最 近 の 粉 体 塗 装

長 坂 秀 雄*

1. 粉体塗装の動向

いまや世界をあげて、省資源、無公害への関心が高まりつつある。世界の資源が乏しくなりつつあるし、公害が拡大し、今やエコロジーを云々しなければならない時期にきている。文明国家を表示するわが国としては、ある程度の経済性を無視してもこの二つのテーマには取り組まねばならないと思う。極端ないい方をすれば義務であり責任である。

塗装界においても当然この考え方が生きてくる。従来の塗料を用いたほうが楽であり、かつ馴れている。仕上り面も良く安い、公害規制がそううるさくならない等々の理由で現状の塗装方式に甘んじているのは感心しない。塗装業界で年間消費する溶剂量は全世界で400万トン(1973年)といわれる。塗膜を形成してしまえば全く用のない溶剤を空气中に蒸発させてしまうことだけをとってみても正に省資源、無公害に逆行していると言える。従来の溶剤型塗料からこの目標に向っている塗料としては水系塗料、ハイソリッド塗料、粉体塗料などをあげることができる。これらを総称して公害対策塗料と称しているが、全塗料量に対する比率はこれらが増え、溶剤型が減少することはすべての人が認めているといっても間違いはない。ただ、この比率が年と共にどのように変化していくかは各種の予想があり、なかなか定めがたい。

これら三種の公害対策塗料を、含有溶剤の点からみると、水系、ハイソリッド共にいくつかの溶剤を含み、全く溶剤のない粉体に比べると劣る。もちろん含有種溶剤を処理し、かつ水処理も完全にすれば良いわけであるが、放出される粉体を処理するよりは大規模な設備にならざるを得ない。

次に使用熱量の点から比較してみると、水の蒸発潜熱

が大きいだけに水系塗料を用いての塗装では相当の熱量を必要とする。ハイソリッド塗料の場合では塗装時の外周ふん囲気を適切条件に保つために加熱空気を必要とし、この空気を循環再使用できないので、消費熱量はやはりかなりのものとなる。この点でも粉体塗装の優位は変わらない。

次に塗りやすさや塗面の仕上り状態を考えてみよう。水系塗料は多量の水分を含有しているので大気中の湿度の影響が多きい。ハイソリッド塗料はどうしても粘度が上昇しがちである等々の問題を有しているが、いずれも液体状であるため粉体よりは取扱いになれている。これが塗りやすいという感覚をおこさせる。もっとも粉体というものの挙動は複雑であるところへもってきて帯電機構が重なるので一段と面倒になる。

仕上がり面になると、差は一層明瞭となる。溶体塗料が物体の表面を流れて膜を作るのに対し、粉体は個々の付着粒が溶融軟化して相互に結合して膜を形成していくことになる。必然的に液体状塗料によったものは平滑で、粉体塗料を使ったものは凹凸面がしやすい。塗装、塗膜に対する概念が少しずつでも変化していかない限り、粉体塗装の受入れがスムーズにいかないであろうことを否定しない。

更に塗装ラインの現況を直視する必要がある。大半の塗装工場は立派な塗装ラインを保有している。現在のような低成長時代ではラインの増設もすくない。このような状況下では既設ラインを除去して、全く新しい粉体塗装ラインを新設するには大きな決断がいる。しかるに、ハイソリッド系への切り換えならば既設ラインの手直しで事がすむ。粉体塗装の伸びなやみの一因はこんなところにもあるようである。

どんなに小さくとも粉体塗装を行なうとなると、前処理、塗装、加熱をつなぐコンベヤが一般には必要となる。溶剤型塗料のように簡単に手吹きでガンで吹き付けて常乾にするということではできない。いきおい小さな塗装屋さんでは粉体塗装はかなりむずかしく、使われる範囲は限定されてくる。

昭和 52.12.14 受理
Development of Powder Coatings
Hideo NAGASAKA

* 茨城大学工学部
日立市中成沢町 4-12-1

しかし、上手に設計された粉体塗装の新設ラインはすばらしい能力を発揮し、粉体塗装の優秀さを十分に示しているといえよう。また粉体塗料の改良も進み、ある種のものでは世界的レベルを抜いていると見ることもできる。

