A215 重畳型マルチプロジェクションシステムによる 流れの可視化の高解像度表示について

白山 晋[○](東京大学), 近藤 秀一((株)マツダ)

A High-Resolution Representation of a Flow Visualization Using a Superimposed Multi-Projector System

Susumu SHIRAYAMA and Shuichi KONDO

ABSTRACT

Various approaches to visualizing the results from large-scale computations and experiments have been developed. However, it seems that research for a methodology to display the visualized results is in the beginning stages. In fact, although there are several studies about the displaying method like wall visualization, they are not familiar to researchers in visualization. In this study, we propose a device of displaying a high-resolution image produced in the numerical flow visualization.

Keywords: *Display, Wall Visualization, Flow Visualization*

1. はじめに

計算機の低価格・高性能化と計算手法の高度化にともない、技術計算によって得られる計算結果が時空間の広い範囲をカバーし、かつ高精度なものとなってきた。特にパーソナルコンピュータの発達には、研究室、あるいは研究者ベースでの大規模、高精度計算を可能にしている。この結果、得られるデータが多様化、そして、大規模化している。

CFDにおける可視化技術は比較的早い時期に成熟したため、汎用的な可視化システムとして普及し、様々な分野で活用されている^{1),2)}。このため、可視化に関する研究は、可視化単独のものから、流れ場の解釈の方法や設計支援に関する研究といったものにシフトしている³⁾。ところが、可視化システムの多くが1980年代の計算環境にもとづいて設計されており、現在の大規模データの処理には不十分であることが指摘されはじめると、一部の研究者によって、これまでの可視化技術の見直しが始められた。特に表示技術に関する研究は、OpenGLなどの3次元グラフィックスライブラリと低解像度表示領域(640×480画素あるいは720×480画素程度)にもとづいたものになっていて⁴⁾、CABIN⁵⁾などの仮想現実装置の利用⁶⁾、専用のマルチプロジェクタシステム⁷⁾を除くと、ほとんどが立体視の研究であることがわかる。

一方、医療やエンターテインメントの分野を中心として、仮想現実や複合現実に関連する高度な表示技術が提案されるようになってきている。これらの研究成果は他分野にも波及し、高性能な表示機器の低価格化に寄与している。しかしながら、技術計算の分野では、そのような低

価格、かつ高性能の表示機器の効果的な利用法が提案されることは少ない。CFD計算の可視化においても、専用の表示装置が構築されることはあっても、身近にある表示機器を用いた表示技術に関する研究においては、立体視の効用を対象とするものがほとんどである。

本稿では、汎用の表示装置を利用することによって、CFD計算の結果を効果的に表現するための表示方式を提案する。また、高解像度、かつ没入感のある表示装置をCFD計算の可視化画像の表示に利用した場合に、どのような効果があるのかを考察する。

2. 提案する表示装置

2.1 CFD画像データ検索システム

はじめに、CFD計算結果の可視化画像の特徴を調べるためにFig.1に示す画像データ検索システムを構築した。

Fig.1 CFD image retrieval system

このシステムは次節で述べるCFD画像の特徴を調べ

るためのものである。一般の画像データ検索システムを利用できるが、最近の検索システムは内容検索機能等を含むために、CFDドメインに限定した場合、ユーザーにとって機能過多となり効率的な検索・表示が難しい。本研究では、PerlとCGIを用い、内容検索機能は省き、検索項目をCFDドメインに限定することで、効率化を重視したシステムを構築した。

2.2 CFD可視化画像の調査

次に Google などの検索エンジンを利用して、CFDに関するキーワードから関連するウェブサイトを見つけ、掲載されている画像を無作為に抽出し、その作成者名、計算対象名などの情報を画像とともにデータベースに蓄積した。具体的には、2001 年 10 月から約一ヶ月の間にウェブ上に掲載されている 840 種類の CFD 計算例を集め、前節で述べた CFD 画像データ検索システムを用いて画像群を多角的に分析した。例えば、複数の研究グループの画像を同時に表示すると、カラーマップの差違などのグループ間の違いはあるが、自然画像などと異なり多様性は少なく、何かしらの形式に従って可視化画像が作られていることがわかる(Fig.2, Fig.3, Table.1).

