

氏名	わたなべ たいち 渡辺 大地
本籍（国籍）	愛知県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第270号
学位授与年月日	平成28年9月26日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科 デザイン・メディア工学専攻
学位論文 題目	任意のエネルギー分布関数に基づく 3DCGのためのエネルギー波表現に関する研究
学位審査委員	主査 教授 今野 晃市 副査 教授 大塚 尚寛 副査 教授 藤本 忠博

論文内容の要旨

アニメーションや漫画などの創作コンテンツの中で、エネルギーの塊が強く発光し、移動していくという表現がある。これは特撮映像において光線を表した表現が、特に日本のアニメーションの世界で大きく発展したものである。近年、日本国内のアニメーション愛好家の間では、このような創作表現を「エネルギー波」と呼ぶことが多い。日本以外ではこのような呼称は一般的ではないが、アニメーションやコンピューターグラフィックス(以下「CG」)における映像効果としては一般的なものとして認識されている。本論文では、エネルギーの塊が強く発光し、移動する表現を日本での表現にならい「エネルギー波」と呼称する。エネルギー波の定義は、「空間中のエネルギー密度が高い箇所が強く発光する」という架空の物理現象とする。また、エネルギー波はエネルギー分布の移流により発光体形状も移動や変化が起こるものとする。

エネルギー波を用いた特殊効果は、実写映像、CG映像、アニメーションに関わらず様々なコンテンツで利用されている。また、近年ではリアルタイムグラフィックス技術の高速化により、ゲームなどのインタラクティブコンテンツでも利用されるようになった。しかしながら、リアルタイムグラフィックスは一般的に平面や曲面に関しての描画機能は充実しているが、空間中の分布を描画することには適した構成をしていない。ゲーム制作現場においてよく用いられる手法は、アニメーションテクスチャによる表現や、多数のパーティクルアニメーションによる方法である。アニメーションテクスチャ表現は、描画の様子をアーティストが画像として入力できるという利点を持つが、エネルギー波と外側の境界が明確になりすぎてしまうことや、透明度を利用して境界を曖昧にしたときに適切な視点の位置と姿勢が限定されてしまうという問題がある。また、パーティクルを用いた手法は一般的に、視点の位置や姿勢に対する制限はないが、描画した印象は粒状光源の集合というものであり、エネルギーが空間全体に稠密な状態の表現が困

難であることや、広い領域に渡る表現に向いていない。

稠密なエネルギー分布による光源効果を実現する従来手法として、フォトンマッピングアルゴリズムを利用したボリュームライトを生成する手法がある。しかし、フォトンマッピングを利用する手法は映画作品のような高精細なアニメーションを作成することを目的としており、リアルタイムな処理の実現には向いていない。他にも稠密な空間領域に対する光学現象を実現する研究は数多くある。ボクセルデータ構造を用いた方法は最も一般的に普及しているものの一つである。近年、GPU(Graphics Processing Unit)によるボリュームレンダリングに関する手法が多く提案されている。GPUによるボリュームレンダリングは非常に高速な描画を可能とするが、分布データの更新に時間がかかることや、広い領域を表現することには向いていないといった問題がある。

本研究は、エネルギー波の表現に特化した、エネルギーが稠密な空間に対するエネルギー波表現のリアルタイムレンダリング手法を提案する。基本的な方針は、次の2つの理論に基づいている。

- (1) 3次元空間におけるスカラー場となるエネルギー分布関数を定義し、任意の点におけるエネルギー値の算出を可能とする。
- (2) 視点から各画素を通る直線上のエネルギー量を、線積分によって求め、その量を画素輝度値としてレンダリングを行う。

エネルギー分布関数については、従来手法にて一点を中心とした分布関数や線分を中心に円柱形状となる分布関数は既に提案されていたが、本研究ではそれに加えトーラス型の分布関数と2次曲線による分布関数を提案する。2次曲線は、自由曲線としてよく知られている2次 Bézier 曲線や放物線を含むものであり、従来と比べて分布状態を自由に作成することが可能となる。また、2次曲線に基づく分布関数においては、任意の部位の強弱を調整する手法についても提案する。これにより、曲線上に沿った高速なエネルギー波の移動を簡易なパラメータ調整によって実現できる。

画素輝度値を求めるための線積分処理は、画素ごとに個別に行われるものであるため、膨大な計算量が必要となる。従来の逐次処理による実装では一回当たりの出力画像作成に数秒から数十秒を要するものであり、リアルタイムグラフィックスへの適用は現実的ではない。そこで本研究では、GPGPU(General Purpose on GPU)技術を用いて画素ごとの演算を並列に行うことで高速な演算を実現し、リアルタイムグラフィックスでの実用に適応できる処理速度を実現した。

