

# 数値シミュレーション

## —コンピューターによる設計支援—

シミュレーションとは、実際にできないことを代りのもので行うことで、コンピューターとソフトが大幅な進歩を遂げた昨今では、シミュレーションは数値シミュレーションそのものを指すような感じにさえなっている。

過日のNHK放送の「新 電子立国 驚異の画像」ではコンピューターグラフィックスの力を借りて想像を絶するシミュレーションの世界が紹介され、この分野の進歩の速さを垣間見ることができた。本稿では、範囲の広い数値シミュレーションの中でも、工学上不可欠なツールの1つとして、広い分野に利用されている計算力学に問題を絞り、いわゆるCAE(Computer Aided Engineering)の概要を3回にわたって紹介する。

B

## CAEの歴史と役割

B-1

コンピューターが今日のように普及する以前は、それぞれの学問分野の力学的問題に対しては、まず問題を適切なモデル化によって簡素化し、これに応用数学を適用して解析していた。したがって、技術者に要求されることは、その解法を理解し、応用できる技量であって、つねに新しい解法を見つけ出すことが工学研究の対象になっていた。

ところがコンピューターの進歩とともにあって基礎方程式の解を直接、数値的に求めることが可能になり、その結果、個々の問題を解析的に解く解法や応用はそれほど意味をもつものでなくなってきた。むしろ、生産性の向上、能率化、大型化あるいは軽量化といった高度経済成長時代の波にのって、コンピューターによる数値計算あるいはシミュレーション解析は急速に発展・普及し、これが解析の主流に移り変わってきた。

このようにコンピューターによるさまざまな現象の予測が可能になると、開発設計段階において実験に費やされていた費用と時間を大幅に低減することができ、さらには実験的には測定不可能な現象のメカニズムも数値シミュレーションにより明らかにできるなど、工学・科学においていまやCAEは不可欠なものとなり、いわゆる計算力学と呼ばれる新しい学問分野が形成されるまでになっている。計算力学は従来の理論的研究や実験的研究ではその本質が充分に理解できなかった力学現象を、コンピューターの力を借りて解明しようとする学問分野であるといふこともできる。

計算力学の利用分野を第1表に示す。<sup>1)</sup>

力学現象については、すべて問題を偏微分方程式で表現することができるが、これをコンピューターで処理するためには方程式を離散化する必要があり、その離散化の代表的方法として差分法、有限要素法、境界要素法の3つがある。離散化された方程式は多元の連立一次方程式になり、最終

的に、これを解くことになる。また、場合によつては固有値問題を解くこともある。

数値解析の中でも、とくに有限要素法はCAEの中心的役割を演じており、構造解析者だけではなく、およそ技術計算にたずさわる人でこの技術を知らない人がいるくらい、わが国に定着したものである。

1) 大成幹彦：シミュレーション工学，(1993)，オーム社,p.83

第1表 計算力学の利用分野

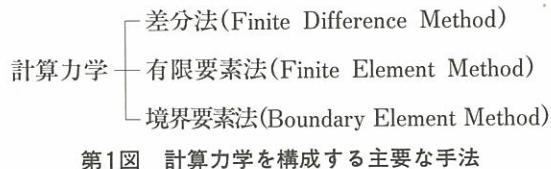
環境	気象 海洋 地殻 地表	数値予報、台風進路予測、水の気化・液化、太陽熱、赤外線冷却、雲の物理 気候、海洋大循環、黒潮・親潮、漁業管理、資源管理 地震予知、地震波解析、地殻変動、地球形成・内部熱、地下資源探査 画像処理、衛星写真解析、フィルタリング
設計	建築 土木 航空機 自動車 船舶 原子炉 機械 電子 電力 音響 スポーツ 化学生 経済	高層ビルの耐震計算(超高層化、超耐震化)、ビル各間気流、ビルの熱管理 橋梁の耐震・耐風計算、港湾の津波・災害対策、丘陵安定性、ダム、地下街 翼形と空気抵抗、翼胴、スペースシャトル、機体構造 車体構造、車形と空気抵抗、衝突 船体の耐波構造、タンカー、渦対策 炉構造、安全性解析、動特性 エンジン、精密構造、材料力学、回転系 集積回路、デバイスシミュレーション、半導体解析、磁気ヘッド解析 潮流計算、最適設計 HiFiスピーカー、音楽堂 ゴルフボール、野球製品、スキーのジャンプ、グライダー、ヨット 化合物模型、合成シミュレーション、反応過程、新素材 世界統計、経済ダイナミクス
エネルギー	核融合 原子炉 石油	電磁流体、トカマク、粒子シミュレーション、レーザー形、磁気核融合 中性子拡散、輸送、熱流動 弾性波探鉱、画像探査、貯蔵所モデル
自然研究	原子分子 固体 不規則系 原子核 素粒子 結晶 生体 天体 流体 電磁波	構造、反応、スペクトル分析 帶構造、超伝導、界面、表面、合金、超格子構造 ガラス、液態、スピニ系、相転移 核構造、核反応 クォーク、格子ゲージ理論、量子電磁力学、量子色力学 X線解析、粒子線解析、幾何構造、超音波 生体反応、骨格構造、生体動力学、遺伝子解析、遺伝子操作 恒星進化、超新星、星雲、太陽内部対流、銀河構造、ブラックホール 乱流、衝撃波、層流、電磁流体、音波、分子動力学 磁場解析、レーザー光

