

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 —

2023 年度成果報告書

概要版



2024 年 3 月

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

目 次

はしがき	1
1. 目的	2
2. これまでの研究開発経緯	2
2.1 「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発（フェーズ 1）」事業の成果	2
2.2 「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発（フェーズ 2）」事業 1 年目の成果	2
3. 2023 年度の研究概要	3
3.1 2023 年度の研究概要	3
3.2 研究開発期間	3
3.3 研究開発体制	3
3.4 試験片	4
4. 実機開発及び専用アプリ開発	6
4.1 IndiGo の課題解決とブラストグレード評価専用アプリ β 版の開発	6
4.2 データ管理ソフト開発	9
5. 高精度分光分析機の検討	12
5.1 高精度分光分析機の試作	12
5.2 高精度分光器によるブラストグレード識別の検討	12
6. ショッププライマ鋼板に関する調査研究	14
7. 成果報告会の開催	14
8. 2023 年度のまとめ	15
9. 本研究開発の成果	15
付録 A 日本塗料工業会作成の技術文書	17
添付資料 1 塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 研究参加者名簿	37
添付資料 2 塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 会議等開催状況	39
添付資料 3 塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 参加各社業務分担	41
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	43

はしがき

本報告書は、日本財団の助成を受けて実施した「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発（フェーズ2）」事業の中の、「塗装前処理検査技術のデジタル化プロジェクト」-の2023年度の成果を取りまとめたものである。

1. 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、国内で引き続き造船業を幹産業として持続的に発展させるためには、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. これまでの研究開発経緯

今年度の研究開発はフェーズ2事業における2ヵ年計画の2年目となる。これまでのフェーズ1事業及び2022年度に実施したフェーズ2事業1年目の成果の概要を以下に記す。

2.1 「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発(フェーズ1)」事業の成果

「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発(フェーズ1)」事業(以下「フェーズ1」という。)では、本研究で開発する機器の計測対象を、検出評価用マトリクスから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とした。ショッププライマ塗装面をブラスト処理した試験板を作成し、蛍光X線分析装置を用いてプライマ付着量(質量)とプライマ除去率を計測し、一定の精度で定量計測が可能であることを確認した。

さらに同試験片に対して、マルチスペクトルカメラや分光器を用いて反射光の強度を計測し、プライマ除去率と反射光の強度に相関関係があることを確認すると共に、ブラストグレードの識別が明確な波長について調査した。また、実際の塗装作業現場における使用や試作機開発を想定して、携帯型分光器を用いて同様の計測を実施し、プライマ除去率の識別が可能であることを確認した。

最後に、現場におけるニーズや開発機器に求める仕様について、研究会参加の造船各社から聴取し意見を整理した。なお、フェーズ1は2021年度で実施した。

2.2 「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発(フェーズ2)」事業1年目の成果

「塗装工程の自動化・デジタル化研究開発(フェーズ2)」事業(以下「フェーズ2」という。)の1年目では、以下を実施した。

- ・ 銘柄や色が異なる多様なショッププライマを作業者の感覚で任意の割合で除去した試験片を作成し、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亜鉛(以下Zn)とシリカ(以下Si)の質量を計測した。結果、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。
- ・ ショッププライマ除去率の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。

3. 2023 年度の研究概要

3.1 2023 年度の研究概要

今年度は、フェーズ2の1年目で開発した試作機を開発実機として運用できるようにする事、また開発実機が運用されるようになった際、造船所が船主や建造監督に対してショッププライマの残存に関する技術的な説明を可能とする事を目的に以下の検討を行った。

- ① 試作機 IndiGo の実機転用への検討
- ② ブラストグレード評価専用アプリのβ版開発
- ③ データ管理ソフト開発
- ④ 健全なショッププライマに関する調査研究

上記①では、フェーズ2の1年目で開発した試作機 IndiGo の実機転用を目指し、既に挙がっていた課題に対して検討を行った。②では、フェーズ2の1年目で開発した試作アプリをアップデートし、本研究開発事業の終了後に、実運用できる状態とした。アップデート版としてリリースするβ版は最新の Android の O.S.に対応し、通信性能や処理性能を向上させた。またアプリにインプットする演算用の評価式の検討と検証を行い、実用的な評価式を組み込んだ。③では、開発機器のデータ蓄積やレポートの作成が可能な支援システムを開発した。④では、文献調査の結果から健全なショッププライマの自体の残存が上塗り塗装に与える影響について調査研究を行った。

3.2 研究開発期間

研究実施期間は2022年4月1日～2024年3月31日の2ヵ年で、今年度はその2年目である。

3.3 研究開発体制

本研究開発は下記、研究参加者間で共同研究契約を締結し「塗装前処理検査技術のデジタル化プロジェクト研究会」を立ち上げ、研究会において実施した。2023年度は2回の運営会議と幹事社主催で計2回のタスクフォースミーティング、ブラストグレード計測デモやアプリ説明会をそれぞれ1回ずつ開催した。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。

研究会参加者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
- 国立大学法人九州大学（有識者）
- 一般社団法人日本造船工業会（関係者）
- 一般財団法人日本船舶技術研究協会（事務局）

3.4 試験片

本研究開発の実機開発における蛍光 X 線分析で使用した試験片には、

中国塗料 セラボンド 2000（Green、Brown）

セラゼウス（Gray S）

日本ペイントマリン ニッペセラモ（Gray IT、Green IT）

関西ペイントマリン SD ジンク 1000HA(s)（Gray、Brown）

の 4 種、7 色のショッププライマを塗装し使用した。

試験片の例を図 3.4.1～3.4.4 に示す。なお試験片コードが書いてある面がオモテ面である。各試験片は全て手打ちのプラストにて、各除去率を目標にプライマを除去したものである。

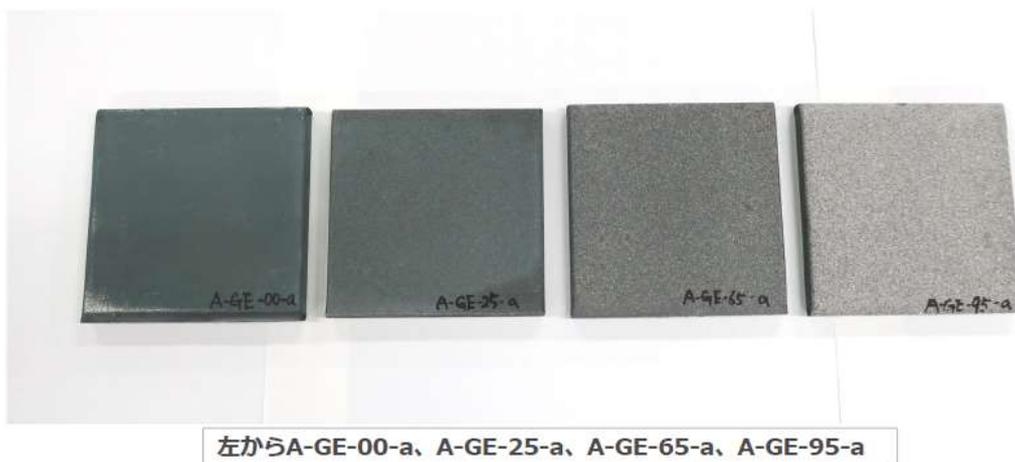
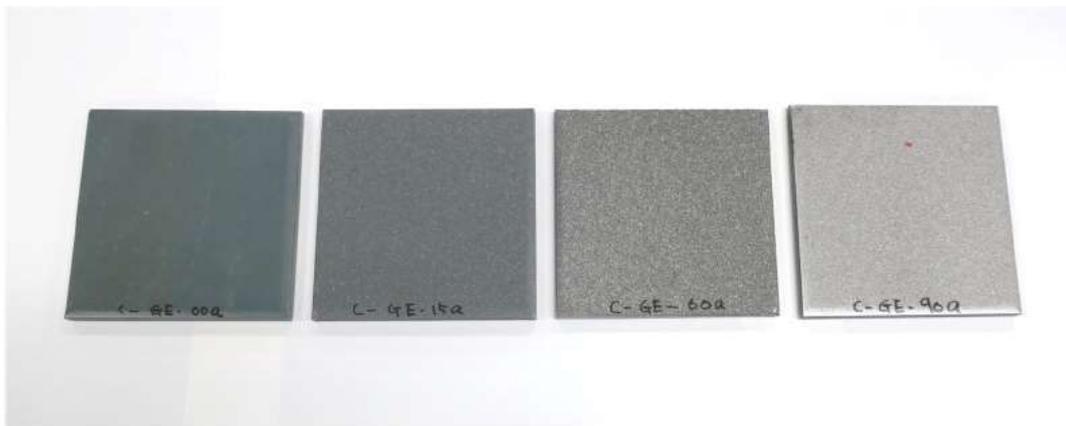


図 3.4.1 試験片写真（セラボンド 2000 Green）



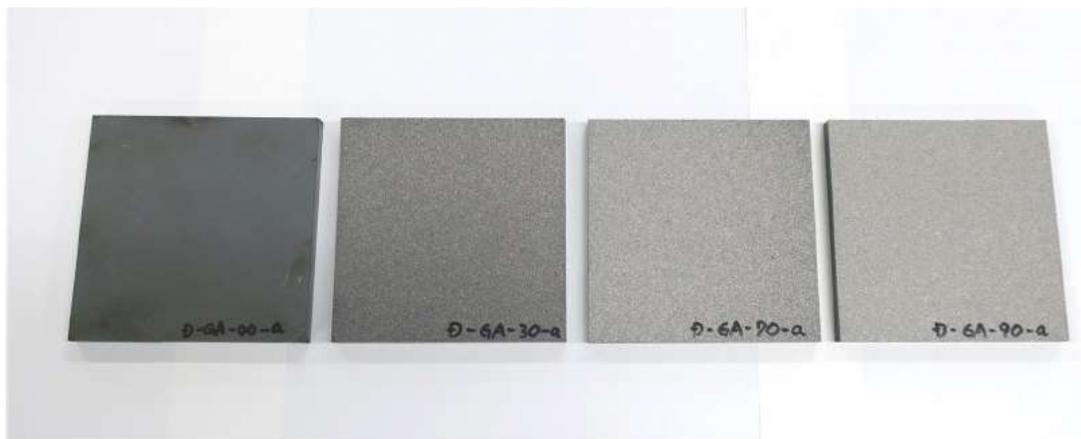
左からB-BR-00-a、 B-BR-05-a、 B-BR-30-a、 B-BR-70-a、 B-BR-95-a

図 3.4.2 試験片写真 (SD ZINC 1000HA(S) Brown)



