

「タワーバリアー」

“TOWER BARRIER”, Highly Durable Repair Coating System with a Simplified Application Process for Power Transmission Towers



汎用塗料本部
防食製品技術部 (尼崎)
土岡育朗
Ikuro
Tsuchioka



㈱四国総合研究所
化学技術部
西森修次
Shuji
Nishimori



㈱四国総合研究所
化学技術部
大捕秀基
Otori
Hideki

1. はじめに

送電鉄塔は年中風雨や日光に曝されるため、鉄鋼に亜鉛めっきを施し防食性を高めている。しかし、経年で亜鉛めっき層の減耗が進行するので、送電鉄塔を健全な状態で維持管理するためにはメンテナンスが必要である。通常のメンテナンスは塗装で行うが、一般的な鋼構造物塗り替え仕様では期待耐用年数が10~15年程度なので、その都度補修塗装が必要となり、長期的にみると多額の維持メンテナンス費用がかかることになる。

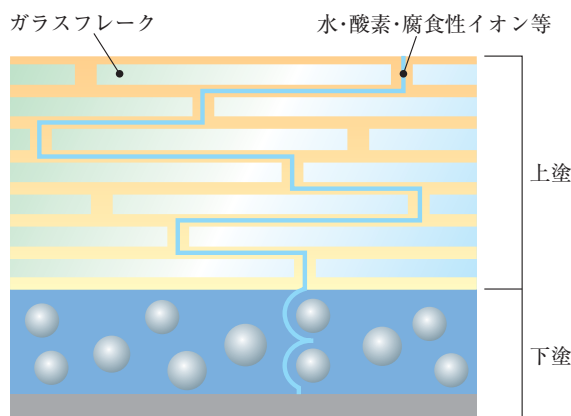
弊社は送電鉄塔の維持管理に関するライフサイクルコスト(LCC)低減に主眼を置き、送電鉄塔補修用厚膜塗料「タワーバリアーシステム」及び、専用塗装機「タワーペインター」を開発し、メンテナンス専用材料として国内の送電鉄塔に採用されている¹⁾。

「タワーバリアーシステム」の普及が進み、イニシャルコストの低減や施工の簡易化など新たな市場ニーズが発生した。本稿ではその市場ニーズに応えるために開発した技術を紹介する。

2. 「タワーバリアーシステム」の特長

「タワーバリアーシステム」は、環境遮断性能と塗膜の硬化収縮応力の抑制に優れた“ガラスフレーク入り超厚膜型エ

ポキシ樹脂塗料”「タワーバリアー上塗」と、劣化が進行した亜鉛めっき面に対して、優れた付着性と応力緩和性を有する“亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料”「タワーバリアー下塗」をそれぞれ1回塗りの2層で構成されるオールエポキシ樹脂塗装システムである。塗装仕様を表1に、塗装システムの特長を図1に示す。



ガラスフレークによる迷路効果
鱗片状のガラスフレークが層状に重なることで、腐食性因子(水、酸素、腐食性イオン等)の浸透距離が長くなる。

図1 防食メカニズム

表1 塗装仕様

システム	従来塗装システム	タワーバリアーシステム	
特長	電力プラント設備などに幅広く普及	超長期耐久性 LCC低減	
塗装仕様	防食下地	亜鉛-鉄の合金層	
	素地調整	一般汚れ、白錆、赤錆などは、マジクロン・ワイヤーブラシ 電動工具等で十分に除去、油分はシンナーで除去する。	
	下塗	変性エポキシ樹脂下塗塗料 60 μ m	タワーバリアー下塗 50 μ m
	中塗	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 30 μ m	-
	上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m	タワーバリアー上塗 350 μ m
合計膜厚	120 μ m	400 μ m	

新技術

3. 市場ニーズへの対応：薄膜化によるイニシャルコストの低減（「タワーバリアー225システム」）

長期耐久性を実現し、LCCの低減を達成した「タワーバリアーシステム」はイニシャルコストが高いため、イニシャルコストの低減を目的に「タワーバリアー上塗」の薄膜化の検討を行った。

