超金属調メタリックシルバーを実現する超薄膜塗装技術

永野 裕幸*

1. はじめに

自動車ボディカラーのトレンドは、時代と世相を反映してゆるやかに変動してきているが、その中でシルバーメタリック色は、日本国内においては常に顧客から安定した人気、シェアを維持している。この塗色は二つの技術的変革期を経て、その地位を確保してきた。

第1変革期は1970年初頭で、メタリック塗装がモノコート(1C1B工程)からベースコート/クリアーコートの2層形成方式(2C1B工程)に変化するという技術革新があった。この2C1B塗装工程の導入により、それまでメタリック色では実現できなかった優れた光沢が付与され、高級感ある自動車ボディ塗色としてメタリック色が市民権を確立した。

第2変革期は1990年代であった。メタリック色の色材であるアルミフレークが、製造方法の革新などにより、小粒径でありながら、より高輝度で、色ニゴリ感が少なく、強い金属調のメタリック色が可能となった。また2C1B塗装工程におけるアルミフレークの配向制御技術、ベースコート/クリアーコート間の混層制御技術、垂直面でのタレ制御技術等の技術革新によりクリアーコートの厚膜化も可能となり、よりいっそう仕上がり外観、肉持ち感に優れたメタリック色へと進化した。

今回、第3変革期を予感させる超金属調ボディカラー『コスモシルバー』をトヨタ自動車株式会社、関東自動車工業株式会社と共同開発した。これまでのシルバーメタリック色のイメージとは異なり、研磨した金属のような質感を塗料・塗装で実現したスーパーメタリックカラーである。図-1はコスモシルバーが目標とする金属調のイメージ画である。本報ではそれを実現するための塗料・塗装の技術的アプローチについて解説する。

2. 超金属調シルバーを実現するために

図-2は一般的なシルバーメタリックの断面図と超金属調シルバーの理想とする断面図である。通常のシルバーメタリックでは着色ベースに配合されるアルミフレークが多少ランダムに配向しているため、太陽光などの入射光が散乱され、ガラガラとした粒

子感を感じさせる質感となってしまう。理想とする研磨された金属面の質感を実現するためには、図-1の理想的な断面図に示すように、着色ベース塗膜中で、光輝度の強いアルミフレークを均一に敷き詰め、光散乱の少ない鏡面のような状態を作りあげることがポイントである。そのための具体的な要素技術としては、光輝材(アルミニウムフレーク)を均一に配列させるための『配向制御技術』、着色ベースコートの薄膜化、輝度の高い『光輝材の

図-1 コスモシルバーのイメージ
(巻頭カラー写真参照)

図-2 シルバーメタリック塗膜断面図(左図)と理想的な超金属調シルバーの断面図

平成 17.6.7 受理

Technology of Super-Thin Film which Gives Super-Metallic Automotive Body Color
Hiroyuki NAGANO

*関西ペイント株式会社自動車塗料本部第2技術部
愛知県西加茂郡三好町筋生字平地1 (〒470-0206)

〔氏名〕 ながの ひろゆき
〔現職〕 関西ペイント(株)自動車塗料本部第2技術部
〔趣味〕 テニス、熱帯魚
〔経歴〕 1993年同志社大学大学院工学研究科修士課程修了。同年関西ペイント(株)入社。自動車用中塗り塗料材料の開発に従事。

選択≒蒸着アルミ』および『塗装工程≒複層発色設計（明暗の強調）』の3点が挙げられる。これら3要素が融合し、超金属調シルバーの実現に至った。以下に、それぞれの開発ポイントを述べていく。

2.1 アルミフレークの配向制御

表-1は着色ベースの塗装～塗着～造膜過程において、アルミフレークを均一かつ緻密に配向させるための考え方と具体的手法である。アルミフレークの配向を制御するうえで重要なポイントは、「スプレー塗装時の微粒化」、「下地へのヌレ性」、物理的な配向要因としての「膜厚の制御」、そして塗着後の塗液膜中においてアルミフレーク粒子が動いて配向が乱れることを防ぐ、「塗料の流動制御技術」である。

2.1.1 微粒化

霧化塗装時の微粒化の良し悪しはアルミフレークの配向性に多大な影響を与える。微粒化が悪いと霧化された塗料粒子の粒子径は大きく、そこに含まれるアルミフレークも多くなるため、塗着後のアルミフレークの配向は乱れてしまう。一方微粒化が良好な場合、粒子径は小さく、そこに含まれるアルミフレークも均一となるためアルミフレークの配向は良好となる。図-3はその概念図である。

微粒化を良くするためには、霧化される着色ベース塗料の高せん断（高シェア）時の粘度を低くすることが効果的である。その方法としては、塗料の固形分（Non Volatile=NV）をシンナーなどで希釈することにより下げればよいことは詳しく説明するまでもない。図-4に着色ベース塗料のNVと高シェア時（ $=10^3$ [1/s]）の塗料粘度、およびアルミフレークの配向性の指数（フリップフロップ値、FF値＝明暗差、明度の角度依存性が高いほど金属感が大である）との関係を示す。なお塗料粘度は、HAAKE社製レオメーターRS150を用いて測定した。またFF

