

論文・解説

30

# 高粘度塗料のダストレス塗布工法の開発

## Development of the Dust-Free Spray Method for High Viscosity Paint

中村 哲也\*<sup>2</sup> 高崎 秀則\*<sup>3</sup>  
Tetsuya Nakamura Hidenori Takasaki福田 靖英\*<sup>4</sup>  
Yasuhide Fukuda

### 要約

高粘度塗料は高圧で霧化させるエアレス塗装との組合せで広く使用され、自動車塗装ではアンダーコートなど下塗工程で採用されている。しかし、その構造上塗料ダストの発生を伴うため、マスキング作業など多様な付随作業が必要となるなど、永くその解決が求められていた。

今回、霧化を伴わない新しいダストレス塗布工法を開発し、更に高精度な塗装技術を確立して宇品第2 U2 塗装工場新生への導入を図った。本稿では、床裏塗装のアンダーコート工程を中心にその開発内容と適用事例を紹介する。

### Summary

“ High-viscosity paint ” is widely used combined with “ airless spray paint, ” that atomizes paint by high pressure. In vehicle paint, it has been used for “ undercoating. ” However, since it generates paint dusts, additional works, such as doing the masking, were needed. This was a long-standing concern.

We developed a new dust-free spray method requiring no atomization. This high-precision paint technology paved the way for the rebirth of U2 's paint shop. This paper introduces details of this development and application centering the undercoat process.

## 1. はじめに

高粘度塗料は広くエアレス塗装との組合せで使用され、特に自動車塗装では床下塗装などの下塗工程で採用されている。しかし、その構造上、塗料の散りや跳ね返りなどの塗料ダストが発生し、下塗工程ではボデーへの付着防止のためマスキングやふき取りなどの付随作業が必要となることから、その解決が永く求められていた。

これら塗料ダストの発生は、エアレス塗装の霧化構造そのものに起因していることに着目し、霧化を伴わない高粘度塗料の塗装工法で、かつ、狙いの部位を正確に塗布できる新工法を開発し、U2塗装工場の下塗工程に導入した。

本稿では、床下塗装であるアンダーコート工程を中心にその開発内容と適用事例を紹介する。

## 2. 現状と開発の狙い

### 2.1 アンダーコート工程の現状とその課題

自動車塗装は大きく分けて電着、下塗、中塗、上塗の4つの工程からなっており、下塗工程は、シーラ、アンダーコート、制振シートなどボデーの防錆や防水、防音を目的とした付帯工程である。

この中で、床下塗装であるアンダーコートは、石跳ねによる塗膜剥がれ防止や音減衰のため、500~2,000 μm程度の厚膜塗装を行う工程である。この塗料は高粘度材が主体で、小口径のノズル(0.3~1.0mm)から高圧(6~9MPa)で塗料を噴霧するエアレス塗装との組合せで広く使用されている。

アンダーコート工程での作業は、頭上の難姿勢作業とな

\*1~5 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

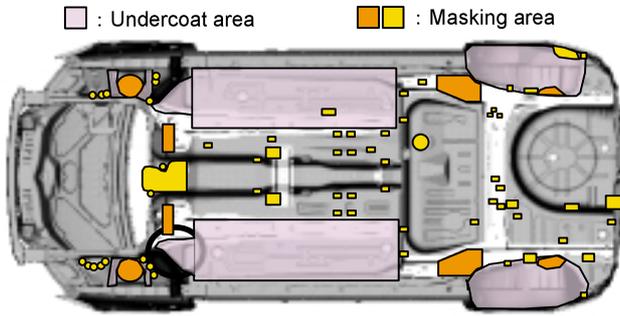


Fig.1 Lower Side of Body

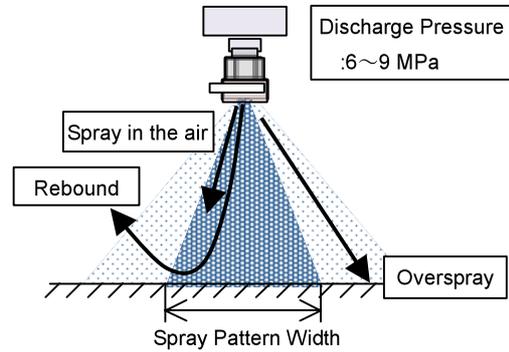


Fig.2 Paint Dust of Airless Spray

ることから、早くから自動化への取り組みが図られ、現在、主な塗布部位はロボットで塗装されている。しかし、エアレス塗装の構造上、塗料ダストの発生防止や狙いの部位を正確に塗装することは難しく、次のような課題がある。

