

VR技術を用いた非構造格子に基づく流れの対話的可視化システムの構築

中央大学大学院 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

著者らは既往の研究において没入型 VR (Virtual Reality) 環境¹⁾に注目し、地球シミュレーションセンター高度計算表現法グループが開発した VFIVE²⁾を基に、非構造格子に対応した対話的可視化システムの開発を行ってきた³⁾。しかし、既往のシステムは可視化機能が十分でなく、また、可視化における補間処理に必要な要素検索の計算負荷が増大する問題が発生した。

そこで本研究では、既往の可視化システムに可視化機能の追加・充実を行うとともに、補間における要素検索の高速化を行った。また、適用例を通じて可視化処理における計算精度と計算時間について 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 VFIVE のプラットフォームを基に構築されている。図-1 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。これらの可視化処理をリアルタイムで行うことで、観察者は VR 空間上で対話的な可視化を行うことが可能である。本研究では本可視化システムにおける可視化機能の追加と、リアルタイム可視化処理の高速化を行った。

(1) 可視化機能の充実

図-2 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。観察者は、これらの可視化機能を、コントローラを操作することによって選択でき、また、任意の場所に移動して、その周辺の物理量を(ベクトル場・スカラー場)の詳細を様々な可視化機能を駆使して対話的に把握することが可能である。

(2) 可視化処理の高速化

観察者が選択した可視化機能を表示する際、本可視化システムでは指定した位置(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、リアルタイムに可視化を行う事が困難となる。そのため、本可視化システムは、バケット法に基づき、図-3 のようなボクセル型の分割領域を作成し、指定点を包含する分割領域を段階的に検索した後、要素の検索を行った。また、要素検索手法を体積座標を用いた検索手法から要素毎に作成した計算座標系を用いた検索手法に変更することで、要素検索の高速化を行った。

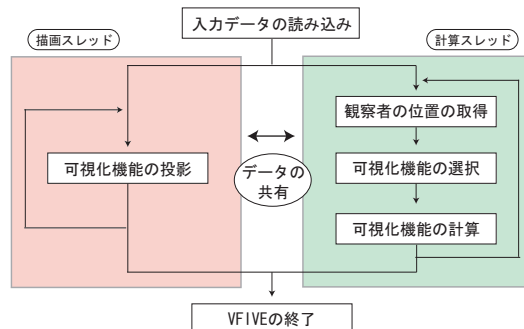


図-1 可視化処理工程



図-2 利用可能な可視化機能

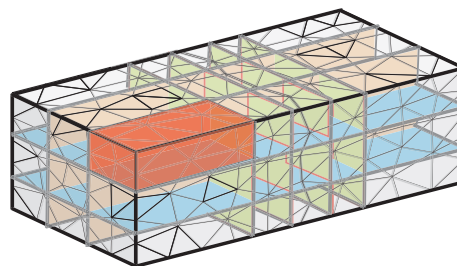


図-3 ボクセル型分割領域の作成

3. 計算速度・計算精度の検討

本可視化システムの有効性を検討するため、可視化適用例を通じて VFIVE との計算精度と計算速度の比較を行った。

(1) 計算精度の検証

解析領域中心から y 軸を基軸として、45 度傾斜した円周上を流れるベクトル場を作成し、計算精度の検証を行った。なお、要素は $5 \times 5 \times 5$ のボクセルで配置されたものである。

図-4 は VFIVE と本可視化システムにおいて、同一点から流れる粒子の軌跡を比較したものである。本可視化シス

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

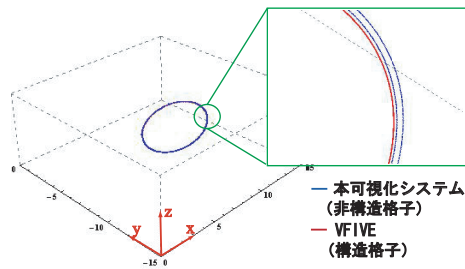


図-4 補間精度の検証

テムは補間精度・積分精度を共に一次精度で、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、VFIVE は同一円状を流れ続けているのに対し、本手法の粒子は、同一円上を流れず、若干の差異が見られることがわかる。

(2) 計算速度の検討

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-5 参照）の例を取り上げ、計算速度の検証を行った。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-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 と従来のシステム、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 の計算速度には及ばないものの、従来のシステムより高速に計算を行うことが可能であり、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った。

4. VR 空間への投影

本研究では、上記の立方体建物周辺の気流解析の可視化を取り上げ、作成した可視化システムの有効性を検討した。なお、可視化装置は没入型 VR システム HoloStage³⁾ 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、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

本研究では既往の研究で構築した可視化システムに可視化機能を追加・充実し、また、補間処理に必要な要素検索手法を変更することで、可視化処理の高速化を行った。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結果に適用し、本可視化システムの有効性を検討し、以下の結論を得た。

1. 可視化機能を追加することにより、ベクトル場及びスカラー場を、観察者が知りたい情報にあわせて可視化

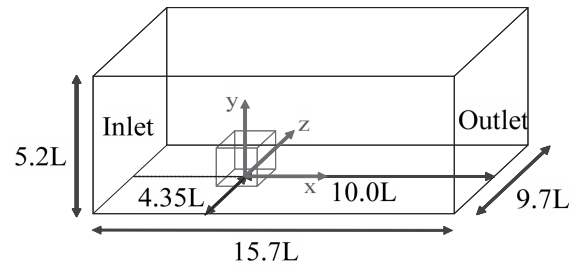


図-5 可視化適用例

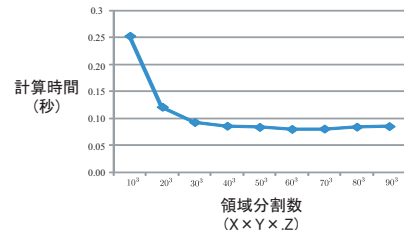


図-6 分割領域数による計算速度の比較

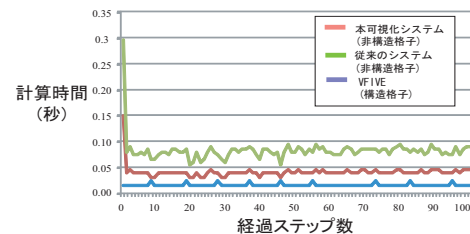


図-7 可視化処理速度の比較



図-8 VR 空間への投影

することが可能となった。

2. 粒子の存在する要素の検索を段階的に行い、要素検索手法を変更することにより計算処理の効率化を行い、可視化処理の高速化を実現した。

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) 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.
- 3) 山崎輔, 高田知学, 櫻山和男：非構造格子に対応した立体視に基づく流れの対話的可視化システムの構築, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演論文集 CS8-012, 2009 年 9 月。