左からC-GE-00-a, C-GE-15-a, C-GE-60-a, C-GE-90-a

図 3.4.3 試験片写真 (ニッペセラモ Green IT)



左からD-GA-00-a, D-GA-30-a, D-GA-70-a, D-GA-90-a

図 3.4.4 試験片写真 (セラゼウス Gray S)

4. 実機開発及び専用アプリ開発

4.1 IndiGo の課題解決とブラストグレード評価専用アプリ β 版の開発

最初に、実機開発を進める上で、フェーズ 2 の 1 年目で実施した IndiGo のデモ検証時に挙げた 2 点の課題に着目した。1 点目は IndiGo の反射光強度の分解能が足りず、細かく反射光強度の計測値を出せない場合、正確なブラストグレードを評価できない可能性があった。分解能については研究会内で再検証を行い、IndiGo でも実用上あまり問題にならない程度でブラストグレードを評価できる分解能を有していると判断し、IndiGo を用いた実機開発を優先させることとした。また、それと並行して 5 章に示す高精度の分光分析機の開発も併せて実施することとした。2 点目はプライマ除去率が高い鋼板に対しては、反射光強度が大きくなる傾向にあり、ブラストグレードを評価できない可能性があった。反射光強度が大きくなる現象を無くす事はできないが、IndiGo の露光時間の設定を短くして対処した。以上のことから、IndiGo を用いた実機開発を行った。

次に、フェーズ 2 の 1 年目に開発した IndiGo 専用の試作アプリをアップデートする事とした。また試作アプリから運用可能レベルの β 版へのアップデート項目は、IndiGo とスマートフォン (Android) との通信性能の改善、アプリ内の処理性能の向上、実運用での操作性の 3 項目に着目してアップデートを実施した。

図 4.1.1 に小型分光器 IndiGo と専用アプリを示す。



図 4.1.1 小型分光器”IndiGo”(左)とアプリ画面を開いたスマートフォン(右)

4.1.2 デモ検証とフィードバック

アプリのアップデートが終了した状態で、更なる課題抽出のため、大規模なデモ検証を行った。今年度は 2 回の大規模なデモを実施した。

[1 回目の大規模デモ検証]

今年度の 1 回目の大規模デモの目的は、完成度の上がったアプリの通信性能、処理性能、および操作性の検証とした。また今回のデモでは試作機とした IndiGo 1 台のみの検証ではなく、複数台の IndiGo と多種の Android スマートフォンを準備し、どの機器でも問題なく稼働できることも目的とした。ブラスト施工済みのミニブロックを対象に実施した。図 4.1.2.1 に 1 回目のデモの実施風景を示す。



図 4.1.2.1 1回目デモ風景

[1 回目の大規模デモ検証に関するフィードバック]

1 回目のデモ検証の結果は以下の通りであった。

アプリの通信性能について、IndiGo とアプリ間の通信ができない組み合わせが何セットか見付き、原因究明を行う事とした。

アプリの処理性能について、処理速度が向上した一方で、アプリで表示するグラフが意図しない波形になってしまうバグや、連続計測が行えないバグが見つかった。原因究明次第、アプリを修正する事とした。

アプリの操作性について、アプリのアクティブ状況(アプリ内の処理状況や接続中の端末)がわかりにくいことや、ボタン配置が悪い等の、様々な意見が出た。ユーザーが操作しやすくなるようにアプリを改修する事とした。

[2 回目の大規模デモ検証]

2 回目の大規模デモの目的は、1 回目と同様にアプリの通信性や処理性能、操作性の検証と、研究会各社の建造現場において、開発したブラストグレード評価機器システムの適用性に関する検証をした。図 4.1.2.2 に 2 回目のデモの実施風景を示す。



図 4.1.2.2 2回目デモ風景

[2 回目の大規模デモ検証に関するフィードバック]

2 回目のデモ検証の結果は以下の通りであった。

アプリの通信性能と処理性能については、1 回目のデモ検証と類似の意見が多かった。アプリの修正が完了できておらず、引き続き修正を行う事とした。

アプリの操作性については、過去のデータを閲覧する際の操作性や表示を見やすくするような要望も聞かれ、改修する事とした。

IndiGo とアプリを活用した定量評価機器の実用性については、アプリ上で不具合が見られるものの、研究会各社は、概ね活用できる事を確認できた。

4.1.3 アプリ機能

今年度開発したブラストグレード評価用アプリ β 版の機能は以下の通りである。

- 小型分光器 IndiGo と Bluetooth 通信を行う事ができ、アプリは計測データの受信を行う事が可能である。(図 4.1.3.1 に示す)
- IndiGo で計測したデータから、事前にプログラムした演算式によってブラストグレード等を評価する事ができる。
- アプリで表示できるグラフは、反射光波長と反射光強度の関係、反射光強度のピーク値とブラストグレードの関係、反射光強度のピーク値と Zn の付着質量の関係の 3 種類である。(図 4.1.3.2 に示す)
- 計測データを Android スマートフォンに保存する事ができる。
- 保存した過去の計測データを呼び出す事ができる。
- IndiGo の計測条件(露光時間と Gain 数)を設定する事ができる。
- ブラストグレード等の評価項目の演算式をアプリ上で設定する事ができる。
- 計測メモを設定する事ができ、計測条件の情報等を計測結果に紐づける事ができる。



図 4.1.3.1 アプリと IndiGo の接続

※Bluetooth 通信で感知した IndiGo を選択し(左図)、接続完了すると接続中の表示が出る(右図)

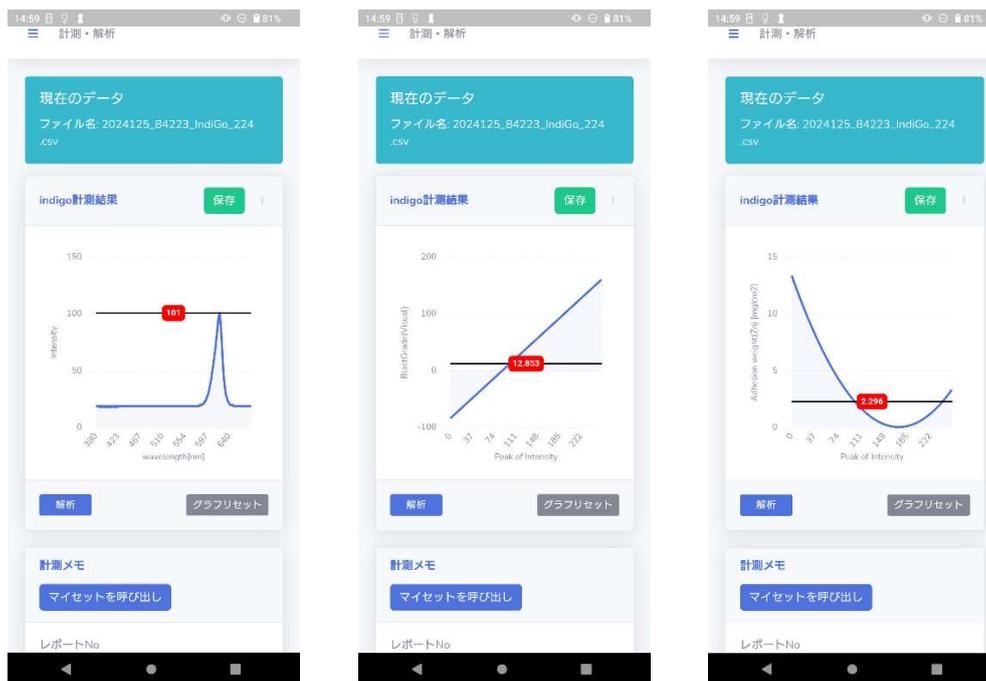


図 4.1.3.2 3種類のグラフ表示

※反射光強度 (左図)、目視判定のブラストグレード(中央図)、Zn 質量 (右図)

4.2 データ管理ソフト開発

アプリリリース後の実運用を見据えた際、ブラストグレードの評価や結果表示はスマートフォンの画面上でしか行えないため、計測結果のデータ管理を行えるソフトが必要となった。

そのためアプリの機能補助を目的として、アプリの計測データを Android スマホから転送する機能と、ブラストグレード計測結果のレポート作成する機能を持った Windows PC ソフトを開発した。

4.2.1 検証とフィードバック

開発したデータ管理ソフトの検証試験を行い検証を行った結果は以下の通りであった。

- ・データ管理ソフトは問題なく動作できており、有線の通信も滞りなくできた。
- ・レポートの作成作業の負荷を小さくするため、レポートに記載できる項目を事前にアプリ内で入力できるようにした。

4.2.2 データ管理ソフト機能

今年度開発したデータ管理ソフトの機能は以下の通りである。

- ・ブラストグレード評価専用アプリがインストールされている Android スマホと PC を有線接続する事により、スマホから計測データの転送ができる。有線接続の様子を図 4.2.2.1 に示す。またデータ管理ソフト画面を図 4.2.2.2 に示す。
- ・転送を行ったデータの波長と反射光強度の関係、反射光強度と目視基準のブラストグレードの関係、及び、反射光強度と Zn の質量の関係のグラフをデータ管理ソフト上で表示することができる。また計測時の露光時間とゲインも表示でき、確認する事ができる。
- ・転送を行った任意の数のデータのブラストグレード評価値について、レポートを出力する事ができ

る。計測結果以外の計測対象情報はアプリの計測メモから引用される。レポートの出力例は図 4.2.2.3 に示す。

・データ管理ソフト経由で転送した CSV データでは、反射光強度の計測結果、計測メモの情報、IndiGo のファームウェア情報を確認する事ができる。

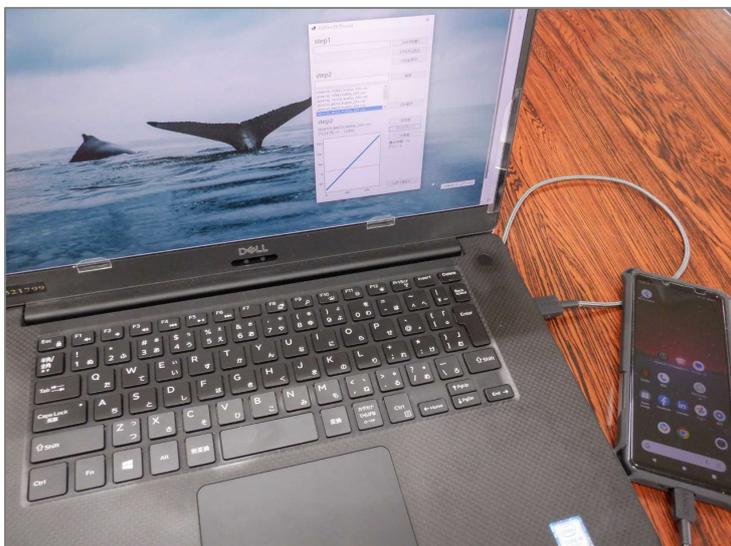


図 4.2.2.1 PC とスマートフォンの有線接続の様子



図 4.2.2.2 データ管理ソフトの画面

Surface Preparation Report (表面処理レポート)

