

実写画像からの肌微細構造パラメータの推定

猪股 真美[†] 黒川 海映[†] 伊藤 貴之[†] 豊田 成人[‡] 大高 瞳[‡] 笹本裕美[‡]

[†]お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-2-1

[‡]資生堂リサーチセンター 〒236-8643 神奈川県横浜市金沢区福浦 2-12-1

E-mail: [†] {mami, mihayu, itot}@itolab.is.ocha.ac.jp,

[‡] {naruhito.toyoda, hitomi.otaka, hiromi.sasamoto}@to.shiseido.co.jp

あらまし メーキャップ化粧品の効果の一つとして、様々な化粧肌質感により肌を美しく演出する効果がある。肌の印象の違いは肌表面形状に起因しており、その効果を把握するために肌の構造と質感印象評価の関係を調べることは重要である。化粧品業界において肌印象評価には実写画像が用いられるのに対して、我々は肌の微細構造をCGで再現し印象評価に使用することを目指している。その前段階として本報告では、肌の実写画像からそのCG画像生成の入力パラメータを特定する手法とその検討結果を報告する。本手法では実写画像に対し二値化処理を適用し、続いてテンプレートマッチングに類似した手法で黒領域を探索することで、毛穴半径・皮溝幅・皮溝角度依存性を推定する。

キーワード 化粧肌質感, 肌微細構造, 毛穴, 皮溝

Estimation of micro-geometric parameters from human skin pictures

Mami INOMATA[†] Mihayu KUROKAWA[†] Takayuki ITOH[†]

Naruhito TOYODA[‡] Hitomi OTAKA[‡] and Hiromi SASAMOTO[‡]

[†] Department of Information Sciences, Ochanomizu University 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan

[‡] Shiseido Company, Limited 2-12-1 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 236-8643 Japan

E-mail: [†] {mami, mihayu, itot}@itolab.is.ocha.ac.jp,

[‡] {naruhito.toyoda, hitomi.otaka, hiromi.sasamoto}@to.shiseido.co.jp

Abstract One of the effects of make-up cosmetics is directing skin beautifully by various skin textures. Differences in the impression of skin originates in their micro-geometric structures. To investigate the relation of the structure of skin and the impression, we are developing a system to simulate microstructure of human skins applying a 3D modeling technique. This paper reports a technique of input parameter estimation used for CG image generation, from real pictures of skin, and its examination results. The technique estimates pore radii, furrow widths, and furrow angle degree dependence, by applying a template-matching-like black area search.

Keyword Skin, Texture, Makeup, Pore, Furrow

1. 概要

化粧品は女性にとって不可欠な商品であり、今日では多くの商品が販売されている。特にファンデーションという肌に塗布し肌の印象をコントロールする商品では、肌の色・形状を整え、光の反射・拡散のバランスをコントロールし様々な肌の質感を演出することができる。肌の質感印象と肌の表面形状の関係性を調べることはメーキャップ化粧品の効果を知る上でとても重要とされている。しかし、現在の印象評価では実際

のモデルに化粧品を塗布して撮影した写真を使った伝達方法が主である。この方法では多くのバリエーションを再現するのはコストがかかるとともに、工学的な変化に大きな影響がある肌微細形状の要因は考慮されにくい。

そこで我々は、コンピュータグラフィクス (CG) を用いて微細形状を考慮した肌を生成し、肌の微細構造の違いによる肌質感変化のシミュレーションシステムの開発に取り組んでいる。このシステムでは肌の微細

構造を測定し、それと同様の微細構造を持つ肌の CG 画像を生成するものである。この CG 画像を様々な人に提示して、肌の印象に関する回答を収集することにより、微細構造と印象の相関性を把握することが本研究の最終目的である。

あえて実写画像ではなく CG を採用することで、肌微細構造の生成のための入力パラメータの操作によって多彩な肌状態を自在に再現できる。また、全く同一の肌微細構造を異なる顔形状に貼り付けたり、視点設定や光源設定を変えるなどして、印象評価用の画像をさらに自在に生成できる。このように CG 画像の採用によって、さらに多彩な肌の印象評価が可能になると考えられる。

