

自動車メタリック塗装のイメージング観察(5) Imaging Observation of an Automobile Metallic Painting (5)

中山 泰, 神澤 啓彰, 宮本 晃成, 中野 純, 杉谷 篤史,
大森 宏, 野村 公祐, 永尾 幸造, 由良 浩士, 伊藤 正将
Tai Nakayama, Yoshiaki Kanzawa, Terumasa Miyamoto, Jun Nakano, Atsushi Sugitani,
Hiroshi Omori, Kousuke Nomura, Kouzo Nagao, Hiroshi Yura, Masaki Ito

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及びパール(以下光輝材)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。10 ms の露光時間で連続撮影することにより、光輝材を含む塗料の液滴が試料に付着し塗膜形成する初期段階を撮影することに成功し、塗膜形成メカニズムの一部を明らかにした。今回の多層塗装の観察によって、1 層目と 2 層目の塗装間隔と塗料希釈条件が塗膜粘度に影響を与え、光輝材の配向の安定性に対して重要であることが確認出来た。

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、パール、光輝材

背景と研究目的：

塗装は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。メタリックやパール塗装は表面光沢を与え、見る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(深み)を感じさせ高級感を醸し出せるため採用が拡大、更に近年では異なる光輝材を含有する塗料を複層塗装することで美観を向上する技術も採用[1]されている。

自動車においては製品出荷段階に部品間の塗装色調の調和だけでなく、経年使用された後に部分的に補修塗装されるなど、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であり、いくつかの科学的なアプローチ[2][3]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。メタリック、パール塗装の色味・光沢を揃えること、つまり含有する光輝材の配向を制御することが難しく、これらの塗装の発色・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の SEM や CT スキャン等による観察の結果、光輝材の配向が、塗色の明度に支配的な影響を与えることがわかっている。光輝材のサイズは、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、この光輝材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、塗装過程で光輝材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[4]。前回実験(2015B1921)では PC の性能向上により時間分解能を 100 ms に向上した結果、光輝材は吹付け塗装された後の短い時間で大きな動きが停止し、その後塗膜収縮と共に塗膜内で配向すること、また吹付け直後の塗膜粘度が低い状態では、垂直の塗装面において光輝材が重力の影響を受けて流動する事が確認できた。今回の実験では計測 PC の更なる性能向上と蛍光体の変更により、時間分解能 10 ms の観察に挑戦し、塗料吹付け直後の塗膜形成における光輝材の配向する現象を詳細に観察することを目指した。この光輝材の配向に及ぼす塗装工程の要因が明らかになれば、日常で発生する塗装変動

の不具合を解消し品質の向上につながることに共に、メカニズムの理解によりこれまでにない新塗料への対応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

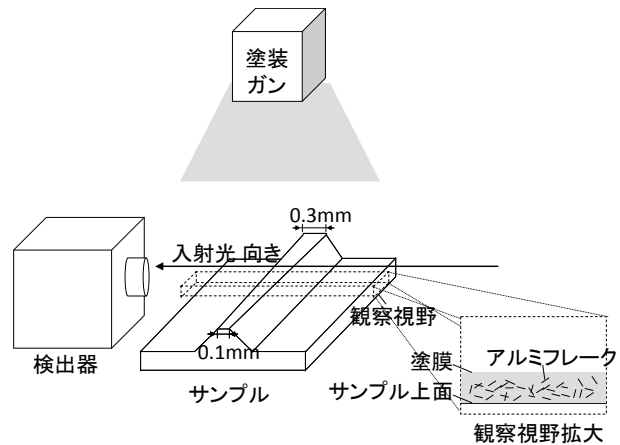


図 2. 測定光学系配置

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 $1.2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 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 4.42 mrad に設定した。溶剤塗料の実験において試料は樹脂(サンプル：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、水性塗料では塗料吹付け後の加熱乾燥工程を観察する必要からサンプルに ZERO®(ゼロ膨張ガラス)を採用した。塗膜は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。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光輝材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高解像度 X 線イメージングユニット AA50(10 倍レンズ)と CMOS カメラ (ORCA-Flash4.0) を組み合わせて用いた。蛍光体は前回使用の LSO ($\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ 、厚さ $10\text{ }\mu\text{m}$) から LuAG ($\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ 厚さ 1 mm) に変更した。in-situ 測定のためハッチ内に自動塗装ガン、加熱用ヒーター、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。サンプルに対して水平及び垂直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避ける為、塗装ガンとヒーターを可動式にし、使用時にサンプル直上に移動するよう制御した(図 1)。

