

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300035

研究課題名（和文） 粒子ボリュームレンダリング技術を使った遠隔協調研究支援環境の構築

研究課題名（英文） Development of a remote collaboration environment using a particle-based volume rendering technique

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機構・教授

研究者番号：00305294

研究成果の概要（和文）：粒子ボリュームレンダリング画像生成で必要となるスカラデータと不透明度を関係を表す伝達関数によっては、大量の粒子が発生し、表示速度に支障が出て、協調研究を支援するうえで問題となる可能性が指摘されていた。本研究では、この問題に対して、生成粒子数を低減するために、1) もとの特徴を保持するように伝達関数を変更、2) 伝達関数には変更を加えず粒子半径を調整する手法を開発し、その有用性を確認した。また、高速ネットワークを使って、データサーバ上に複数に分割されて格納された大規模不規則ボリュームデータによる実験を行い、粒子ボリュームレンダリングを用いた遠隔可視化システムの有用性を確認した。

研究成果の概要（英文）：When a particle-based volume rendering is applied to a volume dataset, a huge number of particles may be generated if some transfer function is specified. It is pointed out that there is a possibility that the decrease of the frame rate may hamper an effective remote collaboration work. In this research we propose a technique for decreasing the number of particles by modifying the transfer function so that the feature of the transfer function can be kept and enlarging the radius of the particles and confirmed their effectiveness. In addition, we developed a middleware to divide a given volume dataset on the data server for the efficient data communication and confirmed its effectiveness.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：可視化, 粒子ボリュームレンダリング

1. 研究開始当初の背景

本研究では、粒子ボリュームレンダリング技術に基づく遠隔協調研究支援環境の構築を目標とする。粒子ボリュームレンダリングとは、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（以降ボリュームデータ）を効率的に可視化する技術のことであり、遠隔協調研究支援環境は、タイルド表示ウォール（以下 TDW）等で実現される高解像度表示装置を使って、遠隔協調研究支援で必要となる画像コンテンツを複数同時に

提示することのできる環境のことである。

高機能で高性能なシミュレーションソフトウェアの開発が進み、高精度・高分解能化されたシミュレーションモデルを使った大規模計算が行われるようになりつつある。さらに、2011年稼動に向けて開発の進むベタスケールコンピューティング基盤の整備により、大規模で複雑なシミュレーション結果を効率よく可視化できる基盤とこのような可視化基盤を中核にして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。大規模シミュレーション計算は計算資源の制約から計算領域を複数に分割して行われることが多く、可視化処理を行うために分割された領域をひとつにまとめるような戦略ではシステム資源が不足する可能性が高い。

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ボリュームレンダリングを考える。遠隔協調研究支援環境で利用する可能性の高い分散計算された不規則格子ボリュームデータに対しては、これまで提案者が開発した粒子ボリュームレンダリング技術を利用するが、現在以下のような3つの問題が認識されている。ひとつは、レンダリング計算にサブサンプリング処理を取り入れているために必要となるフレームバッファのサイズが大きくなってしまふこと、そしてもうひとつは、ネットワーク接続されたタイル表示装置を利用する際に重要な動的負荷分散技術が開発されていないこと、最後は、遠隔協調研究支援環境で重要な役割を果たすサーフェスデータとの統合表示技術が開発されていないことである。

2. 研究の目的

前章で述べた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. アンサンブル平均を用いた詳細度制御技術

2. ネットワーク可視化のための動的負荷分散技術

3. 粒子に基づく汎用グラフィックス技術

を考える。

要素技術1では、平成21～22年度において、サブサンプリング処理をアンサンブル平均処理に置き換える粒子ボリュームレンダリング技術を開発する。すなわち、与えられた粒子密度関数に応じて生成した粒子群を使って生成した画像データをアンサンブルメンバーとして、アンサンブル平均した画像を計算する。さまざまなシミュレーション結果を利用し、予め決められた閾値を満たすためにはアンサンブルメンバーの数をいくつにするのがよいのかを確認する。また、画質をある程度保った状態で、対話的表示を行う

には、どの程度の繰り返し数が必要であるのかを明らかにする。

要素技術2では、平成21年度において、分散的に格納された不規則格子ボリュームデータを高速ネットワークで粒子ボリュームレンダリングシステムに転送するリモート可視化環境を構築し、高速ネットワークを構成する各フローの公平さを最大化するような動的負荷分散技術を開発する。また、平成22年度において、TDWに画像データを供給するフレームバッファと粒子ボリュームレンダリングシステムとを高速ネットワークで接続し、高速ネットワークを構成する各フローの公平さを最大化するような動的負荷分散技術を開発する。

