

設計者がCAEを正しく使い、 正しい結果を得るための実践的知識

東京大学 泉 聡志*

*いずみ さとし：大学院工学系研究科機械工学専攻 教授 研究・専門テーマは、マルチスケールシミュレーション(分子動力学、有限要素法など)、材料強度
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 工学部2号館
E-mail : izumi@fml.t.u-tokyo.ac.jp
URL : <http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/>

はじめに

筆者は大学で機械工学を学んだ後に、大手電機メーカーに就職して、解析者としてシミュレーション技術(有限要素法、分子動力学)の半導体分野への適用の業務を経験した。その後、大学に戻り、材料力学と有限要素法の学部講義を担当しつつ、数多くのシミュレーションの共同研究に携わってきた。2004年頃には、CAEの専門家の方々と一緒に、有限要素法の社会人教育にも携わった。この時代、有限要素法の普及の勢いは増し、解析ツールも多様化・高度化した。CAEに関わる人の数も急増し、社会人向けの教育が必要となったのだ。

しかし、書店にある有限要素法の書籍は、仮想仕事の原理やら難しい数学を学ぶ専門家のための書籍であり、実務の要望に応えられるものではなかった。機械技術者が何を学ぶべきかを、当時の先輩の先生方と議論しながら、有限要素法を作る講義から使う講義へと講義内容を変えた。有限要素法の原理を知ることが重要であるが、数学的な取扱いは最低限に抑え、実際にコードの中でどのような計算が行われているかを手計算で求める座学を講義の前半に据えた。後半は、汎用ソフトを使って応力解析を行い、出てきた応力分布を材料力学的に解釈し、強度設計を行う演習とした。当時の方式は、2019年現在でも続いており、拙著(講義の教科書を書籍化したもので2010年に出版)にまとめられている¹⁾。この本は社会人にも役立ててほしいという思いで執筆したが、これから

述べるCAEにおける社会人の問題を解決するものではない。

本の出版後、問題意識を共有した方々と一緒に、CAEの社会人教育を確立すべく、日本機械学会を中心に、演習問題作成²⁾や講習会³⁾などの活動を行ってきた。本稿では、活動の中で自分なりに到達した結論を述べたい。なお、本稿は、筆者が関わった有限要素法による応力解析を軸に書かれているが、同じ考え方は他のシミュレーション手法(分子動力学など)にも当てはまると考えている⁴⁾。

CAEの普及により生じた問題点と 社会人教育

2000年頃から、CAEに関して企業の方々の悩みを耳にすることが多くなった。それは、「CAEの結果が信頼できるかどうか」という問題であり、高価なソフトを導入した割には満足する成果が出ていないようであった。

また、CAEに携わる人口が増えるにつれ、別の問題も出てきた。それは、CAEの業務が設計技術者と解析専任者に分業化されたことにより、両者の連携が必ずしもうまくいかないという問題である。解析専任者の悩みは、どうすれば設計(技術者)に貢献できるかという点で、設計技術者の悩みは、どうやって解析専任者に依頼すればよいかわからないという点であり、両者の間に溝ができてしまっているようだった。

これらの問題を解決するためには、CAEを高度に使いこなすための教育が必要であることは間違

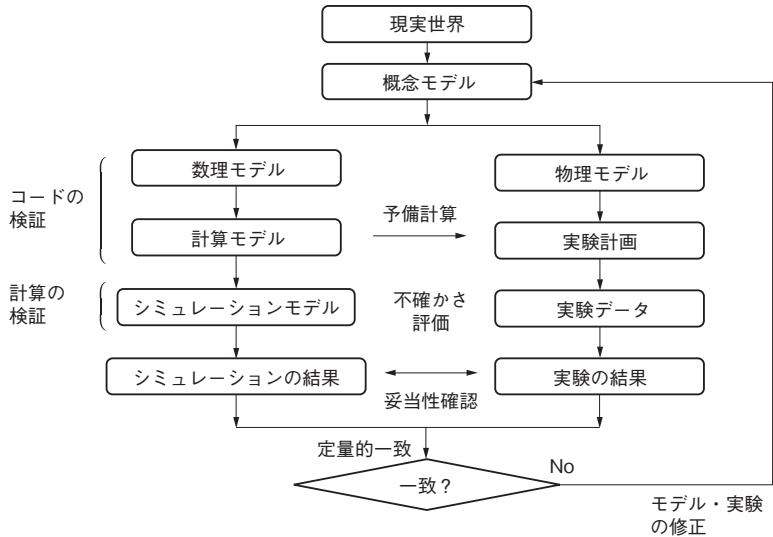


図1 V&Vの考え方

いない。しかし、解析専任者がCAE懇話会などのコミュニティから知識・情報を得ることができる一方で、CAEが専門ではない設計技術者にとっては、このようなコミュニティは敷居が高い。また、ベンダーのソフトウェアの操作法のトレーニングは、実際にソフトウェアを使わない設計技術者には無意味である。そもそも、設計技術者が学ぶべきものは解析専任者が学ぶべきものとは異なるはずであるが、CAEに関して何を学ぶべきという点が明確になっておらず、現場のOJTに頼っている状況であった。これらの問題を解決する社会人教育が必要とされていたのである。

