自動車塗装処理からの環境汚染に対応する具体策

田 辺 幸 男*

The Countermeasures for the Current Environmental Items from Automotive Painting Process

Yukio TANABE*

Key Words : VOC, Automotive Painting Process

現在、自動車塗装処理の抱えている品質競争、環境保全、職場環境の課題を踏まえて、有機溶剤削減・特定フロン対策・プラスチック部品リサイクル・軽量化などの具体的対応について解説する。

1. 自動車塗装処理の課題

塗装処理と地球環境の保全について述べる前に、今日自動車塗装が抱える三つの課題について触れたい。

その第1は品質競争、第2には工程からの環境保全、第3は人に係る諸問題である。これらはどれもお互いに関連しやすいものであるから、それらの調和のとれた対応が迅速かつ確実に求められる。

第1の品質競争は、感性の90年代に入って乗用車の塗装にも個性化や高級化の指向が強く求められてきたことを反映したものである。そしてCSI(Customer Satisfaction Index:顧客満足度)が市場調査されて公表されるほど、初期品質・耐久品質を問わず高いレベルが求められている¹⁾。これは80年代に対応した車の錆耐久性に続く消費者サイドからの要請でもある。

第2は環境保全に係るテーマであって、緊急を

要する特定フロン対策や、プラスチックのリサイクル・車の燃費改善のための軽量化があり、長期的にはVOC・CO₂削減対策がある。特に海外進出工場を持つ自動車業界としては、世界的視野での対応が求められる。

第3の人に係る問題として、塗装処理の職場は3K職場の代表と言っても過言ではない状況にある。労働衛生法(有機則)や消防法の改正を待つまでもなく、リスクマネジメントの確立が求められている。

自動化の進歩にともなう技術者の訓練、高年齢化に対する職場改善、CIM(コンピュータ統合生産)に対する塗装体質の再編と教育などテーマは多い。本稿はそれらの連けいも踏まえて環境保全への具体的動向について述べる。

2. 塗装処理工程と環境汚染

表1に典型的な乗用車塗装工場の主要工程とそれから発生する環境汚染の種別を示した。

環境汚染物質は時代の推移とともにその性質も対象物質の数も変化しつつある。従って世界的視野でとらえた情報に基づいて将来を予測し、対応策を予め検討する必要がある。

具体例を述べると、ドイツの大気浄化技術指針(TA-LUFT)によれば、大気中に排出される有機化合物をⅠ～Ⅲ級に区別し、それぞれの排出限界濃度を決定した上、その排気からのそれらの有

* 本田技研工業(株)埼玉製作所(〒350-13 埼玉県狭山市新狭山1-10-1)

Honda Motor Co., Ltd. Saitama (10-1, Shin-sayama 1-chome, Sayama-shi, Saitama 350-13)

表 1 塗装工程の環境汚染

環境汚染 工程名		大気汚染				悪臭	水質		廃棄物			その他		塗装工程の主な機能			
		VOC	有害物	粉塵	特定フロン		重金属	有機物	回収	焼却	埋立	炭酸ガス	*Ep 注	防錆	外観	機能	その他
1	各乾燥炉	○	○			○						○					
2	WBワイピング	○			◎									○			
3	前処理						○	○	**○	◎	*○	フッ素イオン, リン **クロム	○				
4	下塗, 電着	○					*○	○				*◎ 鉛	○				
5	シーリングPVC									*○		塩素				○	
6	チッピングプライマー	○		○		○		◎		*○		*○ *○ガス式	○				
7	中塗	○		○		○		○		○		*○ ブース加湿		○			
8	上塗	○		○		○		○	*○	○		*○ 廃溶剤		○			
9	ワックスインジェクション	○											○				
10	リペアー	○	*◎	○		○		○				○ イソシアネート		○			
11	完成車補修	○	*◎	○		○				○		イソシアネート		○	○		
12	完成車防錆	○						○		◎		*○	○				
13	プラスチック前処理				*○			*◎	*○			トリクロロエタン		○			

機物質グループの着地濃度を制限するための排突条件を規定している。

一方、アメリカでは古典的な“ルール66”で定めた光化学活性の強い溶剤の混合物には排出制限があり、この条項は州によっては下・中・上塗以外の工程には適用されている。そして最近の大気浄化法の改正では大気有毒物質189種を指定し、その半減を計画していることを宣言している。またEPAより特定の化学物質17種の排出企業に対して、その使用の削減計画に自主的に参画するよう求めたITP(Industrial Toxic Project²³⁾)の発足が呼びかけられている。この中には塗装用材料の原料が多く含まれている。またイギリスで提案中の溶剤規制の塗装工程の部にはSO₂などに並んでVOC、イソシアネート類が、大気汚染物質として濃度規制をしている例も挙げられる。このようにVOCも物質別に削減の検討が進められる方向に動いている。

3. 環境保全の対応の変化

従来の公害対策は局地的な対症療法的であったが、今日求められているものは地球規模であり、汚染物質の零化を狙う姿勢に変化しつつある。従っ

て使用する工程のみでなく、その材料の製造から作られた製品に至るまで、総合的な面から検討されなければならない。

- (1) 汚染物を出すプロセスを使わない
(低公害プロセスの採用)
- (2) 使用しても系外に排出しない
(クローズドシステム化)
- (3) 排出する時は処理をする
(最終処分までの確保)

これらの実行のために経団連の環境憲章に加え、自動車工業会、各社全社レベル・事業所レベル・工程レベルなど、それぞれ環境対策組織が活動し、展開を進めている。

4. VOC 排出とその削減対策

塗装工程の中の主な塗料材料別のVOC使用比率を表2に示した。この表にあるTA-LUFT(g/m²)は、ドイツで施行されている大気浄化技術要綱に規定している自動車塗装ラインで使用する溶剤総量を、塗装した車体の鋼板表面積で割った値である。TA-LUFTの値として、メタリック車は<120、ソリッド車は<60と当面決められている。

