

# システム シミュレーション技術の動向

## Trends in System Simulation Techniques

シミュレーション技術が広く使われるようになったのは、社会や企業で取り扱うシステムが複雑化、大規模化し、実験が難しくなり、しかも総合的な理解と評価が必要となったからである。シミュレーション技術の特集に当たり、本論文では、各分野でのシミュレーションの適用状況を横断的に概観する。近年のシステムシミュレーション技術の特徴は、対象にオリエントした専用シミュレータの開発と、その入出力を図形を用いて、対話形式で行なうことである。

日立製作所では、CAE/CAD/CAMの一環として、シミュレーション技術の高度化を進め、例えば、シミュレーションモデルの統合化と体系化、並列計算装置の適用及び非線形計画問題へのヒューリスティックな接近を図っている。

大成幹彦\* Mikihiko Ônari

本山喜久\*\* Yoshihisa Motoyama

### 1 緒言

社会や企業で取り扱うシステムが、複雑かつ大規模になるにつれ、シミュレーションが広く使われるようになった。これは、システム全体を解析的に解いたり、実験したりすることが難しくなる一方で、システムを総合的に理解し評価する必要が高まったからである。システムが大規模になってくると、一つの事象の変化がほかへどのように波及するかは直感的には分からない。このため、対象をモデル化して計算機に組み込み、モデルの入力やパラメータの値を種々変更して感度解析をしながら、理解を深めつつ課題の解決策を模索する機会が多い。すなわち、シミュレーションが意思決定や判断業務になくてはならないツール(道具)となっているといえる。

シミュレーション技術は、システム化要請の高まりと、計算機の進歩に伴って発展している。このようなシステムの課題を扱うシミュレーションをシステムシミュレーションと称している。最近のシミュレーションの共通的な特徴は、利用者のシステム思考を助けるための操作性や結果の表現法が格段に向上したことである。本論文では、シミュレーションの利用目的と技術動向及び日立製作所でのシミュレーション技術の高度化、並びにその適用の特徴と効果を、プラント関連のシステムシミュレーションを例に論ずる。

### 2 シミュレーションの利用

システムの構築でシミュレーションを必要とする時期は、システム分析(計画)、設計、運用、完成後の各時点である。多くのシミュレーションは開発システムの事前評価のために、計画、設計時に利用される。シミュレーションはシステム開発の途中でも、またシステムの完成後にも利用される。

システム開発の事前評価では、はじめに開発課題と開発による影響に関して、定性的な評価をシナリオライティング、ブレンストーミング、KJ(Kawakita Jirô:川喜田二郎)法、PPDS(Planning Procedure to Develop Systems)法<sup>1)</sup>などを利用して実施する。一方、要素技術は個々に実験して性能が評価される。これらを踏まえて、システムの総合的な評価が定量的に行なわれるわけで、数値実験の手段としてシミュレーションが用いられる場合が多い。

シミュレーションが広く利用される対象としては、いわゆ

る社会システムと産業システムとがある。社会システムはオープンシステムといわれるように、一つの事象が引き金となって影響が広範囲に波及することが多い。オープンシステムでのシミュレーションは、波及の程度を理解することが中心課題となる<sup>2)~4)</sup>。

産業システムは、ほとんどがクローズドシステムで、因果関係をシステムの内部で考察すればよい。産業システムでのシミュレーションの利用は、プラントや施設のレイアウトや構成を決定する設備計画と、与えられた設備のもとで、いかに運転するかの運用計画の立案を目的とする場合が多い。

産業システム開発の各フェーズでのシミュレーションの利用目的、内容及びシミュレーションの評価基準は、表1に示すようになる。産業システムの開発過程はいくつかのフェーズに分かれるが、ここでは、便宜上、計画、設計、運用、維

表1 産業システムの開発フェーズとシミュレーションの利用  
計画フェーズでは、社会、環境性を考慮したシミュレーションが行なわれる。設計フェーズでは、運用と信頼性を考慮してシミュレーションが行なわれ、システム構成が決められる。システムの稼働後は、運転点の探索や設計へのフィードバックのためシミュレーションが用いられる。

システム開発のフェーズ	計 画	設 計	運 用	維持・管理
シミュレーションの利用目的	計画・評価 研究用	基本設計 詳細設計	運転点探索	設計へのフィードバック 訓練用
評価基準	社会性 環境性 国際性	効率化 高機能化 高集積化 エレクトロニクス化	省資源 省エネルギー 安全性 省人化 生産性 操作性	信頼性 安定性 保守性
シミュレーションの内容	事業計画 製品計画 環境アセスメント	設備計画 運用計画 信頼性計画	運転点探索 設備評価 運用評価	信頼性評価 寿命予測 訓練