(1) マスキングやふき取りなどの付随作業

取り付け部品の締結保証や干渉防止のため、塗料やダストを付着させないように取り付け面へのマスキング作業や、ボデー外板に付着した塗料ダストをふき取るなどの付随作業を必要としている。Fig.1に、アンダーコート工程でのマスキング部位の事例を示す。

(2) 設備メンテナンス

ボデーに付着しない塗料ダストは、塗装ブースやロボットなどの設備に付着し、稼働や品質保証のため、そのメンテナンスに多大の工数を要している。

(3) 省資源/重量軽減

アンダーコートは厚膜塗装のため、塗料使用量が多くボデー重量に占める割合も高い。この対応として、塗料に発泡材を混入し、乾燥炉内の熱で約2倍に増膜させる発泡アンダーコート塗料の適用を進めているが、発泡材を含まない従来塗料と比べ、低吐出量となり霧化促進することによって塗料ダストはより小さくなるという特徴がある。これは、ボデーに付着するダストの数を多くし、また、ダストの完全なふき取りを困難とするため、結果的に炉内で発泡してブツ不良となるという生産阻害要因になっている。

2.2 開発の狙い

U2塗装工場新生の具体的コンセプトである、

地球環境と働く人にやさしい生産ライン

高品質・同期生産ライン

多機種対応フレキシブル生産ライン

を具現化するためには、マスキングやふき取りなど難姿勢の付随作業を不要とするアンダーコート工程の実現が必要不可欠であると考えた。更に、ロボットの2層配置など下塗設備の集約化や、発泡アンダーコート適用による省資源/重量軽減など、U2塗装工場新生を下塗工程変革のモデルラインとして位置付けた。これらを達成するため、2.1で述べたアンダーコート工程の課題の本質的な要因である塗料ダストを発生させないダストレス塗装の開発と、

更に、狙いの部位に正確に塗布する塗布技術を組み合わせることによるマスキングレス化の実現を開発の狙いとした。

3. 開発課題とアプローチ

3.1 ダストレス塗装の開発

(1) エアレス塗装とスリット塗装

エアレス塗装は、小口径のノズルから塗料を高圧(6~9MPa)で押す際に生ずるせん断力で塗料を霧化させ、その圧力で被塗物まで塗料を到達させる原理である。この霧化により、膜切れのない安定した塗布パターン形状を形成することができ、ノズルの選定により作業に応じたパターン幅を選択できる。また、高圧のため、塗装距離のパラッキに対する到達性の影響も少なく作業性に優れたものである。しかし、霧化した塗料の粒径/速度/方向は確率分布するため、運動エネルギーが不足して被塗物まで到達できない場合や被塗物に付着せずに跳ね返る場合、方向がパターン外にはみ出す場合が起こる(Fig.2)。これが塗料ダストであり、確率分布が故にその制御は非常に困難である。

エアレス塗装の他に、高粘性塗料の塗布工法としてスリット塗装が知られる。エアレス塗装同様、塗料圧力のみで塗布する工法であるが、霧化することなく低圧(2~4MPa)で膜状に吐出させる工法で、1,000μmを超えるような厚膜塗布工法としてシーラ等に採用している。Fig.3, Table 1にエアレス塗装とスリット塗装の比較を示す。