表 2 塗装ラインの工程別 VOC 使用比

工程	(1)	(2)	(3)	備 考
電 着	3	6.2	3.6	
中 塗	13	15.1	11.0	
上塗ソリッド	—	8.4	—	
上塗ベースコート	32	40	30.5	
上塗クリヤー	11	8.3	18	
ワックス類	15	13.1	22.9	*出荷用も含む
洗浄用シンナー	22	*5	13.5	*回収済
プラスチック塗装	—	—	*→	*バンパー用を含めた時 21.0% トリクロロエタン H. C
その他	—	3.0		
計	100	100	100	
TA-LUFT (g/m ²)			メタリック車 134g/m ²	
車体塗装のみ			ソリッド車 89g/m ²	
出 典	塗装工学 ⁽³⁾ 26 (12) 1991 p.49	塗装技術講演会 ⁽⁴⁾ 1990	1989年度 高級車ライン 実 績

図 1 主な対策実施による削減案（メタリック車）

図 1 は、将来予測される主要な削減を実施した場合の、VOC 排出量の変化について示したものである。VOC 削減の対応として、塗装製造計画段階では、低公害プロセス（材料・設備）と事後処理設備の採用に加え、多様化する塗装付様に対するロスの少ない生産方式の採用がある。また、生産操業の段階では原材料の使用量削減のための工夫および改善にかかっている。表 3 はそれら対応策と工程との関連をまとめたものである。

表3 工程別の VOC 削減対策

◎ 寄与率の大きなもの

対策のステージ		計 画 段 階						操 業 段 階										注 記
対策案	色替えの少ない生産計画	低公害プロセス			塗装仕様		後処理			材料使用量の削減								廃塗料溶剤回収
		低公害材料	高塗着機	工程省略	色選択	塗面積など	クロージドシステム	回収	焼却	不良率低減	膜厚バラツキ	塗着効率	吐出量制御	休止時対策	洗浄配管	ガン洗浄回収	NV・管理	
工程名																		
電着塗装		○					◎							○				低VOC ED化
シーリング、アンダーコート		○																PVCゾル
チッピング、中塗		○	◎	◎	○		○				○	○	○	○	○	○	○	
上 塗		○	◎	◎		○	○	●		○	○	○	○	○	○	○	○	
ワックスインジェクション		◎				○												
完成車補修		○																
完成車防錆		◎				○					○							
乾燥炉									◎									
プラスチック前処理		◎		○				◎										フロン対策
プラスチック上塗		○	○	○		○	○			○	○	○	○		○	○		
希釈シンナー			◎															
洗浄シンナー		◎	○					◎							◎	○		

4. 1 多様化する塗色対策

連続して車体を塗装するラインでは、塗色に対応して塗装機などの塗料の切替洗浄が必要である。顧客の注文に迅速に対応するため受注順位に生産する必要がある一方、色替え回数を出来るだけ削減するため塗色別ロット生産が求められている。最近では中塗でも着色したり、上塗色に明度を合せる工夫がされているので、塗装ラインに車体を投入した時に順位を変更する必要がある。このための順序整列機能を有する搬送システムが設けられ、色替え回数の削減による VOC 対策に寄与する設備投資を行う例が目目されている。

4. 2 低公害原材料の採用

低公害原材料の定義としては、埼玉県炭化水素類対策指導指針によれば溶剤含有率 30%(重量)以下であり、アメリカでは水溶性塗料の2.8lb/G-水分(塗料の体積から水分を除いたもの、1 ガロン当り 2.8ポンド VOC)である。これは溶剤型で言えば 62%(Vol) 相当の塗料以上のものとなる。現在の規制は塗料ではなく先に述べたように TA-LUFT g/m²であり、アメリカの塗着固形分 1L

当り VOC kg である。そのため、可能な限り溶剤量の少ない原材料を効率よく使用することが必要になる。本章では代表的な塗料の使用動向について述べる。

4. 2. 1 ハイヤーソリッド塗料

1980年代後半から始まった塗装外観の向上の要求から、中塗・上塗(クリヤー・ソリッド)などの膜厚アップをもたらした。そのため固形分率を向上させる手法とレオロジーコントロール剤の開発により垂直面の外観肌が一段とアップした。これらの固形分アップの手段としては NAD(非水デスパージョン)の技術から発展したより粒子径の小さい(0.05~0.1μm)の新しい NAD(RMG: 反応性マイクロゲル)などの添加が寄与している。

この塗料は 1981年アメリカに進出した自動車工場の立地操業に当って NSPS(新規発生源実施基準)の猶予を 2C2B ハイヤーソリッド発明技術条項該当と認められて、本格的ハイソリッド塗料の登場まで数年間のリリース役を果たした。そして国内ラインにも多用されるようになったもので、メタリックベースコートはスプレー固形分 21%

(Vol), クリヤー42%(Vol)で提案されていた³⁾。

現在のアクリル・メラミン樹脂塗料は市場における酸性汚染物質によるシミ、洗車ブラシすり傷の改善を急務としている。そのため、この劣化原因とされるメラミン硬化剤の一部分を酸-グリシジル基、シラノール基、またはブロックイソシアネートなどによる硬化反応で補強する補助架橋タイプが、各メーカーより提案され試行中である。この方案はVOCの削減には逆行の傾向であり、あくまでも新硬化システムによる新材質への中継ぎとなるだろう。

4. 2. 2 ハイソリッド塗料

1980年にアメリカでは自動車塗装工場の下塗・中塗・上塗の3工程に、全国統一でNSPS(新規発生源実施基準)を新工場やプロセス変更をする工場再建に対して適用することになった。

当時、ヨーロッパ・日本からの輸入車は2C1Bメタリック塗装の車が主流で、クリヤー塗膜のないアメリカ車の1C1Bメタリックは外観の面で相当見劣りをしていた。そして日本から進出した自動車工場の規制もこのNSPSに該当することになった。丁度アメリカでは1C1Bのハイソリッド塗料の開発も進んでいたが、2C1Bに転換する意向がビッグ3から出されることになった。しかし2C1Bは未だ固形分は低く、特にヨーロッパのCABポリエステルメタリックベースコートは極端に低固形分であり、日本で開発使用されようとしていた、NAD配合のハイヤーソリッドが採用されることになったことは前述した。