Ship No. (船番)	Demo
Block Name / Tank Name (ブロック名/タンク名)	Demo Block
Measurement Date (計測日)	2023/12/19

SHOP PRIMING (ショッププライマー塗装)

Manufacturer (製造者)	ABC paint
Product Name (製品名)	AAA shop primer
Painting Color (塗装色)	Gray

Blast Grade (ブラストグレード)

Target Grade (目標グレード)	25%		
PORT①	21.46%	2023/12/19	13:57:14
PORT②	29.08%	2023/12/19	13:57:14
STBD①	34.80%	2023/12/19	13:57:14
STBD②	46.21%	2023/12/20	11:42:11

Inspector (検査員)

Inspector Name (検査員名)	Yuta Tanaka
IndiGo NO.	IndiGo_224

MEMO

--

図 4.2.2.3 データ管理ソフトのレポート出力例

5. 高精度分光分析機の検討

2022 年度に実施した現場検証の結果、ブラストグレードの評価精度をより高めるためには反射光強度を細かく計測する必要があり、2022 年度の研究開発で使用した IndiGo では分解能が足りないことが示唆された。このため、IndiGo を用いた実用機の開発と並行して、より分解能の高い分光分析装置の開発の検討を行った。本高精度分光分析機の検討は、九州大学 篠田先生及び田中先生に検討を依頼し実施した。

5.1 高精度分光分析機の試作

高精度分光分析機の開発の第 1 段階として分光センサーの光学特性および仕様等の把握を目的に、分光センサーおよび分光器評価回路基板からなる試作機を製作した。図 5.1.1 に外観を示す。なお、分析機の評価基板の製作については、分光器を用いた計測器、電子回路基板の製作について、九州計測器株式会社に依頼した。

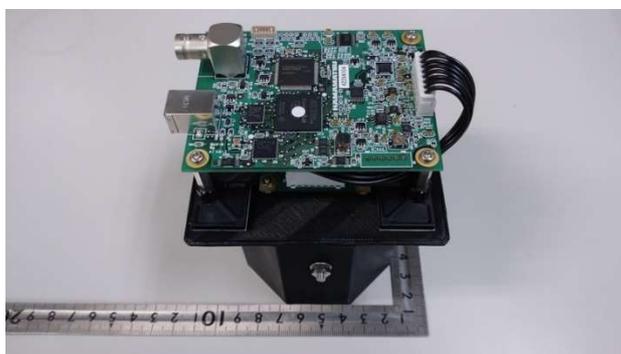


図 5.1.1 分光器評価回路基板を搭載した分析機

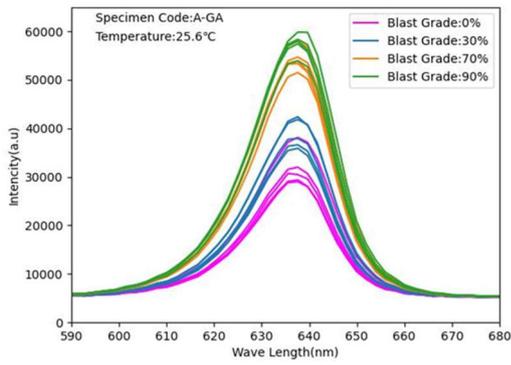
5.2 高精度分光器によるブラストグレード識別の検討

製作した試作機を用いて、複数のショッププライマ除去率に施工した 3 種類 (Gray、Green、Brown) について、サンプル試験片のブラストグレード評価を行い、分光センサーの特性等の把握を行なった。図 5.2.1 に計測の様子を示す。

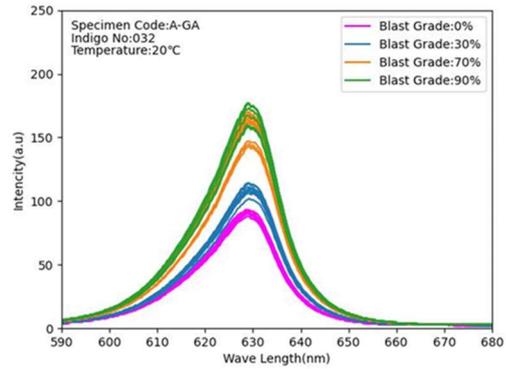
図 5.2.2 に反射光スペクトラムを示す。従来の携帯型分光器の 256 階調に対して 65,536 階調の高い分解能で計測でき、ブラストグレードの識別性能が低い試験片に対しても、十分な識別が可能であることを確認した。



図 5.2.1 試作機によるサンプル試験片の計測

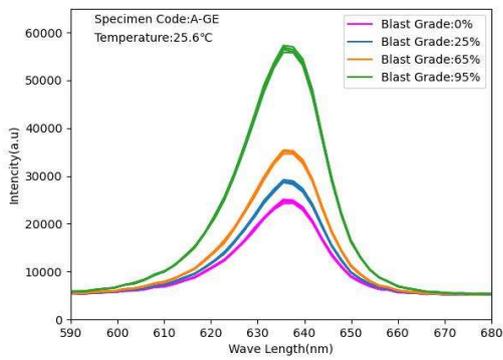


(a) 試作機

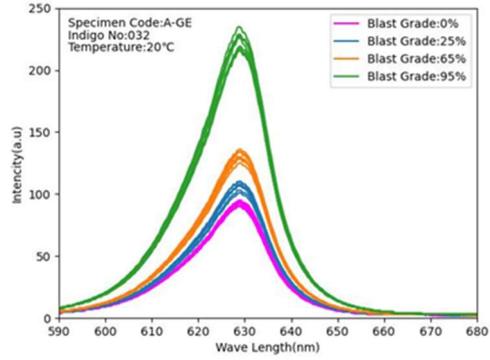


(b) 市販分光器

(1) 試験片 Gray

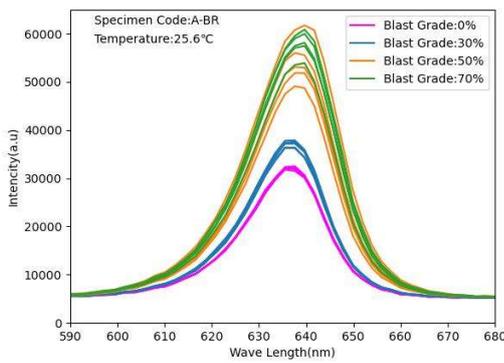


(a) 試作機

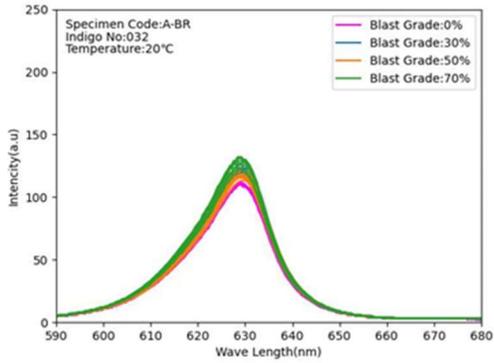


(b) 市販分光器

(2) 試験片 Green



(a) 試作機



(b) 市販分光器

(3) 試験片 Brown

図 5.2.2 反射光のスペクトラム

6. ショッププライマ鋼板に関する調査研究

ブラストグレードを評価する評価機器の開発と並行して、ショッププライマの自体の残存が上塗り塗装に与える影響に関する調査研究を行う事とした。

昨年度の本プロジェクトの中で実施した文献調査等を取り纏めた資料（塗装工程の自動化・デジタル化研究開発(フェーズ 2)ー塗装前処理検査のデジタル化プロジェクトー 2022 年度成果報告書概要版 参考資料 2) によれば健全なショッププライマを維持する事のメリットは、塗膜中の Zn が流電効果により防食するため、塗装欠陥部から進展する腐食を抑止する効果が期待できるとの事であった。一方でショッププライマをブラストで除去せず維持する事のデメリットは、塗膜欠損部付近で陰極剥離によるブリスターが発生する懸念であった。しかし近年のショッププライマでは陰極剥離によるブリスターが生じない様、PSPC 認証試験で確認されている事から、PSPC 認証試験を合格したショッププライマであればデメリットである陰極剥離によるブリスターは生じにくいとの事であった。

このため、日本塗料工業会にショッププライマの残存が上塗り塗料に与える影響に関する技術資料の作成を依頼した。日本塗料工業会にて作成した技術資料を付録 A に掲載する。

7. 成果報告会の開催

2021 年度のフェーズ 1 事業、2022 年度から 2023 年度のフェーズ 2 事業と計 3 ヶ年の研究開発を実施してきた。3 ヶ年の研究開発の成果としてブラストグレード評価機器及びブラストグレード計測専用アプリ、データ管理ソフトを開発することが出来た。本成果を広報するため成果報告会を以下の様に開催し、41 名の参加があった。

1. 開催日時 2024 年 3 月 12 日 (火) 13:00~16:30 (開場 13:00)
2. 開催場所 赤坂インターシティコンファレンス (AICC) 4F 401
(東京都港区赤坂 1-8-1 赤坂インターシティ AIR)
3. 展示概要 ブラストグレードの定量評価機器

小型分光器と小型デバイス上のアプリケーションにより、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機器を開発した。

船舶の建造における船体ブロックの塗装前の下地処理は、国際条約によって清浄度や表面粗度の要件が定められており、このデジタル機器の活用により、現状の目視確認に代わって、鋼材表面状態を定量把握することが可能となった。