要素技術3では、平成22～24年度において、遠隔協調研究支援環境を構築する上で必要となるサーフェスデータを粒子ボリュームレンダリングの枠組みで表示するための汎用グラフィックス技術を開発する。粒子ボリュームレンダリングではズーム時に粒子を再生成する必要があり、対話性の観点で問題となる可能性がある。

この問題を解決するために現在グラフィックスで使用されているポリゴンレンダリング技術と粒子ボリュームレンダリング技術を統合し、半透明属性をもつグラフィックスオブジェクト向けに粒子に基づく汎用グラフィックス技術を開発する。この統合は、レイボリューム中に粒子がひとつ以上存在する確率が不透明度であることを利用して、ポリゴンのラスターライズ処理の結果生成されたピクセルフラグメントを不透明度の確率で描画することで実現できる。この統合技術を使って生成した粒子ボリュームレンダリング画像と従来法で生成された画像との違いを差分画像を使って明らかにする。

不規則格子向けボリュームレンダリング手法については、現在2つの観点で研究成果が発表されている。ひとつは不規則格子向けボリュームレンダリング手法として提案された四面体投影 (Projected tetrahedral, PT) 法[1]でボトルネックとなっていた格子の視点から見た格子のソート処理の高速化であり、もうひとつは、格子のソート処理を不要とする手法の開発である。前者の代表は、Callahanら[2]が開発した統合的ソート手法 (Hardware-assisted visibility sorting, HAVS) である。この手法は、格子面重心を用いて大雑把なソートを行い、その後、有限の深さを持つフレームバッファを用いて格子面から展開される画素レベルでソートの精度を向上させる。HAVSは140万個の四面体格子に対して1.3fpsの計算速度を達成したが、フレームバッファの深さが十分でない場合には描画順序の誤りに基づくアーチファクトが生じる。この深さに対する最適値を決定するのは困難である。格子面のソートでは格子の数のほぼ2倍の数のメモリサイズが必要となる。後者については、Roettgerら[3]が、四面体ソートに必要なとされるメモリバンド幅が処理速度の上限を決定することを示し、ソート不要のボリュームレンダリング手法の提案を行った。彼らのレンダリングモデルは、粒子発光モデルから吸収効果を見捨てる発光効果のみを実現するものなので、その適用は炎、霧

のような現象の表現に限定される。Csebfalvi[4] [5]もソート不要のボリュームレンダリング法を提案したが、先ほど述べた手法とは逆で、吸収効果のみを考慮しており、いわゆるX線撮影像と同様の画像しか作成できない。

本研究における学術的特色は、提案者は、発光・吸収効果を実現し、かつ格子のソート処理を不要とするボリュームレンダリングとして粒子ボリュームレンダリング[6]を提案し、現時点で10億格子を超えるスケラビリティと従来法の画質に匹敵する品質を確認していることである。これまで認識されてきたサブサンプリング処理に必要とされるフレームバッファのサイズが膨大である問題が要素技術1により解決されることにより大規模不規則格子向けボリュームレンダリング技術として確固たる地位を確立すると考える。また、要素技術2・3の開発によりTDWを用いた遠隔協調研究支援環境において重要な役割を果たすグラフィックス技術へと発展することも十分に期待できる。

参考文献

1. P. Shirley, and A. Tuchman, A Polygonal Approximation to Direct Scalar Volume Rendering, In Proc. of San Diego Workshop on Volume Visualization, pp.63-70, 1990.

2. S. P. Callahan, M. Ikits, J. L. D. Comba, and C. T. Silva, "Hardware-Assisted Visibility Sorting for Unstructured Volume Rendering," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics; May/June 2005

3. S. Roetger, and T. Ertl, Cell Projection of Convex Polyhedra, In Proc. of Volume Graphics 2003, pp. 103-107, 2003.

4. B. Csébfalvi, and L. Szirmay-Kalos, Monte Carlo Volume Rendering, In Proc. of IEEE Visualization 2003, pp. 449-456, 2003.

5. B. Csébfalvi, Interactive Transfer Function Control for Monte Carlo Volume Rendering, In Proc. of IEEE Symposium on Volume Visualization and Graphics 2004, pp. 33-38, 2004

6. K. Koyamada, N. Sakamoto, S. Tanaka, "A Particle Modeling for Rendering Irregular Volumes," International Conference on Computer Modeling and Simulation (UKSIM 2008), pp.372-377, 2008.

