特集

接着剤に親しむ

環境にやさしい装飾と防錆のコーティング技術

—静電塗装技術—*

柳 田 建 三**

Environment-friendly Coating Technologies for Decoration and Rust-proofing
—Electrostatic Coating Technology—*

by YANAGIDA Kenzo**

キーワード

静電塗装, 粉体塗装, 水性塗料, 粉体塗料, 環境負荷, 塗着効率, オバー Sprey, 塗料回収, リスクアセスメント, 帯電

1. はじめに

一般に塗装は塗装対象物への美観性付与や防錆・保護を目的として行われるが、最近は地球環境保護の目的で、従来型の塗装方法・使用塗料からの見直しや改善が求められるようになってきた。それゆえ、塗料については、従来の溶剤型塗料から水性塗料や粉体塗料のような低溶剤・無溶剤型塗料への転換が進められてきた。一方、塗装方法についても、塗料使用量の削減により環境負荷低減を図る為の取組が進められてきた。工業塗装プロセスでは、環境対応と同時に生産性向上と美観性付与も求められる為、これらを実現する塗装機として、塗着効率向上による塗料使用量の削減効果が期待できる静電塗装ガンが広く採用されている。本稿では、環境対応型塗料や吹付型塗装機全般について概説した後、静電塗装方法の特徴について紹介する。

2. 塗料と環境対応

工業塗装プロセスにおいて、使用する塗料の種類によって、環境負荷に対する影響は大きく異なる。従来より多くの塗装工場で使用されてきた溶剤型塗料は、VOC（揮発性有機化合物）を多く含有する為、大気汚染の原因のひとつとなっていた。それゆえ、最近は表1に示すように、VOC含有量の少ない水性塗料、或いは全くVOCを含まない粉体塗料が代表的な環境対応型塗料として認知されており、

採用事例も増加してきた。

一方、最近の傾向として地球温暖化対策への配慮が塗料にも求められている。それゆえ、塗料に対する温室効果ガス（CO₂）排出量の客観的な評価方法として、ライフサイクルアセスメント（LCA）が注目されている。LCA自体は新しい概念ではなく、1990年代頃から、環境影響評価の手法として採用が検討されてきた。しかしながら、当時は客観的な評価基準が明確になっておらず、研究グループ毎に個別の環境負荷係数やデータが使用された為、調査結果の比較が困難であった。

しかし、近年客観的な環境負荷評価を行う為の指標として、カーボンフットプリント（CF）が用いられるようになってきた。CFは直訳すると「炭素の足跡」の意味であるが、一般にある製品が販売されるまでの温室効果ガスの排出量により表される。CFの代表的な規格として、2008年にBSI（英国規格協会）が発行した英国規格PAS2050が挙げられる。現在欧州を中心にこの規格が用いられており、塗

表1 各種塗料の比較

項目	粉体塗料	水性塗料	溶剤塗料
組成	固形分	100 %	20～50
	媒体	空気	水/溶剤
塗装	被塗装物	金属	全般
	作業性	○	△
	焼付	150℃	常乾～
	回収	可能	難しい
塗膜	ガス	発生無し	水/溶剤
	性能	◎	○
	外観	○	◎
コスト	最低μ	30	20
	塗料代	（総合的に考えないと難しい）	15
VOC (g/m ²)		0	20～40
			100 以上

*原稿受付 平成24年6月1日

**旭サナック株式会社 Asahi Sunac Corp.

図1 カーボンフットプリントによる解析結果例¹⁾

図2 手動塗装設備の構成例

図3 自動塗装設備の構成例²⁾

料樹脂原料を製造・販売しているオランダのDSM社がCFの研究調査結果を報告している。ここでは、紙数の関係で詳細については触れないが、図1にDSMの調査結果報告の一例を示す¹⁾。図1に示すように、水性塗料及び粉体塗料を使用すると溶剤型塗料に比べて低いCO₂排出量で塗装、生産が可能であることがわかる。なお、CO₂排出量の算出条件等の詳細については、同社のWEBサイト (www.dsmcoatingresins.com) を参照されたい。

3. 工業塗装プロセス

3.1 塗装方法

工業用途の塗装方法は、下記の二通りに大別できる。

1) 人手による塗装

図2に示すように、ハンドガンを用いて人手によって塗装する方法で、一般に小規模な塗装設備で採用され、小ロットや小物部品塗装に適している。その他、屋外の建築や構造物の現場塗装でも多く用いられている。

2) 自動機による塗装

図3に示すように、塗装ロボットやレシプロレータ等の自動機に自動ガンを搭載して塗装する方法である²⁾。比較的大きな規模の塗装工場のライン塗装で採用され、塗装条件や機械制御による動作の標準化により、塗装品質の均一化や生産性向上に好適である。

