発 行 所 日本機械学会 計算力学部門
お問合せ 03-3560-3505

ISSN 1340-6582

日本機械学会 計算力学部門

CMD Newsletter

COMPUTATIONAL MECHANICS

計算力学部門ニュースレター No.45

October, 2010

巻頭言

日本のものづくりへの提言
—計算力学の適正な使用に関して

元山 近思
川崎重工業株式会社

私は今年の３月末まで６年間にわたり川崎重工業株式会社航空宇宙カンパニープレジデントとしていくつかの航空機やミサイル等の開発に経営トップの立場で関与し、技術者達の真剣で一途な仕事ぶりを見てまいりました。会社人としては構造技術者としての生活が長いわけですが50代から65歳で定年を迎えるまでは物づくり部門、企画部門を経験した後、経営に携わってきました。出自が技術者ですからどうしても技術者達には厳しいことを要求するくせが最後まであったような気がします。

私は決して計算力学に見識が深いわけでも何でもありませんが、航空機等の開発を通して感じてきた技術のあり方について、「日本のものづくりへの提言—計算力学の適正な使用に関して」という意図を込めて独断と偏見とのお叱りをあえて恐れずに述べてみたいと思います。

機械系工業製品のどの分野においても、大まかな製品の開発過程は、既存のノレッジをベースに基本構想を固めた後、各種の計算によって設計内容を詳細に肉付けして細部設計し、試作、評価するものです。最近の解析技術の進歩には目覚しいものがありますが、他方では長年の経験で蓄積されたノレッジの重要さは今後も変わることがないと私は考えております。計算が大切であることは言うまでもありませんが、諸先輩の長年の努力によって蓄積されてきたノレッジの重要性をあえて強調しておきたいと思います。

航空機開発を他製品と比較して考えてみますと、使用時の性能や安全性を客観的かつ厳密に試験で実証していくという点において極めて特異なものでありますが、技術論としては理想的であると私は認識しております。その開発過程においては高度な計算力学が色んな分野で大規模に適用され、さらには実機を用いた全機試験で徹底的に検証されます。計算の適正さをチェックされるという点において技術者にとっては貴重な経験ができる反面過酷な世界でもあります。

計算機の発達に伴い計算力学の進歩は目を見張るものがあります。開発現場での技術作業は大きく変貌し、航空機性能と安全の改善に大きく寄与しております。

計算力学の進歩の効用を認めた上での私の問題意識は、計算力学が個別の設計において常に正しい解を与えるものであるという過度な思い込みをする技術者がいるのではないかというものです。各種の解析ソフトが利用可能な現代においてはインプットすればそれに見合ったアウトプットが得られるだけであってそれがエンジニアリング的に適正な解であるかどうかは慎重な評価が必要と考えます。開発現場では学問をやってるわけではありませんから学問的に正しいということまでは求めませんが、エンジニアリング的に適正かどうかという恐れと謙虚さは必要であり、この心構えこそが技術者魂のひとつの発露だと思います。

しかしながら、現実にはやりっぱなしというケースが多いのではないでしょうか。美しい色つきの図表に酔って、冷静な評価を忘れてしまう。たとえば、モデル化は適正か、計算力学の限界や制約を越えてないか、ひいてはインプットミスはないか、アウトプットを読み違えてないか等心配事は多々あり

ます。また、現実は複雑であり、試験をやってみれば計算値と計測値が乖離すること等は日常的に遭遇する出来事です。

航空機開発では試験によって計算の妥当性を検証し、要すれば解析モデルの修正等の機会がありますが、試験による確認を行わない一般の工業製品の場合には計算の妥当性をどのように担保するのかという課題が内在していると考えます。

私は航空機の安全確保という崇高なミッションを担う技術者達に対して「技術を畏敬して自己研鑽し、検討にあたっては最善をつくせ」と口すっぱく言ってきました。航空機開発は高性能な計算機の無い時代からやられてきたわけですが、かっては計算式を用いたアナログ的な手法でした。計算力学が進歩した現在においても、試作開始前までに得られた計算結果がエンジニアリング的に適正であることをノレッジによって直感的に検証したり、代表箇所に限定してでもアナログ的に検証することが非常に大切です。前者の為には経験豊かな技術者を交えた日常的なディスカッションが有効でしょうし、後者のためには教科書を勉強したり文献を調査したりして適応可能な計算式を探し出してくるという努力が技術者に求められます。結果的には大学で勉強した時間よりも会社に入ってからの勉強時間の方がはるかに長いという経験をするわけです。技術者はまさに勉強、勉強であって、それをやらなければついていけない。工学の教科書に書いてある式は近似式であったり経験式であったりする場合が多いわけで、計算式と現実との相関関係や乖離度を知るには根気良く文献調査をする必要があります。私は、教科書を鵜呑みにせずに計算式の成立条件や制約を文献で調べ上げて開発に臨むという手法を若い時に上司から徹底的に叩き込まれましたが、現在もそれが開発に従事する技術者には必要な理想的な心構えだと考えております。

上述のような検証サイクルを回して開発業務を行うには上司の強い意志と部下の開発に向けた情熱が必要です。膨大な技術作業を日々抱えて繁忙をきたす部下に対して、「技術を畏敬して自己研鑽し、検討にあたっては最善をつくせ」と強制するには上司は相当な覚悟がいります。航空機開発においては全機試験で計算の適正さが明らかになるとはいえ、試作機を用いた試験段階で計算に重大な不適正さが露見して手戻りする必要が生じた場合には大改修が必要となりますから開発スケジュールや開発コストに重大な影響を与えることになります。従って試作、試験を行う前に不適正さを早期に是正しておく必要があるわけです。しかしながら生身の技術者にとってはスケジュールに追われてなかなか上述のようなアプローチを徹底することは難しいものですが、結局は急がば回れとのことわざを頭の隅において、ここまで進歩した計算力学を適正かつ有効に活用していく工夫と努力をしていただきたいとの思いで、ささやかながら提言するものです。

トピックス

KSMEのCAE部門とJSME計算力学部門の第1回ワークショップ報告

西脇　眞二
京都大学 大学院 工学研究科 機械理工学専攻

韓国の機械学会であるKSMEのCAE部門と日本機械学会の計算力学部門の第１回のワークショップは、以下の日程にて開催された。

開催日：2010年3月4日～5日

会場：Hoam Faculty House, Seoul National University

本ワークショップは、General ChairmanをSeoul National UniversityのYoon Young Kim教授と金沢大学の山崎教授とし、韓国側のChungang University のYoungseog Lee教授およびAndong University がGeneral Secretary担当し、以下のメンバーにより発起、運営することにより開催された。

Members: Chul Kim (Kyoungbook Univ., Korea)
Tae Hee Lee (Hanyang Univ., Korea)
Maenghyo Cho (Seoul National Univ., Korea)
Sungsoo Na (Korea Univ., Korea)
Seungjae Min (Hanyang Univ., Korea)
Tadashi Hasebe (Kobe Univ., Japan)
Hiroshi Kanayama (Kyushu Univ., Japan)
Eisuke Kita (Nagoya Univ., Japan)
Shinji Nishiwaki (Kyoto Univ., Japan)
Jiro Sakamoto (Kanazawa Univ., Japan)
Yoji Shibutani (Osaka Univ., Japan)
Shigeo Wada (Osaka Univ., Japan)

写真1　ワークショップの風景

本ワークショップの開催の発端は、Seoul National UniversityのYoon Young Kim教授からの依頼による。Kim教授は、KSMEのCAE部門の部門長で、CAE部門とJSMEの然るべき部門とのCAE全般にわたる日韓のワークショップを開催したい旨の連絡があった。その後、2009年10月に金沢大学で開催された第22回計算力学講演会にて、Kim教授を特別講演者として招聘した際に、ワークショップの具体像を議論した。その具体案を基に、本ワークショップでは、次の二件のPlenary talkと、三種類のSessionの構成により開催された。

Plenary talk:

1. Prof. Koetsu Ymazaki, Kanazawa University, Title: Multi-objective Design Optimization Based on the CAE Simulations of Metal Forming and Plastic Cooling of Injection Molding
2. Prof. Maenghyo Cho, Seoul National University, Title: Scale Briding Art in Multiscale Challenge from Atomic to Continuum Mechanics.

Sessions:

1. Nano/Multiscale Mechanics （14件の発表）
2. Advanced CAE/Optimization（14件の発表）
3. Computaionla Bio/Cell（12件の発表）

今回は、韓国側の大きな努力により、驚くことにわずか4ヶ月という短期間での準備によって、ワークショップを開催することができた。さらに、ワークショップ中、三つのセッションでは、それぞれの専門分野について活発な議論ができ、また韓国側の研究者とより親密な関係を築くことができた。またベスト研究者に，著者が選考され受賞した。次回は、2年後にCMD講演会と併設して日本にて、開催される予定である。

写真2.　ベスト研究者賞受賞記念写真（YY. Kim先生と著者）

計算力学に関する第２回国際ワークショップ（IWACOM-II）報告

田中　智行
広島大学 大学院 工学研究院（機械システム・応用力学部門）

１．はじめに

2010年3月29日（月）から3月31日（水）までの3日間、パシフィコ横浜の会議センターにおいて計算力学に関する第2回国際ワークショップIWACOM-II （2nd International Workshops on Advances in Computational Mechanics）が開催された。僭越ながら本国際ワークショップに参加した1人として、本会議の内容について報告させていただく。

写真１　姫野龍太郎センター長によるプレナリーレクチャー

２．IWACOM-IIの概要

IWACOM-IIは、2004年に法政大学多摩キャンパスで開催されたIWACOM 2004の第2回目の国際ワークショップとして、日本計算工学会、日本機械学会計算力学部門、および横浜国立大学の共催により開催された。本国際ワークショップは、計算力学分野における最新の研究動向に関する国際フォーラムである。計算力学分野における主要なテーマに関する

写真２　バンケット前の酒樽を用いた鏡開きの一コマ

複数のオーガナイズドセッションから構成され、それぞれのワークショップのオーガナイザーから招待された国内外の第一線で活躍する若手研究者のみが講演を行うことができる。3日間にわたり、スタンフォード大学Charbel Farhat教授および理化学研究所情報基盤センターの姫野龍太郎センター長による2件のプレナリーレクチャー、および計9つのオーガナイズドワークショップが開催された。各ワークショップ（OW）のタイトルは以下の通りである。

OW-1: Innovative algorithms for multicore and hierarchical computational environments
OW-2: Advances in optimization
OW-3: Advances in computational methods for free and moving boundary problems
OW-4: Advanced turbulent flow simulation
OW-5: Computational biomechanics
OW-6: Multiphysics for micromachines and micromaterials
OW-7: Multiscale simulation and modeling of material behavior
OW-8: Advances in structural collapse / structural impact analyses
OW-9: Computational fracture mechanics for crack and crack propagation analyses

各ワークショップはパラレルセッションとして開催され、2日間にわたり約150件の口頭発表が行われた。国内の講演会や通常の国際学会と異なり、一人の発表持ち時間が質疑応答を含め30分～45分と長く、密度の濃い講演、ディスカッションを行うワークショップであった。筆者は、OW-9：Computational fracture mechanics for crack and crack propagation analysesでのInvited speakerであったため、そのワークショップの内容を含め会議全体の様子について報告する。

３．当日の様子

29日（月）は夕刻からワークショップ会場近くのホテル会場において受付とレセプションが開催された。多数のワークショップ参加者が集い、翌日の講演、ディスカッションの前に既に白熱した議論が展開されているようであった。30日（火）午前中はオープニングセレモニーに続き、スタンフォード大学Charbel Farhat教授によるプレナリーレクチャーが行われた。"A Computational Framework Based on an Embedded Method with Exact Local Riemann Solvers for Highly Nonlinear Multi-Phase Fluid-Structure Problems" というタイトルで、高精度に物体境界を維持した混相流の流体―構造連成解析手法についてのレクチャーが行われ、複雑な非線形現象に対するアプリケーションが示された。さらに、理化学研究所情報基盤センターの姫野龍太郎センター長により、"Japan's Next-Generation Supercomputer R&D Project and Grand Challenges in Life Science" というタイトルで、現在進行中の次世代スーパーコンピュータープロジェクトに関するレクチャーが行われた。ハードウェアの解説のみならず、スーパーコンピューター上で計算するための次世代生命体統合シミュレーションソフトウェアの研究開発状況などの報告がなされた。

30日（火）の午後および31日はそれぞれのワークショップ会場に別れ、講演、ディスカッションの場となった。筆者の参加したOW-9：Computational fracture mechanics for crack and crack propagation analyses は、計算力学技術を用いた破壊力学解析に関するワークショップであり、海外の著名な研究者の講演7件を含む計17件の講演が2日間にわたり開催された。発表内容も基礎的なものから応用事例まで幅広く、国内外の最新の研究動向について知ることができた。近年の破壊力学解析に関する研究では、X-FEMやメッシュフリー法/粒子法などの新しい数値解析手法を用いた研究、四面体要素を用いた自動メッシュ分割によるき裂進展解析などの研究が実施されている。従来のき裂解析の多くが二次元的であったが、近年の計算機能力の向上により、三次元的にき裂を取り扱うことが可能となってきている。今後、実際の破壊現象に対して、どのように計算力学技術を活用することができるか興味を持っている。筆者もこの研究分野に従事する一人として、今後の研究動向に注目するとともに研究活動に励んでゆきたい。

30日（火）のワークショップ終了後には、一つの会場に参加者が集まり、酒樽を用いた鏡開きのデモンストレーションが行われた。当会場で乾杯を済ませた後、ワークショップごとに3つのグループに分かれ、会場近くの岸壁から屋形船によるバンケットが行われた。ワークショップ開催期間は、ちょうど桜が見ごろの時期であったため、鏡開き・屋形船によるバンケットディナーと海外の研究者にとっては非常に記憶深いものとなったように思われる。

４．おわりに

本国際ワークショップでは、会期中のほぼ全てを各専門分野のワークショップで過ごすことが多く、他の研究内容について勉強することができなかったのは残念であったが、各ワークショップにおいて十分な講演、ディスカッション時間が確保されていたため非常に充実したものとなった。世界中から大人数が参加する国際学会などでは、著名な研究者とはなかなか交流・意見交換の時間を持つことができないため、今回のワークショップは非常に貴重な体験となった。なお、当日のスケジュール、講演者、講演内容の詳細、および当日の写真などIWACOM-IIのホームページ（http://www.jsces.org/IWACOM/）に掲載されているので、興味のある人はご覧いただきたい。

写真３　屋形船でのバンケット

特集『ものづくりとCAE』

ものづくりとシンキングCAE

岡村　宏
芝浦工業大学 先端工学研究機構／教育支援センター

＜わが国のものづくり＞

わが国は、資源のない国のため、ものづくりで付加価値をつけないと成り立たない。世の中に受け入れられる製品を高品質で魅力的な付加価値をつけて販売する時代から、購買意欲を刺激される製品を市場が納得するスリムな機能・低価格とすることで市場を拡大する手法に切り替わっている。市場のニーズをすばやく取り込まないと遅れをとる時代である。たとえば、日本の携帯電話の世界シェアの低さは国外の市場への対応が遅れているためと考えられる。日本のものづくりが海外に流出しているとの危機感もある。しかし、市場は、低価格でものが普及し始めると、新しい動きがすでに始まっている。米国のi-Potは、操作性の簡便性と高機能を組合せ、新世代のものづくりをはじめている。日本では、逆に単機能・高品質音を指向している。逆転現象である。やはり日本のものづくりは、新しいイノベーションによる新規アイディアによる製品の提案を、低コスト・市場動向の世界の潮流の中でタイムリーに開発してゆかなければならない。開発における差別化ため新材料や新構造の組合せを採用する場合、ノウハウの少ない分CAEは不可欠である。

＜製品開発とCAE＞

CAE（Computer Aided Engineering）のエンジニアリングは工学と同意語であり、人間の利益のため目指す成果を導き出す研究目的の学問である。CAEは、実体がない概念の状態でも「もの」の機能を予測的に求めることができ、現在では、製品開発には欠かせないものになっている。

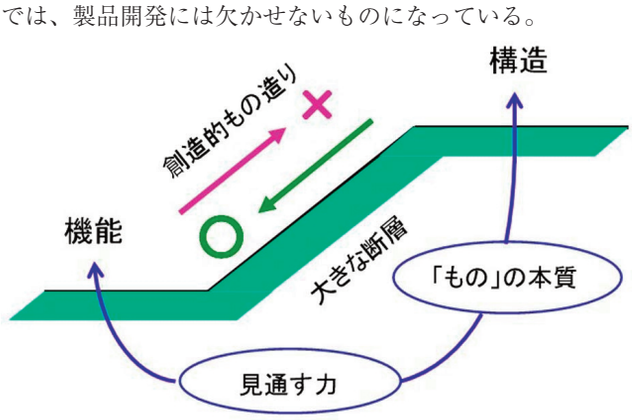


図１　機能と構造

図１に示すように、ものの本質を見極めれば、機能と構造の関係を自由に行き来できるようになる。しかし、実験やシミュレーションでは、既存のものまたは設定されたものの構造がまずあってその持っている機能を抽出する手法である。すなわち、構造から機能への片道切符しか買うことが出来ない。もちろん大金持ちで余裕があれば、多くの実験や計算の組合せを実施して、運がよければ、最適化手法で道が見出せる場合はある。しかし、設定する実験条件や計算モデルの境界条件次第によって、大きく結果が変わってしまう場合が多い。多くの製造企業での開発工程でのデザインレビューにおいても、新しい構造に対して、前例がないとなると、上司からこの部位の計算はやったかと質問がある。CAE構造解析をして、安全との結果が出ていますと報告されると、ほとんどの場合はそれ以上の追求は無い。CAEによるチェックを設計プロセスで実施しているとなると、関係者はみんな安心してしまう場合が多い。事故が起きても、しっかりとCAE計算をした製品開発であり大丈夫のはずと首をかしげ、製造ミスで設計ミスではないと考えてしまう。それだけ、予測計算の導入による効果が大きい実績があることは事実である。CAE導入の初期の頃は、そのパイオニアの担当者は、信用してもらえないため、十分用心深く、良く吟味して、はっきりと判断できることだけを提示してきた。しかし、その実績が認められるようになると、多くの会社で開発効率が優先しCAEがマニュアル化され、だんだんとブラックボックス化し、流れ作業に近くなる。このようになるとCAEの際にシンキングが不在となり勝ちである。落とし穴があっても見逃してしまうことが多くなるはずである。

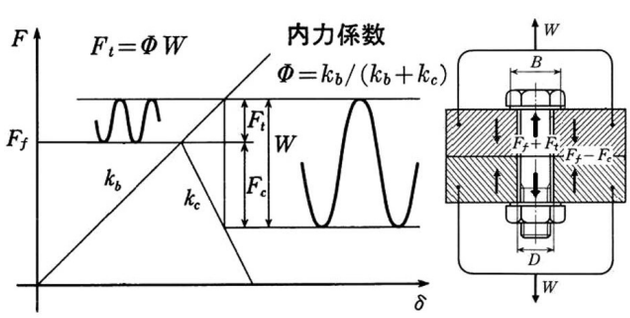


図２　ボルト・ナットの締め付けと外力Wの負担荷重

ここで一つの事例を示す。具体的な事例ではあるが、大きな事故になるものもあり、構造の記述のみにとどめる。ねじ部の疲労破壊である。テーパー状の当り面を持つテーパーコーンを介して被締付物をボルト・ナットで締結する部位では、テーパーが内当りで、ナットの座面外径Bがスタンダード程度とすると、ボルト軸のばね定数k_bに対して被締付部のばね定数k_cは相対的にその比率が小さくなり、ボルトの内力係数が大きくなる。CAE計算では、テーパー部は全面当り

として、被締付部のばね定数を設定するモデルのため、ボルトに加わる負荷は小さ目に計算される。実際の当り面は、接触非接触問題で塑性変形を考慮する必要がある。また、その機能と構造の本質を知っていれば、このような場合は、最低でもテーパー部は外当りであることが求められるはずである。マニュアル化されたCAEでは、被締付構造が特異であるとの認識がない場合が多い。ものの本質を捉えていないと、CAEを活用しても事故につながる現象を見通すことができないことが生じる。

＜製品の機能と構造＞

図１に示すように、機能から構造へのシンセシスはそのためのツールは直接的には用意されていない。構造から機能は、アナリティカルなアプローチであり、実験やシミュレーションと色々な手法が用意されている。製品開発のプロセスでは、機能設計から構造設計への断絶があり、橋渡しが難しい。既存のものからの簡単な連想・発想が可能なものは良いが、イノベーションを伴い新しいコンセプトに基づく新構造を求めるのは、困難を伴い、また実現してもそのノウハウの少なさにより色々な不具合に見舞われることが多い。はっきりと他の製品と差別化が可能となるためには、リスクを低減する新しいディバイスが必要である。

表１　開発設計へのアプローチ

（イ） その原構造の持つ機能を把握	基本構造の適切なモデリング設定とシミュレーション実施により適用例等の特性を把握 ⇒リバースエンジニアリング （構造の把握と現象の解析）
（ロ） その機能を発生させるメカニズムを解明	上記結果に機械力学、材料力学等の基礎理論を適用しその本質を理解し、機能のメカニズムを解明する。 ⇒ビジュアルシンキング （機能の本質の抽出）
（ハ） 目標を達成できる構造を見出す	構造と機能のキャッチボールにより構造と対話をして、最適解をめざし、新構造への進化を得る ⇒シンキングＣＡＥ （構造のシンセシス創出）

