

～超金属調ボディカラー～

# トヨタ・ソアラ向け 「コスモシルバー」の開発

Development of “Cosmo Silver”  
for SOARER, TOYOTA



自動車塗料本部  
第2技術部  
大村匡弘  
Tadahiro  
Ohmura



自動車塗料本部  
第2技術部  
永野裕幸  
Hiroyuki  
Nagano



自動車塗料本部  
第2技術部  
中尾泰志  
Yasushi  
Nakao

## Summary

Super-metallic automotive body color “Cosmo Silver” that might be an innovation of automotive silver metallic, was newly developed by the joint work between TOYOTA Motor Corporation and Kansai Paint Co., LTD. This super metallic finish gives you a new image of metallic appearance, which looks like a finely polished precious metal surface. The essence of the super-metallic technology is summarized as follows; the coating system enhancing more metallic, the aluminum flake giving strong metallic reflection and the technology of controlled orientation arraying aluminum flake densely in the film. This new super-metallic coating technology provides cars with high quality and high marketable finish.

## 要 旨

自動車ボディカラーの中で不動の地位を築いてきたシルバーメタリック塗色に新たな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）』がトヨタ自動車株式会社とのco-workによって誕生した。金属の研磨面をイメージさせるその質感を塗装で実現したスーパーメタリックである。これを実現するための技術的エッセンスは、金属調をより強調するための塗装工程、アルミフレーク、そしてそのアルミフレークを隙間なく配列させるための配向制御技術に集約される。これらの技術的要素をハイレベルな領域まで突き詰めた新塗装技術によって、この高品質で、商品力のあるボディカラーを確立した。

### 1. はじめに

自動車ボディカラーのトレンドは時代、世相を反映して周期的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顧客から安定した人気、シェアを日本国内では維持している(図1)<sup>1)</sup>。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/クリアーコートからなる2層形成方式(2C1B工程)になった時期である。ベースコートにクリアーが塗装されることによって、それまでに無かった優れた光沢と高級感が付与され、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年代である。アルミフレークの製造方法の革新などにより、より小粒径でありながら、より高輝度へ進化し、色のニゴリ感が少なく、かつ金属調の強いメタリック色が可能となった(図2)。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、垂直面でのタレ制御等の技術進歩によりクリアーコートの厚膜化も可能となり、よりいっそう高級感、肉持ち感

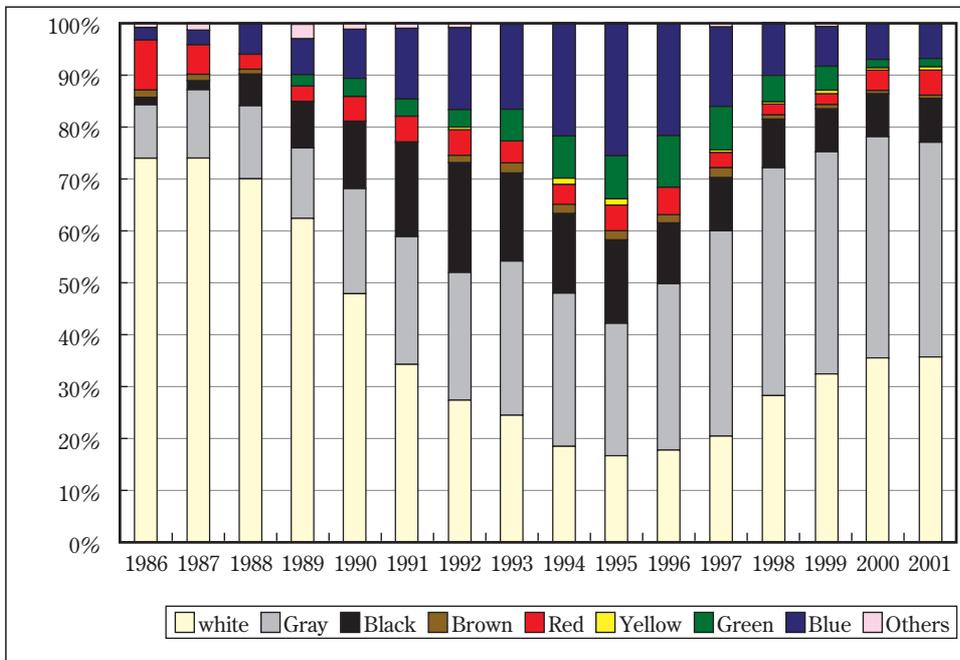


図1 国内の自動車ボディカラーポピュラリティ

注) シルバーメタリックはグレーに含まれる。ホワイトパールはホワイトに含まれる。

に富んだメタリック色へと進化したのである。

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と共同開発した。これまでのシルバーマタリック色のイメージとは異なり、金属の研磨面に質感を塗料で実現したスーパーメタリックカラーである。図3には『コスモシルバー』のイメージを示す。ここではそれを実現するための技術アプローチについて述べる。

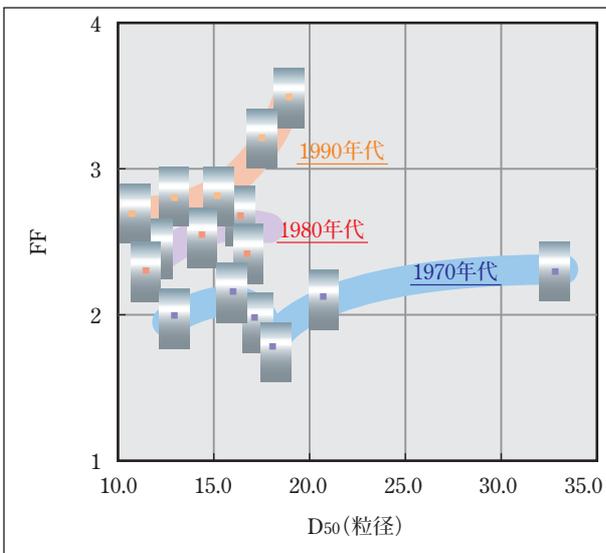


図2 アルミフレークの変遷

## 2. 超金属調シルバーを実現するために

図4に示す通り、超金属調シルバーの開発のイメージは、鏡やアルミ箔、メッキである。これを塗料系において表現するに当たって重要なキーワードは、輝度感、視覚の方向によって明度差があることを示すフリップフロップ性(以下、FF性)、ざらざらした粒子感を感じさせない緻密感である。それらを高次元で成立させた“超金属調シルバー”が、本開発の目標である。そして、それを実現するための具体的な要素として、アルミを均一に配列させるための「配向制御技術」、適切な「光輝材の選択」、及び「塗装工程」の3つが挙げられる。以下に、それぞれの開発ポイントを述べていく。

