

# 金属外装建材向け塗装システムの環境問題への取り組み

Actions to Environmental Issues in Coating Systems  
for Metal Exterior Building Materials

一般塗料部門 金属機械塗料事業部  
マーケティンググループ  
General coating Division Metal and Machinery Coating Dept.  
Marketing Group



田村 俊輔  
Shunsuke TAMURA



大上 有紀  
Yuki OGAMI

## 1. はじめに

金属外装建材(カーテンウォール)向け塗料は、素材の保護と美観を目的とし、耐久性を考慮した塗料の選定が行われてきた。特に高層ビルの外壁には、立地条件から塗り替えが困難なため、耐食性に優れた素材、下塗り、高耐候性の上塗り塗料が数多く用いられている。

21世紀を迎えた昨今では、世界的に環境問題への関心が高まり、環境負荷物質の使用制限が自動車業界(ELV指令)、電気業界(RoHS指令、WEEE指令)により進められている。その動きはカーテンウォール業界へも徐々に広まりつつある。本稿では、カーテンウォールに関連する環境問題、とりわけクロムフリーにポイントをおき、従来の塗装システムから将来へ向けての取り組みを紹介する。

## 2. 塗装システムについて

高層ビルに対する要求性能の中で最も重要視されるのが、“耐久性”である。その代表がふっ素樹脂塗装システムであり、期待通りの耐久性を得るためには以下の4点が重要である。

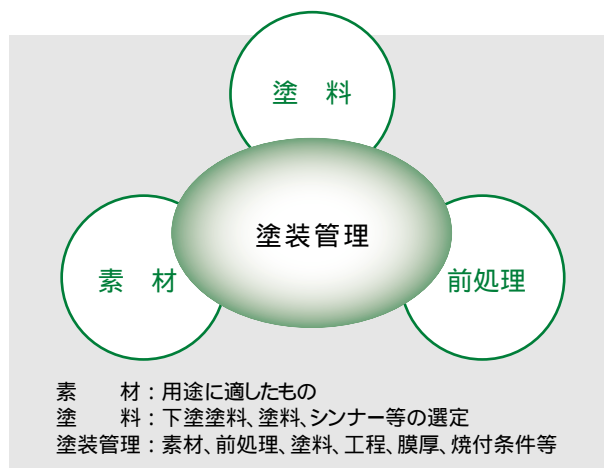


図1 カーテンウォールにおける塗装システム

### 2.1 用途に適した良い素材の選択

カーテンウォール用の素材は、亜鉛めっき鋼板、アルミニウム、ステンレスがある。アルミニウムが加工性、耐食性、軽量かつ資源が豊富であるとの優位性から多く使用されており、今後も継続するものと考えられる。

2.2 素材に適した良い前処理の選択

アルミニウムの前処理は、アルマイト処理とクロメート処理に大別される。アルマイト処理は、電気化学的方法でアルミニウムの酸化皮膜を生成する。この皮膜自身が耐食性を持ち、塗装前の下地処理として使われている。アルマイト処理には封孔方法、アルマイト皮膜の厚みのコントロール、塗装までのインターバル等の管理が重要である。一方、クロメート皮膜の耐食性は、3価クロムの酸化物・水酸化物を主成分とする高分子皮膜による外的因子の遮蔽効果と6価クロムを含む可溶成分による皮膜欠陥部の再形成(自己補修効果)にある。一般に皮膜の組成は、非促進型: $\text{Cr}(\text{OH})_2 \cdot \text{HCrO}_4 \cdot \text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、フェリシアン錯塩促進型: $\text{CrFe}(\text{CN})_6 \cdot 6\text{Cr}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{CrO}_4 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ である。これらのクロメート皮膜は、塗装との組み合わせにより優れた耐食性が得られる。更に、比較的lowコストで管理が容易であり、皮膜が安定していることから現在幅広く採用されている。

