 上水道では取水送水計画、導水路の通水能力、水位調整、送水圧力管の水圧調整、浄水場から配水池に至る間の処理能力を含めた水の量の検討、凝集剤や塩素など薬品の注入量予測、配水管網の流量配分、水圧調

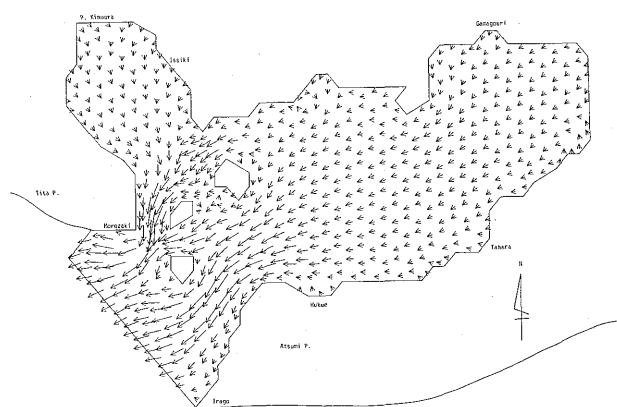
整、水の需要量予測から配水池運用計画

- (2) 下水道では雨水による浸水対策、流入から処理水放流に至る間の水の量の検討、活性汚泥処理の運用、調整、送風機の経済運転
- (3) 環境問題としては汚染の拡散、影響の調査に計画、設計段階から既存施設の運用、制御まで広い範囲にわたって利用している。使われる技術もナビア・ストークス方程式を基礎としたFEMによる流速分布、拡散の計算、特性方程式法、かえる跳び法による開水路、管水路の非定常流計算、ネットワーク技術、LPによる管網計算、時系列解析、多変量解析による自己回帰、重回帰計算など多様である。既にパッケージ化されたシミュレーションソフトウェアが多くある。

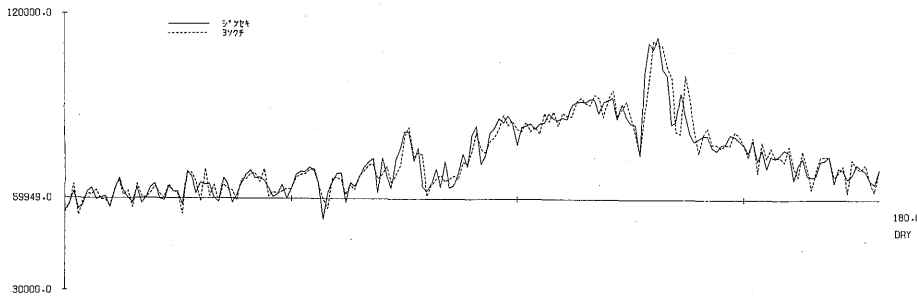
管水路の非定常流解析として、送配水系統でポンプの事故停止時の水撃現象のシミュレーションを第6図に、FEMによる流速分布計算として三河湾の潮汐の流況を第7図に過去の実績と天候を要因に含めた水の需要予測を第8図に例として示した。



第6図 送配水系水撃シミュレーション
Fig. 6. Water hammer simulation for water supply system



第7図 湾における潮流パターン
Fig. 7. Computed current pattern at ebb tide



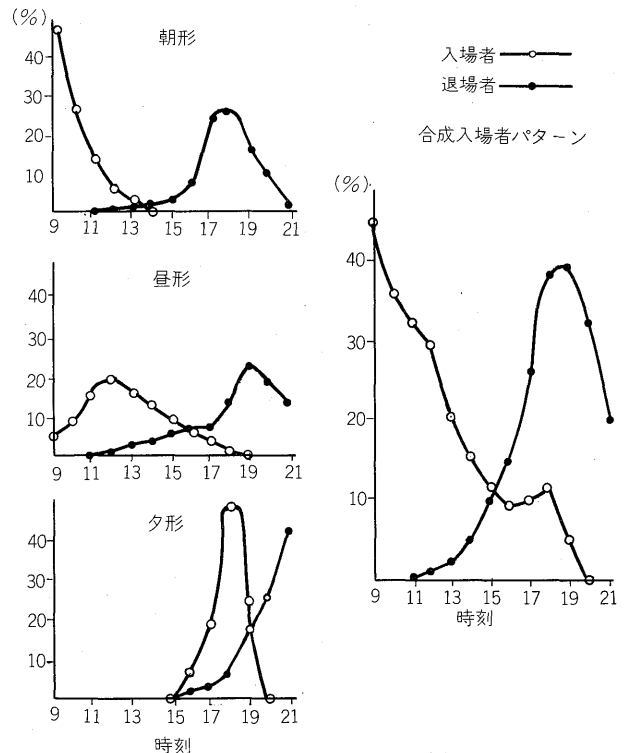
第 8 図 水の短期需要予測
Fig. 8. Short term prediction for water demand

