

GPU を用いた日本刀のリアルタイムレンダリング

A Real-time Rendering Method of The Japanese Sword by Using GPU

望月宏祐 Kosuke Mochizuki 長野大学
 林一成 Kazunari Hayashi 長野大学
 田中法博 Norihiro Tanaka 長野大学
 禹在勇 Jae-Yong Woo 長野大学

Nagano University
 Nagano University
 Nagano University
 Nagano University

Keywords: コンピュータグラフィックス, デジタルアーカイブ, GPU, 日本刀, 光反射モデル

1. はじめに

日本刀は刀身表面の独特の光沢が美術的価値を持つ。個々の日本刀の光沢に関する視覚的特徴は形状や表面特性の違いによって得られる。そしてこの光沢は照明方向や視点などによって刻一刻と変化する。特に歴史的な製法で作られた日本刀は刀匠や研ぎ師の個性がその視覚的特徴として現れる。たとえば、研ぎ方により粗さに異方性があることが知られているが、こういった特徴は画像記録することが難しい。本研究では、これまで3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)技術に基づいて、刀身の光沢や表面の反射特性を再現する手法を提案してきた[1]。しかし、この手法は表面の粗さを比較的均一なものであると仮定しており、こういった表面の複雑な異方性などを十分に記録することができていなかった。

そこで本稿では、刀身表面の粗さを異方性も含めて日本刀の反射モデルを構築することを目指す。そのモデルに与えるパラメータは計測データに基づいて決定する。刀身は平地や刃紋など部位毎に反射の特性が異なるため、画像計測により刀身の反射特性空間分布を求める。分光ベースのレンダリングは膨大な計算が必要となるため Graphics Processing Unit(GPU)を用いてレンダリングの高速化を行う。

本稿では(1) 日本刀に適した分光ベースの反射モデルを構築、(2) 刀紋や肌などの異方性粗さを考慮した刀身表面特性のモデル化手法の提案(3) 構築したモデルに基づいた映像生成手法(4) 提案手法のGPUへの実装(5) 提案手法の妥当性は実際の日本刀を提案手法でCG再現して視覚的に確認する。

2. 日本刀表面の反射モデル化

刀身は同一の材質でありながら部位によって反射特性が異なる。本研究では刀身の平地と刃紋部分をとりあげ、それぞれの反射特性をモデル化する。光

反射は照明、物体、視覚系の3者の幾何的な関係から記述する。視線方向ベクトルは \mathbf{V} 、物体の法線ベクトルは \mathbf{N} 、照明方向ベクトルは \mathbf{L} で表す。 \mathbf{N} と \mathbf{L} のなす角は θ_i 、 \mathbf{N} と \mathbf{V} のなす角は θ_r として以下のモデルで記述できると仮定した。図1は日本刀表面の反射の幾何モデルである。

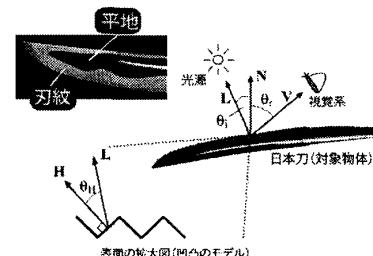


図1. 日本刀表面の反射の幾何モデル図

(1) 平地の反射モデル

平地の部分は粗さの少ない面を仮定し、Fresnelベースモデルで記述する。この場合の平地の放射輝度 $C_f(\lambda)$ は次式のように記述できる。

$$C_f(\lambda) = \chi D(\phi, \mu_0) F(n(\lambda), k(\lambda), \theta_i) E(\lambda) \quad (1)$$

ここで $E(\lambda)$ は光源の分光分布である。 λ は光の波長を示す。 χ は反射の重み係数である F は Fresnel 関数であり、入射角は θ_i となる。 n は物体表面の屈折率、 k は吸収係数である。ここで Fresnel 反射をベースに表面の粗さを表す微小面の分布関数 D を導入した。本研究では、 $D(\phi, \mu) = \exp\{-\ln(2)\phi^2 / \mu^2\}$ とし、ガウス分布を仮定した。 μ_0 は表面の粗さを示すパラメータであり、 ϕ は微小面の位相角である。

(2) 刀紋の反射モデル

刃紋部分は金属物体であり、また視覚的に粗い表面となっているため Torrance-Sparrow モデルに基づいて記述する。このモデルで刃紋の光反射を記述すると表面の放射輝度 $C_t(\lambda)$ は次式のようになる。

$$C_t(\lambda) = \beta \frac{F(n(\lambda), k(\lambda), \theta_H) D(\phi, \mu_1) G(\mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L})}{\cos \theta_r} E(\lambda) \quad (2)$$

このモデルでは物体表面が微細な凹凸で構成されていると仮定しており、微小面の法線ベクトルは \mathbf{H} である。 \mathbf{L} と \mathbf{H} のなす角は θ_H である。 β は鏡面反射成

分の重み係数, F は Fresnel 関数である. Fresnel 関数への入射角は θ_H となっていることに注意する. D は表面の粗さを表す微小面の分布関数であり, (1)式と同じものを用いた. μ_l は表面の滑らかさを示すパラメータであり, ϕ は微小面の位相角である. G は微小面による幾何的減衰係数である.

