日本財団 助成事業
The Nippon Foundation

総合的な防食性能向上のための研究開発

成果報告書

2009年9月

財団法人　日本船舶技術研究協会

はしがき

本報告書は、2007年4月～2009年9月までの2年半に亘り日本財団の助成事業「総合的な防食性能向上のための研究開発」として実施した成果を取りまとめたものである。

本事業は、IMO第82回海上安全委員会（MSC82）でバラストタンク及びバルクキャリアの二重船殻部に対する塗装基準（PSPC：2008年7月1日から強制適用）の採択に伴い、その適用により造船業へ甚大な影響をもたらすことが予測されるため、塗装関連の基盤技術の整備を行い、もって船舶の防食性能の向上と造船業界の国際的競争力の維持を図ることを目的として、「船体防食総合対策委員会（ステアリング・グループ）」の下に、下記の5つのワーキンググループを設置して事業を推進した。

ステアリング・グループ　委員名簿（順不同、敬称略）

プロジェクト・マネージャー	戸澤　秀（海上技術安全研究所）
委　員	大沢　直樹（大阪大学）
	金子　仁（東海大学）
	吉田　公一（海上技術安全研究所）
	田村　兼吉（海上技術安全研究所）
	丹羽　敏男（海上技術安全研究所）
	松井　敏友（日本海事協会）
	中野　豊久（日本船主協会）
	山崎　雅雄（日本船主協会）
	佐々木高幸（日本造船工業会）
	山口　祐二（日本造船工業会）
	山上　和政（日本中小型造船工業会）
	富澤　茂（日本中小型造船工業会）
	潮海　弘資（日本鉄鋼連盟）
	遠藤　修（日本塗料工業会）
	田中　正隆（日本ペイントマリン）
	吉川　榮一（中国塗料）
	南條晋一郎（東京海上日動火災保険）
アドバイザー	岩本　洋（CESS造船関係専門委員会　委員長）
関係官庁	平原　祐（国土交通省海事局安全基準課）
事 務 局	今井　新（日本船舶技術研究協会　IMO担当）
	北向　大輔　[岡部　亮介]（日本船舶技術研究協会IMO担当）
	宮本　武（日本船舶技術研究協会）
	藤原　治郎（日本船舶技術研究協会）
	東田　陽司（日本船舶技術研究協会）
	植木　博（日本船舶技術研究協会）

○NCエッジ処理ワーキンググループ

主　査	大沢　直樹（大阪大学）
委　員	大西　俊武（三井造船（株））
	矢嶋　宏行（(株) アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド）
	古城　昭　（小池酸素工業（株））
	長堀　正幸（日酸TANAKA（株））
	林　　慎也（有識者）
オブザーバ	山口　裕二（(社) 日本造船工業会）
	西村　智樹（(社) 日本造船工業会）
事務局	岩本　泉　（日本船舶技術研究協会）
	藤原　治郎（日本船舶技術研究協会）
	宮本　武　（日本船舶技術研究協会）
	村上　好男（日本船舶技術研究協会）
	仁平　一幸（日本船舶技術研究協会）

○ブラストワーキンググループ

主　査	山上　和政（(株) アイ・エイチ・アイ　アムテック）
委　員	小寺　一也（(株) アイ・エイチ・アイ　アムテック）
	冨樫　信雄（三上船舶工業株式会社）
	柴田　勲　（常石造船カンパニー）
	橋本　渡　（内海造船株式会社）
	高田　篤志（(独) 海上技術安全研究所）
	富澤　茂　（(社) 日本中小型造船工業会）
	伊藤　年雄（シブヤマシナリー(株)）
	渡辺　二朗（シブヤマシナリー（株））
オブザーバ	尾野　眞史（中国塗料（株））
事務局	岩本　泉　（日本船舶技術研究協会）
	藤原　治郎（日本船舶技術研究協会）
	宮本　武　（日本船舶技術研究協会）
	村上　好男（日本船舶技術研究協会）
	仁平　一幸（日本船舶技術研究協会）

○　塗膜管理ワ･キンググループ

主　査	松岡　一祥（海上技術安全研究所）
委　員	島田　道男（海上技術安全研究所）
	佐々木　高（今治造船(株)）
	植田 彰祐（日本ペイントマリン（株））
	菅原　勝也（日本ペイントマリン（株））
	林　慎也　（有識者）
オブザーバ	白石　友和（今治造船(株)）

田中　正隆（日本ペイントマリン（株））
石原　慎一（日本ペイントマリン（株））
山口　裕二（(社) 日本造船工業会）
事務局　岩本　泉　（日本船舶技術研究協会）
藤原　治郎（日本船舶技術研究協会）
宮本　武　（日本船舶技術研究協会）
村上　好男（日本船舶技術研究協会）
仁平　一幸（日本船舶技術研究協会）

○ 代替塗料ワーキンググループ

主　査　佐々木高幸（アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド）
千田　哲也（(独)海上技術安全研究所）（2009.4～9）
委　員　山上　和政（(株) アイ・エイチ・アイ　アムテック）
兼清　　忠（(財) 日本海事協会）
冨樫　信雄（三上船舶工業株式会社）
濱原　一弘（尾道造船（株））
富澤　　茂（(社) 日本中小造船工業会）
尾野　眞史（中国塗料（株））
西澤　政武（中国塗料（株））
渡辺　正泰（中国塗料（株））
高田　篤志（(独) 海上技術安全研究所）
オブザーバ　原田　伸　（中国塗料（株））
宮地　幸夫（中国塗料（株））
加藤　　修（中国塗料（株））
事務局　岩本　　泉（日本船舶技術研究協会）
藤原　治郎（日本船舶技術研究協会）
宮本　　武（日本船舶技術研究協会）
村上　好男（日本船舶技術研究協会）
仁平　一幸（日本船舶技術研究協会）

○ ストライプコートワーキンググループ

主　査　松岡　一祥（(独)海上技術安全研究所）
委　員　島田　道男（(独)海上技術安全研究所）
林　　慎也（有識者）
佐々木高幸（(株)アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド）
山下　晃賢（(株)川崎造船）
佐藤　靖弘（(株)ヤマニシ）
山崎　辰彦（(社)日本塗料工業会）
本田　芳裕（NKM コーティングス(株)）
原　　益己（旭サナック(株)）

	桜木　和之（旭サナック(株)）
	谷平　武之（大塚刷毛(株)）
オブザーバ	山口　祐二（(社)日本造船工業会）
	西村　智樹（(社)日本造船工業会）
	富澤　　茂（(社)日本中小型造船工業会）
	中島　重雄（大塚刷毛(株)）
事務局	岩本　　泉（日本船舶技術研究協会）
	藤原　治郎（日本船舶技術研究協会）
	宮本　　武（日本船舶技術研究協会）
	村上　好男（日本船舶技術研究協会）
	仁平　一幸（日本船舶技術研究協会）

各WG　開催状況一覧

【NCWG】

２００７年度

第１回
開催日時：2007 年 6 月 20 日（水 14:00～16:00）
開催場所：日本船舶技術研究協会

第２回
開催日時：2007 年 9 月 26 日（水）14:00～17:00
開催場所：小池酸素工業株式会社（市川工場）

第３回
開催日時：2007 年 12 月 7 日（金）13:30～16:30
開催場所：開催場所　日酸タナカ株式会社

第４回
開催日時：2008 年 2 月 12 日（火）13:30～16:00
開催場所：航空会館

第５回
開催日時：2008 年 3 月 10 日（月）10:30～13:00
開催場所：社団法人　日本造船工業会

２００８年度

第１回
開催日時：2008 年 5 月 20 日（火）13:30～16:30
開催場所：航空会館

第２回
開催日時：2008 年 7 月 23 日（水）14:00～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

第３回
開催日時：2008 年 9 月 25 日（木）14:00～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

第４回
開催日時：2008 年 11 月 28 日（金）14:00～16:30
開催場所：日本船舶技術研究協会

第５回
開催日時：2009 年 1 月 16 日（金）11:00～15:30
開催場所：日本船舶技術研究協会

第６回
開催日時：2009 年 2 月 27 日（金）14:00～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

【ブラスト WG】

２００７年度

第１回
開催日時：2007 年 7 月 27 日（金）13:00～17:00
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

第２回
開催日時：2007 年 9 月 14 日（金）13:00～16:30
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

２００８年度

第１回
開催日時：2008 年 6 月 10 日（火）13:30～17:00
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

第２回
開催日時：2008 年 8 月 25 日（月）13:30～17:00
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

第３回
開催日時：2007 年 11 月 16 日（金）10:00～15:00
開催場所：アイ・エイチ・アイ　アムテック

第４回
開催日時：2008 年 2 月 19 日（火）13:30～17:00
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

第３回
開催日時：2008 年 10 月 27 日（月）13:30～17:00
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

第４回
開催日時：2008 年 12 月 2 日（火）10:00～14:00
開催場所：アイ・エイチ・アイ　アムテック

第５回
開催日時：2009 年 2 月 18 日（水）13:30～17:00
開催場所：シブヤマシナリー株式会社

【塗膜管理 WG】

２００７年度

第１回
開催日時：2007 年 8 月 9 日（木）14:00～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

第２回
開催日時：2007 年 9 月 18 日（火）13:30～15:30
開催場所：日本船舶技術研究協会

第３回
開催日時：2007 年 12 月 3 日（火）　9:30～10:30
開催場所：今治造船　丸亀工場

第４回
開催日時：2008 年 2 月 8 日（金）13:30～16:30
開催場所：航空会館

２００８年度

第１回
開催日時：2008 年 5 月 12 日（月）13:30～16:30
開催場所：日本船舶技術研究協会

第２回
開催日時：2008 年 8 月 7 日（木）13:30～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