4. 物流分野

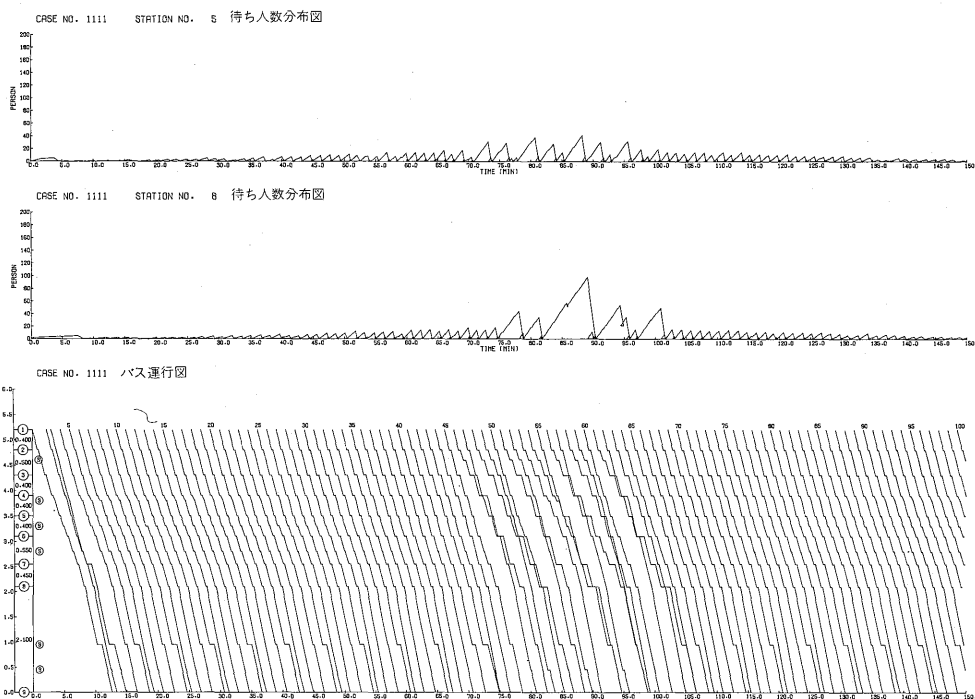
鉄鋼、電力、水処理、その他のプロセスシミュレーション以外で、特に有用なものは、物流関係のシミュレーションである。物流の対象物一つ一つの動きをマイクロシミュレーションするものと、集団で扱うマクロシミュレーションに分けることができる。また通常のプロセスと異なり、物の移動の完了時に別の事象が発生するようにする離散形シミュレーション方式を行う。物の動きとともに、そのスケジューリングや運用方式も加味してシミュレーションし、その妥当性や、問題点、改良点などを検討してゆく。

交通関係では、新幹線などの列車運行スケジューリング、バスロケーション、車交通制御、人流関係では、ビル、地下街などの避難誘導制御、ヤード物流関係では、スラブ山積制御、コイル搬入搬出制御、配車関係では、石油ローリー自動配車計画などがある。第 9 図はある会場の配置計画シミュレーションのための入場者パターンである。

第 10 図はバスロケーションシミュレーションの結果の一例で、乗降客パターン、バスルート、道路信号を考慮して、バスの仕様、運行計画、運行制御などを検討したものである。



