

# 「環境対応塗料技術」

## - 自動車用水性塗料 -

Paint Technologies for Environmental Protection  
Automotive Waterborne Coatings



製品開発研究所  
第1部  
加佐利章  
Akira  
KASARI

### 1. はじめに

工業用塗料・塗装は自動車用に代表される様に、ラインで連続的に、かつ焼付けを前提として適用される事から、その環境対応を考える場合、塗料や塗装が環境に負荷を与えるネガティブ要因を排除するという観点から、塗装工程で消費するエネルギー（それに伴う二酸化炭素発生）の削減、および塗料からのVOC削減、HAPs(Hazardous Air Pollutants)、重金属のフリー化などがその中心となる。

図1は自動車製造工程別の消費エネルギーを台当たりの指数で示したものであるが、塗装工程におけるものが圧倒的に大きく、中でも図2に示す様に、ブース空調がその半分以上を占めている。しかし、エネルギーの低減については塗料そのものの対応は自ずと限界があり、塗装工程全般からのアプローチが必要である<sup>2)</sup>。そこで本稿では自動車用塗料そのものに求められる環境対応としてVOC削減を取り上げ、その中心的材料といえる水性塗料について、現状および技術動向を紹介する。

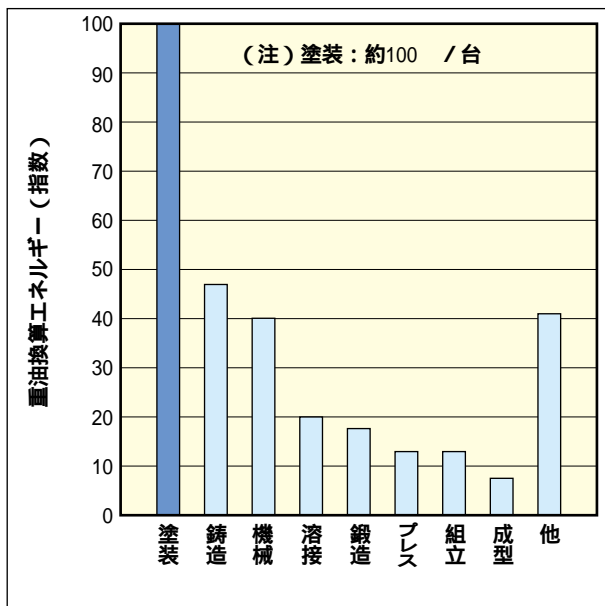


図1 自動車製造工程別エネルギー<sup>1)</sup>

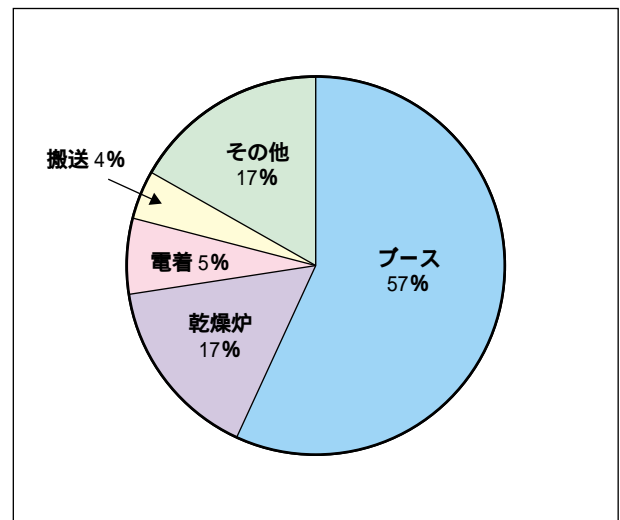


図2 設備別エネルギー消費量<sup>1)</sup>

### 2. 自動車塗料のVOC

現在、自動車塗装におけるVOC排出量はVOC総排出量(g) / 電着塗装面積(m<sup>2</sup>)で表示されているが、現時点での日本の自動車ラインの平均は80~100g / m<sup>2</sup>であると言われている<sup>3)</sup>。それに対して、ドイツのVOC規制TA-Luftは35g / m<sup>2</sup>以下となっており、現実にOPEL等のラインではこの規制値を達成しており、Daimler ChryslerのRastatt工場では20g / m<sup>2</sup>以下をも達成していると言われている<sup>4)</sup>。

