

屋外鉄部用塗料のオール水性化

New Development of Water-based Priming and Top Coating for Exterior Steel Part



関西ペイント販売(株)
建設塗料本部
建築技術部
才川圭一郎
Keiichiro
Saikawa



関西ペイント販売(株)
建設塗料本部
建築開発技術部
石原有七
Yushichi
Ishihara



関西ペイント販売(株)
建設塗料本部
建築技術部
三谷 誠
Makoto
Mitani

1. はじめに

戸建、マンションを含む建築物の外壁はコンクリート、モルタル、窯業系サイディングなどの無機建材が使用され、その塗装には JIS A 6909 (建築用仕上塗材) に該当する塗料が適用されており、この部位においては既に塗料の水性化が進んでいる。しかし、鉄扉、手すりなどの鉄部塗装については、依然として溶剤系塗料が使用されている。市販されている水性錆止め塗料の使用は建物の内部あるいは準外部など、マイルドな腐食環境での使用に限定されている。

建築物の鉄部塗装は、一般には下塗りを1回、上塗りを2回塗装して仕上げるが、乾燥膜厚で $90\mu\text{m}$ にも満たない膜厚で施工されている。そのため、その膜厚で腐食要因(酸素、水、水蒸気)を遮断する必要があるが、単に下塗り塗料の品質を高めるだけでは限界がある。さらに下塗り塗料には塗装直後の点錆び発生の抑制、上塗り塗料には高仕上り性(高光沢)が要求され、鉄部塗装における水性化を困難にしていた。

当社が開発した水性反応硬化型エマルション¹⁾(カルボニル/ヒドラジド粒子間架橋エマルション)塗料¹⁾²⁾は、販売してから十数年経過するが、その間建築外壁用塗料の品質向上には寄与してきたものの、鉄部塗装における問題解決には至っていない。何故なら、この粒子間架橋エマルションは造膜と同時に個々の粒子~粒子間のみの架橋で硬化することから、エマルション粒子同士の融着が十分ではなく、緻密性(バリアー性:腐食因子の透過阻止能)の点で鉄部用途への適用が困難であった。

当社ではこれらの問題点を克服するため、鋭意研究を重ね、造膜性に優れ、かつ緻密な架橋システムを有するエマルション技術を新規に開発し、屋外鉄部用水性塗料として1液水性変性エポキシ樹脂下塗り塗料「1液水性ザウルス」及びナノ架橋型1液ウレタン変性アクリル樹脂上塗り塗料「アレス水性ナノトップU」を上市した。本新規の塗

装システムは防食性、耐久性において溶剤系システム(弱溶剤1液エポキシ樹脂下塗り、弱溶剤1液アクリルウレタン樹脂上塗り)と同等性能を有しており、本報では開発に至る新技術の内容と上市した塗料について述べる。

2. 機能目標と開発コンセプト

現行溶剤系塗装仕様(弱溶剤1液エポキシ樹脂下塗り塗料、弱溶剤1液アクリルウレタン樹脂上塗り塗料)の水性化を目的に開発を行ってきた。図1にモデル図で示す環境による劣化要因と防食性要因から必要性能を以下に記載する。

水性下塗り(錆止め)塗料には防錆顔料の混和安定性の他、鉄・サビ面へのなじみ・密着性、高バリアー性、上塗りとの密着性さらには点錆び発生の抑制などが要求される。また開発品の目標防食レベルは、鉛・クロムフリーさび止めペイント(JIS K 5674:耐複合サイクル防食性36サイクル)同等以上とする。

水性上塗り塗料としては高バリアー性、下塗り塗膜との密着性に加え、高耐候性・耐久性(JIS A 6909:耐候形2種)も必要となる。従来の水性上塗り塗膜は、バリアー性が低い

