九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

Research on Computer Graphics of Fabrics Based on Subjective Evaluations of Appearance

卓, 炫住
九州大学芸術工学府

https://doi.org/10.15017/19758

出版情報：九州大学, 2010, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

第　5　章　　描画パラメータと織物の見えの印象の関係について分析

5．1　実験装置

5．2　サンプル製作

5．3　描画モデル

5．4　描画モデルのパラメータ

5．5　観評価のための形容詞対

5．6　実験手続き

5．7　被験者

5．8　結果および考察

5．9　まとめ

5. 実 験３

5. 1　実験装置

被験者は実験ブースにおかれたサンプル織物、あるいは、CRT に表示された CG 織物画像を観察して、その見えについて主観評価を行った。それらの配置を図 41 に示す。サンプル織物は被験者の目の高さに垂直におかれ、正面上方 45 度、約 30 cm から蛍光灯で照明された。同時に上方 1m には、周辺光として蛍光灯（蛍光 D65 ランプ東芝製）を配置した。これらの照明光によるサンプル織物中央正面での照度は約 400lx, y 色度座標は(0.3447,0.3485)であった。観察距離は 30cm と 100cm の 2 種類で、被験者はそれぞれの距離条件で刺激の見えを評価した。

5. 2　サンプル製作

5. 2. 1　サンプル織物

サンプル織物（平織り、18cm(横) x17cm(縦)）は白糸(ポプラ製コットンコナ）本研究のために手織りで用意された。図 42 にその一部を示す。本研究では、織物の糸の反射特性や織りの立体構造による見えへの影響を検討するために、糸の色は白のみを用いた。

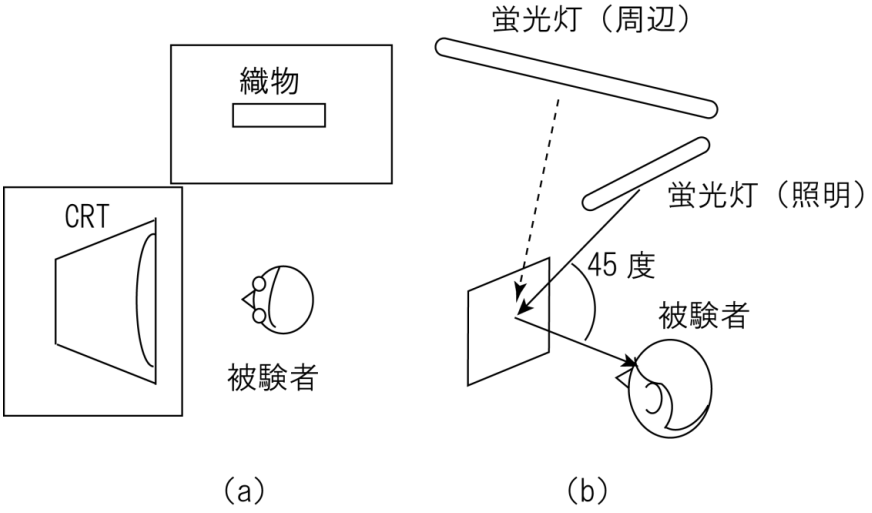


図 41(a): サンプル織物と CRT 表示の配置 (b)：サンプル織物の照明

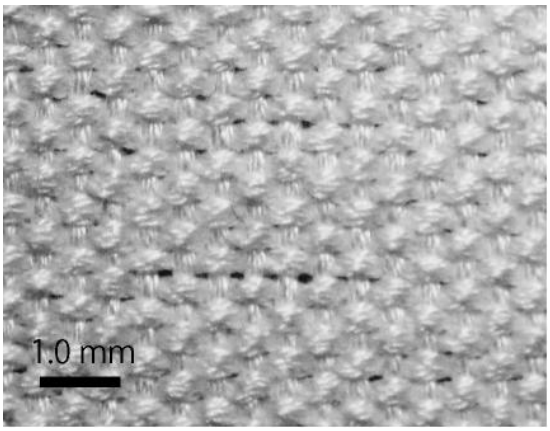


図 42 サンプル織物

5. 2. 2 CG 織物画像

CG 織物画像は、実験 1 と実験 2 と同様に CG 作成ソフトウェアー(3ds max, Autodesk 社) を用いて作成した。織物の縦糸および横糸の立体構造を 3 次元の CG として描画像するために、サンプル織物の経糸および緯糸の織りとほぼ同じスケールで CRT に表示されるように形状を調整して、織物と同様に立体的に組み合わた。CG 織物画像の描画における照明として、サンプル織物の観察条件と同様に、周辺光としては点光源であるオムニライトおよび正面上方 45 度、距離的 30cm のスポットライトを用いた。
照明光の色は白色とした。CG 織物画像を作製したのちに表示において画像モデルのパラメータを設定が提示画像に正確に反映されなくなるため、描画したのちに描画の縮小や拡大がないように注意した。そして、織物の織り目のサイズや全体の大きさがサンプル織物とできるかぎり同じとなるように描画を行った。作製された CG 織物画像はビットマップで保存され、CRT には等倍で提示された。CG 画面上で、約 15cm(横) x 13cm(縦)であった（横:386 Pixel, 縦 : 358 Pixel)。観察距離が異なる場合は、同じ CG 織物画像を CRT に提示し、被験者の観察者の観察距離を変えた。

5. 3 描画モデル

CG 織物画像のための適切な CG 描画モデルとして、Oren-Nayar モデルおよび Oren-Nayar-Blinn モデルの 2 のモデルを採用した。Cook-Torrance モデルを用いて、計算された BRDF による織布の反射の再現も報告されているが、Cook-Torrance モデルでは、V 字状凹みの面に鏡面反射を想定し、拡散反射 Lambert 反射となっている。しかし、織物を拡大してみると、織布より織り目が粗く、繊維と繊維の間に V 字状凹みに相当する形状が多く見られ、繊維自体拡散反射する(図 43)。そのため、V 字状凹みの面に拡散反射を想定したモデルのほうが織り目の粗い織物の場合は、よりいい描画が

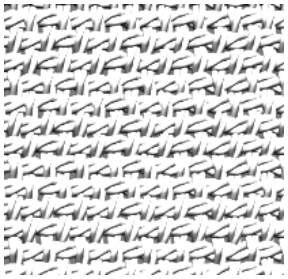
期待され、Oren-Nayar モデルでは、V 字状凹みの面における相互反射も考慮され、織物で想定される撚られた繊維間での 2 次反射光も表現できると考えられた。また、1 ピクセルの中にあるマイクロファセットが仮定されており、織物のマイクロファセットのサイズは、Oren –Nayar モデルのマイクロファセットのサイズとほぼ一致している。そこで、Oren-Nayar モデルに Blinn モデルの鏡面反射によるハイライトを追加した Oren-Nayar-Blinn モデルも採用した。以下、Oren-Nayar モデルを ON モデル、Oren-Nayar -Blinn モデルを ONB モデルと呼ぶ。

5. 4 描画モデルのパラメータ

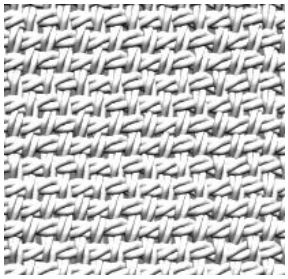
ON モデルでは、Diffuse とRoughness の2 つのパラメータによって物体表面の反射特性を表わす。Diffuse は表面反射の拡散の度合いを表し、Diffuse が大きいほど反射の拡散度が大きい。Roughness はV字状凹みの傾きの分布（ 正規分布近似） の広がりを表し、Roughnessが大きいほど表面にさまざまな傾きの凹みがあることを表す。DiffuseとRoughness は3ds Max では0 から100 の数値で設定でき、Roughness がゼロの場合はLambert 反射となる。ONB モデルでは、それらに加えて、Blinn モデルにおけるSpecular、Glossiness、Softenの3 つのパラメータを設定することができる。これらはハイライトの特性を制御する。Glossiness の値が大きくなるとハイライトが小さく、光沢が強くなる。Soften の値が大きくなるとハイライトの効果を弱める。 しかし、 予備観察で、 本研究で用いた織物のCG 画像ではGlossinessは、Specular Levelの効果を邪魔するため、Glossiness は0と設定した（図44）。また Soften はどの設定でもほとんど見えに違いがなかったため、Soften は1.0 と設定を一定にした(図45)。Specularは0 から100 の数値で設定でき、数値が大きいほどハイライトが明るくなる。表1 に本実験で用いた描画パラメータを示す。さらに，図(46)に、描画された36