### 2.1 アルミの配向制御

アルミ配向制御の考え方を、表1に示す。アルミの配向を制御する上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粒子が動いて配向が乱れることを防ぐ、いわゆる「アルミの流動制御技術」である。モデル実験を基に以下詳細に述べていく。

表1 アルミの配向を制御する方法

ポイント	対策
スプレー塗装時の微粒化	高せん断領域での低粘度化
下地へのヌレ性	塗着粘度の最適化 衝突スピードを速くする
物理的な配向制御	膜厚を薄くする
アルミの流動制御	レオロジーコントロール能を強化



図3 『コスモシルバー』のイメージ

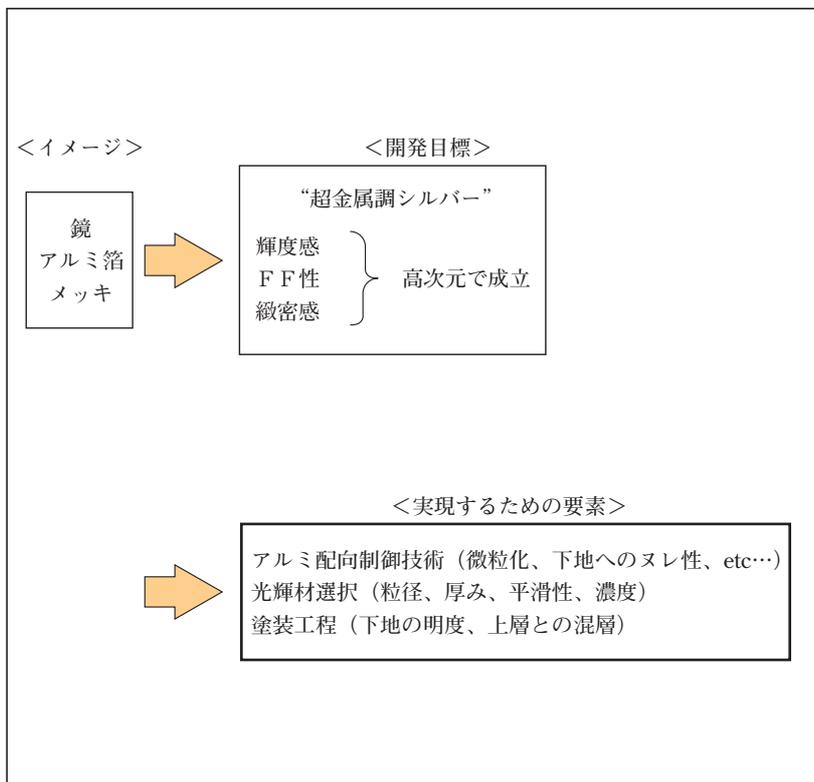


図4 超金属調シルバーの開発イメージと実現するための要素

### 2.1.1 微粒化

塗装霧化時の微粒化の良し悪しはアルミ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も多くなるため、塗着後のアルミ配向性は乱れてしまう。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も均一となるため、アルミの配向性は良好となる。図5にそのイメージのモデルを示す。

微粒化を良くするためには、霧化される塗料の高せん断（高シェア）時の粘度を低くすることが効果的である。また、高シェア時の粘度を低くする方法としては、塗料の固形分（Non Volatile=NV）を下げればよいことは、詳しく説明するまでもない。図6に、塗料のNVと高シェア時（ $=10^3$ [1/s]）の塗料粘度、及びアルミ配向性（FF性）との関係を示す。なお、塗料粘度の測定には、HAAKE社製レオメーターRS150を用いた。

