

Controllable Bubbles

気泡の上昇運動を制御可能としたプロシージャルアニメーションの研究

Procedural animation that enables control of bubble movement

吉澤拓真
菊池司

東京工科大学 メディア学部 メディア学科 菊池研究室

キーワード：CG アニメーション, 気泡, 運動制御

1. はじめに

近年のエンターテインメント分野での CG の需要が高まるとともに、写実性の高い水、それに付随した気泡や水しぶきを CG で表現することは重要である。

従来からの流体のシミュレーション手法において、水流は単層流体として扱われることが多い。この前提では、水と空気の相互作用から生じる視覚的に重要な「泡」の現象を再現することは難しい。

本研究では、水流をオイラー的手法とラグランジュ的手法を組み合わせた FLIP (Fluid-Implicit-Particle) 法を用いてシミュレーションする。気泡は質量 1 の不連続体と考え、離散要素法 (Discrete Element Method : DEM) によってシミュレーションし、気泡が発生する水流との相互作用 (連成問題) を解くために DEM-FLIP 法を提案する。

さらに、近年では流体をコントロールしている映画や CM を多く見かける。泡においてもそのようなコントロールが可能となれば、新たな演出として応用できるのではと考え本論文では発生した気泡が上昇する際、ユーザが思い描いた形状を模りながら上昇するような、上昇運動を制御可能としたプロシージャルアニメーション手法を提案する。

2. 水流と気泡のシミュレーションの概要

水流のような流体は、連続体として記述されることが多く、連続体のシミュレーションにはオイラー的手法、およびラグランジュ的手法が広く用いられる。近年では、これらを合わせた手法も提案

され、本論文ではその手法のひとつである FLIP (Fluid-Implicit-Particle) [1] 法を用いて水流をシミュレーションする。他方、水流をラグランジュ的手法で表した際のパーティクルよりも比較的大きなパーティクルとして表現できる気泡は、本論文では離散要素法 (Discrete Element Method : DEM) [2] を用いてシミュレーションする。そして気体—液体連成問題の数値解析手法として、DEM-FLIP 法を提案する。

2.1 FLIP による水流シミュレーション

水中の乱流成分を伴う速度場を生成するため、FLIP を用いて計算する。FLIP では、流体の運動を記述するナビエ・ストーク方程式 (式 (1)) に基づき、パーティクルの挙動を移流部分と圧力計算部に分解する。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{f} \quad (1)$$

\mathbf{u} は速度ベクトル、 t は時間、 ρ は流体の密度を表す定数、 p は圧力、 \mathbf{f} は外力を表す。左辺は流体の速度場の時間変化を表し、右辺はそれぞれ移流項と圧力項と外力部分を示す。粘性項は、移流計算時に数値拡散として自動的に取り込まれるので式からは省いた。以下に FLIP シミュレーションの概略図 (図 1) を示す。

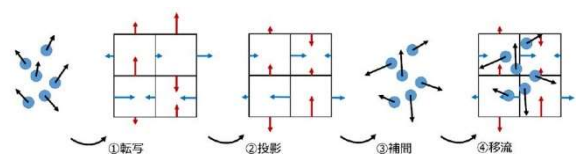


図 1. FLIP シミュレーションの概略図

2.2 気泡のシミュレーション

気泡はオブジェクトが水面に落下した際に物体後流によって取り込まれる水面付近の気体と、オブジェクトにあらかじめ付着していた気体をパーティクルによってモデル化する。

初期状態として、水面上に水中に取り込まれる気体パーティクルと落下オブジェクトに付着した気体パーティクルを配置する。(図 2. a)

この状態でオブジェクトを落下させる。オブジェクトが水面に衝突した際の物体後流によって水中にできた空間に引き込まれ気泡となる気体パーティクルが空間を充填しながら落下オブジェクトの動的吸着力によって水中に取り込まれる。

さらに、物体に付着させたパーティクルが水面下で水の抵抗を受け、水中の抗力と浮力によって分離することで、水中に物体が落下した衝撃で発生した気泡現象をシミュレートする。(図 2. b)

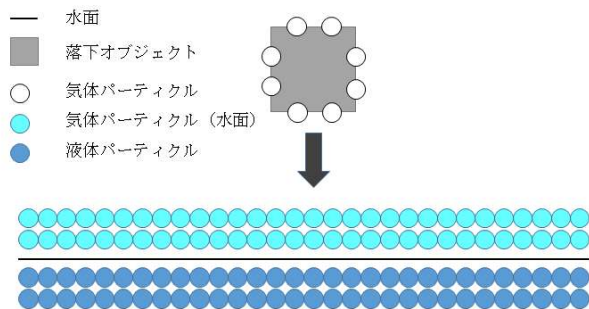


図 a

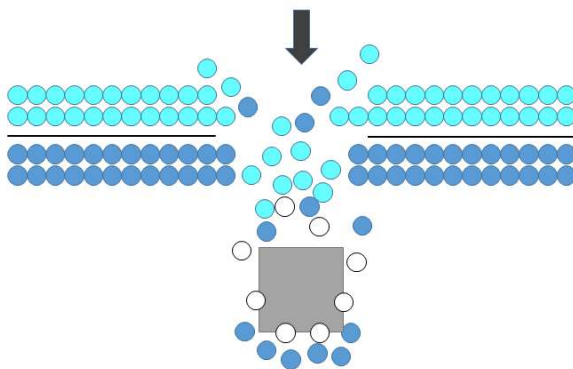


図 b

図 2. 水中に取り込まれる気泡の概略図

3. 気泡の運動制御手法

本研究における気泡の運動制御手法の手順を以下に述べる。

- I 水中に落下した後の任意の位置でのオブジェクトの座標を設定する
- II I で設定した座標でのオブジェクトの表面上にポイントを生成する
- III II で生成したポイントをターゲットとして気泡パーティクルをターゲットの位置へ向かわせる外力をパーティクルに適用する

上記で述べた手順 II、III における概略図を以下に示す。

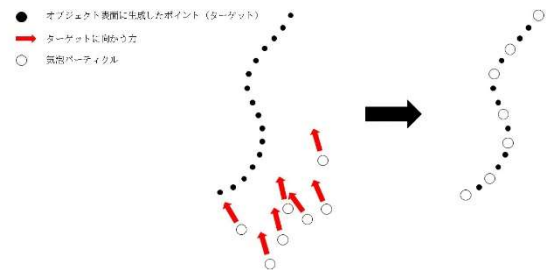


図 3. 気泡の運動制御の概略図

4. まとめ

本研究では気泡が発生する水流との相互作用(連成問題)を解くために DEM-FLIP 法を提案した。さらに、発生した気泡が上昇する際、ユーザが思い描いた形状を模りながら上昇するような上昇運動を制御可能としたプロシージャルアニメーション手法を提案した。本研究で提案した手法により、エンターテインメント分野で演出のひとつとして応用することのできる気泡の上昇運動を制御可能としたアニメーションの生成が可能となることをシミュレーション例によって示せた。

参考文献

- [1] Yongning Zhu and Robert Bridson, “Animating Sand as a Fluid”, ACM Trans. Graph. Volume 24 Issue 3, (July 2005), 965-972. 2005.
- [2] P. A. Cundall, O. D. L. Strack, “A discrete numerical model for granular assemblies”, Geotechnique, Vol. 29, pp. 47-65, 1979.