

電着塗装法誕生から 50 年の
節目を迎えて

田辺 幸男*

私 信

拝啓 貴社益々ご清栄の段大慶に存じます。
突然のメールにてご無礼を致します。

私は、1990 年までホンダ狭山工場において
塗装生産技術を担当していた OB ですが、昭和
39 年のアニオン電着塗装法の初の実用化に立
ち会った者の一人でもあります。

実は最近になって、電着塗装技術がアメリカ
のフォード社によって開発されてから、早くも
50 年の節目に近づいていることに気が付きま
した。

ご存じのように、フォード社が当時(1940 年
代)のクルマが、昔に比べて錆やすいことに着
目し、その主な原因が高速道路の発達により、
冬季の凍結防止のために岩塩を路面に散布し始
めたことと、クルマの車体構造にモノコックボ
ディーが採用されてきていることにあると突き
止めました。そこで、これを解決するにはどん
な優秀な材料を用いることよりも、複雑になっ
た車体の内部や隙間(すきま)に、完全な塗膜を
付けることが有効であると結論しました。

そして、その方法の候補として、すでに原理
が知られていた電気泳動法に着目し、1958 年
にこれを実用化するための一大プロジェクトを
発足させて、ついに車体の隅々にまで完全に塗
装できる塗装方法として「アニオン電着塗装
法」を発明しました。

そのような訳で、この「電着 50 年」は「自
動車腐食対策 50 年」ともいえるでしょうし、
また日本の電着塗装誕生 45 年が近づいている
ことにもなります。この技術は、日本の自動車
生産の急速な拡大に大きな貢献を果たしまし
た。

この均一でタフな対衝撃性と防錆力に優れた
塗膜品質、材料使用の効率と低 VOC、極少廃
棄水の環境への優しさ、完全自動無人化ライン
の近代化など、電着塗装技術の恩恵に浴してい
るのは、塗料・前処理・防錆鋼板・塗装設備な
どの供給側の業界、それを利用する自動車と部
品・電機・建築金具などの工場塗装業界、それ
らに係(かか)わる情報を扱う各業会・学会・業
界紙などが挙げられます。

そこで日本においても、これら関連業界が連
携あるいは単独に、「電着塗装法誕生 50 年」と
でもいうべき顕彰や啓蒙(けいもう)などのイベ
ントを催したら、さぞかし有意義であろうと感
じた次第です。

たとえば、「ペイント・ショー」や「表面技
術総合展」、学会行事などの一環として開催で
ければ好都合かと考えて、私は各業界の知人や
OB などの皆様に声を掛け、このような機運の
醸成を図るためのささやかな活動を始めたところ
です。

つきましては、この主旨にご賛同いただくこ
とができればと、切望している次第です。

1. どうして電着 50 年か？

この疑問に答えるために、アニオン電着塗装法の誕生について、アメリカと日本での歴史を回顧してみよう。この始めに当たり、私のわずかな見聞に加えて、「暮らしと産業を彩る 神東塗料物語」(宮本あつ夫著、日刊工業新聞社、1983年刊)からも引用させていただくことにする。

(1) アメリカ

① フォード社では1950年代に入ると、1920年代のクルマは20年余り使用しても腐食事故がないのに、1940年代のクルマは7年くらいで腐食事故を起こすことが多い事実を把握した。

② そこで、フォード社の防食技術者グループは、その原因の追求と改良法の検討を始めた。1950年代後半といえば、鋼板はもちろんのこと塗装法、塗料にも技術革新が進んでいるにもかかわらず、防食性は後退してしまっている。これはなぜだろうか？ いろいろと研究し、一つの結論に到達した。

それは自動車ボディーの構造が複雑になり、鋼板の合わせ目、隙間、ボックス形状、角形状などが多くなってきているのが一つの原因ではないか。加えて、1930年代からアメリカでは高速道路が発達し、冬期間の凍結防止のために多量の岩塩を散布し始めたことが、腐食を早めさせた大きな原因であることを突き止めた。

③ そこで、防食技術を種々検討した結果、従来の塗装方法では、いくら優れた材料を使用しても複雑な箇所を完全には被覆できない。これを完全に遂行できる塗装法は、理論的にも電気泳動法を応用した電気付着法であるとの結論を導き出した。

④ 1958年、フォード社は電着塗装法を開発するための大々的なプロジェクトチームを発足させた。これにはフォード社の防食技術者ばかりではなく、そのほかの部門たとえば設備、設計、品質保証などからも関係技術者が集められた。さらに、アメリカ国内の防食および高分子化学の有識者、大手塗料メーカー数社の技術者もメンバーに加えられた。

これは正に、ナショナルプロジェクトに近い大規模なプロジェクトチームともいわれるほど

であった。

⑤ このチームに参画した塗料メーカーの一つに化学・食品大手のグリデン社(オハイオ州クリーブランド市)があり、その塗料研究所には、アニオン電着塗料の発明者として知られるギルクリスト氏がいたのである。氏が技術指導で来日された際、「このプロジェクト発足の時点には、私はすでに電着現象を応用するアイデアを持っていた」と言っていたのを、私は聞いている。

グリデン社はアニオン電着塗料の特許をフォード社と共有しており、単独で日本の石産ペイントにその製造実施権を供与していたし、その後、フォード社から電着塗装の技術導入と塗装法、装置への助言の供与権を受けて、塗料と共に日本の塗料メーカーに提供が可能になっている。

これは、フォード社がグリデン社の技術先行性のある程度認めていた証左ではなからうか。

⑥ フォード社では、デトロイト市にある生技術研究所の一角に体育館ほどの電着塗装実験場を設置して、大規模なパイロットプラントによる実用化の研究を進めた。ここには多数の小規模電着槽に続いて、連続式の船底型電着ラインと単体浸漬(しんせき)槽が2槽あり、塗料の長期安定性試験、小規模塗装実験から自動車部品(エアクリーナーケースの蓋(ふた))の量産スケールの塗装試行、クルマ車体の塗装実験などが実施された。

かくしてフォード社は、1960年ころから電着塗装に関する改良特許を次々と成立させた。

⑦ それと並行して、アニオン電着塗装された車体は偽装されて防錆品質の検証に供された。それには、数年にわたる冬期間の高速道路モニタリング走行試験、それに呼応したアリゾナブルーピングランド(実証走行試験場)において、市場の腐食状態を再現し得る促進腐食試験法のモード開発が行われたようだ。

そして、それを使った実験車の防食法の改善と検証が続けられた。

⑧ フォード社の伝統であるという「新技術はウイクソンから」の標語の通りに、「サンダーバード」などの高級車製造を担当するウイクソン工場(ミシガン州デトロイト市郊外)が、アニオン電着塗装法の最初の実施工場に決まっ

た。そして、既存ラインと併設の形で量産規模のアニオン電着塗装ラインが設置された。

おそらく試行生産を経て、1962年9月の1963モデルに、アニオン電着塗装の正式な適用が開始されたと思われる。

⑨ ついに、アニオン電着塗装法を適用した「サンダーバード」1963モデルが、市場に送り出されたのである。

(2) 日 本

① 1961年、神東塗料はオーストリアのピアノバ社から技術導入した自動車用下塗りデップ用水溶性塗料「エスピア」の製造販売を開始した。

② 1962年ころから、欧州視察から帰国した塗料メーカーの技術者の口から、アメリカで自動車用下塗りに「電解塗装」という技術が実用化に入ったとの噂が、しきりにもたらされた。

一方、欧米で発刊される専門誌にも、このニュースがしばしば載るようになった。

③ 1963年、ホンダ埼玉製作所のピーカーサイズの浴槽で、水溶性塗料を使いアニオン電着実験がメッキ技術者の手によって行われた。

④ 1963年秋、神東塗料の技術者がイギリスの樹脂メーカーであるクレーバー社で、電着塗装を見聞し帰国した。そして、ただちに販売中の自動車用下塗りデップ用水溶性塗料「エスピア」を使って、アニオン電着塗装のピーカー実験を始める。

ここで使われた「エスピア」が、優れた電着特性を持っていたという幸運に恵まれて、神東塗料は短期間にアニオン電着塗料を実用化することに成功した。

⑤ 1964年1月、日本工芸で電着塗装実験が行われていた(日本工芸27年史)。

⑥ 1964年4月、ホンダ浜松製作所ではアニオン電着塗装法の採用方針が決定し、9月のラインアップを予定して実用化の実験を始めた。

⑦ 1964年6月、ホンダと神東塗料はヲサメ工業の設計した電着塗装試験設備で、クルマ車体塗装の実験を実施し大成功を収めた。

⑧ 1964年9月、ホンダ(浜松製作所)は神東塗料のアニオン電着塗料を採用して、スポーツカーの塗装ラインで市販車に適用を開始し

た。

⑨ 1964年12月、ホンダ狭山製作所にヲサメ工業製のアニオン電着塗装ラインが竣工(しゅんこう)し、神東塗料のアニオン電着塗料で量産を開始した。

⑩ 1964年の暮、日本工芸のアニオン電着塗装設備の実用第1号機が、日産プリンス自動車に納入され好評を博した(日本工芸27年史)。

以上の背景から考察すると、アニオン電着塗装法の発明は遅くとも1958年と推定される。したがって「電着塗装法誕生50年」は2007~2008年となるであろう。

また、日本における「電着塗装法誕生45年」を問うならば、遅くとも2008年となるであろうと予測するのである。

2. 自動車の腐食・錆の社会的背景

1958年のフォード社のアニオン電着塗装法の発明から50年、それは連綿と続けられてきた自動車への腐食・錆との戦いの歴史でもあり、その社会的背景とその様相を一瞥(べつ)してみよう。

(1) クルマを腐食・さびさせる環境の進化

当初、フォード社の防食技術者は腐食・錆の原因を

① クルマの車体構造が、薄鋼板を組み合わせたモノコック形式の採用へと進化したこと。

② それに、冬期間の安全走行を確保するための路面凍結防止用の岩塩碎石の散布による走行環境の塩泥水化。

の2点にあると考えていた。その後、それに加えて

③ 急速な高速道路の発達による走行距離の増大。

④ 冬季の厳しい寒冷時季や常に氷結する橋梁(きょうりょう)付近の路面に対して、スリップ防止用の碎石・砂の散布の開始。

⑤ 高速道路・国道・州道など、冬季の交通を確保するために、岩塩・碎石散布料の激増による腐食環境の悪化。

⑥ 大気汚染による腐食環境の悪化(酸性度の高い降雨・雪・煤塵(ばいじん)・オキシダントなど大気降下物質の及ぼす影響)。

- ⑦ 日本国内における腐食環境の顕在化：① 沖縄返還による腐食・錆保証の混乱により、海塩粒子による塩害がクローズアップ。② 砂利舗装道路の埃(ほこり)止めのために、塩化カルシウムを散布し塩害が顕在化。③ 新説の重工業地帯での腐食環境の劣悪による腐食・錆クレームの増大(鹿島)。
- ⑧ 腐食環境である重工業地帯の拡大。
- ⑨ 海浜道路・海浜公園・港湾施設などの開設と海塩粒子の付着による腐食の増進。
- ⑩ 北米におけるガレージの暖房とエンジンの電気ヒーターによる保温などの流行により腐食を促進(屋外駐車に比べ腐食環境は厳しい)。

と考えており、以上のようなステップを経て、ますます腐食・錆問題が深刻になっていったのである。

(2) クルマの腐食に対する社会的圧力

クルマを製造・販売・サービスする自動車メーカーに対して、腐食・錆に係わる種々の社会的活動を行うべきであるという世間の圧力が、波状的に続いた。これは腐食・錆の問題に先行していたクルマの安全問題に対する市民運動の余波が収束しないうちに、腐食・錆が継続して取り上げられる傾向があったことにも注目しておく必要がある。

それは、腐食・錆を起こす箇所や部品の中にクルマの安全をおびやかす項目が顕在化してきたからである。

① クルマの腐食がもたらす安全性・商品性などの低下に対して、顧客の意識が向上したことと、それに伴う市民運動・苦情告発、訴訟などへ進展するケースが増加。

② FTC(不公正取引監視委員会)などの行政機関に寄せられる腐食修理サービスの不公平を訴える苦情に対して、査察・告発・補償和解(無償サービスの告知)などが増加。

この裁定には“STATE OF ART”と呼ばれる法的概念が適用される。その“現状技術の状況”とは、その該当事案の製造された時代の同一業界の現状技術の水準に照らして、比較評価することを意味しているから、その設定には専門家の意見が基礎になるであろう。

したがって、自前の腐食関係の技術データの蓄積が、自動車メーカーにも求められるように

なってきたのである。

③ 国家によるクルマの防錆品質に対する法的規制の制定(カナダ・北欧が錆コードを実際に運用した)。

④ PL(製品信頼性)法の制定により、市場に託していた防錆処理を工場作業内に組み入れることの義務付け。

⑤ 車両損害保険協会などによるクルマの腐食ダメージへの啓蒙と警告(欧州)。

⑥ 軽量・低燃費を実現した日本製小型車の欧米への進出(現地のクルマに比較して塩害対策の不備がクローズアップして、“ジャパニーズ ラスト”のあだ名が付けられた)。

⑦ クルマの品質実績の公表と啓蒙活動。大衆誌「コンシューマーレポート」では、歴代乗用車モデルの品質評価の推移を公表することにより、顧客の新車購入ガイドとしての役割を果たし好評を博していた。

⑧ 既販車の顧客満足度(CSI)を調査する専門会社が現れて、そのデータがクルマの販売広告に使われ競争が激化(腐食による安全性・外観商品性への苦情が評価の対照となっていた)。

⑨ クルマの腐食・防錆対策が新車販売の戦略として有効な時代となった(GMの1970年代の腐食対策キャンペーン)。

⑩ 中古車市場の価格低下による混乱。日本車が腐食によって“走る棺桶(かんおけ)”となったと評されるクルマが中古車業界誌「レモネード」に記載された(カナダ)。

⑪ 日本国内でも初期錆がクローズアップされる。ベストセラーとなった年刊本「間違いだらけのクルマ選び」では、初期錆における品質の悪さを告発。

⑫ 腐食に対する品質保証制度の拡充。たとえばGMの“10-5-2”保証制度、機能錆10年・穴あき錆5年・表面錆2年。

⑬ カスタムラストプルーフィング業界の発展。基本は顧客が自費で防錆寿命保証の付いた防錆処理を依頼するものであるが、この処理を新車販売の付帯条件として販売業者に求めるケースが増大。

⑭ 欧米においての錆・腐食に対するクレーム費用が、経営資源に影響を与えた。

(3) 腐食・錆による損傷形態の分類

初期錆と耐久錆に大別される。耐久錆は、カ

ナダ錆コードによればさらに3分類されている。

① 初期錆

工場内の在庫や営業物流中の在庫、顧客に渡ってから数カ月以内に発生する錆であり、それが発生する箇所は、素地鋼板が露出に近い状態であったことを示している。この初期錆を生じる箇所を検出する方法としては、クルマに錆油などの塗布が施される前に塩水シャワーなどを掛けた後、湿潤状態を保持したままで放置することにより数日で検出可能である。

また、間歇(かんけつ)式の温塩水浸漬試験法とでもいうべき方法がGM社で行われている。

その発生要因の主なる物は

- ① 鉄板端面のバリや鋭角面の塗膜不足。
- ② 防錆塗膜の塗り残しや損傷。
- ③ 偽装組み立ての際の外傷。
- ④ 物流による外傷。
- ⑤ 電車のブレーキによる鉄粉付着。
- ⑥ 拙劣な防錆処理、たとえば光輝クロメート処理。

などが挙げられている。

② 耐久錆

1) 穴あき腐食(パーフォレーション)

その主なる形態は

- ① 車体の塗装された外板の裏側からの腐食通貫穴。
- ② 床面回りの腐食による穴あき。

である。

2) 表面錆

- ① 塗装面のチッピングダメージ傷とそれからの赤錆、および腐食穴あき。
- ② スキャップコロージョン：かさぶた腐食。
- ③ 塗膜のプリスターとピーリング。
- ④ 塗膜下腐食による穴あき。
- ⑤ 部品および部品取り付け部の塗装面からの赤錆。
- ⑥ 亜鉛メッキの犠牲防食による白錆。

