

特集：環境

13

## アクアテック塗装 工程短縮技術の開発 Development of Process Integration Technology for Aqua-tech Paint System

橋本 堅<sup>\*1</sup> 亀迫 裕介<sup>\*2</sup> 松田 隆臣<sup>\*3</sup>  
Ken Hashimoto Yusuke Kamesako Takaomi Matsuda  
世良 和也<sup>\*4</sup> 和泉 昭雄<sup>\*5</sup> 大谷 崇<sup>\*6</sup>  
Kazuya Sera Akio Izumi Takashi Otani

### 要 約

環境保護の観点から、自動車製造プロセスにおける一層の環境負荷低減が求められている。

この課題に対して、工程集約を狙いとした塗料と工程の総合的な高効率化により、VOC・CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減する環境に優しい新水性塗装システムを開発した。本稿では、このうち、工程を中心に「省スペース」、「省エネルギー」、「省マテリアル」を実現した技術の概要について紹介する。

### Summary

For environment protection, further reduction in environmental load in vehicle manufacturing processes is required.

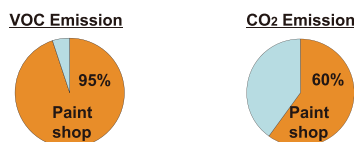
To achieve this, we developed a new eco-friendly waterborne paint system of an integrated and efficient process with high-efficient paints, which significantly cuts VOC and CO<sub>2</sub> emission. On this report we outline the technology that achieves “Space/Energy/Material saving”.

## 1. はじめに

環境保護の観点から、自動車製造プロセスにおける一層の環境負荷低減が求められている。なかでも、塗装工場は自動車の車両系工場において、環境負荷物質であるVOC（揮発性有機化合物）とCO<sub>2</sub>の排出量が非常に多く（Fig.1）、これらの排出量削減が急務となっている。この対応策として、各社とも水性塗装の導入が拡大しつつある。水性塗装は溶剤中に含まれるキシレンやトルエンなどのVOCの排出量を大幅に削減できる一方、塗料に水分が含まれるため、塗装時の温湿度制御や塗料中の水分を強制的に蒸発させるフラッシュオフ工程の追加が必要となり、従来の溶剤塗装と比較してエネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量が増加する。これを抑制することが大きな課題である。

このような水性塗装の課題に対し、塗装工程の集約化と塗装工程でのエネルギー消費を抑制することにより、今回、CO<sub>2</sub>排出量を増加させずに大幅なVOC排出量を削減する環境に優しい新水性塗装システム（アクアテック塗装システム）を開発した。本報では、塗装工程の省資源化技術について報告する。

### ■Ratio in automobile production plant (body assembly plant)



### ■Environmental impact by paint shop (typical conventional process)

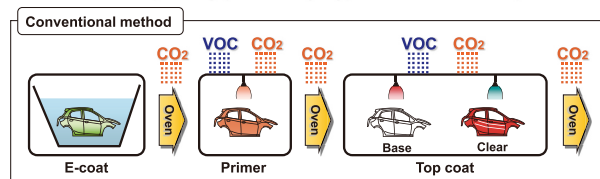


Fig.1 Actual State of VOC and CO<sub>2</sub> Emission of Paint Process

## 2. 開発の狙い

### 2.1 開発目標

外観、チッピング機能等の塗装品質を従来塗装と同等以上とした上で、VOC排出量は、業界トップレベルの15g/m<sup>2</sup>（従来比-57%）を目指す。また、CO<sub>2</sub>排出量については、塗料を水性化すると塗装時の温湿度制御、及びフ

\*1~6 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

ラッシュオフ工程が必要となり、一般的に溶剤塗料の塗装工程に比べて排出量は増加するが、アクアテック塗装においても、3ウエットオン塗装で実現している業界トップレベルのCO<sub>2</sub>排出量と同等レベルを目標とした。