\* 日立製作所システム開発研究所 工学博士 \*\* 日立製作所機電事業本部



持・管理の四つに分類する。

システム開発の計画フェーズでは、そのシステムが社会に及ぼす影響をも含めて、事業や製品計画を立てる。設計フェーズでは、システムの運用及び維持・管理を考慮して、システムの構成、運用及び信頼性を計画し、設備の基本設計と詳細設計を実施する。システムの運用には計算機が用いられることが多いが、適切な運転点は、計算機に内蔵したシミュレータを反復して用い決めている。維持・管理のフェーズでは、システムの信頼性、安定性、保守性に関するデータを、設計フェーズへフィードバックする。また運転員の訓練のためには、フライトシミュレータに代表されるように、リアルタイムシミュレータが用いられる。

開発フェーズで留意すべきことは、計画フェーズと設計フェーズ以降とで、開発上の課題が異なることである。計画フェーズは、社会システムとの接点を扱うため、オープンシステムの色彩が濃い。このため、このフェーズでは、社会的制約を逸脱しない計画であればよい。しかし、設計フェーズ以降はクローズドシステムであり、システムの目的に応じた最適性が要求される。

### 3 シミュレーション技術の動向

シミュレーション技術を歴史的に眺めると、計算機の発展に歩調を合わせている面が強い。計算機を用いたシミュレーションは、アナログ計算機の出現により多くの現象が電気系に置き換えてシミュレートされた。1960年代からは、デジタル計算機の実用化に伴い、多くの問題オリエンテッドなシミュレーション言語が開発され、現在では普及定着している。1970年代は、個々の社会分野や産業分野でのシミュレータの開発が本格化し、現在もそれぞれの分野での専用シミュレータの開発が続けられている。

'60年代でのシミュレーションは、計算機の記憶容量や速度の制約のため、モデルも小規模なマクロないしは局所的なものしか扱えなかった。'70年代以降は、計算機の容量、速度ともに改善され、モデルもしだいに精密なものが使われるようになった。

シミュレーション技術の動向と、日立製作所での高度化の方向をまとめると、表2のようになる。シミュレーションは、世界的にCAE/CAD/CAM (Computer Aided Engineering/Design/Manufacturing)の活動の中で重要視されている。シミュレーション技術の進歩の特徴をあげると次のようになる。

(1) 使い勝手が大幅に改善された。従来、シミュレーションはカードで入力し、X-Yプロッタで出力図を得るといったバッチ処理が普通であったが、最近ではTSS(Time Sharing System)端末を利用した対話形システムへ移行している。エンジニアリングの領域では、グラフィックディスプレイ装置を利用した対話形システムが広く使われている。例えばプロセスフローシートをグラフィックディスプレイ装置やデジタルタイザの上に画くと、シミュレータがブロックやネットワークの情報を読み取ってシミュレーションを実行する。

(2) 対象にオリエンテッドしたシミュレーションが増加した。'60年代にはDDS(Direct Digital Simulator), SD(Systems Dynamics), GPSS(General Purpose Systems Simulator)などの問題オリエンテッドなシミュレーション言語が開発され多く用いられてきた。'70年代になってからは対象を広くカバーできる問題向き言語よりも、むしろ対象分野を限定した専用のシミュレーションプログラムが多くなった。その理由は、シミュレータが計画管理、意思決定支援システムの中で

表2 シミュレーション技術の動向と日立製作所における高度化  
近年、使い勝手と判断の容易さが向上するとともに、対象別シミュレータが普及した。日立製作所では、更にモデルの統合化、体系化、計算の高速化、ヒューリスティックな解探索など、技術の高度化を進めている。

項目	動 向	高 度 化
CAE/CAD/CAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>CAE/CAD/CAMの概念普及</li> <li>CAD/CAMの定着</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CAEの推進</li> <li>一貫シミュレーション</li> <li>シミュレーションモデルの体系化</li> </ul>
操 作 性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ユーザーの使い勝手が向上</li> <li>バッチ処理から対話形へ</li> <li>図形入力、図形出力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対話形コマンドの整備</li> <li>端末機器のインテリジェンス化</li> <li>応答性向上</li> </ul>
判 断 の 容 易 性	<ul style="list-style-type: none"> <li>立体図形表示 (アイソメトリック図、ソリッドモデリング)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>総合的判断の強化 (縮尺模型、アニメーション)</li> <li>イメージ情報処理</li> </ul>
シミュレータの種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象別専用シミュレータ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>体系的シミュレータ</li> <li>分野ごと機器モデルの整備</li> </ul>
計 算 手 法	<ul style="list-style-type: none"> <li>非線形問題の定常解算法の改良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物理現象に応じた新しい解法</li> <li>複合マイクロコンピュータによる並列処理</li> <li>並列計算装置の開発</li> </ul>
最 適 化	<ul style="list-style-type: none"> <li>試行錯誤的接近</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多目的システムのヒューリスティックな接近</li> <li>解探索のヒューリスティックな接近</li> </ul>