種のCG 織物画像の一部のみを示す。

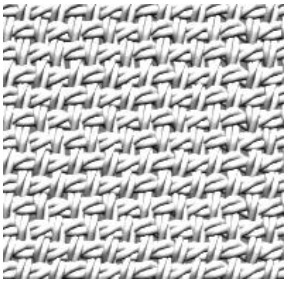
図43 織物を拡大した写真



Specular: 100
Glossiness:0

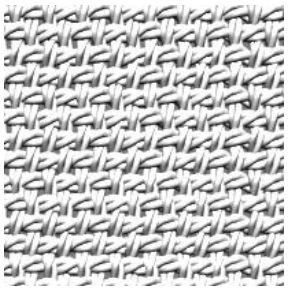


Specular: 100
Glossiness: 50

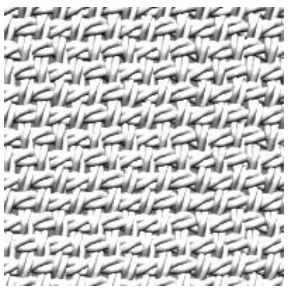


Specular: 100
Glossiness: 100

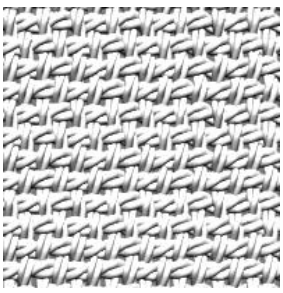
図44　Glossinessの変化



Soften 0.1

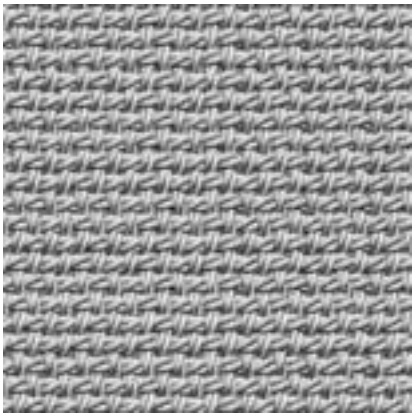


Soften 0.5

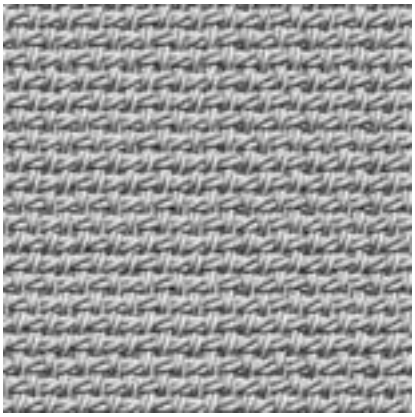


Soften 1.0

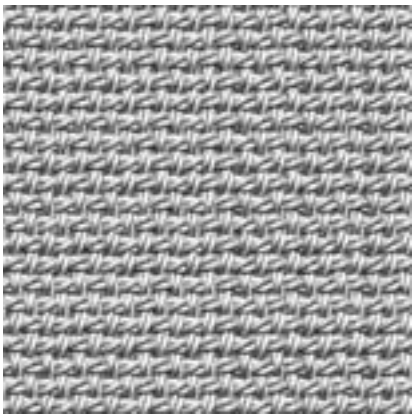
図45　Softenの変化



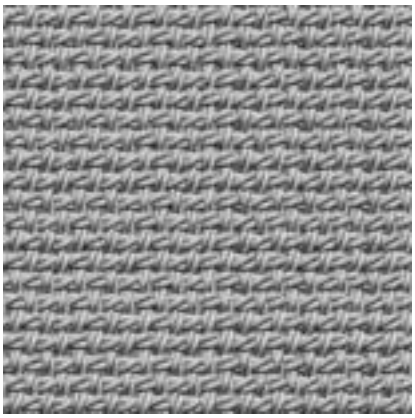
No.1



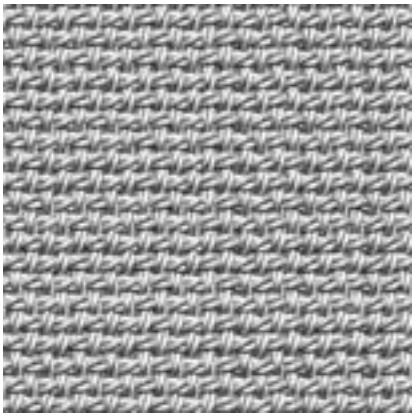
No.2



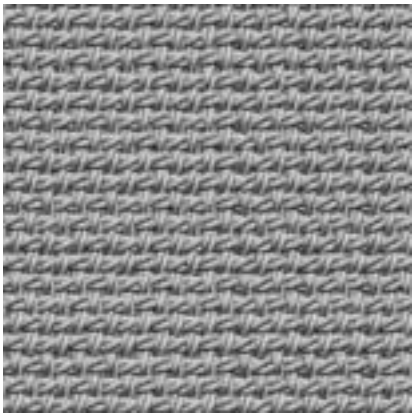
No.3



No.4

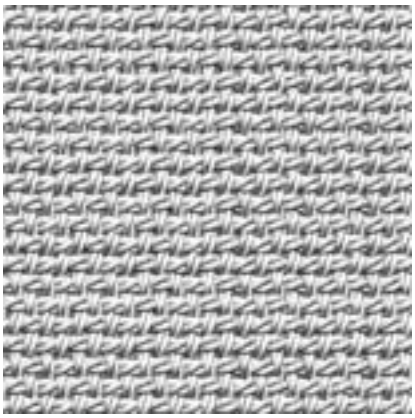


No.5



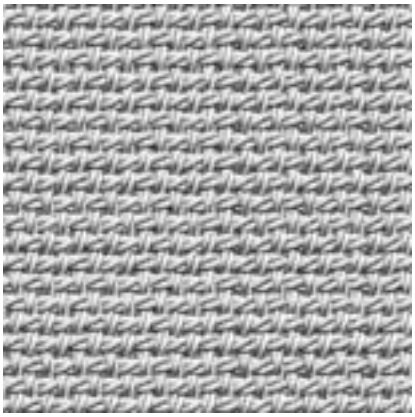
No.6

図46(a)　CG 織物サンプル



No.7

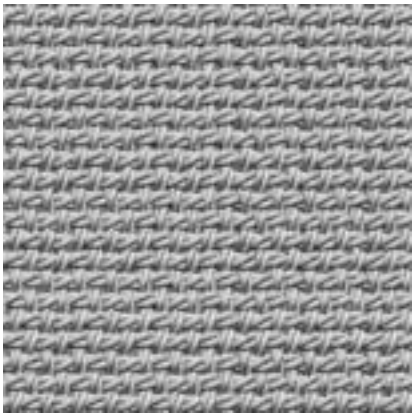
No.8



No.9

No.10

No.11

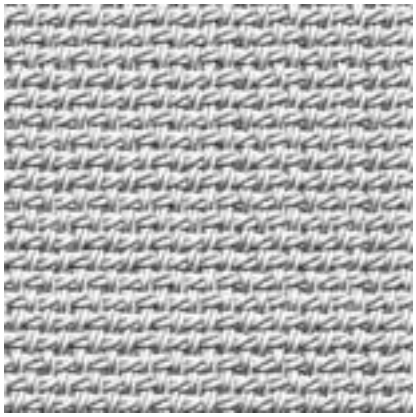


No.12

図46(b)　CG 織物サンプル

No.13

No.14



No.15

No.16

No.17

No.18

図46(c)　CG 織物サンプル

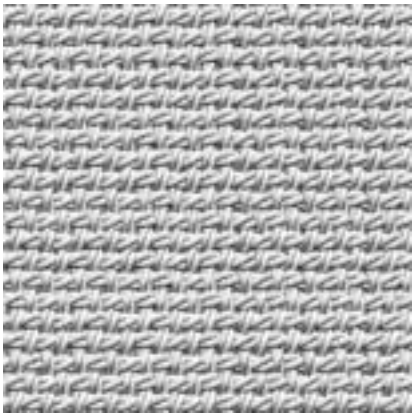
No.19

No.20

No.21

No.22

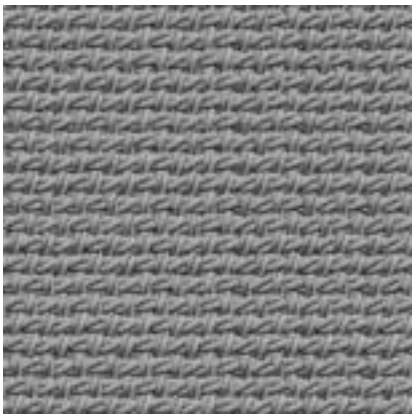
No.23



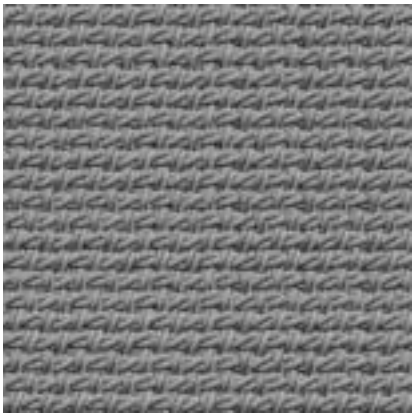
No.24

図46(d)　CG 織物サンプル

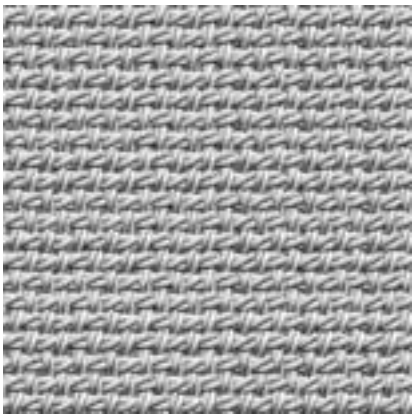
No.25



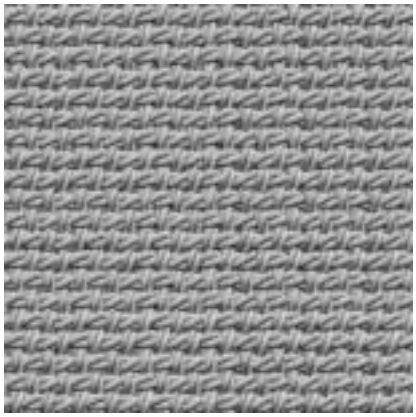
No.26



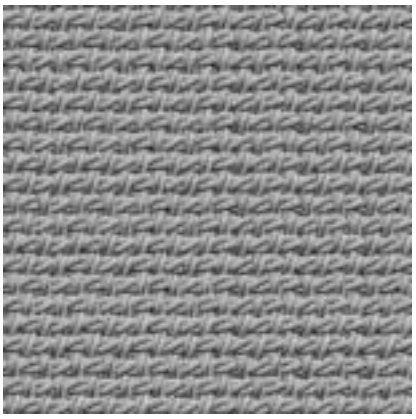
No.27



No.28



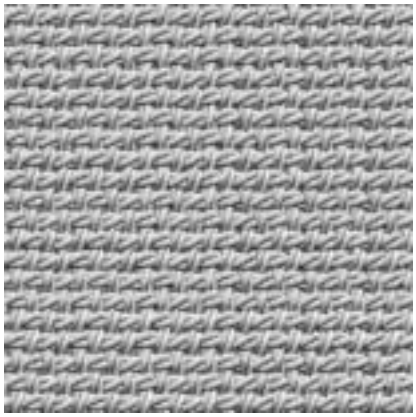
No.29



No.30

図46(f)　CG 織物サンプル

No.31



No.32

No.33

No.34

No.35

No.36

図46(g)　CG 織物サンプル

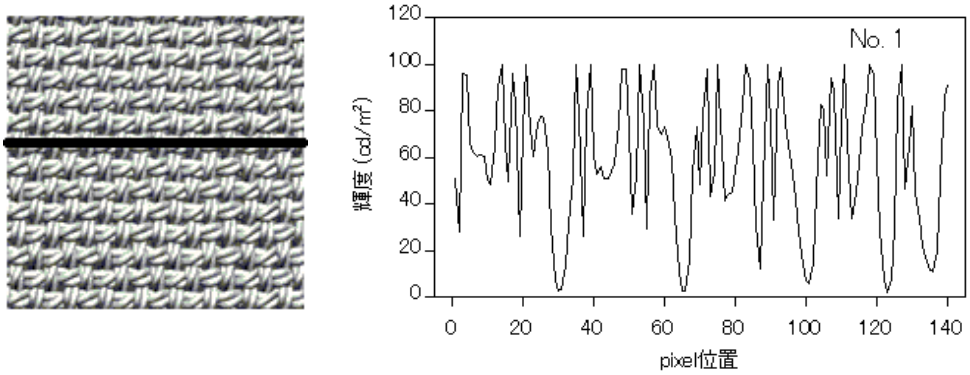
表1　(a):描画モデルのパラメータ(ONBモデル)

画像	Model	Specular	Diffuse	Roughness
No. 1	ONB	80	70	30
No. 2	ONB	40	70	30
No. 3	ONB	80	70	70
No. 4	ONB	40	70	70
No. 5	ONB	80	70	100
No. 6	ONB	40	70	100
No. 7	ONB	80	80	30
No. 8	ONB	40	80	30
No. 9	ONB	80	80	70
No. 10	ONB	40	80	70
No. 11	ONB	80	80	100
No. 12	ONB	40	80	100
No. 13	ONB	80	90	30
No. 14	ONB	40	90	30
No. 15	ONB	80	90	70
No. 16	ONB	40	90	70
No. 17	ONB	80	90	100
No. 18	ONB	40	90	100
No. 19	ONB	80	100	30
No. 20	ONB	40	100	30
No. 21	ONB	80	100	70
No. 22	ONB	40	100	70
No. 23	ONB	80	100	100
No. 24	ONB	40	100	100

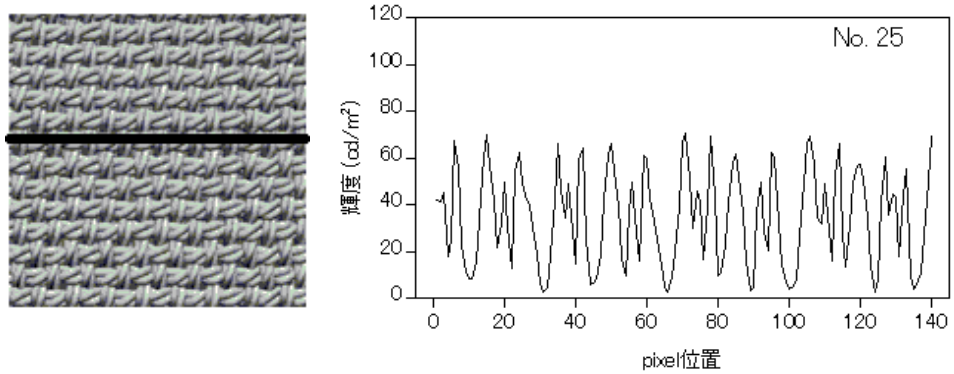
表1　（b）：描画モデルのパラメータ(NBモデル)

画像	Model	Diffuse	Roughness
No. 25	ON	70	30
No. 26	ON	70	70
No. 27	ON	70	100
No. 28	ON	80	30
No. 29	ON	80	70
No. 30	ON	80	100
No. 31	ON	90	30
No. 32	ON	90	70
No. 33	ON	90	100
No. 34	ON	100	30
No. 35	ON	100	70
No. 36	ON	100	100

一般に、CG 画像の描画においては、CRT に表示される画像は描画データのみでは決まらず、表示する CRT の発光特性などに影響される。従って、図 3 に示した CG 織物画像はそのまま被験者が観察したものではない。図４７には，実際に被験者が観察した CG 織物画像における輝度変動の例として、２つの場合を示している。すなわち、図 47 の左に CG 織物画像（CG 織物画像 No.1 と No.25）に水平線で示した縦方向の位置の 1 ピクセル幅の部分における横方向の位置の一部（140 ピクセル）の輝度値を図の右に示している。被験者が CRT 上で観察したのは図 47 のような輝度変動であった。



