

メタリックカラーにおける質感再現方法

Study on Texture Matching in Metallic Colors



CM 研究所
第2部
川口洋一
Yohichi
Kawaguchi



CM 研究所
第2部
高橋輝好
Terutaka
Takahashi



SP 研究所
第2研究部
山長 伸
Shin
Yamanaga

SUMMARY

Macro-brilliant parameters and micro-brilliant parameters have been proposed to describe texture of a silver metallic color. We have used these parameters on development of a new 1K base coat paint for automotive refinish (use in order to examine effectiveness of the parameters). In the first step, we have measured change in each parameter when 2 different metallic primary colors, which contain only aluminum flakes as pigment, were blended. Change in each parameter along with an amount of slant view control agent has also been measured. Then, based on the measured data, we have computed a ratio of the blended metallic primary colors and an amount of the slant view control agent so that the computed ratio and amount can produce a target color. Matching degree between the target and the computed was assessed by visual evaluation. The hitting ratio was 73%. Here, the hitting means that the computed formulation could produce almost same texture as that of the target. Thus, we could prove the effectiveness of the micro-brilliant parameters.

要 旨

シルバーメタリックカラーの質感の定量化手法として「マクロ光輝感パラメーター」、及び「ミクロ光輝感パラメーター」による数値化が提案されており、新規な1液型自動車補修用塗料の設計に際し、この2種類のパラメーターの適用を試みた。適用に当たっては、新規1液型塗料のメタリック原色9種類の配向制御剤添加量による光輝感パラメーターの変化、及び2種類のメタリック原色混合時での光輝感パラメーターの変化の数値化を行った。その結果を用い、目標とする塗色の各パラメーター値と一致する点でのメタリック原色の混合比率と配向制御剤添加量を数値計算によって求め、その「質感の一致性」を検定した。目視での官能評価結果において73%が「概ね同じ質感」と判定され、これらパラメーターの適用の有効性が確認された。

1. 緒 言

一般的に自動車補修用塗料は、青、赤、黒等各色の着色顔料、及びメタリック等の光輝性顔料含有塗料を原色として設定しており、ユーザーにおいて計量調色して使用される。補修用塗料には補修する部位の塗色との色一致性が最も要求され、国内外の自動車メーカーの様々な塗色に対応するためには、数多くの原色と調色設計（色合わせのための原色配合比率の設定）が必要となる。当社では、この調色設計の効率化のため、CCM (Computer Color Matching) システムを利用しているが、これまでのCCM技術は分光反射率に基づく色情報によるものであり^{1) 2)}、シルバーメタリックカラーに代表される光輝性顔料含有塗色の質感を一致さ

せることが出来なかった。

光輝性顔料含有塗色の質感については、野村ら³⁾から既に詳細な報告がなされており、ここでは概説にとどめるが、光輝性顔料を含む塗色の質感は、巨視的な観察で知覚される質感「マクロ光輝感」と、微視的な観察で知覚される質感「ミクロ光輝感」によって表す事が出来る。この2つの光輝感についての概念図を図1に示す。

マクロ光輝感とは、比較的遠くから観察される金属感であり、観察角の変化で色調が変化して見えるフリップフロップ現象のことを指す。このフリップフロップ現象に関する数値化は多くの研究報告がなされており、レーザー光を用いた計測⁴⁾、及び変角分光反射率計、変角測色計による計測^{5) ~ 9)}が既に広く利用されている^{10) ~ 12)}。

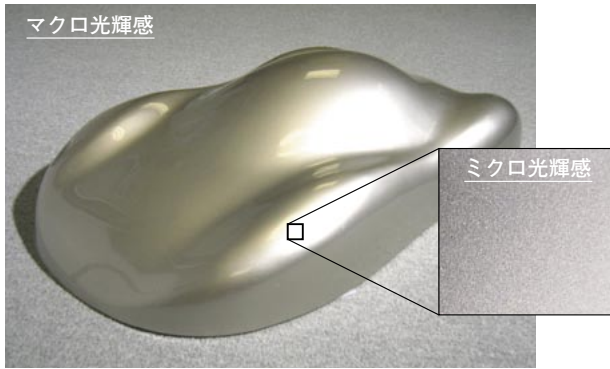


図1 メタリックカラーの質感 – マクロ・ミクロ光輝感の概念図

マクロ光輝感：自動車車体模型の全体写真における明るい部分から暗い部分にかけての色調の変化に基づく金属感。フリップフロップ現象と呼ばれる。

ミクロ光輝感：模型に接近した場合（図中の拡大写真）に知覚される、ミクロな模様・輝度分布に基づく金属感。図中でざらざらとした様子が「粒子感」であり、点在する微小な白い輝きが「キラキラ感」を示す。

一方、ミクロ光輝感とは、近接した場合に認識可能となる金属感であり、光輝材の形状、配向によるミクロな模様、例えば「ざらざらした質感」や輝度分布により知覚される微細な輝き、例えば「きらきらと光る様子」のことを指す。ミクロ光輝感は「粒子感」と「キラキラ感」の2つの主要な知覚に統合できると考えられており、野村ら¹³⁾平山ら¹⁴⁾は、目視尺度に対応するミクロ光輝感パラメーターを画像解析結果から導き出している。

