

環境対応型ポリエステル粉体塗料「エバクラッド ハーベスト」の開発

“EVERCLAD HAABest”, Eco-Friendly Polyester Powder Coatings



工業塗料本部
粉体塗料開発部
野浦公介
Kohsuke
Noura



工業塗料本部
粉体塗料開発部
今北剛司
Koji
Imakita



工業塗料本部
粉体塗料開発部
(現 機能材料技術部)
津田裕久
Hirohisa
Tsuda

新技術

1. はじめに

粉体塗料は、揮発性有機化合物 (VOC) を含まず 100% 塗膜形成成分であることや、塗着しなかった塗料を回収して再利用できることなどから、環境対応型塗料の代表として注目されている。粉体塗料は使用される樹脂硬化剤によって、エポキシ系、ハイブリッド (エポキシ/ポリエステル) 系、ポリエステル系、アクリル系などに大別される。一定以上の耐候用途で使用されるポリエステル系では、日本においてはポリエステル/ブロックイソシアネート (以下 PE/BNCO) 硬化系が主流であったが、焼付温度が 180℃ と粉体塗料の中でも高温であることや、焼付時に発生し揮発する硬化剤のブロック剤 (ε-カプロラクタム) が 2001 年施行の PRTR 制度 (化学物質排出移動量届出制度) の第一種指定化学物質に該当するとともに、乾燥炉周辺でのヤニ発生の原因となるため敬遠する声を聞くことが多くなってきた。一方、海外では PE/BNCO 系は殆ど用いられることがなく、中国や北米ではポリエステル/トリグリシジルイソシアヌレート (以下 PE/TGIC) が主流である。この TGIC 系

はかつては欧州においても多用されていたが、感作性 (カブレ) や変異原性を有することから、現在ではこれに代わる硬化系としてポリエステル/β-ヒドロキシアルキルアミド (以下 PE/HAA) 系が主流となっている。

HAA 硬化剤は、1990 年代後半に EMS Chemie 社から Primid の商品名で登場したポリエステル粉体塗料用架橋剤で、日本でも各粉体塗料メーカーがこの硬化剤を使用する粉体塗料の開発に取組んだが、クロメート処理を施したアルミ素材が主用途の欧州に対し、鉄素材が主用途となる日本の粉体塗料市場では、耐食性や耐水性など水負荷関連性能で PE/BNCO 系に比べ劣ることから、その用途は数年毎に塗膜を全面剥離して再塗装されるガスボンベ外面用などの一部に限定されてきた。また PE/HAA 系は 160℃ 焼付が可能と紹介された硬化系であったが、実際には 170~180℃ 焼付でないと満足な塗膜性能と仕上がりが得られないというのが実情であった。

本稿ではこれらの PE/HAA 系の課題解決に取り組み、得られた成果及び市場展開状況について紹介する。

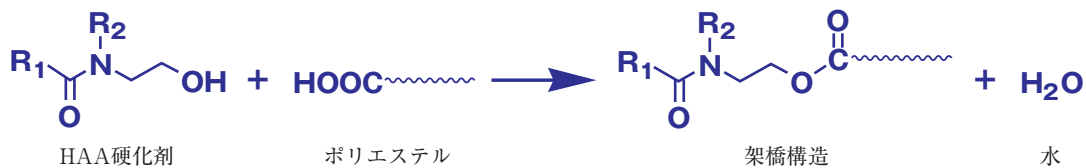


図 1 PE/HAA系粉体塗料の架橋反応式

表 1 PE/HAA粉体の長所及び短所とされていた項目

長所	<ul style="list-style-type: none"> ・反応副生成物が水だけで環境に特にやさしい ・乾燥炉周辺の煙やヤニがほとんど出ない ・低温焼付が可能で乾燥炉のランニングコストが軽減できる
短所とされていた項目	<ul style="list-style-type: none"> ・耐水性や耐食性など水負荷関連性能がひ弱い (鉄素材上) ・仕上がり外観 (平滑性・肌) が劣る ・耐熱黄変性が劣る ・厚膜塗装時の耐ワキ性 (発泡性) が劣る ・つや消し塗料 (3分艶) の設計が難しい

