

大画面表示による大規模流体解析用可視化システムの開発

Developing a Visualization System with a Large-Format Display for Large-Scale CFD Analyses

松尾裕一, 航技研, 調布市深大寺東町 7-44-1, E-mail: matsuo@nal.go.jp

末松和代, 航技研, 調布市深大寺東町 7-44-1, E-mail: kazuyo@nal.go.jp

Yuichi Matsuo, National Aerospace Laboratory of Japan, 7-44-1 Jindaijihigashi Chofu Tokyo

Kazuyo Suematsu, National Aerospace Laboratory of Japan, 7-44-1 Jindaijihigashi Chofu Tokyo

This paper describes the strategies and technical issues of a new Central Visualization System recently introduced at the National Aerospace Laboratory. We expect the system to have the strategic roles about obtaining extra reality, research collaboration and visual communication. The system consists mainly of a 4.6 × 1.5-meter rear-projection screen system with a 3 array of BARCO CRT projectors which use a seamless edge-blending technique and a high-performance visualization server SGI Onyx3400 system with 32CPU, 64GB and 6 pipes.

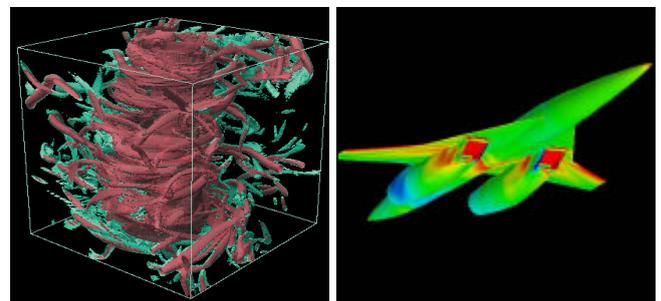
1. はじめに

航空宇宙技術研究所(以下、航技研)は、高速スーパーコンピュータを用いて行った主に計算流体力学(CFD)の大規模数値シミュレーションの結果を、迅速かつ効果的に可視化する研究並びに技術開発に従来より取り組んで来たが、平成12年度、それまで使っていた CRAY を中核とする可視化システムが陳腐化したのを契機に、大画面表示装置と高速可視化サーバから成る新中央可視化システムを開発し、平成13年4月より本格稼働に供した。

本稿では、その新中央可視化システムの導入背景、戦略、構想、技術、特徴などについて概説し、新たな可能性、問題などにつきエンジニアリング的視点から議論してみたい。

2. 新中央可視化システムの導入の背景

航技研では、ピーク処理性能280GFLOPS、メモリ44.5GBを有するスーパーコンピュータ(数値風洞: NWT)を用いた大規模CFD解析を先駆的に実施し、流体基礎現象の解明や商用機・実験機の研究開発に適用して来た。近年の傾向として、扱う対象が次第に大規模化、複雑化、多様化の方向に向かっている。規模的には、乱流や燃焼現象の基礎シミュレーションでは、1000~5000万メッシュ、航空機・宇宙機の空力解析では、300~1000万メッシュの規模の問題を取り扱い(Fig. 1)、出力データは量にして時に100GBを超えるような場合も現出している。複雑化という点で言えば、領域分割法の一つであるマルチブロック構造格子法を用いることで、エンジンナセルやフラップのついた全機体まわりの流れ解析やエンジン内部の段流れ解析が可能になって来ている。多様化という面では、時間とともに現象が変化したり物体が移動する非定常(過渡的)問題や、流体・構造などの多分野連成問題が扱われるようになって来ており、いずれの場合も既にプロダクションランのレベルでの実問題への適用が始まっている。



(a) Turbulence simulation (b) Full configuration simulation

Fig. 1 Examples of large-scale CFD analyses at NAL.

