

## 自動車メタリック塗装のイメージング観察(4) Imaging Observation of an Automobile Metallic Painting (4)

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。最短で 40 ms の露光時間で連続撮影することにより、アルミ片を含む塗料の液滴が試料に付着し塗膜を形成する様子を一部撮影することができた。また今回初めて撮影した水平方向からの塗布条件では、重力の影響で溶剤が下方に流れるとともにアルミ片も下方に流れ、配向に悪影響を及ぼす様子が観察されたが、塗膜の収縮と共にアルミ片が配向する様子も観察された。

**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  $\mu\text{m}$ 、厚み 1  $\mu\text{m}$  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・ウエ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]。今回は計測 PC の性能向上によるデータ保存時間の短縮により時間分解能を上げた評価を行うことで、さらに詳細な解析を行い、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。また実際の塗装現場で用いられる水平方向からの塗布条件におけるアルミ片の配向についても解析した。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。



図 1. 実験装置外観

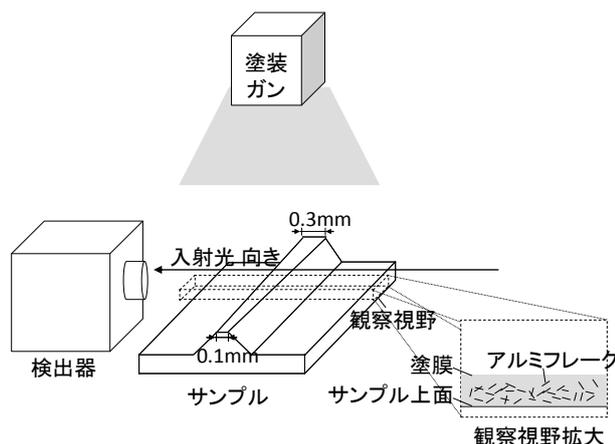


図 2. 測定光学系配置

### 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3(10倍レンズ)とCMOSカメラ(C11440-10C)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)。

断面が台形の形状をし、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)。また今回の試験では、塗装方向を垂直方向だけでなく、実際の塗装工程で多く使用される水平方向からの塗装実験も実施した。塗装条件をより実際の条件に近づけ、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、試料の奥行き方向の厚みが最も薄くなる部分(奥行き0.1 mm)に形成された塗膜部分を二次元イメージング(100 ms、X線エネルギー10 keV)により観察した。今回の試験では、計測PCの高性能化により露光時間100 msでもデータ保存時間をほぼなくすことができ、連続した画像を撮影することができた。

### 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。イメージング試験中に塗膜中から気泡が発生することがあり、X線の輝度をあげることにより気泡の発生が促進されることが分かったため、気泡の発生を抑制できる条件までアテネーターとAl箔で輝度を制限した。このため、今回の試験以上に露光時間を短くして試験することは困難であると推測される。

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2.3 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2.3 s)で行った。最後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、最後の塗布が終了した時点をも0 sと定義した。図3に、上方から塗装した際の塗布終了直前-1.0、-0.6 sの画像を示す。アルミフレークを含む塗料の液滴が塗膜に付着し、そのまま塗膜中にアルミフレークが入り込んでいく様子を観察できた。このことから、塗布直後は塗布の勢いでアルミフレークが水平には配向せず色々な方向に向きやすいことが分かる。

図4に、水平方向から塗装した際の0、0.4 s後の画像を示す。塗布直後に塗膜中のアルミフレークが

重力によって下方に移動する様子が観察された。実塗装でも水平と垂直で同じ塗装条件でも色が変わるため、今回観察された重力によるアルミフレークの移動が輝度や色味に影響を及ぼしているものと推測される。

**今後の課題：**

アルミフレークの配向を解析する手段として、1枚ずつハンドで画像解析ソフトを用いて解析しているため非常に時間がかかっている。画像解析の自動化が課題の一つといえる。

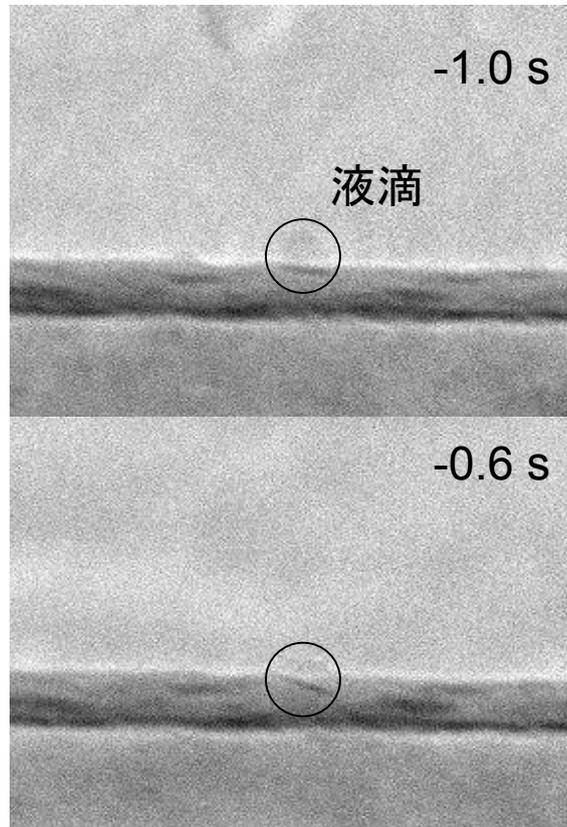


図 3. 垂直方向の塗布画像(-1.0, -0.6 s)

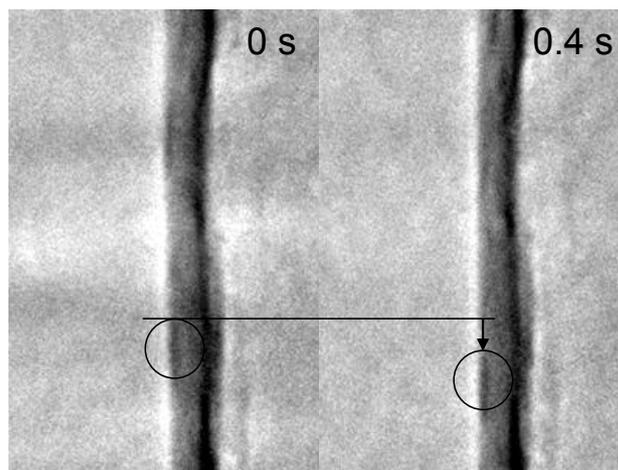


図 4. 水平方向の塗布画像(0, 0.4 s)

**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).