

非構造格子に基づく流れ解析のVR技術を用いた対話的可視化システムの構築

中央大学 学生員 ○ 山崎 輔
中央大学 正会員 榎山 和男
神戸大学大学院 非会員 陰山 聡
(独) 海洋研究開発機構 非会員 大野 暢亮

1. はじめに

近年、様々な流れ現象の予測および把握のために、三次元数値計算が行われている。そして、この計算結果の三次元的構造を可視化により正確に把握するためにVR (Virtual Reality) 技術¹⁾が利用され始めている。現在、VR 装置の形態として、CAVE (CAVE Automatic Virtual Reality Environment)²⁾に代表される没入型VR環境が注目され、多くのソフトウェアが開発されている。その中で地球シミュレータセンター高度計算表現法グループは数値解析結果から観察者視点の可視化データをリアルタイムで生成し、かつ対話的な可視化を実現することが可能なソフトウェアであるVFIVE³⁾を開発した。しかしVFIVEで非構造格子に基づくシミュレーション結果を可視化する際、別途可視化用のボクセル型データに変換する必要がある為、複雑形状を有する問題の場合には、領域形状を正確に考慮した可視化を行うことは困難である。

そこで本研究では、VFIVEを基に、四面体要素に基づく非構造格子に対応した可視化システムの構築を行った。また、非構造格子に基づく有限要素法により解析された気流解析の例を通じて可視化処理における計算時間と計算精度についてVFIVEとの比較を行い、本可視化システムの有効性を検討した。

2. 可視化システムの構築

本可視化システムはCAVEを構成する基本ライブラリであるCAVEライブラリとOpenGLにより構成されている。図-1は本可視化システムで利用可能な可視化機能を示したものである。可視化機能は、流線の表示等のベクトル場の可視化、等値面分布等のスカラー場の可視化の二つに大別され、観察者はコントローラを操作することによってVR空間上に表示されるインターフェイス(図-2参照)から対話的に可視化機能を選択することができる。

また、図-3は本可視化システムにおける可視化処理工程を示したものである。本可視化システムは入力データの読み込み後、描画スレッドと計算スレッドに分かれて計算を行っている。本可視化システムは計算スレッドにおいて、観察者が選択した可視化機能を表示する際、本可視化システムは指定した位置(指定点)におけるベクトル値及びスカラー値を非構造格子の節点値(入力データ)を用いた補間によりリアルタイムで算出する必要がある。しかし、不規則に配置された非構造格子に対して指定点を含む要素の検索を行う場合、全ての要素に対して検索を行うと処理に多大な時間を費やし、高速に計算を行う事が困難となる。そ

のため、本可視化システムでは指定点を包含する要素の検索から指定点の数値の算出までの処理を段階的に行うことにより計算処理の高速化を行った。詳細は参考文献4)を参照されたい。