断面が六角形の形状をし、上面が $0.1\text{ mm} \sim 0.3\text{ mm}$ 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似するため、乾燥後の塗膜厚みが約 $20\text{ }\mu\text{m}$ になるよう、アルミフレークを含むベース塗料 2 層を吹付け、揮発速度の違う溶剤を 3 種類組み合わせて試験を実施した。塗料がサンプルに吹付けされる塗膜形成初期段階(約 10 秒)を二次元イメージング(露光時間 10 ms)により観察した。

結果および考察：

前回実施した塗装過程の二次元イメージングは、凸上のサンプル上部に塗料を吹付け $0.1 \sim 0.2\text{ mm}$ の塗膜を透過するように設定し、コントラスト向上も狙いとして 10 keV で測定を行った。前回実験では露光時間の短縮は X 線強度を上げる必要があり塗膜中から気泡が発生するため困難との結論であったが、塗膜への X 線照射時間を塗料吹付け開始から塗装後 20 s 程度に限定することで、塗膜中からの気泡発生を抑制した。

塗装過程は実工程で塗装される 2 ステージの重ね塗りを想定した条件とし、1 ステージ目として約 0.1 s の塗布を 3 回連続(塗装間隔約 2.3 s)で吹付けた後、ステージ間の静置時間(90 s または 300 s)経過後に、2 ステージ目として 0.1 s の塗布を 3 回連続(塗装間隔約 2.3 s)で行った。1 ステ

ジと 2 ステージの吹付けで塗膜形成の現象の差を把握するため、各ステージの吹付け開始から約 12 s の間で撮影を行った。各ステージの最後の塗布が終了した時点を 0 s と定義した。

1 ステージの吹付け直後の塗膜は、溶剤の揮発が進んでおらず光輝材が非常に大きく動くのに対し、2 ステージでは 1 ステージで形成された塗膜の影響もあり、光輝材の動きが小さいことが判った(図 3)。ステージ間の静置時間が溶剤の揮発に伴う塗膜粘度を上昇させ、光輝材の配向の安定に大きな役割を果たしていると考えられる。塗料粒子が個々に被塗物に吹付けられる様子は今回の 10 ms での観察で、一部撮影に成功できた(図 4)。

以上の結果から塗料吹付け直後の塗膜粘度とその後の粘度の変化(乾燥過程)が、光輝材の配向において極めて重要であることが示唆された。

今後の課題：

光輝材の運動解析の手段として、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。光輝材の粒子運動を自動追尾できる画像解析手法の実現が今後の課題である。

