

# 陰影効果を利用した顔印象の編集

石垣 智子<sup>†</sup> 高井 勇志<sup>†</sup> 松山 隆司<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都大学大学院情報学研究科

あらまし 顔写真を撮影する際に、顔表面の陰影を操作することがしばしば行われる。これは、顔表面上の陰影を用いて受け手の感じる3次元形状を変化させることによって、与える印象が編集できることを意味している。そこで本論文では、顔の形状を変えずに受け手に与える印象を変化させることを目的とした陰影編集システムを提案する。具体的には、目標3次元モデルの生成する陰影を対象顔画像上に重ねることによって目標となるような陰影変化をもつ対象顔画像を作成する。試作システムを用いた実験により、陰影の編集によって異なる印象を与える画像が生成できることを確認した。

キーワード 陰影編集, 顔印象, BSSRDF, アンビエントオクルージョン, 大域照明

## Editing Facial Impression with Shading and Shadows

Tomoko ISHIGAKI<sup>†</sup>, Takeshi TAKAI<sup>†</sup>, and Takashi MATSUYAMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Informatics, Kyoto University

**Abstract** We often edit facial shading and shadows in taking the photograph. It means that we can edit the facial impression with the facial shading and shadows, which can control an appearance of a 3D surface without editing a 3D geometry of a face. In this paper, we propose a new method for editing facial shading and shadows to control impression without changing the 3D shape of the face, that is we create a new appearance of a face by overlaying shading and shadows which are generated with a goal 3D shape to the facial image. We demonstrate its effectiveness with experimental results of real facial images.

**Key words** Shading and shadow editing, Facial impression, BSSRDF, Ambient occlusion, Global lighting

### 1. はじめに

#### 1.1 研究の背景

我々は日常生活において他者とコミュニケーションをとるとき、相手の意図や内面状態を言語だけでなく非言語情報も含めて総合的に判断している。このような非言語情報の中で、特に重要なチャンネルの一つとして顔情報が挙げられる。履歴書の写真を送るときなどは、顔情報が言語情報と同程度に相手に与える印象を左右する要素となる場合もある。この場合、受け手に反応する形で言語情報を与えることができないので、第一段階でどれだけ送り手が意図した印象を与えることができるかが重要となる。このため送り手は、自身が意図した印象を顔情報から与えることができるよう考慮しながら写真撮影を行う。

顔写真を撮影する際に我々は表情を工夫することが多いが、この他にしばしば操作されるものとして顔表面の陰影が挙げられる。この陰影を操作する方法は大きく分けて二つあり、一つは機材を用いて顔周りの照明を制御する手法、もう一つは化粧を施して顔表面の陰影を誇張する方法である。いずれの手段を用いるにせよ、顔表面に存在する陰影は受け手に及ぼす印象に

大きく影響することを意味していると言える。このことから、送り手の意図した印象を与えるような陰影編集顔画像を生成する手法が確立されることが望ましい。特に近年は化粧をシュミレーションする技術が提案されており [1] [4]、この技術の向上のために陰影変化の精緻な表現方法が求められている点を考慮しても、陰影を編集する技術は重要であると言える。

#### 1.2 研究の主題

本稿では、目標とする3次元モデルの生成する陰影を利用して顔の印象を編集し、目標モデルの持つ印象を対象顔に与えることを目的とした陰影編集手法を提案する。具体的には、目標モデルの3次元形状と照明モデルから、目標モデルの顔表面に存在する陰影を生成する。この陰影を対象となる顔上に重ねることによって、対象顔の陰影を編集する。また、編集前後で対象顔画像の受け手に与える印象がどのように変化するかを定性的及び定量的に評価する。

