

中性子トモグラフィで計測した高解像度 3次元実験データのCAVEによる可視化 (CAVEによる観察の現状と課題)

○呉田 昌俊¹ 久米 悦雄²

- 1 日本原子力研究所 東海研究所 エネルギーシステム研究部 熱流体研究グループ
- 2 日本原子力研究所 計算科学技術推進センター 情報システム管理課

目的: 日本原子力研究所(原研)では中性子ラジオグラフィ3次元トモグラフィ(中性子トモグラフィ)技術¹⁾を用いて、新型原子炉の炉心を模擬した金属製試験体の内部を流れる沸騰流のボイド率分布を高解像度で計測している。VRシステムによる高解像度3次元実験データの立体視可視化の主目的は、得られたボリュームデータの内部に視点を変更し、あたかも原子炉の炉心内部に入り、蒸気や冷却水の分布(現象)を詳しく表示し観察・体験することである。本稿では、中性子ラジオグラフィ(中性子トモグラフィ)の概略、実験データ、可視化手法、可視化結果とVR可視化に関する課題を述べる。

中性子ラジオグラフィ(中性子トモグラフィ)の概略: 中性子ラジオグラフィは、図1に示すように中性子線を用いて被写体の投影像を記録する技術である。中性子トモグラフィは、被写体を180°回転させて投影像を記録し、この投影像から断層像をCT(コンピュータ断層撮像計算)により得る技術である。原研では、中性子トモグラフィ技術を独自開発しており、現在は1024x1024ピクセルの解像度の冷却型高感度CCDカメラを用いて中性子ラジオグラフィ投影像を記録している。図2に、14本バンドル試験体を測定対象として設置して沸騰流のボイド率測定実験を行ったときの写真を示す。外周がアルミニウム製の試験体内には、ジルコニウム合金製の発熱管が14本内包されており、これらの間を沸騰しながら蒸気と水が流れる。本実験の目的は、蒸気や水(正確にはボイド率の)3次元分布を高解像度で計測し、観察するとともに詳細数値解析コード²⁾の検証用データとして役立てることである。

実験データ: 現在の撮像系が出力可能なデータの最大サイズは、約1000x1000x1000ボクセルの3次元等間隔データである。しかし、3次元可視化の表示計算速度の“重さ”と試験体が縦長であり興味のある領域の横幅が現在までは400ピクセル程度であったことから、現在は、約400x400x1000ボクセルのデータを取り扱っている。

立体視観察までのデータ処理手順の概略を以下に記す。(1)中性子ラジオグラフィ画像をPCに14bitバイナリとして記録;(2)FTPで並列計算機HDDに転送;(3)データ処理専用ソフト(NIPPON)で3次元ボイド率分布データまで処理、この際標準中間I/OファイルはAVSのネイティブのfield形式(UNIFORM)とした;(4)AVS/Expressで開発したデータ可視化ソフト(JIPANG)を用いてSGI機上で2D/3D可視化;(5)JIPANGからGFA形式で3D可視化結果を出力;(6)VRシステムやポータブルVRシステムで立体視観察。

可視化手法: ボリュームデータの可視化手法としては、大別してサーフェスレンダリングとボリュームレンダリングの2種類、表現の形としてはアニメーションを作成してプレゼンテーションに用いる場合と、静止ボリュームデー

