

平成21年 6月 4日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500149

研究課題名（和文） 透明物体・金属物体の形状・光学特性の計測手法の開発

研究課題名（英文） Development of Measurement Method for Shape and Optical Characteristics of Transparent and Metallic Object

研究代表者

眞鍋 佳嗣 (MANABE YOSHITSUGU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：50273610

研究成果の概要：

本研究では、透明物体および金属物体の形状および屈折率や反射特性の計測手法の開発を行った。スクリーンに表示されたラインパターンの物体表面への映り込みを利用し、スクリーンを移動させることにより光線方向を一意に求め、形状および光学特性の計測を行った。本手法により、透明物体および金属物体の形状が可能であったが、物体表面の反射や屈折の光学特性の高精度な推定には更なる工夫が必要であることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：色彩画像計測

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム，形状・光学特性計測，デジタルアーカイブ

1. 研究開始当初の背景

近年、小・中・高校教育において学校教育の情報化推進計画が進められており、国の高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部の策定した e-Japan 重点計画に基づき、全ての小中高等学校が各学級の授業においてコンピュータを活用できるように施策が推進されてきている。また、家庭においてもブロードバンドネットワークが普及してきており、気軽にインターネット上の様々なデータを検索・閲覧できるようになってきた。インターネット上で手軽に利用できる魅力のあ

る教育用コンテンツが充実することは、情報教育において非常に重要である。このような教育用コンテンツの一つとして、博物館や美術館の所蔵文化財のデジタルアーカイブが考えられる。

文化財の計測などのデジタルアーカイビングは近年盛んに行われている。計測の対象となっているのは、計測対象の三次元形状や模様などの色情報、それと光沢などであり、これらを画像計測し、それぞれの特徴のモデル化が行われている。しかし、これらの計測手法で対象となっている計測物体は、陶磁器

やプラスチックなどの不透明な非金属物体が中心であり、ガラスやアクリル製品のような透明物体や金属製品の非接触形状計測手法はまだ研究段階である。

また、企業の中核を担ってきた団塊の世代が一気にリタイヤする 2010 年問題の中に、工場などの製品検査における熟練工の不足がある。透明物体や金属物体の形状計測技術は、単に対象物体の形状を計測しアーカイブするだけでなく、このような問題に対応するための、検査の自動化の技術の一端を担うことができると考えられる。

2. 研究の目的

コンピュータグラフィックス(CG)技術を用いて、物体をディスプレイ上に再現するには、表示させたい対象物体の形状や色、模様、光沢などのモデル化が重要である。これまでの CG 分野における研究では実際の物体の表面特性に合っているかどうかは問題ではなく、見た目にリアルに見えればよく、表面の特性も手作業で決めているものがほとんどであった。しかしながら、実在する物体をリアルに表示するには人手によるパラメータのチューニングはなかなか難しく、自動で正確な形状、色、光沢などの表面特性をモデル化することが重要になっている。

また、工場のラインなどにおいて製品の検査をまだ人手に頼っている物も多く、団塊世代の大量リタイアに向けて検査の自動化が進められている。例えば、基板検査においてハンダ付けの状態を確認するには、ハンダの付き具合を確認することが重要な検査項目であるが、一般にハンダ表面は金属光沢が有り画像処理による検査が難しい。また、ハンダの量が適切かどうかを検査するには、ハンダ付けされた基板表面の形状計測が必要になるが、金属物体表面の金属反射のために形状計測手法はまだ確立されていない。

これまでに提案されている形状計測手法は基本的に不透明な物体に対するものであり、透明物体や金属物体にそのまま適用することは困難である。さらに、透明物体の場合は、対象物体の形状だけではなくその物体の屈折率も知ることが重要であり、また、金属物体の場合は、形状に併せて表面の艶を計測することが重要となる。

そこで本研究は、我々がこれまで行ってきた透明物体の形状および屈折率の計測手法を拡張し、さらに正確な表面形状の計測を可能にする手法の確立を目指す。また、透明物体の計測手法を金属物体にも応用し、金属物体の形状ならびに表面の反射特性の計測を試みる。

3. 研究の方法

本研究では、①透明物体の形状計測手法、

②屈折率推定手法、③金属物体への計測手法の適応、の三つが主な研究内容である。

①物体を囲むようにスクリーンを配置し、スクリーンにパターンを提示し、透明物体表面に写り込んでいるパターンの位置を特定することで形状を計測する。なお、スクリーンに提示されたパターンを計測に用いるため、スクリーンからの光線は一意に決定することが困難である。そのため、光線を一意に決定するために、スクリーンを前後に移動させるなどの方法を検討する。

②スクリーンに提示されたパターンは、透明物体の表面または透過した内部で反射し、カメラで計測される。透明物体の形状が既知であれば、透明物体への光の入射経路および反射経路から屈折率が推定できると考えられる。そこで、①で計測した透明物体の形状をもとに、レイトレーシング手法を適用し、透明物体の屈折率の推定を試みる。

