光輝材塗色質感のコンピュータグラフィックスによる可視化

浅場 尚郎*・桑野 浩一*・伊部 幸一**・新美 英造**・藤本 彰***

要 旨

メタリック塗色とパール塗色の質感を分光反射率を用いてシミュレーションし、コンピュータグラフィックスで表現することを試みた。これらの塗色の質感の差異は、鏡面反射と拡散反射との境界領域における分光立体角反射率に起因すると考え、その境界領域の測色方法を検討し、メタリック塗色とパール塗色の質感の差異を現実に近いレベルで可視化することができた。

Key-words: Coefficient of spectral reflection, Optical simulation, Metallic paint films, Pearl paint films, Rendering.

1. はじめに

最近の自動車外板色にはメタリック塗色、パール（マイカ）塗色といったいわゆる「光輝材塗色」が多く採用されている。これらの塗色は複雑な光の反射挙動から塗色に深みのある独特の質感を出している。光輝材塗色の特徴として光の入射角と受光角によって色などが変わる「フリップフロップ（F/F）性」がある。このF/F性のため、光輝材塗色の創色を行うには、デザイナーと技術者の間でかなりつつ込んだ「質感」の議論が必要であり、両者のコミュニケーションに多くの時間と労力が費やされている。この点を合理化するために、光輝材塗色の質感を計算機で模試（シミュレーション）し、その結果をCG（コンピュータグラフィックス）で可視化する

方法が検討されている。

玉垣らはソリッド塗色とメタリック塗色を変角分光光度計を用いて測定し、両者の質感の違いを可視化した。また、Takagiら²⁾は太陽光が地表に到達するまでの現象をモデル化し、天候などによって異なる「外板塗色の見え」を初めて可視化した。

本報告では、メタリック塗色とパール塗色との質感の差異は鏡面反射と拡散反射の境界領域の分光立体角反射率に起因すると考え、測定条件と可視化画像の質感の関係について検討した。

2. 検討方法

2.1 供試塗色

供試塗色を表-1に示す。塗色aと塗色bはメタリック色で、用いたアルミ顔料の粒子径が異なっている。塗

平成 8.7.9 受理

Representation by Computer Graphics for Appearance of Metallic and Pearl Coatings

Takao A SABA, Kouichi KUWANO, Kouichi IBE, Eizou NIIIMI and Akira FUJIMOTO

* 日本ペイント(株)解析技術研究所

大阪府寝屋川市池田中町 19-17 (〒572)

** 日本ペイント(株)カラーデザインセンター
東京都大田区千鳥 2-34-17 (〒146)

*** (株)インテグラ

東京都文京区本駒込 5-4-7 (〒113)

Table 1 Profiles of metallic and pearl coatings

Subject	Flake	Diameter of flake(μm)	PWC (%)
a	small aluminum	9	14
b	large aluminum	20	14
c	white mica	18	10
d	interference mica	18	5

Table 2 Procedures of the measurement for reflections

Procedure	angle		
	Elevation -60~60°	Incidence 0~60°	Reflection -70~70°
1	interval of 5°	interval of 5°	interval of 5°
2	interval of 5°	interval of 5°	interval of 5° (interval of 1° in reference angle of reflection within $\pm 10^\circ$)
3	constant	interval of 5°	interval of 5° (interval of 1° in reference angle of reflection within $\pm 10^\circ$)

Fig. 1 Procedures for the measurement of the reflection.

色 c はホワイトマイカ顔料, 塗色 d は鏡面反射近傍でやや青みを帯びた赤色を発色する干渉マイカ顔料を用いている。

2.2 分光反射率の測定

分光反射率の測定には(株)村上色彩技術研究所製の変角分光光度計 (GSP-2) を用いた。鏡面反射係数は入射角 10 から 60 度 (5 度間隔) で測定した。拡散反射係数 (分光立体角反射率) は, 表-2 に示した 3 水準の測定条件で行った。条件 1 ではあおり角^{*1)}と入射角および受光角を変化させた。各角度の測定間隔は鏡面反射近傍 (鏡面反射方向より ± 10 度以内) と拡散反射領域とも 5 度間隔である。条件 2 ではあおり角は条件 1 と同じであるが, 鏡面反射近傍では受光角の測定間隔を 1 度間隔とした。条件 3 はあおり角を一定とし, 塗膜面内に垂直な入射・反射光が作る平面内での分光立体角反射率を測定した。他の測定条件は条件 2 と同じである (図-1 参

Fig. 2 Location of light sources.

照)。

なお, 鏡面反射係数の測定では入射光量に対する受光センサーの受光量の比を, 拡散反射領域の測定では白色拡散板 (硫酸バリウム板) の反射光量を 100 としたときの供試試料面からの反射光量を計測した。

2.3 光学的シミュレーション

光学的シミュレーションには(株)インテグラ製光学シ

*1) 光源光の入射ベクトルと試料からの反射光のベクトルが作る平面と試料面とがなす角度。
文献 3) を参照。

Fig. 3 Profiles of the coefficient of the reflection from the subjects.
 (a), Subject-a (small aluminum) ;
 (b), subject-b (large aluminum) ;
 (c), subject-c (white mica) ;
 (d), subject-d (interference mica) ;

Fig. 4 Rendered images from subject-b by the three procedures for the measurement of the reflection.
 Red-lined circle areas show relatively greater difference.

Fig. 5 Magnified images in Fig. 4.

Fig. 6 Rendered images from the four subjects by procedure 2 for the measurement of the reflection.

- (a), Subject-a (small aluminum) ;
- (b), subject-b (large aluminum) ;
- (c), subject-c (white mica) ;
- (d), subject-d (interference mica)

Fig. 7 Magnified images of Fig. 6.