一方、航技研は、NAL計算科学ビジョンを策定¹⁾し、今後のCFD研究開発の方向性を示すとともに、独立行政法人化を契機に中期研究計画を作成²⁾し、CFDを中核とする多分野統合シミュレーション技術に関する研究開発を行っていくこととした。具体的には、CFD(流体)を中核として異種分野との連成(流体・構造、流体・制御など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基盤を整備する。例えばFig. 2に示したプロジェクトや機体・エンジン開発における技術課題が解けるようにコード、プラットフォーム、ミドルウェア等のソフトウェアを整備する。併せて、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し提供する。また、ボトルネックとなっている技術課題の克服のために、乱流/燃焼のモデリング、複雑格子生成、並列プログラミング環境などの課題に重点的に取り組む、とされた。

このような状況の中で、航技研は、可視化処理専用のサーバとして、CRAY Y-MP M92(700MIPS、8GBメモリ)から成る中央可視化システムを運用して来たが、経年による性能の陳腐化、NWT CRAYとデータ(処理)の流れが一方通行であることによる処理の非効率性(ジョブが終わるまで計算結果を見られない)が顕在化していた。また、従来の21インチ程度のデスクトップ

クトップディスプレイによる表示方式とマウス操作によるユーザインターフェース方式では、我々の扱っている大規模解析データの可視化に対し、解像度が足りない、オブジェクトが画面からフェードアウトしてしまう、マウスによるオブジェクト操作や任意の空間点のポインティングが思い通りに行かない、などの問題点や限界が指摘され、中央可視化システムに対する新たな需要や期待が高まりつつあった。

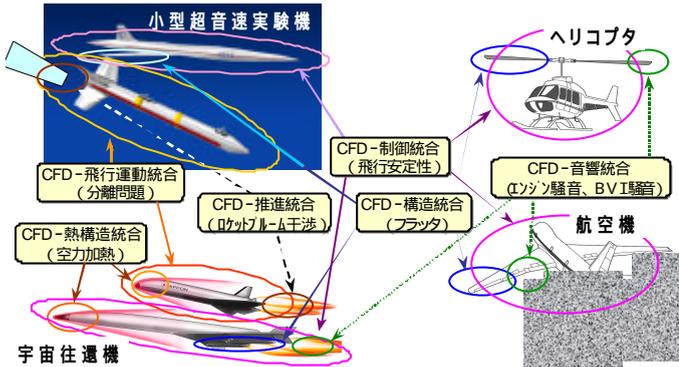


Fig. 2 Multidisciplinary simulation.

3. 新中央可視化システムの戦略と要求要件

新システムの性能や機能を絞り込んで行く中で、純可視化システムとしての性能・機能の他に、研究開発スタイルの革新による業務効率の改善やアピール効果の向上に関する可能性も検討対象とした。結果として、新中央可視化システムが持つべき目標と戦略を次の3点に整理された。

1) CFD解析の複雑大規模化及び統合化に対応した可視化処理技術の高度化 リアリティ

- 解像度、写実性、没入感の向上による可視化力の増強
- 空間的な位置検出や位置関係の把握の容易化
- 解析の健全性・妥当性をリアルタイムに判断することで、無駄な計算を排除するとともに過渡現象を詳細に把握

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確立 コラボレーション

- 計算結果、実験結果、設計構想の同一画面上での比較によるデータ信頼性及び生産性の向上
- 大画面表示による利用者コミュニケーションの能率化

3) 研究開発成果のアピール効果の向上と広報的利用の推進 コミュニケーション

- 成果を多くの人に効果的に伝えるコンテンツ作成力
- 教育用、広報用として利用

上記の戦略を典型的な技術要件に置き換え、それに対して現状与えられ得るソリューションを検討した。(Table 1参照) 可視化力とアピール効果については、「何を見るか、どう見るか」という可視化の本来の目的の他に、「何をさせるか、どうさせるか」という視点からの考慮を加え、ステレオ表示や3Dポインティングの機能を備えた大画面表示を採用することとした。大規模データとして1G点(10億点)を高速に処理することを想定し、高性能可視化サーバが必要と判断し、グラフィックスエンジンの仕様やメモリ量を決定した。計算サーバと可視化サーバの間で、ファイルを介さないリアルタイム処理については、GSN (Gigabyte System Network: ピーク転送性能1GB/秒を有する。)と専用ソフトウェアによって対応することとした。また、サーバの持つ能力を有効に活用し、ユーザにとって最適なシステム利用性を構築することを念頭に置き、ユーザを3ランク(特別パワーユーザ、普通パワーユーザ、リモートユーザ)に階層化し、資源に応じた可視化利用環境を提供することを考慮した。

Table 1 Requirements to new Central Visualization System.

