

## 拡張多視点 SFS による 3 次元形状と反射属性の推定

小林正典<sup>†</sup> 井口茂<sup>†</sup> 山名早人<sup>††</sup>

実物から自動的に 3 次元物体のモデルを生成する手法が研究されているが、先行研究では高価な装置が必要であったり、事前に対象物体の反射特性を知っている必要があったり、対象物体の反射特性が 1 種類であると仮定するなど、制約が大きい。これに対し、本研究では、多視点 SFS をベースとして複数の反射特性が混在していても 3 次元形状と反射属性の復元を行えるように拡張した手法を提案する。具体的には、入力画像を事前に領域分割・クラスタリングし、各々の領域ごとに 3 次元形状と反射属性の推定を行う。

### Estimation of Shape and Reflectance by using Extended SFS from Multiple Views

MASANORI KOBAYASHI,<sup>†</sup> SHIGERU IGUCHI<sup>†</sup> and HAYATO YAMANA<sup>††</sup>

There exist many methods to reconstruct the 3D model from the real object. However, they have some restrictions such as using expensive devices, using reference objects, or based on assumption that the target object is composed of one material. This paper proposes a new method that is based on shape from shading using multiple views. The proposed method treats the object composed of multiple materials. The proposed method preliminarily clusters the reflectances using the input images, and then analyze the 3D shape and the reflectance parameters.

#### 1. はじめに

近年、映画、TV、ゲーム、インターネットに代表されるように映像コンテンツの需要が高まると共にコンピュータグラフィックスの需要も高まっている。しかし 3 次元物体のモデルを手で作成することは手間が掛かり、開発コストも高くなる。そこで、自動的に 3 次元物体のモデルを生成する手法が研究されている。

Sato<sup>ら</sup><sup>4)</sup> はレンジファインダで異なる視点からの距離画像をマージすることによって 3 次元形状を構築し、求めた 3 次元形状を利用して拡散反射色と鏡面反射色の成分を分離して、拡散反射と鏡面反射のパラメータを推定した。Hertzmann と Seitz<sup>5)</sup> は、リファレンスオブジェクトをシーンに設置し、照度差ステレオによって 3 次元復元を行った。Tianli<sup>6)</sup> は、Shape from Shading(SFS) を応用して 3 次元形状の復元と反射属性の推定をする手法を提案している。

しかし、これらの先行研究には、いずれも長所と短所があり、それぞれに補い合う位置にある。その中でも Tianli の手法は優れており、カメラで撮影した画像から 3 次元形状を復元可能であり、リファレンスオブジェクトが不要である。しかし、対象物体は 1 種類のみの反射属性で構成されていると仮定されている。このような仮定、すなわち、現実の物体において反射属性が 1 種類で構成されている物体は現実には少なく、適用範囲が限定される。

そこで本研究では、SFS をベースとして、対象物体が 2 種類以上の反射属性で構成されていても解析できる方法を提案する。そのためには、事前に反射属性についてクラスタリングする必要がある。しかし、同じ反射属性の面も見る角度と光の当たり方によって RGB 値が変化するため、クラスタリング自体が困難となる。そこで、本研究では、RGB 値の分布に着目してクラスタリングを行う。

#### 2. 提案手法

提案手法の手順を図 1 に示す。本提案手法は大きく前半と後半に分けられる。前半が初期値を決定する前処理であり、反射属性クラスタリング、初期形状設定、

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院 理工学研究科 情報・ネットワーク専攻  
Science and Engineering Waseda, University  
<sup>††</sup> 早稲田大学理工学術院/国立情報学研究所  
Science and Engineering Waseda, University/National  
Institute of Informatics

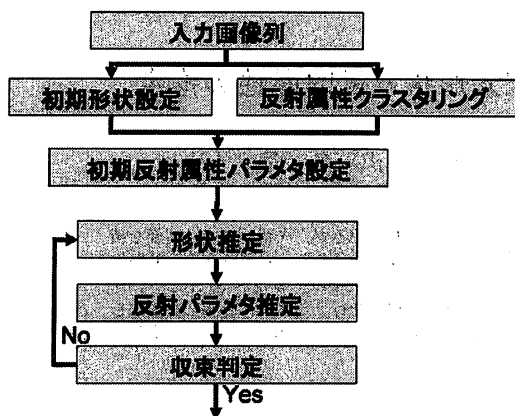


図1 提案手法の手順

初期反射属性パラメータ設定に相当する。後半はユーザが満足する精度までポリゴンを分割しつつ、分割する度に形状と反射属性を推定する。本提案手法における新規点は、図1中の反射属性のクラスタリングと初期反射属性の部分である。