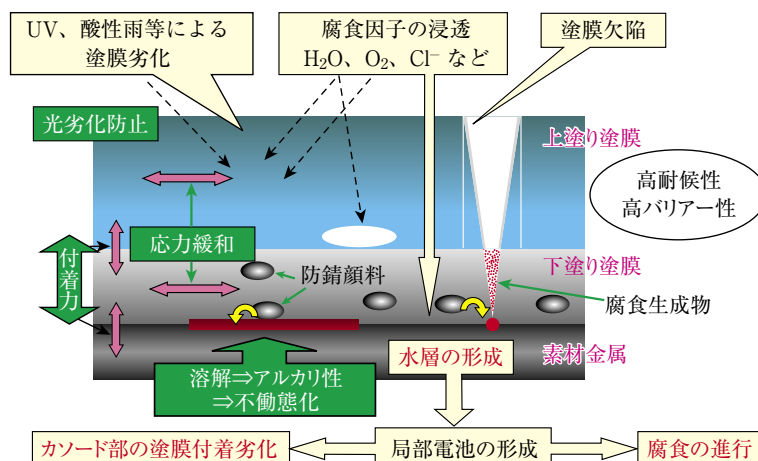


図1 環境劣化と防食性要因

ことから防食性の低下のみならず、素地と下塗り界面、或いは下塗りと上塗り界面でのふくれ(プリスター)などを生じさせる懸念があった。これらの点を払拭し、更には鉄部塗装に要求される機能である高仕上り性(高光沢)、低汚染性および外壁適性(JIS A 6909)なども機能目標とした。

3. 高バリアー性と高仕上り性達成技術

3.1 造膜性とナノ架橋

図2にエマルションの造膜機構を示す。従来のアクリル系エマルションの造膜はBrownによって提唱された毛細管圧理論³⁾が支配的とされ、粒子間界面が残りが易く乾燥後のバリアー性、光沢に影響する。一方、当社はBradfordによる乾燥シタリング理論⁴⁾に着目し、それに基づく造膜、すなわちポリマーの粘性流動特性を調整してより粒子の接触を増大させ接触粒子間の融着を促進することで、造膜性に優れた連続膜の形成を可能にした。さらに緻密な架橋(硬化)システムと組み合わせることで高バリアー性塗膜を実現し、錆止め塗料においては優れた防食性を、上塗り塗料においては高光沢を併せもつ品質の塗料設計を確立した。

図3に開発したナノ架橋型ウレタン変性アクリル樹脂粒子の造膜過程のモデル図を示す。このエマルション樹脂は造膜過程において粒子が融合しやすいこと、及び架橋(硬化)反応性をナノサイズで分散、包含していることを特徴としている。すなわち、塗装後、水分の蒸発に伴い、粒子間の融着が進行するとともに、酸素の作用により架橋反応(硬化反応)が進行する機構である。従来の架橋型エマルションは、主として粒子間架橋により粒子同士の結合を補強するものであったが¹⁾²⁾、本架橋系では、粒子が十分に融合した後、ナノレベルに分散していた架橋官能基が反応するため、塗膜全体として緻密な架橋構造を形成することが可能となる(ナノ架橋システム)。

3.2 透湿性

開発した錆止め塗料「1液水性ザウルス」のバリアー性検証のために、腐食要因成分である酸素と水の透過性を測定した。その結果を表1に示す。「1液水性ザウルス」は従来の水性錆止め塗料に比して、酸素透過では6倍、水透過では約3倍のバリアー性を有し、弱溶剤1液エポキシ樹脂塗膜に近