「タワーバリアー上塗」を薄膜化すれば塗料の使用量が減少するので、イニシャルコストを低減することが出来る。一方で薄膜化により耐久性の低下が懸念される。

まずは、「タワーバリアー上塗」の膜厚を変動させて水蒸気透過性を測定した。従来仕様（エポキシ～ウレタン）の3コート仕様：トータル膜厚120 μm と、「タワーバリアー下塗」無しの「タワーバリアー上塗」単膜のみで3水準の膜厚条件（350 μm 、175 μm 、70 μm ）について測定した結果を図2に示す。「タワーバリアー上塗」は、膜厚175 μm では水蒸気遮断性能はほとんど低下がなく従来仕様に比べて優れているが、70 μm まで薄膜化すると性能が大幅に低下することがわかった。

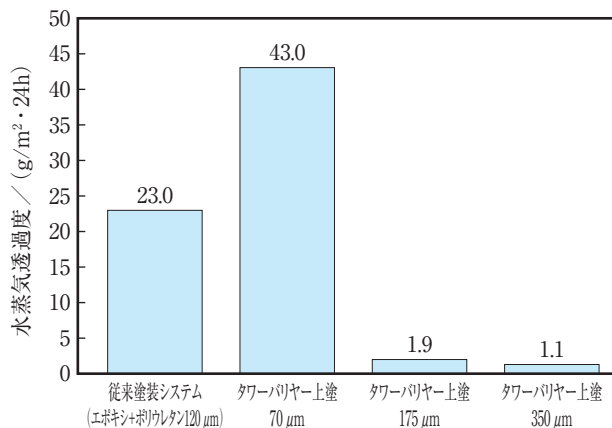


図2 各塗装仕様の水蒸気透過度

一方、「タワーバリアーシステム」の下塗と上塗を各50 μm 、トータル膜厚が100 μm 残存していれば防食性を維持できるという報告事例²⁾があり、上記の測定結果から膜厚ばらつきを考慮し、「タワーバリアー下塗」50 μm 、「タワーバリアー上塗」175 μm 、トータル膜厚225 μm の薄膜化によるイニシャルコスト低減仕様（以下、「タワーバリアー225システム」と略す）を確立することにした。

「タワーバリアー225システム」で各種促進試験（ヒートサイクル試験・耐熱水浸漬試験・塩水噴霧試験）を行い、実用性を評価した。図3・表2に示す。試験結果の通り、「タワーバリアー225システム」は実用性があることを確認した。また、「タワーバリアー225システム」の期待耐用年数を明確化する目的で、一般財団法人日本ウエザリングセンター宮古島試験場において、「タワーバリアー上塗」の塗膜減耗量に関する調査を行っている。垂直暴露3年後の調査におい

て、「タワーバリアー上塗」の減耗量は年間2～2.5 μm 程度という結果が得られている。得られた減耗量のデータから、式1より「タワーバリアー225システム」の期待耐用年数を算出した。算出において、耐用年数に大きく影響を与える「タワーバリアー上塗」の防食性維持膜厚は過去の報告事例²⁾では上塗り50 μm であるが、膜厚のばらつきも考慮し、1.5倍の75 μm と仮定し、下塗り50 μm を含めた防食性維持膜厚を125 μm と安全サイドに仮定した。初期膜厚225 μm が125 μm になるまで、すなわち「タワーバリアー上塗」が100 μm 減耗するまでの時間を期待耐用年数とし、年間減耗量を2.5 μm と見積もって除すると、40年近い期待耐用年数を有していると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{期待耐用年数} &= \frac{\text{初期膜厚}(\mu\text{m}) - \text{防食耐久性下限膜厚}(\mu\text{m})}{\text{年間減耗量}(\mu\text{m}/\text{年})} \\ &= \frac{225\mu\text{m} - 125\mu\text{m}}{2.5\mu\text{m}/\text{年}} = \text{約}40(\text{年}) \end{aligned}$$

式1 「タワーバリアーシステム」
塗膜減耗量による期待耐用年数の算出

4. 市場ニーズへの対応：省工程化の確立（「タワーバリアーワンコートシステム」）

送電鉄塔を補修する際は、作業者の安全性を確保するため一時的に停電しなければならない。但し、停電時間は限られており、その限られた時間内で作業を完了させなければならない。よって、作業時間の短縮つまり“塗装の省工程化”が市場から強く望まれていた。

“塗装の省工程化”を実現させるためには、送電鉄塔塗装鋼材面に「タワーバリアー上塗」の様な優れた遮断性を有する塗料を直接塗装できる「タワーバリアーワンコートシステム」の開発が必要となった。従来の送電鉄塔の1回塗装仕様は、通常、変性エポキシ樹脂塗料を60～100 μm 程度塗装することとなるが、この塗装での期待耐用年数は10年程度と考えられる。そこで、「タワーバリアー」の優れた遮断性能をワンコートシステムでも発揮させ、従来1回塗装システムの2倍程度、すなわち、20年程度の期待耐用年数を目標に開発を行った。

