

コスメチック分野における分光測色計および色彩色差計を用いた定量評価

編集部 取材協力：コニカミノルタジャパン(株)、カネボウ化粧品(株)、(株)ファンケル、花王(株)、ハリウッド大学院大学／ヘアカラーマスター検定協会

1. はじめに

化粧品や髪の色やつやの評価では視覚や触覚による官能検査が依然主流となっているが、人間の目は色と色を比較する能力に優れているものの、個人差があり記録性に問題がある。こうした主観・官能評価に対し、測定機器を用いて数値化することで客観測定を可能にする手法の確立が求められている。

ここでは、測定物の分光反射率から迅速で再現性の高い高精度な測色が行え、測色データが記録として残せるコニカミノルタの分光測色計および色彩色差計を用いて、化粧品やヘアカラーなどコスメチック分野における定量評価を可能にした事例を紹介する。

2. 色彩と測色計

色彩は、「色合い(色相)」H(Hue)と「明るさ(明度)」V(Value)、「あざやかさ(彩度)」

C(Chroma) という三つの要素(色の三属性)の組み合わせからなり、**図1**のように色相を外周、明度を縦軸、彩度を中心からの横軸とした立体として考えることができる。

この色相、明度、彩度に目盛りをつけることで色の数値化ができ、だれとでも共通に色彩に関するコミュニケーションができる。一般に、物体の色を体系的に表したものを「表色系」と言い、色を表現する三つの要素で示される空間のことを「色空間」と言う。

ここで、測色計を使えば、色の数値化が簡単にでき、各種表色系で瞬時に答えが出る。色を扱う現場で最も問題になるのは、微妙な色の違い(色差)だが、測色計があれば色差の微妙な違いも、数値で表すことができる。

$L^*a^*b^*$ (エルスター・エースター・ピースター)色空間は、物体の色を表すのに、現在あらゆる分野で最もポピュラーに使用されている表色系である。**図2**は、 $L^*a^*b^*$ 色

空間を立体的にイメージしたものである。

人間の目(目視)では同じように見えても、測色計で測ってみると微妙に違っていることがある。

分光測色計は、分光反射率係数の測定から色を算出するもので、色の数値化はもちろん、色の波長成分(反射率)をグラフ化して表示する。分光測色計では、物体から反射された光を回折格子等で分光し、これを複数のセンサーで受光して各波長の反射率(光の量)を測定し(**図3**)、グラフ化できる。