3) 機能錆

クルマの走行・操縦に影響を及ぼし、安全性に不安を与える車体構造部材と、車体の機能部品取り付け部および機能部品自身の腐食である。

その発生の主なる要因を挙げると、次の通りである。

- ① 素材の腐食・摩耗による肉厚減少による座屈・折損(操縦安全部品とその取り付け部)。
 - ② 車体のボックス形状、構造部材の板厚減による強度低下。
 - ③ 繰り返し応力腐食による亀裂(きれつ)。
 - ④ 隙間腐食による剥(は)がれ破壊、鋼板合わせ溶接部の損傷。
 - ⑤ 穴あき腐食による液体・気体の漏洩(ろうえい：燃料・油圧作動油(プレーキオイルなど)・機械潤滑油・排気ガスなど)。
 - ⑥ 腐食による電気系統の絶縁破壊短絡・切断。特に安全に係わる灯火類の不灯など。
 - ⑦ 車体構造部および機能部品取り付け部における相互異種防錆鋼板の接触腐食。
- #### 4) 腐食方式の種類
- ① 局部電池による腐食。
 - ② 隙間腐食。
 - ③ 孔食。
 - ④ 繰り返し応力腐食。
 - ⑤ 粒界腐食(低級ステンレス材の溶接部)。
 - ⑥ 異種金属の接触によるダニエル電池。
 - ⑦ 犠牲防食による腐食。
 - ⑧ キャビテーション腐食(摩耗)。

3. 電着50年の車体防錆プロセスの推移

「電着塗装法誕生50年」を次の五つの時代に分けて、その進展の推移を述べてみよう。その概要としては

- ① アニオン電着塗装法の1960年代
- ② 1970年代の穴あき防錆法“ジンクロメタル”
- ③ 1970年半からのカチオン電着塗装の時代
- ④ 1980年合金化溶融亜鉛メッキ鋼板時代始まる
- ⑤ 1990年代の車体の防錆対策の集大成である。それぞれの項目については二分し、その第1ステップでは各社の車体防錆プロセス、塗装を中心とした防錆技術についてであるが、自動車の最初の錆対策となった穴あき腐食(パーフォレーション)と表面錆への防錆プロセスを主体に述べる。

その主なプロセスとして次の6工程を掲げ

る。

- ① 素地鋼板としての防錆種。
- ② 塗装前処理工法の改革。
- ③ 下塗り塗装工法の進化(AED：アニオン電着塗装”， CED：カチオン電着塗装)。
- ④ CGP(チップングガードプライマー)塗布の採用。
- ⑤ S・A(シーリング/アンダーコート)塗布材の進化。
- ⑥ IW(インナーワックス)注入。

なお、中塗り塗装および上塗り塗装は省略した。また、それぞれの推移については、主なる自動車メーカーの改善の意図に注目して要約した。特に導入された新しい防錆技術については“ ”を付けて明確にした。

前述したプロセスは、塩害腐食地域向けの防錆仕様を対象としており、鋼板種はドアヒンジ・ボンネット・フェンダーなどの外板を代表として取り上げている。そのため、実際上は車体の部位別に、鉄鋼板から各種レベルの防錆鋼

板が用いられて混在しており、さらに車格や仕向け地別に、防錆仕様の異なる車体が同一ラインを混流しているのが実体である。

また、CGP, S・A, IW の工程については適用箇所と材質の推移は省略した。さらに、多数の製造ラインを持っている自動車メーカーでは、防錆プロセスの適用優先順位があることをご承知置き願いたい。

第2ステップでは、自動車車体の下塗り塗装法としての「電着塗装法」の進化を、その周辺技術の背景を通して、アメリカ、日本、欧州に区分して述べることにするが、主なる観点は次の2項目となるであろう。

- ① 電着塗装システムとその塗膜性能
- ② 防錆鋼板種と塗装前処理種と電着塗装との相互関係が防錆品質に及ぼす影響

電着塗装の伸展に関する五つの時代の最後に将来展望として、⑥スリコート・ワンペーク用電着塗装法の課題について述べることにする。

(以下、次号につづく)

電着塗装法誕生から 50 年の 節目を迎えて

田辺 幸男*

3.1 第一段階『アニオン電着塗装法の 1960 年代』(穴あき腐食対策の要請)

(1) 第 1 ステップ：アニオン電着塗装導入時の車体防錆プロセス

第 1 図にこのプロセスの流れを示す。

(2) 第 2 ステップ：アニオン電着塗装法導入

① フォード社のアニオン電着塗装法導入

① 構築されたアニオン電着塗装システム

1) 塗料の構造

初期の塗料樹脂の一例としては、マレイン化脂肪酸を有機アミンで中和して水溶化し、水溶液とすると、樹脂は電離してアニオンイオンとなる。

2) 浴液管理法

電着塗装の進行によって、浴液中に取り残されたアミンイオンの蓄積は、中和度の低い補給塗料の添加により中和し、取り除いて浴液組成のバランスを維持する“フィード法”を使用している。

3) 補給塗料の溶解法

浴液を配管で系外に取り出し、その中に補給塗料を高圧で液中噴霧し、ただちに微細直系の管を束ねたウルトラソニック分散器の中を高速で通過させ、分散させてから浴槽に戻す方式を採用している。高圧液送ポンプにはスネーク型が採用された。

4) 連続式通電方式

a. 通電入槽方式が採用されたが、事前に浴液で被塗物表面を濡(ぬ)らすことによって塗装面の異常析出を防止する方法が取られた。

b. 付き回り性確保のために高電圧を必要とするので、電源を入槽部の低電圧と、その後の高電圧の 2 系統で設置し、その橋渡し部には特殊な電氣的対応を施した。

c. 人の感電事故防止のための警報・緊急直流電気遮断器を設置した。

5) 陰電極

a. 鉄製浴槽をプラス極として使用する方法があるが、塗料顔料の沈殿により電極の有効面積が減少することが懸念され、また、迷走電流などによって鉄製浴槽の鋼板溶接部に穴あき腐食の心配がある。

b. したがって、ポリ塩化ビニリデン樹脂やゴムによる鉄槽内面、および配管類などの接液部をライニング施工することが多くなった。

c. この場合には不溶性電極材としてステンレス材やフェライト材が使用され、極板面積の確保と、浴槽底面の陽極配置に工夫が必要であった。

6) 補助極

a. ボックス状内部や車体内側などへの塗膜形成を規定電着時間内(2~3 分程度以下)に終了させるため、事前に補助電極を数本挿入し、電着完了後に取り除いた。

b. ここには通電前の接続不良と被塗物との接触の防止確認、および通過電気料の確認な

*たなべ ゆきお .元・本田技研工業佛崎玉製作所

〈1950年代のアメリカの車体防錆プロセス〉

ボンネット、フェンダーは部品ラインで塗装する

鋼板→スプレー法(クロムリンス有)→ハーフディップ+スプレー法→S・A

〈フォード〉

鋼板→スプレー法(クロムリンス有)→“アニオン電着(AED)”→S・A→IW

〈GM〉

“鋼板上ジンクリッチ塗布”→スプレー法(クロムリンス有)→ハーフディップ+スプレー法→S・A→IW

〈クライスラー〉

鋼板→“ハーフディップ/スプレー法”(クロムリンス有)→“ハーフディップ+スプレー法”→S・A→IW

〈欧州〉

鋼板→スプレー法(クロムリンス有)→“AED”→S・A→IW

〈欧州：(BMW)〉

鋼板→“縦吊(つ)りディップ法”(クロムリンス有)→“AED”→S・A→IW

〈日本〉

鋼板→スプレー法(クロムリンスなし)→“AED”→S・A→IW

〈日本：ホンダの軽乗用車〉(注1)

鋼板→スプレー法(クロムリンスなし)→“AED+ガイドコートスプレー法”→S・A

〈日本：ホンダ〉軽から小型車へ転換，“粉体静電スプレー法+カチオン電着”リバース法(注2)

鋼板→“スプレー+フラッド法”(クロムリンスなし)→“粉体静電スプレー法+AED”→S・A→IW

① 各社共に車体のボックス状構造部材内面には事前ジンクリッチ・プライマー塗布をしたり、または後に溶融亜鉛メッキ鋼板を使用していた。

② 当初のIWAXは錆装(ぎそう)完成後の防錆油の床下周りへの噴霧塗布が主力であった。

③ フォードはドア内面にアルミナイズドワックス塗布を追加。

④ 注1：アニオン電着塗膜をウエット・オン・ウエットで溶剤型ガイドコート塗料を使ったスプレー法により補強塗装していた。

⑤ 注2：被塗物の外板の表面は通常の塗装法(非電着塗装法)、ここでは粉体静電スプレー法で塗装し、加熱乾燥させて電気伝導性を低下させてから、内面・外板の裏面を完全に塗装する目的でアニオン電着塗装法を続けて行う方式である。

内面への付き回り性はより高くなる特徴を持っている。両塗膜の接合面を重ねるために薄膜部は電気伝導性を保持させて電着塗膜の析出を促している。

第1図 防 錆 プ ロ セ ス の フ ロ ー

どによる内面の電着塗膜析出の品質保証手段を講じた。

このように車体内面に完全に塗装するのが電着塗装採用の最大目的であったが、それにかかる執念には見るべきものがある。

7) 浴液の温度調節

a. 通電中の被塗物表面の冷却

被塗物面に浴液の適切な流れをつくることで、被塗物面に形成される塗膜の電気抵抗によるジュール熱の蓄積を除去する冷却の措置を講じた(被塗物面の温度が高くなると析出塗膜が軟弱化して剥落(はくらく)したり、表面が乾いたりして外観不良の原因をつくる)。そのため、タンクサイドにドラフトチューブ型ポンプ(斜流ポンプ)などを設置した。

b. 浴液の温度調節は熱交換器を設けて冷温水による浴液の間接的調節を行った。

8) 浴液攪拌(かくはん)装置

a. 浴槽底部に沈降する塗料を防止するための浴液噴流を作る噴射ノズルの設置。

b. 浴液表面に存在する泡・油・浮遊物などを被塗物の入槽部・出槽部から除去するための表面流の措置。

9) 浴液の清浄化

塗料凝集物・塗料沈殿物・被塗物から持ち込まれる鉄粉・異物などのろ過器・磁力式鉄粉除去器などによる除去の措置。

10) 塗料回収システム

a. 当初は、被塗物面に電着した塗膜の上に付着しているだけの浴液を出槽部で純水ミストスプレーを使って洗い流し、同時に被塗物面の乾き防止を兼ねながら、浴槽へ戻す方式が考案された。

b. その後、ウルトラフィルターによって

浴液から分離された低濃度透過液が純水の代わりに用いられることになり、シャワー液量にも自由度が得られるようになった。

c. その後さらに、この透過液を用いて多段水洗し、浴槽へ還流させる塗料回収システムが現れる。

11) 浴液中に蓄積する不純物イオン類の除去にはイオン交換樹脂装置が用いられた。

12) ウエット電着塗装面の補修

何らかの理由で電着析出膜の外観や膜厚が不十分である場合(たとえばはんだ仕上げ、導電性パテ仕上げ部など)のために、補修塗装法を開発し、実用化した。これはウエット電着塗膜面の水滴をエアブローなどで吹き飛ばしてからスプレー塗装する方法で、塗料は親水性溶剤の配合と硬化スケジュールに配慮して設計した溶剤型ガイドコート塗料である。

② 塗膜性能

1) 塩水噴霧試験による耐食性

a. 塗膜の傷部の錆の拡大幅で評価する耐食性では、従来から下塗り塗料として適用されている溶剤型スプレー塗装や水溶性型ディップ塗装よりも若干劣っていたが、従来の塗装では塗膜を十分に塗装できなかった部位にも確実に自動的に塗装できる利点から、クルマの総合的耐腐食性に有効と認められた。

b. 傷なし部位の点錆

前処理した鋼板面へのアニオン電着塗膜単体での塩水噴霧試験では、点状の錆の発生が見られることがあり、それは素地鋼板面に残存しているカーボン(圧延油が焼鈍時に還元された物)やグラファイト(金相学的な析出)が、塗装前処理皮膜の形成に悪影響を与え、その箇所が電気化学的に進行する電着塗装の過程において、損傷を受けたことが原因であるとフォード社では考えていた。

フォード社は鋼板面の残存カーボン量を定量化する試験法として、希塩酸溶液で湿潤したガラスワールで鋼板面をブラッシングして得られる汚染物を燃焼させ、炭酸ガスとして定量化する方法を制定したうえで、鋼板メーカーによる鋼板表面の清浄化の促進を迫った。

このように電気化学的作用によるアニオン電着塗装は、素地鋼板やそれに続く塗装前処理皮膜等の性状の不均一性を拡大し、顕著にして見

せる作用があることがわかったことから、それぞれの品質向上を促進したことは確かである。

2) 実車走行試験による弱点補強

車体内表面、特に雨水の通過するドア内底部(高さ1/3の所まで)には、アニオン電着塗膜だけでは穴あき腐食に対抗するのに不十分であることから、塗装完了後にアルミニウム箔(はく)を配合した防錆ワックス“アルミナイズドワックス”を、エアレススプレーノズルで吹き込んで塗布する作業が塗装工程完了後に追加実施されている(インナーワックスの始まり)。

3) クレーター発生による外観異常

a. 鋼板の亜鉛系メッキ面上に塗装されたアニオン電着塗膜面を焼き付け乾燥した後にクレーターが発生することがある。素地まで露出していることはほとんどないから、アンダーコート、または黒色下回り塗料を塗布すれば使用は可能であろう。

b. 亜鉛メッキ鋼板では高電圧印加の場合にクレーターの発生が見られるようになり、合金化(アニールド)溶融亜鉛メッキ鋼板では低電圧でも著しく発生した。したがって、外観を求められる部位への亜鉛メッキ面の適用は不可能である。

③ フォードの定めた試験法

1) 付き回り試験法 パイプ法(フォード法)。

2) 鋼板表面に残存するカーボン量の測定法。

3) チッピング試験における素地貫通率測定法(グラベロメーター試験後、銅メッキを施して顕微鏡、または着色転写によって判定する方法)。

4) 乗用車の促進塩害走行試験法(アリゾナ法)

試験前チッピングダメージ植え付け、埃(ほこり)っぽい道路での走行、塩水路、シャワー、塩泥水路などの追従走行、高速走行、促進腐食環境暴露試験(暖房車庫環境も含む)などを組み合わせたサイクルモードによって、カナダ塩害地1年分の腐食を短時間で再現させる方法。

④ アニオン電着塗装技術の他社への影響

1) フォード社の特許政策

フォード社は電着塗装システムに関(か)わる多数の特許申請を全世界で行っていた。一

方、同業他社の技術者が実施工場であるウィクソン工場のアニオン電着塗装システムの見学を希望した場合にも許可していたようである。

2) 他社の導入への影響

a. フォードは多数の工場を保有しており、アニオン電着塗装への切り替えは漸進的に進行的した。

b. GM・クライスラーは採用せずに、他の防錆法を施行した。

c. 日本は比較的早くから実用化し、1960～70年代に急ピッチで建設が進められた新工場には、最初からアニオン電着塗装法が採用された。

d. 欧州ではアメリカの欧州GM・欧州クライスラー系を除き、欧州フォードを初めとする欧州メーカーへの導入は漸進的に進行的した。

② 日本へのアニオン電着塗装の導入

乗用車車体への適用はフォード社にそれほど遅れずに始まった。そして、この1960年代の自動車製造ラインの急速な新增設には、すべてアニオン電着塗装システムが採用されたので、普及率は世界一となった。

① 日本のアニオン電着塗装システム

1) アニオン電着塗料

a. 幸運なことに、オーストリアのピアノバ社からの技術提携によって製造販売されていた神東塗料の水溶性下塗り塗料「エスピア」はきわめて優れた電着特性を持っていた。そのために比較的短期間にアニオン電着塗料を開発することができたので、このタイプの塗料が最も早く実用化に踏み切られた。これはマレイン化脂肪酸を有機アミンで中和して水溶化し、水溶液として樹脂を電離させてアニオンイオンとするものを主体とする。

また、電着塗装の進行によって、浴液中に取り残され、蓄積されるアミンイオンに中和度の低い補給塗料を添加することにより中和・除去して浴液組成のバランスを維持する“フィード法”を採用したのもフォード社に類似していた。

b. 特異なタイプとしては、1964年ころにイギリスのICI社の開発によるKOH中和型アニオン電着塗料が技術導入された。この塗料は隔膜法を利用して液管理をする工法であって、塗料の補給は容易であったという。

c. その後、フォード社の防錆プロジェクトに参加していたアニオン電着塗料の発明元であるグリデン社からその技術を導入し、フォード直伝のアニオン電着塗料が日本でも市販されるようになった。しかし、アニオン電着樹脂の体質強化のための変性に使われたキシレン系樹脂が、ガイドコート塗膜の薄膜部を通して上塗り塗膜へブリードし、黄変を起こす例があった。

