

## 塗装品質向上に向けた取り組み

生産本部 生産管理部

### 1 はじめに

当社では2014年2月に自動塗装設備を導入し、全塗装車体への適用・運用を開始した。

多くの試行錯誤を経て現在に至るが、手作業による従来の塗装工法と比較し、様々な面で良好な結果を得ることができた。

本稿では、当社における自動塗装設備の概要と、塗装品質を左右する塗装条件選定に関し、これまで検討してきた塗装試験の事例を交え、塗装品質向上に向けた当社の取り組みを紹介する。

### 2 自動塗装設備の概要

自動塗装設備は、静電塗装装置とベル回転霧化式塗装ガン（以下、塗装ガン）（図1）をアーム先端に装着した内圧防爆構造多関節ロボット（以下、ロボット）（図3）、それらを移動させる搬送台車、主制御装置、その他補機類で構成されている。同じ構成の設備が2組あり、被塗物である鉄道車両車体の両側、妻構体の他、1-3位、2-4位の側構体を同時に塗装が可能である。



図1 ベル回転霧化式塗装ガン

ロボットは、被塗物の3Dデータを用いることによりオフラインでのティーチング、各種のシミュレーション、動作確認も可能である。実際のロボットアームが被塗物へアプローチする動作や塗装軌跡、曲面に対する微調整・補正等、最終的な調整・動作確認は実車を用いてオペレーターが行っている（図2）。

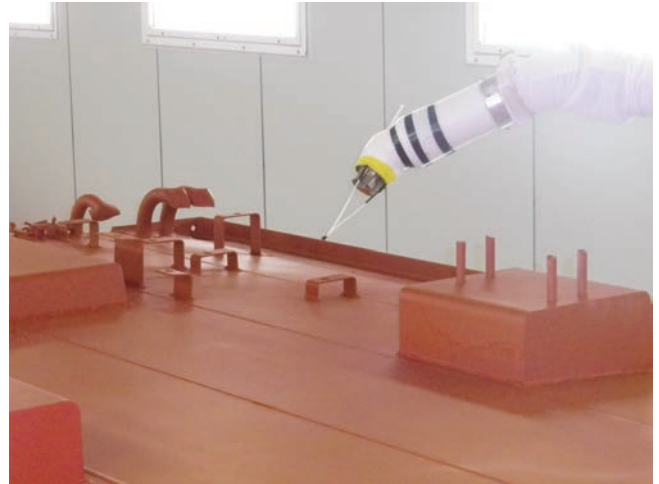


図2 実車でのティーチング確認

これらロボットに関するティーチングプログラムその他、周辺機器の動作プログラムを統合し、マスタプログラムとして一連の塗装工程を教示する。これにより、同一色であれば一時停止や作業者の介在なくプログラムされた塗装作業が完了する。

また、プッシュプル型塗装ブースとも連携し、複雑な操作を必要とせず、一連の工程を自動で完了できる。

プッシュプル型塗装ブースには乾燥機能も備わっており、塗装後、ただちに乾燥することにより、時間短縮、ならびに品質の安定に寄与している。

#### 2.1 静電塗装装置

静電塗装とは、被塗物をプラス極（アース状態）に保ち、塗装機をマイナス極とし、塗装機に高電圧を供給して両極間に静電界を形成し、霧化した塗料粒子にマイナスの電荷を与えることによって、塗料粒子を被塗物に塗着させる塗装技術である。

この塗装方式では、被塗物に対し塗料を吹き付ける正面だけでなく、側面あるいは背面まで回りこんで塗着する現象を利用できるため、複雑形状に対し、ロボットと組合せることにより、一定方向、速度で動作させることができるため、手作業を上回る仕上りが期待できる自動塗装に適した方式である。

## 2. 2 多関節ロボット

塗装ガンを機械的に自動で移動動作させる方式は多種に渡るが、車種ごとに異なる断面、形状をもつ鉄道車両には多関節ロボットが適している。車体形状を忠実にトレースが可能なおうえ、塗装ガンと被塗物との距離や角度を一定に保つことができ、手作業と比較し、確実性と品質の安定に大きく寄与している。



図3 多関節ロボット

## 3 塗装条件の選定

自動塗装を行うにあたり、溶接機での電流、電圧、送り速度などの条件と同様に、塗装機に設定する各種パラメータを決定し、塗装条件とする必要がある。

塗装条件を形成するパラメータには、塗料に関するもの、塗料粒子に印加する電圧などに関するもの、塗装ガンの被塗物との距離や、送り速度、塗料吐出量、塗料粒子径に関するものなど多岐にわたる。