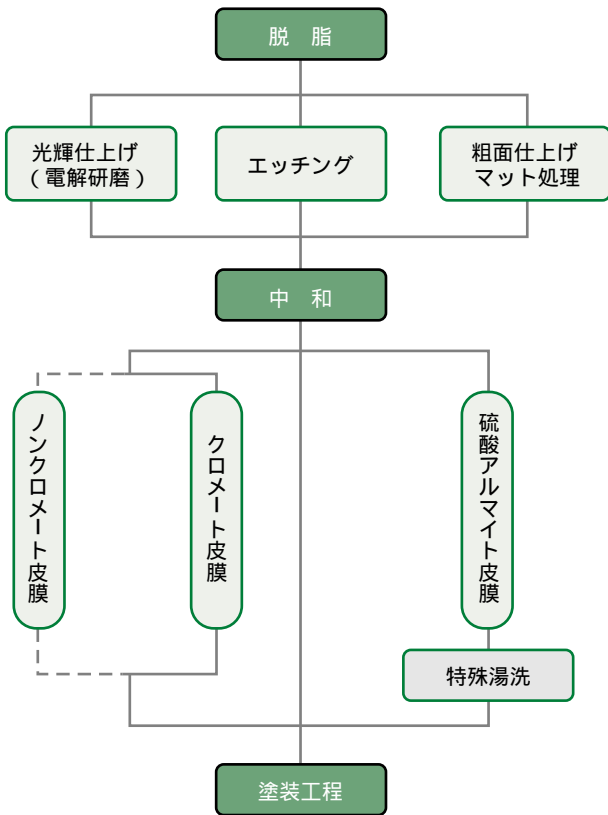


図2 塗装向け下地処理工程

2.3 耐久性の良い塗料の選択

アルマイト処理は、均一な皮膜厚が得られることから下塗り工程を省略するケースが多い。一方、クロメート処理は、皮膜厚が薄く、素材の形状によっては、皮膜の厚みに多少の幅が生じるため、素材の耐食性、塗膜の付着性を補うために下塗り塗膜が必要である。

下塗り塗膜は一般的には素材および上塗りとの付着性に優れたエポキシ樹脂塗料が用いられ、また高耐食性を必要とする場合はクロム系防錆顔料を含むことがある。

上塗り塗膜は、フッ化ビニリデン(PVDF)を含有した高温焼付形ふっ素樹脂塗料とフルオロエチレンビニルエーテル(FEVE)を含有した中温焼付形ふっ素樹脂塗料が主流である。

PVDF樹脂は、白い粉状でありアクリル樹脂と溶剤に分散させ塗料化を行う。塗膜の形成は、230以上の熱でPVDF樹脂が溶融することにより成膜し、冷却過程において樹脂が再結晶化する。そのため、塗膜表面には、結晶化したPVDF樹脂、顔料、アクリル樹脂などが混在し、反射光は、塗膜表面での拡散反射と塗膜内部から戻ってきた光とが混合し、高光沢(鏡面光沢値60以上)の塗膜を得ることができない。

FEVE樹脂は、溶剤に可溶で液状でありイソシアネート樹脂などの硬化剤を併用することにより塗膜を形成する。この場合、硬化剤を選択することにより、常温から160の範囲で硬化する。光沢はつや消し剤を用いることで艶有りから3分艶までの調整が可能である。

表1 PVDF樹脂とFEVE樹脂の特性

	PVDF	FEVE
分子構造	$\left( \begin{array}{cc} \text{H} & \text{F} \\   &   \\ -\text{C} & -\text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{F} \end{array} \right)_n$	$\left[ \begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   \\ -\text{C} & -\text{C}- & -\text{C}- & -\text{C}- \\   &   &   &   \\ \text{F} & \text{X} & \text{H} & \text{O} \cdot \text{R} \end{array} \right]_n$ X = F, CF <sub>3</sub> , Cl, R <sub>1</sub> R <sub>4</sub> OH, COOH
ふっ素原子含有%	59.3	25 ~ 30
性状	粉状(結晶性ポリマー)	液状(非晶質ポリマー-溶剤可溶)
塗膜形成	熱溶融	架橋硬化
硬化条件	230 × 10分	常温(2液)120 ~ 180 × 20分(1液)
硬化剤又は併用樹脂	アクリル樹脂	メラミンまたはイソシアネート
代表銘柄	KAYNAR - 500 (ARKEMA社)	ルミフロン(旭硝子(株))
当社の塗料品名	デュフナー系	Vフロン#2000系

