

# 環境対応塗料技術

## —自動車塗料—

Paint Technologies for Environmental Protection

—Automotive Coatings—



製品開発研究所  
第1部  
中村茂  
Sigeru  
Nakamura

総  
説

### 1. はじめに

21世紀に入って自動車塗料技術およびその塗装技術は大きく変化しようとしている。昨今の経済情勢の中、自動車メーカーにとってコスト削減は最も重要な課題であるが、その一方で欧米において活発に進められている環境対策は無視できない動きとなっており、日本の自動車塗料についても、環境に対する対応が強求められてきている。

このコスト削減と環境対応は「相反するもの」との認識が一般的であるが、本稿では環境対応塗料の現状についてLCA(Life Cycle Assessment)の立場から若干の解析を加えた上で、その動向を塗装システムも踏まえて考察する。

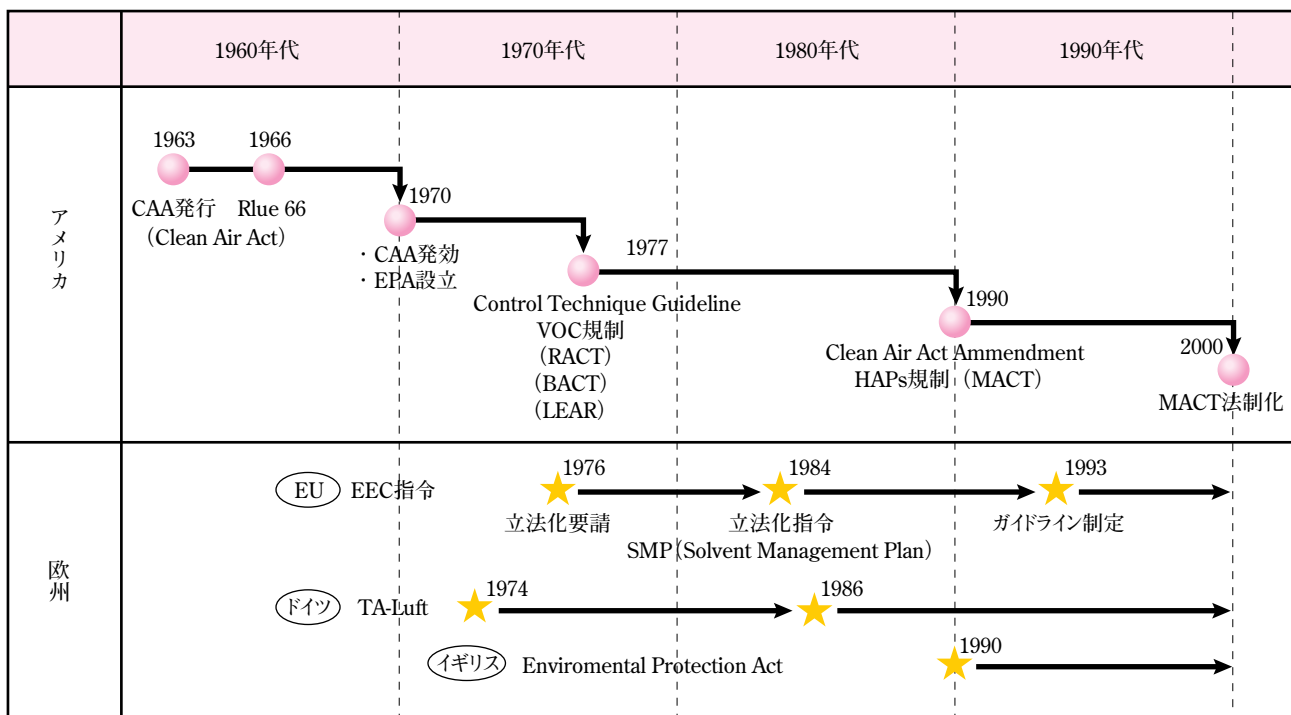
### 2. 自動車用塗料の現状

環境対応型塗料の変遷は欧州と米国ではその塗料形態が異なるが、近年特に欧州の動向が、その業務形態を含めた新しいシステムとしても注目を集めている。

欧州、特にドイツでは中塗およびメタリックベースを中心とした水性塗料化が進んでおり、トップクリヤーについては2液型ハイソリッド塗料が中心であったが、近年粉体塗料への新しい動きが認められる。