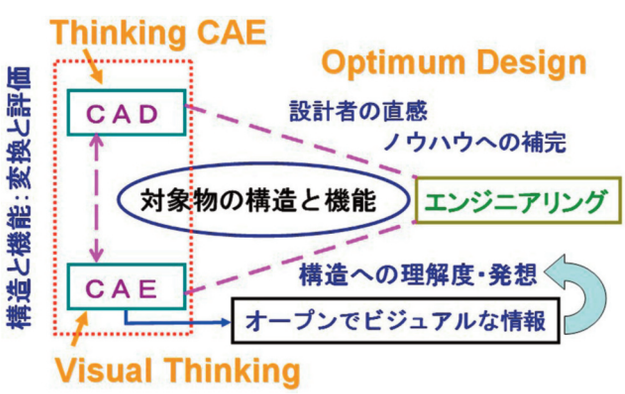


図３　デジタルエンジニアリングを用いるシンキングCAE

＜シンキングCAE＞

表１と図３に開発設計へのアプローチの手法を示す。表1には、上述の断絶への橋渡しとなる三つのプロセスを示している。このプロセスは、新しいアイディアを発想するための手順である。(イ)のプロセスのみで済ましてしまうと、似たような、かわり映えのしない製品が出来上がる。(ロ)⇒(ハ)のように、対象物の本質を捉え、図1のような機能と構造との会話と共に新構造への発想をさぐることが重要である。図3に、設計と計算とのツールのデジタル化（CADとCAE）とそれを扱うエンジニアの関係を示す。このデジタ化は、色々な発想を開発者の頭脳での発想と大きなタイムラグなしで実現できるもので、表１の三つのプロセスと密接に対応することができる。

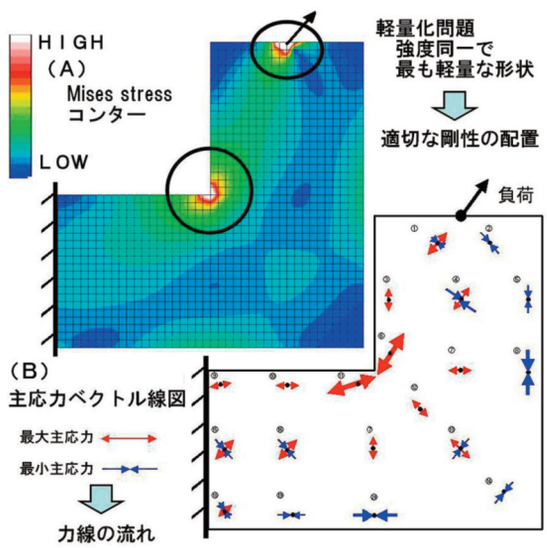


図４　不静定問題の軽量化構造の検討

図４に不静定問題の軽量化への（イ）、（ロ）プロセス（表１）の検討を示す。よく用いられる図４（A）「ミーゼスのコンター」では、応力集中部に目が行き、構造の剛性のあるべき分布を捕らえるのは難しい。（B）主応力線図があると、力線の流れが見えてくる。その道筋をたどっていくと、軽量化の最適解に直接近づくことができ、シンキングCAEの手法により色々な発想が考察できる。と同時に、いくつかの設計要件の吟味も同時進行することが可能である。

＜まとめ＞

シンキングCAEとは、表１の（イ）（ロ）（ハ）の手順を実施する手法であるが、最も大切なことは、自分自身が考えることで、ツールに頼るものではない。

①構造と機能の基本ルールを把握する。
　⇒力線以外にも良く知られる複数のルールがある。
②ビジュアル・シンキングの重要性⇒本質を見定める
③CAEのアウトプット情報を徹底的な活用
　⇒上澄みしか使っていない
④究極の形状へ⇒構造の改良で妥協するな！審美眼を養う

ぜひ、わが国のものづくりのため活用されることを期待する。

自動車の衝突解析の変遷と展望

安木　剛
トヨタ自動車株式会社 車両CAE部

１. はじめに

有限要素モデルを使用する自動車の衝突解析が始まってから約２５年が経過した。主に当社の事例を基に、自動車の衝突解析（以下、衝突解析）の変遷を振り返り、展望について述べる。

２. 自動車の衝突解析変遷の概要

衝突解析は自動車の衝突試験を模擬する。1980年代の当初はバネと質点で構成される計算モデルが使用され、次に梁要素と質点で構成される計算モデルも使用された。1986年ごろから板要素で構成される有限要素モデルが使用され始めた。衝突解析は、1990年代ではトラブルシューティングに使われており、2000年ごろからは性能予測に活用された。最近では性能を企画開発することにも活用される（図１）。

衝突解析の対象は、自動車単独の衝突解析から自動車対自動車の衝突解析や歩行者保護性能の解析など、適用範囲を増やしながら、より複雑な衝突試験に対応した。これと計算シミュレーションの環境と比較すると、ベクトル機にはじまり、スカラー機、PCクラスタ機へとスーパーコンピュータ（以下、スパコン）の能力が上がるにつれ、解析モデル規模が1万から200万へと拡大していき、それに伴い解析精度も向上し、衝突解析結果の信頼性が向上した（図１）。

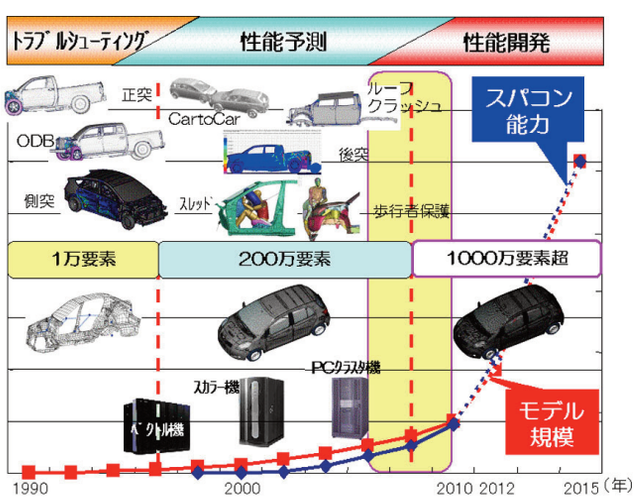


図１　自動車の衝突解析の変遷

３. 衝突解析の精度

衝突解析の精度の維持と向上は1980年代からの課題である。衝突する自動車が変形するモードを衝突解析で模擬するだけでなく、衝突する自動車の変位・速度・加速度の定量的な予測が期待される。このため、衝突解析用の動的陽解法の有限要素コードと有限要素モデルが継続的に改良された。

有限要素コードの改良例として有限要素の変遷を紹介する。1980年代では計算時間の少ないベリチコ・ツァイ板要素が使用されたが、2000年代に歪の分布をより正確に計算するシェル要素が使用され始めた。

有限要素モデルの改良例として2004年から2006年まで日本自動車工業会と地球シミュレーターセンターのご協力を得て実施された前面衝突解析事例を紹介する。この衝突解析は自動車を剛体の壁に衝突させるものである。この有限要素モデルの節点数は1400万であり、平均の要素寸法が2mmのシェル要素により3次元のCADデータを基に忠実にその形状を模擬した（図２）。2006年当時では世界最大規模の衝突解析用の有限要素モデルであり、スポット溶接接合部の破断を模擬した。

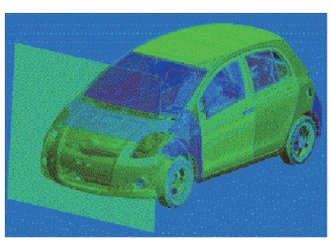


図２　節点数1400万の衝突解析用の有限要素モデル

この衝突解析結果で得られた助手席の加速度を実験結果と比較すると、剛体壁に衝突後40 msまで良い対応を得て、80msまで概ね良い対応を得た（図３）。これより、衝突解析では3次元のCADデータを基に忠実にその形状を模擬することが精度の維持と向上に重要であることが確認された。

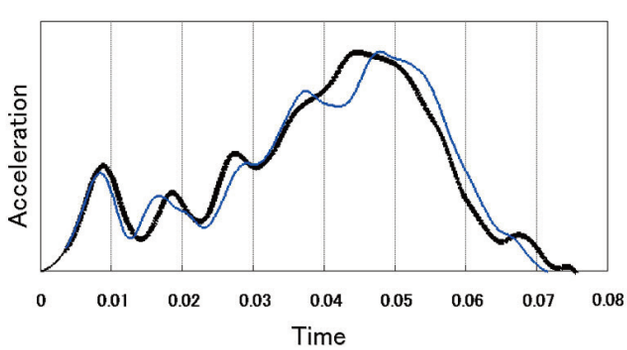


図３　助手席の加速度の比較（太線は実験、細線は計算）

４. 衝突解析の役割

前述のように、衝突解析は自動車の衝突試験を模擬するものであり、その役割はトラブルシューティングから性能予測に変わり、最近では性能を企画開発することにも使用され始めた。

自動車の衝突試験は0.1秒程度の短い時間の現象でため、自動車の各部が時々刻々変形する挙動を試験だけで把握するのは困難である。このため、1990年代ではトラブルシューティングにあたり衝突解析の結果から得られた自動車各部が変形する図や応力の分布図は合理的な構造設計する際の有用な情報の一つであった。

現在、衝突解析は性能予測に使用されることが多い。すなわち、衝突試験する以前に衝突解析により期待される性能を衝突試験で発揮できるかを予測する。自動車の衝突試験には多様な種類があり、これらの多くで衝突解析による性能予測が実施される（図４）。

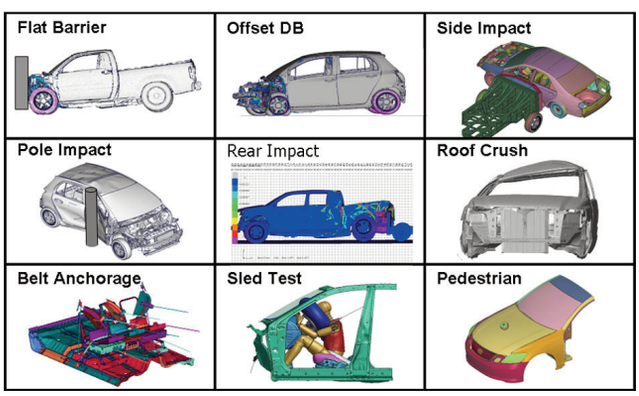


図４　衝突解析の適用範囲

５. 展望

自動車の衝突安全性能の研究開発のため、自動車対自動車の衝突試験を模擬する衝突解析が使用されてきた(図５)。もし衝突解析で自動車事故そのものを模擬できれば、乗員の傷害発生のメカニズムへの理解がさらに深まる可能性がある。今後の衝突解析の応用が期待される分野である。

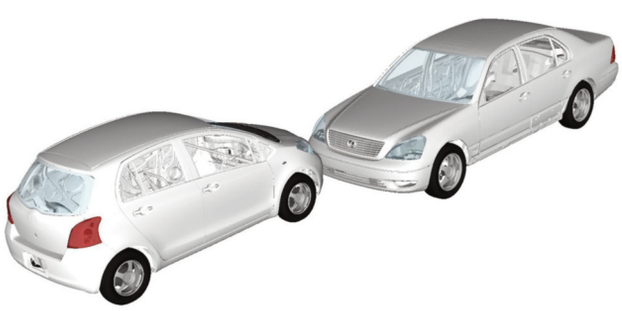


図５　自動車対自動車の衝突解析

自動車の衝突試験では、金属とゴムなどで製作されたダミー人形が自動車に搭載されるので、衝突解析でもそのダミー人形の有限要素モデルが使用されてきた（図６）。これらのダミー人形では頭の加速度と胸のたわみなどの傷害の代用指標を計測するが、骨折などの傷害を直接には評価できない。

衝突解析で自動車事故を模擬するには人の骨折、脳損傷、内臓損傷の評価が必要となるので、これらの傷害を評価できる人の有限要素モデルが自動車メーカー、研究機関、大学などで開発されている。一例として当社と㈱豊田中央研究所殿が開発した人の有限要素モデル（THUMS　Version 4）を図７に示す。

前面衝突事故などでは運転者がﾌﾞﾚｰｷ操作等の回避動作を行うことが考えられる。回避動作に伴い身構える筋肉の活動は乗員の挙動や傷害に影響を及ぼし得るため研究課題である。

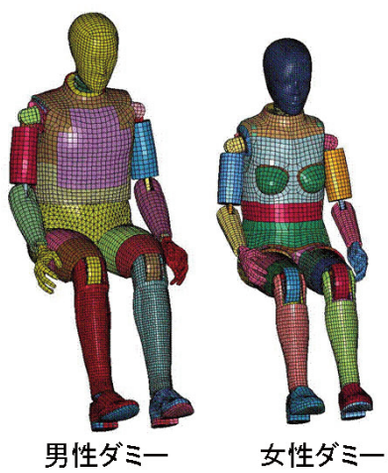


図６　ダミー人形の有限要素モデル

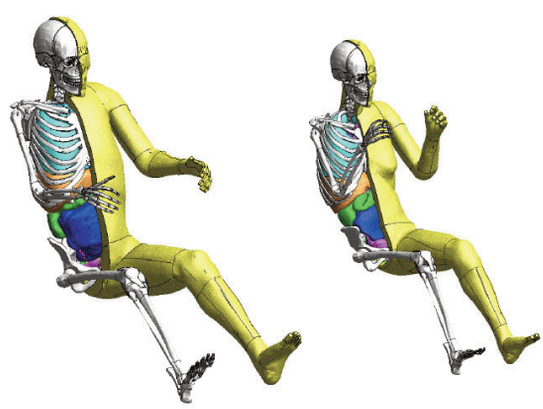


図７　人の有限要素モデル（THUMS　Version 4）

７. おわりに

本稿では衝突解析の変遷を紹介した。アルミハニカムの変形およびスポット溶接接合の破断などの材料的非線形性の研究経緯については紙面の都合により割愛した。また、高張力鋼板の変形の模擬など衝突解析ではまだ研究中の課題があることを申し添える。

末筆ながら、自動車工業会殿、地球シミュレーターセンター殿、豊田中央研究所殿に本稿で紹介した衝突解析へのご協力に謝意を表する。

現場に活かせるCAE

森脇　信康
パナソニック株式会社 ホームアプライアンス社

1．はじめに

「設計とは、ある目的を具体化するために必要な膨大な情報の中から、工学的思考により最適な情報を創り出す知的な意思決定行為である」と定義するならば、CAEは、論理的・体系的な意思決定補助手段である。それならば、設計手段として3DCADを道具として使う前に、CAEを駆使して設計の方向性を十分に討議した後に、設計意図の伝達手段として3DCADを使い始めるべきであり、CAEが製造業の中で設計者の道具となるためには、CADとCAEのシームレスな統合と設計者自身の資質向上が必須である。

車の両輪という表現があるが、設計者にとっては、CAEで舵を取りながら、持てる技術力を駆使して商品開発という道程を走り続けていく必要がある。

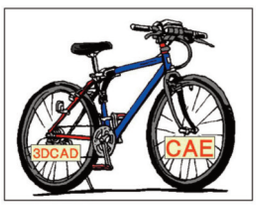


図1　3DCADとCAE

また、高機能な3DCADを導入したからといって、すぐに優れた商品設計が出来ないことは誰でも理解できるのに、CAEを導入して色付の分布図やベクトル線図を手にした途端、部品や商品の素性を明らかにしたような錯覚に陥り易く、設計に活きるCAEを実践するには、技術・経験が必要であることが理解されにくい。

2．CAEは経験則

CAEは設計者のアイデアを論理的・体系的に裏付けるツールであり、常に答えを出してくれるものではない。商品の方向づけを行うのは設計者であり、もっとも商品を熟知しているのも設計者である。そして、解析の結果に対して、もっとも効果的施策を打てるのも設計者である。その設計者の判断材料の源泉は経験であり、CAEは従来の経験と勘と度胸の設計を変えるものと言われるが、勘と度胸の代わりにはなるが経験の補完にはなりにくい。そして、CAEもノウハウ・経験則の固まりみたいなものである。

解析を行う為には、現象を一般的に偏微分方程式の数式で表す数学モデル作成の部分と、有限要素法、境界要素法、差分法などの離散化手法によって代数方程式に置き換える定式化の部分が必要となる。しかし、市販のツールを活用する場合は、この二つの部分はブラックボックス的に扱われるために、そのツールの特徴を十分に把握し、自分の道具として活用するためには、個別の技術・ノウハウが必要となってくる

CAEを設計補助手段として使いこなしていくための技術を解析技術力と称するならば、モデル化技術と結果評価技術が必要となる。モデル化技術とは、実際の物の特性を損ねること無く、使用するツールの機能・特性に精通し、その機能を最大限に活用して、課題となる事象を数学モデルとしてコンピュータ上に再現する能力である。

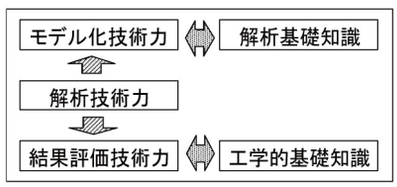


図２　解析技術力

結果評価技術とは、解析結果が実際の現象を十分に反映しているかどうかを、現象面からと、実際に再現可能な諸実験の結果から、工学的な基礎知識を下に、私意の無い判断を下す技術能力である。

解析ソフト・ハードの高速化・低価格化により、解析環境は身近なものになってきており、解析したい部品の形状を入力することが出来れば、誰でも、それなりの結果を出すことが出来るようになってきている。

設計者がCAEを自分の設計の補助手段である事を理解し、実験結果や経験から解析結果を正当に評価し、直面する設計の課題解決に活かそうとするだけの資質が有れば、CAEツールは設計の道具として極めて大きな効果を産み出すことが出来る。

しかし、CAEを過大評価して解析を始めると、解析結果が現象と合わない場合は、自分の解析技術の未熟さに原因を置き換え、解析モデル、境界条件の見直しを執拗に繰り返し、何とか解析結果と課題となる現象を一致させようとする。その努力も空しく、現象を再現できなかった場合には、再び解析環境に近づこうとはしなくなってしまう。

また、優れた設計者がCAEを活用すれば「鬼に金棒」になる。ただし、金棒を使う資格があるのは鬼だけであり、金棒という道具を振り回せるだけの体力と知識を持ち合わせた人、つまり、設計的経験・センスがあり、設計の知識のある人だけである。どんな解析結果が出ても「コンピュータが出した結果だから」と誤った結果を鵜呑みにしてしまう人が使えば、金棒は危険きわまりの無い物になってしまう。

CAEを活用するに当たって、一番肝心なことは「3次元形状を忠実に再現し、材料物性・境界条件などを完璧に準備したとしても、近似解しか得られない」ということを理解することであり、その上で、次の特性を設計課題解決に活用していくことが必要である。

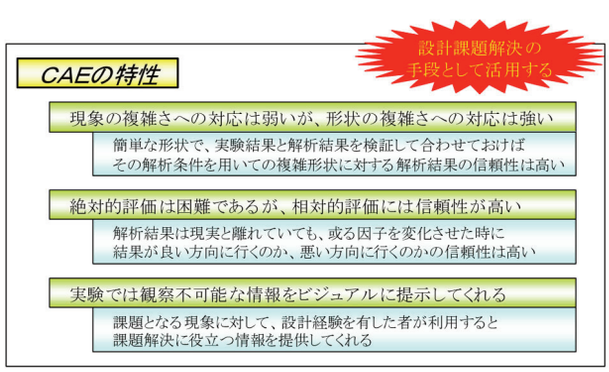


図３　CAEの特性

３．家電商品でのCAE活用　その①

CAEの活用の目的を設計品質の向上としても、対象商品の開発スパン、生産台数、商品価格等など企業の生産品目によって求められる中身が変わってくる。家電製品などの分野では、現象の厳密な再現を行うよりも、商品開発プロセスの中で迅速に設計指針を明確にすることのほうが重要であることが多い。

実際に使用される状況下での荷重条件や境界条件の設定が、明確にならない等の理由で、解析対象に発生する応力の絶対値が、得られないことのほうが多い。しかし、荷重条件を仮の値で一定にして、その時点で量産され、お客様にご迷惑をお掛けしていない部品との相対比較を基準にすることで、設計案の最適化・選別を行うことがもっとも有用な方法であり、実際の設計に結びつくCAEの活用方法である。

ただし、この作業を実践するには、様々な失敗を繰り返し、まさしく属人的なノウハウを積み上げていかなければ、タイムリーな解析結果を得ることは出来ない。数多くの解析事例を通じて経験を積んでいくしかない。しかし、経験を重ね、直面する現象の複雑さに対応するために、様々な解析手法に精通し出してくると、今度は、設計課題解決という目的を見失い、どうしたら解析結果を元にして、設計指針を出せるかに苦労することよりも、解析手法に嵌まり込み、小難しい理論を持ち出して、解析で現象を再現出来ない言い訳をする通称解析屋さんが現れることがある。原点は、モノづくりのプロであるということを忘れてはならない。