報告会では、開発したデジタル機器のデモンストレーションを実施した。



8. 2023 年度のまとめ

2023 年度では、以下を実施した。

- ・フェーズ 2 の 1 年目で開発した試作機 IndiGo における課題を検討し、実機として IndiGo を使用することを決めた。
- ・ブラストグレード計測専用アプリの β 版開発では、試作アプリをアップデートし、最新の Android の O.S.(Ver.13)に対応し、通信性能や処理性能を向上させた β 版をリリースした。
- ・アプリ内に組み込んだ評価式は、目視によるブラストグレードの算出式と、Zn の質量の算出式とした。
- ・データ管理ソフト開発では、アプリで計測した結果を PC に転送する事ができ、それらの結果を纏めてレポートの作成ができるソフトを開発した。
- ・IndiGo による実機開発と並行して、ブラストグレード評価精度の向上を目的に、高精度分光分析機の検討を行い、試作した分光分析機により精度良く計測が出来ることが示された。
- ・健全なショッププライマ自体の残存については、メリットとして腐食を抑止する効果が期待でき、デメリットは陰極剝離によるブリスターの発生の懸念があったが、PSPC 認証試験を合格したショッププライマであれば陰極剝離による腐食のリスクは低いとの事だった。これらについて日本塗料工業会に技術資料を作成依頼し、資料を準備した。
- ・また、開発したブラストグレード評価機器を広報するため成果報告会を開催した。

9. 本研究開発の成果

本研究開発では、小型分光器 IndiGo と Android スマートフォンの専用アプリの 2 つを使用することで、ブラストによるショッププライマの除去程度(ブラストグレード)を定量評価する機器を開発した。また Android スマートフォンと接続することで、計測結果をまとめてレポート化ができるデータ管理ソフトを開発した。つまり図 9.1 に示すようなブラストグレードの定量的評価機器の一貫したシステムを構築した。

また、5 章に示した高精度分光分析機の検討を行い、精度よく計測が出来る分光分析機の開発に関する目途をつけることが出来た。

さらに本研究開発では、健全なショッププライマの残存が不具合につながらないという見解の技術資料を日本塗料工業会にて作成し、造船所が船主や建造監督に説明する事ができる資料とした。以上を本研究開発の成果とした。



図 9.1 ブラストグレードの定量的評価機器の一貫システム

以上

付録 A 日本塗料工業会作成の技術文書

- 添付資料 1 塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 研究参加者名簿
 - 添付資料 2 塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 会議等開催状況
 - 添付資料 3 塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 参加各社業務分担
-
- 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

付録 A 日本塗料工業会作成の技術文書

2024年1月11日

ショットプライマーの防食塗装システムに及ぼす影響について

日本塗料工業会 技術委員会 船舶塗料部会

ショットプライマーを塗装する目的は、納入された鋼材の一次表面処理後、その加工や組み立て工程期間中の発錆を防止する「鋼材一次防錆」です。

これを利用したショットコート方式は、現在のブロック建造による新造船工程にあっては必要不可欠なものとなっています。

また、ブロック作製後、防食塗料塗装前においては、二次表面処理として発錆部や溶接による焼け、ヒューム付着等の汚れについて処理を実施しますが、IMO 塗装性能基準(PSPC)では事前の塗装認定試験に合格した健全なショットプライマー塗装部については、スワイプブラストや高圧水洗又は同等の方法による処理が定められています。これはショットプライマーが含有する亜鉛の酸化で生じる白錆やダスト、その他の汚染物質を除去するために実施されるものです。

すなわちこうした処理を前提として、当該ショットプライマーと防食塗料の組み合わせにおいては、健全なショットプライマー塗膜の維持は差し支えないとされています。(この処理には、溶接ヒューム等の夾雑物等の適切な除去が含まれます。)

同基準の塗装認定試験においては、ショットプライマーとエポキシ樹脂系防食塗料の組み合わせで、定められた試験が実施されており、合格した組み合わせのみがシステムとして認められています。

別紙(添付資料1：ショットプライマーの適用有無によるバラスタタンク向け防食塗装システムの性能について)に、ショットプライマーを適用していない仕様C、および適用した仕様Dで、IMO 塗装性能基準(PSPC)/WBTの認定試験を実施した結果を示します。

ショットプライマー適用仕様Dについては、ショットプライマー塗装後、2ヶ月間の屋外暴露が実施され、その後軟質のスポンジと水道水を使って簡単に洗浄、乾燥後防食塗料の塗装が実施されました。

結果として、ショットプライマーの適用有り無しいずれも合格基準を満たしており、有意な差は認められていません。

以上

【添付資料 1】

ショッププライマーの適用有無によるバラストタンク向け防食塗装システムの性能について

1. 塗装仕様

素地調整： ブラスト処理(ISO8501-1:2007 Sa 2^{1/2})

表面粗度： Rmax 50 – 75 μm

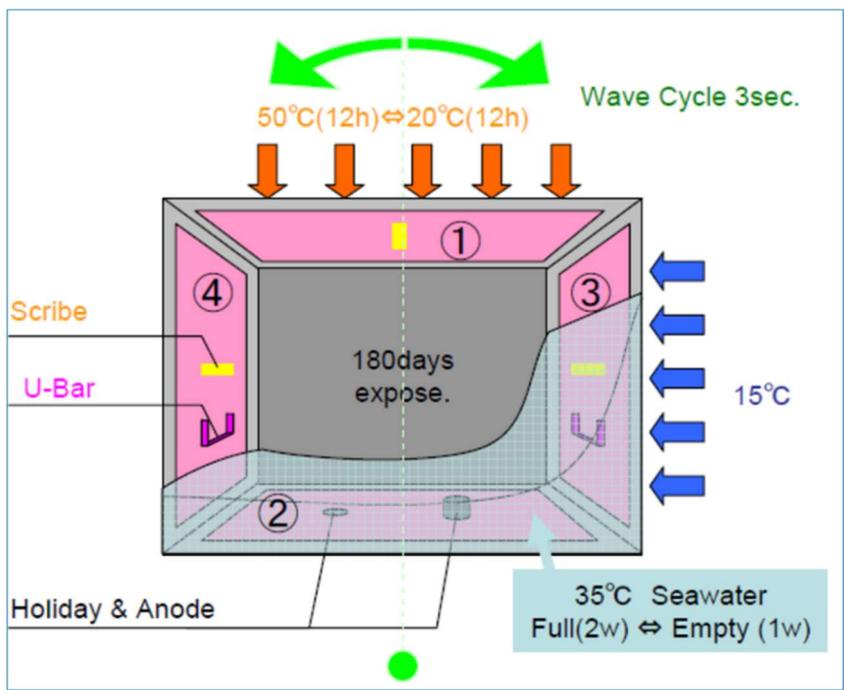
塗装仕様	ショッププライマー A	エポキシ系防食塗料 B	
	グレー色	クリーム色	ライトグレー色
C	-	160 μm x 1	160 μm x 1
D*1	20 μm x 1	160 μm x 1	160 μm x 1

*1: ショッププライマー塗装後、2ヶ月間の屋外暴露を実施。水道水洗浄の後、防食塗料の塗装を実施した。

2. 試験条件

(1) バラストタンク環境模擬試験

チャンバー内各面		試験条件等
①バラストタンク デッキ裏を模擬	Top wave tank panel with scribe	50°Cx12時間⇔20°Cx12時間 (Scribe あり)
②タンク底面を模擬 (アノードの影響を確認)	Bottom wave tank panel with anode	(アノード、未塗装部あり)
③船側外板を模擬 (温度勾配負荷を付与)	Side wave tank panel with scribe and U-bar/Cooling	15°C (U-bar と Scribe あり)
④ホールド隣接側板を模擬	Side wave tank panel with scribe and U-bar/No cooling	(U-bar と Scribe あり)
その他	チャンバー内 35°C海水を満水状態 2 週間⇔排水状態 1 週間	
	3 秒で 1 往復の揺動	
⑤加熱された燃料油タンク側鋼板を模擬 (高温環境試験)	Boundary plating between heated bunker tank and ballast tank in double bottom.	70°C



試験板寸法： 400x200x3mm

試験期間： 180日

図. 1 バラストタンク環境模擬試験機概要

(2) 連続結露試験

水槽内温度	40 ± 2 °C
槽内(相対)湿度	100%
試験片裏面温度	23 ± 2 °C
試験期間	180日

3. 試験項目と合格基準

試験項目		合格基準 (エポキシベース)
塗膜欠陥	ふくれ	ないこと
	発錆	ないこと
付着強度	層間剥離面積 60%以上	3.5MPa<
	凝集破壊面積 40%以上	3.0MPa<
塗膜欠損部からの剥離幅		< 8 mm

4. 試験結果

表1 ウェーブタンク試験結果 【写真1及び2参照】

		仕様C (SPなし)		仕様D (SPあり)		合格基準 (球形キバース)
		実測値	平均	実測値	平均	
ふくれ		なし		なし		ないこと
発錆		なし		なし		ないこと
付着強度 (MPa)	パネル ① W1	7.7	6.8	7.2	10.2	層間剥離面積 60%以上： 3.5MPa< 凝集破壊面積 40%以上： 3.0MPa<
		8.9		11.3		
	パネル ② W2	5.1		11.0		
		6.0		10.4		
	パネル ③ W3	7.6		12.8		
		6.4		11.1		
	パネル ④ W4	7.1		8.7		
		5.9		8.9		
スクライブからの 錆幅 (mm)	パネル ① W1	9.5	5.8	6	3.7	< 8 mm
	パネル ③ W3	4		2		
	パネル ④ W4	4		3		
塗膜欠落からの剥 がれ (電気防食) (mm)	パネル ② W2	4	-	2	-	< 8 mm

表2 高温環境試験結果 【写真2参照】

		仕様C (SPなし)		仕様D (SPあり)		合格基準 (°キバース)
		実測値	平均	実測値	平均	
ふくれ		なし		なし		ないこと
発錆		なし		なし		ないこと
付着強度 (MPa)	パネル ⑤	6.3	6.0	7.8	10.9	層間剥離面積 60%以上： 3.5MPa< 凝集破壊面積 40%以上： 3.0MPa<
		5.8		13.3		
		5.9		9.8		
		7.3		13.6		
		5.7		10.8		
		5.2		9.8		

表3 連続結露試験結果 【写真2参照】

		仕様C (SPなし)		仕様D (SPあり)		合格基準 (°キバース)
		実測値	平均	実測値	平均	
ふくれ		なし		なし		ないこと
発錆		なし		なし		ないこと
付着強度 (MPa)	パネル ⑥	7.2	7.5	11.2	9.8	層間剥離面積 60%以上： 3.5MPa< 凝集破壊面積 40%以上： 3.0MPa<
		6.5		11.9		
		7.0		9.3		
	パネル ⑦	8.8		10.6		
		7.4		9.6		
		7.8		6.0		

以上、両者はいずれもPSPCの合格基準を満たし、有意な差は認められなかった。

なお、スクライブからの錆幅については、「スクライブの両側の錆の幅を計測し、それぞれの試験片に付いて最大錆幅を特定すること。判定のために、大きい方から3つの平均を記録すること。」とされている。

