解説

色材, 66(4), 231-236 (1993)

自動車塗装の課題と対応

戸田 紀三 夫*

1. ま え が き

自動車塗装の課題と今後の対応について、トヨタ自動車を例にとり以下の順序で解説する。

- ① 過去 10 数年の自動車塗装を取り巻く環境変化と対応
- ② その結果として現在の状況
- ③ 今後の環境変化の予測と対応方法

2. 過去 10 数年の環境変化と対応

表-1 にトヨタ自動車の塗装の歴史を示す。1960 年代に熱硬化型塗料や電着塗装を導入し、今日の量産技術を確立した。そして 70 年代後半から 80 年にかけてフルディップ式前処理、カチオン型電着塗装、PVC 塗装、層間耐チップ塗装、ミニベル塗装機、パールマイカ等を導入し、1980 年頃現在の様式を確立した。

現在でもこれら技術が主流になっており、この頃から、自動車塗装は大きく変化していないように見える。しかし、この 10 年間自動車塗装を取り巻く環境変化は

目まぐるしく、自動車塗装に従事する者はその対応に追われてきた。

表-2 に過去 10 数年の環境変化とその対応、および今後 5 年間の環境変化の予測を示す。

バブル経済が崩壊するまで、86 年の円高不況の一時を除いて、自動車産業を取り巻く環境は多少の上下動はあっても好調であった。この間ユーザの高級志向化や個性化、多様化、需要の拡大などプラス要因的な環境変化を捉え、品質向上、新工場の建設、旧工場のリフレッシュなどポジティブな対応をしてきた。そして労働力不足や貿易摩擦問題といったマイナス要因的な環境変化についても、自動化の推進、九州などでの工場建設、欧米への進出といったポジティブな対応で乗り越えてきた。

この 10 年間の環境変化に対しての技術的な対応をまとめると、81 年からの 5 年間で、エクセライト（2 層め

平成 4.10.28 受理

Recent Changes in Automotive Painting

Kimio Toda

* トヨタ自動車(株)第 7 生技部塗装開発室
愛知県豊田市元町 1 (〒471)

【氏名】 とだ きみお
 【現職】 トヨタ自動車(株)
 第 7 生技部塗装開発室長
 【趣味】 オペラ鑑賞, 囲碁・将棋, つり, ゴルフ
 【経歴】 昭 46 年トヨタ自動車入社塗装の生産準備に従事, 昭 59~62 米国 NUMMI(GM との合弁会社)で塗装のコーディネータとして駐在

表-1 トヨタ自動車における塗装技術の変遷

	～60	65	70	75	80	85	90
前処理	スプレー処理				連続フルディップ処理		
下塗り	スリッパードリップ		アニオン電着		カチオン電着		
床裏塗装	アンダーシール（アスベスト・タール）				PVC ▽ロボット導入		
シーラ	PVC				▽ロボット導入		
耐チップ					層間耐チップ		
中塗り	2C1B ▽ベル導入		1C1B ▽ミニベル導入		▽ロボット導入		
水研	手水研		▽自動水研機導入		▽水研ロボット導入		
ソリッド	ラッカー	2C2B熱硬化	1C1B熱硬化		▽スーパーホワイト導入		
メタリック	ラッカー	2C2B熱硬化	1C1B熱硬化	2C1B	▽パールマイカ		
	▽REAガン導入				▽ミニベル・ロボット		▽4コート導入

表-2 自動車塗装を取り巻く環境変化と対応

対応方法	現在の塗装系の基本を確立	防錆技術の基本を確立	高外観品質活動開始	自動化(ロボット)展開開始	環境対応開始	高外観品質の塗装系確立	自動化技術(ロボット)の基本を確立	環境対応技術開発推進	トータル対応技術の確立 (質・量・コスト・環境の調和)
塗装を取り巻く環境の変化	防錆性能 外観品質 意匠 重量 コスト 環境	北米・欧州諸国(CEAコード) 外観品質競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	結保証アップ 防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化	防錆性能競争 ユーザーの多様化・高級志向化 国内乗用車生産(除軽): 688万台 重量の拡大 (貿易摩擦と海外進出) 第2次オイルショック VOC 海外での規制強化

つき) 鋼板など防錆鋼板の本格的採用, 床裏 PVC や層間耐チップ塗装の拡大, 袋部への防錆ワックス注入など現在の防錆技術を確立した。またこの頃, 仕上がり品質向上や, ロボットによる自動化を開始した。

86 年からの 5 年間では, 4 コート塗装, マツダのハイレフコート, 日産自動車のレーザ鋼板, 艶・塗り肌向上塗料の採用など高外観品質塗装技術や, フッ樹脂塗料, 擦り傷対策塗料など耐久品質向上技術, 銀鍍金マイカ, MIO (雲母状酸化鉄顔料) といった新規顔料の塗装技術, シーラ, 床裏 PVC, 中・上塗りなどのロボットによる自動塗装技術を確立した。