そして1983年に至ってNSPSを達成可能なハイソリッド2C1Bが強酸触媒を用い、低分子アクリルオリゴマー・低核メラミン樹脂に新しい粘性コントロール剤を活用したものが登場した。ヨーロッパではハイソリッドによる2C1Bメタリックのアルミニウムの配列の違いから採用を嫌う傾向があるものの、太陽光の強い北アメリカではその風土に合った仕上りが評価され、特に豊かなクリヤー膜の持つ質感は日本への逆輸入車で認められるに至っている。アメリカ車は余勢を駆ってソリッドカラーも2C1B化を積極的に進め世界に示した。

日本ではその耐酸性の不足とか、焼付時間の延

長とかに改善を求める声大きい。しかし濃色メタリック色でのすり傷が目立つ問題には、このタイプでは塗膜の架橋密度の高い理由により傷つき性が改善される点を採用した実用例もある。ハイソリッドの中塗はともかくとして、クリヤーは新架橋システムの方へ、メタリックベースコートは水性化に向かうものと思われる。

4. 2. 3 新硬化システムと二液ウレタンハイソリッド

ベンツ社がブレーメン新工場でソリッドカラー色について2液ウレタン塗料でVOCの削減と高級外観を得ることに成功したことは良く知られている。その後、2C1Bのクリヤーに2液ウレタンを採用した高級車がフォード・GMから発売され拡大しつつある⁴⁾。特にイソシアネートモノマーを含有する硬化剤の取扱いについては、工場内にGMD社のイソシアネートガスモニターを設置し、硬化剤は窒素封入により使用し、しかも補正作業には非イソシアネートのアクリル塗料を使用するフォードの例が発表された⁵⁾。日本国内でも高級車への採用を特殊仕様で実施する例が見受けられる⁶⁾。しかし日本ではコストが極めて高いことから他との競合となろう。

アメリカのPPG社はVOC対策と高外観を狙った非ウレタン系の新硬化システムNCTを開発し⁷⁾、クライスラーが採用している。これはイソシアネートの安全衛生上のリスクを回避して同等の効果を上げることに成功し、耐酸性を改善したNCT-IIとなっている。日本でもESCA(関ベ⁸⁾)、NCS(日ベ⁹⁾、¹⁰⁾)などが発表され¹¹⁾、自動車メーカーも近未来材料としての実証研究中で新聞に発表する段階に至った¹²⁾。これらはVOC・高外観・非毒性・低温化・一液化など多目的であり、90年代の期待材料と言えよう。

4. 2. 4 水性ベースコート

古典的な“ルール66”に対応したGMの水溶性塗装法はその空調エネルギーの浪費性から拡大することがなかった。しかし、ヨーロッパでの環境の悪化により森林の枯死・酸性雨が顕在化したことを受け、ドイツで大気浄化法が制定された。ヨーロッパ車のメタリックは極めて低固形分(10~15%)を特徴とするフリップフロップ性の良いもの

表 4 水性ベースコート本格生産ライン

(1991年 8 月現在)

カーメーカー	工 場 名	開始年	塗料供給メーカー
G M	OSHAWA	1986	ICI
"	ST. THERES	1990	BASF
"	WENTZVILL	1990	BASF
"	SATAN	1990	BASF
"	LANSING	1990	PPG
"	BOWRIG. G	1991	DUPONT
HONDA	EAST. LIVERTY	1989	DUPONT
"	TOCHIGI	1990	KANSAI
"	SAYAMA-1	1991	KANSAI
OPEL	BOCHUM	1987	IDAC, BASF, HERBERT
VOLVO	TORSLAND	1991	ICI
V W	EMDEN	1990	BASF, IDAC, HERBERT
"	HANNOVER	1990	"
"	WOLFSBURG	1991	"
MERCEDES	BREMEN	1988	BASF, HERBERT
FORD	COLOGEN	1989	ICI

が人気を博し、自動車工場の半分の溶剤はこのベースコートから排出されていて削減の目標となった。

ICI 社より新しいコンセプトによってアルミニウム箔を溶剤型塗料と同様に配列し得る擬塑性粘度特性をもつ水性ベースコートが発明された。これはVOLVO, GM(カナダ, ドイツ)で実用化の研究が進められ、現在表 4 に示す各ラインで水性ベースコートが量産に供されている。詳細は資料^{14)~16)}に委ねるとしても、特に注目すべきことは日本の自動車メーカーの厳しい品質要求にも耐える、耐水性・耐チップング性そして日本の多湿気候による幅を持った作業環境(湿度)に適合する水性ベースコートが実用化され、平成 2 年度色材協会技術賞を受けるに至ったことである¹⁷⁾。しかしこのシステムは既存ラインからの転換が難しいことはヨーロッパでも立証され、スクラップアンドビルドのタイミングを得て拡大してゆくものとするのが現状である。

最近では多様な水性ベースコートが上市されていて外観重視タイプ・VOC削減重視タイプ、またはプラスチックとの一体塗装(120℃)の目的など選択の幅が増えてきている。上に塗装するクリヤーとのなじみ性(comparability)は次第に解決されつつある。将来の拡大のためにも省エネ

ルギー面での工夫が待たれる所である。そして水性ベースコートはメタリック色のみならずソリッドカラーにも用いられ 2 C 1 B ソリッドカラーが同一ラインで加工されている¹⁸⁾。

4. 2. 5 水系塗料の拡大

現在、中塗に水系を用いているオペルでは、ドイツ EPA の要請に応じて水性クリヤーコートの開発に塗料メーカーとともに立候補したと伝えられる。国内では立地条件のため防災上水溶性中塗を用いる例外もあったが、現状は新しい水系塗料としてのスラリータイプ¹⁹⁾やハイブリットタイプ²⁰⁾の中塗が試行中である。問題点は耐チップング性能がチップングプライマーの廃止が可能かどうかである。また既にカチオン電着塗料については脱溶剤処理を行ってウェット塗膜で 40% VOC を削減した低溶剤タイプが使用され始めている。厚膜型も中塗の機能を代替するものとして拡大しつつある。重金属フリー化・加熱減量の削減化が期待されている。

