

3DCGソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの 光学的関連について

Research into the Optical-related Luminance Factor and Parameters
in 3D-CG Software Imaging

坂上 ちえ子
SAKAGAMI Chieko

Abstract

This research examined the relationship between the luminance factor of images created with 3D-CG software and the parameters governing the materials and light sources within these images.

Three kinds of fabric images were created using 3D-CG software. The pixel values of Images A and B, whose material parameters were changed, and the luminance values of Image C were measured. The parameters were varied within the range of 0–1 as stipulated in the software instruction manual, but the pixel values had no significant changes. For this reason, the upper bounds of the parameters were modified to 20, and the pixel values of the CG images were measured. Changes in the material parameters and in the light source parameters were revealed to exert a large influence on the luminance factors of these images. In addition, it was revealed that under spotlight conditions, brilliance failed to display in images of planes, and was lost altogether at image angles other than 0 degree.

Keywords: *3D-CG software, image, parameter, luminance factor*

1. はじめに

電磁波が不透明物体に照射された場合、その表面での現象を大きく分類すると、反射と吸収、透過がある。それぞれは密接に関連し、分けることのできない現象であるが、一般に色や形の見えや認知には、電磁波（光）の反射が欠くことのできない重要なファクターとなる。一方、使用機会の多いテレビやコンピュータのディスプレイでは、画面表面からの反射とともに画面からの透過光も人の見えに大きな影響を及ぼす。さらに、コンピュータやスマートフォンで多用されるコンピュータ・グラフィックス（CG）では、計算によって強度が調整された透過光がディスプレイを通して我々の目に到達し、反射現象が再現されて、あたかも自然にモノを見ているような状態となるようプログラム開発が進められている。

反射は二つに分類される。物体内部に入らず、反射の法則（入射角＝反射角）を満たし、表面で反射する現象は「正反射」、あるいは「鏡面反射」と称される。それに対し、一度物体の

内部に進入し、内部で多重に吸収、透過、反射され、エネルギーの一部が物体表面に再び達し、物体表面でほぼ等方的に反射することは「拡散反射」と呼ばれる。金属などのように物体表面が滑らかな物体では、2つの反射のうち、鏡面反射の方が強い。しかし、表面に細かな凸凹があるような粗面とされる表面では、その凸凹のごく小さな面において反射の法則を満たしつつ、それらが様々な方向に反射するため拡散反射となる。また拡散反射には、いったん物体内部に入射して戻った光と表面で反射する光の2種類があるとされる。

このように、物体表面を形成する材質や観測条件によって物体からの光の反射は異なり、見え方や質感もさまざまに相違する。CGをはじめ、画像情報処理においてはそのような多様な表面反射を数学的に記述することが必須となる。その記述を反射モデルといい、実用されている反射モデルで最も基本的なものは、2色性反射モデルである。このモデルの特徴は、物体表面からの反射光を鏡面反射成分と拡散反射成分の2つの成分の加法とみなし記述することである。さらに、2色性反射モデルは、拡散反射モデルと鏡面反射モデルに分けられる。代表的なモデルとしては、前者がLambertモデルやOren-Nayarモデル¹⁾、後者がPhongモデル²⁾やTorrance-Sparrowモデル³⁾、Blinnモデル⁴⁾、Cook-Torranceモデル⁵⁾、Wardモデル⁶⁾があり、さらに反射表現に適切なモデルの研究が進められている。

近年、初心者でもCGの作成が行えるよう、低価格で性能の高いCGや3DCG (Three-Dimensional Computer Graphics) のソフトウェアが市販されている。しかし、それらを作動させるプログラミング言語の種類やソースコードなどの詳細は公開されておらず、反射の記述は上記いずれのモデルによるのか、企業独自のモデルなのかも分かっていない。加えて、実際の物体とそれをCG画像にしてディスプレイに映出した場合の各表面のルミナンスファクターの相違も明らかになっていない。つまり、本物のように見えるCG画像と本物の物体表面の光学的な関連は比較されたことがない。

本研究ではまず、汎用の3DCGソフトウェア⁷⁾を使用して、表面に微細な凸凹があるかのような布の画像を作成する。その布画像のルミナンスファクターの特徴を把握することを目的として、ディスプレイのピクセル値と輝度値を実測し、検討を行う。

2. 方法

本研究では、大きく2つの測定を行った。測定1では、市販されている3DCGのソフトウェアを使用して作成した布の画像のピクセル値を測定した。測定2では、測定1とは異なる布画像を作成し、その画像をディスプレイに映出して輝度値を測定した。本節では、それぞれの測定の方法と手続きを示す。また、本章の図は、文献⁸⁾より引用した。

2. 1. 測定 1

2. 1. 1. 使用ソフトウェアと機器

本研究で使用した 3DCG のソフトウェアは、特別な訓練や知識、プログラミングなどが不要とされる。コンピュータ・グラフィックスに不慣れな者でも、簡単にモデリングすることが可能で、表面材質や色、光源もレンダリング結果を確認しながら、ダイアログ形式で設定を行うことができる。販売価格も低く抑えられており、CG 作成には広く用いられているソフトウェアである。

今回、画像のルミナンスファクターを検討するにあたり、影響が予想される要因項目を予備実験により精査した。まず、当該ソフトウェアに実装されていたなかで、材質と光源に関する項目は Table 1 に示す通りである。また、取り扱い説明書に記載されていた該当の箇所は Fig.1.1 ~ Fig.1.4、実働させたソフトウェアの作業画面での該当箇所は Fig.2.1 と Fig.2.2 に示す通りである。同一画像において、材質と光源の各属性項目の数値を変化させた場合と各項目を組合せ、さらに数値を変化させた場合のピクセル値を比較、確認した。その予備実験結果により、材質では基本設定項目のうち、「拡散反射」と「光沢 1」の強さ、「光沢 1」のサイズを選定し、光源項目では、「光源」と「環境光」を選定した。以下、「拡散光」を P1、「光沢 1 強度」を P2、「光沢 1 サイズ」を P3、「光源」を P4、「環境光」を P5 とラベル付けした。選定した項目の「光源」とは、当該ソフトウェアでは「無限遠光源」と説明されており、太陽のようにはるか遠くにあることを想定して、シーン（作成画像全体）に差し込む光としている。また「環境光」とは、シーン全体を均等の明るさで照明する光源で、あらゆる方向に均等に反射する光とソフトウェアの説明書に記載されていた。

使用した機器のうち、ディスプレイは LCD-AD195VB-HS2 (I.O DATA) であり、ディスプレイとパソコン (TOSHIBA dynabook satellite B353/25JB) は DVI ケーブルでつないだ。これらは、測定 1 と測定 2 に共通して使用した。

Table 1 Parameter in the 3DCG software that was used in the measurement.

材質		光源	光源属性
基本設定	効果設定		
拡散反射	粗さ	スポットライト	明るさ
光沢1	異方性反射	平行光源	角度
光沢1-サイズ	フレネル	線光源	ソフトネス
光沢2	メタリック	面光源	拡散反射
光沢2-サイズ	発光	環境光	環境光
反射	ソフトグロー	無限遠光源	影
透明	バックライト		影のソフトネス
屈折	収査		
環境光			

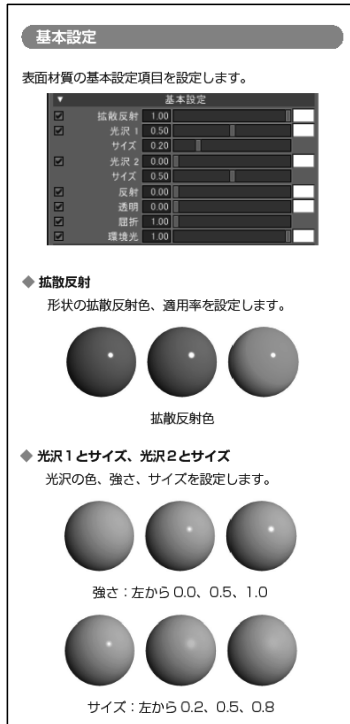


Fig.1.1 Material parameter indicated on an instruction manual 1.

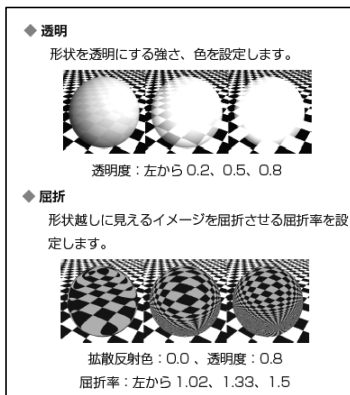


Fig.1.2 Material parameter indicated on an instruction manual 2.