③透明物体の形状および屈折率計測手法を金属物体へ適応する。基本的には透過光が無くなる分、問題が簡単になると予想される。一方、金属物体の場合、金属表面での反射特性の計測が、例えばハンダ表面の艶や金属製品の仕上げの検査などのために重要になる。これは、金属物体に限らず、物体表面の滑らかさが光沢の広がりに関係するため、鏡のように滑らかな場合、光沢が鋭く、表面が粗くなると光沢がぼやけて観測される。この金属表面の粗さを示す光沢の広がりを、金属物体表面に写り込んだパターン光のぼやけ具合により計測する。

しかし、金属物体表面での反射光の強度は強く、16bit のダイナミックレンジをもつ冷却 CCD でも飽和して計測されることが想定される。そのため、これまでに我々が提案している、飽和した画素値をもつ画像から鏡面反射の正確な強度と広がりを推定する手法を応用し、正確な反射特性の推定を試みる。

4. 研究成果

スクリーンに表示されたパターンの透明物体表面への映り込みを利用して、透明物体の形状計測を試みた。計画では、物体を囲むようにスクリーンを配置する予定であったが、ターンテーブルを利用して計測対象を回転させる事で計測を行った。また、スクリーンに表示させるパターンを 2 次元グレイコードパターンではなくラインにして計測手法の妥当性の確認を容易にした。

図 1 に本研究で使用した計測システムの設置条件を、図 2 に実験風景を示す。本研究で用いた計測システムは、冷却 CCD カメラ、回転ステージ、液晶ディスプレイおよび液晶

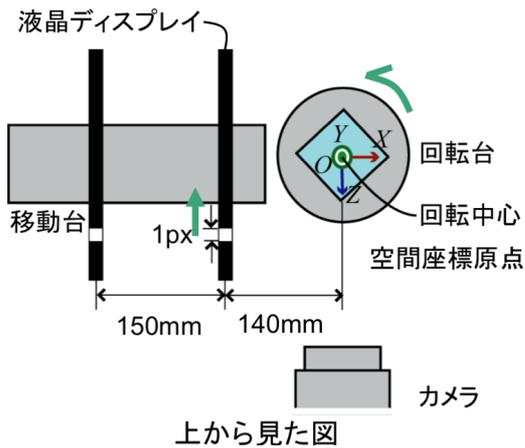


図1 実験システム

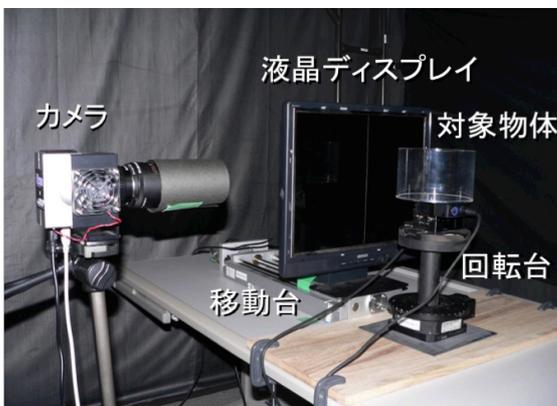


図2 実験風景

ディスプレイを移動させるステージで構成した。冷却 CCD カメラの正面に回転台を設置し、その上に計測対象を置き液晶ディスプレイに表示された1ピクセルのラインの反射像を撮影した。

計測にはスクリーンに提示されたパターンを用いるため、そのままではスクリーンからの光線を一意に決定することが困難である。そこで、本研究ではスクリーン位置を平行移動させることにより、スクリーンからの光線を一意に決定する。

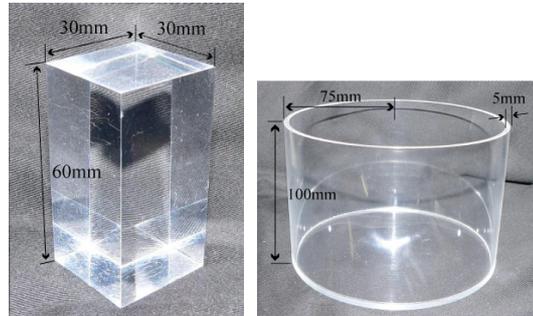
計測の手順を示す。まず、計測対象のある姿勢において、垂直な1ピクセルのラインを画面の左から右に移動させながら画像を撮影し、物体を一定角度ずつ回転させ同様の計測を繰り返す。

次に、液晶ディスプレイを平行移動させ、上記の計測を行う。そして、計測対象が同じ姿勢の時に、液晶ディスプレイの前後位置において同一箇所パターンに反射像が観測されるライン位置を求め、それにより入射光線を一意に決定し、計測対象の形状を求めた。

図3に本実験に用いた計測対象を示す。(a)

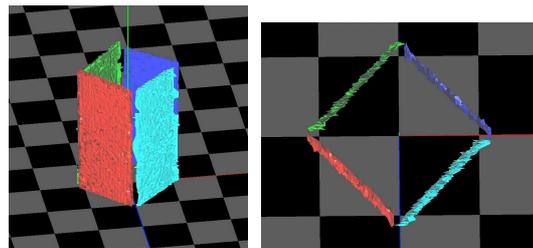
はアクリルの四角柱、(b)は中が空洞になっているアクリルの円柱である。なお、円柱の厚みは一定である。

