

研究報告書

「デジタルファブ리케이션における半透明感と光沢感の表現」

研究期間：平成 29 年 10 月～平成 31 年 3 月

研究者番号：50145

研究者：高谷 剛志

1. 研究のねらい

3D 印刷を始めとするデジタルファブ리케이션技術は製造や医療などの様々な業界で活用されており、産業・学术界の両方において研究開発が進められている。主な研究対象は形状と機能性であり、様々な形状の印刷、耐久性・柔軟性などの機能性付加、印刷可能な材質の種類拡大などが挙げられる。一方で、質感に重要な影響を与える外観表現についてはほとんど取り組まれていない。そこで、本研究では、質感において重要な要因である半透明感と光沢感に着目し、造形物においてより豊かな外観を表現することを目的とする。

近年の高機能 3D プリンタは表面的な色を制御でき、フルカラー印刷が可能となっている。しかし、表面的な色のみが対象であるため、内部が半透明で不均一な外観（例えば、人の肌や果物など）を制御することはできない。また、3D プリンタに利用できる材料は半透明度が高いため、不透明もしくは光沢感のある外観を表現することはできない。これらの課題解決として、3D プリンタと UV プリンタの組合せが有効であると考えた。3D プリンタによって異なる材質を層状に重ねることで物体内部の半透明度を変えることができる。UV プリンタは紫外線（UV）硬化式インクを塗布し、瞬時に UV 光を照射することによって印刷を行う。通常のインクジェットプリンタと異なり、様々な材質（例えば、プラスチックや木材、革など）で構成される立体物表面に高精細なフルカラー印刷が可能となる。また、透明なインクを用いることで表面光沢感を生み出すことができ、重ね塗りによって微妙な凹凸を造ることができる。これらの特徴を活用することによって、所望の半透明感と光沢感を表現することができると考えた。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、対象材質の視覚的質感計測からデジタルファブ리케이션による質感再現までの一貫した系の開発に取り組んだ。本研究の内容は、半透明度の制御、光沢度の制御、デジタルファブ리케이션のための質感計測という三つのサブテーマに分けて開発を進めた。最大の成果は、UV プリンタの新しい活用方法によって、半透明度の制御が可能になったことである。また、デジタルファブ리케이션による質感再現を目的とした体積的な質感計測を提案し、物体内部の断層画像取得を可能にした。UV 印刷において透明インクを用いることによって光沢感を付与できることは知られているが、より尤もらしい光沢度を再現する手法は開発途上であり、今後の課題となった。

(2) 詳細

研究テーマ A「半透明度の制御」

本研究では、半透明な材質上への UV 印刷によって半透明度を制御する印刷手法を提案した(論文 5(1)1, 発表 5(3)(ア))。当該提案手法の貢献は、UV プリンタの新しい活用方法を示した点と材質本来の半透明度を活かした半透明度制御が可能な点である。UV プリンタは様々な材質で構成さ



図 1 UV プリンタによる半透明度の再現。

れた立体物への印刷が可能な UV 硬化式インクジェットプリンタである。下地となる被印刷物および UV インクは半透明であるため、通常の利用方法では、最初に白色インクで印刷することによって下地の半透明度を削除する。一方で、当該提案手法では、あえて白色インクを印刷せず、下地の半透明度を活用する。最終的に表れる半透明度は下地の半透明度と UV インクの半透明度の合成となるため、これをモデル化した。所望の半透明度を実現するためには下地材質と UV インクの最適な組合せを特定する必要があるが、ルックアップテーブルの構築によってこの逆問題を解決した。実験では、サーモンや牛肉、キウイなどを対象として計測し、プラスチック字消しやロウソク、アクリル板などの半透明材質に対して UV 印刷することにより、計測に基づく半透明度を再現した(図 1)。

