

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：25403

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2010～2014

課題番号：22135003

研究課題名(和文)質感認知に関わる記録・合成と表示

研究課題名(英文)Recording, Rendering and Presentation of Cognitive Shitsukan Properties

研究代表者

日浦 慎作(Hiura, Shinsaku)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40314405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 53,900,000円

研究成果の概要(和文)：(1)照明や撮影方法を様々に工夫することで、物体表面上の光沢を物理的原理に基づき検出する手法について研究し、ランバート則への適合性を利用する手法、高周波照明を用いる手法等を開発した。(2)高度照明により異方性反射を高速に計測する手法を開発した。(3)着色した物体をプロジェクタにより証明することで、実物体上にHDR像を表示する手法を開発した。(4)複数のプロジェクタにより物体を照明する際に、最適なプロジェクタを選択する手法を開発した。(5)プロジェクタの被写界深度を伸長する手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：(1) We have developed several methods for separating diffuse and specular reflections. One checks the fitness of the intensity change to Lambert law, and the other uses the intensity response to the high spatial frequency lighting patterns. (2) A fast measurement method of anisotropic reflection distribution function using small number of spatial frequency illumination patterns has developed. (3) We have developed projection-mapping based HDR image display on a real 3D object using calibrated light projection onto the colored object generated by the color 3D printer. (4) A selection method of optimal projector in a multi-projector environment to show the optimal image on the object has developed. (5) Extension of depth of field of a projector based on the focus sweep method has developed.

研究分野：コンピュータショナルフォトグラフィ

キーワード：質感 反射解析 HDR

### 1. 研究開始当初の背景

私たちが日々生活する中で感じる様々な物体の質感の中でも、見かけの質感(視覚による質感)はその物体に触れる前にも感じることが出来る質感であり、その対象の手触りや重さ、暖かさなどを予想したり、食べ物新鮮さを判断したりといった点で私たちが暮らし、生きるための重要な情報となっている。また、衣服や工業製品の高級感や本物らしさも見た目の質感に大きく左右される。そのため、日本が得意とするものづくりにおいても視覚的な質感の品質管理や検査がますます重要となっているが、その質感を余すことなく記録したり、またそれをディスプレイ等に再現することは容易ではない。この原因として、現在のカメラ・ディスプレイ技術の性能が不十分であるということの他に、単なる画像ではなく視覚的な質感をどのように記録し表示するか、という点について十分に考察が深まっていないということも挙げられる。手元のない物体の質感を、まるで実物を見ているかのように確認するための手段や、物体の見え方を変えることで、物体の手触りや温度感覚などにどのような影響が生じるのか等について研究を行い、またそのための技術的手段を開発するのがこの研究の狙いである。質感の記録・再現の技術はこのような質感の通信や、グローバルなものづくりにおける品質管理の他、文化財や考古遺物等を精細に記録することによって後世に伝えるデジタルアーカイブ分野でも求められている。

### 2. 研究の目的

(1)この研究では、物体の質感をなるべく高度に、かつ効率よく記録すること、つまり物体の表面における光の反射の様相を合理的かつ最適な手法で取り込むことを目標としている。また同時に、質感を再現する上で現在のディスプレイ技術に欠けている要素に着目し、より本物らしく見せるための新しい表示技術や、ディスプレイ内ではなく実物上に質感を再現する手法も研究の対象にする。近年のデジタルカメラ技術の発達により、対象の「ある条件での」見た目は非常に高精細に取り込むことが出来るようになった。しかし、物体の見え方は光の当たり方や見る方向により様々に変化する。質感の記録にはむしろ入力装置であるカメラそのものよりも、対象物体を照らす照明の性能に大きく影響されるため、高度な照明に基づく反射の解析を行う。

(2)表示についても、最近のディスプレイ機器は非常に高精細化してきており、静止画の観察にはほとんど不足のないものになっている。しかしディスプレイ中の表示はどうしても実物による呈示と同じ感覚を与えないため、高度な照明の制御により実物の見た目を能動的にコントロールする手法に関する研究を主な目的とした。

