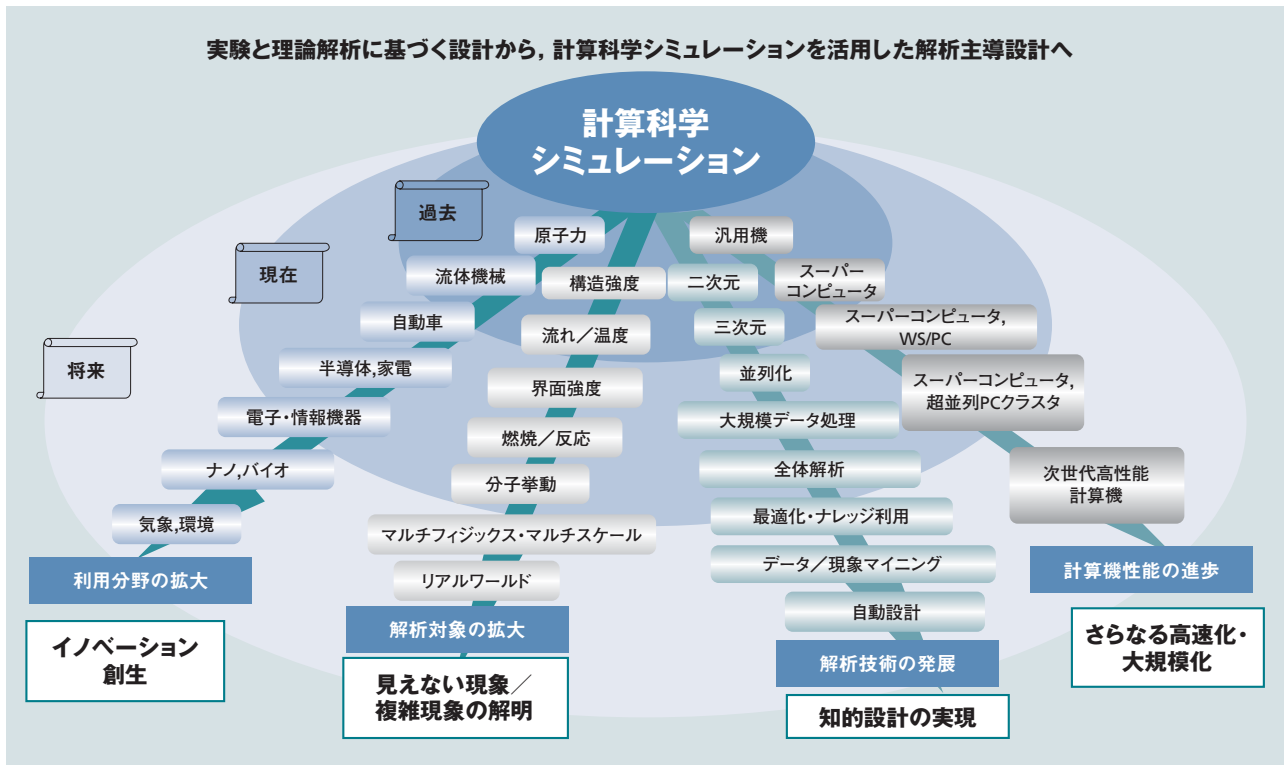


# 最新のシミュレーション技術が実現する解析主導設計

Analysis-led Design by Advanced Simulation Technology

海保 真行 Masayuki Kaiho

影山 啓二 Keiji Kageyama



注:略語説明 WS(Workstation), PC(Personal Computer)

図1 計算科学シミュレーションの動向

計算機性能、解析技術、解析対象、利用分野の四つの軸が互いに高め合いながら発展してきた計算科学シミュレーション、その活用による解析主導設計の実現が今後のモノづくりのキーとなる。