### 3. アクアテック塗装実現への取り組み

#### 3.1 3ウエットオン塗装の実現

マツダでは、第1ステップとして2001年から3ウエットオン塗装を世界に先駆けて導入してきており、既にマツダが生産を担当する全ての工場で3ウエットオン化を完了している。VOC削減手段として、VOC燃焼方式と水性化の2つの方式があるが、いずれもVOCは大きく削減できるもののCO<sub>2</sub>は逆に増加することになる。このような一般的な手段ではCO<sub>2</sub>排出量の増加は、Fig.2の数字（当社計算ベース）に示すように、巨大な装置で有機溶剤を強制的に燃やすVOC燃焼装置では20~60%、水性塗料の水を強制的に飛ばす水性塗装では5%となる。

これに対し、3ウエットオンでは中塗後の乾燥を不要にし、しかも、従来ベース・クリアを塗っていた上塗ブースで中塗りを塗るように工程集約することで、VOC、CO<sub>2</sub>の双方をバランスよく低減してきた。

	Typical solvent borne paint	Comparison with typical solvent borne
<b>Technology</b>		VOC emission: 60% Reduction CO <sub>2</sub> emission: 20~60% Increase
<b>Other companies</b>		VOC emission: 60% Reduction CO <sub>2</sub> emission: 5% increase
<b>Mazda</b>		VOC emission: 45% Reduction CO <sub>2</sub> emission: 15% Reduction

Fig.2 Comparison Reduction Effect with Typical Solvent Borne Paint System

#### 3.2 アクアテック塗装のコンセプト

今回導入した「アクアテック塗装」は取り組みの第2ステップとして、更なる効率化を進めたものである。Fig.3は第1ステップの3ウエットオンをベースに、アクアテック塗装の進化のポイントを示している。具体的には、塗料においてVOCを最も多く含む「ベース塗料」を水性化し、チッピングプライマを含む中塗り塗装の機能を上塗り塗装に集約した高機能塗料の開発により、中塗り塗装を廃止することで、VOC排出量の大幅な削減を図る。更に高機能塗料による中塗り工程の廃止、及びブース空調のエネルギー削減、及びフラッシュオフ工程のエネルギー削減など徹底したエネルギー効率の追求により工程短縮・省資源化を図り、塗装工程の効率を極限まで高めることで、水性化で増加す

るエネルギーを抑制し、CO<sub>2</sub>排出量を上昇させないことを狙っている。

この「塗料」と「工程」が協調した総合塗装技術を構築することで目標を達成する考えである。

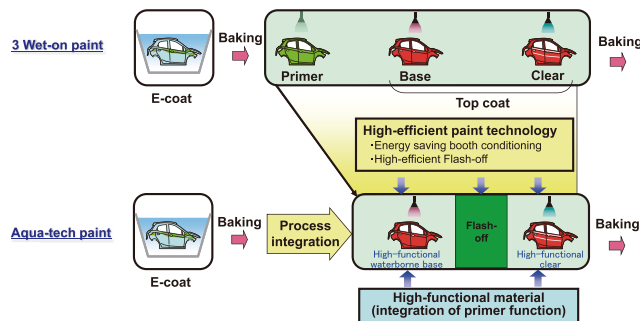


Fig.3 Outline of New Waterborne Paint System

### 4. 超短縮工程の実現に向けた技術開発

#### 4.1 技術開発コンセプト

超短縮工程を実現するために、「省エネルギー」、「省スペース」、「省材料」の3つのキーワードによる技術開発を進めてきた。

「省エネルギー」：水性塗装の水を蒸発させるためのエネルギーを徹底して極小化する。

「省スペース」：既存設備レイアウトの中に入れるために徹底してスリム化する。

「省材料」：既存設備をスクラップアンドビルドしないで、徹底して既存設備を最大限活用（リユース）する。

上記3つのキーワードを具現化するために開発した技術をTable 1に示す。

これらの技術を織り込むことで、低投資で油性・水性の混流生産を実現し、工場の生産を続けながらシャットダウンなしでの移行を実現してきた。

以下、これらのキーとなる技術の概要について紹介する。

Table 1 Resource Saving Technology of Aqua-tech Paint

Item	1) Energy saving	2) Space saving	3) Material saving
①Energy saving booth air conditioning	○		
②High-efficient flash-off	○	○	
③Space saving cartridge paint supply system		○	○
④Sharing paint piping with solvent borne paint (pipe cleaning technology)			○