本報告では、新規な1液型自動車補修用塗料の設計に際して、上記2種類の光輝感パラメーターの適用結果を報告する。具体的には、先ず新規1液型塗料のメタリック原色の配向制御剤添加時における光輝感パラメーターの変化、及び2種類のメタリック原色混合時での光輝感パラメーターの変化を数値化し、次いで、従前の2液型塗料のシルバーメタリック塗色を目標色とした場合の2種類の1液型メタリック原色と配向制御剤のおおの配合比率を数値計算し、得られた配合と目標色との「質感の一致性」の検定を行った。

2. 実験

2.1 計測機器と評価パラメーター

メタリックカラーの質感の数値化に際してはマクロ光輝感、ミクロ光輝感に対応する下記の2種の計測機器を用い、また、メタリックカラーの色調・テクスチャーの異方性に対応するために、ハイライト（正反射光近傍）、及びシェード（正反射光から離れた反射光強度の比較的小さい部分）の計測角度の異なる4つのパラメーターを採用した。

- 1) マクロ光輝感計測器：MA68II（X-Rite社製変角分光反射率計）
 - a) マクロ光輝感パラメーター：a-1) 正反射光からの受光角 15° における明度：L*値（以下L*15と表記）
 - a-2) 正反射光からの受光角 75° における明度：L*値（以下L*75と表記）
- 2) ミクロ光輝感計測機器：ミクロ光輝感測定装置（当社開発品）
 - b) ミクロ光輝感パラメーター：b-1) HG値（ハイライトにおける「粒子感」に対応、受光角 15° ）
 - b-2) SB値（シェードでの「ミクロ光輝感」に対応、受光角 75° ）

マクロ光輝感に対応するパラメーターについては、各種の計測方法が提案されているが^{4)~9)}、ここでは、無彩色のシルバーメタリックのみを対象とした。

この塗色では色質フロップは無視できることから⁹⁾、ミクロ光輝感パラメーターの計測角度と同一（正反射光からの受光角度）となるL*値を用いることとした。

ミクロ光輝感測定装置の機構概念図を図2に、HG（High-light Graininess）値、SB（Shade Brilliance）値の導出の概要を図3に示す。HG値、SB値は、CCDカメラにより撮影した塗板の輝度分布を画像解析することで、それぞれ目視感に対応するパラメーターとして導き出されたものである。両パラメーターは、数値解析の手法は同一だが、照明角度が異なる。HG値では、正反射光からの受光角が 15° 条件にて撮影しており、ハイライトでの「粒子感」、主に「粗い・細かい」、「ざらついた・緻密な」といった質感に対応する。一方、SB値は受光角が 75° 条件にて撮影しており、シェードでの「ミクロ光輝感」に対応している。シェード条件での目視においては、ハイライトに比べ明度低下が著しいため、「粒子感」と「キラキラ感（宝石の輝きに似た文字通りキラキラと輝く様）」を区別して知覚するのが困難であり、1つのパラメーターとして代表されている¹⁴⁾。

