

≡ ≡ ≡ 総 説 ≡ ≡ ≡

CAEの動向

The Trend of CAE

小川 佳大*

1. はじめに

製品開発期間の短縮，コストの削減，品質の向上 — これらは，自動車や自動車部品製造業のみならず製造業全般にとって永遠の課題になっている．製造業のIT化も基本的にこれらの課題を克服するために実施されてきた．とりわけCAEは，コンピュータのハードとソフトの飛躍的な発展に助けられ，製造業にも広く受け入れられているが，本来のCAEの望まれる形には未だに到達していない．

本来のCAEに望まれる形は，「設計者自らが解析ツールを使いこなし，それによって設計の向上を即座に図れる」ことである．これはCAEという言葉の生みの親であり1980年米国のコンサルティング会社SDRC社創設者の一人であるJason Lemonにより提唱されている．しかし現実には，解析モデルの幾何学的な煩雑さと解析そのものの高度化，特に解析ソフトが取り扱える力学問題の範囲が，線形問題から，大変形や接触・摩擦条件などを含む非線形問題へと，また時間的な問題を力学問題に考慮できるようになったことにより，CAE専門の解析技術者に解析業務が委託されている場合が多い．¹⁾

2. CAE活用のフロントローディングの重要性

CAEを誰が実施すべきかを判断する時，CAEの特徴を考える必要がある．CAEは図面から性能を予測できる非常に有効な手法であることは言うまでも無い．後述するように計算機的能力向上に支えられ，CAE用ソフトウェアの進化と解析技術者

による活用技術の取り組みによりCAEの高精度化が図られてきた．しかし人知の及ぶ範囲で解明された物理現象をシミュレーションする手法であることと，主に有限要素法という近似法を利用することから100%の精度を得ることができないことを理解しなければならない．さらにCAEの精度を100%に近づければ近づけるほど，人件費を含めたコストと解析期間は膨大になるため，精度とコストのバランスに対する割り切りが必要になる．

よって開発期間の短縮，コストの削減，品質の向上を目指して開発設計・生産準備プロセスの改革を進める中，100%の精度に満たないCAEをロバスタな設計で補うことができ，かつ設計の自由度が大きい設計初期構想段階へCAEの活用時期をフロントローディングすることこそCAEの能力を最大限発揮できる．それを実現できるのは設計者である．

現在，開発設計・生産準備プロセスの改革を進める中で，CAEのプロセス改革も求められ，その1つの回答が設計者によるCAEであることが，本来望まれる形と一致することは興味深い．

3. 設計者用CAE

近年ようやくCAE用のソフトウェアは2極分化してきたように思われる．1つは従来の延長線上にある解析モデルの幾何学的な煩雑さと解析そのものの高度化，つまり自動車や自動車部品製造業においての，複数部品からなるモジュールやモジュールを取り付けた車両を視野に入れた計算モデルの煩雑化や衝撃解析等に代表される解析そのものの高度化である．もう1つは設計者用CAEソフ

* Yoshihiro Ogawa 技術企画部 技術電算室

トウェアの登場である。

設計者用CAEソフトウェアが市場に出るためには、さまざまな課題が存在した。主なものは「拘束条件、荷重条件等の条件設定」と「メッシュ生成と呼ばれる要素分割のためのヒューマンパワー」である。例えば1980年代後半から1990年代にかけて、自動車や航空機業界では、FEM解析そのものは数時間から1日程度で実行できるのに対して、メッシュの生成に数週間から数ヶ月も要してしまうという事例がしばしば報告され、設計者自身で解析する事を困難にしていた。メッシュを手作業で製作せざるを得ず、このような膨大な時間を要したのである。その解決のための原動力は3D-CADであった。「条件設定」はウィザードと呼ばれる手順表示ソフトに導かれながら、3D-CADによる立体形状を視覚的に認識しながら実施できるようになった。また「メッシュ生成のためのヒューマンパワー」は、3D-CADによる立体形状に対する自動メッシュ生成ソフトの性能向上により、大部分の工学的な形状に対して、ほぼ人手を要せずにメッシュを生成することが可能になった。

しかしながら、設計者自身が設計者用ソフトウェアを現段階活用するのに課題が無いわけではない。より精度の高い計算結果を得るため自動メッシュ生成手法の改良が必要である。計算結果に応じてメッシュを適応させていくアダプティブ解析については、まだ広く使用されるには至っていないものの、市販ソフトウェアに徐々に組み込まれるようになってきており、今後、確実に一般化していくものと予想される。さらに重要な課題はCAEソフトウェアへの3D-CADデータの受け渡しである。例えば、CADソフト上では連続した面に見えたものが、CADの内部データ構造では分割した面の連続になっているために、メッシュ生成をしたときに不必要な境界が生じたり、面の脱落や形状の変化といった不具合が生じる場合が少なくない。また設計や製造に使われるCADモデルには、面取りやフィレット、あるいはボルト穴など詳細な形状データが含まれているが、CAEではこのような詳細なCADデータは解析の障害となるケースが多く、あらかじめ取り除いておく必要がある。²⁾