以下では、まず2.1で初期形状の決定方法について簡単に述べ、その後、本提案手法の根幹である反射属性のクラスタリング方法(2.2)、初期反射属性の決定方法(2.3)について述べる。最後(2.4)に、3次元形状と反射属性の推定方法について述べる。

### 2.1 初期形状

本節では、初期形状の作成方法について述べる。形状は、頂点の集合  $V = \{V_k = (v_{kx}, v_{ky}, v_{kz}) | k = 1 \dots m\}$  と、3つの頂点を組みにした三角形の集合  $T = \{T_i = (V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}) | i = 1 \dots n\}$  で表現される。つまり、本項で述べる初期形状作成手順の結果、初期状態の頂点集合と三角形集合が求まる。

初期形状は、次の三段階の手順により作成する。

- (1) 各視点におけるカメラキャリブレーション
- (2) 視体積交差法を利用して、対象物体のボリュームマップ(1=有, 0=無とした3次元のマップ)の作成
- (3) Marching-Cubes法<sup>2)</sup>によるポリゴン化  
カメラキャリブレーションはワールド座標(3次元座標)と画像座標(2次元座標)を対応付けるために必要な処理である。シルエット作成は入力画像から対象物体の存在するピクセルとそれ以外のピクセルに二値化する処理である。本研究では背景差分法を用いてシルエットを作成した。視体積交差法は3次元のボリュームマップ(3次元の0:無, 1:有の配列)を作成する処理である。Marching-Cubesはボリュームマップからポ

リゴンを作成する処理である。このようにして初期形状を作成する。

### 2.2 反射属性クラスタリング

本項では、反射属性のクラスタリング方法について説明する。すでに論じたように、同じ反射属性の面も見る角度と光の当たり方によってRGB値は変わる。ゆえに、反射モデルの特性を理解した上でクラスタリングをしなければならない。そこで、まず反射モデルの考察について述べる。その後、考察を踏まえて反射属性のクラスタリング方法について述べる。

今、対象物体の位置  $x = (x, y, z)$  の微小面の反射属性を求めたいとする。反射属性とは反射モデルに含まれる反射属性に固有のパラメータである。本研究ではPhong<sup>1)</sup>の反射モデル(式(1))を用いることにした。

$$R(\mathbf{v}, \mathbf{n}, \mathbf{L}, \mathbf{B}) = L\{k_d(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l}) + k_s(\mathbf{v} \cdot \mathbf{l}_s)^\alpha\} \quad (1)$$

$R(\mathbf{v}, \mathbf{n}, \mathbf{L}, \mathbf{B})$  は入射光  $\mathbf{L}$  が法線  $\mathbf{n}$  の微小面で  $\mathbf{v}$  方向に反射する光の輝度を表す。入射光  $\mathbf{L}$  は方向成分  $l$  と輝度成分  $l$  を含む。ここで  $\mathbf{B}$  は微小面の反射属性のパラメータを表す。  $\mathbf{B}$  には以下のパラメータが含まれている。

- $k_d$ : 拡散反射成分の重み
- $k_s$ : 鏡面反射成分の重み
- $\alpha$ : 輝かしさ(鏡面反射に関係する値)

ここで、色はRGBの3成分の輝度で表現する。したがって式(1)はRGBの各成分ごとに用意する。同様に  $k_d, k_s$  についてもRGBの各成分ごとに重みを用意する。

Phongの式(1)は、拡散反射  $k_d(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})$  と鏡面反射  $k_s(\mathbf{v} \cdot \mathbf{l}_s)^\alpha$  の和で表現できる。ここで拡散反射と鏡面反射の特徴について注目したい。図2(a)のように、拡散反射は、光の入射角度に関わらず、全ての方向に一定の輝度で反射する。つまり、拡散反射による輝度は、どの角度から見ても同じように観測される。式(1)でも、反射方向  $\mathbf{v}$  に依存しないことが確認できる。一方、図2(b)のように、鏡面反射は、鏡面反射方向を中心とした円錐状に反射光が分布する。つまり、鏡面反射は、局所的(鏡面反射方向)にしか観測されないことを意味する。式(1)でも、反射方向  $\mathbf{v}$  に依存していることが確認できる。