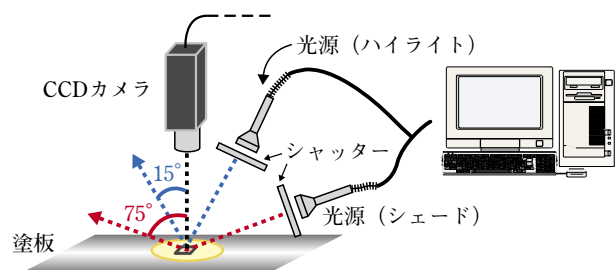


図2 ミクロ光輝感測定装置概念図

CCDカメラ、照明用光源、シャッター等の制御機構及び画像解析用PCから構成されている。シャッター操作によりハイライト条件、及びシェード条件での撮影が可能。

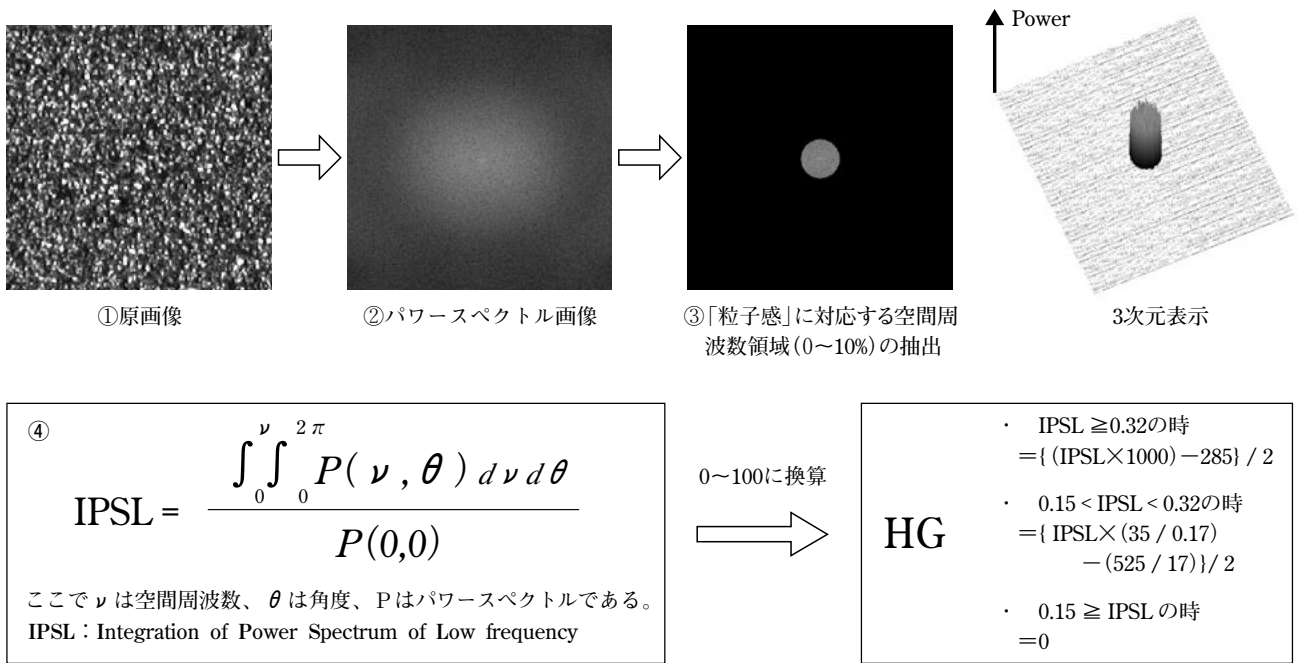


図3 ミクロ光輝感パラメーター(HG値)導出の概要

①試料塗板をCCDカメラにより撮影 ⇒ ②原画像の輝度分布データをフーリエ変換することによりパワースペクトル画像へ ⇒ ③「粒子感」に対応する空間周波数領域の抽出 ⇒ ④目視尺度に対応する値へ計算。
HG値とSB値は導出の流れは同一であり、照明角が異なるのみ。

2.2 試料

評価用試料は、材質の異なる下記の当社製の自動車補修用メタリック原色及び配向制御剤(当社商品名「スカシコントロール剤」)を単独あるいは混合比を変化させた塗料を用い、以下の条件にて塗板を作成した。

0.3mm厚 \times 100mm \times 150mmの鋼板上に2液型ウレタンプラサフ(当社製自動車補修用中塗り塗料)を塗装(乾燥膜厚40 μ m)、乾燥の後、研磨し、下地板とした。上記下地板に対し、各メタリック塗料をスプレー塗装(ガン距離:20cm、吐出量:100cc/分)により完全隠蔽膜厚まで塗装し、2液型ウレタンクリアー塗料(当社製自動車補修用塗料)を塗装(乾燥膜厚40 μ m)した後、60 $^{\circ}$ C \times 20分強制乾燥した。

試料としては、溶剤系2液型ウレタン塗料のアルミ顔料の異なるメタリック原色11種を目標色として用いた。更に、

- 1) 溶剤系1液型アクリル塗料のアルミ顔料の異なる9種
- 2) 上記1)に対し、配向制御剤を混合したもの

表1 試料塗板のマクロ・ミクロ光輝感測定結果

メタリック原色		マクロ光輝感パラメーター		ミクロ光輝感パラメーター	
		ハイライト L*15値	シェード L*75値	ハイライト HG値	シェード SB値
2液型	2K①	117.3	44.7	43	46
	2K②	118.0	45.5	49	49
	2K③	118.9	45.1	47	47
	2K④	119.6	45.6	47	48
	2K⑤	120.3	45.2	48	52
	2K⑥	122.2	43.8	54	50
	2K⑦	123.8	43.4	60	54
	2K⑧	127.1	41.6	66	60
	2K⑨	128.7	40.7	69	60
	2K⑩	140.1	37.5	53	58
	2K⑪	141.6	36.0	55	54
1液型	1K①	125.6	41.8	38	40
	1K②	129.4	42.9	44	39
	1K③	131.2	41.9	51	42
	1K④	135.6	35.8	62	48
	1K⑤	135.7	38.1	53	50
	1K⑥	139.4	33.5	72	51
	1K⑦	148.0	34.9	53	47
	1K⑧	152.0	30.7	91	77
	1K⑨	155.5	28.7	62	51

3) 上記1) の2種を組み合わせ混合したものを調整し、下記の計測評価用に用いた。
尚、2液型、1液型各メタリック原色単体塗板のHG値、SB値、L*15値、L*75値の計測結果を表1に示す。

2.3 目視官能評価

前述の試料について、マイクロ光輝感、マクロ光輝感パラメーターを用いた解析を行い、得られた結果を基に、11種の2液型ウレタン系メタリック原色を目標色とし、その光輝感パラメーター値と一致する1液型アクリル系メタリック原色及び配向制御剤の混合比を算出した。得られた混合比を基に前述の工程にて塗板を作成し、官能評価によりその妥当性の検証を行った。評価は、一対比較法として下記の条件にて行った。

- ・パネル：メタリック塗料設計技術者5名
- ・観察条件：受光角：15°、及び70°（マクベス社製スカイライトボックス使用）
- ・評価板；基準：目標色塗板、試料：計算結果より作成した塗板
- ・項目：「白さ（明度）」、「粒子感」、「キラキラ感」の3項目
- ・評点：「白さ」での例…「黒い」「やや黒い」「同じ」「やや白い」「白い」各中間点を含む9段階

3. 結果および考察

3.1 配向制御剤添加による光輝感パラメーター変化

配向制御剤とは、無色の球状粒子を分散した原色であり、自動車補修用塗料においては一般的に用いられるものである。当社からも「スカシコントロール剤」の名称にて販売している¹⁵⁾。メタリック原色に添加することでアルミ顔料の配向性を変化させる機能を有する(図4)。添加することで散乱光が増加し、ハイライトの明度が低下し、シェードの明度が上昇する。また、粒子感はハイライト、シェードともに増大する。1液型アクリル塗料のメタリック原色9種に対し、配向制御剤添加時の光輝感パラメーターの変化について調査を行った。図5にその結果の一例を示す。全ての原色において、添加量に対するL*15、L*75、HG値、及びSB値の変化は3次関数式で精度良く近似化が可能であった。また、近似関数化することで、任意の添加量での各パラメーター値の予測が可能となった。

