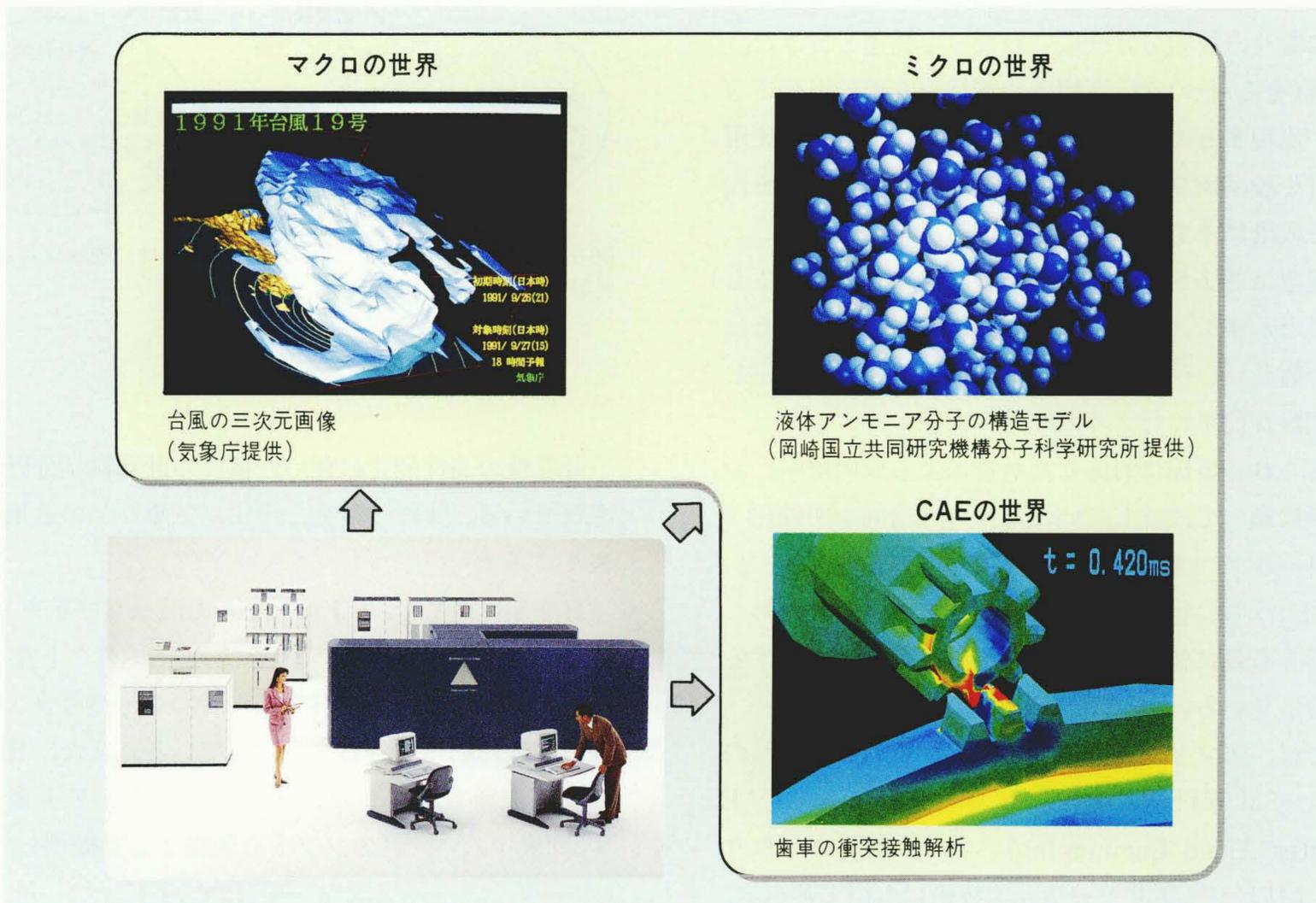


計算パワーで創造領域を拡大する アプリケーションの世界

Application World Attracting on High Computation Power

早瀬 保* Tamotsu Hayase 高橋陸郎** Rikurô Takahashi
小林朋文* Tomofumi Kobayashi 河井政雄*** Masao Kawai



スーパーコンピュータによる数値シミュレーション スーパーコンピュータの計算パワーにより、マクロの世界からミクロの世界、さらにCAE(Computer Aided Engineering)の世界の解析が実現する。

