

パーツごとの肌状態を考慮した肌微細構造の画像計測と高速 CG 表現

安江 志織[†] 伊藤 貴之[‡] Srinivasa Narasimhan[‡] 豊田 成人[§]

[†]お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

[‡] Carnegie Mellon University 5000 Forbes Avenue Pittsburgh, PA 15213

[§] 資生堂グローバルイノベーションセンター 〒224-8558 神奈川県横浜市都筑区早渕 2-2-1

E-mail: [†] {yasue.shiori, itot}@is.ocha.ac.jp, [‡] srinivas@andrew.cmu.edu, [§] naruhito.toyoda@to.shiseido.co.jp

あらまし 我々は皮溝・皮丘・毛穴などの肌微細構造を CG で表現する研究に取り組んでいる。旧来の実装ではポリゴンとして生成し表示してきたが、ポリゴン生成の所要時間とデータ量が大きいことが問題となっていた。また、頬を撮影した画像をもとにキメモデルを生成していたため、混合肌等の顔のパーツごとによる肌状態の違いを表現できていなかった。そこで本研究では、まず肌微細構造の特徴を反映した変位マッピングを生成し、これを用いたシェーダープログラミングにより肌微細構造を高速表示することを試みた。さらに、顔を構成する 22 か所（撮影点と呼ぶ）における肌画像を撮影して肌微細構造の特徴量を計測し、撮影点周辺の微細構造を補間する手法を開発した。また、多数の被験者の肌画像を集めてその特徴量をデータベース化することで、肌状態の傾向を分析することができる。本報告では、肌微細構造の画像計測および高速 CG 表示の処理手順と実行例を示し、今後の展望を議論する。

キーワード 肌微細構造, 画像計測, 変位マッピング, ポリゴン, GPU

1. はじめに

化粧品業界では店頭などのカウンターで、カメラや専用機で撮影した拡大画像をもとにした肌状態の分析・診断が広く実施されている。また、得られた拡大画像から肌のキメなどの微細構造を CG で表現する手法 [1] が研究されている。

我々は、多様な肌状態に応じた微細構造を画像に依存せず自在に表現したいという考えから、3 次元モデリング技術を用いて肌状態に応じた微細構造を表現し、肌質感の変化をシミュレートする研究に取り組んできた [2]。この研究では、マイクロスコープカメラで頬を撮影し得た 1 枚の拡大画像から、毛穴・皮溝・皮丘といった微細構造を認識し各種特徴量を抽出した後、肌微細構造の 3 次元形状モデルを生成している。この特徴量を調節することによって、多様な肌状態・質感の表現が可能になる。肌の微細構造をポリゴンモデルで表現し、3 次元の顔モデルに貼り付けることによって、顔の微細な凹凸を表現している。

しかし我々の実装では、顔全体の微細構造を表現するためのポリゴン数は約 850 万個におよび、データ量で表すと 2GB 弱にあたる。またポリゴンの生成と貼り付けに 1 時間以上かかり、ファイルの入出力にも時間がかかっていた。また、頬を撮影した画像をもとにキメモデルを生成しているため、全顔でキメモデルが統一され全パーツが頬の肌状態として表現されていた。そこで、店頭

での実用化を目指す上でデータ量の削減と処理の高速化を図る必要があると考えた。さらに、顔のパーツごとの肌状態の違いを表現すべきであると考えた。これは「頬は乾燥するが額は脂っぽい」というような混合肌の顔を表現するには必要不可欠な課題である。

そこで本研究では、まず顔を 11 のパーツに分割し、各パーツにおいて合計で 22 点を撮影して肌微細構造の特徴量を計測し、撮影点の特徴量をもとに周辺の微細構造を補間することで、パーツごとの肌状態の違いの表現を試みた。これらの特徴量は肌の CG 表現のために用いるだけでなく、肌状態の傾向を分析するためのデータベース構築の材料として活用することもできる。さらに本研究では、高速化のためにポリゴンを廃止し、新たに変位マッピングという CG 技術を利用して微細形状の凹凸を表現した。本報告ではこれらの処理手順・実行例・処理速度について示す。

