

平成 24 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	佐藤 淳	研究室	舟橋 研究室
入学年度	平成 23 年度	学籍番号	23417620	氏名	宮下 隼輔
論文題目	仮想液体操作モデルにおける鍵粒子と包絡面による落下液体表現 Falling Water with Key Particle and Envelope Surface for Interactive Manipulation of Virtual Liquid				

## 1 はじめに

バーチャルリアリティやコンピュータグラフィックスの分野において、液体や固体、気体などの挙動を再現する研究は、VR コンテンツを提供するうえで重要となってくる。これらの研究は、厳密な挙動の再現に重点をおくものと、対話操作に重点をおくものに大別できる。液体に関する研究の場合、前者に重点をおいた手法として、液体全体を粒子の集まりと考え、個々の粒子に対して衝突などの挙動の計算を行う方法が提案されている [1]。この手法では、厳密な液体の挙動を表現できるが計算量が膨大になるため、低スペックなモバイル端末での利用を考えた場合、実時間での処理は困難である。一方で、対話操作に特化したモデルとして、当研究室では粒子・体積ベース仮想液体操作モデルを提案している [2]。本モデルでは、厳密な挙動の再現ではなく操作者が容器などを用いて液体をすくう、混ぜるなどの対話操作の実現を目的としている。そこで、計算処理を簡略化するために、液体を容器内の状態と自由落下の状態の 2 つに分けて考えている。また自由落下の状態の液体は互いに干渉しない粒子に基づいて挙動の計算を行うことで処理を高速化している。しかし、描画においては、単純に粒子の位置に四角形の半透明ポリゴンを描画していたため、描画の質が不十分という問題があった。そこで本研究では、従来モデルにおける自由落下粒子に代えて、新たに少数の鍵粒子を用いて落下液体の挙動の計算を行い、その鍵粒子の影響範囲に対して包絡面を描画することで、高速な処理速度を維持しつつ描画の質の向上を目指す。

## 2 仮想液体操作モデル

当研究室が提案する粒子・体積ベース仮想液体操作モデルでは、液体を容器内の状態と自由落下の状態に分けて考え、前者を体積に基づき、後者を粒子に基づいて表現する。液体は固体のような 1 つの対象ではないが、容器内においては 1 つの対象として扱うことで、液体全体を粒子で厳密に表現する手法に比べて処理速度を高速にできる。この状態では流体としての性質は直接的には考慮しないが、液面における波や渦の表現、色の拡散などの表現を行うことで臨場感を高めている。

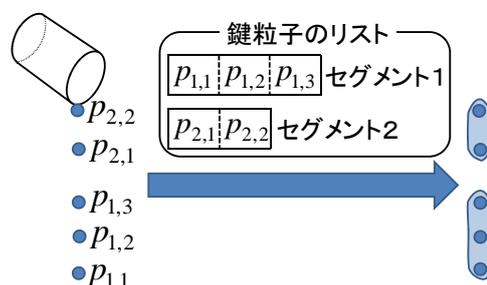


図 1: 鍵粒子のリスト管理

落下状態の液体は、互いに干渉しない粒子に基づいて挙動の計算を行う。描画においてはスプラッティング法を簡略化した手法により、単純に粒子の位置に四角形の半透明ポリゴンを表示する。

## 3 鍵粒子と包絡面による落下液体

提案モデルでは、従来の自由落下液体粒子に代えて、新たに少数の鍵粒子を用いて挙動の計算を行う。そして、描画においては鍵粒子の影響範囲に対して包絡面を作成することで落下液体を表現する。なお、包絡面を描画する際に、どの鍵粒子同士をひとまとまりの液体として包絡するかの判断を容易にするために、本手法では各鍵粒子をセグメント毎に管理する (図 1)。

### 3.1 鍵粒子の生成

生成する鍵粒子数を最小限に抑えるために、容器や水源から液体が継続して流出している場合には、各処理フレームにおいて鍵粒子を生成するか否かの判定を行う。ある時刻  $t$  において、鍵粒子  $p_{i,k}$  (セグメント  $i$  内において、 $t$  までに生成した鍵粒子のうち最も新しいもの) の位置と液体の流出点とのユークリッド距離を求め、この距離があらかじめ定めた閾値を越えた場合には新しい鍵粒子  $p_{new}$  を生成し、越えていない場合には生成しない。ここで、図 1 の  $p_{1,3}-p_{2,1}$  間に示すような液体の途切れを表現するために、時刻  $t - \Delta t$  において液体の流出がなかった場合には、 $p_{new}$  は  $p_{i,k}$  とは別の新しいセグメント  $i + 1$  内にて、 $p_{i+1,1}$  として管理する。

