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.47 November, 2011

目次

特集・計算の品質 ……2
- 今なぜ品質なのか　白鳥正樹
- シミュレーションが果たす役割の大きさ　越塚誠一
- 工学シミュレーションの品質マネジメント　吉田有一郎
- 工学シミュレーションの標準手順　中村　均
- Verification & Validationの定義の変遷　堀田亮年

特集・京コンピュータの活用と期待 ……11
- 京速コンピュータ「京」の現状　横川三津夫
- 京コンピュータによる革新的な航空機開発への期待　中橋和博
- 京で実現する自動車用次世代非定常空力シミュレーション　坪倉　誠
- 原子力施設等の大型プラントの次世代耐震シミュレーション　山田知典
- 大規模な計算機を使いこなす総合技術　小野謙二
- 「京」の産業利用推進におけるFOCUSスパコンの役割　西川武志

部門研究会より ……23
- 設計情報学研究会のキックオフ　大林　茂

部門からのお知らせ ……25
- 2012年度年次大会の部門企画について　下川智嗣
- 25周年記念（2012年度）計算力学講演会国内会議のお知らせ　平野　徹
- 25周年記念国際会議ICMS2012のお知らせ　姫野龍太郎、岡田　裕
- 第89期計算力学部門役員名簿

†

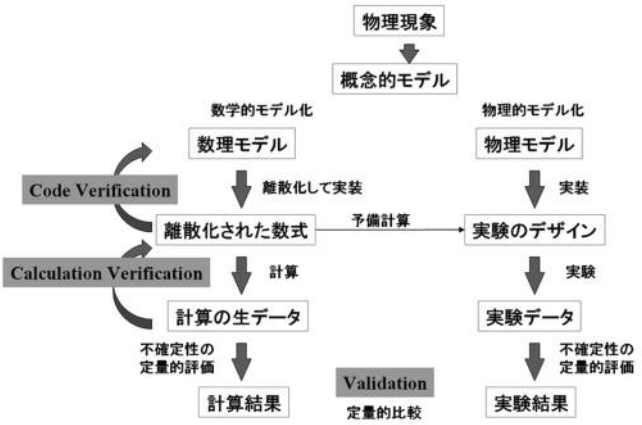
特集・計算の品質

今なぜ品質なのか

白鳥　正樹
横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター

ASME（米国機械学会）の会誌“Mechanical Engineering (Vol.133/No5 May 2011)”をぱらぱらとめくっていたら、“NO testing allowed”と言うタイトルが目に飛び込んできた。サブタイトルに“nuclear stockpile stewardship is a simulation challenge”とある。中身を読んでみると、次世代の核開発に関する記事である。核軍縮の機運が高まる中、次世代の核爆弾の開発には核実験は出来ない、実験をしないでシミュレーションだけで開発は可能か、可能にするための方策はなにか、と言う問いかけがあり、これに応えるための大きなプロジェクトが展開されていることが述べられている。原子核反応から、熱・流体挙動、構造の破壊、爆発のおよぶ範囲とその影響度等、まさに典型的なマルチスケール、マルチフ

ィジックス問題であるが、シミュレーションのみでこれを正しく予測できるか、と言う問題提起であると理解した。そして米国はこの問題の解決のために多額の研究開発投資を行い、次世代スパコンの開発をはじめとする様々なシナリオからなるプロジェクトを立てて米国の頭脳を集めて真剣に取り組んでいる。ハードの面はさておいて、ソフトの面での最大の課題は“計算の品質”の問題である。開発されたソフトウェアの検証（Code Verification）、そのソフトを使って行われる計算の検証(Calculation Verification)、このようにして得られた結果の妥当性確認（Validation）、そしてこのようなVerification & Validation（略してV&Vという）を行った後になお残る不確かさの特定とその定量化（Uncertainty Quantification）等、これらの問題を個別具体的に解決していかない限り目的は達成されない。ASME Code Committeeがこのところかなり力を入れてこの“計算の品質保証”の問題に取り組んでいる背景には、上記のような問題もあることが伺われる。



ASME V&V 10-2006におけるVerificationとValidation

翻ってわが国では……

3.11の東日本大震災における原発事故の際に大活躍をするはずであった放射能影響予測シミュレーションソフトSPEEDIは、残念ながらその大役を果たせなかった。後から聞くエクスキューズは、ソフト自体は正しくコーディングされているが、入力データすなわち水素爆発の規模とそこに含まれる放射性物質の種類と量がわからなかった、これはソフト開発者の責任ではなくユーザーの責任である。そうであろうか？　そもそもこのようなソフトの場合、開発段階でどのような入力データが予測されるのか、またその入力データの信頼性（品質）はどの程度のものかという分析がなければ、大金を投じてこのようなソフト開発を行う意味はない。ソフトの開発に携わる者はあらかじめユーザーと充分なコンタクトを取って、開発されるソフト自身の品質のみならずそのソフトを使って行われる計算の品質の問題にまで充分に心を砕いて配慮すべきである。

ビジネスの世界では、ソフトウェアベンダーとユーザーとの緊張関係の中でこのようなやり取り、すなわち計算の品質を改善していくための努力が日常的に行われているものと理解している。競争的環境の中で、このような努力を怠るベンダーは生き残れない。

これまでわが国では大規模高速解析（High Performance Computing, HPC）の開発に大きなお金が投じられてきた。HPCの発展により新たな科学的あるいは工学的知見が得られ、グローバルな競争の中で世界トップの地位を獲得するためにはHPCの更なる発展に国はもっと資金を投入すべきである、と言う意見もうなずける。高品質の計算（High Quality Computing, HQC）と言う観点から見てもHPCはHQCを達成するためのきわめて重要なツールである。

しかしHPCだけではHQCは達成されない。HPCは計算の中核をなすエンジンには違いないが、エンジンだけがどんなに優れていても車は走らない。シャシー、ボディー、サスペンション、ブレーキ、電装機器等が組み合わされた総合的システムのバランスが優れた車が、最大の能力を発揮する。これを計算に敷衍すれば、エンジンとしてのソルバーの能力を上げるだけでなく、解析モデルの作成、離散化近似の方法、入力データの品質保証、境界条件の与え方、計算結果の可視化とその評価等、計算そのものの周辺で行われている作業を標準化して品質が保証されるしくみを作っていくことが重要である。このあたりの議論については日本学術会議工学設計と計算科学分科会報告「ものづくり支援のための計算力学シミュレーションの品質保証に向けて」
(http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/2011.html)を参照されたい。

ものづくり現場における計算の品質に関する議論は、日本計算工学会において2年ほど前に「HQC研究分科会」を設置していただき、その中でわが国の産業界の動向及び海外の動向の調査を行うと共に、わが国における計算の品質保証のあり方について議論を行い、このほど品質マネジメントに関する2冊のガイドラインを上梓することが出来た。本特集においてその活動の一端を紹介したい。

なお日本機械学会においては、計算の品質を保証する最も重要な因子は計算に携わる技術者の力量を高めることである、との認識の下に“計算力学技術者認定制度“が2003年に設置され、計算力学部門が中心となって力量認証の活動が活発に行われてきた。このような活動を中核としてさらにHQCの重要性に対する理解が深まり、それを達成するための努力が払われることに期待する次第である。

シミュレーションが果たす役割の大きさ

越塚　誠一
東京大学 工学系研究科 システム創成学専攻

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、マグニチュード9.0という我が国観測史上最大の地震によって、東北地方から関東地方にかけて甚大な被害が発生した。特に、太平洋に面する海岸地帯の広い範囲を襲った津波の威力はすさまじかった。警察庁の広報資料によれば8月10日時点において、死者15,689人、行方不明者4,744人である。福島県の太平洋沿岸に立地していた東京電力福島第一原子力発電所では、津波によって多くの機器が冠水して機能を失い、6基の原子炉のうち運転中であった3基すべてにおいて炉心損傷に至る大事故が発生した［1］。8月の時点でまだ炉心冷却は十分に安定しているとは言えず、避難区域の解除はまだ先になると思われる。なお、避難区域は福島第一原子力発電所から半径20km圏内であり、区域内の人口は約78,000人である。その外側の放射線量の高い地域に対しては計画的避難区域が設定されており、人口は約10,000人である。

原子力発電所では津波に対して安全性が確保されなければならなかった。これは、原子力安全委員会が定めた「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」の指針２「自然現象に対する設計上の考慮」の2「地震以外に想定される自然現象」として要求されている。さらには、2006年に原子力安全委員会が改訂した「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」においては、津波が地震随伴事象として明確に位置づけられるとともに、既存の原子力発電所に対しても再評価（バックチェック）が指示された。

文献［1］によれば、福島第一原子力発電所では設置許可申請書における想定津波水位は3.1mであった。2002年に土木学会より「原子力発電所の津波評価技術」［2］が発行され、これに基づいて再評価することにより、想定津波水位は5.4-5.7mに引き上げられるとともに、この想定に対して安全性が損なわれないよう海水系ポンプ等の据付高さがかさ上げされている。しかしながら、東日本大震災において福島第一原子力発電所を襲った津波の水位は14-15mであった。

「原子力発電所の津波評価技術」［2］では、まずプレート境界付近での地震による津波、および海底活断層調査や文献調査によって想定される津波を考慮して、対象津波を抽出する。そして対象津波に対する基盤断層モデルが設定され、浅水波方程式のシミュレーションによって津波の伝播解析を行い、対象沿岸地域における津波水位を算出する。さらには、パラメータスタディによって様々な不確定性を考慮する。一方、シミュレーションの妥当性については、既往津波の痕跡高が再現できることをあらかじめ確認しなければならない。その時にメッシュサイズについても適切な大きさが決められる。このように、原子力発電所の津波水位の想定においては、妥当性確認を経たシミュレーションを用いるべく、手順が整備されていた。

再び文献［1］の記述に戻ると、福島第一原子力発電所では想定水位を大きく上回る津波によって、敷地高4mに設置されていたすべての海水ポンプが冠水し、機能しなくなった。海水による冷却系は、原子炉停止後の炉心および核燃料貯蔵プールで発生する崩壊熱の逃がし先というだけでなく、水冷の非常用ディーゼル発電機を動かすためにも必要である。さらに、敷地高10mの1～4号炉のタービン建屋や原子炉建屋も浸水し、ほぼすべての電源盤が使用不能になった。1, 2号炉では蓄電池による直流電源さえも機能を失った。5、6号炉（敷地高13m）では空冷のディーゼル発電機1台が使用可能だったため、核燃料貯蔵プールの冷却を維持することができた。1～4号炉に対しても空冷のディーゼル発電機が2台設置されていたが、どちらも浸水により機能を失っている。外部電源は地震により全て失われている。

福島第一原子力発電所の約10km南に立地していた福島第二原子力発電所では、想定津波水位の5.1～5.2mに対して6.5～7mの津波が押し寄せた。1～4号炉のすべてが運転中であったが、海水系のうち3号炉の1系統が浸水被害を免れ、その電源盤を使って緊急の復旧作業を行うことですべての号機で原子炉停止後の除熱を回復させ、炉心損傷は回避された。東北電力女川原子力発電所では、想定津波水位は9.1mであり、今回の津波では13mの水位に達した。しかしながら、原子炉建屋の敷地高は13.8m（14.8mから地震により1mの地盤沈下があった）だったため、津波は原子炉建屋に達しなかった。ただし、ピットを伝わって海水ポンプの1台が冠水するとともに、そこからさらにトレンチを通じて原子炉建屋の地下の一部も浸水した。定格運転中の2基および起動直後の1基は安定的に冷却が維持された。日本原子力発電東海第二発電所では、想定津波水位が4.86mから5.72mに引き上げられ、浸水対策強化の工事中であった。そこに今回の津波が押し寄せ、痕跡高は5.0～5.4mに達した。ケーブルピットを伝わって海水ポンプ室が浸水し、3台のディーゼル発電機のうち1台が機能を失った。外部電源も全て失われた。残りの2台のディーゼル発電機の電源を使うことで運転中だった原子炉を冷温停止させることができた。

このように、東日本の太平洋沿岸の原子力発電所を比較すると、想定津波水位に対して来襲した津波水位が、福島第一原子力発電所において大きな差があった。女川ではほぼ福島第一と同じ津波水位であったが、想定についても高く、原子炉冷却機能は維持された。福島第二や東海第二では、想定は低かったが襲われた津波の高さも相対的に低かったため、同

様に原子炉の冷却機能が維持された。すなわち、津波水位の想定とこれに基づいた浸水対策がいかに重要であったかがわかる。津波のシミュレーション技術が今回の原子力発電所の事故に大きく関わっており、その信頼性に対する技術者の責任の重さを感じる。

福島第一原子力発電所で発生した事故の原因については、内閣官房に設置された「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会」が調べている。委員会の下には事務局があり、３つの班（社会システム等検証チーム、事故原因等調査チーム、事故拡大防止対策等検証チーム）に分かれている。想定津波水位の評価手順の適切性、個別の評価に対するレビュー、最新知見の考慮など、事故原因の１つと考えられる津波想定に関する技術的な側面と意思決定の側面が関係者のヒアリングも含めて調査されている。

事故の約1ヶ月後の4月13日に、経済産業省原子力安全・保安院は東京電力に対して、津波に対する詳細な分析を指示し、これを受けて7月8日に東京電力は分析結果を報告している。そこには、東日本大震災の津波波源モデルが示されている。さらには、福島第一と福島第二ではわずか10kmしか離れていないにもかかわらず、なぜ2倍もの水位の違いが生じたのかが説明されている。すなわち、今回のような広範囲の波源ではそれぞれの局所的な波源からの波の重畳によって津波の波形が形成され、これが福島第一ではたまたま波高が高くなるような重なりとなったと説明されている。シミュレーション結果によれば、水深150mの地点で、福島第一では約7m、福島第二では約5mの波高であり、さらに水深が10mまで浅くなると、それぞれ2.1倍および2.0倍に波高が高くなると記述されている。このような不確実さは、津波想定の中で十分に考慮される必要があった。

原子力安全の一般的な考え方によれば、想定津波は設計基準事象に相当する。原子力発電所は設計基準事象に対しては安全性が損なわれることがあってはならない。さらに、設計基準を超える事象についても、リスクの観点から対応がなされていなければならない。どのような設計基準事象を想定したとしても、それを超える可能性はゼロではないので、確率論的リスク評価(Probabilistic Risk Assessment, PRA)を実施して、炉心損傷頻度が十分低くなるような対策が求められている。「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」においては「残余のリスク」として合理的に実行可能な限り小さくする努力が求められている。

文献［1］によれば、津波のリスク評価については、東日本大震災が発生した時点で手法の整備がなされておらず、試解析が行われたという状況にとどまっていた。現在、日本原子力学会において津波PRA標準の作成を急いでいる。

PRAでは計算結果が確率として得られる。こうした確率として得られる計算のV&V(Verification and Validation)はどうあるべきであろうか。例えば、天気予報は身近な確率論的シミュレーションである。明日雨が降る確率が80%であった場合、その信頼性は例えば実際に雨が降ったかどうかを確認すればよさそうである。これまでに、明日雨が降る確率が80%と予報を出したケースを集め、実際に翌日に雨が降ったのはどの程度であったかを見る。これが80%であれば、確率的な予測は信頼できると言えそうである。しかし、日本の平均降水確率を翌日に雨が降る確率であるとして常に発表すれば、絶対に予測が外れることはない。ただ、そのような予測は誰でもできるし、予測とは言えないであろう。確率論的な計算では、予測として意味があるかどうかの後にV&Vを位置づける必要があると考えている。確率論的なシミュレーションのV&Vは今後の課題である。

さらに原子力安全のPRAでは、炉心損傷頻度の絶対値をもって原子力発電の安全性が議論されてきた。炉心損傷頻度とは、今回の事故のように炉心が大きく損傷して放射性物質が燃料の外に大量に漏れ出す確率である。炉心損傷頻度が社会的に受け入れられる確率は10^{-4}［回数/炉年］であろうか10^{-5}［回数/炉年］であろうかというような議論である。ここで、単位の［回数/炉年］中の炉年の意味は、1基の原子炉が1年間運転する状態であり、例えば炉心損傷頻度が10^{-4}であれば、世界に500基の原子炉があるとすると、20年に1回の頻度で炉心損傷が起きることを意味する。

PRAの計算によって得られた炉心損傷頻度は、仮定したシナリオが不完全な場合には相対値を議論するのに留めなければならない。システムAとBでどちらがより安全か、という議論のために用いるということである。原子炉の安全性を、例えば交通事故や喫煙のリスクと比較するためには、PRAの計算結果の絶対値が必要である。

今回の福島事故では3基の原子炉が炉心損傷だけでなく格納容器破損にまで至ってしまった。津波PRAは手法が未整備だったわけであるが、津波のリスクが他の事象と比べて無視しうる程度に低いのであれば、そのリスクを考慮しなくても絶対値の議論ができるわけだが、そうではなかった。例えば、1000年に1回の津波とは10^{-3}であるから、PRAの観点からは無視することが決して許されない。また、V&Vとしては、このような発生確率の小さい事象をどのように妥当性確認したらよいのか、という課題がある。１つは個々の事象の発生確率が正しいのかという視点と、もう１つはある確率を上回る事象を全て網羅できているかという視点である。前者は、地震であれば断層の調査、津波であればこれに加えて津波痕跡物の調査によって信頼性を上げられるであろう。問題は後者である。