## B-2

### 計算力学の手法

- 2) 川井忠彦ほか：計算力学入門、(1993)、森北出版、p.2  
 3) 吉野利夫ほか：計算力学の基礎、(1995)、オーム社、p.3

各分野で用いられている計算力学の手法は、第1図に示すように大別できる<sup>2)</sup>が、このうち最も古くから用いられているのが差分法(FDM)である。差分法は第2図(a)に示す<sup>3)</sup>ように、記述する座標線の方向に計算領域を格子分割し、各格子点における値を用いて基礎方程式の微分項を近似的に表すものである。このほか、格子線によって囲まれる各体積要素について、物理量の保存則とともに定式化を行う有限体積法(FVM)もよく用いられる。



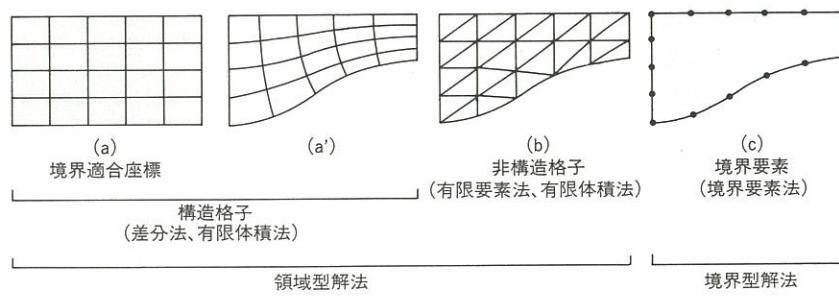
有限要素法(FEM)は1950年中頃、米国ボeing社によって航空機の翼の強度計算のために考

差分法と並んで理工学の諸問題に対する有力な方法としての地位を確立するにいたった。

幅広く展開されている有限要素法を代表に、コンピューターの急速な進歩とあいまって、いまやCAEは全盛期を迎えたわけである。

案されたものである。この方法では計算領域を第2図(b)に示すような任意の三角形あるいは四角形要素に分割し、離散化方程式をえる。このような非構造格子を用いる解法は複雑境界への適用が容易な長所を有するが、格子点の配置が第2図(a)および(a')のように規則的でないため、メモリー使用量、計算速度の点で構造格子に劣る場合が多い。

いっぽう、熱伝導問題に現れるラプラス方程式のように、基礎微分方程式の基本解が解析的にえられる場合、境界値に応じて基本解を重ね合せることにより解をえることができる。この方法を境界要素法(BEM)といい、第2図(c)に示すように、境界上のみを要素分割すればよいので、問題の次元が1つ下がり効率的に解がえられる。コンピューターを用いたこのような数値計算法はさらにハイブリッド解析法として発達し、実験と数値計算、解析解と数値計算という組合せでのハイブリッド解析や、FEMとBEMの組合せも行われている。



第2図 数値解析の各種手法

## B-3

### 数値解析の実際の手順

工学における計算の実行手順を実現場の立場で示す。

まず、計算領域を格子分割(あるいは要素分割)しなければならないが、実用に現れる問題では、第2図の例に示すように複雑形状の場合が多く、格子生成にかなりの労力を費やすことが多い。これらの計算に先立って行う処理をプリプロセス(前処理)と呼ぶ。プリプロセスの過程では、格子

の粗密、直交性など格子分割(要素分割)の適切さについて解析者の判断を加えなければならないので、グラフィック表示による人間とコンピューターとの対話型処理が必要となる。

つぎに、前処理によってえられた要素分割を用いて数値解を求める過程は、いったん計算アルゴリズムが確定すればまったく自動的に行われる。この解を求める部分をソルバーとよぶ。最近では

このソルバー部分のソフトが、NASTRAN、MARC、ABAQUS、FLUENTなど、数多く市販されている。

最後に、このような手順によりえられた計算結果を解析者が検討するわけであるが、そのためには数字のかたまりである計算結果を視覚的に表現する必要があり、この過程をポストプロセスと呼ぶ。ポストプロセッシングは計算本体とは直接的には関係ないが、計算結果を調べる上で非常に重要な技術であり、さらに非定常シミュレーションの場合にはコンピュータアニメーションを用いることにより、計算結果の全体を把握することが

