

# 「環境対応塗料技術」

## 粉体塗料

Paint Technologies for Environment Protection  
Powder Coatings



製品開発研究所  
粉体塗料部  
大西和彦  
Kazuhiko  
Ohnishi

### 1. はじめに

近年、環境保護への取り組み、例えばVOC規制、PRTRの法制化、ISO14000の認証取得と、ユーザーの環境問題に関する意識の高まりが大きい。表1に環境問題に関する主な規制を示す。それぞれの詳細については、過去の「塗料の研究」で解説されているので詳細な説明はここでは省略する。そのような背景のもとで環境対応塗料技術の重要性が高まっており、溶剤型塗料からハイソリッド、水性、そして粉体塗料への移行が進みつつある。当社でも昨今、粉体塗料の問い合わせが多くなってきている。

本報告では、環境対応塗料としての位置づけにある粉体塗料の特徴と市場動向及び当社の粉体塗料の技術開発動向について報告する。

表1 環境問題に関する主な規制

法規・法令	塗料の研究
大気汚染防止法	127、129号
悪臭防止法	-
PRTR(環境汚染物質排出・移動登録)	132、133号
ISO14001環境マネジメントシステム	128号
廃棄物処理法	130号
地球温暖化対策推進法	131号
省エネ法	131号

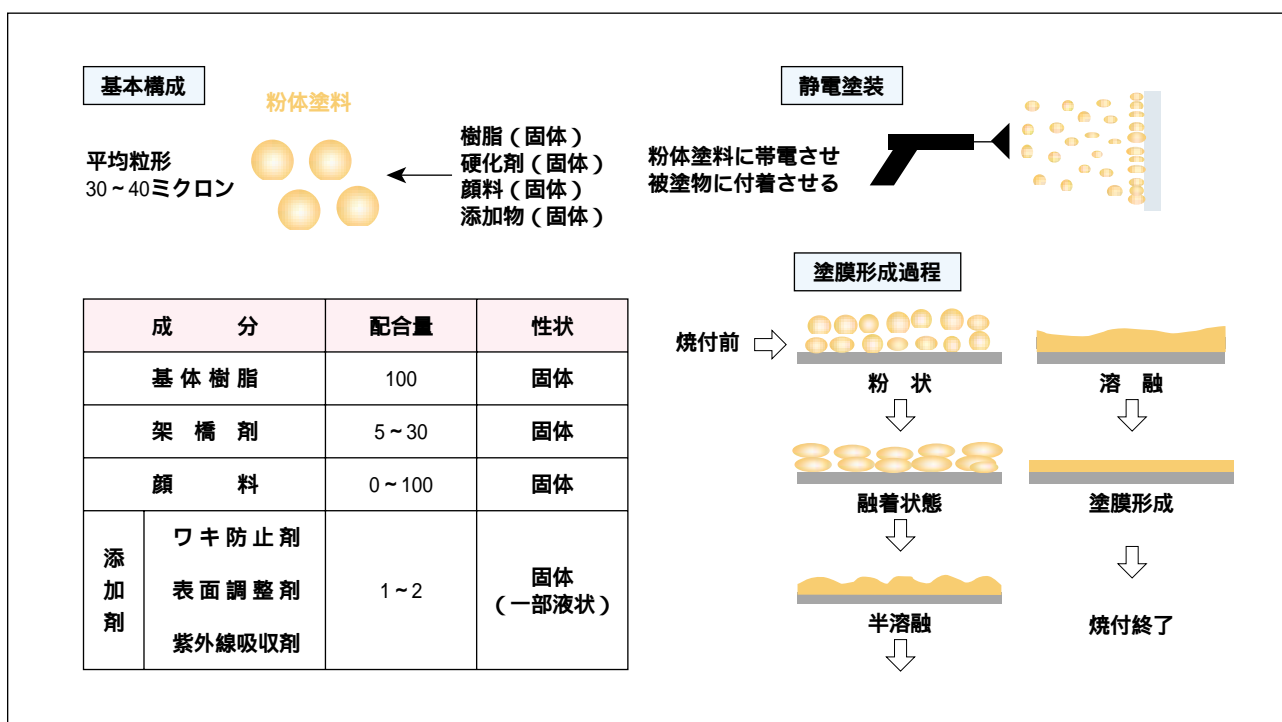


図1 粉体塗料の塗膜形成機構

## 2. 粉体塗料の特徴

粉体塗料の塗膜形成機構を図1に示す。基本組成に示すように溶剤を殆んど含まない塗料であり、塗料の形態としては数十マイクロンの粉の集合体である。また塗装方法は粉のまま静電塗装機で塗装し、被塗物に付着させる。塗着した粉は塗膜の焼き付け過程で溶融して塗膜を形成する。このように塗料自体はもちろん塗装時にも溶剤を使用しないことから、VOC対策には一番適切な塗料であることは明白である。

そのような究極のVOC対策塗料としての粉体塗料の長所と短所を図2に示す。長所は、

- (1) 環境に優しい塗料である。
  - ・有機溶剤を全く使用しない(低VOC塗料である)。

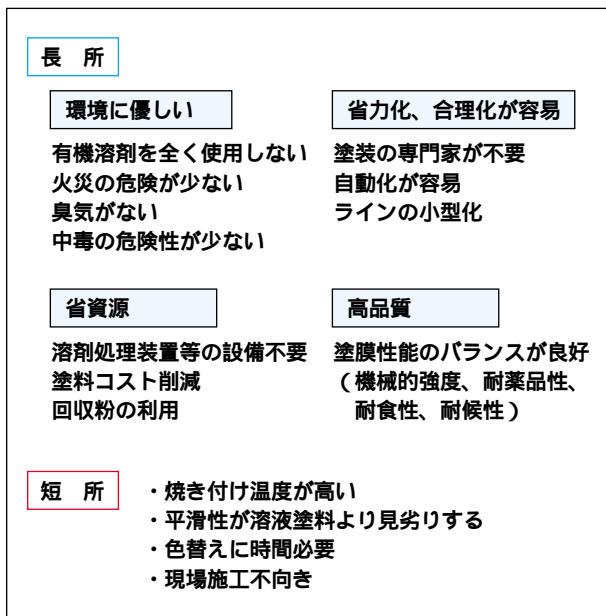


図2 粉体塗料の長所と短所

- ・火災の心配がない・溶剤臭気がない。
- ・中毒の心配がない。

- (2) 省資源タイプの塗料である。
  - ・溶剤処理装置の設備不要・回収粉の再使用による塗料コストの低減
- (3) 省力化・合理化が出来る塗料である。
  - ・塗装の専門家が不要(溶剤を含まないのでワキ、タレを生じない)。
  - ・自動化が容易(塗装前の塗料の攪拌による均一、シンナー添加による粘度調整が不要でそのまま塗装できる)。
  - ・省スペースで塗装できる(ラインの小型化が可能)。
- (4) 高品質の塗料である。
  - ・機械的強度・耐薬品性・耐食性・耐候性(高分子樹脂を使用するので塗膜性能に優れる)。

等の優れた特徴を有する等の長所を持っている。他方、

- (1) ブロッキング対策が必要。
- (2) 焼き付け温度が高い。
- (3) 色替えに時間が必要。
- (4) 現場施工に不向き。
- (5) 平滑性が溶液タイプの塗料より見劣りする。

