

特集：環境

12 新水性塗装システム「アクアテック塗装」高機能塗料の開発 High Functional Paint for Aqua-tech Paint System

山根 貴和*¹ 久保田 寛*² 中野 さくら*³
 Takakazu Yamane Hiroshi Kubota Sakura Nakano
 古賀 一陽*⁴ 石橋 毅子*⁵ 神田 輝夫*⁶
 Kazuhi Koga Takako Ishibashi Teruo Kanda

要約

自動車塗装工場の環境保全のため水性塗料の導入が進展している。水性塗装はVOCの排出量を大幅に削減することができる一方、塗装時の温湿度制御や塗料中の水分を蒸発させるフラッシュオフ工程の追加が必要となるため、従来の溶剤塗装と比較してエネルギー消費によるCO₂排出量が増加するという問題があった。この問題を解決するため、高機能塗料の開発による塗装工程の集約化と塗装工程でのエネルギー消費の抑制によって、CO₂排出量の増加なしに、大幅なVOC排出量の削減を実現する新水性塗装システム（以下、アクアテック塗装）を開発し、2009年6月より宇品第一工場への導入を開始した。

アクアテック塗装は、CO₂排出量を現行同等まで抑制しながら、VOC排出量を大幅に削減することで、業界トップレベルの環境性能を実現できた。更に、塗装品質は従来塗装同等以上を達成した。

本報では、アクアテック塗装技術のうち、主に高機能性塗料の開発について報告する。

Summary

Introduction of waterborne paints for the environment protection of automobile paint shops has been progressing. While the waterborne coating greatly reduces VOC emission, it requires temperature/humidity controls at painting and a flash-off process to evaporate paint moisture, resulting in the increase in energy consumption or CO₂ emission over the conventional solvent painting. To avoid this, we have developed a new waterborne paint system, Aqua-tech Paint System, which is an integrated paint process using newly developed high function paints, which requires lower energy consumption. This system significantly reduces the VOC emission without increasing CO₂, and was adopted to the Ujina No.1 Plant in June, 2009.

The Aqua-tech Paint System achieves the top level environmental performance in the industry due to the large cut-down of the VOC emission with equal CO₂ emission level as before, while maintaining the same or even better paint quality compared to the previous system.

This report mainly describes the development of the high functional paints used for the Aqua-tech Paint System.

1. はじめに

環境保全の観点から、自動車製造プロセスにおける一層の環境負荷物質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CO₂の排出量が非常に高く

(Fig.1), これら環境負荷物質の排出量削減が急務となっている。この対応策として、近年導入が拡大しつつある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することができる一方、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るため、そこでのエネ

*1~5 技術研究所
Technical Research Center

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

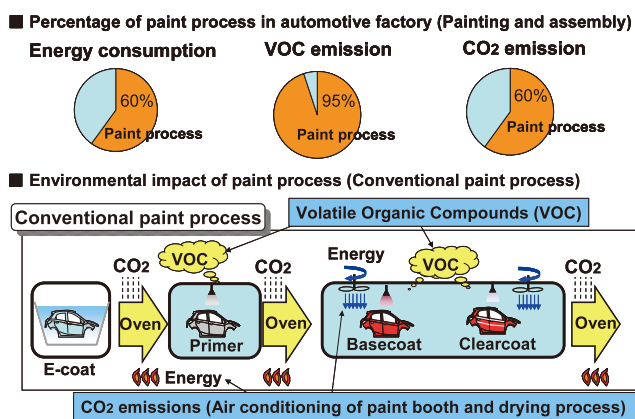


Fig.1 Actual State of VOC and CO₂ Emission of Paint Process

ルギ消費によってCO₂排出量が増加するという問題があった。そこで塗装工程の集約化と省資源化によって徹底したエネルギー消費の抑制を図り、CO₂排出量を増加させずに大幅なVOC排出量削減を実現する環境に優しいアクアテック塗装を開発した。