値はミノルタ社製CM512m3の25°（ハイライト：正面視）と75°（シェード：側面視）の明度（L値）比をとった値である。塗料NVが低いほどFF値が高く、その高シェア領域での塗料粘度は低いことがわかる。本報の着色ベース塗料において塗料NVは5%以下とすることが最も有効であった。

2.1.2 下地へのヌレ性と塗料の流動制御技術

下地へのヌレ性を向上させるうえで塗着粘度の制御は重要である。一般的に微粒化された塗料が被塗物に塗着したときの粘度（塗着粘度）が高すぎるとヌレ広がらず、流動が起こりにくくなるためアルミフレークはきれいに配向しない。逆に低すぎると流動・対流が発生するために、アルミフレークの配向が乱れる。したがって下地に対する適度なヌレと均一なアルミフレークの連続膜を形成するためには、塗着後のウェット膜を最適な流動状態に保つことが必要となる。図-5に下地へのヌレとアルミフレークの配向性の概念図を示す。

モデル的に、低いNVの着色ベース塗料（5%）を塗装して、塗着粘度の指標となる塗着1分後のウェット膜のNVを変動させたときの、FF値を図-6に示す。塗着1分後のNVが15%以

図-4 塗料NVとFF性および塗料粘度との関係

図-5 下地へのヌレとアルミ配向性

図-6 塗着1分後のNVとFF性との関係

表-1 配向制御の考え方と対策例

造膜過程		ポイント	対策の考え方	実施例
塗装	a)	スプレー塗装時の高微粒化	高せん断領域での低粘度化	低塗料固形分化（5%以下）
塗着	b)	下地へのヌレ性	塗着粘度の最適化	低塗着粘度化と流動制御
		塗料の流動制御	レオロジーコントロール能の強化	新規レオロジーコントロール剤適用
	c)	物理的な配向制御	着色ベース膜厚の薄膜化	1 μm程度（通常15 μm）

図-3 微粒化とアルミの配向性

下となると、アルミフレークの泳ぎ（＝粘度が低すぎるため対流が起こりアルミフレークの配向が乱れる現象）が起こる。一方 NV が 50% 以上になっても、塗着後の流動が起こりにくくなるためアルミフレークの配向は良くない。したがって良好なアルミフレークの配向状態が得られる塗着 NV には適性範囲が存在し、このモデル場合、それは 15～50% の範囲であることがわかる。このように、一般のメタリックに比べて、塗着後に非常に低い NV 領域にあるベースコートにおいてアルミフレークの流動性を制御する必要がある。そのために、レオロジー機能を有する樹脂粒子成分、およびアルミフレークへの吸着官能基を有する新規分散安定化樹脂を開発し^{1,2)}、適用した。図-7 はこの樹脂を用いた系のアルミフレークの分散安定化メカニズムである。図-8 はアルミフレークを除いたモデルでの塗着 NV と粘度の関係である。縦軸の粘度は低シェア（ $=10^0$ [1/s]）時のものである。塗着 NV 12% 以上の領域でこの樹脂を含んでいない系に比べ高い粘性を示しており、顕著なレオロジーコントロール能が認められた。

2.1.3 物理的な配向制御

塗装膜厚もアルミフレークの配向性を制御するうえで重要なファクターである。というのは着色ベース膜厚を薄くすることによって、物理的にアルミフレークがより平行に配向せざるを得ない状況を作り出すことができると考えられるからである。図-9 に膜厚とアルミフレークの配向の関係モデル図を示す。

理論的に塗膜中のトータルアルミフレーク量（個数）が等しく

図-7 新規分散安定化樹脂イメージ図

図-8 開発樹脂使用系の塗着 NV と粘度との関係

塗膜中に同数のアルミが存在すると仮定すると...

図-9 膜厚とアルミの配向性

なるようにアルミフレーク濃度を調整した塗料（薄膜の場合は高アルミフレーク濃度、厚膜の場合は低アルミフレーク濃度とする）を用いて、膜厚を変動させたときの FF 値を図-10 に示す。膜厚が薄いほどアルミフレークの配向性が良好となることが確認できる。今回の超金属調シルバーの着色ベース塗料では乾燥塗膜の膜厚として $1\mu\text{m}$ 程度の超薄膜を狙った。

