多視点画像解析システムの開発と化粧品への応用

Development of Multi-Angle Image Capturing System and Industrial Application for Functional Cosmetics

美崎 栄一郎,^{a,b} 塩見 浩之,^a 五十嵐 崇訓,^a 中尾 啓輔,^a 押谷 潤^b

Eiichiro Misaki, Hiroyuki Shiomi, Takanori Igarashi, Keisuke Nakao, Jun Oshitani

Received 16 May 2008 ; Accepted 9 July 2008

Make-up cosmetic consisting of dispersed pigments such as titanium dioxide, iron-oxide and pearlescent pigments is one of the coloring materials. Quantitative estimation of the effect of make-up cosmetic has been a very challenging problem because the effect is very dependent on the properties of human skin.

In order to evaluate the appearance of make-up skin quantitatively, we have developed the multi-angle image capturing system that has 21 digital cameras and 40 light sources that are mounted on a hemispherical gantry, and the images of object under the multiple views are captured simultaneously.

Using this system, we compared the color changes dependant on the observation angle between aged skin and beautiful skin, and then we found some differences in the specular region. Based on this result, we attempted to develop a coloring material which can give higher chroma in the specular region.

Keywords : Multi-angle image capturing system, Appearance, Skin, Cosmetic, High chroma, Pearlescent pigment

1. 緒 言

古くから日本では、「おしろい」や「べに」などの化粧品で装うことが行われており、肌を美しく見せることは、重要な価値観の一つであったと言える。そのような歴史的な背景もあり、メイクアップ化粧料の日本における市場規模は、5000億円に迫るとも言われている。さらに、日本においては肌を美しく見せるために使われるベースメイクアップ化粧料のニーズが高く、本研究の対象でもあるベースメイクアップ化粧料のファンデーションの市場規模はその約半分の割合である。「色の白いは七難隠す」ということわざが語り継がれるほど、肌を美しく見せることは、古くから

ニーズがあったと思われる^{1, 2)}。

肌を美しく見せる機能の実現には、古くは、無機顔料により単純に色を補正するということが行われていた。具体的には、酸化チタンや酸化鉄を用いて、白色、赤色、黄色、黒色を組み合わせ、肌色を作り、酸化チタン等が持つ隠蔽力で肌自体を無機顔料で覆って均一感を見せるという手法である。感触などの制御には、マイカやタルクなどの板状粉体やナイロンやシリカなどの球状粉体などを組み合わせる使用。ベースメイクアップ化粧料として必須である肌の上での滑りが良く、肌への付着性も持つ物性はこのような感触の制御のために使用されている粉体の特性によるところが大きい。感触の制御に関しては、粉体工学の技術を利用して様々な検討^{3~5)}がなされている。

さらに、肌を美しく見せたいという消費者ニーズに対しては、現代のベースメイクアップ化粧料において、光学機能性粉体^{6~11)}によるところが大きい。毛穴やニキビ等の凹凸情報を含んだ素肌のベースに対して、凹凸を目立たないように見せる。しみやそばかすという色情報を含んだ素肌のベースに対して、その色

a 花王株式会社 メイクアップビューティ研究所

(〒131-8501 東京都墨田区文花2-1-3) TEL 03-5630-9479
Makeup Beauty Laboratory, Kao Corporation
(2-1-3 Bunka, Sumida, Tokyo 131-8501, Japan)

b 岡山大学 工学部 物質応用化学科

(〒700-8530 岡山市津島中3-1-1) TEL 086-251-8086
Department of Applied Chemistry, Okayama University
(3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530, Japan)

むらを目立たないように見せるなど様々なアプローチで機能性粉体の開発がなされている。具体的には、光拡散性によって色ムラや凹凸ムらをばかして見えにくくする技術は、中村ら⁶⁾のソフトフォーカスの考え方を始め数多く研究されている。例えば、毛穴を隠蔽する技術としては、粒子設計技術により異なる素材の複合効果を利用したものも多い。伊藤ら⁷⁾によるジルコニア／シリカ／酸化チタン複合球状粉体は、異なる屈折率の物質を複合化し、仕上がりの制御に応用している。また、薄片状粉体であるマイカを基盤にして、さらに高屈折率の酸化チタンや酸化鉄等の無機顔料を積層することにより生ずる干渉色を利用するパール顔料は、古くから化粧品に応用されている。野口ら⁸⁾によると、雲母表面に黒酸化鉄を被覆することで、干渉色の色調が異なるパール顔料で、さらに有色の磁性色材として応用できることも報告されている。鈴木ら⁹⁾の報告では、酸化チタンのみで干渉色を持つ膜厚制御技術により、酸化チタンの薄片により高彩度な色調を有するパール顔料も開発されてきている。

