

産業界におけるシミュレーション技術

中村 道治

独立行政法人 科学技術振興機構 理事長

1. 緒言

日本が諸外国に対して産業競争力を強化していくためには、製品開発力やものづくり技術の充実、強化が必要である。その中で、シミュレーション技術は計算機能力の向上、クラウド等の分散計算環境の高度化、情報科学との連携に伴い、製造業の活性化および知的財産の創生、今後のシステム志向のものづくりにとって有力な武器になる。

ここでは、シミュレーションにおける方法論の変革、産業界におけるシミュレーション技術の適用状況、米国の取り組み、スーパーコンピューティングの動向と問題点について言及し、最後に今後のシミュレーション技術のあり方について述べる。

2. 産業界におけるものづくりの動向

ものづくり産業のグローバル化が急速に進行するに伴い、国内においては、人的、経済的、技術的な空洞化が進み、海外の生産現場やプロジェクトにおいては、人、もの、情報、技術等に係わる種々の問題が生じている。進行中の希に見る円高の流れの中で、日本の稼ぎ頭であるものづくり産業をグローバル視点で維持、強化し発展させる必要がある。ものづくり企業にとって、日本と海外拠点の両極が重要であり、それぞれで何をなすか、それぞれのバランスをどうするかが今後の日本企業の発展に大きく影響すると思われる。その中で、シミュレーションを始めとする CAE によるものづくりの課題も多岐に渡ると思われる。

米国においては、2011 年の COC(Council on Competitiveness) レポート[1]において、米国のものづくりの現状を分析し、課税システムや輸出戦略、ものづくりの仕組み、教育・人材育成システム、供給ネットワーク・物流等、5 つ

の重要課題とそれらに対する解決策を戦略として提言している。

その中で、スマートイノベーション、スマートマニュファクチャリングによる次世代ものづくり革命をリードするための手段として、1) ものづくりクラスタやスマートエコシステム等の新しいネットワークを構築する、2) 計算機モデリングとシミュレーション技術、エクサスケールのハイパフォーマンスコンピューティング技術の活用を促進する、3) NDEMC (National Digital Engineering and Manufacturing Consortium) を通じてモデリングとシミュレーション技術の産業応用を推進する、等を挙げている。

3. シミュレーションにおける方法論

日本においても、スーパーコンピューティング技術や高度シミュレーション技術の活用は新たな段階に入っている。今回、「京」コンピュータの開発によって日本が計算機性能において世界 No.1 になるという「追い風」のもとに、日本が科学技術立国としてグローバルな競争下で製造産業を堅持していくために、スーパーコンピューティング技術の活用を促進する機運にある。例えば、海外において製品やシステムのおかれる環境が複雑、不確実で不透明なケースが今後多くなり、これに対して、実験が難しい分野における信頼性確認が重要になる。ものづくりにおける開発期間、コストの大幅な削減にも貢献するものと期待される。

高度シミュレーションの方法論自体もだいぶ変わりつつある。従来は単一の現象、あるいは同一スケールの現象を取り扱ってきたが、マルチスケール、マルチフィジックスという新しい時代が現実的なものになってきている。マクロな視点に立った数理モデルとしての固体力学、

流体力学、あるいは熱力学等を使った解析と、ミクロな視点に立った離散モデルとしての分子シミュレーションや粒子法等が時間と空間で連結されることで、細かな動きをきちんと見ながら全体の動きも見ることが求められており、マルチスケールのシミュレーション技術の研究が大事になってきている。このために、国レベルでは、文部科学省が中心に戦略的ソフトウェアやイノベーションソフトウェアの研究開発を通じて先端的シミュレーションソフトウェアの開発プロジェクトを連綿と推進し、また、独立行政法人 科学技術振興機構でも CREST でマルチスケール・マルチフィジクスシミュレーション研究を取り上げてきた。

