

(社) 日本機械学会計算力学技術者認定事業のご紹介

長嶋利夫 (上智大学)

計算力学は今や、現代のものづくりにおいて必須の技術となっております。その手法に基づく構造解析ソフトウェアや熱流体解析ソフトウェアは、産業界において広く使われており、これらの解析結果を元に設計・製造することで、高性能かつ安全性に優れた製品開発を効率的に行えるようになってきました。しかしながら、解析モデルを構築する際の判断ミスや入力データの過ち、不適切なアルゴリズムの選択などによって、全く見当違いの誤った解析結果が得られる可能性を常にはらんでいます。間違った解析結果に基づき設計・製造を行った場合には、性能不足や事故など大きな損失につながります。そのため、信頼できる解析には、計算力学ソフトウェアを用いる技術者の技術レベルの保証が極めて重要になってきます。

このような背景と各方面の強い要請により、(社) 日本機械学会 (The Japan Society of Mechanical Engineers: JSME, 以下機械学会) は 2003 年度から計算力学技術者 (CAE 技術者) 認定事業を世界に先駆けて開始しました。現在は、固体力学分野の有限要素法解析技術者 (上級), (1 級), (2 級), (初級), 熱流体力学分野の解析技術者 (上級), (1 級), (2 級), (初級) の 2 分野 8 クラスの認定事業が行われております。固体力学分野の (1 級), (2 級) の認定試験は、関東地区、東海地区、関西地区、九州地区、北陸地区の 5 会場で、熱流体力学分野の (1 級), (2 級) の認定試験は、関東地区、東海地区、関西地区、九州地区の 4 会場で、それぞれ毎年 1 回 12 月に実施されております。2009 年度からは、上級 (上級アナリスト認定試験) 認定も開始し、今後は、毎年 1 回 9 月に継続的に実施される予定です。

現在、本認定試験は、機械学会イノベーションセンターが主催し、計算力学部門をはじめとする機械学会の関連 7 部門・4 支部の協力、54 の国内計算力学関連学協会との協賛ならびに日本機械工業連合会、日本産業機械工業会、日本電機工業会の後援により実施されています。

2009 年度の固体力学 (上級) (1 級), (2 級) 試験の、申込者数、受験者数、合格者数は、それぞれ、31/179/656 名 (合計 866 名), 19/129/534 名 (合計 682 名), 12/81/160 名 (合計 253 名) となっています。また、熱流体力学 (上級) (1 級), (2 級) 試験の、申込者数、受験者数、合格者数は、それぞれ、10/78/195 名 (合計 283 名), 8/62/165 名 (合計 235 名), 7/34/130 名 (合計 171 名) となっています。2003-2009 年の合計では、固体力学 (1 級) の合格者は 493 名、固体力学 (2 級) は 1147 名、熱流体力学 (1

級) は 122 名、熱流体力学 (2 級) は 511 名となり、その延べ人数は 2,273 名となります。また、2006 年度からスタートした公認 CAE 講習会の受講修了に基づき認定する初級については、固体力学分野の有限要素法解析技術者 (初級) が 80 名 (累計 204 名)、熱流体力学分野の解析技術者 (初級) が 23 名 (累計 112 名) 認定されました。8 クラスの累計では延べ 2,608 名の方々が日本機械学会認定の計算力学技術者として産業界や教育研究機関など様々な分野で活躍しています。試験結果の概要と上級, 1, 2 級合格者氏名は、本認定事業のホームページ <http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm> 上に公開されています。

本認定事業では、計算力学技術者認定の取得によるメリットとして次の 3 点を掲げています。

- ① 本認定資格を取得した技術者が信頼性の確認された計算力学ソフトウェアを用いて解析を行うことで、解析結果の信頼性が保証されること
- ② 技術者の観点からは、本認定資格の取得により、自らの技術レベルと責任範囲が明確となり、社会的価値も向上すること
- ③ 計算力学技術者を採用する、あるいは計算力学解析業務をアウトソーシングする際にも、一定レベルの知識・技能を期待できること