このように、機能性粉体の開発は日進月歩で進んでいるが、開発材料の評価は定量的に行うことが困難であった。粉体開発の立場では、開発材料の評価は、できるだけ定量化して評価軸を固定して行うことが望ましい。すなわち、人工的な評価ツールで、完全に肌の見え方を再現できるのが理想であるが、人工皮革等では人の肌の見え方を正確に再現することは難しい。そこで、様々な光学評価ツールを使って、開発した材料を多面的に評価することが常であり、光拡散性や色、見え方の角度依存性等を様々な評価装置を使って定量化している。しかしながら、それらの測定装置の結果では、化粧仕上がりや可視化することはできないため、最終的には、実際に作製した化粧料を女性の顔に塗布し専門のパネラーにより目視で評価することが、化粧品開発の現場では主流であった。

そこで本研究では、化粧品における商品開発を効率化し、材料開発や処方開発の一助となるような計測システムを構築することを試みた。システムの開発にあたり、人間がモノを見てその質感を判断するときには、視点を変えることで認識している、つまり様々な角度から観察することで我々は人の印象を判断していることに着目した。このことは、光学的には、光源と観察者の位置を変えて評価しているということになり、この状況を再現でき、記録として蓄積することのできる撮影システム（多視点画像解析システム）を構築することにした。本システムは、様々な応用の可能

性があるが、本研究では、光源と視点を変えるとときに生じる基本的な肌の特性である肌のつや、特にそのつやの色（画像より算出した L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* ）に着目した結果について述べる。肌の明るさを示す L^* や肌の鮮やかさを示す C^* すなわち、色材の開発に対応させるべく、肌の色に関する情報を本システムにより取得することを試みた。具体的には、本システムにより、実際に美肌を有する被験者の素肌画像を取得し、さらに普通肌の被験者の肌画像と比較し、肌のつや色の角度による変化を調べた。両者の違いを明らかにし、その差を埋める光学機能性粉体（高彩度パール顔料）の開発に対する指針を導いた。

2. 多視点画像解析システム

異なる視点で人の顔画像を取得できるように、多視点画像撮影システムを装置設計した。本システムにより、色材を評価するときに使用される変角分光測定機と同様の変角測定、すなわち、光源と観察地点を変えての測定が、人間に対しても画像ベースで可能となる。装置の概観写真を Fig. 1 に示す。具体的には、21 台の 600 万画素の一眼レフデジタルカメラ（Nikon 社製 D70）と 40 台の光源を配置した画像撮影装置であり、その特徴を以下で示す。

2.1 カメラとライトの設置位置

デジタルカメラとライトは測定被験者を中心とした半径 1.5m 球面座標に準拠して 15° ピッチで配置した。被験者の顔の真横まで撮影できるように、装置概寸は、直径 3m の 1/4 球とした。髪などの背面を評価したい場合は、被験者の座る方向で対応できる。デジタルカメラの設置は、被験者の顔正面の高さに被験者を中心として 0 度～180 度に 15° ピッチで 13 台配置し（Fig. 2）、被験者を見下ろす視点位置にも 7 台設置している。髪などを撮影する際に有効であり、中心のカメラから 15° ピッチになるように上方に配置している。被験者の撮影に使用するカメラは前述した 20 台であり、さらにもう一台設置している 21 台目のカメラは、撮影環境がすべて映る離れた位置に配置し、撮影時の環境を記録するために用いた。これにより、光源の不具合等があったときに、確認することができる。光源も同じく半径 1.5m 球面座標に準拠して 15° ピッチで 40 台配置した。カメラ及び光源の光軸は、すべて球面座標の中心（被験者のいる位置）を向くように設計した。被験者の顔に均一な照明を当てるためにライトボックスには、低角度に広がる拡散フィルターを設置し、照度ムラが生じないように工夫し

Fig. 1 Photograph of multi-angle image capturing system

Fig. 2 Schematic diagram of multi-angle image capturing system

Fig. 5 Close-up photographs of the left cheek with different complexions

た。

2. 2 光源の選択と調整

光源は、色温度 4700K の市販品のハロゲンライト（フィリップ社製 AKN/5EZ-47K）を用いた。市販の

ハロゲンライトではライト 1 個 1 個の分光スペクトルの同一性は保証されていないため、同電圧を印加してもライト個体間で分光スペクトルが一致しないことが分かった。そこで、Fig. 3 に示したように、ライトへ

Fig. 3 Luminescence spectra of lights

供給する電圧により、分光スペクトルが変化する特性を個々のライトで確認した上で、ライトへの供給電圧を調整して、システム上のすべてのライトの分光スペクトルを一致させて使用した。直径 3m の半球状に光源を設置しているため、光源の制御盤までの配線は 20m 以上と複雑化しており、配線による電圧降下の影響が大きかったが、システム上で分光スペクトルを測定しながら電圧調整して精度を保った。