Fig.2 Example of image retrieval

この結果は、表示装置を考える上でどのような画像に対しても効果的な表示を得るという設計方針ではなく、機能を限定する、あるいは部分的に強化することが有効であることを示唆している。例えば、Fig.3 に示すような画素数の情報は、研究者が日常の作業の中で高精細な画像を必要としていないことを示している。ただし、画像の作成日時を関連させると、最近では高解像度の画像が増加しており、計算自体の大規模化、映像機器の将来動向を考えると、計算対象に対する依存性は大きいが高精細表示の必要なものが増えたと予想できる。

また、三次元的な視点移動に対する画像の変化を動画化したものや、VRML 等による三次元オブジェクトの掲載は少なく、三次元の計算対象に対しては、何種類かの定まった視点からの画像が多いことがわかった。解析者固有の視点設定が存在すること、また、解析者の数だけ視点があるわけではなく、全般的に似通った見方になっていることもわかった。

Fig.3 Histogram of total number of pixels on image

Table 1 Characteristic of image

	線画のみ	線画と面画の混在	三次元流れ
画像数	102	310	820
割合	12%	37%	98%

- CFD画像の特徴をまとめると、
- (a) 着目すべき領域が偏在している
 - (b) 線画と面画が混在している
 - (c) VGA～SVGA 程度の画像解像度のものが多いが、SXGA といった高解像度画像のものが増えている
 - (d) 計算対象は三次元のものが多いが視点は固定されている
 - (e) 三次元的に複雑なものは少ない
- となる。

2.3 表示装置の設計指針

前節の調査結果から、可視化画像が視覚情報密度に従って階層化できることがわかる。例えば、三次元的に複雑なものが少ないということは、三次元性と流れの複雑性を同時に表現することの難しさと、解析者の咀嚼の限界を示しているものと考えられる。三次元性が把握できる程度に簡略化して全体像を示し、物体表面、計算格子面、可視化のために設けられた断面上、あるいは二次元への写像によって詳細な構造を示すという戦略がとられることが多いようである。

そのような情報を表示する場合は、ベースになる可視化情報にもとづき、着目点の移動と着目点を中心とした拡大縮小が重要な役割を担う。また、局所と全体を同時にみるということが重要になる。これは、情報の可視化における *focus+context* 手法の考え方と同じである。

これを従来型の表示装置で実現する際に問題となるのは、局所と全体の同時表示である。画面解像度の制約から全体を表示すると局所の情報が失われる。また、局所に着目すると全体を示すことができない。このため、Fig.4の右下に示すような全体図をガイドとして表示し、注目点を中心として局所を拡大表示するという方法が一つの候補となる。このようにすれば、局所における空間情報が明確になる。しかしながら、全体における位置関係を正確に把握するためには、ある程度の訓練が必要に

なる。また、全体表示との切り替えなどのインタラクティブな表示が必要になる。

Fig.4 Local structure displayed using a guide

Fig.4 は、XGA 画面(1024x768 画素)での表示例である。右下の全体画像は 300x200 画素程度の領域で表示されている。この場合は、全体図は低解像度でも十分に表現されている。しかし、全体図の表示に対しても高解像度の画面が必要であり、かつ同時に局所図にも同程度の画像解像度が要求される場合には、高解像度表示装置が必要になる。例えば、Fig.4 において、全体画像の表示に XGA 程度の解像度を要求すれば、全画面を 4096x3072 画素程度で構成する表示装置が必要になる。そのような超高解像度表示装置の研究開発は進められている。超高精細液晶ディスプレイや複数台のプロジェクターを利用した壁面表示装置が代表的なものである⁷⁾。しかしながら、価格や設置等の問題があり、研究者が日常的に使えるようなものではない。

Fig.5 Non uniform resolution in the image

複数台のプロジェクターを用いたシステムは画面全体として一様に画像解像度を向上させるという指針で設計されている。一方、全体と局所に着目すれば、一様な高解像度は必要ないことがわかる。例えば、Fig.5 に示すように必要な部分を高解像度で表示できれば効果的であろう。これを実現するために Fig.6 のように全体投影用のプロジェクターと局所投影用のプロジェクターを利

用した表示装置を提案する。

Fig.6 A superimposed multi-projector system

2.4 表示装置の試作

全体と局所の表示に複数台のプロジェクターを利用する方法を考案したが、重畳方式とするために、

- スクリーンやプロジェクターの位置決め
- 投影画像の幾何的な歪み
- 重畳部の輝度上昇や輝度のばらつき

が問題となる。本節では、二台のプロジェクターを用いて試作システムを作成し、その過程においてこれら 3 つの問題の解決策の一例を示す。

2.4.1 プロジェクターの位置決め

Fig.7 に示すように、はじめにスクリーンと全体投影用プロジェクターの位置を決める。四角枠の中心に+記号を置いたパターンを全体投影用プロジェクターから投影し、プロジェクターの投影中心がスクリーンの中心にくるように調整する。次にスクリーンと平行になるように局所投影用プロジェクターの移動ラインを決める。

