皮膚表面画像を用いた肌診断システム[†]

竹 前 嘉 修*・斎 藤 英 雄*・小 沢 慎 治*

The Evaluating System of Human Skin Surface Condition by Image Processing[†]

Yoshinao TAKEMAE*, Hideo SAITO* and Shinji OZAWA*

In this paper, we propose an automatic evaluating system of human skin surface condition based on subjective evaluation provided by cosmeticians. In the proposed system, image features extracted on skin image taken by the CCD camera and subjective evaluation by cosmeticians are flexibly connected by using a back-propagation neural network, so that it can automatically estimate human skin surface condition based on subjective evaluation from our various skin images. Using the trained neural network, human skin surface condition based on subjective evaluation is estimated for unlearned skin images with real time processing. Then subjective evaluation by this system was compared with that by cosmeticians. Since the proposed system can successfully estimate human skin surface condition like cosmeticians, the effect of the system is demonstrated.

Key Words: skin surface image, subjective evaluation, image features, a neural network

1. はじめに

人の肌は、季節、加齢、体調の変化、肌を取り巻く環境によって変化する。たとえば、夏は脂っぽく、化粧くずれになりやすい肌になり、冬はカサカサと乾燥した肌になる。また、若い頃はみずみずしく弾力に富む肌も、年代を追うに連れて「はり」がなくなる。熊谷ら^{1),2)}は、加齢に伴う肌の変化は、皮膚の生理的・形態的变化として捉えることができるとして、同一被験者に対して、皮脂量、経皮水分損失量、皮膚色、目尻のしわ、皮膚表面形態などのパラメータを5年間に渡って測定し、それらを用いて皮膚の年齢（老化度）を推定したが、同一年齢においても、皮膚の老化度は個人によって大きく変動することも明らかになった。こういった季節、加齢などによる肌の傷みを防ぎ、すこやかな美しい肌を維持するためには、各個人の肌質に合った化粧品の選択が必要である。それには、何らかの手段で各個人の皮膚表面上の特徴を抽出し、肌の状態を定量的に評価することが必要となるが、画像処理技術はCCDカメラとPCなどの比較的簡易な装置で定量的な処理を行なえるという利点を持つため、化粧品の肌に対する効能、効果の測定に数多く応用されている。つぎにその例をいくつか紹介する。

化粧品の効能の一つに肌のキメや表面状態を整える作用がある。肌のキメとは皮膚表面に見られる紋様のことで、縦、

横、斜めに走る溝（皮溝）とそれらによって区切られた丘（皮丘）から形作られる。この紋様を皮紋といい、皮紋の状態すなわち皮膚表面の凹凸状態は肌の美しさを決定する要因の一つである。たとえば、冬季、皮膚が乾燥しドライスキンになると皮紋は不鮮明になり肌のキメがなくなる。さらにひどくなると皮膚表面がささくれ立ってガサガサになり白く粉をふいたような状態（鱗屑）になり、肌の美しさは損なわれる。このような肌に対して保湿クリームやローションを使用するとドライスキンは改善され肌の状態は回復することが知られており、化粧品の肌荒れ改善効果の評価には皮膚表面の画像解析が応用されている。このほかに化粧品の肌に対する有効性評価に画像処理技術が応用されている例として、顔面におけるシワやシミの定量化、頭髮の成長速度、肌の洗浄効果、皮膚表面レプリカ画像解析システムなどが挙げられる^{3)~10)}。

しかしながら、こういった化粧品の肌に対する効果、効能の測定は、まだまだ、専門家である美容技士の視感評価（感覚）に頼る部分が非常に多い。美容技士とは、化粧品会社の研究所に所属し、熟練した勘や経験に基づいて、「くすみ」「透明感」「はり」などの肌の状態を診断できる専門家のことである。さらに、顧客の立場からすると、デパートなどの店頭で、自分の肌が迅速かつ正確に診断され、その場で、自分の肌質に合った化粧品が提供されることが望ましいと考えられる。

本論文は、皮膚表面画像から抽出する画像特徴量と美容技士による視感評価（感覚）をニューラルネットワークを用いて対応付け、それを利用した肌診断システムを提案する。また、本システムのように、対象に対する人間の価値観を分析し、その感覚量（感性情報）と主要な物理量をニューラルネットワークを用いて対応付けた研究として、真珠の品質評

