

カラーデザインのための色変更アルゴリズム

田 島 譲 二 ， 麦 谷 孝 子

日 本 電 気 株 式 会 社

デザインシステムにおいて、画像中の物体の色を変更した結果のシミュレーションを行なうための、物理モデルに基づく2つの手法を開発した。第1の手法は、物体表面の反射モデルに基づく、プラスチックのような物体で成り立つもので、画素は色空間中で物体色と光源色を示す2つのベクトルの張る平面上に分布する。第2の手法は、光の吸収モデルに基づく、透明物体や繊維などで成り立つもので、画素は色濃度空間中で直線上に分布する。それぞれについて、色空間中での画素の分布を調べ、モデルの検証を行なった。色変更の実験の結果は良好であった。反射モデルに基づく場合、限定色アルゴリズムを利用して、高速化が可能である。また、吸収モデルに基づく場合、無彩色物体への着色にも応用できる。これらの手法は、PC上のデザインシミュレーションシステムに実装された。

COLOR ALTERATION ALGORITHM FOR COLOR DESIGN

Johji TAJIMA, Takako MUGITANI

NEC Corporation

4-1-1, Miyazaki, Miyamae, Kawasaki 213, Japan

Two color alteration algorithms for color appearance simulation in design systems were developed. The algorithms are based on physical models. The first algorithm is based on a surface reflection model and is suitable for plastic-like objects. Pixels distribute on a plane which is defined by an object color vector and a source color vector in the RGB color space. The second algorithm is based on a light absorption model and is suitable for transparent objects or textiles. Pixels distribute on a straight line in the color density space.

In the case of the reflection model, a high-speed algorithm could be constructed, applying a color quantization algorithm. The algorithm based on the absorption model can be applied to achromatic object coloring.

The algorithms were implemented in a PC-based design simulation system.

1. はじめに

製品デザインの分野ではCADが広く用いられている。CADでは3Dモデルがまず作られ、表面の色はコンピュータ・グラフィックス(CG)技法により生成される。これらの手法は、デザイナーに対して、物体の形を見せるには十分な能力をもっているが、表面の素材感や状態を高忠実画像として表示するには十分でない。そのため、デザインシステムにとっては、既に存在する物体の色を、素材感を保って変更した、リアルな画像を生成することも要求される。

このような目的のために既に幾つかのシステムが発表されている。しかし、それらはほとんど理論的基礎を持たず、その適用性や限界は明らかでない。理論的基礎を持つアルゴリズムを開発するには表面に関する物理モデルを利用することが不可欠である。

本報告ではこの目的のために2つの物理モデルを提案する。第1のモデルはプラスチックのような性質を持つ表面を表現するものであり、もう1つは透明物体や繊維のようなものをよく表現する。これらを用いた色変更処理の原理と実験結果、及び、これらを実装したシミュレーションシステムについても紹介する。第1のモデルに対してはリアルタイムに実行できる高速化手法についても述べる。

2. プラスチックのような物体の色変更

2.1 表面反射モデル

CGの分野では種々の表面反射モデルが提案されている。Phongのモデル^[1]はその代表的なものである。このモデルでは、点Pでの色は三刺激値で表わすと^[2]式(1)で表わされる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_0 \\ G_0 \\ B_0 \end{pmatrix} [\cos\theta \cdot (1-d) + d] + \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} [\cos\phi]^n \quad (1)$$

(R_0, G_0, B_0) は拡散反射に対する色ベクトルであり、“物体色”、 (R_s, G_s, B_s) は鏡面反射に対する色ベクトルであり“光源色”と呼ばれる。

このモデルは鏡面反射と拡散反射の両方の項を持っており、写真1の掃除機のボディーに示されるプラスチックのような物体をよく表わすと言われる。

式(1)に従えば、表面上の点の色は物体色と光源色の混合したものとなる。この混合の係数は表面の性質により定まる。この Phong のモデルを一般化した色生成モデルは式(2)のようになる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} R_0 \\ G_0 \\ B_0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} \quad (2)$$

この式は、表面上の点の色を示すベクトルは、すべて物体色ベクトルと光源色ベクトルの張る平面上にあることを示している。図1はこの平面上の典型的な色分布例を示している。この図では、Kは原点、Sは光源色ベクトル、Oは物体色ベクトルを示している。反射光の色は、この2つのベクトルが作る平行四辺形の中に分布する。Klinker 他^[3]は、このような混色表現を提案し、色空間における分布を3D情報を得る目的で matte line と highlight line とに分析している。