等の短所がある。しかし、この短所すなわち課題に関しては現在も技術検討が盛んに行われており、近い将来克服されるとものと信じている。

## 3. 粉体塗料の市場動向

現在、世界及び日本で使用されている粉体塗料の主なタイプ別分類としては、表2に示すように

表2 粉体塗料のタイプ別分類

分 類	架橋方式	長 所	短 所
エポキシ粉体塗料(略:EP)	エポキシ基とアミンの反応 エポキシ基とカルボキシル基の反応 イミダゾールまたはジシアンジアミドによる エポキシ基の反応	耐薬品性、防食性 付着性、耐熱性	耐候性
ポリエステル粉体塗料(PE)	水酸基とイソシアネートの反応 (ブロックイソシアネート) カルボキシル基とトリグリシジルイソシアヌレート (TGIC)	塗膜外観、加工性 耐候性、耐薬品性	ブロック剤の離脱
アクリル粉体塗料(AC)	グリシジル基と塩基酸との反応	塗膜外観、塗膜硬度 耐候性、鮮映性、汚染性	コスト コンタミ性
エポキシ・ポリエステル 粉体塗料 ハイブリッド(EP/PE)	2塩基酸ポリエステルとエポキシ樹脂との反応	低温硬化性 経済性	耐候性

- (1) エポキシ粉体塗料( EPと略す)
- (2) ポリエステル粉体塗料( PEと略す)
- (3) アクリル粉体塗料( ACと略す)
- (4) ハイブリッド粉体塗料( エポキシ/ポリエステル (EP/PE と略す)

の4つに大きく分けられ、各々目的に応じた用途に使用されている。

環境問題に対する意識が高く、かつ法規制が厳しい欧米諸国では、近年、溶剤を全く含まない粉体塗料の需要がきわめて高まっているということは周知の事実である。図3に世界

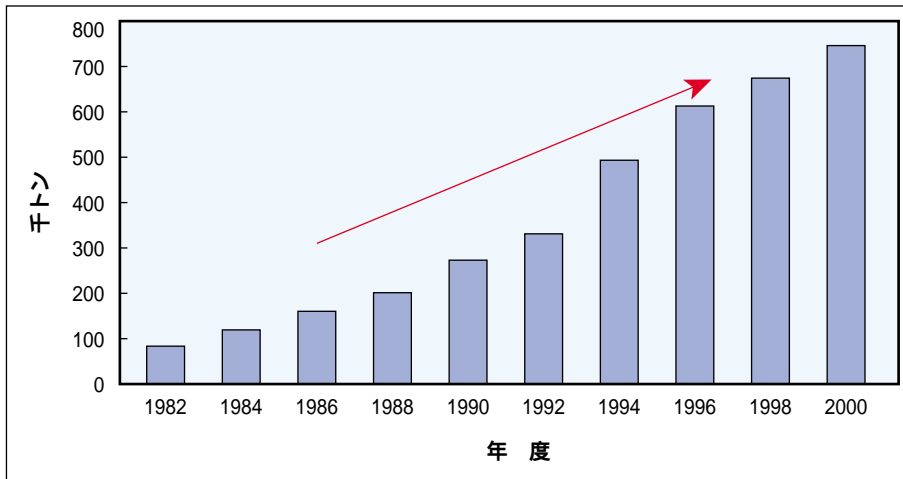


図3 世界での粉体塗料の生産量推移

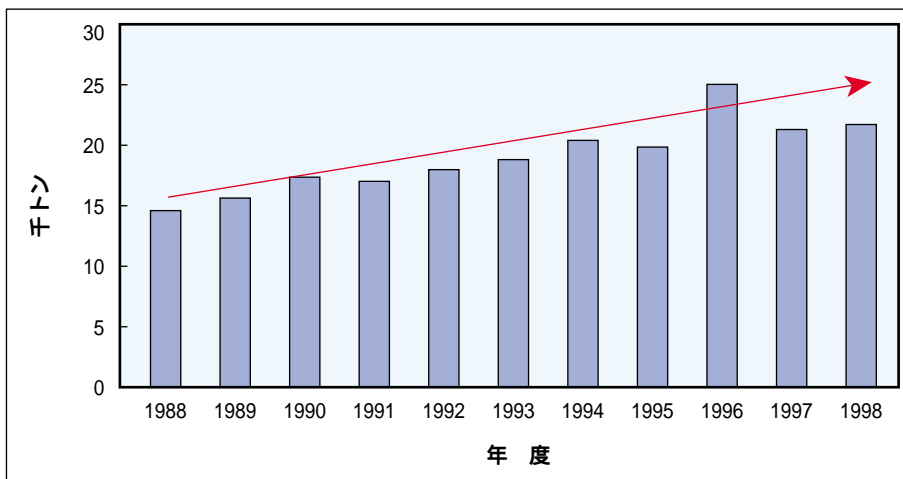


図4 日本での粉体塗料の生産量推移

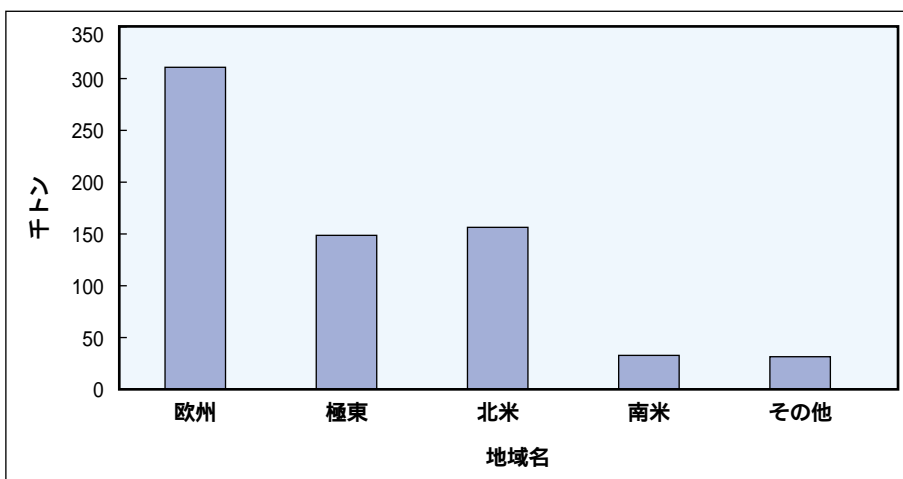


図5 世界地域別での粉体塗料の生産量推移(1998年)

の粉体塗料の生産量推移を示す。1982年に10万トン弱の生産量が1998年には70万トン近くの生産量になり、確実に増加している<sup>1)</sup>。一方、日本での粉体塗料生産量に関して、図4に示すように世界の動きよりは緩やかであるが、約10年で倍の生産量になる勢いで確実に増えている<sup>1)</sup>。

図5に1998年度の世界地域別粉体塗料生産量と、図6に世界主要国粉体塗料生産量を示す<sup>2)</sup>。地域別生産量としては欧州が約30万トン、北米と極東が約15万トンになっている。特に中国の粉体塗料の生産量は今や6万トンであり、日本の粉体塗料生産量の約3倍になっており、伸びに関しては著しいものがある。図7に同様に1998年の世界及び日本での塗料タイプ別内訳を示す<sup>3)</sup>。世界の市場ではタイプ別生産量としてエポキシ・ポリエステルのハイブリッドタイプが約50%、ポリエステルタイプが34%、エポキシタイプが14%、アクリルタイプが2%の内訳となっており、世界の生産量の約半分を汎用途のハイブリッドタイプが占めている。世界では粉体塗料が汎用途に多く使用されていることが推定される。一方、日本市場でのタイプ別生産量の内訳はポリエステルタイプが41%、エポキシ・ポリエステルのハイブリッドタイプが約34%、エポキシタイプが18%、アクリルタイプが7%とポリエステルタイプ粉体塗料の生産量の占める割合が大きい。概して、欧州、中国、台湾、韓国などはハイブリッド主導型である。一方、アジアの中にあっても日本は北米に似たポリエステル主導型で