[†] 第12回ワークショップ「外観検査の自動化」VIEW2000で発表（2000・12）

* 慶應義塾大学理工学部 横浜市港北区日吉3-14-1

* Keio University, Yokohama
(Received February 14, 2001)
(Revised July 10, 2001)

Fig. 1 The example of the evaluation sheet

価システム^{11), 12)}, 画像検索システム^{13), 14)}, 楽曲検索システム¹⁵⁾などが報告されているが, 本論文では, 皮膚表面画像における画像特徴量を新たに提案することに重きを置き, ニューラルネットワークを利用した肌診断システムを提案し, その有用性を確認する。

2. 本論文の位置付け

美容技士は, 被験者に対して顔全体の皮膚表面情報を総合的に判断して診断を行なう。通常, 「透明感 (transparency)」 「黒さ (black)」 「毛穴の目立ち (outstanding pores)」 「くすみ (dark)」 「はり (tension)」 「白さ (white)」 「キメの細かさ (fine-textured)」 「しみ・ソバカス (blotch and freckle)」 「つや (gloss)」 「色ムラ (uneven color)」 「肌荒れ (rough skin)」 など, 合計 11 個の項目を用いる。その際に用いるアンケート用紙書式は 6 段階評定尺度法である (Fig.1)。たとえば, 「透明感」に関して, 感じない場合には 1 点, 非常に感じる場合には 6 点の評価値を与える。

本システムの構築にあたり, 美容技士による肌診断に対して以下の点に着目した。

- 化粧品が顔の頬の肌を対象にして作られていることに起因して, 特に顔の頬の皮膚表面情報を重視していること
- 美容技士は統一的な評価を与えるように経験を積んでいるので, 個人差は小さいこと (標準偏差は 1.0 以下)

以上の点をもとに, 本システムでは, 顔全体を撮影した画像ではなく, CCD カメラで撮影した部分的な肌の拡大像を用いる。美容技士は, 顔の部分的な皮膚表面の情報を総合的に判断して肌診断を行なっているが, 特に顔の頬の肌を重視している。したがって, 顔のどの部分でも同じような肌の特徴を持つ被験者に対しては, 部分的な肌の拡大像 1 枚でもある程度の評価ができる可能性があると考えられる。具体的には, 顔の頬の部分で約 6.5×5.0 mm の範囲で撮影する。実際に撮影した皮膚表面画像 (RGB 各 24bit, 640×480 pixels) の例を Fig.2 に示した。

さらに, 我々は議論を重ねた結果, 本システムをデパートなどの店頭で使用することを想定して, 次のような目標基準を設定し, 本システムを構築した。

- 皮膚表面画像 1 枚で肌を評価するので, 美容技士と全く同じように評価できなくても, 肌の大まかな傾向がわかれば良いとした。具体的には, 数人の美容技士が与える評価値の平均値と本システムが与える評価値との間に強い相関関係がある程度と考え, 相関係数の実用的な目安として一般的に用いられている基準¹⁶⁾を考慮して, 相関係数の値が約 0.7 以上とした。
- 顧客がストレスを感じないように数秒程度で肌の状態を

Fig. 2 The example of skin surface image

Fig. 3 The appearance of the system

評価する。

3. 提案するシステム

3.1 本システムの外観及び構成

本システムの外観および構成を Fig.3 に示す。まず, モニターに映し出された皮膚表面の拡大像を CCD カメラで取り込む。そして, 取得した画像に対してパーソナルコンピュータを用いて画像処理を行ない, 最終的に, 肌診断結果をディスプレイに出力する。

3.2 本システムの概要

本システムは学習過程と認識過程の二つの過程から構成される。学習過程および認識過程を Fig.4 に示す。

学習過程では, まず, 美容技士が顔全体の印象から, 「くすみ」「透明感」「毛穴の目立ち」などの項目に対して, 肌の状態を視感評価する。ここでは, 各評価項目に対して 6 段階の評価値を与えることで, 視感評価 (感覚) を数値化する。一方, Fig.2 のような皮膚表面画像から, 美容技士の評価と相関が高いと考えられるような画像特徴量を抽出する。さらに, 画像特徴量と美容技士の評価値を階層型ニューラルネットワークの教師信号として, バックプロパゲーション学習アルゴリズム (誤差逆伝播法) によって, ニューラルネットワークの各