3. 研究の方法

本研究を遂行する体制は、研究代表者が主担当を務める統括班以下に、3つの要素技術研究班と1つの適用検証班を構成する予定である。総括班では、研究開発目標の詳細設定・研究成果の評価・研究成果の広報・研究班間の交流促進など研究活動全体の運営・管理を担当する。研究班は以下の4つから構成される。汎用グラフィックス技術研究班では、グラフィックスハードウェア高速化技術を

利用したリアルタイム可視化ソフトウェア開発を行わせるため研究者を1名雇用する。[]内は担当者を、うち*は主担当を示す。

- 研究統括グループ[小山田*]
- 要素技術研究グループ
 - 粒子ボリュームレンダリング技術研究班 [小山田*, 坂本]
 - 動的負荷分散技術研究班[伊達*, 江原]
 - 汎用グラフィックス技術研究班[坂本*, 小山田, 研究者]
- 適用検証グループ[坂本*, 小山田]

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21年度

粒子ボリュームレンダリングでは、粒子生成、粒子投影、サブピクセル処理という、三つの処理ステップから構成される。今年度、要素技術1としては、では第1ステップ・第3ステップ向けに新しい技術を開発する。第1ステップは、ユーザ指定の伝達関数に従って、格子毎に粒子を発生させることである。現状では、粒子密度推定式を用いて、格子を構成する四面体セル毎に粒子数を推定することによって、格子内部において一様に粒子生成を行う。この方法だと局所的なピークを持つ伝達関数に対応した粒子生成が行えないという問題がある。この問題を解決するために格子内部における密度変化を考慮した粒子生成法を開発する。局所的なピークを持つ伝達関数を使って、この手法による画質と計算コストを計測し、計算コストの増加に見合った画質向上が達成されているかどうか確認する。第3ステップは、画像面に投影された粒子から画素の値を決定することである。現状では、生成された粒子を画素内においてできるだけ正確な場所に投影できるように画素をいくつかの部分画素(サブピクセル)に分割し、部分画素値の平均化により最終画素値を計算している。このためサブピクセル数倍だけフレームバッファを用意しなければならずメモリ資源の観点で問題がある。この問題を解決するためにアンサンブル平均の考え方を導入する。すなわち、サブピクセル数をできるだけ小さくして画素値を計算し、この結果得られた画像データをアンサンブルのメンバーと考え、複数メンバーによるアンサンブル平均を最終画像データとする。

本研究における遠隔可視化では、大規模不規則ボリュームデータは、データサーバ上に複数に分割されて格納され、そこから粒子データが生成され、高速ネットワークを経由してTDW側の表示サーバに転送され表示を行うと仮定する。この場合、データ発生と吸収とがそれぞれ複数でその数も一般に異なるようなネットワークトポロジーであると考えられることができる。全粒子データのサイズが比較的小さく表示クライアントの各ノードのメモリに収納可能である場合、データサーバの各ノードからは粒子データが生成されそのまま高速ネットワークで転送され、TDWの表示クライアントの各ノードに全粒子データが転送される。データサーバの各ノードでは、格子

数の観点では公平に格子データが格納されているが、生成される粒子はそうではない。このため、今年度、要素技術2としては、高速ネットワークの入り口でこれを構成する各フローの公平さを最大化するようなミドルウェアの開発を行う。全粒子データのサイズが表示クライアントの各ノードのメモリに収納可能でない場合、各ノードへの全粒子データ転送を断念して、ユーザに表示クライアントの各ノードのメモリに収納可能となるように伝達関数の再設定を指示する。

今年度、要素技術3としては、半透明属性をもつポリゴンデータから粒子データを生成する手法の開発を行う。ボリュームレンダリング表示のみではデータの持つ特徴について空間的な位置がわかりにくいので、適切なサーフェスデータを統合表示することが要求される。不規則ボリュームデータの場合には境界面を半透明表示するが多い。境界面とは格子面のうちで他の格子と共有していないものの集合のことを指す。この場合半透明属性をもつポリゴンを粒子表現することにより粒子ボリュームレンダリングの枠組みで統合表示することが可能となる。

要素技術の適用検証としては、遠隔協調研究環境プロトタイプをテラーメイド医療の現場に適用し、その有用性を検証する。今年度については直感的操作インターフェースがボリュームデータ内部における興味領域の指示に果たす役割をどのように定量化できるかについての検討を行う。