今回の福島事故に対して、原子力安全に関わってきた研究者としては、これまでのPRAにおける絶対値に大きな見落としがあったことを深く反省しなければならない。また、今後の議論においては福島事故を踏まえたPRAの絶対値の見直しとともに、その数値の不確実さについても厳格にV&Vを適用することによって評価し、示さなければならない。

参考文献

［1］原子力災害対策本部「原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書―東京電力福島原子力発電所の事故について―」平成23年6月
［2］土木学会原子力土木委員会津波評価部会「原子力発電所の津波評価技術」平成14年2月

工学シミュレーションの品質マネジメント

吉田　有一郎
東芝インフォメーションシステムズ株式会社

1 はじめに

日本計算工学会HQC研究分科会は、シミュレーション業務を実施する組織にISO9001品質マネジメントシステムを適用した場合に必要になる補足的な要求事項をまとめた「工学シミュレーションの品質マネジメント（JSCES S-HQC001）」（以降HQC001と表記）及びシミュレーション業務における要求事項を具体的な作業プロセスに展開した「工学シミュレーションの標準手順（JSCES S-HQC002）」（以降HQC002と表記）の2冊の学会標準を開発した。ここでは、HQC001の概要を紹介する。

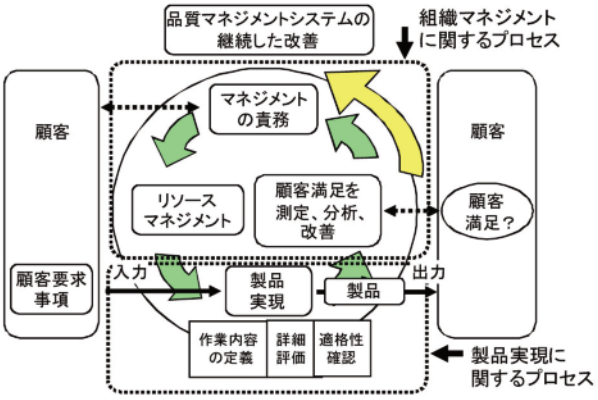
2 工学シミュレーションの品質マネジメント

HQC001は「I　ISO9001に基づく工学シミュレーションの品質マネジメント」及び「II　工学シミュレーションの要求事項－工学シミュレーションにおけるISO9001:2008の要求事項の補足」より成る。

図１に示すISO9001品質マネジメントシステムの目的は、Plan, Do, Check, Act（PDCA）のサイクルを回すことにより組織能力を高め、製品の品質を保証し顧客要求事項を満たす（顧客満足を得る）能力を向上し、品質マネジメントシステムの有効性を継続して改善することである。シミュレーションを業務とする組織にISO9001品質マネジメントシステムを適用しシミュレーションの品質保証を図ることができる。

ISO9001品質マネジメントシステムのマニュアル体系と工学シミュレーションの品質マネジメントに関するマニュアルの関係を図2に示す。シミュレーション業務を実施する組織のISO9001品質マネジメントシステムにおいて、HQC001は品質マニュアルの基になるマニュアルであり、HQC002は業務マニュアルの基になるマニュアルである。IIは文献［1］を参考にして開発した。IIの目次はISO9001品質マネジメント要求事項［2］と同一だが、ISO9001品質マネジメント要求事項を上書きするものではなく、補足事項を示している。IIの目次を以下に示す

まえがき
序文
1　適用範囲
2　引用規格
3　用語及び定義
4　品質マネジメントシステム
5　経営者の責任
6　資源の運用管理



Plan, Do, Check, Act のサイクル

図1　ISO9001品質マネジメントシステム

7　製品実現
8　測定、分析及び改善
附属書A　工学シミュレーションのプロセス
附属書B　（参考）重要性の区分と解析者に要求される最低限の経験
附属書C　（参考）シミュレーション要員の力量管理

3 用語の定義

3 用語及び定義 ではHQC001で使用する用語を定義している。いつくかの重要な用語の定義を以下に示す。

(1) 検証：検証とは、客観的な証拠を提示することによって、規定要求事項が許容範囲内で満たされていることを確認

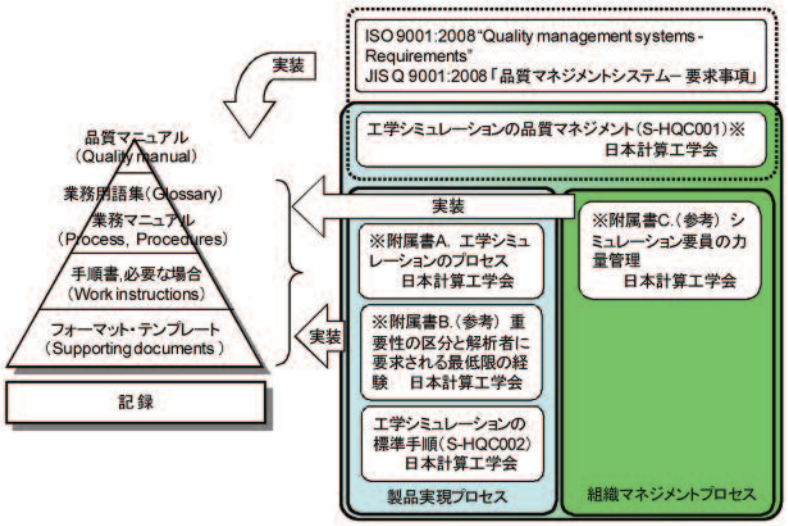


図2　ISO9001品質マネジメントシステムのマニュアル体系と工学シミュレーションの品質マネジメントに関するマニュアルの関係

することを言う。例えば、ソフトウェアの検証は、シミュレーションソフトウェアが正しい理論的基礎を有し、定義された機能的仕様を満たしていることを実証することが要求される。シミュレーションの検証は、シミュレーションのデータが正しく作成され入力されて計算が適切に実行されていることを確認することが要求される。

（2）妥当性確認：妥当性確認とは、すべての検証が完了し、また、意図された用途又はシミュレーションの適用に関する要求事項が許容範囲内で満たされていることを確認することを言う。シミュレーションの妥当性確認の範囲には、問題の理想化、データ、数値的近似及び結果の解釈が含まれる。

（3）適格性確認：適格性確認とは、規定要求事項を満たす能力があることを証明することを言う。製品の適格性確認は認定と呼ばれることもある。定常的なシミュレーション業務では、実験あるいは参照解析が存在し、シミュレーションにおける問題の理想化、シミュレーションソフトウェアの使用、及び結果の工学的解釈の、妥当性と適格性が確認される場合がある。この場合、シミュレーションの手順とプロセスは適格性確認された手順とプロセスになる。このような定常的なシミュレーションは、適格性確認された手順とプロセスを採用しているという理由で（実験や実験の代替え物との比較無しに）妥当性確認が可能と考えられる。

（4）参照解析：参照解析とは、既存の工学的対象の、目的に適したシミュレーション結果であることが独立した手段（例えば実験及び実験の代替え物）で確認できるシミュレーションである。参照解析は、シミュレーションソフトウェアの実行だけでなく、すべての適切なシミュレーションプロセス、例えば、問題の理想化、数値近似、結果の解釈に適用できる。参照解析は、同様の状態にある類似の工学的用途（シミュレーションの対象物）に対しては、シミュレーション手順の適格性確認に使用できる。

（5）重要性の区分：重要性の区分とは、シミュレーションの重要性の区分をいう。重要性の区分は、「工学的用途の評価における工学シミュレーションの重要性」及び「工学的用途の破損を、人間の生命に対するリスクと機能不全のコストという観点から見た場合の重要性」の両方から決まる。

HQC001では附属書Bの中で、重要性の区分の定義の一例をA～Cのとおり示している。重要性の区分の目的は、解析の目的・工学的用途が該当する重要性の区分に応じて、必要となる品質保証プロセスの程度を決め、必要以上に厳しい品質保証プロセスの採用を避けることである。HQC001で述べているシミュレーションの品質保証プロセスは「A シミュレーション区分1－極めて重要」の場合も適用可能である。したがって、より重要性の低い適用事例については、必要に応じて適宜、顧客と合意した適切な品質保証プロセスを採用すべきである。

Aシミュレーション区分1－極めて重要　シミュレーションは製品の設計における評価の必須要件になっており、製品の機能不全又は故障が、人間の生命を危険に置くか、又は、財産や環境を公共と言える規模の災害にさらす。

Bシミュレーション区分2－重要　シミュレーションは製品の設計における評価の必須要件にはなっていないが、製品の故障が少なくとも人間生活に重大な危険を引き起こすか、あるいは、供給者の通常の法的責任範囲を超えた損害を引き起こすようなものになり得る。

Cシミュレーション区分3－助言的　シミュレーションは製品の設計において参考となる工学的評価として使用される。

4 工学シミュレーションのプロセス・シミュレーションソフトウェアの精度検証・シミュレーション要員の力量管理

HQC001を構成する重要な3つの要素は（1）工学シミュレーションのプロセス、（2）シミュレーションソフトウェアの精度検証及び（3）シミュレーション要員の力量管理である。

（1）工学シミュレーションのプロセス：工学シミュレーションのプロセスは7製品実現 で述べている。

（2）シミュレーションソフトウェアの精度検証：シミュレーションソフトウェアの精度検証は、シミュレーションソフトウェアの購買時及び運用時に検証すべきことを7.4.3購買製品の検証 で述べ、シミュレーションソフトウェアの識別及び検証の詳細については7.6監視機器及び測定機器の管理 で述べている。

（3）シミュレーション要員の力量管理：シミュレーション要員の力量管理は6.2.2 力量、教育・訓練及び認識 で述べている。シミュレーション要員の訓練の必要性を明確にし、訓練手順を確立すべきことを述べている。シミュレーション要員の力量を証明するための項目には以下の項目がある。

- 学術的なあるいは専門的な適格性確認（大卒又は技術士）
- 当該の工学的用途に関する知識
- 工学的用途の現象をモデル化しシミュレーションをする知識
- ソフトウェアの制限についての理解

5 おわりに

日本計算工学会HQC研究分科会「工学シミュレーションの品質マネジメント（JSCES S-HQC001）」の概要を紹介した。シミュレーションの品質を確保し、シミュレーションがもたらす経済的価値を確実にすることは企業の重要課題である。是非、HQC001、HQC002の活用をご検討頂きたい。

参考文献

［1］J.M. Smith, NAFEMS Quality Standard Supplement 001, NAFEMS,（2007）
［2］日本規格協会編, 対訳ISO9001：2008 品質マネジメントの国際規格, 日本規格協会,（2009）

工学シミュレーションの標準手順

中村　均
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

構造解析や流体解析を行う解析技術者にとって自分が実施した解析が正しいことを証明することは日々の切実な課題である。本人が正しいと考えたとしても、客観的にそれを説明できなければ、組織として結果を利用することはできない。30年あるいは20年前のFEMやCFDの創成期から普及期においては解析業務は設計の経験のある一握りの専門家によって行われており、設計式と比べる等の検討が自然と行われていた。ベテランの解析技術者にとって、このような検討は自らの仕事に責任を持つための必然であり、いまさらV&V（検証と妥当性確認）という用語で説明されるものではない。

しかしながら1990年代以降、洗練されたプレポストを含む解析システムが開発され、大型計算機の衰退とPCやEWSの急速な普及もあって、解析技術者のすそ野と工学シミュレーションの適用範囲が一気に拡大した。各企業では、解析要員と設計要員の分離、設計の経験のない解析要員の増加、メッシュ作成等の分業化がどんどん進み、以前のような属人的な品質管理に頼ることができなくなり、品質管理の標準化が望まれるようになってきた。

このような事情は海外においても同じであり、1990年代に英国NAFEMSにより構造解析の品質管理の標準であるSAFESA[1)]が開発された。SAFESAは設計解析における対象の記述、理想化、モデル作成、計算、適格性確認に至る工程における綿密な標準手順を定めている。SAFESAは各工程における不確かさ、誤差を管理しながら作業を進め、解析結果の適格性を論理的に証明することに力点が置かれている。SAFESAではV&Vという表現はされていないが適合性確認（Consistency check）と妥当性確認という用語が同様の意味で使われている。この後、同じくNAFEMSからISO9001[2)]に準拠した解析の品質保証の要求基準であるQSS001[3)]が発行されているが、V&Vの定義、特に妥当性確認の記述はSAFESAを継承している。

日本においては1990年代以降、製造業やソフト業界を中心にISO9001の認証取得が盛んに行われている。特に製造業では認証範囲に解析業務を含んでいる事例もあると予想されるが、V&Vを含め各社独自にISO9001を解釈して業務マニュアルを作成しているものと推察される。

このような背景の中で、白鳥正樹主査（横浜国大）の元に問題意識を共有している技術者が集まり、HQC（High Quality Computing）研究分科会(日本計算工学会）を組織して解析業務の標準化のための活動を行ってきた。その活動の成果と一つとして、このほどISO9001に基づく品質保証のための2つの標準を発行した。本報ではこれらの内、「工学シミュレーションの標準手順（JSCES S-HQC002）」（以降HQC002と表記）の内容について報告する。

標準手順

HQC002は、解析を請け負う企業又は部門が、それぞれ顧客又は設計部門等から解析業務を受託することを想定した記述になっており、図1に示すように、契約内容の確認からデータの保管までの一連の工程を含んでいる。

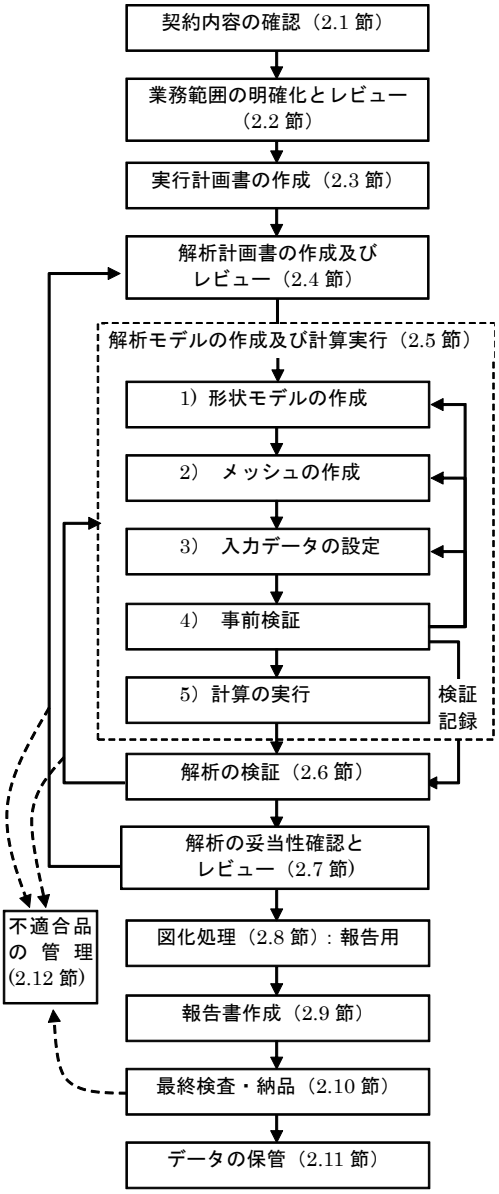


図1　解析業務の標準的な実施手順
（図中枠内の番号はHQC002の節番号を示す）

HQC002では、品質保証の基本的な原理である検証と妥当性確認（V&V）を基軸とする品質保証プロセスの実務的な適

用方法を示すという観点から、特に下記の事項を重視して解析業務の実施手順を記述している。

- 解析の目的、つまり顧客の用途をよく理解した上で、解析計画を立案する。
- 解析計画書にV&Vの実施計画を盛り込む。
- 本解析の前に、解析モデルの検証を行う事前検証と本解析の検証結果を合わせて系統的な検証を実施する。
- 妥当性確認では、独立した方法に基づいて解析結果の妥当性を論証する。
- 定型解析では、解析プロセスの妥当性確認による品質管理を適用することを推奨する。

解析業務のV&V

ISO9001では検証は「規定要求事項を満たすことを確認」そして妥当性確認は「特定の意図された用途又は適用に関する要求事項が満たされていることを確認」と記述されている。製品を作るためには、まず顧客要求を言葉にして規定する必要がある。この規定要求事項つまり仕様の通りに製品が作られたことを確認することが検証である。しかしながら仕様が顧客の要求を完全に表現している保証はない。仕様通りに作られた製品が実環境では機能しないかもしれない。それを確認するのが妥当性確認である。

