



塗装工程の自動化・デジタル化研究開発

(フェーズ2)

— 塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト —

2022年度成果報告書

概要版



2023年3月

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

目次

1.	背景と目的	1
2.	研究概要	1
2.1	2022 年度研究概要	1
2.2	研究体制	1
3.	さまざまな色彩などのプライマ除去率の定量評価	2
4.	面積比率での除去率の定量評価	3
5.	プライマ以外を対象とした定量評価手法の検討	4
6.	プロトタイプ製作及び評価	4
7.	まとめ	6
添付資料 1	塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 研究参加者名簿	7
添付資料 2	塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 会議等開催状況	9
添付資料 3	塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 参加各社業務分担	11
参考資料 1	塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ 2 事業概要	13
参考資料 2	塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料	16

1. 背景と目的

建造設備の拡張等を背景とした中国・韓国の造船所との国際競争にさらされる中、国内造船所が引き続き幹産業として持続的に発展するためには、国内造船が得意とする環境対応船等の商品力向上に加え、建造設備の拡張等の規模の力を背景とする海外勢に対し新技術活用による建造効率と建造品質の向上が不可欠である。

特に、塗装については、その工程のほとんどが手作業で、その品質も施工者の技能に依存しているため、作業工数は極めて大きく、品質の均一性の確保も困難であり、改善余地は大きい。

塗装の重要な工程である船体ブロックの塗装前の下地処理については、国際条約によって清浄度や表面粗度の要件が示されているが、その要件を目視で判定しているため、造船所検査員と船主監督との間で判断に差異が生じ、船主監督からの追加の施工要求などにより、工程の乱れや建造コストの増加の要因となっている。

このため、本共同研究では、マルチスペクトルイメージング技術を用いて、造船所の塗装現場で塗装前の鋼材表面状態を容易に定量計測できるデジタル計測機器を開発することにより、塗装前処理検査の均一化及び効率化を図り、ひいては塗装工程の合理化と塗装品質の向上を図ることを目的とする。

2. 研究概要

2.1 2022 年度研究概要

今年度は、開発機器に求められる仕様(ハンディサイズ、安価、防塵防滴、ショッププライマの銘柄や色に依らず計測可能であること、質量と面積比率等の複数の評価指標でブラストグレードを定量測定できること)を満たすため、以下の検討を行った。

- 1) さまざまな色彩などのプライマ除去率の定量評価
- 2) 面積比率での除去率の定量評価
- 3) プライマ以外を対象とした定量評価手法の検討
- 4) プロトタイプ制作及び評価

1)では、付着したプライマの質量をブラストグレードの評価指標とするため、蛍光 X 線分析で鋼板に含有されておらず、ショッププライマの主成分である Zn と Si の質量を、銘柄や色が異なる多様なショッププライマごとに計測した。また、プライマ除去率と反射光強度の相関関係をとるため、試作機と同様の小型分光器で反射光強度を銘柄や色が異なる多様なショッププライマごとに計測した。2)では、付着したプライマの面積比率をブラストグレードの評価指標とするため、画像分析で色相を閾値とした面積比率を計測し、ショッププライマ除去率を一定の精度で定量計測が可能であるか確認した。また計測精度を確認した後、同様の分析方法で、銘柄や色が異なる多様なショッププライマごとに計測した。3)では、ヒュームを対象とした定量評価手法の検討に向けて、ヒュームの除去に関する研究や建造現場のヒューム除去の実態を調査した。4)では、開発機器のコンセプトを持った試作機(小型分光器)と、試作機で計測した反射光強度から除去率を定量的に算出できるアプリを製作した。これらを用いて、実際の船体ブロックや試験片に対しブラストグレードの測定を行い、総合的な実用性を検証した。

2.2 研究体制

本研究は、下記研究参加者間で、共同研究契約を締結し、「塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト

ト研究会」を立ち上げ研究開発を実施した。2022年度は2回の運営会議と幹事社主催で計4回のタスクフォースミーティングを開催した。但し、新型コロナウイルス感染症対策の為、書面審議やオンライン会合等を活用した。

参加した研究参加者及び関係機関は以下のとおりである。

- 川崎重工業株式会社（幹事社）
- 今治造船株式会社
- ジャパンマリンユナイテッド株式会社
- 株式会社新来島どつく
- 住友重機械マリンエンジニアリング株式会社
- 常石造船株式会社
- 内海造船株式会社
- 一般社団法人日本造船工業会（関係者）
- 国立大学法人九州大学（関係者）
- 一般財団法人日本船舶技術研究協会（事務局）

3. さまざまな色彩などのプライマ除去率の定量評価

色彩や銘柄の異なる多様なショッププライマを対象に、蛍光 X 線分析でプライマの主成分の質量計測を実施したところ、計測結果は目視によるブラストグレードに応じた主成分の質量となっており、分析機器でショッププライマの主成分の質量を定量計測する事ができた。また蛍光 X 線分析の質量計測と分光器の反射光強度の計測結果との相関関係を確認できた（図 3.1 参照）。

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2 -塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 2022年度実施内容



➤ ①さまざまな色彩などのプライマ除去率の定量評価

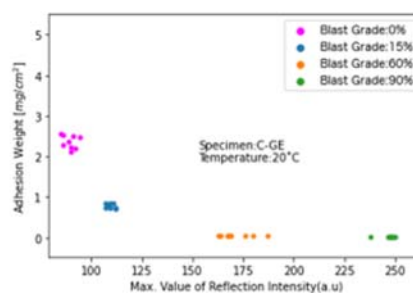
- 参加各社で分担して試験サンプル（ショッププライマ試験板）を作成
- 作成されたサンプルを蛍光 X線分析及び分光分析によりショッププライマ除去率を定量的に計測
- 蛍光 X線分析を用いたショップの除去率と蛍光分光分析による反射強度との相関を求め定量評価手法を構築