#### 4.2 省エネルギーブース空調技術

水性塗料は溶剤中に含まれるキシレンやトルエンなどのVOCの排出量を大幅に削減できる一方、塗装品質を確保するには、塗料の乾きやすさを一定にするために、塗料に

含まれる水分の蒸発速度を一定に保つ必要がある。従来の水性塗装空調システムでは、水分蒸発速度を一定にするため、外気の温度や湿度の矯正を行い、塗装ブースに送り込むことで、水性塗装の品質確保を行うのが一般的である。

Fig.4に示す空気線図のグラフは一定の温度と湿度において、空気中に吸収できる水分量の関係を示したものである。グラフの縦軸に絶対湿度と横軸に温度を示す。

Fig.4 (a)において、季節や天候の変化などに起因する温湿度の変化によって、外気とブース内の温湿度の差が大きい場合には、品質保証に必要な狙いの温度と湿度まで外気矯正するため、Fig.4 (a) 図中に示す矢印のように空気を加温や冷却、加湿または除湿することによりエネルギー消費が発生し、その結果CO<sub>2</sub>排出量が増加する。

アクアテック塗装では、最小限のエネルギーで水性塗料の乾きやすさを一定にし、安定した品質保証ができる空調技術を実現した。これは従来のようにブース内の温度や湿度を固定にするものではなく、外気を持つ乾きやすさを最大限利用できるように、Fig.4 (b) の図に示すようにブース内の温度と湿度を可変させ、必要最小限の昇温と湿度調整だけで、空気を含むことができる水分量（絶対湿度差が一定）を自動制御し、塗装ブースの塗料の乾きやすさを一定にできる技術を開発し導入した。これにより、従来の水性塗装のネックであった品質保証とエネルギー消費抑制を両立させ、従来の一般的な塗装ブースに対して、約5%のCO<sub>2</sub>削減を可能にした。

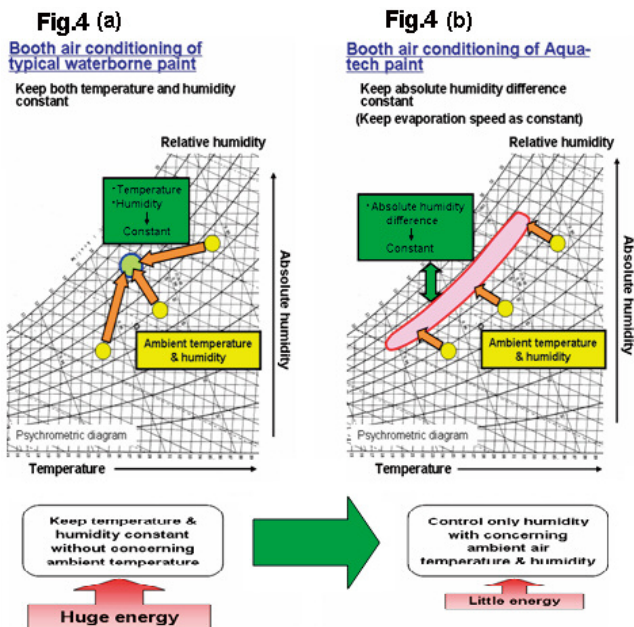


Fig.4 Comparison of Air Conditioning of the Paint Booth

### 4.3 高効率フラッシュオフ技術

良い塗装品質を確保するためには、「ベース塗装した後、次のクリア塗料を塗装する前に一定レベルまで塗膜を乾かしておく」必要がある。

従来塗装の油性塗料は溶剤分のシンナの自然揮発によりこれを行うが、水性塗料は揮発速度が非常に遅いため、インラインサイクル内での乾燥時間を短縮するためにフラッシュオフ乾燥工程が必要となる。また、この乾燥工程でボデーの温度が上昇するとクリア塗装後の塗装面の平滑性が悪化するため、クリア塗料を塗装する前までにボデーを適温まで冷やす工程も必要となる。そのため水性塗装工程はエネルギー消費量が従来工程に比べ増加する。

