

# 総合的防食性能向上のための 研究開発

## テーマ5 無機ジンク塗料を用いた新システムに関する 調査研究

中国塗料株式会社 技術本部  
部長 宮地幸夫

2009年9月18日

## 目的と背景

- IMO「塗装基準」は、WBTにエポキシ樹脂塗料多層塗りで、従来の約1.3倍(250  $\mu$  320  $\mu$ )の塗膜厚を要求。
- 塗装品質が競争力に直結するような規制が導入された状況下において、塗装関連の工数は大幅に増大する。
- 一方、電気防食を利用した無機ジンク塗料の技術開発は塗装方法等の難易度は高いが、水系化、単膜化(150  $\mu$ )の可能性があり、造船塗装の防食性向上、VOC対策、安全性、作業環境改善及び工数削減に寄与できると考えられる。



- 無機ジンク系塗料をWBTへ適用する場合の技術的課題の抽出と解決策について検討する。

## 研究検討項目

### 省人化及び代替防食技術に関する調査研究

効果的な防食法、あるいは防食性能の向上のための技術について調査し、省人化に資する塗装システムか検討を行う。

### 無機ジンク塗料の塗装施工における課題の検討

塗装現場で起こる施行上の問題点を調査し、ラボでの試験にて検討を行う。

### 現用エポキシ樹脂塗料との比較

### 水系無機ジンク塗料の性能確認

環境への負荷は溶剤系より水系が優位。

### 模擬ブロックにおける塗装

模擬ブロックにおいて無機ジンク塗料の塗装を行い、現行システムとの比較及び施行面での問題点の確認を行う。

# 無機ジंक塗料の種類と防食機構

分類	無機ジंक塗料			エポキシ塗料
	水溶性		アルコール溶性	溶剤型
	後硬化型	自己硬化型	自己硬化型	2液反応硬化型
	アルカリシリケート系		エチルシリケート	エポキシ系
溶媒	水	水	アルコール類 有機溶剤	有機溶剤
後処理	硬化液(酸)	不要	不要	不要
乾燥	水の蒸発	水の蒸発	溶剤の蒸発	溶剤の蒸発
硬化反応	酸溶液による中和反応によりアルカリ生成塩析出	空中の水分とCO <sub>2</sub> 吸収によりアルカリ生成塩析出	空中から水分(湿気)の吸収によりアルコール生成蒸発	エポキシとアミンの硬化反応
防食作用	電気防食作用			シールド効果
現状	廃止	僅かに残存	ケミカルタンク用	WBTの主流

# 塗膜損傷部の防食機能

無機ジंक塗料

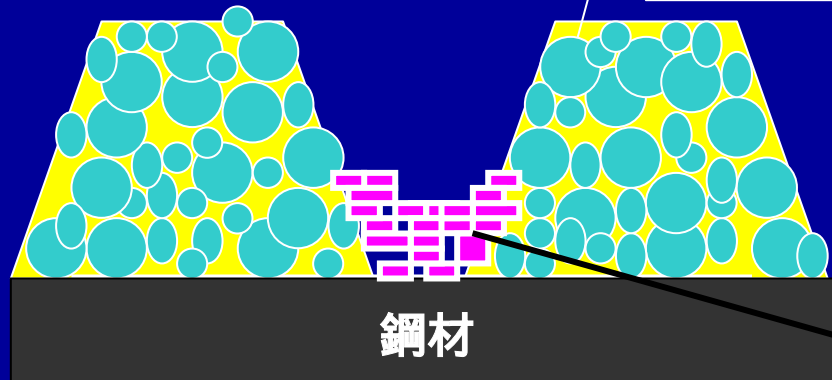
電気化学的作用で鉄面を保護

塩類

水

酸素

無機ジंक



亜鉛化合物の沈降付着(シール作用)