### 3. 研究の方法

(1)図1は対象物体を様々な条件により照明することが出来る装置であり、照明の形も鋭い1点から面的に広がりのある光源、または縞模様状など様々に変化させることができる。これにより、物体表面の微妙な光沢の違いなどを計測することが出来る。この装置では物体への入射光の入射角度を精密に変化させることができるが、一方で物体表面の各位置を異なる照明条件で照らすためにはプロジェクタを用いる。これらを組み合わせた高自由度照明に高解像度冷却 CCD カメラを組み合わせ得た画像に対し、様々な物理法則を当てはめることで反射成分の分離や解析を行う。

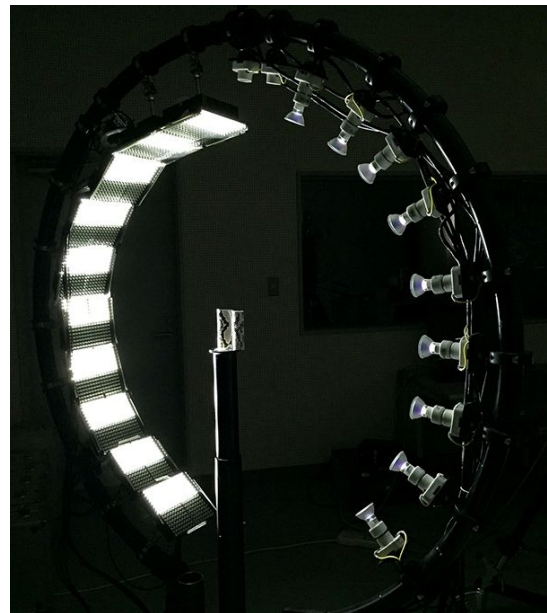


図1 多自由度照明装置「質感サンプラー」。対象物体を様々な照明パターンにより照らすことで、高精度かつ高速に反射特性を計測するために開発した。

(2)質感の提示については、近年高性能化が著しいプロジェクタを照明装置として用いることで対象物体を高度に照明する。我々は照明装置が物体表面を均一に照明していると認識しがちであるが、それに対して照明の輝度分布を精密に変化させることで、物体上の輝度コントラストを高く見せたり、高精細なテクスチャが存在するように見せたりすることが出来る。

### 4. 研究成果

(1)反射成分の分離:物体の見た目の質感のうち、光沢感は表面の滑らかさにも関連する。我々は照明や撮影方法を様々に工夫することで、「ここが光沢に見える」というような推測に基づく光沢検出・光沢認識ではなく、物体表面上の光沢を物理的原理に基づき検出した。図2は物体を様々な方向から照明した時の明るさ変化から光沢(鏡面反射)を検出する研究の例を示している。照明の方向が

変わると、その照明の映り込みである光沢の配置も変化する。しかしそれと同時に、物体表面の地の色の明るさ（拡散反射）や影の配置も変化する。拡散反射の明るさはランバート則と呼ばれる法則に従うことが多いため、その法則に従って変化しているかどうかを調べ、その法則から外れた分を影や鏡面反射として検出する。鏡面反射はランバート反射よりも明るく、影の部分は逆に暗くなるのでそれらを区別することが出来る。光源の方向が未知であってもランバート則への適合性は判定することが可能であることから、光源を手を持って自由に位置を変えながら撮影した画像から、影や鏡面反射の成分を取り除くことが出来る。またこの技術を使うと、光沢のある物体の写真から光沢を除いたマットな表面の画像に変換したり、逆に光沢を強めた画像を作り出すことも可能である。この手法は、様々な方位から照明した画像群のデータ量を圧縮する技術の基礎ともなり、また、質感の認知に関する研究を行う研究者が、被験者や動物への刺激として使うことが期待される。