3.2 静電塗装方法

3.2.1 静電塗装ガンの特徴と種類

静電塗装は、静電気力(クーロン力)を利用する塗装方法で、汎用のスプレーガンや低圧ガン、エアレスガン等による吹付塗装に比べ、被塗物への塗着効率を大幅に向上させることが可能であり、生産性の向上や塗料使用量の削減に極めて有効な手段である。静電塗装とは塗装時に高電圧印加(液体静電の場合:-30~60kV、粉体静電の場合:-80~100kV)により塗料を帯電させ、接地した被塗物に向けて噴霧、塗着させる工程である。

代表的な静電塗装ガンとして、下記の機種が挙げられる。なお、上述のスプレーガン等の詳細については、本稿では割愛するので、興味のある読者は巻末の参考文献を参

a) エア静電ガン b) エアラップ静電ガン(※)
(旭サナック製: HB2020S) (旭サナック製: APEG18)

図4 静電ハンドガン

(※エアラップガン: エアレスガンにパターンエア機能を付与したもの)

図5 回転霧化型静電ガン
(旭サナック製: ESA200)

照されたい³⁾。

- 1) エア霧化型: 汎用のスプレーガン(低圧ガン含む)に静電機能を付与したもの(図4 a)参照)。
- 2) エアレス霧化型: エアレスガンに静電機能を付与したもの(図4 b)参照)
- 3) 回転霧化型: 主にロボット等の自動機搭載用のもので、ガン先端に高速で回転するカップを設け、その遠心力によって微粒化を促進させる。大面積を高塗着効率で塗装できる為、自動車ボディ塗装等で広く用いられている(図5参照)。

3.2.2 静電塗装の原理

二つの異なる物体に静電気(電荷)を与えると、両者の間には静電的な吸引力や反発力が作用する。この力をクーロン力と言い、物体間の距離を d 、各物体の電荷をそれぞれ q_1 、 q_2 とすると、物体間に働く力 F は、下式により表される。

$$F = q_1 q_2 / (4 \pi \epsilon_0 d^2)$$

ここで、 ϵ_0 は真空中の誘電率(空気中の誘電率にほぼ等しい)である。 F の方向については、 q_1 、 q_2 の符号(電荷の極性)が等しい場合は反発力、異なる場合は吸引力が働く⁴⁾。

静電塗装とは、上述の静電気力を利用して塗膜を形成する塗装方法で、塗料に液体を用いるものが液体静電塗装、粉体を用いるものが粉体静電塗装である。両者とも基本原理は同じ(コロナ帯電式の場合)で、図6にその関係を示す。図6に示すように、微粒化した塗料粒子に負の電荷を与え、接地した被塗物に向けて、微粒粒子状になった塗料粒子同士は互いに反発しながら、全体として静電気力によって被塗物の方へ吸引されることにより、被塗物の表面に均一に塗料が付着する。液体静電塗装では、表面に付着した塗料の溶剤分が蒸発すると、溶質分の固化により塗膜が形

図6 コロナ帯電式静電塗装の原理

図7 摩擦帯電式粉体静電塗装の原理

成される。また、粉体静電塗装では、熱を加えることにより塗料が融着、固化して塗膜が形成される。このように静電塗装では、静電気力によって微粒粒子状の塗料が被塗物の方へ吸引される為、被塗物を飛び越えた塗料粒子は、被塗物の裏面にも回り込む為塗料の無駄が少なく、効率よく塗膜が形成される。

この他に、粉体静電塗装における摩擦帯電式塗装機のように、粉体塗料をガン内壁と摩擦させることにより帯電させ、接地された被塗物と塗装機の間電界が形成されない状態で静電塗装を行う方法もある⁵⁾(図7参照)。

静電塗装において、基本的に重要なことは、効率よく塗膜を形成する為にも、また安全性確保の為にも被塗物を確実に接地することである。被塗物の接地は、たとえ被塗物に電荷を与えなくても、電荷を与えたことと等価になって、塗料粒子と被塗物の間に吸引力が作用する。また被塗物を接地すると、電位が高い値に上昇せず、高電圧による放電火花が原因となって発生する火災とか塗膜不良等の災害や障害を防止することができる。

4. 静電塗装プロセスにおける環境負荷低減

4.1 液体静電塗装: 塗料使用量の削減

一般に液体静電塗装ガンを用いて塗装する場合、被塗物に塗着しないオーバースプレー塗料の一部は、大気中にVOCとして放出され、残りは塗装ブース(水洗方式の場合)内の水と混合して回収され、スラッジ状の産業廃棄物として取り扱われる。したがって、液体静電塗装プロセスにおいて、環境負荷を低減するもっとも効果的な方法は、塗着効率を向上させることである。塗着効率が高くなるにつれて、塗料使用量は削減でき、その結果、産業廃棄物の削減とVOC排出量の低減が期待できる。さらに、無駄となる吹き捨て塗料も削減できるので、塗料コスト低減のメリ