表2 塗膜性能比較一覧表

塗装工程	塗装系	デュフナー#100S系		Vフロン#2000上塗系		備考
	塗装前処理	塗装用陽極酸化被膜	クロメート系化成皮膜処理	塗装用陽極酸化被膜	クロメート系化成皮膜処理	
塗料	デュフナー#100S	デュフナープライマー#30AL デュフナー#100S	デュフナー#2000上塗	CFプライマー Vフロン#2000上塗		
塗膜性能	膜厚	20-25μm	30 - 35μm	20-25μm	30 - 35μm	渦電流式膜厚計
	塗膜硬度	F以上 破れ無し	F以上 破れ無し	F以上 破れ無し	F以上 破れ無し	ASTM D3363 イグラー-カイク <sup>®</sup> 鉛筆
	一次付着性	100 / 100	100 / 100	100 / 100	100 / 100	1mm基準目テープ法
	耐水性	100 / 100 プリスター無し	100 / 100 プリスター無し	100 / 100 プリスター無し	100 / 100 プリスター無し	38 × 24時間
	沸騰水性	100 / 100 プリスター無し	100 / 100 プリスター無し	100 / 100 プリスター無し	100 / 100 プリスター無し	99-100 × 20分
	耐衝撃性	テープ剥離無し	テープ剥離無し	テープ剥離無し	テープ剥離無し	ガードナー可変衝撃 テスター( 5/8インチ径 0.1インチ変形 )
	耐摩耗性	摩耗係数40以上	摩耗係数40以上	摩耗係数40以上	摩耗係数40以上	ASTM D968 落砂試験
	耐塩酸性	プリスター無し 外観異常無し	プリスター無し 外観異常無し	プリスター無し 外観異常無し	プリスター無し 外観異常無し	10% 塩酸 15分スポット
	耐モルタル性	プリスター無し 外観異常無し	プリスター無し 外観異常無し	プリスター無し 外観異常無し	プリスター無し 外観異常無し	温度38、湿度100% 24時間
	耐硝酸性	E = 5以下	E = 5以下	E = 5以下	E = 5以下	70% 硝酸 30分 <sup>°</sup> パ <sup>°</sup> テスト
	耐洗剤性	剥離無し 外観異常無し	剥離無し 外観異常無し	剥離無し 外観異常無し	剥離無し 外観異常無し	3%-テコカグレート <sup>®</sup> 試薬 38 × 72時間
	耐ウインド クリーナー性	剥離無し 外観異常無し	剥離無し 外観異常無し	剥離無し 外観異常無し	剥離無し 外観異常無し	3%ガラスクリーナー 24時間 <sup>°</sup> パ <sup>°</sup> テスト
	耐湿性	No.8F 以上	No.8F 以上	No.8F 以上	No.8F 以上	温度38、湿度100% 4000時間
塩水噴霧性	カット部 7点以上 平面部 8点以上	カット部 7点以上 平面部 8点以上	カット部 7点以上 平面部 8点以上	カット部 7点以上 平面部 8点以上	5%食塩水 4000時間	

規格：AAMA2605に基づく弊社の試験データ

塗装用陽極酸化皮膜処理については、塗装までのインターバルが1日以内の材を使用

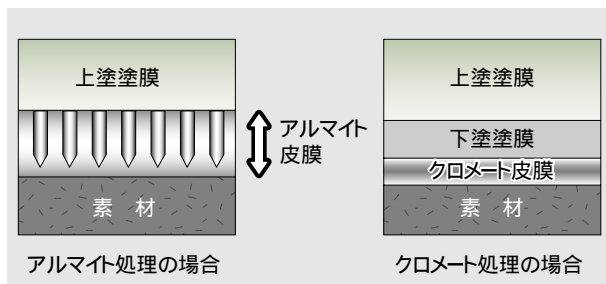


図3 塗膜のイメージ

## 2.4 前処理、塗装工程の良い管理

要求性能を満足する塗膜を形成するためには、一定の膜厚、色調、塗膜品質を作り出すための塗装条件、焼付炉の温度と時間などの塗装管理と塗装品の検査管理が必要であり、塗装業者の管理体制によるところが大きい。

### 3. ノクロメート処理剤の現状について

1970年代に入り、6価クロムの有害性が顕在化し、ノクロメート化成皮膜が開発され、各分野において順次代替が進んできている。そこで、化成処理皮膜の脱クロメート化への移行を表3に示す。建材分野において、ノク