(a) CG 織物画像 No. 1 の輝度変動の例



(

(b) CG 織物画像 No. 25 の輝度変動の例

図 47　CG 織物画像の輝度変動の例（(a) 画像 No.1 と (b) 画像 No. 25）

5.　5　観評価のための形容詞対

表 2 に、主観評価に用いた 16 個の形容詞対を示す。繊維を扱う人を対象として織物の質感を表すためによく用いられている形容詞対を調査した結果から、まず 20 個の形容詞対を選び、さらに、それらを用いた予備評価実験の結果から、サンプル織物や CG 織物画像の評価のために適切と考えられる 16 個を選択した。これらについて、被験者は±5 点の両極尺度の 11 段階で評価した。形容詞対の順番や各形容詞の両極の各符号への対応づけは、類似した意味の形容詞が順にいくつも並んだり、両極のどちらか片一方に偏るようなことがないように考慮して配置した。

5. 6 実験手続き

被験者は、最初にサンプル織物を観察して16 個の形容詞対についての評価を行った。その次に、無彩色のCRT 背景に順応したのち、ランダムな順序で提示される36 個の CG 織物画像に対して評価を行った。最後にもう一度、サンプル織物の評価を行った。観察距離30 cm のセッションに引き続いて、観察距離100 cm のセッションを行った。

5.　7　被験者

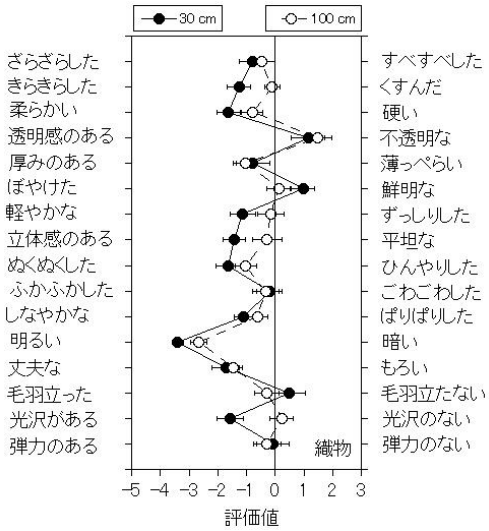
視力（矯正視力を含む）、色覚ともに正常な20 名の被験者（年齢は全員20 歳代）が評価を行った。全員が実験の目的を知らされていなかった。

表2　形容詞対

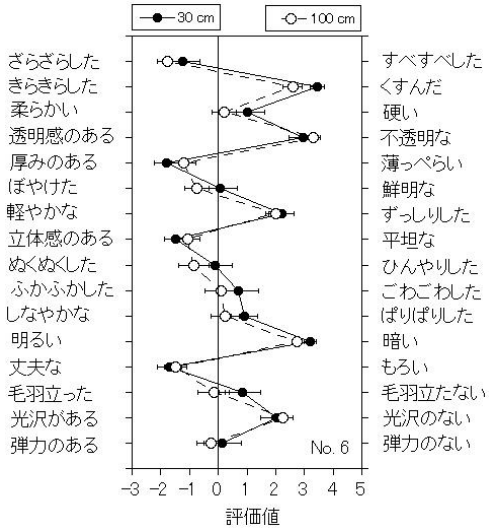
番号	形容詞対
1	ざらざらした － すべすべした
2	きらきらした － くすんだ
3	柔らかい － 硬い
4	透明感のある － 不透明な
5	厚みのある － 薄っぺらな
6	ぼやけた － 鮮明な
7	軽やかな － ずっしりした
8	立体感のある － 平坦な
9	ぬくぬくした － ひんやりした
10	ふかふかした － ごわごわした
11	しなやかな － ぱりぱりした
12	明るい － 暗い
13	丈夫な － もろい
14	毛羽立った － 毛羽立たない
15	光沢がある － 光沢のない
16	弾力のある － 弾力のない

5. 8 結果と考察

各被験者は実験の開始時と終了時での主観評価の変動をチェックするため、 セッションの初めと最後にサンプル織物についての評価を行った。 しかし、 それらの間には特に偏った傾向が見られなかった。 そこで、 それらの平均をサンプル織物に対する各被験者の評価結果とした。 被験者間で評価結果を比較したところ、 同じ実際の織物を評価しているにもかかわらず、 形容詞対によっては評価結果に大きな個人差が見られた。図48 (a)は20 名の被験者で平均した各形容詞対の評価結果の平均を、観察距離30 cm（黒丸）と観察距離100 cm（白丸）について示している。 縦軸に形容詞対を示し、横軸に評価値を示す。 誤差棒は標準誤差である。評価の結果では、「明るい - 暗い」について、「明るい」という評価が顕著にみられる。 異なる観察距離で評価結果を比較すると、観察距離30 cm よりも観察距離100 cm での結果の方が、ほとんどの形容詞対で評価結果の絶対値が小さくなった。 形容詞対全体では、30 cm の場合に比べて100 cm の場合は評価値が約0.59 倍（相関係数：0.78）であった。これは、距離30 cm よりも観察距離100cm の方がサンプル織物の細部が見えなくなり、中間の評価になったためと考えられる。



(a)



(b)

図48：(a) サンプル織物に対する主観評価の結果と

(b) CG 織物画像に対する主観評価の一例（画像 No. 6）

5. 8．1 CG 織物画像の評価結果

図48（b）は,CG織物画像に対する評価結果の一例（画像No.6）を示している。サンプル織物と同様に、CG 織物画像に対する評価結果にも被験者間でかなり大きなばらつきが見られた。 しかし、 そのばらつきは、 サンプル織物の評価において見られる主観評価の個人差を反映している可能性があったので、CG 織物画像とサンプル織物の評価結果の差を各被験者ごとに調べたところ、 被験者間でのばらつきは小さかった。形容詞対における評価において、 それぞれの被験者で、 サンプル織物とCG 織物画像の評価において共通した個人的な変動があるためと考えられた。 そこで、CG 織物画像の評価結果とサンプル織物の評価結果との差（評価値差）をとり、各CG 織物画像における変動について分析を行った。

図49 は、36 種のCG 織物画像に対する各形容詞の評価値差を示している。 縦軸は形容詞対で、 横軸は評価値差である。 誤差棒は標準誤差である。白丸は観察距離30 cm、黒丸は観察距離100 cm の結果である。ONB モデルの場合、「明るい - 暗い」(容詞対12 番)評価が多くのCG 画像で「暗い」側に評価がシフトしている。しかし、画像番号13 から24 ではそのシフトが比較的小さい。これらの画像ではDiffuse の値が90 以上なので、Diffuse の値が大きければ，サンプル織物と同等の評価がなされると考えられる．「きらきらした - くすんだ」（形容詞対2 番）、「軽やかな - ずっしりした」(詞対7 番)よび「光沢がある - 光沢がない」(容詞対15 番)、それぞれ「くすんだ」、「ずっしりした」および「光沢がない」の側にシフトしている。これらの評価も画像番号13から24 ではそれらのシフトが比較的小さく、Diffuse の値が大きいことと関連していると考えられる．ON モデルの場合もONB モデルと同様の評価のシフトが見られ、Diffuse の値が大きくなるとシフトが比較的小さくなる。ON モデルの場合、「ぼやけた - 鮮明な」（形容詞対6 番）の評価が「ぼやけた」の側にシフトしている結果が顕著

に見られ、特に、画像番号25 番から30 番といったDiffuse の値が小さい方がサンプル織物よりも「ぼやけた」という評価がなされている。これはDiffuse の値が小さくて「暗い」という評価と関連していると考えられる。

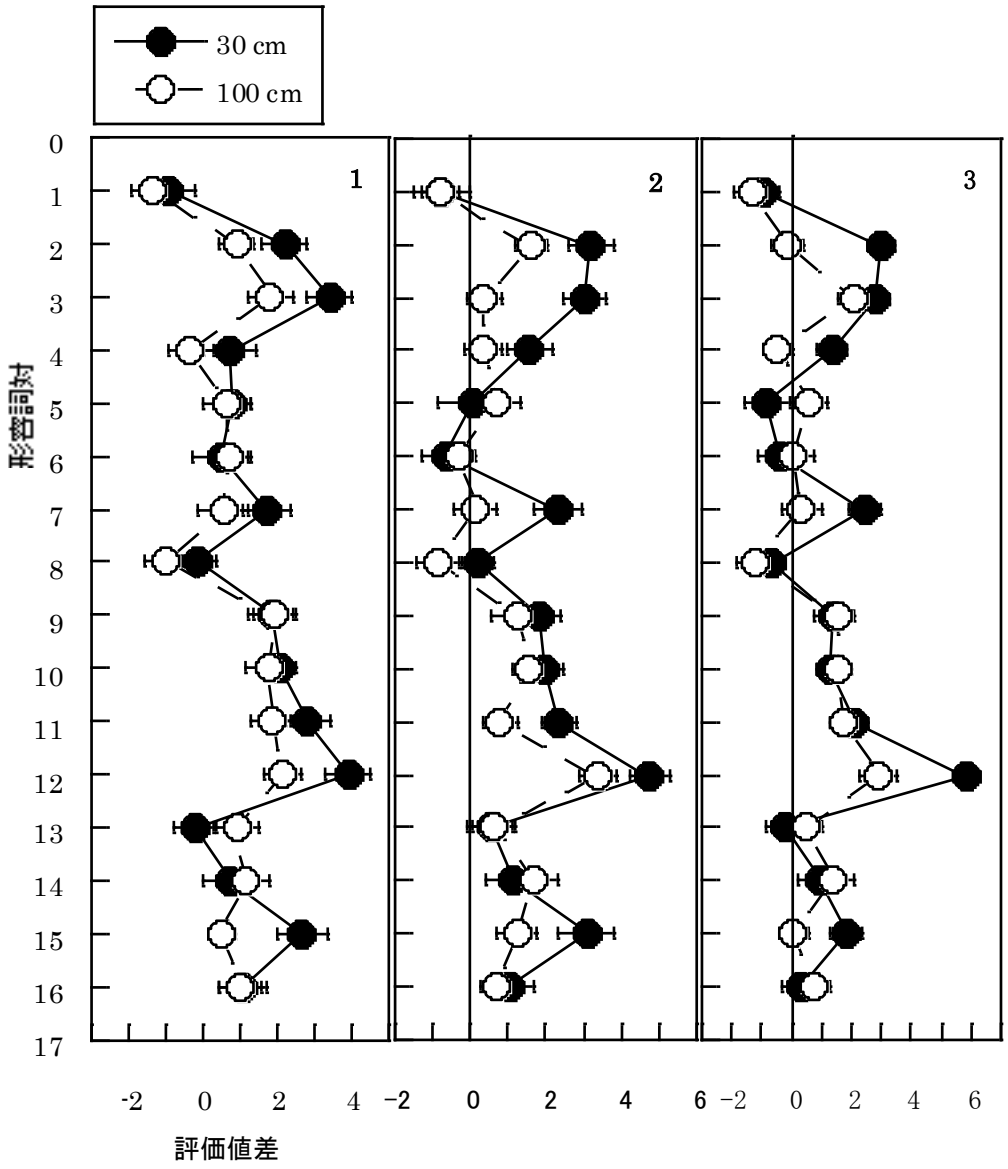


図49 (a) 評価結果(ONBモデル)