付着強度を確認するため、Pull-off試験が実施される。

被試験部に金属製のドーリー(試験円筒)を接着、接着剤の硬化後試験機によりドーリーを介して塗膜の垂直方向に引張試験を行い、破壊時の強度と破壊部位を確認するものである。

破壊の形態として、塗膜内部が破壊する「凝集破壊」と、塗膜間あるいは塗膜～素地間で破壊する「付着破壊(層間剥離)」がある。

一般に界面(層)間の付着が良好と考えられる「凝集破壊」が望ましいとされ、PSPCの合格基準/破壊強度としてはいずれの試験においても

- 層間剥離面積 60%以上： 3. 5 MP a を超える
 - 凝集破壊面積 40%以上： 3. 0 MP a を超える
- 強度が定められている。

以上

写真 1-1 ウェーブ試験終了後の塗膜欠陥部(Scribe)からの剥離幅

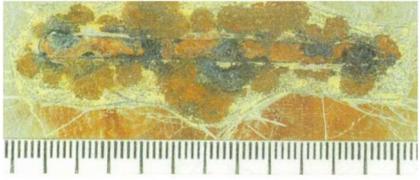
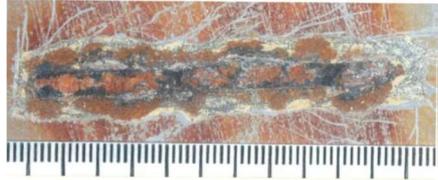
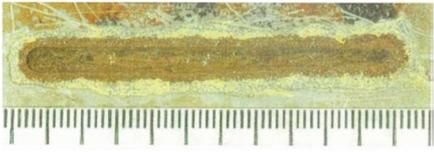
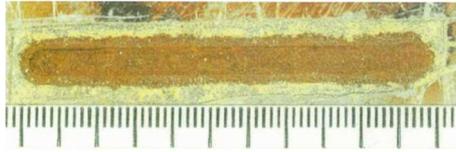
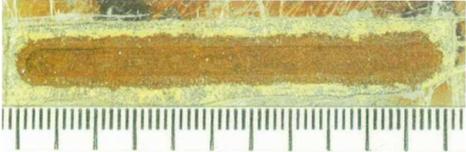
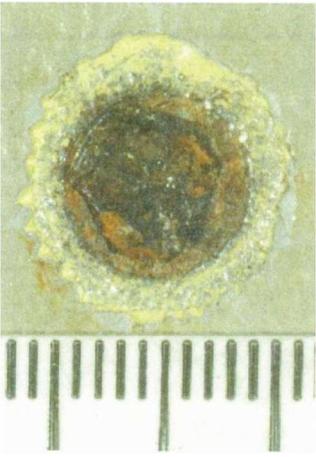
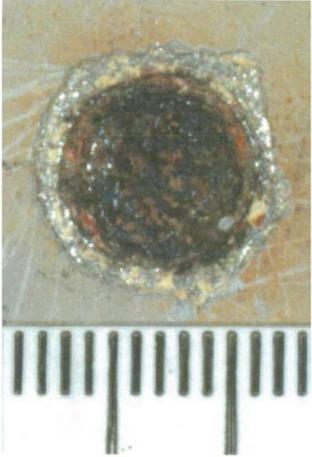
		仕様 C (SP なし)	仕様 D (SP あり)
塗膜欠陥部 Scribe から の剥離幅 (mm)	パネル① W1		
		9.5	6
	パネル② W3		
		4	2
	パネル④ W4		
		4	3

写真 1-2 ウェーブ試験直後の塗膜欠陥部(Holiday)からの剥離幅

		仕様 C (SP なし)	仕様 D (SP あり)
塗膜欠陥部 Holiday から の剥離幅 (mm)	パネル② W2 Cathodic protection		
		4	2

<塗膜欠損部からの剥離幅について>

ウェーブ試験終了後の塗膜欠損部からの剥離幅について

(1) 塗膜欠損部/Scribe からの剥離について

ウェーブ試験においては、

W1:バラストタンク デッキ裏模擬

W3:同 船側外板側模擬

W4:同 ホールド隣接側板模擬

の試験片 3 枚について、塗膜欠損部/Scribe を設け、防食試験に供している。

防食試験においては、この塗膜欠損部を中心に塗膜欠陥や鋼板の腐食進行が多く発生するため、この部分を中心とした評価が優先して実施される。

特に、この塗膜欠損部周辺の膨れや剥離の発生、腐食の進行を確認するため、試験期間終了後に Scribe 部からナイフを入れ、健全状態の塗膜を残してその他を除去し、その剥離幅や錆幅を評価基準の一つとしている。

上記の 3 枚の試験片においては、一般にデッキ裏模擬の試験片で最も腐食等が進行する傾向にある。

今回ショッププライマーなし、ありの試験結果を提示しているが、例えばショッププライマーなし、パネル①"W1"において、Scribe 部を挟んで上下に広がる剥離部を取り上げ、この部分について最大となる剥離幅から 3 箇所値を取り上げ、その平均が記録され"9.5mm"とされている。

(2) 塗膜欠損部/holiday からの剥離について

同試験において、

W2:バラストタンク タンク底面模擬

の試験片には、電気防食の影響を確認するため、アノードが設置され、また塗膜欠損部/holiday が設けられている。

没水環境において電気防食が働くとカソード反応に伴い腐食生成物が析出、アルカリ環境になるが、こうした環境の塗膜への影響を確認するため、試験期間終了後に holiday 部からナイフを入れ健全塗膜を残してその他を除去、その剥離幅を評価基準としている。

以上

試験	パネルNo.	仕様C (SPなし)								仕様D (SPあり)							
ウェーブ タンク 試験	パネル① W1																
	パネル② W2																
	パネル③ W3																
	パネル④ W4																
高温試験	パネル⑤																

試験	結露試験	
パネルNo.	パネル⑥	パネル⑦
仕様C (SPなし)		
仕様D (SPあり)		

11 January 2024

The effect of shop primers on anti-corrosion coating systems.

Japan Paint Manufacturers Association,
Technical Committee, Marine Paint Subcommittee

The purpose of applying shop primer is 'steel primary corrosion protection', which prevents rusting during the machining and assembly process after the primary surface treatment of the delivered steel.

The shop coat method using this is an essential part of the current block assembly method for newbuilding process.

After block fabrication and prior to the application of anti-corrosion paint, the surface is treated as a secondary surface treatment for rusting areas, weld burns, fume adhesion and other contaminants. The IMO Performance Standard for Painting (PSPC) stipulates that sound shop primer coated areas that have passed a prior paint certification test should be treated by sweep blasting, high-pressure water washing or equivalent. This is done to remove white rust, dust and other contaminants resulting from the oxidation of the zinc contained in the shop primer.

In other words, on the basis of such treatment, the maintenance of a sound shop primer coating is considered acceptable in combination with the relevant shop primer and anticorrosion paint. (This treatment includes the appropriate removal of welding fumes and other foreign matter.)

In the paint certification tests for the same standard, the combination of shop primer and epoxy-based anti-corrosion paint is tested as prescribed, and only those combinations that pass are approved as a system.

The Appendix (Appendix 1: Performance of anticorrosion coating systems for ballast tanks with and without shop primer application) shows the results of IMO Paint Performance Standards (PSPC)/WBT accreditation tests conducted on Specification C without and Specification D with the application of shop primer.

For shop primer application specification D, after the shop primer was applied, a two-month outdoor exposure was carried out, followed by a simple cleaning with a soft sponge and tap water, drying and then a coating of anticorrosion paint.

As a result, the acceptance criteria are met both with and without the application of shop primer and no significant differences are found.

[Annex 1].

Performance of corrosion protection coating systems for ballast tanks with and without shop primer application.

1.1 Paint specifications

Surface preparation: blast treatment (ISO8501-1:2007 Sa 2^{1/2})

Surface roughness: R_{max} 50 - 75 μm

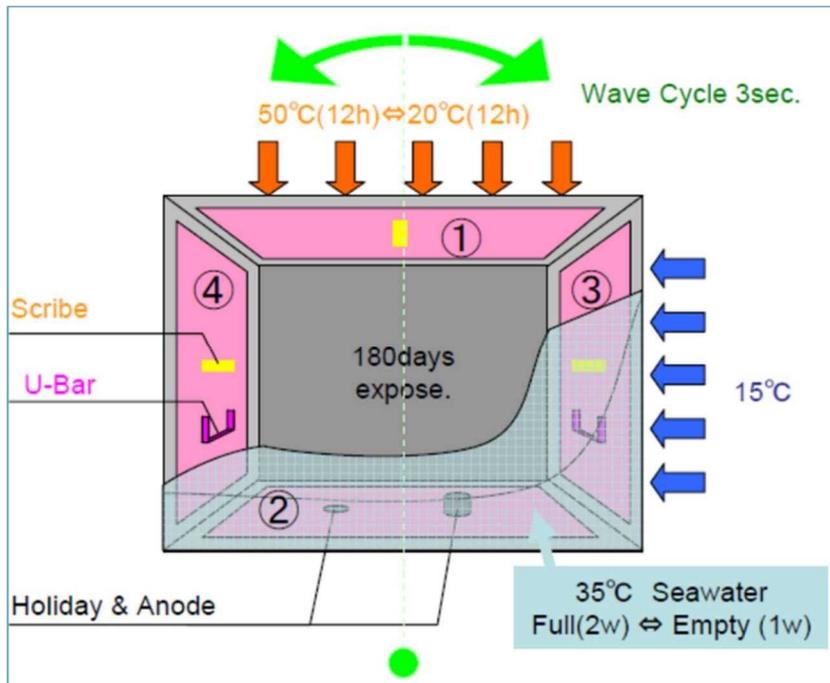
Paint specifications	Shop primer grey	Epoxy anticorrosion paint B	
		cream	light grey
C	-	160 μm x 1	160 μm x 1
D*1	20 μm x 1	160 μm x 1	160 μm x 1

*1: Outdoor exposure for 2 months after shop primer coating. After washing with tap water, a coating of anticorrosion paint was applied.

2. Test conditions.

(1) Ballast tank environmental simulation tests.

