

加飾評価のための3次元光学データ解析手法に関する研究

安田 星季, 岩越 睦郎

Study about Analytical Technique of 3-Dimensional Optical Data for Decorating Evaluation

Seiki YASUDA, Mutsurou IWAKOSHI

抄 録

自動車や携帯電話など多くの工業製品にパールやメタリックなどの光輝材を用いた塗装が施されてきている。こうした塗装は、照明角度や観察角度によって色あいや明るさが複雑に変化する特性がある。本研究では、こうした光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定方法および解析方法について研究を行い、測定条件として適切な入射角、受光角の組み合わせを得た。また同時に、関連する数値情報などを視覚的にわかりやすく一覧表示し、二つの光輝性塗膜の光学的特性を簡易に比較、解析できる3次元光学データの解析手法を開発した。

キーワード：光輝性塗膜，測色，3次元光学データ

Abstract

Recently, many industrial products such as cars or mobile phones have been painted with gonioapparent paint finishes using effect pigments such as pearl-mica or metallic. These paintings have characteristic that changes chromaticness and lightness complicatedly by changing illumination angle or observation angle. In this study, we examined measurement conditions such as incident angles or acceptance angles to decide specifications for multi-angle spectrophotometer, which can analyze minute optical characteristics of gonioapparent paint films. In addition, we developed analysis method, which can easily compare optical characteristics of two gonioapparent paint films with showing optical data plainly on the computer.

KEY-WORDS : gonioapparent paint films, colorimetry, 3-dimensional optical data

1. はじめに

近年、自動車や携帯電話など多くの工業製品において高級感を演出するため、パールやメタリックなどの光輝材を用いた高品位な塗装が施されてきている。こうした塗装は、対象物に対する照明角度や観察角度によって色あいや明るさが複雑に変化する特性がある。そのため、これらの塗装を正確に色彩管理など行うためには、多角度での測色が不可欠である。

現在、多角度の測色を自動で行える測定器が国内でいくつ

か販売されており、それらは大きく以下のように分類できる。

一つは、主に研究室等での利用が想定される変角分光測色システムである。この測定器は、入射角（照明角度）、受光角（観察角度）を各々 - 75° ~ 75° 程度の範囲で 1° 程度の間隔で設定可能であり、光輝性塗膜の光学的特性を正確かつ詳細に自動測定可能である。

もう一つは、主に工場など現場での利用が想定される多角度分光光度計である。この測定器は、入射角、受光角の組み合わせを数組に限定し、小型化、低価格化を実現しており、大まかに光輝性塗膜の光学的特性を捉えることができる。しかし、多角度分光光度計では測定角度が限定されるため、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析することは困難である。

事業名：一般試験研究

課題名：加飾評価のための3次元光学データ解析手法に関する研究

そこで本研究では、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定方法および解析方法について研究を行い、測定条件として適切な入射角、受光角の組み合わせを得た。また同時に、関連する数値情報などを視覚的にわかりやすく一覧表示し、二つの光輝性塗膜の光学的特性を簡易に比較、解析できる3次元光学データ（多角度測色データ）の解析方法を開発したので報告する。

2. 測定角度の検討

2.1 多角度の測色に関する規格および報告

現在、多角度の測色に関する規格は以下の2件がある。

ASTM（米国材料試験協会）では、メタリック塗料を3つの受光角で測定するよう規定しており、推奨する測定角度は、入射角45°、受光角は正反射角を基準とした角度で15°、45°、110°である。また、DIN（ドイツ規格協会）においては、塗装の検査時等に合否判定する方法を規定しており、測定角度は入射角45°、受光角25°、45°、75°または110°と規定している。

また、馬場らはメタリックやパールを用いた光学的異方性塗膜の評価方法を提案しており、その中でフロップ性（光学的異方性）を示すパラメータの算出に入射角45°、受光角15°、45°、110°の測定値が用いられている。

