

高岳における数理解析技術

広瀬 英雄*

内容梗概

高岳製作所においては、コンピュータを用いて、特に電力機器に関わる物理的な現象を表現し、機器の構造的な信頼性を把握することに努めている。特長的なことは、計算工学 (Computational Engineering) に長けた専門家を一つの部署「数理情報研究室」に集め、各機器に基本的には共通な問題を効率的に解くことができる体制を備えていることである。本稿では具体的な諸問題と数理情報研究室との関わりを例示しながら、高岳製作所における数理解析技術の取り組みの一端を説明する。

Applications of Mathematical Analysis at Takaoka Electric

Hideo Hirose*

Synopsis

Takaoka Electric has been doing analysis of physical properties and the reliability of electric power apparatuses. A distinguishing feature of our organization, Mathematics Information Laboratory, is such that experts in computational engineering are gathered to the laboratory and they solve a variety of problems efficiently which are common in power equipment. This article briefly describes our activities in mathematical and computational analyses.

1. ま え が き

そう昔のことではない。コンピュータによって計算された結果は金科玉条のように扱われ、また著名なアプリケーション (例えば NASTRAN) による解析結果は何よりも正しい値として受け入れられたいびつな時代があった。コンピュータが高価であり、普通の技術者がコンピュータに接する機会も少なく、また数値計算のアルゴリズムも今日程開花していない時期である。しかしその後、コンピュータを用いて物理現象を模擬するコンピュータシミュレーション技術が段々と普及向上するにつれ、数値計算に対する認識も変わってきた。コンピュータの (現実問題に対する) 急速な処理能力と計算アルゴリズムとの発達により、実機を用いての試験よりも安価に、またはるかに自由度の大きい模擬的な試験がコンピュータ上でできるようになり、その効用が広く認められてきたからである。最近では、新しい商品をお客さまに納めるにあたっては、実機を用いての試験結果のみでは不十分で、

必ずコンピュータシミュレーション結果がお客さまから要求されている。この最近の現象を計算に携わらない人から見ると、「実験よりもコンピュータシミュレーションの方が合理的であるから」と考えがちであるが、一方これを、各機器の設計開発に直接関わり合いながら計算に携わる側から見ると、全く異なった見解が得られる。つまり、「コンピュータシミュレーションとは、すでに完成されている (微分) 方程式やその解法を用いて、実機による試験を代用することではなく、実際の物理現象を逐一モデル化しながら、そのモデルの妥当性を実験結果と照らし合わせて検証し、物理現象の背後に潜んでいる本質的な要因を引き出しその主要因 (あるいはパラメータ) を経験的に得ることである」と筆者は考えている。つまり、「完成された理論のトレースではなく、理論構築の一つの手段であり、コンピュータシミュレーションでなければ得られないような体験を得ることである」と。

このことを可能にするよう環境としては、(1) 計算に携わる人が実際に解くべき問題をよく知っていること、あ

*技術本部 技術開発センター 数理情報研究室長

るいは機器（対象）をよく知っていること、(2)解くべき問題に対する基礎的な解決能力のある人が集まっていること、(3)ライブラリー、アプリケーション、可視化ツールなどのソフト的な環境と、高速大容量の計算ができるハード的な環境が身近にあること、が望ましい。例えば、遮断器を設計する技術者自らが、遮断器の中核であるノズルの形状を決めるために実験とシミュレーション両方からアプローチして実際に設計するという方法があるのに対して、シミュレーションを行う技術者が「流れ」、「プラズマ」という物理現象をつかさどる方程式に熟知しており、数値計算の立場から遮断器の設計者に助言するという方法もある。後者のような体制をとると、そのメリットとして、少ない技術者でありながら、異なった機器や一見異なった問題にたいしても、方程式の変数の解釈を変えたり、パラメータの値の範囲を変えたりすることで、数多くの現象を統一的に把握することができ、また、そうすることによって、新しい問題に対しても一つ高い視点から問題を眺めることが可能になり、数値計算に携わる人の間で相互的な刺激が生まれ、組織の発展性に通じると考えることもできる⁽¹⁾。