図3はVOC対策塗料を用いていない自動車塗装ラインにおける用途別VOC使用比率を示したものであるが、塗料としてはベースコートが最も大きく、次いで中塗りの順番となっている。これらの状況から塗料のVOC対策は、まず、ベースコートの水性化、そして次に中塗りの水性化といった順になってくる。これらの塗料の水性化における重要なポイントは、これまで自動車塗料に求められてきたハイレベルの品質（特に日本の自動車メーカー仕様）を如何に維持、向上していくかである。

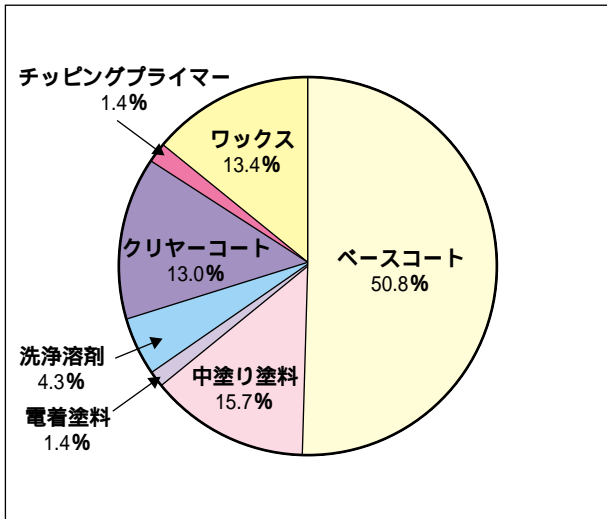


図3 自動車塗装ラインでの用途別有機溶剤使用比率<sup>5)</sup>

### 3. 電着塗料<sup>6)</sup>

電着塗料は水性という意味では既に長い歴史があり、VOCもきわめて少ない。しかし、現在、環境対策という観点から有害重金属である鉛を使用しないカチオン電着への切り替えが進行していることから、その技術動向について若干ふれることとする。

現在のカチオン電着塗料における鉛化合物の機能としては、大きく分けて硬化触媒能、塗膜下腐食防止能、設備腐食防止能の3つである。そこで、この鉛化合物なしで、高防食性を維持、確保させるために表1の様な考え方で開発が進められてきた。その結果、当社において、鉛に比べ極めて毒性が低いにも拘わらず、鉛同等以上の防錆機能を有する特殊金属化合物が見出され、各種性能においても良好な結果を有する高防食型鉛フリー電着塗料を開発するに至った。現在、複数の自動車メーカーに導入されている。

### 4. 水性中塗り塗料

中塗り塗料は、前述の様に自動車塗装ラインにおいてベースコートに次いでVOC含有量の多い塗料であるため、その水性化もかなり以前から検討されてきた。実際に日本国内でも過去において複数の自動車ラインで水性中塗りが使用されており、当社製品も1980年から1986年の7年間に亘る自動車藤沢工場においてラインオンしていた実績がある。しかしながら、1980年代半ばからの塗装外観品質向上の流れ<sup>7)</sup>に当時まだ塗料配合技術的に十分追従できなかったことから、セミインリッドの溶剤型塗料に置き換わった経緯がある。