(2) 平成22年度

粒子ベースボリュームレンダリング法

(PBVR法)を用いて、大規模データの高解像度表示を行う場合、与えられた計算機システムを使って、利用者が求める描画速度を実現するには、生成粒子数が問題になる可能性が不可避である。本年度では、生成粒子数を低減するための方針として、もとの特徴を保持するように伝達関数を変更することを考える。伝達関数は、スカラ値と不透明度の関係を記述したもので、利用者の意図が表現されている。強調したいスカラ値には高い不透明度が、そうでないスカラ値には低い不透明度が指定されている。この不透明度の値そのものは、絶対的なものではなく、他のスカラ値に対する不透明度に対する相対的なものとなっている。また、ボリュームレンダリング理論より不透明度は粒子密度と関係があり、高い不透明度ほど高い粒子密度に対応し、結果として粒子数の増大につながる。本研究では、強調したいとは考えていないスカラ値に対する不透明度を低めに再設定することにより粒子数の削減を行い、利用者が求める描画速度の達成を目指す。

平成21年度に開発された動的負荷分散ミドルウェアをベースにして、高速ネットワー

クの出口において、全粒子データのサイズに基づいて以下の処理を実施するミドルウェアの開発を行う。全粒子データのサイズが表示クライアントの各ノードのメモリに収納可能でない場合、粒子データをTDWの表示クライアントの各ノードに分配して転送することができるかどうか確認する。全粒子データが大きすぎて、これを表示クライアントのノード数で除したサイズであっても表示クライアントの各ノードのメモリに収納可能でない場合、分配転送を断念して、データサーバの各ノードに表示クライアントの各ノードのメモリに収納可能となるように粒子データの再生成を指示する。そうでない場合には、表示クライアントの各ノードに分配して転送する。

粒子データが複数サイトに転送される遠隔協調研究支援環境の開発を行う。参加サイトにはボリュームデータ提示用表示ウィンドウ・他サイト参加者代理人像(アバタ)を参加サイト数だけ用意する。各々の参加サイトのアバタは、常に参加者のカメラ位置がリアルタイムで反映されているようにし、各参加者による対話操作が他サイトにもそのまま伝播されるような仕組みづくりを行う。

(3) 平成23年度

平成23年度は、粒子ボリュームレンダリング(PBVR)において、粒子半径を調整することにより生成粒子数を削減する手法を開発する。PBVRは、格子のソーティング処理が不要となるボリュームレンダリング手法であり、大規模な非構造格子のボリュームデータに対して特に有効な方法とされる。しかし、ボリュームレンダリング画像生成で必要となるスカラデータと不透明度を関係を表す伝達関数によっては、大量の粒子が発生し、表示速度に支障の出る可能性が指摘されていた。この問題を解決するために、本年度は、伝達関数には変更を加えず、粒子半径を調整する手法を開発する。本手法の有効性を検証するために従来手法との比較を行い、粒子半径の拡大は、スカラデータの変化が大きくないところでは画質劣化につながらないことを確認する。

PBVRを使った可視化では、タイルド表示装置

(TDW)を大規模化して、表示解像度が大きくなった場合、生成粒子数が膨大となり、表示クライアントの各ノードのメモリへの収納が不可能となる場合が発生する。このような場合であっても、表示クライアントの各ノードのメモリに、格子を格納できる場合には、メモリには、粒子ではなく格子データを格納しておき、格子を投影する段階でラスターライズと粒子生成を同時に実現する手法の開発を行う。

また今年度は、PBVRを使って、時系列かつ大規模非構造ボリュームデータをアニメーションでボリュームレンダリングする手法を開発する。時系列ボリュームレンダリングを行うため、前処理として全タイムステップのボリュームデータを一旦粒子群データとして生成しておき、アニメーションによる描画時に表示する粒子群を順次切り替える。描画する粒子数が多すぎると、粒子の切り替えに時間がかかってしまうため、アニメーションの際は表示させる粒子数を減らすことで、スムーズな粒子切り替えを行う。また、実データとして口腔流体シミュレーショ

ンによって得られた時系列大規模非構造データに本手法を適用し、有用性を示す。さらに、数値シミュレーション結果との統合が望ましいコンテンツからの粒子生成技術を開発し、この技術によって生成された粒子データをTDW上で実時間統合表示する基盤を開発する。