また溶剤含有量の高いプラスチック用プライマーに対する水性化の提案があり²¹⁾、更にポリプロピレンにも使用可能温度まで焼付条件を下げる努力

* PPGED-4 E の削減率

が行われている。

4. 2. 6 PVC(塩ビ) ゴルコーティング材

現状のPVC ゴルはダストシーリング材とアンダーコート材である。ヨーロッパでは廃車に生ずる塩ビ廃棄物を嫌う動きが伝えられている。代替アンダーコートとして2液ウレタンエラストマーがバイエル社から提案されている。また現在アンダーコートの上に更に防錆ワックスを塗布している場合が多いが、ワックス成分を加味した2液ウレタンエラストマーも提案され、VOC削減に役立つものと思われる²²⁾。近未来の材質として研究が進められている。

4. 2. 7 ワックス類の VOC 対策

従来は市場サービスセクションで施行されていた防錆処理が、1980年代の防錆力向上の一環として、製造責任の下で保証するようになった。このため、諸材料には作業性重視の点から VOC 含有率が高いまま使用されている。最近の動向としては、加温スプレー方式の採用により固形分70%に改善されたラインも増えつつある。

水性化は、厚塗りの防錆ワックスには水分の揮発が悪く設備も増強を要するため、見送られているのが現状である。出荷時の塗装面保護用ワックスは大気汚染の進行による酸性物質の付着・シミ防止のための強化と、セールス部門でのワックス除去作業により生ずる環境問題の板ばさみになって苦悩している。最近登場した粘着フィルムによる保護方法²³⁾が注目を集め、量的テストの段階にあると言われる。これはこのようなニーズおよび人手不足の解決、顧客へのアピールなどの特徴が材料コストをカバーできるかが焦点である。しかしながら、トータルの VOC 対策には有効と思われる。

4. 2. 8 希釈溶剤の代替

ハイソリッド塗料の開発では、希釈剤を兼ねた反応性物質が採用され固形分のアップに寄与している。しかし、ユニオンカーバイド社より提案されたユニカーブ法²⁴⁾は、炭酸ガスを超臨界状態の液体で希釈用として使用するもので、従来の塗料の主成分を変更なしに大幅な VOC 削減が可能とされる。現在システム構築が終り、実験塗装の段階に入りつつある。この方法は、塗膜性能の市場

	典型的在来品	ユニカーブ塗料
VOC 1 b/G (VOC kg/L)	5.9 (0.7)	3.5 (0.42)
試算例 旧排出 VOC kg	1.090	360

図2 ユニカーブシステムとその VOC 削減効果

検証をともし重要保安部品の塗装などに、材質変更なしに対応可能であることは朗報であろう。図2にユニカーブ法のシステムと効果を示す。

4. 3 高塗着効率塗装機の採用

現在は塗着効率を第一義に考慮して塗装機や塗装条件を選ぶ時代になった。特に塗料材料が高固形分になってきているので比較的小吐出量で適正な微粒化が得られるよう、塗装機配置法も様変わりになりつつある。

4. 3. 1 静電塗装機

近年の電子技術の進歩によりガン先高压化が可能となり、安全上保守が大変であった高压ケーブルが省かれ自動化の精度向上に役立っている。高压化・小型化が進み、ロボット用回転霧化ガンも有効に利用され始めている。塗着効率の高い回転霧化方式をメタリックベースコートに全面的に採用することが可能になると期待されている。水性ベースコート用も各社より工夫を凝らした方式が上市されるに至っている。

4. 3. 2 HVLP スプレーガン²⁵⁾とエアレスコンピガン

HVLPスプレーガンは、アメリカのミシガン州で始めたスプレー時の空気圧(エアーキャップ内側)0.7kg/cm²以下という塗着効率向上を狙った規制で注目を浴びている低圧多風量温風塗装ガン

図3 ベンツにおける塗装プロセスの革新
(ベンツ社提供, ソリッドカラー)

である。エアースプレーガンと比べて飛び散りは少なく塗着効率の高い特徴を生かして、プラスチックのプライマー・車体ツートのマスキングレス塗装の他工業分野に広がっている。塗料吐出量調整幅が狭かったり、微粒化が平均直径で10μm位大きいなどの外観仕上り性を改善しながら進歩しつつある。

エアレスコンビガンはエアレスガンを改良してエアガンに比べ飛び散りを抑えて塗着効率の向上を企ったもので、静電塗装を好まぬプラスチックラインに適用されている^{26), 27)}ほか、車体の黒塗

り・マスキングレス塗装にも活用されている²⁸⁾。

4. 4 塗装工程の省略・置換による低公害化

ここでは事例を挙げるに留めたい。

4. 4. 1 ベンツ社の3C3Bへの転換

高級車として知られ伝統的に入念な4C4B（フォーコート・フォーベーク）をVOC削減と従来以上の仕上り外観・性能を求めて、図3に示すような改革に成功した。メタリック色についてはベースコートに水性を、クリアーに2液ウレタン系ハイソリッドを使用したものである。このプロセスは新工場に適用されると言われる。

4. 4. 2 クライスラー社の全ライン2C2B化

クライスラー社は1982年に建設したスターリングハイツのミニバン工場からスタートした。当時から全面両面ガルバナイズド鋼板を車体に採用し、防錆力を一段と上げた上に、電着塗装をPPGが初めて開発した30-35μmの厚膜カチオン電着（ハイビルド）を用いた。上塗には新硬化システムの非ウレタン系の2液ハイソリッドが採用され、外観も当時のアメリカ車のトップを誇る仕上りとされた。表5のプロセスに示すように、チップングプライマーとして粉体塗料が電着後にウェットオンウェットで施されVOC削減を効果あらしめている。

