

シミュレーションでわかること

設計・開発の道具として定着したシミュレーション。 その正しい使い方

流体解析をはじめとしてシミュレーションが広く活躍している。
だが単に複雑な格子を切ってきれいな絵を出して満足していないだろうか。
シミュレーションに臨む心構えは何か。何がわかり何を学ばよいか。

株式会社 IHI 技術開発本部 河合 理文

さまざまなシミュレーション

シミュレーションと一口に言っても範囲は広い。技術者の多くは流体解析 (Computational Fluid Dynamics : CFD) や構造解析を思い浮かべると思うが、これらは流れなり構造物なりの力学の微分方程式を数値的に解くもので、計算力学と呼ばれる分野である。これ以外に、電磁場の方程式や化学反応の式、制御系の方程式を解くものも数値解析としてシミュレーションの一分野を成している。一方、シミュレーションの元の意味は「模擬する」ということであり、計算を伴わなくても物の動きや複雑な手順を紙やコンピューターのうえで再現することは本来の意味での

● 「シミュレーション」と言って連想されるもの→「計算力学」

構造解析 熱流体解析 振動・機構解析

● その他の数値解析

電磁場 化学プロセス 材料 制御

軌道計算

● (狭義の)シミュレーション

生産・加工過程 (ラインシミュレーション)

宇宙飛行プロセス

さまざまなシミュレーション

シミュレーションと言え、これも重要な道具である。

IHI ではこれらの広い分野でシミュレーション技術が研究開発され、実際の設計に活用されている。本稿では、筆者が長年携わってきた流体解析 (CFD) について論じてみたい。

シミュレーションの研究開発と展開

CFD が学問・技術として成立したのは、構造解析よりも遅れて 1980 年代である。1987 年には第 1 回数値流体力学シンポジウム (文部省重点研究領域「数値流体力学」総括班実施グループ主催) が開催されている。以後、二次元 → 三次元、直角座標 → 物体適合座標、定常 → 非定常、層流 → 乱流と着々と進歩が続いた。このころは CFD プログラムを機械メーカーなどの各社で独自に研究開発しており、IHI にも CFD 研究者の連絡会ができて情報交換をしつつ、ダクトや産業機器類、ターボ機械、船舶海洋などの各分野でそれぞれに専用のプログラムが作られていた (一方、構造解析では市販の汎用プログラムを使うのがすでに当たり前だった)。まだコンピューターがホストマシン (大規模なマシンを中央に置き、ユーザーは文字の入出力だけ可能な端末機から操作する) の時代であり、計算格子作り、境界条件の設定などはすべてプログラムで実現し、アウトプットもプリンターが吐き出す膨大な数字か、せいぜい黒一色のプロット (線画) であった (プロットするプログラムも CFD 研究者が作っていた)。

1990 年代に入って CFD でも汎用プログラムが市販されるようになった。コンピューターもワークステーション、さらに PC になり、当然インタラクティブな操作ができるようになった。ここにおいて、CFD はようやく設計ツールとして活用できるようになった。対象も単純な空気や水の流れから、物体の移動・変形、熱、燃焼や化学反応などいろいろな現象の絡む問題 (最近ではマルチフィジックスと呼ばれる) に広がっていく。

CFD の進歩は、CFD 技術 (物理現象のモデル化、方程式の解法の高度化など) 自体の進展ももちろんあるが、実際にはコンピューターの発達によるところが大きい。ある時期に「こうやれば計算できる」と分かっている、メモリーが不足して十分に細かい計算格子を切れなかったり、計算に何か月も何年も掛かることが明らかなのであきらめざるを得なかったりし

たものも、いつかは可能になるのである。

このような状況にあって、CFD の研究者たちは何をしているのだろうか。多くの問題は汎用プログラムで解決できるようになったが、特殊な現象や、ある機種に特化してツール化したいような場合、それでは満足な結果が得られない。汎用プログラムを使えば解ける問題であっても、速く、上手に使うにはもちろん十分な経験と知識が必要である。研究者たちは図の A と B に取り組んでいる。A については、CFD のすべての面を自ら高度化するのは現実的でないしその必要もない。外での発展に期待できないコアな部分を日常の案件のなかから見つけてそれを掘り進んでいるのである。