従来 有機システム

酸素濃淡電池により腐食進行

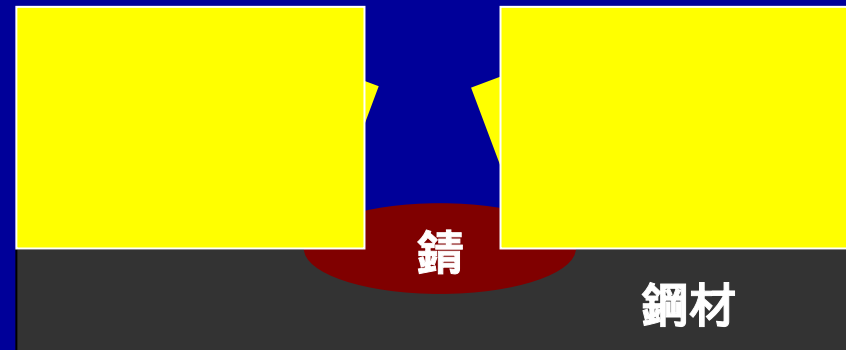
塩類

水

酸素

錆

鋼材



## ➤ 作業性能の比較

	水系無機ジンク	溶剤系無機ジンク	エポキシ塗料
	アルカリシリケート	エチルシリケート	エポキシ系
標準膜厚/coat	75 μ	75 μ	250 μ
下地処理	Sa2.5 ~ Sa3.0	Sa2.5	Sa2.5 or St3
温度	5 以上	5 以上	5 以上
塗装中湿度	30~85%	85%以下	85%以下
塗装後湿度	30~85%	50 ~ 95%	85%以下
取り扱い安全性	引火性無し	引火性あり	引火性あり
塗装機	圧送式エアースプレー (エアレス×)	専用エアレス	通常エアレス
ダスト	ダスト多い	ダスト多い	少ない
厚塗り性	厚塗りでクラック発生	厚塗りでクラック発生	可能
換気	不足でクラック・タレ	不足でクラック・タレ	不足でタレ

## ➤PSPC Annex-1 判定基準

	エポキシシステム	代替システム
フクレ	0	0
錆	Ri0 (0%)	Ri0 (0%)
ピンホールの数	0	0
層間剥離強度	>3.5MPa 層間破壊60%以上	>5MPa 層間破壊60%以上
凝集剥離強度	>3.0MPa 凝集破壊40%以上	>5MPa 凝集破壊40%以上
カソード防食リテー からのクリープ幅	<8mm	<5mm
スクライブからの クリープ幅	<8mm	<8mm

## 実施内容

- 1) 無機ジンク塗料の適応性試験 (性能確認)
  - 各種下地処理への対応
  - 付着力
  - 耐海水防食性
- 2) P S P Cルールへの適否
  - ・付着力 (凝集力)
- 3) 作業性の確認
  - エアレス作業性
  - タレ性
  - 耐クラック性
- 4) 無機ジンク塗料塗装船の調査
  - ・船齢30年のWBTの調査
- 5) 模擬ブロックでの試験塗装



# 無機ジンク塗料の適応性試験結果(まとめ)

項目				溶剤系無機ジンク		水系無機ジンク	エポキシ系			
				エチルシリケート HB	エチルシリケート HP+HB	アルカリシリケート	PSPC対応			
付着性	下地処理適応性		プラスト							
			PT処理			*1				
			インタクトシヨップ							
	付着力 (凝集力) Mpa	初期	プラスト板	2.3	1~3	1~3	1~2.5	>3		
				6	>5	>5	>5	>8		
				12	>5	>5	>5	>8		
			シヨップ板	6	>5	>3.5	>5	>5		
				塩水浸漬 (1ヶ月)	プラスト板	2.3	<1	<1	<1	>5
						6	>3	>5	>2	>8
		12	>5			>5	>2	>8		
		プラスト板	2.3		<1	<1	<1	>3.5		
			6		>5	>2 *2	>2	>8		
			12		>5	>5	>2	>8		
		防食性	耐海水防食性 (塩水浸漬3ヶ月)		プラスト板	2.3			*2	

HB=ハビルド、HP=ホールディングプライマー

評価: > > > > x

良

\*1:経時で回復の傾向あり。

\*2:試験誤差で不良(フクレ)のケースあり。

## ➤ 無機ジンク塗料の問題点(まとめ)

	水系無機ジンク	溶剤系無機ジンク
	アルカリシリケート	エチルシリケート
下地処理適応性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブラスト &gt; PT処理 (表面粗度が少ないと付着性劣る)</li> <li>・薄膜タイプのエチルシリケートの先行TUで改善傾向。</li> <li>・インタクトショップの清浄面へは無処理で対応可能。</li> </ul>	
付着強度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PSPC代替システムの付着強度(5Mpa)確保は不可。</li> <li>・試験鋼板の板厚が厚い(6mm以上)と付着強度がアップする。</li> </ul>	
耐海水防食性 (塩水浸漬40 x3M)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・白さび発生</li> <li>・没水部は特に問題なし。</li> <li>・気中/没水境界で塗膜溶解。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・白さび発生</li> <li>・特に問題なし。</li> </ul>
塗装作業性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DFT200 μでタレ発生。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DFT300 μでタレ発生。</li> </ul>
VOC (g / L)	0	462

