塗装講座 (第 XVIII 講)

色材, 74 [2], 93-99 (2001)

スプレー塗装とエコロジー

杉本 久*

1. はじめに

2000年4月になって企業に新しい環境対策を求める法律「PRTR（環境汚染物質の排出・移動登録制度）」が施行された。指定された従業員数、年間取扱量を超える一定規模以上の企業は、環境への影響が大きな化学物質について、年間に取り扱った使用量をもとに、実際に製品に使われている量、および製品には付着せずに大気や廃水に放出された量、また産廃業者に廃棄物として移動した量などを明確にして行政に報告する義務を負うことになった。2001年4月に全国から報告されたものがまとめられ、2001年末にはそのデータが公開される予定である。塗装分野においても使用している塗料やシンナーの中に含まれている化学物質を把握することやその管理が重要になっている。

また、1996年に制定された環境マネジメントシステム(EMS)とも呼ばれるISO 14001を取得する企業がすでに日本国内で4千件を超えるほどに急増している。環境分析を実施する過程で、これまで企業内で軽視されてきた塗装現場の環境問題がクローズアップされることから、劣悪な作業環境の改善を計画的に進める動きが広がっている。今後は前述のPRTRの導入とリンクした環境改善への取り組みが、さらに加速すると思われる。その上で企業活動としては、これら環境改善対策に加えてコスト低減や、付加価値向上に寄与させることが至上命題である。つまり、環境対応塗料や高機能塗料などを積極的に導入すること、そして、環境汚染につながる有機溶剤・溶剤排ガスや産業廃棄物の削減に加えてエネルギーや塗料使用量を最小限にすることが求められることになる。

そこで、これらの環境対応活動に不可欠な塗装機器における環境対応への取り組みの現状について事例を交えて紹介していく。

2. PRTR と塗装装置の塗着効率

有機溶剤の使用量がゼロか、少ない環境対応型塗料が普及し

平成 12.10.4 受理
Spray Coatings and Ecology
Hisashi SUGIMOTO

* 旭サナック株式会社
愛知県尾張旭市旭前町 5050 (〒488-8688)

図-1 塗装システムの基本構成

つつある。しかし、塗膜品質、耐久性等の面から、環境対応型塗料への転換が困難な分野もかなりある。そのため、大部分は依然として有機溶剤型塗料が使用されており、当面は有機溶剤型塗料が継続して使われると推定される。そこで、有機溶剤型塗料を中心として、環境対応型の二液塗料や水性塗料といった液体型塗料の塗装について述べることにする。

さて、PRTRで報告が義務付けられる化学物質は、実際に製品を塗装する際に大気やブース循環水中に放出されるキシレン、トルエンが主体である。これらは塗料やシンナーの中に含まれ、その環境への放出量は消費量に比例することから、塗装機の塗着効率によって大きな違いが生じてくる。

ここで、塗装システムの基本構成を図-1に示す。液体または粉体の塗料を塗装ガンから対象物に向かって霧状にスプレーすることで、塗料の膜を形成する仕組みである。この後塗料の硬化特性に応じて常温乾燥もしくは一定時間の高温焼付けを行うと塗料特性に応じた塗膜が得られる。各スプレー方式の違いの説明は他の講座に譲ることにするが、おのおの固有の塗装特

〔氏名〕 すぎもと ひさし
〔現職〕 旭サナック(株) 理事
塗装機械事業部 技術開発部長
〔趣味〕 トレッキング、スキーほかアウトドアスポーツ。読書。
〔経歴〕 1976年信州大学工学部電気工学科卒業。同年旭大限産業(株)(現 旭サナック)入社。1994年より現職

とに気づく。焼付け型塗料では、塗膜中の溶剤も最終的に排出ガスになる。また、廃水処理にも大きなコストがかかることは周知の通りである。これを、一般的な焼付け型着色塗料での塗膜厚 $25\mu\text{m}$ (塗膜比重 1.5)、塗装面積 1 平方メートルのスプレー塗装における場合を想定して具体的な数値で示してみたのが、図-2 の塗料の塗装焼付け工程からの廃棄物質である。

