

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 8 日現在

機関番号：35404

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500112

研究課題名(和文) 微細構造及び光学特性を考慮した物理シミュレーション及び可視化に関する研究

研究課題名(英文) Physically based simulation and visualization taking into account

研究代表者

西田 友是 (Tomoyuki, Nishita)

広島修道大学・経済科学部・教授

研究者番号：10131690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、従来のCGの表現能力を拡充して写実性の増強を目指すとともに、それに基づいたアートへの応用についても提案を行う。この目的のため、材質の構造および光学特性を考慮して、物理ベースのシミュレーションと可視化を行う手法を開発した。構造を考慮することによって、対象物の外観の表現能力が向上し、対象物の動きもよりリアルに表現することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this project, we aim at enrich the usability and power of existing computer graphics techniques, specifically focusing on enhancing the realism, which could also be beneficial for artistic applications. For our purpose, we focus on microscopic structures of the materials and take into account the optical properties of such structures. We developed physically based simulation and visualization techniques to handle such microscopic structures. By taking into account microscopic structures, we are able to generate more realistic animation sequences for objects, with enhanced appearances.

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：グラフィクス 粒子 非均質 大域照明 散乱 流体 自然物 アート

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は CG (コンピュータ・グラフィックス) 分野の研究である。CG 分野において、対象物の動きや外観のリアルな表現法は、重要な研究テーマの一つである。CG 研究の発展およびハードウェアの処理性能の向上に伴い、煙・水・炎・雲・大気・髪の毛・布などの自然物をはじめ、様々な物体の表現手法が開発されてきた。それらの表現手法は、映画、TV コマーシャル、ゲームなどの映像産業において幅広い応用を獲得している。こうした物体をリアリティックに表現するには、ダイナミクスがリアルに振舞うだけでなく、個々の静的な映像も美しい必要がある。

そのため、1)ダイナミクスの計算、2)散乱や表面下散乱(光が物体の表面を透過し、内部で散乱した後表面から出て行くメカニズム)などの光学的効果を考慮した可視化、の双方が必要な技術であり、長年にわたり研究されてきた。

近年では、より迫力のある映像製作のため、写実性を高めるとともに、より複雑で詳細な映像表現が追求されてきている。

### 2. 研究の目的

本研究では、従来法の表現能力を拡充して写実性の増強を目指すとともに、それに基づいたアートへの応用についても提案を行う。この目的のため、材質の構造および光学特性を考慮して、物理ベースのシミュレーションと可視化を行う手法を新たに開発する。

構造を考慮することによって、対象物の外観の表現能力が向上するだけでなく、対象物の動きもよりリアルに表現できると考えられる。

### 3. 研究の方法

本研究は、1)微細構造を考慮した物体の動きのモデリングと、2)光学的特性を考慮した可視化の二つの部分から構成される。

#### (1) 物体の動きのモデリング

本研究では、下記のように微細構造を含む物体の物理ベースのシミュレーション方法について、主に下記の二つの方向性から研究を行った。

一つは、各々の構造の微視的な物理的挙動のモデリングに主眼を置いて、構造間の相互的なインタラクションを計算する方法であり、各々の構造の詳細な表現を得るのに適している。

もう一つは、流体や変形物体の巨視的な動きを記述するモデルからスタートして、詳細な構造を表現するサブスケールのモデルを追加し、さらに必要に応じてこれらのモデル間の相互作用を計算する方法で、背景に巨視的な動きがある現象の表現に適している。

#### (2) 可視化

微細構造を含む物体の可視化では、各々の構造による光の散乱や相互反射を考慮することで物体の巨視的な外観を計算することができる。この計算は一般に計算量が高く、精度よくかつ高速に評価できることが望まれる。本研究では高速化のためのデータ構造や、微細な構造の照明効果を効率よく記述できる新しい関数群を開発して、より高速な微細構造を含む物体の可視化法を開発した。

### 4. 研究成果

#### (1) 物体の動きのモデリング

微視的な挙動のモデリングからスタートして物体の物理的挙動を扱う方法として、髪の毛のダイナミクスや植物の葉の変化に関する方法を開発した。



図 1 微細な髪が濡れたシミュレーション

髪の毛のシミュレーション手法の開発では、まず、曲がりたりねじれたりする糸のシミュレーション法の開発から始め、次にこれを一本一本の髪の毛の詳細な動きのシミュレーション手法へと発展させた。さらに、水と髪の毛がインタラクションするような複雑な挙動にも対応できる方法へと拡張した(図 1 参照)。また、