2. エバクラッド ハーベストについて

PE/HAA系粉体塗料の架橋反応式を図1に、長所及び短所とされていた項目を表1に示す。PE/HAA系粉体塗料は160℃低温焼付が可能だけでなく、反応副生成物が水だけであるため従来タイプのPE/BNCO系粉体塗料の塗装ラインに比べ、乾燥炉内部及び周辺の煙やヤニ発生が極めて少なくなることが期待できる。一方で、これらのメリットはあるものの鉄素材が大部分を占める日本の粉体塗料市場においては、耐水性や耐食性など水負荷関連性能がPE/BNCO系に比べ、ひ弱い点が最も大きな問題点として捉えられており、前述のような限定した展開に留まっていた。「エバクラッド ハーベスト」とは、従来PE/HAA系粉体塗料の課題とされていた点を弊社にて解決し、長所を伸ばしたポリエステル粉体塗料の製品名である。PE/HAA系粉体塗料で短所とされていた項目について、我々は塗料配合を原点から見直し、性能向上に取り組んだ。日本では、PE/HAA系粉体塗料は同じ耐候用ポリエステル粉体であるPE/BNCO系粉体塗料からの切替えと捉えられるため、塗料配合設計においてもPE/BNCO系粉体塗料の樹脂及び硬化剤のみを置き換えることからスタートすることが多い。しかし、ポリエステルの官能基が水酸基(-OH)とカルボキシル基(-COOH)の違いや硬化剤の官能基の違いから極性などの特性が異なり、従来PE/BNCO系粉体で使ってきた顔料や添加剤などをそのまま流用することが好ましくないケースが多いことが判明した。塗料配合設計において顔料や添加剤の選定は仕上がりに塗膜性能を大きく左右するため、樹脂や硬化剤の選定と同様に重要であり、最適設計により耐水性や耐食性など水負荷関連塗膜性能を大幅に向上させることが可能になった。図2に耐食性試験結果を示す。

またPE/HAA硬化はPE/BNCO硬化に比べ硬化速度が速いことから、同等の仕上がり外観・平滑性を得るためにはポリエステルの官能基濃度を低くするなど、塗膜の硬化性の観点では不利な樹脂を選定せざるを得なかった。この点についてもポリエステルのモノマー組成や官能基濃度、分子量の設定などを見直すことで、十分な塗膜の硬化性を



図2 PE/HAA粉体塗料の耐食性試験結果

維持しつつ、150℃×20分(素材温度保持時間)焼付での仕上がり外観・平滑性良好な塗料設計を達成した(図3)。「エバクラッド ハーベスト」の塗膜性能を表2に示す。

