

## 破片飛散現象表現における破片のカメラ回避制御手法の検討

成田 晃<sup>†</sup> 柿本 正憲<sup>‡</sup> 渡辺 大地<sup>‡</sup> 三上 浩司<sup>‡</sup> 竹内 亮太<sup>‡</sup><sup>†</sup>東京工科大学大学院 バイオ・情報メディア研究科 <sup>‡</sup>東京工科大学 メディア学部

## 1 まえがき

一般に物理シミュレーションは、ユーザーが意図した動きを得るために多くのパラメータの調整が必要になり、扱いづらい。例えば、物理シミュレーションの結果、カメラの前で重要なアクションがあるが、カメラに対して多くの破片が降り注いでしまい、破片しか映らないシーンができてしまうといったことがある。それらのパラメータの調整を行い、もっとも望ましい剛体アニメーションを得るための研究は多数行われている。

Twigg ら [1], Popović, ら [2] は、ユーザーが指定した挙動に合うような初期パラメータを再計算し、目的とする出力結果を得ることができる手法を提案した。Twigg ら [3] は、多数の剛体モデルが望ましい配置になるように時間ステップを逆にする手法を提案した。これらの手法は、複数候補を生成することなく望ましい結果に導くことができる利点がある。

しかしながら、これらの手法では繰り返し処理や結果の再計算処理や事前に望ましい状況を指定が必要である。ゲームではそのような手順を踏むことは許容できない。カメラの動きや物体の衝突状況などが予測できない変化を示すゲームシステムでは、多くの剛体破片を望ましい動きに導くことは難しい。ユーザーがどのような操作を行うかは分からず、動的であるカメラの位置や爆発時飛散する破片の動きは一意的に決まらず、パラメータの制御は極めて困難である。

物理シミュレーションを行ったとき、カメラと飛散した破片が衝突した場合、出力結果が望ましくない場合がある。例えばニアクリップ面と爆破四散した破片モデルが干渉しているため、破片モデルの一部が切り取られた不自然な描画結果になることがある。

本研究で目標とする爆発時飛散する破片の軌跡は、次の3点を満たすものとする。

1. 動的なカメラの動きに対応している。
2. 破片の軌道を変える際、破片の動きの違和感をなくすため、カメラの上下左右方向に破片を逸らす。
3. カメラの前を覆うような破片が飛んくるときやカ

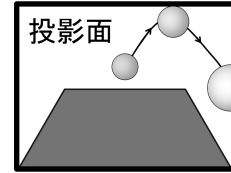


図 1: 破片が画面の上下左右方向に抜けていく様子

メラに対して破片が飛んでくるとき、物理的に多少不自然でもカメラから破片を逸らすこと優先する。

本研究では、映画やアニメなどでカメラに破片が飛んでくる場合、画面の上下左右方向に抜けていくという点に着目した。これにより、カメラに向かって飛んでくる破片が、画面の上下左右方向に抜けることで、臨場感があり迫力のある出力結果になる。また、破片が突然消えることやカメラの周囲に破片が降り注がないといったことにならず、違和感を感じない破片挙動になる。図 1 は、奥から手前に向かって破片が実線のような軌道をとっている様子を示し、映画などで画面の上下左右方向に抜けていく様子を模式的に示したものである。

本研究では、カメラに降り注ぐ破片に対して力を加えることで破片の動きを制御し、カメラから違和感なく逸らすような破片の軌跡を描くリアルタイム剛体シミュレーション手法を提案する。破片が動くカメラに当たらずに、図 1 のようにカメラの上下左右方向に逸れるような軌道をとることを目標とする。

## 2 手法と比較実験

## 2.1 調整式の計算比較

筆者らの手法 [4] (以下、従来法) と提案法において、衝突候補  $p$  に印加する力を  $\mathbf{F}_p$ 、破片  $p$  の投影面位置からもっとも近い辺への垂線に対応する世界座標での向き (単位ベクトル) を  $\mathbf{D}_p$ 、カメラに対する破片  $p$  の相対速度を  $\mathbf{V}_{pc}$ 、カメラに対する破片  $p$  の相対距離を  $\mathbf{P}_{pc}$ 、 $t$  は現在時刻  $p$  の最短衝突予想時刻を  $t_p^C$ 、 $k$  はユーザー設定の比例定数とし、提案法において次の式が成り立つ。

$$\mathbf{F}_p = k \frac{|\mathbf{V}_{pc}|}{|\mathbf{P}_{pc}|^2 (t_p^C - t)} \mathbf{D}_p \quad (1)$$

提案法では衝突候補の相対距離を考慮したことによって、カメラから遠い破片には少しの力で軌道を変えるため違和感を感じづらくなった。また早い破片に対しては、大きな力を印加しても違和感を感じづらい。そのため衝突候補の相対速度を考慮したことによって、違和感を感じづらくなった。

Proposal of the fragment avoids camera in fragment dispersion phenomenon expression

<sup>†</sup> Hikaru NARITA

<sup>‡</sup> Masanori KAKIMOTO, Taichi WATANABE, Koji MIKAMI, Ryota TAKEUCHI

<sup>†</sup> School of Media Sciences, Tokyo University of Technology

<sup>‡</sup> Graduate School of Bionics, Computer and Media Sciences, Tokyo University of Technology

