

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2006 年度～2008 年度  
 課題番号：18300032  
 研究課題名 (和文) ポリウムコミュニケーション技術による遠隔協調研究支援環境の構築  
 研究課題名 (英文) Development of Remote Collaborative Environment Using Volume Communication Technologies  
 研究代表者  
 小山田 耕二 (KOYAMADA KOJI)  
 京都大学・高等教育研究開発推進センター・教授  
 研究者番号：00305294

## 研究成果の概要：

本研究では、スパコン等から出力される膨大な数値データ (ポリウムデータ) をいったん粒子化することにより、拡張性の高いポリウムレンダリング手法を開発した。この技術の開発により従来はポリウムレンダリングが不可能とされた規模のポリウムデータを対話的に可視化することが可能になり、高速ネットワークを使った遠隔協調可視化環境の構築が可能になった。このような遠隔協調可視化環境を使って、物理的に離れた研究者同士が質の高い学術的コミュニケーションを行うことが可能となる。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2007年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2008年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
総計	11,700,000	3,510,000	15,210,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース・可視化

キーワード：可視化・ポリウムコミュニケーション・シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

シミュレーション技術は、特に横断型研究分野で見られる複雑高度化された問題を解決する糸口を与えるものとして期待がますます大きくなっている。横断型研究の例としては、地球規模の循環・環境変動の予測、次世代モノづくりの支援、効率的な創薬のプロセスの実現、そして個人毎に最適な薬剤や治療法を見出すテーラーメイド医療の実現などがある。これらを支援するシミュレーション技術は、高精度・高分解能化されていく傾向があり、結果としてそのポリウムデータは大規模化する。そこで、大規模ポリウムデータを共有し、物理的距離を越えて関連す

る複数の専門家による議論を行うことのできる遠隔協調研究支援環境が求められている。遠隔協調可視化環境は、テレビ会議システムに可視化システムを融合したものである。

ポリウムレンダリング技術の開発では、サイズの大規模化にどう対応するかがキーポイントとなる。この場合一般的に用いられる分割可視化技術では、大規模ポリウムデータを適切に分割し、分割ポリウムデータに対して可視化処理を行い、部分画像を作成し、最後に部分画像を適切な順序で重畳し、最終画像を完成させるというアプローチがとられることが多い。大規模データの可視化処理の特徴のひとつは、ポリウムデータが単一計算ノードの物理メモリに収まりきらないという



ことである。既存技術の問題点は、最終画像に寄与しない部分もポリウムデータとして表現すること・予め計算した順序に従って部分画像を重畳することによりパフォーマンスにボトルネックが発生することである。

対面コミュニケーション技術に関して、ノースカロライナ大学チャペルヒル校において実施されている OOTF プロジェクトでは、多視点カメラで取得された人物映像から3次元モデルを生成し、コミュニケーション相手の視点に依存した映像を実時間で生成する。人物像も3次元モデルとなっているので3次元形状の生成・編集を共同で行う場合に有効である。筑波大学大田研究室では、HMD を装着した者同士による仮想コミュニケーション空間においてアイコンタクトを復活させるために HMD から視線情報を取得し、HMD の装着された頭部実映像に CG で作成した仮想頭部映像を重畳している。これらは、参加者それぞれに独自の映像を提供するために頭部の位置情報を実時間で取得する必要がありセンサの装着が必須となっている。

## 2. 研究の目的

本研究で開発するポリウムコミュニケーションは、上述の遠隔協調研究支援環境の基盤をなすものであり、シミュレーション計算から生成される膨大な数値データ（以降ポリウムデータ）というメディアを使った情報交換のことである。本研究で対象とする可視化技術としては全体的な現象把握に向くポリウムレンダリングを考えるが、ポリウムデータの大規模化に対しては現在十分な技術が開発されていない。また、現在提案されている遠隔協調研究支援環境においては、高臨場感の追及が優先し、遠隔参加者全体を3次元データとして表現するために、スムーズなコミュニケーション実現の観点で有効であるとはいえない状況であった。