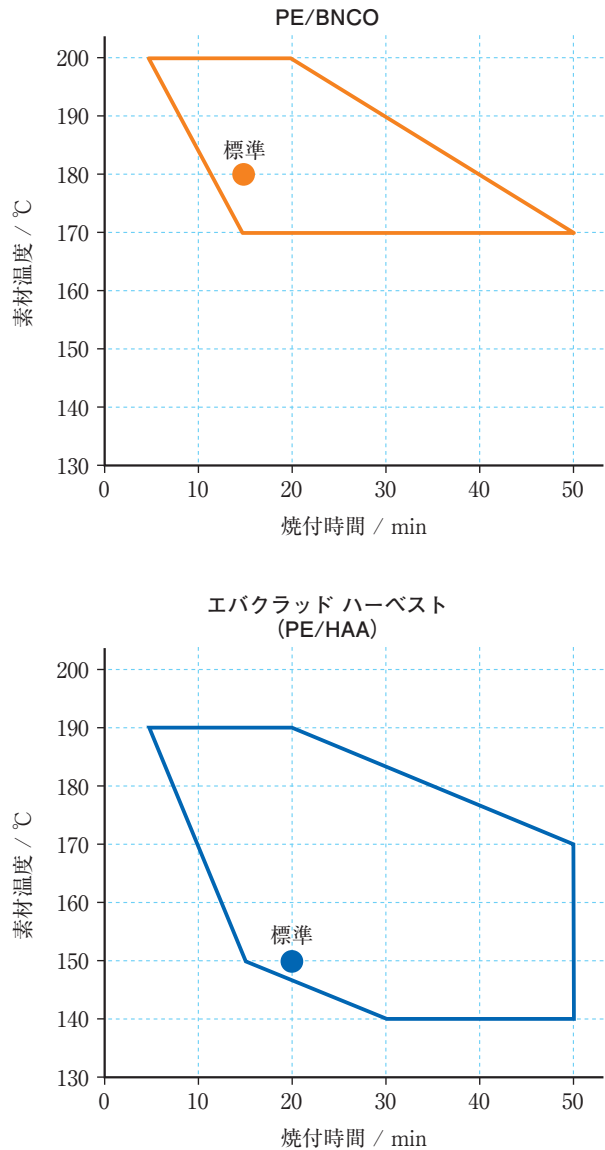


図3 PE/BNCO及び「エバクラッド ハーベスト」の焼付適用範囲

3. 「エバクラッド ハーベスト」適用事例

粉体塗料の促進耐候性と焼付温度の関係を図4に示す。エポキシやハイブリッド系は150～160℃の低温硬化が可能で耐食性に優れているが、十分な耐候性を有していない。屋外用途に使用できる領域の塗料としてはPE/TGICやアクリル、PE/BNCOなどが挙げられるが、アクリル系は高価で他の粉体塗料に混入するとハジキを発生させやすいことから日本では焼付温度は高いものの安全性と作業性に優れたPE/BNCO系が主流となっていた。低温硬化に優れる「エバクラッド ハーベスト」(PE/HAA)は耐候性を必要とするこの領域の塗料として採用が進んでいる。

表2 ポリエステル粉体塗料の一般塗膜性能比較

項目	PE/BNCO		エバクラッドハーベスト (PE/HAA)		試験条件
	標準	高耐候	標準	高耐候	
焼付温度・揮発物	180℃×15分	180℃×20分	150℃×20分、ヤニレス		素材温度保持時間
光沢	85≤	85≤	85≤	85≤	60度鏡面光沢度 JIS K 5600-4-7
塗膜硬度	F~2H	F~2H	F~2H	F~2H	鉛筆引っかき(キズ) JIS K 5600-5-4
付着性	100/100	100/100	100/100	100/100	1 mm 基準目 JIS K 5600-5-6
耐衝撃性	50 cm≤	30 cm≤	50 cm≤	30 cm≤	デュボン式1/2インチ500 g JIS K 5600-5-3-6
耐カップング性	7 mm≤	-	7 mm≤	-	押し出し JIS K 5600-5-2
耐折り曲げ性	6~8φ mm	-	6~8φ mm	-	180° 折り曲げ JIS K 5600-5-1
耐湿性	外観	異常なし	異常なし	異常なし	50℃、98%RH×500 h JIS K 5600-7-2
	付着	100/100	100/100	100/100	
耐中性塩水	外観	異常なし	異常なし	異常なし	5%NaCl、35℃×500 h JIS K 5600-7-1
	噴霧性	クロスカット部 0~3 mm	0~3 mm	0~3 mm	
耐液体性(酸)	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	5%硫酸240 h JIS K 5600-6-1
耐液体性(アルカリ)	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	5%炭酸ナトリウム24 h JIS K 5600-6-1
促進耐候性	光沢保持	60%≤	90%≤	60%≤	サンシャイン・ウェザー・メーター 標準500 h、高耐候600 h
	色差	2.5≥	1.5≥	2.5≥	

素材/表面処理:SPCC/リン酸亜鉛(PB-3118)、塗装:本品(白色、膜厚60~70 μm)