第３回
開催日時：2008 年 8 月 7 日（木）　13:30～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

第４回
開催日時：2008 年 10 月 16 日（木）14:00～17:00
開催場所：航空会館

第５回
開催日時：2009 年 2 月 3 日（火）13:30～17:00
開催場所：日本船舶技術研究協会

第６回
開催日時：2009 年 3 月 3 日（火）15:30～17:30
開催場所：日本船舶技術研究協会

【ストライプコートWG】

２００８年度

第１回

開催日時：2008年４月28日（月）14:00～16:00

開催場所：日本船舶技術研究協会

第２回

開催日時：2008年６月26日（木）13:30～16:00

開催場所：日本船舶技術研究協会

第３回

開催日時：2008年11月10日（月）13:30～17:00

開催場所：旭サナック（株）塗装技術センター

第４回

開催日時：2009年１月21日（水）13:30～16:30

開催場所：（株）川崎造船　坂出工場

第５回

開催日時：2009年２月20日（金）13:30～15:00

開催場所：日本船舶技術研究協会

【ＩＺＷＧ】

２００７年度

第１回

開催日時：2007年７月３日（火）13:30～16:00

開催場所：中国塗料　大竹研究センター

第２回

開催日時：2007年10月１日（火）13:30～16:00

開催場所：中国塗料　大竹技術センター

第３回

開催日時：2007年12月17日（月）13:30～16:00

開催場所：中国塗料　大竹技術センター

第４回

開催日時：2008年２月22日（金）14:00～17:00

２００８年度

第１回

開催日時：2008年４月24日（木）14:00～16:00

開催場所：中国塗料　大竹研究センター

第２回

開催日時：2008年７月25日（金）14:00～16:30

開催場所：中国塗料　大竹研究センター

第３回

開催日時：2008年10月６日（月）14:00～16:30

開催場所：中国塗料　大竹研究センター

第４回

開催日時：2008年12月19日（金）14:00～16:30

開催場所：（財）日本船舶技術研究協会

２００９年度

第１回

開催日時：2009 年 6 月 1（月）14:00～16:00

開催場所：大竹技術センター

第２回

開催日時：2009 年 8 月 3（月）14:00～16:00

開催場所：中国塗料　大竹技術センター

第３回

開催日時：2009 年 9 月 28 日（月）13:30～17:00

開催場所：アイ・エイチ・アイ　アムテック

開催場所：中国塗料　大竹研究センター

第５回

開催日時：2009 年 2 月 13 日（金）14:00～16:30

開催場所：ＴＫＰ虎ノ門ビジネスセンター

目　次

はしがき
WG 委員名簿
WG 開催状況

1．　プロジェクトの目的と背景 ---------- 1
2．　研究開発課題とその目標 ---------- 1
2．1　研究開発課題の選定 ---------- 1
2．2　研究開発の目標 ---------- 2
2．3　研究開発体制 ---------- 4
2．4　研究開発スケジュール ---------- 5
3．　研究開発成果と今後の課題 ---------- 6
3．1　NC 切断時のエッジ処理技術に関する研究開発 ---------- 6
3．2　混気ジェットを活用したブラスト技術の研究開発 ---------- 8
3．3　SIP 技術による膜厚管理技術に関する調査研究 ---------- 10
3．4　ストライプ用ツールの研究開発 ---------- 14
3．5　無機ジンク塗料を用いた新しい塗装システムに関する調査研究 ---------- 21
4．　まとめ ---------- 22

総合的な防食性能向上のための研究開発

1.　プロジェクトの目的と背景

IMO(MSC82)で採択されたバラストタンクに対する塗装基準は、ボイドスペース、カーゴタンクへと拡大される方向にあり、塗装品質の向上と塗装作業の効率化が、今後のわが国の海運・造船業の国際競争力の維持にとって益々重要になってきている。　造船業における塗装工程はマンパワーに大きく依存しているのが実情であり、他の造船国との比較において相対的に人件費の高い我が国では、基準で要求される塗装品質を効率的に達成する技術の確立が国際競争力維持のために不可欠な課題となっている。このような状況において、①塗装基準で定められた下地処理を効率的に行う技術の研究開発を推進するとともに、②塗膜管理や検査等工程管理に不可欠な技術、③塗装作業の省人化のための技術について調査研究を行うことにより、塗装作業の高効率化、防食性能の向上及び塗装作業に伴う環境負荷の低減を図り、我が国造船業の効率的な生産性の維持を図り国際競争力の強化に資することを目的として日本財団の助成事業として「総合的防食性能の向上のための研究開発」（2007年4月～2009年9月）を実施した。

2．研究開発課題とその目標

IMO において策定されたバラストタンクにハイスペックな塗装を強制化する塗装基準は、塗装品質の向上を図り、船舶の安全性を確保することを目的としている。

塗装作業の効率化が今後の造船業の国際競争力に大きな影響を及ぼすことから、基準で要求される塗装品質を効率的に達成する技術を確立することが重要である。

現在のわが国造船業の塗装工程において塗装基準を適用した場合、防食性を確保するための基準の要件を満足させるためには、膨大な工数の増大を伴うことから建造工程への影響、が懸念される。

従って、本プロジェクトでは、基準の要件を満たしつつ塗装作業の工数増大を最小化する技術開発に重きを置き、以下の５つの研究開発課題を選定した。

２．１　研究開発課題の選定

２．１．１　効率的な下地処理技術の研究開発

（課題　１）NC 切断時のエッジ処理技術に関する研究開発

既存の切断技術を応用し、鋼材の 自動切断の工程において基準で要求される 2R を確保する、あるいはエッジ処理の工程を現状と同等(1 パス)に抑制できる程度の処理を行うことができる技術を確立する。

（課題　２）混気ジェットを活用したブラスト技術の研究開発

陸上の各種洗浄で利用されている混合ジェットを活用した洗浄技術を基礎として、低環境負荷で効率的なブラスト技術を確立する。

２．１．２　塗装工程管理技術に関する調査研究

（課題　３）SIP 技術による膜厚管理に関する調査研究

塗料による塗装基準では塗装膜厚を 320μm とすること及び 5m² 毎に塗膜計測・記録が要求されて　いることから効率的な計測･記録技術の確立は極めて重要であるため､次の研究を行う。

２．１．３　.塗装作業省人化及び代替防食技術等に関する調査

（課題　４）ストライプコート用ツールの開発

（課題　５）無機ジンク塗料を用いた新しい塗装システムに関する調査研究

自動あるいは半自動塗布技術、各種塗装作業の省人化に繋がる技術を検討する。

マンパワーへの依存度を低下し得る代替･補助防食技術に関して調査を行い､塗装作業の効率化を図る。

２．２　研究開発の目標

（１）　NC 切断時のエッジ処理技術に関する研究開発

平成１８年４月、ＩＭＯにおいて、ハイグレードな下地処理を強制化すること等を内容とする塗装基準が採択された。その中で、バラストタンク内のフリーエッジについて、「半径２mm 以上まで丸めるか、又は、３回グラインダーを通す、若しくは同等の工程で塗装前に処理すること」（「Ｒ処理」）とする旨規定されている。

フリーエッジの処理は、マンパワー（グラインダー等）に依存せざるを得ないのが現状であり、造船業にとっては、塗装基準導入に伴う工数増大の最小化が大きな課題となっている。

このため、既存の切断技術を応用し、鋼材の自動切断の工程において、塗装基準で要求されるＲ処理を確保する、あるいは、エッジ処理の工程を現状と同等に抑制できる程度のＲ処理を行うことを可能とする技術を確立することを目標とした。

（２）　混気ジェットを活用した水ブラスト技術の研究開発

ＩＭＯ塗装基準策定の段階においては、TSCFの15年塗装仕様がベースとなり、2次表面処理工程で健全なショッププライマー（エチルジンクシリケート）をブラストで７０％除去を要求するという、従前の日本造船業の塗装の開発の方向性に逆行するものであった。日本の造船所の大半はショッププライマーの性能を向上すると共に、造船工程での「錆びゼロ工法」と称して塗膜損傷と発錆を少なくする工夫をしてきた。その一例として第３世代エチルジンクシリケートは防食性、耐白錆び性、耐熱性に優れ、２次表面処理段階での発錆、白錆の研掃作業は削減されている。

「塗装基準」は、最終的に日本提案を認め健在なショッププライマー＊１）をサンドブラストで剥がすことなく、サンドスィープ、又は高圧洗浄することで、それを残すことを認めた。すなわち、日本造船業界の後戻り作業削減を目的とした「錆びゼロ工法」、第３世代ジンクシリケートを認め、画一的なサンドブラスト工法のみならず、水ブラスト等による作業環境改善と更なる工数削減を目指した研究開発が可能になった。

２次表面処理作業のツールとして現存のサンドブラスト装置でサンドスィープすることも可能であるが、「塗装基準」で要求されるダスト処理（掃除）、清掃作業に相当の工数を要し、且つ労働者の作業環境も劣悪である。これらの問題に対処し得る技術の確立は、生産性の維持・向上や

人材確保など我が国造船業が直面する課題への対応という観点からも意義が大きい。このため、陸上の各種洗浄で利用されている、水、空気、研削材（「メディア」）の混合高圧ジェット（「混気ジェット」）を活用した洗浄技術を基礎として、低環境負荷で効率的な高圧洗浄と水ブラスト技術を確立する。「メディア」と「混気ジェット」を活用し造船工程に最適な技術を確立することにより、水ブラスト効果による除錆作業と水による清掃作業を一元化しようとするものである。