高岳製作所では、コンピュータを使った数理的な（新しい）問題はいったん「数理解析研究室」に集まるように自然に組織化されており、そのことにより社内外で発生する諸問題に効率的に対処できるようになっている。本稿では、高岳製作所における数値計算をいくつかの切り口から概観しながら、高岳製作所における数理解析技術に対する姿勢を紹介する。

また、ここで簡単に紹介した内容のうち、最近の高岳製作所における数値計算の事例やアプリケーションの利用例などは少し詳しく本号中後に続く論文で紹介されている。

2. 高岳製作所で行っている数値計算

高岳製作所で現在行っている数値計算を、(1)分野からみた数値計算、(2)機器からみた数値計算、(3)アプリケーションからみた数値計算、(4)プラットフォームからみた数値計算、の四つの断面から概観し、高岳製作所の数理解析技術に対する取り組みを紹介する。これら四つの関連は図1に要約して示される。

2.1 分野からみた数値計算；理論

はじめに高岳製作所で行っている数値計算をその適用分野から見たい。主として変電設備を対象にしているがそればかりとは限らない。次にあげる分野が高岳製作所で今まで行ってきた主な計算の分野である。

(1) 電磁界計算、(2) 応力、耐震計算、(3) 熱伝導計算、(4) 流れの計算、(5) 電力系統における過渡現象の計算、(6) 統計的信頼性の計算

通常、ある電力機器に関して、上の項目での検討は単独ではなくいくつか複数個が同時に要求される。例えば、遮断器では開極状態での電界計算、開極過程での流れの

計算、過渡回復電圧などの系統計算、遮断による振動の計算、という具合である。（複雑な計算の場合）数理解析研究室ではそれぞれの計算分野に得意な人が機器設計者と入念に打ち合わせ計算をすすめ、設計者に助言するという方法をとる。ただし、あまり複雑でないルーチン化した計算は設計者自らが簡易のFEA (Finite Element Analysis, 有限要素解析) ツールを用いて行う場合もある。簡易 FEA ツールの紹介、教育は数理解析研究室が担当する。

各分野にはその分野で主たる（偏微分）方程式が存在する。(1)ではマックスウェルの方程式、(2)ではニュートンの運動方程式、(3)ではポアソンの方程式、(4)ではナビエーストックスの方程式、(5)では波動方程式などである。(4)の分野は(3)の分野や(1)の分野と密接に関連する。従って、上記の分野を横断的に理解することは重要な意味がある。(6)はやや特殊ではあるがエントロピーの概念など情報理論との関連も深い。統計データを扱う際にも、重要なことはデータ解析者が生のデータについてよく知っていることである。

本特集号では、分野別の論文として、耐震解析、系統の過渡現象計算と、系統的信頼性の分野が拳がっている。

2.2 機器からみた数値計算；対象

高岳製作所は主に、(1)変圧器、遮断器、断路器、配電盤、GIS などの変電設備に関連する機器から、(2)小型モーター、搬送機器、画像を用いた検査機器などの（工場）自動化にまつわる製品、(3)光を用いた電磁界、温度、加速度などの計測器、(4)X 端末など、多岐にわたる商品群を扱っている。これらのうち、重量物に関しては応力、耐震計算が、電気的な絶縁に関しては電界計算が常時要求されるが、その他の計算の分野も必要に応じて要求される。最近では、一つの機器に対して、電流場の計算、それによる発熱、対流の計算、空気との熱伝達などを連成にした一連の解析も要求されている。

本特集号では、対象から眺めた論文として、モールド商品の応力計算と、電力貯蔵システムの動作解析を挙げている。

2.3 アプリケーションからみた数値計算；方法（ツール）

高岳製作所では離散化を伴った数値計算には、数値計算に取り組んだ初期の頃から、効率的な計算を進めるために（もし入手可能であれば）著名なアプリケーションを導入するという方法をとってきた。また、よくみられるようにどのアプリケーションを使って計算を進めたかを漠然とさせるのではなく、常に解析手段はオープンにする方法を採用している⁽²⁾。