注：略語説明

CAE/CAD/CAM(Computer Aided Engineering/Design/Manufacturing)

主要な役割を占めるようになったからである。シミュレータの利用者は、完成したシミュレータを簡便かつ頻繁に使うことを要求するため、シミュレータの開発に当たっては、開発の容易さよりも、完成品の応答性と操作性のほうに重きが置かれる。

### 4 シミュレーション技術の高度化

シミュレーション技術の世界的な動向は、前述したように利用者の使い勝手の改善と極論することもできる。日立製作所では、このような動向を踏まえるとともに、各分野でのCAEの推進の一環として表2に示したようなシミュレーション技術の高度化を推進している。

高度化推進の中で特徴的なことを挙げてみると、第一は、モデルの統合化と体系化を進めていることである。狭い範囲の対象や目的の下で開発したシミュレータも種類が増えてきた。それらを結合して、大きな目的のために一貫して使えるように統合化を進めている。また関連あるシミュレータを体系化して、今後の開発の方向付けをするとともに利用者の便を図っている。前者の例としては、半導体のプロセス特性、デバイス特性、回路特性のそれぞれのシミュレータを統合したシミュレータが挙げられる。後者の例としては、計算機支援システム工学技法“CASE”(Computer Aided System Engineering)(表3)や水資源のシミュレーション技術の体系化“NEFLAN”(Network Flow Analysis and Planning Method)と“WELCOM”(Water Elevation Control Method)が挙げられる<sup>5)</sup>。

次に、大規模で複雑な対象に関するシミュレーションであるが、これらは非線形な方程式で記述されることが多く、シミュレーションの中の数値計算としては、非線形問題の定常



表3 計算機支援によるシステム工学技法“CASE”(Computer Aided System Engineering) プラントの計画に必要なシミュレーション技法は、CASEとして体系化されている。

略 称	名 称	機 能
CASE-ALPPS (Algorithm for Plant)	プラントシステム構成計画シミュレータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラント機器構成の評価</li> <li>・物質・エネルギーの収支計算</li> <li>・ブロックダイアグラムで入力し、プロセスフローダイアグラムで出力</li> </ul>
CASE-CTL (Control)	制御システム計画用会話形モデリングシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続形時系列プロセスの制御方式の計画</li> <li>・会話形コマンドによるモデリングとシミュレーションの実行</li> </ul>
CASE-PLANET (Plan Network)	離散形システム計画用シミュレータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・離散形プロセスのシステム構成と運用方式の計画</li> <li>・多目的システムのヒューリスティックな最適化</li> </ul>

解算出のニーズが大きい。非線形問題の求解は、従来ニュートン法などの収束計算法で行なっていたが、計算時間と記憶容量の面で大規模な問題は扱いにくかった。ところが、現象に対する新たな見方により、高速な解法を創造することもできる。例えば、上水道の配水管網は非線形なネットワーク問題であるが、配水管路内の水は定常状態で、エネルギー最小の状態にあるとみることにより、最小費用流問題に置き換えることができ、高速に解くことができた<sup>6)</sup>。

工学問題のシミュレーションで、設計者が真に求めている解を最適計算により直接求めることは、通常困難である。それは、設計者の判断基準が確定的に記述できるものではないことと、選択すべき機器仕様も離散的な値をとり、機器の組合せ特性を事前に網羅することも困難であることによる。このような理由から、従来は設計者の選ぶ要素の組合せに対して、シミュレーションにより妥当性の確認をとるという利用方法が多かった。これに対して、設計者の試行錯誤過程を知識工学的にルール化しておけば、類似の要求に関しては推論機能により、適切な組合せをより早く導出することができる。このようなヒューリスティック(自己発見的)な接近を離散形システムの計画用シミュレータCASE-PLANET<sup>7)</sup>や非線形計画問題の求解技法HPS(Heuristic Problem Solver)<sup>8)</sup>でとっている。

