



塗装工程の自動化・デジタル化研究開発 (フェーズ2)

ーストライプコート作業の自動化プロジェクトー

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.	はじめに		1
2.	ポータブルストライプコート(SC)機器開発		1
3.	簡易自動 SC 機器開発		2
4.	簡易自動塗装機器開発検討		3
5.	まとめ		4
添付資料 1	ストライプコート作業の自動化に関する研究開発	研究参加者名簿	5
添付資料 2	ストライプコート作業の自動化に関する研究開発	会議等開催状況	7
添付資料 3	ストライプコート作業の自動化に関する研究開発	参加各社業務分担	9
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	11
参考資料 2	ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料		14

1. はじめに

2006年に採択されたIMO規則（PSPC）ではウォーターバラストタンク（WBT）など適用区画内のフリーエッジと溶接部に対し2回のストライプコート(以下SCと記す)が要求され、大型船ではSC総延べ長は数百kmにもなり、その工数は総塗装工数の約1割にも及んでいる。また、SC総長が長いことに加え、ロンジやトランスのフランジ裏溶接部や小穴、中穴の穴コバなど、SCの適正品質を確保するのが困難な箇所も多く存在し、SC作業者の負荷が非常に大きくなっている。

この膨大なSC作業のほとんどが刷毛による手作業にて行われているのが現状であり、SC品質確保を前提に、SC作業の負荷低減/工数削減を目指した自動SC機器の開発が必要となってきている。

今年度は、フェーズ1事業より進めている塗料自動供給機能を含むポータブルSC機器（手動）の開発をメインに進めるとともに、簡易自動SC機器、簡易自動塗装(スプレー)機器に関する検討を行った。

2. ポータブルストライプコート(SC)機器開発

フェーズ1で開発したポータブルSC機器について、軽量化と塗装現場での実用性を向上させるべく改修を進め、改良型試作機を完成させた。

改良型試作機は、フェーズ1の結果を受けて、

- 圧縮空気を用いる圧送式
- 塗料タンク部、再充填可能な加圧用圧縮エアタンク、塗料ホース、および吐出量調整バルブから成る構成
- 船殻ブロック内で移動することを考慮し、マンホールを通過可能なサイズ
- 作業性を確保するため、使用材料を工夫し軽量化
- 一人で作業することを前提とし、背負い方式、もしくは肩掛け方式
- 第一類危険個所に相当する塗装工場内で使用するため、防爆仕様

とした。

また、刷毛部分についても、タレ等を抑制する改良を行った。

この改良された試作機を、事業に参加する各社に配布し、現場にて試験塗装をしてもらうことで、様々な施工状況で発生する機器の課題を収集し、その対策について検討を行った。

図2.1に試験塗装の概要及び作業者からのコメント（抜粋）を示す。

作業者からのコメント等を検討した結果、次年度の課題として、

- ①刷毛からの塗料タレを防ぐためのさらなる改良
- ②ローラ形状を見直し取り回し性の向上
- ③圧送機器の操作性や耐久性の向上 等を抽出した。

➤ ①ポータブルSC機器開発

- ポータブルSC機器・試作機開発
2021年度に実施したフェーズ1の結果を基に、試作機を開発
- 造船現場における試行
開発した5機の試作機を用いて、参加各社による実船ブロックでの試行を実施
- 実用機開発に向けた課題の抽出・整理

◎現場試行を通じた改良点の洗い出し



JMUによる試行



SHI-MEによる試行



今治造船による試行

○作業によるコメント

1. 圧送刷毛

- 1) 刷毛からの塗料タレ発生による能率低下、手直し増加 2) 刷毛の塗料含みのバラツキによる毛先の変形 3) 準備、片付けの時間増

2. 圧送ローラ

- 1) 重量、サイズ過大

3. 圧送機器

- 1) 塗料、圧縮空気の漏洩 2) 塗料タンクふたの開閉時に手が滑る 3) 塗料タンクふたが完全に閉まっているか不明
4) 塗料タンクOリングの耐久性向上 5) 塗料タンクの整備性向上 6) ジョイントの作業性向上 7) 刷毛部のジョイントの耐久性向上
8) 塗料ホースのキンク対策 9) 刷毛の塗装作業性向上 10) 圧縮エアポンペが高張り、配管が煩雑 11) 装置が重い