要求要件	ソリューション
可視化力、アピール効果	大画面表示、ステレオ表示、3Dポインティング
1G点のデータ処理能力	高性能可視化サーバ (要グラフィックスエンジン、64GBメモリ)
リアルタイム処理	GSNによる結合、専用ソフトウェア
ユーザ対応力	階層的可視化、ウェブ可視化
コンテンツ作成力	ノンリニアビデオ編集

4. 新中央可視化システムの構成概要

導入された新中央可視化システムは CeViS (Central Visualization System) と呼ばれ、Fig. 3のように可視化サーバ、大型三次元表示装置、高性能グラフィックス端末、ノンリニアビデオ編集装置などから成る。



Fig. 3 Schematic of new Central Visualization System CeViS.

以下に、CeViSの構成上、特徴的なものについて述べる。

4.1 可視化サーバ

画像生成装置としての可視化サーバの役割は重要である。新システムでは、SGIのOnyx 3400 32CPU 64GBメモリを採用した。ジオメトリエンジンはInfinite Reality 3グラフィックスパイプを6本有している。7860万ポリゴン/秒の描画性能、680億色の表示性能を持っており、高解像度表示やステレオ表示、動画表示に十分対応可能である。データ一時保管のためのキャッシュディスクとして1.1TBの容量を搭載している。

4.2 大型三次元表示装置(エアロビジョン)

可視化サーバと並んでCeViSシステムの中核となるのが大型三次元表示装置(エアロビジョン)である。前記の技術要件を満たすために、以下のように仕様を決めた。全体の方式を決める上でスペースは重要なファクターであるが、今回の場合、スペース的余裕がなかったため、CAVE型やドーム型は排除した。表示の不正確さから曲面スクリーンも対象外とし、想定人員、機能性、拡張性などからウォール型平面スクリーンが残った。画面の大きさは、実験機(6m程度)やエンジンが実物大で表示できるようなサイズ(4.6m×1.5m)とした。ステレオ表示が必要ということから、プロジェクタは3管式とし、できる限り明るくしたかったため、BARCO社製のREALITY 812という12インチ管を選定した。エッジレンディングには、SEMUと呼ばれるBARCOの内蔵ユニットを利用した。投影方式は、スクリーンに影が映るのを避ける等の理由からリア投影方式を選んだ。バックヤードスペースが必要になるが、映像を鏡で反射させることでバックヤード部分を最小化する方式を採用し、プロジェクタや反射鏡の取付けのためにボックス型構造とした。スクリーンは、映像の正確さを勘案し、ハードスクリーンとした。拡散コーティングは、客席側ではなく裏側に施すことにより、拡散面の保護、ボックス内での光乱反射の防止を図った。大画面の構成は、3面を横に結合させる方式とし、解像度は単面で現在の最高解像度(SXGA)に耐え得るようにした。以上から決められた主要スペックをTable 2に示す。Fig. 4は、大型三次元表示装置の前面写真であり、Fig. 5は内部構造の概略を示した。技術的詳細は、参考書³⁾や解説⁴⁾を参照されたい。

Table 2 Specifications of 3D visualization system

画面形状、サイズ	ウォール型平面、4.6m×1.5m
投影方式	リア投影、ハードスクリーン(裏面コーティング)
解像度	3,300ドット×1,028ドット
明るさ	500ANSIルーメン
機能	エッジレンディング、ステレオ表示、保守容易

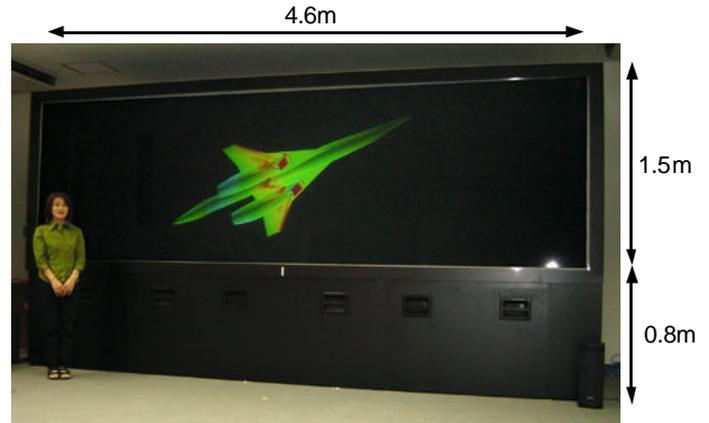


Fig. 4 Front view of 3D visualization system.