3.2 2種メタリック原色混合時の光輝感パラメーター変化

アルミ顔料の異なるメタリック原色2種を混合した場合の光輝感パラメーターの変化について、1液型アクリル塗料メタリック原色9種の全ての組み合わせにおいて調査を行った。図6に、粒子感が中と小の原色混合時の結果を一例として示す。全ての組み合わせにおいて、ハイライトではL*15、HG値の変化の様は、概ね原色混合比に対し比例関係にあり、線形近似化が可能であった。一方、シェードでは、L*75、SB値とも3次関数による近似化が必要であった。ハ

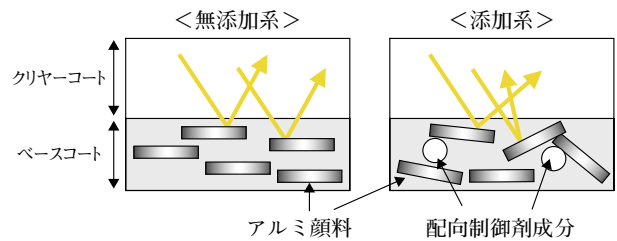


図4 配向制御剤の効果(塗膜断面の概念図)

配向制御剤無添加系：アルミ顔料は塗面に対し平行に配向している。

配向制御剤添加系：球状粒子のスペーサー効果により、アルミの配向角(塗面に対する角度)が大きくなる。

イライト、シェードでの挙動の違いについては、各計測角度におけるアルミ顔料の塗膜中での面積占有率の違いが要因の1つとして推定されるが、アルミ顔料の粒子径、厚み、形状、及びアルミ顔料表面凹凸(平滑性)の違い¹⁶⁾が複雑に影響しているものと考えられる。

3.3 光輝感パラメーター二次元座標軸上でのマッピング

1液型アクリル塗料に対し配向制御剤添加時の光輝感データ、及び2液型ウレタン塗料各単体での光輝感データを二次元座標軸上にマッピングした。ハイライトでの結果を図7に示す。マップ化により、従来判別が困難であったメタリックカラーの質感の差異について明確に位置付けることが可能となった。

3.4 二次元マッピングデータ解析による異種塗料でのメタリックカラーの質感再現

以上の結果に基づき、異材質塗料間での質感の再現は、二次元座標軸上のデータ解析から可能であると考えた。より具体的には、2液型原色を目標とし、1液型メタリック原色2種、及び配向制御剤を用い、座標軸上で同位置となる混合比を算出することとした。以下にその計算手法について述べるが、ここでは、2液型メタリック原色2K①の質感を目標色“T”(Target color in high-lightの略記)とし、1液型メタリック原色1K①及び1K③と配向制御剤を用いて再現する場合を例として取り上げる。尚、計算に使用可能な原色の組み合わせについては、ハイライトにおける各メタリック原色の配向制御剤添加時の明度-粒子感変化の曲線と、目標色の位置関係から判断することができ、図8で示すように、明度-粒子感変化曲線が“T”を挟む形で存在する、2種の原色を予め選択している。