図 2.1 参加造船所による試験塗装の様子及び作業からのコメント（抜粋）

3. 簡易自動 SC 機器開発

フェーズ 1 で行ったストライプコート作業の計測および分析の結果から簡易自動 SC 機器の要件定義、要求仕様の検討を行った。図 3.1 に検討を行った簡易自動 SC 機器の要件定義と、要求仕様の概要を示す。

➤ ②簡易自動SC機器開発

- 要件定義、及び仕様検討
2021年度に実施したフェーズ1のストライプコート(SC)作業の分析結果を基に、簡易自動SC機器に求められる要件、及び仕様検討を実施

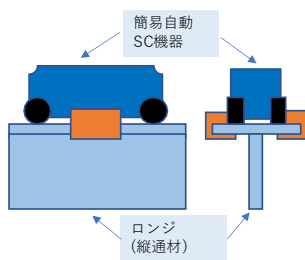


図4 簡易自動SC機器

機器仕様

◎ **要件定義**：従来、人が行っていたSC作業手順の内、機器に分担させる項目を抽出

1. **刷毛への塗料供給** ⇒ 塗料の自動供給
2. **フリーエッジへの塗料塗布** ⇒ 自動走行、SC箇所への刷毛保持(エッジから10mm幅の範囲)
3. **塗膜状態確認** ⇒ 異常(カスレ、無塗装等)検知後/SC完了後の自動停止

◎ **仕様検討**：作業効率向上/品質安定化を目的に、上記機能を含み、以下の仕様を設定

1. **塗料搭載**・・・2h(WBT塗料可使用時間)程度無補給で作業可となる塗料を搭載
2. **重量**・・・搭載塗料含め20kg以下(人力運搬限界)
3. **防爆仕様**
4. **動力**・・・塗料供給-高圧空気、自動走行-高圧空気(7kg/cm²)または電気(AC100V)
5. **1パスまたは2パスにて適正塗膜を形成**

図 3.1 簡易自動 SC 機器要件定義及び仕様の概要

4. 簡易自動塗装機器開発検討

簡易自動 SC 機器の開発は、塗装作業全般の自動化検討の一環との思想に基づき、一般的なスプレー作業についても、フェーズ 1 でストライプコートに対して実施したのと同様の作業観測／分析を行った。作業分析結果から、SC 作業分析の知見を応用し、塗装箇所を限定した簡易自動塗装機器開発の可能性を検討した。

図 4.1 にスプレー作業の観測の概要をまた、図 4.2 にスプレー作業の分析結果の概要を示す。

分析の結果、スプレー塗装作業全体に対し、ロンジ塗装の件数割合 39.8%、時間割合は 38.1%となり、共に全体の 40%弱を占め、また、移動等の間接作業を除き、塗装作業のみに限定すれば、その 50%程度を占めることが判明した。

このため、簡易自動塗装機開発は、初期検討結果として、塗装対象部位をロンジ垂直部およびフランジ裏部として進めることとする。全体に占める割合が大であることに加え、ロンジの垂直部を伝って走行させる事で安定した移動が期待できることや、プレート上を走行し、ロンジの垂直部との接触は進路保持に限定することで、被塗装部への接触を最小限にできることが期待できる。また、スプレー塗装作業者にとって作業性が悪く、視認しにくい部分を半自動機に割り振り、作業者の持つスプレーガンのホースが接触するのはプレートとロンジのフランジ表部が主となるため、作業順を考えられる作業者に割り振ることで、人と機械の分業も可能と考えられる。

一方で、分析結果は一部のブロックのみのものであるため、来年度、残りの大型船 2 ブロックの作業分析と、実施予定の小型船のスプレー動画撮影・作業分析結果も踏まえ、必要に応じ、上記提案の見直しを図ることとする。