3. 化粧品関連の評価

3.1 メイクアップ化粧品の光学特性を考慮した化粧肌の分光反射率推定手法¹⁾

化粧品(ファンデーション、口紅)を素肌に塗布した肌(塗布肌)の色を扱うためには、塗布肌に影響する要因(1)化粧品の光学特性、(2)素肌の色、(3)素肌に塗布され

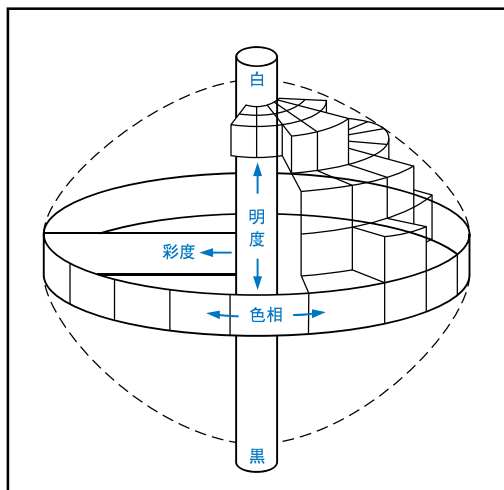


図1 色相、明度、彩度の立体図

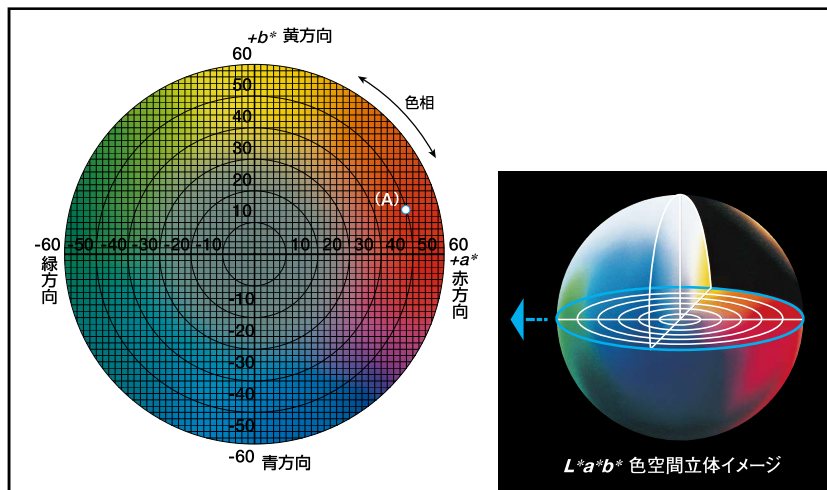


図2 $L^*a^*b^*$ 色空間



図3 分光測色計の原理

る化粧品の厚み)を無視できない。大規模化粧(カネボウ化粧品)らは、ファンデーション(FD)と口紅を対象とした塗布肌の分光反射率推定手法を提案している。本手法は、塗布肌への要因を考慮して分光反射率を推定するためにKubelka-Munk理論(K-M理論)に基づいている。K-M理論は、着色層のある厚さ方向の1次元的なモデルとして仮定し、着色層に含まれる顔料固有の光学特性(散乱係数、吸収係数)を用いて、ある厚さの着色層の分光反射率と分光透過率を推定する式(K-M関数)で定義している。

ここではFDと口紅の光学特性の違いと、各化粧品に対する塗布肌の分光反射率推定手法について口紅塗布唇の分光反射率推定手法を中心に述べる。なお、化粧品にはパール顔料が配合されている製品もあるが、ここではパール顔料が配合されていない化粧品に限定した推定法を紹介する。本研究で扱う分光反射率はJIS Z 8722条件cに基づくコニカミノルタ社製分光測色計「CM-2600d」(現在の後継機はCM-26dおよびCM-26dG)を用いて、可視光領域400~700nmの範囲を10nmおきに計測した。測定径/照明径は唇および口紅が ϕ 3mm/ ϕ 6mm、頬およびFDが ϕ 8mm/ ϕ 11mmとした。

検証実験では口紅塗布唇の分光反射率を

推定。実験サンプルは色みの異なる4色の口紅であり、推定した口紅塗布唇の分光反射率と実測値を図4(a)~(d)に示す。参考に、塗布前の唇の実測値(分光反射率)も示した。なお、唇の分光反射率に500~600nmにおいて肌特有の酸化ヘモグロビンに由来する吸収特性(W型の形)が確認できる。推定した口紅塗布唇の分光反射率と実測値はほぼ一致しており、本手法によって精度よく推定できることが示された。

FD塗布肌の分光反射率の推定手法は、口紅塗布唇の分光反射率推定法と異なり、K-M理論の基本関数を用いてFD塗膜の分光反射率と分光透過率を算出した。FDを対象とした実験では、色素沈着や赤みにFDを塗布した場合も精度よく推定できることを確認した。

本手法を応用すると、化粧品塗膜の厚みを変えた場合の塗布肌の色を予測することや、理想とする塗布肌の色を実現する化粧品の顔料や油剤の配合率を決定することも可能となる。

3.2 化粧持ちの良いパウダーファンデーションの開発と評価²⁾

化粧持ち効果を高める方法として、主にファンデーションなどに配合している粉体原料の表面に撥水・撥油成分で表面処理を施し、水や油からの濡れを防止する開発が

進められてきたが、完全に粉体表面に撥水・撥油処理を施すことは難しく、ファンデーションに配合した粉体が汗や皮脂で濡れることで肌がくすんで見えるという問題があった。

この問題に対し、住吉明希子(ファンケル)らは、粉体原料の濡れを防止するのではなく、ぬれても色調の変化が少ない無機着色顔料の合成を検討した。板状形状のレピドクロサイト型チタン酸リチウムカリウム(PLT)に鉄イオンをドーピングすることで、黄褐色から茶色の無機着色顔料