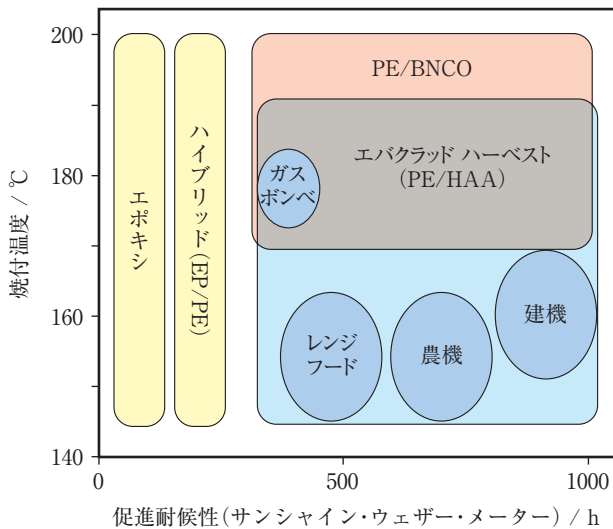


図4 粉体塗料の樹脂硬化系と促進耐候性-焼付温度マップ

3.1 建設機械

建設機械(以下、建機)は2Kウレタン系溶剤型塗料などが主流の分野であったが、近年、薄板部品などで粉体塗料の採用が進んでいる。建機の塗色は、黄色やオレンジなど彩度が高く隠蔽性の確保しにくい色調が多いことから、塗装時のワキやタレを防止するために2コート塗装が必要な場合が多い。粉体塗料は1コートで厚膜塗装が可能であり、作業性にも優れていることから採用されている。建機塗装では様々な厚さの部材が同時(混載)焼付されるため、より焼付温度範囲の広い塗料が待ち望まれていた。

「エバクラッドハーベスト」は、PE/BNCO系からの置き換えとしてキャビンやエンジンフードに使用されている。建



写真1 「エバクラッドハーベスト」の建機適用例(キャビン)

機向け「エバクラッドハーベスト」は表3に示す通り、高耐候性と高平滑性を両立した設計とした。塗装仕様は耐久性を考慮し、カチオン電着を下塗りとする2コート2ベイクが主流である。また、キャビンなど防水性を要する部位に使用されるパテ・シーリング材との副資材適性を有することも重要なポイントである。

現在では油圧パイプなど耐候性と耐食性が必要な1コート塗装部材への適用も拡大しつつある。

表3 建機キャビン用途の主要性能

主要項目	品質目標	PE/BNCO	エバクラッド ハーベスト (PE/HAA)	試験条件
焼付温度・揮発物	低温・ヤニレス化	180℃×20分	160℃×20分、ヤニレス	素材温度保持時間
塗膜外観	平滑性	◎	◎	目視判定
光沢	85≤	95≤	95≤	60度鏡面光沢度 JIS K 5600-4-7
耐寒性	異常ないこと	異常なし	異常なし	耐寒性 -50℃×5 h保持後の外観評価
耐油性	異常ないこと	異常なし	異常なし	エンジンオイル 100℃×16 h浸漬後の外観評価
耐候性	光沢保持 80%≤	90%≤	90%≤	サンシャイン・ウェザー・メーター 1000 h

素材/表面処理:SPCC/リン酸亜鉛(PB-L3020)、下塗り:カチオン電着塗料、上塗り:本品(黄色、膜厚70~90 μm)

表4 農機用途の主要性能

主要項目	品質目標	PE/BNCO	エバクラッド ハーベスト (PE/HAA)	試験条件
焼付温度・揮発物	低温・ヤニレス化	180℃×20分	150℃×20分、ヤニレス	素材温度保持時間
光沢	85≤	85≤	85≤	60度鏡面光沢度 JIS K 5600-4-7
耐油性	異常ないこと	異常なし	異常なし	軽油、23℃×48 h JIS K 5600-6-1
耐水性	異常ないこと	異常なし	異常なし	40℃×120 h JIS K 5600-6-2
耐中性塩水噴霧性	クロスカット剥離3 mm≥	1.5 mm	1.5 mm	5% NaCl、35℃×240 h JIS K 5600-7-1
促進耐候性	光沢保持 80%≤	80%≤	90%≤	サンシャイン・ウェザー・メーター 400 h

素材/表面処理:SPCC/リン酸亜鉛(PB-3118)、塗装:本品(白色、膜厚60~70 μm)

3.2 農業機械

農業機械(以下農機)は、特に耐久性が必要とされる部位には、建機と同様にカチオン電着を下塗りとする2コート2ベイク仕様が採用される場合があるが、大半はリン酸塩処理を施した素材への粉体1コート仕様である。農機は倉庫やガレージに保管されることが多く、建機ほどの耐候性は求められないが、1コートでの耐久性が要求される。そのため、農機向けの品質は耐候性とその他塗膜性能のバランスをとった設計としている(表4)。