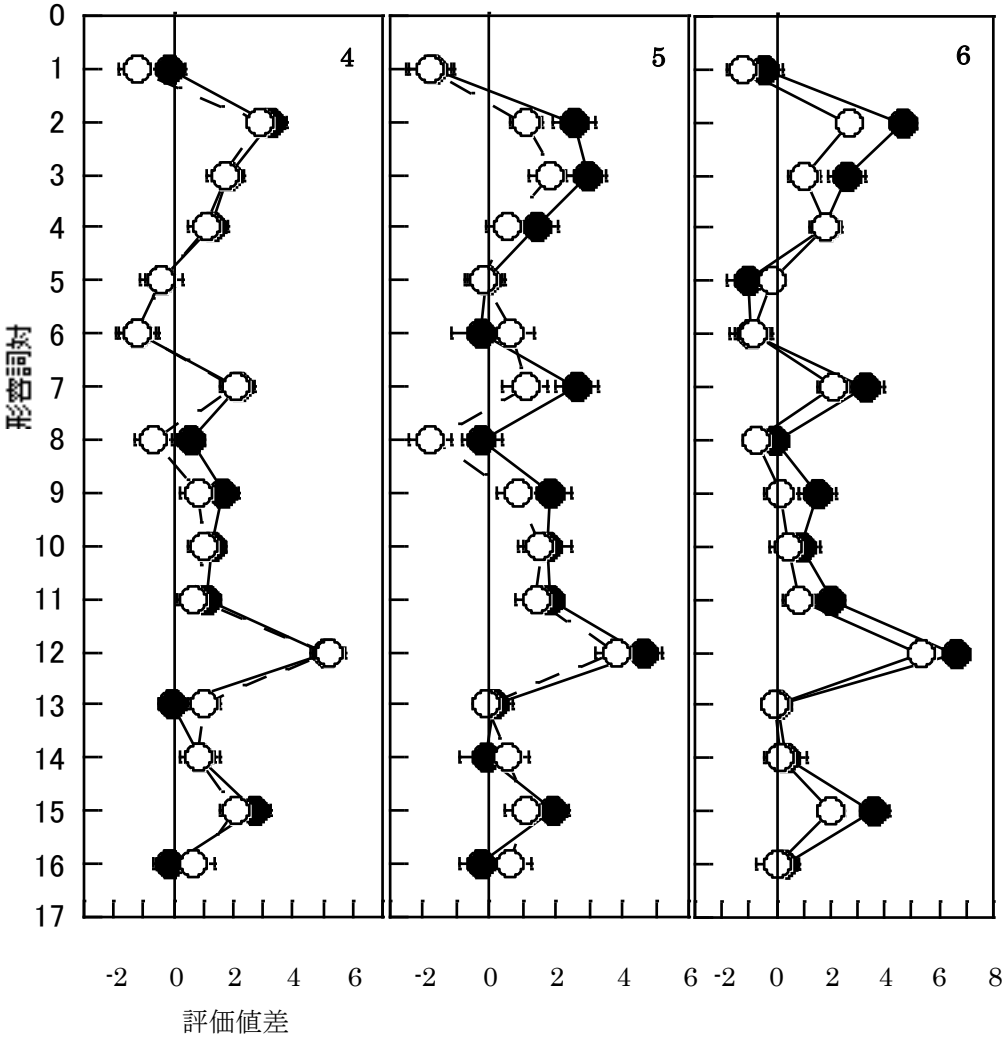


図49 (b) 評価結果(ONBモデル)

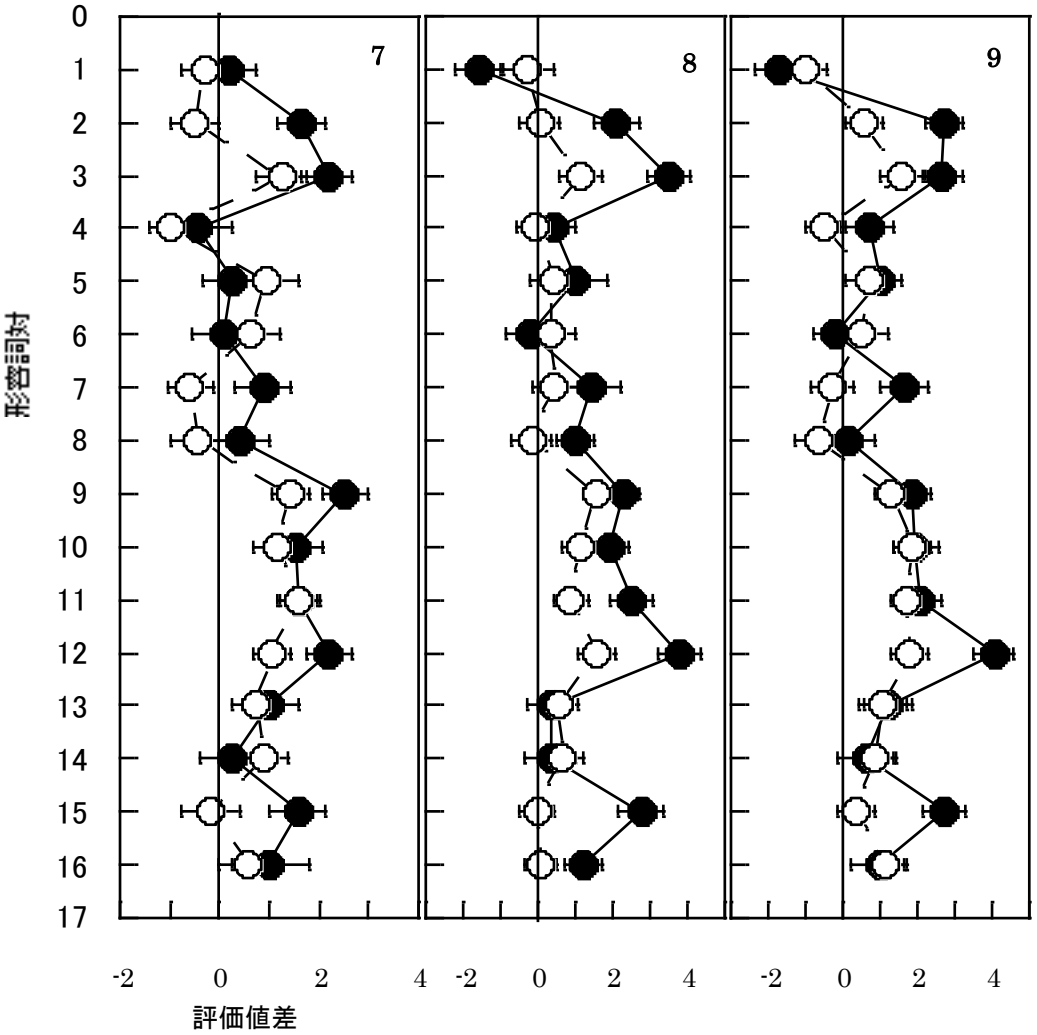


図49 (c) 評価結果(ONBモデル)