以上のような特性が、どのように現れるのかを実際の写真で確認した。図3のように、鏡面反射は画像中の狭い領域でしか観測されることがわかる。

ここで、鏡面反射が観測される領域が、無視できるほど狭いと仮定すると、画像中の色は拡散反射のみで決定される。再び、式(1)の拡散反射  $k_d(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})$  に着目したい。  $k_d$  はRGBの3成分ごとに設定される値

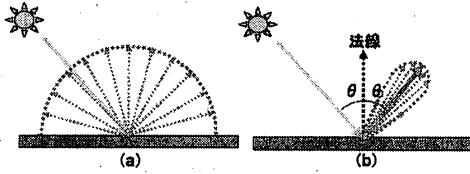


図2 拡散反射と鏡面反射。(a)は拡散反射。(b)は鏡面反射。

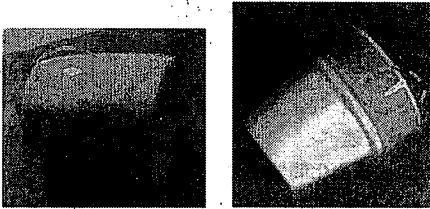


図3 鏡面反射の例

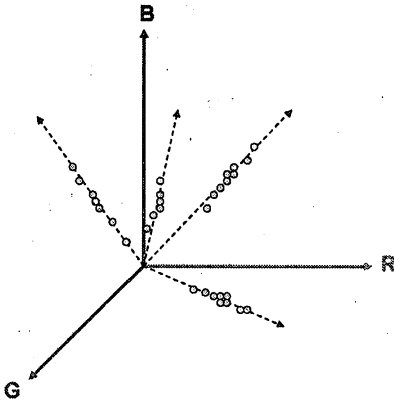


図4 色の分布の例

なのでRGB空間上のベクトル  $k_d = (k_{d,r}, k_{d,g}, k_{d,b})$  と見なせる。さらに  $n \cdot i = a$  をスカラー値の変数と見なす。以上から、反射属性  $B = (k_d, k_s, \alpha)$  によって反射されるRGB値は、 $a k_d$ となる。例えば、対象物体が4種の反射属性で構成されていれば、図4のように、原点を始点とした4本の直線状に分布する。

色分布の特徴を利用することにより、入力画像のRGB値で反射属性をクラスタリングすることが可能となる。本研究では、鶴間<sup>7)</sup>が提案している、自己組織化マップ(Self Organization Map:SOM)によるクラスタリングを用いた。SOMは、入力データ集合を低次元にマッピングするアルゴリズムであり、クラスタリングにも応用可能である。加えて、鶴間は、入力データの距離関数として次式のような方向余弦距離を

提案している。

$$distance(x,y) = \arccos \frac{x \cdot y}{|x||y|} \quad (2)$$

式(2)は、ベクトルをスカラー一倍しても等しいものと見なす。ゆえに図4のようなデータをクラスタリングするのに有効であると言える。

本提案手法では、このようなSOMによるクラスタリングを全ての入力画像について同時に行う。すなわち、入力画像と同数のクラスタリング結果画像ができる。

### 2.3 初期反射属性

本項では、初期反射属性の決定方法について述べる。初期反射属性を決定するためには、“三角形への反射属性クラスの割り当て”と“反射属性クラスの初期パラメータ決定”という2つのプロセスを踏む。以下では、それぞれのプロセスについて詳細に説明する。

#### 2.3.1 三角形への反射属性クラスの割り当て

各三角形に反射属性のクラスを割り当てる方法を述べる。反射属性のクラスとは、2.2で述べた、反射属性のクラスタリング結果のクラスである。

三角形と反射属性のクラスを関連付ける方法は、単純に、三角形の重心を撮影画像上に投影し、その位置のRGB値が属すクラスに割り当てることである。理想的には、ある1つの三角形は、すべての入力画像について同じクラスに割り当てられることである。しかし、実際には、次の2つの理由により、必ずしも全ての入力画像に対して同じクラスに割り当てられるとは限らない。