それらを決定するには、パラメータの各項目をそれぞれ調整し、実際の試験塗装の結果をもって微調整、再試験、再調整を繰り返して行き、精度を向上させる。

最初に使用する大まかな塗装条件は、過去の実績から類似の塗料、塗装仕様、色彩などで決定し、試験塗装を繰り返しながら各パラメータの調整を行い、詳細を決定することが多い。

試験塗装に実際の車体を用いて行うことが困難であるため、代替方法を用いて試験し、条件を決定する必要がある。その試験の一部を紹介する。

### 3. 1 テストピース塗装

被塗物である車両車体と同材質の板（テストピース）（図4）を用い、実際と同様の下地処理を行った後、試験塗装により、仕上り状態を確認する。

テストピースとして用いる板の大きさは、使用する塗料や、車体塗装面積などにより適宜選定している。

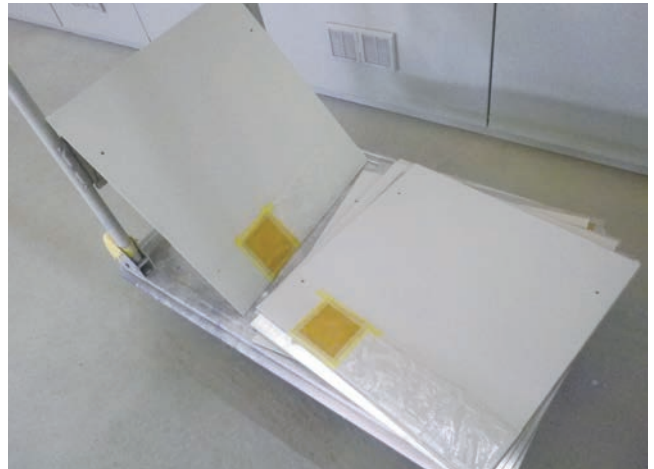


図4 試験で用いるテストピースの一例

### 3. 2 モックアップ塗装

3.1で平面的に塗装したものの評価で良好だった条件であっても、車体の形状に沿った塗装をした際に、最も重要である視覚的に望まれる塗装状態には仕上がらない場合がある。これは、車体形状により、光の反射等に影響を及ぼすためと考えられる。

形状に起因すると思われる最終仕上り状態を確認、予測する方法として、被塗物である車両形状の一部を忠実に模した試験板（図5）、または実車の一部を模したモックアップを使用し、実際と同一の塗装を実施し、確認、評価を行っている。

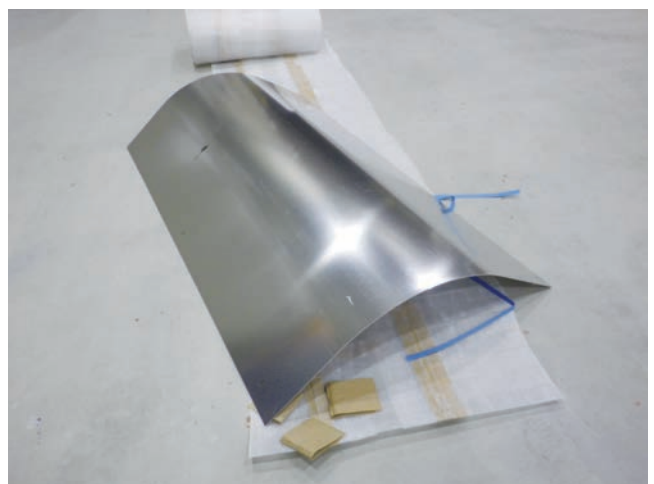


図5 車体形状の一部を模した試験板の一例

また、モックアップを用いた塗装試験では、車体形状に応じた多関節ロボットの動作範囲（塗装可能範囲）、干渉物の確認のほか、塗装軌跡の確認を行うことができる（図6）。





図6 モックアップを使用したロボット動作範囲確認

モックアップを用いる試験では、養生方法の選定にも一役かっている。数種の養生方法を施したもの（図7）に塗装を行うことで、塗膜付着後の重量が増した養生材の挙動の確認や、固定方法の妥当性確認、養生材によるブース気流の変化挙動の確認が行えるなど、塗装前後作業の確認にも有効である。



