

肌の分光特性に基づいたファンデーションの仕上がり設計

Design and Fabrication of Cosmetic Foundation Ingredients Based on Spectral Property of Skin Texture

五十嵐 崇訓
岡本 卓
陳 延偉

Takanori Igarashi
Takashi Okamoto
Yen-Wei Chen

花王株式会社
九州工業大学
立命館大学

Kao Corporation
Kyusyu Institute of Technology
Ritsumeikan University

Keywords: ファンデーション, カバー効果, 透明感, ハイパスペクトルイメージング, FDTD 法

1. はじめに

本報では、化粧品メーカーの主なミッションである製品開発（モノづくり）の事例として、素肌のような質感を維持しながら、肌の“あら”を効果的に隠蔽（カバー）するファンデーションの光学設計に関して述べる。ファンデーションを求める多くの消費者は、その化粧仕上がりに対して、以下の2つを期待している：

- (1) 色むらなどの肌の“あら”的効果的なカバー；
- (2) 「自然で透明感のある」質感

ファンデーション分野では、その期待度の高さから、(1)(2)を実現する技術の開発が重要目標となっている。これを受けて、美肌の散乱特性や分光反射率特性などの光学研究が数多く展開され、これらをベースにした技術提案がなされている[1]。提案技術は、特に(2)のファンデーションの質感改善において、一定の成果をもたらした。しかし、(1)と(2)の機能が光学的には相反することから、従来研究の多くが、カバーの対象となる色むら等の光学特性と、質感に関わる光学特性の議論を個別に扱う場合が多かったため、質感の改善に成功してもカバー力の観点では不満が残る等の課題があった。本研究では、この課題を受けて、肌の“あら”，特に色むらの光学的性質に着目し、これを自然な質感を可能な限り損なわずにカバーするための「分光カバー法」の概要を論ずる。加えて、その知見に基づいた分光カバーを実現するマテリアル設計について論ずる。

2. 肌の光伝搬過程

素肌らしい質感は、肌の光透過性に強く関連している[2]。肌に入射した光は、図1に示すようにその多くが肌内部に浸入する。浸入した光は、メラニンやヘモグロビンによる吸収、コラーゲン等による高度な散乱を受けながら肌内部を伝搬し、最終的にその一部が肌外部に放射される[2]。この光伝搬過程の結果である「半透明性」は、素肌特有の質感（透明感）を生み出すものと予想される。実際、物理的な「半透明性」と

主観的な「透明感」の関連性を評価した結果、これには相関が認められ、この予想が実験的に確認された。

この肌特有の半透明性は、ファンデーションを塗布することで阻害されるため、肌特有の質感が損なわれる傾向にある[1]。ファンデーションの必須機能は、肌内部に存在するメラニンやヘモグロビンに由来する色むらをカバーすることである。そのため、高屈折率の色材を配合することで、光透過性を抑制するように設計される。その結果、ファンデーションのカバー機能は、素肌らしい質感を損なう原因となる。以上から、前項(1), (2)の機能を両立するには、肌内部への光透過性を可能な限り維持しながら、色むらをカバーする手法を検討することが求められる。

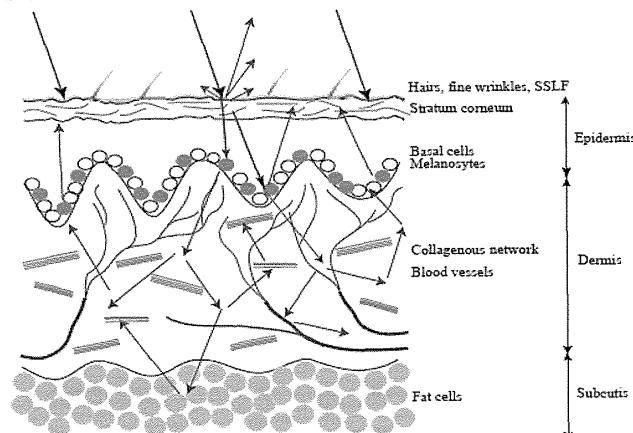


図1 肌における光の伝搬過程[2]

3. 肌テクスチャのスペクトルイメージング評価

色むらの光学特性の波長依存性に着目することで、光透過性を可能な限り阻害することなく、効果的なカバーを実現できる可能性がある。図2に示すハイパスペクトルイメージングセンサー (V8 JFEテクノリサーチ製) で計測した素顔の分光画像（抜粋）の例からわかるように、色むらの現れ方には波長依存性が認められる。特に、600nm以上になるとその現れ方は短波長側と比べて抑制される。スペクトルの解析から色むらにはメラニンとヘモグロビンに由来する2タイプが主であったが、特に、メラニン由来の場合、短波長ほどスペクトル画像上の目立ちが顕著であった。

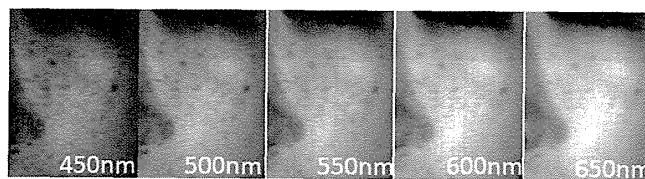


図2 素肌のハイパースペクトル画像 (波長抜粋)

