
Controllable Bubbles

水中の気泡を制御可能とするビジュアルシミュレーション

古屋 匠
東京工科大学メディア学部
m011237351@edu.teu.ac.jp

菊池 司
東京工科大学
kikuchitks@stf.teu.ac.jp

キーワード: ビジュアルシミュレーション, 気泡, 流体運動

1. はじめに

本論文では、物体が水中に落下した際に発生する気泡現象 (図 1) のビジュアルシミュレーション法を提案する。水の CG アニメーションにおいて、気泡は水中の泡や飛沫など写実性を高めるためには重要な要素である。水中に物体が落下した衝撃で発生する気泡現象は観測することが難しく、物体の形状や質量、入射角等により変化する。そのため、本研究における気泡現象のビジュアルシミュレーション法が開発できれば、エンターテインメント分野やアート分野で利用することが可能になる。

本研究における気泡の定義とは「液体中に分散している気体」であり、これは泡と定義されている「2つの相が凝集したコロイドシステム状態」の中で、9つのグループで分けられた中の1つに該当している [1,2]。



図 1. NobbyTechLtd, リンゴの水中落下, 2014年12月09日に公開
<https://www.youtube.com/watch?v=dNqthCtk060>

2. 関連研究

本研究で取り上げる水中の気泡のビジュアルシミュレーションに関する研究例として、西川ら[3]の炭酸水中の気泡のビジュアルシミュレーションが挙げられる。西川らは、計算コストを抑えながら写実的なアニメーション生成を行った。炭酸水中の気泡の挙動から気泡同士の衝突、または融合する場合があることから、気泡粒子の衝突判定を行い、一定の確率によって融合または反発させるシミュレーション手法を提案した。しかしながら本論文で提案する水中に物体が落下した衝撃で発生する気泡

現象のようなシーンが再現できることは示されていない。

水中における気泡の周辺流体の挙動について、沸騰現象から分析した結果、単一のオフィリスから規則的に気泡を発砲させたにも関わらず複雑な挙動を示し、周期倍分岐現象がカオスに至るルートが存在している、ということが野上らの論文 [4] では示されている。さらに、気泡周辺の流体変動は、壁面などの存在に関わらずポテンシャル的であったということからも、水中における気泡の挙動は一定以上の大きさを越えると制御できずにランダムな動きをすることがわかっている。

核沸騰をシミュレーションした藤澤ら [5]の論文では、自然な沸騰アニメーションを表現するために核生成によるシミュレーションを行っている。CIP-CSL3法と沸騰核個体を用いた体積保存性を考慮した手法は、気泡の移流時の体積損失を軽減した。沸騰現象では気泡の挙動が問題となるが、この手法を用いれば安定して計算ができる、沸騰核の生成手法を提案しているが、体積膨張が激しい場合の界面の拡散や、界面付近の分布の偏りが大きく不安定になる欠点がある。本研究では水中に物体が落下した時に発生する気泡現象なので、極端に気泡の膨張が激しくなることから藤澤ら [5]の手法を用いることは無いが、熱力学を用いたシミュレーションであるため、水中火山等ビジュアルシミュレーションとして利用することが可能な手法であると考えられる。

Doyub Kim ら [6] は、流体力学を用いて、CGにおける多数の小さな気泡流の複雑な動きをシミュレーションするための簡単かつ効率的なフレームワークを提案した。気泡の大規模なシミュレーションを、気体と液体の間の離散的な境界条件、気泡間のサブグリッドの相互作用の二つの段階でソルバを分離し計算した。その結果、一台のPCで1フレームあたり16秒未満でマイクロスケールの気泡数百万の複雑なシーンをシミュレーションすることを可能とした。本研究では、水面からの衝撃で気泡現象が発生し、さらに入射角の違いなどによる複雑な挙動を再現するため、Doyub Kim ら [6]の結果と同じになる可能性は低いと考えられるが、水中における気泡現象のビジュアルシミュレーションとして有用な手法であると言える。

3. 気泡のシミュレーション手法

本研究における気泡の発生、および制御は以下の手順

を進める。

1. 物体の落下, および気泡の発生
2. 気泡同士の衝突, 膨張 (成長)
3. 気泡を制御可能とする

物体の落下から気泡の生成では, 実際の映像 (図 1) を参考に, 3DCG ツール, およびスクリプトを使用して写実的表現のシミュレーション手法を開発する。

気泡同士の衝突, 膨張では, 西川らの論文[3] から気泡粒子の衝突判定を行うシミュレーション手法を活用, および拡張する。

気泡を制御可能とするシミュレーションでは, 3DCG ツール, およびスクリプトを使用して, エンターテインメントとしての1つの例を示すことで, 新しいビジュアルシミュレーション手法を提案する。

