



高度 CAE 技術開発のための戦略的インフラ

真 鍋 賢*・古 庄 勝・牧 野 勇
 中 村 悠 一・吉 田 和 弘・島 田 茂 樹
 塩 崎 学

Strategic Infrastructure Building for Advanced CAE Technology — by Ken Manabe, Masaru Furusyo, Isamu Makino, Yuichi Nakamura, Kazuhiro Yoshida, Shigeki Shimada and Manabu Shiozaki — Analysis Technology Research Center has been contributing to designing reliable and sophisticated products and optimizing manufacturing processes using Computer-Aided Engineering (CAE) technology throughout Sumitomo Electric's five major business segments: "Automotive," "Information & Communications," "Electronics," "Electric Wire & Cable, Energy," and "Industrial Materials;" and in new business segments. Thus, CAE analysis technology has become increasingly important as the key to competitive product development. The establishment of the CAE technology is, however, still time-consuming, requiring several years due to its process from mathematical model building to experimental validation. In order to shorten the establishment period, we have introduced powerful infrastructure including hardware and software. We have conducted a survey and carefully examined the results to seize the CAE technology requirements for Sumitomo Electric and its affiliated companies. We have also evaluated the performance of newly developed software in the four fields of "Structural analysis," "High-frequency electromagnetic analysis," "Fluid dynamics" and "Molecular design." Furthermore, we have carried out benchmark testing to select suitable equipment for large-scale parallel computer systems. In this paper, we describe the way we have settled our directions for infrastructure building and prospects of the infrastructure system in various business fields.

1. 緒 言

解析技術研究センターは当社グループ全体における計算機シミュレーション技術の核となるべく、主要5事業分野及び新規事業分野に広く精力的に活動を展開している。近年はシミュレーション技術（以下CAE技術）を用いた製品設計・開発・評価の技術力が製品受注を左右するケースもあり、CAE技術の重要性が非常に高まっている。しかしながら、製品開発のキーとなる解析技術の開発には、要素技術構築から実測検証までを含めると数年の期間を要することもあり、12Vision達成のためには、技術向上とともに技術開発の期間短縮が必須である。従って、2012年までに12Vision達成に必要なコア技術を開発し成果を得るためには、その初年度たる08年度において先を見据えたインフラ（ソフトウェア、ハードウェア）整備ができるかどうか極めて重要であった。

このような背景も踏まえ、当センターでは07年度にユーザである事業部・研究部門に対してCAE技術に対するニーズ調査を実施し、それを基にしたアクションを進めてきた。解析技術に関しては、社内調査結果からも特に必要性が高いと判断した表1の「構造解析」、「電磁界解析」、「流体解析」「材料設計」分野において新開発されたソフトウェアの性能調査を行った。この結果、劇的な性能向上や、従来にない高性能なソフトウェアが出現しつつあることが

表1 解析事例

技術分野	代表的なテーマ
構造解析	自動車用圧着端子の解析 焼結部品の応力解析 導電製品の伸線解析
電磁界解析	光リンクの高周波解析 自動車部品の電磁界解析 リアクトルの電磁場解析
熱流体解析	電子機器の放熱設計解析 半導体エビプロセス解析 ファイバプロセス解析
材料設計	半導体レーザの劣化機構説明
光学解析	光送受信器の光学解析 光通信機器の光学解析 レーザ加工用光学部品の解析
寿命・信頼性	自動車ハーネスの寿命予測 ハンダ信頼性解析 携帯電話用配線材の寿命予測

わかった。これらは、今後さらに高速・高精度化が進むとみられ、その導入、活用の有無が製品開発力をも左右すると判断した。また解析環境としてのハードウェアについては、CAE技術の活用を加速する上で必要不可欠な大規模並列計算機システムを選定し2008年7月に導入、運用を開

始した。本システムは、これまでは不可能であった高精度・大規模なCAE技術を開発するために必須であり、各部門からの共通利用の要望も強い。このように当センターでは、CAE技術の基盤構築、各部門への活用普及の一環として、インフラ整備を進めており、本稿ではその進捗状況について報告する。

2. CAE技術強化の方針

当センターでは、電力ケーブルの電場解析、焼結部品の強度解析・設計最適化、ハイブリッド製品の製品設計などの一般的な解析から、流体解析技術を応用したプロセスの解析・製造設備の最適化、光通信デバイス・機器の製品設計、さらにはワイヤーハーネスの寿命予測や鉛フリーハンダの信頼性評価などオリジナリティーのある解析まで様々な事業分野の製品に対し広範な解析技術の開発・活用を行ってきた^{(1)~(2)}。