コンパクトカーとして注目を集めるSmartを生産するMCC社では「スペースフレーム」と呼ばれるボディー骨格を電着塗装し、一方、ドアやフードなどはプラスチック部品を組み付けている。またこの工場では、塗装工程そのものを設備メーカーが一切引き受けるという今までに無いシステムを採用している。

表1 環境規制法の経緯



また、Daimler-Chrysler社の「ベンツAクラス」を生産するRastatt工場では水生中塗／水性ベース／粉体スラリークリヤーの3C1B工程で中塗乾燥炉を省く事により、塗装工程の短縮を実現させ、VOC、CO<sub>2</sub>対策ともに考慮されたものとなっている。

さらに、BMWはDingolfing工場において、焼付けた中塗塗膜上に水性ベース／粉体クリヤーを塗装しており、そのリサイクル率は95%で展開していると言われている。

粉体クリヤーは環境対応、とりわけVOCに関しては、究極の形と言われ、欧州においては上述の様にいくつかの実績が出て来てはいるが、自動車用塗料の主流となるには、クリヤー膜厚が60～80μmというかなりの厚膜でないと仕上がりが成立しないことや、黄変性、耐チップング性などの劣点について解決しなければならぬものと考えられている。

北米においては歴史的にハイソリッド型塗料が主流となっていたが、近年粉体中塗、水性ベースの採用、ブース廃棄物処理等での環境対応の動きが現れている。特に粉体に関してはLEPC(Low Emission Paint Consortium)を中心とした動きに注目しなければならないであろう。

VOCに関する規制については欧米にて活発であり、表1にその環境規制法の経緯を示す。欧州ではドイツのTA-Luftに端を発しており、EU全体への規制となっているのが実情と言えよう。一方、米国ではEPAによるCAA(Clean Air Act)が発行されており、RACT(Reasonable Available Control Technology)～BACT(Best Available Control Technology)～MACT(Maximum Achievable Control Technology)と厳しさを増している。特にMACTにはHAPs