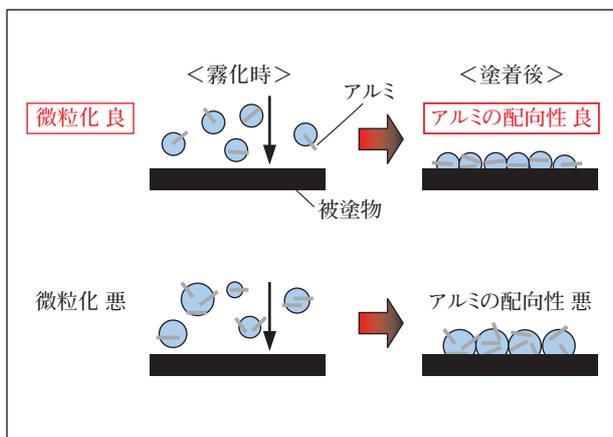


図5 微粒化とアルミの配向性

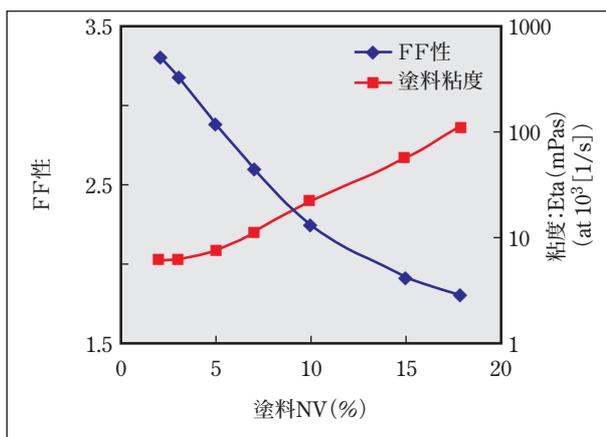


図6 塗料NVとFF性及び塗料粘度との関係

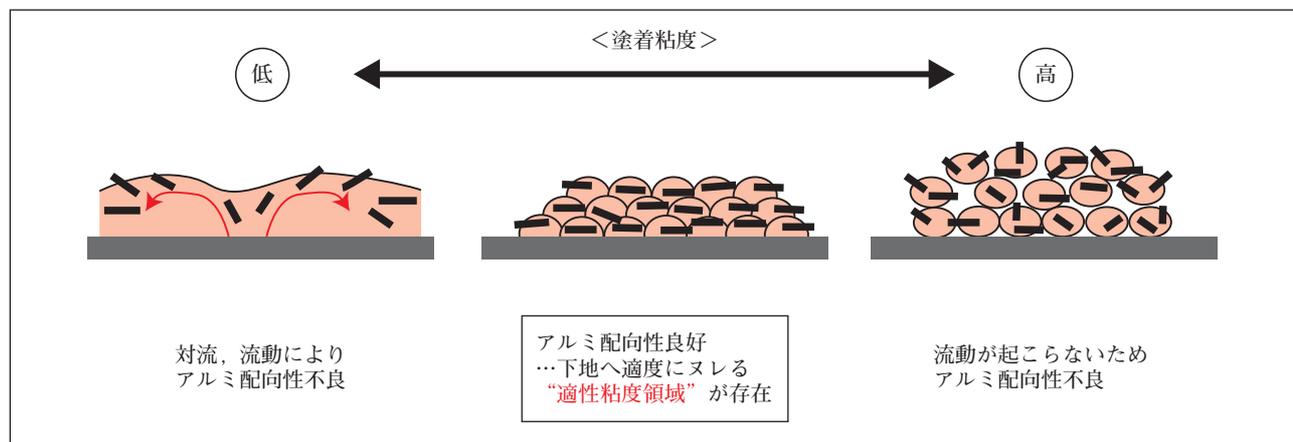


図7 下地へのヌレとアルミ配向性

また、FF性は、ミノルタ社製CM512m3の25°(ハイライト)と75°(シェード)の明度(L値)比をとった値である。塗料NVが低い程、FF性は高く、また、この時の高シェア領域での塗料粘度は低いことが判る。

### 2.1.2 下地へのヌレ性

下地へのヌレ性を向上させる上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の被塗物に塗着した時の粘度が高すぎると、ヌレ広がらず、流動が起こりにくくなるため、アルミの配向性が乱れる。逆に低すぎると、流動、対流が発生し、アルミの配向性が乱れる。従って、下地に対する適度なヌレと均一な粒子の連続膜ができるような適性粘度領域が存在すると考えられる。図7に下地へのヌレとアルミの配向性のモデル図を示す。

モデル的に、低いNVの塗料(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を変動させた時の、FF性を、図8に示す。塗着1分後のNVが15%以下になると、アルミ泳ぎ(=粘度が低すぎるため対流が起こりアルミが流動しやすい状態)が起こる。一方、NVが50%以上になると、塗着してからの流動が起こりにくくなるため、アルミの配向状態は良くない。従って、塗着NVには良好なアルミ配向状態が得られる適性範囲が存在し、このモデル場合、それは15%~50%の範囲であることが判る。

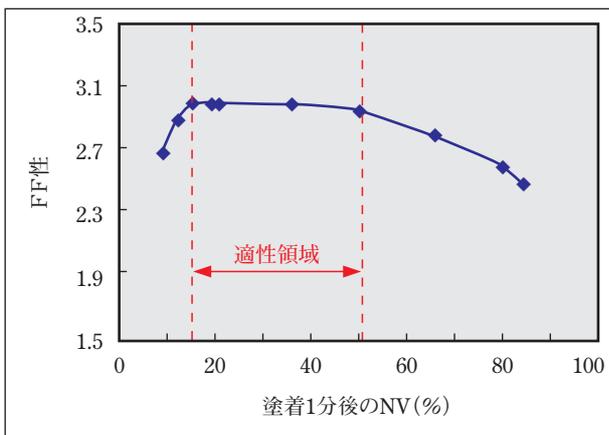


図8 塗着1分後のNVとFF性との関係

### 2.1.3 物理的な配向制御

膜厚もアルミ配向性を制御する上で重要なファクターである。塗膜中に存在するアルミの個数が同じであると仮定すれば、その膜厚を薄くすることで、物理的にアルミが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。図9に膜厚とアルミの配向性のモデル図を示す。

理論的に塗膜中のトータルアルミ量(個数)が等しくなるようにアルミ濃度を調整した塗料(薄膜の場合は高アルミ濃度、厚膜の場合は低アルミ濃度とする)を用いて、膜厚を変動させた時のFF性を、図10に示す。膜厚が薄い程、アルミの配向性が良好となることが確認できる。

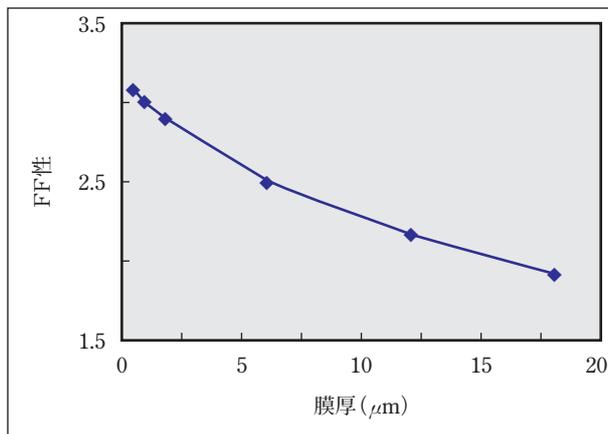


図10 膜厚とFF性との関係

### 2.1.4 アルミの流動制御技術

前述したような高アルミ濃度かつ低NVの塗料を開発ターゲットとした場合、塗着後に非常に低いNV状態にあるベースにおいて、アルミを流動させずにいかに制御させるのかということが、重要なポイントである。