塗装工程の自動化・デジタル化研究開発・フェーズ2 -ストライプコート作業の自動化プロジェクト 2022年度実施内容



➤ ③簡易自動塗装機器検討

○スプレー塗装の作業分析

フェーズ 1 で実施したSCの作業分析と同様に、スプレー塗装作業についても作業分析を実施

実施計画

簡易自動SC機の開発は、塗装作業全般自動化検討の一環にて行うとの思想に基づき、一般的なスプレー塗装作業についても、ウェアラブルカメラによる作業観測を行い、その分析を行う。

分析結果から、開発項目②の簡易自動SC機器における自動塗料供給機能/自動走行機能を応用し、塗装箇所を限定した簡易自動塗装機器開発の可能性を検討する。



実施状況

2022年8～9月に、JMU・有明事業所にて、右に示すウェアラブルカメラを用いて、大型バルクキャリアの平行部 3ブロック(二重底、ヒルジタンク、トップサイドタンク)を対象に、スプレー作業の動画撮影を実施。

撮影された動画を分析し、自動塗装に適する箇所を選定中。



図5 ウェアラブルカメラ

図 4.1 スプレー作業観測の概要

➤ ③簡易自動塗装機器検討

○スプレー塗装の作業分析

フェーズ1で実施したストライプコート(SC)の作業分析と同様に、スプレー塗装作業についても作業分析を実施

◎大型船・トップサイドタンクブロック
の作業観測概要と作業分析結果

作業観測の概要

観測対象：トップサイドタンク（反転）
観測作業：スプレー塗装作業
観測時間：60分
観測メッシュ：最小0.2秒
観測件数：1308件

作業分析結果

作業（塗装部材）/移動	件数割合	時間割合
プレート合計	25.40%	24.70%
ロンジ合計	39.80%	38.10%
その他構造物合計	14.40%	11.70%
間接作業（移動等）	20.40%	25.50%

検討結果、及び初期提案

◎簡易自動塗装機の適用対象箇所は、ロンジ垂直部およびフランジ裏部
を候補として進めたい。

①作業時間、作業件数共に割合大

- ・スプレー塗装作業全体に対し、ロンジ塗装の件数割合は39.8%、時間割合は38.1%となり、共に全体作業の40%程度を占める。
- ・移動等の間接作業を除き、塗装作業のみに限定すれば約50%の割合を占める。

②自動走行の要件

- ・ロンジの垂直部を伝って走行させる事で、安定した移動が期待できる。
- ・プレート上を走行し、ロンジの垂直部との接触は進路保持に限定することで、被塗装部への接触を最小限にできる。

③スプレー塗装業者との分業

- ・スプレー塗装業者にとって作業性が悪く、視認しにくい部分を半自動機に割り振る。
- ・作業者の持つスプレーガンのホースが接触するのはプレートとロンジのフランジ表部が主となるため、作業順を考えられる作業者に本自動塗装機を割り振る。

図 4.2 スプレー作業観の作業分析結果の概要

5. まとめ

本年度の活動の結果、以下の成果を得た。

- ポータブル SC 機器について、軽量化と塗装現場での実用性を向上させるべく改修を進め、改良型試作機を完成させた。改良型の試作機を用いて参加造船所において試験塗装を実施し、実用機開発に向けた課題の抽出を行った。
- フェーズ1で実施した SC 作業に対する作業分析の結果に基づき、簡易自動 SC 機器に関する要件定義と要求仕様を決定した。
- スプレー作業に関する作業分析を実施し、簡易自動塗装機に関する検討を進めた。

以上

添付資料 1

ストライプコート作業の自動化に関する研究開発

研究参加者名簿

2022年度「ストライプコート作業の自動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)	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	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	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	大成 勇二	檜垣造船株式会社工務部 次長
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

ストライプコート作業の自動化に関する研究開発
会議等開催状況

添付資料2

-ストライプコート作業の自動化に関する研究開発 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、3回のSGと1回のTFを下記日程で開催した。

◆ ストライプコート作業の自動化プロジェクト 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（2022.10.20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