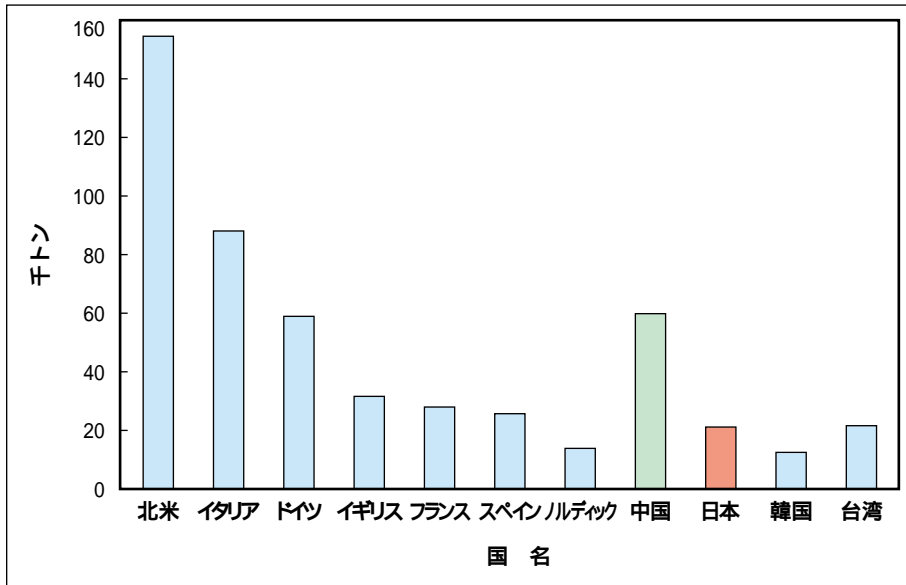


図6 主要国の粉体塗料生産量 (1998年)

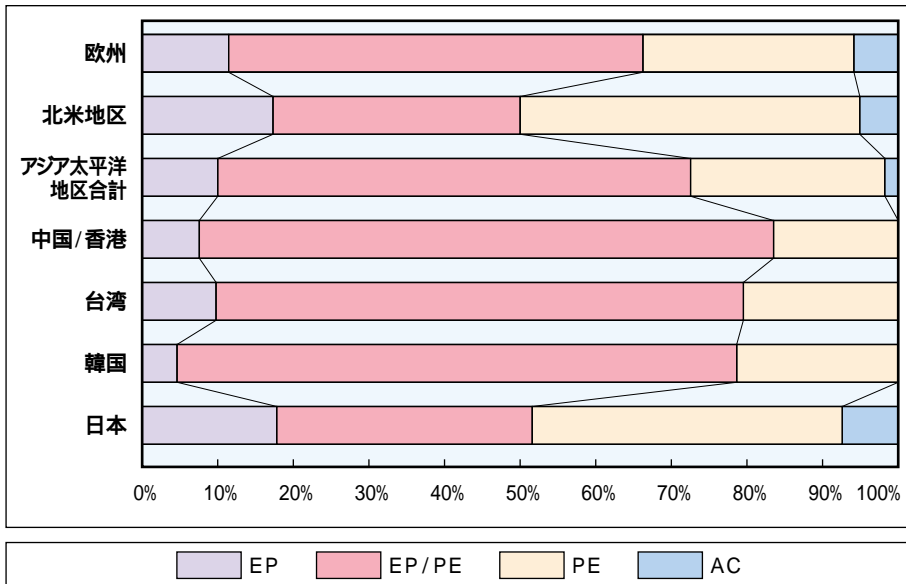


図7 世界及び日本での塗料タイプ別内訳 (1998年)

発を行なっている。図8に当社の粉体に関する主な変遷を示す。エポキシ粉体、ポリエステル粉体、アクリル粉体、エポキシ/ポリエステル粉体の開発・製品化に成功し、また世界に先駆け自動車用粉体塗料(上塗り、中塗り、下塗り)の研究開発、製品開発を行いその実用化に参画したことは当社の粉体塗料、特に最近検討が始められた自動車用途としての技術力向上に役立っている。

最近の市場として汎用工業用途はもちろん、自動車用途、2輪用途、自動車部品用途、鋼製家具、産業機械などの用途が粉体化に動きつつある。パワーショベル、フォークリフトの粉体化及び、自動車部品においてもアルミホイールにとどまらず、オイルフィルター、モーターカバーなどが粉体化に動きつつあり賑やかな市場動向になっている。

日本での粉体塗料の最近の基本的な研究開発課題を図9に示す。主な課題としては、

- (1)低温硬化
- (2)機能性付加
- (3)薄膜平滑性
- (4)意匠性
- (5)コストパフォーマンス
- (6)小口・多色化対応
- (7)新規硬化システム

あり、歴史的な背景を感じる。

このように世界的にも粉体塗料は確実に増加の道歩んでいる。また日本でも緩やかだが着実に伸びており、近い将来ヨーロッパ(特にイタリア、ドイツ)、米国、中国などの国のように一般的な塗料になると考えられる。このような背景のもと、塗料メーカーとしても粉体塗料の研究・技術・製品開発をいかに革新的に、効率的に進めて行くかが重要な課題になってきている。

#### 4. 粉体塗料の技術開発動向

当社は1960年代に日本で初めて粉体塗料を上市し、現在まで粉体塗料に関して各種の新しい研究・技術・製品開

発などであり、現在の溶剤型塗料の置き換えをイメージした開発課題が多くなっているのが特徴である。

当社でも、以上の様な市場の動きに対して色々な開発を行なっているが紙面の都合もあり本報告では、

- (1)低温硬化型粉体塗料
- (2)錆び面でも発泡しない発泡防止粉体塗料
- (3)抗菌性粉体塗料
- (4)汚染防止(汚れ除去性)粉体塗料
- (5)高耐候性ポリエステル粉体塗料
- (6)複層形成粉体塗料

