

# フレアのビジュアルシミュレーション

Visual simulation of flare

山田 遼太郎  
指導教員 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

3DCG を用いて、軍用航空機が射出する「フレア」をビジュアルシミュレーションする手法を提案する。流体シミュレーションを用い、フレアのテルミット反応によって発生する炎と煙をシミュレートする。その際、航空機の翼から後方にかけて発生する翼単渦の影響を考慮し、リアルなフレアの表現を目指す。

キーワード：フレア，流体シミュレーション，エフェクト，3DCG

## 1. はじめに

近年、3次元コンピュータグラフィックス(以下、3DCG)の発展に伴い、映像制作において高度な表現を可能にするエフェクトの使用が増加している。特に、需要の高い炎や煙といった表現は、3DCGで流体シミュレーションを用いて制作されることが多い。しかし、流体シミュレーションには計算コストがかかるため、全体的な制作コストが高くなるという課題がある。

本研究の主題であるフレアは主に軍用機で使用され、テルミット反応を用いて生成される。この現象を3DCGで再現することで、今後のエンターテインメント作品においてフレア表現の制作が容易になるだけでなく、本手法を応用することで、移動する物体から放出される煙や炎などの高コストなエフェクト表現も可能になると考えられる。

## 2. フレア

本研究で言うフレア(図1参照)とは、軍用航空機が赤外線誘導方式の対空ミサイル(以下、IRミサイル)を欺瞞し、自機を防護する目的で使用する兵器(デコイ弾)を指す[1]。IRミサイルは目標航空機のエンジンなどの熱が放射する赤外線を追尾するため、航空機よりも高い赤外線エネルギーを発するフレアを放出し、IRミサイルの誘導をそらして、命中を回避することが目的である。この高い赤外線エネルギーを生み出すため、フレアには

通常、高温の化学反応であるテルミット反応が用いられる。



図1 フレアを使用している様子

## 3. 提案手法

本手法では、格子法に基づく流体シミュレーションを用いてフレアのビジュアルシミュレーションを行う。このシミュレーションでは、ナビエ・ストークス方程式を適用するが、CG分野における流体シミュレーションでは安定した結果を得るために、しばしば粘性項を省略して計算する場合がある。この場合、粘性項を省いた完全流体の運動を求めるためにオイラー方程式を使用し、次式で表される。

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

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

ここで、 $u$ は流速、 $\nu$ は動粘性係数、 $\rho$ は流体の密度、 $p$ は圧力、 $f$ は外力を示す。式(1)では左辺二項目から、移流項、圧力項、外力項で構成される。

式(2)は非圧縮性、つまり密度が一定である条件を表す。CG分野での流体は音速よりも低速な現象を対象とするため、非圧縮性と近似することが可能である。この拘束条件である式(2)と式(1)を組み合わせることで、ナビエ・ストークス方程式の解を算出でき、本手法ではこれを用いる。

フレアのアニメーションをポイント（フレアの位置情報）で作成し、流体シミュレーションのソースとなるポイント群をコピーすることで、様々なアニメーションに対応させる。また、ポイント群を使用することにより、シミュレーションのギャップであるステッピング(図2参照)を防ぐことができる。最終的にポイント群をボリューム化し、これを流体シミュレーションのソースとして使用する。

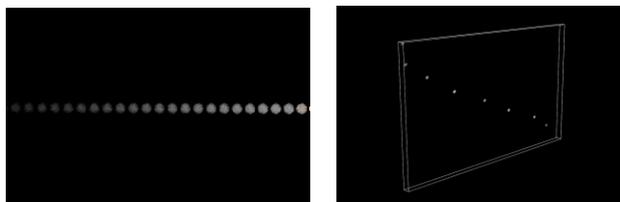


図2 ステッピング（左）とソース（右）

航空機は翼端から後方にかけて「翼端渦」と呼ばれる乱気流を発生させる。フレアはこの翼端渦の影響を受ける場合があり、本研究では翼端渦による影響も考慮する。また、ジェット機などでは後方に「ジェットブラスト」と呼ばれる気流も発生するため、翼端渦と合わせてその影響についても研究を進める予定である。なお、現在のところ、空間上に速度場を定義することには成功しているが、まだ十分な成果といえるシミュレーション結果は得られていない。

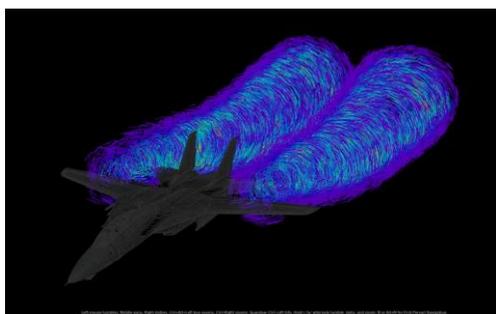


図3 速度場を可視化した様子（未実装）

#### 4. シミュレーション結果

シミュレーションのレンダーリング結果を図4に示す。（24FPS, 120フレーム目）



図4 シミュレーション結果

流体シミュレーションを用いることで、フレアのビジュアルシミュレーションを実現することができた。移動する物体から炎と煙が放出されており、図4に示すようにステッピングも確認されていないため、フレアのビジュアル化に成功していると言える。また、本手法ではアニメーション用のポイントを変更するだけで、多様な動きや量のフレアを簡単に放出できるようにしている。

#### 6. 今後の展望

現状では翼端渦の影響が反映されておらず、リアリティの観点から本手法に取り入れたいと考えている。未実装の速度場を加えることで、よりリアルで躍動感のあるフレアの表現を目指す。また、アニメーション用のポイントを作成することで非破壊的に表現を変更できるが、スケールを変更すると流体シミュレーションのディテールが損なわれたり、ステッピングが発生したりする可能性がある。可能な限り非破壊的なシステムを目指し、当初の目的であるフレアなどの流体シミュレーションを用いた移動物体の制作コスト削減を図っていきたい。

[1] 防衛省, “防衛省規格改正票 弾薬用語”, 防衛装備庁, 1971