工学シミュレーションとは、図2上に示すように実世界の実体をまず言葉によって規定し、それを数学モデルにより理想化して数値モデルに置き換え、計算することによって挙動の予測結果を得ることである。実体を言葉で記述し理想化する過程で、形状や材料特性や荷重の不確かさ、そして理想化に伴う不確かさ・誤差が入り込んでくる。さらに数値モデルを作成し計算する過程で、入力の誤りや数値計算の誤差が解析結果に入り込み、実体との挙動の差異を生じさせる。不確かさ・誤差を管理し挙動の差異の程度を保証することが工学シミュレーションの品質保証である。

この過程を解析業務の工程で見てみると、図2下に示すように、解析対象及び顧客ニーズから業務内容を規定する解析仕様書を作成し、さらに技術的方法を規定した解析計画書を作成した上でFEMモデルを作成し、解析結果を報告書にまとめる工程に対応する。検証とは仕様書及び計画書で規定した通りに「正しく」解析が行われたことを確認することであり、妥当性確認とは解析結果が実体を表している度合が顧客要求に対して許容できるか、つまり「正しい」解析が行われたかを判定する活動である。

HQC002ではV&Vの工程を次のように記述している。

- 検証：計画した解析が、論理的及び数値的に正しく行われたことを確認する工程であり、問題が検出されれば、入力データを修正していく。
- 妥当性確認：入力データ及び数値計算における一連の検証過程を確認した上で、問題の理想化及び解析結果が、顧客の意図した用途に対して許容される範囲で妥当であることを確認する工程であり、問題が検出されれば、理想化の仮定に戻って解析モデルに修正を加えていく。

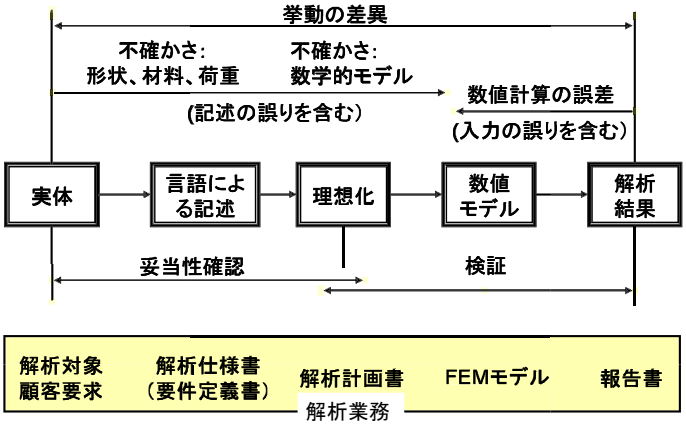


図2　工学シミュレーションの過程と解析業務の工程

妥当性確認は、問題の理想化の過程の誤差を管理するプロセスであり、解析対象を規定して解析モデルや解析方法を決定するまでの工程のチェックが含まれているが、解析結果の有効性を保証するためにはそれだけでは不十分である。そこで妥当性確認では解析結果を何らかの独立した手法の結果と比較することによって、実体を表している度合を判定することを要求している。独立した手法とは工学式、理論解を用いた手計算、参照解析、代替計算及び実験などである。HQC002では検証と妥当性確認の方法を構造解析及び流体解析について例示している。HQC001及び002におけるV&Vの定義は、同じくISO9001に基づく解析業務の品質標準であるNAFEMSのQSS001を踏襲しており、国際的な解釈との互換性を確保している。

計算力学技術者資格認定との係わり

解析技術者の技量管理は品質保証における最も重要な要件のひとつであるが、日本機械学会の計算力学技術者の資格認定制度は品質保証の観点からも世界的に先駆的な取り組みである。解析技術者が習得すべき品質保証の常識として、資格認定の標準問題にHQC001及び002の内容を導入する準備が進められている。今後、産業界において複雑なシミュレーションを組織的に実施する場面は益々増加すると思われるが、解析技術者自身が品質保証の仕組みを体系的に理解し、実践していくことが求められる。

参考文献

[1] SAFESA Technical Manual, R0041, NAFEMS
[2] 対訳ISO9001 品質マネジメントの国際規格 (Management system ISO series) 、日本規格協会
[3] Quality Standard Supplement NAFEMS QSS001:2007 Engineering Simulation - Quality Management Systems - Requirements, QSS001, NAFEMS

Verification & Validationの定義の変遷

堀田　亮年
株式会社テプコシステムズ 電力エンジニアリング本部

筆者自身がV&Vについて知ったのはそれほど昔ではない。日本原子力学会2008年春の年会における越塚先生のご講演によってであった。シミュレーションコード開発の基本的な考え方を、米国では民間規格化しているらしいという程度の認識である。同時に、V&Vに対して特段の新鮮味を感じなかったことを覚えている。このように感じた背景には、原子力プラントの安全評価に用いる計算コードを規制当局が委員会による議論を経て事実上認証するというプロセスが長く存在し、その中では定型化されてはないまでもV&V的なプロセスを踏んだ検討が行われ、物理モデルの適用性、入力や境界条件に関する前提について例示され、多くの場合感度解析によって不確かさを評価することも求められてきたという歴史がある。

AIAAやASMEなどがV&Vガイドを発行したために、それがどのような手順であるかについて広く知られるようになった。それと同時に、こうしたシミュレーションのV&VはISO9001のV&Vと異質のものに見え、両者はどこが共通でどこが異なるのかについてしばしば議論になっているようだ。OberkampfらはV&Vの定義の発展をまとめている。[1] その内容は筆者が知る限り最も簡潔で理解し易く、しかも上記の疑問に答えるものと思われるので、以下にエッセンスを紹介する。 筆者の力量不足による誤解があるかもしれないが、その場合はご容赦頂きたい。

V&Vの起源とは、古くはオペレーションリサーチ、すなわち軍事分野に遡る必要があるということである。デジタルコンピュータを用いたシミュレーションが、理論的探求や実験と並んで、こうした分野に重要な影響を及ぼし始めたのは1960年代頃からといわれている。さらに1979年には、Schlesinger がSociety for Computer Simulation（SCS）の立場からModel Verification, Model Validationについて以下の定義を唱えている。[2]

> ***Model Verification***: Substantiation that a computerized model represents a conceptual model within specified limits of accuracy.
> ***Model Validation***: Substantiation that a computerized model within its domain of applicability possesses a satisfactory range of accuracy consistent with the intended application of the model.

さらに、SCSではModel Qualificationを定義している。

> ***Model Qualification***: Determination of adequacy of the conceptual model to provide an acceptable level of agreement for the domain of intended application.

すなわち、Q+V&Vによって現実世界(intended application)、概念モデル(conceptual model)、計算モデル(computerized model)を閉じるシミュレーションリングを提案している。このようなORにおけるV&Vは、科学・工学シミュレーションの分野においても、ほぼそのまま適用できるものである。

他方、1970年代になると航空機や原子力発電所のように、コンピュータベースの大規模制御システムが広く普及するようになり、こうしたシステムの安全に係わる信頼性をいかに保証するかが問われることになった。そこで、Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)は、以下のようなV&V定義を提案した。[3]

> ***Verification***: The process of evaluating the products of a software development phase to provide assurance that they meet the requirements defined for them by the previous phase.
> ***Validation***: The process of testing a computer program and evaluating the results to ensure compliance with specific requirements.

これらの定義においては、ソフトウエアシステムの開発が目的であり、どのような要求仕様があり、それに基づいて適切に開発されていることをソフトウエア工学的視点からプロセスベースで確認することを表しており、現実世界の模擬を目的とするSCSのV&Vとは見ている側面が異なる。コンピュータシステムの目的は千差万別であり、肝心の要求仕様がV&Vの枠外でケースバイケースに与えられるため、定義としては曖昧性を有している。一方で、IEEEの定義は一般的な製品開発に対しても適用できるため、現在我々が知るISO9001におけるV&Vへと継承され、こちらの定義の方が一般的には普及している。

米国Department of Defense内のThe Defense Modeling and Simulation Organization (DMSO)は、IEEEによるV&Vをソフトウエア開発に特化しており制約が大きいと判断して、1996年にOR、ハードウエアー計算機混合システム、トレーニングシミュレータなどの専門家を集めて、彼らにとって役に立つ、すなわち不確かさを“意図したモデル用途”に照らして十分なレベルに抑えるという実用的な視点を付与したV&V定義を提案した。この定義の中では、偏微分方程式の数値解（Solution）の不確かさについては言及していない。それは、デジタル計算機による数値解析がこれら専門家の共通関心事では無かったためである。米国航空宇宙学会AIAAは、CFD解析への適用という観点から数値解の不確かさを陽に含めた以下の定義を提案している。[4]

> ***Verification***: The process of determining that a model

implementation accurately represents the developer's conceptual description of the model and the solution to the model.
Validation: The process of determining the degree to which a model is an accurate representation of the real world from the perspective of the intended uses of the model.

（下線部はAIAAガイドによって追加された箇所）

この定義はASME-V&V 10-2006及びV&V 20-2009に継承されているが、ここでは概念モデル、数学モデル、そして離散化された数値モデルを明確に区別しており、こうすることによってVerificationのスコープを限定している。[5)]

"***Verification***" is the process of gathering evidence to establish that the computational implementation of the mathematical model and its associated solution are correct.
"***Validation***", on the other hand, is the process of compiling evidence to establish that the appropriate mathematical models were chosen to answer the questions of interest by comparing simulation results with experimental data.

ここまでのV&V発展の経緯を図１に示した。歴史を辿れば、これらは何れも同じ起源から発展しており、同一の根底思想に基づくはずである。それは、しばしば用いられる代替の英語表現からもよく分かる。

ASME的V&V
Verification：Are we solving the equation right?
Validation：Are we solving the right equation?
ISO9001的V&V
Verification：Are we building the product right?
Validation：Are we building the right product?

このように、両者はある目的を達成するために基本となる二つの要素を表しており、目的語と動詞が異なるだけである。しかし、そのことによってそれぞれの具体的プロセスは全く異なってくる。しかし、仕事の現場では、設計、解析、実験、そして管理の専門家がそれぞれの立場のV&V観を持ちながら関与するために、どうも会話が噛み合わない、かなり不便を感じるのである。Oberkampfのテキストによれば、DSMOの専門家達は彼らの定義を"Model V&V"、IEEEの定義を"Software V&V"と読んで区別している。[6)] ISO9001においては、IEEE的定義をソフトウエア開発に限らず用いており、これを"Product V&V"と呼ぶことも可能であろう。

参考文献

1) W.L.Oberkampf, T.G.Trucano, Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics, SAND2002-0529, 1979.
2) S. Schlesinger, Terminology for Model Credibility, Simulation, Vol. 32, No. 3, 103-104, 1979.
3) IEEE. IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, ANSI/IEEE Std 100-1984.
4) AIAA, Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations, American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA-G-077-1998, Reston, VA, 1998.
5) ASME, Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics, ASME V&V 10-2006.
6) W.L.Oberkampf, C.J.Roy, Verification and Verification in Scientific Computing, Cambridge, 555-672, 2010.

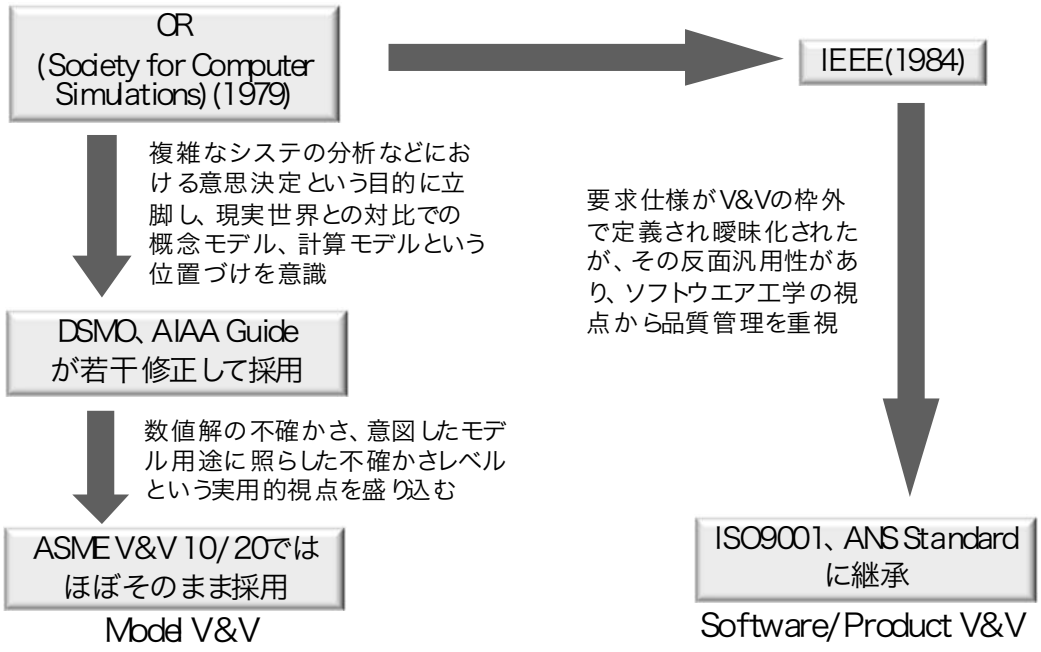


図1　Verification & Validation　の定義における変遷[1)]

特集・京コンピュータの活用と期待

京速コンピュータ「京」の現状

横川 三津夫
理化学研究所 次世代スーパーコンピュータ開発実施本部 開発グループ

2011年6月20日、ドイツで開催された第26回国際スーパーコンピューティング会議ISC'11において、理研と富士通が共同で開発しているスーパーコンピュータ「京（けい）」が、第37回TOP500リストにおいて第1位を獲得した（図1）。TOP500リストとは、LINPACKと呼ばれる大規模連立一次方程式を解くベンチマークプログラムの実行速度を指標として、世界のスーパーコンピュータの上位500位までを定期的にランク付けしたものである。

図1　世界第1位の認定証

今回のLINPACK登録値は、システム整備の途中段階において、システムの計算性能を確認するために測定したものであり、全体システムの約8割、672筐体（CPU数68,544個）の構成による計測結果である。LINPACK性能値8.162ペタフロップス（毎秒8,162兆回の浮動小数点演算数）、実行効率93.0%と高水準の記録を観測した。また、計測時間は約28時間に達し、 68544個のCPUを搭載したシステムがダウンすることなく動作した点、および単位電力あたりの性能が865MFLOPS/W（2011年6月のGREEN500において第6位）であった点は、稼働している汎用型CPUのシステムとして高く評価された。

LINPACK性能は、スーパーコンピュータ・システムの性能の一部分を見ているに過ぎないが、少なくともLINPACKの高い実行効率（93%）は、他のアプリケーションに対しても高速な計算環境を提供できることを期待させる。実際、試験利用を開始したシステム上で、いくつかのアプリケーションは高い実効性能を示している。

京のシステム構成

京は、8万個以上の計算ノードからなる大規模分散メモリ型並列計算機システムである。昨年度からシステム製造を開始し、2010年9月に第一号筐体が計算機室に設置された（図2）。

一つの計算ノードは、一つのCPU（富士通製SPARC64 VIIIfx）、16ギガバイトのメモリ、計算ノード間のデータ転送を行うインターコネクト用LSI（ICC: Inter-Connect Controller）で構成されている（図3）。

図2　搬入開始時の筐体

CPUは、8つのプロセッサコア、コア共有の2次キャッシュメモリ（6メガバイト）、メモリ制御ユニットを持っている。CPUのLSIの大きさは縦22.7mm×横22.6mmである。各コアは4つの積和演算器、256本の倍精度浮動小数点レジスタを持っており、一つのSIMD命令（ベクトル処理の一種）により、2つの積和演算器を同時に動作させることができ、2つのSIMD命令を同時に実行することにより一つのコアはクロックサイクル毎に8個の浮動小数点演算ができる。したがって、コアの理論性能は16GFLOPS、CPU（8コア）の理論性能は128GFLOPSとなる。また、コア間の並列処理の同期を取るためのハードウェアバリア機構、計算に必要なデータを事前にキャッシュに取り込むプリフェッチ機構、プログラマブルなキャッシュ制御を可能とするセクタキャッシュ機構など科学技術計算のための様々な機構を備えている。 CPUのDGEMM性能は123.6GFLOPS（効率 96.6 %）、コア間のハードウェアバリア性能は49nsecであった。また、STREAMベンチマークコードのtriadによるメモリアクセス性能は、46.6GB/秒であった。

計算ノード同士を繋ぐ接続（インターコネクト）は、新規に開発されたTofu（Torus Fusion）と呼ばれる6次元メッシュ/トーラス型の直接網である。各ノードには10本のリンクがあり、それぞれが別の計算ノードと繋がれており、各方向のリンクは片方向5ギガバイト/秒の理論帯域を持つ。プログラム実行時には、常に1次元、2次元、または3次元のトーラス接続のネットワーク環境をユーザに提供でき、計算モデルとして3次元空間をイメージしながらプログラムを書くことが出来る。