フラッシュオフ設備は、ボデー鋼板全体に循環温風を最適な風量を与えることで乾燥（水分蒸発）を成立させているが昇温で非常に多くのエネルギーを消費する。また、ボデー全体の昇温と冷却で長い工程が必要なため工程スペース確保のために既存ブースを延長する必要があった。今回のアクアテック塗装では既存のスペースをそのまま活用できる高効率フラッシュオフの開発を行った。

フラッシュオフ設備は、80℃の温風をボデーに吹き付け水分を蒸発させた後、冷風によってクリア塗装前に、40℃程度まで冷却する方式である。この方式だとボデー全体が昇温、冷却するため多くのエネルギーを消費する。そこで、最小限機能の「塗膜のみ」を温めて乾かせばよいことに着目し、「乾燥に必要な熱を塗膜だけに与えられる設備」を開発した。具体的には下記2点である。

- ① 赤外線ヒーターを活用し、塗膜のみに効率的にエネルギーを与え昇温させる。
- ② 通過する車種（被塗物形状による熱伝達距離）、塗色（赤外線等熱伝達条件）によってきめ細かく最適な昇温時間、赤外線ヒーター出力量をコントロールする。

これらにより、ボデーへ加えられる熱の総量が最小となるため、冷却工程のエネルギー消費や工程スペースも最少にでき、従来型のフラッシュオフ設備と比べ、大幅なエネルギー消費の削減（CO<sub>2</sub>を17%削減）と工程時間の短縮（4分→1.7分）を達成した（Fig.5）。

Function pursuit of flash-off : Evaporating certain quantity of water from film

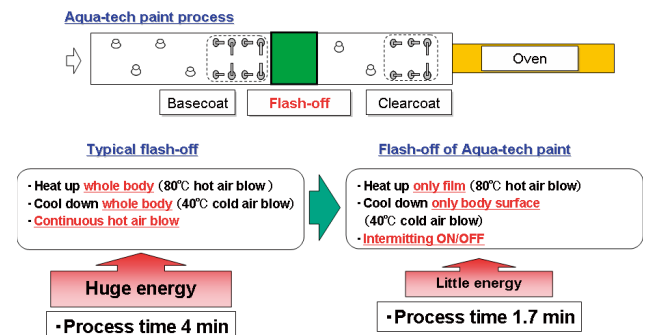


Fig.5 High-Efficient Flash-off of Aqua-tech Paint

### 4.4 省スペースカートリッジ技術

水性塗装機として従来同等以上の高塗着効率を保有するため「内部印加静電塗装方式」を採用した。静電塗装の



際、油性塗料は通電性が低いため、塗料供給経路を直接塗装機につなぐことが可能だが、水性塗料は溶剤の主成分である水が通電するため静電気が逃げて危険となる。今回採用した方式は塗装機と塗料供給経路の遮断（絶縁）する方式で、カートリッジという缶に別の装置であらかじめ塗料を充填し、塗る時はそのカートリッジを塗装機にセットして静電塗装する方式である (Fig.6)。しかし、この方式においては、充填する機器の設置スペースが大きく、既存ブース増設の必要があり、付随するエネルギーの消費が増加してしまう課題があったが、今回、既設ブースをそのまま活用できる省スペースを追求したカートリッジを開発した。