また、30ミクロンの膜厚が得られるアクリル樹脂系の上塗りアニオン電着塗料も利用された。

d. 1965年ころまでに塗料メーカー6社がそれぞれのアニオン電着塗料の製造販売の体制を整えていた。

e. ポリブタジエン樹脂変性アニオン電着塗料

これは今までのアニオン電着塗料の弱点を解決した第二世代のアニオン電着塗料であり、スーパーアニオン電着塗料と呼ばれた日本発の新技術の成果であった。日本曹達がポリブタジエン樹脂を開発、市販し、これをアニオン電着塗料樹脂の強化に高い配合率で変性することに成功したのである。そして、この改良樹脂を既存の浴液に容易に添加できたため、急速に普及した。

主な改善点は耐食性(加水分解への抵抗性)、付き回り性、ウェット膜の強度向上、耐溶剤性、浴液の劣化特性などである。

2) アニオン電着塗装システム

これは主としてフォード社から得た知見に基づいて構築された。日本で特許が成立した後は、特許権実施料を塗料販売価格に上乗せして利用者が支払うことになった。

特異な点は塗料補給方法であり、当初はディスペー式攪拌分散機に浴液を移して、その中に補給塗料を加え、攪拌分散した後に浴槽へ戻す方式が採用された。

② 塗膜性能

塗膜性能については、当初はほぼアメリカと同様であったと思われていたが、その後日本独自の懸案事項が続出したと言えよう。

1) 耐食性の弱点

a. アニオン電着塗装した試験板の連続塩水噴霧試験において、無傷面に比較的短時間でまれに点状の腐食が生じることが経験された。

b. その原因として、鋼板面の塗装前処理で形成されたリン酸亜鉛結晶皮膜面に結晶の形成が乱れている部分、ポイドと呼ばれている所が存在することが知られている。

その部位への通電密度の上昇や、電着塗装の際に被塗物面上の接近層で起こる電気化学的現象としての酸性アップにより、リン酸亜鉛皮膜や素地鋼板の部位の弱点が拡大強調されたことが原因であると推定された。

c. これはフォード社の項目でも取り上げたように、鋼板表面に残存するカーボンなどの汚染も大きな原因であるため、鋼板メーカーに対して表面の清浄化を求める動きが起こった。

一方、塗装前処理でも電界洗浄や超音波洗浄を用いてカーボンスマットの除去を試みる動きがあった。その緊急対応策として、アニオン電着塗料溶液中にクロム酸系化合物水溶液を添加する方法が、塗料メーカーの提案によって採用されている。

d. この発生の程度がフォード社の実績よりかなり悪いこともあり、アニオン電着塗装システムについての彼我の比較が行われた。

そこでの議論的は塗装前処理工程に後処理としての“クロムリンス(不働態化处理, またはシーリング処理とも呼ばれた)”の有無であった。

フォード社ではアニオン電着塗装法を導入するに当たり、車体鋼板の塗装前処理は従来から適用していたスプレー式標準 6 ステージ法(予備脱脂・脱脂・表面調整・化成・クロムリンス・純水洗浄)を引き続き適用した。

一方、日本では同じく従来から適用していたスプレー式日本の 5 ステージ法(予備脱脂・脱脂・表面調整・化成・純水洗浄)を引き続きアニオン電着塗装にも適用し続けた。

日本ではなぜか、自動車用塗装前処理において、アメリカや欧州の標準的方法に必ず後処理として行われるクロムリンス工程が省略されていることが注目された。

e. そのようにクロムリンスが省略された理由は、塩水噴霧試験による耐食性能において、鋼板面に塗装前処理をしてから通常のスプレー塗装を施した場合、塗装前処理のクロムリンスの有無でそれほどの大きな性能上の差異が生じなかったからであろう。

ところが、電気化学的作用をリン酸亜鉛被膜や素地鋼板に与えるアニオン電着塗装法では、わずかなリン酸亜鉛結晶皮膜の弱点を拡大させてしまうために耐食性がまれに劣る結果をもたらすのであろうと推定した。この電気化学的作用に対してクロムリンスは優位な寄与率で効果をもたらしたのである。

2) 亜鉛メッキ面の電着塗膜の耐温水二次密着性低下

輸出向けクルマの車体構成部材には亜鉛系メッキ防錆鋼板が採用されるようになったが、クロムリンスを省略した塗装前処理ではアニオン電着塗膜の温水浸漬(しんせき)二次密着性をいさか低下させる傾向のあることが明確になってきた。

しかし、当面は溶融亜鉛メッキ鋼板を採用して腐食寿命を伸ばすことを優先し、塗膜二次密着性の不足は不問に付していたのであった。

また、当時社会問題となっていた重金属による公害問題への懸念から、クロムリンスの復活はとて日本国内では望める状態ではなかったからかもしれない。

3) デュポン衝撃試験による裏面亀裂発生

a. この試験法は塗装した試験鋼板の上に半球形突起を持った金型工具を置き、上から錘(おもり)を落下させて試験鋼板を凹面に変形させ、塗膜の鋼板への追従性から塗膜の耐衝撃性を計測する方法である。

b. この試験をアニオン電着塗装した試験板に行った際に、その裏面の凸球状に変形した試験板の上の塗膜に放射状の亀裂が生じるという異常な現象がみられた。

c. 一方、マーケットではアニオン電着塗装を下塗りにして、仕上げたクルマが衝突事故を起こした場合に、鋼板が変形して塗膜が短冊状に剝離する現象が顕著になってきた。

これらの二つの現象は、従来の塗装方式のクルマで観察されることはごくまれであったことから、アニオン電着塗膜の持っている弱点ではないかと考えられた。

d. この現象は、アニオン電着塗料を電着現象を伴わずに塗膜として塗装した場合には発現しないことから、電気化学的現象による素地鋼板、前処理皮膜の性状の変化、また素地金属や前処理皮膜からの溶出金属がアニオン電着塗

膜中に含まれることなどが、何らかの作用を与えているものと推定された。

e. この現象は後期のアニオン電着塗料には少なくなったし、次世代のカチオン電着塗装では見られなくなった。

4) ウエット電着塗膜の放置による密着性低下

a. アニオン電着塗装が導入されてから後2年ほど経過したころ、市場で車体の塗装面に貼(は)り付けた梱包用粘着テープによって容易に塗膜全層が剝がれるほどの密着性低下トラブルがごくまれに発生した。

b. そのクルマの生産履歴の追跡から、終末に電着塗膜を加熱硬化をせずに、ウエットのままに放置したクルマに発生する傾向が突きとめられた。剝離した塗膜の裏側には赤い酸化鉄らしき物質の蓄積が見られたことから、電着塗装中に被塗物表面の接近層での酸性雰囲気素地鋼板に何らかの影響を与えているものと推定された。

c. ともかく、ウエット状態でクルマを放置しない条件管理を徹底させることで剝離を解消させた。この現象も前項で論じたクロムリンスの効果が有効であるとの報告が後に提出されている。

6) 日本のアニオン電着塗装の弱点

ここに掲げた塗膜性能上の弱点は、どうも被塗物表面で発現している電気化学的現象と大きな関係があることを示しており、特に樹脂がアニオン性であることと、素地鋼板が陽極であり、被塗物近傍の接近層が酸性を保持していることは明らかであるため、素地鋼板やリン酸亜鉛塩結晶面などの不動態処理を施していると言われるクロムリンス効果が大きいに寄与しているであろうことも、また、浴液中にクロム化合物アニオンイオンを添加することが有効であろうことも、充分納得できる。

この点が日本のアニオン電着塗装にとって、アメリカ・欧州にない弱点となっていたのかもしれない。

7) 電着塗膜の低い耐溶剤性と外観低下

a. 加熱硬化したアニオン電着塗膜の上に有機溶剤型中塗り塗料をスプレー塗装した後、加熱乾燥炉の前半の温度上昇部において、電着塗膜が有機溶剤の侵入を受けて軟化するため、

素地鋼板の表面粗度の影響により、中塗り塗膜の硬化した表面の外観を低下させる現象が発生することが判った。

この外観低下は、電着塗膜面や中塗り塗膜面を平滑に研いで素地調整を済まして、上塗り塗装面の外観を低下させる現象がわずかながら再び発現する。特に中塗り工程を省略している軽自動車、家電業界では外観の低下は見逃せない問題となった。

そこで鋼板メーカーに対し、鋼板表面粗度のバラツキ改善が要求された。

b. そして鋼板・塗料・家電などのメーカーで構成したアニオン電着塗装外観プロジェクトにより、電着塗膜の耐溶剤性の低さが原因と指摘された(ここでは仮に耐溶剤性と言ったが、実は架橋密度レベルの低さとも言えるべきであったろう)。この解決には次世代のアニオン電着塗料であるポリプタジエン変性型塗料の出現を待たねばならなかった。

そこで軽乗用車の例では、この問題の救済方法としてウエットな電着塗膜上の水滴などをエアブローにて除去したうえで、親水性溶剤を配合したエポキシ系のガイドコート塗料をエアレススプレー塗装し、一緒に加熱硬化させる方式を採用して生産を続けていた。

③ 欧州でのアニオン電着塗装法の導入

アメリカのフォード社によるアニオン電着塗装法開発の情報は早くから欧州へ伝わっていたことと、欧州フォードのケルン工場にアニオン電着塗装法が導入されたことから、欧州自動車メーカーの既存ラインへの普及は漸進的に展開したようである。

① 欧州のアニオン電着塗装システム

1) アニオン電着塗料

欧州の塗料メーカーへのアニオン電着塗装法の技術情報は早くから伝わっていたらしく、各社がそれぞれ開発を進めていたようである。

a. イギリスのICI社が開発した隔膜法で浴液管理を行うKOH中和型アニオン電着塗料が実用化された。

b. ドイツのヘキスト社系のハーバーツ社では、フィード法を利用して浴液管理を行うアミン中和型アニオン電着塗料を開発実用化した。この電着用樹脂を供給していたオーストリアのピアノバ社は、その後、ハーバーツ社の傘

下に入ることになる。

c. そのほかにも、フォード社とチームを組んだグリデン社のアニオン電着塗料技術もアメリカから技術導入されていると思われる。

2) アニオン電着塗装システム

a. フォード社からの知見に基づいてアニオン電着塗装システムの構築が進んだ。

b. イギリスローバー社の系列に属するプレストスチール社は独自にアニオン電着塗装技術を開発していた模様である。同社から多数の英国特許の申請が見られ、その一例に、「リバー式アニオン電着法」がある。

この方式は被塗物の外板面を通常のスプレー塗装法によって、溶剤型下塗り塗料や水溶性下塗り塗料で塗装した後、加熱乾燥して塗膜の電気伝導性を失わせてから、被塗物の外板の裏面やボックス部の内面塗装を完全に施す目的でアニオン電着塗装を適用する方式である。

その目的はアニオン電着塗装のより高い付き回り性を発揮させるためとか、または当初のアニオン電着塗膜の塗膜性能レベルを勘案し、被塗物の外板おもて面にアニオン電着塗膜の適用を避けるためであるとも言われている。

c. 特異な技術としては、イギリスのICI社の開発した隔膜法によるアニオン電着塗装法がある。

② 塗膜性能

1) ほぼアメリカのフォード社と同じ程度であったであろう。

しかし、ローバー社などではアニオン電着塗膜を自動車下塗り塗膜として使用することにはささか不満であったらしいことが、先の項で示

したプレストスチール社の“リバーシステム”の特許申請からもうかがえる。この点が欧州でのアニオン電着塗装の普及を遅らせていたのかもしれない。

2) 塗膜性能としての耐チップング性

a. 欧州では、アニオン電着導入当初から、路面に散布した碎石のチップングダメージに対応できるアニオン電着塗膜を求めていたようである。

たとえば、西ドイツのアニオン電着塗料メーカーであるウルフィング社では、三階の屋上から地上まで直線状のガラス管を設け、それを通して鋼鉄製六角ナットを塗装試験板面に衝突させ、チップングダメージを再現させる試験を実施し、アニオン電着塗膜強化の開発を進めていた。しかし、これは遅々として進まなかったのである。

b. そこで当面の対応策として、最悪でもアニオン電着塗膜層が跳ね石のチップング衝撃によって破壊されることを避ける目的で、跳ね石チップングの衝撃エネルギーによって塗膜層が層間剝離するように設計(劈開(へきかい)性顔料の配合)した耐チップングガードコートの中塗り塗膜の前に適用する方法が考案された。

この方式では、実用上は錆は発生しないものの、塗膜面に生じた塗膜剝離痕の外観が悪いため評判が悪く、普及しなかった。

c. そこで次に、チップング衝撃エネルギーを寒冷時でも吸収することが可能な塗膜を工夫(ウレタンゴム系エラストマービーズの配合)したチップングガードプライマーを指向することになる。

電着塗装法誕生から 50 年の 節目を迎えて

田辺 幸男*

3.2 第二段階『1970 年代の穴あき防錆法 “ジクロメタル”』（穴あき腐食対策の強化）

(1) 第 1 ステップ：“ジクロメタル” 導入時の防錆プロセス

第 2 図にこのプロセスの流れを示す。

(2) 第 2 ステップ：“ジクロメタル” の導入

① “ジクロメタル” の登場の背景

アニオン電着塗装法を防錆法の主役にしたフォード社に遅れを取った GM 社では、満を持して“1970 年代の腐食対策”キャンペーンを発表した。その主役は車体の穴あき腐食を撃退し得る“ジクロメタル”の外板裏面への全面的適用であった。

① この防錆鋼板は、化学メーカーであるダイアモンドシャムロック社が開発した製品で、特殊なクロム酸化合物溶液を鋼板に塗布し、熱処理して得られる防錆皮膜の上に、微細な亜鉛粒子を高濃度に配合したエポキシ樹脂を主成分とするジクロメタル塗装膜で構成される重防錆被膜を施した片面防錆鋼板である。

② これは従来の車体組立前の鋼板に直接ジクロメタルプライマー塗布を行うという信頼性の低い塗装法や、車体内部や裏面に処理が充分に行われないスプレー前処理法の弱点を一掃したうえで、強力な防錆力を確保できる信頼性の高いコイルコーティング法によってつくられたの

である。

③ この“ジクロメタル”という防錆鋼板をプレス成型する際に、端面より剝落（はくらく）するジクロメタル塗膜層（くず）や、金型面でしごかれて削り取られるジクロメタル塗膜層などが亜鉛粒状となり、金型面を汚染するため、その清掃頻度が高まることにより生産効率が低下するという問題がある。それにもかかわらず、GM 社では防錆品質の信頼性が高い“ジクロメタル”をクルマの“外板全面に採用する”という英断を下したのであった。

④ “ジクロメタル”はまたたく間にアメリカを席卷し、欧州へ普及していった。

しかし、日本では“ジクロメタル”のプレス加工性の悪さに対する懸念と、鋼材コストの点から、種々の代替案が検討され、実用化されると同時に、日本向けの“新ジクロメタル”も提供されるようになった。

② 日本の“ジクロメタル”代替法の創出

この片面ジクロメタル塗装鋼板である“ジクロメタル”の代替候補となる防錆鋼板は亜鉛メッキ系鋼板にならざるを得ないが、それもプレス加工性を考慮すれば溶融亜鉛メッキ鋼板は無理で、どうしても亜鉛電気メッキ鋼板にならざるを得なかった。

① 片面亜鉛メッキ鋼板の製造法

第 1 の難関はおもて面となる片面を鋼板として残しておき、しかも塗装前処理性が確保されなければならないという条件付きであった。

1) これに対してただちに対応可能だったの

*たなべ ゆきお 元・本田技研工業(株)埼玉製作所

<GM>

“ジंकロメタル”→スプレー法(クロムリンスあり)→ハーフディップ+スプレー法→S・A→IW

<クライスラー>

“ジंकロメタル”→“ハーフディップ/スプレー法(クロムリンスあり)”→“ハーフディップ+スプレー法”→S・A→IW

<フォード>

“ジंकロメタル”→スプレー法(クロムリンスあり)→“AED”→S・A→IW

<欧州>

“ジंकロメタル”→スプレー法(クロムリンスあり)→“AED”→CGP→S・A→IW

塗装前処理にはBMWは縦吊(つり)フルディップ法、ローバー社はハーフディップ/スプレー法を採用している。

<欧州：ボルボ、ベンツ>

“両面溶解亜鉛メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスあり)→“ACD”→S・A→IW

<日本：ホンダ>

“片面亜鉛電気メッキ、または亜鉛-鉄合金電気メッキ面上にジंकリッチ塗装した鋼板” または

“片面亜鉛-ニッケル合金電気メッキ面上にジंकリッチ塗装した鋼板”→

ハーフディップ/スプレー法(クロムリンスなし)→“AED”→S・A→IWAX

<日本：ホンダの主力ライン>

“同上”→スプレー+フラッド法(クロムリンスなし)→“粉体静電スプレー法+AED”→S・A→IW

<日本：ニッサン>

“片面ニッケル-亜鉛合金電気メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスなし)→“AED”→S・A→IW