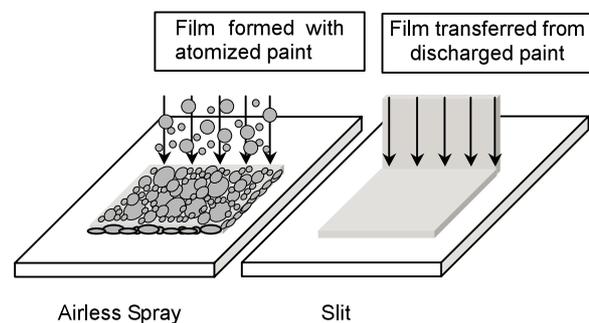


Fig.3 Film Composition Mechanism

Table 1 Comparison of Airless Spray and Slit

		Airless Spray	Slit
Discharge Paint State			
Conditions	Applied Paint	Sealer, Undercoat	Sealer
	Spray Pattern Width	50~200mm	10~30mm
	Film Thickness	0.1~1.0mm	1.0~3.0mm
	Spraying Distance	100~300mm	10~50mm
	Discharge Pressure	6~9MPa	2~4MPa
Character-istics	Generation of Paint Dust	Generated	Not Generated

(2) アンダーコートへのスリット塗装の適用

前述のとおり、霧化構造を伴うエアレス塗装でのダストレス化は困難と考え、霧化を伴わないスリット塗装を用いたダストレス塗装を開発することとした。スリット塗装は吐出時に膜を形成させて塗布する工法であり、アンダーコートへの適用には、採用実績のあるシーラ塗布条件と比較して、幅広のパターンや薄膜など塗料凝集力の弱い条件で安定した膜を形成させる必要があり、以下の開発目標を設定した。

1) 膜切れのない安定した塗布パターンが得られること

乾燥時に膜厚が約2倍となる発泡アンダーコート塗料を用いることを前提にすると、塗布時の厚さの狙い値が250~1,000 μmで、エアレス塗装と同様のパターン幅(100~200mm)が膜切れなく均一な厚さで得られることとした。

2) 塗装距離のパラツキへの追従性が確保できること

ボデーの床裏は、平面なパネルではなくフレームやホイールハウスなど凹凸や曲面形状から構成されており、アンダーコート塗装には、塗装距離のパラツキに対する塗布パターンの追従性が必要である。本開発では、塗装位置精度が保証できるロボット塗装を前提に、そのパラツキをボデー形状のみと考え、30mmの距離パラツキに追従できることとした。

3.2 高精度塗装技術の開発

エアレス塗装の場合、ボデーの床裏形状や塗布範囲に応じ、塗布パターン形状の異なるノズル口径の塗装機(2~3種類)を使い分け塗装している。しかし、ボデーと塗装機の位置精度や塗料温度/塗装圧力、また塗装機に対する信

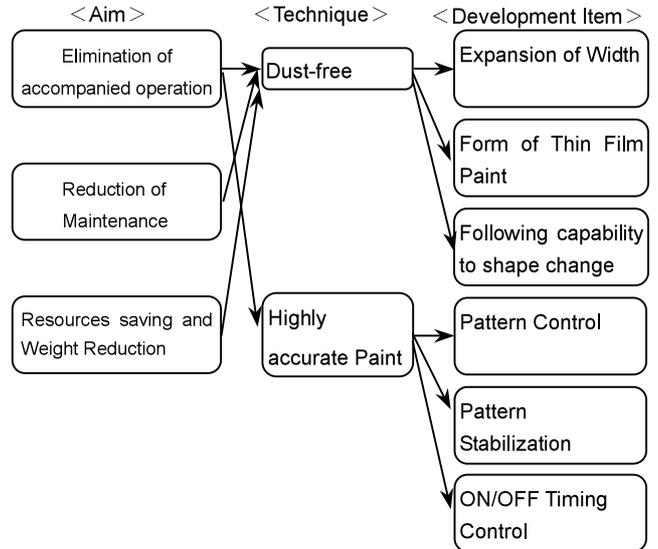


Fig.4 Approach of Development

号の応答性等のパラツキ要因によりパターン幅が変化するため、正確な塗り分けには多くの課題があった。

部品取り付け面へのマスキング作業を排除するためには、ダストレス塗装に加え、マスキング部位を正確に回避できる高精度なパターン制御の技術確立が必要であり、パターン幅に影響を与える要因を解明しながら、部品取り付け面に対し許容される未塗布範囲内で塗装制御を可能とすることを開発目標とした。