スーパーコンピュータによって大規模なデータの高速処理が可能となり、計算科学と呼ばれる数値シミュレーション技術の適用が、多くのアプリケーションの分野で進展している。また、CV(Computer Vision)によるデータ作成の自動化、並列計算機による高速計算処理、仮想現実によるインタフェースの革新など計算科学を促進する関連技術も発展している。日立製作所はマクロの世界の「気象」からミクロの世界の「原子」に至る分野まで、計算モデルの精密化、モデル間の連成およびミクロ現象への展開に取り組んでいる。

計算機パワーの向上に伴い、計算科学の実用的な

分野の一つであるCAE(Computer Aided Engineering)の適用基盤が整備されつつある。日立製作所は、設計開発工程の短縮などを目指し、技術の統合化、要素技術の取り込み、最適設計および並列計算処理への対応を課題として取り組んでいる。

科学計算結果の可視化は、計算科学に従事する研究者の創造力を刺激し、設計者の作業効率を向上させる効果がある。日立製作所は計算途中で、リアルタイムで計算状況を監視するトラッキング、監視に基づき計算を制御するステアリングなどの技術開発にも取り組みつつある。

* 日立製作所 情報システム事業部 工学博士 ** 日立製作所 情報システム事業部 *** 日立製作所 ソフトウェア開発本部

1 はじめに

豊富な計算パワーをふんだんに活用するアプリケーションの代表格は数値解析の分野であり、計算科学と称されている。数値解析技術は、当初、実験が容易でない原子力分野で発達したが、大規模データを高速に処理できるようになり、技術分野全般にわたって発達してきた。現実と遜(そん)色のない高精度の解析が安価に実行できる分野が出現するに伴い、数値解析が研究室内での使用から設計や製品開発に供され、実験や試作の一部を肩代わりする段階にまで達している。

自然現象はさまざまな要因が複雑に絡み合っていることが多く、実験によって原因を分析することはなかなか難しい。一方、数値解析は仮のモデルを設定して数値実験が簡単に行えるため、

- (1) 考えられる要因に対応した解析による原因説明
- (2) 経験に頼って設計していた部分の理論的な明確化
- (3) 設計パラメータの変更の製品機能への影響評価を短時間のうちに行えるなどの特長がある。そのため、数値解析を有効に使用すれば設計開発工程を大幅に短縮する効果を持っている。

ここでは、アプリケーションの世界の現状と、今後の動向として計算科学の概況、その主分野であるCAE (Computer Aided Engineering)への日立製作所の取り組み、およびビジュアライゼーション技術について述べる。

2 計算科学の展開

2.1 計算科学の世界

(1) 計算科学の特長

計算科学は、従来の科学探索の手段である理論と実験に対し、第三の手段と位置づけられる。その台頭は、

- (a) 計算機の演算速度の高速化と記憶容量の大規模化
- (b) 対象を細分化した時間・空間要素で表し、要素間連立方程式を解く数値解析技術の発展

による。計算科学、理論、実験の関係を図1に示す。

計算科学は、比較的安いコストで、現象を理論モデルに基づいて正確にシミュレーションし、実験に代替する役割を担う。実験を超える利点は次のとおりである。

- (a) 天気予報、環境問題の拡散のような実験の困難な事象のシミュレーションができること。
- (b) 実験で生じる計測の外乱からの影響がないこと。
- (c) 時空間の視点やモデルの変更が容易であること。