環境への負荷は溶剤系より水系が優位であり性能向上を行う。

総合的防食性能向上のための研究開発

# 水系無機ジンク塗料の実船調査(WBT)



➤ **実船調査概要:**

- ・ LNGC、75,000cbm、1980年建造 船齡30年
- ・ 調査場所: Spain Ferrol
- ・ 調査日: 2009年8月20日及び21日
- ・ 建造時に水系無機ジンク塗料を採用。
- ・ 定期的に補修が行われ、補修後5年以上経過したバラストタンクを調査。
- ・ #3(P)、#4(P&S)、#6(P&S)、#8(S)の6タンクを調査。

➤ **調査結果:**

- ・ ごく一部に発錆が認められるが、非常に良好な状態であり無機ジンク塗料の長期耐久性を確認。
- ・ 膜厚測定結果: 130  $\mu$ m ~ 220  $\mu$ m
- ・ 採取塗膜解析より無機ジンク塗料(水系?)であることを確認。

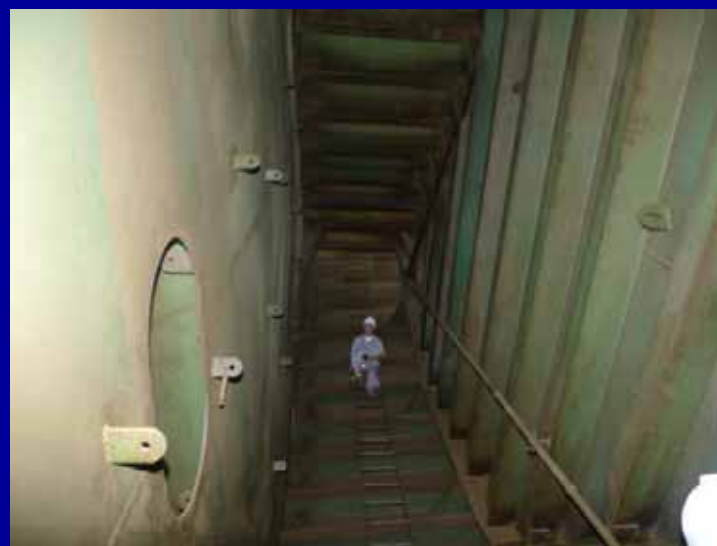
➤ 調査結果：デッキ裏



➤ 調査結果：中段



➤ 調査結果：下段



➤ 調査結果：欠陥箇所（ごく僅かであった。）





## 水系無機ジンク塗料の性能改良

水系無機ジンク系で性能向上および性能確認を、  
下記3点の樹脂系統で開発を行った。

- ・アルカリシリケート系(改)
- ・水系ハイブリッド-1
- ・水系ハイブリッド-2

## ➤ エアースプレー塗装試験結果

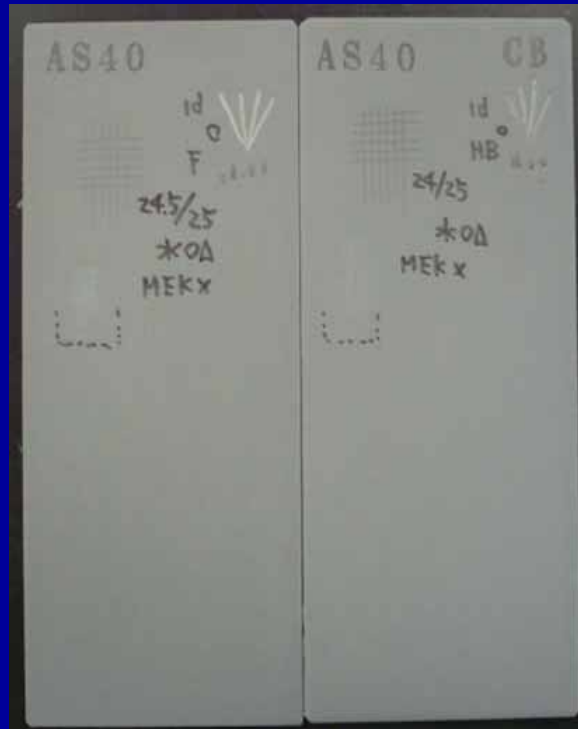
樹脂系	アルカリシリケート	水系ハイブリッド-1	水系ハイブリッド-2
パッケージ	2 バック	3 バック	3 バック
霧化性	良好	良好	良好
クラック限界 (水平面)	350 $\mu$ (D.F.T)	> 300 $\mu$ (D.F.T.)	> 300 $\mu$ (D.F.T.)