などについて以下順を追って報告する。

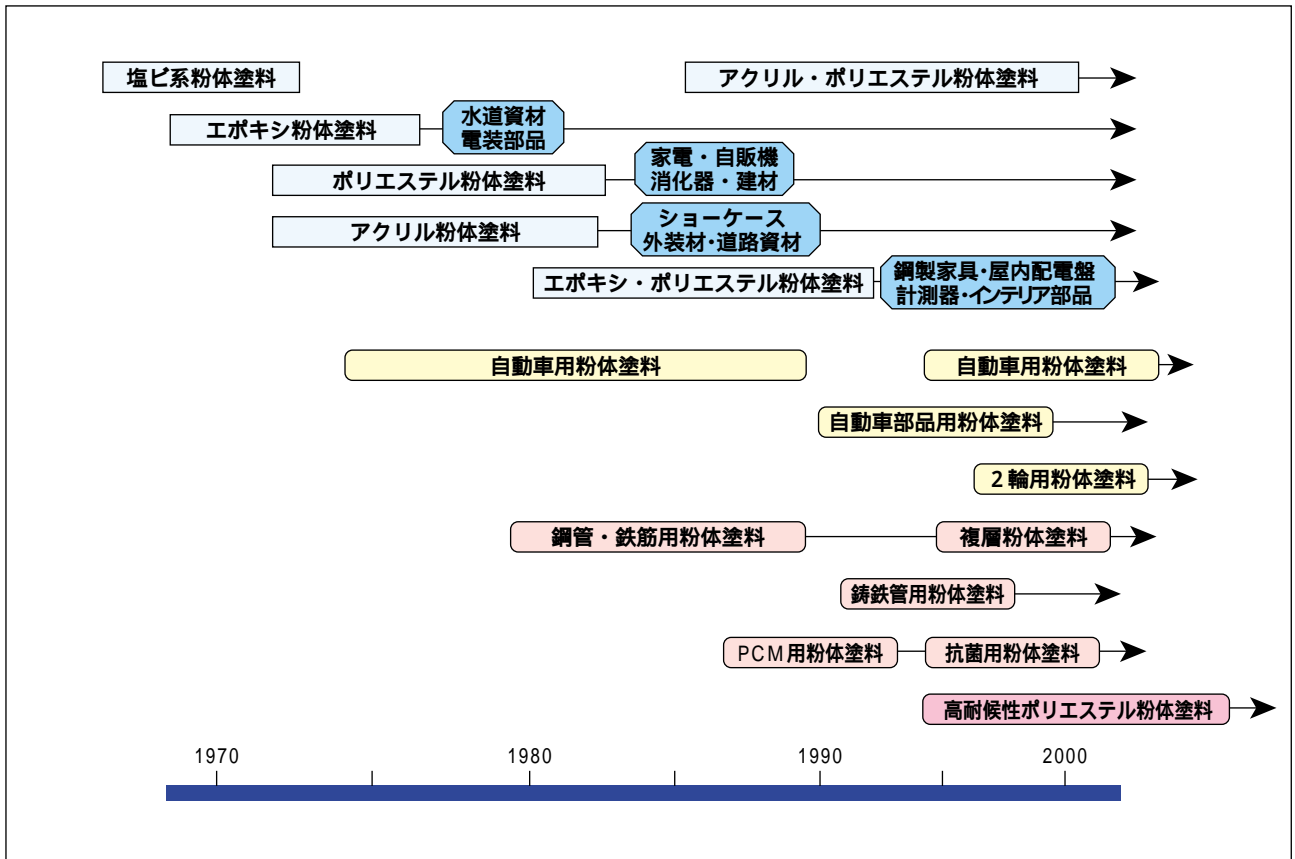


図8 粉体塗料の開発変遷

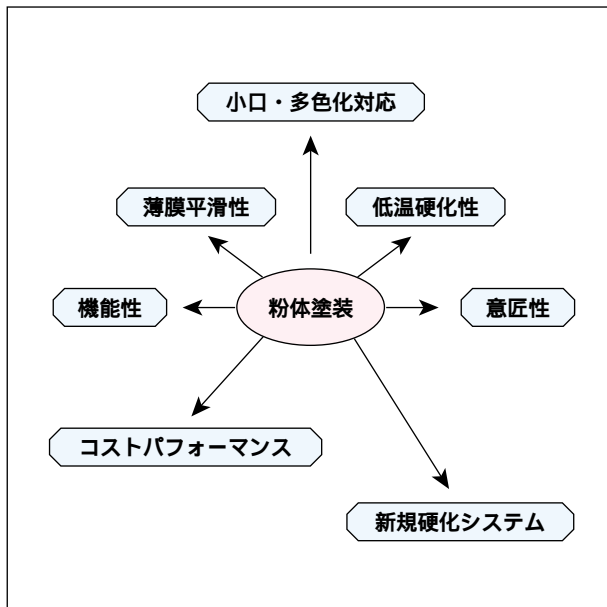


図9 粉体塗料の研究開発課題

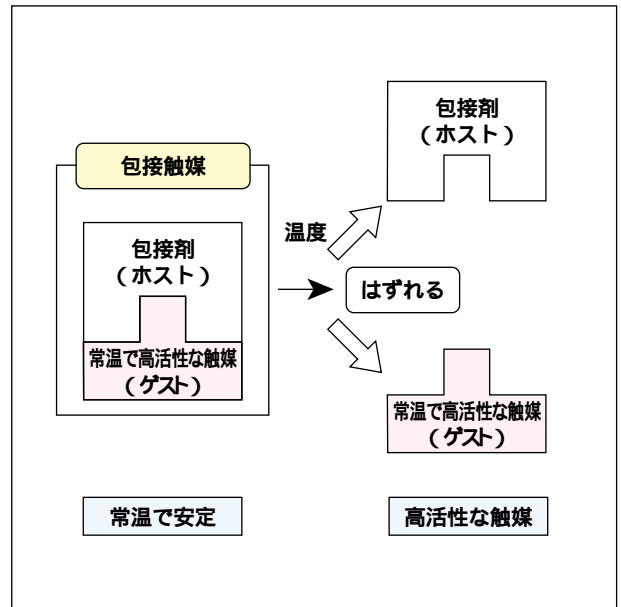


図10 包接触媒のモデル

#### 4.1 低温硬化型粉体塗料

粉体塗料は初めに述べたようにVOC削減の観点からは大変メリットがあるものの、二酸化炭素削減という点では、一般的に焼き付け硬化温度が180と高く、その低温化が急がれている。高活性な触媒や硬化剤を用いれば、粉体塗料の低温焼き付け硬化は充分可能であるが、貯蔵性(ブロッキング性)が犠牲になってしまう。当社ではすでにエポキシノ

ポリエステル(ハイブリッド)粉体塗料に関しては、140 硬化タイプを開発し上市している「エバクラッド 4600LTシリーズ」今回、更に低温化を目的として日本曹達株式会社と共同で包接技術を高活性触媒に適用する技術を完成させ、特許化に成功した。その包接化技術を利用した触媒をエポキシ粉体塗料に適用することにより、「低温焼き付け硬化」と「貯蔵性」を両立しうる技術を見出した。図10に包接

触媒の機構・作用のモデル図を示す。硬化のメカニズムとしてゲスト化合物である高活性触媒が120~130 付近でホスト化合物から解離し、触媒作用でエポキシ基を開環させて、アニオン重合を起こし、塗膜を硬化させるのがポイントである。この技術を適用すると、従来、硬化温度が180 であったエポキシ粉体塗料をわずか130 で十分に硬化させることが可能になり、塗膜物性と貯蔵性を満足する塗料となる(仮称:「エバクラッド No.3800LWシリーズ」)。図11にその低温化エポキシ粉体塗料の貯蔵性を示すが、40 で3ヶ月経過しても殆ど貯蔵変化しない。現在、さらに他の架橋システムへの応用を検討している<sup>4)</sup>。