を合成することができた。この鉄イオンをドーピングしたPLT(FeドーピングPLT)をパウダーファンデーションの処方に配合し、顔に塗布した直後と5時間経過後での色調の変化を評価した。

色調変化の評価としては、合成物であるFeドーピングPLT(a)にスクワランを滴下していき、吸油点付近で滴下を止め、滴下前後のものをコニカミノルタ製分光測色計「CM-2600d」(現在の後継機はCM-26dおよびCM-26dG)を用いて測色を行った。また、化粧品の原料としてよく用いられる酸化鉄とタルクの混合物(b)、酸化鉄と板状硫酸バリウムの混合物(c)、酸化鉄とPLTの混合物(d)についても同様に測色を行い比較した。混合物はFeドーピングPLTと同じ色調になるように酸化鉄の量を調整して作製した。色調変化の測定の結果、FeドーピングPLTを用いた場合が最もスクワランでの濡れ前後の差が少なく、PLTと酸化鉄の混合物よりも色調変化が少ないことを確認した(図5)。

化粧持ちの評価として、FeドーピングPLTをパウダーファンデーションの処方に配合したサンプルA、パウダーファンデーションの処方にFeドーピングPLTを配合していないサンプルBをパネルに塗布し、塗布直後と5時間経過後の顔面について、コニカミノルタ製分光測色計「CM-2600d」(現在の後継機はCM-26dおよびCM-26dG)を用いて測色を行った。その結果、サンプルAのときは1.90で、サンプルBのときは2.59であり、5時間経過した後もサンプルAは光沢感が維持され、くすみが少ないことが分かった。

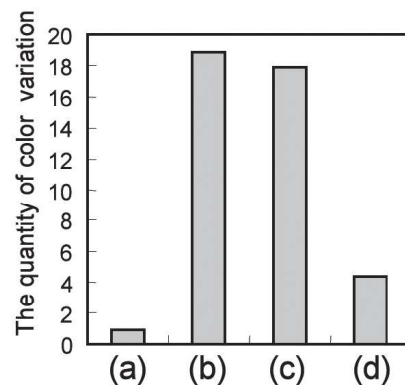


図5 油の濡れによる色調変化を評価するために合成物にスクワランを滴下し、滴下前後での色調を測定した結果：(a) FeドーピングPLT、(b) 酸化鉄とタルクの混合物、(c) 酸化鉄と板状硫酸バリウムの混合物、(d) 鉄をドーピングしていないPLTと酸化鉄の混合物²⁾