(1) 同じ位置にある三角形であっても、視点が異なれば輝度が異なる

(2) 2.1で決定した、三角形の位置が正しくない  
2つの理由のうち、1つ目については、2.2で述べた工夫により、改善される。しかし、鏡面反射の影響を受けた場合は、やはり異なるクラスに割り当てられてしまう。2つ目についても、十分起こりえる問題である。2.1で述べた、初期形状の生成アルゴリズムは、“多視点から観測したシルエットの外に物体がはみ出ない”という制約を満たすだけの形状である。すなわち、大体の形状は似ていても、完全に正確な形状からは離れている。

この問題を解決するために、本提案手法では、多数決を用いた。ある視点  $v$  での撮影画像における三角形  $t$  の反射属性クラスが  $c$  と判定されたとする。これを

$s$  を用いて

$$s(v, t, c) = \begin{cases} 1 & (\text{視点 } v \text{ での撮影画像における} \\ & \text{三角形 } t \text{ の反射属性クラスが } c \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (3)$$

と表現する。今、視点の集合を  $V$ 、反射属性クラスの集合を  $C$  とする。このとき、三角形  $t$  が属すクラスは次式で決定する。

$$\max_{c \in C} \sum_{v \in V} s(v, t, c) \quad (4)$$

本手法の良い点は、鏡面反射の影響を緩和できる点である。例えば、いくつかの視点で、間違ったクラスに判別されたとしても、その他の視点で正しいクラスに判定されていれば修正されるということである。さらに、単純な多数決ではなく、重み付けの投票を行うことで、精度は向上する。鏡面反射は、一般的に白色として現れる。ゆえに彩度に比例するような重み付けを行うことで、より鏡面反射の影響を避けることができる。彩度は、白色や黒色、灰色を無色 (=0) と定義して、無色からどれだけ離れているかを表す値である。本研究では HSV 表色系の S 成分を彩度として利用した。

### 2.3.2 反射属性クラスの初期パラメータ

今、決定したい反射属性のパラメータは、2.2 で述べた反射モデルに含まれる、反射属性に関するパラメータである。再度、ここで確認すると、次の7つのパラメータである。

- $k_{d,r}$ : 拡散反射 R 成分重み
- $k_{d,g}$ : 拡散反射 G 成分重み
- $k_{d,b}$ : 拡散反射 B 成分重み
- $k_{s,r}$ : 鏡面反射 R 成分重み
- $k_{s,g}$ : 鏡面反射 G 成分重み
- $k_{s,b}$ : 鏡面反射 B 成分重み
- $\alpha$ : 輝かしさ (鏡面反射に関する値)

SOM によって RGB 値を学習することによって、SOM の各ユニットが反射属性クラスを表すようになる。また、SOM の各ユニットが保持する重みベクトルは、ユニットに属す RGB 値を代表するベクトルとなっている。すなわち、重みベクトルは拡散反射に強く影響された RGB 値になると考えられる。そこで、本提案手法では、ユニットの重みベクトルを反射属性クラスの拡散反射成分の重みとする。一方、鏡面反射に関するパラメータ ( $k_{s,r}, k_{s,g}, k_{s,b}, \alpha$ ) は、SOM の結果から推察することは難しい。本研究では、鏡面反射に関するパラメータは、一般的な特性に従って決定する。鏡面反射は、一般的に白い光となる。ゆえに鏡面反射

成分の重みは  $k_s = k(1, 1, 1)$  となる値を設定した。本研究では、 $k = 0.5$  と設定した。 $\alpha$  は 1 以上の値になり、ハイライト部分が狭く強く現れるときは大きい値 (20~) になる。本研究では、 $\alpha = 20$  とした。

以上で、反射属性の全てのパラメータの初期値が決定した。しかし、鏡面反射に関するパラメータについては、 $k = 0.5, \alpha = 20$  に決定した論理的理由は無く、この値を決定する方法は今後の課題の 1 つである。

### 2.4 形状推定と反射属性推定

本研究では、6) の手法を参考に形状推定と反射属性の推定を行った。以下では、まず 2.4.1 で最適化問題と等価な問題へと導く。次に 2.4.2 で最適化問題の解法について述べる。

