

コンピュータ・グラフィックスによる織物の質感表現 (2)

開発技術部：本間重満^{*)}、柴田晃伸、彦坂久美子

1. はじめに

糸の種類や織り組織さらには、風合やテクスチャーといった素材特性により製品イメージが大きく規定される繊維製品の企画設計においては、色彩だけでなく、微妙な素材感や異種素材間の情緒的な適合度を最終製品形状で確認することが不可欠とされる。

感性が先行する繊維製品の企画・設計において、CAD等、先端機器利用により織編物の企画設計技術の高度化を進めていくには、色、柄、テクスチャー等、デザイン特性に係わる感性情報を定量的把握し、これら感性情報をコンピュータ画面上で適確に表現する手法など、最終製品イメージに対応したデザイン評価手法の確立が急務とされる。

このことから、コンピュータ・グラフィックス (CG) による織物の質感表現について、既存の計測器により得られたデータを用いて適確に織物の質感を表現する手法の一つとして、織物の光の反射特性を主に3次元画処理技術の検討を行った。

2. 内 容

2.1 織物の反射光の測定

前年度研究¹⁾でコンピュータ・グラフィックスによる織物の質感表現に係わる光の反射特性として、正反射成分と内部反射成分及び拡散反射成分の計測手法について検討を行い、それぞれ素材別、組織別のデータを得ることができた。

しかし、正反射成分に代表される鏡面反射率と内部反射成分を含む拡散反射率だけでは、織り組織や糸形状等、様々な構成要因により表現される織物の質感表現には十分な結果を得ることができなかった。平織りなのか朱子織りなのか、またフィラメント糸かスパン糸か等々、組織変化や糸形状等々により織物の見え方が違ってくる。この織物表面の凹凸感、すなわち表面粗さを規定するのがハイライトの形状を表す鏡面反射精度である。今回は、昨年度実績に基づいてさらにリアルな質感表現を求めるため、この鏡面反射精度の測定及び定量化を主体に検討した。

試料には、素材の変化と反射光との関連を究明するため、綿、絹、ポリエステル²⁾の3素材の平織物 (JIS 染色堅ろう度試験用添付白布) を、さらに組織の変化との関連として、綿素材による2/2ナナコ、2/1綾、3/1綾、アムンゼンの4組織を用いた。また、反射光の成分を特定して織物の表面粗さを検討するため、一部添付白布を黒く染めて用いた。

測定には、変角光沢度計 (VG-199DP、日本電色工業³⁾製) を用いて、鏡面光沢度、変角光沢度、拡散反射率の測定を行い、反射光の強度、織物の表面粗さの表し方について検討を行った。

2.2 CGによる織物の質感表現

一般的なCGでのシェーディングに係わる反射データの設定は、次式 (Phongの式) に基づきRGB値に変換している。

$$I = \Sigma(N \cdot L)I_d + \Sigma(V \cdot R)^n I_s + I_e \quad (1)$$

I: 輝度 $\Sigma(N \cdot L)I_d$: 拡散反射成分 $\Sigma(V \cdot R)^n$: 鏡面反射成分 I_e : 環境光成分

※) 現 愛知県尾張繊維技術センター

拡散反射光の強度は、照明光の強度を I_i 、照明光と物体表面の法線となす角を θ とすれば、物体表面に当たる単位面積当たりの光の強さは、 $(N \cdot L) I_i$ 、すなわち $\cos \theta \cdot I_i$ で表される。

また、図1に見られるように鏡面反射は、入射光が鏡面の法線方向に対して、反対側の同じ角度の方向（入射光の正反射方向）に反射される現象で、一般には物体の表面に微小な凹凸があるため、鏡面反射光は、この正反射方向を中心とした広がりを持っている。

CGにおける一般的な鏡面反射モデルとしては、Phong モデルがよく用いられるが、Phong モデルによる鏡面反射光の強度は、 $(V \cdot R)^n I_i$ すなわち $(\cos \theta)^n I_i$ で表され、反射光の広がりは、 n が大きくなるほど小さくなる。

本研究のCG処理には、32ビットEWSを持つデザインCADシステム（シャープ(株)製）を用いた。本システムの質感表現には、(式1)を基礎に、色強度である C_m 値と拡散反射率である Kd 値、鏡面反射率である Ks 値及び鏡面反射精度（ハイライト係数）である n 値をパラメータとして設定する次式により処理される。