Inside of the chamber		Test conditions, etc.
(i) Simulated upper deck	Top wave tank panel with scribe	50° C x 12 hours ⇔ 20° C x 12 hours (With scribe)
(ii) Simulated tank bottom. (Check anode impact).	Bottom wave tank panel with anode	(Anodes, with holiday)
(iii) Simulated ship's side hull. (with temperature gradient loading).	Side wave tank panel with scribe and U-bar/Cooling	15° C (With U-bar and scribe)
(iv) Simulated adjacent side plate to cargo hold.	Side wave tank panel with scribe and U-bar/No cooling	(With U-bar and scribe)
Other.	In the chamber 35° C seawater in full for 2 weeks ⇔ empty for 1 week	
	1 reciprocal waving motion in 3 seconds	
(5) Simulated side steel plate of heated fuel oil tank. (High temperature test)	Boundary plating between heated bunker tank and ballast tank in double bottom.	70° C



Test plate dimensions: 400x200x3 mm

Test period: 180 days

Fig. 1 Outline of Wave tank test conditions

(2) Continuous condensation test

Temperature in the tank	40 ± 2° C
In-tank (relative) humidity	100%.
Specimen backside temperature	23 ± 2° C
Test period	180 days

3. Test items and acceptance criteria

Test items		Acceptance Criteria (Epoxy-based)
Paint film defects	Blister	No blisters
	Rust	No rust
Adhesion strength	Adhesive failure between substrate and coating or between coats for 60% or more of the area.	3.5 MPa <
	Cohesive failure in coating for 40% or more of the area.	3.0 MPa <
Peeling width from coating defects.		< 8mm

4. Test results.

Table 1: Wave tank test results [see photos 1 and 2].

		Spec. C (without SP)		Spec. D (with SP)		Acceptance criteria (epoxy- based)
		measured value	average	measured value	average	
Blister		No blister		No blister		No blisters
Rust		No rust		No rust		No rust
Adhesion strength (MPa)	panel (i) W1	7.7	6.8	7.2	10.2	Adhesive failure area 60% or more: 3.5 MPa < Cohesive failure area 40% or more: 3.0 MPa <
		8.9		11.3		
	panel (ii) W2	5.1		11.0		
		6.0		10.4		
	panel (iii) W3	7.6		12.8		
		6.4		11.1		
	panel (iv) W4	7.1		8.7		
		5.9		8.9		
Undercutting from scribe (mm)	panel (i) W1	9.5	5.8	6	3.7	<8mm
	panel (iii) W3	4		2		
	panel (iv) W4	4		3		
Disbondment from artificial holiday (Cathodic protection) (mm)	panel W2 (ii)	4	-	2	-	<8mm

Table 2: High-temperature environment test results [see photo 2].

		Spec. C (without SP)		Spec. D (with SP)		Acceptance criteria (epoxy- based)
		measured value	average	measured value	average	
Blister		No blister		No blister		No blisters
Rust		No rust		No rust		No rust
Adhesion strength (MPa)	panel (v)	6.3	6.0	7.8	10.9	Adhesive failure area 60% or more: 3.5 MPa < Cohesive failure area 40% or more: 3.0 MPa <
		5.8		13.3		
		5.9		9.8		
		7.3		13.6		
		5.7		10.8		
		5.2		9.8		

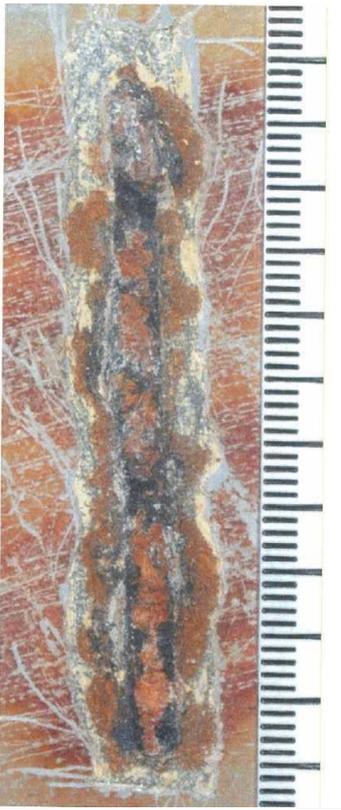
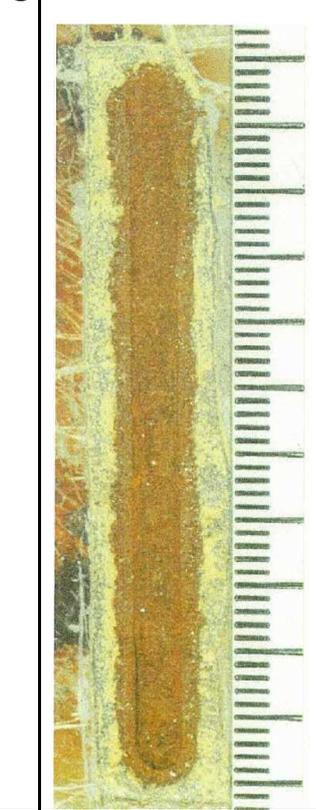
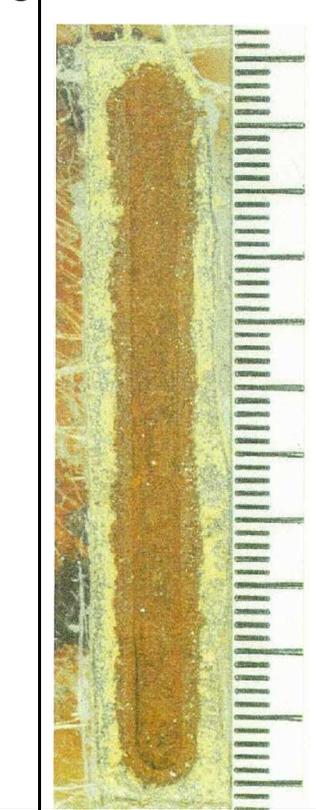
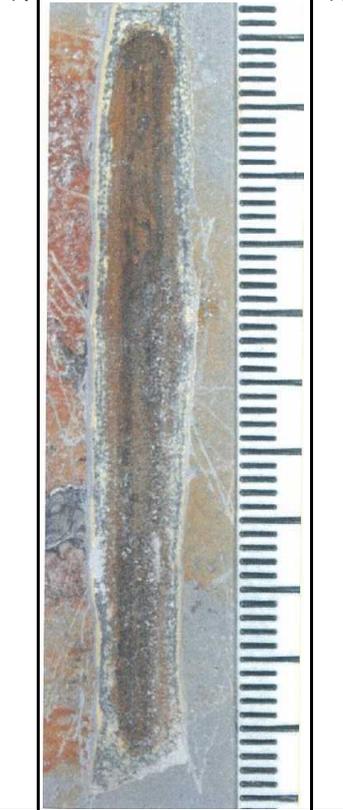
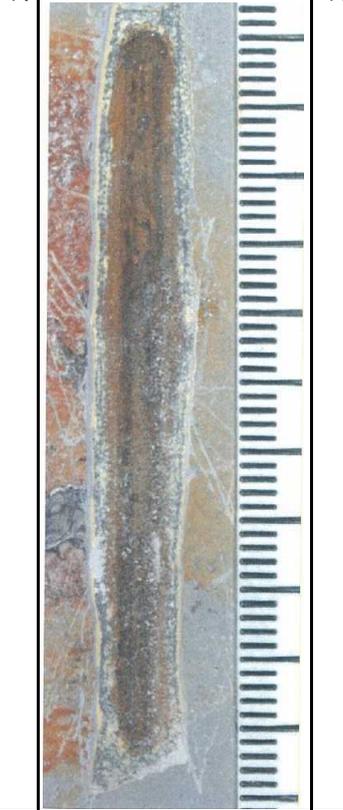
Table 3: Continuous condensation test results [see photo 2].

		Spec. C (without SP)		Spec. D (with SP)		Acceptance criteria (epoxy- based)
		measured value	average	measured value	average	
Blister		No blister		No blister		No blisters
Rust		No rust		No rust		No rust
Adhesion strength (MPa)	panel vi)	7.2	7.5	11.2	9.8	Adhesive failure area 60% or more: 3.5 MPa < Cohesive failure area 40% or more: 3.0 MPa <
		6.5		11.9		
		7.0		9.3		
	panel vii)	8.8		10.6		
		7.4		9.6		
		7.8		6.0		

These both met the PSPC acceptance criteria and no significant differences were found.

For the undercutting from the scribe, the performance standard describe that "The undercutting along both sides of the scribe is measured and the maximum undercutting determined on each panel. The average of the three maximum records is used for the acceptance."

Photo 1-1 Peel width from the defective part of the coating (Scribe) after completion of the wave test.

Spec. C (without SP)	Spec. D (with SP)
<p>Panel (i) W1</p>  <p>9.5</p>	 <p>6</p>
<p>Panel (iii) W3.</p>  <p>4</p>	 <p>2</p>
<p>Panel(iv)W4</p>  <p>4</p>	 <p>3</p>

Coating film defects / width from scribe (mm)

Photo 1-2 Peel width from the coating defect (Holiday) after completion of the wave test.