1m^2 の面積に対して $25\mu\text{m}$ の厚さの塗膜を得るには、塗着効率が 50% の塗装条件では 200 g の塗料が必要となる。これに対して塗着効率が 90% の塗装条件になると塗料は約半分の 111 g で済む。後処理量も同様にして 150 g が 61 g と約 1/3 になる。このように具体的な数値にすることで物質の流れがよくわかる。

塗着効率を少し変化させるだけで面白いように排出物質の量が大きく変化することから、有機溶剤・溶剤排ガスの削減、産業廃棄物の抑制といった排出物質の管理の面と、塗料使用量を最小限にするという塗装のコスト面からも、塗着効率向上の重要性は明白である。このほかにも色替えの際の塗料や洗浄用溶剤の排出などの問題もあり、PRTR においては総合的な塗料や溶剤の流れを把握しなければならない。

3. スプレー塗装における塗着効率向上のポイント

1) 最適な塗装機器の選定

一般的な塗膜に求められる効果は主に美粧効果であることから、塗膜品質の仕上がりを無視して高塗着効率を優先した塗装機は、実際の塗装現場では使いものにならない場合が多い。

スプレー塗装においては、塗膜の外観品質を向上させるにつれて、塗着効率は低下することが知られているように、塗着効率の高いものが、必ずしも個々の塗装現場の求める塗膜の外観品質を達成できるとは限らないのである。また、塗装現場が必要以上の過剰な塗膜外観品質を目指して、いたずらに塗着効率を低下させて塗料を無駄にしている場合もある。

図-3 は、スプレー塗装機の主要な特性の一つである塗着効率と仕上りの関係を特性曲線として表わしたものである。前出の第 1 図におけるスプレー方式の分類にもとづいて、当社独自の規定による標準試験塗料を使い、吐出量の条件を一定にして、塗装機を持つ固有の調整範囲における塗装性能を図表化した。縦軸は塗着効率を百分率であらわし、横軸は塗膜の外観品質を PGD 計による塗膜の平滑度であらわしている。PGD 値 0.2 前後で一般の粉体塗装仕上げ程度、右端の最大 PGD 値 1.0 では鏡面と同等の平滑度となる。表面分析装置のウェーブスキャンにおける Rating 値は、PGD 値を 10 倍したものにほぼ匹敵するので、データ互換の目安と考えてよい。この図から、同一の塗装機でも塗膜外観品質に応じて塗着効率が大きく変化することがわかる。

たとえば、塗着効率を優先するコンセプトの HVLP ガンのように、PGD 値が 0.6 止まりの塗装機では、PGD 値 0.7 以上を必要とされるメタリック塗装のような高レベルの仕上がりは得られないことも明確になる。つまり、塗装機は被塗装物のそれぞれに要求される塗膜品質の仕上がりレベルをみたしたうえ

図-3 塗着効率と仕上りの関係

で、高塗着効率を発揮するものが求められるのであり、塗着効率と仕上がり状態を高レベルで両立できることが望ましい。

図-3 中の特性曲線を例にとると、水平方向の長さの短いほうが管理幅の広い扱いやすい塗装機といえる。この思想にもとづいて開発された最新のエア静電塗装ガンは、非静電塗装の際にも HVLP をはるかに凌駕する高性能エアスプレーガン（表中 MGB11）となっている。また、このグラフにおける塗装機の目指すべきターゲットは、右上方向の鏡面の平滑性と 100% の塗着効率の達成を究極点として、塗着効率と仕上がり状態を高レベルで両立させる領域である。現状に満足することなく、この領域を目指した飽くなき挑戦が、今後も続くことになる。

2) スプレー粒子は細か過ぎず粗過ぎず

スプレーされた塗料粒子の中には、被塗装物に付着するものもあれば、飛散するものもあり、塗り肌をよくするものもあれば悪くするものもある。

図-4 に示すスプレー粒子径分布は、スプレー塗装における塗料粒子の分布状態のイメージをあらわしたものである。横軸は微粒化した塗料の粒子径をあらわし、縦軸はそれぞれの粒子の存在割合を示している。スプレー方式が異なっても各軸の絶対値が変わっても、この分布の傾向は変わらない。