これらと並行して環境問題についても改善を進めた。VOC については, ハイスリッド塗装, 水性塗装, メタリックのペル塗装, 洗浄シンナー回収などの技術を確立したり進歩させた。工場からの塗料ミスト飛散については, フィルターの設置やブーススクラパーの改善を進め, 作業環境については, 自動化だけでなく工場の温熱対策なども進めてきた。

3. その結果としての現状

1980 年頃現在の自動車塗装技術の様式を確立してから, この 10 年間防錆品質向上, 外観品質向上, 自動化技術向上, 環境対策を個別的かつ精力的に進めてきた結果を図-1 以後に示す。

品質の面では, まだ部品の防錆力向上や酸性雨対策といった課題が一部残されているものの, 防錆品質, 艶・塗り肌といった外観品質とも, 世界のトップレベルとすることができた。この 10 年間日本車の塗装品質向上はめざましく, 海外競合他社の方々の国内自動車塗装工場への頻繁な訪問などはそのあらわれである。

量の面では, ロボットの多量導入によって生産性を向

図-1 品質の推移

図-2 ロボット台数と工数の推移

図-3 VOC 排出量の推移

図-4 工場建設投資額推移

図-5 ランニングコストの推移

上し、品質向上などのために工程数が増加したにも関わらず、直接作業者工数の増加を抑えることができた。

環境の面では、最近稼働したラインを例にとると、10年前の工場と比較して VOC（揮発性有機物質）排出量を約 1/2 に低減している。塗料ミストの飛散についても、地域住民からの苦情はほとんどなくなっている。

このように個別的に対応を進めてきた項目について、世界のトップレベルに到達させることができた。しかし、一方で以下の問題が表面化してきた。

図-4 に塗装工場建設のための投資額の推移を示す。この 10 年間で物価上昇を差し引いても 2 倍以上となっ

た。これは品質向上や自動化、環境対策に伴うロボットなど新規技術の導入、塗装ブースの大型化などによる。

図-5 のランニングコストの推移を見れば、何がどのように変わったかより明確になる。1981 年から 86 年にかけて、まず防錆品質向上のために前処理、電着、PVC、シーラなどの防錆材料コストが、そして仕様拡大のために労務費もアップした。

86 年から 91 年にかけて、仕上がり品質向上のために中・上塗りの材料コストが大幅にアップした。4 コート車や擦り傷対策、酸性雨対策用塗料、水性塗料を採用した車両では、更に指数的に 10~20 ポイント上昇している。自動化の推進によって、労務費は仕様拡大があつたにも関わらず若干低下したが、一方でロボット設置のために、ブースの幅、長さとも大きくなり、エネルギー費がアップした。なおエネルギー費は、自動化だけでなく仕上がり品質向上や作業環境改善の影響も大きい。

VOC 排出量は 10 年前に比較して、新設工場やリフレッシュ工場では約 1/2 に低減できたが、既設の工場では約 2/3 程度にとどまっている。また約 1/2 といっても欧州などの将来の VOC 規制のレベルから見れば、更に低減が要求されている。

塗装の環境問題について VOC や塗料ミスト、トリクロロエタンが注目されているが、地球温暖化防止のための二酸化炭素の排出量削減も極めて重要である。しかしエネルギー費の増加から分かるように、この数年間二酸化炭素の排出量は増加傾向にある。

以上述べたように、この 10 年間品質向上、自動化など個別的に対応してきた分野については、世界のトップレベルにできたが、逆にコストやエネルギーなど他の分野では大きな問題を抱えているのが実状である。そしてこのことは、単に塗装だけでなく組立工場など自動車の生産現場でほとんど同じ傾向を示しており、自動車メーカー各社にとって利益率低下など現在抱えている問題の大きな要因となっている。

4. 今後の環境変化の予測と対応

雑誌類、講演会、展示会などで多くの新しい技術が紹介されている。材料でいえば、水性塗料、粉体塗料、耐久品質向上塗料、新規顔料など。設備でいえば、各種自動化設備、公害対策用設備・装置など。

一般的にはこれら新技術が今後の自動車塗装の主流になると考えられている。しかし大半の技術がバブル経済崩壊以前、あるいは地球環境問題がこれほど大きく取り上げられなかった頃に企画されており、シーズ指向であったり、ある個別的なニーズに対応するものであったり