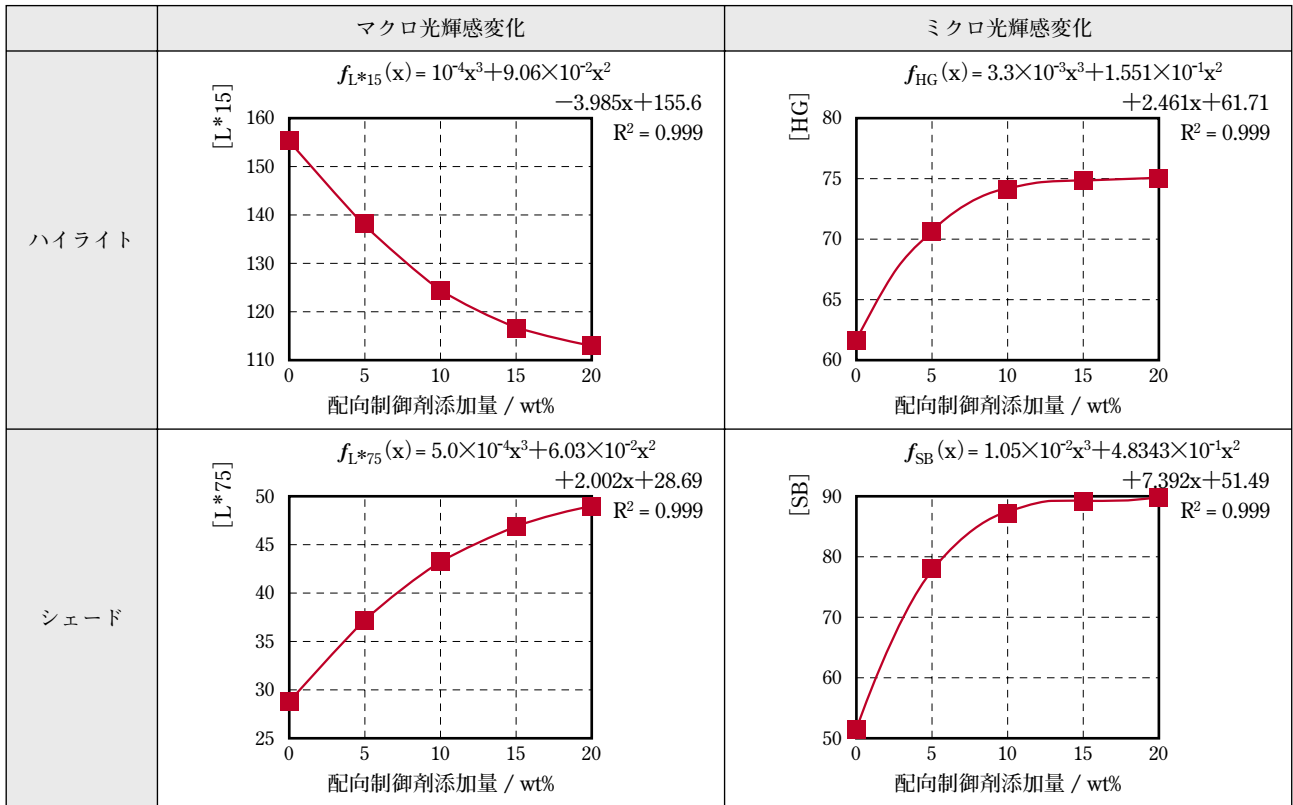


図5 配向制御剤添加時の光輝感変化(原色1K に添加時の例)

配向制御剤添加により、ハイライトの明度は低下し、シェードの明度は上昇する。粒子感(シェードではキラキラ感を含む)は、ハイライト、シェード共に増大する。変化の様は、いずれも3次関数にて近似化が可能である。

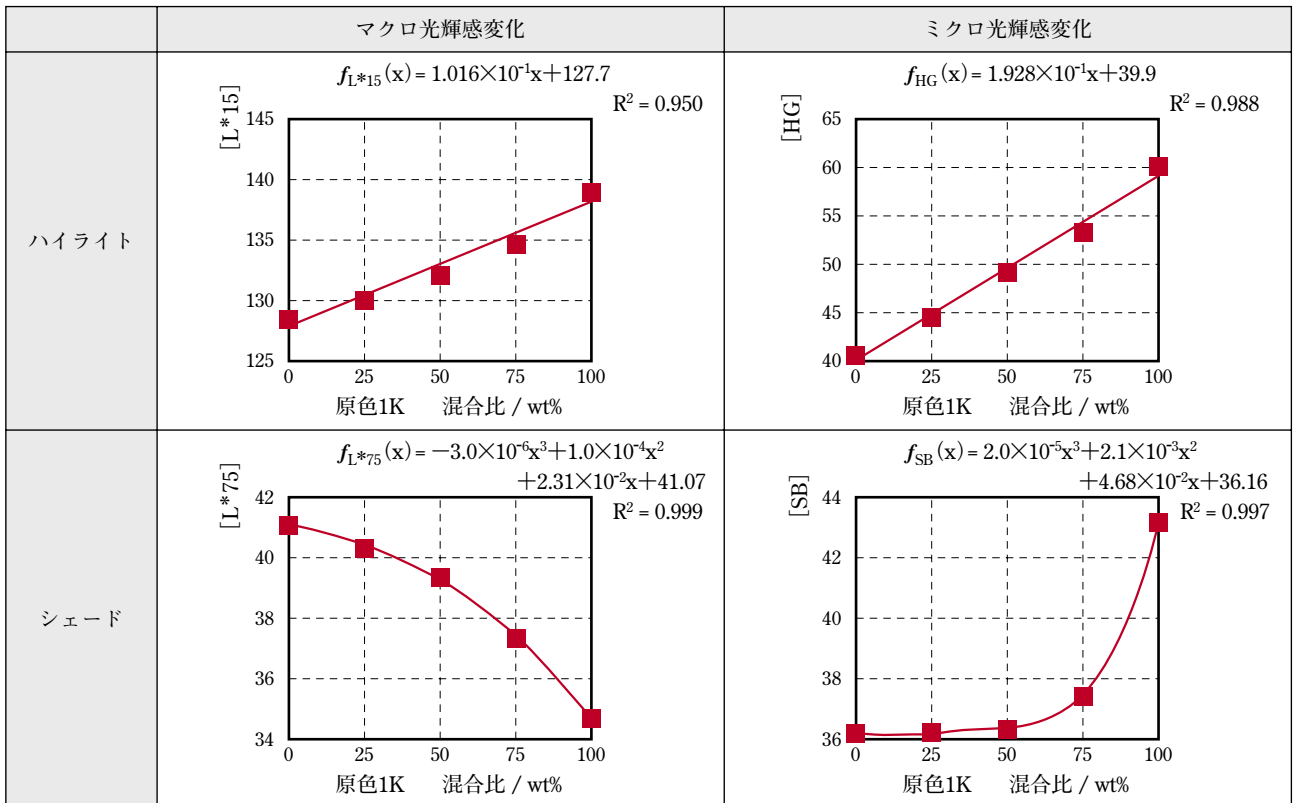


図6 2種のメタリック原色混合時の光輝感変化(原色1K と1K 混合時例)

2種の原色混合時において、ハイライトでのマクロ、マイクロ光輝感パラメーターは混合比に対して、概ね比例関係にある。一方、シェードでは、非線形関係であり3次関数近似化が可能。