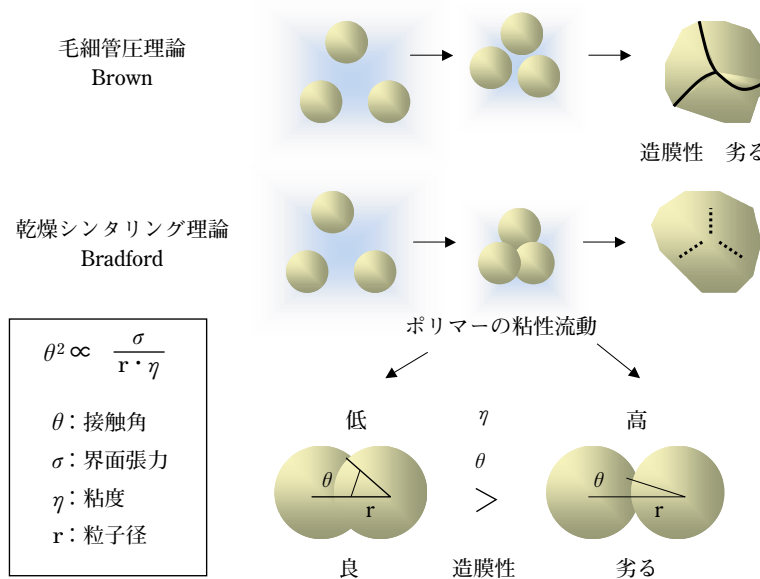


図2 エマルションの造膜機構

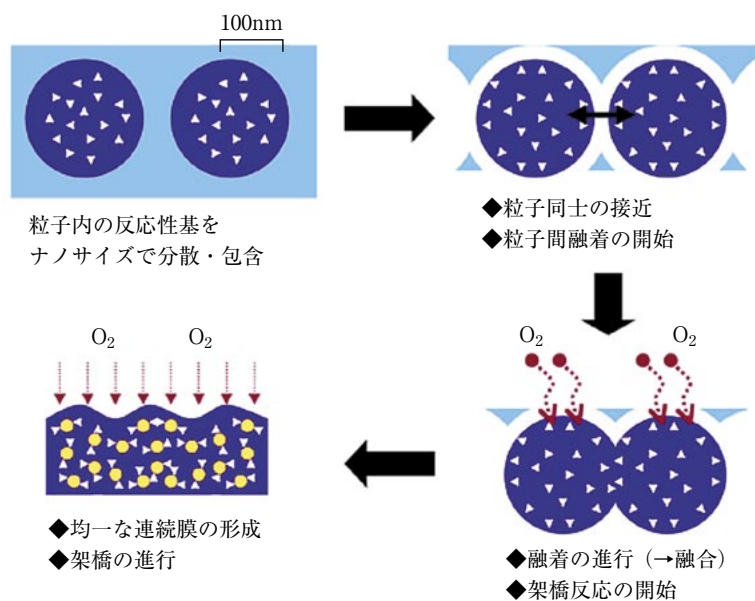


図3 上塗り塗料用樹脂の造膜過程(モデル図)

い値が得られた。

上塗り塗膜のバリアー性検証にはJIS K 7129 A法による水蒸気透過度を測定した。図4にその結果を示す。開発した上塗り塗料「アレス水性ナノトップU」は、従来の1液水性ウレタン樹脂上塗り塗膜と比較しても水蒸気透過度が小さく、弱溶剤1液ウレタン樹脂塗膜に匹敵するレベルにある。

3.3 仕上り性(高光沢)

本開発の上塗り塗料「アレス水性ナノトップU」の所期の仕上り外観目標(肉持ち感、光沢)である光沢に関しては、優れた造膜性とナノ架橋技術に加え、着色

表1 下塗り(錆止め)の膜透過性

	酸素透過係数 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}$)	透水量 ($\text{g} / \text{cm}^2 \cdot 24\text{H}$)
1液水性ザウルス	3×10^{11}	0.3
弱溶剤1液エポキシ	2×10^{11}	0.1
従来水性錆止め	18×10^{11}	1.0

測定方法：酸素透過係数：製科研式酸素透過試験機による測定。
膜厚 $30 \mu\text{m}$

透水量： 20cm^3 の試薬瓶に 10g の上水を入れ、 $30 \mu\text{m}$ の塗膜を貼り、吸水量の高い絹布等を敷いた上に、塗膜面を下にして膜の透水量(瓶の重量減少)を測定した。

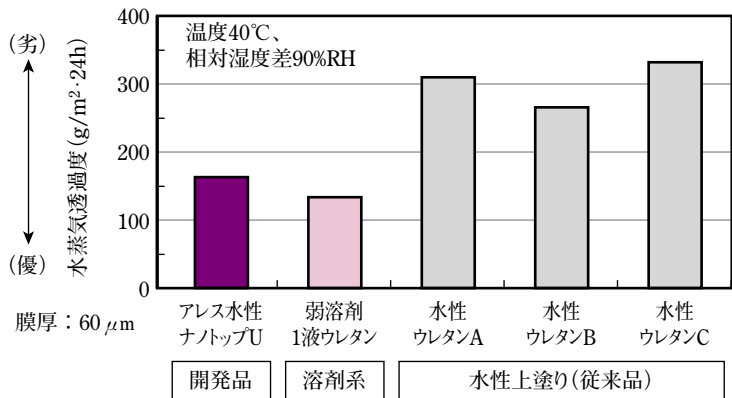


図4 水蒸気透過度

顔料の分散度を高めたことで塗膜の平滑性を高め、従来の水性塗料にはない高光沢(20度グロス光沢値:75)を実現した。図5に塗膜表面と断面のSEM写真、および表面粗度の測定結果を示す。「アレス水性ナノトップU」はSEM写真から、膜の均一性が従来の1液水性ウレタン樹脂上塗り塗膜に比し、格段に向上していることが確認できた。また、表面粗度の結果でもRa(中心線平均粗さ)が $0.023 \mu\text{m}$ で、弱溶剤1液ウレタン樹脂塗膜の $0.021 \mu\text{m}$ と同程度の表面平滑性が得られている。