### 5 各分野におけるシミュレーションの特徴

日立製作所で開発している製品やシステムは、その開発過程で多種の用途別シミュレータを利用している。それらの利用目的を整理すると、表4のようになる。これらの中で、原子力、水資源管理、輸送、計算機、半導体製造の五つの分野でのシミュレーションは、本特集号の他の論文で詳しく紹介する。本章では、それら以外の分野について、特にプラント関連に重きをおいて、システムシミュレーションの特徴を述べる。

#### 5.1 システムシミュレーション

電力、原子力、鉄鋼、水資源管理の分野は、資源・エネルギーの形態を特定の目的のために変換するもので、総称してプラント分野といえる。このような分野での経営管理上の課題は、システム全体の需要と供給のバランスを図ることで、そのためのプラント設備の構成計画や運用計画にシミュレーション技術が使われる。

需要と供給は、時間的に変化するので、設備計画は運用方法を考慮に入れて立てなければならない。資源・エネルギーの運用は広域的に扱うほうが効率的であるので、空間的な広がりや時間的な経過とを合わせてシミュレートする技術が強く要請されている。このため、大規模なシステムに関して、

計算機の記憶容量が少なく、しかも計算速度の速い技法が各用途向けに開発されている<sup>6)</sup>。これらの計画に用いる需要量は、実績データを用いる場合もあるが、電力量や上水使用量のように季節、曜日、天候などの外部条件が大きく寄与する場合には、需要予測のためのシミュレーションモデルとして、例えば原単位モデルや階層別モデルが用いられる<sup>9)</sup>。

トータルシステムの面から、資源・エネルギーの変換プラントの要求仕様が定まると、プラント設計では要求仕様に応ずる機器の構成と配置を決定する。このとき、適切な機器を選定するために試行錯誤的なシミュレーションが用いられる。また多くの場合、資源・エネルギーの供給源の物理現象や自然現象をモデル化し、それを用いて、選定中の機器の妥当性を評価、確認する。

#### 5.2 計算機支援システム工学技法“CASE”

このようなシミュレーションが効率的に実施できるツールとして、計算機支援によるシステム工学技法“CASE”を体系化して表3に示すように用意している。CASEは、連続プロセスを扱うシミュレータと、離散系プロセスを扱うシミュレータに大別されている。連続プロセス関連は、プラントの構成計画を物質・エネルギーの収支計算を基にして立てるCASE-ALPPS(CASE-Algorithm for Plant Planning System)と、運用・制御問題を扱うCASE-CTL(CASE-Control)とに分かれている。離散系に関しては、CASE-PLANET(CASE-Plan Network)により、運用を考慮した設備構成計画が立案できる。

CASE-ALPPSは図1に示すように、いわゆるプラントエ

表4 各分野でのシミュレーションの利用状況 各分野でのシステム開発や製品開発では、多くのシミュレーションが利用されている。

分 野	シミュレーションの利用目的
電 力	電力系統運用計画、水系運用計画、系統特性解析、運転訓練
原 子 力	システム設計、炉心設計、炉心燃料設計、運転管理、物理現象(照射、プラズマ)
鉄 鋼	プラント構成計画、運用計画、経営計画、在庫管理
水資源管理	需要予測、施設計画、運用計画、自然現象のモデリング
プラント	設備計画、運用計画、縮尺モデル、流れの可視化、振動、信頼性・安全性解析
輸 送	都市交通計画、軌道システム計画、運転制御、構内物流計画、模擬視界
通 信	網構成計画、伝送交換機能、網制御機能、網管理機能
計 算 機	構成計画、機能(論理)評価、性能評価、オペレータ/端末評価
半導体製造	回路設計、デバイス設計、プロセス設計
経 営	意思決定支援、生産管理、在庫管理