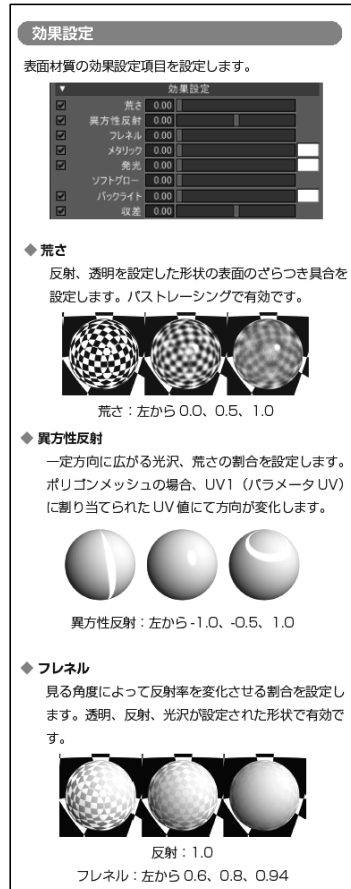


Fig.1.3 Material parameter indicated on an instruction manual 3.

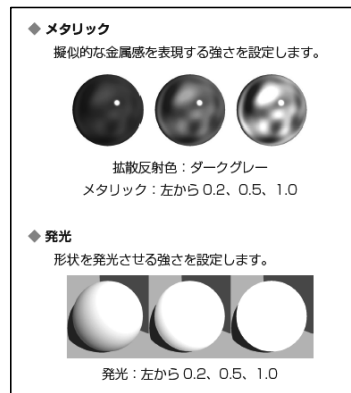


Fig.1.4 Material parameter indicated on an instruction manual 4.

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

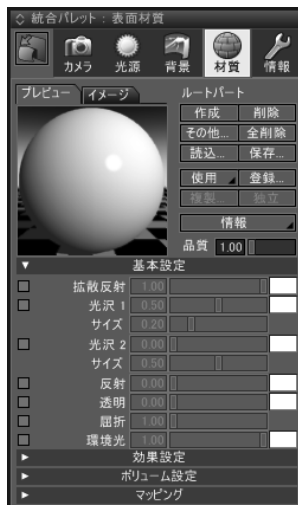
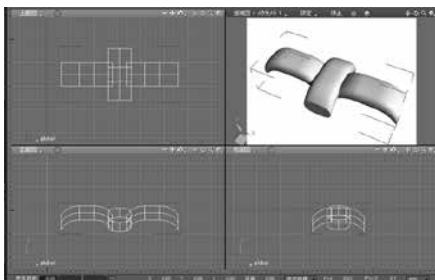


Fig.2.1 Material parameter indicated on an operational screen 1.



Fig.2.2 Material parameter indicated on an operational screen 2.

【Image A】



【Image B】

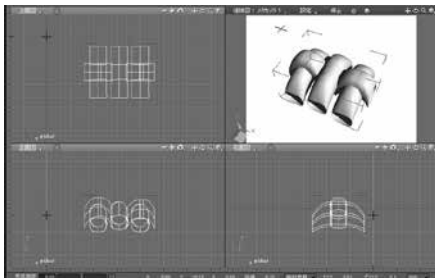
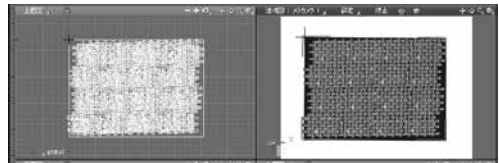


Fig.3 Original basic part in image creation: Image A, B.

【Image A】



【Image B】

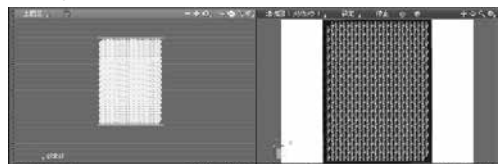


Fig.4 Image A, B

2. 1. 2. 測定画像

測定 1 では、対象の布の 3DCG 画像は 2 種類作成した。織製された布の織糸を想定した円柱の断面はだ円形とし、それらを交錯させて布の表面形状を再現したが、円柱の断面とそれらの交錯点が平たい画像と、円柱も交錯点もより曲面が強調された画像の 2 種類とした。前者は画像 A、後者は画像 B とラベル付けした。各画像部品を平面にした場合、「光沢 1」の強さやサイズに変化が認められないことを予備実験において確認した。つまり、スポットライト状の光沢が表出しなかった。そのため、織糸を想定した画像部品は円柱状にし、断面の曲面状態を相違させて、2 種類の画像を作成した。

実物布と同様、たてとよこの長い織糸を組み合わせる布の 3DCG 画像を作成する方法は、1 画像に膨大な容量を必要とした。そのため、Fig.3 に示したように、だ円柱状の基本部品を組み合わせた。上図が画像 A、下図が画像 B である。よって、織糸が交錯した状態の布表面を 3DCG 画像で表現したのは観察方向のみであった。加えて、2 種類の画像とも吸光シートに摸した黒色の平面画像を背景に配した。背景の黒色画像については、当該ソフトウェアの色相パラメータの「明るさ」を 50、「R」「B」「G」のいずれも 53 とした。測定用に作成した画像 A と画像 B は Fig4 に示す。

また、画像 A、B ともに、無彩色と有彩色（赤色と黄色）の画像を作成した。表面を赤色および黄色に調整するために、当該ソフトウェアの色相パラメータを以下の値とした。赤色では、「色合い」を 0、「鮮やかさ」を 240、「明るさ」を 120、「R」を 255、「G」と「B」を 0 とし、黄色では、「色合い」を 30、「鮮やかさ」を 240、「明るさ」を 140、「R」を 255、「G」を 200、「B」を 43 と調節した。画像 A のうち無彩色は画像 A-g、赤色は画像 A-r、黄色は画像 A-y、画像 B のうち無彩色は画像 B-g、赤色は画像 B-r、黄色は画像 B-y とラベル付けした。いずれも正面方向（法線方向を想定）からの観察とした。

2. 1. 3. 測定方法

Fig.4 の画像 A と画像 B は、いわゆる骨組みの状態であるため、材質と光源のパラメータを設定してレンダリングを行わなければならない。前項 2.1.1. で示した、P1 の拡散反射と P2 の光沢 1 強度、P3 の光沢 1 サイズの数値パラメータは Table2 の通りである。測定 1 では、さらに測定 1-1 と測定 1-2 の 2 種類の測定を行った。当該ソフトウェアの取り扱い説明書では、材質の各設定項目の数値パラメータは 0 から 1 の範囲であることが記載されていたが、予備実験の結果から、1.0 が上限でないことが明らかになったため、ルミナンスファクターにより大きい影響が予想された P2（光沢 1 強度）の数値を変化させて測定 1-2 を行うこととした。

2 種類の測定とも、Table2 に示したパラメータをすべて組み合わせる画像に反映させ、それらの全画像ともイメージサイズの「幅」を 264pixels、「高さ」を 198pixels、「ピクセル縦横比」を 1.00、「解像度」を 600.00DPI としてレンダリングを行った。測定 1 については 2 種類の測定とも、P4（光源）を 1.0、P5（環境光）を 0.2 とし、さらに環境光の方向（Fig.5）も共通とした。この環境光の方向は、物体の陰影に反映される設定項目であった。パラメータの組合せの一部につ

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

いて、設定項目のイメージプレビューをFig.6.1 とFig.6.2、画像A-gのレンダリング結果をFig.7.1 とFig.7.2、画像B-gのレンダリング結果をFig.8 に示す。

Table 2 Numerical value of the parameters that have been adjusted in measurement 1.

measurement	image	parameter
M1-1	A-g	P1: 0.75/ 1.0/ 1.25/ 1.5/ 1.75/ 2.0
		P2: 0.25/ 0.5/ 0.75/ 1.0/ 1.25/ 1.5
		P3: 0.25/ 0.5/ 0.75/ 1.0
M1-2	A-g/ A-r/ A-y B-g/ B-r/ B-y	P1: 0.75/ 1.0/ 1.25
		P2: 2.0/ 5.0/ 10.0/ 20.0
		P3: 0.25/ 0.5/ 0.75/ 1.0/ 1.5/ 2.0

Notes P1: diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1.

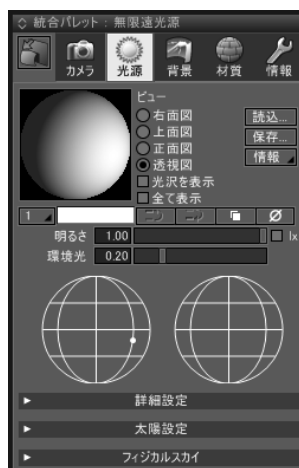


Fig.5 Luminous parameter indicated on an operational screen.