V&Vの考え方～設計者が学ぶべきこと

筆者の大学・社会人教育の経験から、設計技術者が学ぶべきことは、「CAEの結果の検証と妥当性の確認 (Verification and Validation: V&V) の考え方⁵⁾」であると提案している。

V&Vとは、2006年に発行されたアメリカ機械学会の「計算固体力学におけるモデリングとシミュレーションの正確さと信頼性を評価するための基準」で使われている用語であり、図1で説明されている。

人間は、現実世界を何らかの概念モデルで捉え

る。それを理解するために、一方では、物理的モデルを立てて実験を行う。もう一方では、数理的モデルによりシミュレーションを行う。この2つを組み合わせたものがいわゆるCAEである。

シミュレーションでは、数理モデルから計算モデル(コード)を作る。このコードがバグなく正常に動くかどうかは、「コードの検証(Code Verification)」と呼ばれる。コードが正しく動く場合でも、シミュレーションモデル(形状、メッシュ、物性値、境界条件)が間違っていたら結果は正しくない。よって、「計算の検証(Calculation Verification)」が必要となる。この2つの検証の後、シミュレーション結果が現実をどの程度精度よく表しているか(正しいか)を明確にする必要がある。これを「妥当性確認(Validation)」と呼ぶ。検証はコンピュータの中で閉じた作業である一方、妥当性確認は現実世界との比較であり、両者を明確に区別することが大切である。

コードの検証のためには、可能であれば、実績のあるコードを使うことが望ましい。しかし、いくら良いコードを使っても、計算の検証はユーザーに任せられる。検証のためには、コードの中身もある程度理解しておく必要があるであろう。

一方、妥当性確認は、コードの機能とは直接関連はなく、得られた結果を材料力学や設計生産の

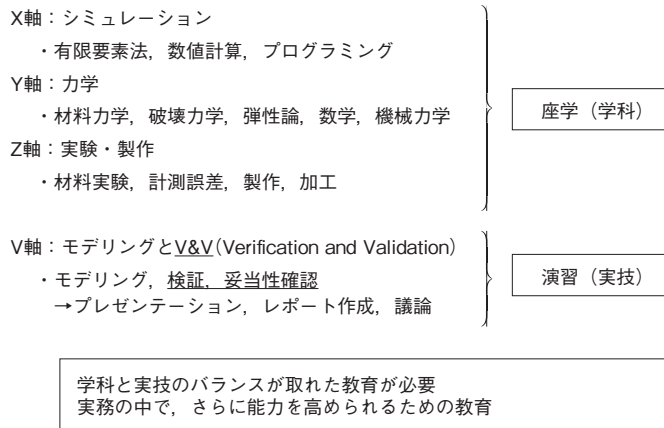


図2 CAEを使ってモノづくりを行うための基礎的な素養の習得 (XYZの学問体系とモデリングとV&V)

知識をベースに解釈する能力が必要となる。多くの場合，シミュレーション結果と実験結果は合わない。合わない理由を明確にするためには，専門家(当事者)が集まったレビューが効果的である。レビューの過程で，境界条件などのシミュレーションモデルの実験との相違や，実験データの不確かさ(実験とシミュレーションの精度の乖離)などさまざまなことが明確になるであろう。妥当性確認は，CAEにおいて欠かせない最も重要なポイントであると筆者は考えている。

余談ではあるが，このV&Vの考え方は，1960年代くらいから機械設計分野にある考え方で，日本でも先輩技術者が古くから語り継いでいる考え方である。

V&Vを実現するに当って 身に着けておくべき知識の体系

筆者は，V&Vを実現するに当って身に着けておくべき知識の体系は図2のような，座学(力学，シミュレーション，実験・製作)と実践的な演習であると提案している。

座学は，XYZ軸の3軸から成り，X軸はシミュレーションの知識であり，コードの中身を理解するために必要である。Y軸は力学で，たとえば材料力学は検証と妥当性確認には欠かせない。Z軸は実験と製作である。扱っている材料物性の知識，

応力やひずみなどの計測方法と不確かさの知識，現物がどのように製作されているかの知識が妥当性確認のためには必要である。座学に関しては，昨今の大学教育の変化により，社会人が必ずしもすべての知識を得て卒業しているわけではないため，不足している部分は補う必要がある。

演習の軸はV軸のモデリングとV&Vである。演習は，業務の中でも実践できるが，仮想的な演習問題を数多く解き，結果に対するプレゼンテーション・議論・レビューをする経験が有効であると考えている。

CAEの教育とはシミュレーション手法(X軸)の教育だけではなく，図2のような実践を含んだ幅広い教育である。これは，設計技術者と解析専任者に必要な共通の素養であるが，解析専任者はX軸の知識のみを，設計技術者はYZ軸の知識のみを有している場合が多いため，V軸の能力の習得が困難になっていると考えられる。

また，機械系の伝統的な大学教育を見てみると，図2の座学のほとんどはカバーされており，特別なものではないことがわかる。ただし，機械系以外を卒業している場合や大学で身に着けていない場合は，これらの座学の知識の習得には，少なくとも勉強量が必要であろう。残念ながら世の中が進歩しても，基礎知識(特に数学と力学)は即席では身に着かない。巷の「すぐわかる○○」などの専門書は「すぐ忘れる○○」であり，座学はある