(2) アプリケーション分野

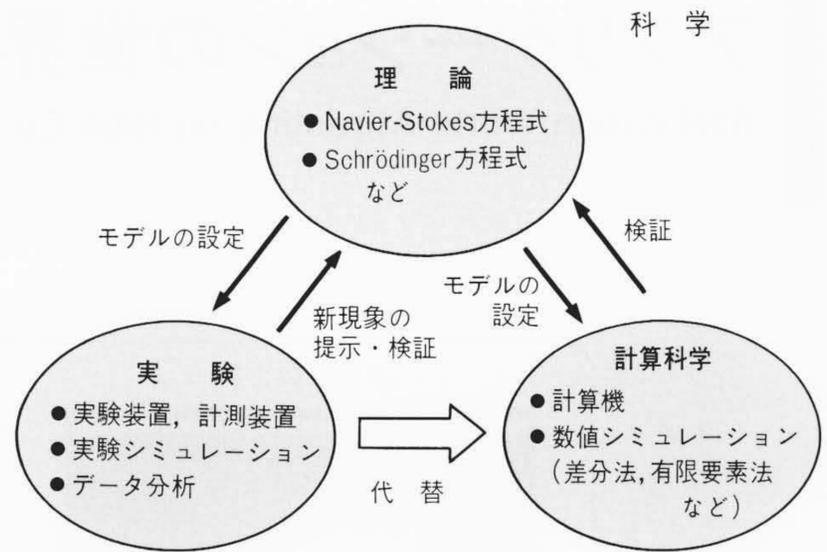


図1 計算科学の位置づけ 計算科学は、理論に対し実験に代替する役割を担う。

計算機の高性能化に伴い、種々の計算科学分野が開拓されている。素粒子研究、宇宙、気象などの適用事例を表1に示す。

日立製作所では、表1に対応した流通ソフトウェア(構造解析のNASTRANなど)を流通プロダクト紹介制度“REFER”に登録し、日立製作所のスーパーコンピュータで高速に利用できるようにしている。また、日立製作所の研究所で開発した最先端ソフトウェアを表2に示す。同表中のいずれのソフトも製品として提供している。

表1 計算科学の適用分野 計算機の高性能化に伴い、多方面で計算科学が開拓されている。

分野	適用例
素粒子研究	格子ゲージモデル, 原子核反応, 量子電磁力学, 量子色力学, クォークモデル
宇宙	銀河構造, 太陽プラズマ対流, 恒星進化
気象	気象予測, 台風予測, 大気大循環モデル, 海洋シミュレーション, 環境分析
資源探索	石油探索, 重力・磁力計算, 地震研究
原子力	炉心設計, 安全性解析
核融合	粒子シミュレーション, 安定性解析, 電磁流体解析
構造解析	自動車・機械・土木建築物・船舶・航空機設計, 建築物耐震設計, 強度・剛性・振動計算, 衝突シミュレーション, 熱伝導・応力計算
流体力学	航空機風洞シミュレーション, 船舶対波設計, 渦解析, 燃焼解析, 空気力学計算, 宇宙工学
半導体設計	デバイスシミュレーション, 回路シミュレーション, 論理シミュレーション, 電磁場解析, 磁気ヘッド
分子科学	分子軌道計算, 分子結晶シミュレーション, 分子動力学

表2 日立製作所のアプリケーションソフトウェア 日立製作所の研究所で開発した最先端ソフトウェアを、製品として提供している。

分野	アプリケーションソフトウェア
構造解析	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造振動解析プログラム CNDYN ● 二次元境界要素法応力解析プログラム BEMETHOD/2D
流体解析	<ul style="list-style-type: none"> ● 三次元熱流動解析プログラム VISCFL ● 三次元大渦乱流解析プログラム LGEDY
分子設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 分子軌道法プログラム MODEL MATE/LEAF ● Xα法分子軌道法プログラム MODEL MATE/DVXα

2.2 今後の動向

(1) アプリケーション分野

計算科学のアプリケーション分野は、計算機のパワーアップによって着実に拡大している。計算機の演算速度と記憶容量の向上に対する適用分野の動向を図2に示す。主要な動向として、次の変化が予測できる。

(a) 計算モデルの精密化

計算機の高速化と記憶容量の増大により、計算時間を要する詳細な計算モデルの採用、形状の詳細な要素分割によるモデリングが可能となり、従来の適用対象の計算精度の向上が期待できる。例えば、流体力学のLES(Large Eddy Simulation)モデルの採用は、基礎方程式の時間進行に関する数値解析を厳密に扱え、乱