こうしてみると、近い将来においてわが国の粉体塗装の伸びがどのような状況を示すかは、いくつかの原因によっていえる。たとえば省資源というもののどれくらい真剣に取り組むかということもその一つである。これはなかなかむずかしいようである。無公害という点でも、溶剤規制がどれくらいきびしくなるかという要因が大きい影響力をもつ。塗膜に対する評価が外見を重視するか、または性能をまっ先にするかが大きい分岐道になるが、わが国での外見重視の感覚は当然あらたまらないであろう。

わが国の経済成長が今後どのようになるかが一つの主要因となるであろうが、イメージの点でも粉体需要量の点でも自動車産業の取り組み方が粉体塗装の今後の動向を大きく左右するのではなからうか。

本田技研工業が世界で始めてボディーの下塗りに採用し、かなりの成果を収め、また日産自動車がトラックの上塗り用として、これも世界で最初に工業化に移した。一方、イタリアのフィアットが下塗り用の工業化ラインを動かし始めたと聞くし、アメリカのフォードは上塗り用の中間規模ラインを動かし、かなりの線までいっていると聞く。いわば自動車産業での粉体塗装が活発化してきただけに、この動きが急上昇するならば大きな期待がもてるのではなからうか。

反面わが国では余りにも仕上り面の美しさを要求するため、下塗りの塗料としての利用面もかなりのびるであろう。そうなれば機能面を重視する方面への採用が多くなり、ゆっくりとした上昇率をたどることになるであろう。誠にその動向をつかみがたい。

2. 最近のアメリカにおける塗装展示会と講演会

1977年10月18日～20日にデトロイトで Finishing '77 (Cobo Hall) が、同じ10月26日～28日にヒューストンで 42nd Paint Industries Show (Astrohall) が開催された。いずれの会合も展示会と技術発表会が併催され、多数の参加者を得た。ここでの見聞がアメリカにおける塗装の動向をかなり明瞭に示しているといえよう。

最も強く感じたことは、省資源と無公害化に関する関心の強いことであつたといえる。添加剤、顔料といった塗料製造に関するものから、塗装における前処理、塗装、

焼付け、メンテナンス等にまで及んでいる。

アメリカは州ごとに公害規制が異なるが、いずれの州もこれに関する関心は高く National Institute for Occupation Safety and Health (NIOSH) にまとめられている報告の一部に次のようなものがある (表-1)。

特に New Jersey における規制はきびしく2年間の間に24条令が出されている。この中の数例を表-2に示す。

省資源に対する考えも強い。脱脂、酸洗、化成処理、焼付けなどの低温化に対し相当な配慮を払っている。そのため薬品の改良、装置の工夫をこらしつつある。排水、

表-1 アメリカでの公害規制の例

公 害 物 質	州 名	NIOSH TR. Report
アクリルモノマー	Ohio	75-106-247
アクリル粉末	Md	73-140-145
アミン (Aliphatic)	Miss	75-116-240
" (Aromatic)	Miss	73-173-244
ビスフェノール A エポキシレジン	Colo	73- 84-119
エポキシレジン	Vt	75-108-111, 113-244
エチルベンゼン	Ind.	74-121-203
エチルブチルケトン	Mo	72-22, 31, 34-2
イソプロピルアルコール	Ohio	72- 68- 25
メチルエチルケトン	N. Y.	74-135-226
	Pa	74-146- 22
メチルメタクリレート	Ohio	74- 53-179
ナフサ	Kan	75- 81-252
塗料 (粉じん)	Ohio	72- 40- 52
" (溶剤, 顔料)	Calif	73- 58- 96
" (溶 剤)	Vt	75-108, 111, 113-26
" (吹付時の鉛)	N. J.	73- 99-108
トルエン	Pa	74-146-222
キシレン	Ohio	72- 68- 25
	Pa	74-146-222

表-2 New Jersey での公害規制

公 害 物 質	NIOSH TR. Report No.
トルエン	72-20- 11
一酸化炭素	73-17- 63
アルキドレジン	72-67- 87
エポキシ塗料	72-67- 87
クロム	73-99-108
エチルアルコール	73-53-183
2-ニトロプロパン	73-53-183
酸化チタン	73-53-183