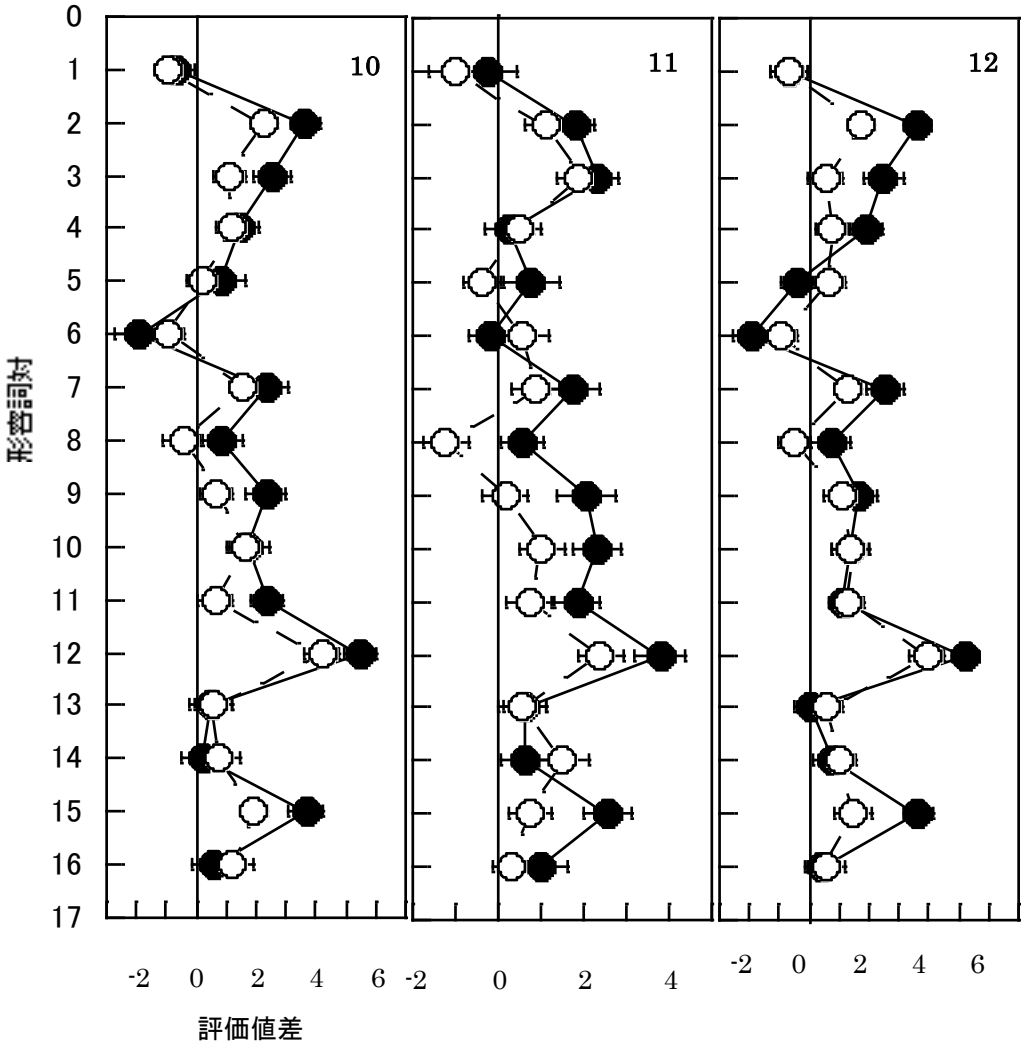


図49(d) 評価結果（ONBモデル）

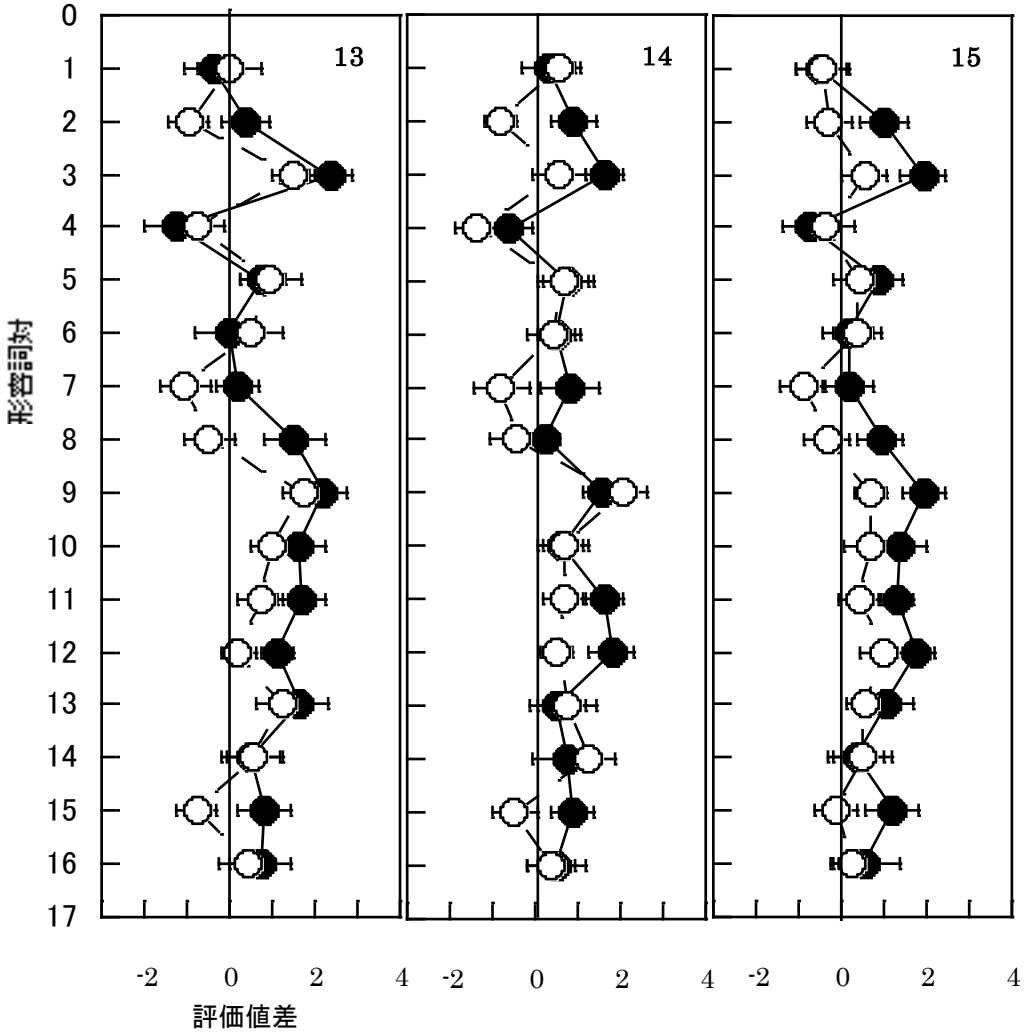


図49(e) 評価結果（ONBモデル）

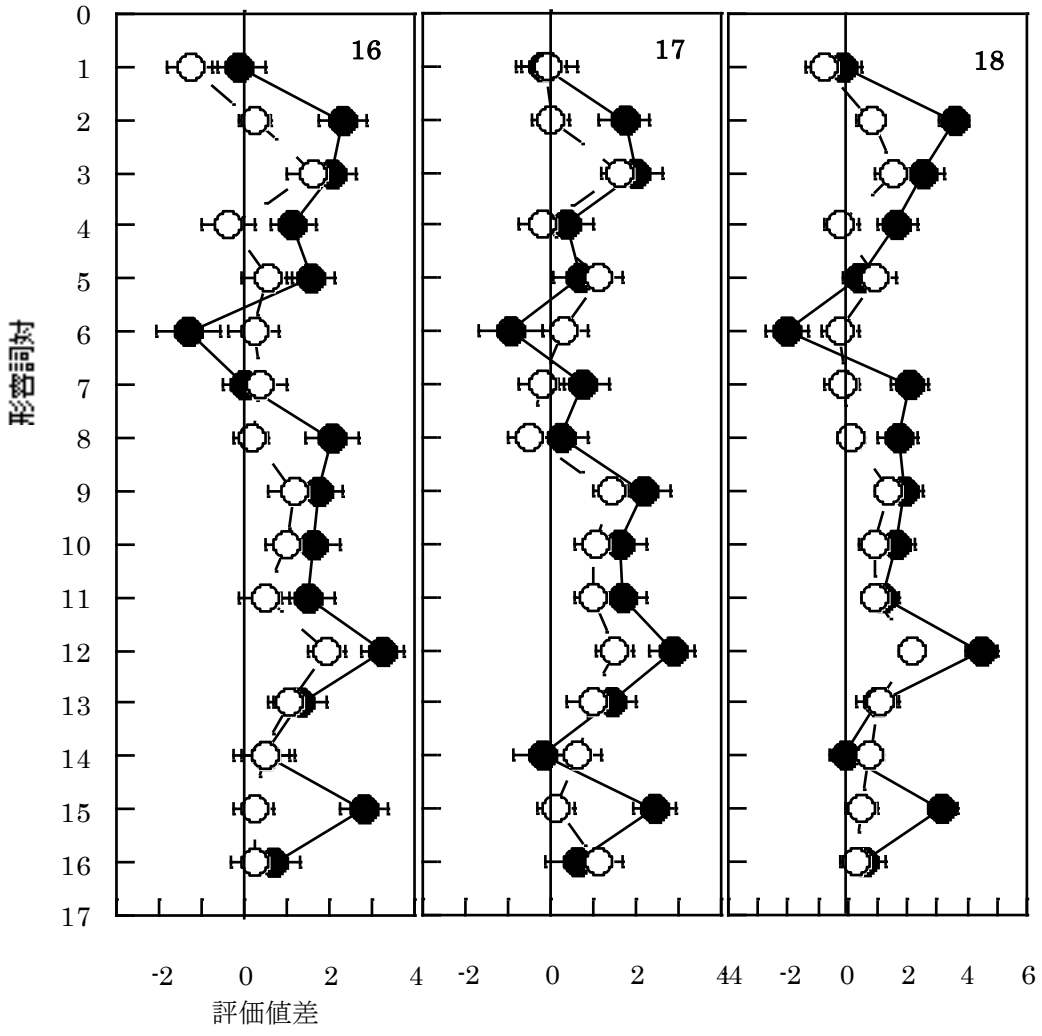


図49(f) 評価結果（ONBモデル）

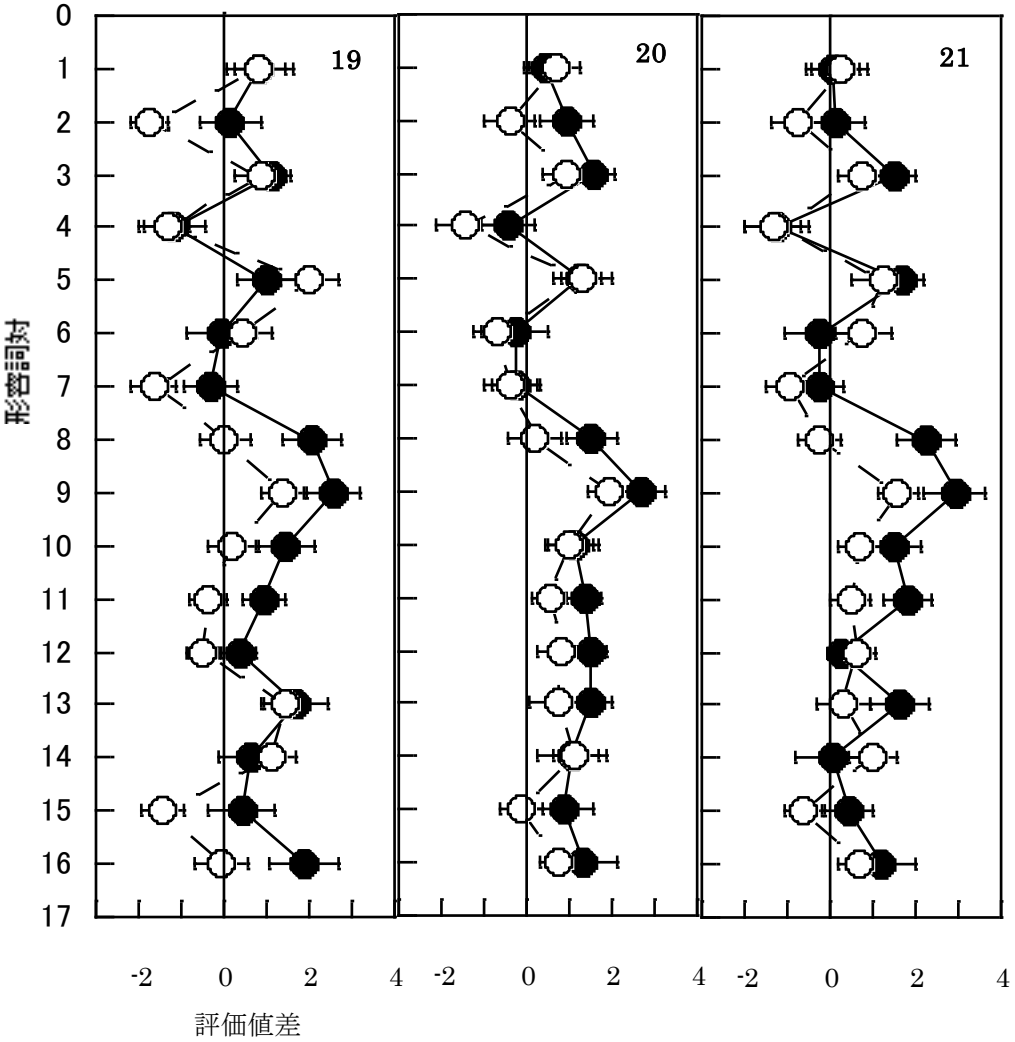


図49(g) 評価結果（ONBモデル）

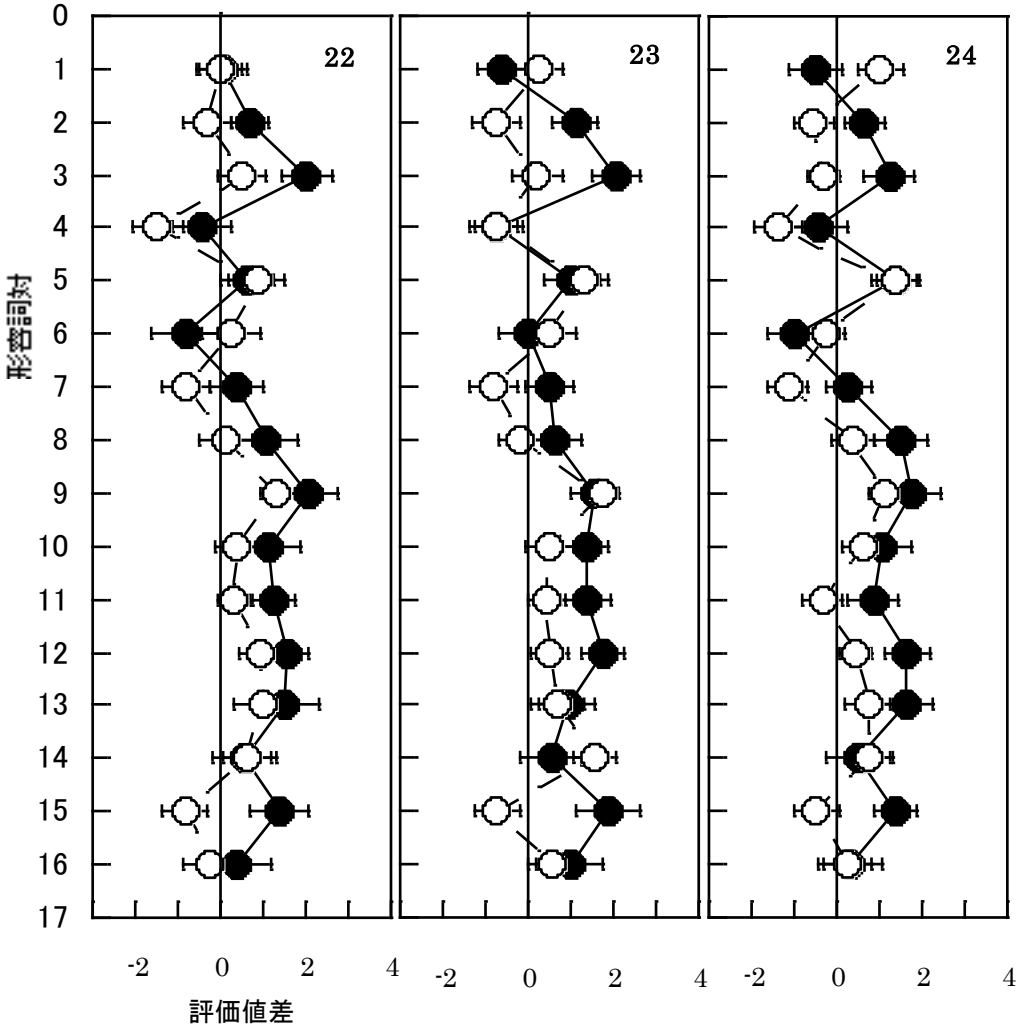


図49(h) 評価結果（ONBモデル）

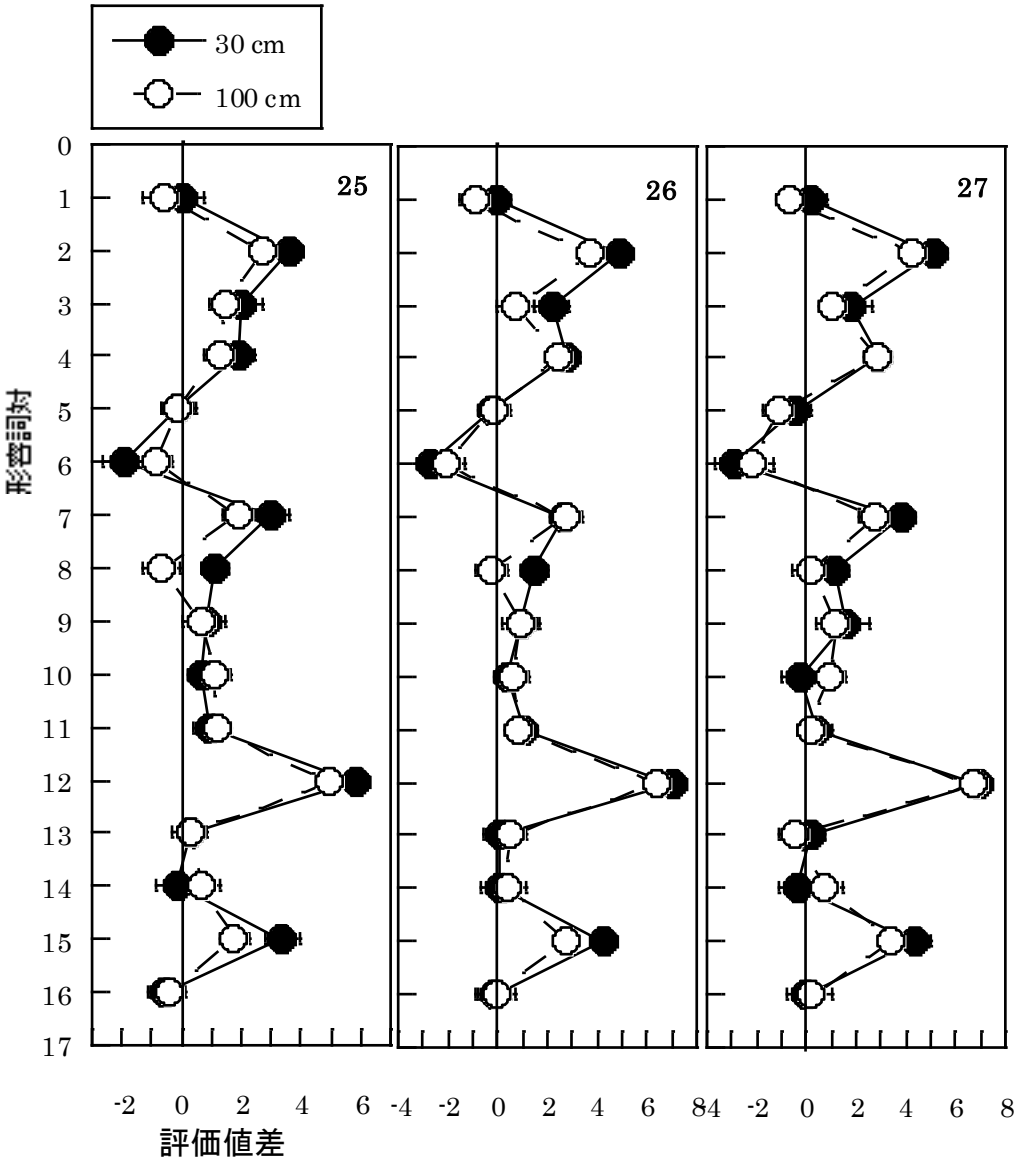


図49 (i) 評価結果(ONモデル)

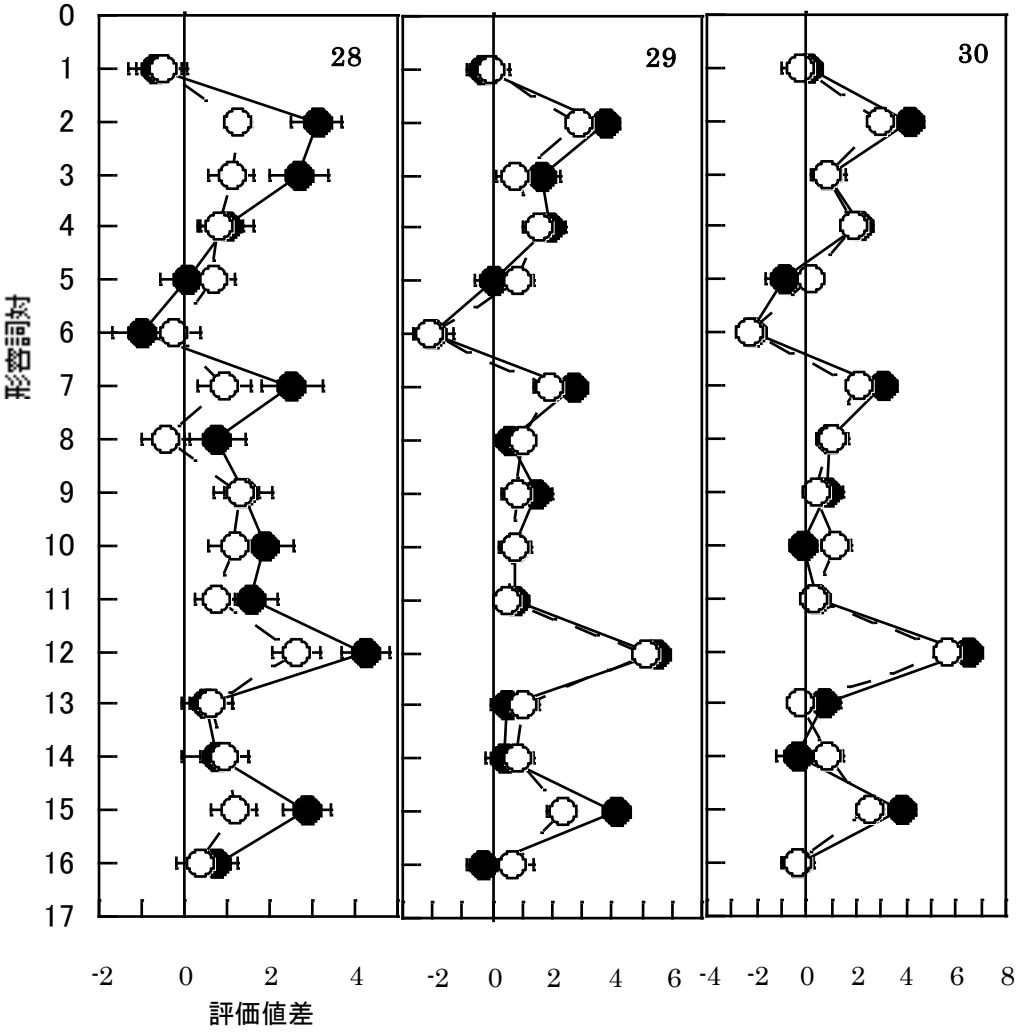