タレ限界 (垂直面での塗装)	800 $\mu$ (D.F.T.)	250-300 $\mu$ (D.F.T.)	250-300 $\mu$ (D.F.T.)
塗料の詰り	ない	ない	ない
容量NV (%)	45	49	55
塗料密度 (g / cm <sup>3</sup> )	2.8	2.6	2.9
VOC (g / L)	0	30	88

# ➤水系無機ジンク塗料 試験板写真

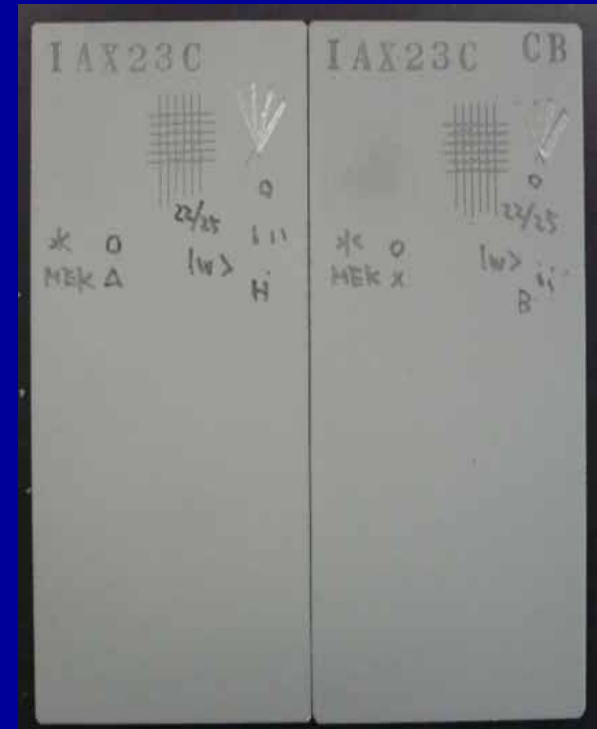
アルカリシリケート



水系ハイブリッド-1



水系ハイブリッド-2



# ➤使用エアレス

エアレス塗装機:GRACO社製 30:1



チップサイズ:419



チップフィルター:60メッシュ



## ➤エアレス塗装試験結果 1

樹脂系	アルカリシリケート	水系ハイブリッド-1	水系ハイブリッド-2
パッケージ	2 バック	3 バック	3 バック
塗装霧化性			
タレ性	400 $\mu$ (DFT)	100-125 $\mu$ (DFT)	400-500 $\mu$ (DFT)
塗料の沈降性	常時攪拌が必要		
塗料の皮張り	3-4時間	約30分	3-4時間
エアレス洗浄性			
臭気			
VOC (g / L)	0	30	88

## ➤ エアレス塗装試験結果 2

樹脂系	アルカリシリケート	水系ハイブリッド-1	水系ハイブリッド-2
塗膜外観	ゆず肌	(DFT150 μ)	ゆず肌、ヘアクラック DFT100-400 μ
初期付着性 (碁盤目カット、ナイフ)			
耐水ラビング性			
耐MEKラビング性			
耐塩水 人口海水浸漬 (1ヵ月)	塗膜の溶解	フクレ、発錆なし	フクレ、発錆なし

# 模擬ブロックにおける試験塗装

## ➤ 模擬ブロック

- ・日時: 2009年9月11日-12日に実施
- ・場所: IHIアムテック(相生)
- ・大きさ: 5.1(長さ) x 2.5(縦) x 3.0m(横)、内面: 142.7m<sup>2</sup>・外面: 56.5m<sup>2</sup>

