

## 反射光解析に基づく織布の微細表面形状モデリング

武田 祐樹<sup>†</sup> 田中 弘美<sup>†</sup>

観測した反射光解析に基づき、織布の微視的な表面幾何構造を推定する手法を提案する。提案する織布の表面幾何モデルに含まれる糸表面の凹凸、織りにより糸が成す織布の表面形状を反射光解析より抽出する。織布はその表面幾何構造の複雑さから異方性反射特性を持つ。織布の異方性反射特性を表現するためには、任意の入射方向の入射光に対する任意の視線方向への反射光の比率を表す双方向反射分布関数 (BRDF) が必要である。しかし、BRDF を獲得するためには任意の入射・反射方向の組み合わせが考えられ、膨大な計測が必要である。我々は、織布表面の微視的表面幾何構造に注目し、入射方向を 1 方向に固定した反射光の解析から織布の微視的な表面幾何構造を推定する。織布の表面幾何モデルから表面で起こる遮蔽 (masking) をモデル化する。反射光解析から織布の表面幾何モデルを用いて表面幾何構造を推定し、微視的表面幾何構造を復元する。

### Image-based Modeling of the Micro Surface Geometry of Woven Fabrics based on the Reflectance Analysis

YUKI TAKEDA<sup>†</sup> and HIROMI T. TANAKA<sup>†</sup>

We estimate the micro surface geometry of woven fabrics based on reflection to generate the Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF). We consider the relationship between the surface model of woven fabrics and masking. We apply our masking model to Cook-Torrance model to generate the BRDF. The reflectance generated from our model compare with the measured reflectance. The experimental result shows the effectiveness of our model.

#### 1. はじめに

最近ではコンピュータグラフィクス (CG)・コンピュータビジョン (CV) 研究による 3 次元視覚情報処理技術の進展により、貴重な文化財や文化遺産のデジタル記録・保存、デジタルアーカイブ化・コンテンツ化の研究が精力的に進められている。博物館等の所蔵する資料や文化財には、能装束や衣裳等の様な布物体が存在する。布物体の変形、光沢や質感は素材に固有且つ独特であり、これを忠実に再現することが CG や CV における重要な課題である。

物体表面の反射特性は、任意の光源からの入射光と任意の視方向への反射光の比率として、双方向反射分布関数 (BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function)<sup>3)</sup> により記述される。Ashikhmin らは、布地の微視的幾何構造 (micro facet geometry) を基にした布の異方性反射を表す BRDF を生成し、布表面の微視的幾何構造から反射特性を求め、サテンや

ベルベットをモデル化しレンダリングした結果を報告している<sup>1)</sup>。また、Yang らは、織られた糸断面の凹凸形状による影・遮蔽 (Shadowing/Masking) をモデル化し高精度の BRDF を生成する手法<sup>10)</sup> を提案している。しかし、画像計測から自動的にそれらのパラメータを抽出する方法は提案されていない。

一方、竹村らは全方位型の光学異方性測定装置を開発し、多数の入射方向と視方向の組み合わせによる計測データから BRDF を獲得し可視化する方法を提案した<sup>9)</sup>。また、Ngan らは Ashikhmin の反射モデル<sup>1)</sup> を用い、BRDF 計測データから対象物体の微視的幾何構造を抽出する方法を提案した<sup>4)</sup>。しかし、いずれの手法も高精度の BRDF を獲得するためには、膨大な数の計測データを必要としている。

我々は、織布表面の微視的表面幾何構造に注目し、入射方向を 1 方向に固定した反射光の解析から織布の微視的な表面幾何構造を推定する。織布の表面幾何モデルから表面で起こる遮蔽 (Masking) をモデル化し、Cook-Torrance モデル<sup>2)</sup> に適用し反射モデルを生成する。反射光解析から織布表面の表面幾何を求め、微視的表面幾何構造を復元する。