電界、熱伝導、線形応力解析などの比較的簡単な解析手段には、15年以上も SDRC 社製の IDEAS を利用している。また、2次元、3次元の場のメッシュ作成にも IDEAS は有効である。非線形の応力解析には HKS 社製の ABAQUS を、耐震解析には（データ作成が困難であることを承知で）MSC 社製の NASTRAN を用いてい

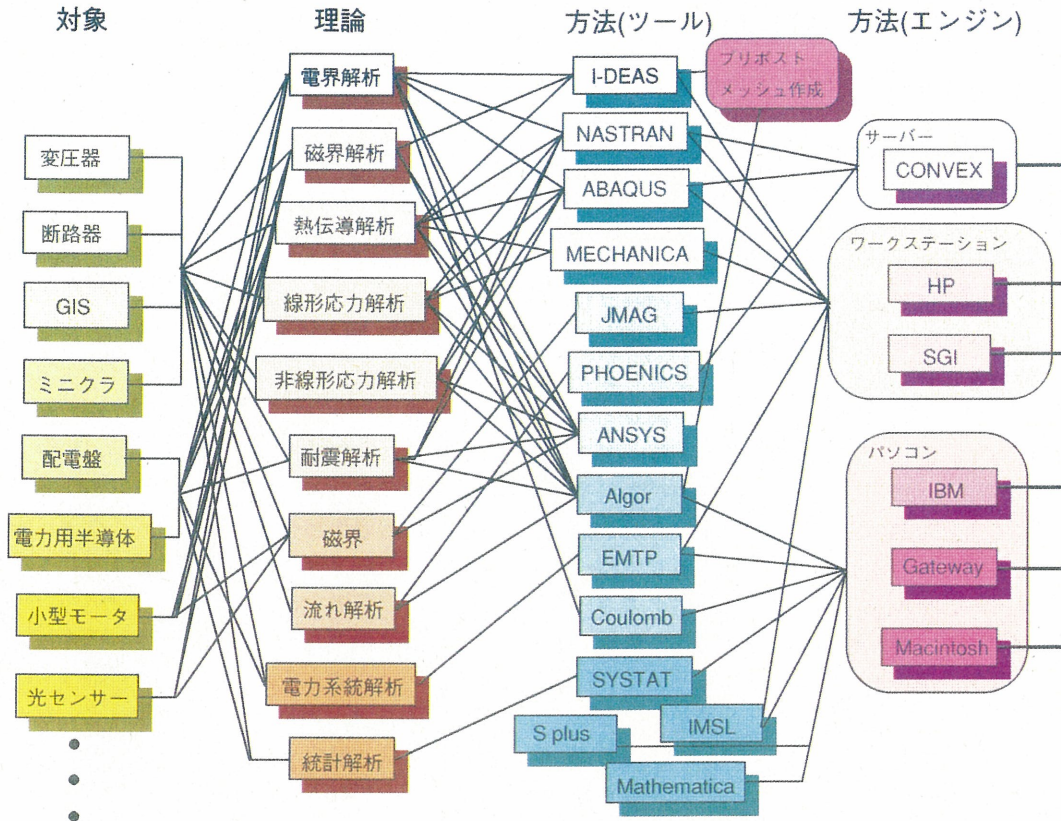


図1 数値計算における対象, 理論, 方法の関連図

る。磁界解析には今のところ日本総研社製の JMAG を用いているが、リニアモーターカー用コイルに発生する磁界の計算などには自社で開発したソフトを用いている。遅い流れや対流を伴う伝熱の計算には（複雑であれば）PHOENICS を用いているが、簡単な場合には本号で紹介しているパソコン用 FEA ツール、Algor を用いている。しかし、遮断器内ノズル部の高温高速状態での流れの計算では、移動場という条件に加えて、マックスウエルの方程式、ナビエーストックスの方程式を連成させ、コントロールボリューム法という離散化手段をとるので、市販のアプリケーションでは対応できず、このときは自社でソフトを開発して計算を進めている⁽⁹⁾（解析例は図2参照）。MECHANICA (Mechanica Structure と Mechanica Thermal) は最近注目され始めた p 法による FEA 解析ツールであるが、高岳製作所では熱伝導解析、応力解析の分野で形状最適設計に利用している（本号参照）。その他、オールマイティーな用途向けに ANSYS が用意されている。電力系統における過渡現象解析には今や世界的に普及してきた EMT を利用している（本号参照）。自社でソフト開発を進めるにあたっては、Visual Numerics 社製の IMSL ライブラリーなどを利用している。

確かに市販のアプリケーションを利用することでソフト開発に費やすコストは削減できる。しかし、そのアプリケーションを動かしている基本的アルゴリズムやアプリケーションの機能的限界を熟知せずに盲目的に計算を