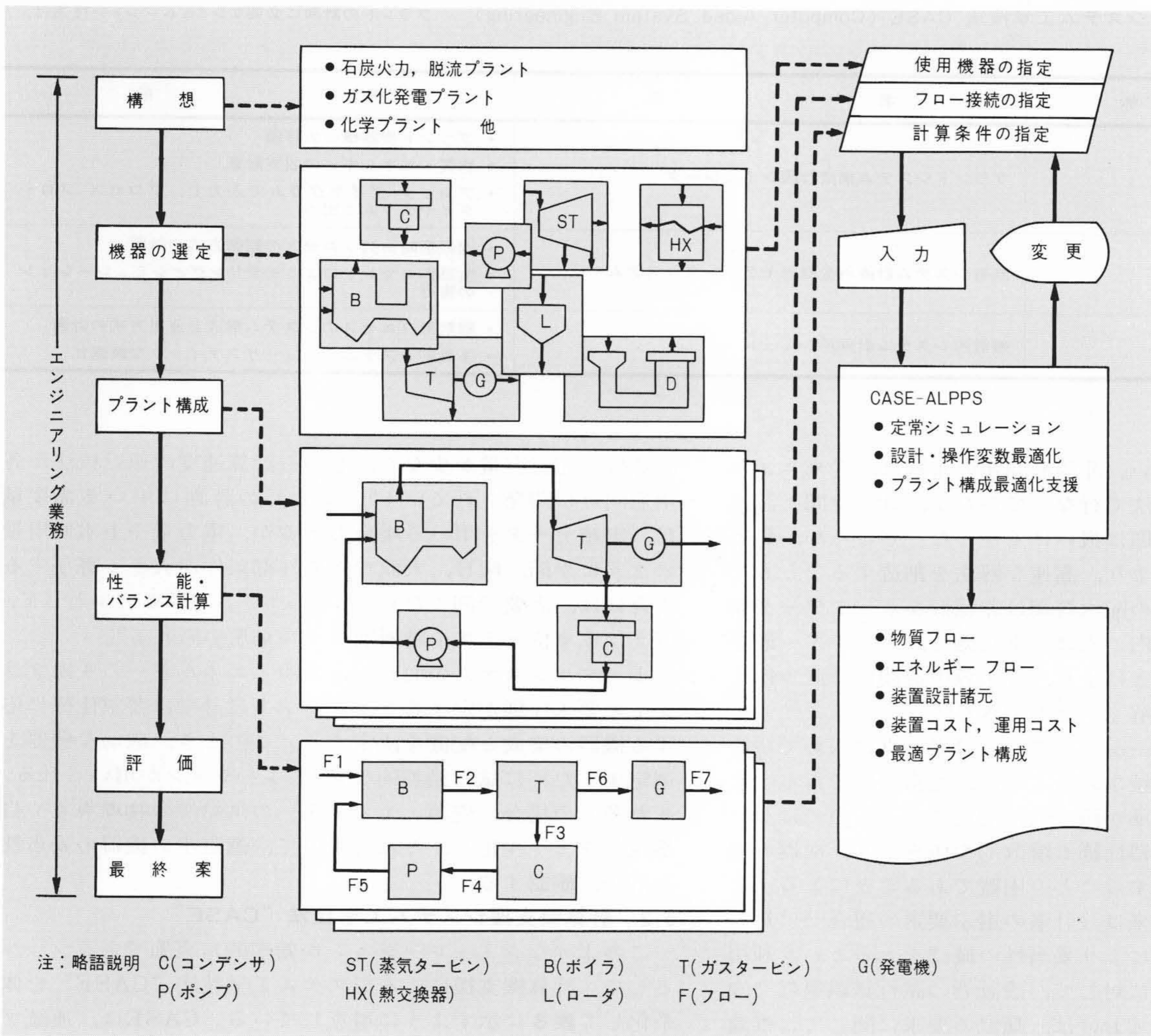


図1 プラントシステム構成計画用シミュレータCASE-ALPPS CASE-ALPPSは、プラントの定常状態での物質やエネルギーの収支計算を基本に、設計変数と操作変数の最適化を行なうことにより、合理的なプラント構成を決定する。

エンジニアリング業務を支援するもので、プラントの定常状態のシミュレーションと、設計変数や操作変数の最適化を行なうことによりエネルギー関連や化学プラントの合理的な構成を会話形で決定するものである<sup>10)</sup>。シミュレータの特徴としては、プラントの構成に応じて機器プログラムの自由な組合せができることと、操作形(順方向計算)、設計形(逆方向計算)の両方向のシミュレーションができることである。計算機との会話は、グラフィックディスプレイ上で使用機器を機器リストの中から選び、それらの接続をブロックフローダイアグラムに表示することから始まる。機器相互の接続は、プラント機器が多要素から構成されているため多変数となるので、詳細な接続表により良否を判断できるようにしてある。シミュレーション結果は、プロセスフロー図や特性図をはじめ図表形式でCRT(Cathode Ray Tube)やX-Yプロッタ上に表示され、操作性が高くなっている。