問題点として指摘される上塗塗膜を透過する光

表5 クライスラー社の2C2Bプロセス

(PPG提供)

ステップ	プロセス	使用塗料	注 記
1	前処理		
2	電着塗装	ED-11 (PPG)	膜厚：30～35 μm
2 A	ED遠赤外		
2 B	パウダーチップング	パウダー	ロッカーパネル部 125 μm (但し、2工場のみ)
3	ED乾燥炉	170℃×30'	
4	EDサンデング	*325 ロータリーサンディング	
5	シーラー	PVC	
6	チップングプライマー	ハイソリッドウレタン	ロッカーパネル部及び 車体エッジ 膜厚：35 μm
7	ベースコート	ハイソリッド、アクリル、メラミン	膜厚：ソリッド 25 μm メタリックマイカ 15～20 μm
8	クリヤーコート	1. ハイソリッドアクリル、メラミン 2. NCT- II (PPG)	膜厚：35 μm～40 μm 膜厚：H：45 μm V：40 μm
9	仕上乾燥炉	120℃×30'	1工場のみ、NCT- II

線による電着膜の劣化は、上塗塗膜の75%の膜厚で、波長380nm<0.2%、400nm<4%の光線透過率に抑える技術で解決している。これは後述の粉体（エポキシ）インバースシステムと同様である。このプロセスの高級外観はプロジェクト19により世界に紹介され、その後のアメリカ車の外観向上・VOC削減のサンプルとして注目されたものである。

4. 4. 3 粉体インバースシステム²⁹⁾

1980年代にホンダで実施された中塗省略粉体塗装で車体外装面を塗装することにより、焼付完了後車体の内面ボックス部を後続の電着塗装で塗装を行うものである。目的はVOC削減・チッピング性能向上・上塗後鮮映度向上・省エネ・省スペースであった。その後の高品質外観（平滑・光沢・パール仕上など）のニーズに対応困難で3C3B、4C4Bに転換された。

粉体静電塗装の代りに粉体電着（EPC）³⁰⁾を活用したインバース法も試みられた。今後とも革新的低公害プロセスの出現に期待をしている現状にある。

4. 5 後処理

4. 5. 1 排気処理法

乾燥炉からの排気は焼却法が最も一般的に用いられていて、そこで発生する熱エネルギーの回収後の活用先について工夫がされてきた。

塗装ブース排気では悪臭・塗料ミスト飛散と

VOC対策が解決すべきテーマである。スクラバーなどで除去しきれなかった僅かな塗料ミストが、ダクトやファンに蓄積して飛散するが、周囲に被害を与えることから最終段にフィルターを設けることが必要となりつつある。

ドイツのベンツでは、排気中のVOCを湿式静電除塵装置で残留ミストを除去したのち、繊維活性炭製³¹⁾の回転式吸着装置を用いて後処理する方法を実証した。これによって水性ベースコートへの転換が困難な既存ラインに適用できるとの考え方が一般的となっている³²⁾。この方法について効率よく対応するための方法を図4に示した。

また、濃縮や排気循環法が考えられ部分的に実行されている。これらの吸着方式はアメリカでも既存ラインへの活用が進行しつつある。この方式は悪臭・ミスト・VOCの3項目を高い効率でシャットアウトが可能であることから、立地条件ともからみ合せて活用が進んでゆくものと思われる。小規模のシステムは既に活用されており、今後塗装ブースのゾーンごとに活用されてゆくものと思われる。

最近、活性炭に代って、より火災などのリスクが少なく、かつ再生に蒸気を使用しなくても済むゼオライト流動層法が日本で開発され、ドイツで実証されている。

4. 5. 2 廃塗料・洗浄溶剤の回収

色の変更時、塗装ガン先端の汚れ蓄積などの理

図4 塗装ブース排気処理法

由で洗浄が定期的に行われる。これの VOC 寄与率は大きく、無視できないもので最も手近かに削減が可能である。ブース循環水への廃溶剤などの廃棄は、COD の増加・塗料スラッジの粘着性をもたらすため、回収を推める声が関係者から指摘されている。アメリカ EPA では回収を義務付けるよう指導している。回収配管系の“つまり”が生じない工夫をした、細かい地道な対策が行われつつある。欧米では回収した VOC にはクレジット（差し引き勘定）が与えられるのが普通である。

4. 6 原材料使用量の削減

日常の生産活動の中での原材料原単位は主としてコスト計算上に必要であったが、VOC の管理にも活用し OA 化した管理が有効である。現場での使用量削減を推進する項目について主なるものを掲げる。

4. 6. 1 直行率の改善向上

自動車塗装ラインの直行率（吹付を必要とする補修と不要な車体との比率）が劇的に改善されたのは、メタリック塗装が 2C1B のクリアー吹付になり、ポリシングの軽修正でゴミ・タレなどが修正可能になった頃からである。新設のラインでは僅か数%の不良率にすぎない。新しい塗料材質の導入においてこの点が極めて重要である。

4. 6. 2 塗着効率の向上

1989 年頃よりアメリカ EPA では塗装ラインでの塗着効率を実ラインで検証することを求めるようになり、車体の重量測定と使用塗料の量から塗着効率が求められている¹⁸⁾。絶対値で求めることに対しては種々の議論があるものの、VOC 削減効果の確認管理手法として極めて有用であると思われる。

4. 6. 3 膜厚バラツキの減少

塗着効率とは別に、吐出量コントロール・吐出の ON-OFF タイミング・ナライ精度の向上（チルト・トラッキング機構）・空調排気の風速バランス等々の日常改善をすすめる。塗料中のレオロジーコントロール材の過剰は、結果としてヌレは減少するが、厚膜傾向に移行することが多いので注意を要する。

4. 6. 4 色替チェンジバルブ (CCV)

塗色変更時に洗浄を必要とする配管の距離・管

径を小さくして廃溶剤を減少させる。

4. 6. 5 塗料供給管理

固形分率をロットごとに測定して平準化を行い、温度コントロールに対する配慮（貯蔵塗料の温度確保など）を行うことが望まれる。（納入塗料の固形分バラツキの調合作業による平準化）