（３）SIP技術による膜厚管理に関する調査研究

「塗装基準」では、防食効果を高めるには一定の範囲内で塗膜厚さを確保することが要求されている。船体は板材に多数の骨材が接合された複雑な構造であり、そのような環境での塗装作業において膜厚を一定の範囲内に確保するには高度な技術が必要であるが、人による作業で行わざるを得ない船舶の塗装においては、塗膜厚にばらつきが生じてしまう。現在、造船の塗装は、塗装工の熟練度に依存している状況の中、従来の膜厚より大幅に厚い塗膜厚を要求する塗装基準が適用されれば、造船所に大きな混乱が生じるだけでなく、基準不適合によるやり直し（戻り作業）による甚大な影響が生じることが懸念されている。このため、塗装基準の要件を満足するための膜厚の管理技術が極めて重要である。

さらに、基準ではタンク壁や肋骨の塗膜厚を詳細に計測・記録することを要求しており、VLCCでは10万点を上回る計測点が塗装基準により要求されることになる。これには膨大な工数を要し、造船業に与えるインパクトは大きい。

そこで、特殊顔料を利用して規定の膜厚に達した時に塗装の色相が変化するSIP技術を利用して、塗装基準で要求する膜厚の管理と膜厚計測工数の軽減の可能性について検討する。また、塗装基準の要件である２ストライプ２コートの塗装回数の要件についても、SIP 技術を利用する場合、膜厚分布のバラツキが小さくできる可能性があることから塗装回数を減ずることも可能となる。

これらを技術的に検証し、塗装品質が十分に確保されることが証明できれば、国際的な基準として提案することも可能と考えられる。

（４）ストライプコート用ツールの研究開発

PSPC では、全ての船種のバラストタンク及びバルクキャリアーの二重船殻構造部の鋼材のフリーエッジに対して２回のストライプコートを、また溶接ビード部に対しては少なくとも１回のストライプコートを要件として課している。

わが国の従来の造船工程における塗装施工法に比較して、PSPC の適用は大幅な工数増加をもたらし、それによる造船工程への影響は甚大であり、従来並の工数に抑制する技術開発が緊急の課題となっている。

本研究開発では、フリーエッジや溶接ビード部の塗装品質を確保しつつ、省人化を図るためのストライプコート用のツールを開発し、もってわが国造船業の国際競争力の確保に寄与することを目的とする。

（５）無機ジンク塗料を用いた新しい塗装システムに関する調査研究

「塗装基準」は防食効果を高めるためにエポキシ樹脂塗料をベースとした高膜厚の多層塗り（２ストライプ２コート、DFT320μm）が要求されている。我が国の造船業は、韓国・中国等後発造船

国と比較して相対的に設備が旧式であること、現場における塗装作業方法の近代化が遅れていることなど、塗装の点から見ると、必ずしも競争力があるとはいえない状況にある。加えて、「塗装基準」の高膜厚の多層塗りは、従来の膜厚より大幅に厚い塗膜厚が要求されている。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において、塗装基準の導入は塗装関連の工数を大幅に増大させる。

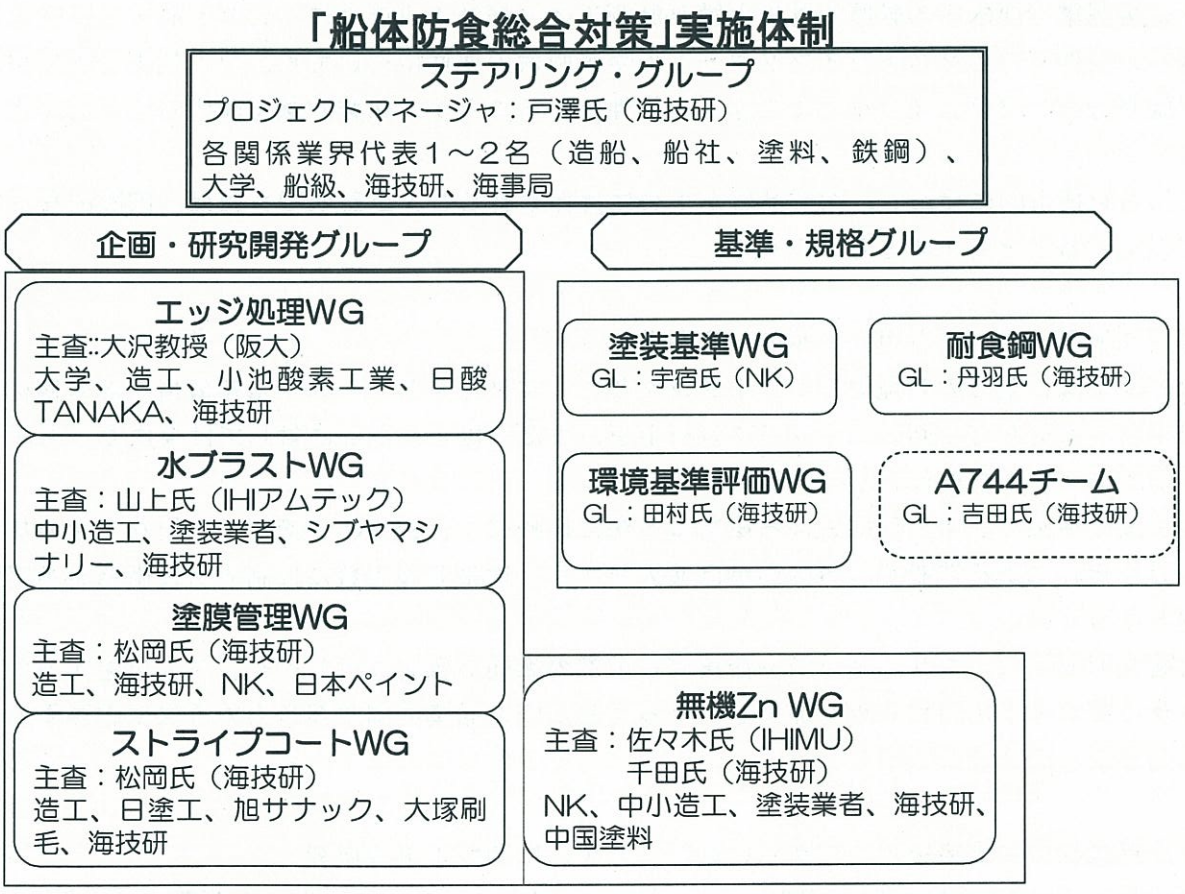
我が国造船業の中長期的な競争力維持に防食効果を高めつつ、塗装工数削減と作業環境の改善を目的とした有機塗料低VOC型、又は水系代替防食塗装システムの開発は不可欠といえる。

有機塗料エポキシ等は、塗膜と鋼板面の遮断（バリヤー）効果を利用した防食技術であり、多層塗（DFT320μm）が原則になる。一方、電気防食を利用した代替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（DFT100～150μm）の可能性があり造船塗装の防食性向上、VOC対策、安全性、作業環境と工数削減に寄与できると考えられる。

２．３　研究開発体制

上記研究課題の実施に当たっては、「船体防食総合対策」のためのステアリング・グループを設置し、基準グループと研究開発グループが一体となって取り組んだ。

プロジェクトは、（社）日本造船工業会、（社）日本中小型造船工業会、(独)海上技術安全研究所、大学、（社）日本塗料工業会、（財）日本海事協会、各製造メーカーの参加の下、船技協がプラットホームとなって精力的に実施された。



図―１　船体防食総合対策の検討体制

２．４　研究開発スケジュール（実施期間：2007 年 4 月～2009 年 9 月）

研究開発課題	2007 年度	2008 年度	2009 年 9 月
１．効率的な下地処理技術の研究開発 （１）NC 切断時のエッジ処理技術（2007-2008）	ニーズ調査 上下面同時処理実験	上面エッジ処理技術の開発 現場での切断試験	成果普及
（２）混気ジェットを活用したブラスト技術の研究開発（2007-2008）	混気ジェットブラスト技術 プロトタイプ試作 メディア選定 戻り錆防止対策 現場でのブラスト	プロトタイプ装置製作 回収装置概念設計 設備・ランニングコスト調査 確認試験・評価	成果普及
２．塗装工程管理技術に関する調査研究 （３）SIP 技術による膜厚管理に関する調査研究（2007-2008）	実船ブロック試験塗装 SIP 塗料の基礎試験	解析・評価 実船調査 IMO 提案文書	成果普及
３．塗装作業省人化及び代替防食技術等に関する調査 （４）ストライプコート用ツールの研究開発　(2008)		ツール開発 試作ツールデモ	成果普及
（５）無機ジンク塗料を用いた新しい塗装システムに関する調査研究　(2007－2009.9)	基礎試験	新しい塗料開発	試験塗装・評価

３．研究開発成果と今後の課題

５つの研究開発課題のうち４課題について 2007～2008 年度の２年間に亘り研究開発を実施（ストライプコート用ツール開発は 2008 年度の１年間）、無機ジンク塗料に関しては、2009 年度も半年間延長して２年半に亘り調査研究を行なった。また、2008 年度に終了した４課題については、2009 年度の半年間に、成果の普及のための学会での成果発表、開発機器の現場でのデモンストレーションを行なった。また、2009 年 9 月 18 日には、本プロジェクトによる研究開発成果の報告会を開催した。

研究開発課題毎に成果の概要と今後の課題について、以下に述べる。

３．１　NC 切断時のエッジ処理技術の研究開発

船舶に限らず発錆の原因のひとつは、フリーエッジ部からの腐食である。特に、板材と骨材から成る船体構造では、フリーエッジ部が多く、そのフリーエッジ部の塗膜性能の確保が重要である。

