

構造色原理を用いた光学機能性粉体と化粧品の開発

美崎栄一郎

化粧品に求められている機能は、安全と美である。筆者らの開発しているメイクアップ化粧料においては、お客様が求めている化粧仕上がりを実現する光学機能を持つ粉体の開発が求められている。

本稿では美肌を再現する化粧品用粉体の開発事例を紹介するが、上記を意識した開発を行うにあたり、構造色の原理に着目した。つまり、構造色を自由に操ることができれば、同じ安全な素材の組み合わせにより、新しい機能を持つメイクアップ化粧料を作ることができる可能性があるからである。

今回は、パール顔料という薄板状の機能性粉体による構造色の制御を研究テーマとして、いろいろな検討を行った。その結果、構造色により付加価値を付与したパウダーファンデーションとして実際に商品展開することに成功した。

メイクアップの基礎となるファンデーションを使用するお客様のニーズとして、ファンデーションを使うことで、よりキレイな肌、キレイな印象の再現、その結果、何歳か若返ったように見せたいというものがある。若い肌の見え方を定量的に評価することは難しく、一般的には、官能評価を用いて試行錯誤することで化粧品開発は行われてきた。しかしながら構造色を用いる場合、この試行錯誤をするのではなく、理想とする色が分かっているのであれば、その構造を設計することができるはずである。

ここで筆者らの新たな試みを紹介したい。理想とするキレイな肌を持つモデルを多視点で観察することにより、その美肌の一面を抽出、定量化し、メイクアップファンデーション開発の指針とし、キレイな印象の再現を試みることにした。その指針を元に、構造色を有するパール顔料を設計し、再度、多視点で定量的に検証する手法である。

本稿では、その開発の中でも、特に素材設計に注目して紹介する。パール顔料の構造設計するための光学シミュレーション手法の開発を行った。どんな構造のパール顔料がどういう色調を発色しうのかを予測できるようにし、その設計に基づき、従来にないベースメイクの求める理想的な色変化をするパール顔料を実際に創造した。従来にない発色の素材であるが、構造色を使うこと

で、安全でかつ従来の色素では再現できなかった美しい化粧仕上がりを実現できている事例について紹介する。

開発目標の設定

多視点画像解析システム^{1,3)}により定量的な開発目標を設定した。多視点画像解析システムの写真を図1に示す。人間の肌は、見る角度により、その見え方が変わることが知られているが、本システムによりその状態を詳細に知ることができる。一方、構造色を持つ素材も見る角度により、その見え方が変わることは公知で、たとえば、パール顔料などでは変角分光測定機により見え方をさまざまな角度から測定している。今回の多視点画像システムにより、構造色素材と同様の変角測定が人間などの動体に対しても可能となり、多視点での顔全体の印象がすべてのカメラを同期させることで同瞬間かつ定量的に（表情の変化などの形状変化なく）イメージベースで容易に取得できる。多数のカメラを設置し同時に撮影することで、動体も確実に評価できる。