<sup>†</sup> 立命館大学  
Ritsumeikan University

## 2. 織布の幾何構造

布地の最小構成単位は繊維 (fiber) で、一般に、繊維は太さに対して十分な長さをもつ。繊維を数十から数百本集めて束にした一本を単位糸または単糸 (unit string) という。絹やナイロンなどの長い繊維は撚りがかけられずに、繊維がほぼ並行に並んでいるものが多く、これをフィラメント糸 (filament string) という。一方、木綿などの短い繊維は撚りをかけて、繊維と繊維をつなぐ事により、長い糸を構成する。これをスパン糸 (spun string) という。単糸が一本または数本集まり、一般に呼ばれる糸 (string) となる。布の織り方は様々であるが、平織り・あや織り・朱子織り (サテン) の三原組織が代表的である。縦糸横糸を交互に織り重ねたものを平織り、縦糸横糸の交差が斜めの方向に表れるように織られたものをあや織り、縦糸横糸5本以上で織られたものを朱子織りという。サテンは縦糸または横糸が表面に多く出る。

本研究においては、図1(a)に示すように、シルクライクな無彩色 (黒色) のポリエステルサテンを対象織布とする。これは撚りがかかっているフィラメント糸の断面が三角形形状で、且つ朱子織りであるため、縦糸横糸の直交二軸性に基づく布の微視的幾何構造の要因が明らかであり、安定に画像計測できることが期待されるためである。

図1(b)には、尾張繊維技術センターの織物構造シミュレーションソフト<sup>5)</sup>で生成したサテンの織り構造を示す。ただし、糸の形状は円柱と仮定している。図2には、縦糸・横糸方向の布地構造の断面図を示す。図2(a)の縦糸方向の断面図から、表面の法線はほぼ鉛直方向に分布していることが分かる。一方、図2(b)の横糸方向の断面図から、表面が円形状の集まりと考えられ、法線は方向に寄らずほぼ一定に分布すると考えられる。

## 3. 反射特性

まず、本研究で用いる織布の双方向反射分布関数 (BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function) を定義する。次に、本手法で用いる Cook-Torrance モデルを紹介し、BRDF 計測を行う実験環境について述べる。

### 3.1 双方向反射分布関数 (BRDF)

物体表面の反射特性は、任意の入射方向の入射光に対する任意の視線方向への反射光の比率とする BRDF で記述できる。図3に BRDF の幾何関係を示す。BRDF は球座標で定義され、入射方向  $(\theta_i, \phi_i)$  からの放射照

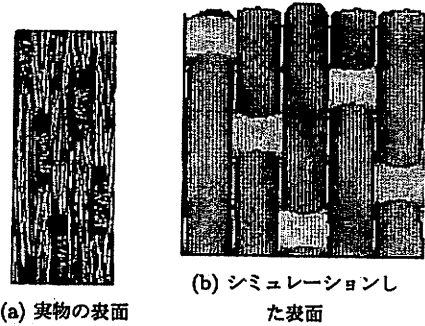


図1 ポリエステルサテンの織り構造  
Fig.1 Weave of polyester satin.

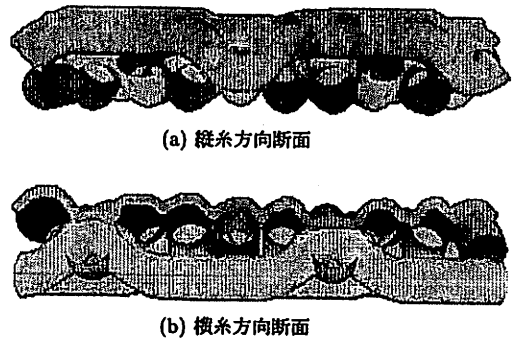


図2 織り方向の違いによる断面形状の違い  
Fig.2 Difference of surface geometry between weft and warp dir.

度 ( $W/m^2$ ) に対する視方向  $(\theta_r, \phi_r)$  方向の放射輝度 ( $W/m^2sr$ ) の比として定義される。BRDF は、式 (1) により記述される<sup>3)</sup>。

$$\rho_{bd}(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \phi_i) = \frac{dL_r(\theta_r, \phi_r)}{dE_i(\theta_i, \phi_i)} = \frac{dL_r(\theta_r, \phi_r)}{L_i(\theta_i, \phi_i) \cos(\theta_i) d\omega_i} \quad (1)$$