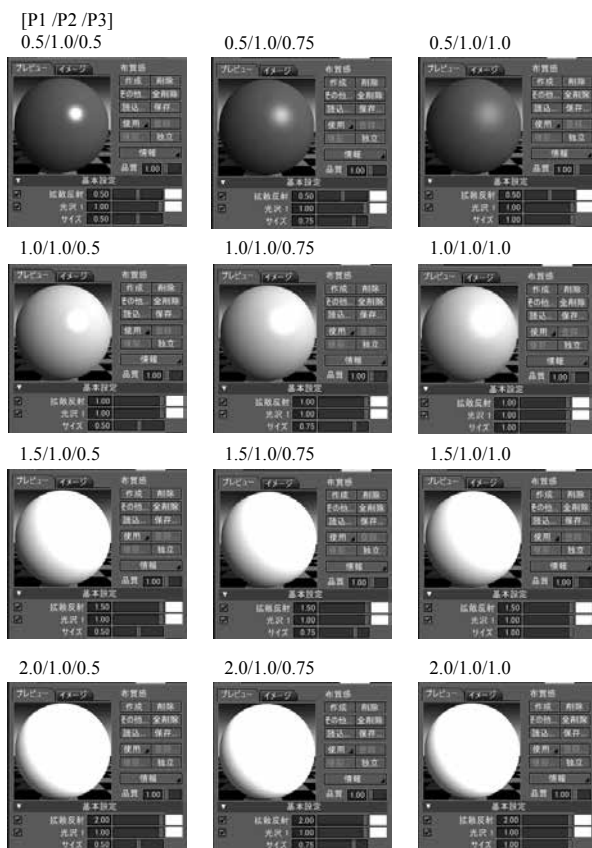


Fig.6.1 Session 1: Preview of various image parameters
(Change in a image by P1:diffuse intensity).

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

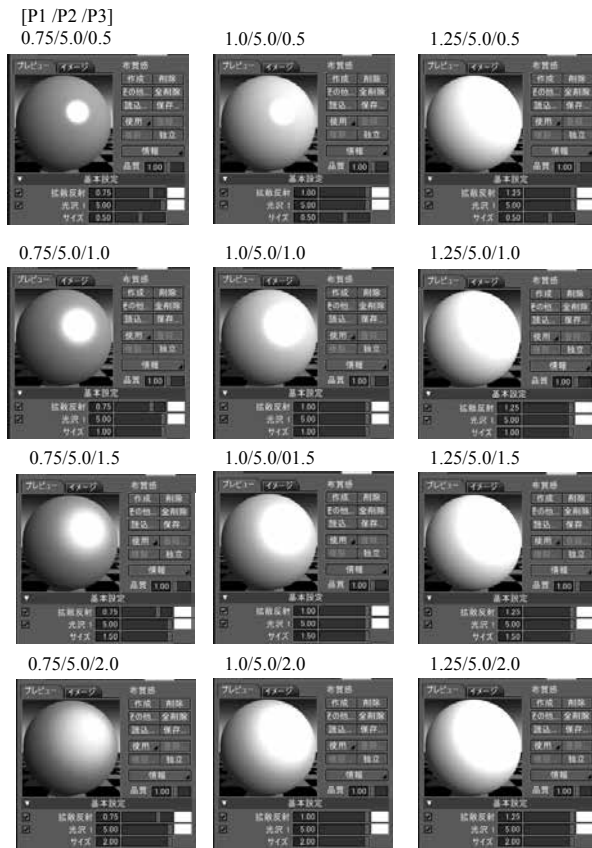


Fig.6.2 Session 2: Preview of various image parameters
(Change in a image by P3:size of specular1).

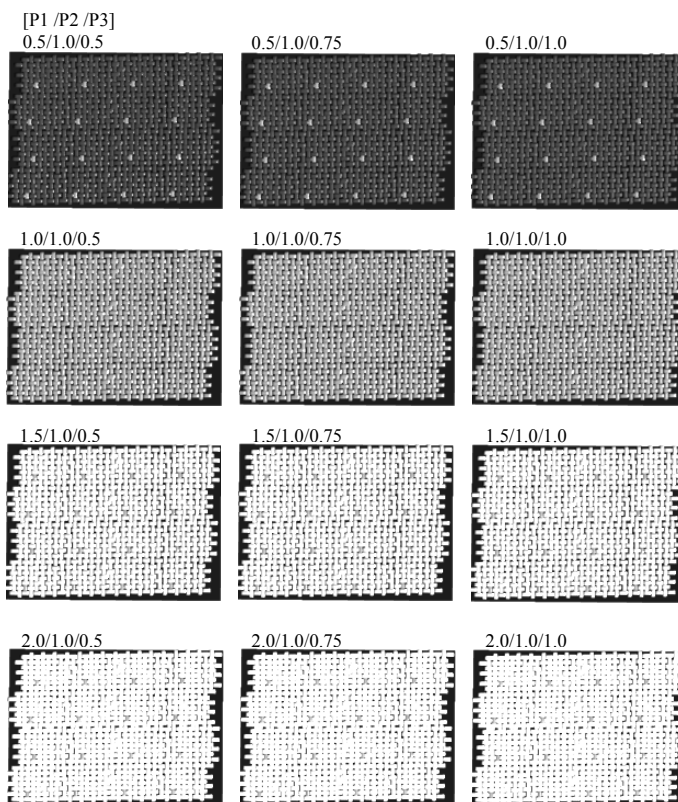


Fig.7.1 Session 3: Image A of various image parameters
(Change in a image by P1:diffuse intensity).

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

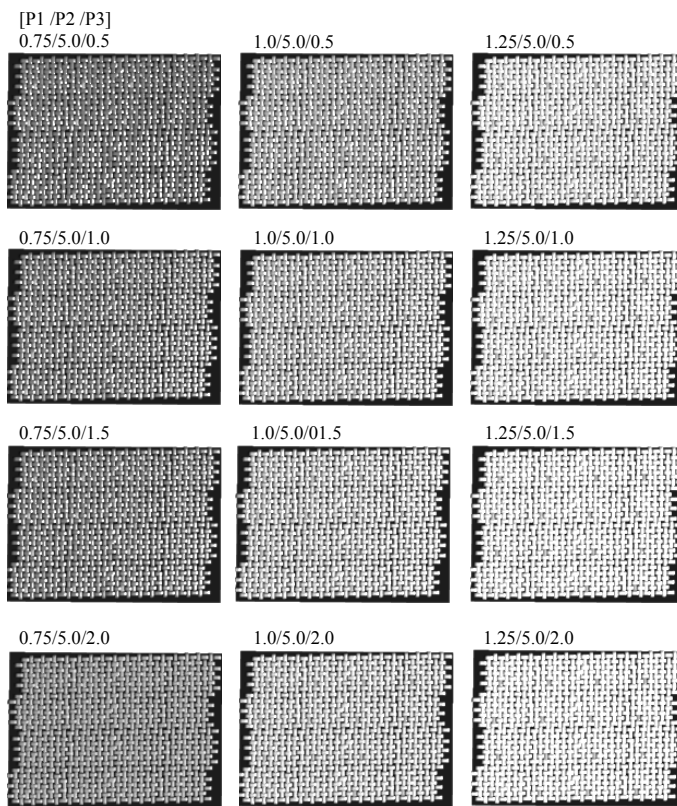


Fig.7.2 Session 4: Image A of various image parameters
(Change in a image by P3:size of specular1).

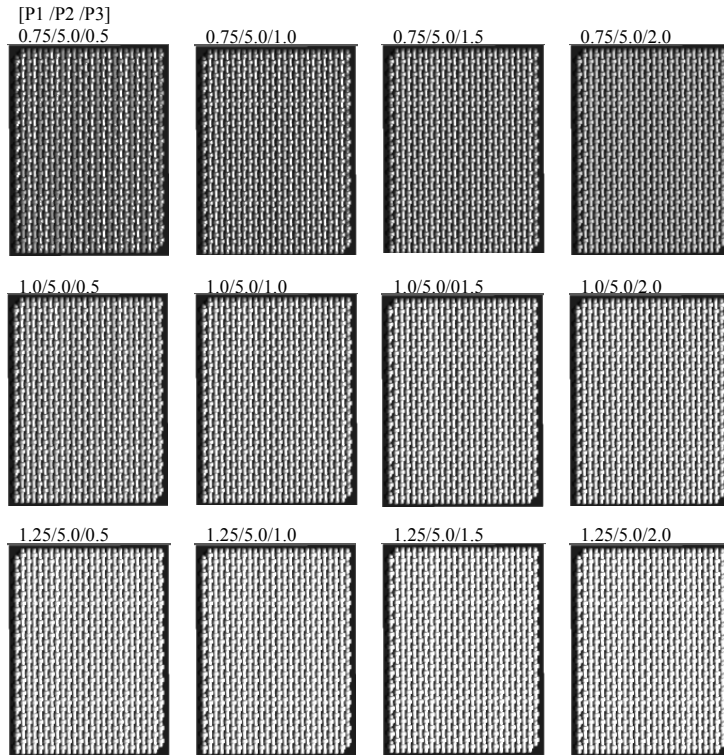


Fig.8 Session 5: Image A of various image parameters
(Change in a image by P3:size of specular1).