以上の理論と実装に基づき、本研究では形状変形を伴うエネルギー波のリアルタイムレンダリングを可能とした。検証においては、解像度や各種パラメータ値による実行速度や描画結果に関して比較を行い、本手法の有効性を示した。

論文審査結果の要旨

本論文は、アニメーションや漫画、特撮映像などの創作コンテンツ中で用いられる、エネルギーの塊が強く発光して移動する仮想的な表現の一つである「エネルギー波表現」について提案している。エネルギー波は、「空間中のエネルギー

密度が高い箇所が強く発光する」という架空の物理現象と定義し、エネルギー分布の移流により発光体形状の移動や変化が起こるものとしている。エネルギー波を用いた特殊効果は、実写映像、CG映像、アニメーションなど様々なコンテンツで利用されているが、インタラクティブコンテンツにおける表現手法としては実行時間や表現力が不十分である。例えば、リアルタイムグラフィックスでは、一般的に平面や曲面に関する描画機能は充実しているが、空間の分布状態を描画する機能は不十分である。具体的には、空間分布状態を描画するアニメーションテクスチャ法では、エネルギー波の様子を画像で入力可能であるが、エネルギー波の境界が明確になり過ぎることや、特定の条件で視点の位置と姿勢が限定されてしまう課題が知られている。本論文では、リアルタイムグラフィックスにおけるエネルギー波表現に特化した、エネルギー稠密な空間に対するエネルギー波表現のレンダリング手法が提案されている。

従来、稠密なエネルギー分布による光源効果を実現する手法として、フォトンマッピングアルゴリズムを利用したボリュームライトを生成する手法が提案されている。しかし、フォトンマッピングは、高精細なアニメーションを生成できる反面リアルタイム処理には不向きである。また、GPU (Graphics Processing Unit) によるボリュームレンダリング手法では、非常に高速な描画を可能とするが、空間分布データの更新に時間がかかるため、広範な空間におけるエネルギー分布表現には不向きであることが述べられている。本論文では、広範囲かつ稠密なエネルギー分布による光源効果を表現する、新しい手法を提案している。また、提案手法は、2次曲線に基づくエネルギー波表現であり、従来より複雑な形状を表現できることが述べられている。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究の背景として様々なコンテンツにおける「エネルギー波」を紹介し、リアルタイムグラフィックスで表現する際の問題について述べられている。

第2章では、リアルタイムグラフィックスにおけるエネルギー波表現を実現する既存手法とその問題点について述べると共に、本研究の基礎的な理論となっている先行研究について詳しく述べられている。

第3章では、第2章で述べた先行研究による点型、線型の分布関数に加え、新たにトーラス型、2次曲線型の分布関数が提案されている。トーラス型においては、3次元空間中の円弧からの距離の逆数をエネルギー値として定義し、その算出方法について述べられている。また2次曲線型では、特に2次ベジェ曲線を用いることにより、従来の曲線デザイン手法を用いて形状制御が可能であることが示されている。2次曲線型の場合もトーラス型と同様、曲線からの距離の逆数をエネルギー値として用いており、その算出方法について述べられている。また、2次曲線型においてはBスプライン基底関数を用いて、曲線の部位ごとに強弱を動的に制御する手法が述べられている。これにより、エネルギー波が自由曲線上を沿うように移動することを容易としている。トーラス型、2次曲線型の分布関数を導入することにより、先行手法と比較してエネルギー波の表現力が飛躍的に高くなったと判断できる。

第4章では、第3章で述べた理論に基づき、GPGPU (General Purpose on Graphics Processing Unit) 上での実装に関して、処理遷移とデータ構造の詳細が述べられている。提案手法が画素単位で並列に処理することが可能であり、GPGPUを用いる

ことで、リアルタイムグラフィックスへ適用できる高速演算が可能であることを示している。

第5章では、本研究での実行速度と出力結果の検証について述べられている。トラス型、2次曲線型のいずれも解像度と描画速度で実用的な範疇で実行が可能であることが示されている。また、曲線部位の強弱機能を用いたエネルギー波移動手法についても述べられており、高い有用性があると評価できる。

第6章は結論であり、本論文をまとめるとともに、今後に残された課題について述べられている。

以上、本論文は、リアルタイムグラフィックスにおいて視点姿勢や領域を制限しない稠密な分布を持つエネルギー波の描画手法を提案し、その有効性、有用性を示したものであり、コンピュータグラフィックス分野における映像表現やアニメーション技術の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

Taichi Watanabe, Masaki Abe and Kouichi Konno: Real Time Rendering Technique for Visual Expression of Arbitrary-Shaped Energy Wave, The Journal of the Society for Art and Science, Vol. 15, No.2, pp.98-110, 2016.