現在の本認定事業の運営は、機械学会イノベーションセンター内に設置された技術者資格事業委員会・計算力学技術者資格認定専門委員会が行っております。認定専門委員会の委員長は、その発足以来、吉村忍先生 (東京大学) が務められ、精力的な展開の下、現在の認定事業の枠組みを完成されました。2009 年度からは、僭越ながら小職が委員長を引き継ぎ、現在に至っています。

計算力学ソフトウェアは世界中で活用されつつあり、今後このような認定資格が世界にも一層広まっていくことが期待されています。一方、CAE (Computer Aided Engineering) の品質保証は英国の非営利団体 NAFEMS が最も進んでおり、認定解析士制度も実施されているようです。そこで当該委員会では、今年度から委員会内に国際相互認証対応小委員会を設置し、国際相互認証に向けての検討を開始しました。

なお、本認定事業の実施にあたっては、JACM に所属する多くの方々の献身的なご協力を得ております。ここに感謝申し上げるとともに、引き続き一層のご支援をお願いする次第です。

「構造健全性評価用 次世代き裂進展解析システムの構築プロジェクト」の紹介

岡田 裕（東京理科大学）

東洋大学計算力学研究センター（センター長・矢川元基教授）で行われている CCMR ICAE*研究会「構造健全性評価用 次世代き裂進展解析システムの構築プロジェクト」の紹介をする。この研究会は、東洋大学計算力学研究センター【文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業（学術フロンティア推進事業）】の構造健全性プロジェクトに密接に関係している。（*CCMR と ICAE は Center for Computational Research と Innovative CAE の略称）

例えば、原子力関連施設等での SCC や疲労き裂の進展予測評価に関しては、実用上、感度解析も含めて 1 ヶ月程度で終了することが要求される。しかし、現在の数値解析技術をもってしても、解析モデル生成等にマニュアル操作が多く、一解析ケースあたり 4-6 ヶ月程度を要し、実用上問題がある。現在までに複雑な三次元形状をもつ構造に発生したき裂の解析を短時間に行うことや、また、その進展予測をするき裂進展解析はほぼ不可能である。このような問題を解決すべく「次世代き裂進展解析システム」を構築するために、要素技術やシステム化技術に関する情報の共有、さらに、緩やかな連携体制のもとで研究を進めることがこの研究会の目的である。

研究会に参加しているメンバーの多くは、主査・矢川元基教授（東洋大学）をはじめ、計算力学研究センターの研究員や客員研究員【岡田裕（東京理科大学、客員研究員）、河合浩志氏（東京大学、客員研究員）、塩谷隆二教授（東洋大学、研究員）室谷浩平氏（東京大学、元東洋大学計算力学センター）、藤澤智光氏（プロメテック・ソフトウェア、客員研究員）】や学生諸氏である。さらに、柴田悟氏や土居博昭氏（独）をはじめとする原子力安全基盤機構の方々、立石勝氏をはじめ（株）テクノスターの方々、寺田浩二氏や崎原康平氏などプロメテック・ソフトウェア（株）の方々や神田康行氏（現・琉球大学）が参加されてきた。このように、本研究会はき裂進展解析システムの具体的な応用問題に関するニーズをもつメンバー、産業界で使用可能なソフトウェア開発をすることのできるソフトウェア会社と大学研究者メンバーで構成されている。

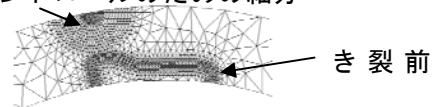
第一回目の会合は、今から約 5 年前の 2005 年 8 月 5 日に日本原子力研究所（現・独）日本原子力研究開発機構）

