

論文審査の結果の要旨

氏名 今給黎 隆

本論文は、破壊現象を対象としたアニメーション生成のためのシミュレーションおよびレンダリング手法とその制御について提案している。本論文は 6 章から成り立っており、第 1 章は本論文のテーマである破壊現象を対象としたシミュレーションおよびレンダリングの研究に関する背景および目的について述べられている。第 2 章では、破壊現象を対象としたシミュレーションおよびレンダリングに関する従来手法の紹介がなされている。第 3 章では、幅広い大きさの破砕物を生じる破壊現象について、シミュレーションおよびレンダリング法について述べられている。次に破壊現象の制御に関して、第 4 章では、指定された形状に破砕物の形が残るような制御方法を提案している。第 5 章では、粉煙のレンダリングに用いられているボリュームレンダリングに関する高速化の手法が述べられている。最後に第 6 章において本研究のまとめと今後の課題について述べられている。以下で各章の内容について述べる。

コンピュータグラフィックスの分野において、自然現象の可視化は重要な課題の一つである。様々な自然現象の中でも、破壊現象のアニメーションは、映画、ゲーム、災害に関する教育、現実には検証できない貴重な物体に関する壊れる方の調査等の様々な分野へ応用されており非常に有用な研究である。物理シミュレーションの分野では破壊現象のシミュレーション手法は既に提案されているが、特に CG で有用となるような細かな破砕物を生じる粒度の場合には非常に計算コスト及び表示するためのレンダリングコストが高いことが知られている。近年、ディスプレイへの描画を行うグラフィックスハードウェアの高性能化が進んでいる。本論文では複数のシミュレーションを導入することで幅広い大きさの破砕物を対象とした破壊現象を表現し、グラフィックスハードウェアを利用した高速な計算手法を提案する。

第 3 章では、物体同士が衝突した際の破壊に関して、細かな破砕物まで考慮に入れた計算方法について述べている。本節では最も粗い破砕物の計算に拡張個別要素法 (EDEM) を拡張したものを採用している。EDEM では要素の集合の挙動について、各要素の運動を、その要素に接触している要素から受ける反発力とモルタルのような要素間を埋める力を用いて計算する。しかし、拡張個別要素法は、要素の直径以下の破砕物が生成できず、本節で対象とする細かな破砕物をシミュレートすると計算時間が膨大になる。この問題を解決するために、本章では拡張個別要素法を拡張し、要素に加えられたエネルギーが大きな際に、粉体工学を考慮しつつ複数の小さな粒子と濃度分布をもつ粉煙へと置き換えることで、さまざまな大きさの分布を持つ破砕物を扱える破壊シミュレーションを定式化した。レンダリングに関して、要素をボロノイ形状の破砕物として表

現し、グラフィクスハードウェアに適したデータ構造を利用することで高速に描画を行った。

第 4 章では、破壊現象を制御する手法について述べている。物体の亀裂が生じる個所の壊れやすさを部分的に制御することで破壊形状の制御を行う。破壊後の物体の形状の指定にあらかじめ用意された画像データを用いる。画像データにより指定された物体の脆さ情報から、EDEM の要素を距離の近いものから階層的にグループ化し、破碎のために加えられた力が大きな際には小さな破片が生じ、破碎のための力が小さな際には大きな破片が発生するように各グループ間の繋がりや切れやすさを決定する。グループ分けの際に、物体の破壊したい形状を考慮することで、ユーザーが指定した形状に近い形に物体が壊れる制御を実現する。他にも、物体の崩壊速度の指定等により、破壊現象の制御を定式化した。

第 5 章では、煙のようなボリュームデータの高速計算法を述べている。半透明な媒体の効果をリアルタイムに描画する手法として、スライス法やレイキャスティング法等の手法が知られている。しかし、これら従来法で高速なボリュームレンダリングを実現しようとする場合には、ボリュームの本来の形状との誤差が大きくなり縞模様のエイリアシング等の不具合が生じていた。ボリュームデータをレンダリングする際にレンダリングするオブジェクトの形状に関してボリュームデータを取り囲む立方体を視線方向に垂直に等分割した凸形状の物体を採用し、不透明物体の深度を参照しながら各物体の内部において視線方向に等間隔で複数のサンプル点でボリュームデータを読み込み、レンダリングを行うことで、グラフィクスハードウェアの内部回路を効率的に利用すると共にデータの読み込み回数を減らすことでボリュームデータのレンダリングの高速化を実現した。

なお、本論文第 3 章、第 4 章、第 5 章は東京大学の西田友是教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発、分析、検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。