本報では、塗装工程の集約化を実現する高機能塗料の開発について報告する。

2. 開発目標

VOC排出量は、業界トップレベルの15g/m²（従来比▲57%）を目標とした。CO₂排出量については、従来塗装である溶剤塗料を用いたスリーウエットオン塗装¹⁾において、業界トップの低い排出レベルを実現しているため、これと同等とすることを目標とした。本開発では、従来塗装並みの塗装品質を維持した上で、これらの目標を達成する。

3. 開発方針

Fig.2にアクアテック塗装の概要を示す。

目標とするVOC排出量の削減は、水性塗装の導入とチップ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る中塗り塗装の廃止により行う。

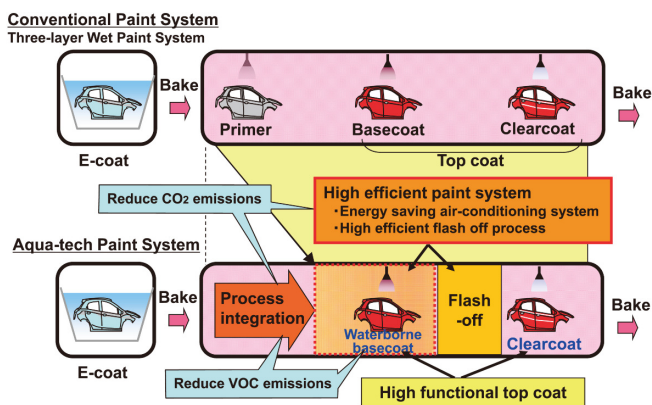


Fig.2 Outline of New Waterborne Paint System

一方、水性化に伴って増加するCO₂排出量については、高機能塗料による中塗り工程の廃止、ブース空調のエネルギー削減、およびフラッシュオフ工程のエネルギー削減などの塗装工程の省資源化による削減を行う。

4. 高機能塗料の開発

4.1 高機能塗装に必要な機能と対応

Fig.3に、従来塗装であるスリーウエットオン塗装とアクアテック塗装について、各塗膜層が担うべき主な機能と塗装品質との関係を示す。アクアテック塗装では、水性ベース塗料およびクリア塗料の高機能化によって、チップングプライマと中塗り塗装の主要機能である耐チップング性、並びに中塗り塗装の主要機能である電着の耐光劣化防止性、発色性および外観品質を実現することが必要である。「耐チップング性」は、走行中の飛び石などの衝撃から電着塗装面を保護することで、鉄板を錆から守る性能であるが、従来は、中塗層にある程度の弾力性を持たせることで、衝撃を受け止めながら跳ね返すように対応していた。アクアテック塗装では、クリア層で衝撃を緩和して受け止め、水性ベース層では衝撃を分散させるように設計することとした。

紫外線の透過を抑えて電着表面の劣化を防ぐ「電着の耐光劣化防止性」では、従来は、紫外線の透過を抑える機能の高い中塗り塗料を塗装することによって紫外線を遮断していた。アクアテック塗装では、クリア層への紫外線吸収剤の添加およびベース層の紫外線透過抑止性を向上させることで、電着表面への紫外線透過を遮断する。

「発色性」は、鮮やかな色を実現する機能であるが、人間の目に見える色は塗装最表面だけでなく、そこを通過した光が下の層で反射した際の色も含めたものである。従来塗装では、赤や黄色などの鮮やかな色の場合、中塗りを白などの明るい色にすることで発色を実現していた。アクアテック塗装では、カラーベース塗料の1層目と2層目の顔料配合を変え、最適な光の反射率を得られるように設計することで、すべての色に対して従来同等の発色性を実現する。