するように思える。そこで今後の環境変化について予測し対応方法について考察する。

表-2 に示す今後の自動車塗装を取り巻く環境変化は従来の延長線上にあるように見える。

品質面でいえば、ユーザの高級志向化や個性化、多様化の進み具合は少し後退するかもしれないが、基本的にこれらが逆行することはないであろう。そのための対応として、高品質を維持するための塗料、たとえば擦り傷対策と酸性雨対策の両方を織り込んだ塗料や、従来には無い意匠性をだす新規顔料などは今後も引き続き導入されると考えられる。そしてこのような材料だけでなく、品質の維持や向上のためのツール、たとえば品質自動計測機なども更に普及すると考えられる。

VOC などの環境問題も強まることはあっても後退することはない。材料面でいえば水性塗料の採用や、更に将来を睨んだ粉体クリアー塗料などの開発は一層進むと考えられる。設備面でも、溶剤吸着のために活性炭だけでなくゼオライトロータなどが、また塗料ミスト飛散防止のために高圧力損失タイプのブーススクラバーや湿式静電除塵装置などの普及も考えられる。そして、自動車の軽量化のニーズから、アルミや樹脂素材を塗装するための技術の進展が見られるであろう。

労働力不足は一時期ほど深刻ではなくても時短が進み、やはり自動化のニーズは依然高い。したがって、検査やアスファルトシートの搭載、水研や空研ぎなど、これまで自動化が困難であった工程についてもロボットによる自動化は進むと思われる。

要するにこれら予測は、数年前のそれとあまり変化はない。しかし表には書き表わせない、隠された大きな環境変化があるように思う。

その最も重要な点は、これら総てのインパクトが同時にかかっていることである。従来はこれらのインパクトに個別対応できるのに対して、今後は総てを同時に対応する、いい替えれば個別対応からトータル対応しなければならぬ環境へと変わってきている点である。

そのトータル対応の中でも、キーワードとなるのはコストとエネルギーと思う。以下これらのキーワードについてすこし述べてみたい。

コスト

バブルがはじけて自動車メーカーの利益率は大幅に低下し、92 年以降の設備投資意欲は冷え込んでいる。この状況は短期で終息するかもしれないし、長期に及ぶかもしれない。ただいづれにしてもバブルの時代のような浮かれた状態へもどることはないといえる。

現在最も注目されている水性塗装を例にとって説明す

図-6 溶剤型と水性メタリックの塗着効率比較

る。材料コストは、塗色によって異なるが、塗料単価自体が 1.5 倍から 2 倍となっている。そして図-6 に示すように溶剤型塗料に比較して静電塗装が難しいことから、塗料使用量も 20% 以上増加し、結果的に材料コストとして 2 倍強アップすることになる。

厳しいブース温度湿度コントロールが必要であるし、塗り回数が増えブースが長くなり、かつフラッシュオフに加熱が必要なためにエネルギーコストも増加する。設備投資額やブースの延長、空調装置の改造、フラッシュオフの新設、高価なステンレス配管、水性用の排水処理装置などのために従来設備よりも相当高くなる。

VOC が低減できる、あるいは仕上がり品質の向上が若干期待できるという個別対応的な理由だけで、現在的水性塗装システムが急速に拡大展開されるかは疑問の残るところである。

自動車メーカーには、コスト上昇がミニマムとなるような水性塗料の塗装工程、設備の開発と設計、塗料メーカーには材料単価上昇を抑えるための原材料や生産技術の見直し、設備メーカーには塗着効率の良い塗装機の開発などが望まれている。そしてコストも含めトータル的に調和のとれた新しい水性塗装システムが、「地球に優しい車づくり」の時代の主流になると考える。

水性塗装を例にとって説明したが、外にも多くの新技術がやはりバブルの時代の環境の中から生まれたままではないだろうか。ほとんどの新材料は、それが VOC 対策であれ品質向上であれ、20% から 2 倍以上コストが上昇している。設備でみても、たとえばブース本体よりも VOC 対策関連設備の方が相対的に高いような問題を抱えている。

コストが高くなるから環境対策や自動化が後退するとは考えられない。しかしコスト上昇をミニマムに抑え、あるいはコストを低減しながら環境対策などを推進すべきと考える。

エネルギー

地球温暖化防止のために二酸化炭素排出量の低減がブラジルでの地球環境サミットでも取り上げられた。現在

図-7 塗装工場車両1台あたりエネルギー使用量推移

図-8 工場別エネルギー使用割合

各自動車メーカーともアクションプログラムを作成し、鋭意低減を進めようとしている。

VOC は比較的塗装業界にとって特有の問題であるために、塗装の分野でさかんに取り上げられているが、二酸化炭素すなわちエネルギーについては、オイルショック以後品質向上や自動化の陰に隠れてきた。その結果図-7 に示すように塗装工場のエネルギー使用量はこの数年増大し続けている。図-8 は工場別のエネルギー使用量を示したもので、塗装工場は、成形工場におけるバンパー塗装も含めると自動車製造の約 20% を占め、単一工場としては鋳造工場に次いでいる。したがって自動車塗装におけるエネルギー問題は VOC と同等あるいはそれ以上と認識する必要がある。