本研究では式(2)が色の変更に用いられる。表面の性質を示すパラメータは α と β に含まれており、表面の素材感の状態は、 α と β を不変に保てば保存される筈である。即ち、物体の色変更は物体色ベクトル (R_0, G_0, B_0) をただ新しい物体色ベクトル (R_0', G_0', B_0') に置き換えるだけで完了する。この概念は図1に示されている。色分布面 P_1 は線形に歪みされ、K-S軸に関して回転され、 P_2 となる。平面内の色分布も、この線形な変換によって変形させられる。

上述の手法をまとめると、色変更手順は次のようになる。

- (1) まず、物体色ベクトルと光源色ベクトルを入力画像から、または別の方法で得る。
- (2) 物体表面の各画素毎に、三刺激値から $\alpha(x, y)$ と $\beta(x, y)$ を計算する。このためには式(2)の代わりに、 α 、 β 軸に直交する γ 軸を付け加えた式(3)を用いる。 γ 軸はノイズ成分と考えられる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_0 & R_s & R_\gamma \\ G_0 & G_s & G_\gamma \\ B_0 & B_s & B_\gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \quad (3)$$

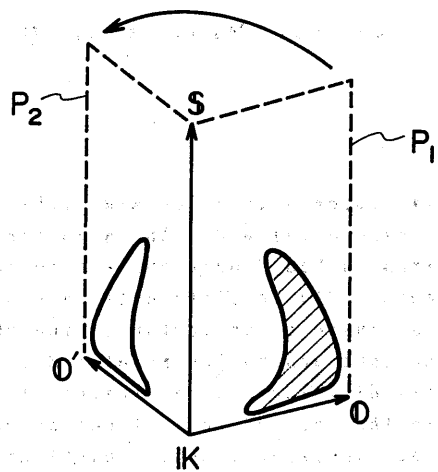


図1 Phong 型のモデルにより表現される色分布と、物体色を置き換えることによる色変更

ここで、
$$\begin{pmatrix} R_v \\ G_v \\ B_v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_o \\ G_o \\ B_o \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix}$$

- (3) 新しい物体色 (R_o', G_o', B_o') を選ぶ。
- (4) 各画素の三刺激値を式(4)に従って求める。

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \alpha(x, y) \begin{pmatrix} R_o' \\ G_o' \\ B_o' \end{pmatrix} + \beta(x, y) \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} \quad (4)$$

2.2 高速アルゴリズム

上記の処理では各画素の値を書き換える必要があるため、色変更をリアルタイムで行なうことは不可能である。しかし、書き換える部分画像の色がすべて Look-up-table(LUT) で表わされ、ディスプレイ装置がカラーマップディスプレイ^[4]の機能も持っている場合にはリアルタイム化することが可能である。

部分画像の色を少数の色数(例えば256色)で表わすには限定色表示のアルゴリズムが利用可能である。限定色表示のアルゴリズムは基本的には色が密に分布している色空間領域では密に代表色をとり、色が余り使われていない領域では疎に代表色をとることにより少数の代表色で忠実なカラー表示を得るものである。本研究の問題では、部分画像の色は3次元でなく2次元の平面上に分布しているので、同様のアルゴリズムで高画質を得ることは比較的容易である。ここでは、Heckbert の Median Cut Algorithm (MCA)^[5] を変形したものをを用いた。

- (1) 色空間を α と β で張られる2次元とし、部分画像に含まれるすべての色を (α, β) で表わす。まず、すべての色を1つのクラスタとみなす。
- (2) 各クラスタについて色分布の平均値 $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ と共分散行列 (Σ) を求める。 Σ を対角化することにより、最大の固有値に対応する第1主軸を求める。
- (3) 各クラスタについて第1主軸に関してヒストグラムを求め、メディアンを分割点とし、2クラスタに分割する。
- (4) クラスタの数が制限Nに達していない場合(2)へ戻り、分割を繰り返す。
- (5) Nクラスタになったら、各クラスタに対して平均色 $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ を求め、代表色とする。
- (6) 部分画像の各画素について(2)及び(3)で定められた分割点を利用して代表色番号を割り当てる。