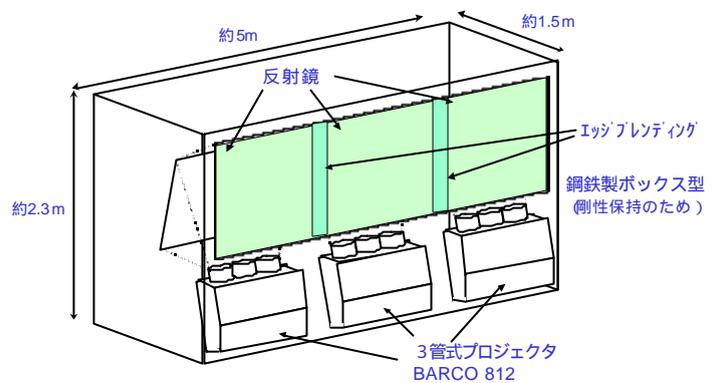


Fig. 5 Structure of 3D visualization system.

実際に使えるシステムを組むためには、制御方式、ソフトウェア、付加機能、維持管理などを別途検討する必要がある。システムの制御は、Fig. 6に示したように、可視化室内に専用の制御用のデスク(制御卓)を用意し、オペレータが制御を行うような形式にした。プロジェクタの信号制御、画像ソースの切替えなどは、タッチパネルによりワンタッチで切り替えられるようにし、初心者利用性にも配慮した。ソフトウェアは、制御ソフトウェアと可視化アプリケーションが要る。可視化アプリは、専用ソフトを作り込んでしまうと表示バリエーションがなくなるので、できるだけ流通しているものを使うように設計した。大画面表示に対応する可視化アプリとして、AVS/MPE、EnSightGOLDを導入した。FIELDVIEWなどのアプリも使えるように1パイプで表示するモードを設けた。付加機能として、3Dポインティング、会議用、パソコン画面表示などを考慮した。3Dポインティング用に、COVISEシステム(後述)を導入した。会議用として、液晶プロジェクタを内蔵させている。

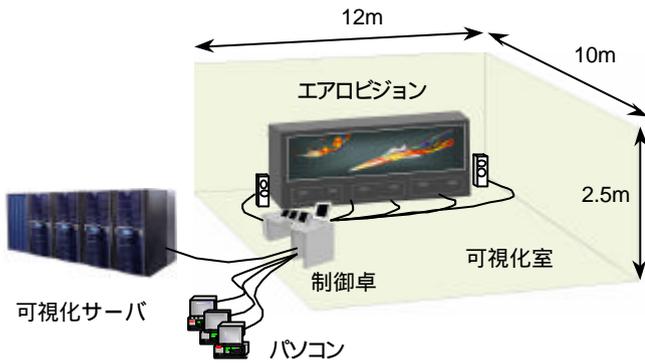


Fig. 6 Visualization space and the control system.

4.3 ウェブ可視化

リモート端末からインターネットを通じてCeViSシステムにアクセスするユーザに対しても、資源に応じた可視化環境を提供する仕組み(ウェブ可視化)を実装するべく準備を進めている。現在、プロトタイプシステムを作成した段階であり、Fig. 7は、そのウェブ可視化ツールによって可視化しているところを示す。

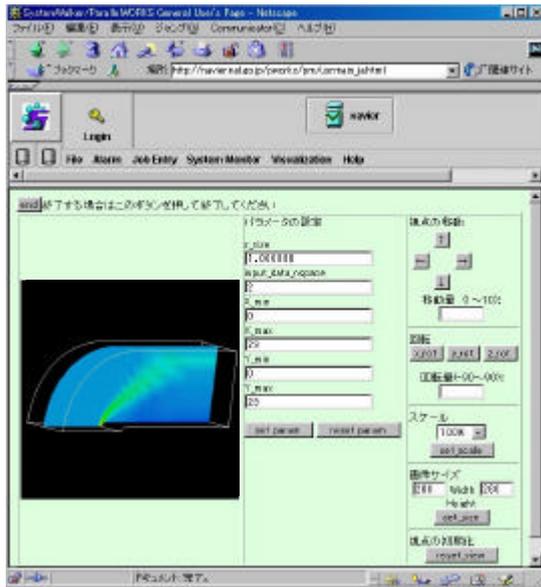


Fig. 7 Web-based simulation tool.