排気などの処理施設も低エネルギー化が試みられつつある。

2.1 Finishing '77

従来は Powder Coating Conference と名づけていたものを、範囲を広げて粉体塗装をこの中に含ませたスタイルをとっている。主催者の一人の話によると、来年は Powder Coating Conference を計画しているらしい。Conference では 90 報告が提出され、粉体塗装関係はすくないが、全体の 90% が塗装関係で、Coating '77 のタイトルのほうが良さそうである。一方展示会の大半は粉体塗装関係で、矢張り他の Finishing はきわめてすくない。従来の実績からきているようである。

1) 展示会関係

出品会社数は 70 社ほどであり、傾向を見ると次のようである。

まず塗料関係であるが、Armstrong Products, Dupon't, Farboil, Polymer Corporation 等の出品があったが、数からみて従来の半分ほどである。これは粉体塗料が定着してここ 1 年ほどの間に画期的な製品が出なかったためではなかろうか。大きな進歩の前の安定期間と見ることでもできよう。

次に塗装機関係であるが、大手のメーカーはほとんど出品していた。しかし、塗装機そのものにはやはり大きな進歩は無いようである。注目を集めていたのは塗装のロボット化で、数社が展示場をにぎわしていた。x, y, z 3 軸を自由に動くロボットは人間に代わり、衛生上の問題、汚水の問題、塗膜の信頼性の問題を一挙に解決してくれそうである。しかし、ロボットを受入れ使用する側の一段のレベルアップがその前に必要になってきそうである。塗装のロボット化は近いうちにいずれできるであろう。

特殊なバーナーを利用して吊具に付着した塗料を瞬時に焼きつくし、無公害で除去する装置も発表されていた。赤外線焼付け炉の展示が多いのも、省資源の為であろうか。

いわゆる Coater といわれるものの出品が特に少なくなっている。B. L. Downey and Co. とか Polykote Inc. のような大手の粉体塗装業者は残っているが、技術の優劣差が明確になり、脱落したものも多いのではないかと思われる。

検査機、試験機の展示が例年よりも多いように感じられた。膜厚計にしても、耐候性試験機にしても簡単に取扱えるということの一つの目標にしているようである。これからは塗膜のテストが常識化するのを物語っているとも言えよう。

2) 会議関係

粉体塗装関係のものとして次のような報告がある。家庭用機器のコーティングを従来からの溶剤型塗装やホウロウがけから粉体塗装に切換えうる可能性は大きい、数々の四囲条件を考慮しなければならないとしている。ここでも i) 溶剤規制は次第にきびしくなる。ii) エネルギー節約は重要であると強調している。たとえばエネルギー節約の面であるが、ホウロウがけと粉体塗装を比べると、i) 焼成温度差が 1,200°F, ii) 皮膜厚さはホウロウで 6~8mil に対し粉体は 1.5~2.5 mil, iii) 使用鋼板の差が価格差にして 15~17%, iv) 前処理は粉体の五工程のリン酸塩処理に対しホウロウでは十工程のビッキング処理となる、としている。一方 2 コート、2 ベークのアクリル液体型塗料と粉体塗料を比べると、価格はそれぞれ \$ 0.011/呎² と \$ 0.015/呎² となるが、労賃と機器のメンテナンスで粉体の方がはるかに優位としている。

表-3 粉体塗装への切換え可能な機器

イ) 冷蔵庫と冷凍庫

部 分	従来の仕上げ	適切な粉体塗装
内部ライナー及び関連部品	ホウロウ、変性アクリル焼付け	エポキシ、アクリル、ポリエステル
キックパネル	1 回又は 2 回塗アクリル焼付け	同 上
柵	亜鉛メッキにクリヤー塗装	エポキシ
庫体及び扉	1 又は 2 回塗りアクリル又はポリエステル焼付け	ポリエステル又はアクリル

ロ) レンジ

レンジ本体	2 コート、2 ベークアクリル：ホウロウ	アクリル、ポリエステル
フー ド	2 コート、2 ベークアクリル	同 上
オープン扉	ホウロウ	アクリル

ハ) エアコン

外部ケース	2 コート、2 ベークのアクリル吹付け塗装 2 コート、2 ベーク電着／ポリエステル の静電吹付け	アクリル、ポリエステル
コンプレッサー	2 コート、2 ベークアクリル浸セキコート	エポキシ