以上の手続の後、各画素に代表色番号をもつ新しい画像データがフレームバッファにロードされ、LUTには $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ を式(4)により三刺激値に変換した値がロードされる。256色の限定色表示を用いれば画像は自然に表示され、色変更の計算もこの256色のみについて行な

えばよいので、色変更はリアルタイムに実行できる。

2.3 実験

このアルゴリズムを実際に画像に対して適用した。まず、原理の正当性を確認するため、RGB空間での色分布を求めた。写真1の掃除機のボディに関する平均値と共分散は式(5)のようである。

$$C = \begin{pmatrix} \bar{R} \\ \bar{G} \\ \bar{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 228.6 \\ 116.3 \\ 136.0 \end{pmatrix}, \quad \Sigma = \begin{pmatrix} 602.9 & 971.9 & 897.5 \\ 971.9 & 2621.4 & 2314.6 \\ 897.5 & 2314.6 & 2133.3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Σ を対角化して、固有値 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ と固有ベクトル $\underline{v}_1, \underline{v}_2, \underline{v}_3$ を求めると、

$$\sigma_1^2 = 5094.4, \quad \sigma_2^2 = 214.9, \quad \sigma_3^2 = 48.3 \quad (6)$$

$$\underline{v}_1 = \begin{pmatrix} 0.283 \\ 0.712 \\ 0.642 \end{pmatrix}, \quad \underline{v}_2 = \begin{pmatrix} 0.955 \\ -0.274 \\ -0.116 \end{pmatrix}, \quad \underline{v}_3 = \begin{pmatrix} 0.094 \\ 0.646 \\ -0.758 \end{pmatrix}$$

となり、分布平面は \underline{v}_1 と \underline{v}_2 の張る面と考えることができる。この分布平面の厚さは \underline{v}_3 方向の標準偏差で測れば約7.0であり、それぞれ $\underline{v}_1, \underline{v}_2$ 方向の1/10, 1/2である。2.1のモデルによれば、原点、白(光源色)、平均色により張られる平面(以降“物体色平面”)はこれと一致する筈であるので、この2つの面を比較する。

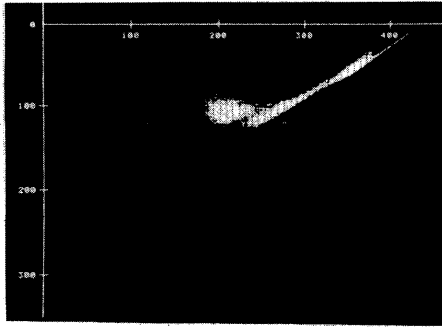
写真1の例では白の方向ベクトルが \underline{v}_3 となり、平面の法線ベクトル \underline{v}_n は式(7)のようになる。

$$\underline{v}_n = \begin{pmatrix} 0.577 \\ 0.577 \\ 0.577 \end{pmatrix}, \quad \underline{v}_n = \begin{pmatrix} 0.134 \\ 0.631 \\ -0.764 \end{pmatrix} \quad (7)$$

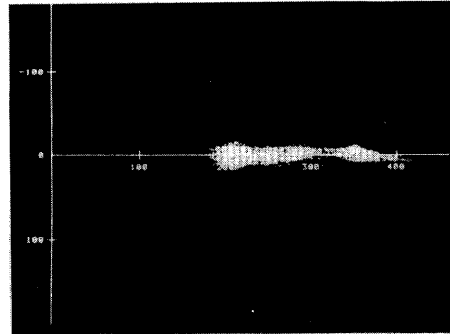
\underline{v}_3 と \underline{v}_n が非常に近いことは明らかであるが、この2つのベクトルのなす角を求めたところ約2°であった。

図2はRGB空間における色分布を示しており、(a)は \underline{v}_3 を横軸に、これに垂直な方向を縦軸にとった物体色平面への投影を示したものであり、(b)は \underline{v}_n を横軸に、物体色平面に垂直な方向を縦軸にとった平面への投影を示している。図2(b)でわかるように色分布は薄くモデルの有効性が確認されている。

物体色ベクトルを決めるのには困難がある。上記の議論によれば表面上の色は光源色ベクトルと物体色ベクトルの張る平行四辺形内に分布することが言えるだけで、正確には決定できない。しかし、実用上は光源色ベクトルと共に色分布を囲む最小の平行四辺形の、もう一方の辺を物体色ベクトルとして大きな問題は起こらない。写真2に色変更の結果例を示す。左上が原画像、残りの3つが色変更結果である。