<日本：トヨタ>

“片面鉄-亜鉛合金電気メッキ鋼板”→“スプレー法(クロムリンスなし)”→“AED”→S・A→IW

<日本：三菱(デボネア)> 図1)

“新ジंकロメタル”→スプレー法(クロムリンスなし)→“AED”→S・A→IW

①欧州では“ジंकロメタル”の普及は漸進的に進んだ。

②日本では“ジंकロメタル”の採用は避けられ代替案を適用した。

③欧州では初めて外板おもて面にチップング・ガード・プライマーの適用が始まった。当初はチップングを強く受ける部位にのみ塗布する方式が試みられたが、その境界面の外観の維持に苦戦していた。後に全面塗布へと移行した。

図1)：“新ジंकロメタル”は日本向けに開発されたプレス加工性を改善したジंकロメタルで日本ダクロ製。

第2図 “ジंकロメタル”導入時の防錆プロセスのフロー

は、川崎製鉄がアメリカから導入していたカーセル電気メッキ法であった。これは巨大なロール陰電極に鋼板を巻き付け、その下部をメッキ槽に浸漬(しんせき)通電して、片面だけをメッキする方法であった。

しかし、生産スピードが通常の水平電極法に比べて格段に遅いことが難点であった。

2) そこで各社は、片面メッキ面を得る方法としてマスキング法、機械研削法、電界剝離(はくり)法、電流シールド法などを考案し、工業化した。

最後まで少なからず課題が残ったのは、おもて面に当たる鋼板面の塗装前処理性をいかにして良好に維持するか工夫であった。

3) 一方、塗装前処理の処理液の活性度を増強する液組成が研究され、日本独自の強力な前処理液の登場が成功したおかげで、この第一の難関は突破した。

② 腐食速度の低減対策

第2の課題は、特殊なクロム酸前処理皮膜と亜鉛粒子含有率の高いジंकリッチ塗料を厚膜に塗布する“ジंकロメタル”に対抗する工夫であった。

1) これに対して、ニッサン-川鉄は亜鉛-ニッケル合金メッキを、トヨタ-新日鐵は鉄-亜鉛合金メッキを利用して腐食速度を抑制する片面防錆鋼板の開発に踏み出したが、いずれも合金化に伴うメッキ層の物理的性質の変化がプレス加工性の足を引っ張らないよう配慮した。特に合金元素としてのニッケルを12%配合するためのコスト負担は、低い腐食速度と、その表面の優れた前処理皮膜形成性によって補っていると聞いている。これらの難関を克服した日本独自の片面防錆鋼板は実用化に成功するのである。

2) ホンダ-新日鐵は亜鉛電気メッキ層の上

に非水溶液クロメート処理を施した後、ジंकリッチ塗装を焼き付け乾燥した片面複合ジंकリッチ塗装鋼板を開発し、続いてホンダ—川鉄は片面亜鉛—ニッケル合金電気メッキ面を同様にクロメート処理してからジंकリッチ塗装した複合ジंकリッチ塗装鋼板を実用化した。

その後亜鉛電気メッキ層に代わって、腐食速度の小さい亜鉛—鉄、合金メッキ層が適用され、一層性能が向上した。

3) その後、ダイヤモンドシャムロック社の日本法人である日本ダクロでは、亜鉛粒子配合率や膜厚などの調整によって、プレス加工性に配慮した日本向けの“新ジंकロメタル”のノウハウや、それに用いるコーティング材料を日本の鋼板メーカーに提供することになり、次第に普及し始めた。

4) 当時の増産に明け暮れる日本の自動車生産においては、プレス加工の生産性維持が最優先であったことが見て取れる。しかし、このような日本独自の対応が許されたのも、日本の自動車メーカーが北米に販売支社を持たず、実際に北米市場で深刻な穴あき腐食の洗礼を受けていなかったことが幸いしたに違いない。

5) ともあれ、トヨタ・ニッサンの片面亜鉛合金電気メッキ鋼板は、その後日本車にのみに発生した「カサプタ腐食」への対応策として、複層メッキ化から両面メッキ鋼板へと進化を辿(たど)ることになる。

一方、それに対して、ホンダが次の時代まで片面複合ジंकリッチ塗装鋼板を使い続けてこられたのは、外板の表面にカチオン電着塗装を適用しないリバース法を採用したことも理由の一つであろう。

3.3 第三段階『1970年代後半からのカチオン電着塗装の時代』(表面錆への関心高まる)

(1) 第1ステップ：“カチオン電着塗装”導入時の防錆プロセス

第3図にこのプロセスの流れを示す。

(2) 第2ステップ：カチオン電着塗装法の導入

① カチオン電着塗料開発

① PPG社のカチオン電着塗料

アニオン電着塗料の塗膜のタフネス向上は容

易に進まなかった。それを解決したのがアメリカの化学メーカーであるPPG社であった。

1) カチオン電着塗料

アミノ基を含有するエポキシ系樹脂を基幹樹脂とし、有機酸で中和して水溶化すると、樹脂が電離してカチオンイオンとなる。硬化剤にはブロック化したジイソシアネートが配合されており、加熱で生じたウレタン結合により、強靱(きょうじん)な硬化塗膜が得られた。

隔膜法による余剰有機酸の除去ができることと、補給塗料は中和度が高いことから、容易に溶液に溶解分散できる特徴がある。

2) カチオン電着塗装システム

極性がカチオン性となったため、通電システムに工夫が必要となり、電圧が多少高めになった。

しかし、通電時間はアニオン電着塗装に合わせて設計されている。

課題は硬化温度が180°C×30分キープであり、車体底部の肉厚部の昇温に苦勞した。併せて乾燥炉中で揮発する硬化剤のブロック化剤(たとえばカプロラクタムなど)の炉体などへの凝縮対策に苦心した。

3) 被塗物の設計適正化も手伝って、補助極の使用は全く影を潜めた。

4) PPG社では、この塗料に付随して、隔膜法による溶液管理法、UF装置を利用して得られる不揮発率の低い透過液を使って多段洗浄するシステムなどの特許技術を一括し、特許実施権として供与した。

5) この塗料製造と塗装システムは全世界にライセンスされて普及した。

② ハーバーツ社のカチオン電着塗料

1) この塗料の基本的構造はPPG社とやや類似しているが、溶液の管理は中和度の低い樹脂で作られた補給用塗料で行うフィード法が利用されるので、設備費の掛かる隔膜が不要である。

2) 注目すべき特徴は、硬化剤であるジイソシアネートの片方の官能基が基幹樹脂とあらかじめ縮合されているから、官能基をブロックしておくためのブロック化材の所要量は半分で済み、焼き付け乾燥炉中で揮発するブロック化剤の量が半減するという利点がある。これは炉体内の汚染レベルが低下するので、循環熱風の部

<GM>

“ジクロメタル”→スプレー法(クロムリンスあり)→“CED(カチオン電着)”→S・A→IW

<クライスラー>

“ジクロメタル”→“ハーフディップ/スプレー法(クロムリンスあり)”→“CED”→S・A→IW

<フォード>

“ジクロメタル”→スプレー法(クロムリンスあり)→“CED”→S・A→IW

<欧州>

“ジクロメタル”→スプレー法(クロムリンスあり)→“CED”→CGP→S・A→IW

<日本：トヨタ>

“片面鉄-亜鉛合金電気メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスなし)→“CED”→S・A→IW

<日本：その後のトヨタ> ディップ法前処理 注1

“片面複層鉄リッチ-亜鉛(上層)・亜鉛リッチ-鉄(下層)合金電気メッキ鋼板”→

ディップ法(クロムリンスなし)→“CED”→CGP→S・A→IW

<日本：ニッサン>

“片面亜鉛-ニッケル合金電機メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスなし)→“CED”→CGP→S・A
→IW

<日本：ホンダ> 注2

“片面亜鉛電気メッキ層上、または亜鉛-ニッケル合金電気メッキ面上にジクロリッチ塗装した鋼板”→

ハーフディップ/スプレー法(クロムリンスなし)→“CED”→CGP→S・A→IW

<日本：ホンダの主力ライン> カチオン電着リバース法 注3

“同上”→“スプレー+フラッド法”(クロムリンスなし)→“粉体静電スプレー法+CED”→CGP→S・A→IW

注1：このディップ式塗装前処理は鉄鋼板面から鉄リッチ・リン酸亜鉛結晶皮膜を得てクロムリンスなしでカチオン電着塗装に適合させる目的でディップ法を採用している。

注2：このハーフディップ+スプレー法前処理の目的は内面、裏側への処理の徹底である。

注3：カチオン電着リバース法

被塗物の外板の表面は通常の塗装法(非電着塗装法)であり、ここでは粉体静電スプレー法で塗装し、加熱乾燥させて電気伝導性を低下させてから、内面・外板の裏面を完全に塗装する目的でカチオン電着塗装法を続けて行う方式である。

第3図 “カチオン電着塗装”の導入時の防錆プロセスのフロー

分廃気量の削減を可能にして省エネに貢献する。

3) この系統の塗料は欧州のヘキスト社系列下で市販され普及しつつある。また、日本にも技術供与されている。

② カチオン電着塗料の塗膜性能

① アニオン電着塗料と比較した一般性能

1) 電着塗料の基幹樹脂がカチオン性であることから、電着塗装中、被塗物面に生じる接近槽はアルカリ性を帯びることになり、素地鋼板の溶解などによる塗膜性能への懸念は払拭(ふっしょく)されたと思われる。

2) カチオン電着樹脂の基幹は、エポキシ樹脂をウレタン結合で硬化させた塗膜であることから、素地への密着性や塗膜の強靱(きょうじん)性には見るべきものがあつた。

3) 外板おもて面に得られる膜厚は15ミクロン程度が標準である。したがって、電着塗膜

面上に付着した異物の除去など、塗膜の研ぎ出しによる素地鋼板の露出(sanding through)は絶対に避けなければならない。

② 塩水噴霧試験による耐食性

あらかじめ傷を付けた後の、1000時間にわたる塩水噴霧試験では、鋼板上の塗装前処理の有無にかかわらず、錆の拡大幅はほとんど見られないほどであった。

しかし、腐食は素地鋼板の垂直方向に拡大しており、塗膜に損傷が生じた時には素地に穴あき腐食が表面から進行することが危惧(きぐ)され、次の開発テーマとなった。これはアニオン電着塗膜では塗膜のクリーブ剥離や錆が界面を横に広がるのと全く異なる傾向であった。

③ アメリカのカチオン電着塗装法の導入

① GM社では、a)フォード社のアニオン電着塗装の特許から完全に外れた第二世代の電着塗装法であること、b)従来のハーフディッ

ブ塗装+外板付着した塗料の洗浄+下塗りスプレー塗装という古典的方法から脱皮し、完全自動化という近代化された塗装法のメリットを享受できること、c)従来からの下塗り塗料よりも優れた塗膜性能が得られて、しかもアニオン電着塗料の性能を越えていること、などの理由で転換に踏み出した。

② クライスラー社はGM社と同じ要件で追従したものと思われる。

また、フォード社もアニオン電着塗装法からカチオン電着塗装法への転換をすんなり行ったように見える。

このように、アメリカでは乗用車の外板の穴あき腐食対策が“ジंकロメタル”（ジंकリッチ塗装鋼板）+カチオン電着塗装法に統一されたことになる。

この傾向は欧州にも徐々に広がり、次いで日本にも到達した。

③ カチオン電着塗装法導入に当たっての塗装前処理法への対応

各社とも従前の方式をそのまま引き続き使用した。

GM：スプレー法（クロムリンスあり）、
クライスラー：ハーフディップ+スプレー法（クロムリンスあり）、

フォード：スプレー法（クロムリンスあり）

④ カチオン電着塗膜へのチップング対策

カチオン電着塗膜の素地密着性は抜群であることから、傷による素地の錆は表面へ広がらずに、垂直方向に拡大する傾向があることがわかってきた。これを放置すると、おもて面からの穴あき腐食に進むことが懸念されたのである。

① CGP（チップング・ガード・プライマー）

欧州や日本では、高速走行時に他車が跳ね飛ばす跳び石の衝撃で塗膜損傷が生じるのを防止するチップング対策がすでに実施され始めていた。

CGPが開発されて、当初は電着塗膜を硬化させたうえで特にチップングを受ける部分を塗装し、さらにウェットオンウェットで中塗りを施した。その後、外観維持と全面保護の観点から、CGPは外板全面に塗装されるようになった。この塗膜は、極寒冷条件下で跳ね石が塗膜に高速の衝撃エネルギーを与える際に、塗膜の

伸びなどの物理的性質が確保できるウレタンゴム・エラストマー・ビーズなどを配合する工夫がされている。

② アメリカのカチオン電着塗膜の保護対策
しかし、ビッグスリーは欧州式のCGPを採用するよりも、次のような方向を目指しているように思われた。

1) カチオン電着塗装の塗膜厚をさらに増大させることで、CGPの機能を発揮させたいと考え、厚膜型カチオン電着塗料の開発を要請していた。実は、それに加えてカチオン電着塗膜の膜厚は15ミクロン程度であったため、塗装面の異物を除く修正作業によって素地金属が露出する危険を伴っていたからである（これを“sanding throughの回避”と言う）。

2) さらに、塗膜が損傷する場合に備えて、鋼板のおもて面に亜鉛系メッキ層を設けて素地の露出や錆の発生を防止する考え方が指向された。

そのためには、亜鉛メッキ層にも極寒冷時における跳ね石の衝撃に耐え得る機械的伸び率や、メッキ目付け量（膜厚）などの確保が求められると同時に、そのメッキ鋼板にはプレス加工性を確保しながら、塗装外観のためのおもて面の平滑性が求められた。

このような多岐にわたる条件を満たす防錆鋼板の開発が要請されることになった。

⑤ 日本のカチオン電着塗装法の導入

① 日本のカチオン電着時代の幕開け

1) アメリカがカチオン時代に入ると、PPG社はすでに日本で特許出願中であったカチオン電着塗装法に関する米国特許を、日本の自動車メーカーに突然警告文として送達した。

その中には各社のアニオン電着塗装ラインにおいて必須（ひつす）となっていたウルトラフィルトレーション(UF)法を利用した多段洗浄式塗料回収システムが含まれていたから、関係者に大きな衝撃を与え、嫌がうえでもカチオン電着塗装が注目されることになった。

2) そしてPPG社とヘキスト社のライセンスを得て製造されたカチオン電着塗料が漸進的に普及していった。

3) 当初、驚いたことに、裸鋼板に直接カチオン電着塗膜を付けた試験板にクロスカット傷を入れて塩水噴霧を1000時間行っても、錆の

拡大は全くなかった。このことからスプレー方式の前処理でも内面は構わないのではないかと考えられたほどであった。

② 第三のカチオン電着法、粉体電着法

1) PPG社のカチオン電着塗料が日本に導入され始めたころ、アニオン電着塗料の主導的役割を果たしていた神東塗料は、カチオンの時代に入ってから、全く新しいアイデアに基づいて4倍もの厚膜の電着塗膜を、1/10の短時間で形成できる厚膜カチオン電着塗料とでも言うべき粉体電着塗料を発明した。

2) ごく微細なエポキシウレタン系粉体塗料粒子とカチオン電着塗料ワニスで組成された電着塗料は隔膜法で管理運営されたが、粉体塗料の補給には種々の工夫が必要であった。

3) そして付き回り性が極めて低いため、塗膜を熱溶融させてから、再び標準のカチオン電着塗装によって内部の塗膜を完成させるリバース法が必須であった。

4) 厚膜による耐チップング性が優れている利点は大きいと評価された。

5) この技術は欧州のヘキスト社系の塗料会社ハーバーツ社がライセンスを得て、さらに開発を進めた。

しかし、この方式はいずれも短期間の試行に留(とど)まった。

6) その弱点は厚膜なるが故にごく稀(まれ)に発生するクレーター対策の難しさ、電着塗装中の通過電流量(短時間だから電流は大きい)によって、被塗物近傍に起こる電気化学的作用の素地や、前処理皮膜に与える影響が予想外に大きかったことであろうと推察される。