ニ) 小型部品

フェノール製アイロンハンドル	2 コート、2 ベークエポキシプライマ／アクリルトッブコート	アクリル、ポリエステル、エポキシ
フェノール製ミキサベース	同 上	同 上

表-4 エポキシレジン粉体の評価

種類	応用性	ガンでの流れ	加工性	焼付け	生産性	均一性	外観	残溶剤	けむり	注文性	ホッパーでの流れ	カバリング	計
1	3	1	2	3	2	3	2	4	2	2	1	2	27
1 a	3	3	2	3	2	3	3	4	3	3	4	3	36
2	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	2	3	37
3	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	45
4	2	1	2	2	2	4	3	4	3	3	3	3	32
4 a	3	4	1	3	3	4	3	4	1	2	4	3	35
4 b	4	4	1	3	4	4	4	4	3	3	4	3	41
5 a	3	4	4	3	1	2	2	4	3	4	4	3	37
5	2	4	4	3	1	4	4	4	3	4	4	3	40
6	2	4	2	2	1	3	4	3	3	2	4	2	32
6 a	4	2	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	43
7	2	2	4	4	2	4	4	4	3	3	4	2	38
7 a	2	2	4	4	2	4	2	4	3	3	4	2	36

応用性：各種素材の適用性，加工性：塗料自身の加工しやすさ，焼付け：焼付け条件の良否，均一性：仕上り面の状況，生産性：全般的な生産効率，注文性：注文条件への合致性

(記号) 1：不可，2：可，3：良，4：優

またフェノールレジン成型品に対する塗装では液体型より粉体の方がまきり，工程も1コート，1ベークと節減される。結論として，切換え可能な機器として表-3のようなものを示している。

粉体塗料における塗料選定の重要性を強調した報告もある。すなわち価格，単位重量あたりの塗面積などの要因ばかりでなく表-4のような粉体評価をすべきであると述べている。

2.2 Paint Industries Show and Technical Meeting

1) 展示会関係

130社をこす展示で活況を呈し，塗料，塗装に関する有力会社はほとんど参加していた。しかし塗料関係では水系とハイソリッド系がほとんどで，粉体系が僅少であったのはFinishing '77と対称的である。塗料製造機器もこれを目標としたものを指向し，前処理も省エネルギー型を強調していた。

2) 講演会関係

発表された報告はほとんど省資源，無公害関連で参加者も多く討論も活発であった。たとえば適切な塗装方式の選定は省資源，エネルギー節約にむすびつき，これが無公害化につながると述べ，塗装が既にこの時期にきていると結んだ報告も2～3見られた。

また，ブラストクリーニングを施した試片をSEMでしらべ検討した報告もあったが，良い前処理の上の塗装は長寿命を保つので資源節約に至ると述べている。目標

としては，各種の塗装条件に最適なブラスト表面を定めようとしているが，今後に多くを残しているように思われた。

3. 欧米における粉体塗装

粉体塗装にも各種の方法があるが，最近では粉体消費量から見て静電粉体塗装法，流動浸セキ法，溶射法の順序になると思う。前の二者はヨーロッパから，後者はアメリカから始まり世界的に広がった技術である。総括的に見た場合次のようなことが言えるのではなからうか。

多くの方面で爆発的注目を集めた静電粉体塗装も，最近に至って冷静化したように見えるが着実な歩を進めているといえよう。これは塗装ラインに対するシステム技術がかなり進歩し，言うなれば使えるラインができた点並びに粉体塗料の品質が向上した点が大きく寄与していると思う。このため高性能塗膜が低価格で得られる結果となっているようである。表-5はヨーロッパでの熱硬化性粉体の年間需要増の状況を示したもので，これに熱可塑性粉体加わって粉体総量となる。2年ごとに倍増していることがわかる。表-6は世界の粉体消費量の現況と将来予測であるが，既にアメリカが優位に立っていることは明瞭である。

次に流動浸セキ法であるが，開発以来既に20年に近い歴史を有しているが根強い需要をもっている。主として熱可塑性粉体を用いるもので，ポリエチレン，ナイロン，PVCなどが多い。装置が簡単で色がえも容易であ