Fig. 4 The learning process and the recognition process

ニューロン間の重み付けを学習させることで、画像特徴量と美容技士の評価値との対応情報を獲得する。

認識過程では、学習に使用していない皮膚表面画像を入力として、学習過程と同様な画像特徴量を抽出する。さらに、対応情報、すなわち、学習後のニューラルネットワークを用いて、「くすみ」「透明感」「毛穴の目立ち」などの各項目の評価値を自動的に推定する。

3.3 美容技士による視感評価

第2章で述べたように、美容技士は、「透明感」「黒さ」「毛穴の目立ち」「くすみ」「はり」「白さ」「キメの細かさ」「しみ・ソバカス」「つや」「色ムラ」「肌荒れ」など、合計11個の項目に対して肌の状態を評価する。本システムでは、美容技士の評価にはそれほどバラつきはないが、評価項目ごとに6人の美容技士の平均値を算出し、それらを美容技士による評価値として用いる。以下、「美容技士による評価値」とは「6人の美容技士による評価値の平均値」を指す。

3.4 皮膚表面画像における画像特徴量

皮膚表面画像のRGB値およびそれらを基に変換した色相(H)、彩度(S)、明度(I)から11個の評価項目と関連が高いと考えられる画像特徴量を合計58個抽出した。画像特徴量は、画像間で画像特徴量の値の分散が大きいもの、または、評価項目のいずれかとある程度の関連(相関係数の値が約0.3以上)を示すものを用いた。また、Fig.2に示したように、撮影環境の影響によって光源の光が充分に当たらないために皮膚表面画像の周辺明度値が低くなってしまうので、画像特徴量を抽出する範囲は中心256×256 pixelsとした。次にそれらの画像特徴量をおおまかに分類したものを示す。

- 色相、彩度、明度値の基本統計量
- 同時共起行列によるコントラスト、2次モーメント、相関
- 鏡面反射成分を含む画素の割合
- 皮膚の加齢変化に着目したパラメータ
- 空間周波数パワースペクトラムの平均、標準偏差
- 白色度、黒色度
- 色相が赤色成分、黄色成分である画素の割合

次に上記の画像特徴量の定義について詳しく述べる。

(1) 色相、彩度、明度値の基本統計量

画像全体における色相、彩度、明度値分布の平均(μ)、標

準偏差(σ^2)、さらに、歪み度(S)、尖度(K)を算出する。つぎに歪み度、尖度の定義式を示す¹⁸⁾。

$$S = \frac{\sum_{z=1}^n (z - \mu)^3 H(z)}{\sigma^3} \quad (1)$$

$$K = \frac{\sum_{z=1}^n (z - \mu)^4 H(z)}{\sigma^4} \quad (2)$$

ただし、 $z(=1, 2, \dots, n)$ は濃度、 $H(z)$ は濃度ヒストグラムを表わす。歪み度はヒストグラムの形状が対称なものからどれだけひずんでいるかを、尖度はヒストグラムの分布がどれだけ平均値の周りに集中しているかを表わしている。

(2) 同時共起行列によるコントラスト、2次モーメント、相関

明度値に対して同時共起行列を適用し、各方向の画素間の相関性を調べ、それによりテクスチャ特徴を抽出する¹⁸⁾。通常、 θ は $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の4方向が用いられる。本システムではこの共起行列からテクスチャを特徴付ける特徴量として、2次モーメント、コントラスト、相関を用いる。

(3) 鏡面反射成分を含む画素の割合

この画像特徴量は「つや」に関連のある特徴量として考案した。「つや」のある肌はそうでない肌比べて光源の光をより反射するという根拠に基づいて、「つや」のある肌は鏡面反射する可能性が高いのではないかと推測した。

そして、本システムにおける皮膚表面における反射はフォンモデルに従うものとする^{20)~22)}。

$$I = I_d + I_s \quad (3)$$

ただし、 I : ある物体を観測した時の色、 I_d : 物体色、 I_s : 光源色を表わす。

このモデルではある物体を観測した時の色は物体色と光源色との線形結合で表わされる。ここでは、物体色が拡散反射成分を、光源色が鏡面反射成分を示す。このモデルでは鏡面反射成分を多く含む画素ほどその色ベクトルの方向が光源色に近くなる。したがって、他の画素に比べて、色ベクトルの方向が異なる画素を、鏡面反射成分を多く含む画素として抽出する。