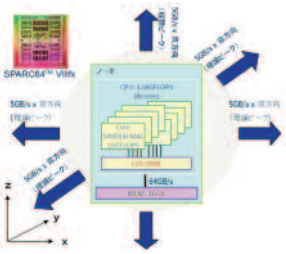


図3　計算ノード構成

京のシステム・ソフトウェア

計算ノード及びユーザのログインノードのオペレーティングシステムは、ユーザの利便性を考慮し、リナックス

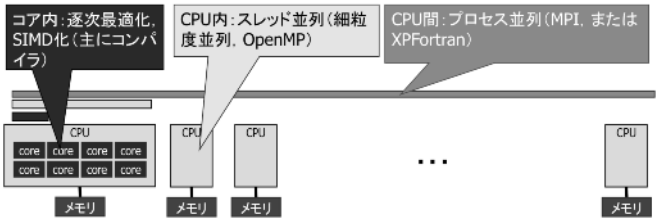


図4　ハイブリッドプログラミング

（Linux）とした。また、「京」が持つ高い計算性能を最大限に発揮させるために、CPU内の自動並列化をサポートした最適化コンパイラ、デバッガ、性能チューニングツール、数値計算ライブラリを提供する。アプリケーション・ソフトウェアの流通や既存システムとの互換性を考慮し、科学技術計算の分野で広く使われているプログラミング言語Fortran、C、C++で書かれたプログラムが実行可能である。並列プログラミングには、標準ライブラリであるMPI（メッセージパシングインターフェース）とデータ並列言語のXPFortranをサポートする。

ファイルシステムに関しては、ローカルファイルシステムとグローバルファイルシステムの2 階層ファイルシステムを採用し、グローバルファイルシステムとローカルファイルシステムとの間でファイルを転送する「ステージング方式」を採用した。ユーザのジョブ実行の前にユーザのファイルをグローバルファイルシステムからローカルファイルシステムへ転送し(ステージイン)、ジョブ終了後の結果が格納されたファイルをローカルファイルシステムからグローバルファイルシステムに転送する(ステージアウト)。ステージングの指示は、ジョブ手順を記述するジョブスクリプトの中で指定し、ジョブマネージャがそれらを解釈して、ステージング動作を行う。この方法により、ジョブ実行時にローカルファイルシステムの高いI/O性能を生かすことができると考えている。

京は、コアでプロセスが動作するが、大規模並列プログラムのためには、ハイブリッド型プログラミングモデルでプログラムを書くことが望ましい（図4）。ハイブリッド型プログラミングモデルとは、自動並列化コンパイラまたはOpenMPによるCPU 内の8コアによるスレッド並列と、MPIによるCPU 間のプロセス並列の2種類の並列化プログラミング手法を組み合わせる方法である。コア内においてはSIMD命令による並列処理も可能であり、コンパイラによる自動並列化と合わせて、指示行などを用いてユーザが並列処理を明示的に指定することができる。コア単位でプロセス実行を行うフラット型プログラミングモデルも利用可能であるが、フラット型ではコア毎にMPIプロセスが生成されるため、通信バッファなどの作業領域が増加しユーザのメモリ領域を圧迫するとともに、通信処理のオーバーヘッドなどによりハイブリッド型よりも実行時間が増大すると考えている。

図5　京の筐体

実装構造

システム実装では、4個の計算ノード（CPU、メモリ、及びICC）を一枚のプリント基板（システムボード）に搭載し、そのシステムボード24枚を一つのラック（筐体）に搭載した（図5）。一つの筐体のピーク性能は12.3TFLOPSである。

システムボードには、水冷モジュールが取り付けられており、2次冷却水ループによりCPU及びICCを冷却する。2次冷却水は、計算機棟2階に設置した熱交換器により、1次冷却水との熱交換を行っている。

筐体の大きさは、796mm（幅）×750mm（奥行）×2060mm（高さ）である。システム全体は800台以上の筐体から構成され、既に計算機棟3階のフロア約40メートル四方の中に、すべての筐体が設置された（図6）。

試験利用

京は、まだ開発途上ではあるが、平成23年4月より、ナノ分野、ライフサイエンス分野のグランドチャレンジ拠点、及び国が選定した重点アプリケーション領域である戦略分野を担当する組織のユーザに対し、試験的に実行環境を提供している。試験利用者は現在約200名が登録されており、それぞれのアプリケーションのチューニングが行われている。しかし、これまで8万個以上の計算ノードから成る計算機システムでのソフトウェア開発の経験は誰も持っていない。京の性能を十分に発揮させるためには、ある程度の時間がかかるものと思われる。今後も順次試験利用環境を拡大し、少しでも大規模アプリケーションの開発が進展するようにしていきたい。

図6　見学室から見た「京」全景

スーパーコンピュータは「道具」に過ぎない。今後、「京」を活用したたくさんの成果が出てくることを期待している。今後、システム・ソフトウェアの整備を本格化させ、平成24年6月の完成に向けて着実に整備を進める予定である。

参考文献

[1] 横川、庄司、京速コンピュータ「京（けい）」とは何か？、原子力学会誌（アトモス）、Vol. 52、No.12、pp.782-786 （2010）
[2] 庄司他、世界 1 位を獲得したスーパーコンピュータ「京」の概要と未来、Interface、10月号、pp.122-131（2011）
[3] 宇野、星屋、究極のLinux機！スーパーコンピュータ世界一「京」の全貌、日経Linux、10月号、pp.90-98（2011）

京コンピュータによる革新的な航空機開発への期待

中橋　和博
東北大学 大学院 工学研究科（航空宇宙工学専攻）

1．京コンピュータで旅客機開発に風洞が要らなくなる？

航空宇宙技術研究所（現JAXA）にスーパーコンピュータが導入された80年代初めの頃、“CFDが発展すると風洞がいらなくなる”という意見を述べた人がいて風洞運転を専門としている人たちを不安がらせたことがある。1993年に航技研に導入された当時世界最高性能スパコンは数値風洞（Numerical Wind Tunnel）と名付けられた。風洞をCFDで置き換えようとの当時の意気込みが分かる。

確かに現在の航空機開発にCFDは不可欠なツールとなっている。NASA CP-2004-213028によると、80年代に開発されたボーイング767では77個もの主翼モデルが風洞で試験されたのに対し、最新のボーイング787では5個で済まされている。CFDによる最適化と解析が風洞の試験回数を大幅に減らした。京コンピュータはこの流れを加速するだろう。

では、航空機設計に風洞試験は全く不要になるかと問われるとYesとは応えられない。風洞は無くなるどころか海外では更に大型の設備も作られている。CFDが未だに風洞に取って代われないのは計算結果の信頼性に不安があるからだ。

ジェット旅客機は高度約10000メートルをマッハ0.8前後で飛ぶ。この巡航時の空力性能が燃費や航続距離に直結するため風洞試験とCFD、共に高い精度が要求される。例えば胴体に主翼を付けたような旅客機の基本形状モデルでは，空気抵抗係数でCD=0.0001（これを1カウントと呼ぶ）の精度が求められる。これは飛行機にかかる力（揚力＋抗力）の0.02%程度であるが、数千kmを飛ぶ旅客機には燃費にはね返る重要な数値である。

10年程前に米国航空宇宙学会で行われたDrag Prediction Workshopでは、20人程の研究者がそれぞれのソルバー、計算格子、物理モデル（乱流モデル）で結果を持ち寄ったが、それら算出CD値に数十カウントのバラツキがあることが分かり、風洞試験にはまだまだ敵わないとの思いを強くした。

結果のバラツキに最も影響を与えていたのは計算格子のようである。計算時間やメモリーの制限から、翼表面近くの格子だけは十分に細かくするよう気をつけていたが、数カウントの精度を議論する際には翼から少し離れたところの格子サイズも影響することを学んだ。

今日、航空CFDの計算アルゴリズムはかなり成熟し、RANS計算（レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式の計算）に必要な乱流モデルも剥離の無い流れではかなり良く乱流境界層を再現する。その意味で、旅客機巡航時の流れは十分に細かな格子を用いればかなりの計算精度が得られる。京コンピュータのような圧倒的な性能の計算機では、オーバースペックとも言える高密度な格子を使うことで計算結果の格子依存を無くし、結果として労力を要した前処理時間を大幅に軽減することになるだろう。

CFDが風洞試験に取って代わる時代が来た。

2．数値風洞の次は数値飛行試験

でもしかし、“航空機開発は京コンピュータで万全”、とは言えない。

旅客機の巡航時の絶対精度は高密度な計算格子を使うことで改善する。しかしながら飛行機は巡航の他に、離陸と着陸、旋回や突風対応等の飛行がある。これらは飛行機の安全性に大きく関係する。離着陸では、最近は脚等からの風切り音の解析が空港騒音問題から重要になってきている。舵の効きも設計者が欲しがるデータである。

これら巡航以外の飛行条件は現在のCFDにとって未だに手強い。もちろん計算は可能で流れの様子も観察できるが、非巡航時では、流れの剥離や境界層遷移が伴うため物理モデルの信頼性が絡む。格子を細かくするだけでは計算結果の定量的議論はできない。

航空で出くわす通常の流れ（10^7オーダーの高レイノルズ数流れ）では、細かく不規則な運動を含んだ乱流境界層を伴う。この微細な非定常運動までを全機規模のモデルで解像することは京コンピュータを持ってしても未だに困難である。それゆえ現在一般的に用いられている手法は微細な流れの不規則変動を平均操作してRANSなりLES（Large Eddy Simulation）で解いている。そこに用いる物理モデルが剥離等に伴う複雑な乱流を記述するのに万能ではないために定量的な信頼が得られない。

飛行機の失速速度は航空機設計のもっとも重要なパラメータの一つであるが、それすら未だに精度良く予測できないのはこのためである。つまり、剥離を伴った乱流や遷移の物理モデルの不完全性が計算の信頼性の限界を作っており、それが解決しない限りCFDの適用範囲も限られ、風洞の必要性も無くならない。

物理モデルを使わずに流れの最小スケールまでを解像するような計算をすれば解決する、と思われる。いわゆるDNS（Direct Numerical Simulation）で、近年盛んに行われて乱流研究の進展に大きく貢献している。しかしながら、DNSを行えるのは計算機性能の制約で幾何学的に単純な物体の周りの流れに限られ、飛行機全機計算でのDNSは京コンピュータの次以降に期待せざるを得ない。

とはいうものの、そろそろ物理モデルに頼るRANSやLESから抜けなくては、いつまで経ってもCFDは風洞実験や飛行試験に頼らざるを得ないことになる。すくなくとも、物理モ

デルへの依存を完全に無くすのは無理にしても、それへの依存性を極力少なくすることで精度改善が期待できる。つまりは、できるだけ微細な渦までを直接計算するために高密度な格子を用いることになる。

スーパーコンピュータの性能改善は10年で1000倍近くにもなるが、京コンピュータの出現でまだまだ性能向上の勢いが続くことを期待させてくれる。CFDの目標が、風洞試験を越えることであったが、更に様々な飛行条件を試験する、つまりは実機による飛行試験をコンピュータ内で行う数値飛行試験も夢では無くなってきた。

3．京コンピュータ時代に向けたCFD革新の必要性

私の研究室では非構造格子を用いたCFDソルバー（TAS Code）を10年以上前に開発し、航空関連の空力解析・設計に活用している。最近では三菱航空機が開発中のジェット旅客機MRJの空力設計に多用されて性能改善に役立っている。では、京コンピュータ上で数億、数十億点の大規模格子で計算すれば、もっと精度良く、あるいは舵角応答や空力騒音まで解析できるのだろうか。

やってみないと分からないが、計算にこぎ着けるまで膨大な手間暇がかかりそうである。まず航空機全機の緻密なモデル周りに格子を生成しなくてはならない。並列計算のためにはCPU数にあわせて領域を多数の小領域に分割する。舵などの稼働部が入ってくる場合、計算中に格子の移動・変形も必要になる。どれも技術的には既に可能であるが、億なり10億を超える格子点を扱うのはとても厄介である。非定常流れの計算では出力量も膨大である。計算機性能が向上しても、それに伴いユーザーの作業量も増やすことになるのでは、京コンピュータクラスの高性能計算機の産業利用は増えない。

航空CFDのアルゴリズム研究は70年代から急速に進んだ。Thompsonが提案した境界適合格子（構造格子）や、その格子上での効率良い計算アルゴリズム（Stegerら）等で、翼周りの解析が実用化され現在のジェット旅客機の性能向上に寄与した。

80年代後半、計算機性能が更に改善されると翼だけでなく、航空機全機周りの計算がターゲットになる。しかし、それまでの構造格子では3次元の機体形状周りに格子を生成するだけで何ヶ月もの時間を要することになった。それを抜本的に解決したのが非構造格子で、90年代に格子生成とソルバーの両面で飛躍的に研究が進んだ。このことで航空機全機周りの流れの解析から最適設計までを可能にしている。

その非構造格子CFDも、京コンピュータクラスの高性能計算機になると、先に述べたような人的負担が目立ってくる。新たな発想の計算アルゴリズム開発が必要である。

新たな発想といえるかどうか怪しいが、私のところでは直交格子CFDの研究を進めている。非構造格子CFDの開発で様々な問題に出くわし解決してきたが、そろそろ非構造格子では限界、との思いからである。直交格子は過去に精度等の理由で使われなくなった方法であるが、計算機の高性能化で新たに注目されている。何よりも私が気に入っているのは、非構造格子に比べ圧倒的にシンプルに格子生成もソルバーも構築できることである。出力も直交格子だと大規模データを扱い易い。

直交格子CFDは、計算が大規模化すればするほどアルゴリズムの単純さの点で有利になろう。

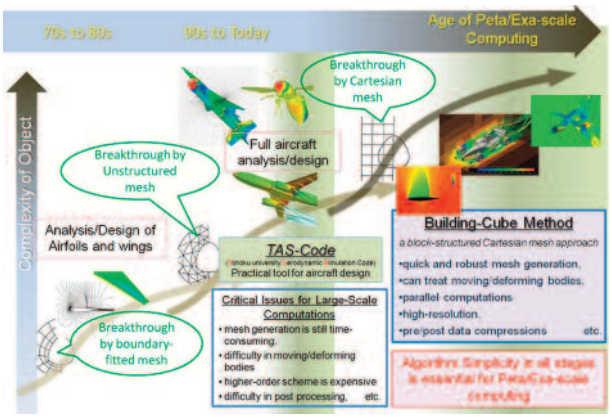


図１：航空ＣＦＤの発展

4．京コンピュータで我が国の航空機開発に革新を

2001年、欧州の航空業界は“A Vision for 2020”を発表し、2020年までに事故率を現在の1/5に、CO2排出を1/2、そして空港騒音を現在の1/2にして欧州の航空機産業を世界一にすることを宣言した。2008年から始めた、“CLEAN SKY Joint Technology Initiative”も、その具体策の一つである。

米国も2006年に“National Aeronautics Research and Development Policy” を大統領令として発布し、その施策を着実に進めている。欧米ともに政治レベルで航空産業を強く支援しているのはエアバスとボーイングの競争が背景にあるが、航空技術が国の安全保障に重要であること、さらには他の産業への波及効果として航空技術が未だに頂点の一つであることを強く認識していることの現れである。飛行機が日常生活に溶け込んだ今日でも、それを実際に造り飛ばすには大変な技術が必要である。その技術を国として持つことが技術先進国の発展を牽引するのに不可欠である。

航空機の低騒音化、低CO2排出、そして安全性向上への要求が益々高まる今日、京コンピュータへの期待は大きい。計算機はツールである。そのツールを用いて何ができるかが問われており、その一つとして環境と安全で世界を牽引するような革新的な航空機の実現を期待する。

「京」で実現する自動車用 次世代非定常空力シミュレーション

坪倉　誠
北海道大学 大学院 工学研究院 機械宇宙工学部門 准教授

1. はじめに

日本の基幹産業の一つとして常に国際競争力の強化と環境問題への対応を迫られている自動車産業界では、四半世紀以上前からCAE（Computer Aided Engineering）の導入が積極的に行われてきた。現在では、衝突安全解析、流体解析（CFD, Computational Fluid Dynamics）、振動騒音解析、構造解析といった技術が、設計開発の現場で活用されている。特に衝突安全解析におけるコスト削減効果は顕著であり、一つの車種を開発するのに数十億ともいわれる試作車費用の大幅削減に、大きく貢献している。一方、筆者の研究対象であるCFD技術については、車両空力、エンジン燃焼、冷却性能予測といった様々な項目で、今や必要不可欠な設計ツールとなっている。しかしながら、解析モデル作成の難しさや物理モデルに大きく依存する予測精度の問題から、衝突解析ほどにはその効果が出ていないというのが実状であろう。