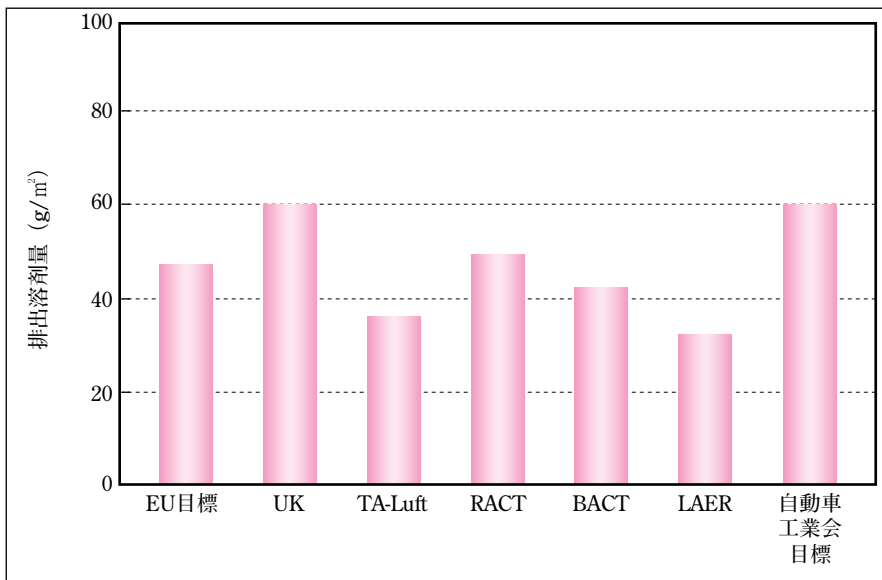


図1 各国のVOC規制値

米国関係の数値は比較のため、CAAに記載されている法律制定時の規制値をg/ 単位に換算したものであり、実勢値とは異なる。

表2 VOC規制に対する自動車メーカーの対応

地域		USA (NAFTA)			EU
塗料種	タイプ	GM	Ford	Chrysler	Germany
Primer	HS	◎	◎	○	—
	水系	—	—	—	◎
	粉体	5工場	—	7工場	—
Basecoat	HS	○	◎	○	—
	水系	9工場	1工場	7工場	◎
Clearcoat	MS	○	—	○	◎
	HS	○	◎	○	—
	水系	—	—	—	1工場
	粉体	LEPCにて検討中			2工場
HAPs 対応		計画中	?	実施中	—

◎オンライン (主流)

○オンライン

(Hazardous Air Pollutants)規制が含まれていると言う意味で注目される。さらに将来的にはLAER(Lowest Achievable Emission Rate)が提唱されている事も同時に注視していかねばならない動向と言えよう。

各地域のVOC規制値を $g/m^2$ に換算して比較したものを図1に示す。またこれらの規制に対する自動車メーカーの対応を表2に示す。これらを見ると欧米に比べて日本の現状は遅れていることが良くわかるが、日本においてもPRTR法の成立により、環境対応の動きが出てきている。

例えば、ホンダ・鈴鹿工場のラインは水性中塗、水性ベースの導入により、VOC $20g/m^2$ を達成(2000年秋)したとしている。またトヨタ自動車は自社の環境白書にVOC目標として2005年に全ライン平均で $35g/m^2$ を実現し、一部のモデルラインでは $20g/m^2$ を達成するとしている。これは欧州の規制値に比しても充分肩を並べることができるレベルであり、日本国内の自動車メーカーがこの様に厳しい目標値を設定するのは世界を見据えた動きのひとつと言えよう。

### 3. 各種クリヤー塗料・塗装のLCA

自動車上塗り塗装ラインを想定して、地球環境面から見てどのような塗装系が最適なのか、LCAの立場から以下の解析を行った。

解析を行うためには、いくつかの条件について規定しなければならない。今回は表3の前提条件をもとにして各種塗装系のエミッション(VOC、廃棄物)、エネルギー、コスト比較を行い、今後の動向を探ってみた。

### 3.1 エミッション(VOC)

各種クリヤーの塗装設備からのVOC排出量(トン/年)を図2に示した。

溶剤型クリヤーと比べていずれの環境対応型塗料でもVOC量の削減を望めるが、中でも粉体クリヤー(PDCC)、あるいは粉体スラリークリヤー(スラリーCC)は水性塗料(水性CC)、スーパーハインソリッドクリヤー(SHSC)と比較すれば圧倒的にVOC排出量は少ない。

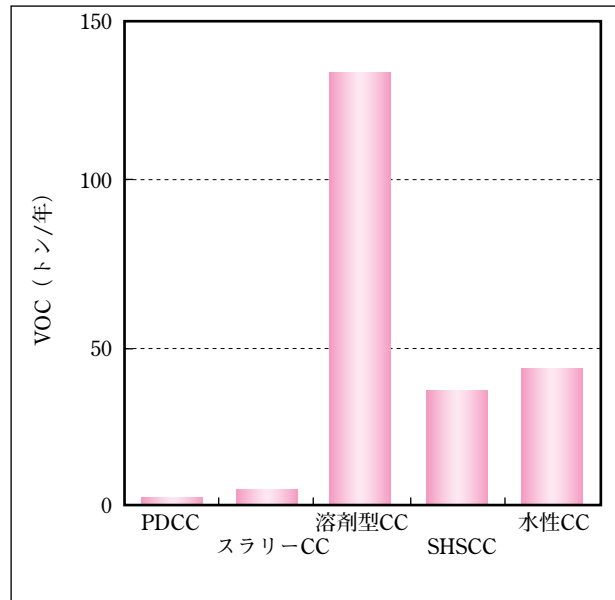


図2 塗装設備からのVOC排出量(トン/年)