家電分野における商品の開発・設計は、その殆ど全てが既に成熟した技術とその延長線上にある技術の新しい組合せであり、その新しい組み合わせが画期的な新機能の実現をもたらしている。設計者の開発・設計活動の殆どが成熟技術の組み合わせである以上、何らかの手段で、その成熟技術つまり基本技術を継承していかなければならない。ＣＡＤデータは全ての結果を表しているが、その最終形状に至るプロセスを表現するには不十分であり、体系的・論理的なプロセスではなく、場当たり的対策であったのかどうかも判読することは出来ない。

CAEは、論理的に考え、体系的に答を導き出す手段であると同時に、構想設計段階での設計意図を境界条件として残すだけでなく、出図前段階での最終形状による品質確認として、あるいは、量産試作段階におけるトラブルシュートに際しても、そのプロセスを形状データとともに蓄積し、部品一つ一つの成長過程を解析データとして残すことが可能である。

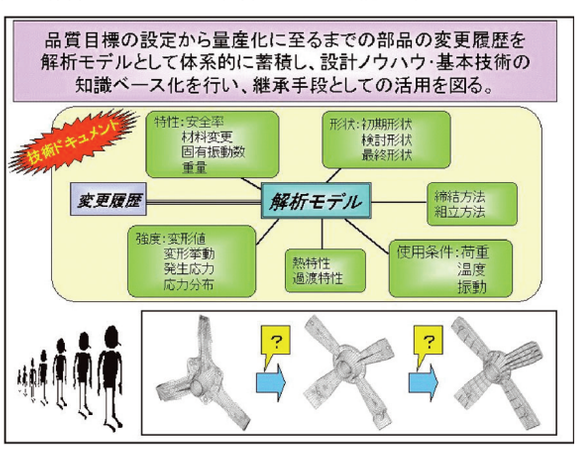


図４　技術の継承手段として

４．家電商品でのCAE活用　その②

部品やユニットとしては、それなりの性能が出ているのに、商品として組上げてみると思ったほど性能が出ていないということがある。例えば、エアコンの開発でも、熱交換器とファンの専門家が熱流体解析を駆使して、現行商品以上の性能を出すために苦労している。しかし、よく見てみると、熱交換器の専門家はファンの流れを均等流れと定義して解析している。一方、ファンの専門家は、熱交換器を圧損体として定義して熱移動を考慮せずに解析している。其々が自分の得意分野のみに注力し、商品全体としての調和に欠けている。この原因が、計算規模という制約に起因するものであれば、解決する手段は整い出している。

下図は、大物と称される商品の構造と熱流体解析の事例でありまさしく、商品丸ごとシミュレーションで、求められる性能を予測できる段階になりつつある。今後は、日々の開発プロセスでの部品・ユニットでの性能評価と、節目毎での全体評価を駆使することで、開発プロセスの改革を加速することが出来る。

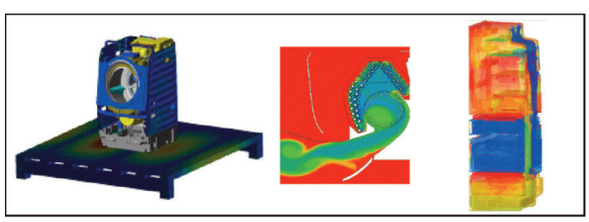


図５　大物家電商品の丸ごと解析（構造・熱流体）

５．CAEの自動化とデータ管理

解析作業の効率化として、様々な自動化の事例が紹介されている。使う側にとっては、エクセル入力で、形状修正から変形・応力、そして設計安全率まで得ることが出来る。しかし、見方を変えると、自動化の元になった古い設計者のレベルを越えられないガードを牽かれたことにならないだろうか。ドラフタから2DCAD、2Dから3Dに移り、一本の線を描くことの恐ろしさを伝えられずに、先輩諸氏のデータを拾ってきて、少し手を加えただけで、あたかも設計したような錯覚に陥っている設計者を、ますます増やしてしまうのではと危惧する。

市販ソフトは、バージョンアップを繰返し、目まぐるしく進化していく。同じプロジェクトが続いているのなら別だが、数年前の解析データを取り出して、結果を活用することは、その人自身の解析技術力が、その時点からスキルアップしていないことを認めることである。

非効率では有るが、過去のデータは備忘録とし、スキルアップした技術力で、改めて取り掛かるぐらいの気合が欲しいと思う。

６．終わりに

商品開発におけるCAEにとって一番重要なことは、解析結果から、単なる解析的な結論を出すのではなく、解析結果に設計的判断を加えて、設計として、物作りに必要な結論を出すということである。

解析結果を実測結果に無理に近づけなくても、今までの研究・設計プロセスの中で蓄積された経験・ノウハウなどの様々な判断材料を元に、解析結果から設計的結論が導くことが出来ればよいのである。

現場から見たプロセスCAEの活用と期待
～プラスチック射出成形CAEの検証に見る課題～

亀田　隆夫
三光合成株式会社 次世代技術部

1．はじめに

プラスチックは、軽く賦形が容易であることから、自動車をはじめ家電、事務機あるいは、住宅設備関連といった日常多くの場所で見かけることができる。これらを構成するプラスチック部品も金属などと同様に、重要な部材として広く用いられている。熱可塑性のプラスチックは、熱を加えると溶融し流動性を示すようになる。溶融樹脂を金型に流し込み、賦形し冷却する事で形状が固定化される。また、溶融樹脂の粘度は、比較的高くひずみ速度によって大きく変化する。このことから、射出成形において樹脂流動時の圧力は、部分的に100 [MPa]を超える事もあり、自動車のバンパーなどの成形では場合によっては数1000 [ton]の力で金型を押さえる必要がある。このとき成形プロセス中に樹脂が受けたひずみは、冷却によって固定化され残留する事になる。この結果、プラスチック成形品には、ひずみが残り金型から取り出される時あるいは、使用時にそのひずみの一部が開放されて「そり」と呼ばれる変形が生じる。

プラスチック射出成形CAEは、企業において商品を開発する際の不具合対策の事前検討あるいは製造設備の大きさを決めるツールとして使用されている。計算による予測精度が低いと、生産段階になって設備の対応が行われる事になり、多くの時間が費やされることになる。従来は、設備を事前に大きく見積もるなど、ある種の安全率を見込むことで対応したが、昨今のコスト意識の高まりにより必要最小限の設備に押さえる様な要求が高まってきた。このため、事前予測が重要となり、よりいっそうプラスチック射出成形CAEは、プロセス全体の予測を行う事が求められている。このように射出成形CAEでは、成形プロセス中の物性の変化などを計算することが求められ、構造解析などと違い時間によって変化する物理量を予測する必要がある。このとき、解析結果として得られる温度や圧力といった物理量から、対策を行うため問題となる現象を予測することは、重要でありそれらを検討した検証報告も行われている。[1), 2)]

プラスチック射出成形は、溶融した高分子が流動し、分子配向や緩和が起こり金型内で急速に冷却されることにより状態が凍結される。これらが過渡的に起こることから、実際に成形品に起こる現象は、製品形状、樹脂の種類、あるいは成形条件などの影響を大きく受ける。これは、成形プロセス中の樹脂の状態やそのときの挙動によって内部構造が変化するためと考えられ、金型温度と内部構造に関する報告[3)]などと解析結果との比較検討が重要となってくると考えられる。このような現象と、解析結果とが何らかの形で説明できることが、現象のメカニズムを解明する一つの情報となり、本来の目的である事前対策の道具として商品の開発に活かされ利用技術を高めることになると思われる。ここでは、利用技術と結び付けるための検証実験の取り組みについて紹介する。

2．検証実験の失敗例

実験と計算という２つのプロセスには、多くの仮定や近似が内在している。これらを意識していないと両者を比較する事はできない。ここでは、ソフトウエアの結果出力の仮定を考慮しない実験を行った例を紹介する。

プラスチック射出成形は、200℃以上で溶融したプラスチックを金型内に流し込み冷却固化させる。このとき、プラスチックは、金属に比べて10倍程度線膨張率が大きいことから、そのまま金型内で固化させると、ボイドや成形品表面がくぼんだようになるヒケと呼ばれる不良が発生する。このため、樹脂を金型内に高圧で流し込み、その後一定の圧力をかけて冷却に伴う収縮を補うように溶融樹脂を金型内に流し込む保圧工程を経て、冷却し金型から取り出す事によって成形品を得る。

このようなプラスチック射出成形プロセスのなかで、製造装置の能力内で成形品が得られるかを検証しようとした。図1に樹脂充填解析の検証実験の概略図を示す。ある形状の製品金型に、圧力センサーを数点埋め込み、射出中のスクリュー位置、ノズル部分に埋め込んだ樹脂圧力と温度センサーからの数値を読めるような構成で実験を行った。図２にそのとき得られた樹脂圧力プロファイルを示す。この実験条件を基に解析を行い、実験と解析を比較することで検証を行う。充填完了時のノズル部分及び金型内圧力を比較した。このとき、通常、解析ソフトの充填完了は、金型内の空壁を溶融樹脂がすべて満たしたときの結果である。しかし、実験は、空壁を満たす前に保圧過程に切り替わっていることは、圧力プロファイルからわかる。一方、解析では充填過程中の圧力プロファイルも出力可能であることから、充填率を予測することも試みたが、結局、解析結果の仮定と実測データとの間で圧力を比較できる時間が無いことがわかった。特に、充填完了の近傍では、圧力の変化が大きくわずかな充填率の差で10[MPa]以上値が異なっても不思議ではない。このように、解析と実験という違うプロセスの結果を比較することは、想像する以上に難しいことがわかる。

このような失敗例を含んだ検証例は、いろいろなところで散見される。また、解析の仮定を実際の成形で実現しようとする場合、通常の量産条件から大きく外れていくことも多い。しかし、実験を通じて現場で起こっていることと解析の仮定の差を認識することで、解析条件を現場に合わせるといった利用技術のフィードバックに利用でき、より量産条件を意識した事前解析に繋がっている。

3．対策を取るためのツールの検証

企業において解析を用いて事前検証する目的は、不具合点を早期に見いだし対策を取るためであると考えられる。ある不具合現象に対してその対策方法は、形状変更、金型設計変

更、成形条件の変更あるいは樹脂の変更など多岐にわたる。これらの対策の方向性と量は、複合的に絡んでくるため、対策方法の有効性をそれぞれ独立的に見ることが難しい。さらに、いくつもの条件を変化させる場合、実験数が膨大になり詳細な検討を行うことが困難になる。

我々は以前、対策に案に対する解析の追従性を見ることでソフトウエアの実用性を評価するために、直交実験の手法を利用した検証実験を行うことを提案している。ここでは、多くの因子が絡む反り変形に対してL18直交表に各因子と水準を与え、実験と解析値の比較を行った例を示す。図3にソリ変形量に対する解析と実験値との要因効果図を示す。そり変形は、製品形状ばかりでなく成形の条件によっても大きく変化する。このような手法を使うことにより、現象に対する主要因あるいは、その変化の方向などが比較できるようになる。このような形で、比較することで、現象に対する主要因に対する解析値の追従性や寄与率を議論することができる。近年、ソフトウエアの導入検証にこのような手法が使われていると聞いている。ただ、直交実験を誤用されていることも聞いており、これは手法の一つでありその特徴を理解して活用されることが重要である。

4. 解析入力条件の精度向上

解析は、入力条件に対して計算が行われ、得られた物理量に関する結果を出力するツールである。従って、入力条件に気を配ることは重要である。たとえば、解析担当者が要素形状にこだわるのは、形状や境界条件などをなるべく実際の物に合わせようとするためと考えられる。しかし、先に示した成形条件、金型構造あるいは樹脂データまで気を配るとなると、より広範な知識が必要になる。我々も、樹脂データや成形条件に目を向けており、実際に詳細な測定を行うことも多い。このような活動は、より実際に近い入力条件でシミュレーションを行う手助けになっている。

5. 終わりに

射出成形は、樹脂を溶かして流して、形にして、固めることの繰り返しで非常に単純な様にも見える。しかし、過渡的な現象の中で賦形がなされ、個々の素過程に分解したとしても、現象が非常に複雑で頭で理解することは難しいことから、シミュレーションに対する期待も大きい。そのため、検証実験などからその有効性を確認しようと取り組んでいる。しかし、ここで示したように、実験と解析を単純に比較することだけでも難しい。しかし、この取り組みを行うことによって、現場と解析との差あるいはその中に内在する誤差を意識する様になってきている。このような、現場と解析の差を理解することで、実際の解析においても現場を意識した解析を行い成果があがっている。このような取り組みは、現場でCAEを使うことに大きく役立ってくると思われる。

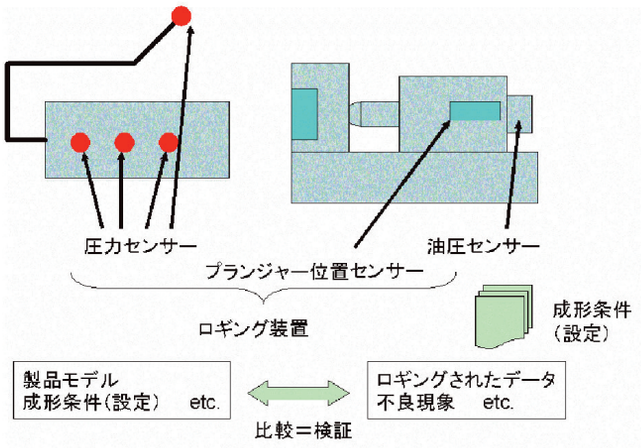


Fig.1 射出成形CAEの検証実験の例

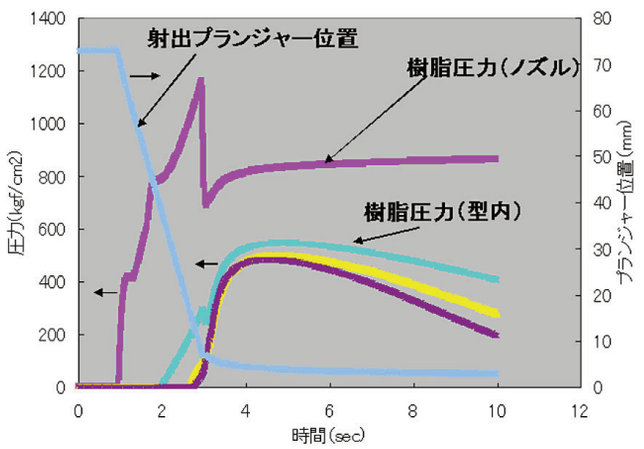


Fig.2 射出成形におけるプランジャー位置と圧力プロファイルの測定例

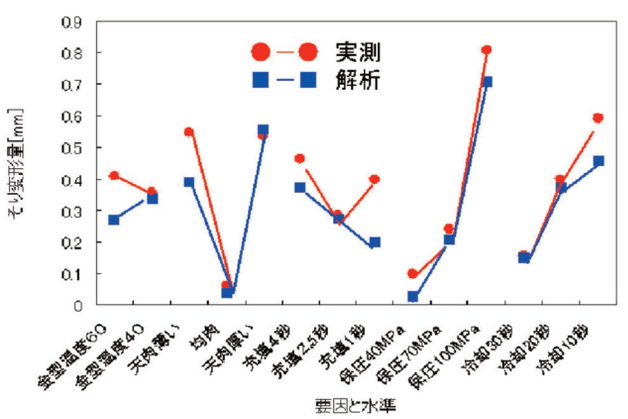


Fig. 3 直交実験の手法を使った解析の実用性の検証例

参考文献

1) Young W.-B.: *Int. Polym. Proc.*, **19**, 70 (2004)
2) Silva L., Gruau C., Agassant J.-F., Coupez T., Mauffrey J. :*Int. Polym. Proc.*, **20**, 265 (2005)
3) Shibaya M., Ishihara H., Yamashita K., Yoshihara N., Nonomura C. :*Int. Polym. Proc.*, **19**, 303 (2004)

ものづくり現場でCAEをどう活かすか？

岡田　浩
オムロン株式会社 ものづくり革新本部 生産プロセス革新センタ

１．はじめに

私が最初に「CAE」というものに出会ったのは、今から約20数年前、大学の学生のころ。機械工学部－工作研究室で1つ下の後輩が「有限要素法（FEM）・境界要素法（BEM）を用いた歯車の強度計算ソフト」を作成しているのに接した時だった。当時はFEMが何かもわからず「大変そうだなぁ」と思って横で見ているだけだった。まさか、その後20年に渡り、CAEにかかわる業務につくとは思いもせず……。

かつては一部の研究者が活用するのみであったCAEは、設計者を中心とした“ものづくり現場”向けのシステムとして格段の進歩をのべた。しかしながら、真の意味でのCAEの活用はむしろこれからのように感じる。この場をお借りし、改めて「CAEに求められているものは何か？」を問いつつ、CAEを「ものづくり現場」でどのように活用すれば良いかを考えてみたい。

２．CAEの変遷

CAE（Computer Aided Engineering）とは、「コンピュータ技術を活用して製品の設計・製造や工程設計の検討の支援を行うこと、またはそれを行うツール」、その中でも特にシミュレーションと呼ばれるCAEは、「有限要素法等の数値解析手法を用いて、工学的な計算をコンピュータによって支援すること・またはそれを行うツール全般」を指す。

商用のCAEが世に出て約40年の間でCAEは格段の進化と遂げ、ものづくりの現場へ浸透した。今や、製造業の技術者は、研究・設計･生産技術等、何らかの目的でCAEを活用しているだろう。CAEの、ものづくり現場への浸透に対してけん引となった要因は、下記の２つであると私は考えている。

１つ目の要因は「CAEシステムのGUI・操作性の向上」である。当初、CAEは計算機能としてのソルバーしかなかったため、計算力学に詳しい専門家でないと使いこなせず、結果の評価もできなかった。しかし、プリ・ポストプロセッサと呼ばれるソフトによりGUIが向上し、さらに設計者の多くが活用する3次元CAD上にCAEが搭載されるようになった。その結果、CAEは計算力学に詳しくない製造業の技術者でも、使いやすくかつ身近に使用できるようになり、従来のカンと経験に、CAEによる工学的・論理的なアプローチを加えた検証スタイルへと移行してきた。

もうひとつの要因は、パソコンの機能向上に伴う「計算処理スピードの向上とCAEシステム低価格化」である。私が企業に入社した1990年前半は、3次元CAD上でCAEが稼動するようになり、ものづくり現場でCAEを活用しようという機運が高まっていた。しかし「ソフトウェア・ハードウェアとも高価」「簡単な計算でも結構時間がかかる」などの課題があったため、なかなかCAEのものづくり現場への浸透には至らなかった。しかし、1990年後半から現在に至るITの進歩により、CAEは製造業の開発スピード・投資対効果を満たすシステムとなった。

以上の要因に加えて今後は、「新たな計算力学的解法などによる演算スピード向上」、「原子・分子レベルの物理現象まで計算できることによる、技術検討範囲の拡大と解析精度向上」、「熱・流体・樹脂成形などとの連成解析によるトータル的な製品性能・品質評価」、「品質工学を駆使した設計限界の見極めとロバスト性評価」などの進化が期待できる。かつては夢のようであった検討が、より身近で実施することが可能になってくるだろう。自然現象の中で原理的に説明できる項目が増え、それをCAEで解析できるようになれば、ひょっとすれば、人工知能を搭載したCAEによる自動的設計なども可能な時代がくるかもしれない。CAEの発展には今後も期待したい。

３．CAE活用に対する反省点

一方現実に戻り、「ものづくりの現場」に目を向けるとCAE活用に対する不満や違和感をおぼえる技術者も多い。なぜか？

前述の「期待」と矛盾することを言うかもしれないが、「現状のCAEに対し、過度な期待を持ちすぎた」からであろう（これは、私自身の反省でもある）。例えば下記のようなものである。

①工学的な知識がなく、設計経験が浅い設計者でも、CAEさえ活用すれば良い製品を設計できるという過度な期待。

②CAEさえ活用すれば「試作レス」でモノができるという過度な期待。

かつてCAEは、「無思考な技術者にも、使えば何か新しいことを教えてくれる玉手箱」の如く宣伝された時期があった。冷静に考えると、そんなことはないのだが……。

例えば、「樹脂成形品が破壊した」という事例を考える。

技術者はまず、なぜ破壊したかという仮説を立てる。普通は「構造上の問題で、強度不足」という仮説を立てて構造解析を行うが、それが実際の挙動とあわなかった場合どうするか？　経験不足の技術者は、得てして解析設定や精度の話に陥り、CAEが実現象と合わないと批判する。実は成形不良によるウェルドライン部の強度不足とも気づかずに……。

次に、ようやく成形不良が原因と気づき、樹脂流動系CAEを活用したとする。しかしながら、樹脂材は配合物により成形性が異なるし、成形機の特性の影響もあり、現状のCAEの土台となる論理では予測精度に限界がある。おおよその傾向まではCAEで検証できるので、ある程度の試作の削減は可能だろうが、まだまだ論理的に計算できるところに

は限りがある。最終的には量産を意識した試作で検証する必要がある。

CAEの定義を、私なりの理解でまとめると「自然現象の中で、先人が論理化したものについて、技術者が想定した仮説を検証する道具の１つ」である。現状のCAEは、新たな原理を生み出すものでも、無思考な技術者に新しい知恵をさずけてくれるものでもない。技術者の経験や技能で対応する部分は未だ多く、試作レスを実践するためには、経験と論理的アプローチを融合した取り組みが必須なのである。とはいえ、我々製造現場の技術者が置かれている状況は厳しく、現状のCAEの能力を最大限活かした取り組み方法を考え、改善を図らなければならない。