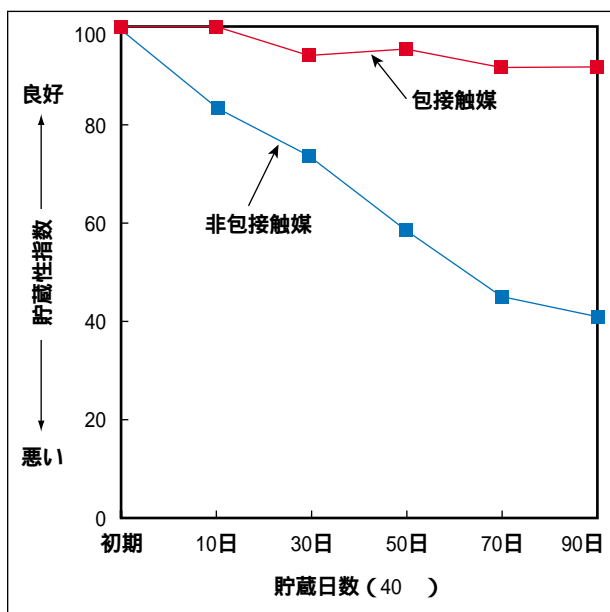


図 11 低温硬化エポキシ粉体塗料の貯蔵性

#### 4.2 発泡防止粉体塗料

鋳鉄には、素材を高温で前加熱を行い、その後にエポキシ粉体塗料を塗装してその余熱で塗膜を硬化させる塗装方法が多く適用されている。とくに水道管には多く使用されている。しかし、素材の錆、または巣穴に起因する塗膜の発泡現象が生じる事が見られるケースがある。一般的なラインでの経験的な発泡対策としては、(1)化成処理の適用、(2)酸処理、(3)空焼きにより塗膜の発泡防止などの対策をとってきているが、完全に解決される場合とそうでない場合もあり、発泡対策は極めて困難でありラインでの塗装管理を難しくしている。

発泡防止粉体塗料はこの様な塗装時の塗膜欠陥を解決する手段として用いることが可能な粉体塗料であり上市され好評である「エバクラッドNo. 3500シリーズ」。一般的に考えられる粘性を低くし揮発分を抜けさせる手法の発泡防止粉体塗料では塗装時の塗料のダレなどが発生しやすく、塗装作業性の面からの塗装管理が困難であり、塗

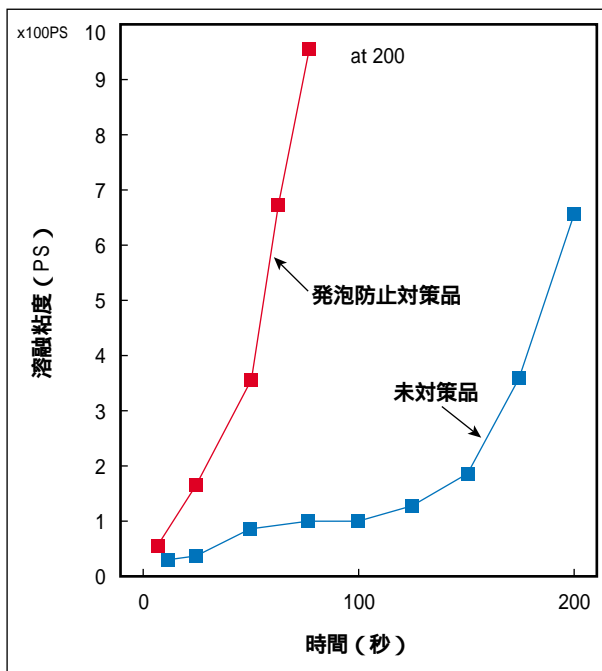


図 12 溶融粘度挙動

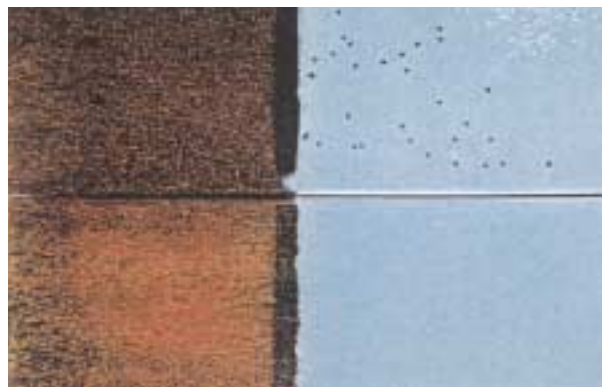
装不良率が多くなる。一方、開発した発泡防止粉体塗料は図12に示すように、粉が被塗物に塗着し融けた時に急激に粘性が上昇し揮発分を押し込む粘性制御技術の手法を用いている。そのため、

- (1) 錆び面、素穴のある素材に塗装しても塗装欠陥が生じなく、
- (2) 塗装管理が非常に簡単であり
- (3) 厚く塗れば塗るほど発泡防止の効果が発揮できる等のメリットがあり、塗装時での不良率も著しく低減する。



断面写真

左 発泡未対策品  
右 発泡対策品



表面写真

上 発泡未対策品  
下 発泡対策品

写真 1 錆び板に塗装した時の塗膜観察

写真1に屋外で強制的に錆びさせた板に塗装した時の塗膜状態を示す。発泡対策品は塗膜断面、表面にも気泡が無い事が見事に確認される。今後、色々な鋳鉄素材に塗装される事を望みたい。

#### 4.3 抗菌対策用粉体塗料

抵抗力の低下した入院患者・老人にとって院内感染は人命にかかわる大きな問題である。この対策の基本は(1)医療従事者の手指消毒の徹底、(2)感染検査法の確立、専門家の配置(3)環境(天井、壁、床)の頻繁な殺菌、消毒でいずれもその基本は感染伝播路を断つことである。しかし、この対策には費用と手間がかかることから抗菌性を持つ抗菌剤の活用などの簡易的な方法が求められてきている。

当社では環境に優しい粉体塗料でも抗菌対策用粉体塗料を実用化し、上市している(「エバクラッドNo.4650シリーズ」)。図13に無機系抗菌剤の構成を示す。特に銀系の抗菌剤は持続性、抗菌性、安全性に優れた特徴を持ち、抗菌ボールペン、靴下などの繊維製品、電話機などに広く使用されている。銀系の抗菌剤を粉体塗料に適用する場合、菌との接触殺菌によることから、多量の配合を必要とすること(コストアップ)、また銀イオンによる変色の欠点等があり塗料への適用を困難にしていた。しかし、銀系抗菌剤の品質向上と同時に塗料組成でのイオンコントロール技術の開発により、各種の粉体塗料での適用が可能になった。写真2が塗膜断面の銀の分布状態である。塗膜内部及び表層にも銀が緻密に存在する事が確認される。また塗膜性能、塗装適性、貯蔵性も良好であり、今後、抗菌対策用粉体塗料としてシステムキッチン、ベッド、鋼製家具他屋内調度品、医療機器衛生器具、家畜飼育用具他 屋内用途全般の感染防止環境造りに使用される事が期待される。