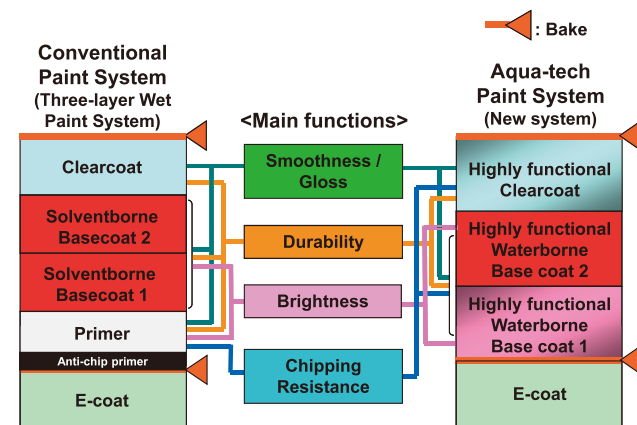


Fig.3 Main Functions of Each Paint Layer

滑らかな肌を実現する「平滑性」についても、新たに開発した水性ベース塗料とクリア塗料のそれぞれの樹脂の流動性を向上することで、平滑性を最大限に確保し、外観品質を向上する。

ここでは、主要機能を確保するための技術のうちチップングによるめっき鋼板のめっき剥離への対応技術、電着の耐光劣化防止技術、および発色性技術について述べる。

4.2 耐チップング性向上技術の開発

合金化溶融亜鉛めっき鋼板（以下、GA鋼板）は優れた耐食性から、国内で一般的に使用されている。しかし、めっき層に硬く脆いΓ相が存在するため（Fig.4）、高速の飛石によるチップングなどによって、防錆皮膜であるめっき層が大きく剥離し（Fig.5）、そこが起点となって赤錆が発生するという欠点を持っている⁽²⁾。

めっき層の剥離現象の想定メカニズムをFig.6に示す。飛石が塗膜に衝突した際の衝突エネルギーは、各層で吸収されながら、最終的に鋼板部に到達する。鋼板まで伝わったエネルギーにより、めっき層と鋼板が変形するが、めっき層は固く脆いため、鋼板の変形に追従できず、鋼板との間で縦方向あるいは横方向の歪が発生する。この時、鋼板まで到達するエネルギーが大きすぎると、その歪が鋼板とめっき層との付着力を上回ることで、めっき面からの剥離が発生すると考えられる。

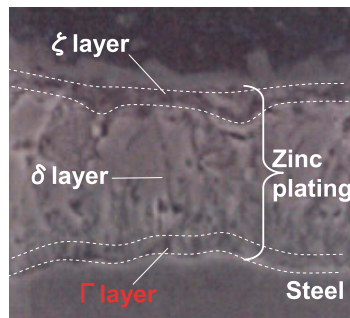


Fig.4 Structure of GA Steel

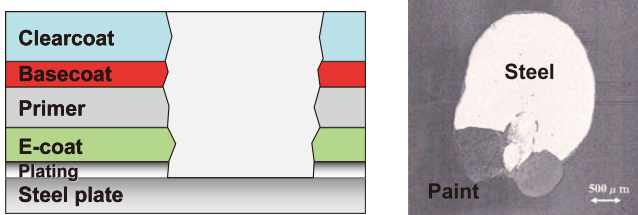


Fig.5 Flaking in Zn Plating of GA Steel

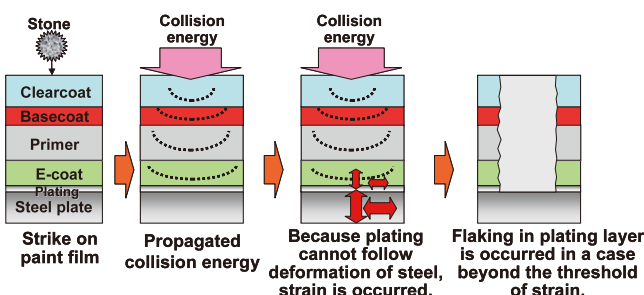


Fig.6 Assumed Mechanism of Flaking in Plating

以上を踏まえ、高機能上塗り塗料がGA鋼板との組合せで十分な防錆性能を確保するためには、開発した水性ベース塗料とクリア塗料が、めっき層の縦方向あるいは横方向の歪をいかに抑制できるかを定量化し、これを指標に材料開発を行う必要がある。