４．ものづくり現場でCAEを有効に活用するには？

(1) ものづくり現場からのCAEに対する期待

製造業に対する市場からの要求は、高性能化・小型化・耐環境性・短納期、低コスト化など非常に厳しくなっている。特に振興国の製造業の台頭に対する対応は“待ったなし”であり、人件費の安い国への生産シフトなどだけでは太刀打ちできない状況にある。我々ものづくり現場の技術者としては、市場で求められる機能・品質と向き合いながら、限界までスリムな製品を創出する必要がある。そのためには、従来の経験的な知識と実験をメインにしたものづくりに加え、論理で検証できるところは限界まで論理で見極めるというアプローチが必要となる。その手段としてCAEの活用は非常に有効と考える。

改めて、ものづくり現場の技術者がCAEに対して期待することは何であろうか？私は、下記の３つではないかと考えている。

①従来以上に厳しい制約条件の中で、製品の機能を成立させたい。
→論理的・実践的なアプローチ方法としての道具
②ものづくりの経験不足を補いたい。（試作のかわりとなる体験）
CAEの基礎となる工学を勉強したい。
→ノウハウの伝承・工学に関する教師としての道具
③計算・結果分析等の作業効率を向上したい。
→作業効率向上のための道具

前述の通り、CAEは既存の論理の範囲でしか検討できない。しかしながら、既存の論理の中での限界はCAEを活用することで見極めることが可能なはずである。製品設計の中で、経験的なところを最大限まで論理化し、かつ、論理化した部分の中で、CAEで検討できるところについては、製品の機能・品質に影響を及ぼす因子とその影響度を把握する。そのようなアプローチができれば、従来よりもQCD+ESの観点で完成度の高い製品の創出が可能になるものと考える。私は、このような「論理的・実践的なアプローチ方法」としてのCAEの活用を考えている。

それでは、「論理的・実践的なアプローチ」を行える技術者をいかに育てるか？　これが、「ノウハウの伝承・工学に関する教師」としてのCAEの使い方である。昨今は、CAEシステムの中に「アドバイザー」機能が充実しているものもある。私は、CAEは「技術者が工学的センスを磨く」道具としたい。ある意味「技術者の教育法」になるのかもしれないが、CAEを活用しながら技術者のセンスを磨いていく方法の検討が必要だろう。

最後の「CAEの作業効率」であるが、これは計算力学分野やCAEソフト開発の専門家にゆだねる部分が多い。計算効率がよく、さらに操作性の良いCAEソフトの開発を望む。ただし、我々ものづくりの現場としてもできることはたくさんある。例えば、計算力学の最低限のルールを理解しながら、不必要な箇所に、やみくもに細かなメッシュ形状を作成するようなことはやめ、見たい現象だけを捉えるような効率的なCAE活用法の習得が必要であろう。

(2) CAEを有効に活用するための解決策（私のアプローチ）

私は、「機械工学的な観点から見た、新たな生産技術・工法の確立」と「その中でのCAE活用手法の確立およびCAE利用環境整備」の2つの業務を持つ。まだまだ道半ばではあるが、CAEに関連する項目について、私は下記のような取組みを実践している。

①仮説・検証型技術開発手法

CAEを用いた論理検証を技術開発の初期で用い、実現可能性と方向性を見極める。その際、検討経緯と結果を含め、技術データの蓄積を図る。主に下記の２つのアプローチを実施している。

・CAEと品質工学を用いたロバスト性評価
CAEと品質工学を駆使し、製品の機能と品質に影響を及ぼす因子とその影響度を把握。事前に想定される現象を考え、シンプルな原理モデル化を行い、影響度を検証する。必要であれば実験とCAEを組み合わせたアプローチも行う。
・開発履歴の情報を残す方法
成果だけではなく、日々の検討における考え方や思考のプロセスをシートに記録する。実験データやCAEデータと紐付けして情報を管理する。

②技術者向けCAE教育

材料力学・伝熱工学や樹脂成形に関する座学とともに、その中でCAEをどのように活用するかを教育型カリキュラムで実施している。座学については、一部、書籍や専門誌での連載記事で紹介しているし、CAEの教育については社外セミナで実施予定である。

③CAE利用環境の整備

投資対効果に応じて、CAEの利用環境の整備をしている。また、解析時間の短縮という観点で、産官学連携の取り組み、例えば、官学で所有しているスパコンの共同利用などを模索している。

５．最後に

今後はQCD＋ESのバランスのとれた設計が求められることは間違いなく、技術と技能を最大限駆使したものづくりの取り組みが必須となる。その中でCAEの果たす役割が大きい。なお、今まで私の述べた「CAEの活用」に関する取り組みは、ある意味「あたりまえ」のことかもしれない。しかし、この「あたりまえのこと」を、「あたりまえにできるようになること」が、CAEを活かす近道ではないかと考える。私は、今後のCAEの発展に期待しながら、愚直にCAEを活かす取り組みを実践していきたいと思う。　以上

鋳造プロセスCAEの変遷と実際への応用

安斎　浩一　東北大学 大学院工学研究科
高橋　　勇　（株）日立製作所 日立研究所
谷本　雅俊　茨城日立情報サービス（株）

１．はじめに

この度、私たちのグループが開発・製品化した鋳造プロセスCAEシステムADSTEFANが、産学官連携功労者表彰・文部科学大臣賞を受賞した。ADSTEFANは、様々な鋳造プロセスをコンピュータシミュレーションすることができる純国産のCAEシステムである。鋳造品の致命的な欠陥である引け巣や湯境などの発生を予測し、鋳造設計を最適化する道具として、日本ばかりでなく、世界各国で370セット余りが稼働している。

製品化以来、11年が経ったが、ADSTEFANのルーツは、世界に先駆けて日本においてなされた1970年代後半の基礎研究まで、さかのぼることができる。以来、約35年が経った。ここでは、ADSTEFANにまつわる技術開発と製品化までに至った経緯について、簡単にご紹介する。

２．黎明期

鋳造プロセスは、溶融した金属を鋳型の中に充填・凝固させて成形する代表的な金属加工プロセスである。相変化や組織形成を伴う流動・伝熱を主体とした複雑な物理現象であるばかりでなく、一般に、複雑形状品が多いため、コンピュータシミュレーションを行う際には、大規模な非線形・非定常解析となることから、まともに扱うことは、未だに困難である。

鋳造品の凝固問題を非定常熱伝導問題として最初に数値解析したのは、GEのキビリアン（1965年）とされている。我が国では、1970年代後半になってから、大学や企業の研究者らが汎用コンピュータを用いた鋳物の凝固シミュレーション技術について研究・開発を開始した。ADSTEFANのルーツは、（株）日立製作所・日立研究所の勝田分室でなされた基礎研究に始まる。勝田分室は、発電所で用いられる原子力用鋳鋼バルブ、火力用タービンケーシング、水力用ランナー・ガイドベーンや、鉄鋼会社で用いられる圧延機のスタンドや圧延ロールを製造していた同社・勝田工場の研究・開発支援部隊であった。

当時の汎用コンピュータの能力では、鋳造プロセス問題を２次元の非定常熱伝導問題として解析するのがやっとであった。幸いなことに、大物砂型鋳鋼品では、注湯時間に比較し凝固時間が圧倒的に長いため、注湯プロセスを省略しても重要な情報を得ることができた。また、金属の凝固現象は大変複雑で、凝固核の生成とその成長問題は、未だにまともにシミュレーションすることができない。致命的な欠陥である引け巣は、凝固時の体積収縮に対して溶湯補給が不十分な時に発生する。そのため、金属の凝固現象をまともに解析しようとするならば、メートルオーダーの鋳物に対し、ミクロンオーダーの樹枝状結晶の隙間を溶湯が流動する現象を解析しなければならない。しかしながら、幸いなことに、凝固問題を熱伝導問題として解析するだけで、引け巣の発生を予測できることを彼らは発見した。温度勾配法である。この方法は、凝固時の熱伝導解析において、鋳物要素の固相率が事前に与えておいた流動限界固相率になったときに、周囲の要素の温度から最大の温度勾配値をその要素の温度勾配として記憶させ、鋳物全体が凝固完了した後に、等値線を描く方法である。実験により、この温度勾配値がある臨界値以下の場所に引け巣が発生することがわかった。

その後、温度勾配法だと鋳物の大きさによって、温度勾配の臨界値が変化するが、温度勾配を冷却速度の平方根で除したパラメータ（NIYAMAパラメータ。当時は、修正温度勾配値と呼んでいた）を用いると、鋳物・鋳型の材質などが同じであれば、鋳物の大きさによらず臨界値は一定値となることを理論的に示した。多くの場合、臨界値の等値線が閉ループとなり、その内部に引け巣が発生するとの判定が可能であった。そのため、計算結果の判定が容易であり、コンピュータが門外漢の鋳造技術者にも使いこなしてもらうことができた。

当初は、二次元形状である圧延機用ロールなどに適用が限られていたが、部分的な三次元形状を、近似的に二次元でも扱うことができる擬三次元法の開発により、その適用範囲が広がった。1980年に筆者の一人が入社したときには、汎用機の能力も向上し三次元解析が可能な状況にあったが、いわゆる汎用のプリ・ポストがなかったため、手が出せずにいた。社内で開発が進められていたグラフィック端末の試作機が入手できたので、とりあえず凝固解析のポスト処理に利用することで、曲がりなりにも三次元凝固解析システムを構築することができた。一方で、三次元CADは未だに研究段階にあり、三面図から人力でメッシュデータを作成していた。

３．PCを用いた鋳造CAEシステム“HICASS”の開発

1980年代に入ると、いわゆるPC（パソコン）が出現した。それまでは、汎用機で得られた解析結果を、静電プロッターで作図する方法だったが、遠隔地にある計算機センターからの郵送であり不便であった。そこで、今で言うところのプリ・ポストを含めたCAEシステムをMS-DOS上に構築してみた。タブレットやマウスといった入力デバイスが利用可能となり、入力データの作成の手間が劇的に改善された。しかし、ユーザが利用可能なメモリが512KBしかなかったため、数千程度の要素しか扱えなかった。幸いにも、砂型鋳鋼品に対しては、温度勾配法や擬三次元法のおかげで実務に役に立つ計算を実行することができた。そこで、PCによる鋳造プロセスCAEシステム“HICASS”として製品化した。世界初だった。

４．産学連携コンソーシアム“湯流れ研究会”

勝田分室の研究グループのリーダだった新山先生が東北大学に奉職することになった。数年後、縁あって安斎も東北大

学に移り新山先生の研究室で働くことになった。大学に移る直前まで、湯流れシミュレーションに関する研究をしていたので、大学でも継続して湯流れシミュレーションに関する研究をするつもりでいた。当時の大学にも計算機センターがあったが、会社にいるときのような大規模な計算を自由に実行する環境にはなかった。また、市場にも湯流れ解析用のソフトウェアが出回りだしていたが、解析結果の解釈に困るような場合がしばしばあり、方々のダイカスト・メーカから相談を受けていた。

そこで、新山先生の発案で、企業会員を募り、大学が当時普及し始めたUnixワークステーションで稼働する湯流れ解析ソフトウェア“Stefan”を開発し、企業にソースコードを配布しながら、高機能化してゆく「湯流れ研究会」を発足させた。予想以上の20社が参加してくれた。研究成果の報告ばかりでなく、会員企業からの解析事例報告や使いこなしの紹介など、湯流れ・凝固解析に関する活発な研究活動の場となっていった。3年の予定で開始したが、予想以上の成果が上がり、最終的には７年間継続し、企業会員数も40数社となった。

５．技術移転と“ADSTEFAN”

産学連携の湯流れ研究会では多くの会員企業の惜しみない協力のもと、年を重ねるごとに、Stefanの解析機能、操作性、計算精度を向上させていくことができた。研究会活動も７年が経過し、“現場の技術者誰もが使える鋳造シミュレーションシステム”という当初の開発目標はある程度達成したものと判断し、Stefan自身を製品化しようとの機運が高まった。時を同じくして、「大学等における技術に関する研究成果の民間事業者への移転の促進に関する法律」（大学等技術移転促進法、TLO法）が施行され、東北地域の国立大学を統括する承認TLOである（株）東北テクノアーチが設立された。これにより、大学で生まれた研究成果を民間企業に技術移転することが可能となり、さらに民間企業で得られた収益を、発明者・研究室及び大学に還流させることで、さらに次世代の研究を育む、いわゆる、知的創造サイクルを推進する枠組みが整った。

一方、技術的な面においては、日立が開発した高速化アルゴリズムをStefanに適用することで、使用メモリが1/3で解析速度が5倍という、他社を圧倒する性能を実現できることが確認できた。当時のEWSの性能では、差分メッシュで100万メッシュの湯流れ解析が限界と言われていたが、東北大・日立連合のアルゴリズムは1000万メッシュの湯流れ解析を一晩で実行可能であり、当時の常識を大きく変える開発であった。

当時、バブル崩壊後の厳しい経済状況の中、多くの大企業は自前主義からの脱却を目指し、大学との連携に力を入れ始めていた。このような背景を追い風とし、知の外販という新たな挑戦として東北テクノアーチとの契約を通じて、（株）日立製作所日立研究所が製品化のための開発、茨城日立情報サービス（株）が販売・保守を担当することで、Stefanを世に送り出すことを決断した。製品化にあたりシステムの新たな名称を検討し、製品版として大きく進化した意味合いを込めてADSTEFAN（Advanced Stefan）として商標登録した。製品化のための機能追加や改良、動作テスト、バグ出しに始まり、東北テクノアーチとの契約、ホームページ立ち上げ、マニュアルの整備、新聞発表など矢継ぎ早に行い、製品発表会を大々的に開催し、ADSTEFANの販売開始にこぎつけた。

６．日本のモノづくりから世界のモノづくりへ

コンピュータは“ムーアの法則”に従い、年々その性能を向上させ、価格も下がり続けたことから、プラットフォームもUnixベースのEWSからパソコンベースのLinux、そしてWindowsマシンへとここ10年で大きく変化してきた。これらの流れに沿って、鋳造CAEは限られた人が使う特別な道具から、鋳造技術者がルーチンワークで使う道具へとその性格を変えていった。

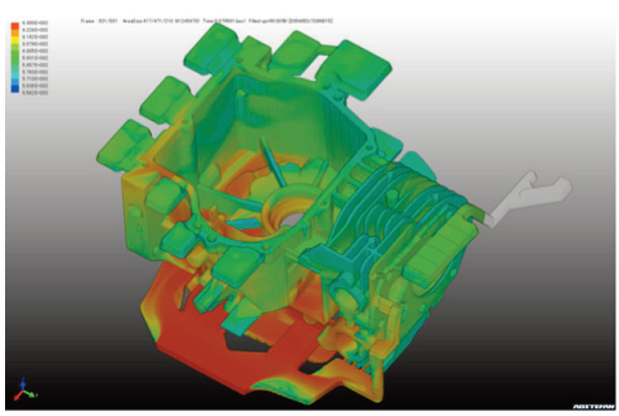
ソフトウェア開発側のミッションは、お客様の業務効率が第一であり、お客様の要望に応えるべく、東北大学と共同で新たな機能を次々と開発しシステムに追加することで、高機能化を図ってきた。その結果、誰でも簡単に使える優れたユーザインターフェイスを実装すると同時に、多くの鋳造プロセスに対応し、鋳造欠陥の発生を正確かつ迅速に予測可能とした。これらの特長は多くのお客様の御支持を賜わり、ADSTEFANは日本で最も信頼される鋳造シミュレーションシステムへと大きく発展することができた。

近年、鋳造品のモノつくり拠点は、日本国内からアジア諸国へ急速にシフトしている。この大きな流れに対応して中国、台湾、マレーシア、インドなどに販売拠点を置いてグローバル展開を図っている。ADSTEFANはアジアのモノづくりの基盤を支えるソフトウェアとして、産業機械・自動車・家電品などに使われる鋳造品の高品質化・低コスト化に大きく貢献している。

このように、ADSTEFANの事業化を通して産学官にまたがる知的創造サイクルを確立するとともに、産業界へ大きな貢献を果たしたことから、産学官連携功労者表彰・文部科学大臣賞を受賞することができた。

7．おわりに

鋳造CAEが産声をあげてから40年が経過したが、この間のコンピュータの性能向上は驚異的であり、CAEの果たすべき役割も、日本のモノづくりも、大きく様変わりした。黎明期からコンピュータ・CADソフト・CAEソフトのほとんどにおいて欧米の製品がリードしてきた。しかし、鋳造CAEの分野においては日本発のソフトウェアが海外勢に伍してきた。これは、長年の独創的な基礎研究から得られた成果を積み上げ、実問題へ適用する挑戦を地道に継続してきた努力に依るところが大きいと感じている。



図：ADSTEFANによるAl合金ダイカスト湯流れ解析事例
（汎用エンジン部品：（株）アーレスティ提供）

製品開発でCAEを活かすために

笠　健児
森田　隆一　エンジニアリングソリューション事業部
株式会社電通国際情報サービス

CAEの始まり

今、工学に携わる誰もが知っているキーワードCAEは、1970年代後半に米国SDRC社のDr. Jason Lemon氏が提唱を始めた"Computer Aided Engineering"の概念を発祥としています。

SDRCは機械製品のコンポーネントの振動実験結果と有限要素法解析結果をカップリングさせてシステムレベルの動特性を予測するソフトウェアを開発し、自動車、船舶、タービン、電気モーター、建設機械などの分野で振動問題のトラブルシューティングに適用していました。全体系のシステム特性を効果的に改善するために、製品開発の早い段階で現象の予測を行ない検討結果を設計に反映することの重要性を理解し、SDRCはシミュレーション技術を活用した製品開発の進め方をCAEという言葉に織り込み、コンセプトとして提唱しました。株式会社電通国際情報サービスは1980年代にSDRCがリリースした3次元CADモデラー・有限要素解析・モーダル解析を統合化したソフトウェアI-deasの販売サポートを開始し、以来、日本の製造業企業でのCAE普及に注力してきました。Ｉ-deasが実用的な解析ツールとして世界の製造企業にて広く導入され製品開発での成果が出されていくと共に、CAEの概念が世の中に受け入れられてきました。その後、マルチボディダイナミクス、樹脂流動成形、衝突破壊、CFDなど特定の物理現象に対応した様々な解析ツールの実用化が進み、CAEソフトウェアは製品設計での不可欠のツールとして幅広く活用されています。

CAE業務のアウトソースサービスの活用

シミュレーション技術と計算機能力の拡大により、解析の高度化・大規模化が進み、モデル作成に要する工数は増大し続けています。ＣＡＤ/CAEツール操作性の向上により解析作業の簡素化・定型化が行なえるようになり、開発部門内での分業化が進みました。製品開発で大量の解析作業を必要とする企業では、全体の開発スピードの加速を図るために製品の競争優位を生み出すコア技術の開発に自社リソースを集中し、周辺の補完的な機能を担う部位の設計検討に必要なCAE業務では、アウトソースサービスの活用を行なっています。その一方で、CAE業務の一括業務委託のやり方に問題があり、設計者による解析実行を復活させた企業もあります。利用したアウトソースサービスにはにCAE適用の技術移転が含まれず、社内の技術構築が疎かになったケースでの問題です。自社内で必要な技術構築が困難な場合には、実験手法やCAE適用の技術移転を請け負うアウトソースサービスを積極的に活用することにより、技術構築の時間短縮を図ることが可能です。CAE業務のアウトソースの課題は、製品開発生産における外部部品調達や製品生産委託のビジネス課題に類似したものがあります。自社のコア技術を守り、製品全体のシステム設計の技術力や製品企画の開発能力をいかに高めていくか、どの業務を社内に残し企業競争力の強化に結びつけるのか、競争優位を維持するための技術戦略について的確な判断が求められています。短期のリソース充当やコスト削減などの目先の効果だけではなく、競争力の軸となる技術を構築する長期的視点にて、どのようなCAE業務アウトソースのサービスを利用するかの判断が重要です。

CAE適用の推進体制

垂直統合により自社内技術構築を目指している企業の例では、全社の製品開発についてCAE適用の可能性の体系化を行ない、

1．いま適用できる　⇒　定型化および設計展開の基盤づくり
2．適用技術の構築が必要である　⇒　解析専任者によるプロセス構築および設計への解析適用の支援の実施
3．適用技術の将来開発が必要である　⇒　CAEツールの開発動向の把握、実用化のための調査研究の実施

の３つのフェーズに分けた業務展開により、CAE適用による開発力の向上に取り組んでいます。これらの全社的な活動の背景には専門的知識を保有する組織化された解析エキスパートによるサポートと、外部のCAEベンダーからの技術移転が重要な要素となっています。また、一旦確立さた製品開発へのCAE適用の技術についても、顧客要求の変化、設計基準の変更、解析ツールの向上などの環境の変化に対応し、適宜更新を行ない業務プロセスに反映していくことが必要になります。

設計者CAEとは

多くの設計者がCAEの効果を理解し、製品開発への解析適用を増やすことを熱望しています。性能予測のために必要な詳細レベルでの解析をできるだけ簡単に行ないたいのですが、多忙を極める設計者には解析に割り当てられる時間には限りがあります。 解析技術がいかに進化したと言えども、設計者が自在に使えるレベルにはまだ到達していないので

