

2 航技研の数値シミュレーション技術に関する今後の取り組み

永安 正彦、航空宇宙技術研究所

Research Plan on the Numerical Simulation Technology at NAL

Masahiko NAGAYASU , National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

National Aerospace Laboratory (NAL) is scheduled to become an independent administrative agency. In order to reinforce the relation with other organizations, three technology development center will be constructed, one of which is CFD technology development center. The CFD center is going to conduct a new research program concerning the numerical simulation technology on multidisciplinary problem. The program is composed of the development of multi-disciplinary simulation codes, verification and standardization of the codes, development of the key technology and the super computer system. This paper summarizes the role of the CFD technology development center and its planned activities in the coming four years.

1. 航技研の数値シミュレーション技術をとりまく環境

数値シミュレーション技術は計算機の小型高速化により SST や HOPE の全機計算及びエンジン内部流等の大規模複雑計算が可能となり、開発設計にも使われるようになってきている。一方、計算が大規模複雑化するのに伴いプログラム開発、格子生成、計算及び結果の評価等の作業を複数の技術者が協調して行うことが必要になってきている。そのためにプログラムの共用化や標準化、プログラム検証による信頼性の確保、格子生成自動化、オンライン可視化による計算結果の効率的評価等の環境を整備すること、並びにこれらに基づいた多分野統合シミュレーション技術の確立が急務となってきている。

他方航技研は平成13年度から独立行政法人となり、従来以上に世の中のニーズに応えていくべき立場に立つことになる。航空機・宇宙機の効率的設計開発技術に対する要請がより強くなっていること、SST や HOPE 等の国家プロジェクトで高度な CFD が必要とされていること、航技研の計算機は高速化・高機能化によって大規模シミュレーションを行える実行環境が整ってくること等の状況にある中で、航技研は我が国の先端的な統合シミュレーション技術開発の拠点としての役割を果たすべき位置にある。

2. NAL 計算科学ビジョン2.1

航技研では CFD (計算流体力学 : Computational Fluid Dynamics) を中心とした数値シミュレーション技術の開発を

国内の他の機関にさきがけて進めてきた。また、この技術を支えるハードウェアとして、現在、稼働中のスーパーコンピュータ「数値風洞」に代表されるように、その時代の最先端の科学技術用計算機の開発にも関わってきた。その結果、CFD 技術の中心はポテンシャル解析からオイラー解析やナビエ・ストークス解析へと移り、エンジン付き全機形態の周りの流れやエンジン内部流等の大規模複雑計算が可能となって来ている。こうした中で、CFD 技術を取り巻く環境は大きく変化してきており、CFD に対する要求要件、目的意識、研究開発のありかたについて見直しを行う時期に来ているという認識から、航技研の数値シミュレーション技術等検討委員会では今後10年程度を見据えた検討を行い、「NAL 計算科学ビジョン2.1」としてまとめた。その中で、航技研が CFD 研究の中で果たすべき役割を、

- 1) 先駆的 CFD 技術研究開発への挑戦
 - 2) 実用設計に耐えうる「数値風洞」技術の確立
 - 3) CFD 技術の研究拠点たること
 - 4) 利用方法、応用分野の開拓と実用性の実証
- と設定し、今後進めるべき重点研究テーマとして以下を掲げた。
- 1) CFD におけるボトルネック技術課題への挑戦と克服
 - 2) 信頼性の高い標準解析ツールの整備
 - 3) 次世代統合シミュレーション技術の構築