農機の粉体化はこれからの市場であり、今後「エバクラッド ハーベスト」への切り替えが期待される分野である。

3.3 レンジフード

粉体塗料は、一般家庭向け製品(給湯機、テーブルコンロなど)にも多く使用されている。かつて台所は居間とは分かれた場所であったが、最近は多目的な空間“リビングキッチン”として開放されたライフスタイルを象徴する場所へと変わっている。キッチンを構成するレンジフードもこの空間スタイルにマッチするよう高いデザイン性が求められ、色調はソリッド色をはじめメタリックなど意匠性を重視したタイプが適用されている。レンジフードは、屋内設置品であるが光に対する変色懸念からPE/BNCO系が採用されている。塗装仕様は主に化成処理を施した電気亜鉛メッキ材への1コート塗装で、「エバクラッド ハーベスト」は意匠性を損なうことなく実用性能を満たす設計としている(表5)。

上記分野以外でも信号機カバーや特装車パーツなどで「エバクラッド ハーベスト」の採用が進んでおり、積極的な市場展開を今後も進めていく。



写真2 「エバクラッド ハーベスト」の農機適用例(コンバイン)

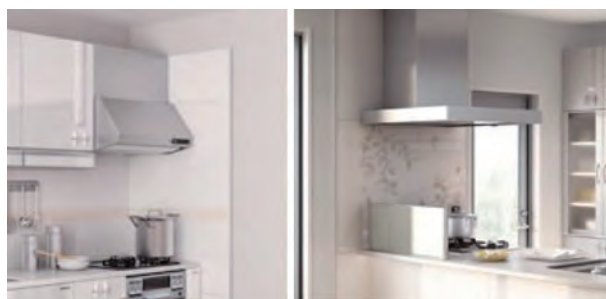


写真3 「エバクラッド ハーベスト」のレンジフード適用例

表5 レンジフード用途の主要性能

主要項目	品質目標	PE/BNCO	エバクラッドハーベスト (PE/HAA)	試験条件
焼付温度・揮発物	低温・ヤニレス化	180℃×20分	150℃×20分、ヤニレス	素材温度保持時間
塗膜外観	意匠性	○	○	目視判定
付着性	100/100	100/100	100/100	1mm 碁盤目 JIS K 5600-5-6
耐衝撃性	30cm	合格	合格	デュボン式1/2インチ500g JIS K 5600-5-3-6
耐水性	異常ないこと	異常なし	異常なし	23℃×300h 浸漬 JIS K 5600-6-1
耐洗剤性	異常ないこと	異常なし	異常なし*	家庭用洗剤を塗布後、拭き取り
耐湿性	異常ないこと	異常なし	異常なし	50℃、98%RH×240h JIS K 5600-7-2
耐中性塩水噴霧性	フクレ幅 3mm以下	0.5以下	0.5以下	5% NaCl、35℃×500h JIS K 5600-7-1

素材/表面処理:電気亜鉛めっき材/リン酸亜鉛(PB-3118)、塗装:本品(ソリッドまたはメタリック色、膜厚50~70μm) *メタリック系は条件付

4. 「エバクラッドハーベスト」適用の効果試算

日本塗料工業会 LCA 連絡会の一般工業ラインモデル¹⁾で、「エバクラッドハーベスト」の適用により得られる効果の試算結果を表6及び図5に示した。180℃焼付が必要である従来のPE/BNCO系に比べ「エバクラッドハーベスト」は150℃焼付が可能のため、乾燥炉のガス代が約25%削減でき、塗料原料の製造から塗装完了までの各段階由来のCO₂排出量でも乾燥炉の低温運転により約16%削減で

きるという試算結果となっている。さらに図6に溶剤型塗料及び水性塗料(いずれも150℃焼付)と粉体塗料のCO₂排出量の算出結果を示した。ポリエステル粉体塗料は原料由来のCO₂排出量が少ないことから180℃焼付のPE/BNCO系粉体でもトータルでは水性塗料と同程度である。さらに粉体塗装はブース廃水の処理や未塗着塗料を廃棄する必要がほとんど無く、本工程削除によるCO₂排出量を考慮すると、やはり粉体塗装が環境適性に優れていると言える。