計算科学技術推進センターで開催された。以降 34 回の会合を行い、メンバー間の緩やかな連携によって様々な基礎的・応用的が行われてきた。筆者自身が関係するだけでも、例えば、神田康行、岡田裕、伊良波繁雄、富山潤、矢川元基（「回転とひずみ自由度を有する一般化有限要素用の仮想き裂閉口積分法」、日本機械学会論文集 A 編、74 巻、740 号、pp. 550-557、2008.）他、数報の原著論文に関連する成果をあげている。

現在までの具体的な研究成果は 2009 年度年次報告書（<http://www.ccmr.toyo.ac.jp/sharedimg/nennpou/nennpou2009.pdf>） pp. 13~20 や 2007 年度年次報告書（<http://www.ccmr.toyo.ac.jp/sharedimg/nennpou/nennpou2007.pdf>） pp. 13~22 に纏められている。また、関連の研究成果も計算力学研究センターHP（<http://www.ccmr.toyo.ac.jp/>）で紹介されている。本研究会における研究成果のハイライトの一つは、神田氏・室谷氏・藤澤氏ら中心になって開発した FMM-VCCM であったと思う。これは、3 次元空間中の複雑形状に対して、自在な局所メッシュ生成が行える FMM（メッシュフリー法）と、3 次元四面体メッシュでの正確な破壊パラメータ計算ができる VCCM（仮想き裂閉口積分法）の融合によって、完全自動 3 次元自動き裂進展解析を実現するものである。例えば図 1 と 2 のような数学形状を持たない初期き裂からの完全自動き裂進展解析を実現している。他にも、本研究会での議論がテクノスター社の FEM プレプログラム TSV-PRE の機能強化に繋がるなど、研究会の活動が各メンバーの業務や研究の発展に寄与してきた。

筆者自身は、本研究会のように緩やかな連携のもと、メンバーどうしが様々な研究協力を行う機会を得たことを大変嬉しく思うとともに、今後できる限り継続して参加したいと考えている。

メッシュコントロールのための細分



初期き裂（任意形状のき裂をモデル可）

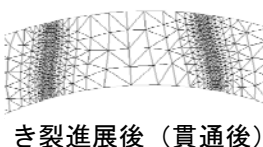
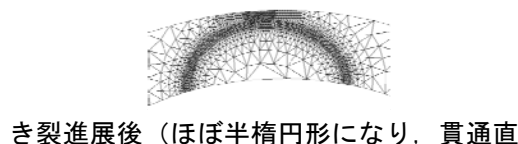


図 2 FMM-VCCM による、SCC き裂進展解析結果（き裂部分クローズアップ）

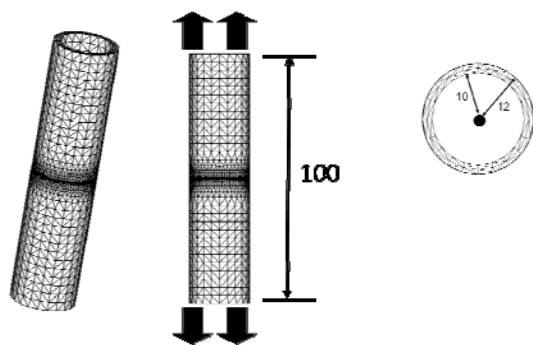


図 1 FMM-VCCM による、引張を受けるパイプの SCC き裂進展解析モデル概要

JACMは24の学協会によって構成されています。今回は、日本AEM学会と日本原子力学会を紹介いたします。

日本 AEM 学会の紹介

榎園正人 (大分大学)