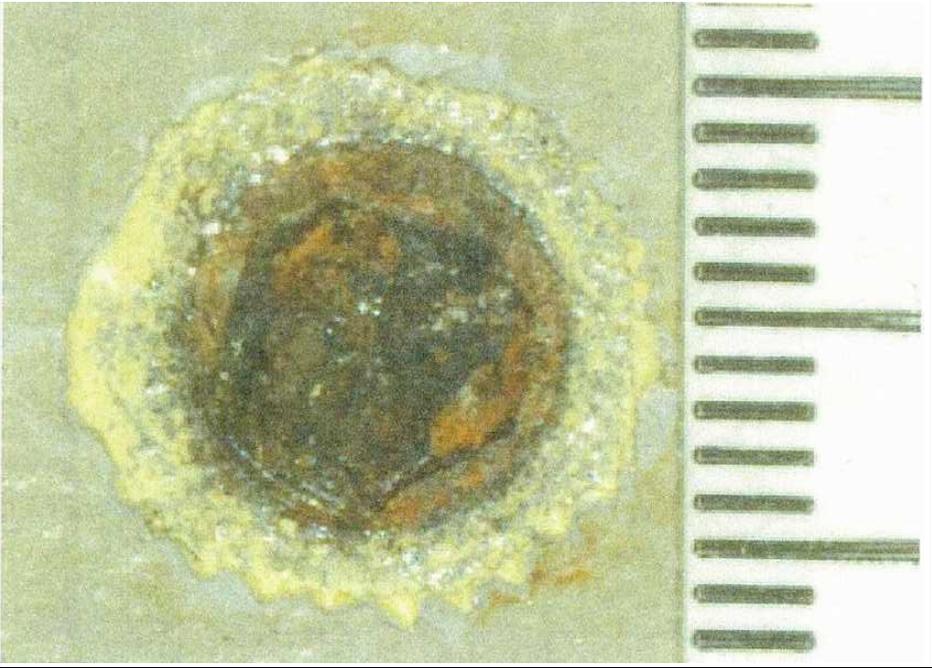
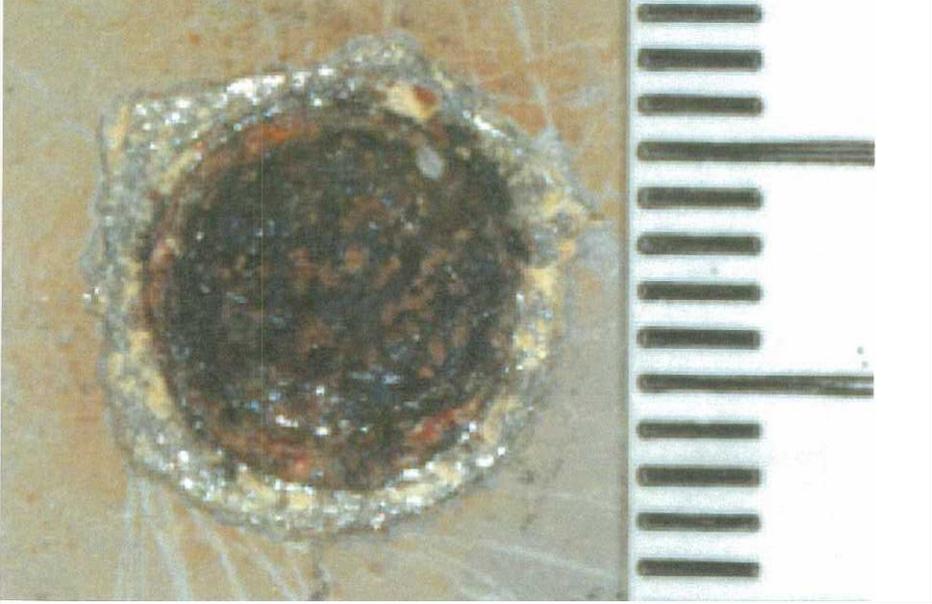
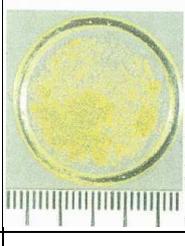
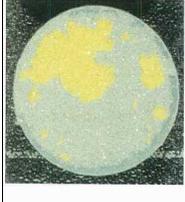
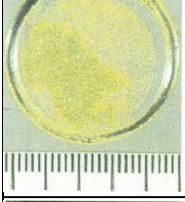
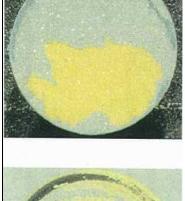
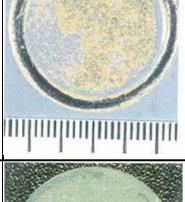
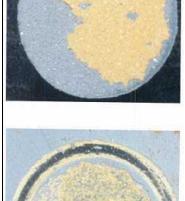
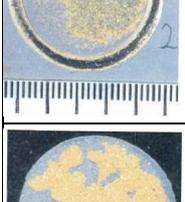
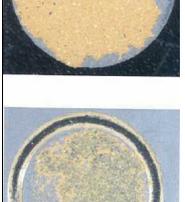
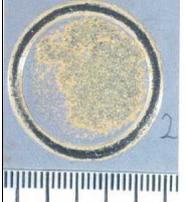
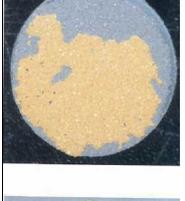
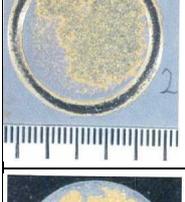
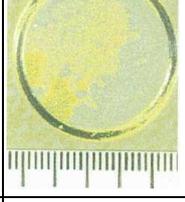
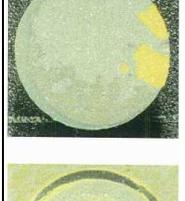
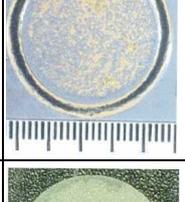
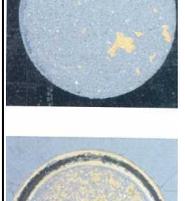
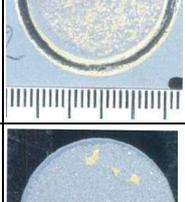
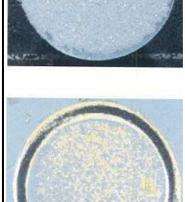
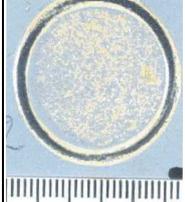
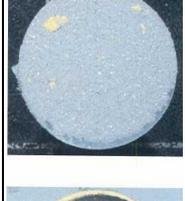
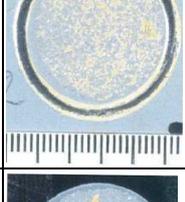
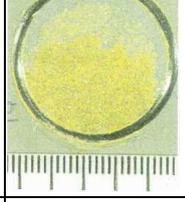
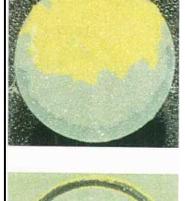
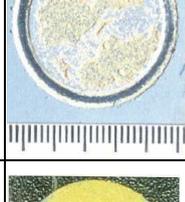
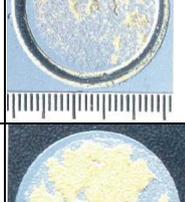
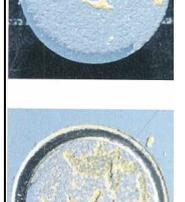
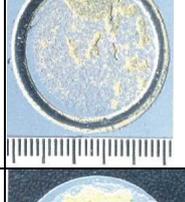
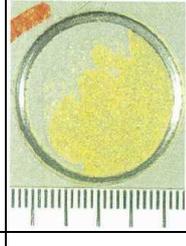
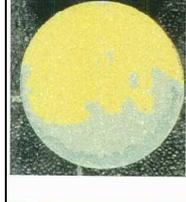
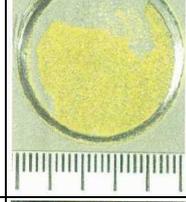
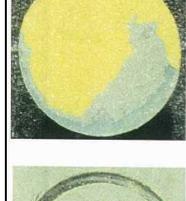
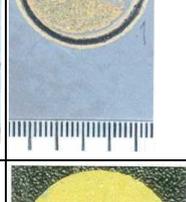
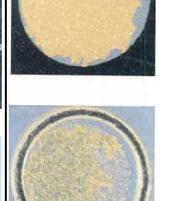
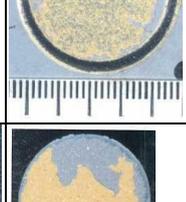
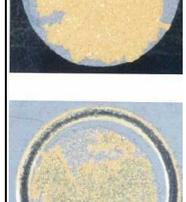
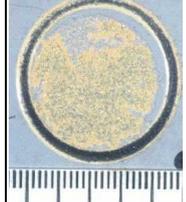
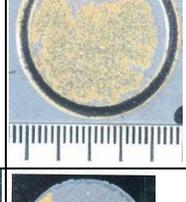
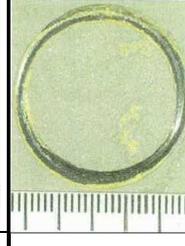
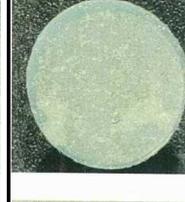
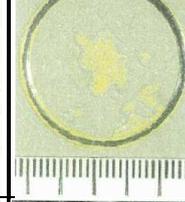
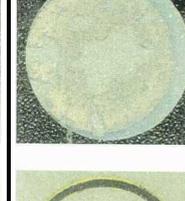
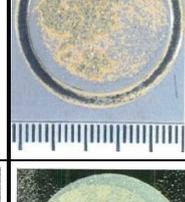
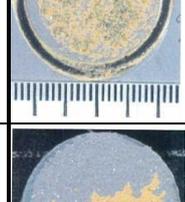
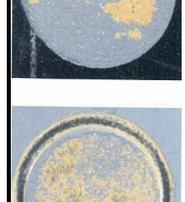
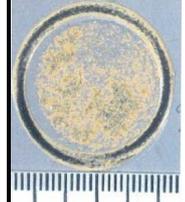
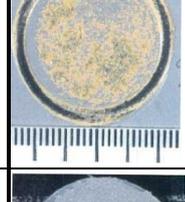
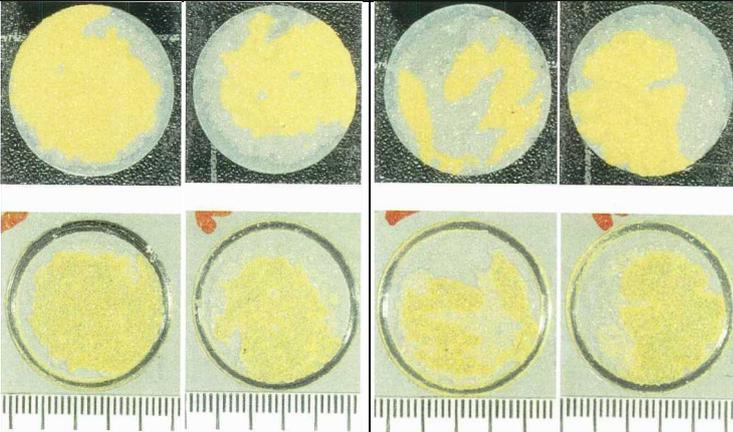
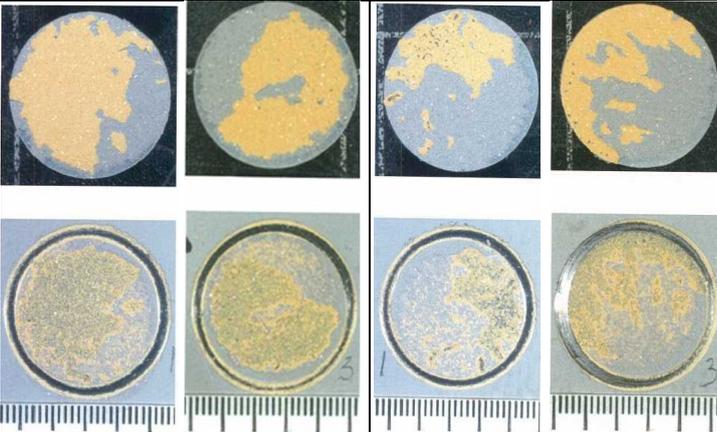
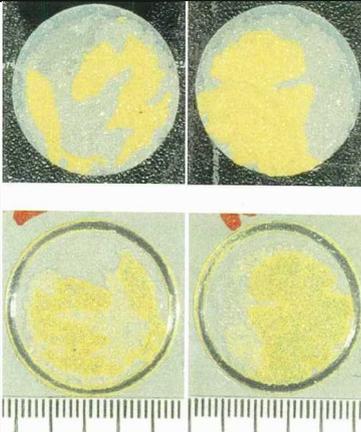
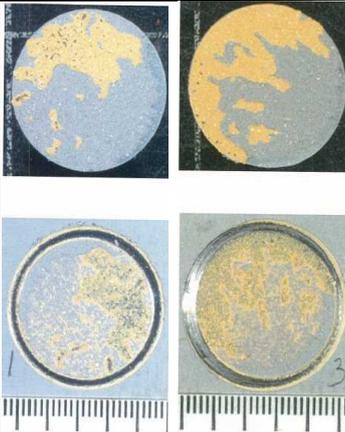
		<p>Spec. C (without SP)</p> 	<p>Spec. D (with SP)</p> 	<p>2</p>
<p>Paint film deficient area From Holiday/Peeling width (mm)</p>	<p>Panel (ii) W2 Cathodic protection</p>	<p>4</p>	<p>2</p>	