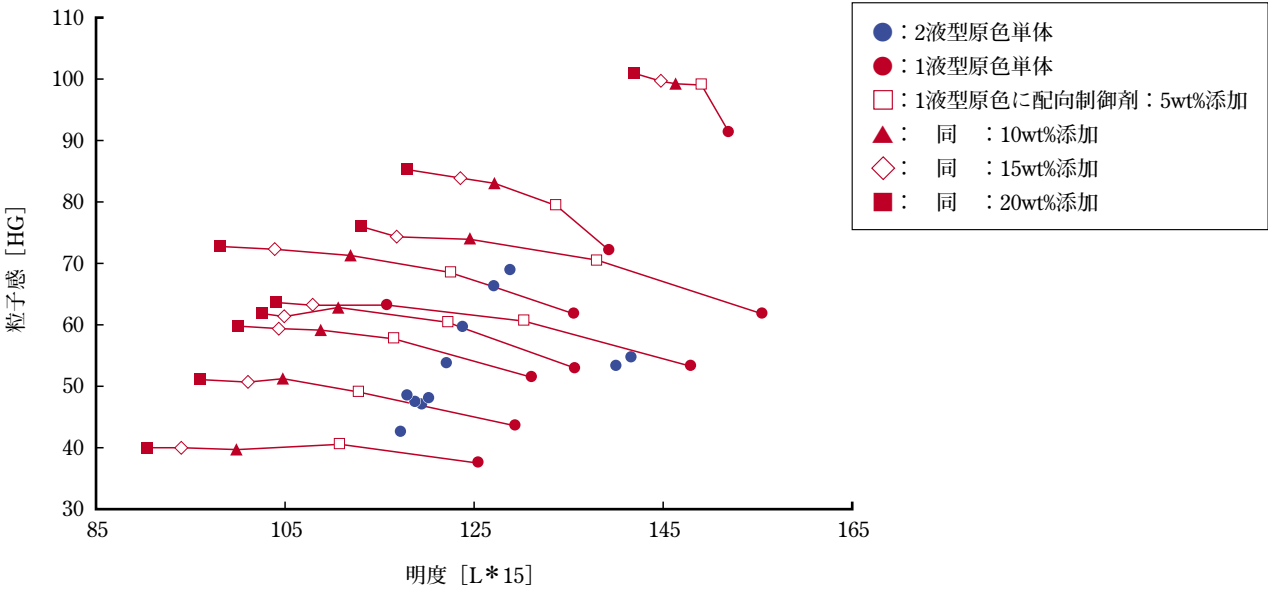


図7 マクロ・マイクロ光輝感二次元座標軸上でのマッピング(ハイライト)

2次元座標軸上へマッピングすることにより、個々の質感の位置付けが明確となる。
1液型原色は2液型に比して高強度域に分布しているが、配向制御剤添加により低強度域をカバーすることが可能となっている。

3.4.1 配向制御剤、及びメタリック原色混合比の決定

ハイライトにおいて、2種メタリック原色混合時のL*15、HG値の変化は比例関係にあることから、原色1K①、1K③を混合した場合のL*15、HG値はマップ中において両者を

結ぶ直線上を動くこととなる。配向制御剤添加時も同様であると考えられ、1K①、1K③各原色に配向制御剤を徐々に添加した場合、いずれ“T”を通る直線が3.1項で述べた近似関数式を利用することにより計算上得られる。その時の配向制御剤添加量：xが、原色1K①、1K③を用いた場合での“T”の光輝感パラメーター値と一致する最適量として決定される(図8)。

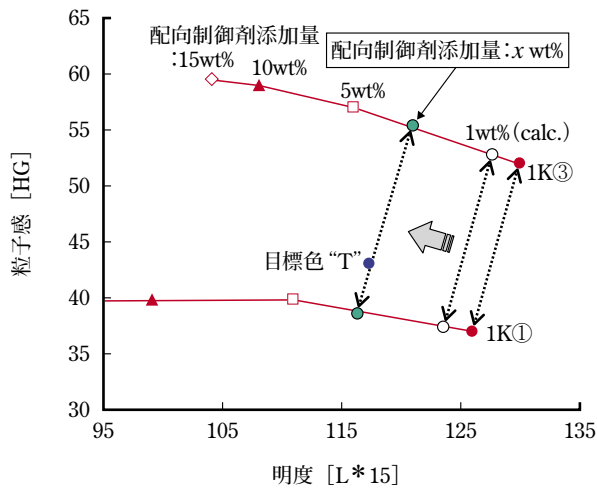


図8 光輝感マップ(ハイライト)上での配向制御剤添加量の決定方法

原色2K①の光輝感パラメーター測値を目標色“T”とし、原色1K①及び1K③と配向制御剤混合により再現する事例。上図は図7の一部を拡大したもの。
2種のメタリック原色混合時のマクロ・マイクロ光輝感パラメーター変化は、いずれも混合比に対して線形関係にあることから、1K①と1K③混合時の明度・粒子感には図中破線矢印上を移動することとなる。3.1項で述べた近似関数式を利用することにより、目標色(図中青丸印)を通る直線を与える配向制御剤量：xが求まる。