3.4 塗装作業性と仕上り性

一般に水性塗料は、刷毛さばきが軽く塗りやすい反面、鉄部のような平滑面に塗装した場合は、刷毛のかえしでスケが生じたり、塗布量が少なくなり膜厚が確保しにくいといった傾向にある。また、刷毛やローラー塗装における仕上り肌は、溶剤系塗料並の平滑さも得られにくい。

本開発においては、高剪断速度域の粘性を適正範囲に制御することで、良好な刷毛作業性を確保した。また、塗装後の粘度回復性を最適化することで、仕上り性(レベリングによる刷毛目、ローラーマークの低減)とたるみ

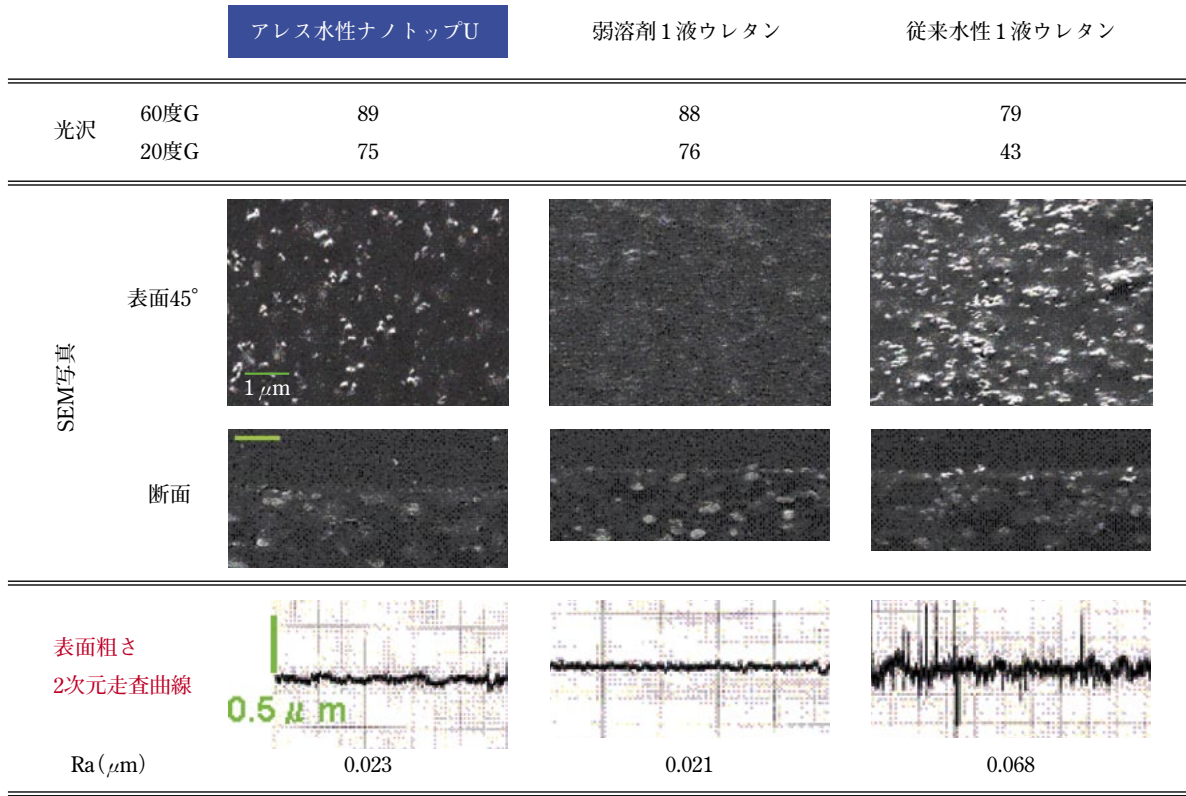


図5 塗膜のSEM観察と表面の粗さ曲線

①塗装時作業性

水性ナノトップUは塗装時の粘度が小さい
⇒ 塗り易い

②塗装直後のレベリング性

水性ナノトップUは、塗装直後の粘度回復は緩やか
⇒ レベリング性に有利

③タレ性

水性ナノトップUは、塗装1分後には粘度は回復している
⇒ タレ抵抗性に有利

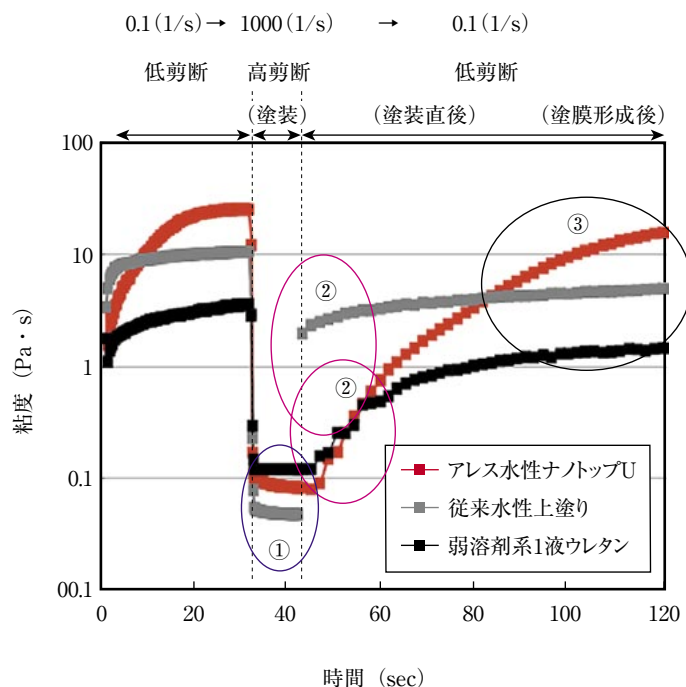


図6 上塗り塗料の粘度回復性

性(タレ限界膜厚の確保)を両立した。図6に粘度測定結果を示す。横軸は測定を始めてからの時間、縦軸には逐次該当する剪断速度での粘度変化を示す。まず、低剪断速度(0.1 s^{-1})を30秒間付加した後、瞬時に高剪断速度(1000 s^{-1} :塗装を想定)を10秒間加え、その後、再度低剪断速度(0.1 s^{-1})に切り替え、時間による粘度回復性を調べた。従来の水性塗料は塗装時の粘度は低いものの、低剪断速度切り替え後の粘度立ち上がりが高く、レベリング性に劣ることが判るが、「アレス水性ナノトップU」は初期の立ち上がりは弱溶剤1液ウレタン樹脂塗料と同様緩やかで、レベリング性に優れることが確認できた。

4. 塗膜性能

4.1 防食性

