2009 年度研究開発の成果報告

2. 混気ジェットを活用したブラスト技術の実用化研究

混気ジェットを活用したブラスト技術の実用化研究

― 業界要望による共同研究はじまる ―

1. はじめに

IMO 第 82 回海上安全委員会(MSC82)で Performance Standard for Protective Coatings for Dedicated Seawater Ballast Tanks in all Types of Ships and Double-side Skin Spaces of Bulk Carriers(PSPC)が採択され，2008 年以降の契約船から適用が開始されている。

PSPCでは，最終的には日本提案を認め，健在なショッププライマ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水洗することで，ショッププライマを残すことを認めている。

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はあるが，PSPC で要求されるダスト処理，清掃作業に相当の工数を要し，劣悪な作業環境での労働を余儀なくされる。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。このため本研究では，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，環境負荷が小さく，効率的な高圧洗浄と水ブラスト技術を確立することにより，除錆作業と清掃作業及び溶接ビード部等の下地処理作業を一元化するものである。

財団法人日本船舶技術研究協会（船技協）では，2007～2008 年度の 2 年間に亘り日本財団助成事業として混気ジェットを活用したブラスト技術の研究開発を行い，基礎的な技術を確立した。

この確立した技術を活用し，作業環境の改善，造船所の立地上の理由からブラスト工場の設置が困難な造船所の実情をも踏まえて，実際の造船の現場で使用可能な将来技術として水ブラスト技術の実用化の研究開発を，船技協を事務局として共同研究体制により推進することとした。なお，本事業にあたっては，弊会の業界要望による共同研究のスキームを利用している。

本稿の用語は以下の通り。

①ドライブラスト：メディアとしてサンドやグリッド等をドライの状態で用いて表面処理する。サンドスイープで表面洗浄を行う。

②高圧水ブラスト：鋼材表面の洗浄を高圧水により行なうブラスト作業で，超高圧水でも鋼材表面に粗度を付けることは不可能。

③混気ジェットブラスト：高圧水と空気の混合高圧ジェットを活用した洗浄法で，メディアの併用も可能。表面処理，洗浄，水洗の機能を一元化したブラスト技術。

2. 混気ジェットブラストとは

2.1 PSPC の下地処理要件

PSPC の 2 次表面処理（Secondary Surface Preparation）に関する要件は，以下の通りとなっている。

a.鋼材状態

鋼材表面は, 選択した塗装が, 要求される公称乾燥膜厚となるよう均一な膜厚が得られ，かつ，十分な付着力を確保できるようにするため，シャープエッジの除去，溶接ビードのグラインダー処理並びに溶接スパッタ及びその他の表面の汚れの除去を行うこと。

b.表面処理

ショッププライマの損傷部及び溶接部にあってはSa 2.5とすること。

塗装の認証試験に合格していないショッププライマにあっては，健全部を少なくとも70%除去するSa2とすること。ただし，エポキシベースの塗料とショッププライマから成る塗装システムが認証試験に合格している場合にあっては，健全なショッププライマを維持して差し支えない。また，維持するショッププライマは，スイープブラスト処理，高圧水洗浄又は同等の方法により清掃すること。

ただし，ジンクシリケ-トショッププライマがエポキシ塗装システムの一部として認証試験に合格している場合, 合格した他のエポキシ塗料と組み合わせて使用することが出来る。ただし，塗料との相性を附属書 1 付録 1 の 1.7 で海水の動揺を省いた試験により，塗料メーカが確認することを条件とする。

c. エレクション後の表面処理

バット部はSt 3以上又はSa 2.5。総面積の2%までのスモールダメージはSt 3。25㎡またはタンク総面積の2%を超える連続したダメージは，Sa 2.5を適用。