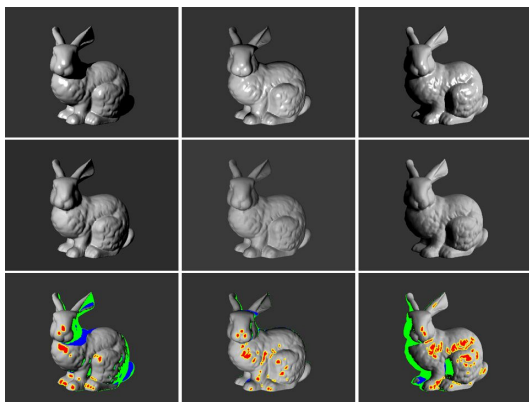


図2 様々な照明条件の画像から、光沢（鏡面反射）や影を取り除く処理を施した結果。最上段が入力画像のうちの3枚で、2段目がその画像から光沢と影の影響を取り除いたもの。3段目は入力画像に生じている現象を解析した結果で、緑と青が影、赤と黄色が光沢が生じた部分の検出結果である。

(2)異方性反射の高速計測:図3は、複雑な反射特性を持つ物体を計測した例である。金属をヤスリのようなもので一方向に磨いたような仕上げ（ヘアライン仕上げなどと呼ぶ）は、磨きの方向によって反射が鋭い方向とぼやける方向が決まり、これを異方性と呼ぶ。これを精密に取り込むには、小さな照明を置き、その方位を非常に細かく動かしながら膨大な数の画像を取り込む必要があり、極めて計測時間が大きかった。そこで我々は、図1に示すような照明パターンが変化する装置を用い、高速かつ詳細に反射特性を調べる手法を開発した。光沢は、物体表面の滑らかさによってその鋭さが変化する。例えば鏡のように平滑であれば、写り込んだ先の物体がは

っきり見え、これが最も鋭い反射である。これに対し、少しざらついた仕上げの物体ではつやの鋭さが低下し、写りこんだ物体がはっきり見えなくなる。そこでディスプレイ上に様々な方向と間隔の縞模様パターンを表示し、その縞のコントラスト変化を観測することで、光沢の鋭さや方向性を求める手法を開発した。図3に示すように、異方性を持つような表面が複雑に入り交じった物体でも、少ない枚数の画像から、各点ごとの反射特性が得られることを示した。

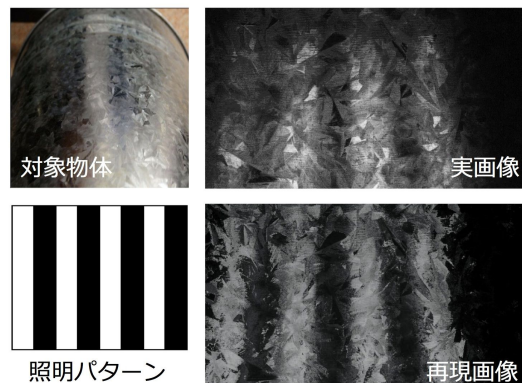


図3 複雑な反射特性を持つ物体の計測と、それに基づく反射再現の例。

(3)実物上のHDR表示:前述のとおり、液晶ディスプレイなどの表示デバイス技術は長足の進歩を遂げているが、ディスプレイの枠内に表示するという本質的な制約からは逃れられない。そこで我々は、立体的な実物の上に高精細な質感を表示する手法について研究を行った。

立体物の表面の見え方を変化させる方法として、プロジェクタにより物体表面へ映像を投影する手法があるが、一般のディスプレイのように自由な色や明るさを表現することは簡単ではなく、特に明暗のコントラストが低下しがちになる。そこで我々は複数台のプロジェクタを用い、3次元カラープリンタにより出力したモデルに映像を重ねあわせることで高精細かつコントラストの高い表示を実現する重畳型3次元HDRディスプレイを開発した。この研究では、コントラストを向上させつつ、立体模型の全周を照らすには、どの位置にプロジェクタを置けばよいか自動計算する方法について検討した。計算した配置にプロジェクタを設置して投影実験を行った結果、図4に示すように、立体模型を環境光下に置いたときに比べて、高いコントラスト（理論上1,000倍）での表示が可能となった。