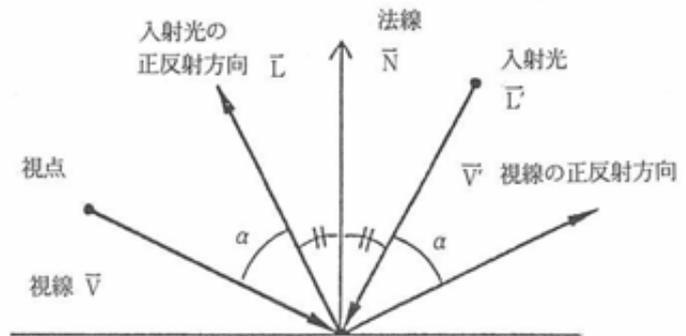


図1 鏡面反射 Phong $(\cos \theta)^n$

$$C = C_m \cdot \sum (N \cdot L) I_i + C_m \cdot I_e \cdot C_l + (\sum C_l (V \cdot R)^n \cdot I_i) Ks \quad (2)$$

$C_m \cdot \sum (N \cdot L) I_i$: 拡散反射成分、 $C_m \cdot I_e \cdot C_l$: 環境光成分、 $\sum C_l (V \cdot R)^n \cdot I_i$: 鏡面反射成分

C : 輝度、 C_m : 物体の色 (RGB)、 $(N \cdot L)$: $\cos \theta$ 、 I_i : 光源、 n : 反射精度

このことから、シェーディングに係わるパラメーター (Ks, Kd, n) の設定について実測値との関係を検討した。

3. 結果及び考察

3.1 織物反射特性について

3.1.1 織物の反射率の測定について

一般的に、繊維からの反射光は、方向性、反射位置、色などによって正反射成分、内部反射成分、拡散反射成分に分類される。

正反射成分である鏡面反射率と、内部反射成分を含む拡散反射率の測定結果は表1のとおりで、各サンプルとも、 45° 、 60° のときの値が 75° より大きい結果となっているが、鏡面反射における最大反射光束が正反射方向

になかったこと、また入射角、受光角が小さくなるに従い鏡面反射における拡散補正の割合が大きくなることから、織物における鏡面反射特性は 75° での測定が妥当と思われる。

表1 素材別鏡面光沢度測定結果

	GS (75)	GS (60)	GS (45)	GS (20)
綿	1.7 (2.2)	0.5 (2.4)	0.2 (3.7)	— (0.8)
絹	2.6 (2.9)	1.2 (3.0)	1.3 (4.2)	— (0.7)
ポリエステル	3.2 (3.4)	1.5 (2.9)	1.3 (3.7)	— (0.8)

() 内は拡散補正する前

3.1.2 組織変化と反射特性について

織物のタテ糸方向に平行に光を当てた時の組織変化と反射特性との係わりについて測定を行ったものであるが、その結果は、表2に示すとおりで、基本となる平組織に比べ、2/2ナナコや3/1の綾、2/1の綾といったタテ糸の飛びの多い組織のものがわずかではあるが反射率が高い結果となっており組織による反射率の違いを見ることができる。

3.1.3 鏡面反射精度の設定について

ハイライト部の大きさを決める鏡面反射精度は、物体の表面の粗さにより変化するもので、織物の質感には、この表面の粗さが大きく関与するものと考えられる。

このことから、織物の表面粗さを求める方法として、変角光沢度計等、測定器による方法と Phong の式に従い推定値を求める方法で検討した。

測定器による方法としては、内部反射を防ぐために黒く染色したサンプルにより、通常の拡散反射率の測定方法に従い、入射角を45°一定にし、0°～85°受光角の範囲で測定した。

測定結果は図2に示す通りで、綿7.6%、絹7.8%、ポリエステル12.0%で綿、絹、ポリエステルとも正反射方向に鋭く分布している。この正反射方向における反射の強さを織物表面の拡散反射量、すなわちハイライト形状の大きさを規定する表面粗さのファクターとしてCADパラメータである鏡面反射精度とした。

また Phong の式による方法としては、変角光沢度計で織物の測定角度である入射角を75°一定にし、0°～85°受光角の範囲で測定した実測値より正反射方向（最大値）を1と仮定し、 $a = (\cos \theta)^n$ の式に基づいて実測値に対応したnの値を求めた。