VOC 対策のために水性塗装や排気処理設備の導入が望まれているが、これらは結果としてエネルギー増加となる。塗料ミストの飛散を対策するにしても、ブーススクラバーでの圧力損失を大きくする必要があり、給排気のエネルギーは比例的に増加する。自動化では、現在のロボットは明らかに人よりも効率が悪くブーススペースを必要としエネルギーが増大する。

各自動車メーカーは第1次、2次のオイルショックの当時、石油不足、コスト低減の観点から省エネパナ、モータのインバータ化などの対策を既に実施してきた。現在は地球環境保護という新たな観点から、更に省エネルギーが要求されており、VOC 対策、生産性向上などと調和を図りながらの対応が望まれている。

5. トヨタ自動車の対応

既に前節において対応方向を示した。それは、従来の品質向上、自動化推進、環境対策といった個別的な対応ではなく、質、量、コスト、環境が調和したトータルの対応である。

個々の項目についてその目標レベルを述べれば、品質については維持、あるいは過剰となった部分について適正なレベルとすることである。また量に関連して自動化では、単にロボットを導入して直接作業者の工数低減をするのではなく、作業者の姿勢点改善や温熱対策のために本当に必要な工程で、かつ間接作業者も含めてトータルで工数低減が図れる自動化の推進である。コストについては、所定の品質を出すために最低限必要な材料使用量にすることである。設備投資にしても所定の品質、量の確保と VOC、エネルギー、TCE など目標のレベルとするのに必要な設備、装置に対してである。環境対策として VOC 低減では、現在最も進んでいる欧米の将来規制に対応できるレベルであり、エネルギーについては 2000 年で 1990 年のレベル以下である。

トータル対応技術の基本は、工程・設備の短縮である。新工場を建設する度に、図-9 に示すように台あたりのスペースは大きくなっている。これを5年、あるいは10年前のレベルにすることであるが、単に過去への回帰ではないし、個々の工程・設備の大きさを少しずつ縮小するのでもない。

自動車の塗装は、「塗る、温める、冷やす」の繰り返しであり、実にむだの多い工程となっている。工程の短縮

図-9 車両1台あたりの塗装工場の面積推移

図-10 工程短縮の例 (バンパーツートン塗装)

とは、4 コートを3 コートにできないか、あるいは「塗る、塗る、温める」に変えられないか、といったことである。既に実用化した例として、図-10 にバンパーのツートン塗装を示す。

設備の短縮とは、ブースや乾燥炉を思い切ってもっとスリムにできないか、といったことである。品質を維持し、メンテナンス性を改善しながら実行するために、自動塗装機やロボットの配置、塗布分担、動作機構だけでなく、色替えや塗料供給の方法、コンベアシステムなど基本的な所から現在見直している。

この外にも新しい環境変化を受けて、色替え時の塗料使用量低減といった細かな技術から、塗着効率向上のための新しい塗装機、分散型コージエネシステムといった革新的な技術まで、幅広く検討を行っている。

6. ま と め

現在の自動車塗装システムが確立された10年ほど前から、現在、そして5年先までの自動車塗装を取り巻く環境変化とその対応について述べてみた。それを要約すると以下ようになる。

- ① バブル経済崩壊以前の約10年間自動車塗装を取り巻く環境は好調で、特に品質、自動化、VOC対策について個別的に取り組み、これらの塗装技術を

確立した。

- ② その結果、VOC対策についてはまだ実用化の面で遅れているが相当な改善を進め、品質、自動化については世界のトップレベルに到達させることができた。しかしコストとエネルギー使用量が大幅にアップした。
- ③ 今後の自動車塗装を取り巻く環境変化の予測は、従来の延長線にあるように見える。しかし、大きく異なるのは、質、量、コスト、環境すべてのインパクトが個別的にではなく、同時にかかってきている点である。すなわち個別対応からトータル対応しなければならない環境へと変化している。
- ④ トータル対応の中で、キーワードはコストとエネルギーである。現在の新技術の多くは、バブルの時代や地球環境問題が現在ほど深刻ではない時代に企画や開発されている。これら新技術を今後の主流とするには、コストやエネルギーについて本質的にミニマムにする必要がある。
- ⑤ 材料、設備、工程すべての面からトータル対応への積極的なアプローチが望まれている。

自動車の塗装技術開発を担当する者の立場から本稿を執筆した。異なった御見解もあるかと思いますが御指摘いただければ幸いです。