すべての画像は当該ソフトウェアでレンダリングし、その結果をハードコピーしてBMP形式で保存した。ソフトウェア独自の保存形式は、他のソフトウェアや機器との共有性がないためである。保存した各画像のBMPファイルは画像解析ソフト (Image J ver.1.42q) によって分析し、画像Aでは縦 70 × 横 100pixels、画像Bでは縦 100 × 横 70pixelsのいずれも 7000pixels範囲のR、G、B画素値の平均画素値を取得した。無彩色画像はR、G、Bの画素値は同値であるが、有彩色は既述の通り、色の表出のためR、G、B画素値を設定した。よってそれらの平均値とし、以下、ピクセル値と記述する。

2. 2. 測定 2

2. 2. 1. 画像作成に使用した機器

使用機器は、前項に示した 3DCGソフトウェアとパソコン、ディスプレイ機器とした。

2. 2. 2. 測定画像

測定 2 では新たに布の画像を作成したが、無彩色のみとし、画像C-gとラベル付けした。表面材質と光源の各パラメータをまとめてTable3に示す。測定 1 のパラメータと異なる点は、P4（光源）とP5（環境光）の数値パラメータを変化させたことと画像の観察方向（画像角度）を 0 度（法線方向を想定）、15 度、30 度、45 度、60 度の 5 種類としたことである。各角度の画像をFig.9に示す。P5（環境光）の入射角度は、左方向より 45 度とした。

Table 3 Numerical value of the parameters that have been adjusted in measurement 2.

measurement	image	parameter
M2	C-g	P1: 0.8/ 1.0/ 1.2
		P2: 0~10
		P3: 0.2/ 0.5/ 1.0
		P4: 0.8/ 1.0/ 1.2
		P5: 0.0/ 0.2
		image angle: 0/ 15/ 30/ 45/ 60 degree

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1, P4: light source, P5: environment light.

2. 2. 3. 測定方法

Table3に示したパラメータで設定された画像をレンダリングしてディスプレイの中央に表出した。レンダリングの解像度は、「幅」を 160pixels, 「高さ」を 120pixels, 「ピクセル縦横比」は 1.00, 「解像度」は 72.00DPIとした。いずれも予備測定によって視感に最適な数値を選定している。ディスプレイ上の画像サイズは縦 4.5cm, 横 5.0cmとなり、その画像を輝度計（MINOLTA LS-100）で測定し、測定条件等はMINOLTA校正標準に合わせた。輝度計とディスプレイとの距離は 1mで、実際の観察環境に調整するため、ディスプレイとは別の光源（Panasonic FPL27EX-N）の照射も 45 度方向より行った。吸光シートでディスプレイを覆い、ディスプレイからの透過光のうち画像以外からの雑光線を遮蔽した。その状態はFig.10に示す。

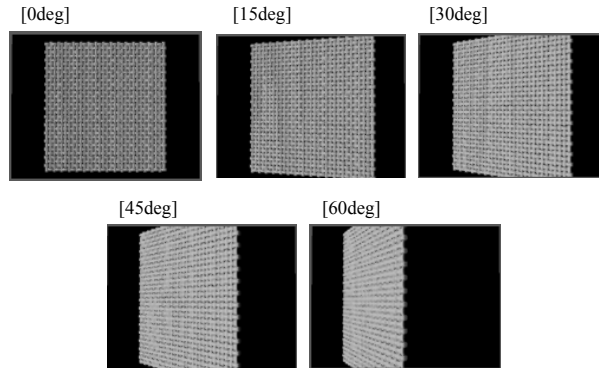


Fig.9 Image C different in the angle.



Fig.10 Experiment condition.

3. 結果と考察

3. 1. 測定 1

3. 1. 1. 測定 1-1

まず、無彩色について観察する。Fig.11 は画像A-g において、P2 (光沢 1 強度) 別に P1 (拡散反射) の変化に対応するピクセル値 (0 ~ 255) の結果を示した図である。上図 (a) が P3 (光沢 1 サイズ) 0.25 であり、中図 (b) が 0.5、下図 (c) が 1.0 である。

当該ソフトウェアの取り扱い説明書には、各パラメータの数値範囲は 0 から 1 であることが図示されていたが、Fig.11 に示したように、P2 (光沢 1 強度) の数値パラメータを 0.25 から 1.5 まで 0.25 刻みで値を増加させ、P1 (拡散反射) の変化ごとに比較しても、大きな相違は認められなかった。P1 が 0.5 から 1.0 の範囲では、ピクセル値 5 程度の差が現れたが、P1 が 1.5 以上では、P2 のグラフがほぼ重なる結果となった。

また、比較するパラメータを入れ替えて、P1 (拡散反射) を 0.5 とし、P2 (光沢 1 強度) 別に P3 (光沢 1 サイズ) の変化に対応するピクセル値 (0 ~ 255) の結果を示した図が Fig.12 である。これも、取り扱い説明書通りに P2 の数値を 0.5、0.75、1.0 と変化させたが、それらのピクセル値はほぼ

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

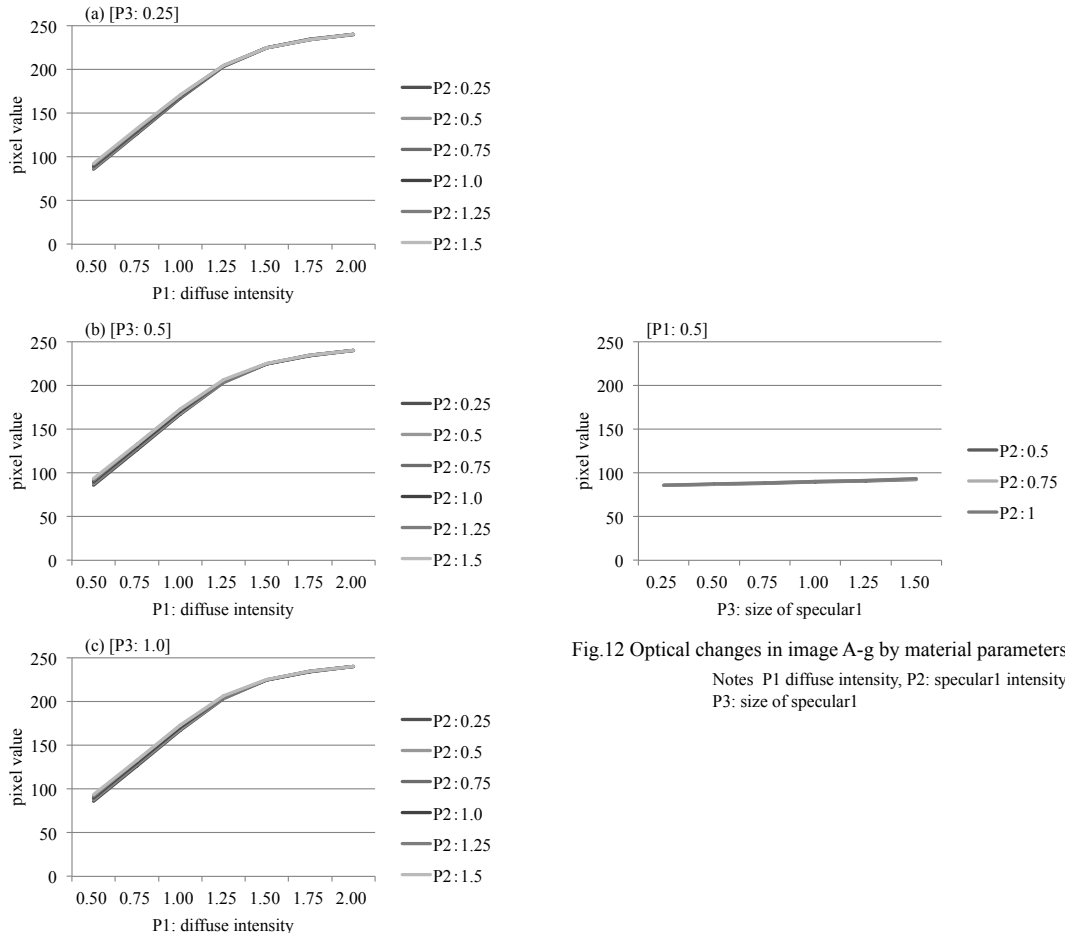


Fig.12 Optical changes in image A-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1

Fig.11 Optical changes in image A-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1