Fig.5を用いて具体的抽出方法を説明する。この図は、皮膚表面画像の各画素値をRGB色空間に投影したものである。そして、拡散反射成分のみの画素は、ここで物体色は肌色なので、その色ベクトルの各成分の比($R:G:B=7.5:5:4$)から、RG平面でのR軸との成す角 θ はほぼ35度となる。一方、鏡面反射成分を多く含む画素は、ここでは光源色は白色なので、その色ベクトルの各成分の比($R:G:B=1:1:1$)からR軸との成す角 θ はほぼ45度となるので、経験的な閾値を基に鏡面反射成分を多く含む画素とそうでない画素に分離する。最終的に、「つや」のある肌ほど、鏡面反射成分を含む画素が多いと考えて、全画素に占める「鏡面反射成分を多く含む画素」の割合を算出する。

Fig. 5 The color space of RGB

また、実際にこの画像特徴量の値と「つや」の評価との相関係数を算出したところ、約 0.3 程度となり、ある程度の相関があるといえる。

(4) 皮膚の加齢変化に着目したパラメータ

皮膚表面には縦、横、斜めに走る皮溝、それらによって区切られた丘（皮丘）、小さな毛の生える穴（毛孔）などがある。熊谷ら^{1)~3)}は、代表的な各年代の皮膚表面のレプリカ写真から、加齢変化に伴う、皮溝、皮丘の典型的形態変化を捉えた。たとえば、皮膚表面の凹凸は浅くなり皮溝、皮丘が不鮮明になる。また、皮溝放射状の均質性は失われ一方に流れるようになる。さらに皮溝の数、密度は減少し、皮溝の長さは増加し、皮溝の幅は狭くなる。一方、毛孔は大きくなる傾向を示す。このような皮膚の形態変化を反映させた画像特徴量を抽出するために次のような処理を施す。

まず、カラー画像をグレースケール画像に変換する。平均明度を閾値として 2 値化処理を行ない 2 値化画像を作成する。2 値化画像から水平方向に連続する黒画素のつながりをその中央点で置き換えるという細線化処理を施し細線化画像を作成する。さらに、黒画素に対して、連結点の除去、ラベリングを行ない、各ラベルに対して最小二乗法による直線近似を適用し、直線化画像を作成する (Fig. 6)。そして、つぎに定義するパラメータを算出する。毛孔や皮溝の占める割合として 2 値化画像全体の総黒画素数を、皮溝の平均的な太さとして 2 値化画像と細線化画像における黒画素数の比を、皮溝の本数として直線化画像における直線の数、皮溝放射状の均質性として直線化画像における各直線の傾きの標準偏差を算出する。

(5) 空間周波数パワースペクトラムの平均、標準偏差 グレースケール画像に対して高速フーリエ変換 (FFT)

Fig. 6 The extraction of image features

を適用し、パワースペクトラム画像を作成し、空間周波数パワースペクトラムの平均、標準偏差を算出する。

(6) 白色度、黒色度

白色度 (W) とは白さを表わす度数であり、黒色度 (B) とは黒さを表わす度数である¹⁷⁾。次にそれらの定義式を示す。

$$W = 1 - \frac{1}{40} \{S^2 + [4(10 - I)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$B = 1 - W \quad (5)$$

ただし、 S : 彩度、 I : 明度値 である。

(7) 色相が赤色成分、黄色成分である画素の割合

Fig. 7 The relation between the signal of color difference and hue, saturation

Fig. 8 The structure of the neural network

若い頃は赤みのある肌も、年齢に伴って黄色くなる傾向があり、それを反映させた画像特徴量を抽出する。Fig.7「色差信号と彩度、色相との関係」¹⁹⁾に示すように、色相が赤色成分である画素は色差信号($B-I$)を基準とした軸からほぼ 90° から 122° の範囲、黄色成分である画素はほぼ 123° から 180° の範囲にある。そして、全画素に占める色相が赤色成分、黄色成分である画素の割合を算出する。