表1 鉛フリー高防食化技術

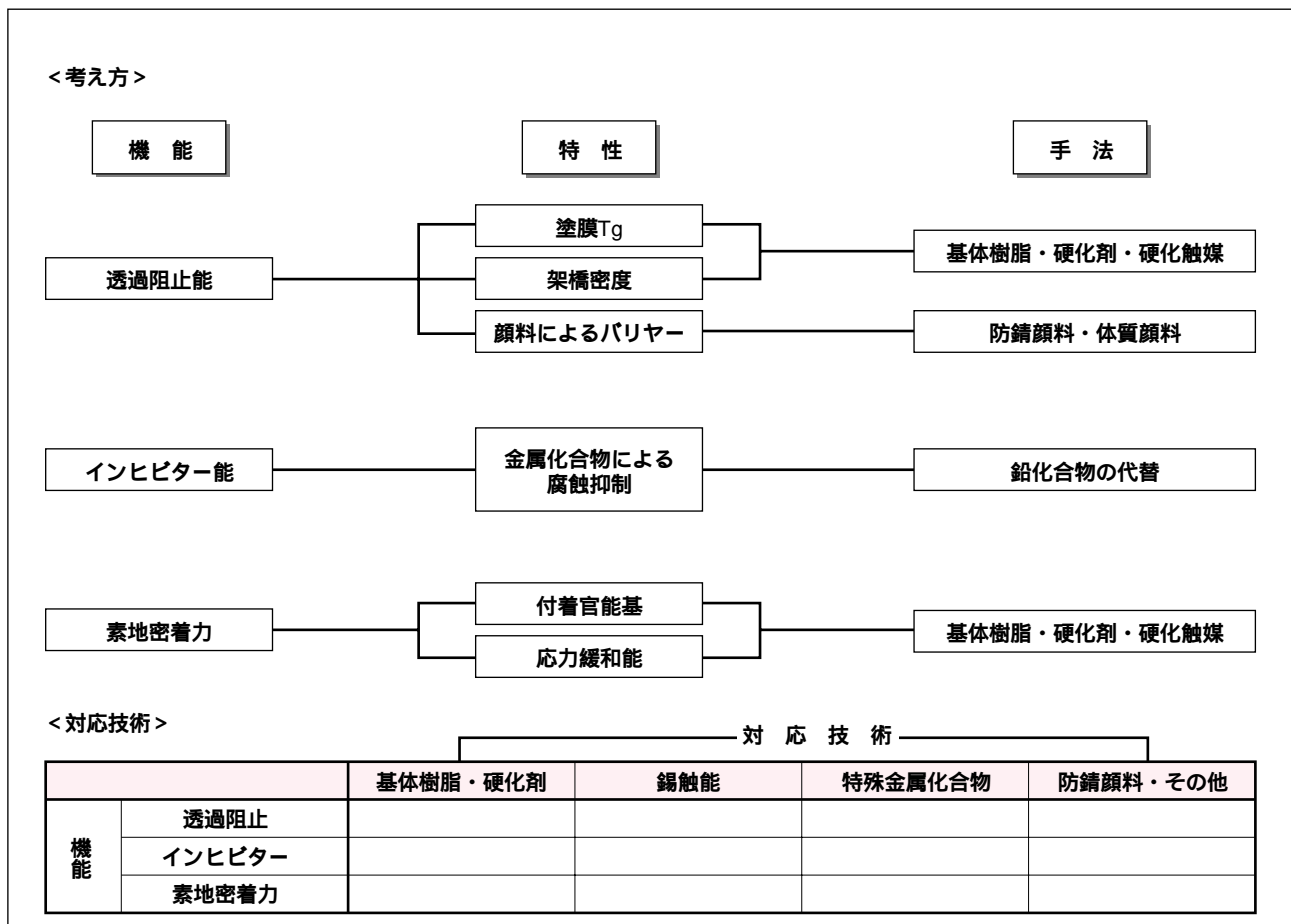
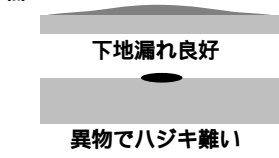


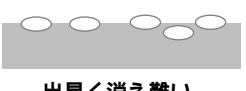
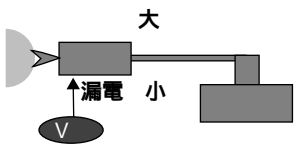
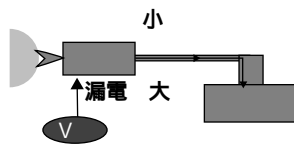


表2 水の物理特性に基づく水性と溶剤型の相違点

物理特性			水性塗料の課題
項目	有機溶剤	水	
蒸発	種類の選択により自由に制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・沸点は比較的低い割りに蒸発遅い。</li> <li>・湿度の影響大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高湿度下でのタレ</li> <li>・仕上がり肌変動大</li> </ul>
表面張力	低い 	高い 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仕上がり肌不良</li> </ul>
泡			泡抜け痕（ワキ）等の塗膜欠陥
電気抵抗性			従来の静電塗装機使用不可

#### 4.1 塗装作業性

塗装作業性における水性塗料の配合および塗装技術上の難しさを水の物理特性という観点からまとめたのが表2である。この中でまず克服しなければならない重要技術のひとつが、ブースの湿度変動に対して如何に安定して良好な仕上がりを得るかということである。特に夏場、高温多湿の日本において、しかもエネルギー（二酸化炭素）削減の観点からブース空調での除湿が望めないため、湿度90%RH近くのブース条件下で、タレ、ヨリなどの塗装欠陥を生じないことが必須となる。当然この課題を達成するには、塗着塗料後の塗料粘度は高くしなければいけない。

そこで、少しの固形分変化で大きく粘度が変化する特性を塗料に持たせることが重要なポイントとなる。一方、低湿度下で塗着塗料の固形分が高くなっても肌不良が生じないためには、焼付け時に十分な熱フローを持つ様な塗料の設計が必要となる。