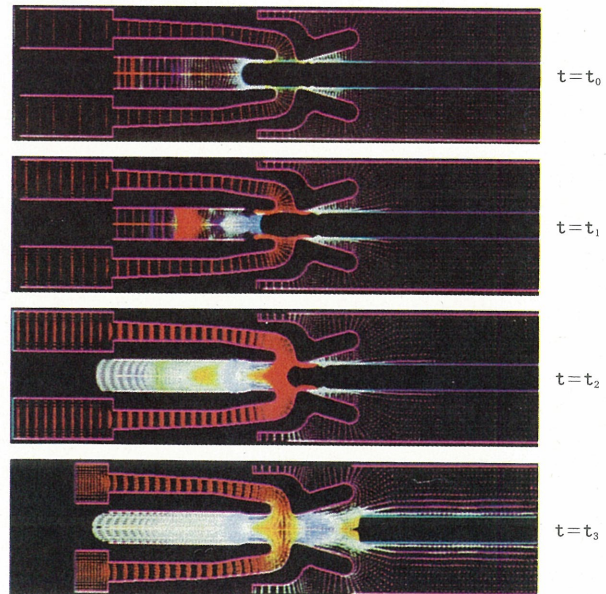


図2 遮断器内ノズル部の流れ解析例

〔暖色は圧力の高い部分を、寒色は低い部分を示す。〕
〔矢印は流れの方向と流速を示す〕

進めると計算誤りを犯す危険性がある。これを防ぐ意味で、数理情報研究室では場合に応じて簡単なアプリケーションの雛形を自ら作ることを奨励している。結果的ではあるが、これらのうち開発後十分使用に耐えるソフト

となり、他の市販のアプリケーションと協調しながら使われているものもある^(4,5)。

本特集号では、アプリケーションから眺めた論文として、MECHANICA, Algor を挙げています。

2.4 プラットホームからみた数値計算；方法（エンジン）

ここでプラットホームというのはFEAのアプリケーションが走行するハード的な環境を指す。プラットホームはほぼ5年単位でドラステイックに変わっている。

初期のころは勿論、汎用コンピュータ、スーパーコンピュータが主たるプラットホームであった。大規模な線形方程式を我慢できる時間内で解くことのできるマシンはそれだけしかなかった。ユーザーは限られ、計算コストは高く、計算プロセスは不透明であった。自由度は1,000未満の解析であった。

1980年代に入ってエンジニアリング用ワークステーションが日本にもおそろおそろ導入される。計算サーバーとグラフィックターミナルが一体となったワークステーションがネットワークで結ばれたコンピュータシステムは、その後の設計開発環境を一変する予感を与えた。高岳製作所ではいち早くワークステーションを整えることを進め、主にIDEAS用のプラットホームにあてた。アポロコンピュータからシリコングラフィックス、そしてHPへとプラットホームは変わるが、一貫してその時代の最適なエンジニアリング用ワークステーションがFEA解析のプラットホームに使われている。自由度は数千から数万までに上がる。