同値となった。このように、説明書に記載されている材質パラメータの変化では、作成した布の画像のピクセル値変化に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。

3. 1. 2. 測定 1-2

前項の結果から数値パラメータの上限を検討し、今回、P2 (光沢 1 強度) については、1 ではなく、20 を上限とすることとした。改めて、無彩色について観察する。Fig.13 は画像 A-g において、P2 (光沢 1 強度) 別に P3 (光沢 1 サイズ) の変化に対応するピクセル値 (0 ~ 255) の結果を示した図である。上図 (a) が P1 (拡散反射) 0.75 であり、中央図 (b) が 1.0、下図 (c) が 1.25 である。

P1 (拡散反射) を 0.75 とした図 (a) では、P3 (光沢 1 サイズ) の変化とともに、P2 (光沢 1

強度)別のグラフの推移に相違が現れた。とくに、P3が2.0では差が顕著となった。目視による観察では、P1が0.8以下において、パラメータが対象とする画像部分のピクセル値が下がり暗く見えた。その画像の曲面部分には鏡面反射に摸したスポットライト状の光沢が表現されるが、周辺部が暗いため、光沢が際立つことになった。さらに、測定した画像は布を表現しているため、観察方向全体に織糸や交錯点が規則的に配置され、そこに光沢のような白い箇所が多く点在した。そのため、P2の相違に伴いグラフ間のピクセル値の差が大きくなる結果となったと考えられる。図(b)では、結果全体のピクセル値は高くなったが、P2別のグラフ間の差は図(a)ほどではなかった。さらに、図(c)では、P1を1.25としたため、パラメータが対象とする画像部分のピクセル値が上がり、つまり、光沢部分以外も白っぽくなったため、画像全体のピクセル値も3図の中で最も高くなった。しかし、スポットライト状の光沢と周辺部の明るさの差が小さくなったため、P2別のグラフ間の差は連動して小さくなったと考えられる。また、P2が2から10の各グラフの挙動については、P2が2では、ほぼ直線状の変化が観察された。つまり、P1とP2の値が変化しても、ピクセル値は変動しなかった。それに対し、P2が10と20では、P1(拡散反射)が0.75と1.0においてP3(光沢1サイズ)が1.5を中心に、1.5以下と以上ではピクセル値の変化が異なった。

次に有彩色について観察する。まずは、赤を着色した画像A-rの結果であるが、Fig.14に示す。Fig.13と同様、P2(光沢1強度)別にP3(光沢1サイズ)の変化に対応するピクセル値(0~255)の結果を示した図であり、上図(a)がP1(拡散反射)0.75、中図(b)が1.0、下図(c)が1.25の結果である。

無彩色の結果と異なった点は、3種類のP1(拡散反射)の数値パラメータの影響が無彩色ほど大きくなかったことである。図(a)、(b)、(c)が同じに見えるほど顕著な差を観察できなかった。とくに、P2(光沢1強度)を20とした結果では、P1が0.75、1.0、1.25と変化しても、各P3(光沢1サイズ)におけるピクセル値はほぼ同値であった。P2の数値パラメータを10とした結果でも同様の変移となった。P2を2とした結果では、各P1の結果で差が現れたが、無彩色ほどではなく、25ピクセル値以内であった。また、P3が0.5での結果では無彩色と相違した。Fig.13の無彩色では、光沢1のサイズP3が0.5と小さい場合、P1の拡散反射の値を変化させても、光沢1の強さを示すP2の違いが影響せず、ピクセル値が近かった。それに対し、Fig.14に示した赤色の画像の結果では、P3が0.5と光沢1のサイズが小さい場合でも、光沢1の強度(P3)による違いが現れた。無彩色と異なり、画像表面に赤を着色している。そのため、P1(拡散反射)を1.25にした場合、無彩色画像では光沢箇所以外もピクセル値が高くなるのに対し、赤色の画像では光沢以外の箇所はピクセル値が上がらないため、光沢部分と周辺のピクセル値の差は大きくなったが、画像全体を明るいと認識できるほど光沢と周辺を合わせた測定部分のピクセル値は高くならなかった。これらが要因となり、無彩色とは異なる結果を得たと考えられる。また、P2が2から10の各グラフの挙動については、P2が2、5、10では、ほぼ直線状の変化が観察され、P3(光沢1サイズ)が変化してもピクセル値の増加が見られなかった。それに対し、P2が20では、

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

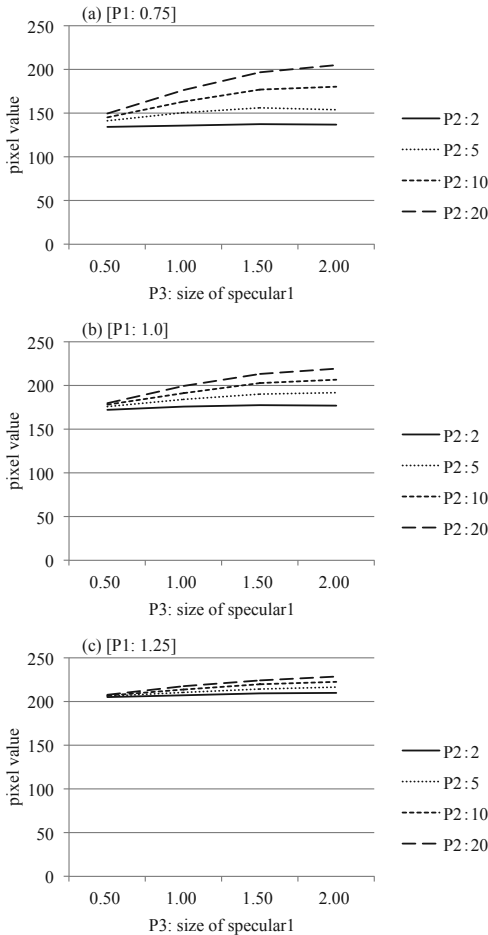


Fig.13 Optical changes in image A-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1

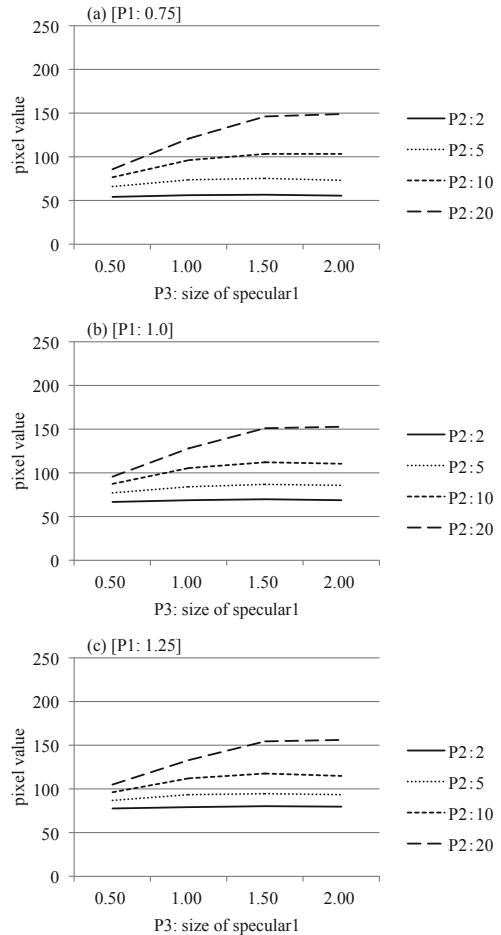


Fig.14 Optical changes in image A-r by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1

P1 (拡散反射) 0.75 と 1.0, 1.25 のいずれにおいてもP3 (光沢1 サイズ) 1.5 を中心に, 1.5 以下と以上ではピクセル値の変化が異なった。P3 が 1.5 まではピクセル値が増加し, 1.5 以上では変化がなく, Fig.13 の結果よりもその傾向が顕著であった。

黄を着色した画像A-yの結果はFig.15 に示す。各図の説明は, Fig.13, 14 と同様である。

3 図全体を俯瞰するとFig.13 と Fig.14 の中間の値を示す結果となった。まず, P2 (光沢1 強度) が異なる 4 種類のグラフ (P2 : 2, 5, 10, 20) は, P1 (拡散反射) の値を 0.75, 1.0, 1.25 と変化させるとその差 (4 種類のグラフの挙動の違い) が異なったが, その差も示した値も, おおよそ無彩色の画像A-gと赤色の画像A-rの中間の測定結果となった。とくに, P2 を 2 と設定した場合, 拡散反射 (P1) を変化させても, 光沢1 サイズ (P3) を変化させても, ピクセル値に変動は現