この問題を解決するために、アクリル粒子の周りに高分子量の分散安定化剤とアルミ表面への吸着官能基を配した特殊な樹脂を開発した<sup>2),3)</sup>。図11に、この樹脂を用いた系のアルミ安定化のメカニズムを示す。アクリル粒子部が多く官能基を含有しており、ここが吸着点となって、高分子量の側鎖とともにアルミを安定化させると考えられる。

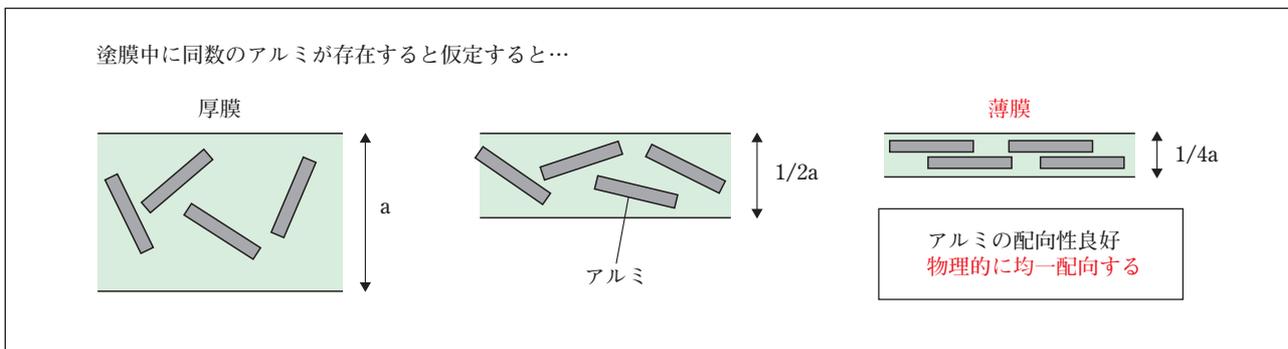


図9 膜厚とアルミの配向性

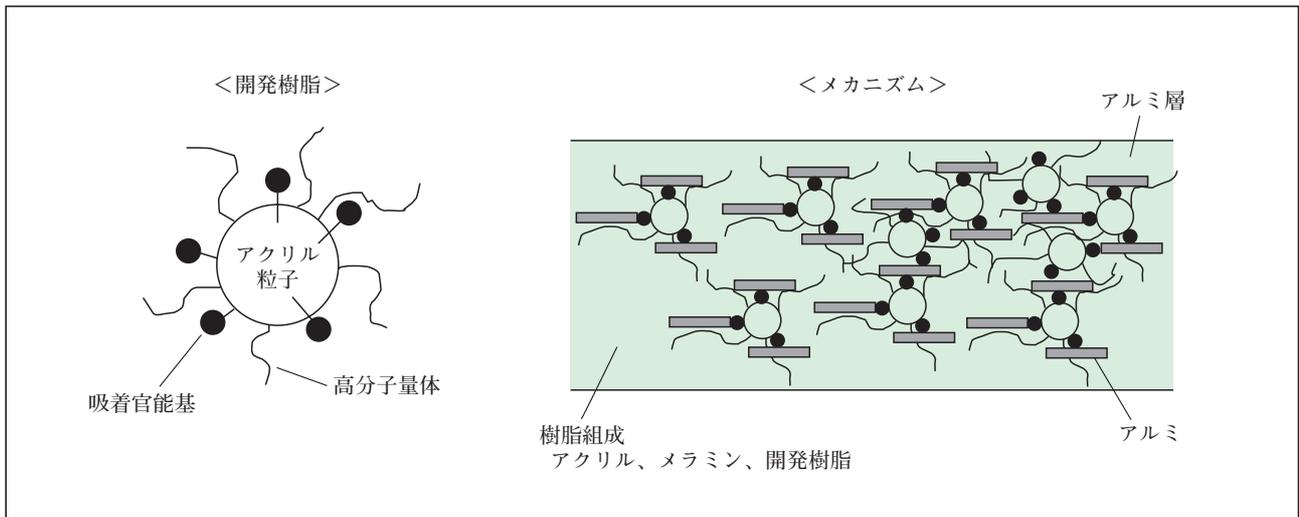


図11 アルミを“とめる”技術

またこの樹脂には、レオロジーコントロール剤(粘性付与剤)の機能も具備している。アルミを除いた系での塗着NVと粘度の関係を図12に示す。縦軸の粘度は低シェア(=10<sup>0</sup>[1/s])時のものである。塗着NV12%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。

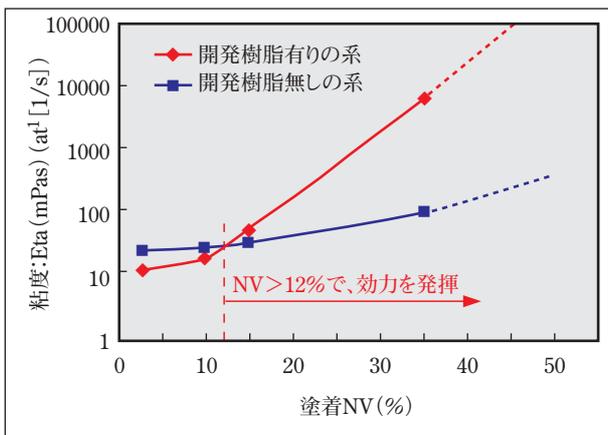


図12 開発樹脂使用系の塗着NVと粘度との関係

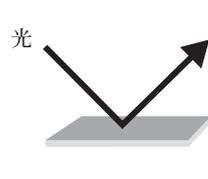
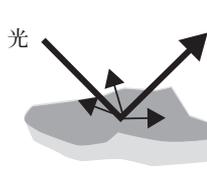
## 2.2 適切な光輝材の選択