これまで述べたダストレス工法の狙いとその開発課題についてFig.4にまとめた。

4. ダストレス工法の開発

4.1 スリットノズルの開発

スリット塗装のノズルは、前述の幅の狭いシーラノズルのほか、幅の広いパターンが得られるものとして吐出角度や吐出幅を広げた大型ノズルが知られている(Fig.5)。しかし、塗料の詰まり防止のため一定(0.2mm)以上のスリット隙を確保する必要があり、これまでのスリットノズルは大吐出量となり、2mmを超えるような厚膜塗装に適用

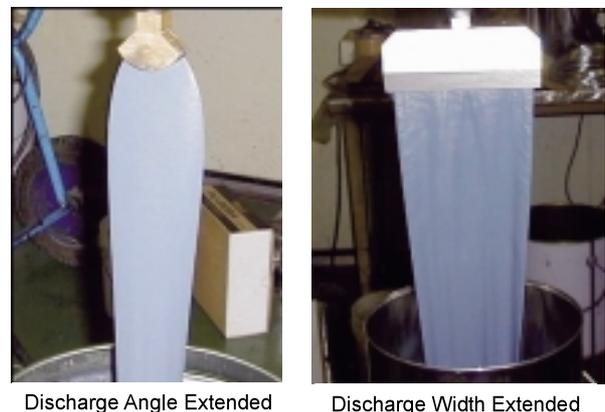


Fig.5 Extension Method of Discharged Film

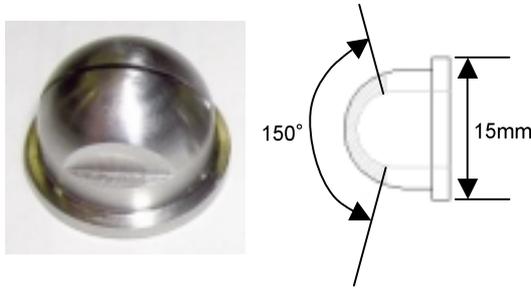


Fig.6 New Slit Nozzle

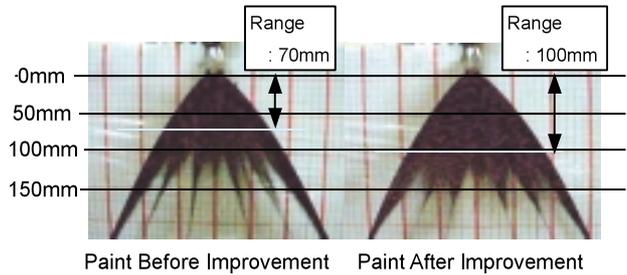


Fig.8 Effective Paint Range

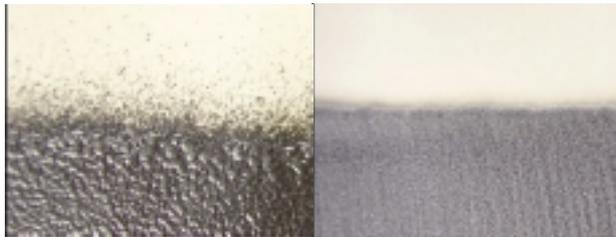


Fig.7 The Edge of Paint Pattern

が限定されていた。アンダーコートのような比較的薄膜塗装 (250 ~ 1,000 μm) では、スリット隙を確保しながら吐出膜が薄膜化できる新しいノズルの開発が必要であった。

開発したスリットノズルをFig.6に示す。これは、エアレス塗装で用いられるような小型ノズルで、その吐出角度を大きくしている。小型ノズルは、大型ノズルと比較し塗料にかかる圧力が高いため、吐出角度に対し吐出膜が大きく広がる特徴を持っている。更に、均一な吐出膜となるノズル形状を見出すことで、比較的大きなスリット隙 (0.4mm) でも、吐出膜が広がることで薄膜となるスリットノズルとした。これにより、エアレス塗装にはないダストが散らない塗装パターンを得ることができた (Fig.7)。