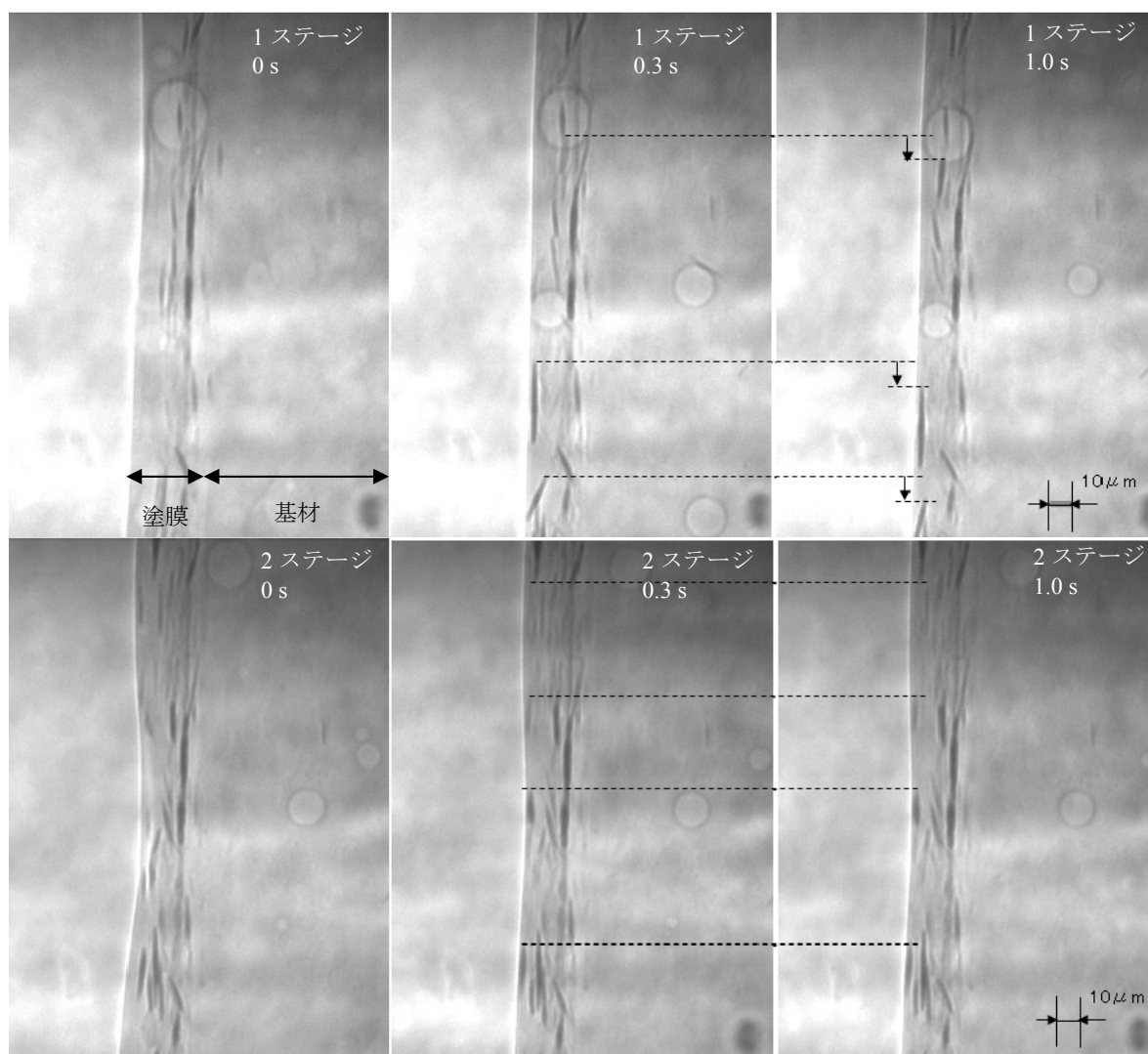


図 3. 1 ステージ(上段)と 2 ステージ(下段)の光輝材の動き (0 s, 0.3 s, 1.0 s)

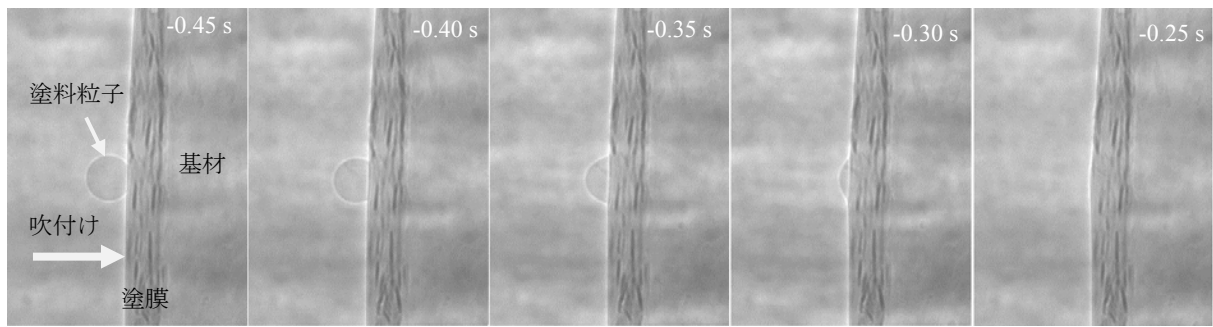


図4. 塗料粒子の付着の瞬間(-0.45 s, -0.40 s, -0.35 s, -0.30 s, -0.25 s)

参考文献：

- [1] 平野文美、マツダ技報 No34(2017).
- [2] 川口洋一、塗料の研究, **145**, 14(2006).
- [3] 佐々木宣征、*TECNO-COSMOS*, **22**, 8(2009).
- [4] 谷口昌司、SPring-8/SACLA 利用研究成果集, **3**, 1(2014).