## シミュレーション技術の進化の背景

20年以上前にスーパーコンピュータが登場して以来、計算機の速度は20年で1,000倍から10万倍という驚異的な進歩を遂げてきた。計算科学シミュレーションは、その進歩にも支えられ、さまざまな観点から進化してきた。大きくは、知的モノづくり実現に向けた解析技術の発展、複雑現象解明のための解析対象の拡大、イノベーション創生をめざした利用分野の拡大の三つに整理できる。これらに計算機性能の進歩を含めた四

つの観点、あるいは、四つの軸は、互いに影響を及ぼし合いながら発展してきた。例えば、利用分野軸から高速車両の空力問題がクローズアップされて流体解析技術が発展したことや、解析対象軸で分子動力学計算に基づく薄膜界面強度評価ができるようになり、半導体分野への利用が拡大したことなどが挙げられる。

さらに最近では、設計プロセスの上流側で、極力精度の高い検討を行って製品の不具合を減らすという、設計フロントローディングの考え方にに基づき、計算科学シミュレー

### (a) ベクトル型スーパーコンピュータ

スーパーコンピュータとは、演算処理速度が非常に高速で、大規模な計算処理に用いられる超高性能コンピュータを指す。ベクトル型プロセッサを搭載したタイプは、複数のデータに対して演算を並行して行うことができ、複雑な大規模計算を必要とする気象予測などを得意とする。

### (b) x86

インテル社が開発したマイクロプロセッサの命令セットアーキテクチャであり、それをベースとした各社のマイクロプロセッサの総称である。主にPCのCPU (Central Processing Unit) として使われている。

### (c) IA64

Intel Architecture 64の略。インテル社とヒューレット・パッカード社が共同で開発した、64ビットマイクロプロセッサのアーキテクチャである。32ビットマイクロプロセッサのアーキテクチャはIA32と呼ばれる。

### (d) RISC

Reduced Instruction Set Computer (縮小命令セットコンピュータ)の略で、マイクロプロセッサのアーキテクチャの一つ。制御命令数を減らし、回路を単純化することにより、演算処理性能の向上を図る手法。

\* Intel、インテルは、米国および他の国におけるIntel Corp.およびその子会社の商標または登録商標である。

シミュレーションをその検討ツールとして活用する解析主導設計が、世の中全般の動向として急速に広まりつつある。製品競争力を向上するには、モノづくりの革新に向けて、上述の4軸の目的をすべて達成するような解析主導設計をいかに実現するかにかかっていると、言っても過言ではない(図1参照)。

まずは、4軸それぞれの最近の動向について実例を交えながら総説する。

## シミュレーションを支える計算機環境

日立グループは、1982年にベクトル型スーパーコンピュータ<sup>(a)</sup>「S-810」を発表して以来、常に先端的なHPC (High Performance Computing) 環境を提供してきた。世界中の計算機システムの上位500を1993年から年2回公開しているTOP500プロジェクト<sup>1)</sup>の情報によれば、世界最速の計算機システムの性能は、最近では10年で約1,000倍のスピードで進歩している(図2参照)。

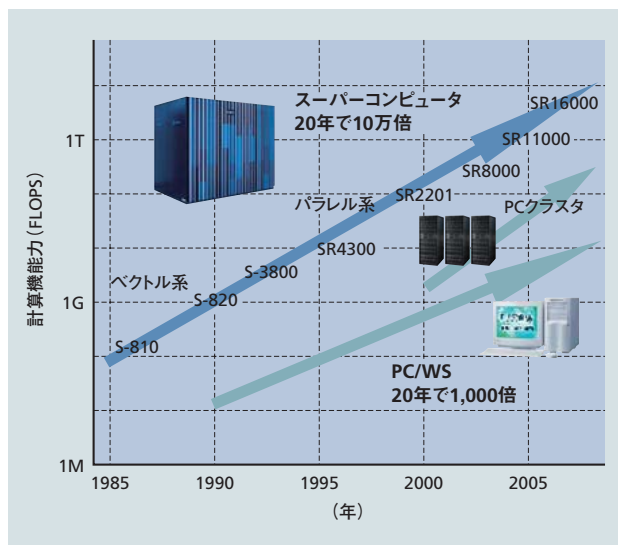
2000年ごろから、安価なPC (Personal Computer) を多数並列に動作させるPCクラスタが登場してきた。図3は最近の先端計算機環境におけるアーキテクチャの推移を示しているが、最近の世界トップクラスの計算機システムは、基本的にはPCクラスタ系に属しており、x86<sup>(b)</sup>、IA64<sup>(c)</sup>、RISC<sup>(d)</sup> プロセッサを数万から数十万並列配置し、ベク