2. 研究環境

2.1. マイクロスコープカメラ

肌の拡大画像撮影には「マイクロスコープカメラ」と呼ばれる専用の撮影機がしばしば用いられる。本研究では、肌や頭皮のカウンセリング用に開発された MORITEX 社の i-SCOPE® USB2.0 [3] に 50xPL レンズを装着したものを使用して肌画像を撮影した。撮影範囲は横 5.55mm、縦 4.44mm、対角 7.11mm である。

2.2. 変位マッピング

近年の CG 技術では繊細かつ高速な物体表現のために GPU (Graphics Processing Unit) を活用できる手法を採用することが多い。本研究では微細形状の表現に有効な「変位マッピング」という手法を適用し、GPU を活用して高速処理する。変位マッピングとは、物体表面を変位させて微細な凹凸をつける手法である。高さ情報に対応したグレースケールの画像 (変位マップ) を参照することで、物体表面の頂点を変位させる。物体表面を細かいメッシュに分割する「テッセレーション」と呼ばれる処理を施すことで、微細な凹凸の表現も可能である。この処理には大きな計算時間が必要であることから、GPU が活用されることが多い。

3. 処理手順

本研究では、変位マッピングを採用したシェーダープログラミングによって微細構造の凹凸を表現する。そして、ポリゴンを採用した従来手法[2]と比較して、どちらが肌微細構造の表現に適しているかを検証する。本章では変位マッピングを採用した新しい処理手順を示す。

3.1. 肌画像撮影

まず顔を図 1 のように、額・右目・左目・鼻・右内頬・左内頬・右外頬・左外頬・鼻下・口・顎の 11 のパーツに分割する。そして図 1 の青点のように撮影点を割り振り、合計 22 か所を撮影する。

3.2. 肌微細構造の特徴量推定

次に、撮影した画像から毛穴・皮溝の特徴量を推定する。この推定には我々による既存研究[2]を適用する。まず入力画像に白黒二値化処理を適用する。現時点では、二値化のための閾値は我々の経験に基づき手動で設定している。続いて、この白黒画像に対し、図 2(左)に示すように、円形領域をテンプレートとして画像内の黒領域を探索する。この処理によって抽出された円形の黒領域を本手法では毛穴とみなす。また、図 2(右)に示すように、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探索している。以上の処理により、各毛穴の中心座標・直径、各皮溝の中心座標・角度・太さをヒストグラムに記録する。この処理を 22 枚の画像について適用し、各々の画像に対応した 22 個のヒストグラムを生成する。

3.3. パターン生成

次に肌微細構造のパターンを生成する。ここでいうパターンとは毛穴・皮溝・皮丘の配置と接続構造のことであり、この生成も 3.2 節と同様に既存研究[2]を適用する。この手法では、毛穴の大きさや皮溝の深さ、皮丘の高さなどをパラメータとして、アルゴリズム的にパターンを生成している。現時点では、これらのパラメータのうち毛穴半径・皮溝幅・皮溝角度の各値を、3.2 節で説明した

処理によって生成したヒストグラムから算出している。図 3 にその原理を示す。図 3 に示すように、この処理ではまず多数の毛穴を生成し、続いて毛穴を接続する三角メッシュを生成し、三角形辺を皮溝、三角形領域を皮丘とする。

3.4. 補間

3.3 節で説明した特徴量は、図 1 に示した 22 か所の撮影点における特徴量として産出される。これらの撮影点の中間に位置する部位では、同じパーツ内の撮影点における特徴量から補間することによって特徴量を算出している。適用可能な補間方法には逆距離加重法やスプライン補間などがあげられる[4]が、現時点では、撮影点からの距離に重み付けをした加重平均を使用してヒストグラム値を補間する。

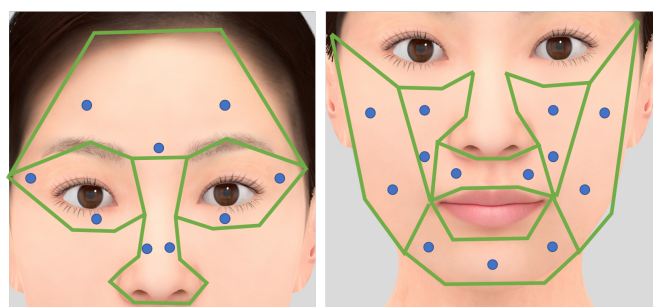


図 1: 分割した 11 のパーツ(緑枠内)と撮影点(青)