図 2 微細な縄状のものの変形シミュレーション

植物の葉の変化では、植物中の水分や養分の流れを簡易なモデルで表現し、これらの量の変化に応じて葉の色や形状が変化する方法を開発した。

背景に巨視的な動きがある現象を扱う方

法として、炎、水滴や気泡、磁性流体、雨水に関する方法を開発した。

炎のシミュレーションでは、すすの粒子分布が重要であり、温度によって黒体放射が変化し、赤い炎や黒煙に見える。また、粒子の大きさや個数密度の違いにより、輝度や減衰率が変化する。本研究では、圧縮性流体として空気や燃料・反応生成物などを扱うとともに、微細なすすの粒子分布の変化を考慮するモデルを開発した。

炎におけるすす粒子と同様に、水滴や気泡などの粒径の小さい粒子を扱う場合には、背景の流体(空気や液体)を考慮することが重要である。本研究では、背景に空気の流れがある状況下での水滴の動きとして、自動車のウィンドシールド上での水滴の挙動を模擬する方法を開発した。また、背景に水の流れがある状況下での気泡の動きとして、炭酸水中の泡の動きを模擬する方法を開発した。



図 3 微細構造のスパイクを表面に持つ磁性流体のシミュレーション

磁性流体は、溶媒中にコロイド状に微細な磁性体が溶けたものである。特徴的現象として、強い磁石を近づけた際に、スパイクのような形状が液面付近に現れる。この現象をモデル化するため、流体の大まかな動きを SPH 法によりシミュレーションし、特定の条件下で解析的に得られるスパイクの形状を、SPH 法で得られた液面上にマッピングする近似的な表現法を開発した(図 3 参照)。

冬など、低温下の樹木に、空気中に含まれる微小な水滴が凝結することで、氷が樹木の周りに生成される雨氷という現象がある。この現象のシミュレーションのため、樹木の周りの大気の流れや、熱伝導による水の相転移を考慮した方法を開発した。

## (2) 可視化

煙・雲・炎など、微細な粒子から構成される媒質を写実的に表現するには、これら粒子による光の散乱や減衰等の効果を考慮することが重要である。本研究では、我々が以前に開発したモンテカルロ法に基づく散乱計算法を一般化し、よりフレキシブルに

計算できる方法を開発した。

また、よりロバストなモンテカルロ法ベースのレンダリング法の開発のため、レプリカ交換法に基づいた方法を開発した。これにより、サンプリングが不十分な場合に生じる輝点を低減し、より効率よく可視化を行うことができる。

さらに、物体の光学的特性や形状が与えられた場合の物体の見え方を計算するという順問題だけでなく、物体の光学的特性を編集して、所望の表示結果を得られるような方法についても研究を行った。

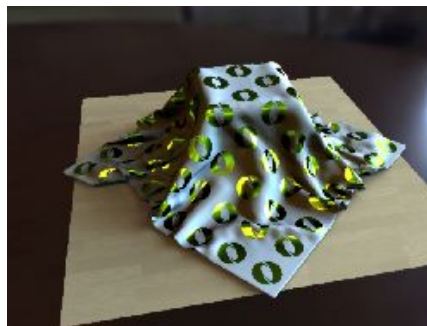


図 4 微細構造を持つ布の凹凸を編集できかつ高速描画できる方法

布は微細な繊維構造でできている、その微細構造をユーザが編集でき、かつ高速に描画できる方法を開発した(図 4 参照)。

さらに、微細構造を持つ布を環境光源で照射した場合の複雑な影を考慮した見え方をシミュレーションする方法を開発した(図 5 参照)。

こうした方法は、見栄えよく表示したい場合や、写実的に表示する場合でもその構造を際立たせたい場合に有用で、アーティストが所望する映像を制作することを補助するツールとなりうる。こうした編集を実現するため、下記の二つのアプローチから研究を行った。一つ目は、インタラクティブな表示法で、球面ガウシアン関数という新しい基底関数を開発して、精度よくかつ高速に照明分布を計算することを実現した。二つ目は、遺伝的プログラミングを利用した自動的なパラメータ探索法である。ユーザが写真などを用いて所望の見え方を指定すると、その見え方を実現するような光学的特性のパラメータを探索する。