5. フロン規制とプラスチックのリサイクルと塗装

多くの利点を活したプラスチック材料が自動車に使用され、その機能向上と商品性のため塗装されることが多い。プラスチック部品の塗装工程では車体と異なる環境問題があるので本章でまとめる。

5. 1 塗装前処理の特定フロン対策

オゾン層破壊対策の特定フロン規制に関するロンドン会議で、1.1.1-トリクロロエタンが追加指定され、2005 年までに生産中止とすることが決った。これに対応するため当面の使用量の削減と代替前処理について、関係業界をあげてその開発研究に取り組んでいる。

5. 1. 1 回収再利用による消費量削減

トリクロロエタンの溶剤洗浄を前処理とするポリプロピレン成形品をバンパーなどに用いている車では、0.9～1.1kg/台程度の購入実績（1989 ホンダ調べ）の 35～45% が廃液として再生業者へ売却されている。購入量の削減のために、

- (1) 活性炭吸着回収したトリクロロエタンは安定剤のバランスを考慮した⁴⁵⁾新液と混合再利用を実施する。
- (2) 従来の安全衛生面からのガス濃度対応を、回収を目的として再見直しを行い、補集率を向上させる。
- (3) 新設する吸着回収装置は、水分と安定剤の問題が少ない間接加熱再生タイプ⁴⁶⁾を用いて、回収液を即再利用可能にする。

などの検討を実施している。2005 年に至る間にトリクロロエタンを使用しない前処理への切替暫減期間の活用を考慮して、排気の回収など未設置ラインに投資をすることは有効な対策であると考えられる³⁹⁾。

表 6 プラスチック塗装前処理開発例

方式	処 理 法	処 理 内 容	特 徴	課 題
	火災処理	1000～2000℃の炎で10秒 ロボット、トーチによる引掃	複雑な形状に対して適用が困難	ヨーロッパでの実用例 の評価
乾	プラズマ処理	O ₂ ガス 10Torr の压力下 30秒	処理効果の持続性が短い	国内実施 1 ライン 脱脂を要す
乾	UV 処理	波長 184.254nmのUV照射 3 分	陰になる部分の処理効果が低い	開発中 事前処理、素材改質
湿	溶剤処理	トリクロロエタンの代替	形状に無関係である 変形に注意	毒性試験など開発中
湿	水＋溶剤処理	ナフテン系溶剤液 スプレー浸せき	処理工程が湿式で長い	代替溶剤開発中
湿	水系処理	リン酸系 有機酸系 界面活性剤系	工程が長く処理時間が長い	密着に一部不足 改良中

5. 1. 2 代替プロセス開発

トリクロロエタンを使用しないための技術開発は、プラスチック材料の改質、プライマー塗料の改良、トリクロロエタンを用いない前処理の相互関係の中で関係業界の協力の下で進行中である。現行の設備を可能な限り活用できる前処理法を求めて努力が続けられている。特に代替溶剤の選定には将来の問題も予測し、毒性試験などの確認に時間を要している。表 6 に開発中の主な工法と開発例を掲げる。

5. 2 プラスチック成形品の廃車リサイクル

世界的に、廃棄物の最終処分の行き詰りから、多量に発生する廃車スクラップシュレッター処理に際して、1 台当り 200kg 余りの廃棄物のうち 27%がプラスチック類で占められていることが注目を浴びた。国際的にも、プラスチック部品は再びリサイクル可能なことを義務付けようとする動きさえ生まれている。1991年の東京モーターショーで発表³⁰⁾されたリサイクル活動の一端を紹介する。

「ゆり籠からゆり籠へ」と題された資料によれば、新製品に対しては、①解体容易設計、②分別分離の容易性の確保、③再利用可能材質の採用、④再利用先の開発、及び既に市場にある製品の回収技術・再利用技術となっている。

その第 1 ステップとして PPバンパーを市場の廃車から回収・粉碎・溶融・塗膜分離・再ペレット化を経て輸送用パレットに再利用を開始している。現在は塗膜分離が悪く、元来の物性（衝撃耐

久性）が劣化しているためバンパーへの再利用は困難で、エアーアウトレットなどに還元される見通しであると言われる³⁵⁾。塗装処理の立場からもありサイクルを前提とした塗装品質・塗料の性能・塗装プロセスの再構築が求められている。前章の前処理と合せて緊急に対応が始められようとしている。

6. 自動車の軽量化と塗装技術

地球温暖化対策の一つとして炭酸ガスの排出を規制しようという動きがある。排出される炭酸ガスの 20%は自動車排気ガスからとされ、当面は燃費を向上させ燃料の総使用量を削減する以外は有効な手段がない。このため、最も手っ取り早い手段として車体重量の削減が浮上してきたのは、アメリカ議会筋で CAFE(企業平均燃費法) などが検討され始めたからである。この対応は将来の開発モデルに対する準備としての重大テーマであって関係業界との連携で始められている。

6. 1 アルミニウム合金の採用と前処理

軽量化の手段として、構成材料の 70%を占める鉄鋼材料（鋼板・鋳鍛造品）から、高張力鋼板やアルミニウム合金・プラスチックへの置換が有効である。鋼材のアルミ化の例ではホンダ NSX が 140kg 軽量化し、210kg で車体が作られている。アルミニウム合金の表面は酸化皮膜に覆われているうえ、微量成分の偏析などの他、プレス油・溶接チップによる汚染や研磨剤などの汚れ