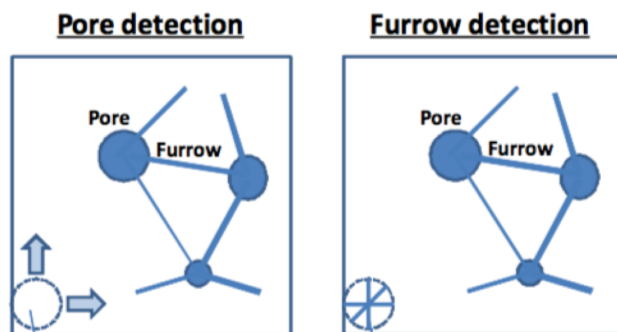


図 2: 毛穴・皮溝の検出[2]

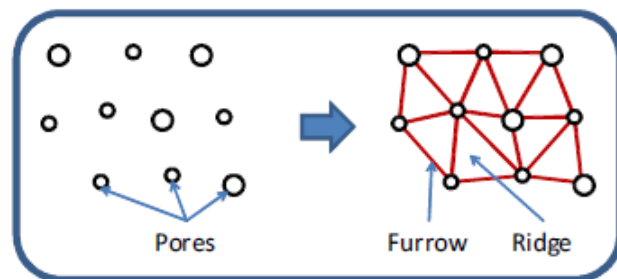


図 3: 肌微細構造の表現のためのパターン生成[2]

3.5. マップ生成

本研究では図 3 に示す方法でパターンを生成したのち、ポリゴンを生成する代わりにこのパターンを格子で覆い、各格子点での高さを計算する。この格子点に対応す

る各画素にグレースケール（256 段階の濃淡値）を割り当てることで、変位マッピングのためのマップを生成する。

3.6. テッセレーション

本手法では、対象オブジェクトのメッシュを細かく分割する「テッセレーション」を実行することで、微細な変位を実現し、詳細な形状変化を実現する。本報告では表 1 に示すように、 $z=0$ を顔の 3D モデルの中心位置とした際、顔全体を見られる遠距離では粗く、キメが認識できる近距離では細かく分割するように、解像度を事前制御した。

表 1: テッセレーションの解像度

z 座標	$z \leq 12$	$12 < z \leq 18$	$18 < z$
解像度	45	35	12

3.7. GPU による描画

本手法では肌微細形状を GPU のシェーダーにより高速描画する。生成したマップをもとに顔の 3D モデルに変位マッピングを施すことで微細な凹凸を表現する。RGB 値算出には Blinn-Phong 反射モデルを使用したフォンシェーディングを採用している。

4. 結果

以上の処理手順によって肌の微細構造を表現した結果を示す。使用した GPU は AMD FirePro D500 である。

4.1. 画像計測

20 代女性 17 人の肌画像の分析結果の平均と、健康的な肌・乾燥した肌・毛穴が開いた肌のサンプル画像を分析した結果を図 4 に示す。本報告では、皮丘平均面積と毛穴平均半径をもとに肌状態を分析し、その相互関係を散布図で示した。18 個の青の点は、17 人の肌画像を分析し撮影点ごとに分け平均値をプロットしたものである。本実験では 3 章で述べた通り 22 か所について撮影を実施しているが、このうち額と顎先は皮膚の下の筋肉の影響を受けキメが壊れている人がほとんどであったため、本報告では比較の対象外として、それ以外の 18 か所における特徴量を図 4 に示す。

また図 4 では、17 人の被験者の肌画像の他に、専門家が有する 3 人の頬のサンプル肌画像から算出された特徴量も同時に示している。図 4 において、オレンジの点は「健康的な肌」、緑の点は「乾燥した肌」、黄色の点は「毛穴が開いた肌」と判定された肌の特徴量である。

図 4 にて、緑の点付近に集中している点は目や外頬内の撮影点であり、オレンジの点付近は鼻下や顎の点であった。これにより、パーツごとに肌状態が大きく異なることがわかった。

4.2. マップ

キメが整った健康的な肌・乾燥した肌・毛穴が開いた肌の 3 つの肌状態の肌画像をもとに生成したマップを拡大したものを図 5 に示す。健康的な肌はキメにあたる三角形が比較的揃っているのが特徴である。乾燥した肌は皮丘の高さが他の状態よりも低くなるため、マップの明度は他の肌状態と比較するとやや暗くなった。毛穴が開いた肌は半径の大きな毛穴が目立ち、皮溝の幅もバラバラとなった。