### 2. 提案するシステムの概要

本節では、1.2節で述べた陰影編集手法について、その概略を紹介する。2.1節で、想定する照明モデルや物体の表面モデ

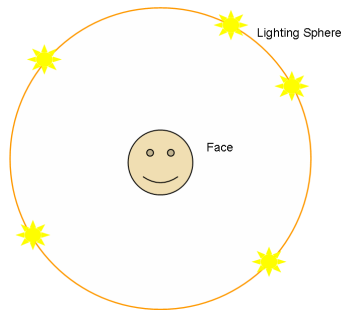


図 1 照明モデル  
Fig. 1 Lighting Model

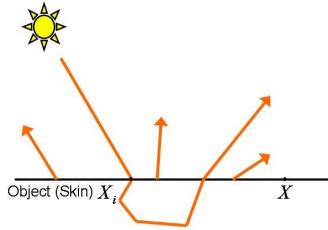


図 2 BSSPRF での光の拡散  
Fig. 2 Scattering of light in a BSSRDF

ルについて詳しく述べ、2.2 節では物体表面の輝度の表現法について述べる。2.3 節で提案手法の具体的な処理の流れ及び各処理について詳しく説明する。

### 2.1 光源と表面モデル

ここでは照明モデルを  $L$  とする。一般的な照明下での陰影を表現するために、照明モデル  $L$  は図 1 のように撮影対象の天空を覆うような放射強度が分布した球状であると仮定する。このような照明モデル  $L$  を用いて生成される物体表面上での陰影は、アンビエントオクルージョンを用いて表現する。アンビエントオクルージョンとは大域照明の手法の一つであり、物体表面上の各点の陰影は、光の球の各方向からの光源によって得られる陰影の総和で表される。また扱う肌の反射モデルは BSSRDF (Bidirectional Surface Scattering Reflectance Distribution Function) [5] とする。この BSSRDF の表面上では図 2 で示したような光の拡散が生じる。

### 2.2 物体表面の輝度

物体表面の輝度を表現するにあたり、以下の用語を定義する。座標系は撮影対象物体を基準にとるものとする。

**法線ベクトル:** 物体表面の法線方向を表す 3 次元ベクトルであり、物体表面の各点での内向きの単位法線ベクトルにその点での表面反射率を乗じたものを示す。点  $X$  における法線ベクトルを  $N(X)$  と表す。

**光源ベクトル:** 光源方向と放射強度を表す 3 次元ベクトルであり、単位入射光ベクトルにその強さを乗じたものを表す。点  $X$  における光源ベクトルを  $L(X)$  と表す。

**放射輝度:** 物体表面上の輝度を指すものとし、点  $X$  での放射輝度を  $R(X)$  とする。 $R(X)$  はスカラー量である。

**テクスチャ:** 対象物体の物体表面のテクスチャ成分を表す。点  $X$  でのテクスチャ成分を  $T(X)$  とする。

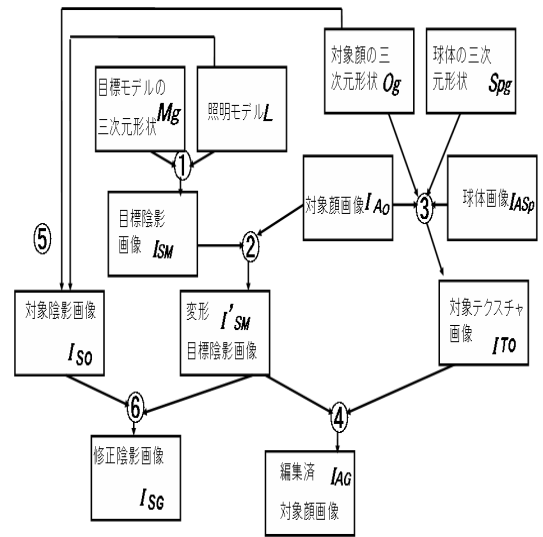


図 3 陰影編集処理の流れ  
Fig. 3 Flow chart of editing shadow and shading

**陰影:** 対象物体の物体表面の陰影成分を表す。点  $X$  での陰影成分を  $S(X)$  とする。

**表面輝度:** 画像中での輝度を指すものとし、画素  $x$  での表面輝度を  $I(x)$  と表す。 $I(x)$  はスカラー量である。

このとき物体表面の任意の点  $X$  での陰影  $S(X)$  は、上記で定義した  $N(X)$ ,  $L(X)$  を用いて、

$$S(X) = N(X) \cdot L(X) \quad (1)$$

と表現できる<sup>(注1)</sup>。また放射輝度  $R(X)$  は上記で定義した  $T(X)$  と  $S(X)$  から求めることができ、

$$R(X) = T(X)S(X) \quad (2)$$

と表せる。物体上の点  $X$  に対応する画素を  $x$  とすると、画素  $x$  での表面輝度は適当なパラメータ  $\rho(x)$  と  $R(X)$  を用いて、

$$I(x) = \rho(x)R(X) \quad (3)$$

と近似することができる。

### 2.3 提案するシステムの流れ

陰影編集を行うための具体的な処理の流れを図 3 に示す。まず目標モデルの 3 次元形状  $Mg$  を 3D スキャナーを用いて測定する。この目標モデルは 2.1 節で述べた照明モデル  $L$  の環境下に置かれているものとし、このときに目標モデル  $Mg$  が生成する陰影を求め (図 3-1)、目標陰影画像  $I_{SM}$  として以後の処理で利用する。