本報告では上述の我々の研究のうち、肌の実写画像から微細構造に関する数値を測定し、CG による肌の再現のための入力パラメータとして使用する手法を提案する。現時点での我々の実装では、まず肌の撮影画像を二値化して、続いてテンプレートマッチングに類似した手法で黒領域を検出し、これを毛穴や皮溝と判断する。以上の処理によって検出された毛穴や皮溝から、毛穴半径・皮溝幅・皮溝角度依存性に関する測定値のヒストグラムを生成する。本研究では、このヒストグラムを CG 画像生成のための入力パラメータとして用いる。

2. 前提知識と先行研究

2.1. 肌の表面構造

肌形状は、網目を形成している溝部分とそれに囲まれる丘の部分、および毛穴で形成されている。溝部分を皮溝、丘部分を皮丘と呼び、これらを総称してキメと呼ぶ(図 1)。顔の肌において皮丘は三角形を構成することが多い。また毛穴は皮溝の交点に多く見られ、ほとんどにおいて開口部の面積と深さは比例している。そのほか、汗腺があり、皮丘の頂上に開いている。本研究では 2 次元の実写画像を用いてパラメータの推定を行うため、皮溝・毛穴のみについて推定を行う。

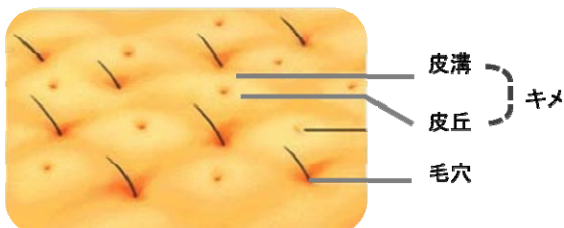


図 1 肌の微細構造

2.2. 既存の肌分析手法

肌分析のための手法は化粧品開発などの分野で既に活発に研究されている。佐々木ら[1]は、レプリカ採

取とレーザー光により測定された肌表面の起伏値に関してフラクタル次元値やエントロピーを求め、それらの値と肌の「滑らかさ」を基準とした肌画像の主観評価値とを比較検討している。また、西村ら[2]は肌の角層水分量測定、肌表面形態の観察、光学測定の数値と「みずみずしさ」の官能評価値の比較・分類・分析により、評価値と皮膚表面のツヤに深く関係性があることを示している。

これらの手法は画像撮影以外の手段にもとづいた肌状態分析手法である点、また皮溝や皮丘、毛穴といった微細構造を直接測定していない点において本報告の提案手法とは異なる。

2.3. 肌を表現する CG 技術

人体の表現は CG による映像制作において非常に重要な技術であり、肌表現はその一環として活発に研究されている。肌表現のための CG 技術はモデリングとレンダリングに大別される。モデリングは肌の微細形状やその経年変化を定式化・構造化することに相当し、レンダリングは肌の光反射特性を定式化してその照度を算出することに相当する。

本節では本研究に関係あるモデリング技術を紹介する。坂東ら[3]は主に手足を対象として、シワを構成する微細形状のモデリングを試みている。しかしこの手法では、シワよりも小さい毛穴や皮丘といった微細形状の再現を想定していない。また、Wu ら[4]は肌の経年変化の再現を試みているが、この手法もまた、毛穴などを含めた肌表面の微細構造の再現を狙っていない。また最近では、多視点カメラ撮影画像を入力にして肌微細構造を再現する CG 手法[5]も提案されているが、この手法では入力パラメータによって肌状態を自在に調節することはできない。

2.4. 我々による先行研究

我々は、肌の微細構造と印象との相関性分析に有効な肌微細構造の形状シミュレーションシステムの開発に取り組んでいる。その一環として我々は、肌微細構造の 3D モデリング手法[6]を発表している。この手法では、肌微細構造を構成する毛穴の配列を三角形パターンで近似し、任意に入力された皮溝・皮丘・毛穴パラメータをもとに三角形パターンを生成する。この三角形パターンの頂点に毛穴の形状を、また辺に皮溝の形状を生成し、三角形内部を皮丘として膨らませる。以上に処理によって、肌微細構造に類似する形状を、入力パラメータに応じて自在に表現できることを示した。この手法で生成された肌微細構造を 3 次元顔形状にマッピングすることで、肌の印象評価への適用が可能である。本報告では肌微細構造の生成において[6]の手法を適用する。

