

# 環境対応形塗装の最新動向 — VOCを削減するふっ素樹脂粉体塗装について

The Latest Trend of the Coating for the Environment—  
About the Fluorocarbon Powder Coating to Reduce VOC



塗料事業部門  
金属焼付塗料事業部  
テクニカルサポートグループ  
Paint Operating Division,  
Metal Baking Coating Department,  
Technical Support Group

北川将司  
Masashi KITAGAWA

## 1. はじめに

現在、地球規模での環境問題への急速な関心の高まりから、各分野において環境に配慮した商品開発や技術革新が進められている。これは、塗料業界でも決して例外ではなく、従来の溶剤系塗料からVOC (Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)の含有量が少ない水系塗料、ハイソリッド塗料や粉体塗料への転換が活発になっている。

特に、金属外装建材(カーテンウォール)向けのアルミニウム合金材料の表面仕上げには長らく、工場における加熱硬化形塗装が施されてきたが、近年は、粉体塗料の適用が検討されており、その研究成果が多数報告されている<sup>1)~4)</sup>。

本報では、溶剤系塗料から粉体塗料への置換えによる環境対応について、最初に解説する。次に、当社の取組みのなかで「熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料(パウダーフロンCW)の市場展開」と「二層分離形ふっ素樹脂粉体塗料(パウダーフロンSELA)の最新開発動向および市場展開」についても紹介する。

## 2. 粉体塗料による環境対応

粉体塗料は、粉末状(固形)の塗料であり、溶剤を含まない究極の無溶剤塗料である。つまり、VOC削減対策としては、他の塗料と比較しても理想的な塗料である。また、その他の特長として、「塗料の回収再利用が可能である」「廃棄物を大幅に削減できる」「水質汚濁の原因となる排水が発生しない」といった利点があり、溶剤系塗料に代わる環境配慮形塗料として期待が寄せられている。表1に他の塗料との比較を示す。

表1 各塗料系の比較

|          | ①VOC対策 | ②利用効率 | ③廃棄物処理(排水) |
|----------|--------|-------|------------|
| 溶剤塗料     | ×      | △     | ○          |
| ハイソリッド塗料 | △      | △     | ○          |
| 水性塗料     | △~○    | △     | △          |
| 粉体塗料     | ◎      | ◎※1   | ◎          |

※1:回収再利用を実施した場合を想定

粉体塗料の特長である高い利用効率について、図1に溶剤塗料と比較した結果を記載する。従来の溶剤系塗料では、被塗物に塗着しなかった塗料はそのまま廃棄されることから、利用効率は50~60%程度しかないが、粉体塗料は回収して再利用が可能なることから、95%以上の高い利用効率となっている。

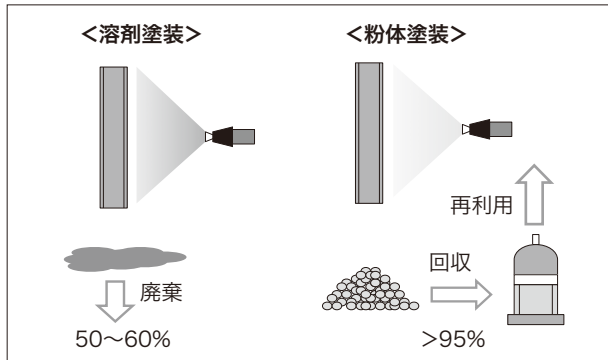


図1 溶剤系塗料と粉体塗料との利用効率の比較

### 3. 当社の金属外装建材向け高耐久性塗料の紹介

表2に当社の主な金属外装建材向けの高耐久性塗料とその期待耐用年数(色相、光沢変化、チョーキング、摩耗などにより、塗り替え作業が必要となるまでの年数)を示す。

表2 金属外装建材向け塗料の概要

| 塗料名称         | 塗料タイプ                    | 期待耐用年数* |
|--------------|--------------------------|---------|
| Vフロン#2000    | 溶剤系熱硬化形<br>ふっ素樹脂塗料       | 20年以上   |
| デュフナー#100S   | 溶剤系熱可塑性<br>ふっ素樹脂塗料       | 20年以上   |
| V-PET#4500SW | イソシアネート硬化形<br>ポリエステル粉体塗料 | 12年     |
| パウダーフロンCW    | 熱硬化形<br>ふっ素樹脂粉体塗料        | 20年以上   |

