

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

中央大学大学院 学生員 ○ 山崎 輔
中央大学 正会員 高田 知学
中央大学 正会員 檜山 和男

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行われている三次元数値解析の結果を,可視化により三次元的に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³⁾が注目されており,CAVE に対応した可視化ソフトウェアが多数開発されている.その中で,対話性の高い没入型 VR 環境用ソフトウェアとして,VFIVE (VectorField Interactive Visualization Environment)⁴⁾がある.しかし,VFIVE は非構造格子データに対応していないため,複雑な領域形状を可視化することは困難である.

そこで本研究では,VR 空間において,VFIVE を基に,そのシステムを変更することで非構造格子に対応した対話的可視化システムの構築を行った.また,本システムを有限要素法により解析された気流解析の可視化に適用し,その有効性を検討した.

2. VFIVE の概要とその機能

(1) VFIVE の概要

VFIVE (Vector Field Interactive Visualization Environment)⁴⁾は,地球シミュレータセンター高度計算表現法グループが研究・開発を行っている対話性の高い没入型 VR 環境用可視化ソフトウェアである.VFIVE の主要な目的は,複雑な三次元ベクトル場およびスカラー場をリアルタイムで計算し,三次元可視化を行うことである.VFIVE の可視化処理工程を図 - 1 に示す.

(2) VFIVE の機能

VFIVE は,予め解析された結果を読み込み,そのデータを基に,観察者が指定した可視化機能をリアルタイムで計算することによって,解析結果に基づいたベクトル場・スカラー場の可視化を行い,観察者が指定する位置に,意図する可視化機能を対話的に表現することが可能となっている.

また,VFIVE の機能として,観察者が解析結果を理解し易いように表示するために,VR の構成要素である立体感や対話性,没入感等の特徴を利用した様々な可視化手法を持つ(図 - 2).本研究では VFIVE 上で Hotaru と呼ばれる可視化手法(計算領域全体に粒子群を配置し,その粒子群の挙動により,領域内の全体の流れを把握する可視化手法),および Snow と呼ばれる可視化手法(観察者がコントローラデバイスによって指定した位置に円錐状の表示領域を発生させ,その内部に粒子群を表示し,可視化領域内における任意の場所の局所的な流れを把握する可視化手法)に着目した.

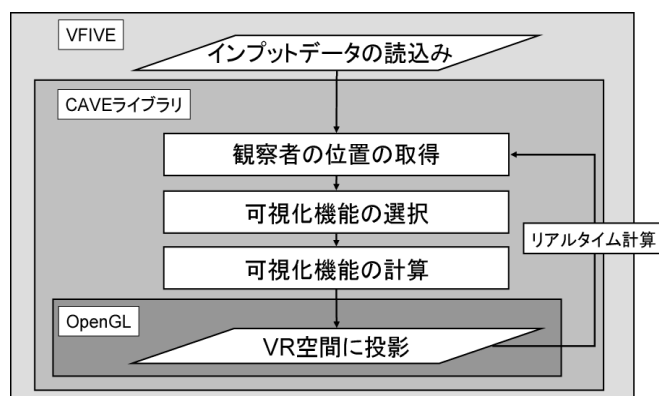


図-1 可視化処理工程

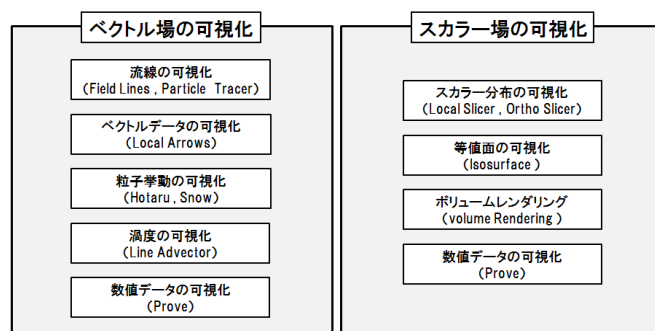


図-2 VFIVEの可視化機能

3. 非構造格子に対応した対話的可視化システム

本研究では VFIVE を基に,非構造格子で行われた解析結果の対話的可視化システムの構築を行った.本可視化システムは VFIVE と同等の可視化処理工程(図 - 1)を行うものであり,以下に Hotaru と Snow の可視化の詳細を示す.

(1) インプットデータの読み込み

本研究で構築したシステムは,予め作成されたデータを読み込み,計算することで,VR 空間において可視化機能に対話的に表示するものである.データの読み込みを高速化するために,インプットデータはバイナリデータで作成し,計算に必要な読み込みデータは,非構造格子による解析に使用されたメッシュデータ,解析結果のデータ,構造物を表示させるための表面メッシュデータの他,隣り合う格子点の情報を入手するための接続データ,粒子の検索を高速化するための領域分割データを追加した.