(4) 反射特性の異方性

日本刀表面には研ぎなどによる異方性が含まれる. この異方性は刀身表面の反射面を変化させながら反射光強度分布を計測することにより得られる. ただし, 本稿の段階ではあおり面については考慮しない.

(5) 反射特性の空間分布

拡散光源で照明した日本刀表面を画像計測し, 画像データから画素毎に粗さを推定した. ここから日本刀表面の反射特性マップを作成し, 日本刀の形状にマッピングする. この反射特性マップを用いて(1)式と(2)式を線形補間により合成する.

3. 日本刀のCG再現

本研究では刀身表面で発生する異方性を持つ拡散光を表現するために視線方向ベクトルの正反射方向ベクトルを中心に一定角度の範囲で拡散させる.

次に光反射の計算に基づいて三刺激値として計算する. 三刺激値は映像デバイスに依存しない情報であるため, 実際にディスプレイなどの映像デバイスに出力するためには生成した画像を各デバイス固有の色空間に変換する. 変換のプロセスは, まず三刺激値を変換行列により線形 RGB 値に変換し, その後ディスプレイ輝度の非線形性を補正する.

これまで述べた提案手法を Graphics Processing Unit (GPU) 上へ実装した. 本研究で使用した GPU は頂点シェーダとフラグメントシェーダが搭載されており, 共にプログラマブルな仕様となっている. 反射モデルはフラグメントシェーダに実装した. 分光分布は可視波長域(400-700nm)を 5nm 間隔でサンプリングして 61 個の数値データとして扱っている.

4. 実験

文献[1]の手法を用いて日本刀表面の反射特性を計測した. まず光反射特性計測系で刃紋部分の入射角を 45 度に固定して受光角度を 25 度から 65 度の範囲, 0.2 度間隔で計測した. また反射面は日本刀を法線方向軸に関して 0 度, 45 度 135 度, 180 度と回転させて合計 4 つの反射特性分布を計測した. その計測結果が図 2 となる. 次に日本刀の平地の部分と刃紋の部分である. 計測は, 入射角度 15 度から 65 度まで 10 度間隔で 6 つの光源入射に対する反射光の分布を調べた. それぞれの入射角度に対して受光角度は

正反射方向に対して, 10 度から 80 度までの範囲を計測した. このときハイライトピークの ± 20 度の範囲を 0.2 度間隔, それ以外は 2 度間隔で撮影した. 図 3 はモデルフィッティングに使用した鉄の屈折率情報であり, 図 4(a), (b) はそれぞれ平地の部分と刃紋の部分に対して反射光強度分布と計測値とをフィッティングした結果である. 実線は計測地, 破線はモデルによる計算値である. 図 5 は計測データに基づいて日本刀をレンダリングした結果である.

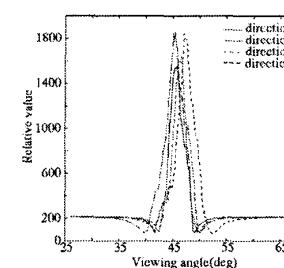


図 2. 反射面の変化による反射面の強度

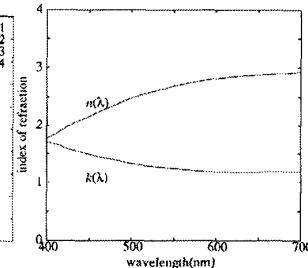


図 3. 使用した鉄の複素屈折率

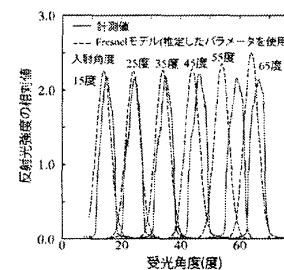
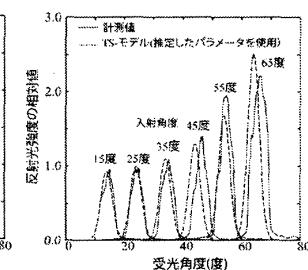


図 4. 平地と刃紋部分の反射モデルとの適合結果



(a) 平地

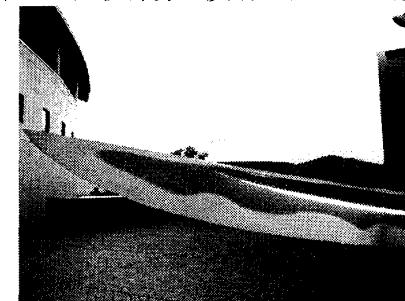


図 5. 提案手法で再現した日本刀の3DCG

5. おわりに

本稿では, 刀身の光沢, 刀紋, 肌などを表現するための異方性を含む反射モデルを構築した. そして構築したモデルと計測データに基づいて日本刀を 3DCG として画像再現した. 本研究により刃紋や肌などの刀身の質感を照明方向や視点をリアルタイムに変えながら再現することができるようになった.

参考文献

- [1] 望月宏祐, 三善正彦, 後藤貴明, 田中法博, 禹在勇: 計測データに基づいた日本刀の3DCG再現, カラーフォーラム Japan 論文集, pp.21-24, 2008.