5. 新中央可視化システムによる可視化事例

ここでは、幾つかの最新の可視化事例を紹介することにより、CeViSシステムの特質、特に大画面表示の長短所について論じてみたい。

大画面表示の特徴の第1は、複雑形状の全体像を一画面で見ることができることである。Fig. 8は、航空機全機まわりのCFD解析結果から表面の圧力分布を示したものである。

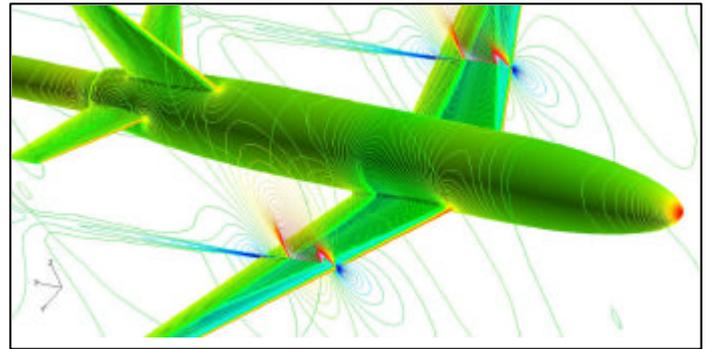


Fig. 8 Surface pressure distribution about a full configuration.

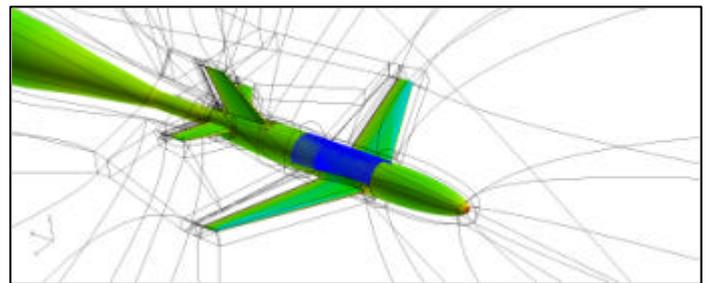


Fig. 9 Space blocking for the full aircraft configuration.

この解析では、Fig. 9に示したように空間内に87ブロック、650万点が用いられている。これ程の規模のメッシュ分割が用いられるのは、境界層や衝撃波をきちんと解像し、数カウムの解析要求精度に応えようとしているためである。ブロック分割することで、単一格子では不可能な格子点の適切な分布を達成することができる。しかし、このブロック分割を、通常のデスクトップディスプレイで処理しようとする、それを作成する場合も含め、ブロック同士の相互関係や接合状態を把握するのが困難になり、専門のスタッフに任せざるを得なくなる。しかし、大画面に表示すると、全体把握が可能になるので、ミスや混乱が軽減されるとともに確認も容易になり、時間や経費の節減になる。航空宇宙の機体形状は細長い場合が多いので、横長画面は全体表示に適する。また、物体が移動していくような場合にも大画面表示は都合良い。ただし、全体表示はサーバに負担をかけるので、データの間引きなどの工夫が要るかもしれない。

大画面表示の特徴の第2は、複雑形状の細部まで見ることができることである。Fig. 10は、ジェットエンジン内の翼列段を過ぎる流れを5000万点以上の格子点数を用いて解析したもので、翼列の半径一定のある断面で切断したときのエントロピの分布を表示している。対象がこれほど細かくなると、デスクトップディスプレイの場合には表示が小さくなりすぎて画面に顔を近づけたくなるが、これを大画面表示で見ると、細部の状況まで比較的簡単に理解することができる。