以上の問題を解決するために本研究で開発すべき要素技術としては、

1. 粒子ポリウムレンダリング技術
2. 代理人表示装置による対面コミュニケーション技術
3. ポリウムデータ向け直感的操作インタフェース技術

を考える。

要素技術1では、与えられた密度関数に応じて粒子群を発生させる手法をいくつか実装し、参照した密度と生成された粒子群の密度との差を最小化する観点で粒子群生成手法の高度化を図る。また、対象データに応じた粒子の適切な光学属性や粒子総数について生成画質と計算時間・必要メモリとの関係を明らかにする。

要素技術2では、遠隔参加者をそれぞれ独立した可動式表示装置（代理人表示装置）に

表示し、固定式表示装置に表示した場合に比べて、ポリウムコミュニケーションの質がどの程度向上しているのかを明らかにする。

要素技術3では、ポリウムデータ内部における注目点を直感的に他の参加者に伝達するためには、3次元データ化された手とポリウムデータとの統合表示がポリウムデータ単独表示に比べて有効であることを明らかにする。また、本研究で提案する遠隔協調研究環境が実際の横断型研究に対して有効であることも明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究の目標を達成するために実施された具体的な方法を以下に年度順で示す。

### (1) 平成18年度

粒子ポリウムレンダリング技術を利用した大規模ポリウムデータ向け可視化技術の開発を行う。これまでのポリウムレンダリングでは発光粒子を半透明ジェルとしてモデル化していたが、本研究では発光粒子をそのまま利用する。このため、粒子ベースポリウムレンダリング技術としては、粒子形状・粒子密度関数・粒子発生に焦点を当てた研究開発を行う。

粒子形状に関しては、表示対象データについて適切なデザインを行う。スカラについては球、ベクタについてはベクタ方向にスケール化された球、テンソルについてはテンソルの各固有ベクタが各軸に対応する楕円体をベースにその大きさや光学的属性について検討を行う。ベクタ・テンソル向け粒子ベースポリウムレンダリングについての報告例は提案者の知る限り皆無である。本研究班では粒子ベースポリウムレンダリングソフトウェア開発・実装向けにPCクラスタ1セットを購入する。

粒子密度関数については、ポリウムデータから計算される特異点の分布に応じて決定する。本研究において、特異点とは、スカラの場合勾配ベクタがゼロとなるような点とし、それら特異点において極大とするような密度関数を設計する。粒子発生については、与えられた密度関数に基づく発生アルゴリズムを設計する。粒子発生場所を規則格子点上に限定し、その発生の有無を乱数により制御する方法・発生点座標そのものを乱数で決定する方法・密度関数を積分して得られる累積分布関数の逆関数を参照する方法の3通りについて検討を行う。

### (2) 平成19年度

タイルド表示装置を用いて、ポリウムデータを表示・共有・操作することが可能な環境を構築する。タイルド表示装置とは、商用の液晶モニタをタイル上に配列させ、安価で高解像度を実現するための表示機構である。このようなポリウムコミュニケーション環境を構築するために以下に述べる3つの観点で研究を行う。

第一に、これまでに開発した粒子ポリウムレンダリング技術の高度化を行う。これまでのポリウムレンダリングではスカラデータの可視化を



目的としていたが、その適用範囲を拡大し、ベクタ・テンソルデータ向けボリュームレンダリング技術に焦点を当てた研究開発を行う。

第二に、昨年度開発した正面顔識別技術を用いて、3地点以上からの遠隔参加者が臨場感を持ってコミュニケーションの行える環境の構築を行う。特に、すべての地点の参加者に対して、誰が誰に対して顔を向けているかが一目で理解できる環境の構築を目標とする。たとえば、このような環境を利用すれば、3サイトにおける参加者をそれぞれA, B, Cとした場合、Aがボリュームデータの特徴を説明している間に、BとCとがその内容を確認するための意見交換している状況を表現することが可能となる。このような表現を可能とするためには、各サイトの参加者をノードとする有向グラフをリアルタイムで構築し、その結果をわかりやすい形で表現する情報可視化技術の開発が必要となる。本年度は、正面顔識別技術より実時間で参加者有向グラフの実時間生成・タイトル表示装置を使った可視化技術を開発する。