#### 2.4.1 最適化問題への帰着

求めたい未知数である形状を  $S$ 、反射属性を  $B$  とパラメータ表現する。 $S, B$  を適当に定めたならば、レンダリングすることができる。レンダリングした画像と入力画像が一致したとき、 $S, B$  が求められたということになる。すなわちレンダリング画像と入力画像の相違度を数値化することによって、最適化問題として  $S, B$  を求めることができる。

形状  $S$  は頂点集合  $V$  と三角形ポリゴンの集合  $T$  で表す。頂点集合は  $V = \{V_k | k = 1 \dots m\}$ 、三角形ポリゴンの集合は頂点を用いて  $T = \{T_i = (V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}) | i = 1 \dots n\}$  と表す。法線を  $n$ 、視線を  $v$ 、光源情報のパラメータを  $L$  とする。これらのパラメータを用いて反射輝度を  $R(v, n, L, B)$  と表す。 $R$  は 2.2 でした説明した式 (1) である。三角形ポリゴン  $T_i$  の法線を  $n_i, T_i$  の重心から  $j$  番目の視点へのベクトル  $v_j^i$  とする。このとき  $R_j^i = R(v_j^i, n_i, L, B)$  と定義する。そして 1 つの三角形ポリゴンの平均輝度を  $R_j^i$  で近似する。 $I^j$  を  $j$  番目の入力画像とする。 $I^j$  に投影された三角形ポリゴン  $T_i$  の平均輝度を  $I_j^i$  とする。ここで全てのポリゴン  $i$ 、視点  $j$  について  $R_j^i$  (= 推定による輝度) と  $I_j^i$  (= 入力画像の輝度) が等しくなる  $S, B$  を求めたい。したがって、 $R_j^i$  と  $I_j^i$  の残差の二乗和によって相違度を定義すればよい。さらに残差にポリゴンの面積による重み付けを行う。以上より相違度を次のように定義する。

$$Err(S, B) = \sum_j \sum_i [(I_j^i - R_j^i) s_i^j]^2 \quad (5)$$

$s_i^j$  は三角形ポリゴン  $T_i$  が  $j$  番目の入力画像に投影されたときの面積である。2 次元座標上の 3 点  $(0, 0), (a, b), (c, d)$  に囲まれた三角形の面積は  $|ad - bc|/2$  である。

以上のプロセスを経て、最適化問題へと帰着した。次項では最適化問題の解法について述べる。

### 2.4.2 最適化問題の解法

ここでは、前項で導いた最適化問題の解法について述べる。最適化手法には共役勾配法を用いる。共役勾配法は他の最適化手法(シンプレックス法, Powell法, BFGS法)と比べて作業領域が少なく済む点で優れている<sup>3)</sup>。共役勾配法はパラメータ数  $N$  に対して  $O(N)$  のメモリで済む。しかし、その他の手法では  $O(N^2)$  のメモリを消費するため実用的でないと判断した。(形状を表すパラメータの数は三角形の数  $\times 3$ (=頂点数)  $\times 3$ ( $x, y, z$  座標値)である。)

なお、共役勾配法は関数の勾配(1階偏導関数)を任意の点で計算できなければならない。すなわち式(5)を微分したい。そこで、 $(I_i^T - R_i^T)s_i^T$  の微分を次式のように展開する。

$$((I - R)s)' = (I - R)'s + (I - R)s' \quad (6)$$

$$= (I' - R')s + (I - R)s' \quad (7)$$

なお、 $I_i^T$  は  $I, R_i^T$  は  $R, s_i^T$  は  $s$  と省略している。次に  $I', R', s'$  を求める必要がある。ここで頂点で微分する場合と反射属性で微分する場合とに分けて考える。頂点で微分する場合は、単純に有限差分法を用いる。反射属性で微分する場合は、 $I, s$  は定数であるため、 $(I - R)s' = -R's'$  である。ここで  $R$  は式(1)である。このうち反射属性に関するパラメータである  $k_d, k_s, \alpha$  について微分すると以下ようになる。

$$\frac{\partial R}{\partial k_s} = L(n \cdot l) \quad (8)$$

$$\frac{\partial R}{\partial k_d} = L(v \cdot l_s)^\alpha \quad (9)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \alpha} = L(\log v \cdot l_s)(v \cdot l_s)^\alpha \quad (10)$$

以上のようにして  $((I - R)s)'$  が求められた。ゆえに  $[(I - R)s]^2$  の微分は  $2((I - R)s)((I - R)s)'$  となり、式(5)の微分が求められた。

