

自動車メタリック塗装のイメージング観察(3) Imaging Observation of an Automobile Metallic Painting (3)

谷口 昌司, 田中 裕久, 神澤 啓彰, 中山 泰, 阪本 雅宜,
上田 雅也, 畑中 孝文, 野村 公祐, 大森 宏

Masashi Taniguchi, Hirohisa Tanaka, Yoshiaki Kanzawa, Tai Nakayama, Masanobu Sakamoto,
Masaya Ueda, Takafumi Hatanaka, Kousuke Nomura, Hiroshi Omori

ダイハツ工業株式会社
DAIHATSU MOTOR CO., LTD.

自動車メタリック塗装の明度や彩度に影響を及ぼすアルミフレークの配向メカニズムを明らかにするため、実験ハッチ外から遠隔操作で塗装し、その過程を in-situ 二次元イメージング観察した。様々な塗装条件での塗装過程におけるアルミフレークの配向挙動を観察することにより、塗料の希釈率を変えても塗布直後(5 s 後)のアルミフレークの配向には大きな差がないが、その後のアルミフレークの動きが収まるまでの時間に差が見られ、希釈率が高いほど動きが収まるまでの時間が長く、よりアルミフレークが水平方向に配向することを明らかに出来た。

キーワード： メタリック塗装、イメージング、アルミフレーク配向

背景と研究目的：

塗装はさまざまな製品の耐候性を高め長寿命化を実現するだけでなく、見栄え向上により商品価値を高めることが出来、産業界にとっては広く普及した極めて重要な産業基盤技術といえる。塗装技術は自動車だけでなく家電製品・民生機器・携帯機器・住宅機器・玩具などほとんど全ての製品に使われる極めて身近な存在である。特にメタリックやマイカ塗装は表面光沢を与えるだけでなく、角度によって明度や色彩が変化することで製品に立体感(奥行き)を感じさせ高級感を醸し出せるため採用が拡大している。

自動車においては製品出荷時に塗装されるだけでなく、経年使用された後に部分的に再塗装されるなど、極めて特殊な状況もある。この際に色調や光沢を揃えることが必須となるが、いくつかの科学的なアプローチ[1][2]もなされているが、熟練者の経験に頼っているのが現状である。特にメタリック塗装の色味・光沢を揃えることはさらに難易度が高く、メタリック塗装の発色・光沢のメカニズムを科学的に理解・解明することは極めて重要である。

これまで乾燥・焼付工程を経た塗装板サンプルを用いて SEM や CT スキャン等による光輝材(アルミフレーク)の配向性が、明度や彩度に支配的な影響を与えることがわかっている。アルミフレークのサイズは、長さ 20~30 μm 、厚み 1 μm 以下の円盤状であり塗膜中で様々な方向に配向している。SEM 観察により、このアルミフレークが水平に配向している割合が多いほど正面から観察した際の明度が高く、横から観察した際の明度が低くなることが分かった。しかしながらこの配向性が塗装工程中のどのような要因によって決定されるのか科学的な解明は困難であった。これまでに塗装中・ウェット状態での重ね塗り・乾燥・焼付けに至る動的なイメージング観察を行うための、実験条件の最適化に重点的に取り組み、二次元イメージング観察により、塗装過程でアルミフレークが塗膜中を動き回り、徐々に配向していく過程を直接観察することに世界で初めて成功した[3]。今回は様々な塗装条件での塗装過程におけるアルミフレークの配向挙動を観察することにより、配向性が塗装工程中のどのような要因によって決定されるのかを明らかにすることを目指した。このアルミフレークの配向性に及ぼす塗装工程の要因が明らかになれば、色変動を解消し品質の向上につながることを期待される。さらにはメカニズムの理解により、これまでにない新しい塗料や塗装技術の創成へと発展することを期待する。

実験：

Spring-8 の BL46XU のビームラインを使用し、入射光の形状はフロントエンドスリットの開口を 1×1 mm にして、試料上でのビームサイズは測定していないが、視野サイズより少し大きい程度に成型し