2. 3 装置設置場所と装置材質

迷光による誤差を抑えるため、撮影システムは暗室に設置し、装置周辺の素材に関しても黒を基調とすることで光の反射を極力低減させた (Fig. 1)。また、強度設計に留意し、撮影装置自体の変形が無く角度精度上も問題がないことも確認している。

2. 4 カメラ制御システム

複数台のカメラで同時撮影するために、専用のソフトウェア (ニコンシステム社製 Pixcruiser マルチカメラ制御) により USB 接続により遠隔制御するシステムを構築し、1 台の PC で複数台のカメラのコントロールを可能とした。1 台の PC で 1 台のデジタルカメラを制御することを前提に既存のカメラ内部ソフトウェアは設計されているため、複数台の同期に関してはニコンシステム社の協力により実現した。本制御システムにより、複数台のカメラを同期して同じ瞬間に撮影することが可能となった。1 台のカメラを用いて、何回かに分けて、撮影する方法も検討されてきたが、人の顔といった動きを持つ被写体では、例えば、表情や顔の微妙な角度などの違いによる誤差が生じやすかったが、本システムでは「同じ瞬間」の多視点画像を取得できるようになった。

3. 実 験

撮影実験は、被験者を多視点画像解析システムの光軸の中心に座らせ、光学条件を一定にして行った。被

Fig. 4 Flow of image data analysis

験者には、美肌の被験者と普通肌の被験者を 10 名ずつ測定し、平均的な 2 名の結果を代表値として記載した。10 名の画像からデータを平均化することも出来るが、それでは、実在しない仮想肌になり、データの解釈も難しい。本論文では、代表値のみを比較する。ここで、美肌の定義は、弊社の専門パネラー 5 名が目視で評価し、美肌であると意見が一致した被験者 10 名を選抜した。普通肌のモニターは、特に選抜は行わず無作為に抽出した。評価は入射光 30° で光を被験者の左頬部に当てて、撮影角度 -60° ~ 60° で撮影した画像を用いて行った。人の肌は、鏡のような鏡面ではないので正確な表現ではないが、本実験では、15° ~ 60° の撮影画像を正反射領域、-15° ~ -60° の撮影画像を拡散反射領域と定義した。なお、入射光を 15°, 45° のように変化させても傾向は同様であることを確認しており、ここでは、入射光 30° のデータのみを示した。ベースメイクアップすなわちファンデーション用の顔料開発の指針として利用を考慮して、目鼻や顔の形状などの形状因子を排除するために、撮影画像の肌頬部を 128x128pixel で切り出して評価した。具体的には、Fig. 4 に示したフローで、画像データから得られる RGB 値を γ 補正し、全ての pixel を平均化した後で、 L^* , a^* , b^* へ換算した。彩度 C^* は、 $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$ として求めた。肌の測定値であるため、 L^* , a^* , b^* , C^* 値は、それぞれ、肌の明るさ、赤さ、黄色さ、鮮やかさを代表していると考えられる。

Fig. 6 Relationship between L^* and angle at viewpoint

4. 結果と考察

多視点画像解析システムにより、まず、美肌と普通肌の変角特性を調べた。代表的なデータを Fig. 5 に示す。被験者の左頬に対して、 -30 度の位置から光を当て、観察角度 X を様々に変えて撮影している。画像で比べると、拡散反射領域では、美肌と普通肌の差はあまり感じられないが、正反射領域で普通肌は、画像が白く抜けて肌の色が失われて見えることが分かる。一方、美肌は、正反射領域でも肌の色の彩度が失われず、拡散反射領域での画像に近いことが分かる。このように、画像で比較すると数値化する前に、両者の印象の違いを簡単に把握することが出来る。

次に、Fig. 5 の画像より、 L^* 、 a^* 、 b^* を算出して、Figs. 6~8 に示す。Fig. 6 は、 L^* の観察角度依存性であり、視点を変えたときの肌の明るさを定量的化したものと考えられる。美肌の光学的な物性として、普通肌より明るいという一般的な結果が確認できるとともに、正反射の領域に注目すると、その明るさの数値は逆転しており、美肌の明るさは普通肌より低いことが分かる。美肌は、視点を変えたときに、どの角度でも明るく見えるが、角度による変化は少ないことが分かる。逆に、普通肌は、美肌に比べ、明るさは全体的に劣るが、正反射領域において急激に明るくなることが示されている。すなわち、角度を変えて肌の明るさを観察することで、両者の違いを明確にすることが可能である。

Fig. 7 は、 a^* の観察角度依存性を示す。視点を変えたときの肌の赤さを定量的化したものと言える。両者ともに、観察角度が大きくなる領域、すなわち、正反射領域で、赤みが減少していく傾向が見える。光学的には、肌の内部に光が透過し、光が肌の赤い色素に