(1) 実験方法

1) めっき剥離性能の測定方法

Fig.7に示したチップングテストを用いて、一定の衝突エネルギーにおける塗装サンプルのめっき剥離率を測定した。

2) めっき層の歪測定方法

衝突エネルギーによるチップング発生時の、亜鉛めっき層と鋼板との縦方向と横方向の歪の測定には、Fig.8のような実験装置⁽³⁾を用いた。

3) 実験サンプル

供試した塗装サンプルの仕様をTable 1に示す。クリア

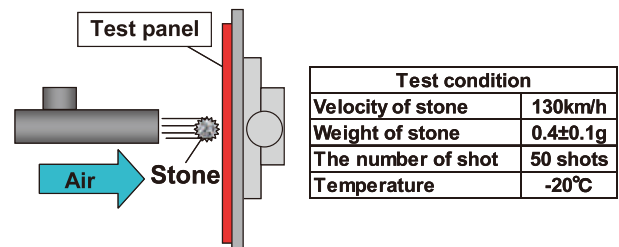


Fig.7 Outline of the Chipping Tester

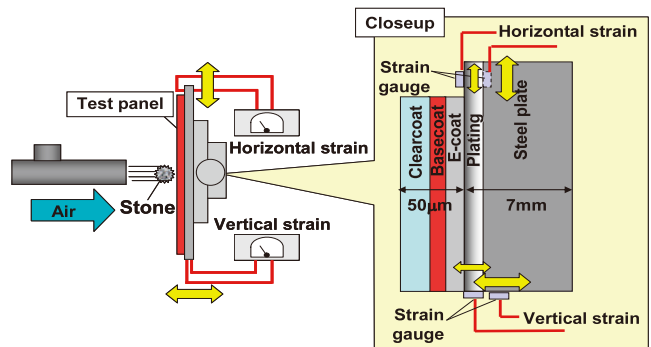


Fig.8 Experimental Equipment for Measurement of Strain

Table 1 Specification of Test Panels

Sample No.		Basecoat	Clearcoat
		Resin	Resin
①	Solvent borne	Acrylic melamine	Epoxy-acid
②			2 pack type urethane clear paint
③	Acrylic melamine & Urethane		
④		Acrylic melamine & Urethane & Energy absorption material (1PHR)	
⑤	Acrylic melamine & Urethane & Energy absorption material (5PHR)		
⑥			
Film build		15 ± 2μm	35 ± 5μm
Baking condition		140°C×20min Flash-off process 60°C×2min (only waterborne basecoat)	

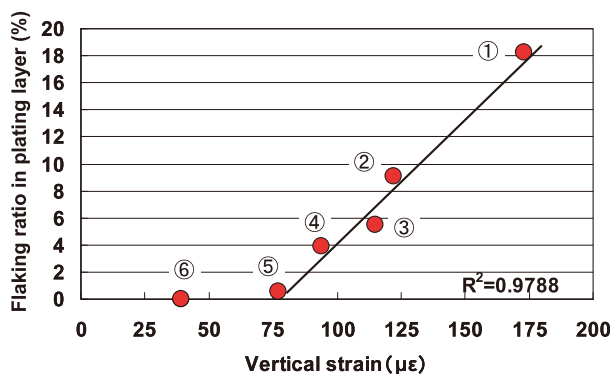
塗料は、柔軟性の高い2液型ウレタン硬化クリア塗料を新たに開発した。ベース塗料では、柔軟成分のウレタン成分と無機物のエネルギー吸収材料の効果も併せて調査した。また、顔料やマイカやアルミフレークなどの光輝材の影響を取り除くため、塗色は黒色顔料のカーボンブラックのみを含む、黒ソリッド色とした。