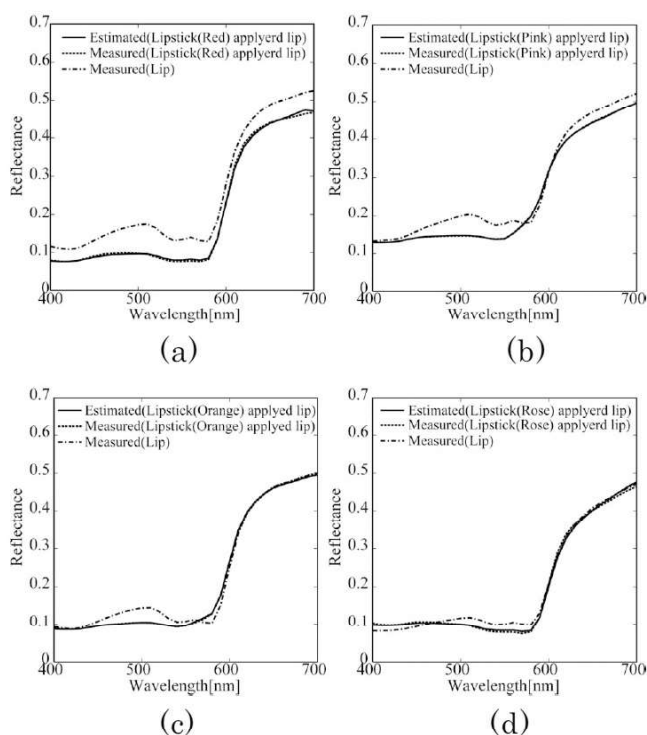


図4 推定した口紅塗布唇の分光反射率とコニカミノルタ社製分光測色計CM-2600dを用いた実測値¹⁾

4. ヘアカラー関連の評価

4.1 髪色と顔の似合いと魅力度評価³⁾

メイクや髪色の似合いは、装身を行う人の肌色や瞳の色といった色特性に加えて、その人の性格や職業といった社会的な特徴や、顔の形態的な特徴とそこから受ける印象といった色以外の視覚的な特長の影響も受けると考えられる。したがって、評価者が被評価者に対して持つ情報の深さによっても似合いの評価は変化し、評価結果は一時的には定まらないことが予想され、最も多くの個人的情報を持つ評価者、すなわち自分自身による評価と、被評価者を全く知らない他者による評価とは異なることが予想される。似合いは美容的判断の非常に重要な軸となっていることが経験的には理解されており、衣服の似合いにおける形容詞を用いた意味空間の検討や、色彩調和に基づいた色の似合いの研究が行われてきている。その一方で、色の似合い評価を系統的に調べた研究はあまりない。

そこで、三枝千尋(花王)らは、特に髪色の似合いに着目し、まず、髪色の似合いの判断が自己評価と他者評価でどのように異なるのかを検討した。続いて、髪色の似合いに影響する因子を似合う範囲の広い顔の特徴を検討することで物理的な色特性によらない髪色の似合い判断の要素を明らかにすべく研究を行った。

全員がヘアカラー使用者である東京近郊在住の日本人女性198名(20~59歳、平均年齢39.7歳)を対象として、会場での写真撮影、面接および調査票記入からなる調査を実施した。写真撮影は無彩色グレーの背景布を用い、一定の照明条件下にて実施した。また撮影条件はシミュレータに用いるモニター上に表示した際に実際に見える方と近い色になるように調査実施者が目視であらかじめ設定し、すべての写真撮影において同一の条件を用いた。会場にてコニカミノルタ製の色彩色差計「CR-400」で測色した髪色の平均値は $L^*=19.2$ 、 $a^*=5.0$ 、 $b^*=6.1$ (C光源・2°視野、髪表面の根元から15cm部を測定、有効データ数194)、肌色の平均値は $L^*=65.6$ 、 $a^*=12.5$ 、 $b^*=14.5$ (C光源・2°視野、小鼻脇の頬部の化粧を落として測定、有効データ数193)であった。

似合い評価においては会場にて撮影した正面顔写真を用い、美容シミュレータ上で参加者の現在の髪色を基準とし、色相を赤味または緑味に変化させた画像と、これらの画像の明度を明るく/暗くした画像8枚

をオリジナル画像と並べてモニター画面上に表示し(図6)、それぞれの髪色について似合い度を7段階尺度(1:似合う~7:似合わない)で評価させた。

髪色の似合い度評価の構造を①自己評価と他者評価の違い、②顔の感性評価との関連、③総合的な魅力度評価との関連から検討した結果、まず各髪色の似合い度の自己評価においては、現在よりも暗めで赤味のある色の似合い度が最も高く評価された。一方、自己評価と他者評価の比較では、他者の視点から見た場合には暗めの髪色は自分が思っているよりは似合わなく、明るめの髪色は自分が思っているよりは似合っていると評価される傾向が見られた。