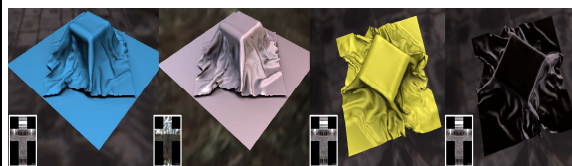


図 5 各種の布を環境光源(左下に輝度分布)で照射した比較実験

## 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 13 件)

- K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2014. Interactive Cloth Rendering of Microcylinder Appearance Model under Environment Lighting. Computer Graphics Forum, 33(2): 333-340 査読有
- T. Ishikawa, Y. Yue, K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2013. Visual Simulation of Magnetic Fluids Using Dynamic. Transactions on Image Electronics and Visual Computing, 1(1): 51-57. 査読有
- M. Shinya, Y. Dobashi, K. Iwasaki, M. Shiraishi, T. Nishita. 2013. A Simplified Plane-Parallel Scattering Model for Rendering Densely Distributed Object. Journal of Information Processing Society of Japan, 21(2): 349-357. 査読有
- M. Shinya, Y. Dobashi, K. Iwasaki, M. Shiraishi, T. Nishita. 2013. A Simplified Plane-parallel Scattering Model for Rendering Densely Distributed Objects such as Foliage. Journal of Information Processing, 21(2): 349-357. 査読有
- Y. Kanamori, T. Nishikawa, Y. Yue, T. Nishita. 2012. Visual Simulation of Bubbles in Carbonated Water. The Journal of the Society for Art and Science, 11(4): 118-128. 査読有
- K. Iwasaki, W. Furuya, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012. Real-time Rendering of Dynamic Scenes under All-frequency Lighting using Integral Spherical Gaussian. Computer Graphics Forum, 31(2): 727-734. 査読有
- W. Rungjiratananon, Y. Kanamori, T. Nishita. Wetting Effect in Hair Simulation. 2012. Computer Graphics Forum, 31(7): 1993-2002. 査読有
- 古家 互, 岩崎 慶, 土橋 宜典, 西田友是. 2012. 球近似と符号付き球面距離関数による動的シーンのリアルタイムレンダリング. 情報処理学会論文誌, 53(7): 1905-1914. 査読有
- W. Rungjiratananon, Y. Kanamori, N. Metaaphanon, Y. Bando, B.-Y. Chen, T. Nishita. 2012. Animating strings with twisting, tearing and flicking effects. Computer Animation and Virtual Worlds, 23(2): 113-124 査読有
- K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012. Interactive bi-scale editing of highly glossy materials. ACM Trans. Graph.

31(6): 144:1-144:7 査読有

- Y. Dobashi, W. Iwasaki, A. Ono, T. Yamamoto, Y. Yue, T. Nishita. 2012. An inverse problem approach for automatically adjusting the parameters for rendering clouds using photographs. ACM Trans. Graph. 31(6): 145:1-145:10
- K. Suzuki, Y. Yue, T. Nishita. 2012. Progressive Photon Beams with Adaptive Free Path Sampling. The Journal of the Society for Art and Science, 11(4): 138-148
- Y. Yue, K. Iwasaki, B.-Y. Chen, Y. Dobashi, T. Nishita. 2011. Toward Optimal Space Partitioning for Unbiased, Adaptive Free Path Sampling of Inhomogeneous Participating Media. Computer Graphics Forum, 30(7): 1911-1919.

[学会発表](計 20 件)

- 石川知一, Y. Yue, 渡辺大地, 岩崎慶, 土橋宜典, 柿本正憲, 近藤邦雄, 西田友是. 2013.6.22-23. 雨氷のビジュアルシミュレーション. Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム. 青森文化会館, 青森. 査読有
- 水谷一貴, 岩崎慶, 土橋宜典, 西田友是. 2013.6.22-23. 環境照明下の布の高速レンダリングと外観編集. Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム. 青森文化会館, 青森. 査読有
- T. Ishikawa, Y. Yue, T. Watanabe, K. Iwasaki, Y. Dobashi, M. Kakimoto. K. Kondo, T. Nishita. 2013.8.3-7. Visual Simulation of Glazed Frost. SIGGRAPH 2013 Posters. Anaheim, USA. 査読有
- H. Otsu, Y. Yue, Q. Hou, K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2013.8.3-7. Replica Exchange Light Transport on Relaxed Distributions. SIGGRAPH 2013 Posters. Anaheim, USA. 査読有
- P. Silva, Y. Yue, B.-Y. Chen, T. Nishita. 2013.1.7-9. Leaf Deformation Taking Into Account Fluid Flow. IWAIT 2013. Nagoya, Japan. 査読有
- Y. Dobashi, W. Iwasaki, A. Ono, T. Yamamoto, Y. Yue, T. Nishita. 2012.11.29-12.1. An inverse problem approach for automatically adjusting the parameters for rendering clouds using photographs. SIGGRAPH ASIA 2012 Technical Papers. Singapore, Singapore. 査読有
- K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012.11.29-12.1. Interactive bi-scale



