

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009年度

課題番号：19700087

研究課題名（和文）流体を表示する CG アルゴリズムの構築と芸術への応用

研究課題名（英文）Construction of CG Algorithm to Present Dynamic Fluid Animation for Interactive Art

研究代表者

児玉 幸子 (Kodama Sachiko)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号：10323883

研究成果の概要（和文）：

映像を利用して磁性流体のスパイク形状の生成プロセスを観察し、CG で表現するため 2 次元のアルゴリズムを構築した。磁性流体を非弾性流体として考え、流体力学の基本方程式である Navier-Stokes 方程式を差分格子を用いて近似的に計算する手法を採用した。その結果、磁性流体の自由表面の特定の点に対して鉛直上向きの磁場を適用した場合、実際の磁性流体にみられるスパイク形状がディスプレイ上に発生することを確認した。また、一般的な Navier-Stokes 方程式による非弾性流体の 2 次元 CG のアルゴリズムを用いて、入力デバイスとして新しく開発したボール「跳ね星」を使って、ボールのバウンドが床面に投影された流体への力の作用点となって、グラフィックスの形、動き、色がボールの動きに対して違和感なく変化するシステムを開発した。システムでは、ボールのバウンドと同時に、バウンドした場所を起点として波紋や煙などの映像が生成される。今後、磁性流体のスパイク生成アルゴリズムの 3 次元化と芸術作品への応用を進める。

研究成果の概要（英文）：

First, ferrofluid motion under a strong magnetic field was recorded in high-resolution images. Then, these images were observed to understand the process of generating a ferrofluid spike. Two-dimensional (2D) CG algorithms were developed to generate a 2D ferrofluid spike. We also applied a 2D fluid CG technique (general Navier-Stokes equation for non-elastic fluid) to our new system, in which a ball device is used as an input device that affects the fluid graphics projected on the floor. This interactive system generates real-time fluid graphics (such as a marbling pattern) from the time and location where the ball strikes; one can play with the ball to see fluid patterns and motion, by controlling the ball's rotation, speed, and bounce. The objective of my study is to apply the CG algorithm of generating a ferrofluid spike to media art works.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,300,000	600,000	3,900,000

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

キーワード：流体，CG，メディアアート，芸術情報，ヒューマンインターフェイス

1. 研究開始当初の背景

CG アニメーションの作品においては，様々な物質の質感を表現する技法が盛んに研究されており，布や毛皮の質感を再現する写実的な描写を行うにとどまらず，Andy Lomas の〈Aggregation〉や Jan Bitzar の〈458nm〉のような写実的なリアリティとは異なる質感を緻密に表現する作品が作られ，一方では，ノンフォトリアリスティックレンダリングの活用もなされている。

アートにとって重要な特質である質感の表現の探求のため，申請者は 2004 年，人工生命のアルゴリズムである Evoloop を用いてダイナミックにテクスチャが変化するインタラクティブ CG の作品〈生きている表面〉を制作した。

また，申請者は，強磁場中に液体でありながら磁性体の性質を保つ磁性流体に対して，コンピュータによる磁場の制御によってスパイク形状を変化させる作品の制作に携わってきた。磁場制御によって質感を変化させる実在の物質である磁性流体を観察するうちに，特有の造形原理に基づく新しい CG アルゴリズムの技法を構築し，それを用いたインタラクティブ CG を生成することによって，新たなアートへの表現技法へと展開できると考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は，ペンタブレット等による入力に対して，インタラクティブかつリアルタイムにアニメーションを生成する流体の CG アルゴリズムを構築し，それを芸術作品に応用することである。

具体的には，流体のグラフィックシミュレーション研究が進んでいる (i) マーブリング・墨流し，について新たなインタラクティブ手法を付加することに取り組み，まだグラフィックス化の研究がほとんど行われていない (ii) 磁性流体のシミュレーション，の 2 つの方向で研究を進める。

開発を進めるプロセスで，作品化する意義がある場合は，メディアアートの作品として発表する。

3. 研究の方法

Xiaoyang Mao の研究等，複数の先行研究がある「マーブリング・墨流し（2次元の非弾性流体）」の CG 生成手法の実験をセミラグランジアン法を基に行い，新たなインタラクティブ

手法の開発に取り組んだ。

具体的には，デバイスからの入力にリアルタイムに反応する 2次元の非弾性流体の CG を生成し，入力手法として，普及しているペンタブレットを用いず，新しくボール型デバイスを開発して，床面に投影したグラフィックと連動させるシステムを開発し，発表した。

また，磁性流体のスパイクを表現する CG アルゴリズムを検討し，本システムへの導入を進める。

4. 研究成果

まず，磁性流体のスパイクを映像に記録し観察した。（これらの映像の中から作品〈Fluidity〉（図 1）を発表した。）



図 1 磁性流体のスパイクの形状
〈Fluidity〉より

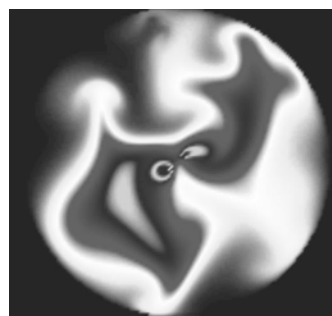


図 2 非弾性流体の 2次元 CG

次に，2次元の非弾性流体のグラフィックを生成するプログラム開発と作品への応用の検討を行った。具体的には，Stam が提案したセミラグランジアン法を用い，図 2 のような 2次元の流体シミュレーションアニメーションを生成した。