蛍光 X線分析



分光分析



Zn, Si附着量（蛍光X線分析及び分光分析）の関係

- 色彩や銘柄の異なる多様なショッププライマを対象に、蛍光 X線分析の質量計測と分光器の反射光強度の計測結果との相関関係を確認できた。

図 3.1 さまざまな色彩などのプライマ除去率の定量評価概要

4. 面積比率での除去率の定量評価

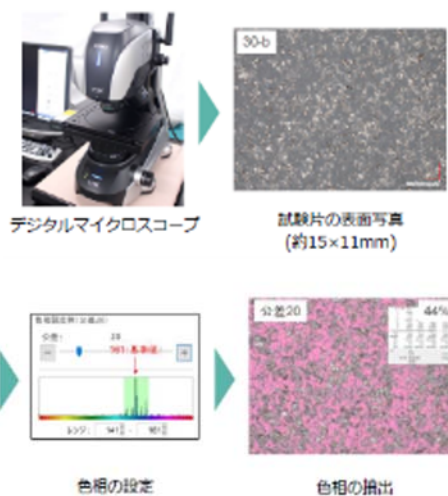
色彩や銘柄の異なる多様なショッププライマを対象に、画像分析で付着するショッププライマや鉄素地の面積比率計測を実施した（図 4.1 参照）。

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発フェーズ 2 -塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 2022年度実施内容



➤ ②面積率での除去率の定量評価

- デジタルマイクロスコープを用いてショッププライマ除去サンプルを撮影し色相抽出によりショッププライマ除去率を計測
- 蛍光X線分析によるショッププライマ除去率との比較により評価を行い、面積率によるショップ除去率定量評価手法を検討



試験片	プライマ除去率[%] (面積比率/プライマ抽出)	プライマ除去率[%] (面積比率/鉄素地抽出)	プライマ除去率[%] (質量計測)
0%	12	-	0
30%	51	30	52
70%	98	86	96
90%	96	79	97
100%	-	93	-

色彩や銘柄の異なる多様なショッププライマを対象に面積比率計測を実施したところ、プライマ除去率に応じた面積比率となっており、画像分析でショッププライマや鉄素地の面積比率を定量計測する事ができた。しかし一部の色は、画像分析でショッププライマと鉄素地を明確に区別できず定量計測に課題が残った。

図 4.1 面積比率での除去率の定量評価

図 4.2 に銘柄や色が異なる多様なプライマに対する色相を閾値とした面積比率計測でのプライマ除去率の計測結果を示す。これらの結果から Gray 色と Green 色においては、目視判定によるブラストグレードが高くなるに従い、面積比率計測によるプライマ除去率も高くなり、一定の精度で定量計測が可能である事を確認した。一方でショッププライマが Brown 色の場合は、ショッププライマの色彩基準値が鉄素地の色彩基準値と近いため、プライマと鉄素地の色相を区別ができず、ブラストグレードが高くなってもプライマが残存していると認識してしまうことがあることがあり、色相によっては定量計測に課題があることが判った。

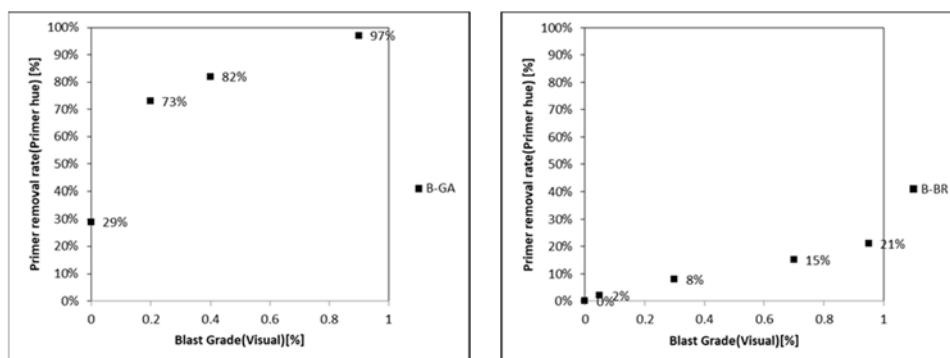


図 4.2 色相を閾値とした多様なプライマの除去率の計測結果 ※色彩公差±30
(左 : Gray 色のショッププライマの例、右 : Brown 色のショッププライマの例)

5. プライマ以外を対象とした定量評価手法の検討

2021年度に実施したフェーズ1の研究において、検出評価用マトリクスを作成して項目ごとに重要度を算出し、ブロックステージのショッププライマ健全部のショッププライマ及びヒュームを優先的に検討することを決定した。今年度はヒュームを対象とした定量評価手法の検討に向けて、ヒュームの除去に関連する研究や建造現場におけるヒューム除去の実態に関して調査した。

ヒューム除去に関連する研究調査や建造現場の実態調査の結果、以下の事が判明した。

- ・ ヒュームを残存させて良いという技術的なエビデンスが少ない。
- ・ PSPCの規則上、ヒュームは汚れ等と同じカテゴリとなっており、ヒュームの除去は塗料メーカーの推奨に従う事となっている。しかし塗料メーカーはヒュームを除去しなくても良いとは断言しない。
- ・ 技術的根拠が乏しく、塗料メーカーからの後ろ盾を得られない事もあり、船主監督等に指摘されたヒュームは除去され、指摘されなかったヒュームは残存する現状となっている。
- ・ 過去にヒューム除去グレードと塗膜の耐久性に関する試験¹⁾が実施されており、ヒュームの付着が塗膜の耐久性に何らかの影響を与えている可能性があるとして示唆された。

以上の結果から検討を行い、ヒュームの除去率を定量評価したとしても造船所ではヒュームを除去せざるを得ない状況が続き、計測するメリットが少ないため、本研究においてヒュームを対象とした定量評価手法の検討は行わない事とした。

6. プロトタイプの製作及び評価

軽量で即時にショッププライマの除去率を計測可能な試作機を、市販品の小型分光器を改造することで製作した。また試作機で計測した反射光強度から除去率を定量的に算出できる試作機専用アプリを開発した。これらを用いて、実際の船体ブロックや試験片に対しブラストグレードの測定を行い、総合的に実用性を検証した。

試作機は小型分光器 Indigo(Goyalab 社)とし、ブラストグレードの評価に適應するよう改造を実施した。試作機の外観を図 6.1 に示す。



図 6.1 試作機の外観

試作機専用アプリは、試作機(小型分光器)で計測した反射光強度を基に、ブラストグレードを算出してスマートフォンの画面に表示するものである。ブラストグレードの算出原理は、試験片に対し蛍光 X 線分析で計測した Zn と Si の質量によるショッププライマ除去率と、試験片に対し試作機で計測した反射光強度の相関関係を利用したものである。試作機の計測結果をアプリと通信することで、組み込んだ関係式からブラストグレードを算出する設定とした。開発したアプリの表示画面を図 6.2 に