4.3. レンダリング

顔全体の描画結果と、その各々のキメが見えるまで拡大した描画結果を図 6 に示す。顔全体において、微細形状の細かな凹凸によって生成される光の反射と艶が表現できており、拡大した場合も皮丘の凸部と毛穴・皮溝の凹部が滑らかに表現できた。

ポリゴンを生成する従来手法[2]と本報告の結果を比較した結果を図 7 に示す。従来の描画結果では毛穴の輪郭や皮溝が不自然に目立っていたが、変位マッピングを使用した本報告では自然な凹凸を再現できており、より現実の肌に近い表現となった。

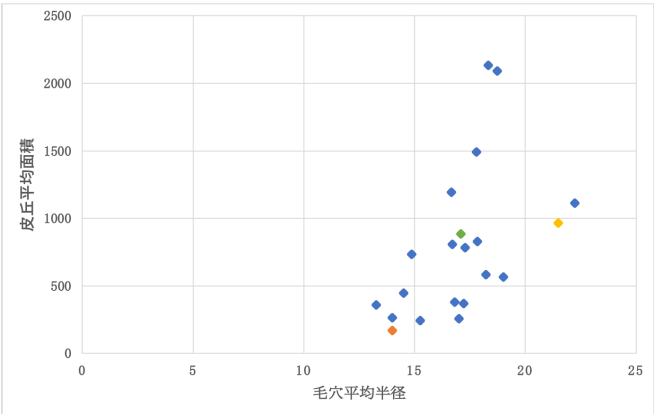


図 4：撮影点ごとの肌状態の違いを示す散布図

4.4. 計算時間

従来手法 [2] および本報告の実装における顔全体描画の計算時間をまとめた結果を表 2,3 に示す。ここで表 2 における「肌の生成」は、パターンからポリゴンを生成することで 2 次元平面上に微細構造を生成する処理に相当する。また、表 3 における「マップ生成」は 5200×4000 の全顔マップ生成にかかった時間であり、「レンダリング」は CPU による顔モデルとマップの読み込み、さらに GPU の処理全体を含んでいる。従来は顔全体の描画に約 80 分かかっていたのに対し、本報告では約 12 分であり、そのほとんどがマップ生成にかかっていた。

表 2: 従来手法の計算時間 (秒)

	肌の生成	顔モデルへの 貼り付け	合計
従来	4809.0	125.4	4834.4

表 3: 提案手法の計算時間 (秒)

	マップ 生成	レンダリング	合計
変位マッピング	707.04	3.25	710.29

5. まとめ

我々は本研究において、顔のパーツごとの肌状態の違いを表現するために、各パーツを撮影した計 22 枚の画像から肌微細構造の特徴量を推定し、さらに高速描画のために、変位マッピングを使用したシェーダープログラミングによる表現を試みた。この試みにより、毛穴の大きさやキメの細かさの違いといった特徴量をパーツごとに個別に設定することができた。さらに、従来手法[2]と比べてより忠実に全顔の肌状態を表現することができた。また、アルゴリズムを変更したことで処理速度も約 7 倍高速になり、GPU を使用した表示は数秒程度に抑えることができた。さらに、変位マッピングを適用することで従来手法よりも自然なレンダリング結果が得られた。

一方で、現時点での実装ではうまく特徴量を抽出できない肌撮影画像もあった。例えば、表面が白い毛穴や油分が多い毛穴は、マイクロスコープカメラで撮影すると明るく写るため二値化した際に白くなり、毛穴として認識されなかった。また、額や顎先など皮膚下の筋肉の影響を受け皮溝が流れてしまっている肌や皮溝が途切れ消失してしまっている肌は、微細構造の認識が難しく、その結果として画像の特徴を反映したマップ生成が困難であった。

さらに、変位マッピングにおいて詳細部分にズームインして表示した場合、顔全体をテッセレーションした後に必要箇所をクリッピングして投影しているため、不必要なテッセレーションが発生し、その結果負荷がかかり処理速度が遅くなってしまった。

今後の課題として、肌状態により画像からの微細構造の認識がうまくいかない場合に備えて、各微細構造の位置を手動で補うような仕組みを実装することを検討している。また、現時点で画像から高さや深さの情報は得られていないため、撮影時の光の反射の加減から高さ方向の値を推測することで、深さ方向の情報を推定したいと考えている。また、肌をよりリアルに表現するために表面下散乱の導入を検討している。表面下散乱とは、肌や大理石などの半透明な物体において、