表3 各種クリヤー塗料・塗装のLCA

#### 自動車上塗り塗装ラインを想定した考察前提条件

ベースコートのWBBCは全く同一条件としクリヤーコートの違いの部分だけを比較した。

- 自動車用上塗りクリヤー：① 粉体クリヤー (NV=97%)      ② 粉体スラリークリヤー (NV=38%)
- ③ 溶剤型クリヤー (NV=48%)      ④ SHSクリヤー (NV=80%)
- ⑤ 水性クリヤー (NV=43%)
- 設定膜厚：粉体クリヤーは $60\mu m$ 、SHSクリヤーは $40\mu m$ 、他クリヤーは $35\mu m$
- 塗装面積：外板面塗装 $15.6m^2$
- 生産台数：120,000台/年、(500台/日、2シフト)
- リサイクル・塗料使用率：塗着効率は60%に設定。粉体クリヤーの場合のみ塗料のリサイクル使用可能とし、使用率は95%とした。

### 3.2 エミッション（廃棄物）

塗装ブースから生ずる廃棄物として、スラッジ量および溶剤量の年間の排出量を図3に示した。

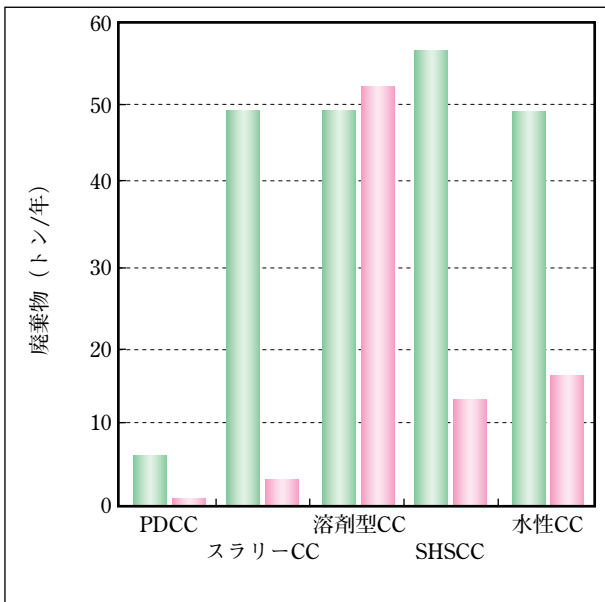
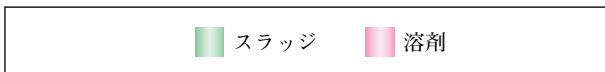


図3 エミッション（廃棄物）



スラッジ量は溶剤型～水性型を問わず、いわゆる「液状」塗料の形態であるならば、即ちリサイクルを不可とした塗料間ではそれ程大きな差を示す訳ではなく、いずれも年間約50トン前後のスラッジが排出される。他方粉体塗料の場合、そのリサイクル使用率にもよるが、今回のように95%と規定すると年間約6トン前後にまで減少する。このリサイクル使用率はブースの構造、回収装置などの設備要因によっても変動する値であることに留意が必要である。

溶剤量は先に述べた塗装設備からのVOC排出量と同じ傾向にあり、これは当然塗料中に含まれる溶剤量に強く依存する。従ってここでも粉体クリヤーと粉体スラリークリヤーが最も少ないレベルにある。

### 3.3 塗料構成成分とエミッション

塗料固形分とブース排水を含むトータルエミッションを図4に示した。

粉体クリヤーはやはりトータルエミッションが一番少ない。水性型クリヤーは粉体スラリーにしても、あるいは水性クリヤーであってもその固形分は決して高いわけではないので、トータルエミッションとしてはさほど低い訳ではない。ここでは粉体クリヤーに次いで優位なのはスーパーハインソリッドクリヤーとなっている。