A区画



B区画



総合的防食性能向上のための研究開発

➤ 塗装仕様

項目 \ 区画	A区画 (内面)	B 区画 (内面)	C 区画 (外面)
塗料系	水系無機ジンク		エポキシ系タンク用
塗料符号	試作品A (アルカシリケート)	試作品B (ハイブリッドタイプ)	PSPC対応 変性エポキシ塗料
一次表面処理	ブラストSIS Sa2.5 ショットライン		
ショッププライマー	CERABOND 2000 ( 15 μ m )		
二次表面処理	<b>ブラスト処理(タイト壁を除く)</b> ・一般部: スイープブラスト(除去率30~40%) ・溶接線・ダメージ部・マーキング: Sa2.5 <b>パワーツール処理(タイト壁)</b> ・PT処理(ST3) (ディスクサンダー処理 + パワーブラシ処理)		ブラスト処理 (同左)
先行ストライプコート	パワーツール処理部(タイト壁) 刷毛でT/U専用のGALBON SP(15 μ m)を穴 ・コバ・シーム部など鋼板露出面に先行塗装		なし
本塗装(1stCoat)	試作品A (150 μ)	試作品B(150 μ)	NOVA2000 (160 μ)
塗装機	圧送式エアースプレー	一般用エアレス (30:1)	一般用エアレス



総合的防食性能向上のための研究開発

➤環境・下地処理

項目 \ 区画	A区画	B 区画
塗料系	水系無機ジンク	
塗料符号	試作品A (アルカリシケート)	試作品B (ハイブリッドタイプ)
天候(9/11)	晴れ / 雨	
気温(9/11)	24 ~ 29 / 47% ~ 54%	
鋼板温度	24 ~ 27	
ブラスト研掃材	スチールグリット	
塩分濃度	0 mg/m <sup>2</sup>	6 mg/m <sup>2</sup>
表面粗さ(Rz)	一般部 : 43 ~ 60 μ ロンジ裏 : 30 ~ 35 μ	
換気(風速)	噴出し(30cmの距離) : 3.4 ~ 3.7m/s タンク内 : 0 ~ 0.2m/s	噴出し(30cmの距離) : 6.3 ~ 6.4m/s タンク内 : 0 ~ 0.2m/s
塗料ホース長	10 m	20 m

総合的防食性能向上のための研究開発

➤ 塗装作業性

項目 \ 区画	A区画	B 区画
塗料系	水系無機ジंक	
塗料符号	試作品A (アルカリシケート)	試作品B (ハイブリットタイプ)
塗装機	圧送式エアースプレー (エアレスでガンつまり 切り替え)	一般用エアレス(30:1) (チップ:419)
一次圧	0.25Mpa	0.5Mpa
塗料温度	28	31
塗料粘度 (リヨン粘度計)	13 ホイズ'	65 ホイズ' (高粘度のため水で希釈1.8%)
混合性	攪拌性	~
	沈殿性	× (常時攪拌必要)
スプレー霧化性	(エアレスではテール発生)	ややテール気味
タレ性 (WET μ)	400 μ 、 500 μ 、 600 μ ×	400 μ 、 500 μ 、 600 μ ×
塗料の詰まり	なし	なし
スプレーダスト	多い	少ない (床面にダストあり)
刷毛塗り性	-	
工数(指数)	100	50

総合的防食性能向上のための研究開発

➤ 塗膜状態 (1日後)

項目 \ 区画		A区画	B区画
塗料系		水系無機ジンク	
塗料符号		試作品A (アルカシケート)	試作品B (ハイブリットタイプ)
乾燥性	指触	0.5 ~ 1時間	1 ~ 2時間
	半硬化	2 ~ 3時間	4時間
乾燥膜厚 (μm) (部位別平均)		・フラット(底面) : 268 μ ・フラット(側壁) : 266 μ ・フラット(天井) : 221 μ ・フラット(タイト壁) : 268 μ ・ロンジ裏 : 158 μ	・フラット(底面) : 344 μ ・フラット(側壁) : 321 μ ・フラット(天井) : 358 μ ・フラット(タイト壁) : 334 μ ・ロンジ裏 : 37 μ*
塗膜状態		~ (やや柚子肌)	
クラック 限界 (μm)	一般部	300 μ , 400 μ	500 μ
	シーム 部	150 μ (200 μ 以上でクラック発生)	クラックなし
付着性		未実施	未実施
耐水ラッピング性		未実施	未実施
耐溶剤ラッピング性		未実施	未実施