以下に、最近のいくつかの特徴的な技術動向について概観する。まず、半導体や光学デバイス等に代表される薄膜積層構造を有する製品分野では、高集積化の傾向に伴って、デバイス構造が微細化・複雑化するとともに薄膜材料も従来から使用されてきたものだけではなく、より高集積化に適した材料等が取り込まれつつある。このため、デバイス構造内部では局所的に高い応力が発生しやすくなり、微細化・複雑化が進むと、薄膜積層構造内部の局所的な応力や拡散係数を実験的に評価することが困難となっていくことが予想される。この場合、従来からのアプローチである有限要素法等の計算機シミュレーションを行う際に入力する物性値にしても、膜厚がナノメートルのレベルまで小さくなると、膜の物性がバルクとは全く異なる場合が出てくる。このような背景から、計算機性能の大幅向上により、原子レベルの計算機シミュレーションによる物性評価技術が必要となっており、すでに高精度な第一原理シミュレーション技術や大規模原子を扱える分子動力学技術等が産業界においても材料分野において利用されてきている。最近では、金属だけでなく、樹脂等も含めた環境対応、高機能材料分野でも活用が行われている[2]。

一方、熱流体関係分野においては、従来からの流体機械等の数値流体力学の研究が発展し、

現在では LES (Large eddy simulation) 等の高精度乱流解析も大規模化、高精度化により実用的になってきた。さらに流体と構造の連成解析も実用的なレベルにきている。

自動車エンジン等を見ると、環境対応として、低排気化・低燃費化を実現するため燃料噴霧の微粒化予測は重要な課題であり、燃料噴霧解析は複雑流解析の代表的なものである[3]。このようなケースでは特に混相流として、粒子法などの不連続な挙動を予測する手法が研究され、液膜から液滴にいたる過程であるため、ミクロとマクロの両方を考慮した界面挙動の扱い、表面張力などに起因する気液界面分裂の扱いが課題となっている。

また、自然現象においては、東日本大震災を教訓に、津波の大規模なシミュレーション技術が多様な手法を用いて盛んに検討されている。

他方、スーパーコンピュータの、あるいはスーパーコンピューティング技術の進歩・発展も止まるところを知らない。アーキテクチャの進展以外に GPU やクラウドといった高度な協調計算環境が実現されようとしている。

4. 産業界におけるシミュレーション

産業界は古くからシミュレーション技術を活用してきた。図 1 に産業界でのシミュレーション適用分野例を示す。流体力学、量子力学、熱力学、電子工学等の理論および実験結果を活用してシミュレーション技術を構築し、それをさまざまな分野に応用している。また、最近の計算機性能の向上に伴い、大規模なシミュレーションの活用事例が産学連携として実施されてきている。

研究段階ではあるが、大学発の先端的ソフトウェアを活用したいいくつかの産学連携研究が行われている[4]。

空調ターボファンの非定常流体力の計算では数 100 万～数 1000 万の範囲で計算格子のレベルの違いや計測データとの比較を詳細に分析した事例や、蒸気タービンの動翼の応力と振動特性を予測するための連成解析技術の検討等が報

告されている。また、LESを用いたサイクロンセパレータの粒子分離の複雑な挙動のシミュレーションにおいて、解析と計測の検証を行っている。さらに、材料分野では、大規模な溶接シミュレーションなどが行われている。

日本の大学における高度シミュレーション技術や革新的ソフトウェアに関する研究開発は高いレベルにある。現在も、理化学研究所や文部科学省を中心にした「京」スーパーコンピュータを始めとするプロジェクトが進められている。単に新しいアルゴリズムやソフトウェアを開発するだけでなく、それを実際のものづくり現場で実用化することが重要である。



図1 産業界におけるシミュレーション活用

5. 産業界におけるシミュレーション活用の課題

前述のごとく、計算科学シミュレーション技術は、産業界におけるものづくりの現場に広く普及しており、その技術は大規模化、高度化しつつある。しかし、大規模、高度シミュレーション技術を駆使できる企業はまだ少なく、また、産業分野や企業規模によって大きな差が存在している。さらに、シミュレーション環境の構築や解析技術ノウハウ蓄積にも課題が多く、シミュレーションの信頼性や結果解釈等、実際のものづくりとの連携が十分にできているとは言えない。また、実際に産業界のものづくり現場で用いられているソフトウェアはその大部分がまだ外国製であり、大学等アカデミアの技術や研究成果を産業界でまだ十分生かされているとは言えない。