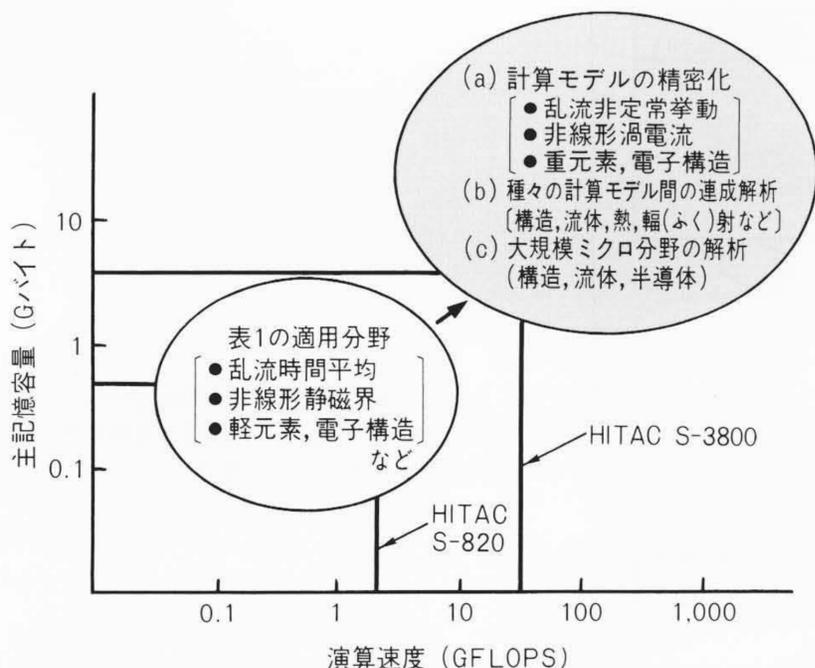


図2 計算パワーと適用分野 計算機の演算速度と記憶容量の向上により、適用分野は従来モデルの精密化、連成解析、マイクロ分野へと拡大する。

流計算精度の向上に寄与する¹⁾。

(b) 種々の計算モデル間の連成解析

流体、熱伝導、化学反応など異なる分野の計算モデルを一つのソフトウェア内で融合させ、それぞれの現象の非線形相互作用を正確に解析するための連成解析が可能となる。例えば、官民共同の流体解析システム研究会の α -FLOW²⁾では、上記分野の連成解析を可能としている。現象の完全な把握には、構造、輻(ふく)射などのモデルも含めた連成解析が必要であり、製品の最適設計への道を切り開く手段として期待される。

(c) 大規模マイクロ分野の解析

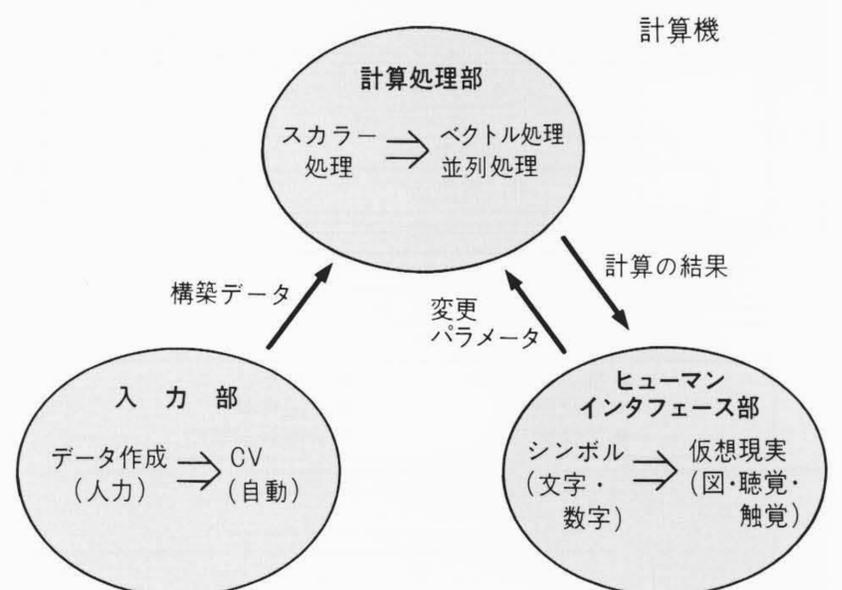
化学分野の分子設計で試みられている量子力学や分子動力学に基づくマイクロ領域からのアプローチ(要素還元主義的手法)が、マクロ分野(構造、流体、半導体など)へも浸透すると期待される。例えば、材料の強度などのマクロ特性を、分子動力学で計算する試みがなされている³⁾。

(2) 計算科学を促進するキーテクノロジー

現在の計算科学の発展を促進するキーテクノロジーとして、(a) CV(Computer Vision)、(b) 並列計算処理、(c) 仮想現実の動向が重要である。各キーテクノロジーは、図3に示すように、計算機の(a) データ入力部、(b) 計算処理部、(c) ヒューマンインタフェース部を革新する。

(a) CVの動向

計算機の入力データの作成は、人間が情報を計算機の処理しやすいデータ形式に作成しており、最も自動化されていない部門である。CVはこれを自動化する試



注：略語説明 CV(Computer Vision)

図3 計算科学のキーテクノロジー 計算機の入力部、計算処理部、ヒューマンインタフェース部の今後のキーテクノロジーとして、CV、並列処理、仮想現実がある。

みであり、視覚情報を解析対象から取り込み、一定の意味を付与し図形・画像データベースに格納するまでの処理を行う。現在、能動的なセンサの調整・回転・移動など動作に絡めて対象を認識するAV (Active Vision) によるアプローチが活発に探求されている⁴⁾。