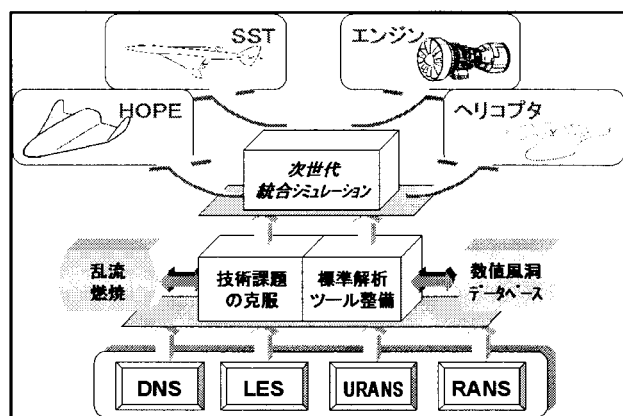


図1 CFD技術の推進方向

現在、我が国で進められている航空宇宙プロジェクトの小型超音速機実験機計画やHOPEの開発においては、CFD技術を様々な形で利用して、実験回数を極力減らす種々の試みがなされている。また、メーカーの開発現場からの要請として特に強調されている開発期間の短縮と開発コストの削減のためにも、今後この方向をますます加速させる必要があるが、シミュレーション技術としては現実の複雑な形状を対象としなければならないと同時に短いターンアラウンドが求められる。このためには、現在、ボトルネックとなっている並列計算プログラム開発、格子生成、計算結果の正当な評価等の作業を見直し、効率化を図る必要がある。そのためのプログラムの共用化や標準化、プログラム検証による信頼性の確保、格子生成自動化、オンライン可視化による計算結果の効率的評価等の環境を整備することが急務となってきている。また、従来の要素ごとのシミュレーション技術を統合してより精度の高い性能評価や最適設計を行うことを目的とする多分野統合シミュレーション技術や多分野統合最適設計技術の確立がこれからの大きな課題である。

3. 数値シミュレーション技術開発計画

航空・宇宙機開発における多分野統合解析や多分野統合最適設計技術の利用を視野に入れ、今後4～5年の間に、CFDを中核とした多分野統合シミュレーション技術開発を進める。即ちCFDを中核とした多分野のシミュレーションを統合的に実施可能なソフトウェア及び計算環境を整備する。併せて、計算プログラムやライブラリの標準化・共用化を推進するとともに、コード検証の技術確立を行い高品質のプログラムを開発する。具体的には以下の課題を考えている。

1) 多分野統合シミュレーション技術の開発

空力を中心に構造、熱、音響、燃焼、飛行制御等との統合シミュレーションを実施できる計算コード及び計算環境を整備し、航空・宇宙機の開発と性能評価及びそのために必要となる統合現象解明に適用できる多分野統合シミュレーションシステムを整備する。

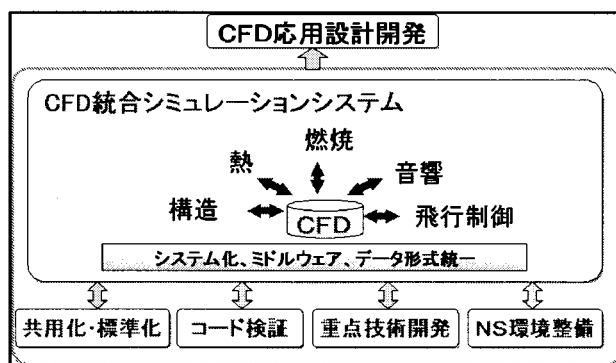


図2 統合シミュレーションシステム

2) プログラムの標準化と共用化の技術開発

CFDプログラムの共用化に必要な標準プログラム作成技術及びプログラム共同利用に必要な資源、制度等の整備を行う。計算結果の評価やプログラム開発などの際に参照/利用できるように技術基準、参照形状、標準コード、標準データを整備し、さらに外部へ積極的に公開して行く。

3) シミュレーションコードの検証技術の開発

解析コードや解析データの検証法を確立して信頼性のあるコードを提供出来るようにする。このために必要な風洞対応CFD計算プログラム等を整備して風試データとともにデータベースとして整備する。

4) CFD解析における重点課題に関する技術開発

並列計算、格子生成、リアルタイム可視化、乱流モデリング等のCFDをツールとして用いる際にボトルネックとなっている技術の克服に重点的に取り組む。

5) 先進的統合シミュレーション技術研究

飛行実験の全フェーズを数値シミュレーションで実現する仮想飛行実験評価システム、上記評価システムに基づく設計システム、エンジン全段シミュレーションを含む総合シミュレータ等をめざした先行的研究を行う。

6) 研究基盤整備

上記の各研究を行うために必要な高性能計算機システム及び統合シミュレーション計算環境を整備する。

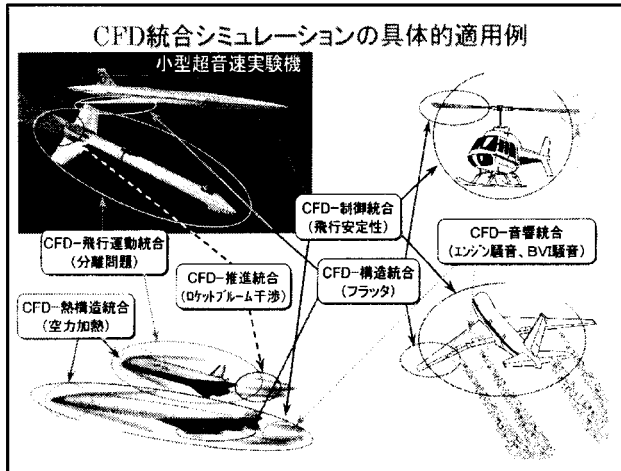


図3 CFD統合シミュレーションの具体的適用例

4. 統合シミュレーション環境整備

数値シミュレーション技術の発展を支えるものは計算機の高高速化であり、基本ソフトウェアの充実である。今後、我々が進めようとしている上記数値シミュレーション技術開発計画を着実に進めて行くためには、並行して高性能計算システムの導入と統合シミュレーション計算環境の整備が不可欠である。