これらの原因を検討するためモンテカルロ法を用いた光伝搬シミュレーションを行った。その結果、短波長光は肌の表層部に浸入後、深部にいたらず再放射されること、色むらの主要因であるメラニンは表層部に存在するため、短波長光ほどメラニンの空間分布の不均一性（色むら）情報を多く含むためと考察された。

4. 統計的顔画像処理を用いたカバー波長帯の検証

開発した主成分分析をベースにした顔テクスチャ操作技術（固有空間フィルタリング）[3]用いて、前項で予想した波長選択性のカバー法の効果を検証した。本実験では肌テクスチャに特化した評価を行うため、統計学習用データとして、顔画像データベース[4]の顔形状（日本人女性100名）をすべて平均顔形状に正規化したもの用いた。図3は、固有空間において、肌の“あら”の多くが高次成分として表現されることを利用し、R・G・Bの各色成分に対して固有空間フィルタリングを適用後、カラー画像に再構成した結果である。予想通り、B、Gに操作すれば色むらは抑制できることが分かった。また、その効果はGで最も大きいことがわかった。これは、G帯域（中波長）が明るさのコントラスト感度に優れることに由来すると考えられる。

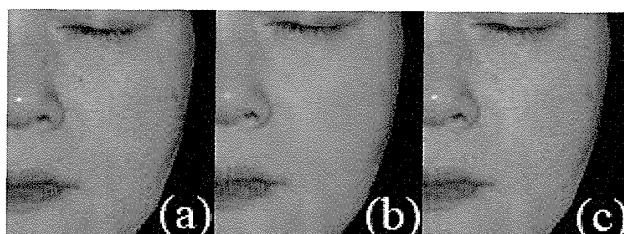


図3 固有空間フィルタリングによるカバー力の波長依存性シミュレーション: それぞれ(a) B, (b) G, (c) R成分にフィルタリングした後に再構成した画像

5. 分光カバーの設計とその具現化

前項までの議論から、色むらカバーは600nm以下の波長帯域に特化すればよく、それより長波長光は透過させてよいと予想される。この予想に基づいて、波長選択性のカバー効果を実現するマテリアルを光学設計した。本設計では、光の波動特性を無視できない場合がありうるため、Maxwell電磁場方程式を逐次的に計算し波動特性を正確に表現するFinite difference time domain (FDTD)法を採用した[2]。一連の設計から、

- ・微粒子を板状の低屈折率体に内包分散させること
 - ・内包率には適正濃度が存在すること
- が必要であることが分かった（図4）。

以上の設計に基づいて調製したファンデーション用紺体の透過特性 (BTDF) を評価した結果、設計紺体が

- ・短中波長を効果的に吸収すること
- ・従来のカバー顔料よりも透過性を高く保つことを確認した。実際に、設計紺体を配合したファンデーションを塗布した肌のスペクトル画像評価から、効果的に色むらを抑制できていることが確認された（図5）。

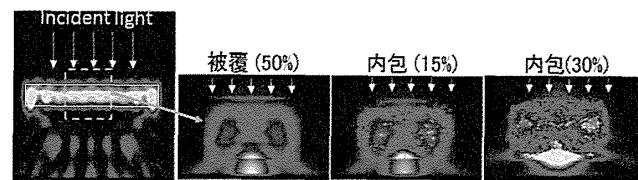


図4 FDTD法による光学シミュレーション

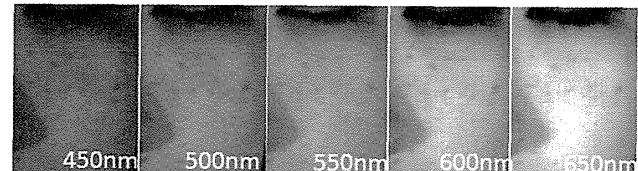


図5 試作ファンデーションのハイパースペクトル画像（図2と比較して色むら目立ちが改善している）

6. まとめ

本報では、光学・画像評価から、カバーの主対象である色むらが短中波長帯域で現れることを示した。この評価結果をベースにして、従来よりも透過性に優れながら、色むらを効果的にカバーする分光カバーを実現するファンデーションを設計したことを論じた。今後も、肌の光学・画像評価と実際の製品設計（モノづくり）が密接にリンクした研究開発により、高い次元でカバーと質感を両立する化粧品の実現につなげたい。

- [1] T. Igarashi: Optical Properties of Cosmetic Foundations, *J. Soc. Colour Mater.*, 85 (2012) 156-163
- [2] T. Igarashi, K. Nishino, and S.K. Nayar: The Appearance of Human Skin, Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, 3 (2007) 1-95
- [3] J. Moriguchi, T. Igarashi, K. Nakao and Y-W. Chen: Dual-Subspaces based Quantitative Analysis of Facial Appearance, Proceedings of 2nd Int. Conf. on Software Engineering and Data Mining, Chengdu, China, (2010) 652-656
- [4] 五十嵐崇訓, 中尾啓輔, Xu Qiao, 陳延偉: 多視点・多照明化粧顔画像データベースの構築と化粧品開発への応用, *日本顔学会誌*, 12 (2012) 29-43