結果は、図3～8に示したとおりで、それぞれ素材別での鏡面反射精度 (n) は、綿：3.9、絹：4.1、ポリエステル：10.1であった。

表2 組織別・素材別反射特性

素材/組織	鏡面光沢度		鏡面反射率	拡散反射率	
	実測値	拡散補正後			
綿	(平)	2.2	1.7	1.8	60.4
	(2/1綾)	2.3	1.8	1.9	61.7
	(2/2ナナコ)	2.5	2.0	2.1	59.5
	(3/1綾)	2.5	2.0	2.1	60.9
	(7ムゼン)	2.3	1.7	1.8	61.0
絹 (平)	2.9	2.6	2.8	54.3	
ポリエステル (平)	3.4	3.2	3.4	47.3	

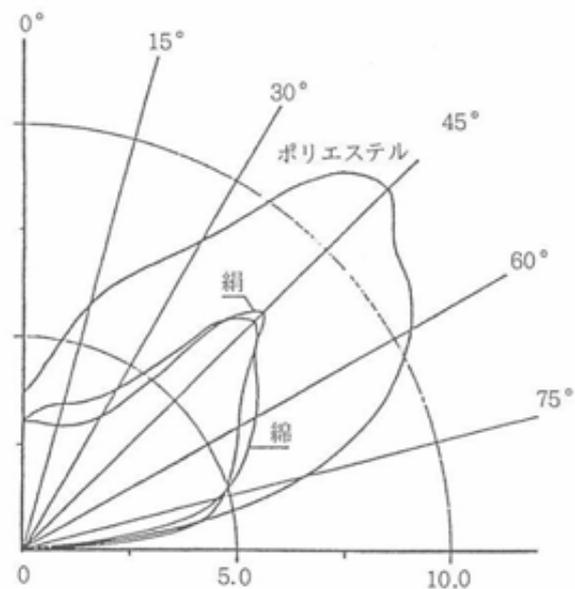


図2 黒布の表面反射率測定結果

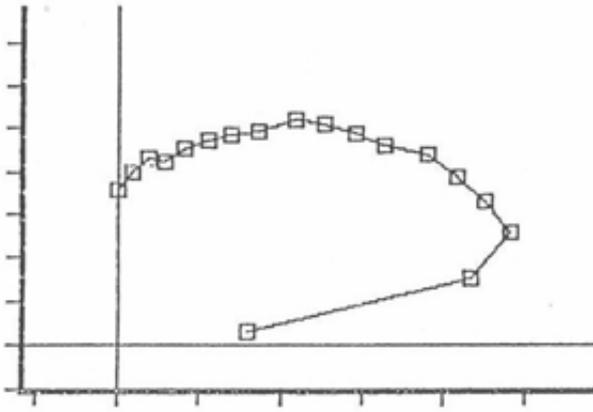


図3 実測値

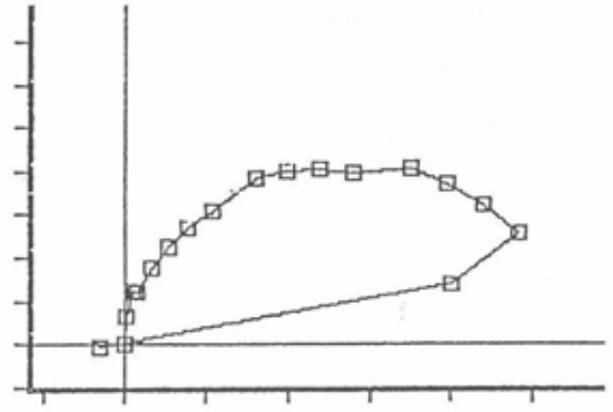


図4 拡散補正後

綿・鏡面反射光分布曲線

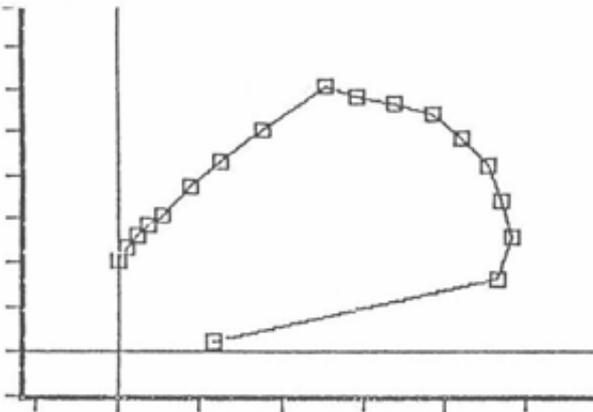


図5 実測値

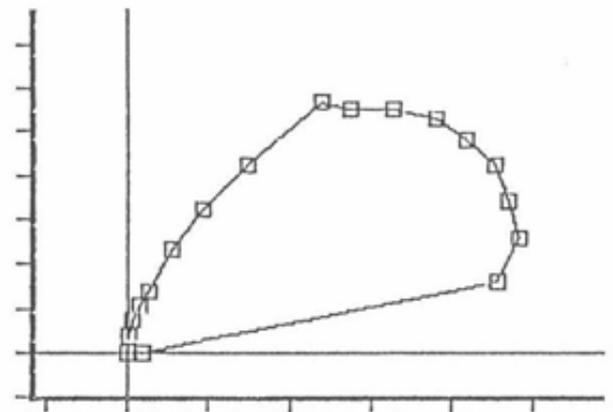


図6 拡散補正後

絹・鏡面反射光分布曲線

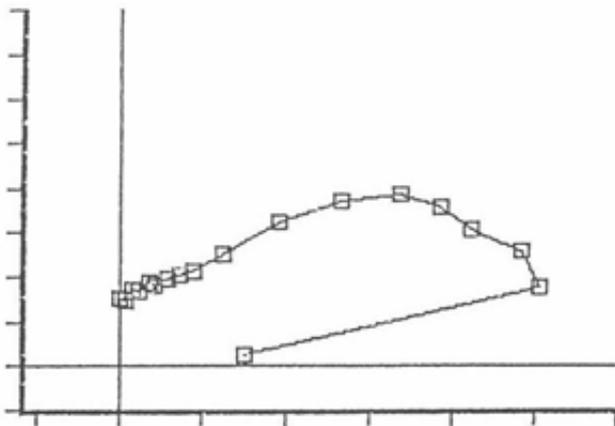