それと同時に我々は、CG 画像による肌の印象評価

の有効性について検証している[7]。この検証では、レンダリング時の反射係数等のパラメータを変えた 10 種類の顔画像を被験者に提示して、34 種類の形容詞への適合度を回答させた。この結果は実写顔画像を用いた印象評価結果とも非常によく合致していることから、CG 画像が肌の印象評価に有効であろうという感触を得ている。ただし[7]の時点では、まだ肌微細構造シミュレーションの開発が進んでいなかったため、検証に用いた CG 画像には肌微細構造は反映されていない。

3. パラメータ推定と CG 画像生成

本章では提案手法の原理と処理手順について述べる。まず肌の実写画像から毛穴と皮溝を検出する手法について述べ、続いて検出結果からパラメータを構築する手法について述べる。さらに、そのパラメータを入力しての CG 画像生成について述べる。

3.1. 実写画像からの毛穴と皮溝の検出

毛穴と皮溝の検出に関する現時点での我々の実装は、実写画像を二値化し、その二値画像から円形の黒領域や細く伸びる領域を検出する、という非常に単純な処理手順で構成されている。このような単純な実装でも、我々の所有画像の範囲において、ある程度は適切に毛穴や皮溝が検出できている。以下に各処理について述べる。

3.1.1. 二値化

まず入力画像に白黒二値化処理を適用する。各座標における R,G,B 値の総和が閾値以上の場合には黒画素に、さもなければ白画素に変換する。現時点では我々の経験に基づいて閾値を固定しているが、将来的には判別分析などの諸手法を適用して動的に閾値を設定できるようにしたい。

3.1.2. 毛穴検出

続いて、二値化後の白黒画像に対して円形の黒領域を検出し、これを毛穴とみなす。ここでは円形の黒領域をテンプレートとして、テンプレートマッチングに類似した以下の手法で円形の黒領域を探索する。

1. 円領域(直径 $2r$)を画像内の全ての領域に走査させて、各位置において以下の(1)~(3)を実行する。
 - (1) 円領域内部における黒画素数を集計する。
 - (2) 円内部における黒画素数が閾値以上であれば、その円を毛穴と判別し、中心座標と円直径を記録する。
 - (3) 毛穴と判別された円内部の黒画素を白画素に変換する。この変換は毛穴位置を除いた皮溝検出のために必要である。
2. 直径 $2r = 2r-1$ として 1.に戻る。
3. 円の大きさがユーザ指定の最小値になるまで 1.と 2.を繰り返す。

以上の処理により、各毛穴の中心座標、直径を記録する。

3.1.3. 皮溝検出

続いて、毛穴以外の画素において細く伸びる黒領域を検出し、これを皮溝とみなす。ここでは 16 方向の黒い線分のいずれかを引いた円をテンプレートとして、テンプレートマッチングに類似した以下の手法で細長い黒領域を探索する。

1. 線分を引いたテンプレートを画像内の全ての領域に走査させて、各位置において以下の(1)~(3)を実行する。
 - (1) テンプレートに引かれた黒い線分上における黒画素数を集計する。
 - (2) 黒画素数が閾値以下であれば、その領域は皮溝ではないと判別し、1.に戻る。
 - (3) さもなければ、その領域は皮溝であると判別する。この時には、テンプレートを平行移動させながら同様な処理を反復し、黒画素数が一定以下になれば反復を停止する。この平行移動の回数によって皮溝の太さを推定し、テンプレートの中心座標、およびテンプレート上の線分の角度とともに記録する。
2. 16 種類のテンプレート全てに対して 1.を実行する。

以上の処理により、各皮溝の中心座標、角度、太さを記録する。

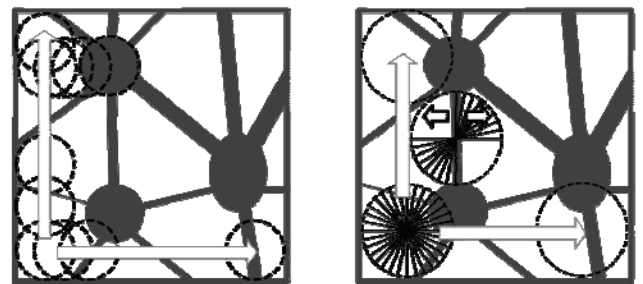


図 2 テンプレートマッチングによる検出
(左:毛穴検出, 右:皮溝検出)