2.2　混気ジェットブラストの原理

従来のパワーツール処理を主とした下地処理工法では PSPC の 2 次表面処理要件を達成することは不可能であり，各造船会社に於いては，高額なサンドブラスト工場の設備投資が必要となった。サンドブラストの代替工法としての混気ジェットブラスト技術の開発は，既存技術であるスラリーブラストと高圧水ジェットによる洗浄を一元化した技術である。

ブラストによる研掃は，空気圧でメディアを吹き飛ばして，鋼板表面に付着した錆やヒュームを除去，また，鋼板表面に硬いメディアを衝突させることにより塗膜の付着性能を高めるためにプロファイル（表面粗度）を付けるもので，メディアの運動エネルギーのみを利用したものである。

一方，混気ジェットの原理は，図 1 に示すように，ノズル中央から高圧水が噴射され，ノズルチップの周りから噴射される圧縮空気と混合して水の液滴化を促進して混気ジェットを作りだす。液滴化した水と空気の混合物（混気）は加速管で加速され，これが物体表面に衝突して液滴がはじける（ハンマリング効果）ことにより，物体表面の付着物を剥離する能力が増大することになる。

更に，この混気ジェットに加えてメディアをノズルまで別ラインで圧送，ベンチュリーノズルでスピードを加速させ投射することにより，より大きな運動エネルギーにより鋼材表面にプロファイルを付けることができる。（図 2 参照）

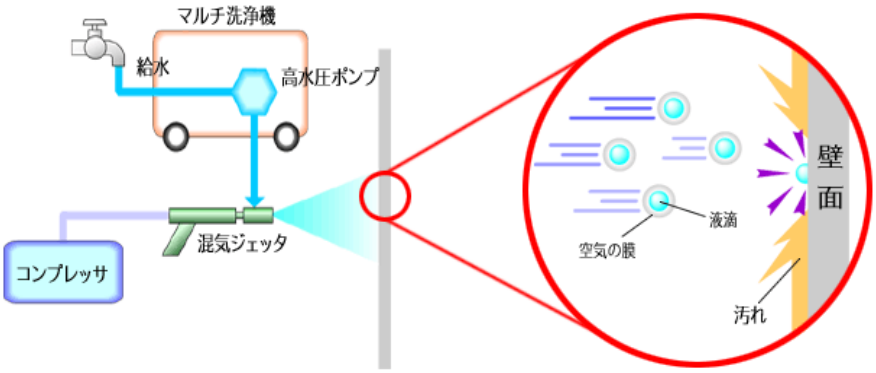


図１　混気ジェット原理（イメージ）

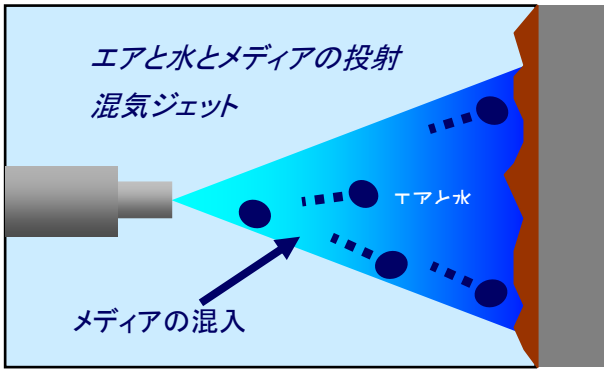


図２　メディアの混入により研掃

2.3　ドライブラストと水ブラストの相違点

ドライブラストは，被塗物に圧縮空気によりメディアを投射し，その運動エネルギーにより鋼板表面を研創して，プロファイル及び洗浄を行う。水ブラストとの相違点はメディアの選択肢が広く，研創ツールとしてその効率は非常に高い。しかしながら，ドライブラストは元来研掃ツールであり洗浄ツールとしては最適なものとは言い難い面がある。一方，高圧水ブラストの洗浄能力は高いと言えるが，研掃能力はメディアを混入しない限り，運動エネルギーの原理から研掃能力を上げることは出来ない。なお，ISO 12944-4:1998(E)では水ブラストは次の通り分類している。

