

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00255

研究課題名(和文) 分光画像解析による産毛や微細な色素分布を考慮した皮膚のモデル化と質感再現

研究課題名(英文) Skin modeling and appearance reproduction considering fine hair and pigment distribution with spectral image analysis

研究代表者

土居 元紀(Doi, Motonori)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授

研究者番号：00304155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、肌のきめが見えるレベルのフォトリアリスティックな皮膚画像の合成技術の確立を目指した。微細な特徴として、産毛と色素斑それぞれについて解析と合成を行った。産毛をマイクロスコプで観測し、その結果を基に産毛パターンを皮膚画像に合成した。その際、画像処理により皮溝の交点を求め、毛穴候補点としてその位置を始点として産毛が生えるように合成した。色素斑についてはDCGAN等ディープラーニングによる画像生成を応用して色素斑パターンを作成し、分光情報に基づき色素の吸収を考慮して皮膚画像に合成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CGにより生成された人物画像に対する現実の人物との違和感は肌の質感が大きいと考えられる。本研究により、肌のきめが見えるレベルの皮膚画像に対し、微細な産毛や色素の分布を考慮することで、皮膚の高質感画像生成が可能になったと考えられる。本研究の成果は特にCGにおける質感付与に寄与できると考えられる。また、皮膚に関する医療分野での応用や化粧品の効果のシミュレーションなどの産業分野での応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to generate photorealistic high resolution skin images. Analysis and synthesis were done for fine hair and pigmented spots, respectively. Fine hairs were observed with a microscope, and the results were used to synthesize the hair effect to skin image. The intersection point of the skin sulcus was detected by image processing, and the fine hairs were synthesized to grow from these detected points. For pigmented spots, we created pigmented spot patterns by applying deep-learning models such as DCGAN, and synthesized them into a skin image considering the absorption of pigment based on spectral analysis.

研究分野：カラー画像処理

キーワード：画像合成 皮膚 産毛 色素斑

## 1. 研究開始当初の背景

AI が人に近づく現在、人とのコミュニケーション方法の有効な手段として人物 CG があるが、不気味の谷と言われるように、見た目の違和感が問題となる。物体の見えを解析し再現する Material Appearance Modeling はコンピュータビジョンや CG 分野における重要な課題であり、特に皮膚の質感は重要である。皮膚の質感には皮膚表面下散乱が主に影響しているとされている。

本研究では、皮膚画像の研究を通じて、表面下散乱に加え今まで注目されなかった産毛と微細な色テクスチャが皮膚の質感に影響していると推測し、その画像解析と画像合成について研究を行った。

## 2. 研究の目的

本課題では、肌のきめが見えるレベルのフォトリアリスティックな皮膚画像の合成技術の確立を目指した。そのため、産毛による光散乱の解析、および、皮膚表面の色素分布の解析を行い、解析結果を基にその質感再現を行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

マイクロスコブシステムを構築し、産毛および皮膚表面を撮影した。産毛について、分光撮影や光源位置を変えた撮影を行った。そして、撮影結果から、産毛の特性を解析した。そして、各画素に分光データをもつ皮膚画像に合成した。合成結果を視感評価実験によって評価した。

皮膚表面についても同様にマイクロスコブによる計測を試みたが、カメラと光源変更の同期が困難で予定していた短時間計測が行えず、計測中に皮膚表面が動いてしまう問題があり、これを解決できなかった。よって、公開されている色素斑のマイクロスコブ画像データベースを利用することにした。折しもディープラーニングによる画像生成が注目されて来ていたので、これらの画像生成手法を応用し、少量の画像サンプルから大量の色素斑画像を生成し、適切なものを選んで色素斑の色素濃度分布パターンとし、各画素に分光データをもつ皮膚画像に合成した。

## 4. 研究成果

### (1) 産毛の解析と合成

産毛の解析については、成人男性の腕より産毛を採取し、白色照明を照射してマイクロスコブを用いて暗室で高感度モノクロカメラにより撮影した。なお、当初分光画像の取得を試みたが、産毛の反射率に変化が見られないため、白色照明下でのモノクロ撮影とした。マイクロスコブ画像についてはあらかじめキャリブレーション用ガラススケールを用いて、一画素当たりの距離を求めておいた。産毛に当てる照明の角度を変化させて撮影し、画像内の産毛上の光沢の変化を調べた。