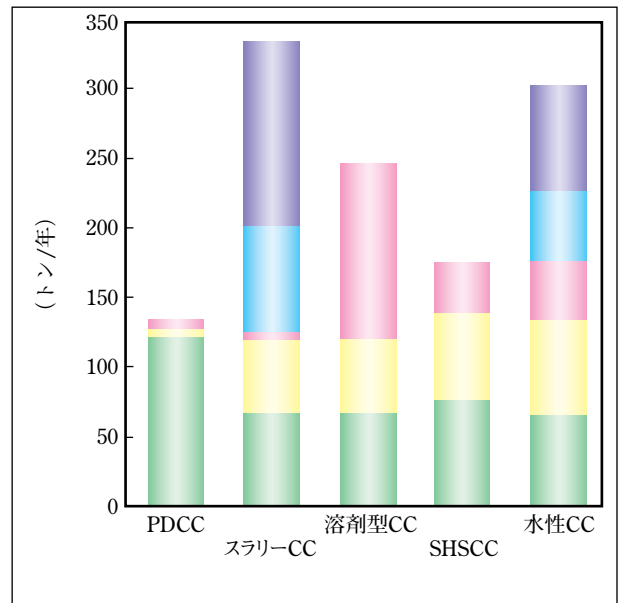
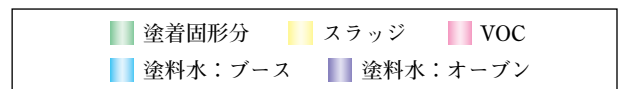


図4 塗料構成成分とエミッション



### 3.4 エネルギー

図5に各種クリヤーのブース・オープン関係でのエネルギー量を示す。

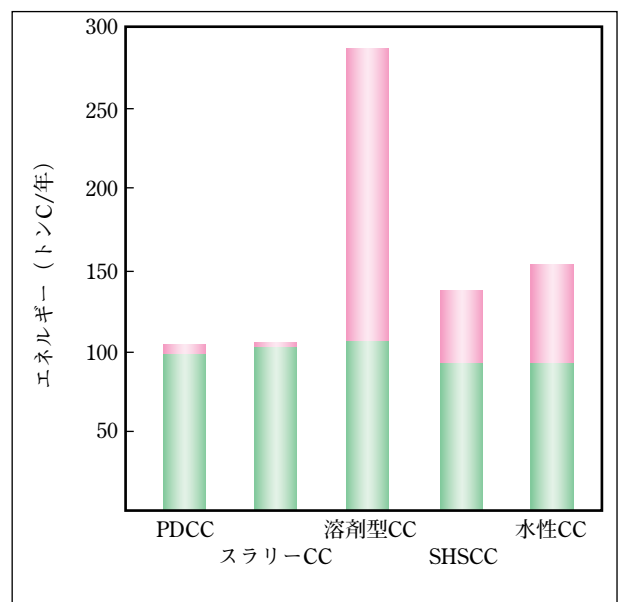
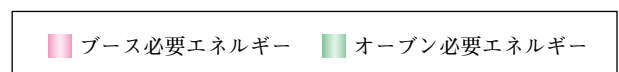


図5 エネルギー（ブース・オープン）



ここでは粉体クリヤー、および粉体スラリークリヤーの塗装は空調フリーで、ブース再循環率を90%としており、他方溶剤型クリヤー、水性クリヤー、スーパーハインソリッドクリヤーの

ブース再循環率は30%と想定している。

焼付け工程のオープンエネルギーに関しては、各種クリヤー間で大きな差はない。

ブースエネルギーに関しては、塗料中の溶剤量が多い溶剤型クリヤーが不利となり、ブース・オープン・トータルエネルギーでは粉体クリヤーの約2倍のエネルギーが必要となる。

### 3.5 上塗りトータルコスト

German Automotive Circle1993, PCE2000 Report<sup>1)</sup>を引用して各種クリヤーのトータルコストを指数表示に置き換えたものを図6に示した。ここで言うトータルコストとは塗料購入にかかわる材料費、塗装にかかわる人件費、初期設備投資としてのインシヤルコスト、そしてブースやオープンにかかるランニングコストに分類されている。