日本 AEM 学会 (Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics: JSAEM, <http://www.soc.nii.ac.jp/>) は、電磁力と電磁現象を核として量子レベルからシステムまでを包含する学術・技術・応用を、国際協力や国際共同研究を通じて行なうことを目的として、1991 年 5 月 30 日に設立されました。日本 AEM 学会では、図 1 に示すようなコンセプトの下、Electromagnetics をベースに、Mechanics、Materials、Numerical Simulation に Chemistry と Medicine の視点を加え分野横断的な研究活動を行っています。19 年前電磁力ダイナミクスシンポジウムに集う電気学会と機械学会の有志を発起人として、誕生しました。人類社会が永続的に発展し続けるため、色々な学術分野との学際・融合的分野を積極的に創成する学会です。この崇高な理念のもと、主たる活動の場を設立当初より海外に置き、ポーランド、チェコ、スロヴァキア、ハンガリー等の中欧諸国をはじめ、ルーマニア、マケドニア、ブルガリア、ギリシア、ケニア、中国、韓国、オーストラリア、ニュージーランドとの間の国際合同シンポジウムを開催し、電磁関連に於ける太いパイプを構築してきました。現在は、これらの各国間の合同会議を基盤とする国際会議として、JAPMED (Japanese-Mediterranean Workshop: 日本・地中海会議)、APSAEM (Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetic and Mechanics: アジア太平洋会議)、KSEEE-JSAEM Conference の 3 つに統合し、隔年毎に主催しています。これまで、JAPMED ではギリシア、日本、エジプト、キプロス、ルーマニアの順で開催され、次回は 2011 年 6 月ハンガリーのブダペストで開催されます。APSAEM はオーストラリア、ニュージーランド、タイと続き、今年 7 月末マレーシアで開催され、次回 2012 年はベトナムのホーチミンで開催予定です。また、ISEM 国際シンポジウム (International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics) は 2011 年 9 月イタリア開催で 15 回目を迎え、主催並びに共催をしてきました。会議報告は JSAEM Study Series と IOS Press より International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics から発行されています。このように機械工学と電気工学を電磁現象というキーワードで繋ぐ世界でも初めての試みとして国際会議からスタートし、20 年を経て電磁力・電磁現象分野を代表する学会として国内外の多くの方に認知されるようになってきました。このような機械工学と電気工学を包括する学会は他に例がなく、日本でしかできなかった学会ではないかと海外からの支持と評価を受け、海外に於いても AEM 学会が設立されてきています。

国内の活動としては、MAGDA (Magneto-dynamics の略) コンファレンスと電磁力関連ダイナミクスシンポジウム (SEAD) を電気学会、機械学会と当学会の輪番で開催しています。毎年、国内会議と国際会議を主催して運営を行っている非常に活動域の広い学会で、会員の高い能力と活動に支えられて発展しています。

来年は日本 AEM 学会創立 20 年目を迎え、この間、電気・機械の分野にとどまらず、電磁応用を核に、材料、バ

イオ、化学、医療の分野にまでおよぶ包括した学会へと発展してきました。また、21 世紀を迎え、かつてない石油価格の高騰によるエネルギー問題、環境問題に遭遇し、その解決に向けた技術課題が山積しています。これらを解決できる有効手段として電磁応用技術の果たす役割は大きく、その技術活用、応用が広く求められています。例えば、高効率・省エネルギーに向けたハイブリッド動力機関、各種条件に対応した発電機、電磁力を利用したアクチュエータ、電磁処理、電磁化学反応、医療分野への電磁治療、そして新しいインテリジェント材料の開発と応用、電磁非破壊・非侵襲評価技術、などが挙げられ、本学会の役割は大きく、会員の方々の活躍がますます求められています。

他方、この分野に対する産業界のニーズは非常に高いにもかかわらず、電気、機械の基盤技術研究が減少し、大学における学生のこの分野への敬遠が懸念されています。このような需要と供給のバランスが壊れていることは深刻な教育上の問題でもあります。私はかつて、電磁応用分野において、機械工学は電流を与えて運動を求めているのに対し、電気工学では電圧を与え、運動は既知として取り扱い、電流を求めていることに疑問を抱きました。私は機械と電気が一緒になって、本質的には電圧を与えて、運動並びに電流を求める系として解く必要があるのではないかと考えています。ここに当学会が位置する重要性があり、他に先駆けて異学問分野が電磁応用技術の基に集結した学会として、境界領域分野に留まる事なく融合した新しい分野を構築する必要が求められています。また、日本国内にとどまるのではなく、広く海外に向けて積極的な取り組みも求められ、この分野の先駆者としての役割を果たしていくことも必要です。