- ・事業進捗状況報告
- ・実施計画および予算の変更について

第3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

◆ ストライプコート作業の自動化プロジェクト タスクフォースミーティング

第1回 TF（2023.1.19開催）：オンライン開催

- ・試作機試行状況の報告
- ・ポータブルSC機器・試作機の改良点等

添付資料 3

ストライプコート作業の自動化に関する研究開発

参加各社業務分担

添付資料3

-ストライプコート作業の自動化に関する研究開発- 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				
	JMU	今治	SHIME	檜垣	船技協
①ポータブルSC機器開発					
①-1：試作機製作	○				
①-2：試作機試行および改善点抽出	○	○	○	○	
①-3：実用機仕様検討	○	○	○	○	○
①-4：実用機の製作	○				
①-5：実用機の現場検証	○	○	○	○	
①-6：実用機の現場検証の評価、実用機の完成	○	○	○	○	○
②,④簡易自動SC機器開発					
②-1：要件定義	○	○	○	○	○
②-2：仕様検討	○	○	○	○	○
②-3：簡易自動SC機器の開発可能性の評価	○	○	○	○	○
③,⑤簡易自動塗装機器検討					
③-1：作業計画	○				
③-2：作業分析	○				
③-3：適用箇所検討	○	○	○	○	○
③-4：簡易自動塗装機器の開発可能性の評価	○	○	○	○	○
⑤-1：要件定義	○	○	○	○	○
⑤-2：塗装機仕様検討	○	○	○	○	○
⑤-3：技術的課題の抽出	○	○	○	○	○
⑤-4：導入効果検証	○	○	○	○	○

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。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

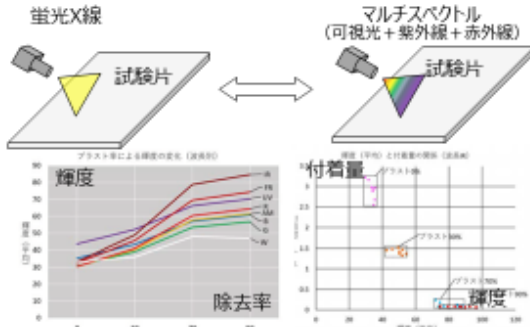
2022年度				2023年度			
1/4半期	2/4半期	3/4半期	4/4半期	1/4半期	2/4半期	3/4半期	4/4半期
① 塗装前処理検査のデジタル化							
a. 塗装前処理計測技術の精度向上							
b. 塗装前処理状態計測機器のプロトタイプ機の開発							
				c. 塗装前処理状態計測機器の実用機の開発			
② 塗装作業及び検査の自動化・デジタル化							
a. 自動塗装機器の開発							
b. 塗膜厚面計測機器のプロトタイプ機の開発							
				c. 塗膜厚面計測器の実用機の開発			
		d. 塗膜厚計測データ管理システム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

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

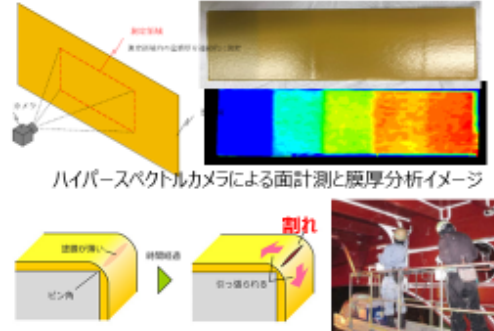


- 実施内容①塗装前処理検査のデジタル化
- 2021年度に検証したマルチスペクトルカメラによる塗装前処理状態の定量計測技術を用いた実用デジタル機器の開発を実施。

- 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強度の相関



①塗装前処理 ②スプレーコート ③ストライプコート ④膜厚検査
塗装工場での工程

①光学 ②マルチスペクトル ③ハイパースペクトル
光学カメラと多波長分光カメラの違い

- 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、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