(a)



(b)

図2 写真1に示す掃除機のRGB空間での色分布

2.4 モデルに合わない物体

Phong 型のモデルはプラスチックのような物体には適している。しかし、写真3又は4に示したような画像には適していない。図2のように色分布を表示すると、色は必ずしも平面上に分布していない。写真3の透明な物体（ランプのシェード）での光の透過や、写真4の繊維での反射は Phong 型のモデルでは説明できないことを示している。

Phong 型のモデルのもう1つの問題は、無彩色の物体の色を変えられないことである。このモデルは分布平面を2つの独立なベクトルで定義することを仮定しているが、無彩色の物体の場合、色分布は光源色ベクトル方向のみに分布し2次元とはならないためである。これらの問題を解決するもう1つのモデルを次章に示す。

3. 透明物体及び繊維の色変更

3.1 吸収モデル

ランプシェードのような透明物体の場合、ランプから射出された光は図3のようにシェードで反射されたあと観測される。即ち、観測される光はシェードで吸収された残りの光である。繊維の場合も事情は似ている。繊維の表面はマイクロに見ると図4のように複雑な形状をしており、観測される光は多重反射により吸収された残りの光である。観測される光の分光分布は式(8)のようになる。

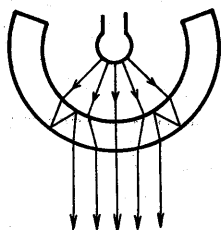


図3 透明物体の光の吸収

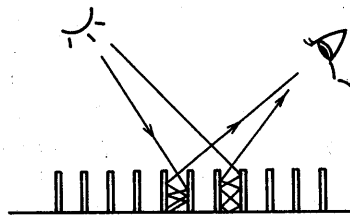


図4 繊維の光の吸収

$$S'(\lambda) = S(\lambda)\rho(\lambda)^l \quad (8)$$

ここで、 $S'(\lambda)$ は観測される光の分光エネルギー、

$S(\lambda)$ は光源の分光エネルギー、

$\rho(\lambda)$ は単位透過長（透明物体）、又は、単位反射回数（反射物体）当たりの分光吸収、

1 単位透過長（透明物体）、又は、単位反射回数（反射物体）、である。

我々は通常、光源と観測された光の三刺激値しか知ることができないので素材の $\rho(\lambda)$ を得ることはできず、このモデルをそのまま使うことはできない。

しかし、各分光特性が波長に対して緩やかに変化することを仮定できれば、これらを図5に示すような区分的に一定の特性として近似することができる。この場合、観測される色の (R, G, B) は式(9)のように表わされる。

$$R = \rho_r \cdot R_s, \quad G = \rho_g \cdot G_s, \quad B = \rho_b \cdot B_s \quad (9)$$

ここで、 (R_s, G_s, B_s) は光源色、

(ρ_r, ρ_g, ρ_b) は各波長範囲における単位吸収率である。

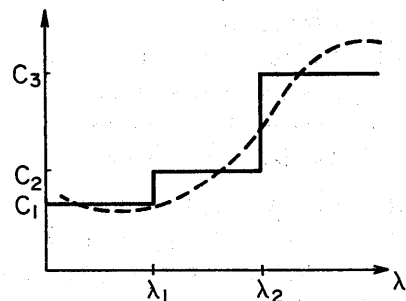


図5 区分的に一定な特性による分光特性の近似

この吸収モデルでは、 l のみが各画素毎に計算されるべきパラメータである。 l の変化による色の変化は、色空間において光源色 ($l=0$) から黒 ($l=\infty$) に至るカーブを描く。一般にはこの軌跡は前章の場合と違って平面内には含まれない。しかし、色空間の表現として色濃度を採用すれば、軌跡は直線になる。式(10)はそれを示している。

$$\begin{aligned} D_r &\equiv -\log R = -l \cdot \log \rho_r - \log R_s \equiv l \cdot P_r + D_{r_s} \\ D_g &\equiv -\log G = -l \cdot \log \rho_g - \log G_s \equiv l \cdot P_g + D_{g_s} \\ D_b &\equiv -\log B = -l \cdot \log \rho_b - \log B_s \equiv l \cdot P_b + D_{b_s} \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 D_r, D_g, D_b は色濃度、
 P_r, P_g, P_b は単位吸収率である。