本プロジェクトでは、エッジを人手によりグラインダー処理している作業を NC 切断時に処理する技術を開発することを目標に、切断機メーカー2 社に委託して研究開発を行った。

当初、板の上下面のエッジ部を同時に R 処理する切断技術の開発を目標としたが、初年度の調査研究により、上面処理と下面処理では相反する処理条件となることから、現在の切断機でパラメタを同時処理の条件に設定することは困難であることが分かった。

これを受けて、2 年目には上面側のエッジ処理に限定して、高品質の切断面を得ることを目標として研究開発を行った。

３．１．１　主な研究開発の成果

（１）上面エッジ交差角を 3 パスエッジ処理に相当する 157.5 度にすることを目標として、種々の板厚に対して最適切断条件を設定した結果、目標値に近いエッジ角を得ることができた。

（２）現状の切断機をベースに大幅に改造することなく、切断時エッジ処理が可能な装置の開発を行った。即ち、アシストガス切り替え装置、アシストガス切り替えトーチ、切断条件切り替え装置等の改造によりエッジの R 処理が可能となった。

（３）エッジ処理した R 部の膜厚保持性能を Nagano et al. の側面 ERR 法で評価した。その結果、R 処理機能付 NC 切断機で作成した切断まま試験片、3 パスグラインディング試験片、NC 切断＋1 パスグラインディング試験片のエッジ膜厚保持率を評価した結果、側面 ERR の平均値は NC 切断、3 パス、NC 切断＋1 パスの順で大きいが、95%信頼区間下限は、NC 切断が 3 パスより僅かに大きくなるとの結果を得た。

（４）本研究で開発した R 処理機能付 NC 切断機の切断速度は従来機と同等以上である。開発機で切断した鋼材の板表面フリーエッジはグラインダー処理なしで IMO/PSPC に適合している。NC 切断＋1 パスグラインディングは、IMO/PSPC の定める 3 パスグラインディングを大幅に上回るエッジ膜厚保持性能を示す。

（５）切断面の精度が溶接作業に与える影響について溶接確認試験を行った結果、作業性及び溶接性能については、特に、重大な問題点はないことが確認された。本技術の採否については、造船各社の判断による。

３．１．２　今後の課題

NC 切断時のエッジ処理技術の開発を行ったが、今後の課題としては、以下の課題がある。

（１）PSPC のエッジ処理要件として、本技術のオーソライズが必要である。IMO 等における提案、技術普及のための広報活動が必要である。

（２）現場での使用実績を蓄積すると共に、データ収集により切断精度の向上のための装置の改善を図っていくことが重要である。

（３）上面側エッジ処理では、工数削減効果が半分であり、将来的には下面側エッジ処理技術の開発が重要な課題である。

(a)アシストガスの切り替えトーチ　(b)アシストガスの切り替え装置　(c)トーチ高さの切り替え装置

(d) R処理装置改造したNC切断機(1)　(e) R処理装置改造したNC切断機(2)

図-3.1.1　R 処理切断機の外観

表-3.1.1　R 処理切断面の形状

板厚 (mm)	断面写真	トレース結果	上面交差角 (度)	上面幅 (mm)	上側面幅 (mm)	ﾍﾞﾍﾞﾙ角度 (度)	ﾄﾞﾛｽ (有無)
9			155.4	1.43	4.66	+1	無
16.5			151.2	1.4	4.75	-0.5	無
24			159.7	1.53	4.25	-1	無

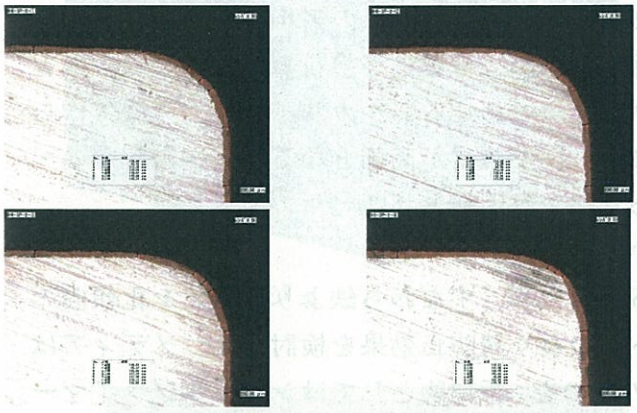
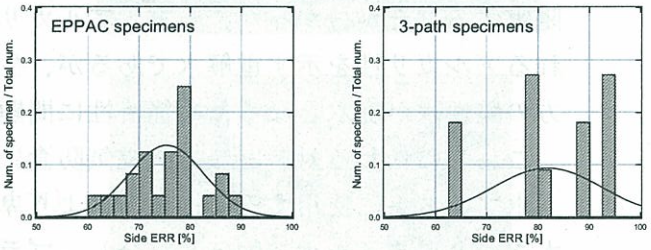


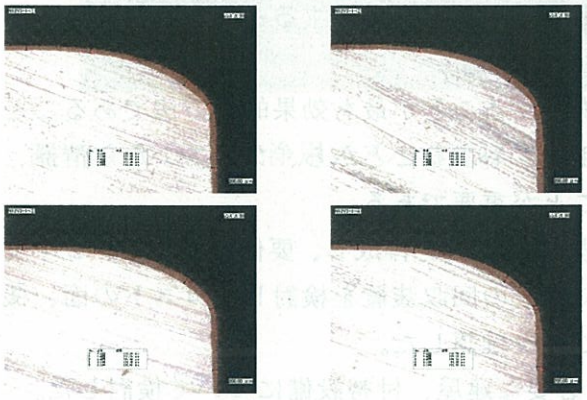
図-3.1.2　R 処理切断面の膜厚保持性能（3 パス）

Name	μ	σ	C.V.	μ−2σ
EPPAC	75.40%	7.30%	9.60%	60.90%
3-pass grinding	81.90%	10.60%	13.00%	60.60%



(a) NC 切断　(b) 3 パス

図-3.1.4　膜厚保持性能（NC 切断と 3 パス）



図—3.1.3　NC 切断による R 処理断面の膜厚保持性能

Name	μ	σ	C.V.	μ−2σ
EPPAC	75.40%	7.30%	9.60%	60.90%
3path grinding	81.90%	10.60%	13.00%	60.60%
EPPAC + 1path grinding	86.20%	9.00%	10.50%	68.20%

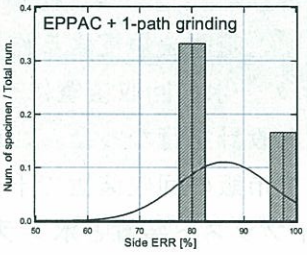


図-3.1.5　膜厚保持性能（NC 切断＋１パス）

３．２　混気ジェットを活用した水ブラスト技術の研究開発

2 年間に亘り混気ジェットを活用した水ブラスト技術の開発を行い、ブラスト装置及びノズルの開発、戻り錆防止対策の検討を行い、PSPC の 2 次表面処理の要件を満足するプロトタイプのブラスト装置を開発した。

３．２．１　主な研究開発の成果

（１） PSPCの要件である溶接ビード部の表面粗度 30～75μm、損傷部及び一般部の清浄度 Sa2.5 を満足するブラスト技術を開発した。

（２） 35MPa タイプのプロトタイプブラスト装置及び各種ノズルの開発を行なった。

（３） 表面粗度は、水圧、35MPa の混気ジェット装置及びブラスト用ノズルを用いて、メディアはカッパースラグを使用して 30～75μm を達成可能とした。

（４） 一般部の洗浄、特に、ヒューム除去は、実験室では 35MPa で除去可能であることを確認した。しかし、造船現場での性能評価試験では、35MPa では不十分であり、作業性も考慮すると 75MPa～100MPa のポンプの能力が必要であることを確認した。

（５） メディアについては、NS サンド、ガーネット、カッパースラグについて試験を行い、いずれのメディアでも表面粗度の確保が可能であることを確認した。

比較検討の結果、コストの面で最も安価で、国内で入手可能なカッパースラグが最適なメディアであるとの結論に至った。

（６）水ブラストのブレークスルー技術である戻り錆防止技術について、スーパーアルカリイオン水、アルカリイオン水を使用して、戻り錆試験を行った結果、pH12 のアルカリ水を利用することにより戻り錆防止の効果があることが確認されたが、電解質が塗料の付着性・防食性を阻害することが分かった。一方、アルカリイオン水はいわゆるアルカリイオン生成機で作られるアルカリ性を示す電解水であるが、生成機が大型で装置が高価となる。又、電解水の一方の酸性水が廃水となるため経済性に問題があり採用は困難と判断した。

これらに代わる対策として、電気防食について検討した。

水ブラストに使用する研掃剤に鉄より卑なる金属粒子、すなわち鉄よりもイオン化傾向の大きい金属粒子を添加物とし混合し、ブラスト面の戻り錆防止効果を検討した。メディアはガーネットサンド、カッパ-スラグの各種粒径のものを、添加物としてはショッププライマーにも使用される防食顔料を使用した。

一連の実験でメディアに金属粉末の添加剤を混合して水ブラストすると、戻り錆防止の効果があることが確認された。

戻り錆の防止対策は、ブラスト後、迅速に乾燥させることが最も効果的な方法であることも確認された。しかし、乾燥までの時間は作業手順にもよることから、ブラストから清掃、乾燥までの時間を短縮する作業手順を確立することが重要である。

（７）メディアと水の回収装置については、初年度小型の回収機を作成し、要件を抽出し、２年度目に概念設計を行なった。これら概念設計を基に市販の回収装置を検討し、コストの面、機能の面で市販の回収装置で十分な機能を有することを確認した。