意外なことに新規設備投資を前提とすると、溶剤型クリヤーと粉体クリヤーは同一コスト指数となる。これは粉体クリヤーの場合、他のクリヤーと異なり、廃水処理費用が低コストで済むこともあり、その結果ランニングコストが軽減されることによるものである。しかし一方、粉体クリヤーは前述のようにかなりの厚膜(60~80 $\mu$ m)でないと仕上がりが成立しないこともあり、その材料費は溶剤型クリヤーの約2倍となっている。

各種クリヤーのうち、粉体クリヤー、粉体スラリークリヤー、水性クリヤーはその導入にあたって、現行の設備での対応が困難であり、新規設備投資がどうしても必要となる。それに比べてスーパーハインソリッドクリヤーや溶剤型クリヤーは既

存の塗装設備での塗装が可能と考えられ、上塗りトータルコストとしての有利性は有しているものと考えられる。

冒頭、「LCAの立場からの解析」と書いたが、本来のLCAの立場からすれば、今回のように塗装の場面だけの解析ではなく、塗料の製造やさらには塗料原料までも遡って計算・考察すべきものと認識している。今後の課題とさせていただきます。

ここまで述べてきたように、エミッション、エネルギーという観点からは粉体クリヤーがやはり優位にあるものと判断されるが、新規設備投資が必要となることや、材料費の上昇が余儀なくされることから来る上塗りトータルコスト面からすると不利であり、その一方、現行の設備を使用できるスーパーハインソリッドクリヤーも今後も無視できない環境対応塗料のひとつであることは間違いのないと言えそうである。

## 4. 環境対応材料の課題

現在、環境対応型塗料として考えられているED、水性中塗、水性ベース、粉体クリヤー、スーパーハインソリッドクリヤー、さらにフィルム(テープ)の各材料に関して表4に現状の課題と今後必要となるであろうグローバル化の為の姿についてまとめた。