す。現実的には、設計者が使うCAEでは以下条件を満たすことが必要です。

・簡単にできる
・利用できる解が得られる
・短時間で結果が出る

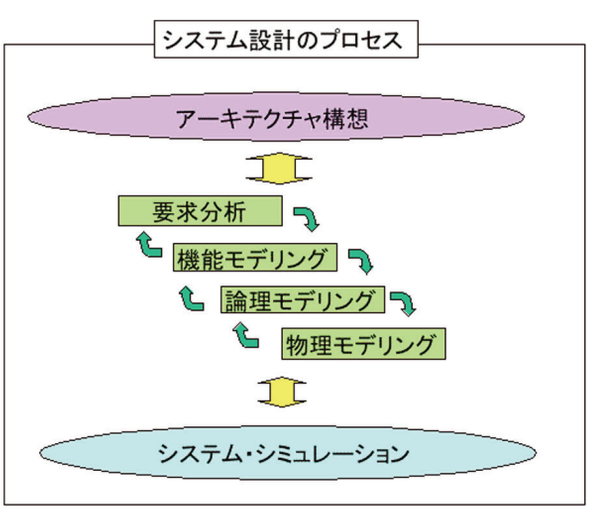
必要な機能を備えたソフトウェアの導入やシステム化の投資によって、自動化・省力化を実現しCAEの作業効率を向上させることができます。モジュラー化された組み合わせ技術による製品や、パラメトリック設計が可能な派生製品の製品開発では、解析作業のテンプレート化により, CAE適用の効果の最大化が可能です。しかし、革新的な製品モデルを目指すとき、過去モデルのパターンに準拠したテンプレートを用いるだけでは、斬新な設計案を創出することは容易ではありません。

過去事例から学ぶために

CAEの活用とは、生み出された設計コンセプトをモデル表現で具体化し、数値解析による予測結果を用いて検証する、という一連の流れです。過去の解析事例から学び、次の設計案での事前検討やより精度の高いCAEモデル作成のための知見として活用するためには、過去の設計にて製品の構成要素の役割や機能がどのように展開されたのか、モデル化の意図や仮説がどのようなものであったのか、解析結果が設計諸元や形式の決定にどう生かされたのか、実機と解析予測値との対比がどのようなものであったのか、を理解できることが必要です。モデルデータや解析結果のファイルには記録されていない、これら一連の情報を形式知化し伝承するための効果的な仕組み作りがCAE技術構築に必要とされています。

メカシステムと制御システム

複雑で高度な機能を搭載する製品では内部に組み込まれた制御システムが多くの機能の実現に貢献しています。乗用車の例では2000年に５万行であった制御プログラムが2010年に100万行になり、2015年には1億行を突破するとの予想がされています。製品開発に占める制御システムのソフトウェア開発費用の比率が急増していく中で、従来のメカシステムの設計完了後に制御設計に着手する直列の業務の流れに代えて、メカと制御との開発を同時並行で進めることの重要性が認識され、具体的施策として先進企業ではシステム設計手法の導入が進められています。



システム設計のプロセスでは、製品を構成する要素間の機能と論理の関係を割り付け、相互依存関係を明確にしながら物理モデルの設計を行ないます。システム・シミュレーションによる物理領域の物理モデルと制御システムとを連携させた製品システム全体の解析によって、稼動環境での製品性能を仮想検証が可能となり、メカと制御の相互作用を早期段階から評価する、同時並行開発を行なうことができます。かつてCAEは機械コンポーネントを構成要素の中心とした製品システム特性の予測技術の応用であったものが、今日では論理モデルやリアルタイム制御との連携を組み込んだ予測評価技術へと拡張されています。シミュレーション技術の革新と共にCAE適用が可能な領域は拡大し続けており、開発設計業務にいかにCAEを活かすことができるかが、製造企業の重要課題であり続けているのです。

まとめ

製品開発でCAEを活かしていく上での重要課題について述べてきました。SDRCがCAEを提唱し始めたころから技術は大きく進歩したものの、CAEのコンセプトの実現には未だ道半ばといえます。目的に応じた必要な精度が得られる解析ソフトウェアを導入するだけでは十分な効果が得られません。競争優位の技術戦略との整合性確保、アウトソースの活用、社内支援体制の確立、業務効率化のインフラ構築、情報共有の仕組み作り、システム設計の推進などによって、CAE活用の効果創出が確実なものになります。

株式会社電通国際情報サービスは、CAEツール・解析データ管理システムの販売および、CAE活用の技術支援サポートやコンサルティングサービス・製品開発プロセスコンサルティングの提供を行っています。実験と解析のコンサルティングを提供する株式会社エステック、およびCAEアウトソーシングを提供する株式会社ＩＳＩＤ北海道のグループ会社と共に、日本の製造企業のCAE活用の支援にこれからも注力していきます。

関連ＵＲＬ

株式会社電通国際情報サービス　www.isid.co.jp
株式会社エステック　www.estech.co.jp
株式会社ＩＳＩＤ北海道　www.isid-hokkaido.co.jp

エミュレーションという思想

小林　卓哉
株式会社メカニカルデザイン

1．はじめに

シミュレーションという技術は、大規模な複雑系の中から難しすぎもしない簡単すぎもしない中庸なシステムを取り出し、その一部をより簡単なシステムで代替させることによって物事の本質を見きわめる試みである。今日、このような試みが計算機上で手軽に実感できるようになると、理論、実験、生産といった領域を分ける壁が低くなり、われわれの経済行為はひろくシミュレーションの一種であるという認識が広がってきた。経済行為は数の問題であるので、シミュレーションという新しい考え方の方向性が市場の動向によって左右されることがありえる。今回の経済不況のなかで、CAEに従事する多くのエンジニアが職を失った。それはシミュレーションという思想が国内の市場に定着していなかったからである。今回は対極にあるエミュレーションという用語を通して、私見を述べる。

2．シミュレーションから計算へ

Fig.1は、産業構造の変化と計算環境の発達の推移を表している。横軸を西暦に取って国内の状況を見たとき、50年代から70年代にかけては高度経済成長期と呼ばれた時代である。この時代は古典的な応用力学の完成の時期に一致する。工学の手法がさまざまな工業規格として権威化され、鉄鋼・造船といった基幹産業に適用された。初めてのJIS規格は1949年に制定されている。設計の標準化という概念が国内で成立したのはこの時代である。

70年代にはIBMに代表される大型計算機が実用化された。当時現れたばかりの汎用非線形FEMのなかに、弾塑性や超弾性の概念が既に搭載されていたことは注目に値する。1983年に発刊された広辞苑第三版には、シミュレーションという用語が初めて掲載された。「物理的・生態的・社会的等のシステムの挙動を、これとほぼ同じ法則に支配される他のシステムまたはコンピューターの挙動によって模擬すること」という定義が明確に示されている。原子力産業を中心に、（規格ではない）解析による設計・Design by Analysis という概念が提唱された時期でもあった。

80年代の中盤には、UNIX環境で作動するEWSが市場に投入された。当時の解析例を見ると、接触や連成、リゾーニングなどを含む高度な非線形問題が、高い緊張感を伴って登場したことがわかる。アカデミックを志向した独自性を競う時代であった。UNIX機がもたらしたのは単なる計算の高速化だけではない。解析結果をリアルタイムに可視化する技術が、グラフィックスを通して提供された。同時期にMacが現れたことを思うと、可視化は単に視野の問題を解決したにとどまらず、計算機の運用そのものを変化させたと理解できる。

標準化という枠組みを越え、製品をシステムとして見るという方向に設計が変化していったのはこの時期ではないだろうか。CAEという用語が70年代後半に現れたのも、このような設計思想の変化を背景にしている。実際、管理可能な部品点数は、今日、飛躍的に増加したはずである。われわれは設計の質を問うことを通性にしているが、計算という量が設計の体質を変え、より強靭なものに生まれ変わらせてきたという現実は、記憶しておく必要があるだろう。計算機の高速化にともなって、計算量の多寡を問うことの重要性は徐々に色を失い、高負荷ではあるが新しい解析の手法を採用することができるようになってきている。解析ではなく、むしろ計算を前面に押し出して設計を行うという新しい思潮が現れても不思議ではない。

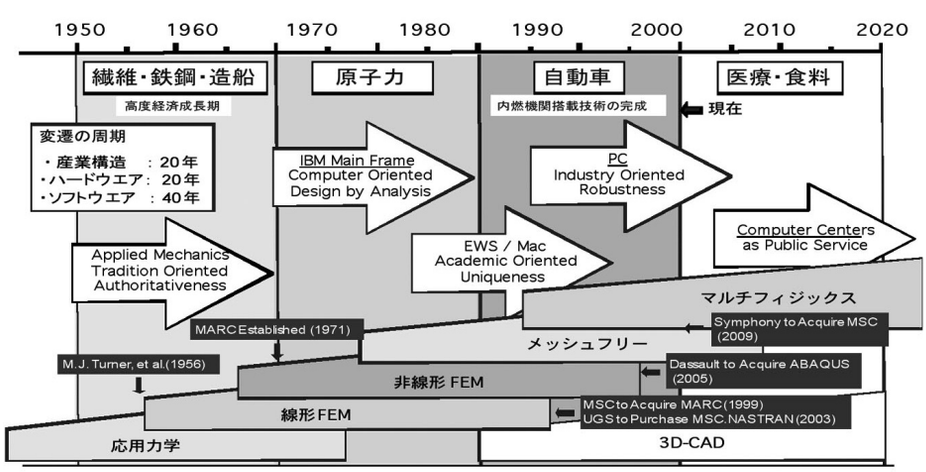


Fig.1　産業構造の変化と計算環境の発達

3．手探りのCAEの終焉

Fig.1は、あらゆるものには耐用年数があるという現実を示している。世代が交代してゆく周期は、産業構造20年、ハードウェア20年、ソフトウェア40年と見ることができる。たとえば線形のFEMは1956年のTurnerの論文に始まり、1999年にMSC社が非線形なプロダクトであるMARCをラインアップに加えたことをもって、時代的な区切りを迎えた。もちろん、NASTRANはこの間の近代的な設計技術の根幹であり、 MARCは汎用非線形FEMの最右翼であったことは言うまでもない。非線形FEMについては、 70年代初頭にANSYSとMARCが商用化されて以来、多くの汎用コードが市場に現れた。産業界からの要求に押される結果、昨今のブランドの統廃合には著しいものがあるが、現在は全盛の時期にあると言ってよい。しかし単体のプログラムとしての非線形FEMの時代は、2005年にダッソー社がABAQUS社を買収した時点において終結したと考えられる。

今後、メッシュ作成や材料構成則の制約から解放されることを目的としてソフトウェアの開発は進むと考えられるが、現実の問題の難度は険しく、その進路は明瞭ではない。たとえば機械工学便覧を例にとると、索引に掲載されている専門用語の数は1万語におよぶ。諸分野の辞書群をみても、およそ1万という数は一般性のある数字であるので、専門分野の中核をなす語彙数は平均的にこの程度と見てよい。しかし、一日に一語を学んだとしても1万語を習得するには30年の歳月を必要とする。その間に家庭を営み社会生活を並行しなければならないことを考えると、専門家として生きるということは誰にも出来ることではない。少なくとも、Fig. 2に示すような諸分野の積み上げの結果としてCAEを利用するという考え方は限界に来ている。

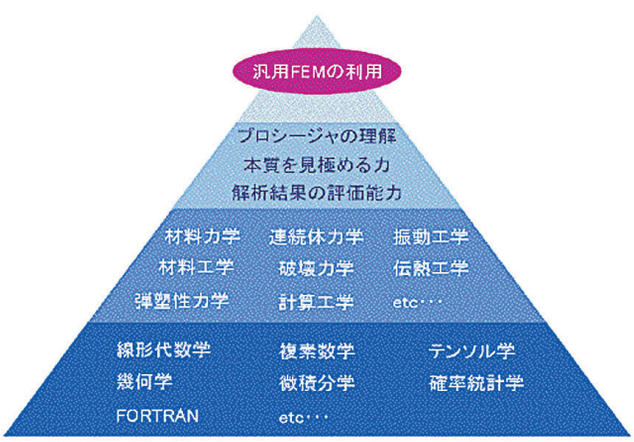


Fig.2　CAEと工学のピラミッド構造

黎明期の複葉機を思い出してみよう。シェルと骨組みから成り、原動機を搭載していた。機械工学の断片をその中に見ることはできるが、コツが幅をきかせる手探りの時代であった。やがて第一次大戦においては化学的な、また第二次大戦においては主に物理的な改変を受け、機体は補機類を満載した構造に変容していった。戦争という動機は究極の不具合ではあったけれども、機械 ⇒ 化学 ⇒ 物理という進化のステップを踏んだ結果、ミクロとマクロが高度に共存する製品になったと言うことができる。現代のCAEは、多かれ少なかれこのような複雑性をもった製品を対象としている。手探りのCAE、すなわち個人の学習を積み上げたり、あるいはコツを学べばどうにかなるCAEの時代は終わりつつある。新しい機体をスマートに飛ばすパイロットの育成が急務である。

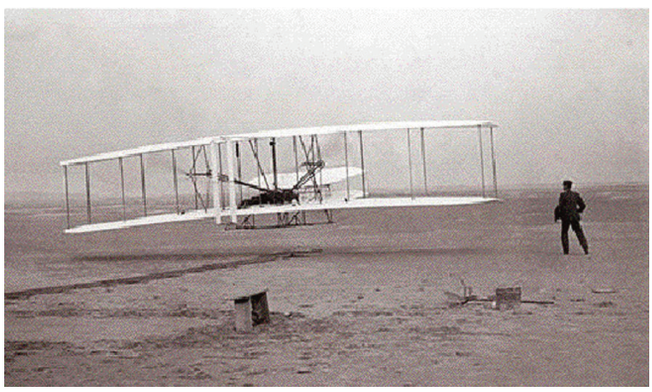


Fig.3　Wright Flyer, 1903. (Public domain photo)

4．エミュレーションという思想

シミュレーションが単純化を前提とした技術であるのに対して、エミュレーションという概念はシステムをそのまま模倣する技術である。両者の境界は必ずしも明瞭ではないが、今日、エミュレーションとして区別した方が適当である計算例も少なくないはずである。そして間違いなくCAEはエミュレーションの方向に導かれつつある。この過渡期を乗り切るにはどうしたら良いのだろうか？

例えば Fig. 2のピラミッドを下から見たとき、シミュレーションの観点からはどうしても積み上げきれない山の高さを嘆きたくなる。あるいは基礎のないままに頂点から下を見れば、崖の険しさに足がすくむ。それはシミュレーションという行為が基本的に個人の能力に頼った単独行であるからである。しかし同じ山をエミュレーションとして見ればどうだろうか？ 問題になるのは既に個人の技量ではないのは明らかである。複数のエキスパートを糾合した集団の力量といった観念でしかこの山を見ることはできない。すなわちトップダウン型のマネジメントとしてCAEを見るということである。マネジメントは組織の問題であるので、これまでの個人の限界を打ち破る手がかりになるだろう。

例えば、長年にわたってわれわれを苦しめてきたものに、国産のCAEに対する思い入れがある。これは正にシミュレーション的な積み上げ方式によらざるを得ない。しかし、世界のどこかに拠点を置き、LinuxやWikipediaの発想でグローバルなソフトウェアの作成が始まればどうだろうか？ それは、ゆるいトップダウンによる知識の合流であり、もはや国産も外国産もない。国籍を問わず、個人あるいは協同体の本当の実力が問われ、かつ公開される場所になる。われわれは積み上げ方式を好む反動として権威主義に陥りがちであるが、権威でも競合でもないマージ、すなわちゆるやかな合流の発想が必要になるのではないだろうか。エミュレーションという新しい思潮は、その必要性を語りかける壁としてわれわれの前にある。

ものづくりにおけるCAEの歴史と期待

岩田　進吉
有限会社イワタシステムサポート

前書き

CAEの利用は、ここ10年程で設計・開発においては必須のものとなってきている。しかし多くの技術者が沢山の仕事をかかえてスキルを向上させる余裕もないのが現状のようである。またCAEを業務に取り入れて利用しているのは大企業が中心であり、大企業以外では導入に苦労している。そのような状況をふまえて、ものづくりにおけるCAE利用の現状と期待を個人的な意見であるが書かせて頂く。

自己紹介

私は製造業で約15年、コンピュータメーカーで約15年、合計で約30年間、会社員として経験させて頂き、好きなコンピュータにかかわってきた。そして2003年末にコンピュータメーカーを退職し、2004年2月に独立して現在に至っている。製造業にいた時は社内でのコミュニケーションは活発にとらせて頂いたが、社外の方とのコミュニケーションはそれほど多くなかった。しかしコンピュータメーカー時代はSEとして多くの製造業、大学、研究所にお伺いし、製造業ではCAE技術者の皆様の所にお伺いしてCAEで利用するコンピュータシステムを提案し、導入後のサポートをさせていただいた。

また1990年代の後半から会社を退職するまでにCAE利用者の方に参加して頂き、CAE分野にフォーカスしたセミナーを開催した。

このセミナーの際は単にセミナーを開催するだけでなく、参加者及び講演者と自由な話ができる場を作って、多くの方との交流の場を作るとともに、参加した皆様と親密な交流をさせていただいた。

またコンピュータメーカーでの活動以外に2002年にNPO法人、CAE懇話会の中に中部CAE懇話会が設立されてからは幹事として活動をさせて頂いている。特に2007年からは幹事会の活動の中心的な役割を果たし、CAE懇話会、解析塾の参加者と親しく交流をさせて頂いている。

このようにCAE関連の活動を通して多くのCAE利用者の方、大学関係者の方、すでに第一線を退いたCAE技術者のOBの方とも親しく話をする機会を沢山頂いている。これによりCAEの利用における歴史と現在の利用状況を多くの皆様とコミュニケーションを通じて教えて頂いている。

CAEの分野における私の夢

人生を3分割すると

自己投資期間、　労働期間、　奉仕の期間

の3つの期間が考えられる。現在の日本人の平均寿命を80歳として、3分割すると一つの期間が25年位なので25歳位までが自己投資の期間で50歳位までが労働期間(投資の回収)、そして、それ以降は奉仕の期間となる。この考えから私は最後の奉仕の期間なってきており、まわりの状況から奉仕活動が可能な状況になってきている。(当然、ある程度のビジネスも行おうと考えている。)

この奉仕活動の為に、私は今までの経験と多くのCAE関係者との交流を活かして、ものづくりの世界でコンピュータやCAEを通して社会の役に立てる活動をしていきたいと考えている。

幸いにも中部CAE懇話会では気さくで楽しく話ができる幹事の方が多く参加しており、この中部CAE懇話会を通してものづくりとCAEに貢献できるセミナーや勉強会を企画し、開催できている。これからも、この活動を活発にしていくために努力するとともに、私の目標として

1．CAE利用者の皆様のコミュニケーションの場つくり
2．CAE利用者と大学・研究所間のリレーションつくり
3．CAE利用者の方への良いシステム環境、ソフトウェアの紹介
4．情報収集、学習機会の提供
5．気楽な相談相手

を実行していきたい。

またCAE懇話会に限らずに“ものづくり”の為の勉強会がNPO、財団法人等で行われており、また企業主催の有益なセミナーも開催されている。このような有益な情報はインターネット時代に入り多くの方が容易に入手できるようになった。しかし多くの方が見逃しているようであるので、私が発行しているメールニュースである「CAE便り」等の手段を利用して多くの方に情報を提供している。

これらの活動を通してものづくりとCAEに関しての“コア”になるのが私の夢であり、これから徐々にではあるが夢を実現をしていきたい。

ものづくりにおけるCAEの過去、現在、未来

CAEという言葉は1980年頃から出てきているが、CAEを意味する解析自体は1970年頃より、多くの技術者の方が自分で解析ソフトウェアを作成し、解析をしていた。今のようにプリ・ポスト処理がGUIになっていない時代であり、コンピュータもスピードが遅く、資源の乏しい時代に小さなモデルで解析していたのを見ている。

そして1980年代に入ると１部の進んだ企業で当時のクレイ

に代表されるスーパーコンピュータを導入して解析するようになった。90年代に入るとUNIX　WSを利用して多くの大手企業がCAEを導入し、利用を始めた。そしてワークステーションが普及を始めると、使いやすいプリ・ポストツールも出てきてCAE環境は格段に良くなった。これにより、CAEが普及した。そして2000年代に入ると

1．CAEで利用するコンピュータがIntelやAMDの作るx86アーキテクチャの市販CPUで構築され、高速なシステムが低価格で入手できるようになった。
2．並列化技術が発達し大規模なモデルを解くことができるようになった。
3．ソフトウェアが今までUNIXベースで専門知識が必要だったものがWindowsベースで使いやすい環境になった。

等によりCAEが導入しやすくなった。それと共に自動車メーカー、航空機メーカー等で多くの検証を積み重ねて数値実験としてCAEが利用可能であると実証してきた。

このように、ここ10年で一般的な構造解析や流体解析は日常業務に取り入れられるようになった。しかし複雑な現象や多くの現象が関係した連成解析、そして樹脂のような物性や加工方法に大きく影響される分野のCAE、そして組成が変わる製品の挙動等は未だ課題が多い領域である。

これらの課題は市場のグローバル化と共に日本の製造業が勝ち残っていくためには解決が必要と考えている。その為にもサポートできるところは積極的にサポートをしていき日本のものづくりに少しでも貢献でいればと考えている。

