

# “Particle-based Viscoelastic Fluid Simulation”の 実装報告

朝倉 康弘<sup>1, a)</sup>

**概要:** 筆者は2005年にClavetらが発表した論文“Particle-based Viscoelastic Fluid Simulation”の実装を行っている。この論文の目的は、複数の粒子を用いて、粘弾性を持つ流体のそれらしい挙動のシミュレーションを安定して行えるようにすることである。提案手法によって行う流体シミュレーションは、現実にかかる流体の挙動とは違い、「流体らしい動き」をするものとなっているが、大きな時間刻みでも安定した流体シミュレーションを行うことができる。また、2粒子間にバネを生成し、それを調整及び消去することで流体の粘弾性を制御できるようにしている。

## 1. はじめに

本論文[1]の目的は、複数の粒子を用いて、粘弾性流体らしい挙動を表現するというものである。本論文[1]に限らず、粘弾性流体のシミュレーションでは、複数の粒子の集合を流体に見立てている。しかし、本論文以前の粒子法を用いた粘弾性流体のシミュレーションは陽的解法を用いていた。これは、現実とほぼ同じ挙動をするが、時間刻みを非常に小さくする必要があり、数値的に不安定になりやすい。本論文では、CG向けではあるが、安定した粘弾性流体のシミュレーションを可能とした手法を提案している。

## 2. 実装する論文の概要

実装する論文は、2005年にClavetらが発表したものである。この論文では、粘弾性流体のシミュレーションを行うにあたり、新たな手順を提案している。

ここで、本論文の手順について、流体の粒子の動きを中心に説明する。まず、重力と粘性（粒子間にかかる摩擦のようなもの）により、粒子の速度が変化する。変化した粒子の速度に従って、時間刻み分だけ粒子を移動する。このとき、移動前の粒子の位置を保存する。粒子の移動後、粒子の位置を調整する。ここでは、各粒子が、その周りにいる他の粒子から受ける圧力や弾性力を計算して、位置を調整する。その後、粒子群と他の物体との衝突について計算される。最後に、各粒子が次に持つ速度が計算される。この速度は、位置を調整した粒子の位置から、先ほど保存した粒子の位置を引くことで求める。

次に、本論文の特徴について述べる。本論文の特徴は、2つある。1つ目は、ばねを用いた粘弾性の制御である。本論文では、2つの粒子の間で疑似的にバネを生成、消去す

ることで流体の粘弾性を表している。また、ばねを生成又は消去をするときの2粒子間の距離や、生成するばねのばね定数を任意に操作することで、流体の粘弾性を制御することができる。2つ目は、大きな時間刻みでも安定したシミュレーションを行うことができることである。典型的な手法では、各瞬間において各粒子にかかる力を計算、蓄積し、その力から粒子の速度を更新し、位置を求めるといったものである。一方、本論文の手法では、prediction-relaxationアプローチを新たに用いている。これは概念的には陰解法と類似しているため、大きな時間刻みでも安定した数値を得ることができる。

## 3. 実装の進捗状況

現在は、c++を使用し、実装を行っている途中である。CGライブラリとしてOpenGLを、ツールキットとしてGLFWを使用している。

現時点では、2次元での実装を行っている。流体らしい挙動を見せるようにはなってきたが、まだ粒子の弾性挙動や衝突処理等の実装を行っていない。また、2粒子間の距離を求める際、近傍探索にハッシュに基づいたアルゴリズムを用いることで、計算コストを下げるため、その実装も行っていきたい。最終的には、3次元でのインタラクティブなシミュレーションを行えるようにする目標としているため、上記の2次元から3次元への拡張の他、シェーディングやプログラムの高速化なども行っていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] Clavet, S., Beaudoin, P., & Poulin, P. (2005, July). Particle-based viscoelastic fluid simulation. In Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation (pp.219-228). ACM.

1 静岡大学工学部 数理システム工学科  
静岡県浜松市中区城北 3-5-1  
a) asakura.yasuhiro.15@shizuoka.ac.jp