UV プリンタ単体による半透明度制御技術の開発はほぼ完了した。下地材質の半透明度と UV インクの半透明度の影響力を比較すると、前者の方が大きいため、下地材質が決まった場合に表現できる半透明度幅は限りがある。また、UV インクを重ねるとより不透明な外観となるため、制御可能な方向も限られる。これを解決するため、下地として 3D 印刷した材質に置換えし、3D プリンタと UV プリンタの組合せ技術の検討を行っている。

研究テーマ B「デジタルファブリケーションのための視覚的質感計測」

3D プリンタおよび UV プリンタによる視覚的質感再現を目的とした計測技術の開発に取り組んだ。従来の質感計測技術は大きく二つの目的があった。一つは、材質の物性値を知ることであり、材料科学などに応用される。他方は、コンピュータ上での質感再現に特化した表面的な計測で、コンピュータグラフィックスの写實的レンダリングに応用される。本研究テーマの目的は後者に近く、例えばマイクロな物性値が実際と異なっていたとしてもマクロな外観が所望のものに近ければ良いという立場である。しかし、コンピュータ上での再現に特化した表面的な計測で

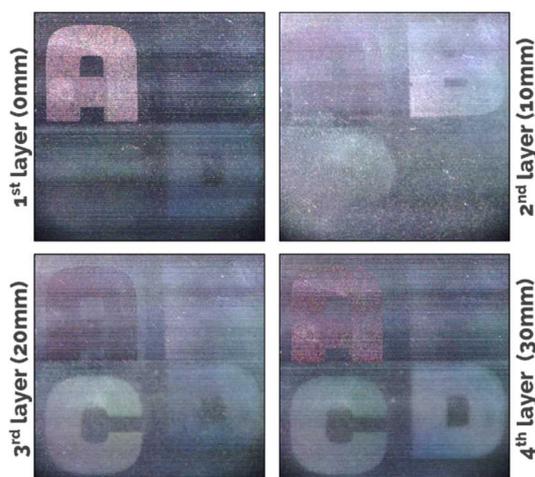


図 2 物体内部断層画像計測の結果。

得られた情報のみでは、実空間における造形での質感再現には不十分である。そこで、両

者の中間に位置する新しい質感計測技術として、体積的な質感計測が必要となった。

本研究では、プロジェクタ・カメラシステムを用いた物体内部の断層画像計測を提案した(特許5(2)1,発表5(3)(ア))。当該提案手法の主な貢献は、容易に入手可能なプロジェクタ・カメラシステムを用いて構成できる点と物体内部からの光応答をセンチメートルオーダーまでの層状で得られる点である。透視投影プロジェクタからある空間周波数の正弦波パターンを投影し、平行投影カメラで撮影することを考える。投影距離に応じてパターンが広がるため、パターンの空間周波数は比例して小さくなる。この性質を利用すると、周波数解析によって特定奥行きのみを情報を取得することができる。実験では、プラスチックシート状に図形や記号を印刷し、それらを重ねた物体を対象として、各層に対応する断層画像を復元した(図2)。

これまでの研究によって、造形での質感再現を目的とした半透明度の計測技術の開発はほとんど完了したと考えている。一方で、光沢度の計測技術はまだ開発途上である。

3. 今後の展開

研究提案時の未来ビジョンとして、外観デザインの改革を期待していた。義肢の外観向上や社会ロボットに対する心理的嫌悪感の減少など、デジタルファブリケーションの応用分野において外観全般が向上することを想像している。1年6ヶ月の研究期間を終え、未来ビジョンの実現に少し近づいたと感じている。デジタルファブリケーションによる外観デザインは、まだ多くの課題があり、今後も学術的な研究が必要とされる。本研究が対象とする視覚的質感は静的質感であるが、動的に変化する視覚的質感も存在する。現在のところ、そのような研究は取り組まれておらず、今後の課題と言える。産業的には、色の選択しかできない現状の仕組みから質感の選択が可能となる仕組みに移行していくと考えられる。例えば、コンピュータグラフィックスのレンダラでは半透明度や光沢度などのパラメータが存在するが、それと同様に3Dプリンタにおいても質感を設定可能なツールが必要となる。文化的な波及効果としては、デジタルアーカイブへの応用が挙げられる。従来のデジタルアーカイブでは、形状と表面的な色を高精細に記録し、仮想世界で鑑賞することが一般的である。本研究の発展として、質感の計測および再現がより高精細になると、一度アーカイブした有形文化財や貴重な国宝などをいつでも、どこでも、だれでも実世界にて鑑賞することができるようになる。