これらの課題を抱えているが、線形静的構造解析、伝熱解析、モーダル解析、固有値座屈解析、疲労解析なども可能になった³⁾ 設計者用CAEに対

する期待は大きく、今後は単一の物理場だけでなく、複数の物理場を相互に関連付けて行う連成解析を目指して機能拡張が行なわれるとともに、PDMとのリンクが進むと考えられる。

4. 計算モデルの煩雑化と解析の高度化

一方、従来の延長線上にある解析モデルの幾何学的な煩雑さと解析そのものの高度化といったCAE専門の解析技術者が活躍する分野も発展してきた。この分野は、膨大な計算量を高速に処理する必要がありスーパーコンピュータと呼ばれる計算機が一般に用いられる。よって動向は、スーパーコンピュータの性能を競う世界標準ベンチマークテストであるLinpackベンチマークテスト（線形連立代数方程式の解）を公表しているホームページの統計資料で判断できる。⁴⁾ 自動車関連におけるスーパーコンピュータにおいては、衝撃解析（Crash）が47.4%、熱流体解析（CFD）が29.1%、この2領域で76.5%を占める。（図-1）

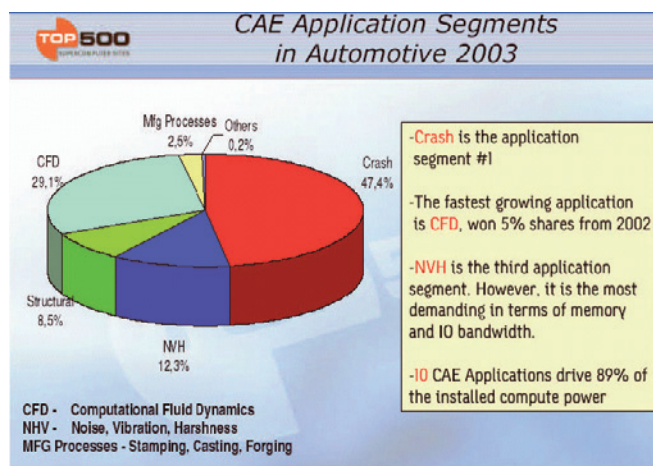


図-1 自動車関連のスーパーコンピュータ活用領域

これらは、安全性向上や低燃費を目指した重要な領域であることは言うまでも無く、高精度化への取り組みも積極的である。そのため連成解析への拡張や構成式の高次化、モデルの再現性向上のためのメッシュの大規模化が進んでおり、さらなる計算機の性能向上が望まれている。

計算機の性能向上は指数関数的に上昇しており、3、4年で約10倍になっている。（図-2）

High-Performance Computing Capacity Growth in Automotive

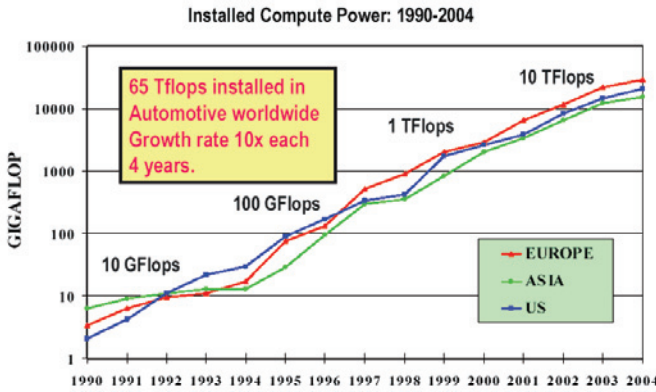


図-2 自動車関連のスーパーコンピュータ性能向上

このスピードは、ムーアの法則（米Intel社の設立者ゴードン・ムーアが1965年に提唱した、半導体技術の進歩に関する経験則）「半導体チップの集積度は、およそ18カ月で2倍になる」を計算速度に置き換えて比較しても遥かに上回っている。これは、現在のスーパーコンピュータの多くが複数のCPUを用いて計算を並列で処理する並列化により必要な計算性能を確保しており、従来に比べて高速化しやすい構成になっているためである。ここ数年においては、各社独自開発のCPUからIntel社のCPUへの変更（図-3）、各社独自開発の並列化方式からクラスタという汎用ネットワーク技術を利用した安価な並列化方式、各社独自開発OSから汎用OSであるLinuxへの変更（図-4）といった汎用化を進めており、低コスト化と高速化の両立を図っている。