図7 実測値

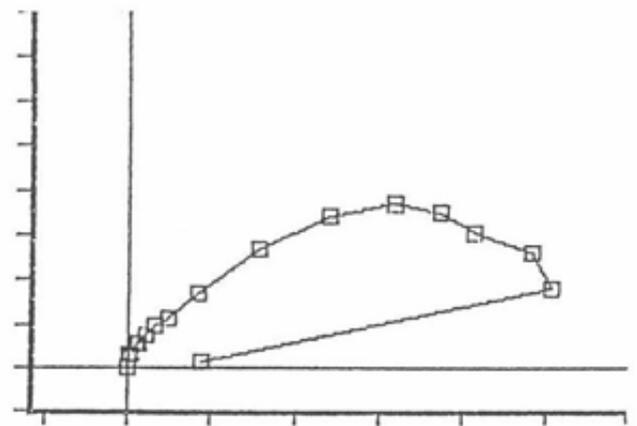


図8 拡散補正後

ポリエステル・鏡面反射光分布曲線

3.2 CGによる質感表現

これまでの変角光沢度計により得られたデータをもとに、前記(式1)に基づいてコンピュータのパラメータへの対応を検討した。織物は基本的に不透明物体であることから、透明度については今回は一定とし、鏡面反射率、拡散反射率の設定及び色強度であるRGB値や光源値の補正によりシミュレーションを行った。

鏡面反射精度については、黒サンプルによる測定値及び75°変角光沢度により求めた(n)値の双方を用いた。この結果、実測値のKd、Ks値を用い光源の補正、さらには色強度であるRGBの補正を行ってのものについては、概ね素材特性に近い質感表現が得られた。また、鏡面反射精度については、黒サンプルでの測定値によるものは、やや光沢感が強い結果となっている。

また、組織変化とシェーディングとの係わりについては、微小ではあるが各種実測値での差は認められたものの、実際のシェーディングにおいてあまり差は認められなかった。

表3 CGシェーディング・データ(標準色)

素材種別	鏡面反射率(Ks)	拡散反射率(Kd)	鏡面反射精度(n)	RGB	光源(L)
綿	1.8	60.4	3.9	1.0	1.0
絹	2.8	54.3	4.1	1.0	1.0
ポリエステル	3.4	47.3	10.1	1.0	1.0