次に陰影編集対象となる顔を撮影し、対象顔画像  $I_{AO}$  とする。この対象顔画像  $I_{AO}$  と、先程求めた  $I_{SM}$  を AAM (Active Appearance Model) [6] を用いて対応付けすると、変形目標陰影画像  $I'_{SM}$  が得られる (図 3-2)。

一方、対象顔画像  $I_{AO}$  を準備する際に先程の 3D スキャナーを用いて対象顔の 3 次元形状を測定する。また、同じ照明環境下でテクスチャが一様な球体を撮影しこの球体の 3 次元形

(注1) : 物体表面は完全拡散反射モデルとする。

状も獲得する。得られた対象顔の3次元形状，球体画像，球体の3次元形状をそれぞれ  $O_g$ ， $I_{A_{Sp}}$ ， $Sp_g$  とする。対象顔画像  $I_{A_O}$ ，対象顔の3次元形状  $O_g$ ，球体画像  $I_{A_{Sp}}$ ，球体の3次元形状  $Sp_g$  から対象顔画像  $I_{A_O}$  のテクスチャ成分を獲得する(図3-3)。このテクスチャ成分の画像を対象テクスチャ画像  $I_{T_O}$  とすると，対象テクスチャ画像  $I_{T_O}$  に変形目標陰影画像  $I'_{S_M}$  を重ね合わせれば，目標モデルのような陰影変化をもつ対象顔が作成できる。そこで先程求めた対象テクスチャ画像  $I_{T_O}$  と修正陰影画像  $I_{S_G}$  から編集済対象顔画像  $I_{A_G}$ (図3-4)を作成する。

次に対象顔の3次元形状  $O_g$  と照明モデル  $L$  から，照明モデル  $L$  の下で対象顔の生成する陰影成分を獲得し，得られる画像を対象陰影画像  $I_{S_O}$  とする(図3-5)。実際の化粧などによる陰影付けを行うときに，この対象陰影画像  $I_{S_O}$  と変形目標陰影画像  $I'_{S_M}$  の差分を補うようにすれば，目標モデルのような印象を対象顔が与えることができると考えられる。そこで対象陰影画像  $I_{S_O}$  と変形目標陰影画像  $I'_{S_M}$  の差分をとり(図3-6)，修正陰影画像  $I_{S_G}$  として，実際の陰影付けの手本とする。

以上が処理の流れであり，次に各処理について詳しく述べる。

### 1: 目標陰影画像 $I_{S_M}$ の生成

目標陰影画像  $I_{S_M}$  を，目標モデルの3次元形状  $M_g$  と照明モデル  $L$  から生成する。このとき目標モデルの表面上の点  $X$  での放射輝度  $R_M(X)$  は，

$$R_M(X) = \int_A \int_{2\pi} S(X_i, \vec{\omega}_i, X) L_i(X_i, \vec{\omega}_i) (\vec{N}_M \cdot \vec{\omega}_i) d\vec{\omega}_i dA(X_i) \quad (4)$$

と表せる。 $S(X_i, \vec{\omega}_i, X)$  は，物体表面上の点  $X_i$  に点  $\omega_i$  方向から入射する入射光  $\vec{\omega}_i$  の，物体表面上の点  $X$  での拡散伝達関数である。 $L_i(X_i, \vec{\omega}_i)$  は，点  $X_i$  での入射光  $\vec{\omega}_i$  の強度を表しており， $L_i(X_i, \vec{\omega}_i) (\vec{N}_M \cdot \vec{\omega}_i)$  は入射光  $\vec{\omega}_i$  による点  $X_i$  での陰影を示す。求めた  $R_M(X)$  と式(3)を用いると，目標陰影の画素  $x$  での表面輝度は

$$I_{S_M}(x) = \rho(x) R_{S_M}(X) \quad (5)$$

と近似できる。

### 2: 変形目標陰影画像 $I'_{S_M}$ の生成

目標陰影画像  $I_{S_M}$  と対象顔画像  $I_{A_O}$  に特徴点として数十点与え，この特徴点を基にAAMを用いて対応付けを行う。マッチングの結果により，対象顔画像の形に補正された変形目標陰影画像  $I'_{S_M}$  が得られる。