(2) 実験結果と考察

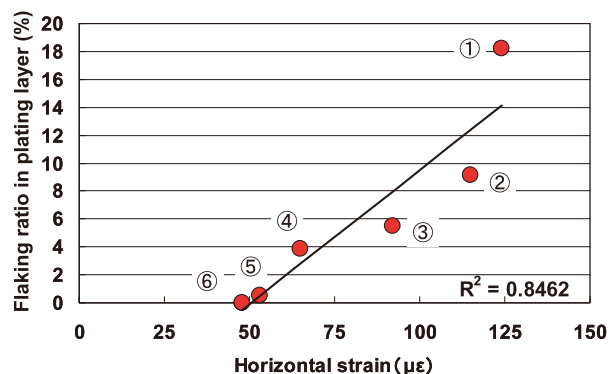
鋼板の縦方向と横方向の歪とめっき層からの剥離発生率の関係をFig.9に示す。歪とめっき層の剥離発生率については相関関係が認められ、相関係数からめっき層と鋼板の縦方向の歪との相関性が高いことが分かった。また、縦方向の歪を75 $\mu\epsilon$ 以下にすると、めっき層の剥離を防止できることが分かった。

塗装材料に着目すると、剥離発生率と縦方向の歪の関係から、クリア塗料は、柔軟性の高い2液型ウレタン系クリア塗料を用いることで大幅に歪を抑制することができた。また、ベース塗料についても柔軟成分のウレタン成分とエネルギー吸収材料を添加することで歪をめっき層からの剥離が発生しないレベルまで、小さくすることができた。

このように、水性ベース塗料にウレタン成分とエネルギー吸収材料を添加することで、ベース塗膜の衝撃吸収力が向上した。しかし、エネルギー吸収材料については、添加量を増加させ過ぎると、塗膜自体が脆くなり、チッピングによるベース塗膜の凝集破壊が発生することが分かった。そこ



(a) Relationship between vertical strain and flaking in plating



(b) Relationship between horizontal strain and flaking in plating

Fig.9 Relationship between the Strain and Flaking in Plating (The numbers in the Figure are Sample Numbers in Table 3)

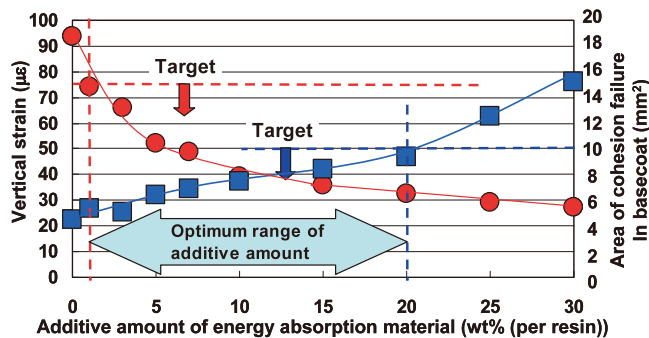


Fig.10 Additive Amount of Inorganic Energy Absorption Material

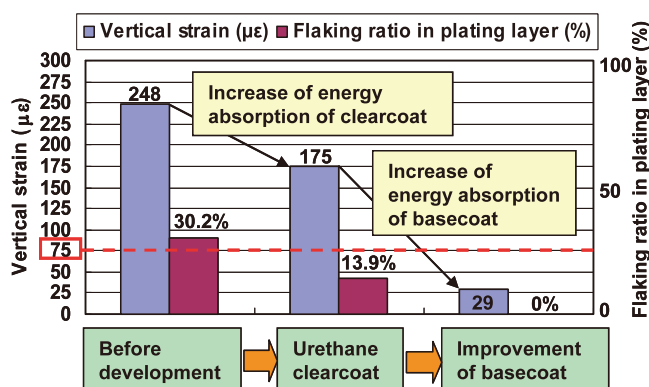


Fig.11 Anti-chip Performance of Limit Speed Condition (150km/h)

で、めっき層からの剥離発生率、ベース塗膜の凝集破壊面積およびエネルギー吸収材料の添加量の関係を調査し、めっき剥離率とベース塗膜の凝集破壊を両立できる添加量範囲を見出した (Fig.10)。