ハードウェアとしてのコンピュータは、2010年にペタスケール（PFlopsの計算速度、ペタバイト級のシステムメモリ、毎秒数ペタバイトのメモリバンド幅）を目指して開発されており、1000CPU以上搭載した計算機も見受けられるようになったし、Linpackベンチマークテストで先日まで世界最高位に認定されていた日本の地球シミュレーションセンターにある「地球シミュレータ」という計算機は、5120ものCPUを搭載している。並列計算機は、アカデミックな分野では大きな成功を収めている。

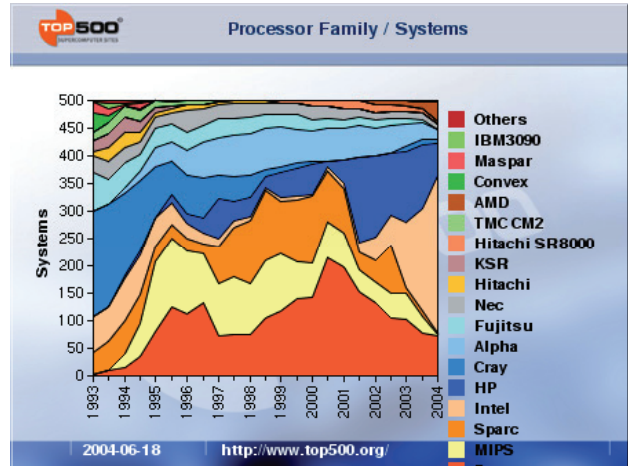


図-3 スーパーコンピュータのCPU動向

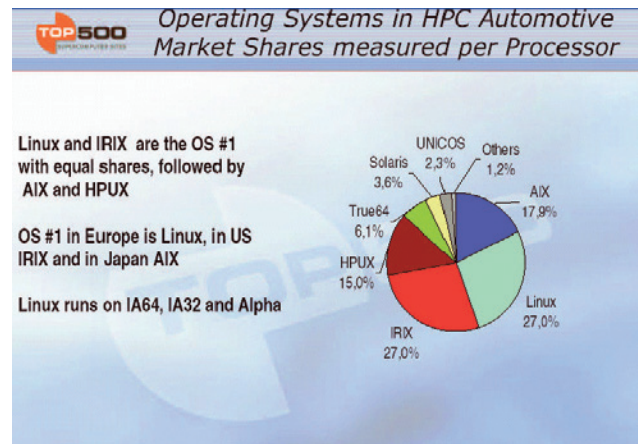


図-4 スーパーコンピュータのOS動向

これらの高性能なコンピュータをCAEの分野で有効に活用できているかというそうではなく、いくつかの課題を抱えている。1つの課題はCAEソフトウェアの並列化対応が不十分であることである。もともと並列化による高速化は、CPUの高密度化により発生しやすくなる漏れ電流のため、CPUを単体で計算性能を向上させにくくなったことにより適用されてきた。そして比較的容易に、また安価にハードウェアの性能を向上させる引き換えに、ソフトウェアの並列化対応という大きな課題が発生した。1980年代から1995年あたりまでは各ベンダは自社の優位を争うべく独自の並列化対応を進めたが、MPIフォーラムを代表とする規格の統一化機運が高まり、標準化も進んでいる。⁵⁾しかし現在、CAEにおいて並列化が効率的に作用するのは、個々のアプリケーションに

も依存するが、おおよその目安として構造解析においては8 CPU、衝撃解析において16 CPU、熱流体解析においては128 CPU程度までであり、⁶⁾ 例え1000 CPU以上搭載した計算機が利用できても、その性能を100%利用することができない。これは、CAEの分野の計算において、各CPUに計算の領域を分割することが困難であることと、データの相互参照が頻繁に生じることによる。

もう1つの課題は、並列化されたCPUの数に対して必要なソフトウェアのコストの上昇である。並列のCPU数に対しコストが比例して上がるわけではないにしろ、例えば8 CPU並列用ソフトウェアのコストは1 CPU用の2倍といったようにコストは少なからず増加する。市場の小さいCAEの分野におけるトータルコストに対するソフトウェアコストの占有率はもともと大きく、その占有率は並列化によりさらに拡大する。ハードウェアである計算機の高性能化と低コスト化が進んでいるのは喜ばしいことだが、ソフトウェアを含めたトータルコストを判断しないと手放しでは喜べない。