(b) 並列計算処理の動向

計算処理の並列化は、並列計算機のプロセッサ台数に比例した計算能力の拡大が可能となるため、並列型のスーパーコンピュータの実用化が期待されている。現在、ハードウェア面での並列化は進展しているが、ソフトウェア面での汎(はん)用的な並列化アルゴリズムの出現までには至っていない⁵⁾。

(c) 仮想現実の動向

人間と計算機のインタフェース情報は、計算機向きのシンボル情報(数字など)から、人間向きのパターン情報(図など)、「聴覚」、皮膚感覚などの「触覚」情報へと進展しつつある。これは、人間が観察者から計算機の作る仮想的な世界への参加者になることを可能にし、現象の理解を飛躍的に高め、科学の発展に革新をもたらす可能性を秘めている。この実現には、対象の数値解析と感覚情報の変換処理とをリアルタイムで実施するスーパーコンピュータが必要である。

先進的な仮想現実の研究例として、NASA(米国航空宇宙局)の人工風洞実験装置がある⁶⁾。頭部装着ディスプレイとデータグローブの指先で、人工風洞の中に入り込み、内側から気流の状況を観察できる。

3 日立製作所でのCAEへの取り組み

3.1 CAEの現状

(1) CAEシステム⁷⁾

日立製作所は、CAEシステムを社内向けに開発・実用化し、さらに社外向けに製品化してきた。その代表的なものがHICAD/CADAS/W〔以下、CADAS(Computer Aided Design and Analysis System)と言う。〕を中心にしたCAEシステムである。CADASは解析ソフトウェアの入力データの作成と、その解析結果の出力処理を行うプリポストプロセッサである。

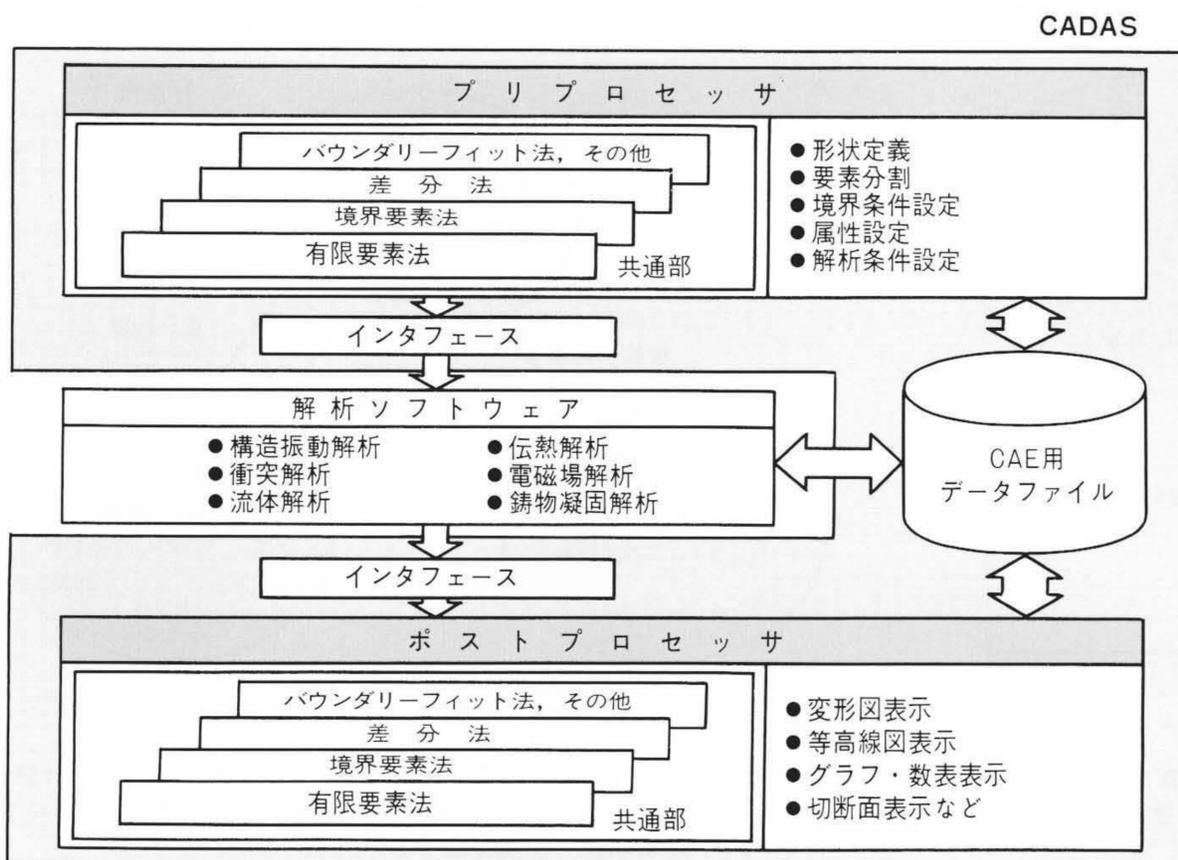
現在CADASは、標準プリポストプロセッサとしても使っており、各研究所で開発する解析ソフトウェアはCADASに接続するのが一般的である。プリポストプロセッサを標準化したことで、入出力処理が共通化でき、社内ユーザーへのCAEの普及が容易になった。