4.1.1 錆止め塗料「1液水性ザウルス」の防食性

図7に今回開発した錆止め塗料「1液水性ザウルス」の防食性、耐水性の試験結果を示す。

錆止め塗料単膜においても良好な防食性と耐水性を発現している。また、JIS K 5674の耐複合サイクル防食性試験(36サイクル)も満足することを確認した。

塗替え工事では、錆が残存している面に塗装される場合もある。従来の水性錆止め塗料では、塗料の乾燥過程で、残存錆のブリードや、腐食の進行により塗膜表面に斑点状の錆(点錆)が発生するという品質課題があった。開発にあたってはこの点にも留意した。図8に錆を発生させた鋼板を素地調整(3種ケレン)し、水性錆止め塗料を塗装した結果を示す。従来品に比較して「1液水性ザウルス」は点錆の発生を抑制していることも確認できた。

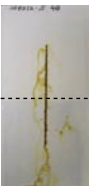
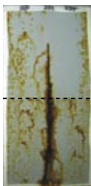
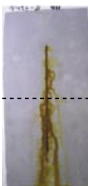
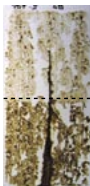
開発品		水性錆止め塗料(従来品)				
素材:軟鋼板SPCC-SB 膜厚:30~40 μm /回		1液水性 ザウルス	A	B	C	D
塩水噴霧 (240時間)	2回塗り					
	1回塗り					
		○	×	△	×	×
上水浸漬(4日)		○	○	×	△	×
				フクレ	フクレ	フクレ
酸素透過係数	3×10^{-11}	$15 \sim 20 \times 10^{-11}$				
(cm^3 (STP) $\cdot$ $\text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}$) 膜厚:30 μm						