（８）ドライブラスト装置と水ブラスト装置について必要な建屋、付帯設備について検討した。

水ブラストの場合、密閉型の建屋は必要ではなく、工業用テントで十分である。また、装置も、建屋に固定した装置ではないため、屋外での作業が可能であり、環境影響も少なく、作

業者の労働環境の改善も図れることが分かった。

（9）ブラスト作業に伴う運営的経費（消耗品等）について検討したが、実船ブロック規模によるデータ収集は不可能であった。　今後の実用化に当たっての課題である。

3．2．2　今後の課題

上記の結果をベースに実用化に向けて、今後の検討すべき課題をまとめると以下の通りである。

（1）一般部洗浄用に高圧（75～100MPa）ポンプを搭載した装置を製作し、造船現場に見合った作業能力を確保する必要がある。

（2）複雑な狭隘部のブラスト作業に適したノズルの改良を行なう必要がある。

（3）作業効率の向上のための作業手順を確立する。

（4）本格導入に当たっての運営的経費を把握するためのデータの取得を行なう。

図-3.2.1　混気ジェットブラスト装置（プロタイプ）

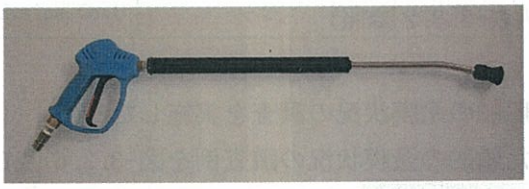


図-3.2.2　低圧洗浄用ノズル（市販品）

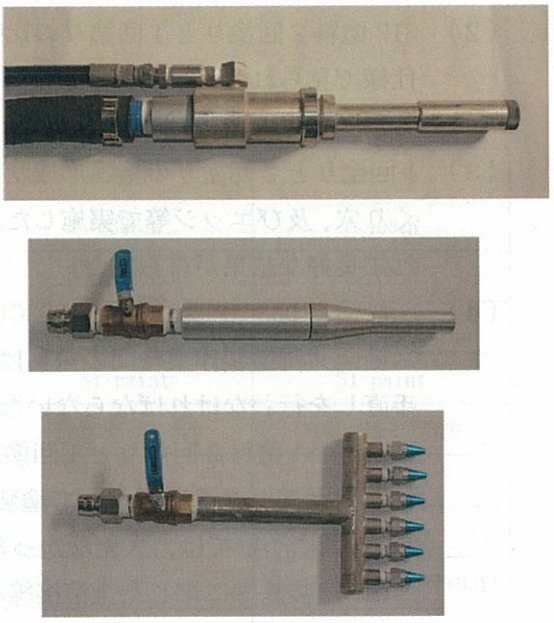


図-3.2.3　開発された各種ノズル
上段：ブラスト用ノズル
中断、下段：エアブロー用ノズル

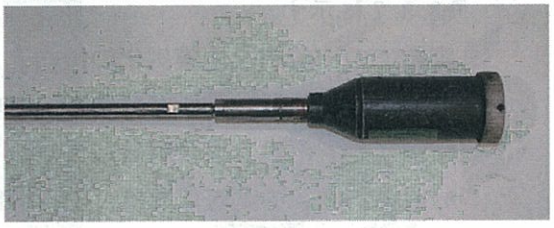


図-3.2.4　高圧洗浄用ノズル(WOMA社製)

３．３　SIP技術による膜厚管理に関する調査研究

３．３．１　主な調査研究の成果

防食塗料の膜厚計測での膜厚管理は、均一な規定膜厚の確保に多大な労力を必要とする。過小膜厚は、長期耐久性能に影響を及ぼすため、規定膜厚の確保は大変重要であることから、2007年度、一般塗料と SIP 塗料を用いて、目標とする規定膜厚の確保が可能なことを実ブロック実証試験により検証した。（表-3.3.1 及び図-3.3.1 参照）

2008 年度は、この実証試験データを基に、SIP 塗料による①塗膜管理が容易で塗膜分布のバラツキが少く、エッジ等の膜厚測定が不可能な部位でも目視による膜厚管理が可能であることから、防食性の向上、②1 回塗りによる規定膜厚の確保、③塗装作業と膜厚計測工数低減の可能性、④環境負荷低減の期待効果を検証するためのデータ分析を行った。

塗装仕様の違いによる分析結果をまとめると以下の通りである。

（１）　一般塗料 2 回塗りと SIP 塗料 2 回塗りの比較分析より、SI 塗料の方が標準偏差と平均膜厚は、小さく均一な塗膜厚が得られ、且つ、過小膜厚と過大膜厚を抑制した規定膜厚の確保が可能な塗料である。（図-3.3.2 及び図-3.3.3 参照）

（２）　SIP 塗料 2 回塗りと 1 回塗りの比較により、SI 塗料 320μm×1 回仕様の方が 160μm×2 回仕様で見られるラップ箇所がなくなる 1000μm 以上の過大膜厚をより抑制でき厚膜に起因したクラック発生の防止が可能と言える。（図-3.3.4 及び図-3.3.5 参照）

（３）　1 回塗りと 2 回塗りの塗膜形成状態確認のためにピンホールテスターによる調査を平面部、くり穴、及びエッジ等で実施した。SI 塗料 320μm×1coat 仕上げでもピンホールは認められず良好な結果が得られた。

（４）　一般塗料 DB3C(P)と SI 塗料 DB3C(S)の 2 回塗りの作業時間は、ストライプコート、エアレス塗装共に塗装作業時間の差異は殆ど見られない。しかし一般塗料の方はエアレス塗装で手直しを行わなければならないなど手直し面積が多い。

また、SI 塗料 2 回塗りと 1 回塗りは、塗り回数の少ない 1 回塗り仕様の方がストライプコート、エアレス塗装において塗装作業時間は半減し、塗装時間短縮には大いに寄与する。検査時間については、大差なかった。

IMO 塗装基準に準じた全溶接線やコバ等への刷毛による 2 回のストライプコートが、全塗装時間の大半を占めることがわかった。（表-3.3.2 参照）

SIP 塗料をバラストタンクの塗装に使用した船舶の塗膜状況の調査を実施した。

（５）一般塗料及び SIP 塗料を塗布後 5 年経過した船舶の塗膜状況の調査例を図-3.3.6 及び図-3.3.7 に示す。

実船での一般的な塗膜劣化の傾向として、損傷部及び狭隘部の塗り難い箇所やエッジ部等の膜厚が確保し難い箇所が発錆し、その後、平面部でも過小膜厚部に膨れが発生し剥がれや発錆が起き劣化する場合が殆んどである。

一般塗料施工の調査船では、この傾向が顕著に現れており平面部やロンジ部等の過小膜厚箇所に発錆が見られ、特にロンジ・くり穴等に錆が多く認められる。一方、SIP 塗料施工船ではエッジ等での発錆が全く認められなく良好な塗膜状態であり、規定の膜厚が確保された結果、十分な防食性能が保たれている。

また、SI 塗料 1 回塗り施工船でも、平面部やロンジ部等での発錆は認められず、1 回塗りで

も膜厚が十分に確保された結果で、一回仕上げでもピンホール等、塗膜性能への影響はないものと言える。

一般塗料の膜厚管理は膜厚計による “点”での確認であり、管理精度を上げるためには数多くの測定が必要であること、及びエッジ部や狭隘部等の膜厚計測ができない部位の膜厚管理は非常に困難である。また、規定膜厚を得るためには塗装作業者の熟練度が密接に関連しており、作業者によっては膜厚のバラツキが大きく過小膜厚の発生率も高くなる可能性があり、塗膜性能に影響を及ぼす恐れがある。

SIP 塗料では、規定膜厚に達しない時は下地が透けて見えることから過小膜厚であることが確認でき、作業者が膜厚を管理しながら塗装或いは塗装後の検査で管理ができるため、目視による“面”での確認ができる。このことから、膜厚管理の容易性と信頼性のある管理が可能であり、防食性の向上が期待できる。

一方、SIP 塗料でフリーエッジ部や溶接ビード部を塗装する場合、膜厚計測が不可能であるため、実際の膜厚とその視認性の関係の把握が必要であることが分かった。

表-3.3.1　試験塗装に供したブロックと塗装仕様

Block No.		DB3C(P)	DB3C(S)	DB4C(P)	DB4C(S)
Area	Flat	≒366㎡	≒390㎡	≒386㎡	≒408㎡
	Longe	≒173㎡	≒173㎡	≒200㎡	≒200㎡
	Total	538.6㎡	561.9㎡	585.5㎡	607.6㎡
Paint type		non-SI paint	SI paint	SI paint	SI paint
Product name		Epomity600HS-LT	NOA60HS-LT 320	NOA60HS-LT 320	NOA60HS-LT 320
Painting scheme		2coats	2coats	1coat	2coats
		2×160μm	2×160μm	1×320μm	2×160μm
		Gray+Buff	See Through Buff+Buff	Buff	See Through Buff+Buff
Stripe Coat		2	2	1	2

図-3.3.1　実船ブロック

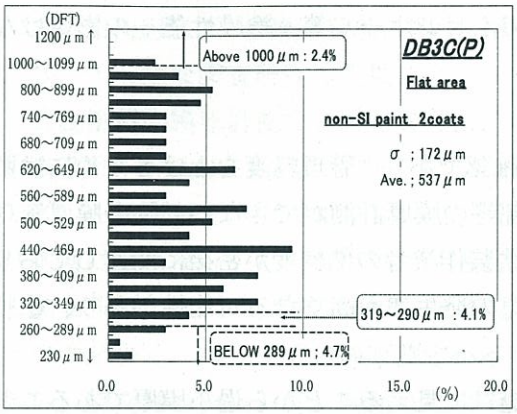


図 3.3.2　DB3C(P)平面部膜厚分布(一般塗料)