ものづくりにおけるCAEを発展させるために

CAEの活用促進、すそ野の拡大には大きな課題があると感じている。それは中小企業においてはCAE利用者が少ないか、全くCAE利用者がいない状況であることである。企業が良い製品を作っていくためにはCAEのツールだけではなく人材育成が重要である。企業経営者のインタビュー記事を見ると人材の教育の必要性は強く訴えているが、その実行に関しては甚だ疑問の処がある。CAE技術者の方が、会社からの教育プログラムの一環でスキルアップができれば良いが、無理な場合は技術者が会社を頼るのではなく、自分への投資として自己資金で積極的に勉強会等に参加できることを勧めたい。また我々としてもそのような場を作っていきたいと考えている。最近、CAE教育の為に大学の先生の協力をいただいて無料で「材料力学基礎」の勉強会を開催した。1日コースで100名以上の応募者があり、参加は約90名の参加者があった。その時にアンケートを取らせて頂いたが、参加者は比較的CAEに関係するような方であるが、CAE懇話会で勉強会を行っていることを知らない方が半数近くを占めた。

このように多くのCAE技術者の方が勉強会の場があることすら知らず、また勉強する余裕もないのではないかと推察する次第である。特に大企業のようにCAE技術者が何百人もいるようなところは社内でのスキルアップの場は提供されているが、それ以外の企業の多くの技術者の方はスキルアップの勉強の場も知らなければ、社内でもそのような機会はなく、せいぜい購入したCAEソフトウェア会社のソフトウェアの使い方程度の教育しか受けていないのが現状のようである。これらの方の為にCAE懇話会ではCAE技術とそれに関連した理論を提供する場を作っており、今後も継続していく予定である。また複数の機関で勉強する場を提供しているので、それらの情報も多くの方に伝える必要性を感じている。

次にスキルアップの為のツールについて考えてみたい。ものづくりにおけるCAE普及のためにはスキルアップの機会だけでなく、価格面、利用しやすさを考えたツールの提供も重要と考える。ツールとしては高度な機能を持つ必要はなく、機能と考え方を学べるだけの機能で十分であり、その次のステップとして高度な商用ツールを検討できるスキル等を見つけていけば良いと考える。現在、Open CAEの普及を促進している団体もあり、良い方向性であると考えている。しかし問題点は

1．導入教育>誰が行うのか？
2．ツールの操作性>使いやすいGUIか？

で課題があるようである。

私のこれからの活動としては、多くの無料、有料のソフトウェアとそれを動かすためのコンピュータシステム全般について、初心者から上級者までを含めて相談にのることができればと考えている。また、その為にNPO法人のCAE懇話会だけでなく、大学、専門学校、研究所、財団法人等とも協力して

「ものづくりの為のCAE技術」

を広く普及するためのコアとして活動を続けていくことが重要であると考えており、その活動を行っていく予定である。

ものづくりとCAE

今木　敏雄
株式会社CAEソリューションズ

1．20世紀はものづくり世紀

私は、学生時代、橋梁工学を専攻し、吊り橋や斜張橋などの長スパン構造物を設計する際の耐風、耐震設計などを学んでいました。このため材料力学や弾性学などの力学の基礎とともに、風洞実験を行うための相似則の基礎や、荷重の不規則性に注目した信頼性工学などその周辺分野も多く学ぶことができました。

橋梁工学においては、ニューヨークのイーストリバーに1883年に架けられたスパン長486メートルのブルックリン吊り橋が有名です。この橋は、鋼鉄製のワイヤーを世界で初めて用いたことやその工事の過酷さとともに親子2代にわたるローブリング一族の苦闘の歴史があったこと、更にはその完成後、127年も経た現在においても実用に供されているという事実が、これから「ものづくり」世紀でもあった20世紀に入ろうとする時代の工学の特筆すべき輝かしい成果のひとつとして忘れてはならないことと考えています。

このすばらしい橋の設計や建設が実現できるようになってきた背景には、16世紀あたりから始まり序々に体系化されてきた数学や物理学の基礎的な研究が、実際に人類の「ものづくり」に役立つ技術への応用を念頭においた材料力学や弾性学（応用力学）の発展の時代を迎えていたことが上げられます。20世紀に入ると、ティモシェンコ教授を代表とする研究者たちの努力でこの体系化は更に進み、「ものづくり」を支える強固な基盤が形成されていきます。

20世紀前半は世界をまきこむ戦争の時代に明け暮れました。「ものづくり」を行える技術や知識を獲得した人類は、自動車、航空機、船舶の製造といった重工業を発展させながら、一方で軍需産業への拡大で経済活動を活性化してゆきます。この数十年の間に、原動機の開発、プロペラ機の開発、ジェットエンジンの発明などが相次ぎ、移動時間の短縮が世界をどんどん小さくしてゆきます。通信機器の発明や開発により、戦争の規模の拡大とともに情報伝達のスピードがその勝敗を分けるなど、良くも悪くも科学技術の発展とその影響を実感することとなりました。またこの時代には、応用力学の利用頻度も高まり、国産のタイガー計算機が大活躍した時代でもありました。しかしながら一方、こうした軍事技術への利用を前提とした科学技術の発達は、やがて人類が自らの命を縮める結果をもたらすことにもなることを知ることとなりました。

20世紀後半、戦争の暗い時代を乗り越えた人類は、ようやく科学技術の平和利用に向けて歩み出します。20世紀後半は、大きな革新の時代を迎えます。コンピュータの出現と数値計算技術の発展です。1956年に発表されたH.C.Martin教授らによる三角翼の応力計算に離散化モデルが使われたことが今日の有限要素法の発展の契機を与えたことは良く知られていることと思います。60年代は、これら電子計算機を利用した解析技術が大きく発展し、今日CAEソフトウエアと呼ばれている科学技術計算ソフトウエアの開発プロジェクトがスタートしていきます。まずは、応力法ベースでシュットガルト工科大学のJ.H.Argyris教授のASKAが、次にNASAのプロジェクトであった変位法ベースのNASTRANがリリースされました。70年代には非線形ニーズの高まりともにP.V.MarcsalのMARCが、そして少し遅れてH.D.HibbittのABAQUSがリリースされてきます。

ミシガン大学の菊池教授によれば、J.T.Oden教授が1970年ごろに計算力学(Computational Mechanics)という言葉を生み出しこの世界が誕生したとのこと。また1980年にJ.Lemon により計算工学（Computer Aided Engineering）が提唱されるに至ったとのことです。この当時、私はまだ学生で、J.T.Oden教授の論文を読みながらヒルベルトの公理数学の背景を知り、関数解析などの勉強やその力学への展開としての公理力学（あるいは有理力学）への理解を深めていました。

2．CAEソフト開発とビジネスについて

大学院を出てすぐに入社した（株）数値解析研究所では、こうした時代背景を受けて、科学技術計算ソフトウエアの受託開発や販売、受託計算を主業務としており、特に原子力発電所建設にかかわる様々な研究課題に関する業務を担当させて頂きました。とりわけ使用済核燃料輸送容器の衝撃・落下計算や炉容器の爆発を想定した安全解析は緊急性を伴い、米国の計算センターと海底ケーブルで繋がれた環境でPISCES2DELKやDYNA3Dを利用して多くの計算を経験させて頂き、CAEソフトウエアの社会的重要性を深く理解することができたように思います。

こうしたR&D中心のCAE事業は、80年代後半のバブル崩壊とともに予算の縮小を余儀なくされる事態を迎えます。生産現場重視の構造変革が断行され、製造業における空白の10年を迎えることになりました。この間、大学にも企業にもこれまでのあり方にメスをいれ、事業としての視点からコストと収益のバランスが重要視されるようになります。

そんな中、90年代の半ばにミドルレンジの3次元CADが登場してきます。同時にこれらの3次元モデルを利用できる設計者向けCAEソフト（Design CAE）が登場してきます。これまでのスーパーコンピュータのメモリの10倍以上を積んだ

PCがWindowsのOSとともに登場し、これらを有効に利用するため有限要素法技術の見直しが行われ、コストパフォーマンス重視の視点から、少ない要素で分割した高性能要素モデルから大規模な要素数で分割された低次要素モデルの利用へと変化していきました。こうした時代の変化を踏まえ、2000年3月にWeingarten社長率いるStructural Research & Analysis Corp.(SRAC)と大塚商会、横河技術情報との合弁会社としてCOSMOS Japanを設立させて頂きました。COSMOSの母体は、NASTRANの開発と同時期に、大学の研究者が中心となって開発したSAPという線形構造解析ソフトです。非線形ニーズが深まるに従い非線形領域への拡張を目指して、NONSAPも開発され、後にこれらを統合したのがCOSMOSMというSRACの製品です。SolidWorksが急速に市場の支持を拡大するとともにSolidWorksユーザーが求めるDesignCAEのニーズも高まり、SolidWorksの上で3次元CADモデルにそのまま解析条件を与えることができるCOSMOSWorksは、その使い勝手の良さから多くのご支持を頂き、COSMOSJapan設立3年目には、年間400本を超える実績を作ることができました。

このようなDesign CAEユーザーのなかには、文科系出身者も多く、材料力学や応用力学の知識や経験に浅いため、計算された結果を評価する実力が不足している場合も見られます。2006年に設立させて頂いたCAEソリューションズでは、これらの課題解決に向けてCAEで「ものづくり」に携わる人材の育成もまた我々の重要な仕事と考え、日々工夫しながら運営しているところです。

3．汎用CAEパッケージと国産ソフト開発

さて、最近、国産ソフトやオープンCAEソフトに関する意見交換を機械学会会員の方々と行う機会に恵まれましたので、個人的な経験の範囲ですが、述べてみたいと思います。

これまで何度となく国産ソフトが開発され国内需要に応えてきていると思いますが、国際市場においてはその寡占化が進んでおり、“国産ソフトは、それらと比較して機能的に劣るのか、あるいはそのほかに理由があるのか”が大きな関心となりました。

CRC(現在のCTC)が動燃事業団（現在の原子力研究開発機構）と共同開発してきたFINASは、原子力分野に限って言えば、ABAQUSより多くの機能が搭載されています。また原子炉の燃料挙動を予測する動燃開発のCEDARもWestinghouse開発のLIFEと比較し遜色のないところにいると言えると思います。では、なぜこうしたCAEソフトウエアが、市場で利用されないのでしょうか？

ひとつは、国立の研究所で開発されたソフトウエアの管理の問題が挙げられると思います。米国ではエネルギー分野に関する国費開発のソフトウエアは、Argonne National Energy Software Centerで一元管理され、国内、国外の差はありますが、希望者に有料で配布される仕組みがあります。衝撃解析の定番ソフトであるLS-DYNAは、開発者であるJ.O.HollquistがLawrence Livermore国立研究所で開発していた当時、DYNA3Dという名前で、やはり同様に管理されており、希望者はオリジナルソースを入手することができました。これらのソースは、これを核に自身の開発を加えて商用化することを制限してはいないので、本人のJ.O.Hallquistも含めてDYNA3Dの機能拡張版が幾種類も開発され販売されています。NASTRANもまた同様であることはご存じのことと思います。

国内に目を転じると、新しい数値計算手法の革新的な問題を研究することは、主に大学の役割とされているようで、研究室レベルの開発費で賄う必要があります。このため実用性と絡め、企業との共同研究の形で開発資金の調達をしなければなりません。国立研究所が進めるCAEソフト開発では、より実用的な利用を目的として開発される場合が多く、CEDARなどの開発では、国内で実験が不可能なデータを米国から購入して検証作業が行われたため門外不出の側面があることもこれらの公開に対して課題があるように思います。そうなりますと一般的な汎用性を備えたCAEソフト開発の役割は、学会が担うことになったように思います(Passageなど)。こうした場合、毎年機能の更新を継続的に行うことが難しく、またそうしたソフト開発への資金提供も継続的ではないので、段々と求心性が失われてしまったように思います。

こうした政策、運営上の違いもさることながら、一番の大きな違いは、市場を国内からの要求やそのニーズに絞る日本と、ソフトウエア資産を世界の共通の財産と捉え、その市場を世界に求める米国とのビジネス視点の差が、そのまま開発資金調達力の差になっているように思います。製造業でも寡占化の動きは変わりませんが、一方で小さなマーケットでも世界市場占有率70％の部品づくりを行っている中小企業もあり、市場の選び方で世界シェア確保は可能と思います。計算力学部門からそうした製品が生まれることを期待しております。

4．これからのこと

さて今後、Design CAEと3次元CADとの統合によりPLM化は益々進行することが予想されています。またこれらの進行とともに、PLMとEPRの統合も視野に入ってきています。この延長線上に循環型社会のための情報処理技術が体系化されてくることが予想されます。「ものづくり」における設計、生産、廃棄、再処理といったプロセスとともにそのコストや環境への影響を評価できるようになることも期待されます。今後の「ものづくり」は、自然を克服するツールの時代を乗り越えて、自然と共存し環境負荷の少ない循環型社会を構築するための一翼を担って発展してゆくことが期待されており、こうしたシステムの中でCAEは重要な要素技術として各方面での利用が進むだろうと考えています。これから時代を担う若者には、広い視野でこれまでの多くの研究者、技術者の恩恵に感謝しつつ、新しい時代に挑戦してくれることを願っています。

自動車開発におけるものづくりシミュレーションの足跡の概要と今後の期待

高橋　進
日本大学 生産工学部 機械工学科

1　はじめに

日本のものづくりにおいて、CAEは、開発のツールとして無くてはならない存在となっている。自動車の開発を例にした場合、衝突安全性向上のための衝突解析、高性能エンジンの開発のための燃焼解析および空気抵抗の少ない車体形状の検討のための流体解析等、自動車の機能面の検討および性能向上に貢献している解析技術を思い浮かべることが多いと思われる。一方、自動車の生産に関わる検討でも、シミュレーション技術は、無くてはならないツールとして積極的に活用されている。本稿では、生産のCAE技術に関して過去を振り返りつつ、今後の展望の私見を述べる。

2　不具合の原因究明としてのCAEの活用

1980年代における生産技術に関する領域でのシミュレーション技術の適用は、有限要素法のソフトウエアを活用した弾性解析が中心であった。当時は、部品の開発に恒常的には適用されてなく、生産上の問題が発生した時に、その原因解明と対策の検討に使用されていた。現在のように、プレス成形および鋳造等の各工法に特化した専用のソフトは、殆ど無く、NASTRAN等の汎用の解析ソフトを使用していた。プリポストも機能が不十分だったため、ステアリングラックのコイニング成形用金型の応力解析を行った時には、金型の3次元モデリングの作成は、要素の節点座標とコネクティビティを自動生成するFORTRANプログラムを作成した。この例では、ステアリングラックの歯の形状をコイニングによって加工する金型の寿命が短いために、加工時の応力分布を解析し、応力集中している部位を特定後に、許容応力以下になる形状を提案した。金型形状の修正等を定量的な解析データを使用して議論が出来たので、生産現場の技術者と金型設計者の間の技術的なコミュニケーションのツールとして活用された。この時代は、数値シミュレーションは、まだ一般的でなく、その適用は、研究職の限られた技術者のみ使用が可能で、より効果のある適用が可能かどうかの検討時期であったことから、生産技術に関するシミュレーションの黎明期と言える。

3　生産要件の事前検討でのCAEの活用

1990年代になると、計算機が飛躍的に進歩し、それと同時に、成形等の生産関連のシミュレーション用ソフトが、各分野で専用のプリポストとともに活発に開発された。開発が進められた主な工法は、自動車の車体パネル部品の成形に適用されるプレス成形、足周り部品およびエンジンのクランクシャフト等をブロック形状材料から成形する鍛造、エンジンのシリンダブロックの成形に適用される鋳造、バンパー等の樹脂部品の成形に適用される射出成形等である。これらの工法は、自動車の主要部品の成形に適用されている。特に、車体関連のプレス部品および樹脂部品のバンパーは、新車の開発ごとに新しい部品の開発が必要となり、シミュレーションの適用回数も多く、適用効果（部品開発期間および工数削減等）が大きい。

自動車のパネル部品のプレス成形を例にして、その進歩の概要を以下に述べる。自動車の外板の金属製パネル部品は、鋼板等を金型間に投入し、プレス機械で圧縮することによって成形する。成形品の主な不具合としては、部品の一部が分離する“われ”、部品の一部が設計した形状の面外に変形する“しわ”、成形した部品を金型から取出した時に、材料内の弾性エネルギーにより変形する“スプリングバック”およびドアのハンドルエンボス近傍等に出現する小さなうねりの“面ひずみ”がある。シミュレーション結果から“われ”と“しわ”の評価技術がまず確立され、その後、材料の降伏挙動の表現式の高精度化および引張後圧縮した時等の材料の変形挙動の正確な定式化等により、“スプリングバック”の評価精度が向上した。1990年代半ばからシミュレーションの実部品の適用が部品の形状変化が比較的に少ないフード等から開始された。その後、計算機等の進歩により、適用可能な要素数が増え、それに伴ってより複雑な部品形状を有するドア、フェンダ、ボディサイド等の順で適用が拡大された。自動車パネル部品で、一番大きなボディサイドの解析結果（板厚分布）を図１に示す。部品設計部署が作成したCADデータを基に、プレス成形用の金型データ等を作成してシミュレーションを行っている。成形時に不具合がない部品形状とするために、金型形状データを変更して解析が行われる。部品形状を決定するために、部品設計と生産準備の技術者が、意見交換をするが、その時に定量的な形状変更の論議が可能なのも、シミュレーションの効能である。上記に示すシミュレーションの適用により、パネル部品の成形用金型の形状検討が、金型加工前に行われることにより、金型加工後の不具合を大幅に削減でき開発期間短縮等に貢献した。

4　新材料および新工法へのCAEの活用

2000年頃になると、安全基準の強化等で、それまでの材料の適用では、車体重量の増加が避けられなかった。その対応

策として、より高強度の材料である高張力鋼板と構造部材でない部品の材料にアルミニウム合金板が適用され、車体の軽量化を加速した。しかしながら、これらの材料は、自動車部品への適用としては経験が少ないために、成形ノウハウの蓄

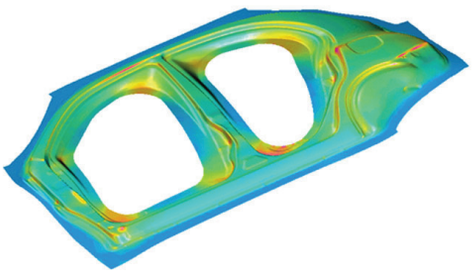


図１　ボディサイドのプレス成形解析結果

積も少なく、成形不具合が発生した時に、現場での対応に時間がかかっていた。そこで、成形シミュレーションを活用することにより、金型準備期間の短縮が進められた。

また、部品を閉断面形状にすることにより、強度等の向上が期待できる。そこで，鋼製パイプあるいはアルミニウム合金製パイプを、部品形状が加工されている金型に挿入後、パイプ内に高圧液体を充填させることにより成形するハイドロフォームの適用においても、シミュレーション技術の開発[1]により、事前の成形性検討が可能となり、開発の効率化がなされている。

このように、シミュレーションを有効活用することにより、過去に使用の経験が少ない材料および工法の適用まで期間を短縮することが可能である。また、通常では加工等が困難な金型形状および金型の動きもシミュレーションでは可能なことから、新工法の検討が可能である。また、成形可能な材料特性も検討できるので、材料メーカ等に対して機械的特性等の要望も提案できることも利点である。また、最近ではプレス機のスライドの位置および速度を任意に設定可能な、サーボプレスの適用が進められている。成形性が向上するプレス成形プロセスをシミュレーションで検討した場合、その結果を直ぐに確認可能なインフラが整いつつあるので、成形性が飛躍的に向上する成形プロセスの実現に期待したい。

５　成形品の組立へのCAEの活用

シミュレーションを適用することにより、種々の工法における部品の成形性の検討が可能であることは前述したが、製品としての寸法精度を確保するためには、部品どうしを締結する必要がある。自動車のフードおよびドア等は、アウタとインナ部品を重ねて、インナ部品より少し大きめのアウタ部品の外周部を折り曲げて締結するヘム加工が一般的に用いられている。この成形方法は、直線的に折り曲げる場合は、変形しない。一方、折り曲げ部が、円弧形状等の場合は、伸びまたは縮みフランジと呼ばれる成形となり、部品の剛性が不足する場合は、変形する可能性がある。そこで、ヘム加工時に部品の剛性が充分かどうかを事前に評価することにより、試作後の金型修正を極力少なくすることが可能となる[2]。また、公差解析等との併用により、製品の寸法精度を確保するために必要な、部品各部位の寸法精度を検討でき、一律の寸法精度より金型の開発コストを圧縮可能であると考えられ、今後の研究に期待したい。

６　最適化技術とCAEの融合

前述の全てのシミュレーション技術は、実際の成形の代替として適用されている。したがって、シミュレーションソフトは、入力された条件で解析し結果を出力するだけである。計算機の高精度化により、計算時間は短くなってきているので、計算機が夜、働いていない状態が多いと思われる。そこで、シミュレーション技術と最適化技術を融合させて、シミュレーションから得られた結果を最適化エンジンで判断し、必要であれば解析条件を変更して再度解析を行い、解析結果を評価する変数が、目的の値に到達するまで解析を繰り返す[3]。このシステムを構築することにより、夜間の解析リソースの有効活用が可能になるとともに、金型設計の効率化が図れる。現在は、プレス成形条件であるビード力、ブランクサイズおよび簡単な金型形状の変更にとどまっており、より複雑形状の金型の形状最適化の研究成果が望まれる。