図4 カラー3次元プリンタから出力された模型に複数台のプロジェクタを使って映像を投影し、文化財を高いコントラストで再現した例(上段:映像を投影した場合としない場合でのコントラストを比較するため異なる露光時間で撮影した画像,下段:実験環境)。

(4) プロジェクタ選択の自動化:複数のプロジェクタにより被写体を照らしたとき、モデル表面の大部分で様々な位置・角度から投影される複数の投影像が重なりあうことになる。このとき浅い角度で光が照射されると画像がぼけるため、それぞれ表面上に画像を投影すべきプロジェクタを一つ選択する必要がある。我々は、個々の面に表示されるコンテンツを考慮して、その精細さを最も低下させないプロジェクタを選択する手法を開発した。具体的には、モデル表面における各プロジェクタからの像のぼけ方を計算し、それによってオリジナル画像がどの程度劣化するのかを計算機内で求める。これらをプロジェクタごとに比較することで、最も解像度低下の少ない画像を表示できるプロジェクタを求める。各面に対しあらかじめ担当するプロジェクタが決まっているわけではなく、投影コンテンツによって最適なプロジェクタに切り替えられる点が特徴である。

(5) プロジェクタの被写界深度拡張:プロジェクタによる投影像のピンぼけを抑制する研究を実施した。プロジェクタはもともと平面上に映像を投影するように作られており、立体物に映像を投影すると、その奥行きによってピントが合った部分と外れた部分が生じる。最近のカメラは小型化が進んでおり、それによってピントの合う範囲も深くなっているが、プロジェクタはより大きなレンズを備えていることや、絞りを絞り込むことが出来ないことなどからピントの合う範囲を深くすることが困難である。そこで我々は、

プロジェクタに液体レンズと呼ばれる特殊なレンズを取りつけ、ピントが合う距離を高速に前後に動かすとともに、投影像にも前処理を施すことで、図6に示すようにピントの合っているように見える範囲を通常のプロジェクタと比べて4倍程度に広げることが可能にした。これらの技術を組み合わせることで、実物上に自由自在に質感を表現できるようになると、博物館での考古遺物の展示や自動車の内外装シミュレーションなど様々な分野で応用できると考えられる。

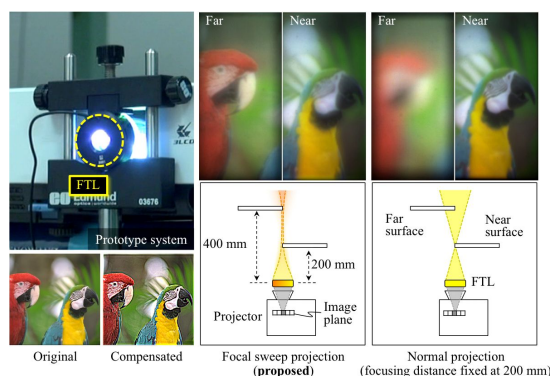


図5 液体レンズを用いたプロジェクタの被写界深度拡張。ピントが合う距離を高速に前後させ、その時の光学特性に合わせて補正した画像を投影することで、より深い範囲にピントが合ったように見える像を立体物上に表示できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計22件)

Daisuke Iwai, Shoichiro Mihara, and Kosuke Sato, "Extended Depth-of-Field Projector by Fast Focal Sweep Projection," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (Proceedings of IEEE Virtual Reality 2015), 査読有, Vol. 21, No. 4, pp. 462-470, 2015. DOI:10.1109/TVCG.2015.2391861

Daisuke Iwai, Momoyo Nagase, and Kosuke Sato, "Shadow Removal of Projected Imagery by Occluder Shape Measurement in a Multiple Overlapping Projection System," Virtual Reality, 査読有, Vol. 18, No. 4, pp. 245-254, 2014.