ここでは、究極のシルバーである「超金属調シルバー」を実現するための、アルミそのもののあるべき姿について述べる。

従来のアルミフレークは、例えば微粉化されたアルミ粒子(アトマイズ粉)を、ボールミル等で粉碎、研磨するという製造工程により得られ、原材料の選定や粉碎、分級技術の発達により、近年のアルミフレークは粒度分布、表面の平滑性、輝度感において目覚ましい発展を遂げている。その一方で製造工程そのものを変え、アルミフレークを得るという技術も登場している。それはアルミを基板に蒸着させ、それを粉碎、分

級し、フレークにするものであり、こうして得られたアルミフレークを“蒸着アルミ”と呼んでいる。表2には、蒸着アルミの特徴を示し、写真1には蒸着アルミと従来のアルミの拡大写真を示す。

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13 $\mu$	約13 $\mu$
厚み	0.05 $\mu$	0.3~0.5 $\mu$
反射強度	非常に強い	(比較の基準)
表面状態	 極めて滑らか	 凹凸

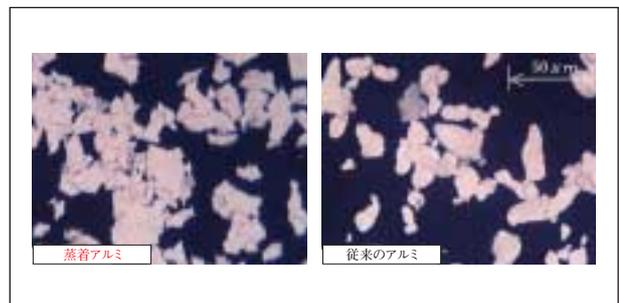


写真1 アルミの拡大写真

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13、及び図14に示す。図13は、塗料中のアルミ濃度(図中のPHR=樹脂固形分100[g]に対するアルミの重量[g])とFF性の関係を示す。蒸着アルミ

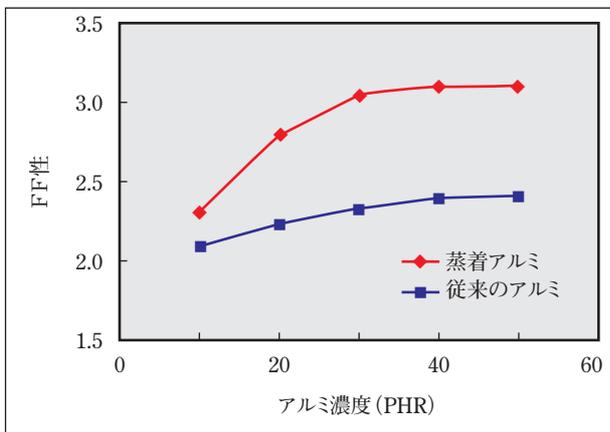


図13 蒸着アルミの濃度とFF性の関係

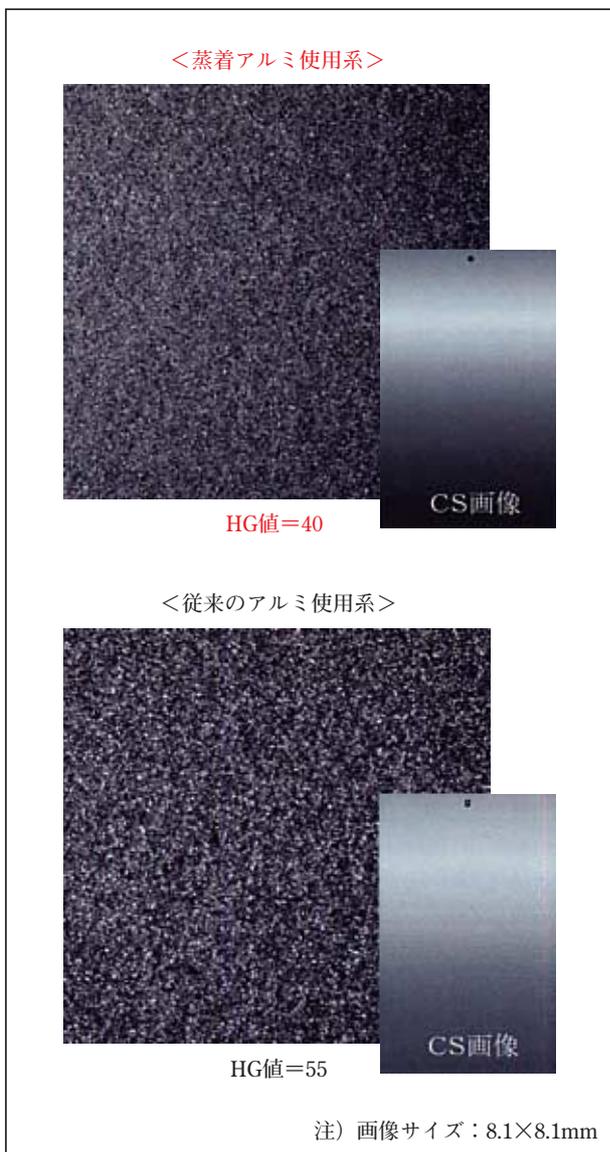


図14 蒸着アルミと従来のアルミのメタ感の比較

の方がFF性に優れ、アルミ濃度が増すほどFF性は増し、やがて飽和するのが判る。図14には、蒸着アルミと従来のアルミのメタ感(HG値:数値が小さいほど粒子感が小さいことを表す<sup>4)</sup>)と反射強度の指標としてColor Simulation (CS)

画像(CS画像:塗装板について変角色差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<sup>5)</sup>)を示した。蒸着アルミの方はHG値が40で、従来のアルミ(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、また反射強度も非常に強いことが判る。

### 2.3 塗装工程の設定

求める超金属調の意匠を達成するためには、塗装工程も非常に重要であり、そのポイントとなるのは、下地の明度と上層との混層制御である。それぞれについて以下に詳細を述べる。