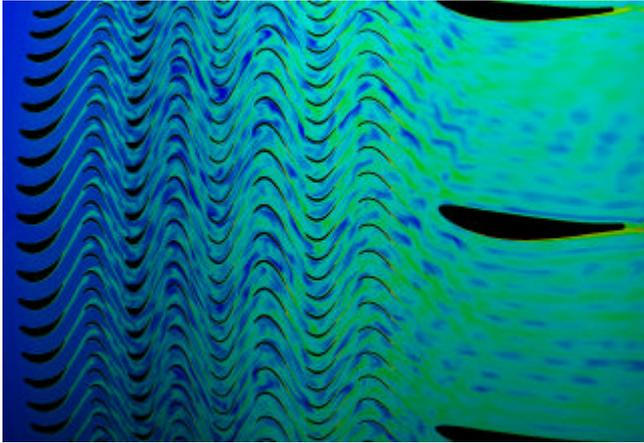


Fig. 10 Entropy distribution on the blade-to-blade surface.

第3の特徴として、感覚・印象の違いを指摘することができる。Fig. 11は、水素ガスの燃焼解析をポリウム可視化したものであり、動画にしてある。計算自体は、2000万点以上を使った極めて大規模なものである。同じコンテンツでも、例えばノートパソコン上で見るのと、大画面上で見るのでは感覚的にかなり違った印象がある。学術的な記述ではないが、アピール度、写実感、鮮明度など、これほど違うものかと驚かされる。単に慣れの問題なのかもしれないし、個人差もあるだろうが、スケール効果、体験感とでも分析することができるだろうか。同じ画像を異なる大きさの画面に表示してどう感じられるかといった問題を専門的に検討してみる必要があるかもしれない。

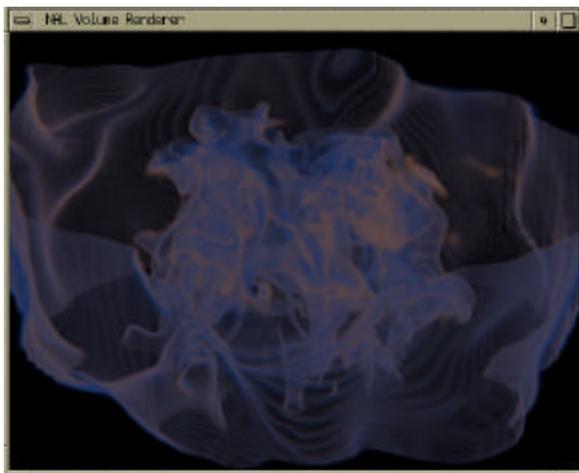


Fig. 11 Volume visualization of H₂ gas combustion.

CeViS システムでは、3Dポインティング機能を有している。このような機能を導入したのは、複雑形状に対し、通常のマウス操作だけでは、オブジェクト操作や空間位置把握に限界があるとの指摘があったからである。ここでは、COVISE と呼ばれるシステムを導入した。ペンシル型のポインティングデバイスとステレオ表示を組み合わせることで、表示対象に対する回転、移動、

断面カット等の操作、あるいはウォークスルーなどをペンシルの回転、移動により直接的に行うことができる。(Fig. 12 参照) 従って、通常のマウスによる操作環境で複雑形状を可視化するときには直面していたオブジェクト操作に対するもどかしさはかなり緩和される。また、対話性も悪くない。適用例が未だ少なく未知な部分も多いが、新たな可視化方式として期待が持たれる。



Fig. 12 3D pointing system with COVISE.

6. エンジニアリング可視化

近年、CFD などの数値シミュレーション技術を、設計や性能評価、環境アセスメントなどの場に積極的に利用して行こうとする動きが盛んである。航技研でも、小型超音速実験機や宇宙往還機の実験機プロジェクトにおける機体設計や性能確認に、CFD 解析や CFD による最適設計技術をかなり主体的に用いるようになって来ている。その場合に要求される可視化の内容は、科学研究、現象理解などに求められる可視化(サイエンティフィック可視化)の内容とは自ずと異なったものになるであろう。そのような場における可視化ニーズ、可視化技術を包括できないだろうかという観点から、我々は、「エンジニアリング可視化」という発想・括りを提案している。ここで、サイエンティフィック可視化との対比で連想してみると、両者の相違は Table 3 に掲げたキーワードとして整理することができる。

Table 3 Scientific and engineering visualization.