※期待耐用年数:色相、光沢変化、エロージョン(チョーキング、摩耗)などにより、塗り替え作業が必要となるまでの年数

国内で数多くの物件採用の実績がある溶剤系ふっ素樹脂塗料であるVフロン#2000(熱硬化形ふっ素樹脂塗料)やデュフナー#100S(熱可塑性ふっ素樹脂塗料)は、いずれも20年以上の期待耐用年数を示している。

これに対して、イソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料であるV-PET#4500SWは期待耐用年数12年程度であることから、従来の溶剤系ふっ素樹脂塗料からの置換えは、長期耐久性の面で不十分である。

一方、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料であるパウダー

フロンCWは20年以上の期待耐用年数を示しており、溶剤系ふっ素樹脂塗料と同等程度となっている。

図2に、パウダーフロンCWを含めた各種塗膜のサンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験(スガ試験機社製WEL-SUN-HC型 以下、SWOMと記す)による促進耐候性評価結果を示す。V-PET#4500SWが2000時間経過時で光沢保持率が大きく低下しているのに対して、パウダーフロンCWは6000時間経過時の光沢保持率が、溶剤系ふっ素樹脂塗料と同等程度の高い値を示していることが示されている。

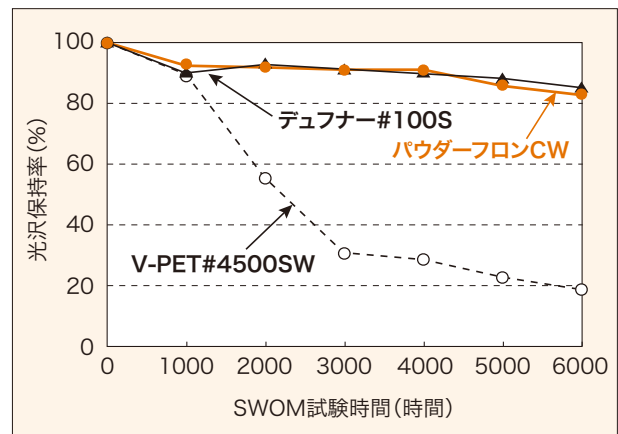


図2 各種塗膜のSWOM試験結果

以上のことから、溶剤系ふっ素樹脂塗料からの置換えとして、パウダーフロンCWでの採用活動を実施しており、これまでに国内3物件(表3)での採用実績がある(2015年8月現在)。

表3 パウダーフロンCWの採用実績(2015年8月現在)

| 物件名         | 採用時期  | 素地調整         |
|-------------|-------|--------------|
| パレスビル       | 2011年 | 6価クロム系化成皮膜処理 |
| 丸の内永楽ビルディング | 2011年 | 陽極酸化皮膜処理     |
| オンワードパークビル  | 2013年 | 陽極酸化皮膜処理     |

しかし、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料はポリエステル粉体塗料と比較して、素地への付着性や加工性に不安がある。図3は、V-PET#4500SWとパウダーフロンCWを6価クロム系化成皮膜処理のアルミニウム合金

材A1100P上に塗装して作製した試験片を沸騰水に5時間浸せき後、二次付着性試験(碁盤目:1mm角)を実施した結果を示す。図3に示すように、V-PET#4500SWは良好な付着性を示しているのに対して、パウダーフロンCWは一部角欠けが発生している。このような欠点から、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料の市場は拡大に至っていない。

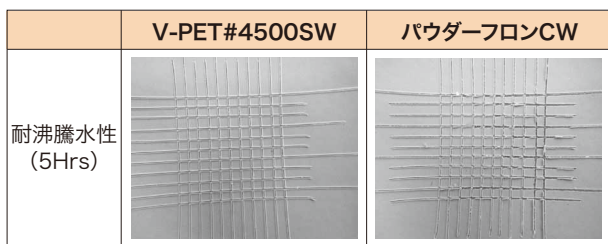


図3 耐沸騰水試験後の二次付着性試験結果

#### 4. 二層分離形ふっ素樹脂粉体塗料の開発

前項で述べた熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料の欠点に対して、当社はふっ素樹脂とポリエステルを混合した新たな粉体塗料を開発し、その詳細を既報にて報告してきている<sup>5)~8)</sup>。