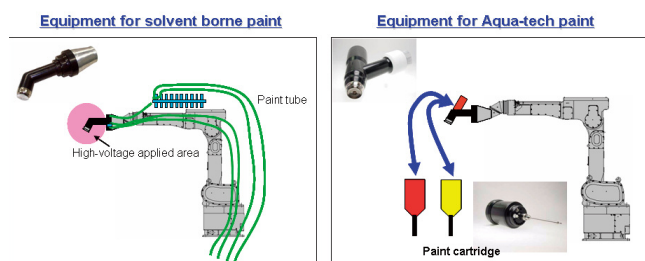


Fig.6 Insulation Method by Cartridge Supply System

一般的な色専用カートリッジシステムは、色ごとに専用のカートリッジを保有し、色替え時は洗浄ロスが少ない利点がある。しかし、上塗り20色の生産を仮定した場合、ロボットごとに色数×2の40個のカートリッジが必要で、ベース水性工程内のロボット16基に展開すると合計640本ものカートリッジ充填機器の設置スペースが必要となる。また品質維持のため色専用カートリッジ缶の中を塗料カスが附着しないように定期的に分解、洗浄するメンテナンスの必要があり、メンテナンス工数やそれに付随するエネルギー消費も膨大となる。そこで今回、ロボット1基ごとに数十色を最小数のカートリッジでインサイクルの中で洗浄、塗料充填の色替え機能を供えた色専用カートリッジシステムに相当する省スペースカートリッジシステムを開発した。

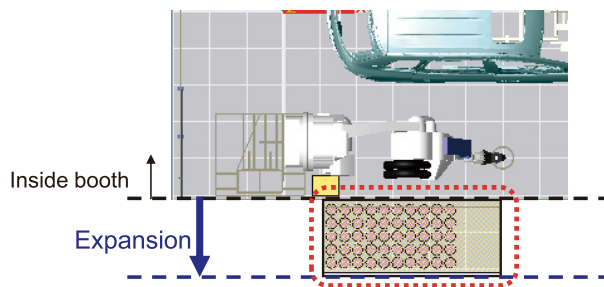
具体的には、下記の3つの技術を開発し具現化した。

- ① 安定した吐出量コントロールと塗料使用量を常にモニタリングして学習する定量吐出及び充填制御の開発
- ② 少量の洗浄液で確実に塗料経路の細部まで綺麗に洗浄できる塗料排出、洗浄ロジックの開発
- ③ 徹底的に機器数を削減した充填-洗浄装置の開発

また、3D-CADや設備制御シミュレーションを活用し「機器レイアウトの省スペース最適配置」や「設備機能」を徹底的に机上検証することで手戻りなく実現できた。

これにより、従来の色数分を装備していたシステムに比べ溶剤、水性混流生産においても大幅に機器の数が少なく、既存ブース内に装置を収めると同時に従来と同等レベルの色替え効率やメンテナンス性を確保している (Fig.7)。

Typical cartridge system



Cartridge system of Aqua-tech paint



Fig.7 Space Saving Cartridge System

4.5 油性→水性 配管洗浄技術

油性塗料と水性塗料は相溶性がないために、ごく微量な油性塗料が水性塗料に混入しても、凝集やハジキなどの塗膜不良が発生する。塗料は、塗料タンクから塗料配管を通じて前述のカートリッジに供給されるが、この塗料配管は、直径10~35mmで数百メートルの折れ曲がった配管であり、内部の完全洗浄は困難である。従って、水性塗料の導入時には、専用配管を新設することが一般的である。

アクアテック塗装では、既存の油性塗料に使用している配管を効果的に洗浄する技術を開発し、既存配管を最大限リユースすることで、設備面での徹底した省資源化の追求と油性/水性の混流生産を可能とした。

洗浄技術の開発においては、まず、通常の洗浄を行っても洗いきれない配管内面の残留物をSEM観察、EPMA分析、分光分析を使って成分を推定した (Table 2, Fig.8)。

Table 2 Elemental Composition Analysis of Residues

Sample	Position	Elements detected (mass%)								
		C	O	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Cu
Residues in the paint pipe	A	90.7	6.3	0.4	-	0.1	0.8	0.7	-	0.8
	B	91.5	8.1	-	-	-	0.2	0.2	-	-
	C	85.2	11.2	0.4	-	-	0.3	0.3	2.7	-
Paint samples (H700.34F)	D	41.5	20.7	26.2	0.4	-	-	-	11.2	-
	E	81.8	5.3	4.2	6.0	-	-	-	2.8	-