各材料とも環境対応をその第一の目的としているが、それだけではなく、機能性、低コスト化、商品力などについても求められるのは当然のことである。

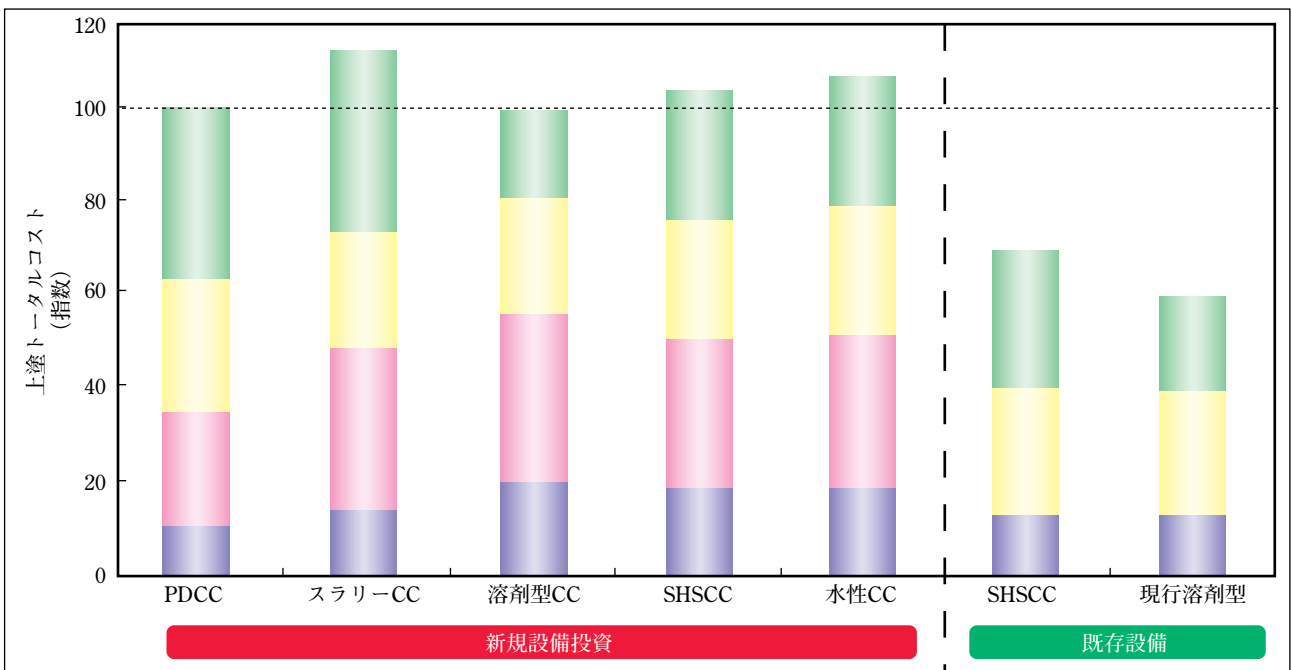


図6 上塗りトータルコスト<sup>1)</sup>

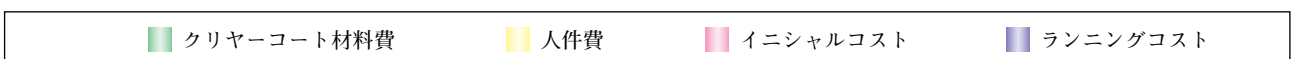


表4 環境対応型塗料材質の課題

	課 題	グローバル化の為の姿
ED	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高つきまわり性</li> <li>・水平部の仕上り性</li> <li>・高耐候性 (1段 or 2段)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10~15<math>\mu</math>m薄膜化</li> <li>・3wet対応</li> <li>・中塗レス</li> </ul>
水性中塗	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐チップング性 (90°チップ)</li> <li>・内板適性、副資材適性</li> <li>・ワキ性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リサイクル</li> <li>・薄膜 (20<math>\mu</math>m) での仕上り、チップング性能</li> </ul>
水性ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境汚染抵抗性</li> <li>・温湿度幅対応力：仕上り、色一致</li> <li>・3C1B適性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空調エネルギーの低減</li> <li>・プレヒートレス</li> <li>・高意匠性</li> </ul>
粉体クリヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リペアライン前提 (バックアップ)</li> <li>・黄変性、耐スリキズ性</li> <li>・薄膜化 (60→50<math>\mu</math>m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リコート適性</li> <li>・薄膜 (40~50<math>\mu</math>m) での仕上り</li> </ul>
SHSクリヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベース/クリヤーの混層 (モドリ)</li> <li>・仕上り：レオコン設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低温化 (100°C)</li> <li>・高仕上り</li> </ul>
フィルム (テープ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐熱性</li> <li>・多色化</li> <li>・耐候性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リペアー技術</li> <li>・貼付工法</li> <li>・現地化</li> </ul>

EDに関しては、従来懸案とされていた重金属(鉛)を含まない塗料への移行は既に開始されており、今後は低コスト化のための薄膜(10~15 $\mu$ m)化技術、即ちボディーの外側(外板部)と内側(内板部)とに均一の膜厚で塗膜形成する、いわゆる高つきまわり技術が重要となるであろう。

また工程短縮への対応もEDには求められる。従来のED/中塗り/上塗りの3C3B工程から種々の工程短縮の提案がなされているが、そのひとつとして中塗り/メタリックベース/クリヤーを同一ブース内で塗装する3C1B工程が提案されている。この工程においてはED面の仕上がり最終の仕上りに及ぼす影響が大きくなるため、ED面の仕上がり向上策を進めていかなければならない。他の工程短縮案として中塗工程を省いたED/上塗りの2C2B工程も挙げられている。この際には上塗り塗膜を透過する太陽光の影響でED/上塗り間で「耐候ハガレ」の発生が懸念されることもあり、高耐候性を有するEDの開発も必要となってくる。

