57. 画像合成を利用した、鏡面反射面の輝度分布計算

尊田 嘉之 三箇山 正樹 大柿 聡
 (旭硝子中央研究所) (旭硝子アメニテック)

1 はじめに

鏡面反射面には、その前方に位置する物体が虚像として映り込む。したがって鏡面反射面の輝度分布を知るためには、虚像の位置と明るさを同時に求める必要がある。レイトレーシング法は鏡面反射面への映り込みを計算することができるが、多数の交点計算が要求されるために、処理時間がかかるという欠点を持つ。一方、本手法は取り扱える反射面が平面に限られるものの、短時間で鏡面反射面の輝度分布を求めることができる。

2 計算原理

ガラスを例にとって、計算原理を示す。図-1において、ガラス面の反射性状、透過性状を各々正反射、正透過とする。ガラス面上の点 P を含む微小面を視点 P_v より見たときの輝度 L_p [cd/m^2] は、

$$L_p = r_p \cdot L_a + t_p \cdot L_b \quad (1)$$

と与えられる。ここに r_p は P における正反射率、 t_p は P における正透過率である。 L_a は物体 A 上の点 P_a を含む微小面を P より見たときの輝度 [cd/m^2] であり、 P_a は、

$$\angle P_a P P_n = \angle P_v P P_n \quad (2)$$

を満たす位置にある。 P_n は P より延ばした法線上にあるとする。 L_b は物体 B 上の点 P_b を含む微小面を P より見たときの輝度 [cd/m^2] であり、屈折の影響を無視すれば、 P_b は、

$$\angle P_a P P_n + \angle P_v P P_n = \pi \quad (3)$$

を満たす位置にある。ガラス面上の全ての点において同様に輝度を求めることができれば、ガラス面の輝度分布を捉えたことになる。

上記の原理はレイトレーシング法にも当てはまるが、ここでは画像合成によって輝度分布を求めることを考える。すなわち、式(1)の第一項から得られる画像(反射成分)と、第二項から得られる画像(透過成分)を独立に生成して、最終的に重ね合わせるわけである。ただし重ね合わせの前提として、画像の階調値は輝度値に対して線形であるとする。

3 虚像の生成

以下、反射成分(式(1)中の第一項)の画像生成方法に内容を絞る。図-2に示すように鏡面反射面が平面であれば、虚像と実像とは面対称の位置関係にある。この関係は視点が変わっても保たれる。したがって映り込む対象の物体に面対称変換を施すことで、あらかじめ虚像を求めておくことができる。視点が変わる度に虚像を描画すれば、少なくとも映り込みの生じる位置は予測できるはずである。

図-1 計算原理

図-2 実像と虚像の関係

Prediction of luminance distribution on specular surface using image superposition,
 Yoshiyuki Sonda, Masaki Mikayama and Satoshi Ohgaki

4 反射像の輝度の決定

3 によって虚像の位置が決定されたので、続いてその輝度を考える。式 (1) の第一項にあるように、虚像の輝度は実像の輝度と反射率との積で与えられる。これを画像で考えるならば、次のようになる。

$$g(x,y) = f(x,y) \cdot r(x,y) \quad (4)$$

ここに、 x,y は画素位置を表わす変数、 $g(x,y)$ は虚像の階調値、 $f(x,y)$ は面对称変換だけを施しただけの物体を描画したときの階調値、 $r(x,y)$ は画素 (x,y) に対応する反射率である。

5 入射角度特性の考慮

同じ反射面を正面から見たときと斜め前方より見たときとで、映り込みの程度が異なるのは、反射率が光の入射角度に応じて変化するからである。精度良く輝度分布を知るためには、反射率の入射角度特性を考慮する必要がある。入射角度特性を考えることは、式 (4) において $r(x,y)$ を対応する入射角度に応じて変化させることである。ただし画素ごとに入射角度を算出するのは困難なので、以下に示す方法で対処する。

- 1) 鏡面反射面を図-3に示すようなメッシュに分割し、 $\cos \theta$ (ただし θ は入射角度) をメッシュ節点でサンプリングする。
- 2) メッシュ節点で計算された $\cos \theta$ を、0 ~ FF 間のデジタル値に変換する。
- 3) 上で求めたデジタル値を基にメッシュをグーローシェーディング^{注)}して、これをマスク画像とする。

マスク画像内には、 $\cos \theta$ の情報が格納されることになる。

入射角度別の反射率は、マスク画像に格納された $\cos \theta$ の情報を基に求める。ここでは各入射角度における反射率と垂直入射時の反射率の比 $C_i(\theta)$ を利用して、入射角度別の反射率を記述する。すなわち、

$$r(\theta) = r_0 \cdot C_i(\theta) \quad (5)$$

$$C_i(\theta) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot \cos^i \theta \quad (6)$$

とする。ここに、 $r(\theta)$ は入射角度別の反射率、 r_0 は垂直入射時の反射率、である。 n については近似精度にあわせて上限を定め、 a_i は実際の反射率データを基に、最小 2 乗法で決定する。以上により、式 (4) 中の $r(x,y)$ を入射角度に応じて変化させることができる。

6 まとめ

画像合成による、鏡面反射面の輝度分布予測法を示した。本手法は図-4に示すような鏡面反射面の輝度分布を、高速に求めることができる。

図-3 メッシュによる $\cos \theta$ のサンプリング

図-4 計算例

注) グーローシェーディングを使うと、メッシュ節点から外れた場所の $\cos \theta$ は線形内挿により与えられる。厳密には線形内挿ではまずいが、メッシュサイズを細かくとれば十分近似できる。