ただし、 $E_i(\theta_i, \phi_i)$  は入射した放射照度、 $L_i(\theta_i, \phi_i)$  は光源ベクトル  $\mathbf{L}$  の方向から立体角  $d\omega_i$  で入射した放射輝度、 $L_r(\theta_r, \phi_r)$  は視点ベクトル  $\mathbf{V}$  の方向に反射される放射輝度である。本研究では、X, Y, Z 座標軸をそれぞれ織布の横糸・縦糸・法線方向としている。入射角  $\theta_i$  は  $\mathbf{N}$  と  $\mathbf{L}$  のなす角、入射方位角  $\phi_i$  は XY 平面上で X から L の角度、入射方向は  $(\theta_i, \phi_i)$ 、視角  $\theta_r$  は  $\mathbf{N}$  と  $\mathbf{V}$  のなす角、視方位角  $\phi_r$  は XY 平面上で X から V の角度、視方向は  $(\theta_r, \phi_r)$  である。また、 $\mathbf{L}$  と  $\mathbf{V}$  の平均ベクトルをハーフベクトル  $\mathbf{H}$  と呼ぶ。

### 3.2 Cook-Torrance モデル

Cook ら<sup>2)</sup> は、物体表面の微小面分布を基に鏡面反

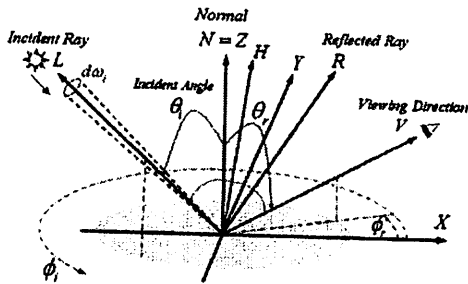


図3 BRDF 幾何  
Fig.3 Geometry of BRDF.

射  $\rho_s$  を表現するモデルを提案した.

$$\rho_s(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \phi_i) = \frac{\text{DGF}}{\cos\theta_i \cos\theta_r}, \quad (2)$$

ただし,  $D$  は微小面分布,  $G$  は影・遮蔽 (Shadowing/Masking) を表す幾何減衰,  $F$  はフレネル項を示す. BRDF は 2 色性反射モデル<sup>7)</sup> に従い, 拡散反射成分  $\rho_d$  に Lambert モデルを適用し, 以下のように示された.

$$\rho_{bd}(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \phi_i) = k_s \frac{\text{DGF}}{\cos\theta_i \cos\theta_r} + k_d \cos\theta_i, \quad (3)$$

Cook-Torrance の反射モデルは, 等方性反射特性を表現する. 従来より, 物体表面で起こる反射と影・遮蔽のモデル化が行われてきた. Ashikhmin らは  $G$  の近似により, Cook-Torrance の反射モデルを異方性反射特性へ拡張した<sup>1)</sup>. 我々は, Cook-Torrance の反射モデルに基づき, 織布の微視的表面形状を表す  $D$ , 及び  $G$  を導出する.

### 3.3 全方位型光学異方性反射特性測定装置

図 4 に, 本論文の実験で使用した全方位型光学異方性反射測定装置 (OGM: Optical Gyro Measuring Machine) を示す. 画像計測には解像度  $2272 \times 1704$  ピクセル, 有効画素数約 400 万画素のデジタルカメラ Canon PowerShot S40 を使用した. 光源にはメタルハライドランプ 180W (外部調光機能付) の LS-M180FB を使用した. OGM は, 光源 2 軸, カメラ 1 軸, ステージ 1 軸, 合計 4 軸の回転自由度を持つ. これらの自由度を組み合わせることにより, 対象物に対しあらゆる入射方向, 視方向からの計測が可能である. 測定は環境光を取り除くために暗室にて行う. また, 撮影した画像の中心  $16 \times 16$  ピクセル領域の平均輝度値を反射光  $Lv_{\text{measured}}$  とした. さらに, 光源に依存しない反射率を求めるために, 織布の反射光の標準白色板の反射光  $Lv_{\text{standard}}$  に対する比を織布の反射率  $\rho_{bd}$  とする.  $\rho_{bd}$  の定義を式 (4) に示す.

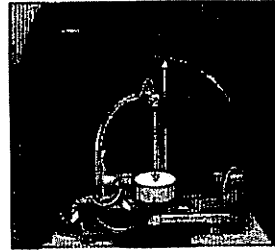


図 4 全方位型光学異方性反射測定装置 (OGM)  
Fig.4 Optical gyro measuring machine(OGM).

viewing distance  
380mm  
Power Shot S40 (Canon)  
2272 × 1704 pixels  
lighting distance  
524mm  
LS-M180FB  
(metal halide lamp)

$$\rho_{bd} = \frac{Lv_{\text{measured}}}{Lv_{\text{standard}}} \cdot \frac{\rho_{\text{standard}}}{\pi}, \quad (4)$$

ただし,  $\rho_{\text{standard}}$  は標準白色板の反射率である.