図4に計測結果を示す。この形状計測結果は、対象物体の外側表面での反射のみを用いた結果である。これらの結果より、本手法により透明物体の表面形状の計測が可能である事を確かめた。

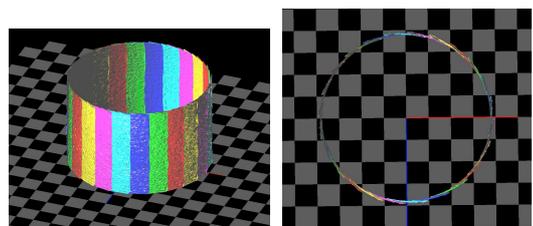


(a) アクリル四角柱 (b)中空アクリル円柱

図3 計測対象



(a)四角柱 (斜め上方および真上視点)



(b)円柱 (斜め上方および真上視点)

図4 計測結果

また、透明物体の屈折率の推定方法として、物体表面での反射光と物体内部を透過して観測された光を判別し、形状計測結果と合わせて各光路を求め、屈折率の推定を試みた。図5に概念図を示す。対象の内部表面での反射を観測した画素から光線を追跡する。その際に、計測対象の厚みと屈折率を変化させ、パターンの提示位置に届く厚みと屈折率を求めることによって、推定を行った。

実際に、計測対象としてコップのような中空な対象に対して本手法を適用し、形状の計

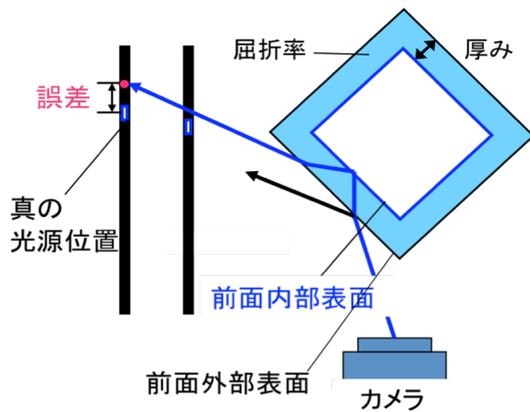


図5 屈折率推定手法の概念図

測および屈折率の推定を行ったところ、表面形状の計測は概ね正しい結果が得られたものの、屈折率の推定においてあまり正しい結果が得られなかった。これは、物体内部の形状計測および表面法線の推定精度が十分でなかったためと考えられる。

さらに、本研究で提案した透明物体の表面形状計測手法を金属物体に適用した。形状計測の精度は、透明物体の表面形状の計測精度とほぼ同等であった。しかし、正確な反射ラインの位置が求まらなかったためライン像のマッチングが正しく行えず、正しく表面の法線を求めることができなかった。そのため反射特性の推定までには至らなかった。

本研究では、透明物体の形状と屈折率の計測、および金属物体の形状と反射特性の計測を試みた。形状を計測することはできたが、精度が十分でなく、今後、提示するパターンの工夫および提示領域の拡大によって、計測精度の向上ならびに屈折率や反射特性などの物体表面の光学特性の推定精度の向上を目指し、デジタルアーカイブや製品検査への実用化を目指したい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Shiyong Li, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: Accurately estimating reflectance parameters for color and gloss reproduction, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.113, Number 2, pp.308-316, 2009/02/01

[学会発表] (計 5 件)

- ① Shiyong Li, Koichiro Deguchi, Renfa Li, Yoshitsugu Manabe, and Kunihiro Chihara: An improved method to

estimate specular reflectance parameters for high-dynamic-range imaging, *SPIE-IS&T Electronic Imaging, Color Imaging XIII*, Proc. SPIE, Vol.6807, 680706 San Jose, USA, 2008/01/29

- ② Hiromi Tsujimura, Yuuki Uranishi, Muneyuki Sakata, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: 3D Shape Measurement of Transparent Objects Using Slit-Pattern Reflection, *IWAIT 2008*, pp. 135-136 Hsinchu, Taiwan, 2008/01/08
- ③ Hiromi TSUJIMURA, Yuuki URANISHI, Muneyuki SAKATA, Yoshitsugu MANABE and Kunihiro CHIHARA: Measurement of the Shape of Transparent Object Using Specular Reflection, *Proceedings of the Seventh Finnish-Japanese Joint Symposium on Optics in Engineering (OIE'07)*, pp. 59-60 Tampere, Finland, 2007/08/09
- ④ 辻村裕美, 浦西友樹, 坂田宗之, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: スリットパターンの映り込みを利用した透明物体の全周形状計測, 平成19年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, pp. 39-40 大阪, 2007/10/29
- ⑤ 辻村裕美, 浦西友樹, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 鏡面反射を用いた透明物体の形状計測手法, 第51回システム制御情報学会研究発表講演会論文集, pp. 491-492 京都, 2007/05/16

6. 研究組織

(1) 研究代表者

眞鍋 佳嗣 (MANABE YOSHITSUGU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 50273610

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

浦西 友樹 (URANISHI YUKI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・像情報処理学講座・博士後期課程

辻村 裕美 (TSUJIMURA HIROMI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・像情報処理学講座・博士前期課程