DOI:10.1007/s10055-014-0250-4

宮崎大輔, 高橋可菜実, 馬場雅志, 青木広宙, 古川亮, 青山正人, 日浦慎作, メタメリズムアート制作のための油絵の具の混合比率推定, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J97-D, No. 8, pp. 1250-1262, 2014.

[http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d\\_8\\_1250](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d_8_1250)

Hsin-Ni Ho, Daisuke Iwai, Yuki

Yoshikawa, Junji Watanabe, and Shin'ya Nishida, "Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object," *Scientific Reports*, 査読有, Vol. 4, Article No. 5527, 2014.

DOI:10.1038/srep05527

Takahiro Mori, Ryohei Taketa, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Photometric Linearization by Robust PCA for Shadow and Specular Removal, *Communications in Computer and Information Science (CCIS)*, 査読有, Springer-Verlag, vol. 359, pp. 211-224, 2013.

DOI: 10.1007/978-3-642-38241-3\_14

吉川佑生, 岩井大輔, 佐藤宏介, "視覚融合投影インターフェースにおける視覚が温覚に与える作用の基礎検討," *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 査読有, Vol. 18, No. 4, pp. 527-530, 2013.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009686095>

島津冴子, 岩井大輔, 佐藤宏介, "複数台プロジェクタによる投影型複合現実感のための解像度を考慮したプロジェクタ最適配置," *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 査読有, Vol. 17, No. 3, pp. 261-268, 2012.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009517481>

Takehiro Tachikawa, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Robust Estimation of Light Directions and Albedo Map of an Object of Known Shape, *IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications*, 査読有, Vol. 3, pp. 172-185, 2011.

DOI:10.11185/imt.7.242

#### [学会発表](計69件)

Daisuke Miyazaki, Takafumi Saneshige, Masashi Baba, Ryo Furukawa, Masahito Aoyama and Shinsaku Hiura, Metamerism-Based Shading Illusion, *Proc. IAPR Int. Conf. on Machine Vision Applications (MVA2015)*, 査読 2015年5月20日, 日本科学未来館(東京都).

Akifumi Tanaka, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato, "Minimization of Image Quality Degradation in Multi-projection Mapping," In *Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 8-9, 2013年10月1日, 幕張メッセ(東京都).

Hsin-Ni Ho, Daisuke Iwai, Yuki Yoshikawa, Junji Watanabe, and

Shin'ya Nishida, "Effects of color on perceived temperature," *Perception*, Vol. 42 (supplement), p. 167, 2013. (Proceedings of European Conference on Visual Perception (EVP2013)), 2013年8月25日, プレーメン(ドイツ).

Yuichi Takeda, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Fusing Depth from Defocus and Stereo with Coded Apertures, *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2013)*, pp. 209-216, 2013年6月25日, ポートランド(米国).

Takahiro Mori, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Shadow and Specular Removal by Photometric Linearization based on PCA with Outlier Exclusion, *International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP2012)*, pp. 221-229, 2012年2月25日, ローマ(イタリア).

Saeko Shimazu, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato, "High Dynamic Range 3D Display System with Projector and 3D Color Printer Output," In *Proceedings of International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT)*, p.165, 2011年11月29日, 大阪大学(大阪府).

#### [その他]

##### ホームページ等

<http://www.ime.info.hiroshima-cu.ac.jp/~hiura/profile.html#work>

<http://www-sens.sys.es.osaka-u.ac.jp/users/iwai/jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

日浦 慎作 (HIURA, Shinsaku)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 40314405

##### (2) 研究分担者

岩井 大輔 (IWAI, Daisuke)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 90504837

##### (3) 連携研究者

宮崎 大輔 (MIYAZAKI, Daisuke)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 30532957

吉元 俊輔 (YOSHIMOTO, Shunsuke)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号: 00646755