Fig.7 Positioning of two projectors

2.4.2 投影画像の幾何的な歪みの補正

高解像度壁面表示装置を複数のプロジェクターで構成する場合とは異なり、Fig.5 に示すような局所画像を厳密に全体画像に合わせる必要はない。局所投影用プロジェクターがスクリーンと正対しさえすれば、投影中心の上下方向の動きに対する幾何的な歪みは台形補正によって矯正することができる。これをソフトウェア的に行うか、ハードウェア的に行うかは利用するプロジェクター

に依存する。本稿の試作システムでは、プロジェクターに備わっている機能を利用し、台形補正を行うことにした。

2.4.3 重畳部の輝度補正

重畳投影の場合、最も大きな問題は投影画面が重なることによって輝度値が上昇することである。極端な場合は重畳部が白色の四角形となってしまう。このため、輝度補正が必要になる。輝度補正は、重畳する側とされる側の双方の輝度を減ずることで行う。

輝度補正には二種類のものが考えられる。一つは重畳部分の輝度上昇の補正である。もう一つは投影面の輝度のバラツキ補正である。本稿の試作システムでは、重畳する側の情報を重視し、重畳される側の重畳部を操作することで輝度上昇を補正し、重畳する側の輝度を調整することで輝度のバラツキ補正を行った。

はじめに全体投影画像の重畳部の輝度値を0とすることで輝度上昇を補正する（投影方式であるためにスクリーン上の輝度は0にはならない）。

次に投影面の輝度のバラツキを補正するために、プロジェクターで画像を投影したときのスクリーン上の照度分布を調べる。これはプロジェクター個々の特性でもあるので全体投影用プロジェクター、局所投影用プロジェクター、それぞれに関して測定する。照度分布の測定は、投影面をいくつかの正方形要素に分割する格子を描いたテストパターン画像を投影し、照度計で各要素の中心点上の照度を測定することによって行う。

測定された照度分布にもとづいて、輝度補正マスクを作成し局所投影用の画像の輝度を修正する。局所投影される画像の大きさ、場所等によって輝度補正マスクは異なるが、表示装置設置後に何種類かの照度測定を行い、ベースとなる輝度補正マスクを作成し、それ以外のものについては補間によって対応することにする。

2.4.4 CFD画像データ検索システムとの連携

表示装置を2.1節で述べたデータ検索システムと連動させることで、様々な種類のCFD画像を表示できるようにする。システム全体の構成図をFig.8に示す。

3. 実験による表示効果の検証

前章で述べた試作システムを用いて、いくつかの可視化画像を表示し、ヒアリングを通した評価を行った結果、

- ・簡便な設置性を有していること
- ・外部情報を遮断するという点で没入効果が得られていること
- ・対象に依存するが実物大効果が得られていること
- ・局所詳細画像に関する視認性という効果があること
- ・協調的な可視化に対して有効であること
- ・協調的可視化と視認性に関連してポインティングと

いう動作がタングジビリティを有していることがわかった。

Fig.8 Schema of the proposed system

4. おわりに

CFD可視化画像の特徴にもとづき、設置性に優れ、低コストの解像度可変型壁面投影表示システムを提案した。試作システムによる表示実験を行った結果、既存のシステムよりも簡易に可視化画像を高臨場感で表現できることがわかった。また、情報の視認性の面でも優れていることを示すことができた。

今後予想される高解像度画像の増加に対して、それを簡易的、かつ効果的に直接表示できるという意義は大きいものと考えられる。

なお、本表示装置に関して、「重畳型マルチプロジェクションシステム」として特許出願中（特願 2002-258252）であることを付記しておく。

参考文献

- 1) Weston, R. P.: Color graphics techniques for shaded surface displays of aerodynamic flowfield parameters, AIAA Paper-87-1182, June, 1987.
- 2) Shirayama, S. and Kuwahara, K.: Flow visualization in computational fluid dynamics, International Journal of Supercomputer Applications, vol.4, No.2 (1990) pp.66-80.
- 3) 白山 晋, 大和裕幸: 流れの可視化情報の設計への利用法について, 航空宇宙技術研究所特別資料 SP-46 (2000) pp.249-254.
- 4) Kuzuu, K., Kaizaki, H. and Kuwahara, K.: Real time visualization of flow fields using open GL system, AIAA Paper 97-0235, Jan. 1997.
- 5) 廣瀬通孝: 多面型全天周ディスプレイ (CABIN) の開発とその特性評価, 電子情報通信学科論文誌 D-2, Vol.J81-D-2, No.5 (1998) pp.888-896.
- 6) 田村善昭: 没入型多面ディスプレイによる可視化, 第11回数値流体力学シンポジウム講演論文集 (1997) pp.109-110.
- 7) 松尾裕一, 末松和代: 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, 第15回数値流体力学シンポジウム講演要旨集 (2001) p.50.