(2) 粒子の存在する分割領域の検索

VR 空間上に相当数の粒子を描画し,その粒子一つ一つの流速を計算する必要がある Hotaru・Snow において,全ての要素に対して粒子がどの要素の内部に存在するか検索する必要がある.粒子の存在する要素を検索する際,不規

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

則に配置された非構造格子の場合、要素一つ一つを検索する必要があるが、全ての要素に対してリアルタイムに検索を行うことは困難である。そのため、本研究では粒子の検索を高速化するために、計算領域において、グリッド状に分割された領域分割データを作成し、このデータを用いて粒子の存在する領域を決定した後、その領域内部の要素の検索を行うことで処理の高速化を行っている。

(3) 粒子の存在する要素の検索

粒子の存在する分割領域を検索した後、その領域に存在する全ての要素に対して、内部に粒子を含む要素の検索を行う。粒子の存在する要素の検索は粒子と四面体要素の各頂点を結んで出来る4個の四面体の体積と四面体要素の体積を比較することで検索を行う。粒子が要素内に存在する条件式を以下に示す。

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (1)$$

ここで、 V は要素の体積、 $V_{(1,2,3,4)}$ は要素の頂点と粒子により分割された4個の四面体の体積を表している。

また、本可視化システムでは、一つ前のステップで粒子が存在した要素から検索することで、計算処理の高速化を行っている。

(4) 粒子の移動

本可視化システムでは計算の高速化を図るため、積分・補間共に1次精度で行われ、粒子の速度を算出し、粒子の移動を行っている。粒子の速度は以下の式で求める。

$$v = \frac{1}{V}(V_1v_1 + V_2v_2 + V_3v_3 + V_4v_4) \quad (2)$$

ここで、 v は粒子の流速、 $v_{1,2,3,4}$ は要素の各頂点における流速を表している。

4. VR空間への投影

本研究では可視化適用例として、非構造格子に基づく有限要素法によって解析された気流解析を取り上げ、作成した可視化システムの有効性を検討した。微粒子群による局所的な可視化を構造格子に基づくVFIVE行った様子を図-3に、本可視化システムで行った様子を図-4示す。両者において、観察者はVR空間内の任意の場所に微粒子群を表示することが可能である。また、粒子の挙動により、球体後方における渦現象が表現されていることが分かる。

また、VFIVEでは、構造格子の境界と建物の境界とが整合しないために、建物内部に粒子が侵入する等の不具合が生じているが、本可視化システムでは球体内部に粒子が移動することがなく、複雑な物体形状を正確に考慮した可視化が実現されていることが分かる。しかし、本可視化システムでは、計算量の増加に伴い、VFIVEと同等の粒子数を扱うことが困難であるといった問題が発生している。そのため本可視化システムでは、Snow・Hotaruにおいて表示する粒子数を減少させることによって、計算量の減少を行っている。

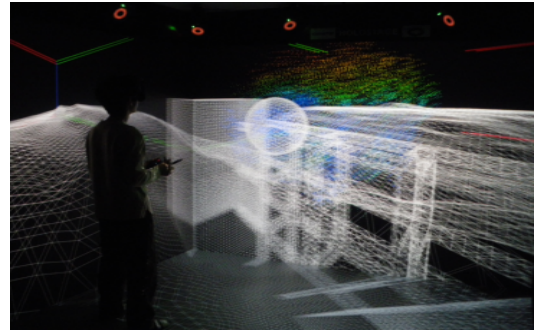


図-3 VFIVEによる可視化

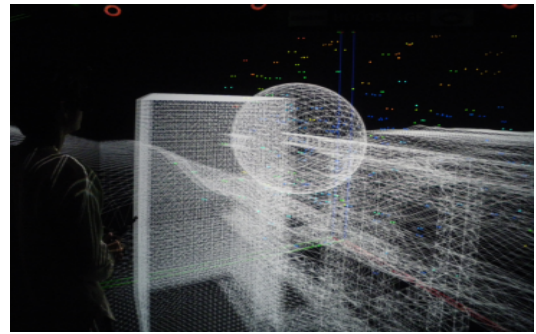


図-4 本可視化システムによる可視化

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、VR空間において非構造格子に対応した対話的に処理可能な流れ現象の可視化システムの構築を行った。可視化適用例として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を可視化することで、本システムの有効性を検討し、以下の結論を得た。

1. 非構造格子に対応した可視化システムを構築することにより、複雑な領域形状を有する流れ現象を詳細に把握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高速化することにより、計算速度の向上を図ったが、計算量が増大し、処理可能な粒子数が減少した。

今後は、VFIVEの持つ他の可視化機能の非構造格子への対応化、都市環境問題における対話的可視化システムの構築を行う予定である。

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) 小木哲朗：没入型ディスプレイの特性と応用の展開，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.1，No.4，pp.43-49，1999
- 4) 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。