これらを達成するためには基体樹脂であるポリエステル設計が重要なポイントであるが、レオロジーコントロール剤をはじめとする各種添加剤についても十分考慮されなければならない。

タレ、ヨリに次いで、水性中塗りの設計において大きな課題はワキである。ワキは端的に言って乾燥硬化時における泡（または抜け跡）であるため、泡が出易く消え難い性質を持ち、かつ沸点が通常140～160の焼付け温度途中の100である水を大量に含む水性塗料は、極めてワキの発

生し易い塗料と言える。これらのことから塗料的なワキ対策としてはまず、有効な消泡剤の選定が必要となる。次いで焼付け時の泡の抜け易さ（低粘度）および泡抜け時間を確保するため、架橋剤や高沸点溶剤種の選定を十分考慮する必要がある。しかしながら、架橋剤の反応遅延や基体樹脂の低分子量化などによるワキ対策は、溶剤型並みの塗膜性能の確保、向上を目指していく上でマイナスであり、塗料配合による対策の大きな壁といえる。

これらの状況の中で、塗膜性能へのリスクがなく、最も有効なワキ対策は工程上における焼付け前のプレヒートである。図4はプレヒート条件とワキ限界膜厚の関係を調べた実験の結果であるが、硬化反応が始まる前に塗料固形分が約85%以上になるまで水を蒸発させてやれば、ワキはほぼ溶剤型のレベルに達することを示している。この85%という値は今回実験に用いた塗料においては、塗膜中の残存溶剤と水がほぼ同量になることから、O/WからW/Oへの相転換点であるといえる。この焼付け前のプレヒートは現在のところ必須とされており、水性中塗りが使用されているほとんどのラインで段階昇温という形で実施されている。

次に塗装ラインにおいて最も厄介な問題のひとつはハジキであり、塗料配合的に強力なハジキ防止剤の使用が必要となるが、中塗りの必須性能である上塗りとの付着性にマイナスとならないよう十分な確認が必要である。現在、塗料配合的には各種ハジキ防止剤の適用が行われているものの、水性塗料では環境要因によるハジキが従来の溶剤型に比

べて発生しやすく、これまで以上のライン環境管理が必要とされる。

付表) 各プレヒート時の塗料NVとワキ限界膜厚 (内

バス時間	3	4	5	6
RT(20 )	67.5 (38)			72.8 (40)
40	80 (46)			82.8 (52)
60	82.1 (50)	83.5 (56)	85.4 (58)	86.2 (60)
80	83.2 (55)			89.8 (59)

\*ワキ試験条件  
 塗料：WP-404 (当社製品)  
 希釈塗料NV：57wt%  
 有機溶剤量：5wt%  
 塗装：ED板上での勾配塗装  
 焼付：プレヒート後 140 まで5分で昇温後、20分キープ

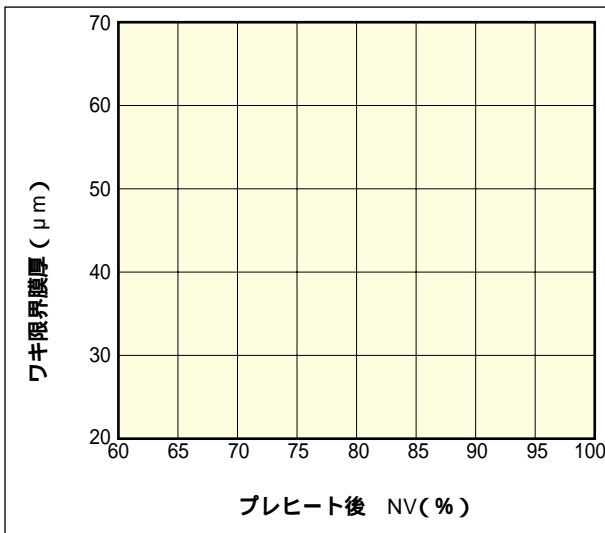


図4 プレヒート後塗料NVとワキ限界膜厚

#### 4.2 塗膜性能

中塗りの役割の代表的なものとして、下地(電着粗度)隠蔽性、耐チップング性、耐候性などが挙げられる。現在、メラミン硬化系がコストの点からも主に使用されているが、水性中塗り中に必須成分として存在する中和剤のアミンはメラミン硬化系においては負触媒であり中塗塗膜の硬化を阻害する。しかし、上塗りの鮮映性確保のための中塗り塗膜の耐溶剤膨潤性<sup>8)</sup>や良好な耐チップング性を得るためには十分な塗膜架橋度を得ることが必要であり、そのための工夫<sup>9)</sup>が色々行われている。