4.2 塗装距離のパラツキへの追従性

開発したスリットノズルを用いアンダーコート塗装すると、均一な吐出膜で塗布可能な塗装距離は約70mm程度で、それを超えると距離が離れるに従い空気抵抗等の外力の影響で膜が維持できなくなる。また、塗布可能な塗装距離が小さいと、均一な吐出膜でも塗装距離によるパターン幅のパラツキが大きくなる。ポデー床裏は凹凸や曲面形状が構成されており、塗装機と塗装面の間には塗装距離のパラツキがあり、これに追従するには塗布可能な塗装距離はより大きいことが望ましい。

この対応として、吐出後の膜凝集力に着目し、アンダーコート塗料の成分を調査し、より凝集力の強い組成に改良を図った。その結果をFig.8に示す。これにより、塗布可能な塗装距離は約40%改善の約100mmとなり、開発目標の塗装距離バラツキ30mmに対し、塗装距離を70 ± 15mmで管理するとした。

5. 高精度塗装技術の開発

狙いの塗装面と塗装回避面を確実に塗り分けるには、これまでにない高い精度の塗布制御技術が必要である。この技術確立に向け、まず、実験計画法を用いこのスリットノズルのパターン幅に影響を与える因子を調査し、この結果に基づきながらパターン制御技術やその安定化に向けた施策を折り込んだ。以下にその事例を紹介する。

5.1 パターン幅の制御

パターン幅に影響を与える因子について実験結果の事例をFig.9に示す。スリット塗装でのパターン幅制御に関して、吐出量の影響が大きいことに着目した。これは、開発したスリットノズルが吐出膜を広げるように吐出角度を大きくしており、パターン幅は塗布圧力に依存する。これに対し、吐出量は圧力で制御されていることから、同様にパターン幅に対する影響が大きいものと考えた。

吐出量による塗布パターンの変化の状態をFig.10に示す。このように、吐出膜が均一な状態で100 ~ 200mmの範囲で任意にパターン幅を吐出量で制御でき、パターン幅の異なる2 ~ 3の塗装機を使い分けていたエアレス塗装に対して、スリット塗装ではひとつのノズルで塗布形状に応じ最適なパターンを設定できるようになった。

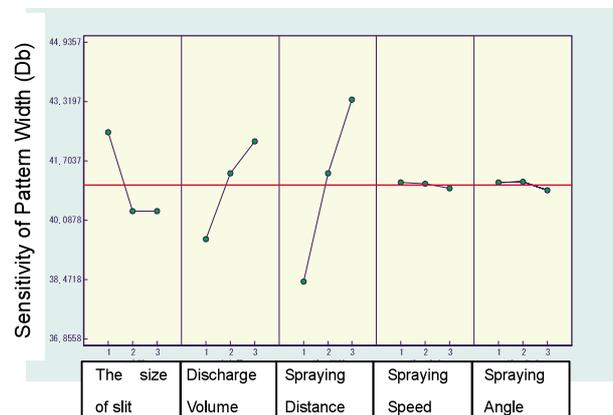


Fig.9 Relation between Pattern Width and Each Factor

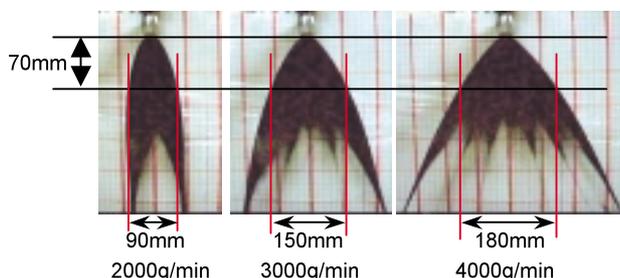


Fig.10 Pattern Width Control by Discharge Volume with Same Nozzle

### 5.2 パターン幅の安定化

塗布パターンを安定した状態で管理するため、パターン幅に影響の大きい因子について次の主要施策を折り込んだ。

#### (1) 塗装距離（塗装口ポットとボデーの位置精度）

シーラやアンダーコートなど高い位置精度が必要な塗装では、キャリアを停止させてボデーを位置決めし塗装口ポットとの相対位置精度を確保する。しかし、より正確な塗装を行うためには、キャリア上のボデー位置やキャリア製作精度等のバラツキをキャンセルさせる必要があり、ボデーの加工基準穴を直接位置検出し塗装口ポット側で位置補正した塗布軌跡にすることで、ボデーとの相対位置精度を更に向上させ、繰返し精度では実用上の塗装距離のバラツキをなくした。