CADASを中核にした、プリプロセッサ、ポストプロセッサ、インタフェース、解析ソフトウェア、CAE用データファイルから成るCAEシステムの構成を図4に示す。

(2) 解析ソフトウェアの開発と利用状況

CAEは構造解析を中心に発展してきたが、前述したように、計算機の性能向上と有限要素法や差分法などの連立方程式を解く数値解析技術の高度化に伴い、CAEが構造解析以外の分野に急速に広まっている。

日立製作所は新製品開発、既製品の機能向上、開発期間短縮などの要求にこたえるため、各研究所が中心にな



注：CADASは、Computer Aided Design and Analysis Systemの略称で、共通部は有限要素法、差分法などの解析手法に関係しない部分である。

図4 CAEシステムの構成 各種解析ソフトウェアと入力データ作成、結果の画面表示を行うプリポストプロセッサを、CAE用データファイルを介して接続したシステム構成になっている。

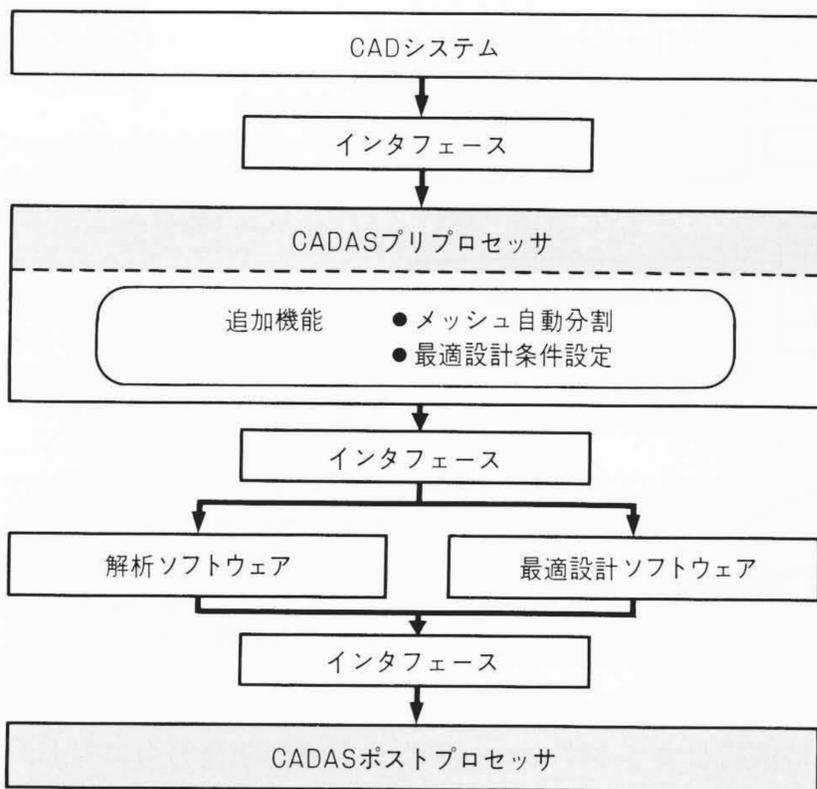


図5 次期CAEシステムの構成 図4のCAEシステムにCADシステムを接続し、プリプロセッサにメッシュ自動分割機能と最適設計ソフトウェア用の設計条件を設定する機能を追加する。