また、高機能上塗り塗料は耐チッピング性以外の耐久品質や外観品質においても、開発目標を満足することを確認した。

塗料改良による耐チッピング性向上効果をFig.11に示す。クリア塗料のウレタンクリア化とベース塗料の改良により、現行の重防錆仕様と同等以上の耐チッピング性を実現することができた。また、全ての色域で目標を達成できた。

4.3 電着の耐光劣化防止技術の開発

耐候性の課題と対応策をFig.12に示す。従来塗装では紫外線が、中塗りで完全に遮断されていたが、アクアテック塗装では中塗りが無いため、紫外線が電着表面まで到達し電着を劣化させてしまう。そこで、耐候性の特性値を電着への紫外線透過率とし、電着への紫外領域の光線透過がないように塗料設計を行った。

(1) 対応技術

材料面からの対応として、クリア塗料に紫外線遮断力の高い新たな紫外線吸収剤 (以下、UVA) を添加した。

ベース塗料の改良では、塗色によって異なる顔料配合がポイントとなる。濃色系で用いられている顔料は紫外線遮断力が高いため、顔料の濃度アップで紫外線遮断

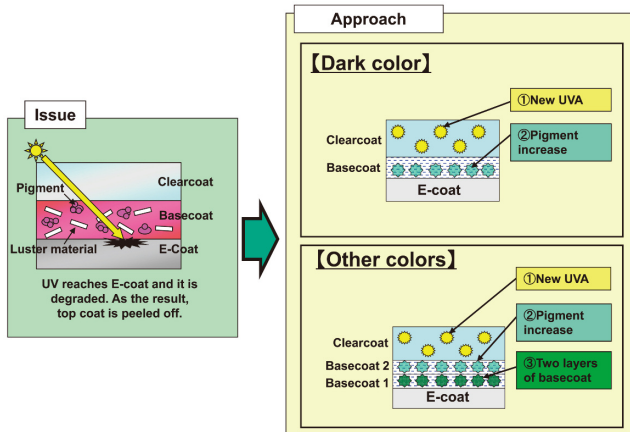


Fig.12 Issue and Measures for Weatherability

能力を向上させた。しかし、シルバーなどのその他の色に含まれる顔料は紫外線遮断能力が高くないため、顔料の増量だけでは十分な紫外線遮断が期待できない。そこで、ベース層を2層化し、下側の層に高紫外線遮断顔料を添加することで、確実に紫外線を遮断することとした。

(2) 結果および効果

1) クリア塗料の改良

従来のUVAを添加したクリア塗膜は、400nm以下の紫外光を非常に良く通すため、今回クリア塗料に添加するUVAを見直すことで大幅に紫外線の透過を抑制した。特に、370nm以下の紫外光は完全に遮断した。

2) ベース塗料の改良

濃色系において、ベース塗膜の顔料濃度が紫外線透過率に及ぼす影響を調査した。結果をFig.13に示す。顔料濃度を上げることで、紫外光を十分遮断できることが確認できた。