#### (2) 吐出量

パターン制御を含め、吐出量は極めて重要な管理因子であるため、定量供給でその安定性の高い電動ブースタポンプを採用し、実用上、吐出量のバラツキをなくした。

#### (3) 塗料温度

塗料温度は塗料粘度を介してパターン幅と密接に関係している。Fig.11に示すように、塗料温度が高いほど塗料粘度が低下し、パターン幅は拡大する。しかし、年間を通じて塗料温度を一定に管理することは極めて困難であるため、塗料温度によるパターン幅のバラツキが部品取り付け面から未塗布範囲として許容される範囲（20mm以内）となるように、塗料温度を25℃以上で管理することとした。

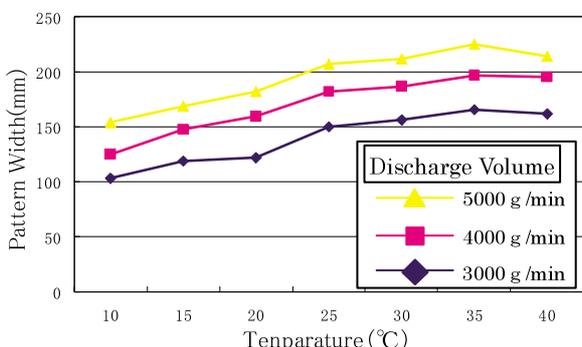


Fig.11 Relation between Temperature and Pattern Width

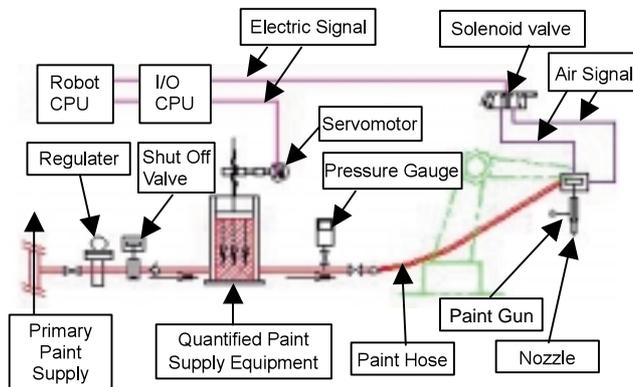


Fig.12 Paint Flow Figure

### 5.3 塗料ON/OFF制御

塗料供給装置の構成をFig.12に示す。塗料OFF時に塗料にかかる圧力が蓄積され、塗料ON時に瞬間的に大吐出として開放されるため、一般的に、各塗装機に備えた定量供給装置と塗装機を同時にON/OFFさせる構成となっている。しかし、これらにわずかのタイミング差があり、特にスリット塗装ではパターンの乱れが発生しやすい。部品取り付け面を正確に回避するためには、この乱れを解消する必要があり、以下の改善施策を展開した。

#### (1) 塗装機の応答性

塗装機が電気制御のON/OFF信号に忠実に反応するように、電磁弁を塗装機近傍に設置した。また、塗装機のニードルバルブのばね係数やニードル先端形状を針状から球状に変更するなど、その応答性を向上させた。

#### (2) 塗料ホースの短縮化

塗料にかかる圧力の影響因子として、塗料ホースのたわみ等による容積変化がある。従来塗料定量供給装置は大型で塗装口ポットとは別に設置しており、動作範囲の確保のため塗料ホースは7~8mと長く、たわみ等が生じやすかった。今回、シリンダ仕様やモータ配置等を最適化し塗料定量供給装置を塗装口ポットの走行装置に設置することで、塗料ホース長を3m以下としたたわみ等による塗料ホース内の容積変化の軽減を図った。