示す。



図 6.2 計測時における試作機専用アプリの画面

試作機を用いて実際のブロックで検証を行った様子を図 6.3 に示す。

実際の建造ブロックにおけるブラストグレード計測を、小型分光器を使用することで実施し、建造現場において適正のある計測機器である事を確認した。また小型分光器に求められる性能について、反射光強度を細かく判定するためには、試作機の分解能では足りない可能性が示唆された。またプライマの除去率が高い鋼板に対しては反射光強度が大きくなりやすく、計測できない可能性も示唆され、光源の光の強さや受光側の絞りの調整が課題となった。

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発フェーズ 2 -塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト
2022年度実施内容



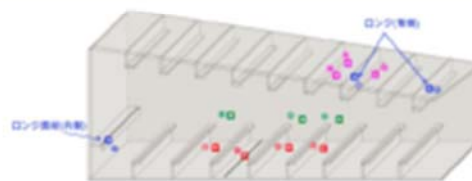
➤ ④プロトタイプ製作及び評価

- ラボベースの定量評価計測と分光分析の結果をもとに携行分光分析装置を用いたブラストグレード評価機器のプロトタイプを製作
- 実造船ブロックを用いた計測検証を実施



- 右側が試作機でブロックのブラストグレードを計測
- 左側がスマートフォンで計測結果を確認、

ブロックにおける計測検証



計測対象箇所

- 建造現場において適正のある計測機器である事を確認。
- 小型分光器に求められる性能について、反射光強度を細かく判定するためには、試作機の分解能では足りない可能性が示唆。

図 6.3 試作機のブロックにおける計測検証

7. まとめ

2022年度では、以下を実施した。

- 質量をブラストグレード測定の評価指標とするため、蛍光 X 線分析でショッププライマに含有し、鋼板に含有されない Zn と Si の質量を、銘柄や色が異なる多様なショッププライマごとに計測した。計測結果は各試験片の目視によるブラストグレードに応じた Zn と Si の質量となっており、銘柄や色が異なるプライマにおいても Zn と Si の質量を定量計測できた。
- 面積比率をブラストグレードの評価指標とするため、画像分析で色相を閾値とした面積比率を求め、ショッププライマ除去率は一定の精度で定量計測が可能であるか確認した。また同様の分析方法で、銘柄や色が異なる多様なショッププライマごとに計測した。結果は面積比率計測においてもショッププライマ除去率は一定の精度で定量計測できており、ショッププライマが Gray 色と Green 色の場合は、プライマの色相抽出および鉄素地の色相抽出において、各試験片の目視によるブラストグレードに応じたプライマ除去率となった。一方でショッププライマが Brown 色の場合は、ショッププライマの色彩基準値が鉄素地の色彩基準値と近いため、色相を区別ができておらず、面積比率およびプライマ除去率を正しく計測できなかった。
- プライマ除去率と反射光強度の相関関係をとるため、試作機と同様の小型分光器で反射光強度を銘柄や色が異なる多様なショッププライマごとに計測した。計測結果から銘柄や色が異なる多様なショッププライマにおいてもプライマ除去率と反射光強度の相関関係を確認する事ができた。
- ヒュームを対象とした定量計測に向けて、ヒュームの除去に関する研究や建造現場の実態を調査した。その調査結果から検討を行い、ヒュームの除去率を定量評価した場合でも、造船所ではヒュームを除去せざるを得ない状況が続き、計測するメリットが少ないと判断し、ヒュームの定量評価手法の検討は行わない事とした。
- ショッププライマの除去率を定量計測が可能な計測機器の試作機と分光器の計測結果からブラストグレードを定量測定する事が可能な試作機専用のアプリを作成した。試作機に関するデモを二段階に分けて行い、造船の建造現場で計測機器の実用性と性能の確認や、専用アプリの動作を検証した。2回のデモ検証をもとに開発実機の製作に移る事とした。

[参考文献]

- 1) 財団法人日本船舶技術研究協会. 船舶の構造破壊防止に係る基準に関する調査研究(構造破壊防止プロジェクト). 研究資料 No.09-03(2009年度報告書). P.161-226.

以上

添付資料 1

塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 研究参加者名簿

2022年度「塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト」 研究参加者名簿

	氏名	所属
研究参加者 (幹事) ～2022.6	清水 祐介	川崎重工業株式会社 エネルギーソリューション&マリンカンパニー 船舶海洋ディビジョン 技術総括部 液化水素運搬船開発部 開発設計一課 基幹職
研究参加者 (幹事) 2022.6～	吉田 巧	川崎重工業株式会社 エネルギーソリューション&マリンカンパニー 船舶海洋ディビジョン 技術総括部 商船設計部 船殻設計課 課長
研究参加者	眞屋 潔司	今治造船株式会社 品質管理グループ 主幹
研究参加者	塩田 悟	ジャパン マリンユナイテッド株式会社 商船・海洋・エンジニアリング事業本部 生産センター 技監
研究参加者	堀内 亮	住友重機械マリンエンジニアリング株式会社 製造本部 工作部 塗装グループ 技師
研究参加者	四塚 卓之	株式会社 新来島どつく 生産推進室 生産推進課 課長
研究参加者	上田 貴則	常石造船株式会社 設計本部 船体設計部 船装設計グループ
研究参加者	平林 恭祐	内海造船株式会社 瀬戸田工場 造船工作部 塗装課 課長
関係者	篠田 岳思	国立大学法人 九州大学 大学院 工学研究院 海洋システム工学部門 教授
関係者	志水 栄一	一般社団法人 日本造船工業会 技術部 次長
事務局	平原 祐	一般財団法人日本船舶技術研究協会 参与
事務局	高田 篤志	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 主任研究員