## 4. 織布の糸表面で起こる反射と遮蔽

我々は, 織布表面の形状は, 縦糸方向・横糸方向の断面形状から表現できることに注目する. 図 2 に示したように, 織布の表面形状は縦糸方向・横糸方向の断面形状の繰り返しである. 以下, 縦糸方向・横糸方向の断面における表面の微小面分布関数  $D$  及び, 縦られた糸間による凹凸で起こる遮蔽  $G$  を求める. ただし, 光の入射を織布の法線方向と限定することで, 影を無視し遮蔽だけを考えればよい. 織布断面における表面形状を定義する. 次に, 表面形状モデルにおける遮蔽をモデル化し, Cook-Torrance モデルを用い, 鏡面反射を導く. また拡散反射にも影・遮蔽を考慮し, モデル化を行う.

### 4.1 織布の表面形状モデル

Yang ら<sup>10)</sup> は, 織布の表面形状モデルから遮蔽をモデル化した. しかし, その表面形状モデルは平織りだけを考慮しており, 一般的な織布の構造を表現するものではない. 一方我々は, サテンの表面形状に注目し, 平織り・あや織り・サテンの三原組織の表面形状を近似した表面形状モデルを提案する. 図 5, 6 に提案する織布の表面形状モデルを示す. Yang らの表面形状モデルには長さ  $m$  の辺が存在しない. しかし, 図 2(a) を見れば, サテンの縦糸方向断面における表面形状を表現するためには長さ  $m$  の辺が必要である. なお,  $m$  の長さを変えることにより, 平織り・綾織り・サテンの縦糸方向断面における表面形状が表現できる.

我々の提案する織布の表面形状モデルは円柱の糸で縦られた布の表面を近似している. しかし, 本来糸は繊維が複数束ねられ, よられているため, 糸表面は滑らかでない. ゆえに, 糸表面の微小面分布  $D$  は方向によらず一定にはならない. よって,  $D$  は法線の傾

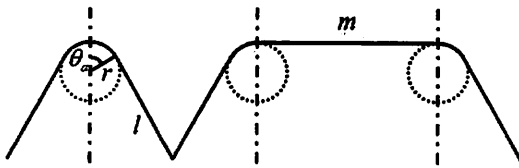


図5 縦糸方向の表面幾何モデル  
Fig. 5 The surface geometry model in the warp dir.

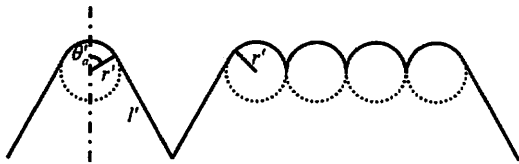


図6 横糸方向の表面幾何モデル  
Fig. 6 The surface geometry model in the weft dir.

きにより一定値をとらない。最適な  $D$  は実験で決定する。

#### 4.2 縦糸方向の表面形状モデルにおける遮蔽

凸表面における遮蔽を考える。ただし、光源入射方向は物体に対し、鉛直方向であると仮定する。微小面に入射する光が遮られず、Shadowing が起こらないためである。提案する表面幾何モデルで起こる遮蔽は、視線の傾きにより以下の3通りが考えられる。

- (i) 遮蔽が起こらない場合  
視線の傾き  $\theta_r$  が  $0 \leq \theta_r < \frac{\pi}{2} - \theta_a$  の場合、遮蔽は起こらないため、 $G = 1$  である。
- (ii) 斜面の直線上で遮蔽が起こる場合  
 $\theta_r$  が  $\frac{\pi}{2} - \theta_a \leq \theta_r < \theta_1$  の場合、長さ  $l$  の直線上で遮蔽が起こる。この遮蔽を  $G_1$  とする。ただし、 $\theta_1$  は、直線上の遮蔽の長さ  $L_1$  が  $L_1 = l$  となる視線の傾きである。
- (iii) 円弧上で遮蔽が起こる場合  
 $\theta_r$  が  $\theta_1 \leq \theta_r \leq \frac{\pi}{2}$  の場合、半径  $r$  の円弧上で遮蔽が起こる。この遮蔽を  $G_2$  とする。