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 21 年度

平成 21 年度では、粒子ボリュームレンダリングにおける粒子生成、サブピクセル処理の各処理ステップにおいて新しい技術を開発した。粒子生成ステップでは、ユーザ指定の伝達関数に従って、格子毎に粒子を発生させる。現状では、粒子密度推定式を用いて、格子を構成する四面体セル毎に粒子数を推定することによって、格子内部において一様に粒子生成を行う。この方法だと局所的なピークを持つ伝達関数に対応した粒子生成が行えないという問題がある。

この問題を解決するために格子内部における密度変化を考慮した粒子生成法を開発した。局所的なピークを持つ伝達関数を使って、この手法による画質と計算コストを計測し、それほど計算コストを増加させることなく画質向上が達成されていることを確認した。また、半透明属性をもつポリゴンデータから粒子データを生成する手法の開発を行った。

サブピクセル処理ステップでは、画像面に投影された粒子から画素の値を決定する。現状では、生成された粒子を画素内において、できるだけ正確な場所に投影できるよう画素をいくつかの部分画素（サブピクセル）に分割し、部分画素値の平均化により最終画素値を計算している。このためサブピクセル数倍だけフレームバッファを用意しなければならず、メモリ資源の観点で問題がある。

この問題を解決するためにアンサンブル平均の考え方を利用して、サブピクセル数分画像データを使って平均化計算を行い、平均化画像を最終画像データとする手法の開発を行った。いくつかのデータを使った比較実験を通して、このアンサンブル平均法とサブピクセル法とが等価であることを示した。また、高速ネットワークを使って、データサーバ上に複数に分割されて格納された大規模不規則ボリュームデータによる実験を行い、粒子ボリュームレンダリングを用いた遠隔可視化システムの有用性を確認した。

(2) 平成 22 年度

平成 22 年度では、粒子ボリュームレンダリングにおける生成粒子数の削減に関する新しい技術を開発した。粒子ベースボリュームレンダリング法（PBVR 法）を用いて、大規

模データの高解像度表示を行う場合、粒子半径とユーザ指定の伝達関数によって定まる数の粒子を生成する。スカラデータから不透明度を定義する伝達関数において不透明度が平均的に高く設定されている場合、粒子数は大きくなり、利用者が求める描画速度を実現することが困難となったり、場合によっては、粒子を格納するメモリが不足し、計算が不可能となる。

この問題を解決するために、もとの特徴を保持するように伝達関数を変更するための手法を開発した。伝達関数は、スカラ値と不透明度の関係を記述したもので、利用者の意図が表現されている。強調したいスカラ値には高い不透明度が、そうでないスカラ値には低い不透明度が指定されている。この不透明度の値そのものは、絶対的なものではなく、他のスカラ値に対する不透明度に対する相対的なものとなっている。この利用者の意図を保つために伝達関数の特徴を解析し、その特徴を保持するように関数値である不透明度を低減する。ボリュームレンダリング理論より不透明度は粒子密度と関係があり、高い不透明度ほど高い粒子密度に対応し、結果として粒子数の増大につながる。従って、不透明度を低減することにより粒子数の削減が実現できた。

また、平成 21 年度に開発された動的負荷分散ミドルウェアをベースにして、空間分割で並列粒子が生成された後、タイルディスプレイから視点情報を受け、対象となるディスプレイにだけ粒子情報を転送する「粒子振り分け機能付き並列通信システム」を開発した。また、参加者による対話操作に関して直観性を重視するためにジェスチャベースの操作方法について基本的デザインを実施した。

(3) 平成 23 年度

遠隔協調研究支援環境では、複数の参加者と可視化結果を共有するために大規模なタイル表示装置（TDW）を利用することが多い。大規模 TDW において、粒子ボリュームレンダリング（PBVR）を使った可視化では、表示解像度が大きくなった場合、生成粒子数が膨大となり、表示クライアントの各ノードのメモリへの収納が不可能となる場合が発生する。このような場合、前年度に開発した粒子数削減手法において着目した伝達関数以外に粒子半径の調整が有効となる。今年度は、PBVR において、粒子半径を調整することにより生成粒子数を削減する手法を開発した。PBVR は、格子のソーティング処理が不要となるボリュームレンダリング手法であり、大規模な非構造格子のボリュームデータに対して特に有効な方法とされる。しかし、ボリュームレンダリング画像生成で必要となるスカラデータと不透明度を関係を表す伝達関数によっては、大量の粒子が発生し、表示速度に支障の出る可能性が指摘されていた。この問題を解決するために、本年度は、伝達関数には変更を加えず、粒子半径を調整する手法を開発した。本手法の有効性を検証するために従来手法との比較を行い、粒子半径の拡大は、スカラデータの変化が大きくないところでは画質劣化につながらないことを確認した。また、計算機性能の向上に伴い、遠隔協調研究支援環境における可視化対象として、時系列ボリュ