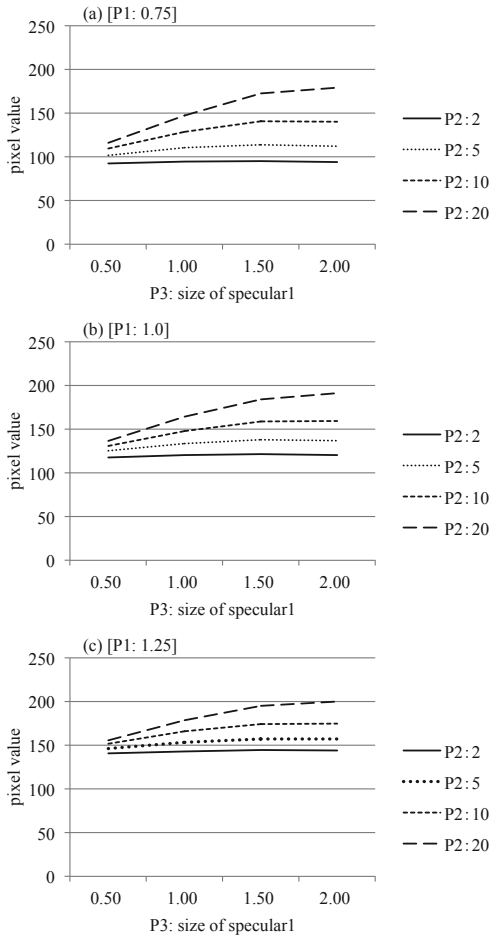


Fig.15 Optical changes in image A-y by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity,
P3: size of specular1

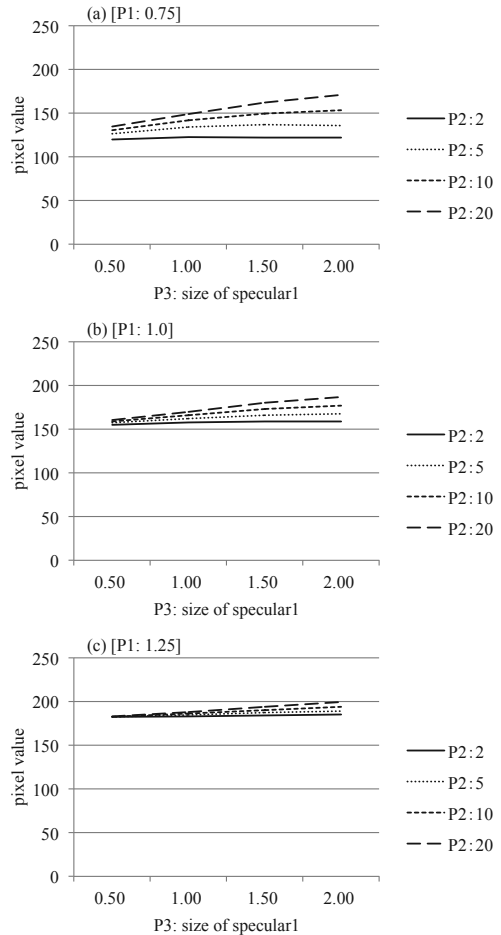


Fig.16 Optical changes in image B-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity,
P3: size of specular1

れなかった。それは、無彩色と有彩色に共通する結果であった。しかし既述の通り、取り扱い説明書と作業画面の数値パラメータの範囲は0から1になっており、光沢1の強さを2以上にするには、実際にソフトウェアを作動させて比較しなければ理解できないことであった。

布の画像を作成するにあたって、基本部品も交錯点の重なり部分も曲面を強調して画像Bを準備した。それら画像Bのうち、無彩色とした画像B-gの結果をFig.16に示す。比較のため、縦軸と横軸の項目を同じにしたので、各図の説明もこれまでの図 (Fig.13 ~ 15) と同様である。

取り扱い説明書とCG作成画面の材質パラメータのプレビューから判断すれば、なだらかな曲面画像の方が、そうでない画像よりスポットライト状の光沢がはっきり認識でき、ルミナンスファクターの変化も顕著ではないかと予想した。しかし、同じ無彩色の画像A-gの結果 (Fig.13)

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

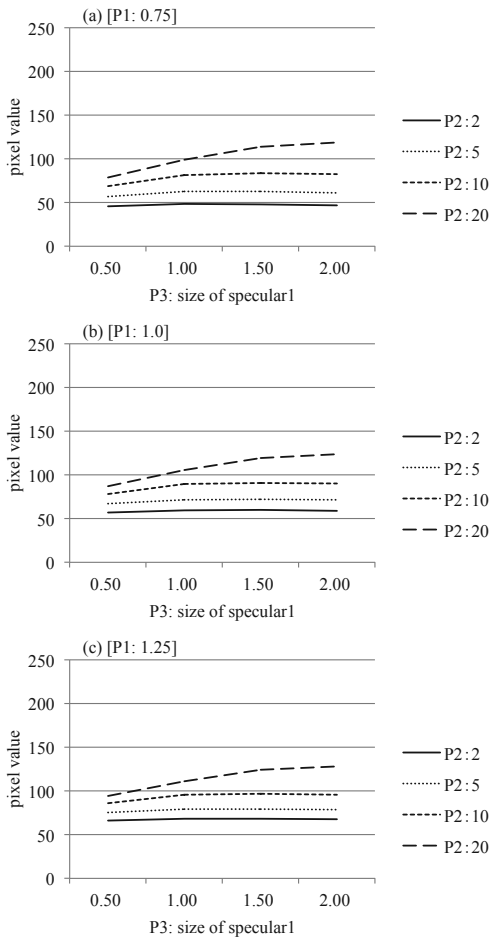


Fig.17 Optical changes in image B-r by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity,
P3: size of specular1

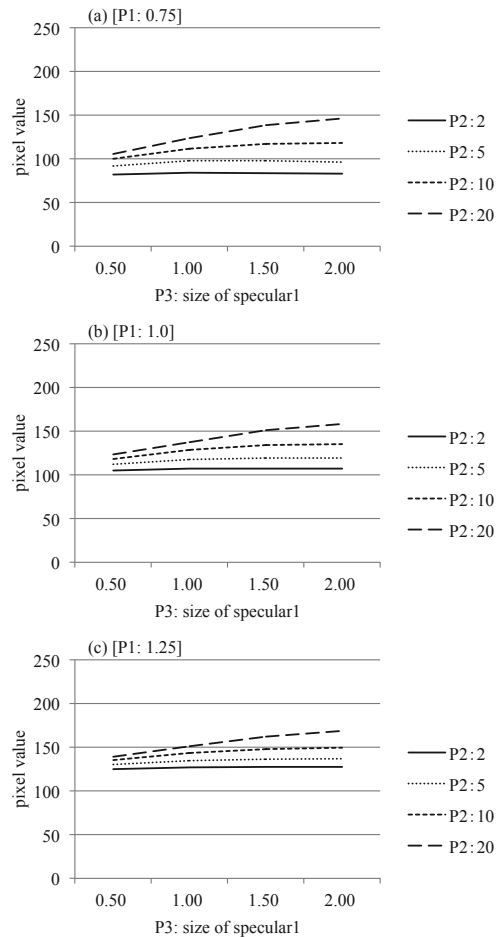


Fig.18 Optical changes in image B-y by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity,
P3: size of specular1

より、画像B-gの結果の方が全体的にピクセル値が低かった。画像A-gは、ピクセル値が200を超える結果もあり、とくに下図(c)では、4種類のグラフ(P2:2, 5, 10, 20)すべてのピクセル値が200を超えたが、Fig.16では、3図ともピクセル値が200を超える結果はなかった。また、P2(光沢1強度)の値で比較した4種類のグラフの変化の差も画像A-gより小さかった。つまり、3図ともグラフの間が狭い結果となった。画像Bは基本部品も交錯点も曲面を強調した図であり、プレビュー画面では、曲面部分のスポットライト状の光沢は明るく感じたことを既述した。しかし今回の結果から、曲面の光沢表現は光沢部分自体のピクセル値を上げたことによるものではなく、周辺の暗さを伴って認識させたものだとは推察できる。つまり、光沢部分以外の周辺が相対的に暗く調整されたため、曲面を強調した画像とそうでない画像の光沢の強さやサイズを

同じにして比較したにも関わらず、Fig.13 と Fig.16 に相違が現れたと考えられる。

Fig.17 は画像B-rの結果であり、3 図と縦・横軸の説明はここまでの図と同じである。

これも、曲面が小さい画像A-rの結果 (Fig.14) と比較した。全体的なピクセル値は無彩色の結果より値が低かった。とくに、P2 (光沢 1 強度) を 2 とした結果では、画像A-rも画像B-rもピクセル値平均が 50 から 70 の変化で値が近かった。しかし、P2 が 20 の結果では、画像A-rと画像B-rの差が顕著であった。赤色が着色されているため、無彩色画像より画面全体の明るさが暗いことは既述したが、さらに、光沢部分を際立たせるために、周辺部のピクセル値を相対的に低くする自動調整が行われたことがこの結果の要因だと考えられる。画像B-yの結果はFig.18 に示す通りである。