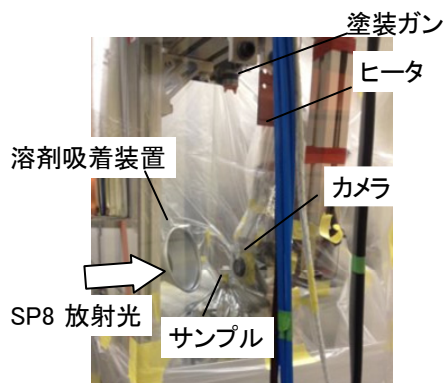


図 1. 実験装置外観

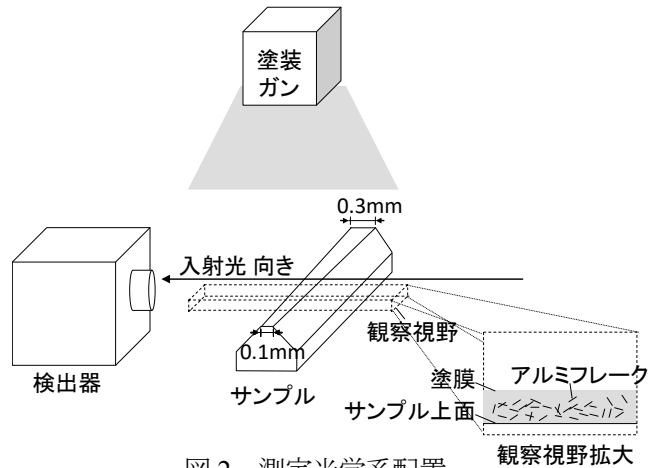


図 2. 測定光学系配置

た。ミラーの入射角度は 2.94348 mrad に設定した。試料は樹脂(塗装材：ポリプロピレン(PP)、塗料：アクリル樹脂)とアルミフレークからなり、比較的軽元素であるため X 線エネルギーは 10 keV で試験した。また、樹脂とアルミの吸収差が比較的大きく、屈折コントラストを用いずともアルミフレークが観察可能であると考えられるためカメラ長は 30 mm、検出器は浜松ホトニクス社製のビームモニター(10 倍レンズ)と CCD カメラ(C4880-41S)を組み合わせ用いた。

in-situ 測定のためハッチ内に自動塗装ガン、ヒーター、塗料吸着処理用の活性炭吸着装置を設置しハッチ外から遠隔操作した。サンプルに対して真上から塗装できるように、またヒーターをできる限りサンプル近傍でカメラに熱影響を及ぼさないために、塗装ガンとヒーターを固定したワークを可動式にし、それぞれ使用時にサンプル直上に移動した(図 1)。

断面が 6 角形の形状をし、上面が 0.1 mm~0.3 mm の楔形のサンプルの上部から、塗料を噴き付け、上面に塗装された塗膜の横から光を入射し、塗膜中に含まれるアルミフレークを観察した(図 2)。塗装条件をより実際の条件に近づけ、塗料の希釈率を 3 種類、揮発性の違う溶剤を 3 種類、それぞれを組み合わせて試験を実施した(表 1)。乾燥後の塗膜厚み約 20 μm になるよう、アルミフレークを含むアクリル塗料を塗布し、溝内に塗装された部分を二次元イメージング(露光時間 120 ms)により観察した。120 ms の露光時間にデータ保存の時間を加え、約 0.6 s 毎に 1 画像を撮影した。

結果および考察：

以前実施した塗装過程の二次元イメージング[3]は、塗装材に溝を形成しその中に塗布した塗膜を観察するため奥行き方向に約 5 mm 透過する必要があった。そのため 15 keV で測定を行ったが、今回の評価は、凸上のサンプル上部に塗布し 0.1~0.3 mm の塗膜のみを透過するように評価方法を改善したため、コントラスト向上も狙いとして 10 keV で測定を行った。

今回、塗装過程は実際の条件に近づけるよう 1 回あたり約 0.1 s の塗布を 3 回連続(インターバル約 1.2 s)で行った後、90 s 後に再度 0.1 s の塗布を 3 回連続(インターバル約 1.2 s)で行った。後半の塗料噴霧が塗装面の明度に大きく影響を及ぼすと考えられるため、後半の塗布が終了した時点をも 0 s と定義し、4.8 s 後の画像と 180 s 後の画像を詳細に解析した。解析例を図 3 に示す。見た目に影響を及ぼす塗膜再表面に存在するアルミフレークの長さや配向角度(水平方向を 0°と定義)を解析し、横軸に配向角度、縦軸に頻度とアルミフレークの長さをかけたもののヒストグラムとそれを正規分布曲線で近似した(図 4)。同様の解析を他のデータについても行い、正規分布曲線を比較したものを図 5 に示す。正規分布曲線の比較は、1 画像あたりに観察されるアルミフレークの数や長さが異なることから、正規分布曲線の面積を揃えて実施した。この正規分布のピークがシャープなほど、アルミフレークが水平方向に配向していることを示している。

図 5 より、塗布後 4.8 s 後は、塗料の条件に関わらずアルミフレークの配向に大きな差は見られず、180 s 後は、No.3 +20% > No.5 遅 > No.2 -20% > No.1 標準 > No.4 早の順でアルミフレークの水平方向への配向が進む結果となった。これらの結果から、塗料の違い(希釈率や溶剤種類)は、5 秒後のような塗布直後のアルミフレークの配向にはほとんど影響を及ぼさず、その後の膜厚の収縮に伴う動きの方