下記に日本 AEM 学会の現体制を紹介します。

会長： 榎園正人 (大分大) JAPMED 担当

副会長： 樋口俊郎 (東大)

石原好之 (同志社大)

論文委員長： 大崎博之 (東大)

編集委員長： 澤田達男 (慶応義塾)

国際委員長： 山田外史 (金沢大) APSAEM 担当

表彰委員長： 山田興治 (埼玉大)

高木敏行 (東北大) ISEM 担当

前会長： 谷 順二 (東北大)

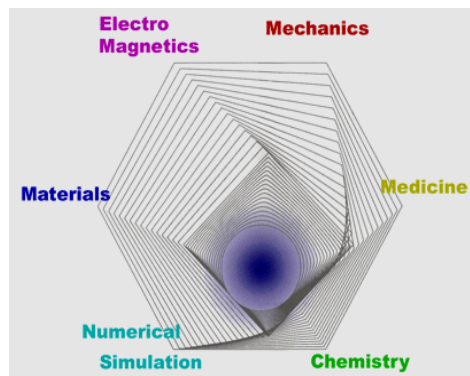


図 1 日本 AEM 学会のコンセプト

日本原子力学会の紹介

原子力とシミュレーション：日本原子力学会の活動と計算科学への期待

山口 彰 (大阪大学)

日本原子力学会 (<http://www.aesj.or.jp/>) は、「原子力の平和利用に関する学術および技術の進歩をはかり、会員相互および国内外の関連学術団体等との連絡協力等を行ない、原子力の開発発展に寄与すること」を目的として、昭和 34 年 2 月 14 日に設立された。約 8000 名の会員を擁し、毎年、春の年会と秋の大会を開催し、それぞれ約 1400 名の参加者、700 件程度の研究発表が行われる。

原子力分野は計算科学技術の大きな牽引者であり続けた。それは、大規模かつ複雑な原子炉システムは高度の安全性が要求され、それを確認する手段として実験とあわせてシミュレーションを用いることの重要性が開発の当初から認識されていたからである。そこで、大規模な解析コードがいくつも開発され、長年にわたり設計や安全評価に用いられてきた。例えば、原子炉システムのまさに核心である核設計、炉心燃焼を計算する炉物理シミュレーションであり、炉心で発生するエネルギー輸送を計算する伝熱・流動シミュレーションであり、そして、核動特性と伝熱・流動、システム制御をカップリングしたシステム動特性シミュレーションである。原子力コードの開発と整備を目的とし、高度情報科学技術研究機構の原子力コードセンター (<http://www.rist.or.jp/nucis/>) には 1000 件を超える解析コードが登録・利用されているが、1970 年代から 1980 年代に登録されたものが多い。

1979 年の米国スリーマイルアイランド原子力発電所の事故、1986 年の旧ソ連のチェルノビル原子力発電所の事故を境に原子力は停滞期を迎え、原子力分野におけるシミュレーション応用は足踏みをしているようにも見える。しかし、この間にもアジアなどでは原子力発電所の新規建設が続いてきたし、米国や欧州は既存の原子力発電所の稼働率向上や、出力向上（原子炉の出力を 5% から 20% 程度増加させて運転すること）により、実質的に新規建設と同等の恩恵を得ている。それならば、原子力分野のシミュレーションに対する期待は 1990 年頃で飽和したのであるか。

計算科学の研究者には周知のムーアの法則は、半導体チップの集積度、つまり、計算機のピーク性能は 1.5 年ごとに 2 倍になるという経験則である。ここ 20 年の間に計算機性能は 100 万倍ほどになっている。20 年前のシステム動特性コードはおおよそ一次元の要素を組み合わせでプラント全体をモデル化していた。空間分割の数はたかだか 10^3 程度であった。単純な外挿は成り立たないのを承知で敢えて書けば、100 万倍の性能の計算機を手に入れば 10^9 の空間分割ができる。これは一方向に 1000 分割、原子力プラントのスケール（原子炉容器は 10m のオーダー）を考えれば、1cm のメッシュを使うことができる。原子力分野で重要な流れスケールや形状スケール（例えば燃料ピン直径は 1cm オーダー）によりやく到達した。