添付資料 2

塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 会議等開催状況

添付資料2

-塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 2022年度委員会等開催状況



- 運営会議（SG）およびタスクフォースミーティング（TF）の開催
2022年度は、2回のSGと5回のTFを下記日程で開催した。
- ◆ 塗装前処理技術のデジタル化プロジェクト運営会議
 - 第1回 SG（2022.6.23開催）：船技協会議室およびオンラインのハイブリッド開催
 - ・今年度の事業計画
 - ・共同研究契約について
 - 第2回 SG（2023.2.14開催）：AICC会議室およびオンラインのハイブリッド開催
 - ・事業進捗報告
 - ・今年度事業の取りまとめについて
 - ・来年度計画について
 - ◆ 塗装前処理技術のデジタル化プロジェクトタスクフォースミーティング
 - 第1回 TF（2022.7.13開催）：造船工業会会議室およびオンラインのハイブリッド開催
 - ・定量計測計画について
 - ・プロトタイプ仕様について
 - 第2回 TF（2022.9.1開催）：オンライン開催
 - ・事業進捗報告
 - ・試験板作成成分担について
 - 第3回 TF（2022.10.14開催）：船技協会議室およびオンラインのハイブリッド開催
 - ・事業進捗報告
 - 第4回 TF（2022.12.19開催）：船技協会議室およびオンラインのハイブリッド開催
 - ・事業進捗報告
 - ・実機コンセプトについて
 - ◆ 試作機のデモ①（2022.9.13）：川崎重工業 坂出工場
 - ◆ 試作機のデモ②（2023.2.14）：第2回SG内

添付資料 3

塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 参加各社業務分担

添付資料3

-塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト 参加各社業務分担表



▶ 共同研究プロジェクト参加者の業務分担

	業務分担							
	KHI	今治	JMU	新東島	SHIME	常石	内海	船技協
①色などの異なるプライマの除去率の定量評価								
紫外線分析によるプライマ除去率の分析及び結果取組み	○							
分光分析によるプライマ除去率の分析及び結果取組み	○							
分析結果の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
②塗膜比率でのプライマ除去率の定量評価								
デジタルマイクロスコープを用いた分析及び結果取組み	○							
分析結果の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
③プライマ以外を対象とした定量評価手法の構築								
評価手法の検討	○							
定量分析結果を用いた定量評価及び結果取組み	○							
分光分析による定量分析及び結果取組み	○							
評価手法のレビュー	○	○	○	○	○	○	○	○
④プロトタイプの開発及び評価								
プロトタイプの仕様検討	○	○	○	○	○	○	○	○
プロトタイプの製作	○							
現場検証	○	○	○	○	○	○	○	
現場検証の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤実市機の開発								
実市機の仕様検討	○	○	○	○	○	○	○	○
実市機の製作	○							
現場検証	○	○	○	○	○	○	○	
現場検証の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
⑥塗膜材料状態による防食性能に関する調査研究								
性能検証試験の実施及び結果取組み	○							
試験結果の評価	○	○	○	○	○	○	○	○

参考資料 1

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ 2

事業概要

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2



□ 背景・目的

- 建造設備の拡張等を背景とした中国・韓国の造船所との国際競争にさらされる中、国内造船所が引き続き幹産業として持続的に発展するためには、国内造船が得意とする環境対応船等の商品力向上に加え、建造設備の拡張等の規模の力を背景とする海外勢に対し新技術活用による建造効率と建造品質の向上が不可欠。
- 特に、塗装については、その工程のほとんどが手作業で、その品質も施工者の技能に依存しているため、作業工数は極めて大きく（全体の約2割を占める）、品質の均一性の確保も困難であり、改善余地は大きい。
- このため、最新の自動化・デジタル化技術を応用して、デジタル計測機器・自動塗装機を開発し、塗装工程の効率と塗装品質の向上を図る。

□ 事業概要

- 実施期間：2022年度～2023年度（2年間）
- 実施内容
 - ① 塗装前処理検査のデジタル化
 - ・ 2021年度に検証したマルチスベクトルカメラによる塗装前処理状態の定量計測技術を用いた実用デジタル機器の開発を実施。2022年度にプロトタイプの機器を製作し、2023年度に実用機器を開発。
 - ② 塗装作業・検査の自動化・デジタル化
 - ・ 2021年度に検証したストライプコート用先端器具を搭載したポータブルストライプコート機器及びハイバースベクトルカメラ技術を用いた塗膜厚計測機器を開発を実施。2022年度にプロトタイプ機器を製作し、2023年度に現場作業の効率化に必要なデータ管理システム技術を組み合わせ、作業検査工数削減と品質向上可能な実用化機器を開発。
- 予算：1億4,403万円（80%助成）
2022年度7,046万円、2023年度7,357万円（計画）



手作業による刷毛塗り（左）と塗膜厚の計測（右）



作業後の塗装状態(左)と塗装不良による錆(右)

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2
(別添2) 次年度計画～実施内容とスケジュール



□ 事業内容

- ① 塗装前処理検査のデジタル化
 - a. 塗装前処理状態計測技術の精度向上（光学デジタル計測原理の改良等）
 - b. 塗装前処理状態計測機器のプロトタイプ機の開発
 - c. 塗装前処理状態計測機器の実用機の開発
- ② 塗装作業・検査の自動化・デジタル化
 - a. 自動塗装機器の開発（溶接部、突起部等の自動塗装機器の実用化課題）
 - b. 塗膜厚の面計測を可能とする機器のプロトタイプ機の開発（カメラ撮影・画像解析）
 - c. 塗膜厚の面計測を可能とする機器の実用機の開発（効果と実用化課題）
 - d. 塗膜厚計測データ管理システムの開発

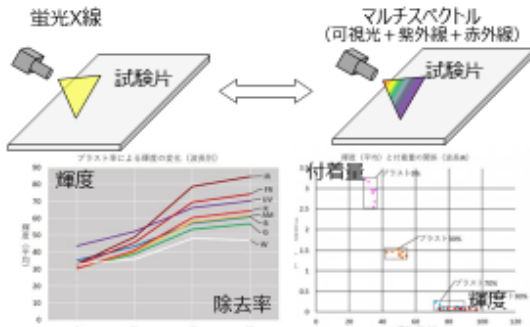
2022年度				2023年度			
1/4半期	2/4半期	3/4半期	4/4半期	1/4半期	2/4半期	3/4半期	4/4半期
① 塗装前処理検査のデジタル化							
a. 塗装前処理計測技術の精度向上							
b. 塗装前処理状態計測機器のプロトタイプ機の開発							
				c. 塗装前処理状態計測機器の実用機の開発			
② 塗装作業及び検査の自動化・デジタル化							
a. 自動塗装機器の開発							
b. 塗膜厚面計測機器のプロトタイプ機の開発							
				c. 塗膜厚面計測器の実用機の開発			
		d. 塗膜厚計測データ管理システムの開発					