■ CG シェーディング結果 実測値 K_s, d, L 補正

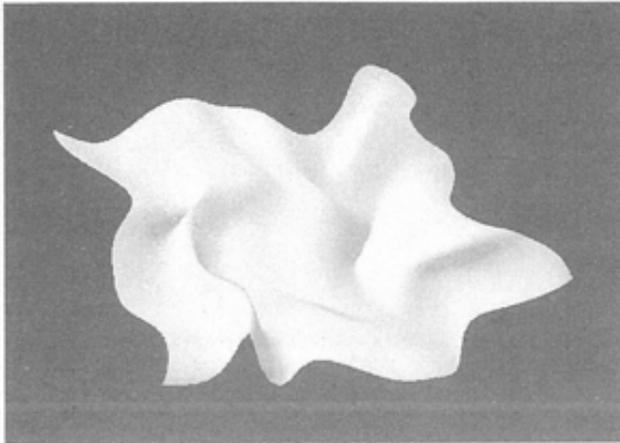


図9 綿
鏡面反射率 (K_s) 1.8 R1.0
鏡面反射精度 (n) 3.9 G1.0
拡散反射率 (K_d) 60.4 B1.0 光源 (L) 1.0

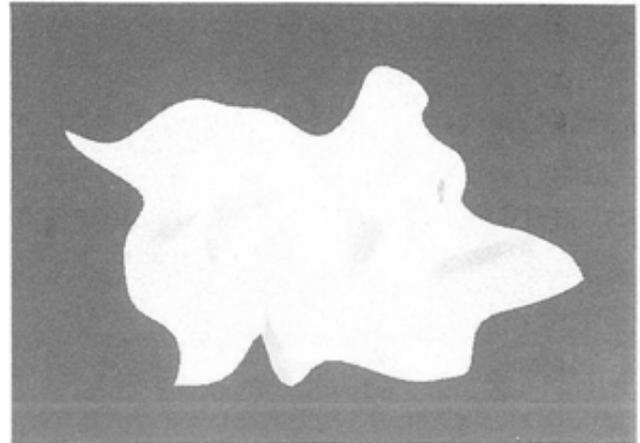


図12 綿
鏡面反射率 (K_s) 2.9 R1.0
鏡面反射精度 (n) 3.9 G1.0
拡散反射率 (K_d) 96.8 B1.0 光源(L) 0.624

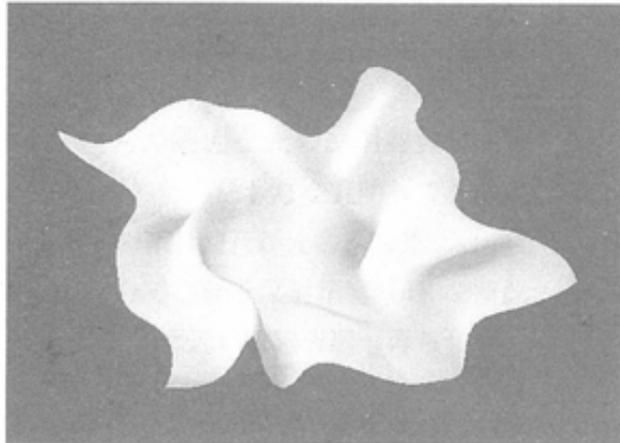


図10 絹
鏡面反射率 (K_s) 2.8 R1.0
鏡面反射精度 (n) 4.1 G1.0
拡散反射率 (K_d) 54.3 B1.0 光源 (L) 1.0

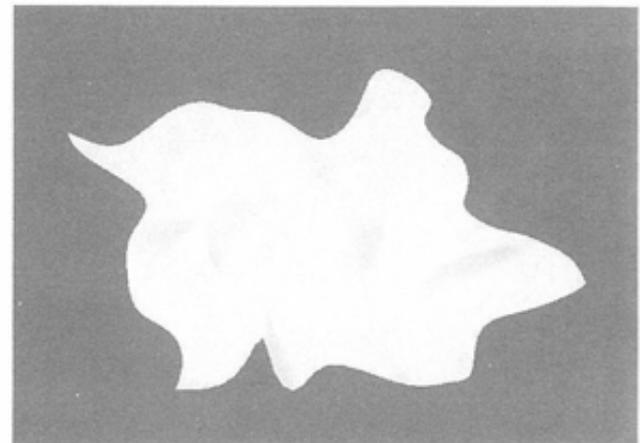


図13 絹
鏡面反射率 (K_s) 5.0 R1.0
鏡面反射精度 (n) 4.1 G1.0
拡散反射率 (K_d) 95.1 B1.0 光源(L) 0.571