CASE-CTLは制御システム計画の効率化をねらったもので、時系列データを汎用的に扱えるような構成となっている<sup>11)</sup>。CASE-CTLのソフトウェアは図2に示すように、モデリング、シミュレーション、統計処理、データ編集、表示、ファイル及びシステム生成の機能から構成されている。これらの機能をすべて備えた汎用的なシステムは、専門家がコマンドで会話することにより利用できるようにしてある。ユーザーの中には、CASE-CTLの必要機能を対象分野のモデルを組み合わせて、より手軽に利用したいとの要求もある。そのときには、必要機能を抽出して専用の計画システムが作れるよ

うにしてある。そのときの会話方法は、計算機からメニューを提示し、それによりガイドする方式をとる。

CASE-PLANETは、物流システムのような離散形プロセスのシステム構成と運用方式の計画を行なうことをねらったシミュレータである<sup>7)</sup>。CASE-PLANETの特徴は、物流システムを設備モデルと運用モデルによってモデル化し、システム設計者がシミュレーションを通してこれらのモデルに制約条件と運用ルールを与えながら、システム計画を行える点にある。離散形システムのシミュレーションの特徴としては、各種条件を満足する運用方式の自動決定と、運用の矛盾や不合理の指摘機能が挙げられる。離散形プロセスでの運用は多くの制約条件を満たしながら、効率の良い方向を探索するという性格をもっており、運用者の経験と知識により効率が変わってくる。CASE-PLANETではヒューリスティックに得られた運用ルールに基づいて、運用方式を知識工学的手法により自動的に決定している。

### 5.3 可視化

プラント関連では、プラント構造や物理現象の可視化の努力が重ねられている。プラントの中には多種多様な流体がパイプにより送られている。原子炉格納容器のように、狭い空間に多くのパイプを設置するような場合には、パイプ相互の位置関係を知るのに縮尺モデルをプラスチックなどで作る場合もある<sup>12)</sup>。下水道のような開水路の水流の制御のためには、開水路の縮尺モデルが利用される<sup>13)</sup>。