図-1 本可視化システムで利用可能な可視化機能

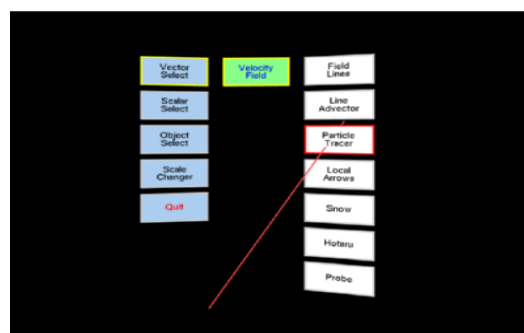


図-2 インターフェイスの表示機能

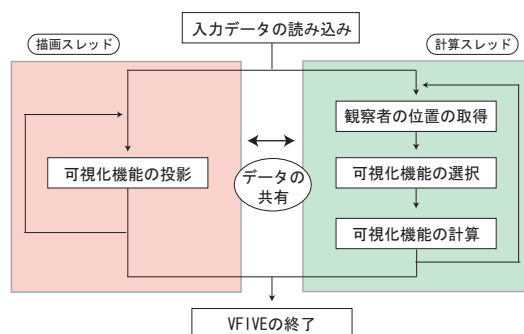


図-3 本可視化システムにおける可視化処理工程

KeyWords : 可視化, 立体視, 流体シミュレーション

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: tasuku@civil.chuo-u.ac.jp

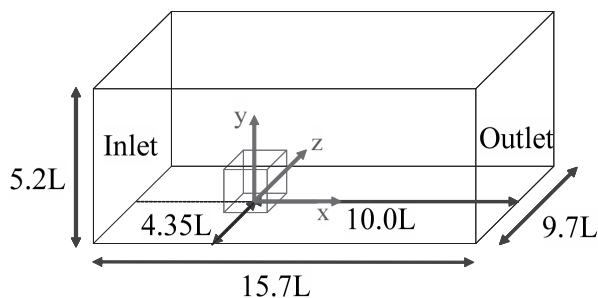


図-4 解析領域

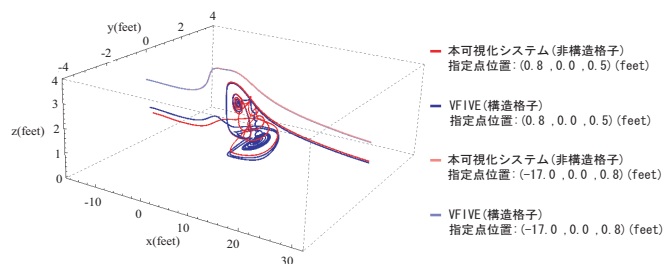


図-5 計算精度の検証

3. 計算速度・計算精度の検証

本研究では、四面体要素に基づく非構造格子を用いた有限要素法により解析された立方体建物周辺の気流解析(図-4参照)の例を取り上げ、計算速度と計算精度の検証を行った。なお、適用例は総節点数 71,292、総要素数 394,008 の非構造格子を用いて解析されたものである。

図-5はVFIVEと本可視化システムにおいて、同一点上を通る流線の形状を比較したものである。なお、VFIVEは補間精度を3次、積分精度を6次のルンゲ・クッタ法を採用している。図より、本手法とVFIVEとでは、概ね同等の結果を得られていることが確認できる。

また、図-6は本可視化システムにおいて、計算領域全体に配置された粒子5,000個の流速を計算し、その流速に応じて次ステップの位置を算出する際の平均計算時間を分割領域数毎に比較したものである。図より、本解析例において最も計算速度が早い条件は分割数60(最大包含要素数126)であることが分かる。また、図-7は、VFIVEと本可視化システムにおいて上記と同じ条件でステップ毎の計算時間を比較したものである。本可視化システムはVFIVEの計算処理速度には及ばないものの、リアルタイム可視化において処理落ち等の問題が発生せず、時間遅れを感じずに高速に処理を行うことが可能であることが分かる。

4. VR空間への投影

本研究では、都市域における大気環境シミュレーションの結果を取り上げ、作成した可視化システムの有効性を検討した。本可視化適用例は、総節点数 98,387、総要素数 469,055 の非構造格子を用いて解析されたものであり、可視化装置は没入型VRシステムHoloStage⁵⁾を使用した。

図-8は構造物周辺のベクトル場を流線と矢印群によりVR空間上に可視化したものである。構造物後方に発生する渦領域等が正確に表示されていることが分かる。また、

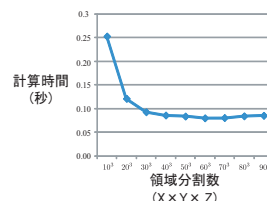


図-6 分割領域数による計算速度の比較

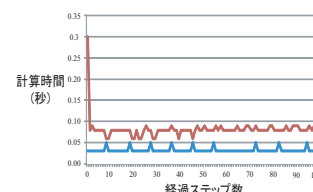


図-7 VFIVE との計算速度の比較



図-8 都市域における大気環境シミュレーションの可視化

本可視化システムは複数の可視化機能を同時に表示することにより、視覚効果の高い可視化を実現している。

5. 終わりに

本研究では没入型VR環境用ソフトウェアであるVFIVEを基に、非構造格子に適用可能な流れ解析のための対話的可視化システムの構築を行い、非構造格子に基づく有限要素法により解析された気流解析の結果に適用し、本可視化システムの有効性を検討を行い、以下の結論を得た。

1. 非構造格子に対応した対話的可視化システムを構築することにより、複雑な領域形状を正確に考慮した可視化を対話的に行う事が可能となった。
2. 粒子の存在する要素の検索を段階的に行うことにより計算処理の高速化を行い、リアルタイムでの対話的可視化を実現した。

今後は、可視化処理の更なる高速化及び高精度化を行う予定である。

参考文献

- 1) 廣瀬 通孝：バーチャルリアリティ，産業図書（1993）
- 2) C. Cruz-Neira, C., D.J. Sandin, T.A. DeFanti: Surround-Screen Projection Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE; *Proc. of SIGGRAPH'93*, pp.135-142, 1993
- 3) 陰山聡，上原均，川原新太郎：VR可視化ソフトVFIVEの開発とその地球科学への応用，第32回可視化情報シンポジウム講演論文集，Vol.57, No.6, pp.319-320, 2004.
- 4) 山崎輔，榎山和男，陰山聡，大野暢亮：VR技術を用いた非構造格子に基づく対話的可視化システムの構築，第23回数値流体力学シンポジウム講演論文集，講演番号C7-4，2009.
- 5) 高田知学，榎山和男，谷口健男，浜田秀敬：都市環境シミュレーションのための三次元都市モデリング手法とプリ，ポスト処理へのVR技術の適用研究，土木情報利用技術論文集，Vol.17, pp.279-286, 2008年11月.