この CG プログラムを使い，ビデオカメラによる手指の画像認識によって観客の動きで流体が変化する様々な実験を行い，一部は科学未来館での公開展示を行った。

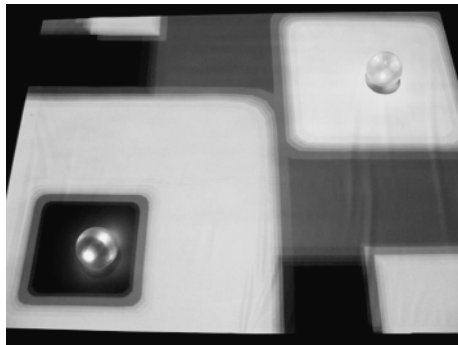


図3 ボール型デバイス「跳ね星」と
床面に投影したCGの矩形エフェクト

次に、グラフィックスに変化を与える入力方法としてセンサ等を組み込んだボール型デバイス「跳ね星」(図3)を開発した。図4に、このデバイスを用いるシステム概要を示す。

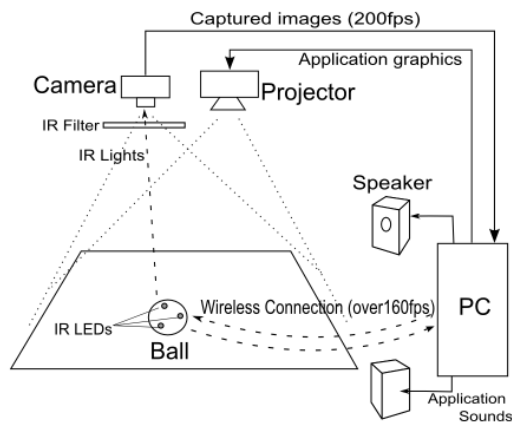


図4 ボール型デバイス「跳ね星」と
CGが連動するシステム

ボール型デバイスには PIC マイコン、3軸加速度センサ、音センサ、ZigBee 無線モジュール、リチウムイオン2次電池が各1個ずつ、フルカラーLED、赤外線LEDを各6個ずつ搭載した。加速度センサが検出したXYZ軸それぞれの加速度値は、値に比例した電圧でアナログ出力される。音センサが検出した音には、増幅およびノイズの除去を行う。これらのアナログ値をそれぞれPICのA/Dコンバータ機能を用いてデジタル値に変換し演算に使用した。外部機器との無線通信にはRS232Cシリアル通信を使用した。

ボール型デバイスを、ハイスピードカメラやプロジェクター、スピーカーを設置したフィールドで使用し、CGや音と連動させることができる。カメラをフィールド全体が撮影できる場所に固定し、そこから画像をフレームレート200fpsで取得した。ボールからの赤外線のみを検知できるように、カメラにはIRフィルターを装着。また、映像はプレイフィ

ールドの真上に設置したプロジェクターから投影した。

このシステムを用いた複数のアプリケーションを制作し、SIGGRAPHのE-tech等複数の学会で発表した。アプリケーションとして、図2に示した煙のような流体のグラフィックスがボール型デバイスの位置により変化するもの、パーティクルの座標に星の画像を表示させボールがバウンドした場所から多数の星が流れ出るエフェクト等を複数の効果を組み込んだ。

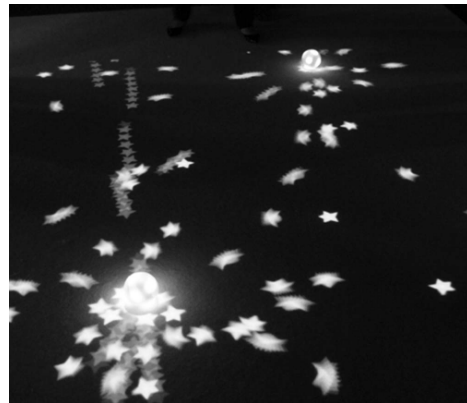


図5 パーティクルによる多数の星の
流れとボール

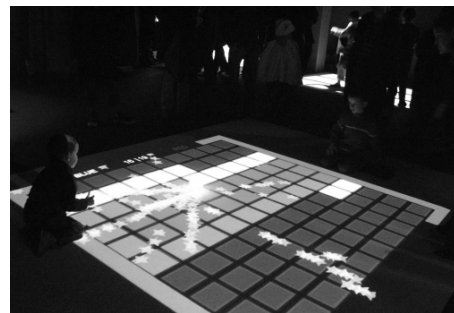


図6 子供が投げたボールがCGに
変化を与える様子

さらに、磁性流体のスパイク生成のアルゴリズムをシミュレートするため、CGにおける流体のシミュレーションでよく用いられる手法であるJos Stamによるセミラグランジアン法を用いて64×64の差分格子(外周部を境界セルと設定)の領域に、下記の手順で2次元のリアルタイムのシミュレーションを試みた。