Photo 2 Pull-off test section

(left: specimen side, right: dolly side)

examination	Panel no.	Spec. C (without SP)						Spec. D (with SP)					
	Panel (i) W1												
Wave tank test	Panel (ii) W2												
	Panel (iii) W3												
	Panel (iv) W4												
high-temperature test	Panel (v)												

examination	Panel no.	Spec. C (without SP)	Spec. D (with SP)
condensation test	Panel (vi).		
	Panel (vii)		

添付資料 1

塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発

研究参加者名簿

2023年度「塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発」研究参加者名簿

	氏名	所属
研究参加者 (幹事)	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 ~2023.9.30	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 2023.10.1~	矢嶋 宏行	ジャパン マリンユナイテッド株式会社 有明事業所 製造部 塗装グループ グループ長
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
有識者	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・労務部 部長
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 2023.11.1~	塩田 悟	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
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 プロジェクトリーダー

添付資料 2

塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発
会議等開催状況

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

運営会議

第1回運営会議 2023年5月9日

日本船舶技術研究協会会議室及びオンラインのハイブリッド開催

- ・2023年度実施研究計画について

第2回運営会議 2024年2月13日

日本船舶技術研究協会会議室及びオンラインのハイブリッド開催

- ・塗装前処理検査のデジタル化プロジェクトとりまとめについて

タスクフォースミーティング

第1回タスクフォースミーティング 2023年7月11日 オンライン開催

- ・研究開発の進捗について

第2回タスクフォースミーティング 2023年11月18日

川崎重工業東京本社及びオンライン開催

- ・研究開発の進捗について

ブラストグレード計測実機・アプリのデモ

2023年8月30日 川崎重工業 坂出工場

- ・ブラストグレード計測機器 IndiGo の動作検証
- ・ブラストグレード計測専用アプリの動作検証/レビュー

アプリ説明会

2023年12月19日 オンライン開催（午前、午後の2回）

- ・スマホ IndiGo 制御アプリ操作方法
- ・PC用データ転送ソフトウェア操作法

添付資料 3

塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発

参加各社業務分担

塗装前処理検査のデジタル化に関する研究開発 研究参加者 業務分担表

	業務分担							
	KHI	今治	JMU	新来島	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								
蛍光X線分析によるプライマ除去率の分析及び結果取纏め	○							
分光分析によるプライマ除去率の分析及び結果取纏め	○							
分析結果の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
②面積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の取り纏め	○							
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	○							
定量分析機器を用いた定量計測及び結果取纏め	○							
分光分析による定量分析及び結果取纏め	○							
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の検討	○	○	○	○	○	○	○	○
プロトタイプの製作	○							
現場検証	○	○	○	○	○	○	○	○
現場検証の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤実用機の開発								
実用機の仕様の検討	○	○	○	○	○	○	○	○
実用機の製作	○							
現場検証	○	○	○	○	○	○	○	○
現場検証の評価	○	○	○	○	○	○	○	○
⑥塗装前鋼材状態による防食性能に関する調査研究								
性能確認試験の実施及び結果取纏め	○							
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

- 設備拡張等を背景とした中韓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持続的に発展するためには、得意とする環境対応船等の商品力向上に加え、設備規模あ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。
- 特に塗装は、工程の殆どが手作業で、品質も施工者の技能に依存し、作業工数は大きく、品質の均一性の確保も困難であり、改善余地は大きい（作業工数は極めて大きく（全体の約2割を占める））。
- このため、自動化・デジタル化技術を応用して塗装工程の効率と塗装品質の向上を図るデジタル計測機器・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り、以て船舶産業の発展の寄与する。

□ 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
 - ・ プラストグレードについて、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を開発。
 - ② 塗装作業・検査の自動化・デジタル化
 - ・ ストライプコートについて、ストライプコート用先端器具を搭載したポータブル自動塗装機器を開発。
 - ・ 塗装膜厚について、ハイパースペクトルカメラ技術を用いた塗膜厚計測機器を開発。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た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：1億4,701万円（80%助成）
2022年度7,046万円、2023年度・7,655万円



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1) 事業計画 (実施内容・スケジュール)



- **事業内容**
- ① 塗装前処理検査のデジタル化：プラストグレードの定量測定機器
 - ・ 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）
 - ・ プラストグレードの定量測定機器のプロトタイプ機の製作・実用機の開発（マルチスペクトルカメラ、実用化課題）
 - ② 塗装作業・検査の自動化・デジタル化：ストライプコート自動塗装機器
 - ・ ストライプコート自動塗装機器のプロトタイプ機の製作・実用機の開発（溶接部、突起部等の実用化課題）
 - ③ 塗装作業・検査の自動化・デジタル化：塗膜厚測定自動化機器
 - ・ 塗膜厚測定自動化機器のプロトタイプ機の製作・実用期の開発（ハイパースペクトルカメラ、実用化課題）
 - ・ 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：プラストグレードの定量測定機器開発							
塗装前処理計測技術の精度向上							
プロトタイプ機の開発				実用機の開発			
② 塗装作業・検査の自動化・デジタル化：ストライプコート							
プロトタイプ機の製作				実用機の開発			
③ 自動塗装機器塗装作業・検査の自動化・デジタル化：塗膜厚測定自動化機器							
プロトタイプ機の開発				実用機の開発			
		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) 事業概要

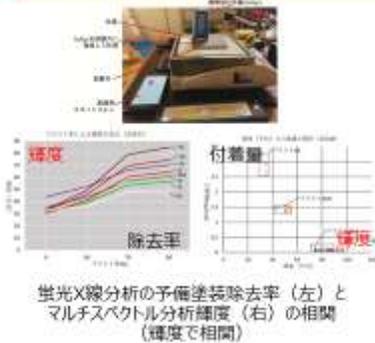


<p>➤ ①プラストグレードの定量測定機器</p> <ul style="list-style-type: none"> 2021年度に検証したマルチスペクトルカメラによる塗装前処理状態の定量計測技術を用いた実用デジタル機器の開発を実施。 	<p>蛍光X線</p> <p>マルチスペクトル (可視光+紫外線+赤外線)</p> <p>試験片</p> <p>試験片</p> <p>蛍光X線分析の予備塗装除去率とマルチスペクトル分析輝度の相関</p>
<p>➤ ②ストライプコート自動塗装機器</p> <ul style="list-style-type: none"> 2021年度に検証したストライプコート用先端器具を搭載したポータブル機器の開発を実施。 	<p>エッジ部の塗装の問題とストライプコートの現場</p>
<p>➤ ③塗膜厚測定自動化機器</p> <ul style="list-style-type: none"> 2021年度に検証したハイバ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。 	<p>試験片</p> <p>カメラ画像</p> <p>ハイバースペクトルカメラによる面計測と膜厚分析イメージ</p>
<p>①塗装前処理 (プラスト処理) ②スプレーコート ③ストライプコート ④膜厚検査</p> <p>塗装工場での工程</p>	<p>①光学 ②マルチスペクトル ③ハイバースペクトル</p> <p>光学カメラと多波長分光カメラの違い</p>
<p>➤ プロジェクト参加者</p> <ul style="list-style-type: none"> 今治造船、川崎重工業、 ジャパン マリンユナイテッド、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、楢垣造船 (研究参加者)、九州大学 (関係者) 	

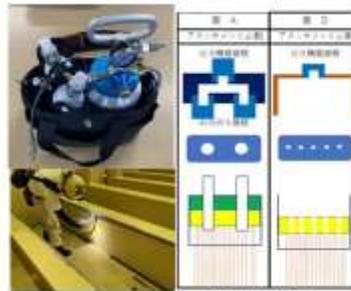
塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2
(別添2) 事業概要 (22年度の進捗状況)



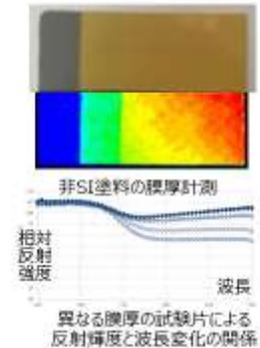
- 全般
- 研究参加者で構成するプロジェクト運営会議を開催 (6/23第1回)。
- ①デジタル計測機器の開発：プラストグレード定量測定機器
- 分光分析によるプラストグレード識別手法、プロトタイプ機を検討。
- ②塗装作業の自動化：ストライプコート自動化機器開発
- ポータブル試作機制作、現場試行結果を受けた試作機の改良を検討。
- ③デジタル計測機器の開発：塗膜厚測定自動化機器
- SI塗料 (目視確認できる機能性塗料) 以外の塗料への適用性・膜厚推定手法、プロトタイプ機を検討。



プラストグレードの定量測定機器
 (マルチスペクトルカメラ定量計測)



先鋒器具改修系
 試作機の製作 (現場試行) 試作機の改良 (刷毛先アタッチメント)
 ストライプコート自動化機器
 (現場用ポータブル機器)



塗膜厚測定自動化機器
 (ハイバースペクトルカメラ定量計測)

- プロジェクト参加者
- 今治造船、川崎重工業、 ジャパン マリンユナイテッド、住友重機械マリンエンジニアリング、新来島どく、常石造船、内海造船、楢垣造船 (研究参加者)、九州大学 (関係者)



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－

2023 年度成果報告書
概要版

2024 年（令和 6 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 <https://www.jstra.jp/> E-mail info@jstra.jp

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。