ところで、図1に示した提案手法の手順では、形状推定と反射属性推定のタスクを別々に分けた。形状のパラメータと反射属性のパラメータは性質が大きく異なるので、別々のプロセスで最適化を実行するべきと考えたからである。

### 3. 実験・評価

本提案手法で評価すべきポイントは2つある。事前に撮影画像のみで反射属性をクラスタリングした結果の評価と、自動生成された3Dモデルを使用してレンダリングした画像と実物の比較である。以下では、それぞれの評価について述べていく。

実験には、図5の3つのオブジェクトを用いた。左からオブジェクトA、オブジェクトB、オブジェクト

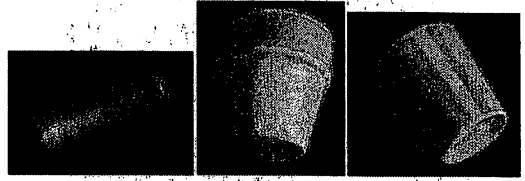


図5. 実験用オブジェクト

Cと呼ぶことにする。オブジェクトAはコンピュータで生成したCGで、オブジェクトB,Cは実物のコップを撮影した画像である。

#### 3.1 反射属性クラスタリングの結果

クラスタリングの結果が正しくなければ、最終結果も正しくならない。したがって、クラスタリング結果の評価は重要である。ただし、クラスタリングが正確にできているかどうかの評価は難しい。そこでクラスタリング結果の画像をいくつか示すと共に、筆者が全ての画像のクラスタリング結果を見て全体的に評価する。図6、図7、図8に結果を示した。上段・左の列が入力画像、上段・右の列がクラスタリング結果、下段が初期形状に反射属性クラスを割り当てた結果である。クラスタリング結果に注目すると、鏡面反射の影響を受けた部分は、別の反射属性クラスとして領域分割されてしまっている。しかし、重み付け投票を用いることにより、鏡面反射の影響を受けることなく、正しく反射属性クラスを割り当てられていることが確認できる。

#### 3.2 形状・反射属性推定の結果

本研究の目的は、写真画像から実物の3Dモデルを自動的に生成し、CGコンテンツの作成を手助けすることである。したがって、本提案手法によって自動生成された3Dモデルが必ずしも実物と一致している必要性はなく、見目が実物と同じになればよい。ただし、レンダリング画像と実物を人間が見比べて評価すると客観性が損なわれてしまう。そこで、レンダリング画像と実物の画像について、ピクセル単位での差分の平均値(average error per pixel: AEPP)を以下のように定義し、客観的指標とする。

$$\frac{\sum_{(x,y)} \sum_{c \in \{R,G,B\}} |I_c(x,y) - R_c(x,y)|}{\text{ピクセル数} \times 3} \quad (11)$$

なお、各色成分の輝度は  $[0, 1]$  の区間に正規化する。

図9、図10、図11は、各オブジェクトについて、復元した3次元モデルをレンダリングした画像である。表1は、それらの画像を元にAEPPを算出したものである。CGを入力画像としたオブジェクトAが最も良い精度を示した。様々な要因が考えられるが、もつ

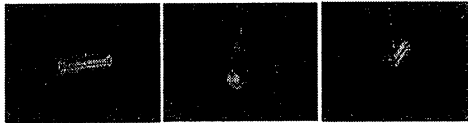
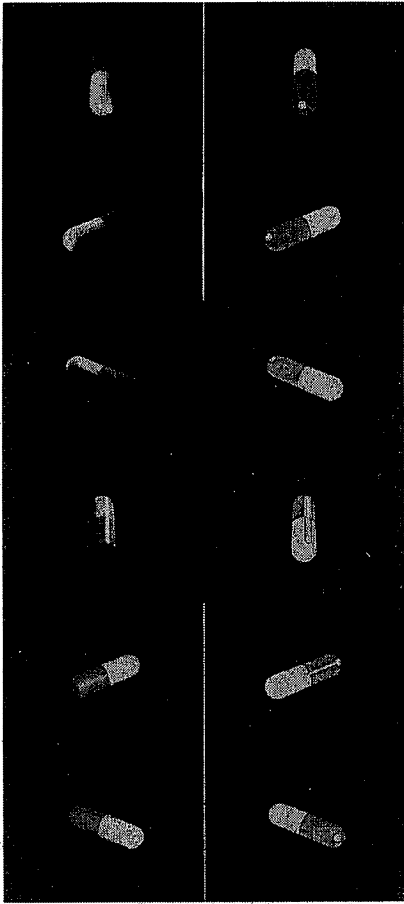