顔の魅力度、顔から推定される年齢、メイク感の強さの評価と髪色の似合い度評価の相関分析からは、どのような髪色でも平均的に似合うとされる顔は「魅力度が高い」「メイク感の強い」顔であることが示唆された。特に顔の魅力度は赤味のある髪色の、メイク感の強さは色味によらず明るい髪色全般と赤味のある髪色の似合いと正の相関関係にあった。

顔から推定される年齢と髪色似合い度の高さには優位な相関は認められず、暗く緑がかった髪色でのみ非常に弱い正の相関が認められた。

4.2 美容室用ヘアカラーの色彩調査⁴⁾

多くの日本人がヘアカラーリングの経験

があるものの、ヘアカラーの色名を聞いて具体的な色みを想像できる人は少ない。そこで、中川登紀子(ハリウッド大学院大学/ヘアカラーマスター検定協会)は、ヘアカラーリングで汎用される色名と測色値との関係を明らかにすることを目的として、10社141色の美容室用おしゃれ染め酸化染毛剤を、アッシュ系・マット系・ゴールド系・オレンジ系・ピンク系・バイオレット系・ブラウン系・ベージュ系・ナチュラル系の九つの色のグループに分類し、色彩調査を行った。染毛剤の色の調査では、アッシュ系は青紫~紫、マット系は黄赤~青紫、ゴールド系は黄、オレンジ系・ブラウン系・ベージュ系・ナチュラル系は黄赤、ピンク系は赤、バイオレット系は紫の色相であった。毛髪に染色した時の髪色は、ほとんどが赤~黄赤の狭い範囲に分布し、一つのグループを明確に他のグループと見分けることは困難であった。しかし暖色(オレンジ系・ピンク系・バイオレット系・ブラウン系)と寒色(アッシュ系・マット系)の区別は比較的容易であり、暖色は毛髪の色より赤寄りの色相、寒色は黄寄りの色相であった。

染色後の髪色を確認する方法として、ブリーチ毛や黒髪に染色し測色する方法が一般的である。本調査ではメラニンの色の調査で使用した毛束から、ブリーチ毛としてM社26(重量1g、 $L^*:23.97$ 、 $a^*:6.02$ 、 $b^*:9.23$)、黒髪としてM社BK(重量1g、 L^*

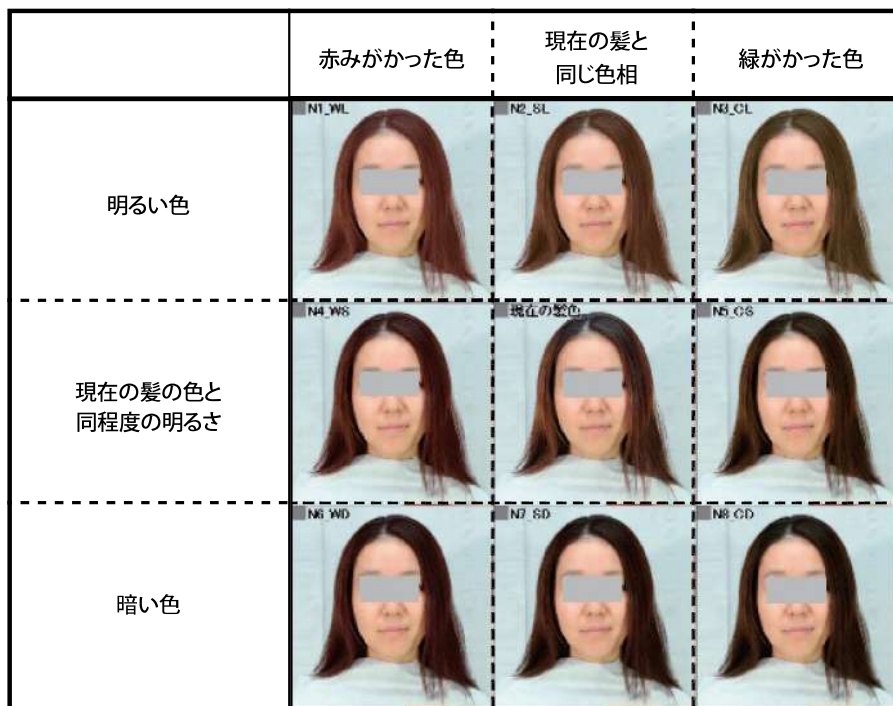


図6 提示した画像の種類³⁾

16.11、 a^* : 1.55、 b^* : 0.44)を用いた。これら2種類の毛束を用いた理由は黒髪と L^* 値が24程度の毛束を用いることで、ほとんどの日本人の髪の L^* の範囲をカバーできると考えたためである。