表7 自動車用アルミニウム合金と表面処理

◎ 優 ○ 良 × 不良

テスト項目	アルミニウム素材 化成皮膜	5000系アルミニウム合金				6000系アルミニウム合金				テスト評価内容
		リン酸亜鉛	リン酸クロメート	クロム酸クロメート	ノンクロム	リン酸亜鉛	リン酸クロメート	クロム酸クロメート	ノンクロム	
	塗装	厚膜カチオン電着＋中塗＋上塗								
① 耐水性	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	ゴバン目カット部をテープはく離した時の塗膜残存状況	
② 耐湿性	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
③ 耐塩温水性	○	○	○	×	○	○	◎	×	カット部からの錆広がり	
④ 耐糸錆性	×	○	◎	○	×	×	×	×		
⑤ 塩水噴霧試験	◎	◎	◎	◎	×	×	○	×		
⑥ 複合腐食試験	◎	○	◎	○	○	×	○	×		

* 上村；自動車の軽量化と塗装，第8回塗装・塗料研究発表前刷集（1991）p.89

表8 アルミニウム／鋼同時前処理スラッジ

処理方法		単位	通常法 亜鉛めっき鋼板用 リン酸亜鉛	Al/Fe 同時処理法 5 %面積アルミニウム 合金材	分 析 法
スラッジ成分分析	6 価クロム	mg/kg	182		環境庁告示 昭48 第13号
	亜 鉛		66800		
	鉄		158000		下水汚泥分析法
	マンガン		5000		
	カドミウム		0.76		環境庁告示 昭48 第13号
	含 水 率	% (wt)	61.9		
	フ ッ 素	g/kg	6.5	12	原子吸光法
	アルミニウム	〃	122	1230	
スラッジ溶出試験	pH 3	PPM	65	76	環境庁告示 昭49 第64号
	pH 4	〃	63	125	
	pH 5 ～ 6	〃	61	165	

を適切な洗浄で除去した後，塗膜性能を確保するための化成皮膜処理が必要である。

a) 化成皮膜の選択

表7 には NSX の材料に対する各種化成処理の性能を比較した。NSX ではダクロ処理をした鋼製ボルトで組付けした車体を脱脂・クロム酸クロメート処理後，温風水切乾燥，次いでカチオン電着下塗工程へと進行する。クロメートの処理はイオン交換法により完全クローズドで（老廃液とともに）行われている。これはクロムイオンのブレイクスルーに先立ってリークするフッ素イオンによる電導度で管理され，再生廃液は山元還元³⁶⁾され無水クロムとなって帰ってくる。

b) 鋼板車体へのアルミニウム合金の組付

軽量化の進行にともない，鋼板の一部をアルミニウム合金に置換する場合，予めアルミニウム部

品にクロメート処理などを施しボディーに組込んだ後，鋼板用リン酸亜鉛皮膜処理工程へ流す方式が採用された例があった³⁷⁾。

現在は，1970年代後半にアメリカで開発された同時処理の原理³⁹⁾に従って，近代化したNi，Mn，F含有のリン酸亜鉛処理工程で，亜鉛合金めっき鋼板との併合処理が行われている。この方式について糸錆性の不足を指摘する³⁸⁾こともあるがクロムリンス処理の活用により改善も可能であろう。特に強度部材用アルミニウム合金についてはこの傾向から免れない。

またアルミニウム合金表面をエッチングするため，フッ素を高い濃度で使用しており，その結果液中に溶解したアルミニウムイオンは鋼板面の皮膜に悪影響を及ぼすため，エルパソライトなどの形でスラッジとして汙過し系外に排出させること

が常法である。このスラッジは水に溶出可能なフッ素を多量に含有しているので埋立最終処分の際には、地下水や河川汚染に配慮する必要があることが判った。表8に分析データを示す。

また化成皮膜と処理金属表面との関係では、過去20数年前のアニオン電着の開発時代に、化成処理性及び塗膜性能の点で大きな問題があった。それは冷延鋼板の表面に残留するカーボンが化成皮膜後、電着塗膜の耐食性を著しく劣化させることが判明し、製鉄ミルで電解洗浄により除去することになった例もある。成形性・強度など開発の進むアルミニウム合金においても類似事態の起きるおそれなしとは言えない。化成ラインには特別の洗浄工程の入る余裕はないからである。

6. 2 塗装材料の軽量化²⁾

現在乗用車1台当りの塗装材は熱融着式防震材も含めて25~30kgあり、軽量化の対象として無視できない。重質の体質顔料をバルーン化し低比重にする手法がPVCゾルなどに適用されている。皮膜性能の向上によって塗膜厚を減少させ、使用量を削減する方法はPVCゾルアンダーコートのエラストマー化に見られ実証検討中である。塗膜では電着・中塗に対しても効果とのバランスで軽量化の可能性がある。総て含めて20%の削減は可能であろう。なお、プラスチック化による軽量化については前述したので省略する。

7. 人に係る環境整備

塗装処理の現場での職場環境の改善が進められているものの、他の生産工程と比較して3K職場(汚ない・臭い・危険)と見なされがちである。1990年には労働衛生法の有機則改正があって対象物質の指定数増加、その管理濃度切り下げ、環境測定の充実などが行われることになった。また同じく消防法の改正により危険物の指定の方法が引火点法となり、一層防火対策の充実が企てられることになった。

注目すべき事項として、最近改正されたアメリカの大気浄化法では、大気中に排出する有毒(Toxics)物質の排出基準の設定を189物質について行うことを宣言しており、このためにはMACT(Maximum

Achievable Control Technology) 最大適合制御技術をもって対処することを求めるとしている。

これらの物質は従来OSHA(職業安全衛生法)や、その先導的役割をしているACGIH⁴⁰⁾(アメリカ産業衛生監督官委員会資料)に規定されている何らかの防護措置をして使用しなければならない物質であり、これらの排出を制限することにより周辺環境の劣化を防止しようとの狙いである。それに呼応して最近のEPAから排出企業への要請では、特定化学物質17種の使用量の削減計画に自主的に参加を求めるITP(工業有毒性プロジェクト²⁾)がある。この中にはトルエン・キシレン・MEK・MIBK・トリクロロエタン・鉛及びクロム化合物など塗装原材料の主要な物質が含まれている。従来の有毒物を安全に使用する考え方から、使用しない方向にせざるを得ない時代の到来を示すものである。