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2
(別添2) 次年度計画～事業詳細

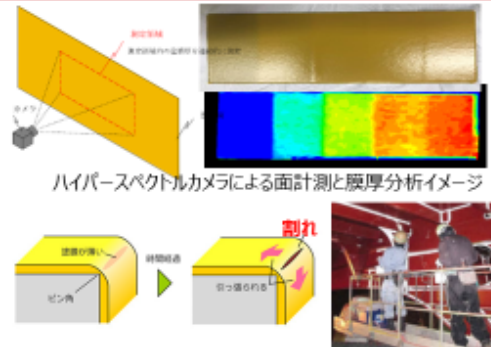


- 実施内容① 塗装前処理検査のデジタル化
- 2021年度に検証したマルチスペクトルカメラによる塗装前処理状態の定量計測技術を用いた実用デジタル機器の開発を実施。

- 実施内容② 塗装作業・検査の自動化・デジタル化
- 2021年度に検証したストライプコート用先端器具を搭載したポータブル機器とハイパースペクトルカメラによる塗膜厚計測機器とデータ管理システムの開発を実施。



蛍光X線分析の予備塗装除去率とマルチスペクトル分析輝度の相関



ハイパースペクトルカメラによる面計測と膜厚分析イメージ
エッジ部の塗装の問題と現場用ポータブルストライプコート機器

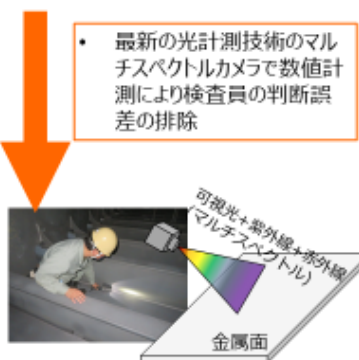


- プロジェクト参加者 (予定)
- 今治造船、川崎重工業、 ジャパン マリンユニテッド、住友重機械マリンエンジニアリング、新来島どっく、常石造船、内海造船、檜垣造船 (研究参加者)、九州大学、海上技術安全研究所 (関係者)

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2
(別添3) 参考～塗装工程の自動化・デジタル化がもたらす効果



- 塗装前処理検査 (プラストグレート)
- 金属面の清浄度は現在目視で確認
- 検査員の違いで品質にバラツキ発生
- 過度品質・再作業の発生→コスト増
- 熟練検査員の不足
- あいまいさによる非効率



- 最新の光計測技術のマルチスペクトルカメラで数値計測により検査員の判断誤差の排除
- 再作業の防止
- 過剰品質の防止
- 非熟練作業による検査

- 塗装検査～塗膜厚検査
- 手作業による膜厚計測箇所が膨大
- 不足膜厚防止のため、余剰膜厚となる部分が多い (320μに対して平均500-600μ)
- 膜厚確保作業の非効率



- 最新の光計測技術のハイパースペクトルカメラで面撮影し膜厚の分布を計測
- 画像解析で塗装欠陥の目視検査も自動検出
- 手作業計測点数の大幅な削減
- 膜厚分布把握での業者技量向上
- 塗料使用量の削減

- 塗装作業～手塗り作業
- ストライプコート手作業の工数が膨大 (薄くなり割れるため刷毛2回塗り)
- 高度ではないが技が必要な作業 (薄くならない刷毛や塗り方)
- 手作業に頼る非効率



- 最新の計測技術 (安価な加速度センサー等) を用いた高速で高品質の塗布
- ポータブル機器で自動塗布
- 自動塗装機に搭載し単純形状部を自動塗装
- 膨大な刷毛塗り作業の工数削減
- 技量差解消による塗装品質の向上
- 労働力不足に備えた自動化技術への展開

塗装工程の効率と塗装品質の向上

参考資料 2

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での
活用に関する資料



塗装前処理検査のデジタル化技術 の規則等での活用に関する資料

1. ブロック塗装時のブラスト処理に関する規則等
2. ブラストグレード検査の現状と問題点
3. ショッププライマーの塗装に対する影響
4. ブラストグレード評価機器の活用について
5. ショッププライマー除去率影響評価試験について

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

1. ブロック塗装時のブラスト処理に関する規則等

- PSPCにおける記述

- ◆ 2次ブラスト処理(4.表1 3 2次表面処理 .2 表面処理)

- ショッププライマーの損傷部及び溶接部あつては、Sa2 1/2すること
- 1.3の塗装認証試験に合格していないショッププライマーにあつては、健全部を少なくとも70%除去するSa2とすること
- エポキシベースの塗料とショッププライマーから成る塗装システムが1.3の塗装認定試験に合格している場合であつては、試験に合格したのと同じ塗装システムを使用することを条件に健全なショッププライマーを維持して差し支えない。また、維持するショッププライマーは、スィープブラスト処理、高圧洗浄又は同等の方法により清掃すること

- ◆ 検査(6.2 ブロック製造時 2)