ここでは、シミュレーションの活用の視点で

産業界の現状について考察してみる。シミュレーションの産業界における活用の実態を調査した事例として、産業競争力懇談会（COCN：Council on Competitiveness-Nippon）が2011年度に実施した調査報告によれば、大きく2つの課題が見えてくる[5]。

- (1) 多様なシミュレーション情報と技術者をうまくつなぐ連携技術としての解析情報活用技術、効果あるモデリング方法論、人材育成のあり方。
- (2) シミュレーション技術活用の活性化、シミュレーションを基盤としたものづくり連携のあり方。

具体的内容としては、以下の点が挙げられている。

(1)に該当する例：

- ・課題の設定とそれに合う解析モデル構築の困難さ、人材育成や支援技術
- ・適切な計算モデル構築、解析結果解釈、結果から得られた知見による改善、創造

(2)に該当する例：

- ・大学などの先端的シミュレーションソルバの産業界への技術移転
- ・プリ・ポスト研究の推進
- ・企業におけるシミュレーション技術活用のレベルには濃淡、特に中小企業ではツールを使いこなせる技術者が不足、汎用ソフトは高額のため費用対効果が見えず投資判断ができない、等

例えば、図2は本報告での企業アンケートの回答例である[5]。回答企業としては31社、回答者数41名である。今後課題と思われるシミュレーションプロセスで優先順位の高いものとして、

- 1) 課題に適切に対応した計算モデルの設定
- 2) 解析結果の理解、解釈
- 3) 境界条件の把握
- 4) 解析から得られた知見による改善、創造等が上位に挙げられている。

すなわち、シミュレーション技術、特に解析

ソルバの技術開発は当然であるが、それと同等にシミュレーションする前の戦略、シミュレーション後のプロセスとして、結果の解釈や製品開発に知見を活かす技術、工夫が必要であることがわかる。さらに、報告書では、解析と計測の比較としての V&V (Verification and Validation) や計算誤差を考慮したモデリング等の必要性も言及している。

さらに、国産先進シミュレーション技術を基盤技術とし、中小ものづくり企業、中小ソフトベンダや大企業、さらに大学、公設試、関係省庁からなる産学官の協調により、ものづくり企業における開発のスピードアップ、低コスト化を促進する「ものづくり連携システム」なる仕組み構築を提言している。

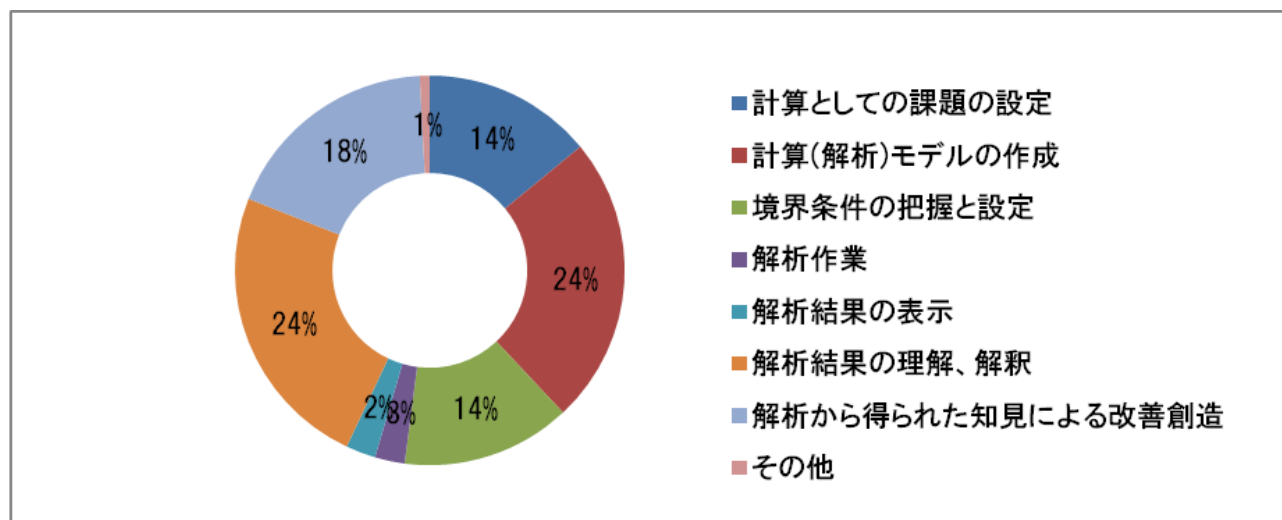


図2「シミュレーションプロセスで、今後、課題と思われるプロセスを各プロセスの中で優先順位の高いもの上位3つ」のアンケート例[5]