CAE技術の実設計プロセスへの導入にあたっては、解析に要する「速度（解析モデル作成のためのプリや結果評価のポスト処理を含む）」と「精度（解析モデルの形状再現性を含む）」について、ソフトウェアとハードウェアの両面から検討がなされる。ハードウェアの導入にあたっては、80年代当初は、軍事・研究目的が主であったスパコンの民生利用への展開を背景に、特に日米スパコン開発競争による低価格化に自動車産業界によるスパコン導入が大きく寄与した。その後、ベクトルプロセッサからより安価な汎用マルチコアプロセッサを用いた超並列計算機へと転換した。この結果、並列計算機の性能あたりの価格は、1GFLOPS当たりでおおよそ1万円から5千円程度まで下がってきており、前地球シミュレータ（2002年）と同じ40TFLOPSの性能を持った計算機を、現在では2～4億円で導入できるまでになっている。一方ソフトウェアについては、当初はベクトルプロセッサに特化した自社製ソフトの開発が進んだが、その後、実設計プロセスへの導入に伴い、プリ・ポストプロセスの観点から市販ソフトウェアの導入が進んだ。現在は超並列計算を背景にそのライセンス費用がCAEコストを圧迫しつつある。

神戸で開発が進む次世代スパコン「京」の一般運用が間近に迫る中、筆者らが取り組んでいる自動車用次世代空力シミュレーションを紹介し、今後の空力設計にCFDがどのように貢献し、どのようなブレークスルーがもたらされるのかを概観する。

2. 自動車用次世代非定常空力シミュレーション

自動車の空力設計では、車両の燃費性能をはじめとする運動性能評価のための基本空力特性の他、エンジンルーム・排管系熱害、空力関連騒音、車室内空調、泥はね等が重要な課題となる。開発初期段階から重要な設計指標となる空力特性としては、抗力、揚力等の定常空力評価が重要であり、特に空気抵抗については、初期段階で想定した値を実車試作段階で大きく外すことは許されない。従って現在は、設計初期段階の複数の形状候補の絞り込みや揚力と抗力の最適化にはCFD、その実証と設計最終段階では風洞実験というように、両者の特性を生かした設計開発が行われている。各社で大きな開きはあると思われるが、風洞実験におけるコストは減価償却と維持費のみでも年間数億円に達するとみられ、コスト削減の観点から、CFDにかける費用はソフト・ハード合わせて風洞の数分の一に抑えることでその対費用効果をとっているようである。この場合、解析は定常RANSによる数千万要素数規模の解析が主であり、上記の定常揚抗力の予測がCFDの主目的である。即ちCFDの現状はあくまで風洞実験の代替ツールに留まっている。

これに対して、CFDの付加価値を高め、風洞実験では評価が困難な非定常空力評価にCFDを適用し、定常空力評価に基づく風洞実験主体の空力設計プロセスを変革することで、革新的なものづくりが実現する可能性がある。この観点から安価になりつつある超並列計算機環境を利用して、実設計環境で非定常CFD解析を導入することが望まれている。実際、オープンソースCFDソフトウェアを自社用にカスタマイズすることで、ソフトウェア費用を安価に抑えつつ非定常解析を導入した欧州の会社もあり、各社その動向に注目している。

非定常CFDのニーズの内、特に上記の観点からは、高速走行時の安全性・安定性に強く関係する非定常空気力予測があげられる。高速走行中の自動車が急な横風を受けたりハンドル操作を行った場合に発生する過渡的空気力は、走行安定性や安全性の観点からその重要性は認識されつつも、風洞を主とする定常計測ではその予測が非常に難しいことが知られている。こういった既存の静的な風洞計測とは異なる、リアルワールドを再現した車両運動と流れとの連成解析が、次世代の空力解析として求められていることは間違いない。

以上のような背景から筆者らは、2007年よりNEDO産業技術研究助成の支援を受けて、非定常空気力予測を主眼とした「次世代非定常空力シミュレータ」を開発した。ラージエディシミュレーション（LES）を基盤技術とし、車体運動や気流のガスト乱流特性を再現することで、車両高速走行時の空力安定性メカニズム、レーンチェンジ時の非定常空力特性、突風時の走行安定性評価等の研究を産学共同で実施してきた。

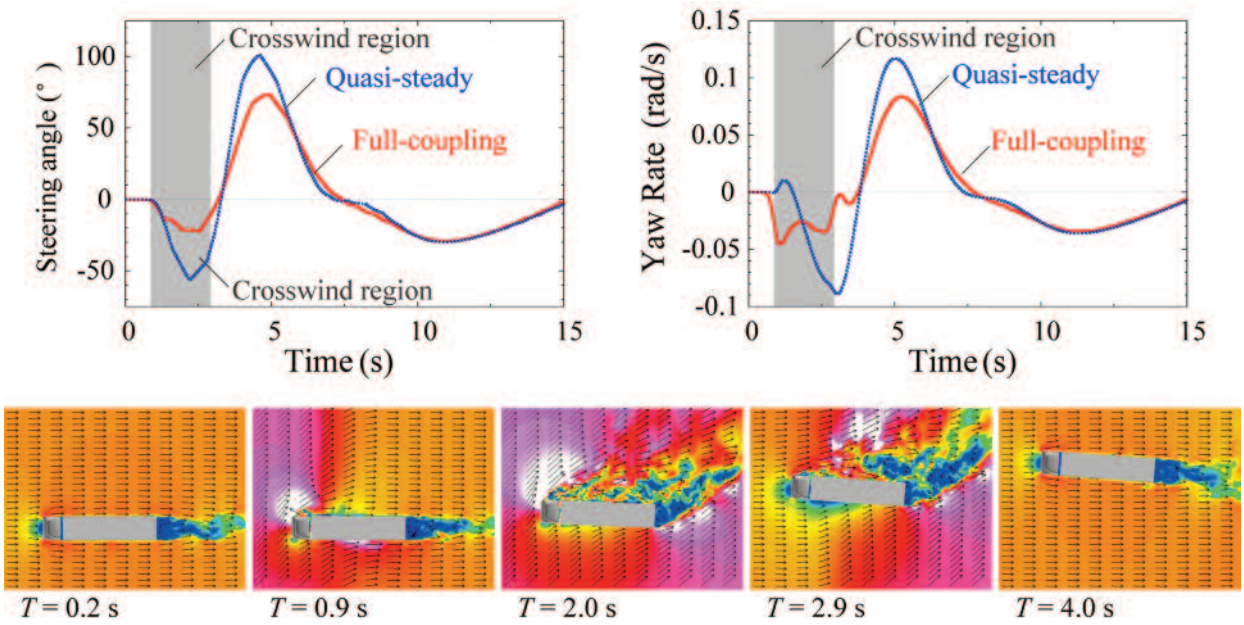


Fig.1　突風時のトラック軌道解析（上：操舵角と車体ヨー角の時系列変化、下：車体回り気流速度の瞬時分布）

3.　車両運動と空力の連成シミュレーション

一例としてこの非定常シミュレータを用いて解析した、大型トラックの走行軌跡解析の結果を紹介する。このシミュレーションでは、時速90kmで高速直進走行するトラックが、2秒間横風にあおられた状況を想定している。車体周りの乱流場はLESにより解析し、車体に作用する非定常空気力を見積もる。車両運動の予測には進行方向、横方向、ヨー角方向の運動方程式を考慮し、運動方程式に含まれる非定常空気力はLESから、タイヤを通して作用する接地力はタイヤスリップ角を考慮して実験データから見積もる。さらに車両運動には運転手の反応モデルを組み込み、想定した直進走行軌道から逸脱した際に、もとの軌道に戻るようステアリング操作を行っている。これらの解析を時々刻々と連成させることで、車体軌道の高精度予測に成功している。

図1はシミュレーションにより得られたステアリング角と、車体の操縦安定性評価の指針の一つである車体ヨー角速度の、時系列変化を示している。こういった状況での軌道解析に、現在一般的に用いられている準定常解析（図中、Quasi-steady）の結果と比較すると、両者に大きな差異があることがわかる。準定常解析では、車体の動的運動や急な横風の際に発生する大規模剥離渦構造とそれに伴う非定常空気力は考慮されておらず、操縦安定性評価の際に誤った指針を与える可能性があることがこの結果からわかる。ただしこういった軌道解析シミュレーションでは、十数秒から数十秒に及ぶ実時間解析が必要であり、通常の定常空気力予測のLESの100倍に及ぶ時間解析を必要とする。したがって現状のテラフロップス級スパコンでは、一億要素数程度までの規模が限界であり、実際の車体形状を詳細に再現した解析はまだまだ難しいというのが現状である。即ち、この車両・空力連成解析を実設計環境で利用するためには、さらに高性能なハードウェアが必要となる。

4.　HPCI戦略プログラム「分野4 次世代ものづくり」

「京」開発プロジェクトの一環として、「京」を中核とした我が国HPCIを有効活用することで社会的・学術的に大きなブレークスルーが期待される5分野を選定し、研究開発と計算科学推進体制を構築するプロジェクトが文科省により進められている。その内、「第4分野　次世代ものづくり」は、東大生研が代表機関となり、日本原子力研究機構と宇宙航空研究開発機構の3機関によるネットワーク型組織でプロジェクトが進められている。筆者らはその末席に加わり、「自動車用次世代空力・熱設計システム」の開発を進めている。ここでは、北大の他、東大、豊橋技科大、東京都市大、広大からなる研究者メンバーと各自動車関連メーカーからなるコンソーシアムを立ち上げて、システムの研究開発を進める。このシステムでは、上述の車両運動解析に加えて、熱害、空力音も対象とし、自動車空力の三大連成問題に対してHPC技術を適用し、CAEによる抜本的な設計開発プロセスの変革を目指す。具体的には、数十～数百億要素数規模の超大規模CFDを実現することで、実車に対して物理モデルに依存しない高精度非定常乱流解析を実現する。こういった数万並列規模による超大規模解析の場合、今までの数百万～1億要素数規模での解析に用いていたモデルの作成や結果の処理方法をそのまま適用することは不可能であり、解析ソルバーの超並列化対応に加えて、プリ・ポスト処理を抜本的に見直す必要がある。

5.　まとめ

米国とは異なり、我が国ではスパコンは必然的に平和利用に限定されている。従って、国家プロジェクトとして国民からその開発の理解を得るためには、HPC技術がいかに社会に還元されるかということが重要なことは言うまでもない。「京」では強力な産学連携のもと、設計プロセスそのものを変革するHPC技術の導入と、それによる革新的ものづくりの実現を目指す。

「原子力施設等の大型プラントの次世代耐震シミュレーション

山田　知典
日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター

はじめに

東北地方太平洋沖地震は2011年3月11日14時46分に太平洋三陸沖を震源として発生した。地震の規模をあらわすマグニチュードは9.0、日本国内においては観測史上最大の巨大地震であり、また、震源域に近い太平洋沿岸では大きな津波により甚大な被害を引き起こした。同沿岸地域に立地する原子力発電所、火力発電所などの大型プラントのほとんどは地震・津波による影響を受けて運転停止した。特に福島第一原子力発電所では運転中の1号機から3号機において地震発生後に直ちにスクラムし、緊急炉心冷却装置が作動したものの、後の津波を受けて全交流電源喪失が起き、炉心や使用済み燃料貯蔵プール内の核燃料の冷却が十分に行われず、核燃料の損傷、放射性物質の外部放出という極めて深刻な事態を招いた[1]。この原子力災害は未だ収束には至っていない。

一方、2011年6月20日に発表されたスーパーコンピュータのTOP500ランキングにおいて文部科学省が推進している次世代スーパーコンピュータ「京」が1位に輝くとともに、上位10台（米国5、日本2、中国2、フランス1）のスーパーコンピュータが全て1ペタを超えるLINPACK実効性能を記録した[2]。正にペタスケールコンピューティング時代の到来であり、ライフサイエンス、ナノサイエンス、気象・防災、天体・物質、ものづくりなどにおける大規模科学技術計算が今後飛躍的に発展することが期待される。大規模科学技術計算はハードウェア技術の進展による計算能力の向上と、その計算能力を使いこなすためのソフトウェア（あるいは、アルゴリズム）の革新によって適用範囲を拡げ、科学技術成果を示してきた。今回のハードウェアとしてのペタスケールコンピューティング時代の到来に続き、近々に、大幅なソフトウェアの革新、そしてそのソフトウェアを用いた革新的な科学技術計算の成果が期待される。

原子力発電施設等の大型プラントは総合工学に基づく巨大かつ複雑な工業製品であり、その影響は関連企業への波及効果だけでなく、学術的な貢献も大きい。例えば、科学技術計算は原子力分野と共に発展してきたといっても過言ではない[3]とされている。米国のエネルギー省傘下のロスアラモス、アルゴンヌ、ローレンスリバモア、ローレンスバークレイ、オークリッジ等の国立研究所での原子力研究開発に伴うニーズがハードウェアとソフトウェアの両面での原動力となったとされており、現在でも上記TOP500ランキングの上位10台に入っている米国の5台中4台がエネルギー省傘下のスーパーコンピュータである。

福島での原子力災害を受け、放射性物質の汚染状況の把握と除染、更には風評被害対策といった現地への支援活動は言うまでもないが、二度とこのような災害を起こさないためにも地震大国であり、かつ、工業立国である日本が世界に向け、再発防止に資する今回の災害の原因究明などの原子力安全研究を進めることは必要不可欠であり、その中でペタスケールコンピューティングが果たすべき役割は大きい。本稿では原子力発電施設の耐震性評価といった観点からペタスケールコンピューティングにより何が可能となるか、そしてそのためにソフトウェアとしてどのような革新が必要かについて述べる。

ペタスケールコンピューティングによる耐震性評価の可能性

地震大国である日本において原子力発電施設の耐震安全性を担保するため、多度津工学試験所等の振動台を用いた実証実験が行われてきた。耐震設計は、建屋、配管、機器に分かれて評価され、それぞれの評価過程においては実験データに比べ保守的に想定された減衰定数や許容応力値、地震動が用いられる。これは不確実性を考慮した設計余裕を持たせることを意図したものである[4]。このため、原子力発電施設全体としては想定された地震動に対して極めて保守的な設計がなされるものと考えられているが、その耐震裕度が明確に示されたことはない。2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震において、柏崎刈羽原子力発電所では設計時の想定を超える地震動を受けたものの、原子力発電施設における安全の基本である「止める、冷やす、閉じ込める」ための各種機能が地震時及びその後の原子炉冷却段階で動作し、安全に停止した。これは設計時の保守性によるものであると考えられている。しかし、福島での原子力災害が現実に発生した状況を鑑み、原子力発電施設が持つ保守性といった定性的な評価から、どれほど大きな地震動に対して健全性を保てるかの定量的な耐震裕度を示すべき段階に来ていると考えられる。また、今回の原子力災害において実際に何が起こったのか原因究明を進めていく過程においても、定量的な評価が必要となる。このような原子力発電施設全体の耐震性の定量的評価は実験では不可能であり、科学技術計算による評価への期待が大きい。

原子力発電施設の耐震設計に係わる「発電用原子炉施設に関する耐震設計評価審査指針」が最初に制定されたのは我が国の高度経済成長期直後の1978年であり、これまで、その時代の最新の知見を取り入れるべく改訂が行われてきた。指針制定当時、世界最速のスーパーコンピュータは米国クレイ社のCRAY-1やCRAY X-MPであり、理論性能は数百メガフロップス程度であった。2012年秋に共用開始される次世代スーパーコンピュータ「京」は10ペタフロップスであり、約35年の間に1千万倍以上の性能向上が得られることとなる。この計算機性能の格段の向上により、当時のバネマスなどのメートル単位の離散モデル化から、施設全体規模で初めて、センチメートルからミリメートル単位のソリッド要素による離散モデル化が可能となる。現在の数十テラフロップス級の

スーパーコンピュータ上では図1に示すような炉内構造物などを簡略化した2億自由度規模のシミュレーションが可能となっており、アルゴリズムの進展も含めて、ペタスケールコンピューティング時代の到来により、より詳細な炉内構造物も含む100億自由度規模の決定論的な耐震シミュレーション、そして10億自由度規模の確率論的なばらつきを考慮した耐震シミュレーションが日常的に行える環境が手に入ることとなる。

このような原子力発電施設規模の詳細シミュレーションにより、機器（あるいは部品）ごとに評価を行っていた従来の耐震性評価プロセスを革新し、俯瞰的、かつ、詳細に施設全体での耐震裕度の分布が把握可能となり、施設全体での一層合理的な耐震性評価、事故原因の究明が可能となると考えられる。

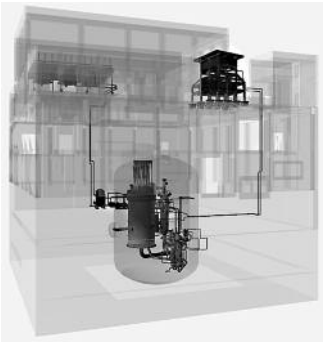


Fig.1 An illustrative example of detailed simulation of nuclear power plant

ペタスケールコンピューティングによる次世代耐震シミュレーションの課題

ペタスケールコンピューティング環境を利活用する事により、センチメートルからミリメートル単位のソリッド要素による原子力発電施設全体の離散モデル化とその精緻な耐震シミュレーションが可能となる。一方、このようなシミュレーションが可能になると、局所部材の損傷の取り扱いや動的機器における流体の影響などマルチスケール・マルチフィジックス現象のシミュレーション技術の高度化、そして、地震動等の不確実性の取り扱いなどの確率論的評価の導入が新たな課題となる。単に原子力発電施設全体規模の耐震シミュレーションを実現するだけでなく、これらの新たな課題に対応するためにも、ペタスケールコンピューティング環境において可能な限り詳細シミュレーションの高速化、即ち有限要素法で現れる大規模連立一次方程式求解の高速化を達成することが重要である。