水性中塗に対しては、薄膜化による低コスト化が求められており、従来の30~40 $\mu$ mよりも薄い20~25 $\mu$ mでの成立性を問われている。このような薄膜においてチップング性を向上させることと、鋼板~ED面に形成される粗度を隠す性能(下地隠蔽性)の確保が重要となる。また現状の中塗工程に含まれる内板塗装工程の適性や、ボディーシーラー、アンダーコート、耐チップ材などとの適性(副資材適性)なども、「水性が

故」の困難な面が存在している。

水性ベースは空調エネルギー低減のため、より広いブース温湿度範囲での適応力、すなわち仕上がり性の維持と色変動幅の小さいことが必要となってきた。また低コスト化のための工程短縮要求から水性中塗/水性ベース/クリヤーの3C1B工程が今後の主力になっていくものと考えられ、この様なWet on Wet技術の重要性は増していくものと考えられる。

粉体クリヤーの最大の課題は、前にも述べたが、薄膜化(40~50 $\mu$ m)が可能かどうかにかかっているとと言っても過言ではないであろう。粉体クリヤーの現状膜厚(60~80 $\mu$ m)では、再塗装の場合、上塗り後に装着される部品類(エンブレムなど)の組付けにも支障をきたす場合があり、生産工程での大きな障害となる可能性がある。現行溶剤型クリヤーと同等の膜厚での仕上がり、特に肌の向上ができるかどうか、またその際のゴミブツの隠蔽性が確保できるかどうかポイントとなる。

スーパーハインリッドクリヤーは低粘度のポリマーやオリゴマーを適用することにより、系全体の低粘度化・ハインリッド化を狙っており、その低粘度・高極性が故にベース/クリヤーの混層が著しく、光沢の確保が難しい状況にある。また非常に流動性に富んでいるため、流動を制御するいわゆるレオロジーコントロール技術の開発が必須となるものと考えて



表5 自動車塗料の進む方向と材料、塗装での対応技術

キーワード	材 料	塗 装
ゼロエミッション	・フィルム、プレコートメタル、粉体	・塗装レス ・リサイクル
低コスト	・高耐候性ED 3wet材料 薄膜化中塗	・塗装工程数削減 ・焼付レス ・薄膜化
省エネルギー	・フィルム、UV硬化クリヤー ・2K SHS (低温硬化)	・ブースレス ・一体塗装、フタ物塗装 ・至近距離塗装
生産性	・3wet材料 ・ユニバーサルコート	・焼付レス ・一体塗装
品質 (仕上り意匠、機能)	・加飾フィルム、インクジェット ・高耐スリ傷クリヤー	・ダブルクリヤー ・多層行程

いる。

フィルムは自動車外板に適用するには種々の問題点があり、現状では非常に限定された用途に留まっている。しかしながら、環境対応の高まりと共に今後ますます展開される場面が増えてくるであろう。

最後に、今後自動車用塗料が進む方向としてのキーワードを取り上げて、材料と塗装での対応の考え方を表5に整理してみた。

この表のキーワードに取り上げた項目、すなわちゼロエミッション、低コスト、省エネルギー、生産性、品質はこれから数年間は塗料材料開発において、常に意識しておかねばならないものであり、その対応技術はこの表にも表されているように、フィルムやプレコートメタル、UVの適用など、従来の自動車用塗料の枠を踏み越えたものになって行くものと考えられる。

## 5. まとめ

自動車用塗料の特に環境に対する現状と動向について述べてきた。これから先、数年間で自動車用塗料は国内外を問わず大きな転換期を迎えることになるであろう。既に塗料メーカーも塗料だけの開発では対応できない難題を突きつけられているとも言えよう。先の章でも述べたように、従来の枠をさらに広げて、塗料分野のみならず塗装設備分野、さらには異業種の動向にまで目を向けていかねばならない時代になったことを痛感せざるを得ない。今後の材料開発とその塗装システムの確立はそのような動きの上に成り立って行くものであり、それこそが自動車塗装技術の発展を生み出すものであると考えている。

## 6. 引用文献

- 1) German Automotive Circle 1993, PCEレポート