図7, 8, 9に示すように、 $L_1$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  の長さ  $\theta_r$  の関係式を求めれば遮蔽が求まる。以上より、縦糸方向の表面形状モデルにおける遮蔽  $G$  は以下の式で表される。

$$G = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq \theta_r < \frac{\pi}{2} - \theta_a \\ G_1 & \text{if } \frac{\pi}{2} - \theta_a \leq \theta_r < \theta_1 \\ G_2 & \text{if } \theta_1 \leq \theta_r \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (5)$$

ただし、

$$G_1 = \frac{2(l - L_1) + 2a + 2a_1 + m}{4l + 4a + m} \quad (6)$$

$$G_2 = \frac{2a_2 + 2a_1 + m}{4l + 4a + m} \quad (7)$$

$$a = r\theta_a \quad (8)$$

なお、式(5)における  $\theta_1$ 、及び式(6), (7)における  $L_1$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  を求める詳細は、文献<sup>8)</sup>に記す。

#### 4.3 横糸方向の表面形状モデルにおける遮蔽

前節と同様に、横糸方向の表面形状モデルにおける遮蔽を考える。遮蔽は、視線の傾きにより以下の3通りに分かれる。

- (iv) 縦糸表面の円弧上で遮蔽が起こる場合  
視線の傾き  $\theta_r$  が  $0 \leq \theta_r < \frac{\pi}{2} - \theta'_a$  の場合、縦糸表面の円弧上で遮蔽が起こる。この遮蔽を  $G'_0$  とする。
- (v) さらに斜面の直線上で遮蔽が起こる場合  
 $\theta_r$  が  $\frac{\pi}{2} - \theta'_a \leq \theta_r < \theta'_1$  の場合、長さ  $l'_1$  の直線上で遮蔽が起こる。この遮蔽を  $G'_1$  とする。ただし、 $\theta'_1$  は、直線上の遮蔽の長さ  $L'_1$  が  $L'_1 = l'_1$  となる視線の傾きである。
- (vi) さらに横糸表面の円弧上で遮蔽が起こる場合  
 $\theta_r$  が  $\theta'_1 \leq \theta_r \leq \frac{\pi}{2}$  の場合、円弧上で遮蔽が起こる。この遮蔽を  $G'_2$  とする。

図7, 8, 9, 10に示すように、 $L'_1 (= L_1)$ ,  $a'_0$ ,  $a'_1 (= a_1)$ ,  $a'_2 (= a_2)$  の長さ  $\theta_r$  の関係式を求めれば遮蔽が求まる。以上より、横糸方向の表面形状モデルにおける影・遮蔽  $G$  は以下の式で表される。

$$G = \begin{cases} G'_0 & \text{if } 0 \leq \theta_r < \frac{\pi}{2} - \theta'_a \\ G'_1 & \text{if } \frac{\pi}{2} - \theta'_a \leq \theta_r < \theta'_1 \\ G'_2 & \text{if } \theta'_1 \leq \theta_r \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (9)$$

ただし、

$$G'_0 = \frac{4l' + 4a' + (n-1)(a'_0 + a'_1)}{4l' + 4a' + (n-1)(2a')} \quad (10)$$

$$G'_1 = \frac{2(l' - L'_1) + 2a' + 2a'_1 + (n-1)(a'_0 + a'_1)}{4l' + 4a' + (n-1)(2a')} \quad (11)$$

$$G'_2 = \frac{2a'_2 + 2a'_1 + (n-1)(a'_0 + a'_1)}{4l' + 4a' + (n-1)(2a')} \quad (12)$$

$$a' = r'\theta'_a \quad (13)$$

なお、式(9)における  $\theta'_1$ 、及び式(10), (11), (12)における  $L'_1$ ,  $a'_0$ ,  $a'_1$ ,  $a'_2$  を求める詳細は、文献<sup>8)</sup>に記す。

#### 4.4 凸表面における遮蔽を考慮した拡散反射光

従来、拡散反射を表現するために Lambert モデルが採用されてきた。我々は、微小面上で起こる反射は正反射および、方向に寄らず均一に拡散する反射と考えた。よって、入射光が織布に対し、鉛直方向から入射した場合の拡散反射  $\rho_d^0$  は以下のように表せる。