本研究で使用する 3DCG ツールは RealFlow, および RealFlow SDK, レンダリングには Mentalray を使用する予定である。

4. これまでの成果とシミュレーションの R&D

写実的な気泡を表現するにあたり, 泡の特性と役割を以下のようにまとめた。水中の気泡やシャボン玉のようにすぐに消えてしまい, 単体で存在する泡を英語では Bubble と言い, Bubble が複数集まって構成される泡を Foam と言う[1]。Foam には洗剤を泡立てたものやビールの上に乗っている泡などが該当する。泡の役割としてまず挙げられるのが, 視覚効果として見る人に満足感を与えたり[2], 石鹸の泡は汚れを付着, 吸収して除去するといった役割がある。また, 水中における泡の特性として, 野上らの論文[4]から動きを制御することができないということや, 泡の大きさによって流体軌道が変わる[7]といったことがわかっている。

CG シミュレーションにおける水中の気泡表現では, パーティクル中に空間をあけることによって体積保存性を考慮する藤澤らの手法[5]と, 水中を 3DCG ツールのライティングで, 気泡をパーティクルで表現する2つの方法がある。そこで, 本研究においてどちらが適切かを確認するために, 両手法を実装してシミュレーションを行った。前者は, パーティクルを充填した空間に物体を落下させることで気泡流体を計算するため, 効率が悪い (図 2)。後者の気泡表現は少ないパーティクル数で表現できるため, 本研究では後者の表現手法を用いることとする (図 3)。



図 2. パーティクルを充填した空間に物体を入れたもの

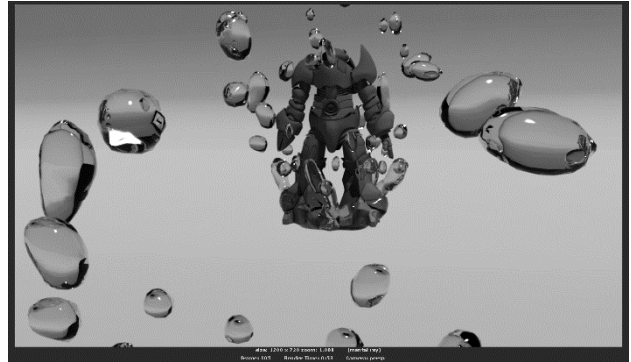


図 3. 気泡のみをパーティクルで表現したもの

5. まとめと今後の課題

本研究では, 物体が水中に落下したときに発生する気泡を制御し, エンターテインメントとして利用可能な新しいビジュアルシミュレーションの手法を提案する予定である。

今後は, 水中の気泡についてより写実的な表現を追求するために水中の表現と気泡について理解を深める必要がある。また, 気泡がどのようにどこから発生し, どのように水中で振舞うのかの物理現象の理解とそれらの実装, さらに気泡パーティクルを制御するためのアルゴリズムの開発 (たとえば, シェイプマッチング法の改良など) が課題として挙げられる。

また, 本研究で提案する手法を応用した映像作品を制作する予定である。

参考文献

- [1] R・J・Akers : “Foams”, Academic Press Inc. (1977).
- [2] 大澤敏彦 : “泡のおもしろ科学—バブルの名誉のために—”, 裳華房, (1996).
- [3] 西川武志, 金森由博, Yonghao Yue, 西田友是 : “炭酸水から生じる気泡のビジュアルシミュレーション”, 情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD (CG) 2009-CG-137(13), pp.1-6, (2009).
- [4] 野上重利, 庄司正弘 : “気泡の生成と周辺流体の挙動”, 東京大学工学部修士論文, (2001).
- [5] 藤澤誠, 三浦憲二郎 : “体積保存性を考慮した核沸騰シミュレーション”, 画像電子学会誌, Vol.38, No.4, pp.441-448, (2009).
- [6] Doyub Kim, Oh-young Song, Hyeong-Seok Ko : “A Practical Simulation of Dispersed Bubble Flow”, ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010, Volume 29 Issue 4, July 2010, Article No. 70, (2010).
- [7] Denis Weaire, Stefan Hutzler, 大塚正久 (訳), 佐藤英一 (訳), 北菌幸一 (訳) : “泡の物理”, 内田老鶴圃, (2004).