ここで、領域 I は粒子が細かすぎて被塗物に付着できないものの集まりであり、領域 III は塗装肌を荒らす原因となる大きな塗料粒子群の集まりである。領域 II の塗料粒子群が被塗物に付着して、美しい塗膜を形成することができるが、静電気を印加することで領域 I-b の粒子も被塗物に塗着することがわかっている。つまり、領域 II と領域 I-b の体積割合を大きくすることができれば、仕上がりを犠牲にしないで塗着効率を向上させることができる。したがって、細か過ぎず粗過ぎない適度なスプレー粒子を発生させる粒子径の制御性に優れた塗装機が望まれる。

図-5 は、静電塗装（表中 HB150, -60 KV）と非静電塗装

図-4 噴霧粒子径の分布図

図-5 静電塗装と非静電塗装の塗着効率と仕上りの関係比較

(表中 MGB11) の特性について、最新型スプレィノズル (HN 60) を、おのおの装着して比較したものである。静電塗装化することで粒子径分布における領域 I-b の塗着量が増加し、大幅に塗着効率が改善されることを、よく示している。

さて、前述してきた塗着効率については、その数値の普遍性を保つために被塗装物に平板を用い、スプレィ角度は塗面に対して垂直という理想的な塗装条件を採ってきた。しかし、実際の塗装ラインでは平板の被塗装物はまれであり、立体形状、曲面形状のものがほとんどであり、ブースの排気風速や気流の向きも大きく異なってくる。したがって、一般に実際の塗装ラインでは理想的なスプレィ条件を維持できずに、理想的な塗着効率の数字からかなり低下することから塗料損失が大きくなるのが通例である。そのため、実際の塗装ラインにおける塗着効率は、ライン特有の損失ファクターを求めておき、理想的な塗着効率にそのファクターを掛けて算出しなければならない。

3) 塗装ガンと被塗装面との理想的な距離、角度

被塗装面の法線上にスプレィパターンの軸が重なる状態がベ

ストで、スプレィ距離も短い方が塗着効率を改善する。静電塗装の場合は手元への塗料のはね返り現象を避けるために最短でも 200 mm 程度のスプレィ距離が望ましい。理想的な塗装条件に近づけるためには被塗装面の形状に合わせてスプレィガンを行進しなければならない。

4) 塗りたい所によく付き、塗りたくないところには付けない

無駄のないスプレィガン運行や理想的なスプレィパターン幅、および静電塗装のこまめな電圧制御などによる熟練した人の手作業による場合が、最も理想に近い塗装条件を生み出す。またその動作を再現できるロボット塗装が塗料損失を最小に抑えて塗装品質を安定できる塗装システムである。

5) 優れた静電ガンのコンセプトと事例

最適の塗装機器選定の目安として、優れた静電ガンが具備すべき項目を以下に示す。高レベルでこれらの項目を具備していることが、最新の静電ガンが高性能を発揮している理由でもある。

a. 未熟練者でも高品質の仕上げを高塗着効率で可能にする。つまり、最適の塗装条件への微粒化コントロールが容易なものと作業管理幅が広い。

b. 長時間使用しても疲れない。

ガンボディ重心が最適位置、つまり握りの位置にあると操作バランスがよいことは周知のことである。重心が握りにもっとも近づくようにすれば、重量の数値以上に軽く感じられて、操作がしやすい。

c. 静電気事故に対して安全レベルが高い。

被塗装物の接近にともなってコロナ放電電流が増大すると、高電圧を低下させて危険な放電を防止する電圧制御技術が基本になっている。塗装中は安全レベルの範囲内で、管理幅を一杯に使って最大限の高電圧を供給できれば、塗料粒子への静電気帯電効果がよく、高い塗着効率を維持できる。