しかし、これらの測定角度による多角度測色方法は、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析するには不十分である。そこで、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定条件を検討するための基礎データを得るために、以下の実験を行った。

2.2 実験

メタリック、パールの代表的な試料として、自動車塗装用光輝材（久保孝ペイント㈱）の中から、一般的に使用される色あいを網羅した22種類の試料を選択した。選択した試料を表1に示す。選択した試料を用い、メーカーの指示書に従って塗料を作成し、図1に示す塗装工程により試験片を作成した。

測定は、図2に示す変角分光測色システム（GSP-1、村上色彩技術研究所）を用いて行った。本測色システムは、入射角、受光角を各々-76°~76°の範囲で1°間隔で設定可能である。校正は、入射角-45°、受光角0°で行い、測定の結果は、入射角-45°、受光角0°の場合に対する比率（輝度率）で表した。測定は、入射角を-75°~0°、受光角を-75°~75°まで5°間隔で変化させ、各角度の組み合わせ時の分光反射率を測定した。但し、入射角と受光角が重なる±16°および正反射角は除いた。測定結果の一例を図3に示す。

全試料に対して同測定を行い、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定条件として、入射角、受光角の適切な組み合わせを検討するための基礎データを得た。

表1 試料

パール	PK-40
	2Y
	ライラック
	シャイニーピンク
	ソフィアパープル
	ダイナゴールド
	ファイングリーン
	クリスタルグリーン
	クリスタルブルー
	ハイライトブルー
	パシフィックブルー
	シャイニーブラウン
	カッパー
	シャイニーレッド
	ブロンズレッド
ファインゴールド	
サファリブライ	
ブルーグリーン	
ブルーシルバー	
シルバー	
メタリック	中目
	細目

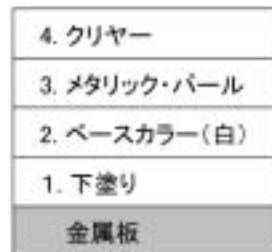


図1 塗装工程



図2 変角分光測色システム (GSP-1, 村上色彩技術研究所)

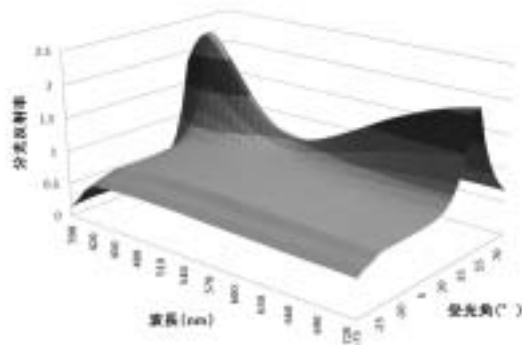


図3 測定結果例
(入射角：45°，試料：ライラック)

2.3 入射角の検討

光輝性塗膜の光学的特性を簡易な測定条件で詳細に解析するためには、なるべく少ない測定角度で得られたデータを基に、なるべく広い角度範囲の分光分布を必要十分な精度で予測することが重要である。そこで、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定条件のうち、適切な入射角を求めするために以下の検討を行った。

入射角が0°の場合、測定に有効な受光角の範囲は正反射角を基準とした角度で0°～75°となり、他の入射角に比べて測定可能な角度範囲が小さくなる。一方、入射角が75°の場合、測定可能な角度範囲は広がるが、全体的に輝度率の変化量が小さくなるため、他の入射角に比べて各試料の光学的特性が不明瞭となる。入射角が45°の場合は、上記の二つの入射角の中間的な特性があることがわかった。各入射角の測定結果例を図4、5、6に示す。

以上の検討の結果、適当な角度範囲で十分に明瞭な測定結果が得られる角度である45°を入射角に決定した。なお、入射角45°は既存の多角度の測色に関する規格および報告で推奨、規定されている入射角と一致する。