トル型マルチプロセッサシステムや並列計算機で培われたプロセッサ間通信技術を活用して高性能を実現していると言える。

今後も、PCクラスタ系の計算機システムが主流となる方向性は変わらないものと推測されるが、このシステムはもともと並列計算性能が高い流体解析や構造解析に適しており、並列計算に原理上適さない分子シミュレーションの分野では、従来のベクトル型を基本としたシステムの発展も期待される。

## 複雑現象解明に向けた解析対象の拡大

計算科学シミュレーションは、熱・流体・構造・振動・電磁場などの支配方程式を解き、現象を計算機上で再現し、実験では得られない物理量を求めたい、あるいは、実験が困難な製品の評価をしたいという要求に応えることを目標に発展してきた。過去においては、流体解析で言えば、層流<sup>(e)</sup>から乱流<sup>(f)</sup>のように、一つの支配方程式の範囲内で解析対象を拡大してきたが、最近では、さらに燃焼や反応を考慮するなど、支配方程式を複数同時に解いていく解析ができるようになってきている。自動車エンジンのシリンダ内の流れを例に取ると、ピストンの運動によるシリンダ内部の流れの評価のみでなく、インジェクタからの燃料の噴霧現象も同時に解析して、さらに燃焼反応も評価できるように



注:略語説明 FLOPS (Floating point Operations Per Second)

図2 計算機環境の推移

20年前の大規模シミュレーションは、現在ではPC1台で解析することができる。

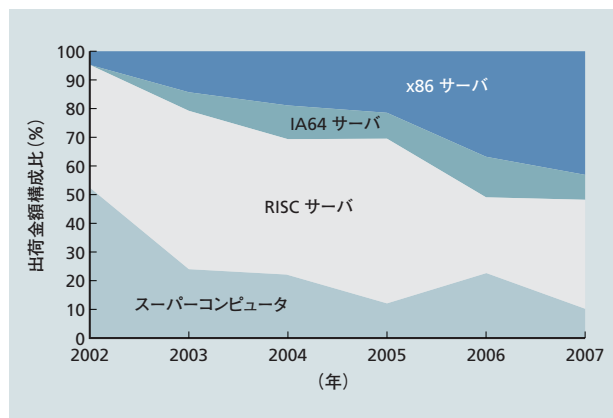


図3 先端計算機環境のアーキテクチャの推移<sup>2)</sup>

ベクトル型スーパーコンピュータから、プロセッサを多数並べるパラレル型、あるいはPCクラスタ系に移行している。

するというイメージである(図4参照)。単純に流体の支配方程式を解くだけでなく、噴霧に伴う液滴の挙動を支配する方程式や、燃焼反応を支配する方程式など、多数のスケールやフィジックスを連成させて解いていく。すなわち、この解析対象拡大の軸は、仮定をなるべく排除して複雑な現象を忠実に取り扱い、現実世界に近づけるチャレンジをしていく軸と言える。

今後も、このようなマルチスケールやマルチフィジックスを追求していく方向はさらに発展させる必要がある。究極は、仮定をすべて排除した「リアルシミュレーション」ということになるであろう。