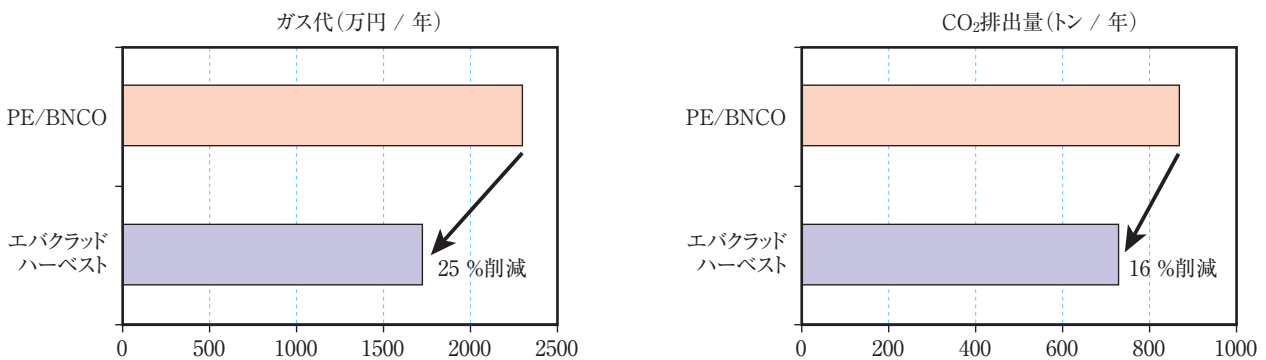


図5 低温焼付によるガス代及びCO₂排出量削減効果

表6 「エバクラッドハーベスト」適用の効果試算

	焼付温度	ガス代削減効果			CO ₂ 排出量比較				年間 トン/年
		都市ガス使用量		ガス代 万円/年	塗装単位面積あたり・各由来(kg/m ²)			合計	
		m ³ /h	m ³ /年		原料	塗料製造	塗装・焼付		
PE/BNCO	180℃	120	230,400	2,304	0.228	0.036	0.681	0.945	870
エバクラッドハーベスト	150℃	90	172,800	1,728	0.228	0.036	0.528	0.792	730

想定条件:ガス代(100円/m³)、稼働時間(8h/20日/月)

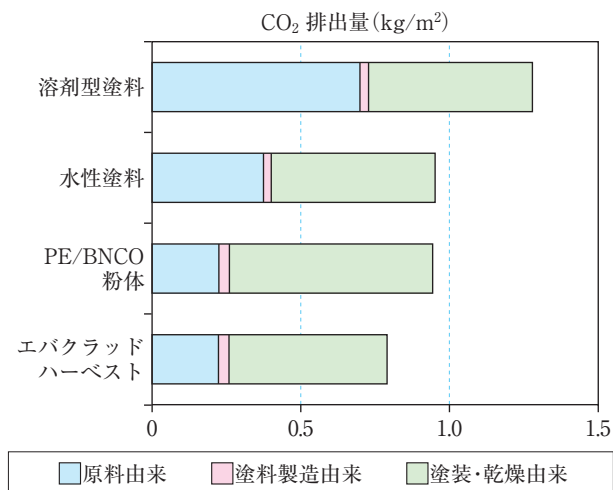


図6 各種塗料のCO₂ 排出量比較

5. 最後に

粉体塗料では素材との付着性を確保するためには、化成処理との組合せが溶液型塗料以上に重要である。最近では従来のリン酸塩系の化成処理に比べスラッジの発生が少なく、排水処理費用が軽減されるなどのメリットがある酸化ジルコニウム系の化成処理が登場し、PE/HAA系でも良好な耐食性や耐水性が確認されている。また鉄素材以外にもアルミ建材等への粉体塗装化の動きもあり、PE/HAA粉体塗料の適用可能な市場が広がるものと期待されている。

日本で屋外用粉体塗料として主流であるPE/BNCO系は、海外ではほとんど使用されないことから、海外での材料調達に課題となる一種のガラバゴス現象が生じていた。PE/HAA系の「エバクラッド ハーベスト」はグローバル対応材質であり、国際展開が可能である。

「エバクラッド ハーベスト」をはじめとする粉体塗料の積極的な市場投入により、地球環境保護に寄与できるものと考えている。

参考文献

- 1) 社団法人日本塗料工業会技術委員会 LCA 連絡会編：
“日塗工モデル塗料の LCI 計算”、日本塗料工業会
(2005)