### 3: 対象テクスチャ画像 $I_{T_O}$ の生成

対象顔画像  $I_{A_O}$ ，対象顔の3次元形状  $O_g$ ，球体画像  $I_{A_{Sp}}$ ，球体の3次元形状  $Sp_g$  から対象テクスチャ画像  $I_{T_O}$  を生成する。対象顔及び球体の表面上の点  $X$  での放射輝度をそれぞれ  $R_O(X)$ ， $R_{Sp}(X)$  とおくと，式(2)より

$$R_O(X) = T_O(X) S_O(X) \quad (6)$$

$$R_{Sp}(X) = T_{Sp}(X) S_{Sp}(X) \quad (7)$$

と表すことができる。ただし  $T_O(X)$ ， $S_O(X)$  はそれぞれ対象顔上の点  $X$  でのテクスチャと陰影を表す。また  $T_{Sp}(X)$ ，

$S_{Sp}(X)$  は球体の表面上の点  $X$  でのテクスチャと陰影を指す。今回用いた球体のテクスチャは一樣であるから  $T_{Sp}(X) = 1$  となり，これを式(7)に代入すると  $R_{Sp}(X)$  は，

$$R_{Sp}(X) = S_{Sp}(X) \quad (8)$$

と求めることができる。また球体の3次元形状  $Sp_g$  から球体の法線ベクトルが求められ，球体上の点  $X$  での法線ベクトルを  $N_{Sp}(X)$  とすると式(1)より，

$$S_{Sp}(X) = N_{Sp}(X) \cdot L'(X) \quad (9)$$

と表すことができる。ただし  $L'(X)$  は撮影環境下の点  $X$  での光源ベクトルである。式(8)，(9)より球体の法線ベクトルと陰影の対応付けを行うことができる。

$$\begin{cases} N_{Sp}(0) = S_{Sp}(0) \\ N_{Sp}(1) = S_{Sp}(0) \\ \vdots \\ N_{Sp}(k) = S_{Sp}(k) \\ \vdots \\ N_{Sp}(n) = S_{Sp}(n) \end{cases} \quad (10)$$

一方対象顔の3次元形状  $O_g$  から対象顔の法線ベクトルが求められ，対象顔上の点  $X$  での法線ベクトルを  $N_O(X)$  とする。式(10)を参照し， $N_O(X) = N_{Sp}(k)$  ( $0 \leq k \leq n$ ) となる点  $X$  での陰影は  $S_O(X) = S_{Sp}(k)$  と決定する。陰影  $S_O(X)$  と対象顔画像から得られる  $R_O(X)$  を用いると，式(6)から対象テクスチャ  $T_O(X)$  が獲得できる。目標モデルと同様に物体表面上の点  $X$  の放射輝度が画素  $x$  に反映されているとするので，対象テクスチャ画像  $I_{T_O}(x)$  はパラメータ  $\rho(x)$  を用いて

$$I_{T_O}(x) = \rho(x) T_O(X) \quad (11)$$

と近似でき，以上より対象テクスチャ画像  $I_{T_O}$  が生成される。

### 4: 編集済対象顔画像 $I_{A_G}$ の生成

対象テクスチャ画像  $I_{T_O}$  と変形目標陰影画像  $I'_{S_M}$  を重ね合わせ，編集済対象顔画像  $I_{A_G}$  を生成する。

### 5: 対象陰影画像 $I_{S_O}$ の生成

対象陰影画像  $I_{S_O}$  を対象顔の3次元形状  $O_g$  と照明モデル  $L$  から生成する。対象顔の表面上の点  $X$  での放射輝度  $R_O(X)$  は，

$$R_O(X) = \int_A \int_{2\pi} S(X_i, \vec{\omega}_i, X) L_i(X_i, \vec{\omega}_i) (\vec{N}_O \cdot \vec{\omega}_i) d\vec{\omega}_i dA(X_i) \quad (12)$$