一方、現在、高レベルの耐チップング性が必要とされる車体前部(フード先端等)には、中塗り塗装前にポリオレフィン樹脂などの熱可塑性樹脂を用いた溶剤型チップングプライマーまたはストーンガードプライマーと呼ばれる高弾性塗料が塗装され、その後Wet on Wetで中塗りが塗装されている。現行溶剤型チップングプライマーは低固形分でVOC含有量が多いことから、その水性化も従来から強く望まれていた。そこで最近、ポリウレタンエマルジョンを主成分とする水性チ

ップングプライマー<sup>10)</sup>が開発され、現在水性中塗り採用時に同時に適用される動きになってきている。この工程の課題としては、水性チップングプライマーが指触乾燥する前に水性中塗りが塗装された場合の仕上がりに性及び耐チップング性の確保であり、今後さらに塗料配合面、塗装工程両面からの検討が必要と考えられる。

## 5. 水性ベースコート

ベースコートは自動車塗装ラインにおいて最もVOC発生量の多い材料であることから、厳しいVOC排出規制のある欧米では10年以上前から水性ベースコートがラインで適用されてきた。それに伴い、当社の水性ベースコートも日本の自動車メーカーの欧米工場採用され、数年のライン実績が得られている。一方、昨年のPRT(環境汚染物質排出・移動登録)法制化に伴い、国内でも水性ベースコートのラインへの展開が具体化してきたが、従来の欧米適用材質では夏場の高温多湿という日本の塗装条件下においては十分な塗装品質が得られないため、新規材料の開発が必須であった。

### 5.1 塗装仕上がり幅<sup>11)</sup>

水性塗料では仕上がりに対するブースの湿度の影響が非常に大きいことはすでに述べたが、その中でも(メタリック)ベースコートは中塗りに比べ品質に対する影響がさらに大きい。それは、ベースコートが意匠性と言う自動車の商品力に直結する役目を持っているからである。即ち、その色調が鱗片状アルミ等の光輝材の塗膜中での配向によって変化するため、塗着塗料粘度の変動による配向性変化は色違い、メタリックムラといった品質欠陥に直接結びつくことになる。

塗膜中における光輝材の配向は図5の様に塗膜形成の各段階でそれぞれ決定されるが、ブース湿度の影響を最も大きく受けるのは塗着後の塗料粘性である。一般的に言って、良好な光輝材配向性と良好な肌を両立させる適正塗着塗料粘度は、溶剤型、水性を問わず大体同じ領域である。そこで、広い塗装仕上がり幅を得るためには図6の様に、塗着塗料固形分の広い範囲で、適正粘度領域に入るような粘度挙動を持っていなければならない。

良い仕上がりに得るために必要な適正塗着塗料粘度は図6の様にかなり高い値であるが、一方塗装機で良好な微粒化を得るためには粘度は十分低いことが必要である。従って、高湿度下で塗着塗料固形分上昇が小さい場合であってもこの適正粘度を得るには、塗料に擬塑性の流動特性を与えることが従来から重要なポイントとなっている。

当社の新規ベースコート「No.700」は、樹脂系をコアシェ

各段階	微粒化時	被塗物衝突時	塗着後	クリアー塗装前	クリアー塗装後
高配向のための要件	光輝材が各粒子に分散されている事	衝突時の粒子変形が大きい事	一旦配向した光輝材が動かない事	膜収縮が大きい事	クリアーの浸透により再流動しない事
良好					
不良					