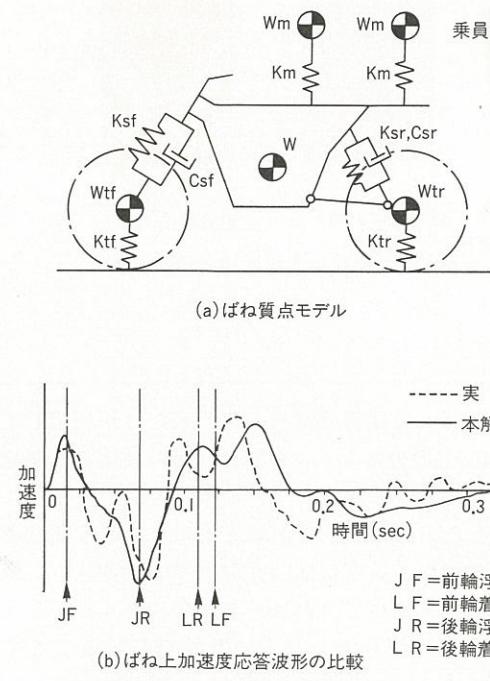
できる。このようにして計算結果を検討し、必要であれば解析モデルすなわち要素分割あるいは計算アルゴリズムを修正して再び計算を行う。いわゆる汎用解析ソフトでは、このような前処理、後処理におけるマン・マシンインターフェイスが十分に考慮されているので、ユーザーはまったく計算の中身を知らなくても計算を実行し、結果をえることができる。しかし、計算結果の持つ意味を真に理解するためには、そこで用いられている計算アルゴリズムとその特性を熟知する必要がある。

## CAEの実際

以下にCAEの実例を紹介する。

### 単車の動荷重解析

単車の動荷重シミュレーションの解析と実験結果の比較を第3図に示す<sup>4)</sup>。第3図は単車が路面の凹凸突起を乗り越えたときの単車の動荷重を示す。



第3図 単車の動荷重解析例

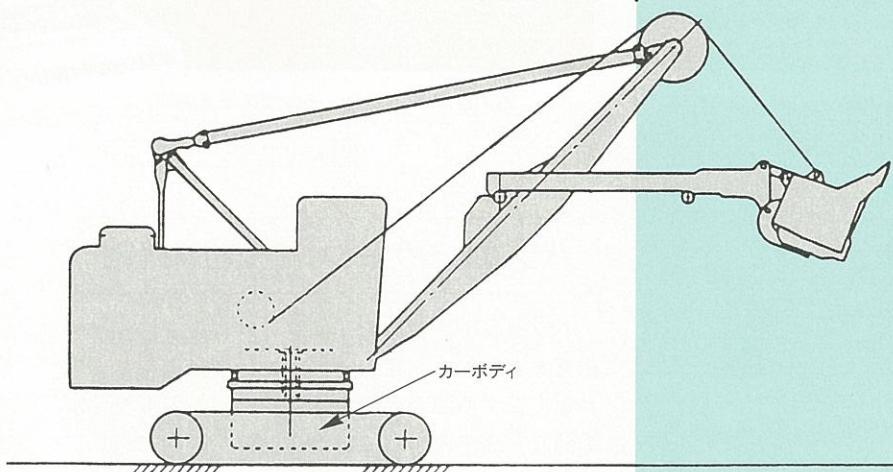
### 建設機械の構造解析

建機のショベル構造は複雑な板構造物であり、各部材の荷重を受けた場合の変形、強度評価はか

## B-4

なり難しい。とくに重要な部分がカーボディと呼ばれる構造部分で、このカーボディ構造は数多くの有孔板と円筒殻からなる複雑な大型構造物である。設計・開発には、このような複雑な大型の構造物の解析を詳細に行う必要があるが、この解析は一般に解析的手法では不可能に近く、CAEの手法によらざるをえない。以下にその一部を示す<sup>5)</sup>。

ショベル構造の全体を第4図に示す。



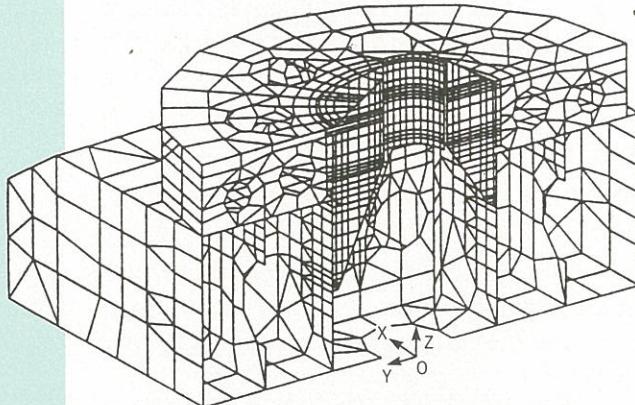
第4図 ショベルの全体図

カーボディは、構造、荷重、境界条件ともに $\frac{1}{2}$ 対称となるため、解析モデルは $\frac{1}{2}$ 対称として取扱うことができる。カーボディの一部の $\frac{1}{2}$ 対称モデルの有限要素分割を第5図に示す。