### 知的設計の実現に向けた解析技術の発展

計算科学シミュレーションの効果を最大化するためには、最新の計算機性能を最大限に活用する必要がある。いわゆる汎用計算機しか存在しなかった黎明(れい)期においては、計算機性能の制約から二次元解析しかできなかったが、スーパーコンピュータの出現により、簡単な対象であれば三次元解析ができるようになった。その過程で、スーパーコンピュータの性能を最大限に引き出すためのプログラムコーディング技術などが進歩した。並列計算機が登場した1995年ごろから発達した並列化技術や非定常計算に伴う大規模データ処理技術もその系統である。

シミュレーションにはメッシュ生成が必要だ

が、メッシュ生成の省力化を追求したのが**ボクセル解析技術**<sup>(g) 3)</sup>である。従来は困難であった製品全体評価を手軽に実現できるという点でパラダイムシフトをもたらした(図5参照)。

一方、計算機性能を引き出すという意味で、質的な変化をもたらしたのが、最適化技術である。これは、製品や部品の形状を変えながら、ある目的関数が最適になるようにシミュレーションを繰り返し、最終的に最適な製品や部品の形状を自動的に求めるという技術である(図6参照)。

さらに、シミュレーション活用の従来にない観点から発達してきたのが、設計者が持つ知識(ナレッジ)をデータベースとして計算機上に蓄え、それを活用してシミュレーションや設計の効率化を図るナレッジベーストエンジニアリング(KBE: Knowledge Based Engineering)である。最適化技術やKBEは、まだ解

#### (e) 層流

流体の各部分が混じり合わずに、規則正しく直線的に運動している流れのこと。

#### (f) 乱流

渦が生じて流体が不規則に乱れ、混合しながら運動している流れのこと。層流と乱流の区別は、慣性力と粘性力の比で表されるレイノルズ数によって示すことができる。

#### (g) ボクセル解析技術

解析対象となる領域全体を、ボクセルと呼ぶ小さな立方体に切り分けて計算する手法。単一の形状に分割するため、メモリの節約と、単純なアルゴリズムでの解析が可能になり、対象が複雑な三次元形状であっても、容易かつ確実に処理できるという利点がある。