3.5 ニューラルネットワークによる学習

本システムでは美容技士の評価値と皮膚表面画像における画像特徴量との関係を学習するために階層型ニューラルネットワークを用いている。本システムで用いる階層型ニューラルネットワークの構造を Fig.8に示す。入力層は58個の画像特徴量に対応しているので58ユニット、出力層は美容技士による11項目の評価値に対応しているので11ユニットである。これらを教師信号として、誤差逆伝播法(バックプロパゲーション学習アルゴリズム)を用いて、各ニューロン間の重み付けを学習させる。そして、学習後のニューラルネットワークを用いることで、さまざまな皮膚表面画像から「くすみ」「透明感」などの肌の状態を自動的に推定する。また、中間層は第4章で示す実験から20~40ユニットとした。実験では、さまざまな中間層ユニット数で学習させたニューラルネットワークを用いて、未学習の皮膚表面画像に対して、評価項目ごとに、本システムによる評価値と美容技士による評価値の相関係数を算出した。そして、最も相関係数の値が高い時のユニット数を最適な中間層として経験的に求めた。たとえば、「透明感」は中間層が20ユニット、「つや」は25ユニット、「肌荒れ」は40ユニットの時に、最も良好な結果を得た。

3.6 肌診断結果の表示

認識過程における肌診断結果の表示は、各評価項目の評価値を表示するとともに、自分の肌が他人と比べてどういったレベルにあるのか、全体の中でどういったレベルにあるのかを把握するために、評価項目ごとに偏差値、平均点、各得点ヒストグラムを表示させた(Fig.9)。このような表示によってユーザは容易に自分のレベルを知ることができる。

Fig. 9 The result of evaluating skin surface condition

4. 実験

4.1 被験者の選定方法

平成12年9月に(株)資生堂ビューティーサイエンス研究所において、皮膚表面画像と6人の美容技士による視感評価データを採取した。対象とした被験者は、日常、全く「お手入れ」をしていない人および敏感肌の人を除いた18~69歳までの女性152人である。

4.2 実験の概要

計算機のCPUはIntel社のPentiumIII-750MHz、メモリは256MB、ビデオキャプチャボードはImagination社のPXC200を使用した。

152組の皮膚表面画像と視感評価値データから、ランダムに100組を選び、それらをニューラルネットワークの学習用データに当て、残りの52組を本システムの評価用データ、すなわち、未学習データとした。そして、本システムの有用性を確認するために、未学習の皮膚表面画像に対して、評価項目ごとに本システムが与えた評価値と美容技士が与えた評価値を比較した。

4.3 実験結果

未学習の皮膚表面画像に対して、本システムが有用であるかどうかを確認するために、評価項目ごとに、本システムが与えた評価値と美容技士が与えた評価値との相関係数を計算する。さらに、それらの相関関係を視覚的に表現した相関図を「くすみ」を例に示す。最後に、1枚の皮膚表面画像に対する計算時間を示す。

4.3.1 各評価項目の相関係数

評価項目ごとに、本システムが与えた評価値と美容技士が

Fig. 10 The correlation diagram between a score by the cosmeticians and that by this system toward a term of "dark"

与えた評価値との相関係数を計算した。Table1にその値の高い評価項目から順に示した。

4.3.2 各評価項目の相関図

Fig.10 (相関図「くすみ」)は、X軸を本システムが与えた評価値、Y軸は美容技士が与えた評価値として、その相関関係を示した図である。プロットした1つの点が1枚の皮膚表面画像に対応している。直線はプロットした点の分散具合がわかりやすいように $Y = X$ を示している。

4.3.3 1枚の皮膚表面画像に対する計算時間

認識過程において、CCDカメラで1枚の皮膚表面画像を取得してから肌診断結果をディスプレイに出力するまでの計算時間は約4秒程度である。

5. 検 討

5.1 各評価項目の相関係数に対する検討

第2章で述べたように、本システムを店頭で使用する場合の目安として、相関係数の値が約0.7以上であれば、美容技

Table 1 The correlation coefficient toward each term of subjective evaluation

The term of subjective evaluation	The correlation coefficient
dark	0.84
black	0.79
white	0.78
transparency	0.75
fine-textured	0.70
blotch and freckle	0.70
rough skin	0.70
outstanding pores	0.67
tension	0.65
gloss	0.61
uneven color	0.58