低圧水洗浄　＜34MPa
高圧水洗浄　34～70MPa
高圧水ブラスト　70～170MPa
超高圧水ブラスト　＞170MPa*1

*１）　NACE VIS 7/SSPC-VIS 4 では超高圧水ブラストを 200MPa 以上と規定している。

ブラスト作業に必要な施設については，ドライブラストの場合には，塵埃の飛散防止のために専用の工場が不可欠である。作業環境も悪く集塵装置等の設備が必要である。
一方，水ブラストの場合には，水ブラスト装置，回収装置と共に，排水設備が必要となる。ブラスト工場は，塵埃が飛散して環境的な問題は発生しないため簡易なテントでも可能である。

ブラスト装置を除く設備投資は，ドライブラストに比較して水ブラストは有利あると考えている。

写真１　ドライブラスト工場

2.4　混気ジェットブラスト装置の機能要件

混気ジェットは，圧送メディアと水及びエアの組合せによる研掃作業，高圧水とエアによる洗浄作業の 2 つの機能を一つの装置で可能とするものである。加えて，水圧の調整，メディアの吐出量が制御できるため鋼板の汚れ，発錆状態により制御が可能である。混気ジェットを活用した水ブラスト装置の開発に当たっては，PSPC の二次表面処理要件（溶接ビード部の表面粗度 35～70μm，処理グレード Sa2.5）を満足しつつドライブラストと同等の作業性，作業の安全性確保の観点から出来るだけ低圧による洗浄作業が可能なこと及びメディア使用量等のランニングコストの低減を図ることを目標とした。開発にあたっては次の事項を重視した。

・粉塵問題は極めて少なく工場外でもブラスト可能
・メディアの使用量を最小限にする。
・作業環境改善による品質管理の合理化
・設備投資の最小化

3.　実用機の開発

造船塗装はロボット化，装置化が極めて困難な分野であり高仕様・高品質を要求する PSPC の要件は，労働集約的作業であり労務費の高い国としては大きなコスト増となり国際競争力の低下に繋がる。その意味で実機の開発は安全・省力化，作業環境の改善，作業スパーンの拡大，品質管理の簡素化を重視した。

3.1　装置の仕様

混気ジェットブラスト装置は，作業工程に対応して高圧水ブラスト洗浄と混気ジェット（水・メディア・エヤー），低圧水洗の 3 系統から成る本体（写真 2），及び水及びメディアを回収する湿式バキュームによる回収装置（写真 3）から成っている。混気ジェット装置と湿式バキューム装置の組み合わせにより，高圧水ブラスト 100MPa（洗浄），混気ジェット 35MPa（研掃），低圧水洗 8MPa（掃除），湿式バキューム（回収）の作業工程を一体化し大きなスパーンで行う仕様になっている。回収装置を写真 4 に示す。

装置の主要部分として高圧洗浄部分は清水用フィルター，プランジャーポンプ(100MPa)，高圧水洗用回転ノズルである。混気ジェット部分は，メディア用のホッパー，メディア用