この 20 年間は、原子炉のスケールと計算機の性能が整合し、シミュレーション技術が高度化するために必要な熟成の期間であった。この間、計算科学技術は大きく進展した。平成 14 年 6 月には、日本原子力学会に計算科学技術部会が設立された (<http://csed.genshiryoku.com/>)。設立趣意書には、以下のとおりその意義が述べられている。「計算科学の発達により、人工物の設計を実験に大きく頼らず、計算科学に基づき研究・設計しようという動きが近年高まっています。そこで原子力の分野においても、計算科学に関わる伝熱流動、中性子物理、材料、構造、電磁気、耐震、環境、並列計算機技術、CAE、ベンチマーク活動等について、共通した議論の場を提供すべく、設立されました」

先に原子力システムは高度の安全が求められると述べた。高い信頼性を備えたシミュレーションが求められるのである。高い信頼性とは、検証がしっかりなされていること、不確かさが十分に考慮されていることである。このためには、物理モデル、数学モデル、離散化モデルの妥当性を示すことが必要であり、要素レベル、システムレベル、プラントレベルのそれぞれにて体系的な実験により検証される必要がある。また、入力データやモデルなどの不確かさを適切に考慮し、シミュレーション結果の不確かさを理解する統計的安全解析手法が導入され学会標準として発行された (<http://www.aesj.or.jp/sc/s-list/S001-2008.html>)。これらと呼応して、本年からシミュレーション信頼性ワーキンググループが計算科学部会のもとに発足し、活動を開始した (<http://csed.genshiryoku.com/?cat=8>)。

現象を記述するための空間的・時間的分解能を向上させて高い精度を得ることに加え、シミュレーションの検証度を高め品質保証すること、不確かさを評価するための統計的な考え方を導入することが原子力分野のシミュレーションには求められる。計算機性能が 20 年前から 100 万倍に向上した今、このような要求に応える方法が現実味を帯びてきた。原子力分野において計算が実験にとって変わるあるいは実験と同等の信頼度を持って受け入れられる時代になった。

実験では知ることのできない燃料集合体内部流れの微細構造のシミュレーションを図に示す。原子力分野において、計算科学・計算工学の果たす役割はきわめて大きい。日本原子力学会は、計算科学技術部会を中心に、計算科学技術を原子力分野に活用する活動を推進するものであり、JACM との連携強化に努めたい。

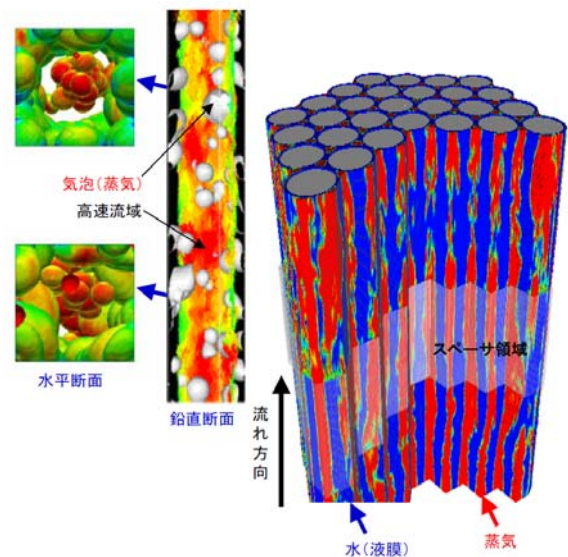


図2 原子炉の炉心の中の二相流構造のシミュレーション
(計算科学技術部会ニュースレター 第5号より)

編集責任者

宮崎 則幸 (京都大学)