士による評価値と本システムによる評価値との間に強い相関関係があるとした。したがって、その基準を適用すると、「くすみ」から「肌荒れ」の評価項目までは良好な結果が得られたといえる。また、「毛穴の目立ち」から「色ムラ」の評価項目についてもやや良い程度の結果といえる。これは、本システムが美容技士と同じように肌の状態を推定できたことを示している。最も弱い相関関係を示した「色ムラ」については、それ自体が顔の部分的な皮膚表面の色の違いに生じるものである。したがって、専門家である美容技士が顔の部分的な皮膚表面の情報を総合的に判断して視感評価しているの、頬の皮膚表面画像を1枚用いるだけでなく、額などの部分も撮影した皮膚表面画像を数枚用いることでより良好な結果が得られると考えられる。

また、「黒さ」「白さ」のような比較的簡易な項目についてはもう少し相関係数の値が高くていいのではないかと印象を受ける。しかし、美容技士の「黒さ」の評価に最も相関が高い画像特徴量である「黒色度」だけを用いて単回帰分析を行なっても、相関係数の値は約0.45程度であり、それほど良好な結果は得られない。したがって、Table1のような実験結果を得るためには、本システムで提案した58個の画像特徴量とニューラルネットワークを用いる必要がある。

さらに、「しみ・ソバカス」とは顔の一部分に局在するものである。顔の頬を撮影した皮膚表面画像からだけでは評価できないのではないかと印象を受ける。しかし、美容技士が顔の頬を最も重視して視感評価しているの、頬の皮膚表面が顔全体とほぼ同様な特徴があれば、十分にミクロ的な肌の領域だけで評価できると考えられる。ただし、「しみ・ソバカス」があまりに頬以外の一部分にしか局在しない場合には、もう少しマクロ的な領域を撮影した皮膚表面画像が必要になると考えられる。

5.2 相関図「くすみ」に対する検討

Fig.10は、「くすみ」に対して本システムが与えた評価値と美容技士が与えた評価値とを視覚的に表現したものである。プロットした点の多くが直線 $Y = X$ の近くに分布しているの、本システムは美容技士と同じように肌の状態を推定できるとわかる。この他の評価項目に対する相関図は割愛するが、相関係数の値が高いものほど、より多くのプロットした点が直線 $Y = X$ の近くに分布している。

5.3 計算時間に対する検討

認識過程において、CCDカメラで1枚の皮膚表面画像を取得してから肌診断結果をディスプレイに出力するまでの計算時間は約4秒程度であった。美容技士が肌の状態を評価するのにかかる時間は1分程度であること、また、本システムを店頭で使用した場合の顧客の疲労度を考慮しても、この計算時間は非常に実用的であるといえる。また、ソフトウェアやハードウェアの改善によって、この計算時間の高速化を計ることは容易であると考えられる。

6. 結 論

本論文は、専門家である美容技士の視感評価（感覚）に基づく肌診断に着目して、皮膚表面画像から抽出する画像特徴量と美容技士による視感評価（感覚）をニューラルネットワークを用いて対応付け、それを利用した肌診断システムを提案した。

実験の結果、デパートなどの店頭で本システムを採用することを想定した場合、評価項目によっては、顧客が自分の肌質に合った化粧品を効率的に選択することができると考えられ、有用性のあるシステムを構築することができた。

今後の展望として、さらに本システムの精度をあげるには、計算時間を考慮しながら、美容技士による視感評価と相関が高い画像特徴量を抽出すること、複数の皮膚表面画像を用いることなどが考えられる。また、本システムは CCD カメラとパーソナルコンピュータなどハードウェアさえあれば実装できるので、そのハードウェアの低廉化が進めば、一般の家庭でも実現できる。したがって、自宅で肌診断を行ない、その情報をインターネットを通じて化粧品会社が管理し、その顧客の肌質に合った化粧品を直接販売することも可能になる。