⑥ 日本車のカサブタ腐食(スキップ・コロージョン)

① 苦情の発端

アニオン電着塗装の弱点が革命的に進歩したはずのカチオン電着塗装法が日本に導入されてから数年後、おもて面から垂直方向への穴あき腐食に対する危惧とは全く異なった問題が、北欧市場の日本車だけに起こった。

それは冬季気候が低温高湿の特徴を持つ欧州のバルト海沿岸地域のベルギー・オランダ両国において、乗用車の外板塗装面に点々とカサブタ(スキップ)状の特異な腐食現象が発生したことが緊急事態として最初に報じられた。

しかし欧州の遠隔地であったことに加え、すでに耐食性の優れたカチオン電着塗装法に切り替えており、古いアニオン電着塗装仕上げのクルマではないかなどの疑問が輻輳(ふくそう)し、情報のやり取りに時間を空費したのが実状であった。

そのうちに、カサブタ腐食は塗膜に傷が見当たらない場所にも発生しており、従来のプリスターから進展した錆とは一線を画すものであると認識されるようになった。それらを現地の人々はアニオン電着塗装時代のクルマの錆も含めて「ジャパニーズ・ラスト」と総称したほど、欧州車に比べて日本車の防錆レベルは低く評価されていたと言えよう。

② 再現テストの成功

1) やがて、この問題が各メーカーに認識されるようになり、それぞれが前処理技術者をも含めた関連業界と結束して再現テストチームを始動した。

1000枚を軽く越えると言われる各種の車体外板を模した塗装試験板を用い、足かけ2年の実験期間を費やして、スキップ腐食の再現に何とか成功した。その中で、試験前に試験板の塗装面に幅広いレベルの打撃損を与える試験を考案して実施し、一方では、低～高温度、低～高湿度、塩水噴霧、室内などの環境条件のサイクル試験を行った。

2) この腐食が明らかな塗膜下腐食として認識されたのは、塗膜に損傷がなくても発生することがあったからであり、微細な傷がその誘引となることは明らかであった。

また、リン酸鉄系の前処理皮膜に発生する傾向は少ないようであったという。

③ カサブタ腐食の発生メカニズムと対策

1) 再現テストが成功したことから、新しく腐食試験法が確立された。

これを契機として、特に日本車のみには発生する現象であることを大きな手がかりに、できたばかりのサイクル腐食試験法を用いて彼我の比較を行い、その結果を種々の対策として提案していったのである。

いずれにせよ、塗膜下腐食を起こす原因は多岐にわたるようであり、それぞれのラインで最も寄与率の高い対策が採用されると思われるが、外板面に亜鉛系メッキ層が適用されるま

で、日本の自動車ラインはそれぞれの指向で対応を進めた。

2) 対応策のあれこれ

- a) カチオン塗料種(経過ターンオーバー数も関連)。
- b) スプレー/ディップ前処理の不適(ミストによる不良被膜の形成)。
- c) クロムリンスの新説(欧米には標準的に設置されている)。
- d) 素材鋼板のワイピング(表面に残存するカーボンの除去)。
- e) 電着開始時の低電圧印加。
- f) 電着浴液中のアルカリイオン・高分子イオンの蓄積が少ない。
- g) ボイド(結晶の乱れ)のない化成皮膜。
- h) 前処理皮膜の水切り乾燥。
- i) アルカリに溶解しにくいリン酸亜鉛結晶皮膜。
 - ・鉄リッチなリン酸亜鉛系。
 - ・マンガン-ニッケル-亜鉛リン酸塩系。
- j) 鉄鋼板メーカーによる鋼板表面の電解洗浄。
- k) 亜鉛メッキ鋼板の採用(鉄素地をなくす)。
- l) リース電着塗装方式(外面には非電着塗装方式を採用)。

3) カサブタ腐食の対策実例：トヨタ

カチオン電着の通電中に被塗物表面の接近層に生じる、“アルカリ性に溶解しにくいリン酸亜鉛結晶皮膜”を形成するための前処理技術を日本パーカーライジングと共同開発し、“フルディップ式”の前処理法で鉄リッチな亜鉛リン酸結晶被膜を得ることができた。

この場合、素地は必ず鉄鋼板に限られるのが特徴である。したがって、亜鉛メッキ系の防錆鋼板はその表面に鉄リッチの亜鉛-鉄合金メッキ層で被覆して、前処理性を向上させた。

併せて鉄素材鋼板の前処理前の自動洗車ブラシによるワイピング処理も行った。

この対策によれば、クロムリンスの復活は全く不要であり、前処理後の水切り乾燥も不要とのことであった。

この見解に従えば、クロムリンスのもたらす化成被膜への影響を代替していると考えられ、素地金属を不働態化する作用は、ここでは不問にしていると考えてもよいだろう。この考え方は、次の時代に出現する万能素材型マンガン-ニッケル-亜鉛系リン酸塩被膜のケースでも同様であるから、将来、欧米のクロムリンスの存続の価値を再検討する時代がくる場合には、クロムなどの素地への影響が論じられるようになるだろう。

電着塗装法誕生から 50 年の 節目を迎えて

田辺 幸男*

3.4 平滑な合金化溶融亜鉛メッキ鋼板とそれに適したカチオン電着塗料の導入(ジंकロメタルからの脱却)

(1) “ウルトラスムース” 特殊合金化溶融亜鉛メッキ鋼板の登場

世界を席卷(せっけん)した“ジंकロメタル”は、もともとカチオン電着塗装の実現していない時代に創出されたもので、強力な車体外板の裏面からの穴あき腐食対策であった。しかし、そこに費やされる成型加工時のコスト負担は、見過ごすことのできない懸案項目の一つであった。したがって、塗膜性能の優れたカチオン電着が採用されていることに注目し、“ジंकロメタル”に代替できて、経済性が得られる防錆鋼板の開発が指向された。

これに対応する鋼板として、US スチール社が開発した“ウルトラスムース”と呼ばれる特殊な合金化溶融亜鉛メッキ鋼板が出現した。これは、今まで溶融亜鉛メッキの品質を示すものとされていた結晶系の花模様(スパングル)を、全く消し去ってしまうという革新的な技術であった。このメッキ層の構成は、裏面が合金化溶融亜鉛メッキ層で、表面の 1/3 程度が溶融亜鉛メッキ層、その下層は合金化溶融亜鉛メッキである。

しかも、表面の表面性状はすこぶる平滑性に富んだものであって、新開発の溶融メッキ面の

処理、高圧ガスワイピング法などによって、平滑化と目付量の精度向上が実現されていた。これは、カチオン電着塗装を行うことによって、裏面はジंकロメタルに匹敵した防錆性能を保持し、外面はカチオン電着塗膜の弱点である鋼板の垂直方向への腐食進行の懸念を、払拭(ふっしょく)したものである。また、最表面に溶融亜鉛メッキ層を残してプレス加工性の保持と、クレーターの発生防止を実現したのであった。

この鋼板の裏面、表面へのそれぞれの亜鉛メッキ目付量(膜厚)の設定については、裏面は“ジंकロメタル”に対抗できる耐腐食性、表面は寒冷期の跳ね石による塗膜面への衝撃エネルギーに対抗できるように、機械的性質の保持に必要なデフェレンシャル(差厚)メッキが施された。そして、各社のラインでの採用が試みられたようであった。

ただ、この唯一の弱点は、外板の表面の最上層は腐食速度が小さいとはいえ純亜鉛メッキ層であるから、塗膜が損傷した時に白錆が生成し、塗装外観を著しく汚染したのである。

その弱点をなくすには、外面をすべて合金化溶融亜鉛メッキ層にすればよいはずであり、GM 社では、前から要請していたカチオン電着塗料の厚膜化に加えて、合金化溶融亜鉛メッキ面へ適合した新カチオン電着塗料の開発を、PPG 社に申し入れたという。

第 4 図に、合金化溶融亜鉛メッキ鋼板とそれに適合したカチオン電着塗料の導入時の防錆プ

*たなべ ゆきお 元・本田技研工業(株)埼玉製作所

<GM>

“合金化溶融亜鉛メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスあり)→“ハイビルド CED”→S・A→IW

<クライスラー>

“合金化溶融亜鉛メッキ鋼板”→“ハーフディップ/スプレー法(クロムリンスあり)”→“ハイビルド CED”→S・A→IW

<フォード>

“合金化溶融亜鉛メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスあり)→“ハイビルド CED”→S・A→IW

<欧州>

“合金化溶融亜鉛メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスあり)→“ハイビルド CED”→CGP→S・A→IW

<欧州：アウディ(86モデル)>

“両面溶融亜鉛メッキ鋼板”→スプレー法(クロムリンスあり)→CED→CGP→S・A→IW

<欧州：BMW(86モデル)>

“両面亜鉛-ニッケル合金電気メッキ鋼板”→縦吊りディップ法(クロムリンスあり)→CED→CGP→S・A→IW

<欧州：ピニンファリーナ, ランドローバー>

防錆鋼板/“耐食アルミニウム合金板”→ディップ法(クロムリンスあり)→CED→CGP→S・A→IW

第4図 合金化溶融亜鉛メッキ鋼板とそれに適合したカチオン電着塗料の導入時の防錆プロセス

プロセスを示す。

(2) PPG 社の厚膜カチオン電着塗料開発の経過

それは、厚膜が得られることと、クレーターを生じさせないことであった。そのカチオン電着塗料の開発を求められていた PPG 社の塗料研究所(ピッツバーグ市郊外)では、そのクレーターの発生メカニズムを探求していた。そこでは暗室の中で、顔料を配合していない透明なカチオン電着塗料を使って、クレーターの発生実験を繰り返していたのだった。

そして析出した電着塗膜の中に、放電火花による高熱で形成された高分子物質が、塗膜の焼き付け乾燥の際に、界面張力の異常を来しクレーターを生じさせることが突き止められた。

しかも、放電現象が発生する箇所の分布の状況分析から、メッキ面の金相学的性状や前処理被膜の性質など、これらの複雑な関係が予測されていたようであった。いずれにせよ、この絶縁破壊的な現象は、避けなければならないことであった。

ところで話は一転するが、1974年ころの日本で、PPG 社系のカチオン電着塗料が普及し始まっていた。その時、アニオン電着塗料の覇者であった神東塗料は、全く新しいアイデアに基づいて、4倍の厚膜の電着塗膜を1/10の短時間で形成する厚膜カチオン電着塗料ともいべき粉体電着塗料を發明した。

この技術は、直ちに技術提携先であった欧州ハーバーツ社にも逆に提供されて、自動車業界

に旋風を巻き起こした。このエポキシ・ウレタン系粉体塗料の微細粒子と、カチオン電着塗料ワニスで組成されたカチオン電着塗料は、隔膜法で管理操業されるものであった。この粉体電着塗装では、不思議にも合金化溶融亜鉛メッキ鋼板面の上であっても、クレーターの発生は全く見られなかった。

その理由としては、電着塗装の最終に近い工程においても、被塗物面に析出した厚膜の粉体粒子層には、かなりの見掛けの体積的隙間(すきま)が残らざるを得ないので、そこには電解液が充満して、ガスの排出通路を電着塗装面に均一に形成しつつ、極小陽イオン類による通電を可能にしていたのである。これによって、絶縁破壊的なスパーク現象によるクレーターの発生は、起こらなかったのである。

さて話を PPG 社に戻すと、欧州で喧伝(けんでん)されていたハーバーツ社の厚膜カチオン電着塗装法は、なかなかの人気でその情報はすぐにアメリカに伝わっていたようだった。その厚膜カチオン電着塗料の性状を検討して、その極小直径の粉体粒子に相当するカチオン性のエマルジョン粒子を發明し、これを標準カチオン電着浴液に添加して、少しの直流電圧の上昇で、車体外板には3倍程度の厚膜が得られたのであった。

これは、車体内部の構造部には標準カチオン電着と変わらぬ塗膜が、従来とほぼ同じ通電時間で得られるハイビルドカチオン電着塗料が開発されたというのが、私の聞いた内輪話であ

る。

このように、従来からのカチオン電着塗装システムの変更を、ほとんど必要としないハイビルド電着塗装法の実用試験は、GM社の実ラインで実施され大成功を納めたのである。

(3) GM社の1980年代の防錆戦略

GM社では、ハイビルドカチオン電着の発明を得て、外面の表面性状の平滑性を保持し、表/裏面のメッキ目付量を適宜に設定したデフェレンシャルメッキ(差厚メッキ)によって、合金化溶融亜鉛メッキ鋼板を適用することになった。表面は厚膜のカチオン電着塗膜層による十分な厚みと、機械的性質を保持した合金化溶融亜鉛メッキ層によって、跳ね石によるチッピング損傷に対抗したのであった。しかし、欧州や日本のチッピング・ガード・プライマーの適用には進まなかった。

一方、裏面については車体内面側に適用していた“ジंकロメタル”+標準カチオン電着塗膜に代わって、必要なメッキ目付量(膜厚)を持った合金化溶融亜鉛メッキ層+標準カチオン電着塗膜として、内側からの穴あき腐食に対抗することになった。

これによって、経済性の確保が達成され、この手法は世界へ広がっていった。

4. 日本の特殊事情

日本の業界も、輸出車に対してアメリカ市場で始まった「機能錆10年・穴あき錆5年・表面錆2年保証」というGM社の販売戦略に対する防錆対策に取りかかっていた。

(1) 両面鉄/亜鉛、またはニッケル/亜鉛合金電気メッキ鋼板の登場

① 日本のビッグツーでは、外板の裏面には片面複層鉄-亜鉛合金電気メッキ鋼板や、片面ニッケル-亜鉛合金電気メッキ鋼板が成功裏に使われていたから、それをそのまま両面に施して対応する案が採用された。

② このころすでに、外板表面にはチッピング・ガード・プライマー(CGP)が適用されていることもあって、厚膜が得られるハイビルドカチオン電着塗料を採用せずに、従来からのカチオン電着塗装の適用を続けることが可能だったのである。

③ ここで、アメリカ車との差について危惧

(きぐ)されたのは、外板面に施された鉄/ニッケル-亜鉛合金系電気メッキ層が、極低温時に高速走行するクルマからの跳ね石の持つ高い衝撃エネルギーに、どのくらい対抗できるかどうかの懸念であったが、これも克服して採用へと進んだ。

(2) 合金化溶融亜鉛メッキ鋼板の国産化

① 当時、日本の合金化溶融亜鉛メッキ鋼板は、ほとんどが内面や床面、ボックス構造材に使用されていたから、外観面の平滑性やメッキ目付量の均一性、プレス加工性などの点からみると、そのままでは外板への利用は不可能な状態であった。

特に、プレス成型技術関係者からの否定の声は大きかった。そしてメッキ面の平滑性、パウダリング性(プレス時における亜鉛メッキ層のしごき力による削り取られ)などの改善は、既設の設備では容易に成功しなかった。

それに加えてビッグツーが、溶融亜鉛メッキ系鋼板の外板への適用には否定的であった。そのこともあって、少数派のアメリカ方式の合金化溶融亜鉛メッキ鋼板を求める声では、鉄鋼メーカー経営陣を、新合金化溶融亜鉛メッキ技術の導入および、新鋭メッキラインの建設へと進めることは、容易ではなく計画は遅れていた。

② それでも、ホンダをはじめとする自動車メーカーや、鉄鋼メーカーの研究や応用技術者の努力が実って、遅ればせながら新鋭ラインの建設が始まったのは、新日鐵の君津が最初であった。

③ 先行する日本のビッグツーの対応策などの情報に接して、ホンダの関係者は技術的な遅れを痛感しながら、待ち続けていた。その間に、ホンダのプレス工場では、表面に亜鉛メッキ層を施した鋼板の取り扱いについて、品質上の懸念が浮上した。

それは、プレス加工後に素材や金型に付着していた鉄粉や異物によってできる凹み、金型によるしごき傷など、メッキ面の外観異常があった際には、回転サンダーによって表面を研磨して整え修正していた。しかし、その研磨されて素地鋼板が露出した箇所では、サンダー目の中に亜鉛屑(くず)が象眼(ぞうがん)されて、鋼板面よりも著しく耐食性の劣化することが、沖縄海浜暴露試験で証明されてしまったのである。