d. 故障しにくく、故障しても修理しやすい。

コントローラとの接続ケーブルとガンが分離可能で、コントローラとガンの互換性を有すれば、故障してもスペアガンを準備しておけば、交換も容易で修理しやすい。

e. 長時間稼働させてもノズルの汚れが少なく、塗装トラブルを出さない。

ノズル周囲に配置されるエアジェットの噴口周辺に乱流がなく、エア流のバランスがよければノズル汚れに強い。また、塗料ノズルからの塗料の噴出速度が遅いとノズルが汚れやすく、塗料ノズル口径をしぼると、塗料流速が速くなりノズルが汚れにくくなるので、適切なノズル口径の品ぞろえも不可欠である。

f. 塗装条件が多少変動しても仕上りに影響しない。つまり、作業管理幅の広いことが望まれる。塗着効率と仕上りの関係において特性曲線の水平方向の長さが短いほど、管理幅の広い扱いやすい塗装機といえる。

g. 塗料の変更の際に使用する洗浄溶剤が少ない。

洗浄溶剤の使用量の目安は塗料経路容積の 3 倍以上を必要と

写真-1

するので、塗料経路の経路容積を最小にすると、洗浄溶剤の削減効果がある。また、塗料の定量吐出を妨げない程度に、極力塗料経路口径をしぼると洗浄溶剤の流速が速まるので、同様の効果が得られる。

環境対応型スプレイガンの基本であり中心的なエア静電ハンドガンを例にとってさらに具体的に説明を進める。

(1) 高電圧発生器内蔵エア静電ハンドガンの最新事例と特長

エアスプレイ方式をベースとしているが、前述の図-4のコンセプトを追求した結果、高品質の仕上げと高塗着効率を高いレベルで両立し、最適塗装条件への微粒化コントロールが容易で作業管理幅の広いものとなっている。

また、高電圧発生器を内蔵する静電ガンにおける重くて扱いにくいとする定評に対して、一般的に500g前後の重さのエアスプレイガンをもしのご410gという軽さに到達しており、重量配分にも優れて操作しやすくなっている。

塗料経路についても、水性塗料や二液塗料に対応している。また、成分が沈着しやすいメタリック塗料の塗装現場では、内径3mmの細いスパイラルチューブを用いることで洗浄性を向上するとともに絶縁抵抗の維持に威力を発揮する。

写真-1に高電圧発生器内蔵エア静電ハンドガンの最新型の外観を示す。

(2) 高電圧発生器内蔵エアエアレス静電ハンドガンの特長

塗料に5MPa以上の高圧力を加えてスプレイするエアレス方式がベースになっている静電ガンである。従来のエアレスの欠点であった噴出量の調整幅が少ない、パターン幅の調整ができない、ノズルが詰りやすいといった使いにくい問題点をアシストエアを工夫することでほとんど解消し、新たに微粒化の制御機能も加えたことで、エア静電ガンと同等か、それ以上の機能を具備している。

特筆すべきは、噴出量調整によりエア静電ガンと同一の塗料

写真-2

粘度で塗装ができ、塗膜外観仕上げ性も遜色ないことである。もちろん塗着効率はエア静電方式よりも優れる場合が多い。

エア静電方式との違いは、エア静電方式は塗料噴出量が500ml/min以下に適合するのに対して、この方式は400ml/min以上の塗料噴出量に適合することと、メタリック塗料などの導電性塗料の静電塗装には、塗料絶縁機構の限界から対応できない制約があるだけである。当然のことながら、高電圧絶縁の制約のないエアレス塗装が可能な塗料であれば、高粘度塗料などにも柔軟に対応できる。

写真-2に高電圧発生器内蔵エアエアレス静電ハンドガンの外観を示す。

その他、これらハンドガンシステムの良さを継承したロボット塗装などに使われる自動塗装ガンもある。

4. 塗料・溶剤損失量を最小限にするポイント

多色塗装ラインでは色替えが短時間で、塗料損失と洗浄溶剤および廃棄物が少ない塗装機器を採用することである。以下に事例を示して説明する。

1) カラーバルブ内蔵塗装機

前述したように、塗料経路の洗浄には最低でも塗料経路容積の3倍以上の洗浄溶剤を消費しなければならない。この塗料経路容積の縮小にポイントをしぼり、自動塗装ガン本体にカラーバルブを内蔵することで、カラーバルブとノズル間の塗料経路長さ、経路容積を最短・最小にして色替え時の塗料・溶剤損失量と色替え時間を最小限とするものである。