式(10)で、色濃度ベクトルを $\underline{C}(x, y) \equiv (D_r(x, y), D_g(x, y), D_b(x, y))$ 、光源色濃度ベクトルを $\underline{C}_s \equiv (D_{r_s}, D_{g_s}, D_{b_s})$ 、吸収ベクトルを $\underline{P} \equiv (P_r, P_g, P_b)$ と定義すれば、式(11)が導かれる。

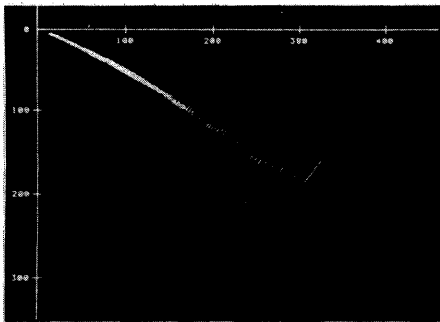
$$\underline{C}(x, y) = l(x, y) \cdot \underline{P} + \underline{C}_s \quad (11)$$

この定式化によれば色変更の手順は次のようになる。

- (1) 入力画像から、又は、他の方法で光源色濃度ベクトル \underline{C}_s を求める。
- (2) 画像から代表的な色の画素を選び、これを色濃度ベクトル \underline{C} とする。
- (3) 濃度空間において色分布を計算し、第一主軸を色調変化の軌跡と考える。
- (4) 吸収ベクトルは式(12)により求められる。

$$\underline{P} = \frac{(\underline{C} - \underline{C}_s) \cdot \underline{y}}{\underline{y} \cdot \underline{y}} \quad (12)$$

ここで、 \underline{y} は第一主軸の方向ベクトルである。
 $\{\underline{x} \cdot \underline{y}\}$ は2つのベクトル \underline{x} と \underline{y} の内積を示す。



(a)

- (5) 各画素の色濃度 $\underline{C}(x, y)$ から、 $l(x, y)$ を計算する。

$$l(x, y) = \frac{(\underline{C}(x, y) - \underline{C}_s) \cdot \underline{P}}{\underline{P} \cdot \underline{P}} \quad (13)$$

各画素に対する l 値からなる中間画像が得られる。

- (6) 新しい代表点の色を選び、その色濃度ベクトル \underline{C}' から吸収ベクトル \underline{P}' を式(14)のように計算する。

$$\underline{P}' = \underline{C}' - \underline{C}_s \quad (14)$$

- (7) 各画素に対する色濃度 $\underline{C}'(x, y)$ を計算する。

$$\underline{C}'(x, y) = \underline{C}_s + l(x, y) \cdot \underline{P}' \quad (15)$$

最後に濃度値は三刺激値に戻される。

なお、このモデルでは色分布は1次元なので、LUTを用いた高速アルゴリズムは容易に構成できる。

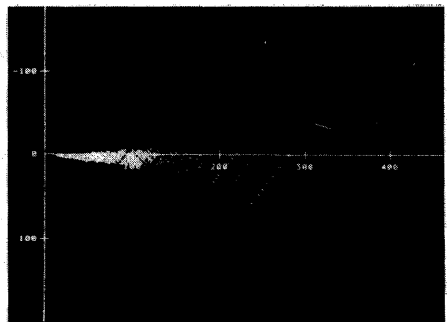
3.2 実験

まず、吸収モデルの有効性を確かめるため、色濃度空間 (D_r, D_g, D_b) での色分布を求めた。図6は、これを写真4の服の画像について図2と同様に表示したものである。これを見るとセンサ出力が飽和した部分を除いて分布は直線上に乗っている。写真5は色変更結果であり、このアルゴリズムがうまく働いていることがわかる。

3.3 無彩色物体の着色

この吸収モデルは色変化のパラメータが1個であるので、無彩色の物体にも適用できるという大きな利点がある。この場合、 l は原無彩色画像から式(16)のように計算する。

$$l(x, y) = \frac{D(x, y) - D_s}{D_o - D_s} \quad (16)$$



(b)

図6 写真4の画像の赤い服の D_r, D_g, D_b 空間での色濃度分布

ここで、D、 は光源の濃度、
 D、 は物体の代表的濃度、
 $D(x,y)$ は位置 (x,y) における画素の濃度である。

得られた $I(x,y)$ の値を式(15)にそのまま代入すれば、着色された画像が得られる。写真6は適用結果である。左上の原画像は白い発泡スチロール製の掃除機の模型であり、残りの3つが着色の結果である。