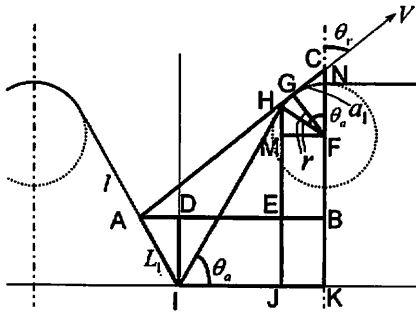


図7 斜面の直線上で影・遮蔽が起こる場合

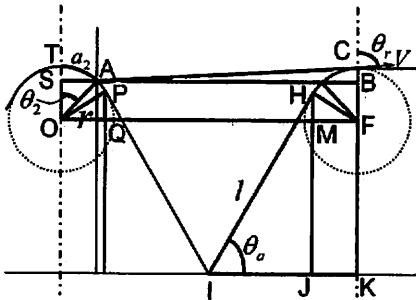


図8 離れた円弧上で影・遮蔽が起こる場合

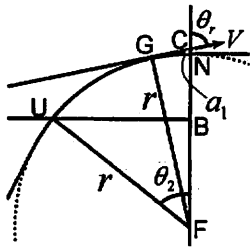


図9 離れた円弧上で影・遮蔽が起こる場合(拡大図)

$$\rho_d^0 = dG, \quad (14)$$

ただし、 $d$ は任意の係数とする。

#### 4.5 織布のBRDF

我々が提案するBRDFは以下である。

$$\rho_{bd}(\theta_r, \phi_r, 0, \phi_i) = k_s \frac{DGF}{\cos\theta_r} + k_d dG, \quad (15)$$

$$\phi_i = 0, \pi/2, \quad (16)$$

$$\phi_r = \phi_i, \phi_i + \pi, \quad (17)$$

ただし、視方向は $(\theta_r, \phi_r)$ である。 $D$ は微小面分布、 $G$ は影・遮蔽(Shadowing/Masking)を表す幾何減衰、 $F$ はフレネル項を示す。

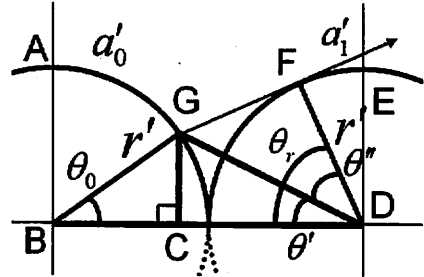


図10 接する円弧上で影・遮蔽が起こる場合

## 5. 実験

ポリエステルサテン布を対象布とし、実測した反射光データと本手法の比較評価を行う。反射光データは入射方向を布の法線方向とし、視点方向を縦糸及び横糸方向において視点角度 $\theta_r$ を0度から87度まで3度ずつずらし反射光を獲得した。また、式(15)において、微小面分布 $D$ を縦糸方向では

$$D = \exp\left(-\frac{\theta_h^2}{a^2}\right), \quad (18)$$

とし、横糸方向では

$$D = \exp\left(-\frac{\theta_h^2}{e^2}\right), \quad (19)$$

とする。ただし、 $\theta_h$ は法線 $N$ とハーフベクトル $H$ がなす角、 $a, e$ は任意の係数である。Fresnel効果はSchlickら<sup>6)</sup>が提案した以下の式を用いる。

$$F = f_0 + (1 - f_0)(1 - (H \cdot V))^5, \quad (20)$$

ただし、 $f_0$ は屈折率である。

図11, 12に提案手法に対し最小二乗フィッティングによるパラメータ決定をしたものと、実測反射光データの比較を示す。また、図13, 14には推定したパラメータから可視化した縦糸・横糸方向の断面図を示す。図15には、推定したサテンの表面形状を示す。

実験結果から、反射光の内、鏡面反射成分は $\theta_r$ が約42度まで、それ以上の角度では拡散反射成分である。実測した反射光の拡散反射成分が $\theta_r$ によらず一定でないことから、Lambertモデルには従わないことを示している。また、推定した反射光データが実測から得られた反射光データと一致しており、復元した表面形状はサテンの織り構造と一致することから本手法の有効性を確かめた。

## 6. おわりに

我々は、織布の微視的幾何構造に注目し、凸幾何構造による陰影(Shadowing/Masking)を4つのパラ

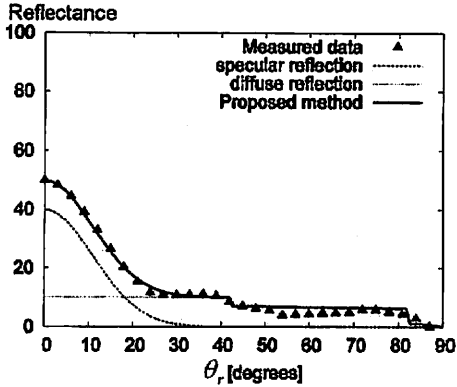


図 11 縦糸方向における表面幾何モデルから反射光生成  
Fig.11 Compare measured reflectance and generated reflectance with our model.