3.2. 毛穴と皮溝のパラメータ確定

毛穴と皮溝を検出できたら、以下の方法で毛穴と皮溝のパラメータをヒストグラム化する。

3.2.1. 毛穴パラメータ

本手法では、検出された毛穴の半径について、図 3(左)に示すようなヒストグラムを生成し、肌微細構造の毛穴パラメータとして用いる。肌微細構造を構成する各々の毛穴を生成する際には、ヒストグラムの各区間の頻度に比例した確率でその半径を割り当てる。例えば図 3(右)に示すように、100 個の毛穴を生成する場

合には1から100の範囲で整数の乱数を生成し、ヒストグラムの各区間の頻度に比例した確率で毛穴の半径を割り当てる。この方法により、3.1.2項で前述した手法で検出された毛穴の大きさのばらつきを、CG画像として生成する肌の毛穴半径のばらつきに反映できる。

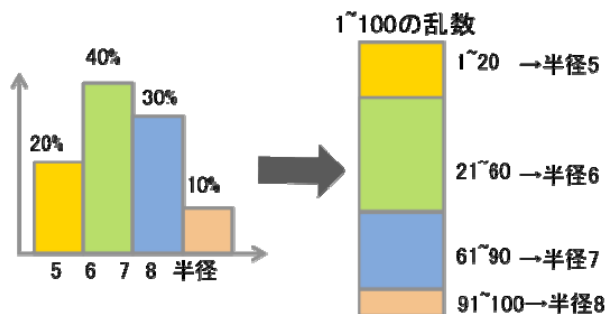


図 3 ヒストグラム反映イメージ図

3.2.2. 皮溝パラメータ

本手法では毛穴パラメータと同様に、皮溝パラメータもヒストグラム化する。ここでは検出された皮溝の幅と角度についてヒストグラムを生成し、肌微細構造の皮溝パラメータとして用いる。肌微細構造を構成する各々の皮溝を生成する際には、幅に関するヒストグラムの各区間の頻度に比例した確率で、各々の皮溝にその幅を割り当てる。また角度に関するヒストグラムの各区間の頻度に比例した確率で、皮溝の深さの有無を割り当てる。深さのない皮溝は、CG画像を生成した際に皮溝が存在するようには見えないので、結果として角度のヒストグラムを反映した比率で皮溝が生成されたようにCG画像が生成される。

3.3. 肌微細構造の生成

以上の処理により得られた毛穴と皮溝のパラメータを入力して、肌微細構造を生成する。

2.4節で述べた通り、本報告の肌生成においては肌微細構造の3Dモデリング手法[6]を用いる。本手法では毛穴の配列を三角形パターンとみなしてDelaunay三角メッシュアルゴリズムにより生成し、毛穴、皮溝、皮丘の形状を生成する。続いて再びDelaunay三角メッシュアルゴリズムを適用することで、毛穴、皮溝、皮丘の形状を細かいポリゴンで表現する。

肌を生成するための入力パラメータ群を表1に示す。表1において[]で囲まれたパラメータは、本手法によってヒストグラム化されるパラメータである。また()で囲まれたパラメータは、[6]の時点では採用していたが本手法の適用により不要になるパラメータである。以下、パターン生成とポリゴン生成の各々の処理について論じる。

表 1 入力パラメータ

入力パラメータ	
毛穴	[半径], (半径乱雑度), 深さ, 深さ乱雑度, 配置乱雑度
皮丘	高さ, 高さ乱雑度
皮溝	深さ, (深さ乱雑度), [幅], (幅乱雑度), [角度]

3.3.1. パターン生成

毛穴・皮丘・皮溝のパターン生成の処理手順を図4に示す。

本手法ではまず、整列した正三角形の集合を構成するようなパターンで毛穴を生成する。このとき各々の毛穴の位置を、あらかじめ与えられた配置乱雑度に応じた大きさで乱数的にずらす。それに加えて[6]では、毛穴の半径と深さの平均値と乱雑度を与えることで、乱数的に分布する半径と深さを各々の毛穴に割り当てていた。本手法ではこのうち半径の平均値と乱雑度を、3.2.1項で論じた半径のヒストグラムに置き換える。