したがって、外観異常を起こした成型品は廃却となった。そこで外観不良の絶無作戦は、まず、プレスラインに携わる人々の意識改革から始まった。そのため、3年余りの準備期間と多大な設備投資を費やしての防錆対策となった。

一方、その間の塗装では幸運にも、新企画の高級モデル生産用の新しい塗装ライン構築の機運に恵まれた。そして、塗装前処理は鉄鋼板にも優れた適性を発揮するもので、トヨタ方式の鉄リッチなリン酸亜鉛被膜の得られるディップ式前処理を採用し、加えてボックス構造部材の溶融亜鉛系メッキ鋼板のために、クロード化したクロムリンスを付属させた。

そして、カチオン電着塗装には、素地研ぎ出しリスクを回避できる厚膜型のハイビルドカチオン電着塗料を国産化した。それを導入した新ラインを一足先に稼働させて、国産の平滑な合金化溶融亜鉛メッキ鋼板の出現を待つことになった。実は、ハイビルドカチオン電着塗料の国産化にも多くの難関があったのである。たとえば、ホンダ伝統の耐沸騰水試験に合格させること、有機溶剤の置換を行う設備の新設などを乗り越えての結果であった。

④ 最新鋭技術を取り入れた一連の溶融亜鉛メッキラインの熟成は遅れに遅れていた。最大の品質上の問題は、薄目付量の溶融亜鉛メッキ技術の収斂(しゅうれん)に加えて、パウダリング性の一層の向上であった。この解決には、鉄分濃度の制御のための熱処理条件管理の可能な設備や、メッキ層に含まれるアルミニウム添加量の制御などが必要であり、その開発技術を督促したのであった。

やがて、収斂した新鋭設備からの合金化溶融亜鉛メッキ鋼板の品質は、表面外観の平滑さ、プレス成形性の安定、目付量(メッキ厚さ)の薄膜化などの点で素晴らしく進歩した。また、プレス生産性はそれほど低下することもなく、アメリカに比べて亜鉛目付量の低い45/45合金化溶融亜鉛メッキ鋼板が提供され、89年モデルから適用が始まった。

⑥ 国産化された新合金化溶融亜鉛メッキ鋼板が市販に供されると、通常のカチオン電着塗装でも、クレーターを発生させない手段として、合金化溶融亜鉛メッキ層の上に、薄膜の亜鉛またはリン-鉄リッチ合金電気メッキを施す

方法が、採用されて普及するようになった(第5図参照)。

5. 防錆対策の集大成と再検証の時代

(1) 防錆対策の集大成

① 防錆対策が始まって40年が経過した。今まで対策してきた成果は、市場で十分に検証できる時代に入った。促進試験法も、その再現性の信頼度を向上させ、各種各様ある防錆対策の集大成が行われる時代になったと思われる。

時代の要請から車体の軽量化が指向されて、アルミニウム合金材の採用機運が高まってきている。それに対応して、素材万能型の塗装前処理法、およびカチオン電着塗料が求められてきたが、そのいずれもが実現してきている。しかし、その両者共に人の健康に有害物質として挙げられている鉛、ニッケル、フッ素などから、フリーとなることも将来の重要な課題であろう。

② 今までの防錆対策の設計寿命に対して、過剰な仕様も極めて重要なテーマとなっている。

③ 一方、クルマにおける寿命保証の延長のニーズから、車体内側面に電着した薄膜(10ミクロン)の防錆力に対する強化も重要な課題となり、解決しつつある。

6. 「スリコート・ワンベーク」用電着塗装法の課題

ここでは、近未来の問題として実現化が急がれている「スリコート・ワンベーク自動車塗装システム」(暫定的には「スリーコート・ツーベーク」となることもあろう)に供される電着塗装法の開発について、「電着塗装法50年」の観点を踏まえて考察を試みた。

ここで、お断りしておかなければならない点がある。

それは、従来からの「スリーコート・スリーベーク」塗装システムは大別して、防錆のための「電着下塗り工程」、防水・防音処理を施す「シーリング・アンダーコート工程」、チッピング・ガード・プライマーと上塗り後の外観および耐久性を補うための中塗りを連続塗装する「中塗り工程」、着色のためのベースコートと耐久性付与のためのクリヤーコートを連続塗装す

〈日本：ホンダ〉 (図1)

“片面亜鉛-鉄合金電気メッキ面上, または亜鉛-ニッケル合金電気メッキ面上にジंकリッチ塗装した鋼板”
→ “ディップ法(クロムリンスなし)” → “CED” → CGP → S・A → IW

〈日本：ホンダの主力ライン〉 (図1)

“片面亜鉛-鉄合金電気メッキ面上, または亜鉛-ニッケル合金電気メッキ面上にジंकリッチ塗装した鋼板”
→ “ディップ法(クロムリンスあり)” → “ハイビルドカチオン電着” → CGP → S・A → IW

〈日本：ホンダの主力ラインのその後〉 (図1, 2)

“合金化溶融亜鉛メッキ鋼板” → “ディップ法(クロムリンスあり)” → “ハイビルド CED” → CGP → S・A → IW

〈日本：トヨタ〉 (図1)

“両面複層鉄リッチ-亜鉛(上層)/鉄-亜鉛リッチ(下層)合金電気メッキ鋼板” → ディップ法(クロムリンスなし)
→ CED → CGP → S・A → IW

〈日本：ニッサン〉

“両面亜鉛-ニッケル合金電気メッキ鋼板” → スプレー法(クロムリンスなし) → CED → CGP → S・A → IW

〈日本：三菱〉 デボネア(昭61モデル)

“合金化溶融亜鉛メッキ面上に鉄リッチ亜鉛合金電気メッキした鋼板” → ディップ法(クロムリンスなし) → CED
→ CGP → S・A → IW

〈日本：ホンダ〉 ホンダスポーツ NSX

“耐食アルミニウム合金板” → ディップ法クロメート処理 → CED → CGP → S・A → IW

- ① 各社共に車体のボックス状構造部材内面には溶融亜鉛メッキ鋼板, または合金化溶融亜鉛メッキ鋼板を適用していた。
- ② (図1) このディップ式前処理は日本パーカラライジングトヨタ共同開発の方式で, 鉄鋼素地面から鉄リッチなりん酸亜鉛結晶皮膜を得ることによってクロムリンスなしで, カチオン電着塗装に適合する前処理皮膜が得られる方式である。
- ③ (図2) ボックス構造部材に使われる溶融亜鉛メッキ系鋼板では, 電着塗膜の十分な温水二次密着性を確保するために, クロムリンスが必須であるとの見解である。

第5図 日本車の防錆対策についてのフロー

る「上塗り工程」の4工程からなり, それぞれ各工程の後には, 塗料を硬化させる焼き付け乾燥炉が付随している。

そこで, “mコートnベーク”という呼称が意味する内容が, 時と場合によって異なることがあるので注意を要するということである。

本稿での“mコート”というのは, 電着塗装下塗り・中塗り塗装・上塗り塗装のことであり, 従来から上塗りの塗装工程内で, ウエット・オン・ウエットで連続塗装しているベースコートとクリアーコートは, 併せて一つの上塗り工程としている。

これに対して別の場合には, ベースコートとクリアーコートをそれぞれ取り上げて数える場合がある。たとえば, 小笠原 敏文氏(マツダ(株)の「3ウエットオン塗装システムの導入メリット」(『塗装技術』, 45 [580], p.104 (2006))の記事にあるように中塗り, ベースコート, クリアーコートを対象にして, 3ウエットオンと呼んでいる「スリーコート・ワンベーク」システムがそれに当たる。

さて, ここで提案している自動車塗装法というのは, 従来からの「スリーコート・スリーベーク法」に比べて, 焼き付け乾燥炉の3箇所(暫定的には2箇所)が省略されたもので, 省エネルギーと工程短縮を狙(ねら)った新しい塗装システムのことである。これを実現するにはウエットな電着塗膜の上に直接, それ以降の塗膜を重ねて塗装して, 同時に焼き付け硬化させることにならざるを得ないであろう。

このようなウエットな電着塗膜の上に, 直接別の塗装を重ねる方法は, 当初から行われてきていたのである。

まず, 古くはアニオン電着塗装法を開発したフォード社では, 当初から半田仕上げをしていたクォーターパネルの部分に, アニオン電着塗装後の洗浄が終了したところで, エアブローによって付着水分を吹き飛ばし, 親水性溶剤を配合したガイドコート塗料をスプレー塗装して, アニオン電着塗膜を補強していた。その後, ホンダの軽自動車塗装では, ウエットなアニオン電着塗膜の上に, フォード社に類似した方法で

車体外板全面にエアレススプレー塗装で、ガイドコート塗料を塗布して、中塗りの役割を経済的に果たしていたのである。

また、クライスラー社ではウェットなカチオン電着塗膜の上に、耐チッピング特性を持たせた粉体塗料を、サイドシル部分に静電スプレーで塗装したこともよく知られている。

これらに見られるように、ウェットな電着塗膜の上に直接塗装を施すことは、それなりの対応策を講ずれば十分に可能であることは自明と思われる。

したがって、現在の自動車車体における外板面の塗膜全体について、すなわち防錆鋼板のメッキ金属膜を含めた塗装全体の皮膜が持つべき機能を、いかに再配分して材料の使用効率を高め低VOC排出とするか、また省エネルギー対策、完全自動化など信頼性に優れた電着塗装法のシステム化を進めるか等々を前提に、開発を進めたいものである。

今まで、幾多の歴史を経て完成した電着塗装法は、最初にフォード社が設定した条件が既存条件枠となって、他社もそれに当てはまるように物事が調整されながら、この50年間続けられてきた気配が見受けられる。たとえば、電着時間の3分以内が守られ、連続入槽通電方法も然(しか)り塗装前処理の継続使用も然りであろう。また、電着塗装の完了を決めるのは、ウェットな電着塗膜の機械的強度が最大となるようにすべきであろうとか。

そこで、この際、このような前提枠を取り外し、新しい目的に照らした電着塗装の再検討が望まれるところであると考え、注目すべき数項目のテーマを掲げ参考に供しておこう。

(1) 塗膜機能の再配分

このシステムでは電着塗膜には、おそらくCGPの全部と、中塗り塗膜の半分くらいの機能負担が求められるであろう。

それに対応するためには、マイクロカプセル技術を駆使した樹脂骨格、CGP機能を発揮させるハイブリッドな組成を工夫した多機能性、それを持った厚膜型の電着塗料系を創造する必要に迫られるであろう。

それは、ハイビルドカチオン電着塗料と、粉体カチオン電着塗料との融合とでもいえるべきかも知れない。

(2) 熱硬化スケジュールの改革

(1)の条件と並行して、中塗り・上塗り塗膜よりも速く乾燥炉内雰囲気増粘の可能な硬化システムの開発が必要となろう。そのアイデアの一つに電解重合メカニズム、低温度硬化システム、ウレタンエラストマービーズや熱可塑性樹脂、超微粒子塗料などの配合などの工夫があるのかも知れない。

この難関をブレイクスルーするためには、期間が必要なら、従来の中塗り工程の職能を二分したところで、中間に電着塗装用乾燥炉を残す暫定策が妥当なところであろう。この際、後半の塗装工程については、すでに実用化されていることが先に引用した「3ウェットオン塗装システムの導入」で明らかである。

(3) 紫外線耐久品質

すでに、カチオン電着塗装を下塗りに使用して「ツーコート・ツーベーク塗装システム」を実施したが、紫外線の電着塗膜面への到達が密着性の劣化を起こした実例報告が知られている。

ここでは、中塗り塗膜に持たせる紫外線遮断職能を、どのように対応させるかである。水性ベースコート塗膜との攪乱(かくらん)防止策と同様に、薄膜で達成する工夫は重要であろう。また、電着塗料側での紫外線耐久性の改善は、前述の(1)、(2)項と連動せざるを得ず、これに余り期待をしないほうが得策と思われる。

(4) 黄変等のトラブル対策

加熱過程で析出した電着塗膜成分の一部が、上層の塗膜にブリードして黄変などのトラブルを起こした例が、変性用のキシレン樹脂や硬化剤のTDIなどで知られている。逆に、中塗り塗膜中の硬化成分が電着塗膜へブリードしたためであろうか、電着塗膜面上に付着した中塗り塗料ダスト粒子が、硬化せずに粘着性のままであった例もある。

このように硬化した塗膜との関係でも、以上のような事象が存在することから、ウェット塗膜同士の間物質移動現象を、硬化速度制御に利用することも可能かも知れない。

(5) ウェット電着塗膜の性状強化

前述の項目条件と並行して中塗り塗装前のウェット電着塗膜を、より安定させることは重要である。このウェット膜の物理的/化学的性状

に対する電着塗装条件、中塗り塗装までの雰囲気などの因果関係を、明らかにしておく必要がある。

- ① 電着条件(通電時間、通電方法、電圧印加スケジュールなど)。
- ② 膜の性状(残存する水分・溶剤・低分子物質の量と質、水抜け後の空隙率、揮発するブロック化剤の質と量と大きさ)。
- ③ 中塗りまでの雰囲気(温湿度、風速、何らかのガスによる硬化促進、残存成分の除去、X成分の塗布など)。

(6) 電着塗膜の素地密着性レベルアップ

3層の塗膜を同時に硬化させることによって、硬化歪(ひず)みが生じた場合の対応策。

それには、素地と電着塗膜との界面に存在する結合力の保持に関(か)か(か)わる変化要因を、明確にすることが求められる。

特に、電気化学現象によって生ずる界面の性状変化が、密着性に及ぼす影響について、電着浴液のターンオーバーとの関係において追究しておきたい。

- ① 素地金属の種類。
- ② 塗装前処理被膜の性状。
- ③ クロムリンスの不動態化効果。
- ④ 前処理被膜の水切り乾燥効果。
- ⑤ 電着初期の条件。
- ⑥ 浴液組成(反応の大きなイオン種の影響)。
- ⑦ 通電条件。

(7) ウエット電着塗装膜の放置

塗装ライン全体がウエット電着塗膜の条件下で流動することから、車体の置かれた雰囲気条件と、暴露時間による耐久性能への寄与関係の追究を、信頼度を持って把握することが必須(ひつ)である。

- ① 放置時間の最大は連休。
- ② 雰囲気条件は凍結から酷暑まで。

この結果によっては、最悪は3直週間連続運

転方式の採用となるだろう。このほかに、エウエット面の外観保持の点からも、放置には限界があるだろう。

次善としては夜間、休日はウエット放置の禁止の程度となるだろう。

(8) 無欠点なウエット電着塗膜の実現

現状、焼き付け硬化後の電着塗装膜の表面には、多種多様な異物や表面欠点が存在している。これらのほとんどは、中塗り前に研ぎ作業によって、平滑に調整されているのが現状である。もしも、そのまま中塗り、上塗りへ移行するとすれば、いたずらに不良率を高めることになるであろう。

そこで、無欠陥の電着塗装を実現するための徹底した施策を図りたい。

① 塗装ライン投入前の徹底清掃

- a) 車体外板面の付着物の清掃除去。
- b) 車体内部の真空掃除機によって、鉄粉を除去。
- c) 鉄板端面のバリ・鋭角の削整(これは「スリーコート・スリーベーク方式」では2回の研ぎ作業が中塗り、上塗り前に入っていることから、除去されてしまうことが多いからである)。

② 車体の異物洗浄除去の効率アップ

予備脱脂、脱脂工程では縦吊(つ)り方式、横向け回転方式による揺動を活用する。

③ 電着塗装浴液の徹底した清浄化

夜間の浴液入れ替えろ過による異物の完全除去。

④ 泡・沈殿物などの付着しない浴液環境と浴液の流動

⑤ 搬送システムからの異物落下防止

搬送システムの工程単独化と、吊り下げハンガーの清掃工程を併設する。

⑥ 被塗物通過経路の徹底清浄化

プラス圧の温度湿度空調と無塵化雰囲気を保つ。

電着塗装法誕生から 50 年の 節目を迎えて

田辺 幸男*

6. 「スリーコート・ワンベーク」用 電着塗装の課題

(9) 塗装ラインの緊急停止に対する品質リスク回避の方策実施

① 全ラインがウエット状態で流動していることから、緊急停止をする場合には最も近い箇所のみが停止して、そのほかは仕掛かり被塗物がリスク回避ができるように、搬送システムを構築すること。