一方、昨年度に当センターが取りまとめたCAE技術に関する社内の活用度調査によると、当センター以外でも、当社の各研究所、自動車事業本部、情報通信事業本部、電線機材エネルギー事業本部など多くの部門でCAE技術の導入・活用が進められていることが分かった。

また、当センターに求められる役割については、メンバーが各々の日々の業務から得た意見を交換しながら、認識をまとめていった。このようにして、我々のあるべき姿を具体化した結果、その役割は大きく3点に集約できるという結論に至った。すなわち個別の案件について解析結果を報告するだけでなく、当社グループのCAEを主導する立場として、**図1**に示す1)当社に必要なコアの技術開発力、2)CAEの普及・促進を担うセンター機能、そして3)計算環境を中心としたインフラ整備の3点である。過去の取り組みを振り返ってみても、これら3点を柱として資源投入を進めてきている。ただインフラ整備についてはまとまった投資はなかなか困難であった。そこで今回12Visionを念頭に本格的なインフラ整備計画を立案し、将来に向けて十

分な環境を整備することとした。本稿ではそのシステム構築思想やハードウェア、ソフトウェア導入戦略、およびその効果について述べる。

3. 高性能サーバの導入

大規模・高精度なCAE技術開発に必要な計算システムに要求されるのは、CAEに必要なプログラムを実行できる汎用性、そして計算処理速度である。両者を兼ね備えた構成を高速ネットワーク網で繋ぎ、あたかもそこにあるかのように、各拠点からアクセスできるシステムとする。さらには数百GBのメモリ、高速なストレージ、安定稼働できる冗長性などが必要となりこれらを実現できる信頼性の高いシステムを構築することが目的である。**(図2参照)**

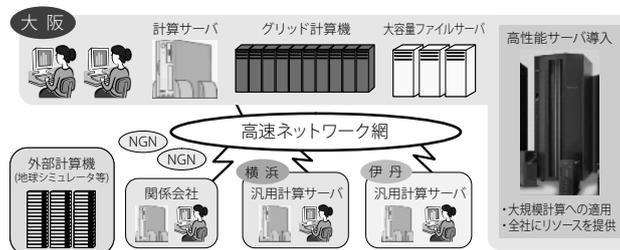


図2 高性能サーバを含めたシステム

3-1 汎用性 計算システムの汎用性については、大きく分けて市販プログラムの対応状況と内作プログラムの開発・実行に必要な開発環境があげられる。市販プログラムの対応状況は、当センターのように全体の7~8割は市販のCAEアプリケーションを利用している場合非常に重要になってくる。

また、最近の高度かつ複雑化しているCAEアプリケーションに対しては、たとえカタログ上対応をうたっているシステムであっても未知の不具合に遭遇する可能性は十分

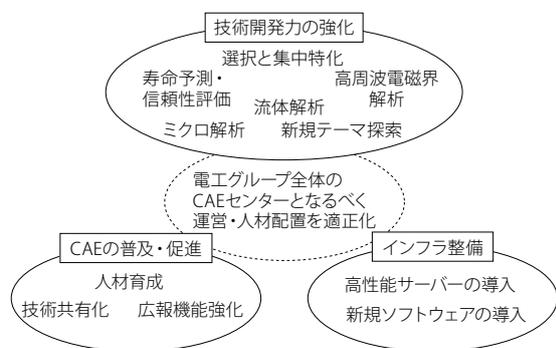


図1 CAE強化の3本柱

表2 動作必須CAEソフト

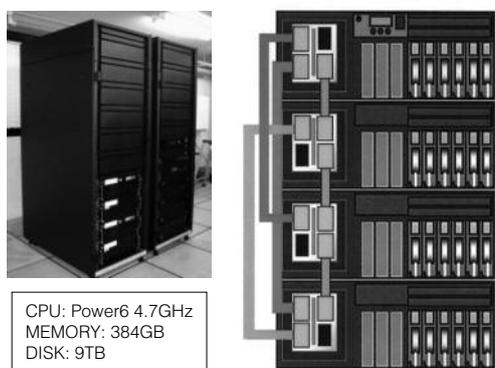
技術分野	販売元	ソフト名
応力解析	エムエスシーソフトウェア エムエスシーソフトウェア Dassault Systemes Slimulia Corp.	MSC. Nastran
		MSC. MARC
		Abaqus
熱・流体解析	アンシス・ジャパン テラバイト	FLUENT
		FLOW-3D
電磁場解析	JSOL 北海道大学	EMC Studio Jet-FD TD
材料設計	Gaussian Inc.	Gaussian 03