続いて本手法では、Delaunay三角形メッシュアルゴリズムを用いて毛穴の中心点を連結することで、肌領域を三角形に分割する。そして分割した三角形一つ一つを皮丘とし、各辺を皮溝とする。このとき皮丘の高さの平均値と乱雑度を与えることで、乱数的に分布する高さを皮丘に割り当てる。それに加えて[6]では、皮溝の幅と深さの平均値と乱雑度を与えることで、乱数的に分布する幅と深さを各々の皮溝に割り当てていた。本手法ではこのうち幅の平均値と乱雑度を、3.2.2項で論じた幅のヒストグラムに置き換える。さらに、3.2.2項で論じた角度分布に応じて皮溝の深さを決定する。

3.3.2. ポリゴン生成

毛穴、皮丘、皮溝の各形状を精密な立体形状として表現するため、生成されたパターンをさらに細かい三角形群に分割する。まず、細かい三角形群の各頂点を生成する。ここで、毛穴内部では深さと半径から算出した層ごとに等間隔で頂点を生成し、皮丘内部には一様に頂点を生成し、皮溝上では等間隔に頂点を生成する。そして図5に示すように、毛穴と皮溝の深さ、皮丘の高さ、の各パラメータを考慮して各頂点の高さ方向の座標値を算出する。これらをDelaunay三角メッシュアルゴリズムで連結することでポリゴンを生成する。

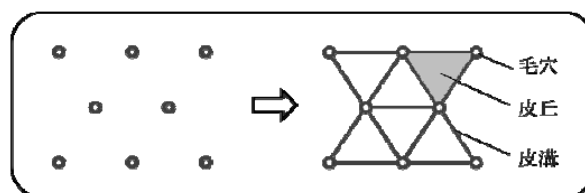


図 4 パターン生成の処理手順

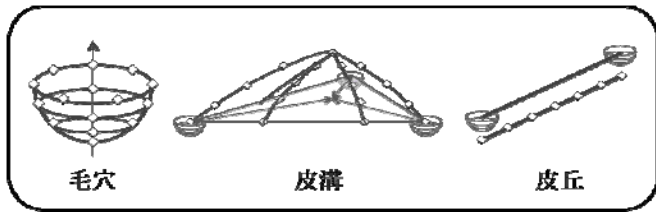


図 5 ポリゴンを構成する頂点の生成

4. 結果と考察

4.1. 実験に用いた肌画像

本報告では、実写画像として代表的な特徴を持つ肌の実写画像サンプル3枚を入力として実験結果を生成した結果を示す。

[1:健康な肌] 特徴として、皮溝から生成される三角形が正三角形に近い形をしており均一であることが挙げられる。

[2:乾燥した肌] 皮溝が一方向へ流れるため三角形を生成できていない場合が多い

[3:毛穴が目立つ肌] 各々の毛穴の直径が広い

本実験では、実写画像の目視観察からわかるこれらの状態が、どのようにパラメータ推定結果として反映されるかを検証する。

4.2. 毛穴の検出結果

上述のサンプル画像3枚に対し、黒画素数比率に関する閾値を毛穴 0.9, 皮溝 0.8 と設定して、毛穴と皮溝を検出した。毛穴を水色で、皮溝をピンクで色分けした結果を図6~8に示す。左が入力画像、右が結果画像を示す。図6の乾燥した肌では毛穴が少なく皮溝も一方向に流れていることが分かるが、その通り検出できていることが確認できる。また、3枚とも毛穴の位置、毛穴の大きさ、皮溝の位置を概ね捉えられている。

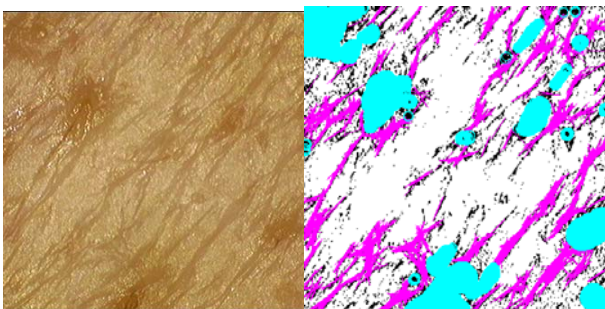


図 6 乾燥した肌(左:入力画像, 右:結果画像)

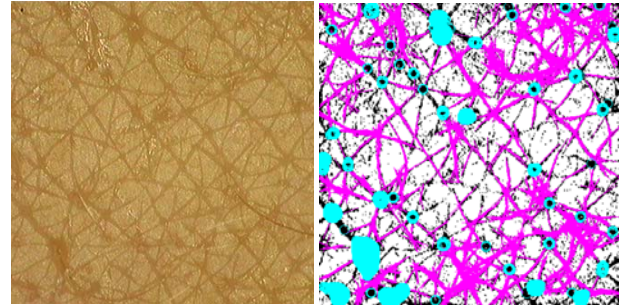


図 7 健康な肌(左:入力画像, 右:結果画像)