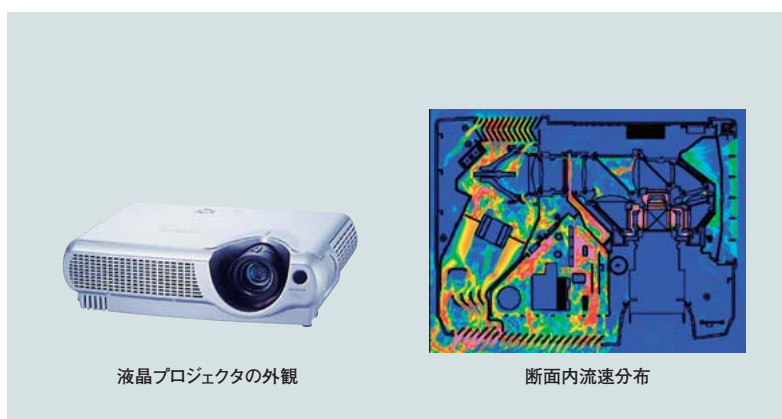


図5 液晶プロジェクタの全体解析<sup>3)</sup>

3D-CAD (3-dimensional Computer-aided Design) データから、ほぼ自動で製品全体の解析が可能となる。

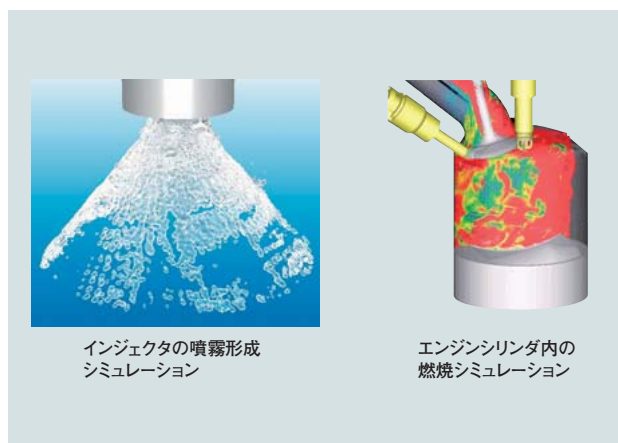


図4 自動車エンジンシリンダ内噴霧・燃焼シミュレーション

燃料の噴霧からシリンダ内の燃焼・流動までを一貫して解析することができる。

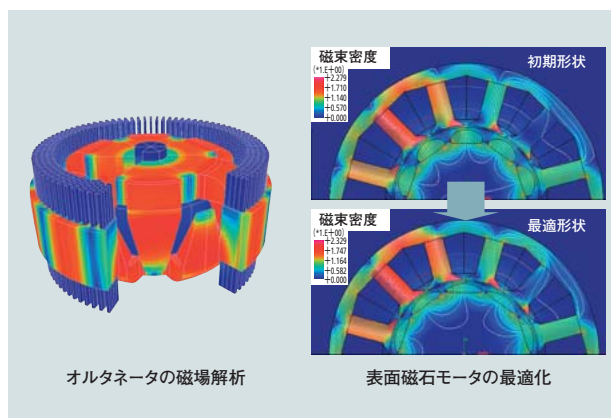


図6 モータの最適化技術

磁場解析を計算機上で繰り返すことにより、最適なモータの形状を求めることができる。





図7 鉄道車両分野への展開

電力・産業分野で培った技術を展開し、衝撃吸収機構の設計や先頭車両形状設計に役立てている。

析対象や利用分野が若干限定的であり、最終的な姿としての「自動設計」の実現に向けて、今後さらなる発展が期待されている。

### イノベーション創生に向けた 利用分野の拡大

新しい解析技術・新しい解析対象・適切な計算機環境の三拍子がそろって、新しい分野に計算科学シミュレーションを活用できたときに、製品のイノベーションにつながるアイデアは創生されやすい。今まで評価できなかった現象が新しい形で可視化でき、現象のメカニズムが解明され、改良に向けたヒントが得られるからである。日立グループにおける、このような利用分野拡大の例を以下に幾つか紹介する。

日立グループは、シミュレーション黎明期には、主に電力・産業分野において、各機器や配管の構造信頼性設計や、タービン・

ポンプ・ファンなどの流体機械の性能設計に構造解析や流体解析を用いていた。そこで発達した技術を展開し、今では、鉄道車両の衝突安全性設計や先頭形状空力設計に役立てている(図7参照)。

また、前述したボクセル解析技術は、複雑な製品内の通風設計に適した技術であり、プラズマテレビの放熱設計やサイクロン掃除機の集塵(じん)室形状設計などに応用している。特にプラズマテレビの例では、従来品を解析した後に、流れの様子を分析・検討した結果、「斜め吹き上げ構造」という新しい通風冷却構造の開発につながることができた(図8参照)。

さらに、強度・信頼性の技術分野においては、マクロな構造解析を駆使した設計を行っていたが、分子動力学解析の進化に伴い、半導体の配線材料の下地膜材料との間の剥(はく)離強度評価が可能となり、半導体分野に急速に適用が拡大され、さらに樹脂材料分野にその技術を展開した(図9参照)。

このように、日立グループには、広範な製品分野に対して、シミュレーションの技術シナジーを発揮して、利用分野を拡大していける素地がある。今後も、さらなる利用分野の拡大をめざしている。