図49(j) 評価結果（ONモデル）

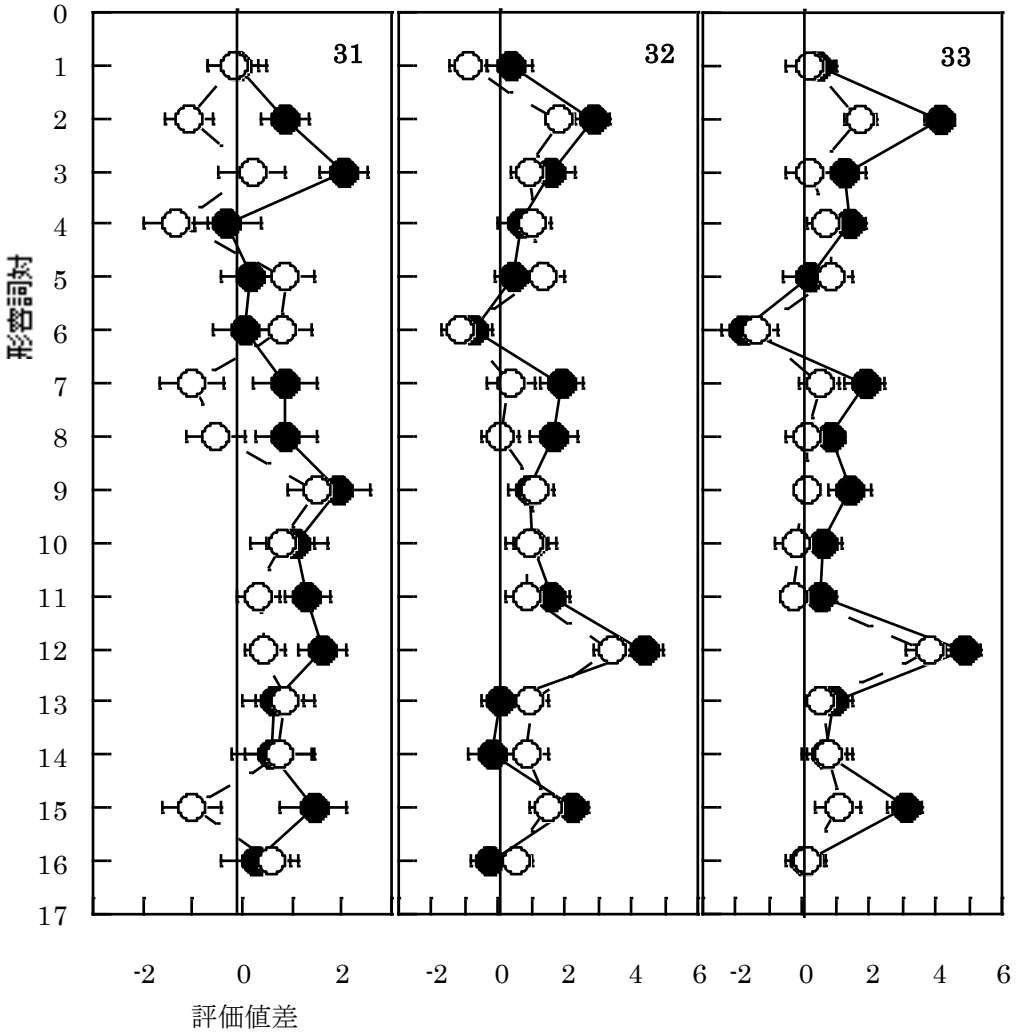


図49(k) 評価結果（ONモデル）

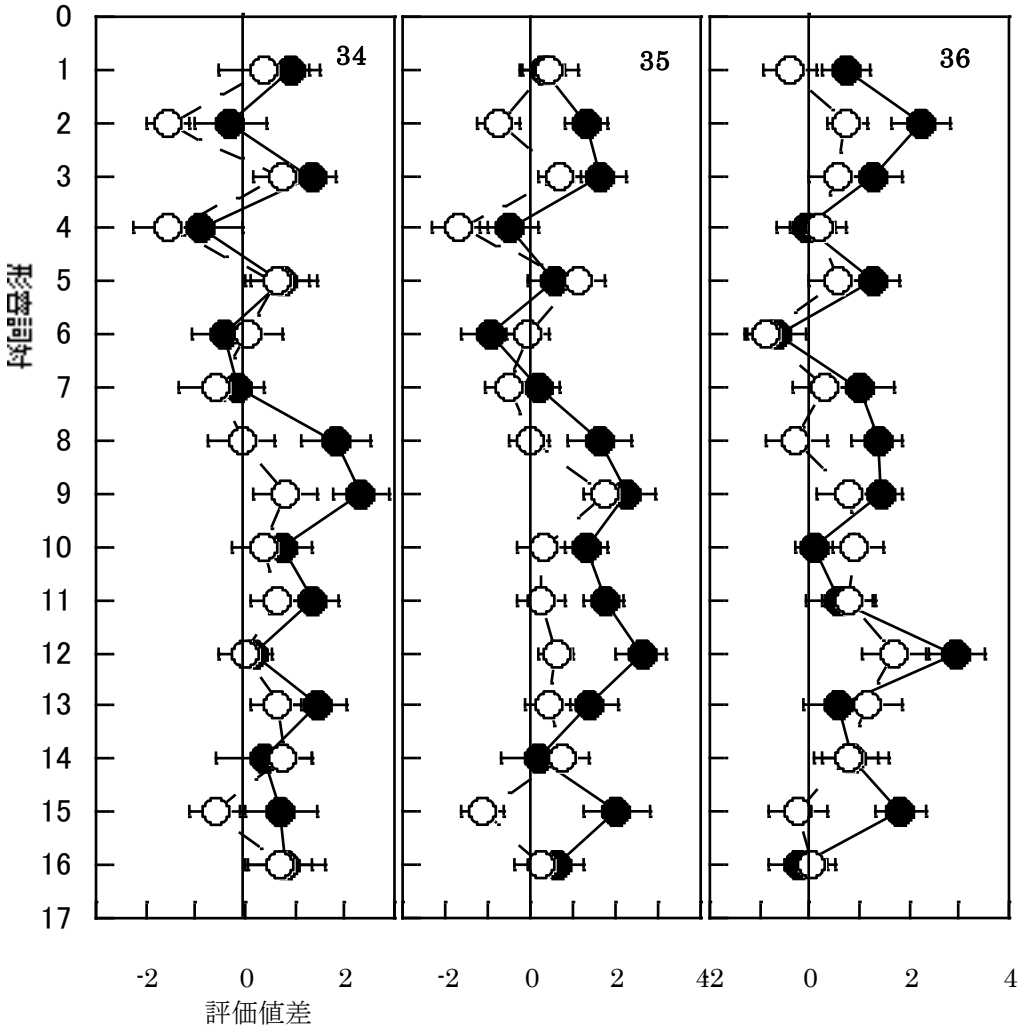


図49(l) 評価結果（ONモデル）

図 49 より、CG 織物画像の描画モデルの違いやパラメータの違いによって、 形容詞対による評価が異なることがわかる。パラメータと形容詞対の評価の関係の一例として、図 50 に、形容詞対番号 12（「明るい―暗い」）と形容詞対番号 15（「光沢がある―光沢のない」）の評価値差と Diffuse の値の関係を示している。他のパラメータの値は異なっているが、Diffuse の値が大きくなると、傾向として「明るい」と「光沢がある」という評価がサンプル織物の評価（評価値差 0）に近くなるように変化することが分かる。