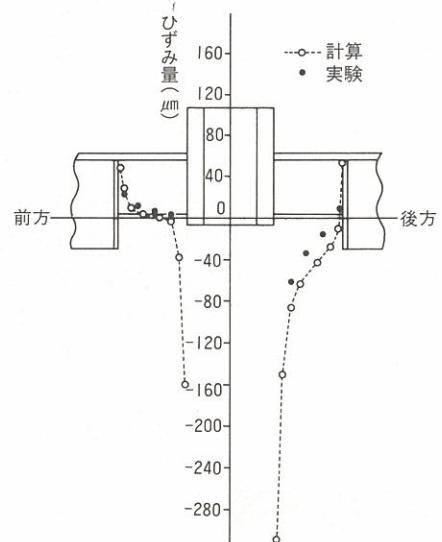
ひずみ分布が最も複雑な構造の中心部の解析値を第6図に示す。解析値と実験値は全般的によく一致している。

4) 薦 紀夫: 機械の研究, Vol.45(1993), p.839

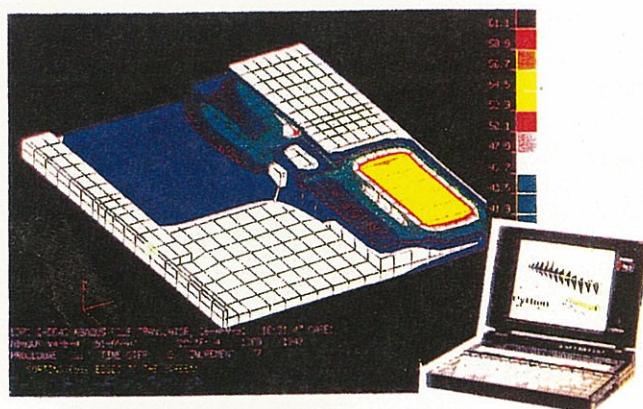
5) 森脇良一ほか: 神鋼技報, Vol.31(1981), No.2, p.77



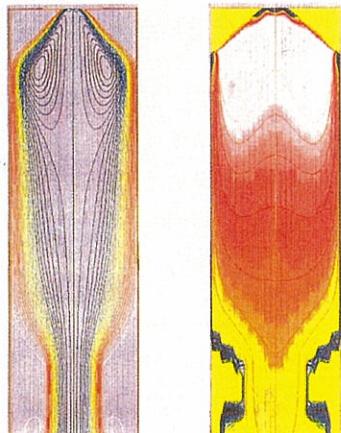
第5図 カーボディの有限要素分割図



第6図 カーボディ中心部のひずみ



第7図 パソコンケーシングの伝熱解析



第8図 溶融炉内の流線・温度分布

## パソコンのケーシングの伝熱解析

パソコンの内部の電子回路発熱による伝熱解析結果を第7図に示す。パソコンの製作過程で、部品を配置する場合、半導体基板、ハードドライブ電源など発熱源となる部品の配置を適切に行い、ケーシングの温度を低く抑えることが設計上重要な。第7図はある配置でのケーシング表面の温度分布を示したものである。

## 溶融炉内の温度解析

焼却灰を減容、無公害化、再資源化するために焼却灰を溶融することが進められているが、その溶融炉設計において炉内燃焼状況を把握することは大変重要なことである。第8図は炉内フローパターンと温度分布の解析結果を示す<sup>6)</sup>。フローパターンから上部に循環渦が生じているのがわかる。

6) 吉ヶ江武男ほか：神鋼技報, Vol.43(1993), No.2, p.71

ひと昔前には数値解析の専門家だけが利用していたCAEの分野も、いまでは一般の技術者が開発を支援するツールとして、いつでも使えるまでに普及した。しかし、それにともない大きな問題も出てきている。それはCAEはソフトを購入し、操作方法さえ習得できれば、魔法のツールが手に入り、すべてが解決したという錯覚に陥ることである。

CAEの成果は道具そのものによるのではなく、使う技術者の力量に左右されることが多い。結果を生かすも殺すも技術者自身で、その問題をとらえる工学的センスが重要なわけである。

次回以降には、CAEの各分野への応用例を示しながら、そのエンジニアリング処理の重要さを紹介する。

[研究開発部 CAE研究室 清水泰洋]