ロメート化成皮膜は、内装、ブラインド、カラーアルミで実用化されている。一方、カーテンウォールでは、今まで殆ど採用されていないと考えられる。

表3 クロムフリー化の動向

分野		1970年代	1980年代	1990年代	2000年代
飲料	缶	リン酸クロメート		ジルコニウム系	
	エンド	リン酸クロメート			ジルコニウム系
自動車	エアコン	クロム酸クロメート			ジルコニウム・チタニウム系
	ロードホイール	クロム酸クロメート・リン酸クロメート			ジルコニウム・チタニウム系
	パネル	クロム酸クロメート		リン酸亜鉛系	
家電	一般	クロム酸クロメート			ジルコニウム・チタニウム系
	エアコン	クロム酸クロメート	リン酸クロメート		樹脂系、樹脂・無機系
建材	内装	クロム酸クロメート	リン酸クロメート		ジルコニウム・チタニウム系
	ブラインド	クロム酸クロメート		塗布型ジルコニウム・チタニウム系	
		リン酸クロメート			
	カラーアルミ	クロム酸クロメート・リン酸クロメート			塗布型ジルコニウム・チタニウム系

#### 3.1 ジルコニウム系化成処理(ノクロム処理)

ジルコニウム化成処理は $Zr_3(PO_4)_3 \cdot nH_2O$ を主体とした、Zr量が $5 \sim 30mg/m^2$  ( $0.005 \sim 0.03\mu m$ )の薄い膜である。このため、金属表面の影響を受けやすく、洗浄を含めた処理条件の管理が性能を大きく左右する。皮膜が薄いと耐食性が劣り、皮膜が厚いと塗膜の密着性が劣ることから皮膜厚の制御が重要な管理項目となる。

#### 3.2 リン酸クロメート化成処理(3価クロム処理)

処理液は6価のクロム、リン酸を主成分とするPH1.5～3.0の酸性溶液であるが、皮膜は3価クロムのみから形成される。皮膜の組成は、 $Al_2O_3 \cdot 2CrPO_4 \cdot 8H_2O$ と考えられている。リン酸クロメート皮膜には、自己補修効果はない。各種化成皮膜の特性を表4に示す。

表4 前処理皮膜の特性

種類	化成処理皮膜			陽極酸化皮膜
	クロム酸クロメート	リン酸クロメート	ノクロメート	-
	六価、三価クロム	三価クロム	ジルコニウム系 チタニウム系 バナジウム系	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
用途	耐食処理 塗装下地	塗装下地 飲料缶の エンド材 (1945年～)	塗装下地 自動車部品 飲料缶の ボディー (2000年～)	耐食処理 塗装下地
建材塗装下地 としての特徴	耐食性に 優れる 処理管理が 容易 有害物質含有	耐食性に優れる 三価クロム は自然界に安 定した化合物 で存在(強酸 性下では六価 に酸化される)	処理管理幅 が狭い	塗装までのイ ンターバルや 処理に厳しい 管理が必要

## 4. 塗膜性能

各種前処理皮膜における現行塗料と試作塗料の塗膜性能を表.5に記載する。

表5 各種皮膜処理と塗膜性能

下 塗		クロム	ノンクロム		ノンクロム			
		#30Z 比較	#30AL (現行)	NC-1 改良塗料	NC-2 改良塗料	CFプライマー 現 行	NC-3 改良塗料	NC-4 改良塗料
上 塗		デュフナー#100S				Vフロン#2000上塗		
6価クロム処理 (クロム酸クロメート皮膜)	1mm碁盤目、 衝撃性							
	耐湿試験 3000時間							
	沸騰水試験 7時間							
	塩水噴霧試験 3000時間							
3価クロム処理 (リン酸クロメート皮膜)	1mm碁盤目、 衝撃性							
	耐湿試験 3000時間							
	沸騰水試験 7時間							
	塩水噴霧試験 3000時間				~		~	~
ノンクロム処理 (ジルコニウム系皮膜) B社	1mm碁盤目、 衝撃性							
	耐湿試験 3000時間		~ x			~		
	沸騰水試験 7時間		~ x	~	~			~
	塩水噴霧試験 3000時間		x 膨れ大	膨れ	膨れ		~	~

耐湿試験、沸騰水試験の評価 : 良好 : 膨れ x : 碁盤目試験で剥がれあり  
塩水噴霧試験の評価 : カット部膨れ無し : カット部膨れ2mm未満 x : 2mm以上

### 4.1 化成処理と塗膜性能

#### 4.1.1 化成処理の耐食性

まずは、前処理皮膜のみで耐食性を塩水噴霧試験2000時間で検証した結果を図4に示す。ノンクロム処理の種類において差が認められるが、比較的耐食性の良好なB社品にてもクロム酸クロメート皮膜より腐食が目立つ結果となった。