Fig. 7 Relationship between a^* and angle at viewpoint

吸収されることで、撮影した画像では赤みが見えていると考えられるが、正反射の領域では、肌表面で光が反射してしまうことで、肌自身の色、この場合は赤みが減少すると考えられる。美肌と普通肌の両者ともに、同じ傾向が見られるが、普通肌の方が、 a^* 値の観察角度による変化量は若干大きく、美肌は、赤みの角度による変化も緩やかであるということが分かった。

Fig. 8 は、 b^* の観察角度依存性であり、視点を変えたときの肌の黄みを定量的化したものと言える。Fig. 7 と同様の傾向が確認できる。すなわち、両者ともに、観察角度が大きくなる領域、すなわち、正反射領域で、黄みが減少していく傾向が見える。また、美肌に比べ、普通肌は b^* の減少量が大きく、正反射領域で、肌の黄みが失われて見えることが確認できる。一方の美肌は、 b^* 値の観察角度による変化量は緩やかであるということが分かった。 b^* 値が大きい場合が、より鮮やかな色であることから、美肌は、よ

Fig. 8 Relationship between b^* and angle at viewpoint

Fig. 9 Relationship between C^* and angle at viewpoint

り肌の黄みの色が鮮やかに見えており、さらに、正反射領域においても、色みを失わないために、見た目の印象として、滑らかに色が変化するように見えると言える。

また、 a^* 、 b^* より彩度 C^* を計算して、Fig. 9に示す。Fig. 5の画像でも示されているように、美肌と普通肌の光学的な物性として、観察角度60度付近の領域、すなわち正反射領域での彩度の変化に特徴があ

ることを見出した。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、滑らかに色の変化をすることが明らかとなった。この結果より、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ができれば、美肌を再現できることが示唆された。

5. 結 言

多視点画像システムを開発・運用することにより、異なる視点から得た画像データをベースに用いた新しい化粧品の開発プロセスが実現できるようになった。本システムを用いることで、画像データを基に目標とする化粧仕上りの定量化、すなわち開発指針の数値化が可能となった。さらに、開発した光学材料を配合したファンデーションの効果も、同じ評価軸で量的に行えるようになった。すなわち、この多視点画像解析システムを用いることで、化粧品の開発で行われてきた目視による目標設定および評価と光学材料開発および設計とを繋げることが出来るようになり、美肌を再現する光学機能性粉体の設計指針を導くことに成功した。

Nomenclature

a^* : a^* value	(-)	n : output	(-)
b^* : b^* value	(-)	w : wavelength	(nm)
C^* : chroma	(-)	X : angle at viewpoint	(degree)
L^* : lightness	(-)		

References

- SHISEIDO Institute of Beauty Sciences : "The Psychology of Cosmetic Behavior", *FRAGRANCE JOURNAL* (1993)
- Murasawa, H., et al. : "Hadairo wo motto kireinisuru hon", POLA Reserch Institute of Beuty & Culture (1999)
- Misaki, E., et al. : "Development and Application of Single-wire-sliding-type Friction Tester for Cosmetics", *J. Soc. Powder Technol., Japan*, **44**, 19-23 (2007)
- Nonomura, Y., et al. : "The Internal Structure and Tribology of Calcium Lauroyl Taurate", *Chemistry Letter*, **2**, 216-217 (2002)
- Nonomura, Y., et al. : "Physical Properties of Lamellar Crystalline Powder and Application to Cosmetics", *J. Japan. Soc. Colour Mater.*, **75** (11), 525-529 (2002)
- Nakamura, N., et al. : "Blurring of Wrinkles Through Control of Optical Properties", *J. Soc. Cosmet. Chem., Japan*, **21** (2), 119 (1987)
- Ito, M., et al. : "Optical Characteristic of Zirconia Coated Spherical Complex Silica and Application to Cosmetic Foundations", *J. Soc. Cosmet. Chem., Japan*, **34** (2), 166 (2000)
- Noguchi, T., et al. : "Crystal Analysis and Magnetic Characteristics of Black-Iron-Oxide-Coated Mica", *J. Japan. Soc. Colour Mater.*, **70** (6), 359-368 (1997)
- Suzuki, F., et al. : "Preparation and Optical Property of Titanium Dioxide Flake as a Novel Iridescent Material", *J. Japan. Soc. Colour Mater.*, **80** (3), 359-368 (2007)
- Yagi, K., et al. : "Optical Rejuvenating Makeup Using An Innovative Shape-controlled Hybrid Powder", IFSCC Conference, Florence (2005)
- Kubo, H., et al. : "Development of the powder for cosmetics with supercritical carbon dioxide", *Soc. Chemical Engineers, Japan*, **1**, 38-40 (2004)