にある。そのため、動作検証や不具合の原因の切り分けなど技術サポート力のあるベンダーのシステムを導入することが重要となる。また、残りの2～3割の内作プログラムに対しては、開発負担をできるだけ軽くするため、メモリ領域やレジスタ等の制約の少ないシステムが望ましい。特にメモリ容量については向こう数年で数億要素のモデルが必要になると予想され、それを見越すと、少なくとも256GB以上のメインメモリ容量が望ましい。

3-2 計算処理速度 計算処理速度の速さは計算機の永遠の課題ともいえる要求である。計算速度を向上するためのアプローチにはCPU単体の速度向上と並列計算による速度向上の二つが挙げられる。前者について、従来はCPUの動作周波数を高くすることで性能を向上させてきた。しかしながら、近年はクロック周波数を向上するために必要となる回路数の増加とそれに伴う電力消費の増加に対し、実質的な性能向上の効果が見合わなくなりつつある。このため近年はCPU単体の処理速度向上は頭打ち傾向にあり、変わって複数のCPUを用いて並列計算を行う重要性が増している。並列計算を行うためのプログラミングモデルには①共有メモリ型アーキテクチャと②分散メモリ型アーキテクチャがある。

いずれのアーキテクチャにも一長一短があるが、一般に同じCPU数で比較した場合、共有メモリの方が、分散メモリより計算速度が速くなると言われている。しかし共有メモリの場合、搭載できるCPU数に制限が出やすく、並列数を増やすなら分散メモリの方が有利である。また、スーパーコンピュータの処理能力ランキングTop500⁽³⁾に入るような大規模計算機では①と②の二者択一ではなく、比較的小規模(16～256CPU)を共有メモリ型で接続した計算機を1ノードとし、各ノードを分散型メモリアーキテクチャで接続したものが主流を占めている。

3-3 導入ハードウェア 上記で述べた要件を満たすハードウェアとして、ベンチマークや情報収集、文献調査^{(4)～(7)}などの検討を重ねた結果、IBM System p570を導入



CPU: Power6 4.7GHz
MEMORY: 384GB
DISK: 9TB

図3 導入したp570の概要(右はモジュール)

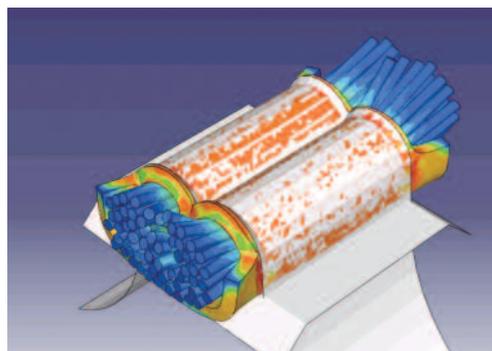
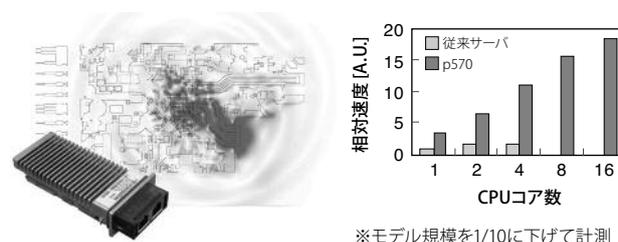


図4 太物端子の圧着解析



※モデル規模を1/10に下げて計測

図5 高速光リンクの電磁界解析と計算速度

入することとした。

p570はUNIX系OSであるAIXを採用し解析ソフトの対応・開発環境が充実している。またメインメモリを384GB搭載しており、向こう数年のCAEモデルの大規模化にも十分に対応できる。計算速度については、CPUに4.7GHzで動作するPower6を搭載し、CPU単体での高性能が期待されること、さらに共有型メモリを採用しており、当センターで現在、利用頻度が高い解析ソフトや内作プログラムにおいて、本来のパフォーマンスを比較的容易に引き出すことが可能である。また、通常の計算でも数日かかる計算を日常的に行い、24時間365日稼働し続けるCAE用の計算機においては、p570のようにシステムが安定に稼働することも重要なファクターである。

次に導入後の解析事例について報告する。

当センターでは自動車用ハーネスの接続部信頼性予測のため、端子の圧着解析技術を開発している。とりわけ新規端子の開発期間短縮にはCAEは必須の技術である。図4に示すように大口径の端子においては、接続する電線本数が多く大規模解析となるため、従来サーバでは非現実的な計算時間(数週間～数ヶ月)を要し、事実上解析不可能であったが、p570では数日程度で解析できるようになった。また高速での信号送受信用光リンクモジュールでは、電磁放射ノイズ強度の予測のため、図5に示す電磁界解析を実施しているが、10Gbit/s以上の高速通信では、電磁波の波長が短くなるため、メインメモリ100GB以上の大規模解析が必