#### 2.3.1 下地の明度効果

図15に示す様に、シルバーメタリック色においては、完全隠蔽するアルミ濃度以下では、その下地の明度や色相で見え方が変わる。ハイライトではアルミの反射光が非常に強いため下地の影響はほとんど受けませんが、シェードではアルミの間をすり抜けて、下地を反射して光が捉えられるためである。従って、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、下地の明度を低くし、ハイライトとシェードの明度差を大きくする手法が効果的であると考える。

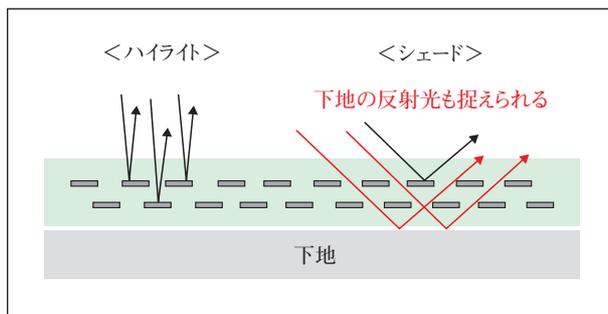


図15 下地の影響

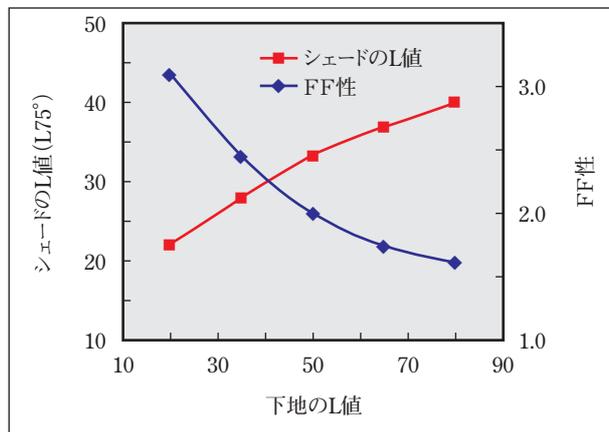


図16 下地の明度(L値)とシェードのL値、FF性との関係

図16に、下地の明度と、シェードのL値、FF性との関係を示す。下地の明度(L値)は、ミノルタ社製CR200にて測定

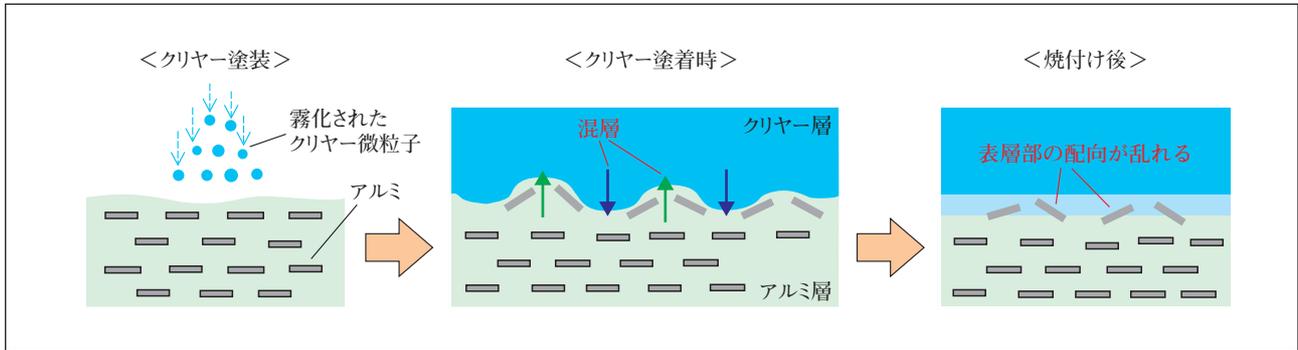


図17 混層によるアルミの配向不良

を行った。下地の明度が低いほど、シェードのL値が低くなり、それと連動してFF性が高くなるのが判る。この様に、下地の明度の選定とアルミ層との組み合わせによって、高いFF性を得ることができる。

### 2.3.2 上層との混層制御

通常メタリック色の塗装工程では、アルミ層（ベース）を塗装したあと、WETの状態、上層（クリアー）が塗装される。この場合、図17に示したように、アルミ層とクリアーとの混層によりベースの表層部分のアルミの配向性が乱れ、FF性の低下を招くと考えられる。

これを防ぐ方法としては、①ベースの塗着NVを上げる②クリアーの塗着NVを上げる③ベースを焼付けた後にクリアーを塗装する、ということが挙げられる。先述した通り、ベースの塗着NVには適性範囲が存在することから、①は得策ではない。②と③について、その効果を確認した。図18にはベースを塗装した後の工程とアルミ配向性（FF性）との関係を示す。クリアーの塗着NVを上げると、アルミ配向性は向上するものの、究極を目指すには、不十分なレベルである。