2.2 適切な光輝材の選択

今回このシルバーメタリックを実現するために色材として従来一般に用いられているアルミフレークに代えて、蒸着アルミフレークを選定した。これは基板上にアルミを蒸着し、それを剝離、粉碎、分級し、フレーク化したものであり、従来のアルミフレークと比べ、きわめて薄く（ $0.05\mu\text{m}$ 程度/従来 $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ ）、かつフレークの表面状態がきわめて平滑であるため、この蒸着アルミフレークを良好に配向させることができれば、鏡面のような強い反射強度が確保できる。表-2 は蒸着アルミフレークの特徴、写真-1 は蒸着アルミフレークと従来アルミフレークの粒子の形態写真である。

これらアルミフレークの特徴を、先述したモデル実験の塗装方法で検討した結果を図-11 および図-12 に示す。図-11 は、塗料中のアルミフレーク濃度（図中の PHR=樹脂固形分 100 [g]）に

図-10 膜厚と FF 値との関係

表-2 蒸着アルミの特徴

	蒸着アルミ	同粒径の従来のアルミ
粒径	約 13μ	約 13μ
厚み	0.05μ	$0.3\sim 0.5\mu$
反射強度	非常に強い	(比較の基準)
表面状態	光 極めて滑らか	光 凹凸

写真-1 アルミの拡大写真

対するアルミフレークの重量 [g] と FF 値の関係を示す。蒸着アルミフレークのほうが FF 値に優れ、アルミフレーク濃度が増すほど FF 値は増し、やがて飽和するのがわかる。図-12 には蒸着アルミフレークと従来のアルミフレークの粒子感 (HG 値：数値が小さいほど粒子感が小さく緻密に感じられることをあらわす³⁾) と反射強度の指標として Color Simulation (CS) 画像 (CS 画像：塗装板を変角色彩計で測色したデータをもとにコンピューターグラフィック化したもの⁴⁾) を示した。蒸着アルミフ

図-11 蒸着アルミの濃度と FF 性の関係

ークのほうは HG 値が 40 で、従来のアルミフレーク (HG 値=55) と比較して粒子感が少なく緻密な意匠が得られており、また反射強度也非常に強いことがわかる。

以上のように、着色ベースの配向制御の方策として、薄膜高輝度の蒸着アルミフレークを色材として用い、その濃度を比較的高くし、微粒化適性を確保した低 NV 塗料を薄膜塗装することによって、ねらいとする金属調シルバーに近い意匠性の実現が可能となった。

2.3 塗装工程 (複層発色設計) の設定

図-13 に示すようにシルバーメタリック色では、完全隠蔽するアルミ濃度以下においては、組み合わせる下地の明度や色相によって色調が変わる。ハイライトではアルミフレークの反射光が非常に強いので下地の影響はほとんど受けないが、シェードではアルミフレークの間をすり抜けて下地が観察されるためである。したがってシルバーメタリック色において金属感をより強調しようとした場合、ハイライトとシェードの明度差を大きくする手法として、下地の明度を低くすることが効果的であると考えられる。

図-14 に下地の明度とシェードの明度、FF 値との関係を示す。下地の明度はミノルタ社製 CR 200 にて測定を行った。下地の明度が低いほどシェードの明度が低くなり、それと連動して FF 値

<蒸着アルミ使用系>

<従来のアルミ使用系>

注) 画像サイズ: 8.1×8.1mm

図-12 蒸着アルミと従来のアルミのメタ感の比較 (巻頭カラー写真参照)

図-13 下地の影響

図-14 下地明度とシェードの L 値、FF 性との関係

図-15 超金属調シルバーの塗膜断面写真

が高くなるのがわかる。このように下地の明度の選定と半隠蔽アルミ層との組み合わせによって高いFF値を得ることができる。本報の塗装系においては着色ベースに蒸着アルミフレークを含有する層と、その下地としてブラックの着色ベースを新たに導入する複層発色工程を採用し、FF値を高め、より金属感を引き出すことが可能となった。

3. おわりに

図-15は本技術を用いて実際に塗装した塗膜の断面と、その塗装工程での各層の技術的なポイントをまとめたものであるが、この断面写真からもアルミフレークが均一に配向していることがわかる。この塗装系の適用により実現したシルバーメタリックは当初のねらいであった「緻密感」を保ちながら輝度感とFF値に優れ、従来のシルバーメタリック色にはない「超金属調シルバー」

図-16 市場展開されたコスモシルバー
(巻頭カラー写真参照)

の意匠効果が得られた。以上の薄膜塗装技術は、トヨタの高級スペシャリティーカーであるソアラに実用化され、『コスモシルバー』という名称で2002年に商品化された(図-16)。また、その技術が高く評価され、トヨタ自動車株式会社、関東自動車工業株式会社と共同で、日本流行色協会(JAFCA)主催“2003年オートカラーアワード技術賞”，色材協会主催“2004年色材協会技術賞”を獲得した。

文 献

- 1) 特開平 10-338793.
- 2) 特開平 11-192453.
- 3) 平山 徹, 蒲生真一, 山長 伸: 塗料の研究, No. 138, p. 8 (2002).
- 4) 増田 豊: 色材, 69 [12], 801-809 (1996).