新たに開発された粉体塗料は、当社独自の二層分離技術によって、塗膜形成時に塗膜上層に、従来の熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料を上回る優れた耐久性が期待できるふっ素樹脂のクリアー層を形成し、塗膜下層(素地側)に素地との付着性や加工性に優れるポリエステルが配向するような塗膜構造を形成する、二層分離形ふっ素樹脂粉体塗料である。当社はこの塗料をパウダーフロンSELA(SELA=SEPARATION:分離、LAYER:層)として、金属外装建材分野での市場展開を実施している。

本項では、その基本塗膜性能について紹介する。

##### 4.1 パウダーフロンSELAの層構成

層構成の観察としては、断面構造および塗膜表面を走査型電子顕微鏡(日立ハイテクノロジーズ社製超高

分解能分析走査SU-70型)を用いて実施した。また、塗膜表面を元素分析(EDX法)により、ふっ素元素および顔料であるチタン元素の分析を実施して、塗膜表面にふっ素樹脂のクリアー層が形成されていることを確認した。

塗膜断面の走査型電子顕微鏡による観察結果を図4に示す。

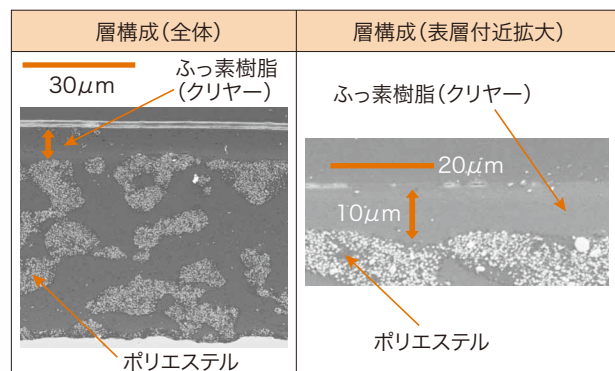


図4 パウダーフロンSELAの層構成観察

パウダーフロンSELAは塗膜表層部に厚さ10μmのふっ素樹脂のクリアー層、塗膜下層部には顔料を含んだポリエステルとふっ素樹脂からなる混合層から構成される二層分離構造が確認された。

パウダーフロンSELAとパウダーフロンCWの塗膜表面における走査型電子顕微鏡による観察、そしてふっ素(F)やチタン(Ti)を元素分析した結果を図5に示す。

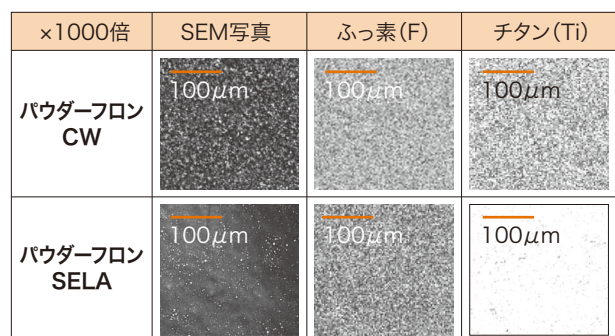


図5 パウダーフロンCWとSELAの塗膜表面構造観察

二層分離形ふっ素樹脂粉体塗料は熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料と同様に、ふっ素(F)が塗膜表面に均一に分布していた。一方、顔料であるチタン(Ti)は、ほとん

ど分布していない。

以上の観察結果から、当社の二層分離形ふっ素樹脂粉体塗料は、塗膜表面にふっ素樹脂のクリア層が形成されていることから、従来の熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料を上回る優れた耐久性が期待される。

#### 4.2 パウダーフロンSELAの耐候性評価

促進耐候性評価としては、前述したSWOM試験と紫外線蛍光ランプ式耐候性試験（スガ試験機社製DPWL-5型：280-315nm 以下、QUVと記す）を適用した。また、屋外暴露耐候性評価としては、沖縄県伊計島で2012年から評価を実施した。

パウダーフロンSELAの比較として、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料（パウダーフロンCW）およびイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料（V-PET#4500SW）を採用して評価した。