淡彩色についてはベースを2層化し、発色に影響の少ない下側の層に紫外線遮断能力の高い顔料を添加した。その結果、Fig.14に示すように淡彩色においても紫外光を十分

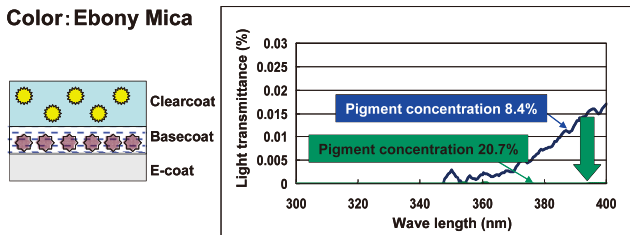


Fig.13 Effect of High Concentration of Pigments in Basecoat

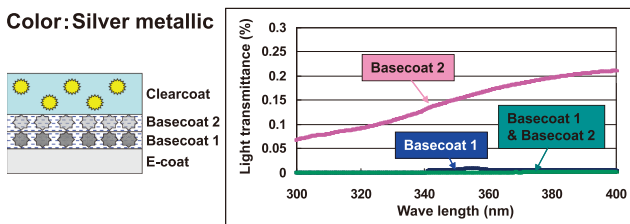


Fig.14 Effect of Two Layers of Base-coat

遮断できることが分かった。

4.4 発色性向上技術の開発

発色性の課題と対応策をFig.15に示す。赤や白などの鮮やかな塗色の場合、中塗りを抜くことによって電着層で光が吸収されるため、期待される意匠性が得られない。この意匠性の相違は、現行塗装とアクアテック塗装の色ずれとして認識され、塗色ごとに固有の分光分布の差で表すことができる。そこで、その差を定量化した色差 ΔE^* を発色性の特性値とした。発色性のしきい値は、人間が色ずれに対して違和感を感じない範囲となる、 ΔE^* が1.5以下とした。

(1) 対応技術

アクアテック塗装においては、従来塗装の中塗りが担っていた光の反射の機能を、ベース塗料で実現する必要がある。そこで、中塗りの反射を再現するために、光反射顔料をベース塗膜の下層に添加した。更に、反射した光を確実に発色させるため、ベース塗膜全体の顔料濃度を増加させた。

(2) 結果および効果

高彩度の赤色の分光反射スペクトルをFig.16および17に示す。赤色の分光反射スペクトルの特徴として、600~780nmの長波長領域の光の反射がみられる。そして、高明

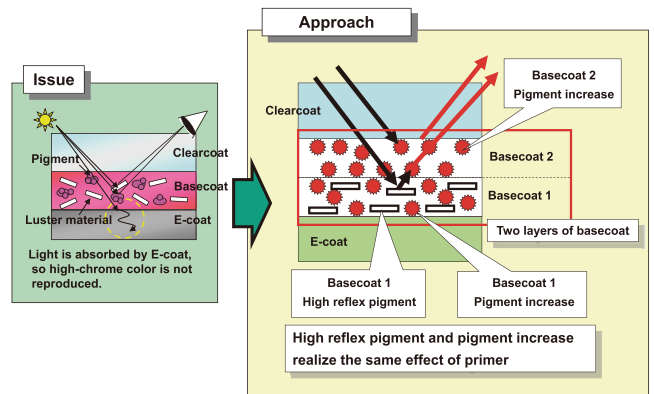
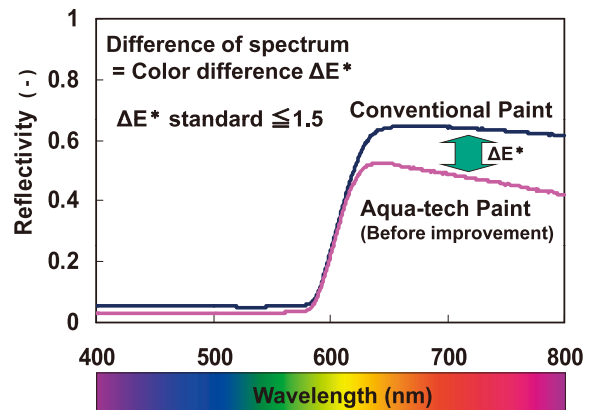


Fig.15 Issue and Measures on Color



Color : Red	Color difference (ΔE^*)
Conventional Paint	6.58
Aqua-tech Paint (Before improvement)	

Fig.16 Spectrum Reflection and Color Difference (Before Improvement)

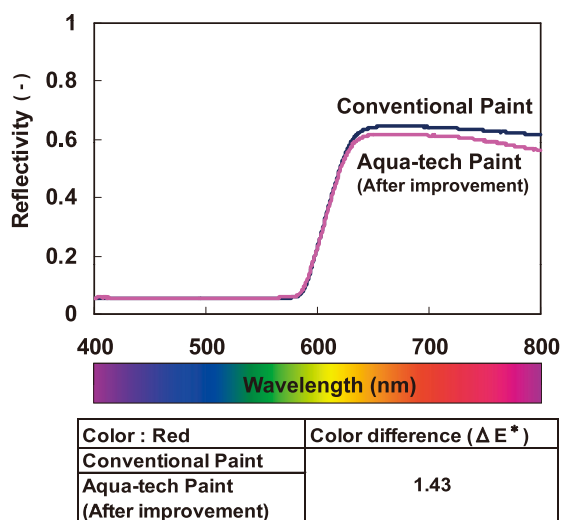


Fig.17 Spectrum Reflection and Color Difference (After Improvement)