要となる。この従来サーバでは不可能な計算も、p570では可能となり、かつ1日程度の現実的な時間で解析できるようになった。このように従来の計算サーバを大幅に上回る計算速度が得られており、当センターで利用頻度の高い解析ソフトで期待通りのパフォーマンスを発揮し、2008年10月の本格運用開始以来、ほぼフル稼働の状態が続いている。今後もこのようなCAEの発展・普及をさらに推進して行くためには、並列計算効率に優れた次世代アプリケーションの実用化技術の開発が望まれる。また社内各部署からこれら強力な計算機を利用できる環境の整備にも着手する必要がある。そこでより多くの並列計算を実行できる分散メモリ型アーキテクチャの計算機の導入を準備中である。本計算機は100CPUコア以上を搭載し、16CPUを超える大規模並列計算にチャレンジすると同時に社内からの共通利用にも対応できる仕様とする計画である。

4. ソフトウェアの導入

ソフトウェア導入による期待効果は、従来は解析時間や解析精度に限界があり実施不可能だった解析課題を可能にすることで、各分野の事業成果を生み出すことである。ここで現状の課題となっている解析ソフトウェアの高速・高精度化のアプローチについて図6の概略図を用いて説明する。

まず高速化の要請については1) 計算時間は長くないが回数が多い場合と、2) 一回の計算時間が許容できないほど長い場合の2ケースがあり、前者は①計算に必要なライセンスの数を増やすことで、後者は②並列処理機能を導入することで対応が可能となる。

高精度化の要請については3) 解析対象が大きすぎてソフトウェアの制限により、詳細形状までモデル化できない場合と、4) 現有の解析ソフトウェアでは対応していない物理現象を考慮する必要がある場合の2ケースがあり、前者は③大規模問題に対応可能なソフトウェアを導入し、必要に応じて並列処理機能を導入することで、後者は④特定分野に特化したソフトウェアを導入することで対応可能である。

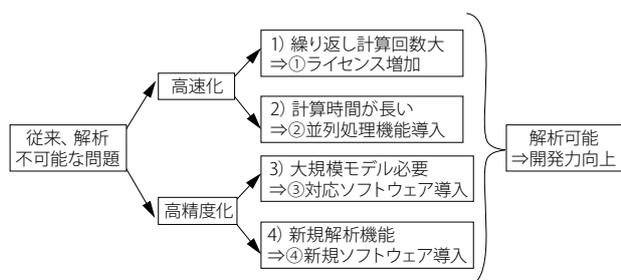


図6 高速・高精度化へのアプローチ

上記のような観点から、重要性、緊急性が高く、高速・高精度化による期待効果の高いテーマの技術開発を加速するソフトウェアの導入をはかり、CAE技術の基盤を強化した。

以下に、④の新規ソフトウェア導入の具体事例として2件報告する。

第1の事例として、熱流体解析ソフト FLOW-3Dを導入した。このソフトはVOF法⁽⁸⁾により自由表面の挙動を精度良く解けることが特徴で、他の汎用流体解析ソフトでは対応困難な、気体/液体の流れ、さらには凝固現象までの広い物理現象を再現可能である。社内においてもVADガラスへの適用事例⁽⁹⁾をすでに報告済みである。またこれ以外にも、解析領域内を構造物体が移動する複雑な熱・流れを解析できるという特徴を生かし、高分解能気象レーダー用アンテナ駆動部⁽¹⁰⁾などの可動物体を含めた熱流体の挙動を予測できるようになった。(図7参照)

第2の事例として、よりマイクロな解析領域である原子・分子レベルの解析では、分子軌道計算の分野で事実上の標準ともいえる Gaussian'03⁽¹¹⁾を導入した。本ソフトは数百原子の化合物にも適用可能なベーシックな計算手法から、莫大な計算時間を要する最新の計算手法までを網羅しており、有機化合物を中心とした材料開発には必須のツールとなりつつある。当社においては、絶縁材料をはじめとする、高分子材料などへの適用が期待される。手始めに絶縁材料の特性を向上させる添加剤について検討を開始している。(図8参照)