- ブラスト処理、グライディング処理及び清掃後であつて塗装前に、2次表面処理の目視検査を行うこと

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

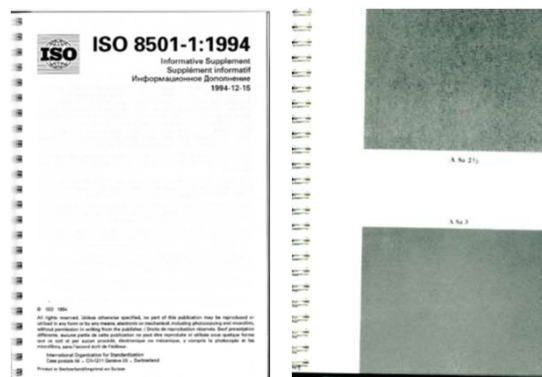
1. ブロック塗装時のブラスト処理に関する規則等

- IACS“IMO PSPC-Q&As and Common Interpretations”における記述
- ◆ 23 ショッププライマー
 - ショッププライマー表面に汚れが観察されない場合も、経時的な劣化による酸化物等の存在が予想されるので、PSPCの「清浄する」との要件に基づき、表面の生成物は、スweepブラスト、高圧洗浄などの方法で除去されねばならない
- ◆ 24 ショッププライマー
 - Sa2 1/2は、ショッププライマーが施された鋼材のいかなる損傷部にも適用しなければならない。これは、溶接、熱及び機械切断によってもたらされた損傷並びに工作中に被った機械的損傷を含む
- PSPC実施ガイドライン(DE51/14/1)における記述
- ◆ 8.2 2次表面処理(SSP) ガイダンス -2
 - ショッププライマーが主塗装システムの性能に影響を与えるであろうと塗装検査員又は主塗装システムの塗料メーカーが判断するショッププライマー損傷部はSa2 1/2のブラスト処理が要求される。(例えば、裏焼けや腐食による損傷部)
- ◆ 8.2 2次表面処理(SSP) ガイダンス -4
 - 維持されるショッププライマーに着いた汚れは、取り除くこと。スweepブラスト又は高圧洗浄は、ショッププライマーに付着した全ての型式の汚れに対する除去法として必ずしも適切ではない。これは局所的な汚れの小さな面積部を含む。汚れは塗料メーカーの推奨する適切な方法で取り除くこと。

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

2. ブラストグレード検査の現状と問題点

- PSPCで求められている2次ブラスト後の検査は(6.2 ブロック製造時2)のように目視検査により実施されている。
- 検査に際しては、ISO8501-1やSPSSの様な標準を参照している。
- 目視で判定しているため、造船所検査員と船主監督との間で判断に差異が生じ、船主監督からの追加の施工要求などにより、工程の乱れや建造コストの増加の要因となっている。
- 特にスweepブラストのグレードに関して監督と意見が食い違うことが多い。



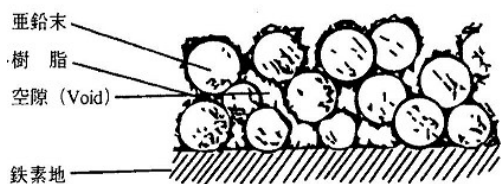
ISO8501-1より

2. ブラストグレード検査の現状と問題点

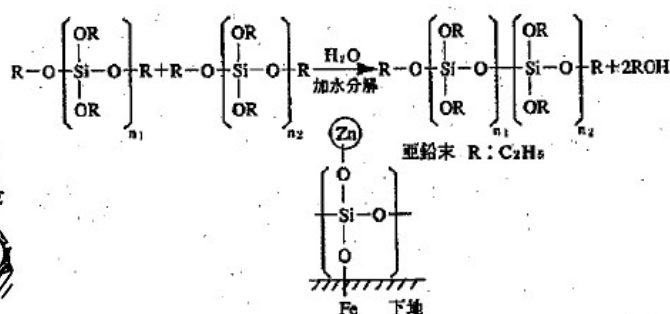
- スイープブラストグレードに関して
 - ◆ 1.で記述したようにスイープブラストは、認証された塗料を用いかつ健全なショッププライマーを維持することが同意されている場合に、当該健全部で使用される処理法。
 - ◆ 健全部の清掃を目的に実施されると規定されている。
 - ◆ この際に使用される塗料は、ショッププライマーが100%残存している状態でPSPCの塗料認証試験のクライテリアを満足させることが出来る性能を有している。
 - ◆ また、スイープブラスト及び高圧洗浄等は健全部の清掃を目的に施工されるため、施工後のショッププライマーの除去率は規定されていない。(上塗りの主塗装に影響を与える物質等がきちんと除去されている状態であれば、100%維持することも可能。)
 - ◆ 認証塗料を、ショッププライマーを維持する条件で使用する場合、PSPCで想定されている検査項目は、上塗りの主塗装に影響を与える物質等が除去されているかどうかのみ。
 - ◆ しかしながら監督によっては、ショッププライマー自身が塗膜性能に影響を与えるとして剥離を要求するものがある。

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料
 3. ショッププライマーの塗装に対する影響

- 無機ジンクショッププライマー
 - ・塗膜中に含まれる亜鉛による電気防食を行う塗料
 - ・空気中の水分と反応し加水分解反応により硬化



塗装された無機ジンク塗料

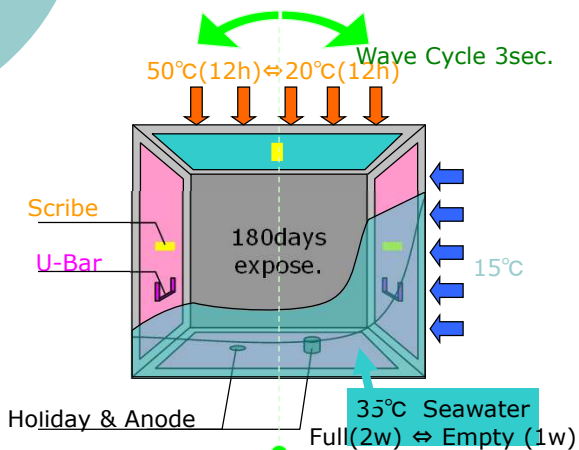


無機ジンクショッププライマーの硬化反応

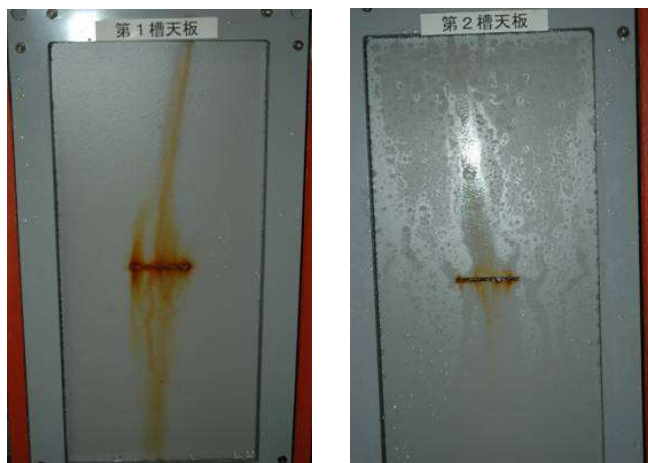
重防食塗料ガイドブック(日本塗料工業会)より

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料
3. ショッププライマーの塗装に対する影響

- 無機ジンクショッププライマーを維持することのメリット
 - ◆ 塗膜中にZnを含み、流電効果により防食するため、バラスタタンのデッキ裏ような環境において塗装欠陥部から進展する腐食の進展を抑制する効果が期待できる。