<p>□ 塗装前処理検査 (フラストグレート)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>➢ あいまいさによる非効率</p> <p>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</p> <p>再作業の防止 過剰品質の防止 非熟練作業による検査</p>	<p>□ 塗装検査～塗膜厚検査</p> <ul style="list-style-type: none"> 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) <p>➢ 膜厚確保作業の非効率</p> <p>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</p> <p>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</p>	<p>□ 塗装作業～手塗り作業</p> <ul style="list-style-type: none"> 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) 高度ではないが技の必要な作業 (薄くならない刷毛や塗り方) <p>➢ 手作業に頼る非効率</p> <p>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</p> <p>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</p>
--	---	--

塗装工程の効率と塗装品質の向上

参考資料 2

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での
活用に関する資料



ストライプコート作業の自動化技術の 規則等での活用に関する資料

1. ストライプコート作業に関する規則等
2. ストライプコートについて
3. ポータブルストライプコーターの活用について

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

1. ストライプコート作業に関する規則等

- PSPCにおける記述
- ◆ ストライプコート(4.表1 1 塗装システムの計画 .4 作業仕様)
 - 最低、2回のストライプ塗装及び2回のスプレー塗装を行うこと。ただし、不必要な課題膜厚を避けるため、公称乾燥膜厚を満足することが証明できる場合にあつては、溶接線に限り、2回目のストライプ塗装の省略を認めることがある。2回目のストライプ塗装を省略する場合にあつては、塗装テクニカルファイルにその旨記載すること。
 - ストライプ塗装は、ブラシ又はローラーで施すこと。ローラーはスカラップ、ラットホール等のみに使用すること。
- ◆ 検査(6.2 ブロック製造時 3 及び ブロック結合時 3)
 - 表1に規定するペイント工事手順が各工程で行われたかを検査すること。
- IACS統一解釈(SC223)における記述
- ◆ 1.4 作業仕様 統一解釈
 - ストライプ塗装は、優良な塗膜が形成され、かつ、目視できる欠陥がない密着した塗膜となるよう塗布すること。その適用方法は、ブラシ又はローラーによりストライプ塗装が要求されるすべての部分が適切に塗装されることを確実にすること。ローラーはスカラップ、ラットホール等に使用し、エッジ及び溶接部には使用しないこと。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

1. ストライプコート作業に関する規則等

- IACS“IMO PSPC-Q&As and Common Interpretations”における記述
- ◆ 2 エッジ
 - エッジとは、全てのシャープエッジ(半径2mm未満)をいい、熱加工エッジ及び機械加工エッジの両方を含む。全てのシャープエッジ(半径2mm未満)は、エッジグライディングされる。型鋼等の丸く加工されたエッジを除く全てのエッジには、2回のストライプ塗装が施される。
- ◆ 3 シャープエッジ
 - エッジとは、型鋼の丸味のついたエッジを除く全てのエッジをいう。自動溶接部にはストライプ塗装が必要。
- ◆ 14 ストライプ塗装
 - MSC82において、IMO非公式専門家グループによって議論されたように、ストライプ塗装はブラシで施工されるべきであるが、スカラップ、ラットホール等はローラーを使用してもよいという理解である。
- ◆ 15 ストライプ塗装
 - MSC82において、ストライプ塗装はブラシで施工されることが確認された。これは全ての溶接部に適用される。しかしながら、最低2mmのラウンドエッジに対するストライプ塗装は、ブラシまたはローラーにより施されてよい。2回のストライプ塗装は、全ての平坦でない溶接部に対して行わなければならない。1回のストライプ塗装は、2回目のスプレー塗装後の膜厚計測でNDFTが達成されていることが確認された場合に限り、平坦な自動溶接部に適用してよい。NDFTは、溶接線の直近で計測されなければならない。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

