

様式 F - 7 - 1

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）実施状況報告書（研究実施状況報告書）（平成30年度）

所属研究機関名称		奈良先端科学技術大学院大学	機関番号	14603
研究代表者	部局	先端科学技術研究科		
	職	教授		
	氏名	向川 康博		

1. 研究種目名 挑戦的研究（萌芽） 2. 課題番号 17K19979

3. 研究課題名 画像による光学解析に基づく材質特性の物理的再現

4. 補助事業期間 平成29年度～令和元年度

## 5. 研究実績の概要

本研究の目的は、光学解析手法によって計測された材質特性をデジタルファブリケーション技術で物理的に再現することである。材質が持つ光の反射・散乱・吸収・透過特性を材質特性として、外観の計測と再現を行う。当該年度は、材質特性のモデル化および計測に加えて、材質特性と材料合成の関係性の明確化にも取り組んだ。

材質特性の一つである半透明度を対象として、計測と再現を行った。半透明な物体に一点の光を入射すると光が空間的に広がるが、これは点像分布関数によって表現される。本研究では、半透明な層で構成される層状物体全体の半透明度を各層の点像分布関数を用いてモデル化した。ただし、空間領域ではなく、周波数領域において定式化することにより、材質計測および材質合成を効率化した。材質特性再現のためには、使用する材質の種類と現れる材質特性との関係を明らかにする必要がある。そこで、当該モデルを用い、異なる材質が層状になったときの半透明度を合成した。点像分布関数の合成の定式化では畳み込み積分が含まれるが、周波数領域に変換することにより、単純な積として演算できる。最終的に、所望の半透明度に対し、どのような材質で層を構成すればよいかを決定することで、半透明度を再現した。

熱溶解積層（FDM）方式3Dプリンタで作製された物体は、フィラメントの積層によって独特な反射特性を示す。ゆえに、積層パターンの変化によって反射特性を操作できる可能性がある。当該年度は、FDM方式3Dプリンタの積層厚さを適宜変更する技術を開発した。当該技術の応用として、3D印刷された物体に対して電子透かしを適用する手法を提案した。

## 6. キーワード

デジタルファブリケーション プロジェクタ・カメラシステム 半透明度 電子透かし

## 7. 現在までの進捗状況

区分 (2) おおむね順調に進展している。

理由  
当該年度は、材質特性のモデル化および計測に加えて、材質特性と材料合成の関係性の明確化を目標とした。材質特性として、光の反射・散乱・吸収・透過特性を想定しているが、そのうち散乱・吸収特性に関わる物体の半透明度に関して、モデルを構築し、計測と再現を行った。再現するにあたり、半透明度と材料合成の関係性を明確化した。以上のことから、おおむね順調に進展していると言える。半透明度を対象とした試みは前年度から続けているが、3DプリンタとUVプリンタとを組み合わせた新しいデジタルファブリケーションの応用についての検討も進んでおり、一定の進捗があった。

また、反射特性の計測として、拡散反射光と鏡面反射光を分離して計測する方法を考えており、プロジェクタ・カメラシステムの活用や偏光カメラの利用を検討した。反射特性の再現に向け、熱溶解積層（FDM）方式の3Dプリンタにおいて、場所ごとにフィラメントの積層厚さを可変できるツールを開発した。当該ツールを用いた新しい試みとして、3Dプリンタにおける電子透かし技術について、検討を行った。反射特性の計測および再現については、次年度以降も研究開発を進めていく。

2 版

## 8. 今後の研究の推進方策

次年度は、計画通り、他の材質特性の計測および材質特性と材料合成の関係性の明確化について取り組む。特に、反射特性の計測と再現に注力する予定である。反射特性の計測には、プロジェクタ・カメラシステムによる空間的な光学特性計測のほか、偏光カメラの利用や、ToF (Time-of-Flight) カメラを用いた時間的な光学特性の計測も活用する。例えば、光沢に影響する鏡面反射は、表面下散乱と比較し、時間的に速い現象である。反射特性の再現には、3Dプリンタによる表面造形、UVプリンタによる透明インク層付加、CNCルータによる表面掘削などを活用することを考えており、最終的には複合的なデジタルファブリケーション技術の創出を計画している。

材質特性の再現には、材料および加工の組合せとそのときに現れる材質特性との関係性が重要であるが、現在までは物理に基づくモデルによる表現に着手してきた。次年度は、機械学習に基づく新しいアプローチによって当該関係性を明確にする検討を行う。

## 9. 次年度使用が生じた理由と使用計画

検証実験のために熱溶解積層 (FDM) 方式の3Dプリンタを購入予定であったが、納期が4月以降となることが判明したため、翌年度に繰り越し、4月に発注した。なお、この3Dプリンタは2019/5/7に納品済みである。

## 10. 研究発表 (平成30年度の研究成果)

〔雑誌論文〕 計3件 (うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件)

1. 著者名 Takatani Tsuyoshi, Fujita Koki, Tanaka Kenichiro, Funatomi Takuya, Mukaigawa Yasuhiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Controlling translucency by UV printing on a translucent object	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41074-018-0043-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takatani Tsuyoshi, Mukaigawa Yasuhiro, Matsushita Yasuyuki, Yagi Yasushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Decomposition of reflection and scattering by multiple-weighted measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41074-018-0049-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Minetomo Yuki, Kubo Hiroyuki, Funatomi Takuya, Shinya Mikio, Mukaigawa Yasuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Acquiring non-parametric scattering phase function from a single image	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computational Visual Media	6. 最初と最後の頁 323 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41095-018-0122-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 T. Takatani, T. Aoto, K. Tanaka, T. Funatomi, Y. Mukaigawa
2. 発表標題 Reconstruction of Volumetric Reflectance using Spatio-sequential Frequency Correlation Imaging
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Iwaguchi, H. Kubo, T. Funatomi, Y. Mukaigawa, S. Narasimhan
2. 発表標題 Acquiring Short Range 4D Light Transport with Synchronized Projector Camera System
3. 学会等名 VRST2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Delmotte, K. Tanaka, H. Kubo, T. Funatomi, Y. Mukaigawa
2. 発表標題 Blind Watermarking for 3-D Printed Objects using Surface Norm Distribution
3. 学会等名 ICIEV & icIVPR 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

2版

1. 発表者名 上田朝己, 久保尋之, 船富卓哉, 向川康博
2. 発表標題 プロジェクトカメラシステムの同期遅延と走査速度の制御にもとづく光伝播の計測と応用
3. 学会等名 CVIM
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Takatani, K. Fujita, K. Tanaka, T. Funatomi, Y. Mukaigawa
2. 発表標題 Controlling Translucency by UV Printing on a Translucent Object
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

1.1. 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 物体内部の光学特性を計測する計測装置及び方法	発明者 高谷剛志, 田中賢一郎, 船富卓哉, 向川康博, 青砥隆仁	権利者 奈良先端科学技術大学院大学
産業財産権の種類、番号 特許、2018-219125	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

1.2. 科研費を使用して開催した国際研究集会

計0件

1.3. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Carnegie Mellon University	Arizona State University	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

14. 備考

-