一般に連立一次方程式の求解は科学技術計算において頻繁に現れる重要課題の一つである。1980年代後半からの有限要素法の並列化においては、連立一次方程式解法が直接法から反復法へと変わることにより、高い並列性能を得ることに成功した。反復解法に基づく大規模並列有限要素法解析コードとしてADVENTUREシステム[5]やGeoFEM[6]が整備され、改良が進められてきた。前者のADVENTUREシステムでは階層型領域分割法[7]にバランシング領域分割法[8]に基づくマルチグリッド式の前処理を導入することにより高速な連立一次方程式の求解が可能となり、地球シミュレータ等のテラスケールのスーパーコンピュータ上において高い性能を示してきた。しかし、ペタスケールコンピューティング環境は数十万コアといった多数の演算器からなる超並列環境であり、その環境におけるマルチグリッド法の効率的な実装は自明ではない。コア数あるいはプロセッサ数に応じた領域分割を行った場合、現在の実装では数百万から数十万自由度規模のコース問題を直接法で処理する必要があり、実装の高度化や、あるいは、マルチグリッド法の階層化（現在では2段のコースグリッドコレクションが採用されている）といったシミュレーションコード全体の見直しが必要となる。これらの課題を解決し、ペタスケールコンピューティング環境での次世代耐震シミュレーションを実現するため、HPCI戦略プログラム分野4次世代ものづくりの中で“原子力施設等の大型プラントの次世代耐震シミュレーションに関する研究開発”を推進している[9]。本プロジェクトでは「京」を利活用し、ADVENTUREプロジェクトで開発されたソフトウェアをベースとしてペタスケールコンピューティングによる耐震性評価を実現し適用事例を提示するための研究開発を来年秋からの「京」共用開始に先立って進めている。

おわりに

ペタスケールコンピューティング時代の一つのアプリケーションとして原子力施設等の大型プラントの次世代耐震シミュレーションについて紹介した。既に述べたように現時点でのペタスケールコンピューティングは主にハードウェアとしての成果であり、今後、ソフトウェア開発と高度化、そしてそのソフトウェアを用いた革新的な科学技術計算の成果が期待される。現在、福島での原子力災害を受け原子力発電は岐路に立たされているが、原子力に係わるシミュレーション技術の革新は継続的に進めていく必要があり、「京」上でのシミュレーションがその一助となることを期待する。

参考文献

(1) 奈良林, 杉山, 東日本大震災に伴う原子力発電所の事故と災害　福島第一原子力発電所の事故の要因分析と教訓, 日本原子力学会誌, 53-6, pp.1-14, 2011.
(2) http://www.top500.org/
(3) 岡, 奥田, 連載講座　計算科学手法と原子力分野における応用 第1回 計算科学技術概観 連続体のシミュレーション手法と適用例(その1), 日本原子力学会誌, 48-4, pp. 257-265, 2006.
(4) 宮野，高木，酒井，中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所影響評価研究分科会の活動 : 原子力発電所の機器等の地震安全に関する建屋・機器設計の余裕の考え方，日本機械学会論文集B編 75-751, pp.450-452, 2009.
(5) http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/
(6) http://geofem.tokyo.rist.or.jp/
(7) G. Yagawa, R. Shioya, Parallel finite elements on a massively parallel computer with domain decomposition, Computing Systems in Engineering, 4, pp.495-503, 1993.
(8) J. Mandel, Balancing domain decomposition, Communications on Numerical Methods in Engineering, 9, pp. 233-241, 1993.
(9) http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/

大規模な計算機を使いこなす総合技術

小野　謙二
東京大学 生産技術研究所

大規模な計算機資源を活用する課題

数ヶ月前になるが、京がTOP500で1位になったとのニュースが届き、関係者の方々はそれぞれの感慨をもって受け止めたことと思う。私自身は、京のもつ基本的なポテンシャルが証明されたことに対して、嬉しさと同時に大きなプレッシャーを感じたことを憶えている。TOP500で使われるLINPACKベンチマークは計算機の基本的な演算性能を示す指標であり、京の能力を引き出した上で実設計に活用できるプログラムを開発するには、データ構造やアルゴリズムの再検討を含めてチューニングにかなりの労力が必要だからである。加えて、シミュレータのユーザが大規模並列計算システム上で解析し、その計算結果を使って工業製品の設計を行うためには、計算モデル作成や可視化処理などの周辺技術についても考慮しなければならない。京を始めとする大規模並列計算システムは、サイエンスだけでなく、工学分野での活用にも大きな期待が寄せられている。特にものづくりにおいては、設計技術の質やプロセスを大きく革新する可能性がある。大規模な計算機システムが提供する非常に高い演算性能は、複雑な物理過程や詳細な物体形状での計算、すなわち実際の現象に近いシミュレーションを可能にし、より信頼性の高い計算結果が得られるようになる。また、超短時間での計算や多数のパラメータに対する最適化など活用の幅も広がる。このように、大規模計算の設計活用への期待が高まる一方で、シミュレーションの活用について大規模計算固有の課題が浮かび上がる。その根底にあるのは数の多さ、データ量の大きさである。大規模計算はアーキテクチャの方向性から超並列計算となり、並列数に比例して入出力のデータファイルも多数になる。また、出力されるデータ量も多くなりファイルシステムへの負担が大きい。ファイルシステムは低速のデバイスであるので、データファイルの入出力やデータコピー、移動などは最もコストのかかるタスクになる。このため、大規模な計算システムではできるだけファイル操作を抑制する仕様が望ましい。ユーザが認識できる数やパターンを遙かに超えるようになるため、効率的なファイル管理の仕組みが必要になる。計算後のデータ可視化・分析のポスト処理フェイズでは、やはりデータファイル数の多さと規模の点から、アプリケーションの並列効率とファイルハンドリングが課題となる。可視化については、シミュレーションとは異なり対話性が重要視される場合もある。解析した結果を活用する視点からは、データベースの利用が鍵となる。これらのように、物理現象のシミュレータ自体の開発はもちろん重要であるが、解析に必要な計算格子の作成や結果の可視化・分析技術、計算結果を活用するためのデータベース技術など、総合的なシミュレーション環境の整備と提供が必須である。これは、京に限らず全国の計算機センターや企業内の計算機、科学技術計算用の商用クラウドなどでも同様の課題である。

シミュレーションを設計に役立てる要素技術と統合環境

HPCI戦略プログラム「分野４次世代ものづくり」[1]のサブプロジェクトでは、HPC/PF（High-Performance Computing Platform）と名付けた設計支援システムのコアフレームワークの構築を進めている。このシステムは、複数の物理シミュレータに加えて、関連するプリポスト・データベースを統合したシミュレーション環境で、先に述べた問題点を整理・分析した上で設計している。エンジニアが大規模な計算機を利用して精密な解析を実施し、得られる情報を用いた効率的な設計を支援する意図である。HPC/PFの論理的な設計を図１に示す。解析に必要な様々な機能を提供するサブシステム群をスクリプトベースで緩く接続することにより、統合的なシミュレーション環境をユーザに提供する。主な機能には、ファイル群やパラメータスタディ時のケースを管理するプロジェクト管理機能、数十億から百億規模の大規模格子生成機能、定型的なタスクを自動処理するワークフロー機能、様々な解析に対応するためシミュレータを選択実行する解析エンジン機能、結果の可視化・データ処理機能、解析パラメータや結果の関連性や事例にアクセスできるように管理するデータベース機能、システムのログを分析し結果の正当性や新しい分析手法の発見につなげるログ管理機能などがある。ここでは、開発中のHPC/PFが提供する機能のうち、データベースと可視化部分について紹介する。

データベース　事例データベースの利用方法として、閲覧や追試、テンプレート利用などがある。事例閲覧では、登録された事例を見て、システムに登録されたシミュレータを用いてどのような計算ができるのか、計算精度や計算時間、性能などの理解につながる情報を提供する。重要な利点として、これらのデータから活用のガイドラインを得ることができ、利用ノウハウの会得が短時間化されることが挙げられる。事例データベースでは、解析に用いたファイルセットを

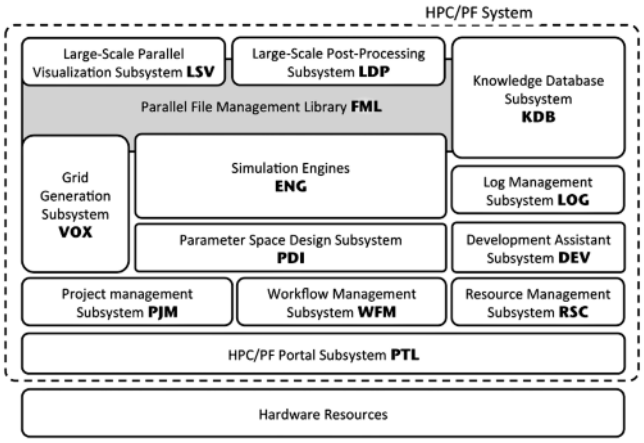


図１　HPC/PFの機能を提供するサブシステム群

プロジェクトとしてアーカイブして管理する。ユーザの環境でHPC/PFが稼働していれば、このプロジェクトファイルをダウンロードして、ユーザが同じ計算を実施し（追試）、動作と精度確認を行うことが可能になる。さらに、入力パラメータのひな形を用意することにより、必要最小限のパラメータ入力により計算実行が簡単になる。このようにシミュレーションの利用促進を図るためには、事例データベースに蓄積するコンテンツ登録の自動化が重要で、省力化のしくみを導入することにより、事例蓄積を促進する。

ポスト処理　ポスト処理としては、可視化（イメージ生成）とデータ分析がある。ポスト処理がシミュレーション計算と大きく異なる点は、ユーザの主観性が作業プロセスに大きく反映される点である。可視化は、データから画像を生成し、人間の視覚能力を用いてデータのもつ情報を引き出す、またはその情報を分析するプロセスである。可視化には様々な側面により分類でき、バッチ処理/インタラクティブ処理、ローカル可視化/リモート可視化、ハードウェアレンダリング/ソフトウェアレンダリング、ポスト処理/リアルタイム処理など複数の分類軸がある。ユーザの利用シナリオで分類すると、大きく定型的可視化と発見的可視化に分けられる。特に、現象解析や何かのヒントをイメージから得るためには、操作性に対するレスポンスが生産性の重要な因子となる。大規模データのインタラクティブ可視化は、データを動かせないので必然的にリモート並列可視化になる。このような要請から、可視化システムLSV [2]の論理設計は図２のようなクライアントサーバー型とした。これにより、様々な環境で可視化することに対応し、ユーザの利便性を高めている。一方のデータ分析機能には、大規模な生データからある指定部分をサンプリングし、データ処理する仕組みが必要となる。これには、MapReduce [3]型のフレームワークを利用し、オープンソースソフトウェアの統計処理システムと結合する。この「見ること」と「調べること」は、Visual Analyticという言葉が表すように相互に関連し、両サブシステムは連携して動作する。

現象解析や洞察を得るために有効なインタラクティブな可視化であるが、データの大規模性に起因して困難が伴う。ソートラスト方式の並列レンダリング処理では、データI/O、レンダリング、イメージ重畳、ストリーミングの４つが主要なタスクになり、これらを短時間で処理することによりインタラクティブレートを達成する。各タスクの高速化の考え方を図３に示す（ストリーミングは帯域依存なので除外している）。ファイルI/Oとレンダリングについては、コア数が増えると処理時間は減少する。ただし、ファイルI/Oは低速であるため、Level-of-Detailなどのデータ削減技術の併用が必要となる。レンダリングは、CPUとGPUを用いたレンダラーが選択可能で、GPUクラスタが利用できれば描画時間は短時間になり、よりインタラクティブ性は高い。一方、イメージ重畳については、コア数が増えるとイメージデータの転送・同期が増加するため、高速な重畳処理が必要となる。LSVでは、異なる特性の重畳アルゴリズムを多段で組み合わせることにより高速化を図っている [4]。

大規模データを効率よく取り扱うためには、必要とされる

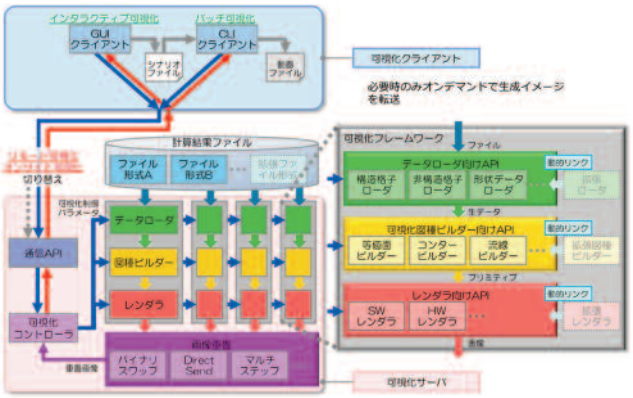


図２　Large-Scale Data Visualization Systemの論理設計

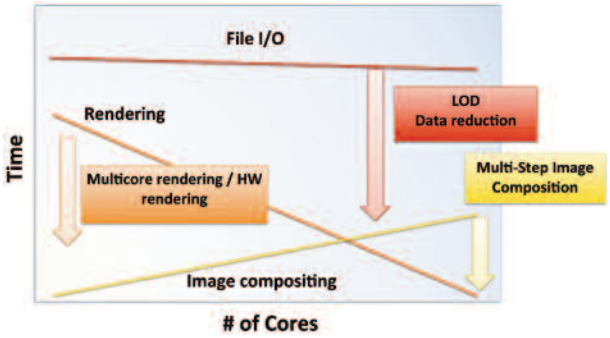


図３　インタラクティブレンダリングの戦略

詳細度に合わせて、適切な解像度のデータを供給するデータ管理方式や計算機の主記憶に入りきらないサイズのデータを効率良く扱う手法(Out-of-Core)などにより、並列計算機上でスケーラビリティを確保する。大規模データを効率的に可視化する他のアプローチとしては、直接元データを可視化するのではなく、データの特徴を失わないようにサイズを削減して可視化するデータ削減技術を用いる。代表的な方法にはデータ圧縮、ROI選択、メタデータなどがある [5]。

おわりに

大規模シミュレーションには、物理シミュレーションプログラムの開発だけでなく、その周辺技術が劣らず重要であるということを最後に一言。これらの技術を統合的にシステム化していくことが、シミュレーション活用の鍵となる。本稿ではHPC/PFの概要とデータベース、ポスト処理の設計方針について簡単な紹介をした。HPC/PFは今後5年をかけて開発整備をすすめ、順次公開する予定である。システムの熟成にはユーザの皆さんからのフィードバックが重要であるので、是非ご意見をお願いします。

参考資料

1) http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/
2) http://www.csrp.riken.jp/application_h_e.html
3) Pike, R., et. al., Scientific Programming Journal, Vol.13, No.4(2005) 227-298.
4) Nonaka, J. et.al., Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization, (2009)71-78.
5) 白山晋、知的可視化、丸善(2006)

「京」の産業利用推進におけるFOCUSスパコンの役割

西川武志
財団法人計算科学振興財団

キーワード：京速コンピュータ「京」　けいそくコンピュータけい　The K Computer

財団法人計算科学振興財団（Foundation for Computational Science:以後FOCUS）は次世代スーパーコンピュータ（現：京速コンピュータ「京」）を活用した研究開発や産業利用を推進するとともに、広く普及啓発を行うことにより、計算科学分野の振興と産業経済の発展に寄与するため平成20年1月22日に基本財産1億100万円を兵庫県、神戸市、神戸商工会議所が出資して設立されました。現在、兵庫県、神戸市、次世代スーパーコンピュータ利用推進協議会（利推協）に支援を受け活動しております。

次世代スーパーコンピュータ利用推進協議会（利推協）は、次世代スーパーコンピュータの利活用を推進し、FOCUSの活動を支援することにより、計算科学分野の振興と産業経済の発展に寄与するため経済団体が中心となり平成20年4月21日に設立されました。平成20年の発足時には法人会員が23社でしたが、年々法人会員企業が増加し平成22年度末には45社に達しました。FOCUSスパコンが整備、共用開始した平成23年度には59社（平成23年9月現在）に達しております。

京速コンピュータ「京」は、8万ノード以上、64万コア以上からなるスーパーコンピュータシステムです。2011年6月に第26回国際スーパーコンピューティング会議ISC'11（ドイツ・ハンブルク開催）にて発表された第37回TOP500スーパーコンピュータリストでは整備途上の「京」に搭載した68,544個のCPUを用いた部分システム（ピーク性能8.774ペタフロップス）でLINPACKベンチマーク・プログラムを実行し8.162ペタフロップスを達成し首位を獲得しました。今回の性能は2位のシステムの約3倍、2位から6位までのシステムの合計7.227ペタフロップスを凌駕しました。