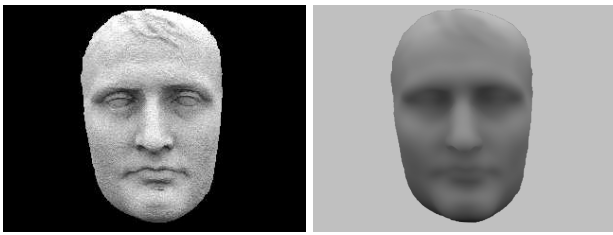
$R_O(X)$  と式(3)を用いると，目標陰影の画素  $x$  での表面輝度は

$$I_{S_M}(x) = \rho(x) R_O(X) \quad (13)$$

と近似できる。

### 6: 修正陰影画像 $I_{S_G}$ の生成

修正陰影画像  $I_{S_G}$  を求める。画素  $x$  での修正陰影  $I_{S_G}(x)$  は，変形目標陰影画像  $I'_{S_M}(x)$  と対象陰影画像  $I_{S_O}(x)$  の差分で表せるので，画素  $x$  での修正陰影  $I_{S_G}(x)$  は



(a) 目標モデル (b) 目標陰影画像

図 4 目標陰影の生成: (a) 目標モデル (b) 目標陰影画像

Fig. 4 Creating a model shading image: (a) Model (b) Model shading image

$$I_{SG}(x) = I'_{SM}(x) - I_{SO}(x) \quad (14)$$

となる．これが目標とする印象を対象顔画像  $I_{AO}$  に与える陰影になる．

### 3. 実験

#### 3.1 実験概要

2.3 節で述べた提案手法を用いて実験を行った．システムは PC, 3D スキャナーからなる．今回はデスクトップ PC を用いたが、特にハードウェアの形態は問わない．また、3D スキャナーとしてコニカミノルタ製の VIVI910 を使用した．実験には、室内で幾つかの照明をつけて、カメラと撮影対象を約 1.5m 離れた状態で撮影した画像を使用した．

目標モデル  $M_g$  として石膏像を使用し、この石膏像の 3 次元形状を測定した．これと CG ソフト (Blender [9]) を用いて生成した照明モデル  $L$  から、目標陰影画像  $I_{SM}$  を生成する．図 4(a) は目標モデルであり、(b) はこれに基づいて生成した目標陰影画像  $I_{SM}$  である．

次に実験室で対象顔及び球体の撮影を行った．図 5, 図 6 はそれぞれ対象顔画像  $I_{AO}$ , 球体画像  $I_{ASp}$  である．この対象顔画像  $I_{AO}$  と目標陰影画像  $I_{SM}$  を AAM でマッピングした結果を図 7 に示す．マッピングの際に特徴点として 58 点与えた．(a), (b) はそれぞれ対象顔画像  $I_{AO}$  と目標陰影画像  $I_{SM}$  の特徴点であり、(c) は生成された変形目標陰影画像  $I'_{SM}$  である．

一方、対象顔画像  $I_{AO}$ , 対象顔の 3 次元形状  $O_g$ , 球体画像  $I_{ASp}$ , 球体の 3 次元形状  $Sp_g$  から獲得した対象テクスチャ画像を図 8 に示す．(a) は対象テクスチャ画像  $I_{TO}$  であり、(b) はこのとき分離された陰影画像である．この対象テクスチャ画像  $I_{TO}$  と変形目標陰影画像  $I'_{SM}$  を重ね合わせて編集済対象顔画像  $I_{AG}$  が得られた．この陰影処理の結果を図 10 に示す．

最後に対象顔の 3 次元形状と照明モデル  $L$  から生成された対象陰影画像  $I_{SO}$  を図 11 に示す．この対象陰影画像  $I_{SO}$  と変形目標陰影画像  $I'_{SM}$  の差分を取った結果、図 11 のようになった．図 11-(a) は修正陰影画像  $I_{SG}$  であり、図 11-(b) はこれに肌色の色調を重ねたものである．

#### 3.2 評価及び考察

図 5 と図 9 を比較すると、編集済対象顔画像  $I_{AG}$  の方が目頭の彫りが深くなったように見える．また鼻筋や顎のラインが



図 5 対象顔画像

Fig. 5 Object image



図 6 球体画像

Fig. 6 Sphere image

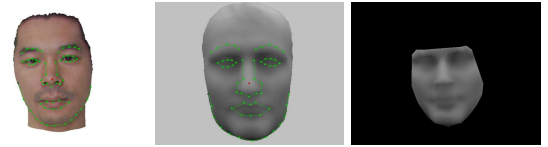


図 7 AAM 処理による変形目標陰影画像の生成: (a) 対象画像の特徴点 (b) 目標陰影画像の特徴点 (c) 変形目標陰影画像

Fig. 7 Reconstructing a model shading image with AAM: (a) Sample points of object image (b) Sample points of model shading image (c) Deformed model shading image