\* ガンの安全装置(バー)が邪魔してロンジ裏が塗りにくかった。

➤ 下地処理



➤PT処理部の先行ストライプコート

A区画



B区画



➤ 塗装作業性の確認(A-アルカリシリケート)

A区画 / 圧送エアースプレー

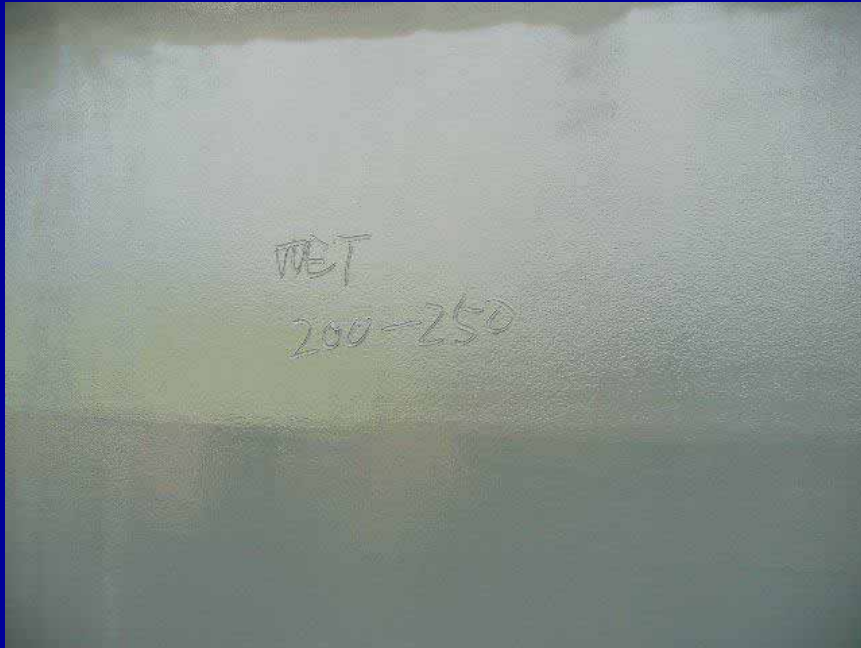


WET 200-250  $\mu$



➤作業性の確認(B-ハイブリッド)

B区画 / 一般エアレス30:1(シリコンパッキン)



WET 200-250



WET 700μ  
でタレ

## 総合的防食性能向上のための研究開発

### ➤ 本塗装 ( A-アルカシリケート )

A区画 / 圧送エアースプレー





## 総合的防食性能向上のための研究開発

### ➤ 本塗装(B-ハイブリッド)

B区画 / 一般エアレス30:1 (シリコンパッキン)