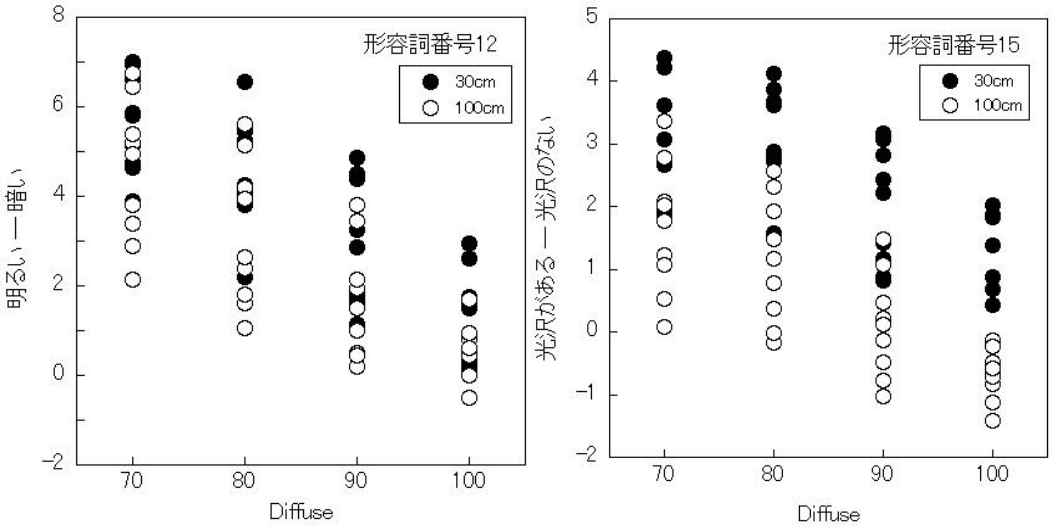


図 50：形容詞対の評価値差とパラメータの関係の例

（形容詞番号 12 および 15 とパラメータ Diffuse の関係）

評価値差はCG織物画像とサンプル織物の評価の差を表しているので、CG 織物画像に対する評価値差のばらつきが小さく、 かつ、 全形容詞対での平均が0 に近いほど、そのCG 織物画像の主観評価がサンプル織物の主観評価に近いと考えられる。表3 に各CG 織物画像におけるそれらの値を示す。表3（a）はONB モデルについて，表3（b）はON モデルについての結果を示す。まず、各CG 織物画像の全形容詞対に対する評価の平均について評価値0 との検定（t 検定：df=15）を行った結果、両観察距離において、ほぼすべてのCG 織物画像について、5%以下の危険率で評価値0 とは有意な差があった。ただし、サンプル織物に対する評価が近い場合は、標準偏差と平均がどちらも0 に近いことが判定の基準になると考えられたが、平均に対して標準偏差が大きければ、評価値0 と有意な差がなくなるため、評価値0 との有意差がないことは、CG 織物画像の評価がサンプル織物の評価に近いことの判定の基準に採用しなかった。そこで、表3に示すように、平均値と標準偏差の積を求めて、各モデルについて、 その値の最も小さい画像を評価がサンプル織物に最も近いものとして選択した。観察距離30 cm の場合はONB では14 番，ON では31 番および34番であった．観察距離100 cm の場合はONB では19 番、ON では34番であった。平均と標準偏差の積は、観察距離30 cm では14 番と31番および34 番でほぼ等しく、観察距離100 cm では34 番と19 番でほぼ等しかった。観察距離が100 cm の場合の方が観察距離30 cm の場合よりも籍の値が小さくなるのは、観察距離100 cm の場合の方がCG織物画像の細部が見えなくなり、評価結果が中間の値になる傾向に一致する。表3 の右に示すように、14 番と31 番および34 番は、Diffuse= 90 および100、Roughness = 30 が共通で、14 番ではBlinn モデルのSpecular = 40 が付け加わっている。また、19 番と34 番では、Diffuse= 100、Roughness = 30 は共通で、19 番ではSpecular = 80 が付け加わっている。従って、 どちらの観察距離でも、サンプル織物と近い評価のCG 織物画像の描画パラメータは、

Diffuse= 90 あるいは100、Roughness=30 で、さらに、ONB モデルにおけるSpecular の効果が評価に影響を与えていると考えられる。 以上の結果から、CG 織物画像において、ONB モデルあるいはON モデルにおいて、Diffuse = 90あるいは100、Roughness = 30 で主観的評価がサンプル織物の評価に最も近く、さらに、ONB モデルについては、観察距離30 cm の場合はSpecular = 40、観察距離100 cm の場合はSpecular=80 が設定されるとCG 織物画像の評価がサンプル織物により近くなると考えられる。

表3 (a) CG織物画像ごとの全形容詞対に対する評価値差の平均と標準偏差（ONBモデル）

および平均 0 との有意差検定

	30 cm			100 cm			描画パラメータ		
画像番号	平均	標準偏差	平均×標準偏差	平均	標準偏差	平均×標準偏差	Specular	Diffuse	Roughness
1	1.45***	1.36	1.97	0.82**	1.02	0.84	80	70	30
2	1.60***	1.52	2.43	0.77*	1.05	0.81	40	70	30
3	1.26*	1.79	2.26	0.64*	1.17	0.75	80	70	70
4	1.24**	1.59	1.97	1.04*	1.61	1.67	40	70	70
5	1.19*	1.62	1.93	0.70·	1.33	0.93	80	70	100
6	1.58*	2.16	3.41	0.85·	1.67	1.42	40	70	100
7	1.06***	0.88	0.93	0.46*	0.82	0.38	80	80	30
8	1.43**	1.41	2.02	0.52**	0.60	0.31	40	80	30
9	1.40**	1.38	1.93	0.69**	0.91	0.63	80	80	70
10	1.63**	1.81	2.95	0.98**	1.27	1.24	40	80	70
11	1.37***	1.11	1.52	0.62*	0.94	0.58	80	80	100
12	1.40**	1.83	2.56	0.89**	1.13	1.01	40	80	100
13	0.87**	0.97	0.84	0.30	0.89	0.27	80	90	30
14	0.80***	0.62	0.50	0.29	0.87	0.25	40	90	30
15	0.84***	0.79	0.66	0.19	0.53	0.10	80	90	70
16	1.32***	1.17	1.54	0.52*	0.76	0.40	40	90	70
17	1.08**	1.06	1.14	0.63**	0.69	0.43	80	90	100
18	1.47**	1.58	2.32	0.61**	0.76	0.46	40	90	100
19	0.85**	0.97	0.82	0.07	1.18	0.08	80	100	30
20	1.01***	0.81	0.82	0.44·	0.85	0.37	40	100	30
21	0.85**	1.11	0.94	0.28	0.83	0.23	80	100	70
22	0.84***	0.82	0.69	0.17	0.76	0.13	40	100	70
23	0.90***	0.82	0.74	0.31	0.80	0.25	80	100	100
24	0.77**	0.84	0.65	0.14	0.81	0.11	40	100	100

表 3 (b)　CG 織物画像ごとの全形容詞対に対する評価値差の平均と標準偏差（ON モデル）
および平均 0 との有意差検定

	30 cm			100 cm			描画パラメータ	
画像番号	平均	標準偏差	平均×標準偏差	平均	標準偏差	平均×標準偏差	Diffuse	Roughness
25	1.31*	1.92	2.52	0.97*	1.49	1.45	70	30
26	1.54*	2.36	3.63	1.17*	2.05	2.40	70	70
27	1.52*	2.52	3.83	1.25*	2.26	2.83	70	100
28	1.39**	1.43	1.99	0.79***	0.77	0.61	80	30
29	1.34*	1.90	2.55	1.18**	1.52	1.79	80	70
30	1.22*	2.23	2.72	1.04*	1.77	1.84	80	100
31	0.83***	0.71	0.59	0.13	0.87	0.11	90	30
32	1.16**	1.31	1.52	0.87**	1.04	0.90	90	70
33	1.29**	1.61	2.08	0.57・	1.09	0.62	90	100
34	0.68**	0.87	0.59	0.08	0.78	0.06	100	30
35	1.02***	1.00	1.02	0.15	0.86	0.13	100	70
36	0.95***	0.94	0.89	0.42*	0.65	0.27	100	100

6. ８．２ 主観評価の因子分析における因子得点と描画パラメータの関係

描画モデルの各パラメータの値が、織物の見えの評価にどのような寄与をしているかを分析するために、図49 の評価結果から因子分析によって得られる因子とパラメータの関係を調べた。表4 は因子数3 の因子負荷量を示す。累積寄与率は76.6 %であった。因子1 では「きらきらした―くすんだ」、「明るい―暗い」や「透明感のある―不透明な」などの形容詞対で因子負荷量の絶対値が大きく、CG 画像自体の見えにおける全体的な明暗印象を示す因子と考えられる。因子2 では「しなやかな― ぱりぱりした」、「ふかふかした―ごわごわした」や「柔らかい― 硬い」で因子負荷量の絶対値が大きいので、CG 画像から受ける織物の硬さの質感を示す因子と考えられる。さらに、因子3 には「立体感のある― 平坦な」が含まれ、 表面の形状の印象を示す因子と考えられる。

表 4　因子分析結果の因子負荷量

形容詞	因子 1	因子 2	因子 3
2	0.982	0.097	0.064
12	0.981	0.028	−0.142
4	0.962	−0.03	−0.117
7	0.95	0.153	−0.065
15	0.931	0.232	0.205
6	−0.836	0.28	−0.332
5	−0.717	0.012	0.334
11	0.147	0.922	−0.003
10	−0.007	0.822	−0.084
3	0.359	0.819	0.053
9	−0.296	0.568	0.529
16	−0.39	0.548	0.094
8	0.172	0.066	0.924
1	−0.293	−0.448	0.619
13	−0.535	0.063	0.483
14	−0.423	−0.088	−0.413

図51 に各CG 織物画像の3 因子の因子得点を示す。因子得点には、描画モデルや観察距離によって、 特徴的な分布が見られる。 観察距離30 cm の場合は、どの因子についても因子得点の正側に多く分布している。一方、観察距離100 cm の場合は、因子2 および因子3 において、負側に分布している。すなわち、観察距離30 cm では、全体的な明暗印象は暗く、 質感の印象は硬く、表面形状は平坦といった印象を与えていると考えられる。一方、観察距離100 cm では、質感は柔らかく、表面形状が粗い印象を与えていると考えられる。