第三に要素技術研究班が開発した遠隔協調研究環境を細胞生体シミュレーションプロジェクトで行われている左心室心筋拍動シミュレーション結果の可視化に適用し、その有用性を検証する。遠隔参加者が左心室心筋拍動シミュレーション結果から得られるボリュームデータを共有し、3次元的な場所を指し示しながらアイコンタクトを含むコミュニケーションを実現することによりどの程度質の高い協調研究が実現できるのかについての評価を実施する。

#### (3) 平成 20 年度

ネットワーク環境において、大規模非構造ボリュームデータを表示することを可能とする技術の開発を行う。非構造ボリュームデータとは、4面体や6面体が不規則に配置された空間で定義された数値データのことであり、有限要素法を用いた数値流体シミュレーション結果によくみられるボリュームデータである。このようなボリュームデータ向けの可視化技術を開発するために以下に述べる3つの観点で研究を行う。

第一に、これまでに開発した粒子ボリュームレンダリング技術の高精度化を図る。これまでの粒子ボリュームレンダリングでは粒子のモデリングが不十分で、ボリュームレイキャスティングにより得られた画像に相当する画像を生成するのが困難であった。この問題を解決するために粒子径の仮定・粒子密度の推定を行い、高精度の画像を生成する粒子モデリングを行う。

第二に、ペタコンピューティングに代表される大規模分散計算機環境で生成されたボリュームデータに対する表示を可能にする

技術の開発を行う。このようなボリュームデータは単一の計算ノードで読み込むことが不可能であるためにストリーミングの考えを導入した新たな分散ボリュームレンダリングの開発が重要となる。本年度は、各計算機ノードで粒子を部分的に発生させ、部分画像を生成し、それらをネットワークを使って転送し、合成する分散可視化機能の開発を行う。

第三に開発された粒子ボリュームレンダリングをさまざまな大規模非構造ボリュームデータに適用し、精度・効率の観点でその有効性を検証する。まず、ボリュームレンダリング研究でよく利用されるベンチマークデータを使って、そのレイキャスティング画像と比較することで、粒子ボリュームレンダリング手法の画質を評価する。また、分散環境で計算された大規模有限要素シミュレーション結果を使って、その効率性を評価する。

#### 4. 研究成果

本研究の目標に対して達成された主な研究成果を以下に年度順で示す。

##### (1) 平成 18 年度

大規模・複雑ボリュームデータ向け可視化技術として、“粒子ベースボリュームレンダリング法”に関する基盤技術を開発した。ボリュームデータの可視化手法として有効なボリュームレンダリングは、さまざまな分野でその有用性が認められているが、大規模・複雑ボリュームデータ向けには十分な技術が開発されているとはいえない状況である。これらの問題の原因のひとつは、ボリュームデータを半透明連続体として扱うことにあり、問題の解決には根本的な手法の見直しが必要である。現在のボリュームレンダリングでは、まず、ある密度を持った不透明な発光粒子群という離散モデルとして表現された3次元空間において光の振舞い（散乱・吸収）を考察し、次に、発光粒子の密度を属性とする連続体としてボリュームデータをモデル化する。このように離散モデルから導出された連続体モデルにおいて、効率よくボリュームレンダリング計算を実施するためには、通常サンプリング点を視線に沿って視点方向またはその逆方向に順次設定し、前回の積分結果を再利用する。この場合、サンプリング点について視点を基準とした順序付けが必要となり、これが計算上のボトルネックとなる。この問題を解決するために、本年度開発した手法では、伝達関数で定義される不透明度分布を元に計算される粒子密度に従ってボリューム空間内に粒子を生成し、それらを画像面に投影することによりレンダリングを行う。このとき、粒径に対応して一つの画素を複数の領域に分割して処理（サブピクセル化処理）を行う。ボリュームレンダリング手法の評価で利用されるいくつかのデータに対して、粒子総数・サブサンプリングレベル・画像解像度を変化させて、粒子ベースボリュームレンダリング法の適用を行い、その有効性を検証した。