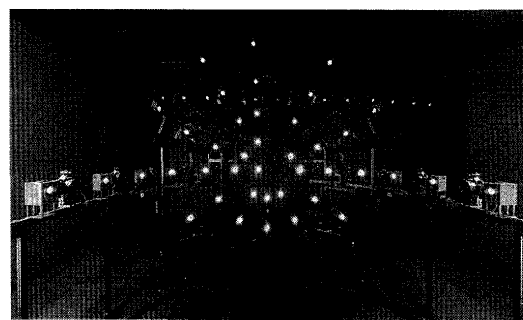


図1. 多視点画像解析システムの概要

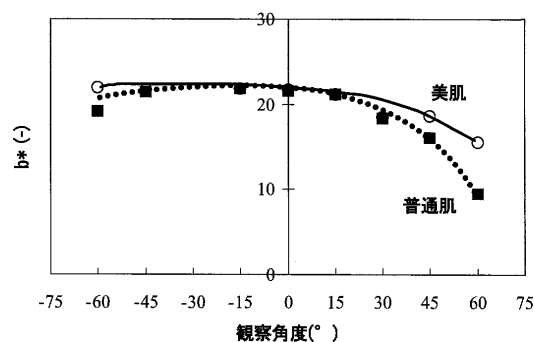


図2. 美肌と普通肌の測定結果

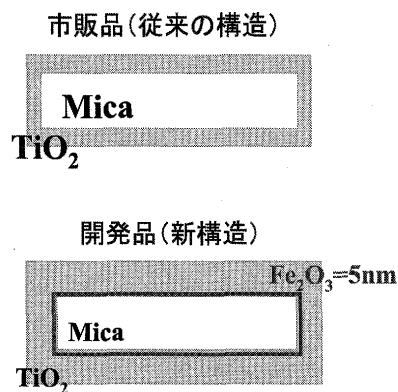


図3. パール顔料の構造

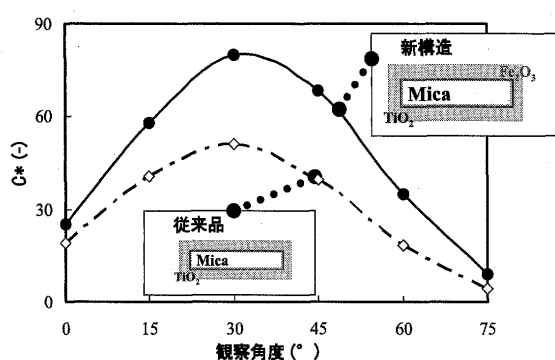


図4. パール顔料の光学シミュレーション結果

この装置を用いて、美肌の被験者と普通肌の被験者を測定した結果が図2である。図2より、美肌と普通肌の光学物性として、正反射領域での彩度変化に特徴があることが判る。すなわち美肌は、正反射領域で肌色の彩度を失わず観察角度に対して滑らかな色変化をするが、普通肌では彩度が低下する傾向が明らかとなった。普通肌に対して、正反射領域での肌色の彩度を付与し向上させることを本研究の定量的な材料開発指針とし、美肌の再現を試みることにした。

光学材料の設計と開発

正反射領域で発色する構造色の光学材料は、パール顔料が古くから知られている。そこで、著者らは美肌の彩度変化プロファイルを再現する光学材料として、パール顔料の構造設計を試みた^{2,3)}。構造色を持つ材料の製造は、原理上その組み合わせにより発色が異なるため、実際にトライアンドエラーをしてモノ作りするのは多量の試作を繰り返す必要がある。そこで、筆者らは光学シミュレーションにより構造色を予測する技術の開発をまず検討した。その結果、美肌を再現する彩度変化を有するパール顔料としては、酸化鉄層を数ナノレベルで内層に有する構造が高彩度の肌色(金色)を実現可能で

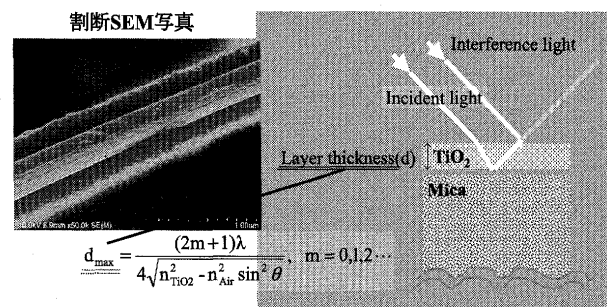


図5. パール顔料の断面SEM写真と原理

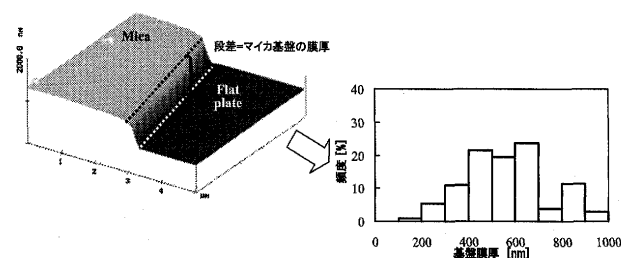


図6. マイカの膜厚分布

であると予測した(図3, 図4)。

従来のパール顔料の構造色予測手法は、分光スペクトルレベルでは実測値と一致させることが困難であった。筆者らが検討した結果、1) 基盤の膜厚分布の考慮、2) 吸収を考慮した屈折率の採用、3) 板状粒子の配向性の考慮、4) すべての干渉層を考慮、が重要なポイントであると判ったので、従来モデルに上記項目を追加した。簡単に各項目を説明する。

基盤の膜厚分布の考慮 パール顔料を断面・撮影したSEM写真を図5に示す。従来のパール顔料の設計手法では基盤膜厚を無限大と仮定し表層のみをシミュレーションするが、図4より、基盤となるマイカの厚さは有限であり、従来シミュレーションが正確ではないことが推測される。粒度にバラつきがあるように膜厚もバラツキがあると思われる。そこで、図6に示したように、実際にマイカ基盤の厚さをAFMにより定量的に計測した。膜厚分布の測定結果も図5に示した。このように、実際にパール顔料の基盤となるマイカの膜厚分布をシミュレーションに取り入れることにより、たとえば一般的なゴールドパールシミュレーション結果と実測結果を分光反射率曲線で図7に示した。両者を比較すると、基盤の膜厚分布を考慮することで正確な予測ができるようになることが判る。