圧力タンク，流速を高めるベンチュリーノズルである。（写真 3，写真 5，写真 6）

写真 2　混気ジェットブラウト装置（本体）

写真 3　装置内部

写真 4　回収装置

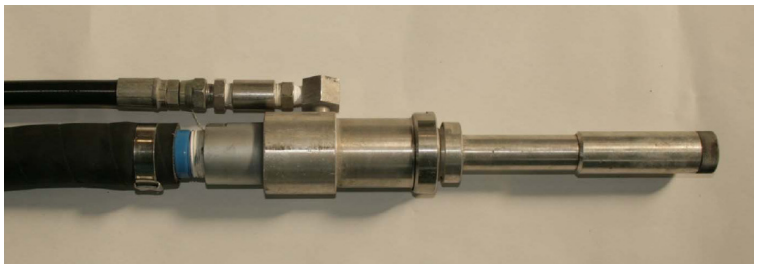


写真 5　ブラスト用ノズル

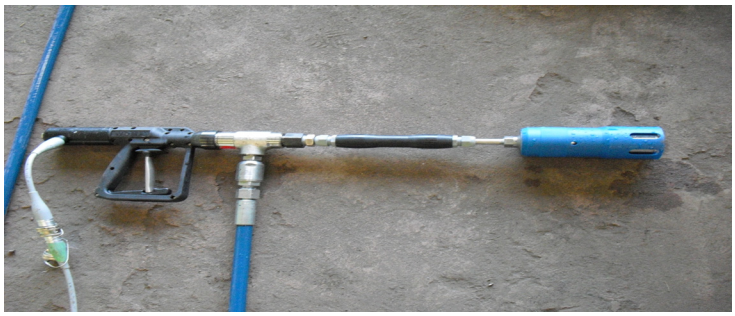


写真 6　高圧水洗用ノズル（ドイツ WOMA 社製）

3.2　実用化試験

大物量の造船の塗装作業に対応し得る実用化装置の開発では，作業性，水ブラストでは必須の課題である戻り錆対策に重点を置いて検討を行った。

一般部の高圧水ブラスト（洗浄）では，メディアを使用せずに固着した汚れ，切断・溶接ヒューム除去の限界水圧の確認するために市販されている低圧水ポンプ 14MPa かスタートし 35MPa の改良開発を経て，造船のブラスト作業に対応可能な 100MPa のプランジャーポンプを搭載したプロトタイプを開発し，混気ジェットのパワーアップと高圧水ブラストを可能にした。

洗浄効率を最大限に発揮するためのノズルは，開発と同時に市販の各種ノズルによる試験を行った。実用化に当たっては，高圧に耐える回転ノズル，混気ジェット（研掃）作業効率を高めるためにパターン幅の改良が図られた。

また，実用化のために塗料メーカとの確認事項として，戻り錆び対策，上塗りされる塗料との相性の確認試験等，装置以外の各種試験を行っている。

実用化のために解決すべき課題は，装置の機能確認，作業性の確認，作業手順の確立，水ブラスト作業に必要なツールの検討，装置の操作マニュアル，作業マニュアルの作成である。また，今後，水ブラストの技術を普及するための体制や水ブラストにより表面処理した場合の処理グレードの標準となる標準写真の作成等がある。

現在, 試験は継続実施中であり完了していないため, これまでに確認した事項について, その概要をまとめると以下の通りである。

（1）　装置の機能確認

下地処理グレード Sa2.5，プロファイル 35～70μm，ヒューム洗浄能力については，本装置で十分達成可能であることを確認した。また，ブラスト作業，洗浄作業，水洗作業，乾燥作業についても装置の機能は問題ないことを確認した。

(2)　作業性の確認

実船のブロックにより，作業性を確認した。この問題は，作業手順と密接に関連しており，ブロック搬入から作業準備，作業終了までの工数を把握して，ドライブラストとの比較により，評価する必要がある。

(3)　作業手順

数回の試験により，作業手順は凡そ確定しつつある。これまでの試験により得られた作業手順は，以下の通りである。

① 先ず，高圧水によりショッププライマ健全部のヒュームや白錆等の洗浄を行う。
② 次いで，溶接ビード部，損傷部等の混気ジェットによるブラスト作業を行う。
③ 鋼材表面に付着残留したメディアを低圧水洗により清掃する。
④ 清掃後，水切り，エアブローにより乾燥する。

各作業において，ブロックのどの位置から作業を開始するかなど各作業毎の手順については，今後の試験により更に検討する必要がある。

(4)　ランニングコスト

水ブラストでは，圧縮エア，メディア，洗浄用水，電気料，廃棄物処理が作業に伴うランニングコストとなる。これらを最小化することが，今後の技術普及にとっても重要であり，開発終了までにはデータを収集する必要がある。