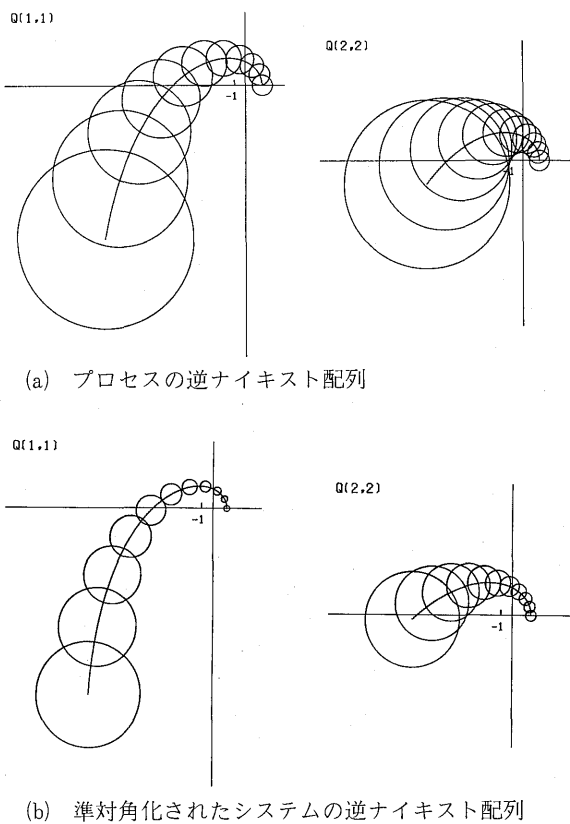
第 9 図 入場者パターンの例
Fig. 9. Example of visitor's pattern



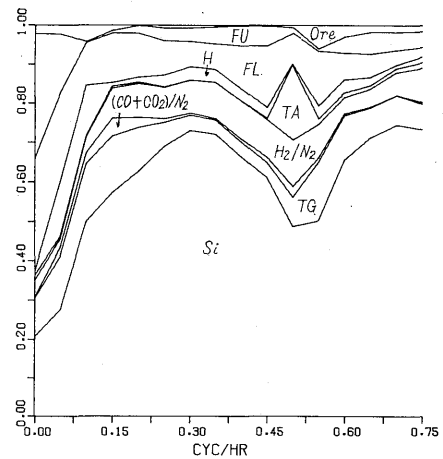
第 10 図 バスロケーションシミュレーション
Fig. 10. Simulation for bus location

5. コストシミュレーション

システムの運用において、最も重視されるべきはコストであり、採算性を調べるための経営コスト、最近の省エネルギー時代としての運用コストをはじめ、設備コスト、始動コストなども含めたトータルコストなどが注目され、これの検討にシミュレーション技術が利用されている。シミュレーションが必要となるのは、静的コスト計算が不可能な場合、例えば設備需要が年々増大したり、特殊パターンで変動するような場合である。新交通の運営シミュレーションの場合を例にとると、交通利用客の増大に対して、設備の減価償却や借入金の各償還方式を考慮に入れて、年々の償還額、運賃収入、経費（税金など）を求め、初期資金調達方法、初期運賃の設定の検討を行っている。



第 11 図 逆ナイキスト配列
Fig. 11. Inverse Nyquist array



第 12 図 寄与率計算結果
Fig. 12. Computed result of contribution ratio

6. 制御特性解析技術

制御システムの特性解析の理論では、伝送関数とかシステム方程式が使われるので、制御特性解析用の複素数・ベクトル・行列の汎用的な演算プログラムが開発され、数値的な結果とともに過渡応答・ボード線図・ナイキスト線図などが自動的に作図されるようになっている。

パラメータの最適化のためには、オートチューニングの最適 PID 設定値の計算プログラムがあり、多変数プロセスの準対角化制御のためには、第11図のような逆ナイキスト配列を作図する CAD プログラムがある。また、プロセスの同定のためには、データ収録システムと一貫した自己回帰モデル計算プログラムが第12図のような図を作り、モデル定数を求める。

III. あとがき

シミュレーションの必要性和その技術を各分野別に具体例を織り込み紹介した。

特に最近では計算機の高速大容量化、分散化によりシステムが複雑多岐にわたってきており、シミュレーションの意義は大きく、その件数は急速に増加してきている。商談がらみの依頼はもとより、ユーザ各位との共同研究も多くなっている。当社としては学際的陣容を整え、蓄積技術を有効に活用し、ユーザ各位の御要望におこたえたいと考えている。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。