これらのように計算機の能力向上とCAE用ソフトウェアの進化は著しいものがあるが、CAEの高精度化は解析技術者による活用技術の取り組み無くしては達成できない。特に重要なことは、実際の製品における材料の成形条件や力学的挙動等を、計算機に入力する材料物性値にどれだけ正確に反映できるかということである。樹脂やゴムといった高分子材料において、この影響は顕著である。

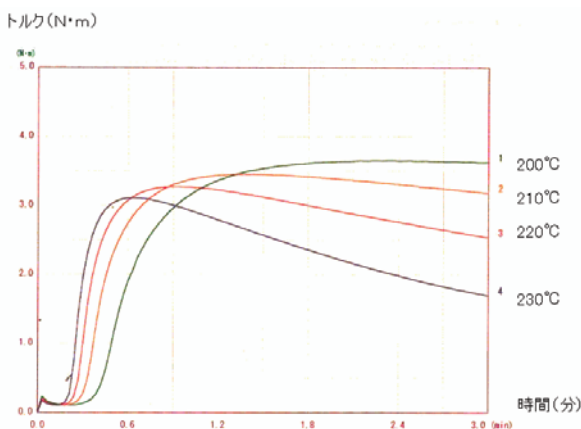


図-5 ゴム材料のキュラストカーブ

図-5にキュラストカーブと呼ばれるゴムの成形過程の粘度変化を示す。低温成形においては緩やかに立ち上がり一定値を保つが、高温成形においては立ち上がった粘度が低下傾向を示す。このような成形過程での変化を示した材料は、成形後の力学性能においても若干の違いを示す。これは、材料物性の特徴の一面を示したものである。その他さまざまな材料の特徴により、成形された製品において熱履歴、圧力履歴、流れ方向等による材料物性分布が生じることは容易に想像できる。さらに衝撃解析においては高速な材料変形により生じる粘弾性のため、変形速度に対する材料物性変化が顕著である。また、変形形状を合わせることも重要である。一般的な材料物性の測定機器、測定手法は引っ張り方向の測定が主体であるが、実際の製品の変形部位は圧縮されている場合が少なくない。図-6に引張り試験により圧縮物性を測定するテストピースの変形状態を示す。

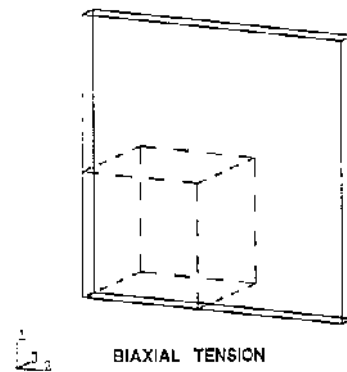


図-6 2軸引張り試験の変形状態

2軸方向に均等引っ張りの変形を与え、残り1軸方向の圧縮特性を測ろうという測定方法である。この方法は一般の測定方法に対し幅広いテストピースを使用するため、高剛性材料の測定は困難である。

このような理由から、計算機に入力する材料物性値に正確に反映するため、物性測定用のテストピース成形条件と材料物性測定条件を、実際の製品における材料の成形条件や力学的挙動に近づけることが、解析技術者の大きな課題である。

5. まとめ

CAEは従来の延長線上にある高度化に加え、本来のCAEが望まれる形「設計者自らが解析ツールを使いこなし、それによって設計の向上を即座に図れる」に変わりつつある。モジュール化に対応した計算モデルの煩雑化や複数の物理場を相互に関連付けて行う連成解析への対応は、設計者用CAEにおいてもCAEの高度化領域においても共通課題として機能拡張が進められている。

さらに設計者用CAEにおいては、自動メッシュ生成手法の改良が、CAEの高度化領域においてはトータルコストも含めた並列化対応が課題である。

しかしながら最も重要な課題は、開発設計・生産準備プロセスの改革を進める中で、CAEのプロセス改革を進めることである。つまり開発設計・生産準備のプロセス改革を進める中、どのプロセスで、誰が、どのようなデータを用いて、どのようなCAEを使い、必要とするアウトプットを、どれだけの期間内に得るかを定めることである。そこでキーになる技術は、開発設計・生産準備プロセスの改革の重要な位置を占める3D-CADであり、CAEソフトウェアへの3D-CADデータの受け渡しであると思う。

参考文献

- 1) 菊池昇：新しい価値を創生するためのCAEの可能性，豊田合成技報，Vol.41 No.1, 1999
- 2) 矢川元基，藤澤智光：日本機械学会論文集（A編），Vol.70 No.691, 2004
- 3) 茂木麻衣子：ANSYS, ANSYS Design Space, プレス技術，Vol.41 No.11, 2003
- 4) <http://www.top500.org/>
- 5) 秋葉博：並列処理とMPI入門，計算工学，Vol.8 No.4, 2003
- 6) 日本HP，CAE資料