新規開発する「タワーバリアーワンコートシステム」は、防食性と劣化亜鉛めっき面への付着性など「タワーバリアー上塗」と「タワーバリアー下塗」双方の機能を維持しなければならない。上述の重要性能をワンコートで達成するためには、下記の課題を解決しなければならないと考えた。

- ① 「タワーバリアー下塗」が担っていた劣化亜鉛めっき面への付着性や応力緩和性能を維持すること
- ② 均一膜厚の確保と薄膜部の防食性向上




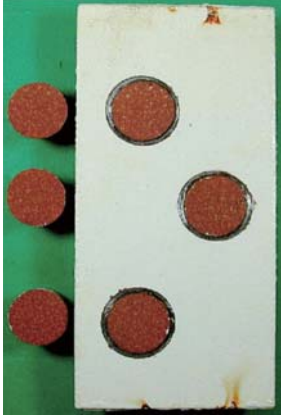





システム		従来システム	タワーバリアーシステム	タワーバリアー 225 システム			
塗 膜 耐 久 試 験	ヒートサイクル 試験						
		100サイクルで若干劣化		600サイクルで良好		350サイクルで良好	
		外観	全面剥離	外観	異常なし	外観	異常なし
		付着強度	測定不能	付着強度	7.0 MPa	付着強度	7.0 MPa
	耐熱水浸漬 試験						
		750時間で若干劣化		7,500時間で良好		7,500時間で良好	
		外観	異常なし	外観	異常なし	外観	異常なし
		付着強度	1.7 MPa	付着強度	3.4 MPa	付着強度	3.0 MPa
	塩水噴霧 試験						
		500時間で劣化		5,000時間で良好		5,000時間で良好	
外観		φ3 mm以下の膨れ0.3 % 部分的に発錆	外観	異常なし	外観	異常なし	
付着強度		—	付着強度	5.5 MPa	付着強度	4.5 MPa	

図3 各促進試験の結果

新技術

表2 各促進試験条件と要求特性

項目	促進試験条件	要求特性
ヒートサイクル試験 (冷熱繰り返し試験)※NTT法に準ずる	1サイクル (-30℃×3h)→3h→ (70℃ 90%RH×3h)→3h	密着性・応力緩和性・耐湿性
耐熱水浸漬試験	60℃純水浸漬	耐水性・密着性
塩水噴霧試験	JIS K 5600-7-1 (耐中性塩水噴霧性)	耐海浜曝露防食性

4.1 均一膜厚を確保するための粘性コントロール

従来の「タワーバリアー上塗」は膜厚を十分に確保するため、高粘度設計である。環境遮断性能を高めるために配合したガラスフレークの影響で刷毛目が付きやすく、塗膜表面の凹凸が大きくなりやすいので、均一な膜厚を確保することが難しい。この課題を解決するため、開発品はガラスフレークやタレ止め剤配合量の調整および内部溶剤組成の見直しを行い、「タワーバリアー225システム」の上塗り膜厚と同様の膜厚175 μm の「タワーバリアーワンコートシステム」を開発した。

Thermo Scientific HAAKE 社製レオメーターを用いて、せん断速度を変化させたときの粘性挙動と粘度回復性を測定した結果を図4に示す。粘度回復性は、試験開始から60秒間は低せん断速度、続く10秒間は刷毛やローラー塗装を想定した高せん断速度にし、再度、低せん断速度で塗装～乾燥過程を想定した時の粘度の回復挙動で評価した。高せん断速度から低せん断速度へ変化させた際に粘度変化の傾きが大きければ粘度回復性に優れ、タレにくく厚塗り性に優

れているが、刷毛目が残りにやすいと言える。開発品である「タワーバリアーワンコートシステム」は初期粘度が低く、粘度回復性が緩やかになるような粘性であるため、乾燥過程でのレベリング性が向上している。また開発品は「タワーバリアー上塗」標準品に比べて、相対的に粘度が低粘度側にシフトしていることから、塗装作業性の向上が確認できる。