ームデータが増えてきている。このようなデータに対応するために、今年度は、PBVRを使って、時系列かつ大規模非構造ボリュームデータをアニメーションでボリュームレンダリングする手法を開発した。

京都大学学術情報メディアセンターに設置のTDWを利用して複数の参加者と可視化結果を共有することのできる遠隔協調研究支援環境のプロトタイプを開発した。(図1参照)



図1 TDWを用いた協調研究環境

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 河村拓馬、小山田耕二、坂本尚久、田中覚、粒子ベースボリュームレンダリング法のための不規則六面体メッシュ向け高品質サンプリング手法、日本シミュレーション学会論文誌、査読有、Vol.3、No.3、2011、pp. 48-59
- ② Takuma Kawamura, Naohisa Sakamoto, Koji Koyamada, A Level-of-Detail Rendering of a Large-Scale Irregular Volume Dataset Using Particles, Journal of Computer, 査読有、Vol.25, No.5、2010、pp.905-915
DOI : 10.1007/s11390-010-1071-x
- ③ Naohisa Sakamoto, Hiroshi Kuwano, Takuma Kawamura, Koji Koyamada, Kazunori Nozaki, Visualization of Large-scale CFD Simulation Results Using Distributed Particle-Based Volume Rendering, International Journal of Emerging Multidisciplinary Fluid Sciences, 査読有、Vol.2、No.2、2010、pp.73-86
DOI:10.1260/1756-8315.2.2-3.73
- ④ Naohisa Sakamoto, Takuma Kawamura, Koji Koyamada, Improvement of particle-based volume rendering for visualizing irregular volume data sets, Computers & Graphics, 査読有、Vol.34、No.1、2010、34-42、
DOI : 10.1016/j.cag.2009.12.001

- ⑤ 江原康夫、田中卓也、曾根英明、小山田耕二、グリッド環境を用いた大規模ボリュームデータの遠隔視覚化処理の高速化、電子情報通信学会論文誌、査読有、J92-B/10、2009、pp.1611-1618
- ⑥ 江原康夫、桜井健一、曾根英明、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手法を用いた大規模ボリュームデータの効率的な遠隔可視化、画像電子学会論文誌、査読有、Vol.38、No.5、2009、pp.753-761
- ⑦ Z. Ding, T. Kawamura, N. Sakamoto, K. Koyamada, Particle-based Multiple Irregular Volume Rendering on CUDA moto, Simulation Modelling Practice and Theory, 査読有、Vol.18、No.8、2010、pp.1172-1183

〔学会発表〕(計3件)

- ① 西村純、坂本尚久、小山田耕二、粒子ボリュームレンダリングによる時系列非構造ボリュームデータの可視化、第39回可視化情報シンポジウム、2011/7/19、工学院大学新宿キャンパス
- ② 西村 純、河村 拓馬、矢作 日出樹、坂本尚久、小山田耕二、大規模宇宙シミュレーション結果のための対話的可視化手法、第29回日本シミュレーション学会大会、2010/6/20、山形大学米沢キャンパス
- ③ 桑野博、河村拓馬、坂本尚久、小山田耕二、大規模データの高解像度ボリュームレンダリングに対する粒子モデリング、第38回可視化情報シンポジウム、2009/7/21、工学院大学

〔図書〕(計2件)

- ① 坂本尚久、小山田耕二、コロナ社、Excel で学ぶコンピュータグラフィックス技術入門、2011、190
- ② 小山田耕二、坂本尚久、コロナ社、粒子ボリュームレンダリング 理論とプログラミング、2010、212

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機構・教授
研究者番号：00305294

(2) 研究分担者

坂本 尚久 (SAKAMOTO NAOHISA)
京都大学・高等教育研究開発推進機構・専門業務職員

研究者番号：20402745

伊達 進 (DATE SUSUMU)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授
研究者番号：20346175

(H21-H22)

江原 康夫 (EBARA YASUO)

大阪大学・情報基盤推進本部・講師
研究者番号：40324686

(H21-H22)

(4) 連携研究者

なし