って開発したCAE解析ソフトウェアをCADASに接続し、ユーザーに提供している。

製品設計のために開発し、かつ全社規模で利用している主なCAE解析ソフトウェアは、構造振動解析、衝突解析、流体解析、伝熱解析、電磁場解析などである⁹⁾。

先の表2に示した構造解析と流体解析のソフトウェアは、これらの中で汎用的でかつ十分使い込んだものであり、社外ユーザーのニーズに十分こたえるものとなっている。

3.2 CAEへの今後の取り組み

次期CAEシステムの構成を図5に示す。次に、現在のCAEシステムの解決すべき課題について述べる。

(1) CADシステムとの統合化

CADASを中核にしたCAEシステムは、CADシステムと独立して開発したが、CADシステムの形状データを有効に活用するには統合化が必要である。

(2) 要素技術の取り込み

メッシュ自動分割やアダプティブメッシュなどの要素技術をCAEシステムへ取り込み、メッシュ分割作業の省力化、計算精度の向上を図る。

(3) 最適設計への対応

今後、構造解析や電磁場解析分野などの最適設計を順次取り入れていく考えである。

(4) 並列計算処理への対応

現在、スーパーコンピュータを比較的手軽に利用でき

る状況になりつつあるが、開発設計者がワークステーション並みの手軽さで利用できるようになるには、ハードウェア面の強化と並列処理に適した計算アルゴリズムの出現が待たれる。構造解析では有望なアルゴリズムが提案され⁹⁾、期待がもてる段階にきている。

4 ビジュアライゼーションの展開

4.1 科学技術計算結果の可視化の現状

科学技術計算結果の可視化は、1987年McCormickらがサイエンティフィックビジュアライゼーションの概念を提唱して以来、特に盛んになってきている¹⁰⁾。このような可視化は、研究者の創造力を刺激し、設計者の作業効率さらには生産性を向上させるという効用がある。また、プレゼンテーション手段としても効果的である。

ビジュアライゼーションの技術課題は、適用分野の目的や手段によって、(1) 正確さ、(2) リアリティ、(3) 現実のモデル化、(4) 効率性など千差万別なものがある。

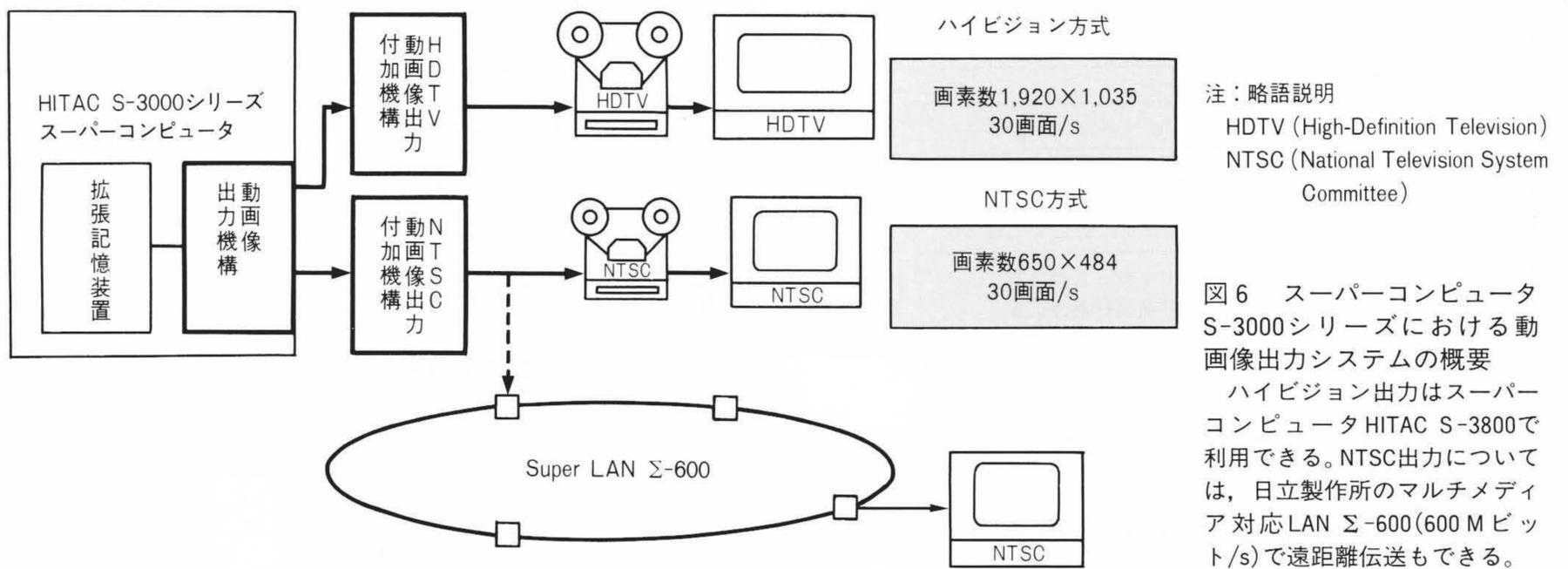
これらを解決していく上で以下の技術要素がきわめて重要な位置を占めている。

- (a) 計算機の計算性能と記憶容量
- (b) ワークステーションなどの表示装置
- (c) 解析結果や画像を転送するためのネットワーク
- (d) 図形および画像の生成ソフトウェア