しかしながら、ベース塗装後に焼付け工程を挟み、その後クリアーを塗装すると、アルミ配向性は格段に向上することが判る。

上述してきたことをまとめると、“超金属調シルバー”を実現するための理想的な系は、図19のようになる<sup>9)</sup>。

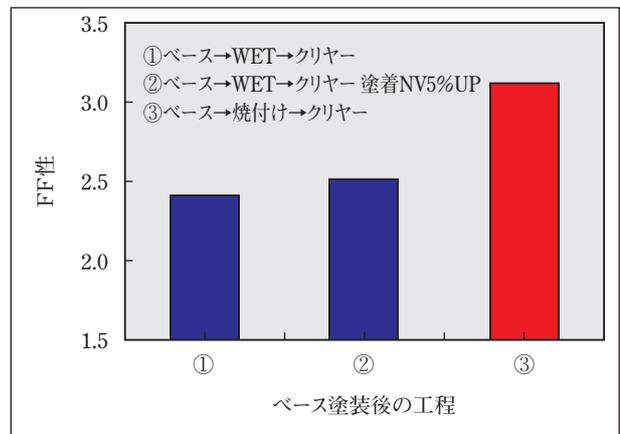


図18 ベース塗装後の工程とFF性との関係

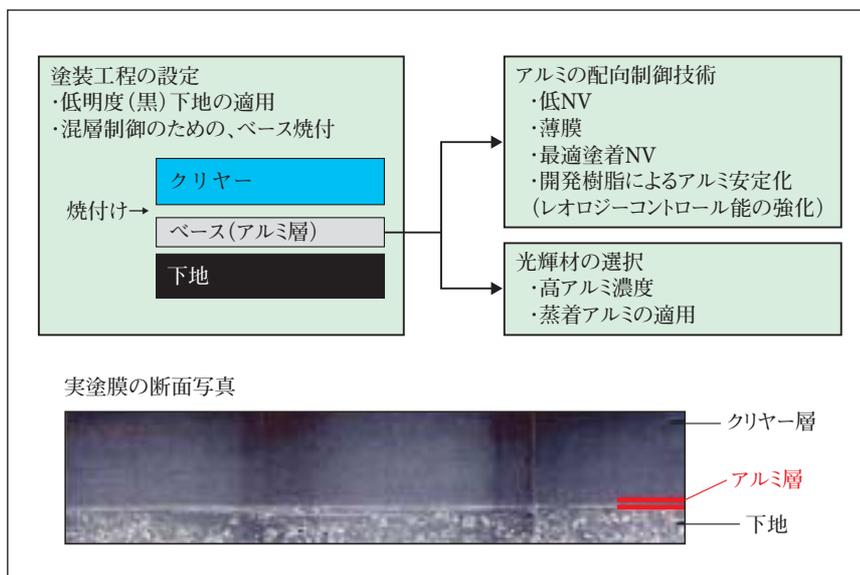


図19 超金属調シルバーを表現するための理想系

一般的には、アルミ層とクリアーとの間に焼付け工程を挟むことは、両者の層間密着性にはマイナスであると考えられる。しかしながら、上記の系においては、アルミを安定化させるために開発した樹脂が付着性に対し効果的に機能しており、その問題を克服している。図20に、開発樹脂の付着性に対する効果を示す。アルミ層を焼付けた後も、表層部において、この樹脂のアクリル粒子部分に含まれる官能基が多数残っており、これが上層との界面反応を促進し、密着性を向上させている。

ベース及びクリアーの焼付け温度を変動させた時の塗膜の付着強度を測定した。その結果を図21に示す。付

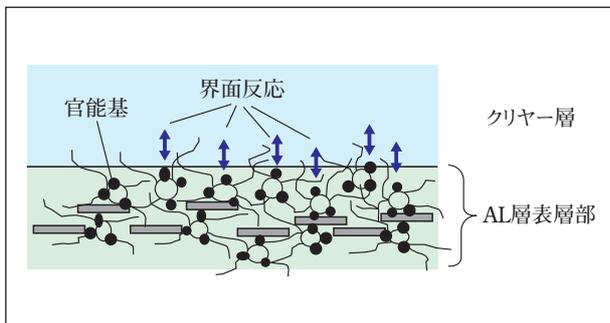


図20 開発樹脂の層間密着性への効果

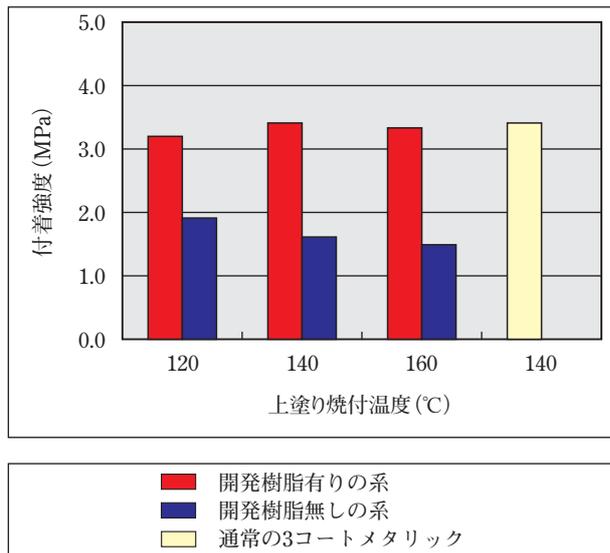


図21 上塗り焼付温度と付着強度との関係

着強度は、エルコメーター (Elcometer Instruments Ltd. 社製) により測定を行った。開発樹脂を用いた系は、それを用いない系に比べ付着強度が高いことが判る。また、120℃から160℃の範囲の焼付け温度においても、通常の3コートメタリック (中塗り→焼付け→ベース→WET→クリアー→焼付け) と同等の付着強度を有していることが判る。

### 3. 市場への展開

これらの検討結果から導き出された技術を適用することにより、目標とする“超金属調シルバー”をかなり高いレベルで表現することができた。もちろん、必要な塗膜性能の確保・ライン塗装適性については様々な問題はあるが、ここでは、それらを克服し、実際に市場へと展開したこの超金属調シルバーの最終型『コスモシルバー』について述べる。

図22にその塗装工程と各層の機能についてまとめた。中塗り、及びクリアーは、ダブルコート仕様により、外観品質向上 (高仕上り性) を達成している。意匠性 (メッキ感)・下地隠蔽性・下地のブツ隠蔽性を確保するために下地には黒 (ベース①) を塗装し、その上にWET ON WETでアルミ層 (ベース②) を塗り重ねる。また、アルミ層の上には、クリアーとの密着性をさらに向上させるため、ベース①とほぼ同材質のクリアー①を塗装する。これらにより、最終的には、8層塗り6回焼きという工程になった。これは“究極のシルバー”を目指したためであり、塗装ラインへの負荷が大きいことは言うまでもない。この省工程化は、今後検討していく課題である。