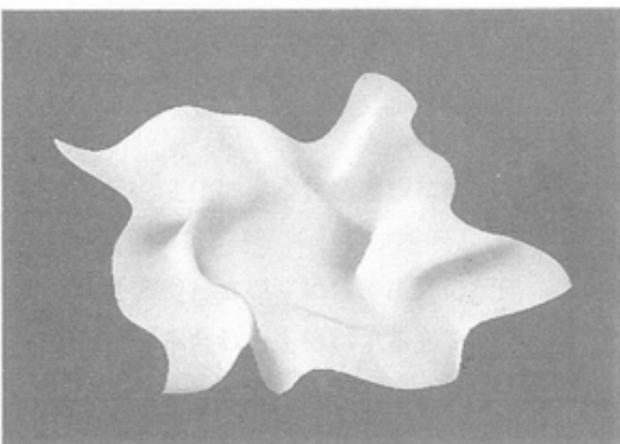


図11 ポリエステル
鏡面反射率 (K_s) 3.4 R1.0
鏡面反射精度 (n) 10.1 G1.0
拡散反射率 (K_d) 47.3 B1.0 光源 (L) 1.0

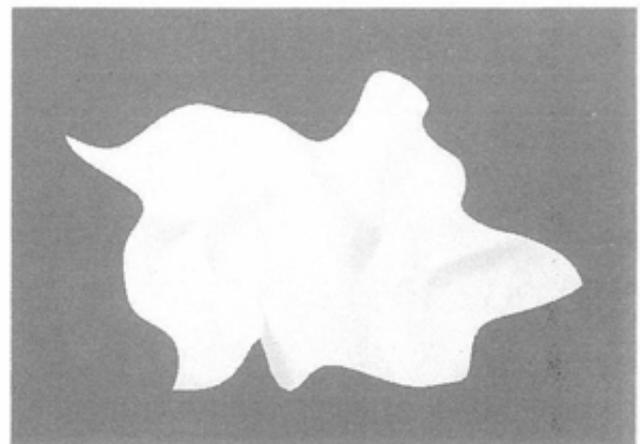


図14 ポリエステル
鏡面反射率 (K_s) 7.1 R1.0
鏡面反射精度 (n) 10.1 G1.0
拡散反射率 (K_d) 93.1 B1.0 光源(L) 0.507

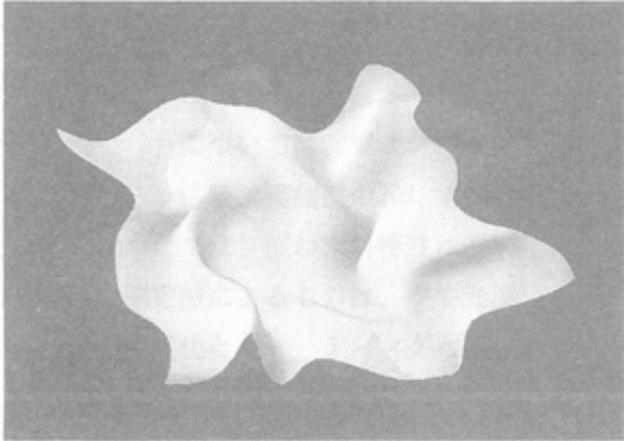


図15 綿
鏡面反射率 (K_s) 1.8 R0.686
鏡面反射精度 (n) 3.9 G0.841
拡散反射率 (K_d) 60.4 B0.873 光源 (L) 1.0

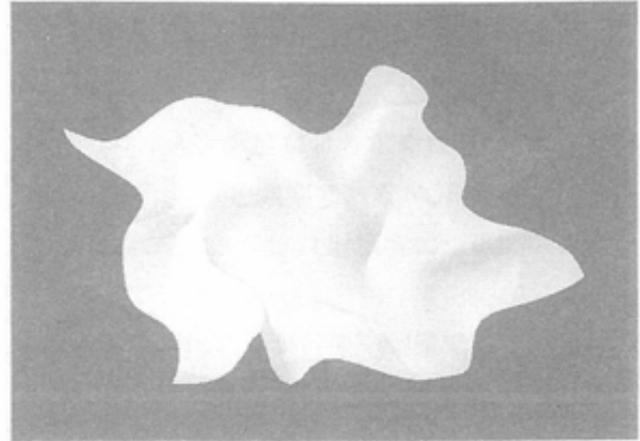


図18 綿
鏡面反射率 (K_s) 2.9 R0.686
鏡面反射精度 (n) 3.9 G0.841
拡散反射率 (K_d) 96.8 B0.873 光源(L)0.624