途中、ワークステーションの一向に上がらない性能とスーパーコンピュータの魅力との隙間を縫ってミニスーパーというプラットホームが出現する。高岳製作所でも流れ解析専用のサーバーとしてCONVEX社製のC201を導入した。自由度は10万程度を扱う。

1990年代に入ると、パソコンの性能向上とアプリケーションの豊富さからパソコンでFEAが実行できるようになる。日本ではまだまだパソコンを本格的に使ったFEAは認知されていないが、アメリカでは早くからこの時代の到来を予測し取り組んでいるベンダーが多くいる。高岳製作所ではこの動きに同期して、IBM純正をはじめIBMコンパチ（Mitac, Gateway等）のマシンを順次揃え、例えば、ATP（EMTP）用、EDSA（電力系統故障解析）用、Algor（汎用FEA）用、Coulomb（境界要素法を用いた電界計算）用向けのプラットホームとして使っている。その他、解析結果の可視化用マシンとしてマッキントッシュを利用している。パソコン用の解析システムを構築することで一挙に（FEA）解析ユーザーが増え、設計開発レベルの向上を図ったものである。

このように高岳製作所では、アプリケーションの種類、計算の規模を見ながらその都度最適な計算環境（プラットホーム）を決めている。今後は、高速な計算サーバー（通常パラレル）と多数のワークステーションがネットワークで密に結ばれたチームコンピューティングが実現

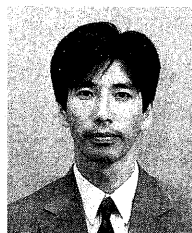
すると予想される。また、パソコンとワークステーションとの境界も段々薄れ、個々のマシンよりもネットワークの重要性が一層叫ばれることになるとと思われる。解析結果をリアルタイムに可視化するための光通信の重要性も見逃せない。

3. あとがき

1991年にはアメリカのSIAM（Society for Industrial and Applied Mathematics）に相当する学会「日本応用数学会」が誕生した。1992年4月には東京大学大学院数理科学研究科が発足、1994年4月には九州大学に大学院数理学研究科が発足している。いずれもその設立の理念に、数学、物理学、情報科学、工学、経済学などを横断的に結ぶ数理学とでもいべき分野の学界と教育研究機関の存在の必要性を説いている。これは、最近の産業、経済、社会の高度化に伴って必要とされてきつつある数理的分野の急激な台頭によるものである。20世紀初頭数学では一度捨象されたはずの数学の実用性が今また注目されているのである。背景にはコンピュータの性能の進歩とその普及があるが、これは従来の計算が速く大規模にできるようになったばかりではなく、計算が質的に大きく変貌していることを表している。この急激な変化に企業も対処していかなければならない。応用数学会をはじめとして、Computational…と名のついた組織への参加、上記大学や類似の研究機関との交流を積極的に行うことによって相互的に役に立つ数理学の分野が確立されることと考える。企業はそこでの問題提起と結果の検証という役割を担っていくべきで、高岳製作所も数理情報研究室をはじめ今後一層Computationに注力した機能する組織としての役割を果たしたいと考えている。

参考文献

- (1) 広瀬, 「探しものは何ですか」, 応用数理, 1, 64 (1991)
- (2) 広瀬, 「EWSを用いたCAEシステム」, CAEユーザー・シンポジウム'87 (㈱電通国際情報サービス) (1987)
- (3) 南, 広瀬, 「遮断器における流体解析」, 計算電気・電子工学シンポジウム, II-5, 197 (1988)
- (4) 広瀬, 南, 戸田, 「有限要素法による非線形非定常熱伝導解析プログラムHTTの開発とその応用」, 高岳レビュー, 32, 185 (1985)
- (5) 広瀬, 岩田, 「錯綜する線路群を含む電力系統回路網の定常計算プログラムの開発」, 昭和58年電気学会全国大会, No. 837 (1983)



広瀬 英雄
Hideo Hirose
数値計算の研究開発
に従事