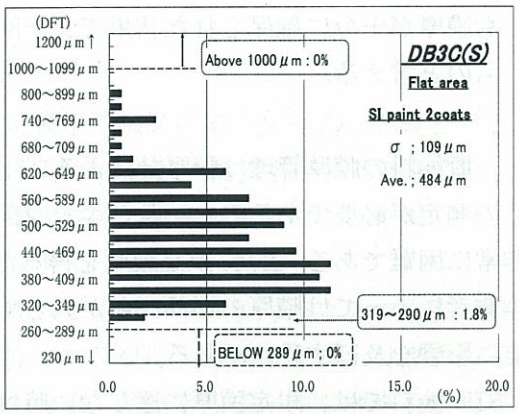


図 3.3.3　DB3C(S)平面部膜厚分布(SIP 2coat)

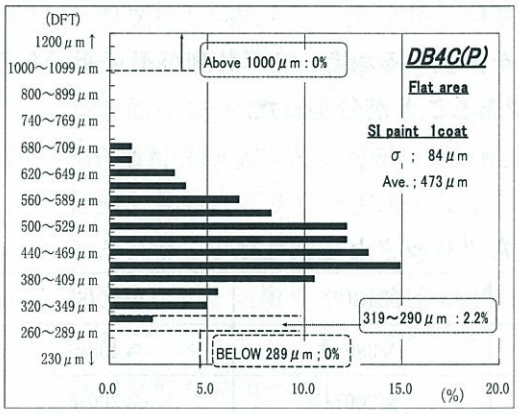


図 3.3.4　DB4C(P)平面膜厚分布(SIP 1coat)

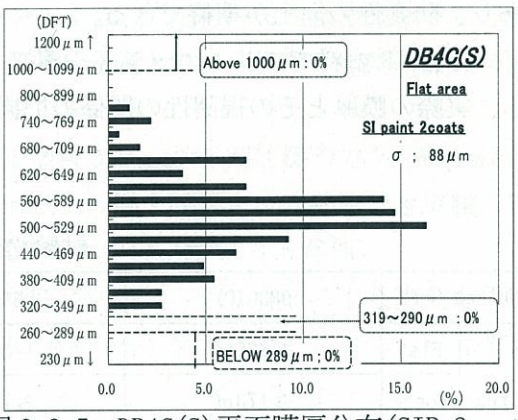


図 3.3.5　DB4C(S)平面膜厚分布(SIP 2coat)

表-3.3.2　塗装に係わる作業時間

ﾌﾞﾛｯｸ No.			DB3C(P)	DB3C(S)	DB4C(P)	DB4C(S)
塗 料 種			一般塗料	ＳＩ塗料	ＳＩ塗料	ＳＩ塗料
塗装仕様			160μm×2	160μm×2	320μm×1	160μm×2
ｽﾄﾗｲﾌﾟｺｰﾄ			２回	２回	１回	２回
ﾌﾞﾛｯｸ 面積			538.6 ㎡	561.9 ㎡	585.5 ㎡	607.6 ㎡
実塗装面積			493 ㎡	516 ㎡	535 ㎡	557 ㎡
面積当りの時間(分/㎡)	ｽﾄﾗｲﾌﾟｺｰﾄ		3.0 分	3.2 分	1.2 分	3.2 分
	塗　装		0.8 分	0.9 分	0.5 分	0.8 分
	手直	ｴｱﾚｽ	0.1 分	—	—	—
		刷毛	—	0.4 分	0.4 分	0.2 分
	総時間		3.9 分	4.5 分	2.1 分	4.2 分

図 3.3.6 一般塗料施工船

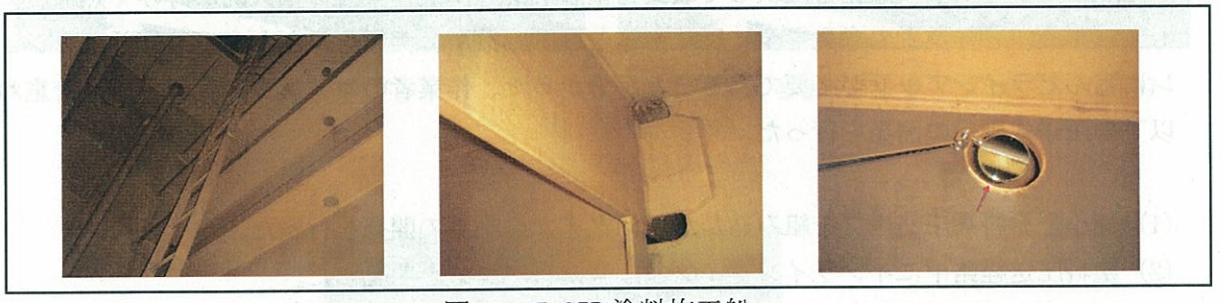


図 3.3.7 SIP 塗料施工船

3．3．2 今後の課題

今後は、PSPC が強制適用される中で今回得られたデータや知見をベースにして合理的な塗膜管理が可能であることを広く周知するための活動を行い、その技術を普及していくことが重要である。

最終的には PSPC の改正が必要であるが、国内外での学会や造船業関係への、広報活動を行いつつ使用実績を蓄積していくことが重要である。

３．４　ストライプコート用ツールの研究開発

３．４．１　研究開発の成果

上述の３．３の実船ブロックの試験塗装において、塗装作業に占めるストライプコートに要する作業時間は、メインコートの数倍（単位面積当たり）になることがわかった。（表-3.3.2参照）

これを受けて、2008年度、PSPCの要件を満たすツールを開発し、作業時間の大幅な低減を図ることを目標として、本課題に取り組んだ。

数回に亘り刷毛及びエアレスポンプの試作を行い、実験室及び造船所での評価テストを実施した。ユーザーからの意見を反映して改良を重ねたが、塗装作業者の個人的な好みや熟練度にもよるため、各作業者の意見を全て反映することは困難で、実用化にあたってはバリエーションに富んだラインアップが必要であることが分かった。作業者のコメントを受け、改良を重ね以下の圧送式刷毛の開発を行った。

(1) 極小型塗料高圧バルブを組み込んだ長柄タイプの刷毛の開発を行った。
(2) 塗料圧送経路中にインラインタイプの小型塗料バルブを開発した。
(3) 鋼板エッジ用専用のポール式刷毛を製作した。

以上の機器を開発し、試験と評価を繰り返し、刷毛形状、材質、圧送圧力、等要求項目が明確となり、要求項目に対応すべく機器の開発の方向性が明確になった。試作した刷毛を表-3.4.1に示す。

2008年度の研究開発後、2009年度では成果の普及と改良を目的として数度のデモを行ない、最終的に製品として、図-3.4.4及び3.4.5の圧送式刷毛とポンプが完成した。

現場での評価の結果、本ツールにより、作業速度は2～3倍程度が期待されること、また、エッジ部、溶接ビード部への塗料付着量、幅も十分確保できるツールであることが確認された。

３．４．２　今後の課題

(1)刷毛については、作業者の嗜好に対応出来る柔軟な品揃えが必要と考える。

(2)成果の普及を図りつつ、現場の声を反映して更なる改良を図っていく必要がある。

図-3.4.1　従来のタッチアップ

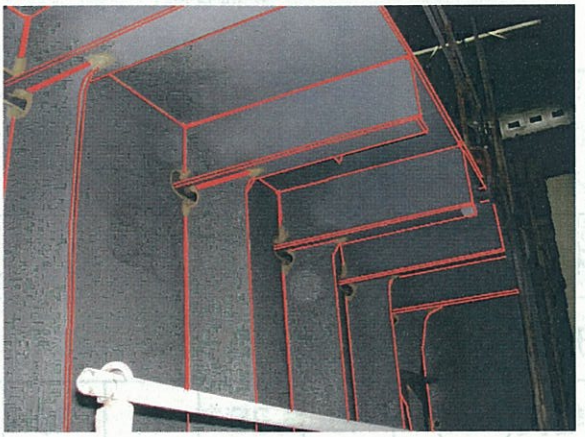


図-3.4.2　ストライプコート（2回）

図-3.4.3　現状のタッチアップ用刷毛とペンカン

図-3.4.4　圧送式刷毛と制御バルブ

図-3.4.5　圧送用ポンプ

表-3.4.1　開発で検討した刷毛

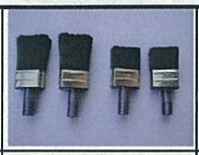
									
材質		化繊		獣毛		化繊ウエーブ		馬毛	馬毛
形状・サイズ		角(18×30)		角(18×30)		角(18×30)		丸(Φ27)	角(18×30)
毛丈(mm)		40	25	40	25	40	25	35	40
評価	柔軟性	○		○		○		△	△
	ふくみ	○		○		◎		○	○
	耐久性	○		△		○		◎	◎

図-3.4.6　造船所でのデモの状況

図-3.4.7　　開発ツールを使用したストライプコート作業

３．５　無機ジンク塗料を用いた新しい塗装システムに関する調査研究

３．５．１　調査研究の成果

「塗装基準」は防食効果を高めるためにエポキシ樹脂塗料をベースとした高膜厚の多層塗り（２ストライプ２コート、DFT320μm）が要求されている。我が国の造船業は、韓国・中国等後発造船国と比較して相対的に設備が旧式であること、現場における塗装作業方法の近代化が遅れていることなど、塗装の点から見ると、必ずしも競争力があるとはいえない状況にある。加えて、「塗装基準」の高膜厚の多層塗りは、従来の膜厚より大幅に厚い塗膜厚が要求されている。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において、塗装基準の導入は塗装関連の工数を大幅に増大させる。