次に、平滑性と膜厚のばらつきを評価するため、表面粗度、塗装膜厚の標準偏差を調べた結果を図5に示す。標準品に比べ、粗さの指標であるRz (JIS B 0601:1994) の値が47%に低減しており、塗装膜厚の標準偏差も小さくなっていることから、開発品は平滑性に優れ、膜厚のばらつきが小さくなっているといえる。

4.2 薄膜部の防食性向上

形状が複雑かつ足元が不安定な鉄塔の塗装現場では、ある程度の膜厚ばらつきは避けられないことであり、局部的に発生した薄膜箇所は防食性低下のリスクが大きくなることが予想される。従って、薄膜でも極端に防食性が低下しないよ

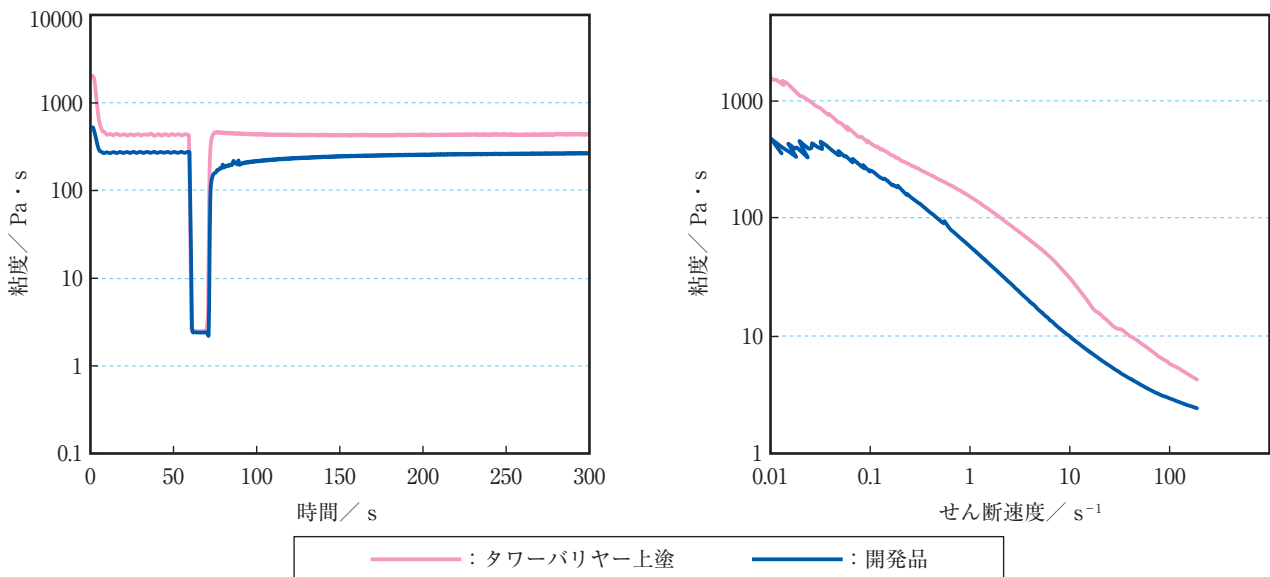
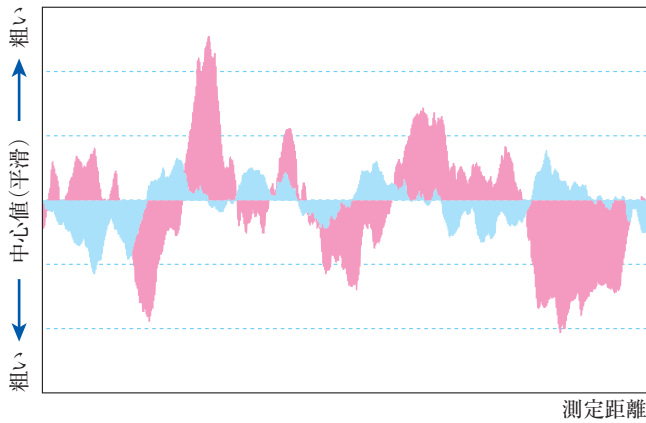