4. デザインシステム

本モデルを応用し、高品質のカラーシミュレーションができる画像処理システムをパソコン上に開発した。ハードウェア構成はPC-9801RA、メインメモリ640Kバイト、RAMディスク2Mバイト、ハードディスク、フルカラーフレームメモリとマウスである(図7)。ここでは本システムの主な機能について紹介する。

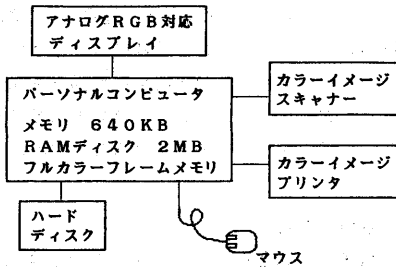


図7 デザインシステムの構成

4.1 マスク作成

自然画像中の物体部分のマスク作成は煩雑で多くの時間が必要とすることが多い、色変更などのようにマスクを必要とする処理を行う上で大きな障害となる。本システムではマスク作成を容易にかつ短時間に行うために幾つかの工夫を行なった。

一つは指示された物体の色分布を表面反射モデルで予想し半自動的に物体を切り出す方法である。具体的には、物体上の任意の場所を利用者がマウスで指示し、指示された部分の色と物体色が同一色相にあり、光源色が $R=G=B=255$ であると仮定し物体色平面を決定する。この物体色平面付近の色の部分を切り出すわけであるが、物体の材質や画像データが、作成された状態によって微妙に異なるため、パラメータを設け、画面で切り出し具合を確認しながらパラメータを調整し、マスクを作成できるようにした。

画像データは多少のノイズを含んでおり、色だけで判断しては穴が開いたり、ゴミが残ったりする。前処理としてノイズのある程度除去すべきであるが、本システムでは、利用者に前処理を期待できない。そこで、マスクのエッジ部分を1ドット拡張した後に1ドット縮小させ、小さな穴を埋める穴埋め機能と、1ドット縮小した後に1ドット拡張させ、小さなゴミを除去するゴミ取り機能を設け、修正が簡単に行えるようにした。

4.2 シミュレーション

物体の画素ごとに新物体色を与えると、光沢や陰影を保存したまま模様を描くことができる。これを実現したのが本システムのペイントとテクスチャーマッピングである。ペイントはパレットから新物体色を選びだし、マウスで指示された部分を新物体色に変換して色換えを行っていく。このペイントは通常のペイントと比べて自然に見えるので我々はナチュラルペイントと呼んでいる。ナチュラルペイントでのアンドゥ機能は色換え前の物体色で再変換することで実現している。

また、パレットはデザイン業務での使い勝手を考慮し、多くの色が同時に見えるレインボーパレット、P.C.C.S

表1 カラーパレット

表示																																	
レインボーパレット																																	
ヒューバレット	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">色相</th> <th colspan="3">トーン</th> <th rowspan="2">明度 ↑</th> </tr> <tr> <th>R</th> <th>BG</th> <th>ベール</th> <th>ライト</th> <th>ブライト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>YR</td> <td>B</td> <td>ライト</td> <td>ソフト</td> <td>ストロング</td> <td rowspan="4">ピピック ↑</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>PB</td> <td>グレイッシュ</td> <td>ダーク</td> <td>ディープ</td> </tr> <tr> <td>GY</td> <td>P</td> <td>ターク</td> <td>グレイッシュ</td> <td>ターク</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>RP</td> <td>グレイッシュ</td> <td>ターク</td> <td>ディープ</td> </tr> </tbody> </table>	色相		トーン			明度 ↑	R	BG	ベール	ライト	ブライト	YR	B	ライト	ソフト	ストロング	ピピック ↑	Y	PB	グレイッシュ	ダーク	ディープ	GY	P	ターク	グレイッシュ	ターク	G	RP	グレイッシュ	ターク	ディープ
色相		トーン			明度 ↑																												
R	BG	ベール	ライト	ブライト																													
YR	B	ライト	ソフト	ストロング	ピピック ↑																												
Y	PB	グレイッシュ	ダーク	ディープ																													
GY	P	ターク	グレイッシュ	ターク																													
G	RP	グレイッシュ	ターク	ディープ																													
ユーザカスタムパレット	<table border="1"> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>5×6のテーブルが5枚あり、切り替えて使用する。最大150の色が登録できる。</p>	1						2						3						4						5							
1																																	
2																																	
3																																	
4																																	
5																																	
パレット	<table border="1"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> </table> <p>フリーのキャンバスが5枚あり、切り替えて画像をパレットとして使用する。</p>	1		2		3		4		5																							
1																																	
2																																	
3																																	
4																																	
5																																	