2.4 受光角の検討

入射角が45°の場合の測定結果を、受光角 - 分光反射率の関係に着目して2次的に解析すると、最も分光反射率の変化率が大きい受光角は -20°近傍であることがわかった。すなわち、広角度範囲の分光分布を高精度に近似表現するためには最も重要な測定角度であることがわかった。したがって、-20°を受光角の1つに決定した。また、65°以上の受光角の分光分布は、65°の分光分布とほぼ相似であることから、65°以上の受光角を代表して65°を受光角の1つに決定した。また、正反射角に相当する -45°近傍は輝度率が過大となり、色の解析には不適当なデータとなるため、-45°近傍の -30°を受光角に決定した。また、受光角0°は、一般的に広く用いられている測定角度であることから、受光角に決定した。また、0°～65°の受光角では、受光角が大きくなるに従って、

分光反射率の変化率が小さくなることから、中間角度32.5°よりも0°寄り、入射角と受光角が重ならない25°を受光角に決定した。以上のように決定した入射角、受光角の測定角度(入射角45° - 受光角5角度)を図7に示す。なお、これらの測定角度には、上記の多角度測色に関する規格および報告におけるほとんどの測定角度が含まれている。

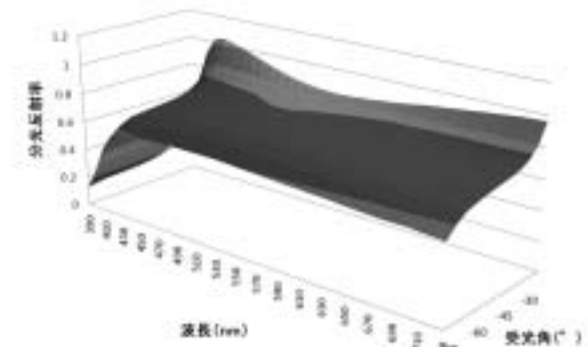


図4 入射角：0°における測定結果例
(試料：ライラック)

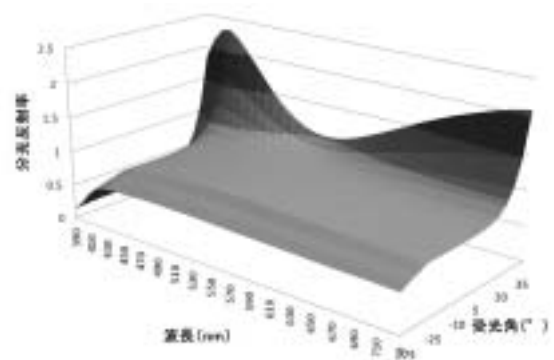


図5 入射角：45°における測定結果例
(試料：ライラック)

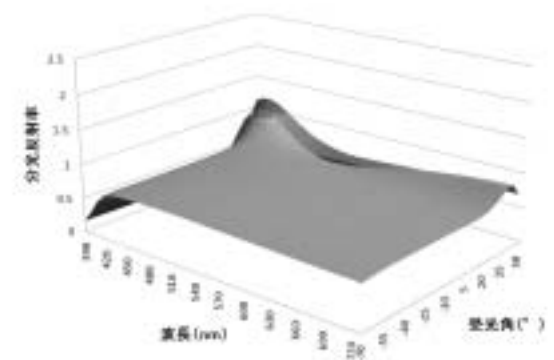


図6 入射角：75°における測定結果例
(試料：ライラック)