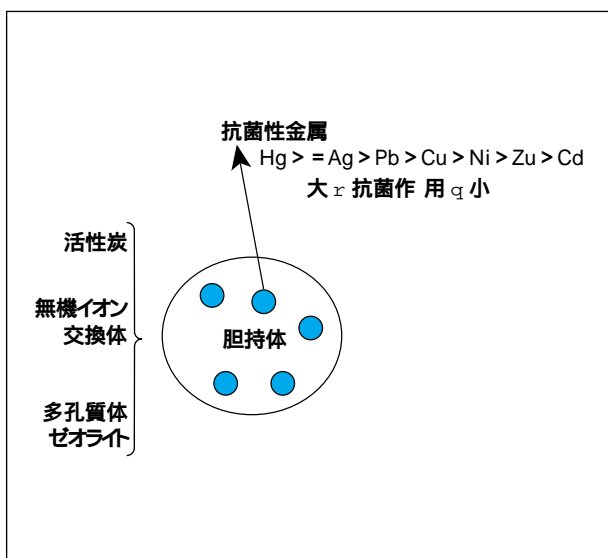


図13 無機系抗菌剤の構成

#### XMA銀分布

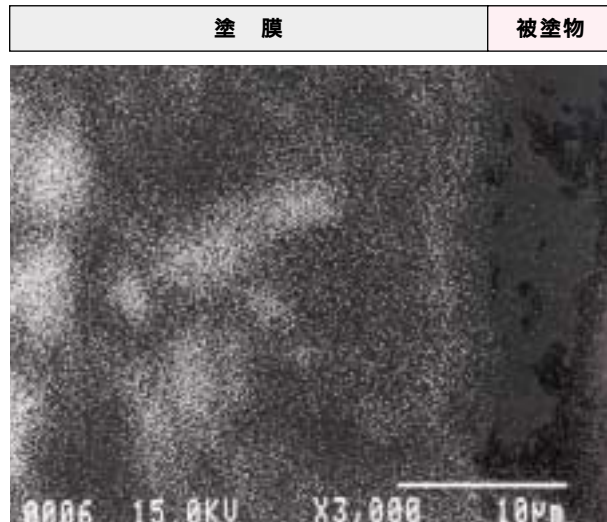


写真2 塗膜断面中の銀分布写真

#### 4.4 汚染防止・易除去性粉体塗料

人が生活する空間では、その生活活動によって何らかの汚れが生じる。とくに日常よく油を使う食堂、及び台所のレンジフードの油汚れ、換気扇、システムキッチンの流し台などは特に油での汚れがひどく生じる。当社で開発した、汚染防止(汚れ除去性)粉体塗料は基本樹脂の改質技術と表面エネルギー制御技術(塗膜表面にシリコン及びフッ素系の撥油基を強固に固定化して撥水、撥油効果を発揮させる)の適用を行なっているのがポイントである。その結果、写真3に示すように開発品は油汚れが付着しても油汚れが拡がらないので油汚れをふき取りやすいが、未対策品は油汚れが塗膜全体にひろがり油汚れを拭き取るのが困難になる。また、この技術を使用すれば開発品はマジックの汚れを写真4に示すように布拭きで綺麗に除去できる。対策をしていない粉体塗膜はマジックの汚れが塗膜に拡がって塗膜に染み込み汚れを逆に広げてしまう。このように油汚れ・マジック汚れの除去性に対しては非常に特徴のある粉体塗料の開発が可能になった。今後、各種の用途展開が期待される。

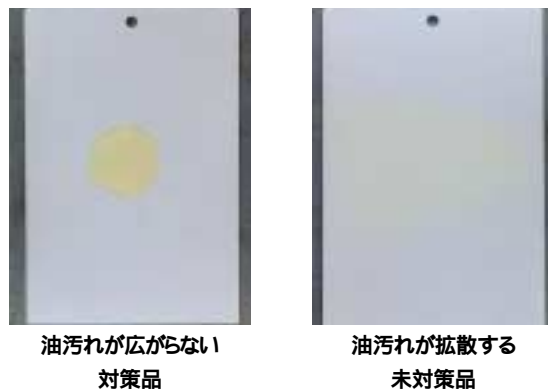
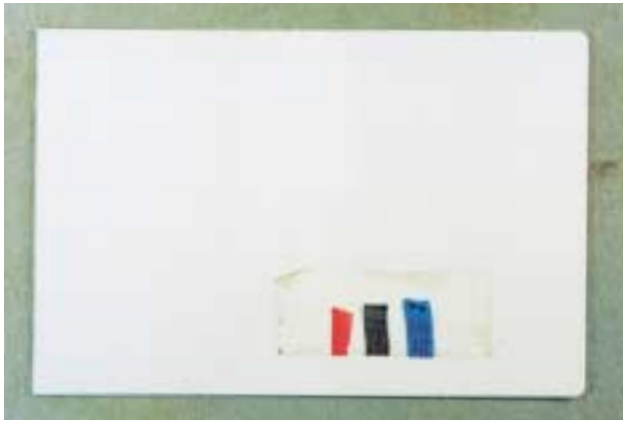
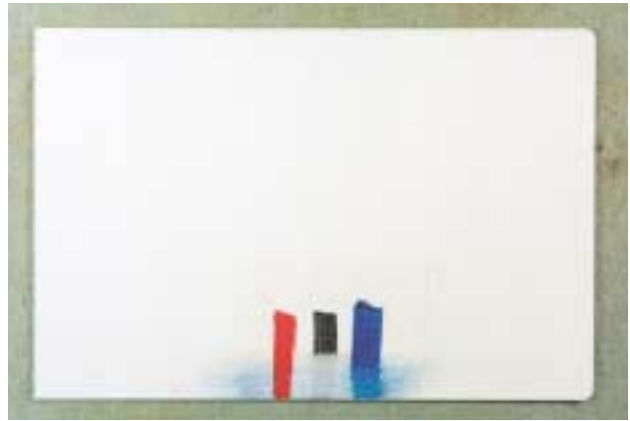


写真3 耐油汚れ性



マジック汚れが布で拭くだけで簡単に取り除ける  
対策品



マジック汚れが布で拭いても取り除けずに、逆に広がる  
未対策品

写真4 マジック汚れ除去性

#### 4.5 高耐候性ポリエステル粉体塗料

これまで、国内でのポリエステル粉体塗料の屋外向け用途としては、道路資材(ガードレールや標識)、住宅建材(フェンス、門扉)、自動販売機、エアコンの室外機等に使用されているが更なる屋外耐候性向上の要求が高まっている。また、建設機械、外装建材市場等で溶剤型屋外向け塗料から粉体塗料への動きが活発になってきており、当社では高耐候性ポリエステル粉体塗料の研究開発を推進し成功した。高耐候性ポリエステル粉体塗料「エバクラッドNo. 4100シリーズ」の開発のキーポイントは

- (1) 当社独自の樹脂の改質技術と、耐候性劣化の原因となる光を吸収透過しなくするモノマー設計技術 (図14)
- (2) 防食性向上のためキレート化合物を使用したことである。

開発品



汎用品

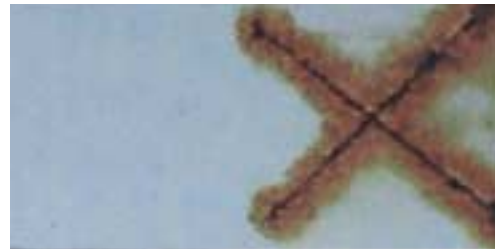


写真5 屋外ばくろ(1年: 沖永良部)