表色系にトーン概念を取り入れた^[6]ヒュートーンパレット、及び、カスタマイズパレットを設けた(表1)。

このシステムでは色換えのための前処理を施した部分をカラーマスクと呼び、合成ではマスクやカラーマスクを使いながら、色々なシミュレーションを行なうことができる(図8)。特に、カラーマスクを使用すると光沢や陰影を保存した自然なテクスチャマッピングの効果を得ることができる。

また、縞模様などの方向性のあるテクスチャを物体の形状に合わせて合成するために、メッシュによる変形合成を考案した。メッシュによる変形合成とは、合成したいテクスチャ画像をメッシュ分割し、メッシュの格子点をマウスで移動し変形を指示する方法である(図9)。このメッシュ合成と表面反射モデル法によって、自然なテクスチャマッピングが短時間で可能となった。

5. むすび

物体表面の反射と吸収に関する物理モデルを利用した、フルカラー画像のための色変更アルゴリズムを提案した。また、このアルゴリズムを採用した、PCによるカラーデザインシミュレーションシステムを紹介した。システムでは色変更の他に、ペイント・画像の合成などの機能も実現されており、合成などに必要なマスクを半自動的に作成するアルゴリズムも実装されている。

本報告に述べた2つの物理モデルは多くの対象の画像シミュレーションに適しているが、今後、更に適用性の広いモデルを開発すると共に、システムの利用価値を高めるための機能増強を行なっていくことが課題である。

謝辞

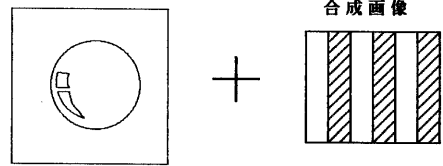
当社製造システム(事)の吉福氏、及び、C&C情報研究所の池田氏には、本研究のプログラム開発に協力して頂いた。また、本研究の機会を与えて頂いた、C&C情報研究所の天満部長、及び、製造システム(事)の山口課長、またデザインシミュレーションシステム開発に御協力を頂いた関係諸氏に感謝の意を表する。

【参考文献】

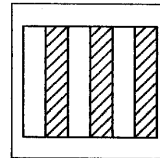
- [1] B.T.Phong, "Illumination for Computer Generated Pictures", Comm. ACM, 18(6), 311-317(1975)
- [2] 横井、伊藤、鶴岡、三宅 "カラー3次元物体の反射・透過モデルに関する基礎的検討", 情報処理学会 研報, CG7-1, Sep. (1982)
- [3] G.J.Klinker, S.A.Shafer and T.Kanade, "Using a Color Reflection Model to Separate Highlights from Object Color", 1'st ICCV London '87, 145-150(1987)

- [4] K.R.Sloan Jr. and C.M.Brown, "Color Map Techniques", CGIP, 10, 297-317(1979)
- [5] P.Heckbert, "Color Image Quantization for Frame Buffer Display", Computer Graphics, 16(3), 297-307(1982)
- [6] 川添、千々岩 "色彩計画ハンドブック", 偏視覚デザイン研究所(1986)