外部光が内部散乱して反射する様子を再現する手法である。ここで表面下散乱の傾向を示す拡散プロファイルにガウス分布総和での近似が広く適用されている[5]ことから、本報告でもガウシアンフィルターを使用し全体にぼかし処理を施すことで、より現実の肌に近い表現を目指したいと考えている。

また、多数の被写体からの肌撮影画像を収集し肌状態を数値化・データ化し、機械学習を導入してこれをモデル化することで、現在手動で行っている特徴量推定のためのパラメータ制御の過程を自動化することを考えている。さらに、幅広い年代の女性の肌データを集め、エイジングがどのように進行し、肌微細構造はどのように変化するのか調査したいと考えている。その他にも、水分を与えることでキメ自体が変化するため、スキンケア前後でどのように肌微細構造が変化するかを実験し、変化を数値で表現することも検討している。将来的にこれらの技術は、肌の分析結果をもとに一人一人に合った商品の提供や、オーダーメイドな商品作りに役立つと考える。

参 考 文 献

- [1] K. Nagano, G. Fyffe, O. Alexander, J. Barbic, H. Li, A. Ghosh and P. Debevec, "Skin Microstructure Deformation with Displacement Map Convolution," ACM Transactions on Graphics, Vol. 34, No.4, pp.109, August 2015.
- [2] F. Banba, T. Itoh, M. Inomata, M. Kurokawa, N. Toyoda, H. Otaka, H. Sasamoto, "Micro-Geometric Skin Simulation for Face Impression Analysis", 芸術科学会論文誌, Vol. 13, No.1, pp.11-20, 2014.
- [3] "i-SCOPE® USB2.0", <https://www.moritex.co.jp/products/cosmetic/i-scope.php>
- [4] L. Mitas, H. Mitasova, "Spatial interpolation", Geographical Information Systems: Principles Techniques Management and Applications, vol. 1, pp. 481-492, 1999.
- [5] E. d'Eon, D. Luebke, and E. Enderton, "Efficient Rendering of Human Skin", Eurographics Symposium on Rendering, pp.147-157, June 2007.

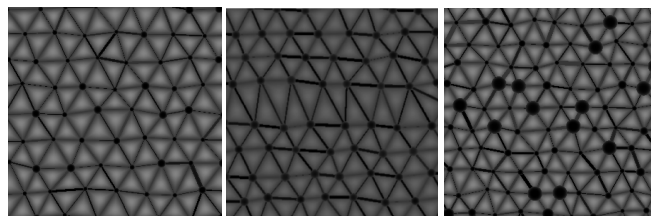


図 5 : (左)健康的な肌(中央)乾燥した肌
(右)毛穴が開いた肌

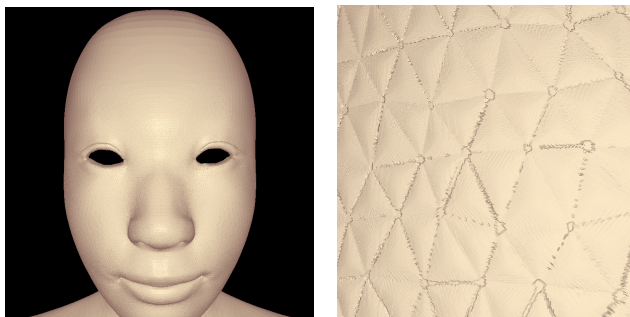


図 6 : (左)顔全体 (右)キメが見えるまで近づいた場合

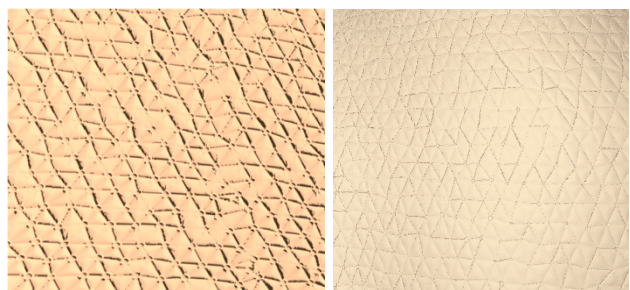


図 7 : (左)従来の手法 (右)本報告