3. 2. 測定 2

3. 2. 1. 光沢 1 サイズパラメータ別比較

画像Cの結果を検討する。画像Cの基本部品は画像Aと同じで、画像Bとは異なり曲面を強調しない部品を使用した。背景の黒の画素値などは同等とした。画像Aと画像Cとの相違点は、画像では交錯箇所の数とその間隔の広さであり、パラメータではP4 (光源) とP5 (環境光) の数値であった。Fig.19 と Fig.20 は画像C-gにおいて、P3 (光沢 1 サイズ) 別にP2 (光沢 1 強度) の変化に対応する輝度値 (単位: cd/m^2) の結果を示した図である。上図 (a) がP1 (拡散反射) 0.8 であり、中図 (b) が 1.0, 下図 (c) が 1.2 である。Fig.19 と Fig.20 の条件で異なるのは、P4 (光源) であり、Fig.19 のP4 は 0.8 とし、Fig.20 は 1.2 とした結果である。いずれも、P5 (環境光) は 0.0 で共通している。

Fig.19 と Fig.20 に共通していたのは、P3 (光沢 1 サイズ) が 0.2 と小さい場合、P2 (光沢 1 強度) が 0 から 10 へと変化しても、実測したディスプレイの輝度値に変化は見られなかった点である。材質パラメータの他の項目であるP1 (拡散反射) や光源関係のパラメータが変化しても、その結果は共通した。今回作成した画像は布を再現したものであるため、スポットライト状の光沢はたてとよこの織糸が交わる箇所の近くに現れ、その数は交錯点の数倍となる。そのため、光沢のサイズが 0.2 と小さい場合、ディスプレイ上では目視による確認も不可能となり、輝度値の変化にも影響を及ぼさなかったと考えられる。それに対し、P3 が 1.0 と大きい場合は、P2 の変化とともにその輝度値も漸次増加した。ただし、他の材質や光源パラメータの条件によって、その増加の割合は異なった。とくに、P4 (光源) が 1.2 の条件下で、P1 (拡散反射) を 0.8, 1.0, 1.2 と変化させた結果では影響が顕著で、Fig.19 の上図 (a) のグラフの傾きが大きくなった。

また、画像全体を照射するP4 (光源) の数値パラメータは画像全体の輝度値への影響が大きいと考えられる。P4 が 0.8 では、材質パラメータの数値を変えても、画像全体の輝度値が 100 cd/m^2 を超える事はなかったが、P4 が 1.2 では、材質パラメータの条件の組合せによって 100 cd/m^2 以上の輝度値となり、目視で明るさの変化を認知できる変化が現れた。

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

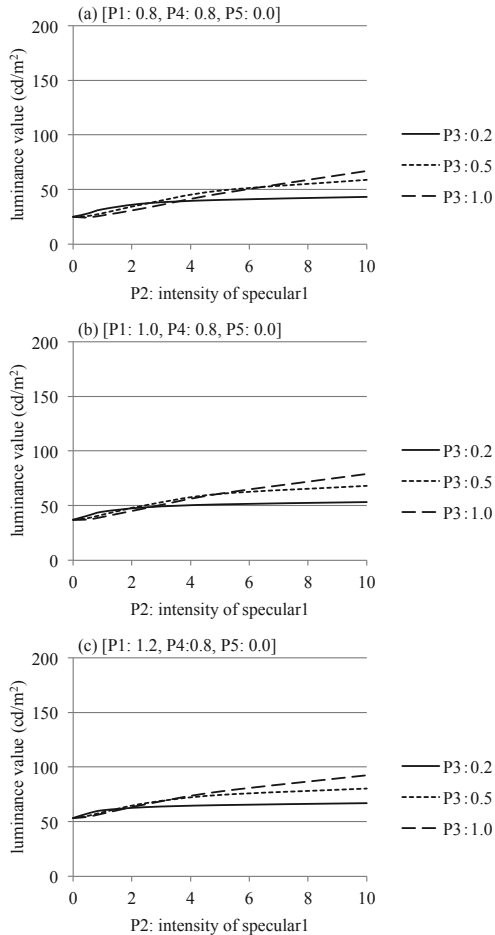


Fig.19 Optical changes in image C-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1, P4: light source, P5: environment light.

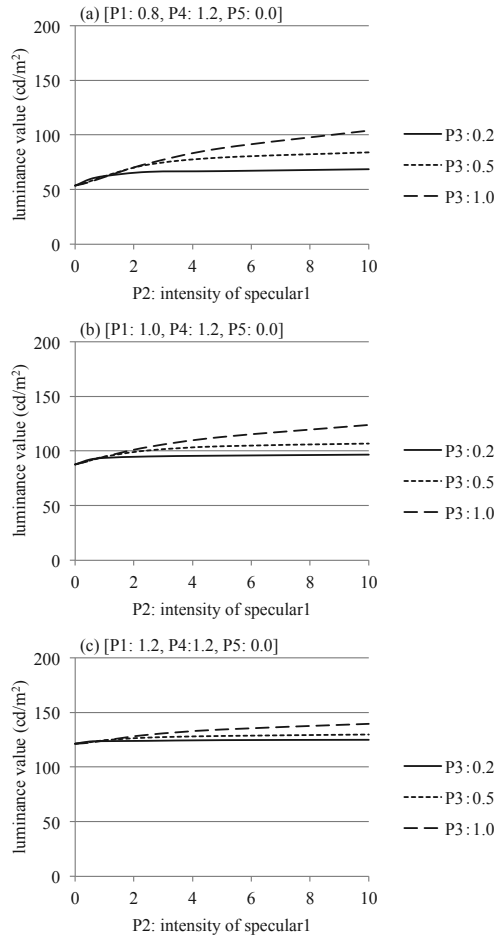


Fig.20 Optical changes in image C-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1, P4: light source, P5: environment light.

3. 2. 2. 拡散パラメータ別比較

Fig.21 と Fig.22 は画像 C-g において、P1 (拡散反射) 別に P2 (光沢 1 強度) の変化に対応する輝度値 (単位: cd/m^2) の結果を示した図である。上図 (a) が P3 (光沢 1 サイズ) 0.2 であり、中図 (b) が 0.5, 下図 (c) が 1.0 である。Fig.21 の P4 (光源) は 0.8 とし、Fig.22 は 1.2 とした結果である。いずれも、P5 (環境光) は 0.0 で共通している。

Fig.19 と Fig.20 と同様、P5 は同じ条件としたが、P4 (光源) は 0.8 と 1.2 と条件を違えた。P4 を 0.8 とした結果では、P1 (拡散反射) と P2 (光沢 1 強度) を変化させても、画像の輝度値が 100 cd/m^2 を超える事はなかったが、P4 を 1.2 とした結果では、全体の輝度値も高くなり、P1 の値ごとのグラフの変化の差も大きくなった。

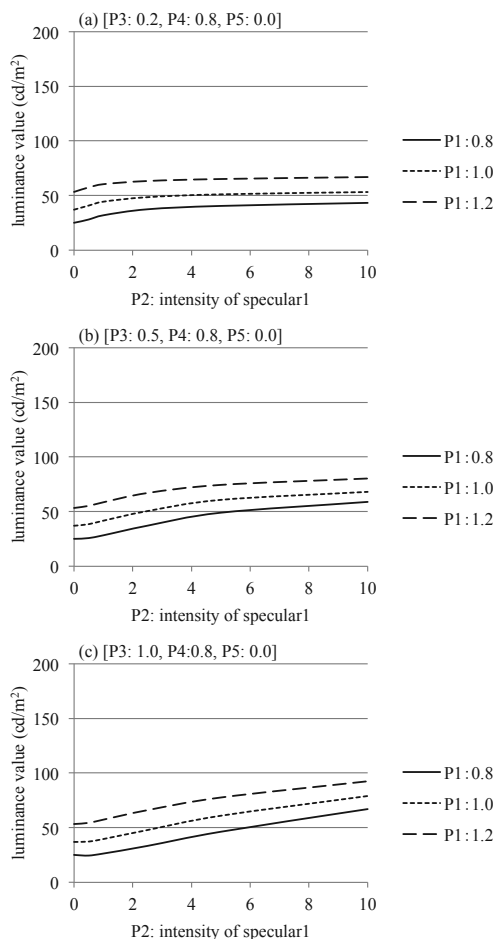


Fig.21 Optical changes in image C-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1, P4: light source, P5: environment light.