図23には、『コスモシルバー』及び従来のシルバーメタリック色 (CS画像) のHG値とFF性との関係を示した。この結果、これまでのシルバーとは比較にならないほど粒子感小さく、緻密で、かつFF性が高いことであることが判る。また、市場に展開したコスモシルバーを図24に掲載する。

市場においても、色そのもののみならず、それを実現するための塗装技術も高く評価され、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”を獲得した。

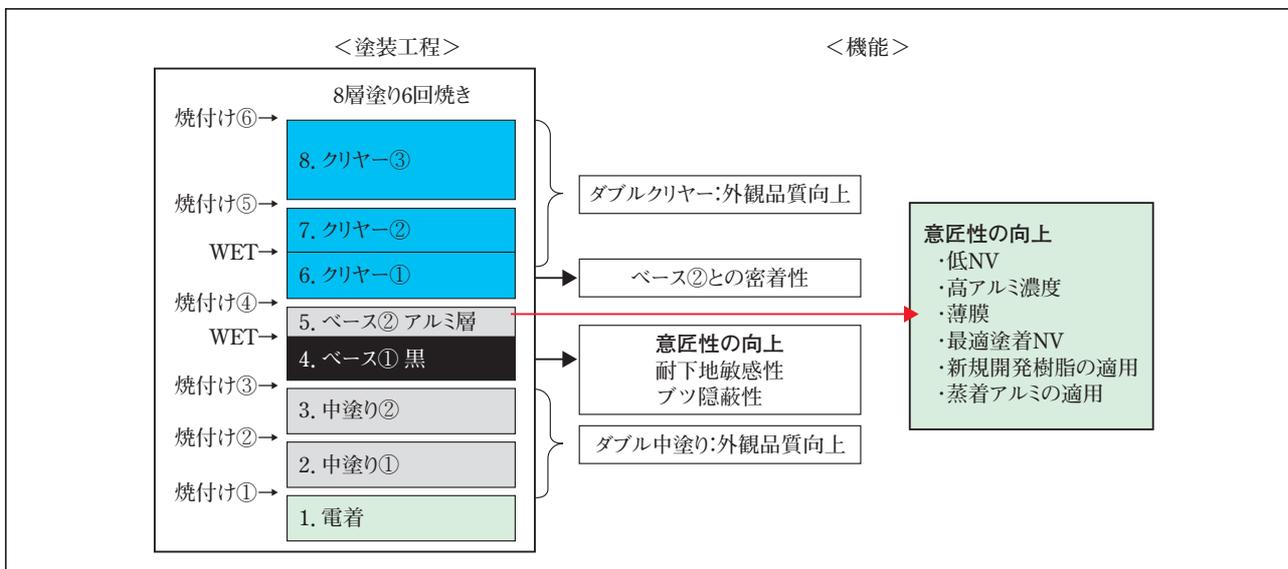


図22 超金属調シルバー『コスモシルバー』の塗装工程

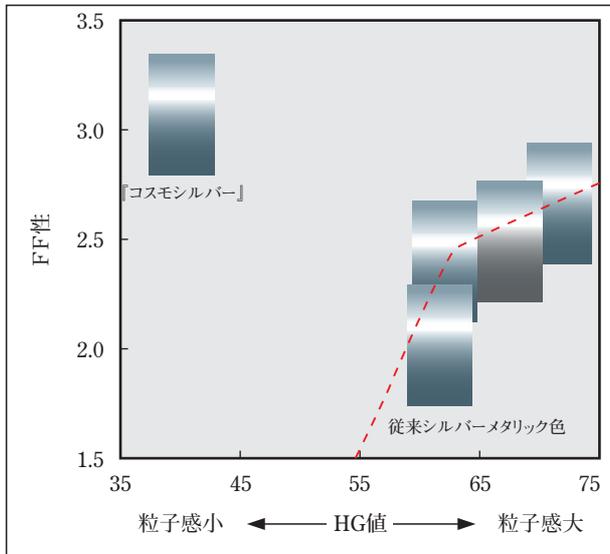


図23 『コスモシルバー』及び従来のシルバーメタリック色のHGとFF性の関係



図24 市場展開された『コスモシルバー』

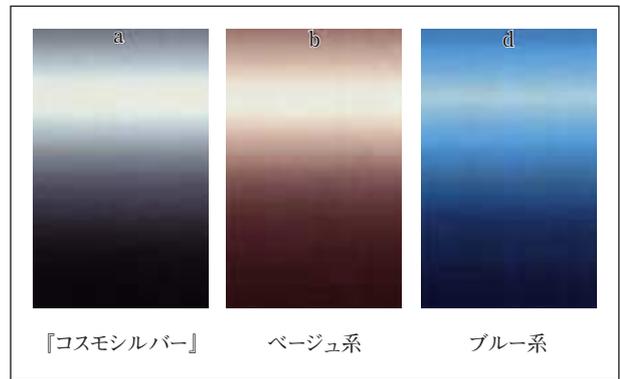


図25 多色化の一例

#### 4. 多色化への検討

コスモシルバーの商品力向上策としては、多色化が挙げられる。独特の質感を活かしつつ、そこに色味を加えることで、新たな領域が開拓できる。図25には、検討したその一例(CS画像)を示す。

#### 5. 環境対応と生産性の向上

今後、広く展開させていくためには、環境対応と生産性の向上(省工程化)が不可欠である。ポイントとなるのは、図22において、ベース①に水性ベースを導入すること、そして、ベース①～ベース②～クリヤー①の3WET化である。環境にやさしく、生産性の高くなった『コスモシルバー』が、近い将来実現できるはずである。

#### 6. 参考文献

- 1) JAFCA自動車色彩研究所調べ
- 2) 特開平10-338793
- 3) 特開平11-192453
- 4) 平山徹、蒲生真一、山長伸:塗料の研究、No.138、p8(2002)
- 5) 色材、69[12]、801-809(1996)
- 6) 特開平11-106686