写真 7　実船ブロックの高圧洗浄作業の状況

4.　二次表面処理標準

実用化研究の一環として，混気ジェットブラスト装置による鋼材表面処理前後の写真の例を示す。

新造船の水ブラストによる鋼材表面処理の標準となる写真は存在しない。本開発において国際的な標準を作成するため，専門家による標準作成を目指している。

これまでの作業における表面処理写真は，以下の通りである。

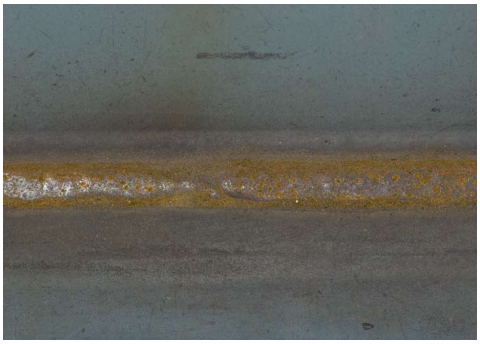
4.1　混気ジェット処理（Sa 2.5 グレード）

溶接ビード部は Sa2.5，35～70 μ m の表面粗度が PSPC の要件である。突合せ，隅肉及び三叉部の溶接ビードの処理前及び処理後の状況を写真 8～10 に示す。ダメージ部の写真を図 11 に示す。

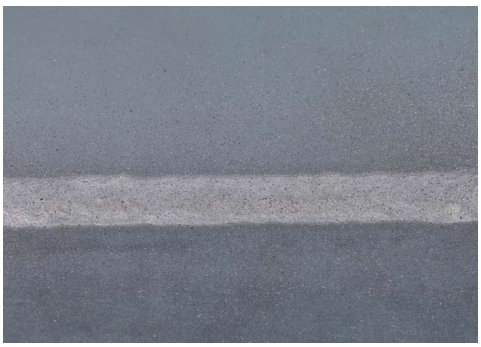
(a)　自動溶接ビード(突合）処理前

(b)　自動溶接ビード(突合）処理後

写真 8　突合せ溶接



(a)　自動溶接ビード(隅肉）処理前



(b)自動溶接ビード(隅肉）処理後

写真 9　隅肉溶接

(a)　溶接ビード(3 差部）処理前

(b)溶接ビード(3 差部）処理後

写真 10　三差部

(a)　ダメージ部 処理前

(b)　ダメージ部 処理後

写真 11　ダメージ部

4.2　高圧水ブラスト処理

白さび，固着したヒューム落としは，メディアを使用せず回転ノズルを使用した高圧水ブラスト処理で洗浄可能となった。高圧水によるヒューム洗浄，白錆洗浄及び裏焼けの洗浄処理状況を写真 12～14 に示す。

(a)　固着したフューム処理前

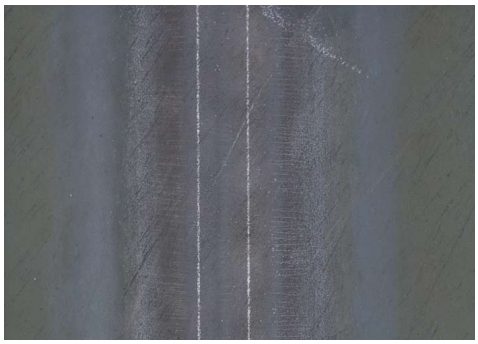
(b)固着したフューム処理後

写真 12　ヒューム

(a)　白錆 場所 1　処理前

(b)白錆 場所 1　処理後

写真 13　白錆



(a)裏焼け　処理前

(b)裏焼け　処理後

写真 14　裏焼け

5.　今後の課題

混気ジェットを活用したブラスト装置により，PSPC の要件である研掃グレード，及び洗浄度を満たす技術を確立した。更なる作業効率のアップ，工数削減のため今後の課題としては次の事項である。