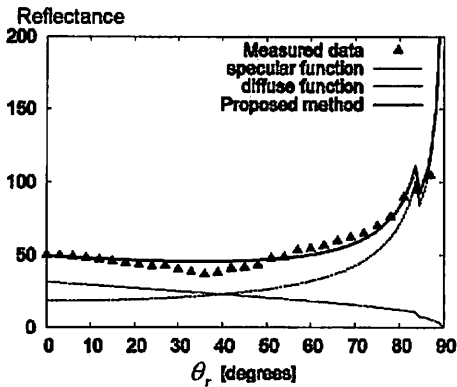


図 12 横糸方向における表面幾何モデルから反射光生成  
Fig.12 Compare measured reflectance and generated reflectance with our model.

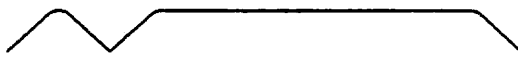


図 13 復元した縦糸方向における織布の表面



図 14 復元した横糸方向における織布の表面

メータでモデル化した。Cook-Torrance モデルに我々の陰影モデルを適用し、実測の反射光データからパラメータを決定した。推定された幾何構造から生成した BRDF と、実測した BRDF の比較実験を行い、本手法の有効性を確かめた。今後、得られた織りの表面形

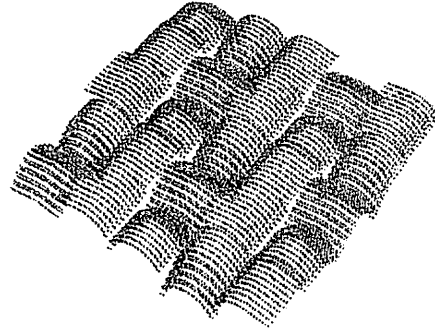


図 15 復元した織布の表面

状から全織り方向に対する影・遮蔽の抽出を行う。

### 参考文献

- 1) Michael Ashikhmin, Simon Premoze, Pete Shirley, "A Microfacet-based BRDF Generator," Proc. ACM SIGGRAPH 2000, pp.65-74, New Orleans, USA, July 2000.
- 2) R. L. Cook and K. E. Torrance, "A reflectance models for computer graphics," Computer Graphics, vol.15, no.3, pp.307-316, Aug.1981.
- 3) N. Nicodemus, J. Richmond and J. Hsia, "Geometrical considerations and nomenclature for reflectance," tech. rep., U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1997.
- 4) A. Ngan, F. Durand and W. Matusik, "Experimental Analysis of BRDF Models," Proc. Eurographics Symposium on Rendering, pp.117-226, Konstanz, Germany, June 2005.
- 5) 太田幸一, 池口達治, "織物内部構造の 3 次元モデル化," 繊維機械学会誌, vol.57, no.8, 2004
- 6) C. Schlick, "An inexpensive BRDF model for physically-based rendering," Computer Graphics Forum, vol.13, no.3, pp.233-246, June 1994.
- 7) S. A. Shafer, "Using color to separate reflection components," Color Research and Application, vol.10, no.4, pp.210-218, 1985.
- 8) 武田祐樹, 田中弘美, "反射光解析に基づく織り布の微視的表面幾何構造の推定," 画像センシング技術研究会 第 12 回画像センシングシンポジウム (SSII06) 予稿集, pp.145-151, June 2006.
- 9) 竹村伸太郎, 坂口嘉之, 三ツ井茂, 国松敦, 山内康晋, 千原国広, "異方性反射特性の測定と可視化手法の提案," 計測自動制御学会, 第 7 回パターン計測シンポジウム, Nov.2002.
- 10) Jinhua Yang and Katsushi Ikeuchi, "A Rendering Method for Woven Clothes Reflections," Proc. Computer Vision and Image Media, vol.2003, no.140, pp.33-40, Sept.2003.