これらの技術要素は、それぞれスーパーコンピュータ、グラフィックワークステーション、Ultranet^{*)}、ノンプログラミング言語などに見られるように急速に進展している。日立製作所はスーパーコンピュータでレンダリングなどの図形処理を行って画像化し、これを高速に転送してリアルタイムでVTR収録したり、外部の表示装置に動画として表示する動画像システムを提供している。システム構成を図6に、その出力例を9ページの解析結果に示す。

このようなスーパーコンピュータを用いる方式は、大型計算センターなどの中央設備として利用され、ワークステーションを用いる方式は、パーソナルな個人設備として比較的小規模な解析および可視化に利用されるものと思われる。特に、ワークステーションを用いる方式は、今後、LANの高速化・廉価化、マルチメディアを活用したプレゼンテーション用ソフトウェアの充実などに伴っ

※) Ultranet：米国ウルトラネットワークテクノロジーズ社の商標である。



て、手軽なシステムとして普及するものと期待される。

4.2 計算過程のモニタリングと計算制御

解析結果の可視化に加えて、今後、大きな発展が期待される技術は、アプリケーションソフトウェアの計算途中で、リアルタイムでそれまでの解析結果を監視するトラッキング、その状況に応じてその後の計算継続の要否を判定したり、繰り返し計算の収束判定条件を動的に変更したりするステアリング技術である。

現在主流のビジュアル化は実行済みの解析結果を可視化する方式であり、受動的なシステムであるが、このような方式によって能動的な数値解析の可視化が可能となり、解析作業の効率が向上するものと期待される。

5 おわりに

よりパワフルな計算能力を備えた計算機を、より安価

に供給しようとするハードウェア側の開発努力に対し、アプリケーションの世界は計算機上で「自然」をより高度に再現する努力を進めている。数値解析分野では、より複雑な現象を、より精度よく数値的に再現できる手法の開発が精力的に進められており、設計・製品開発の実用化に供しうるソフトウェアがますます豊富になると予想される。また一方では、数値解析によるカオスの発見に代表されるように、理論でも実験でもない数値解析特有の領域が存在することを暗示する事例もある。今後とも数値解析に代表されるアプリケーションの世界は、不可能を可能とするフロンティアの一つとして大きな発展が期待される分野と言える。

参考文献

- 1) オーガナイズドセッション26: Large Eddy Simulation と Direct Simulation, 日本機械学会第70回全国大会講演論文集, C, 1621~1633(1992-9)
- 2) 秋山, 外監修: α -FLOWによる熱と流れのシミュレーション, 朝倉書店(1992-7)
- 3) 計算力学部門企画: 材料評価のための計算力学シミュレーションの可能性, 日本機械学会第70回全国大会資料集, F, F1-1~F1-6(1992-9)
- 4) 浅田, 外: 1992年コンピュータビジョンとパターン認識会議参加報告, 電子情報通信学会技術研究報告, 92, 330, 31(1992-11)
- 5) 西関, 外編集: 「並列アルゴリズムの現状と動向」の小特集, 情報処理, 33, 9, 1023~1066(1992-9)
- 6) S. Bryson, et al.: A Virtual Environment of the Exploration of Three-Dimensional Steady Flows, Proc. of Intl. Conf. on Artificial Reality and Tele-Existence, p.15~23(1991)
- 7) 高橋, 外: エンジニアリングワークステーション向け CAEシステム“CADAS”とその適用事例, 日立評論, 72, 3, 275~280(平2-3)
- 8) 守田, 外: 機械工学におけるスーパーコンピュータの高度利用, 日立評論, 72, 3, 231~236(平2-3)
- 9) 矢川, 外: 計算力学とCAEシリーズ7 パラレルコンピューティング, 倍風館(1991-11)
- 10) B. H. McCormick, et al.: Visualization in Scientific Computing, Comput. Graph., 21, 6(1987-11)