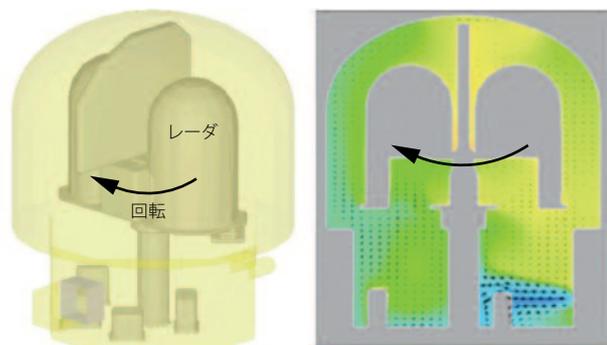


図7 高分解能気象レーダーの熱流体解析

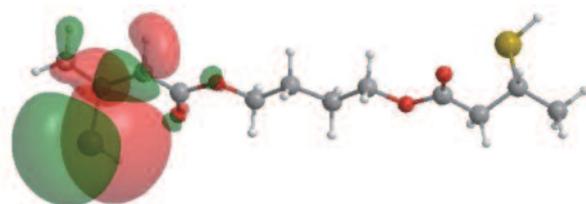


図8 高分子添加剤のHOMOの分子軌道計算図

5. 結 言

解析技術研究センターでは、当社の様々な事業分野製品へのCAE技術を強化するために、ハードウェア・ソフトウェアの両面からインフラ整備を推進している。その活動方針は、ユーザのCAEニーズ調査結果を分析するとともに当社製品開発の将来を見すえ、戦略的に策定した。ハードウェアについては、汎用性・計算処理能力・安定稼働に優れた性能を持つIBM System p570を導入し、すでにフル稼働の状態期待通りのパフォーマンスを発揮している。またソフトウェアについては、今回報告した解析ソフトの導入に加え、既存ソフトのライセンス数増加や並列処理機能を導入することで解析適用範囲を拡大し、事実上従来不可能であった解析領域にも挑戦できるようになりつつある。今後、この計算環境を十分に活かし、技術開発力の強化に努めることで、SEIグループの事業展開においてかけがえのない戦力となるよう、さらなる進化をめざす所存である。

- (6) Jim Cook, Harold Distler, Kushdeep Kumar, Ronald Kwok, Veerendra Para IBM Power 570 and IBM Power 595 (POWER6) System Builder A draft IBM Redpaper publication
- (7) 東邦ガス株式会社 総合技術研究所、「IBM Power 570の導入事例」、<http://www.ibm.com/jp/ja/>
- (8) C.W. Hirt and B.D. Nichols, "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries," J. Comp.Phys., 39, 201 (1981)
- (9) 「VADシリカガラス加熱成形の粘性変形解析」、SEIテクニカルレビュー、No.174
- (10) 「高分解能気象レーダーの開発」、SEIテクニカルレビュー、No.173
- (11) Gaussian 03, Revision E.01, M. J. Frisch et al. Gaussian, Inc., Wallingford CT (2004)

執 筆 者

真鍋 賢*：解析技術研究センター
構造解析、熱流体解析に従事



古庄 勝：解析技術研究センター 主席 博士（理学）
牧野 勇：解析技術研究センター 主席
中村 悠一：解析技術研究センター
吉田 和弘：解析技術研究センター 主査
島田 茂樹：解析技術研究センター 主査
塩崎 学：解析技術研究センター 主席

*主執筆者

- ・IBM、AIX、Power6 は、米国 International Business Machines Corporation の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・UNIX は、X/Open company Limited の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・FLOW-3D は、米国 Flow Science Inc. の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・Gaussian は、米国 Gaussian Inc. の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・Nastran は、米国 National Aeronautics and Space Administration の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・MSC、MARC、MSC.MARC は、米国 MSC.Software Corporation の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・Abaqus は Dassault Systemes もしくはその子会社の商標または登録商標です。
- ・FLUENT は、米国 ANSYS, INC. グループの米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・その他、本書に記載されている会社名・製品名等は、各社の商標または登録商標です。

参 考 文 献

- (1) 「圧粉磁心の動作時印加応力環境下における磁気特性評価」、SEIテクニカルレビュー、No.173
- (2) 「3次元切削シミュレーション技術の開発」、SEIテクニカルレビュー、No.160
- (3) TOP500 Supercomputing Sites
<http://www.top500.org/>
- (4) "IBM POWER6 Microprocessor Technology", IBM Journal of Research and Development Vol.51, No.6
- (5) Giuliano Anselmi, YoungHoon Cho, Gregor Linzmeier, Marcos Quezada, John T Schmidt, Guido Somers IBM System p 570 Technical Overview and Introduction A draft IBM Redpaper publication