７　まとめ

自動車の生産準備における特にプレス成形を例として、シミュレーションのこれまでの適用等の概要と今後の期待について述べた。

成形シミュレーションは、自動車の生産準備において、必要不可欠の成形プロセス検討用ツールである。

今後は、最適化技術とCAE技術の融合により、シミュレーションの知能化を進め、より効率の良い自動車の開発に期待したい。

参考文献

１）Takahashi, S., Terada, K.: Proc. of the IDDRG 22nd Biennial Congress, (2002), 61-70
２）高橋進, 今林功, 須長秀行, 高村正人, 久恒智彦, 田中美徳：塑性と加工, **47**-551, (2006), 1173-1177
３）守屋岳志, 高橋進, 桑原利彦：塑性と加工, **49**-574, (2008), 1081-1085

HPCと次世代ものづくり

加藤　千幸
東京大学 生産技術研究所 革新的シミュレーション 研究センター

1．はじめに

2012年11月の運用開始を目指して兵庫県神戸市のポートアイランドに「次世代スーパーコンピュータ-京(けい)-」の開発が進められている。京は世界最速のCPUを8万個以上搭載し、ピーク性能は10 PFLOPS（Peta Floating Point Operations per Second、1 PFLOPSは、 1秒間に10^{15}回の浮動小数点演算を実行する演算能力）以上になる予定である[1]。

図１[2] に示すように、ハイエンド計算機のピーク性能は10年間で約1,000倍という急速なペースで向上しており、数年後には研究者や技術者が日常業務の中で使用する計算機もペタ・フロップスの性能を有するようになるものと推定される。このような状況の中、モノづくり分野においても、HPC（High Performance Computing）を高度に利用した設計業務の革新やイノベーションの創出に対して大きな期待が集まっている。本稿では、このような期待に応えるために筆者等が推進している先端的シミュレーションソフトウェアの研究開発を基盤とした、ものづくり分野におけるHPCの普及戦略を紹介したい。

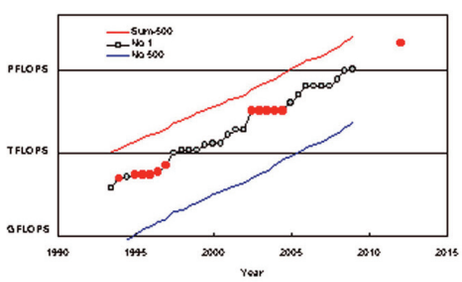


図１　世界の計算機性能の推移[2]

2．ものづくり分野におけるHPCに対する期待

ものづくり分野においてHPCに期待される貢献としてはまず、基本設計の段階において、基本的な方式の検討や新材料の開発に高度な数値シミュレーションを活用し、従来は達成できなかったような高性能を実現したり、革新的な材料を開発したりすることが考えられる。次に、詳細設計のプロセスにおいて、HPCを高度に利用した種々の設計パラメータの最適化を実現することにより、設計に要する時間を短縮したり、従来よりも総合的に優れた製品を開発したりすることが可能となる。また、超大規模なシミュレーションによる製品試作の代替が可能となれば、試作に要する時間やコストの大幅に削減に繋がることが期待される。

3．先端的シミュレーションソフトウェアの研究開発

上記のような期待に応えるためには、計算機の能力を最大限に発揮でき、かつ、設計者でも容易に使うことができる実用的なシミュレーションソフトウェアの開発が必須である。そこで、筆者等は強力な産学官連携プロジェクト[3]において、このようなシミュレーションソフトウェアの研究開発を進めている。このプロジェクトでは大学等の研究機関で開発されたソフトウェアをベースとして真に産業界のニーズに応えられるように種々の改良を加えるとともに、超並列計算機においてもその並列計算性能を最大限に引き出せるような最適化を施している。一例として、流体解析ソフトウェアFrontFlow/blueの並列計算性能を図２に示す。このソフトウェアは最大100万コアでも実効性能比5～10%、並列化効率50%以上となるように設計されており、また、計算メッシュの自動細分化機能をはじめとして大規模データを容易に扱えるような数々の工夫が施されている（図３）。実際、メッシュの細分化機能により、後流の流速分布の予測精度などが大幅に改善することを確認している（図４）。

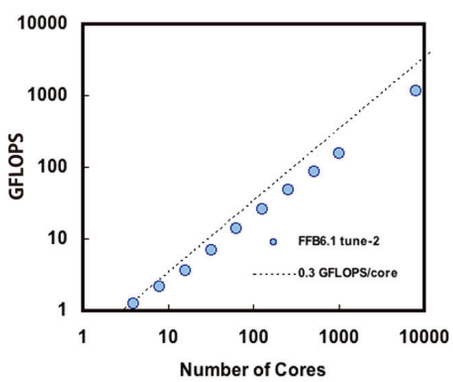


図２　開発中のソフトウェアの並列計算性能

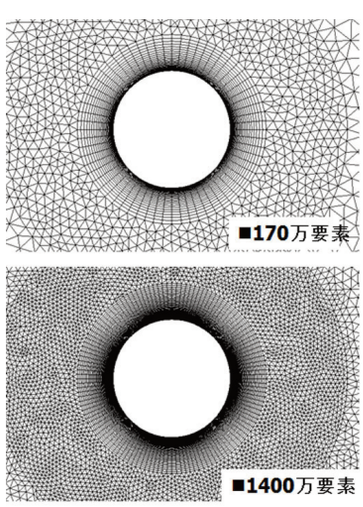


図３　メッシュの自動細分化機能

このような大規模な流体数値解析を自動車の車体の空力開発に応用している例を図５に示す。これは自動車の車体まわりの支配的な乱流渦を数値計算により再現し、空気抵抗に寄

与している流れの渦構造を同定し、そのような渦構造を制御することによる空気抵抗の低減を狙った研究である。現状では5千万節点程度の計算格子を用いて10ケース程度のケーススタディを実施しているが、数年後には数10億節点から100億節点規模の大規模計算も十分に実用化できる見込みであり、そうなれば風洞実験の代替えとして機能することも期待されている。図６に空気抵抗係数のレイノルズ数（車速）による依存性を検証し、風洞実験値と比較した結果を示すが、模型試験レベルであれば風洞実験と比較して十分な精度で流れの予測ができていることが確認できる。

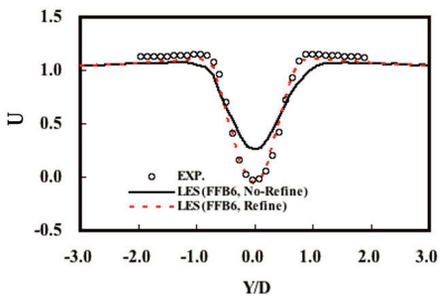


図４　メッシュの自動細分化による精度向上

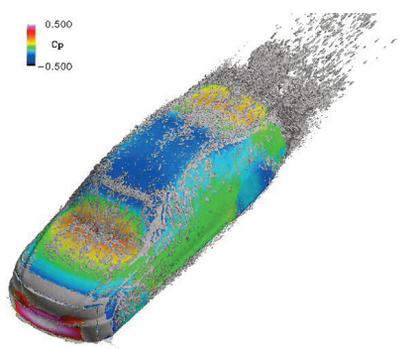


図５　自動車車体まわりの大規模乱流計算

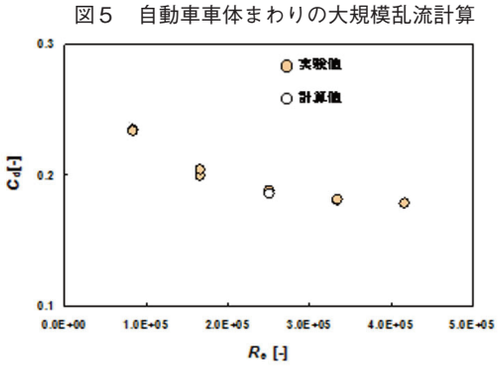


図６　抵抗係数の風洞実験値との比較

４．ものづくり分野におけるHPCの戦略的推進

HPCを活用した設計プロセスの変革の兆しが見え始めているが、このような動きはごく一部の企業で試行されているに過ぎず、HPCの普及が大々的に進展しているという状況ではない。このような状況の中、文部科学省の「次世代スーパーコンピュータ戦略プログラム」がこの９月からスタートした。筆者等は分野４「次世代ものづくり」における中核機関として、（独）宇宙航空研究開発機構、ならびに（独）日本原子力研究開発機構と協力して、次世代スパコン「京」を頂点としたHPCの産業界における戦略的普及を推進する準備を進めている（図７）。

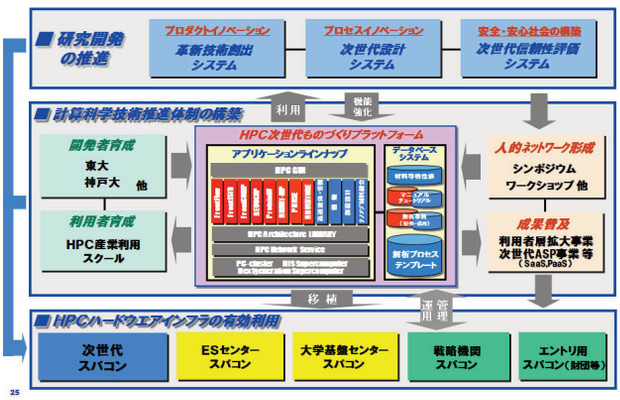


図７　戦略プログラム「次世代ものづくり」の全体スキーム

このプログラムでは次世代スパコンを利用して、ものづくり分野において世の中が「あっ」と驚くような成果を実現するとともに（研究開発の推進）、そのようなソフトウェア成果をより多くの企業でも活用できるように、「HPC次世代ものづくりプラットフォーム」を構築し、それを利用して、人材育成、ベンチマーク環境の整備、ベンチマークの実施支援などの普及活動を展開すること（計算科学技術推進体制の構築）を二本の柱としている。特に、シミュレーションが高度化・大規模化すればするほど、シミュレーションは設計の現場からは離れて行く傾向があるため、高度なシミュレーションを真に製品設計に生かすことができる能力と気概を持った技術者が育たなければ、いくらソフトウェアやハードウエア環境を構築しても宝の持ち腐れになる。そこで、スーパーコンピューティング技術産業応用協議会[4]と協力して、昨年度から「HPC産業利用スクール」を開講している。このスクールで大規模解析のモデル作成、解析の実行、解析の後処理など一連のプロセスを設計者自身が実施できるように企画したものであるが、本スクールは毎回大変好評である。今後とも先端的ソフトエアの研究開発と並んでこのような草の根活動を地道に展開していくことが、産業界におけるHPCの普及には欠かせないと考えている。

本稿に示した計算事例は文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウエアの研究開発プロジェクト」で開発された汎用LES解析プログラムFrontFlow/blue（FFB）Version 5. 3を使用して計算したものである。特に、自動車の空力開発はトヨタ自動車（株）との共同研究において実施しているものである。また、大規模解析を実施するために、東京大学と（独）海洋研究開発機構との共同研究において、地球シミュレータの計算機資源を使用させて頂いた。それぞれここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1）次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム2009、（2009-10）、東京.
2）http://www.top500.org/
3）イノベーション基盤シミュレーションソフトウエアの研究開発第2回シンポジウム、2010-7、東京.
4）http://www.icscp.jp/

日本のものづくりの将来を考える
――日本のCAEに期待――

田中　豊喜
特定非営利活動法人 CAE懇話会

1．日本のものづくりの現状と課題

1980年代後半、日本は世界最高レベルの工業立国を樹立したが、1990年以降トップランナーとしての戦略不足、後進国の追い上げ、バブル崩壊、時代変化対応遅れなどにより大きく後退し、ものづくりの世界はアジアを中心に動き始めている。キャッチアップに強い日本の体質をトップランナーに強い体質に変換するためには日本のものづくりの在るべき姿として「日本型ものづくりの構築」をビジョンとし、その達成のために日本、日本人の強さの認識と知のイノベーションによる新しい価値創造について述べる。文中、哲学用語が表われ読み辛いかも知れないが、今話題のサンデル教授がハーバード白熱教室で教えられているように、古典および現代哲学が、現代の複雑な難問に論理的解答を用意していることに着目して頂きお許しを願いたい。

2．日本のものづくりに貢献した職人の技と心

日本のものづくりの歴史を概観すると職人の匠の技（わざ）と心に集約されると言っても過言ではない。古くは縄文土器、伊勢神宮神宝、正倉院御物に見られるように、同時代の世界では類を見ない精巧かつ機能と美の調和がとれた優れた作品が多く、それぞれ感性に訴える深い質感がある。伊勢神宮では式年遷宮が行われる20年毎に神殿、鳥居、橋などの建造物から衣装、神宝に至るまで全て原形のまま新しくつくり直し、美と技の伝統を継承してきた。江戸時代の僧、円空は木の中に聖なる仏を感じとり、仏と対面し祈りながら斧で削りとり独自の彫刻を世に残した。最近では棟方志功氏は、「仏さまが早く彫れ、早く彫れとおっしゃっている」ので、超スピードで版画を彫ると言う。筆者は法隆寺、薬師寺の宮大工西岡常一氏の弟子の一人のある職人の話を聴いたことがあるが、「良い製品を仕上げることができるのは、自分の力ではない。何か別の大きな力（他力）が自分を導くからだ。大自然の知に学び、自然の力を頂きながら仕事をさせて貰っています」と述べている。職人には、眼に見えない何か偉大なもの（サムシング・グレート、神）の力を感じながら、魂を込め，誠心誠意ものづくりに立ち向かう姿が感じられる。

3．日本人の強さについて

著名な歴史学者ハンティントンやトインビーによると、日本は小国ながら世界の8大文明のひとつに挙げられている。歴史上、海外の文明を日本古来の文明に合わせて、選択的に受け容れてきた。そこに日本人としての強さを感じることができる。「不易流行」が日本人の強さを著わす言葉と筆者は考える。すなわち、ものごとの根本は固持し、周辺は時代、環境によって変え受け容れる。もともと芭蕉の俳諧の世界で生れた言葉だが、和魂漢才、和魂洋才、神仏習合、日本型仏教などが例としてあげられる。例えば、仏教は飛鳥時代に日本に伝来されたときには、純粋なインドや大陸の仏教であったが、奈良時代を経て、平安時代に入ると、空海，最澄らの尽力により、日本型仏教として定着してきた。日本人の強さとして、美しい自然を背景に、花鳥風月を愛でる心、わび・さび、もののあわれを感じる情緒があり、科学技術、数学、文学、芸術などが同時に優れる世界に類を見ない民族とも言える･･･日本人のルーツに誇りを持とう。

個々の日本人の強さの形（フォーメーション）として、心技体＋アルファがある。筆者はアルファが哲学の場合、人としての資質と考えている。アルファは時代、場所、情況に依存するが、品格、徳、運、型、武士道、和（バランス感覚）などである。スポーツ選手の場合は闘争心と根性、政治家、経営者などは品格とリーダーシップ、ノーベル賞学者は独創力と運などである。

4．知のイノベーション

ものづくりにおいて成否を決める最大のファクターは、設計にあり、設計において新しい価値を生み出す創造力にある。そこで、気付き、ひらめき、発見など発想が生まれる仕組みを独自に分析したのが、表１「知のイノベーション」である。表１の横軸は知の段階で修行が進む程右に進む。例えば、情報を基に学習、交流、現場体験の修行をして知識を獲得し、この知識に基づいて判断し行動できる人が専門家である。更に想像力や直観力を高め、知を統合化できれば、知恵を獲得した一流の専門家に深化（進化）することができる。しかし達人やノーベル賞学者レベルに達するには極めて困難な壁（GAP）があり、このGAPを超えるには論理（言葉）では説明できない。敢えて言葉で表現を試みると、例えば西田哲学の純粋経験に相当する。純粋経験は西田幾多郎の著書「善の研究」の基本概念で、神（全体知）の立場で現象を観る。さらに神の立場（客観）と自己個性の立場（主観）との両者を比べ、意志によって両者の統合を図り高度な真理を追求する。これは般若心経の般若の智慧に相当する。

表１　知のイノベーション（知の構造と深化）

横：修行軸　　Gap（西田哲学）

知・段階	情報	知識	知恵	般若
論理・非論理	人知（論理）	人知（論理）	人知（論理）	神仏の智慧（非論理）
獲得するための修行	見聞、調査（Google）	学習、交流 現場体験	想像、直感 知・統合化	運、偶然 瞑想、無我
獲得したときの感覚	知る 分かる	気づき	ひらめき	悟り、霊感 大発見
深化(修行)の段階	初心者 一般人	専門家 指導者	一流（菩薩）	達人、（如来） ノーベル賞学者

表１の中の「大発見」に関連して、数学者ガウスは、「謎は稲妻が光るようにしておのずから解決する、以前知り得たものと無関係に」、数学者で哲学者のポアンカレは、「意識的活動つまり論理的思考の後に続く無意識的活動によって天の啓示が下ったように突然考えが開けてくる」と述べている。

宗教学者の玄侑宗久氏は般若の悟りについて著書「現代語訳般若心経」で「般若の捉える全体性は「空」という無限に変化しつつ無限の関係性の中にあり、常に絶えざる創造の場である。般若の智慧により初めて「空」が理解でき、「空」が解ると事象の本質を「悟る」ことができる。「悟り」を感じる主体は、自他の区別できない状態で、全体に溶け込んでいる」と述べている。

５．西洋型と東洋型ものづくりの対比

西洋型ものづくりの起点は、フランスの哲学者で近代哲学の祖デカルトにあり彼の書いた技術書「方法序説」1637年発行にある。この書の中に近代科学の屈折工学、気象学、幾何学などが記述されている。デカルトは考え抜いた末、「我思う、故に我あり」という有名な言葉を残したが、これは、主体（主観）と客体（客観）に分ける２元論と言われる。主体は人間で客体は多くの場合自然で、人間中心主義である。産業革命を経て進展した近代化は、科学技術、資本主義、合理主義など人間中心社会を形成した。しかし、資本主義がグローバル化し、高度に発展した結果、金融資本主義となり、グローバルなマネーゲーム化により近年のリーマンショックを招いた。これは、筆者にとって、西洋型近代社会の終焉を想わせる事件であった。

一方、東洋（アジア）型ものづくりの起点は偶然にも西洋型ものづくりの起点と同年の1637年、明（中国）の宗応星の技術書「天工開物」にある。天工開物の意味は、自然の力（天工）を利用して、人工のもの（開物）をつくることにある。自然力が根本にあり、それに順応しながらものをつくるところに人間の技術が存在する。デカルトの2元論に対し、主体と客体の区別をしない１元論である。この考え方は、インド、中国古来からある「梵我一如」、「天人合一」思想を踏襲している。すなわち、自然と人間は一体であるとする考え方である。皮肉なことに、技術書「天工開物」は当時の中国では評価されず、日本に伝わり、江戸時代の職人に影響を及ぼしたと言われている。

図説が多く、人が活き活きと作業している姿が印象的である。

今日の地球環境問題の解決には、このような東洋的思考が重要である。最近、日本の学界でも「ネイチャーテクノロジー研究会」が発足している。

６．次世代日本のものづくりについて

今日の日本の情況を概観すると、研究開発投資は米、EUに次ぎ3位、特許取得件数は1位。一人当たりのGDPは2000年は3位、2008年には28位、IMD国際競争力は１位だったが、2007年24位、2010年28位（台湾８位。中国18位、韓国23位）と低迷。最近では、円高だが、企業の株価は落ちている。ガラパコス現象とも言われ、日本製品は国内では健闘しているが、アブダビ（UAE）の原子力発電に見られるようにグローバルの市場で敗退している。これは、日本政府は科学技術立国を目指し企業を支援してきたが、韓国政府の官民一体化した強引な商法に屈したことに起因する。グローバルな市場では技術を背景とした官民一体化した戦略の重要性を示すケースである。グローバルな市場では優秀な職人、技術の海外流失防止やターゲット顧客を絞り込み、製品の機能限定も重要である。

前章までの議論を鑑み、次世代日本のものづくりについて考えて見たい。現在、西洋型近代化、西洋型ものづくりが急速に進展している中国、韓国、インドなどと同じ土俵で戦ってもキャッチアップされ、やがては追い越されていくだろう。キャッチアップされても常にファーストランナーとしてトップを維持するために、「日本型ものづくり」を固持、推進する必要がある。

ここで言う「日本型ものづくり」とは、西洋型ものづくり、東洋型ものづくりの利点を選択的に受け容れ（前述；３章　日本人の強さ）、日本の得意な分野で勝負する。すなわち、日本の職人芸に見られる感性に訴える深い質感を持った品質、擦り合わせ型設計思想に見られる統合型最適設計とチームワーク、軽薄短小化に見られる魂込めた精巧なものづくり、ロボット技術を駆使した自動化とコストダウン、「はやぶさ」で見られた宇宙開発分野での最先端技術などが挙げられる。

東大「21世紀COEものづくり経営研究センター」の藤本隆宏センター長によると、ものづくりとは、ものに設計情報を転写することと定義している。設計情報を如何によどみなく効率よく正確に開発、製造から流通、販売まで流していくかが、ものづくり技術のポイントで、設計情報に宿る付加価値の流れを最大化しながらエネルギーや物理的ものの流れを最小化することが、次世代のものづくりと言われている。筆者も同様に次世代ものづくりは、設計に「知のイノベーション」を導入し、如何に「新しい付加価値を創造」するかがポイントと考えている。