1. ストライプコート作業に関する規則等

- IACS“IMO PSPC-Q&As and Common Interpretations”における記述
 - ◆ 16 ストライプ塗装
 - ~等とは、同等なものを意味する。(スカラップ、ラットホール等に関して)
 - ◆ 59 ストライプ塗装
 - 要求されたNDFTを達成し、気泡や塗り残しのない良好な塗膜形態を示す密着した塗膜としてストライプ塗装を施さなければならない。ストライプ塗装の塗布方法は、スプレーで適切に塗装されないすべてのエリアが、ブラシ及びローラーで含む代替塗布方法で適切に塗装されることを確実にしなければならない。
- PSPC実施ガイドライン(DE51/14/1)における記述
 - ◆ 6.1.1 PSPC要件 ガイダンス -3 ~ -6
 - 「溶接線」とは突合せ及び隅肉溶接の両方のことである。
 - 2回目のストライプ塗装の範囲を免ずるための乾燥膜厚計測は、溶接線から15mmを超えない範囲の箇所にて行って差し支えない。平坦な面のための附属書3と同様の統計的なサンプリング計測は交渉膜厚の検証に用いて差し支えない
 - 気泡や塗り残しのない良好な塗膜形態を示す密着した塗膜としてストライプ塗装を施さなければならない。
 - ストライプ塗装の塗布方法は、ストライプ塗装が要求されるすべてのエリアが、ブラシ及びローラーを含む代替塗布方法で適切に塗装されることを確実にしなければならない。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

2. ストライプコートについて

- ストライプコートとは
- ◆ 膜厚が付きづらい箇所や塗装しづらい箇所に対して、膜厚の追加や不均一な膜厚の補修のために追加的に行う塗装。
- ◆ 写真は、船齢12.5年の原油タンカーのバラスタング内。一部タンクにおいて、就航後1回塗りのストライプコートを施している。
- ◆ ストライプコートを施されたタンクは明らかに他のタンクと比較して良好な状態に保たれており、ストライプコートが防食上非常に有効であることがわかる。



船齢12.5年の原油タンカーのバラスタング内サイドロンジの状態

左：1回塗りストライプコートあり、右：ストライプコートなし

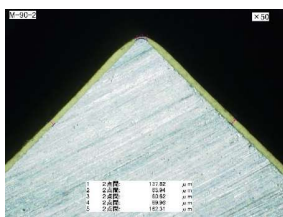
写真：日本船舶海洋工学会 平成26年度構造強度・材料溶接分野「夏の学校」講義資料より

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

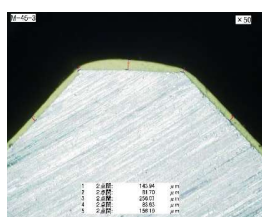
2. ストライプコートについて

○ エッジ部のストライプコート

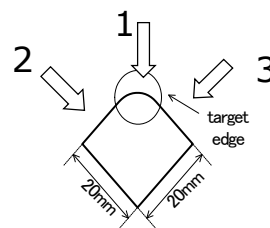
・日本船舶海洋工学会「塗装品質と工作品質の関連に関するプロジェクト研究委員会での検討



側面部 150μm
エッジ部 50~60μm



側面部 150μm
エッジ部 80~85μm



塗装方法(スプレー塗装)

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

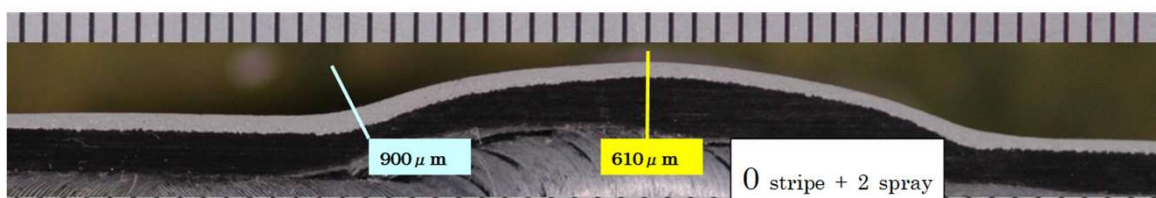
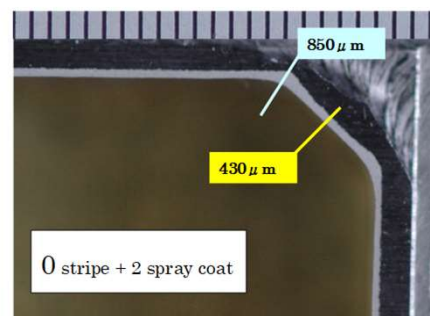
- PSPC前の仕様(シャープエッジ及び1パスグライディングのエッジにスプレー塗装で塗装した場合、エッジ部の膜厚は平坦部の膜厚の半分程度もしくはそれ以下しか付着しない。
- 膜厚不足を補うためストライプコートが必要。
- 1回のストライプコートで付く膜厚は30~60μm程度といわれているため不足分を補うために2ストライプが必要。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