すべてのサンプルは、コニカミノルタ製分光測色計「CM-700d」を用いて、毛束測色用のアタッチメントを装着した上で、D65光源、2°視野、SCE方式で、1サンプルごとに3ヵ所で測定し、その平均値を記録した。

おしゃれ染め用酸化染毛剤の発色の傾向、ならびにそれらの染色後の髪色の分布(図7参照)を明らかにすることができた。

未染色毛髪の色は、青みを帯びた黒髪や極端に明るい髪を除けば色相は赤～黄赤の範囲に分布し、 $h-L^*$ は指数関数様の分布、 C^*-L^* は一次直線様の分布となった。明度が上昇するとともに彩度も上昇し、色相は赤から黄赤、黄へと変化した。いわゆるヘアブリーチを行う時の髪色の変化は、個人差はあるものの概ねこのようなトレンドに従うと考えられる。

染毛剤をハイブリーチ毛に染色した時の発色は、アッシュ系は青紫～紫、マット系は黄赤～青紫、ゴールド系は黄赤～黄、オレンジ系は黄赤、ピンク系は赤紫～赤、バ

イオレット系は紫～赤、ブラウン系・ベージュ系・ナチュラル系は黄赤に分布すること、オレンジ系は相対的に彩度が高く、ゴールド系は相対的に明度が高くなる傾向が観察された。

染色後の髪色は、一つ一つの色のグループを判別することは難しいが、美容業界で暖色とされる色(オレンジ系・ピンク系・バイオレット系)は未染色毛髪よりも赤寄りの色相に分布し、濁りが少なく光沢感を感じるものが多いこと、寒色とされる色(アッシュ系・マット系)は未染色毛髪よりも黄寄りの色相に分布し、彩度が低く濁りがあるように感じるものが多いこと、暖色と寒色の区別は比較的容易であるが暖色同士、寒色同士で色のグループを区別することは難しいことが示唆された。

美容室でヘアカラーリングを行うとき、利用者の中には明度についてはおおよその希望を伝えられるもののアッシュ系、ピンク系、ブラウン系などの色のグループをどのように選ぶか悩む人が多いと考えられる。今回の調査結果を踏まえ、未染色毛髪より赤寄りの色を暖色、黄寄りの色を寒色、未染色毛髪とほぼ同じ色相領域の色を中性色などと再定義し、赤寄りの茶色に染めたいときやツヤ感を求める時は暖色、黄

寄りの茶色に染めたいときやマットな質感にしたい場合は寒色、赤寄りでも黄寄りでもない自然な茶色にしたい場合は中性色を選定するというような、利用者が色を選択しやすい指針作成にも応用できる可能性もあるとした。

※ CM-700dで使用される毛束測色用アタッチメントは、CM-26dやCM-5でも実績がある。

5. おわりに

コニカミノルタでは上述の適用事例で紹介している機種のほか、色と光沢が同時に測定できる分光測色計「CM-26dG」(図8)や「CM-36dG」(図9)、表示や操作ボタンなどのすべての機能が一体化されたオールインワン分光測色計「CM-5」(図10)やファンデーションの評価その他の事例でパール顔料が配合された化粧品評価で実績がある多角度タイプの分光測色計「CM-M6」(図11)をラインナップするなど、肌や髪の色・つや・質感を定量的に評価するソリューションを開発、提供し続けることで、コスメチック分野における研究開発をサポートしていく。