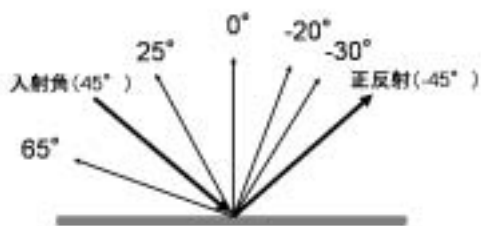


図7 入射角および5受光角

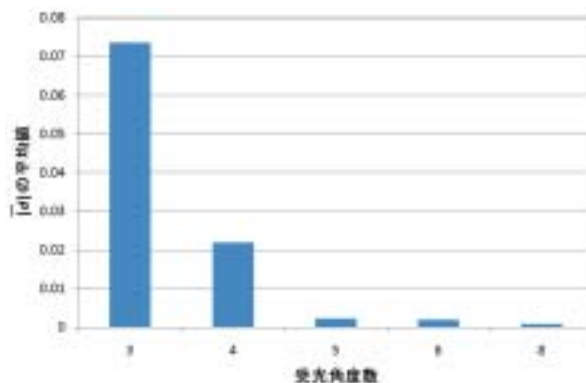


図8 各受光角度数における実測値との差

2.5 測定角度の妥当性の検証

決定した受光角度の妥当性を検証するために、入射角45° - 受光角5角度の測定値を基に予測した中間値と、入射角45°、受光角5°間隔で測定した実測値との差を調べた。また、比較対象として入射角を45°に固定し、受光角を各3角度、4角度、6角度、8角度とした場合の測定値を基に中間値を予測し、実測値との差を調べた。実測値との差は、受光角5°間隔の測定値との平均差の絶対値を全試料数の平均値で表した。その結果を図8に示す。

この結果、受光角3角度における実測値との差は、受光角5角度における差の約30倍であることがわかった。また、受光角4角度における実測値との差は、受光角5角度における差の約10倍であることがわかった。一方、受光角6角度、8角度における実測値との差と受光角5角度における差はほぼ同程度であることがわかった。このことから、決定した受光角5角度での測定により、最大受光角と最小受光角間の分光分布を必要十分な精度で予測できることが確認できた。また、色あいが類似した光輝性塗膜（ハイライトブルーとパシフィックブルーなど）の光学的特性の差も明確に検出できたことから、入射角45° - 受光角5角度の測定条件の妥当性が確認できた。

なお、各受光角度数の受光角を表2に示す。受光角は、なるべく広い角度範囲の分光分布を予測できる受光角を基本に選択した。また、受光角 - 分光反射率の関係に着目し、分光反射率の変化率が大きい受光角を優先的に選択した。

表2 受光角

受光角度数	受光角(°)
3	-30, -20, 65
4	-30, -20, 0, 65
5	-30, -20, 0, 25, 65
6	-30, -20, -15, 0, 25, 65
8	-30, -20, -15, 0, 15, 25, 65

3. 多角度測色データの解析方法

多角度測色データの解析作業を簡便化するために、光学的特性に関連する数値情報などを視覚的にわかりやすく一覧表示する「光輝性塗膜の光学的特性解析プログラム」を開発した。また、3次元CADを使用し、ソフトウェア上に表現することが困難な多角度測色データを簡易的に3次元表示できるプログラムを開発した。

3.1 「光輝性塗膜の光学的特性解析プログラム」の開発

多角度の測色データの表示や解析には、測色システム付属のソフトウェアやExcel等が一般的に利用されている。しかし、これらのソフトウェアはデータの表現方法が限られたり、汎用的であったりするため、詳細な解析を迅速に行うことが困難である。そこで、光学的特性に関連する数値情報などを視覚的にわかりやすく一覧表示する「光輝性塗膜の光学的特性解析プログラム」を開発した。

本プログラムは入射角45° - 受光角5角度による測色データに基づいて、下記の項目を計算し、一覧表示する。

基準および比較試料名と試料の画像

基準および比較試料の受光角変化に伴う色みの変化

受光角5角度における色差 (ΔE^*ab) と平均色差

基準と比較試料の分光反射率差のカラーマップ

本プログラムにより、基準試料と比較試料との光学的特性の比較、解析が簡易に行えるようになった。また、色あいが類似した光輝性塗膜の光学的特性の差も正確に表現できたことから、本プログラムの実用性が確認できた。開発したプログラムの表示画面例を図9に示す。