たとえば、前処理—電着工程は他の工程のストップでは影響を受けないで、仕掛かりがリスクのない状態で回避してから、ストップすることが可能なシステムとする。

② 生産管理上、設備故障に際しての最適な対応について検討する。

a) 搬送システム

この観点から、いかなる事態が起こった時であっても、仕掛かり車体の品質リスクへの対応と、生産再開への対応の迅速性を確保する基本計画が求められる。

今までの生産効率一辺倒の連続方式は、回避方法には極めて対応が難しいのは、ご承知の通りである。先の種々の条件から、単独浸漬(しんせき)槽方式(タクト運転)が推奨されるのは、この理由による。

b) 緊急事態の救済方法は、従来の塗装方式への回避(わずかな生産能力だが設備を

持っておく)、または上塗り修正ラインの活用を前提とした対応などが考えられる。

c) ウエット塗膜の放置となる夜間の仕掛かり在庫が認められない場合の生産効率低下を防ぐ手段として、前記の緊急手段の回避ラインや修正ラインなどの設備を活用して、スリーコート・ツーベーク、またはスリーコート・スリーベークの車体が、ある比率で生産されるのを許容する方針を立てること。

(10) シーリング・アンダーコート・インナーワックス

これらの工程配置は、「スリーコート・ワンベーク」を実現するための大きな要素である。一部は構造用接着剤やマスタック接着剤と同様に、鋼板ボディに施すことで対応しているが、一部の外観を重視する箇所へは、機械的強度が高くなったウエット電着塗膜の上に適用が可能な材料を開発できないだろうか。

また、その一部は中塗り工程と併設で適用できないかを検討したり、残りは以後に続く付帯工程(たとえばツートーン塗装、ブラック塗装、補修上塗り塗装など)の一部に組み入れて行うなど、これらを材質開発と連動して実現したいところである。

7. 腐食・錆への耐久寿命とその検証

(1) 腐食・錆に対する寿命設計

① カナダ錆コード

穴あき腐食・機能錆の対象部位およびその部

*たなべ ゆきお 元・本田技研工業(株)埼玉製作所

品については、そのクルマの期待される車両寿命とされている。もちろん、部品交換によって寿命を保証する場合は、この限りではないとされている。

表面錆に対する寿命は2、3年程度とされ、これは品質保証書に記載されている年限に近いものと思われる。

② クルマに腐食・錆などで苦情が発生した場合

顧客が行政当局に告発したような場合に、中立の裁定者が寿命を判定する際には、その製造当事のその業界の“state of art”（技術の状態）が議論の末に決められて、裁定の基準になるとされている。

③ クルマの実用上の寿命の推定法

自動車用補修部品を提供する部品工業会などが公表している「販売された新車が市場から50%が廃却される年限」を参考にして、それぞれが、そのモデルの寿命を決定する方法がある。

④ 1980年代の中ごろに出されたGM社の品質保証制度

この品質保証制度では“10-5-2”（機能錆10年、穴あき錆5年、表面錆2年）が公表されて、一応の業界の目安とはなった。

⑤ 1990年代の機能錆

1990年代の中ごろの小型乗用車では、機能錆の目標寿命は10~12年とされていたようだ。

表面錆は、品質保証体制の中で定められて、3年・3万キロメートルまでといわれた例もある。穴あき錆は、5年から10年の間であろうといわれている。

(2) 腐食寿命のマーケティング調査

① 腐食・錆などのダメージの評価法

① 塗装面のチッピングによる損傷評価法：外観レーチング、ナンバー標準板比較判定（塗膜破壊の大きさと数、その素地貫通率）。

グラベロメーター法(SAE)に所載。

② 塗膜下腐食などの侵食深さ測定法。

③ 車体構造部材の減肉限界判定法：頭の尖（とが）ったハンマーを使って構造部材面を打撃し、ハンマーの侵入した深さによって残存強度を判定する方法で、欧州の保険会社が制定していた。

④ 孔食深さ分布測定、肉厚分布測定などによる統計的腐食寿命推定法。

⑤ 部材破壊試験による強度測定。

⑥ 防錆皮膜が破壊し残存している構造材の肉厚から寿命を推定する方法：将来の減肉量を公表されている鉄鋼材腐食速度の算出式（その土地の気象・大気汚染などの条件、海浜からの距離などのデータを代入して得られる）を用いて推定する。

② 市場モニタリング試験とブルーピンググランド(実証試験場)促進腐食試験による寿命検証

① 最塩害地域の特定(例)

北米地区：カナダ国(ノバスコシア州)。

欧州：ベネルックス3国。

② 市場モニタリング地域

カナダ国：トロント市周辺。

③ ブルーピンググランド促進腐食試験地
アリゾナ PG, 栃木 PG。

④ 腐食・錆試験の主な業務形態

① 市場での試験走行と定点観測

a) 促進試験法と市場との整合性の確保の検証作業。

b) 市販車の実績把握。

c) 特異クレームとの現物照合および検証作業。

② ブルーピンググランドの促進試験

a) 日常定例業務：モデルイヤー車の事前検証。工場抜き取りの品質検査業務。

b) 防錆法のR&D検証。

c) 市場クレームの再現実験解析。

③ 各種促進腐食試験法の開発と維持

① 最塩害地における表面錆検定用として。

② 2、3年のモニター車の腐食を再現し得るブルーピンググランドにおける促進腐食試験モードの開発とその維持改訂。例：フォードアリゾナ法、ホンダ法。

③ 機能錆検定用試験モード開発。

④ 初期錆検定用。間欠式温塩水浸漬法。例：GM社(1977年ころ)。

⑤ 試験前チッピング損傷キズ付与法としては、次の方法が挙げられる。

① 走行法：小砂利・碎石を散布した道路を追従走行、または並行走行法。

② 部品をあらかじめ試験してから組み付け

る方法：a) 改良グラベロメーター法(ホンダ)。SAEのグラベロメーター法をチップングダメージ用に改変した方法で、JIS7号碎石を使用し、零下20°C環境で試験する。このほかにも

b) ダイヤモンドショット法(ニッサン)、
c) 矢じり法(トヨタ)、d) クロウ法(ドイツ)、e) ナット類の落下法

などがあるが、後年になって試験環境を寒冷地条件とすることになった。

また、アンダーコートのチップング試験法としてグラベロメーター(SAE)がある。

④ 各種腐食試験法

- ① 亜硫酸ガス注入塩水噴霧試験法(ドイツ)。
- ② 冷熱乾湿サイクル塩水噴霧試験法：主にスチャブコロージョン(かさぶた腐食の再現に有効)。
- ③ 塩温水完結浸漬試験法(ホンダ簡便法)。
- ④ コロドコード法：腐食泥塗布と加湿試験の組み合わせ。

8. 錆の原因をつくる R&D・加工・顧客

(1) R&D での防錆対策

自動車設計の研究開発の段階において、腐食・錆に対する留意点を羅列した。

① 車体構造設計による配慮

- ① ボックス状構造部の電着塗装における付き回り性確保のために、電力線侵入口の適切な設定計算モデルの開発(ホンダ、富士)。
- ② 継ぎ目長さの減少化。部品の大型化などが有効。
- ③ 隙間(すきま)の重点と拡大。
- ④ 水抜き方法の適正化：a) 浸漬処理の際の水抜き、b) クルマとしての水抜き経路設計)。
- ⑤ 浸漬処理のためのエア抜き確保。
- ⑥ 塩泥詰まり箇所除去。
- ⑦ 部金取り付け方法の改良：a) キズ防止スパーサー、b) 絶縁処理。
- ⑧ 床下面の鋼板重ね合わせ(継ぎ目)の方向を後ろ向きにする。
- ⑨ 鋼板コーナー部の曲げ率確保。

② 跳ね石による損傷防止策

- ① サイドシルアウター部のプラスチック製ストーンガード部品の装着。
 - ② プラスチック製インナーフェンダー装着。
 - ③ 特大マッドガード装着。
 - ④ プラスチックフィルム貼(は)り付け。
- #### ③ 塗装および機装(ぎそう)工程
- 車体の積載、吊(つ)り下げ、位置決めなどに使用する箇所の設定と、その箇所の事後の防錆処置の指定。

④ 防錆プロセスと防錆材料の使用の選定

- ① 防錆鋼板：異電位差の大きい異なった防錆鋼板同士の接触は、腐食が発生する危険があるので事前検証を要する。
- ② 塗装前処理法。
- ③ 下塗り塗料/CGP。
- ④ アンダーコート、シーラー。
- ⑤ インナーワックス。
- ⑥ 金属接着剤、マスタックシーラー、充てん材などの不適正な材料例。
 - a) 熱膨張性材料。
 - b) ウエット電着塗膜との親和性の悪い材料。
 - c) 非電気伝導性の材料。
- ⑦ 鉄鋼材からの脱却。
 - a) ステンレス化(例：モール・タッピングスクリュー・ボルトナット)。
 - b) プラスチック(例：グリル・バンパー・フロントスカート)。
 - c) 耐食アルミニウム(ロールスロイスの蓋(ふた)物)。
- ⑦ 構造物の形成法の変更。
 - 1) 板金構造からの脱却。
 - a) 鋳造による形成。
 - b) 鍛造による形成。
 - c) 機械加工による形成。
- ⑤ 処理法の選定
 - ① 厚膜粉体塗装(白井国際：トヨタ、ブレーキパイプ)
 - ② ゴムライニング(三櫻：ホンダ、ブレーキパイプ)。
 - ③ ダクロメット処理(日本ダクロ：亜鉛メッキ代替え処理)。
 - ④ 成型後の部品の溶融亜鉛メッキ。

(2) 加工と顧客における錆の原因

クルマの腐食・錆の現象が起こった状態からは、その直接的原因である素地鋼材が腐食環境に晒(さら)された時点が、製造中であったのか、物流中であったのか、もしくは顧客に渡ってからであったのかの判定をすることは極めて難しい。実は腐食・錆の課題は、一般社会において発現し苦情となることから、腐食環境の憎悪のみがクローズアップされる気配がある。

しかし、その原因が製造過程におけるさまざまな要因によって、種々の形を取って潜在しているのは事実である。これが初期錆の主体であることには間違いはない。実際に、総合的な品質管理の理論からいっても、それぞれの加工工程には素地鋼材を露出させる事象が生じてくるので、わずかではあるが欠点のある製品もつくられている。特に検査などで、不適確品を排除修正することのできる場合はごく限られているからである。

それに加えて、生産ラインの種々の理由による緊急停止がある確立で発生し、特に湿式で処理している工程では不可逆的な事象が発生し、その該当社への対応策にも腐心するところである。この処置の適切なマニュアルを制定できるのも、また製造中に起きた問題か、マーケットの問題かを明確に判定できるのも、常に行われているブルーピンググランド促進腐食試験、塩害地モニタリング試験による解析データの蓄積に負うところが大きい。

GM社で、新車における間欠式の温塩水浸漬試験を1週間行って、初期錆の発生を促し製造時の課題を、直ちに現場にフィードバックするという話を聞いたのは1977年ころであった。それと同時に、マーケットからの腐食サンプルの回収品、顧客からの苦情情報、クルマの製造履歴などの照合が、原因解析に極めて有効なことはいままでのない。

9. 錆の発生要因

ここでは走行によるダメージを◎、明らかに直ちに初期錆と成る項目には●、無印は耐久錆の部類に入る項目として区分した。

(1) 塗装前の素地鋼板面の異常

① 錆の発生

① 溶接火花によって酸性ガスを発生する材

料の使用部(塩ビゾル、塩化ゴムなどの配合品)。

② 生産ラインの緊急停止による錆発生(湿式処理工程の仕掛かり被処理物)。

③ 結露による素材錆発生。

④ 錆落とし作業の不完全(輸入材料)。

② 素地金属面の異常による化成性不良

① 防錆油などの酸化による油焼け。

② 素地金属面の化成不活性化(たとえば、片面亜鉛メッキ鋼板の製造過程で鋼板面の化成性が低下する。海外の低エッチング力の化成浴液では、化成皮膜の形成不良となることがある)。

③ 脱酸剤のアルミナ、マルテンサイトなどの析出成分の遍在(研磨による除去、または電着膜厚の不足を補修)。

③ 防食金属メッキ膜の損傷

① プレス金型の汚染による凹点、打痕(こん)の発生。

② プレス成型加工のしごきによる剝落(はくらく)。

③ 回転サンダー砥石(といし)による表面の修正作業。

④ ブランク材のバリ、汚染、鉄粉などの除洗浄。

⑤ メッキ膜の摩耗損傷：a) 成型部品の搬送、貯蔵などの際の部品同士の接触、b) 輸送梱包(こんぼう)材料との接触、震動。

⑥ 片面防錆鋼板の表裏の取り違いミス。

⑦ 異種金属粉の材料表面への象嵌(がん)防止(アルミニウム合金、亜鉛メッキの表面)。

⑧ 外傷防止のための金型への対策：a) 金型面へのシリコン処理、b) ソフトパットの利用、c) 金型面へのクロムメッキ処理、d) 防錆皮膜に損傷を与えないレーザー溶接法の採用。

⑨ 塗装前におけるメッキ面の外観異常の修正禁止。修正は塗装工程内で処置。

(2) 塗装前処理皮膜の異常

① 化成皮膜の異常

① 処理の不完全

1) フルディップ法以外の処理法の適用。

2) エアポケット。

- ② 皮膜の溶解損傷/消失
 - 1) 電着塗装浴液の条件により発生：塗膜析出前の微小時間における電流密度が大きい時は、不純雑イオン、低分子イオンなどの蓄積による浴液汚染の場合が多いとされる。
 - 2) ウエット電着塗膜の放置条件が良くない時。
 - 3) クロムリンス処理の所で搬送停止した時。
- ② クロムリンス(不働態化)処理なし
 - ① 素地金属面の不働態化の未完。
 - ② 化成皮膜の表面に存在する微小不定形結晶のエッチング未完。
- (3) 塗膜の不完全による素材の露出
 - ① 防食皮膜の塗装不完全●
 - ① 塗膜の塗り残し、塗り忘れ。●
 - ② 電着通電不良による未塗装膜厚さ不足。●
 - ③ 付き回り性不足による未析出。●
 - ④ エアポケットなどによる塗り残し。特にマッシュク接着剤の塗布方法に注意(小豆大のエアポケット発生)。●
 - ⑤ 端面・鋭角などの膜厚のずり落ちによる膜不足。●
 - ② 電着されたウエット膜の移動/消失による素地露出●
 - ① 溶剤・水の蒸気によるウオッシュオフ●
 - a) ボックス形状内面。
 - b) ウエット電着膜放置。
 - ② 素材面への金属接着剤、充てん材などの不適合。●
 - a) 熱膨張性材料：析出したウエット電着膜が膨張に引きずられて素地から剝(は)がれる。
 - b) 非電気伝導性材料。
 - c) ウエット電着塗料との親和性の悪い材料：焼き付け工程中で両材料の間に素地の露出した隙間が生じることがある。
 - ③ 塗膜形成/密着を阻害する因子の除去
 - ① 端面のバリ(バリ)の除去。●
 - ② 鋭角の鈍化。●
 - ③ 溶接スケールの積極的な除去。
 - ④ 凹面やボックス状内面にスラッジが残存しない工法。

- ⑤ 加熱前の水滴・水たまりの完全除去。
- ④ 電着塗膜の膜厚不足の補修
 - ① 半田仕上げ面。
 - ② 銀鍍(ろう)仕上げ面。
 - ③ 導電性パテ。
 - ④ 素地鋼板にアルミナ(脱酸剤)やマルテンサイトの偏析から膜厚不足となる場合。
- (4) 塗膜の破壊による素地露出
 - ① 機械的塗膜の破壊
 - ① 艀装組み立てによる防錆皮膜への損傷
 - ：a) 部品取り付けによる●、b) 高速空力工具による締め付け作業でのメッキボルト/ナットにおけるメッキ剥がれ、ワレ●、c) クロムメッキ部品同士の締め付けによるメッキ層のワレによる錆。●
 - ② 走行によるチッピングダメージ。◎
 - ③ 使用による外傷、摩耗、剝離(はくり)。◎
 - ④ 走行中の部品震動による塗膜摩耗(特にプラスチック部品の塗膜への接触部位)。◎
 - ⑤ 塗装工程内での異物除去に伴う素地研ぎ出しミス(“sanding through”：塗膜性能低下を防ぐための補修塗装は行っているが、完全な回復は困難である)。●
 - a) 電着・中塗り・上塗りなどの塗装面。
 - b) 工場内での外観不良(デホーム、深い傷の板金修正における)。
 - ② 塗膜下腐食◎
 - ① プリスターおよびピーリング。
 - ② スキャブコロージョン(かさぶた腐食)。
 - ③ 糸状腐食。
 - ④ 異物の付着による塗膜下腐食：a) 鉄粉、b) 鉄錆物質、c) 酸性物質。
- (5) 塗装ラインの緊急停止などによる品質リスクの発生