写真-3にエアアシストエアレス静電自動カラーチェンジガンの外観を示す。

写真-3

理論上は多色仕様が可能であるが、この例は2色に対応したもので、色替えに洗浄溶剤を使用せずに、約3秒間の捨て吹きで完全色替えを実現している。

2) 溶剤回収

カラーバルブ内蔵塗装機を使用しないと、色替え時に多量の洗浄廃溶剤が発生する。

そのほかにも塗装機器洗浄などで、塗装現場には洗浄溶剤は欠かせない。発生する洗浄廃溶剤は、溶剤回収装置を用いて回収・再利用したほうが、化学物質の管理上も望ましい。事例は、単純蒸留による回収システムを採用しており、蒸留・回収機構はすべてオールインワン設計で、電源供給するだけで稼働する。欧州規格の耐圧防爆認定を受けており、廃溶剤をタンクに投入してタイマースイッチを入れるだけで安全に溶剤を回収できる。また、スラッジ排出も容易で、回収した溶剤は100%再利用できる。廃溶剤からの回収効率は最大97%にもなる。

写真-4に溶剤回収装置の外観を示す。

写真-4

5. 環境保全対応塗料への適合

(1) 水性塗料用静電塗装システム

水性塗料の塗装においても塗着効率を可能な限り向上すべきであり、そのためには静電塗装の導入が不可欠である。しかし、塗料が極端な導電性であるため、静電塗装するためには次の2方式のいずれかを選択しなければならない。一方は、放電電極から塗料経路への放電を絶縁するために、塗料経路から確実に空間を隔てて放電電極を配置し、コロナ放電によりイオン化された空気を媒介して水性塗料の粒子を帯電させる外部印加方式。もう一方は、塗料経路を大地から絶縁して塗料経路全体に高電圧を掛ける内部印加方式である。

前者は、比較的容易にシステム形成できるが、塗料への静電気帯電効率が低く、塗着効率に多くを望めない。後者は、塗料自体に高電圧がかかるので塗着効率向上には期待がもてるが、塗料の補充や色替えの際に塗装ラインを停止して、塗料タンクにかかる高電圧を除去する手順が不可欠なので、多色の自動塗装ラインには不向きであった。しかし、塗料経路の途中に空気絶縁を利用するなど、電気絶縁機構を介在させることで、この問題点が解決されている。しかし、様々な塗料絶縁方式が提案されているが、まだ評価の確立されたものはない。そこで、

実績の多い中継タンク方式の事例によって塗料絶縁の基本原則を紹介する。

この事例は、塗料圧送ラインと高電圧のかかる絶縁塗料タンクの間移動式中間塗料タンクを設けており、移動式中間塗料タンクが下降して絶縁塗料タンクと塗料および電気経路の接続により塗料が供給され、供給が完了すると上昇して塗料補充されるという仕組みで、塗料の受け渡し部分にて電気絶縁している。

絶縁塗料タンクには、静電塗装ガンに接続する塗料経路を通じて常時高電圧がかかっているが、このシステムを介在させることで塗装ラインを停止させることなく連続塗装が可能である。図-6に、ボルテージブロックの構造を示す。