図5 メタリック塗料の光輝材配向を決定する各段階の要因概念図

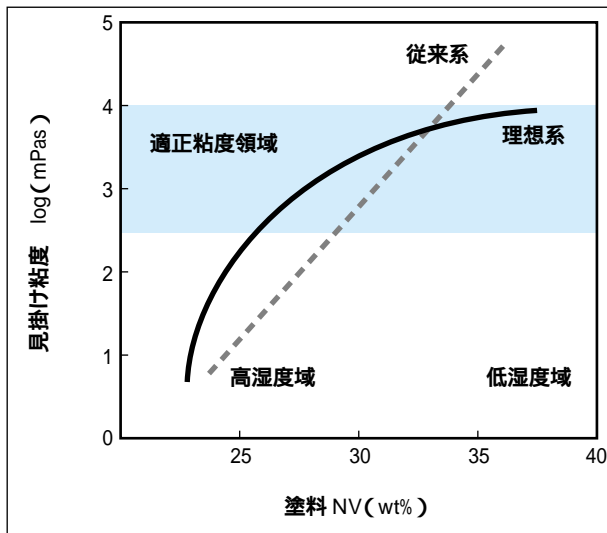


図6 広い塗装作業幅のための理想粘度曲線

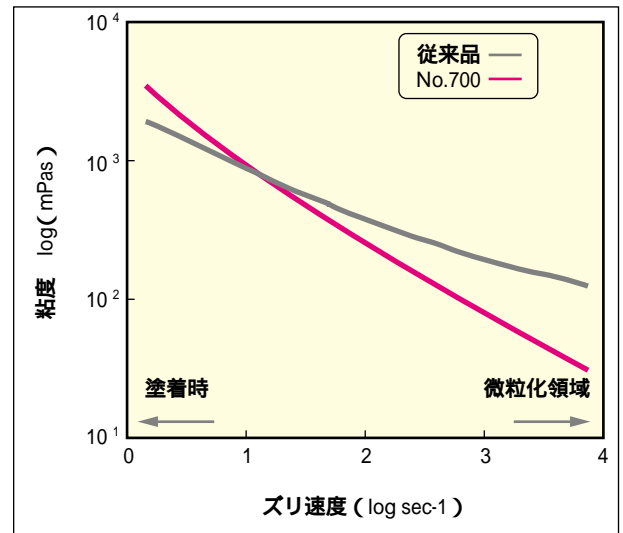


図7 ベースコートの粘性挙動比較

ルエマルジョン、コロイダルアクリルおよびポリエステルハイブリッドとし、そこに有機及び無機のシックナーを組み合わせることで、図7の様に高い擬塑性を与え、より広い固形分領域で塗着塗料に適正な粘弾性を与えることを可能にした。図8は高湿度域、低湿度域における塗装仕上がり性を従来タイプと比較したものであるが、いずれの領域においても「No.700」は従来タイプに比べ良好な鮮映性およびメタリックの光輝性が得られる事を示している。

「No.700」はすでに国内の一部のラインで使用されており、現在も順調に推移している。しかしながら今後、塗装条件的には塗料にとってより厳しい方向の塗装機の変更(高塗着効率化)や塗装工程の変更(プレヒート時間の短縮など)も予想されることから、さらに塗装作業幅の広い材質の開発が望まれている。

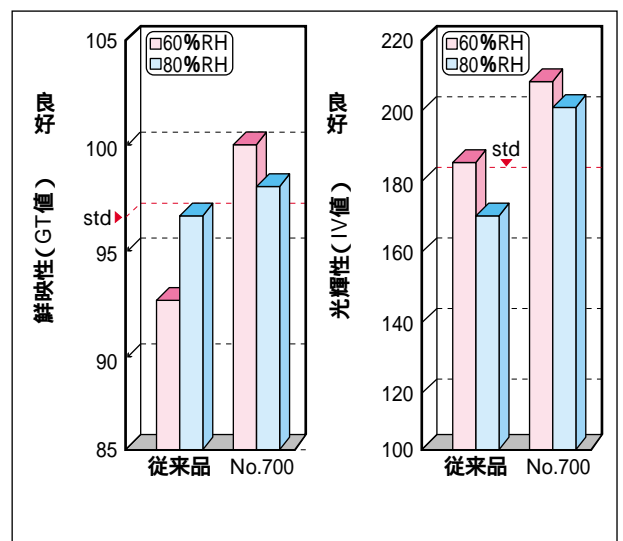


図8 湿度変動における鮮映性(GT値)、光輝性(IV値)比較

5.2 塗膜性能<sup>12)</sup>

水性ベースコートの塗装作業性幅拡大のため、塗料に有効な擬塑性を与える各種粘性制御剤の使用は必須である。一般的にこれらの粘性制御剤は、その分子構造として強く水和する部分を持っており、そのため塗料中で膨潤し、その立体的絡み合いや疎水基どうしの相互作用で構造粘性を発現する。しかし、焼付け後の架橋塗膜中でもそれらの粘性制御剤の吸水性は保持されるため、塗膜の耐水性が低下するという大きな問題を有している。

一方、この耐水性に関する日本の自動車メーカーの品質基準(スペック)は、高温多湿の日本市場を反映して、欧米のそれと比べ非常に厳しいとされている。VOCの削減のためと言えども、これまで世界において日本車を支えてきた従来品質を引き下げることは出来ないため、これまでいろいろな対策がなされてきた。