図7 錆止め塗料(単膜)の防食性・耐水性

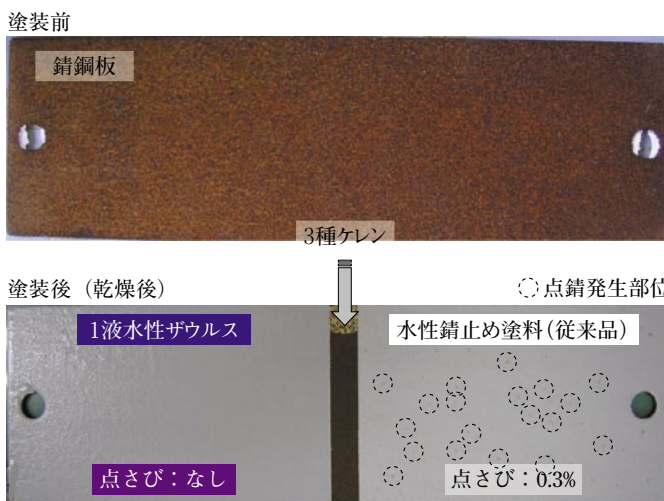


図8 錆面適性

4.1.2 塗装システムでの防食性

先に述べたように「アレス水性ナノトップU」は水蒸気透過度が小さく、弱溶剤1液ウレタン樹脂塗膜に匹敵するバリア性を有することから、システム塗膜の防食性向上に寄与する。「1液水性ザウルス」とのシステムにおける防食性、耐水性の試験結果を図9に示す。塩水噴霧試験(240時間)の結果から、本開発品の水性塗装仕様は弱溶剤系塗料の塗装仕様(1液エポキシ樹脂下塗り/1液アクリルウレタン樹脂上塗り)と同様に一般部に錆、フクレの発生がなく、カット部の腐食も軽微である。また上水浸漬(4日)においてもフクレの発生はなかった。他方、従来の水性塗装仕様では一般部の腐食やカット部のフクレなどの異常が見られた。

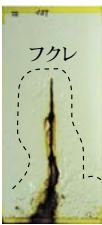
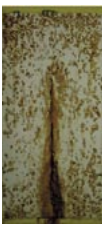
	開発品	弱溶剤	従来水性塗料	
錆止め(30 μ m)	水性ザウルス	弱溶剤1液エポキシ	水性錆止めA	水性錆止めB
上塗り(60 μ m)	水性ナノトップU	弱溶剤1液ウレタン	水性ウレタンA	水性ウレタンB
素材 軟鋼板SPCC-SB				
塩水噴霧 (240時間)	○	○	○ カット部:フクレ	○ 一般部:サビ
上水浸漬 (4日)	○	○	× フクレ	× フクレ

図9 開発品の防食性・耐水性

図10に千倉海浜での暴露試験の結果を示す。本開発品の塗装仕様と弱溶剤系塗料の塗装仕様は、ともに一般部に錆の発生はなく、カット部の錆幅も同程度であった。以上の結果から本開発品の水性塗装仕様は弱溶剤系塗料の塗装仕様と同等の防食性を有することが実証された。

本水性塗装仕様により、当社尼崎事業所内の屋外鉄柱下部の塗替えを行なった。図11に示すように錆発生部を3種ケレン処理し、錆止め塗料「1液水性ザウルス」を1回、上塗り



図10 海浜地域での屋外暴露試験結果



図11 屋外鉄部における施工例

塗料「アレス水性ナノトップU」を2回塗装した。塗装後9ヶ月以上経過した現在においても錆の発生は認められていない。

4.2 耐候性と屋外耐汚染性

図12にシステム塗装板での促進耐候性試験(キセノンウェザオームーター: XWOM)結果と図13に沖永良部における暴露試験の結果を示す。いずれの試験結果においても「アレス水性ナノトップU」は、弱溶剤1液ウレタン樹脂塗料と同等の光沢保持性を示し、またJIS A 6909の耐候形2種(ウレタンレベル)の規格を満足する品質であることが確認できた。

「アレス水性ナノトップU」は、十分なエマルション粒子の融合と緻密な架橋構造を有することから、汚れにくい塗膜性能を持つ。図14に東京における暴露試験結果を示す。開発品の耐汚染性は弱溶剤形1液ウレタン樹脂塗料同等以上で、従来水性塗料の『汚れやすい』を払拭し改良できている。特に水洗で汚れが落ちやすいことから、汚れ物質が浸