表-5 ヨーロッパでの熱硬化型粉体の消費 (ton)

	1972年	1974年	1976年
イギリス	400	1,100	2,000
スカンジナビア	500	1,100	1,500
ベネルックス	500	900	1,500
イタリア	900	1,400	3,000
フランス	1,000	1,800	4,000
西独	2,100	3,500	6,000
東欧	200	400	2,000
その他	200	400	2,000
計	5,800	10,600	22,000

表-6 粉体塗料消費量

	1973年	1980年
アメリカ	2万トン	13万トン
ヨーロッパ	1.2	6
日本	0.7	4
計	3.9	23

る点が特徴で、概して加工設備は小型のものが多い。欧米では加工業者が静電粉体塗装設備とこれと両方を有している例が多い。これは被加工物に応じて巧に使いわけているためである。よって今後もこの方法による加工が当分の間行なわれていくことであろう。

最後に溶射法であるが、30年に近い歴史を有しているにもかかわらず、需要量はなかなか増していけない。ヨーロッパにおいてナイロン溶射がいくらか行なわれている程度である。ただ最近アメリカにおいて Sealectro 社がプラスチック専用のプラズマ溶射装置を開発し努力を重ねているので、順調に工業化に移れば全体の状況が変化するかもしれない。

この他にも数種類の粉体塗装方法が開発研究され、その中のある種のものは工業化に移されている。また、これに関する周辺技術も次第に整備されつつある。一方粉体塗料の改良も進みつつあるので、全体的に見て今後の進展に大きな期待がもてると言えよう。

応用面を見ると、ヨーロッパとアメリカではかなり差があると思う。

ヨーロッパでは金属家具(パイプ式)、事務器、電気機器、照明器具、自動車部品などへの加工が多い。庭園用としてのパイプ家具は、耐候性と暖かい感じの要求からナイロンの使用が多いが、学校などで使用する机、椅子などはもっとばら強靱性を要求されるのでエポキシレジンの使用が多い。病院用ベッドはある程度のクッション性

表-7 空調機の塗装費 (膜厚 0.002 inch/ft²)

前処理	0.108 p ^{*1}
炉(前処理)	0.024
粉体塗料	1.253
炉(焼付け)	0.049
コンベア ^{*2}	0.002
計	1.436 p/ft ²

*1 ペンス (英国)

*2 コンベアの動力費、保全費等を含む

(当たった時にけがのないように)を要求されるので、PVC やナイロンの厚いコートを施している。

電気機器の一例として空調機の例を示そう。1~3.2 mm の銅板にリン酸亜鉛の前処理を施し、これにエポキシ粉体塗装を施すと 10~15 年の防錆力がある。もちろんチョーキングの問題はあるが、この場合たいした問題にしていない。塗装費を表-7 に示すが 90円/m² 程度である。この他冷蔵庫、皿洗い器、洗濯機、ガスレンジ、組立式の棚等々多数の加工例がある。

照明器具は屋外用、室内用、工場用など各種のものが加工されているが寿命の点から好評のようである。また自動車部品の応用は種類が多いが、粉体塗装したあとで加工できるという特性を巧に利用している例もある。

アメリカでの応用例としてこれらのものもあるが、パイプやガラスびんへの加工量は更に多いようである。またコンクリート用鉄筋への加工なども今後は面白いように思われる。

アラスカ石油ラインの大口径管の外面にエポキシレジン粉体塗装を行なったのは有名である。その後もパイプ外面塗装がさかんに行なわれ、小口径のものにあっては塗装後に折り曲げなどの加工を施工している。価格的にも性能的にも溶融亜鉛めっきに代わるべく努力を重ねている。

一時期、粉体塗料の最大需要量はガラスびんにあると予想されたが、現況においてはそれほどでない。しかし、破びん防止用としてアイオノマーレジンの透明皮膜が大型炭酸飲料水のびんに適用されつつある。この方面の需要拡大が期待されている。一方着色びん、化粧びんの製造を粉体塗装で行なうことも工業化されつつある。びんはすべて透明のもので、各種の色の粉体塗料を用いて着色びんを作ったり、テキスタイル仕上げで皮革の感じをだしたりしている。多彩な表面状態が出せるだけに、これも面白い用途である。