機器内の複雑な形状の流路の設計に当たっては、流れの可



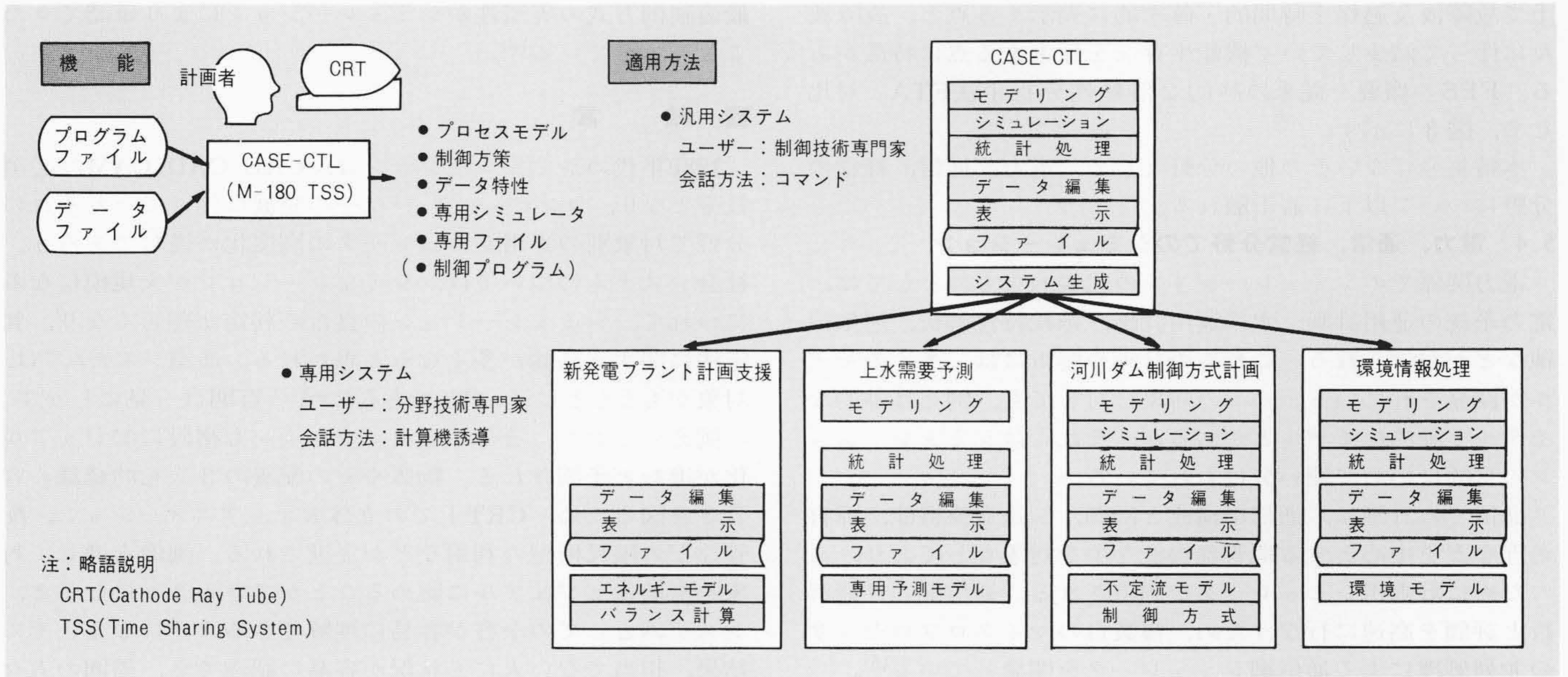


図2 制御システム計画用制御形モデリングシステムCASE-CTL CASE-CTLは、連続系プロセスのモデリング、シミュレーション、統計解析が会話形で容易にできるように構成されている。

視化の要請が強い。水流にアルミの粉などを混ぜて、流体の乱流現象やはく離現象を見やすくしたり、流体の密度変化による光の屈折率の相違を利用した可視化方法も利用されている。各種プラントに共通する問題として、信頼性と安全性がある。プラントの計画段階では、FTA(Fault Tree Analysis)

やETA(Event Tree Analysis)により信頼性の確率的評価がなされる<sup>14)</sup>。一方、故障の波及状況をダイナミックにシミュレートするツールとして、FPS(Failure Propagation Simulator)を開発し故障の経時的な伝搬を可視化している<sup>15)</sup>。FPSは、対象とするプラントをネットワークとしてとらえ、その

	F P S	F T A
分析構造	ネットワーク  <i>i</i> : <i>i</i> 時間後の故障波及経路	ツリー 
時間因子	動的表示 	静的表示 
波及関係	波及確率 	論理演算 
その他	波及の影響評価  機能生存経路の探索 〇〇: 生存経路	注：略語説明 FPS(Failure Propagation Simulator) FTA(Fault Tree Analysis)

図3 故障波及シミュレータFPSとFTAの比較  
 故障解析は従来FTAなどにより、状況を静的かつ論理的に扱ってきた。FPSは故障が時間的に伝搬する様子を動的かつ確率的に表示する。



上で故障波及過程を時間的・確率的に表示する点と、故障波及に伴って減少していく機能生存部を探索する点に特徴がある。FPSの概要を従来の静的な信頼性分析手法FTAと対比して、図3に示す。

本特集号にないその他の分野として、電力、通信、経営の分野について以下に若干触れる。

#### 5.4 電力、通信、経営分野でのシミュレーション

電力関係でのシミュレーションの代表的なものとしては、電力系統の運用計画、水系運用計画、系統特性解析、運転訓練などが挙げられる。これらの計画や解析には、多くのモデルが開発されている。一つの対象に対しても、例えば静的なモデルと動的なモデルとがあるが、それらはシミュレーションの目的に応じて使い分けられている。

通信での計画は、通信網構成と制御、伝送交換機能、障害処理などを中心とする網管理機能を主な対象としており、このために計画用シミュレータが利用される。通信網の性能解析と評価を高速に行なうため、複数台のマイクロプロセッサの並列処理による通信網シミュレータを開発している<sup>16)</sup>。

経営分野では、意思決定支援や、生産管理、在庫管理などにシミュレーションが用いられている。意思決定支援のためのシミュレーションツールとしては、MPSS(Management Planning Support System)を開発している<sup>17)</sup>。MPSSは将来の経営数値を順方向で予測したり、ある目標値を実現するための実施策を逆方向に算出することが容易にできる一種の経営のためのシミュレーション言語である。

#### 6 シミュレーション適用の効果

各種シミュレーションを具体的なプラント計画に適用した場合の効果例を表5に示す。これらの例からも分かるように、シミュレーション適用の第一の効果は、計画中のプラントの機能や性能のベストのものが選択できることである。第二の効果は、計画、設計の効率向上で、エンジニアリング業務のマンアワーやプログラム開発量などが低減することである。その結果、計画代替案を数多く比較することが可能となり、最適設計が得られている。