ミュレーション用ソフトウェア『SPECTER』⁴⁾を用いた。

2.3.1 車型データ

車型データは Evans & Sutherland 社が作成したものを用いた。

2.3.2 光源

シミュレーションに用いた光源は白色光源 (D65) とした。また照明条件は、室内におかれた車が天井に配置された9つの点光源で照明された状態とした。光源の配置状態を図-2に示す。

2.3.3 光学モデルと可視化手法

光学モデルでは鏡面反射係数と拡散反射係数をそれぞれ式(1)および(2)で表現している。

$$K_s = E_s / E_o \quad \text{式(1)}$$

ここで K_s : 鏡面反射係数

E_s : 鏡面反射した光のエネルギー量

E_o : 入射した光のエネルギー量

$$LF = (\pi / \cos(\theta) \times dE / d\Omega) / E_o \quad \text{式(2)}$$

ここで LF : 拡散反射での立体角反射係数

θ : 視点と試料面の法線とがなす角度

dE : 微小立体角 $d\Omega$ における反射光量

白色完全拡散の式(2)の値は理論計算可能であるので、それと白色拡散板の計測値とが等しいと仮定し、式(1)(2)の K_s と LF に計測値を用い、それらの値から塗色表面の双方向伝達関数(空間内での方位とその

方向の反射係数が表形式で記述された離散的光度分布表)⁵⁾を求めた。レンダリング手法^{*2)}は双方向モンテカルロ光線追跡法⁴⁾を用い、その計算過程で測色値より求めた双方向伝達関数値を参照している。双方向伝達関数で記述されていない任意方向の反射係数値は線形補間法によりその値を算出した。また、計測した分光反射率からダイナミックレンジの調整を含むCRTのRGB空間への変換などは「SPECTER」の提供する機能⁴⁾を用いた。

2.3.4 可視化に用いた装置

計算機は Silicon Graphics 社製 INDIGO 2 を、CRT は BARCO 社製 Calibrator (20 inch) を、出力装置は富士写真フイルム社製 PICTROGRAPHY 3000 を用いた。CRT と出力装置間のカラーマネージメントの特別な調整は行っていない。

3. 結果と考察

3.1 分光反射率の測定

図-3-a から 3-d に供試塗色の分光反射率の受光角依存性(あおり角 0 度, 45 度入射, 受光角 5 度間隔)の例を示す。塗色 a, b および c はいずれも無彩色なので分光分布に波長依存性がほとんどないが、メタリック塗

*2) 光の反射や放射などの挙動を幾何光学の法則に基づいて計算し、その結果を可視化するための手法の総称

色では長波長側でわずかに低くなり、パール塗色では高くなる。一方、受光角に対する分光反射率の変化にアルミ粒径やアルミとマイカの材質よる違いが見られ、これが各塗色の F/F 性の特徴を反映していると考えた。塗色 d では鏡面反射近傍で短波長（青）と長波長（赤）の領域に大きい反射分布が見られ、鏡面反射近傍で干渉色を発していることを示している。

また図-3-a と図-3-c の比較からもわかるように、受光角が 5 度間隔では鏡面反射近傍における分光立体角反射率の急激な変化の様子が詳しく把握できないことが分かる。

3.2 可視化

表-2 の 3 水準の分光測色結果を用いてレンダリングし、PICTOGRAPHY3000 で出力した画像を図-4 に示す。図-4 および CRT モニターの画像で、フェンダーのように形状の曲率変化が大きい部分では質感に顕著な違いがでた。

図-4 の赤丸内の領域をみると、測定条件 3 では形状の変化に伴う質感の変化を正確に表現できず、反射光が飽和している。条件 1 ではボンネット上にある光源の写り込み部分とその周りのような明度変化が大きい部分のグラデーションが表現されていない。条件 2 ではこれらが良好に表現されていると判断した（図-5）。

条件 2 の方法で測定した測色値を用いて、メタリック塗色とパール塗色の質感を可視化した結果を図-6-1 から 6-4 に、図-7-1 から 7-4 に明度変化が大きいフェンダー部分の拡大図を示す。なお、可視化結果の評価には供試塗料を 400×600mm の曲面があるパネルに塗装した実塗板での目視判定を参考とした。

(1) 図-6-1 と 6-2 では金属感を出しつつ、アルミ

の粒子径の違いによる F/F 性の差異が可視化されている。

(2) 図-6-1 と 6-3 では F/F 性が同程度のメタリック色とパール色の質感の違いが可視化されている。

(3) 図-6-4 ではハイライト部分で干渉色がでておりその質感が現実のものと違和感なく表現されていると判断した。

4. まとめ

メタリック塗色とパール塗色の質感の違いは、鏡面反射と拡散反射との境界領域における分光立体角反射率に起因すると考え、その境界領域の測色を精度良く行い、メタリック塗色とパール塗色の質感の差異を現実に近いレベルで可視化することができた。

今後 (1) 測色条件のさらに詳しい検討 (2) 現行システムの操作性の向上 (3) 光輝材の混合塗色の質感の可視化 (4) シミュレーション結果から効率良く実塗色を設計する手法の開発などについて検討を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 玉垣庸一, 湊 幸衛, 宮崎紀郎: デザイン研究, 59, 45 (1989)
- 2) A. Takagi, H. Takaoka, T. Oshima, Y. Ogata: *Computer Graphics*, 24 [4], 263 (1990)
- 3) 榊村上色彩技術研究所: “GCMS-4 取扱説明書”
- 4) 榊インテグラ: “TURBO BEAM TRACING ユーザー・マニュアル”
- 5) A. Khodulev, E. Kopylov: Graphicon, (personal communication)