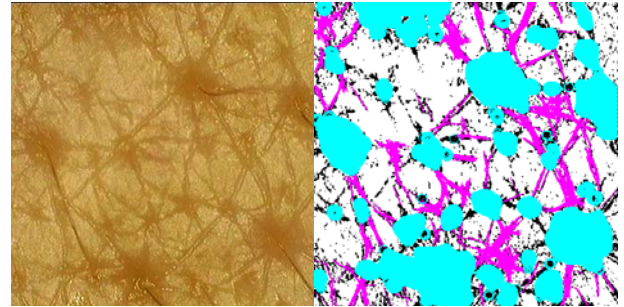


図 8 毛穴が目立つ肌(左:入力画像, 右:結果画像)

4.3. 皮溝の検出結果

検出された皮溝を角度別皮溝数で集計し、ヒストグラム化したものを図9~11に示す。横軸は16角度、縦軸はその角度における皮溝数を表している。図9は乾燥した肌のヒストグラムである、単峰性の分布を持つ、つまり一方向の皮溝が極端に多いことを表しており、乾燥肌が持つ皮溝が一方向に流れてしまうという特徴が読み取れる。図10,図11はそれぞれ健康な肌, 毛穴が目立つ肌の皮溝別ヒストグラムである。これらは乾燥した肌と比べ他峰性の分布を持ち、皮溝が流れていないことが分かる。以上のことから皮溝傾向が数値的に表せていることが確認できた。

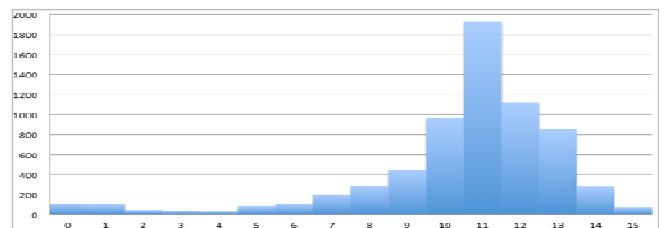


図 9 乾燥した肌の角度別皮溝数ヒストグラム

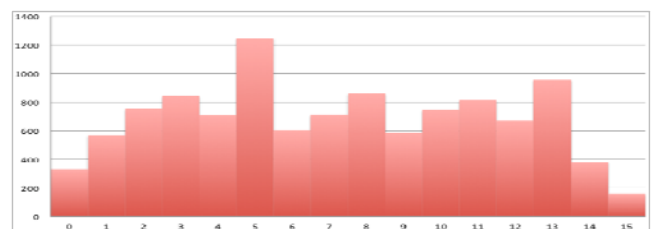


図 10 健康な肌の角度別皮溝数ヒストグラム

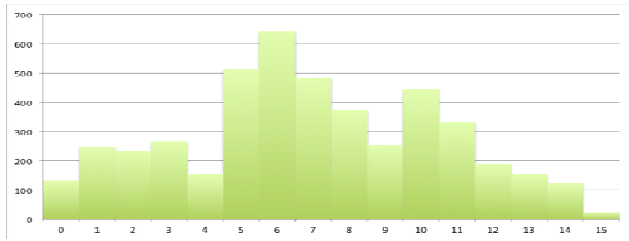


図 11 毛穴の目立つ肌の角度別皮溝数ヒストグラム

4.4. パラメータ推定値を用いた CG 画像生成

健康な肌における毛穴の半径別ヒストグラムを，肌パターン生成の際の毛穴半径に反映させた．実行画像を図 12 に示す．実写画像における毛穴のばらつきが，肌生成結果にも反映されていることがわかる．