2. ストライプコートについて

○ 溶接部のストライプコート

- 自動溶接の溶接ビードのような滑らかな形状をしている溶接部にはスプレーコートだけでも、意外と膜厚は付く。
- DE49において、このような資料を用いて、ロビー活動を行い、自動溶接部ビードに対して膜厚を確保できる場合には、ストライプ1回でも可との条件を認めさせた。



写真上：隅肉溶接部断面、写真下：突合せ溶接部断面
写真：日本船舶技術研究協会 平成17年度RR SPC「塗装基準に関する調査研究」
報告書より

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

2. ストライプコートについて

○ 溶接部のストライプコート



溶接部欠陥
(溶接ピット)



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

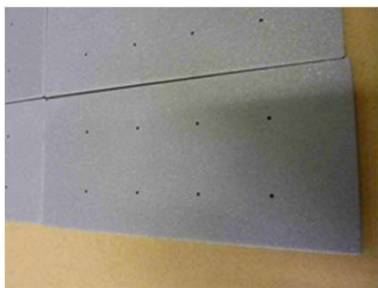
- しかしながら、溶接部には、形状不正部や溶接欠陥(ピットやアンダーカット等)が存在し、このような箇所は膜厚が付きづらかったり塗装欠陥になりやすい。
- このため、ストライプコートによる補修が必要。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

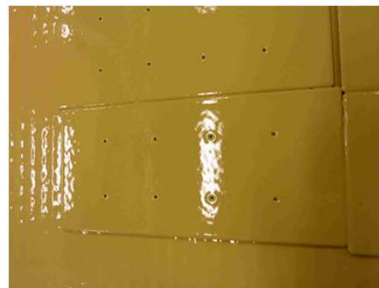
2. ストライプコートについて

○ 溶接部のストライプコート

- 溶接部のピットを模擬した試験板に対して160 μm 2回塗り (total320 μm)の塗装を行ったが、1mm Φ の模擬穴を隠ぺいすることはできなかった。
- スプレー塗装やローラーによる塗装ではこのような小さな穴や形状不正部を適切に塗装することは困難。
- このため、溶接部ストライプコートには刷毛による塗装が規定されている。



塗装前試験板



塗装後(160 μm ×2回)試験板

写真： 日本船舶技術研究協会 平成23年度「タンカー・バルカー等の構造に係る基準の整備に関する調査研究」報告書 より

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料
3. ポータブルストライプコーターの活用について

○ ポータブルストライプコーター

- 日本船舶技術研究協会の「ストライプコート作業の自動化プロジェクト」で開発しているポータブルコーター以下の特徴をもつ。
- 圧縮空気より塗料を圧送し刷毛先に供給することが出来る。
- 塗装具として、刷毛及びローラーが使用可能。
- 作業員が肩に掛けて使用することが可能な大きさ。





ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料
3. ポータブルストライプコーターの活用について

- ローラーの使用について
 - 2022年度の「ストライプコート作業の自動化プロジェクト」の中でポータブルコーターの試行を4造船所において実施した。
 - ローラーを試行した造船所より良い使用感が得られている。
 - このため、PSPCにおける、ローラーの使用について検討する。
- エッジにおけるローラーの使用について
 - PSPCの規則上、ローラーが使用できる箇所は、1.で記述したようにスカラップ及びラットホール等となっている。
 - しかしながら、IACS Q&Aの15及びNKガイドライン(2019.2)付録Ⅲにおいて、「最低2mmのラウンドエッジに対するストライプ塗装は、ブラシ又はローラーにより施されてよい」とある。
 - エッジ処理においてR=2mm以上のラウンドエッジ処理を施せば、エッジ部におけるローラーの使用が可能との記述であり、ポータブルストライプコーターに圧送ローラーを組み合わせ場合、安定して高品質のストライプコートが出来ることを実証すれば、エッジ部におけるローラー使用の可能性が高くなると考える。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