今後は、構造のコンパクト、シンプル、保守の容易化がさらに進み、水性静電塗装が普及するものと期待される。

(2) 二液塗料用混合比可変二液塗装装置

塗膜硬化に熱エネルギーを必要としない二液塗料は、CO₂削減の観点から環境対応型塗料として有望視されている。二液塗料の使用方法は、使用する前にあらかじめ計量機を用いて規定された混合割合に計量・混合しておいた塗料を使用する事前混合方式と、専用装置を用いて規定された割合に二液塗料を計量し塗装ガンまで供給する途中で連続的に混合するインライン混合方式がある。事前混合は手作業で行うことが多く設備投資が不要なのでもっとも普及している。しかし、事前混合では、混合比率に応じた計量が不正確になりがちで硬化不良問題を解消できない。そのため、端数の出にくい正確に計量しやすい分量を調査することが行われている。つまり、使用予定量に対して多めに混合塗料を準備するため、使い残しが約30%程度出て廃棄物となり、多色塗装ラインではさらに増大する傾向にあるので環境問題となっている。それに対して専用装置の初期設備投資が必要であるが、使用する分量だけを機械的に計量・混合するインライン混合では、余分な混合済み塗料を生成しないので廃棄物削減に大きな効果があり、ポットライフを短縮するメリットもあって普及しつつある。しかし、混合比率の変更が面

図-6 ボルテージブロックの構造例

倒なことや、排出・洗浄を怠ってポットライフを超過したまま放置すると、塗装装置の塗料経路内で二液塗料が硬化してミキサー以降が復旧不能になる危険性をもっており、多色対応の際にさらにその傾向が強く課題として残っていた。

これらの課題を自動制御技術・流体制御技術によって解決したのが、最新型のコンピュータ制御による二液塗装装置であり、キーボード入力だけで混合比率の設定ができ、ポットライフの管理、自動洗浄やカラーチェンジシステム内蔵など、さまざまなインテリジェント機能を付加することで格段に扱いやすくなっている。この事例の一部仕様を以下に示す。

標準仕様は、ウレタン二液塗料への適合を中心とした混合比可変範囲1:1~1:20（高粘度塗料でなければ1:30まで可能）、最大吐出量21/min、最大塗料粘度1000 cpsといった特性で、コンピュータ制御による多種、多色、複数混合比への対応を可能にしている。急激な二液ウレタン塗装化への流れのニーズに応えたものであるが、塗料経路は全てPTFEとステンレス材で構成されており、将来の水性二液塗料にも対応可能である。

写真-5に自動洗浄、カラーチェンジシステム内蔵CNC二液塗装機の外観を示す。

また、洗浄溶剤の使用量は増大するので溶剤回収装置との組合せは不可欠である。

6. おわりに

環境破壊・汚染物質の生成を抑えることが優先されるので、環境適応型塗料とされるUV・EV硬化型塗料、二液型塗料、無機二液型塗料、水性塗料、水性二液型塗料、粉体塗料などが期待されている。しかし、有機溶剤の消費量を低減するだけで良いかというと、そうでもなさそうである。もう一方の地球温暖化防止の環境側面から見れば、粉体塗料は塗料製造段階で莫大なエネルギーを使用しているし、粉体塗料や水性塗料は乾

写真-5

燥・焼付けに大きなエネルギーを消費して炭酸ガスを生成したり（1KWhの電力消費にて約0.12KgのCO₂を発生）、適用可能な被塗装物が限定されることも多い。このことから、将来の主流になるのは、地球環境に与える負荷が総合的に最も少なく、対象物を選ばない塗膜性能も優れる二液硬化型塗料（水性or溶剤型）であると筆者は考えている。しかし、塗料はそれぞれの得手不得手により、有機溶剤型塗料も含めて一定のバランスのもとで使用されてゆくと思われる。塗装機・塗装システムは、これらの塗料を、塗料条件を調整して被塗装物に効率よく均等に分配しなければならないので、おのおのの塗料特性に応じた機能・構成となってゆくはずである。

冒頭に述べたような新制度や環境マネジメントシステムへの対応を通じて、環境保全に直結する理想的な塗装システムや、高機能塗料などによる高付加価値塗装の具体化が、今後の工業塗装機器の展開のキーポイントであり、その機能を最大限に発揮する塗装技術の追及も同時進行されなければならないと思っている。

文 献

- 1) 杉本：工業塗装, No. 134, P. 67-76.
- 2) 杉本：工業塗装, No. 141, P. 50-55.
- 3) 竹下：塗装技術, '95年10月臨時増刊号, P. 141.
- 4) 伊藤：旭サナック'98年九州地区技術交流会テキスト.
- 5) 旭サナック製品カタログ.