図 6 反射属性クラスタリング結果-オブジェクト A

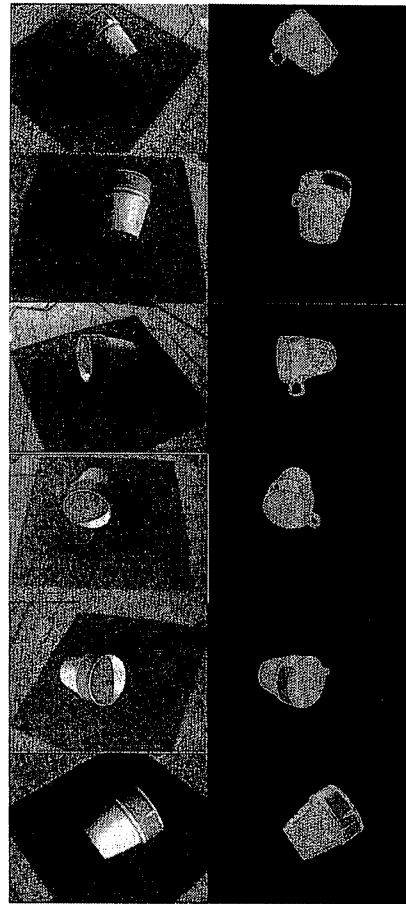


図 7 反射属性クラスタリング結果-オブジェクト B

とも大きい要因は，“形状が単純である”ことと，“反射属性の分布が単純である”ことであると考えられる。すなわち，反射属性のクラスタリングと初期形状の精度が良かったからである。しかし，オブジェクト B やオブジェクト C は，オブジェクト A と比較して，反射属性のクラスタリングと初期形状の精度がともに悪い。反射属性クラスタリングは暗い部分で精度が悪く

なり，形状はコップの取っ手部分や内側部分において不正確となりやすい。このような場合，2.3 で述べたように，三角形と反射属性クラスの割り当てが不正確となり，最終結果に悪影響を及ぼす。

#### 4. おわりに

本研究では，事前に反射属性をクラスタリングを行うことによって，複数の反射属性を扱える SFS ベース手法を提案した。また，実験によって本提案手法の有効性を確認することができた。しかし，どんな物体に対しても精度のよい結果が得られるわけではない。3.2 で述べたように，反射属性のクラスタリングと初

表 1. 各オブジェクトの AEPP

	average error par pixel(AEPP)
オブジェクト A	0.033
オブジェクト B	0.104
オブジェクト C	0.077

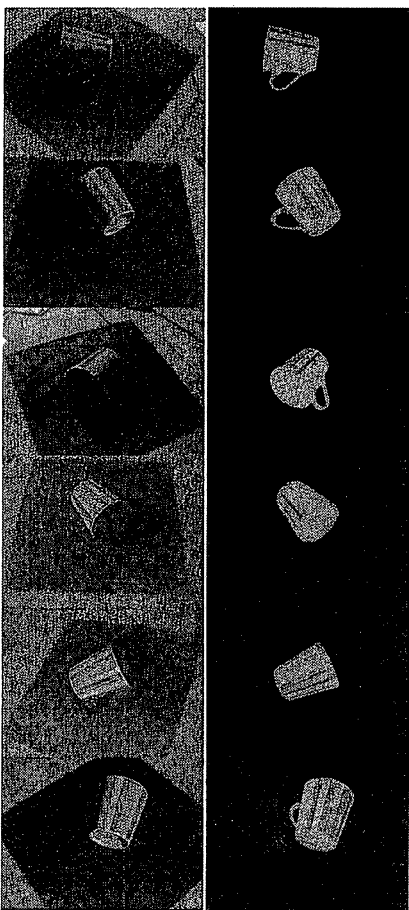


図 8 反射属性クラスタリング結果-オブジェクト C

期形状の精度が最終結果に影響及ぼす。反射属性クラスタリングと初期形状の精度向上を今後の課題として研究していきたい。

### 参 考 文 献

- 1) Bui-T. Phong: "Illumination for computer generated pictures", Communication of the ACM Vol.18, No.6, pp.311-317(1975)
- 2) William.E.Lorensen and Harvey.E.Cline: "Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", Computer Graphics(SIGGRAPH 1987) Vol. 21, No. 4, pp.163-169 (1987)