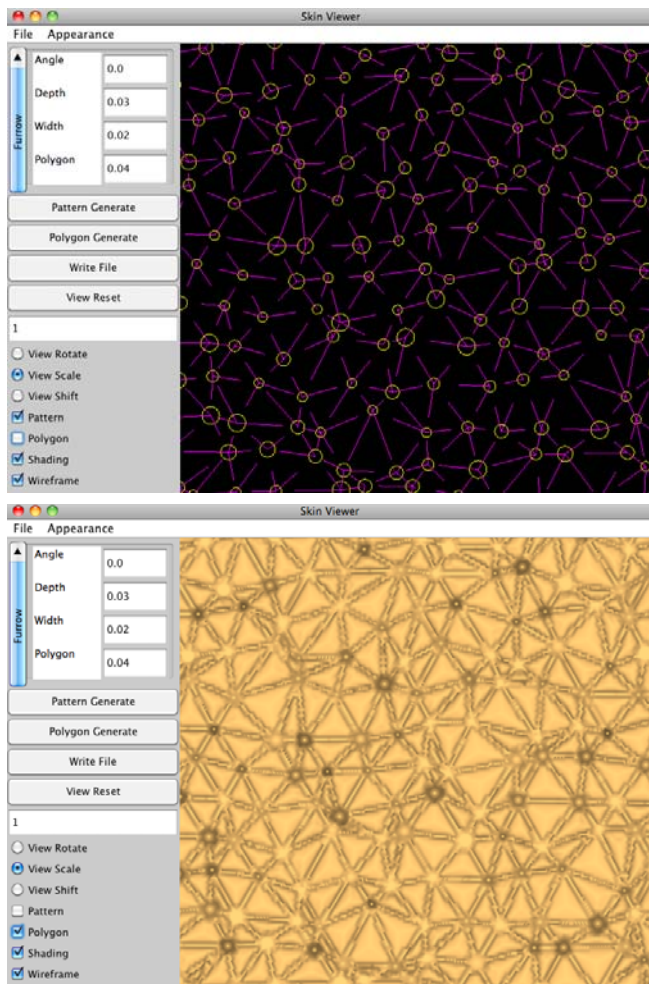


図 12 パラメータ推定値を用いた肌微細構造の生成 (上:パターン生成結果, 下:ポリゴン生成画像)

5. まとめ

本報告では，肌形状の印象分析システムを開発するための一環として，実写画像から微細構造のパラメー

タを推定し，肌微細構造の生成に使用する手法を提案した．二値画像の黒領域探索から毛穴・皮溝を検出することで，実写画像から肌微細構造のパラメータを推定し，それを反映させた肌生成を試みた．

今後の課題として以下の点が挙げられる．

- 二値化処理の改良
- ヒストグラムを反映させた皮溝生成結果の検討
- 毛穴位置の偏りを考慮したパターン生成の検討
- 実写画像から読み取れない立体的なパラメータの推定手法の確立

これらについて解決した上で，さらに多数の肌画像に対して，本手法を適用し検証する

また，現段階では毛穴と皮溝の検出処理は独立しているが，それらを反復して両者の検索精度を高める方法も検討したい．2.1 節でも述べたように，肌の構造は皮溝の交点に毛穴が多く存在しているため，皮溝の交点を重点的に毛穴探索することで，より効率的に検索を実現できると考える．

文 献

- [1] 佐々木拓郎, 中川匡弘, “フラクタルとエントロピーを用いた肌表面形状の定量的評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, ME とバイオサイバネティクス, vol. 108(219), pp. 59-64, 2008.
- [2] 西村博睦, 高須賀豊, 山本めぐみ, “肌ツヤの光学特性とみずみずしく見えるメイクアップファンデーションの開発研究”, 日本化粧品技術者会誌, vol. 40, no. 2, pp. 88-94, 2006.
- [3] 坂東洋介, 倉立尚明, 西田友是, “しわを考慮した顔の表情のシミュレーション”, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会報告, pp. 27-32, 2001.
- [4] Y. Wu, P. Kalra, and N. M. Thalmann, “Simulating Winkles and Skin Aging,” The Visual Computer, vol. 15, No. 4, pp. 183-198, 1999.
- [5] A. Ghost, G. Fyffe, B. Tunwattanapong, J. Busch, X. Yu, P. Debevec, “Multiview Face Capture Using Polarized Spherical Gradient Illumination”, ACM SIGGRAPH Asia, 2011.
- [6] M. Kurokawa, M. Inomata, T. Itoh, N. Toyoda, “Micro-geometric Modeling of Human Face Skins for Cosmetic Analysis,” ACM SIGGRAPH Asia, 2011.
- [7] 猪股, 伊藤, 豊田, 肌質感の印象評価と評価結果の可視化, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2011).