数値シミュレーション技術開発計画を計算環境に対する要求として見直してみると

- 1) 非定常解析等に伴う高速処理、頻繁な入出力、大量の時系列データに対応するための大容量ストレージや高速データ転送技術
- 2) 異分野間の情報交換や情報共有を進めるためのオブジェクト指向プログラミング、ミドルウェアの導入、データ形式の標準化
- 3) リアルタイム可視化、大規模TSSジョブへの対応するための技術

等が必要であり、これらをうまく組み合わせることにより、トータルスループットの向上を目指すことが重要である。これらを考慮したソフトウェア、ハードウェアを含めてユーザーにとって使いやすいシステムを構築することが、目標である。

現在検討を進めている次期数値シミュレータ・システム概念図を図に示す。中核となるスーパーコンピュータは演算性能として、ピーク性能で現在の数値風洞の20~40倍、メモリは1~2TB、ディスクは10~20TB、100~500TBのテープ装置を基本要件として考えている。導入時期は平成13年度第4四半期を予定している。これに関し

ては今後の計算機開発にも大いに期待しているところである。

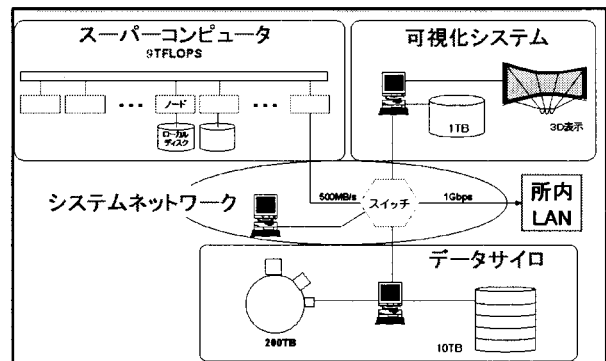


図4 次期計算機システムの概念図

一方、可視化システムも今後の技術展開には不可欠で重要な設備である。可視化システムには以下の目的を持つものとして位置づけている。

1) 統合CFD解析における可視化処理の高度化

解析の妥当性をリアルタイムに判断して無駄な計算を排除するとともに、過渡的な流体現象を詳細に把握する。また、

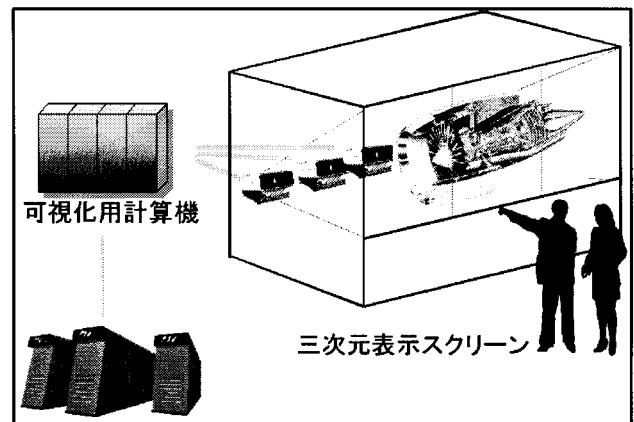


図5 次期可視化システムの概念図

解像度、写実性、没入感の向上により現象の理解度を増進させる。また、空間的な位置検出や位置関係の把握を容易にする。

2) CFD解析と実験/設計プロセスとの融合による協調的研究開発環境の創出

計算結果、実験結果、設計構想の同一大画面上での比較により研究効率、開発力及び生産性の向上を図る。

3) 研究成果の効果的外部発信と設備の有効利用

航技研の研究成果を多くの人にリアルに伝える効果的な手段を提供する利点を活用して、外部発信するための設備拠点とする。

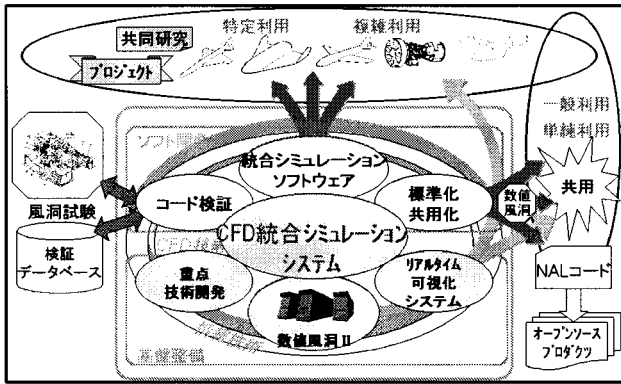


図6 成果の利用イメージ

5. 設備の共用、外部との連携

1) 数値風洞

従来の技術を集大成し、航技研の所有する風洞設備に対応した数値風洞を開発する。これにより、風洞試験の事前評価を行い、より適切な実験計画の策定に役立てるとともに、実験結果の整理、解釈にも大いに役立つものと考えられる。適切な境界条件の設定、検証データベースによりデータ信頼性の確保、重合格子法等の利用による格子生成の負担軽減、データ生産性の向上等が課題である。まず、遷音速数値風洞から取りかかり、超音速数値風洞、極超音速数値風洞へと順次展開していく予定である。