次に塗装工程での最大のリスクである火災防止対策については、全自動ロボット化の進行により無人ラインが増えつつあり、それに見合った防災システムの構築が急がれている。従来のように塗装ブースに作業熟練者が従事していることがなくなり、また塗装速度の増大・塗装機の密度アップ、そして塗着効率向上のためのナライ精度の向上などによりリスク因子は増大する傾向にある。このために火災発生迅速かつ確実な感知法として、炭化水素類の燃焼により発生する電磁線をキャッチして炎の存在を確認し⁴¹⁾、ハロン消火装置を作動させる方式を自動機単位に設けることが提案されている。そして火災の拡大時に作動するブース全面をカバーする火災感知としては、光ファイバー⁴²⁾の溶断により感知する新しい方式も注目されている。いずれにしても自動機制御・塗料圧送系・空調給排気系などの連継動作の信頼性向上が急がれている。

8. おわりに

自動車塗装における環境に係る課題の主なるものについて述べてきたが、いずれの課題も難問が山積みしている。これらの効率的・効果的な進展を企てるためにも関係業界各位の御協力と学際関

係による情報の伝達が欠かせないところである。

世界に環境対策技術の供与国としての役割を果たしてゆくためにも一層の御鞭撻をいただきたいと考えます。情報不足の点、御叱正をお願いする次第であります。

(1992-1-6 受理)

文 献

- 1) 小関；これからの時代に対応する自動車塗装技術開発，工業塗装，No107，p.27 (1990)
- 2) 上村純二；自動車の軽量化と塗装，第8回塗装・塗料研究発表前刷集，p.98 (1991)
- 3) 田辺幸男；アメリカに於る有機溶剤規制の最近の動向(Ⅲ)，塗装工学，18，(10)，28 (1983)
- 4) Auto motive Report；GM Applies Poly-Urethane to Luxury Cars，Industrial Finishing，7/90，p.16
- 5) J. Young；North America first high volume 2 component Urethane，Surf-Car，Cannes-France，(1989)
- 6) 永石 敏；自動車塗装の動向と将来展望，日産技報，24号 (昭和63)
- 7) I. Schrantz；Industrial Finishing，24，(7) (1990)
- 8) 磯崎，中井；塗料の研究，No117，p.41，(1989)
- 9) 特許公開公報，平2-45577 (日本ペイント)
- 10) 特許公開公報，平1-287177 (日本ペイント)
- 11) 東海林章夫；塗膜形成材料，塗装技術，30，(6)，94 (1991)
- 12) 日刊工業新聞 他，1991年7月17日
- 13) 特開，昭56-157358，ICI 特許
- 14) 小松泰典；自動車塗装における水性ベースコートシステム，日本塗装技術協会技術講演会前刷 (1990)
- 15) 柳辺忠郎；自動車塗装における水性ベースコートの展開を探る①～⑤，塗装技術，29，(7)～(10)，(12) (1990)
- 16) Thomer. A. W. Koster，G；21st Symp. of Automobile Tech. & Automation，1，p.1177，1325 (1989)
- 17) 渡辺 忠；水性ベースコートの開発：関西ペイント/本田技術研究所，平成2年度色材協会技術賞受賞講演会前刷 (1991年10月)
- 18) 日経ニューマテリアル「材料にさぐる地球環境時代の選択」，5月7日号 (1990)
- 19) 楠 宣勝；粉体スラリー塗料の新しい展開予測，塗装技術，30，(1)，110 (1991)
- 20) 小西萌一；塗料の水性化動向と今後の課題，塗装技術，29，(5)，(1990)
- 21) 岩瀬，根津，大平；第8回塗料・塗装技術総合研究発表会，要旨集，p.33～36 (1990)
- 22) パーカー興産製品カタログ；NOX-RUST 150
- 23) 特開，平3-221169，ラップガード(関西ペイント)，カタログ
- 24) 特開，平1-258770
- 25) 森田，鈴木；低圧スプレーガンのスプレー性能，塗装工学，26，(4)，23 (1991)
- 26) 公開実用新案公報，昭63-82450
- 27) 公開実用新案公報，平1-84761
- 28) 特許公報(B2)，平2-20298 (本田)
- 29) 松井駒治；自動車塗装における進歩，塗装技術，23，(11)，85 (1984)
- 30) 宮崎竜平；EPC (粉体電着) システム，高分子加工，No7，p.132 (1975)
- 31) 西村；今後の環境塗料動向から見た塗装ブース対応策，'91 TECHNICAL REVIEW，p.103，旭大限産業刊
- 32) Koster. G；Exhaust air Cleaning Technology alternate to water-base paint or necessary supplement，文献16) と同一
- 33) 佐藤；ポリプロピレンをめぐる諸問題，物性と塗装のための表面処理，塗装工学，21，(2)，73 (1986)
- 34) 本田技研工業広報部；第9回東京モーターショー，プレスインフォメーション (1991)
- 35) 日刊自動車新聞 (1991年10月15日)
- 36) ミニクロパック法 (日本電工)
- 37) 公開特許公報(A) 昭61-96074 (マツダ)
- 38) 名倉 修；'90年塗料・塗装技術の展開予測，自動車塗料，塗装技術，30，(6)，217 (1991)
- 39) Kuehner. M. A. (ACP)；Zincphosphate Pretreatment System for Aluminum-Steel Assemblies，SAE 740099 (1974)
- 40) ACGIH；日本訳版は沼野井法律事務所(横浜市)により毎年刊行されている。有害因子の^{ジョイント}限度を表示してある。
- 41) FIRE TECH社及び能美防災(株)，赤外・紫外コンビネーションタイプ
- 42) 特許出願番号，昭63-69145 (深田工業)
- 43) 堀，保科；塗装技術者としての地球環境を考える，塗装工学，26，(2)，49 (1990)
- 44) 流動層式溶剤回収装置 GASTAK，技術説明書 (東邦 ENG.)
- 45) 重田征三郎；プラスチック塗装前処理としての脱脂，塗装工学，23，(9)，19 (1988)