FOCUSスパコンは、圧倒的な性能を誇る「京」と数並列から数十並列規模のシミュレーションが緒に就いたばかりのケースが多い産業界のギャップを埋めるために、産業界向けに演算能力：22TFLOPSの全てを提供する目的で設置されました。産業界の「京」利用に向けて、いわば自動車教習所の役割を果たしHPC利用の支援や推進を図っております。

FOCUSスパコンシステムの概要は以下の通りです。

・Aシステム（12コア48GB RAM× 208ノード）
　円滑な利用（x86-64）と高並列化環境（40Gbps QDR-IB）
・Bシステム（16コア512GB RAM× 2ノード）
　大容量メモリを備えたプリポスト環境（x86-64）
・Cシステム（2011年10月増設予定24ノード）
　ノード内並列限定の利用環境、ノードはAシステムと同等
・SPARCシステム（SPARC64 VII 4コア/ノード× 2ノード）
　「京」向けの最小限のチューニング環境
・ストレージシステム（合計1PB）
　利用企業毎の専用ファイルシステムの提供
・OSはLinuxを全面採用

このように標準的なインテルCPUを採用したLinuxシステムのため非常に多くの流通アプリケーションが動作可能です。またソフトウェアベンダーの協力により商用アプリケーションが事前にFOCUSスパコンに導入され、利用者がライセンスを取得すれば、インストールの手間と時間が最小限で利用を始める事が可能です。またソフトウェアベンダーによっては時間単位の従量利用や月単位の月額固定費用制度等をFOCUSスパコンでの利用に対して提供していただいております。詳細はFOCUSホームページ、 http://www.j-focus.or.jp/にアクセスください。

FOCUSスパコンの利用上の特徴は以下の通りです。

・産業界専用のエントリー・スパコン
　産業界専用に運用される我が国唯一の公的スパコン
　（大学や研究機関ではないFOCUS自身は利用せず、100%外部利用者が利用）
・スパコン利用の効果を検証できるテストベッド
　企業がトレーニングやトライアルとして利用し、スパコン利用の効果を実証（検証）できる環境を提供
・ステップアップ支援や新産業の創造に共用
　スパコン未活用企業のスタートアップや小規模に利用している企業の大規模利用へのステップアップ支援、スパコンを活用した新産業の創造等に共用
・企業が利用しやすいシステム環境と運用方針
　産業界に普及しているアーキテクチャーの採用／京速コンピュータ「京」への移行を支援するシステムも包含／豊富な流通アプリケーション／常時募集によるタイムリーな利用／事務手続きの簡素化によるスピーディーな利用（申請から2業務日以内の利用開始を目標）／セキュリティに配慮した利用（専用ファイルシステム、利用端末室の設置等）

可能な限り利用者の要望を取り入れる事も心がけて運用しております。

FOCUSスパコンの利用の目的は大きく分けて3つに分類され、それぞれ想定する利用者層は以下の通りです。これらに該当すると判断されれば利用が許可されます。

1）技術高度化支援

1－1）HPCスタートアップ支援

パソコンやワークステーション等を利用している企業等が、小規模HPC利用を目的に利用

1－2）HPCステップアップ支援

ある程度の規模の並列計算機を利用している企業等が、現状よりも大規模なHPC利用を目的に利用

1－3）HPCを活用した新産業の振興

外部HPC環境を活用した受託解析、クラウドサービス提供事業者、気象情報サービス事業者等が、HPCを活用した新産業の振興を目指して利用

1－4）国産アプリケーションのインキュベート

HPC向けの国産アプリ開発に取り組む企業、新たに国産アプリのトライアル利用をする企業等が、HPC向けの国産アプリを活用する目的で利用

1－5）公的アプリケーションソフトの利活用支援

先端的ソフトウェアを利用する企業が、国の京速コンピュータプロジェクトの次世代ものづくり分野等で開発された高並列計算対応アプリ等を利用

2）産学連携研究の推進

理研や戦略機関など、次世代スパコンを中核に集積する大学・研究機関と企業等による産学連携研究を目的とする利用

3）実践的な企業の技術者の育成

関西の主要な大学等との連携による実践的な企業技術者の育成（科学技術振興調整費事業『企業を牽引する計算科学高度技術者の育成』等）

FOCUSスパコンの利用の実際は、共用フロントエンドサーバからジョブスケジューラを使って共有計算ノードをバッチキューから利用する基本タイプ（最大128ノード24時間）と、専用フロントエンドサーバから1ヶ月単位で専用に割り当てた計算ノードを利用する期間占有タイプがあります。期間占有タイプでは契約したノード数と期間内で自由にバッチキューを作成したり、計算ノードに直接ログインしたりできます。

基本タイプでは事前に1日単位で予約したノード群を利用できる事前予約タイプでの利用も可能であり、例えば32ノードで2週間という利用が可能です。この際、32ノードで16時間の経過時間制限と言うバッチキューを作成する事が可能です。

利用によって得られた成果は全て利用者に帰属します。利用課金は基本タイプが1ノード時間105円（税込）からで並列ノード数に応じた割引と、利推協会員向けの出資口数に応じた割引制度がございます。課金は利用実績に応じて、月末締めで翌月請求、翌々月までの現金支払いとなっております。

FOCUSスパコンの利用状況ですが4月から30社以上に利用してもらっています、利用率は、4月10％、5月49％、6月60％、7月56％、8月82％、9月73％（9月26日現在）で、4月からの平均は55％、7月から9月までの平均は70％でした。このように非常に高い利用率ですので、平成23年10月に追加で24ノードを増設する事となりました。

FOCUSは「京」コンピュータ施設の側、計算科学センタービルの1～2階部分の高度計算科学研究支援センターに位置します（3～7階は兵庫県立大学大学院）。

計算科学研究機構がある「京」コンピュータ施設とは2階部分で接続されております。FOCUSスパコン以外に研究室、セミナー室、実習室、展示コーナー等を備えHPC技術の産業利用促進の拠点ともなっております。

高度計算科学研究支援センター研究室の利用状況は平成23年9月時点で、（株）フォーラムエイト（フォーラムエイト・スパコン・クラウド研究）、理化学研究所（戦略機関、細胞内分子ダイナミクスのシミュレーション）、（株）CAEソリューションズ（FOCUSでのOpenFOAM利用推進活動）、東京大学生産技術研究所（戦略機関、ものづくり分野におけるHPCによる実証研究と戦略的普及）、（株）クロスアビリティ（巨大計算機を用いた計算科学による価値創出）、アクセンチュア（株）（計算科学研究機構内ITシステムの運用保守）、（株）ヴァイナス（産業界ユーザのスパコン使用支援及び計算高速化技術の研究開発）となっております。

他団体による平成23年度の主な講習会・セミナーは

5／27　関西CAE懇話会　CAEの新しい波、オープンソースとFOCUSスパコン

6／3　CAEソリューションズ　OpenFOAM操作基礎

7／8　CAEソリューションズ　MoldFLOWセミナー

7／22　IPA　ソフトウェア・エンジニアリング・セミナー@神戸

8／5　CAEソリューションズ　OpenFOAMプログラミング基礎

9／5　ビジュアルテクノロジー　OpenFOAMワークショップ

9／16　トランスウッズ　GLView　機能説明会

9／29　CAEソリューションズ　医療とCAE

10／5　FOCUSスパコンを利用したFrontFlow/blueのためのPointwise・FieldView 設計実務セミナー

10／14または24　コンフレックスGaussian 09スタートアップセミナー

が開催され、または開催予定です。

平成23年9月7日には東京大学生産技術研究所が革新的シミュレーション研究センター神戸拠点を発足し、京速コンピュータ「京」で利用できる先端的シミュレーションソフトウェア群を、産業界専用スパコン「FOCUSスパコン」にインストールし、企業が京の利用に向けて、同ソフトウェア群の習熟を図るための環境を構築し、同ソフトウェア群を産業界に普及させる活動を開始しました。

FOCUSスパコンを活用したトライアル利用等により、京の共用開始直後から産業界が京を最大限に活用することが可能になることを目指しております。

部門研究会より

設計情報学研究会のキックオフ

大林　茂
東北大学 流体科学研究所

この度、新たな研究会を立ち上げることになり、紹介を兼ねてニュースレターに寄稿させていただくことになりました。新研究会は、先立つ2期の研究会活動があり、その継続として実施するものです。それぞれの研究会設置の背景などを振り返りながら、新研究会の目指すところを記したいと思います。

今年6月に理研で開発中の次世代スパコン「京」が世界トップに輝きました。コンピュータの性能向上は10年で1000倍といわれています。今は「京」でしかできない計算が、10年後にはデスクトップパソコンでできるようになると予想されます。この計算パワーを、いかに国民の暮らしに還元していくのか、それは我々計算力学部門の活動にかかっているといえましょう。

筆者は、もともと数値流体力学(CFD)が専門ですが、設計に役立つCFDを目指して、1994年より数値流体力学を用いた最適化の研究に取り組んできました。しかし、純粋に流体の問題だけでは取り扱える設計問題に限りがあることに、すぐに気付かされることになりました。そのころ計算力学部門の活動を通じて、構造や振動を取り扱っておられる轟先生、太田先生と知り合い、単一分野に留まることの問題意識を共有することができました。そこで、まずはお互いの分野の勉強会をしようということで、ちょうど西暦2000年に流体と構造の複合問題技術委員会を立ち上げました。その後、部門の運営委員会から活動内容に照らして研究会にしてはいかがでしょうかという打診があり、翌2001年より研究会活動を行うことになりました。以下に、研究会ホームページに掲載した活動概要を記載します。

流体と構造の複合問題研究会（2001-2006）
主査：大林　茂（東北大）
幹事：轟　章（東工大）、太田佳樹（北海道工大）

「計算力学の発展に伴い、流体力学や構造力学などの各分野の支配方程式に基づくシミュレーション技術が整備され、企業でもパソコン上で実行可能なソフトとして広く実用化されつつある。しかし、これらを単に便利な解析ツールにとどまらせず、真に設計に役立つ手法として発展させるには、各分野のシミュレーション技術の統合が不可欠である。このような考え方はmultidisciplinary design problemと呼ばれ、早くから一部の研究者の間でその重要性が指摘されてきたが、日本語では多分野連成設計問題・複合領域設計問題などと呼ばれてその訳語も確定しておらず、多くの研究者にとっては「次の課題」にとどまっているといえよう。 そこで西暦2000を迎えるにあたりこれまでの研究を総括して一気に加速し、統合化シミュレーションの技術を21世紀初頭の主要な計算技術の一つとして花開かせるために、技術委員会を設置した。2001より研究会へ移行し、研究活動を続けている」。

1期目のこの研究会では、計算力学部門講演会でのOS企画などのほかに、研究会独自に16回のレクチャーシリーズを実施し機械学会「ミニ企画」として行ったり、国際シンポジウムを行ったりして、北は北海道工業大学から南は沖縄青年会館まで会場をお借りして計21回のイベントを行いました。

International Workshop on Multidisciplinary Design Exploration in Okinawa 2006にて、平成18年12月12-14日開催。

この研究会の活動中に、筆者は三菱重工業との共同研究により、NEDO民間航空機基盤技術プログラム「環境適応型高性能小型航空機研究開発」に参加することになり、大規模かつ実用的な航空機の多分野連成最適設計に取り組むことになりました。この研究を通じて、実用面では応答曲面法に、先端的な取り組みとしては設計空間のデータマイニングに、研究の焦点がシフトしていくようになりました。轟先生、太田先生ともに応答曲面法に造詣があり、さらに轟先生のフラクタル分枝限定法のご研究など、それぞれの研究テーマがより大域的な設計空間の構造把握に興味が移っていったように思います。これを踏まえて、2期目の研究会は単なる継続ではなく、研究対象を新たにして立ち上げることにしました。再び、研究会ホームページに掲載した活動概要を記載します。

複合領域における設計探査研究会（2006－2011）
主査：大林　茂（東北大）
幹事：轟　章（東工大）、太田佳樹（北海道工大）

「計算力学の発展に伴い、流体力学や構造力学などの各分野の支配方程式に基づくシミュレーション技術が整備され、

企業でもパソコン上で実行可能なソフトとして広く実用化されてきている。本研究会は「流体と構造の複合問題研究会」の5年間の研究成果に基づき、多分野にわたるシミュレーション技術をシステムとして設計現場で活用するために必要な計算技術の研究を行う。鍵となる概念は設計空間の構造化と可視化であり、未踏の宇宙空間を探査して情報を得ることの比喩から「設計探査」と名付ける。「設計探査」の核となる技術は、分野間トレードオフの同定であり、たとえば多目的最適化と高次元の可視化技術である。関連する統計手法やデータマイニング技術を広く研究し、機械工学における最適な設計探査アプローチを提案し、設計における計算技術の実用化を一層促進するために本研究会を設置した」。

2期目の研究会では、1期目の最後の国際ワークショップをキックオフと位置づけ、10回のレクチャーシリーズを開催いたしました。あいにく、11回目は東日本大震災の翌週に企画されていたために中止しました。また今年5月に企画されていた韓国での国際ワークショップも延期となり、10月に開催予定です。

一方、筆者らが共同研究を行った航空機開発プログラムは、2008年に三菱が事業化を決定し、現在2012年の初飛行を目指して開発が進んでいます。レクチャーシリーズを、三菱重工業名古屋航空宇宙システム製作所で見学会を兼ねて実施したこともありました。説明担当の方からMRJへの熱い思いが感じられて、大変良い見学会になりました。

さて、「設計探査」がなぜ設計に役立つと期待できるのか、設計理論から振り返ってみたいと思います。設計とは、要求を実現する形状を見出す一種の逆問題といえます。非常に単純化すると、たとえば我々は基本となる形状にどのような力が発生するかという限られた知識を持っており、これをもとに要求を満たす形状はどうあるべきかという問題の答えを予想することができます。この行為は、不完全な知識からの推論、あるいは仮説の生成と位置づけることができ、アブダクションと呼ばれています。アブダクションとはアメリカの哲学者パースによって導入された概念で、説明的な仮説を形成する過程（創造的洞察）であり、演繹や帰納に先立つ最も基礎的な推論の型です。設計という行為の核心部分で、アブダクションが重要な役割を果たすと考えられています [1)]。

そこで計算科学が設計の役に立つ一つのあり方として、設計者のアブダクションに役立つということが考えられます。アブダクションに役立つには、さまざまな仮説を思いつくような「仕掛け」が必要です。仮説とは、たとえばさまざまな観察結果にある共通の「パターン」を見出すことであるともいえます。このことはアブダクションの「仕掛け」として、「パターン」を予想したり理解したりするための「可視化」の重要性を示唆しています。設計にはもともと設計図という基本的な「可視化」ツールがありますが、これは形を「可視化」するものであって、機能を「可視化」するものではありません。機能の「可視化」「見える化」により、機能のトレードオフや設計変数の影響を見て取ることができるようになり、設計における意思決定に大いに役立つと期待できます。進化計算で有名なDeb教授も最近は、Innovization（イノバイゼーション）＝innovation＋optimizationという造語を作って、多目的最適化による知識の抽出に着目されているようです [2)]。

また、北海道工大の千葉先生が、最近「設計探査」を進めて「設計情報学（Design Informatics）」という言葉を提案されました。設計学と広い意味で計算力学を包括する情報学が融合することにより、これからの日本のものづくりを変えるような新しい方法論が生まれるかもしれません。このような背景から、3期目となる新しい研究会は、その名を「設計情報学研究会」として、新しい学問分野の創設に正面から取り組むことにしました。また、これを機会に研究会活動も若手に世代交代を図りました。とりあえず、主査は筆者が引き続き務めますが、幹事は、千葉先生と東京理大の松崎先生に交代となりました。新研究会のホームページは、10月からオープンの予定ですが、その活動概要は以下のように掲載する予定です。

設計情報学研究会（2011－2016）

主査：大林　茂（東北大）

幹事：千葉一永（北海道工大）、松崎亮介（東京理大）

「複合領域における設計探査研究会」の5年間の継続的な議論により、計算力学による設計支援は、力学的な評価から設計空間の把握・設計情報の探索に重心を移してきていることが明らかとなり、計算力学の支援により設計に関する情報・知識を扱う新しい学問分野「設計情報学」を構想するに至った。設計探査は、設計空間を把握するための中核技術であるが、設計情報学では認知科学など情報学のあらゆる分野を取り込み、設計者の発想を支援する計算技術・方法論の研究開発・体系化を行い、未来社会へ向けた価値の創造を行えるような設計プロセスの刷新を目指すものである。単にアカデミックなトピックに終始せず、設計の現場との交流を積極的に推進するために、本研究会を設置した。

この3つの研究会のホームページは、次のアドレスからアクセス可能です（http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cmd/）。幅広くご講演にただいた過去の講演資料も、公開可能なものはリンクで辿れるようになっておりますので、どうぞご活用ください。また、研究会委員でなくても、本研究会の活動に興味のある学会員の皆様には、今後の活動にお気軽にご参加いただければと思います。

来年は研究会として、 9月の機械学会2012年度年次大会で先端技術フォーラムを企画しております。また本部門の設立25周年を記念して 10月9－11日に神戸で開催予定のInternational Computational Mechanics Symposium 2012でもミニシンポジウムを企画予定です。２つの企画あわせて、どうぞご参加ください。

これまでの研究会活動にご協力いただいた皆様に深く感謝するとともに、今後の活動にもさらにご教鞭をいただきたくお願いをいたしまして、筆をおきたいと思います。

文献

1) 冨山哲男、設計の理論、現代工学の基礎15、岩波書店、2002.
2) Kalyanmoy Deb, Innovization: Discovering Innovative Solution Principles Through Optimization, Springer ,Sept, 2011.