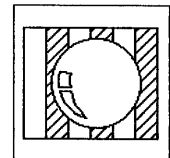
球体部分にマスクおよびカラーマスクがある



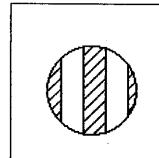
<合成結果>



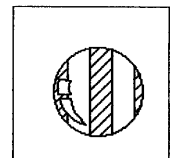
単純合成



マスクを使用した合成



反転マスクを使用した合成



カラーマスクを使用した合成

図8 マスク、カラーマスクによる合成

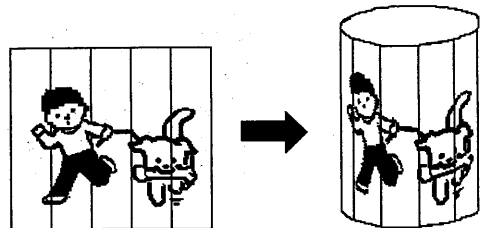


図9 メッシュ合成

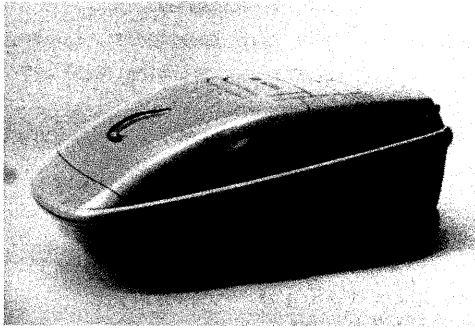


写真1 プラスティックの掃除機

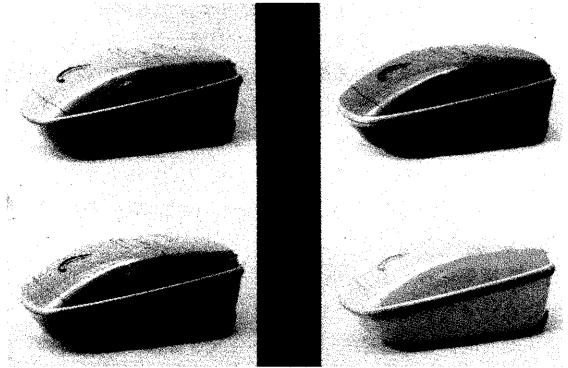


写真2 写真1の画像に対する表面反射モデルによる色変更

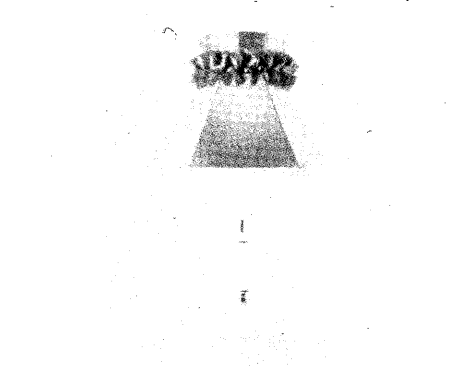


写真3 ランプシェードの画像

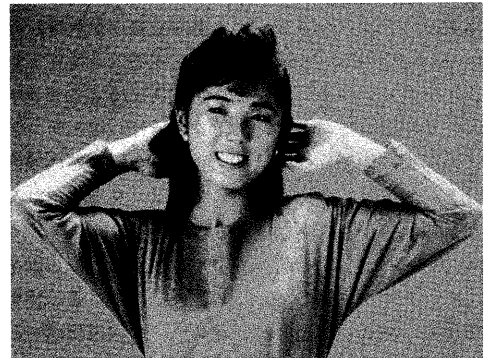


写真4 赤い服の画像

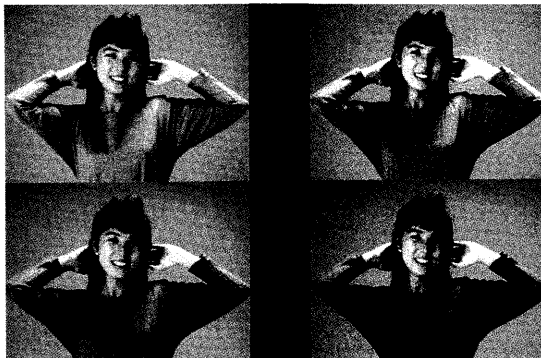


写真5 写真4の画像に対する吸収モデルによる色変更

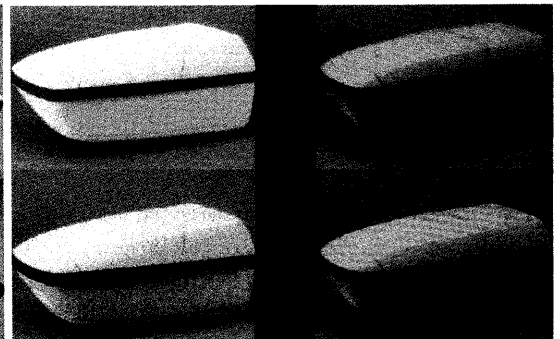


写真6 吸収モデルによる無彩色物体の着色