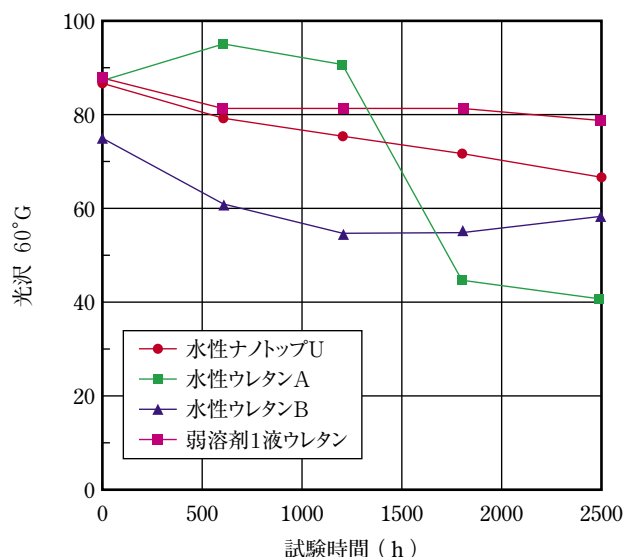


図12 促進試験(XWOM)結果

透・固着しにくい塗膜であることが判る。また開発品は、藻、かびによる汚染抵抗性にも配慮して設計しておりその性能も確認できている。

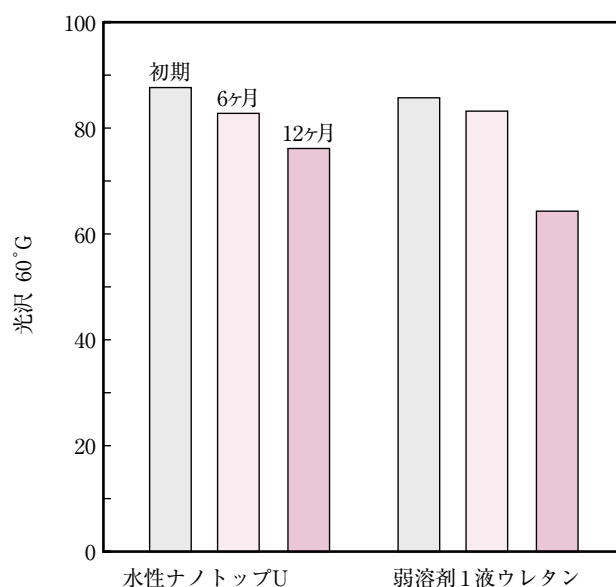


図13 暴露試験結果 (沖永良部)

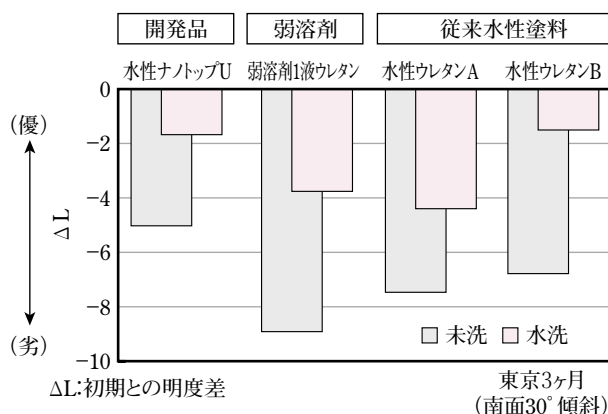


図14 耐汚染性 (暴露試験結果)

4.3 外壁塗装適性

塗り替え塗装工事においては、外壁と鉄部は同じ上塗り塗料であることが好ましく、「アレス水性ナノトップU」の開発によってそれが可能となった。開発品の塗膜破断伸び率は70% (破断強度: 132 kgf/cm²) で、微弾性主材 (JIS A 6909 可とう形改修塗材E) 用の上塗材としての適性も有する。また、「アレス水性ナノトップU」は、3分つや有りまでのつや調整が可能で、3分つや有り塗料においても鉄部、外壁適性 (微弾性主材適性) を有し、高光沢品同様の耐汚染性も有している。

5. 環境適性と塗装仕様

「1液水性ザウルス」、「アレス水性ナノトップU」はいずれも鉛・クロム化合物を含有せず、ホルムアルデヒド放散等級はF☆☆☆☆であり、屋内仕様にも適用可能な環境対応型塗料である。システムとして、屋外鉄部へ適用可能な塗膜性能を有しており、またVOCの削減も図って設計した。