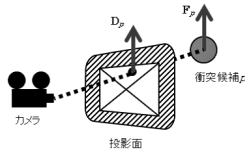


図 2: 従来法衝突候補に加える力の向きの決定

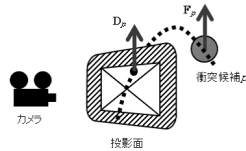


図 3: 提案法衝突候補に加える力の向きの決定

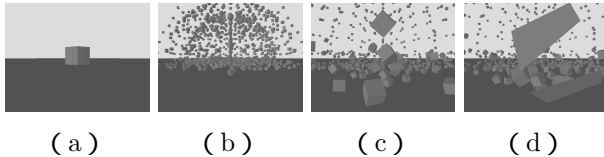


図 4: 本手法を使わない場合の破片の飛散の様子

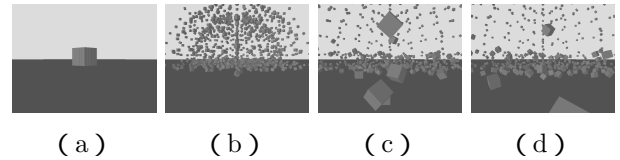


図 5: 従来法を使った場合の破片の飛散の様子

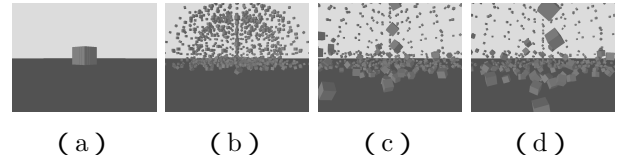


図 6: 提案法を使った場合の破片の飛散の様子

### 2.2 衝突候補に対する力の印加の方向決定の比較

従来法では、衝突候補の投影面上での位置を検出し、図 2 に示すように上辺がもっとも近ければ世界座標での対応する向き（上向き）の力を加える。このとき衝突候補に加える力  $F_p$  の  $y$  成分が重力加速度で打ち消される。その結果、衝突候補の破片がカメラに衝突してしまうことがある。

提案法では、図 3 に示すように衝突候補が投影面上を通るときの予測位置を検出し、上辺がもっとも近ければ世界座標での対応する向き（上向き）の力を加える。このとき従来法と違いカメラとの衝突時の位置から力の向きを決定している。その結果、衝突候補に加える力  $F_p$  の  $y$  成分が重力加速度で打ち消され破片とカメラが衝突を起こすことがない。

図 4 は、何も調整力を加えず物理シミュレーションを行い、破片がカメラに衝突してしまった出力結果を示す。図 4 (d) では、破片とカメラが衝突し破片の一部が切り取られ、出力結果が望ましくない。従来法では図 5 のような結果となり、提案法では図 6 のような結果になる。図 4、図 5、図 6 は、いずれも (a) (b) (c) (d) と時間が進んでいるものである。

従来法では、衝突候補の投影面上での位置を検出し力を加えているので、図 5 (d) のように画面周囲を抜ける破片の数が少ないため迫力がない。しかし提案法の図 6 (d) では、衝突候補が投影面上を通るときの予測位置を検出し力を加えているので、力画面周囲を抜ける破片が増え迫力が増す。

### 2.3 描画速度の比較

本シミュレーション実験では、カメラの正面にある立方体が爆発して更に小さい立方体に分かれて飛散する。立方体は  $X, Y, Z$  方向に対して 11 分割し、1331 個の立方体に分かれるものとしている。

本手法を用いない場合での描画速度は、90fps であり、従来法での描画速度は、83fps であり、提案法での描画

速度は、76fps である。描画速度の単位は fps であり、1 秒間当たりの描画回数を表したものである。

### 3 結果

本稿は従来法と提案法の比較検討を行った。

提案法では衝突候補の相対距離を考慮したことによって、カメラから遠い破片には少しの力で軌道を変えるため違和感を感じづらくなった。また、衝突候補の相対速度を考慮したことによって、違和感を感じづらくなった。

従来法では、衝突候補に印加するとき、衝突候補の運動に関係なく衝突候補の投影面上での位置を検出する。その結果、重力により衝突候補に印加する力が打ち消され、破片がカメラと衝突してしまうことがある。提案法では、衝突候補が投影面上を通るときのもっとも近い世界座標での対応する向きの力を加える。その結果、衝突候補に印加する力の  $y$  成分が重力加速度で打ち消されて、破片とカメラが衝突を起こすことがない。

### 参考文献

- [1] Twigg, C.D. and James, D.L.: Many-worlds browsing for control of multibody dynamics, ACM Transactions on Graphics, Vol. 26, No. 3 (Proc. SIGGRAPH 2007), Article 14(2007)
- [2] Popović J., Seitz, S.M., Erdmann, M., Popovic, Z. and Witkin, A.: Interactive manipulation of rigid body simulations, ACM Transactions on Graphics, Vol. 26, No. 3 (Proc. SIGGRAPH 2000), pp.209-217 (2000)
- [3] Twigg, C.D. and James, D.L.: Backward Steps in Rigid Body Simulation, AMC Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3 (Proc. SIGGRAPH 2008), Article 25 (2008)
- [4] 成田晃, 渡辺大地, 三上浩司, 柿本正憲, 竹内亮太: 3DCG におけるカメラ視点を考慮したリアルタイム剛体アニメーションに関する研究, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-CG-148, No.9 (2012)