### 真の解析主導設計実現をめざして

そもそも学問とは、りんごが木から落ちるのを見てニュートンが万有引力の法則を発

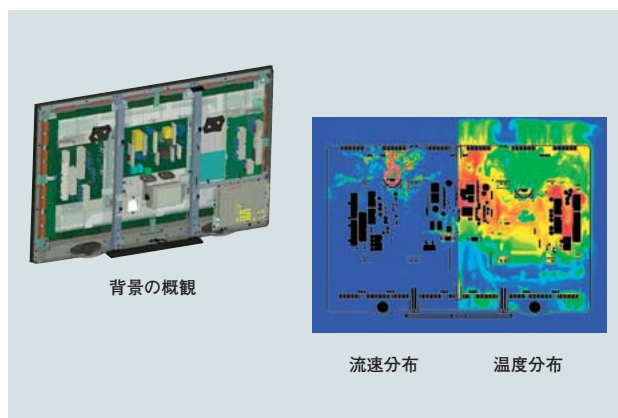


図8 デジタル家電分野への展開

ボクセル解析を適用し、「斜め吹き上げ構造」という新しい冷却構造を開発した。

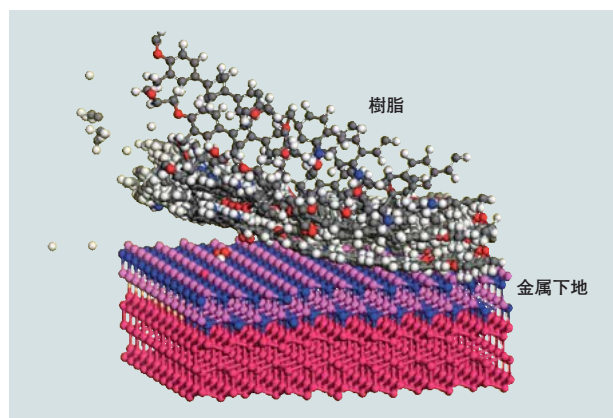


図9 樹脂材料への展開

半導体分野の配線材料で開発した薄膜剥(はく)離強度解析技術を樹脂材料の密着強度評価に展開した。

見したという逸話のように、ある事象や実験から普遍性を導き出すものである。

今までの計算科学シミュレーションはどうだったであろうか。流体の運動を表すナビエ・ストークス方程式のように、すでに普遍化された支配方程式を計算機上でシミュレートして、実験では得られない情報を導き出す使い方であった。

これからの解析主導設計の時代では、マルチスケール、マルチフィジックス、最適化、KBEなどの方向性を追求する数値実験が重ねられ、膨大な情報が得られるようになり、異なるスケール・フィジックス・設計パラメータ・知識などを関係づける新しい普遍性・支配方程式を創造していくようになるかもしれない。

ない。

ここまで述べてきたように、日立グループは、マルチスケール、マルチフィジックスに代表されるリアルワールドシミュレーションの方向や、最適化・ナレッジ利用に代表される自動設計の方向に向けた技術開発を進めるとともに、広範な製品分野を有するという特徴を生かし、利用分野を拡大しながらそれらの技術を高め、計算科学シミュレーションを駆使したモノづくりの革新をめざしている。

今後は、そのようなシミュレーション技術の質的变化を視野に入れ、高速化、知的設計、複雑現象解明、イノベーション創生を可能にする、真の解析主導設計実現に取り組んでいく考えである。

#### 参考文献など

- 1) TOP500 SUPERCOMPUTER SITES,  
<http://www.top500.org/>
- 2) 高藤:国内ハイパフォーマンスコンピューティング市場 2007年の分析と2008年～2012年の予測(J8010105), IDC Japan(2008.5)
- 3) N. Isoshima, et al.:Numerical Simulation of Flow and Heat Transfer of LCD Projector using VOXEL Method, Proceedings of ASME-FED Summer Meeting 2005, ASME-FEDSM2005-77399(2005.6)

#### 執筆者紹介



##### 海保 真行

1986年日立製作所入社、機械研究所 高度設計シミュレーションセンタ 所属  
現在、計算科学シミュレーションの研究開発に従事  
工学博士  
日本機械学会会員、日本応用数理学会会員  
可視化情報学会会員



##### 影山 啓二

1984年日立製作所入社、機械研究所 高度設計シミュレーションセンタ 所属  
現在、設計支援CAEシステムの研究開発に従事  
日本機械学会会員、情報処理学会会員  
日本物理学会会員