##### (2) 平成 19 年度



タイトル表示装置を用いて、ボリュームデータを表示・共有・操作することが可能な基本的環境を構築した。タイトル表示装置とは、商用の液晶モニタをタイトル上に配列させ、安価で高解像度を実現するための表示機構である。具体的な研究成果としては以下の2点があげられる。

第1には、四面体単位で処理を行えるPBVR法を使用して、PCクラスタの分散環境下で大規模非構造格子データの可視化を行うシステムを開発したことである。本システムの有用性を示すためステージ毎の処理時間とメモリ使用量を測定した。クラスタの各PC担当領域データの取得において、計算ノードの増加に応じて非構造格子データの読み込み時間が減少した。また、この減少に伴い、粒子群の生成・投影の時間が減少した。これらの実験結果より、分散処理による台数効果が得られることを確認した。本システムを用いて実験を行った結果、計算ノード4台の場合に四面体数ほぼ十億の非構造格子データを3.68秒で可視化でき、これまでの手法と比べて大規模非構造格子データを効率よく可視化できることがわかった。

第1には、タイトル表示装置を用いてボリュームコミュニケーション環境を試作したことである(図1参照)。多地点でのビデオ会議システムを用いてボリュームコミュニケーションを行う際、話したい方の相手とうまくコミュニケーションをとれないといった違和感の問題が生じる。これはネットワーク経由で相手の顔が映し出されたディスプレイを見つめるだけでは、実世界でもコミュニケーションに不可欠なMutual Gaze-Awarenessが欠落してしまうためである。本研究では大画面上に多数の映像画面が表示可能なタイトルディスプレイを用い、画像認識技術を用いた顔方向推定によって効果的な送信映像の自動切替を行う多地点遠隔コミュニケーションシステムを構築した。

### (3) 平成20年度

ネットワーク環境において性能を発揮できる大規模非構造ボリュームデータ向け可視化技術の開発を行った。非構造ボリュームデータとは、四面体や六面体が不規則に配置された空間で定義された数値データのことであり、有限要素法を用いた数値流体シミュレーション結果によくみられるボリュームデータである。具体的な研究成果としては以下の3点があげられる。

第一に、新しい粒子モデリング技術を取り入れた粒子ボリュームレンダリング技術の高度化を行った。具体的には従来粒子の属性として考慮しなかった粒子径と合理的な粒子密度関数の推定方法を開発し、これに基づく粒子発生を行いように改良した。この結果粒子径を小さくすればするほど画質の改善

が実現できることを確認した。

第二に、従来ボリュームデータ全域を対象にした粒子生成手法を開発・利用していたが、これを格子毎に行うように変更した。この変更により、画質の劣化は認められることなく、さらに必要メモリにおいて大変有利な粒子生成手法を開発することができた。この新しい粒子生成手法によりネットワーク越しに分散化して保管されている大規模ボリュームデータに対して効率よくボリュームレンダリングすることができるようになった。

第三に、必要メモリの観点でボリュームレンダリングを断念せざるを得なかった大規模データのボリュームレンダリングが可能となった。具体的には、7100万1次要素・2400万2次要素からなるボリュームデータに対して昨年度設置したタイトル表示装置上で数フレーム毎秒のパフォーマンスでボリュームレンダリング表示を行うことができ、その成果は、大規模計算についての国際的権威であるSC08にてデモンストレーションされた。



図1 タイトル表示装置を用いたコミュニケーション

本成果のうち非構造格子向けボリュームレンダリングの実現については、従来可視化が不可能であった規模のデータを扱えることが特長であるため海外大学(英国マンチェスター大学、中国北京大学、米国テキサス大学)での招待講演があり、また国内での研究機関(原子力研究所、JAXA、立命館大学、大阪大学、東京大学)より技術協力の依頼があった。

今後の展望として、遠隔協調研究支援環境の構築について、

- ・ 分散格納された大規模不規則格子ボリュームデータの遠隔可視化
- ・ TDWの利用を前提とした遠隔協調研究支援環境の構築に対応した研究開発を進める予定である。