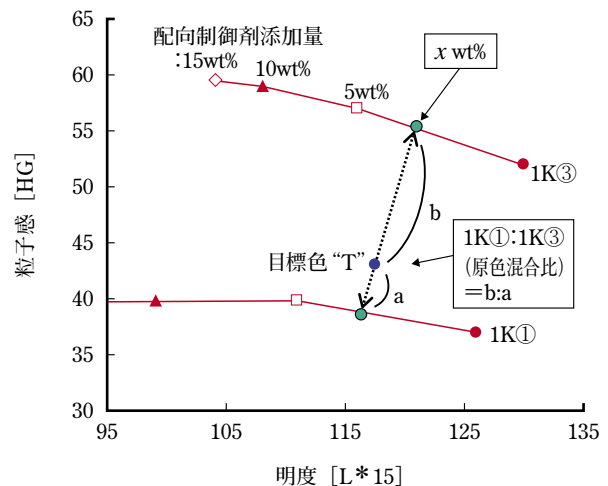


図9 光輝感マップ(ハイライト)上での原色混合比の決定方法

決定した配向制御剤量における、1K①及び1K③のそれぞれの位置(図中緑色丸印)から目標色“T”までの二次元座標軸上での距離(図中a、b)を計算。原色混合比に対するマクロ・マイクロ光輝感パラメーターの線形性により、a、bが原色混合比として取り扱うことが可能である。

また、1K①、1K③各原色の混合比についても、2種原色混合時の線形性を利用し計算している。決定した配向制御剤量における、各原色のマップ中の位置から目標色までの距離の比を算出し、混合比とした(図9)。以上から目標色“T”のハイライトでの光輝感パラメーターが一致する1液型塗料の混合比は、以下の式で表現される。

・原色1K①の混合比： $(100-x) \times a / (a+b)$ [wt%]

・原色1K③の混合比： $(100-x) \times b / (a+b)$ [wt%]

・配向制御剤の混合比： x [wt%]

$$a = \{(HG_T - HG_{1K③})^2 + (L^*15_T - L^*15_{1K③})^{21/2}\}$$

(“T”と配向制御剤x[wt%]添加時の1K③の光輝感差)

$$b = \{(HG_T - HG_{1K①})^2 + (L^*15_T - L^*15_{1K①})^{21/2}\}$$

(“T”と配向制御剤x[wt%]添加時の1K①の光輝感差)

全体マップ中での“T”の位置が図10である場合、ハイラ

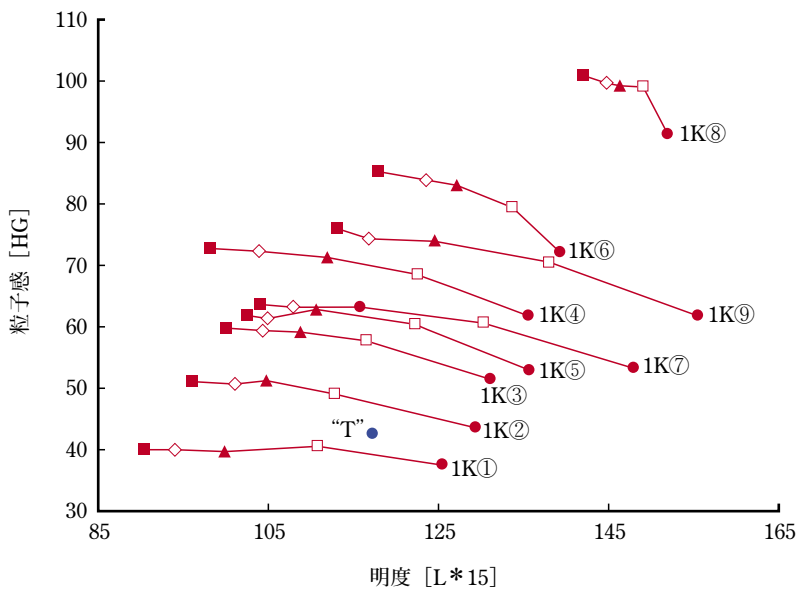


図10 光輝感全体マップ(ハイライト)上での目標色の位置付け

イトにて、目標色“T”のマクロ・マイクロ光輝感を計算上再現することが可能な1液型原色の組み合わせは、1K①と1K③に加え、1K①と1K②、1K①と1K④、… 1K①と1K⑧となり、全8通りが存在する。

イトでの“T”の光輝感パラメーターを一致させることができる原色の組み合わせは、原色1K①と1K③に加え、1K①と1K②、1K①と1K⑤、…、1K①と1K⑧となり、全8通りが存在する。

3.4.2 シェードでの光輝感パラメーター値予測

目標色“T”のハイライトでの光輝感パラメーターを一致させることができる配合(原色の混合比)は、全部で8通りの原色の組み合わせについて得られる(表2)。これらの配合はいずれもハイライトでの計算結果であり、シェードでの光輝感パラメーターは不明である。そこで、各配合のシェードでの目標色“Ts”(2K①のシェードでのマクロ・マイクロ光輝感パラメーターの実測値。Target color in shadeの略記)との一致度を予測し、順位付けすることにより最適配合解を得ることとした。

3.1項及び3.2項で述べたシェードでの近似関数式から、各配合のL*75、SB値を計算しマップ化する。結果の概要を図11に示す。この場合、“Ts”との距離が最も近い配合番号2が、ハイライト、シェードいずれにおいても原色2K①の質感を計算上再現する解として決定される。同様の操作を2液型原色全てについて行い、それぞれについて配合解を得た。

3.5 官能評価結果

2液型原色の全11色を目標色とし、前述の手法により求めた1液型原色の配合解の塗板11種を作成した。目標色の塗板と、対応する1液型原色の配合解の塗板を一対とし、比較官能評価することにより、計算結果の妥当性を検証した。全ての塗色対において、白さ、粒子感の項目では、ハイライト、シェードとも「やや異なる」から「同じ」範囲内で一致した。しかし、11塗色対中の3塗色対については、ハイライト