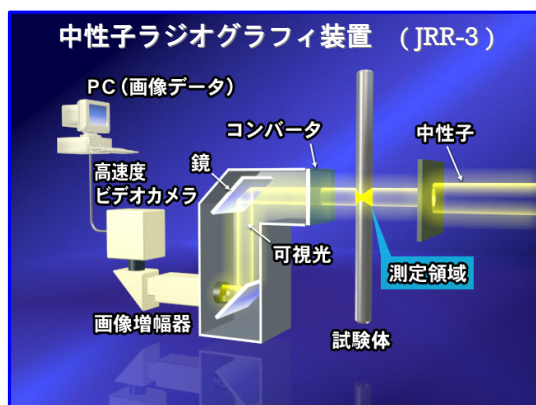


図1 中性子ラジオグラフィの概略

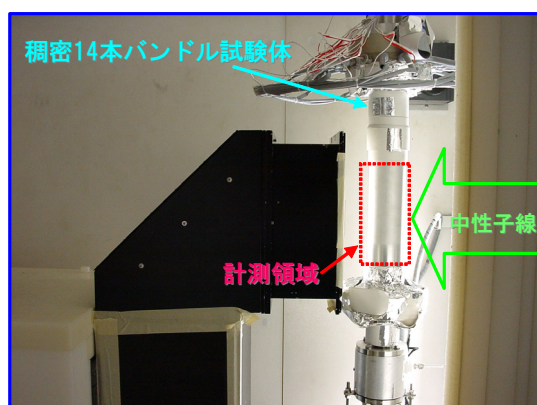


図2 中性子ラジオグラフィ実験(試験体)の写真

データをVRシステム等で観察する場合の2種類に分類できる。サーフェスレンダリングは長所である定量的・軽い点を必要とするケースでよく用い、特にスライス面のコンター表示、等値面表示を多用して観察を行う場合が多い。現状では、5スライス面のコンター表示と等値線表示の合成表示が表示速度が速く（軽く）実用の範囲内にある。一方、等値面表示は2等値面や透明度を変えた表示が効果的であるが、約400x400x1000ボクセルのデータに対しては可視化計算が重すぎてリアルタイム観察に耐えられない。このため、高解像度のデータをプレゼンテーションや観察に用いたい際は、長時間かけてアニメーションを作成し、これを用いることとしている。また、VRシステムによる観察やプレゼンテーションを行う際には、データのサイズをやむなく1/8にトリリニア補間で圧縮し（約200x200x500とする）、また等値面を構成するポリゴン数を低減する処理を挟んで表示速度が軽くなるように工夫している。観察したい対象がポイド率であるためボリュームレンダリングは大変魅力的な可視化手法である。このため、JIPANGにAVS/Express標準のモジュールを組み込んで表示したり、原研上野の大野・鈴木が開発中の並列ボリュームレンダリング(PVR)による可視化を行ったりしている。VRシステムは東海研究所に2面式、上野に3面式、那珂研究所に4面式の装置があり、ポータブルVRシステムは東海研究所に1台ある。著者は全ての装置で観察を行い同種のデータで見え方の違いを相互に比較した。ポータブルVRシステムは、低減速軽水炉研究会の会場内で実際にデモンストレーションに用いた。

可視化結果: 図3に、JIPANGを用いて14本バンドル試験体内ポイド率分布を可視化した結果の一例を示す。また、図4に、4面VRシステムで現象の観察を行っている写真を示す。この観察の際には、オリジナルの1/8圧縮データを用いている。新しい流動現象の発見があり、VRシステムでこの現象を手にとる感覚で観察し、現象の考察に役立てた。

VR可視化に関する課題: VRシステムの利点として、没入感が強い立体視が可能である点が挙げられる。このため、原子炉の内部での現象を体験的に把握できる強力な装置であると考えている。一方、現状では高解像度データのサイズを圧縮したりするなどの工夫をしなくては、表示速度の限界（重い）のため実時間での操作や観察が限られている。また、ボリュームレンダリングによる可視化が大変有効である点までは確認しているが、まだ、サーフェスレンダリングの完成度と比べると低いと感じている。このため、質とともに表示速度・インターフェイス面でも開発が進むことを期待している。

本研究の一部は、以下に記すVizJournalにも掲載されているので参照されたい。

- VizJournal: <http://viz-journal.kgt.co.jp/user/kureta.html> (2004年3月15日掲載号)

(本HPから日経サイエンス主催「ビジュアル・サイエンス・フェスタ2003」入賞動画作品や各種表示例にリンクが張られている)

参考文献:

- 1) 呉田昌俊: 中性子トモグラフィによる二相流計測技術, 噴流工学, 20[2], 24-31, (2003).
- 2) H. Yoshida *et al.*: Numerical Simulation of Void Drift using Interface Tracking Method, Proc. NURETH-10, E00208, Seoul, Korea, (2003).

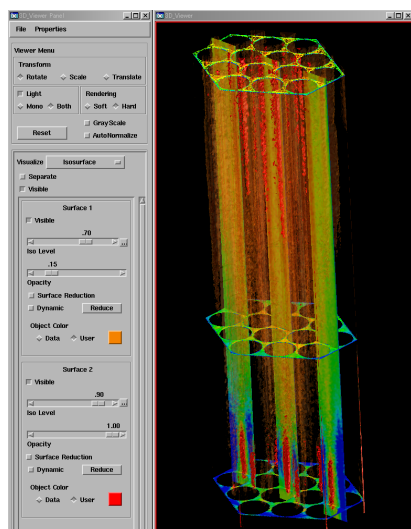


図3 AVSによるポイド率の3次元可視化

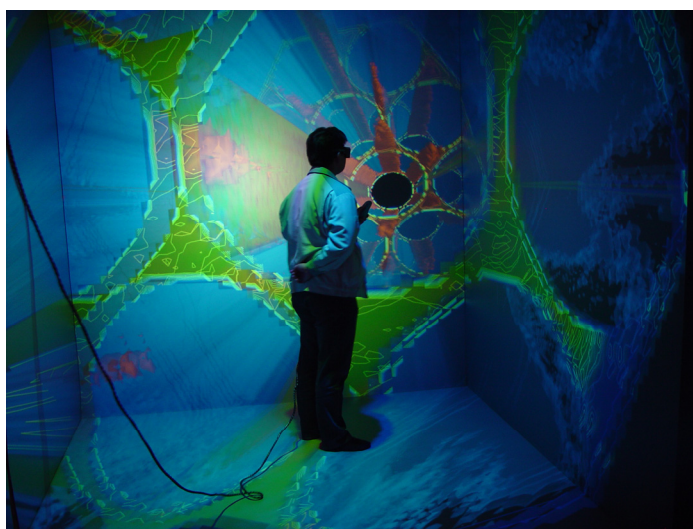


図4 4面VRシステムで蒸気/水の空間分布を詳細に観察