その対策の主な考え方は、塗膜全体の吸水性を減少させるために樹脂系全体を出来るだけ疎水性にし、かつ架橋密度を上げるというものが一般的である。具体例として、当社では硬化剤に疎水性メラミン樹脂を適用する方法を提案<sup>13)</sup>しており、大きな改良効果を得ている。また、この疎水性メラミンの配合により塗料安定性が損なわれないよう、事前乳化して配合する方法も提案<sup>14)</sup>している。特に、この事前乳化による疎水性メラミンの分散安定化技術は、従来溶剤型で使用されている高分子ブチル化(疎水性)メラミンの使用も

表3 EPAとSCAQMD Rule 1151 (抜粋)<sup>17)</sup>

	National Rule	Los Angeles
	EPA (g/l)	SCAQMD Rule 1151 (g/l)
Pretreatment Wash Primer	780	780
Precoat	660	250
Primer Surfacer	460	250
Primer Sealer	550	340
1 Coat Solids	600	420
1 Coat Metallics	600	420
2 Coat System	600	420

可能にするため、耐チップング性や層間密着性の向上も図ることが出来る。

また、水溶性化手法として一般的に高酸価の樹脂が使用されているが、焼付け塗膜に残存したこれらの樹脂中のカルボキシル基も塗膜の吸水性に大きく影響する。そこで、塗料中では安定な特定のエポキシ樹脂を配合し、焼付け時にカルボキシル基と反応させることにより、耐水性を向上させるという方法もある<sup>15)、16)</sup>。