表2 全ての原色の組み合わせにおける配合解

目標色(2K①)のハイライトでのマクロ・マイクロ光輝感パラメーター値が再現可能となる、1液型メタリック原色、及び配向制御剤の混合比算出結果。

配合 No.	原色		混合比 (wt%)		
	メタリック原色1	メタリック原色2	メタリック原色1	メタリック原色2	配向制御剤
1	1K①	1K②	57.82	39.34	2.84
2	1K①	1K③	77.84	19.24	2.92
3	1K①	1K④	85.46	11.52	3.02
4	1K①	1K⑤	81.07	15.75	3.18
5	1K①	1K⑥	88.84	8.04	3.12
6	1K①	1K⑦	82.01	14.39	3.60
7	1K①	1K⑧	91.58	5.24	3.18
8	1K①	1K⑨	86.77	9.71	3.52

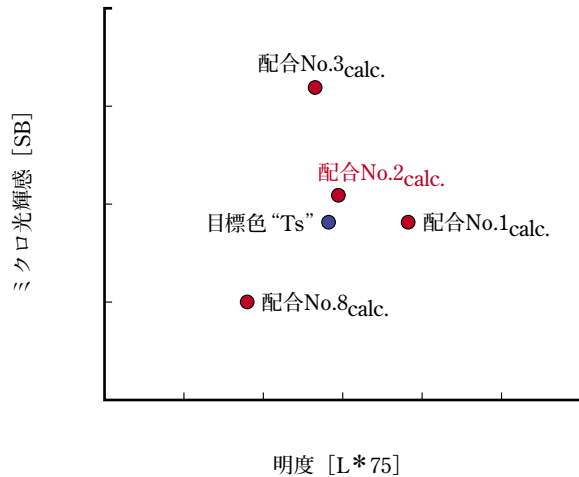


図11 光輝感マップ(シェード)での各配合の位置付け(計算結果抜粋)

表2のいずれの配合もハイライトで目標色“T”を再現するものであり、シェードでは必ずしも一致していない。3.1項、3.2項で述べたシェードでの近似関数式を利用することにより、各配合のシェードでのマクロ、マイクロ光輝感パラメーター値が計算上求まる。結果をシェードでの2次元座標軸上にマッピングし、目標色“Ts”(シェードでの2K①の実測値)に最も距離の近い配合を最適解として選択する。この場合配合No.2が選択される。

のキラキラ感が「やや異なる」から「異なる」の範囲で評価され、結果的に「質感が異なる」と判断された。シルバーメタリックカラーにおいて、粒子感がほぼ同一でもキラキラ感の異なるケースが少なからず存在することが明らかとなり、キラキラ感に対応するパラメーター(平山らはHB値、HBL値を提案している¹⁷⁾)をも本報の技法に導入して質感再現の更なる精度向上に検討の余地が残されていることが示唆された。

4. 結論

マクロ光輝感パラメーター、及びマイクロ光輝感パラメーターを用い、メタリック原色に配向制御剤添加時、2種のメタリック原色混合時の各パラメーター変化について調査し以下の知見を得た。

- 1) 配向制御剤添加量に対する、 L^*15 、 L^*75 、HG値、SB値の変化はいずれも非線形関係にあり、3次関数式で近似化が可能である。
- 2) 2種のメタリック原色混合比に対する、 L^*15 、HG値の変化は概ね比例関係にある。一方、 L^*75 、SB値については、3次関数近似関係にあった。

11種のシルバーメタリック塗色を目標色とし、目標色の各パラメーター値と一致する点でのメタリック原色の混合比率と配向制御剤添加量を数値計算によって求め、得られた配合の「質感の一致性」を目視官能評価で検定した結果、73%が「概ね同じ質感」と判定され、これらパラメーターの

適用の有効性が確認された。

更なる「質感の一致性」向上については、キラキラ感に対応するパラメーター導入に可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 品田登：塗装技術、28、227 (1989)
- 2) 大住雅之：色材、71[2]、132 (1998)
- 3) 野村英治、平山徹：塗料の研究、132、22-28 (1999)
- 4) 竹内徹：塗装工学、30、339 (1995)
- 5) 平井敏夫：日本色彩、8、20 (1984)
- 6) 馬場護郎、近藤暁弘、森映二郎：日本色彩、13[2]、125 (1989)
- 7) David H. Alman：1987 Inter-Society Color Council Williamsburg Conference Proceedings、53-56 (1987)
- 8) William H. Venable：1987 Inter-Society Color Council Williamsburg Conference Proceedings、57-60 (1987)
- 9) 馬場護郎、新井宏俊、吉田豊彦：塗装工学、40、177-182 (2005)
- 10) K. Tachi, C. Okuda, S. Suzuki：J. Coatings Technology、62、782、45 (1990)
- 11) 橋詰良樹、長野圭太：塗装工学、39、65 (2004)
- 12) 大村匡弘、永野裕幸、中尾泰志：塗料の研究、140、23 (2003) 他
- 13) 野村英治、平山徹：塗料の研究、132、28-35 (1999)
- 14) 平山徹、山長伸、蒲生真一：塗料の研究、138、8-19 (2002)
- 15) 宮武啓次：塗料の研究、123、44 (1994)
- 16) 松藤隆：塗装工学、29、443 (1994)
- 17) 平山徹、山長伸、蒲生真一：塗料の研究、138、10-12 (2002)