editing of highly glossy materials. SIGGRAPH ASIA 2012 Technical Papers. Singapore, Singapore. 査読有  
T. Nishino, K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012.11.29-12.1. Visual simulation of freezing ice with air bubbles. SIGGRAPH Asia 2012 Technical Briefs. Singapore, Singapore. 査読有

W. Rungjiratananon, Y. Kanamori, N. Metaaphanon, Y. Bando, B.-Y. Chen, T. Nishita. 2012.11.15-17. Twisting, tearing and flicking effects in string animations. Motion in Games 2012. Rennes, France. 査読有

W. Rungjiratananon, Y. Kanamori, T. Nishita. 2012.9.12-14. Wetting Effects in Hair Simulation. Pacific Graphics 2012. Hong Kong, Hong Kong. 査読有

K. Suzuki, Y. Yue, T. Nishita. 2012.7.2-3. Progressive Photon Beams with Adaptive Free Path Sampling. NICOGRAPH International 2012. Bali Indonesia. 査読有

Y. Kanamori, T. Nishikawa, Y. Yue, T. Nishita. 2012.7.2-3. Visual Simulation of Bubbles in Carbonated Water. NICOGRAPH International 2012. Bali Indonesia. 査読有

N. Nakata, M. Kakimoto, T. Nishita. 2012.6.25-28. Animation of Water Droplets on a Hydrophobic Windshield. WSCG 2012. Plzen, Czech Republic. 査読有

T. Ishikawa, Y. Yue, K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012.5.21-24. Visual simulation of magnetic fluid taking into account dynamic deformation in spikes. IEVC 2012. Kuching, Malaysia. 査読有

P. Silva, Y. Yue, B.-Y. Chen, T. Nishita. 2012.5.21-24. Simulating plant color aging taking into account the sap flow in the venation. IEVC 2012. Kuching, Malaysia. 査読有

K. Iwasaki, W. Furuya, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012.5.13-18. Real-time Rendering of Dynamic Scenes under All-frequency Lighting using Integral Spherical Gaussian. Eurographics 2012. Cagliari, Italy. 査読有

石川 知一, Y. Yue, 岩崎 慶, 土橋 宜典, 西田 友是. 2011.9.4. スパイク現象を表現するための磁性流体のビジュアルシミュレーション. 情報処理学会 第 144 回グラフィクスと CAD 研究会. ホテルグリーンヒル白浜 (和歌山).

Y. Yue, K. Iwasaki, B.-Y. Chen, Y. Dobashi, T. Nishita. 2011.9.21. Toward Optimal Space Partitioning for Unbiased, Adaptive Free Path Sampling of Inhomogeneous Participating Media. Pacific Graphics 2011. 高雄金典酒店 (台湾・高雄). 査読有

T. Ishikawa, Y. Yue, K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita. 2012.2.25. Visual Simulation of Magnetic Fluids. GRAPP 2012. Melia Roma Aurelia Antica (イタリア・ローマ). 査読有

池田 英貴, 楽 詠コウ, 西田 友是. 2012.3.6. すずの物理的機構と光学特性を考慮した拡散燃焼のビジュアルシミュレーション. 情報処理学会 第 74 回全国大会. 名古屋工業大学 (愛知).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

西田 友是 (NISHITA, Tomoyuki)

広島修道大学・経済科学部・

経済情報学科・教授

研究者番号: 10131690

### (2) 研究分担者

(平成 23 年度 ~ 平成 24 年度)

楽 詠瀬 (YUE, Yonghao)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・

助教

研究者番号: 30612923

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: