

再帰反射材を用いた鏡面反射計測手法の開発

北口 勝久 齋藤 守

(地独) 大阪市立工業研究所

本研究では再帰反射材を用いて一度に広い範囲からの鏡面反射を計測する手法を提案する。鏡面反射は見る者に光沢感を与えるものであり、これを正確に復元することは豊かな質感を持つCG作成には不可欠である。しかし鏡面反射は正反射方向にのみ出現するため物体全体の鏡面反射特性を決定するには多大な労力を要する。対象物体の周囲に置いた再帰反射材によって様々な方向へ反射した鏡面反射を1ヶ所で観察する方法を提案し、信頼性を確かめる実験を行なう。

Development of the Method to Measure Specular Reflection Using Retroreflector

Katsuhisa Kitaguchi Mamoru Saito

Osaka Municipal Technical Research Institute

In this paper, we propose new method to measure specular reflection from a wide range of an object surface at a time. Specular reflection gives feeling of gloss of object surface. And it needs correct information about the specular reflection properties to make photorealistic CG of a real object. It is difficult to estimate the specular reflection properties for whole surface of an object, because specular reflection is observed from limited direction only. We describe a new method to measure specular reflection from a wide range of an object surface at a time using retroreflector. And the reliability of the proposal method is investigated experimentally.

1. はじめに

物体表面で起こる反射を鏡面反射と拡散反射の和で現す2色性反射モデルはCGやCVの分野で広く利用されており富永らによって詳しく検証されている[1]。これらの2つの反射のうち鏡面反射は図1のように見るものに光沢感を与えるものであり、これを正確に復元することは豊かな質感を持つCG作製等には不可欠である。このことから物体表面の鏡面反射特性を求める研究はこれまでに数多く行われている[2,3]。鏡面反射特性を求める研究では、いかにして鏡面反射光を観察するか？が共通の課題として挙げられる。なぜなら鏡面反射は入射角と反射角が等しいという、反射の法則が成り立つ方向(正反射方向)にしか出現しないからである。したがって全体が鏡面反射を起こすような物体に照明を当てカメラで観察しても、照明方向、物体表面の法線方向およびカメラ方向の間に反射の法則が

成り立つ場所からの鏡面反射しか記録出来ず、図2左側の l'_s のような鏡面反射光は図のカメラ位置では観察出来ない。よって物体全体の鏡面反射を記録するには照明やカメラを細かく移動させて数多くの計測を行なう必要があり、特別な装置や数多くのデータ取得が必要となる。本研究ではこのような問題を解決するため再帰反射材を用いて鏡面反射を広

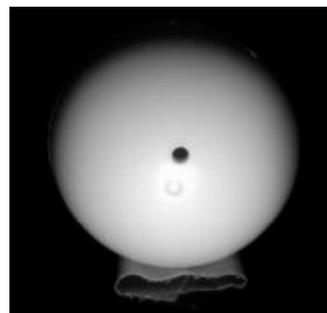


図1: 物体の鏡面反射

範囲に計測する手法を提案する。本報では物体周囲に設置した再帰反射材により鏡面反射光が正確に物体表面に再帰反射することを実験により検証した結果を報告する。

2. 提案する鏡面反射の計測方法

本研究は再帰反射材を用いることで物体表面で出現する鏡面反射を広い範囲で記録する方法を提案する。以下に再帰反射材と、本研究で検討する計測方法を説明する。

2-1 再帰反射材

再帰反射材とはある方向から照射された時にその反射光が入射光の方向に沿うように戻るような物である。その構造は大きく分けて図2に示すようなプリズム型と球面レンズ型に分類できる。また入射光と同じ色で反射させる白色のもの他、安全標識等に使うために赤、黄などに着色されているものもある。今回の研究では図3に示す球面レンズ型で、白色のシート状の再帰反射体を用いた。

2-2 鏡面反射計測方法

図4右側に示すような再帰反射材、ハーフミラー、CCDカメラ、照明からなる計測装置を考える。照明は点光源とし、CCDカメラと光学的に共役な位置に設置する。計測装置は暗室に設置し、照明以外に光源は無いように

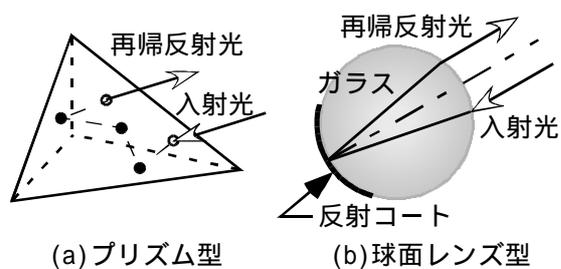


図2: 再帰反射材の構造

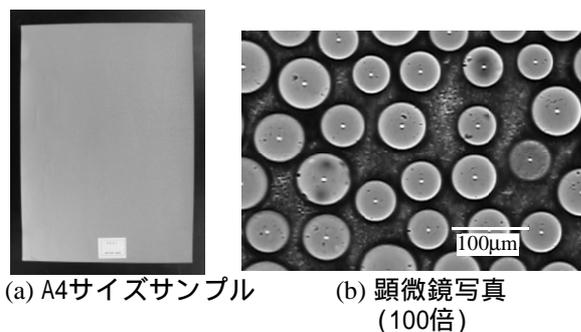


図3: 使用した再帰反射シート

する。筆者らはこのように物体の周囲に再帰反射材を置くことで、従来では観察できなかった方向の鏡面反射光を、次のように1台のカメラ位置に集められると考えた。図2右側に示すように、照明からの入射光 l_i によって物体上の p で反射を起こし(1次反射とよぶ)その時生じた鏡面反射光 l_s は再帰反射材で再帰反射を起こす(2次反射)。このときの再帰反射光 $l_{s,r}$ の向きは再帰反射の性質により l_s の逆向きになる。よって $l_{s,r}$ は p に戻り再度鏡面反射を起こす(3次反射)。このときの鏡面反射光 $l_{s,r,s}$ の向きは l_i の逆向きになる。なぜなら l_i と l_s は p において反射の法則が成り立っているので、 l_s の逆向きの光である $l_{s,r}$ の p における正反射方向は l_i の逆向きとなるからである。よって照明と光学的に共役な位置にあるCCDカメラで $l_{s,r,s}$ を含む情報が記録できる。この一連の反射は物体上で照明が当たるほぼ全域について成立する。よって一度に広範囲にわたって1次鏡面反射光に由来する反射光を含む画像を記録できる。

3. 実験

2-2で1次鏡面反射光が再帰反射と鏡面反

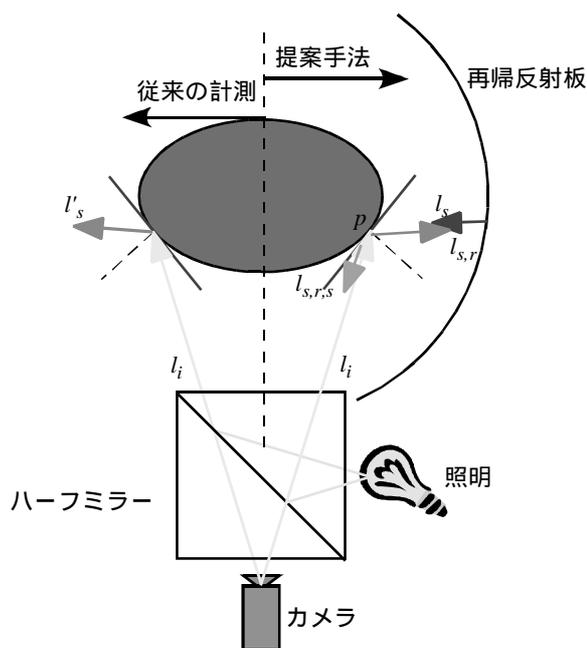


図4: 提案手法

射を行った後、CCDカメラ位置に集まることを述べた。しかし物体表面や再帰反射材表面では拡散反射も起こる。これら2-2で考えた経路以外の反射光も物体表面上の p の輝度値に影響を与える可能性がある。ここでは実際に画像を撮影し、再帰反射材を置くことで生じる輝度値の変化を調べる。また上で述べた様々な反射光のうち影響が大きいと考えられる1次反射で生じる拡散反射光（1次拡散反射光とよぶ。他も同様）が物体の輝度値に与える影響について検証する。実験では照明として赤色レーザー光を用いた。レーザー発振器は、1次鏡面反射光が再帰反射材に当たるように設置する。再帰反射材は直径30cmの筒状にし、物体がその中心となるよう設置した。実験装置を上から見たものを図5に示す。カメラをレーザー発振器と光学的共役な場所に設置し、次のカラー画像3枚を撮影した。

- image1 再帰反射材を設置して撮影した画像（図4右側参照）
- image2 再帰反射材の1次鏡面反射光が当たる位置に黒紙を貼った時の画像
- image3 再帰反射材を設置せずに撮影した画像（図4左側参照）

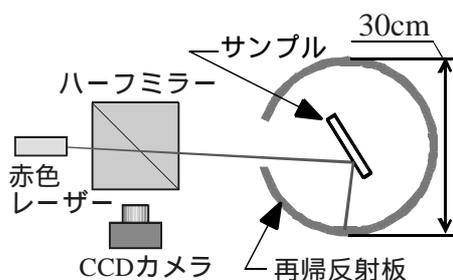
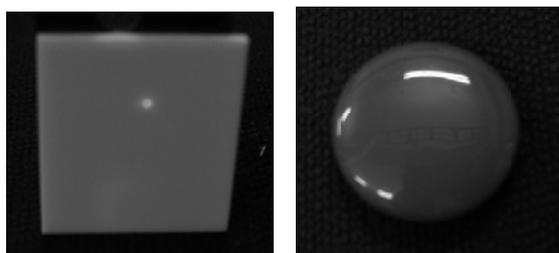


図5: 実験装置



(a) 白色プラスチック (b) 赤色プラスチック

図6: サンプルに用いたプラスチック材

image2は再帰反射材の1次鏡面反射光が当たる部分に1cm角の黒い紙を貼ることで、1次鏡面反射光を吸収させ2次反射を無くした状態で撮影した画像である。1次拡散反射についてはimage1と同様に2次、3次反射を行なう。黒紙を貼った部分については1次拡散反射光も吸収されるが、1様に広がる拡散反射光の照射範囲の広さを考えると無視出来ると考える。image3では1次拡散反射光のみがCCDカメラに記録される。

サンプルとして図6に示す白色と赤色のプラスチックを用いた。白色の方は板状、赤色は曲面状の形状をなす。図6(a)でサンプル上に見える丸印は照明に用いたレーザー光の反射光である。

図7に両サンプルのimage1、2、3のうち、レーザー光照射部付近のR成分の輝度値を示す。またそれぞれのimage1で最高輝度値を記録した画素を通る断面線を求め、その線上におけるimage1、2、3の輝度値を図8に示す。図7、8でimage1とimage3の比較から、再帰反射材を設置するとレーザー光が当たっている部分の輝度値が大きく差なっていることが分かる。またレーザー光が当たっていない部分では輝度値の変化はほとんど見られない。image1とimage3のレーザー光が当たっていない部分における画素値の差の平均値は1以下であった。

次に1次拡散反射光の影響の大きさを調べるためにimage2とimage3を比較すると、両サンプル共この2つの画像間に差は見られなかった。このことからimage1とimage3の比較で見られたレーザー光照射部分の輝度値の増加は1次鏡面反射光から起こる反射の影響であると言える。

4. おわりに

本研究では再帰反射材を用いて一度に広範囲で起っている鏡面反射を観察する方法を提案した。また照明にレーザー光を用い2つのサンプルで基礎実験を行なったところ、物体表面から15cm程度の距離に再帰反射材を設置した場合では物体表面のレーザー光が当たっている部分の輝度値は増加し、レーザー光の当たっていない部分の輝度値には影響が無

かった。またその増加は1次鏡面反射光の影響であることが分かった。

サンプルの種類を増やして様々な拡散、鏡面反射特性を持つ物体についても調べ上記のことを確認することと、この装置から得られる画像情報から鏡面反射特性を表すパラメータ推定方法を確立することを今後の課題とする。

参考文献

- [1]富永昌治, 大橋伸一郎, "物体のカラー反射モデル", 情処学論, vol.33,no.1.pp37-45, 1992.
- [2]町田貴史, 横矢直和, 竹村治雄, "実物体の仮想化のための相互反射を考慮した表面反射特性の推定", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2004)講演論文集, vol.1,pp.113-118, Jul.2004.
- [3]小俣和子, 斎藤英雄, 小沢慎治, "光源の相対的回転による物体形状と表面反射特性の推定", 信学論, vol.J83-D-11, No3,pp.927-937, 2000.