##### 4.2.1 SWOM試験結果

SWOM試験6000時間経過時における光沢保持率変化を図6に示す。パウダーフロンSELAは、6000時間経過後においてもパウダーフロンCWと同等程度の高い光沢保持率を示した。

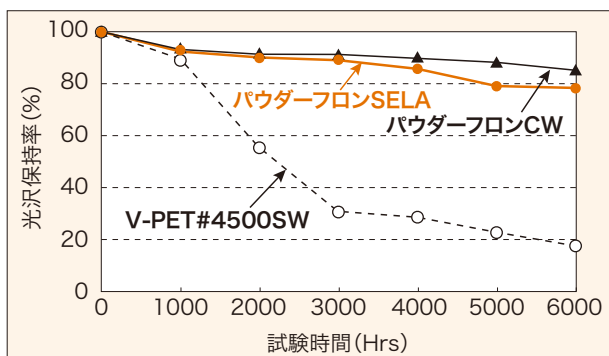


図6 パウダーフロンSELAのSWOM試験結果

##### 4.2.2 QUV試験結果

QUV試験2500時間経過時における光沢保持率変化を図7に示す。V-PET#4500SWが1000時間経過時で光沢保持率が大きく低下しているのに対して、パウダーフロンSELAは、2500時間経過後においてもパウダーフロンCWと同等程度の高い光沢保持率を示した。

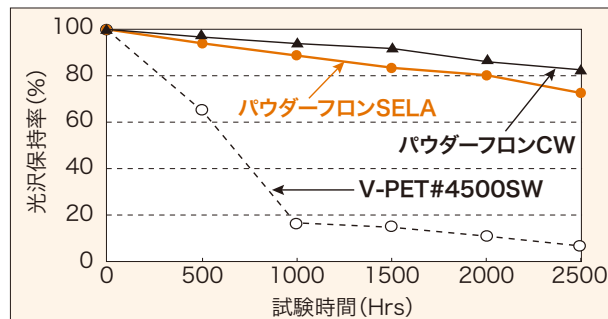


図7 パウダーフロンSELAのQUV試験結果

##### 4.2.3 沖縄暴露試験結果

沖縄暴露試験24ヶ月経過時における光沢保持率変化を図8に示す。パウダーフロンSELAは24ヶ月経過時において高い光沢保持率（光沢保持率：90%以上）を保持しており、パウダーフロンCW（同70%以上）やV-PET#4500SW（同50%以上）を上回る優れた結果を示した。

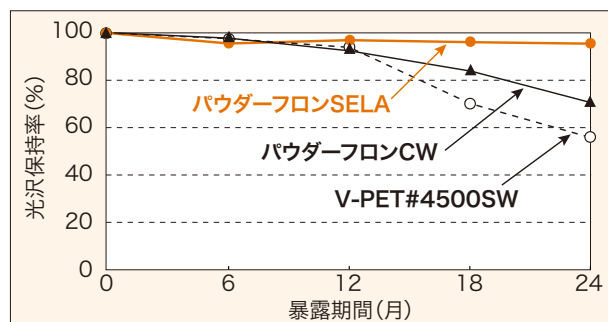


図8 パウダーフロンSELAの沖縄暴露試験結果

以上の耐候性の評価結果から、パウダーフロンSELAは従来のふっ素樹脂粉体塗料を上回る優れた耐久性を示すと結論づけられる。

今後も、屋外暴露試験を含めた耐候性試験を継続していく予定である。

#### 4.3 パウダーフロンSELAの塗膜物性評価

パウダーフロンSELAの塗膜物性評価において、比較対象としてデュフナー#100S、パウダーフロンCWおよびV-PET#4500SWを用いて実施した結果を表4に示す。いずれの試験項目においても、パウダーフロンSELAは比較対象とした他の塗料と同等以上の優れた塗膜性能が認められた。