1. 塗料使用量

- TE35の場合： $100 \div 0.35 \approx 285$
- TE60の場合： $100 \div 0.60 \approx 166$
(静電装置)

2. VOC・産業廃棄物

図8 塗着効率からみた各効果例

表2 塗着効率の向上策

1. 測定・計算してみる → 見える化
2. 面直化(吐出パターン幅の最適化も含む)
3. 不良率の低減
4. 適切な微粒化
5. 適切な静電塗装機の採用
6. きめ細かな塗料吐出ON/OFF条件の設定
7. ロボットの採用ときめ細かなティーチング
8. 色替ロスの低減
9. 徹底的なムダ、ムラ、ムリの排除

図9 自動車ボディ塗装部位毎の塗着効率比較

図10 高速色替対応粉体塗装システム・フロー図

ットも生じる。

図8は塗着効率(TE)が35%と60%の場合における塗料使用量とVOC発生量、産業廃棄物量を比較したものである⁹⁾。紙数の関係で、詳細な計算方法の説明は割愛するが、塗着効率が35%から60%に向上することで、塗料使用量は42%、VOC発生量は40%、産業廃棄物処理費用に至っては65%の削減が可能となる。このように、現在の塗装環境から少しでも塗着効率を向上させることで、大きな効果が得られることがわかる。

表2では、具体的な塗着効率の向上策として9項目が示されるが、本稿では5項の「適切な静電塗装機の採用」に的を絞って話を進める⁷⁾。図9は、自動車ボディの中塗り工程において、自動ガンを使用せずにスプレーガンと中圧ガン【注】、-40kV静電ガン(旭サナック製:HB2010)のハンドガンだけで車1台を塗装した時の塗着効率を塗装部位毎に比較したデータである⁸⁾。図9において、外板塗装ではスプレーガンの塗着効率32.3%に対して静電ガンでは

53.5%であり、サッシュ(窓枠)部塗装ではスプレーガンの塗着効率3.8%に対して、静電ガンでは20.4%と大幅に改善されることがわかる。この結果は、静電効果の付与が塗着効率向上に大きく貢献していることを示している。

【注】中圧ガン：スプレーガンの1種であるが、低圧ガンよりもやや高い吹付エア圧で使用する。ミストの飛散が少ない低圧ガンの特長を継承しつつ、微粒化の改善(仕上りの向上)が図られている。

4.2 粉体静電塗装：回収粉体塗料の再利用

粉体静電塗装においても、塗着効率向上は重要なテーマであり、環境負荷低減には非常に有効な手段であるが、その他のユニークな特徴として、オーバースプレー塗料の回収再利用可能なことが挙げられる。すなわち、粉体静電塗装は、VOCを含まない上に、回収塗料のリサイクル可能な点においても、環境保全に対して極めて有効な塗装方法といえる。一方、温室効果ガスの排出については、一般に粉体塗料の焼付温度が溶剤塗料や水性塗料に比べて高いの

で、若干不利であると推測されていた(表1参照)。しかし、2項で紹介した DSM 社の LCA レポートによれば、温室効果ガスの排出量においても溶剤型塗料に比べて優位であると報告されており、最も環境負荷の低い塗装方法のひとつといえる。

一般的な粉体塗装工程は、図10のフロー図に示すように、粉体塗料を粉体塗装ガンまで供給し、被塗物を静電塗装する粉体塗装プロセスと、オーバースプレー塗料を回収する回収プロセスからなる⁹⁾。

5. おわりに

以上環境負荷低減に貢献し、生産性向上に寄与する静電塗装機について、概要を紹介させて戴いた。本稿は塗装技術の専門外の読者を対象にしている為、静電塗装機に留まらず、塗料や塗装機全般についても簡単に概説させて戴い

た。限られた紙数である上、筆者の力量不足もあり、読者の理解を妨げているのではないかと危惧しているが、この機会に多少なりとも静電塗装技術に興味を持って戴ければ幸いである。

参考文献

- 1) 眞行寺夏樹：パウダーコーティング，12 (2012) 37.
- 2) 日本塗料工業会編：工場塗装ラインにおける塗装・塗料管理ハンドブック，p.138，日本塗料工業会（2001）.
- 3) 日本塗装機械工業会：新しい塗装実務ハンドブック入門編，p.22，日本塗装技機械工業会（2000）.
- 4) 静電気学会編：新版 静電気ハンドブック，p.1193，オーム社（1998）.
- 5) 中央労働災害防止協会編：静電塗装の安全衛生対策，p.8，中央労働災害防止協会（1994）.
- 6) 竹下直孝：塗装技術10月号増刊，48 (2009) 125.
- 7) 戸田紀三夫：2006 TECHNICAL REVIEW，28 (2006) 76.
- 8) 松井貞夫：2007 TECHNICAL REVIEW，24 (2002) 82.
- 9) 柳田建三：塗装技術，48[5] (2009) 97.