開発塗装仕様におけるVOC発生量を図15に示す。下塗り1回、上塗り2回の標準塗装仕様にて、塗表面積1m²あたり約23gであり、弱溶剤系塗装仕様での157gに対し、約85%のVOC削減が可能となる。

鉄部の標準塗装仕様を表2に、外壁塗り替えの標準塗装仕様を表3に示す。

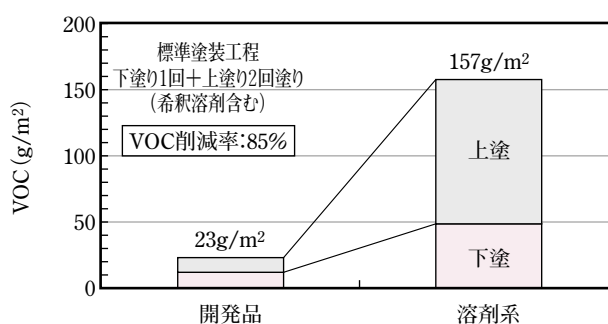


図15 開発品のVOC削減効果

6. おわりに

平成18年4月に改正大気汚染防止法が施行され、化学製品製造関係施設や塗装・乾燥施設から発生するVOC (揮発性有機化合物) の排出量が規制された。VOCは光化学オキシダントや浮遊粒子状物質 (SPM) の原因物質とされ、環境負荷及び健康被害の点からその削減が急務となっている。塗料業界では (社) 日本塗料工業会の自主取り組みとして、VOCの削減目標 (ガイドライン) を掲げ、業界全体として低VOC塗料への代替を推進している⁶⁾。

当社でもレスポンシブル・ケア活動のもと、水性化、ハイソリッド化、省工程化などのVOC削減技術に積極的に取り組み、多くの実績を挙げ、環境負荷の低減に貢献してきた。

今回、当社独自の造膜性に優れた1液常温架橋型エマルジョン技術をベースに開発した「1液水性ザウルス」、「アレス水性ナノトップU」は、その要求に応えるものである。今後、使い勝手の良い塗料として市場で認知されるよう技術フォローを行なうとともに、引き続き関連製品の開発に努めていく所存である。

表2 鉄部標準塗装仕様

工 程	塗 料 名	塗装回数	塗布量 (kg/m ² /回)	塗装間隔 (23℃)	塗装方法	希 釈 率
素地調整	◆新設 ①工場で錆止め塗装された面の劣化塗膜、浮き錆をケレン除去 ②油脂、汚れなどは、ワイヤーブラシ、サンドペーパーなどで除去 ③架設時の欠損部は「1液水性ザウルス」で補修塗り					
補修塗り	◆塗替え ①劣化した旧塗膜及び浮き錆の除去（電動工具、手工具） ②油脂、汚れなどは、ワイヤーブラシ、サンドペーパーなどで除去 ③素地の露出部は「1液水性ザウルス」で補修塗り					
下塗り	1液水性ザウルス	1回	0.14	4時間～7日	刷毛、ローラー	0～5%（上水）
上塗り	アレス水性ナノトップU	2回	0.08～0.12	2時間～7日	刷毛、ローラー	0～10%（上水）

表3 外壁塗り替え標準塗装仕様

工 程	塗 料 名	塗装回数	塗布量 (kg/m ² /回)	塗装間隔 (23℃)	塗装方法	希 釈 率
素地調整	素地のクラック・浮きなどは適切な処置をする。 劣化塗膜・汚れなどは高圧洗浄して乾燥した清浄な面とする。					
下 塗 り	アレスホルダーGⅡ	1回	0.3～1.5	8時間～7日	ローラー	3～10%（上水）
上 塗 り	アレス水性ナノトップU	2回	0.08～0.14	2時間～7日	刷毛、ローラー	0～10%（上水）

参考文献

- 1) 吉田彰、杉島正見、嘉瀬井一彦：塗料の研究、125, 46-49 (1995)
- 2) 才川圭一郎：塗料の研究、128, 62-65 (1997)
- 3) G.L.Brown; J. Polymer Sci., 22, 423 (1956)
- 4) R.E.Dillon, L.A.Matheson, E.B.Bradford: I. Colloid Sci., 6, 108 (1951)
- 5) (社)日本塗料工業会 <http://www.toryo.or.jp/>