換気は吹き込み

## 総合的防食性能向上のための研究開発

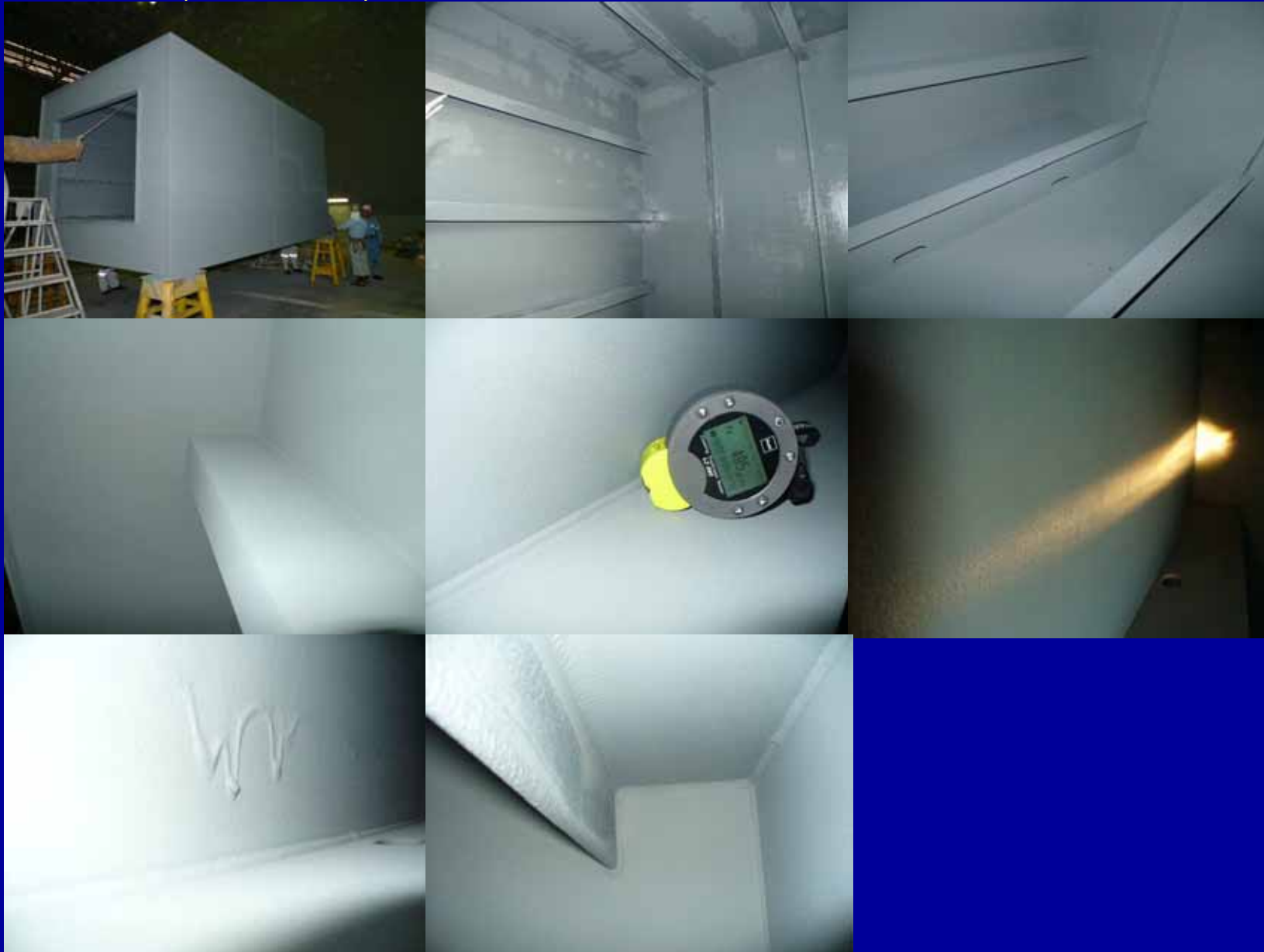
### ➤ 塗装後(A-アルカリシリケート)

A区画 / 圧送エアースプレー



総合的防食性能向上のための研究開発

➤ 塗装後(B-ハイブリッド) B区画 / 一般エアレス30:1 (シリコンパッキン)



## 研究開発の成果

- ・環境対策より水系への移行が必要であり、性能改良により水系無機ジンクシステムのWBTへの適用の可能性は十分ある。（ハードルは高いが・・・）
- ・性能改良により、これまでの耐クラック性・タレ性・エアレス作業性などの向上は可能であり、ただし、VOCは増加の傾向となる。
- ・PSPCルールにある健全ショップ上への適用は可能。ただし、現時点では溶接線へは何らかの方法で表面粗度をつける必要がある。
- ・PSPC代替システム規定にある層間剥離強度、層内破壊強度に対応できないため、規定の変更が必要になる。

## 波及効果

- ・1回塗り仕様による工数低減。
- ・電気防食作用による防食性の向上。

## 今後の課題

- ・既存の水系無機ジंकでは高グレードの下地処理と作業性に問題があるが、性能改良で解決できる可能性が高い(PT処理への適応性)。
- ・長期防食性の確認。亜鉛の消耗速度・耐用年数・規定膜厚の設定。
- ・塗装方法の確立、エアレス化による塗装効率の向上
- ・PSPCの代替塗装システムとしての試験
- ・バラスト水条約に基づく処理剤への適合確認
- ・補修方法の確立。

# テーマ5 無機ジンク塗料を用いた新システムに関する 調査研究

ご清聴ありがとうございました。