図 8 対象顔画像のテクスチャ成分と陰影成分への分離: (a) 対象テクスチャ画像 (b) 分離された陰影画像

Fig. 8 Separating of texture and shading: (a) Object texture image (b) Separating shading image

はっきりしており、 $I_{AG}$  の方が痩せている印象を受ける．これより陰影は与える印象の変化に大きな影響を及ぼすことが確認できる．

### 4. 結論

本論文では、目標モデルの生成する陰影を利用して対象顔画像の与える印象を編集するシステムを提案した．今後は、本稿で十分に扱うことができなかった下記の項目を含め更に検討を進めていく．

#### 陰影変化の定量評価

今回陰影編集済対象顔画像  $I_{AG}$  が得られたが、陰影変化の



図 9 編集済対象顔画像

Fig. 9 Editing shading and shadows of object image

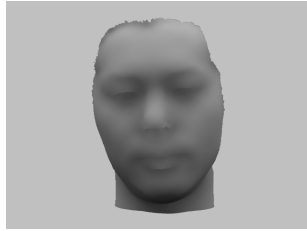


図 10 対象陰影画像

Fig. 10 Object shading image



図 11 修正陰影画像の生成 (a) 修正陰影画像 (b) 肌色を重ねた修正陰影画像

Fig. 11 Subtracting object shading from model shading: (a) Subtracting image (b) Subtracting skin image

定性評価しか行っていない。しかし厳密に陰影と印象の関係を考慮していくために、今後は定量評価の手法を確立する必要がある。

#### 照明モデルの設計

本稿の実験で扱った照明モデル  $L$  は一種類であったが、我々の日常生活での照明は一種類ではない。例えば、日中の野外と夜間の室内では照明環境が全く異なるため、この照明環境下での顔表面の陰影は全く異なるものとなる。このため今後陰影と顔印象を扱っていく中で、考慮していく照明モデルの種類を増やす必要があると考えられる。

#### 拘束条件の緩和

本論文で提案したシステムの拘束条件を緩和していくことが今後の課題である。例として、今回の実験で目標陰影を生成する際目標モデルの3次元形状は既知であるとしたが、画像情報のみから目標陰影を生成することが挙げられる。

#### 表情認知と陰影の関係

顔にできる陰影は、表情判断にも何らかの影響を及ぼすと考えられており [7] [8], 与える陰影の特徴や性質を理論的に求めることができれば、表情認知を考慮した陰影の編集ができると考えられる。

#### 化粧による陰影の影響

本論文では、照明によって生成される目標モデルの陰影を検討したが、先に述べたように陰影変化のもう一つの手法として化粧が挙げられる。理想とする化粧の提案システム [4] の拡張を行うために、陰影変化と化粧の関係についても考慮していく必要がある、今後の課題である。

#### 謝 辞

本研究の一部は CREST, JST の支援のもと行った。

#### 文 献

- [1] 湯浅真由美, 中島朗子 “高精度顔特徴点検出に基づくデジタルメイクシステム”, 第 10 回画像センシングシンポジウム講演論文集 C-2 pp.219-224, 2004.
- [2] 湯浅真由美, 中島朗子, 山口修, 福井和広, “デジタルメイクのための高精度特徴点検出”, 第 19 回センシングフォーラム資料, pp.59-64, Sep.2002.
- [3] 星野准一, 齊藤啓史, “ビデオ画像と CG の合成によるヴァーチャルファッションの実現”, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.5, pp.1182-1193, May 2001.
- [4] 高木佐恵子, 波川千晶, 吉本富士市, “メイクアップ技術上達のためのアドバイスシステム”, 芸術科学会論文誌, Vol.2, No.4, pp156-164, Dec 2003.
- [5] Henrik Wann Jensen, Stephen R.Marschner, Mark Levoy, Pat Hanrahan, “A Practical Model for Subsurface Light Transport,” SIGGRAPH2001.
- [6] T.F.Cootes, G.J.Edwards, C.J.Taylor, “Active Appearance Models,” Proceeding of European conference on Computer Vision, Vol.2, pp.484-494, 1998.
- [7] 鈴木晶夫, 小貫悟, “表情認知の及ぼす能面の角度変化の影響”, ISSN1880-0270, 第七巻 pp.23-32, 1994.
- [8] 鈴木晶夫, “能面の表情認知における陰影の効果”, ISSN1880-0270, 第八巻 pp.61-74, 1995.
- [9] <http://www.blender.org/>