シミュレーションに臨む

実際の CFD の現場では B と C の業務が大半を占め、事業に貢献している。こここそが CFD 技術者の主戦場であり、腕の見せどころだと筆者は考えている。

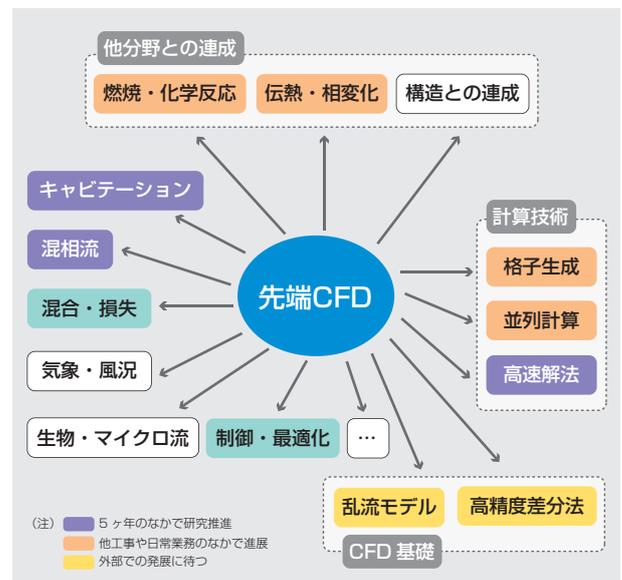
A それ自体に研究的要素をもつ

B1 道具立てや使い方は既存だが、的確な成果を得るには深い考察や知見、経験を要する

B2 道具立ては既存だが、使いこなすことや短期間でのアウトプットに高いテクニックを要する

C 道具立てが既存で、だれがやってもできる

CFD のレベル



先端 CFD 技術 (約 10 年前のマップ例)

ではこのような日常的な CFD 業務に取り組むに当たって、考えておくべきことは何だろうか。CFD の特徴を、特に実験的な手法を対比すると、以下のよう な点が挙げられる。

- (1) 期間が短い（ことが多い）
- (2) コストが低い（ことが多い）
- (3) 少人数で（一人でも）やれる
- (4) 実機条件で解析できる（ことがほとんど）
- (5) 場全体の情報が得られる。実験では求められない ような物理量が得られる
- (6) 非定常問題などでも気の済むまでやれる
- (7) パラメータスタディが容易
- (8) 後でやり直したりケースを追加したり、結果を出し直したりするのは簡単
- (9) 精度は必ずしも完全ではない
- (10) まだ手に負えない問題がある
- (11) 立案者のスキルが重要（これは実験も同様）
- (12) 解析担当者のスキルによって解の品質は異なる（これも実験も同様、ただし実験ほどではない）
- (13) 計算機リソース（メモリーと速さ）で解の品質が変わることがある

分りきったことを並べているようであるが、依頼する側（設計、開発部門など）では (1), (2), (5), (7) などのメリットを期待している一方, (9), (10) はもちろん, (11), (12) などの問題を十分に意識しているか懸念を覚えることが多い。

こういった CFD の特徴を十分に認識したうえで、実際に CFD に着手する前に明らかにしておくべきことを、筆者は以下のようにリストアップして若手に伝えている。

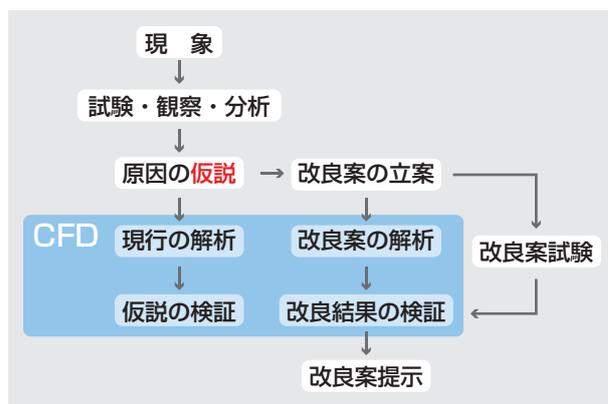
- (1) 目的は何なのか
 - ・ 新しい流れ場、新しい設計案の現象の把握・理解
 - ・ 設計案の確認・実証、絞り込み
 - ・ トラブルシューティング → ともかく何が起きているか知りたい
- (2) 「きっとこうなっているはず」という仮説を立てたか
- (3) 理論や便覧では解決できないか
- (4) 本質は何か、どこまで簡略化できるか
- (5) 欲しいアウトプットのイメージ：絵、グラフ、数字…
- (6) 評価すべきことは何か、数値的な目標はあるのか（例：最高温度が〇〇℃以内）