「知のイノベーション」については、表1で述べたが、近年、日本の企業で、ホンダの元社長の久米是志氏が実践した例を紹介しよう。久米氏の著書「ひらめきの設計図」に、「知のイノベーション」である「ひらめき」の体験談が詳細に記述されている。基本は、よく考えて/やって/見て/ひらめく　である。すなわち、よく考えて（言語思考）、やってみて（体験思考）を論理（意識、有我、我欲）の世界でトコトン繰り返す。壁にぶち当たり光明見えず「開き直る」ことにより、非論理（無意識、無我、無欲）の世界に突入できる。その後、般若の智慧がイメージとして現れ、ひらめく。このプロセスは、表１に類似しており、前述の西田哲学や般若心経の教えにも通じる。久米氏はマスキー法を世界で初めてクリアーしたCVCCエンジンの開発指導者であり、F1、F2マシン・エンジンの開発にこのプロセスを自ら体験している。

７．設計（知のイノベーション）に貢献するCAE

筆者は、企業活動、NPO活動を通じて、長期間CAEに関与してきたが、一貫して変わらない姿勢として、「CAEを日本のものづくりの競争力強化に貢献させたい」という強い願望を抱いていた。それには、ものづくりの最重要課題である設計に如何に貢献できるかが鍵となる。最近のCAEの最大の成果は、設計の上流プロセスすなわちFLD（フロントローディングデザイン）にて設計の品質向上、時間短縮、コストダウンに貢献し、経営トップ（特に自動車メーカー）から評価を受け始めてきたことだ。すなわち、設計の上流段階におけるミスが、設計変更や試作の回数を増加させ、開発コストと開発時間の増大リスクをCAE活用により、最小化することが可能となった。CAEにより実験ができないような多くの設計案に対し、よく考えて/やって/見て/を実行し、ひらめきが生ずる可能性が高まり品質および付加価値の向上に結び付く。システムが使い易くなり設計者自身がCAEを活用できる環境となり、より複雑な問題に対してはCAE技術者が最適化を含めた設計提案が可能となってきたことは喜ばしい限りである。ますますCAEの重要性が高まっている。

日本のCAEの発展に期待したい。

部門からのお知らせ

2011年度年次大会の部門企画について

天谷　賢治
東京工業大学 大学院 情報理工学研究科（情報環境学専攻）

2011年9月11日（日）を市民開放行事にあて、9月15日（木）まで、東京工業大学（152-8551東京都目黒区大岡山2-12-1）において、2011年度年次大会が開催される予定です。2011年度の大会では『機械工学が牽引するイノベーション』をキャッチフレーズとし、『「安心・安全」「エコロジー」「クオリティオブライフ」の調和ある価値の創造』をテーマとして広くセッションを企画いたします。この原稿の執筆時（2010年9月上旬）において、計算力学部門では、部門横断型の企画を中心に、以下のオーガナイズドセッションおよび先端技術フォーラムを、実施する予定です。

先端技術フォーラム

・フルードインフォマティクスの基礎
Fundamentals of fluid informatics
○白山　晋（東京大TEL04-7136-4263、FAX 04-7136-4263 sirayama@race.u-tokyo.ac.jp)
部門横断形（計算力学部門と流体工学部門）

・フルードインフォマティクスの応用と展開
Advances in fluid informatics and its applications
○古川裕之（名城大、TEL052-838-2327、FAX 052-832-1235
furukawa@meijo-u.ac.jp）
（計算力学部門／流体工学部門）

オーガナイズドセッション

・流体情報学の基礎と発展
Fluid Informatics : Fundamentals and Advances
○白山　晋（東京大TEL04-7136-4263、FAX 04-7136-4263 sirayama@race.u-tokyo.ac.jp) 大林　茂（東北大）、渡辺崇（名古屋大）古川　裕之（名城大）
部門横断形（計算力学部門と流体工学部門）

・流体機械の研究開発におけるEFD/CFD
EFD/CFD for research and development of fluid machinery
古川雅人（名城大、TEL 092-802-3113、FAX 092-802-3117 furu@mech.kyushu-u.ac.jp）船崎健一（岩手大）山本　悟（東北大）松井　純（横浜国大）渡邉　聡（九州大）
（計算力学部門／流体工学部門）

・「計算力学と最適化」仮題
Innovation and Optimization of CAE and Design
○ 山崎光悦（金沢大、TEL 076-234-4666、FAX 076-234-4668、yamazaki@t.kanazawa-u.ac.jp）

他にも、実験・計算流体力学関連の部門などにおいて，調整中のセッションがあります。今後、適宜、ホームページ等でご確認いただければ幸いです。追加のOSもまだ承りますのでよろしくお願いいたします。また、特別行事として、最先端フォーラム、ワークショップ、新企画行事，部門同好会、その他、部門企画の市民フォーラムや若手向けの行事なども考えております。また、これらの行事につきまして、皆様のご意見や思い付きなどがございましたら、ぜひともお寄せください。こちらの締め切りは、2010 年12 月上旬です。よろしくご検討のほどお願いいたします。

＜申込・問合せ先＞
天谷賢治（東京工業大学　大学院情報理工学研究科情報環境学専攻）TEL 03-5734-2856、kamaya@mei.titech.ac.jp

第24回（2011年度）計算力学講演会

多田　直哉
岡山大学 大学院 自然科学研究科 産業創成工学専攻

24回目となる2011年度の計算力学講演会を2011年10月8日（土）から10日（月）の三日間、岡山大学津島キャンパス（岡山市北区）で開催します。

北海道北見市の北見工業大学で開催されました第23回講演会の会場からは遠い中国地方での開催となりますが、これまでの講演会と同様に一般講演の他、オーガナイズドセッションや特別講演などの企画を予定しております。皆様方のご協力とご参加をお願いする次第です。

さて、会場となる岡山大学は、11の学部を有する総合大学で、約1万人の学部生、約3,300人の大学院生、1,400人弱の教員と1,200人強の事務・技術職員で構成されています。メインのキャンパスは、大学病院と関連学部・研究科がある「鹿田キャンパス」と工学部を始め他の学部と研究科がある「津島キャンパス」の二つになります。鹿田キャンパスはJR岡山駅の南方、津島キャンパスは駅の北方に位置しますが、いずれのキャンパスもJR岡山駅から近く、市のほぼ中心部にあります。その関係で、岡山大学は、日本各地からアクセスの良い大学としても知られており、山陽新幹線を利用しての関東、関西、中部、九州各地区からのアクセスはもとより、瀬戸大橋を渡っての四国各県からのアクセス、さらには、羽田空港や千歳空港等から岡山空港を経て飛行機によるアクセスも良好です。また、計算力学講演会を開催する津島キャンパスは、市の中心部に位置するキャンパスであるにもかかわらず約64万平方メートルと大きなキャンパスです。写真（写真1と2）からも感じ取ることができると思いますが、キャンパス内は木々の緑に囲まれており、比較的ゆったりとしています。

岡山大学が位置する岡山市は、広島市と並び中国地方の主要都市の一つで、2010年現在での人口は約70万人です。2009年4月には全国18番目の政令指定都市に移行し、北区、中区、東区、南区の4区に分かれました。観光面では、皆様もご存じの後楽園が市の中心部にあります。後楽園は、金沢市の兼六園、水戸市の偕楽園と並ぶ日本三名園の一つです。芝生が見事な庭園で、季節によって梅や桜のお花見で賑わったり、能や名月鑑賞会が開かれたりもしています。岡山城や美術館・博物館も近くにあるので、周辺一帯が市の中心的な観光スポットになっています。また、岡山市の隣には倉敷市もあり、昔の建物や町並みを保存している美観地区が有名です。

岡山は果物でも有名で、長円形の大粒の実と強い甘み、良い香りを特徴とし「ブドウの女王」とも呼ばれる「マスカット・オブ・アレキサンドリア（いわゆるマスカット）」や黒くて大粒で甘い種なしぶどう「ニュー・ピオーネ」は皆さんも口にされたことがあるのではないでしょうか。さらに、白桃も全国的に有名で、市場に出回る期間は非常に短いのですが、毎年夏を楽しませてくれる美味しい果物の一つです。岡山県は、雨が少なく晴れの日が多いため「晴れの国」と呼ばれていますが、これらの美味しい果物もこの気候の特徴を上手に利用しているようです。

一方、皆様方もご興味をお持ちの工業に目を向けると、岡山市や同市に隣接する水島臨界工業地帯には、大手化学メーカーや鉄鋼メーカー、自動車メーカーの工場や研究所等が数多く存在し、西日本における研究や製造の拠点となっています。最近は、どの大学でも企業との共同研究等を積極的に推進していると思われますが、岡山大学もその例外ではなく、これらの企業との連携を深めつつあります。

以上のような特徴を持つ岡山市、岡山県、岡山大学ですが、皆様方の印象はいかがでしょうか？次回の講演会について何かご要望等がありましたらお気軽に実行委員会の方へお知らせ下さい。多数の方とお会いできるのを楽しみにしております。

連絡先：
（委員長）多田直哉
岡山大学　大学院自然科学研究科
産業創成工学専攻　機械生産開発学講座
〒700-8530　岡山市北区津島中3-1-1
Tel: 086-251-8032、Fax: 086-251-8266
E-mail: tada@mech.okayama-u.ac.jp
（幹事）清水一郎
岡山大学　大学院自然科学研究科
産業創成工学専攻　機械生産開発学講座
〒700-8530　岡山市北区津島中3-1-1
Tel: 086-251-8033、Fax: 086-251-8266
E-mail: shimizu@mech.okayama-u.ac.jp

写真１　岡山大学津島キャンパスにある時計台
（国道53号線から岡山大学筋（通称　南北道路）に入って正面に見える時計台は，岡山大学のシンボルにもなっています）

写真２　岡山大学津島キャンパス工学部
（写真を撮影した8月6日は，オープン・キャンパスが開催されており，工学部も多数の高校生で賑わっていました．8月6日と7日の2日間で延べ1万3千人の高校生とご家族が来場されたとのことです）

会　告

計算力学技術者2級（固体力学分野の有限要素法解析技術者）認定試験対策講習会

（計算力学部門　企画）

●開催日（いずれも同じ内容で開催）●

1（関東地区会場）行事No.10-80　2010年11月 4日（木）
2（関西地区会場）行事No.10-81　2010年11月 5日（金）
3（九州地区会場）行事No.10-82　2010年11月12日（金）
4（東海地区会場）行事No.10-83　2010年11月20日（土）

●会場、講師、定員●

1（関東地区会場。行事No.10-80：定員150名（申込み先着順
慶應義塾大学（矢上キャンパス）14棟創想館 地下2階マルチメディアルーム〔横浜市港北区日吉3-14-1〕
2（関西地区会場）行事No.10-81：定員60名（申込み先着順）
大阪科学技術センター４０５号室〔大阪市西区靱本町1-8-4〕
3（九州地区会場）行事No. 10-82：定員80名（申込み先着順）
九州大学（箱崎キャンパス）創造パビリオンゼミナール室〔福岡市東区箱崎6-10-1〕
4（東海地区会場）行事No. 10-83：定員150名（申込み先着順）
名古屋大学工学研究科IB電子情報館大講義室（名古屋大学東山キャンパス西地区）〔名古屋市千種区不老町〕

●聴講料●

4会場にて開催されますが、いずれも同じ内容です。聴講料は一つの行事の金額です。

会員10,000円　会員外12,000円　学生員4,000円　一般学生5,000円。いずれも教材1冊分代金を含みます。開催日の10日前までに個人ページでのお申し込み及び入金が完了するようお申し込み下さい。以降は定員に余裕がある場合、当日受付を致します。なお、入金後はキャンセルのお申し出がありましても返金できませんのでご注意下さい。

●申込方法●

9月1日（水）より受付を開始しております。講習会の詳細内容、申込方法等につきましては、本会HPをご参照下さい。

http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm）

《問合せ先》日本機械学会　計算力学部門担当　熊谷理香
電話：03-5360-3505　FAX : 03-5360-3509
E-mail：kumagai@jsme.or.jp

計算力学技術者2級（熱流体力学分野の解析技術者）認定試験対策講習会

〔流体工学部門（幹事部門）、計算力学部門、熱工学部門　合同企画〕

●開催日（いずれもほぼ同一の内容で開催）●

1（関東地区会場）行事No.10-99　2010年10月23日（土）、24日（日）
2（関西地区会場）行事No.10-100 2010年10月23日（土）、24日（日）
3（東海地区会場）行事No.10-101 2010年11月13日（土）、14日（日）

●会場、講師、定員●

1（関東地区会場）行事No.10-99：定員100名（申込み先着順）、東京工業大学　大岡山キャンパス　百周年記念館フェライト会議室、[東京都目黒区大岡山2-12-1]
2（関西地区会場）行事No.10-100：定員55名（申込み先着順）、大阪科学技術センター701室 [大阪市西区靱本町1-8-4]
3（東海地区会場）行事No.10-101：定員50名（申込み先着順）、名古屋工業大学３号館Ｍ３講義室 [名古屋市昭和区御器所町]

●聴講料●

3会場にて開催されますが、いずれもほぼ同一の内容です。聴講料は一つの行事の金額です。会員20,000円、会員外23,000円、学生員6,000円、一般学生7,500円。

いずれも教材1冊分代金を含みます。開催日の10日前までに個人ページでのお申し込み及び入金が完了するようお申し込み下さい。以降は定員に余裕がある場合、当日も受付をいたします。なお、入金後はキャンセルのお申し出がありましても返金できませんのでご注意下さい。

●申込方法●

9月1日（水）より受付を開始しております。講習会の詳細内容、申込方法等につきましては、本会HPをご参照下さい。

http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm）

《問合せ先》日本機械学会　流体工学部門担当　曽根原雅代
電話：03-5360-3502　FAX : 03-5360-3508
E-mail：sonehara@jsme.or.jp

－お詫びと訂正－

ニュースレターNo. 42、No. 44におきまして、講習会開催会場に誤りがございました。ここにお詫びして訂正させていただきます。Web版につきましても訂正させていただきました。

No. 42　29 ページ
2008 年度計算力学技術者認定事業報告
誤「東海地区 B 会場（名古屋大学工学研究科キャンパス）
↓
正「東海地区 B 会場（名古屋工業大学御器所キャンパス）

No. 44　39 ページ
2009 年度計算力学技術者認定事業報告
誤「東海地区 B 会場（名古屋大学工学研究科キャンパス）
↓
正「東海地区 B 会場（名古屋工業大学御器所キャンパス）

第23回計算力学講演会の写真速報

9月23日から25日の3日間、北海道の北見工業大学にて第23回計算力学講演会が開催されました。詳細は、次号（No. 46）で実行委員長の大橋先生から報告がございますが、本号ではニュースレター編集担当より写真速報にて講演会の様子をお知らせいたします。

写真1　北見工業大学正門

写真2　総合受付および展示会場

写真3　特別講演会場

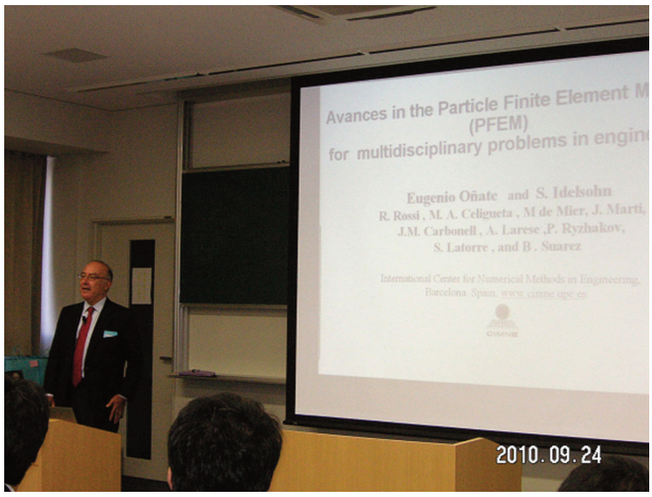


写真4　EUGENIO OÑATE先生の特別講演

写真5　2010年度部門賞授賞式

写真6　懇親会（実行委員長の大橋先生の挨拶）

写真7　懇親会

写真8　懇親会（北見名物の屋台）

写真9　懇親会

写真10　懇親会

第88期　計算力学部門　委員名簿

運営委員会

部門長	辰岡正樹	（株）アルゴグラフィックス
副部門長	梶島岳夫	大阪大学
幹事	寺本　進	東京大学
運営委員	澁谷忠弘	横浜国立大学
	白崎　実	横浜国立大学
	東川芳晃	住友化学（株）
	大島伸行	北海道大学
	小原　拓	東北大学
	坂本二郎	金沢大学
	渡辺　崇	名古屋大学
	北　栄輔	名古屋大学
	伊藤泰則	新日本製鐵（株）
	塩崎　明	シンフォニアテクノロジー（株）
	倉前宏行	大阪工業大学
	中谷敬子	大阪府立工業高等専門学校
	垂水竜一	大阪大学
	屋代如月	神戸大学
	多田直哉	岡山大学
	大石篤哉	徳島大学
	才本明秀	長崎大学
	榊原洋子	東京電機大学
	往岸達也	（独）産業技術総合研究所
	廣畑賢治	（株）東芝
	渡辺昌俊	（株）日立製作所
	天谷賢治	東京工業大学
	豊田幸宏	（財）電力中央研究所
	石塚真一	サイバネットシステム（株）
	井川寛隆	（独）宇宙航空研究開発機構
	西口磯春	神奈川工科大学
	大竹泰弘	（株）IHI
	井戸浩登	ソニー（株）

総務委員会
委員長　辰岡正樹　（株）アルゴグラフィックス
幹事　寺本　進　東京大学
広報委員会
委員長　辰岡正樹　（株）アルゴグラフィックス
幹事　白崎　実　横浜国立大学
幹事　東川芳晃　住友化学（株）
事業企画委員会
委員長　梶島岳夫　大阪大学
幹事　澁谷忠弘　横浜国立大学
年次大会担当委員会（2010）
委員長　渡辺　崇　名古屋大学
幹事　北　栄輔　名古屋大学
年次大会担当委員会（2011）
委員長　天谷賢治　東京工業大学
幹事　大西有希　東京工業大学
計算力学講演会担当委員会（2010）
委員長　大橋鉄也　北見工業大学
幹事　三戸陽一　北見工業大学
計算力学講演会担当委員会（2011）
委員長　多田直哉　岡山大学
幹事　清水一郎　岡山大学
表彰担当委員会
委員長　大林　茂　東北大学
幹事　梅野宜崇　東京大学
計算力学技術者認定支援委員会
委員長　辰岡正樹　（株）アルゴグラフィックス
幹事　高野直樹　慶應義塾大学
幹事　高木　周　東京大学
電子材料、電子・情報機器関連技術委員会
委員長　池田　徹　京都大学
幹事　小金丸正明　福岡県工業技術センター
最適設計技術委員会
委員長　山崎光悦　金沢大学
幹事　多田幸生　神戸大学
計算力学教育技術委員会
委員長　山田貴博　横浜国立大学
幹事　澁谷忠弘　横浜国立大学
設計工学関連技術委員会
委員長　萩原一郎　東京工業大学
幹事　松岡由幸　慶應義塾大学
社会・環境・防災シミュレーション技術委員会
委員長　吉村　忍　東京大学
幹事　北　栄輔　名古屋大学
英文誌編修委員会
委員長　岡田　裕　東京理科大学
副委員長　高野直樹　慶應義塾大学
計算力学に関する国際交流委員会
委員長　山田貴博　横浜国立大学

【部門所属研究会】
逆問題解析手法研究会
主査　久保 司郎　大阪大学
九州地区計算力学研究会
主査　萩原世也　佐賀大学
マルチスケール計算固体力学研究会
主査　大橋鉄也　北見工業大学
感性領域のデジタル化推進研究会
主査　萩原一郎　東京工業大学
電磁流体解析関連技術研究会
主査　金山　寛　九州大学
複合領域における設計探査研究会
主査　大林　茂　東北大学
癒し工学研究会
主査　北岡哲子　東京工業大学
マルチスケールモデリングによる材料科学研究会
主査　尾方成信　大阪大学

《各行事の問い合わせ、申込先》
日本機械学会計算力学部門担当　熊谷理香　E-mail: kumagai@jsme.or.jp
〒160-0016　東京都新宿区信濃町35番地　信濃町煉瓦館5F　TEL 03-5360-3505　FAX 03-5360-3509

計算力学部門ニュースレター　No. 45 : 2010年10月15日発行
ニュースレターのカラー版（No. 41～）につきましては、日本機械学会計算力学部門の下記URLをご覧下さい。
http://www.jsme.or.jp/cmd/Newsletter/index.html
編集責任者：広報委員会委員長　辰岡正樹
ニュースレターへのご投稿やお問い合わせは下記の広報委員会幹事までご連絡ください。
広報委員会 幹事　東川芳晃
住友化学株式会社 樹脂開発センター
〒299-0295　千葉県袖ヶ浦市北袖2番地1
TEL：0436-61-5138　FAX：0436-61-5127　E-Mail：togawa@sc.sumitomo-chem.co.jp
印刷：生々文献サービス／〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-36-6／TEL.03-3375-8446／FAX 03-3375-8447／E-mail: seiseibunken@nifty.com