アメリカ北部のハイウェーでは冬期における雪害防止のため多量の塩類を散布する。これがコンクリートのク

ラック面を透して鉄筋を腐食し道路の陥没を起こす例が多い。このため使用する鉄筋の防食法として各種の方法（一般塗装、亜鉛めっき等）が検討されたが、エポキシの粉体塗装で最良の結果を得た。これをもとに現在既に20カ所以上のハイウェイで施工され、すぐれた結果を示し、その施工箇所を増しているようである。

今後の粉体使用量の大きな分野としては、矢張り自動車産業とガラスびん産業に期待をかけてるいようである。

4. わが国における粉体塗装

わが国における粉体塗料使用量は全塗料の中のせいぜい1%程度である。しかし、将来は表-6に示すように著しい増加が期待されている。

無公害、省資源に対する希望はもちろん大きいですが、現在の応用面をながめてみると、高性能塗膜や長寿命化の方向に広く採用されているようである。ただ塗膜厚が50 μ 以下も可能となったので、今後は従来の塗装に代わる分野への進出も期待され、またその動きも見えてるといえよう。応用分野別にその動向を述べよう。

a) 自動車ボディー

本田技研工業がボディーの下塗りに採用し期待どおりの成果を収めるに至った。最近に至り、日産自動車がトラックボディーの上塗りを開始した。粉体塗装工業においては大きな飛躍を意味すると言えよう。今後世界の自動車産業界が粉体塗装を採用する時の試金石となるであろう。

b) 建築用資材

プレハブ建築のC型鋼に採用されて以来、建材関係への施工が活発化し、わが国では最大のシェアを占めているようである。フェンスや門扉にポリエステルが用いられ偉力を発揮している。今後ますますメンテナンスフリーが要望されるだけに発展は大きいと言える。

c) 交通資材

道路の交通標識、ガードレール、中央分離帯柵などへ広く施工されつつある。最近のような汚染空気下においては一般塗装では防錆力が不足し、粉体塗装の真価が認められつつある。粉体塗料としてはエポキシの他PVC、ナイロンなどが用いられている。

d) 家庭用機器

15年以上も前に電気冷蔵庫の棚板にポリエチレンの流

動浸セキ塗装が行なわれたのが、粉体塗装導入の最初である。以後応用分野が広がり、冷蔵庫本体、扇風機、小型モータ、洗濯機、電動ミシン、計器盤、浴槽等々に及び、ますます範囲が広がりつつある。

e) 大型容器

わが国独自の傾向としてエポキシレジン溶射がかなり古くから工業化されている。主として食品関係への加工が多かったが、最近では大型貯水槽への需要が増しつつある。

ごく最近において溶射したのみでキューアが完了するエポキシレジン粉体が開発され、その工業化も近い。この時点においては加工される容器は一層大型化されることであろう。

5. これからの粉体塗装

粉体塗装は決して完成された技術ではない。開発途上にあると見ることもできる。そのため数々の欠点を有し、これの解決がせまられている。これをあげてみると次のようである。

- a) 色替えが簡単でない
- b) 被塗物への回り込みが理想に遠い
- c) 粉体の付着率が低い
- d) 塗膜の平滑性が不足である
- e) 更に薄膜化が望まれる
- f) 防錆力の十分な塗膜を望む例もある

粉体塗装を従来の塗装と同一に考えるか否かに問題がある。もちろん塗装と称するからにはこの目的を達成しなければならないが、更に広い範囲の表面処理にまで応用できる点を強調したい。既にホウロウの静電粉体塗装は外国で工業化されつつある。金属とプラスチックの混合被覆や、セラミックとプラスチックの混合被覆も可能である。亜鉛やアルミニウムの層とプラスチック層との複層被覆により長寿命塗膜の形成も考えられる。場合によってはセラミック粒を混在させた金属の被覆が達成されるかもしれない。こうなると塗装というイメージから大分離したものとなる。粉体を用いるコーティング法という広い範囲の中におさまるようになるかもしれない。

それにしても上記のa)～f)の欠点を解決するには粉体塗料、塗装設備、周辺機器の大幅な改善を必要とするが、これにあわせて塗装技術の確立も欠かすことはできない。