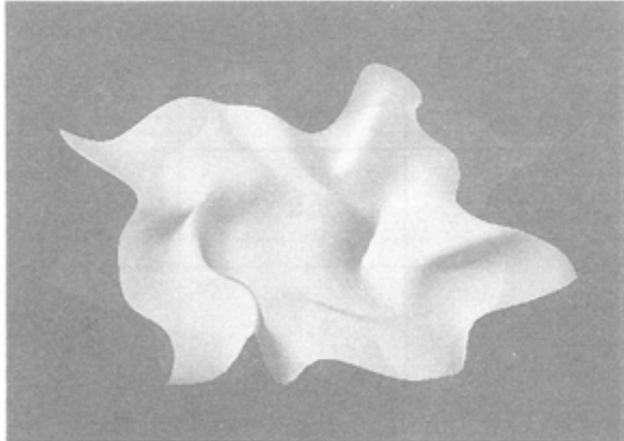


図16 絹
鏡面反射率 (K_s) 2.8 R0.661
鏡面反射精度 (n) 4.1 G0.806
拡散反射率 (K_d) 54.3 B0.828 光源 (L) 1.0

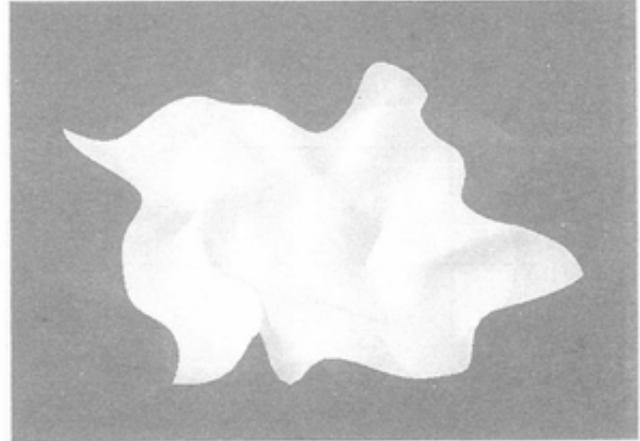


図19 絹
鏡面反射率 (K_s) 5.0 R0.661
鏡面反射精度 (n) 4.1 G0.806
拡散反射率 (K_d) 95.1 B0.828 光源(L)0.571

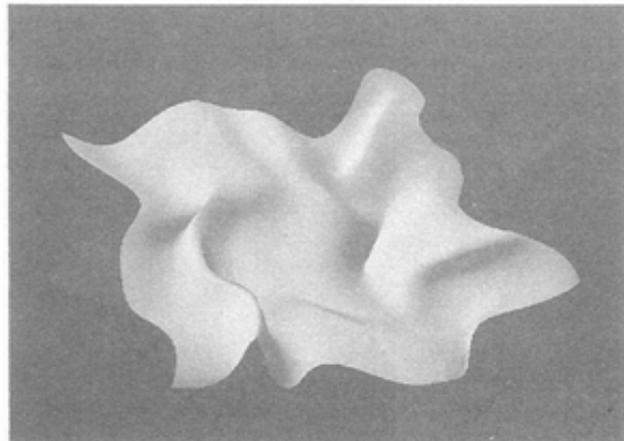


図17 ポリエステル
鏡面反射率 (K_s) 3.4 R0.666
鏡面反射精度 (n) 10.1 G0.828
拡散反射率 (K_d) 47.3 B0.870 光源 (L) 1.0

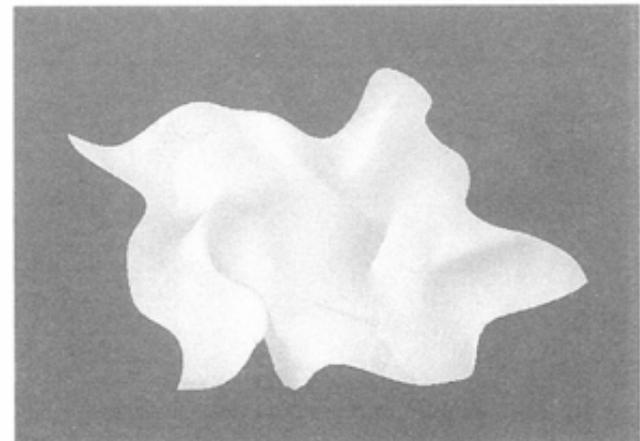


図20 ポリエステル
鏡面反射率 (K_s) 7.0 R0.666
鏡面反射精度 (n) 10.1 G0.828
拡散反射率 (K_d) 93.1 B0.870 光源(L)0.507