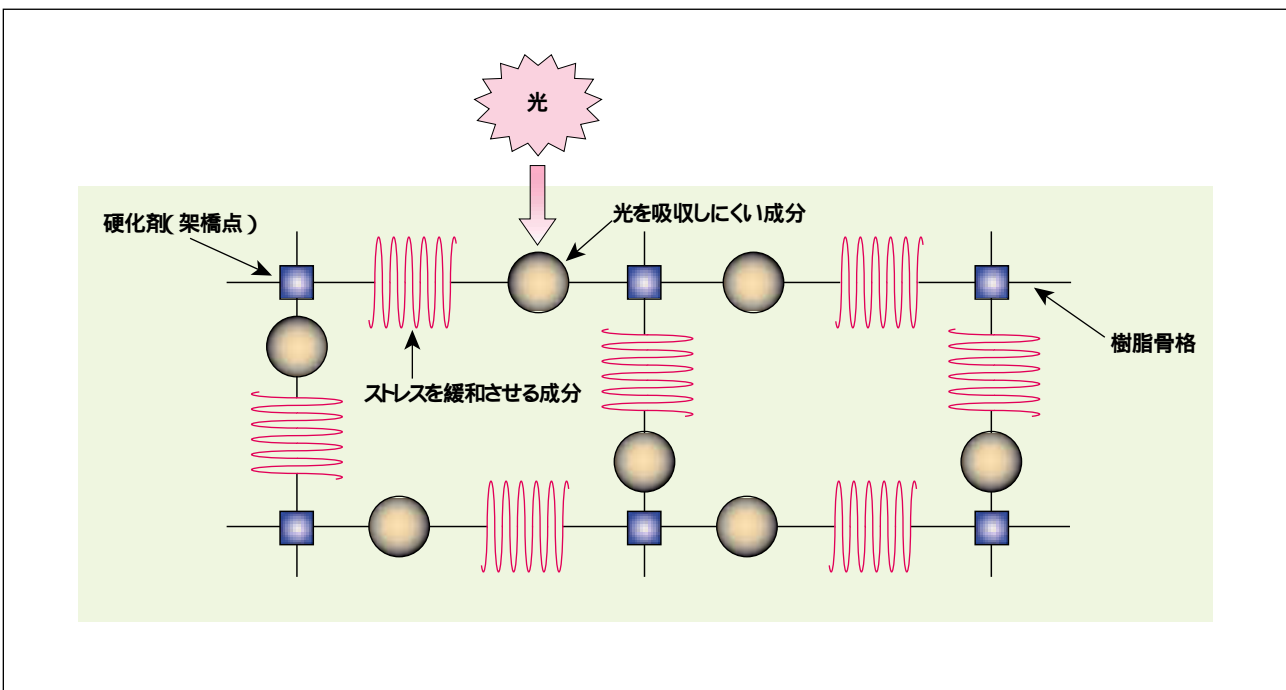


図14 樹脂の改質技術について



写真5に耐候性及び防食性に対して過酷な環境である沖永良部での1年の実暴露結果を示す。開発品は図15に示すように光沢保持率も良好であり、カット部からの塗膜剥がれも極めて少なく良好な塗膜性能を示している。促進試験では1500時間で光沢保持率が80%と極めて良い。現在、この基本技術の各種塗料への応用と各種屋外用途での実用化を進めており、今後市場での広がりが期待される。

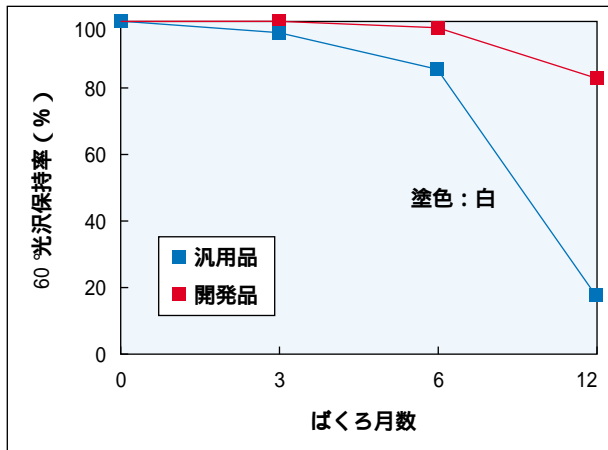


図 15 高耐候性ポリエステル屋外暴露結果

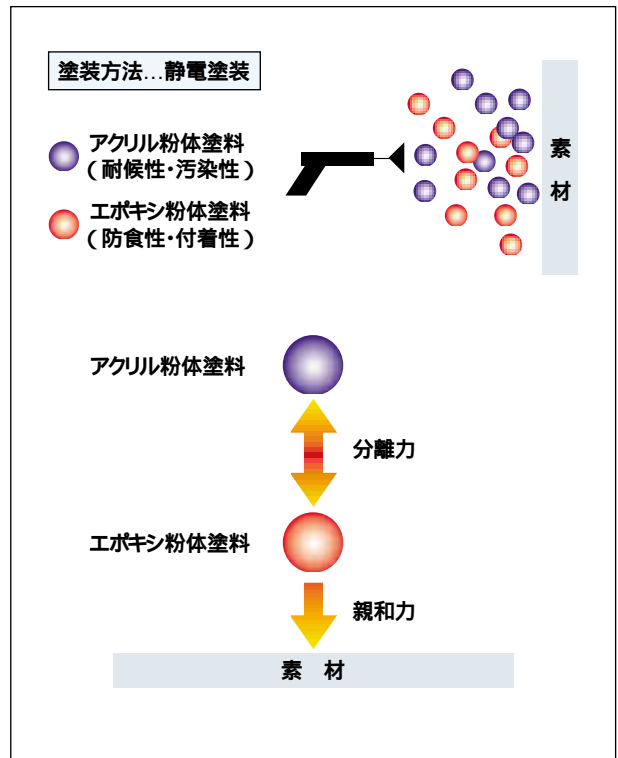


図 16 塗装方法と分離のメカニズム

#### 4.6 複層形成粉体塗料

汚染性・高耐候性機能と高防食性・密着性を兼ね備えた機能要求を解決する手段として、

- (1) 電着塗料を塗装して焼き付けてからアクリル系の塗料を塗装して焼き付ける
- (2) エポキシ系塗料を塗装し焼付てからアクリル系塗料を塗装し焼き付ける

などの2回塗装 - 2回焼付方式がとられている。しかし、これらは多くの塗装工数と焼付工数がかかる問題がある。そこで、当社では上記の問題を解決するために環境に優しいアクリル粉体塗料とエポキシ粉体塗料を混合して、1回の塗装と1回の焼付硬化で上層に耐候性の良いアクリル塗膜、下層に防食性の良いエポキシ塗膜を形成出来る複層形成粉体塗料を開発した。図16に塗装方法と分離のメカニズムを示す。開発のポイントは、

- (1) アクリル粉体塗料とエポキシ粉体塗料の層分離力を高める
- (2) エポキシ粉体塗料の素材への親和性を高めることで、複層塗膜の形成を可能にしている。

写真6に複層塗膜形成過程を示す。複層の形成は溶融開始後から2～3分後で終了する。複層が形成されるにつれて、初期の艶消しの状態から光沢のある綺麗な仕上がりになる。塗膜の特徴としてアクリル粉体塗膜の耐候性・汚染性とエポキシ粉体塗膜の防食性・密着性を兼ね備えた塗膜性能を発揮できることから水道管外面、大口径管、コンテナなどの重防食分野での展開を期待したい<sup>5)</sup>。