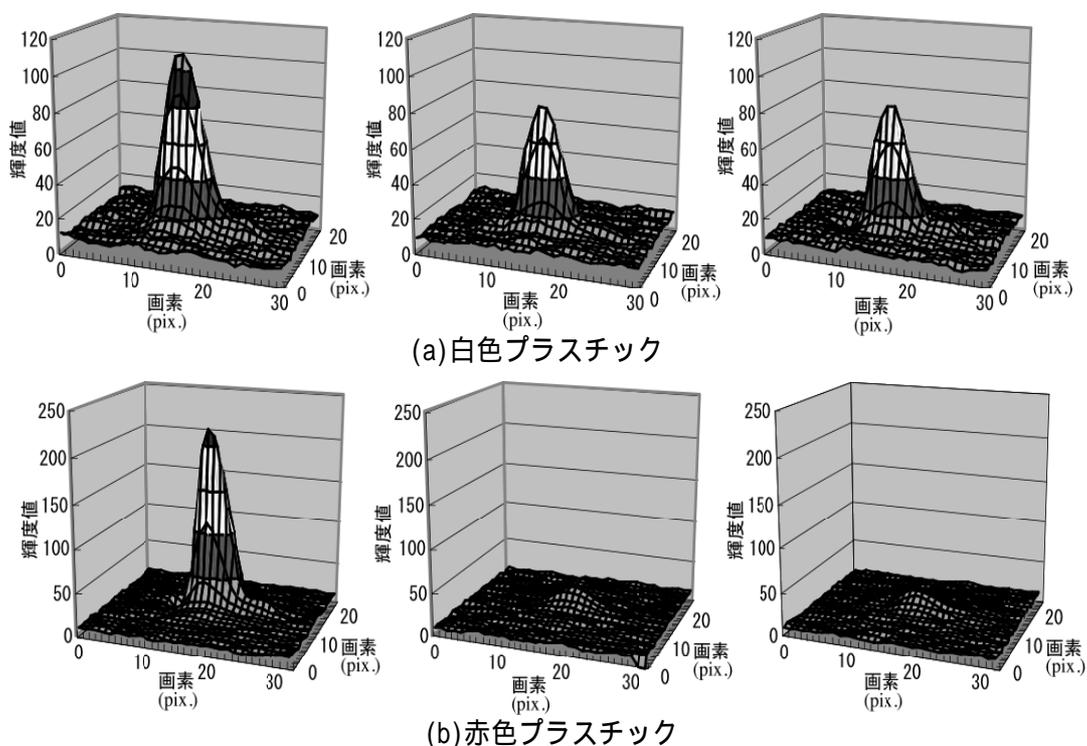


図6: レーザー光付近の輝度値
左: imege1 中: image2 右: image3

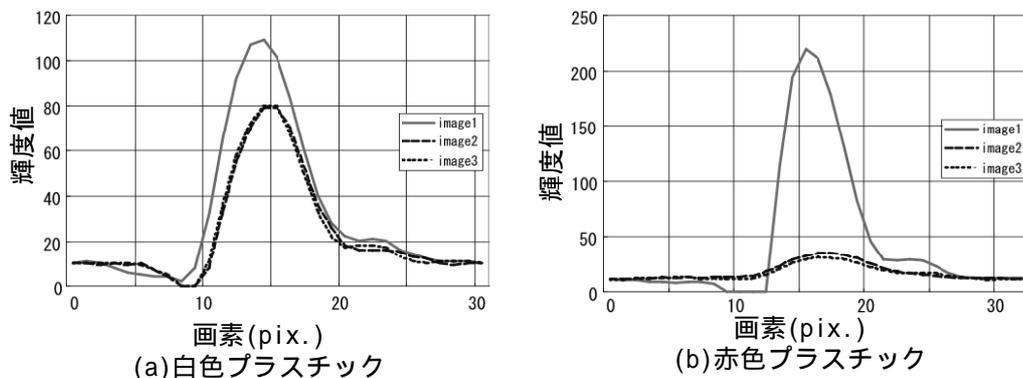


図7: 断面線上の輝度値