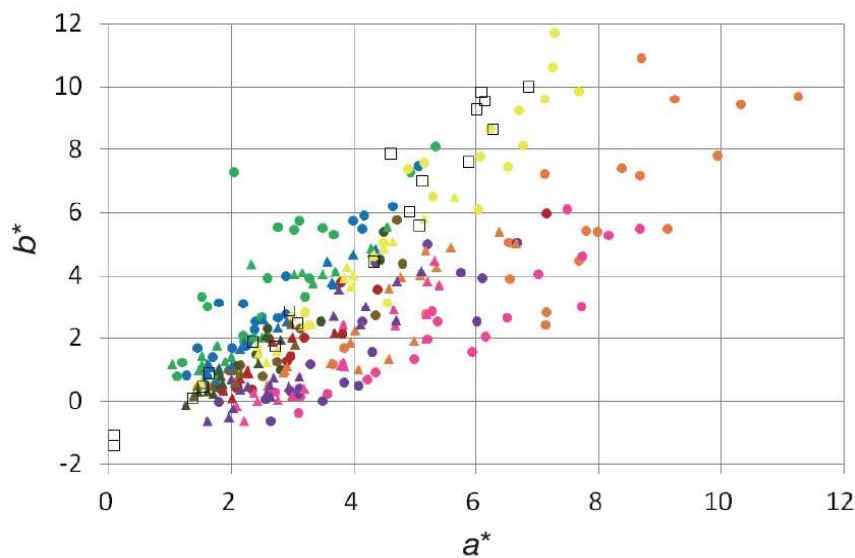


図7 染色後の髪色の色分布(a^*-b^*)⁴⁾



■分光測色計「CM-26dG」の特長

- 色と光沢の同時測定が可能
- ポータブル測色計最高レベルの器差と繰返し性
- 従来機の約半分の測定スピード、測定間隔を実現
- 快適な操作性とハンドリングを追求したデザイン（2019年度グッドデザイン賞を受賞）
- 用途：反射色、光沢

図8 色と光沢の測定が同時にできる分光測色計「CM-26dG」



■分光測色計「CM-36dG」の特長

- 色彩と光沢の同時測定が可能
- 低器差を実現した新モデル
- 電子ビューファインダー搭載により、測定位置合わせが簡単
- 波長補正機能による高い安定性を実現
- 用途：反射色、透過色、光沢

図9 色と光沢の測定が同時にできる分光測色計「CM-36dG」



■分光測色計「CM-5」の特長

- 表示や操作ボタンなどの機能が一体化されたオールインワンタイプ
- 希少サンプル測定用の微小シャーレ（別売付属品）機能を搭載
- 表示はカラー液晶で、色計測器の分野で初めてカラーユニバーサルデザイン認証を取得
- 用途：反射色、透過色

図10 表示や操作ボタンなどのすべての機能が一体化されたオールインワン分光測色計「CM-5」



■分光測色計「CM-M6」の特長

- 1方向照明、6方向受光の照明受光光学系を採用
- 高精度を維持したまま、小型・軽量化を実現
- 小面積測定が可能（測定径φ6mm）
- 用途：多角度での反射色

図11 パール顔料が配合された化粧品評価で実績がある多角度タイプの分光測色計「CM-M6」

参考文献

- 1) 大槻理恵：メイクアップ化粧品の光学特性を考慮した化粧品肌の分光反射率推定手法、光学、30巻11号（2010）、547-549.
- 2) 住吉明希子、桑井貴行、西本健治、田中巧、劉向文、殷澍、佐藤次雄：化粧持ち効果に優れた新規板状粉体の開発、日本化粧品技術者会誌、45巻4号（2011）、315-322.
- 3) 三枝千尋、渡邊克巳：髪色と顔の「似合い」と魅力度：自己評価と他者評価、日本感性工学会論文誌、13巻1号（2014）、253-258.
- 4) 中川登紀子：美容室用おしゃれ染め用酸化染毛剤の色彩調査、日本色彩学会誌、第43巻第6号（2019）、299-307.