PSPC塗料認証試験(バラスタタンク模擬試験)
 水色部分に取り付けた試験板



試験開始後6weeks時 スクライブ(人工欠陥)の状態
 左:SPなし、右:SPあり
 DE49日本塗料工業会プレゼン資料より抜粋

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

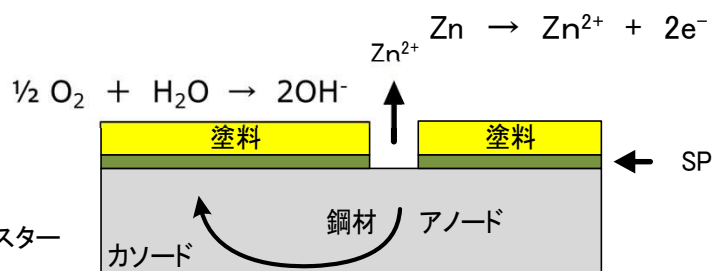
3. ショッププライマーの塗装に対する影響

- 無機ジンクショッププライマーを維持することのデメリット
 - ◆ ショッププライマー中のZnの効果で、没水環境中においても、塗膜欠陥部の鋼材を防食する。
 - ◆ 鋼材を防食するため塗装欠陥近傍でZnによるアノード反応が生じる。
 - ◆ アノード反応に呼応して、塗膜界面でカソード反応が生じ、カソード近傍ではOH⁻イオンが生成されるため陰極剥離が生じることがある。(一般的にアノード反応の生じる領域よりもカソード反応の生じる領域の方が広範囲になる。)



塗装欠陥近傍に発生した陰極剥離によるブリストア

写真：日本船舶海洋工学会 平成26年度構造強度・材料溶接分野「夏の学校」講義資料より



塗装欠陥周りの電気化学反応

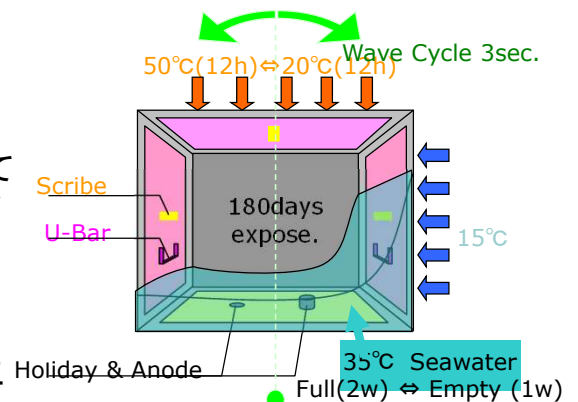
塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料
 3. ショッププライマーの塗装に対する影響

○ 無機ジンクショッププライマーを維持について

◆ 古い世代のショッププライマーでは、特に没水環境下に置いて陰極剥離による大量のブリストの発生もしくは塗膜の剥離といった現象を経験したことのあるオーナーや監督がいる。このため、バラスタングのような没水環境下に長時間置かれる環境では「ショッププライマーは剥がせ」という考え方を持つもがいる。

◆ しかしながら、現行のPSPCの下では、この点は厳しく認証試験においてチェックされており、ショッププライマーと主塗料の組合せで認証されている塗料においては、ショッププライマーを剥いで塗装されたものと同じ基準を満足している。

◆ また、他社製のショッププライマーと主塗料の相性を確認する試験も、この認証試験の陰極剥離等を評価する試験が課せられている。



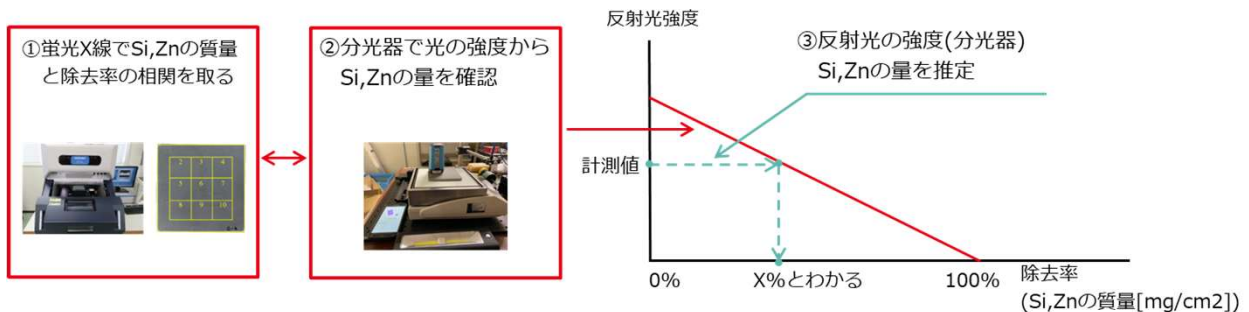
PSPC塗料認証試験(バラスタング模擬試験)
 緑色部分に取り付けた試験板
 (陰極剥離等を評価)

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

4. ブラストグレード評価機器の活用について

○ 塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト

- ◆ 日本船舶技術研究協会で実施している塗装前処理検査のデジタル化プロジェクトにおいて、ブラストグレードを定量的に評価できる機器の開発を実施している。
- ◆ 携行型の分光器を用いた分光分析結果と試験板ベースで蛍光X線分析で計測したショッププライマー除去率の相関を求め、携行型分光器による計測でショッププライマー除去率を重量%ベースで求めるもの。



ブラストグレード(ショッププライマー除去率)の定量化の考え方

2022年度塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト
第3回タスクフォースミーティング資料より抜粋