謝辞 本研究を進めるにあたり、皮膚表面画像を提供して頂いた（株）資生堂ライフサイエンス研究センター皮膚科学研究所の高橋元次氏、矢内基裕氏、研究開発本部 CS 開発センターの桑原智裕氏、視感評価実験に協力して頂いたビューティーサイエンス研究所の美容技士の方々に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 熊谷, 渡辺, 神津, 野口, 高橋: 加齢変化に伴う顔面皮膚の生理的・形態的变化. J.Soc.Cosmet.Chem.Japan, **23**-1, 9/21(1989)
- 2) 林, 三村, 西島: 加齢及び化粧品による皮表形態の変化. J.Soc.Cosmet.Chem.Japan, **23**-1, 43/54(1989)
- 3) 高橋元次: 化粧品の評価におけるマシンビジョン. O plus E, 12月号, No.181, 98/105(1994)
- 4) 高橋元次: 皮表画像解析. 現代皮膚科学大系, 年刊版'90-B, 中山書店, 13/28(1990)
- 5) 高橋元次: 皮膚科に応用し得る ME 機器. 臨床皮膚科, 45 (5増), 93/98(1991)
- 6) 高橋元次: 最近の皮膚老化の測定法. フレグランスジャーナル, 10月号, 16/26(1993)
- 7) 資生堂ビューティーサイエンス研究所 (編): 化粧心理学. フレグランスジャーナル社 (1993)
- 8) 小林, 白井, 福田: アイカメラによる肌評価. 人間工学, **34**, No.Supplement, 504/505(1998)
- 9) T.Yamada, H.Saito and S.Ozawa: 3D Reconstruction of Skin Surface from Image Sequence, MVA'98, 384/387 (1998)
- 10) T.Yamada, H.Saito and S.Ozawa: 3D shape inspection of skin surface from rotation of light source, QCAV'99, 245/251 (1999)
- 11) 長田, 亀井, 赤根, 中島: 感性計測技術に基づく真珠品質評価システム, 電気学会論文誌 C No.2, 111/116 (1992)
- 12) 長田, 亀井, 宇佐美: ニューラルネットの感度特性を用いた要因特定法と真珠色彩識別への応用, 電気学会論文誌 C No.5, 556/562 (1992)

- 13) T.Hayashi and M.Hagiwara: An Image Retrieval Systems to Estimate Impression Words from Images Using a Neural Network. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 150/155(1992)
- 14) Y.Kageyama and H.Saito: Image Retrieval System Capable of Learning the User's Sensibility sing Neural Networks. IEEE International Conference on neural networks, 1563/1567(1997)
- 15) 野田, 森山, 小沢: 印象語による楽曲検索システム. 電子情報通信学会総合大会論文集, 184(1999)
- 16) 小野瀬宏: 統計データ解析. 内田老鶴園 (1995)
- 17) 日本色彩学会 (編): 色彩科学ハンドブック. 東京大学出版会 (1979)
- 18) 村上伸一: 画像処理工学. 東京電機大学出版局 (1996)
- 19) 八木, 井上, 林, 中須, 三谷, 奥井, 鈴木, 金次: C 言語で学ぶ実践画像処理. オーム社 (1993)
- 20) 大槻, 佐藤: 多視点カラー画像と距離画像を用いたスペキュラ反射の分離. 電子情報通信学会論文誌 D-2-6, 1352/1359(1997)
- 21) 斉藤, 佐藤, 池内, 柏木: ハイライトの偏光解析に基づく透明物体の表面形状測定. 電子情報通信学会論文誌 D-2-9, 2139/2145(1999)
- 22) 小俣, 斎藤, 小沢: 光源の相対的回転による物体形状と表面反射特性の推定. 電子情報通信学会論文誌 D-2-3, 927/937(2000)

[著 者 紹 介]

竹 前 嘉 修

平成 11 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒。
平成 13 年同大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程了。同年日本電信電話 (株) 入社, コミュニケーション科学基礎研究所配属。電子情報通信学会会員。

斎 藤 英 雄 (正会員)

昭和 62 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒。
平成 4 年同大学大学院博士課程了。同年同大学助手, 平成 7 年専任講師, 平成 13 年助教授。博士 (工学)。コンピュータビジョン, 画像処理等に関する研究に従事。平成 9 年から平成 11 年まで, 日本学術振興会海外特別研究員として米国カーネギーメロン大学に留学。平成 12 年から, 科学技術振興事業団さきがけ 21「情報と知」領域研究員兼務。電子情報通信学会, IEEE 各会員。

小 沢 慎 治 (正会員)

昭和 42 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒。昭和 47 年同大学大学院博士課程了。昭和 45 年同大学助手, 専任講師, 助教授を経て, 現在同大学教授。この間, 昭和 59 年米メリーランド大学訪問助教授。デジタル通信および画像音声のデジタル信号処理の研究に従事。工学博士。電気学会, IEEE 各会員。