表 1. 塗料条件

No.	名称	希釈率	溶剤種
1	標準	標準	標準
2	-20%	-20%	
3	20%	20%	
4	早	標準	揮発早い
5	遅	標準	揮発遅い

がアルミフレークの配向に影響を及ぼすと考えられる。No.3 +20%やNo.5 遅 は、希釈率が高いこと、また溶剤の揮発速度が遅いことから、アルミフレークの動きが収まるまでに時間がかかり、それによってアルミフレークの配向が進んだものと考えられる。また 180 s 後もアルミフレークの配向が進まなかった No.4 早については、塗布後 5 s 後にはほとんどアルミフレークの配向が決定されているということを示唆している。

今後の課題：

想像よりも早くアルミフレークの動きが止まることから、1 コマ当たりの計測時間が約 0.6 s(露光時間+データ保存時間)では、塗装直後の詳細な解析ができない。時間分解能を上げた計測を行い、塗装直後のアルミフレークの配向と塗装条件の関係を明らかにすること、また実際の塗装工程で多く行われる垂直板への水平方向からの塗装条件についても同様の評価を行い、塗装条件とアルミフレークの配向挙動の関係を明らかにすることを目指す。

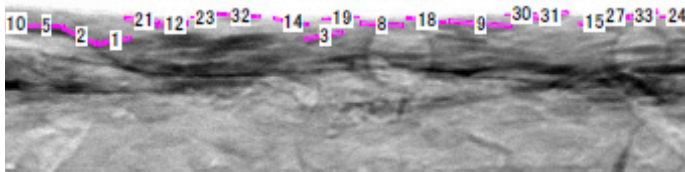


図 3. No.1(標準、標準)4.8 s 後データ解析例

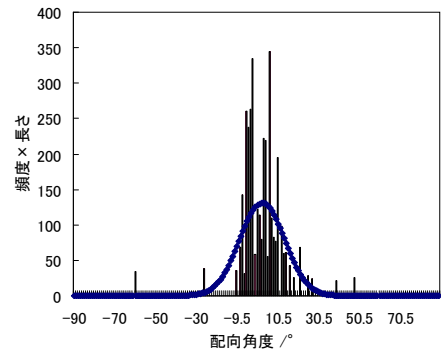


図 4. No.1(標準、標準)4.8 s 後 ヒストグラム

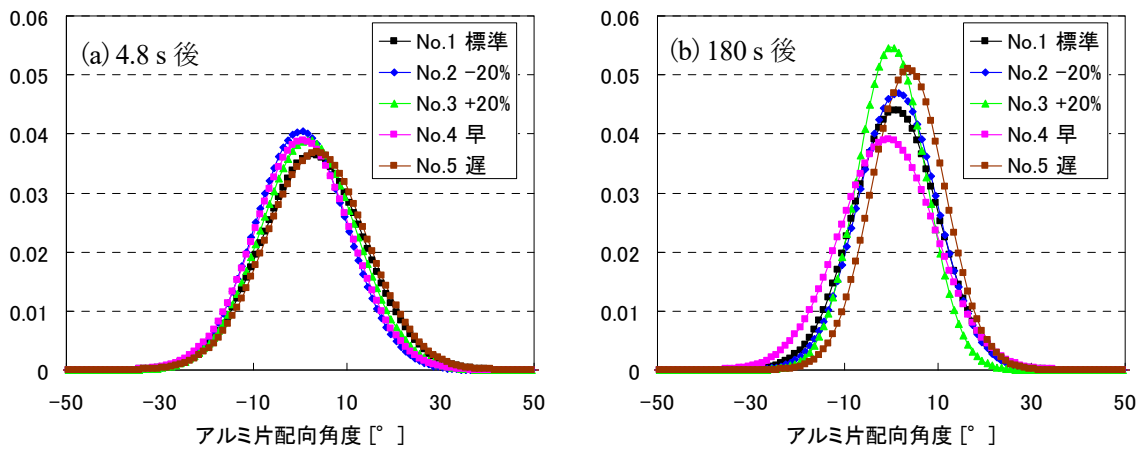


図 5. アルミ片配向度比較 (a) 4.8 s 後、(b) 180 s 後

参考文献：

- [1] 川口洋一ら、塗料の研究, **145**, 14 (2006).
- [2] 佐々木宣征、TECNO-COSMOS, **22**, 8 (2009).
- [3] 谷口昌司ら、SPring-8/SACLA 利用研究成果集, **3**, 1 (2014).