- ① 流体の速度場を計算するアルゴリズムは流体力学の基本方程式であるNavier-Stokes方程式を差分格子で近似的に計算する手法を採用した。
- ② 基本方程式の計算を外力、拡散、移流、圧力の4ステップに分割し、安定化を図るため移流ステップにはセミラグラン

- ジャン法を採用した。
- ③ 流体の自由表面の追跡法としてVOF法を採用。移流には速度ステップと同じアルゴリズムを採用。
 - ④ スパイク発生は重力、磁場による圧力、表面張力の3つ力の相互関係により決定される。自由表面にかかる力をアルゴリズムの外力ステップに与える。
 - ⑤ 自由表面へ一様な磁場による力を加えるとスパイクは発生しない。そこで表面の高低差によって磁化に変化が生まれることを考慮し、スパイクの頂点にのみ磁場による力を加えることによりスパイク状の界面変形が得られた。
 - ⑥ 粘性率を高くすると、表面形状が滑らかになった。

スパイクの形と流体内のベクトルを観察するため、5cm四方の容器に深さ3cmまで入れたと設定して、徐々に磁場を増加させた結果、スパイクが発生することを確認した。

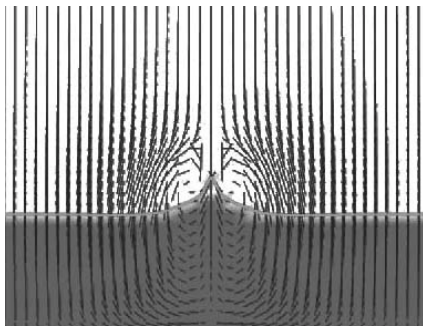


図7 速度ベクトルとスパイクの発生

このアルゴリズムを3次元に拡張し、グラフィックスのクオリティの向上と、入力に対してのリアルタイムかつインタラクティブに変化するプログラムの開発を進める。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

- [1] Osamu Izuta, Toshiki Sato, Sachiko Kodama, Hideki Koike, Bouncing Star Project: Design and Development of Augmented Sports Application Using a Ball Including Electronic and Wireless Modules, ACM Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference, Article No.22, 2010.
- [2] Osamu Izuta, Jun Nakamura, Toshiki Sato, Sachiko Kodama, Hideki Koike, Kentaro Fukuchi, Kaoru Shibasaki, Haruko Mamiya Digital Sports Using "Bouncing Star" Rubber Ball Comprising IR and Full-Color LEDs and Acceleration

Sensor, New Tech Demos, SIGGRAPH 2008, 11-15/Aug/2008 (Los Angeles Convention Center).

- [3] Osamu Izuta, Jun Nakamura, Toshiki Sato, Sachiko Kodama, Hideki Koike, Kentaro Fukuchi, Kaoru Shibasaki, Haruko Mamiya, Bouncing Star, Demonstration, Laval Virtual 2008, 7-11/Apr/2008 (Salle Polyvalente).
- [4] 出田修, 佐藤俊樹, 間宮暖子, 芝崎郁, 中村潤, 児玉幸子, 小池英樹, 跳ね星: 電子機器を組み込んだデジタルスポーツ用ゴムボールの開発, 第16回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2008) 予稿集, pp.41-44, 2008年11月27日 (神戸ポートピアホテル).
- [5] 高橋怜子, 猪又溪吾, 児玉幸子, CGのための磁性流体モデルの構築に向けた基礎検討, 第7回 NICOGRAPH 春季大会 (ポスターセッション), 2008年3月28日 (東京ビッグサイト).
- [6] 出田修, 中村潤, 芝崎郁, 児玉幸子, 小池英樹: 赤外およびフルカラーLEDと加速度センサを内蔵したスポーツ用ゴムボール「跳ね星」の開発, インタラクション'08, 2008年3月3日 (学術総合センター/一橋記念講堂).

[その他 (展示発表)] (計4件)

本研究によって制作したメディアアートを下記の展覧会に展示発表した。

- [1] 出田修, 中村潤, 芝崎郁, 児玉幸子, 小池英樹, 福地健太郎, 佐藤俊樹, 間宮暖子: 新しいスポーツのための光るゴムボール「跳ね星」, 先端技術ショーケース'08, 2008年2月6日-17日 (国立新美術館).
- [2] 猪又溪吾, 高橋怜子, 加須谷恭子, 児玉幸子: 彩色流体ランプ, デバイスアート展, 2007年9月26日-30日 (日本科学未来館).
- [3] Sachiko Kodama, Breathing Chaos / Fluidity, ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Art Gallery, 11-13/Dec/2008 (Suntec Singapore International Convention & Exhibition Centre).
- [4] 児玉幸子, Fluidity, 「サイバーアーツジャパン」展における映像展示, 2010年2月2日-3月22日 (東京都現代美術館).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

児玉 幸子 (Kodama Sachiko)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号: 10323883