プラントなどの計算機制御の計画段階では、制御方式を開発し、その良否をシミュレータで評価する。第三の例では、

表5 シミュレーション適用の効果 シミュレーションを適用することにより、多くの代替案の中から最適な構成を選択でき、システムの質が向上する。合わせて開発工数が低減した。

適用例	効果
1. エネルギープラントの構成計画 (CASE-ALPPS適用)	(1) 構成計画案の質的向上：200種の代替案の中から合理的な計画を選択 (2) エンジニアリング業務のマンアワー：70%に低減 (3) シミュレーション期間： $\frac{1}{4}$ に短縮
2. 新発電プラント計画 (CASE-CTL適用)	(1) 計画案の質的向上：500ケースから合理的な計画を選択 (2) プログラム開発量： $\frac{1}{2}$ に低減 (3) モデリング期間： $\frac{1}{4}$ に短縮
3. 大規模水力系統運用の最適化(WELCOM-RM適用)	(1) 発電量(30水力発電所)の増大：5～15% (2) 計算機による最適化計算の実用性証明
4. 某プラントの信頼性評価 (FTA/ETA適用)	信頼度向上：約1桁 ただし、機器点数：約300点 設備コスト：ほぼ一定

最適制御方式の実用性がシミュレーションにより確認できたことを示している<sup>18)</sup>。

#### 7 結 言

1980年代のシミュレーションは、CAE/CAD/CAMの必須技術となり、コンピュータパワーの発展に伴ってそれぞれの分野で対象別の専用シミュレータの高度化が進むであろう。社会システムについては、シミュレーションが大規模になるにつれて、シミュレーションの良否の判定が難しくなり、判定法に関する議論が多くなると思われる。産業システムでは、対象がもともとビジュアルであるため、「百聞は一見にしかず」の例えのとおり、そのシミュレーションも格段にビジュアル化が進むと予測される。物体やその配置の3次元的認識の容易さを図るため、CRT上での立体表示、アニメーション、配管などの縮尺模型の利用などが促進される。画像を通して対象を事前にビジュアルに眺めることができるようになると、システムとしての全容が容易に理解できるようになる。その結果、担当でない人にも状況が容易に認識でき、周囲の人々の協力も得やすくなるものと予想される。

#### 参考文献

- 市川，外：問題発掘と構造化技法，電気学会誌，99，11，1005～1009（昭54-11）
- 西川，外：大規模システムのモデリング，システムと制御，23，2，p.93（昭54-2）
- 鈴木：シミュレーション(I)～(III)，システムと制御，23，9号～11号（昭54-9～11）
- 池田：CADシステムの最近の発展，計測と制御，19，5，456（昭55-5）
- 大成，外：上下水道における設備・運用計画技法，日立評論，62，8，547～552（昭55-8）
- 宮岡，外：最小費用流計算による管路網解析法，電気学会論文誌，101-C，11，261（昭56-11）
- 村田，外：運用方式開発を支援する物流システム計画用シミュレータCASE-PLANETの概要と設備モデルの提案：第21回SICE学術講演会（昭57-7）
- 渡辺，外：集積回路のパラメータ自動最適化法に関する一提案，電子通信学会論文誌，J64-D，9，885（昭56-9）
- 松本，外：上水道の階層型運用計画における需要予測方式，昭53電気学会全国大会，No.1172（昭53-4）
- 小沢，外：プラントシステム構成計画用シミュレータALPPSの開発，昭57電気学会全国大会，No.1377（昭57-3～4）
- 船橋，外：会話形設計プログラムと水系制御システムへの応用，昭57年電気学会全国大会シンポジウム，制御システムの設計（昭57-3～4）
- 角田，外：原子力発電プラントの配置・配管設計システムの改良，日立評論，62，9，671～684（昭55-9）
- 大音，外：上下水道におけるシミュレーション技術，日立評論，64，9，645～650（昭57-9）
- 佐々木，外：原子力プラントの確率論的安全解析支援用プログラムの開発，日立評論，62，9，633～636（昭55-9）
- 古河，外：故障波及過程モデル化の一研究，電子通信学会論文誌，J63-A，3，197～203（昭55-3）
- H. Takenouchi, et al.: Parallel Processing Simulator for Network Systems Using Multi-Microcomputer, Proc. of COMPCON FALL, 55 (1980-9)
- 佐々木，外：経営計画支援汎用プログラム“MPSS”とその適用，日立評論，61，6，399～404（昭54-6）
- F. Wakamori, et al.: Layered Network Model Approach to Optimal Daily Hydro Scheduling, IEEE PES 1982 Winter Meeting, 130-3 (1982-Jan. 31～Feb. 5)