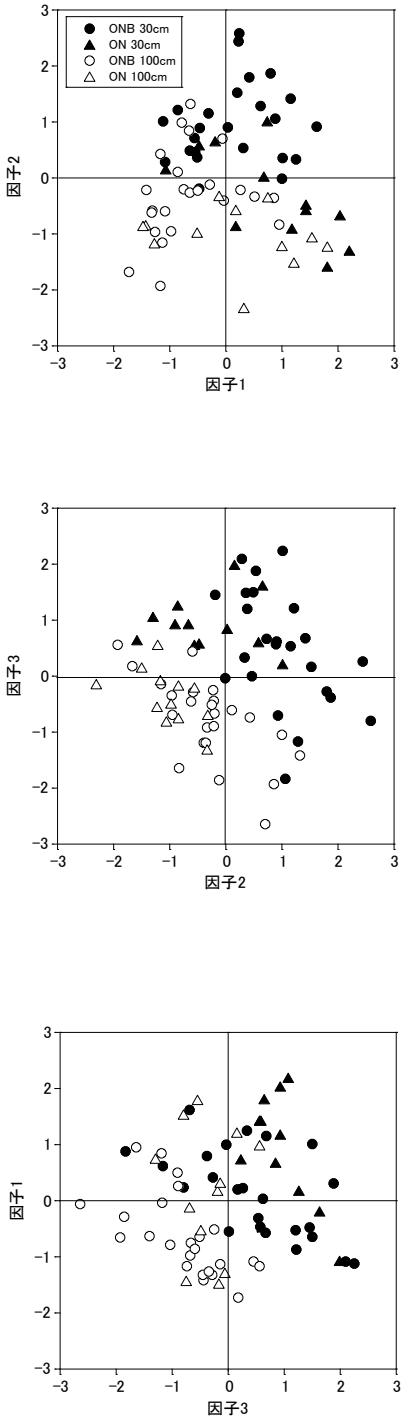


図 51　CG 織物画像に対する評価の因子得点

因子得点に対するパラメータの寄与を調べるため、各織物CG 画像の因子得点に対して、 ONB モデルにおける3 つのパラメータ（Specular, Diffuse, およびRoughness）およびON モデルにおける2 つのパラメータ（Diffuse, およびRoughness）の値による重回帰分析を行った。その結果を表5 に示す。ONB モデルでは、因子1 から因子3 までパラメータの寄与が明瞭である。一方、ON モデルでは、因子1 へのパラメータの寄与は明瞭であるが、因子2 や因子3 では明瞭な寄与が見られない。2 つの描画モデルのそれぞれにおいて、観察距離30 cm と100 cm の間で係数値に大きな違いが見られないので、それらを平均した結果も示している。

表 5　描画パラメータによる因子得点の重回帰における重回帰係数
（. : 10%有意, * : 5%有意, ** : 2.5%有意, *** : 1%有意）

描画パラメータ	ONB 30 cm (Image No.1-24)			ONB 100 cm (Image No.1-24)			平　均		
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 1	因子 2	因子 3	因子 1	因子 2	因子 3
Specular	−1.50E−2***	1.13E−2·	−0.76E−2	−1.47E−2***	1.45E−2*	−1.11E−2***	−1.49E−2	1.29E−2	−0.94E−2
Diffuse	−5.32E−2***	−3.18E−2**	7.68E−2***	−4.64E−2***	−4.57E−2***	5.67E−2***	−4.98E−2	−3.88E−2	6.68E−2
Roughness	1.07E−2***	−0.81E−2·	−0.28E−2	0.94E−2***	−0.26E−2	−0.65E−2**	1.01E−2	−0.54E−2	−0.47E−2
切片	4.84***	3.54**	−5.39***	3.57E−2***	2.89**	−4.50***	4.21	3.21	−4.95

	ON 30 cm (Image No.25-36)			ON 100 cm (Image No.25-36)			平　均		
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 1	因子 2	因子 3	因子 1	因子 2	因子 3
Diffuse	−7.61E−2***	2.73E−2·	2.63E−2*	−8.37E−2***	−0.60E−2	1.57E−2	−7.99E−2	1.07E−2	2.10E−2
Roughness	1.72E−2***	−2.03E−2**	0.20E−2	1.85E−2***	−1.30E−2*	0.72E−2	1.79E−2	−1.67E−2	0.46E−2
切片	6.16***	−1.29	−1.43	6.05***	0.34	−2.18·	6.10	−0.48	−1.80

表5 に示された重回帰係数の平均値を用いて計算された各CG 織物画像の因子得点を図52 の縦軸に示す。横軸は図51 に示されたCG 織物画像の各因子の因子得点である。 描画モデルと観察距離ごとに示している。図中の斜め線は0 点を通る傾き1 の直線である。各図の凡例にそれぞれの相関係数を示しており、重回帰係数から予測される因子得点は各CG 織物画像に対する評価から得られた因子得点と良い一致を示している。

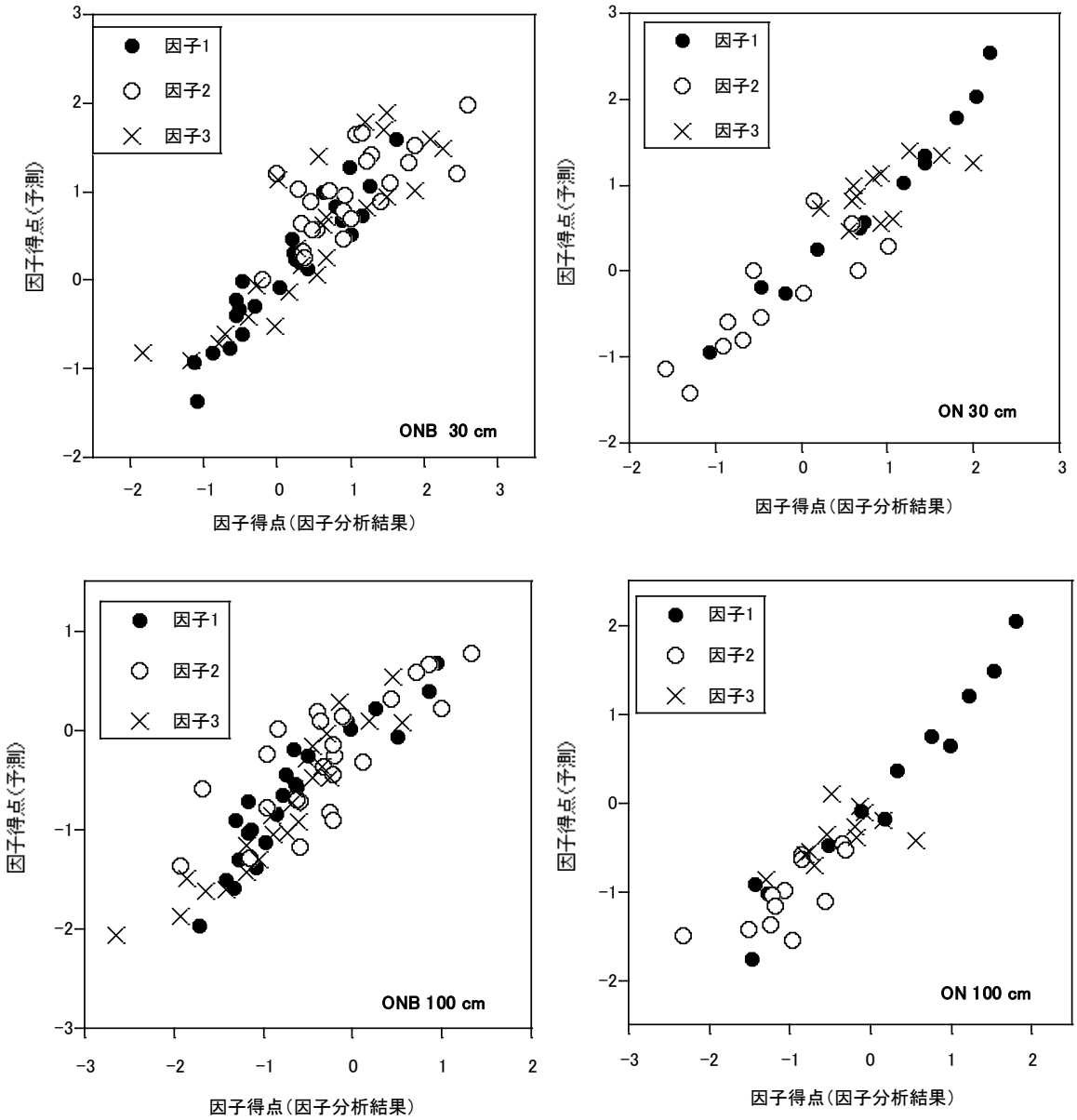


図52　因子分析結果の因子得点と係数値から予測される因子得点の関係

ONB モデルにおいて、表5 の各因子におけるパラメータの重回帰係数の平均値を比較すると、因子1 において、Specular とDiffuse の係数は負で、 Roughness の係数は正であり、 また、 Diffuse の係数はSpecular の係数に比べ絶対値が約3.3 倍大きく、 Specular やRoughness の寄与は比較的小さい。切片の値は正で、因子１は画像の明暗（負：明，正：暗）を示す因子と考えられることから、SpecularやDiffuse の値が小さい場合は画像が暗いが、Diffuse の値が増加すると画像が明るくなり、値が100近くになると因子1 の値が正から負に変わることを示している。次に、因子2 でも、Diffuse の係数が負であり、切片の値が正である。因子2 では、Specular とRoughnessの符号が因子1 の場合と逆になっている。因子2 は、硬さの質感（負：柔らかい， 正：硬い） を示す因子と考えられるが、 切片の値が正であることから、Diffuse の値が小さい場合には硬い印象があるが、Diffuseの値が大きくなると、因子1 の明るさと連動して、次第に柔らかい質感が得られることを示していると考えられる。そして、因子1 と同様に、Diffuse の値が100 近くになると因子2 の値は正から負に変わる。次に、因子3 では，Diffuse の係数のみが正で、Specular とRoughnessの係数は小さい負の値であり、切片は負である。因子3 は表面の形状の印象（負：粗い，正：滑らか）を示す因子と考えられるため、Diffuseの値が小さい場合は粗い印象があるが、Diffuse の値が増加すると表面の印象が滑らかに感じられるようになり、 もし同時に、Specular Roughness の値が増加すると、それらは粗い印象を与える方向に働くと考えられる。以上から、ONB モデルにおいては、すべての因子において、Diffuse の値が印象に大きく寄与しており、Diffuse の値が大きいほど、 見えの印象が明るく、柔らかく、 滑らかになることがわかった。また、Specular とRoughness はDiffuse と同じ方向に因子の値を変化させることはなく、どちらか一方、あるいは両方がDiffuse と逆の方向に因子の値を変化させることが分かった。ON モデルにおいては、因子1 ではONB の場

合と同様に、Diffuseの値が増加すると画像が明るくなると考えられ、Roughness の寄与は相対的に小さい。因子2 や因子3 では、切片の値は小さく、因子2では、Diffuse の効果とRoughness の効果がほぼ同程度で、それらの寄与は互いに打ち消しあう。因子3では、Diffuse の値が増加すると、次第に滑らかな印象に変化するのは、ONB モデルの場合と同様である。以上から、ON モデルにおいても、ONB モデルと同様に、Diffuseの値が印象に大きく寄与しており、Diffuse の値が大きいほど、見えの印象が明るく、滑らかになることがわかる。観察距離100 cm の場合に、因子2 について、描画パラメータの値がほとんど寄与しないのは、因子2 が表す硬さの質感は、描画パラメータが異なっても、観察距離100cm の場合には細部が識別できなくなり、評価に差を生じないためと考えられる。

5. 9 実験 3 のまとめ

実験 3 では、Oren-Nayar-Blinn モデルおよび Oren-Nayar モデルを用いて CG 織物画像を作成し、それらの見えの主観評価の結果から、実物のサンプル織物に類似した見えの印象を与えるための描画パラメータについて考察した。さらに、描画パラメータが主観評価に及ぼす影響について調べた。その結果、ONB モデルと ON モデルのいずれにおいても，CG 織物画像において、Diffuse=90 あるいは 100、Roughness=30 の場合に、CG 織物画像の評価がサンプル織物の評価と最も近くなることがわかった。さらに、ONB モデルでは、観察距離 30 cm の場合は Specular=40、観察距離 100cm の場合は Specular=80 が設定されると、サンプル織物に近くなることが分かった。これらをまとめると Diffuse の値がおおきほど、そして Roughness の値が小さいほど類似した。さらに、描画パラメータのうちでも、Diffuse の値が主観評価に大きく寄与しており、Diffuse の値が大きいほど、見えの印象が明るく、柔らかく、滑らかになることがわかった。本研究の結果、描画パラメータの設定によって CG 織物画像の質感をサンプル織物に近づけることができることがわかった。