表4 各種塗膜の性能評価結果

| 塗料名                 | V-PET#4500SW             | パウダーフロンCW          | パウダーフロンSELA        | デュフナー#100S         |
|---------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 塗料種類                | イソシアネート硬化形<br>ポリエステル粉体塗料 | 熱硬化形<br>ふっ素樹脂粉体塗料  | 二層分離形<br>ふっ素樹脂粉体塗料 | 溶剤系<br>熱可塑性ふっ素樹脂塗料 |
| 塗装仕様                | 1C1B                     | 1C1B               | 1C1B               | 2C1B               |
| 焼付条件                | 180°C×20分                | 190°C×20分          | 190°C×20分          | 230°C×20分          |
| 光沢(60°)             | 30~90                    | 30~70              | 30~70              | 30~40              |
| 引っかかり硬度             | 2H合格                     | 2H合格               | 2H合格               | 2H合格               |
| 初期付着性(1mm×100マス)    | 100/100                  | 100/100            | 100/100            | 100/100            |
| 耐衝撃性(1/2inch, 500g) | 50cm良好                   | 30cm良好             | 50cm良好             | 50cm良好             |
| 耐沸騰水性(5Hrs)         | 外観異常なし                   | 外観異常なし             | 外観異常なし             | 外観異常なし             |
| 耐モルタル性              | 外観異常なし                   | 外観異常なし             | 外観異常なし             | 外観異常なし             |
| 耐硝酸性                | $\Delta E \leq 5$        | $\Delta E \leq 5$  | $\Delta E \leq 5$  | $\Delta E \leq 5$  |
| 耐食性(4000Hrs)        | 外観異常なし<br>カット部膨れなし       | 外観異常なし<br>カット部膨れなし | 外観異常なし<br>カット部膨れなし | 外観異常なし<br>カット部膨れなし |
| 耐湿性(4000Hrs)        | 外観異常なし                   | 外観異常なし             | 外観異常なし             | 外観異常なし             |

素地:A1100Pアルミニウム合金板材 素地調整:6価クロム系化成皮膜処理

また、耐沸騰水試験(5時間)後に実施した二次付着性試験(碁盤目:1mm角)を図9に示す。パウダーフロンCWでは一部角欠けが確認されたのに対して、パウダーフロンSELAでは角欠けも確認されず、良好な付着性を示した。

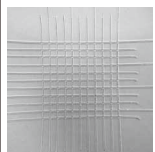
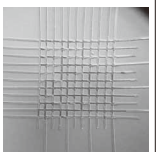
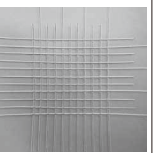
|                 | V-PET<br>#4500SW  | パウダーフロン<br>CW   | パウダーフロン<br>SELA   |
|-----------------|---|---|---|
| 耐沸騰水性<br>(5Hrs) |  |  |  |

図9 耐沸騰水試験後の付着性試験結果

以上の検討結果から、パウダーフロンSELAの市場展開を実施しており、2014年5月に名古屋地区にて新築物件の外装パネルへ採用された。

## 5. 終わりに

本報では、金属外装建材向けのアルミニウム合金材料の表面仕上げでの環境対応形塗装として、溶剤系ふっ素樹脂塗料からの置換えとして、同等以上の耐久性が期待されるパウダーフロンCWやパウダーフロンSELAの最新技術動向や市場展開について紹介した。

塗装の粉体化により、絶大なVOC削減効果が期待されている反面で、業界内は未だに溶剤系塗装が主流となっているのが現状である。

当社の開発したこれらのふっ素樹脂粉体塗料により、従来の溶剤系ふっ素樹脂塗料からの置換えを図っていくことで、塗料メーカーとして少しでも環境負荷低減に貢献できることを期待してやまない。

## 参考文献

- 1) 近藤,鈴木,後藤,近藤,弓座:日本建築仕上学会 2010年大会学術講演会研究発表論文集,p227-230
- 2) 近藤,増田,鈴木,近藤,弓座:日本建築仕上学会 2010年大会学術講演会研究発表論文集,p239-242
- 3) 浅野,近藤,田中,村井,大田,藤岡:日本建築仕上学会2010年大会学術講演会研究発表論文集, p255-258
- 4) 近藤,鈴木,後藤:日本建築学会構造系論文集 第77巻,第677号,pp1015-1020(2012)
- 5) 木口,安藤:塗装工学Vol.47No.8(2012),p250-257
- 6) 北川,近藤,木口:日本建築仕上学会2013年大会学術講演会研究発表論文集, p193-196
- 7) 北川,近藤:日本建築学会2013年大会学術講演梗概集,p1095-1096
- 8) 北川,近藤,木口:日本建築仕上学会2014年大会学術講演会研究発表論文集, p115-118