

超多自由度照明による実物体の質感表現編集技術

研究代表者 岩井 大輔（大阪大学大学院基礎工学研究科・准教授）

研究分担者 日浦 慎作（広島市立大学大学院情報科学研究科・教授）

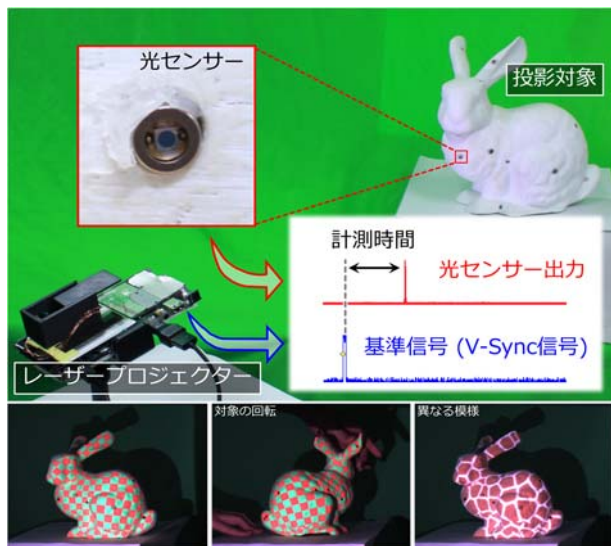


図1 光センサー埋め込みによる D-Fab 出力へのレーザープロジェクタ投影映像の動的位置合わせ

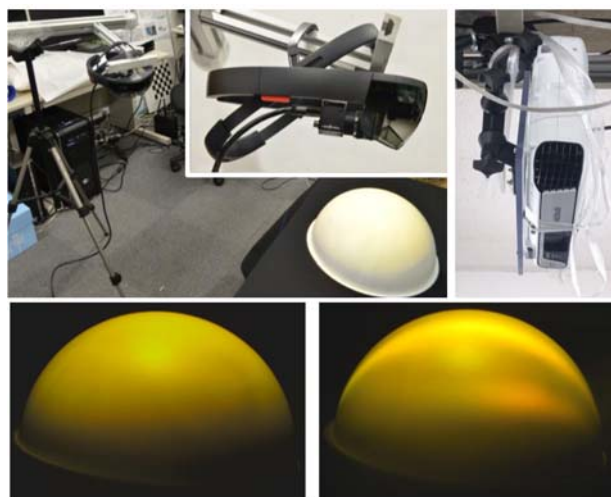


図2 プロジェクタと光学シースルー頭部搭載型ディスプレイの組み合わせによる質感表現（下左：プロジェクタのみによる表示，下右：両ディスプレイ組み合わせによる光沢表示）

○研究の背景と目的

質感認識の解明には、多様で複雑な質感を人工的に制御し表現できるディスプレイが不可欠です。物体表面で反射する光の分布は物体に入射する光の方向や配置によって複雑に変化します。個々の物体の豊かな質感をもたらしているこの光線の入出力関係を、正確に再現したり、意図に応じて変更を加える

(編集する)技術が求められています。

しかしながら、従来のディスプレイ技術では、質感呈示に十分な解像度で光線を再現することは困難でした。一方、コンピュータグラフィクス分野では近年、3Dプリンタや切削加工機等のデジタルファブリケーション(D-Fab)装置の出力を最適化して、実物の反射特性を再現する研究が高い関心を集めています。しかしながら、D-Fab装置の空間解像度や扱える素材数の制約から、呈示できる質感空間は限定的で、出力後その質感を編集できません。

本研究課題では、ディスプレイ技術とD-Fab方式を融合し、それぞれ単体では実現できないレベルの高い再現性および自由度での質感表現を目指しています(図1)。具体的には、ユーザが望みの表面質感を指定すると、それに最も近い実物をマルチマテリアル3Dプリンタや切削ラピッドプロトタイプングマシンを用いて出力できるように、多自由度照明とコンピュータシミュレーションフォトグラフィ技術を組み合わせた技法で較正する質感較正技術を開発します。さらに、その出力物体から反射されて観察者の眼に届く光を、プロジェクタ等の多自由度照明で光線場を制御することで変調し、視覚的質感を修飾する質感編集技術を開発します。

○これまでに得られた成果

多自由度照明による D-Fab 出力の質感編集

プロジェクションマッピングでD-Fab出力の質感を変更するためには、投影された映像をD-Fab出力に位置合わせする必要があります。特にD-Fab出力を動かして様々な角度からその質感を観察することは、質感を把握する上で重要です。私たちは、次世代の映像投影技術として注目されているレーザープロジェクタを対象として、従来必要とされてきた特殊パターンの投影やカメラ計測が不要な、全く新しい自動位置合わせ技術の開発に成功しました(図1)。レーザープロジェクタは、レーザー光を2次元的に走査することで映像を表示するため、各画素は1枚の画像を表示する間に1度だけ、ある決まったタイミング(画像表示の基準時刻からの時間)で照射されます。そこで、対象面に光センサーを埋め込み、映像コンテンツを投影している際に、センサに照射しているプロジェクタ画素の位置をその受光タイミングから求めることで、投影映像を対象面に位置合わせすることを実現しました。