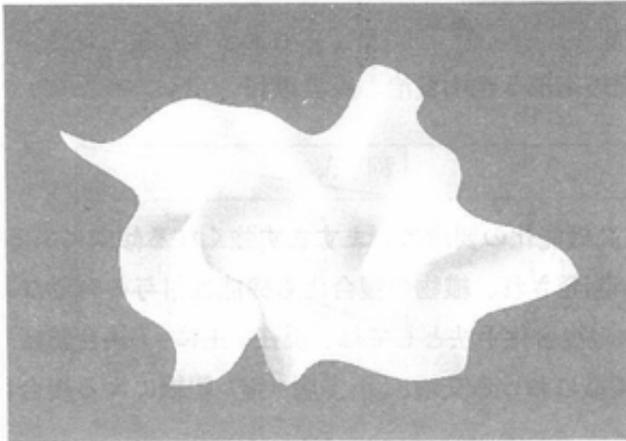


図21 綿
鏡面反射率 (K_s) 1.8 R1.0
鏡面反射精度 (n) 7.7 G1.0
拡散反射率 (K_d) 60.4 B1.0 光源 (L) 1.0

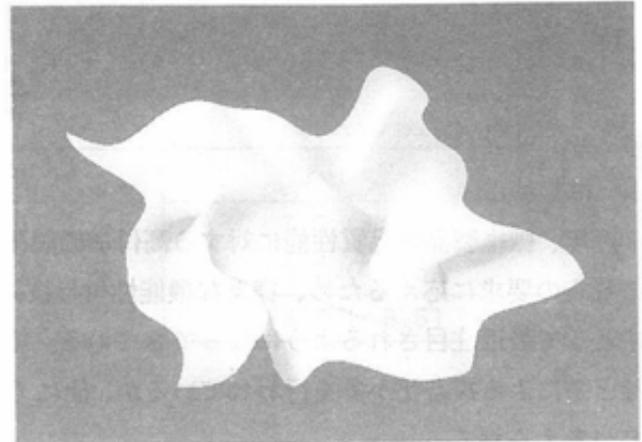


図22 絹
鏡面反射率 (K_s) 2.8 R1.0
鏡面反射精度 (n) 8.0 G1.0
拡散反射率 (K_d) 54.3 B1.0 光源 (L) 1.0

4. ま と め

CAD等、先端機器利用による企画・設計技術の高度化を図るものとして、織物の質感を構成するさまざまな物性的要因を光の反射特性によりCADシェーディングとの係わりを究明してきたが、実測値に基づいてRGB値及び光源、拡散反射率 (K_d)、鏡面反射率 (K_s)、鏡面反射精度 (n) を補正したものは、素材特性に近い質感表現が得られた結果となっているもののRGB値や K_d 、 K_s 値等の補正を行うには、複雑な計算を必要とすること、さらには、例えば、綿の $K_d=96.2\%$ と極端な値となるなど、シェーディングにやや無理な結果となっている。

このことから、素材別での鏡面反射率と拡散反射率及びハイライト係数である鏡面反射精度 θ (n) を特定化することにより、既存の光沢度計で測定した実測値でも簡便に素材特性に近い質感表現が可能であることがわかった。

また、組織変化に伴う質感表現については、反射率等、光学的測定では、それぞれの差が認められたが、CG処理での素材イメージの評価としては、その質感の差があまり認められなかった。このような微妙な変化を表現していくには、織物の反射特性より、むしろ画像処理としてのテクスチャー・マッピング手法との組み合わせを検討する必要がある。

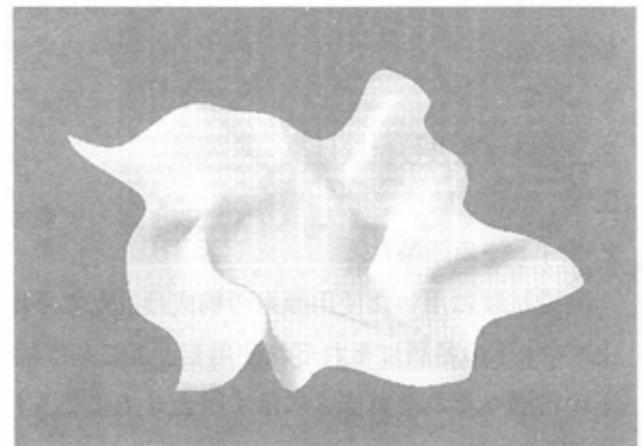


図23 ポリエステル
鏡面反射率 (K_s) 3.4 R1.0
鏡面反射精度 (n) 12.1 G1.0
拡散反射率 (K_d) 47.3 B1.0 光源 (L) 1.0