4. 自己評価

全体として、研究目的の達成状況は50-60%と感じており、使えるエフォート(30%)に対する研究テーマの量が多すぎたと考えている。研究計画の見積もりをより正確にする必要があったと反省しており、後学のためになった。

本研究において、発案から実装および実験に至るまで、全て研究代表者のみで実施した。ただし、研究室内部の研究ミーティングにおいて指導教員などからのアドバイスもあった。短い期間にも関わらず、計測手法から作製手法までを一つの系として構成することができた点は大きな成果であった。ただし、問題点もあった。計測機器については研究室が多く保有していたが、本研究進捗に必要なボクセル3Dプリンタの所持はなく、外注や共同施設利用が必須であった。ボクセル3D印刷の外注は、5cm四方程度で約5万円かつ納期が約1ヶ月となっており、3D印刷については計画していたように研究を進捗できなかった。

本研究の成果は学術および産業への波及効果が大きいと考えている。視覚的質感の計測手法の提案は多い一方で、その作製手法の提案はほとんどない。これは、今回の研究進捗で感じた通り、ボクセル 3D 印刷の利用が容易ではない点が挙げられる。一方で、UV プリンタは比較的 low 価格であり、レンタル利用料も安い。UV プリンタの新しい活用方法を示せた点は他の研究者に対しても影響があると確信している。また、主に企業が運営する Imaging Conference Japan に招待された点から、同様の観点において、産業への影響も大きいと感じている(招待5(3)(ウ))。

本研究分野において質感再現の発表がほぼないことから、独創性と挑戦性は非常に高いと考えている。独創的で萌芽的な研究に送られる MIRU フロンティア賞を受賞できたことから、独創性については一定の評価を得られた(受賞5(3)(イ))。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Tsuyoshi Takatani, Koki Fujita, Kenichiro Tanaka, Takuya Funatomi, Yasuhiro Mukaigawa, "Controlling Translucency by UV Printing on a Translucent Object", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, 10:7, pp.1-6, 2018

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 1 件

発 明 者: 高谷剛志, 青砥隆仁, 田中賢一郎, 船富卓哉, 向川康博

発明の名称: 物体内部の光学特性を計測する計測装置及び方法

出 願 人: 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学

出 願 番 号: 特願 2018-219125

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

(ア) 学会発表

Tsuyoshi Takatani, Koki Fujita, Kenichiro Tanaka, Takuya Funatomi, Yasuhiro Mukaigawa, "Controlling Translucency by UV Printing on a Translucent Object", 第 21 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2018), 北海道札幌市, 2018 年 8 月 5-8 日

Tsuyoshi Takatani, Takahito Aoto, Kenichiro Tanaka, Takuya Funatomi, Yasuhiro Mukaigawa, "Reconstruction of Volumetric Reflectance using Spatio-Sequential Frequency Correlation Imaging", The 11th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia), Tokyo, Japan, Dec. 4-7, 2018

(イ) 受賞

MIRU フロンティア賞, "Controlling Translucency by UV Printing on a Translucent Object", 第 21 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2018), 2018 年 8 月 8 日

(ウ) 招待講演

Tsuyoshi Takatani, Reproducing Translucency by Computational Fabrication, 日本画像学会年次大会 Imaging Conference Japan 2019, 千葉県稲毛区, 2019 年 7 月 2-4 日