画像合成については、計測結果をもとに皮膚画像に任意に設定した産毛をランダムに合成するプログラムを作成した。本プログラムでは、毛の透明度と明度に加え、毛の本数、長さ、長さのばらつき、毛の向き、毛の向きのばらつき、曲がり具合などのパラメータを入力すると、指定した皮膚画像の上に産毛パターンを付与した画像を出力する。下地となる皮膚画像は成人男性の腕の内側のもともとの産毛のない皮膚画像とした。この画像は、分光画像として取得した画像をカラー画像に変換した画像である。解像度は1画素が皮膚上の78.1 $\mu\text{m}$ に対応する。計測した産毛の幅から、産毛の幅は1画素以下となるので、産毛の合成時に、幅の情報は透明度として反映した。また、照明角度に対応する光沢の量を、産毛の明度として反映した。角度が大きくなるほど明度は低くなる。

合成画像を用いて基礎的な視感評価実験を行った。その結果、わずかな実験参加者数であるが、皮膚の見えにおける光沢感に関して、産毛の影響が認められた。しかし、大規模調査の事前検討の段階で、産毛の見えについて質感再現性が低いという指摘があった。このことから、合成方法を再検討した。その結果、産毛の生える位置がランダムであることにより、不自然な密集が生じることが問題の一つとして挙げられた。人間の皮膚の表面には皮溝と呼ばれる溝が存在しており、毛穴は皮溝と皮溝の交差点に存在している。この皮溝と毛穴の関係性を考慮することで、産毛の合成画像をよりリアリスティックに生成することができるのではないかと考えた。

毛穴の位置候補を皮溝を基に検出し、毛穴から産毛が生えているように合成する方法を検討した。皮溝の交点を毛穴として検出するため、皮膚画像に対し、十字二値化処理と呼ばれる方法で皮溝領域を検出し、細線化したのち、LBP(Local Binary Pattern)値により皮溝の交点を検出した。LBP(Local Binary Pattern)値とは、注目した1画素の画素値とその周辺の画素値との大きさを比較して算出する値であり、十字やY字などの交差パターンをその数値で表すことができる。検出結果は現状不十分ではあるが、この結果をもとに検出点から産毛が生えた皮膚画像を生成した。ただし、検出点が多いため、検出点の25%を毛穴とし、検出した交点の位置を始点に、中間点と終点を一定の範囲でランダムに設定してスプライン補間を用いた曲線を引き、明るさや透明度は先の実験と同様として産毛を合成した。合成結果を図1に示す。産毛は高い解像度で

見ないと視認できないが、一面に横方向に生えるように合成している。本結果の評価実験は今後の予定だが、画像を見比べた場合、皮膚の光の柔らかな反射が再現できたと考えられ、良好な産毛画像生成が行えた。



(a)産毛合成前の皮膚画像

(b)産毛合成後の皮膚画像

図1 産毛合成皮膚画像の一例

## (2) 色素斑の解析と合成

本研究では、公開されている色素斑のマイクロスコブ画像データベースを利用した。その画像の観察から、微視的には粒状や網目状の色素分布パターンを持つことがわかったが、撮影対象も撮影条件もさまざまであることから、画像生成に確定的な情報を抽出することは困難だった。そうしたなか、ディープラーニングによる画像生成が注目されて来ていたので、これらの画像生成手法を応用し、少量の画像サンプルから大量の色素斑画像を生成し、適切なものを選んで色素斑の色素濃度分布パターンとすることを考案した。