我が国造船業の中長期的な競争力維持に防食効果を高めつつ、塗装工数削減と作業環境の改善を目的とした有機塗料低VOC型、又は水系代替防食塗装システムの開発は不可欠といえる。

有機塗料エポキシ等は、塗膜と鋼板面の遮断（バリヤー）効果を利用した防食技術であり、多層塗（DFT320μm）が原則になる。一方、電気防食を利用した代替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（DFT100～150μm）の可能性があり造船塗装の防食性向上、VOC対策、安全性、作業環境と工数削減に寄与できると考えられる。

2007年度の基礎試験において、ブラスト処理面、無機ショッププライマー面においての無機ジンク塗料の付着性は良好との結果を基に、2008年度は無機ジンク塗料の基礎研究を行い、新しい水系無機ジンク塗料を開発すると共に、エポキシ系塗料との作業性の違いを把握するために模擬タンクへの試験塗装を行い、作業性及び性能確認を行なった。また、実船においてバラストタンクに無機ジンク塗料を塗布したLNG船を訪船し、無機ジンク塗料の腐食劣化状況の実態調査を行った。

本年度の研究成果と今後の課題を取りまとめると、以下の通りである。

（１）下地処理グレードによる無機ジンク塗料付着性確認試験

１）初期付着は下地処理グレードによって付着性に差が出ていた。粗度の大きくなるブラスト処理では良好な結果だが、粗度の付かないパワーツール処理ではブラスト処理よりも劣った。

２）溶剤系と水系で試験結果を比較すると、溶剤系２コートが最も良い結果で、次いで溶剤系単膜、水系の順であった。

３）塩水浸漬後の試験結果では１ヶ月浸漬時に付着力が若干弱くなるが、浸漬期間が延びると付着性が改善された。

４）浸漬後も下地処理グレード、塗料系による違いともに初期と同様な傾向が確認できた。

（２）板厚による付着力変化確認試験

１）2.3mm、6mm、12mmと試験板の板厚が厚くなるに従い、引張り試験での付着強度は高くなった。

２）耐衝撃試験では厚い鋼板を使用すると鋼板の曲がりが無くなるため、剥離径が小さくなる傾向にあり、エポキシ系と比較しても同等で良好な結果を得た。

（３）水系無機ジンク塗料の水際部での塗膜崩壊の確認試験

１）乾燥期間、乾燥温度等、条件を変えて試験を行ったが、どの条件においても塗膜の崩壊を確認した。

（４）新規水系無機ジンク塗料の開発

新規に水系無機ジンクのハイブリッド型２種類を開発した。従来型のアルカリシリケート系無機ジンク塗料、エポキシ系塗料との比較試験を行い、それぞれ以下の結果を得た。

（４－１）アルカリシリケート

１）ラボでのエアレス塗装では、WFT600μm 以上のタレ性を確認したが、DFT350μm 以上の膜厚部分でクラックが発生した。

２）防食性試験では、浸漬１ヶ月で赤錆の発生は見られず良好であったが、従来からあるアルカリシリケートと同様に喫水線での塗膜溶解が発生した。

４）塗装平面部では、ブラスト処理部、ＰＴ処理部共に付着性（碁盤目、ナイフカット、衝撃試験）や、水ラビング試験の結果は良好であった。

（４－２）水系ハイブリッド１

１）ラボでのエアレス塗装で、DFT100-125μm でタレが発生し、クラック限界は確認できなかった。このため、実ブロックでの塗装試験には供試しなかった。

２）防食試験では１ヶ月浸漬で赤錆の発生や喫水線の溶解など起こらず良好であった。

（４－３）水系ハイブリッド２

１）ラボでのエアレス塗装では、DFT400-500μm のタレ性を確認し、この膜厚で塗膜表面の微細なクラックを確認した。

２）防食試験では１ヶ月浸漬で赤錆の発生や喫水線の溶解など起こらず良好であった。

４）塗装平面部では、ブラスト処理部での初期付着性（碁盤目、ナイフカット、衝撃試験）はアルカリシリケートよりは劣るものの使用可能なレベルに達していたが、ＰＴ処理面では碁盤目試験を行うために 2mm 間隔でナイフを入れると塗膜で凝集破壊が起こった。

（４－４）模擬タンク塗装試験は、アルカリシリケート系及び水系ハイブリッド２を用いて試験塗装を行った。

１）アルカリシリケート系は、実ブロック塗装で、エアレス塗装を試みたが塗料のつまりが発生し塗装は出来なかった。圧送エアースプレーを用いて塗装を行ったが、WFT500-600μm 程度でタレが発生し、DFT400μm を超える厚膜部や、周辺膜厚 200μm 近辺のシームライン上ではクラックが発生した。

２）水系ハイブリッド２は、実ブロックでのエアレス塗装では、平均膜厚が 300μm 近い厚膜の塗装となったが、クラックなどは見られず、良好な結果を得た。

（５）実船調査

船齢 29 年の LNG 船の補修後５年以上経過したバラストタンクを調査した。

調査の結果、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した。　膜厚測定結果は、１３０μm～２２０μmであった。

水系無機ジンク塗料は、ショッププライマー塗装鋼板での付着性が良好であることが確認された。PSPC の２回塗りエポキシシステムの代替システムとして無機ジンク塗料による１コートシステムが十分可能であると考えられる。今後は、PSPC の要件である 15 年間の耐久性を維持するための塗膜寿命予測試験等に取り組んでいく必要がある。

表-3.5.1　水系無機ジンク塗料の性状

塗料		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パック (樹脂+粉末)	3パック (樹脂+粉末+添加剤)	3パック (樹脂+粉末+添加剤)
塗料粘度（ポイズ）		13	15	65
容量NV（%, 理論値）		45	49	59
塗料密度（g/cm^3）		2.8	2.6	2.9
VOC（g/L）		0	30	88
初期付着性		○	○	○
浸漬試験	防食性	○	○	○
	塗膜溶解	喫水線で溶解	○	○
エアレス塗装	沈降性	△ (常時攪拌が必要)	○*	○
	霧化性 (ﾁｯﾌﾟ415-421)	テール引き	テール引き	テール引き
	塗膜表面状態	ゆず肌	○	ゆず肌
	エアレス洗浄	×	○	○
	タレ限界(DFT)	400μm	125μm	400-500μm
	クラック限界(DFT)	300-400μm	-	500μm

表-3.5.2　模擬ブロックにおける試験塗装　仕様、環境条件、下地処理条件

項目＼区画	A区画（内面）	B区画(内面)
塗料系	水系無機ジンク	
塗料符号	試作品A (ｱﾙｶﾘｼﾘｹｰﾄ)	試作品B (ﾊｲﾌﾞﾘｯﾄﾀｲﾌﾟ)
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（ 15μm ）	
二次表面処理	①ブラスト処理(タイト壁を除く) 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 ②パワーツール処理(タイト壁) PT処理(ST3) (ﾃﾞｨｽｸｻﾝﾀﾞｰ処理＋ﾊﾟﾜｰﾌﾞﾗｼ処理)	
先行ストライプコート	①パワーツール処理部(タイト壁) 刷毛でT/U専用のGALBON　SP(15μm)を 穴・コバ・ シーム部など鋼板露出面に先行塗装	
本塗装(1stCoat)	試作品A　(150μ)	試作品B(150μ)
塗装機	圧送式エアースプレー	一般用エアレス (30:1)
天候	晴れ	
気温/湿度	24-29℃/ 47-54%	
鋼板温度	24-27℃	
ブラスト研掃剤	スチールグリッド	
塩分濃度	0 mg/m^2	6 mg/m^2
表面粗度 (Rz)	一般部 : 43-60μm ロンジ裏 : 30-35μm	
換気 (風速)	噴出し口 : 3.4-3.7m/s タンク内 : 0-0.2m/s	噴出し口 : 6.3-6.4m/s タンク内 : 0-0.2m/s
塗料ホース長	10m	20m

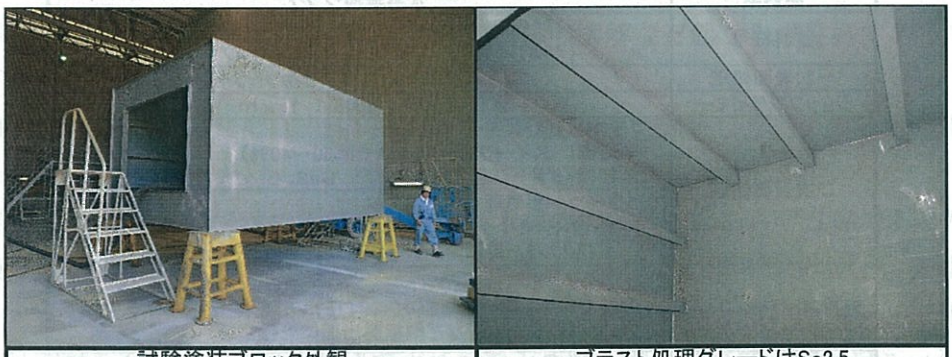
表-3.5.3　模擬ブロックにおける試験塗装　塗装作業性

項目＼区画		A区画（内面）	B区画(内面)
塗料系		水系無機ジンク	
塗料符号		試作品A (ｱﾙｶﾘｼﾘｹｰﾄ)	試作品B (ﾊｲﾌﾞﾘｯﾄﾀｲﾌﾟ)
塗装機		圧送式エアースプレー (エアレス塗装でガンの詰まり発生)	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 (リオン粘度計)		13ポイズ	65ポイズ (1.8%の水で希釈後の粘度)
混合性	攪拌性	○	△-○
	沈殿性	×(常時攪拌が必要)	○
スプレー霧化性		○(圧送式エアースプレー) エアレスではテール気味	ややテール気味
タレ性(WFT)		400-500μm	400-500μm
塗料の詰まり		無し	無し
スプレーダスト		多い	少ない(床面にダスト有り)
刷毛塗り性		-	○
工数(指数)		100	50*