度・高彩度の色ほど光の反射率が高い。現行塗装に比べると改良前の色は非常に暗い。このとき、Fig.16に示すように波長600nm以上の光の反射率が現行塗装に比べて大幅に低くなっていることが分かる。また、色差 ΔE^* の値も大きい。これに対してベース塗料の顔料濃度アップと下層への光反射顔料の添加を施した改良後では、Fig.17に示すとおり、波長が600nm以上の光の反射率を現行塗装並みまで改善することができた。また、色差 ΔE^* は、基準値として設定した1.5以下に抑えることができた。

5. 開発結果

この技術によるVOCおよびCO₂排出量削減効果を従来塗装であるスリーウエットオン塗装と比較してFig.18に示す。高機能上塗り塗料による工程集約により、CO₂排出量を31%削減できた。塗装工程の省資源化と併せて、スリーウエットオン塗装の低いCO₂排出量を維持したまま、VOC排出量の57%削減を実現し、開発目標を達成することができた。

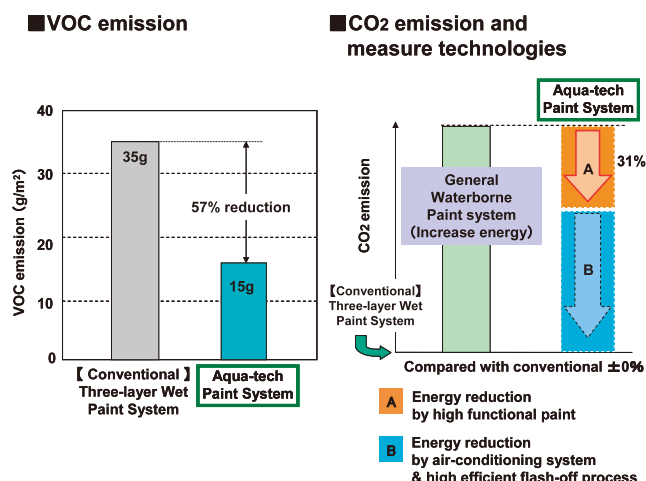


Fig.18 Reduction Effect of Environmental Load Materials

6. まとめ

- (1) 高機能上塗り塗料の開発
耐チッピング性向上技術、電着の耐光劣化防止技術、および発色性向上技術を確立することで、開発目標を達成する高機能上塗り塗料を開発することができた。
- (2) VOCおよびCO₂排出量
VOC排出量は、水性ベース塗料の導入と中塗り塗装の廃止により、15g/m²を実現した。

CO₂排出量については、水性塗装化によるCO₂排出量の増加分を中塗り塗装工程の廃止と高効率塗装工程によるエネルギー削減により従来塗装工程と同等まで吸収することができる。

7. おわりに

本水性塗装システムは、2009年6月に宇品第一工場へ導入を開始した。今後も、塗装材料面から塗装工程の環境負荷物質の排出量削減を進め、世界で最もクリーンな塗装工場から環境に優しい商品を提供し続けて行く。

参考文献

- (1) 山根貴和ほか：環境にやさしいスリーウエ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) 大和康二：溶融めっき鋼板の製造技術の進歩，社団法人 日本鉄鋼協会 西山記念技術講座，第138, 139回 (1992)
- (3) 青木美樹ほか：塗装鋼板における衝撃応力吸収特性の評価（第1報），塗料の研究，No.144, p.2-8 (2005)

著者



山根貴和



久保田寛



中野さくら



古賀一陽



石橋毅子



神田輝夫