サイエンティフィック可視化	エンジニアリング可視化
見えないものを見る	見たいものを見る
発見的	意志的
自然現象対象	人工物対象
何を見るか、どう見るか	何をさせるか、どうさせるか
正確さ、写実性	生産性、機能性
再現性、確実性	再利用性、拡張性
個別的、客観性	協調的、アピール性

このように整理してみると、エンジニアリング可視化の概念が明確になって来るとともに、そこに一種のパラダイムのようなものを体系化できそうな気がして来る。この観点で、今回導入したCeViSシステムや大画面表示を捉え直してみると、例えば、大画面表示というのはエンジニアリング可視化の極めて自然な解の一部であると考えることができる。つまり、「何を見せるか、どう見せるか」の一手法として大画面というものがある。最近の表示技術の進歩や計算機性能の向上により、可視化研究や技術開発に対する成熟感が募っているように思われるが、エンジニアリング可視化という視点で考えてみると、表示方式の持つべき機能や、我々の目指すべき可視化の方向なり地平なりを、より鮮明にすることができる。さらに、今まで見過ごしていたもの、画一的な価値観の中に埋もれていたもの、が見えてくる可能性もある。

大画面表示による可視化システムの今後の課題としては、技術的なものと利用に係わるものがあり、

- 1) デスクトップ可視化環境ではわかりにくくなってしまいう粒子追跡や等値面表示も、大きく見せることによりわかりやすくなる。大画面での表示は、通常のデスクトップ可視化の延長線上にはない。どのような表現法が最も効果的か？
- 2) 大画面表示は、高いCPU 負荷や転送負荷を伴う。負荷分散やデータの間引き、高速レンダリングの手法などの開発がより強く求められる？
- 3) 大画面表示にはどのようなコンテンツが最も相応しいか？キラーコンテンツはどのようなものか？
- 4) 多人数での利用や、遠隔利用などのバリエーションが考えられるが、どのような利用法が最も相応しいか？
などが挙げられる。

7. おわりに

以上、今回開発した航技研新中央可視化システムの戦略、概要、可視化事例、展望、課題などを紹介した。この種のシステムの宿命として、どうしても設備が大仕掛けとなり、経費もそれ相応の規模が必要となる。それだけに、政策的必要性や学術的重要性、技術的先進性を十分に説明する必要がある。本稿で背景や戦略に言及したのは、その辺りの我々の構想・経験が、この種の設備の導入に際し何かしらお役に立てるかもしれないと思ったからである。

大画面表示装置を実際に構築して映像を見てみると、その迫力、写実性、臨場感などの可視化システムとしての能力(=可視化力)は予想以上であったといっても過言ではない。どの分野でもそうだと思うが、シミュレーション技術は、計算機性能やグラフィックス性能の向上と相俟って発達してきたため、行き過

過ぎや過度の期待が必ずある。CFD でも、Colored Fluid Dynamics と言って揶揄されたこともあるが、人間の持つ特に優れた感覚である「視覚」に訴えるために、可視化において、色彩、パターン、表現力、動画などを使うことは必要でありさえすれば、今後ともそれなしで済まされるということは決してないだろうと思われる。もちろんその場合、計算結果を如何に忠実に可視化するか、計算結果の特徴を如何にして出すか、というような話題とは少し趣きが違うということ、誤解を避ける意味で敢えて最後に言及しておきたい。

8. 謝辞

本稿を仕上げるにあたり、末松和代さん、宮川里子さん、藤野敦さんにご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。また、画像を提供していただいた方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) NAL 計算科学ビジョン 21、航空宇宙技術研究所、(1999)
- 2) 永安:「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」航技研特別資料 SP-46 pp.7-10、(2000)
- 3) 野村、澤田編; パーチャルリアリティ、日本ファジイ学会、(1997)
- 4) 特集 人工現実感 - 現実と仮定の壁を超えて - ; 日本機械学会誌、Vol.102、No.971、pp.597-644、(1999)