- メディアの改良，
- 作業性の良いホースの改良
- メディア使用量の更なる削減
- 標準化のため作業手順の確立
- 標準写真集の作成

謝辞

本稿の執筆にあたっては，財団法人日本船舶技術研究協会宮本武様及び藤原治郎様のご協力を仰ぎました。また，本研究開発は，業界要望による共同研究事業として，アイ・エイチ・アイアムテック，内海造船，三上船舶工業，中国塗料，シブヤマシナリー，日本船舶技術研究協会及び弊会との共同研究体制により推進している。参加各位の熱心なご努力とご協力に感謝いたします。

混気ジェットを利用した水ブラスト技術の実用化研究

（業界要望による共同研究テーマ）

目　次

1. 研究の背景及び目的
2. 装置の開発
3. 業界要望による共同研究
4. まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

研究の背景及び目的

◎ IMO塗装基準により下地処理作業が増加
→ 日本の造船業にとっては死活問題

◎ 建屋無しにブラスト可能な
水ブラストは問題解決に有効
→ ただし、水ブラスト装置の実現には課題多数

>> 混気ジェットの利用で水ブラストの課題を解決！
また、作業手順の確立など、実用化を達成。

>> 今後は業界への説明会を通して、普及を図る。

3

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

研究の概要

研究内容	① IMO塗装基準を満足する水ブラスト装置の開発 ② 同ブラスト装置による作業手順の確立と普及 ③ 同ブラスト装置による下地標本写真集の作成
共同研究者	IHIアムテック、シブヤマシナリー、内海造船、三上船舶、中国塗料、船技協、NK （敬称等略）
研究期間	2009年8月～2010年8月

4

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMO塗装基準（関連部分）

2次表面処理（鋼材表面）

- 溶接部及びショッププライマの損傷部：Sa2.5
- ショッププライマの健全部
  - 主塗料との試験にパスしていないもの：Sa2で70%除去
  - 主塗料との試験にパスしているもの：スイープブラスト、高圧水洗浄または同等の方法でクリーニング

2次表面処理（ダスト）

- ダストサイズ「3」以上は分量「1」以下
- 「2」以下のものは、拡大鏡なしに見えるものは除去

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1. 研究の背景及び目的
2. 装置の開発
3. 業界要望による共同研究
4. まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

装置の開発目標

混気ジェット水ブラスト装置

建屋が無くてもブラスト可能な装置（完成）

塗装下地仕上げに必要な3つの機能を満足した。

- 溶接部 → ブラスト仕上げ可能 ：Sa2.5
- ショッププライマの健全部 → 高圧水洗浄
- ダスト + 可溶性塩分 → 除去（通常水洗浄）

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

これまでの研究の流れ

混気ジェット装置

14MPa

35MPa

100MPa

2006年
シブヤマシナリーの自主研究
主に
表面処理可能か？
（目粗し）
の**FSを実施**

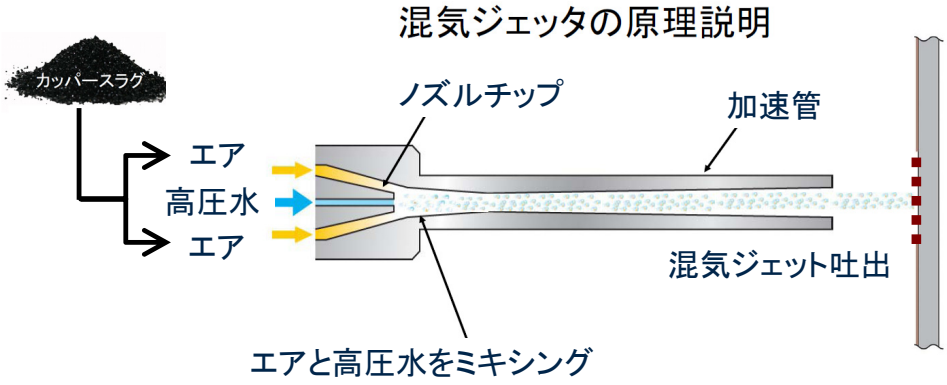
2007年～2008年
船技協
（日本財団助成事業）
プロト装置で
・表面処理→Sa2.5
・表面祖度→30～75μ
・ヒューム等洗浄可能か？
・ダスト洗浄可能か？