まず、色素濃度分布パターン生成に、当時注目されていた GAN (Generative Adversarial Networks) に基づく方法を採用した。本研究では DCGAN (Deep convolutional GAN) により色素斑のマイクロスコブ画像群から新たな色素斑画像を生成する。そして、生成された画像から色素斑部分を抽出し、その色の濃さを色素濃度分布に変換する。色素濃度分布からの色素斑画像合成技術については、すでに確立していた Kubelka-Munk 理論による色素濃度からの分光反射率推定方法を用いた。生成した色素濃度分布をもとに色素斑パターンをもとの皮膚画像の色素濃度分布に合成し、分光画像情報を推定してから、カラー画像に変換した。DCGAN により生成した色素斑パターンを図 2 に、そのパターンをもとに皮膚画像に合成した結果を図 3 に示す。図 3 はそれぞれ、メラニン濃度、ヘモグロビン濃度、デオキシヘモグロビン濃度を色素斑パターンにより変化させたものであり、しみ、赤み、あざに対応する。合成結果より、リアリスティックな色素斑画像を合成できることが確認できたと考えている。さらに、粒状を保った色素斑パターンの生成を目指し、VQ-VAE2 (Vector Quantized-Variational Auto-Encode) を用いた色素斑画像の生成を行った。VQ-VAE2 による生成では、学習画像の皮膚色を揃えるなどの前処理や、パラメータ調整を行い、より、粒状感のある色素斑画像を生成できた。

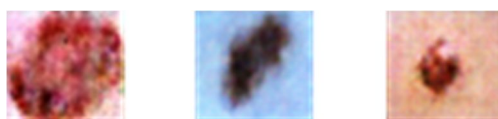


図2 DCGAN により生成した色素斑画像



(a)メラニン



(b)ヘモグロビン



(c)デオキシヘモグロビン

図3 生成した色素斑パターンをもとに皮膚画像に合成した結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 武田 悠希, 土居 元紀
2. 発表標題 皮膚画像からの毛穴の検出方法の検討
3. 学会等名 第67回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田 悠希, 土居 元紀
2. 発表標題 皮膚画像からの毛穴の検出に基づく産毛の画像合成
3. 学会等名 第39回センシングフォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 氏原 祐貴, 土居 元紀, 西 省吾, 来海 暁
2. 発表標題 VQ-VAE-2を用いた皮膚の色素斑画像生成
3. 学会等名 令和3年度日本色彩学会関西支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土居 元紀, 西 省吾, 来海 暁
2. 発表標題 皮膚の見えにおける産毛の影響の検討
3. 学会等名 令和2年度日本色彩学会関西支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 氏原 祐貴, 土居 元紀, 西 省吾, 来海 暁
2. 発表標題 深層学習を用いた画像生成による皮膚の色素斑画像合成
3. 学会等名 令和2年度日本色彩学会関西支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 氏原 祐貴, 土居 元紀, 西 省吾, 来海 暁
2. 発表標題 深層学習を用いた画像生成による皮膚の色素斑画像生成
3. 学会等名 日本色彩学会視覚情報基礎研究会第40回研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motonori Doi, Akira Kimachi and Shogo Nishi
2. 発表標題 Appearance Reproduction of Skin with Pigment Concentration Pattern Generated by Deep Convolutional Generative Adversarial Networks
3. 学会等名 The 5th Asia Color Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonori Doi, Norifumi Nishida, Akira Kimachi and Shogo Nishi
2. 発表標題 Acquisition of 3D data and spectral color by using RGBD camera and programmable light source
3. 学会等名 IAPR The 7th Computational Color Imaging Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土居 元紀・伊藤 紘輝, 来海 暁, 西 省吾
2. 発表標題 DCGANを用いた色素斑形状自動生成と皮膚画像への合成
3. 学会等名 平成30年度日本色彩学会関西支部大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪電気通信大学 教員情報データベース  <a href="https://research.osakac.ac.jp/index.php?E5%9C%9F%E5%B1%85%E3%80%80%E5%85%83%E7%B4%80">https://research.osakac.ac.jp/index.php?E5%9C%9F%E5%B1%85%E3%80%80%E5%85%83%E7%B4%80</a></p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	来海 暁  (KImachi Akira)  (30312987)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・教授   (34412)	
連携研究者	西 省吾  (Nishi Shogo)  (70411478)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授   (34412)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------