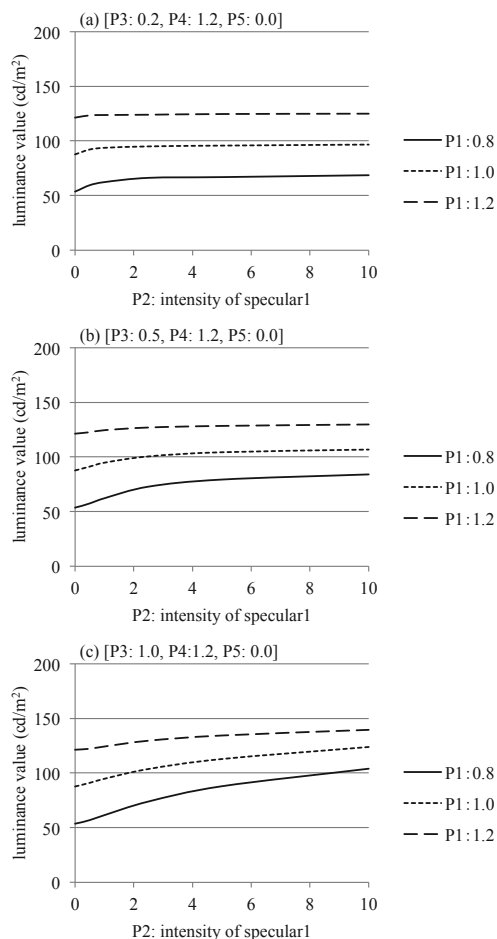


Fig.22 Optical changes in image C-g by material parameters.

Notes P1 diffuse intensity, P2: specular1 intensity, P3: size of specular1, P4: light source, P5: environment light.

Fig.19 と Fig.20 において、3 図のグラフの傾きは相似した。図 (a) では P2 (光沢 1 強度) が 2 を超えると P1 (拡散反射) の違いにかかわらず輝度値に変化が現れなかった。その結果は Fig.19 と Fig.20 に共通した。図 (b) と (c) では、P2 の変化に伴ってそれぞれの P1 の値が漸次高くなった。これも Fig.19 と Fig.20 に共通したが、その変化量は異なった。

3. 2. 3. 画像角度別比較

Fig.23 は画像 C-g において、P1 (拡散反射) と P5 (環境光) 別に画像の角度変化に対応する輝度値 (単位: cd/m^2) の結果を示した図である。上図 (a) が P4 (光源) 0.8 であり、中央図 (b) が 1.0, 下図 (c) が 1.2 である。

3DCG ソフトウェアの設定パラメータとルミナンスファクターの光学的関連について

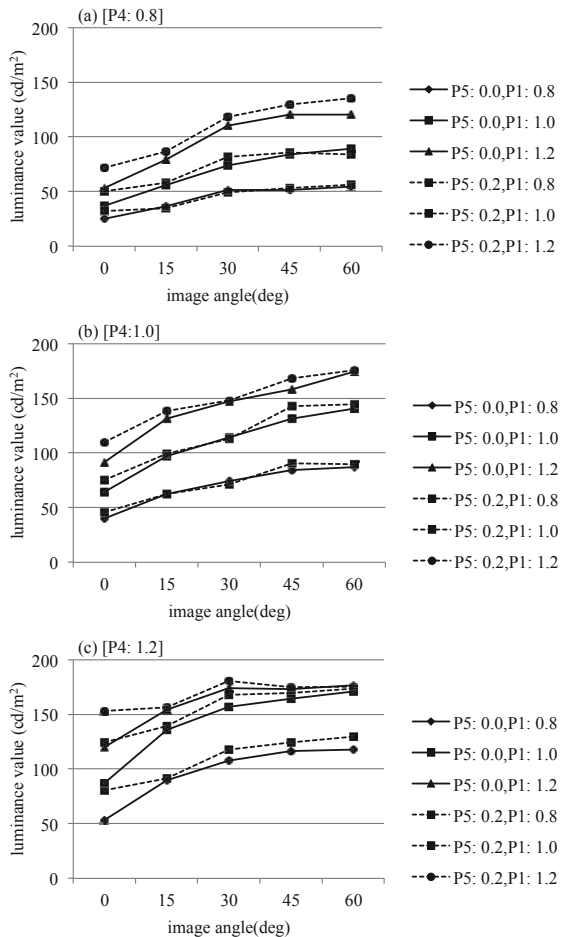


Fig.23 Optical changes in image C-g by material parameters.

Notes P3: size of specular1, P4: light source,
P5: environment light.

本研究では当初、取り扱い説明書通りに数値パラメータを設定したが、予備実験などで予想しない結果を得た場合は設定を修正した。本節の画像角度の変化による画像輝度の測定結果においても修正を行った。正面（法線方向を想定した画像角度0度）の布画像では、スポットライト状の光沢が各織糸と交錯部分に表出したが、15、30、45、60度のいずれにおいてもそれらの光沢部分が消失した。そのため、材質設定パラメータを修正し、P2（光沢1強度）とP3（光沢1サイズ）を省き、P1（拡散反射）とP4（光源）、P5（環境光）の3種類のパラメータを変化させてレンダリングを行った。その結果がFig.23である。既述の結果と同様、P5（環境光）が0より0.2の結果の方が高い輝度値を示し、すべての結果に共通していた。しかし、それらの値の変化は直線的ではなかった。とくに、P4を1.0とした図（b）では、画像角度30度と60度において比較したグラフの値が同値を示し重なった。また、P4を0.8と1.0にした図では、P1の値を同じにした比較対象のグラフがほぼ重なり、測定した輝度値に差が現れなかった。

4. 要約

今回、特定の3DCGのソフトウェアを選定し、数多く実装されている材質や光源のパラメータの中から予備実験により5つのパラメータを精査した。曲面を組み合わせてモデリングした布の画像にそれらのパラメータの数値を調節した後、レンダリングし画像を表出した。作成した画像のピクセル値や輝度値を測定して比較分析を試みた。

限られた測定結果ではあったが、いくつかの知見が得られた。まず、数値パラメータの範囲は取り扱い説明書通りの0から1ではなく、1以上の値を与えてもピクセル値や輝度値が変化する

る結果となった。0 から 1 の範囲でもディスプレイに表出した布画像の光学的数値に変化が現れたが、変化の割合は低かった。それに対し、数値パラメータを 10 以上とした場合、それに伴って光学的変化が顕著であった。

次に、画像の光学的変化に寄与したのは材質パラメータだけでなく、光源パラメータ、さらにその組合せが影響したと考えられる結果となった。3DCG画像に限らずディスプレイ上に表現される画像のピクセル値の上限は 255 となる。実際の光の物理的現象では加算的に光学的変化が現れる条件でも、ディスプレイでは無限に光を加算できない。そのため、材質と光源パラメータの数値を高い値に設定しても、自動的に光の調節がされ、画素値上限の範囲が抑えられたと考えられる結果が観察された。よって、ピクセル値（今回の測定ではRGB画素値の平均）は上限が 255 となり、輝度値も相関して 200cd/m^2 を超える結果はなかった。

今回の測定に選定した 3DCGソフトウェアにはBlinnモデルが採用されているのではないかと推測されている。この反射モデルにより光の挙動が数学的に記述され、さらにプログラムにも反映されて、現実感を伴う画像表現が行われていると考えられる。画像を作成する際、作業画面の材質パラメータのプレビューには、あたかも実物のような光沢が示された。そのため、作成した画像も実物と変わらない光学的特徴を有すると判断される可能性がある。また、パラメータの数値変化とディスプレイにある画像のルミナンスファクターに線形的関係があると推測し、画面を見ながら経験的に数値設定を行うことで画像を完成させている場合も考えられる。しかし今回の結果から、目視による確認や判断だけではなく、測光機器を用いて実測し、画像作成の設定パラメータと画像のルミナンスファクターの相関を確認して、作成した画像の明るさや質感を判断する必要があることが明らかとなった。

引用文献

- 1) M. Oren and S. K. Nayar, "Generation of Lambert's Reflectance Model," SIGGRAPH'94, pp.239-246, 1994.
- 2) B. T. Phong, "Illumination for Computer Generated Picture," SIGGRAPH'75, pp.239-246, 1975.
- 3) Torrance, K. E., and Sparrow, E. M., "Theory for Off-specular Reflection from Roughened Surface," Journal of Optical Society of American, 57, pp.1105-1112, 1967.
- 4) J. F. Blinn, "Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures," SIGGRAPH'77, pp.192-198, 1977.
- 5) R. L. Cook and K. E. Torrance, "A Reflectance Model for Computer Graphics," ACM Transaction on Graphics, Vol.1, No.1, pp.7-24, 1982.
- 6) G. J. Ward, "Measuring and Modeling Anisotropic Reflection," Computer Graphics, 26, 2, pp.265-272, 1992.
- 7) Shade 3D ver.14 Manual (pdf 版 pp.1-292), pp.187-188