*:エポキシ塗料と同程度

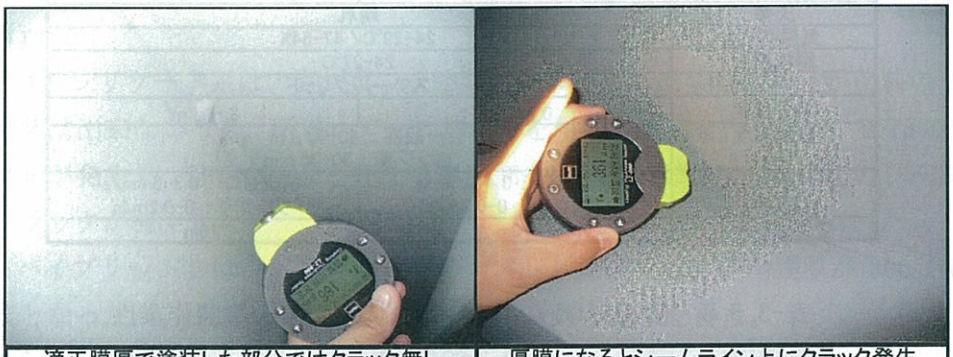
表-3.5.4　模擬ブロックにおける試験塗装　塗膜状況

項目＼区画		A区画（内面）	B区画（内面）
塗料系		水系無機ジンク	
塗料符号		試作品A （アルカリシリケート）	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 （部位別平均）	底面	268μm	344μm
	側壁	266μm	321μm
	天井	221μm	358μm
	タイト壁	268μm	334μm
	ロンジ裏	158μm	37μm
塗膜状態		△-○（ややゆず肌）	○
クラック限界	一般部	350-400μm	500μm以上
	シーム部	200μm	クラック無し
付着性	ブラスト部	○	○△
	PT処理部	○	○△
	T/U部	○	△
	耐衝撃	○	○
	水ラビング	○	○
コインスクラッチ		○	○



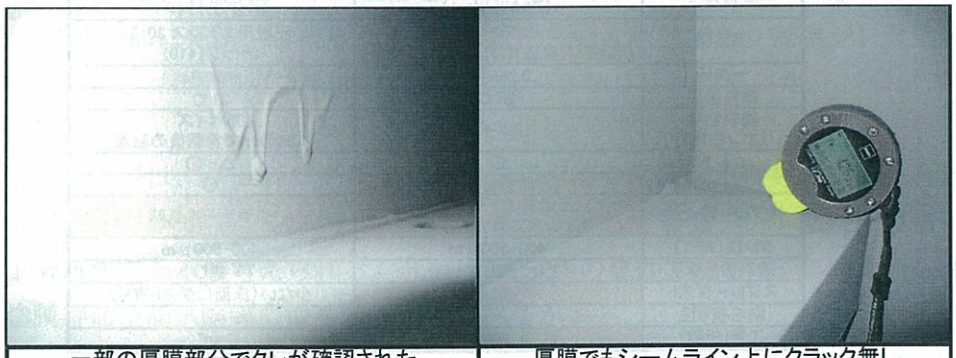
試験塗装ブロック外観　　ブラスト処理グレードはSa2.5

図-3.5.1　試験塗装ブロック（左）と下地処理（右）



適正膜厚で塗装した部分ではクラック無し　　厚膜になるとシームライン上にクラック発生

図-3.5.2　塗装後の塗膜状況（アルカリシリケート）

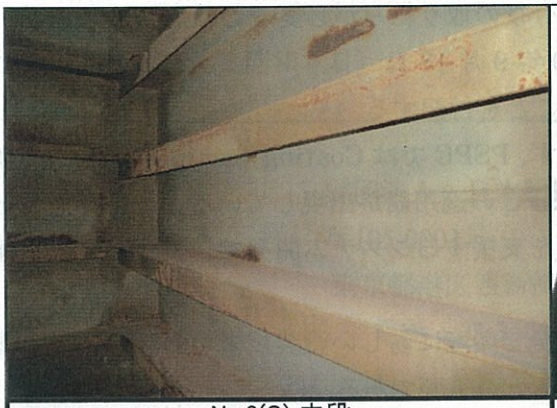


一部の厚膜部分でタレが確認された　　厚膜でもシームライン上にクラック無し

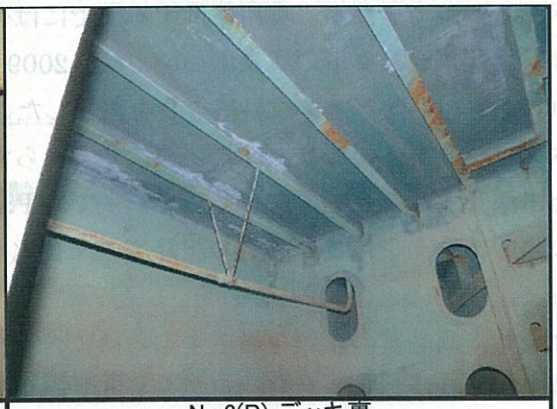
図-3.5.3　塗装後の塗膜状況（水系ハイブリッド2）

No.6(P) 中段

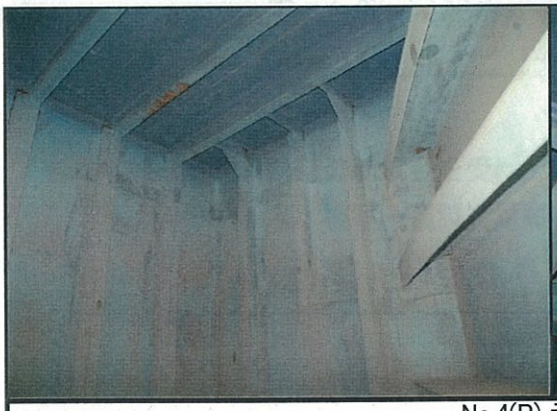
No.6(S) デッキ裏



No.8(S) 中段



No.6(P) デッキ裏



No.4(P) デッキ裏

図-3.5.4　バラストタンクに無機ジンク塗料を塗布した実船の塗膜状況

4.　まとめ

あらゆる船種のバラストタンク及びバルクキャリアの二重船殻構造部に対するPSPCの強制適用は、海運・造船・塗料メーカ、塗装業者及び船級協会に対して、与える影響の度合いが異なるとはいえ、従来の船舶塗装仕様に比べてハイスペックな塗装仕様であるため、インパクトは大きい。

本プロジェクトでは、PSPC の適用による塗装性能の向上と造船業の国際競争力を維持するためにコスト増の最小化を目的として、５つの課題について研究開発を行った。

その成果については、前述の通りであるが、全ての課題が必ずしも現場で直ちに実用に耐える成果を得たとは言えず、今後の取り組みが必要な課題もある。

NC 切断時のエッジ処理技術や SIP 技術のように、PSPC の規定の範疇ではあるが、新技術として適用する場合の判断、あるいは同等性の判断基準等について更なる検討と、基準の改正も視野に入れた取り組みが必要である。また、ストライプコート用のツールは、長年使い慣れた刷毛とペン缶の作業とは異なったイメージのツールを開発したが、従来の作業者の感覚も取り入れたツールとして、改善を図ることも必要である。技術の普及と共にメーカの改善努力に期待したい。

また、防食性能の向上と共に劣悪な環境にあるブラスト現場の作業環境や周辺環境の改善、あるいはブラスト工場の設置が困難な立地条件にある中小造船所の次期技術としての水ブラスト技術、更には、エポキシ塗料を対象とした PSPC 基準の代替塗装システムとして、安全・環境、省力化等を目指した新塗装システムである無機ジンク塗料の技術は、次世代の技術としての可能性を示すことができたが、実用に供するまでには今後の取り組みが必要である。

尚、本プロジェクトの成果については、2009 年 9 月 18 日（日本財団ビル）に多くの方にご参加（121 名）いただき、成果報告会を開催したことを付記する。

本プロジェクトで取り上げた課題にとどまらず、PSPC では Coating Technical File の作成し、船上に保管することを要求しており、すでに PSPC の適用船が出現していることを考えると、膨大な膜厚データや毎日のログの記録等の文書化を支援するシステム開発は、緊急を要する課題である。

今後も、高品質の船舶を建造するために、安全で環境に易しい塗装技術の開発を行い、国際的な競争力を維持しリーダーシップをとっていくことが重要である。

最後に、本プロジェクトは、日本財団の助成を受けて実施することができたことに深甚なる謝意を表する。さらに、事業の推進に当たっては、各機器メーカ、造船所関係者、大学、研究所の方々のご協力いただき成果を上げることができた。ここに、心より御礼を申し上げる。

発行者　財団法人　日本船舶技術研究協会
〒105-0003
東京都港区西新橋 1-7-2　虎の門高木ビル 5 階
電話：03-3502-2132（総務部）
03-3502-2134（企画・研究開発グループ）
ファックス：03-3504-2350
ホームページ：http://www.jstra.jp/

本書は、日本財団の助成金を受けて作製したものです。
本書の無断転載・複写・複製を禁じます。

ありがとう競艇