(7) 検証方法は：実験と併用／理論解と比較／従来の結果に頼る／しない・できない…

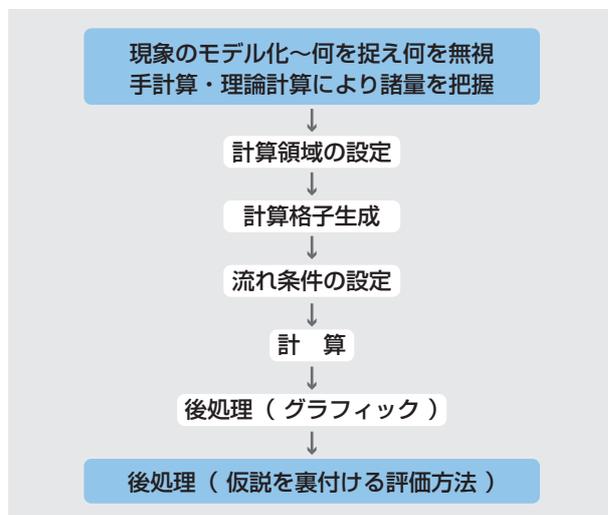
(8) 理論計算やマクロな見積りは準備したか

ここでは特に (2) について触れたい。ある流れ場を解析しようとするとき、漫然と全体を計算しても大事なことは何も分からない。これは実験を想像してみれば明らかだろう。たとえばトラブル対策のための CFD を実施する場合、まず得られているデータや観察から「きっとこういうことが起きているのだろう」という仮説を立てる。その際には (3) 理論や便覧の教えるところや、(8) マクロにはどういう場になっているのか（たとえば流量や熱量の流入流出）の見積りが欠かせない。トラブル対応であれば、仮説に基づいて改良案も立てられるだろう。そうすれば、(4) 複雑な現象や形状のなかで本質的なことは何かを判断することができる。後はその本質を捉えられるような計算領域の設定やモデル化を行って計算を進める。

計算結果を評価する際にも、仮説をきちんと肯定



トラブル対策の手順



CFD の手順

または否定できるようなアウトプットが必要である。1990年ごろにワークステーションが導入されて色つきの図が容易に描けるようになると、内容は無いのに見栄えのいい計算結果が氾濫し、「CFDとはColorful Fluid Dynamicsか」と自嘲、^や揶^ゆされたものである（当時はそれでも技術力をアピールする価値はあった）。今はグラフィックではなく、現象の本質、傾向を一目で表すグラフをどうまとめるかの力が問われる。

V&V, Prediction vs. Postdiction

CFDに限らず、数値計算について回るのが「それは正しいのか」という結果の検証の問題である。最近ではこれを「V&V」(Verification and Validation)と呼んで体系化し、学会や分野ごとに指針を作る動きもある。所定の手続きでV&Vを行わなかった計算結果は論文として受理しないという学会もでてきた。

Verificationは日本語で（狭義の）「検証」と呼ばれ、その計算が表現しようとしている物理現象の原理原則を正しく捉えられているかをチェックする。たとえばCFDで言えば、ベルヌーイの定理を再現できないようなプログラムは失格である。間違ったモデル化、プログラミングのミスなどはこの段階で発見、修正される。

Validationは「妥当性確認」という訳が定着した。具体的な対象に対して計算を行って、合理的な解、実用的な精度が得られるかを検討する。通常、検証と呼んでいるのはこちらに当たる。CFD技術者にとって最も厳しいのはこのステップであろう。先に実験・実測データがあってそれと比較して妥当な解を得るのは問題が複雑であるほど苦労する。だが仮にそれがうまくいったとしても、これではいつまでたっても計算は後出しジャンケン = Postdiction (prediction (pre- (あらかじめ) diction (述べること)) からの造語。post- (あとから)) にすぎないと、ここでも揶揄される。最近では幸か不幸か、手掛かりになる理論も実験データもなく、計算のみで設計を決めなくてはならないような案件が増えてきた。この場合には計算の妥当性が実製品によって検証されるというCFD担当者にとっては恐ろしい状態となる。筆者の感覚ではCFDによる設計の勝率は8割といったところだろうか。負けの2割にしても設計者が余裕を見込んでいるため (= CFDを完全には信用していないため) 大問題に



実機による検証

なることはあまりない（がゼロではない）。これが10割に近づいて、CFDの主張するとおりの設計が当たり前になれば、CFDはPredictionの道具として独り立ちしたと言えるだろう。なお、ターボ機械のように道具としてすでに地位を確立している分野もあることを付言しておく。

シミュレーションから学ぶ

PredictionとしてのCFDの性能が十分に上がってくれば、最初に述べたCFDの特徴を活かして、種々のパラメータを動かし（ときには極端な値も試してみよう）、形状や境界条件を変化させて多量の計算を行い、またそのなかから流れ場全体の情報を見だし、それをグラフ化してみる、といったプロセスを自在に活用できるようになる。すると当初の仮説にはなかった新しい現象が見えてくるかもしれない。筆者も、一連の計算のなかから「こう工夫すれば良くなるのではないか」とのアイデアを得て、実際の製品で良い結果を得たという経験が少なからずある。CFD技術者として最もうれしい瞬間と言える。

コンピューターもプログラムも十分に進歩した現在、CFDを予測の道具として自在に使いこなし、シミュレーションから新しい発見、工夫、提案をしていくことがCFD技術者の使命であり喜びだろう。

問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 管理部

電話 (045) 759-2213

URL: www.ihico.jp/