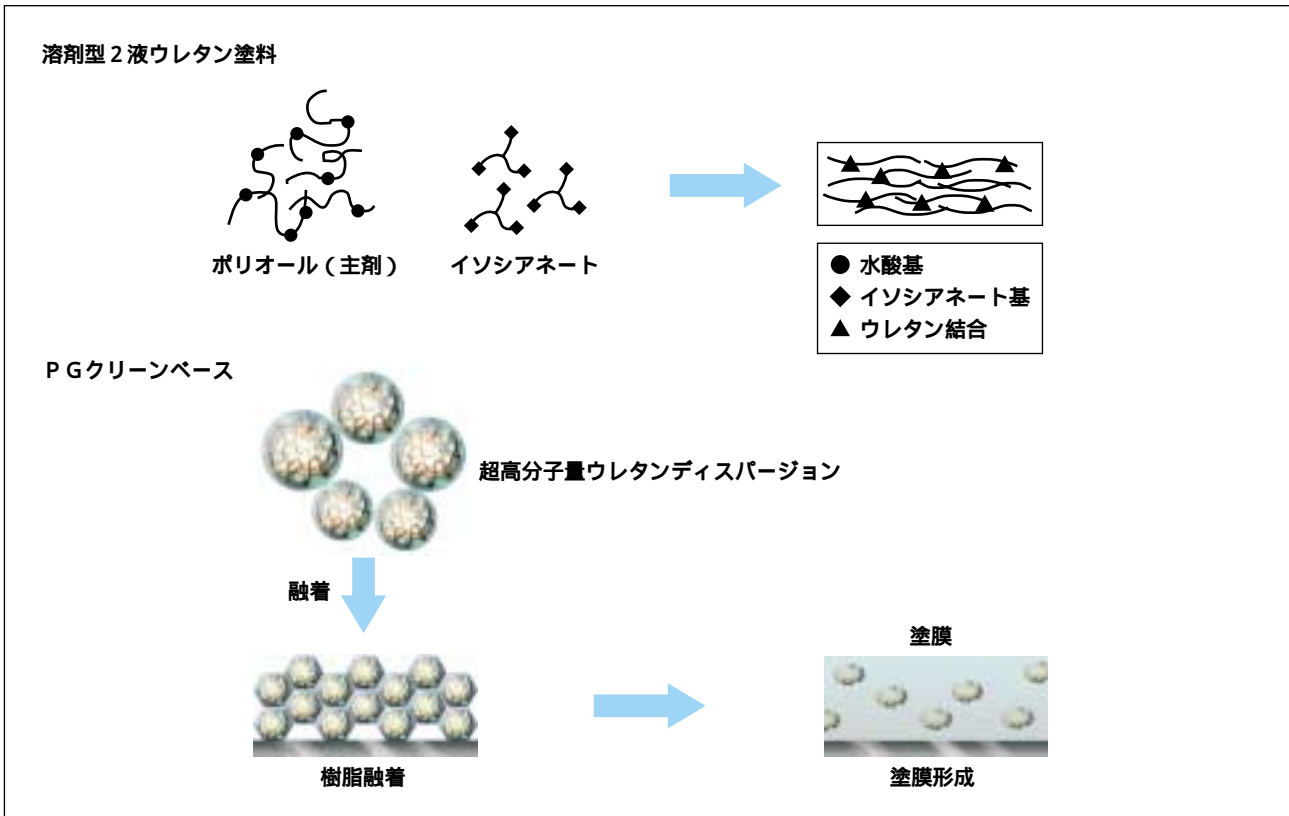


図9 PGクリーンベースと溶剤型2液ウレタン塗料の塗膜形成

## 6. 自動車補修水性ベースコート<sup>17)</sup>

自動車のOEM塗料における環境対応(水性化)への動きは、これまで述べてきたように、日本国内でも急激に加速してきている。しかしながら、自動車補修の分野においては、それらの動きは日本ではまだあまり大きくない。

一方、米国においては1989年にロサンゼルスで定められたSCAQMD Rule 1151を始めとし、表3の様な連邦規制も現在検討されている。ヨーロッパにおいても、仏独英伊など15カ国で構成されているCEPEによって自主規制案が定められており、その内容は、自動車補修作業から生じるVOC量を1998年には1991年レベルの70%削減することを目標にしている。

このような世界の流れの中、現在日本国内ではVOC規制はないが、当社では環境保護の観点から自動車補修水性ベースコートの開発を行ってきており、その結果、大幅にVOCを削減できる「PGクリーンベース」(仮称)を開発するに至った。

「PGクリーンベース」は、従来溶剤型2液ベースコートに比べ、VOCを約90%削減(当社比)でき、また超高分子量のウレタンディスパージョンを基体樹脂として使用しているため、1液型でありながら図9の様に粒子融着後は架橋塗膜と同様な強靱な塗膜を形成し、溶剤型2液ウレタン塗料と同等の塗膜性能を得ることができる。

現在、上記水性ベースコートを使用した自動車補修塗装システム「PGコスモクリーン」は、一部のディーラーにてモニターを実施中であり、各種詳細データの蓄積や問題点の抽出が行われている。近い将来日本の自動車補修塗料の分野でも、VOC削減の動きが活発化することが予想されるため、材質の更なる改良およびシステムの構築を進めていく予定である。

## 7. おわりに

工業用塗装、特に自動車塗装分野での環境対応塗料は、欧米の流れを見た場合、まずはVOC削減が第1優先であり、その中心的材料である水性塗料の展開が、21世紀を迎えるにあたって日本国内でも非常に活発になってきた。

しかし、環境対応というキーワードにはVOC削減以外に、本稿でも若干触れた重金属、HAPsフリー化、二酸化炭素(エネルギー)削減そして、水質の保全など他にも様々なものが含まれる。一方、これら環境対策塗料と言えども、自動車の商品力に大きな影響を及ぼす塗装品質をコストパフォーマンスも含めて、さらに向上させていかなければならない。このような大きな技術課題に対し塗料単独で対処するのは到底困難であり、塗装工程、塗装方法も含めた対応が必要

となる。従って、そのような新規な塗装工程・方法における塗料のあるべき姿について今後、各立場の塗装関係者の間で十分議論していかなければならない。

## 参考文献

- 1) 戸田紀三夫: TOYOTA Technical Review, 48「2」、p.40-45(1998)
- 2) 狭田謙一: 塗装工学, 35[3], p.98-105(2000)
- 3) 児玉敏: PAINT & COATINGS BUSINESS, 10, p.26-29(2000)
- 4) Winfried Kreis: 色材, 71[12], p.43-49(1998)
- 5) Z.Vachlas: J.Oil & Color Chem.Assoc. 72[4], p.139(1992)
- 6) 平木忠義 他: 塗料の研究, No.132, p.53-58(1999)
- 7) 戸田紀三夫: 色材, 66[4], p.231-236(1993)
- 8) 関西ペイント編: 「水性塗料技術動向」(1994、日本塗料新聞社)
- 9) 特開平5-98209
- 10) 特開平6-200186、特開平6-220358
- 11) 加佐利章: JETI, 46[13], p.37-39(1998)
- 12) 加佐利章: PAINT & COATINGS BUSINESS, 11, p.6-10(2000)
- 13) 特公平7-59681
- 14) 特開平7-41729
- 15) 特開平9-59563
- 16) 特開平9-176559
- 17) 井原知邦: 塗装と塗料, 6[605], p.16-22(2000)