部門からのお知らせ

2012年度年次大会の部門企画について

下川　智嗣
金沢大学 理工研究域 機械工学系（自然システム科学専攻）

2012 年9月9日（日）を市民開放行事にあて、9月12日（水）まで、金沢大学（920-1192石川県金沢市角間町）において、2012年度年次大会が開催される予定です。2012年度の大会では『日本再生に向け新たな未来を切り拓く機械工学』をキャッチフレーズとし、「エネルギー」、「クオリティオブライフ」、「オープンイノベーション」の3つを挙げて，企画を進めています。この原稿の執筆時（2011年9月下旬）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を、実施する予定であります。

オーガナイズドセッションとオーガナイザー覧
（○は、筆頭オーガナイザ）

・流体機械の研究開発におけるEFD/CFD
EFD/CFD for research and development of fluid machinery
（流体工学部門／計算力学部門）
○古川雅人（九州大、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）

・燃料電池・二次電池とナノ・マイクロ現象
Fuel Cell, Buttery and Nano-micro phenomena
（流体工学部門／熱工学部門／計算力学部門／動力エネルギーシステム部門／マイクロ・ナノ工学部門／材料力学部門）
○大島伸行（北海道大、TEL/FAX 011-706-6722、oshima@eng.hokudai.ac.jp）
近久武美（北海道大）、橋田俊之（東北大）、
花村克悟（東工大）、鹿園直毅（東京大）、徳増　崇（東北大）

・解析・設計の高度化・最適化
Innovation and Optimization of CAE and Design
（設計工学・システム部門／計算力学部門）
○山崎光悦（金沢大、TEL 076-234-4666,　FAX 076-234-4668、yamazaki@se.kanazawa-u.ac.jp）
西脇眞二（京都大）、轟　章（東工大）、下田昌利（豊田工大）、太田佳樹（北海道工大）、北山哲士（金沢大）

・交通機関の安全安心シミュレーション
Simulation for Safety of Automobile and Traffic
（設計工学・システム部門／計算力学部門）
○吉村　忍（東京大、TEL 03-5841-6960、FAX 03-5800-6876、yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp）
酒井　譲（横浜国大）、森田和元（交通安全環境研）、
藤井秀樹（東京大）、北　栄輔（名古屋大）

・工業材料の変形特性と強度およびそのモデル化
Deformation properties and strength of engineering materials and these modeling
（機械材料・材料加工部門／材料力学部門／計算力学部門）
○金子堅司（東京理科大、TEL/FAX 03-5228-8363、kaneko@rs.kagu.tus.ac.jp）

・生命体統合シミュレーション
Integrated simulation of living system
（バイオエンジニアリング部門／流体工学部門／材料力学部門／計算力学部門）
○高木　周（理化学研究所、TEL 048-462-1464、FAX 048-462-1467、takagish@riken.jp）
和田成生（大阪大）、井上康博（京都大）、坂本二郎（金沢大）

・材料モデリングと計算機シミュレーション
Material modeling and Computer simulation
（材料力学部門／計算力学部門）
○菊地　厖（株）日鐵テクノリサーチ、
TEL 0439-80-2089、FAX 0439-80-2722、kikuchi.atsushi@nsc.co.jp）
中曽根祐司（東京理科大）、柳本　潤（東京大）

また、特別行事として、最先端フォーラム、ワークショップ、新技術開発リポート、新企画行事、部門同好会なども考えております。現在、それらについてはメーリングリストにより部門登録者の皆様に企画のご提案をお願いしているところです（期限：2011年12月12日（月））。申込先は以下のとおりですので、多数のご提案をお寄せいただければ幸甚です。

＜申込・問合せ先＞
下川智嗣（金沢大学 理工研究域 機械工学系）
TEL 076-234-4692、simokawa@t.kanazawa-u.ac.jp

25周年記念（2012年度）計算力学講演会国内会議のお知らせ

平野　徹
ダイキン情報システム株式会社

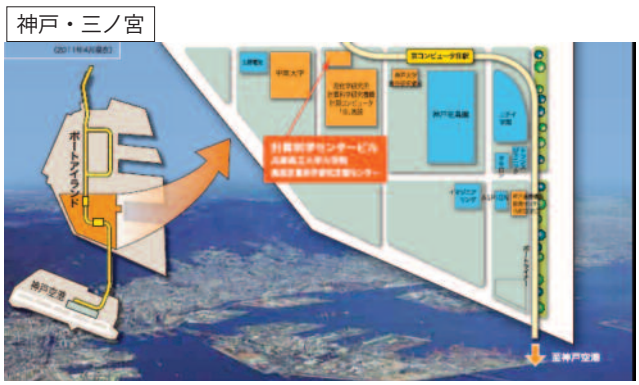
25回目の記念すべき計算力学講演会が2012年10月6日（土）から8日（月）の3日間、神戸市のポートアイランド南地区にて開催されます。引き続き9日（火）から11日（木）には、記念国際会議も同地域で開催されます。

今回の開催場所は、本年6月にスパコンTOP500で世界1位を獲得した「京コンピュータ」の設置施設（理化学研究所・計算科学研究機構：AICS）を中心として複数の大学と研究施設を擁する場所で、神戸市三ノ宮駅から神戸空港に向かうポートライナーの「京コンピュータ前駅」周辺となります。

神戸ポートアイランドは六甲山地の土を埋め立てて作られた人工島で、1966年に着工し1981年に第1期が竣工しましたが、1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災からの復興の過程で、神戸医療産業都市構想に沿って医療機関や医療関連企業・研究所の誘致に成功し、国内最大級の医療クラスターを構成しています。その南に一駅下がった地に、現在、AICSを中心にして高度計算科学の研究と教育を推進する施設が集結し、日本でも有数のクラスターが形成されています。

従来の計算力学講演会はひとつの大学のキャンパス内で開催していましたが、今回は隣接した複数の大学（神戸大学・統合研究拠点、兵庫県立大学・大学院、甲南大学・先端生命工学研究所：FIBER）と研究施設（AICS、計算科学振興財団：FOCUS）に跨って、計算力学に関わる産官学の連携を象徴するバーチャルキャンパスとして開催致します。全体受付をFOCUS（計算科学センタービル）1Fエントランスにて、また隣接する神戸花鳥園にて懇親会を開催する予定です。

実行委員会には、神戸を中心に複数の大学の先生方、また企業の方にも参画いただき、産官学が連携して、記念の会議を盛り上げてゆくことを計画しています。例年同様に皆様から様々なOSを募集しますが、震災予測や復興を含めた「社会シミュレーション」や、「戦略研究分野4：次世代ものづくり」のOSも設ける予定です。



神戸ポートアイランド全景と「京コンピュータ前駅」周辺

本年3月11日に発生した東日本大震災から半年が経過し、巨大津波による被災や放射能汚染からの脱却の道筋が未だ見通せない情況で、日本を元気にさせてくれたのが「なでしこジャパン」のワールドチャンピオンであり、また「京コンピュータ」の世界1位でした。

計算力学に関わる皆様にとっても「京コンピュータ」の世界1位には大いに刺激を受けたと思いますが、一方でこのリソースが日本のものづくり産業にとってどれほどの影響を与えるのかについては、まだまだ見えていないのが現状です。機械学会計算力学部門としては、やはり、ものづくり産業の更なる発展に貢献する技術開発が主眼であり、そのために今回の開催地がオールジャパンの高度計算科学研究・教育クラスターとして、ものづくり日本の産業再活性化に寄与することを願っています。

国内会議と国際会議はある程度独立はしていますが、国内会議の最終日にはAICSの平尾機構長の特別講演を予定しております。さらに国際会議の初日には、「京コンピュータ」の見学コースを用意し、国内会議登録者にも参加が可能としています。

詳細につきましては、確定次第、適宜ご案内させていただきます。1年後となりますが、ぜひ皆様に積極的にご参加いただきますようお願い申し上げます。

開催日時：2012年10月6日（土）～8日（月）
開催場所：神戸市ポートアイランド南地区
連絡先：
（委員長）平野　徹
ダイキン情報システム株式会社
〒591-8511　堺市北区金岡町1304番地
TEL：072-259-4111、FAX：072-252-7273
E-mail：tohru.hirano@daikin.co.jp
（幹事）屋代　如月
神戸大学　大学院工学研究科　機械工学専攻
〒657-8501　神戸市灘区六甲台町1－1
TEL＆FAX：078-803-6303
E-mail：yashiro@mech.kobe-u.ac.jp

計算科学研究機構（左側）と計算科学センタービル（右側）

25周年記念国際会議ICMS2012のお知らせ

姫野龍太郎（左）理化学研究所
岡田　裕（右）東京理科大学

計算力学部門設立25周年を記念した国際シンポジウム（International Computational Mechanics Symposium, ICMS2012）を、2012年秋に本格稼働予定の「京コンピュータ」の設置施設（理化学研究所計算科学研究機構：AICS）の周辺地域、神戸ポートアイランド南地区で、2012年10月9（火）日－12日（木）に開催致します。これは例年の計算力学部門講演会と連続する日程：10月6日（土）－8日（月）で同じ地区で開催されます。両者とも、設立25周年となる講演会なので、少々長いですがぜひ両方ともご参加下さい。

前述のように、計算力学部門設立25周年を記念し、国際会議を開催することは、2009年度（部門長・大林茂先生）のときに決定され、部門としてはそのための資金積み立てを行ってきました。また、昨年度、通常の計算力学部門講演会に続いて概ね同じ場所で開催することは、昨年度に決定されています。さらに全体講演（Plenary Lecture）企画では、日本計算力学連合（Japan Association for Computational Mechanics（JACM）、会長：京都大学・宮崎則幸教授）のご協力と、シンポジウムの後援をいただいています。

現在のところ、来年の開催を見据えた実行委員会組織を立ち上げたところです。会場となる、甲南大学FIBERと神戸大学統合研究拠点・コンベンションホールは「京コンピュータ」の設置施設に隣接しています。そこで、国際会議初日は、「京コンピュータ」の見学会を行います。その後、オープニングセレモニー、Jack Dongara教授 (University of Tennessee、USA) の全体講演、パラレルセッション、その後はレセプションの予定です。2日目～3日目はパラレルセッションの他にJ.S. Chen教授（UCLA、USA）、追永勇次氏（富士通）、Roger Ohayon教授（CNAM、France）、そして矢川元基教授（東洋大学）の全体講演が予定されています。さらに、2日の夜にはディナークルーズが予定されています。矢川元基教授をはじめとする計算固体／流体力学関係の世界的な研究者、そして「京コンピュータ」の開発に携わった追永勇次氏に全体講演をして頂きます。詳しいタイムスケジュールは別表をご覧下さい。

ICMS2012では若手研究者を対象に参加登録費を無償にする賞を設けます。35歳以下の若手研究者が対象で、選考のためにアブストラクトを4月中旬までに提出して頂きます。会議の終了後にはJCST（Journal of Computational Science and Technology）の特集号企画を予定しています。

会議の準備／開催／JCST特集号発行スケジュールは、今後若干の予定修正があるとは思いますが、以下のとおりです。【10/31・ミニシンポジウムの提案、2012/1/1・アブストラクト受付開始、4/15・アブストラクト提出締切（参加登録費免除を希望する若手研究者）、4/15・オンライン参加登録受付開始、7/15・アブストラクト提出締切、7/15・オンライン参加登録受付終了、10/9～10/11・ICMS2012開催、2013/1・JCST特集号投稿締切、2013/7・JCST特集号発行】。

実行委員会は、実行委員長・姫野龍太郎（理研）、幹事・岡田裕（東京理科大学）と、実行委員会委員・池田徹（京都大学）・大林茂（東北大学）・梶島岳夫（大阪大学）・加藤千幸（東京大学）・高木周（東京大学）・辰岡正樹（アルゴグラフィックス）・店橋護（東京工業大学）・高野直樹（慶應大学）・建石寿枝（甲南大学）・西岡俊久（神戸大学）・西脇眞二（京都大学）・野田茂穂（理研）・萩原世也（佐賀大学）・福田正大（計算科学財団）・藤本岳洋（神戸大学）・松尾裕一（JAXA）・屋代如月（神戸大学）・山田貴博（横浜国立大学）・山本誠（東京理科大学）・吉村忍（東京大学）の方々で組織しています。今後、ミニシンポジウム企画が進むに従い、海外からのミニシンポジウムオーガナイザーにも実行委員会組織に参加して頂き、国際組織へと発展する予定です。

今後、ホームページ上（http://www.jsme.or.jp/cmd/ からリンク）で情報をアップデートしていきます。是非ご参加下さい。なお、問い合わせ等はicms2012sec@riken.jpにお願いします。

会議スケジュールの概要

10月9日（火）	
9:00-9:30	「京コンピュータ」見学会受付
9:30-12:00	「京コンピュータ」見学会
13:30-13:45	オープニングセレモニー
13:45-14:45	全体講演：Jack Dongarra 教授
14:45-15:15	コーヒーブレーク
15:15-18:15	パラレルセッション
18:30-21:00	レセプション
10月10日（水）	
9:00-9:45	全体講演
10:00-12:00	パラレルセッション
13:30-14:15	全体講演
14:15-14:45	コーヒーブレーク
14:45-17:45	パラレルセッション
18:45-21:30	ディナークルーズ
18:30-21:00	レセプション
10月11日（木）	
9:00-9:45	全体講演
10:00-12:00	パラレルセッション
13:30-14:15	全体講演
14:15-14:45	コーヒーブレーク
14:40-17:40	パラレルセッション

第89期　計算力学部門　委員名簿

【運営委員会】

部門長	梶島岳夫	大阪大学
副部門長	吉村　忍	東京大学
幹事	澁谷忠弘	横浜国立大学
運営委員	姫野武洋	東京大学
	奥村　大	名古屋大学
	小石正隆	横浜ゴム(株)
	齋藤　務	室蘭工業大学
	服部裕司	東北大学
	坂本二郎	金沢大学
	渡邉　崇	名古屋大学
	北　栄輔	名古屋大学
	塩崎　明	シンフォニアテクノロジー(株)
	川本敦史	(株)豊田中央研究所
	上辻靖智	大阪工業大学
	齋藤賢一	関西大学
	垂水竜一	大阪大学
	屋代如月	神戸大学
	多田直哉	岡山大学
	福井茂寿	鳥取大学
	濱田　繁	九州大学
	河村隆介	宮崎大学
	遠藤正樹	東京都立産業技術高等専門学校
	徳永仁史	（独）産業技術総合研究所
	釘宮哲也	(株)東芝
	佐々木康二	(株)日立製作所
	岡田　裕	東京理科大学
	豊田幸宏	㈶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)

【所属委員会】

総務委員会

委員長	梶島岳夫	大阪大学
幹事	澁谷忠弘	横浜国立大学

広報委員会

委員長	梶島岳夫	大阪大学
幹事	奥村　大	名古屋大学
幹事	小石正隆	横浜ゴム(株)

事業企画委員会

委員長	吉村　忍	東京大学
幹事	姫野武洋	東京大学

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

年次大会担当委員会(2012)

委員長	下川智嗣	金沢大学

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

計算力学講演会担当委員会 (2012国内講演会)

委員長	平野　徹	ダイキン情報システム(株)
幹事	屋代如月	神戸大学

計算力学講演会担当委員会 (2012国際会議)

委員長	姫野龍太郎	（独）理化学研究所
幹事	岡田　裕	東京理科大学

表彰担当委員会

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

計算力学技術者認定支援委員会

委員長	梶島岳夫	大阪大学
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	慶応義塾大学

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	慶応義塾大学

【部門所属研究会】

A-TS01-9 逆問題解析手法研究会

主査	久保司郎	大阪大学

A-TS01-13 九州地区計算力学研究会

主査	萩原世也	佐賀大学

A-TS01-15 マルチスケール計算固体力学研究会

主査	志澤一之	慶應義塾大学

A-TS01-19 電磁流体解析関連技術研究会

主査	金山　寛	九州大学

A-TS01-20 複合領域における設計探査研究会

主査	大林　茂	東北大学

A-TS01-21 癒し工学研究会

主査	北岡哲子	東京工業大学

A-TS01-22 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. 47 : 2011年11月7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　梶島岳夫
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　小石正隆
横浜ゴム株式会社研究本部
〒254-8601 神奈川県平塚市追分2-1
TEL：0463-35-9640　FAX：0463-35-9764　E-Mail： koishi@hpt.yrc.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