図7 モックアップを利用した養生方法の選定

### 3.3 塗装評価、塗装条件の決定

仕上り状態は隠ぺい度の確認、目視のほか、膜厚、光沢、色彩、色度を測定し、客先承認塗装見本板と比較し、評価を行う。

特にメタリック系色やパール系色の場合は単色（ソリッド色）と異なり、塗料中に含有する微細な光輝材（アルミフレークなど）が一様な方向に並んでいないと「ムラ」となって見えるため、当社では、メタリック、パール系塗装の評価に適しているとされるマルチアングル方式の計測器を用いて、目視以外の定量的な評価を行っている。

これらの評価により、客先承認塗装見本板との差異が許容できる範囲内であることを確認し、塗装条件として決定するが、数値には表れない視覚的要素が存在するため、最終的には人の目による目視評価も合わせて行っている。

評価には複数人の目で多角的に評価し、選定された塗装条件を確定する。この最終目視評価は、室内照明下と太陽光下では大きく異なるため、製品の使用環境と同一である太陽光下で行う。特にメタリック、パール系塗装の場合、塗膜内部で複雑な光の反射、屈折をする光輝感（図8）は太陽光下以外では適正な評価を行うことができないためである（図8）。



図8 太陽光下での仕上り評価

## 4 2コートマイカ塗料の静電塗装適用

今まで当該設備を用い、単色（ソリッド色）およびメタリック色を上塗り塗料として、静電塗装を行った実績があるが、一般にパール色と呼ばれる2コートマイカ塗料を上塗り塗料として、当社では初めてとなるステンレス鋼製車両への静電塗装適用検討を行った。

### 4.1 2コートマイカ（パール色）塗料について

今回ステンレス鋼製車両に適用した2コートマイカ塗料は、一般的に真珠のような輝きを見せる「パール色」が採用された。

パール色は光輝材として微細なマイカ（雲母）をソリッド色に添加させたものであり、光が当たると光を透過しつつ、塗膜内部で複雑な光の反射・屈折により、真珠のような独特の光輝感を生み出す。

メタリック色同様、パール色も塗装表面の光沢を出す目的に加え、塗膜表面の保護のため、上塗り塗装後、無色のクリア塗装を施す。

今回、2コート塗装と3コート塗装（コートとは塗り重ねる回数）が検討されたが、将来にわたり客先で行われ

る、補修性・施工性を考慮した結果、2コート塗装が採用されるに至った。

#### 4. 2 2コートマイカ塗料の塗装条件選定

条件選定は、3項と同様の方法で実施した。

選定する条件のベースは、過去実績のあるメタリック色の塗装条件を用い、前述のような塗装試験を繰り返し、最適な条件を探索した。

今回は初めてのパール色ということ、車体塗装面積が広く、ロボットの動作軌跡に工夫が必要であることなどのほか、「ムラ」の発生傾向と最適な塗装軌跡を確認するため、テストピース板は通常当社で使用していたものよりも大きい板を使用した(図9)。



図9 大判テストピースを用いた確認

今回、実際の車体の一部を模した、モックアップを製作・使用し、あらかじめ試験で選定していた塗装条件の確認と、ロボット軌跡の妥当性を確認した。

また、車体形状に起因して発生する「ムラ」や色の濃淡、塗料の溜まりや流れなどの有無も確認した(図10)。



図10 車体モックアップによる塗装確認

#### 4. 3 実車での塗装評価

今回2コート塗装を適用したステンレス鋼製車両は、パール色が車体全体におよび、広い面積を有するため、車体そのものを屋外に出し、太陽光下にて全体的な仕上り評価を行った(図11)。



図11 実車での広面積仕上り評価

また、塗装したテストピース塗装板や客先承認塗装見本板と、塗装完了車との仕上り状態を比較し、光沢、色彩など、複数人で確認し、視覚での差異が無かったことを確認した(図12)。



図12 条件確定版と実車との仕上り比較

### 5 おわりに

自動塗装設備の導入により、従来の手作業と比較し、品質の安定と、作業者が高所作業などの危険が回避できるなど、品質面と安全面で良い効果が得られた。今後、研究、実績を重ね、更に設備の適用範囲拡大に取り組んでいく。

(門脇文俊、及川則久、佐藤信幸、今西由幸、高梨貴広、毛利優、中谷まどか、清野凌、本間邦夫、佐々木晨、山崎誠 記)