

# Procedural Animation of Moment Freezing

加藤有稀<sup>1)</sup>  
指導教員 菊池司

1) 東京工科大学 メディア学部 メディア学科 菊池司研究室

キーワード：プロシージャルアニメーション, FLIP, 状態遷移, 流体シミュレーション, CG

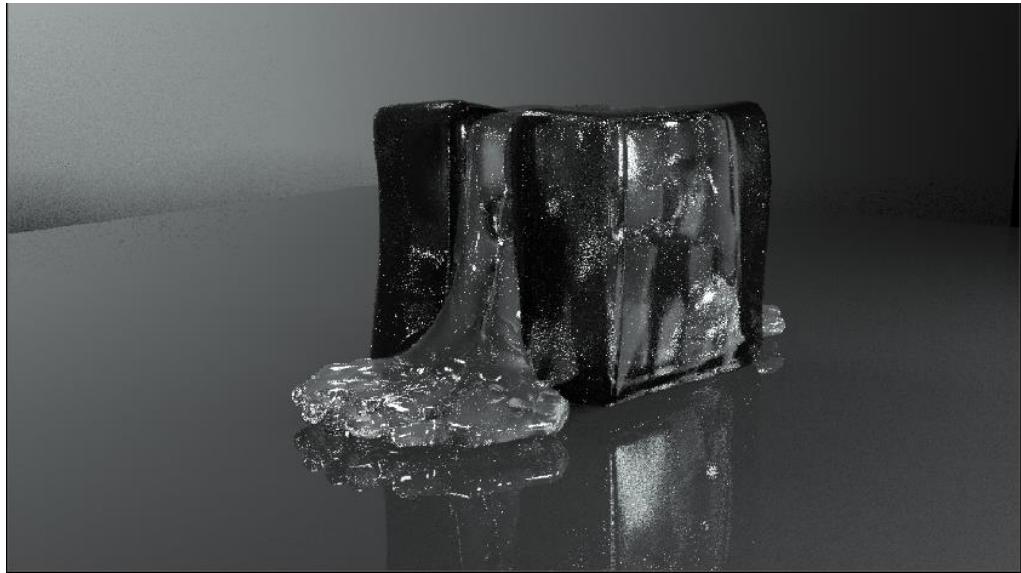


図1 現段階の成果画像

## 1. はじめに

本研究では液体を冷却し、瞬間に凝固させる状態遷移のプロシージャルアニメーション法を提案する（図1）。液体が冷却され、流体が固体となる現象は特定条件下では観測することができるが、瞬間的かつ大規模なものを観測することは非常に困難である。そのため、本現象をシミュレーションしプロシージャルに構築することができれば、主にエンターテインメント分野で有益だと考える。

本研究での流体シミュレーションは、Bridsonらが提案した FLIP (Fluid-Implicit Particle) 法[1]を用いて行う。特に支配方程式であるナビエ・ストークス方程式の粘性項を利用し、流体の持つ移流を疑似的に静止させる。ボリュームデータ（体積を持つ情報群）を通し、パーティクルデータ（点集合体の情報群）に干渉させることで、自由な形状を持つ流体の状態遷移が可能となる。また流体に対し一部のみ干渉させることにより、流体と固体が共存する状態を表現することができる。

## 2. 関連研究

Bridsonらによって提案された FLIP 法[1]は、支配方程式である、ナビエ・ストークス方程式(1)によって移流項、圧力項を算出する際、それぞれ、ラグランジュ法(粒子法)、オイラー法(格子法)を用いて各項ごとに計算している。これにより、格子の中の粒子の運動が速度、圧力によってタイムステップごとに決定する。

この時、流体の圧縮性はないもの前提としているが、圧力に対する体積の変化が、CG の視覚上影響を及ぼすものではないと考えられているためである。したがって低コストで流体に圧力をかけた際の運動計算が可能となる。

粘性のない理想流体は現実にはないものとしているため、[1]のシミュレーション手法に変数として適用されている。本研究においてもタイムステップごとに粘性を操作することで移流を静止させている。

### 3. 提案手法

本研究で提案する状態遷移のシミュレーションは以下のように構築する。

はじめに、流体のシミュレーションを FLIP 法[1]を用いて行う。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (1)$$

FLIP 法の支配方程式であるナビエ・ストークス方程式(1)は、右辺より移流項、圧力項、粘性項、外力項からなされている。左辺は時間で変化する速度場を表している。本研究では特に、粘性を項を利用した状態遷移の表現を主としているため、下記に詳細をまとめることとする(図 2)。

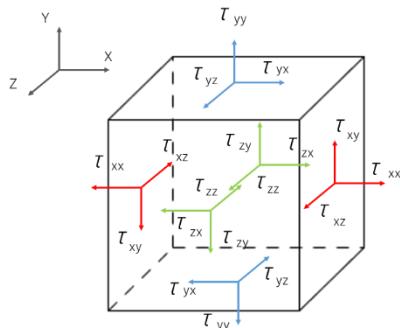


図 2 粘性項概略

粘性項は、計算領域内の単位立方体の各面にかかる対称的な負の力のことを指す。この強さが流体にかかる粘性の大きさに直結する。温度データと連動しタイムステップごとに、ボリュームデータで更新しているため、冷却や加熱に対応することができる。

次に制御した流体の各点データに温度情報並びに粘性情報を与える。それらを相互に参照させあうことで、外部データと間接的に干渉が可能となる。すなわち、作り手が形状や密度などを自由に制御できるボリュームデータと連携させることができ。これにより、流体がボリュームデータを通過した際に温度情報を更新することで、流体の粘性情報を更新する。結果、移流が疑似的に止められることになる。それに伴い、流体部分と固体部分の共存した映像の表現を行うことができる。

したがって、作り手が任意のタイミングで任意の箇所だけを状態遷移させることができる。

### 4. 提案・応用

上記の仕組みを利用して、エンターテインメント向けに、地面から氷柱が生成されるプロシージャルアニメーションを作成した。また、作り手が任意の形に状態遷移させることを裏付けることが可能

である実験として、制作を試みている。

実験内容は以下の通りである。

FLIP 法[2]を用いて地面に接着したのち弾むように設定。

弾んだ瞬間氷柱の形状を維持したボリュームデータを干渉させる。

この結果(図 3)から、干渉した箇所は瞬時に移流を止めることができることから、ある程度制作者の意思に沿った凍結が可能である、という結果が出た。



図 3 制作結果

### 5. まとめと今後の課題

本研究では、流体を冷却し瞬間に凝固させる状態遷移のプロシージャルアニメーション法を提案した。流体シミュレーションを FLIP 法[1]で行い、パーティクルデータに温度情報、粘性情報、ボリュームデータに温度情報を持たせることで、外部データからの間接的干渉が成立した。結果、作り手の意思に、ある程度沿った移流の疑似的な静止を実現することができた。

今後の課題として、固体部分の破碎、より作り手の意思に沿った状態遷移、大規模流体における干渉の効率化などが挙げられる。

### 6. 参考

[1] Robert Bridson, Ronald.Matthias

Muller-Fischer “FLUID SIMULATION”,  
SIGGRAPH 2006, pp.1-87.