2) 共用コードさらには共用環境の開発

現在、研究者が共有可能な、複雑流れ並列計算CFDコードの開発を目指してUPACS (Unified Platform for Aerospace Computational Simulation)プロジェクトを進めている。その特徴は

- a) プログラミング言語としてFORTRAN90を採用し、構造化プログラミング、オブジェクト指向の考え方を導入し、複雑なアルゴリズムを容易に表現できるようになった。また、タスクの完全分離が容易にできるようになった。(データと手続きをまとめたカプセル化)
- b) 標準的な並列計算ライブラリ (MPI) を利用することにより、PCクラスタからNWTまでの幅広いポータビリティを確保することができた。

今後はこの方向をさらに進めて

- c) 複雑化する多分野統合数値シミュレーションのための基盤技術として、データ、プログラム、ユーザーインターフェイス、ミドルウェアなどについて、現実に共有可能な標準化方法を作る。
- d) 多分野統合シミュレーションを容易に実現するためのプラットフォーム・ソフトウェアを開発する。

等を中期計画の中で進めていく。

3) 制度整備

現在、設備を利用することができる制度として共同研究と設備貸し付けがあるが、ハードウェア中心の利用であり、ソフトウェアの利用については新たな制度を設ける必要があると考えている。

4) 外部機関との連携

基礎研究を実施する大学と新しい技術を求めている産業界との橋渡し役として外部機関との連携を強化する。また、外部ニーズ把握や研究の方向付けのため、外部の有識者からなる助言機関を組織する。

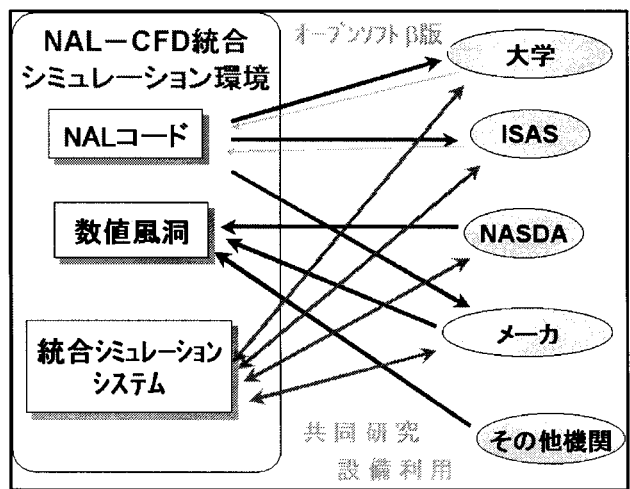


図7 外部との連携

6. 結言

CFD技術は基本的な計算技術が確立され、いかに応用分野、実用分野で活用していくかが課題となっている。また、熱、構造、飛行、制御といった他分野との統合化により、設計により有効なツールとして磨いていく必要がある。関係機関との意見交換を通じて、この方向については共通認識であることを確認した。独立行政法人航空宇宙技術研究所は平成13年度からCFD技術開発センターを中心に関係機関のご協力を得つつ、上記のCFDを中核とした多分野統合シミュレーション技術開発を着実に進めていく計画である。

この計画をまとめるに当たって、関係大学、関係機関、関係会社の方々から多くのご協力をいただいた。末尾ながら、改めて感謝の意を表す。