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

4. ブラストグレード評価機器の活用について

- ブラストグレード評価機器の活用について
 - ◆ 1.で記述したように、PSPC上、ショッププライマーを維持することが合意されている場合には、ショッププライマー除去率に関する規定はない。(上塗り塗料に影響を及ぼす汚染物質等が除去されていれば良い。)
 - ◆ このため、ショッププライマーの除去率について基準を定めるのであれば、オーナーサイドと造船所との合意事項で定めるべきもの。
 - ◆ そこで、塗装前処理検査デジタル化プロジェクトにおいて開発された機器の使用にあたっては、
 - ショッププライマーを維持することが合意されているかを確認
 - ブラスト後に行う検査において検査すべき、上塗り塗料に影響を及ぼす汚染物質等に関する検査について条約に基づき明確化
 - そのうえで、リファレンスエリアもしくは1stブロックの目合わせの際に、当該船におけるショッププライマー除去率の基準をオーナーサイド(監督等)と合意(開発機器を用いて定量的に)しておき、
 - 施工中にトラブルに発展した場合には、その基準に基づき判定
 - ◆ といったプロセスを踏むことにより手戻り作業を減らしていくことが考えられる。

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

5. ショッププライマー除去率影響評価試験について

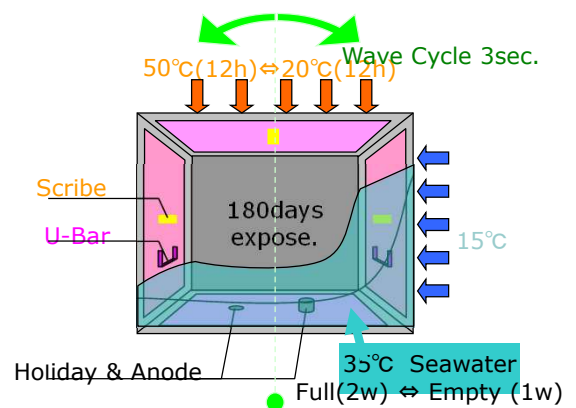
- ショッププライマー除去率が塗膜性能に与える影響の評価について
 - 日本船舶技術研究協会の実施している塗装前処理検査のデジタル化プロジェクトの成果として、ショッププライマーの除去率が定量評価できるようになった場合、ショッププライマー除去率と塗装性能の関係を評価することが今後想定される。
 - この際に、どのような試験・評価を実施すれば開発機器の有用性を訴えていけるかを検討する。

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

5. ショッププライマー除去率影響評価試験について

○ PSPC塗料認証試験

- PSPCにおいては8章において代替システムの認証に関して記述している。
- 本規定によれば塗料の認証のみならず代替システムの認証も許容している。
- このため、PSPCで規定されるグレードと異なるグレードで処理されたブラスト試験板を用いて試験を行い、基準をクリアすればPSPC上そのグレードで使用しても差し支えないという理解になる。
- ただし、以下の点に注意が必要。
- もともと、PSPC認証塗料は100%ショッププライマーが残った状態(除去率0%)の状態です。この試験では除去率100%の試験板と同等の基準をクリアしている。このため、どのグレードで試験を行っても合格という結果しか得られない可能性が高いこと。
- また、本試験を行っていた国内の試験機関が昨年度で、試験の実施を取り止めたため国内において試験実施が困難であること。



塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

5. ショッププライマー除去率影響評価試験について

○ 陰極剥離試験

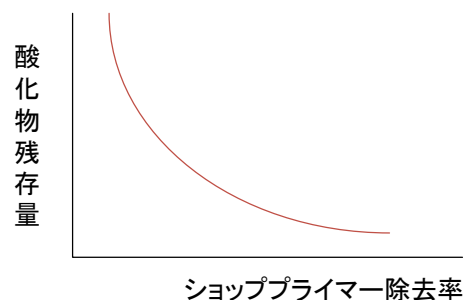
- 3.においてショッププライマーを維持することのデメリットとして没水環境における陰極剥離の問題を記述した。
- ショッププライマーを維持することで問題になる可能性のある陰極剥離に注目した試験も候補の一つと考える。
- ただし、PSPC認証試験においても陰極剥離に対する性能は評価されており、PSPCの試験と同程度の強度の試験では、グレードによる差が出ない可能性がある。
- このため、ブラストグレードの差による性能差を見ようと思うと、犠牲陽極を用いるような試験ではなく、外部電源を用いるような極端な条件での試験を行う必要がある可能性がある。しかしながら、あまり極端な条件での試験は、例え差が出たとしても何を評価しているのかわからなくなる可能性があることに留意。
- また、現行のPSPCにおいて、ショッププライマー上の汚染物質等がきちんと処理されていればショッププライマーを維持できるという規定と矛盾する結果になる可能性があることにも留意が必要。

塗装前処理検査のデジタル化技術の規則等での活用に関する資料

5. ショッププライマー除去率影響評価試験について

○ 酸化物等の腐食生成物の定量

- 1.においてIACSのQ&Aの中でショッププライマー表面に目視による観察で汚染物質等が観察されない場合でも経時変化により酸化物等の腐食生成物が存在している可能性があり、スweepプラスト等により除去する必要があると記述されていることを述べた。
- 直接的にショッププライマーの除去率と塗装性能の相関を示すわけではないが、この記述を利用し、ショッププライマー上の酸化物等の腐食生成物の残存量とショッププライマー除去率の相関を求めて、監督等への説明資料とすることは可能ではないかと考える。
- 具体的には、屋外暴露したショッププライマー試験板を種々のグレードにブラスト処理し、表面に残存している酸化物(例えば酸化亜鉛)の量を定量、分光分析で求めたショップ除去率と相関をとり資料とする。
- 監督に対して、ショッププライマーの除去率がこの程度であればショッププライマー表面の酸化物等の量はこの程度まで落とせるといふ説明用の資料として活用可能と考える。





この報告書は、日本財団の助成金を受けて作成しました。

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発（フェーズ2）
－塗装前処理検査のデジタル化プロジェクト－

2022年度成果報告書
概要版

2023年（令和5年）3月発行

発行 一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2丁目10番9号 ラウンドクロス赤坂

TEL 03-5575-6428

FAX 03-5114-8941

URL <http://www.jstra.jp/>

E-mail info@jstra.jp

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。