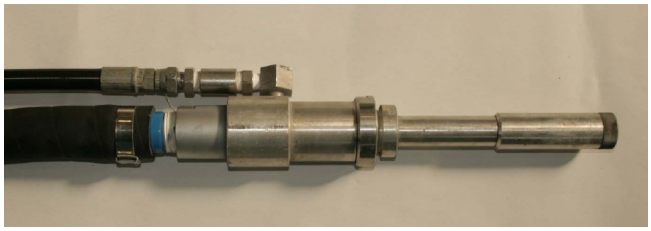
2009年～2010年
NK業界要望による共同研究
実際の造船所に適用可能な装置で
・表面処理→Sa2.5
・表面祖度→30～75μ
・ヒューム等洗浄可能か？
・ダスト洗浄可能か？

＋

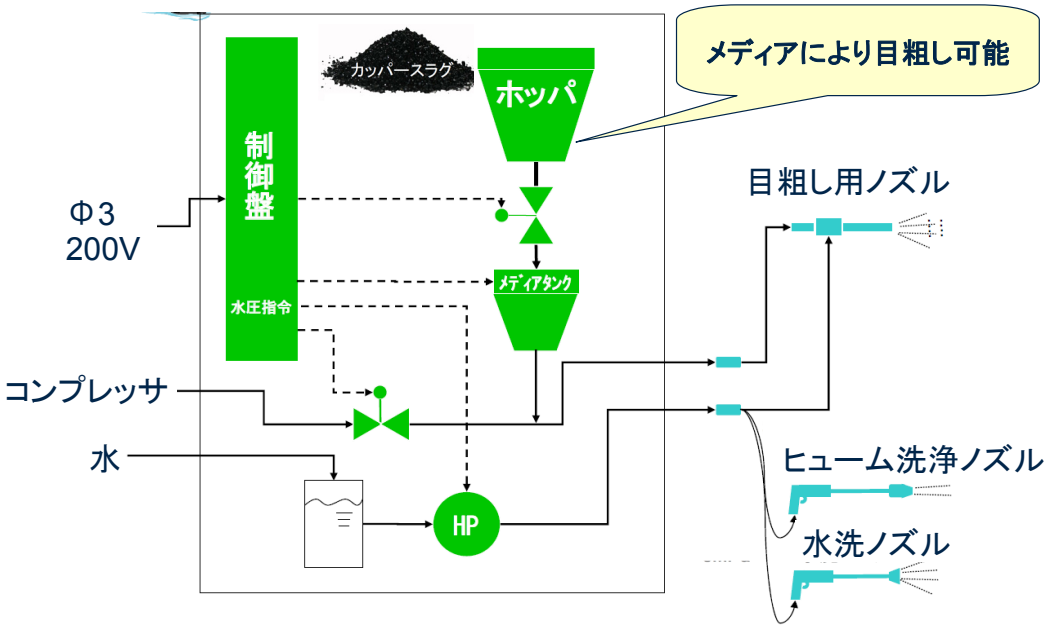
作業手順の確立

混気ジェット装置の原理（1）





混気ジェット装置の原理（2）



ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

ブラスト性能

100MPa

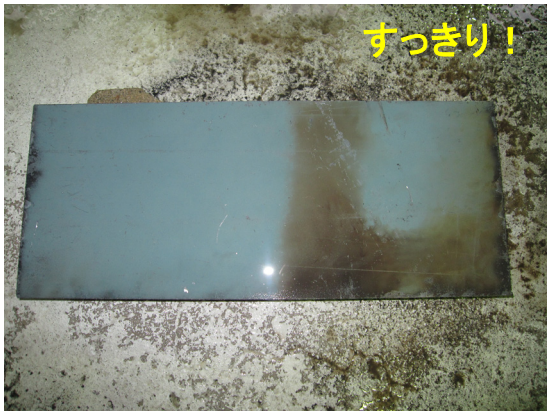
35MPa

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

高圧洗浄性能（ヒューム落し）

35MPa

100MPa



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

戻り錆対策（ご参考：以前の研究の成果）

	塗膜への影響	経済性	危険度	
アルカリイオン水	影響有	装置高価	低い	
アルカリ還元水	影響なし	装置高価＋酸性水廃棄	低い	
粉末添加剤	影響なし	メディアに混入使用	低い	採用
液状添加剤	影響なし	水に混入使用	溶剤危険性あり	

戻り錆 試験状況（カッパースラグ等を添加）

ブラスト直後

ブラスト後、1時間経過後

ブラスト後、2時間経過後

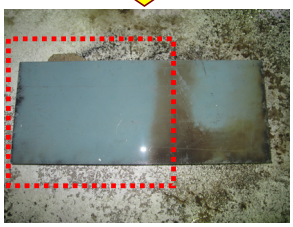
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

混気ジェット水ブラスト装置実験の状況

ブラスト性能

メディアの飛散は最小限

高圧水洗浄性能



混気ジェット式
水ブラスト装置
洗浄テスト
日時：2009.12.21
場所：シブヤマシナリー(株)
進和工場

（実験状況ビデオ）

ヒュームをすっきり除去

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1. 研究の背景及び目的
2. 装置の開発
3. 業界要望による共同研究
4. まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界要望による共同研究とは（1）

新たな研究開発事業として、

業界のご提案で共同研究を実施する事業を開始

事業開始の背景

◎ 公益法人改革により、NKは一般財団法人に移行

→ これにより、NKは柔軟性のある事業展開が可能

→ より一層、顧客の皆様のご要望にお応えできる組織へ

◎ このためには、保有財産を公益事業に要支出

→ 研究開発業務を公益事業として拡充

→ 業界の皆様方からのご提案により共同研究を実施

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

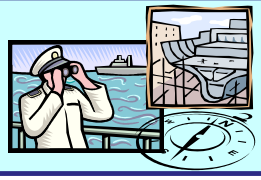
業界要望による共同研究とは（2）

1. 業界等、外部との共同研究を推進

- 業界からの提案による共同研究を行います。
- 共同研究に対して積極的に経費負担します。

2. 広く海事産業に貢献するテーマを推進

- 船級業務に関わるテーマはもちろん、船級業務とは関係なくとも、広く海事産業に貢献する研究テーマであれば歓迎します。



3. 業界のご要望に 即対応

研究開発推進室

Practical R&D Promotion Division

- 常時、ご相談に応じます。
- ご提案のプロジェクトの採否について短期間で回答し、採用のものは、即開始します。
- 担当は研究開発推進室です。ご相談をお待ちしております。

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1. 研究の背景及び目的
2. 装置の開発
3. 業界要望による共同研究
4. まとめ

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

まとめ

- **研究の概要**
  - ・PSPC条約の下地処理作業（作業量増加）
  - ・建屋が不要となる水ブラスト技術の実用化
  - ・混気ジェットの活用
- **装置の開発**
  - ・自主研究 → 性能確認研究 → 実規模研究（本研究）
  - ・メディアを用いて目粗し（ブラスト）可能
  - ・高圧実現（実規模装置）でヒュームもスッキリ除去
- **業界要望により共同研究**
  - ・研究開発推進室が担当。ご相談をお待ちしています。

19