#### (3) 同期精度

通常、塗料定量供給装置と塗装機のON/OFF制御はそれぞれ塗装ロボットプログラム上で設定するが、ロボット本体と外部入出力のCPUは個別に動作しているため、その信号受け渡しの際にCPUクロックのズレが発生していた。これをロボット本体のCPUから出力された一つの制御信号を外部入出力CPU内で塗装機と定量装置に分けて出力するようにした。

また、わずかに残るタイミング差はロボット制御であらかじめ補正しその同期精度を向上させ、パターンの乱れの少ない高い精度の塗料ON/OFF制御を実現した。

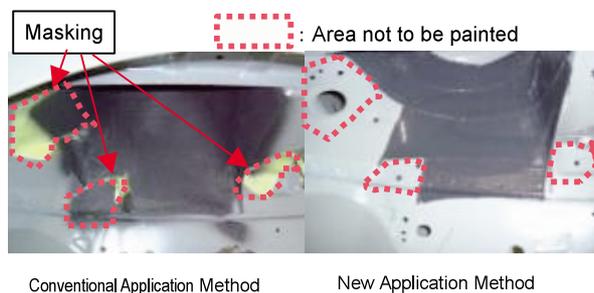


Fig.13 Comparison of the Area not to be Painted

## 6. 導入結果

これまで述べてきたスリット塗装によるダストレス工法と塗布パターンの制御や安定化など、高精度塗装技術をU2塗装工場の下塗工程に導入し、2004年5月の稼働開始より量産車への適用を開始した<sup>(1)</sup>。このダストレス工法導入による効果は以下の通りである。

### (1) マスキング作業の廃止

ダストレス工法によるアンダーコートの塗布事例をFig.13に示す。狙いどおり、塗料ダストの飛散なく必要な塗布範囲のみを塗装でき、マスキングなしで部品取り付け面への品質保証ができるようになった。これにより、床裏のマスキング作業を廃止し、大幅な工数(6~7分/台)低減と難姿勢作業の改善を実現できた。

### (2) 設備メンテナンス等の改善

塗料ダストの発生が全くないため、従来のエアレス塗装に対し設備メンテナンスやふき取り作業等を大幅に改善できた。特に、U2塗装工場では展開したシーラとアンダーコートの塗装ロボットの2層配置に対し、塗料ダストによる品質や稼働、メンテナンス性への影響が懸念されたが、ダストレス工法の採用により、この設備集約を実現できたと考えている。

### (3) 省資源/軽量化

ダストレス工法により生産阻害することなく発泡アンダーコートを導入できた。これにより、従来塗料と比較し、約35%の塗料使用量低減と軽量化が図れた。

### (4) 量産準備プロセスの革新

これまで塗料ダストで汚れるため困難とされていたボデー位置検出用カメラの塗装ロボットへの設置を実現した。これにより、新車導入等でボデー加工基準の変更が伴っても、位置検出装置を改造することなく汎用的に対応できる。また、塗装ロボット等の設備データやティーチングプログラムを3DCAD上で再現することで、これまで実車で検証してきた領域を机上検証に変えることができ、今後の新型車の開発やその量産準備プロセスの変革につながっている。

## 7. おわりに

今回のダストレス塗装の開発を通し、塗装は“霧化させて塗装膜を形成させるもの”から“形成した塗装膜を塗布するもの”に大きな発想の転換があった。また、塗料ダストを肯定してきたこれまでの塗装プロセスに対し、塗料ダスト自体をなくすことで連鎖的に多くの塗装の課題解決が図れたと考えている。これは、今後の塗装技術開発に対する方向性を示しており、このダストレス工法を他工場へ展開すると同時に、塗布膜厚の均一化や適正化、シーラやウレタン等の他の高粘度塗料への応用、制振シートの塗布化技術の開発等、下塗工程の変革に向けていっそうの適用技術の確立を図っていく所存である。

最後に誌面を借りて、ダストレス塗装開発にご協力頂いた関係各位に感謝する。

## 参考文献

- (1) 吉岡秀久ほか：U2塗装工場新生の概要，マツダ技報，No.23，p.159-164 (2005)

著者



中村 哲也