第1の計画に関して、当初の研究計画で開発した粒子ボリュームレンダリングでは、ピクセルを分割したサブサンプリングの使用を前提としたアルゴリズムを採用していたが、残念ながらこのような分割より画質の向上は見られるものの必要とされるフレームバッファのサイズの増大を引き起



こした。この問題を解決するために、アンサンブル平均考え方を取り入れた新しいアルゴリズムの設計を行う予定である。

第2の計画に関して、本研究では、分散格納された不規則格子ボリュームデータを複数の表示装置で構成するTDWに可視化表示することになるため、複数ソースが高速ネットワークを介して複数シンクに接続するトポロジーに対応した新たなソフトウェアの設計が新たな研究開発項目として追加される必要がある。さらに高速ネットワークの効率的な利用の実現には、動的負荷分散を行うミドルウェアの開発が必要になり、ネットワーク技術に堪能な研究分担者の追加が必要と考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7件)

- ① Naohisa Sakamoto, Hiroshi Kuwano, Takuma Kawamura, Yasuo Ebara, Koji Koyamada, Kazunori Nozaki, "Distributed Particle-based Volume Rendering for Irregular Volumes," The first International Workshop on Super Visualization (IWSV08), 査読有, 2008
- ② Koji Koyamada, Naohisa Sakamoto, Satoshi Tanaka, "A Particle Modeling for Rendering Irregular Volumes," International Conference on Computer Modeling and Simulation (UKSIM 2008), 査読有, 2008, pp. 372-377
- ③ Takuma KAWAMURA, Jorji NONAKA, Naohisa SAKAMOTO, Koji Koyamada, "Particle-Based Volume Rendering of Unstructured Volume Data," NICOGRAPH International 2007, 査読有, 2007
- ④ 坂本尚久, 小山田耕二, "粒子ベースボリュームレンダリング," 可視化情報学会論文誌, Vol. 27, No. 2, 2007, pp. 7-14
- ⑤ N. Sakamoto, J. Nonaka, K. Koyamada and S. Tanaka, "Particle-based Volume Rendering," Asia-Pacific Symposium on Visualization Proceedings, 査読有, 2007, pp. 141-144
- ⑥ N. Sakamoto, J. Nonaka, K. Koyamada and S. Tanaka, "Volume Rendering Using Tiny Particles," IEEE International Symposium on Multimedia Proceeding, 査読有, 2006, pp. 734-737
- ⑦ F. R. Ngana, T. Hatta, N. Sakamoto, J. Nonaka, S. Tanaka and K. Koyamada, "Volume Rendering with a Grid-Independent Illuminant Particle Model," IEEE Visualization Proceedings Compendium, 査読有, 2006,

pp. 28-29.

[学会発表] (計 3件)

- ① 桑野浩, 河村拓馬, 山崎晃, 坂本尚久, 江原康生, 小山田耕二, 粒子ベースボリュームレンダリングによる大規模非構造格子向け分散可視化, 第27回日本シミュレーション学会大会, 2008/6/1, 立命館大学
- ② 澤藤誠, 坂本尚久, 江原康夫, 小山田耕二, タイルドディスプレイを用いた多地点沿革コミュニケーションシステムに関する研究, 情報処理学会研究報告 2007-CVIM-160, 2007. 9. 3, 名古屋大学
- ③ 河村拓馬, 坂本尚久, NONAKA Jorji, 小山田耕二, "非構造格子向けの粒子ベースボリュームレンダリング," 第26回日本シミュレーション学会大会, 2007年6月, 東京工業大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小山田 耕二 (KOYAMADA KOJI)

京都大学・高等教育研究開発推進センター・教授

研究者番号: 00305294

##### (2) 研究分担者

江原 康生 (EBARA YASUO)

京都大学・学術情報メディアセンター・助教

研究者番号: 40324686

伊藤 貴之 (ITOH TAKAYUKI)

お茶の水女子大学・理学部・准教授

研究者番号: 80401595

##### (3) 連携研究者

日置 尋久 (HIOKI HIROHISA)

京都大学・高等教育研究開発推進センター・准教授

研究者番号: 70293842

酒井 晃二 (SAKAI KOJI)

京都大学・高等教育研究開発推進センター・助教

研究者番号: 40324686