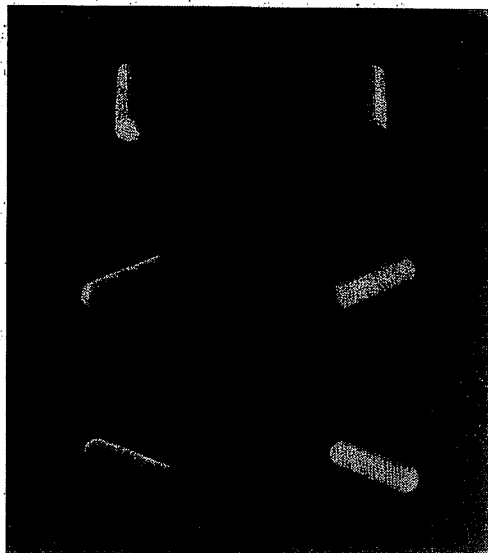


図 9 復元結果-オブジェクト A

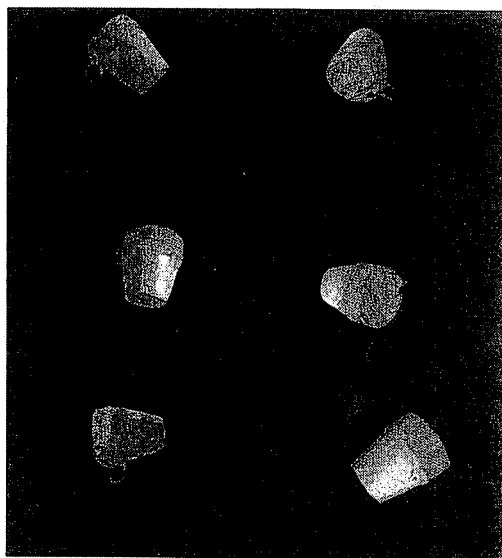


図 10 復元結果-オブジェクト B

- 3) W.H.Press, B.P.Flannery, S.A.Teukolsky and W.T.VetterLing: Numerical Recipes in C[日本語版] C 言語による数値計算のレシピ, pp. 295-316, (株) 技術評論社 (1993)
- 4) Y.Sato, M.D.Wheeler and K.Ikeuchi: "Object shape and reflectance modeling from observation", Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp.379-388(1997)

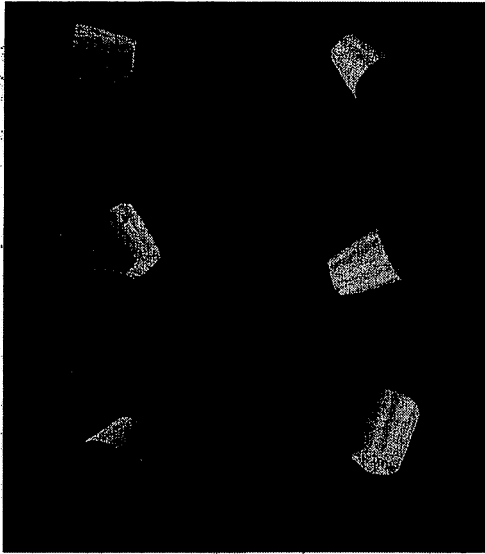


図 11 復元結果-オブジェクト C

- 5) A.Hertzmann and S.Seitz: "Shape and Materials by Example: A Photometric Stereo Approach", Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings. 2003 IEEE Computer Society Conference, Vol. 1, pp. 533-540(2003)
- 6) Tianli Yu, Ning Xu and Narendra Ahuja : "Recovering shape and reflectance model of non-lambertian objects from multiple views " , Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. Proceedings. 2004 IEEE Computer Society Conference, Vol.2, pp.226-233(2004)
- 7) 鶴間 浩二, 前田 純治: "自己組織化マップを用いたカラー量子化に基づく画像の領域分割", 信学技法, Vol.104, No.646, pp.57-62(2005)