

皮膚の表面凹凸が光の反射および内部散乱に及ぼす影響： シミュレーション解析

Effect of surface roughness of the human skin on the reflection and internal scattering of light: a simulation study

九工大情報工¹, 花王スキンケア研² ○塚本健太郎¹, 五十嵐崇訓², 高林正典¹, 岡本卓¹
Kyushu Inst. of Tech.¹, Kao Corp.² ○Kentaro Tsukamoto¹, Takanori Igarashi²,
Masanori Takabayashi¹, Takashi Okamoto¹
E-mail: okamoto@ces.kyutech.ac.jp

1. はじめに

人の皮膚における光散乱・伝搬は、皮膚工学や化粧品科学の分野で盛んに研究されている。とくに皮膚組織中の光の振る舞いに関しては、医療分野への応用が期待されることから多くの研究がなされている。一方、皮膚表面における光の反射・散乱特性の解析は、CGや化粧品科学の分野において重要な問題である。

本研究では、光子のモンテカルロシミュレーションにより表面凹凸をもった人肌モデルの光反射・散乱特性を解析し、表面粗さがそれらに及ぼす影響を明らかにする。

2. シミュレーション手法

シミュレーションは多層媒質における光子のモンテカルロ法として一般的な MCML 法¹⁾を拡張したものを用いた。図 1 に示すように皮膚モデルは 3 層構造としている。皮膚モデルの表面は、実測データを元に形成した単位面積 200 μm^2 程度の凹凸構造を持つ。本シミュレーションでは、毛穴、皮丘の領域へ光子を入射させ、皮膚内部でのエネルギー減衰、および反射光強度を解析した。光子の波長は 540 nm とし、xy 平面に対して垂直に入射する。入射範囲は図 1 の斜線領域とし、入射回数は 10^8 とした。

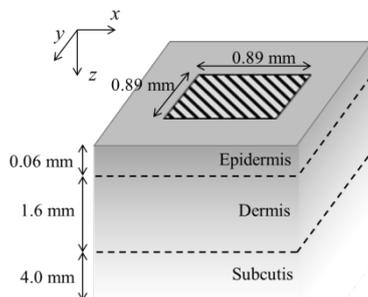


図 1. シミュレーション概略

3. シミュレーション結果

図 2 に深さ z に関するエネルギー減衰を示す。毛穴領域は表面付近でのエネルギーは大きいですが、深さの増加に伴い減衰の度合いが大きくなっ

ている。これは、表面凹凸により皮膚層へ入射した際の屈折角が変化したことと、それに伴い吸収量の多い表面付近での伝搬距離が増えたためだと考えられる。図 3 は光子の出射角度分布である。凹凸構造を持たないモデルでは鏡面反射方向の強度が特に高いが、凹凸構造を持つ場合はこの方向への強度は低下している。特に毛穴領域では様々な角度へ光子が散乱していることが分かる。

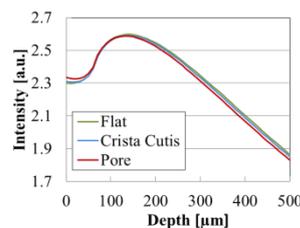


図 2. エネルギー減衰

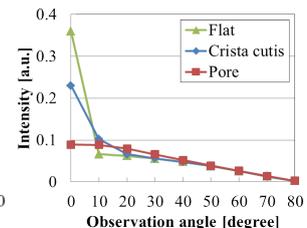
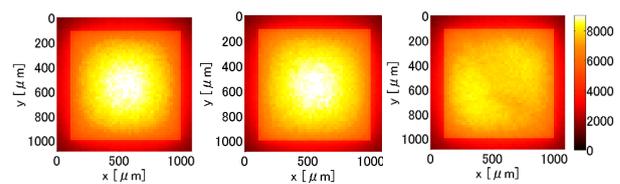


図 3. 反射光の出射角度

また、図 4 に皮膚表面での反射光の強度分布を示す。凹凸のない場合や皮丘領域と比べ、毛穴領域では入射範囲の中心付近における反射光強度が低い傾向が見られる。



(a) 平面 (b) 皮丘 (c) 毛穴

図 4. 反射光強度分布

4. おわりに

光子のモンテカルロシミュレーションにより、凹凸を持った皮膚の光散乱特性を解析した。これにより、表面凹凸が光の反射、および内部散乱に及ぼす影響を明らかにした。今後はより微小な凹凸構造を再現し解析を行う。

参考文献

1) L. H. Wang, S. L. Jacques, and L. Q. Zheng, Computer Methods Programs Biomed., **47**, 131-146 (1995).