吸収を考慮した屈折率の採用 筆者らが設計したパール顔料には、酸化鉄のような有色材料も含まれており、光の吸収効果も考慮するべきである。そこで、図8

特 集

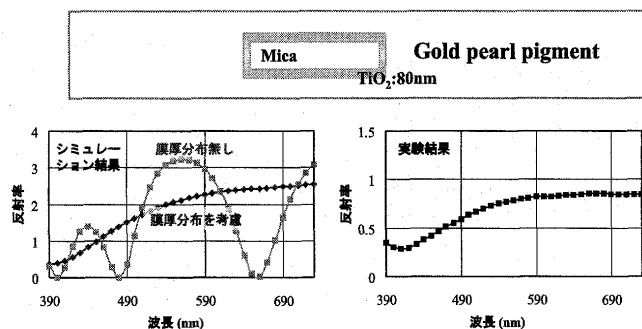


図7. 膜厚分布を考慮したシミュレーション

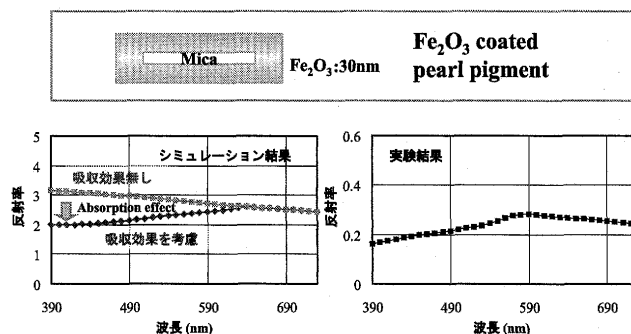


図9. 吸収効果を考慮したシミュレーション

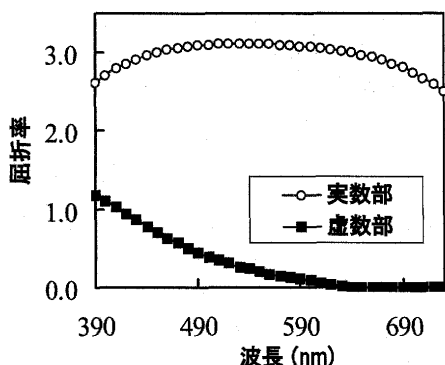


図8. 酸化鉄の屈折率

に示したように、吸収を考慮した複素屈折率を用いてシミュレーションすることにした。酸化鉄は短波長側の吸収効果があるため、シミュレーション結果は図9のようになり、複素屈折率の導入による影響も確認できる。

すべての干渉層を考慮

従来のパール顔料のシミュレーションでは、マイカ基盤を無限大の厚さと仮定するのが一般的であったため、マイカ基盤の上層部のみの干渉層のみを計算していることが多かったが、筆者らの研究においては、マイカ基盤の裏側に関しても実際は干渉効果や吸収効果が存在するため、すべての層を考慮した計算を行うことにした。

以上の光学シミュレーションにより、最適な構造を決定したところ、図4のような高彩度なパール顔料が得ら

れることを予測された。そこで、設計通りの構造のパール顔料を試作した結果、計算結果通りの市販品のパール顔料に比べて高彩度なものが得られた。なお、本高彩度パールを配合したパウダーファンデーションの評価は、狙い通りの効果（正反射領域での彩度向上）を有していることは確認しており、美肌を再現するということも調査の結果、認知されており弊社の商品にもすでに配合展開している。

おわりに

構造色を自在に操れるようにパール顔料の設計手法を検討し、高彩度のパール顔料の事例で簡単に紹介した。構造色は無限の可能性があり、マイカや酸化鉄や酸化チタンのような既知の安全な化合物も、高機能化することができる。構造色は自然界に存在している面白い現象であり、光を操る化粧品の開発においては非常に興味深い研究対象と言える。安全で高機能なユニークな機能を持った構造色を利用した顔料が各社により開発されており、今後の発展が楽しみな分野である。

文 献

- 1) 美崎栄一郎ら：第96回日本画像学会研究討論会要旨集，p. 45 (2005)。
- 2) Shiomi, H. *et al.*: *Abstr. FATIPEC Congress* (2006)。
- 3) Misaki, E. *et al.*: *Abstr. IFSCC* (2006)。