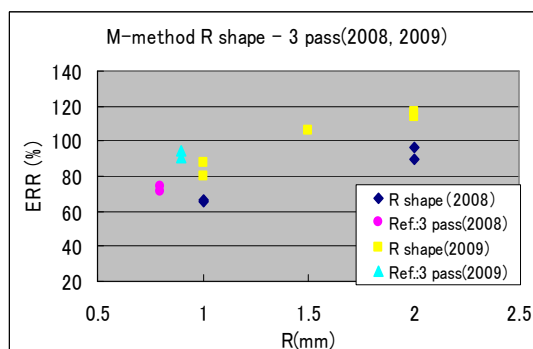
3. ポータブルストライプコーターの活用について

- 溶接部におけるローラーの使用について
 - 溶接部におけるローラーの使用に関してはPSPC上認められてはいない。
 - 現場でのポータブルストライプコーターの試行時に造船所から溶接部とエッジ部で器具を代えるのは手間になるとの指摘があった。
 - 溶接部において刷毛のみの使用が規定されている理由は、2.において記述した通り、刷毛でないとピット等の溶接部欠陥や形状不正部に適切な塗装が出来ないため。
 - 日本船舶技術研究協会の「タンカー・バルカー等の構造に係る基準整備に関する調査研究」(タンカー・バルカー等構造関係プロジェクト)IMO塗装基準に対応した船殻溶接仕様に関する調査研究(平成23年度-24年度)において、溶接部ピットに対してエポキシパテによる補修を行えば、塗装性能上問題ないことを示した。
 - これを形状不正部等にも適用し、塗装前に溶接部形状を補修することで、ローラーによる施工でも十分な効果があることを示せば、溶接部に対するローラー使用の可能性も考えられる。
 - 条約の改正もしくは船級の代替システムとしての承認が必要となるため十分なデータを揃えて交渉していく必要があるので今後の検討課題である。

ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料

3. ポータブルストライプコーターの活用について

- ストライプコートの回数について
 - 現行のPSPCの規則上は、ストライプコートの回数は2回塗りとなっている。
 - これは、PSPC以前の仕様では、2.で記述したように1回のストライプコートでは、膜厚の不足分を補えないため。
 - 日本船舶海洋工学会の「塗装品質と工作品質の関連に関するプロジェクト研究委員会」の検討結果では、PSPC後の仕様、特に半径2mmのラウンドエッジ形状では、スプレーコートのみでも90~100%のエッジ膜厚保持率を示している。



$$\begin{aligned} \text{エッジ膜厚保持率 (ERR)} \\ = \text{エッジ部膜厚} / \text{平坦部膜厚} \end{aligned}$$

エッジ形状と膜厚保持率の関係

日本船舶海洋工学会 平成21年春季講演会 長野ら、「実エッジ形状に適応したエッジ膜厚保持率計測法の開発」より



ストライプコート作業の自動化技術の規則等での活用に関する資料
3. ポータブルストライプコーターの活用について

- ストライプコートの回数について
 - PSPC後のエッジ形状、特に半径2mm以上の形状では、平坦部と比べてもそれほどエッジ部膜厚が減少していないことを考えると、
 - 開発中のポータブルストライプコーターもしくは、その先に検討されている自動塗装機等の開発が進み、作業者によらず安定的にストライプコートが施工できるようになれば、ストライプコートの回数そのものを2回から1回に減じることが出来るのではないかと考える。
 - 当然、ローラーの使用と同様に条約改正もしくは船級による代替システムの承認の手続きが必要となるため、十分なデータ収集が必要となるので今後の検討課題である。



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）
— ストライプコート作業の自動化プロジェクト —

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。