図4 粘性挙動の測定



	Ra 平均粗さ [μm]	Ry 最大高さ	Rz 10点平均
タワーバリアー上塗	40	231	139
開発品	16	96	66

※全ての水準 希釈率3%、サーフテスト 測定条件 JIS B 0601:1994

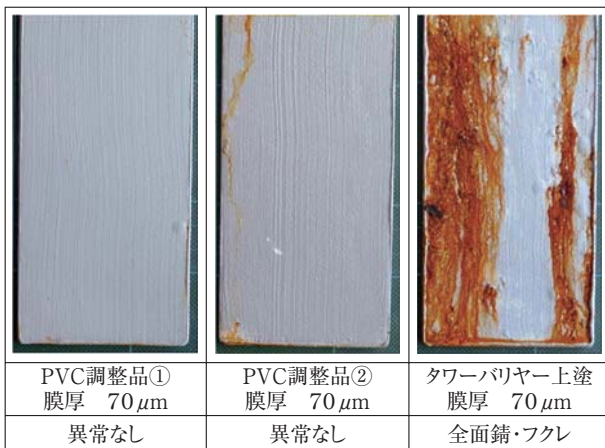
※両水準共に目標膜厚 175 μm

	標準偏差 σ	
	タワーバリアー上塗	開発品
テストピース (7×15:10点測定)	43.0	21.5
ラボ試験 (平米板:300点測定)	72.3	43.5
現場施工 (現場:12点測定)	100.4	73.6

※両水準共に目標膜厚 175 μm

図5 表面粗度の測定結果、標準偏差の測定

うに検討を行った。薄膜部で防食性を向上させるためには Pigment Volume Concentration (顔料体積濃度:以下、PVCと記載)の調整が有効であった。PVCを変動した開発品を単膜でプラスチック板に塗装した試験板を塩水噴霧試験500時間行った結果を図6に示す。開発品ではPVCを調整することで、70 μmの膜厚で防食性を向上することができた。

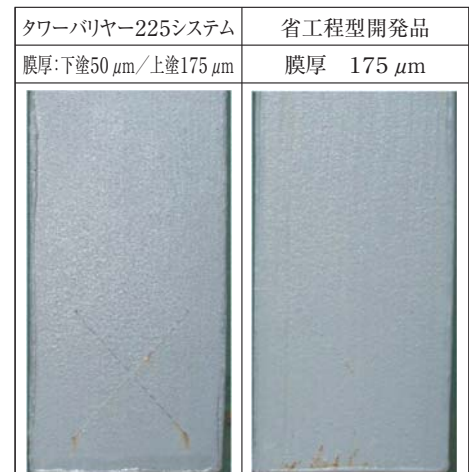


※部材:プラスチック板、「タワーバリアー上塗」単膜での試験

図6 薄膜部の防食性改良 (SST 500時間)

4.3 実用性の評価

上述の配合見直しで設計した「タワーバリアーワンコートシステム」が、期待耐用年数20年相当の防食性を有しているか確認するために促進試験を実施した。開発した「省工程型タワーバリアー上塗」を亜鉛めっき面に直接 175 μm塗装した試験板を塩水噴霧試験 5000時間行い、「タワーバリアー225システム」と防食性、付着性を比較した結果を図7に示す。



防食性	カット部、一般部共に異常なし	
付着強度 (MPa)	4.00	4.25

※合金層鋼板 刷毛塗り塗装

図7 省工程化検討 開発品の亜鉛めっき適性確認 (塩水噴霧試験 5000時間、試験後付着強度試験結果)

防食性、付着性ともに5000時間までの結果では同等であることを確認した。更に、試験時間を長くしたり、試験条件を厳しくすると、「タワーバリアー下塗」を塗装しないワンコートシステムは、「タワーバリアー225システム」より劣る結果となるであろうが、塩水噴霧試験5000時間に耐えられる防食性を有していることから、耐用年数20年程度は十分期待できると考える。今後は実物件において「タワーバリアーワンコートシステム」の試験塗装を行い、実用性を検証する。

5. おわりに

「タワーバリアーシステム」は長期防食性に優れることから、鉄塔の維持管理においてLCC低減に効果がある製品である。多様化する市場ニーズに対して、「タワーバリアー上塗」を薄膜にすることでイニシャルコストを低減した、「タワーバリアー225システム」をラインナップし、評価結果より、優れた耐久性を見出した。また、さらにコストが低減でき、かつ、省工程となる「タワーバリアーワンコートシステム」を開発した。今後、これら開発品をより広く普及させることで社会に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 西森修次、安達良光、岩村達也：塗料の研究、147、51-59 (2007)
- 2) 田村耕一、野坂一雄、藤井孝明、中野幸夫、西森修次：電気学会電力・エネルギー部門大会論文集、論文No.244 (2010)