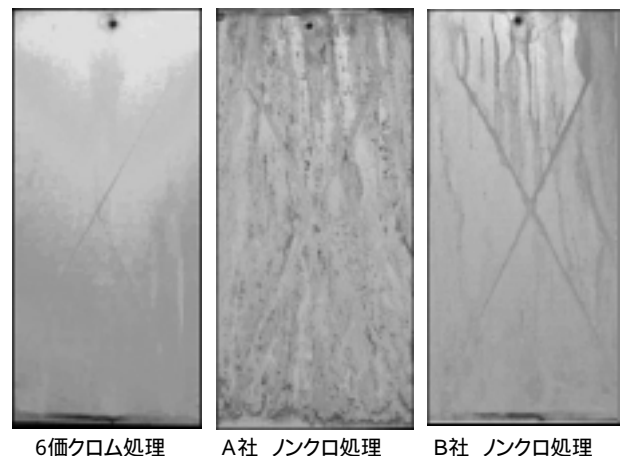


図4 皮膜処理した素材における塩水噴霧試験2000時間

#### 4.1.2 デュフナー#100S塗装系の塗膜性能

現行下塗(#30AL)は、クロム酸クロメート皮膜において、全ての塗膜性能試験で良好な結果を示す。リン酸クロメート皮膜においては、塩水噴霧試験のカット部で2mm以下の膨れが認められる。ジルコニウム系皮膜においては、耐湿試験、沸騰水試験で膨れと剥離が発生した。

#### 4.1.3 Vフロン#2000塗装系

現行下塗(CFプライマー)は、4.1同様クロム酸クロメート皮膜において、全ての塗膜性能試験で良好な結果を示した。リン酸クロメート皮膜においては、塩水噴霧試験のカット部で2mm以下のフクレがある。ジルコニウム系皮膜においては、耐湿試験、沸騰水試験でフクレがあり、塩水噴霧試験のカット部では2mm未満のフクレがある。デュフナー#100S塗装系も含め、ふくれの要因は、前処理被膜の差が大きく影響したと考えられる。

#### 4.2 下塗り改良塗料について

顔料の種類、および、顔料と樹脂の比率の変更により、下塗り塗料の膨れ抑制効果を期待し、改良検討を行った。改良塗料NC-3、NC-4(デュフナー#100S系)は、塩水噴霧試験のカット部2mm以下の膨れと効果が認められる。改良塗料NC-3、NC-4(Vフロン#2000塗装系)は、塩水噴霧試験のカット部で2mm以下の僅かなフクレとなり、効果が認められる。また、Vフロン#2000系の方がデュフナー系と比較し、良好な結果を示した。

以上のことから、リン酸クロメート皮膜上での下塗り改良塗料はクロム酸クロメート皮膜の現行仕様にほぼ近い性能を示している。しかし、カット部からの微少な膨れがある。これは、3価クロムの皮膜は自己補修効果を持たないため、カット部からの腐食が進行しやすく、改良塗装系においてもカット部の膨れを十分に抑制ができなかったと考える。また、ジルコニウム系皮膜上での改良塗装系は、カット部の膨れの効果は認められるものの、クロム酸クロメート被膜の現行仕様と比較すると未だ膨れが大きく劣る結果となった。

## 5. おわりに

カーテンウォールの塗装システムも、環境問題の中でノンクロム化の動きが広まり始めた。特に、高層ビル向けアルミニウムのカーテンウォールでは下地処理のノンクロム化が進んでいる。既に陽極酸化皮膜(アルマイト)を行う方法ではアルマイト+ふっ素塗料の塗装システムが実用化されている。

一方、国内のカーテンウォール塗装業は、前処理としてクロム酸クロメート処理を多く採用している。クロム酸クロメート皮膜の性能に頼ってきた塗装システムは、ノンクロム処理皮膜の性能がそれに達していない状況で、塗膜による性能維持が望まれている。EUで許可されている3価クロム処理皮膜上では、従来品に近い性能を示す塗装システムを得ているが、ノンクロム系では未だ十分な性能が確立されていないため、更なる検討を進めている。

また、環境問題の動きはノンクロムのみならずVOC規制の広がりが先予測されるため、ふっ素樹脂塗料の粉体化、電着化、水系化への動きも考慮することになる。