

## 学位論文の審査結果の要旨

近年、美術品や芸術品、文化財のデジタルアーカイブに、コンピュータグラフィックス (CG) 技術が広く用いられつつある。このような分野では映画やゲームなどのエンターテインメント分野と異なり色や質感の再現性が重要となるが、反射モデルの精度や RGB カラー情報に基づく画像生成等の問題などから十分な再現精度が得られていない現状がある。前者に対してはより高精度な物体の光反射モデルの構築とパラメータ推定法が必要であり、後者については映像デバイスや照明環境に依存しない対象物質の分光情報と光源の分光分布に基づく物体固有の色再現技術の構築が重要と考えられる。

本学位論文は、様々な光反射特性を持つ織物や美術品を 3 次元コンピュータグラフィックス (3DCG) 技術により高精度に再現するために複数の手法を提案し、さらにこれら技術のデジタルアーカイブへの具体的な応用について言及している。全体は以下の 8 章から構成されている。第 1 章は序論として、CG 技術における物体表面の光反射に関する問題と光反射モデルの重要性、さらに従来の色再現技術等に関して概観している。第 2 章では光反射モデルについて述べ、特に物体表面の光反射プロセスについて幾何モデルをもとに検討し、分光情報に基づく光反射モデルの構築法について提案をしている。第 3 章では、CG 再現に必要な照明環境情報を全方位の分光画像として推定する手法について検討し、魚眼レンズと RGB カラーカメラで計測した全方位画像から全方位分光画像を簡便に推定する手法を提案している。また推定した全方位分光分布を用いた Image Based Lighting (IBL) によるレンダリング手法の提案を行うと共に、Torrance-Sparrow モデルに基づいた分光ベースの光反射計算手法を示している。さらにこれら技法を用いて太陽光・白熱電球光・蛍光灯光といった照明環境下でのシーン内色信号を推定し、得られた精度の検証を行っている。第 4 章では、分光ベースの光反射モデルを拡張することにより、物体の画像再現を高精細にする方法について検討を行っている。この中では基底関数を用いた分光情報の記述を試みることにより、圧縮率が高く圧縮前後の画質劣化が小さい圧縮法の開発も行っている。さらに実際に GPU 上で分光画像をマッピングしながら 3DCG を生成してレンダリング性能の検証を行った結果について述べている。第 5 章では、透過や多重反射を含む物体の高精密・高速な CG 再現を目的として、IBL によるレンダリング、および GLSL によるシェーディングにより具体的な分光ベースのレイトラシング法の提案を行っている。第 6 章では、前章までで検討した手法を、絹織物に応用した結果について述べている。絹織物は独特の光沢を持ち、また織物組織や構造の複雑性から表面反射特性を定量的に示すことが困難な対象である。本章では分光感度が未知なマルチバンドカメラと光反射計測系を用いて物体表面の分光反射率と反射モデルを同時に推定する手法を提案し、実際の絹織物を対象として複数の異なるシーン照明環境下で CG 再現して、実物と再現 CG の比較により検証を行っている。第 7 章では、これまで提案したアルゴリズムをベースに、有限次元線形モデルと基準カメラを用いた較正法に基づいた簡易的な分光反射率推定手法 (スマートフォンのハードウェアを想定した手法) を提案し、精度の検証を行っている。第 8 章は本研究の総括を行っている。

以上のように、本学位論文は、3D コンピュータグラフィックスにおいて、よりリアリティある表現を実現するために重要となる複数の手法について検討し検証を行っている。特に対象物体の分光情報に関する計測手法および光反射モデルによる物体表面の反射特性推定法を提案すると共に、これら情報と全方位分光分布による空間・照明環境の記述を元に実際のレンダリング、シェーディング手法を構築し、絹織物等を事例として良好な結果を得ている。3DCG 技術の進展に関する重要な学術的知見が含まれており、博士 (工学) の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

## 公表主要論文名

論文発表 (1) (レフェリー制のある学術雑誌)

1. [Kosuke Mochizuki](#), Norihiro Tanaka, Hideaki Morikawa, Mikihiko Miura, Multispectral Reflection Measuring and Rendering Method for Silk Textiles, The Journal of Silk Science and Technology of Japan, 9pages, (in press).
2. [望月宏祐](#), 田中法博, 森川英明, スマートフォンを用いたデザイン材料分析のための分光反射率推定

法, 日本デザイン学会論文誌「デザイン学研究」, 8pages, (in press).

3. 田中法博, 望月宏祐, スマートフォン用の分光ベースCGレンダリング手法, 日本デザイン学会論文誌「デザイン学研究」, Vol.61, No.4, pp.41-50, (2015).
4. Norihiro Tanaka, Kosuke Mochizuki, A Digital Archive Method Based on Multispectral Imaging with Goniometric Multiband Camera, The Bulletin of Japanese Society for The Science of Design, Vol.61, No.3, pp.35-44, (2014).
5. 田中法博, 望月宏祐, RGBカメラによる全方位分光画像計測とIBLへの応用, 画像電子学会論文誌, Vol.42, No.4, pp.466-476, (2013).
6. 望月宏祐, 田中法博, 戸谷重幸, 森川英明, 三浦幹彦, 分光レイトレーシング法に基づいた相互反射の色再現手法, 日本デザイン学会論文誌「デザイン学研究」, Vol.60, No.1, pp11-20, (2013).
7. 望月宏祐, 田中法博, 林一成, 禹在勇, 富永昌治, 分光画像圧縮に基づいた分光ベースレンダリングの高精細化, 日本感性工学会論文誌, Vol.9, No.2, pp.301-309, (2010).