Detection range : Na ~ U

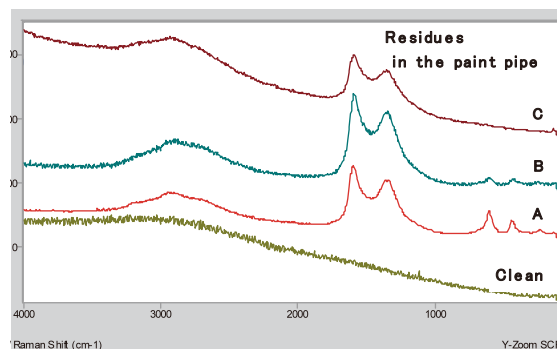


Fig.8 Raman Analysis

この結果、残留物は、塗料の樹脂成分と無機成分が固着したものであることが判明し、これを効果的に溶解するには、高分子樹脂の溶解力が高く、かつ、極性の強い溶媒を使って、配管内で乱流を作って循環させることが重要であると推定されたため、種々の極性溶媒での残留物の溶解テストを実施し、非プロトン極性溶剤の一種をメインの洗浄剤として選定した。次に、時間/流速/洗浄剤の作用の度合いを明らかにするために実験計画法を用いて要因実験を実施し、配管を切断して残留物の除去状態を評価することで、以下の洗浄プロセスを確立した。

- ① 非プロトン極性溶剤の溶解力を効果的に発揮させるため、油性シンナで、固着していない塗料成分を除去
  - ② 配管をブロックに区切るバルブを追加し、非プロトン極性溶剤を配管に入れ、ブロック単位で高速循環させて残留物を溶解
  - ③ 油性シンナで、非プロトン極性溶剤を置換
  - ④ 更にアルコール系溶剤⇒水性塗料用シンナの順で洗浄することで、油性状態から水性状態に切り替え
- 以上の方法により、油性塗料に使用していた塗料配管を破棄することなく、水性塗料への変更が可能となった。

## 5. 成果

これらの技術によるVOC、及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を従来塗装である3ウェットオン塗装との比較をFig.9に示す。高機能上塗り塗料による工程集約と塗装工程の効率化によって、スリーウェットオン塗装の低いCO<sub>2</sub>排出量を維持したままVOC排出量の57%削減を実現し、開発目標を達成した。

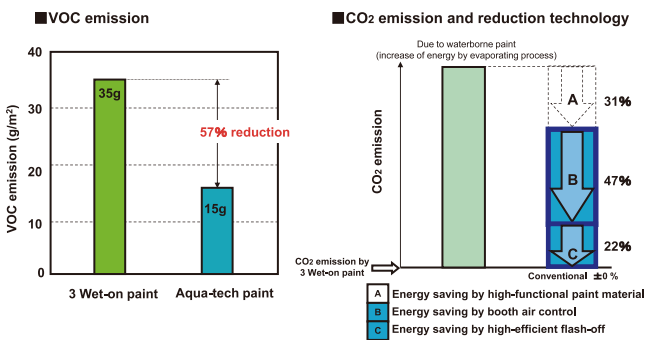


Fig.9 Reduction Effect of Environmental Load Materials

## 6. おわりに

本アクアテック塗装システムは、2009年6月より当社宇品第1工場へ導入を進めている。今後も、塗装工程の環境物質の排気量削減を進め、世界で最もクリーンな塗装工程から環境に優しい商品を提供し続けていく。

## 参考文献

- (1) 山根貴和, 重永勉, 神田輝夫, 亀迫裕介ら: 環境にやさしい3ウェットオン塗装技術の開発, 自動車技術, Vol.57, No.5, P.68-73 (2003)
- (2) 久保田寛, 山根貴和, 古賀一陽, 神田輝夫, 松田隆臣: 環境に優しい新水性塗装システムの開発, 自動車技術会秋季学術講演会, 98-20095708

## 著者



橋本 堅



亀迫裕介



松田隆臣



世良和也



和泉昭雄



大谷 崇