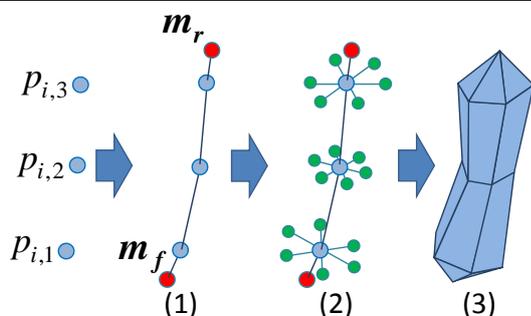


図 2: 包絡面の作成手順

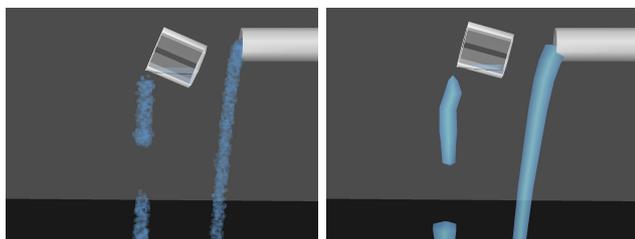


図 3: 従来モデル (左) と提案モデル (右) の比較

### 3.2 包絡面の描画

本研究では、人が日常的に行う液体の操作を想定しており、そのような小規模な落下液体の場合、液体の形状は細長い筒状になる。そこで本モデルでは、多角錐台と多角錐を組み合わせることで包絡面を作成する。また、鍵粒子セグメントに対して包絡面を描画することで、セグメント毎に落下液体を表示する。

包絡面の作成手順は図 2 に示すように、まず落下液体の両端に丸みを持たせるために、各セグメントにおいて先頭の鍵粒子の進行方向と、末尾の逆方向に描画制御頂点  $m_f, m_r$  を算出する (図 2(1))。そして、セグメント内の先頭と末尾の鍵粒子を起点にして多角錐の頂点を算出し、それ以外の鍵粒子に関しては多角錐台の頂点を算出する (図 2(2))。その際、落下液体セグメントの各部分で太さの違いを出すために、各鍵粒子が管理する体積や隣接する鍵粒子間のユークリッド距離に応じて、多角錐台や多角錐の底面の大きさを変化させる。最後に、求めた頂点をもとに、包絡面を描画する (図 2(3))。

## 4 実験と結果

従来の粒子による自由落下液体モデルと提案モデルの比較実験を行った。描画の質に関する結果 (図 3) より、提案モデルでは液体表面が滑らかになり、また 1 つの連なった液体として落下液体が表現できている。また、描画更新速度は、従来モデルでは 65fps であり、提



図 4: VR 化学実験体験システム

案モデルでは 124fps であったため、提案モデルでは、より高い処理速度を実現できることが分かる。

## 5 むすび

本研究では、従来、多数の粒子に基づいて扱っていた自由落下の状態の液体に代わる手法として、少数の鍵粒子と包絡面による落下液体の表現方法を提案した。実験結果より、高い処理速度を維持しつつ、従来モデルと比べて質の高い落下液体の描画が可能になったといえる。現在、当研究室では e-learning コンテンツのひとつとして、図 4 に示す VR 化学実験体験システムを提案しており、モバイル端末や Web を介したコンテンツの提供に向けて研究を進めている [3]。今後は、仮想液体操作モデルの処理速度や臨場感の更なる向上を行いつつ、VR 化学実験体験システムにおいてどのような化学実験を対象とするか、どのようなユーザインタフェースにすれば使いやすいかなどを、実際に教育現場で評価実験を行いながら検証していきたい。

## 参考文献

- [1] F. Losasso, J.O. Taltan, N. Kwatra and R. Fedkiw, "Two-Way Coupled SPH and Particle Level Set Fluid Simulation", IEEE TVCG, Vol.14, No.4, pp.797–804, 2008.
- [2] K. Funahashi and Y. Iwahori, "Representation of Swinging Liquid on Virtual Liquid Manipulation", Proc. ICAT2001, pp.179–184, 2001.
- [3] Y. Natsume, A. Lindroos, H. Itoh and K. Funahashi, "The Virtual Chemical Laboratory Using Particle and Volume Based Liquid Model", Proc. SCIS & ISIS 2010, pp.1354–1359, 2010.