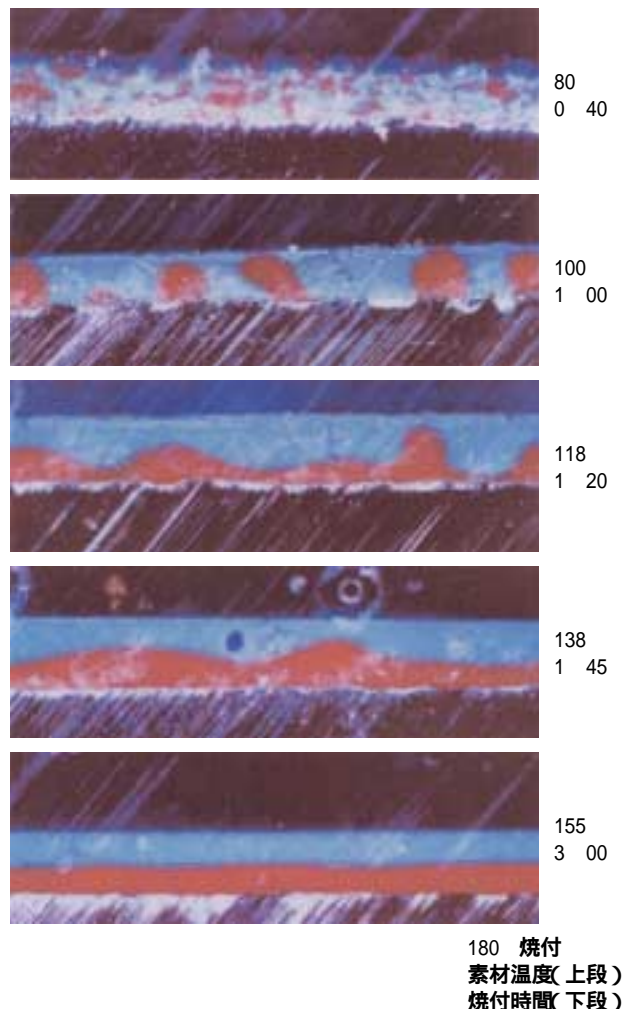


写真 6 複層塗膜形成過程

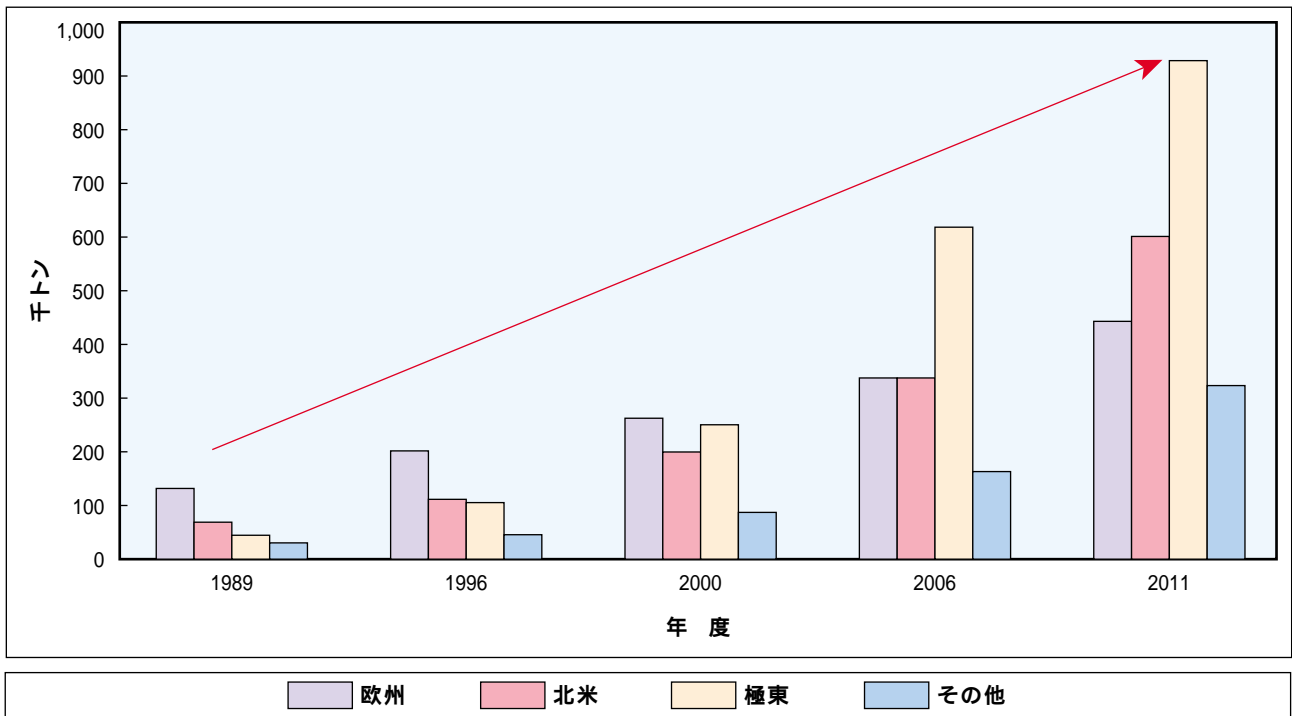


図 17 世界での粉体塗料の成長予測

## 5. 最後に

粉体塗料は有機溶剤や水などの揮発性成分を含まず、塗膜形成成分だけを粉末状で被塗物に塗着、溶融して塗膜を形成する塗料であって、環境保護型、省資源型の地球環境に優しい塗料であると前述してきた。図17に地域別の今後の粉体塗料の成長予測を示すが色々な地域で粉体塗料の伸びが予測されている<sup>6)</sup>。特に日本を含む極東地域の粉体の成長予測は大きいものがある。日本でも溶剤塗料から粉体塗料への移行も進んでいくと予測される。海外では低揮発分のポリエステル粉体塗料、UV硬化粉体塗料、回収再使用出来るメタリック粉体塗料、自動車用粉体トップクリヤー、自動車用粉体プライマーサーフェーサー等の研究開発、適用化検討が盛んに行われている。また一部試験的に欧州では木工用途、北米ではモーターにUV硬化粉体塗料の適用が試みられている。日本でも図18に示すような、欧州の自動車メーカーで行われている究極のVOC対応塗装工程(水性メタリックベース+アクリル粉体クリヤー)の適用化検討が始まっており、(1)自動車用途、(2)自動車部品、(3)缶、(4)木工、(5)プラスチック、(6)ガラスなど新しい分野、素材への適用が検討され応用範囲が拡大するのは確実であり、環境対応技術として粉体塗料の技術開発力の重要性が増している。

このような状況で、過去より関西ペイントの粉体塗料に関わられた諸先輩方の蓄積技術も生かしながら従来の枠にしばられない発想を持って開発を進めて行く事が重要だと思う昨今である。

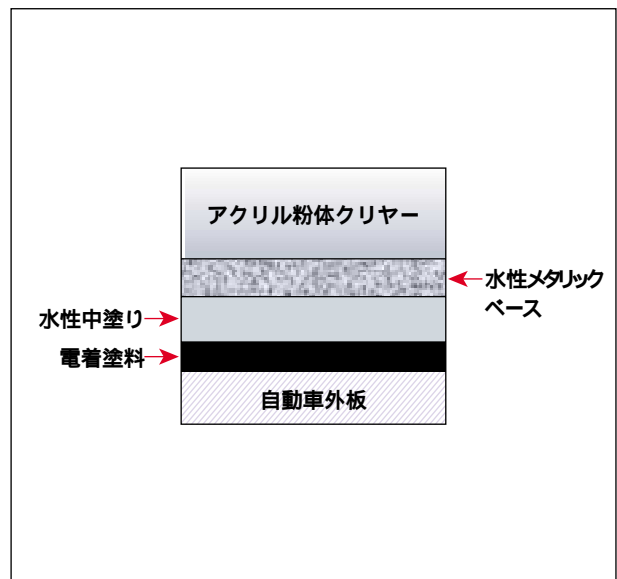


図 18 粉体クリヤーの塗膜構成

## 参考資料

- 1) Powder Coating Institute, June, (1999)
- 2) Vianova Resins Marketing Report, (1999)
- 3) Vianova Resins Marketing Report, (1999)
- 4) 大西和彦、高林勇:塗料の研究、No 134、p.14-19 (2000)
- 5) 大西和彦、高林勇:塗料の研究、No 130、p.8-13 (1998)
- 6) Informarion Reserch Ltd, (1999)