リスクは主として表面錆の寿命低下であり、それをもたらす直接的な原因は、予定した時間スケジュールに対して搬送ラインの被塗物状態が、アンマッチの時に発生するもので塗装ライン特有の現象である。

《原因分類》

 - ① 平常のコンベヤー速度を乱調させる因子

- a) 前後工程の乱調。
 - b) スタートアップ後。
 - c) シャットダウン前。
 - d) 休止中または休憩タイム。
 - e) メンテナンス準備。
 - f) 多重回送の修正車の割り込み。
 - g) 休日明けなどの朝。
- ② 緊急停止

《品質的リスク》

① 硬化不足による耐湿性・耐腐食性の低下

- ① 熱容量の大きな構造部材の電着塗膜。
- a) 耐湿性低下による剝離, b) 加水分解による消失, c) 塩ビゾル系アンダーコート/シーラー塗布による可塑剤の浸透による軟化・膨潤(消失)。

② 過剰硬化による材質劣化(亀裂(きれつ), 脆弱(ぜいじゃく), 変色などが起きる)

- ① 多重回送による再塗装車●：修正塗装作業を多数重ねたクルマでは、材質劣化による亀裂、水漏れ、錆発生などの危険があるので、限界回数を規定しなければならぬ。

② 搬送事故による加熱炉での長期停止。

③ 湿式処理中の停止・放置

- ① 錆発生。
- ② 被膜の未完成(化成, 電着, クロムリンス)。
- ③ 膜厚不足。
- ④ 部分未塗装。
- ⑤ 処理膜の溶解(クロムリンスでの停止)。
- ⑥ 密着不良など。

これに該当する車体の回収と回復処理マニュアルの制定が必要である。

(6) 時代にマッチしていない防錆仕様

① 低級ステンレス材料への溶接の指定●

粒界腐食を起こしやすいので、焼鈍処理が必須(ひっす)である

② 亜鉛メッキ部品への光輝クロメート処理の指定●

初期錆としての白錆の発生(現在はダクロメート処理, または黄色クロメート処理が採用されている)。

(7) 塗膜への鉄粉付着による錆発生：主に物流と在庫中●

- ① 船舶輸送の際の赤錆付着。
- ② 貨車輸送でのブレーキ鉄粉。
- ③ 鉄道沿線での滞留在庫。
- ④ 鉄工所からの鉄粉。
- ⑤ 鋳物工場のショットからの集塵(じん)排気中の鉄粉。
- ⑥ 鉄骨工事からの鉄粉飛散(鉄粉は磁気を帯びていることがあり, 日照で熱くなった塗膜に突き刺さって, 塗膜下腐食の原因になる恐れがある。この除去法は温シュウ酸水溶液を湿潤したガーゼで塗装面をカバーして放置し, 塗膜に突き刺さった鉄粉の根元を溶かしてから水洗除去する。フォード法)。

(8) 工場出荷以後の補修塗装のレベル

新車の補修塗装は規定された手順により, 品質補償の可能なことが前提であるが, 営業的な理由によって緊急処置が必要な場合には, 表面錆に対する寿命短縮の懸念が残る。

- ① 物流段階における処置(保険による補償)。
- ② 販売店における処置(クレーム処置, 営業的処置)。
- ③ 顧客の手による：クルマの履歴記録が保持されていれば, 仮に腐食・錆クレームが発生した際には, 原因判定を可能にすることができる。

欧州の損害保険会社の代理人である検査人は, 常にポケット膜厚計を持参していて, 該当塗装面の膜厚の測定により, 補修塗装の履歴の有無の迅速判断を行っているようだ。

本誌3月号から始めた「短期特別連載」は, 今回をもって終了する。電着塗装法が誕生してから50年, この防錆力に優れた技術を顧みると, クルマの製造に携わった一人として思い出深いものがある。今後, この塗装技術がさらに進化することを願って, 筆を置く。座談会記事と併せてご愛読いただければ幸甚である。

電着塗装法誕生から 50 年の 節目を迎えて

田辺 幸男*

1. 物流と営業活動における防錆対策

(1) 在庫管理とワックス保護

工場を出荷したクルマは、すでに営業部門に属している。まず、配車センターに運び込まれて在庫管理が行われる一方、国内向けは次いで地方配車センターへの輸送となる。

また輸出向けのクルマは、輸出準備作業として追加の防錆や外傷防止などが施されてから、港湾地区への輸送、通関、船積みまでを担当している。

生産と営業のギャップによって在庫の変動は大きく、しかも、多数の仕向け地別の輸出仕様車は一括生産を行うこともあるが、輸出専用車の運用によっては、野外での待機期間が変動することも多く、在庫管理では数カ月サイクルで塗布・検査を繰り返す汚染防止のための保護ワックスの管理には、多大な配慮を払って運営している。

地方配車センターでは受け入れ検査を行って、輸送上の損傷を補修する業務がある。また、その地方に特有な追加仕様を行う場合もある(たとえば九州・沖縄の塩害仕様、鹿島工業地帯向けの防錆仕様など)。次いで、在庫管理が行われるが、在庫スペースの不足している販売店に代わって在庫車を管理することもあるので、長期滞留車への保護ワックスの管理は極めて重要である。

外傷による錆に加えて、野鳥や毛虫などの昆虫の糞(ふん)、酸性の煤煙・雨、鉄粉などの付着防止は最重要テーマである。そして、販売店への出荷となる。

一方、現地の港湾に着いた輸出車は通関後、配車センターに運ばれると直ちに保護ワックスを除去したうえで、保険会社検査官の立ち会いの下で損傷検査が行われる。次いで補修作業、出荷整備作業、出荷検査を終了してから在庫管理に入り、次いで販売店への輸送、そして顧客の手に渡ることになる。

ここでの在庫期間はかなり長いことと、季節的な条件も加わってくるので、保護ワックスの重要性はさらに大きくなる。

(2) 補修塗装の品質管理

このような煩雑極まりない工程と常に一定していない環境の下で、新車という品質保証を求められるクルマを確実に在庫し、輸送の運用を行う際の最大の防錆上の懸念は、初期錆の絶滅と物流で被った外傷など、それらの修正に伴う補修塗装作業の防錆品質の確保である。

「クルマの受ける補修塗装作業の品質は、製造工場からの距離と出荷されてからの時間の長さに比例して低下する」、という原則を明記しなければならない。この錆や腐食が顧客の所で顕在化しても、その原因究明は極めて困難であるのが通例である。

そこで国内向けのクルマ、欧米向け輸出車における物流と営業活動における錆の歴年的な課題を述べてみる。

*たなべ ゆきお 元・本田技研工業(株)埼玉製作所

2. 錆に対する対応

(1) モータリゼーション時代－初期錆

国内のやや中央部に集中している自動車工場から、全国への配車輸送を行うためには、遠隔地向けは内航貨物船と鉄道が、近距離は陸送が使われていた。錆は、潮風や海塩粒子に曝(さら)される内航船輸送に多く発生し、その形態は「初期錆」と定義された。

それは、塩水シャワーと放置の試験やGMのように温塩水槽への浸試験などによって、初期錆は容易に見えられたから、それを抜本的に改善することが正道であるはずなのだが、当面は防錆油を塗布して切り抜ける時代が続いた。取り付け部品のボルトの頭は必ずさびたし、ステンレスモール取り付け部では塗膜面から錆が、また、鉄板の端面は塗膜が薄いので錆が浮き出してきた。

当時はスクリーネジによる部品取り付けが行われており、そこから錆が盛大に噴出した。鉄道輸送は、工場地帯での煤煙落下物による変色が問題となり、カバーを掛けると外傷の問題が起こった。そのため、欧州で使用されていた保護ワックスが塗布されたこともあった。

(2) 欧州への輸出黎明(れいめい)期－雑貨船

日本車における最初の輸出は小型車の市場であった欧州に向かった。どのメーカーも、さほどの台数がまとまらなかったから、欧州行きの雑貨船の最下船倉に積まれて、各地に寄港しながら、炎天下のスエズ運河を經由して欧州へ送られた。

まず、船積み荷役作業による外傷、船倉の蓋(ふた)を装着する際に落下する赤錆の固まりなど、外傷と錆の付着による塗膜下腐食が生じてきたり、それに初期錆の伸展が加わってきたため、欧州の保険会社の検査員が驚いて、検査証明にサインを拒否する始末であった。これは彼らの経験から、日本へ輸出する欧州車のダメージの程度からの判断であった。また、彼らはクルマの補修塗装箇所の有無を判定するために、ポケット型膜厚計を携帯していたが、輸入された日本車の塗膜は、欧州車に比べて格段に薄いから、外傷が付きやすく錆がすいのだと主張していた。

特に、鉄板の端面の錆は目も当てられない有

様であった。これに対応するために、横浜に荷揚げされた欧州車やアメリカ車の受け入れ整備作業を見学し、立案したことがあった。

まず、塗装面に塗布していた保護ワックスは、欧州から輸入したもので適用を始めた。それに水平部の外傷対策には、踏まれても耐えられる発泡ウレタン成型パネルを貼(は)り付けて成功したが、その後、欧州の港で使用済みウレタン発泡体は廃棄物として処理するのだが、その処理には難渋したものである。

このころ、輸出車の塗装面に塗布する保護ワックスが、日本油脂によって国産化されて市販された。ところが、これを塗布した営業戦略の一環である試験的な輸出のクルマが、現地で補修塗装不能なトラブルを発生させた。ICIのリフニッシュ塗料部門の解析では、このワックスが上塗り塗膜を通して、アニオン電着塗膜にブリードしたことが原因とのことであった。

このワックスが塗られたクルマには、ある特殊な厚膜型のアクリル系アニオン電着塗料で仕上げられていたことも、何らかの原因であったのであろうが、情けない次第であったという。

このように初期錆対策は遅々としていたが、次第に改善の道を辿(たど)っていった。

(3) 欧州の“ジャパニーズラスト”の時代

海上輸送によるダメージのトラブルが鎮まりかけてきたころ、顧客の手に渡ったクルマに初期錆とは異なる日本車特有の「カサブタ腐食」が発生した。この件は、欧州における日本車の防錆技術の評判を最低にしてしまった。

実際のところ、海上輸送における損傷の補修塗装の後遺症と、顧客の手元で発生してしまった初期錆(この中にはアニオン電着塗装の初期的課題も少なからず含まれていたようだが)、このカサブタ腐食など、各所で行われた補修塗装の不手際なども重なって、欧州における日本車の錆クレームは重大問題となってきた。この苦境を乗り越えるのに十年近くかかったことになろう。

ここで最も大きな懸念事項は、素地まで露出させたクルマの補修塗装の防錆品質であった。当時、欧州の自動車メーカーは新車の補修塗装マニュアルを公開しており、低温焼き付け乾燥型塗料の使用を義務付けており、さらに2液ウレタン系塗料の採用も推奨していたのだった。

もちろん素地を露出した場合の塗装前処理、クロムリンス処理などの手順もぬかりなく指定しているのには恐れ入った。

しかし、顧客の段階ではラッカーによる再塗装要請も、マーケットではかなり利用されていることは間違いないようだ。要は営業担当者の品質に対する関心次第、というのが課題であるのは今も同じである。何しろ、正規の修正には時間がかかるからである。

(4) 自動車専用船の時代

やがて、輸出台数が拡大し雑貨船の輸出は不相当であることが認識されて、各メーカーが協力して専用船を用船するところまで事態は進んだのであった。アメリカ航路の専用線では錆の問題は全くなかったが、むしろ北米大陸横断鉄道輸送に、またまた外傷や鉄粉付着の問題が発生し、西海岸でワックス塗布を行うことが定められた。

最近の課題は北米の大気汚染、特に酸性降下物による自動車塗膜の浸食が大問題となり、輸入車の課題だけでなく、北米内の自動車製造工場の在庫車も損害を受けるようになったのであった。この降下物の酸性度は極めて強烈でクリアー層を孔状に侵食し、その下層にあるアルミニウム光彩顔料を黒変させたので、その修正に本格的な対応が求められた。

そして、クリアー樹脂の耐酸性の向上によりトラブルは漸減の事態をみせている。

3. アフターマーケットにおける防錆対応

(1) 腐食・錆に関する品質保証とサービスマニュアル

腐食・錆の発生条件はクルマの使用状態(走行距離と走行地域)とメンテナンスなどによって大きく変化するので、ユーザーが抜本的に守るべきメンテナンス項目を定めたマニュアルを提供することが必要である。

特に冬季があけて春に入った時に、暫定的な緊急防錆処置を施すか施さないかで、その後の腐食・錆の伸展が著しく異なるからである。

① サービスマニュアルの適性表示

顧客による日常のメンテナンス要請の中に、防錆に関する配慮を組み入れる。

① チッピングダメージを強く受けるノーズ

前端面へのガードテープ貼り付け、ガーター取り付けの励行。

② 洗車による塩分を含む泥・泥水・塩の結晶などの除去。特に暖房されたガレージへ格納するクルマは、定期的に温水洗浄を行うことを奨励。

③ 床面マットの洗浄と乾燥。

④ 塗装面のチッピングダメージの応急処置としての塗装。

⑤ その他の防錆対応の注意項目の強化。

② 整備サービス中における防錆処理

① 補修に使用するサービス部品は必ず塩害地仕様を確認する。

② マニュアルにおける防錆対策を充実する。特にそのモデルに適合した防錆対策を実施することは、最低基準とするべきである。

1) 板金修正マニュアル

2) 板金塗装マニュアル

3) 定期点検サービスマニュアル

③ 具体的事例

1) 内部床面・アンダーフロア部などの徹底的洗浄による塩泥、塩泥水、塩結晶などの除去(特にボックスセクション内部への洗浄)。

2) 腐食減肉・孔腐食状況の点検と部品交換(実物は寿命推定データ源とするために確保返送)。

3) 積極的塗膜の補修塗装。

素地が露出した箇所を暫定的に筆塗装で補修している箇所は、素地の腐食痕(こん：錆)を取り除いて、正規手順による補修が必須(ひっす)である。

4) アンダーコート補修塗装。

5) 黒色防錆塗料の補修塗装。

6) チッピング防止フィルムの脱着サービス。

7) 塗膜の素地露出のないチッピングダメージ部の筆指し補修塗装。

8) 腐食・錆に異常が発見された場合は、モニタリング車両との照合をして、レベルを確認する必要がある。

(2) マーケットの腐食・錆のクレーム情報

腐食と錆の発現は、その形態も時季も多種多様であり、顧客の特異な使い方によっても影響が現れるからである。したがって、適切な情報

が品質保証部を経由して、設計加工部門に伝達されるようにする必要がある。

いずれにせよ、加工履歴と腐食発現とは5年以上の時間的経過があることを考えると、情報の確保が相互に極めて重要である。特に加工中の異常事態の発生時には、工程中における仕掛かり中の車体への影響は、その車体の存在場所と放置時間、その後の回復処置の如何(いかん)によって、防錆品質に影響を及ぼすことがないとはいえないからである。

このケースで影響が発生すれば、車体(部品)全体か半分とかの面積に影響が現れることが多い。この事態は車体に限らず、機能部品においても同様であるといえる。

そのほか、まれに部品ごとに、または部品内でも部位ごとに異常がある場合は加工上の失敗事例が含まれることがあるから、その解析には現物の交換などが必要であろう(たとえば、工

程内での電着塗膜の研ぎによる素地露出、タッチアップによる塗膜削り出汁などがある)。

電着塗装法誕生五十年に起きた出来事を駆け足で懐古してきたが、この長い期間に多大な貢献をされた世界中の先輩諸氏に、深甚なる敬意を表したい。ここに掲げた事例は車体を中心にまとめたが、機能部品においても全く同じ観点で議論することが可能であると考えている。

読者諸氏にお詫(わ)びを申し上げなければならぬのは、筆者の非力のために自動車以外の業界の電着塗装には触れなかったこと、1990年代後半以降の技術動向についても触れることができなかったこと、引用文献、図版などを省略させていただいたことなどである。

この「電着塗装五十年」を契機として、今まで隠れていた貴重な多くの情報が提示されることを切に願う次第である。