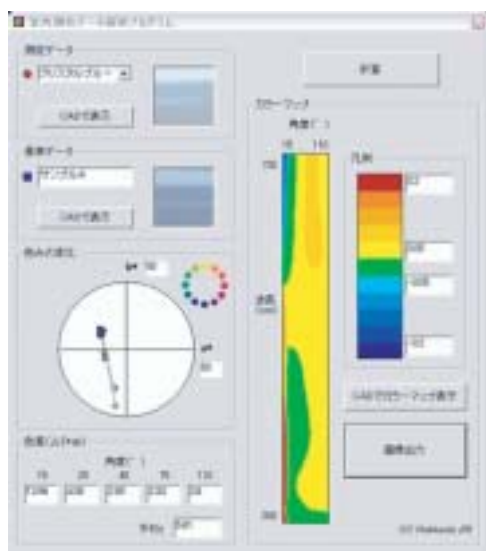


図9 分析プログラムの表示画面例

3.2 3次元CADによる多角度測色データの表示

「光輝性塗膜の光学的特性解析プログラム」では、光学的特性を表す基本的な数値や分光反射率差のカラーマップを表示する機能があったが、多角度の測色データ（波長、分光反射率、角度）を3次元的に表現する機能はない。これは、3次元的な表現が可能なソフトウェアを開発するためには多くの労力が必要なためである。そこで、3次元CAD (Rhinoceors, McNeel North America社) を使用し、ソフトウェア上に表現することが困難な多角度測色データを簡易的に3次元表示できるプログラムを開発した。本プログラムは、以下の機能を有する。

受光角5角度の測色データを基に中間角度の測色データを3次元CAD上に近似曲面表示する。

解析プログラムで計算された分光反射率差のカラーマップを近似曲面に表示する。

3次元CADと光輝性塗膜の光学的特性解析プログラムを用いた解析結果の表示例を図10に示す。

本プログラムにより、各試料の光学的特性を比較、解析するために必要なほとんどの情報がわかりやすく一覧表示可能となった。

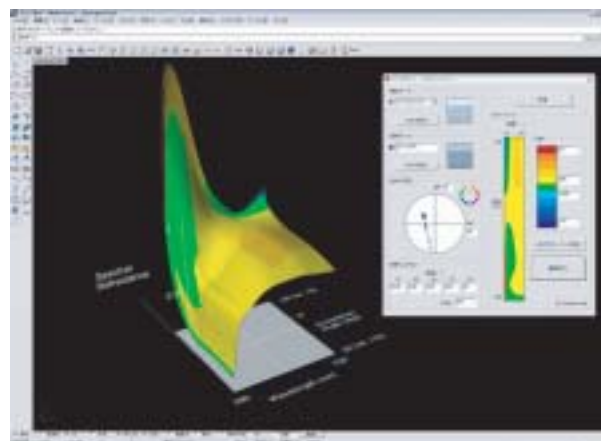


図10 解析結果の表示例

4. まとめ

本研究では、光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定方法および解析方法について研究を行い、以下の知見および成果を得た。

- 1) 光輝性塗膜の光学的特性を詳細に解析できる簡易な測定方法として適当な測定角度は、入射角 45° - 受光角 5° 角度 (-30° , -20° , 0° , 25° , 65°) と考えられる。
- 2) 詳細な解析を迅速に行うために、関連する数値情報などを視覚的にわかりやすく一覧表示し、二つの光輝性塗膜の光学的特性を簡易に比較、解析できる「光輝性塗膜の光学的特性解析プログラム」を開発した。
- 3) 3次元CADを使用し、ソフトウェア上に表現することが困難な多角度測色データを簡易的に3次元表示できるプログラムを開発した。

引用文献

- 1) 馬場護郎・新井宏俊・吉田豊彦：光学異方性塗膜の評価方法 . 変角分光反射率係数の主成分分析, 塗装工学, Vol.40 No.4, pp.138-146, (2005)
- 2) 馬場護郎・新井宏俊・吉田豊彦：光学異方性塗膜の評価方法 . フロップ値, 塗装工学, Vol.40 No.5, pp.176-184, (2005)