質感編集するためのディスプレイ技術には、それ

ぞれ長所・短所があり，単一のディスプレイ技術だけでは所望の質感を実現できない場合があります．プロジェクションマッピングは，複数の観察者に異なる見えを提示することができません．例えば，光沢の位置は視点に依存して異なりますので，複数の観察者に対して光沢質感を再現するにはプロジェクションマッピングは向きません．私たちは，光学シースルー型の頭部搭載ディスプレイをプロジェクションマッピングの観察者に装着させることで，この欠点を補い，さらに高輝度・高コントラストな質感編集を実現しました(図2)．

内部構造を有する物体の光学的特性の解析と設計

物体の多彩な見た目や質感を詳しく調べるには，物体を照らす光(入射光)の向きや配置と，物体から再び出ていく光(反射光)との間の「入出力関係」をモデル化することが重要です．従来この分野では主に，物体の表側から光が入射し，再び表側に光が出ていくことを前提とした「反射解析」が多く行われてきました．またほとんどの場合，光が物体の内部に入り込まないこと(物体が不透明であること)を前提としています．しかしそのようなモデルでは，半透明な物体を正しく取り扱うことは出来ません．人の皮膚やプラスチックなどは微細に見ると半透明であり，質感の高度な再現には光の透過を取り扱う必要があります．

半透明物体に光が入射すると，内部の粒子等により光が散乱し広がります．これを表面下散乱と呼び，近年，CGによりこれを正確に再現するための研究が活発化しています．多くの研究では内部の光学特性が均一であることを前提としていますが，我々は内部に構造を持つ物体の反射・透過特性を正確にモデリングしたり，任意の光学的特性を有する物体を設計する手法の研究を行っています．

1つの例は化粧を施した際の見え方の変化の解析についての研究です．肌に化粧を施すと言うことは，肌の上に光学的特性の異なる層が重なることを意味し，その厚みによって光学的特性が変化します．「厚化粧」というように化粧は厚ければ良いわけではなく，元の肌の質感を適度に残すことが求められます．つまり，化粧肌の見え方は薄く塗られた化粧品により反射した成分の他に，化粧品を通り抜けて肌で反射し，再び化粧品を通して反射する成分にも影響されます．我々は化粧品の厚みと，その化粧品の土台となる背景の色を様々に変化させ，その反射特性を計測することにより，塗布厚の変化に応じた見え方を再現することが出来る手法を開発しました(図3)．口唇の微細な形状が程よく視認できる自然な画像を生成することが出来ました．現在は化粧品による光沢の変化のモデル化に取り組んでいます．

もう1つの例は，マルチマテリアル 3D プリンタにより内部構造を作り込むことで，任意の反射特性や透過特性を有する物体を作り出す研究です．通常

の 3D プリンタでは1つの物体には1つの素材しか使うことが出来ませんが，本研究プロジェクトで使用している機種では3種類の素材を，物体表面だけでなく内部にも自由に配置して出力できます．しかも，素材として乳白色，黒色等のほか，透明な素材を使用でき，さらに混ぜ合わせることで透明度を変化させることも出来ます．そこで，表面から順に乳白色，黒色，透明の3層を並べ，それらの厚みを変化させることで，表面から光を当てたときと，裏面から照らしたときに見え方がまったく違うものに変化する物体を設計する手法を開発しました(図4)．乳白色層が厚いと表から照らしたときに明るくなり，黒色層が薄いと裏から照らしたときに明るくなります．しかし実際には，それぞれの厚みが反射率・透過率の双方に影響するので，それらの干渉を補正する方法を開発しました．現在は，裏面から照らす光源の方位により見え方が変化する物体の設計も出来るようになっていきます．

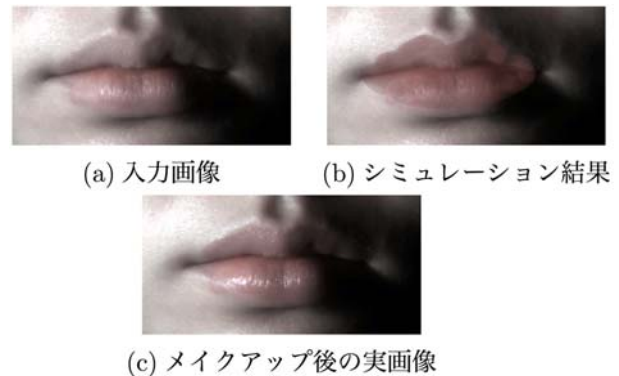


図3 化粧(口紅)のシミュレーション結果

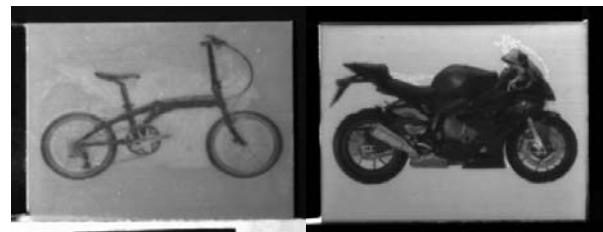


図4 反射率と透過率の独立制御

○関連する研究発表

論文

1. Kitajima Y, Iwai D, Sato K: Simultaneous projection and positioning of laser projector pixels. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 23(11): 2419-29, 2017.
2. Hamasaki T, Itoh Y, Hiroi Y, Iwai D, Sugimoto M: HySAR: Hybrid material rendering by an optical see-through head-mounted display with spatial augmented reality projection. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (in press).