6. 今後のシミュレーション技術のあり方

このように考えると、グローバルに製造業を活性化するスーパーコンピューティングのあり方について、いくつかの切り口から議論を進めていく必要がある。(1)シミュレーションと異分野の連携：シミュレーションの対象は従来よりも大規模で複雑になり、現象をよく理解しながら、シミュレーションを実施する必要がある。解析結果と計測データの比較、検証、大規模な解析データの解釈等、アプリケーションを使う技術者は、異分野の専門家との連携が求められている。(2)スーパーコンピューティングによる価値創造：いまだに分からない現象の解明や、世界に先駆けた新しい発明・発見に繋がるような事を出して、高いレベルの価値を生み出していく必要がある。(3)ものづくりにおける低コスト化への貢献：今後、グローバルな市場での競争力強化にはコストの視点が大事であり、シミ

ュレーションを活用した設計、製造プロセスの革新が期待される。(4)アカデミーと産業界のシームレスな連携：大学や公的研究所で開発される優秀な解析技術等を産業界で積極的に実用化していく動きが必要である。

日本のものづくり産業が未曾有の危機にある今こそ産官学の力を結集し、10年先をも見据えた確固たるビジョンを構築し、そのビジョンの実現のために時を待たずいち早く的確に実行に移す必要がある。

また、安く、早く、高信頼な製品を作るためのプロセスイノベーション(どう作る)が、事業的な競争力優位性に繋がった過去の成功体験から脱却し、プロダクトイノベーション(何を作る)において事業的な競争力優位性を生み出していくために、「コトづくり力」、すなわち、新しい社会的価値をデザインする能力が必須である[6]。コトづくりに向けてのものづくりを追求

することが、これからのものづくり産業のとるべき新しい道である。

例えば、スマートグリッドのような広域エネルギー・ネットワークに向けた取組みもこの範疇に属する。このタイプのものづくりは、システム視点のものづくりであり、システム構想力が主役になり、システム全体の挙動が示す新しい機能、新しいサービス、新しい便益を如何にデザインするかが課題になる。システムのアプローチによって新しい価値を生み出す「コトづくり」において、またその中で「違い」を生み出すものづくりを実現するために、今後多様なシミュレーション技術の活用が必要になってくると思われる。

謝辞

スーパーコンピューティング産業応用協議会（産応協）や産業構想力懇談会（COCN）の活動を通じて、わが国のシミュレーション技術の産業応用の進展に貢献してこられた各位に敬意を表したい。また、本報告をまとめるにあたって、株式会社日立製作所の佐々木直哉博士のお力をお借りした。あわせて、お礼を申し上げたい。

参考文献

- [1] The U.S. Manufacturing Competitiveness Initiative Report, Make: An American Manufacturing Movement (2011)、<http://www.comete.org/publications/detail/2064/make/>
- [2] 岩崎, 高橋, 日立評論 Vol.94, No.04 , pp.22-25, 4 月号 (2012)
- [3] 合田, 平, 助川, 阿部, 日立評論 Vol.90 , No.11 , pp.54-59, 11 月号 (2008)
- [4] 文部科学省次世代 IT 基盤技術構築のための研究開発 第三回「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」シンポジウム講演集, pp. 139-172 (2011)
- [5] COCN 報告書「HPC (High Performance Computing)の応用 - ものづくり強化のた

めの計算科学モデリング&シミュレーションに関する研究会 - 2011 年度最終報告書」, <http://www.cocn.jp/>

- [6] 同上「グローバルもの(コト)づくり-2011 年度最終報告書」

技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、【カラー版】がダウンロードできます。（ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。）